

污 水 处 理 技 术

柏景方 主编

哈爾濱工業大學出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了污水处理的基本原理及各种方法、工艺流程、设备构造、设计要点及操作运行。全书共分 6 章 46 节,内容包括基本知识、污水的物理处理、化学处理、物化处理和生物处理,以及污泥的处理等。

本书可作为高等学校环境工程、市政工程等专业的本科生教材,亦可供从事污水处理的技术人员、操作人员、管理人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

污水处理技术 / 柏景方主编. — 哈尔滨 :
哈尔滨工业大学出版社, 2006.6

ISBN 7 - 5603 - 2302 - 2

I . 污... II . 柏 III . 污水处理 IV . X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 051344 号

责任编辑 贾学斌 李广鑫 苗金英

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16 印张 29 字数 642 千字

版 次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印 数 1~4 000 册

定 价 39.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

水是生命的摇篮,水是发展经济的血液,水与人类息息相关。水可载舟,水也可覆舟,水能促进生产,水也会被污染,给人类带来危害。我们应学习、研究、掌握水性,更好地使水为人类服务。

改革开放以来,随着我国国民经济的发展和人民生活水平的提高,相应用水量及排放的污水量也猛增。为治理水污染,我国已颁布法规明确规定:环境保护是我国的一项基本国策。近年来,各类污水处理厂相继建设与投运,许多院校设立了环保、污水处理专业,培养专业人才,但与其他行业相比,我国污水处理事业起步还较晚,尚缺乏技术与运行管理经验,技术和运行操作人员数量不足,技术业务水平有待提高,据统计,全国有 30% 的污水处理厂,因技术管理等原因没有正常发挥效益,为尽快改变这种状态,尽自己的微薄之力,特编写本书。

我是一名环境保护工作者,1960 年毕业于哈尔滨工业大学给水排水专业,并一直从事环境保护的科研、设计、评价、施工和运行管理工作,至今已有 45 年。最初从技术员做起,到助理工程师、工程师、主任工程师、高级工程师、教授级高级工程师,并曾任牡丹江市环保局副局长兼总工程师。主要从事纺织印染、食品工业、化学工业、畜禽养殖等废水处理及城市污水处理的设计与施工运转,积累了一些经验,同时,也有许多失败的教训,将自己这一生所学所做的经验与教训归纳整理,并参考有关文献编写本书。

城市污水特别是工业废水种类繁多,行业不同,情况各异,其治理方法是一项系统工程。本书力求理论与实际相结合,在保证专业技术理论的完整性和系统性的基础上,力求突出针对性和实用性。一方面尽可能用浅显易懂的语言简明扼要地介绍技术理论;另一方面又对操作运行管理中常遇到的问题提出解决的途径。

全书共分 6 章 46 节。第 1 章基本知识,简要地介绍了水的知识、水体污染、水体防治及污水处理的基本原理与方法;第 2 章物理处理,介绍了均衡调节池、沉砂池、沉淀池、除油池、格栅、筛网、过滤池、离心分离及磁性分离;第 3 章化学

处理 ,介绍了中和处理、化学氧化、化学还原、化学沉淀、电解及消毒 ;第 4 章物化处理 ,介绍了混凝、澄清、吸附、离子交换、气浮、萃取、蒸发、结晶、吹脱、汽提、扩散渗析、电渗析、反渗透及超滤 ;第 5 章生物处理 ,介绍了生物知识和活性泥法、新生物法、生物膜法、稳定塘、土地处理以及厌氧处理 ;第 6 章污泥处理 ,介绍了基本知识、污泥浓缩、污泥消化、干化脱水、干燥焚烧及污泥处置。在书的最后还附带了环境质量和污染物排放标准以及污染物的监测分析方法。

本书内容繁多 ,以我微薄之力断难不出现误差 ,加上本人水平所限 ,缺点和疏漏在所难免 ,敬请读者批评指正。

本书引用了许多文献、论著 ,在此表示感谢。特别是贾学斌同志对本书进行了认真的编改审核 ,付出了辛勤的汗水 ,在此表示深深的感谢 !

柏景方

2006 年 5 月

目 录

第 1 章 基本知识	1
1.1 水的知识	1
1.2 水体污染	7
1.3 水体防治	17
1.4 污水处理	23
第 2 章 物理处理	33
2.1 均衡调节池	33
2.2 沉砂池	37
2.3 沉淀池	49
2.4 除油池	62
2.5 格栅	69
2.6 筛网	76
2.7 过滤池	80
2.8 离心分离	99
2.9 磁性分离	103
第 3 章 化学处理	111
3.1 中和处理	111
3.2 化学氧化	120
3.3 化学还原	139
3.4 化学沉淀	142
3.5 电解	147
3.6 消毒	153
第 4 章 物化处理	174
4.1 混凝	174
4.2 澄清	192
4.3 吸附	199
4.4 离子交换	210
4.5 气浮	223
4.6 萃取	249

4.7	蒸发	254
4.8	结晶	261
4.9	吹脱	265
4.10	汽提	267
4.11	扩散渗析	270
4.12	电渗析	273
4.13	反渗透	282
4.14	超滤	293
第 5 章	生物处理	301
5.1	生物知识	301
5.2	活性泥法	309
5.3	新生物法	332
5.4	生物膜法	336
5.5	稳定塘	360
5.6	土地处理	363
5.7	厌氧处理	370
第 6 章	污泥处理	378
6.1	基本知识	378
6.2	污泥浓缩	379
6.3	污泥消化	387
6.4	干化脱水	392
6.5	干燥焚烧	397
6.6	污泥处置	402
附录		406
附录 1	地表水环境质量标准(摘)	406
附录 2	污水综合排放标准(摘)	410
附录 3	污水排入城市下水道水质标准(摘)	420
附录 4	废水分析项目与方法	422
附录 5	污泥分析项目与方法	440
附录 6	气体分析项目与方法	443
附录 7	微生物检验	447
参考文献		456

第 1 章 基本知识

1.1 水的知识

1.1.1 储量分布

地球上的海洋、江河、湖泊、冰川、雪山中,还有大气、地层、生物气体内,到处都有水的存在,形成了一个完整的水圈。地球上的海洋面积为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$,占地球总面积 71%,而陆地面积仅为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$,仅占地球总面积 29%,因此人们常将地球称为“水球”。

全球水的总储量为 $1.39 \times 10^9 \text{ km}^3$ (13.9 亿 km^3) ,其中海水的体积分数为 96.5% ,淡水量为 $3.50 \times 10^7 \text{ km}^3$,仅占 2.5% ,而真正易于开发利用的河水、湖泊水、地下水等淡水资源约为 $3.00 \times 10^6 \text{ km}^3$,不足地球水总储量的 0.3%。

1.1.2 水体资源

水体资源从广义上讲,是指地球上水的总体。但是由于技术上和经济上的原因,海水、深层地下水、冰川、雪山等,人类当前还不能大量取用。因此,这些水还不能作为水资源。所以,从狭义上讲,水资源是指人类可以取用的淡水资源。全球水资源总量很难估算,通常以河川的径流量来表示。水资源的主要特性为储量有限性、时空不均性、不可代替性和污染严重性。

1. 储量有限性

过去人们常说,地球上的水是取之不尽、用之不竭的资源。随着科学的进步与经济的发展,人类已认识到,地球上可被人类利用的淡水资源不是无限的,而是有限的。

全球及各洲、各国所拥有的水资源是相对固定的。由于自然条件的限制,时空分布的不均匀性,在拥有可利用的淡水资源中,也不可能全部利用,只能有一部分淡水资源可供人类开发利用。所以,水资源具有有限的特性。

我国淡水资源总量约为 28 000 亿 m^3 ,次于巴西、俄罗斯、加拿大、美国和印尼,居世界第六位。但我国人口众多,人均水量仅为 2 700 m^3 ,相当于世界人均水量的 1/4 ,加拿大人均量的 1/50 ,俄罗斯的 1/7 ,美国的 1/5 ,居世界第 88 位。耕地亩均水量 1 750 m^3 ,相当于世界平均数的 2/3 ,所以,我国的水资源并不丰富。

随着人类社会经济的发展和人口的激增,全世界用水量递增迅速。全世界现有 40 多个国家缺水,有 20 亿人饮水短缺。目前我国有近 300 个城市缺水,严重缺水的就有 100 多个,平均日缺水量 1 000 多万 m^3 ,每年缺水量 50 亿 m^3 。因缺水影响年产值 800 亿元,农村有 5 000 万人和 4 000 万头大牲畜饮水供应不足 2 001 亿 m^2 农田受旱。

2. 时空不均性

水资源的补给主要依靠降水。降水在时间上,年际、年内变化很大,在地区分布上也很不平衡的性质称为水资源的时空不均性。

世界上许多大江大河,并不都在人类需要水的地方奔流。亚洲、非洲、中东、南美和北美的 40 多个国家,居住着全球 1/3 的人口,占陆地 60% 的面积,但水源不足。可是,全球可利用的水资源的 35% 经过无人区,任其白白流失。如世界最大河流之一的亚马逊河,流经巴西人烟稀少的赤道地区,巨大的淡水资源白白流失;北美的育空河每年有 207 km^3 的淡水白白流入北极的海洋中,俄罗斯西伯利亚的鄂毕河、叶尼塞河、勒拿河每年有 1 560 km^3 清洁的淡水白白流入北冰洋。

另外,河川径流在季节上也不均衡,有时,在不需要水的季节,河川水量却很大,甚至要泛滥成灾;在需要水的季节,河川的水流却很少,甚至要干涸。

我国有将近一半的地区的年降水量少于 400 mm,是干旱和半干旱地带。

我国幅员辽阔,地形复杂,受季风影响强烈,降水分布极不平衡,南多北少。南方长江、珠江等流域平均年径流深超过 500 mm,而黄河、海河、松辽流域为 100 mm,内陆诸河仅为 32 mm。降水在时间分布上也极不平衡,通常 60% ~ 70% 雨量集中在 6 ~ 9 月,我国南方年最大降雨量是最小降雨量 2 ~ 4 倍,北方地区则为 3 ~ 8 倍。

这样不但造成水资源利用的困难,而且造成水旱灾害,给人民生命和财产造成很大的损失,影响经济发展。

3. 不可代替性

水资源既是生活资源又是生产资源,它是维护生物生命和进行生产的不可替代的资源,这是它与许多其他自然资源所不同的特性。这种特性称为水资源的不可代替性。

海水淡化,因其耗资高昂,所以把取之不尽的海水变成可供人类利用的淡水资源,仍是十分遥远的事。有些国家拟研究从南极拉冰解决淡水不足问题,但是这样可能导致气象条件和生态环境的改变。

4. 污染严重性

据估算,全国每日向江河、湖泊排放工业污水及生活污水近 2 亿 t,其中近 70% 的污水未达到排放标准,造成水体严重污染。另外,我国水土流失严重,也加重了江河水体的污染。如陕西每年流失到黄河中的泥砂近 8 亿 t,陕南山区每年流失到长江的泥砂达 1 亿 t 以上。我国水土流失面积达 $3.67 \times 10^6 \text{ km}^2$,占国土面积 38%,是世界上水土流失最严重的国家之一。

1.1.3 水的循环

1. 自然循环

地球上的水,在太阳辐射和地心引力的作用下,不断地从水面、陆面和植物表面蒸发,化为蒸汽升到高空,又被高空中的气流带动到其他地区上空,遇冷凝结,在重力作用下,降落到地面上,又径流到地面水体中或渗透到地下水中。水的这种不断蒸发、输送、凝结、降落、径流和渗透的往复循环过程,称为水的循环。每年约有 57.7 万 km^3 (占全球总水量 0.04%) 的海水和地面水变成水蒸气蒸发到大气中,又落到海面或地面上(每年降落到陆面上的水量约为 10 万 km^3),进行着水的循环。水的循环详见图 1.1 所示,水循环

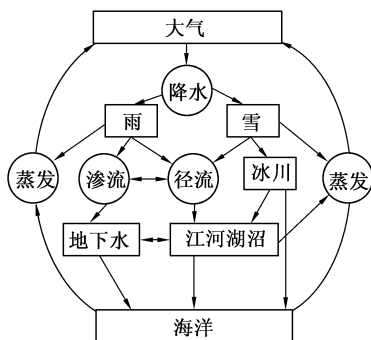


图 1.1 自然界中水的循环运动

是地球上最活跃的物质循环,使大气圈、水圈、岩石圈和生物圈相互联系起来,并在各圈之间进行着能量交换。水循环使水圈成为一个动态系统,水在循环中不断进行着自然更新。

全球年降水量为大气水储量的 46 倍,即大气的更新恢复周期为 8 天;全球河川径流量约为河川储水量的 23 倍,即河川储水量更新恢复周期为 16 天。但海洋、冰盖、深层地下水年动态水量只占其静储量的极小部分,如深层地下水更新周期达 1 400 年之久。

2. 社会循环

人类在生产和生活活动中,从自然水体中取用大量的水,使用后变为污水又排放至自然水体中,如此不断循环构成了水的社会循环。在水的社会循环及自然循环中,均会混入各种杂质,造成污染,特别是生产污水污染更为严重,需要处理净化,保持水的良性循环。

1.1.4 水的特性

纯水为无色、无味的液体,沸点 100 ,冰点 0 ,密度(4 时) 1 g/cm^3 ,分子式为 H_2O 。水分子结构如图 1.2 所示。

水的分子结构为:三个原子呈等腰三角形排列, $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 的键角为 $104^\circ 45'$, $\text{O}-\text{H}$ 距离为 0.096 nm , $\text{H}-\text{H}$ 距离为 0.514 nm 。凡是分子的正电荷与负电荷的静电重心不相合时,分子的电荷就不对称,形成两个极(正极与负极),这种分子称为极性分子。

在水分子中,氧原子周围的氢原子分布不对称,与中心构成某种角度。因此,就发生电荷不对称分布,使水分子具有极性。由于水分子结构上的特点,水具有许多特性。

1. 溶解性能好

水是极性分子,电荷排列不对称,静电引力强,因此其溶解性能好,几乎没有不溶于水的物质,所以水是最好的溶剂和清洗剂。

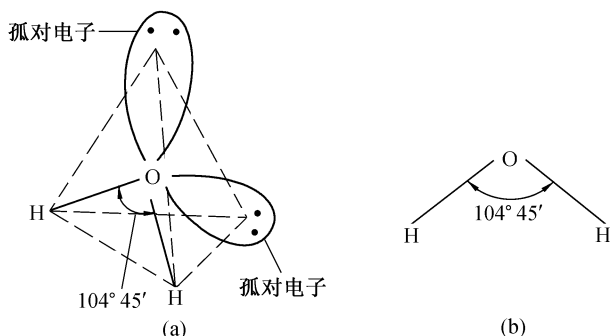


图 1.2 水分子结构图

2. 解离作用强

水是极性分子,电离能力强,介电常数 81,许多物质只有在水中才能发生电离,进行化学反应。

3. 热容量最高

单位质量的物质,温度升高或降低 1 时,所吸收或放出的热量,称为该物质的比热容。

水的热容量(比热容)最高。水的比热容为 1 千卡/(千克·°C)(kCal/(kg·°C))=4.186 8 千焦/(千克·°C)(kJ/(kg·°C))。

水还是一切物质中的比热容最大者。这是因为水是极性分子,分子结构牢固,内聚力大,改变它的状态需要较高的能量。由于水的比热容大,在生产上可用做储存、输送和热转换介质。人畜饮水可调节体温,在自然界可利用天然水体调节气温。

另外,水的蒸发热很高,所以水沸腾时水温可保持在沸点。水的溶解热也很高,所以冰融化时,温度可保持在冰点。

4. 热缩与冷胀

热胀冷缩是物质一般变化规律,但当水在 0~4 °C 之间时,却违反这一规律,为热缩冷胀。温度升高,体积反而缩小,4 °C 时密度最大,体积最小;当 0 °C 结冰时,体积变大,密度变小,这一特性使水体冬季保持表面为冰层,使冰层下鱼类生物得以生存。水的这一特性是由于水是极性分子,电荷分布不对称形成的。常发生一个水分子中的氢与另一个水分子的氧相吸引形成双分子的水或叁分子的水,如图 1.3 所示。叁分子的水结构松散,体积变大。当水温由 4 °C 降至 0 °C 时,水中叁分子水增多,所以水的密度变小,体积变大。

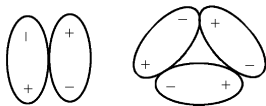


图 1.3 极性分子的缔合

5. 界面特性大

水是极性分子,其表面张力是除汞外最大的,所以其吸附、渗透、润湿及毛细等界面特性突出。这些特性使水广泛应用在工业生产和环境保护上,在农业上可使植物、土壤得以吸收

和保存水分、肥分。

6. 三态变化易

水在常温下很容易进行液、气、固三态变化,所以在生产上可用来转换能量。

7. 光合作用好

水能透过可见光与紫外光的长波部分,并能使光达到水层的相当深度,发生光合作用。

8. 生命之源泉

生命源于水,而维持生命仍然依靠水。生命是由蛋白质等有机物组成的,而有机物是以碳、氢、氧为基础,其中氢、氧元素来自水的分解。

1.1.5 水与人类

水是生命的摇篮,水是发展经济的血液,我们应进一步研究掌握水的客观规律,让水资源更好地为人类服务。

1. 生命的摇篮

地球上最早的生命(蛋白质)就诞生在远古的海滩之上,并孕育了地球上的一切生物。如果没有水,地球就会没有生机,所以,水被称为生命的摇篮。水又是生命延续和存在的物质基础,一切生物从生下来到死亡都离不开水。

在银幕上,我们常常可以看到这样的镜头:战斗在激烈地展开,几天喝不到水,口干舌燥的战士倒下了;为了夺得一滴水而受伤牺牲;饮到一点水后,伤病员从昏迷中睁开了双眼。在这里,水就是胜利的象征。

有人曾绝食 35 天尚可生存,但忍渴超过 3 天就会丧生。最耐渴的骆驼忍渴也超不过 8 天。历史上波斯王坎拜栖兹的五万军队不曾在作战中阵亡,而是在利比亚沙漠上渴死的。

水是构成任何生物体的基本成分,又是机体新陈代谢的介质。生物通过水把各种养分输送到机体的各个部位,又通过它把代谢物排向体外,维持着生命的活力。所以,水又是生命存在和繁殖传代的基本条件。一般人体中水的质量分数约为 65%,婴儿可达 80%,人体血液中水的质量分数为 80%,眼球中水的质量分数为 92%,肌肉中水的质量分数为 70%,就是在最坚硬的骨骼中,水的质量分数也达到了 30%。另外,各种生物体内也含大量的水,如草类中水的质量分数为 80%~90%,鱼类中水的质量分数为 70%~80%,蔬菜与水果中水的质量分数为 90%,黄瓜中水的质量分数为 95%,牛乳中水的质量分数达到了 97%。人体有了水的充实,才能滋润丰满;人体若缺少水,将会抽缩枯槁。如一个体重 120 kg 的大力士,就有 80 kg 的水在给他撑门面。

一个成年人,每昼夜生理用水 2~3 L 才能保持生命和健康。生活用水量则更多,每人每天需要几十升到几百升。

水促进着人体对食物的消化,没有水,人们将无法进食。不可想像,当干硬的食物没有人体的消化液(水)溶解时将如何进食。一个人每天需分泌 6.5 L 消化液,其中含有大量的

消化酶来分解消化食物。如果人体没有水,就无法分泌消化液,人体的消化活动就会停止,人的生命也将无法延续。正常人每天排尿 1.5 L,许多废物、毒素也会随其排出。如果尿少或尿闭,会引起尿毒症。如果长期大便干燥,也会引起其他病症,适当多饮水可使大便干燥好转,调节身体机能。另外,人体缺水可造成血液浓缩,血压下降,血细胞生理功能发生障碍等。

水在体内还能通过吸收和发热作用来调节体温。水的比热容大,导热性能好,可通过血液循环把体热传到体表发散。冬季气温低,皮肤血管收缩,汗液减少,带失的热量相应降低。热天洗个凉水澡,轻松凉快;冷天喝杯热水,全身暖和;患病适当多喝水,能促进血液循环,加快病毒排泄,早日恢复健康。

水在人体内还起着润滑作用。人体像一个精巧而又复杂的机器,活动起来也需要润滑剂。如关节腔滑囊液、泪液、唾液等,如果没有水,也就无法生成润滑剂,人体各器官就不会那么灵活了。

人体不能没有水,当人体失水超过人体质量的 6% 时,就会发烧、昏厥;失水超过人体质量的 12% 时,就会丧生。如果没有水,人体血液就会停止流动,营养物在体内的溶解、输送、分裂和吸收过程将无法进行,体内的废物也无法通过肾、皮肤、肺、粪便和唾液排出体外,人的生命就会停止。

古代许多文明胜地都出现在江河流域,如尼罗河流域、黄河流域。远古时代,我们的祖先都栖居在江河、湖泊周围,打猎觅食都不敢走远,害怕一旦走远或迷失方向,找不到水喝就会渴死。当时,人们就仅限在江河沿岸一带活动。后来,人们发现了地下水,并开始打井饮水,居住活动的范围才逐渐扩大了。近代许多工业中心也都诞生在江河、湖泊附近,如国外的伦敦、巴黎、鲁尔地区,我国的上海、天津、武汉、重庆、哈尔滨、牡丹江等。所以说水是人类文明和经济繁荣的发源地。

人类离不开水,水的质量及所含成分对人体健康影响极大。水体中含的一些矿物质是人体不可缺少的成分。如水中缺碘,会引起甲状腺肿大,缺氟会引起蛀齿症。另外,饮用含氯化钠的矿泉水,可促进胃肠蠕动,具有利胆、缓泻等作用;饮用含硫酸钙的矿泉水,可治疗慢性胃炎;饮用含镁的矿泉水,可降低血压、胆固醇,缓解充血的作用。

2. 经济的血液

工业生产、农业生产及交通运输都离不开水。几乎没有一种工业不用水,可以说,没有水就没有工业,水是工业生产的血液和命脉。

例如,我国生产 1 t 纸浆需用 200 ~ 500 t 水;1 t 合成纤维需用 600 ~ 2 000 t 水;1 t 钢铁需用 300 t 水;1 t 烧碱需用 100 ~ 150 t 水;一座 40 万 kW 的热电厂,每秒用水量 20 m³ (每天 162.8 万 m³)。

农业生产也离不开水。世界上不少国家,如工业发达的美国、日本,尽管工业用水量很大,其农业用水量还大于工业用水量 2 ~ 3 倍。

3. 兴利除弊

水与人类息息相关。但是,由于水在时空分布上的不均等特性,也给人类带来很大的灾害。水能兴利,也会泛滥;水能生产,也会被污染。人类正在不断地研究掌握水的客观规律,兴利除弊,扬长避短,让水更好地为人类服务。

我国引滦河水进入天津,引长江水到北方的南水北调工程,引松花江及嫩江水到沈阳、鞍山、辽阳等的北水南调工程等,都是解决河川时空分布不均问题的途径。在江河上修建拦河坝、人工水库,把汛期多余的水拦蓄起来,待缺水时再使用,这样既可防止洪水危害,又满足了枯水期的用水需要,是解决河川水量在季节时间上分布不均衡的有效办法。海水淡化技术的研究与应用以及其他开发新水源技术的研究与应用,都将扩大人类的淡水资源量。

水是生产中不可缺少的溶剂,可以洗涤产品,去除杂质污染物,但同时杂质污染物必然会进入水中,造成水质污染,这是一件事情的两个方面。我们应研究兴利除害的方法,既促进生产,又控制污染。又如天空打雷闪电并降雨时,空气中的氮、氧、氢会溶于水生成硝酸及铵肥降落到地面,无偿地赋予人类,但同时我们应预防雷电的危害。总之,人类在自己长期的生活与生产实践中,对水性有了认识,但是还没有完全认识与掌握,常常受到水的惩罚。所以,我们今后应进一步研究与掌握水性,使水更好地为人类服务。

1.2 水体污染

1.2.1 基本概念

排入水体中的污染物的数量,超过了该物质在水体中的本底含量和水体的环境容量(承受能力或自净能力),从而导致水体发生了物理及化学变化,破坏了水体生态平衡和水体功能,给人类和生物带来影响或危害,称为水体污染。

水体污染按污染来源的不同,分为自然污染与社会污染。自然污染,又称原生污染,是由于自然界循环过程中的不平衡性引起的,如洪水、海啸、台风、地震、火山爆发、地壳物质分布改变等造成水体原态质量特性发生变化;社会污染,是人类在生产过程及生活活动中产生的污染物造成的水体污染,工业废水、生活污水及堆放的固体有毒物经水溶解后流入水体,有毒有害气体直接降落到水体或被雨水淋洗流入江河,农作物上喷撒的农药及化肥被雨水冲刷随地表流入水体等,都会造成水体污染。

我国水体污染严重,长江、黄河、淮河、珠江、松花江、辽河、海河等均受到不同程度的污染。

全国湖泊水质不同程度地呈富营养化状态。武汉沙湖鱼体含酚、氰超过食用标准,济南大明湖的汞,南京玄武湖的铜、锌、铬,长春南湖的镉、锰的污染都比较严重。

我国约有1/2的主要城市以地下水作为城市供水水源。据调查,城市地下水也同程

度地受到污染。地下水一旦被污染,恢复就极为困难,需要几十年甚至百年的努力。

据世界卫生组织调查,全球有 80% 的人的疾病是由于水的污染造成的,全球约有 13.2 亿人口饮用不到清洁的水,世界平均每天有 2.5 万人因饮用被污染的水引起疾病或因缺水而死亡,在许多第三世界国家中,死亡的婴儿中有 $3/5 \sim 4/5$ 是由水污染致病造成的。

1.2.2 污水污染

1. 污水的概念

水体污染主要来源于排入水体的污水。什么是污水?污水就是人类在生活和生产活动中使用过的,并被生活废物或生产废料污染的排出水。被污染的水,其物理性质与化学性质都发生了很大的变化。

2. 污水的分类

根据污水的来源与性质,可将污水分为工业废水、生活污水、天然降水、城市废水和其他废水。

(1)工业废水。工矿企业在生产过程中排放的废水,称为工业废水。按工业废水污染程度的不同,又可分为生产污水和生产废水两类。生产污水是指在生产过程中,受到较严重污染的废水。生产废水是指在生产过程中仅是温度升高或污染轻微的废水,这部分废水,简单处理后即可回用或排放。

(2)生活污水。人类在日常生活中使用后的排出水,称为生活污水。生活污水来自机关、学校、部队、商店、医院、公共建筑、居住区及工矿企业的生活区,是从这些建筑中的厨房、食堂、浴室、卫生间等排出的污水。

(3)天然降水。天然降水包括雨水及融化的雪水、冰水。

(4)城市废水。进入城镇排水系统的生活污水与工业废水的混合废水,称为城市废水。在合流制排水系统中,还包括天然降水。

(5)其他废水。其他废水包括冲洗街道废水、消防排水等。另外,还有农业浇灌排水、畜牧业排水(其性质类似生活污水)。

3. 污水的性质与排量

(1)工业废水。工业废水成分复杂,排量变化大,其性质与排量取决于工业生产的性质、工艺和规模,不同的工业企业所排放的废水在质和量上各异。如化工、石油、造纸、纺织、印染、食品等工业排放的废水主要含大量的有机物。

(2)生活污水。生活污水的来源各异,但其所含物理性质及化学成分基本相似。从物理性质看,水的质量分数占 99% 以上,其他污染杂质的质量分数不足 1%。从化学成分看,所含杂质、污染物大都是有机物,如蛋白质、脂肪、碳水化合物、氨、氮、尿素等。另外,生活污水含大量的细菌及肠道传染病菌、寄生虫卵等病原体。生活污水的排量及性质详见表 1.1 及表 1.2。

表 1.1 生活污水量

序号	建筑物内部卫生 设备情况	平均日污水量/(L·人 ⁻¹)				
		一分区	二分区	三分区	四分区	五分区
1	室内无给水排水卫生设备,用水取自集中给水龙头,污水由室外排出管道排出	10~20	10~25	20~35	25~40	10~25
2	室内有给水排水卫生设备,但无水冲式厕所	12~40	30~45	40~65	40~70	25~40
3	室内有给水排水卫生设备,但无沐浴设备	55~90	60~95	65~100	65~100	55~90
4	室内有给水排水卫生设备,并有沐浴设备	90~125	100~140	110~150	120~160	100~140
5	室内有给水排水卫生设备,并有淋浴和集中热水供应	130~170	140~180	145~185	150~190	140~180

注:一分区:黑龙江与吉林的全部,辽宁与内蒙古的大部分,河北、山西、陕西、宁夏的偏北一小部分。

二分区:北京市、天津市、山东全部,河北、山西、陕西、宁夏的大部分,辽宁南部,河南北部,甘肃东部,青海偏东和安徽、江苏偏北的一小部分。

三分区:上海市、浙江的全部,江苏、安徽与江西的大部分,河南南部,湖北与湖南的东部,福建北部。

四分区:广东与台湾的全部,广西的大部分,福建与云南的南部。

五分区:贵州全部,四川与云南的大部分,湖南与湖北的西部,陕西与甘肃在秦岭以南的地区和广西偏北的一小部分。

表 1.2 典型的生活污水水质

序号	指 标	质量浓度/(mg·L ⁻¹)		
		高	中 常	低
1	总固体(TS)	1 200	720	350
2	溶解性总固体	850	500	250
	非挥发性	525	300	145
	挥发性	325	200	105
3	悬浮物(SS)总量	350	220	100
	非挥发性	75	55	20
	挥发性	275	165	80
4	可沉降物	20	10	5
5	生化需氧量(BOD ₅)	400	200	100
	溶解性	200	100	50
	悬浮性	200	100	50

续表 1.2

序号	指 标	质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		
		高	中 常	低
6	总有机碳(TOC)	200	160	80
7	化学需氧量(COD)	1 000	400	250
	溶解性	400	150	100
	悬浮性	600	250	150
8	可生物降解部分	750	300	200
	溶解性	325	150	100
	悬浮性	325	150	100
9	总氮(N)	85	40	20
10	有机氮	35	15	8

(3)天然降水。天然降水在降落过程中,会溶入大气中的烟尘、病菌及各种污染物。在降至地面后,沿地面、路面、屋面流动过程中,又会溶入许多污染物,尤其是大气受到严重污染,雨水经过炼油、化工等厂区地面,降雨初期的雨水,其污染程度较重。但天然降水的污染会随降雨时间的增长而减弱,所以一般初降雨需进行处理。

天然降水量可按当地的暴雨强度公式计算。一般来说,年降雨量为 1 000 mm 以上的地区,全年的降雨量与当地市镇的生活污水量相近。而雨水的径流量,一般不足降雨量的一半,但因其在规定时间内降落,故其径流量会达到污水量的几十倍甚至上百倍。所以,若不及时排除会造成水害。

1.2.3 污染类别

废水中所含污染物是很复杂的,可从不同角度分类。按污染物的化学组成,可分为无机物和有机物两大类;按污染物的物理状态可分为非溶解性污染物、胶体和溶解性污染物三大类;按污染物的综合因素可分为十大类。

1. 按污染物的化学组成分类

(1)无机物。无机物包括有砂粒、矿渣、泥土颗粒等悬浮物;酸、碱和无机盐;矿物油类;汞、镉、铬、铅、砷等重金属(砷为类似重金属);氟、氯等阴离子无机物;氮、磷、钾、钙、镁等营养物质等。

(2)有机物。

①世界当前已有的有机物种类达 700 多万种,其中有 1 万多种进入环境,2 221 种化学

物进入水体。有机物在水中耗氧分解,会造成水体缺氧,发生厌氧分解,引起水质恶化。

②生活污水含的有机物,有人畜粪便等含氮的有机物,有食物残渣等含碳的有机物及病菌等。

③工业废水含的有机物主要有两大类。一类为自然生成的易降解的有机物,包括碳水化合物、蛋白质、脂肪等;另一类为人工合成的难降解的有机物,包括酚、醛、酮、聚氯联苯、苯并芘、芳香族氨基化合物、塑料、合成橡胶、人造纤维等高分子聚合物、染料、有机农药等。有机农药包括六六六、DDT等有机氯农药,1605、马拉硫磷等有机磷农药及有机汞、有机砷农药等。

2. 按污染的物理形态分类

(1)非溶解性污染物 粒径为 0.1 ~ 1.0 mm 的悬浮固体。

(2)胶体污染物 粒径为 0.001 ~ 0.1 mm 的物质,包括高分子物质。

(3)溶解性污染物 粒径小于 0.001 mm 的物质,包括低分子及离子。

3. 按综合因素分类

(1)有直接毒害的污染物。

(2)耗氧有机污染物。

(3)富营养化污染物。

(4)酸、碱及悬浮污染物。

(5)有机农药污染物。

(6)石油类污染物。

(7)放射性污染物。

(8)病菌污染物。

(9)致癌、致畸、致突变污染物。

(10)热污染。

1.2.4 污染物质

1. 有直接毒害的污染物

有直接毒害的污染物包括汞、镉、铬、铅等重金属和类似重金属的砷,俗称“五毒”,以及氰、酚、醛、苯等可降解的有机毒物,DDT、六六六、多氯联苯、多环芳烃、芳香胺等难降解的有机毒物。这些毒物排入水体,可改变水体功能,影响水体生态循环,危害水生生物,并可通过水引起人的急性与慢性中毒,还可能致癌、致畸、致突变等。

被重金属污染的废水,对人体和生物的毒性及危害是严重的。水体中即使含有微量重金属,也可产生毒性效应。水体中的微生物不仅不能降解重金属,相反某些重金属还可能在微生物的作用下,转化生成金属有机物,加大其毒性作用。如汞在水体中转化为甲基汞后,其毒性较汞增大 100 多倍。重金属在水体中还通过食物链,在生物体内成百上千倍地富集,

造成更大的危害。重金属进入人体后,能与人体内的酶和蛋白质发生强烈的反应,造成中毒和累积性危害,有时需 10~20 年才显示出来,还可能影响遗传因子和母乳,给后代造成影响和危害。

(1)汞。氯碱工业、仪表和电器工业常使用汞作为催化剂或原料,其排出的废水中含有汞。

汞(Hg)是对人体和生物毒害较严重的物质。汞是累积性毒物,汞进入人体后可随血液循环到全身组织,并与血液中的氯化钠反应生成汞盐,累积在肝、肾和脑中,使人发生中毒,可引起语言障碍、运动失调、脸部痴呆、精神错乱和震颤。严重时,甲基汞可粘着在脑细胞上,使细胞分裂成碎片而使人丧生。汞还能影响人类的遗传因子,使人类遗传基因发生变异。日本发生震惊世界的万人中毒事件——“水俣病”,就是由甲基汞污染水俣湾水域造成的。

(2)镉。采矿、冶金、电镀、玻璃、陶瓷和塑料等生产部门排出的废水中含有镉(Cd)。镉有剧毒,是典型的累积富集型毒物。镉中毒患者常头痛、恶心、肠痛,甚至痉挛。服镉 30 mg 可使人死亡。镉可在人的肾脏和骨骼中累积而引起肾功能失调,可使骨质中的钙被镉取代,使骨骼软化,发生骨折。日本曾发生过镉中毒,中毒患者有 72 处骨折,因疼痛难忍而死亡,国外称此为疼痛病。

(3)铬。铬(Cr)也是一种毒性严重的金属。电镀、制革、制铬酸盐的生产废水中含有铬。氯化铬、硝酸铬和硫酸铬等三价的铬化物危害较小,而铬酸盐、重铬酸钠、重铬酸钾及重铬酸铵等六价铬化物的危害极大。人及动物的皮肤与其接触时,会出现皮炎和湿疹,严重时可引起全身中毒和变态反应。据资料介绍,铬在人体内可与细胞内大分子相结合,引起遗传基因的改变,从而引起细胞的突变与癌变。

(4)铅。铅(Pb)主要含在采矿、冶炼、化学、蓄电池、颜料等工业生产排出的废水中。铅是累积性毒物,易与人体内多种酶结合,可被胃肠道吸收,通过血液扩散到全身各器官组织,危及神经系统、造血系统、循环系统和消化系统,可引起贫血和弥漫性脑损伤。

铅可引起儿童发育不良、行为异常、智能障碍,影响骨骼发育。铅还能进入母体胎盘,进入胎儿体内和脑组织,危及胎儿健康。

(5)砷。化工、炼焦、火电、造纸、皮革等生产废水中含有砷(As)。砷酸钠等五价砷化物毒性较小,而亚砷酸钠等三价砷化物毒性很强,比砷酸钠毒性大 60 倍。砷随饮水进入胃肠后,很容易被粘膜吸收进入血液中,扩散到全身各器官组织,造成危害。饮水中砷的质量浓度达 0.15 mg/L 时,可能会危及人的生命。

砷是一种致癌物质,可能引起动物和人类的癌症(皮肤癌)。

(6)氰化物。氰化物主要含在电镀、炼焦、选矿、化工等工业排出的废水中。氰化物分为两类:一类为无机氰,如氢氰酸及其盐类(氰化钾、氰化钠);另一类为有机氰(或腈),如丙烯腈、丁腈、乙二腈、乙腈、甲腈等。

氰化物经口、呼吸道或皮肤进入人和动物的机体后,会破坏机体细胞组织的酶,使酶丧失吸取养料和氧气的作用而中毒。病状为脸色苍白、浮肿、反应迟钝、呼吸困难、痉挛,甚至呼吸衰竭而死亡。人口服氰化物的致死量为:氢氰酸 50 mg、氰化钠 100 mg、氰化钾 20 mg。

(7)酚。含酚废水主要来源于煤气、化工、石油、钢铁等工业生产过程中。酚会损害人的肝、肾、神经系统,可使人头晕、脱发、失眠。当江河中酚的质量浓度达 $1 \sim 10 \text{ mg/L}$ 时,可使鱼类死亡,甚至使江河鱼类绝迹。含酚的水加氯消毒时,会产生极难闻的氯酚臭味。

(8)氟。化工、磷肥生产、煤的燃烧及电镀水中均含氟。氟对人体与生物均有毒性,刺激、腐蚀胃粘膜和皮肤,干扰人体多种酶的活性,导致钙、磷代谢紊乱,引起低血钙、氟斑症和氟骨症;引起牙齿变质,使牙齿松脆、缺损或脱落;引起腰痛、骨关节变形、畸形、骨质硬化,严重时造成瘫痪。氟化钠对人的致死量为 $6 \sim 12 \text{ g}$ 。

2. 耗氧有机污染物

耗氧有机污染物主要指废水中的碳水化合物、蛋白质、脂肪和木质素等,能在微生物作用下分解为简单的无机物,这个过程需要消耗水体中的溶解氧,所以称为耗氧有机物。当耗氧超过水体的正常溶氧量时,就会使水体缺氧,造成水质恶化。水体中有机物组成很复杂,难以对其一一进行定量测定,根据其共同的特点是耗氧,所以用耗氧量指标来表示有机物的数量。

3. 富营养化污染物

化工、化肥工业以及农作物施肥都会排出含氮、磷、钾等富营养物质质的废水。

氮、磷、钾、钙、镁等为植物营养物,若大量排入湖泊、水库时,可促进各种水生生物活化,刺激各种藻类异常增殖。藻类的过度增殖,会大量消耗水中的溶解氧,使水体处于严重缺氧状态,再加上藻类过度生长,会使鱼类活动空间减少,造成鱼类大量死亡。另外,藻类异常增殖,还会生长一种有毒藻,毒死鱼类。氮、磷等营养物大量排入湖泊,使藻类异常增殖,使水体严重缺氧,危害鱼类生存的现象称为水体的富营养化。

一般认为,水体中的磷的质量浓度为 20 mg/m^3 ,无机氮的质量浓度为 300 mg/m^3 时,就认为水体已是富营养化了。环境中的氮可转化为亚硝酸盐,亚硝酸盐会引起癌症,严重危害人类健康。

4. 酸、碱及悬浮污染物

含酸、碱的工业废水及废渣排入水体,空气中的二氧化硫随降雨进入江河,酸碱中和产生的各种盐类,排入水体均会污染水体。酸碱盐的污染,会妨碍水体自净,影响鱼类生存和繁殖,抑制生物生长,致使土壤变性。

水的酸碱性常用 pH 值表示。酸、碱废水会腐蚀管道、建筑物及水上运输船只,危害水生物,影响工农业生产,同时还会影响废水的生化处理过程。

悬浮物(SS)指污水中所含的漂浮物、沉淀物及悬浮物。水中含有悬浮物可降低水体光的穿透能力,减少光合作用,妨碍水体的自净作用;可堵塞鱼鳃,危害鱼类生存;悬浮物还可

作为载体,吸附水中污染物并流动迁移;有机悬浮物的氧化分解,消耗水中的溶解氧,会使水体缺氧。

5. 有机农药污染

农药生产废水及农作物施用农药排水中均含有机农药。每生产 1 t 农药平均要排出 10 ~ 20 t 农药废水。有机汞、有机氟、有机磷和有机砷农药以及氨基甲酸酯农药污染较严重。一是农药残留在作物上,造成直接污染;二是农药散发到空气、流入江河、残留在土壤中等,造成污染。如含汞、砷农药在土壤中的残留时间,半衰期可达 10 ~ 20 年。

农药可对人体造成严重危害。根据动物实验证明,DDT 等农药有明显的致癌性,具有遗传毒性,可导致畸胎,影响后代的健康,还具有神经毒性,可引起倦怠、头痛、食欲不振、肝肾损害等慢性中毒。严重时,会损坏神经中枢,以至痉挛而死。

6. 石油类污染物

炼油厂等含油废水及船舶、港口油岸、油管漏油均可造成水体的油污染。石油类对水体的污染主要为:能形成油膜,一滴石油能在水面上形成 0.25 m^2 的油膜,1 t 油能形成 $5 \times 10^6 \text{ m}^2$ 的油膜,破坏水面上的空气复氧及光合作用;还能堵塞鱼鳃,危害鱼类生存;使水质产生石油气味而不宜饮用;石油分解时会消耗水体中的溶解氧,使水体缺氧。

7. 放射性污染物

放射性污染物分天然放射性源和人工放射性源。在自然环境中均有微量的天然放射性物质,如铀、钍系及钾⁴⁰等,人类已适应在此环境中生活,不会造成危害。人工放射性物质主要来自原子能工业、核电站及核武器工业,以及农业、医疗等部门。另外,还有发光涂料、电视及微波等,均具有放射性污染。

地面水及地下水流经放射性矿区、核生产及放射性工业废水、废渣,均可能造成水体污染。放射性污染比其他污染危害更大,潜伏期更长。

放射性对人体的危害是多方面的。可引起头痛、头晕、食欲下降、睡眠障碍、白细胞和血小板减少等病症。当剂量大、长期接触时可引起放射性损伤、皮炎、皮癌、白血病及再生障碍性贫血等。发光涂料镭及铀矿可引起下颌骨癌、肺癌;锶⁹⁰、铯¹³⁷经水或食物进入人体后会发生积累,可引起遗传变异和癌症。

8. 病菌污染物

目前已有 1 441 种细菌、病菌等进入水体。医院污水、生活污水、垃圾淋溶水,制革、屠宰、洗毛等工业污水含大量病原体,常见的有霍乱、伤寒、痢疾等肠道病菌,有血吸虫、阿米巴、鞭虫、蛔虫、蛲虫及肝吸虫等寄生虫,有传染性肝炎等病菌。这些病毒数量大、分布广、存活时间长、繁殖速度快。通过水体传播传染病,已造成了惨痛的教训。

医院污水、生活污水及制革、屠宰、洗毛等工业废水中均含有病菌。如小儿麻痹病患者排出的 1 g 粪便中含的病毒,可使 100 万只猴子受到感染。寄生在人体内的蛔虫,每条雌虫每天约产卵 20 万个随粪便排出。人体排出的粪便中,含肠道病毒 100 多种,每克粪便含病

毒 100 万个以上。结核病院每升污水含结核杆菌高达 150 万个,在污水沉淀物中含结核杆菌达 1 亿个/L。

一般中型医院排放的污水量约为 1 t/(日·床)。污水中所含的病原体较为复杂,大体可分为三类。一类为病原性细菌,包括沙门氏菌属、痢疾志贺氏菌、霍乱弧菌、结核分支杆菌、布鲁氏菌属、炭疽杆菌、大肠杆菌等。第二类为肠道病毒,包括传染性肝炎、脊髓灰质炎病毒、腺病毒、柯萨基病、ECHO 病毒、REO 病毒等。第三类为蠕虫卵,包括蛔虫卵、钩虫卵、血吸虫卵等。病菌污水污染水体可引起多种疾病。1892 年德国汉堡霍乱流行死亡 750 人,都是水污染造成的。

9. 致癌、致畸、致突变污染物

癌症是危害人类健康和生命的大敌。镍、砷、氯乙烯、多环芳香烃都能引起癌症。

有些污染物还可通过母体影响胚胎发育和器官分化,使后代出现先天性畸形,称为致畸作用。已研究确认可致畸的污染物有甲基汞、四氯二苯二噁英(TCDD)、西维因、敌枯双、艾氏剂、五氯酚钠和脘基硫脲等。

引起生物体内细胞遗传信息发生突然改变并能传递给子代细胞,如引起不孕、胚胎早期死亡等称为致突变作用。致突变污染物有亚硝胺类、苯并(a)芘、甲醛、苯、砷、铅、DDT、碳基汞化物、甲基对硫磷、敌敌畏、谷硫磷、2,4-滴、2,4-滴百草枯、曲霉毒素等。壬基苯酚、双酚 A、邻苯二甲酸酯类、二噁英类、多氯联苯类、DDT 等环境激素类污染物污染水体,水进入人体后能干扰人体内正常激素分泌,进而影响人的生殖功能,并可能导致恶性肿瘤发生。

10. 热污染

火力发电厂等排放的大量热水,会破坏水体生态平衡,引起水体的热污染。水体的热污染可使水中某些毒物的毒性增强,如水温升高 10℃,氰化钾对鱼类的毒性效应可增加 2 倍。温度升高,可降低水中溶解氧的含量。如大气压强在 1.0×10^5 Pa 条件下,5℃时溶解氧的质量浓度为 12.5 mg/L,15℃时为 10.2 mg/L,25℃时为 8.4 mg/L。增温会加速有机污染物的分解,增大耗氧作用使溶解氧降低,水温升高会妨碍鱼类生活,扰乱鱼类正常的回游路线;鱼卵一般是不耐高温的,鱼类繁殖期温度要低,河水温度为 15℃以上时,鳙鱼会灭绝。

1.2.5 水质指标

污染的水质指标是对污水进行评价、处理利用的依据。为此,必须全面掌握污水的水质指标。另外,污水处理厂在运行过程中也必须对水质进行监测,掌握水质指标,控制调整污水处理装置的运行。污水的水质指标分为物理指标、化学指标及生物指标。

1. 物理指标

(1)温度。污水温度对污水处理的效果影响极大。另外,高温污水的排放会引起水体的热污染,影响水生生物的生存和水资源的利用。水温通常用精度为 0.1℃ 的温度计现场测定。

(2)色度。污水的颜色可使人产生厌恶感,也会影响水体的自净。色度是指污水所呈现颜色的深浅程度,通常用文字描述,如深蓝色、棕黄色、浅绿色及暗红色等,也可用蒸馏水稀释到无色时的稀释倍数来表示。另外,也可用铂钴标准比较法监测,每升水中含 1 mg 的铂(Pt)及 0.5 mg 的钴(Co),所具有的颜色称为 1 度。

(3)臭味。臭味是水质的感官指标,常用文字描述,如粪便臭味、汽油臭味、臭蛋味及霉烂臭味等,并用强、弱字样表示臭味的强度。另外,可用臭阈法,即用无臭味的水将待测试水样稀释到无臭时的稀释倍数表示臭味的强度。

(4)悬浮物。悬浮物是指悬浮于水中的固体物质,用 SS 表示。在水质分析中,凡不能通过过滤器的固体物质称为悬浮固体(悬浮物)。

(5)电导率。水中存在离子就会产生导电现象,电导是电阻的倒数,单位距离上的电导称为电导率。电导率表示水中电离物质的总数,间接表示水中溶解盐的含量。电导率用 κ 表示,单位为 S/cm 或 $1/(\Omega \cdot \text{cm})$ 。

(6)浊度。污水中含的泥土、粉砂、微细有机物、无机物、浮游生物和胶体物均可使水质变得浑浊。每升水中含 1 mg 的 SiO_2 所构成的浊度称为 1 度。

2. 化学指标

(1)BOD(生化需氧量)。BOD 是指在温度与时间一定的条件下,微生物在氧化分解污水中有机物的过程中所消耗的溶解氧量,单位为 mg/L。它是二重间接表示有机物污染的指标,通过微生物代谢作用所消耗的氧量来表示。有机物通过微生物代谢降解有机物的过程分为两阶段:一是有机物转化为 CO_2 、 NH_3 和 H_2 的过程,大约需 20 天完成;二是 NH_3 在亚硝化菌或硝化菌作用下,转化为亚硝酸盐和硝酸盐,称为硝化过程,大约需百日才能完成。BOD 只指第一阶段的耗氧量。因为在第一阶段内耗氧的有机物已接近全部转变为无机物了。 BOD_{20} 表示在 20 下,在氧充分和不搅动的条件下,经过 20 天完成第一阶段的耗氧量,约为第一阶段全部耗氧量的 99%。在实际工作中,由于测定 BOD 用 20 天的时间太长,为此,又规定了一个 5 天生化需氧量,记为 BOD_5 。 BOD_5 约为 BOD_{20} 的 70% ~ 80%。

BOD 作为有机物的指标是适宜的,它表示了能被微生物氧化的有机物量。但是,测定时间过长;一些工业污水不完全含有微生物需要的营养物,甚至含某些抑制微生物的有毒物质,污水内含有大量难被微生物降解的有机物。这些因素都会影响测定结果。另外,温度变化时,BOD 的测定也会发生误差。

(2)COD(化学需氧量)。用强氧化剂重铬酸钾在酸性条件下,完成有机物氧化的第一阶段的耗氧量称为 COD_{Cr} ,当用高锰酸钾为氧化剂时测得的化学需氧量称为 COD_{Mn} 。用强氧化剂(铬法及锰法)在加热的情况下测定有机物含量,测定时间短,不受水质限制,缺点是不能像 BOD 那样表示微生物氧化的有机物量,因为它能氧化部分还原性物质,所以测定的有机物量有一定误差。一般来讲, $\text{COD}_{\text{Cr}} > \text{BOD}_{20} > \text{BOD}_5 > \text{COD}_{\text{Mn}}$ 。 COD_{Cr} 与 BOD_{20} 之差,表示不能为微生物降解的有机物量。 BOD_5 与 COD_{Cr} 的比值可作为污水可否采用生物处理法的一

个判定指标。一般认为当 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD}_\text{Cr}) > 0.3$ 时,才适宜采用生物处理,生活污水的 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD}_\text{Cr}) = 0.4 \sim 0.8$ 。

(3)TOD(总需氧量)。当有机物完全被氧化,C、H、S 分别被氧化为 CO 、 H_2O 、 SO 和 SO_2 时的需氧量为 TOD,测定方法为:将污水水样送入以白金为触媒的烘烧室中,在 900 的高温下燃烧,其耗氧量即为总需氧量,记为 TOD,此法测定快速,仅需几分钟的时间。

(4)TOC(总有机碳)。TOC 表示有机物中的总含碳量。测定方法为将一定量的污水注入以白金为触媒的高温炉中,有机碳被氧化为 CO_2 ,由红外线测定仪测定,折算其中含碳量。测定前水样要进行酸化曝气,吹脱污水所含的无机碳酸盐,排除干扰。

(5)有机氮。有机氮反映污水中蛋白质、氨基酸、尿素等含氮有机物的总量。当进行氧化时逐步分解为 NH_3 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 及 NO_3^- 等形态。 NH_3 和 NH_4^+ 称为氨氮, NO_2^- 为亚硝酸氮, NO_3^- 称为硝酸氮,均可作为水质指标。总氮(TN)则包括有机氮到硝酸氮等全部含量的水质指标。

(6)pH 值。pH 值表示污水中氢离子浓度的大小,在数值上等于氢离子浓度的负对数,即

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = \lg \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

当 $\text{pH} = 7$ 时,水呈中性; $\text{pH} < 7$ 时,水呈酸性; $\text{pH} > 7$ 时,水呈碱性。pH 值可用比色法或玻璃电极法测定。

(7)有毒物质。有毒物质包括汞、镉、铬、砷、铅、镍、银、铍、酚、氰化物等有毒物质。详见本书 1.2.4 段叙述,这里不再赘述。

3. 生物指标

(1)细菌总数。细菌总数是指 1 mL 的污水中所含的细菌总数。在水质分析中,是把一定量的水接种于琼脂培养基中,在 37 的条件下培养 24 h 后,生长出的细菌菌落数,然后计算出每毫升水中所含的细菌数。

(2)粪大肠菌群数。粪大肠菌群数是指 1 L 水中所含的大肠菌个数,采用多管发酵法进行测定。

1.3 水体防治

当排入水体的污染物超过了水体的自净能力或环境容量时,水体就将发生污染。水体的污染,实质是社会发展过程中经济建设与环境建设不同步,甚至发生失调的反映。

水体防治就是采取行政的、法制的、经济的和技术的各种手段,预防水体污染和保护水体的生态平衡。

1.3.1 全面规划

全面规划是搞好水体防治的根本所在。水体的环境规划,就是以当地的社会发展、经济建设与城市建设的总体规划为基础,经过对人口、发展、资源与环境间相互关系的调整、平衡和优化,编制出的一定时期(近期、中期或远期)内的整治污染与防止生态破坏以及全面建设生产、生活环境的总蓝图、总构想。环境规划是综合整治环境,全面、宏观调整资源—经济—环境复合系统的战略布置图,是环境建设的法定文件和强化环境管理的纲领。高瞻远瞩、纵横全面的环境规划,是协调社会经济发展与环境保护,有效地控制与防止环境污染和生态破坏的基本保证。因此,全面规划是搞好水体防治的基础。

1.3.2 强化管理

规划是基础,管理是保证。采取行政的、法制的、经济的、技术的以及宣传教育的各种手段,强化环境管理,使环境管理工作制度化、规范化,是搞好水体防治的基本保证。目前我国已建立起从国家到地方的较完整的环境保护的各种法规和管理制度,如《水污染防治法》、《水污染防治实施细则》、《饮用水水源保护区污染防治管理规定》、《污水处理设施环境保护监督管理办法》等,详见本节最后*。

另外,还制定了环境保护工作八项管理制度,包括“三同时”制度、环境影响评价制度、排污收费制度、环境保护目标责任制、城市环境综合整治定量考核制度、污染集中控制制度、排污申报登记与排污许可证制度、限期治理污染制度等。各地运用上述管理制度,强化管理促进了治理,已取得了明显的效果,缓解了污染发展的趋势,改善了环境质量。

现将八项制度简介如下。

1. “三同时”制度

“三同时”制度是指新建、改建、扩建项目和技术改造项目以及区域性开发建设项目的环保设施建设必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投用的制度。它与环境影响评价制度相辅相成,是防止新污染的两大法宝,是环境保护以预防为主方针的具体化和制度化。

2. 环境影响评价制度

环境影响评价制度是对工程建设项目进行环境评价的制度。制度规定:所有的新扩改工程建设项目,包括生产和非生产建设项目,都必须编制环境影响报告书(表)。阐明建设项目产生的污染情况和对环境的影响程度,建设项目的规模、性质、选地是否合理,对污染物所采取的防治措施在技术上是否可行,经济上是否合理。报请环境保护主管部门批准后,工程项目方可开工建设。

3. 排污收费制度

排污收费制度是对超过国家规定的排放污染物标准的工厂、单位,要按照排放污染物的

数量和浓度 根据规定收取排污费的制度。排污收费的目的是利用价值规律,促进污染的治理。缴纳排污费是排污者对环境造成损失的一种补偿形式,同时,又是一条可靠的污染治理的资金渠道。

4. 环境保护目标责任制制度

环境保护是一项十分复杂的综合性很强的系统工程,只有统一规划指挥,明确责任,齐心协力,才能完成。该项制度就是要求明确规定各级政府、各部门、各工厂、各单位环境保护的目标和责任。以行政制约为机制,把责、权、利有机地结合起来。运用目标化、定量化、制度化的管理方法,把环境保护作为各级领导的行为规范,并作为政绩来考核,奖优罚劣。该制度是八项制度的“龙头”,具有牵一发而动全身和纲举目张的作用。它为其他各项制度的实施提供了组织上的保证。

5. 城市环境综合整治定量考核制度

城市环境综合整治定量考核制度就是在城市政府的统一领导下,以城市生态理论为指导,以发挥城市综合功能和整体最佳效率为前提,采用系统分析的方法,从总体上找出制约和影响城市生态系统发展的综合因素,理顺经济建设、城市建设和环境建设的相互依存又相互制约的辩证关系,用综合的对策整治、调控、保护和塑造城市环境,为城市人民群众创造一个适宜的生态环境。环境综合整治是城市政府的一项重要职责,列入市长的任期目标,并作为政绩考核的重要内容,通过科学的定量指标进行考核。

6. 污染集中控制制度

一家一户的分散治理不能有效地控制环境污染。分散治理的投入也远比集中处理大得多,而且不便于管理,同时处理单位污染物的运转费用也高。污染集中控制制度,就是以改善整个城市、全流域、区域的环境质量为目标,依据总体规划,按照废水、废气、固体废物的种类及所处位置,以集中治理为主的制度。用尽可能少的投入,获取尽可能大的环境效益。

7. 排污申报登记与排污许可证制度

排污申报制度是指排污单位按规定向当地环保行政主管部门申报登记所排放污染物的种类、数量和浓度,以及污染物排放和治理设施情况的制度。

排污许可证制度是指以改善环境质量为目的,以污染物总量控制为基础,由当地环保行政主管部门规定排污单位,许可排放何种污染物和数量以及排向的制度。

8. 限期治理污染制度

限期治理污染制度是指以环境保护规划为依据,突出重点,分期分批地对污染危害严重、群众反映强烈的污染源采取限定治理时间、治理内容及治理结果的强制性制度,是政府为保护人民利益对排污单位采取的法律手段。

1.3.3 综合防治

水污染的防治必须要以预防为主,采用各种措施控制预防污染的发生,并综合防治。

1. 改革工艺,控制污染

依靠科技进步,改革有污染的生产工艺,发展无污染少污染的新工艺,是防治污染的根本措施。如采用氧蒸煮法造纸,废水无色无臭,可循环使用,实现不排或少排废水;采用无氰电镀,可消除废水中含剧毒的氰化物的污染;采用隔膜法代替水银法制碱,可消除汞的污染等等。

2. 循环用水,减少排污

循环用水是解决水污染的重要措施。冷却水及轻度污染的水经过简易处理后,应循环使用,即便是污染较重的水经处理后,也应尽可能利用。我国目前工业水循环利用率仅为20%~30%,而发达国家已达到70%~80%,如果我国工业水回用率提高到60%,则每年可减少上百亿吨工业废水排放量,而且可以减轻污染,节约水资源。

3. 综合利用,变害为利

工业废水中的污染物质,实际上又是宝贵的工业原料,弃之污染,回用变宝。含油废水采用隔油上浮法处理回收油品,对染料废水采用酸化絮凝沉淀处理回收染料,对含酚废水采用萃取法处理回收酚钠,对洗毛废水加酸沉淀处理回收羊毛脂,从碱法造纸废水中处理回收火碱等,都是化害为利、变废为宝的重要方法。

由于社会、经济和技术等各种因素,还不可能完全杜绝生产和生活污染物的产生与排放。为控制污染应采用各种处理方法,包括物理法、化学法、物理化学法和生物法等综合治理污染。废水的各种处理方法将在以下章节里叙述,此处不再赘述。

4. 制定标准,严格控制

研究制定水体环境质量标准及污染物排放标准,是控制排污和实现环境目标的重要措施。目前国家及地方已研究颁布实施了许多标准,对限制排污和实现环境保护目标起到了极大的促进作用。

5. 利用自净,减少投入

处理废水需要支付建设费用和运转费用。所以在处理废水时,应首先考虑充分利用水体的自净能力,以减少处理废水的投入。不利用水体的自净能力是不合理的,会造成浪费。当然超过水体自净能力也是不允许的。以下简介一下水体的自净作用。

天然水体本身所具有的净化污染物的能力,称为水体的自净作用,即当污染物排入水体后,水体能够在其环境容量的范围内,经过水体物理、化学和生物的作用,使污染物的浓度自然降低的作用。

水体的物理自净作用,包括稀释、混合、扩散、挥发、沉淀等过程;化学自净作用包括氧化、还原、吸附、凝聚、中和等过程;生物自净作用包括好氧及厌氧的微生物代谢活动过程。以上三个作用相互交织在一起,常以生物自净过程为主。研究水体对污染物的自净作用,可掌握污染物在水体中的转化规律和水体的环境容量。要充分利用水体的自净作用,合理确定污水处理程度,既要降低处理费,又要保护好水资源。以下简单介绍几种污染物的自净作用。

(1)有机物的自净。碳水化合物、蛋白质、脂肪等自然生成的有机物,有氧时,在好氧微生物作用下,转化为 H_2O 、 CO_2 等稳定的无机物;无氧时,则在厌氧菌作用下,首先在产酸菌作用下,形成脂肪酸、醇,继而在甲烷菌作用下生成 H_2O 、 CH_4 、 CO_2 等稳定物。对难降解的人工合成有机物,则不易降解,其在自然界半衰期可达十几年到几十年。这类物质使用 BOD 等指标时,误差很大,可用各种物质,如酚、醛、酮……直接表示。

易降解的有机物是不稳定的,随时随地都在向稳定的无机物转化,消耗水中的溶解氧。与此同时,水体通过水面的复氧作用,又从大气中获得氧的补充。接纳废水的江河水体,其 BOD 及 DO(溶解氧)的变化如图 1.4 所示。

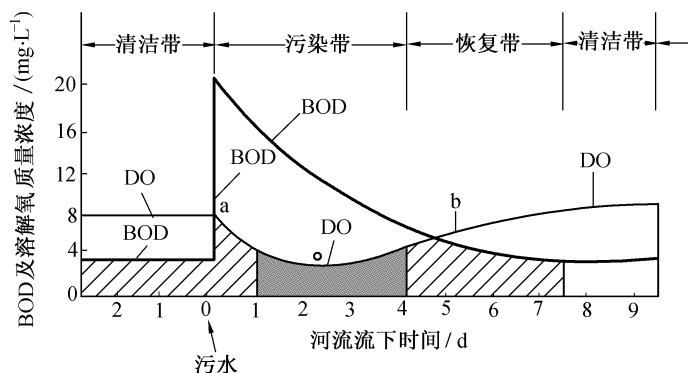


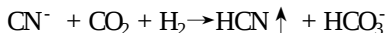
图 1.4 河流中 BOD 及 DO 的变化曲线

(2)氮、磷的转化自净。含氮化合物在水体中的转化分两步进行。第一步是氮化物,如蛋白质多肽、氨基酸和尿素等有机氮转化为无机氮、氨氮;第二步是硝化,氨氮进一步转化为亚硝酸和硝酸。

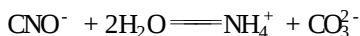
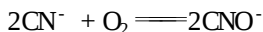
磷(可溶性)很容易与 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 生成难溶的沉淀物,沉于水体底泥中。

(3)重金属的转化作用。重金属与一般耗氧的有机物不同,在水体中不能为微生物降解,只能转化与富集。如汞沉在水体底泥中,在微生物作用下,能转化为毒性更大的有机汞(甲基汞)。在淡水鱼体中汞可富集 1 000 倍,镉可富集 330 倍,铬可富集 200 倍,给生物和人体健康带来更大的影响与危害。

(4)氰化物的自净。水体对氰化物有较强的自净作用。90%的氰化物可与水中 CO_2 作用生成氰化氢气体逸入大气,即



另外,氰化物还可与水中的氧作用生成铵离子与碳酸根而自净,即



* 国家有关水污染的防治法规有:

- ① 中华人民共和国水污染防治法(1984.5 全国人大六届 5 次会议通过);
- ② 中华人民共和国水污染防治法实施细则(1987.7 国家环保局发布);
- ③ 中华人民共和国水法(1988.1 全国人大六届 24 次会议通过);
- ④ 中华人民共和国河道管理条例(1988.6 国务院 7 次常务会通过);
- ⑤ 关于防治水污染技术政策的规定(1989.11 国务院 7 次环委会通过);
- ⑥ 水污染排放许可证管理暂行办法(1988.3 国家环保局发布);
- ⑦ 饮用水水源保护区污染防治管理规定(1989.7 国家环保局、卫生部、建设部、水利部、地矿部发布);
- ⑧ 关于防治造纸行业水污染的规定(1988.12 国务院环委会、轻工部、农业部、财政部发布);
- ⑨ 污水处理设施环境保护监督管理办法(1988.5 国家环保局发布);
- ⑩ 关于加强水污染防治工作的决定(1989.12 国家环保局发布);

国家有关水环境保护的标准有:

- ① GB 3838—2002 地表水环境质量标准;
- ② GB 3097—97 海水水质卫生标准;
- ③ GB 5084—92 农田灌溉水质标准;
- ④ GB 11607—89 渔业水质卫生标准;
- ⑤ GB/T 14848—93 地下水质量标准;
- ⑥ GB12941—91 景观娱乐用水水质标准;
- ⑦ GB 8978—1996 污水综合排放标准;
- ⑧ GB 3552—83 船舶污染物排放标准;
- ⑨ GB 4274—84 TNT 工业水污染物排放标准;
- ⑩ GB 4275—84 RDX 工业水污染物排放标准;
- ⑪ GB 4276—84 火药硫酸浓缩污染物排放标准;
- ⑫ GB 4277—84 雷汞工业污染物排放标准;
- ⑬ GB 4278—84 二硝基重氮酚工业水污染物排放标准;
- ⑭ GB 4279—84 叠氮化铅、三硝基间苯二铅、D·S 共晶工业水污染物排放标准;
- ⑮ GB 4286—84 船舶工业污染物排放标准;
- ⑯ GB 4914—85 海洋石油开发工业含油污水排放标准;

- ⑰GB 13456—92 钢铁工业水污染物排放标准；
- ⑱GB 4287—92 纺织染整工业水污染物排放标准；
- ⑲GB 13457—92 肉类加工工业水污染物排放标准；
- ⑳GB 13458—92 合成氨工业水污染物排放标准；
- ㉑GB 14374—93 航天推进剂水污染物排放标准；
- ㉒GB 15580—1995 磷肥工业水污染物排放标准；
- ㉓GB 15581—1995 烧碱、聚氯乙烯工业水污染物排放标准；
- ㉔GWPB 2—1999 造纸工业水污染物排放标准；
- ㉕GWPB 4—1999 合成氨工业水污染物排放标准；
- ㉖GWKB 4—2000 污水海洋处置工程污染控制标准；
- ㉗GB 14470.1—2002 兵器工业水污染物排放标准 火炸药；
- ㉘GB 14470.2—2002 兵器工业水污染物排放标准 火工品；
- ㉙GB 14470.3—2002 兵器工业水污染物排放标准 弹药装药。

1.4 污水处理

1.4.1 基本原理

污水处理就是利用各种不同的方法,将污水中所含污染物质分离或将其转化为无害物质,从而使污水得到净化的过程。

污水处理的方法很多,按净化程度,分为一级处理、二级处理、三级处理。一级处理主要是采用物理法,去除悬浮物及部分有机物,一般悬浮物去除率为60%, BOD_5 去除率为35%,但水质还不能达到标准,需进行二级处理。二级处理是在一级处理的基础上,进一步采用生物法或化学法或物化法去除污水中的胶体及溶解性物质,对有机物的去除率可达80%~90%,水质已大为改善,一般均可达标排放。但对某些难降解的有机物,如氮、磷以及重金属等还不能有效地去除。三级处理是为了进一步去除难降解的物质及氮、磷,控制水体富营养化时,可采用三级处理。三级处理是深度处理的同义词,深度处理的目的是为了回收利用废水。三级处理是在一级、二级处理的基础上,进一步采用活性炭、离子交换、电渗析、臭氧等方法进行的净化处理。

污水处理按方法本身的原理可分为物理法、化学法、物化法及生物法四大类。每类中又可分为若干具体方法,污水处理的基本方法分类见表1.3。

表 1.3 污水处理基本方法分类

类别	方法名称		处理机理及去除的污染物
一、物理法	1. 调节法	调节池	调节均衡水量与水质
	2. 重力分离法	沉砂池	下沉去除砂粒等
		沉淀池	下沉去除相对密度大于 1 的悬浮物
		除油池	上浮去除油类
	3. 筛滤法	格栅	截留去除大块固形物
		筛网	截留去除细小悬浮物
		过滤池	截留去除细小悬浮物及胶体物质
	4. 离心分离法	离心分离机	利用离心机的离心力去除悬浮物质
		旋流分离器	利用水力离心力去除悬浮物质
	5. 磁性分离法	磁性分离	利用磁场力的作用, 分离带有磁性污染物的方法
二、化学法	1. 中和处理		应用化学中和反应, 调节酸碱废水的 pH 值, 使其达到中性状态的过程。主要是对酸性废水或碱性废水进行处理
	2. 化学氧化		利用氧化剂氧化分解废水中的污染物。可去除废水中溶解性的无机物及有机物
	3. 化学还原		向废水中投加还原剂, 将废水中的污染物还原出来或转变为无毒或低毒物质的方法。主要先去除废水中的重金属离子
	4. 化学沉淀		向废水中投加化学药剂, 使之与废水中的污染物生成难溶性的沉淀而去除的方法。主要去除废水中的重金属离子等
	5. 电解		利用电解原理, 使废水中的污染物转变为无毒无害物质的过程。主要可去除各种离子状态的物质及无机和有机耗氧物质
	6. 消毒		利用物理或化学的方法, 杀灭水中病原体和其他有毒有害微生物的方法
三、物化法	1. 混凝		先向水体投加混凝剂, 使细小的悬浮物和胶体微粒聚集成较大絮凝体而去除分离
	2. 澄清		利用设在池中的悬浮泥渣层作为接触介质, 当原水通过时, 其中的悬浮物被吸附而去除分离
	3. 吸附		利用多孔固体物质, 吸附污水中的呈分子或离子状态的污染物
	4. 离子交换		利用离子交换剂, 交换去除废水中污染物的离子
	5. 气浮		向水中通入微细气流, 使其黏附在微细的污染物絮粒上, 使絮粒相对密度小于 1 而上浮分离

续表 1.3

三、物化法	6. 萃取	向水中投加溶剂 ,使污染物溶解在溶剂中而分离去除		
	7. 蒸发	将废水蒸发汽化 ,使废水中的溶质浓缩而分离		
	8. 结晶	通过降温冷却或蒸发浓缩 ,使废水中具有结晶性能的污染物结晶析出分离		
	9. 吹脱	把空气通入废水中 ,使溶解于废水的气体传递到气相而分离去除		
	10. 汽提	把水蒸气通入废水中 ,使废水中挥发性物质传递到气相而分离去除		
	11. 扩散渗析	使高浓度溶液中的溶质分子 ,通过半渗透膜向低浓度溶液迁移 ,主要用于酸、碱的回收		
	12. 电渗析	在直流电的作用下 ,使溶液中的溶质与水通过阳膜或阴膜而分离 ,主要用于海水淡化等		
	13. 反渗透	加压力使溶液中的水通过反渗透膜而浓缩溶液、回收溶质		
	14. 超滤	加压使溶液中的水及低分子物质通过膜 ,而溶液中的高分子物质、胶体物质等被截留而分离		
四、生物法	1. 好氧法	人工强化好氧法	(1)活性污泥法	活性污泥是由细菌、真菌、原生动物、后生动物等组成 ,在供氧的条件下 ,通过微生物的代谢作用 ,将污水的有机物氧化分解为 CO_2 、 H_2O 等无机物的处理方法
			(2)生物膜法	使污水连续流经填料层 ,在填料上形成生物膜 ,在生物膜上繁殖着大量的微生物 ,通过吸附、氧化分解污水中的有机物的方法
		自然好氧法	(3)稳定塘（氧化塘）	利用洼地或经过人工适当修整的池塘等 ,依靠塘内的自然生物净化功能 ,使污水得到处理的方法
			(4)土地处理	将污水投放到土地上 ,通过土壤 - 植物的氧化分解功能 ,使污水得到净化的方法
		2. 厌氧法	在无氧的状态下 ,通过厌氧菌及兼性菌的作用 ,将污水中的复杂的有机物分解为甲烷及二氧化碳的处理方法	

1.4.2 物理方法

通过物理作用,分离去除污水中呈悬浮状的污染物,在物理法的处理过程中,不改变污染物的性质。

物理法根据不同原理又可分为调节均衡法、重力分离法、筛滤法、离心分离法等几种。

1. 调节均衡法

调节均衡法是处理污水的不可缺少的重要方法。它可均衡调节污水量与水质,使污水处理达到稳定,平衡运转。

2. 重力分离法

利用重力原理,使密度大于水的污染物下沉而与污水分离的方法称为重力分离法。重力分离法又可分为沉砂、沉淀和除油三种方法。沉淀是分离污水中可沉固体物最简单和经济的有效方法。根据污水中可沉物的特性,沉淀可分为下述四种类型,如图 1.5 所示。

(1)自由沉淀。污水中悬浮物浓度不高,沉淀过程中颗粒之间互不干扰,其形状、大小及密度等物理性质不发生变化。颗粒各自进行沉淀,颗粒沉淀图呈直线。沉砂池及初次沉淀池属此类沉淀。

(2)絮凝沉淀。在沉淀过程中,悬浮物颗粒互相黏合,结合成大的絮凝体而加快下沉,沉淀图呈曲线,颗粒的质量、形状及沉速是变化的。二次沉淀池及化学混凝沉淀属此类沉淀。

(3)集团沉淀。当污水中的悬浮物的质量浓度超过 $5\,000\text{ mg/L}$ 时,每个颗粒沉淀都受到周围颗粒的干扰而形成颗粒集团共同下沉。活性污泥在二沉池后期时属此类沉淀。

(4)压缩沉淀。当污水中悬浮物颗粒浓度极高时,固体颗粒互相接触,在上层颗粒的重力作用下,下层颗粒间隙中液体被挤出界面,固体颗粒群被压缩。二沉池中污泥斗和污泥浓缩池中的沉淀属此类沉淀。

重力分离法应用的三种方法如下。

(1)沉砂法。利用重力分离原理,将污水中的砂粒、矿渣等较大的无机颗粒分离出去的方法。

沉砂法是控制一定的水流速度,使砂下沉而有机物、污泥不下沉,这样在后续处理构筑物(沉淀池)中去除有机污泥时不会再混入砂粒,便于有机污泥的处理利用。城市污水处理厂一般都设有沉砂池。

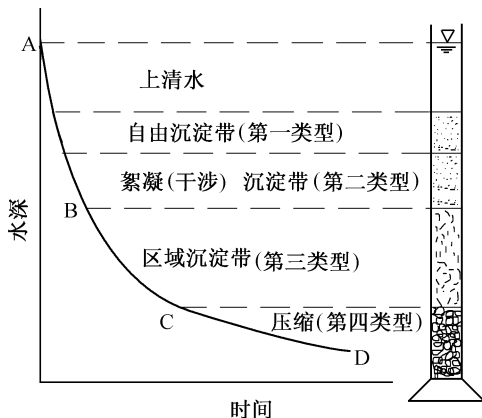


图 1.5 活性污泥在二次沉淀池中的沉淀过程

(2)沉淀法。利用重力作用,将污水中相对密度大于1的悬浮物下沉分离的方法,是污水处理中简单、经济、有效和普遍使用的一种方法。沉淀池又可分为平流式、竖流式和辐射式沉淀池以及高效率的斜板斜管沉淀池等。

(3)除油法。含油污水在除油池中,经过一定时间的静置或缓慢流动,相对密度大于1的油下沉,相对密度小于1的油上浮而除油的方法,称为除油法。

3. 筛滤法

使污水通过格栅、筛网或过滤介质,而截留悬浮性污染物的方法,称为筛滤法。筛滤法有格栅法、筛网法、过滤法等多种方法。

(1)格栅法。格栅是由一组平行的金属栅条制成的框架,斜置在污水流经的渠道上,用以截阻水中粗大的悬浮物,格栅一般是污水处理的首部构筑物。

(2)筛网法。使污水通过筛网孔,以去除污水中不能为格栅所截留,又难以沉淀的细小悬浮物的方法,称为筛网法。

(3)过滤法。废水通过以石英砂、无烟煤、石榴石或矿砂为滤料的过滤池而截留悬浮物的方法,称为过滤法。

4. 离心分离法

使污水在容器内旋转产生离心力而将污染物分离出去的方法,称为离心分离法。离心分离法又分为离心机法与旋流分离器法。

(1)离心机法。采用各种不同的离心机械分离污染物的方法称为离心机法,可去除回收乳状油、纸浆及纤维等。

(2)旋流分离器法。

①压力式水力旋流器,利用水泵将污水提升压入旋流器内产生离心分离的方法。

②重力式水力旋流器,依靠进水口与出水口间的水头差使水产生离心力而净水的方法。

5. 磁性分离

磁性分离就是利用磁场力的作用,分离去除带有磁性的污染物的方法。

1.4.3 化学方法

化学方法是指利用化学反应,处理回收污水中的污染物,或将其转化为无毒无害物质的方法。

(1)中和处理。对工厂排放的酸性废水或碱性废水,应用化学中和反应,调节其酸碱性,使其达到中性状态。

(2)化学氧化。在化学反应中,如果发生电子的转移,参与反应的物质所含元素将发生化合价的改变,这种反应称为氧化还原反应。化学氧化法,就是向污水中投加氧化剂,利用氧化还原反应而分解污水中的污染物,去除废水中溶解的有机物及无机物,达到净水的目的。

(3)化学还原。向污水中投加还原剂,利用氧化还原反应,将污水中的污染物还原出来或转化为无毒无害物质的方法。此种方法主要是去除污水中的重金属离子。

(4)化学沉淀。向废水中投加化学药剂,使之与废水中的污染物生成难溶的沉淀而去除的方法,主要是去除废水中的重金属离子,如汞、镉、铅、锌、镍、铬、砷、铜以及氟、硫、硼及氟等物质。

(5)电解。在直流电的作用下,电解质溶液在两个电极上分别产生氧化反应和还原反应的过程称为电解。电解法就是利用电解原理,使废水中的有毒有害物质通过电解过程,在阴阳两极上分别发生氧化和还原反应而转化为无毒无害物质而实现净水目的的方法。电解可去除废水中各种离子状态的物质及有机耗氧物质。

(6)消毒。食品、制药、生物制品、畜禽养殖等生产废水及医院污水、生活污水常含大量病菌。利用物理或化学方法,杀灭污废水中病菌及有毒有害微生物的方法称为消毒法。

1.4.4 物化方法

利用物理化学原理,去除废水中的溶解性污染物的方法称为物化法。

(1)混凝。废水中某些胶体物质常带有相同的电荷,互相排斥不易聚集。当向废水中投加混凝剂时,因其是电解质可水解形成带电的胶团,所带电荷与废水中胶体物质的电荷相反,产生电中和作用,使废水中的胶体物质不稳定,形成大絮状颗粒而下沉分离。

(2)澄清。在池中设立悬浮泥渣层,利用悬浮泥渣层作接触介质,当投加了混凝剂的原水通过泥渣层时,原水中的悬浮物被吸附在悬浮泥渣层上,从而使水得到澄清。

(3)吸附。利用多孔固体物质吸附污水中污染物而净化污水的方法。吸附是一种传质法,即物质从一相传递到另一相中。吸附发生在两个相的界面上,例如,利用活性炭净化污水就是使污水中的污染物质从水相传递到活性炭固相的过程。

(4)离子交换。利用离子交换剂中的交换离子的作用,交换去除废水中的污染物离子的方法,称为离子交换法。它也是传质法的一种,即把污染物从水相传递到离子交换剂的固相上去的方法。

(5)气浮。向废水中通入空气,产生微小气泡,黏附在废水中细小的悬浮物颗粒上,使颗粒相对密度小于1而上浮分离。

(6)萃取。将能溶解吸收废水中的污染物的溶剂投入废水中,使不溶于水的污染物溶解吸收在溶剂中,然后将溶剂与污染物分离,而回收处理有用物质的方法称为萃取。

(7)蒸发。蒸发与结晶均属热处理法。对废水进行加热(或冷却),使废水中的某些物质蒸发(或结晶)出来而与废水分离的方法,称为热处理法。

蒸发就是将欲处理回用的废水加热,使废水汽化,废水中的溶质得到浓缩而处理回收。

(8)结晶。通过降温冷却(或蒸发浓缩),将废水中具有结晶性能的固体溶质以晶体状态析出回收的过程称为结晶。

(9)吹脱。把空气通入废水中,使空气与废水充分接触,溶解于废水中的气体(CO_2 、 NH_3 、 CS_2 及 H_2S 等)从废水传递到空气中去的过程,称为吹脱。

(10)汽提。将水蒸气通入废水中,当废水中的蒸汽压力超过外界压力时,废水就开始沸腾,使废水中的挥发物质由液相向气相解析传递的方法称为汽提。

(11)扩散渗析。扩散渗析、电渗析、反渗透和超滤均属膜分离法,都是通过一种特殊的半渗透膜分离水中污染物离子和分子的技术。

扩散渗析是指使用只允许溶质通过的半渗透膜将不同的两种溶液隔开,溶质从高浓度溶液的一侧透过膜扩散到低浓度溶液的一侧,而处理回收有用物质的方法。

(12)电渗析法。在外加电场的作用下,利用离子交换膜对水中离子的有选择的透过性,使一种溶液中的离子透过膜迁移到另一种溶液中去,以达到处理水的方法称为电渗析法。此法主要应用在水质淡化及酸碱废水的处理回收中。

(13)反渗透法。在容器中用一种只能让水透过而溶质透不过的半透膜,将盐水与淡水分开。如果在盐水上施加大于渗透压的压力,此时则盐水中的水分子就会通过半渗透膜进入淡水一侧,这种现象叫反渗透。利用反渗透原理处理回用电镀、造纸、有机化工等废水中的有用物质的方法称为反渗透法。

(14)超滤。在加压的情况下,使水透过半渗透膜处理回收废水的方法。它与反渗透属同一类型的方法,只是其操作的压力较低,为 $0.7 \sim 7.0 \text{ kg/cm}^2$,而反渗透法压力为 $20 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ 。超滤主要去除大分子的物质,而反渗透主要去除离子及小分子物质。

1.4.5 生物方法

利用微生物的代谢氧化降解作用,将污水呈溶解性及胶体状的有机物氧化降解,转化为简单无机物的方法,称为生物法。生物法根据微生物对氧的习性可分为好氧生物法与厌氧生物法两大类。好氧生物法是在有氧的情况下,由好氧菌氧化分解有机污染物。此法处理效率高,为生物法的主要方法。好氧生物法又可分为活性污泥法及生物膜法。厌氧生物法是在无氧条件下,由厌氧菌分解有机污染物。此法主要用于污泥的消化处理和高浓度有机污水的处理。

生物法又可根据是否经过人工强化分为自然生物法及人工生物法两类。自然生物法分为稳定塘(氧化塘)及土地处理法;人工生物法分为好氧活性污泥法、生物膜法及厌氧消化法。生物法已广泛用于城市污水的二级处理及各种工业废水处理上。

1. 活性污泥法

活性污泥法就是利用活性污泥处理净化污水的方法。活性污泥是具有强烈吸附氧化和分解有机物的絮状的泥粒,它是由细菌、真菌、原生动物和后生动物所组成。在供氧曝气的条件下,通过微生物的代谢作用,一部分有机物被吸附氧化分解为 CO_2 、 H_2O 等无害物质,一部分物质代谢合成为细胞原生质。

活性污泥法的运行方式有传统活性污泥法、阶段曝气法、完全混合法、延时曝气法、渐减曝气法、净水曝气法、深井曝气法、纯氧曝气法、高负荷活性污泥法及浅层曝气法等。另外，还有 AO 法、SBR 法、AB 法及 OD 法等。

活性污泥法的特点是：净化效果较好，卫生条件好，产生的臭气轻微，在城市污水及工业污水处理上得到了广泛的应用。但是也存在着产生的污泥量较大，对水质、水量的波动较敏感等缺点。

2. 生物膜法

污水连续流经固体填料（碎石、炉渣或塑料蜂窝），在填料上就形成了生物膜，生物膜上繁殖着大量的微生物而吸附氧化分解污水中的有机物，这种净化污水的方法称为生物膜法。

实现生物膜法的工艺构筑物有生物滤池、生物转盘、生物接触氧化池及生物流化床等。它的主要特点是构造简单，管理方便，处理费用低。但是存在着占地面积大，不耐冲击负荷等缺点。

3. 稳定塘（氧化塘）

利用洼地、废河道、沼泽地或峡谷地段，经过人工适当修整成池塘，依靠塘内自然生物净化功能使污水得到处理的方法。它的突出特点是：充分利用地形，节省基建投资，操作管理方便，运行费用低廉。但是也存在着净化效果受气温、光照等影响较大的缺点。

4. 土地处理

将污水投配到土地上，通过土壤 - 植物系统的过滤吸附、沉淀及微生物的代谢分解等使污水得到净化的方法。其基本工艺有慢速渗滤、快速渗滤、地表浸浇、地下渗浇及湿地处理等。

土地处理系统的突出优点是：充分利用污水中的营养物质与水，强化农作物、牧草和林木的生产，基建投资及运行费用低廉。主要缺点是受气候、光照的影响较大。

5. 厌氧生物处理

厌氧生物处理是在无分子氧的状态下，通过厌氧菌和兼性菌的作用，将污水中各种复杂有机物分解为甲烷及二氧化碳的一种污水生物处理方法。厌氧生物处理可分 3 个阶段，一为水解酸化阶段，污水中复杂的有机物在细菌外酶的作用下水解为小分子及有机酸等；二为产氢、产酸阶段，在产酸菌的作用下，各种有机酸转化为乙酸、氢和二氧化碳；三为产甲烷阶段，在甲烷菌的作用下将乙酸、氢及二氧化碳转化为甲烷。

厌氧生物处理的优点是：节省能源，容积负荷高，污泥性质稳定。主要缺点是：对温度等运行条件要求严格。

1.4.6 方法选择

污水处理是一项系统工程，一般不可能采用单一的处理方法达到要求，都是采用几种处理方法组合成为一个处理系统才能达标。至于采用哪几种方法组合成为一个什么样的处理系

统,则要根据污水的流量、水质、污水回收利用的可能性、处理后的排向、要求处理的程度,进行技术经济比较后方能确定。进行调查研究和科学试验是选处理好处理系统工程方案的重要保证。

污水处理是系统工程的组合,一般应遵循先易后难,先简后繁的规律,即首先去除大块杂物,然后再依次去除悬浮固体、胶体物质及溶解物质。先采用物理方法,然后再使用化学法及生物法。图 1.6~1.10 简介了几种污水处理的典型流程及方法选择,供参考。

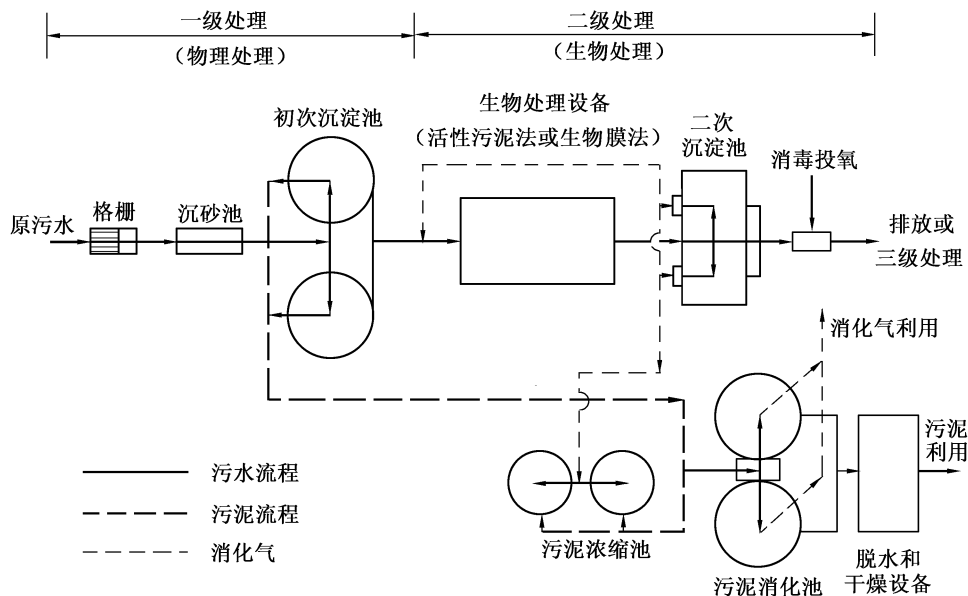


图 1.6 城市污水处理典型流程图

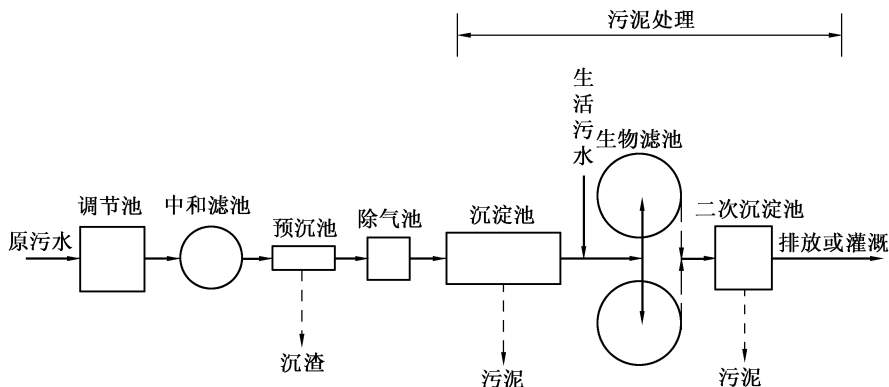


图 1.7 某维尼纶厂工业废水处理流程

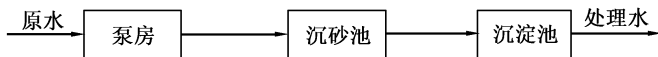


图 1.8 一级处理工艺流程图

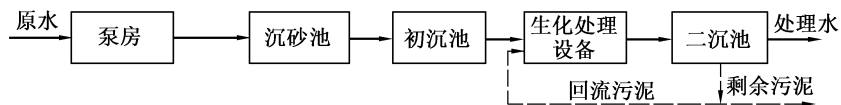


图 1.9 二级处理工艺流程图

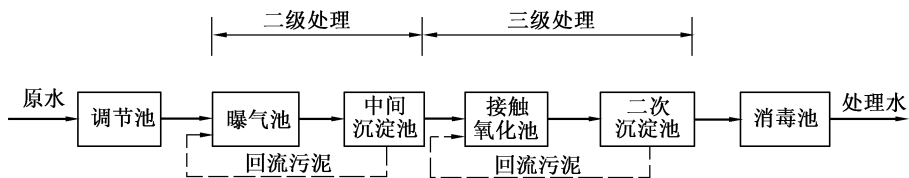


图 1.10 三级处理工艺流程图

第 2 章 物理处理

2.1 均衡调节池

2.1.1 原理构造

1. 概述

均衡调节污水水量及水质的设施 称为调节池。

城市污水或工业废水 其水量、水质等均随排放时间而发生波动 ,这对污水处理设施的正常运行会造成极大影响 ,甚至会破坏生物处理。为克服上述问题 ,常设均衡调节池 ,储存盈余 ,补充短缺 ,均衡调节污水的水量和水质 ,保持污水处理设施的正常运行。此外 ,酸性废水和碱性废水还可以在池内互相进行中和处理。同时 ,调节池还可起到临时储存事故排水的作用。

调节池一般设置在污水厂的进口处 ,按调节池的作用可分为水量调节池(均量池)和水质调节池(均质池)。实际上 ,在水量调节中 ,对水质也有一定的调节作用 ,同时 ,在水质调节中 ,对水量也有一定的调节作用。

2. 均量池

常用的水量调节池构造如图 2.1 所示 ,均衡调节水量的构筑物称为均量池。均量池实际上是一座变水位的储水池 ,污水进入调节池后 ,以平均流量输出到后续污水处理系统中 ,多余的水量储存起来 ,在来水量低于平均流量时再输出。

均量池一般为重力流进水 ,出水用泵抽升 ,池中最高水位不高于进水管的设计水位 ,最低水位为死水位 ,有效水深为一般为 2~3 m。

均量池按设置位置分为在线均量调节池(如图 2.2(a)所示)和离线、线外均量调节池(如图 2.2(b)、图 2.2(c)所示)。在线均量调节流程的全部流量均通过均量调节池 ,对流量可进行大幅度的调节。离线均量调节池是将池

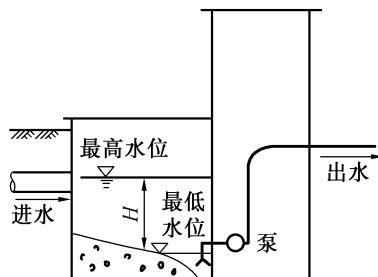


图 2.1 水量调节池结构示意图

子设在旁线上,主泵输送平均流量,多余的污水量用辅助泵送入均量池。当进水量低于平均流量时,再用泵从调节池泵入泵站集水池。此种均量池的优点是池子不受进水管高程限制,可建成半地下式,施工排泥方便,缺点是被调节的水量需两次提升,耗能高。

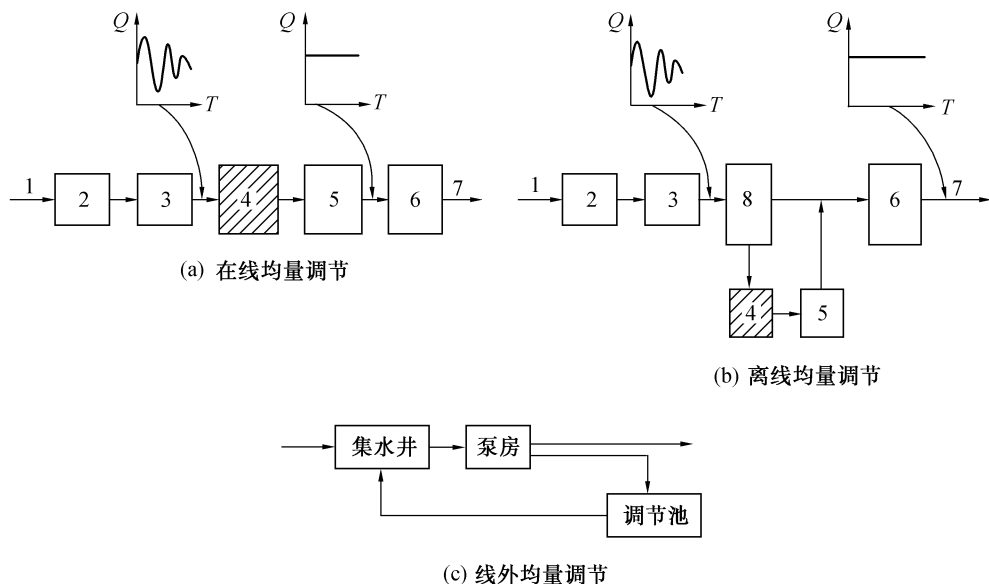


图 2.2 采用调节池的污水处理工艺流程图

1—原水 2—格栅 3—沉砂池 4—调节池 5—提升泵房及流量控制;
6—一级、二级处理 7—出水 8—溢流井

为避免污水中杂质在均量池中沉淀,可在池内设置各种混合搅拌设备,如水泵强制循环搅拌、空气搅拌、机械搅拌等。

水泵强制循环搅拌,是在池底设穿孔管与水泵压力管相连,用压力水搅拌。它简单易行,但能耗较高,一般很少采用。

机械搅拌,在池内安装桨式、推进式或涡流式等机械搅拌设备。此法搅拌效果好,但能耗也较高,同时设备常期浸于水中,易受腐蚀。

空气搅拌,在池底装设穿孔管与鼓风机空气管相连,用压缩空气搅拌。穿孔管曝气量可选取 $2 \sim 3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$ (管长)或 $5 \sim 6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (池面积)。此法的能耗也较高,但搅拌效果好,还可对污水起到预曝气作用,在实际工程上应用较多。

3. 均质池

均质池有矩形穿孔导流槽式调节池、同心圆形调节池、矩形平面对角线出水调节池及分段投入式水质调节池,其构造见图 2.3~2.6。

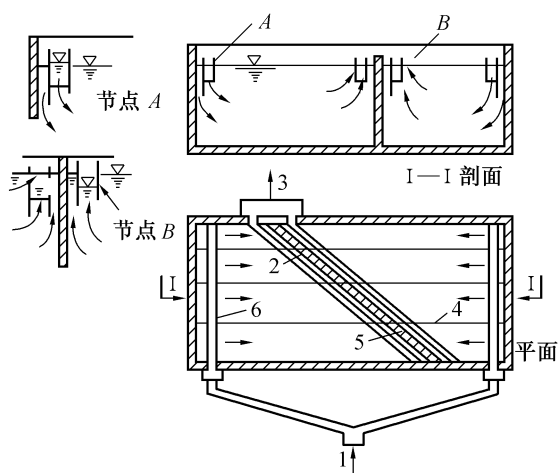


图 2.3 穿孔导流槽式调节池

1—进水 2—集水 3—出水 4—纵向隔墙；
5—斜向隔墙 6—配水槽

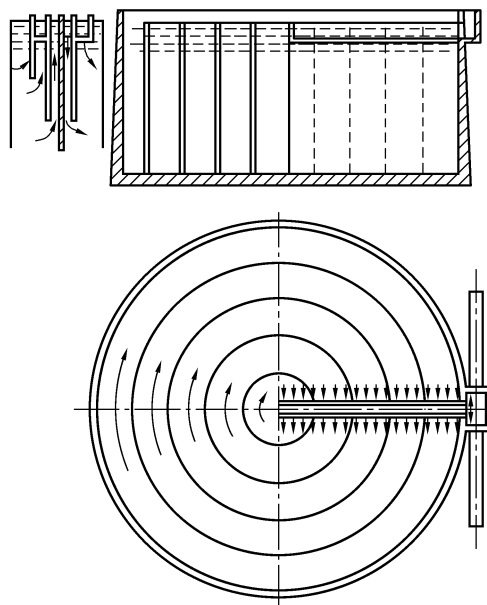


图 2.4 同心圆形调节池

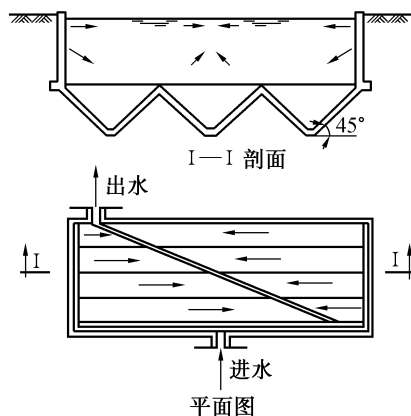


图 2.5 矩形平面对角线出水调节池

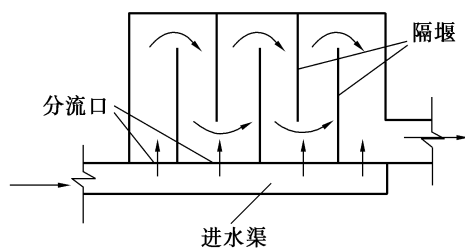


图 2.6 分段投入式水质调节池

均衡调节水质的构筑物称为均质池。均质池实际上是异程式调节池，流入调节池的水流由于流程长短各异而出现先后，这样，使进入调节池的前后时程的水流互相混合而均衡水质。

2.1.2 设计计算

1. 均量池设计计算

均量池的容积可用图解法计算。如已知某工厂在生产周期 T 内的流量曲线与流量累积曲线如图 2.7 及图 2.8 所示, 流量曲线在 T 小时所围的面积就等于污水总量, 即

$$W_T / \text{m}^3 = \sum_{i=0}^T q_i t_i$$

式中 q_i ——在 t_i 时段内废水的平均流量, m^3/h ;

t_i ——时段, h 。

在周期 T 内废水平均流量为

$$Q / (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{W_T}{T} = \frac{\sum_{i=0}^T q_i t_i}{T}$$

根据废水流量变化曲线(图 2.7), 可绘制废水流量累积曲线(图 2.8)。流量累积曲线与 T (本例为 24 h) 的交点 A 读数为 $W_T (1\,464 \text{ m}^3)$, 连 OA , 其斜率为 $Q (61 \text{ m}^3/\text{h})$ 。假设一台泵工作, 该线为泵抽水量的累积水量。

对废水量累积曲线, 作平行 OA 的两条切线 ab 、 cd , 切点为 B 和 C , 通过 B 和 C , 作平行于纵坐标的直线 BD 和 CE , 此二直线与出水累积曲线分别相交于 D 和 E , 并分别按纵坐标计算出线段 BD 及 CE 的水量分别为 220 m^3 及 90 m^3 , 使其相加便可得到所需调节池的容积 (310 m^3)。图 2.8 中虚线为调节池内水量变化曲线。

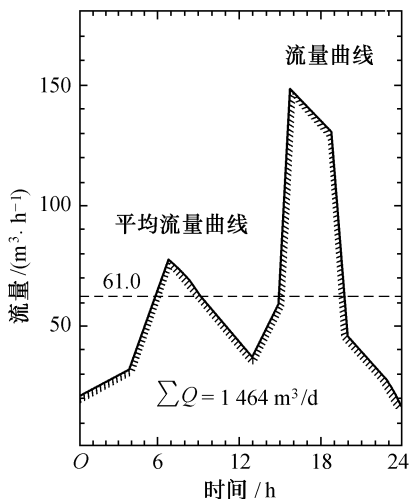


图 2.7 某厂废水流量曲线

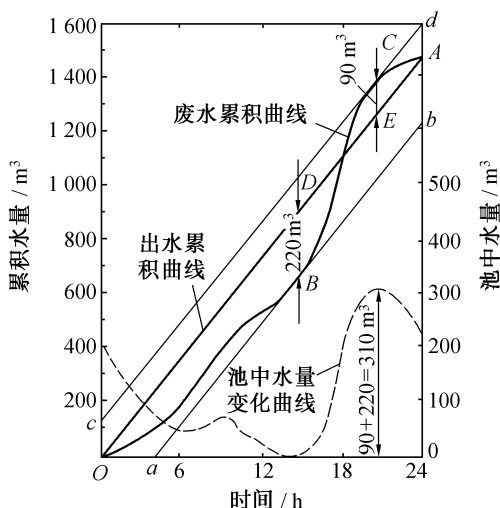


图 2.8 某厂废水流量累积曲线

实际上,污水流量变化往往无规律,所以均量池的容积在实际工程中,可以按当地情况凭经验确定。

2. 均质池的设计计算

穿孔导流槽式调节池的容积计算可采用下列公式计算,即

$$W_T = \sum_{i=1}^T \frac{q_i}{2\eta}$$

式中 W_T ——调节池容积, m^3 ;

q_i ——在 t 时段内污水的平均流量, m^3/h ;

t_i ——时段, h ;

η ——容积扩大系数(采用 0.7)。

在实际中,污水水质的变化往往也无规律,所以调节池容积应根据实际情况凭经验确定。一般考虑调节池的容积应容纳水质变化一个周期内所排入的水量。如某厂一班生产排放碱性废水,下一班生产排放酸性废水,则调节池容积应为两班水量之和。如水质变化无明显周期,调节池容积可取 3 ~ 5 h 或 10 ~ 24 h 的水量。

2.1.3 操作运行

(1) 要经常观察、总结进水的水质、水量的变化规律,保证调节池正常运行。

(2) 应定期检查、清除调节池中的沉积物,以免发生厌氧发酵。

(3) 当采用机械搅拌或空气搅拌时,布水(气)管常年淹没在污水中,易被腐蚀损坏。因此,必须使用玻璃钢或塑料等耐腐蚀材质的管道。

(4) 为保证安全运行,调节池应设置溢流口和排泥口。

(5) 污水中如有发泡物质,应设置消泡设施。污水中含有挥发性气体时,应加盖密闭或设置通风系统,高空排放或在池顶安装气体收集器加以回收。

(6) 在化工等一些污染严重的企业的污水处理系统中,为防止水质出现恶性事故,破坏污水厂的正常运行,故常设事故调节池。在一般情况下,事故调节池需保持低水位,以便在特殊情况下,可以储存事故排水。事故调节池的进水阀门必须与排水系统连锁,实现自动控制。

2.2 沉砂池

2.2.1 原理构造

从污水中分离密度较大的砂粒(密度为 $2.65 \text{ kg}/\text{m}^3$)等无机颗粒的构筑物叫沉砂池。沉砂池的沉淀特性属自由沉淀。在沉淀过程中,颗粒自由沉淀,互不干扰,沉淀图呈直线,颗粒形状、大小及密度不发生变化。沉砂池一般设在倒虹管、泵站及沉淀池前,保护水泵和管道

免受磨损及堵塞,减轻沉淀池负荷,将无机颗粒与有机物分别分离,提高污泥有机组分的含有率和利用价值。

沉砂池的类型,按池内水流方向的不同,可以分为如下几种。

平流沉砂池,水流在池内沿水平方向流动,砂粒等无机颗粒在重力作用下沉淀分离。

竖流沉砂池,水流在池内从下向上沿竖直方向流动,砂粒等无机颗粒物在重力作用下沉淀分离。

涡流沉砂池,利用水力涡流,污水在池内呈螺旋状环流,使砂粒等无机颗粒与有机物分开而下沉分离。

曝气沉砂池,曝气使池内水流呈旋流运动而产生离心力,将砂粒等无机颗粒甩向外层而下沉分离。

多尔沉砂池,其原理与平流式沉砂池相同,水流经导流板后,均匀分布,在池内沿水平方向流动,砂粒等无机物在重力作用下沉淀分离。

钟式沉砂池,利用转盘及叶片转动,带动水流旋转产生离心力,分离砂粒等无机物颗粒。该池外形貌似座钟,故名钟式沉砂池。

现将各种类型沉砂池简述如下。

1. 平流沉砂池

平流沉砂池由入流渠、水流部分、沉砂斗、闸板、出流渠等组成,其构造如图 2.9 所示。

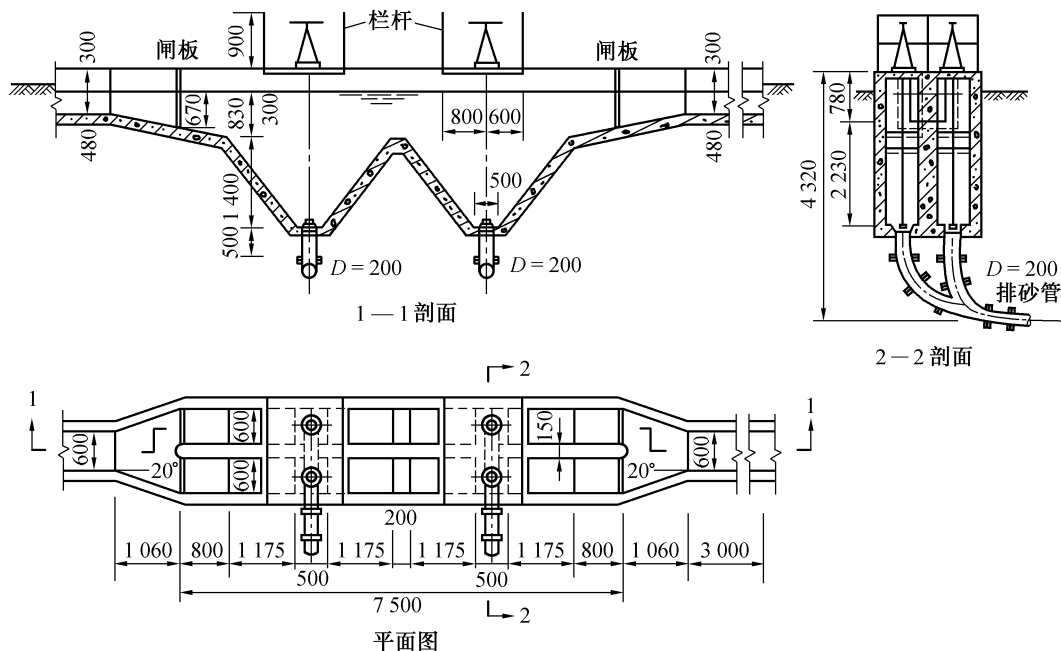


图 2.9 平流沉砂池工艺图

平流沉砂池实际是一座较入流渠道和出流渠道都宽和深的渠道。水流在池内沿水平方向流动。当水流通过时,由于过水断面增大,水流速度下降,污水中夹带的砂粒等无机颗粒在重力作用下沉淀。而密度较小的有机物仍处于悬浮状态,并随水带走,从而达到从污水中分离砂粒等无机物颗粒的目的。

平流沉砂池的流速不宜过高,不大于 0.3 m/s ,也不能过低,不小于 0.15 m/s ,以保证砂粒等无机颗粒能下沉,而有机物不能下沉。在实际运行中,常因流量变化引起流速变化时,可调整出水堰或沉砂池运行的格数来控制沉砂池的流速,沉砂池一般设计为两格及两座以上。

平流沉砂池,对小型污水厂采用重力排砂,大型污水厂常采用机械排砂,如图 2.10 ~ 2.17 所示。

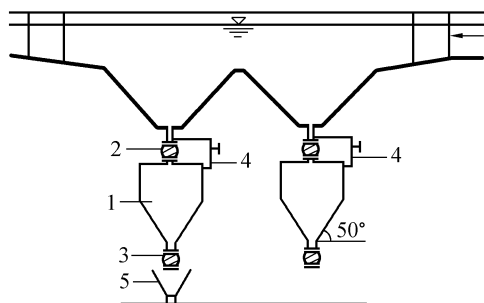


图 2.10 平流沉砂池重力排砂法

1—贮砂罐 2 3—蝶阀 4—旁通水管 5—运砂小车

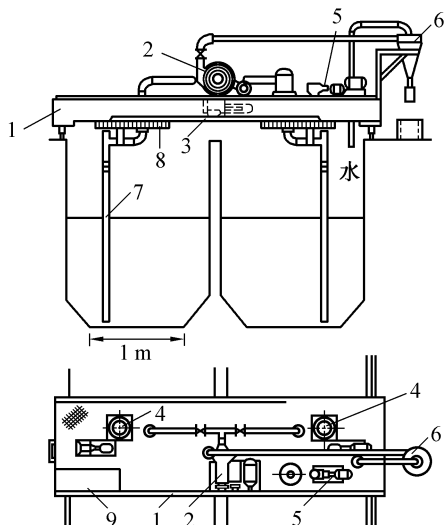


图 2.11 单口泵吸式排砂机

1—桁架 2—砂泵 3—桁架行走装置 4—回转装置 5—真空泵 6—旋流分离器 7—吸砂管 8—齿轮 9—操作台

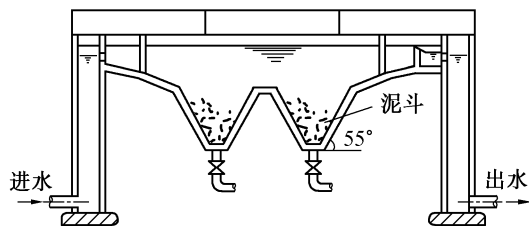


图 2.12 多斗平流沉砂池

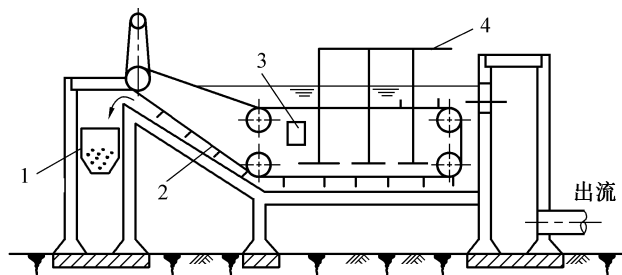


图 2.13 带刮砂机的曝气沉砂池

1—砂斗 2—刮板 3—污水入流孔 4—空气管

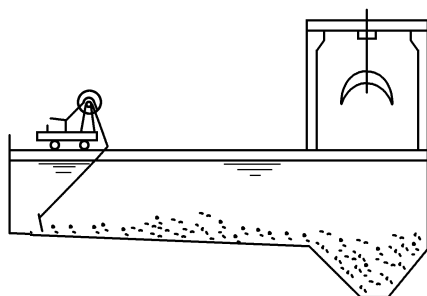


图 2.14 带刮砂机及抓斗的沉砂池

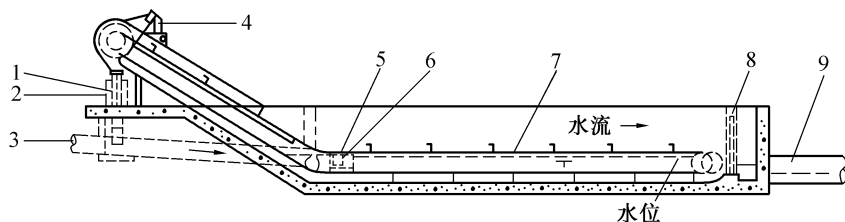


图 2.15 机械除砂池

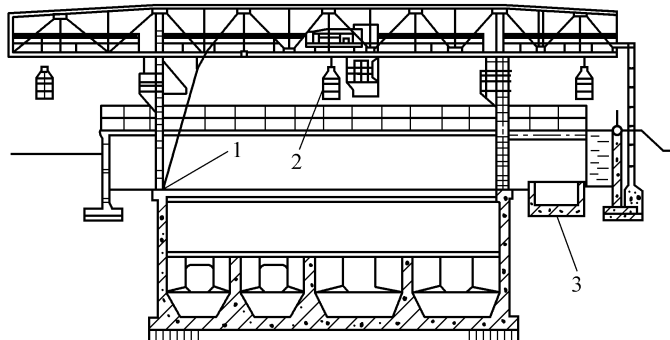
1—装排渣槽 2—渣灌 3—进水管 4—集渣器电机 5—可调堰；
6—活动闸板孔口 7—传送带 8—水位控制闸板 9—出水管

图 2.16 抓斗式除砂机(门型)

1—轨道 2—抓斗 3—格栅渣堆放处

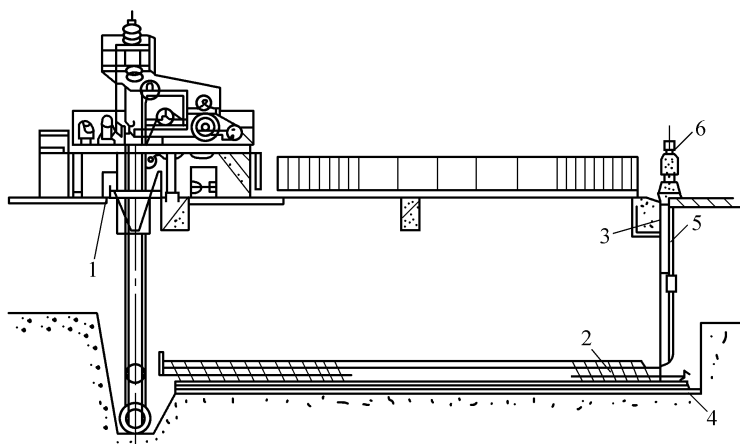


图 2.17 螺旋输送机与斗式输送机的组合

1—声测装置 2—螺旋杆 3—压力水管 4—齿轮箱 5—驱动轴 6—电动机

2. 竖流沉砂池

竖流沉砂池构造如图 2.18 所示,污水由中心管流入,然后沿沉淀池整个断面上升,在重力作用下砂粒等无机颗粒下沉,而水流上升由四周出水堰排出。图 2.18 中 d 为中心管直径, D 为池子直径, H 为池子总高度, h_1 为保护高度, h_2 为水流部分有效高度, h_3 为中心管到沉砂砂面高度, h_4 为污泥斗高度。砂粒采用重力排砂或水射器排砂,参见平流沉砂池除砂设备。

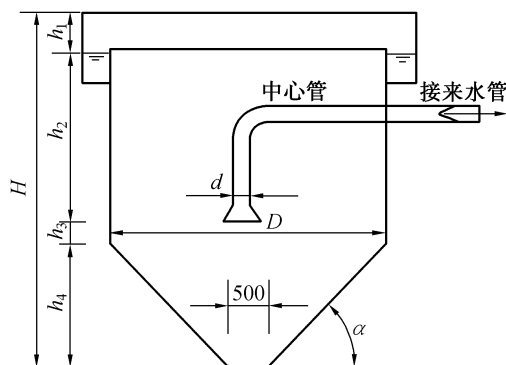


图 2.18 竖流沉砂池

3. 涡流沉砂池

涡流沉砂池为圆形池,其构造如图 2.19 ~

2.21 所示,涡流沉砂池是利用水力涡流将砂粒与有机物分开,以达到除砂的目的。污水沿切线方向进入池内,池内设一跌水槛,使下沉的砂粒滑入。还设一个挡板,使水流及砂子流向池底。在池子中心设有可调速的桨板,使水流呈螺旋状环流,在重力作用下,砂粒下沉,并向池子中心移动。池中心水流断面小,流速加快,使沉砂落入砂斗,而较轻的有机物与砂粒分离。池内的环流在池壁处向下,到池中间则向上,加上桨板作用,有机物在中心部位向上升起并随出水水流流出。

涡流沉砂池排砂可采用砂泵排砂或空气提升器排砂,参见平流沉砂池除砂设备。

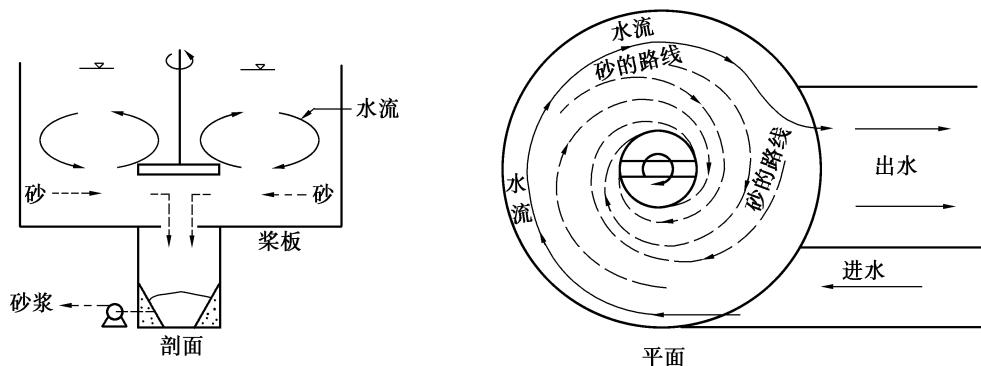


图 2.19 涡流沉砂池水砂流线图

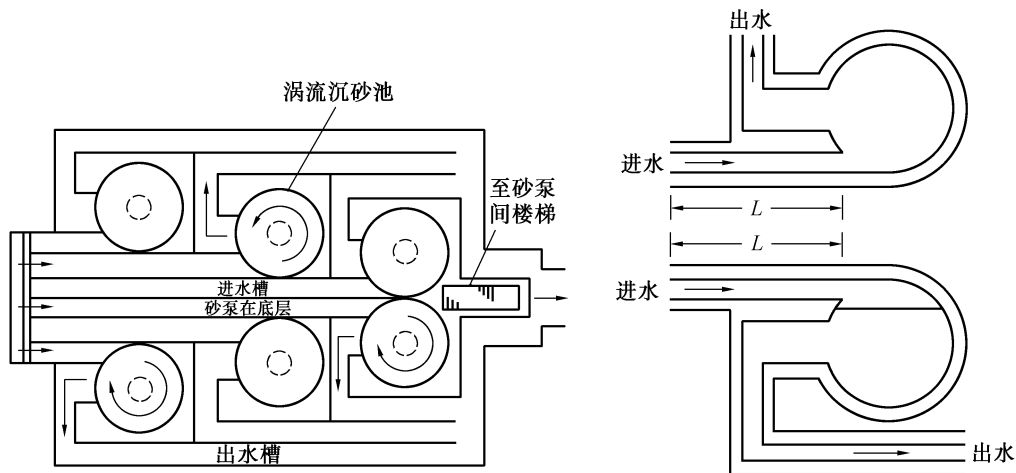


图 2.20 涡流沉砂池的总体布置图

图 2.21 涡流沉砂池布置的要求

4. 曝气沉砂池

曝气沉砂池的构造如图 2.22 所示,普通平流沉砂池的最大缺点是沉砂中夹杂有质量分数为 15% 的有机物,对被有机物包覆的砂粒,去除效果也很差,使沉砂的后继处理难度增加。曝气沉砂池可克服这一缺点,使夹杂的有机物的质量分数可减少到 5% ~ 10%,称为清洁沉砂。同时,还对污水起到预曝气作用,有利于后继的生物处理。

曝气使池内水流呈螺旋运动,产生离心力

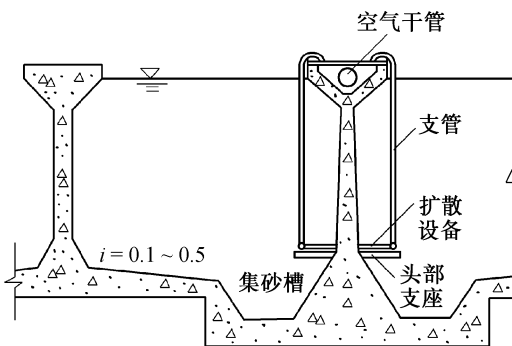


图 2.22 曝气沉砂池结构示意图

将砂粒等无机颗粒甩向外层而下沉分离。曝气沉砂池的构造为一个长形渠道,池底有 $i = 0.1 \sim 0.5$ 的坡度,坡向另一侧的集砂槽。在集砂槽一侧的池壁上,距池底 $0.6 \sim 0.9 \text{ m}$ 的高度上安装有曝气设备。曝气设备运行时,可使池内水流做旋转运动并产生碰撞与摩擦,将附着在砂粒表面的有机物除去,同时,水流在旋转运动过程中产生离心力,将密度较大的砂粒甩向外层进入集砂槽,而密度较小的有机物旋至池中心部位随水带走,这样就将砂粒与附着的有机物分离开来。曝气沉砂池的排砂方式可参见平流沉砂池。

5. 多尔沉砂池

多尔沉砂池的构造如图 2.23 所示,其原理与平流沉砂池相同。水流经导流板后均匀分布,在池内沿水平方向流动,进水槽设有导流板,使进水均匀分布。污水沿导流板流入池中,以一定流速水平流动,砂粒等无机物颗粒在重力作用下下沉,水流到出水堰溢流排出。装在旋转轴上的刮砂机运行时,把池底的砂粒从中心刮到边缘,进入排砂坑。用往复齿耙洗砂机沿斜面将砂粒耙上淘洗,除去砂粒上的有机物,再用回流机将淘洗出来的有机物回流到沉砂池中,淘洗的砂粒等无机杂物用排砂机提升排出,沉砂中的有机物的质量分数小于 5% ,达到清洁砂的标准。

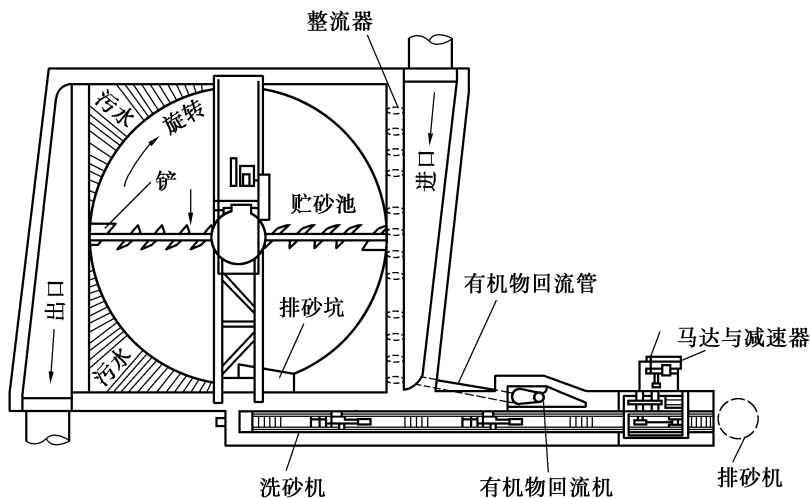


图 2.23 多尔沉砂池结构示意图

6. 钟式沉砂池

钟式沉砂池的构造如图 2.24 所示,利用转盘及叶片转动带动水流旋转,产生离心力而分离砂粒等无机颗粒。

钟式沉砂池由流入口、沉砂区、砂斗、砂提升管、排砂管、压缩空气输送管、带变速箱的电动机、传动齿轮、转动轴、转盘、斜坡式叶片、流出口等组成。污水由流入口沿切线方向进入沉砂区,由电动机及传动装置带动转盘或斜坡式叶片旋转,水流受离心力的作用把污水夹带

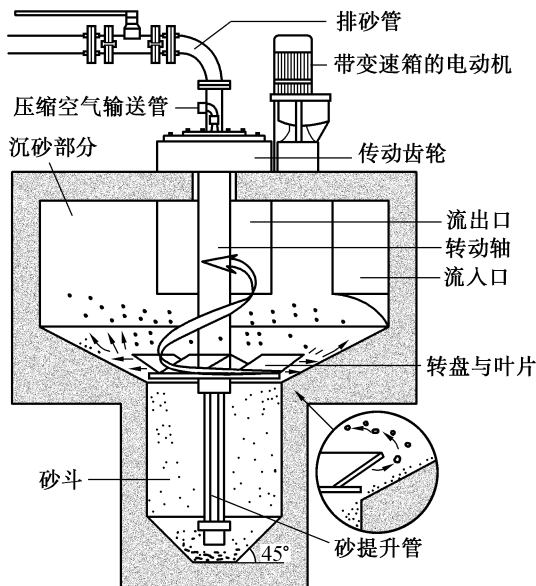


图 2.24 钟式沉砂池结构示意图

的砂粒等无机颗粒甩向池壁掉入砂斗,密度较小的有机物仍留在污水中。沉砂用压缩空气经砂提升管、排砂管清洗后排出,清洗水仍回流沉砂区。

7. 各类型沉砂池比较

各类型沉砂池比较详见表 2.1。

表 2.1 各类型沉砂池比较

序号	名 称	优 点	缺 点	适用条件
1	平流沉砂池	(1)池子浅,施工方便 (2)造价较低 (3)对冲击负荷适应性强 (4)处理效果好	(1)池子配水不易均匀 (2)排砂较困难	适合大、中、小型污水厂,适合地下水位高及地质条件差的地区
2	竖流沉砂池	(1)占地面积小 (2)排砂较方便 (3)处理效果较好	(1)池深大,施工困难 (2)造价较高 (3)对冲击负荷适应性差 (4)池径不宜过大,否则布水不均匀	适合中、小型污水厂
3	涡流沉砂池	水流呈螺旋状环流,处理效果较好	需掌握水流,应呈良好状况,否则处理效率下降	适合小型污水厂

续表 2.1

序号	名 称	优 点	缺 点	适用条件
4	曝气沉砂池	(1)处理效率高 (2)能将夹杂在砂粒中的有机物分离出去 (3)对污水有预曝气作用	要掌握曝气强度,否则处理效率下降	适合大、中、小型污水厂
5	多尔沉砂池	进水配水均匀,有洗砂设备。沉砂可达到清洁砂标准	设备较复杂	适合小型污水厂,对地下水位及地质条件没有特殊要求
6	钟式沉砂池	处理效率高	设备较复杂	适合中、小型污水厂,对地下水位及地质条件没有特殊要求

2.2.2 设计计算

沉砂池的设计计算详见表 2.2~2.7。

表 2.2 平流沉砂池设计计算表

序号	名 称	计 算 公 式	说 明
1	池子长度	$L/m = Vt$	V—最大流速(0.3 m/s) t—最大流量时的停留时间(30~60 s)
2	水流断面积	$A/m^2 = \frac{Q_{\max}}{V}$	$Q_{\max}$ —最大设计流量 m^3/s
3	池子总宽度	$B/m = \frac{A}{h_2}$	h_2 —设计有效水深 m , 不大于 1.2 m, 每格宽度不小于 0.6 m
4	沉砂斗容积	$W/m^3 = \frac{86\,400 Q_{\max} X T}{10^6 K_Z}$	X—污水中砂的质量分数($m^3/(10^6 m^3)$ 污水) T—清除沉砂的间隔时间 d K_Z —污水流量变化系数
5	池子总高度	$H/m = h_1 + h_2 + h_3$	h_1 —池子保护高(0.3 m) h_3 —沉砂斗高 m (可由 W 推算)

续表 2.2

序号	名 称	计 算 公 式	说 明
6	验算最小流速	$V_{\min}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) = \frac{Q_{\min}}{n_1 A_{\min}}$	$V_{\min}$ —最小流速(0.15 m/s) $Q_{\min}$ —最小流量 m^3/s n_1 —最小流量时工作的沉砂池数,个 $A_{\min}$ —最小流量时沉砂池的水流断面积 m^2

表 2.3 竖流沉砂池设计计算表

序号	名 称	计 算 公 式	说 明
1	中心管直径	$d/\text{m} = \sqrt{\frac{4Q_{\max}}{\pi V_1}}$	$Q_{\max}$ —最大设计流量 m^3/s V_1 —污水在中心管内流速(最大 0.3 m/s)
2	池子直径	$D/\text{m} = \sqrt{\frac{4Q_{\max}(V_1 + V_2)}{\pi V_1 V_2}}$	V_2 —池内水流上升速度 m/s 最大流速 0.1 m/s,最小流速 0.02 m/s
3	水流部分高度	$h_2/\text{m} = V_2 t$	t —最大流量时的持续流动时间 s 一般为 30 ~ 60 s,不小于 20 s
4	沉砂斗所需容积	$W/\text{m}^3 = \frac{86\,400 Q_{\max} X T}{10^6 K_Z}$	X —污水中砂的质量分数($\text{m}^3/(10^6 \text{m}^3)$ 污水) T —清除沉砂间隔时间 d K_Z —污水流量变化系数
5	沉砂斗高度	$h_4/\text{m} = (R - r) \tan \alpha$	R —池子半径 m r —圆截锥部分下底半径 m α —圆截锥倾角 $^\circ$ (可取 $55^\circ \sim 60^\circ$)
6	沉砂斗实际容积	$W/\text{m}^3 = \frac{\pi h_4}{3} (R^2 + Rr + r^2)$	h_4 —沉砂斗高度 m
7	池子总高度	$H/\text{m} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$	h_1 —保护高度(0.3 m) h_3 —中心管底到沉砂面距离 m (0.25 m)

表 2.4 涡流沉砂池设计计算表

序 号	名 称	设计计算数据
1	表面负荷	$200 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$
2	停留时间	$20 \sim 30 \text{ s}$
3	进水渠道流速	在最大流量时不大于 1.2 m/s 在最大流量的 $40\% \sim 80\%$ 时为 $0.6 \sim 0.9 \text{ m/s}$ 在最小流量时应大于 0.15 m/s
4	进水渠道直线长度	应为渠管的 7 倍 ,且不小于 4.5 m
5	夹角	出水渠道与进水渠道夹角应大于 270° ,最大限度地延长水流在沉砂池内的停留时间
6	出水渠道宽度	为进水渠道的宽度的 2 倍 ,出水渠道直线段长度要相当于出水渠道的宽度

表 2.5 曝气沉砂池设计计算表

序号	名 称	计 算 公 式	说 明
1	池子总有效容积	$W/\text{m}^3 = 60Q_{\max}t$	$Q_{\max}$ —最大设计流量 m^3/s t —最大流量时的停留时间 ,min ($1 \sim 3 \text{ min}$)
2	水流断面积	$A/\text{m} = \frac{Q_{\max}}{V_1}$	V_1 —最大流量时的水平流速 m/s ($0.06 \sim 0.12 \text{ m/s}$)
3	池子总宽度	$B/\text{m} = \frac{A}{h_2}$	h_2 —设计有效水深 m ($2 \sim 3 \text{ m}$,宽深比采用 $1 \sim 2$)
4	池子长度	$L/\text{m} = \frac{W}{A}$	
5	空气量	$q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = 3600dQ_{\max}$	d —每 m^3 污水所需空气量 m^3 ($0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3$)

表 2.6 多尔沉砂池设计参数表

沉砂池直径 /m	3.0	6.0	9.0	12.0
最大流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)				
要求去除砂粒直径为 0.21 mm	0.17	0.70	1.58	2.80
要求去除砂粒直径为 0.15 mm	0.11	0.45	1.02	1.81
沉砂池深度 /m	1.1	1.2	1.4	1.5
最大设计流量时的水深 /m	0.5	0.6	0.9	1.1
洗砂器宽度 /m	0.4	0.4	0.7	0.7
洗砂器斜面长度 /m	8.0	9.0	10.0	12.0

表 2.7 钟式沉砂池型号及尺寸表

型号	流量 /($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
50	50	1.83	1.0	0.305	0.610	0.30	1.40	0.30	0.30	0.20	0.80	1.10
100	110	2.13	1.0	0.380	0.760	0.30	1.40	0.30	0.30	0.30	0.80	1.10
200	180	2.43	1.0	0.450	0.900	0.30	1.35	0.40	0.30	0.40	0.80	1.15
300	310	3.05	1.0	0.610	1.200	0.30	1.55	0.45	0.30	0.45	0.80	1.35
550	530	3.65	1.5	0.750	1.50	0.40	1.70	0.60	0.51	0.58	0.80	1.45
900	880	4.87	1.5	1.00	2.00	0.40	2.20	1.00	0.51	0.60	0.80	1.85
1 300	1 320	5.48	1.5	1.10	2.20	0.40	2.20	1.00	0.61	0.63	0.80	1.85
1 750	1 750	5.80	1.5	1.20	2.40	0.40	2.50	1.30	0.75	0.70	0.80	1.95
2 000	2 200	6.10	1.5	1.20	2.40	0.40	2.50	1.30	0.89	0.75	0.80	1.95

2.2.3 操作运行

沉砂池的操作运行,应注意以下几点。

(1)沉砂池运行的主要指标是除砂效果,特别是应能去除粒径为 0.2 mm 以下的细砂,以便在污水处理的后继工艺构筑物——初沉池及消化池污泥中不再含砂粒。另外,沉砂中的有机物含量愈少,说明砂粒与有机物的分离效果愈好。

(2)小型污水厂一般采用重力排砂,大型污水厂一般采用机械排砂。重力排砂的沉砂池在排砂时,应关闭进水闸门及出水闸门,然后逐一打开排砂闸门,排空沉砂。若池底仍有砂

粒,可稍微打开进水闸门用污水冲洗池底沉砂。

重力排砂沉砂池应每天排砂一次,若数天不排砂时,沉砂可能结块而堵塞排砂口。重力排砂管不宜太长,转弯及起伏不应太多,以免引起堵塞。

机械排砂的沉砂池应根据沉砂量与机械排砂能力确定运转周期。机械应保持正常运转,以免积砂过多引起超负荷运行。平流沉砂池上常设有浮渣挡板,挡板前浮渣应及时清捞。

(3)曝气沉砂池的操作关键是,应根据池内水流及沉砂状况每天检查调整曝气强度,以控制污水在池中的旋转速度及旋转圈数。要保持较高的沉砂效率,特别是要去除粒径为 0.2 mm 以下的细砂,池中水流通常要保持 0.3 m/s 的旋转速度,另外要求至少旋转三周。污水中砂粒粒径愈小,要求旋转速度愈大,但又不能太大,否则会使已下沉的砂粒重新泛起。由于曝气作用,常常会使地面积聚一些浮渣,要及时清除,以保持曝气沉砂池的正常运行。

(4)做好各种闸阀清洁保养工作,每周至少加油一次,每年要刷油漆保养一次。操作电动阀门时,操作人员不得离开现场,如有异常发生,应立即关闭电源,查明原因排除故障后才能恢复运行。

(5)沉砂池内有机物臭味浓,气体腐蚀性强,要认真做好各种刮泥机的防腐保养工作。首先,要经常检查加油,减速器连续运行一段时间后应全部换油;其次,在运行过程中应注意机器紧固状况以及温升、振动和噪声状况;第三,在开机前,特别是数天停机后开机时,应先检查沉砂淤积情况,以免发生过载。另外还应保持刮砂机表面油漆良好,以防腐蚀。

(6)刚排出的沉砂含水率很高,要采取措施减少含水率。一般专设集砂池,在集砂池墙上从上到下设有撒水孔或缝隙,用竹篾或带孔塑料板挡住,水分通过小孔或缝隙流出,可使水的质量分数降到 $60\% \sim 70\%$ 。

(7)沉砂池的沉砂不仅是砂粒,还有许多杂物,如煤渣、纱头、布条、虫壳、香烟头、草纸等,又臭又脏,目前常用填埋法处置。有些沉砂还可用于黏性土壤施肥,以增加土壤的疏松程度。

(8)对各种机械设备要严格遵章操作,每次交接班都要认真检查,保持设备处于良好状态。应每天记录沉渣数量,定期取样化验沉砂的含水率及灰分。认真摸索总结污水中砂量的变化规律,不断总结沉砂池的工作经验,提高沉砂池的工作效率。

2.3 沉 淀 池

2.3.1 原理构造

沉淀池是利用重力沉淀作用将密度比水大的悬浮物从水中去除的处理构筑物。

沉淀池按处在污水处理工艺流程中的位置可分为初次(一次)沉淀池和二次沉淀池。初

次(一次)沉淀池,位于污水处理流程的前部,一般位于调节池、格栅、沉砂池之后,主要去除的是以无机物为主体的密度大的固体悬浮物;二次沉淀池位于污水处理流程后部,是生物处理的后续构筑物,主要去除的是以微生物为主体的、密度小的、容易上浮的悬浮物。

沉淀池按池内水流方向的不同,又可分为平流、竖流、辐流和斜板(管)沉淀池四种,各种沉淀池均由以下 5 部分组成:进水区、沉淀区、缓冲区、污泥区和出水区。

1. 平流沉淀池

平流沉淀池的构造如图 2.25 所示。平流沉淀池工作时,污水流入进水槽,经淹没孔和进水挡板流入沉淀区,在沉淀区内泥水分离,处理后的水经出水挡板流至出水槽,然后流至污水厂后续构筑物。污泥在池底沿底坡流入污泥区,经提升或静压排出到后续构筑物中处理。

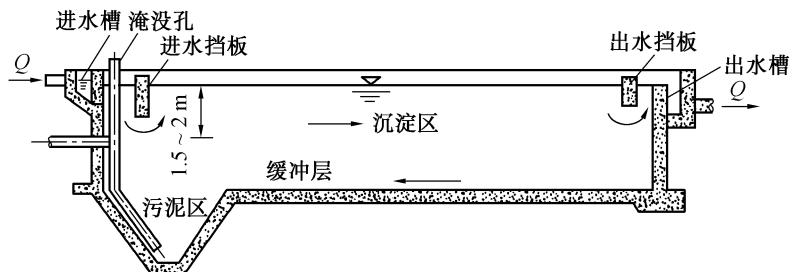


图 2.25 单斗平流式沉淀池结构示意图

现简介平流沉淀池的各部分构造如下。

(1)进水区。进水槽一般为矩形断面明槽。槽上设有淹没孔,污水通过淹没孔从槽中流入池内,经过进水挡板消能,并使污水均匀分布到整个池子的宽度上。进水区淹没孔布置如图 2.26 所示。

(2)沉淀区。从进水挡板到出水挡板之间为沉淀区。长度一般为 30~50 m,深度从水面到缓冲层上缘,一般不大于 3 m。沉淀区的下部有缓冲层,为水与泥的分界层,沉淀池宽度一般为 3~5 m。

(3)缓冲区。在沉淀池水层下部与污泥层上部之间设有缓冲层。重力排泥时,缓冲层高度为 0.5 m,机械排泥时缓冲层上缘高出刮泥板 0.3 m。

(4)污泥区。在沉淀池前部设污泥斗。中、小型沉淀区的排泥可用静压排泥,大型沉淀池可采用机械排泥。利用池内静压排泥时,将污泥通过管道排出池外。如图 2.27 及图 2.28 所示,图中排泥管直径为 200 mm,插入污泥斗内上端,伸出水面以上以便清通,水区中淹没孔的布置形式

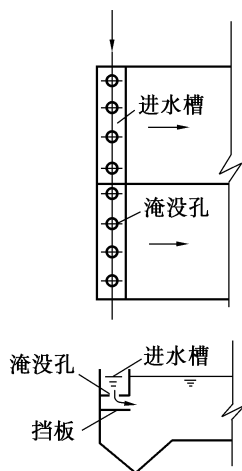


图 2.26 平流式沉淀池进水区中淹没孔的布置形式

静水压力 H 为 1.5 m(一沉池)、0.9 m(二沉池)。为使池泥能自动滑入污泥斗,池底应有 0.01 ~ 0.02 的坡度。当污泥量大时,可设多个污泥斗以减少池深。

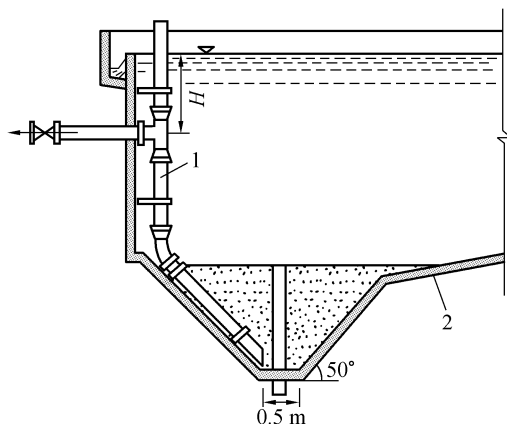


图 2.27 沉淀池静水压力排泥结构示意图

1—排泥管 2—集泥斗

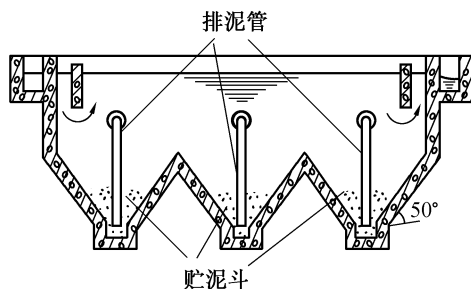


图 2.28 多斗式平流沉淀池结构示意图

较大的污水厂可用机械排泥,通常使用的刮泥机有行车式刮泥机与链带式刮泥机。如图 2.29 及图 2.30 所示。行车式刮泥机的平流沉淀池工作时,行车刮泥机沿池壁的轨道移动,刮泥机将污泥刮入集泥斗中,不工作时,将刮泥设备提出水外,免受腐蚀。设有链带式刮泥机的平流沉淀池工作时,链带缓缓地沿与水流相反的方向滑动,刮泥板嵌在链带上,在滑动时将污泥推入集泥斗中。当刮泥板滑动到水面时,又将浮渣推到出口,链带式刮泥机均在水下,易腐蚀,难维修。

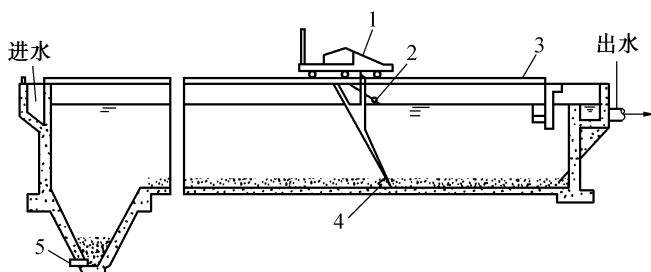


图 2.29 行车式刮泥机的平流沉淀池结构示意图

1—驱动装置 2—刮渣板 3—浮渣槽 4—刮泥板 5—排泥管

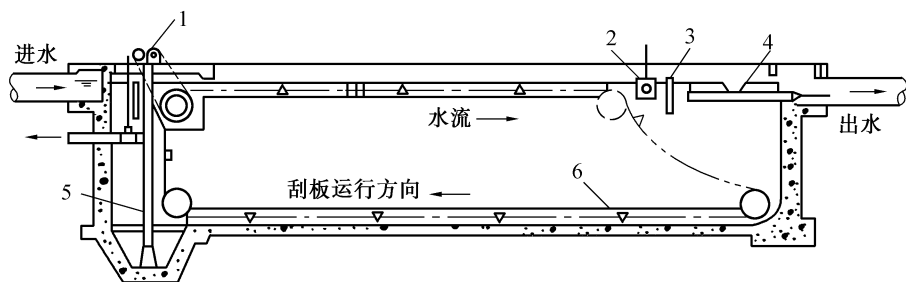


图 2.30 设有链带式刮泥机的平流沉淀池结构示意图

1—集渣器驱动 2—浮渣槽 3—挡板 4—可调节的出水堰 5—排泥管 6—刮板

(5)出流区。平流沉淀池出流方式可采用自由堰式、淹没孔式或锯齿形溢流堰,如图 2.31~2.33 所示。为控制池内水面高度,保证池内水流分布均匀,单位堰长的溢流量应保持一定值,因此堰口施工要精心,做到平直,减少误差。

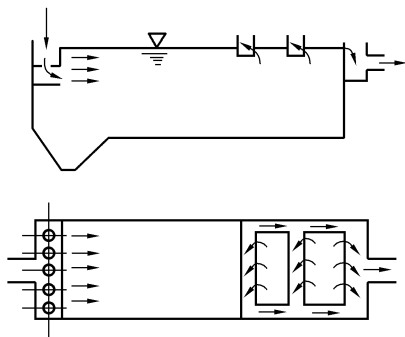


图 2.31 平流式沉淀池内增设集水槽的形式

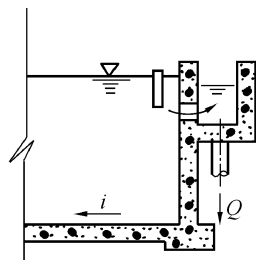


图 2.32 平流式沉淀池出流区采用淹没孔出流的形式

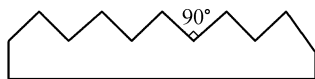


图 2.33 锯齿形三角堰

2. 竖流沉淀池

竖流沉淀池的构造如图 2.34 所示,竖流沉淀池的平面有方形和多角形,但常用的为圆形。圆形其上部呈圆柱状的部分为沉淀区,下部呈截头圆锥状的部分为污泥区。竖流沉淀池的工作情况为:污水从中心管流入,通过反射板阻拦向四周反射,均匀分布,然后沿池子沉淀区的整个断面上升,沉淀后的出水,经出水挡板由池四周出水堰溢流至出水槽。

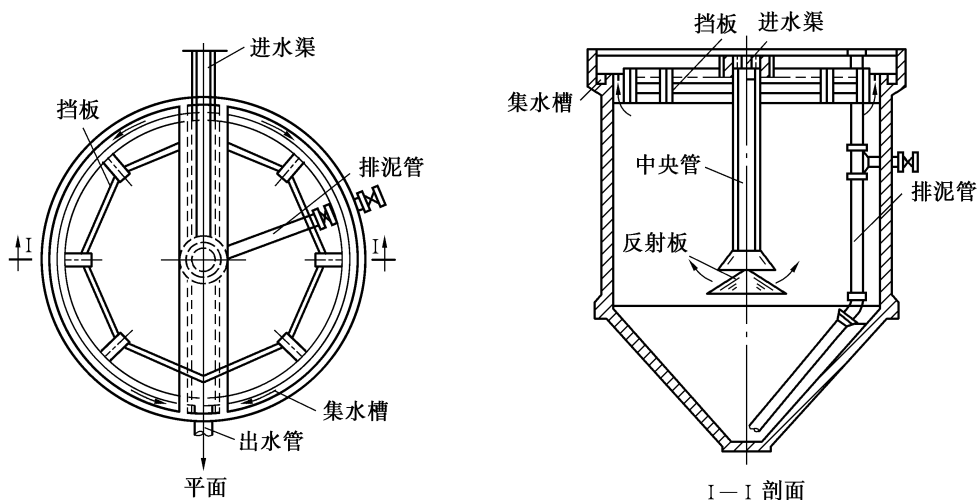


图 2.34 圆形竖流式沉淀池结构示意图

在沉淀池内,其圆柱体部分为沉淀区,污水及其所含悬浮物均以速度 v 向上流动。在重力作用下,悬浮物颗粒又以 u 的速度下沉,颗粒的实际流速为颗粒本身沉速与水流上升速度之和,当 $u > v$ 时,颗粒下沉;当 $u = v$ 时,颗粒呈悬浮状态;当 $u < v$ 时,颗粒上浮。

竖流沉淀池圆柱体下部为污泥斗,斗底直径一般为 400 mm,锥体斜壁与水平面的斜角不小于 55° ,污泥一般由静压排泥管排除,不用机械刮泥。竖流沉淀池缓冲层位于污泥区上部与沉淀区下部之间,一般深度为 0.3 m。

3. 辐流沉淀池

辐流沉淀池的构造如图 2.35 所示。辐流沉淀池一般为圆形,直径 16~60 m,甚至达到 100 m,通常为 20~30 m,池中心深 2.5~5.0 m,池周边深 1.5~3.0 m。污水由进水管进入池中心管内,从下向上流动,在中心管上端出水,经中心管周围的穿孔挡板均匀分布流入池内。然后沿水平方向流向池周,由于是辐射状四周流动,过水断面逐渐增大,水流速度逐步减小,悬浮物得以更好地沉淀,沉淀后的水经过出水堰流出。

辐射沉淀池上部呈圆柱部分为沉淀区,下部呈截头圆锥的部分为污泥区,污泥斗设在池底中央处,池底设有 0.016~0.05 的坡度。刮泥机由桁架及传动设备组成,将污泥由池底推入污泥斗,然后利用静水压力由排泥管排出或用污泥泵抽升排出。

4. 斜板(管)沉淀池

斜板(管)沉淀池构造如图 2.36 所示,斜板(管)沉淀池是依据浅层沉淀理论,在沉淀池中加入斜板(管),以提高沉淀效率的改进型沉淀池。它的特点为:增加了单位池容的沉淀面积;减小了悬浮物颗粒沉淀的距离,缩短了沉淀时间,节约了占地面积;减少了水流紊动,趋于层流状态。因此,斜板(管)沉淀池的处理能力较一般沉淀池提高 3~7(10)倍。

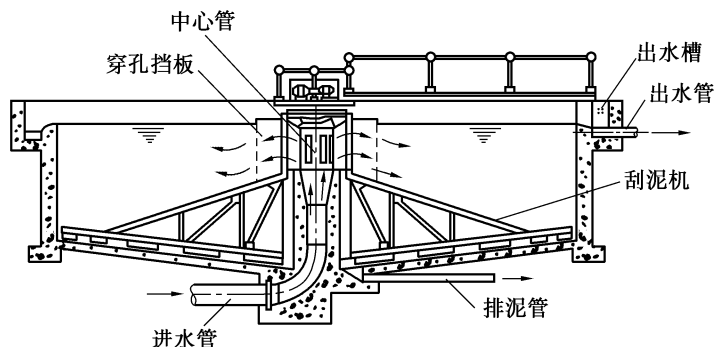


图 2.35 辐流沉淀池

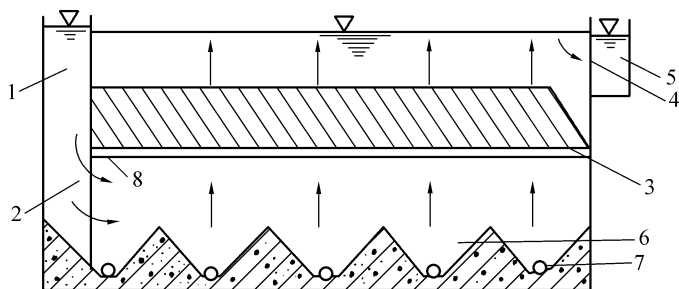


图 2.36 斜板(管)沉淀池

1—配水槽 2—穿孔墙 3—斜板(管) 4—淹没孔口 5—集水槽 6—集泥斗 7—排泥管 8—阻流板

按水流与污泥相对运动的方向,斜板(管)沉淀池可分为异向流、同向流和侧向流三种形式。第一种形式应用得较多,其流程为:水流经配水槽、穿孔墙入流斜板(管)下部,此部分为入流区,高度为 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$;然后进入斜板(管)内沉淀,斜板(管)安装垂直高度为 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$;沉淀后水流流入斜板(管)上部的出水区,高度为 $0.7 \sim 1.0 \text{ m}$,再流入出水堰排出;污泥设有集泥斗或排泥管,集泥斗顶部到接近斜板(管)下部为缓冲层,高度为 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 左右。

5. 各种沉淀池比较

上述四种类型的沉淀池,其优点、缺点及适用范围比较见表 2.8。

表 2.8 各种沉淀池比较

序号	池型	优 点	缺 点	适用范围
1	平流式	(1)施工简易,造价较低 (2)沉淀效果好 (3)对温度与冲击负荷适应性强	(1)占地面积大 (2)池子配水不易均匀 (3)排泥较困难,采用多斗排泥时,每斗均设排泥管,工作量大。采用链带式刮泥机时,驱动件、支承件都浸入水中,易腐蚀	(1)适合大、中、小型污水厂 (2)适合地下水位高及地质条件差的地区
2	竖流式	(1)占地面积小 (2)排泥方便、管理简单 (3)沉淀效果较好	(1)池深大、工程造价高 (2)池径不宜过大,否则布水不均 (3)对温度与冲击负荷适应性差	适合中、小型污水厂
3	辐流式	(1)运行可靠、管理方便 (2)排泥设备已趋定型 (3)沉淀效果较好	(1)池体庞大,要求施工质量高 (2)机械排泥设备复杂 (3)占地面积大	(1)适合大、中型污水厂 (2)适合地下水位较高地区
4	斜板(管)式	单位池容沉淀能力较上述各型沉淀池提高 3~7 (10)倍	(1)排泥困难 (2)耐冲击负荷差	(1)适合大、中、小型污水厂 (2)适合旧污水厂挖潜改造

2.3.2 设计计算

1. 一般规定

(1)沉淀池分格(座)数不应小于 2,并按并联设计。沉淀池应按最大流量设计。

(2)污泥斗的斜壁与水平面的斜角为:圆斗斜角大于等于 55° ,方斗斜角大于等于 60° 。

(3)排泥管直径大于等于 200 mm,重力排泥时采用铸铁管。

(4)采用机械排泥时,可间歇连续排泥。非机械排泥时,需每日排泥,静水水头为:一沉池为 1.5 m,曝气池后二沉池为 0.9 m,生物膜法后二沉池为 1.5 m。

(5)堰口水力负荷:一沉池为 $2.9 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$,二沉池为 $1.5 \sim 2.9 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。

(6)沉淀池的表面负荷(q'),有效水深(H)与沉淀时间(t)的关系详见表 2.9。沉淀时间一般不小于 1 h,有效水深一般为 2~4 m。

表 2.9 沉淀池 q' 、 t 、及 H 关系表

表面负荷(q') / $[\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}]$	沉淀时间(t)/h				
	$H = 2.0 \text{ m}$	$H = 2.5 \text{ m}$	$H = 3.0 \text{ m}$	$H = 3.5 \text{ m}$	$H = 4.0 \text{ m}$
3.0			1.0	1.17	1.33
2.5		1.0	1.2	1.4	1.6
2.0	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
1.5	1.33	1.67	2.0	2.33	2.67
1.0	2.0	2.5	4.0	3.5	4.0

2. 平流沉淀池

平流沉淀池设计计算的一般规定如下。

- (1) 池子长宽比值以 3~5 为宜, 池子的长深比值以 8~12 为宜。
- (2) 进、出口处应设挡板, 高出池内水面 0.1~0.15 m。挡板的淹没深度在进口处为 0.5~1.0 m, 出口处 0.3~0.4 m。挡板位置距进水口 0.5~1.0 m, 距出水口 0.25~0.5 m。
- (3) 池底纵坡坡度一般采用 0.01~0.02。采用机械排泥时, 不小于 0.005。
- (4) 沉淀池一般按表面负荷计算, 按水平流速校核。
- (5) 泥机的行进速度不大于 1.2 m/min, 一般采用 0.6~0.9 m/min。
- (6) 沉淀池入水口及出水口均应设整流设施, 如图 2.37 及图 2.38 所示。

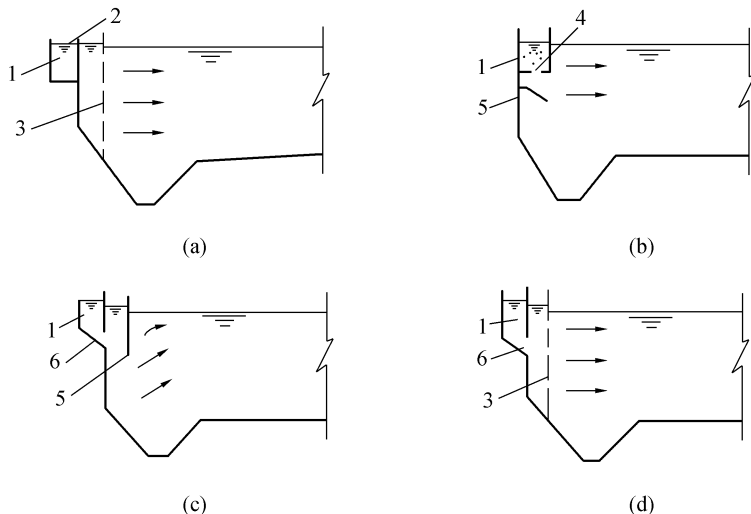


图 2.37 平流沉淀池入口的整流措施

1—进水槽 2—溢流堰 3—有孔整流墙 4—底孔 5—挡流板 6—潜孔

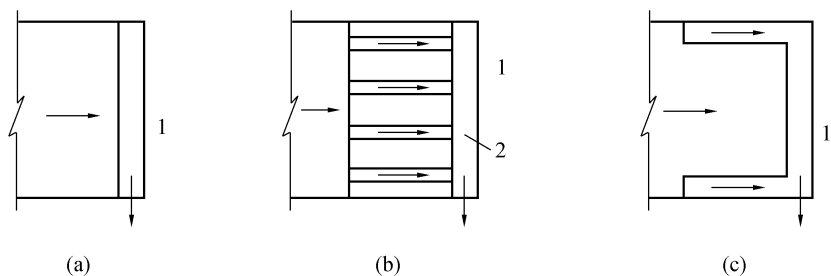


图 2.38 平流沉淀池的集水槽形式

1—集水槽 2—集水支渠

平流沉淀池的设计计算见表 2.10。

表 2.10 平流沉淀池设计计算

序号	名 称	计算公式	说 明				
1	池子总面积	$A/\text{m}^2 = \frac{3\,600 Q_{\max}}{q'}$	$Q_{\max}$ —最大设计流量 m^3/s q' —表面负荷 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ <table><tr><td>一沉池 (I)</td><td>①单独沉淀池 1.5~2.5 ②二级处理前 1.5~3.0</td></tr><tr><td>二沉池 (II)</td><td>①活性污泥法后 1.0~1.5 ②生物膜法后 1.0~2.0</td></tr></table>	一沉池 (I)	①单独沉淀池 1.5~2.5 ②二级处理前 1.5~3.0	二沉池 (II)	①活性污泥法后 1.0~1.5 ②生物膜法后 1.0~2.0
一沉池 (I)	①单独沉淀池 1.5~2.5 ②二级处理前 1.5~3.0						
二沉池 (II)	①活性污泥法后 1.0~1.5 ②生物膜法后 1.0~2.0						
2	沉淀部分有效水深	$h_2/\text{m} = q' t$	t —沉淀时间 h 一沉池(单独沉淀池)1.5~2.4 一沉池(二级处理前)1.4~2.0 二沉池 1.5~2.5				
3	沉淀部分有效容积	$V/\text{m}^3 = 3\,600 Q_{\max} \cdot t$ $V/\text{m}^3 = A h_2$					
4	池子总长度	$L/\text{m} = 3.6 V t$	V —最大设计流量时的水平流速 mm/s 一沉池 不大于 7 mm/s 二沉池 不大于 5 mm/s				
5	池子总宽度	$B/\text{m} = \frac{A}{L}$					
6	池子座数或分格数	$n/\text{个} = \frac{B}{b}$	b —每座池子(格)宽 m				

续表 2.10

序号	名 称	计算公式	说 明
7	污泥部分容积	$V/\text{m}^3 = \frac{SNt}{1\ 000}$ $V/\text{m}^3 = \frac{Q_{\max}(C_1 - C_2)86\ 400 T 100}{Kr(100 - p_0)}$	S—每人每日污泥量(采用 0.3~0.8 L/(人·d)) N—设计人口数 人 t—两次清泥间隔时间 d C ₁ 、C ₂ —进水及出水悬浮物质量浓度 kg/m ³ Kr—生活污水总变化系数 T—污泥单位体积质量(kg/m ³) p ₀ —污泥中水的质量分数,% 一沉池 95%~97% 二沉池(活性污泥法后)99.2%~99.6% 二沉池(生物膜法后)96%~98%
8	池子总高度	$H/\text{m} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$	h ₁ —保护高(0.3 m) h ₃ —缓冲层高度(0.3~0.5 m) h ₄ —污泥部分高度
9	污泥斗容积	$V_1/\text{m}^3 = \frac{1}{3} h_4''(f_1 + f_2 + \sqrt{f_1 f_2})$	f ₁ —斗上口面积 m ² f ₂ —斗下口面积 m ² h ₄ ''—泥斗高度 μm
10	污泥斗以上梯形部分污泥容积	$V_2/\text{m}^3 = \frac{(L_1 + L_2)}{2} h_4' \cdot b$	L ₁ —梯形上底长 μm L ₂ —梯形下底长 μm h ₄ '—梯形高度 μm

3. 竖流沉淀池

竖流沉淀池设计计算的一般规定如下。

(1)池子直径不宜大于 8 m,一般采用 4~7 m。池子直径与有效水深之比值应小于 3。

(2)中心管下口应设喇叭口和反射板,如图 2.39 所示。

(3)排泥管下端距池底不大于 0.2 m,管上顶超出水面不小于 0.4 m。

(4)浮渣挡板距集水槽 0.25~0.5 m,高出水面 0.1~0.15 m,淹没深度 0.3~0.4 m。

(5)当池子直径小于 7 m 时,沉淀后污水沿周边流出;当池子直径大于 7 m 时,应增设辐射

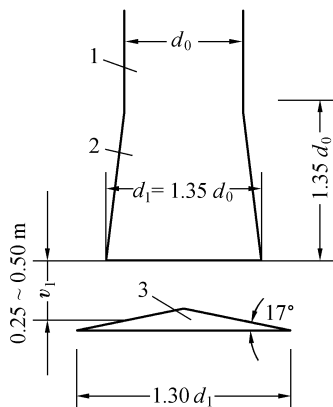


图 2.39 中心管结构示意图

1—中心管 2—喇叭口 3—反射板

式集水支渠。

竖流沉淀池设计计算见表 2.11。

表 2.11 竖流沉淀池设计计算

序号	名 称	计算公式	说 明
1	中心管面积	$f/m^2 = \frac{q_{\max}}{v_0}$	$q_{\max}$ —每池最大设计流量 m^3/s v_0 —中心管内流速 ($v_0 < 30 \text{ mm/s}$)
2	中心管直径	$d_0/m = \sqrt{\frac{4f}{\pi}}$	
3	中心管喇叭口与反射板之间缝隙高度	$h_3/m = \frac{q_{\max}}{v_1 \pi d_1}$	h_3 —0.25 ~ 0.50 m v_1 —污水在缝隙处的流出速度(一沉池小于等于 30 mm/s,二沉池小于等于 20 mm/s) d_1 —喇叭口直径(为中心管直径1.35倍)
4	沉淀部分有效断面	$F/m^2 = \frac{q_{\max}}{v}$	v —污水在沉淀中的流速 (采用 0.000 5 ~ 0.001 m/s)
5	沉淀池直径	$D/m = \sqrt{\frac{4(F+f)}{\pi}}$	
6	沉淀部分有效水深	$h_2/m = 3\ 600 Vt$	t —沉淀时间(1.0 ~ 1.5 h)
7	沉淀部分容积	$V/m^3 = \frac{SNT}{1\ 000}$ $V/m^3 = \frac{q_{\max}(C_1 - C_2)T86\ 400 \times 100}{Kr(100 - P_0)}$	符号含义同平流沉淀池
8	圆截锥部分容积	$V_1/m^3 = \frac{\pi h_5}{3}(R^2 + Rr + r^2)$	h_5 —污泥室圆截锥部分高度 μm $h_5 = (R - r)\lg \alpha$ (α 为 55°) R —圆截锥上部直径 μm r —圆截锥下部直径 μm (一般为 400 mm)
9	沉淀池总高度	$H/m = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$	h_1 —池子保护高度(0.3 mm) h_4 —缓冲层高度(0.3 ~ 0.5 m)

4. 辐流沉淀池

辐流沉淀池设计计算的一般规定如下。

(1)池径不宜小于 16 m,池径与有效水深比值为 6 ~ 12,池底坡度为 0.05 ~ 0.10。

(2)进出水的布置方式,可以为中心进水,周边出水;可以为周边进水,中心出水;也可以周边进水,周边出水。进水口周围应设整流板,出水口处设浮渣挡板。

(3)当池径小于 20 m 时 ,可用多斗排泥 ,但一般均采用机械刮泥 ,可用中心传动刮泥机 ,当池径大于 20 m 时 ,可用周连传动刮泥机。

辐流沉淀池设计计算见表 2.12。

表 2.12 辐流沉淀池设计计算(中心进水 ,周边出水)

序号	名 称	计算公式	说 明
1	沉淀部分水面面积	$F / \text{m}^2 = \frac{Q_{\max}}{nq'}$	$Q_{\max}$ —最大设计流量 m^3/h n—池数 ,个 q' —表面负荷 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (数据同平流沉淀池)
2	池子直径	$D/\text{m} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$	
3	沉淀部分有效水深	$h_2/\text{m} = q' t$	t—沉淀时间 ,h (数据同平流沉淀池)
4	沉淀部分有效容积	$V / \text{m}^3 = \frac{Q_{\max}}{n} \cdot t$ $V / \text{m}^3 = Fh_2$	
5	污泥部分容积	$V/\text{m}^3 = \frac{\text{SNr}}{1\,000n}$ $V/\text{m}^3 = \frac{Q_{\max}(C_1 - C_2)24 \times 100 T}{\text{Kr}(100 - p_0)n}$	n—池数 ,个 其他符号含义同平流沉淀池
6	污泥斗容积	$V_1/\text{m}^3 = \frac{\pi h_5}{3}(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$	h_5 —污泥斗高度 ,m r_1 —污泥斗上部半径 ,m r_2 —污泥斗下部半径 ,m
7	污泥斗以上圆锥部分污泥容积	$v_2/\text{m}^3 = \frac{\pi h_4}{3}(R^2 + Rr_1 + r_1^2)$	h_4 —圆锥体高度 ,m R—池子半径 ,m
8	沉淀池总高度	$H/\text{m} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$	h_1 —保护高(0.3 m) h_3 —缓冲层高度(0.3~0.5 m)

5. 斜板(管)沉淀池

斜板(管)沉淀池设计计算一般规定如下。

(1)斜管孔径一般采用 50~80 mm ,斜板垂直净距 80~120 mm。

(2)进水一般采用穿孔墙整流布水 ,出水采用多槽出水。

(3)排泥一般采用重力排泥 ,每日排泥 1~2 次 ,并设冲洗设施。

斜板(管)沉淀池设计计算见表 2.13。

表 2.13 斜板(管)沉淀池设计计算

序号	名 称	计算公式	说 明
1	池子水面面积	$F/m^2 = \frac{Q_{\max}}{nq' 0.91}$	$Q_{\max}$ —最大设计流量 m^3/h n —池数,个 0.91 —斜板区面积利用系数 q' —设计表面负荷 $m^3/(m^2 \cdot h)$ (较一般沉淀池提高 1 倍)
2	池子平面尺寸	$D/m = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \text{ (圆形)}$ $a/m = \sqrt{F} \text{ (方形)}$	D —圆形池的直径 m a —方形边长 m
3	池内停留时间	$t/\min = \frac{(h_2 + h_3)60}{q'}$ (一沉池小于 30 min) (二沉池小于 60 min)	h_2 —斜板(管)区上部水深(0.5 ~ 1.0 m) h_3 —斜板(管)高度 (斜板(管)长度一般为 1.0 ~ 1.2 m,安装倾角 60°)
4	污泥部分容积	$V/m^3 = \frac{SNT}{1\ 000}$ $V/m^3 = \frac{Q_{\max}(C_1 - C_2)24t100}{Kr(100 - p_0)n}$	符号含义同平流沉淀池
5	污泥斗容积	圆锥体 $V_1/m^3 = \frac{\pi h_5}{3} (R^2 + Rr_1 + r_1^2)$	h_5 —污泥斗高度 m R —污泥斗上部半径 m r_1 —污泥斗下部半径 m
6	沉淀池总高度	$H/m = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$	h_1 —保护高(0.3 m) h_4 —缓冲层高度(0.5 ~ 1.0 m)

2.3.3 操作运行

(1)经常巡查。检查设备机件紧固状况,运转部位的温升、振动和噪声。减速器的润滑状况,进水、出水状况,排泥状况。构筑物是否渗漏水。如发现问题,要及时解决。

(2)校正堰板。堰板使用多年后,可能发生倾斜,造成堰口出水多少不均,所以要及时校正堰板保持水平。固定堰板应采用不锈钢螺丝,以免螺丝生锈拧不动,而无法校正堰板。另外可能经常有许多污物挂在齿堰上,应及时冲洗干净。

(3)撇除浮渣。要及时清除在出水挡板处的浮渣,最好用漏水勺捞起。由于浮渣中常有塑料等物品,会引起机泵阻塞,所以浮渣要专设收集处置设施,不要排入集泥斗内。

(4)正常运行。操作人员要遵章操作,保证沉淀池正常运行,特别要保证刮泥机的正常运行。刮泥机验收合格后,应空负荷运转 24 h 正常后再加载运行。正常运行的程序为:①先启动刮泥机,后进水,保证设备各处的润滑处于良好状态。②刮泥机是按连续运行设计的,若间断运行时,每次停机不宜超过 24 h。③池子放空时,待池水排完后,方可停止刮泥机的运行。

(5)定时排泥。定时排泥是沉淀池最重要的操作要求,一沉池一般为间歇排泥,二沉池为连续回流排泥。一沉池排泥操作要点是掌握好排泥的间隔时间及每次排泥的持续时间。间隔时间太长,则污泥积累产生厌氧发酵上浮,一般间隔时间为 8~12 h,冬季长些,夏季短些。若排泥持续时间过长,则提高了排泥含水率,增加了污泥处理构筑物的负荷,一般掌握在几分钟或十几分钟,使污泥中水的平均质量分数在 97% 以下。排泥管堵塞是常见的故障,解决办法一是设计构造要合理,排泥管管径要大于 200 mm,静水头大于 1.5 m,转弯尽量要少些;二是要正确操作,定时排泥,每月至少冲洗一次,如堵塞时可采用压缩空气冲洗,也可用水反冲洗。

(6)斜板(管)排泥。斜板(管)沉淀池的斜板(管)上常常积泥,要定时冲洗。冲洗时先放低水位,露出斜板(管),然后用泵喷水冲洗,冲洗泵可用冲洗汽车的冲洗泵,其水压和水量已足够。

(7)维修保养。应经常及时维修保养设备,重点维修保养好刮泥机水下部分,以防腐蚀与磨损,保持转动部分的密封性。刮泥机的链条、驱动链轮应经常加油,减速器每季要全部更换润滑油。刮泥机每年大修一次,排泥阀、配水阀、池子栏杆要定期用油漆保养。当刮泥机发生故障重新启动时,如启动困难,应将刮泥机提升或将其推动后再启动电机。

(8)监测化验。要定时对沉淀池的进水、出水及污泥取样化验,掌握水质以指导沉淀池的操作运转,确保沉淀池的工作效率。

2.4 除油池

2.4.1 原理构造

在石油开采、炼制及石油化工等生产过程中都会产生大量的含油污水,这些污水如不回收利用处理,直接排入水体,会造成严重的油污染,而且也造成极大的浪费。

石油及石油产品除重质焦油外的密度都小于 1 kg/m^3 ,为 $0.73 \sim 0.97 \text{ kg/m}^3$ 。油类在水中的存在形式可分为浮油、分散油、乳化油和溶解油四类。

浮油 油珠粒径较大,一般为 $100 \mu\text{m}$,易浮于水面形成油膜或油层。

分散油 油珠粒径为 $10 \sim 100 \mu\text{m}$,以微小油珠悬浮于水中,不稳定,静置一定时间后,可以形成油层。

乳化油 油珠粒径小于 $10\ \mu\text{m}$,一般为 $0.1\sim 2\ \mu\text{m}$,不易上浮 ,需用气浮法分离。

溶解油 油珠粒径很小 ,可小到几 nm ,是溶于水的油微粒 ,不易分离。

本节仅介绍浮油及分散油的处理装置。

1. 平流隔油池

平流隔油池为自然上浮的油水分离装置 ,其构造如图 2.40 所示。平流隔油池与平流沉淀池相似 ,含油污水从一端进入 ,进水端采用穿孔墙进水 ,从另一端流出 ,出水端采用溢流堰。由于池内水平流速较低 ,水中相对密度小于 1 的油珠上浮到水面上 ,并聚积在池的表面 ,通过设在池面的集油管和刮油机收集浮油。而相对密度大于 1 的杂质沉于池底 ,通过刮泥机排到集泥斗后定期排放。

集油管一般用直径为 $200\sim 300\ \text{mm}$ 的钢管制成 ,沿其长度在池壁的一侧有切口 ,集油管可以绕轴线转动 ,平时切口在水面上。当水面浮油达到一定厚度时 ,转动集油管 ,使切口浸入水面油层之下 ,油进入管内 ,再流到池外。

大型隔油池可设置由钢丝绳或链条牵引的刮油刮泥设备 ,刮油刮泥机在水面上的刮板移动速度可与池中水流速度相等 ,以减少对水流的影响。刮集到池前部污泥斗中的沉渣 ,通过排泥管适时排出 ,刮集的浮油进入到集油管 ,由管径为 $200\ \text{mm}$ 以上的排油管排出。池底有坡向污泥斗的 $0.01\sim 0.02$ 的坡度 ,污泥斗倾角 45° 。

此种池型的优点为构造简单 ,操作方便 ,除油效果稳定 ,可去除油粒的最小直径为 $100\sim 150\ \mu\text{m}$,通常可将污水中油的质量浓度从 $400\sim 1\ 000\ \text{mg/L}$ 降到 $150\ \text{mg/L}$ 以下。缺点是池体大 ,占地面积多。

2. 平行板隔油池

平行板隔油池的构造如图 2.41 所示 ,它是在平流隔油池内沿水流方向安装许多平板 ,这样就增加了隔油池的面积 ,提高了整流效果和处理效率。

3. 斜板隔油池

斜板隔油池的构造如图 2.42 所示 ,池内安装波纹形斜板 ,板间距 $20\sim 50\ \text{mm}$,倾斜角 45° ,废水沿板面向下流动 ,从出水堰排出。水中的油珠沿板的下表面向上流动 ,然后用集油管汇集排出。水中的悬浮物沉在斜板表面 ,滑下落入池底经排泥管排出。

此种隔油池的优点是占地面积小 ,油水分离效率高 ,停留时间短 ,一般不大于 $30\ \text{min}$ 。

4. 小型隔油池

小型隔油池构造如图 2.43 及图 2.44 所示。前者适用于饮食业、汽车库及其他有少量

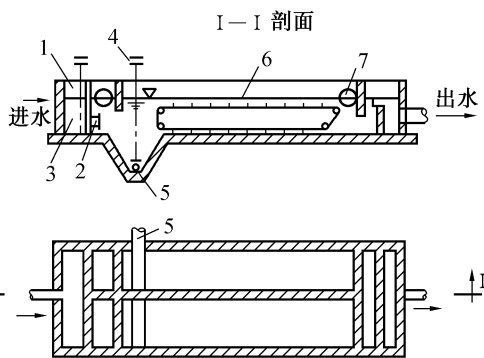


图 2.40 平流隔油池结构示意图

1—配水槽 ;2—进水孔 ;3—进水间 ;4—排渣阀 ;
5—排渣管 ;6—刮油刮泥机 ;7—集油管

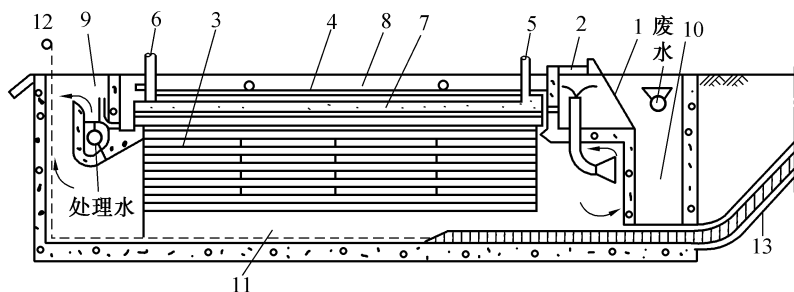


图 2.41 平行板隔油池结构示意图

1—格栅 2—浮渣箱 3—平行板 4—盖子 5—通气孔 6—通气孔及溢油管 7—油层；
8—处理后的水 9—出水溢流管 10—沉砂室 11—泥渣室 12—卷扬机 13—吸泥软管

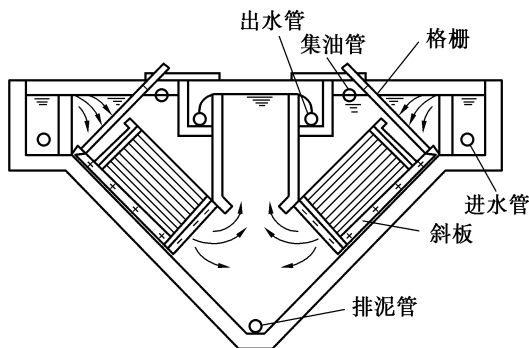


图 2.42 斜板隔油池结构示意图

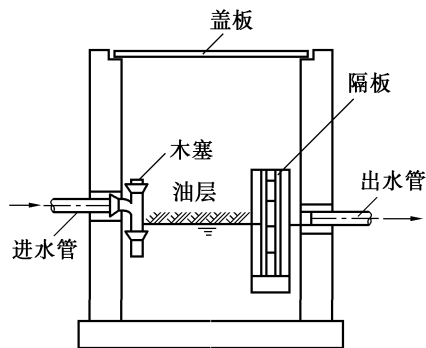


图 2.43 小型隔油池（一）

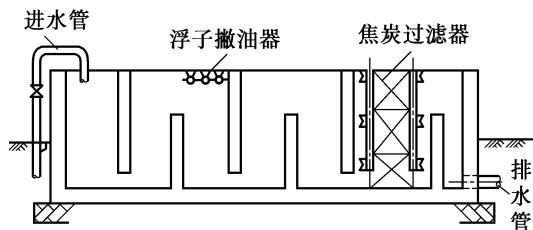


图 2.44 小型隔油池（二）

油脂的污水处理。池内水流的水平流速一般为 $0.002 \sim 0.01 \text{ m/s}$ ，停留时间为 $0.5 \sim 1.0 \text{ min}$ 。后者适用于处理汽油、柴油、煤油等污水，污水隔油后，再经过焦炭过滤器处理。池内设有浮子撇油器排除废油，浮子撇油器的构造如图 2.45 所示，池内水流的水平速度为

0.002 ~ 0.01 mm/s ,停留时间为 2 ~ 10 min ,排油周期为 5 ~ 7 d。

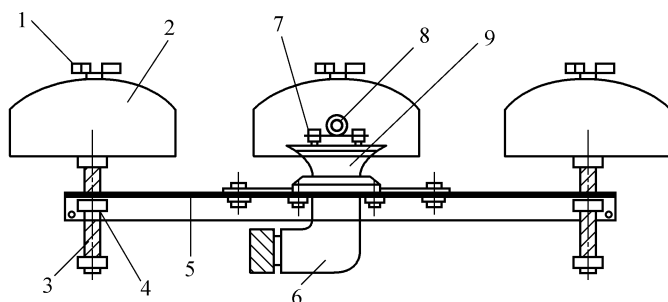


图 2.45 浮子撇油器结构示意图

1—调整装置 2—浮子 3—调节螺栓 4—管座 5—浮子臂 6—排油管 7—盖 8—柄 9—吸油口

5. 除油罐

除油罐构造如图 2.46 及图 2.47 所示。除油罐为油田污水处理的主要除油装置。含油污水通过进水管配水室的配水支管和配水头流入油罐内 ,污水从上向下缓慢流动 ,依靠油水密度差分离 ,废油浮至水面 ,然后流入集油槽 ,经出油管流出。污水则经集水头、集水管、中心柱管和出水总管流出罐外。为防止油层发生凝固现象 ,在油层部位及集油槽内均设有

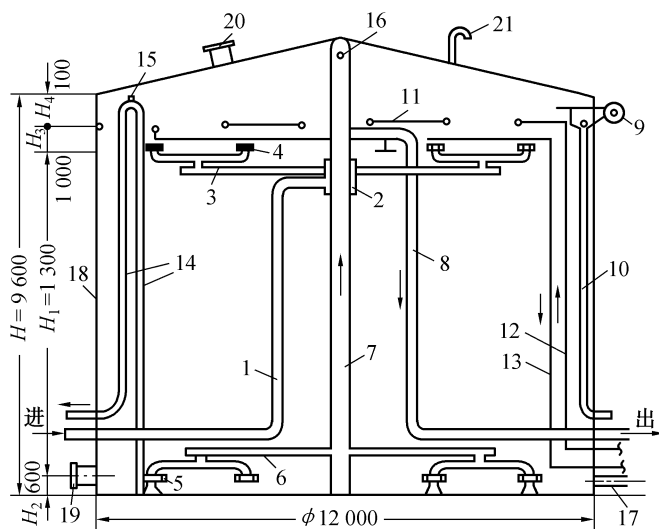


图 2.46 一次立式除油罐结构示意图

1—进水管 2—配水室 3—配水管 4—配水头 5—集水头 6—集水管 7—中心柱管 ;
8—出水管 9—集油槽 10—出油管 11—盘管 12—蒸汽管 13—回水管 14—溢流管 ;
15—通气管 16—通气孔 17—排污 18—罐体 19—入孔 20—透光孔 21—通气管

Technical drawing of a vertical industrial machine, likely a steam boiler or autoclave, showing a cross-section. The drawing includes dimensions in millimeters: overall height 8900, top section height 700, middle section height 800, lower section height 4160, and base height 800. The diameter is 9000 mm. Internal components include a central vertical pipe, two horizontal pipes with valves, and a diagonal plate (斜板) on the right side. Arrows indicate flow directions.

图 2.47 立式斜板除油罐结构示意图

聚结罐构造如图 2.48 所示。聚结原理是利用油和水对聚结材料表面亲和力不同的特性来分离油和水。当含油污水通过聚结材料时,微小的油粒被吸附在聚结材料表面或孔隙内,逐渐增多可形成油膜,向水面上升而分离。

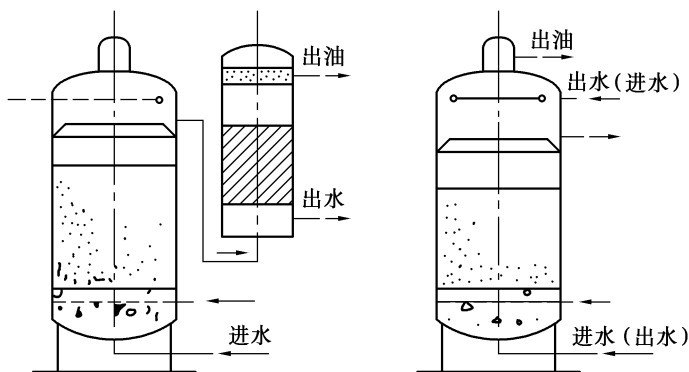


图 2.48 常用聚结除油装置结构示意图

聚结材料有聚丙烯、无烟煤、陶粒、石英砂、蛇文石等。聚结除油罐的构造从下而上由承托垫层、聚结材料层和承压层构成。水流方向多为反向流,为防止堵塞,常采用气水联合冲洗。

7. 污油脱水

上述各种隔油池、除油罐去除的污油中水的质量分数一般为 40% ~ 50% ,为提高污油的浓度 ,便于回收利用 ,可采用带式除油机或倾斜式钢带除油机进一步脱水。它的构造如图 2.49 及图 2.50 所示。带式除油机其胶带用类似氯丁橡胶材料制成 ,它具有亲油疏水性质。胶带转动时 ,将浮油带出水面 ,经内、外刮板 ,将油刮入集油槽内。

利用脱水罐也可进行污油脱水 ,它是在罐底设蒸气盘管加热污水进行脱水。

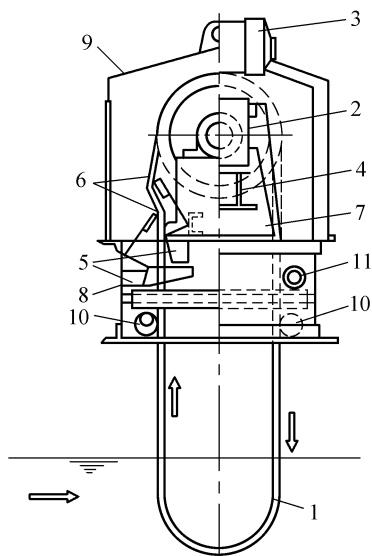


图 2.49 立式胶带除油机结构示意图

1—吸油带 2—减速机 3—电机 4—滑轮 5—槽
6—刮板 7—支架 8—下部壳 9—罩 10—导向轮 11—油出口

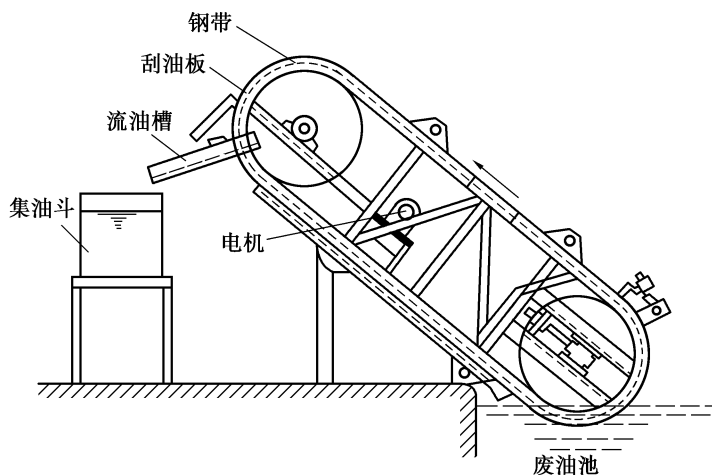


图 2.50 倾斜式钢带除油机结构示意图

8. 几种隔油池比较

上述隔油池各有优缺点,需根据不同的情况而具体考虑,其性能参数比较见表 2.14。

表 2.14 几种隔油池的性能比较

序号	名 称	平流隔油池	平行板隔油池	斜板隔油池
1	除油效率/%	60 ~ 70	70 ~ 80	70 ~ 80
2	占地面积	1	1/2	1/4 ~ 1/3
3	去除最小油滴 粒径/ μm	100 ~ 150	60	60
4	最小油滴上浮 速度/ $(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	0.9	0.2	0.2
5	分离油去除方式	刮板及集油管	利用压差自动流入管内	集油管
6	泥渣去除方式	刮泥机将泥渣 集中到泥渣斗	利用移动式吸泥软管 或刮泥机排除	重力排泥
7	平行板、斜板清理	没有	定期清理	定期清理
8	防火、防臭措施	浮油与大气相通 有着火危险,有臭气 散发	表面为清水,不易 着火,臭气也不多	有着火危险,臭气少
9	附属设备	刮油刮泥机	卷扬机、清洗设备 及装板的单轨吊车	没有
10	基建费	低	高	较低

2.4.2 设计计算

平流隔油池的设计计算过程如下。

(1)除油池的总容积 W 为

$$W/\text{m}^3 = Qt$$

式中 Q ——隔油池的设计流量 m^3/h ;

t ——污水在隔油池内的设计停留时间 h (一般采用 1.5 ~ 2.0 h)。

(2)隔油池的过水断面面积 A_c 为

$$A_c/\text{m}^2 = \frac{Q}{3.6v}$$

式中 v ——污水在隔油池中的水平流速 mm/s (一般取 2 ~ 5 mm/s ,不大于 15 mm/s)。

(3)隔油池间数 n 为

$$n = \frac{Ac}{bh}$$

式中 b ——隔油池每个隔间宽度 m (用人工清油时不超过 $3 m$,不大于 $6 m$) ;

h ——隔油池工作水深 m ($1.5 \sim 2.0 m$) ;

n ——隔油池间数(不少于 2 个)。

(4)隔油池的有效长度 L 为

$$L = 3.6vt$$

(5)隔油池的建筑高度 H 为

$$H = h + h'$$

式中 h' ——池水面以上池壁保护高 m (一般不少于 $0.4 m$)。

(6)其他规定。

有效水深与格宽度比不小于 0.4 ,池底坡度为 $0.01 \sim 0.02$,集泥斗深 $0.5 m$,集泥斗底宽 $0.4 m$,斜面夹角为 $45^\circ \sim 60^\circ$,刮泥板移动速度不大于 $2 m/s$ 。

2.4.3 操作运行

(1)隔油池应密闭或加活动盖板 ,以防火灾或对环境的污染 ,同时也可起到保温和防雨的作用。

(2)隔油池附近一定范围内要确定禁火区 ,并配备消防器材。隔油池内防火 ,通常是在池顶盖以下 $200 mm$ 处沿池壁设置一圈蒸汽消防管道。

(3)隔油池附近应有蒸汽管道接头 ,以便连接临时蒸汽扑灭火灾。同时还可在冬季用于管道凝固堵塞时或池壁处黏挂污油时清理管道或去污。

(4)寒冷地区的隔油池 ,应采取蒸汽加热器等防寒保温措施 ,以防止油污凝固堵塞管道。

(5)要及时清除隔油池的泥渣 ,小型隔油池多采用泥斗排泥 ,每个泥斗都要单设排泥阀和排沉管。泥斗倾角为 $45^\circ \sim 60^\circ$,排泥管直径不小于 $200 mm$,静压排泥管压头要大于 $1.5 m$ 。大、中型隔油池可采用刮油刮泥机排泥 ,其池底要有坡向泥斗的 $0.01 \sim 0.02$ 的坡度 ,刮板插入水面深度 $50 \sim 70 mm$ 处 ,刮油刮泥机的运行速度要控制在 $0.3 \sim 1.2 m/min$,刮油刮泥机应翻板灵活 ,不留死角。

2.5 格 栅

2.5.1 原理构造

格栅由一组平行的金属栅条制成 ,一般斜置于污水渠道或提升泵集水池进水口处 ,用来截流大块的固形物 ,如草木、纤维、毛发、木屑、果皮、菜叶及塑料制品等 ,以防止管阀、水泵等设备

堵塞。被截流的污染物称为栅渣,其中水的质量分数为 70%~80%,密度约为 750 kg/m^3 。

格栅按形状可分为平面格栅与曲面格栅。栅条的形状有正方形、圆形、矩形等,其构造如图 2.51~2.54 所示。平面格栅的基本参数为格栅宽度(B)、长度(L)及间隙净宽(e)等(以 mm 计)。B 及 L 为 600 800 1 000 ..., 每 200 为一级增长。e 在 3~10 mm 时为细格栅,10~50 mm 时为中格栅,50~100 mm 时为粗格栅。为提高截污效果,有时采用粗、中两道格栅,甚至采用粗、中、细三道格栅。

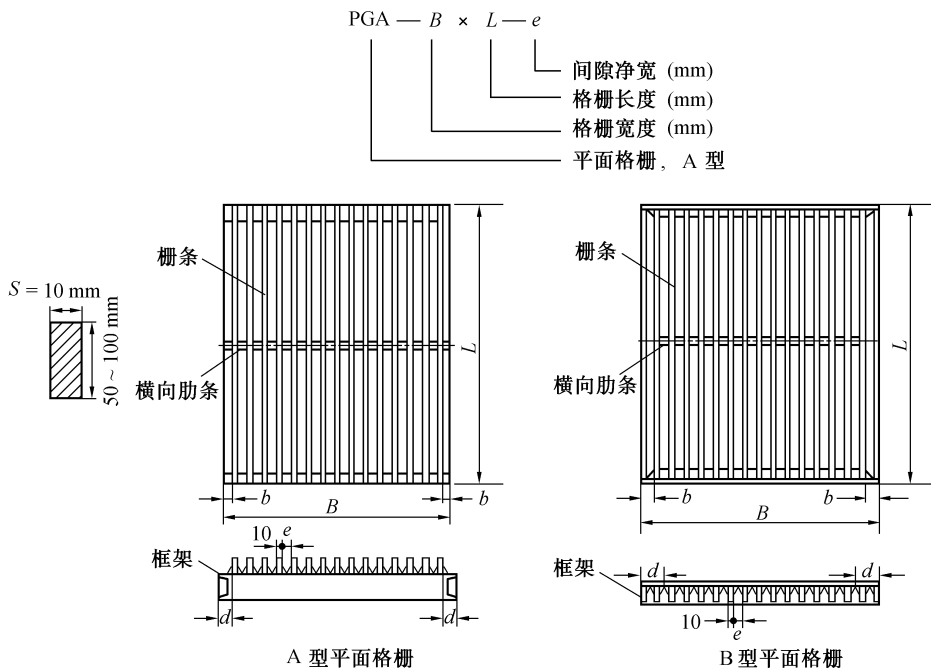


图 2.51 平面格栅结构示意图

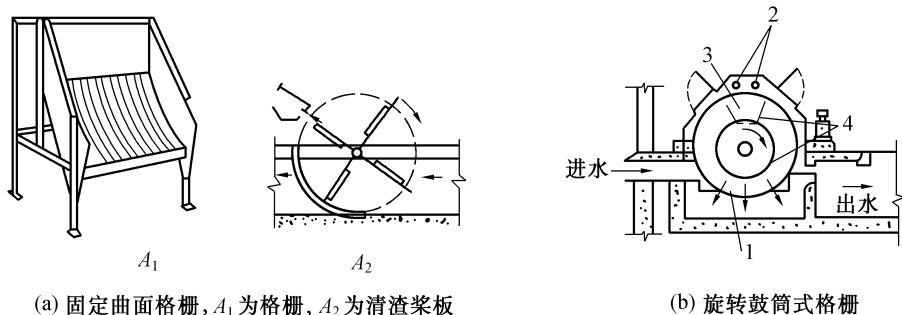


图 2.52 曲面格栅

1—鼓筒 2—冲洗水管 3—渣槽 4—马达

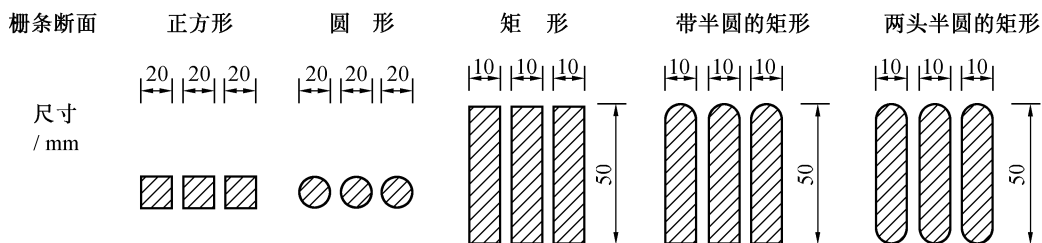


图 2.53 栅条断面形状与尺寸

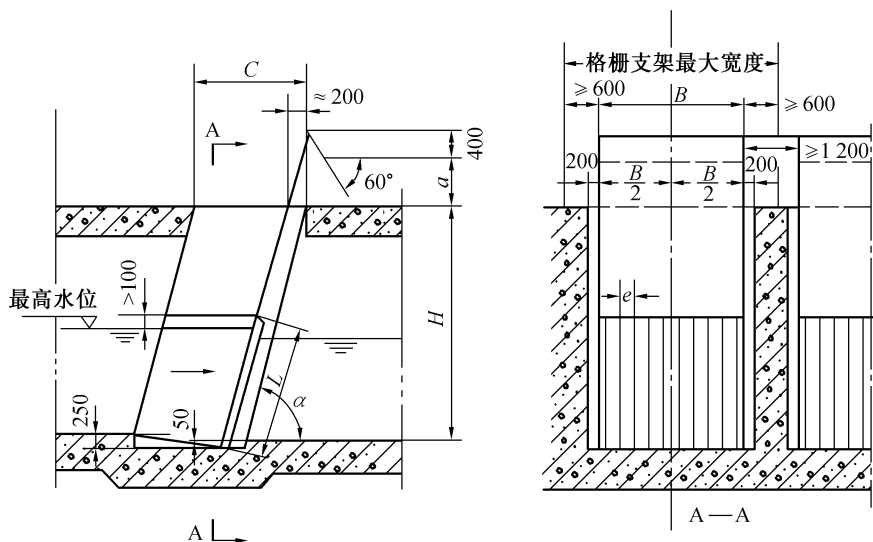


图 2.54 平面格栅安装方式

格栅分为人工清渣及机械清渣两种。每天渣量大于 0.2 m^3 时,采用机械清渣。人工清渣时格栅安装角度 α 为 $30^\circ \sim 45^\circ$,机械清渣时为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 。许多污水厂在泵站前设置粗格栅,在沉砂池前设置细格栅。机械格栅除渣机类型很多,常用的有链条式、移动伸缩臂式及钢丝绳牵引式等,其构造如图 2.55 ~ 2.57 所示,各种机械格栅特点比较见表 2.15。

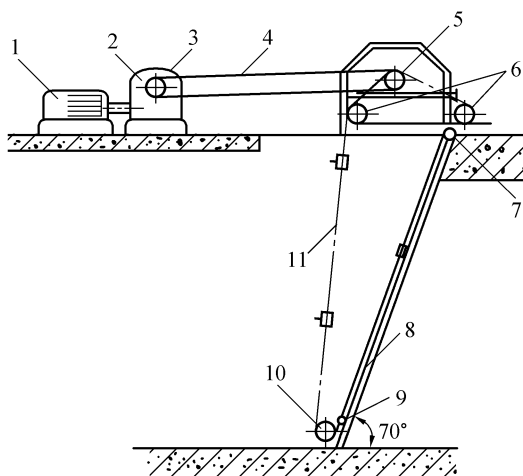


图 2.55 链条式格栅除污机

1—电动机 ;2—减速器 ;3—主动链轮 ;4—传动链条 ;5—从动链轮 ;6—张紧轮 ;7—导向轮 ;8—格栅 ;9—齿耙 ;10—导向轮 ;11—除污链条

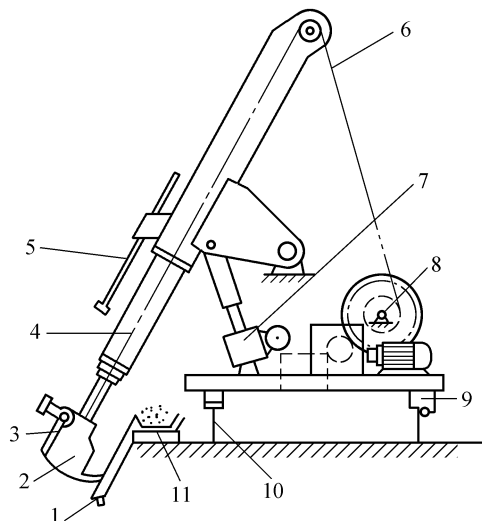
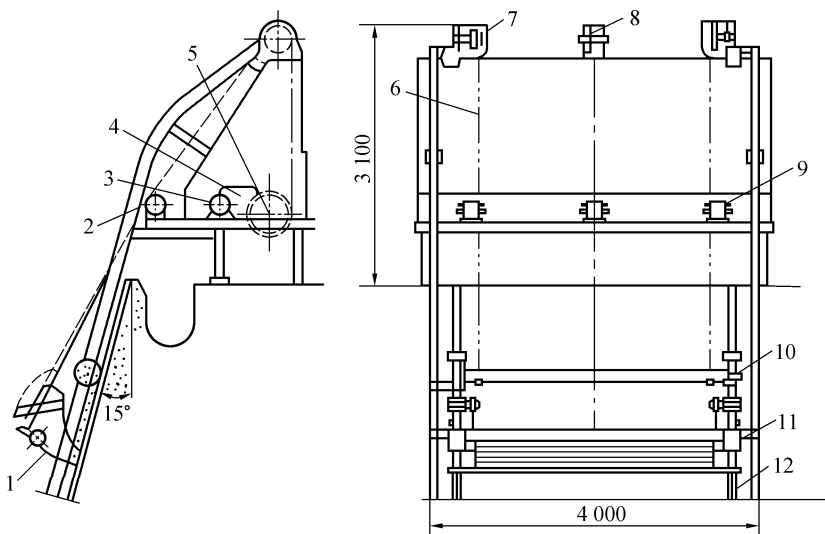


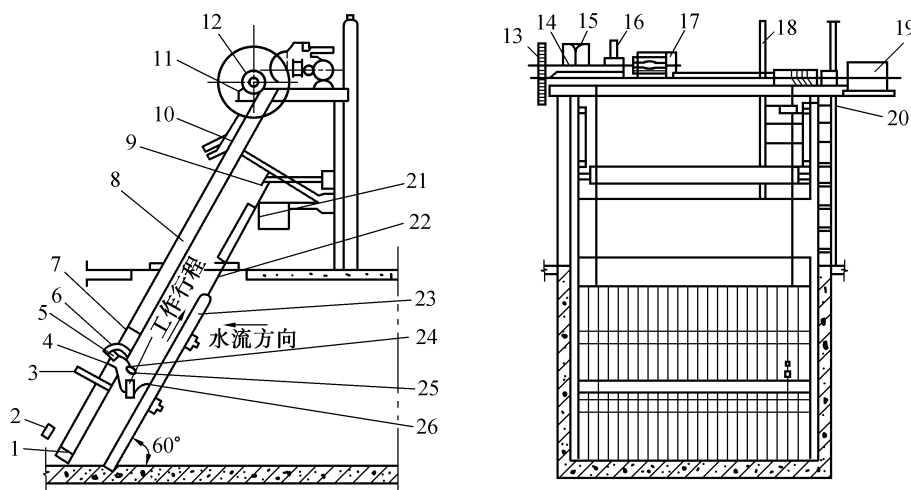
图 2.56 移动式伸缩臂格栅除污机

1—格栅 ;2—耙斗 ;3—卸污板 ;4—伸缩臂 ;5—卸污调整杆 ;6—钢丝绳 ;7—臂角调整机构 ;8—卷扬机 ;9—行走轮 ;10—轨道 ;11—皮带运输机



(a) 主要构架图

1—除污耙 ;2—上导轨 ;3—电动机 ;4—齿轮减速箱 ;5—钢丝绳卷筒 ;6—钢丝绳 ;7—两侧转向滑轮 ;8—中间转向滑轮 ;9—导向轮 ;10—滚轮 ;11—侧轮 ;12—扁钢轨道



(b) 示意图

图 2.57 钢丝绳牵引式格栅除污机

1—滑块行程限位螺栓;2—除污耙自锁机构开锁撞块;3—除污耙自锁栓;4—耙臂;5—销轴;
6—除污耙摆动限位板;7—滑块;8—滑块导轨;9—刮板;10—抬耙导轨;11—底座;12—卷筒轴;
13—开式齿轮;14—卷筒;15—减速机;16—制动器;17—电动机;18—扶梯;19—限位器;
20—松绳开关;21—22—上、下溜板;23—格栅;24—抬耙滚子;25—钢丝绳;26—耙齿轮

表 2.15 各种机械格栅特点比较

序号	类 型	优 点	缺 点	适用范围
1	链条式	(1)构造简单,制造方便,容易操作 (2)占地面积小	(1)套筒滚子价格高,耐腐蚀性差 (2)杂物在链条与链轮之间时容易卡住	(1)适宜清除长纤维,带状的污染物 (2)适宜较浅的大、中、小型格栅
2	移动伸缩臂式	(1)钢丝绳在水上,运行寿命长 (2)不清渣时设备在水面上,维护检修方便	(1)移动时耙齿与栅条间隙的对位较困难 (2)需三套电动机及减速器。构造复杂	适用于中等深度的宽大格栅
3	钢丝绳牵引式	无水下固定部件,维护检修方便	钢丝绳干、湿交替工作易腐蚀,应采用不锈钢钢丝绳	固定式适用于中、小型格栅,移动式适用于宽大型格栅

2.5.2 设计计算

格栅的设计计算,主要为确定栅槽宽度、过栅水头损失、栅后槽总高度、总宽度及日栅渣量等。设计计算见图 2.58 及表 2.16。

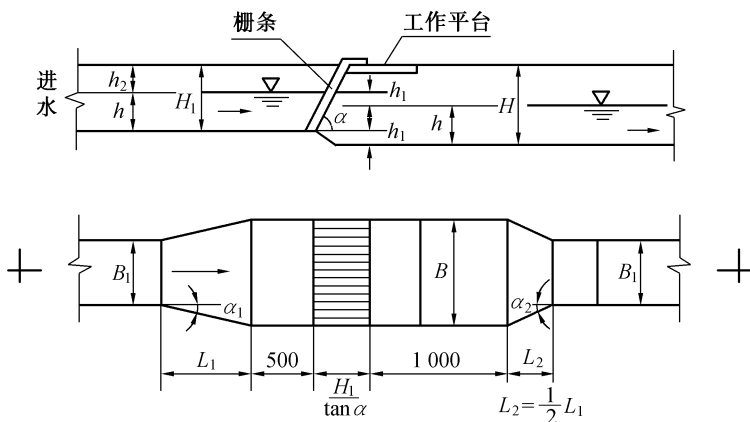


图 2.58 格栅尺寸示意图

表 2.16 格栅设计计算表

序号	名 称	计算公式	说 明										
1	栅槽宽度	$B/m = s(n - 1) + bn$ $n/\text{个} = \frac{Q_{\max} \sqrt{\sin \alpha}}{bhv}$	s —栅条宽度 ,mm b —栅条间隙 ,mm n —栅条间隙数 ,个 $Q_{\max}$ —最大设计流量 m^3/s α —格栅倾角 h —栅前水深 ,m v —过栅流速(0.6 ~ 1.0 m/s)										
2	通过格栅水头损失	$h_1/m = 3h_0$ $h_0/m = \xi \frac{v^2}{2g} \sin \alpha$	h_1 —设计水头损失 h_0 —计算水头损失 ξ —阻力传数。当栅条断面为正方形时 , $\xi = \left(\frac{b + s}{0.64b} - 1 \right)^2$ 当栅条断面为其他形状时 , $\xi = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{4/3}$ <table><tr><th>栅条断面</th><th>矩形</th><th>圆形</th><th>一头半圆矩形</th><th>两头半圆矩形</th></tr><tr><td>β</td><td>2.42</td><td>1.79</td><td>1.83</td><td>1.67</td></tr></table> 通过格栅水头损失 ,一般采用 0.08 ~ 0.15 m	栅条断面	矩形	圆形	一头半圆矩形	两头半圆矩形	β	2.42	1.79	1.83	1.67
栅条断面	矩形	圆形	一头半圆矩形	两头半圆矩形									
β	2.42	1.79	1.83	1.67									

续表 2.16

序号	名 称	计算公式	说 明
3	栅 后 槽 总高度	$H/m = h + h_1 + h_2$	h —栅前水深 μm h_1 —过栅水头损失 μm h_2 —栅前渠道超高 μm (一般选用 0.3 m)
4	栅 槽 总 长度	$L/m = L_1 + L_2 + 1.0 + 0.5 + \frac{H_1}{\tan \alpha}$ $L_1/m = \frac{B - B_1}{2 \tan \alpha_1}$ $L_2/m = \frac{L_1}{2}$ $H_1/m = h + h_2$	L_1 —进水渠道渐宽部分长度 μm B_1 —进水渠宽 μm α_1 —进水渠道渐宽部分展开角度一般为 20° L_2 —栅槽与出水渠道连接处渐窄部分长度 , m H_1 —栅前渠道深 μm
5	日栅渣量	$w/(\text{m}^3 \cdot \text{d} \cdot ^{-1}) = \frac{86\ 400 Q_{\max} x W_1}{1\ 000 K_2}$	W_1 —栅渣量($\text{m}^3 / (10^3 \text{m}^3)$ 污水),当格栅间隙 为 16 ~ 25 mm 时 , $W_1 = 0.05 \sim 0.10$;当格栅间 隙为 30 ~ 50 mm 时 , $W_1 = 0.03 \sim 0.10$ K_2 —生活污水流量总变化系数

2.5.3 操作运行

格栅的操作运行应做到经常巡回检查 ,定时清除栅渣 ,搞好维修养护 ,消除安全隐患 ,确保正常运行 ,抓好栅渣处置。

1. 经常巡回检查

操作人员要经常巡回检查 ,检查电气开关是否灵敏 ,有无异常声音。做好电动机绝缘检查 ,轴承齿轮发热检查 ,传动件的张紧程度、磨损程度检查 ,主体构件的变形磨损、振动检查 ,钢丝绳的损坏程度检查等 ,并及时维修。注意齿耙位置 ,当倾斜或不稳时 ,不要强行开机 ,以免损坏机器。注意栅前栅后水位流速变化 ,栅渣数量变化 ,除污机运转情况等。发现问题要及时解决。

2. 定时清除栅渣

格栅运行时截留大量栅渣 ,约占污水中悬浮物的 1/10 ,要及时清除。当污物成堆时 ,耙齿不易插入栅隙内 ,影响机器运行。另外 ,栅渣中含许多挥发性毒物 ,若不及时清理会产生异味 ,必要时应在格栅间设备通风措施。格栅运行一段时间后 ,栅渠中可能有部分积砂 ,也应及时清除 ,保证栅渠通畅。

3. 搞好维修养护

格栅应定期维修养护,一般2年漆油一次,保养好的格栅可正常使用8年以上,否则寿命仅3~5年。清污机要定期加注润滑油及检查,清污机钢丝绳错位损坏时,要及时修复或更换。

4. 消除安全隐患

为避免栅渣对人体的危害及减轻工人劳动强度,应尽可能采用机械格栅,为防止污水中挥发性可燃气体引起安全事故,格栅间应通风良好,动力设备应有防爆设施,应保证能在不停水的情况下,及时检修设备。

5. 确保正常运行

调节栅前流量阀门,保证格栅流量均匀分布。当过栅流量过高或过低时,还可用增加或减少投入运行的格栅台数来调节。过栅流速太小时,可能使砂粒沉淀下来,影响栅渠通畅;过栅流速过大时,会使应拦截下来的污染物冲过去,不被截流。因此,必须调节好过栅流速。

6. 抓好栅渣处置

栅渣很脏很杂,其中水的质量分数超过80%以上,储存、运输及处置都很困难,最终处置有空地堆放、填埋和焚烧等三种方法。我国南方一些城市进口国外栅渣挤压机和栅渣打包机,建起了较好的栅渣处置工艺。栅渣经挤压后其中水的质量分数下降到50%~60%,呈半干及自由散跌状态,再打包用皮带输送机运送。

7. 摸索格栅规律

要不断摸索格栅栅距、过栅流速及水头损失三项主要参数数据之间的规律。不同行业单位应根据本单位的污水特征和运行经验,确定适合本单位的格栅的栅距及过栅流速。水头损失是格栅前后水位差,一般为0.2~0.5 m。若过栅水头损失增大,此时可能过栅流速增大,流量增多,也可能是格栅局部有堵塞,要及时通畅。若过栅水头损失减小,此时可能是过栅流速降低,可能有污染物在栅前渠道内沉积,要及时清除。操作人员要认真遵章操作,并逐日、逐月、逐年真实记录运行情况,不断总结清渣工作的经验与教训,摸索清渣规律,提高格栅截污效果。

2.6 筛网

2.6.1 原理构造

造纸、纺织、印染及皮革等各种工业废水,常含有纤维状细长和柔软性细小的悬浮物或漂浮物,不能被格栅截留,也难于沉淀去除,容易缠住水泵叶轴、堵塞过滤填料及管阀,若排入水体,会堵塞鱼鳃黏膜,使鱼类窒息死亡。分离回收这类污染物可使用筛网,先经过格栅截留大尺寸的杂物后再用筛网过滤,也可直接采用筛网过滤。

筛网的滤层是由穿孔金属板或金属网组成,按滤网形式不同分为固定筛网、转筒筛网、转鼓筛网、水力转鼓筛网、转盘筛网及振动筛网等多种类型。

1. 固定筛网(水力筛)

固定筛网构造如图 2.59 及图 2.60 所示。固定筛网适用于去除低浓度的悬浮物,其去除 BOD_5 效果相当于初沉池。固定式筛网(水力筛)的特点是筛网固定安装,依靠水力作用过滤。固定式筛有固定平面式及固定曲面式。

(1)固定平面筛的筛面为平面,进水从高处沿筛网宽度均匀分布过滤。滤后水流入筛面后侧的出水箱而排出。固体污染物沿筛面下滑落入渣槽,然后用螺旋输送机或皮带输送机送走。

(2)固定曲面筛的筛面为曲面,筛网背后上部有配水箱,原水由箱的顶部沿筛网宽度向外溢流,均匀分布在筛面上,水沿筛面过滤后进入出水箱,由出水管排出。污染物沿筛面下滑,落入渣槽,然后由螺旋输送机送走。固定筛网为防堵楔形筛网,筛网孔眼大小为 $0.25 \sim 1.5 \text{ mm}$,还可以根据水质不同情况,在筛网的栅条上再覆以 $16 \sim 100$ 目的不锈钢丝网或尼龙网。筛网处理城市污水时,其水力负荷一般为每 m 筛网宽处理污水量为 $36 \sim 144 \text{ m}^3/\text{h}$,水头损失为 $1.2 \sim 2.3 \text{ m}$,悬浮物去除率为 $5\% \sim 25\%$ 。

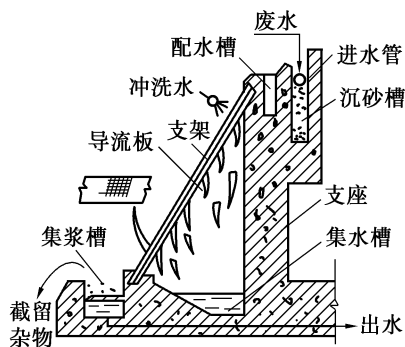


图 2.59 固定平面筛网示意图

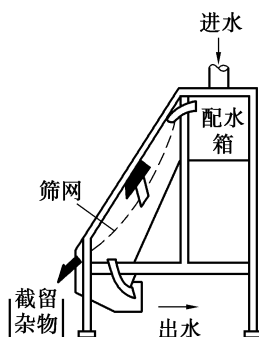


图 2.60 固定曲面筛网示意图

2. 转筒式筛网

转筒筛构造如图 2.61 所示。转筒筛呈圆筒状,含悬浮物的污水进入缓慢转动的网筒内,经筒形筛过滤后的出水与水平旋转轴呈垂直方向通过筛网。转筒内筛网拦截的悬浮物,随转筒旋转带到水面以上时,用冲洗水冲到渣槽并波去除。

3. 转鼓筛网

转鼓筛网构造如图 2.62 所示。污水从鼓外进入,通过筛网孔眼过滤,流入鼓内。纤维等污染物被截留在鼓面上,在其转出水面后经挤压脱水,再用刮刀刮下回收。筛网孔眼大小按每 m^2 的筛网截留 $20 \sim 70 \text{ g}$ 纤维设计,圆周转速为 0.5 m/s 。

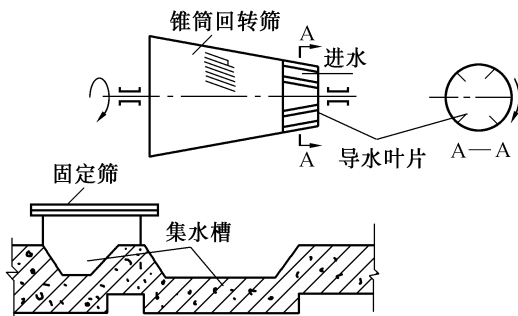


图 2.61 转筒筛网示意图

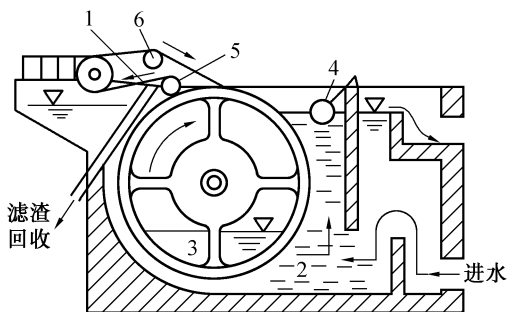


图 2.62 转鼓筛网示意图

1—刮刀 2—转鼓池 3—滤后水 4—水位浮球 5—滤渣挤压轮 6—调整轮

4. 水力转鼓筛网

水力转鼓筛网构造如图 2.63 所示。装置设在水渠出口或水池入口处,含纤维的污水流入转鼓筛网上,随着转鼓旋转,纤维被带至转鼓上部,经加压水冲洗后落在滑纤盘上,滑落至集纤盘上并被清理去除。

此装置的驱动是以水为动力,将冲网水分出一部分直接注入水斗,在水斗重力作用下,使转鼓产生扭矩,致使转鼓转动。该装置结构简单,节约能源,运行费用低,但筛网易腐蚀,需采用不锈钢材质。

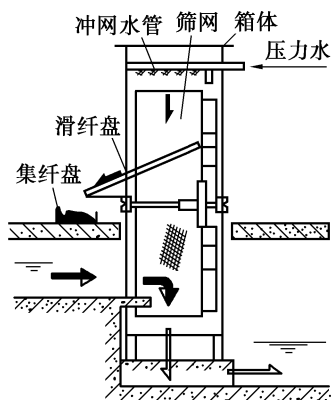


图 2.63 水力驱动的转鼓筛网结构示意图

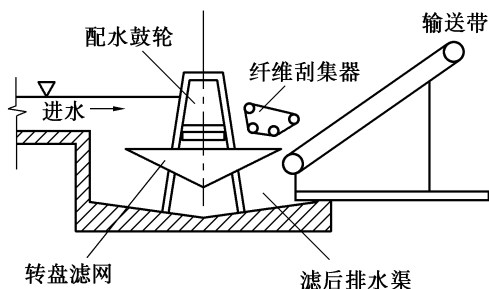


图 2.64 转盘滤网构造示意图

5. 转盘筛网

转盘筛网构造如图 2.64 所示,污水沿进水渠道流入配水鼓轮,通过底部环形缝隙均匀溢向钝锥形穿孔盘,并沿盘面流向周边,待慢流到具有孔眼的周围带后,通过孔眼流入盘下的明渠排出。纤维等杂质被截留在盘面上,运行时钝锥形盘缓速转动,截留在盘面上的纤维

杂质,由纤维刮集器将其刮到输送带上回收。此种装置的过滤能力为 $120 \sim 140 \text{ m}^3/\text{h}$,钝锥形盘直径 $2\,500 \text{ mm}$,转速 2 r/min ,盘面上的孔眼直径 3.5 mm 。

6. 振动筛网

在回收羊毛加工污水时,可使用振动筛网。车间污水以薄层形式流经与水平成 $20^\circ \sim 30^\circ$ 倾斜的振动筛网,被筛网截留并下滑到羊毛收集筛上回收。经过筛网过滤后的污水,由出水槽排出。

2.6.2 设计计算

固定筛的设计计算过程如下。

当固定筛处理城市污水时,水力负荷为每 m 筛宽承受污水 $36 \sim 144 \text{ m}^3/\text{h}$,每 $1\,000 \text{ m}^3$ 污水产生渣量 $0.2 \sim 0.4 \text{ m}^3$,去除悬浮固体 $5\% \sim 25\%$,水头损失在 $1.20 \sim 2.30 \text{ m}$ 之间。

当处理工业污水时,数据通过试验取得。固定筛装置总尺寸见表 2.17。

表 2.17 固定筛设备总尺寸

宽度 /m	长度 /m	高度 /m	质量 /kg	处理能力 /($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
0.61	1.07	1.52	159	760
1.07	1.22	1.52	250	1 520
1.37	1.52	2.14	295	3 400
1.68	1.52	2.14	364	4 530
1.98	1.52	2.14	455	5 680
2.14	2.9	2.23	819	11 000
4.28	2.9	2.23	1 638	22 000
3.4	2.9	2.23	2 450	33 000
8.55	2.9	2.23	3 276	44 000
10.7	2.9	2.23	4 100	55 000

2.6.3 操作运行

(1)为防止筛网孔眼堵塞,特别是油脂对孔眼的堵塞,可根据情况及时用蒸汽或热水冲洗筛网。

(2)及时清除截留的悬浮物杂质是筛网正常工作的关键,操作人员应定时巡查处理,发现杂物堵塞要及时用人工除堵。

(3)筛网工作总是处于干湿交替工作状态,所以其设备需采用耐腐蚀的材质。

(4)其他操作运行注意的事项可参照格栅操作运行部分。

2.7 过 滤 池

2.7.1 基本原理

1. 净水原理

将污水均匀而缓慢地通过过滤材料,去除污水中的悬浮物及胶体,使水得到澄清的构筑物称为滤池。

滤池可去除污水中的悬浮物和胶体杂质,特别是使用重力沉淀法不能有效去除的微小颗粒和细菌,对浊度、COD、BOD等都有一定的去除作用。

滤池净水原理是一个复杂的物理化学过程,主要是截滤、吸附及沉淀等作用。

(1)截滤。滤料层由大小不同的滤料颗粒组成。滤料颗粒之间的空隙就像一面筛子,当污水流经滤料层时,比筛孔大的悬浮物颗粒,首先被截滤。随着截滤的继续进行,空隙处愈来愈小,并形成由被截滤的悬浮物构成的滤膜,可继续截滤后来的细小悬浮物。

(2)吸附。滤料有巨大的表面积,因而具有较强的吸附污水中悬浮物的能力。污水在滤料弯曲的表面及空隙中流动时,污水中悬浮物与滤料紧密接触而被吸附。此外一些滤料常带电荷,还能吸附带相反电荷的悬浮物颗粒。

(3)沉淀。滤池的表面积可以视为层层叠起来的很大的沉淀池。当污水通过时,悬浮物颗粒可沉淀到滤料表面上而与水分离。

2. 滤水过程

废水进入滤料层,较大的悬浮物颗粒被截滤,而较细小的悬浮物可被已截滤的悬浮物截滤。部分被截滤吸附不牢的悬浮物可能被水流剥离,但又会被下层滤料截滤。随着过滤时间的延长,滤料表面的吸附量愈来愈大,空隙变小,水流速度增大,一些已截滤吸附的悬浮物又会随水带出滤层,使出水水质变坏,这时滤池已完成了一个周期的运转,需要进行反冲洗。

3. 滤池种类

过滤池的种类很多,按流速可分为慢滤池、快滤池和高速滤池。慢滤池滤速一般为 $0.1 \sim 0.3 \text{ m/h}$,虽然其出水水质较好,但处理能力太小,实际工程上很少采用;快滤池滤速一般为 $5 \sim 20 \text{ m/h}$,处理能力大,实际工程应用广泛;高速滤池,如纤维球等新型滤料滤池,滤速可达 $20 \sim 30 \text{ m/h}$ 。

按滤料层形式可分为单层滤料滤池(石英砂)、双层滤料滤池(无烟煤+石英砂)、多层滤料滤池(无烟煤+石英砂+磁性矿石)。另外,还有塑料、纤维球等新型滤料滤池。按过滤驱动力可分为重力滤池及压力滤池,压力滤池水头损失一般为 $6 \sim 7 \text{ m}$,而重力滤池水头损失为 2 m 左右。

按滤池控制方式可分为普通快滤池、虹吸滤池、无阀滤池、脉冲滤池、移动罩滤池、移动床滤池、辐流滤池及上流式滤池,按运行方式可分为间歇滤池(过滤和冲洗交替进行)和连续滤池(如移动床滤池)等,按滤料的多孔性分为微滤机、捞毛机等。

2.7.2 普快滤池

普通快滤池简称普快滤池,其构造如图 2.65 所示。普快滤池由池体及池体外部的进水管、进水支管、冲洗水管及冲洗水排水管等组成。池体内部由配水槽(冲洗水排水槽)、集水渠、滤料层、垫料层(承托层)及排水系统(配水系统)组成。

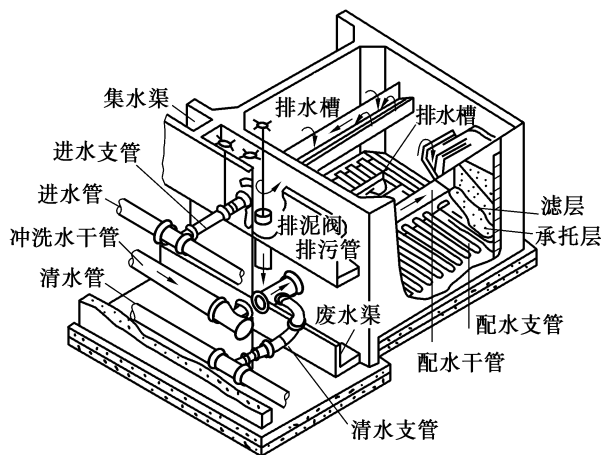


图 2.65 普通快滤池的结构示意图

1. 过滤过程

滤池工作时,首先开启进水支管及出水支管的阀门,关闭冲洗支管阀门和排水阀。污水经进水总管、支管经集水渠进入滤池。由布水槽(排水槽)均匀分配到滤料表面,自上而下穿过滤料层及垫料层。再由排水(配水)支管收集,经排水(配水)干管、清水支管及清水总管流出。

滤池工作一段时间后,滤料层截留的悬浮物增多,处理效果下降达不到要求时,此时要停止过滤,进行反冲洗。反冲洗时,首先关闭进水支管及出水支管的阀门,开启排水阀及冲洗支管上的阀门,冲洗水由水箱或专用水泵供给。经冲洗水总管、支管及支管上孔口进入滤池,由下而上穿过垫料层及滤料层,均匀分布在整个滤池断面,冲洗过的水流入排水槽,经集水渠及排水管排出,反冲洗完毕后又进入下一个过滤周期。两次反冲洗的时间间隔称为过滤周期,从反冲洗开始到反冲洗结束的时间称为反冲洗历时。

2. 滤料层

(1)对滤料的要求。滤料是滤池的核心部分,滤料质量直接影响出水水质,对滤料的要

求如下。

①滤料应有足够的机械强度,在冲洗过程中不因碰撞或摩擦而破碎。

②滤料应耐腐蚀,化学性能稳定。耐腐蚀度可用质量分数为 1% 的硫酸钠水溶液浸泡 28 d,其质量减少值不大于 1% 为宜。

③外形近于球形,表面粗糙,具有较大的比表面积和孔隙率。

④滤料不得含有对人体健康和生产有害的物质。

⑤滤料要尽可能就地取材,货源充足,价格低廉。

(2)滤层的厚度。滤层的厚度取决于污水水质。当水质悬浮物含量较少时,宜采用厚度小、粒径小的滤料层,相反应选择厚度大、粒径大的滤料层。滤层厚度一般采用 0.7 m,另外,可选择双层或三层滤料滤池。双层滤料滤池为在石英砂滤料层上加一层无烟煤滤料。污水先经大粒径的无烟煤层,再经过小粒径的砂层,可提高滤速,延长过滤周期。三层滤池则是在原双层滤料层之下增加一层密度较大而粒径较小的石榴石或磁铁矿石,可进一步提高滤速,延长过滤周期。

3. 粒径与级配

滤料粒径与级配应适应过滤的要求。如果滤料粒径过大,悬浮物会直接穿过滤料层,使过滤效果不佳;当滤料粒径太小时,会缩短滤层的工作周期。一般要求石英砂滤料的粒径为 $d_{\max} = 1.2 \text{ mm}$, $d_{\min} = 0.5 \text{ mm}$ 。另外滤料还应有适当的级配,尽量均匀。如果滤料不均匀,对过滤及反冲洗都不利。

滤料级配是指滤料中粒径不同颗粒所占的比例,用不均匀系数 k_{80} 表示,一般快滤池采用 $k_{80} = 2.0 \sim 2.2$, $d_{10} = 0.5 \sim 0.6$ 。

$$k_{80} = \frac{d_{80}}{d_{10}}$$

式中 d_{80} ——通过滤料样品质量 80% 的筛子的孔径, mm;

d_{10} ——通过滤料样品质量 10% 的筛子的孔径, mm。

k_{80} 值越大,表示滤料级配越不均匀,滤料粒径大小差别大,滤层孔隙率小,过滤时水头损失增大,截污能力减少,不利用过滤。当反冲洗时,可能出现大颗粒冲不动,小颗粒随水流失或小颗粒填充在大颗粒孔隙内的现象,使截污能力减少,水头损失增大,相反,若 k_{80} 过小,则筛分困难。

4. 垫料层(承托层)

垫料层由卵石或碎石等较大颗粒材料组成,铺设在滤料层下面。垫料层(承托层)的作用一是防止滤料由配水系统上的孔眼流失;二是当反冲洗时需保持滤层稳定,并对均匀配水起到辅助作用。

对垫料层的要求是:垫料层不被反冲洗冲动,形成的孔隙要均匀,使配水均匀,机械强度高,化学稳定性好,不溶于水。垫料层按颗粒大小分层铺设,垫料层上层与滤料层接触,粒径

一般不小于 2 mm,最大为 32 mm,大于配水管孔隙直径的 4 倍。下层与配水系统接触,其粒径大小应与滤料与配水系统相适应,详见表 2.18。

表 2.18 大阻力配水系统垫料层颗粒粒径与厚度

层次(自上而下)	塑料粒径尺寸/mm	垫料层厚度/mm
1	2~4	100
2	4~8	100
3	8~16	100
4	16~32	100

5. 配水(排水)系统

在过滤池工作时能均匀收集过滤水,在反冲洗时能保证流量均匀分布在整個滤池面积上的装置称为配水系统,位于滤池底部。滤池的配水(排水)系统,分为大阻力配水系统和小阻力配水系统。普通快滤池采用的是由一条干管或多根支管组成系统,在支管下部管中心垂直直线的两侧 45° 开孔,孔眼左右错开,称为大阻力排水系统,其构造如图 2.66 所示。

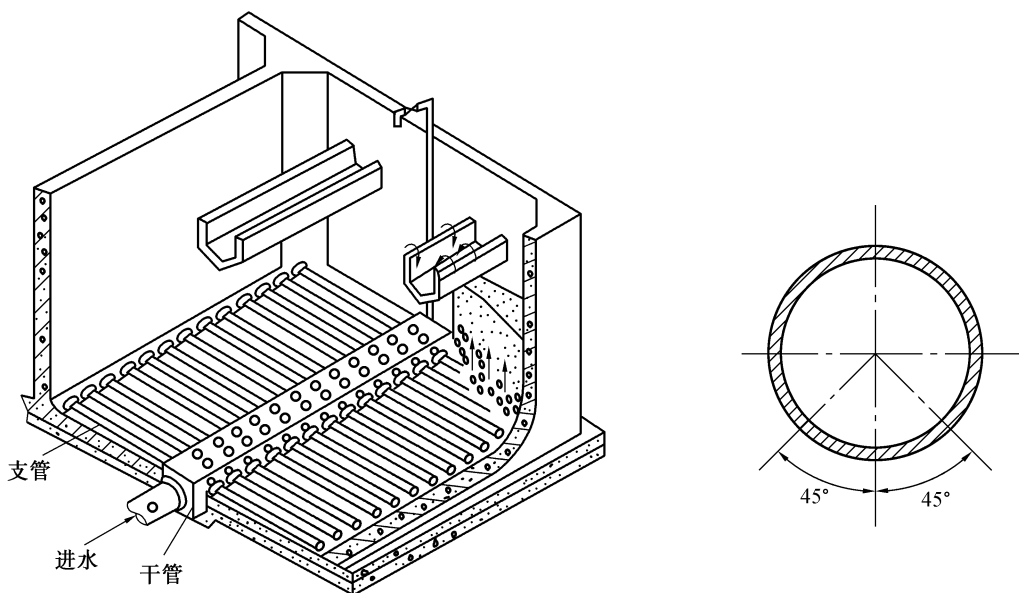


图 2.66 穿孔管大阻力配水系统

大阻力配水系统的优点为配水均匀,工作可靠,基建费用低。缺点是构造复杂,孔口水头损失大,管道容易结垢,检修困难。快滤池一般均使用大阻力排水系统。

小阻力配水系统不采用穿孔管,而是在滤池底部设较大的配水池。在其上面铺设阻力较

小的多孔滤板、格栅及滤头等,其水头损失小。但配水不够均匀,一般适用于虹吸滤池及压力式无阀滤池等。

6. 冲洗系统

滤池经过一段时间运行后,水头损失增大,截污量增多,需要进行冲洗,以恢复滤料层的截污能力。反冲洗过程是从滤料层底部送入冲洗水,逆过滤时的水流方向对滤料进行冲洗。

滤池冲洗的方法有高速水流冲洗、气水冲洗、表面冲洗与机械翻动辅助冲洗等。

(1) 高速水流冲洗。高速水流冲洗采用大流速水流,从滤池底部的配水系统反向通过滤层,在水流的托顶作用下整个滤层达到流化状态,并保持一定的膨胀度。此时,截留于滤层中的污物,在水流剪力和滤料颗粒碰撞摩擦力的双重作用下,从滤料表面脱落下来,然后被反冲洗水带出滤池。

此种方法的优点是操作方便,设备简单。缺点是冲洗耗水量大。

滤层膨胀度及冲洗强度可分别表示为

$$e/\% = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100$$

式中 e ——滤层膨胀度,%;
 l_0 ——滤层膨胀前厚度,cm;
 l ——滤层膨胀后厚度,cm。

$$q = \frac{Q}{A}$$

式中 q ——冲洗强度,即单位时间内单位滤池面积上通过的冲洗水量, $L/(s \cdot m^2)$;
 Q ——冲洗水量, L/s ;
 A ——滤池的表面积, m^2 。

冲洗强度、膨胀度及冲洗时间可根据经验参阅表 2.19。

表 2.19 冲洗强度、膨胀度与冲洗时间

序 号	滤 层	冲洗强度 $[L \cdot (s \cdot m^2)^{-1}]$	膨胀度 /%	冲洗时间 /min
1	石英砂滤料	12 ~ 15	45	5 ~ 7
2	双层滤料	13 ~ 16	50	6 ~ 8
3	三层滤料	16 ~ 17	55	5 ~ 7

(2) 气水冲洗。气水冲洗是通过滤池底部布气系统通入压缩空气 3 ~ 4 min。空气在滤料颗粒孔隙间上升过程中发生气泡的振动,可有效地将滤料表面的污物擦洗下来。然后再用强度较低的水流进行反冲洗,把污物排于池外。

气冲强度为 10 ~ 20 $L/(S \cdot m^2)$ 水的冲洗强度;当气水同时反冲时,3 ~ 4 $L/(S \cdot m^2)$;当

单独水冲时 $4 \sim 6 \text{ L}/(\text{S} \cdot \text{m}^2)$,总的冲洗时间 $6 \sim 10 \text{ min}$ 。此法的优点是冲洗效果好,节省冲洗水量,膨胀度很小,冲洗结束后,滤料层不产生明显的上细下粗现象,这样滤层的孔隙均匀分布,容污量大。缺点是设备复杂,操作麻烦。

(3) 表面冲洗。表面冲洗是利用安装在滤池表面上的喷嘴喷射水流,向下对滤池表面滤料进行清洗。表面冲洗有固定式和旋转式两种形式,如图 2.67 所示。固定式喷水穿孔帽位于砂面以上 5 cm ,喷嘴孔径 $3 \sim 6 \text{ mm}$,喷水压 500 kPa ,冲洗强度 $1.4 \sim 2.8 \text{ L}/\text{m}^2$ 。

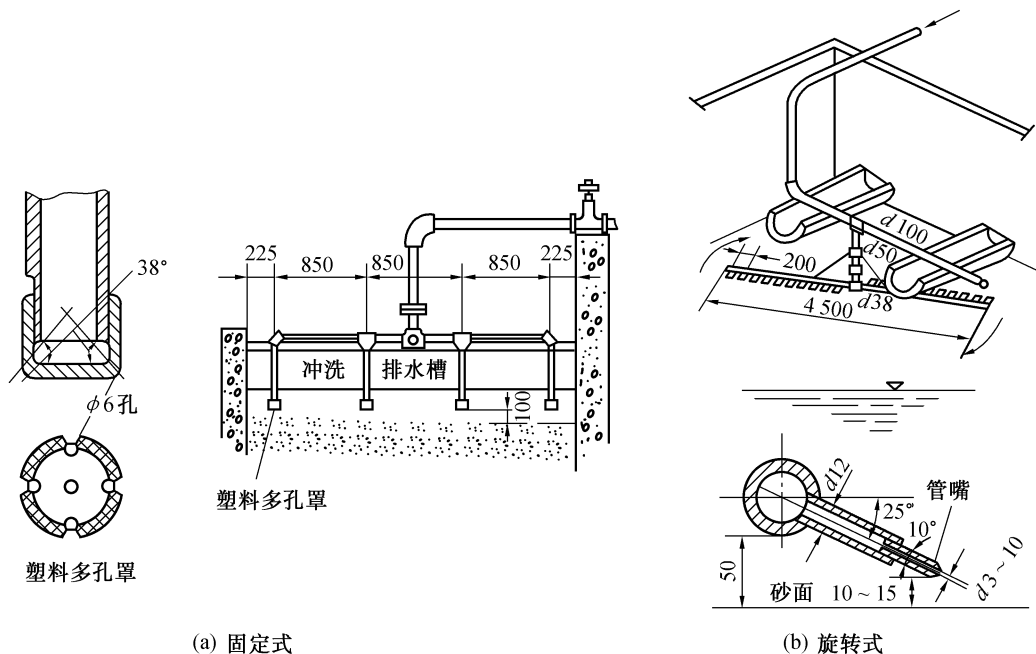


图 2.67 表面冲洗装置结构示意图

(4) 机械翻动辅助冲洗。当使用上述冲洗效果不够好时,可辅以机械翻动冲洗。机械翻动清洗是使用桨式搅拌器,在用水清洗的同时进行强烈的搅拌或混合,以加大滤料颗粒间的接触机会及摩擦力,促使截留的污染物与滤料颗粒有效分离。

7. 冲洗构筑物

(1) 排水槽。在整个滤池面积上均匀安设排水槽,作用是均匀收集冲洗水。排水槽同时又是过滤进水的配水槽。

(2) 集水渠。集水渠的作用是汇集排水槽的冲洗水,再通过冲洗管道排走。同时也起着连接进水管的作用,也称进水管。

(3) 水箱与水泵。通常冲洗水的方法有高位水箱供水法与专设的冲洗水泵供水法,如图 2.68 及图 2.69 所示。

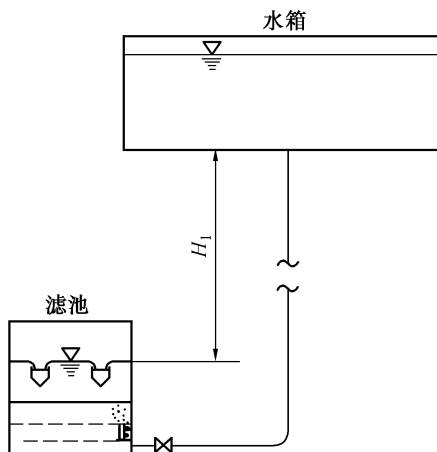


图 2.68 用水箱供给滤池冲洗水

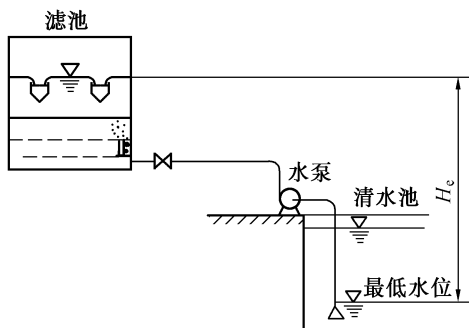


图 2.69 用水泵供给滤池冲洗水

冲洗水箱容积

$$V/\text{m}^3 = \frac{1.5qFt60}{1\,000} = 0.09qFt$$

式中 F ——单格滤池面积 m^2 ;
 q ——冲洗强度 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;
 t ——冲洗历时 min 。

冲洗水箱存水量至少为滤池冲洗量的 1.5 倍。为避免冲洗初期与末期水头相差过大,冲洗水箱深度一般不超过 3 m。

冲洗水箱箱底距冲洗排水槽顶部的高度为

$$H_1/\text{m} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

式中 h_1 ——水箱与滤池间冲洗管道中沿途及局部水头损失之和 m ;
 h_2 ——配水系统水头损失 m ;
 h_3 ——承托层水头损失 m ;
 h_4 ——冲洗时滤层的水头损失 ;
 h_5 ——备用水头 m (一般取 1.5 ~ 2.0 m)。

$$h_3 = 0.22H_g \cdot q$$

式中 H_g ——承托层厚度 m ;

$$h_4 = (\rho - 1)(1 - \varepsilon_0)l_0$$

式中 ρ ——滤层密度,石英砂为 $2.65 \text{ kg}/\text{m}^3$;
 ε_0 ——滤料未膨胀前的空隙率 % ;
 l_0 ——滤料未膨胀前的厚度 m 。

使用专设的冲洗水泵供水时,水泵流量为冲洗一个(格)滤池所需水量。水泵扬程为

$$H_p = H_e + H_{pl} + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

式中 H_e ——冲洗排水槽顶与清水池最低水位之间的高差 m ;

H_{pl} ——清水池与滤池间冲洗管道沿途及局部水头损失之和 m 。

其他符号含义同前。

2.7.3 其他滤池

除普通快滤池外,在实际工程上应用的其他滤池有虹吸滤池、无阀滤池、辐流滤池、脉冲滤池、移动床滤池、移动罩滤池、上向流滤池、压力滤池、多层滤料滤池、新滤料滤池、慢滤池、微滤机及捞毛机等。

1. 虹吸滤池

虹吸滤池的构造如图 2.70 所示,图右半部表示过滤过程。进水由进水槽 1 流入环形配水槽 2,经进水虹吸管 3、单个滤池进水槽 4、进水堰 5 和布水管 6 流入滤池。经过滤料层 7 和配水系统 8 流入集水槽 9,再经出水管 10 和出水井 11,由控制堰流出滤池。随着过滤时间的持续,过滤过程中水头损失不断增大,池内水位不断上升到一定高度(一般 1.5 ~ 2.0 m)时,破坏进水虹吸管真空停止进水,滤池开始反冲洗。

图左半部表示滤池反冲洗过程。开启真空系统 12,使冲洗虹吸管 13 形成虹吸,将池内存

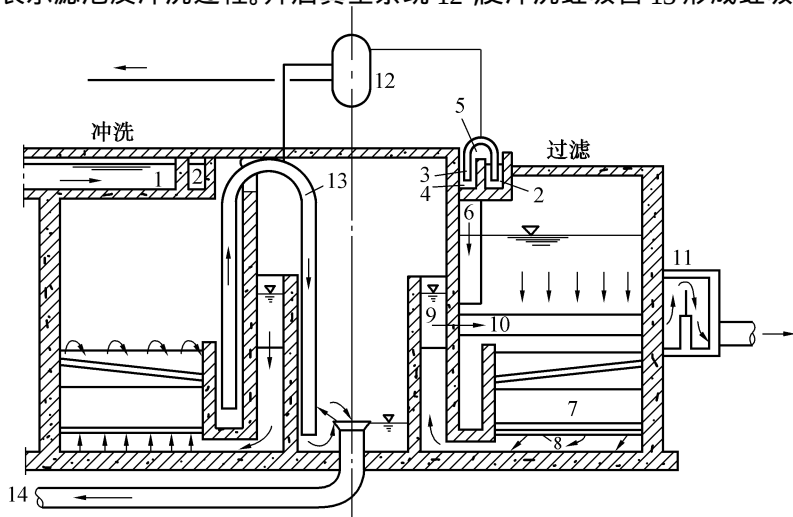


图 2.70 虹吸滤池构造和工作原理示意图

1—进水槽 2—环形配水槽 3—进水虹吸管 4—单个滤池进水槽 5—进水堰 6—布水管 7—滤料层 8—配水系统 9—集水槽 10—出水管 11—出水井 12—真空系统 13—冲洗虹吸管 14—冲洗排水管道

水抽至滤池中部,冲洗水由冲洗排水管 14 排出。其过程为:集水槽 9 的水反向流过滤层冲洗滤料,反冲洗水经排水槽至虹水管进口抽走。当滤料冲洗干净后,破坏虹吸管真空启动进水虹吸管,滤池又进入过滤阶段。

虹吸滤池一般采用单层滤料,其优点是无大型阀门,不设专门的冲洗设备,自动化程度高,恒速过滤,采用水头损失较小的小阻力排水系统。缺点是滤料粒径、厚度及反冲洗强度受到限制,结构复杂,适用于中型给水厂,在污水处理上应用较少。

2. 无阀滤池

无阀滤池构造如图 2.71 所示,无阀滤池是利用水力学原理,通过进水与出水的压差自动控制虹吸的产生与破坏,实现自动运行的滤池。污水从进水管 2 进入滤池,自上而下通过滤床,滤后水经连接管进入贮水箱。待水箱充满后,由出水管 12 排出清水池。随着过滤的延续进行,水头损失逐渐增大,虹吸上升管 3 的水位逐渐上升,当达到虹吸管管口时,污水就从辅助管下落,并抽吸虹吸管顶部的空气,这时虹吸管出现负压而投入工作,滤池进入反冲洗阶段。贮水箱的清水自下而上流过滤床,冲洗滤料层,反冲洗水由虹吸管排入排水井。当贮水箱水位下降至虹吸破坏管口时,虹吸管进入空气,虹吸被破坏,反冲洗结束,滤池又恢复过滤状态。

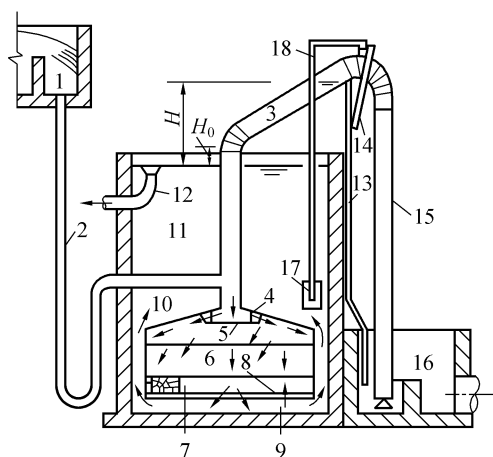


图 2.71 开敞式无阀滤池构造示意图

1—进水分槽 2—进水管 3—虹吸上升管 4—顶盖 5—挡板 6—滤料层 7—承托层 8—配水系统 9—底部空间 10—连通管 11—冲洗水箱(清水池) 12—出水管 13—虹吸辅助管 14—抽气管; 15—虹吸下降管 16—水封井 17—虹吸破坏斗 18—虹吸破坏管

无阀滤池为单层石英砂滤料,滤速可达 $4.8 \sim 24 \text{ m/h}$ 。其优点为无大型阀门,小阻力排水系统,可实现自动运行,操作方便,稳定可靠,不用专设反冲洗设备,结构简单,造价低廉。缺点为滤料进出困难,滤池冲洗时原水也由虹吸管排出,浪费部分澄清的原水。

3. 辐流滤池

辐流滤池构造如图 2.72 所示,污水由进水管 1 进入滤池中央的穿孔配水室 2,沿辐流方向通过滤床进入外壁的集水室 3,再流到清水池 4,脏滤料在水压与底部空气提升器的作用下,排出和清洗,然后送入池顶部,清洗水在滤池顶部与滤料分离后排出,滤料再回流到滤池。此种滤池的特点为滤层得到充分利用,单位体积滤料的产水能力高。

4. 脉冲滤池

脉冲滤池构造如图 2.73 所示。原水由进水槽流入滤池,过滤后的水由出水口排出。随着过滤的持续进行,滤层水头损失增加,当水位上升达到空气搅动液位电极 1 时,开启空压机使低压空气进入位于池表面的空气扩散管 4,在气泡从扩散管排出上升到水面的过程中,搅动滤池表面,使滤池表面截留的污染物又重新浮于水中,这时滤池仍然在工作;再经过一段时间,水位上升到脉冲搅动液位电极 2 时,滤池进行脉冲清洗,可重复进行 6 ~ 10 次;当水位再上升到液位电极 3 时,滤池进行反冲洗,反冲洗后,重新开始下一个过滤周期。就这样重复地进行“空气搅动—脉冲搅动—反冲洗”循环。

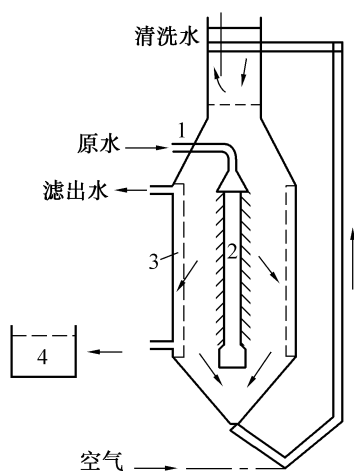


图 2.72 辐流滤池的工作原理

1—进水管 2—穿孔配水室;
3—集水室 4—清水池

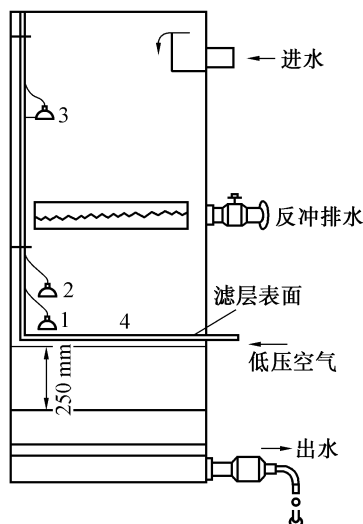


图 2.73 脉冲滤池构造示意图

1—空气搅动液位电极 2—脉冲搅动液位电极;
3—液位电极 4—空气扩散管

5. 移动床滤池

移动床滤池构造如图 2.74 所示。污水由进水管 1 流入滤池,过滤后出水由滤床下部集水管 2 流出。当水力驱动的隔膜 3 向上鼓动时,推动整个滤层 4 逆水流方向移动,最大移动速度 0.3 m/h,池表面的脏砂被推出滤池落入砂斗 6,再送到洗砂装置 5 进行反冲洗。当隔膜还原

时,滤层下部出现空容积,洗净的砂便从洗砂装置 5 落入滤池下部,如此循环,可连续进行过滤。此种设备的优点是处理的悬浮物含量范围大。此种设备仅限于处理小流量污水。

6. 移动罩滤池

移动罩滤池构造如图 2.75 所示。移动罩滤池是在滤池上装有冲洗水泵和排水泵的移动罩,滤池被分隔成若干个细长的格间。过滤时,水从上向下流过滤料层,经滤板到出水渠。随着过滤时间的延长,过滤阻力增大,池内水位逐渐上升,当水位达到预定值时,将移动罩移至过滤格间。这时,水泵把冲洗水由出水渠送到滤池下

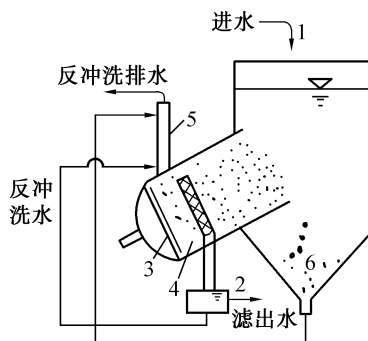


图 2.74 移动床滤池结构示意图

1—进水管 2—集水管 3—水力驱动的隔膜；
4—滤层 5—洗砂装置 6—砂斗

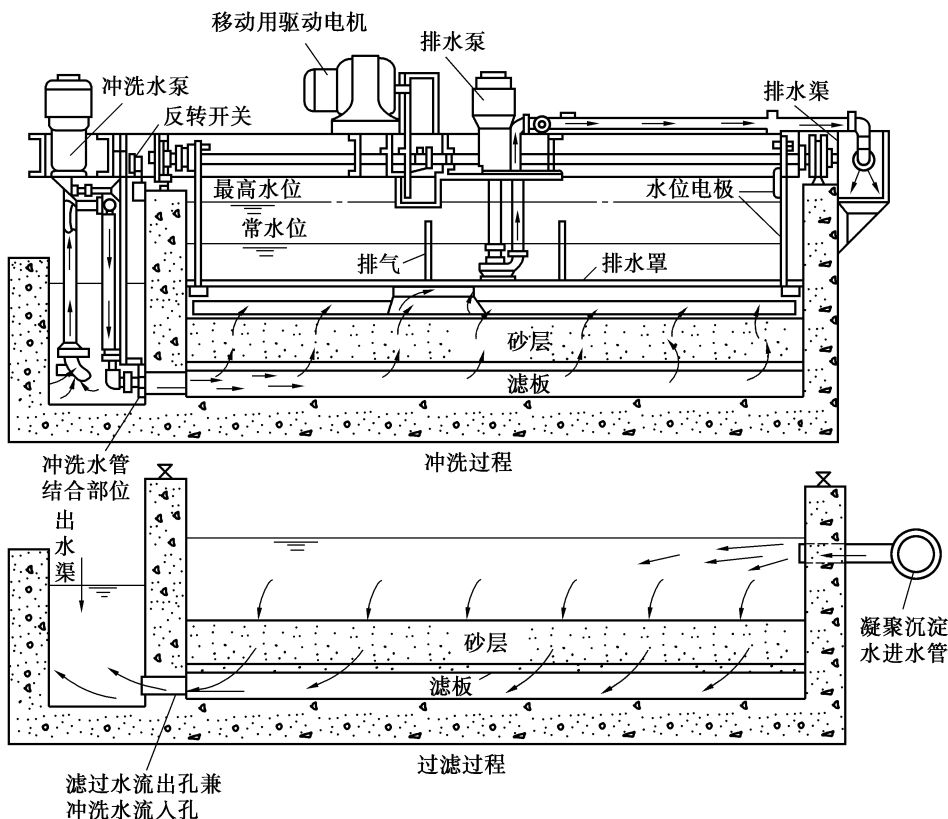


图 2.75 移动罩滤池结构示意图

部,冲洗排水通过池上部的排水罩收集后经排水泵排出池外。

此种滤池的优点是池深浅、结构简单,不需设大量阀门设备。缺点是移动洗砂设备复杂。

7. 上向流滤池

上向流滤池构造如图 2.76 所示。污水从滤池下部流入,向上流经滤层(滤层分为三层,各层滤料粒径由小逐渐变大),过滤后的水流由上部流出。各层滤料构造如下。

第一层为细砂层,粒径 $1 \sim 2 \text{ mm}$,厚度 150 mm 。

第二层为中砂层,粒径 $2 \sim 3 \text{ mm}$,厚度 300 mm 。

第三层为粗砂层,粒径 $10 \sim 16 \text{ mm}$,厚度 250 mm 。

承托层卵石,粒径 $30 \sim 40 \text{ mm}$,厚度 100 mm 。

此种滤池冲洗时与过滤时的水流方向相同,滤料下部安装了设有许多喷嘴的配水室,以达到均匀布水的目的。为防止气泡进入滤层引起气阻,设排气阀将水中气体排至池外。上向流滤池的优点是配水均匀,滤层的截污能力强,水头损失小,过滤周期长。缺点是被截的污物在滤池下部,滤料不易冲洗干净。对悬浮物浓度高的污水为延长过滤周期,提高滤池截污量,可采用此种上向流滤池,也可用粗滤料、双层或多层混合滤料的上向流滤池。

8. 压力滤池

压力滤池的构造如图 2.77 ~ 2.79 所示,压力滤池有立式及卧式。立式因横断面积限制,多为小型过滤设备;处理较大水量时,可采用卧式过滤池。

压力滤池的特点如下。

(1) 压力滤池为封闭的承压装置,污水中所含悬浮物浓度较高时,过滤水头损失增加较快,达 $6 \sim 7 \text{ m}$,而重力滤池装置水头损失一般为 2 m 。

(2) 压力滤池的出水有余压,流入后续处理构筑物时,不必再次提升。

(3) 压力滤池为封闭式的,可防止有害气体从污水中逸出污染环境。

(4) 压力滤池可多个并联,各滤池的出水管可连接起来,当其中一个滤池进行反冲洗时,冲洗水可由其他几个滤池出水供给,这样可省去反冲洗水箱和水泵。

压力滤池常使用下流式单层滤料、两层滤料或三层滤料,其工作过程为进水由罐上部进入,经过滤后由下部流出。通过滤过的余压,将水输送出。排水系统为过滤头、反冲洗污水通过顶部漏斗或设在挡板处的进水管收集排除。压力罐外部,还装有压力表、取样管等。

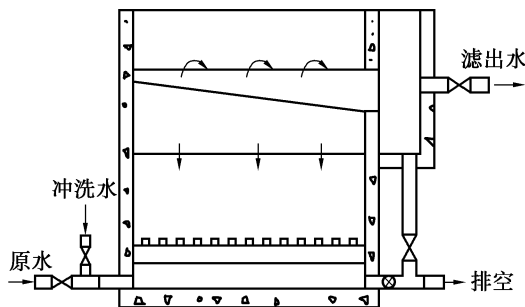
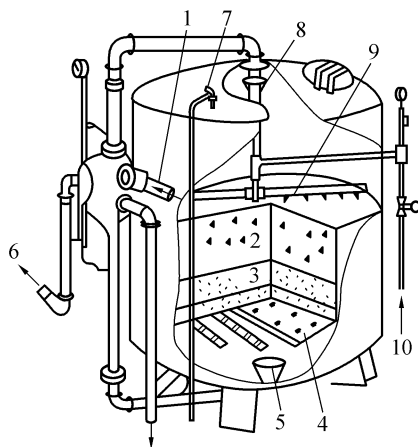
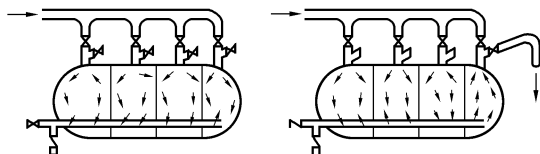


图 2.76 上向流滤池结构示意图



立式压力滤池结构示意图



卧式压力滤池工作情况

图 2.77 压力滤池的结构和工作情况

1—进水管 2—无烟煤滤层 3—砂滤层 4—滤头 5—下部配水盘 6—出水口 7—排气管；
8—上部配水盘 9—旋转式表面冲洗装置 10—表面冲洗高压水进口

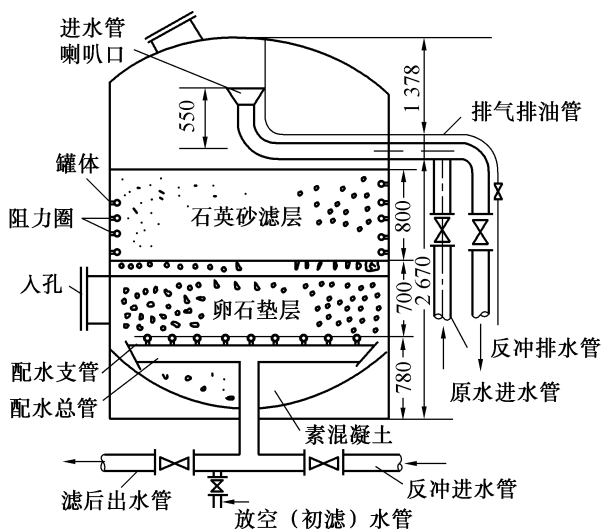


图 2.78 压力式过滤罐结构示意图

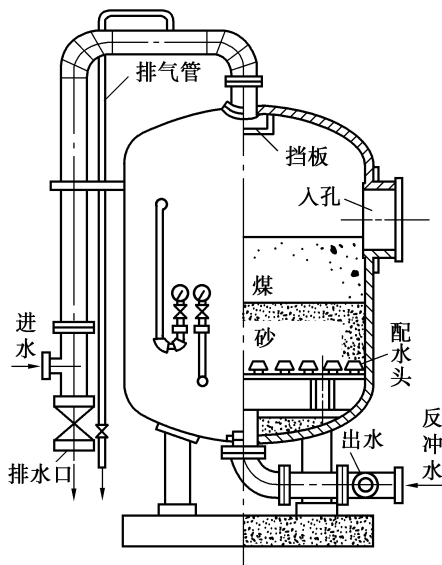


图 2.79 立式两层滤料的压力过滤器结构示意图

9. 多层滤料滤池

多层滤料滤池的构造如图 2.80 所示，多层滤料滤池有双层滤料滤池或三层滤料滤池。双层滤料滤池上层为无烟煤（密度 $1.4 \sim 1.6 \text{ kg/m}^3$ ），下层为石英砂（密度为 2.6 kg/m^3 ），上

层的孔隙率大,可截留较多的污物,下层孔隙率小,可进一步截留污物,水头损失增加的也较慢,能较好地发挥整个滤池的过滤作用。在双层滤料的下面再增加一层密度更大的石榴石(密度 4.2 kg/m^3)或磁铁矿石(密度 $4.7 \sim 4.8\text{ kg/m}^3$)便组成了三层滤料滤池。根据滤料层面处分层与否,可以分为混层滤池与非混层滤池。

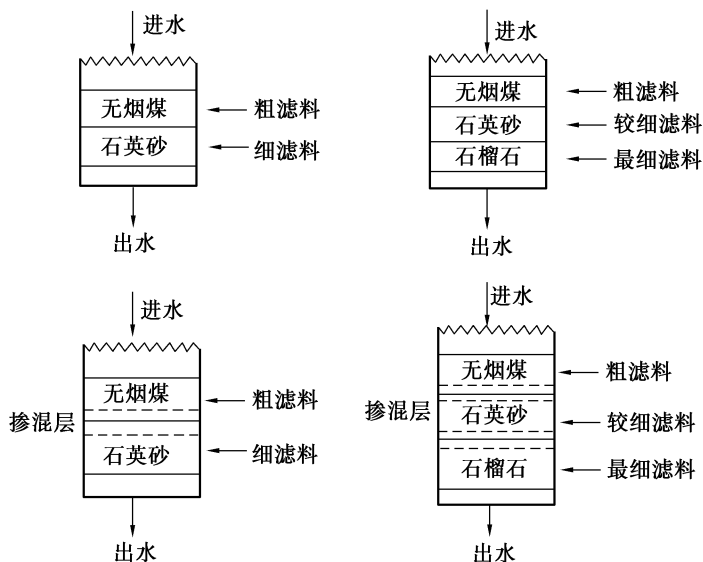


图 2.80 混层和不混层的双层滤料与三层滤料滤池

10. 新型滤料滤池

利用塑料球、纤维球、硅藻土、活性炭及陶粒等作为滤料的滤池,具有滤速高、水头损失小、过滤周期长及冲洗水耗量少等优点。

塑料球-石英砂双层滤料滤池上层采用圆柱形塑料滤料,下层为石英砂滤料。因塑料球比无烟煤滤料粒径大,而且均匀、孔隙率大,所以截污量大。塑料球的密度小,在同样的反冲强度下,塑料球的膨胀率大,清洗效果好,可缩短反冲洗时间,节约冲洗水量,另外,塑料球的磨损率也较小。

采用粒径为 $5 \sim 10\text{ mm}$ 的纤维球滤料,具有耐酸、耐碱及耐磨的作用。流速高达 $20 \sim 30\text{ m/h}$,截污量可达 $4 \sim 5\text{ kg/cm}^3$ 。

硅藻土滤池,过滤净水效率高,但滤池建设费用高,一般仅应用于处理二级出水。

活性炭是木材、煤及石油等物质在高温缺氧条件下制成的吸附剂,具有巨大的比表面积和发达的微孔结构,其比表面积为 $500 \sim 1700\text{ m}^2/\text{g}$,微孔容积 $0.15 \sim 0.9\text{ mL/g}$,表面积占总面积的95%以上。它能有效地过滤去除色度、臭味和各种有机物和无机物,活性炭滤池广泛应用于污水的深度处理。

11. 慢滤池

慢滤池构造如图 2.81 所示。慢滤池是使用最早的滤池,滤速通常只有 $0.1 \sim 0.3 \text{ m/h}$ 。过滤池滤料为粒径为 $0.3 \sim 1.0 \text{ mm}$ 的细砂,滤层厚约 1 m ,承托层为粒径 $1 \sim 32 \text{ mm}$ 的卵石。过滤时原水从上向下流动,经滤床过滤,清水由配水系统收集流出。滤池截留污染物后便会在池的砂床表面形成一层滤膜,滤膜中的微生物又可直接吞噬原水中的细菌及其他污染物,还能分泌起凝聚作用的酶,因此它去除污染物效率高。滤池工作一段时间后水头损失增大,流速减慢或发生堵塞,这时,可将部分滤砂刮掉,补充更换部分干净滤砂。慢滤池生产率低,占地面积大,维修管理麻烦,在实际工程中应用较少,仅在少部分小型污水处理中使用。

12. 微滤机

微滤机构造如图 2.82 所示。微滤机是通过滤网过滤的,孔眼为 $100 \sim 500$ 目。微滤机是一个鼓状的金属框架,上面覆盖着不锈钢的支撑网和工作网。旋转鼓筒置于过滤水贮槽 2 中,部分露出水面。原水由进水槽 3 经孔管(兼作转筒的轴)进入。从鼓筒里向外过滤,过滤后的水沿出水槽 8 引出。鼓筒上方有滤网的冲洗设备 5,鼓筒内排水槽 6 收集冲洗水,沿滤渣液管 7(兼作转筒支撑)排走。

微滤机生产能力大,占地面积小,管理方便,广泛应用于污水处理及回用。

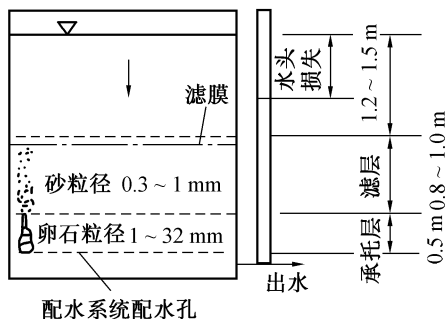


图 2.81 慢滤池结构示意图

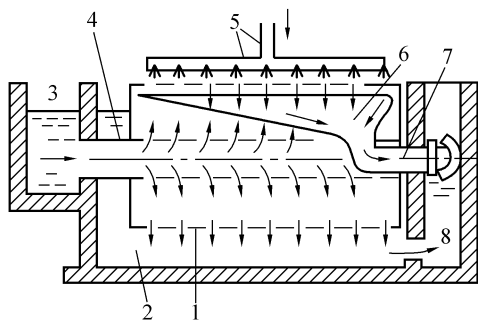


图 2.82 微滤机结构示意图

1—格网 2—过滤水贮槽 3—进水槽 4—转鼓支撑托轮 5—冲洗设备 6—排水槽 7—滤渣液管; 8—出水槽

13. 捞毛机

捞毛机构造如图 2.83 所示。圆筒捞毛机安装在污水渠道出口处,当含纤维的污水杂质进入筛网后纤维被截留在滤网上。筛网旋转时,被截留的纤维杂质转到筛网顶部,此处安装有压力喷水口,纤维杂质被喷水冲洗后,送到输送皮带上,落入小车运出。常用的圆筒捞毛机筛网直径为 2.2 m ,宽 0.8 m ,转速 2.55 r/min 。

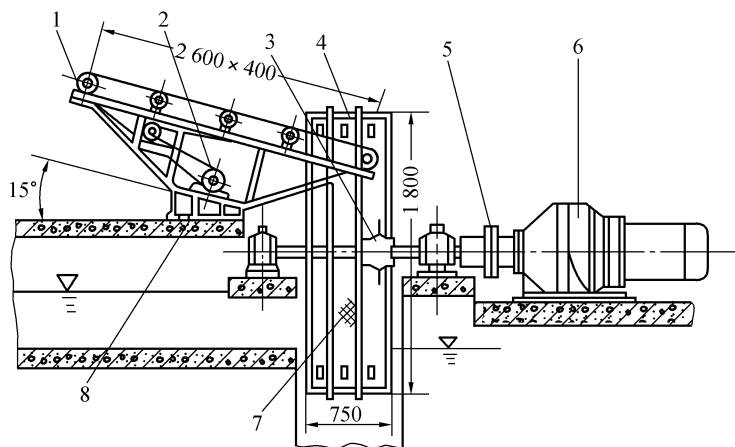


图 2.83 圆筒形捞毛机结构示意图

- 1— 皮带传输机构 2— 筒形筛网轴承座 3— 连接轮毂 4— 筒形筛网框架 5— 联轴器；
6— 行星摆线针轮减速机 7— 筛网 8— 皮带运输机行星摆线针轮减速机

2.7.4 设计计算

普通快滤池的设计计算。

1. 一般规定

(1) 滤池座数不得小于 2 座，一般情况至少应设置 4 座滤池。这样一座滤池冲洗或停产检修时，不会使其他滤池滤速增加过多。

(2) 单池不宜过大，最大面积 130 m^2 ，否则，会导致冲洗布水不均匀及冲洗效果不佳。

(3) 滤池深度一般为 $3.0 \sim 3.5 \text{ m}$ ，其中承托层厚 0.4 m ，滤层厚 $0.7 \sim 0.8 \text{ m}$ ，滤层表面上水深 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$ ，保护高度 $0.25 \sim 0.30 \text{ m}$ ，进水管设计流速 $0.8 \sim 1.2 \text{ m/s}$ ，出水管设计流速 $1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}$ ，反冲洗进水管设计流速 $2.0 \sim 2.5 \text{ m/s}$ ，冲洗排水管设计流速 $1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 。

(4) 进水管、清水管、冲洗水管及排水渠全部设置在管廊中，结构简单，管理方便。

(5) 快滤池的工作周期按出水水质而定，一般为 $8 \sim 12 \text{ h}$ ，最长可达 48 h 。

(6) 冲洗水量，视水厂规模而异。一般消耗水量约为滤池产水量的 $1\% \sim 3\%$ ，深度污水为 $3\% \sim 6\%$ 。

(7) 过滤水通过滤池的总水头损失一般为 $2.5 \sim 3.0 \text{ m}$ 。

(8) 单层滤料滤池的滤速、滤料层高度、滤料粒径见表 2.20。

表 2.20 单层滤料滤池滤速、层高、滤料粒径

滤料类型		滤料粒径 /mm	滤料层高度 /m	滤速 /(m · h ⁻¹)
物理处理后	粗滤料滤池	2 ~ 3	2	10
	大滤料滤池	1 ~ 2	1.5 ~ 2.0	7 ~ 10
	中滤料滤池	0.6 ~ 0.8	1.0 ~ 1.2	5 ~ 7
	细滤料滤池	0.2 ~ 0.4	1	5
生物处理后大滤料滤池		1 ~ 2	1.0 ~ 1.5	5 ~ 7

2. 滤池面积与座数

(1) 滤池总面积

$$F/\text{m}^2 = \frac{Q}{v}$$

式中 Q ——设计污水量 m^3/h ;
 v ——滤池流速 m/h (可采用 $5 \sim 12 \text{ m}/\text{h}$)。

(2) 滤池座数

$$N/\text{座} = \frac{F}{f}$$

式中 N ——滤池座数 ,座 ;
 f ——单个滤池面积 m^2 。

当单池面积小于等于 30 m^2 时 ,长宽比为 $1:1$;当单池面积大于 30 m^2 ,滤池长宽比为 $(1.25 \sim 1.5):1$;当采用旋转式表面冲洗措施时 ,滤池长宽比 $(1 \sim 3):1$ 。

2.7.5 操作运行

(1)各种闸阀应经常检查维修 ,保持良好状态 ,经常及时清除生长在滤池上的藻类 ,保持滤池池壁及排水槽清洁 ,定期对滤层表层滤料进行大强度表面冲洗或更换。

(2)定期放空滤池 ,进行全面检查 ,检查承托层是否松动 ,滤层四周是否发生脱离池壁现象 ,滤层是否平坦 ,是否有裂缝 ,发现问题要及时检修。

(3)检查发现滤池有下述问题时 ,要停池大修。

①当因配水系统堵塞或管道损坏而造成冲洗不均匀 ,应进行维修更换 ,水下部分应做防腐处理。

②当砂面裂缝过多 ,脱离池壁时 ,当冲洗后砂层凹凸不平 ,砂层逐渐降低 ,出水携带大量砂粒时 ,当滤池含泥量增多 ,泥球过多时 ,应将滤料、承托层取出清洗 ,部分更换 ,并对滤池的各部分进行彻底清洗。

③当滤池已连续运行 10 年以上时,应停池大修,补充更换滤料。

(4)滤池清洗、更换滤料重新铺装时,应注意以下问题。

①滤料应分层铺装,要铺平刮匀后再进行下一层铺装。检查铺装高度,滤层实际铺装高度应比设计高出 50 cm。

②如有条件应尽量采用水中撒料装填,然后将水放干,将表层极细砂层及杂物刮掉。

③对于双层滤料,装完底层滤料后,应先进行冲洗,刮除表面极细砂粒及杂物,再进行上层滤料的装填。无烟煤滤料投入滤池后,应在水中浸泡 24 h 以上,再将水排干,冲洗刮平。

④更换滤料完毕初次试水时,应从底部进水浸泡 8 h 以上,方可正式运行。

(5)滤速的控制。滤速是指单位时间内单位面积上的过滤水量。最佳滤速是在滤料、污水水质及滤层厚度一定的条件下,保证出水水质的最大滤速。滤速大,产水量大,但滤池负荷增加,工作周期缩短;滤速小,产水量小,但出水浊度低,工作周期长。要在兼顾产量、水质和运行条件下合理确定滤速,一般单层滤料滤池的滤速应控制在 $8 \sim 10 \text{ m/h}$ 。在实际运行中,确定最佳滤速的方法是:先以低滤速运行,此时出水水质较好,然后逐步提高滤速,出水水质降低,当出水水质接近或等于要求的水质时对应的滤速即为最佳滤速。

(6)工作周期的控制。滤池的工作周期是指开始过滤至需要冲洗时所持续的时间,滤池工作周期可根据滤池内水头损失增至规定最高值或滤池出水水质下降到规定最低值的时间来确定。工作周期的长短受滤速大小与水温高低的影响极大。一般当滤速大、水温低时,工作周期应缩短;流速大时,处理水量增大,截污量也增大,因而必须要缩短工作周期;水温低时,水的黏度增大,污水中的悬浮颗粒不易分离,容易穿透滤层使出水水质变差,因此,必须缩短过滤周期。

(7)冲洗强度及冲洗历时的控制。冲洗强度是单位时间内单位面积上所消耗的冲洗水量。冲洗历时是指从反冲洗开始到反冲洗结束时的间隔时间,即冲洗所用的时间。适宜的冲洗强度、冲洗时间和滤层膨胀率是保证冲洗效果的重要条件。一般掌握单独用水冲洗的砂滤料滤池的冲洗强度为 $12 \sim 15 \text{ L/sm}^2$,冲洗时间 $5 \sim 7 \text{ min}$,膨胀率 45%。

滤池冲洗效果主要取决于冲洗强度和冲洗历时。冲洗强度不能过高或过低,冲洗强度过低时,滤料膨胀不起来,冲洗效果不好;反之,若冲洗强度过高,可使滤层表面细滤料被冲走,并且浪费水量。可由下述方法选择最佳冲洗强度和冲洗历时。

①选择一个较设计值小的冲洗强度,在完成一个过滤周期后进行冲洗,在冲洗过程中观察或测定冲洗水的浊度。

②冲洗开始后的 2 min,如果冲洗水的浊度不明显升高,则说明冲洗强度不足,以后逐渐增大冲洗强度,直至 2 min 内冲洗水出现浊度剧增时,此时的冲洗强度即为最佳冲洗强度。

③按上述冲洗强度进行冲洗,自反冲洗开始到冲洗水浊度不再降低时历经的时间为最佳冲洗历时。

(8)出水浊度控制。滤池进水浊度直接影响过滤质量和运转周期,如要保证滤池出水浊

度在 3NTU 以下,工作周期在 24 h 时,则控制滤池进水(沉淀池出水)浊度在 10 NTU 以下为好。

(9)水温及滤前加氯。水温低,水的黏度就高,水中的污染物不易分离。冬季水温低,滤速应相对低一些,以保证水质。水质较差时,可在滤前加氯,抑制微生物滋生,防止滤层堵塞,提高出水水质。

(10)快滤池常见故障及解决办法见表 2.21。

表 2.21 快滤池常见故障及解决办法

序号	故障名称	故障危害	故障原因	解决办法
1	气阻	滤料层聚积大量空气,可使水头损失增加过快,工作周期缩短 可能使滤池产生裂缝及水流短路,导致漏砂,降低出水水质	滤池工作周期过长,水头损失过大,使砂层上的水头小于滤层损失水头,产生负水头,使水中逸出空气存于滤料中	提高滤层上部水位,调整工作周期
			反冲洗水槽内存水用完,空气随水进入滤层	控制反冲洗水槽水位,槽内存水要多于一次反冲水量
			滤池发生滤干,未经反冲排气便开始过滤,使空气进入滤层 反冲洗水塔存水用完,空气随水进入滤层	用清水倒滤,排除滤层空气后再进水过滤,反冲后过滤前应使滤料处于淹没状态
			滤池运行周期过长,滤层内发生厌氧分解,产生气体	缩短过滤周期,采用预加氯杀藻
2	结泥球	滤池长期冲洗不干净,滤料结泥球。泥球会阻塞滤层,产生裂缝,腐化发酵,使出水水质恶化	反冲洗效果不佳	提高反冲洗强度,增加反冲洗历时,可进行表面冲洗或压缩空气辅助冲洗
			配水不均匀,滤料表面不平或有裂缝	应检查承托层是否移动,配水系统有无堵塞
			滤速过慢,菌藻滋生	提高滤速,预加氯处理。滤池反冲洗后暂停使用,保持滤料面上水深 20 ~ 30 cm,加氯浸泡 12 h,再进行反冲洗,加氯量:漂白粉 1 kg/m ² 池面积,液氯 0.3 kg/m ² 池面积
			原水污染物浓度过高,尤其是油质黏性物质过高	应加强前部处理,降低滤池进水浓度

续表 2.21

序号	故障名称	故障危害	故障原因	解决办法
3	跑砂 漏砂	滤池出水携带砂粒,影响滤池正常工作	冲洗强度过高,滤层膨胀率过大或滤料级配不当	降低冲洗强度或调整滤料级配
			反冲洗水配水不均,使承托层松动,导致漏砂	及时停池检修
			由于气阻引起漏砂	消除气阻,方法同上
4	喷 口	滤料表面不平,出现喷口,会造成过滤不均,出水水质下降	由于承托层或配水系统堵塞,造成滤料凸起	及时停池检查疏通
			承托层局部塌陷,可造成滤料层凹下	及时停池检查修复
5	滤速降低 周期缩短	影响滤池正常生产	反冲不佳,滤层积泥或藻类滋生	改善冲洗条件,预加氯杀藻
			滤料强度差,颗粒破碎	更换滤料
6	出水水质下降	滤池运行出现的各种问题,均可能引起出水水质下降	原水浓度过高	加强前工艺处理
			滤速过大	降低滤速
			滤层发生裂缝,使过滤水发生短路	停池检修
			滤料太粗或滤层太薄	更换滤料,加厚滤层

2.8 离心分离

2.8.1 原理构造

1. 概述

物体高速旋转时能产生离心力,利用离心力分离污水中污染物的方法称为离心分离法。按离心力产生的方式不同,离心机分为两种类型:一种是由设备旋转同时带动污水旋转产生离心力的离心分离机;另一种是由水体本身旋转产生离心力的旋流分离器。

2. 离心分离机

离心分离机的构造如图 2.84 所示。离心机的转鼓,在转动设备驱动下高速旋转,同时带动进入转鼓内的污水一起旋转。由于污水含污染物密度的不同,产生的离心力而异,而进行分离污水中污染物的设备,称为离心分离机。

离心分离机常用于乳化油的分离、洗毛污水羊毛脂的回收、污泥及化学沉渣的脱水。离

离心机按离心力与重力之比(分离因素 α)大小分为常速离心机($\alpha < 1\,000$)及高速离心机($\alpha > 1\,000$)。

(1)常速离心机。常用于与水有较大密度差的悬浮物的分离。进行污泥脱水时,泥饼中水的质量分数可降到 80% 左右,从污水中回收纤维物质时,回收率可达 60% ~ 70%。

(2)高速离心机。常用于从洗毛污水中回收羊毛脂,从淀粉麸质中回收玉米蛋白等。

2. 旋流分离器

旋流分离器又称水力旋流器,根据承压不同,分为压力式和重力式两种。

(1)压力式旋流分离器。压力式旋流分离器的构造如图 2.85 所示。污水加压后以切线方向进入器内,进口处流速达 6 ~ 10 m/s,沿器壁向下旋转运动形成一次涡流,然后再向上旋转构成二次涡流,从分离器上部排出澄清液。较大颗粒污染物在离心力作用下甩向器壁,并在重力作用下,沿器壁下滑,从分离器底部排出。分离器的中心部分还上下贯通有空气旋涡柱,空气由下部进入上部排出。

压力式旋流分离器具有体积小、单位容积处理能力高的优点。缺点是电耗较大,器壁易受磨损。改进方法为:器壁可用铸铁或铬锰合金钢等耐磨材料制造或内衬橡胶,力求光滑。

(2)重力式旋流分离器。重力式旋流分离器,又称水力旋流沉淀池,如图 2.86 所示。污水利用进出水位差的压力,由切线方向进入池内形成旋流,在离心力和重力作用下,污水中的污染物被甩向器壁,并落入池底去除。出水溢流到吸水井由泵抽升排出或回用。浮在水面上的油品,用油泵收集回收。

2.8.2 设计计算

1. 离心分离器

(1)经验设计法。可采用类似的污泥脱水运行数据作为设计参数。

(2)模拟试验法。应用几何模拟理论,将原型离心机按比例模拟成模型离心机进行试验,再将模型离心机的机械因素及试验所得工艺因素,按比例放大成原型离心机,其模拟结果与实际结果近似。

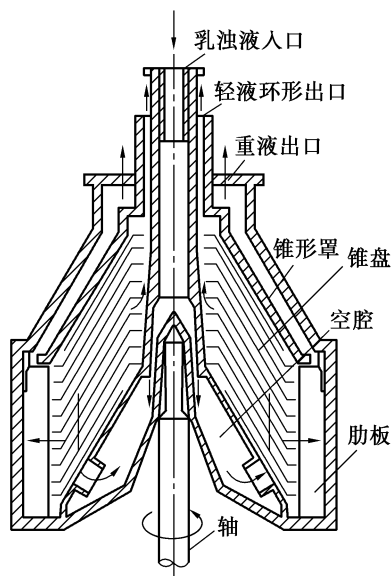


图 2.84 盘式离心机的转筒结构示意图

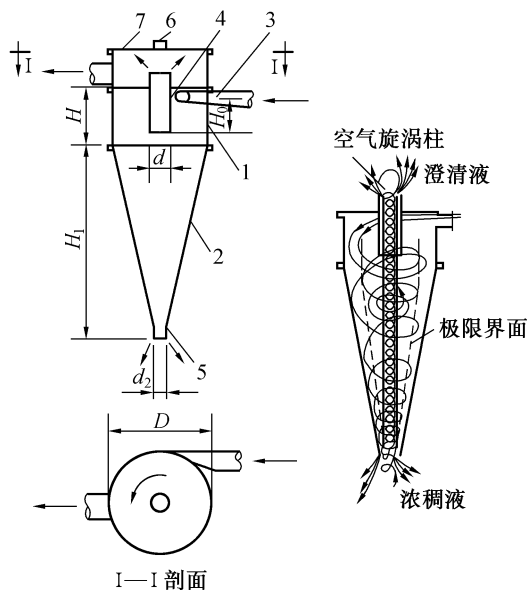


图 2.85 压力式旋流分离器结构示意图

1—圆筒 2—圆锥体 3—进水管 4—上部清液排出管 5—底部浓液排出管 6—放气管 7—顶盖

2. 压力式旋流分离器

(1) 选择确定几何尺寸

- ① 圆筒直径 D ，一般为 500 mm。
- ② 圆筒高度 $H_0 = 1.7D$ 。
- ③ 器身锥角 $\theta = 10^\circ \sim 15^\circ$ 。
- ④ 进水管直径 $d_1 = (0.25 \sim 0.4)D$ 。
- ⑤ 进水管流速 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ 。
- ⑥ 进水管收缩部位，宜做成矩形，其顶水平，其底倾斜 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，出水管流速 $6 \sim 10 \text{ m/s}$ 。
- ⑦ 中心管直径 $d_0 = (0.25 \sim 0.35)D$ 。
- ⑧ 出水管直径 $d_2 = (0.25 \sim 0.5)D$ 。

(2) 处理水量

$$Q = K D d_0 \sqrt{\Delta P_g}$$

式中 Q ——处理水量 L/s ；

K ——流量系数为 $5.5 d_1 / D$ ；

D ——分离器上部圆筒直径 μm ；

d_0 ——中心管直径 μm ；

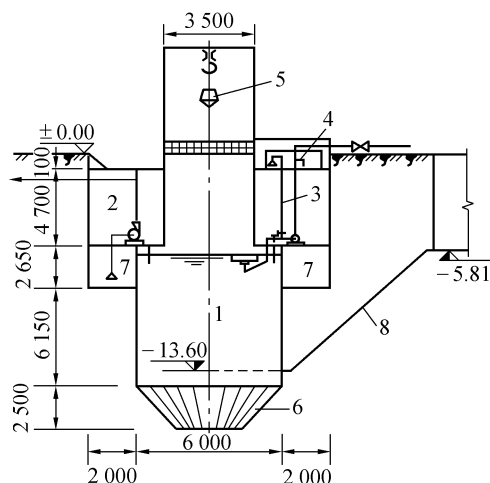


图 2.86 水力旋流沉淀池结构示意图

1—重力式水力旋流器 2—水泵室 3—油泵室；
4—集油槽 5—抓斗 6—护壁钢轨 7—吸水井；
8—进水管（切线方向进入）

ΔP ——进出口压差,一般为 $0.1 \sim 0.2 \text{ Pa}$;

g ——重力加速度 m/s^2 。

3. 重力式旋流分离器

(1) 重力式旋流分离器的表面负荷为 $25 \sim 30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, 低于压力式旋流分离器。

(2) 进水管流速 $v = 1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 。

(3) 器内停留时间 $15 \sim 20 \text{ min}$ 。

(4) 有效水深 $H_0 = 1.2D$ (从进水口到出水堰的有效深度)。

(5) 保护高 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$ (保护高为从进水口到渣斗上沿的高度, 以免将沉渣冲起)。

(6) 水头差的计算式为

$$h = \alpha \frac{v}{2g} + 1.1 \left(\sum \xi \frac{v_1^2}{2g} + Li \right)$$

式中 h ——水头损失 m ;

α ——阻力系数 4.5 ;

v ——进水管流速 $1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}$;

g ——重力加速度 m/s^2 ;

ξ ——局部阻力系数;

v_1 ——进口处流速 m/s ;

L ——进水管长度 m ;

i ——进水管单位长度沿途损失。

2.8.3 操作运行

1. 设备选型

影响离心机污泥脱水效率的因素很多, 包括设备本身长度与直径比、转筒转速、水层深度, 还有工艺条件、进泥浓度、处理泥量等, 应根据不同的情况来选择离心机。

2. 药剂调理

混凝剂调理可提高污泥脱水的效率, 通常使用的混凝剂有聚丙烯酰胺、聚合铝、硫酸铝、硫酸亚铁、三氯化铁等, 助凝剂有石灰等。一般可用三氯化铁与石灰配合使用或硫酸亚铁、聚合铝分别与聚丙烯酰胺配合使用。

3. 泥种搭配

处理混合污泥 (初沉泥与剩余活性污泥, 其配比为 $1:1$) 比单纯处理剩余活性污泥效果好, 详见表 2.22。

表 2.22 污泥脱水效果表

序号	指 标	担保值	运转值	
			混合污泥	剩余活性污泥
1	进泥量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	3	2~3	2.0~2.5
2	进泥含固率 / %	3~4	3.65~3.8	2.2~3.6
3	出泥含固率 / %	25	22.1~24.1	14.3~18.5
4	药剂投加量 / ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)	2.0~2.5	2.6~2.75	1.8~3.85
5	回收率 / %	95	91.8~96.2	89.6~94.5
6	分离液含固率 / %	0.1	0.16~0.33	0.16~0.45

4. 保养维修

要加强保养维修,提高设备完好率,保证脱水效率。离心机使用操作方便,管理简单。缺点是运转时噪声大,易磨损,对离心机加工材质及加工精度要求高。

2.9 磁性分离

2.9.1 原理构造

利用磁场力的作用,分离去除污水中污染物的方法称为磁性分离法。也可以讲,磁分离技术就是利用磁力克服与其抗衡的重力、惯性力及黏滞力,截留污水中的污染物质或利用磁力和重力使污染物颗粒凝聚后沉淀分离的技术。

磁分离的装置有磁凝聚装置、磁盘分离器和高梯度磁过滤装置。

1. 磁凝聚装置

磁凝聚就是指污水通过磁场,水中磁性颗粒物被磁化,形成具有南北极的小磁体,相互吸引,聚集成大颗粒而被沉淀去除。

磁凝聚装置由磁铁和磁路组成,其构造如图 2.87 所示。此种装置与化学絮凝法比较,其优点如下。

(1)用永久磁铁时,只需一次投资,不耗能源。用电磁处理 1 m^3 污水只需 $0.001 \sim 0.003 \text{ kW} \cdot \text{h}$,电耗量少。

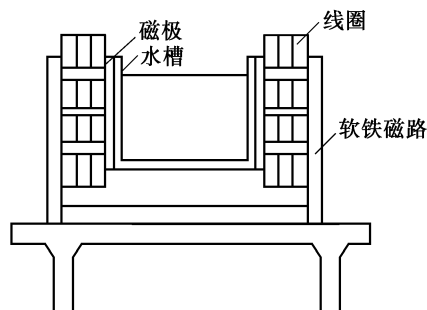


图 2.87 磁凝聚装置结构示意图

(2)可节约大量药剂。

(3)没有二次污染,不增加污水中的含盐量,有利于污水循环使用。

(4)处理效果稳定,便于操作管理。

2. 磁盘分离器

磁盘分离器构造如图 2.88 及图 2.89 所示。磁盘分离器由分离槽、磁盘及刮泥板组成。表面嵌有永久磁铁块的磁盘浸入分离槽中,逆水流方向转动,污水连续流入分离槽,污染物被永久磁铁捕截,用刮泥板刮除。

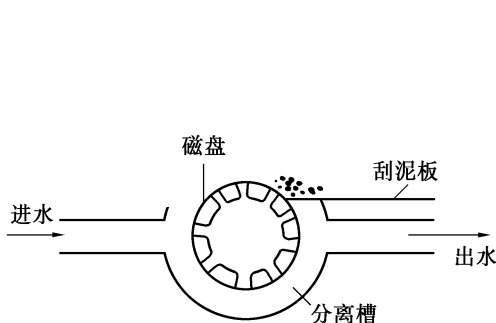


图 2.88 磁盘分离器结构示意图

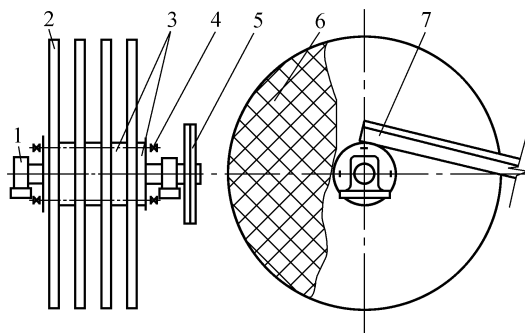


图 2.89 磁盘结构示意图

1—轴承座 2—磁盘 3—铝挡圈 4—盘位固定螺钉；
5—皮带轮 6—磁铁涂氧体永久磁铁 7—刮泥板

磁盘法去除污水中污染物的条件如下。

(1)污染物颗粒是磁性物质或以磁性物质为核心的凝聚体,进入磁盘磁场即被磁化,或进入磁盘磁场之前先给予磁化。

(2)磁盘磁场有一定的磁力梯度。

(3)可向污水中投加絮凝剂,然后予磁 $0.5 \sim 1$ s,予磁磁场强度 $0.05 \sim 0.1$ T,可增加颗粒粒径,提高污染物去除效率。

磁盘法去除污水中污染物的特点如下。

(1)时间短,一般仅需几秒钟,净化效率高达 $94\% \sim 99.5\%$ 。

(2)占地面积小,为一般沉淀池面积的 5% 。

(3)构造简单,运行可靠,维护方便。

3. 高梯度磁过滤装置

磁场中磁通变化越大,即磁力线密度变化越大,梯度越高。高梯度磁过滤分离就是在均匀磁场内,装填表面曲率半径极小的磁性物质(介质),靠近其表面就产生局部性疏密磁力线,从而构成高梯度磁场。可做磁性介质的有不锈钢毛、软铁制的齿板、铁球、多孔板等。

高梯度磁过滤器构造如图 2.90 ~ 2.92 所示。它为装填纤维磁性材料(如不锈钢毛)的

罐形容器,外部缠绕励磁线圈,当通过直流电后,钢毛被磁化,其周围形成众多高梯度的微磁场,用以捕获污水中细小的磁性污染物。当填料被磁性污染物颗粒充满后,切断电源,进行反冲洗。

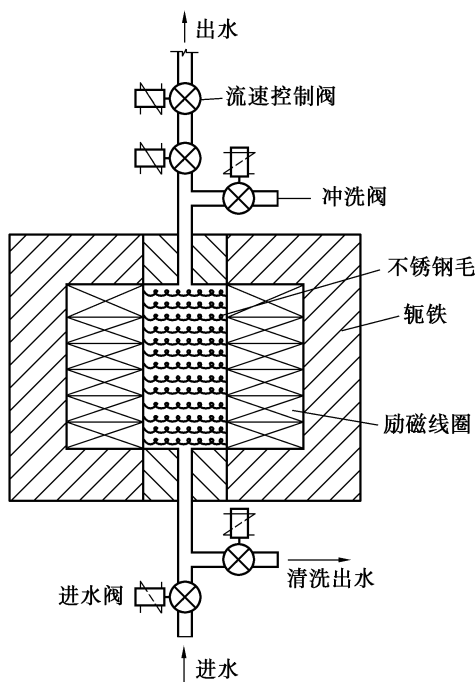


图 2.90 高梯度磁力过滤器结构示意图

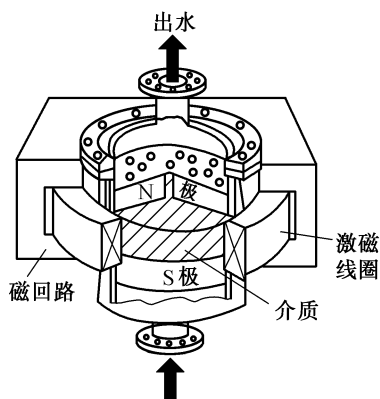


图 2.91 高梯度磁分离器构造示意图

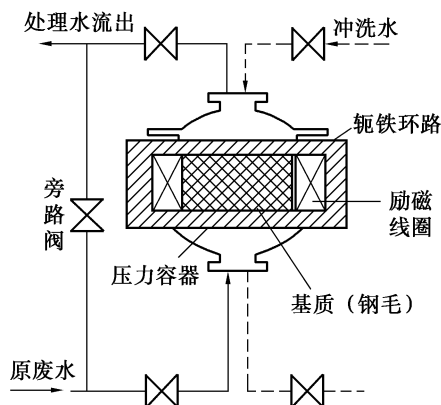


图 2.92 高梯度磁过滤器工作原理

磁分离装置只能分离污水中的磁性物质,而污水中许多污染物不具有磁性,为利用磁分离法,就需要对污水非磁性物质进行磁化,磁化的具体方法如下。

(1)予磁磁聚法。予磁磁聚法包括磁聚法、凝聚法、凝聚-磁聚法。磁聚法适用于以铁磁性微粒为主要成分的污水。磁聚法是污水通过高强度、低梯度的均匀磁场,铁磁性微粒磁化聚集成大颗粒的强磁性聚合体,而被分离去除的方法。凝聚法适用于铁磁性微粒含量少或以顺磁性微粒为主要成分的污水,需向污水中投加化学凝聚剂,生成磁性与非磁性微粒的凝聚体而被分离去除。凝聚-磁聚法兼有上述两种方法的优点,在工程上应用广泛。

(2)磁性接种法。顺磁性物质磁性十分微弱,反磁性物质磁化率为负值,对于这些污水需投加磁性种子或凝聚剂,使它们与磁种形成磁性絮团,然后才能进行磁分离。

(3)铁氧体法。铁氧体是亚铁盐的总称,分子结构类似尖晶石。铁氧体法是使污水中含有的重金属离子进入铁氧体的晶格中,生成强磁铁氧体而沉淀分离的方法。

(4)铁粉法。铁粉法的机理是利用铁粉的还原、置换、共沉及吸附等反应去除分离污染物。含重金属离子的污水加入铁粉,搅拌,加碱调整至 $\text{pH} = 9$,再加凝聚剂,这些重金属离子生成铁磁性络合物沉淀而去除。

(5)磁流体法。磁流体是磁性粒子在液体载体中形成的超稳定的胶体悬浮液。将磁流体加入污水中均匀分散,即使是最微细的乳化油滴也会很快与之结合,通过磁分离去除。

2.9.2 设计计算

1. 磁场强度

磁场强度要根据处理水中悬浮物的磁性而定,对钢铁污水,磁性强度为 0.3 T ,江河水为 0.5 T ,铸造污水为 0.1 T 。

2. 介质

要求介质梯度大、吸附面积大、捕集点多、阻力小、剩磁化,常用的介质以不锈钢毛为最佳。

3. 滤速

滤速一般为 $100 \sim 500 \text{ m/h}$ 。

4. 电源

电源采用硅整流直流电源,电源功率由所需磁场强度决定。

5. 污水处理量 Q

$$Q = dAv$$

式中 d ——循环效率(一般为 $0.7 \sim 0.8$);

A ——分离器横截面积, cm^2 ;

v ——通水流速。

6. 悬浮物负荷 q

$$q / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) = \frac{T}{W}$$

式中 q ——悬浮物负荷,即单位体积介质捕集的悬浮物的质量 g/cm^3 ;

T ——捕集的悬浮物的质量 g ;

W ——介质的体积 cm^3 。

当颗粒为强磁性物质时, $q = 5 \sim 7 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

当颗粒为顺磁性物质时, $q = 1.0 \sim 1.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

2.9.3 应用实例

磁分离法广泛应用在工业废水处理上,取得了较好的效果。

1. 磁盘法处理炼钢除尘污水

磁盘法处理炼钢除尘污水流程如图 2.93 所示。

磁盘法处理炼钢除尘污水的效果为进水 $\rho(\text{SS}) = 2\,000 \text{ mg}/\text{L}$,出水 $\rho(\text{SS}) = 27 \sim 160 \text{ mg}/\text{L}$,净化效率达 92% ~ 98%。

2. 磁盘法处理含油污水

磁盘法处理含油污水流程如图 2.94 所示。

磁盘法处理含油污水效果为进水中油的质量浓度为 3 000 mg/L ,出水为 3 mg/L ,净化效率为 99.9%。

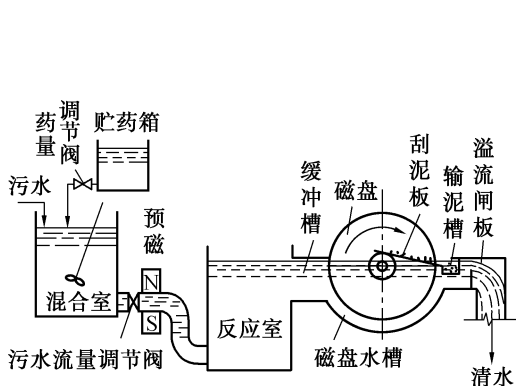


图 2.93 磁盘法处理炼钢除尘污水流程图

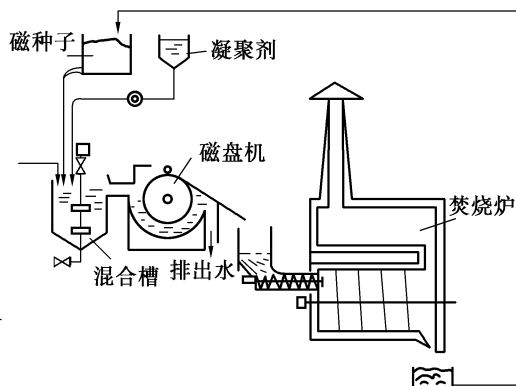


图 2.94 磁盘法处理含油污水流程图

3. 高梯度磁过滤法处理轧钢污水

高梯度磁过滤法处理轧钢污水流程如图 2.95 所示。

高梯度磁过滤法处理轧钢污水的效果为:当处理轧硅钢污水时进水 $\rho(\text{SS}) = 70 \sim 240 \text{ mg/L}$,出水 $\rho(\text{SS}) < 20 \text{ mg/L}$,净化效率为 71% ~ 91%。处理其他钢种污水时,进水 $\rho(\text{SS}) = 40 \sim 100 \text{ mg/L}$,出水 $\rho(\text{SS}) < 10 \text{ mg/L}$,净化效率为 75% ~ 90%。

4. 高梯度磁过滤法处理炼钢、炼铁除尘污水

高梯度磁过滤法处理炼钢、炼铁除尘污水流程如图 2.96 所示。

高梯度磁过滤处理炼钢、炼铁除尘污水的效果为:进水 $\rho(\text{SS}) = 200 \sim 250 \text{ mg/L}$,出水 $\rho(\text{SS}) < 10 \text{ mg/L}$,净化效率为 95% ~ 96%。

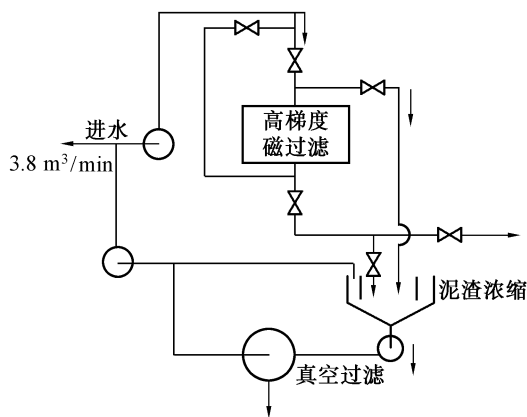
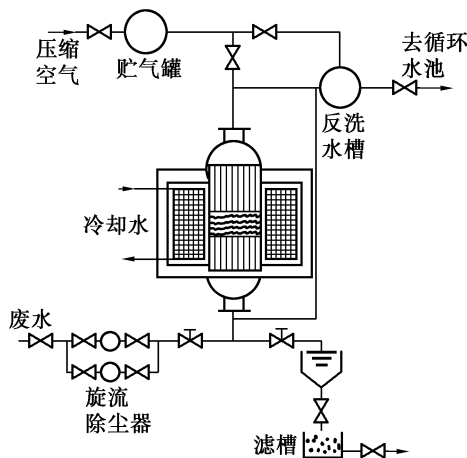


图 2.95 高梯度磁过滤法处理轧钢污水流程图

2.96 高梯度磁过滤法处理炼钢、炼铁除尘污水流程图

5. 高梯度磁过滤法处理城市污水

高梯度磁过滤法处理城市污水流程如图 2.97 所示。

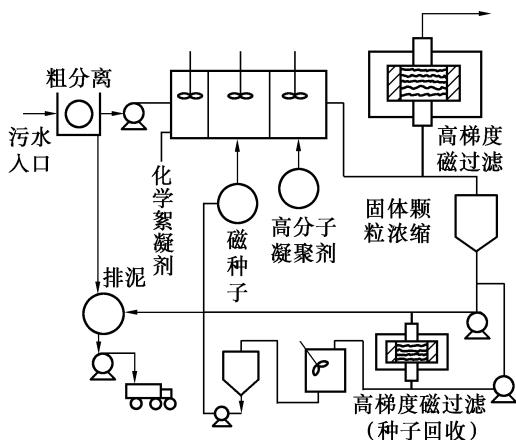


图 2.97 高梯度磁过滤法处理城市污水流程及磁种回收系统示意图

高梯度磁过滤法处理城市污水的效果见表 2.23。

表 2.23 高梯度磁过滤法处理城市污水的效果

项 目	处理前	处理后	去除率 / %
浊度 / 杰克逊浊度单位	50	3	94
色度 / 度	150	20	87
SS / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	45	9	80
磷酸盐 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.69	0.05	94
大肠杆菌 / ($\text{个} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$)	2 800 000	18 000	99

6. 磁分离法在工业废水处理中的应用

磁分离法在工业废水处理中的应用见表 2.24。

表 2.24 磁分离法在工业废水处理中的应用

污 染 物 质		废水举例	处理方法
性状	种 类		
悬 浮 固 体	铁磁性物质 : 氧化铁、钴、镍及其合金微粒子	矿山工业 钢铁工业 金属加工业	(1) 直接磁分离 (2) 磁性团聚 - 磁分离
	顺磁性物质 : Fe、Mn、Cu、Cr、Ba、Ni 等的含水沉淀物	化学工业 冶金工业	(1) 过滤 (2) 接种混凝 - 磁分离
	反磁性物质 : 无机物微粒子、有机物微粒子、Hg、Pb、Zn 微粒子、细菌、病毒及孢子、藻类	化学工业 催化剂工业 造纸工业 纺织工业 印染工业 食品工业	磁性接种混凝 - 磁分离
溶 解 物 质	化学物质 : 磷酸根、络合物、螯合物离子等	化学工业	(1) 磁性接种混凝 - 磁分离 (2) 铁粉法 - 磁分离
	重金属离子 : Hg、Pb、Zn、Cr 等离子	化学工业 电镀工业 冶金工业	(1) 共沉法 - 磁分离 (2) 铁粉法 - 磁分离 (3) 铁氧体法 - 磁分离
乳 浊 液	水中油滴乳浊液、油中水滴乳浊液	油气田及炼油工业 金属加工工业 水面浮油	(1) 直接磁滤 (2) 磁性接种 - 磁滤 (3) 磁性接种混凝 - 磁滤 (4) 磁流体 - 磁分离

7. 炼油废水的磁滤和浮选

炼油废水的磁滤和浮选的比较见表 2.25。

表 2.25 炼油废水磁滤和浮选的比较

分 离 装 置	油 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	悬浮物 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	酚 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
API 隔油系统出水	190 ~ 240	142 ~ 204	1.5 ~ 4.1
溶气气浮浮选系统出水	53 ~ 121	42 ~ 44	0.91 ~ 3.72
HGMS1 [#] (仅有磁场)	23	5 ~ 7	1.6
HGMS2 [#] (磁种 + 磁场)	19 ~ 23	3 ~ 5	1.663
HGMS3 [#] (磁种 + 凝聚剂 + 磁场)	5 ~ 20	< 1	0.26

第 3 章 化学处理

3.1 中和处理

3.1.1 中和原理

化工厂、电镀厂等常排出的酸碱废水,会腐蚀管道,毁坏农作物,危害渔业生产,造成环境污染。对酸、碱废水可采用中和法处理。中和法是指应用化学中和反应,调节废水的酸碱度,使废水的 pH 值达到 6~9 的中性状态的方法。

中和处理应首先考虑以废治废的原则,将酸性废水与碱性废水互相中和,或利用废碱渣(碳酸钙碱渣或电石渣)中和酸性废水,利用烟道废气(CO_2 或 SO_2)中和碱性废水。当上述条件不具备时,才使用中和剂处理。酸性废水中和处理常用的中和剂有石灰、石灰石、白云石、氢氧化钠、氢氧化钾、氨及碳酸钠等;碱性废水中和处理常用的中和剂为硫酸或盐酸。

3.1.2 酸水中和

酸性废水中和的方法有:碱性废水中和、碱性废渣中和、药剂中和和过滤中和。

1. 碱性废水中和

当有碱性废水时,应首先考虑利用碱性废水中和,这样能够以废治废,节约处理费用。利用碱性废水中和酸性废水时,两种废水的酸或碱的物质的量应相等。

$$Q_1 C_1 = Q_2 C_2$$

式中 Q_1 ——酸性废水流量, L/h;

Q_2 ——碱性废水流量, L/h;

C_1 ——酸性废水中酸的物质的量浓度, mol/L;

C_2 ——碱性废水中碱的物质的量浓度, mol/L。

中和池的容积可按式计算

$$V = (Q_1 + Q_2)t$$

式中 V ——中和池的有效容积, L;

Q_1 ——酸性废水流量, L/h;

Q_2 ——碱性废水流量 L/h ;

t ——中和时间 ,一般采用 $1 \sim 2 \text{ h}$ 。

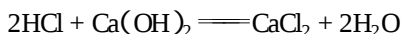
2. 碱性废渣中和

当有碱性废渣时 ,应考虑采用碱性废渣中和。如锅炉灰中含有质量分数为 $2\% \sim 20\%$ 的 CaO ,电石渣中含一定量的 Ca(OH)_2 ,可将这些废渣投入废水中或用酸性废水喷淋灰渣 ,均可进行中和反应。

3. 药剂中和

药剂中和应用广泛 ,药剂能够中和任何浓度的酸性废水。药剂有石灰、苛性钠、石灰石及白云石等。最常用的药剂是石灰 (CaO) ,采用石灰乳投加法 ,即将石灰消解成石灰乳 Ca(OH)_2 后投加。 Ca(OH)_2 对废水中的杂质还具有凝聚作用 ,因此适合于含杂质的酸性废水中和处理。

石灰乳与酸性废水的中和反应为



中和药剂的消耗量可按下式计算 ,即

$$G = Q\rho_{\text{wak}}/1\,000\alpha$$

式中 G ——中和药剂的消耗量 kg/h ;

Q ——废水流量 L^3/h ;

ρ_{w} ——废水中酸的质量浓度 mg/L ;

a ——中和剂的比耗量 ,碱性中和剂的比耗量见表 3.1 ;

k ——反应不均匀系数 ,一般采用 $1.1 \sim 1.2$ 。当用石灰中和硫酸时 ,干投采用 $1.4 \sim 1.5$,湿投采用 $1.05 \sim 1.10$,中和盐酸、硝酸时采用 1.05 。

α ——药品纯度 ,一般生灰中的含有效 CaO 的质量分数为 $60\% \sim 80\%$,熟石灰含 Ca(OH)_2 的质量分数为 $65\% \sim 75\%$ 。

表 3.1 碱性中和剂的比耗量

酸的化学式	中和 1 kg 酸所需碱性物质的质量 /kg				
	CaO	CaCO_3	MgCO_3	Ca(OH)_2	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
H_2SO_4	0.57	1.02	0.86	0.755	0.946
HCl	0.77	1.38	1.15	1.01	1.27
HNO_3	0.445	0.795	0.668	0.590	0.735
CH_3COOH	0.466	0.840	0.702	0.616	—

石灰投药中和的工艺流程如图 3.1 所示,其中和过程包括药剂的制备与投配、混合与反应、中和产物的分离及泥渣的处理利用等。石灰投药中和工艺流程分为干投法和湿投法。

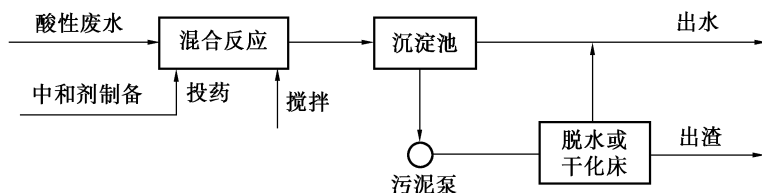


图 3.1 酸性废水投药中和流程图

(1)干投法。干投法工艺如图 3.2 所示。首先将石灰或石灰石粉碎成粒径为 0.5 mm 的颗粒,然后用电磁振荡投配器,将石灰投入混合反应槽,混合反应 1~2 min,然后进入沉淀池将沉渣分离。干投法的优点是设备简单,缺点是石灰破碎,筛分劳动强度大,中和反应不完全,投药量大。

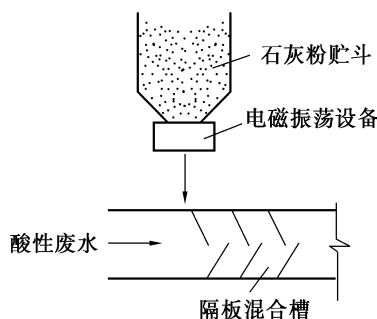


图 3.2 干投法示意图

(2)湿投法。湿投法工艺如图 3.3 所示。首先将生石灰消解为质量分数 40%~50%的乳液,流入乳液槽,经搅拌均匀配制成质量分数为 5%~10%的乳化液,用泵送至投配槽,经投加器投入混合反应设备,混合反应设备如图 3.4 所示。当处理废水量较大时,一般均设单独的混合反应池,混合反应时间一般采用 1~2 min,废水经混合反应后进入沉淀池进行沉淀,沉淀时间一般为 1~1.5 h。

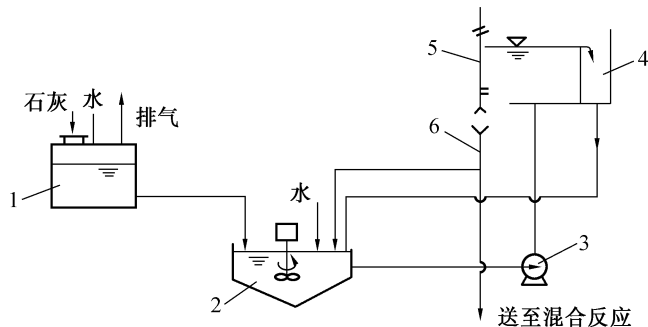


图 3.3 湿投法示意图

1—石灰消解槽 2—乳液槽 3—泵 4—投配槽 5—提板闸 6—投加器

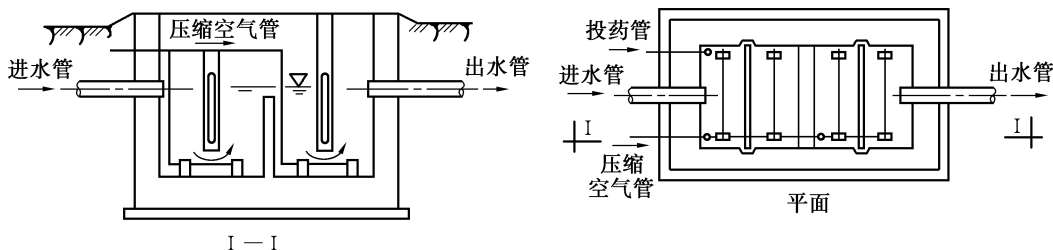
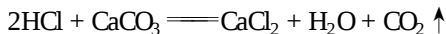


图 3.4 四室隔板混合反应池结构示意图

4. 过滤中和

将酸性废水流过碱性滤料层进行中和反应的方法,称为过滤中和法。碱性滤料有石灰石、大理石、白云石等。一般常用的为石灰石,其中和反应式为



过滤后产生的 CO_2 溶于水即为碳酸,使出水 pH 值为 5 左右,常用曝气等方法搅拌,提高出水的 pH 值。过滤中和的设备为中和滤池,常用的有普通中和滤池、升流式膨胀中和滤池和滚筒式中和滤池。

(1)普通中和滤池。普通中和滤池为固定滤床,水的流向有平流和竖流两种,常用竖流式,竖流式又分升流式和降流式两种,如图 3.5 所示。滤池的滤料,不得混有粉料杂质,否则应进行预处理。滤料粒径一般为 30 ~ 50 mm,过滤速度不大于 5 m/h,接触时间不小于 10 min,滤床厚度一般为 1 ~ 1.5 m。

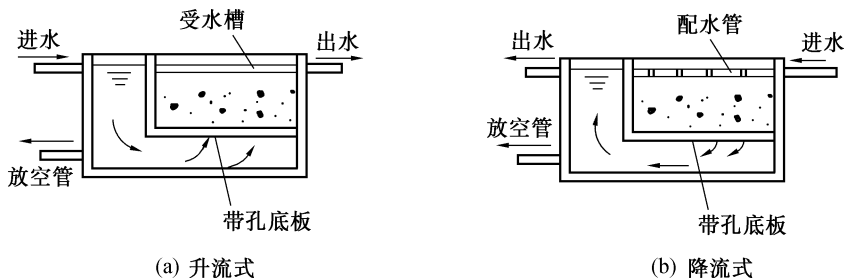


图 3.5 竖流式中和滤池结构示意图

(2)升流式膨胀中和滤池。升流式膨胀中和滤池的废水从底部进入,从池顶流出,滤料处于膨胀状态。升流式膨胀中和滤池又可分为恒滤速和变滤速两种。恒滤速升流式膨胀中和滤池构造如图 3.6 所示。

此种滤池进水装置一般采用大阻力穿孔管布水,孔径 9 ~ 12 mm,卵石承托层厚度

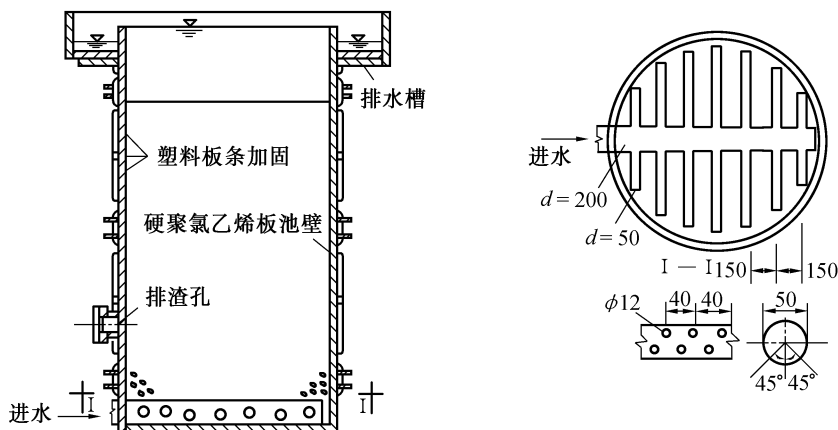


图 3.6 恒滤速升流式膨胀中和滤池结构示意图

0.15~0.2 m, 粒径 20~40 mm, 滤料粒径 0.5~3 mm, 厚度为 1.0~1.2 m。滤床上面为缓冲层, 高度 0.5 m。上部清水区高度 0.5 m, 滤池总高度 3 m 左右, 出水由池顶出水槽汇集出流。此种滤池滤速高达 50~70 m/h, 膨胀率 50%, 使滤料互相碰撞摩擦, 表面不断更新, 因此中和效果好。

变速升流式膨胀中和滤池如图 3.7 所示。此种滤池的特点为 滤料层截面积是变化的, 下部小而上部大, 底部流速大, 为 130~150 m/h, 上部流速小, 为 40~60 m/h, 滤池出水中的 CO_2 由脱气塔去除, 可使大颗粒滤料处于悬浮状态, 从而防止滤料表面形成 CaSO_4 覆盖层而产生堵塞现象, 提高滤料的利用率。

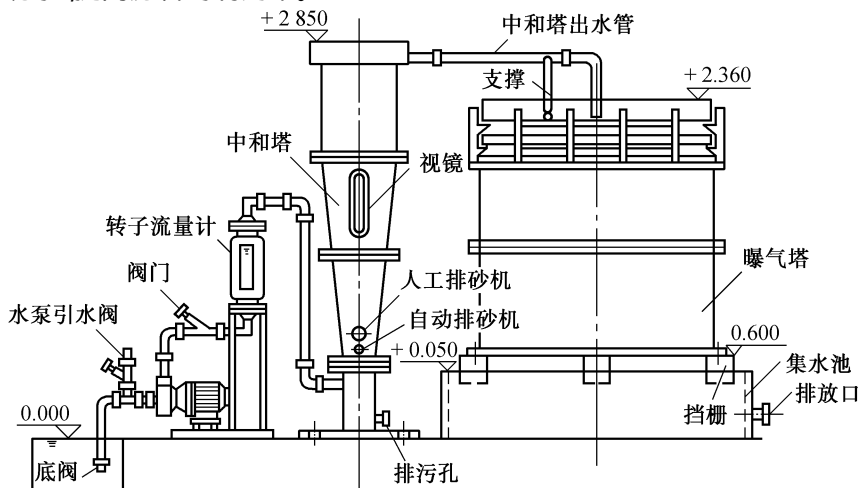


图 3.7 变速升流式膨胀中和滤池(塔)结构示意图

(3)滚筒中和滤池。滚筒中和滤池构造如图 3.8 所示。滚筒为卧式,用钢材制成,内衬防腐层,直径 1 m 以上,长度为直径的 6~7 倍。滚筒转速 10~20 r/min,滚筒线速度 0.3~0.5 m/s,筒向出水方向倾斜 0.5°~1.0°,滤料粒径可达几十毫米,筒内装料可占筒体积的 50%。筒内壁焊接数条纵向挡板,带动滤料不断翻滚。为避免滤料被水带出,在滚筒出水端设穿孔滤板。此种设备的优点是滤料不必破碎到很小粒径,可处理高浓度的硫酸废水。缺点是构造复杂,噪声大,动力消耗高。

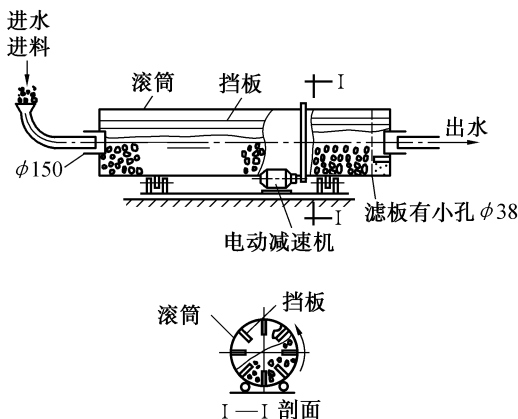


图 3.8 卧式滚筒中和滤池结构示意图

3.1.3 碱水中和

碱性废水中和的方法有：用酸性废水中和，用酸性废气中和和用药剂中和。

1. 酸性废水中和

如果有酸性废水,可用于中和碱性废水,这样可以废治废,节约处理费用。

2. 酸性废气中和

烟道气中有约体积分数为 24% 的 CO_2 及少量的 SO_2 和 H_2S ,可以用来中和碱酸性废水。中和方法有两种,一是将烟道气通过碱性废水,二是将碱性废水作为湿式除尘器的喷淋水。其反应式为



3. 药剂中和

酸性药剂中和碱性废水时,通常使用质量分数为 93%~96% 的工业浓硫酸,有时也使用盐酸和硝酸中和。在投酸之前,需先将硫酸稀释成质量分数为 10% 的溶液后再投加。酸性中和剂的比耗量见表 3.2。

表 3.2 酸性中和剂的比耗量

碱	中和 1 kg 碱所需酸的质量 /kg					
	H_2SO_4		HCl		HNO_3	
	100%	98%	100%	36%	100%	65%
NaOH	1.22	1.24	0.91	2.53	1.37	2.42
KOH	0.88	0.90	0.65	1.80	1.13	1.74
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1.32	1.34	0.99	2.74	1.70	2.62
NH_3	2.88	2.93	2.12	5.90	3.71	5.70

3.1.4 应用实例

1. 维尼纶厂含酸废水处理

某维尼纶厂含酸(醛)废水处理流程如图 3.9 所示。维尼纶厂含酸(醛)废水流量为 $250 \text{ m}^3/\text{h}$, 含硫酸质量浓度为 $1\,500 \sim 2\,300 \text{ mg/L}$, $\text{pH} = 1 \sim 2$ 。经该工艺处理后, 出水达到了标准。其工艺过程为: 废水通过调节均化, 进入中和滤池中和, 预沉池除去中和滤池夹带出的细小滤料颗粒, 除 CO_2 池的效率为 70%, 初次沉淀池去除中和反应析出的硫酸钙, 可最后进入后续处理构筑物生物处理工艺中。

某厂采用的中和滤池类型为升流式膨胀滤池, 其主要设计参数见表 3.3。

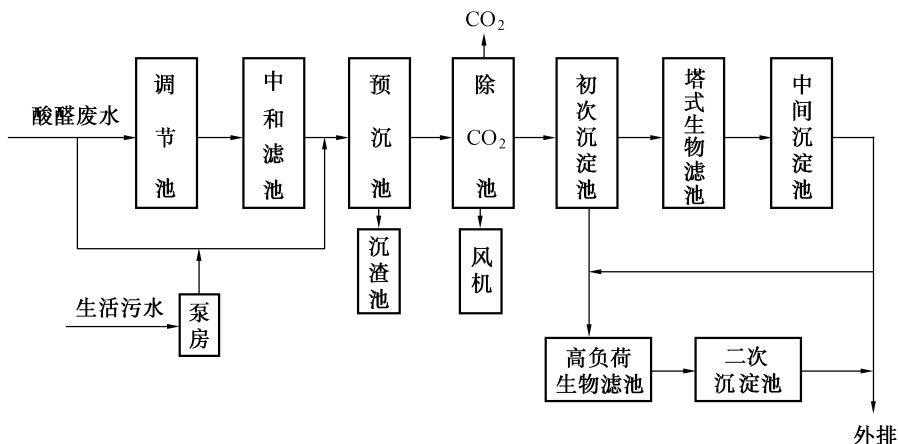


图 3.9 某维尼纶厂废水处理流程图

表 3.3 升流式中和滤池主要设计参数

名 称	参 数	规 格	材 料	说 明
滤 池	直径	1.2 m	塑料	
	高度	2.9 m		
	垫层卵石直径	20 ~ 50 mm	卵石	
	垫层高度	200 mm		
	滤料粒径	0.5 ~ 3 mm	石灰石	
	滤料起始高度	60 cm		
	每次加料高度	30 cm		
	每次加料质量	510 kg		
	水流上升速度	60 m/h		实际运行行为 40 ~ 60 m/h
	上游所需压头	> 2.5 m		
布水管	干管直径	150 mm	塑料或不锈钢	大阻力系统双排 交错排列,孔向下
	支管直径	50 mm		
	支管对数	7		
	出水孔孔径	10 mm		
	出水孔孔距	40 mm		
环形集水槽	槽宽	0.3 m	塑料	
	槽深	0.4 m		
进水阀	直径	200 mm	衬胶	
反冲洗阀	直径	100 mm	衬胶	用清水反冲

2. 利用钢铁酸洗废液中和印染碱性废水

利用钢铁酸洗废液中和处理印染碱性废水工艺流程如图 3.10 所示。印染废水从集污池经泵抽升进入涡流反应器,同时用药液泵将钢铁酸洗废液也抽入涡流反应器,经混凝反应后进入沉淀池沉淀分层,上清液达标排放,下沉泥经浓缩压滤可作为锅炉燃料。

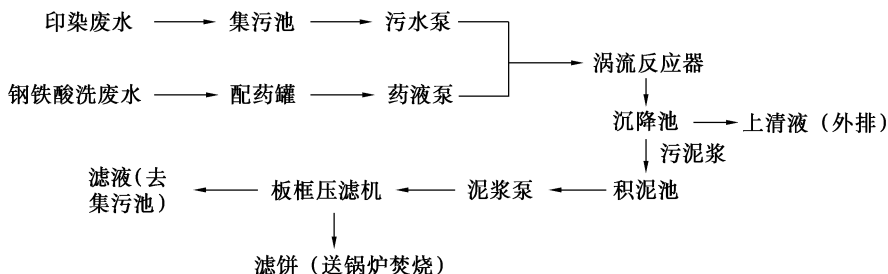


图 3.10 印染废水处理工艺流程图

钢铁酸洗废液含亚铁离子,可以去除印染废水中的硫离子,同时亚铁离子还是良好的絮凝剂,因此利用钢铁酸洗废液处理印染碱性废水,不仅是中和反应,还具有絮凝沉淀,去除硫离子的作用。另外,利用钢铁酸洗废液处理印染废水比用聚合铝或聚合氯化铝铁处理具有沉淀时间短、脱色率高、处理费用低的特点,详见表 3.4。

表 3.4 处理效果对比

处理方法	印染废水体积 /mL	药剂投加量 /mL	沉降时间 /min	脱色率 /%	处理费用 /(元·t ⁻¹)
钢铁酸洗废液法	500	2.5	2	98.5	0.35
聚合氯化铝法	500	2.5	35	89.0	0.58
聚合氯化铝铁法	500	2.5	26	93.0	0.69

3. 石灰中和处理冶炼厂酸性重金属废水

利用石灰中和处理冶炼厂酸性重金属废水工艺流程如图 3.11 所示。某冶炼厂排放酸

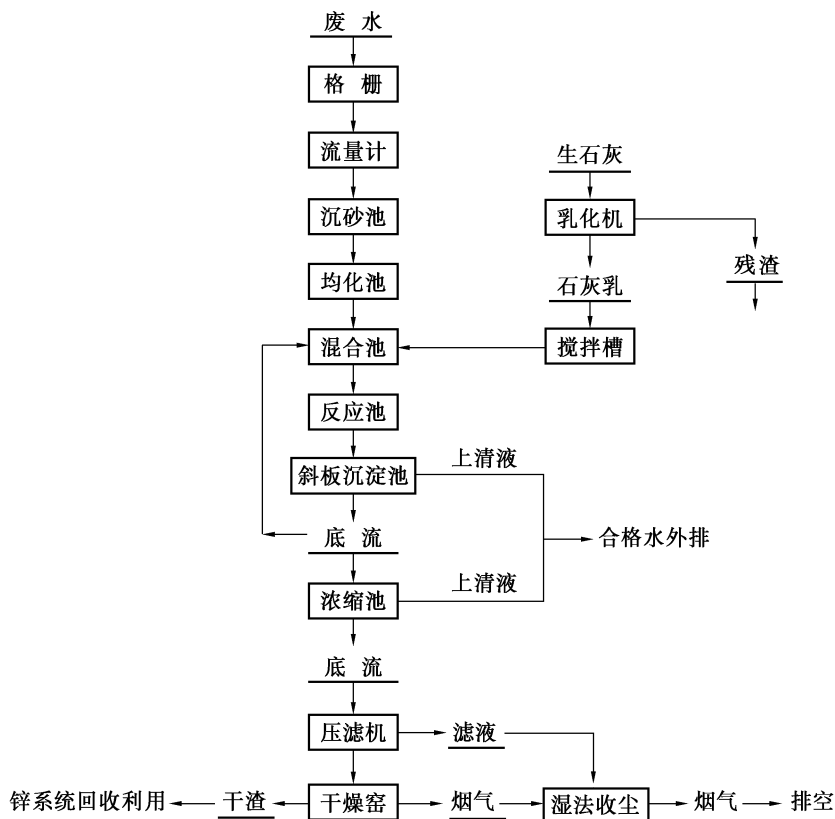


图 3.11 冶炼厂酸性重金属废水处理流程图

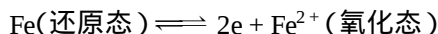
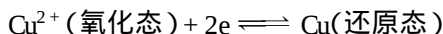
性废水,同时废水中还含 Zn、Pb、Ca 及 As 等重金属,利用石灰中和酸性废水时,可生成 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉淀析出;As 可生成砷酸钙、偏亚砷酸钙沉淀析出。

中和处理工艺为:废水经沉砂池、均化池预处理后抽入混合池,同时加入石灰乳和回流渣进行混合。再进入反应池,使混合反应生成物的颗粒逐渐长大,然后进入斜板沉淀池进行固液分离。沉渣经浓缩、压滤、脱水后回收 Zn 等重金属,上清液达标排放,废水中的金属的去除率为 Zn 96%~99%、Pb 87%~93%、Ca 94%~98%、Cu 80%~93%、As 86%~97%。

3.2 化学氧化

3.2.1 基本原理

化学氧化是利用氧化剂氧化分解废水中溶解性的有机物及无机物,从而达到净化废水的目的。在化学反应中,如果发生电子的转移,参与反应的物质所含元素将发生化合价的改变,这种反应称为氧化还原反应,反应式为



这是一种可逆反应。在正反应中,Cu 得到 2 个电子,由正 2 价降为 0 价,被还原,称为氧化剂;Fe 失去 2 个电子,由 0 价升为正 2 价,被氧化,称为还原剂。各种氧化剂及还原剂的氧化还原能力是不同的,可以通过氧化还原电位表示,详见表 3.5。在水处理中常用的氧化剂有空气、臭氧、氯化物、光、高锰酸钾及过氧化氢等。

表 3.5 水处理常用物质的标准氧化还原电位

半反应式	E^0/V	半反应式	E^0/V
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ca}$	- 2.87	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}$	- 1.18
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mg}$	- 2.37	$\text{OCN}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{CN}^- + 2\text{OH}^-$	- 0.97
$\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	- 0.93	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Zn}$	- 0.763
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Cr}$	- 0.74	$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	- 0.49
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Fe}$	- 0.44	$\text{Cr}^{3+} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	- 0.41
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cd}$	- 0.403	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}$	- 0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Sn}$	- 0.136	$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$	- 0.13
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}$	- 0.126	$2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2$	0.000

续表 3.5

半反应式	E^0/V	半反应式	E^0/V
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+ 0.08	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}$	+ 0.141
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$	+ 0.15	$\text{Cu}^{2+} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	+ 0.153
$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+ 0.17	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cu}$	+ 0.337
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	+ 0.36	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	+ 0.401
$\text{I}_2 + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	+ 0.535	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 0.559
$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+ 0.588	$2\text{HgCl}_2 + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{Cl}^-$	+ 0.63
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	+ 0.682	$\text{Fe}^{3+} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+ 0.771
$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Hg}$	+ 0.854	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+ 0.79
$\text{Ag}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ag}$	+ 0.799	$2\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$	+ 0.92
$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+ 0.94	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 0.96
$\text{Br}_2 + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+ 1.087	$\text{ClO}_2 + \text{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_2^-$	+ 1.16
$2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+ 1.195	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+ 1.2
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1.229	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+ 1.33
$\text{Cl}_2 + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+ 1.359	$\text{HClO} + \text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	+ 1.49
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+ 1.51	$\text{HClO}_2 + 3\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1.57
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1.77	$\text{ClO}_2 + 4\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1.95
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$	+ 2.01	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+ 2.07
$\text{F}_2 + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	+ 2.87	$\text{F}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{HF}$	+ 3.06
$2\text{CO}_2 + \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} \rightleftharpoons 2\text{CNO}^- + 4\text{OH}^-$	+ 0.4	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	+ 0.36

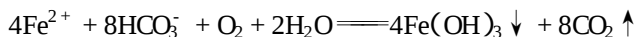
3.2.2 空气氧化

空气是水处理中最常用的氧化剂,氧在酸性溶液和碱性溶液中的标准氧化还原电位分别为 1.229 V 和 0.401 V。空气氧化法就是利用空气中的氧作为氧化剂氧化分解废水中的有害物质。在常温常压下,空气氧化能力较弱,主要降解氧化还原性强的物质,如铁、锰、硫等,难降解的有机物常采用高温高压下的氧化法。

1. 空气氧化除铁、除锰

废水及地下水中常含铁离子,可通过曝气将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ,而 Fe^{3+} 很容易与水中的

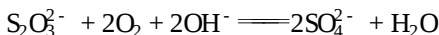
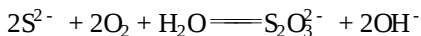
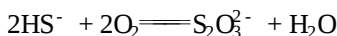
碱作用生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀而去除。地下水除铁,常在锰砂滤池中进行,锰砂起催化作用,其反应式为



空气氧化还可去除废水及地下水中的锰,其反应是将 Mn^{2+} 氧化为 MnO_2 固体沉淀物而分离。

2. 空气氧化脱硫

石化厂等废水中常含有硫化氢、硫醇、硫的钠盐和铵盐,可采用空气氧化法脱硫,其工艺流程如图 3.12 所示。向废水中注入空气或蒸汽,硫化物可被氧化为无毒或微毒的硫代硫酸盐或硫酸盐,其反应式为



废水经除油和除沉渣后与压缩空气及蒸汽混合,升温至 $80 \sim 90$,进入空气氧化塔进行氧化反应。气水比应大于 15,反应时间 $1.5 \sim 2.0$ h。

3. 湿法氧化

湿法氧化是在较高的温度和压力下,用空气中的氧来氧化废水中的溶解物和悬浮性有机物的方法,是没有火焰的燃烧。湿法氧化的操作压强一般不低于 $5 \sim 12$ MPa。湿法氧化对不同的污染物其氧化的难易程度是不同的,氰化物、脂肪族和卤代脂肪族化合物、芳烃、芳香族和含非卤代基团的卤代芳香族化合物易氧化;氯苯、多氯联苯及乙酸等相对分子质量低的有机酸难氧化。

湿法氧化的温度一般控制在 $150 \sim 280$,反应的前半小时,因反应物浓度高,氧化速度快,去除率高。此后,因反应物浓度降低及中间产物难以氧化,使氧化速度趋缓,去除率降低。因此,湿法氧化常作为处理高浓度废水生物处理的预处理,控制湿法氧化的时间为半小时。

湿法氧化常规流程如图 3.13 所示。废水由贮槽 1 经高压泵加压后,与来自空压机的空气混合,经换热器加热升温后进入反应塔 6 进行氧化燃烧,反应后的汽液混合液进入汽液分离器 7,分离出来的蒸汽和其他废气在洗涤器 9 内洗涤后,可用于涡轮发电和其他动力,而分离出来的废水则进入固液分离器 11,进行固液分离后排放或进一步处理。

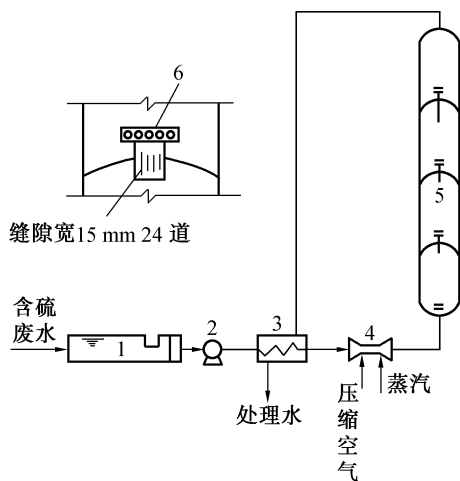


图 3.12 空气氧化法处理含硫废水工艺流程图
1—隔油池;2—泵;3—换热器;4—射流混合器;
5—空气氧化塔;6—喷嘴

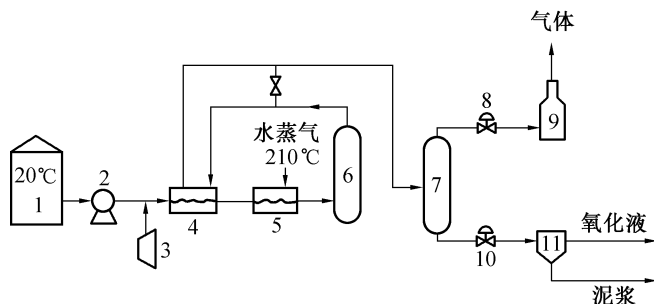


图 3.13 湿法氧化常规流程图

1—贮槽 2—高压泵 3—空气压缩机 4—热交换器 5—启动热交换器 6—反应塔；
7—汽液分离器 8—压力控制阀 9—洗涤器 10—液位控制阀 11—固液分离器

另外,多家工厂采用湿法氧化与生物法两步处理丙烯腈废水,取得较好效果。其工艺为:先经湿法氧化,COD由42 000 mg/L降至1 300 mg/L,BOD₅由14 200 mg/L降至1 000 mg/L,氰化物由270 mg/L降至1 mg/L;再经活性污泥法处理,总去除率达到COD为99%,BOD₅为99.9%,氰化物为99.6%。

4. 焚烧法

焚烧法是在高温下用空气氧化处理废水的一种有效方法。其工艺流程为:废水呈雾状喷入高温(>800)的燃烧炉(旋风焚烧炉)中,使水雾完全汽化,废水中的有机物在炉内被氧化为CO₂及H₂O,而废水中的矿物质、无机盐则生成固体或熔融粒子。焚烧法的缺点是燃料消耗大,当废水中含有的有机物质量热力学能大于4 360 kJ/kg方可用焚烧法处理,如丙烯腈废水毒性大而燃值高,目前国内外大多采用焚烧法处理。对质量热力学能低的废水可采用蒸发蒸馏处理后再行焚烧,或采用湿法氧化法处理。

3.2.3 臭氧氧化

1. 臭氧氧化法的原理

臭氧(O₃)是一种强氧化剂。其具有的强氧化性,一是来自可分解产生具有强烈氧化性的初生态氧(O),二是臭氧中的氧原子具有强烈亲电子和亲质子的性质。在水处理中可用于除臭、脱色、除铁、除氰化物、消毒杀菌及去除有机污染物等。

2. 臭氧发生器

一般采用无声放电法生产臭氧,其原理如图3.14所示。在一对高压交流电极之间,间隙

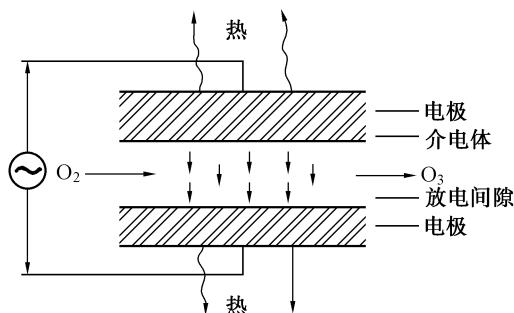
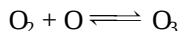


图 3.14 无声放电法制备臭氧原理图

1~3 mm, 形成放电电场, 由于介电体的阻碍, 只有极少的电流通过电场, 即在介电体表面的凸点上发生面部放电, 不能形成电弧, 称为无声放电。当空气或氧气通过此间隙时, 在高速电子流的轰击下, 一部分氧分子生成臭氧, 其反应式为



一般以空气为原料制取臭氧时, 控制臭氧的质量分数为 1%~2%; 以氧气为原料时, 则不高于 1.7%~4.0%。制取臭氧的理论比电耗为 $0.95 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kgO}_3$, 而实际电耗较大。

臭氧发生器有管式和板式两种。管式又有立管式和卧管式两种; 板式有奥托板式和劳泽板式两种, 其构造如图 3.15~3.17 所示, 其特性见表 3.6 及表 3.7。

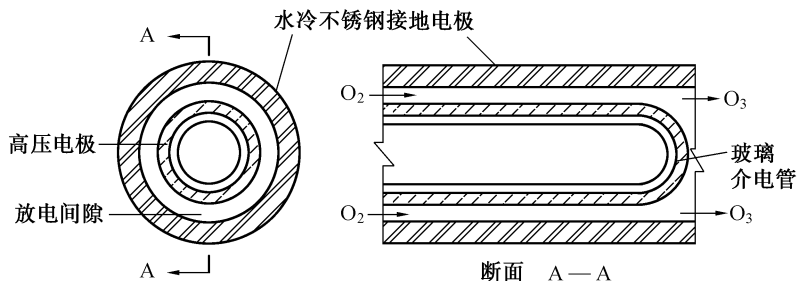


图 3.15 管式发生单元生产臭氧原理图

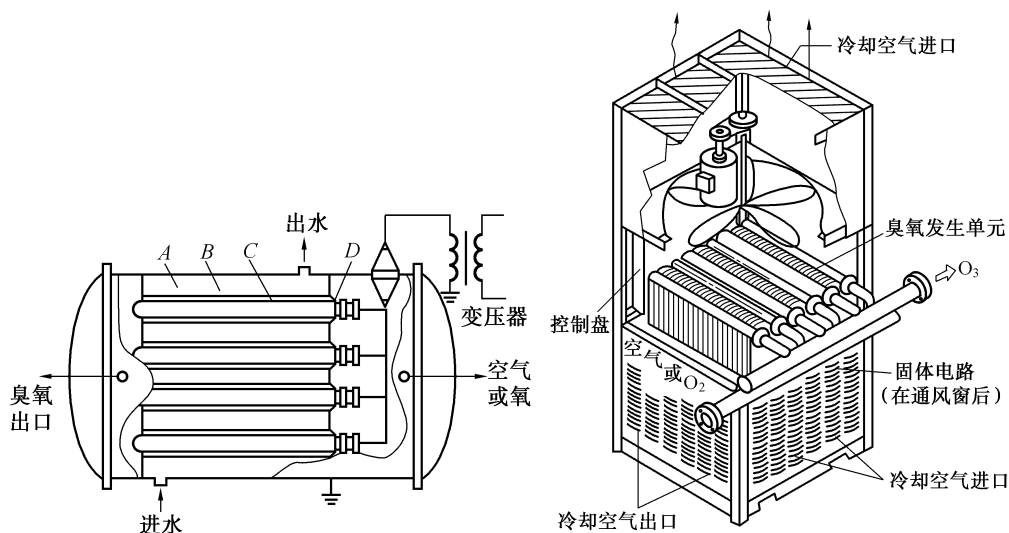


图 3.16 卧管式臭氧发生器结构示意图

图 3.17 劳泽板式臭氧发生器结构示意图

表 3.6 臭氧发生器特性

指 标	奥托板式	管 式	劳泽板式
原料气	空气	空气或氧气	空气或氧气
供气露点 /	- 40	- 40	- 40
冷却方式	水冷	水冷	空气
工作压力 / 9.8×10^4 Pa	0	0.22 ~ 1.08	0.07 ~ 0.86
放电间隙 /mm	3.13	2.50	1.25
电压(峰值) /kV	7.5 ~ 20	15 ~ 19	8 ~ 10
电源频率 /Hz	50 ~ 500	60	2 000
介电体厚度 /mm	3 ~ 4.75	2.5	0.5
电耗 原料空气 /($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$)	22.64	16.7 ~ 22.2	14.0 ~ 19.5
原料氧气 /($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$)	—	8.33 ~ 11.1	5.55 ~ 7.77

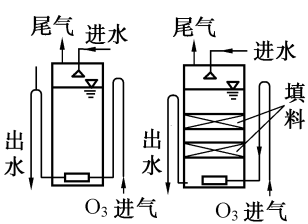
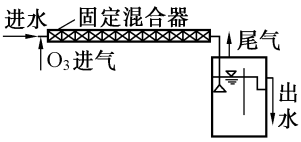
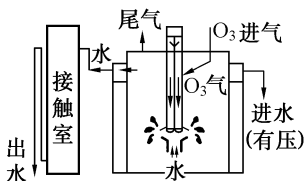
表 3.7 国产臭氧发生器型号与特性

项 目	型 号		
	LCF 型	XY 型	QHW 型
结构型式	立管式	卧管式(内玻管)	卧管式(外玻管)
介电管	$\phi 25 \times 1.5 \times 1\,000$ mm	$\phi 46 \times 2 \times 1\,250$ mm	$\phi 46 \times 4 \times 1\,000$ mm
	玻璃管	玻璃管石墨内涂层	玻璃管
冷却方式	水冷	水冷	水冷
空气干燥方式	无热变压吸附	无热变压吸附	无热变压吸附
工作电压 /kV	9 ~ 11	12 ~ 15	12 ~ 15
电源频率 /Hz	50	50	50
供气气源压力 / 9.8×10^4 Pa	6 ~ 8	6 ~ 8	6 ~ 8
臭氧压力 / 9.8×10^4 Pa	0 ~ 0.6	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 0.8
供气露点 /	- 40	- 40	- 40
臭氧产量 /($\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$)	5 ~ 1 000	5 ~ 2 000	5 ~ 1 000
电耗 /($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$)	15 ~ 20	16 ~ 22	14 ~ 18

3. 接触方式

要使臭氧能较好地溶解于废水中,还需要有良好的水气接触设备,以提高臭氧向水中的传递效果。在水处理中常用的水与臭氧的接触设备有鼓泡塔、固定混合器、涡轮注入器、喷射器和填料塔,详见表 3.8。臭氧与水接触后的尾气含有一定的剩余臭氧,为防止对大气的污染,应进行处理。处理方法有燃烧分解、活性炭吸附、催化分解和化学吸收等,详见表 3.9。

表 3.8 臭氧接触方式

类型	图 示	运行方式	传质能力	优缺点	适用反应方式	电耗 /[Wh·(g ₃) ⁻¹]
鼓泡塔		气水顺流、逆流或多级串联交叠逆流。连续运行或间断批量运行	低	优点: 能耗较低 缺点: (1) 喷头堵塞时, 布气不均匀 (2) 混合差, 易返混 (3) 接触时间长 (4) 价格高	反应速度控制的处理过程, 要求大液体容积的系统使用	2 ~ 3
固定混合器		气水强制混合, 可顺流或逆流连续运动。水量大, 可部分投加	极强	优点: (1) 设备体积小, 占地少 (2) 接触时间短 (3) 处理效果稳定 (4) 易操作、管理方便 (5) 无噪声, 无泄漏 (6) 用料省, 价格低 缺点: (1) 流量不能显著变化 (2) 耗能较多	传质速度控制的水处理过程	4 ~ 5
涡轮注入器		气水强制混合, 多用于部分投加, 淹没深度小于 2 m	强	优点: (1) 水头损失小, 臭氧向水中转移压力大 (2) 混合效果好 (3) 接触时间较短 (4) 体积较小 缺点: (1) 流量不能显著变化 (2) 耗能较多 (3) 有噪声	传质速度控制的水处理过程	7 ~ 10

续表 3.8

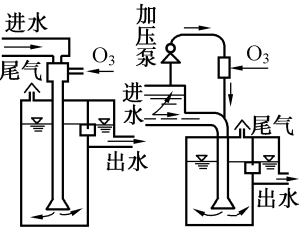
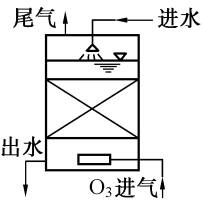
类型	图 示	运行方式	传质能力	优缺点	适用反应方式	电耗 /[Wh·(g _{O₃}) ⁻¹]
喷射器	 全部水量喷射 部分水量喷射	气液强制或抽吸通过孔道,可部分投加或全部投加	较强及接触面积较大	优点: (1)混合好 (2)接触时间短 (3)设备小 缺点: (1)流量不能显著变化 (2)耗能较多	传质速度控制的各种水处理过程	全部 15 ~ 20 部分 4 ~ 10
填料塔		气水逆流通过填料空隙,可连续或间断批量运行	强 随气水流量及填料类型而定	优点: (1)气水比适度 (2)范围广 缺点: (1)耗能高 (2)价格贵 (3)易堵塞 (4)填料表面积垢,维护困难	气相或液相传质速度控制的水处理过程	15 ~ 40

表 3.9 各种臭氧尾气处理方法的比较

处理方式	工艺条件	优缺点
燃烧法	加热温度大于 270	简单、可靠、耗能
活性炭吸附	活性炭固定床,适于低浓度臭氧	臭氧浓度高时,易发生爆炸
催化分解	霍加拉特剂填料	简单、分解迅速,但应防潮
化学吸收	用还原剂硫代硫酸钠或碱液吸收	费用昂贵

4. 臭氧法的应用

臭氧法广泛用于废水的处理及水质消毒。

(1) 炼油含酚废水处理。臭氧氧化处理炼油含酚废水,氧化速度快,酚环可被切断而生成易降解的物质。炼油废水臭氧深度处理流程如图 3.18 所示,其氧化效果见表 3.10。

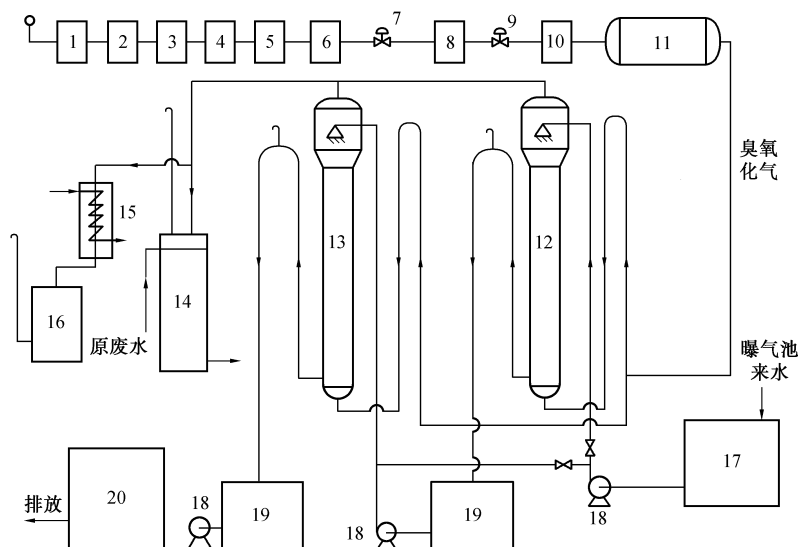


图 3.18 炼油废水臭氧深度处理流程图

1—空压机 2—后冷却器 ;3—冷凝器 ;4—气水分离器 ;5—稳压罐 ;6—变压吸附装置 ;7—减压阀 ;8—净化空气罐 9—减压阀 ;10—冷凝器 ;11—臭氧发生器 ;12—一级臭氧氧化接触塔 ;13—二级臭氧氧化接触塔 ;14—尾气喷淋吸收罐 ;15—加热器 ;16—活性炭吸附罐 ;17—无阀滤池 ;18—加压泵 ;19—氧化塔出水贮罐 ;20—净化水罐

表 3.10 某些含酚、氰废水臭氧处理效果

废水种类	处理方式	O ₃ 投加量 (mg·L ⁻¹)	停留时间 /min	处理效果		
				水质指标	处理前 (mg·L ⁻¹)	处理后 (mg·L ⁻¹)
炼油废水	微气泡接触塔,直径 800 mm,高 7 500 mm,20 ~ 30 μm 微孔钛板	35	12	COD	70 ~ 100	< 50
				酚	0.3	< 0.01
重油裂解废水	填料接触塔	96.8	13	油	5 ~ 10	~ 0.3
		64.9	21.6	酚	0.9	0.001
高炉煤气洗涤水	四级微孔鼓泡塔	30	40	氰	0.74	0.021
				CN ⁻	2.12	0.016
列车洗刷废水	四级活性炭床臭氧接触塔	140 ~ 280	160 ~ 190	COD	14.72	0.38
				BOD	3.82	0
				酚	0.1	0.015
				S ²⁻	14.72	6.72
				COD	400 ~ 500	150
				BOD	120	60
				酚	10	0.1
				S ²⁻	7.8	0

(2)电镀含氰废水处理。电镀含氰废水臭氧氧化处理流程如图 3.19 所示。臭氧能快速氧化电镀含氰废水,去除率可达 97%左右。对铁氰络化物可采用臭氧加紫外线照射方法处理,铁氰络化物可由 4 000 mg/L 降至 0.3 mg/L。

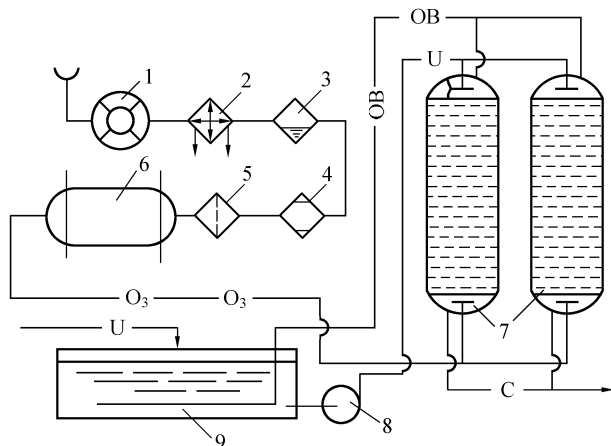


图 3.19 电镀含氰废水臭氧氧化处理流程图

1—旋转式压缩机 2—换热器 3—分离器 4—吸附器 5—灰尘过滤器 6—臭氧发生器；
7—鼓泡反应塔 8—水泵 9—水池 U—含氰废水进水管 OB—尾气管 C—排水管道

(3)含合成表面活性物质废水的处理。臭氧可处理含合成表面活性物质的废水,表面活性物质的去除率可达 65%~85%,详见表 3.11。

表 3.11 臭氧处理含表面活性剂物质的效果

表面活性物质 质量浓度/(mg·L ⁻¹)		臭氧氧化接触 时间/min	处理后的 pH 值	处理后表面活性 物质质量浓度/(mg·L ⁻¹)	去除率 /%	臭氧质量浓度 /(mg·L ⁻¹)		臭氧耗 量比
						进气	出气	
氯化 烷基 苯磺 酸钠	113.4	45	9.75	14.6	87.1	5.31	0.06	1.88
	108.0	35	9.70	11.1	89.7	7.14	0.14	1.97
	95.8	30	11.90	10.8	87.6	8.91	0	2.29
烷基 苯磺 酸钠	195.0	20	11.85	61.9	68.3	7.35	0	0.82
	203.0	15	11.80	82.8	59.2	9.08	0	0.76
	177.5	45	11.74	21.0	88.2	6.49	0.12	1.18
离子表 面活 性物 质	120	10	5.0	36.0	70.0	—	—	0.455
	61.3	30	碱性	3.5	94.3	—	—	1.266
	58.5	5~30	7.8	2.1	96.3	—	—	1.269

(4)腈纶厂废水处理。臭氧氧化法处理腈纶厂废水,对丙烯腈、硫氰酸盐、氰化物、COD 都有较好的处理效果。其工艺流程如图 3.20 所示,处理效果见表 3.12。

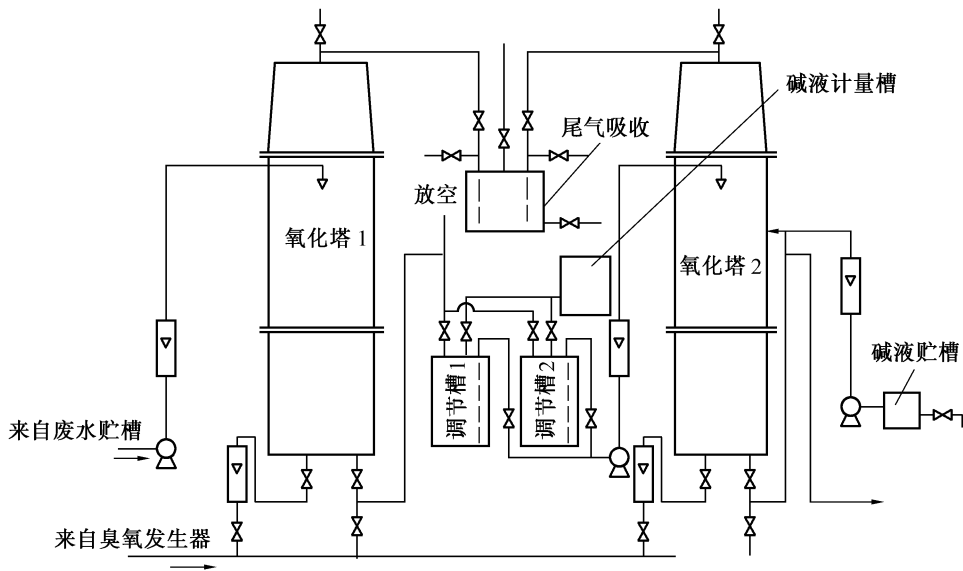


图 3.20 国内某腈纶厂臭氧处理废水流程图

表 3.12 国内某腈纶厂臭氧处理废水效果

试验 编号		废水 流量 /(m ³ · h ⁻¹)	O ₃ 投加量及质量浓度			气 液 比	水 质 分 析					
			O ₃ 气量 /(m ³ ·h ⁻¹)	O ₃ 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	O ₃ 投量 /(g·m ⁻³ 水)		丙烯腈			SCN ⁻		
							进水 /(mg·L ⁻¹)	出水 /(mg·L ⁻¹)	去除率 /%	进水 /(mg·L ⁻¹)	出水 /(mg·L ⁻¹)	去除率 /%
1	塔 1	0.3	15	8.1	745	50	150	33	99.2	43.2	1.52	100
	塔 2		12.6			42	33	1.2		1.52	测不出	
2	塔 1	0.25	8	10.5	966	32	152	14	99.8	46.3	—	100
	塔 2		15			60	14	0.25		—	测不出	
3	塔 1	0.25	10	18.26	1 610	40	152	10.65	99.9	58	1.3	100
	塔 2		12			48	10.65	< 0.2		1.3	测不出	

续表 3.12

试验 编号	水质分析								
	CN ⁻		COD			氨氮		pH 值	
	进水	出水	进水	出水	去除率	进水	出水	进水	出水
	/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)	%	/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)	/(mg·L ⁻¹)
1	塔 1	0.75	5.82	257.5	60.0	8.4		8	5
	塔 2	5.82	0.51	227			12.4	11.5~12	8
2	塔 1		16.4	476.9	85.6	11.1		8.25	
	塔 2	16.4	0.38				3.92	12.6	10.95
3	塔 1		20.6	483		14.0		8.45	
	塔 2	20.6	0.51				5.18	11.0	9.98

(5)印染废水处理。某印染厂废水处理工艺如图 3.21 所示。废水经过处理后,进入臭氧反应塔处理,臭氧投加量为每 m³ 50 g,经臭氧处理后废水色度的去除率达 80.9%。

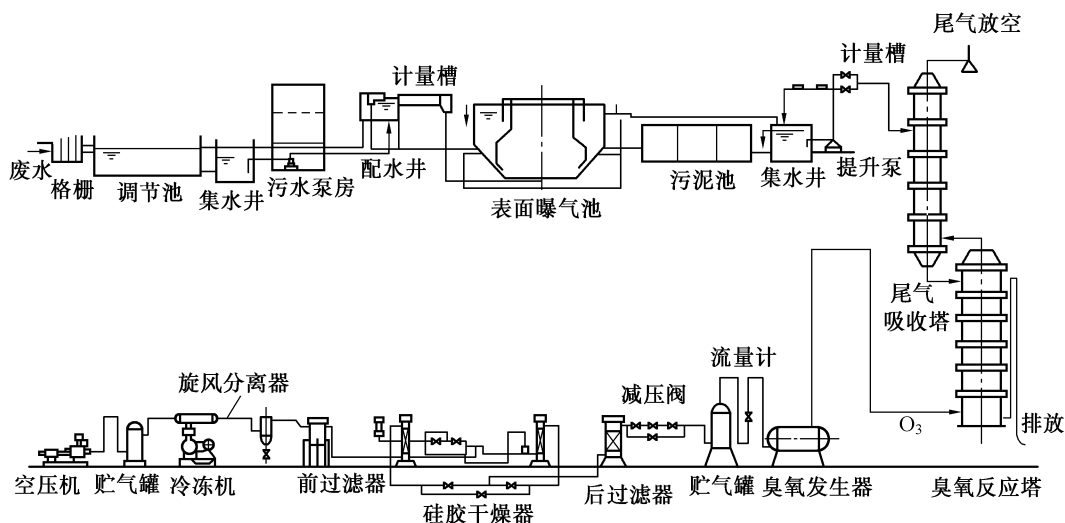


图 3.21 某印染厂废水处理工艺流程图

3.2.4 氯氧化法

1. 原理

作为氧化剂的氯有:氯气、液氯、漂白粉、漂粉精、次氯酸钠和二氧化氯等。氯气是具有刺激性气味的黄绿色有毒气体,液氯是氯气被压缩后变为琥珀色的透明液体,漂粉精可加工

成片剂称为氯片，次氯酸钠可利用电解食盐取得。各种氯的氧化剂的性质见表 3.13 ~ 3.15。氯易溶于水发生水解反应生成次氯酸。

表 3.13 氯气的性质

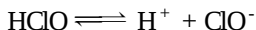
元素符号	Cl ₂
相对原子质量	35.453
密度	3.213 kg/m ³ (0 ,10 ⁵ Pa)
液化点	- 34.5 (10 ⁵ Pa)
黏度	13.25 μPa·s(20)
比热容	481.4 J/(kg·K)(10 ⁵ Pa ,恒压 ,15) 356 J/(kg·K)(10 ⁵ Pa ,恒容 ,15)
导热系数	0.727 0 W/(m·K)(0)
与 NaOH 反应热	1.46 × 10 ⁶ J/kg
在水中的溶解度	7.29 kg/m ³ (20)

表 3.14 液氯的性质

临界温度	144
临界压力	7.71 × 10 ⁶ Pa(绝对压力)
临界密度	573 kg/Nm ³
可压缩性	20 每增加 10 ⁵ Pa ,体积缩小 0.011 8%
密度	1 468.4 kg/m ³ (0)
沸点	- 34.5 (10 ⁵ Pa)
冰点	- 100.98
黏度	0.342 × 10 ^{- 3} Pa·s(20)
液 - 气体积比	0 ,10 ⁵ Pa 时 ,1 体积液氯等于 457.6 体积氯气 1 kg 液氯等于 0.31 m ³ 氯气
比热容	946 J/(kg·K)
气化潜热	0.288 × 10 ⁶ J/kg(- 34.06 时)
溶化热	95.8 × 10 ³ J/kg(- 101.5 时)

表 3.15 各种氯化剂性质比较

名 称	分子式	相对分子质量	氯的质量 分数 / %	有效系数	有效氯的质量 分数 / %	氯的物质的量 浓度 / (mol · L ⁻¹)
液氯	Cl ₂	71	100	1	100	1
次氯酸	HClO	52.5	67.7	2	135.4	1
次氯酸钠	NaClO	74.5	47.7	2	95.4	1
漂白粉	CaClO ₂	127	56	1	56	1
漂粉精	Ca(ClO) ₂	143	49.6	2	99.2	2
二氧化氯	ClO ₂	67.5	52.6	5(酸性)	263	2.5
				1(中性)	52.6	0.5
亚氯酸钠	NaClO ₂	90.5	30.2	4(酸性)	156.8	2
一氯氨	NH ₂ Cl	51.5	69	2	138	1
二氯氨	NHCl ₂	86	82.5	2	165	2
三氯氨	NCl ₃	120.5	88.5	3	265.5	3



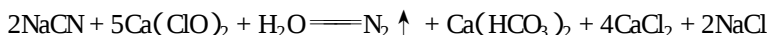
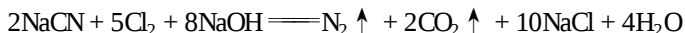
氯溶于水后 Cl₂ 与 HClO 占的百分比(%)详见表 3.16。氯溶于水发生水解反应生成次氯酸,次氯酸的氧化性很强,可以氧化废水中的氰、硫、酸、氨氮及有机物而达到净水目的。

表 3.16 氯溶于水后 Cl₂ 与 HClO 占的百分比

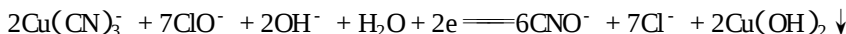
%

pH 值	氯溶液质量浓度 / (mg · L ⁻¹)									
	500		1 000		1 500		2 000		3 500	
	Cl ₂	HClO	Cl ₂	HClO	Cl ₂	HClO	Cl ₂	HClO	Cl ₂	HClO
1	54.30	45.65	64.67	35.25	69.94	29.95	73.29	26.57	78.91	20.89
2	17.66	82.31	27.41	72.52	33.95	65.93	38.78	61.05	49.70	49.97
3	2.48	97.51	4.73	95.25	6.79	93.17	8.68	91.26	13.57	86.28
4	0.26	99.72	0.52	99.46	0.77	99.20	1.02	98.45	1.76	98.19
5	0.026	99.74	0.05	99.71	0.078	99.68	0.104	99.66	0.181	99.58
6	0.000	97.68	0.005	97.67	0.008	97.67	0.010	99.67	0.018	97.66

(1)氯与氰化物的反应。氯、漂白粉、次氯酸钠与氰化物的反应式为



上述反应实际上是分两阶段完成的。第一阶段将 CN^- 氧化成氰酸盐,在 $\text{pH} = 10 \sim 11$ 的条件下,此反应速度较快,一般 $10 \sim 15 \text{ min}$ 即可完成;第二阶段增加氯或漂白粉等的投量,进一步将 CNO^- 完全氧化而破坏碳-氮键。氰酸根的完全氧化在 $\text{pH} = 8 \sim 8.5$ 时效果最好,反应约半小时即可完成。氯氧化法也可氧化络氰化物,例如氧化络氰化铜离子,反应化学方程式为

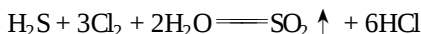


(2) 氯与硫化物的反应

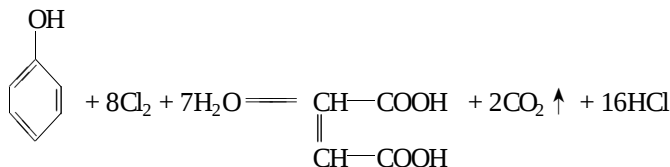
部分氧化



完全氧化



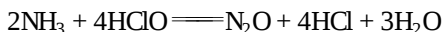
(3) 氯与酚的反应



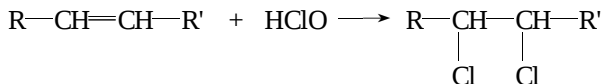
在这一反应过程中,将产生许多中间体氯酚而放出不良的氯酚臭味。

因此,用氯或漂白粉氧化酚时,投量必须过量数倍,以使反应进行得较为完全,并较少地产生氯酚臭味。如用二氧化氯作氧化剂,可使酚全部分解而无氯酚味,但费用较高。

(4) 氯与氨的反应。为进一步从处理后的废水中去除氨氮,可采用折点加氯法进行氧化,使之形成非溶解性的 N_2O 气体,其化学方程式为



(5) 氯与有机物的反应。氯能与某些发色有机物(可用 $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}-\text{R}'$ 表示)反应,氧化破坏其发色基团而去除色度,反应式为



氯去除有机物引起的色度效果与 pH 值有关,一般在碱性条件下效果好。在相同 pH 值的条件下,次氯酸钠比氯的效果好。

2. 氯氧化设备

以液氯为氧化剂时,主要设备为氯瓶和加氯机以及加氯间。

(1) 氯瓶。液氯在钢瓶内贮存与运输。使用时,液氯转变为氯气加入水中,瓶中压力一般为 $(6 \sim 8) \times 10^5 \text{ Pa}$ 。卧式氯瓶如图 3.22 所示。

(2) 加氯机。加氯机的种类很多,如 ZJ 型转子加氯机,其结构示意图如图 3.23 所示。氯瓶的氯气首先进入旋风分离器 3,再经弹簧膜阀 1 和控制阀 2 进入转子流量计 4 和中转玻璃罩 5,经水射器 7 与压力水混合,溶解于水后再输送至加氯点,各种加氯机的特性见表 3.17。

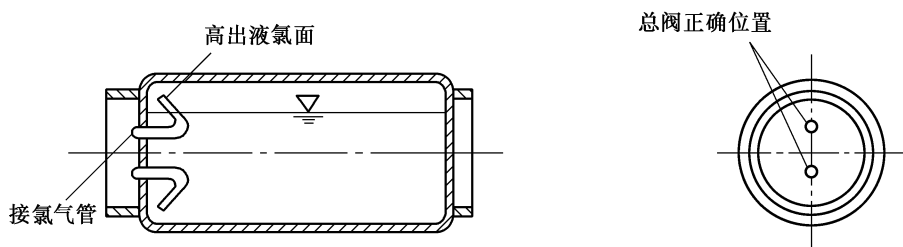


图 3.22 卧式氯瓶结构示意图

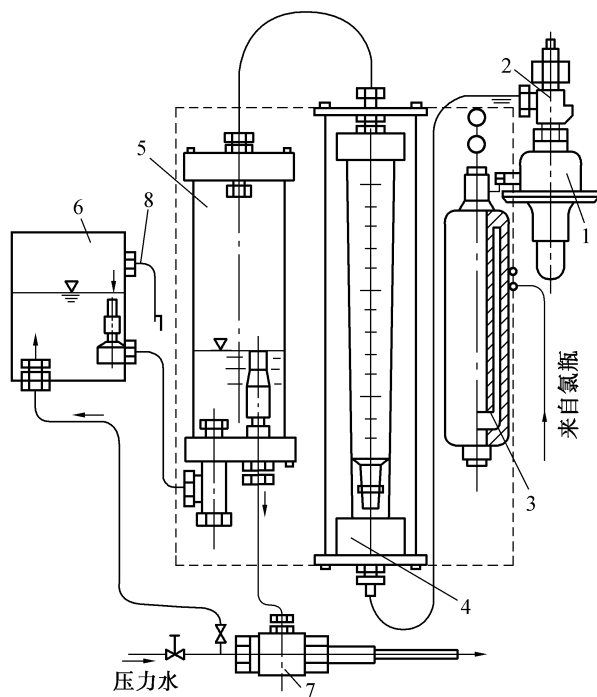


图 3.23 ZJ 型转子加氯机结构示意图

- 1—弹簧膜阀 2—控制阀 3—旋风分离器 4—转子流量计；
5—中转玻璃罩 6—平衡水箱 7—水射器 8—溢流管

表 3.17 各种加氯机的特性

名 称	型 号	加氯量 ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	特 点
转子加氯机	ZJ—1	5 ~ 45	(1)加氯量稳定、控制较准 (2)水源中断时能自动破坏真空,防止压力水倒流入氯瓶等易腐蚀部件
	ZJ—2	2 ~ 10	(3)价格较高
转子真空加氯机	LS80—3	1 ~ 5	(1)构造及计量简单、体积较小 (2)可自动调节真空度,防止压力水倒回到氯瓶等
	LS80—4	0.3 ~ 3	(3)水射器工作压力为 $5 \times 10^5 \text{ Pa}$,水压不足时加氯量将减少
随动式加氯机	SDX—1	0.008 ~ 0.5	(1)加氯机可随水泵启停自动进行加氯
	SDX—1	0.5 ~ 1.5	(2)适宜于深井泵房的加氯
加氯机	MJL—I	0.1 ~ 3.0	设有二道止回阀和一道安全阀,可防止突然停水时压力水倒流入加氯机和氯瓶
	MJL—II	2 ~ 18	

(3)加氯间。加氯间属危险建筑,应坚固、防火、保温通风,大门应外开,加氯间要与其他工作间隔开。加氯间内应设置防毒面具、防爆灯具及事故处理设施,电力开关均应置于室外,室内采暖的暖气片与氯瓶及加氧机应相隔一定距离。

3. 氯化法的应用

(1)印染废水处理。某印染厂采用混凝沉淀——二氧化氯氧化法处理印染废水取得较好效果。废水经调节后,流至混凝沉淀池,投加碱式氯化铝,进入二氧化氯反应池,二氧化氯投加量 $50 \sim 60 \text{ g/m}^3$,反应 $3 \sim 4 \text{ min}$,流入沉淀池。经处理后废水外排。污泥经浓缩、压滤后排出。该处理工艺流程如图 3.24 所示,其处理效果见表 3.18。

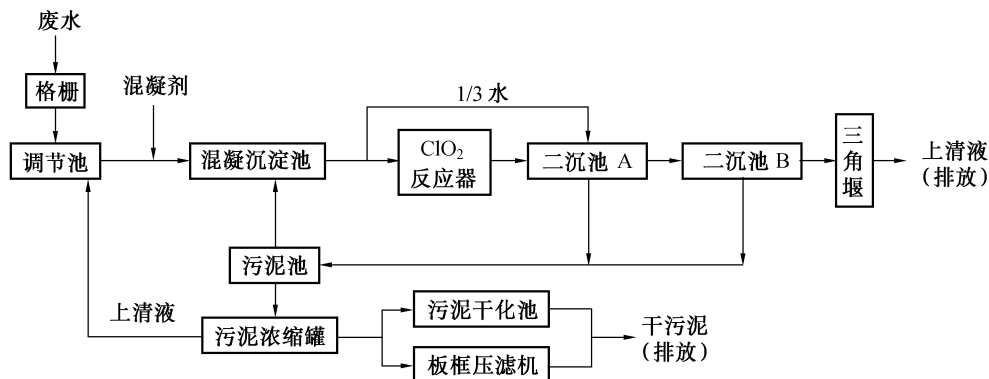


图 3.24 混凝沉淀——二氧化氯氧化法处理印染废水工艺流程图

表 3.18 混凝沉淀——二氧化氯氧化法废水处理装置运行数据

监测项目	pH 值	色度	COD 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	S ²⁻ 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	ClO ₂ 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)
废水	11.0~14.0	1 000	724	183	55.8	
混凝沉淀池出水	8.0	500	440	152	30.6	
ClO ₂ 反应池出水	4.0	20	104	4	0.63	17.5
二沉池出水	7.0	50	127	6	0.96	2.14
去除率/%		95	82.5	96.6	98.3	

(2)电镀含氰废水处理。电镀含氰废水碱性氯化法处理流程如图 3.25 所示。原水含氰 50~100 mg/L,处理后降为小于等于 0.5 mg/L。

(3)选矿废水处理。选矿废水成分比较复杂,主要含有氰、黄药、黑药、醚胺、松根油和重金属等有毒、有害物质。氯化法可以去除选矿废水中的氰、黄药等药剂。需氯量为氯:黄药=3.5:1,pH 值控制在 7~8.5,氯与黄药的化学方程式为

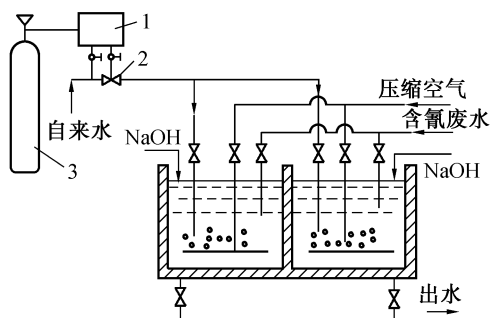


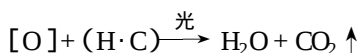
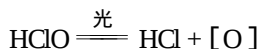
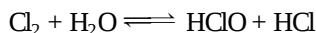
图 3.25 碱性氯化法处理含氰废水流程图

1—加氯机 2—水射器 3—氯瓶

3.2.5 其他氧化

1. 光氧化法

光氧化法是利用光照强化氧化剂的氧化作用而净水的方法。例如,氯在水中产生次氯酸,在紫外光照条件下,次氯酸分解产生初生态氧[O],这种初氧具有强烈的氧化能力。其化学方程式为



实践说明,有光照的氯的氧化能力比无光照的高 10 倍以上。次氯酸盐、过氧化氢、空气和臭氧等在光照状况下其氧化能力也都明显增强。光氧化法一般使用紫外光,处理过程一般不产生沉淀,可处理各种有机物。

光氧化法工艺流程如图 3.26 所示。废水经过滤后进入光氧化池,反应时间一般为 0.5~2.0 h,在氧化过程中产生 HCl,使 pH 值下降,需投碱中和后排放。经处理后废水的

COD、BOD 可接近于零。对废水除色、除臭、消毒及除油效果都很好。

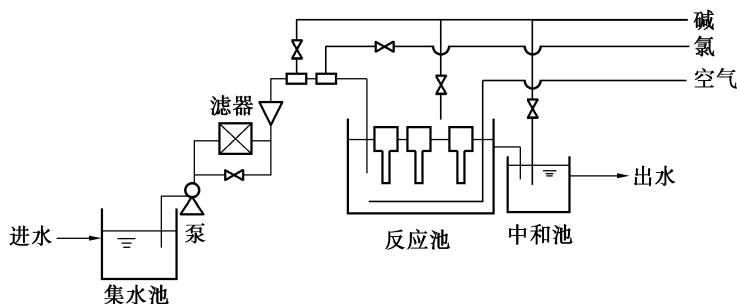


图 3.26 光氧化法工艺流程图

2. 过氧化氢氧化法

过氧化氢(H_2O_2)在 Fe^{2+} 的催化下,能产生两种活泼的氢氧自由基,可加快对有机物的氧化,对有机物的氧化条件及处理效果见表 3.19 及表 3.20。

表 3.19 过氧化氢氧化硫化物

反应条件	反应时间	反应条件	反应时间	反应条件	反应时间
酸性或中性	15 ~ 45 min	Fe^{2+} pH 值 6.0 ~ 7.5	几秒	碱性	15 min

表 3.20 部分有机物的氧化结果

化合物	初始质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD 去除率/%	TOC 去除率/%
硝基苯	615.5	< 2	72.40	37.25
苯甲酸	610.5	< 1	75.77	48.36
苯胺	465.5	< 1	76.49	43.37
酚	470.6	< 2	76.06	44.14
甲酚	540.5	< 2	71.82 ~ 74.96	38.24 ~ 55.64
氯酚	624.8	< 2	75 ~ 75.69	21.74 ~ 47.87
二氯酚	815.0	< 1 ~ 3	61.07 ~ 74.24	32.51 ~ 52.63
二硝基酚	920.6	< 1	72.52 ~ 80.07	50.65 ~ 51.0

3. 高锰酸盐氧化法

高锰酸盐是一种强氧化剂,能氧化水中的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 S^{2-} 、 CN^- 、酚及其他有机物,能杀死水中的很多藻类和微生物。在中性 pH 值条件下,对水中有机物及致突变物质去除率很高。用高锰酸钾作为氯氧化法的预处理,可有效地控制氯酚与氯仿的形成。

3.3 化学还原

3.3.1 基本原理

化学氧化还原的基本原理见 3.2 节,这里不再重述。化学还原法是向废水中投加还原剂,将废水中的污染物还原出来,或使废水中的有毒有害物质转变为无毒或毒性小的新物质的方法。还原法主要用于处理并回收废水中的重金属离子。

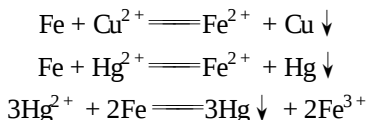
3.3.2 还原剂

水处理常用的还原方法有金属还原法、硫酸亚铁还原法、亚硫酸盐还原法及水合肼还原法等。

水处理中常用的还原剂有铁粉、铁屑、金属锌、硫酸亚铁、二氧化硫、水合肼、甲醛、亚硫酸钠及亚硫酸氢钠等。

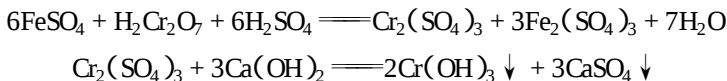
1. 金属还原法

常以固体金属铁屑与锌粒等还原剂作为滤料还原废水中的铬、汞、铜及镉等污染物,如废水中的铜离子、汞离子与铁屑进行的反应为



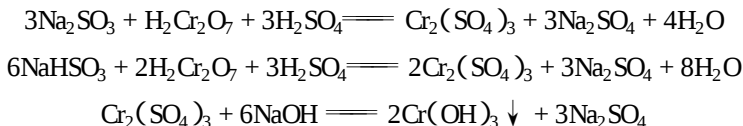
2. 硫酸亚铁还原法

利用硫酸亚铁还原法处理含铬废水效果较好,在 $\text{pH} = 2.9 \sim 3.7$ 时,将废水中的 Cr^{6+} 还原为 Cr^{3+} ,然后投加石灰调整 $\text{pH} = 7.5 \sim 8.5$,生成氢氧化铬沉淀。



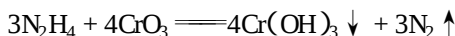
3. 亚硫酸盐还原法

先将 Cr^{6+} 还原为 Cr^{3+} ,然后使用 NaOH 中和剂,调整 $\text{pH} = 7 \sim 9$,生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀。



4. 水合肼还原法

水合肼($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)在中性或微碱性条件下,能迅速还原六价铬并生成氢氧化铬沉淀。



3.3.3 应用实例

1. 处理含铬酸废水

可使用硫酸亚铁、二氧化硫及亚硫酸盐等还原剂处理含铬废水,其各项工艺参数见表 3.21。利用硫酸亚铁还原法间歇和连续式处理含铬废水流程如图 3.27 所示。含铬废水还原处理工艺有槽外处理及槽内处理,槽外处理是将电镀生产漂洗水集到流水线外的处理站进行处理,槽内处理是向漂洗槽内投加还原剂进行处理。槽内处理及槽外处理流程如图 3.28 及图 3.29 所示。

表 3.21 化学还原法处理铬酸废水的工艺参数

药剂名称	投药比(质量比)		调 pH 值		反应时间/min		沉淀时间/h	出水水质	
	理论值	使用值	酸化	碱化	还原反应	碱化反应		Cr^{6+} /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Cr^{3+} /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
NaHSO_3	$\text{Cr}^{6+} : \text{NaHSO}_3 = 1:3.16$	1:4~8	2~3	8~9	10~15	5~15	1~1.5	<0.5	<1.0
$\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cr}^{6+} : \text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O} = 1:16$	1:25~32	<3	8~9	15~30	5~15	1~1.5	<0.5	<1.0
$\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cr}^{6+} : \text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}_2\text{O} = 1:0.72$	1:1.5	2~3	8~9	10~15	5~15	1~1.5	<0.5	<1.0
SO_2	$\text{Cr}^{6+} : \text{SO}_2 = 1:1.85$	1:2	2	8~9	15~30	15~30	1~1.5	<0.5	<1.0
		1:2.6~3	3~4						
		1:6	6						

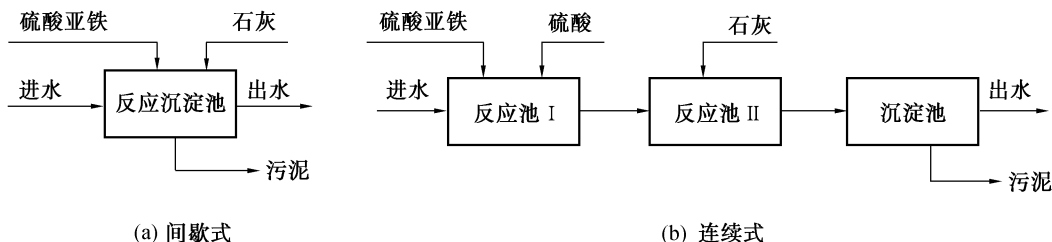


图 3.27 硫酸亚铁石灰法处理含铬酸废水流程示意图

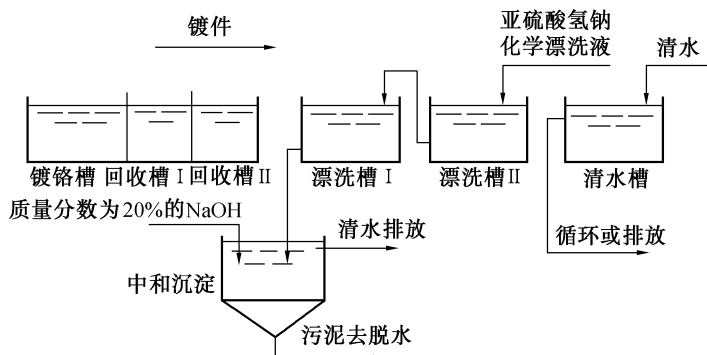


图 3.28 槽内化学漂洗处理含铬废水流程图

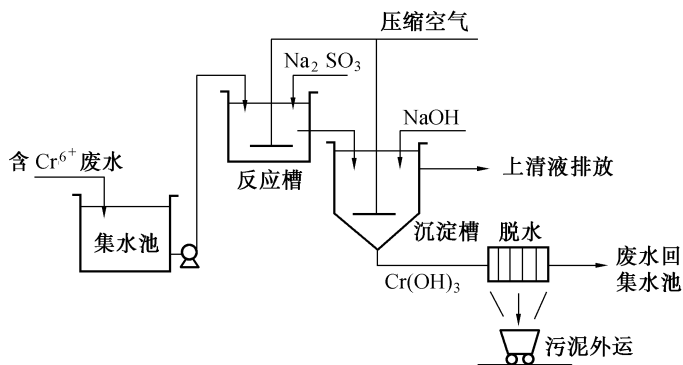


图 3.29 槽外集中处理工艺流程图

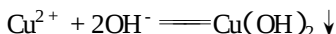
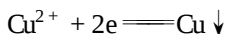
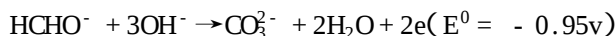
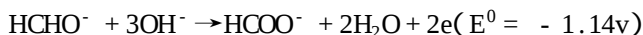
2. 处理含汞废水

利用铁屑过滤还原法处理含汞废水装置如图 3.30 所示。

池内填加铁屑，废水自下而上通过铁屑滤池，经处理后的废水从池顶排出，处理产生的汞渣定期从池底排放。

3. 处理含铜废水

含铜废水还原法槽内处理工艺如图 3.31 所示，废水从镀铜槽进入药剂槽还原后进入活性炭柱处理，炭柱出水再返回原镀铜槽循环使用，铜回收利用。利用甲醛在碱性溶液中呈强还原性的特性，可将废水中的 Cu^{2+} 离子还原为金属铜，其反应式为



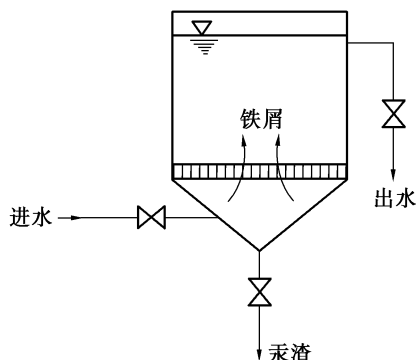


图 3.30 铁屑过滤池结构示意图

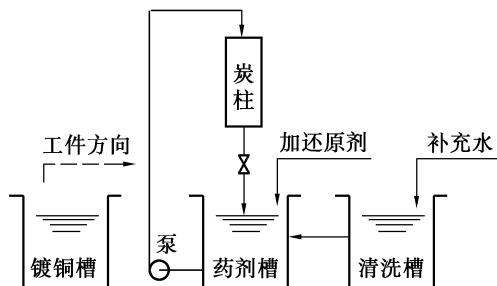
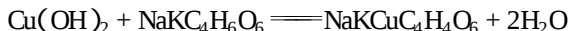
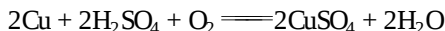


图 3.31 含铜废水还原法槽内处理工艺流程图

当溶液中有酒石酸钾钠时, Cu^{2+} 可被络合为酒石酸铜钾钠, 其化学方程式为



为了回用还原后的铜, 可将还原后的含铜废水采用活性炭吸附, 再用硫酸清洗。并吹气增氧, 使 Cu 再氧化为硫酸铜回收利用, 其化学方程式为



3.4 化学沉淀

3.4.1 化学沉淀原理

化学沉淀法是指向废水中投加化学药剂, 使之与废水中的溶解性物质发生化学反应, 生成难溶性的沉淀物, 然后进行固液分离, 从而去除废水中污染物的处理方法。向废水中投加的化学物质称为沉淀剂。常用的化学沉淀剂有碳酸盐、氢氧化物、硫化物、钡盐、卤化物及铁盐等。废水中的重金属离子, 如汞、镉、铅、锌、镍、铬、砷、铜等以及氟、硫、硼、氰等非金属物质均可通过化学沉淀法去除。

如果某化合物在溶液中的浓度超过其饱和浓度, 就会从溶液中析出。其在溶液中的阴阳离子浓度之积是个常数, 称为溶度积 K_{sp} , 若超过溶度积 K_{sp} , 将产生沉淀析出。碳酸盐、金属氢氧化物及金属硫化物的溶度积分别见表 3.22 ~ 3.24。如需去除废水中的 Zn^{2+} 离子, 可投加 Na_2S , 生成 ZnS , 若 Zn^{2+} 、 S^{2-} 之积超过 ZnS 的溶度积 $K_{\text{sp}} = 1.6 \times 10^{-24}$ 时, 则 ZnS 从水中析出, 从而去除废水中的 Zn^{2+} 离子。

表 3.22 碳酸盐的溶度积

化学式	K_{sp}	化学式	K_{sp}	化学式	K_{sp}
Ag_2CO_3	8.1×10^{-12}	$CuCO_3$	1.4×10^{-10}	$MnCO_3$	1.8×10^{-11}
$BaCO_3$	5.1×10^{-9}	$FeCO_3$	3.2×10^{-11}	$NiCO_3$	6.6×10^{-9}
$CaCO_3$	2.8×10^{-9}	Hg_2CO_3	8.9×10^{-17}	$PbCO_3$	7.4×10^{-14}
$CdCO_3$	5.2×10^{-12}	Li_2CO_3	2.5×10^{-2}	$SrCO_3$	1.1×10^{-10}
$CoCO_3$	1.4×10^{-13}	$MgCO_3$	3.5×10^{-8}	$ZnCO_3$	1.4×10^{-11}

表 3.23 金属氢氧化物溶度积

氢氧化物	K_{sp}	pK_{sp}	氢氧化物	K_{sp}	pK_{sp}
$AgOH$	1.6×10^{-8}	7.8	$Fe(OH)_3$	3.2×10^{-38}	37.50
$Al(OH)_3$	1.3×10^{-33}	32.90	$Hg(OH)_2$	4.8×10^{-26}	25.32
$Ba(OH)_2$	5.0×10^{-3}	2.30	$Mg(OH)_2$	1.8×10^{-11}	10.75
$Ca(OH)_2$	5.5×10^{-6}	5.26	$Mn(OH)_2$	1.1×10^{-13}	12.96
$Cd(OH)_2$	2.2×10^{-14}	13.66	$Ni(OH)_2$	2.0×10^{-15}	14.70
$Co(OH)_2$	1.6×10^{-15}	14.80	$Pb(OH)_2$	1.2×10^{-15}	14.93
$Cr(OH)_2$	2.0×10^{-16}	15.70	$Sn(OH)_2$	6.3×10^{-27}	26.20
$Cr(OH)_3$	6.3×10^{-31}	30.2	$Th(OH)_4$	4.0×10^{-45}	44.4
$Cu(OH)_2$	5.0×10^{-20}	19.30	$Ti(OH)_3$	1.0×10^{-40}	40
$Fe(OH)_2$	1.0×10^{-15}	15.0	$Zn(OH)_2$	7.1×10^{-18}	17.15

表 3.24 金属硫化物溶度积

分子式	K_{sp}	pK_{sp}	分子式	K_{sp}	pK_{sp}
Ag_2S	6.3×10^{-50}	49.20	HgS	4.0×10^{-53}	52.40
CdS	7.9×10^{-27}	26.10	MnS	2.5×10^{-13}	12.60
CoS	4.0×10^{-21}	20.40	NiS	3.2×10^{-19}	18.50
Cu_2S	2.5×10^{-48}	47.60	PbS	8.0×10^{-28}	27.90
CuS	6.3×10^{-36}	35.20	SnS	1.0×10^{-28}	25.00
FeS	3.2×10^{-18}	17.50	ZnS	1.6×10^{-24}	23.80
Hg_2S	1.0×10^{-45}	45.00	Al_2S_3	2.0×10^{-7}	6.70

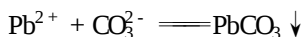
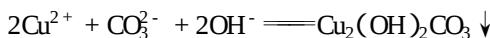
3.4.2 化学沉淀方法

1. 碳酸盐沉淀法

碳酸盐沉淀法是向废水中投加碳酸盐沉淀剂,如碳酸钠、碳酸钙等,使其与金属离子生成难溶的碳酸盐沉淀而析出。金属离子的碳酸盐溶度积很小,对高浓度的重金属废水,可以投加碳酸盐方法加以处理回收。如欲处理含锌废水,可投加碳酸钠生成碳酸锌沉淀去除或回收。其化学方程式为



如欲处理含铜、含铅废水等也可使用碳酸盐沉淀法,其化学方程式为



2. 氢氧化物沉淀法

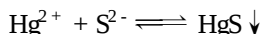
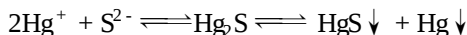
废水中的许多金属离子都能生成氢氧化物沉淀而得以去除。 pH 值是氢氧化物沉淀的重要影响因素,如处理含锌废水时,其沉淀的最佳 pH 值为 $9 \sim 10$,某些金属氢氧化物沉淀析出的最佳 pH 值范围见表3.25。采用氢氧化物沉淀法去除金属离子时,沉淀剂为各种碱性物质,常用的有石灰、石灰石、氢氧化钠及电石渣等。石灰沉淀法的优点是经济简便、药剂来源广,因而广泛应用。缺点是沉渣量大。采用氢氧化钠为沉淀剂时可减少沉渣量。

表 3.25 某些金属氢氧化物沉淀析出的最佳 pH 值范围

金属离子	Fe^{3+}	Al^{3+}	Cr^{3+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Sn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}
沉淀的最佳 pH 值	$6 \sim 12$	$5.5 \sim 8$	$8 \sim 9$	> 8	$9 \sim 10$	$5 \sim 8$	> 9.5	$9 \sim 9.5$	> 10.5	$5 \sim 12$	$10 \sim 14$
加碱溶解的 pH 值		> 8.5	> 9		> 10.5			> 9.5		> 12.5	

3. 硫化物沉淀法

金属硫化物比其氢氧化物的溶度积更小,所以可向废水中投加硫化物使金属离子生成金属硫化物沉淀而去除回收。常用的硫化物沉淀剂有 H_2S 、 Na_2S 、 NaHS 、 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 、 MnS 及 FeS 等。如处理含汞废水,可向废水中投加硫化钠,生成硫化汞沉淀,其化学方程式为

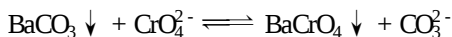


为了加快沉淀,还可投加 FeSO_4 凝聚剂进行共沉。

4. 钡盐沉淀法

向含六价铬的废水中投加钡盐,如碳酸钡、氯化钡、硝酸钡或氢氧化钡等沉淀剂,可生成

难溶的铬酸钡沉淀而去除或回收,其化学方程式为



碳酸钡也是一种难溶盐,它的溶度积比铬酸钡的溶度积要大, BaCO_3 饱和溶液中的钡离子浓度对于 BaCrO_4 已成为过饱和了。因此向含有 CrO_4^{2-} 离子的废水中投加 BaCO_3 时, Ba^{2+} 就会和 CrO_4^{2-} 生成 BaCrO_4 沉淀。这种由一种沉淀转化为另一种沉淀的过程称为沉淀的转化。在该反应中,碳酸钡的投加量为理论计算的4倍,在空气搅拌下,其反应时间为15 min。

5. 卤化物沉淀法

常采用氯化钠沉淀法处理镀银和照相工艺中产生的废水,氯化钠与废水中的银离子生成氯化银沉淀,从而去除废水中的银离子。

6. 铁氧体沉淀法

向欲处理的废水中投加亚铁盐,调整pH值,充氧加热,使废水中的金属离子形成不溶性的铁氧体而沉淀析出。在投加亚铁盐后,由于水解使pH值下降,应投加NaOH调整pH=8~9。向废水中充氧,使二价铁转化为三价铁,加热到60~80℃,反应时间20 min,可加速铁氧体的形成。铁氧体是一种具有晶体结构的复合氧化物,不溶于水和酸碱溶液,具有较高的导磁率和电阻率,其化学组成主要是二价和三价金属氧化物。

铁氧体法的优点是可同时除去废水中的多种金属离子,出水水质好,对水质适应性强,沉渣易分离,设备简单。缺点是不能单独回收某种金属,处理成本较高。

7. 磷酸盐沉淀法

当要去除废水中含有的可溶性磷酸盐时,可向废水中投加铁盐或铝盐生成不溶性的磷酸盐沉淀而去除。投加的铁盐、铝盐有 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$,铁盐、铝盐等沉淀剂的加入量应根据磷酸盐的含量来确定,使用铁盐时应调整pH值为5,使用铝盐时,应调整pH值为6。此法一般去除磷酸盐的比率可达90%以上,其沉淀物可用做农肥。

3.4.3 应用实例

1. 含汞废水处理

某化工厂乙醛车间排出含汞废水200 m³/d,汞质量浓度5 mg/L,pH=2~4。采用硫化钠沉淀法处理工艺,调pH=8~10,投加硫化钠30 mg/L,硫酸亚铁60 mg/L,处理后的废水中汞的质量浓度0.2 mg/L,其处理工艺流程如图3.32所示。

2. 矿山废水处理

某矿山废水中铜的质量浓度为83.4 mg/L,铁的质量浓度为1 260 mg/L,采用氢氧化钙(石灰乳)沉淀法处理,其工艺流程如图3.33所示。在处理工艺中,一级化学沉淀控制pH=3.5,使铁先沉淀;二级化学沉淀控制pH=7.5~8.5,再使铜沉淀。出水达到了标准并回用铁与铜。

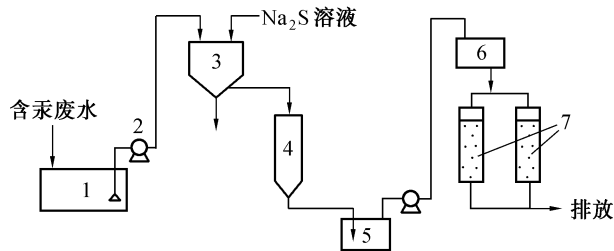


图 3.32 硫化法处理含汞废水流程图

1—废水池 2—水泵 3—立式沉淀池 4—砂滤柱 5—中间水池 6—高位水池 7—铁屑滤柱

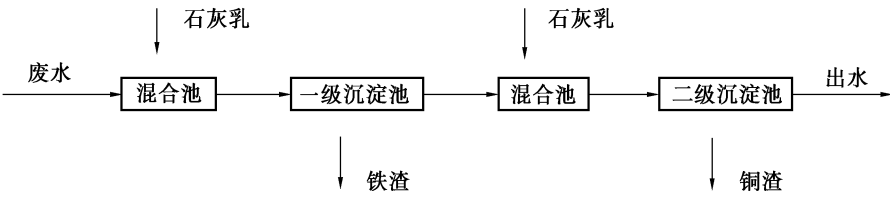


图 3.33 矿山废水处理工艺流程图

3. 铅、锌废水处理

某冶炼厂废水含铅、锌等金属离子 ,废水量 400 m³/h。采用氢氧化钙沉淀法 ,并采用漂白粉氧化除氰 ,反应池控制 pH=9.5 ~ 10.5 ,其工艺流程如图 3.34 所示 ,水质处理结果见表 3.26。

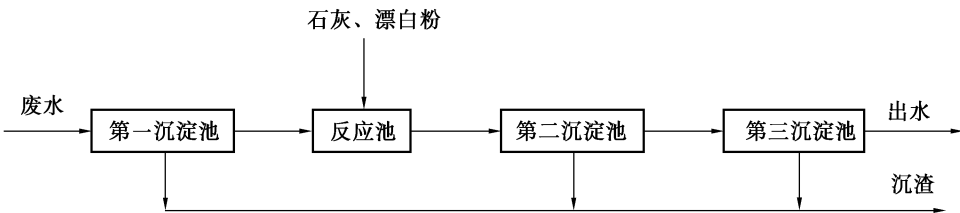


图 3.34 冶炼厂含铅、锌废水处理工艺流程图

表 3.26 冶炼厂含铅、锌废水处理水质

项 目	Pb	Zn	Cd	As	CN	pH 值
处理前/(mg·L ⁻¹)	1.06 ~ 19.68	2.02 ~ 83.48	1.68 ~ 10.23	0.55	0.73 ~ 2.20	6.4 ~ 7.8
处理后/(mg·L ⁻¹)	< 0.6	1.79	< 0.09	< 0.1	< 0.022	9.9 ~ 11.0

4. 含氟、镍废水处理

某铝型材厂酸性废水中含氟及镍,其质量浓度分别为 12 mg/L 及 116.2 mg/L。采用氢氧化钙沉淀法处理,控制 $\text{pH}=6\sim 9$,氟及镍的去除率分别为 33% 和 99%,SS 及 COD 的去除率分别为 98% 和 80%。其处理工艺流程如图 3.35 所示。

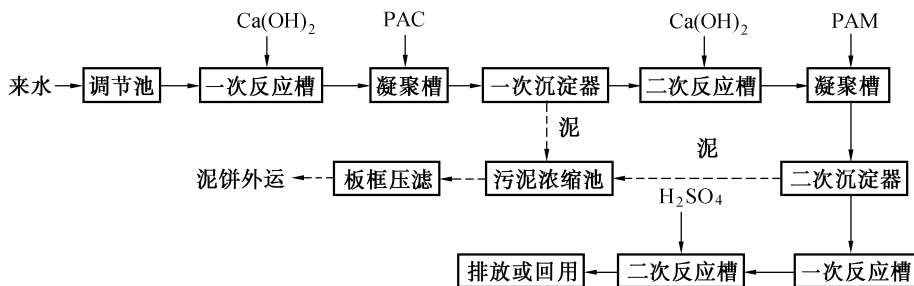


图 3.35 含氟、镍酸性废水处理工艺流程图

5. 含铬废水处理

某电镀厂废水中 CrO_3 的质量浓度为 190~2 800 mg/L, $\text{pH}=3\sim 5$, 采用铁氧体法处理,出水含六价铬低于 0.1 mg/L, $\text{pH}=6\sim 7$, 其工艺流程如图 3.36 所示。含铬废水经调节后进入反应槽,投加硫酸亚铁并进行搅拌,产生氧化还原反应生成 Cr^{3+} 及 Fe^{3+} 离子,然后调整 $\text{pH}=7\sim 9$,形成氢氧化物沉淀,加热 60~80℃,通空气 20 min,进行固液分离,最后形成铁氧体。

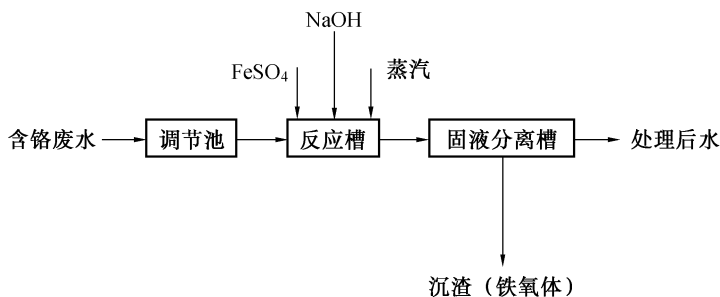


图 3.36 铁氧体沉淀法处理含铬废水流程图

3.5 电 解

3.5.1 电解原理

在直流电的作用下,电解质溶液在两个电极上分别产生氧化反应和还原反应的过程称为电解。电解处理法就是应用电解原理,使废水中的有毒有害物质通过电解过程,在阳 - 阴

两极上分别发生氧化和还原反应而转化为无毒无害物质而实现废水净化的方法。利用电解可以处理各种离子状态的污染物,如 CN^- 、 AsO_2^- 、 Cr^{6+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Hg^{2+} 等,各种无机和有机的耗氧物质,如硫化物、氨、酚、油和致病微生物等。

在电解时把电能转变为化学能的装置称为电解槽。电解槽装置如图 3.37 所示。当电解槽接通直流电后,阴极与阳极之间产生了电位差,驱使正离子移向阴极,在阴极上取得电子,进行还原反应;负离子移向阳极,在阳极上放出电子,进行氧化反应。这种在电极上得到电子或放出电子的过程称为放电。

电解的基本定律如下。

1. 法拉第电解定律

电解时在电极上析出的或溶解的物质数量与通过的电量成正比,这一定律称为法拉第定律,可表示为

$$G = \frac{1}{F}EQ \quad \text{或} \quad G = \frac{1}{F}EIt$$

式中 G ——析出的或溶解的物质质量, g;

F ——法拉第常数, 96 487 C/mol;

E ——物质的相对分子质量;

Q ——通过的电量, C;

I ——电流, A;

t ——电解时间, s。

2. 分解电压

能使电解正常进行时所需的最小外加电压称为分解电压。电解槽本身就是某种原电池,其电动势与外加电流方向相反,所以外加电源必须首先克服电解槽的这一反电动势,然而即使克服了这一反电动势后电解也不会发生。分解电压超过电解槽反电动势的现象称为极化现象,极化现象有浓度极化及化学极化。

3. 浓度极化

电解时,离子的扩散运动不能立即完成,在靠近电极表面溶液薄层内的离子浓度与溶液内部的离子浓度不同,结果产生浓度电池,其电位差也同外加电压方向相反,这种现象称为浓度差极化,可采用加强搅拌的方法使之减少,但不能完全消除。

4. 化学极化

电解时在两极析出的产物可构成原电池,此电池电位差也和外加电压方向相反,此种现象称为化学极化。

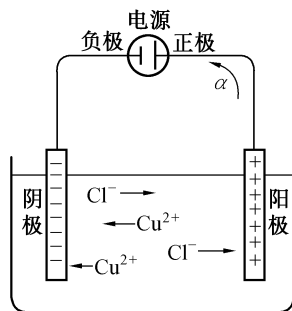
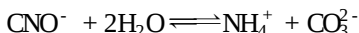
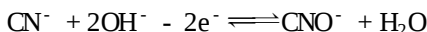


图 3.37 电解槽装置示意图

3.5.2 电解类型

1. 电解氧化法

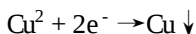
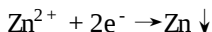
电解槽的阳极能接受电子,相当于氧化剂,可氧化水中的污染物。如氰离子(CN^-)的氧化,首先氰离子被氧化为氰酸根离子,然后分解产生氨及碳酸根离子,同时氰酸根离子电解,被氧化为二氧化碳和氮气,其反应式为



也可以通过某些阳极反应产物(如 Cl_2 、 O_2 、 H_2O_2 、 ClO^- 等)间接地氧化破坏污染物。为了强化阳极的氧化作用,往往投加一定量的食盐进行电氯化。电解氧化法主要用于去除水中的氰、酚及各种有机物等。

2. 电解还原法

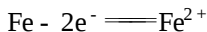
电解槽的阴极可以给出电子,相当于还原剂,可使废水的重金属离子还原出来,沉积于阴极而处理回收。如



另外,电解还原法还可将五价砷(AsO_3^- 或 AsO_4^{3-})及六价铬(CrO_4^{2-} 或 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)分别还原为砷化氢 AsH_3 及三价铬 Cr^{3+} 而去除或回收。

3. 电解凝聚法

电解凝聚法是以铝或铁等金属为阳极,在直流电的作用下,使废水中的污染物形成氢氧化铁或氢氧化铝等不溶于水的金属氢氧化物活性凝聚体而沉淀去除,其反应式为



氢氧化亚铁及氢氧化铝对废水中的污染物进行饱和凝聚,使废水得到净化。电解凝聚法相比较投加凝聚剂的化学凝聚法的优点有:反应迅速(15~45 s 可产生絮凝体),pH 值适用范围宽,去除的污染物广泛,形成的沉渣密实,澄清效果好。

4. 电解浮选法

废水电解时,在电极上有气体(H_2 、 O_2 、 CO_2 及 Cl_2 等)析出,利用电解时电极上析出的微小气泡体而浮选废水中的污染物的方法称为电解浮选法。电解时产生的气泡粒径很小,氢气泡粒径为 10~13 μm ,氧气泡为 20~60 μm ,而加压气浮产生气的气泡粒径为 100~150 μm ,机械搅拌产生的气泡粒径为 800~1 000 μm ,由此可见,电解产生的气泡捕获污染物杂质微粒的能力比后两者均强,出水水质较好。电解浮选法可去除各种微量重金属离子及有机物,

并可进行废水的脱色、脱臭等。

5. 电解槽

按槽内水流情况,电解槽可分为回流式电解槽和翻腾式电解槽以及回转式电解槽三种。回流式电解槽的构造如图 3.38 所示,电极板与进水方向垂直,水流沿着极板往返流动,因此水流线路长、接触时间多、死角少、离子扩散能力强、对流好、电解槽利用率高、阳极钝化现象缓慢。缺点是更换极板困难。翻腾式电解槽构造如图 3.39 所示,槽内水流方向与极板面平行,水流沿隔板上下翻腾流动。此类电解槽极板利用率高,排空清洗及更换极板都较方便。

回转式电解槽构造如图 3.40 所示。这种型式的电解槽常用做电解凝聚法处理,是将废铁屑或铝屑加入聚氯乙烯槽框中并插入石墨棒作阳极,中心的铁管作阴极。送电后,阳极旋转,废水流动状态好,易于排出浮渣,由于搅拌作用,促进了凝聚体的形成。这种电解槽的优点是利用铁屑处理废水,以废治废。缺点是耗电量大,电极结构复杂。

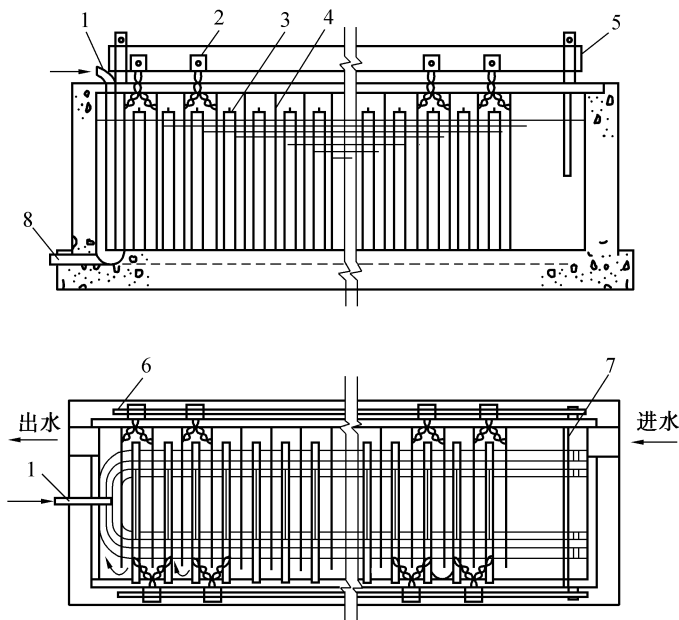


图 3.38 回流式电解槽结构示意图

1—压缩空气管 2—螺钉 3—阳极板 4—阴极板 5—母线 6—母线支座 7—水封板 8—排空阀

6. 电解过程的影响因素

(1)pH 值。不同的电解过程,要求不同的 pH 值,如含铬废水电解处理时,当 pH 值低时,电极会发生剧烈的化学溶解,缩短了六价铬还原为三价铬所需的时间。处理速度快,电耗少。但过低的 pH 值不利于三价铬的沉淀,适宜的 pH 值为 4~6.5。含氰废水电解时要求在碱性条件下进行,以防止有毒的氰化氢挥发。

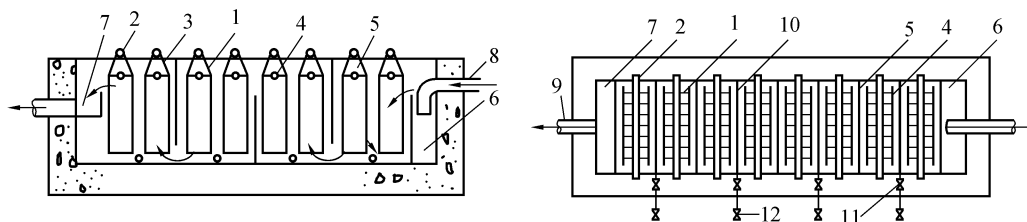


图 3.39 翻腾式电解槽结构示意图

1—电极板 2—吊管 3—吊钩 4—固定卡 5—导流板 6—布水槽 7—集水槽；
8—进水管 9—出水管 10—空气管 11—空气阀 12—排空阀

(2)电流密度。电流密度为单位极板面积上通过的电流量(A/cm^2)。当废水浓度一定时,电流密度越大,处理速度越快,但电能耗量也相应增加,适宜的电流密度由实验确定。

(3)槽电压。槽电压取决于废水的电阻率及极板间距,一般废水的电阻率控制在 $1\,200\ \Omega\cdot cm$ 以下,极板间距一般为 $30\sim 40\ mm$ 。若极板间距过大,会增加槽电压和电耗;若极板间距过小,则安装、维护不方便。

(4)搅拌。电解时一般采用压缩空气搅拌,搅拌可促进离子对流与扩散,减少电极附近浓度差极化现象,并可清洗电极表面。

(5)电极材料。电极材料极为重要,选择不当,会增加电耗,降低电解效率,常用的电极材料有铁、铝、碳及石墨等。

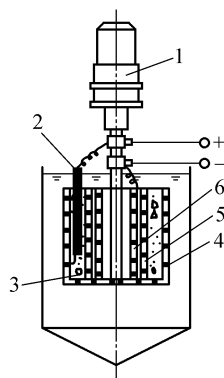


图 3.40 回转式电解槽结构示意图

1—搅拌式马达 2—石墨棒 3—铁屑 4—聚氯乙烯外框 5—聚氯乙烯内框 6—铁阴极筒

3.5.3 应用实例

1. 含氰废水处理

电解除氰一般采用石墨板作阳极,普通钢板作阴极,并可投加食盐,采用压缩空气搅拌。连续式电解处理含氰废水流程如图 3.41 所示,当采用翻腾式电解槽时,极板净距 $18\sim 20\ mm$,电解时间 $20\sim 30\ min$,极板电流密度 $0.31\sim 1.65\ A/dm^2$,直流电压 $3.7\sim 7.5\ V$,投加食盐 $2\sim 3\ g/L$,可使 CN^- 的质量浓度从 $25\sim 100\ mg/L$ 降至 $0.1\ mg/L$ 以下。

2. 含铬废水

含铬废水电解处理工艺流程如图 3.42 所示。废水经调节后进入电解池,然后流入沉淀池和滤池,经处理后的废水可排放或回用。采用电解法处理含铬废水,六价铬离子的质量浓度不宜大于 $100\ mg/L$, pH 值为 $4.0\sim 6.5$ 。沉淀池的作用是把在电解过程中生成的氢氧化铬

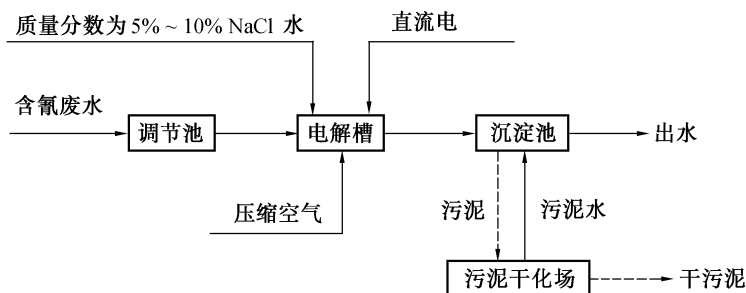


图 3.41 连续式电解处理含氰废水流程图

和氢氧化铁从水中沉淀下来，沉淀的时间为 2 h，沉淀后并经脱水的泥渣排出或利用。滤池的作用是除去未被沉淀的氢氧化铬和氢氧化铁，经过滤的废水达标排放或回用。

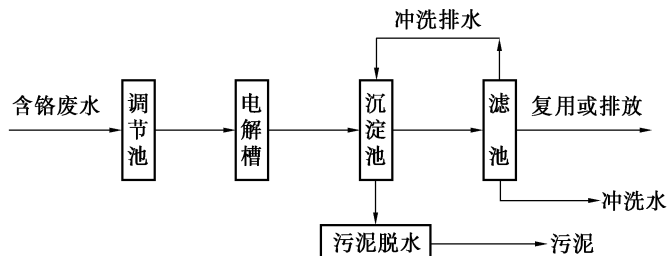


图 3.42 含铬废水电解处理工艺流程图

3. 含酚废水处理

电解法处理含酚废水，一般以石墨为阳极，使酚氧化为邻苯二酚、邻苯二醌及顺丁烯二酸。另外，阳极产物 ClO^- 还可与酚反应，使酚氧化分解。为强化氧化反应和降低电耗，常投加食盐，食盐投加量为 20 g/L。电解槽电流密度采用 $1.5 \sim 6 \text{ A/dm}^2$ ，电解时间 6~38 min，酚的质量浓度可由 250~600 mg/L 下降到 0.8~4.3 mg/L。

4. 含银废水处理

含银废水处理工艺流程如图 3.43 所示，常采用脉冲电解法。脉冲电解法是使用频率很高的直流电通过时而接通时而关断产生脉冲。在电源关断的时间间隔内，由于浓度差，使电解槽内废水中的金属离子向阴极扩散，可减少浓度极化，降低槽电压，提高电流效率，缩短电解时间。在电源关断时，因废水中的杂质及氢从阴极向废水中扩散，不容易在阴极上沉积，所以，可提高回收银的纯度。另外，由于脉冲峰值电流大大高于平均电流，可使金属晶体加速形成。而在电源关断的时间又阻碍晶体的长大，晶体形成的速度远大于晶种长大的速度，这样在阴极沉积的金属结晶很细，排列紧密，孔隙减少，电阻率下降。脉冲电解处理含银废水与普通电解法比较，可减少浓差极化，提高电流效率 20%~30%，缩短电解时间 30%~40%，节省电能 30%~40%，并能提高银的回收纯度。

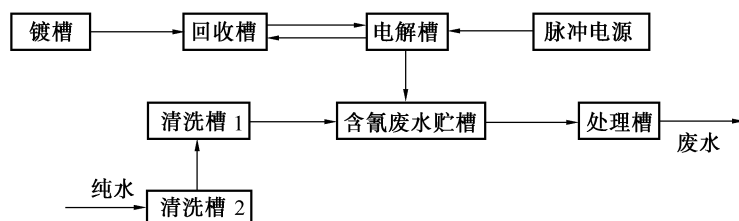


图 3.43 脉冲电解法处理含银废水流程图

5. 染料废水处理

利用电解法处理染料废水，其脱色效果良好，详见表 3.27。

表 3.27 染料废水电解除色效果

染料种类	质量浓度 $/(g \cdot L^{-1})$	共存电解质质量浓度 $/(g \cdot L^{-1})$	流速 $/(L \cdot min^{-1})$	电解时间 $/min$	脱色率 $/\%$
直接红 D39	0.6	Na_2SO_4 5 $NaCl$ 5	0.8	10	93
酸性红 A11	0.6	NH_4Cl 1.8 阳离子活性剂 0.2	0.8	10	67
碱性红 B13	0.6	CH_3COOH 0.3 Na_2SO_4 0.5 CH_3COONa 0.2 NH_4Cl 0.3	0.8	10	66
分散蓝	0.6	$NaCl$ 5	0.8	10	99
还原红 R11	0.12	$NaCl$ 5	0.8	10	80

3.6 消 毒

3.6.1 消毒概述

利用物理或化学的方法，杀灭水中的病原菌和其他有毒有害微生物的方法称为水的消毒。生活污水、医院污水、禽畜养殖、生物制品和食品、制药等部门排出的废水中可能含有大量的病原菌。如每人每天约排泄 2×10^9 个大肠杆菌，每 mL 生活污水中约含大肠杆菌 $10 \sim 100$ 万个，还有各种致病菌。经水传染的疾病有伤寒、霍乱、痢疾、肠炎、马鼻疽、钩端螺旋体病、肝炎及结核等。污水中常见的病原体见表 3.28。

表 3.28 废水中常见的病原体

病 原 体	疾 病	附 注
蛔虫属 蛲虫属	线虫	用废水和干污泥作肥料时 ,对人会造成危害
炭疽杆菌	炭疽	废水中可发现 ,处理废水时不能破坏孢子
布鲁氏杆菌属	布鲁氏杆菌病 ,使人发 波状热 ,使羊、山羊和牛 传染性流产	一般通过感染的牛奶或接触传染 ,怀疑废水 也能传染
痢疾变形虫	痢疾	通过使用被污染的水和作肥料的污泥传播 , 通常在夏季传播
出血性黄疸钩端螺旋体	钩端螺旋体病	排水管中的老鼠携带病原
结核杆菌	结核病	将废水和污染的水隔离 ,废水是可能的传染 途径 ,必须注意从疗养院排出的废水和污泥
副伤寒沙门氏菌	副伤寒	伤寒流行期间 ,在废水和处理厂排水中常可 发现
伤寒沙门氏菌	伤寒	伤寒流行期间 ,在废水和处理厂排水中常可 发现
沙门氏菌属	食物中毒	在废水和排水中发现
血吸虫属	血吸虫病	通过有效的污水处理手段 ,可能将其杀死
志贺氏菌属	菌痢	主要传染源是被污染的水
绦虫属	绦虫病	卵很难破坏 ,存在于废水污泥和处理厂出水 中 ,对于在用废水灌溉或用污泥作肥料的土地 上活动的家畜有危险
霍乱弧菌	霍乱	通过废水和污染的水传染
病毒	脊髓灰质炎 ,肝炎	尚不知确切传染途径 ,在生物废水处理厂的 出水中可发现

医院污水经消毒处理后应达到 :①粪大肠菌群数 ,A. 一般医院、兽医院为 :500 个/L(一级标准) ;1 000 个/L(二级标准) ;5 000 个/L(三级标准) 。 B. 传染病、结核病医院为 :100 个/L(一级标准) 500 个/L(二级标准) ;1 000 个/L(三级标准) 。 ②总余氯(氯化消毒) , A. 一般医院、兽医院(其中一级标准指消毒后需进行脱氯 ,二级、三级标准的消毒接触时间大于等于 1 h)为 :小于 0.5 mg/L(一级标准) ;大于 3 mg/L(二级标准) ;大于 2 mg/L(三级标

准)。B. 传染病、结核病医院(其中一级标准指消毒后需进行脱氯,二级、三级标准的消毒接触时间 1.5 h)为:小于 0.5 mg/L(一级标准);大于 6.5 mg/L(二级标准);大于 5 mg/L(三级标准)。

生活饮用水消毒后应达到:①细菌总数小于等于 100 个/mL,粪大肠菌群数小于等于 3 个/L;②出水保持一定的余氯量,即在加氯接触 30 min 后,水中游离性余氯大于等于 0.3 mg/L,在管网末梢大于等于 0.05 mg/L。

消毒方法有物理法及化学法。物理法有加热法、冷冻法、紫外线法、超声波法、辐射法及机械过滤法等,化学法是利用各种化学药剂,包括氯及其化合物、卤素、臭氧、重金属离子及阳离子表面活性剂等进行消毒。几种消毒方法比较见表 3.29。许多因素影响消毒过程的进行,主要影响因素如下。

(1)投加量与反应时间。增大药剂投加量和反应时间,无疑将得到更好的消毒效果,但必然造成运行费用的提高。应通过实验确定消毒剂的最佳投加量和反应时间。

(2)温度。适宜的温度是消毒效果的保证。过高或过低的温度都会抑制微生物的生命活动,影响传质、反应速度和杀菌效果。

(3)pH 值。不同的消毒方法要求不同的 pH 值。pH 值对氯系消毒剂的消毒影响很大,当 pH 值低时,次氯酸(HClO)在水中解离的反应式($\text{HClO} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{ClO}^-$)向左移动,使水中的次氯酸浓度提高,消毒效果增强;当 pH 值高时,水的次氯酸浓度减小,消毒效果降低。一般适宜的 pH 值为 6.5~7.5。

(4)微生物特性。一般单个细菌易杀死,成团细菌难杀死;寄生虫卵易杀死,病毒难杀死,无芽孢易杀死,有芽孢难杀死。

(5)混合反应。将消毒剂投入激烈紊动的混合器内,快速与病菌微生物混合反应,可提高消毒效果。

(6)水中杂质。水中悬浮物等杂质能掩蔽菌体,减弱消毒效果。应在消毒前,去除悬浮物杂质。

(7)处理工艺。污水一级处理的出水比经二级或三级处理的出水难消毒,因为前者含有较多的有机物及微生物,需要较多的投氯量去氧化消毒。

表 3.29 几种消毒方法的比较

项 目	液 氯	臭 氧	紫外线照射	加 热	卤素(Br_2 、 I_2)	金属离子 (银、汞、铜等)
使用剂量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	10.0	10.0	—	—	—	—
接触时间/min	10~30	5~10	短	10~20	10~30	120
效率(对细菌)	有效	有效	有效	有效	有效	有效

3.6.2 氯消毒

氯消毒包括使用液氯、二氧化氯、次氯酸钠及漂白精等进行消毒。常用的氯消毒方法比较见表 3.30。药剂的氧化能力用有效氯的质量分数表示,氧化价大于 -1 的那部分氯具有的氧化能力称为有效氯,依此作为基准,取液氯的有效氯的质量分数为 100%,其他含氯药剂的有效氯的质量分数见表 3.31。

表 3.30 常用的氯消毒方式及优缺点

消毒剂	优缺点	适用条件
液氯 Cl_2	优点:具有余氯的持续消毒作用;药剂易得,成本较低,操作简单,投量准确,不需要庞大的设备 缺点:原水有机物高时会产生有机氯化物,尤其在水源受有机物污染而采用折点投氯时;处理水有氯或氯酚味;氯气有毒,需注意安全操作	液氯供应方便的地点
漂白粉 CaOCl_2 漂粉精 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	优点:具有持续消毒作用,投加设备简单,价格低廉,漂粉精中有效氯的质量分数达 60% ~ 70%,使用方便 缺点:将产生有机氯化物和氯酚味;易受光、热、潮气作用而分解失效,需注意贮存;漂白粉的溶解及调制不便;漂白粉中氯的质量分数只有 20% ~ 30%,因而用量大,设备容积大,渣多	漂白粉仅适用于生产能力较小的水厂;漂粉精使用方便,一般在水质突然变坏时临时投加
次氯酸钠 NaClO	优点:具有余氯的持续消毒作用,操作简单,比投加液氯安全、方便;使用成本虽较液氯高,但较漂白粉低 缺点:不能贮存,必须现场制取使用;目前设备尚小,产气量小,使用受限制;必须耗用一定电能及食盐	适用于小型处理厂
氯氨 NH_2Cl 和 NHCl_2	优点:能减低三氯甲烷和氯酚的产生;能保持管网中的余氯量,不需管网中途补氯;防止管网中细菌的繁殖,可降低加氯量,减轻氯和氯酚味 缺点:消毒作用比液氯和漂白粉慢,需较长接触时间;需增加加氨设备,操作管理较麻烦	原水中有有机物多以及输配水管线较长时适用

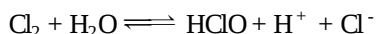
表 3.31 其他含氯化合物的有效氯的质量分数

化学式	相对分子质量	氯的物质的量浓度 (mol·L ⁻¹)	氯的质量分数 /%	有效氯的质量分数 /%
液氯(Cl ₂)	71		100	100
漂白粉(CaOCl ₂)	127	1	56	56
次氯酸钠(NaClO)	74.5	1	47.7	95.4
次氯酸钙(Ca(ClO) ₂)	143	2	49.6	99.2
一氯氨(NH ₂ Cl)	51.5	1	69	138
亚氯酸钠(NaClO ₂)	90.5	2(酸性)	39.2	156.8
氧化二氯(Cl ₂ O)	87	2	81.7	163.4
二氯氨(NHCl ₂)	86	2	82.5	165
三氯氨(NHCl ₃)	120.5	3	88.5	177
二氧化氯(ClO ₂)	67.5	2.5(酸性)	52.5	262.5

1. 液氯消毒

(1)液氯消毒的原理。氯气是一种有刺激性气味的黄绿色气体,极易被压缩成琥珀色的液氯,液氯密度为 1 460 kg/m³ (0 、0.1 MPa),在常温常压下,液氯极易气化,沸点 - 34.5 ℃,1 kg 液氯可气化为 0.31 m³ 氯气。

氯易溶于水,可生成次氯酸,反应式为



氯能消毒主要是次氯酸的作用,次氯酸为不带电的中性分子,相对分子质量很小,可以扩散到带负电荷的细菌表面,并穿过细菌壁进入细菌体内,然后由氯原子氧化作用破坏细菌的酶系统而导致细菌死亡。

液氯消毒工艺流程如图 3.44 所示。废水经沉淀进入投氯池 10。当投氯池水位上升到预定高度时,真空系统开始工作,抽去真空管中的空气产生虹吸作用。污水由投氯池流入接触池 14,经过接触氯化达到处理效果后排出。当投氯池水位下降到预定位置,空气进入虹吸管,真空泵停机,虹吸作用破坏。此时水电磁阀 1 和氯电磁阀 4 自动开启,加氯机开始工作。当加氯到预定时间后,时间继电器自动指示,关闭氯电磁阀及水电磁阀,如此往复工作。

(2)氯瓶。液氯消毒设备有氯瓶及加氯机。氯容器称为氯瓶,有 60 kg(40 L)及 500 kg 等多种规格,详见表 3.32。为保证安全,各种氯瓶要设置易熔安全减压装置,它是将一个带螺纹的易熔的青铜塞拧入阀体,青铜塞的熔点 70 ~ 74 ℃,当遇高温情况时,容器处可通过易熔塞泄压,防止氯瓶爆裂,氯瓶安装如图 3.45 及图 3.46 所示。

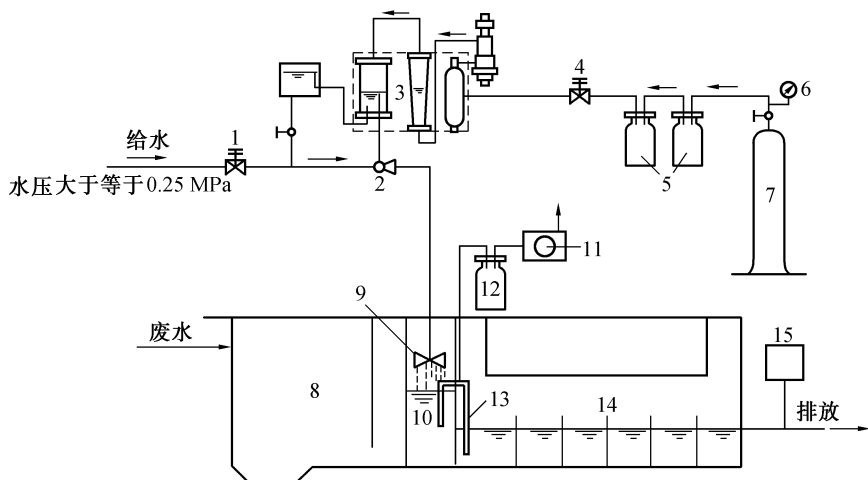


图 3.44 氯氧化系统示意图

1—水电磁阀 2—水射器 3—加氯机 4—氯电磁阀 5—缓冲瓶 6—压力表 7—氯瓶 8—沉淀池；
9—投氯花管 10—投氯池 11—真空泵 12—隔水瓶 13—虹吸管 14—接触池 15—余氯测试仪

表 3.32 氯瓶规格表

名 称	型 号	容 积 /L	公称压力 /MPa	外形尺寸 /mm	阀门型号	阀门出气口 直径/in ^①	氯瓶质量 /kg	产 厂
液氯钢瓶		36~38 38~40 40~42 42~44	3.0	219×1 290 219×1 350 219×1 410 219×1 470	QF - 10 配 易熔合金安 全装置	G $\frac{3}{4} \times \frac{1}{14}$	52~64	北 京 高 压 气 瓶 厂
液氯钢瓶	Y219 - 47/30	47	3.0	219×1 570	QF - 10 配 易熔合金安 全装置	G $\frac{3}{4} \times \frac{1}{14}$	63	上 海 高 压 容 器 厂
焊接液氯 钢瓶	LP - 600 - 0.5	410 充氯质 量 500 kg	2.0	600×1 800	QF10ZG		740	北 京 金 属 结 构 厂

①1in = 2.54 cm。

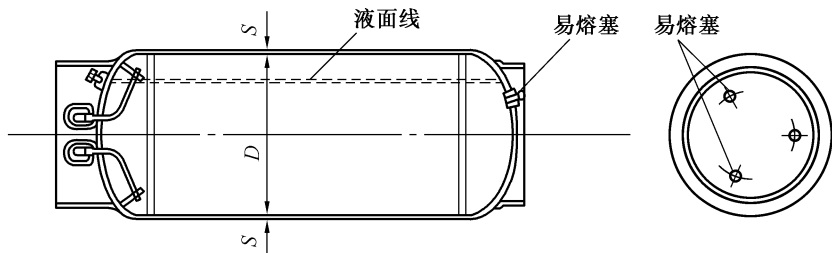


图 3.45 大氯瓶出气口及易熔塞安装位置示意图

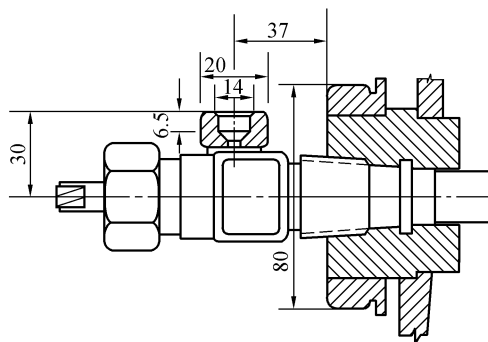


图 3.46 小氯瓶易熔塞的装置方法示意图

(3)加氯机。加氯机的构造及安装如图 3.47 ~ 3.49 所示。加氯机的工艺原理是：0.2 MPa 左右的压力水经过水射器后产生真空，调压控制器上的调压阀和水射器上的逆止阀同时开启，氯气经由流量计、流量调节阀、压差稳定器后沿系统管线进入水射器，在水射器的喷嘴处氯气与水混合成氯溶液，投放到处理的水中。在水射器停止工作时，调压阀及逆止阀又自行关闭，随即停止供氯。

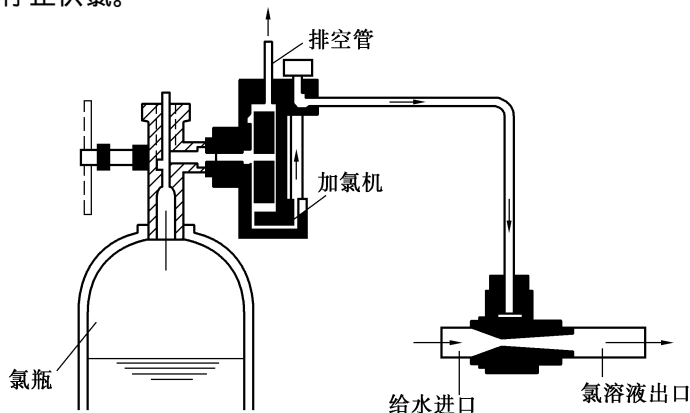


图 3.47 加氯机构造示意图

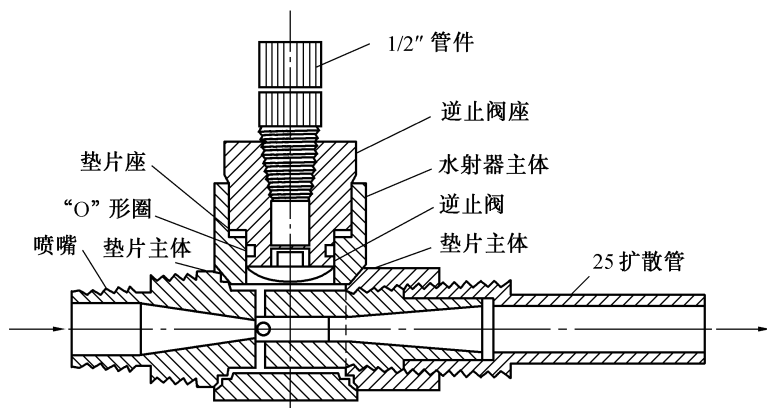


图 3.48 加氯机水射器构造示意图

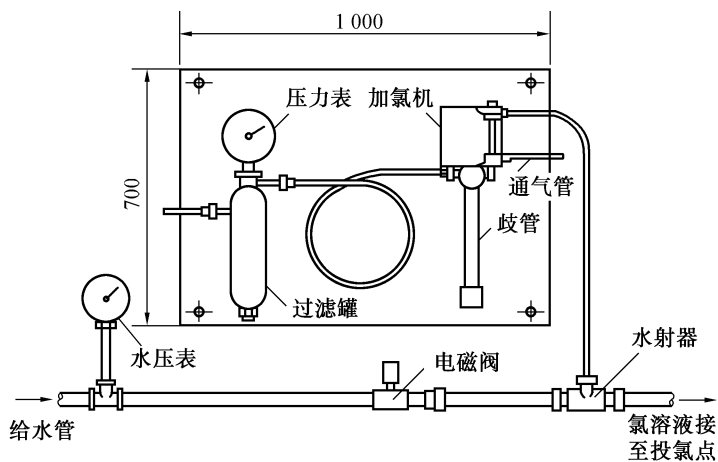


图 3.49 加氯机安装示意图

2. 次氯酸钠消毒

次氯酸钠为淡黄色透明液体，具有与氯气相同的特殊气味，次氯酸钠的有效氯的质量分数为10%~12%，其消毒作用是水解后生成次氯酸，其反应式为



一般是利用次氯酸钠发生器现场制备次氯酸钠，其优点是使用方便、安全。次氯酸钠是利用电解食盐取得，其原理如图3.50所示。在两个电极上发生的反应为

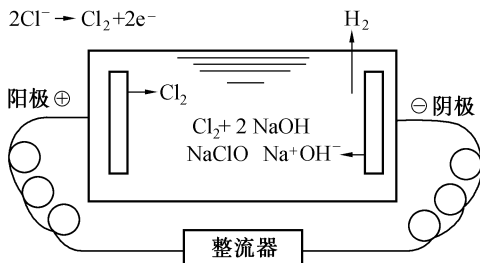
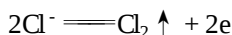
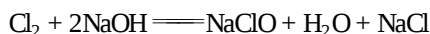
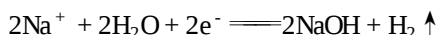


图 3.50 电解法生产次氯酸钠原理图

阳极



阴极



次氯酸钠处理医院污水流程如图 3.51 所示。

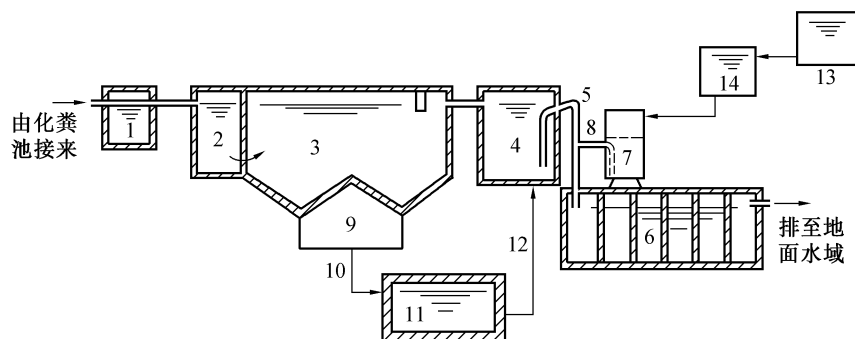


图 3.51 次氯酸钠处理医院污水流程图

1—沉沙井 2—缓冲井 3—沉淀池 4—虹吸池 5—虹吸管 6—消毒池 7—次氯酸钠发生器 8—投氯管 9—污泥斗 10—排泥管 11—污泥池 12—上清液排出管 13—饱和盐水池 14—质量分数为3%的盐水池

3. 漂粉精片(氯片)消毒

氯片是利用漂粉精和填料压制而成的。国产漂粉精片(氯片)的规格性能见表 3.33。其消毒过程为,将氯片放入消毒器内,消毒器的构造如图 3.52 所示,其规格见表 3.34。消毒器安装于管渠中,利用水流冲力自行溶解,达到定比投氯目的,然后再进入接触池混合反应。此法消毒的优点是简单易行。缺点是价格较贵,易堵塞。适宜处理小型医院污水。

表 3.33 氯片的规格及性能

规格	直径 /mm	厚度 /mm	质量 /g	有效氯的质量分数 /%	价格 /(元·kg ⁻¹)
大片	30	10	11.2	> 65	4
小片	10	4	1.0	> 65	4

表 3.34 氯片消毒器规格

消毒器规格	长/mm	宽/mm	高/mm	氯片投加量 ^① /kg
小号	350	150	520	5
大号	500	220	700	10

①经验证明,每次氯片的投加量不宜过多。

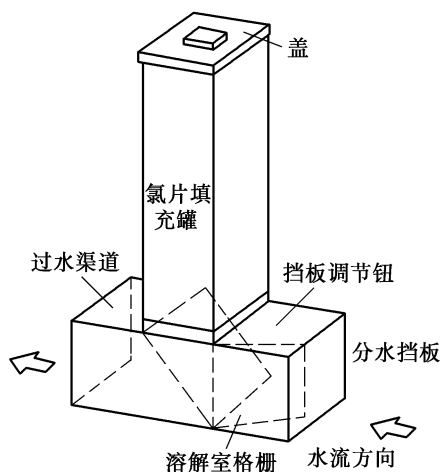


图 3.52 消毒器示意图

4. 二氧化氯消毒

二氧化氯是深绿色气体，具有与氯一样的臭味，比氯更刺激、毒性更大。二氧化氯中的氯以正四价态存在，其活性为氯的 2.5 倍。若氯气的有效氯的质量分数为 100%。则二氧化氯的有效氯的质量分数为 263%。特别是在酸性条件下，其氧化能力更强，二氧化氯对大肠菌、细菌、病毒及藻类均有较好的杀灭作用。

二氧化氯不能贮存运输，需现场制备。其制备的方法有隔膜电解法及化学法。电解法是利用食盐作原料，通过特制的隔膜电解槽制取的；化学法以氯气或次氯酸钠为原料，用亚氯酸溶液在二氧化氯反应器内进行化学反应而制取。其原理如图 3.53 及图 3.54 所示。二氧化氯杀菌效果好，不与氨反应，不生成致癌的机氯化物，广泛应用于医院污水及城市污水处理。城市污水处理厂二级处理出水二氧化氯的消毒效果见表 3.35。

表 3.35 城市污水二级处理出水二氧化氯的消毒效果

序 号	投加质量浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	接触时间 / min	总大肠菌数 / ($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率 / %
1	0	—	300	0
2	2	0.5	100	66
3	2	1	78	74
4	2	5	150	50
5	5	0.5	0	100
6	5	1	0	100
7	5	5	0	100

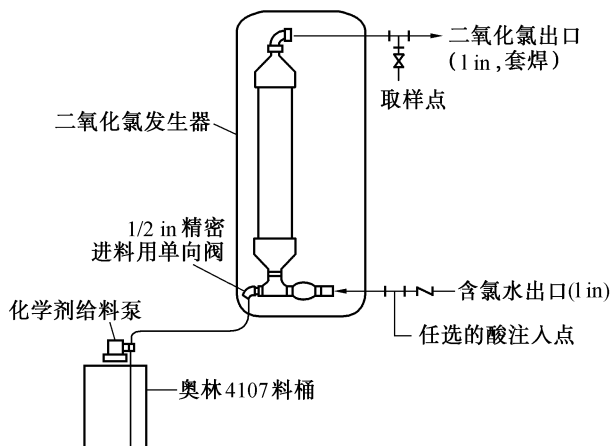


图 3.53 二氧化氯发生装置原理图(1 in = 2.54 cm)

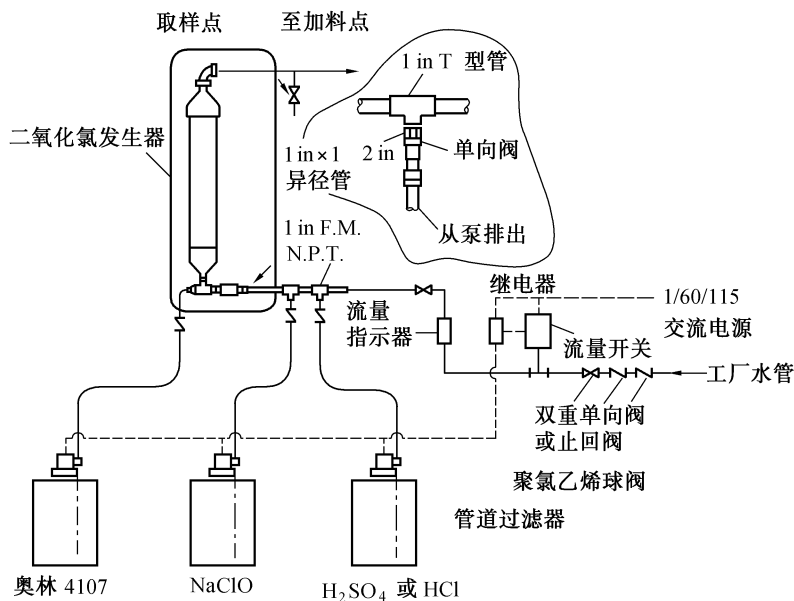


图 3.54 二氧化氯发生器三泵系统图(1 in = 2.54 cm)

3.6.3 臭氧消毒

臭氧(O_3)是氧的同素异形体,由三个原子组成。氧原子呈三角形排列, $O-O-O$ 的夹角为 $116^\circ 49' \pm 30''$, $O-O$ 键长 0.1278 ± 0.003 nm。臭氧有四种结构形式如图 3.55 所示,臭氧的物理常数及在水中的溶解度见表 3.36 及表 3.37。

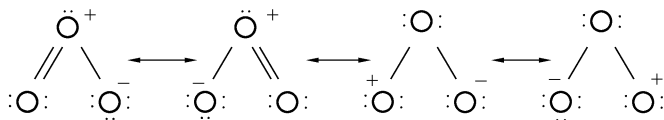


图 3.55 臭氧的四种结构形式

表 3.36 臭氧的物理常数

分子式	O ₃
沸点(10 ⁵ Pa)	- 111.9
冰点(10 ⁵ Pa)	- 192.5
气相密度(0, 10 ⁵ Pa)	2.143 g/L
液相密度(- 183 ℃)	1.571 g/mL
临界温度	- 12.1
临界压力	57.8 kg/cm ² 54.6 × 10 ⁵ Pa
液体黏滞度(- 183 ℃)	1.57 × 10 ⁻³ Pa
汽化潜热(沸点下)	1.18 × 10 ⁵ kJ/mol
表面张力(- 183 ℃)	38.4 × 10 ⁻⁵ N/cm
液相介电常数(- 183 ℃)	4.79
偶极矩	0.55u

表 3.37 臭氧在水中的溶解度

气体种类	密度 ^① /(g·L ⁻¹)	温 度 /			
		0	10	20	30
O ₂	1.429	49.3	38.4	31.4	26.7
O ₃	2.143	641	520	368	233
空气	1.292 8	28.8	22.6	18.7	16.1

①温度 0 ℃, 压力 101.325 kPa。

臭氧的杀菌机理是,臭氧能氧化和破坏微生物的细胞膜、细胞质、酶系统及核酸,从而迅速杀死细菌及病毒。对大肠杆菌、肠道致病菌、结核杆菌、芽孢和蠕虫卵都有很强的杀灭能力。臭氧灭活病毒的动力学曲线如图 3.56 所示,臭氧对各种微生物的灭活效果见表 3.38。

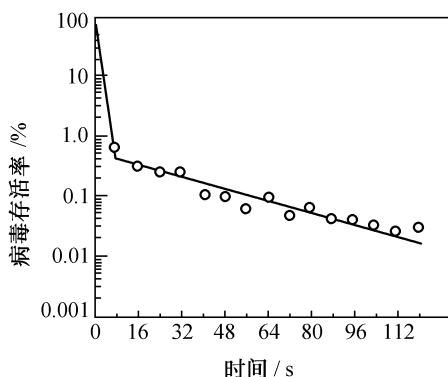


图 3.56 臭氧灭活病毒的动力学曲线

表 3.38 臭氧对各种微生物的灭活效果

微生物种类	水质	处理方式及灭活时间	
		臭氧处理 /s	臭氧 + 超声波处理 /s
大肠杆菌	生理盐水	15	15
	二级出水	75	30
金葡球菌	生理盐水	15	15
	二级出水	60	75
鼠伤寒沙门氏菌	生理盐水	15	15
	二级出水	60	45
费氏志贺菌	生理盐水	15	15
	二级出水	75	45
荧光假单胞菌	生理盐水	15	15
	二级出水	90	60
霍乱弧菌	生理盐水	15	15
	二级出水	45	30
脑心肌炎病毒	生理盐水	15	—
	二级出水	45	—
小囊口炎病毒	生理盐水	15	—
	二级出水	60	—
F ₂ 噬菌体	生理盐水	15	—
	二级出水	> 120	30
蜡样芽孢杆菌	生理盐水	—	—
	二级出水	90	45
蜡样杆菌芽孢	生理盐水	60	60
	二级出水	150	45
巴西灵钩虫卵	生理盐水	60	—
	二级出水	360	—
曼森血吸虫卵	生理盐水	480	195
	二级出水	165	600
人蛔虫卵 长膜壳绦虫		10 min	10 min
		10 min	10 min

臭氧消毒的优点是:臭氧消毒受污水 pH 值及温度的影响较小,能杀死抗氯性强的病菌及芽孢;不会产生残留的二次污染;可氧化分解难生物降解的有机物及三致物质;可除污水的色、嗅、味和酚、氰污染物;增加水中溶解氧,改善水质。臭氧消毒的缺点是:设备投资及运行费用高;臭氧的半衰期短,只能就地生产就地使用;臭氧在水中的溶解度低,往往由于尾气处理不当造成空气污染;管理维护复杂。

医院污水经过二级处理后可采用臭氧消毒,这样可以减少臭氧的投加量,降低运行成本。医院污水臭氧消毒流程如图 3.57~3.59 所示,处理结果见表 3.39。某传染病医院采用臭氧处理流程如图 3.60 所示。污水经过调节、沉淀、生物滤池处理后,进入臭氧接触塔处理,塔高 5 m,直径 0.8 m,内装填料,采用卧式内管臭氧发生器,臭氧产量 200 g/h,处理水量 100 m³/d,出水达到了标准要求。某医院污水经过接触氧化法处理后,采用涡轮注入器接触罐臭氧消毒装置,使用 2 台 LCF 型臭氧发生器,每台臭氧产量 200 g/h,接触时间 12 min,出水达到了排放标准,其处理流程如图 3.61 所示。某医院污水经沉淀处理后,进行臭氧处理,采用 QH 型臭氧发生器和固定混合器,其处理流程如图 3.62 所示,经处理后的污水水质达到了标准要求。

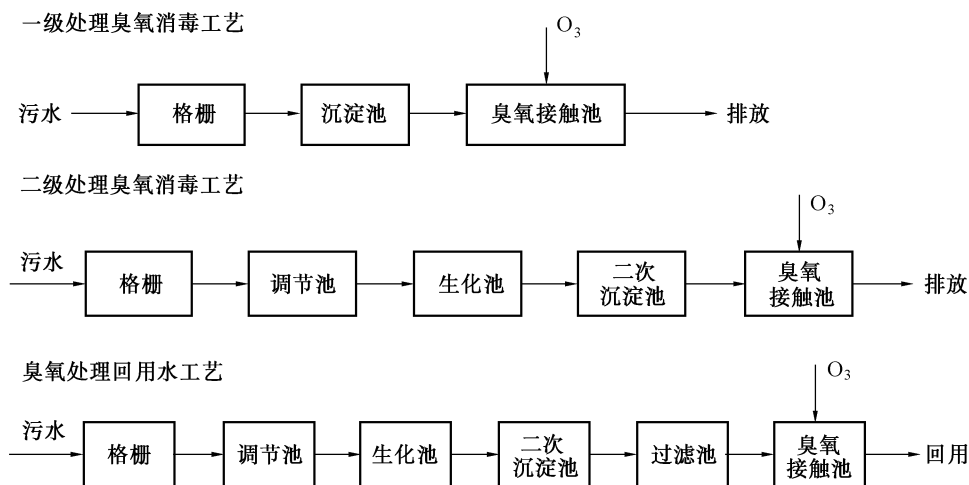


图 3.57 医院污水臭氧消毒流程图

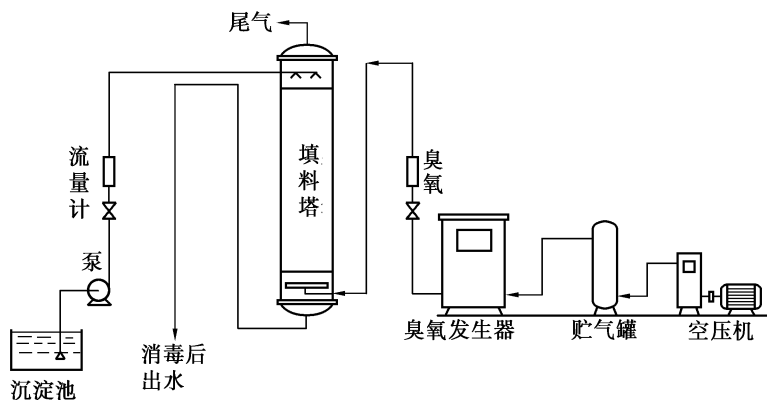


图 3.58 一级处理臭氧消毒医院污水工艺流程图

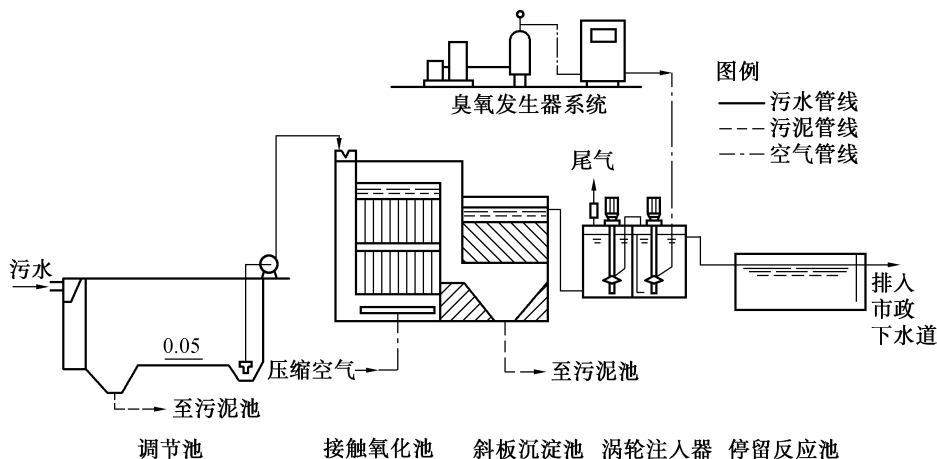


图 3.59 二级处理臭氧消毒医院污水工艺流程图

表 3.39 不同处理工艺流程的臭氧处理结果

处理工艺	水样	臭氧投加量 $/(mg \cdot L^{-1})$	pH值	ρ (SS) $/(mg \cdot L^{-1})$	ρ (COD) $/(mg \cdot L^{-1})$	ρ ($NH_3 - N$) $/(mg \cdot L^{-1})$	细菌总数 $/(个 \cdot mL^{-1})$	大肠菌群数 $/(个 \cdot L^{-1})$
自然沉淀 + 臭氧	原水		6.8	20 ~ 120	98 ~ 200	6 ~ 20	$(9 \sim 33) \times 10^5$	> 238 000
	沉淀后		6.8	20 ~ 70	73 ~ 154	7 ~ 14	$(4 \sim 13) \times 10^5$	> 238 000
	臭氧后	30	6.8	10 ~ 14	65 ~ 105	5 ~ 10	$(2 \sim 9) \times 10^2$	230 ~ 2 300
混凝沉淀 + 臭氧	原水			30 ~ 80	100 ~ 250	—	$10^{6 \sim 7}$	> 238 000
	沉淀后			15 ~ 40	56 ~ 120	—	$10^{5 \sim 8}$	> 238 000
	臭氧后	20 ~ 50		10 ~ 30	54 ~ 110	—	$10^{2 \sim 3}$	< 900
二级处理 + 臭氧	二级出水			8 ~ 12	22 ~ 31		$(1 \sim 4) \times 10^6$	> 238 000
	臭氧后	10 ~ 20					18 ~ 140	230

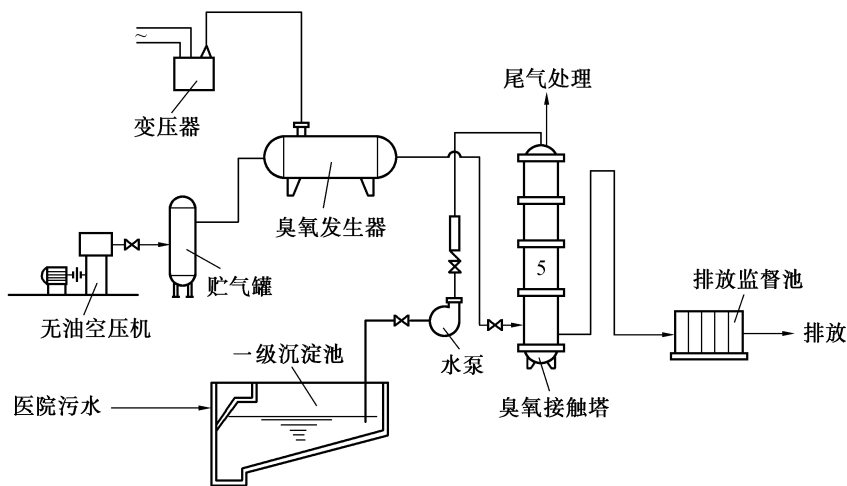


图 3.60 臭氧处理医院污水流程图

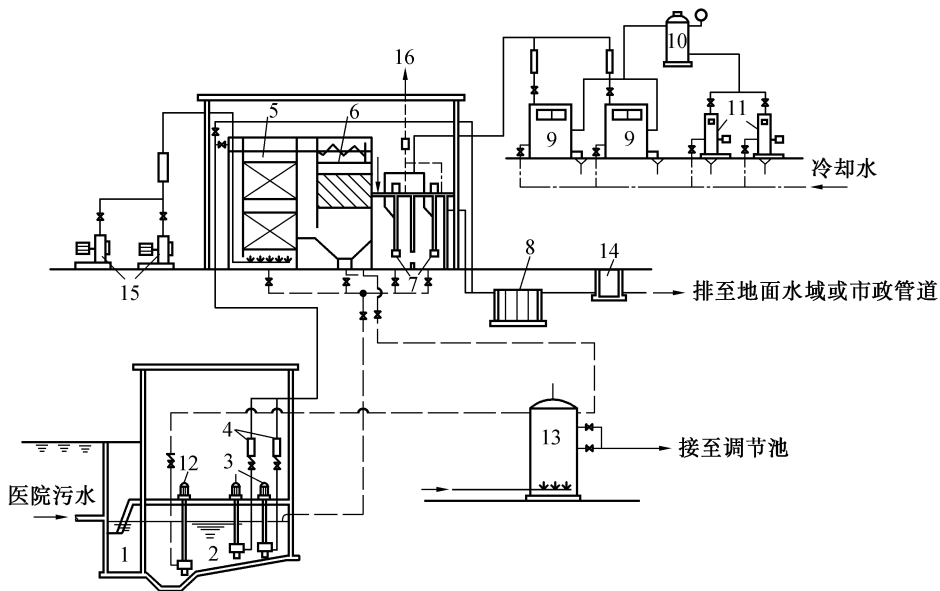


图 3.61 二级处理臭氧消毒流程图

1—格栅 2—调节水池 3—立式泵 4—流量计 5—接触氧化池 6—二次沉淀池 7—二级臭氧接触池（涡轮注入器） 8—监督池 9—臭氧发生器 10—贮气罐 11—无油空压机 12—污泥泵 13—污泥消毒罐 14—检查井 15—空压机 16—尾气处理

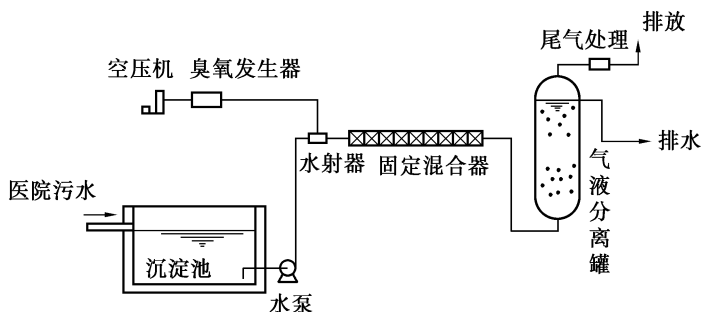


图 3.62 固定混合器接触装置处理医院污水流程图

3.6.4 其他消毒

1. 紫外光消毒

高压石英汞灯发出的紫外光,能穿透微生物的细胞壁与细胞质,而达到消毒的目的。紫外光光线波长为 250 ~ 360 nm 时杀菌能力最强。杀菌设备有浸水式及水面式两种。浸水式是把石英灯管置于水中,此法的特点为紫外线利用率高、杀菌效果好,但设备构造复杂;水面式杀菌设备构造简单,但由于反光罩吸收紫外光以及光线的散射,杀菌效能不如浸水式。紫外光消毒与液氯消毒比较具有许多优点:消毒速度快,污水经紫外线照射几十秒即能杀菌;杀菌效果高,去除细菌总数的百分比达 96.6%,去除大肠杆菌的百分比达 98%;不产生二次污染,不增加水的臭与味,携带方便,管理简单。紫外光消毒的主要缺点是耗电量大,运行成本高。消毒后的持续时间短,不能解决后续污染问题。因此,本法仅应用于小水厂的消毒。

2. 辐射消毒

辐射消毒是利用电子射线、 γ 射线、x 射线及 β 射线等高能射线灭菌消毒的方法。射线有很强的穿透能力,可穿透微生物的细胞壁和细胞质,瞬时完成灭菌作用。此法设备投资较大,安全防护要求严格,目前在污水处理上应用较少。

3. 加热消毒

加热消毒是通过加水加热实现灭菌消毒。据估算,日处理污水 400 m³ 消毒处理的费用比为(液氯、次氯酸钠):(臭氧法、紫外线法):加热法 = 1:4:20。加热消毒法虽然有效,但费用很高。因此,只适用于特殊情况下的少量污水的处理。

3.6.5 消毒安全

1. 氯消毒安全

氯是一种剧毒气体,空气中氯的质量浓度为 1.5×10^{-4} mg/L 时,就会危及人的生命,因而在氯消毒过程中,应特别注意用氯安全。

(1)氯瓶安全。

①氯瓶在运输过程中,要使用危险品专用车,不得与氢、乙炔等其他液化气体同车装运。应注意轻装轻卸,不得滑动、抛滚或撞击,严禁堆放。

②氯瓶贮存时,应检查外观,看有无裂缝、硬伤等,检查是否漏气,并及时处理。氯瓶存放应按照先入先取先用的原则,防止某些氯瓶存放时间过长。每班人员都要检查库房内是否有泄漏,库房内应常备有质量分数为 10% 的氨水,以备检漏时使用。

③氯瓶开启使用前,首先检查氯瓶的放置位置是否正确,氯瓶与加氯机连接使用后,应用质量分数为 10% 的氨水检查是否有泄漏;氯瓶在使用过程中,应经常用自来水冲淋,以防止瓶壳降温而结霜;氯瓶使用完毕后,应保留 0.05 ~ 0.1 MPa 的余压,以免遇水受潮后腐蚀钢瓶。

(2)加氯间安全。

①加氯间内应有保温措施,以免瓶内形成氯水,严禁使用明火热源。

②加氯间应有通风设施,保持每小时换气 12 次以上。

③加氯间应设置防毒面具及灭火工具。

(3)中毒处理。当发生氯中毒时,应迅速将中毒者转移到新鲜空气中,严禁进行人工呼吸。如有条件,可雾化吸入质量分数为 5% 的碳酸氢钠溶液,用质量分数为 2% 的碳酸氢钠溶液或生理盐水为其洗眼、鼻和口;严重中毒者,可注射强心剂,请医务人员处理或送医院救治。

(4)安全装置。氯消毒安全装置包括报警装置、抢救装置、中和装置。出现泄氯事件后,应及时向值班室报警,值班人员听到报警后,立即操作抢救装置进行抢救,值班人员在抢救的同时,开启氯气中和装置,将氯气中和无害化排出室外。

①报警装置。报警装置一般由探头、报警仪及线路组成,探头设在加氯间,距地面 50 ~ 100 mm 处。氯气报警仪性能见表 3.40。

表 3.40(a) L 系列氯气报警仪性能表

项 目	壁挂式 LBY - A 型氯气报警仪	壁挂式 LCY - 2B 型氯气检测仪
报警范围/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.3 ~ 300(可调)	0 ~ 100
报警方式	声、光报警	数码显示
传感方式	全固态式	全固体线性传感器
结构型式	全电子集成电路	全微机工作
工作方式	长时	自动吸气
调整方式	外调式	
机外功能	执行单元可随报警驱动其他电器工作 (如远程讯响器、泄氯计时器)	
电源(V、Hz)	220 V、50 Hz	镍镉电池(带充电机)
质量/kg	0.8	0.5

表 3.40(b) 北京真空仪表厂生产的 BDL - 1 型氯气报警仪主要技术数据

序 号	项 目	数 值
1	报警范围	1~5 mg/L(可调)
2	报警精度	± 30%(对应设定的报警浓度)
3	报警重复性	± 5%(满量程)
4	响应时间	< 30 s
5	报警路数	2 路、3 路、5 路
6	报警接点容量	220 V、2 A
7	电源	200 V、50 Hz
8	体积及质量	582 mm×345 mm×175 mm、16 kg

②抢救装置。抢救装置主要解决氯瓶针形阀出现的事故。抢救装置分小瓶及大瓶两种。小瓶为 50 型抢救装置,适用于抢救 100 kg 以下各种氯瓶的事故;大瓶为 500 型抢救装置,适用于抢救 500~1 000 kg 的各种氯瓶的事故。小瓶抢救装置由轭板、盖帽及链条组成,如图 3.63 所示。当氯瓶针形阀出现泄氯时,即将该抢救装置扣于氯瓶的针形阀上,拧紧轭板上的螺栓,直至链条绷紧,垫圈严密为止。大瓶抢救装置如图 3.64 所示,由盖帽、压板及工具组成,当发生泄氯时,将盖帽扣住针阀,并用工具及压板压住盖帽,并将压板两端插入氯瓶边缘的孔洞内,拧紧盖帽螺栓,直到停止泄氯为止。这种抢救方法的特点是安全可靠、操作简单,并在阻止泄氯后,还可继续投氯。

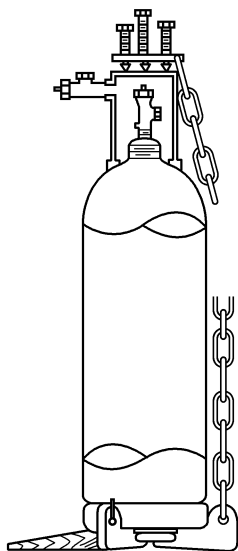


图 3.63 50 型抢救装置图

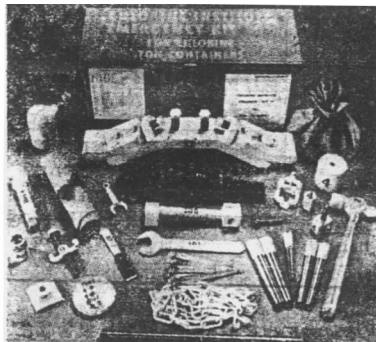
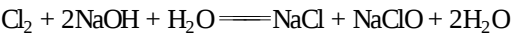


图 3.64 500 型抢救工具组成

③中和装置。氯气中和装置由引风机、中和塔、水泵及碱液箱组成。值班人员在声光报警的同时,启动中和装置,中和处理泄氯。含氯气的空气经质量分数为 20%的碱液喷淋生成盐和次氯酸钠,其反应式为



含氯量已小于 30 mg/L,可排至室外,并吸入室外新鲜空气,即可消除氯的危害,氯气中和装置工艺如图 3.65 所示,LZH 及 LX 氯气中和装置技术性能见表 3.41 及表 3.42。

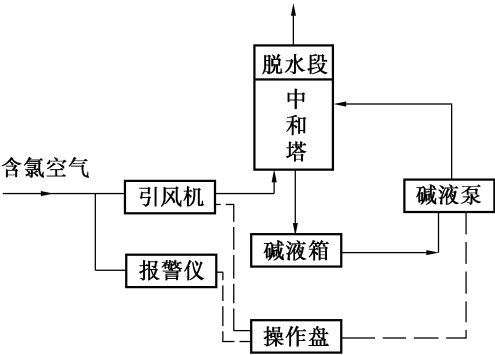


图 3.65 氯气中和装置工艺流程图

表 3.41 LZH 型系列氯气中和装置技术性能表

型 号	LZH - 20	LZH - 10
处理氯气量/(kg·h ⁻¹)	20	10
总处理氯气质量/kg	50	50
初始空气中氯的质量分数	≤10%	≤10%
处理后空气中氯的质量浓度/(mg·L ⁻¹)	30	30
排风量/(m ³ ·h ⁻¹)	200	200
风机型号及动力	BL4 - 72, ρ 2.8 A, L=800 m ³ /h, H=130 mm 转数 2 900 r/min, 动力 1.5 kW	同前
碱液量/(m ³ ·h ⁻¹)	7.2	3.6
耐酸泵型号及动力	40F - 26, L=7.2 m ³ /h, H=25 m, 动力 1.5 kW 转数 2 900 r/min	25F - 25A, L=3.6 m ³ /h, H=20.2 m, 动力 1.1 kW, 转数 2 900 r/min
碱液箱容量/L	500	500
外形尺寸/mm	1 700 mm×700 mm×2 650(H)	1 400 mm×700 mm×2 650(H)

表 3.42 LX 型氯吸收装置技术性能表

型 号	LX- 50	LX- 100	LX- 500	LX- 1 000
吸收能力 /($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	50	100	500	1 000
总有效吸收量 /kg	125	250	1 250	2 500
碱液起始质量分数 /%	20	20	20	20
碱液终了质量分数 /%	6	6	6	6
碱液更换质量分数 /%	11.6	11.6	11.6	11.6
风机风量 /($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	500	750	2 400	3 600
风机电机 /kW	1.1	1.1	3	4
碱泵流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	10	10	30	50
碱泵电机 /kW	1.1	1.1	4	7.5

2. 臭氧消毒安全

(1)臭氧具有毒性,因此在臭氧设备间应设置通风排气设备。万一发生臭氧泄漏可及时排出。臭氧比空气重,通风机应安装在靠近地面处。

(2)臭氧设备及输送管道必须密闭,以防泄漏。臭氧设备在运行前应检查是否漏气,运行中一旦发生泄漏,要先关闭臭氧设备电源,打开排风扇排除臭氧,然后再进行检修。

(3)臭氧发生器为单相高压放电设备,应设置接地装置,接地电阻应小于 4Ω 。

(4)必须设置尾气处理回收设备,尾气经过分解、破坏、处理,达标后排放或回收利用。臭氧尾气处理方法比较见表 3.43。

表 3.43 臭氧尾气处理方法比较

处理方法	工艺条件	优 缺 点
燃烧法(热分解法)	加热大于 270	简单、可靠,需要消耗能量
活性炭法	固定床吸收柱	适于低浓度臭氧,浓度高时易爆炸
催化分解	霍加拉特剂固定床	发热、分解快、简易可行、怕受潮
化学吸收法	还原剂碱液吸收	费用高

(5)臭氧设备间进口处备有面罩、口罩及绝缘鞋等个人防护用品。

(6)臭氧具有很强的腐蚀性,因此臭氧设备及管道应进行防腐处理。最好使用不锈钢管、玻璃钢管、ABS 塑料管。电线应使用塑料电线,不要使用橡胶包裹的电线。钢筋混凝土接触池应设防腐涂层。

第 4 章 物化处理

4.1 混 凝

4.1.1 混凝理论

混凝是向水中投加混凝剂,使细小的悬浮物和胶体微粒聚集成较大的絮凝体而分离去除的过程。

1. 分散系

各种污水都是以液体为分散介质的分散系,按分散相粒度大小可将污水分为真溶液(分子-离子分散系),分散相粒度 $0.1 \sim 1 \text{ nm}$;胶体溶液,分散相粒度 $1 \sim 100 \text{ nm}$;浊液(粗分散系),分散相粒度大于 100 nm 。真溶液的净化可用吸附法等,胶体溶液和浊液的净化可用混凝法。分散系的主要性质见表 4.1 及表 4.2。

表 4.1 分散系的主要性质

主要特性	粗分散系	胶体分散系	分子-离子分散系
分散相粒度/nm	> 100	$1 \sim 100$	$0.1 \sim 1$
可见显微镜级别	普通显微镜	超级显微镜	任何显微镜不可见
对于滤纸	不能透过	能透过	能透过
对于渗透膜	不能透过	不能透过	能透过
分散系在分散介质中	不溶解,存在界面,属多相态	溶胶:不溶解,存在界面,属多相态;高分子溶液:溶解,不存在界面,属单相态	溶解,以单个分子或离子状态存在,不存在界面,属单相态
扩散作用	没有	很慢	很慢
稳定性	不稳定	溶胶:不稳定 高分子溶液:稳定	稳定
重力影响	有,且大	有,但不明显	不受影响

表 4.2 溶胶与高分子溶液的主要性质

主要性质	溶胶(憎液胶体)	高分子溶液(亲液胶体)
结构与形状	很多低分子的聚集体,有一定的体积或面积	单个高分子化合物,大部分只有长度而无面积或体积
相对分子质量	小,为 $10 \sim 10^2$	很大或极大,为 $10^4 \sim 10^8$
分散相在分散介质中	难溶或不溶,分散介质不能进入分散相分子内,存在界面	自动溶解,且分散介质能进入分散相分子结构内,不存在界面
特征	高分散度的、多相态的不均匀体系	单相态的均匀体系(真溶液)
稳定性	较差,全靠表面双电层维持,并随时间的推移而降低,是热力学不稳定体系	极高,主要靠溶剂化作用,是热力学稳定体系,不随时间变化
黏度	很小	很大
对电解质的反应	敏感,遇少量电解质即凝聚沉淀	不敏感,少量电解质毫无作用
渗透压	极低	较高
布朗运动	激烈	微弱
丁道尔现象	显著	不显著
表面吸附	显著	不显著
扩散速度	很小	很小
对半渗透膜的渗透性	极低	极低
可见显微镜级别	电子显微镜下可见	超显微镜下也不可见
常见的典型分散系	金属、非金属的氧化物、氢氧化物,某些金属盐、硫化物等在水中的分散系	蛋白质、纤维素、淀粉、聚丙烯酰胺的水溶液

2. 胶体结构

浊液及胶体溶液微粒质量很小,并做无规则的布朗运动。同时,胶体微粒本身带电产生排斥力,不易结成大颗粒下沉。另外,许多水分子被吸引在胶体微粒周围形成水化膜,阻止胶体微粒与带相反电荷的离子中和,妨碍颗粒之间的接触凝聚下沉。因此,污水中的细小悬浮物及胶体微粒保持稳定状态不易下沉分离。

胶体的结构很复杂,它是由胶核、吸附层及扩散层三部分组成,其结构如图 4.1 所示。胶核是胶体粒子的核心,表面拥有一层离子(电位离子),通过静电作用把溶液中带有相反电荷离子(称为反离子)吸引到胶核周围。它们的电荷总量与电位离子相等但符号相反。这样在胶核周围介质的相间界面就形成了双电层。内层为胶核固相的电位离子层,外层为液相

中的反离子层。反离子中有一部分被胶核吸引较为牢固,靠近胶核同胶核一起运动的称为吸附层;另一部分反离子距胶核较远,不同胶核一起运动的称为扩散层。这样便由胶核、吸附层和扩散层三部分组成了整个胶团。

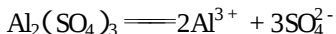
胶体带电是由于吸附层和扩散层之间存在电位差,称为 ζ 电位。 ζ 电位越高,带电量越大,胶粒就越稳定不易沉降。因此,只要压缩扩散层厚度,降低 ζ 电位,破坏胶体的稳定性,就可使胶体颗粒脱稳。胶体脱稳的方法是向带负电荷的胶体中投加能电解出阳离子的金属盐,使阳离子从扩散层进入吸附层,从而降低 ζ 电位。

3. 混凝机理

混凝是凝聚和絮凝的总称,是由低分子电解质混凝剂的双电层作用产生的凝聚和由高分子聚合物混凝剂的化学架桥作用产生的絮凝共同作用构成的。

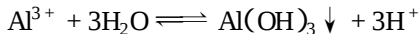
(1)双电层作用。双电层作用是向污水中投加低分子电解质中和胶体微粒的电荷,降低 ζ 电位,使胶体微粒脱稳而沉降,现以投加电解质硫酸铝为例加以说明。

①降低 ζ 电位。将硫酸铝 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ 投放污水后,产生阳离子 Al^{3+} 。



在带负电荷的胶体微粒的吸引下, Al^{3+} 离子由扩散层进入吸附层,降低 ζ 电位,胶体微粒趋向电中和,消除了静电斥力,相互碰撞结合为大颗粒而沉降。

② $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体的静电吸附作用。 Al^{3+} 离子在水中水解后可生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体。



$\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体当 $\text{pH} < 8.2$ 时为带正电胶体,它可以与污水中带负电荷微粒互相吸引,凝结成大颗粒而沉淀。

③ $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体表面积大活性强,可以吸附污水中悬浮颗粒,形成粗大的絮凝体矾花而沉降。

(2)化学架桥作用。向污水中投加少量高分子聚合物时,聚合物分子即被迅速吸附结合在胶体微粒表面上,一个高分子链状物同时可吸附两个(两端各一个)及两个以上的胶体微粒。各微粒依靠高分子连接作用构成某种聚集体或结合为絮状物。这种作用称为化学架桥作用。

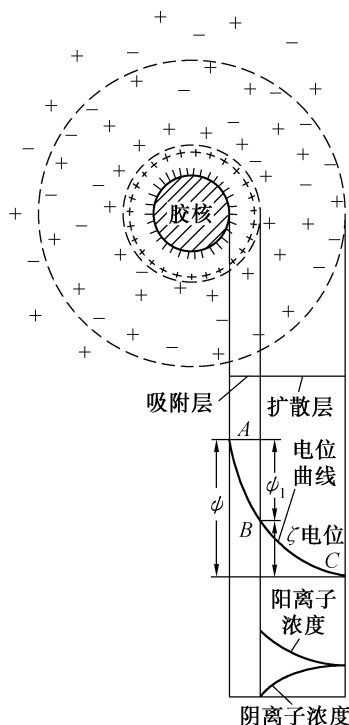


图 4.1 胶体结构电动电位示意图

4.1.2 混凝药剂

1. 混凝剂

能够破坏胶体的稳定性,使污水中的胶体微粒相互黏结、聚结的物质称为混凝剂。常用的混凝剂有以下几种。

(1)硫酸铝 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ 精制硫酸铝为无毒的白色结晶体,相对密度为 1.62, Al_2O_3 的质量分数不少于 15.7% ~ 16.2%,易溶于水,水溶液呈酸性。硫酸铝使用方便,混凝效果好,水温适用于 20 ~ 40 $^{\circ}\text{C}$, pH 值范围为 5.7 ~ 7.8。

(2)聚合氯化铝(PAC),又称碱式氯化铝。聚合氯化铝的化学式为 $[\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}]$,多价电解质,能显著降低污水中黏土类杂质的胶体电荷,相对分子质量大,形成的絮凝体较大,吸附能力强。其适应的 pH 值范围为 5 ~ 9,低水温时凝聚效果也较好。

(3)硫酸亚铁 $[\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ 硫酸亚铁是半透明的绿色晶体,易溶于水,可较快地形成稳定的凝集体,絮凝效果好,沉淀时间短,能除去臭味。适合处理碱度高、浊度大的污水。

(4)三氯化铁 $[\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 三氯化铁为具有金属光泽的褐色晶体,易溶解,形成的絮凝较紧密,易沉淀。pH 值范围广,为 5 ~ 11。另外,处理低温低浊水的效果比铝盐混凝剂好。

(5)聚合硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-\frac{n}{2}}]_m$ 。聚合硫酸铁为无机高分子聚合物,适宜 pH 值为 5.0 ~ 8.5,水温 10 ~ 50 $^{\circ}\text{C}$ 。它与铝盐混凝剂比较,投加量少,絮体生成快,对污水的 pH 值及水温适宜范围广。因此,在污水处理上得到广泛使用。

(6)聚丙烯酰胺(PAM)。聚丙烯酰胺是有机高分子混凝剂,相对分子质量可达 150 ~ 180 万,含聚丙烯酰胺 8% ~ 9%,需加水充分搅拌配制成质量分数为 0.1% ~ 1.0% 的溶液才能使用。其凝聚速度快、用量少、絮凝体粒大强韧,常与铁、铝盐混凝剂合用,可取得理想的处理效果。

(7)活性硅酸(水玻璃)。用硫酸中和熟化成单体再聚合生成高分子的活性硅酸。活性硅酸絮凝体形成快而且粗大、密实。在低水温、低碱度条件下也具有良好的凝聚性能。

(8)骨胶。骨胶常与三氧化铁混合制剂,成本低、投量少、凝聚效果好。可单独使用或与铝盐混凝剂混合使用,效果也都较好。

综上所述,混凝剂可分为无机类及有机类两大类,详见表 4.3。

2. 助凝剂

在处理污水时,当使用单一的混凝剂效果不佳时,往往需要投加辅助药剂以提高混凝效果,这种药剂称为助凝剂。助凝剂的作用为调整 pH 值或消除干扰,增加絮凝体的强度和重量,促进沉降。助凝剂不能降低胶粒的 ζ 电位,不起凝聚作用。常用的助凝剂有如下几种。

表 4.3 混凝剂分类

分 类			混 凝 剂
无 机 类	低分子	无机盐类	硫酸铝、硫酸铁、硫酸亚铁、铝酸钠、氯化铁、氯化铝
		碱类	碳酸钠、氢氧化钠、氧化钙
		金属电解产物	氢氧化铝、氢氧化铁
	高分子	阳离子型	聚合氯化铝、聚合硫酸铝
		阴离子型	活性硅酸
有 机 类	表面 活性剂	阴离子型	月桂酸钠、硬脂酸钠、油酸钠、松香酸钠、十二烷基苯磺酸钠
		阳离子型	十二烷基胺醋酸、十八烷基胺醋酸、松香胺醋酸、烷基三甲基氯化铵
	低聚合 度高分子	阴离子型	藻朊酸钠、羧甲基纤维素钠盐
		阳离子型	水溶性苯胺树脂盐酸盐、聚乙烯亚胺
		非离子型	淀粉、水溶性脲醛树脂
		两性型	动物胶、蛋白质
	高聚合 度高分子	阴离子型	聚丙烯酸钠、水解聚丙烯酰胺、磺化聚丙烯酰胺
		阳离子型	聚乙烯吡啶盐、乙烯吡啶共聚物
		非离子型	聚丙烯酰胺、氯化聚乙烯

(1)pH 值调整剂。如 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH 、 H_2SO_4 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 等。

(2)氧化剂。 Cl_2 、 O_3 等作氧化剂,可消除有机物对混凝剂的干扰。

(3)絮凝体结构改良剂。如活性炭、活性硅胶、各种黏土等。

3. 药剂的选择

混凝是一个复杂的物理化学过程,影响混凝的因素很多,因此,对某一种污水来讲,混凝剂的最佳品种,需通过试验来确定。一般考虑的因素如下。

(1)处理效果好,为达到较好的处理效果,往往需要两种或多种混凝剂及助凝剂同时结合使用。无机混凝剂形成的絮凝体机械强度较差,故絮凝体的大小及沉降速度都有一定的限度,高分子混凝剂能形成粒径大、沉降速度快的絮凝体。在实际工程上常配合使用。

(2)混凝剂价格要便宜,投量要适中,运行费用要低廉。

(3)混凝剂来源要可靠,运输要便捷,产品性能要稳定,贮存与投加要方便。

(4)残留在水中和污泥中的混凝剂,不应对环境产生二次污染。

4.1.3 影响因素

1. 污水性质的影响

(1) 胶体杂质浓度对混凝效果影响极大。胶体杂质浓度不同时,所需脱稳的混凝剂的用量亦不同,胶体杂质浓度过高或过低均不利于混凝。

(2) pH 值是影响混凝效果的重要因素。采用某种混凝剂对某种污水的混凝,都有一个最佳的 pH 值,使混凝速度最快,絮体溶解度最小,混凝效果最好。一般需要加酸或加碱调整 pH 值,可通过实验得到最佳的 pH 值。

(3) 水温高时,污水黏度降低,布朗运动加快,碰撞机会增多,从而提高混凝效果,缩短混凝沉淀时间。但当温度过高,超过 90℃ 时,可使高分子絮凝剂老化生成不溶性物质,反而降低絮凝效果。当水温低时,污水黏性增加,布朗运动降低,碰撞机会减少,混凝效果下降,因此,为保证冬季的混凝效果,应增加混凝剂的投量。

(4) 共存杂质,污水中所含杂质,有的利于混凝,有的不利于混凝。磷酸离子、亚硫酸离子、有机酸离子、氯、螯合物、水溶性高分子物质和表面活性物质均不利于混凝;各种无机金属盐(除硫、磷外)二价金属离子(如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})可促进混凝,提高混凝效果。

2. 混凝剂的影响

混凝剂的种类、投加量和投加顺序都影响混凝效果。混凝剂的选择,主要依据污水中细小悬浮物、胶体及其性质和浓度。如胶体物质较多并且 ζ 电位较高,则应先投加无机混凝剂使胶体脱稳。如絮体细小,还需投加高分子混凝剂和助凝剂。经常采用无机混凝剂与高级混凝剂并用,这样混凝效果较好。

混凝剂的一般投加量的范围为:普通铁盐、铝盐为 10 ~ 30 mg/L,聚合盐为普通盐的 1/3 ~ 1/2,有机高分子混凝剂为 1 ~ 5 mg/L,混凝剂的最佳投加量需通过实验确定。当需投加多种混凝剂时,其投加顺序对混凝效果也产生影响,可通过实验确定最佳投加顺序。

3. 搅拌的影响

搅拌强度和搅拌时间对混凝影响很大。在混凝的混合时段,搅拌强度大一些,搅拌时间 10 ~ 30 s,使混凝剂与污水迅速均匀混合。而在反应阶段,要让絮体有足够的成长机会,反应时间控制为 15 ~ 30 min,要控制搅拌强度,防止生成的絮体被打碎。

4.1.4 混凝工艺

混凝净水工艺包括药剂调制投加、混合、反应及沉淀四部分。

1. 药剂调制投加

药剂调制有水力法、压缩空气法和机械法等,当投加量很少时,也可以在溶液桶、溶液池内进行人工调制。各种调制设备如图 4.2 ~ 4.4 所示。各种配制方式比较见表 4.4。

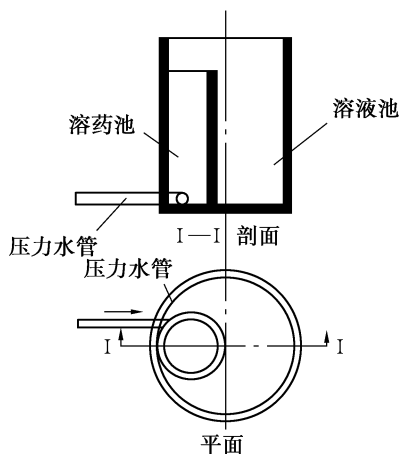


图 4.2 混凝剂的水力调制设备结构示意图

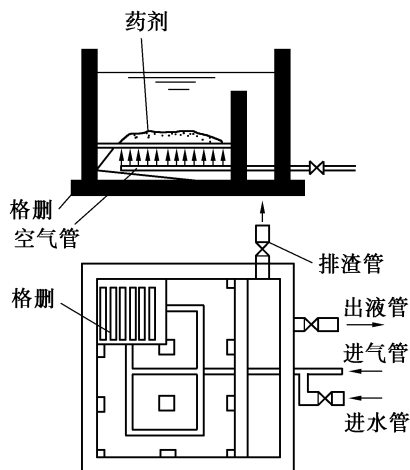


图 4.3 混凝剂的压缩空气调制设备结构示意图

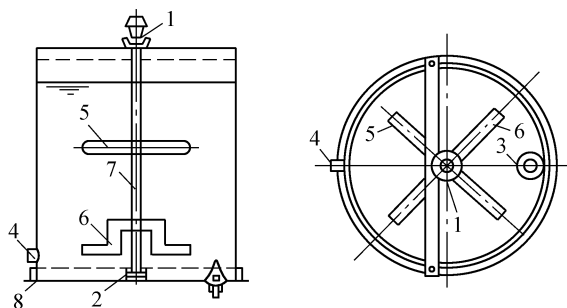


图 4.4 混凝剂的机械调制设备结构示意图

1—2—轴承 3—异径管箍 4—出水管 5—桨叶 6—锯齿角钢桨叶；
7—立轴 8—底板

药剂投加方法有干投法和湿投法两种。干投法是把经过破碎易于溶解的药剂直接投入污水中。此法操作条件差，投药量控制较难，对机械设备要求高，目前在实际工程上很少采用。湿投法是将药剂配成一定浓度的溶液进行投配。干投法与湿投法比较见表 4.5。湿法投加方式有泵前重力投加、高架溶液池重力投加、水射器压力投加和计量泵压力投加等，如图 4.5~4.7 所示，重力投加与压力投加比较见表 4.6。

表 4.4 混凝剂的配制方式

配制方法	适用条件	一般规定
机械粉碎	(1)适用于中小规模的水厂 (2)可减少加药间面积,避免药液失效	一般仅用于投加石灰、漂粉精和硫酸铝等
水力搅拌	(1)适用于中小规模的水厂和易溶的混凝剂 (2)水厂的出水压力可以利用,可节省机电设备和能耗	(1)溶药池的容积约等于3倍药剂用量 (2)系统的供水压力需 $2 \times 10^5 \text{ Pa}$
机械搅拌	适用于各种规模的水厂和各种混凝剂	(1)搅拌桨可由电机或水轮带动,并可加设调速装置,桨板转速为 $70 \sim 140 \text{ r/min}$ (2)桨板及池体需有防腐措施
压缩空气搅拌	适用于较大水厂和各种混凝剂	(1)空气供气强度 $8 \sim 10 \text{ L/(s} \cdot \text{m}^2)$,空气管流速 $10 \sim 15 \text{ m/s}$,孔眼直径 $3 \sim 4 \text{ mm}$,孔眼流速 $20 \sim 30 \text{ m/s}$ (2)不宜长时间搅拌石灰乳

表 4.5 干投法与湿投法的比较

方 法	优 点	缺 点
干投法	(1)设备占地面积小 (2)投配设备无腐蚀问题 (3)药剂较新鲜	(1)当药剂用量较大时,需要一套破碎混凝剂的设备 (2)当用量小时,不易调节 (3)药剂与水不易混合均匀 (4)劳动条件差 (5)不适合用吸湿性混凝剂
湿投法	(1)容易与水充分混合 (2)适用于各种混凝剂 (3)投量易于调节 (4)运动方便	(1)设备较复杂,占地面积大 (2)设备易受腐蚀 (3)当要求投药量突变时,投量调整较慢

表 4.6 重力投加与压力投加的比较

投加方法	作用原理		优缺点	适用条件
重力投加	利用重力作用,将药液压入水中		优点:操作简单,投加安全可靠 缺点:需建造高位溶液池	中小规模的水厂,输送药剂的管道不宜过长
压力投加	水射器	利用水射器喷嘴处形成的负压抽吸药剂并投加到水中	优点:设备简单,使用方便,不受溶液池高程所限 缺点:效率低,溶液浓度不当时易堵塞	适用于不同规模的污水处理厂
	加药泵	泵直接从溶液池中抽取药液并投加到水中	优点:可以定量投加,不受管道压力的限制 缺点:价格较高,泵容易堵塞,维护较麻烦	适用于大中型污水处理厂

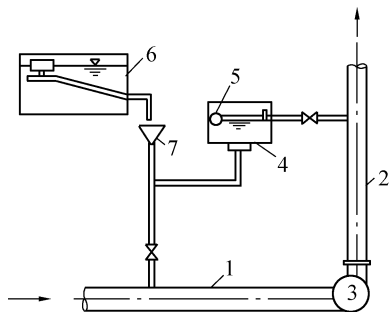


图 4.5 泵前重力投加

1—吸水管 2—压水管 3—水泵 4—水封箱 5—浮球阀 6—溶液池 7—漏斗

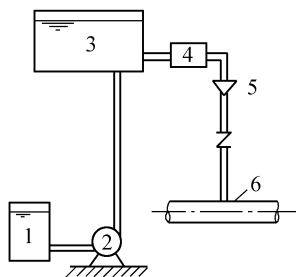


图 4.6 高架溶液池重力投加

1—溶解池 2—水泵 3—溶液池；
4—投药箱 5—漏斗 6—压水管

投加药剂时,还必须进行计量,可采用计量加药泵,耐酸离心泵加转子流量计,也可采用孔口计量及浮杯计量,其构造如图 4.8 及图 4.9 所示。

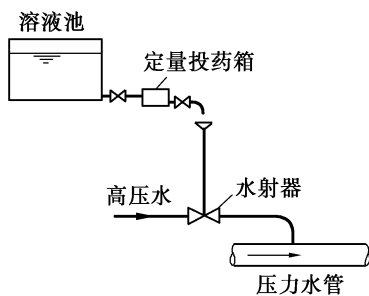


图 4.7 水射器投加

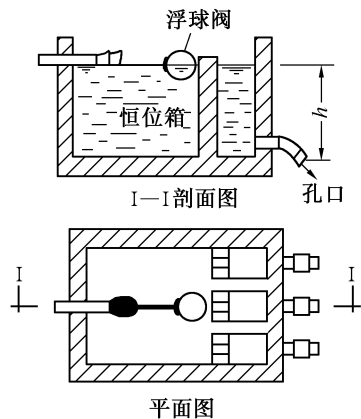
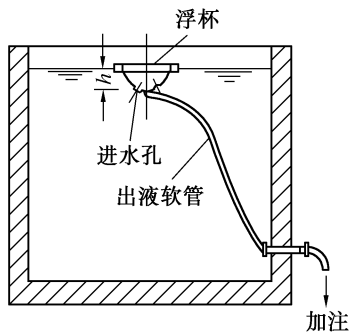
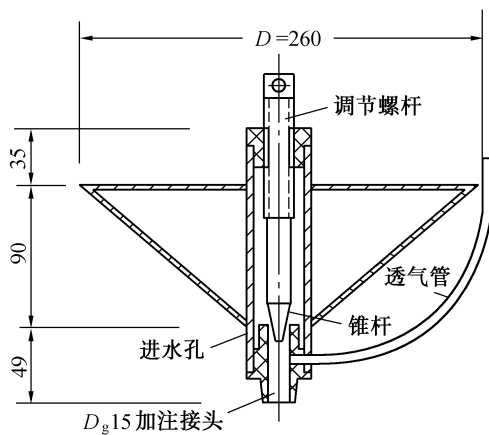


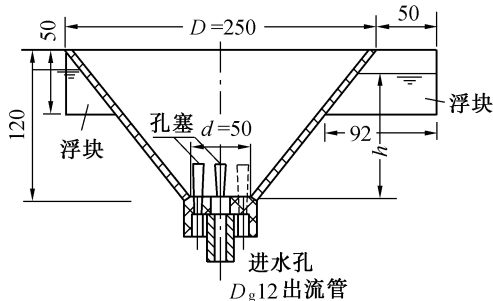
图 4.8 孔口计量设备结构示意图



(a) 浮杯计量设备结构示意图



(b) 锥杆式浮杯结构示意图



(c) 孔塞式浮杯结构示意图

图 4.9 浮杯计量

2. 混合

混合的目的是使投加的混凝剂能够均匀分散在污水中,能与水中的胶体接触形成细小的矾花。混合的时间大约为 $10 \sim 30 \text{ s}$,最多不超过 2 min 。为此要求混合要快速而均匀,快速是因为混凝剂在水中水解很快,要尽量急速搅动以生成大量细小矾花,并不要求生成大矾花。均匀是指在污水中分解反应均衡。混合的方式与设备如下。

(1)水泵混合槽。将混凝剂投加在水泵的吸水管内,利用水泵叶轮转动产生的紊流达到混合的目的。

(2)机械混合槽。机械混合槽构造如图 4.10 所示。在槽中装有螺旋桨式或垂直轴式搅拌机,机轴上装有叶片,使叶片转动进行混合,混合时间为 $10 \sim 30 \text{ s}$ 。

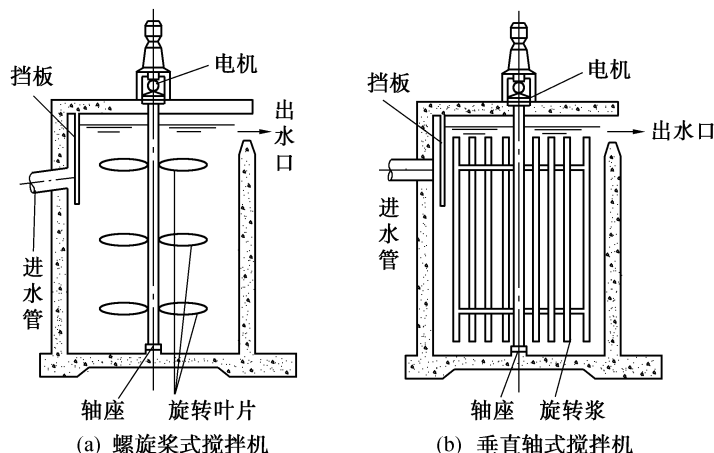


图 4.10 机械混合槽结构示意图

(3)分流隔板混合槽。分流隔板混合槽构造如图 4.11 所示。分流隔板混合槽为长条水池,断面为矩形,池内设几道分流隔板或穿孔板,水在通过隔板或穿孔板流动过程中与药剂达到充分混合。上述几种混合设备的特点比较见表 4.7。

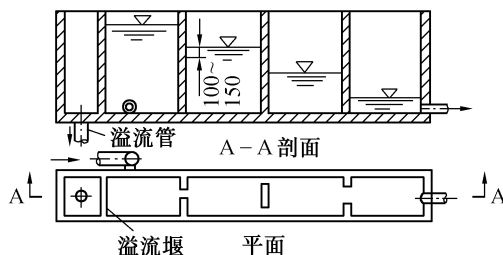


图 4.11 分流隔板式混合槽结构示意图

表 4.7 几种混合设备的比较

型 式	优 点	缺 点	适用条件
机械混合槽	混合效果良好 水头损失较小	维护管理较复杂,每 m^3 设备 容量需耗动力 0.175 kW	各种水量
分流隔板混合槽	混合效果较好	水头损失大,占地面积大	大、中水量
水泵混合槽	设备简单,混合较 为充分,效果好,不 另外消耗动能	管理较复杂,特别是在吸水管 较多时,不宜在距离太长时使用	各种水量

3. 反应

在混合过程中,污水中的混凝剂与污染物已生成细小的絮凝体,但还未达到自然沉降的粒度。反应过程就是使细小的絮凝体逐渐絮凝成粗大的絮凝体而便于沉淀。在反应过程中,需要一定强度的搅拌,使小絮凝体互相碰撞,生成粗大的絮凝体。但搅拌强度又不能过大,以防止生成的絮凝体破碎。一般保持水的流速为 $15 \sim 30 \text{ cm/s}$,反应时间为 $15 \sim 30 \text{ min}$ 。常用的反应设备有平流式及竖流式隔板反应池、回转式隔板反应池、涡流式反应池及机械反应池,其构造如图 4.12 ~ 4.15 所示。上述几种反应池的特点比较见表 4.8。

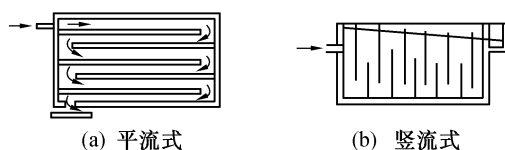


图 4.12 隔板反应池结构示意图

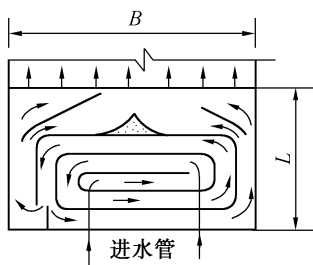


图 4.13 回转式隔板反应池结构示意图

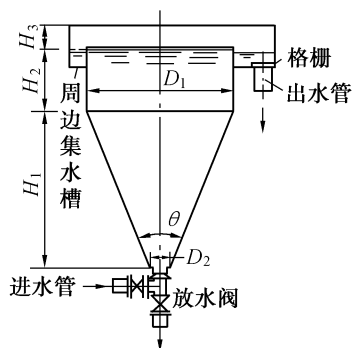
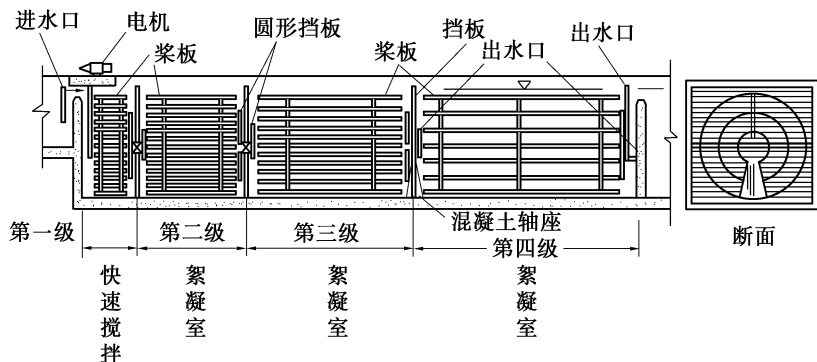
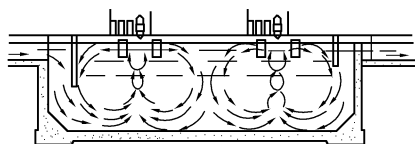


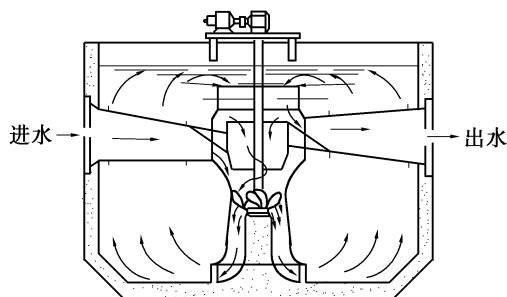
图 4.14 涡流式反应池结构示意图



(a) 横轴桨板四级机械絮凝池结构示意图



(b) 竖轴表面机械絮凝池结构示意图



(c) 竖轴中心管式机械絮凝池结构示意图

图 4.15 机械反应池

表 4.8 几种常用的反应池比较

反应池类型	优 缺 点	适用条件
平(竖)流隔板反应池	优点:反应效果好,构造简单,施工方便 缺点:容积较大,水头损失较大	水量变化较小,且水量大于 $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的处理厂
回转式隔板反应池	优点:反应效果好,构造简单,管理方便,水头损失较小 缺点:池体较深	水量变化较小,且水量大于 $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的处理厂,或改扩建原有设备
涡流反应池	优点:反应时间短,容积小,造价低 缺点:池体较深,圆锥形底部不易施工,反应效果较差	水量小于 $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的处理厂,在大型水厂很少使用
机械反应池	优点:反应效果好,水头损失较小,适应水质、水量变化能力强 缺点:部分设备位于水下,维护较困难	适用于各种规模的处理厂,并适应水量变化较大的水厂

4. 沉淀

进行混凝处理的污水,在经过投药、混合、反应后生成的絮凝体还要进入沉淀池,使生成的絮凝体沉淀与水分离,以达到净化的最终目的。沉淀工艺见本书2.3节,这里不再重述。

4.1.5 应用概况

混凝法可有效地去除污水的浊度和色度,也可去除污水中的呈胶体状态的高分子物质、放射性物质和其他微细颗粒物质。广泛应用在印染、纺织、羊毛洗涤、肉类加工、含油、汽车制造厂的污水处理上。另外混凝法还可与其他许多处理方法联用,如混凝+气浮、混凝+沉淀,其净化效果更佳。污水在进行三级处理或深度处理时,也常采用混凝工艺。

4.1.6 设计计算

混凝净水工艺中的混合与反应的设计计算见表4.9。

表4.9 混凝工艺设计计算表

名 称	公 式	符号说明
1. 机械混合池		
(1) 容积	$V = \frac{QT}{3600n}$	V—混合池容积 m^3 Q—设计流量 m^3/h T—混合时间(一般采用 $10 \sim 30 \text{ s}$) n—池数,不少于2个
(2) 轴转速	$n_0 = \frac{60v}{\pi D_0}$	n_0 —垂直轴转速 r/min v—桨板外缘线速度 m/s (一般采用 $1.5 \sim 3.0 \text{ m}/\text{s}$) D_0 —搅拌器直径 m
(3) 轴功率	$N_1 = \frac{\mu VG^2}{1000}$	N_1 —需要轴功率 kW μ —水的动力黏度 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ G—设计速度梯度 s^{-1} (一般采用 $500 \sim 1000 \text{ s}^{-1}$)
(4) 计算的轴功率	$N_2 = C \frac{\gamma \omega^3 Z e B R_0^4}{408g}$	N_2 —计算轴功率 kW γ —水的相对密度 ω —旋转的角速度 rad/s Z—搅拌器叶数 e—搅拌器层数 B—搅拌器宽度 m R_0 —搅拌器半径 m C—阻力系数($0.2 \sim 0.5$)
2. 机械反应池		
(1) 容积	$V = \frac{QT}{60n}$	V—单池容积 m^3 Q—设计流量 m^3/h T—反应时间 min ($15 \sim 20 \text{ min}$) n—池数,个(不少于2个)

续表 4.9

名 称	公 式	符号说明
(2)池长	$L \geqslant \alpha ZH$	L— 水平轴向池长 μm α — 系数(一般可取 1.0 ~ 1.5) Z— 搅拌桨排数(3 ~ 4 排) H— 平均搅拌桨长度 μm
(3)池宽	$B = \frac{V}{LH}$	B— 水平轴向池宽 μm
(4)转速	$n_0 = \frac{60v}{\pi D_0}$	n_0 — 搅拌器转速 r/min v — 叶轮桨板中心点线速度 m/s (第 1 排 0.4 ~ 0.5 m/s , 末排 0.2 m/s ,各排线速度逐渐减少) D_0 — 叶轮桨板中心点旋转直径 μm
(5)其他	搅拌桨叶宽度 100 ~ 300 mm 桨叶总面积要小于反应池的截面面积 10% ~ 20% ; 垂直式桨叶上端在水面以下 0.3 m ,叶片下端距池底 0.5 m ,水平轴式桨叶的直径应 比水深 0.3 m	
3. 隔板反应池		
(1)容积	$W = \frac{QT}{60}$	W— 反应池总容积 μm^3 Q— 设计流量 $\mu\text{m}^3/\text{h}$ T— 反应时间 μmin (一般采用 20 ~ 30 min)
(2)平面面积	$F = \frac{W}{nH_1} + f$	F— 单池平面面积 μm^2 H_1 — 平均水深 μm n— 池数 ,个(不少于 2 个) f— 单池隔板所占面积 μm^2
(3)池长	$L = \frac{F}{B}$	L— 池子长度 μm B— 池子宽度 ,一般取与沉淀池等宽 μm
(4)间距	$a_n = \frac{Q}{3\ 600n v_n H_1}$	a_n — 隔板间距 μm v_n — 该段廊道内水流速度 $\mu\text{m/s}$
(5)水头损失	$h_n = \xi S_n \frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_n^2}{C_n^2 R_n} l_n$	h_n — 各段水头损失 μm S_n — 该段廊道内水流转弯次数 ,次 v_0 — 该段隔板转弯处的平均流速 $\mu\text{m/s}$ R_n — 廊道断面的水力半径 μm C_n — 流速系数 根据 R_n 及池底、池壁的粗糙系数 n 等因 素确定 ξ — 隔板转弯处的局部阻力系数 ,往复式隔板取 3.0 ,回 转式隔板取 1.0 l_n — 该段廊道的长度总和 μm
(6)总损失	$h = \sum h_n$	h— 总水头损失 μm

续表 4.9

名 称	公 式	符号说明
(7) 梯度	$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{60 \mu T}}$	G— 平均速度梯度 $1/s$ γ — 水的密度 kg/m^3 ($1\ 000\ kg/m^3$) μ — 水的动力黏度 $N \cdot s/m^2$
(8) 其他	① 池内流速应按变速设计,进口流速 $0.5 \sim 0.6\ m/s$,出口流速 $0.2 \sim 0.3\ m/s$,通常采用改变隔板间距离来改变流速 ② 隔板转弯处的过小断面面积,应为廊道断面面积的 $1.2 \sim 1.5$ 倍 ③ 池底坡向排泥口的坡度一般为 $2\% \sim 3\%$,排泥管直径不少于 $150\ mm$	
4. 涡流反应		
(1) 有效面积	$f_1 = \frac{Q}{3.6\ n v_1}$	f_1 — 圆柱部分面积 m^2 v_1 — 圆柱部分上升流速 $A \sim 5\ mm/s$ Q — 设计流量 m^3/h n — 池数,个(不少于 2 个)
(2) 直径	$D_1 = \sqrt{\frac{4 f_1}{\pi}}$	D_1 — 圆柱部分直径 m
(3) 底面积	$f_2 = \frac{Q}{3\ 600\ n v_2}$	v_2 — 底部入口处流速 $0.7\ m/s$ f_2 — 圆锥底部面积 m^2
(4) 底直径	$D_2 = \sqrt{\frac{4 f_2}{\pi}}$	D_2 — 圆锥底部直径 m
(5) 高度	$H_2 = \frac{D_1}{2}$	H_2 — 圆柱部分高度 m
(6) 底高度	$H_1 = \frac{D_1 - D_2}{2} \cos \frac{\theta}{2}$	H_1 — 圆锥部分高度 m θ — 底部锥角 $30^\circ \sim 45^\circ$
(7) 池容积	$V = \frac{\pi}{4} D_1^2 H_2 + \frac{\pi}{12} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2) H_1 + \frac{\pi}{4} D_2^2 H_3$	V — 每池容积 m^3 H_3 — 池底部立管高度 m
(8) 反应时间	$T = \frac{60 v}{q}$	T — 反应时间 min (一般采用 $6 \sim 10\ min$) q — 单池的设计流量 m^3/h
(9) 水头损失	$h = h_0 (H_1 + H_2 + H_3) + \xi \frac{v^2}{2g}$	h — 水头损失 m h_0 — 每 m 工作高度的水头损失 m ($0.02 \sim 0.05\ m$) v — 进口流速 m/s ($0.7\ m/s$) ξ — 进口局部阻力系数 H_3 — 超高 $0.3\ m$
(10) 其他	进水流速采用 $0.8 \sim 1.0\ m/s$,出水流速不超过 $0.2\ m/s$	

4.1.7 操作运行

1. 运行条件的控制

(1) 水力条件的控制。

①絮凝池流速应严格控制,一般要求由大变小。在较大的流速下,使水中的胶体颗粒,充分碰撞吸附;在较小的流速下,使胶体微粒能结成较大的絮粒。水流速度一般为 $10 \sim 30 \text{ mm/s}$ 。

②速度梯度(G)是靠近的两层水流的流速差。 G 值越大,颗粒碰撞的几率就越大,混凝效果就越好;但 G 值过大,可使已絮凝的大矾花受剪力而破碎。反应池的平均梯度 G 一般为 $10 \sim 75 \text{ s}^{-1}$ 。

③絮凝时间(t)长短对混凝效果也有很大影响,絮凝时间长则颗粒碰撞机会就多,混凝效果就好。一般反应时间 $10 \sim 30 \text{ min}$ 。

④用反应池的水流速度梯度 G 与反应时间 t 两个因素的乘积 Gt 作为反应条件的综合参数,能比较全面地反映絮凝效果。 Gt 的含义为在混凝反应时间 t 内颗粒碰撞次数指标, Gt 越大,碰撞的次数就越多,反应效果就越好,但 Gt 亦不宜过大。一般取梯度(G)为 $10 \sim 75 \text{ s}^{-1}$,反应时间(t)取 $10 \sim 30 \text{ min}$,则 Gt 值为 $10^4 \sim 10^5$ 。

(2)pH 值对混凝效果影响极大,这是因为每一种混凝剂只有在一定的 pH 值范围内,才能形成氢氧化物胶体,发挥其混凝作用。不同的混凝剂,要求不同的 pH 值。聚合氯化铝混凝时,要求 pH 值为 $5 \sim 9$;采用三价铁盐混凝去除浊度时,要求 pH 值为 $6.0 \sim 8.4$;去除色度时,要求 pH 值为 $3.5 \sim 5.0$;硫酸铝要求 pH 值为 $6.5 \sim 7.5$ 。

(3)水温是影响混凝效果的另一个重要因素。水温低时,化学反应速度变慢,影响混凝剂的水解。水中杂质与氢氧化物胶体间碰撞机会会减少,水的黏度也大,颗粒下沉阻力增加,矾花不易下沉。提高低水温条件下混凝效果的常用方法是适当增加混凝剂的投加量并投加助凝剂。

(4)其他。混凝剂的品种、投药量、配制浓度及投药方式对混凝效果影响极大,应根据污水水质及混凝剂的特点通过实验确定。混凝设备与反应设备之间尽可能相邻而建,当不能相邻而建需用管道连接时,中间连接管道长度不宜超过 120 m ,在管道内流动时间要小于 2 min ,管内流速 $0.80 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 。反应池与沉淀池或气浮池必须相邻而建,不能用管道连接。

2. 异常现象及解决办法

异常现象及解决办法见表 4.10。

表 4.10 混凝异常现象及解决办法

序 号	异常现象	产生原因	解决办法
1	反应池末端絮体正常,沉淀池出水携带絮体	沉淀池超负荷运行	增加沉淀池运行的池数,降低水力负荷
		沉淀池水流出现短路	查明短路原因(死角、密度流),进行整流
2	反应池末端絮体细小,沉淀池出水浑浊	进水碱度偏低	应补充碱度
		絮凝剂投量不足	增加投药量
		水温过低	改用水温影响较小的无机高分子絮凝剂
		反应池内大量积泥,使池内流速增加,沉淀时间缩短,造成混凝效果不佳	及时排除积泥
		采用非机械混合时,可能导致流速较低,混凝强度不足	合理调度,保证池内混合时足够流速,以提高混凝强度
3	反应池末端絮体松散,沉淀池出水清澈,但携带絮体	混凝剂投量过大	降低混凝剂投加量
4	反应池末端絮体碎小,沉淀池出水浊度高	混凝剂投加大大超量	降低混凝剂投加量

3. 加强日常维护管理

(1)加强投药系统维护管理,要按规定的品种与浓度,配制好混凝剂和助凝剂。要根据原水及出水水量、水质变化,正确调整、控制好投加量。要按章操作,注意安全规定,防止发生伤害事故。

(2)定期进行混凝的烧杯搅拌实验,根据实验结果,确定投加混凝剂的品种、投量及混凝条件。

(3)加强巡检、观察,记录矾花情况、池内积泥情况、水力停留时间、水流流速及搅拌强度等参数,进行综合分析。当出现异常情况时,能及时采取对策。

4.2 澄 清

4.2.1 澄清原理

在池中形成悬浮泥渣层,利用悬浮泥渣层作为接触介质,当投加了混凝剂的原水通过悬浮泥渣层时,原水中的悬浮物颗粒被迅速吸附在悬浮泥渣层上,从而使原水得到净化的过程,称为澄清。澄清池是一种多功能的水处理装置,它是利用接触凝聚的原理,将混凝、反应与沉淀三个过程综合为一体的水处理构筑物。澄清池的净化效率主要取决于悬浮泥渣层的活性与稳定性。因此,保持泥渣层的悬浮状态与浓度均匀稳定,是澄清池正常运行的基本条件。澄清的优点是:净化效率高、占地面积小、药剂用量小,缺点是设备结构复杂。

悬浮泥渣层的形成过程是:加过混凝剂的原水进入澄清池,经过混合反应后形成矾花。澄清池的上升流速较慢,矾花就会沉在池底;相反,矾花就会被带走。如果上升流速适当,上升流速对矾花产生的摩擦力等于矾花的重力时,矾花就会处于悬浮状态,形成悬浮泥渣层。如果原水浊度、上升流速和混凝剂适当,泥渣层可在数小时内形成。悬浮泥渣的浓度很高,可达数千毫克每升,泥渣层厚度一般为1.5~2.5 m,原水从悬浮泥渣层通过时就得到了澄清,主要作用为吸附、接触凝聚等。

悬浮泥渣层的浓度要适当,不能过低或过高,过低时接触凝聚效果不佳,过高时泥渣层会发生膨胀,大量矾花可从澄清池冒出。当混凝剂的用量多、原水的浓度高时,泥渣层浓度相应也高。当池内上升流速大时,净化水量可大些。当泥渣层的浓度低时,净化效果会降低,所以上升流速一般采用0.9~1.0 m/s。要保证澄清池水流均匀,否则,上升流速大的部位就会带出矾花,上升流速小的部位水流会停滞,澄清池容积不能充分利用。悬浮泥渣层中过量及老化的泥渣要及时清除,使泥渣进入量与排出量相等,保持泥渣层合适的浓度、活性和净化效率。

4.2.2 基本类型

根据泥渣层与污水的接触方式,澄清池可分为两大类,即泥渣悬浮型澄清池和泥渣循环型澄清池。泥渣悬浮型澄清池是通过上升水流的能量使泥渣层处于悬浮状态,当水流向下或向上通过泥渣层时,截流水中的微小悬浮微粒。典型的泥渣悬浮型澄清池有悬浮澄清池和脉冲澄清池。泥渣循环型澄清池是利用搅拌机械或射流器使污泥在垂直方向向上不断循环,在循环过程中捕集污水中的微小悬浮颗粒,并在分离区分离。典型的泥渣循环型澄清池有机械加速澄清池和水力循环澄清池。

1. 悬浮澄清池

悬浮澄清池构造如图4.16所示,该澄清池分成三格,中间格为泥渣浓缩室,两旁格为澄

清室。加过混凝剂的原水经过气分离器,从穿孔配水管流入澄清池,自下而上,通过悬浮泥渣层,水中杂质被悬浮泥渣吸附截留,清水从穿孔集水槽排出,悬浮泥渣层不断增加的泥量,由排泥窗口进入泥渣浓缩室,浓缩下沉定期排出。

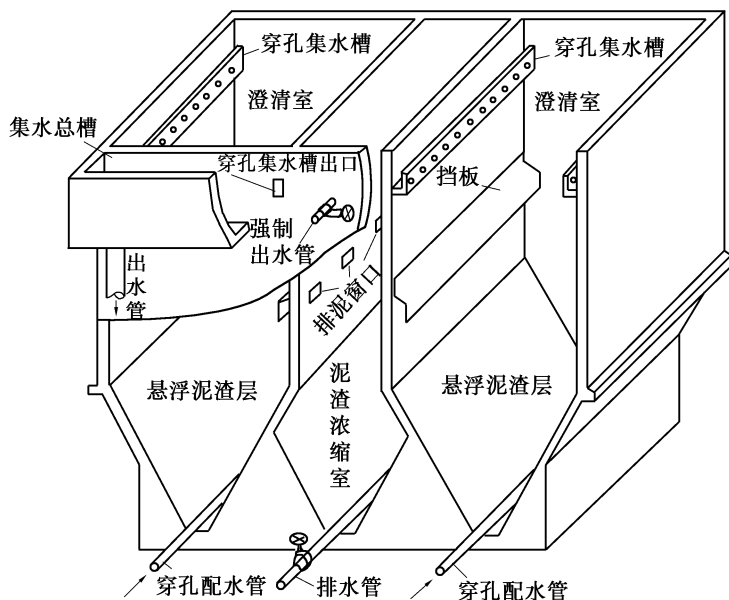


图 4.16 悬浮澄清池

悬浮澄清池的结构简单,造价低廉,适用于小浊度($3\ 000\ \text{mg/L}$)的水处理。当浊度过低或有机物含量过高时,处理效率就差些。该池型对进水水量、水温和加药量的变化较为敏感。悬浮澄清池适用于中小型水厂。

2. 脉冲澄清池

脉冲澄清池构造如图 4.17 所示。脉冲澄清池是间歇进水的,进水时上升流速增大,悬浮泥渣层上升;不进水或进水少时,泥渣层下降。因泥渣层处于脉冲升降状态,所以称为脉冲澄清池。

脉冲澄清池工艺过程为:加药后的原水由进水管进入进水室,当水位上升到高水位时,从中央管放水到澄清池,水流通过中央管、落水井及配水渠道,通过穿孔集水管的孔口高速(一般为 $2\sim 4\ \text{m/s}$)喷出,在稳流板下面进行剧烈的混合反应,然后从稳流板板缝流出,以缓慢的流速($1\ \text{mm/s}$)向上流动,使泥渣层悬浮起来。在“脉冲”水流的作用下,泥渣层时而膨胀上浮,时而稳定下沉,这样有利于水中杂质和矾花颗粒的碰撞凝聚。当水流上升到泥渣浓缩室顶部时,断面突然扩大,流速迅速减小,使泥水分离。清水通过穿孔管槽排出。泥渣不断流入泥渣浓缩室,采用虹吸法定期排除。脉冲澄清池混合充分,布水均匀,但设备复杂,适用

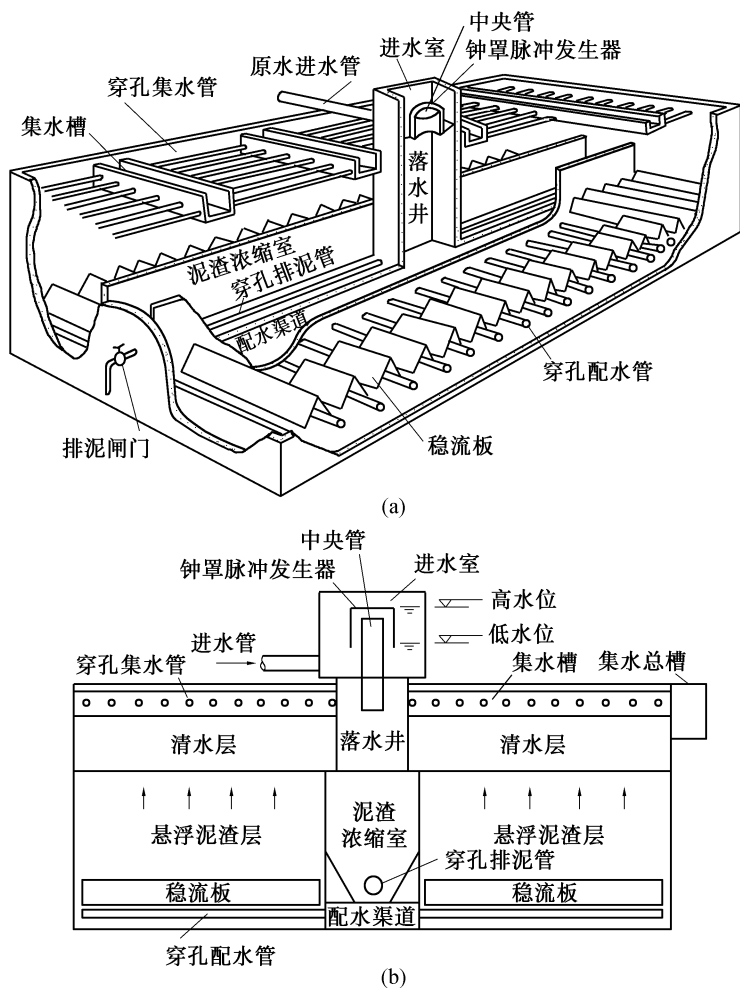


图 4.17 脉冲澄清池

于大、中、小型水厂。

钟罩脉冲发生器是脉冲澄清池的关键设备,其构造如图 4.18 所示。原水由进水管进入进水室,室内水位继续上升,直到低水位淹没钟罩口。以后,水位继续上升,封在钟罩内的空气由排气管排出。当水位超过中央管管顶到达高水位时,原水入流中央管,因溢流作用将压缩在钟罩顶部的空气带走,罩内形成真空,发生虹吸。进水室的水迅速通过钟罩、中央管和落水井,进入池下部的配水渠和配水管,冲起泥渣层,当进水室的水位下落到虹吸破坏管的管口时,空气通过虹吸破坏管进入钟罩,虹吸破坏,停止进水,泥渣层下落。当进水室水位又继续上升至高水位时,虹吸又发生,如此循环不已,充水和放水交替发生,产生脉冲作用。充水时间约为 20~30 s,放水时间约为 5~10 s,充放时间比约为(3~4):1。进水室充水和放水

一次所需时间称为脉冲周期。

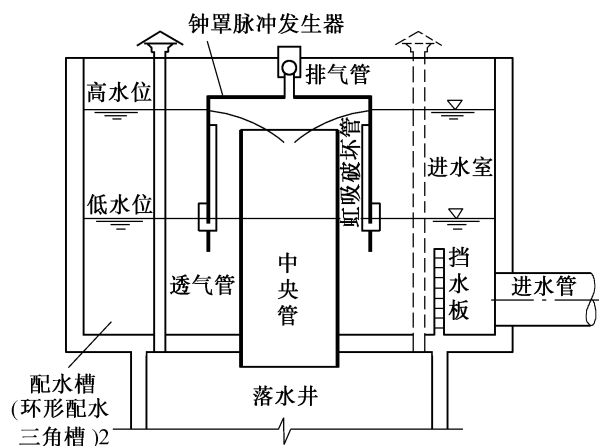


图 4.18 钟罩脉冲发生器

3. 机械加速澄清池

机械加速澄清池又称加速澄清池，构造如图 4.19 所示。机械加速澄清池是利用机械搅拌提升作用使活性泥渣在池内循环流动，并与原水充分混合完成澄清过程。污水从进水管 1 通过配水槽（环形配水三角槽）2，从底边的调节缝流入第一反应室（混合室）3。混凝剂可在 2 处或 3 处投加。第一反应室被伞形板 12 包围着，其上部设有提升搅拌设备 10，叶轮转动时形成涡流，使污水、混凝剂及回流的泥渣充分接触混合。由于叶轮的提升作用，污水进入第二反应室 4 进行混凝反应。第二反应室为圆筒形，水从筒口四周流入导流室 5，导流室内有导流板 11，使污水平稳地流入分离室 6。分离室的面积较大，使水流速度突然变小，泥

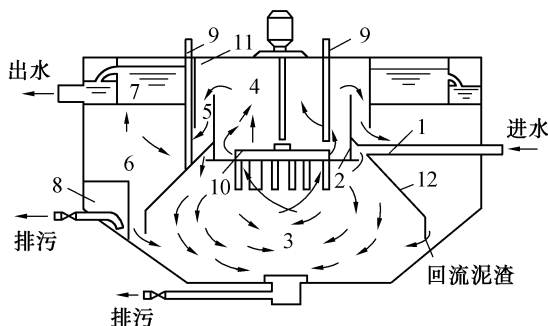


图 4.19 机械加速澄清池

1—进水管 2—配水槽 3—第一反应室（混合室）4—第二反应室 5—导流室 6—分离室 7—集水槽 8—泥渣浓缩室 9—加药管 10—机械搅拌器 11—导流板 12—伞形板

渣依靠重力下沉与水分离,分离出的清水经集水槽 7 与出水管流出池外。下沉的泥渣一部分进入泥渣浓缩室 8,经浓缩后排放;另外大部分泥渣在提升设备作用下通过回流缝又回到第一反应室,循环使用。

机械加速澄清池的特点为:泥渣在池内循环流动,悬浮层中泥渣浓度较高,颗粒之间相互接触机会多,处理效率高,投药量少,运行稳定,在实际工程中常被采用。

4. 水力循环澄清池

水力循环澄清池构造如图 4.20 所示。水力循环澄清池是利用进水喷射形成真空,吸入高浓度的泥渣回流,并与加过药剂的原水充分混合,促进混凝反应。其工作过程为:已投加混凝剂的污水,经水泵加压后,由池子底部中心进水管 1,进入池内,经喷嘴 2 高速喷入喉管 3,在喉管下部喇叭口 4 附近形成低压区而吸入回流的泥渣,原水与回流的活性泥渣,在喉管中剧烈混合后进入第一反应室 5 及第二反应室 6,完成吸附及凝聚。从第二反应室流出的泥水混合液在分离室 7 进行泥水分离,清水向上经集水槽 8 流出,泥渣则有一部分进入泥渣浓缩室 9,经浓缩后排出池外;另一部分被吸入喉管重新循环使用,如此周而复始。

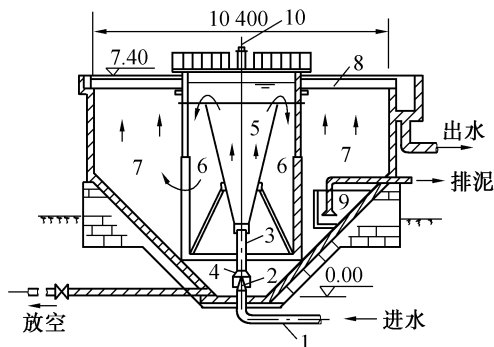


图 4.20 水力循环澄清池

- 1—进水管 2—喷嘴 3—喉管 4—喇叭口 5—第一絮凝室 6—第二絮凝室
7—分离室 8—集水槽 9—泥渣浓缩室 10—升降螺杆

由于水力循环澄清池是依靠水力喷射形成泥渣回流,其有效作用范围小(直径不大于 15 m),适宜于中、小型水厂及处理浊度低($2\,000\text{ mg/L}$)的原水。

5. 各种澄清池的比较

各种澄清池的比较见表 4.11。

表 4.11 各种澄清池的比较

类 型	优 点	缺 点	适用条件
悬浮澄清池 (无穿孔底板)	(1)构造较简单 (2)能处理浊度小于 3 000 mg/L 的水 (双层式加悬浮层底部开孔)	(1)需设气水分离器 (2)对水量、水温较敏感,处理效果不够稳定 (3)双层式池较深	(1)进水悬浮物质量浓度小于 3 g/L,宜用单池,进水悬浮物 3~10 g/L,宜用双池 (2)流量变化一般每小时不大于 10%,水温变化每小时不大于 1
脉冲澄清池	(1)混合充分,布水较均匀 (2)池较浅,便于平流式沉淀池改建	(1)需要一套真空设备 (2)虹吸式水头损失较大,脉冲周期较难控制 (3)对水质、水量变化适应性较差 (4)操作管理要求较高	适用于大、中、小型水厂
机械加速澄清池	(1)单位面积产水量大,处理效率高 (2)处理效果较稳定,适应性较强	(1)需机械搅拌设备 (2)维修较麻烦	(1)进水悬浮物质量浓度小于 5.0 g/L 短时间允许质量浓度 5~10 g/L (2)适用于大、中型水厂
水力循环澄清池	(1)无机械搅拌设备 (2)构筑物较简单	(1)投药量较大 (2)消耗大的水头 (3)对水质、水温变化适应性差	(1)进水悬浮物质量浓度小于 2 g/L 短时间允许质量浓度 5 g/L (2)适用于中、小型水厂

4.2.3 设计计算

澄清池设计计算参数见表 4.12。

表 4.12 澄清池设计计算参数

类 型		清 水 区		悬浮层高度 /m	总停留时间 /h
		上升流速/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	高度/m		
悬浮澄清池	单层	0.7~1.0	2.0~2.5	2.0~2.5	0.33~0.5(悬浮层) 0.4~0.8(清水区)
	双层	0.6~0.9	2.0~2.5	2.0~2.5	—
脉冲澄清池		0.7~1.0	1.5~2.0	1.5~2.0	1.0~1.3
机械加速澄清池		0.8~1.1	1.5~2.0	—	1.2~1.5
水力循环澄清池		0.7~1.0	2.0~3.0	3~4(导流筒)	1.0~1.5

其中,机械加速澄清池的设计计算如下。

(1)进水管、配水槽。进水管流速 1 m/s ,进水管接入环形配水槽后向两侧环流配水,故三角配水槽断面应为设计流量的 50% ,配水槽和缝隙处流速采用 0.4 m/s 。

(2)反应室。第一反应室、第二反应室(包括导流室)和分离室的容积比为 $2:1:7$ 。第二反应室和导流室的流速为 $40\sim 60\text{ mm/s}$,澄清池的总停留时间为 $1.2\sim 1.5\text{ h}$ 。

(3)分离室。分离室上升流速为 $0.8\sim 1.2\text{ m/s}$,泥渣回流量一般为进水量的 $2\sim 4$ 倍。

(4)集水槽。当池径小于 6 m 时,辐射集水槽可用 $4\sim 6$ 条;当池径大于 6 m 时,可用 $6\sim 8$ 条。环形集水槽与辐射集水槽槽壁开孔,孔径为 $20\sim 30\text{ mm}$,孔口流速为 $0.5\sim 0.6\text{ m/s}$ 。

(5)泥渣浓缩室。泥渣浓缩室的容积大小影响排出泥渣的浓度和排泥间隔的时间。根据澄清池的大小可设泥渣浓缩室 $1\sim 4$ 个,其容积约为澄清池容积的 $1\%\sim 4\%$ 。当原水浊度较高时,应选用较大容积的泥渣浓缩室。

(6)搅拌设备。叶轮的提升流量为进水流量的 $3\sim 5$ 倍。可以用转速控制提升流量。叶轮装于第二反应室底板圆孔内,底板厚度可盖没部分的叶轮出口,因此,提升流量可以靠叶轮的升降进行调整。叶轮直径一般为第二反应室内径的 $0.7\sim 0.8$ 倍,叶轮的外缘线速度为 $0.5\sim 1.5\text{ m/s}$,搅拌桨的外缘线速度为 $0.3\sim 1.0\text{ m/s}$ 。

4.2.4 操作运行

(1)运行人员要及时测定掌握原水水质及其变化情况,包括浊度、 pH 值、碱度等,及时调整药剂的种类及其投加量。

(2)如果泥渣颗粒粗大,疏松多孔,色泽较浅,则说明其活性好,吸附力强。反之,若颗粒细小,密实,色泽较深,则说明泥渣已老化,必须及时排出。泥渣质量浓度为 $2\ 500\sim 5\ 000\text{ mg/L}$ 为宜。在实际运行中,常通过测定泥渣 5 min 的沉降比的方法间接求其相应的浓度,一般宜将 5 min 沉降比控制在 $15\%\sim 20\%$,当超过 20% 时就应及时排泥。

(3)泥渣浓度过高时,对悬浮型澄清池可减少充放水量比,可加大出水量,使过剩的泥渣进入泥渣室。另外可以调整投药量,当原水浊度较高,出水水质不佳时,应加大投药量,促进药剂快速均匀分散;对泥渣循环型澄清池,可调节回流比,减小水力循环澄清池喉嘴距或机械加速澄清池的叶轮开启度,以减少泥渣回流量。

(4)要尽快形成高浓度活性泥渣,特别是对初次运行的澄清池,当原水浊度低于 200 mg/L 时,要加大投药量(正常投药量的 $3\sim 4$ 倍),另外还可加黄泥、泡花碱或聚丙烯酰胺等绒体核心类助凝剂,促进泥渣层尽快形成。当分离室悬浮物产生分离现象并有少量矾花上浮,但水还不是很浑浊时,则可认为投药量及投泥量适当。当原水浊度大于 200 mg/L 时,可不加黄泥等助凝剂,只要将进水量控制在设计流量的 $1/3$,药剂投加量比正常投加量增加 $50\%\sim 100\%$,减少回流量,延长混凝时间,活性泥渣就会很快形成。

(5)澄清池运转一段时间后重新开启时,应先开启池底的放空阀,少量排除池底的已被

压实的泥渣,然后进水,并增加投药量,待出水水质稳定后,再恢复药剂正常投加量,这样约1~2 h即可恢复正常运行。

(6)在实际运行中,当工厂扩大生产,污水量增加时,须对原有的澄清池进行挖潜改造,这时可在原有的澄清池中增加斜板(管),以增加处理水量。

(7)澄清池正确排泥至关重要,及时排泥有利于池内泥渣保持平衡。但排泥历时不能过长,不能排泥过多,要保持泥渣一定的浓度。泥渣过多或过少都会影响出水水质。

(8)夏天气温高时,池子表面可能产生大粒矾花上浮,但水仍然较清,这时可以增大助凝剂投放量,以加大矾花自身的质量使其沉淀下来。

(9)在正常温度下,清水区出现大量气泡,其原因一是投加碱量过大;二是池内污泥回流不畅,导致污泥沉淀于池底,日久腐化发酵,形成大块松散腐殖物,并夹带腐败气体浮上水面。解决的办法是,减少投碱量并使池内污泥回流通畅。

(10)要定期维修保养电机与齿轮箱,每周检查一次齿轮油情况,齿轮油不足时要及时添加。要经常检查搅拌设备的运转情况,注意声音是否正常,电机是否发热,并做好设备的清洁工作。

4.3 吸 附

4.3.1 吸附理论

吸附是指利用多孔固体物质吸附污水中的污染物而净化污水的方法。具有吸附能力的多孔固体物质称为吸附剂,被吸附的物质称为吸附质。吸附作用发生在两个相的界面上,是一种界面的现象。例如,活性炭与污水接触,污水中的污染物质会从液相转移到活性炭固相表面上。

1. 吸附类型

根据吸附力的不同,吸附可分为如下三种类型。

(1)物理吸附。吸附剂与吸附质之间通过分子间力产生的吸附称为物理吸附。

(2)化学吸附。吸附剂与吸附质之间发生化学键力引起的吸附称为化学吸附。

(3)离子吸附。吸附剂与吸附质之间发生离子间力引起的吸附称为离子吸附。离子吸附又称离子交换,是指吸附质的离子由于静电引力的作用,聚集在吸附剂的表面的带电点上,并置换出原本固定在吸附剂带电点上的离子的过程(详见本章第四节)。

上述三种吸附不是孤立的,往往是相伴发生的,大部分吸附都是几种吸附的综合结果。有时可能某种吸附是主要的,其他吸附是次要的。物理吸附及化学吸附的比较见表4.13。

表 4.13 物理吸附及化学吸附的比较

吸附性能	吸 附 类 型	
	物理吸附	化学吸附
作用力	分子引力(范德华力)	剩余化学价键力
选择性	一般没有选择性	有选择性
形成吸附层	单分子或多分子吸附层均可	只能形成单分子吸附层
吸附热	较小,一般在 41.9 kJ/mol 以内	较大,相当于化学反应热,一般在 83.7 ~ 418.7 kJ/mol
吸附速度	快;几乎不需要活化能	较慢,需要一定的活化能
温度	放热过程,低温有利于吸附	温度升高,吸附速度增加
可逆性	较易解吸	化学价键力大时,吸附不可逆

2. 吸附平衡

吸附过程是可逆反应,当污水与吸附剂充分接触后,一方面吸附质被吸附剂吸附,称为吸附过程;另一方面,一部分被吸附剂吸附的吸附质由于热运动的结果,脱离了吸附剂的表面,又回到液相中来,称为解析过程。当吸附速度与解析速度相等时,即单位时间内吸附的数量等于解析的数量时,也即吸附质在液相中的质量浓度和在吸附剂表面上的质量浓度都不再改变时,则达到了吸附平衡。此时,吸附质在液相中的质量浓度称为平衡浓度。

3. 吸附容量

单位质量的吸附剂所吸附的吸附质的质量称为吸附容量。

$$q = \frac{V(\rho_0 - \rho)}{W}$$

式中 q ——吸附容量, g/g;

V ——吸附容积, L;

W ——吸附剂投加量, g;

ρ_0 ——原水中吸附剂质量浓度, g/L;

ρ ——吸附平衡时水中剩余的吸附质质量浓度, g/L。

在温度一定的情况下,吸附容量随吸附质的平衡浓度的提高而增加。

4. 吸附速度

单位质量吸附剂在单位时间内所吸附的物质质量称为吸附速度。吸附速度取决于影响吸附的诸多因素。吸附速度越快,接触时间越短,所需吸附设备的容积也就越小。

5. 影响吸附的因素

影响吸附的因素很多,主要为吸附剂和吸附质的性质以及吸附的操作条件。

(1)吸附剂的性质。吸附剂颗粒的大小、细孔的构造和分布情况以及表面化学性质等都对吸附产生影响。单位质量吸附剂的表面积称为比表面积,吸附剂的粒径越小或微孔越发达,其比表面积就越大,则其吸附能力就越强(活性炭的比表面积为 $500 \sim 1\,700 \text{ m}^2/\text{g}$)。吸附剂的种类不同,吸附的效果也就不同,一般极性分子(或离子)型的吸附剂易吸附极性分子(或离子)型为吸附质,而非极性分子(或离子)型的吸附剂易吸附非极性分子(或离子)型为吸附质。

(2)吸附质的性质。

①吸附质的浓度。提高吸附质的浓度可增加吸附量,但当全部吸附剂表面被吸附质占据时,吸附量达到饱和状态,吸附量不再随吸附质浓度的提高而增加。

②吸附质的极性。极性的吸附剂易吸附极性的吸附质,非极性的吸附剂易吸附非极性的吸附质。

③液体表面自由能。能使液体表面自由能降低的吸附质容易被吸附,如用活性炭在水溶液中吸附脂肪酸,由于含碳多的脂肪酸分子可使炭液界面自由能降低很多,所以吸附量也就大。

④吸附质分子。活性炭吸附有机物的数量,随其相对分子质量增大而增加,但相对分子质量过大会影响扩散速度,降低吸附量,如相对分子质量超过 1 000 的有机物分子,应先将其分解成小相对分子质量后再用活性炭进行吸附。

⑤吸附质的溶解度。在一般情况下,吸附质的溶解度越低,越容易被吸附。

(3)操作条件。吸附是放热过程,低温有利于吸附,高温有利于脱吸。溶液的 pH 值及吸附质以分子-离子或络化物存在的形式,也影响到吸附剂表面电荷极性和化学特性,从而影响吸附过程。在吸附操作过程中,应保证吸附剂与吸附质有足够的接触时间(一般为 $0.5 \sim 1.0 \text{ h}$)。

4.3.2 吸附剂

用于水处理的吸附剂有活性炭、磺化煤、焦炭、木炭、泥煤、高岭土、硅藻土、硅胶、炉渣、木屑、金属(铁粉、锌粉及活性铝)以及其他合成的吸附剂等,但最常用的是活性炭,现将活性炭简介如下。

1. 活性炭的制造

活性炭的制造过程如图 4.21 所示。活性炭是用以含碳为主的物质(如煤、木材等)做原料,经高温碳化和活化而成的。碳化温度为 $300 \sim 400$,将原料热解为炭渣,活化使炭渣内部形成多孔结构。活化有气体法和药剂法两种。气体法是在 $920 \sim 960$ 的高温下通入水蒸气、二氧化碳及空气进行反应,药剂法是用氯化锌、硫酸等作活性剂进行反应,制成后的活性炭外观呈黑色,主要含碳($\omega(\text{C}) = 92\%$),还含少量氧($\varphi(\text{O}) = 5\%$)、氢($\varphi(\text{H}) = 1\%$)和硫($\varphi(\text{S}) = 0.05\%$)。

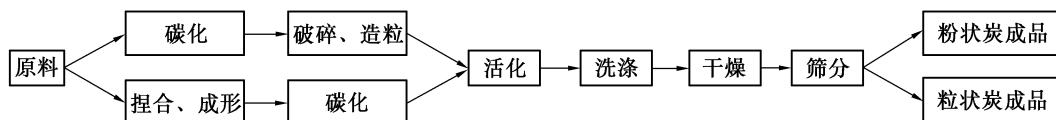


图 4.21 活性炭制造过程示意图

2. 活性炭的结构

活性炭的吸附性能,不仅与其比表面积有关,而且与活性炭孔隙的结构有关。活性炭的制造方法不同,其结构也不同。其表面形状有圆筒形、瓶形、平板形、U 字形等。活性炭的孔隙分小孔(半径在 2 nm 以下)、中孔(半径为 2 ~ 100 nm)、大孔(半径为 100 ~ 10 000 nm),孔隙的分布也千差万别。一般来讲,吸附量主要受小孔支配,但对相对分子质量大的及分子直径大的物质,须依靠中孔、大孔的吸附。在实际应用中,要根据吸附质的不同,选用孔隙分布不同的活性炭。活性炭的比表面积及孔隙容积见表 4.14。

表 4.14 典型的活性炭比表面积及孔隙容积

	孔隙半径 /nm	水蒸气活化粉状活性炭		氯化锌活化粉状活性炭	
		比表面积 /($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	孔隙容积 /($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	比表面积 /($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	孔隙容积 /($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)
小孔	< 2	700 ~ 1 400	0.25 ~ 0.6	500 ~ 1 000	0.4 ~ 0.9
中孔	2 ~ 100	1 ~ 200	0.02 ~ 0.2	200 ~ 800	0.3 ~ 1.0
大孔	100 ~ 10 000	0.5 ~ 2	0.2 ~ 0.5	—	—

3. 活性炭的化学性质

活性炭的化学性质影响着活性炭的吸附性能。活性炭本身是非极性的,但处于活性炭微晶体边缘的碳原子,由于共价键不饱和,而易与其他元素结合,并显示微弱的极性。因此,活性炭不仅可去除水的非极性物质,还可吸附极性物质、金属离子及其化合物。活性炭具有良好的吸附性能及化学稳定性,可耐酸碱,能经水浸及高温高压作用,不易破碎,气流阻力小。因此被广泛应用于水处理上。用于水处理的粒状活性炭的性能及规格见表 4.15。

表 4.15 用于水处理的粒状活性炭的性能及规格

	太原新华厂 ZJ - 15 (8 [#])	太原新华厂 ZJ - 25 (2 [#])	北京光华厂 GH - 16	美国 Calgon filtrisorb 300
粒径/mm	1.5	—	—	1.5 ~ 1.7
粒度(筛目)	10 ~ 20	6 ~ 12	10 ~ 28	—
机械强度/%	70	> 85	≥ 90	70
碘值/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	> 800	> 700	> 1 000	900

续表 4.15

	太原新华厂 ZJ - 15 (8 [#])	太原新华厂 ZJ - 25 (2 [#])	北京光华厂 GH - 16	美国 Calgon filtrisorb 300
真密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0.77	0.70	2	2.1
堆密度 / ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	450 ~ 530	520	340 ~ 440	480
比表面积 / ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	900	800	1 000	950 ~ 1 050
总孔容积 / ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.80	0.80	0.90	0.85
水分 / %	< 5	< 5	—	2
灰分 / %	< 30	< 4	—	8

4. 活性炭的再生

活性炭再生是指活性炭达到饱和吸附后,进行解吸再生,重新恢复使用的过程。具体讲就是在活性炭本身结构不发生或少发生变化的情况下,用加热再生、化学再生或生物再生方法将吸附质从活性炭的微孔中除去,恢复其吸附能力,达到重复使用的目的。

4.3.3 吸附工艺

吸附工艺分静态吸附与动态吸附两种。静态吸附是污水处于不流动的相对静态下,把吸附剂投入预处理的废水中,不断进行搅拌,达到吸附平衡后,再用沉淀或过滤的方法,使废水与吸附剂分开。这种方法往往需要多次静态吸附,操作麻烦,在实际操作中很少使用。动态吸附是污水在流动条件下进行的吸附操作,在实际工程中常用的设备有固定床、移动床和流动床。

1. 固定床

固定床的构造及其吸附操作如图 4.22 及图 4.23 所示。原水从固定床上部进入,与活性炭吸附层接触,经净化后的污水由下部出水口排出,经过一段时间后,吸附剂的吸附能力降低,出水中的吸附质浓度增加,应停止通水,进行吸附剂再生。可用水冲洗或将吸附剂卸出送到再生炉再生。这种设备的吸附剂在操作过程中是固定的,所以称为固定床。固定床根据水流方向,分为升流式及降流式两种(图 4.22 为降流式固定床),水流从固定床上部流入,向下流动,通过吸附层,此种形式出水水质较好,但水头损失较大;升流式固定床为水流从固定床下部进入,向上流动,通过吸附层,水头损失增加较慢,当适当增加流速时,吸附层就会稍有膨胀,达到自清的目的,但处理效果较差。根据处理水量、原水性质及出水要求的不同,可选用单床和多床系统。多床系统可以并联或串联使用,并联适用于处理水量大,出水水质要求较低的情况;串联适用于处理水量小,出水水质要求较高的情况。

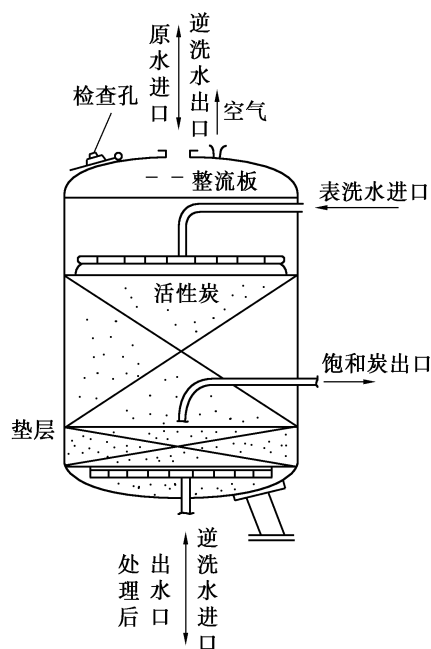


图 4.22 降流式固定床型吸附塔示意图

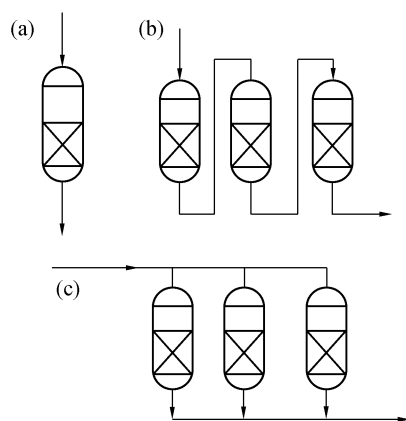


图 4.23 固定床吸附操作示意图

(a)单床式 (b)多床串联式 (c)多床并联式

2. 移动床

移动床构造如图 4.24 所示。原水从移动床底部流入，与吸附剂进行逆流接触，处理后的水从床顶流出。接近吸附饱和的吸附剂从床底间歇排出，进行再生，再生后的吸附剂从床顶加入。与固定床相比，移动床能够充分利用吸附剂的吸附容量，水头损失小。由于采用升流式，污水从床底流入，从床顶流出，被截流的污染物随饱和的吸附剂间歇地从床底排出，所以不需要反冲洗设备。但这种设备操作要求吸附剂上下层不能互相混合，操作要求高。适用于处理含悬浮物及有机物浓度高的污水。

3. 流动床(流化床)

流动床构造如图 4.25 所示。原水由底部升流式通过床层，吸附剂由上部向下移动（饱和的吸附剂经过再生），由于吸附剂保持膨胀流化状态，因此，与水接触面极大，处理能力高，适用于处理悬浮物含量高的污水。

吸附装置的选择应针对处理对象、处理规模进行技术经济比较，并进行实验确定。目前常用的固定床及移动床，其特点比较见表 4.16。

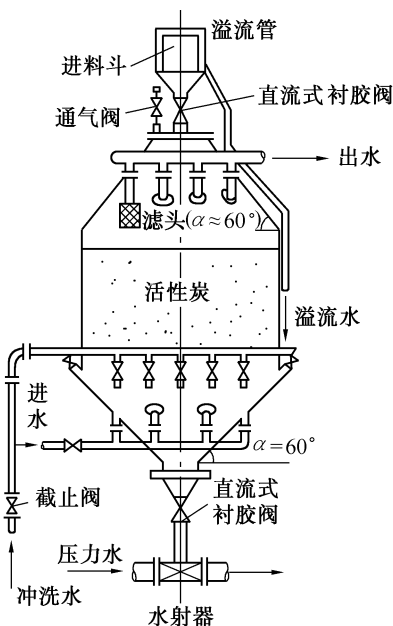


图 4.24 移动床示意图

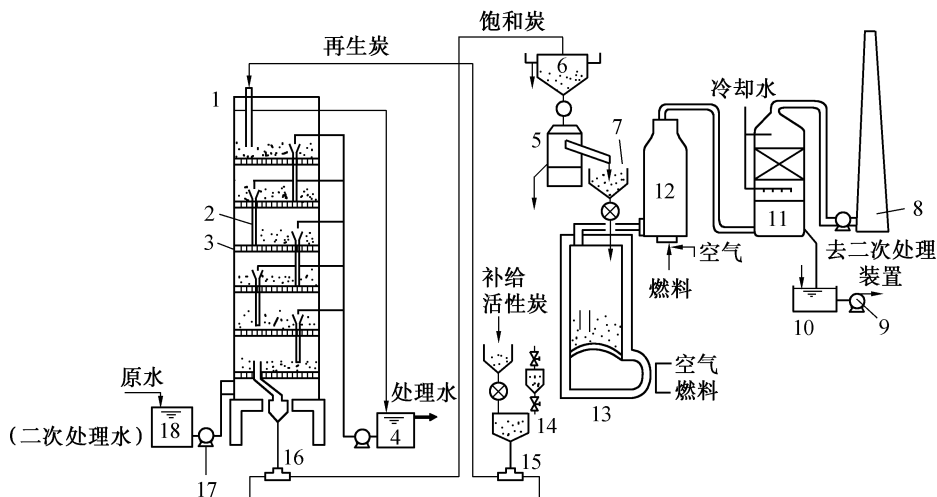


图 4.25 粉状炭流化床及再生系统

- 1—吸附塔 2—溢流管 3—穿孔板 4—处理水槽 5—脱水机 6—饱和炭贮槽 7—饱和炭供给槽；
8—烟筒 9—排水泵 10—废水槽 11—气体冷却器 12—脱臭炉 13—再生炉；
14—再生炭冷却槽 15、16—水射器 17、18—原水泵

表 4.16 吸附装置特点比较

比 较 项 目		床 型	
		固定床	移动床
设计条件	空塔体积流速(v_L)/(L·h ⁻¹)	约 2.0	约 5.0
	空塔线速度(v_s)/(m·h ⁻¹)	5~10	10~30
吸附过程	吸附容量 kg COD/kg 炭	0.2~0.25	较前者低
	活性炭耗量 $\begin{cases} \text{必要量} \\ \text{损失量} \end{cases}$	多	少
		少	少
再生过程	排炭方式	间歇式	可间歇式也可连续式
	再生损失	少	少
	再生炉运转率	低	高
处理费		处理规模大时高	处理规模大时低

4.3.4 应用实例

活性炭在给水处理上主要用于去除微量有害物质、色度及臭味;在污水处理中应用于深度处理,去除难以生物降解或化学氧化的有害物质、重金属离子,去除色度及臭味。

1. 炼油污水处理

我国某炼油厂活性炭吸附处理工艺流程如图 4.26 所示。我国国内部分炼油厂活性炭深度处理情况见表 4.17。

表 4.17 我国国内部分炼油厂活性炭深度处理情况

项目	水质指标	兰州炼油厂	长岭炼油厂	东方红炼油厂
石油	处理前质量浓度/(mg·L ⁻¹)	6.49~42.49	40 以下	2.5~7.25
	处理后质量浓度/(mg·L ⁻¹)	0~1.5	4~6	0.5~0.77
	去除率/%	96.47	85.0	90.06
COD	处理前质量浓度/(mg·L ⁻¹)	88.03~341.6	80~120	35~72
	处理后质量浓度/(mg·L ⁻¹)	20~30	30~70	19~38
	去除率/%	91.22	41.7	47.22
挥发酚	处理前质量浓度/(mg·L ⁻¹)	0.042~3.38	0.4	0.04~0.37
	处理后质量浓度/(mg·L ⁻¹)	0~0.05	0.05	0.0007~0.004
	去除率/%	98.52	87.5	98.92

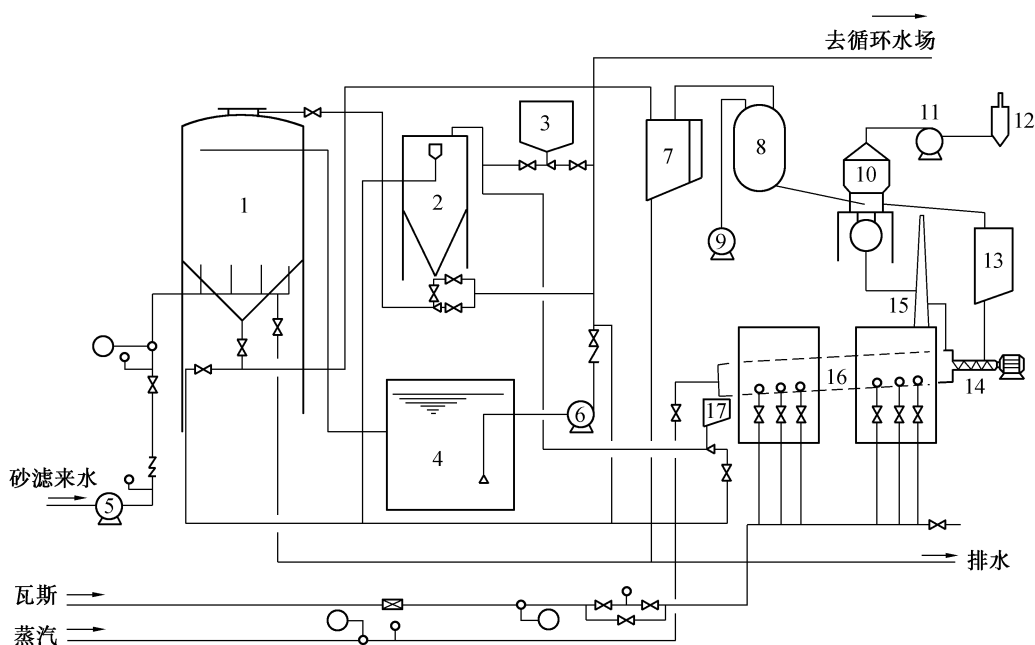


图 4.26 活性炭吸附流程示意图

1—吸附塔 2—冲洗罐 3—新炭投加斗 4—集水井 5—泵 6—泵 7—脱水罐 8—储料罐 9—真空泵 10—沸腾干燥炉 11—引风机 12—旋风分离器 13—干燥罐 14—进料机 15—烟筒 16—再生炉 17—急冷罐

2. 染料污水处理

我国某染料厂采用活性炭吸附处理二硝基氯苯污水,其工艺流程如图 4.27 所示。进水含二硝基氯苯质量浓度为 700 mg/L,经净化处理后出水二硝基氯苯质量浓度下降为 5 mg/L 以下。吸附剂饱和后用氯苯脱吸,蒸汽吹脱再生。

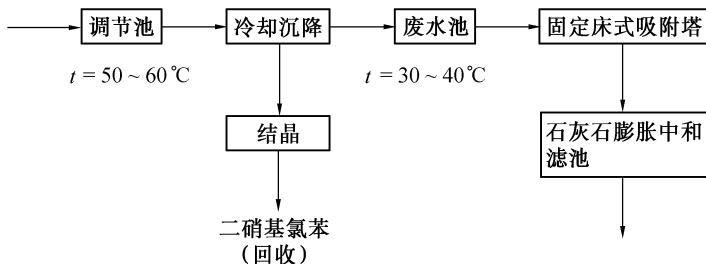


图 4.27 二硝基氯苯废水处理工艺流程图

3. 乙烯污水处理

我国某乙烯联合化工厂采用活性炭吸附三级处理,其工艺流程如图 4.28 所示。活性炭

吸附设备为降流式固定床。污水经处理后 , $\rho(\text{COD}) < 40 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{BOD}) < 10 \text{ mg/L}$,
 $\rho(\text{SS}) < 10 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{酚}) < 0.05 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{油}) < 2 \text{ mg/L}$ 。

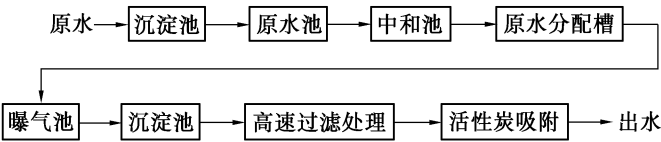


图 4.28 活性炭吸附三级处理工艺流程图

4. 含汞废水处理

活性炭吸附法处理含汞量在 5 mg/L 以下的废水 ,平均吸汞效果在 97% 以上。处理效果见表 4.18。

表 4.18 粉状活性炭净化含汞废水效果

废活性炭粉 质量 /g	废水含汞质量浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	净化后平均含汞质量 浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	净化后平均吸汞效率 /%	附注
5	1	0.0 215	97.85	同时投加碘 5 g
5	1	0.013	98.7	

5. 含氰废水处理

向吸附柱内通入空气 ,使氧溶解于水中 ,用活性炭作为触媒载体 ,促进氧分解 ,污水中 CN^- 成为氰酸盐、 CO_2 及 NH_3 等 ,其净化效果见表 4.19。

表 4.19 空气催化法处理氰化镀镉废水的效果

废水中的主要成分	CN^-	Cd^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}
进水质量浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	50 ~ 80	10 ~ 30	10 ~ 30	3 ~ 5
去除率 /%	> 98	> 98	> 98	> 98
回收率 /%	—	90	50 ~ 60	50

4.3.5 设计计算

1. 设计计算参数

- (1)粉末炭投加的炭浆质量分数约为 40%。
- (2)粉末炭与水接触时间为 20 ~ 30 min。
- (3)固定床炭层厚度为 1.5 ~ 2.0 m。
- (4)过滤线速度为 8 ~ 20 m/h。
- (5)反冲洗水线速度为 28 ~ 32 m/h。

- (6)反冲洗时间为 4 ~ 10 min。
- (7)冲洗间隔时间为 72 ~ 144 h。
- (8)滤层冲洗膨胀率为 30% ~ 50%。
- (9)流动床运行时炭层膨胀为 10%。
- (10)多层流动床每层炭高为 0.75 ~ 1.0 m。
- (11)水力输炭管道流速为 0.75 ~ 1.5 m/s。
- (12)水力输炭水量与炭量体积比为 10:1。
- (13)气动输炭质量比(炭:空气)为 4:1。

2. 设计计算步骤

(1)首先选定吸附操作方式及吸附装置类型。

(2)根据处理水量及要求的水质处理范围,参考经验数据,选择最佳空塔流速(v_L 或 v_S)。

$$v_S = \frac{Q}{V}$$

v_L 一般采用 5 ~ 15 m/h; v_S 即单位体积吸附剂通过水的体积,以 L/h 为单位,一般称为空塔体积速度。

(3)根据柱子吸附实验,求得动态吸附容量(q)及通水倍数(n)。

(4)根据水流速度及水质处理范围,选择最适炭层高度(H),当炭层高度一定时,流速决定于水与炭的接触时间(t)。当进水水质一定(即接触时间一定)时,流速越大,所需的炭层高度也越大,吸附装置的高径比也越大,一般高径比(H/D)在 2 ~ 6 之间为宜。

(5)根据单位时间内处理水量(Q)及空塔体积速度(v_L),初步求出吸附装置的面积(F)。

$$F = \frac{Q}{v_L}$$

(6)结合使用情况,选择吸附装置的个数(N)及使用方式。再根据吸附装置的个数及使用方式,最后求得单个吸附装置的面积。

(7)根据总处理水量及动态吸附总量(或通水倍数),计算再生规模,即每天需进行再生的饱和炭量(W)。

$$W = \frac{\sum Q}{n}$$

4.3.6 操作运行

1. 活性炭的操作

(1)粒状活性炭的投加、排除及输送,均采用压力水或压缩空气。为防止磨损,可采用橡胶或陶瓷衬里的叶轮离心泵。从移运床卸出的饱和活性炭多采用水力喷射器输送。粒状活

性炭水力输送的水与炭的质量比一般为 9:1。炭浆在管道内的最高流速应不超过 2.5 m/s, 以防止管道的磨损。炭浆的脱水可以采用滤网、振动筛、分离器及重力分离池等方法。

(2)粉状活性炭的投加,须将活性炭配成质量分数为 5% ~ 10% 的悬浮液,使用螺旋齿轮泵投加。使用后饱和的活性炭以浆状排出,采用加热再生法。加热再生时,须首先过滤或压滤机械脱水成为滤饼,再送到再生炉进行再生。

2. 吸附装置的材质与防腐

炭浆与用钢板制成的吸附床长期接触,由于电化学腐蚀,每年以 6 mm 的速度在未经防腐处理的床壁表面产生凹坑。为此,吸附床输送管道、贮炭罐等表面均应防腐。一般采用煤焦油环氧涂料防腐,最少三层,总厚度为 0.25 ~ 0.6 mm。在条件允许时,吸附装置可采用不锈钢材质。

3. 吸附装置内应防止微生物的繁殖

吸附装置内常有厌氧微生物的繁殖,使炭层堵塞,出水水质恶化,并带有 H_2S 臭味。产生上述现象的原因有:进水的 BOD 高、悬浮物高或溶解氧过低、硫酸盐含量高、水温高、污水在炭层停留时间过长及水流速度较低等。解决的办法是:在活性炭处理前先采用生化处理,降低进水中的 BOD、悬浮物、硫酸盐含量及水温,增加水中的溶解氧含量,适当提高水流速度并降低污水在炭层的停留时间。必要时可临时投加硝酸钠,增加水中的溶解氧含量,抑制厌氧菌的生长。另外,还可采用投药法控制 H_2S 的产生。

4.4 离子交换

4.4.1 基本原理

1. 概述

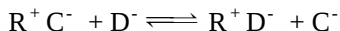
离子交换是固体交换剂自身所带有的能自动移动的离子与被处理的污水溶液中的离子进行固—液相间的离子相互交换的过程。污水中的某些污染物能离子化,在溶液中能形成相同数目的带正电荷的阳离子及带负电荷的阴离子,并使溶液导电,这种物质称为电解质,该溶液称为电解质溶液。

离子交换剂是一种不溶于溶液,但又能使溶液中的电解质进行离子交换反应的物质。离子交换剂由骨架和交换基团组成,交换基团在溶液中能电离出可交换的离子。在水处理中最常用的离子交换反应是水的软化、除盐、处理回收重金属离子及处理有机污水与放射性污水等。

2. 离子交换过程

离子交换过程如图 4.29 所示。离子交换过程是固体的离子交换树脂与液相(污水)中电解质之间的化学置换反应,此反应是可逆的。

离子交换过程为



式中 R——离子交换树脂本体；

A^+ ——离子交换树脂可被交换的阳离子；

C^- ——离子交换树脂可被交换的阴离子；

B^+ ——污水溶液中交换的阳离子；

D^- ——污水溶液中交换的阴离子。

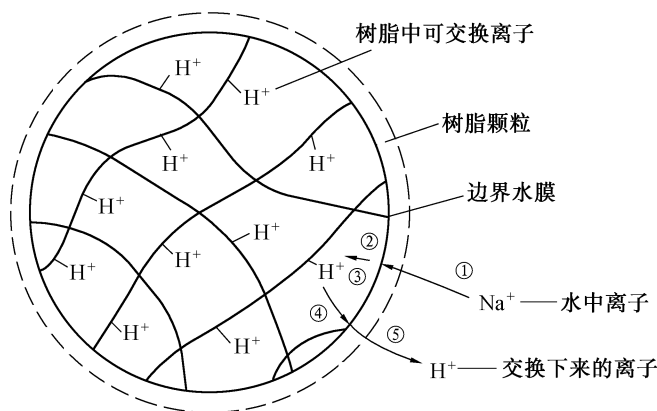


图 4.29 离子交换过程示意图

通常离子交换剂和电解质溶液发生的离子交换过程可分为如下五个阶段。

- (1)电解质离子由溶液扩散到离子交换剂表面。
- (2)电解质离子由溶液扩散到离子交换剂内部。
- (3)电解质离子与离子交换剂上可交换的离子进行离子交换反应。
- (4)被交换下来的离子从交换剂内部向外扩散。
- (5)被交换下来的离子在溶液中扩散。

3. 影响离子交换速度的因素

由上述离子交换过程可以看出,离子交换速度取决于离子扩散速度。影响离子扩散速度的因素如下。

- (1)树脂粒径。树脂粒径越小,则由于内扩散距离缩短和膜扩散的比表面积增大,使扩散速度加快。但树脂粒径不宜过小,否则会增大水流阻力,同时反洗时易流失。
- (2)溶液离子浓度。溶液离子浓度越大,则扩散速度越快。
- (3)水温。提高水温能使离子动能增加,水的黏度减小,液膜变薄,有利于离子扩散。
- (4)搅拌。加强搅拌或提高流速,可使液膜变薄,加快离子扩散。

(5)离子电荷数。被交换离子的电荷数和水合离子的半径越大,扩散就越慢。

(6)树脂的交联度。树脂基体聚合时所用 DVB(二乙烯基苯)的质量分数(一般为 8% ~ 12%)即为树脂的交联度。若树脂的交联度低,树脂柔软,网目结构粗大,离子易渗透到树脂内部,则扩散速度较快;若树脂的交联度高,则网孔越小,孔隙度越少,则扩散速度越慢。

4.4.2 离子交换剂

能置换溶液中离子的物质称为离子交换剂。根据离子交换剂母体物质的材质与化学性质,可以将离子交换剂分为无机离子交换剂与有机离子交换剂两大类。无机离子交换剂,有天然沸石及人工沸石,是一类硅质的阳离子交换剂,成本低,但不能在酸性条件下使用;有机离子交换剂有磺化煤及离子交换树脂,磺化煤是烟煤或褐煤经发烟硫酸磺化处理后制成的阳离子交换剂,其成本适中,但交换容量低,机械强度及化学稳定性较差,因此在实际操作上应用得不普遍。在水处理中广泛使用的是离子交换树脂,其机械强度和化学稳定性强,交换速度快(球形颗粒、水流阻力小),交换容量高(是沸石与磺化煤的 8 倍以上),现将离子交换树脂简介如下。

1. 离子交换树脂的结构

离子交换树脂结构如图 4.30 所示。离子交换树脂由骨架(母体)和活性基因两部分组成。骨架(母体)是离子交换剂的结构主体,它是以线形结构的高分子有机物为主,加上一定数量的交联剂,通过横键架桥作用构成的网状结构。活性基团由固定离子与活性离子组成。固定离子固定在树脂骨架上,活动离子(交换离子)依靠静电引力与固定离子结合在一起。二者电荷相等,电性相反,处于电性中和状态。

2. 离子交换树脂的种类

离子交换树脂根据性质可分为无机离子交换树脂(如海绿石及泡沸石等)与有机离子交换树脂(包括磺化煤及有机合成的离子交换树脂)。有机合成的离子交换树脂按照功能基团的性质可分为含有酸性基团的阳离子交换树脂、含有碱性基团的阳离子交换树脂、含有胺羧基团的螯合树脂、含有氧化还原基团的氧化还原树脂以及两性树脂等,详见表 4.20。离子交换树脂按孔结构不同可分为大孔型树脂、多孔型树脂、巨孔型树脂和高巨孔型树脂,按树脂粒径不同可分为大粒径树脂(0.4 ~ 1.2 mm)、中粒径树脂(0.3 ~ 0.6 mm)和小粒径树脂(0.02 ~ 0.1 mm)。

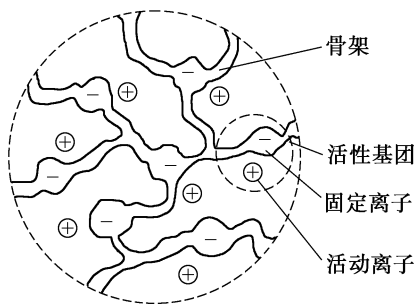


图 4.30 离子交换树脂结构示意图

表 4.20 离子交换树脂的分类

分类代号	分类	母体上的活性基团
0	强酸性	磺酸基($-\text{SO}_3\text{H}$)
1	弱酸性	磷酸基($-\text{PO}_3\text{H}_2$)、砷酸基($-\text{AsO}_3\text{H}_2$)、羧酸基($-\text{COOH}$)、酚基($-\text{OH}$)等
2	强碱性	季铵基 $[-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{OH}^-]$ 等
3	弱碱性	伯胺基($-\text{NH}_2$)、仲胺基($-\text{NHR}$)、叔胺基($-\text{NR}_2$)等
4	螯合性	胺羧基 $[-\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2, -\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_5]$ 等
5	两性	强碱-弱酸 $[-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\cdots-\text{COO}^-]$ 、弱碱-弱酸($-\text{NH}_2\cdots-\text{COOH}$)等
6	氧化还原	硫醇基($-\text{CH}_2\text{SH}$)、对苯二酚基 $[-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_2]$ 等

3. 离子交换树脂的性能

(1) 物理性能。

①外观与粒度。离子交换树脂为透明或半透明球形体,颜色有黄色、赤褐色等。其粒径越小,比表面积越大,则交换能力越强。但粒径过小会使水流的阻力增加,机械强度降低。离子交换树脂粒径一般为 $0.3 \sim 1.2 \text{ mm}$ (相当于 $16 \sim 50$ 目),有效粒径为 10% 的树脂颗粒通过筛、 90% 的树脂颗粒保留在筛上,此时的筛孔直径,用 d_{10} 表示, d_{10} 一般为 $0.36 \sim 0.61 \text{ mm}$ 。指筛上体积为 40% 的筛孔直径与筛上体积为 90% 的筛孔直径的比值

$$k_{\text{均匀}} = \frac{d_{40}}{d_{90}}$$

树脂颗粒的均匀系数一般为 $1.22 \sim 1.66$ 。均匀系数小,粒度组成均匀,则有利于离子交换。

②密度。树脂的密度是设计交换柱、确定反冲洗强度的重要指标。湿真密度是树脂在水中溶解后的质量与真体积(不包括颗粒孔隙体积)之比,湿视密度是树脂在水中溶解后的质量与堆积体积之比。树脂的湿真密度为 $1.04 \sim 1.30 \text{ g/mL}$,湿视密度为 $0.6 \sim 0.85 \text{ g/mL}$ 。

③含水量与溶胀性。树脂含水量是指在水中充分溶胀的湿树脂含溶胀水质量占湿树脂质量的百分数,一般为 50% 左右。树脂的溶胀性是指树脂浸入水中,由于活性基团的水合作用使交联网孔增大,体积膨胀的现象。溶胀度为溶胀前后的体积差与溶胀前的体积之比。树脂的交联度越小,活性基团数量越多,越易解离,可交换的离子水合半径越大,其溶胀度越大,水中电解质浓度越高,由于渗透压增大,其溶胀度越小。

④机械强度。树脂在使用过程中会受到冲击、碰撞及摩擦等,因而要求树脂要有足够的机械强度。

⑤耐热性。树脂的贮存和操作、使用的温度在 $5 \sim 10$ 为宜,操作使用温度过高,易使活性基团分解,影响交换容量和使用寿命。如温度低于 0 ,树脂内水分冻结,会使树脂颗

粒破裂。

⑥孔隙度与比表面积。树脂的孔隙度及比表面积越大,则其离子交换性能越好。孔隙度是单位体积树脂颗粒所占有的孔隙体积,单位为 mL/mL。比表面积为单位树脂质量的颗粒的内外总表面积,单位为 m^2/g 。

⑦交联度。树脂基体聚合时所用 DVB 的质量分数称为树脂的交联度,一般为 8% ~ 12%。交联度愈高,树脂就越坚固,机械强度越大,在水中不易溶胀。交联度的改变会引起树脂交换容量、含水率及溶胀度等性能的改变。

(2)化学性能。

①pH 值。 H^+ 型阳树脂和 OH^- 型阴树脂能在水中电离 H^+ 和 OH^- ,表现出酸碱性,并有强弱的差异。强酸强碱树脂活性基团电离能力强,其交换容量基本与水的 pH 值无关。而弱酸(碱)树脂只能在碱(酸)性溶液中,才会有较高的交换能力。

②交换容量。交换容量是指一定量树脂中所含交换基团或可交换离子的物质的量。它定量地表示了树脂交换能力的大小。

③选择性。离子交换树脂对水中各种离子的吸附能力并不相同,有难易之分。当再生时,也表现出难易之分,这种性质称为离子交换树脂的选择性。离子价数越高,选择性越好;原子序数越大(离子的水合半径越小),选择性越好; H^+ 及 OH^- 的选择性取决于树脂基团的酸碱性强弱。

④抗氧化性。氯、次氯酸、双氧水、氧、臭氧等多种氧化剂对树脂都有不同的破坏作用,应在使用前除去。各种类型树脂,其抗氧化性也不同。交联度高的树脂优于交联度低的树脂;聚苯乙烯树脂优于酚醛树脂;钠型树脂优于氢型树脂;氯型树脂优于氢氧型树脂;大孔树脂优于凝胶树脂。国产离子交换树脂主要产品规格及性能见表 4.21。

4.4.3 交换工艺

离子交换工艺可分为静态工艺及动态工艺两类。静态工艺是将树脂与所处理的污水在容器内混合搅拌,进行离子交换反应,然后将树脂与污水分离。这种方法交换反应不完全、效率低,在实际操作中应用不多。动态工艺是离子交换树脂或污水在流动状态下进行交换,离子交换反应是可逆的平衡反应。动态交换能使交换后的污水及时与树脂分离,从而大大减少逆反应的影响,因此其交换效率比静态法高,在实际操作中应用广泛。动态工艺设备有固定床及连续床,现简介如下。

1. 固定床

固定床离子交换是将树脂装在交换柱内,欲处理的污水不断地流过树脂层,进行离子交换。根据不同用途,固定床可设计成以下类型:单床,由单个阳床或阴床构成;多床,将几个阳床或阴床串联使用,提高处理水的能力;复床,将阳床与阴床串联使用,能除去污水中的阳、阴离子;混合床,将阳、阴树脂按一定比例混合装入同一交换柱内,能同时除去污水中的

表 4.21 国产离子交换树脂主要产品规格及性能

牌 号	产 品 名 称	功 能 基	交 换 容 量		外 观	粒 度 / % (0.3 ~ 1.2mm)	水 分 / %	湿 真 密 度 20 /(g·mL ⁻¹)	湿 视 密 度 /(g·mL ⁻¹)	耐 磨 率 / %	形 变 膨 胀 率 / %	出 厂 形 式	最 高 使 用 温 度 /	pH 使 用 范 围	国 外 参 照 产 品	主 要 用 途	生 产 厂 家
			(mmol /g)	(mmol /mL)													
001 × 7 ^① (732)	强酸型 阳树脂	—SO ₃ ⁻	≥4.2 Na	≥1.7 Na	棕黄或 棕褐色	≥95	45 ~ 55	1.23 ~ 1.28	0.75 ~ 0.85	≥93	H→Na - 9	Na ⁺	H100 Na120	1 ~ 14	(美)Amberlite Dowex50	水 处 理 及 稀 有 元 素 分 离	南 开 化 工 厂
001 × 7	强酸型 阳树脂	—SO ₃ ⁻	≥4.2 Na	≥2.0 Na	棕黄色至 棕褐色	≥95	37 ~ 41	1.30 ~ 1.35	0.84 ~ 0.88	≥98		Na ⁺	H100 Na120	1 ~ 14		水 处 理	南 开 化 工 厂
D72	大孔强酸 阳树脂	—SO ₃ ⁻	≥3.5 Na	≥1.3 Na	浅驼色	≥95	50 ~ 55	1.20 ~ 1.30	0.75 ~ 0.80		H→Na - 9	Na ⁺	H100 Na120	1 ~ 14	(美)Amberlgt - 15 (日)DiaionH- PK- 16	有 机 反 应、 催 化、水 处 理	南 开 化 工 厂
D61	大孔强酸 阳树脂	—SO ₃ ⁻	≥3.8 Na	≥1.4 Na	浅棕色	≥95	50 ~ 60	1.20 ~ 1.30	0.75 ~ 0.85		H→Na - 9	Na ⁺	H100 Na120	1 ~ 14		食 品 工 业、 水 处 理	南 开 化 工 厂
742	大孔强酸 阳树脂	—SO ₃ ⁻	4.3 Na	1.75 Na	球状颗粒	≥90 (0.45 ~ 0.60mm)	47 ~ 52		0.85			Na ⁺	H100 Na120	1 ~ 14		纯 水 制 备、 催 化 剂 提 纯、精制化 工原料	上 海 树 脂 厂
D631 (733)	大孔强酸 阳树脂	—SO ₃ ⁻	≥4.2 Na		灰褐色 球粒	≥95	50 ~ 60	1.2 ~ 1.3	0.75 ~ 0.85	≥95		Na ⁺				水 处 理	塘 栖 争 光 化 工 厂
110 ^②	弱酸阳 树脂	—COOH	≥12 H	≥4 H	乳白色 透明球粒	≥95	50 ~ 60	1.1 ~ 1.15	0.7 ~ 0.8		H→Na 70	H ⁺	100	5 ~ 14	(美)Amberlite IKC - 84	水 处 理、电 镀 含 镍 废 水	南 开 化 工 厂
D151	大孔弱酸 阳树脂	—COOH	≥80 H	≥3 H	乳白色 球粒	≥95	50 ~ 60	1.1 ~ 1.15	0.70 ~ 0.75		H→Na 75	H ⁺	100	5 ~ 14	(美)Amberlite IRC - 72	水 处 理、制 药 工 业、食 品 工 业 等	南 开 化 工 厂
D152	大孔弱酸 阳树脂	—COOH	≥8 H	≥3 H	乳白色 球粒	≥95	50 ~ 60	1.1 ~ 1.15	0.75 ~ 0.85		H→Na 90	H ⁺	100	5 ~ 14	(法)Duolite - 464	水 处 理、三 废 酸 碱 中 和 等	南 开 化 工 厂
D161	大孔弱酸 阳树脂	—OH —COOH	≥2.5 H		棕褐色 球粒	≥95	45 ~ 55	1.1 ~ 1.15	0.65 ~ 0.75		H→Na 10	H ⁺	100	5 ~ 14		制 药 工 业、 维 生 素 吸 附 等	南 开 化 工 厂
D131	大孔弱酸 阳树脂	—COOH	≥8.5 H		乳白色半 透明球粒	≥90	50 ~ 60	1.1 ~ 1.2	0.67 ~ 0.78		H→Na 80	H ⁺			(美)Amberlite IRC - 84	水 处 理、电 镀 含 镍 废 水	塘 栖 争 光 化 工 厂

续表 4.21

牌 号	产 品 名 称	功 能 基	交 换 容 量		外 观	粒度 /% (0.3~1.2mm)	水 分 /%	湿真密度 20 /(g·mL ⁻¹)	湿视密度 /(g·mL ⁻¹)	耐 磨 率 /%	形变膨 胀率 /%	出 厂 形 式	最高使用温度 /	pH 使用范围	国 外 参 照 产 品	主 要 用 途	生 产 厂 家
			(mmol/g)	(mmol/mL)													
201×4	强碱阴树脂	—N(CH ₃) ₃	≥3.8 Cl	≥1.0 Cl	浅黄色球粒	≥95	55~65	1.04~1.06	0.60~0.70		Cl ⁻ →OH 25~30	Cl ⁻	OH40 Cl100	1~14	(美)Amberlite IRA-401 Dowexl×4 (日)Diaion SA-11A	水处理、制药、食品工业等	南 开 化 工 厂
201×7	强碱阴树脂	—N(CH ₃) ₃	≥3.0 Cl	≥1.3 Cl	浅黄色至金黄球粒	≥95	40~50	1.06~1.11	0.65~0.75	≥95	Cl ⁻ →OH 18~22	Cl ⁻	OH40 Cl100	1~14	(美)Amberlite IRA-400 (日)Diaion SA-10A	高纯水、放射性元素提取等	南 开 化 工 厂
D296	大孔强碱阴树脂	—N(CH ₃) ₃	≥3.6 Cl	≥1.2 Cl	浅黄不透明球粒	≥95	50~60	1.05~1.10	0.65~0.75		Cl ⁻ →OH 18~20	Cl ⁻	OH40 Cl100	1~14	(美)Amberlite IRA-900C	水处理 高速混床	南 开 化 工 厂
763	大孔强碱阴树脂	—N(CH ₃) ₃	≥3.3 Cl		浅黄色球粒	16~50目 ≥90	48~58	1.06~1.10	0.65~0.75			Cl ⁻				水处理、有机物提取	上 海 树 脂 厂
717	强碱阴树脂	—N(CH ₃) ₃	≥3.0 Cl		浅黄至金黄球粒	16~50目 ≥95	40~50	1.06~1.11	0.65~0.75	≥95	在水溶液中 22.5	Cl ⁻	<60	1~12	(美)Amberlite IRA-400 Dowex-4	高纯水及连续床	上 海 树 脂 厂
D252	大孔强碱阴树脂	$\begin{array}{c} \text{(CH}_3\text{)}_2\text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}_2\text{H}_4\text{OH} \end{array}$	≥3.0 Cl		乳黄色不透明球粒		50~60	1.08~1.10	0.70~0.75	98		Cl ⁻			(美)Amberlite IRA-910	高纯水	塘 栖 争 光 化 工 厂
D370	大孔弱碱阴树脂	—N(CH ₃) ₂	≥4.0	≥1.4	微黄色不透明球粒	≥95	50~60	1.05~1.12	0.66~0.71		碱→氯 15~20	碱型	盐 40 碱 100	1~9	(美)Amberlite IRA-93	水处理 电镀含铬废水	南 开 化 工 厂
710—A	大孔弱碱阴树脂	—N(CH ₃) ₂	≥3.5		半透明乳黄色球粒	16~50目 >95	40~50	1.04~1.12	0.64~0.74		碱→氯 15~25	碱型	碱 100	1~9		水处理 含铬废水	上 海 树 脂 厂
710—B	大孔弱碱阴树脂	—N(CH ₃) ₂	≥4.0		乳白色球粒	16~50目 ≥95	40~50	1.02~1.10	0.62~0.72		碱→氯 40~60	碱型	碱 100	1~9		水处理 含铬废水	上 海 树 脂 厂
D336	大孔弱碱阴树脂	—N(CH ₃) ₂	≥4.0		半透明球粒		58~68	1.03~1.08	0.62~0.70		碱→氯 10~20	碱型				污水处理 电镀废水	塘 栖 争 光 化 工 厂
D401	大孔螯合型树脂	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COONa} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2\text{COONa} \end{array}$		≥0.6	浅黄色球粒	≥95	45~55	1.10~1.15	0.70~0.80		Na ⁺ →H 30~40	Na ⁺	100	4~5	(美)DowexA-1 (日)Diaion CR-10	二价金属离子去除	南 开 化 工 厂

①强酸型阳树脂均指苯乙烯系阳离子交换树脂；

②弱酸型阳树脂均指丙烯酸系阳离子交换树脂(D161为苯乙烯系)；

③强碱或弱碱阴树脂系强(或弱)碱树脂 苯乙烯系阴树脂。

阳、阴离子联合床,将复床与混合床联合使用。固定床的组合形式如图 4.31 所示。

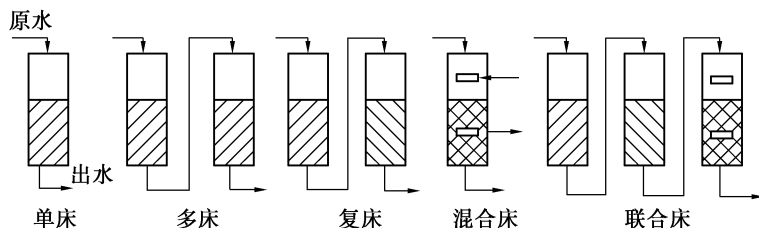


图 4.31 离子交换柱组合方式

固定床离子交换过程可以分为如下四个步骤。

(1)交换。污水自上而下流过树脂床,进行离子交换,出水得到净化。

(2)反洗。工作一段时间后,自下而上逆流通水对树脂进行反洗,除去杂质,松动树脂层。

(3)再生。当树脂接近饱和时,向离子交换柱内通入再生剂进行再生,使树脂恢复交换能力(如图 4.32 所示)。

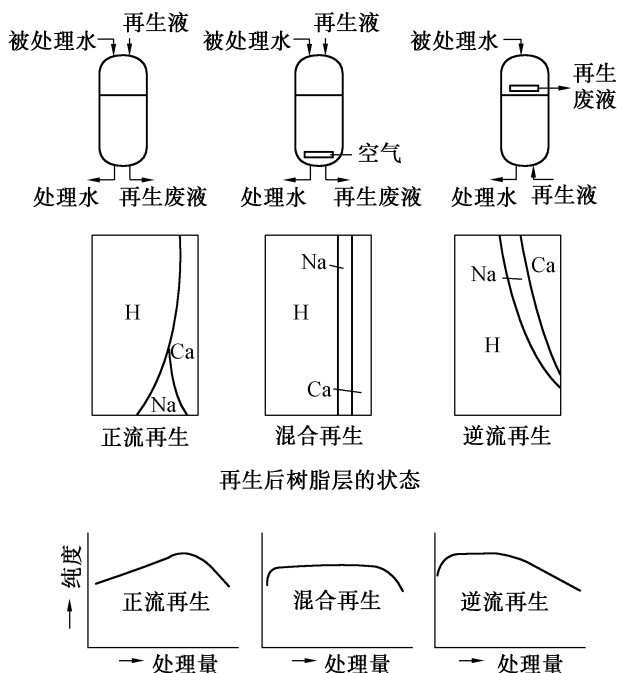


图 4.32 树脂的不同再生方式

(4)正洗(逆洗)。自上而下(自下而上)通入清水进行淋洗,洗去树脂层上剩余的再生剂,进入下一个循环操作。

2. 连续床

连续床是在离子交换过程中,不但污水是流动的,而且树脂也是移动的,并连续把饱和后的树脂送到再生柱与淋洗柱进行再生与淋洗,然后送回交换柱进行交换,其工作原理如图 4.33 所示。移动床内树脂分三层,失效的一层移出柱外再生淋洗,再生及淋洗后的树脂向柱内补充。

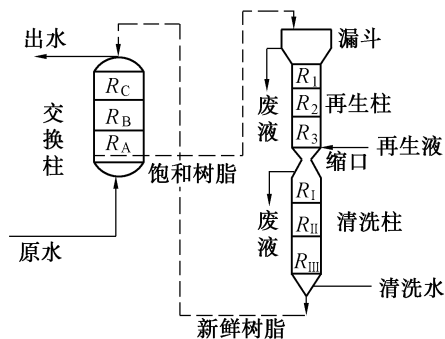


图 4.33 连续床工作原理

离子交换法广泛应用于污水处理,包括含铬、镍、汞、镉及铜等重金属污水处理回用和各种有毒有害物质处理以及放射性污水处理。

1. 含铬污水处理

含铬污水处理流程如图 4.34 所示。离子交换法处理镀铬漂洗污水,六价铬离子质量浓度不宜大于 200 mg/L,经处理后的水质可达到水的循环利用要求并可回收利用铬酸。

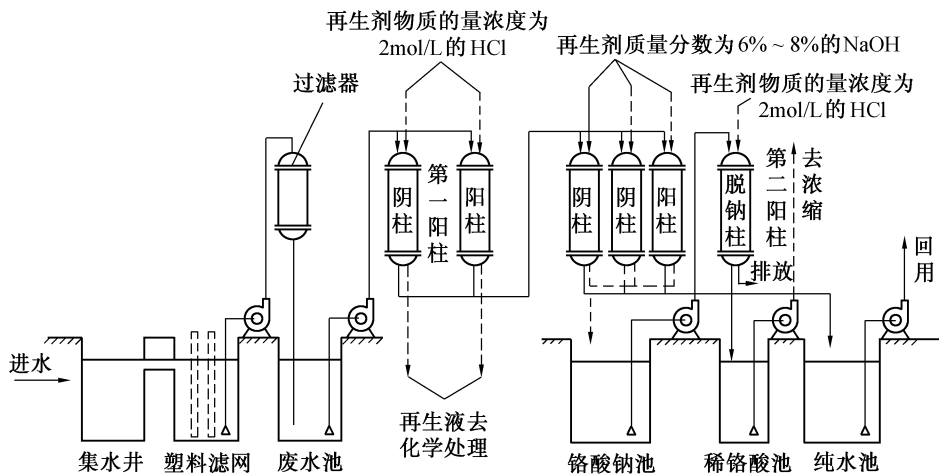
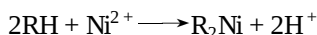


图 4.34 镀铬漂洗水三阴柱全饱和流程示意图

2. 含镍污水处理

含镍污水可采用 H 型阳离子交换树脂进行交换。



含镍污水处理流程如图 4.35 所示。

3. 含汞污水处理

含巯基的离子交换树脂对汞及氯化汞离子有很高的亲和力,其交换效果较好,其交换反应式为

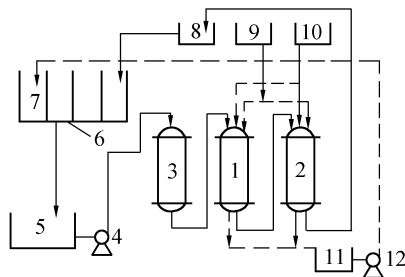
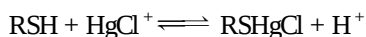
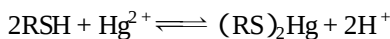


图 4.35 $\text{Na}^+ - \text{Na}^+$ 双阳柱固定床除镍流程图

1 2—除镍阳柱 3—过滤柱 4—水泵 5—废水调节池 6—逆流漂洗槽 7—镀槽 8—循环水槽；
9—NaOH 槽 10— H_2SO_4 槽 11— NiSO_4 槽 12—泵

4.4.5 设计计算

1. 离子交换设备参数

(1) 设备总工作面积(F)

$$F = \frac{Q}{v}$$

式中 Q ——设备总产水量 m^3/h ；

v ——交换设备中水流整速度 m/h 。

一般阳床的正常流速为 $20 \text{ m}/\text{h}$, 瞬时最大流速可达 $30 \text{ m}/\text{h}$, 混合床流速为 $40 \text{ m}/\text{h}$, 瞬时最大流速可达 $60 \text{ m}/\text{h}$ 。

(2) 一台设备工作面积(f)

$$f = \frac{F}{n}$$

式中 n ——设备台数(不少于 2 台)。

(3) 设备直径(D)

$$D = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = 1.13\sqrt{f}$$

(4) 一台设备一个周期离子交换容量(E_C)

$$E_C = Q_1 C_0 T$$

式中 Q_1 ——1 台设备的产水量 m^3/h ；

C_0 ——进水中需除去的阳(阴)离子总量；

T ——交换柱运行一个周期的工作时间, h。

(5) 一台设备装填树脂量(V_R)

$$V_R = \frac{E_C}{E_0}$$

式中 E_0 ——树脂的工作交换容量。

(6) 交换柱内树脂层装填高度(h_R)

$$h_R = \frac{V_R}{f}$$

交换柱内树脂层装填高度一般应不小于 1.2 m。

2. 反洗水量

(1) 反洗流量(q)

$$q = v_2 f$$

式中 v_2 ——反洗流速 $\mu\text{m/h}$ (阳树脂 15 $\mu\text{m/h}$ 阴树脂 6 ~ 10 $\mu\text{m/h}$)。

(2) 反洗耗水量(Q)

$$Q = \frac{v_2 f t}{60} = \frac{q t}{60}$$

式中 t ——反洗时间 min (一般取 15 min)。

3. 再生剂需要量(G)

$$G = \frac{V_R E_0 N n}{1\,000} = \frac{V_R E_0 R}{1\,000} = V_R L$$

式中 V_R ——1 台交换柱中装填树脂的体积 m^3 ；

E_0 ——树脂工作交换容量；

N ——再生剂物质的量；

n ——再生剂实际用量为理论值的倍数,即再生剂的比耗；

R ——再生剂耗量；

L ——再生剂用量 kg/m^3 。

求得纯再生剂用量(G)后,根据再生剂工业品的实际含量,再计算所需工业品再生剂的用量(G_G)。

$$G_G / \% = \frac{G}{\epsilon} \times 100$$

式中 ϵ ——工业品中再生剂实际质量分数, %。

4. 正洗水量(V_Z)

$$V_Z = a V_R$$

式中 a ——正洗水比耗 $\text{m}^3 / (\text{m}^3)$ 。

正洗水比耗与树脂种类有关,一般强酸树脂 a 为 4 ~ 6,强碱树脂 a 为 10 ~ 12,弱酸、弱碱树脂 a 为 8 ~ 15。

4.4.6 操作运行

1. 运行前准备

(1) 严把树脂及再生剂质量关,不合格的树脂及再生剂不要使用,以保证出水水质。新树脂常含有生产中反应不安全的低分子聚合物及过剩的溶剂,可能还吸附一些重金属,所以新树脂在使用前,应进行预处理。用清水冲洗,然后进行再生,方可投放使用。装填树脂时,

阳、阴两种树脂应严格分开,以免混杂影响交换效果。

(2)严把交换器质量关,严格检查交换器的防腐层、焊缝及部件安装质量,保证其安全正常运行。

(3)树脂应贮存在阳光不能直接照射的温度为 $5 \sim 40$ 的地方,不要贮存在低于 0 的地方,存放的时间一般不超过一年。树脂一般为湿保存,即贮存于充满水的容器里,当容器为铁桶或铝桶时,容器内壁必须衬以塑料袋,以防容器与树脂发生反应。容器内浸泡树脂的水要经常更换,以防树脂发霉长青苔。如树脂发霉长青苔,可用 2 倍于树脂体积的质量分数为 1% 的甲醛溶液浸泡数小时,然后用水冲洗至无甲醛气味为止。如发现容器内水少树脂干燥时,切忌直接向树脂上倒水,否则树脂会骤然膨胀而破碎。正确的方法是,先将树脂从容器中取出,用饱和的食盐水浸泡 8 h 以后,逐渐稀释食盐溶液至浓度为 15% 时进行贮存。

2. 运行中注意事项

离子交换系统有多种运行方式,无顶压逆流再生离子交换器的运行过程为:运行—小反冲—放水—再生—逆流—正洗—重新投入运行。要注意运行过程的各个环节并及时发现问题。

(1)污水中某些高分子有机物与树脂活性基团固定离子结合力很强,一旦结合很难再生。解决的办法如下。

①离子交换处理前,可采用活性炭吸附等预处理有机污染物。

②树脂再生时加入适量的氧化剂,使有机物洗脱。

③采用质量分数为 1% ~ 4% 的 NaOH 和质量分数为 5% ~ 12% 的 NaCl 混合液浸泡树脂 24 h,或在碱液中加入少许表面活性剂,对树脂进行复苏。

④浸泡再生时,树脂与盐水中的钙、铁离子可形成动态平衡,而不能完全去除树脂中的钙、铁离子。可采用流动再生法代替浸泡再生法,流动再生时,树脂与再生剂接触时间保持在 15 ~ 30 min。

⑤采用易再生的大孔树脂和丙烯酸系列碱阴树脂。

(2)污水中含有的 Cl_2 及 O_2 等氧化剂可降低树脂交换能力。此时可选用交联度大的树脂或加入适当的还原剂。

(3)污水中含有的悬浮物及油类会堵塞树脂孔隙,降低交换能力。此时可采用砂滤预处理。进行交换器的反洗时,可采用压缩空气清洗。

(4)污水的酸碱性,一方面可影响污水中离子的存在状态;另一方面可影响树脂交换基团的离解。解决办法是调整污水的 pH 值并选择适宜的树脂和处理流程。

(5)工业污水的温度一般较高,可加快交换速度。但温度过高,可引起树脂分解,降低交换能力。

(6)高价金属离子与树脂交替能力强,但再生洗脱较难。为此,需使用高浓度的酸浸泡

洗涤。

3. 异常问题及解决办法

在运行中出现异常问题时,要分析原因,采取相应的解决办法,详见表 4.22。

表 4.22 离子交换运行中的异常问题、产生原因及解决办法

异常问题		产生原因	解决办法
树脂被氧化	强酸阳树脂	由水中活性氯引起的	用活性炭去除氯
	强碱阴树脂	由水中的溶解氧及再生液中的 ClO_3^- 、 FeO_4^- 引起的	去除水中的溶解氧,选用好的再生剂
树脂被铁污染	强酸阳树脂	水中含铁,再生剂含铁	水中铁可用曝气法去除,控制铁盐投加量
	强碱阴树脂	再生剂含铁,各种铁容器及管道腐蚀	选用好的再生剂,加强容器及管道防腐
树脂被硅污染		氢氧化钠再生液浓度太高,则硅酸呈现胶状析出	再生液浓度先低后高,适当提高再生流速
树脂被油污染		机械设备的润滑油滴漏	采取措施堵住油源,可用碱、石油、醚溶剂及表面活性剂等清洗已被油污染的树脂
强酸阳树脂被硫酸钙堵塞污染		用硫酸再生强酸阳树脂时,产生硫酸钙沉淀	用硫酸溶液再生时,可先低浓度、高流速,后高浓度、低流速进行或改用盐酸作再生剂
树脂破碎		树脂质量差,受冰冻、干燥失水、运行流速过高、再生过频影响	选择质量好的树脂,低温运输,保存时应保温、保湿,控制操作流速及再生频率
再生剂比耗高		树脂及再生剂质量差,树脂漏失,再生操作不当,再生液装置损坏	更换树脂,正确操作,消除故障
混床出水水质差		树脂分层不好,发生交叉污染,再生剂量不够	更换交叉污染的树脂
电导率合格,阴床出水水质不合格	$\text{pH} < 4$	酸再生液泄漏,再生剂量不足,强碱阴树脂受杂质污染	消除故障,对污染的树脂复苏
	$\text{pH} > 9$	氢氧化钠漏入除盐系统,强酸阳树脂混入阴床,阳床树脂太少,没有再生好	消除故障
	出水含硅不合格	由于氢氧化钠质量差,再生液温度太低,再生系统有故障	消除故障,选用质量好的氢氧化钠

续表 4.22

异常问题		产生原因	解决办法
除盐设备出水能力降低	阳床制水量降低	强酸阳树脂质量差,氧化降解并漏失,再生剂质量差,设备故障	补充交换树脂,消除故障
	阴床制水量降低	除碳器除 CO_2 效率差,强碱阴树脂质量差并漏失,再生剂质量差,再生液温度低	更换除碳器,补充更换树脂及对再生液加温

4.5 气 浮

4.5.1 气浮概况

气浮最早应用于提取矿石,是威廉·海涅于 1860 年首先提出的。1920 年皮克提出了应用气浮法处理污水;1930 年瑞典某造纸厂建成了气浮法水处理系统;1943 年汉森和高雷斯发表了气浮法的论文;1945 年霍泊发表了气浮法应用在给水方面的论文;瑞典于 1961 年建成了第一个部分回流式气浮法的处理厂,并制造了“气浮滤池”应用在给水处理上;美国在 20 世纪 60 年代初,就开始应用气浮法处理废水;70 年代初,英国、联邦德国、日本、苏联开始应用气浮法;70 年代末,瑞典已有几百个气浮法的净水工厂。

我国于 20 世纪 60 年代末在石油废水处理上应用了气浮法;1975 年,同济大学在苏州棉布印染厂废水处理站试验应用气浮法,并在许多方面做出了突破性的贡献,推动了气浮法在我国的广泛应用。

气浮法与沉淀法各有特点,密实沉重的杂质应用沉淀法为好;质轻易浮的杂质应用气浮法较合适。对于不易沉又不易浮的杂质,采用何种方法为好呢?在一般情况下,通过投药混合反应形成絮粒后,选用气浮法为好。采用气浮法时其上浮速度快于沉淀速度,处理同样废水时,气浮池与沉淀池相比,气浮池的容积为沉淀池的 $1/8 \sim 1/4$,占地为沉淀池的 $1/8 \sim 1/2$,污泥体积为沉淀池的 $1/10 \sim 1/12$,处理后水质优于沉淀法。同时水中溶解氧含量高。对于含有可沉又可浮杂质的废水,则可将沉淀与气浮有机结合起来使用。气浮法因其独特的优点而日露锋芒,但仍需进一步研究使气泡微细化,更好地将固、液分离,使其更加完善。

4.5.2 气浮原理

气浮法净水是向含杂质污染物的水中,通入大量的微细的空气气泡,使其黏附在杂质污染物絮粒上,使整体絮粒的密度小于水的密度,依靠浮力使絮粒上浮至水面,从而将杂质污染物分离的方法。

气浮法是一种十分复杂的物理 - 化学过程,它受到污染杂质、净水药剂、气泡状况等多种条件的影响。黏附了微细气泡的杂质污染物的絮粒上浮时,受到三个力的作用,即重力、浮力及阻力(如图 4.36 所示)。

絮粒的上浮速度 $v_{\uparrow}$ 与絮粒的直径、密度及水的流态有关。絮粒吸附的气泡越多,密度越小,直径越大,则上浮的速度越快。实际上 $v_{\uparrow}$ 还与絮粒的表面活性、状态、表面张力、增水性、亲水性以及水的温度等因素有关。

空气的密度是水的密度的 $1/800$ 。杂质及污染物质絮粒黏附许多气泡后,密度变得很小,所以上浮速度很快。

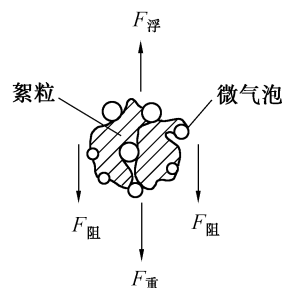


图 4.36 带气絮粒上浮时的受力情况

4.5.3 气浮分类

气浮法按产生气泡的方式不同,可分为四类:布气气浮法、电解凝聚气浮法、生物及化学气浮法、溶解空气气浮法。各种方法简介如表 4.23 及图 4.37 ~ 4.44 所示。

表 4.23 气浮法分类简介

序号	名 称	原 理	优缺点比较
1.	布气气浮法	利用机械剪切力,将混合于水中的空气粉碎成细小的气泡的布气方法	设备简单,操作方便,但处理效率较低
(1)	水泵吸水管吸气气浮法	利用水泵吸水管,在吸水的同时吸进空气,并粉碎为小气泡	设备简单,操作方便。缺点是吸入的空气量少,一般不大于吸水量的 10%,否则会破坏水泵吸水管的负压工作。另外,气泡粒径大,效果不好
(2)	射流气浮法	采用以水带气的射流器向污水中混入空气的方法。射流器的构造如图 4.37 所示。由喷嘴高速喷出水流,将周围的空气一起卷带走,使吸引室形成真空。这时,空气源源不断地吸入吸引室,随水进入喉管。在湍流状态下,空气被剪切成微小气泡,然后进入扩散段,动能转化为势能,进一步压缩气泡,增大空气在水中的溶解度,然后进入气浮池,进行气水分离	设备构造简单,造价低。但喷嘴及喉管处易堵塞,应用蒸汽清除。在不加混凝剂时,其处理效率低

续表 4.23

序号	名 称	原 理	优缺点比较
(3)	微孔板气浮法	微孔板气浮池如图 4.38 所示。将压缩空气通过具有微细孔隙的扩散板,使空气以细小气泡进入水中进行气浮	优点为简单易行,缺点是扩散板易堵塞,气泡较大,气浮的效率不佳
(4)	叶轮气浮法	叶轮气浮设备构造如图 4.39 所示。在气浮池底部安装有叶轮叶片。当电机带动叶轮高速旋转时,在盖板下形成负压,大气中的空气在负压下通过空气管进入叶轮中心。在叶轮的搅动下,空气被粉碎成细小的气泡,并与水充分混合成水气混合体,甩出叶片之外,经整流板整流后,在池体内平稳地垂直上升,进行气浮	优点为设备简单,操作方便,缺点是空气粉碎不充分,气泡粒径大,效果差
2.	电解凝聚气浮法	将正负相间的多组电极安插在废水中。通直流电后,阳极(铝、铁)溶解出铝或铁阳离子与水中的羟基(OH^-)结合,形成吸附性能很强的铝、铁氢氧化物,吸附水中污染杂质,形成絮粒,与阴极上产生的微气泡(氢气)黏附上浮。电解凝聚气浮池构造如图 4.40 所示	处理效果较好,但耗电量及金属耗量较大。同时,电极易纯化,适用小型废水处理
3.	生物及化学气浮法	依靠生物代谢作用产生的气体与絮粒黏附而气浮的方法	运转不稳定,实际工程应用得不多
(1)	生物气浮法	依靠微生物在新陈代谢过程中所放出的气体与絮粒黏附而气浮	
(2)	化学气浮法	向水中投加某种化学药剂,借助化学反应生成的氧、氯、二氧化碳气体而气浮,化学气浮池构造如图 4.41 所示	
4.	溶解空气气浮法	使空气溶解于水中,再释出微气泡黏附在絮粒上而气浮的方法	
(1)	真空式气浮法	原水经曝气后进入密封的池子,再用真空泵抽成真空,这时释出大量的微气泡黏附絮粒上浮。真空式气浮装置如图 4.42 所示	能量消耗小,但需真空,设备要求密闭。运转检修困难,实际上很少应用

续表 4.23

序号	名 称	原 理	优缺点比较
(2)	压力溶气气浮法	采用水泵将原水加压到 $0.2 \sim 0.6 \text{ MPa}$ (表压), 与加压的空气一起压入压力溶气罐, 使气体溶解在水中。通过释放器骤然消能降压, 释出微气泡, 与水中杂质絮粒黏附一起浮到水面上而气浮。压力溶气气浮法工艺流程如图 4.43 及图 4.44 所示	空气的溶解度大, 气泡细微、稳定。气浮效果好、管理维修方便, 工程中得到了广泛应用

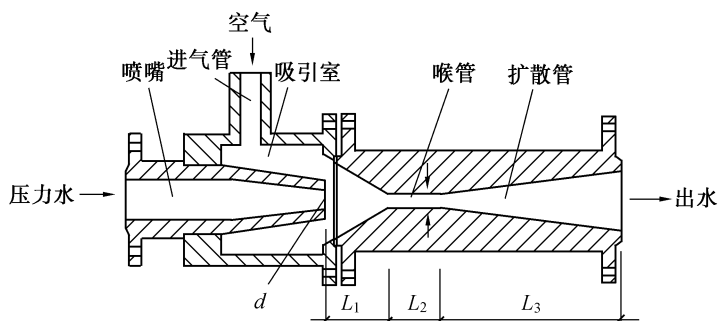


图 4.37 射流器构造示意图

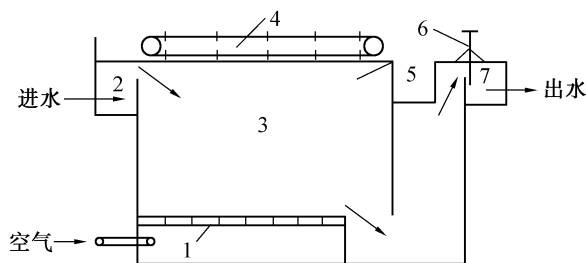


图 4.38 平流式微孔板布气气浮池

1—微孔板 2—进水槽 3—气浮分离室 4—刮渣机；
5—排渣槽 6—液位调节器 7—出水槽

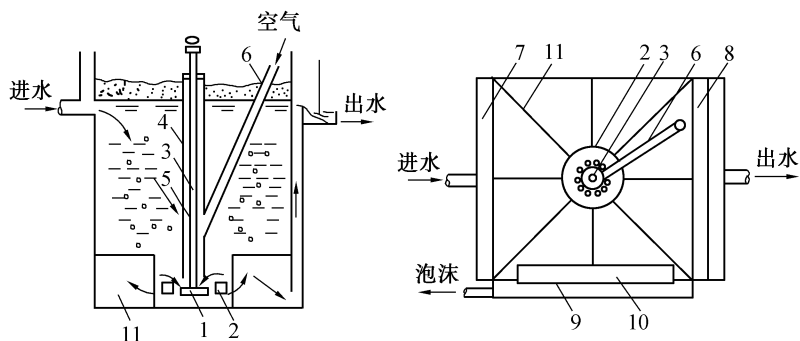


图 4.39 叶轮气浮设备构造示意图

1—叶轮 2—盖板 3—转轴 4—轴套 5—轴承 6—进气管 7—进水槽 8—出水槽；
9—泡沫槽 10—刮沫板 11—整流板

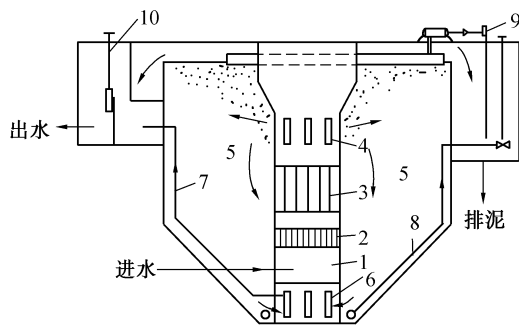


图 4.40 竖流式电解气浮池

1—入流室 2—整流栅 3—电极组 4—出流孔；
5—分离室 6—集水孔 7—出水管 8—排沉泥管；
9—刮渣机 10—水位调节器

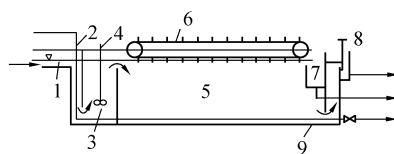


图 4.41 平流式化学气浮池

1—进水管 2—加药管 3—混合反应室 4—搅拌机 5—气浮分离室 6—刮渣机；
7—排渣槽 8—出口液位调节器 9—排泥管

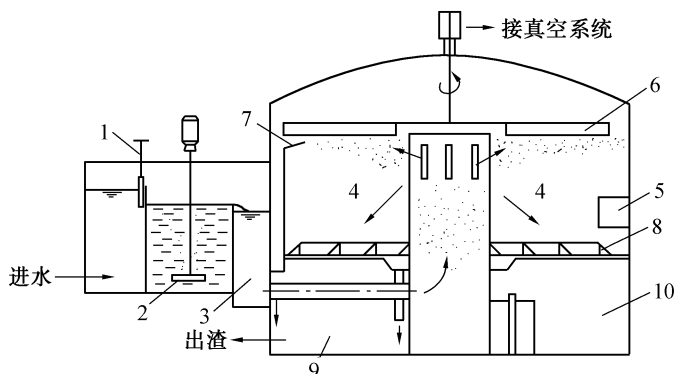


图 4.42 真空式气浮装置

1—入流调节器 2—曝气器 3—消气井 4—气浮分离区 5—环形出水槽 6—刮渣板 7—集渣槽 8—池底刮泥板 9—出渣室 10—操作室(包括抽真空设备)

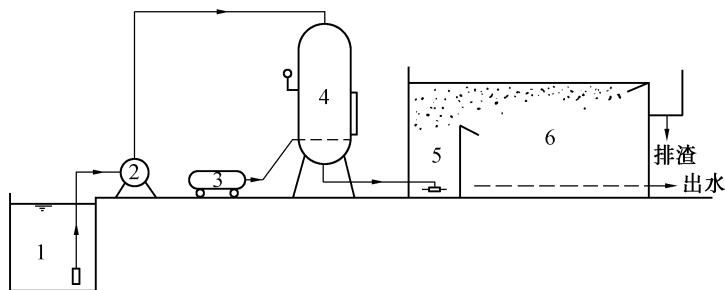


图 4.43 压力溶气气浮法工艺流程图

1—吸水井 2—水泵 3—空压机 4—压力溶气罐 5—溶气释放器 6—气浮池

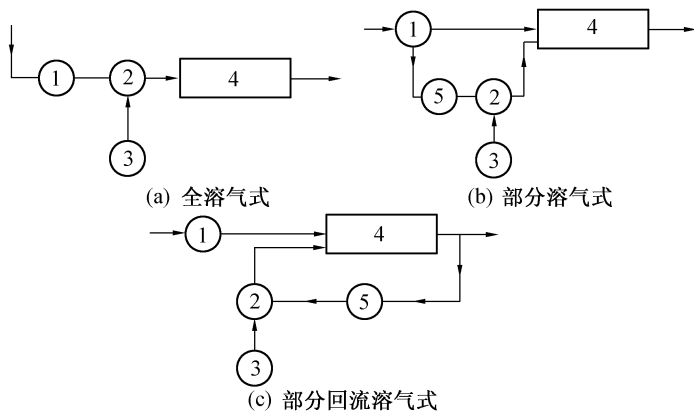


图 4.44 压力溶气气浮法中三种溶气方式

1—进水泵 2—溶气罐 3—空压机 4—气浮池 5—溶气水加压器

由表 4.23 可以看出,压力溶气气浮法的优点较多,在实际工程上得到了广泛的应用。压力溶气气浮法根据溶气方式的不同又可分为三种形式:①全溶气式压力溶气气浮法,是将废水全部加压溶气,因此能源消耗较大。②部分溶气式压力溶气气浮法,是将部分废水加压溶气。③部分回流溶气式压力溶气气浮法,是将气浮后部分水加压溶气。实践证明,部分回流溶气式压力溶气气浮法效果好,得到了最广泛的应用。

部分回流溶气式压力溶气气浮法的工艺装置压力溶气、溶气释放、气浮分离三部分组成。

4.5.4 压力溶气

1. 概述

压力溶气装置的作用,是使水泵将水加压(表压)到 0.2~0.6 MPa,与加压的空气一起打入压力溶气罐中,水、气在罐中湍动接触,使气体溶解于水。

压力溶气装置包括水泵、空压机(水射器或进气阀)、压力溶气罐及其他附属设备。关键设备是压力溶气罐。

2. 分类

按溶气方式的不同,溶气系统可分为进气阀式、水射器式和空压机式三种,如图 4.45~4.47 所示。

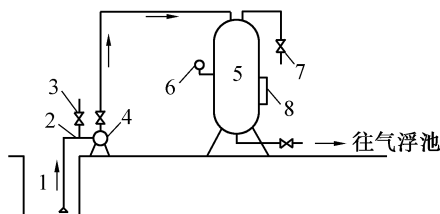


图 4.45 水泵吸气式溶气系统

1—吸水井 2—吸水管 3—进气调节阀;
4—水泵 5—压力溶气罐 6—压力表;
7—放气阀 8—水位计

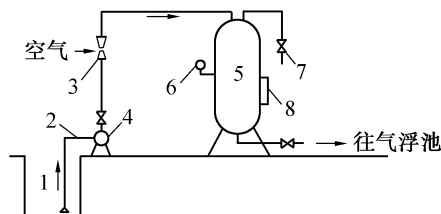


图 4.46 射流挟气式溶气系统

1—吸水井 2—吸水管 3—水射器 4—水泵;
5—稳定罐 6—压力表 7—放气阀 8—水位计

(1)进气阀式。如图 4.45 所示,在水泵吸水管上安装进气阀,水泵运转时直接由进气阀进气。其优点是无须另设供气装置,简单易行;缺点是吸气量难控制,水泵叶轮易蚀损坏,运行不稳定,工作效率低。所以,在实际工程上很少应用。

(2)水射器式。如图 4.46 所示,在水泵的压力管上安装水射器,水泵运转时依靠水射器

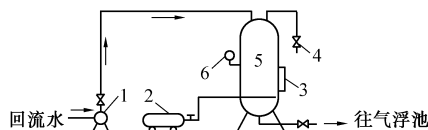


图 4.47 空压机供气式溶气系统

1—水泵 2—空压机 3—水位计 4—放气阀;
5—溶气罐 6—压力表

汲气。其优点是无须另设空压机,缺点是溶气效率低,能量消耗大,约为空压机能耗的 2.57~4.4 倍。所以,在大型工程上很少应用。

水射器的工作原理为:由高压水泵压力管送出的清水或经处理后的回流清水,压力为 0.7~0.8 MPa,流速为 30~40 m/s。这时,由于高压紊流使吸气管、吸入室形成负压,将空气带入喉管段,使气、水充分混合,形成溶气水。这一作用是瞬时的,即在 10 s 内完成,气泡直径在 30~120 μm 之间。经测试,当进水的溶解氧为零时,出水的溶解氧也可达饱和值。

(3) 空压机式。如图 4.47 所示,由空压机供气。尽管该方式增加了空压机设备,但由于空压机属小功率型,又增加了水、气接触面积和时间。因此,可大幅度地提高溶气效率,又降低了水泵能量消耗,运行稳定可靠。所以,在实际工程上被广泛应用。

3. 压力溶气罐

(1) 概述。如图 4.48 所示,压力溶气罐为钢板卷焊而成。其作用是使进入的水、气能够较好地湍动接触,提高溶气效率。

(2) 设计计算。可按水流在压力罐中停留 2~4 min 来计算,或按水流的过流密度(流速)计算。水流的过流密度就是罐单位横断面上通过的流量,单位为 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 或 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,此单位经简化后为 m/h 或 m/d。压力溶气罐过流密度一般为 3 600~5 000 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,或为 150~200 m/h。

【例】当加压溶气的水量为 20.5 m^3/h ,试计算罐的容积、直径和高度。

① 按停留时间计算

a. 罐容积

$$V/\text{m}^3 = \frac{Qt}{60n} = \frac{20.5 \times 2}{60 \times 1(\text{溶气罐个数})} \approx 0.68$$

b. 罐直径

$$\phi/\text{m} = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.68}{3.14 \times 2}} \approx 0.66 \text{ 取 } \phi = 0.7 \text{ m}$$

c. 罐高度 H 取 2 m。

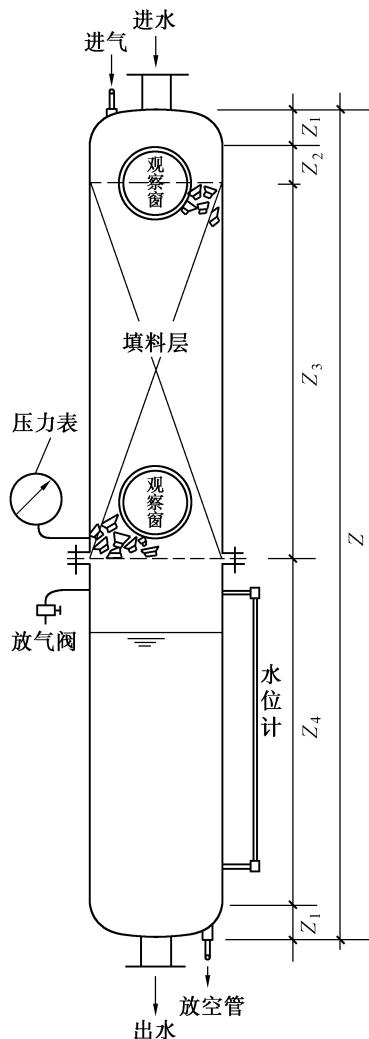


图 4.48 压力溶气罐的剖面及外貌图

② 按过流密度计算

a. 选取过流密度 $I = 150 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$,压力罐的直径

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot I$$

$$d/\text{m} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi I}} = \sqrt{\frac{4 \times 20.5}{3.14 \times 150}} \approx 0.42$$

根据上述计算 取罐径为 0.5 m。

选取 $I = 200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

$$d/\text{m} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi I}} = \sqrt{\frac{82}{628}} \approx 0.36$$

取罐径为 0.4 m。

b. 溶气罐的高度(Z) 计算

$$Z = 2Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$$

式中 Z ——罐体高度 ,m ;

Z_1 ——罐顶、罐底封头的高度 ,m ;

Z_2 ——布水区高度(一般选 0.2 ~ 0.3 m) ;

Z_3 ——填料层高度(一般选 1.0 ~ 1.3 m) ;

Z_4 ——贮水区高度(一般选 1.0 m)。

注 罐的高度 Z 未包括罐支脚及罐顶装的仪表的高度。

c. 参考试验图表选用罐径

实际工程设计计算溶气罐 ,也可以参考表 4.24 选用 ,方便快捷。

表 4.24 溶气罐规格及性能

编号	型 号	罐 径 /mm	流 量 $/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$
1	TR - 2	200	3 ~ 6
2	TR - 3	300	7 ~ 12
3	TR - 4	400	13 ~ 19
4	TR - 5	500	20 ~ 30
5	TR - 6	600	31 ~ 42
6	TR - 7	700	43 ~ 58
7	TR - 8	800	59 ~ 75
8	TR - 9	900	76 ~ 95
9	TR - 10	1 000	96 ~ 118
10	TR - 12	1 200	119 ~ 150
11	TR - 14	1 400	151 ~ 200
12	TR - 16	1 600	201 ~ 300

注 罐的允许工作压力为 0.2 ~ 0.5 MPa ,材质为碳钢。

(3) 水、气流向。罐中水的流向以上进下出为佳,这样,既可提高溶气效率,又能防止未溶空气窜出。

罐中气流的方向,当空罐时(无填料)以下进上出为佳;对有填料的罐,气流方向选定为上进下出或下进上出两种方式均可,这是由于填料促进的溶气效果,远远大于不同流向的影响与作用。

(4) 填料与温度。在压力罐内加置填料,可均匀布水与布气;可加大水、气接触面积;提高溶气效率,所以应尽量采用比表面积与空隙率大的填料,如聚丙烯阶梯环等。当压力罐直径为 500 mm 以内时,填料层的高度为 1.0 m 即可。当罐直径大于 500 mm 时,填料层的高度可适当增加到 1.3 m。另外应注意防止填料堵塞。

温度对溶气效率也有一定的影响。温度降低时,水的饱和溶气度增大,但溶气速率减小。温度下降 10℃ 时溶气效率减少近 10%。所以,应保持一定的温度。

4. 空压机

空气是难溶气体,在水中的溶解度很小。一个大气压下,不同温度时,每升水中溶解的空气毫升数理论值为:28.8(0℃), 25.49(5℃), 22.6(10℃), 20.4(15℃), 18.73(20℃), 16.13(25℃), 15.12(30℃)。当压力(表压)分别为 0.2 ~ 0.5 MPa 时,不同温度下的溶气量的理论值(mL/L)如图 4.49 所示。

加大气体的流量也无法提高溶气量,所以,无须功率很大的空气压缩机,一般选用低压(0.6 ~ 1 MPa)微型的空压机已经足够了,其能耗约为水泵(回流溶气水泵)能耗的 1/10。

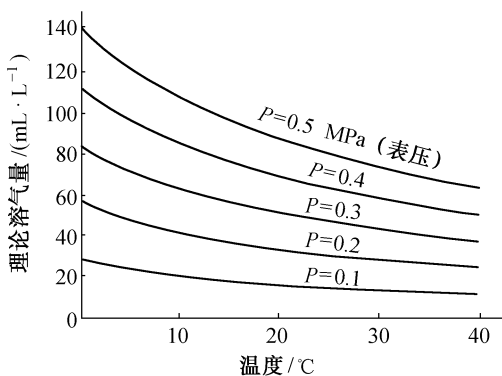


图 4.49 不同压力下的理论溶气量 - 温度曲线

空压机的选用,主要根据所需气压而定。压力一般选低压 0.6 ~ 1 MPa 即可。气量的计算公式为

$$Q_g = QR \cdot a_c \cdot \phi$$

式中 Q_g ——气浮所需最大空气量, L/h;

Q ——气浮设计水量, m^3/h ;

R ——回流比(废水处理取 15% ~ 30%, 给水处理取 5% ~ 10%);

a_c ——试验时的释气量, L/ m^3 ;

ϕ ——水温校正后数(取 1.1 ~ 1.3)。

空压机所需额定气量

$$Q'_g = \phi' \frac{Q_g}{60 \times 1000}$$

式中 Q_g ——空压机所需额定气量 m^3/min ;
 ϕ' ——空压机效率系数(取 1.2 ~ 1.5)。

直接在压力状态下,测定溶气罐水中的溶气量相当困难。目前均以测定溶气水中释气量来间接表示。释气量为每升溶气水减压至一个大气压时所释放的微气泡的体积(L/m^3)。

释气量 a_c 可由实验求得。不能实验时,也可在图 4.50 中查参考值。图 4.50 为各种释放器的实验压力特性曲线。如某工厂水处理采用 TS 型释放器,溶气压力为 0.25 MPa,可查图 4.50 得释气量的参考值为 40 mL/L 。

【例】

[已知] 气浮的设计流量 $Q = 2\,000\text{ m}^3/\text{d}$, R 选 30%。

当溶气压力为 0.25 MPa,查图 4.50 释气量 a_c 为 40 mL/L 。

水温校正系数 ϕ 选 1.1 时,空压机效率系数 ϕ' 选 1.2。

[求] 计算气量,选择空压机。

[解] ① 气浮所需最大空气量

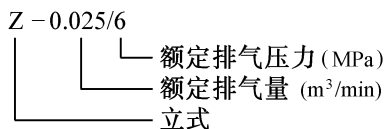
$$Q_g/(\text{L} \cdot \text{h}^{-1}) = QR \cdot a_c \cdot \phi = \frac{2\,000}{24} \times 30\% \times 40 \times 1.1 \approx 1\,100$$

② 空压机额定气量

$$Q'_g/(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}) = \phi' \frac{Q_g}{60 \times 1\,000} = 1.2 \times \frac{1\,100}{60 \times 1\,000} = 0.022$$

③ 根据气量 0.022 m^3/min 及低压要求,选 Z - 0.025/6 空压机 2 台,其中一台工作,一台备用。

该型空压机为低压微型活塞式空压机,其型号意义为



另外,还可以参照表 4.25,按压力溶气罐的直径配套选用空压机,空压机的性能及各部尺寸见表 4.26。

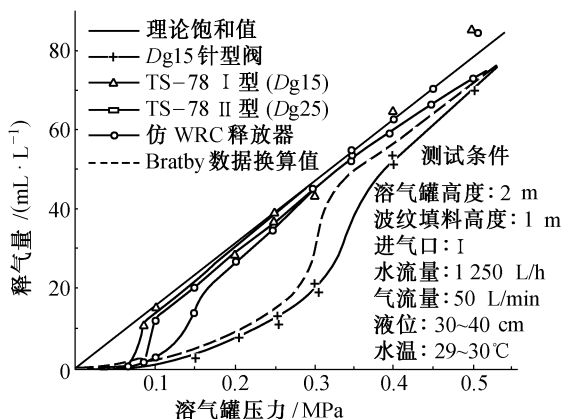


图 4.50 各种释放器的特性曲线

表 4.25 选用空压机参考表

溶气罐型号 /d	配套空压机	
	型号	电动机功率 /kW
400	Z - 0.025/6	0.37
600	Z - 0.03/7	0.37
800	Z - 0.05/6	0.75
1 000	U - 0.1/10	1.5
1 200	U - 0.6/7 - 13	5.5

表 4.26 低压微型活塞式空气压缩机性能

型号	排气量 ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	额定排 气压力 MPa	转数 ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	活塞 行程 /mm	气缸数 $\times$ 气缸 直径 /mm	轴功率 /kW	传动 方式	储气罐 容积 /L	配用电动		外形尺			空压机 质量 /kg	机组 总质 量 /kg
									型号	额定 功率 /kW	长	宽	高		
Z - 0.025/6	0.025	0.6	820	40	1×52	0.32	皮带 传动	30	AL - 7124	0.6	695	305	670	16	88
			700	45	1×45			33		0.375	700	320	675		
Z - 0.05/6	0.05	0.6	500	55	1×65	0.50	皮带 传动	42	JYB - 4TH	0.75	850	350	710	24	88
			400		1×75	0.70		50	JO - 12 - 4	0.80	900	400	840	30	130
Z - 0.2/7	0.2	0.7	1000	55	1×90	2.0	三角 皮带	75	JO - 22 - 2	2.2	1 100	420	830	48	118
Z - 0.3/7	0.3	0.7	1450	55	1×90	2.5	三角 皮带	75	JO - 31 - 2	3.0	1 100	420	830	48	128
Z - 1.8/8	1.8	0.8	335	130	I 级 2×90 II 级 2×110	14	电动 机经 齿轮 联	—	2AD - 15 - 1	15.0	1 660	670	880	670	—
B - 0.6 - 7	0.6	0.7	450	100	2×110	4	三角 皮带	350	JO - 42 - 4	5.5	1 665	730	1 300	190	410
3W - 0.9/7	0.9	0.7	1450	55	3×90	6	联轴 器直 联	100	JO - 51 - 4	7.5	1 185	660	990	62	260

5. 加压水泵(溶气加压水泵)

加压水泵的作用是将需要溶气加压的水送往溶气罐。根据需要加压的溶气水的水量及压力选择加压水泵。

(1) 压力一般选 0.2 ~ 0.6 MPa。

(2) 流量(溶气水流量)

$$Q_p = \frac{Q_g}{736 \cdot n \cdot p \cdot K_T}$$

式中 Q_p ——需要加压的溶气水流量 m^3/h ;

Q_g ——气浮所需空气量 L/h ;

P ——选定的溶气压力 MPa ;

n ——溶气效率(对装阶梯环填料的溶气罐可按表 4.27 选用);

K_T ——溶解度系数(可查表 4.28 选用);

Q ——气浮时所需释气量 L/h 。

表 4.27 阶梯环填料罐(层高 1 m)的水量、压力与溶气效率的关系表

水温 /	5			10			15			20			25			30		
溶气压力 /MPa	0.2	0.3	0.4 ~ 0.5	0.2	0.3	0.4 ~ 0.5	0.2	0.3	0.4 ~ 0.5	0.2	0.3	0.4 ~ 0.5	0.2	0.3	0.4 ~ 0.5	0.2	0.3	0.4 ~ 0.5
溶气效率 /%	76	83	80	77	84	81	80	86	83	85	90	90	88	92	92	93	98	98

表 4.28 同温度下的 K_T 值

温度 /	0	10	20	30	40
K_T	3.77×10^{-2}	2.95×10^{-2}	2.43×10^{-2}	2.06×10^{-2}	1.79×10^{-2}

将各值代入 $Q_p = \frac{Q_g}{736 \cdot n \cdot P \cdot K_T}$ 可计算出水泵流量。根据流量、压力可选择水泵。

【例】 计算选择水泵

[已知] 水温为 20 ,溶气罐采用阶梯环填料 ,溶气效率 n 查表为 87%。

溶气罐压力 P 选 0.25 MPa;

水温为 20 ,查表 K_T 为 2.43×10^{-2} ;

气浮所需的释气量 Q_g 为 1 100 L/h;

[求] 计算选择水泵。

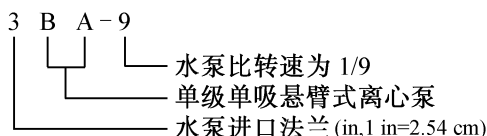
[解] ① 将以上各值代入公式得水泵流量

$$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{1\ 100}{736 \times 87\% \times 0.25 \times 2.43 \times 10^{-2}} \approx 283$$

② 水泵压力选 0.2 ~ 0.6 MPa ;

③ 根据流量及压力查水泵样本选泵 ,由于溶气水为经处理后的污水或清水 ,所以可选清水泵 3BA - 9 型 2 台 ,其中一台工作 ,一台备用。

水泵型号的意义为



④ 也可按流量及罐径选泵(参看表 4.29)。

表 4.29 选泵参考表

流 量 ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	压力溶气罐直径 /mm	水 泵		
		型 号	电动机功率 /kW	数 量 / 台
13 ~ 19	400	2BA - 6	4.0	2
31 ~ 42	600	3BA - 9	7.5	2
59 ~ 75	800	2BA - 9	7.5	2
96 ~ 118	1 000	3BA - 6	13	2
119 ~ 150	1 200	4BA - 12	17	2

4.5.5 溶气释放

1. 概述

提高溶气效率很重要 ,同样 ,提高释气效率也是很重要的。提高溶气效率的目的是有更多的释气量。如果不能较好、较多地释气 ,溶气效率高也就没有意义了。当溶于水中的空气在压力为 0.1 ~ 0.5 MPa ,水温为 0 °C 时 ,平均每个空气分子周围包围着 8 880 ~ 44 400 个水分子 ,如同被囚在“铁笼子”里 ,要跑出“铁笼子”需要花费很大的能量 ,要与周围水分子进行 100 ~ 1 000 次碰撞 ,“粉身碎骨”成为极细微的气泡(1 ~ 100 μm)才有可能。空气分子获释的能量从何而来呢 ?只有从溶气水的压能而来。将溶气水的压能在瞬间内降压转变为巨大的动能 ,使气分子获释。实行降压 ,转能获释的装置叫释放器。

2. 对释放器的要求

(1) 释气率高 ,气泡细微。释气率就是释气量与实际溶气量之比 ,TS 型、TJ 型释放器释气率可达 99% ,气泡细微 ,平均直径为 20 ~ 30 μm ,气泡浓密、均匀而稳定 ,能够达到瞬时释放

溶气, 仅在 0.3 s 内就释放完毕, 使小气泡来不及并成大气泡就黏附絮粒上浮了。

(2) 压力较低, 节约能耗。释放器压力的选择, 一是使释气效率高; 二是节约能耗。适合的压力范围为 0.2 ~ 0.3 MPa。释放器的工作压力, 即为溶气罐的溶气水压力, 而溶气罐的溶气水压力, 即为水泵的供水压力。我国常用的水泵系列一般压力为 0.2 ~ 0.35 MPa 左右, 若选择更高的压力, 水泵配套的电动机功率会迅速增高, 电耗也会迅速增加, 经济上不合算。

根据 TS 型、TJ 型释放器试验, 在上述压力下, 释气率较高, 微气泡尺寸小, 处理水的效率高。

3. 释放器的工作原理

最简单的释放器是普通的闸阀, 用减少流水的断面而消能。它不能均匀分布释气水, 释出的气泡大, 容易撞碎絮粒, 而且很难与絮粒黏附, 所以不能作为释放器。

我国研制了多种释放器, 广泛应用的是 TS 型及 TJ 型释放器, 现以图 4.51 所示的 TS 型释放器为例说明释放器的工作原理。

溶气水从压力溶气罐进入释放器, 首先进入孔口 1, 因孔口断面突然收缩, 溶气水压能降低转为气分子的动能, 接着进入孔室 2, 撞击形成涡流, 使溶气水继续降压, 并转为气分子的动能, 这时, 大部分气分子获得了巨大的动能跳出了“铁笼子”形成微气泡, 水流继续向前急转, 进入缝隙 3, 流态骤变, 断面收缩, 紊流更为剧烈, 并出现局部真空, 空气分子几乎全部释出; 再经过 4、5 处, 气水 95% 的压能已转变为气分子的动能, 形成 10 μm 级的微气泡, 由释放器出口 6 放出。以上整个过程所用时间仅为 0.3 s。

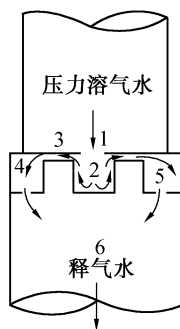


图 4.51 TS 型释放器的释气流程图

4. 释放器性能与选用

目前广泛应用 TS 型及 TJ 型释放器。TJ 型是在 TS 型的基础上研制的, TJ 型的流量及作用范围较 TS 型大(见表 4.30), 同时还克服了 TS 型易堵塞的缺点。TS 型、TJ 型释放器性能详见表 4.31。

表 4.30 TS 型、TJ 型释放器的作用范围

cm

规格 型号	I	II	III	IV	V
TS 型	25	35	50	60	70
TJ 型	60	90	110		

表 4.31 TS 型、TJ 型溶气释放器规格、性能

型号	不同压力下的流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
TS - I	0.25	0.32	0.38	0.42	0.45
TS - II	0.52	0.70	0.83	0.93	1.00
TS - III	1.01	1.30	1.59	1.77	1.91
TS - IV	1.68	2.23	2.52	2.79	3.10
TS - V	2.34	3.47	4.00	4.50	4.92
TJ - 2.5	2.00	2.37	2.81	3.14	3.45
TJ - 5	3.20	4.61	5.60	6.31	7.01
TJ - 10	7.00	8.70	10.55	11.75	—

注 生产厂家为上海同济大学水处理技术开发中心。

释放器的选用,应根据工作压力、流量及释放器的使用范围及布置形式等综合考虑选用。

释放器布置在气浮池的接触区内,其布置形式按释放器的安装方向不同可分为下述三种(如图 4.52 所示)。

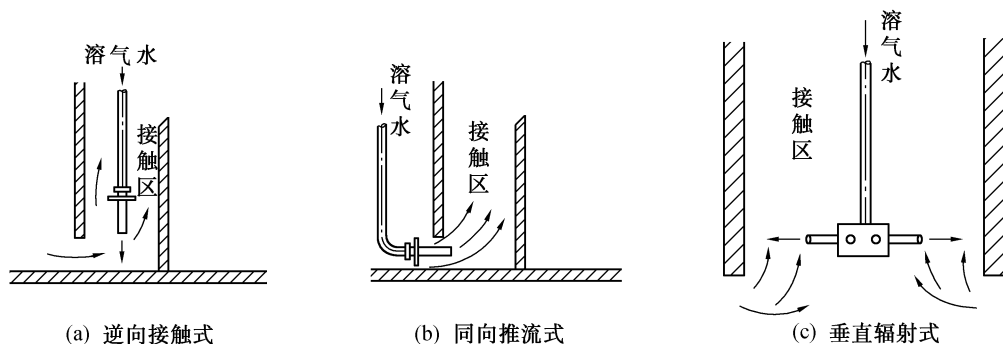


图 4.52 释放器喷嘴朝向的布置形式

(1) 逆向接触式。释放器(溶气水)出流方向向下,从反应室送来欲处理的絮粒水流向上,形成逆向接触。溶气水与欲处理的带絮粒水发生撞击而返流。因此,气泡与絮粒接触时间长,气泡分布均匀,处理效率好,目前应用最多。释放器出口与池底应有 20 ~ 40 cm 的距离。

(2) 同向推流式。释放器安装在反应室出口处,从反应室来的欲处理的水与释放器的溶气水同向推流。这时,溶气水与带絮粒的欲处理水在同向推流中相互黏附。这种形式与逆向接触式相比,絮粒不易被破碎。释放器应安入孔口内,并对准孔口中心。

(3) 垂直辐射式。释放器的出流方向与絮粒水的流向相垂直,此种形式适合于大型气浮池及竖流式气浮池,多采用 TJ 型释放器。

释放器的布置形式按气浮池接触区的宽度可分为单排式、双排交错式及三排交错式等。其布置形式如图 4.53 所示 释放器的作用范围见表 4.30。

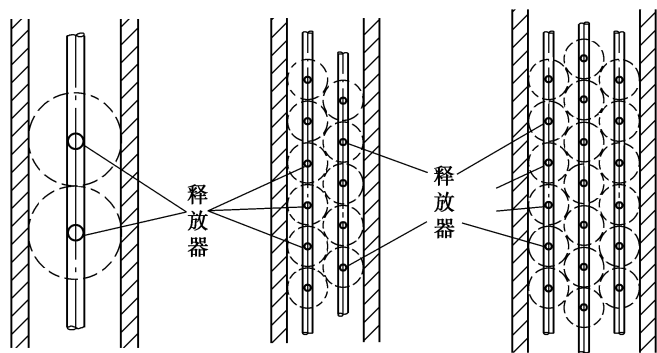


图 4.53 释放器平面布置图

【例】

- [已知] ① 溶气压力为 0.25 MPa。
 ② 溶气水量为 20.5 m³/h。
 ③ 气浮池接触室尺寸为长 5.3 m,宽 0.6 m。

[求] 计算选用释放器。

[解]

- ① 根据已知溶气压力,查表 4.29,初步选用 TS - II 型释放器。
 ② 当压力为 0.25 MPa 时,每个释放器的流量 $q = 0.76 \text{ m}^3/\text{h}$ 。
 ③ 释放器的个数

$$N/\text{个} = \frac{Q_c}{q} = \frac{20.5}{0.76} \approx 27$$

④ TS - II 型释放器的作用范围(直径)为 35 cm(查表 4.29 得),而接触室的宽度为 0.6 m,故应采用双排交错式排列。

- ⑤ 根据接触室的长度及宽度布置所需释放器的数目为

$$N/\text{个} = \frac{2 \times 5.3(\text{接触室长度})}{0.35(\text{释放器的作用范围})} \approx 31$$

释放器按流量计算为 27(只),满足不了接触室具体布置的要求,故应取 31(只)。

4.5.6 气浮分离

1. 气浮池的作用

气浮分离的主要装置是气浮池,气浮池的作用是:从反应室进入的欲处理的水与溶气水接触后,溶气水释出的微气泡黏附在水中的污染物絮粒上,上升到气浮池表面,絮粒与水进行分离。

2. 气浮池的类型

气浮池可分为平流式、竖流式及综合式等。可根据原水水质、处理要求、当地条件、管理技术水平等综合分析选用。

(1) 平流式气浮池。如图 4.54 所示,水流在池内水平向前流动,从而完成絮粒与水分离的池型。原水在反应池反应后,从底部进入气浮池的接触室,与溶气水接触作用后流入分离室,水平向前流动进行分离。上浮的絮粒用刮渣机刮入集渣槽,再进行污泥脱水预处理。处理后的清水由底部集水管收集出流。

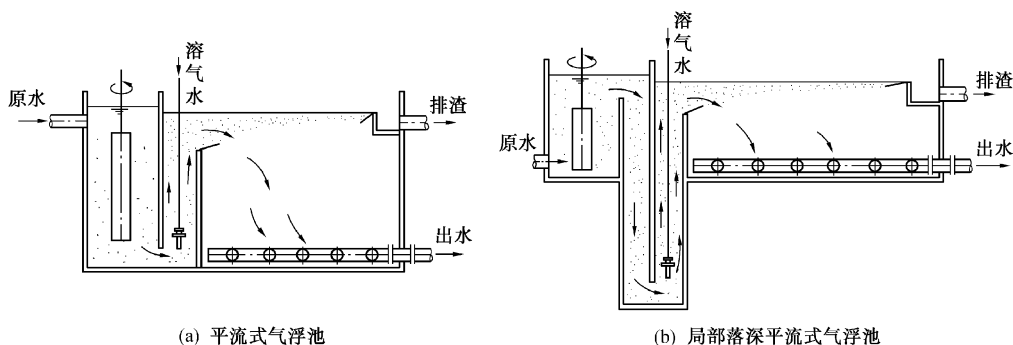


图 4.54 平流式气浮池

该型气浮池结构简单,管理方便,造价较低,所以是目前应用最多的。它的缺点是占地较多,分离室的容积利用率不高。为了提高接触的效果,可将接触室局部加深,成为局部落深平流式气浮池。

(2) 竖流式气浮池。如图 4.55 所示,水流在池内竖向流动,从而完成絮粒与水分离。原水在反应室反应后,从底部进入气浮池的接触室,与溶气水接触,一起上流进入分离室。在分离室内,水流在由上向下的流动过程中,进行分离。上浮的絮粒被刮入集渣槽,清水由底部集水管收集出流。

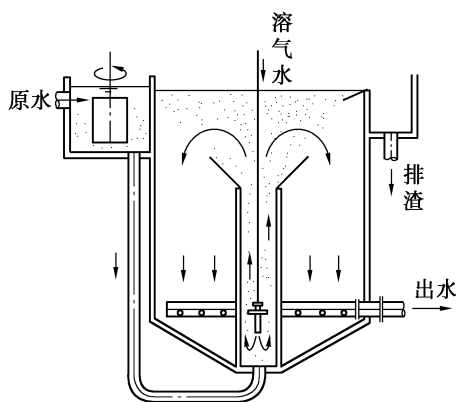


图 4.55 竖流式气浮池

该型气浮池的优点是:占地面积较小,缺点是:池身高,造价贵。

(3) 综合式气浮池。平流式及竖流式气浮池,其分离区下部容积利用率都不高。为充分利用这部分容积,设计了综合式气浮池。如:气浮-反应一体式,气浮-斜管沉淀一体式,气浮-过滤一体式等(如图 4.56 ~ 4.58 所示)。

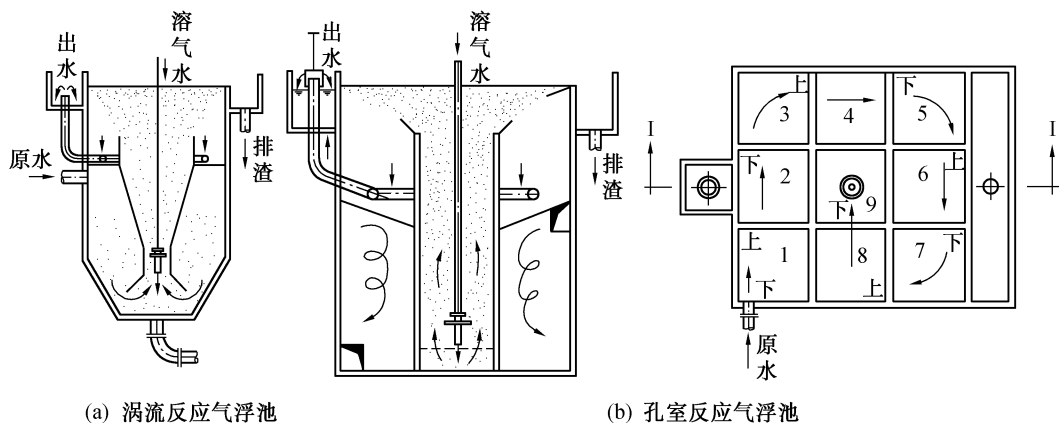


图 4.56 气浮-反应一体式

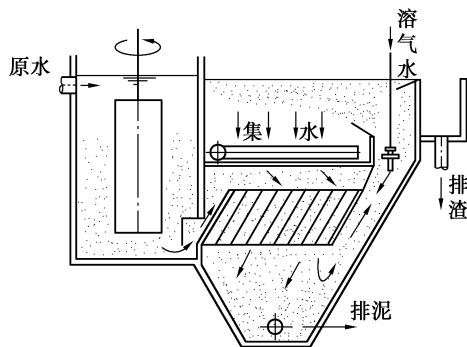


图 4.57 结合同向流斜管沉淀池的气浮池

3. 气浮池设计与计算(平流式气浮池)

(1) 接触室。接触室是气浮池的首部,也称捕捉区。溶气水与原水絮粒在此室内进行接触与捕捉。经反应后的水进入接触室,为防止反应室与气浮池之间因联结不善而打碎进入的絮粒,宜将反应室与气浮池合建。在隔墙底部均布矩形或方形孔口,孔数应与释放器数目对应,其孔眼流速应在 0.1 m/s 以下,并根据流量及流速计算选用孔口的尺寸。

接触室设计的关键,是选择适宜的水在接触室的上升流速和接触室的高度,使微气泡能均匀地分散于水中,获得均等的捕捉机会。实验证明,适宜的接触室高度 $H = 1.5 \sim 2.0 \text{ m}$;接触区水流的上升流速为 $10 \sim 20 \text{ mm/s}$ 。

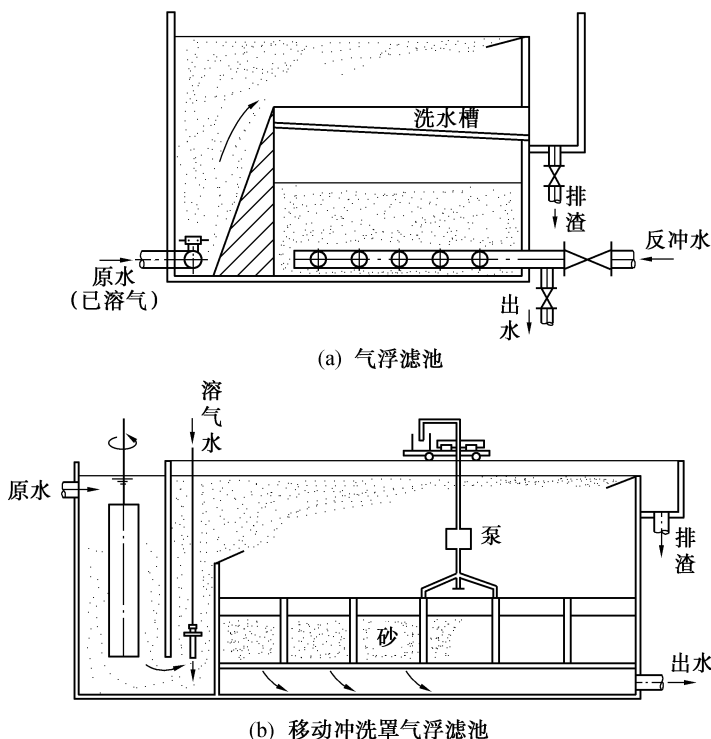


图 4.58 与快滤池、移动冲洗罩滤池结合的气浮池

接触室断面的宽度与长度应根据水流上升流速、流量及释放器的使用范围等综合考虑计算选用。宽度应按释放器的使用范围选择(单排、双排或三排),还应考虑满足最小的安装检修宽度(500 mm)。

接触室出口处堰上水深 H_2 , 与接触室宽度相等, 即 $H_2 = L_1$ 。此处流速亦为 $10 \sim 20 \text{ mm/s}$ 。

【例】 计算接触室的面积、长度、宽度和高度。

[已知] ① 接触室上升流速 $v = 20 \text{ mm/s}$ 。

② 欲处理的废水量

$$Q / (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{5\,000}{24} \approx 208$$

③ 气浮所需的空气量

$$Q_g = QR \cdot a_c \cdot \phi$$

式中 Q ——气浮池欲处理的废水量；

R ——回流比(对废水为 $15\% \sim 30\%$ 选取 20%)；

a_c ——试验条件下的释气量(选取 40 L/m^3)；

ϕ ——水温校正系数(为 1.1 ~ 1.3 选取 1.2)。

将各值代入上式可得出气浮所需空气量 Q_g

$$Q_g / (\text{L} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{5\,000}{24} \times 20\% \times 40 \times 1.2 \approx 2\,000$$

④ 查表 4.25 ,当 20 ℃ 溶气压力为 0.25 MPa 时 ,溶气效率 n 为 87.5% ;

⑤ 查表 4.28 ,当 20 ℃ 时 ,温度系数 K_T 为 2.43×10^{-2} ;

⑥ 将以上各值代入下式 ,可求出加压溶气水量

$$Q_p / (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{Q_g}{736n \cdot P \cdot K_T} = \frac{2\,000}{736 \times 87.5\% \times 0.25 \times 2.43 \times 10^{-2}} \approx 511$$

⑦ 按下式可求出接触室的面积 A_c

$$(Q + Q_p) = V \cdot A_c$$

$$(208 + 51.1) = (20 \times 10^{-3} \times 3\,600) A_c$$

$$A_c / \text{m}^2 = \frac{208 + 51.1}{20 \times 10^{-3} \times 3\,600} = \frac{259.1}{72} \approx 3.6$$

⑧ 拟在接触室布置二排释放器 ,按释放器的作用范围在 0.6 m 左右 ,选择接触室的宽度 b_c 为 0.6 m ;

⑨ 接触室的长度(即为气浮池的宽度)

$$B / \text{m} = \frac{A_c}{b_c} = \frac{3.6}{0.6} = 6$$

⑩ 接触室的高度 H_1 应结合气浮池的高度与长度综合考虑 ,一般可采用 1.5 ~ 2.0 m。

(2) 分离室。分离室的作用是使污染物絮粒与水分离 ,上浮至池面。絮粒在分离室内受到上升流速 $v_{\text{粒上}}$ 及下沉流速 $v_{\text{粒下}}$ 的同时作用 ,当 $v_{\text{粒上}} > v_{\text{粒下}}$ 时 ,则絮粒可分离上浮至池面 ,相反絮粒将随水带出。因此分离室主要应选择一个合适的分离速度。在此分离速度下 ,絮粒分离得较好。分离速度也可以形象地表示为表面负荷 ,即每平方米池表面积每小时可处理的水量(包括回流量) ,单位为 $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

根据经验 ,分离室的分离速度 $v_{\text{分}}$ (表面负荷) 为 :当水的浊度小于 100 时 ,分离流速 $v_{\text{分}} = 2 \sim 3 \text{ mm/s}$ 相应的表面负荷 $q = 7.2 \sim 10.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

当水的浊度大于 100 时 ,分离流速 $v_{\text{分}} = 1.0 \sim 1.5 \text{ mm/s}$ 相应的表面负荷 $q = 3.6 \sim 5.4 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

【例】 计算分离室的面积、宽度、长度和高度。

① 按上例流量 ,当选用 $v_{\text{分}} = 2 \text{ mm/s}$ 时 ,分离室的面积

$$A_s / \text{m}^2 = \frac{Q + Q_g}{v_{\text{分}}} = \frac{208 + 51.1}{2 \times 10^{-3} \times 3\,600} = \frac{259.1}{7.2} \approx 36$$

② 分离室的宽度取 $B = 6.0 \text{ m}$ (一般选宽度在 6 m 以内即可)。

③ 分离室的长度

$$L_e/m = \frac{A_s}{B} = \frac{36}{6} = 6$$

因为絮粒上浮速度很快,约为 $1 \sim 2 \text{ cm/s}$,大部分的絮粒在池的前部就已完成上浮,所以一般控制池长在 15 m 以下。池长过短也不好,因为水流冲击使浮渣上浮不完全,池的长宽比可选 $1.5:1 \sim 1:1$ 。

④ 停留时间。一般污染物絮粒上浮在数十秒到几分钟即可完成,所以,一般选停留时间 $10 \sim 15 \text{ min}$ 即可,对污染严重的水可选 $20 \sim 30 \text{ min}$ 。

⑤ 分离室的高度 H ,一般取 2 m 以内

$$H/m = v_s \cdot t = 2 \times 10^{-3} \times 16 \times 60 = 1.92$$

式中 v_s ——分离下流速度,取 2 mm/s ;

t ——分离室停流时间,取 16 min ;

(3) 气浮池的容积 W 。接触室的表面积 A_c 与分离室的表面积 A_s 之和与池高 H 的乘积为气浮池容积 W 。

$$W/m^3 = (A_c + A_s) \cdot H = (3.6 + 36) \times 1.92 \approx 76$$

(4) 集水与出水设施。经分离处理后的水,需经池下的集水设施收集后,再输送到出水设施排放。

① 集水设施。集水设施的选择,直接关系到出水水质。大孔槽出流形式如图 4.59 所示,因出水不够均匀,实际应用得不多;在池的下部设穿孔管的形式应用得较多,如图 4.60 及图 4.61 所示。

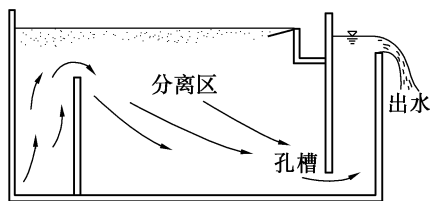


图 4.59 气浮池大孔槽出流

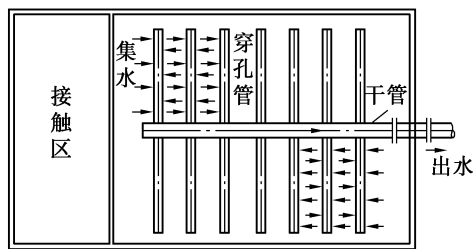


图 4.60 单枝状穿孔管集水系统

穿孔管的孔眼向下与垂线成 45° 交错排列,孔矩以 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 为宜,孔径为 $10 \sim 20 \text{ mm}$;孔数根据水头损失计算确定。

一般允许集水系统水头损失为 $0.2 \sim 0.5 \text{ m}$,孔口流速为 $5 \sim 6 \text{ m/s}$;干管与支管流速宜控制在 $0.5 \sim 0.7 \text{ m/s}$,管底离池 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 。

② 出水设施。气浮池上部出渣,下部出水,与沉淀池出水与排渣方向不同。必须控制好

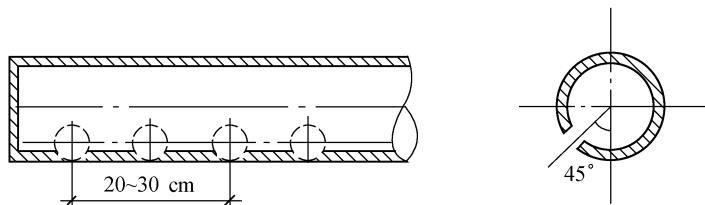


图 4.61 穿孔管孔眼孔距布置图

气浮池的出水与进水的平衡,才能保持池子的正常水位。在总集水管后设闸门控制水位的形式,由于操作不便,实际应用较少。出水井、水位调节管、多枝状集水系统及堰板型应用较多,如图 4.62 ~ 4.64 所示。

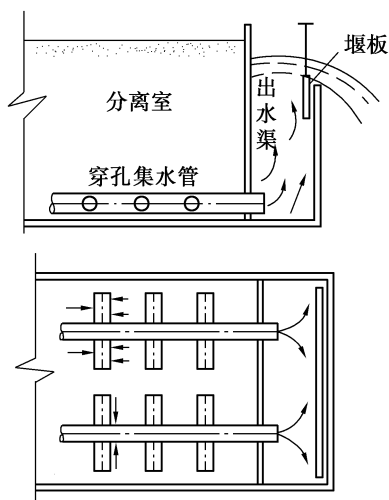


图 4.62 活动堰板调节水位与流量

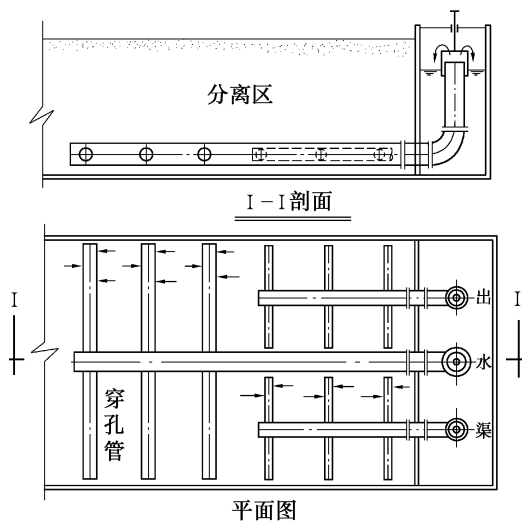


图 4.63 可分段调节出水量的多枝状集水系统

(5) 排渣设施。气浮法的浮渣含水量约为 95% ,较沉淀法含水率低得多。其排渣方法有两种:一种是溢渣,即升高池中的水位靠水位重力排渣。这种方法水量流失大,黏性浮渣无法溢出,对小型气浮池及黏性小的浮渣可应用。另一种是机械刮渣,应用得比较广泛。有履带多刮板式、行车单刮板式、钢索牵引行车式及绕轴转动径向刮板式等。可根据气浮池不同情况选用。各种刮渣设备情况如图 4.65 ~ 4.68 及表 4.32 所示。

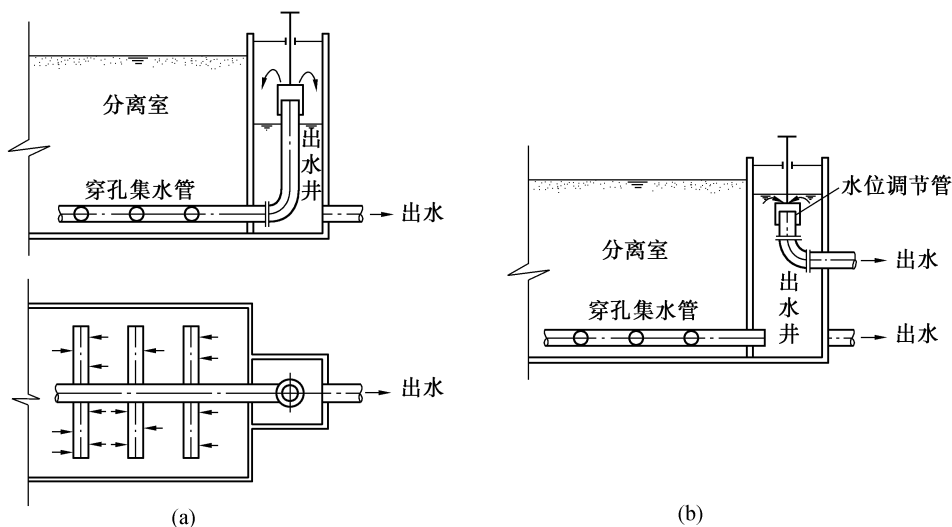


图 4.64 调节管控制池水位

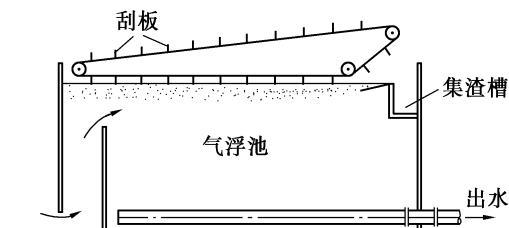


图 4.65 履带多刮板式刮渣机

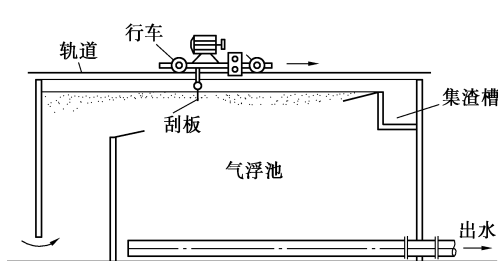


图 4.66 行车单刮板式刮渣机

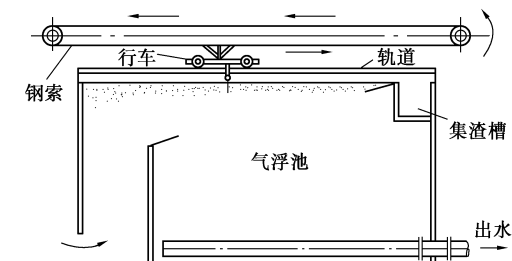


图 4.67 钢索牵引行车式刮渣机

为了提高刮渣效率又不影响水质,刮渣时应注意以下几点。

- ① 刮渣机移动速度不宜过快,一般采用 $5 \sim 10 \text{ cm/s}$;
- ② 当刮板移动到集渣槽附近时,因为渣量较多会产生浮渣受挤下流情况,为解决此问

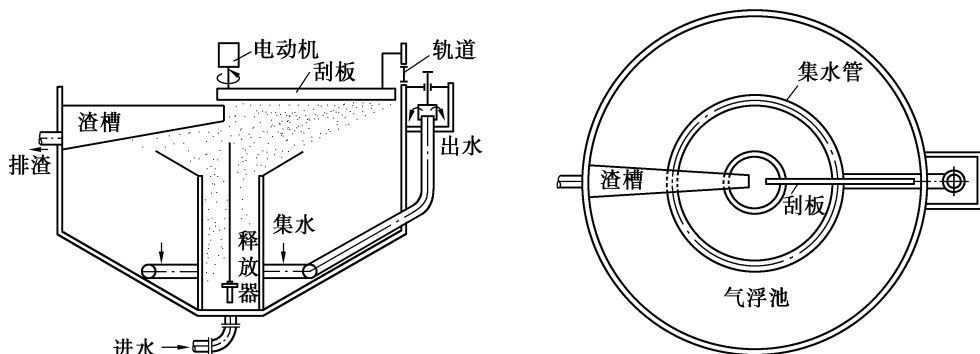


图 4.68 圆形绕轴转动径向刮渣机

题,可在集渣槽上设导流板,如图 4.69 所示;

- ③ 可将集渣槽设在气浮池前部,刮板从后部向前移动,如图 4.70 所示;
- ④ 渣厚控制在 10 cm 左右,一般 2 ~ 4 h 刮一次。

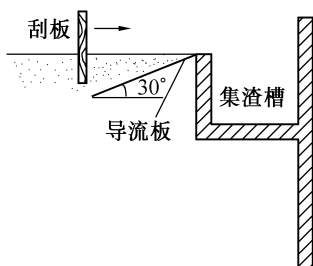


图 4.69 集渣槽的导流板装置

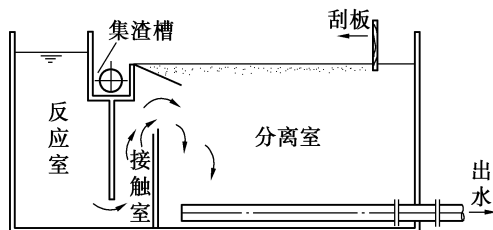


图 4.70 集渣槽设在接触室上

表 4.32 气浮刮渣设备简介

编号	刮渣形式	优缺点及适用范围
1	履带多刮板式	履带下安装多块刮板进行刮渣。此形式刮渣负荷较均匀,多块板推动一段浮渣,刮渣较完全,在实际工程上常应用。缺点是设备较复杂,易出故障,应注意维修养护。
2	行车单刮板式	如起重桥式行车,在行车下面设置单块刮板进行刮渣。优点是设备简单轻便,实际工程上常应用。缺点是电机部分(牵引线)在行车上,使用时牵引伸缩不方便。
3	钢索牵引行车式	是前两种刮渣形式结合的一种新形式,将传动部分固定在一端,行车依靠钢索来回拉动。克服了前两种形式的缺点。在实际工程上应用得最多。
4	绕轴转动径向刮板式	该种形式适合于圆形气浮池的刮渣使用。前三种均适合于矩形气浮池刮渣。

4.5.7 运转管理

抓好气浮装置的运转与管理,是提高气浮净水效率的一个重要方面。

1. 运转

(1) 调试前应检查各种机泵的完好程度(水泵、空压机、刮渣机等)。运转前查看加油、润滑、密封性、电源、线路等,要求有短暂的空载运转,检查发热及杂音,转向是否灵活,刮渣机的刮板是否运行牢靠等。为防止堵塞,应将释放器的孔盒暂时拆下,按要求配好混凝剂,为保证溶气罐水不进入空压机的气包内,应调好空压机的压力,按加压泵的最大压力再加 0.03 MPa。

(2) 调试时的注意事项。

① 气浮池内注满水,检查池体有无渗漏。

② 开启回流水泵(逐渐打开压力管闸),向溶气罐内注水待压力达到最大值时,突然打开溶气罐出水闸,用高压水冲溶气管道,重复几次。开启空压机,待罐内气压为 0.5 MPa 时,突然打开罐的出水闸,用高速的气流冲洗溶气管道,重复几次,直到冲洗干净,关闭泵机。打开接触室及反应池的闸门,放空水,装上释放器的孔盒与垫圈之后再注入水。

③ 再次开启回流水泵及空压机。待机压超过泵压时,稍稍打开闸门,不宜开得过大,以防机压急降或发生水的倒流,使气水同时进入溶气罐内进行溶气。

④ 当罐的水位达到 1 m 左右时,可全部打开罐的出水闸,观察接触室溶气水的释气情况。如出现大气泡或水流不稳定,应检查释放器是否堵塞。

⑤ 用闸阀调整空压机的供气量,使罐的水位保持 0.5 ~ 1.0 m 左右,调整溶气释气系统到正常运转。如有少量的水位升降可用溶气罐的放气阀调整。

⑥ 开启进水泵吸取欲处理的水,送向气浮池,并投药(稍过量)。控制气浮池的出水堰板,将池水位稳定在集渣槽口以下 5 ~ 10 cm,测定并用进水闸调整流量达到设计流量为止。

⑦ 初运转的处理水达不到出水标准,要回流重新处理。达标后方能出流,逐步调小投药量,使其达到正常投药量为止。

⑧ 待浮渣积厚 5 ~ 8 cm 时,开动刮渣机刮渣并调整刮渣机的运转情况。

⑨ 试运转合格后,可投入正常运转。

2. 管理

气浮法较生化法的技术管理简单,但要注意以下几点。

(1) 要经常注意观察絮凝情况和进出水水质。调整加药量,防止药管堵塞。冬季温度降低时,絮凝效果会降低,为此,需增加投药量,或增加回流量和溶气压力,以加强絮凝,保证出水水质。

(2) 要经常注意观察气浮池运行情况,如发现接触区浮渣不平,局部冒大泡时,则应检查释放器是否堵塞,如发现长时间分离区渣面不增加或有大气泡破裂,表明絮粒黏附得不

好,可投加些表面活性剂等。

(3) 应注意保持溶气罐的水位,防止水位脱空,避免空气窜入气浮池,影响气浮效果。

(4) 定期检查维修,保护好各种机、泵装置,使其经常处于完好状态。

(5) 记录整理好各种运转数据,包括投药量、溶气水量、罐压力、水温、处理水量、进出水质、耗电量、刮渣量、刮渣周期及渣含水率等。另外,运行过程中发生的各种事故及维护处理情况,都应完整地记录下来。

以上仅介绍运转及管理的一些注意事项。由于气浮装置形式的不同,处理水的类型的不同,地区、工厂条件的不同,运转及管理有着不同情况,应根据不同情况,采取相应的对策,加强运转与管理。气浮装置建成后,抓好运转及管理是提高处理效果的关键,设计与建设再好的装置,运转管理不好也是达不到完美效果的。

4.6 萃 取

4.6.1 萃取原理

向污水中投加不溶于水或难溶于水,但能溶解污水中的污染物的溶剂,使其与污水充分混合接触,将污水中的污染物提取到溶剂相中,然后将污水与溶剂分离,使污水得到净化的方法称为萃取法。如再将溶剂与其中的污染物分离,即可使溶剂再生,而分离的污染物溶质可回收利用。在萃取过程中所用的溶剂称为萃取剂,萃取后的溶剂称为萃取液,萃取后的污水称为萃余液。在污水处理中,液-液萃取法是一个传质萃取过程,是将适当的溶剂加到要处理的污水中,使污水中的污染物溶解到溶剂中,而与污水分离,使污水得到净化。

污水萃取原理如图4.71所示,萃取剂加入萃取罐1中,与污水充分混合,完成萃取传质过程。然后将萃取罐内液体全部放入分离罐2中静置,由于萃取剂与污水密度相差较大,因此,在分离罐中出现了密度不同的上下两层,上层为萃取了污水中污染物的溶剂,下层为萃取后的污水。然后将两层分离开,污水便得到净化分离。萃取过程达到平衡时,污染物在萃取相中的浓度 c_s 与在萃余相中的浓度 c_e 之比称为分配系数 E_x 。

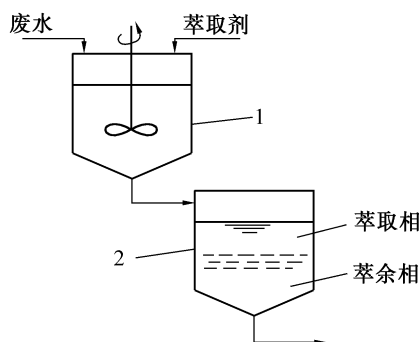


图 4.71 废水萃取分离原理示意图

1—萃取罐 2—分离罐

$$E_x = \frac{c_s}{c_e}$$

某些溶剂萃取含酚污水的分配系数 E_x 见表4.33。

表 4.33 溶剂萃取脱酚的分配系数 E_x (20)

废 水	苯	重苯	醋酸丁酯	磷酸三丁酯	N - 503	803 [#] 液体石蜡
苯酚废水 ①	2.29	2.44	50	64.11	122.1	593
甲酚废水 ②	32.23	34.23	—	744.85	686.58	1 942

① 废水中苯酚的质量浓度为 23.0 g/L。

② 废水中甲酚的质量浓度为 1.6 g/L。

液 - 液萃取的传质速度

$$G = kA\Delta c$$

式中 G ——单位时间的传质量；

k ——传质系数；

A ——传质面积；

Δc ——传质浓度差。

由上式可看出,提高萃取速度(萃取能力)的途径如下。

(1) 增大传质系数 k , 强化液相的湍流程度, 并通过分散相液滴的反复破碎和聚集, 使传质系数增大。另外还要去除可能增加相界面的传质阻力以及不利于萃取的污水中的表面活性物质、杂质等。

(2) 增大两相接触面积 A , 使萃取剂以小液滴的形式分散到污水中去, 分散相液滴越小, 传质比表面积越大。可通过搅拌或脉冲装置来达到分散的目的, 但萃取剂分散过小时, 要防止出现不利于萃取的乳化现象。

(3) 增大传质浓度差 Δc , 采用逆流操作, 可提高萃取相中的溶质浓度, 降低萃余液相中的溶质浓度。

4.6.2 萃取剂

1. 常用的萃取剂

(1) 脱酚萃取剂。萃取法多用于处理含酚污水, 脱酚的萃取剂有煤油、洗涤油、苯、乙酸丁脂、醋酸丁脂、N - 503 粗苯、N503 + 煤油混合液及 803[#] 液体石蜡等。

(2) 磷酸三丁酯(TBP) 等含磷萃取剂。磷酸三丁酯(TBP) 等含磷萃取剂主要用于萃取重金属离子污水。

(3) 三烷基胺等含氮萃取剂。在酸性条件下, 三烷基胺等含氮萃取剂可萃取染料中间体污水中的苯、萘与蒽醌等, 有较高的脱色效果。

(4) 苯、甲苯及轻油。苯、甲苯及轻油可萃取橡胶加工污水中的噻唑化合物等。

2. 对萃取剂的要求

(1) 萃取能力强, 即萃取的分配系数 E_x 要大, 并具有良好的选择性。在萃取过程中不乳

化,不随水流失。萃取剂黏度要小,与污水的密度差要大。表面张力要适中,表面张力太小时,溶剂容易乳化,影响两相分离。若表面张力过大,分离虽然迅速,但分散程度差,影响两相的充分接触,但可通过搅拌加以克服。

(2) 化学稳定性好,难燃难爆,着火点高,毒性及腐蚀性小,凝固点低,不与污水中的杂质发生化学反应。

(3) 易于再生及回收溶质,将萃取相分离后可同时回收溶剂及溶质。

(4) 贮存及运输方便,特别是在低温下要易于贮存及运输。

(5) 价格低廉,易于获得。

3. 萃取剂再生

(1) 物理法。当萃取相中各组分沸点相差较大时,宜用蒸馏法分离,如用乙酸丁酯萃取污水中的单酚时,溶剂沸点为 116,而单酚沸点为 181 ~ 202.5。

(2) 化学法。投加化学药剂使其与溶质形成不溶于溶剂的盐类,如用碱液反萃取萃取相中的酚,形成酚钠盐结晶析出,从而使二者分离。

4.6.3 影响因素

(1) 萃取剂。选择适当的萃取剂极为重要,关系到选用何种萃取设备和萃取剂用量及萃取效果。要选择萃取能力强、化学稳定性好、易于再生与回收溶质、贮藏运输方便、价格低廉及易于获得的萃取剂。

(2) 温度。温度增高,溶质在萃取剂中的溶解度也同时增高,有利于萃取;温度增高时液体黏性降低,有利于萃取剂与水的分离,但温度不宜过高,否则萃取剂在水中的溶解度增大,会增加萃取剂的损失。

(3) 溶剂比。溶剂比是指萃取剂用量与污水处理量之比,由实验确定。溶剂比要适当,用量比过大会造成浪费,用量比过小萃取效果不佳。

(4) 萃取方法。有一次萃取、多次萃取及逆流萃取等。前两种为间歇式,萃取剂与污水一次或多次接触,萃取不完全,仅适用于小流量的污水处理。逆流萃取在萃取塔内进行,使萃取剂与污水逆流接触传质萃取,分别从塔底或塔顶获得萃取相和萃余相。萃取过程连续,萃取剂用量小,适用于较大水量的污水处理。

4.6.4 萃取工艺

萃取工艺操作分三个步骤:一是使污水与萃取剂充分混合接触,使污染物从污水相传递到萃取剂相中;二是使萃取剂与污水进行分离;三是将萃取剂再生。萃取工艺按操作方式不同可分为间歇萃取与连续萃取。间歇萃取流程如图 4.72 所示。间歇萃取一般采用多段方式。污水首先进入图中萃取罐,经过一定时间与萃取剂的混合搅拌后排入分离罐,将污水与萃取剂分离开来,污水再依次进入中间罐及右罐进一步处理。饱和的萃取剂进入再生装置进行再

生回用。由于间歇萃取操作麻烦,设备笨重,因此仅适用于少量污水处理。

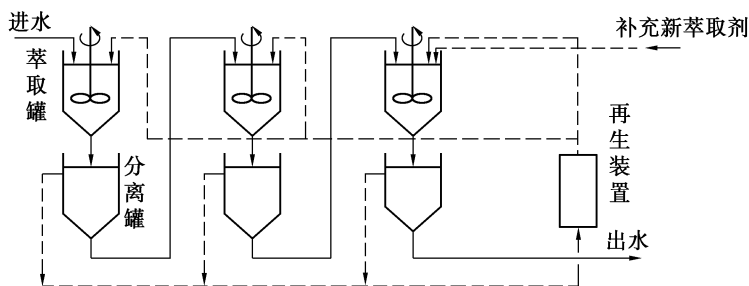


图 4.72 三段逆流间歇萃取流程示意图

连续萃取多采用塔式逆流方式。污水从塔顶流入,从塔底排出,溶剂从塔底流入,从塔顶流出。萃取剂与污水在塔内逆流相对流动,完成萃取过程。由于逆流操作,所以萃取剂进入塔后先遇到低浓度的污水,出塔前遇到高浓度的污水,这样可使萃取剂溶解更多的溶质,所以此种萃取效率高,在实际工程上应用广泛。其主要工艺设备有填料萃取塔、脉冲筛板萃取塔、转盘萃取塔和离心萃取机。

1. 填料萃取塔

填料萃取塔构造如图 4.73 所示。塔中装有瓷环、塑料或钢球、木栅板等。其作用为使萃取剂液滴不断地分散与合并,产生新的液面,避免形成液流和液滴。污水从塔顶进入,溶剂从塔底进入。逆流混合接触萃取后,污水从塔底排出,溶剂从塔顶排出。这种设备的优点是结构简单、造价低廉,操作容易,缺点是处理效率低,填料容易堵塞。

2. 脉冲筛板萃取塔

脉冲筛板萃取塔如图 4.74 所示。塔构造分三个部分,上下两个扩大部分为分离区,是污水相与溶剂相的分离处。中间部分为传质萃取区,在该区内,上下排列着若干块穿孔筛板。穿孔筛板固定在中心轴上,中心轴在电机和偏心轮的带动下使筛板产生上下方向的脉冲运动,使液体剧烈搅动,促进两相更好地混合接触,强化了传质萃取过程。筛板的脉冲频率(单位时间内振动的次数)及脉冲振幅(每振动一次筛板上下移动的距离)要适中,一般由实验确定。若脉冲频率和振幅过小,则传质萃取不充分;反之,则萃取剂被打得过碎不能更好地与污水分离,影响萃取的正常操作。脉冲筛板萃取塔设备简单,传质萃取效率高,流动阻力小,生产能力大,在实际工程上应用较广泛。

3. 转盘萃取塔

转盘萃取塔构造如图 4.75 所示。塔的构造分三部分,上、下两个扩大部分为萃取剂与污水的分离室;中间部分为传质萃取区,在此区内安装许多间距相等、固定在塔体上的环形挡板,构成多个萃取单元。在每对环形挡板的中间位置,均设一块固定在中心旋转轴的转盘,当转盘随中心轴旋转时,产生的剪力作用于液体,致使分散相破裂成许多小的液滴,增加了两

相间的接触面积,提高了萃取效率。转盘萃取塔的优点是生产能力大,缺点是塔高轴大,制造困难。

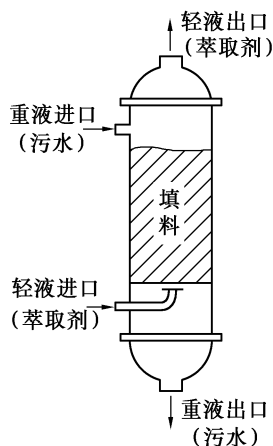


图 4.73 填料萃取塔

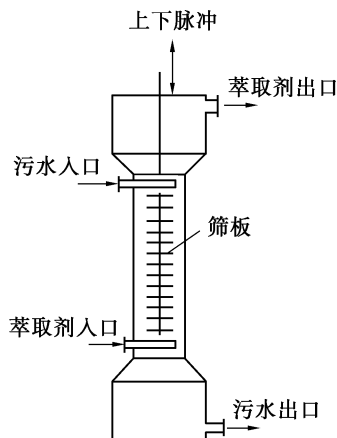


图 4.74 脉冲筛板萃取塔

4. 离心萃取机

离心萃取机构造如图 4.76 所示。离心萃取机为圆筒式卧式转鼓,转鼓内有许多孔口相通的同心圆筒,萃取剂由外层的同心圆筒进入,污水由内层的同心圆筒进入,转鼓高速旋转产生离心力,当转鼓半径为 0.4 m,离心力约为重力的 1 000 ~ 4 000 倍。使污水由里向外,萃取剂由外向里流动,进行连续的逆流接触,最后由外层排出污水,由内层排出萃取液。此种设备的优点为体积小,效率高,停留时间短,特别适用于密度差很小的液-液萃取,缺点是结构复杂,制造困难,电耗大。

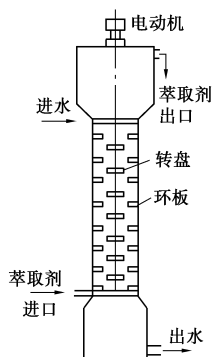


图 4.75 转盘萃取塔

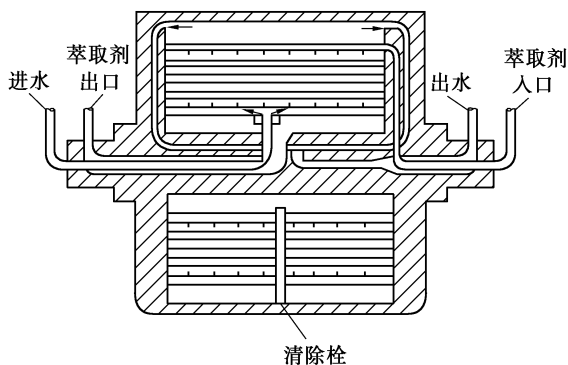


图 4.76 离心萃取机

4.6.5 应用实例

1. 含酚污水处理

煤气厂、焦化厂、石化厂等排放的含酚废水,均可采用萃取法处理回收,其工艺流程如图 4.77 所示。污水应先经除油、澄清和降温后进入脉冲筛板萃取塔,同时由塔底供入二甲苯萃取剂,当污水与萃取剂的流量为 1:1 时,污水中的酚质量浓度由 1 000 ~ 3 000 mg/L 降至 100 ~ 150 mg/L,脱酚率达 90% 以上。萃取液可进入三段串联碱洗塔再生,再生后的萃取液含酚质量浓度降至 1 000 ~ 2 000 mg/L,可再进入萃取塔循环使用,同时可从塔底回收酚钠。

2. 含汞污水处理

氯碱厂的污水中含氯化汞,可采用萃取法处理回收。选用的萃取剂为三异辛基冷胺。在 pH 值较低条件下,其分配系数可达 2 000,萃取速度快,经 15 min 可使污水中含汞质量浓度由 10 mg/L 降至 0.001 mg/L,萃取率达到 99%。萃取相用质量分数为 2.5% 的乙烯二胺进行两级逆流反萃取,反萃取中汞质量浓度达 25 g/L,相当于 2 500 倍的浓缩比,然后从萃取液中回收汞。

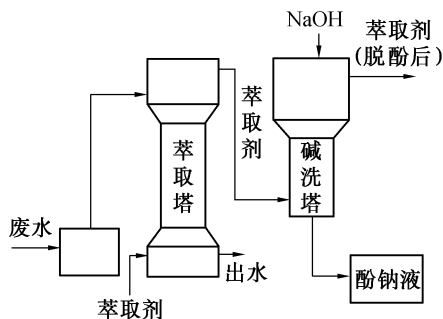


图 4.77 脉冲筛板萃取法脱酚工艺流程图

3. 含重金属污水处理

铜矿排放污水中铜的质量浓度为 230 ~ 1 500 mg/L,同时还含铁等,可采用 N-510 络合萃取剂,在涡流搅拌池中进行六级逆流萃取,每级混合时间为 7 min,总萃取率达到 90%。含铜的萃取液可采用质量浓度为 1.5 mg/L 的硫酸进行反萃取,反萃取所得的硫酸铜溶液采用电解法可得高纯电解铜。已进行脱铜的污水再用氨水除铁,在 NH_3 的投加量约为铁含量的 1/2 时,在温度为 90 ~ 95 °C 条件下反应 2 h,除铁率可达 90%。

4.7 蒸 发

4.7.1 原理构造

利用水加热蒸发的性质,将废水中水分蒸发,从而达到浓缩回用废水中溶质的目的,称为蒸发法。在蒸发过程中,溶解于废水中的溶质并不气化,随着水的蒸发而使溶质的浓度增高,以便分离和回收有用的溶质。常用的蒸发器有自然循环蒸发器、强制循环蒸发器、薄膜蒸发器和浸没燃烧蒸发器。现分述如下。

1. 自然循环蒸发器

自然循环蒸发器构造如图 4.78 所示,其结构分为如下两部分。

(1)加热室。室内加热管由直立管束组成,管径 38~57 mm,管长 2~4 m。废水在管内,蒸汽在管外。加热室中心有 1 根中央循环管,废水自中央管下降经沸腾管上升形成自然循环。循环速度在 0.4~0.5 m/s 以上。

(2)分离室(蒸发室)。分离室(蒸发室)是聚集二次蒸汽并与夹带的水滴分离的部分。此类蒸发器传热面积大,清洗维修简单。但不适宜处理黏滞度大的废水。

2. 强制循环蒸发器

强制循环蒸发器构造如图 4.79 所示。它是在蒸发器的循环管上安装循环泵,使加热室的循环速度提高到 1.5~3.5 m/s。这种设备的优点是传热效果好,适合于处理黏性大和易结晶的溶液,缺点是成本高,能耗大。

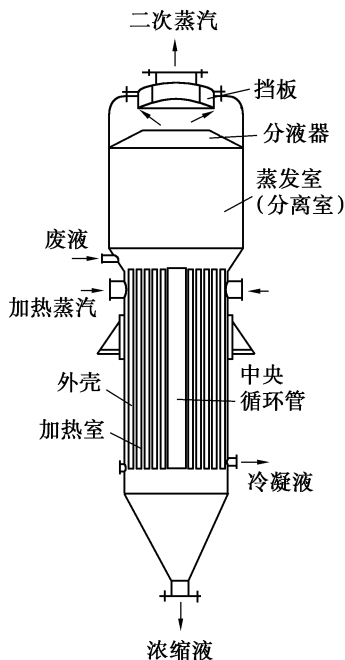


图 4.78 自然循环蒸发器

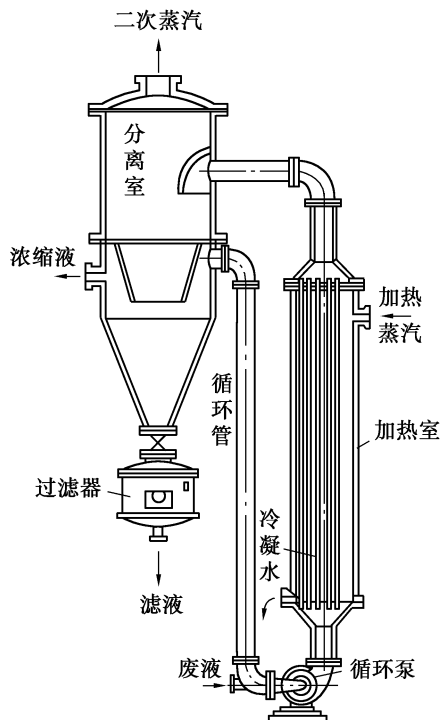


图 4.79 强制循环蒸发器

3. 薄膜蒸发器

薄膜蒸发器有长管式薄膜蒸发器及旋液式薄膜蒸发器两种。

(1)长管式薄膜蒸发器。长管式薄膜蒸发器构造如图 4.80 所示。长管式薄膜蒸发器是

由一束管长 5~8 m, 内径 38~50 mm 的列管组成加热室。废液预热到沸点再从底部进入, 在管壁周围废水沸腾产生蒸汽泡汇集成蒸汽柱上升, 由于蒸汽密度急剧变小, 其上升速度很快, 可达 20~25 m/s。这样, 蒸汽与液体的摩擦力产生了强烈的抽吸作用, 将废液沿管壁拉拽成一层薄膜, 废液在蒸发器的管壁上形成薄膜, 液体便在液膜上升过程中被蒸发。这种蒸发器的自由表面大, 所以传热系数大, 蒸发速度快, 蒸发量也大。

(2) 旋液式薄膜蒸发器。旋液式薄膜蒸发器构造如图 4.81 所示。加热蒸汽从蒸发器上部进入蒸汽夹套, 冷凝水从夹套下部排出。废液从蒸发器顶部 4 个切向长方形进料口进入, 进料口为一细长缝(一般宽 5 mm, 高 260 mm), 高速进入的废液在器壁处形成的旋涡状液膜下降, 其蒸发自由表面大, 蒸发速度快, 二次蒸汽从顶部排出, 浓缩液从底部排出。这种蒸发器结构简单, 传热系数高, 蒸发速度快。

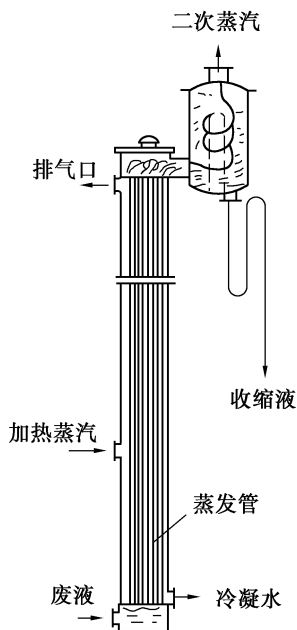


图 4.80 长管式薄膜蒸发器

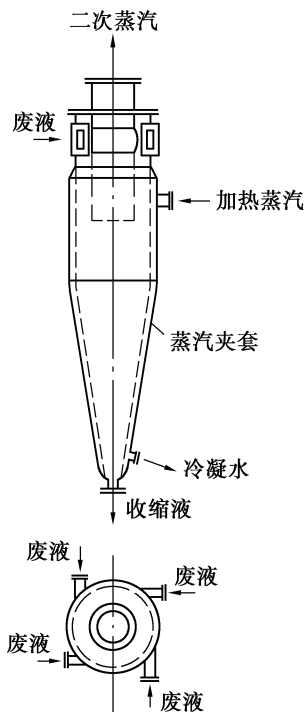


图 4.81 旋液式薄膜蒸发器

4. 浸没燃烧蒸发器

浸没燃烧蒸发器构造如图 4.82 所示, 它是将高温燃烧着的气体直接经燃烧室下部的喷嘴喷入蒸发室的废液内。燃烧室在废液中的浸没深度一般为 200~600 mm, 燃烧室温度可达 1 200~1 800, 从而产生鼓泡搅动, 使废液迅速达到沸点而汽化, 二次蒸汽与烟气一并

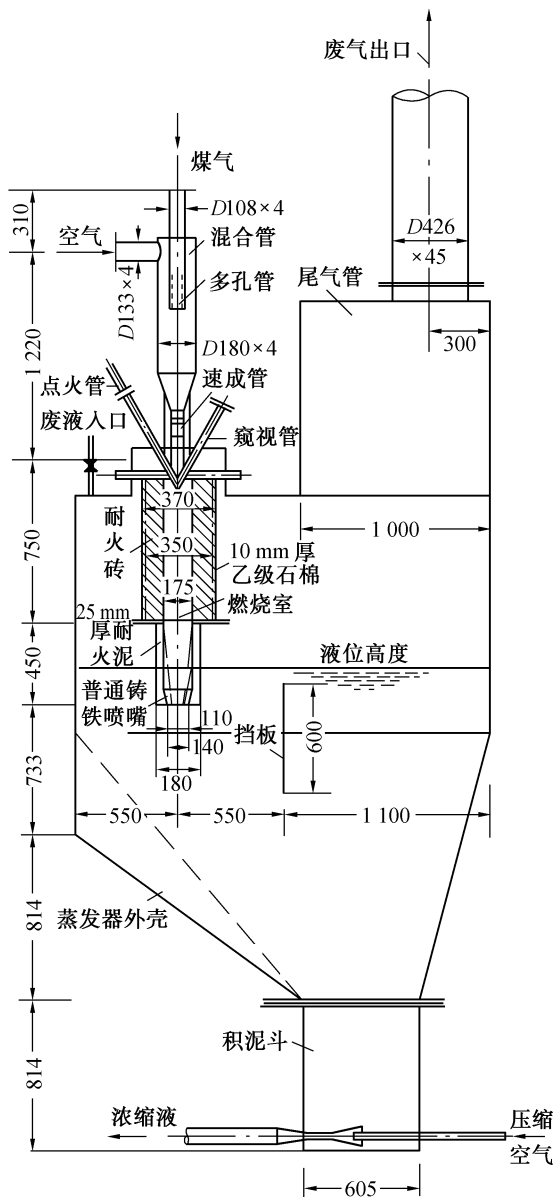


图 4.82 浸没燃烧式蒸发器

由蒸发器顶部排出。这种蒸发器燃烧室的喷嘴浸入废液中,处在高温腐蚀条件下工作,要求耐高温、抗腐蚀的材质。在结构上要考虑更换方便。这种蒸发器目前多应用于酸、碱废液的回收处理。

5. 蒸发器的选用

采用蒸发法回收处理废液时,可根据废液的性质、数量、能耗与价格等因素综合考虑选用。选用时可参阅表 4.34。

表 4.34 各种蒸发器的适用条件

序号	蒸发形式	废水性质							处理废水量	浓缩比	浓缩液浓度可否恒定	总传热系数		价格
		低黏度	高黏度	发泡	结垢	结晶	热敏	腐蚀				黏度/Pa·S (1~50) $\times 10^{-3}$	(1~100) $\times 10^{-3}$	
1	自然循环蒸发器	适合	差	尚适	尚适	适合	不适	尚适	大	良好	可以	高	低	高
2	强制循环蒸发器	适合	可以	适合	好	好	尚适	不适	大	高	可以	高	高	高
3	长管式薄膜蒸发器	适合	差	好	较差	不适	适合	适合	大	良好	尚可	高	低	低
4	旋液式薄膜蒸发器	适合	可以	适合	尚适	适合	适合	不适	小	良好	不可	高	较高	低
5	浸没燃烧蒸发器	适合	可以	尚适	好	适合	不适	好	较大	良好	难	—	—	低

4.7.2 设计计算

1. 传热量(Q)

$$Q = KF\Delta t$$

式中 Q ——传热量 kJ/h ;
 K ——总传热系数 $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot (^\circ\text{C})$ (温差为 1 时单位时间内通过单位面积的热量。总传热系数估计可参阅图 4.83);
 F ——传热面积 m^2 ;
 Δt ——加热蒸汽的饱和温度与废水沸点之差, $^\circ\text{C}$ 。

2. 蒸发量(W)

$$W = D(1 - \frac{B_0}{B_2})$$

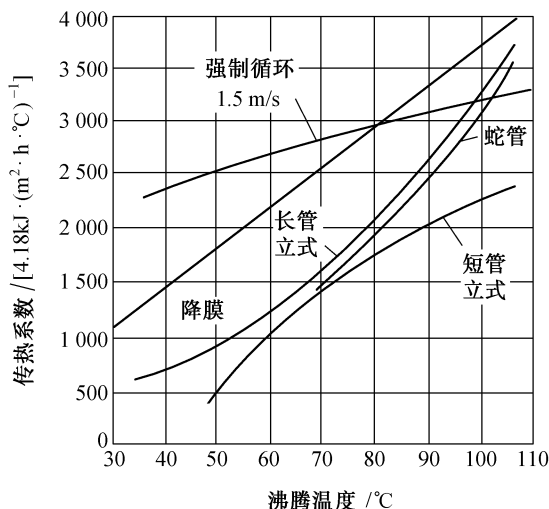


图 4.83 某些蒸发器的总传热系数

式中 W ——蒸发量 kg/h ;
 D ——加热蒸汽流量 kg/h ;
 B_0 ——原废水中有害物质质量分数, % ;
 B_2 ——浓缩液中有害物质质量分数, %。

3. 蒸发强度(q)

$$q = \frac{W}{F} = \frac{k\Delta t}{r}$$

式中 q ——蒸发强度(蒸发水量) $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;
 W ——蒸发量 kg/h ;
 F ——加热面积 m^2 ;
 K ——总传热系数 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$;
 Δt ——加热蒸汽的饱和温度与废水沸点之差, $^\circ\text{C}$;
 r ——废水汽化热 kJ/kg 。

4.7.3 应用实例

蒸发法回用处理废液流程可根据废液的数量、性质、回用的处理要求、经济因素及操作运行管理等因素综合考虑选定。

1. 制浆废水的蒸发浓缩

造纸行业的制浆废水——黑液, 含大量钠盐及有效碱, 含水率 80% ~ 90%, 波美度 10 ~ 15 Be, 不能直接燃烧。可通过蒸发浓缩至含水率 40%, 波美度 40 Be 时, 再输入焙烧炉焙烧。黑液的蒸发浓缩设备, 一般采用多效薄膜蒸发器系统、三效或四效逆流或五效错流流程。

2. 海水淡化

可利用蒸发法进行海水淡化。海水中盐的质量浓度达 30 ~ 35 g/L, 淡化装置可采用单效或多效流程, 海水淡化单效和三效淡化流程如图 4.84 所示。为节约能耗提高蒸发装置的

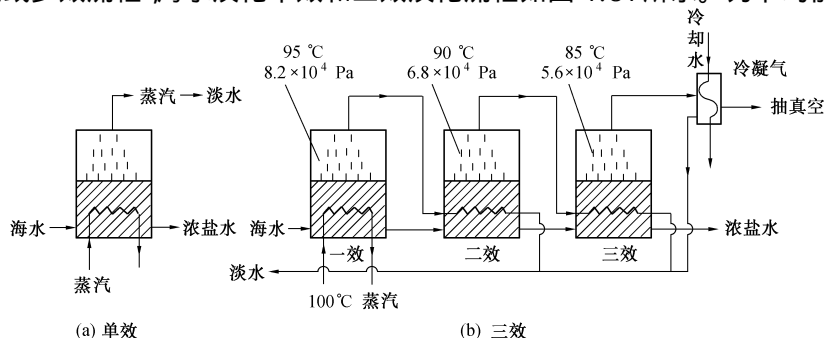


图 4.84 海水淡化单效和多效蒸发原理图

经济效益,常采用多效蒸发流程,即利用二次蒸汽的热量,不同效数蒸发装置的蒸汽消耗量见表 4.35。

表 4.35 不同效数蒸发装置的蒸汽消耗量

效数	理论蒸汽消耗量		实际蒸汽消耗量		
	蒸发 1 kg 水需 蒸汽量 /kg	1 kg 蒸汽能蒸发 的水量 /kg	蒸发 1 kg 水需 蒸汽量 /kg	1 kg 蒸汽能蒸发 的水量 /kg	在该效上增加一效 可节约蒸汽 /%
单效	1.00	1	1.10	0.91	93
二效	0.50	2	0.57	1.75	30
三效	0.33	3	0.40	2.50	25
四效	0.25	4	0.30	3.33	10
五效	0.20	5	0.27	3.70	7

3. 酸、碱废水回收处理

在酸、碱废水浓缩处理时,常采用单效真空蒸发法,其流程如图 4.85 所示。

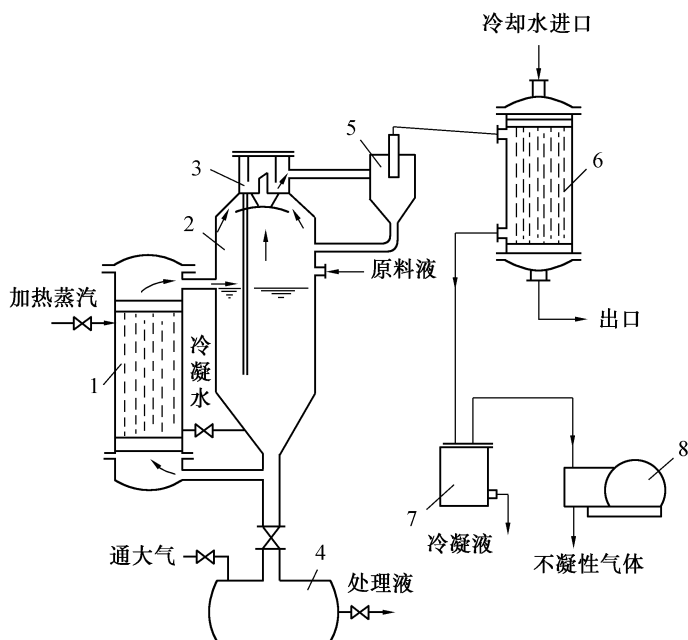


图 4.85 单效真空蒸发流程图

- 1—加热室 2—蒸发室 3—挡板分液器 4—溶液贮槽 5—旋风分离器；
6—冷凝器 7—冷凝液贮槽 8—真空泵

废水由蒸发室入口进入,经循环蒸发浓缩后至溶液贮槽 4,加热蒸汽通入加热室 1,冷凝

后排出;二次蒸汽在蒸发室2经顶部挡板分液器3及旋风分离器5进入冷凝器6后流入冷凝液贮槽7,真空泵8为从冷凝液贮槽抽出少量不凝气体,以保证一定负压,单效真空蒸发流程被广泛用于废水处理,其优点是沸点低,有效温差大,可利用低压蒸汽或废气作为热源,操作温度低,热损失小。但此法需增加冷凝器和真空泵等设备,而且由于蒸汽压力低,水的汽化热增高需增加一些加热量。

4.8 结 晶

4.8.1 结晶原理

结晶是指溶液中具有结晶性能的固体溶质以晶体状态析出的过程。通过蒸发浓缩或降温冷却,使溶液达到过饱和状态,让多余的溶质结晶析出。

溶液中的溶质浓度大于溶解度时,该溶液称为过饱和溶液。此时该溶液中的溶质将会结晶析出。如果溶液恰到饱和状态,则固体溶质的溶解与析出速度相等,此时固体溶质与其溶液处于动态的平衡状态。所以要使溶液中的固体溶质结晶析出,必须首先设法使其溶液呈过饱和状态。

物质的溶解度与它的化学性质、溶剂的性质及温度有关,大部分物质的溶解度随温度的升高而增大。某些盐(碱)在水中的溶解度如图4.86所示。根据溶解度曲线,可以进行结晶的操作运行。采用降低溶液温度或移除一部分溶剂的方法,使溶液呈过饱和状态而析出结晶。结晶可分为两个阶段,即晶核形成阶段与晶体成长阶段。当结晶过程中晶核的形成速度大于晶体的成长速度时,则产品中晶粒小而多;反之则大而少。晶体的粒径大小会影响产品纯度与加工,粒径大的晶体产品得率高,易干燥、沉降、过滤及洗涤,处理后含水量小。但当粒径过大时,易形成晶簇,含母液,洗涤时不易洗掉,影响产品纯度,所以要控制晶体的粒度。

采用降温法结晶时,晶体的大小与温度下降速度有关。当温度急速下降时,形成较多晶核,晶体较小;当温度缓慢下降时,形成的晶核数目较少,晶体较大。当采用蒸发浓缩法结晶时,溶液蒸发速度对结晶过程的影响类似于温度下降速度的影响。

当须控制晶体的数目与大小时,常在结晶前向溶液中加入溶质的微细晶粒状为晶种,可使晶核提前形成。这时溶液中晶核形成过饱和浓度远比未加晶种时低。搅拌可使溶液的浓度和温度均匀一致,剧烈的搅拌有利于晶体的生成,而温和的搅拌有利于晶体的均匀成长。

结晶法与蒸发法有相同之处,同时又有区别。结晶法是利用蒸发浓缩或降温冷却的方法,使溶液达到过饱和,使具有结晶性能的固体溶质析出而回收利用,而蒸发法是蒸发浓缩,使溶剂汽化,使溶质浓缩而回收。

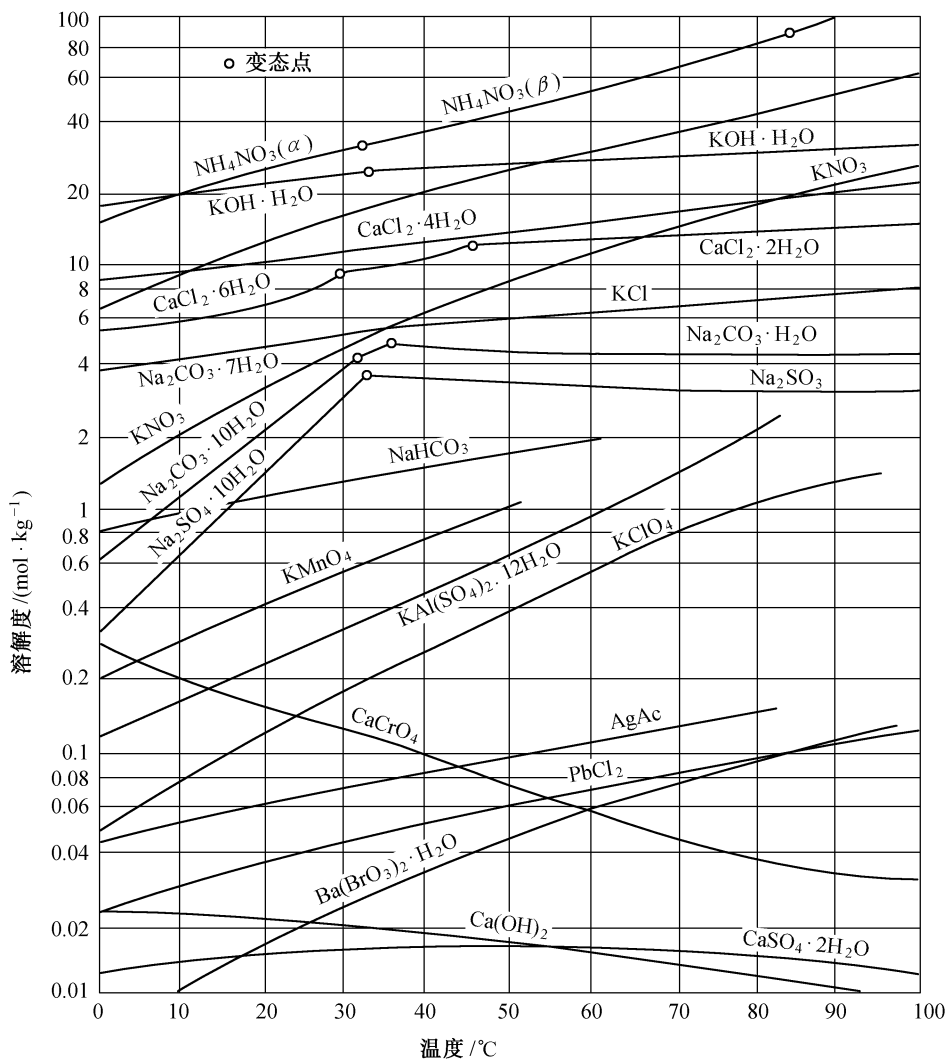


图 4.86 某些盐(碱)在水中的溶解度曲线

4.8.2 结晶方法

结晶的方法有移除一部分溶剂和不移除溶剂两种,前种方法适用于溶解度随温度降低变化不大的物质的结晶,如 NaCl 、 KBr 等,即溶质的过饱和状态可用溶剂在沸点时的蒸发或低于沸点时的汽化而获得;后种方法是溶液的过饱和状态用冷却而获得,适用于溶解度随温度的降低而降低的物质的结晶,如 KNO_3 等。

按操作情况,不移除溶剂的结晶分为水冷却式、冷冻盐水冷却式。移除一部分溶剂结晶

分为蒸发式、真空蒸发式、汽化式等。此外,结晶器还可分为间歇式和连续式,搅拌式和不搅拌式。

1. 真空蒸发式结晶器

真空蒸发式结晶器可以间歇操作,也可以连续操作。连续式真空蒸发结晶器如图 4.87 所示,其工作过程为:溶液由进料口 1 加入,蒸汽由器顶进入,晶体及部分母液用泵 2 排出,泵 3 使溶液沿循环管 4 循环均匀混合。结晶蒸发后的水蒸气至冷凝器 5 中用水冷却,自器顶逸出。真空蒸发式结晶器的优点是构造简单,操作方便,缺点是能耗较高。

2. 循环式结晶器

循环式结晶器如图 4.88 所示,其工作过程为:饱和溶液由进料管 1 进入,经循环管冷却器 3 变为过饱和状态,再沿循环管 4 进入结晶器 5 底部。由此向上流动,与许多悬浮晶粒接触进行结晶,所得结晶及溶液一同循环,直至其沉降速度大于循环速度时,降落器底,自晶体排出口 8 取出。浮至液面上的极微细晶体,则由分离器 7 排出。

为防止废液在管壁上结垢与结晶,溶液的循环速度应保持在 2.5 m/s 以上。

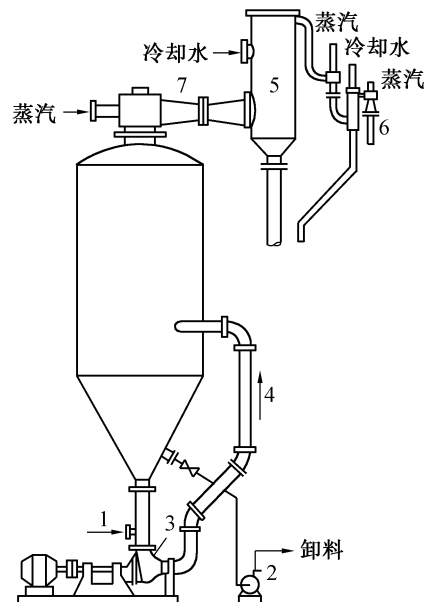


图 4.87 连续式真空蒸发结晶器

1—进料口 2—泵 3—泵 4—循环管 5—冷凝器;
6—双级式蒸汽喷射泵 7—蒸汽喷射泵

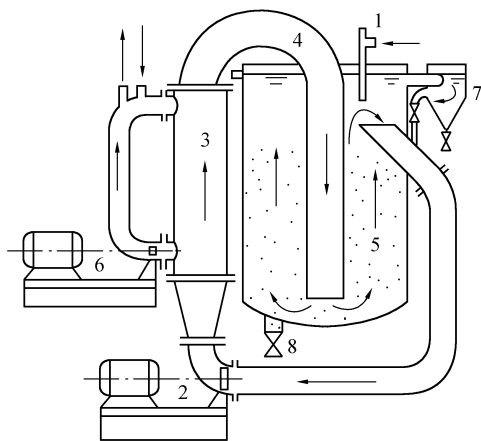


图 4.88 循环式结晶器

1—进料管 2—溶液循环泵 3—冷却器 4—循环管 5—结晶器 6—冷却水循环泵 7—分离器 8—晶体排出口

4.8.3 结晶应用

1. 从含氰废水中回收黄血盐

焦化厂、煤气厂排出的废水含氰质量浓度为 150 ~ 300 mg/L, 可采用结晶法, 其工艺过程为: 加热后的污水进入汽提塔, 再经蒸汽加热到 150℃, 进入吸收塔, 与塔内的铁刨花及 Na_2CO_3 碱液生成黄血盐 $[\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 回收, 可使含氰质量浓度降至 30 ~ 50 mg/L, 然后用生化法净化, 其工艺如图 4.89 所示。

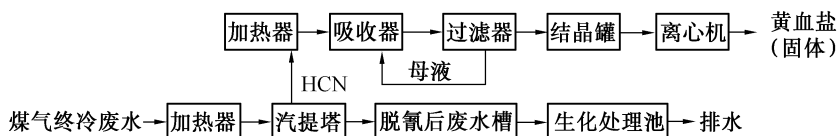


图 4.89 用结晶法从煤气终冷废水中回收黄血盐处理流程图

2. 从酸洗废液中回收硫酸亚铁

金属加工厂排出的废酸液中含硫酸亚铁的质量分数达 17%。在各种温度下, 硫酸亚铁在硫酸溶液中的溶解度是不同的(如图 4.90 所示)。酸洗溶液中的硫酸亚铁可采用蒸汽喷射真空结晶法处理回收(如图 4.91 所示)。废酸液先在蒸发器内蒸发浓缩, 然后在 I、II、III 级结晶器连续进行真空蒸发结晶, 从结晶器内排出的浓浆液在离心机中进行固液分离, 这时 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 晶体被回收, 母液($w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25\%$; $w(\text{FeSO}_4) = 6\%$)再用于酸洗过程。

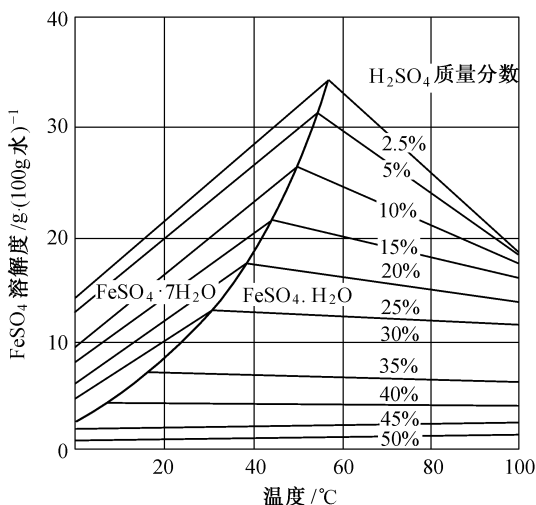


图 4.90 硫酸亚铁的溶解度与结晶的形成关系示意图

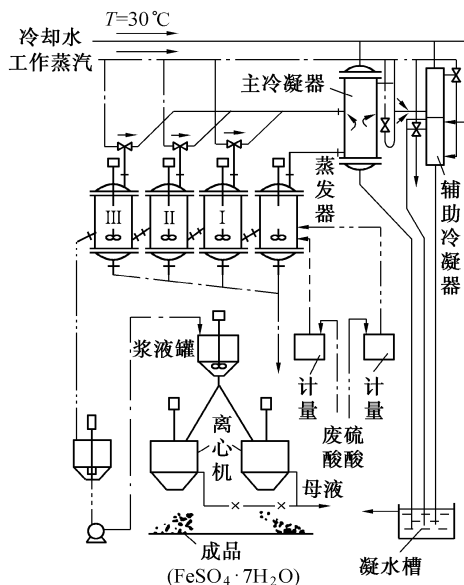


图 4.91 蒸汽喷射真空结晶法流程图

3. 从化工废水中回收钠盐

某化工废水中含有氯化钠、硫酸钠和硫代硫酸钠,可以利用它们不同的溶解度,使其先后到达过饱和状态结晶分离。首先把废液蒸发浓缩,使氯化钠与硫酸钠达到过饱和状态而结晶分离,然后冷却废液,降低硫代硫酸钠的溶解度,在缓慢搅拌下,使其结晶分离回收。

4.9 吹 脱

4.9.1 吹脱原理

把空气通入废水中,使空气与废水充分接触,溶解于废水中的气体(如二氧化碳、氨、硫化氢及二硫化碳等)便从废水传递到空气中去,这种解吸过程称为吹脱。

吹脱法的基本原理是气液平衡及传质速度理论。在气液两相系统中,溶质气体在气相中的分压与该气体在液相中的浓度成正比。当该组分的气相分压低于其溶液中的该组分的浓度对应的气相平衡分压时,就会发生溶质组分从液相向气相的传质。传质速度取决于组分平衡分压和气相分压的差值。对于给定的物系,通过提高水温,使用新鲜空气或负压操作,增大气液接触面积和时间,减少传质阻力,可以降低水中溶质的浓度,增大传质速度。影响吹脱的因素如下。

(1)温度。在一定压力下,气体在废水中的溶解度随温度升高而降低,因此,升高温度对吹脱有利。

(2)气水比。应选择合适的气水比,空气量过大,还会产生液泛,使废水被空气带走,同时也不经济。空气量过小,会使气液两相接触不好。

(3)表面活性剂。当废水中含有表面活性物质时,在吹脱过程中会产生大量泡沫,影响吹脱效率,所以应在吹脱前进行消沫。

(4)油类物质。当废水中含油类物质时,在吹脱时会阻碍挥发物质向大气中扩散,而且会堵塞填料,影响吹脱,所以应在吹脱前除去油类物质。

(5)pH值。在不同pH值条件下,水中挥发物质存在的状态不同。如硫化氢(H_2S)只有在游离状态时才能被吹脱。而只有pH值小时其游离状态存在的百分率才高;当pH值为8~10时,其游离状态存在的 H_2S 百分比最高仅为15%。

4.9.2 吹脱设备

1. 吹脱池

吹脱池一般为矩形,其构造如图4.92所示。在废水流经吹脱池的过程中,不断地向水中通入空气,使废水与空气充分接触,溶解于水中的气体便转移到空气中。此种设备的优点是简单易行,造价低。缺点是脱离效率低,气体不易回收,可能对附近大气产生二次污染。

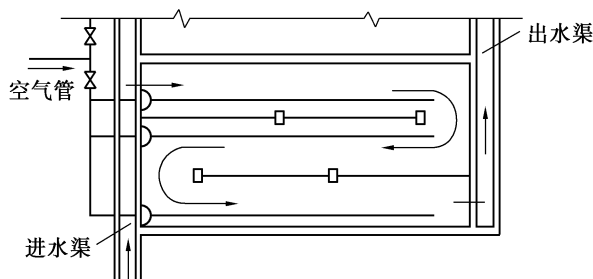


图 4.92 吹脱池结构示意图

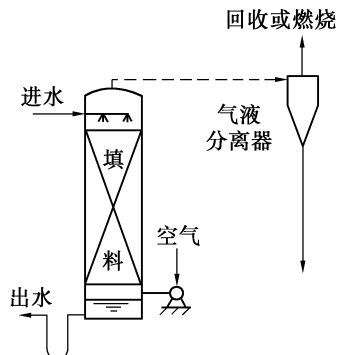


图 4.93 填料吹脱塔结构示意图

2. 吹脱塔

吹脱塔有填料塔、筛板塔等,填料吹脱塔构造如图 4.93 所示。填料吹脱塔常用的填料有瓷环、栅板等。废水自塔顶喷下,空气自塔底通入,在塔内废水与空气进行逆流接触。废水吹脱后从塔底经水封管排出,气体从塔顶排出或分离后进行回收。回收方法可用碱性溶液吸收,如用 NaOH 溶液吸收 HCN,生成 NaCN;用 NaOH 溶液吸收 H_2S ,再将饱和的溶液蒸发结晶回收 NaCN 和 Na_2S ;还可以用活性炭吸附 H_2S ,饱和后用亚氨基硫化物的溶液浸洗 1 h,进行解吸,反复浸洗几次后,向活性炭中通入水蒸气清洗,饱和后的溶剂经蒸发后可回收硫;对 H_2S 进行燃烧,制取 H_2SO_4 等。吹脱塔的优点是吹脱效率高,便于回收气体,可防止对大气的污染,缺点是塔体大,造价高。

4.9.3 吹脱应用

1. 吹脱 CO_2

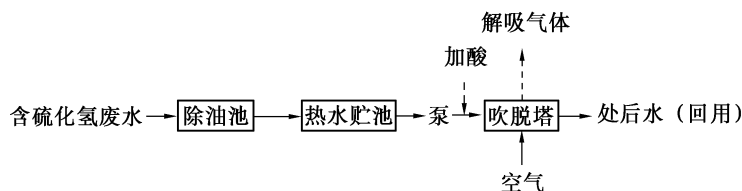
某工厂废水含游离 CO_2 ,质量浓度为 700 mg/L , $\text{pH} = 4.2 \sim 4.5$,使用吹脱池处理。吹脱池池深 1.5 m ,曝气强度 $25 \sim 30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,吹脱时间 $30 \sim 40 \text{ min}$,空气经塑料穿孔管由池底送入,孔眼直径为 10 mm ,间距 5 cm ,吹脱后游离的 CO_2 质量浓度降为 $120 \sim 140 \text{ mg/L}$,出水 $\text{pH} = 6.0 \sim 6.5$ 。

2. 吹脱 H_2S

某厂废水中含 H_2S ,可使用吹脱塔吹脱,其工艺流程如图 4.94 所示。废水先经除油、加热、酸化至 $\text{pH} < 5$,游离 H_2S 质量分数为 100% ,再进入吹脱塔吹脱。吹脱后的 H_2S 循环使用。吹脱塔的填料为拉西环,淋水强度 $50 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,空气用量 $6 \sim 12 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \text{ 水})$ 。

3. 吹脱 NaCN

某选矿废水中含氰化钠(NaCN),它是一种强碱弱酸盐,易水解为氰化氢,可采用吹脱塔吹脱。氰化钠经吹脱后再用 NaOH 碱液吸收,回收氰化钠,重新用于生产。氰化氢的输送采

图 4.94 某厂从含油废水中脱除 H_2S 的流程图

用真空闭路循环系统,可防止漏气中毒。吹脱塔的淋水密度 $7.5 \sim 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水温 $50 \sim 55$,气水比 $25 \sim 35$,pH 值 $2 \sim 3$ 。

4. 吹脱有机溶剂

吹脱有机溶剂工艺流程如图 4.95 所示。汽车涂装工艺产生的阴极液,超滤液为含有机溶剂的高浓度废水。可采用压缩空气吹脱法去除有机溶剂。吹脱后的溶剂蒸汽易被活性炭选择性吸附,再用低压蒸汽解吸冷凝回用。

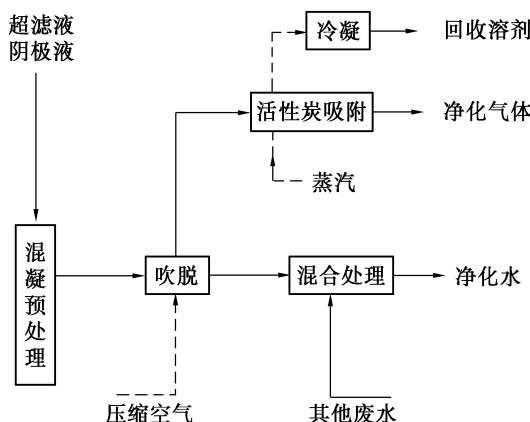


图 4.95 吹脱吸附法处理流程图

吹脱法可在气水比为 $45 \sim 104$ 时,使阴极液及超滤液的 COD 去除率达到 $72.6\% \sim 49.8\%$ 。

4.10 汽 提

4.10.1 汽提原理

把水蒸气直接通入废水中,当废水中的蒸汽压超过外界压力时,废水就开始沸腾,使废水中挥发物质由液相向气相解析传递。另外,当水蒸气以气泡形式穿过水层时,水与气泡之

间形成自由表面,这时液体也就不断地向气泡内蒸发扩散,当气泡上升到液面时就破裂,而放出其中的挥发物质,如挥发酚、甲醛、苯胺、硫化氢、氨等。这种利用蒸汽蒸馏的方法,称为汽提法。汽提法与吹脱法的比较见表 4.36。

表 4.36 汽提法与吹脱法的比较

方法	脱除对象	手 段	操作条件
汽提法	挥发性污染物	蒸汽蒸馏或蒸汽直接加热	在较高温度的密闭塔内进行
吹脱法	溶解性气体与易挥发性物质	空气吹脱	在常温下的吹脱池或塔内进行

4.10.2 汽提设备

汽提通常在封闭的塔内进行,汽提塔有填料汽提塔和板式汽提塔,应用较多的为板式汽提塔,包括泡罩塔、浮阀塔和筛板塔。

1. 泡罩塔

泡罩塔构造如图 4.96 所示。塔内设有若干层塔板,每层塔板一侧设有降液管。运行时每层塔板上形成一定水层的水封,废水经上层降液管流入下层塔板并逐层下流。废水由塔顶供入,如此逐层流下,最后从塔底排出。每层塔板上都设有短管(蒸汽通道),其上覆以钟形泡罩,其底缘浸没于塔板上的液层中形成水封。蒸汽由塔底供入,由蒸汽通道上升,从泡罩底缘的齿缘或水槽分散成细小气流冲入液内,以气泡形式溢出液面,如此通过各层塔板,由塔顶排出。一部分蒸汽分散于液内,形成气泡。同时将液体质点分散成雾滴,夹带出液面。泡罩塔

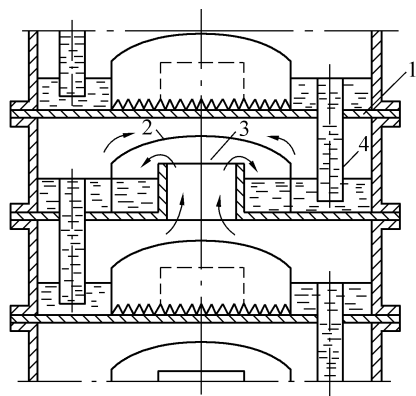


图 4.96 泡罩塔的塔板结构示意图

1—塔板 2—泡罩 3—蒸汽通管 4—降液管

的优点为操作稳定,效率高,不易阻塞,缺点为气流阻力大,布气不够均匀,结构复杂,造价高。

2. 浮阀塔

浮阀塔构造如图 4.97 所示。浮阀塔构造与泡罩塔基本相同,区别是用浮阀代替泡罩和升气管。气流自下而上吹起浮阀,从浮阀周边水平地吹入塔板上的液层,进行两相接触,阀片的开启度随吹入塔内的蒸汽量而异,在较大蒸发流量下可获得较高的传质效率。浮阀塔构造简单,生产能力高,造价低,应用广泛。

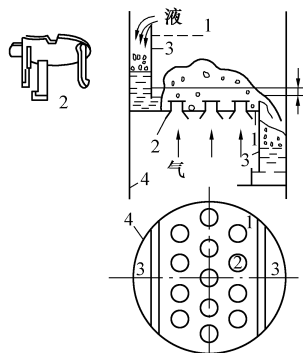


图 4.97 浮阀塔结构示意图

1—塔板 2—浮阀 3—降液管 4—塔体

3. 筛板塔

筛板塔构造如图 4.98 所示。塔内设若干筛板,筛板开孔率 5% ~ 15%。筛孔直径 3 ~ 8 mm。废水自上而下,蒸汽自下而上经筛孔与筛板上的液层进行传质。筛板塔的优点为结构简单、制造方便、造价低。缺点是筛孔容易堵塞、操作弹性小。

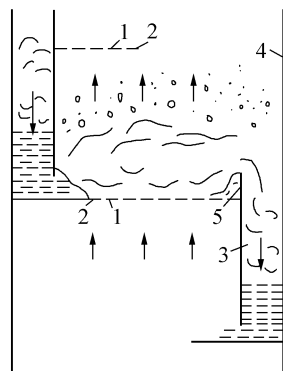


图 4.98 筛板塔结构示意图

1—筛孔 2—塔板 3—降液管;
4—塔体 5—溢流堰

4.10.3 汽提应用

1. 含酚废水处理

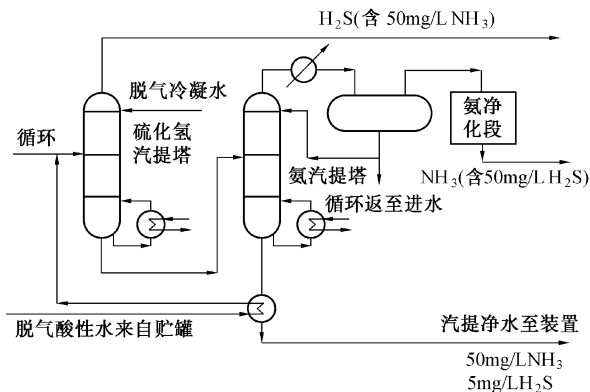
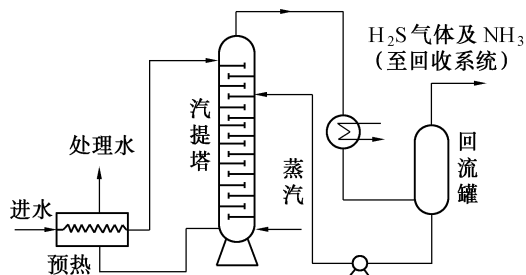
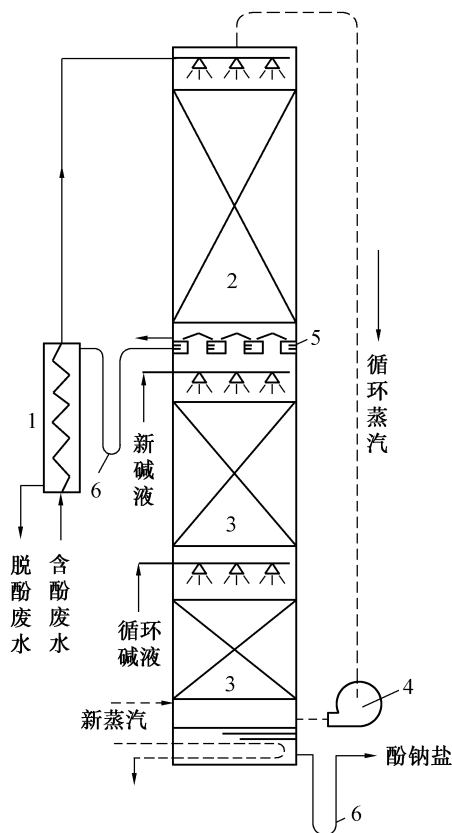
含酚废水处理流程如图 4.99 所示。汽提塔分两段,上段为汽提段,通过逆流接触方式用蒸汽脱除水中的酚;下段为再生段,通过逆流接触用碱液从蒸汽中吸酚。

2. 含硫废水处理

含硫废水处理流程如图 4.100 所示。含硫废水经隔油、预热后从顶部进入汽提塔,蒸汽则从底部进入。在蒸汽上升过程中,不断带走 H_2S 和 NH_3 等。脱硫后的废水,利用其余热预热进水,然后送出进行后处理。从塔顶排出含 H_2S 的蒸汽经冷凝后回流至汽提塔中;冷凝的 H_2S 及 NH_3 进入回收系统制取硫磺及硫化钠,并可得到产品氨水。

3. 双塔汽提含硫废水

双塔汽提含硫废水流程如图 4.101 所示。废水经预热后进入硫化氢汽提塔,经汽提后 H_2S 从塔顶汽提出来,水和氨水从塔底排出,进入氨汽提塔,经汽提后,氨从塔顶蒸出。进入氨精制段,得到精制液氨。从氨汽提塔底排出的水可重复利用。



扩散渗析、电渗析、反渗透和超过滤是膜分离的四项处理工艺,都是通过一种特殊的半渗透膜分离水中离子和分子的技术。使溶质通过膜的方法称为渗析,使溶剂通过膜的方法称为渗透。膜分离在污水处理上用于深度处理(三级处理)。膜分离的推动力来自膜两侧的压力差、电位差或浓度差,详见表 4.37。

表 4.37 膜分离法推动力

方法名称	推动力	分子规格
扩散渗析	浓度差	分离小分子
电渗析	电位差	分离小分子
反渗透	压力差 工作压力为 2 ~ 10 MPa	分离小分子
超过滤	压力差 工作压力为 0.07 ~ 0.7 MPa	分离大分子

膜分离技术的特点是被处理的液体没有物相的变化,无须投加任何物质,可节约化学药剂;可根据膜孔径的大小及膜的选择透过性,将不同粒径的物质分开,使物质得到纯化而又不改变其原有属性;在膜的分离过程中,分离与浓缩同时进行,这样能回收有价值的物质;膜的分离可在常温下进行,不会破坏对热敏感的物质。膜分离法适应性强,操作维护方便,易于实现自动化。

4.11.2 扩渗原理

扩散渗析是使高浓度溶液中的溶质透过薄膜向低浓度溶液中迁移的过程,其推动力是膜两侧溶液的浓度差。现以从酸洗钢铁废水回收硫酸为例说明扩散渗析的原理(如图4.102所示)。扩散渗析的薄膜全部为阴离子交换膜,含硫酸及硫酸亚铁的废水自上而下进入第1、3、5、7原液室,水自上而下进入第2、4、6回收室。原液室中含酸废水的 H^+ 、 SO_4^{2-} 、 Fe^{2+} 离子浓度比回收室高,欲向两侧回收室扩散,但由于是阴膜,只有 SO_4^{2-} 通过,而 H^+ 及 Fe^{2+} 不能

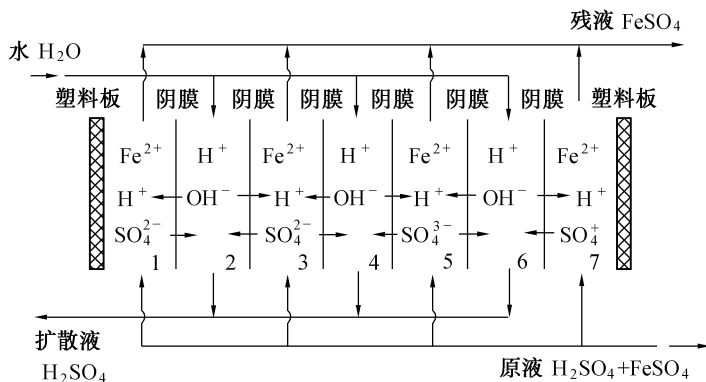


图 4.102 扩散渗析原理

通过。回收室中的 OH^- 通过阴膜进入原液室,与原液室中的 H^+ 生成水;从回收室下端流出的为硫酸;从原液室上端排出的是 FeSO_4 残液。扩散渗析器设备及运行数据见表 4.38。

表 4.38 扩散渗析器的设备及运行数据

项 目	单 位	数 据
隔板尺寸(宽×长×厚)	mm	400×800×1.4
隔板流程长度	mm	670
隔板流水道宽度	mm	360
膜的有效面积	cm^2	2 412
阴离子交换膜	—	S-302 聚砷膜与 818-6 多乙烯多胺膜
隔板数量	个	204(废酸室 102,回收室 102)
废酸处理量	$\text{L}/(\text{h} \cdot \text{台})$	16
废酸液组成	g/L	硫酸质量浓度 60~80,硫酸亚铁质量浓度 150~200
残渣排出量	$\text{L}/(\text{h} \cdot \text{台})$	20.3
水加入量	$\text{L}/(\text{h} \cdot \text{台})$	23.2
回收酸量	$\text{L}/(\text{h} \cdot \text{台})$	18.9
回收酸液组成	g/L	硫酸质量浓度 42~56,硫酸亚铁质量浓度小于 15
酸回收率	%	70(在液量平衡条件下)

4.11.3 扩渗应用

由于扩散渗析过程的推动力为膜两侧浓度差,所以当浓度差小时渗析进行得很慢,需要时间较长。当膜两侧浓度达到平衡时,渗析过程即行停止。通常只将此种方法应用于分离移动速度较快的 H^+ 及 OH^- 。在废水处理中主要用于酸碱回收,回收率可达 70%~90%。某五金厂应用扩散渗析从酸洗钢材酸液中回收硫酸,取得了较好的效果,其工艺流程如图 4.103 所示。

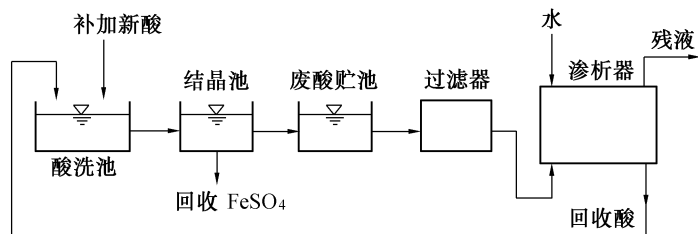


图 4.103 扩散渗析回收硫酸的工艺流程图

4.12 电 渗 析

4.12.1 基本原理

电渗析是在直流电的作用下,利用阴、阳离子交换膜对溶液中阴、阳离子的选择透过性(阳膜只允许阳离子通过,阴膜只允许阴离子通过),而使溶液中的溶质与水分离的一种物理化学过程。电渗析分离原理如图4.104所示。电渗析系统是由一系列阴、阳膜交替排列于两电极之间,组成许多由膜隔开的小水室。当原水进入这些水室时,在直流电场的作用下,溶液中的离子做定向迁移。但由于离子交换膜具有选择通过性,结果使一些水室离子浓度降低而成为淡水室;与淡水相邻的水室则因富集了大量离子而成为浓水室,从浓水室和淡水室分别得了浓水与淡水。这样就使原水中的离子得到分离和浓缩。

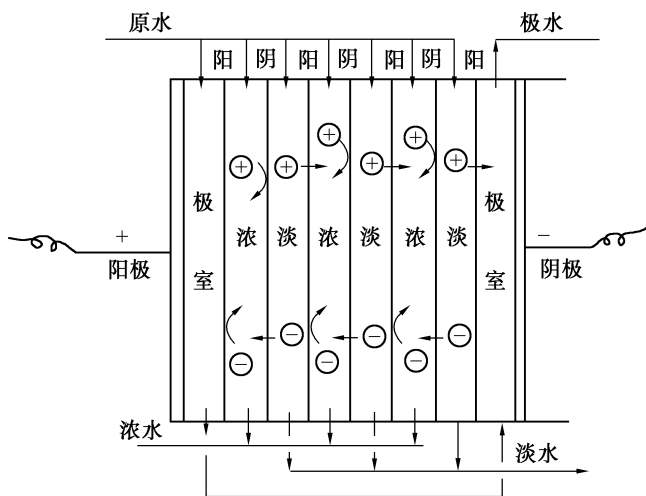


图 4.104 电渗析分离原理图

电渗析可用于废液的处理回收;自来水脱盐制取初级纯水;化工过程产品的浓缩、分离和精制以及海水淡化等。电渗析只能将电解质从溶液中分离出去。而溶液中含有的有机物、胶体物质、微生物等不解离的物质则不能被分离。电渗析使用直流电,设备简单、操作方便。电渗析的耗电量与原水中的含盐量成正比。

4.12.2 离子交换膜

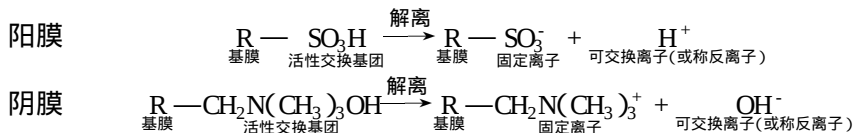
离子交换膜是电渗析的心脏,其性能的好坏是电渗析效能的关键。

1. 离子交换膜的种类

离子交换膜的种类繁多,通常可按膜的结构、膜的活性基团和成膜材料来分类,见表 4.39。

2. 离子交换膜的结构

离子交换膜是一种具有选择透过性、带有活性离子交换基团的高分子薄膜。如磺酸型阳膜和季胺型阴膜的化学式分别为 $R-SO_3H$ 及 $R-CH_2N(CH_3)_3OH$, 式中 R 表示基膜,是骨架部分,是母体。 SO_3H 及 $CH_2N(CH_3)_3OH$ 为活性离子交换基团,将膜浸入水中时,可产生如下反应



阳膜可解离出 H^+ 离子,而膜上留下带负电的 SO_3^- 离子,在膜内可形成足够的负电场,阴膜可解离出 OH^- 离子,而膜上留下带正电的 $CH_2N(CH_3)_3^+$ 离子,在膜内可形成足够正电场, H^+ 及 OH^- 游离于膜的孔隙中。离子交换膜的选择透过性主要是由于活性离子交换基团作用。如将阳膜置于 $NaCl$ 溶液中,膜上活性基团发生解离,形成固定离子基团 SO_3^- (强负电场)。选择性吸附在外加直流电场作用下做定向迁移的 Na^+ 离子。

由于膜的扩散作用,被吸附的 Na^+ 还会被解析下来,被下一个 SO_3^- 基团吸附,膜对离子的吸附、解析是交替进行的。这样,溶液中的 Na^+ 离子就沿膜的孔隙通道从膜的这一侧迁移到另一侧,由于阳膜形成的强负电场, Cl^- 离子被阻止通过,详见阳膜结构示意图 4.105。同样,阴离子 Cl^- 在阴膜中的迁移过程也是如此。

3. 离子交换膜的性能

(1) 物理性能

① 外观要求平整、光滑、无针孔、无轧皱、柔韧、无油污、不脱网及不嵌杂质等。

② 厚度要求均匀,单张膜厚度公差小于 10%。在不影响机械强度情况下,膜越薄越好。一般异相膜厚度约 1 mm,均相膜厚度约为 0.2~0.6 mm,最薄的为 0.015 mm。

表 4.39 离子交换膜分类

离子交换膜	按膜体结构	- 异相膜 - 半均相膜 - 均相膜
	按活性基团	- 阴离子交换膜 - 阳离子交换膜 - 特种膜
	按材料性质	- 有机离子交换膜 - 无机离子交换膜

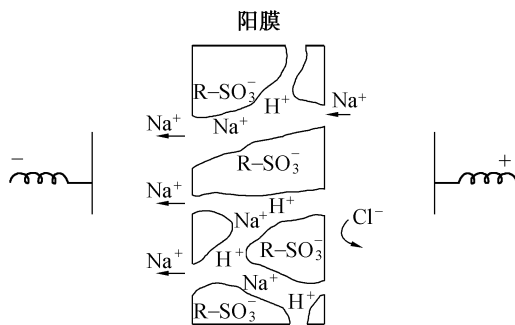


图 4.105 阳膜结构示意图

③机械强度(爆破强度) ,应大于 100 kPa。

④溶胀度 ,在 25 的水中浸泡 48 h 的钠型或氯型干膜 ,其线型溶胀度不超过 5%。

⑤含水量 ,表示湿膜所含水的百分数 ,一般为 30% ~ 50%。

(2)化学性能

膜在 25 以下分别浸泡于质量分数为 4% 的 NaOH 和 5% 的 HCl 溶液中 48 h ,其交换容量不下降。膜的交换容量为单位质量的干膜所含活性基团的物质的量 ,一般为 1 g 干膜 1 ~ 3 mmol。

(3)电化学性能

①膜电阻 ,反映膜在电解质溶液中的导电性能 ,与膜内活性基团性质与数量有关。在不影响膜的其他性能的条件下 ,膜电阻越小越好。

②膜的选择透过性 ,是反映膜对阴(阳)离子选择透过功能和程度的重要指标。

③电解质的渗析 ,膜与两侧不同浓度溶液接触时 ,电解质离子从高浓度侧向低浓度侧渗析 ,而同时水从低浓度侧向高浓度侧渗透 ,这对脱盐率、淡水产率和电流效率均不利 ,应尽量减少。可采用适当增加交联度、控制膜的含水率和交换容量等措施来解决。国产部分离子交换膜性能见表 4.40。

4.12.3 电渗析装置

电渗析器由离子交换膜、隔板和电极组成 ,分为少室器及多室器 ,少室电渗析器只有 1 对或数对阴阳离子交换膜 ,而多室电渗析器可有几十对乃至几百对阴阳离子交换膜 ,其构造如图 4.106 ~ 4.110 所示 ,其特征见表 4.41。

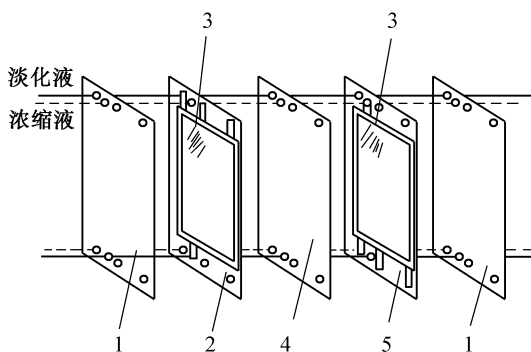


图 4.106 电渗析器内部结构

1—阴离子交换膜 2—淡水室隔板 3—隔板网 4—阳离子交换膜 5—浓缩室隔板框

(1)离子交换膜。离子交换膜有阳膜、阴膜和复合膜等多种。其结构与离子交换树脂组成相同 ,含有活性基团和使离子通过的细孔。

(2)隔板。隔板是用塑料板做成的很薄的框 ,其中开有进出水孔 ,在框的两侧紧压着膜 ,

表 4.40 国产部分离子交换膜性能参数

膜 名 称		牌 号	厚度 /mm	含水率 /%	交换容量 /(mmol·g ⁻¹)	膜面电阻 /(Ω·cm ⁻²)	选择透过 性/%	化学稳定性	爆破强度 /MPa	主要用途	生产单位
聚乙烯系异相膜	阳膜 阴膜	3361	0.4~0.5	35~50	≥2.0	≤12	≥92	一般	>0.3	给水脱盐,一般化工分离、中等酸碱性废水处理	上海化工厂
		3362	0.4~0.5	35~45	≥1.5	≤13	≥90				
聚氯乙烯半均相膜	阳膜 阴膜	KM CM	0.25~0.45	35~45 23~35	1.3~1.8	≥15	≥90	一般	>0.1	给水脱盐、一般化工分离、酸碱性废液处理	化工部晨光化工研究院三分厂
含浸法聚乙烯系均相	阳膜	CM- 001	0.3	35	2.0	< 5	≥95	较好	> 0.35	给水脱盐、化工分离、提纯、废水处理 电解隔膜等	上海嘉定封滨化工厂
含浸法聚乙烯系均相	阳膜	E - 105	0.28~0.3	35~40	2.0	5~6	≥95	较好	> 0.35		浙江湖州化工厂
聚砜型均相阴膜		S203	0.2~0.3	20~35	1.1~1.5	< 8	≥90	耐酸	≥0.6	渗析法回收废酸	浙江镇海环保设备厂 浙江余杭争光塑料化工厂
聚偏氟乙烯均相阳膜		F101	—0.2	25~35	1.6~1.8	< 10	95~97	耐酸 抗氧化	>0.7	电池隔膜、电解隔膜	江苏江阴化工一厂
聚苯醚均相阳膜		P102	0.2~0.5	28~35	1.5~1.8	< 10	98	耐碱耐温	—	电解隔膜	浙江湖州化工厂
乙丙橡胶均相膜	阳膜 阴膜	KM AM	0.45~0.50	33~34 26	2.5~3.0 2.5~2.6	5~6 13	96.2 83.6	较好	>0.6	给水脱盐、废水处理	北京市顺义水处理设备厂

使框中形成水室,可以通过水流。生产上使用的电渗析器由许多隔板与膜组成。

(3)电极。电极是提供直流电形成电场,常用的电极有石墨电极、铅板电极及铅银合金电极等。

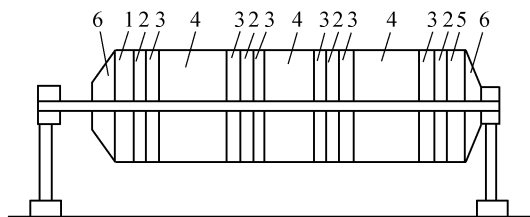


图 4.107 压滤型电渗析垂直组装示意图

1—阳极室 2—供液框 3—压紧框 4—离子交换膜
堆 5—阴极室 6—压力机

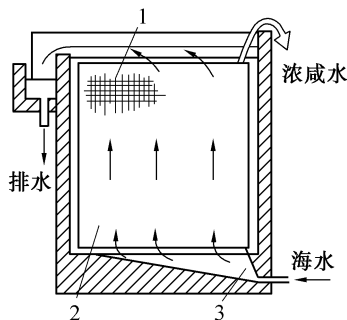


图 4.108 水槽型电渗析器的单室构造

1—隔网 2—浓缩室 3—整流构造

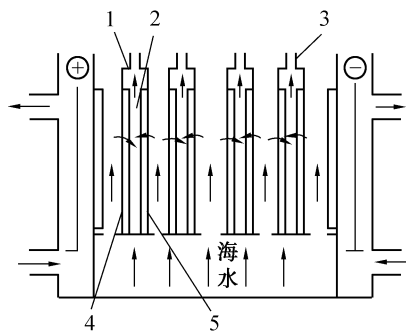


图 4.109 联合水槽型电渗析槽

1—单室 2—浓缩室 3—浓咸水出口 4—阳离子
交换膜 5—阴离子交换膜

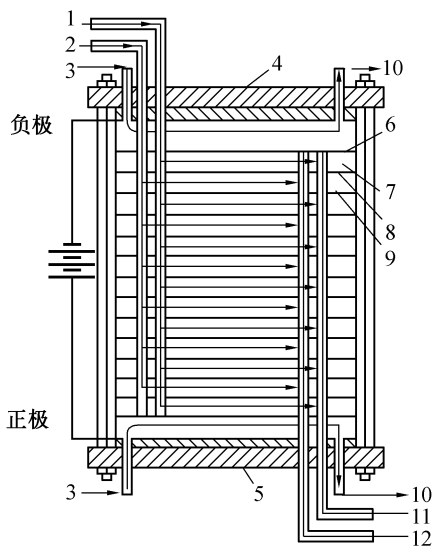


图 4.110 水平式组装的电渗析器

1—原水入口 2—浓水入口 3—极水入口 4—上
顶板 5—下顶板 6—阳膜 7—淡室隔板 8—阴
膜 9—浓室入口 10—极水入口 11—淡水出口 ;
12—浓水出口

表 4.41 压滤型和水槽型电渗析器的特征

项 目	压 滤 型	水 槽 型
使用场合	除盐和浓缩	浓缩
构造	全部装置可紧凑地组装在一定空间内 ,能设置很多隔板	构造简单 组装容易
浓缩度	一般较低 ,但必要时可提高	高
膜的更换和检修	比较困难	比较容易
膜间距 /mm	0.75 ~ 1.00	比压滤型稍大些

4.12.4 应用实例

电渗析广泛用于海水浓缩制盐、电解食盐制取烧碱和食品以及医药的提纯和纯水制取等。在污水处理上常用于电镀、重金属废水处理回用及造纸污水处理等。

(1)处理电镀含镍废水。电渗析处理回收电镀含镍废水原理如图4.111所示, NiSO_4 的回收率可达80%。另外通过电渗析—离子交

换—电渗析组合工艺可以在镀镍工艺中形成封闭系统,其组合流程如图 4.112 所示。国外某厂利用电渗析和反渗透处理漂洗废水形成的闭路循环系统如图 4.113 所示。

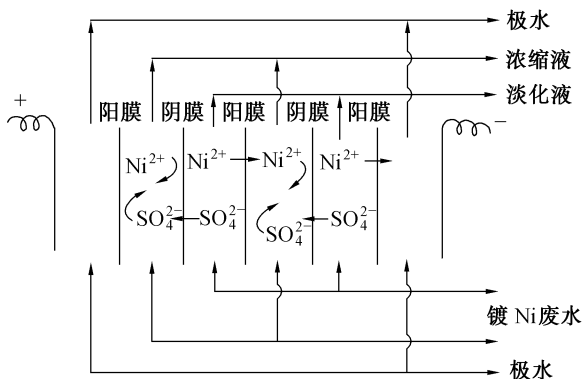


图 4.111 电渗析回收 Ni 原理

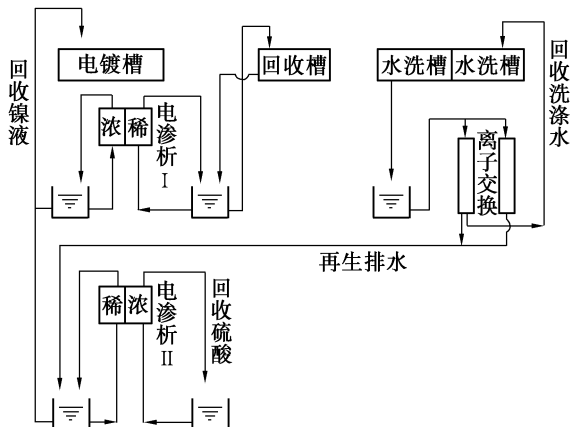


图 4.112 电渗析—离子交换—电渗析组合流程图

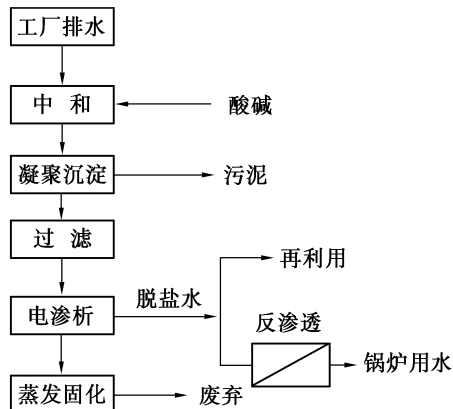


图 4.113 电镀废水的闭路循环系统

(2)重金属废水处理。采用电渗析与离子交换法联合工艺,处理回收含铜锌废水,其工艺流程如图 4.114 所示。经处理后的废水含铜质量浓度可从 100 mg/L 降至 1 mg/L。

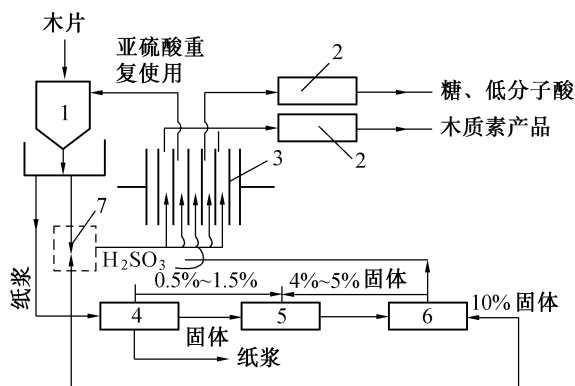


图 4.114 用电渗析法和反渗透法处理亚硫酸纸浆废液流程图

1—蒸煮器 2—蒸发器 3—电渗析器 4—纸浆废水 5—低压反渗透 6—高压反渗透；
7—亚硫酸纸浆废液槽（10%固体）

(3)造纸废水处理。采用电渗析和反渗透法处理造纸含亚硫酸废液时,盐离子的去除率达 30%,还可从造纸废液中回收化学药品,取得了较好的效果,其工艺过程如图 4.115 所示。

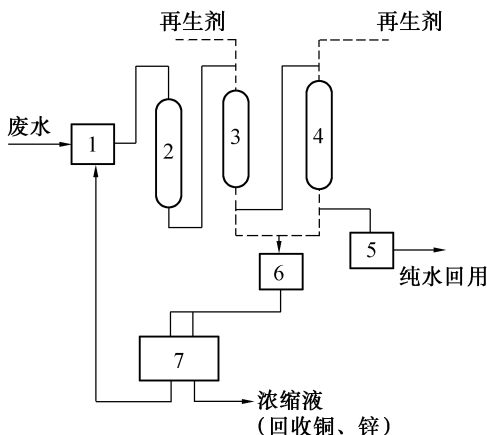


图 4.115 电渗析法处理含铜、锌离子废水流程图

1—废水槽 2—过滤器 3—阳柱 4—阴柱 5—纯水池；
6—再生废液槽 7—电渗析器

4.12.5 操作运行

(1)电渗析器运行前的准备。检查水、电系统安装得是否正确,接头是否牢固,开泵前检查水泵转向是否正确,有无漏气及漏水现象,开泵时应以较大流速通水,将内部空气排走。

(2)电渗析器的运行。运行开车时先通水后通电,停车时应先停电后停水,防止停水不停电,引起极化与结垢,在流量及压力稳定情况下,开启整流器,使电渗析投入正常运行。随时观察水压、流量、电流及电压值,若有异常,要及时调整,要随时检查出水水质情况,水质下降时要及时反冲清洗。

(3)电渗析器的维修。电渗析器在长时间运行过程中,可能产生结垢及极化等,影响处理效率,要及时进行维修。

①定期酸化。电渗析膜的结垢大部分是碳酸钙和氢氧化镁,可用酸洗溶解清除。对有机物污染的膜,可先用质量分数为 10% 的 NaCl 和质量分数为 2% 的 NaOH 清洗,然后再酸洗。

②定期倒换电极,可防止和消除电渗析内部结垢,一般手动倒换电极周期为 2~24 h,采用自动控制时,电极倒换周期可大大缩短。

③控制工作电流,在极限电流密度以下运行,可防止浓差极化、减少沉淀与结垢。

④向浓水及极水中加入少量酸及隐蔽剂(六偏磷酸钠或羧甲基纤维素),可防止膜的结垢。

⑤控制进水水质,防止含悬浮物杂质的水进入电渗析器。

(4)电渗析器常见故障产生原因及解决办法见表 4.42。

表 4.42 电渗析器常见故障、产生原因及解决办法

常见故障	产生原因	解决办法
电渗析器变形	隔板边框压得太紧,或用力不均产生弯曲	适当松动紧固螺杆,进行调节
	隔板收缩变形	更换隔板,隔板器可加热预缩稳定
	锁紧螺杆时,用力不均使膜偏移	拆开重装
	突然升降压产生冲击作用,使隔板外凸或膜堆内凹	开关阀门不要过猛,使压力缓慢升降,停泵时先关阀门后停泵
	因蒸发失水、虹吸等产生真空	在出水管最高处安装破坏虹吸真空装置
隔板边框内凹或外凸,引起漏水或电流效率下降	开启进水阀或水泵太快,引起冲击。关闭阀门太快,引起虹吸设备内产生真空	变形严重的隔板应更换,重新组装。开关水泵及阀门时应缓慢进行

续表 4.42

常见故障		产生原因	解决办法
水泵供水	水中带有大量气泡	水泵或管道漏水漏气,水中有气泡	检修水泵及管道
	水泵空转流量与压力急剧下降至零	水泵被杂物堵塞,吸水管阀的闸板脱落	去除杂物,检修阀门
配水管漏水或破损压力流量下降		接口法兰螺栓未拧紧,管道产生裂纹,管内有空气未排出,产生水锤造成管道破裂	拧紧螺栓,更换或补焊管道,管道上安装排气阀排气
极水压力升高,流量下降,极水管道排出乳白色沉淀物		极室沉淀结垢严重,影响极水流畅	拆修除垢,使极室流水通畅
水流阻力增加,水压过高,流量过低或有压力不出水		水中杂质带入电渗析器内	除去水中杂质
		过滤设备堵塞	反冲洗
		过滤设备滤料流失或滤布破损	更换滤料、滤布
		电渗析器内有水垢或沉淀物	酸洗或拆修
		部分隔板框网收缩变形	更换部分隔板
		隔板和膜的进出口未对准	拆开重新组装
		级段间水流倒向时,进出水孔堵塞	拆开重新组装
		膜发生胀缩,挡住配水孔和水槽	组装前将阳膜放在浓盐水中,将阴膜放在盐水中浸泡 1~2 d,待充分胀缩后再使用
漏水,流量提不高,酸洗时漏酸腐蚀压板及基础		隔板及膜厚薄不匀,隔板与隔网不匹配无法压紧	挑选厚度均匀的隔板,重新组装
		隔板边框处有杂物或隔板破裂	清除杂物,更换破裂隔板
		总膜堆太厚,不易压紧	减少总膜堆厚度,采用分级组装
		压紧装置的螺杆未拧紧,隔板及膜发生移动	拧紧螺杆
淡水出水水质不好或反常		阴阳膜或浓淡水隔板装错,多级多段的倒向连接错误	拆开重新组装
脱堆发热,出现烟雾焦灼味		水流分布不匀,部分隔室无水通过	拆开重新组装
		膜堆与螺杆相碰	排除相碰
		断水时未断电	断电

续表 4.42

常见故障	产生原因	解决办法
电流反常,除盐率偏低	阴阳膜或浓淡室隔板装错,进水,循环水混淆或装错	重新组装
	膜破裂	去除破损的膜
电流偏低,除盐率降低	膜受污染,性能下降	用酸碱清洗膜
	电极丝折断或电极板腐蚀剥落	更换
	电流线路接触不良	保持接触良好
除盐率降低,压力未升高	膜老化、膜破裂、阀门漏	检查维修更换
膜面有沉淀物,阴膜呈棕褐色,阳膜呈黄色	极化沉淀,胶体,有机物、铁、锰使膜污染	加强水质预处理及膜的清洗

4.13 反 渗 透

4.13.1 基本原理

反渗透是施加压力将溶液中的水通过反渗透膜分离出去,而浓缩溶液回收溶质的方法。因为它与自然渗透方向相反,所以称为反渗透。反渗透原理如图 4.116 所示,图(a)表示纯水与盐水被半渗透膜隔开,纯水通过半渗透膜向盐水侧扩散渗透;图(b)表示扩散渗透使盐水侧溶液面增高,直至达到动态平衡,称为正渗透。此时,半渗透膜两侧溶液的液位差称为渗透压(π)。几种水溶液的渗透压见表 4.43;图(c)表示盐水侧施加一个外部压力 p ,随着压力的增加,盐水侧的水分子逐渐渗透到纯水中。盐水侧液位下降,纯水侧液位升高。当施加于盐水侧压力等于渗透压 π 时,两侧液位相等,保持动态平衡。如果继续向盐水侧施加压力,当 $p > \pi$ 时,盐水侧液位继续下降,纯水侧液位继续升高。这种现象称为反渗透。

表 4.43 几种水溶液的渗透压(25 °C)

组分	质量浓度/(mg·L ⁻¹)	渗透压/MPa	组分	质量浓度/(mg·L ⁻¹)	渗透压/MPa
NaCl	1 000	0.078	Na ₂ SO ₄	1 000	0.043
NaCl	2 000	0.16	MgSO ₄	1 000	0.028
NaCl	35 000	2.8	MgCl ₂	1 000	0.071
海水	32 000(NaCl)	2.4	CaCl ₂	1 000	0.057
苦咸水	2 ~ 5 000(NaCl)	0.105 ~ 0.28	蔗糖	1 000	0.007
NaHCO ₃	1 000	0.092	葡萄糖	1 000	0.014

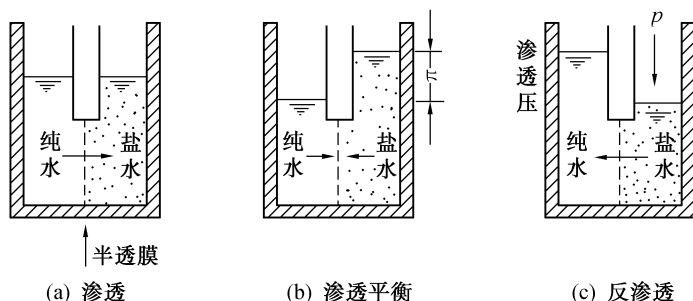


图 4.116 反渗透分离原理图

反渗透分离过程要求操作压力必须高于溶液的渗透压。另外还要求必须有一种高选择性或高渗透性(一般指透水性)的半渗透膜。反渗透的分离过程如图 4.117 所示,当盐水与膜表面接触时,在膜的界面上选择地吸附一层水分子,在反渗透压力的作用下,通过膜的毛细管作用连续地流出纯水。而盐类溶质被膜排斥,大分子有机物及微生物因其粒径比膜孔大而被筛除。

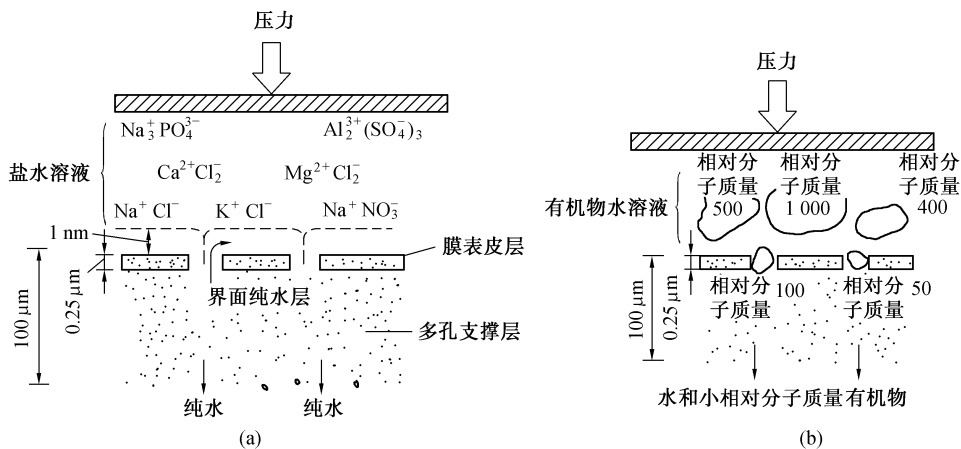


图 4.117 反渗透膜的分离机理示意图

4.13.2 反渗透膜

反渗透膜是反渗透的关键,因此要求反渗透膜应具有较好的分离透过性和物化稳定性,包括膜使用的温度、压力、pH 值和膜的耐氯、耐氧化及耐有机溶剂性能等。反渗透膜的种类很多,以成膜材料分为纤维素脂类膜及非纤维素脂类膜两大类。

1. 二醋酸纤维素膜(CA 膜)

二醋酸纤维素膜结构如图 4.118 所示,它是由乙酰基质量分数为 39.8% 的醋酸纤维素

材料作骨架制成的膜。该膜的优点为具有透水速度快、脱盐率高、耐氯性好、价格便宜。缺点为易受微生物侵蚀,易水解。CA膜对某些离子及有机物的去除率见表 4.44。

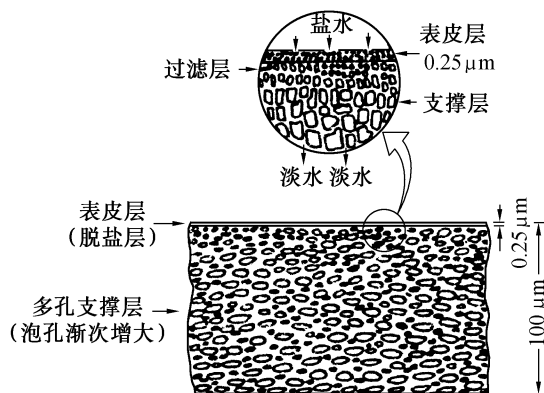


图 4.118 CA 膜的断面结构示意图

表 4.44 CA 膜对某些离子和有机物的去除率范围

名称	去除率 / %	名称	去除率 / %	名称	去除率 / %
Mn^{4+} 、 Mn^{6+}	约 100	SO_4^{2-}	90 ~ 99	DDT	97
Fe^{2+} 、 Fe^{3+}	约 100	CO_3^{2-}	80 ~ 99	可溶淀粉	91
Al^{3+}	95 ~ 99	HCO_3^-	80 ~ 98	葡萄糖	99
Ca^{2+}	92 ~ 99	F^-	80 ~ 97	蛋白质	98 ~ 100
Si^{4+}	85 ~ 95	Cl^-	85 ~ 95	染料	100
Na^+	75 ~ 93	NO_3^-	58 ~ 86	蔗糖	98 ~ 99
NH_4^+	70 ~ 90	油酸钠	99.5		
PO_4^{3-}	约 100	硬脂酸钙	99.5		

2. 中空纤维素膜

中空纤维素膜结构如图 4.119 所示。我国生产的这种膜,可应用于低盐度苦咸水淡化及超纯水设备,在 1.5 MPa 压力下,对质量浓度为 3 000 mg/L 的氯化钠水溶液可获得 85% 的分离率和 $0.12 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的水通量。

3. 芳香族聚酰胺膜

美国杜邦公司的“B-9”膜、“B-10”膜应用广泛,“B-9”膜“适用于质量浓度为 10 000 mg/L 以下的苦咸水淡化,使用温度 $0 \sim 35^\circ\text{C}$, pH 值 $4 \sim 11$ 。”“B-10”膜适合于海水一级脱盐。

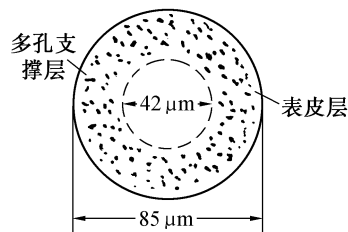


图 4.119 中空纤维膜单丝剖面

4. 聚苯并咪唑酮膜(PBIL 膜)

聚苯并咪唑酮膜具有良好的化学稳定性及热稳定性,主要应用于碱性或酸性废水处理及电镀废水处理。

5. PEC - 1 000 复合膜

PEC - 1 000 复合膜具有极高的脱盐率及耐热性, pH 值适合范围 1 ~ 13,对有机溶剂有良好的分离性能。

6. NS - 100 复合膜

NS - 100 复合膜超薄脱盐致密层是由聚乙烯亚胺和 2,4 二异氰酸甲代亚苯基进行界面缩合交联制成。对有机溶剂有较好的分离性能和较好的耐微生物侵蚀性。

4.13.3 反渗透装置

反渗透装置有平板式、管式、螺旋卷式和中空纤维式四种。

1. 平板式反渗透装置

平板式反渗透装置构造如图 4.120 所示,它由若干块承压板、微孔支撑板及反渗透膜组成。反渗透膜放置在微孔板上,微孔板和承压板相互交错重叠在一起,用螺栓拧紧,外环用“O”型圈密封圈支撑。处理水由顶部进入,浓缩水由底部排出,中间为串联通道,处理后的淡水可从每块微孔板中引出。

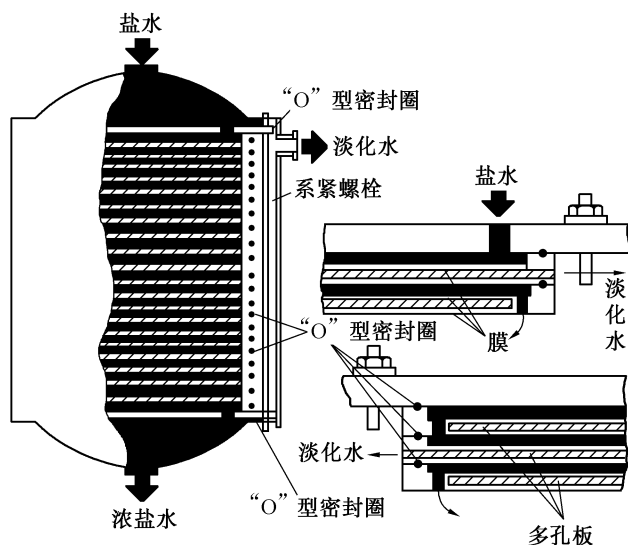


图 4.120 平板式膜组件

2. 管式反渗透装置

管式反渗透装置包括内压膜管式、外压膜管式、多束膜管式及套管膜式四种,其构造如

图 4.121 ~ 4.124 所示。内压膜管式反渗透装置是将反渗透膜置于多孔支撑管的内壁。原水内壁承压流动,淡水通过半渗透膜由多孔支撑管渗出。外压膜管式先将膜置于多孔支撑管的外壁,原水在外壁流动,淡水通过半透膜进入多孔支撑管的内腔,然后由导管引出。多束膜管式是外压管膜式的一种,其支撑体为直径为 3 ~ 3.5 mm 的聚氯乙烯或聚丙烯槽棒。每个槽棒纵向开 3 ~ 4 条沟槽,用于收集淡水。槽棒外编织一层涤纶物,膜就刮在涤纶物上,上百根槽棒组成一组条束,装入耐压容器中成为一个组体。套管膜式组体是将内压膜管与外压膜管组合起来。在内压膜管内套上一个外压膜管,处理水就在内压膜管壁与外压膜管壁之间流动。

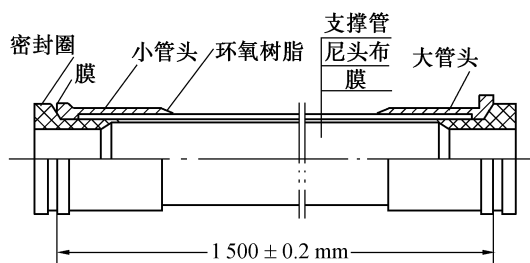


图 4.121 反渗透内压膜管示意图

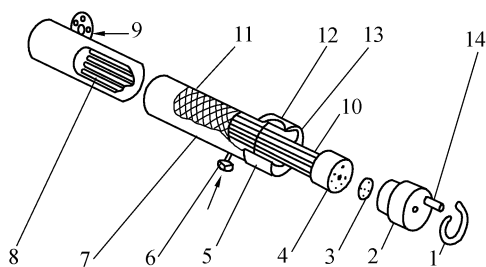


图 4.122 反渗透外压膜组件

1—孔用挡圈 2—集水密封杯 3—聚氯乙烯烧结合板 4—锥形多孔橡胶塞 5—密封管接头 6—进水口 7—壳体 8—橡胶笔胆 9—出水口 10—膜元件 11—网套 12—“O”型密封圈 13—挡圈槽 14—淡水出口

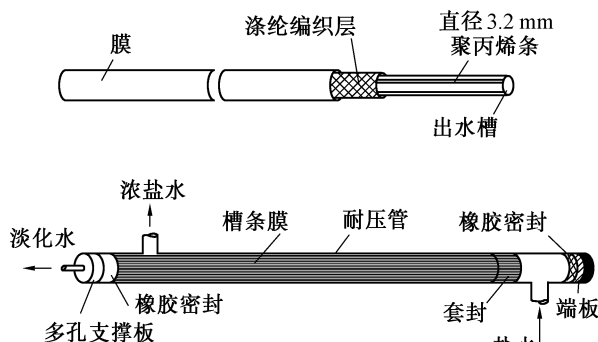


图 4.123 条束式膜组件及其构造

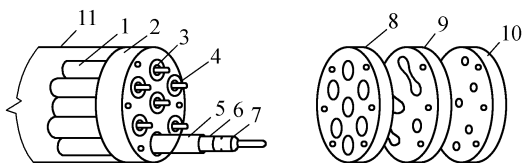


图 4.124 套管式膜组件

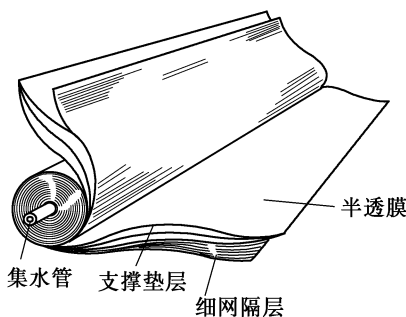
1—玻璃钢支承管 2—花板 3—密封圈 4—中心管；

5—内压膜 6—外压膜 7—密封垫 8—压板；

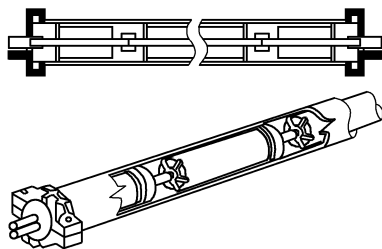
9—盐水分板 10—盖板 11—壳体

3. 螺旋卷式反渗透装置

螺旋卷式反渗透装置构造如图 4.125 所示。此种装置是在两层膜之间衬有透水的垫层,使膜与膜之间分开,并使淡水流通,把两层膜的三个面用黏合剂封死,一面敞口与多孔淡水的集水管相连,组成一个膜叶。每个组件由 3~4 个膜叶组成,在两个膜叶之间有导流处理水的细网间隔层,为处理水的通道。膜叶与细网间隔层缠绕在中心多孔集水管上,形成一个螺旋卷筒,将其放入圆柱承容器中即为螺旋卷式膜组件。



(a) 卷式膜构造



(b) 单元膜组件

图 4.125 卷式膜与膜组件

4. 中空纤维式反渗透装置

中空纤维式反渗透装置构造如图 4.126 所示,此种膜是将膜液抽丝、蒸发、凝胶、缠绕而成,将几十万至上百万根这种中空纤维束装入承压器中,将中空纤维束的两端用黏结剂粘牢,黏结剂固化后切割,使中空纤维束形成开口端。被处理的水进入高压容器后,经中空纤维膜外壁脱盐层脱盐,淡化后的淡水进入中空纤维膜内腔。然后由开口端将淡水导出。上述各种反渗透装置的性能与各种膜组料的特点见表 4.45 及表 4.46。

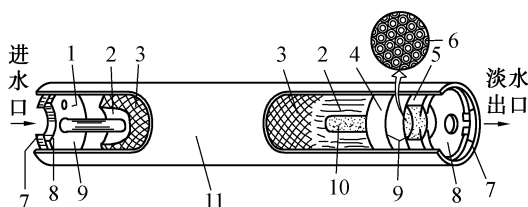


图 4.126 中空纤维膜组件

1—浓水排除口 2—中空纤维束 3—导流网 4—环氧树脂管柱 5—多孔支撑圆盘 6—纤维束开口端 7—弹性挡圈 8—端板 9—“O”型密封圈 10—多孔进水分布管；
11—壳体

表 4.45 各种反渗透装置的性能

反渗透装置的形式	螺卷式	中空纤维式	管式	板框式
膜的装填密度 / ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$)	660	9 200	330	490
压力 / MPa	5.5	2.74	5.5	5.5
透水量 / [$\text{L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$]	1 000	73	1 000	1 000
透水量密度 / [$\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$]	660	670	330	490

表 4.46 各种膜组件的特点

组件类型	主要优点	主要缺点	适用范围
平板式	结构紧凑、密封牢固,能承受较高压力,成膜工艺简单,组件性能稳定,易换膜,一张膜破损而不影响整个组件使用	装置成本高,水流状态不好,易堵塞或易产生浓差极化,不易清洗	适用于小规模的水处理,要求进水水质较好
管式	膜更换方便、容易清洗,水力条件好,预处理要求低,特别适用于悬浮物较高、黏度较大的液体及废水处理,尤以内压管式膜更为突出	膜的装填密度较小,占地面积较大,装置成本较高	适用于中、小规模的水处理

续表 4.46

组件类型	主要优点	主要缺点	适用范围
螺旋卷式	膜装填密度大,单位体积产水量高,结构紧凑,运行稳定,价格低廉	制造膜组件的工艺复杂,组件堵塞后不易清洗,预处理要求较高	适用于大规模的水处理
中空纤维式	膜的装填密度最大,单位体积产水量高,膜不需要支撑体,浓差极化可以忽略,价格低廉	成膜工艺复杂,预处理要求最高,膜组件一旦堵塞后很难清洗	适用于大规模水处理

4.13.4 反渗透工艺

废水在进行反渗透前,必须进行预处理。

1. 预处理工艺

(1)采用沉淀过滤法,除去废水中的浊度及悬浮物。

(2)采用的膜对 pH 值及水温适合性不同,对过高的水温应降温,可采用加碱或加酸调节废水 pH 值。

(3)可采用活性炭、氧化法等除去废水中乳化及未乳化的油类及溶解性有机物。

(4)采用臭氧消毒等方法处理废水中的细菌、微生物及藻类等。防止反渗透处理时膜表面产生软垢。

(5)采用离子交换等方法,除去废水中的钙盐,防止反渗透处理时膜表面产生硬垢。

2. 反渗透处理工艺

根据不同的处理对象和要达到的不同水质要求可选用不同的反渗透处理工艺。反渗透处理工艺有一级一段连续式系统、一级一段循环式系统、一级多段连续式系统、一级多段循环式系统、多级多段连续式系统和多级多段循环式系统,其工艺流程如图 4.127 ~ 4.132 所示。

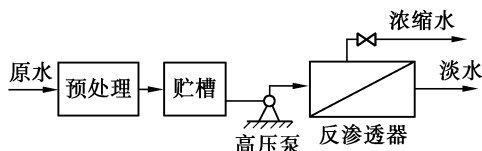


图 4.127 一级一段连续式处理工艺流程图

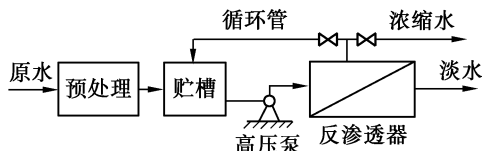


图 4.128 一级一段循环式处理工艺流程图

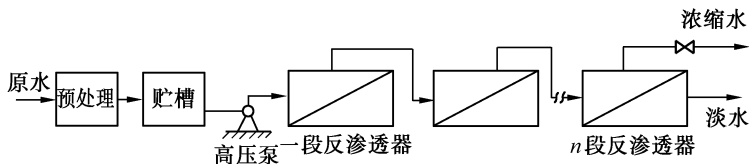


图 4.129 一级多段连续式处理工艺流程图

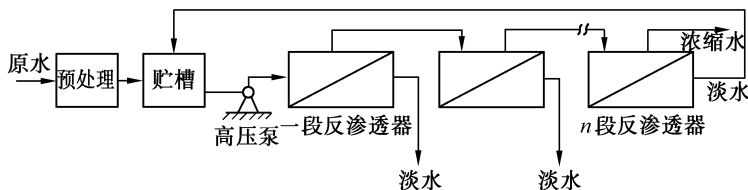


图 4.130 一级多段循环式处理工艺流程图

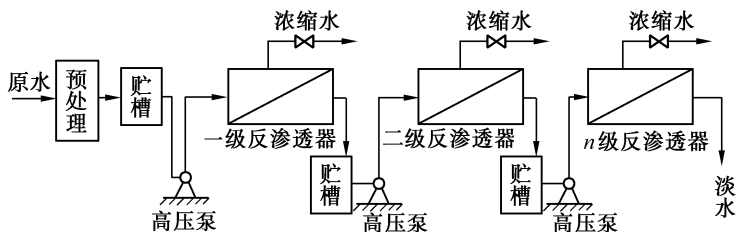


图 4.131 多级多段连续式处理工艺流程图

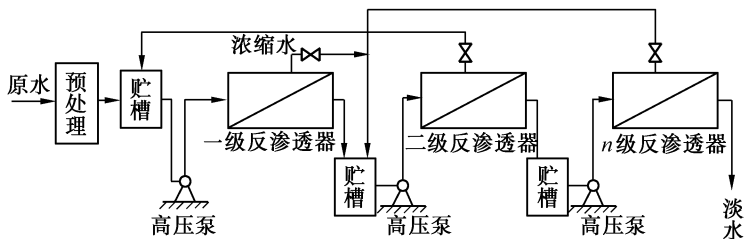


图 4.132 多级多段循环式处理工艺流程图

3. 反渗透膜的清洗

预处理可极大地减轻对膜的污染,但随着反渗透的连续进行,膜的污染不可能完全消除。为保证膜为正常使用,就必须对膜进行清洗。

(1)物理法。用低压高速水冲洗,也可以用水加空气联合冲洗,对内压管膜式可装置海绵球或泡沫塑料球自动清洗系统,擦洗掉膜表面的沉积物。

(2)化学法。对不同的污染物可用不同的清洗剂进行清洗。如对沉积的铁、锰、铜等氧

化物,可采用 0.2 mol/L 的柠檬酸铵或质量分数为 4% 的硫酸氢钠水溶液清洗;对钙的沉积物可用盐酸($\text{pH}=4$)或柠檬酸($\text{pH}=4$)的水溶液洗涤;对有机物、胶体可用质量分数为 1% 的酶洗涤剂清洗。若膜表面污垢很厚,可用高浓度的盐水清洗,其效果较好;对细菌和真菌类微生物可用质量分数为 1% 的甲醛洗涤液或低浓度的双氧水溶液清洗。

上述化学清洗,温度一般为 35 ,清洗时间 30 min,清洗完毕后需用清水冲洗干净,才能正常运行。

4.13.5 应用实例

1. 镀镍废水处理

某厂镀镍废水采用内压膜管式 CA 膜反渗透系统处理实现了生产上的闭路循环,其工艺流程如图 4.133 所示,处理效果见表 4.47。

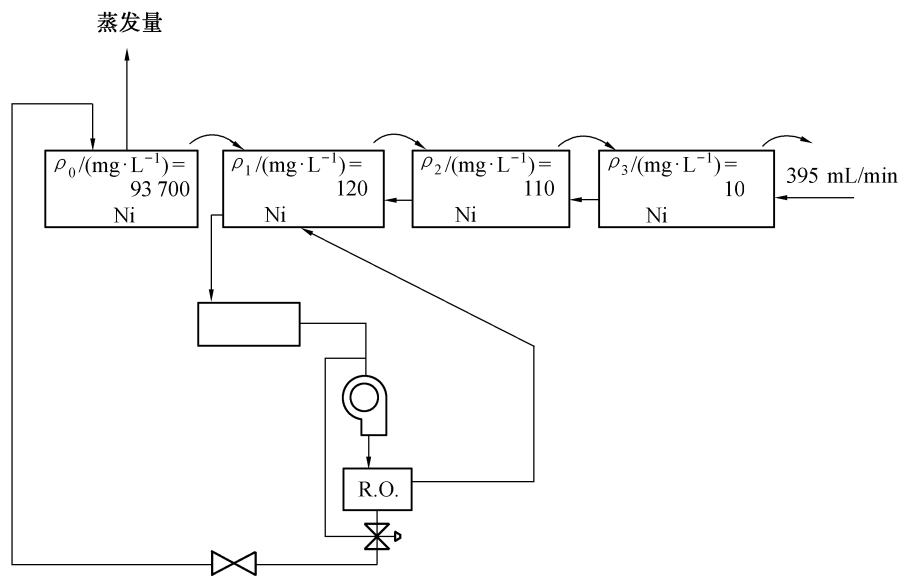


图 4.133 反渗透处理镀镍废水

表 4.47 反渗透处理镀镍废水测试结果

测试内容	测试结果	测试内容	测试结果
运转操作压力 /MPa	3.0	透过膜水量 /(L·min ⁻¹)	2.8
运转温度 /	36 ~ 47	浓缩液量 /(L·min ⁻¹)	0.4
水泵流量 /(L·min ⁻¹)	9.5	水回收率 /%	88
进料液 pH 值	4.5 ± 0.5	Ni ²⁺ 截留率(R)/%	99.8 ± 0.1
处理液流量 /(L·min ⁻¹)	3.2	Ni ²⁺ 回收率 /%	98.3 ± 0.7

2. 酸性废水处理

某矿山酸性废水含多种金属离子,采用反渗透法处理取得良好效果,其工艺流程如图 4.134 所示,处理效果见表 4.48。

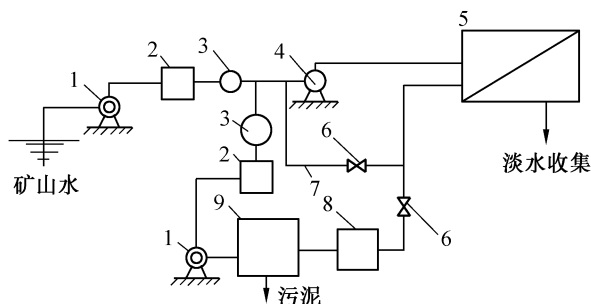


图 4.134 反渗透法处理酸性矿山废水工艺流程图

1—离心泵 2—砂滤池 3—10 μm 过滤器 4—高压泵 5—反渗透组件 6—阀门 7—循环管路 8—石灰混合反应槽 9—沉淀槽

表 4.48 反渗透法处理酸性矿山废水净化效果

效 果		项 目								
		电导率 $/(\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1})$	酸度 $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Ca}^{2+})$ $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mg}^{2+})$ $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{总铁})$ $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Fe}^{2+})$ $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Al}^{3+})$ $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$ $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mn}^{2+})$ $/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
卷式膜组件	进水	2 070	460	260	170	77	64	12	1 340	43
	淡水去除率 %	17	38	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.9	0.5
		99.2	91.7	99.8	99.8	99.8	99.8	99.2	99.9	98.8
管式膜组件	进水	1 050	250	125	92	78	61	12	660	14
	淡水去除率 %	46	46	2.2	1.4	0.8	1.0	1.0	4.4	0.3
		95.6	81.6	98.2	98.5	98.8	98.4	91.6	99.3	97.8
中空纤维膜组件	进水	1 020	120	150	115	110	71	15	940	14
	淡水去除率 %	32	32	1.2	1.4	1.2	0.8	0.8	4.6	0.1
		96.9	84.8	99.2	98.8	98.9	98.9	94.7	99.5	99.1

3. 纸浆和造纸废水处理

纸浆和造纸废水处理采用反渗透法处理工艺流程如图 4.135 所示,在亚硫酸盐法纸浆废水中,含有大量的有用物质,如木质素及糖类等。可用反渗透法将质量分数为 0.5% ~ 1% 的固体物浓缩至 1%,再经超滤浓缩至质量分数为 40%,再蒸发、干燥,即可作黏合剂使用,渗透水可以复用。

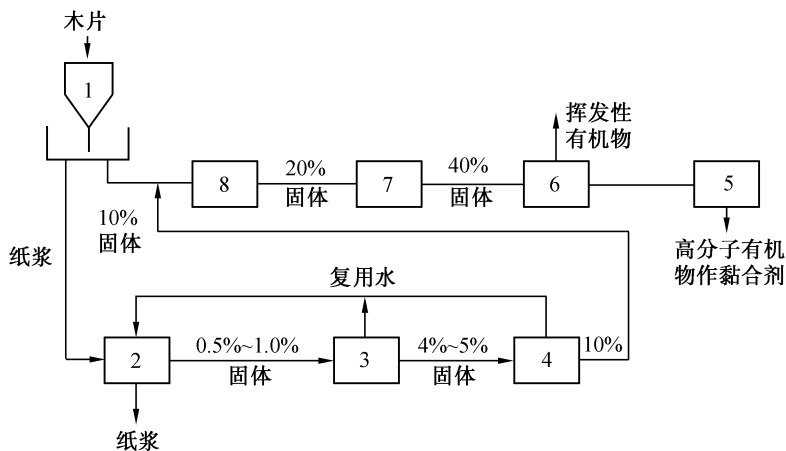


图 4.135 用超滤和反渗透法处理亚硫酸纸浆废水

1 6—蒸发器 2—纸浆洗涤 3—低压 RO 4—高压 RO 5—喷雾干燥器 7—UF II 8—UF I

4.14 超 滤

4.14.1 超滤原理

超滤又称超过滤,其原理如图 4.136 所示。超滤是在压力的作用下,溶液以一定的流速沿着超滤膜表面流动,溶液中的溶剂及低相对分子质量物质,从高压侧透过超滤膜进入低压侧,并作为滤液而排出;而溶液中的高分子物质、胶体物质及微生物等被超滤膜截留,达到浓缩分离的目的。它的分离机理主要是机械筛分作用,膜的化学性质对膜的分离影响不大。超滤的操作压力为 $0.07 \sim 0.7 \text{ MPa}$ 温度 60°C ,一般超滤透过通量 $1 \sim 100 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。超滤与反渗透既有共同点,又存在不同点,其异同点见表 4.49。

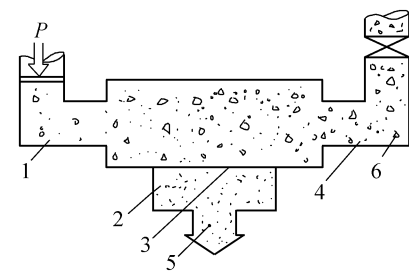


图 4.136 超过滤的原理

1—超过滤进口溶液 2—超过滤透过膜的溶液 3—超过滤膜 4—超过滤出口溶液;
5—透过超过滤膜的物质 6—被超过滤膜截留下的物质

表 4.49 超滤与反渗透的异同点

序号	项 目	超 滤	反 渗 透
1	共同点		
(1)	推动力	溶液的压力	溶液的压力
(2)	分离过程	溶剂分子及低分子物质通过膜而高分子溶质被膜阻滞截留	溶剂分子通过膜,而溶质被膜截留
2	不同点		
(1)	操作压力	操作压力低,为 0.07 ~ 0.7 MPa	操作压力高,为 2 ~ 10 MPa
(2)	机理	机械筛滤过程	复杂的物理 - 化学过程
(3)	膜	超滤膜较稀疏,透水量大,除盐率低,超滤膜孔径最粗为 1 μm ,最细为 2 ~ 3 nm	反渗透膜致密,透水量低,除盐率高,膜孔比超滤膜小
(4)	溶质分子	处理溶质的分子直径较大,为 5 ~ 10 ⁴ nm,相对分子质量大,渗透压较低的大分子溶液	处理溶质的分子直径较小,为 0.5 ~ 50 nm,相对分子质量小,渗透压较高的小分子溶液

4.14.2 超滤膜件

一般用于制备反渗透膜的材料,也可以用以制备超滤膜。超滤膜有二醋酸纤维膜(CA膜)、聚砜膜(PS膜)、聚砜酰胺膜(PSA膜)和甲基丙烯酸甲酯 - 聚丙烯腈膜(Qy膜)等。

1. 二醋酸纤维素超滤膜(CA膜)

二醋酸纤维素的成膜工艺与反渗透膜相似,不同之处是不需热处理,制膜液浇膜后冷凝胶即可成型。膜的孔径大小由膜组分的配比组成决定,膜的不同组分与截留物质的分子量有关,详见表 4.50。

表 4.50 CA 超过滤膜不同组分截留的相对分子质量

截留相对分子质量	膜 组 分 (质 量) / %		
	二醋酸纤维素	甲 酰 胺	丙 酮
10 000	16.30	39.20	44.50
23 000	20.15	32.03	47.82
35 000	18.78	42.62	38.60

2. 聚砜超滤膜(PS膜)

聚砜超滤膜具有良好的化学稳定性与热稳定性和机械强度,该制膜液浇铸后,可在室温水凝胶固化。

3. 聚砜酰胺膜(PSA 膜)

聚砜酰胺膜由聚砜酰胺树脂、二甲基乙酰胺和硝酸钙三个组分组成,其树脂质量分数对超滤膜性能的影响见表 4.51。

表 4.51 PSA 树脂质量分数对超过滤膜性能的影响

PSA 质量分数 / %	膜厚度 / μm	膜孔隙率 / %	操作压力 /MPa	纯水 25 时水通量 /[$\text{mL} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$]	平均孔径 /nm	最大孔径 /nm
14	80 ~ 90	80 ~ 89	0.294	10 ~ 20	25 ~ 40	70 ~ 80
12	75 ~ 80	82 ~ 90	0.294	20 ~ 30	35 ~ 50	80 ~ 100
10	60 ~ 70	90 ~ 95	0.294	30 ~ 50	50 ~ 70	100 ~ 200
8	50 ~ 60	91 ~ 97	0.294	60 ~ 80	65 ~ 85	200 ~ 300

4. 甲基丙烯酸甲脂 - 聚丙烯腈膜(Qy 膜)

甲基丙烯酸甲脂 - 聚丙烯腈膜是由甲基丙烯酸甲脂 - 丙烯腈共聚脂、乙二醇乙醚醋酸脂和二甲基亚砷混合配制的膜液制成,其性能见表 4.52。

表 4.52 Qy 膜系列的性能

膜系列号	膜截留相对分子 质量 / 平均值	蒸馏水水通量 /[$\text{mL} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{min})^{-1}$]	操作压力 /MPa	pH 值	温 度 /
Q _y - 05A	5 000	0.07 ~ 0.15	0.196	2 ~ 12	≤55
Q _y - 05	5 000	0.15 ~ 0.30	0.196	2 ~ 12	≤55
Q _y - 1	10 000	0.30 ~ 0.60	0.196	2 ~ 12	≤55
Q _y - 2	20 000	0.40 ~ 0.80	0.196	1 ~ 14	≤60
Q _y - 3	30 000	0.40 ~ 0.80	0.196	1 ~ 14	≤60
Q _y - 5	50 000	0.80 ~ 1.00	0.196	2 ~ 12	≤55
Q _y - 10	100 000	0.80 ~ 1.00	0.196	2 ~ 12	≤50

超滤膜组件与反渗透组件一样,可分为平板式、管式、卷式及中空纤维式等。部分国产膜组件与膜装置特性见表 4.53。

表 4.53 部分国产商品膜组件与膜装置特性

生产单位	组件型号	模材料	pH 值范围	适用温度 /	适用压力 /MPa	膜面积 /m ²	残留相对分子质量或脱盐率	产水量 /(m ³ ·d ⁻¹)
国家海洋局杭州水处理中心	SRC- 2011 ,RO 卷式组件	CA	3~9	<35	1.5	3.2	90~95	0.8~1.2
	SRC- 4011 ,RO 卷式组件	CA	3~9	<35	1.5	8	90~95	2.5~3.5
	SRC- 4012 ,RO 卷式组件	CA	3~9	<35	1.5	16	90~95	5.0~7.0
	SRC- 4014 ,RO 卷式组件	CA	3~9	<35	1.5	32	90~95	10~14
	SRC- 8014 ,RO 卷式组件	CA	3~9	<35	1.5	120	90~95	65~75
	SRC- 115 中空纤维反渗透淡化器	CTA	3~7	<35	1.5	40	90 TDS<0.015	5.0
国营 8271 厂 (辽宁省兴城)	CA040DF ,RO 卷式组件	CA	4.8~7	15~30	2.8	8.36	96.5	4.5~6.1
	CA040EF ,RO 卷式组件	CA	4.8~7	15~30	2.8	8.36	95.8	6.1~7.6
	CA040FF ,RO 卷式组件	CA	4.8~7	15~30	2.8	8.36	95	7.2~9.1
	CB040DF ,RO 卷式组件	CA	4.8~7	15~30	2.8	32.05	96.5	17.8~23.1
	CB040EF ,RO 卷式组件	CA	4.8~7	15~30	2.8	32.05	95.8	23.1~28.4
	CB040FF ,RO 卷式组件	CA	4.8~7	15~30	2.8	32.05	95	27.6~32.9
湖州水处理设备厂	SRO- 401 ,RO 卷式组件	CA	3~8	5~30	3.0	8	90	3
	SRO- 801 ,RO 卷式组件	CA	3~8	5~30	3.0	16	95	16
	BSCL- 40 ,RO 薄型平板超滤器	PSA	2~13	<40	<0.3	3.2	孔径 35~50 nm	12
	BSCL- 80 ,RO 薄型平板超滤器	PSA	2~13	<40	<0.3	6.4	孔径 35~50 nm	24
	BCCL- 120 ,RO 薄型平板超滤器	PSA	2~13	<40	<0.3	9.6	孔径 35~50 nm	36
天津纺织工学院膜分离工程研究所	TF- 001 ,中空纤维超过滤组件	PS	2~12	45	0.2	1.5	6 000 20 000	
	TF- 003 ,中空纤维超过滤组件	PS	2~12	45	0.2	2.0	6 000 20 000	
	TF- 005 ,中空纤维超过滤组件	PS	2~12	45	0.2	2.5	6 000 20 000	
	TF- 01 ,中空纤维超过滤组件	PS	2~12	45	0.2	4.0	6 000 20 000	
	TF- 03 ,中空纤维超过滤组件	PS	2~12	45	0.2	8.0	6 000 20 000	
	TF- 05 ,中空纤维超过滤组件	PS	2~12	45	0.2	14	6 000 20 000	
航天航空工业部武汉仪表厂	CI2- 1 超滤器	PS CN	2~12	<40	0.2	0.1	6 000 20 000	0.05~0.07
	CI2- 2 超滤器	PS CN	2~12	<40	0.2	0.3	6 000 20 000	0.13~0.20
	CI2- 3 超滤器	PS CN	2~12	<40	0.2	0.5	6 000 20 000	0.50~1.00
	CI2- 4 超滤器	PS CN	2~12	<40	0.2	3	6 000 20 000	3.00~6.00
	CI2- 5 超滤器	PS CN	2~12	<40	0.2	16	6 000 20 000	10.0~60.0

续表 4.53

生产单位	组件型号	模材料	pH 值范围	适用温度 /	适用压力 /MPa	膜面积 /m ²	残留相对分子质量或脱盐率	产水量 /(m ³ ·d ⁻¹)
北京市宣武超滤设备厂	CLW-05 中空纤维超滤器	PS	2~13	5~45	0.2	14	5 000~100 000	12
	CLW-03 中空纤维超滤器	PS	2~13	5~45	0.2	7	5 000~100 000	7.2
	CLW-001 中空纤维超滤器	PS	2~13	5~45	0.2	1	5 000~100 000	0.6
沙市水处理设备厂	W4 管式超滤组件	PSA, CA, F 膜	CA 4~9 PSA 1~2 F 膜 3.5~9	CA 5~35 PSA 55 F 膜 5~35	0.35	2.5	15 000	6.0~13.92
无锡市超滤设备厂	W 系列管式超滤器	CA PS PSA PAN	CA 中性 1~13	室温至 70	0.4	0.2 1.0 2.5~5	5 000 10 000 20 000 50 000 60 000	0.24~4.2
上海市纺织科学研究院	FYC~2 中空纤维超滤器	PS	1~13	50~70	0.4	4	6 000~50 000	4.8~19.2
国家海洋局天津淡化所	HGVF-0005	PS	2~13	45	0.1~0.15		6 000~100 000	12
	HGVF-010	PS	2~13	45	0.1~0.15		6 000~100 000	24
	HGVF-020	PS	2~13	45	0.1~0.15		6 000~100 000	48
	HGVF-030	PS	2~13	45	0.1~0.15		6 000~100 000	72
	HGVF-050	PS	2~13	45	0.1~0.15		6 000~100 000	120
	HGVF-100	PS	2~13	45	0.1~0.15		6 000~100 000	240

注：①截留相对分子质量是表征超过滤膜分离特性指标。脱盐率是表征反渗透膜分离特性的指标，%。

②截留相对分子质量 6 000、20 000 等分别表示具有不同截留相对分子质量的超过滤膜。

4.14.3 影响因素

(1)操作压力。超滤的实际操作压力应与极限通量对应，约为 0.07~0.7 MPa，它要克服通过膜和凝胶层的阻力以及液流的沿程和局部水头损失。

(2)料液流速。一般为 1~3 m/s，流速过大会增加能耗，流速过小则透过量小。

(3)温度。对处理的不同物料要采用不同的温度。如对蛋白质为 55℃、制奶为 50~55℃、电泳涂料为 30℃。温度较高时，可降低料液的黏性，增加传质效率，提高透过通量。但也不宜过高，过高时会影响膜的性能。

(4)运行周期。随着超滤的进行，膜表面会形成凝胶层，达到一定程度后，就需进行清洗，这段时间称为一个运行周期。

(5)料液的预处理。可采用沉淀、混凝、过滤及吸附等方法对料液中的杂质进行预处理，以提高膜的透过通量，保证膜的正常稳定运行。

(6)进料浓度。随着超滤过程的进行,主体液流浓度逐渐增高,此时黏度变大,凝胶层厚度增大,透过通量减少。因此需要对主体液流确定最高允许进料浓度,详见表 4.54。

表 4.54 不同料液的最高允许质量分数

料液名称	最高允许质量分数 / %	料液名称	最高允许质量分数 / %
颜料和分散染料	30 ~ 50	植物、动物细胞	5 ~ 10
油水乳化液	50 ~ 70	蛋白和缩多氨酸	10 ~ 20
素合物乳胶和分散体	30 ~ 60	多糖和多聚糖	1 ~ 10
胶体、非金属、氧化物、盐	不定	多元酚类	5 ~ 10
固体、泥土、尘泥	10 ~ 50	合成水溶性聚合物	5 ~ 15
低分子有机物	1 ~ 5		

(7)膜的清洗。膜必须定期进行清洗,一般先用水力清洗,然后再用化学洗涤剂清洗,以保持正常的透过通量,延长膜的使用寿命。一般在规定的料液和压力下,在允许的 pH 值范围内和温度不超过 60℃ 时,超滤膜可使用 12 ~ 18 个月。若膜清洗不佳,会缩短使用寿命。

4.14.4 应用实例

(1)处理回收羊毛脂。采用超滤先将低质量浓度羊毛脂浓缩至 30 000 ~ 45 000 mg/L 后,进入离心机循环提油,其工艺如图 4.137 所示,回收羊毛脂率达 95% ~ 99%,COD 去除率达 90% ~ 95%,SS 去除率达 99%。

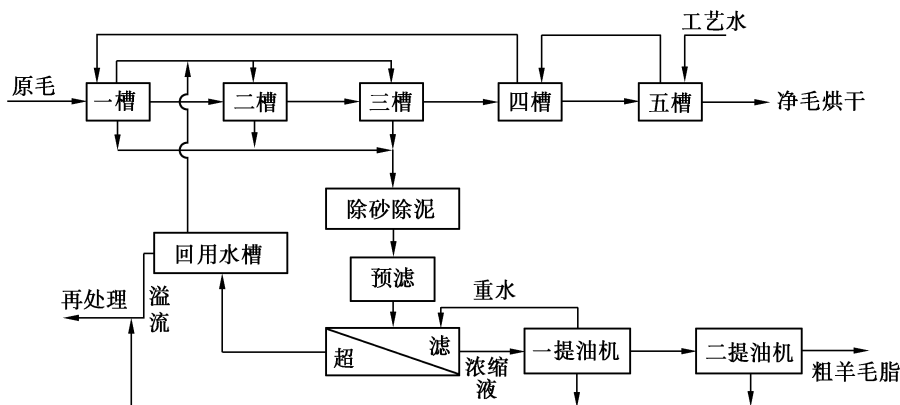


图 4.137 超滤离心法回收羊毛脂工艺流程示意图

(2)电泳漆废水处理。采用超滤法直接处理电泳槽的槽液,透过液可作为漂洗水使用,

浓缩液可返回电泳槽,其工艺如图 4.138 所示。

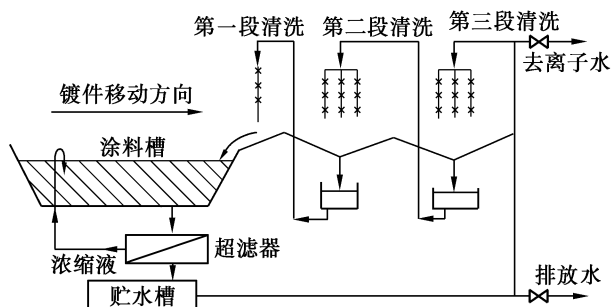


图 4.138 超过滤处理电泳漆

(3)生活污水再回用。可利用超滤处理生活污水,使污水得到再生重复使用,其工艺流程如图 4.139 所示,其水质分析结果见表 4.55。

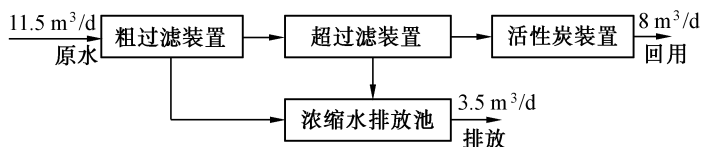


图 4.139 超过滤法回收生活污水工艺流程图

表 4.55 经超滤系统处理后的水质分析

项 目	原水水质	超滤出水水质	再生水水质
pH	6.7 ~ 7.1	6.7 ~ 7.4	6.8 ~ 7.7
色		无色透明	无色透明
臭味		无恶臭	无恶臭
浊度	28 ~ 36	< 2	< 2
$\rho(\text{SS})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	16 ~ 42	< 5	< 5
$\rho(\text{BOD})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	22 ~ 42	5 ~ 10	2 ~ 5
$\rho(\text{COD})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	26 ~ 39	7.6 ~ 13	3.6 ~ 8
$\rho(\text{MBAS})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	2.1 ~ 3.9	0.8 ~ 2.0	0.05 ~ 0.4

(4)处理含油废水。在船舶机舱废水中,含油率高达 10% ~ 20%,首先进行重力分离,去除绝大部分浮油和分散油,使废水中油的质量浓度降为 100 mg/L,然后进入超滤器除油,使出水中油的质量浓度在 10 mg/L 以下。超滤器的操作压力不大于 2.45×10^5 Pa

(2.5 kgf/cm^2) 水通量为 $60 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 设备处理能力为 $0.2 \sim 1.0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{台})$ 。在金属切削加工中, 用乳化油冷却, 产生了乳化油废水, 超过滤可以去除 99% 的油分和 98% 的 COD。例如, 水溶性切削油的油分质量浓度分别为 $34\,000 \text{ mg/L}$ 和 $187\,000 \text{ mg/L}$, 经超过滤器处理后出水中油的质量浓度分别为 33 mg/L 和 28 mg/L , 油的去除率为 99.9% 和 99.99%。

(5) 处理化纤工业废水。国外采用 8 m^2 的管式超滤器将聚乙烯醇(PVA)原液为 0.1% 浓缩到 10 ~ 15 倍, 进口压力为 $3.92 \times 10^5 \text{ Pa}$ (4 kgf/cm^2), 出口压力为 $1.96 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2 kgf/cm^2) 进液温度 55 ~ 60 , 膜的水通量为 $100 \sim 140 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 对 PVA 的分离率为 98.2%。

第 5 章 生物处理

污水的生物处理就是在利用微生物自身新陈代谢的生理功能的基础上,采取一定的人工措施,创造有利于微生物生长繁殖的良好环境,加速微生物的增殖及其新陈代谢生理功能,从而使污染物得到降解和去除的一种污水处理方法。污水的生物处理主要是去除污水中溶解的和胶体状态的有机污染物,可分为好氧生物处理及厌氧生物处理两大类。好氧生物处理是在供氧情况下,依靠好氧菌氧化分解污水中有机物的方法;厌氧生物处理是在无氧情况下,依靠厌氧菌分解污水中有机物的方法。好氧生物处理应用较为广泛,它又可分为活性污泥法和生物膜法等人工强化的好氧生物处理法以及稳定塘(氧化塘)和土地处理等自然好氧生物处理法;厌氧生物处理主要应用于高浓度的有机废水和污泥处理。

5.1 生物知识

5.1.1 基本概念

本节主要介绍微生物知识。

顾名思义,所谓微生物就是人类肉眼看不到的,只有依靠显微镜等仪器设备才能观察到的生物。自然界微生物种类很多,废水处理中常见的微生物见表 5.1。

微生物大部分是单细胞的简单生物,只有后生动物、部分藻类、高等细菌和霉菌是多细胞的。水中常见的后生动物有轮虫、甲壳虫和线虫等。各种微生物虽然不同,但却有着共同的特点,即个体小、种类多、数量大、分布广、繁殖快和易变异。

(1)个体小。微生物的个体很小,用微米度量($1\mu\text{m}=1/1\,000\text{mm}$),只能借助显微镜放大几百倍或上千倍以上才能看得见,5 000 亿个中等大小的杆菌总质量只有 1 g 左右。

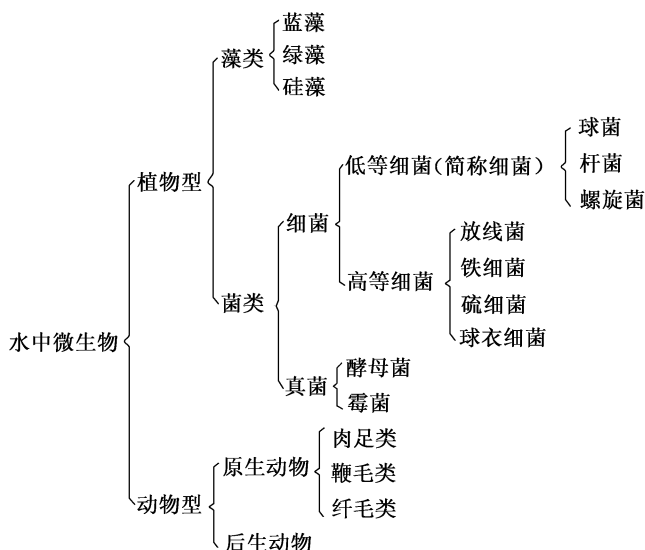
(2)种类多。微生物种类繁多,迄今已知的微生物有十多万种。

(3)数量大。微生物不仅种类繁多,而且数量很大,1 g 土壤中的细菌量就有几千万至几亿个之多。

(4)分布广。微生物个体轻微,易随尘粒飞扬,因此,无论是天空、大海、江河,还是高山、地面上和土壤中无不有微生物的足迹。

(5)繁殖快。微生物的繁殖速度很快,在适宜的环境中,细菌每 20~30 min 可繁殖一代,经过 10 h 可繁殖数亿个。

表 5.1 废水处理中常见的微生物



(6)易变异。大多数微生物是无性繁殖,单细胞,结构简单,易受外界环境影响发生变异。当细菌受到外界各种物理、化学因素影响后,改变其特性的现象称为变异。人们可以利用微生物的变异性质,驯化细菌,培养出净化污水能力强的菌种。

5.1.2 细菌知识

1. 细菌的形态和构造

细菌按形态可分为球菌、杆菌和螺旋菌三大类(如图 5.1 所示)。细菌虽然微小,但其结构相当复杂。一般细菌的细胞构造有细胞壁、细胞膜、细胞质、核质和内含物,有些细菌还有荚膜、芽孢和鞭毛(如图 5.2 所示)。

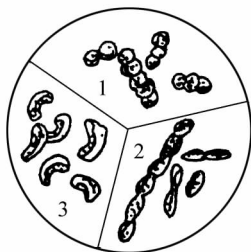


图 5.1 细菌的各种形态

1—球菌 2—杆菌 3—螺旋菌

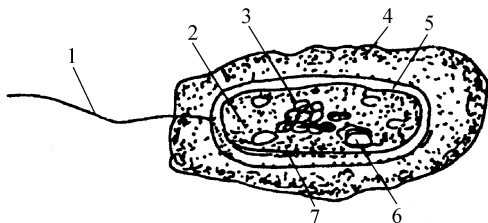


图 5.2 细菌细胞构造

1—鞭毛 2—细胞质 3—核质 4—荚膜;
5—细胞壁 6—内含物 7—细胞膜

(1)细胞壁。细胞壁是细胞最外面的一层薄膜,起固定细菌形态和保护细胞的作用。

(2)细胞膜。细胞膜是一层紧贴着细胞壁而包围着细胞质的薄膜,主要作用为吸收营养和排泄废物。

(3)细胞质。细胞质是无色透明黏稠胶体,主要成分是水、蛋白质、核酸和脂类,其作用是进行新陈代谢活动。

(4)核质。核质主要含有遗传变异的核酸,可起到决定遗传性的作用。

(5)内含物。内含物是细菌新陈代谢的产物,可贮备营养物质。

(6)荚膜。在细胞壁外常围绕着一层黏液,称为荚膜。它是一种多糖物质,当营养缺乏时,可作为细菌能源。

(7)芽孢。芽孢是细菌对不良环境的休眠体。

(8)鞭毛。鞭毛是细菌运动的器官。

2. 细菌的生理特性

(1)细菌的营养物。细菌要不断地从外界摄取营养物进行新陈代谢以维持生命。碳、氮、磷为细菌所需的主要营养物,还要掌握好三者的比例, $m(\text{BOD}):m(\text{N}):m(\text{P})=100:5:1$,详见表5.2。另外,细菌生长繁殖还需要无机离子及微量金属元素,见表5.3。按摄取营养的方式,细菌分为以下几类:①自养型菌(无机营养型菌)。以二氧化碳及碳酸盐作为碳素养料,以铵盐或硝酸盐作为氮素养料的来源。按对能源的需要分为:a.光能自养型菌,以太阳能为能源,以二氧化碳为合成细胞的有机物质。如藻类及特殊光化细菌。b.化能自养型菌,利用化学能还原二氧化碳,合成有机碳化物,如铁细菌、硝化细菌等。②异养型菌(有机营养型菌)。以有机碳化物为碳素营养来源,氮素来源则是有机或无机的氮化物。③兼养型菌。在一定条件下为自养型菌,在另外条件下为异养型菌。典型的生物反应及不同摄取营养方式的微生物种类与反应性质见表5.4。

表5.2 微生物所需营养物的种类与来源

种 类	来 源
能源	有机化合物、无机化合物、阳光
电子接受体	O_2 、有机化合物、无机氧化物(如 NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 等)
碳源	CO_2 、 HCO_3^- 、有机化合物
微量元素和生长因素	维生素等

(2)酶。酶是细胞中形成的一种催化剂,可促进生物化学反应的速度,高达千倍、万倍。酶的种类很多,根据其使用性质分类,如促进水解的称为水解酶,促进氧化还原的称为氧化还原酶等。根据酶在细胞内外的不同分为外酶与内酶,外酶透过细胞作用于细胞外面的物质;内酶在细胞内部起作用。

表 5.3 大多数微生物需要的无机离子

大量需要	微量需要
Na^+ (除植物外)、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^-	Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} B^{3+} — 为植物和一些原生生物所需 Mo^{6+} — 为植物和一些原生生物和动物所需 V^{2+} — 为植物和一些原生生物所需 I^- 、 Se^{2-} — 仅为一些动物所需

表 5.4 典型的生物反应及不同摄取营养物方式的微生物种类与反应性质

生物反应方程式	微生物种类与反应性质
$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{新细胞}} (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	自养性细菌 光合作用
$(\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{新细胞}} \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	生物细胞呼吸 好氧生化作用
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \xrightarrow{} 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	异养性化能营养型细菌 好氧生化作用
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{} 2\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 2\text{CO}_2$	异养性细菌 厌氧发酵作用
$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2 \xrightarrow{} \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	异养性细菌 厌氧发酵作用
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12\text{KNO}_3 \xrightarrow{} 12\text{KNO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2$	异养性细菌 厌氧还原作用
$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{} 2\text{HNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	自养性化能合成型细菌 好氧生化作用
$5\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{HNO}_3 \xrightarrow{} 5\text{H}_2\text{SO}_4 + 3\text{N}_2$	自养性化能营养型细菌 好氧生化作用

(3)细菌的呼吸。根据对氧气的需求,细菌的呼吸作用分为好氧呼吸与厌氧呼吸,由于呼吸类型不同,细菌分为好氧菌、厌氧菌和兼性菌。好氧菌在有氧条件下可将有机物分解为二氧化碳和水,称为好氧分解;厌氧菌在无氧环境中才能生长,可将复杂的有机物分解为简单的有机物和二氧化碳,称为厌氧分解;兼性菌既可在有氧环境中生存也可在无氧环境中生活。细菌的好氧氧化及厌氧分解可应用于污水处理上对有机污染物进行氧化分解。

3. 细菌的繁殖生长

细菌一般都是依靠分裂方法繁殖的,即一个菌体成熟后便可分裂成2个幼弱的细菌,一般每隔20~30 min分裂一次。细菌的生长经历四个阶段:停滞期(适应期)、对数增长期、稳定期(静止期)、内源呼吸期(衰老期),如图5.3所示。

(1)停滞期(适应期)。停滞期是细菌适应新的营养环境的过渡期,在此时期内,细菌并不繁殖。

(2)对数增长期。细菌已适应了新的环境,有机物质非常充足,细菌的活力很强,分裂繁

殖速度很快,菌体数量以几何级数的速度增加,菌体数量的对数值与培养时间成直线关系,故称对数增长期。

(3)稳定期(静止期)。微生物经过对数增长期大量繁殖后,污水中的有机物逐渐被消耗,再加上代谢产物的不断积累,造成了不利于微生物生长繁殖的食物条件和环境条件,致使微生物增长速度减缓,死亡速度加快,微生物数量趋于稳定。

(4)内源呼吸期(衰老期)。在稳定期后,污水中的有机废物几乎被耗尽,微生物只能利用菌体内贮存物质及死菌体为营养,进行内源呼吸以维持生命。在此期间,微生物数量急剧减少。

由上述可见,活性污泥的增长期主要由污水中的有机物营养物(F)与微生物量(M)的比值(F/M)所控制,在实际应用上F/M值是以BOD有机物负荷率($N_s, \text{KgBOD}/(\text{KgMLSS} \cdot \text{d})$)表示的。

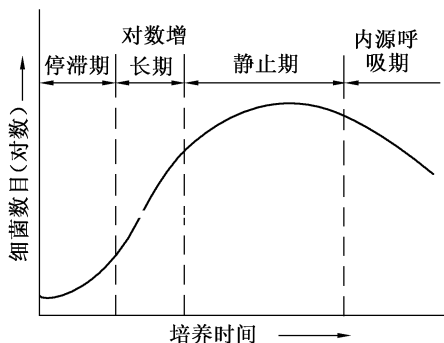


图 5.3 细菌生长曲线

$$\frac{F}{M} = N_s = \frac{QS_0}{XV}$$

式中 Q ——污水流量 m^3/d ;

S_0 ——原污水中有机物(BOD)质量浓度 mg/L ;

X ——混合液悬浮固体(MLSS)质量浓度 mg/L ;

V ——曝气池容积 m^3 。

5.1.3 其他生物

在污水处理中,细菌是起主要作用的微生物,其他微生物包括高等细菌、真菌、藻类、原生动物及后生动物,对污水处理也起着一定的作用。

(1)高等细菌。高等细菌是许多细胞联结成的多细胞细菌,在污水处理上常见的有硫磺细菌和球衣细菌等,如图 5.4 所示。硫磺菌是自养型丝状菌,有白硫菌和丝硫菌,能氧化各种硫化物。球衣菌是好氧菌,分解有机物能力很强。

(2)真菌。真菌是类似植物的低等生物,其构造比细菌复杂,种类很多,与废水处理有关的是酵母菌和霉菌,如图 5.5 所示。真菌常用肉眼可以看到,形如灰白色的棉花丝,黏着在沟渠或水池的内壁。

(3)藻类。藻类是低等植物,有单细胞的和多细胞的,有蓝藻、绿藻和硅藻,如图 5.6 所示。在污水处理中,可养殖藻类,通过其光合作用放出氧气,被微生物利用后氧化分解污水中的污染物。

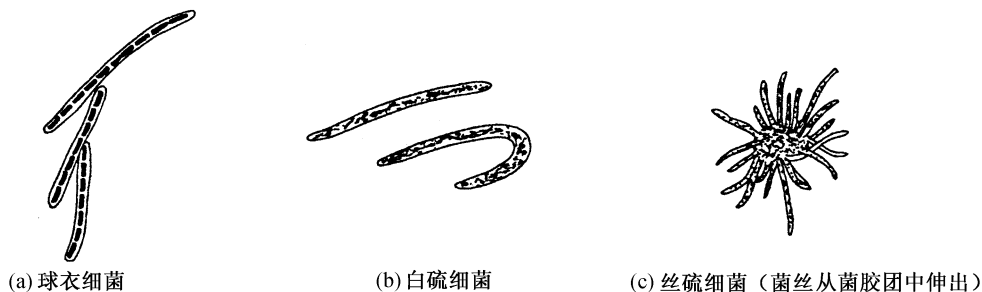


图 5.4 各种丝状细菌

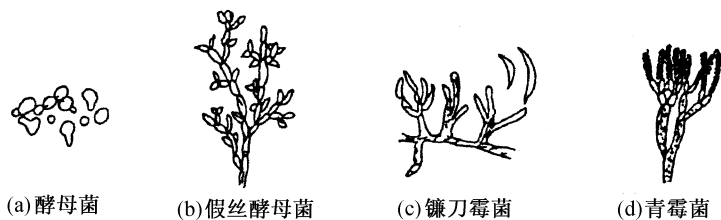


图 5.5 各种真菌

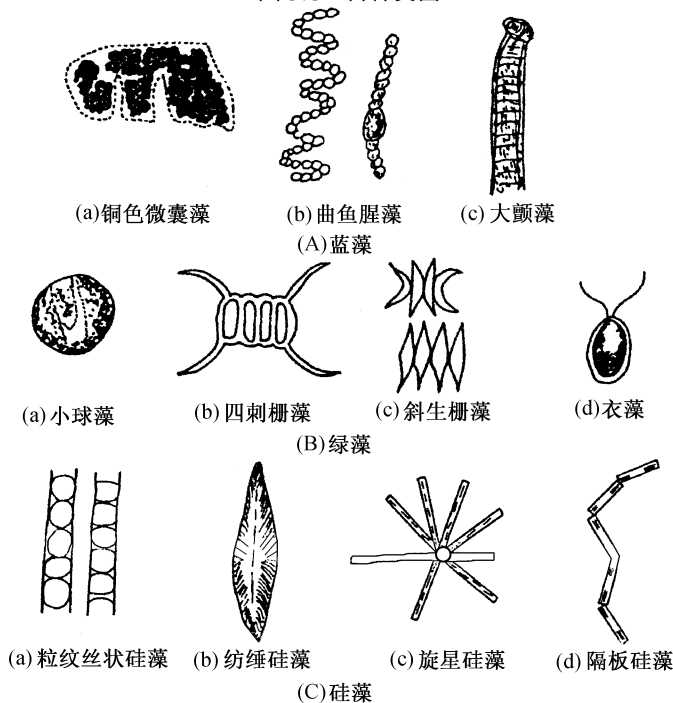


图 5.6 藻类

(4)原生动物。原生动物是动物界中最低等的单细胞动物,在污水处理中常见的有纤毛类、肉足类和鞭毛类等。纤毛类原生动物的特点是周身表面有纤毛,喜爱吃有机物质,所以与污水处理关系密切。纤毛类原生动物有草履虫等游泳型纤毛虫和钟虫等固定型纤毛虫,如图 5.7 所示。钟虫常出现在活性污泥生物膜中,可作为处理效果较好的指示生物。肉足类原生动物只有细胞质形式的一层薄膜,大多数没有固定形状,如变形虫等,如图 5.8 所示。鞭毛类原生动物有绿眼虫、梨波豆虫和跳侧滴虫,其特点是具有一根或几根鞭毛,如图 5.9 所示。原生动物在污水处理中作用仅次于细菌,如纤毛虫可促进生物絮凝作用,另外还能吞食游离的细菌从而改善出水水质。

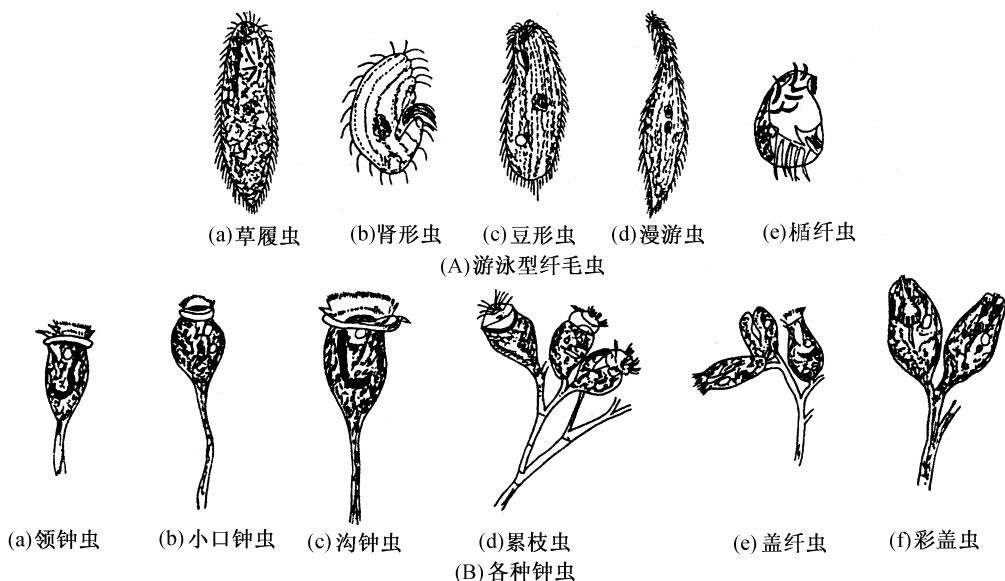


图 5.7 纤毛类原生动物

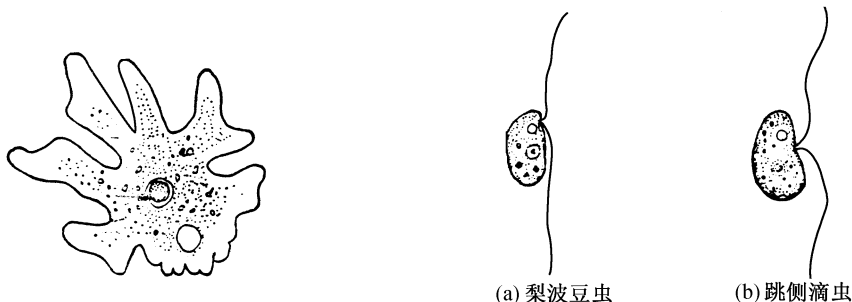


图 5.8 无恒变形虫

图 5.9 鞭毛类原生动物

(5)后生动物。在污水处理中常见的后生动物有轮虫和线虫,如图 5.10 所示。轮虫是多细胞动物中较简单的一种,它以细菌、原生动物和有机物等为食物,在生物处理后期出现,对污水起到净化作用,当轮虫出现时,则表明污水处理效果较好。线虫可降解其他微生物所不易降解的固体有机物。在污水生物处理中,氧化分解污水中有机物的承担者是细菌,而细菌被原生动物捕食,原生动物又被后生动物捕食,原生动物是一次捕食者,后生动物是二次捕食者。

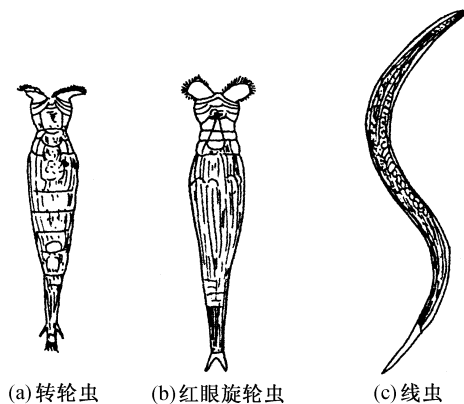


图 5.10 后生动物

5.1.4 应用概况

微生物是废水生物处理的主角。污水生物就是利用微生物氧化分解有机物的功能,并采取一定的人工措施,创造有利于微生物生长、繁殖的环境,使微生物大量繁殖,以提高其氧化分解污水中有机物的效率的一种污水生物处理方法。污水中的有机物受微生物的作用而氧化分解,在有氧情况下的氧化分解,是依靠好氧微生物(主要是好氧菌)称为好氧分解(好氧生物处理),在无氧情况下,依靠厌氧菌分解污水中有机物,称为厌氧分解(厌氧生物处理)。

(1)好氧生物处理。好氧生物处理法就是在不断供氧的条件下,利用好氧微生物的生命活动来氧化分解废水中的有机物的废水生物处理法。废水中溶解性的有机物通过菌体的细胞壁为细菌所吸收,固体及胶体的有机物附在菌体处,由细菌分泌的外酶分解为溶解性的物质再渗入细菌细胞。细菌通过自身的生命活动,把一部分有机物氧化为简单的无机物并获得其生长活动所需的能量。细菌还把另一部分有机物转化为菌体的营养物,组成新的细胞,于是细菌逐渐长大并分裂产生更多的细菌。污水中的有机物主要由碳、氢、氧、氮、硫、磷等元素构成的,它们的好氧分解代谢的最终产物是稳定而无臭的物质,包括二氧化碳、水、硝酸盐、硫酸盐、磷酸盐等。

(2)厌氧生物处理。厌氧生物处理法是在缺氧或无氧的环境中,利用厌氧微生物生命活动来分解废水中有机物的方法。当有机物进行厌氧分解时,主要经历两个阶段:酸性发酵阶段和碱性发酵阶段。有机物厌氧分解的最终产物主要是甲烷、二氧化碳、氨、硫化氢等。有机物厌氧分解过程如图 5.11 所示。

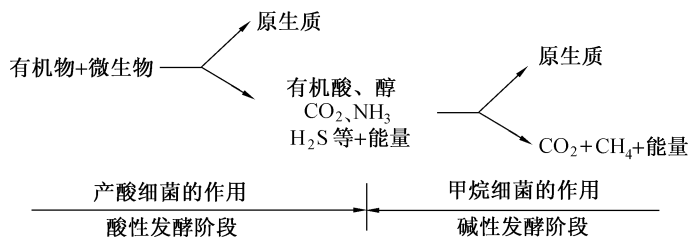


图 5.11 有机物的厌氧分解过程

5.2 活性泥法

5.2.1 基本原理

1. 工艺流程

利用活性污泥降解去除废水中有机污染物的方法称为活性污泥法。栖息着具有强大生命力的微生物群体的污泥,在微生物群体新陈代谢功能的作用下,有着降解、去除废水中有机污染物的活力,称为“活性污泥”。活性污泥法实质是以存在于污水中的有机物作为培养基,或向污水中投加粪便,或直接从附近污水厂取得成熟的活性污泥作为菌种,在供氧的条件下,对各种微生物群体进行混合连续培养,通过凝聚、吸附、氧化、分解、沉淀等过程降解去除污水中有机污染物的方法,其工艺流程如图 5.12 所示。

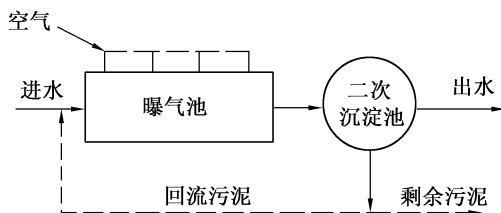


图 5.12 活性污泥法工艺流程图

在开始运行时,应先在曝气池内引满污水,进行曝气,培养出活性污泥,就可以连续运行。污水经初次沉淀后引入曝气池,与池内的活性污泥混合成混合液,同时进行曝气。曝气的作用:一是使污水与活性污泥充分接触,并使活性污泥处于悬浮状态,避免沉积池底;二是向池中活性污泥供氧,使微生物正常生长繁殖,来氧化分解废水中的有机污染物。经曝气后混合液流入二次沉淀,沉淀后污水排出;沉淀的污泥大部分再回流至曝气池重复使用,剩余污泥经处理排放或利用。

2. 活性污泥指标

活性污泥由四部分组成:一是具有活性的微生物群体(M_b);二是微生物自身氧化的残留物(M_e);三是原污水中挟入的不能为微生物降解的惰性有机物(M_i);四是原污水中挟入的无机物质(M_{ij})。活性污泥有以下几项指标。

(1)混合液悬浮固体(MLSS)质量浓度,又称混合液污泥浓度,指曝气池单位容积中污水

与活性污泥混合后混合液的悬浮固体数量,包括 M_a 、 M_e 、 M_i 、 M_{ii} 四者在内的总量,即单位容积混合液含活性污泥固体物的总质量,单位为 mg/L 、 g/L 、 g/m^3 或 kg/m^3 。在活性污泥法中,一般控制 MLSS 质量浓度为 $2 \sim 4 \text{ g/L}$ 。

(2)混合液挥发性悬浮固体(MLVSS)质量浓度,指混合液中有机性固体物的浓度,包括 M_a 、 M_e 及 M_i 三部分在内的数量,对城市污水, $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS}) = 0.75 \sim 0.85$ 。

(3)污泥沉降比(SV%) 混合液在量筒中静沉 30 min 后沉淀的污泥占原混合液容积的百分率,它表示曝气池正常运行时的污泥量。城市污水的污泥沉降比为 $20\% \sim 30\%$ 。

(4)污泥体积指数(SVI) 指曝气池出口处混合液经 30 min 静沉后, 1 g 干污泥所形成的污泥体积。城市污水一般为 $50 \sim 150 \text{ mL/g}$ 。此数值过低时说明泥粒细小,无机物的含量高,污泥缺乏活性,过高时,说明污泥沉降性能不好,有产生污泥膨胀的可能。

(5)污泥龄(t_s) 活性污泥在曝气池内的停留时间,单位为日,也可以视为曝气池内活性污泥总量与每日排放污泥量之比

$$t_s = \frac{VX}{\Delta X}$$

式中 V ——曝气池容积 m^3 ;

X ——混合液悬浮固体(MLSS)质量浓度 kg/d ;

ΔX ——每日污泥增加量(即排放量) kg/d (一般控制 t_s 为 $3 \sim 5 \text{ d}$)。

3. 活性污泥的净化过程

(1)初期吸附去除。当污水与活性污泥接触 $3 \sim 5 \text{ min}$ 后,就出现很高的有机物去除率,这主要是由于活性污泥吸附引起的。活性污泥容积表面积很大($2\,000 \sim 10\,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$),另外,其表面又具有多糖类黏质层,因此,污水中的悬浮及胶体有机物很容易被絮凝吸附,贮存在微生物细胞表面,经过几小时曝气后才会相继摄入代谢。如污水中的溶解性有机物含量高,则活性污泥的初期吸附去除率会降低,同样,回流的污泥未经充分曝气,其活性没有得到恢复时,活性污泥的初期吸附去除率也会降低。另外,如果回流污泥经过长时间的曝气,则会使污泥长期处于内源呼吸阶段,由于过分的自身氧化而失去活性,同样也会降低初期吸附去除率。

(2)微生物代谢。活性污泥微生物以污水中的各种有机物为营养,在供氧条件下,将其中一部分有机物氧化分解,最终生成 CO_2 及 H_2O 等稳定物质,将另一部分有机物合成为新的细胞物质。有机物分解代谢与合成代谢及其产物模式如图 5.13 所示。

(3)沉淀分离。污水在曝气池中通过生物降解,一部分有机物氧化分解为 CO_2 及 H_2O ; 另一部分合成细胞成为菌体。二次沉淀池的作用是将菌体与水沉淀分离开来。经沉淀分离后的水得到净化。菌体(活性污泥)可部分回流到曝气池复用,剩余的污泥处理后排放或利用。

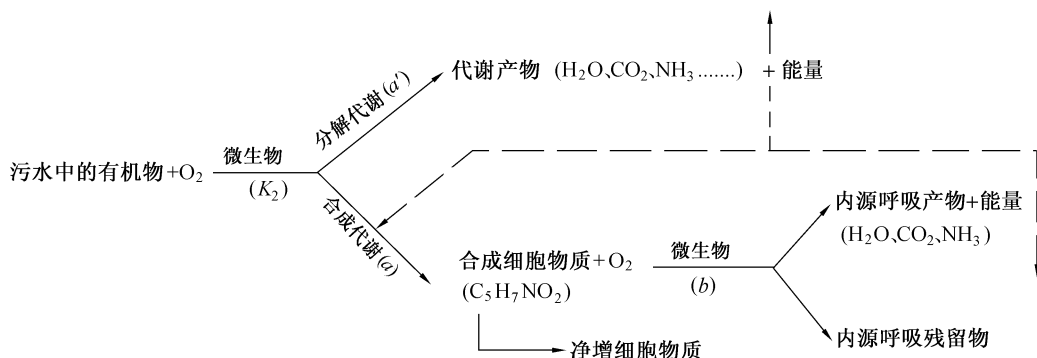


图 5.13 有机物分解代谢与合成代谢及其产物模式图

4. 活性污泥法对水质的要求

为使微生物能正常生长活动,取得污水生物处理的较好效果,欲处理的污水水质应满足以下要求。

(1)溶解氧。好氧生物处理必须有充足的氧气供应,如在活性污泥法中,混合液中的溶解氧浓度保持 2 mg/L 以上为宜。

(2)pH 值。对好氧生物处理的 pH 值应为 6~9,对厌氧生物处理 pH 值应为 6.5~8.0。

(3)温度。好氧生物处理时,水温在 10~35 之间均可,水温在 20~30 更适宜,可取得很好的处理效果,温度低于 5 或高于 45 均不利于废水的好氧处理;对厌氧处理,当污泥消化温度为 5~15 时,称为低温消化,消化过程需要 3~4 个月才能完成;当温度为 30~35 时,称为中温消化,消化时间只需 20~30 d 就可完成;当温度为 50~55 时称为高温消化,约 10 d 即可完成消化过程,厌氧处理一般采用中温消化。

(4)养料。细菌生长繁殖需要各种养料,其中包括碳、氮、磷、硫及微量的钾、钙、镁、铁和维生素。根据试验,好氧生物处理中碳(BOD)、氮、磷的合理比例为 $m(\text{BOD}_5):m(\text{N}):m(\text{P})=100:5:1$ 。生活污水具有以上各种养料,而工业废水常缺乏某些养料,需投加生活污水或氮、磷化物(硫酸铵、磷酸氯二钠等)。

(5)有毒物质。欲处理的污水中所含的有毒物质,如铬、铜、镁、镍、铅等重金属和酚、甲醛、氰化物及硫化物等非金属物质均能抑制生物处理,其含量应控制在容许浓度以内,详见表 5.5。

表 5.5 污水中抑制生物处理的有毒物质的容许质量浓度

有毒物质	容许质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	有毒物质	容许质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	有毒物质	容许质量浓度 /(mg·L ⁻¹)
三价铬	10	铁	100	二硝基甲苯	12
铜	1	镉	1~5	酚	100
锌	5	氰(以 CN ⁻ 计)	2	甲醛	160
镍	2	苯胺	100	硫氰酸铵	500
铅	1	苯	100	氰化钾	8~9
锑	0.2	甘油	5	醋酸铵	500
砷	0.2	二甲苯	7	吡啶	400
石油和焦油	50	己内酰胺	100	硬脂酸	300
烷基苯磺酸盐	15	苯酸	150	氯苯	10
拉开粉	100	丁酸	500	间苯二酚	100
硫化物(以 S 计)	40	戊酸	3	邻苯二酚	100
氯化钠	10 000	甲醇	200	苯二酚	15
六价铬	2~5	甲苯	7		

注:①表中质量浓度一般按日平均质量浓度考虑;

②废水中含有 2 种或 2 种以上毒物时,单项物质容许质量浓度应低于表列数字,重金属容许质量浓度则为表列数字的 50%~70%;

③表内数字一般是指排入城市污水厂的抑制质量浓度,对于专门的工业废水处理,微生物经驯化后,可提高质量浓度。

5.2.2 运行方式

传统(普通)活性污泥法,自 1914 年英国曼彻斯特市开创以来,经历了 90 多年的发展与革新,现已拥有多种运行方式,下面分别加以阐述。

1. 传统活性污泥法

传统活性污泥法是活性污泥法的早期形式。污水及回流污泥从池首端流入,呈推流式至池末端流出。污水净化过程的第一阶段吸附及第二阶段代谢在统一的曝气池中连续进行的,有机物浓度沿池长逐渐降低,需氧率也沿池长降低。该运行方式处理效率高,适用于处理要求高的水质情况。其主要缺点如下。

(1)需氧量前大后小,而空气的供给往往是均匀分布的,若供氧满足前大的需要,则后部供氧会大大超过需氧的要求而造成浪费。

(2)为避免曝气池首端供氧不足形成厌氧状态,进水的有机负荷不宜过高。因而会造成曝气池容积大,占地面积多,基建费用高。

(3)排放的剩余污泥在曝气池中已完成了恢复活性的再生过程,造成动力浪费。

(4)进水浓度不宜过高,不适应冲击负荷。此种运行方式为污水在池中呈推流式,进入池中的污水和回流污泥不与池中的原有的混合液相混合,因此进水水质变化对活性污泥的影响较大,限制了此种运行方式在某些工业废水处理上的应用。

2. 阶段曝气法

阶段曝气法又称逐步负荷法,其工艺流程如图 5.14 所示。这种运行方式的特点为:污水沿曝气池池长分段多点进水,使有机负荷均匀分布,从而也均化了需氧量,避免了供氧前部不足,后段过剩的缺点;同时,微生物在食物比较均匀的条件下,能充分氧化分解有机物。混合液中的活性污泥浓度沿池长逐步降低,出流混合液污泥浓度较低,减轻二次沉淀池的负荷,可提高其分离沉淀效果。

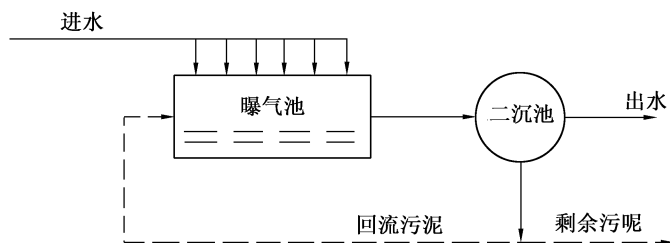
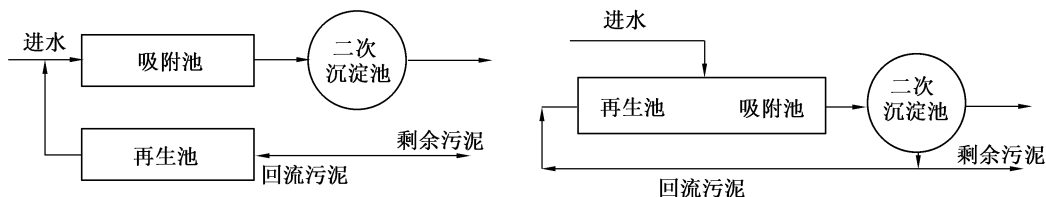


图 5.14 阶段曝气法工艺流程图

3. 生物吸附法

生物吸附法又称吸附再生法,其工艺系统如图 5.15 所示。这种运行方式的特点是将活性污泥对有机物的吸附与再生的两个过程,分别在两座池内进行,也可以在同一池内分两部分进行,前部为再生段,后部为吸附段。污水由吸附段进入池内,与活性污泥在吸附池内混合接触,污泥吸附了大部分的呈悬浮及胶体状的有机物和一部分溶解性有机物,然后混合液进入二沉池。从沉淀池回流的污泥到再生池进行生物代谢,充分恢复活力后再进入吸附池。



(a)分建式吸附再生活性污泥处理系统

(b)合建式吸附再生活性污泥处理系统

图 5.15 吸附再生活性污泥系统

这种运行方式也是推流式,与传统法比较,具有以下优点。

(1)污水与活性污泥在吸附池内接触时间较短(30~60 min),因此吸附池容积较小。而再生池接纳的是已排除剩余污泥的回流污泥,因此,再生池容积也较小,再生池与吸附池容积之和,仍低于传统活性污泥法曝气池的容积。

(2)由于该工艺回流污泥量大(回流比为50%~100%),当吸附池内的污泥一旦遭到破坏时,可由再生池内的污泥予以补救。因此,本工艺对水质、水量的冲击负荷具有较大的承受能力。

(3)该工艺回流污泥量大,污泥平均浓度高,容积负荷率可成倍增加。因此,可节省基建费用。

(4)该工艺需氧量较均匀,因此空气用量也较省。

(5)当需要时可稍加调整,即可将传统活性污泥法工艺改建为生物吸附法工艺,以适应污水负荷的增加。

该工艺的缺点:是污水与污泥接触时间短,处理效率不如传统法,BOD去除率85%~90%,特别是对溶解性有机物含量多的工业废水处理效果较差。

4. 完全混合法

混合液在池内充分混合循环流动,进池的污水与回流的污泥可立即与池内的混合液充分混合,进行吸附与代谢活动。可以认为,池内混合液是已经处理而未经泥水分离的处理水,其工艺流程如图5.16及图5.17所示。该系统具有以下优点。

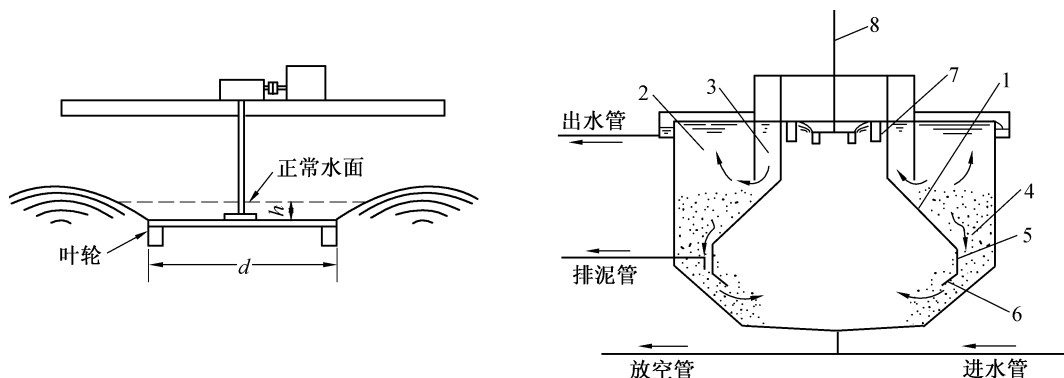


图 5.16 完全混合圆形曝气沉淀池

1—曝气筒 2—沉淀区 3—导流区 4—回流区(污泥贮存部分);

5—池裙 6—顺流圈 7—窗孔 8—曝气机 h—浸深

(1)池内各点水质均匀一致, F/M 值在池内各点几乎相等,其中, F 为有机物量, M 为微生物量,池内各部分工作状态及生物群体性质及数量趋于一致。这样,易于控制整个池子

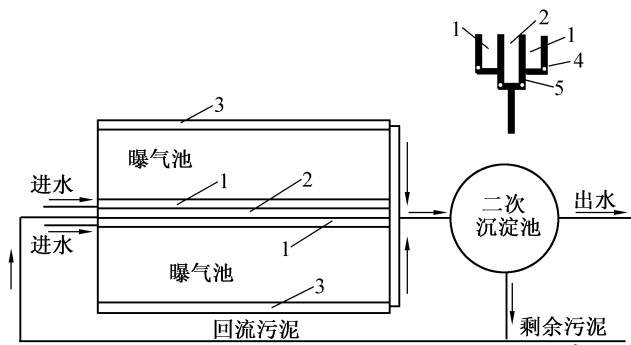


图 5.17 曝气与沉淀分建的完全混合系统

1—进水槽 2—进泥槽 3—出流槽 4—进水孔 5—进泥孔(进水孔和进泥孔沿池长分布)

处于良好的工作状态。而推流式曝气池从池首到池尾的 F/M 值及微生物值是在不断变化的,不易控制池子的工作状态。在处理效果相同的条件下,该工艺的负荷率高于推流式。

(2)池内需氧量均匀,节省动力费用。

(3)进入曝气池的污水能得到稀释,使波动的水质均匀化,可承受冲击负荷。

该工艺的主要缺点是连续进出水,可能产生短流;出流水质不如传统法理想;易发生污泥膨胀等。

5. 延时曝气法

延时曝气法属完全混合法,又称完全氧化法。曝气时间很长,一般多于 24 h 以上。BOD 污泥负荷非常低,污泥在池内长期处于内源呼吸期,剩余污泥量少且稳定。该工艺的优点是处理水稳定性强,对水量、水质的变化适应性强,无须设初次沉淀池,污泥氧化较彻底,故脱水迅速无臭气。缺点是曝气时间长,池容大,占地多,基建费用及运行费用高,适宜处理对水质要求高,不便于处理污泥及水量不超过 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 的小水厂。

6. 渐减曝气法

渐减曝气法工艺与传统法基本一致,只是供氧量沿池长方向递减,使供氧量与需氧量一致,这样可解决传统法中前部供氧不足及后部供氧过剩的问题。其工艺流程如图 5.18 所示。

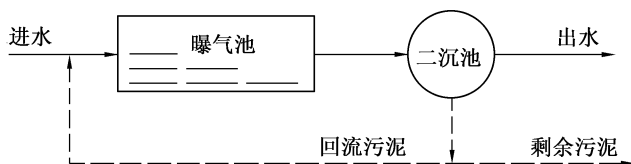


图 5.18 渐减曝气法工艺流程图

7. 深水曝气法

深水曝气工艺如图 5.19 所示。深水曝气法的特点是曝气池内混合液的深度较大,一般在 7 m 以上。由于水压增大,提高了混合液饱和溶解氧的浓度,加快了氧的传递速率,有利于微生物的增殖和有机物的降解,曝气池向竖向发展,降低了占地面积。

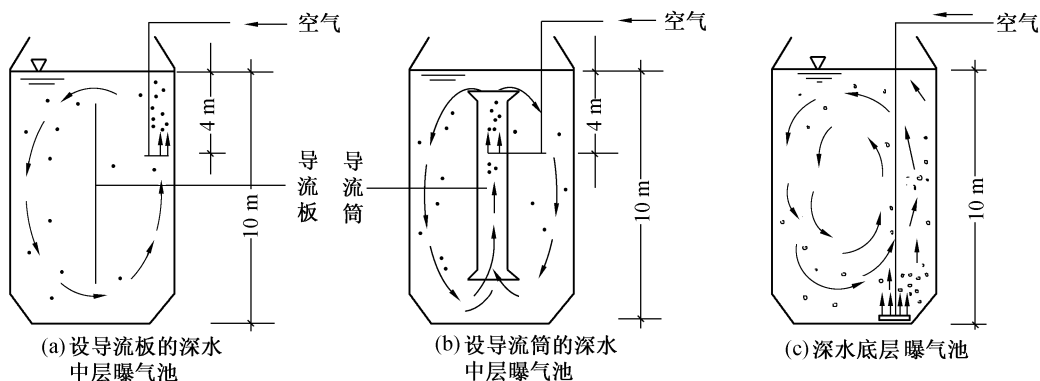


图 5.19 深水曝气池

8. 深井曝气法

深井曝气法工艺如图 5.20 所示。深井曝气池(曝气井)直径 1~6 m,深 70~150 m,设隔墙将井一分为二,或设井筒将井分为内外两部分。在前者的一侧,后者的外环部分设空气提

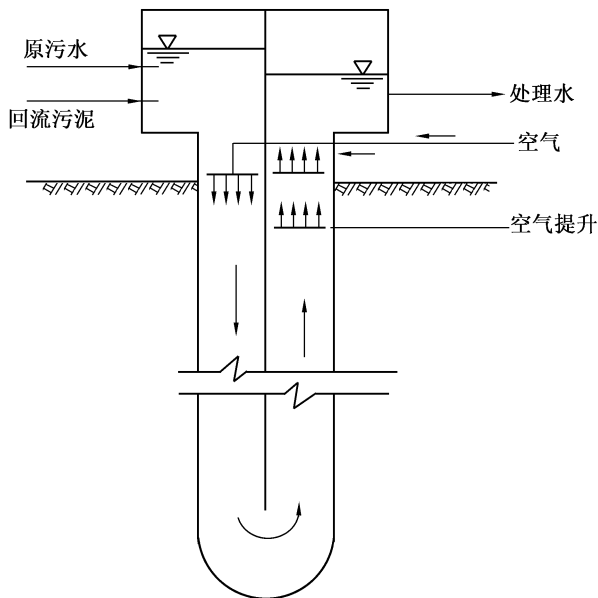


图 5.20 深井曝气活性污泥法系统

升装置,使混合液上流,而在前者的另一侧,后者的内筒内产生降流,形成由下而上的流动。该工艺的优点是水流深度大、氧的利用率高、有机物降解速度快、净化效果显著、占地少、设备简单、易于操作、不受气候条件影响,无须设初沉池,特别适合处理高浓度有机废水。

9. 纯氧曝气法

纯氧曝气池多为有盖密闭式,其构造如图 5.21 及图 5.22 所示。纯氧含氧量 90% ~ 95%,而空气的含氧量仅为 21%,因此纯氧曝气可提高处理效率。在纯氧曝气系统中,氧的利用率可达 80% ~ 90%,而一般鼓风曝气仅为 10% 左右,曝气池内混合液的 MLSS 质量浓度可达 4 000 ~ 7 000 mg/L,可提高曝气池的容积负荷,曝气池污泥的 SVI 值较低,一般都低于 100,污泥膨胀较少,因此,产生的剩余污泥量少。

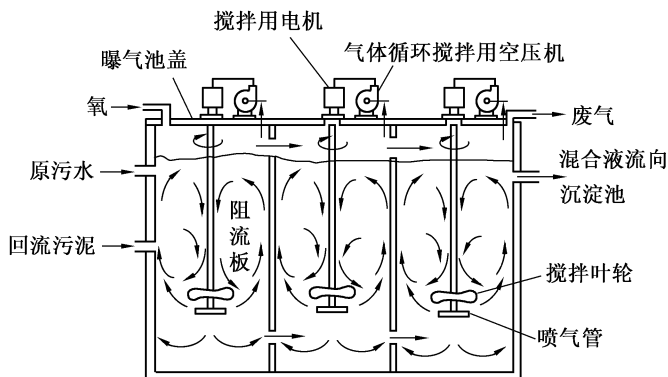


图 5.21 纯氧曝气池构造图(有盖密闭式)

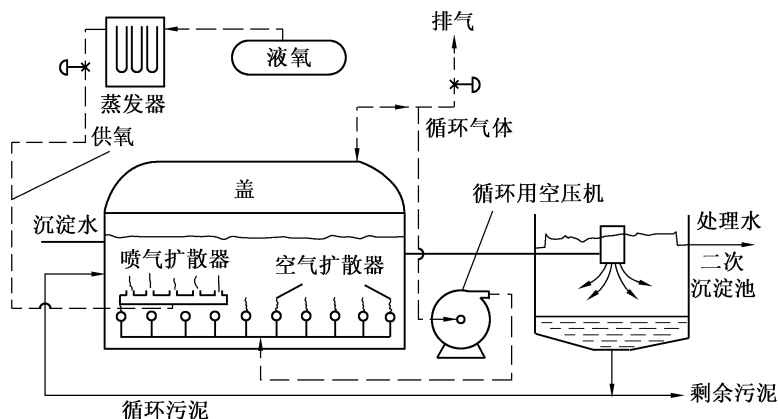


图 5.22 改造型圆顶式纯氧曝气池

10. 高负荷活性污泥法

高负荷活性污泥法的特点是 BOD 污泥负荷高,曝气时间短,处理效率低,一般 BOD_5 去除率不超过 70% ~ 75%,适用于对处理出水水质要求不高的情况,该法又称短时曝气法或

不完全活性污泥法。

11. 浅层曝气法

浅层曝气法工艺如图 5.23 所示。浅层曝气法的曝气池深度较浅,其原理是气泡只有在其形成与破碎的一瞬间,有着最高的氧转移率,而与其在液体中的移动高度无关。其曝气装置为穿孔管组成的曝气栅,设于曝气池一侧,距水面 $0.6 \sim 0.8$ m 深度处。为在池内形成环流,在池中心处设导流板。

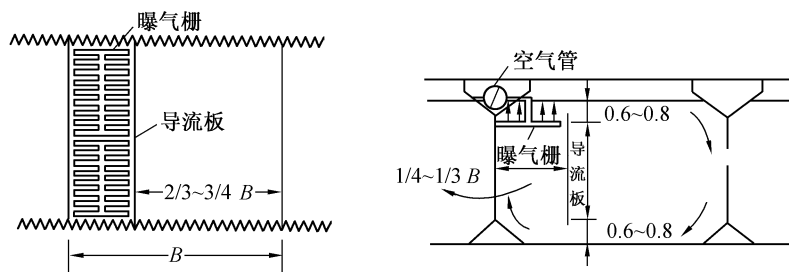


图 5.23 浅层曝气曝气池

各种活性污泥处理系统设计与运行参数建议值见表 5.6。

5.2.3 曝气装置

1. 概述

污水好氧生物处理的正常运行,除应有良好活性的微生物外,还必须有充足的溶解氧。通常氧的供应是将空气中的氧强制溶解到混合液中去的曝气过程。曝气作用除供氧外,还起搅拌混合作用,使污水充分与活性污泥接触混合,使活性污泥在混合液中保持悬浮状态。

常用的曝气方法有鼓风曝气和机械曝气以及两者联合作用的鼓风机械曝气。鼓风曝气是将压缩空气通过管道系统送入池底的空气扩散装置,并以气泡形式扩散到混合液中。机械曝气则是利用安装在曝气池水面上的叶轮的转动,而剧烈地搅动水面,产生循环流动,不断更新液面并产生强烈的水跃,从而使空气中的氧与水滴或水跃的界面充分接触而转移到液相中去。曝气装置主要技术指标为:动力效率(E_p),是指 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能可使空气中的氧转移到液体中去的氧量 $[\text{kgO}_2 / (\text{kW} \cdot \text{h})]$;氧的利用率(E_A),是指鼓风曝气移到液体中的氧占供给氧的百分比,一般为 $5\% \sim 15\%$ 。氧的转移效率(E_t),也称充氧能力,是通过机械曝气装置,在单位时间内转移到混合液中的氧量(kg/h)。

2. 鼓风曝气

鼓风曝气系统由加压设备、空气扩散装置和管道组成。加压设备一般采用回转式或离心式鼓风机。为净化空气,其进气管上常设空气过滤器。在寒冷地区还在进气管前设空气预热器,另外,还常设消声器防止鼓风机的噪音。回转式鼓风机风压有 3.5 m 、 5 m 及 7 m 等规格,其结构简单,运行稳定。缺点是噪声较大,适宜于中、小污水厂。离心鼓风机空气动力

表 5.6 各种活性污泥处理系统设计与运行参数的建议值(对城市污水)

	活性污泥运行方式	BOD 污泥负荷 /[$\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$]	BOD 容积负荷 /[$\text{kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$]	生物固体停留时间 (污泥龄) /d	混合液悬浮固体质量浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		污泥回流比 /%	曝气时间 /h	剩余污泥量 /%
	表示符号	N_s	N_v	θ_c	MLSS	MLVSS	R	t	ES
1	传统活性污泥法	0.2~0.4	0.3~0.6	5~15	1 500~3 000	1 200~2 400	0.25~0.50	4~8	—
2	阶段曝气活性污泥法	0.2~0.4	0.6~1.0	5~15	2 000~3 500	1 600~2 800	0.25~0.75	3~5	—
3	吸附再生活性污泥法	0.2~0.6	1.0~1.2	5~15	吸附池 1 000~3 000 再生池 4 000~10 000	吸附池 800~2 400 再生池 3 200~8 000	0.25~1.0	吸附池 0.5~1.0 再生池 3.0~6.0	—
4	延时曝气活性污泥法	0.05~0.15	0.1~0.4	20~30	3 000~6 000	2 400~4 800	0.75~1.50	20~36~48	0.25
5	高负荷活性污泥法	1.5~5.0	1.2~2.4	0.2~2.5	200~500	160~400	0.05~0.15	1.5~3.0	—
6	完全混合活性污泥法	0.2~0.6	0.8~2.0	5~15	3 000~6 000	2 400~4 800	0.25~1.0	—	—
7	深井曝气活性污泥法	1.0~1.2	5.0~10.0	5	5 000~10 000	—	—	>0.5	—
8	纯氧曝气活性污泥法	0.4~0.8	2.0~3.2	5~15	—	—	—	—	—

性能稳定、振动小、噪声低, 适宜于大、中、小污水厂。鼓风曝气系统的工作过程为: 空压机将空气通过管道输送到安装在池底部的空气扩散装置, 经过扩散装置, 使空气形成不同尺寸的气泡, 气泡经过上升和随水循环流动, 最后在液面处破裂, 在这一过程中产生氧向混合液中的转移。鼓风曝气系统的空气扩散装置主要分为: 微气泡、中气泡、水力剪切及水力冲击等类型。

(1) 微气泡空气扩散装置。用微孔透气材料(陶土、氧化铝、氧化硅和尼龙等)制成的扩散板、扩散盘和扩散管等, 如图 5.24 ~ 5.26 所示。其产生的气泡直径在 2 mm 以下, 氧的利用率(E_A)15% ~ 25%, 动力效率(E_p)不小于 2 kg/(kW·h)。其缺点是扩散设备易堵塞, 扩散阻力较大。

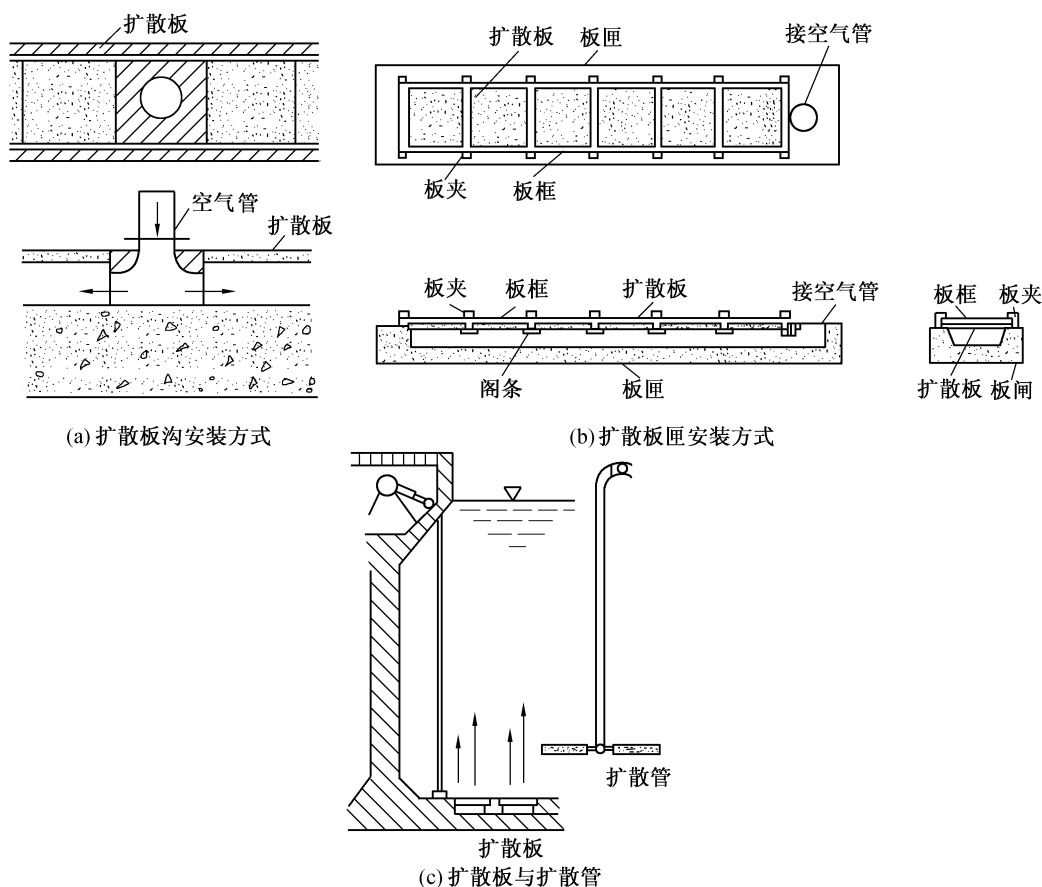


图 5.24 扩散板空气扩散装置

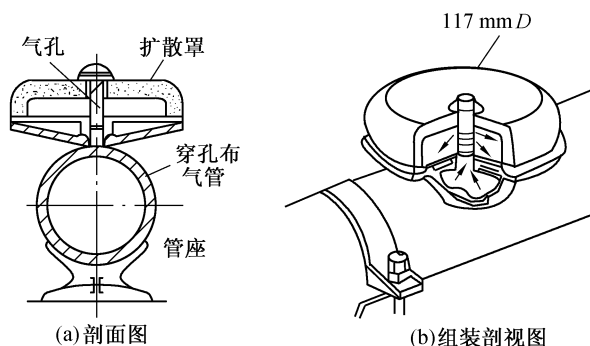


图 5.25 圆盘型微孔曝气器

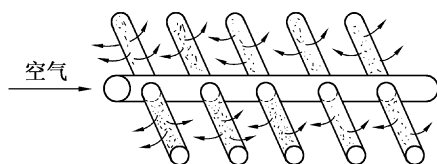


图 5.26 微孔陶质曝气扩散管组

(2)中气泡空气扩散装置。中气泡空气扩散装置常用的是穿孔管,如图 5.27 所示。它是由管径为 25 ~ 50 mm 的钢管或塑料管制成,在管壁两侧向下相隔 45°角,设有直径为 3 ~ 5 mm 的孔眼或缝隙,间隔 50 ~ 100 mm。这种装置构造简单,不易堵塞,阻力小,动力效率低,约为 1 kg/(kW·h)。但氧的利用率(E_A)较低,只有 4% ~ 6%。网状膜空气扩散装置是由主体、螺盖、网状膜、分配器和密封圈组成,网状膜由聚酯纤维制成,氧的利用率达 12% ~ 15%,其构造如图 5.28 所示。

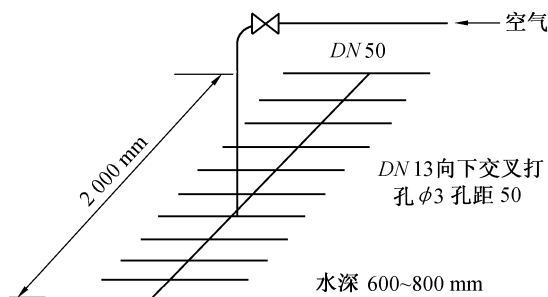


图 5.27 穿孔管扩散器组装图
(用于浅层曝气的曝气栅)

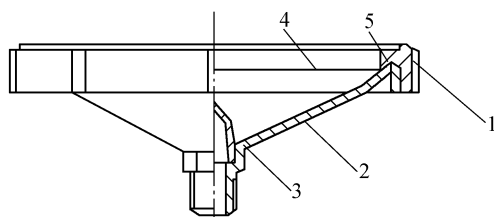


图 5.28 WM-180 型网状膜空气扩散装置
1—螺盖 2—扩散装置本体 3—分配器;
4—网膜 5—密封垫

(3)水力剪切型空气扩散装置。利用装置本身的构造特征,产生水力剪切作用,将大气泡切割成小气泡,增加气液接触面积,提高效率。此类装置有倒盆式扩散装置、金山型扩散装置和固定螺旋式扩散装置,如图 5.29 ~ 5.31 所示。

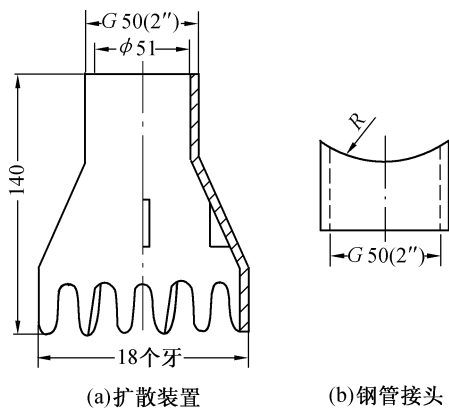


图 5.30 金山 I 型空气扩散装置

(c) 固定式三螺旋空气扩散装置

图 5.31 固定螺旋式空气扩散装置

(4)水力冲击式空气扩散装置。水力冲击式空气扩散装置有密集多喷嘴扩散装置和射流式扩散装置,如图 5.32 及图 5.33 所示。密集多喷嘴扩散装置的工作过程是,空气由喷嘴向上喷出,使曝气筒内混合液上下循环流动,出口流速为 $80 \sim 100 \text{ m/s}$,氧的利用率高,又不易堵塞。射流式扩散装置的工作过程是,利用水泵打入的混合液的高速动能,吸入大量空气,在喉管中强烈地混合搅动,将气泡粉碎成雾状,继而在扩散管中速头变成压头,使微气泡压缩、转移到混合液中,氧的转移率可达 20%。

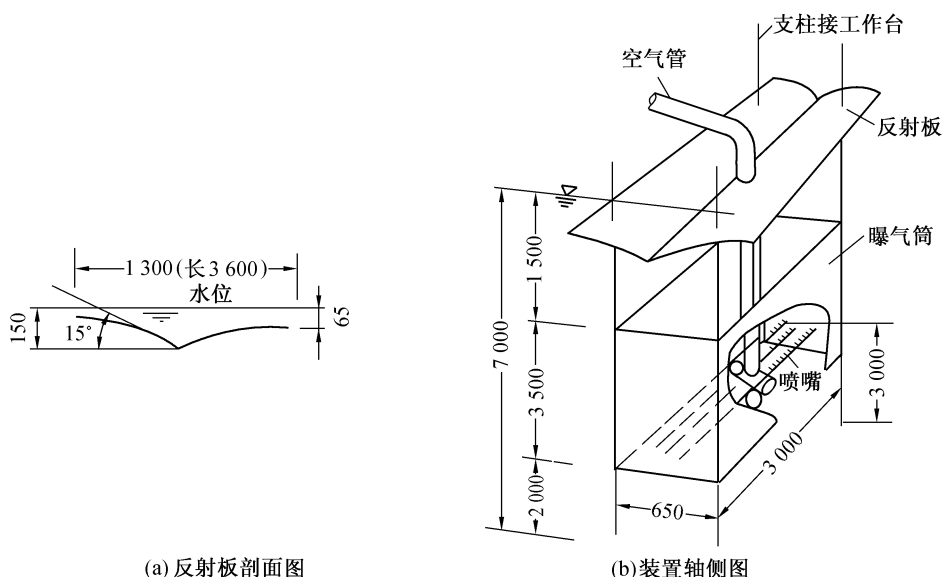


图 5.32 密集多喷嘴空气扩散装置

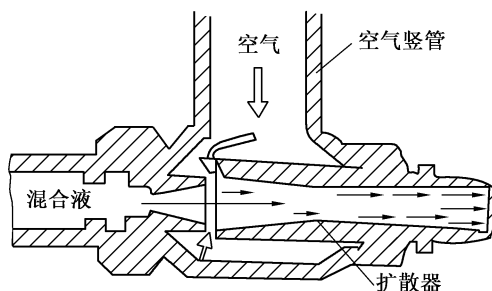


图 5.33 射流式空气扩散装置

3. 机械曝气

机械曝气有曝气叶轮及曝气转刷两大类。

(1)曝气叶轮。曝气叶轮有泵型、倒伞型和平板型三种,如图 5.34 所示。常将曝气叶轮贴

近液面,使叶轮在污水表面进行曝气,称为“表面曝气”。表面曝气充氧的过程是:当曝气叶轮旋转时,产生提水和输水作用,使曝气池内液体不断循环流动,从而不断更新气液接触面,同时得以不断地吸氧。叶轮旋转时,在其周围形成水跃,使液体剧烈搅动而卷入空气,叶轮和叶片后侧在旋转时形成负压而吸入空气。叶轮的充氧能力与叶轮直径、旋转速度、池形和浸液深度有关,一般表面曝气叶轮的动力效率为 $3 \text{ kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,氧的利用率为 $15\% \sim 25\%$ 。

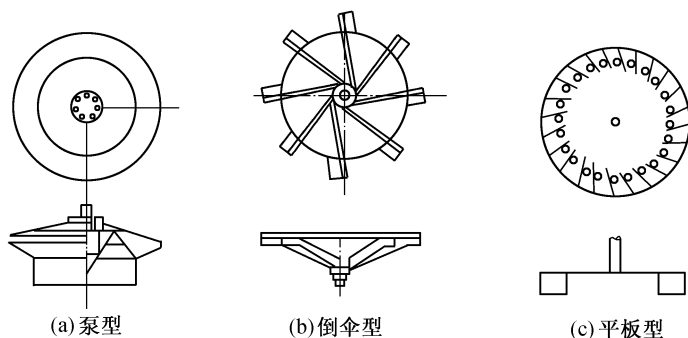


图 5.34 表面曝气叶轮

(2)曝气转刷。曝气转刷是一个附有不锈钢丝或板条的横轴,如图 5.35 所示,用电动机带动,转速为 $40 \sim 60 \text{ r/min}$,转刷贴近液面部分浸在池液中。转动时,钢丝或板条把大量液体抛向空中,并使液面剧烈波动而充氧,同时推动混合液在池内循环流动,促进溶解的扩散。

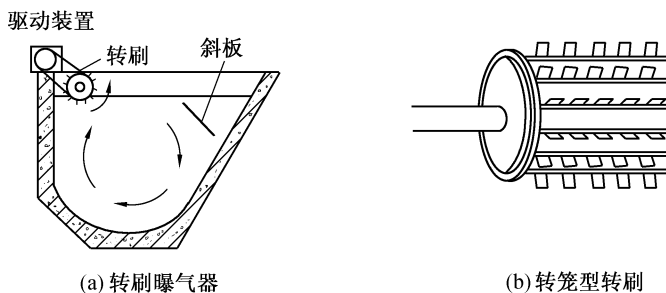


图 5.35 曝气转刷

4. 机械曝气与鼓风曝气比较

机械曝气与鼓风曝气二者有相同点,也有不同点。在实用上应根据工程的具体情况选择。

(1)共同点。二者均为向污水中的曝气供氧装置。

(2)不同点。

①曝气方式不同。鼓风曝气是将空气以气泡形式输送到混合液中,而机械曝气则是借助机械搅动水面与空气接触。故后者需要较大的水的表面积,而前者需要一定的风压和风量。

②处理流量不同。污水流量大时,可采用鼓风曝气,所需风压及风量可用鼓风机调节;机械曝气可处理相对小流量的污水,处理大流量污水时,要求较大表面积的曝气池。

③处理流程不同。机械曝气的污水处理流程为完全混合式,曝气与沉淀在同一池内完成,池形一般为方形或圆形;而鼓风曝气的污水处理流程为推流式,池形一般为长方形。

5.2.4 曝气池

1. 曝气池的分类

曝气池是活性污泥系统的核心设施。曝气池的形式如下。

- (1)按混合液流型可分为推流式、完全混合式和循环混合式三种;
- (2)按平面形状可分为长方廊道形、圆形、方形及环状跑道形四种;
- (3)按采用的鼓风方式可分为鼓风曝气、机械曝气及两者联合曝气三种;
- (4)按曝气池与二沉池的关系可分为分建式与合建式两种。

2. 推流式曝气池

推流式曝气池为长方廊道形池子,常采用鼓风曝气,扩散装置排放在池子的一侧,如图 5.36 所示。这种布置形式在曝气供氧时可使水流在池子呈螺旋状流动,增加气泡和水的接触时间。每个池子常由 1~4 个折流的廊道组成,曝气池的数目由污水量而定,如图 5.37 所示。曝气池的池长可达 100 m。为防止短流,廊道长宽比应大于 5~10,宽深比 1.5~2.0,池深 3~5 m。曝气池进水口一般淹没在水面以下,曝气池出水口常用溢流堰或出水孔,水的流速较小(0.1~0.2 m/s),以免搅动污泥。在曝气池半深处和距池底 1/3 深处及池底设置放水管,前两者备间歇运行(培养活性污泥)时用,后者为池子放空时用。

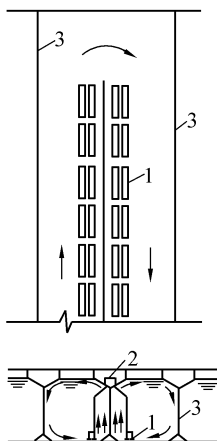


图 5.36 推流式曝气池

1—扩散器 2—空气管 3—隔墙

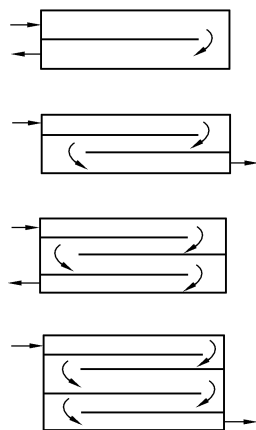


图 5.37 曝气池廊道

3. 完全混合式曝气池

完全混合式曝气池常用叶轮供氧,多为圆形、方形或多边形,采用表面叶轮曝气的完全混合式曝气沉淀池,如图 5.38 所示。它由曝气区、导流区、沉淀区和回流区四部分组成。曝气装置设在池顶部中央,并深入水下某一深度。污水入口在中心,出口在池四周。在曝气区内污水和回流的污泥迅速混合,然后经导流区流入沉淀区,澄清水经出流堰排出。沉淀下来的污泥沿池四周回流缝流入曝气区。导流区的作用是使污泥凝聚并使气水分离,为沉淀创造条件。这种曝气沉淀池布置紧凑,流程短,在工业废水及小型污水处理工程上得到广泛作用。

图 5.39 是一种方形或长方形的完全混合式曝气沉淀池,它的沉淀区仅在曝气区的一边设置,适合于需曝气时间长的污水处理。图 5.40 为鼓风曝气和机械曝气联合使用的曝气沉淀池。曝气叶轮靠近池底,叶轮下还有空气扩散装置供给空气,叶轮主要起搅拌作用,而氧由鼓风曝气供给。采用叶轮供氧完全混合曝气池,除合建式外,还有分建式,即曝气池与沉淀池分建。

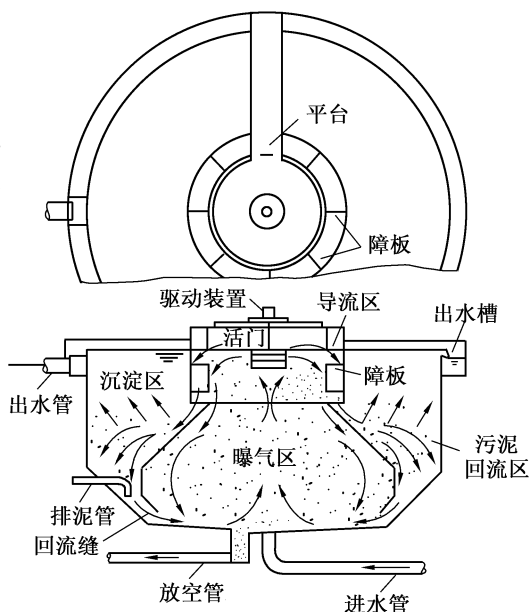


图 5.38 圆形曝气沉淀池

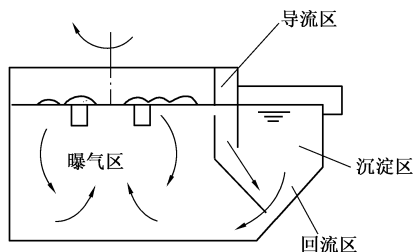


图 5.39 方形曝气沉淀池

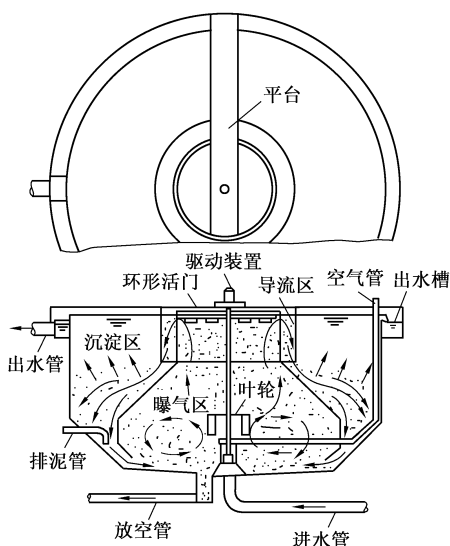


图 5.40 鼓风与机械联合式曝气沉淀池

4. 循环混合曝气池

循环混合曝气池多采用转刷供氧,其表面形状如环形跑道,也称为氧化渠,属于延时曝气,如图 5.41 及图 5.42 所示。转刷设在氧化渠道直段上,转刷旋转时混合液在池内循环流动,流速 0.3 m/s 以上,使污泥呈悬浮状态。污水从环的一端进入,从另一端流出,一般混合液的环流量为进水量的数百倍。氧化渠的断面可设计成梯形或矩形,水深为 2.5 m ,氧化渠可分为间歇运行和连续运行两种形式,间歇式氧化渠适用于处理小量污水,可省去二次沉淀。由于氧化渠流程简单,施工方便,转刷制造容易,在中小型水厂得到广泛应用。

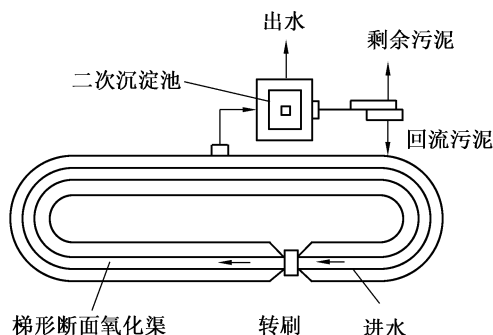


图 5.41 氧化渠的基本形式

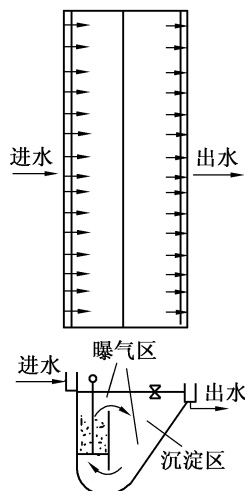


图 5.42 长方形曝气沉淀池

5.2.5 设计计算

普通活性污泥法(包括传统法、阶段曝气法及吸附再生活性污泥法)的设计计算如下。

1. 设计参数

- (1)曝气池长宽比大于 10,宽深比为 $1 \sim 2$,池深为 $2 \sim 5 \text{ m}$ 。
- (2)曝气池池数不少于 2 组,并按并行运行计算,每组由 $1 \sim 4$ 廊道组成。
- (3)回流污泥量通常不大于设计污水量的 $50\% \sim 100\%$ 。
- (4)当采用微孔曝气器时,曝气器应均匀分布在池底,间距 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$,服务面积 $0.3 \sim 1.0 \text{ m}^2/\text{个}$ 。当采用多孔管时,应装设在池底 $0.1 \sim 0.2 \text{ m}$ 处。

2. 工况参数

普通活性污泥法工况参数见表 5.7。

表 5.7 普通活性污泥法的工况参数

项 目	说 明	传统活性 污泥法	阶段曝气 活性污泥法	吸附再生 活性污泥法
曝气时间/h	$\frac{\text{曝气池有效容量}/\text{m}^3}{\text{流入废水量}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})}$	6~8	4~6	5以上
MLSS/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	曝气池内流入废水和回流污泥 的混合液平均悬浮物质质量浓度	1 500~2 000	2 000~3 000	2 000~8 000
回流污泥率/%	$\frac{\text{回流污泥量}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})}{\text{流入废水量}/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})} \times 100$	20~30	20~30	50~100
BOD 容积 负荷/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$	$\frac{\text{流入废水的 BOD}/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \times \text{流入废水量}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})}{\text{曝气池有效容积}/\text{m}^3}$	0.3~0.8	0.4~1.4	0.8~1.4
BOD 污泥负荷 / $[\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}]$	$\frac{\text{BOD 容积负荷}[\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})]}{\text{曝气池混合液悬浮物质质量浓度}/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})}$	0.2~0.4	0.2~0.4	0.2~0.4
空气量 / $[\text{m}^3 \cdot (\text{m}^3 \text{ 流入废水})^{-1}]$	$\frac{\text{送气量}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})}{\text{流入废水量}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})}$	3~7	3~7	12以上
污泥龄/d	$\frac{\text{曝气池容积}/\text{m}^3 \times \text{MLSS}/(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})}{(\text{进水量} - \text{剩余污泥量})/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) \times \text{出水悬浮物质量浓度}} \\ (\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) + \text{剩余污泥量}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) \times \text{剩余污泥质量浓度}/(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	2~4	2~4	44
BOD 去除率/%	$\frac{\text{流入废水 BOD 质量浓度}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) - \text{流出废水 BOD 质量浓度}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})}{\text{流入废水质量浓度 BOD}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})}$	95	95	90

3. 计算公式

普通活性污泥法计算公式见表 5.8。

表 5.8 普通活性污泥法计算公式

项 目	公 式	符 号 说 明
处理效率	$E = \frac{L_a - L_e}{L_a} \times 100\%$ $= \frac{L_r}{L_a} \times 100\%$	E—BOD 去除效率, % L_a —进水 BOD 质量浓度 kg/m^3 L_e —出水 BOD 质量浓度 kg/m^3 L_r —去除的 BOD 质量浓度 kg/m^3
曝气池容积	$V = \frac{QL_r}{NF}$ $N = fN$ $F_r = NF$ $V = \frac{QL_r}{F_r}$	V—曝气池容积 m^3 Q—进水设计流量 m^3/d N—混合液挥发性悬浮物 (MLVSS) 质量浓度 kg/m^3 f—系数 (一般 0.7~0.8) N—混合液悬浮物 (MLSS) 质量浓度 kg/m^3 F—污泥负荷 $\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ F_r —容积负荷 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$
水力停留时间	$t_m = \frac{V}{Q}$	t_m —水力停留时间 d

续表 5.8

项 目	公 式	符 号 说 明
污泥产量	$X_V = aQL_r - bVN'$	X_V —系统每日排出剩余污泥量 ,kg/d a—污泥增殖系数(一般 0.5~0.7) b—污泥自身氧化率 ,L/d(一般 0.04~0.1)
污泥龄	$t_s = \frac{1}{aF - g}$ $g = \frac{VR}{(1 + R)t_s}$	q—剩余污泥量 ,m ³ /d t_s —污泥龄(亦称污泥停留时间 ,即 SRT) d R—污泥回流比
曝气池需氧量	$Q_2 = a'QL_r + b'VN'$	Q_2 —曝气池混合液需氧量 ,kgO ₂ /d a'—氧化 1 kgBOD 需氧量 ,kg/kg(一般为 0.42~0.53) b'—污泥自身氧化需氧率 ,kg/kg·d(一般为 0.188~0.11)

4. 计算举例

某城市污水设计流量 9 600 m³/d ,经一级处理后出水 $\rho(\text{BOD}_5) = 200 \text{ mg/L}$,要求经普通曝气法处理后 $\rho(\text{BOD}_5) = 20 \text{ mg/L}$,求普通曝气池有关数据。

解 (1)处理效率

已知 $L_a = 200 \text{ mg/L} = 0.2 \text{ kg/m}^3$ $L_e = 20 \text{ mg/L} = 0.02 \text{ kg/m}^3$

$$\text{则 } E/\% = \frac{L_a - L_e}{L_a} \times 100 = \frac{L_r}{L_a} \times 100 = \frac{0.2 - 0.02}{0.2} \times 100 = \frac{0.18}{0.2} \times 100 = 90$$

(2)曝气池容积

设 $f = 0.7$ $N = 3 \text{ kg/m}^3$

则 $N' /(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = fN = 0.7 \times 3 = 2.1$

设 $F = 0.4 \text{ kg/kg} \cdot \text{d}$

$$\text{则 } V/\text{m}^3 = \frac{QL_r}{N' \cdot F} = \frac{9\,600 \times 0.18}{2.1 \times 0.4} \approx 2\,057$$

(3)水力停留时间

$$t_m = \frac{V}{Q} = \frac{2\,057}{9\,600} = 0.214/\text{d} = 5.1 \text{ h}$$

(4)污泥产量

设 $a = 0.6$ $b = 0.08$

则 $X_V/(\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}) = aQL_r - bVN' = 0.6 \times 9\,600 \times 0.18 - 0.08 \times 2\,057 \times 2.1 \approx 691.2$

(5)泥龄

$$t_s/d = \frac{1}{aF - b} = \frac{1}{0.6 \times 0.4 - 0.08} = 6.25$$

(6)需氧量

设 $a' = 0.5$ $b' = 0.16$

则 $Q_2/(kg \cdot d^{-1}) = a'QL_r + b'VN' = 0.5 \times 9\,600 \times 0.18 + 0.16 \times 2\,057 \times 2.1 \approx 1\,555$

5.2.6 运行管理

1. 活性污泥的培养与驯化

活性污泥系统工程竣工投产前,应首先进行活性污泥的培养与驯化。

(1)接种菌体。污泥接种前应检查鼓风机、回流泵、二沉池刮泥机和进水提升泵是否处于良好状态,并备好菌体的营养物后即可开始接种。生活污水与城市污水,既具有菌种,又具有菌种所需的营养物,可直接培养;工业废水要接种菌体和投加必需的营养物。工业废水接种时,要尽量选用与接种污泥相似的污水厂的新鲜活性污泥,若选用不到时,可使用新脱水的泥饼作接种污泥。用污泥泵将接种的污泥均匀投到曝气池中,连续进行搅拌,使污泥处于良好的悬浮状态。另外,好氧池还需连续进行鼓风曝气,使溶解氧质量浓度在 2 mg/L 以上。

(2)活性污泥菌体的培养。

①间歇换水。对生活污水所占比重不大的城市污水及工业污水采用间歇换水,采用进水—闷曝—沉淀—再进水的操作方法。将接种的污泥投入曝气池,再用污水或自来水稀释(BOD_5 质量浓度为 $200 \sim 300\text{ mg/L}$ 左右)进行连续曝气,约 1 周左右就会出现模糊的活性污泥绒絮等。这时混合液中的营养物减少,微生物排泄的分泌物增多,将影响菌体的进一步生长繁殖,因此要进行换水。间歇换水方法为:曝气池停止曝气,混合液静止沉淀 $1.0 \sim 1.5\text{ h}$ 后排放澄清液,排放量约占混合液的 $50\% \sim 70\%$,然后向曝气池加生活污水或自来水加粪便水。投加量应使 N_s 在适宜范围内, N_s 为 BOD 污泥负荷,一般活性污泥法 $N_s = 0.2 \sim 0.4\text{ kg/(kg \cdot MLVSS \cdot d)}$,如混合液 30 min 的沉降比小于 30% 时需投加更多的粪便水,否则可投加自来水。为保证微生物的生存,每次换水时间不超过 2 h 为宜。以后应每天换水一次,直到活性污泥培养成熟为止,一般在水温 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 时,约需 2 周时间即可培养成熟。

②连续换水。以生活污水为主的城市污水厂适用于连续换水,即在第一次加料曝气并出现污泥绒絮后,就不断向曝气池中投加生活污水或自来水(添加粪便水量与间歇操作相同),投加水量要保证池水每天更换一次,并逐渐加大投加水量,保证池水每天能更换 2 次。当曝气池出水进入二沉池 $0.5 \sim 1.0\text{ h}$ 后,立即回流污泥,回流量为曝气池进水量的 50% 。在 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 的条件下,污泥培养的成熟时间约需 2 周左右。

(3)活性污泥菌体的驯化。

①同步驯化。以生活污水为主的城市污水一般采用同步驯化法。为了缩短活性污泥菌种的培养与驯化时间,可将培养与驯化两个阶段合并进行,即在培养开始就加入少量生活(产)污水,并逐渐增加比重,使活性污泥在增长过程中逐渐适应生活(产)污水并具有处理能力。

②异步驯化。先培养后驯化的方法称为异步驯化,工业废水一般采用异步驯化。当活性污泥培养成熟后,即可在进水中逐渐加入生产污水,使微生物逐渐适应新的生活条件,每次增加生产污水的数量可按设计流量的10%~20%加入,直到满负荷为止。在驯化过程中,不能适应生产污水的微生物逐渐被淘汰,适应的微生物得到繁殖发展,直到完全适应所处理的生产污水为止。在驯化过程中,由于工业废水缺少氮、磷等养料,须向曝气池中投加这些营养物。

2. 试运行

活性污泥培养驯化成熟后,就可开始试运行。试运行的目的是确定最佳的运行条件、混合液污泥浓度(MLSS)、空气量及进水方式等。

(1)混合液污泥浓度(MLSS)。为使曝气池保持良好的运行状态,其微生物量(M)与营养物(F)须保持一定比值,此比值一般用污泥负荷率($N_s = F/M$)来控制。

(2)空气量。应满足供氧和搅拌两个方面的要求,使混合液溶解氧质量浓度保持1~2 mg/L,以满足微生物需氧的要求。另外,还要搅拌使曝气池池面、中间和池底各点污泥质量浓度均匀。

(3)进水方式。活性污泥系统的进水方式,一般设计得比较灵活,可按传统法,也可按阶段曝气法或生物吸附法运行,要通过试运转确定最佳的运行方式。

3. 运行异常情况处理

(1)污泥膨胀。当污泥不易沉淀,SVI值增高,污泥的结构松散和体积膨胀,含水率上升,颜色也有异变时,这就是“污泥膨胀”。污泥膨胀主要是丝状菌大量繁殖所引起。为防止污泥膨胀,应加强操作管理,经常检测污水水质,如发现不正常现象,应采取预防措施。

当污泥发生膨胀后,可针对引起膨胀的原因采取措施。如缺氧时,可加大曝气量,或降低进水量以减轻负荷,或适当降低MLSS值,以调整负荷,必要时还要停止进水,“闷曝”一段时间,如缺氧、磷、铁养料,可投加硝化污泥液或氮、磷等成分,如pH值过低,可投加石灰等调节,若污泥大量流失,可投加质量浓度为5~10 mg/L的氯化铁,帮助凝聚,刺激菌胶团生长,也可投加漂白粉或液氯(按干污泥的0.3%~0.6%投加),抑制丝状菌繁殖,特别能控制结合水性污泥膨胀,也可投加石棉粉末、硅藻土、黏土等惰性物质,降低污泥指数。

(2)污泥解体。处理水质浑浊、污泥絮凝体微细化、处理效果变坏等则是污泥解体现象。运行不当,如曝气过量,会使活性污泥生物—营养的平衡遭到破坏,使微生物量减少而失去活性,吸附能力降低,絮凝体缩小质密。当污水中存在有毒物质时,微生物会受到抑制或伤

害,净化功能下降或完全停止,应控制曝气量及去除废水中的有毒物质。

(3)污泥腐化。在二次沉淀池中,污泥长期滞留而厌氧发酵生成气体 H_2S 、 CH_4 等,从而使污泥腐败变黑、产生恶臭、大块污泥上浮的现象,称为污泥腐化。防止污泥腐化的措施为:消除沉淀池的死角区,加大池底坡度或改进池底刮泥设备,不使污泥滞留于池底。

(4)污泥上浮。污泥在二次沉淀池呈块状上浮的现象,称为污泥上浮,是由于在曝气池内污泥泥龄过长,硝化进程较高,从而使污泥密度降低,整块上浮。防止污泥上浮的措施为:增加污泥回流量或及时排除剩余污泥,在脱氮之前即将污泥排除,或降低混合液污泥浓度、缩短污泥龄和降低溶解氧等,使之不进行到硝化阶段。

(5)泡沫丛生。曝气池中产生泡沫,是由于污水中存在大量合成洗涤剂或其他起泡物质引导起的。消除泡沫的措施有:分段注水以提高混合液浓度,进行喷水或投加除沫剂(如机油、煤油等,质量浓度约为 $0.5 \sim 1.5 \text{ mg/L}$)等。此外,也可用风机机械消泡。

5.3 新生物法

活性污泥法是污水生物处理的主要方法,但也存在一些不足。多年来,有关专家、技术工作者进行了许多改进与发展。在净化功能方面,改变了以降解有机物为主要功能的传统模式,在脱氮除磷方面取得显著成果,提出了缺氧-好氧(A_1-O)的脱氮工艺,厌氧-好氧(A_2-O)除磷工艺和厌氧-缺氧-好氧(A^2-O)的脱氮除磷工艺。另外,还提出了间歇式活性污泥(SBR)法、两级活性污泥(A-B)法和氧化沟(OD)法等。

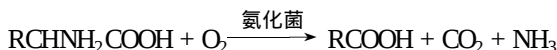
5.3.1 脱氮除磷(AO)工艺

普通活性污泥法能有效地去除污水中含碳的有机物 BOD、COD 等,但不能有效地去除污水中的氮与磷,若含氮、磷污水直接排入水体,会引起水体的富营养化污染,使水体水质恶化,使湖泊退化。AO 工艺可有效地去除污水中的氮和磷。

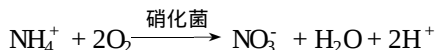
1. 缺氧-好氧(A_1-O)脱氮工艺

脱氮是将污水中含的各种形态的氮转化为氮气从水中脱除,脱氮的过程分为以下几个步骤。

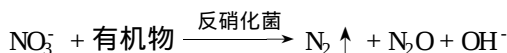
(1)氨化作用。在氨化菌的作用下,将各种有机氮转化为氨态氮。



(2)硝化作用。在硝化菌的作用下,氨态氮分解氧化为硝酸氮。



(3)反硝化作用。在反硝化菌的作用下,硝酸氮(NO_3-N)和亚硝酸氮(NO_2-N)被还原为气态氮(N_2)。



缺氧 - 好氧($A_1 - O$)脱氮工艺是由缺氧池、好氧池和二次沉淀池组成,其工艺流程如图 5.43 所示。好氧池的作用是对有机物进行氧化,并进行生物硝化。而缺氧池的作用是进行生物反硝化,从而完成生物脱氮。污水首先进入缺氧池,在缺氧池中,回流污泥中的反硝化菌利用污水中的有机物作为碳源,将回流污泥中的 NO_3^- 还原为 N_2 逸出水面。污水在氧化池内进行有机物的生物氧化,去除 BOD,同时进行有机物的氨化和硝化。好氧池后设沉淀池,部分沉淀污泥回流至缺氧池,以保证缺氧池有足够的 NO_3^- 。 $A_1 - O$ 系统的脱氮率可达 75% 以上,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 质量浓度小于 2 mg/L。

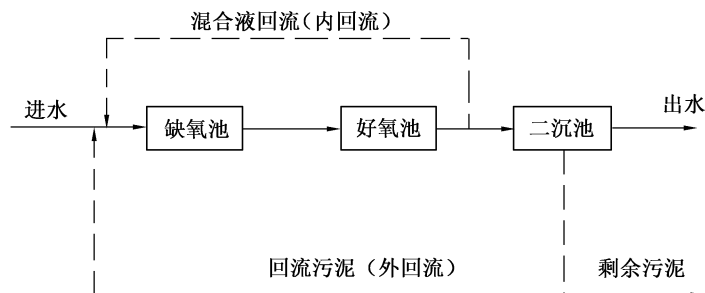


图 5.43 $A_1 - O$ 生物脱氮工艺流程图

2. 厌氧 - 好氧($A_2 - O$)除磷工艺

厌氧 - 好氧($A_2 - O$)除磷工艺由厌氧池、好氧池及二沉池组成,其工艺流程如图 5.44 所示。该工艺在去除有机物的同时,可去除污水中的磷。入流污水及回流污泥进入厌氧池混合反应,回流污泥中的聚磷菌在厌氧池中可吸收部分有机物,同时释放出大量的磷。然后混合液流入好氧池,有机物在好氧池内被氧化分解,聚磷菌从混合液中摄取更多的磷,然后流入二沉池进行泥水分离,一部分污泥回流到厌氧池,另一部分污泥从系统中排出,以达到除磷和去除 BOD 的目的。

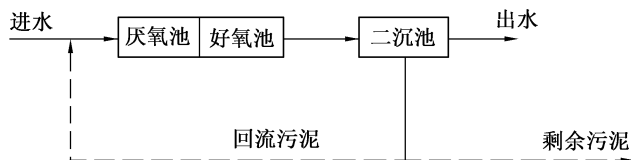


图 5.44 $A_2 - O$ 生物除磷工艺流程图

3. 厌氧 - 缺氧 - 好氧($A^2 - O$ 或 $A - A - O$)脱氮除磷工艺

厌氧 - 缺氧 - 好氧($A^2 - O$ 或 $A - A - O$)脱氮除磷工艺由厌氧池、缺氧池、好氧池及二沉池组成,其工艺流程如图 5.45 所示。在厌氧池主要进行磷的释放,使污水中磷的浓度升高,

溶解性有机物被细菌细胞吸收而使污水中的 BOD 下降 ;另外 ,部分 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 因细胞合成得以去除 ,使污水中的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度下降。在缺氧池中 ,反硝化菌利用污水中的有机物作为碳原将回流混合液中带入的大量的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 NO_2^- 还原为 N_2 释放至大气。在好氧池中 ,有机物被微生物氧化分解 ,BOD 继续下降 ,由于聚磷菌对磷的摄取 ,使混合液中磷的浓度快速下降 ,这是厌氧池与好氧池联合完成除磷的功能。

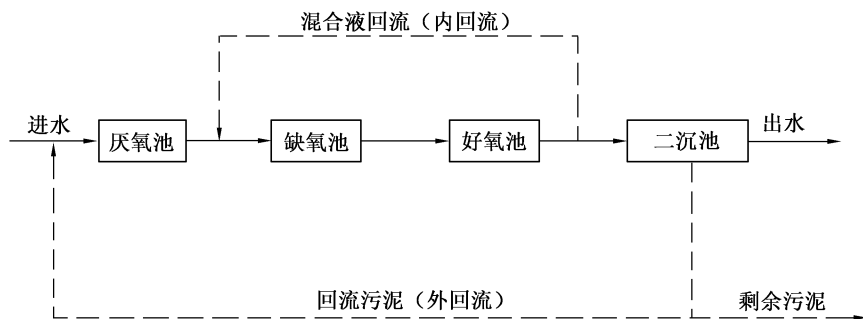


图 5.45 A-A-O 生物脱氮除磷工艺流程图

5.3.2 间歇式活性污泥(SBR)法

普通活性污泥法是连续的运行方式 ,而间歇式活性污泥法的运行方式是间歇的 ,其工艺流程如图 5.46 及图 5.47 所示。该工艺可省去二次沉淀池及调节池 ,曝气池容积也小于连续式 ,基建费用及运行费用较低 ,同时还可脱氮和除磷 ,无须进行的污泥回流 ,因此 ,该工艺得到迅速的发展。间歇式活性污泥法工艺 ,由进水、曝气反应、沉淀、出水、闲置五个阶段组成 ,称为一个运行周期。在曝气反应阶段 ,控制曝气使池内处于厌氧和缺氧状态 ,实现脱氮和除磷目的。沉淀阶段相当于传统活性污泥法中的二沉淀 ,而该法是在完全静止状态下进行沉淀 ,所以沉淀效果好 ,排出的上清液基本不带泥 ,泥水分离彻底 ,提高了污泥的活性。

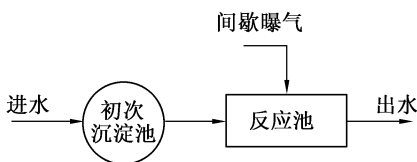


图 5.46 SBR 工艺流程图

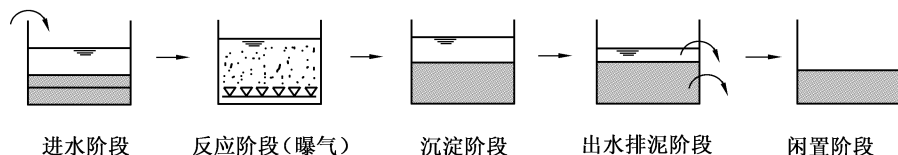


图 5.47 SBR 工艺反应池运行程序

5.3.3 两级活性污泥(AB)法

两级活能污泥(AB)法工艺流程如图 5.48 所示。AB 法为吸附生物降解工艺,是由 A 段和 B 段各自形成的独立系统组成。AB 法不设初沉池,污水经预处理后直接进入 A 段,然后进入 B 段。A 段的主要作用是以生物絮凝、吸附的方式去除污水中的悬浮物、胶体物等。B 段的作用是以生物降解的氧化方式去除污水中的有机物。该工艺 BOD、COD、SS、磷和氮的去除率均高于普通活性污泥法,可节省基建和运行费用,特别是 A 级负荷率高,抗冲击负荷,对 pH 值及有毒物质有缓冲作用。

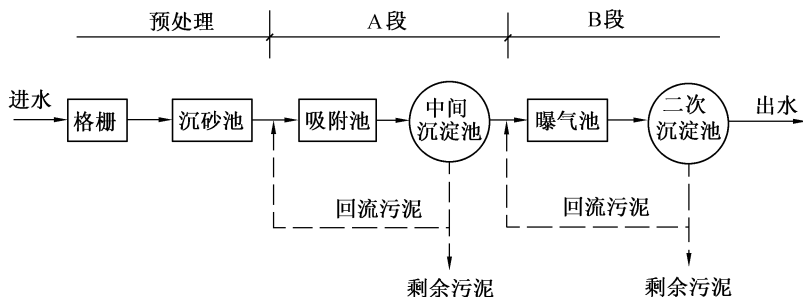


图 5.48 AB 工艺流程图

5.3.4 氧化沟(OD)法

氧化沟(OD)法工艺流程如图 5.49 所示。氧化沟是普通活性污泥的改型,与普通活性污泥法比较,具有以下特点。

(1)处理工艺简单,操作运行方便。可省去初沉池,当氧化沟与二沉池合建时可省去污泥回流系统。由于污泥在氧化沟内停留时间长,排出的剩余污泥性能稳定,无须进行污泥的消化处理,因此操作运行方便。

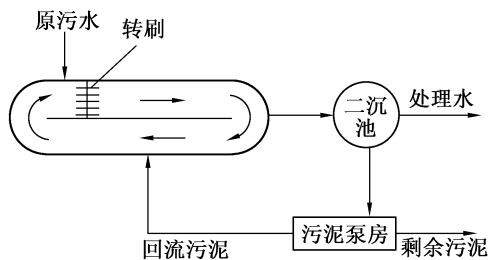


图 5.49 氧化沟的基本工艺流程图

(2)处理效果稳定,出水水质较好。由于水力停留时间长,有机物得到较彻底的降解,所以处理效果稳定,出水水质较好。同时由于沿沟长在曝气机下游存在着溶解氧的变化,呈现好氧区、缺氧区的交替状态,使沟渠相继产生消化和反消化过程,实现脱氮的目的。

(3)污泥性质稳定,污泥产量较小。由于该工艺污泥龄可达 20~30 d,污泥在渠内得到好氧处理,其性质稳定,产泥量也大为减少。

(4)能承受冲击负荷,可稀释高浓污水。氧化渠水力停留时间长,污泥龄长,渠中水流不断循环,可承受水量、水质变化的冲击,对进入的高浓度污水有很大的稀释能力。

(5)构造类型多样 运行方式灵活。氧化渠的构造类型多样,可以是圆形、椭圆形,可以是单渠、多渠,可以是圆心渠,也可是平行渠,可以与二沉池合建或分建。多样的构造赋予了氧化渠灵活的运行方式。

(6)基建投资较小 运行费用较低。由于氧化渠工艺流程简单,管理运行灵活,所以与普通活性污泥法相比,其基建投资小,运行费用低。

氧化渠在寒冷地区使用,尚需解决过冬问题。但总地来看,氧化渠处理效果好,基建投资小,运行费用低,在我国目前的经济技术条件下,应进一步研究推广,以促进污水处理事业的发展。

5.4 生物膜法

微生物附着在滤料上生长繁殖,并形成膜状生物污泥称为生物膜。生物膜法是当污水与生物膜接触时,污水中的有机污染物可作为营养物质,为生物膜上的微生物所摄取,使污水得到净化的方法。用生物膜处理污水的构筑物有生物滤池、生物转盘、生物接触氧化池及生物流化床等。

5.4.1 生物滤池

1. 净化机理

通过布水装置流到滤池表面的污水滴流下落,一部分被吸附在滤料表面(生物膜为高亲水物质),成为薄膜状的附着水层;另一部分则流过滤料,成为流动水层并从上层流向下层,经处理后排出池外。生物滤池中生物膜降解有机污染物的模式,如图 5.50 所示。空气中的氧溶解于流动水层中,通过附着水层传递给生物膜,供微生物呼吸;污水中的有机物通过流动水层也传递给生物膜,随着污水连续滴流,滤池表面上的生物膜不断形成和成熟。有机物的降解就是在生物膜表层深度 2 mm 的好氧生物膜内进行的,通过细菌的代谢活动,有机物被降解,好氧微生物代谢产物 H_2O 及 CO_2 通过附着水层传给流动水层逸出。

生物膜成熟后微生物仍不断增殖,生物膜厚度不断增加,其深部转变为厌氧膜。厌氧代谢产物 H_2S 、 NH_3 通过好氧膜排出膜外,使好氧

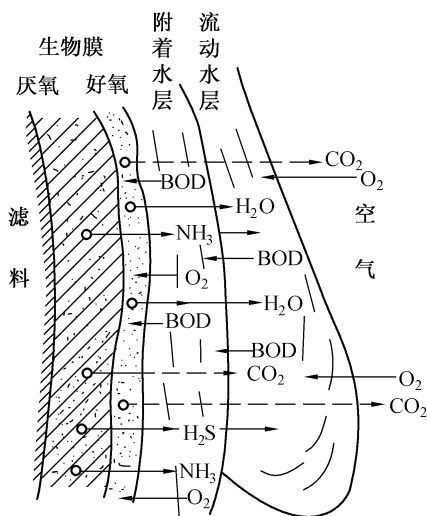


图 5.50 生物膜降解有机污染物模式

膜遭到破坏,这时生物膜处于老化状态而脱落。同时,又开始增长新的生物膜,生物膜就这样如此不断循环。

生物滤池的基本工艺流程如图 5.51 所示。污水经沉淀处理后进入生物滤池,在生物滤池处理过程中,滤料上的生物膜不断脱落更新,脱离的生物膜随处理水一同进入二沉池,进行泥水分离。处理达标的水排出,污泥再经处理后排出或利用。

生物滤池分为普通生物滤池、高负荷生物滤池及塔式生物滤池等。

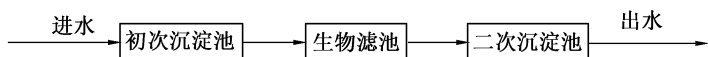


图 5.51 生物滤池基本工艺流程图

2. 普通生物滤池

生物滤池按负荷分为低负荷生物滤池和高负荷物生物滤池,普通生物滤池属低负荷生物滤池。

普通生物滤池有两种负荷:一是水力负荷,在保证处理水质达到要求的前提下,每立方米滤料或每平方米滤料表面在 1 日内能处理的污水水量,其单位为 $\text{m}^3/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$ 或 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$,普通生物滤池的水力负荷一般为 $1 \sim 4 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;二是 BOD_5 容积负荷,在保证水质达到要求的前提下,每立方米滤料在 1 日内所处理的 BOD_5 量,其单位为 $\text{g}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$,普通生物滤池 BOD_5 容积负荷为 $100 \sim 400 \text{ g}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$ 。普通生物滤池运行稳定,管理方便,节省能源,处理效果好, BOD_5 去除率可达 95% 以上。其缺点是滤料易堵塞,易产生池蝇,占地面积大,仅适宜处理小流量污水。普通生物滤池由池体、滤料、布水装置和排水系统四部分组成,如图 5.52 所示。

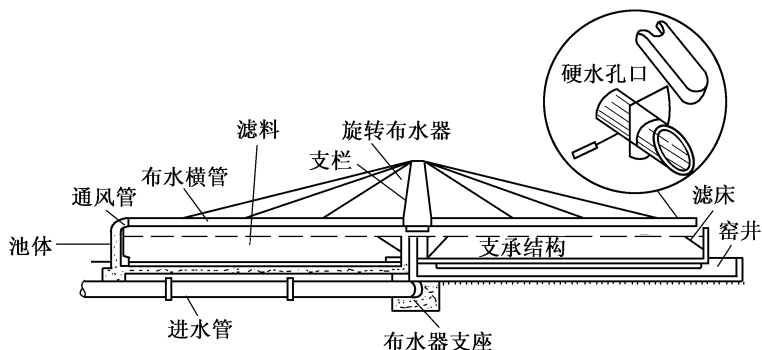


图 5.52 普通生物滤池

(1)池体。池体的平面为方形或矩形,四周筑墙为池壁,池底的作用为支撑滤料与排除处理后的污水,池顶应高出滤料表面层 $0.5 \sim 0.9 \text{ m}$ 。

(2)滤料。滤料是滤池的主体,对滤料的要求如下。

①质坚高强,耐腐蚀,抗冰冻。

②滤料的表面是生物膜形成与固着的部位,因此要求其比表面积大。

③滤料之间空隙处是生物膜、污水、空气相的接触部位,因此滤料之间空隙率要大。

④滤料能就地取材,便于加工、运输。滤料一般为碎石、卵石、炉渣和焦炭,直径 5~7 cm,分工作层和承托层,总厚度 1.5~2.0 m。近年来,开始使用聚氯乙烯、聚苯乙烯和聚酰胺等波形板式、列管式和蜂窝式人工滤料,其特点是质轻、高强、耐蚀,但价格较高。

(3)布水装置。布水装置就是向滤池表面均匀撒布污水,有固定式和旋转式两种布水形式。

①固定式布水装置。如图 5.53 及图 5.54 所示。由投配池、虹吸装置、布水管道和喷嘴组成。

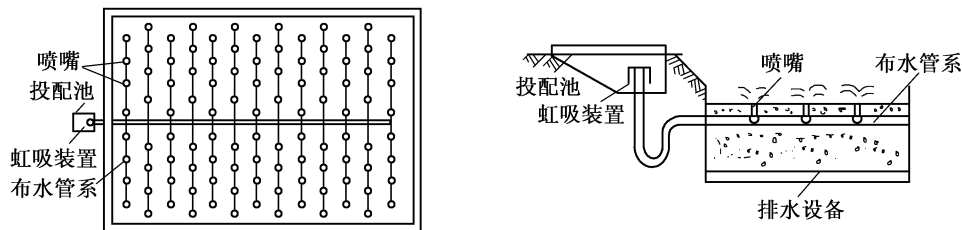


图 5.53 固定式布水装置系统

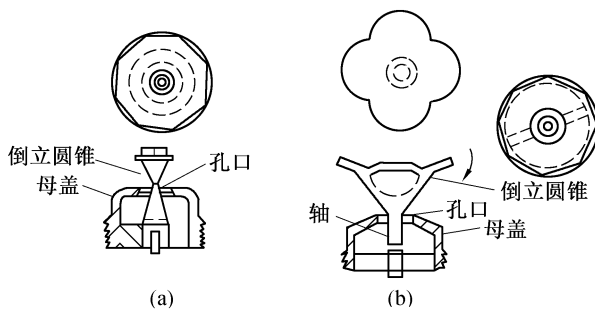


图 5.54 喷嘴

②旋转式布水装置。污水首先流入池中央的固定竖管,然后进入布水横管,布水横管可绕竖管旋转。在横管的同一侧开有喷水孔,由于喷水产生的反作用力,使横管按喷流的相反方向旋转。

(4)排水系统。设于池子底部,其作用:一是排除处理后的污水;二是保证滤池的良好通风。排水系统包括渗水装置、汇水池和总排水沟等。图 5.55 为混凝土板式渗水装置。

3. 高负荷生物滤池

高负荷生物滤池负荷率高,水力负荷为 $10 \sim 30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。 BOD_5 容积负荷约为 $1\,200 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,高于普通生物滤池 10 倍左右。高负荷生物滤池的高负荷是通过限制进水的 BOD_5 值和在运行上采用的处理水回流措施实现的。

①回流水可稀释和降低进水浓度, BOD 质量浓度可低于 200 mg/L ,稳定进水水质,减轻高浓度污水对生物膜的毒害作用。

②回流水中夹带的微生物可增加池中有益微生物的数量,起到接种和补充微生物的作用,使微生物经常保持活性,提高处理负荷。

③回流水可增加进水的溶解氧,防止生物膜气味及池蝇的产生。

回流量(Q_R)与原污水量 Q 之比称为回流比。

$$R = \frac{Q_R}{Q}$$

高负荷生物滤池回流比值见表 5.9。由于采用回流水措施,使高负荷生物滤池有下述几种流程。

表 5.9 高负荷生物滤池的回流比

废水的 BOD 质量浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	高负荷生物滤池的回流比		废水的 BOD 质量浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	高负荷生物滤池的回流比	
	一段	二段各段		一段	二段各段
< 150	0.75 ~ 1.0	0.5	450 ~ 600	3.0 ~ 4.0	2.0
150 ~ 300	1.5 ~ 2.0	1.0	600 ~ 700	3.75 ~ 5.0	2.5
300 ~ 450	2.25 ~ 3.0	1.5	750 ~ 900	4.5 ~ 6.0	3.0

(1)循环回流高负荷生物滤池。循环回流高负荷生物滤池有下列三种流程系统,如图 5.56 所示。系统(a),处理水回流到滤池前,可避免加大初沉池容积;系统(b),滤池出水直接回流,有助于生物膜再次接种,可促进生物膜的更新;系统(c),滤池出水回流到沉淀池,不设二沉池。

(2)二段高负荷生物滤池。当原污水浓度较高,对出水也要求高时,常采用二段高负荷生物滤池,如图 5.57 及图 5.58 所示。

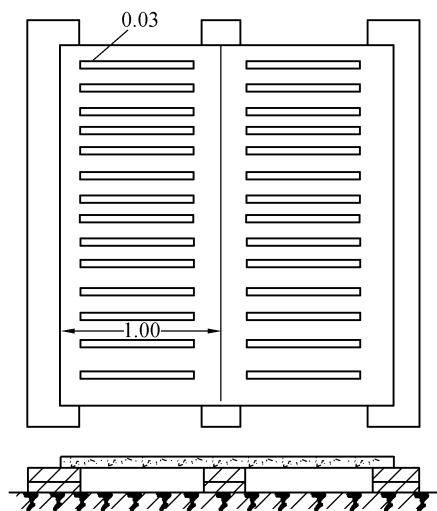


图 5.55 混凝土板式渗水装置

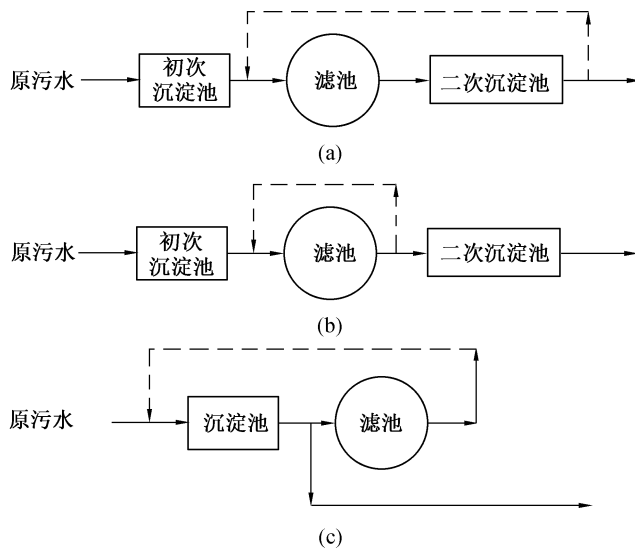


图 5.56 高负荷生物滤池典型流程图

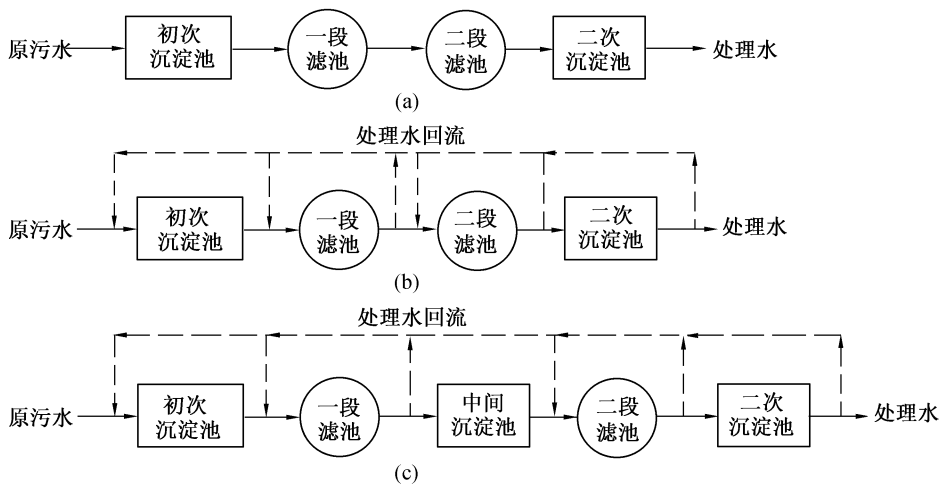


图 5.57 二段高负荷生物滤池流程系统

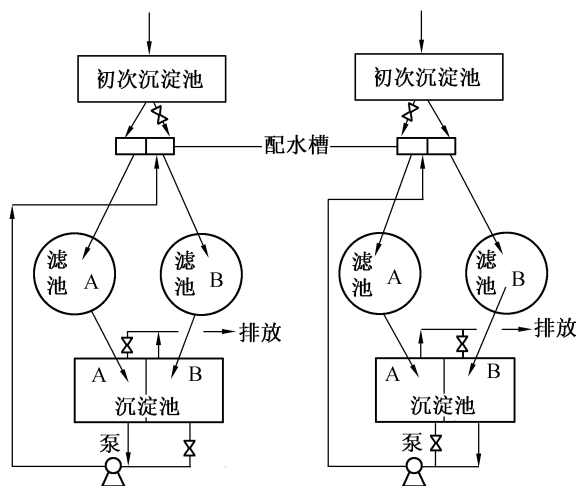


图 5.58 二段滤池交替系统

4. 塔式生物滤池

塔式生物滤池是一种新型的高负荷滤池,其构造如图 5.59 所示。塔滤与高负荷生物滤池在工艺上没有根本的区别,但在构造、净化功能上具有一定的特征。

(1)塔式生物滤池构造如塔,高达 8~25 m,直径 1~3.5 m,使滤池内部形成较强的拔风状态,通风良好。

(2)塔式生物滤池水力负荷及 BOD_5 负荷大,是高负荷滤池的 2~10 倍,对冲击负荷有较强的适应能力。

(3)塔式生物滤池由于塔身高,水力负荷大,使滤池水流湍动强烈,污水与空气及生物膜接触充分。

(4)塔式生物滤池 BOD_5 负荷高,使生物膜生长迅速。

(5)塔式生物滤池各层生长着种属不同,但又适应流至该层的污水的生物群。

(6)无须专设供氧设备。

5. 生物滤池的设计计算

(1)普通生物滤池的设计与计算见表 5.10~5.13。

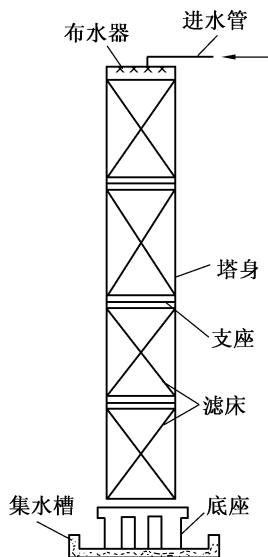


图 5.59 塔式生物滤池

表 5.10 普通生物滤池设计数据

名 称	设 计 依 据	说 明
滤池个数 / 个	≥ 2	按平均日污水量计算
水力负荷 / $[\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}]$	1 ~ 3	适用于生活污水
BOD_5 容积负荷 / $[\text{g} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}]$	150 ~ 300	对于生活污水也可参照表 5.11 数据
滤料层厚度 / m	工作层 1.3 ~ 1.8 承托层 0.2	
滤料粒径 / mm	工作层 25 ~ 40 承托层 70 ~ 100	

表 5.11 冬季污水平均温度为 10℃ 时滤料的容积负荷 (普通生物滤池)

年平均气温 /	BOD_5 容积负荷 / $[\text{g} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}]$
3 ~ 6	100
6.1 ~ 10	170
> 10	200

注 ①若冬季污水平均温度 t 不高于 6℃, 则上表数值应乘上 $t/10$ 。

②当处理生活污水和工业污水的混合污水时, 滤料的容积负荷应考虑工业污水的影响。

③对于工业污水或混合污水, 一般应通过试验确定滤料的容积和负荷。

表 5.12 普通生物滤池计算公式

名 称	公 式	符 号 说 明
每天处理 1 m^3 污水 所需滤料体积	$V_1 = \frac{L_a - L_1}{M}$	V_1 —每天处理 1 m^3 污水所需滤料体积 $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ L_a —进入滴滤池污水的 BOD_5 质量浓度 g/m^3 L_1 —滴滤池出水的 BOD_5 质量浓度 g/m^3 M —滤料 BOD_5 容积负荷 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$
滤料总体积	$V = QV_1$	V —滤料总体积 m^3 Q —进入滴滤池污水的平均日污水量 m^3/d
滤料有效面积	$F = \frac{V}{H}$	F —滤料有效面积 m^2 H —滤料层总高度 m $H = 1.5 \sim 2.0 \text{ m}$
用水力负荷校核滤 池面积	$F = \frac{Q}{q}$	q —滴滤池水力负荷 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ $q = 1 \sim 3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

续表 5.12

名 称	公 式	符 号 说 明
处理 1 m ³ 污水所需 空气量	$D_1 = \frac{L_s - L_n}{2.099 \cdot S \cdot n}$	D ₁ —处理 1 m ³ 污水所需空气量 m ³ /m ³ 2.099—空气含氧量折算系数 S—氧的密度(在标准大气压下为 1.429 g/L) n—氧的利用率(一般为 7% ~ 8%)
每天 1 m ³ 滤料所需 空气量	$D_0 = \frac{M}{2.099 \cdot S \cdot n}$	D ₀ —每天 1 m ³ 滤料所需空气量 m ³ /(m ³ ·d)

表 5.13 按每人所需滤料体积的计算公式(普通生物滤池)

名 称	公 式	符 号 说 明
每人所需滤料体积	$V_2 = \frac{L_0}{M}$	V ₂ —每人所需滤料体积 m ³ /人 L ₀ —进入滴滤池污水的 BOD ₅ 含量 g/(人·d)
滤料总体积	$V = NV_2$	V—滤料总体积 m ³ N—设计人口数 人

(2)高负荷生物滤池的设计与计算见表 5.14 ~ 5.16。

表 5.14 高负荷生物滤池的设计参数

名 称	设 计 参 数	说 明
滤池个数/个	≥2	按平均日污水量计算
进水 BOD ₅ 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	< 200	当污水 ρ(BOD ₅) > 200 mg/L 时,应采用处理水回流稀释
BOD ₅ 容积负荷/[g·(m ³ ·d) ⁻¹]	≤1 200	
BOD ₅ 面积负荷/[g·(m ² ·d) ⁻¹]	1 100 ~ 2 000	
水力负荷/[m ³ ·(m ² ·d) ⁻¹]	10 ~ 30	
滤层厚度/m	2 ~ 4	当采用自然通风时 ≤2 m,其中工作层 1.8 m,承托层 0.2 m
滤料粒径/mm	40 ~ 100	工作层 40 ~ 70 mm 承托层 70 ~ 100 mm

表 5.15 高负荷生物滤池的计算公式

名 称	公 式	符 号 说 明
经稀释后的进水 BOD ₅ 质量浓度	$L_a = K_1 L_e$	L_a —稀释后的进水 BOD ₅ 质量浓度 $\mu\text{g/L}$ L_e —出水 BOD ₅ 质量浓度 $\mu\text{g/L}$ K_1 —系数(见表 5.16)
回流稀释倍数	$n = \frac{L_0 - L_a}{L_a - L_e}$	L_0 —原污水的 BOD ₅ 质量浓度 $\mu\text{g/L}$
滤池总面积	$F = \frac{Q(n+1)L_a}{M}$	F —滤池总面积 μm^2 Q —平均日污水量 $\mu\text{m}^3/\text{d}$ M —滤池面积 BOD ₅ 负荷 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
滤池滤料总体积	$V = HF$	V —滤池滤料总体积 μm^3 H —滤料层高度 μm
滤池水力负荷	$q = \frac{M}{L_a}$	q —滤池水力负荷 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (当 $q < 10$ 时,应加大回流稀释倍数,使 q 达到 10 以上,否则就应减小滤料层高度)

表 5.16 K_1 值

污水冬季平均 温度 /	年平均 气温 /	滤池滤料层高度 /m				
		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
8 ~ 10	< 3	2.5	3.3	4.4	5.7	7.5
10 ~ 14	3 ~ 6	3.3	4.4	5.7	7.5	9.6
> 14	> 6	4.4	5.7	7.5	9.6	12

(3)塔式生物滤池的设计与计算见表 5.17 ~ 5.19。

表 5.17 塔式生物滤池的设计数据

名 称	设 计 数 据	说 明
滤池个数 /个	≥ 2	按平均日污水量计算
BOD ₅ 容积负荷 / $[\text{g} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}]$	1 000 ~ 3 000	负荷一般应通过试验
水力负荷 / $[\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}]$	80 ~ 200	
塔径与塔高之比	1:(6 ~ 8)	
每层滤料层厚度 /m	≤ 2.5	

表 5.18 塔式生物滤池的设计公式

名 称	公 式	符 号 说 明
滤料总体积	$V = \frac{Q(L_a - L_t)}{M}$	V —滤料总体积 m^3 Q —平均日污水量 m^3/d L_a —进水 BOD_5 质量浓度 g/m^3 L_t —出水 BOD_5 质量浓度 g/m^3 M —滤料 BOD_5 容积负荷 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$
滤池总面积	$F = \frac{V}{H}$	F —滤池总面积 m^2 H —滤料层总高度 m
滤池直径	$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi B}}$	D —滤池直径 m B —滤池个数,个($B \geq 2$ 个)
滤池总高度	$H_0 = H + h_1 + (m - 1)h_2 + h_3 + h_4$	H_0 —滤池总高度 m H —滤料层总高度 m h_1 —超高 m ($h_1 = 0.5 \text{ m}$) h_2 —滤料层间隙高 m h_3 —最下层滤料底面与集水池最高水位距离 m ($h_3 \geq 0.5 \text{ m}$) h_4 —集水池最大水深 m m —滤料层层数,层
处理 1 m^3 污水所需空气量	$D_1 = \frac{L_a - L_t}{2.099 \cdot S \cdot n}$	D_1 —处理 1 m^3 污水所需空气量 m^3/m^3 $2.099 \cdot S \cdot n$ —见表 5.12
空气总量	$D = D_1 Q$	D —空气总量 m^3/d

【例】 已知某镇人口 $N = 4\ 000$ 人,污水量标准 $q = 100 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$, BOD_{20} 当量为 $40 \text{ g}/(\text{人} \cdot \text{d})$ 。冬季平均水温为 10°C 。拟采用塔式生物滤池处理,处理后出水 $\rho(\text{BOD}_{20}) \leq 30 \text{ mg}/\text{L}$ 。试设计塔式生物滤池。

【解】 见表 5.19。

表 5.19 塔式生物滤池计算例题

名 称	计算公式	计算结果	说 明
平均日污水量(Q)	$Q = \frac{Nq}{1\ 000}$	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) = 400$	
每日排出的 $\text{BOD}_{20}(G)$	$G = N \cdot \text{BOD}_{20}$	$G/(\text{g} \cdot \text{d}^{-1}) = 160\ 000$	

续表 5.19

名 称	计算公式	计算结果	说 明
污水 BOD_{20} 质量浓度 (L_a)	$L_a = \frac{G}{Q}$	$L_a / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = 400$	
BOD_{20} 容积负荷 (M)		$M / [\text{g} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}] = 1\,450$	
滤料总体积 (V)	$V = \frac{Q(L_a - L_t)}{M}$	$V / \text{m}^3 = 102$	
滤料层总高度 (H)		$H / \text{m} = 14$	
滤池总面积 (F)	$F = \frac{V}{H}$	$F / \text{m}^2 = 7.29$	
滤池个数 (B)		$B / \text{个} = 2$	
每个滤池面积 (F_1)	$F_1 = \frac{F}{n}$	$F_1 / \text{m}^2 = 3.65$	
滤池直径 (D)	$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$	$D / \text{m} = 2.16$	
校核水力负荷 (q)	$q = \frac{Q}{F}$	$q / [\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}] = 55$	$q < 80 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 应采用处理水回流措施
滤池总高度 (H_0)	$H_0 = H + h_1 + (m - 1)h_2 + h_3 + h_4$	$H_0 / \text{m} = 17$	
校核塔径与塔高之比 (C)	$C = \frac{D}{H_0}$	$C = 1/7.87$	$1/8 \sim 1/6$ 满足要求

5.4.2 生物转盘

1. 生物转盘的原理

生物转盘是由生物滤池演变发展而来的。在生物转盘中,生物膜的形成、生长及降解污水中有机污染物的机理与生物滤池基本相同,主要区别是它以一系列的盘片代替固定的滤料。部分盘片浸渍在污水中,通过不断转动与污水接触,在部分盘片转出水面时与空气接触充氧,无须进行人工曝气。转盘在工作之前,首先进行人工方法或自然方法“挂膜”,在转盘表面上形成一层生物膜,然后污水才能连续不断地进入氧化槽。当旋转的圆盘浸没在污水中时,污水中的有机物被生物膜吸附和吸收,当旋转的圆盘处于水面以上时,与空气接触,生物膜得到充氧,微生物在有氧的情况下,由于生物酶的催化作用,对有机物进行氧化分解,微

生物还以有机物为养料进行自身繁殖。圆盘在旋转过程中,盘片上的生物膜不断交替地和污水、空气接触,连续不断地完成吸附、吸收、吸氧、氧化分解过程,使污水中的有机物不断分解,从而达到污水处理的目的。由于微生物的自身繁殖,生物膜逐渐增厚,当增厚到一定程度时,在圆盘转动时形成的剪切力作用下,从盘面剥落下来,并随污水流入二次沉淀池进行沉淀分离。

2. 生物转盘的构造与工艺

生物转盘的构造与工艺,如图 5.60 ~ 5.62 所示。生物转盘的主体部分由盘片、转轴和氧化槽三部分所组成。盘片串联成组,中心贯以转轴,轴的两端安设于固定在半圆形氧化槽的支座上。转盘的表面积有 40% ~ 50% 浸没在氧化槽内的污水中,转轴一般高出水面 10 ~ 25 cm。转盘以一定速度在氧化槽内转动,并交替地和空气与污水相接触,浸没时吸附污水中的有机污染物,敞露时吸收大气中的氧。盘片是生物转盘的主要组成部分。盘片可用聚氯乙烯塑料、玻璃钢、金属等制成。盘片厚约 1 ~ 5 mm,盘间距一般为 20 ~ 30 mm。氧化槽一般多作成与圆盘外形基本吻合的半圆形,可用

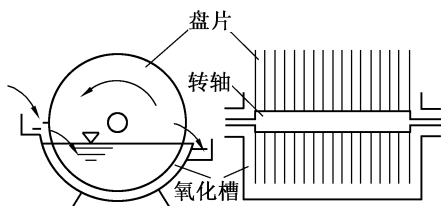


图 5.60 生物转盘装置示意图

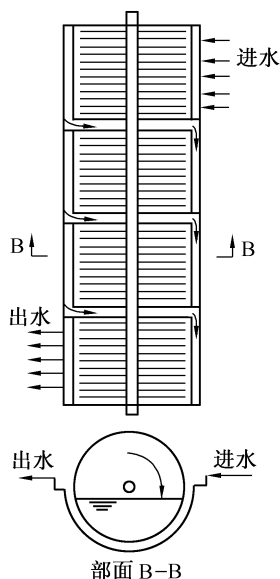


图 5.61 单轴四级生物转盘

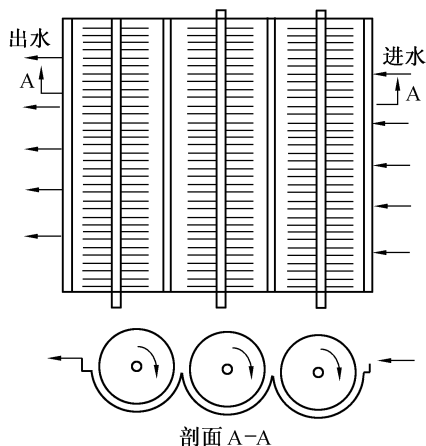


图 5.62 多轴多级生物转盘

钢筋混凝土或钢板制作。生物转盘的布置形式有:单轴单级、单轴多级和多轴多级。级数的多少是根据污水净化要求达到的程度确定的,一般来说,转盘的级数不超过 4。生物转盘的工艺流程包括基本工艺流程、设有中间沉淀池的高浓度污水处理工艺流程、大型逐段减少生物转盘工艺流程和小型逐段减少生物转盘工艺流程,如图 5.63 ~ 5.66 所示。

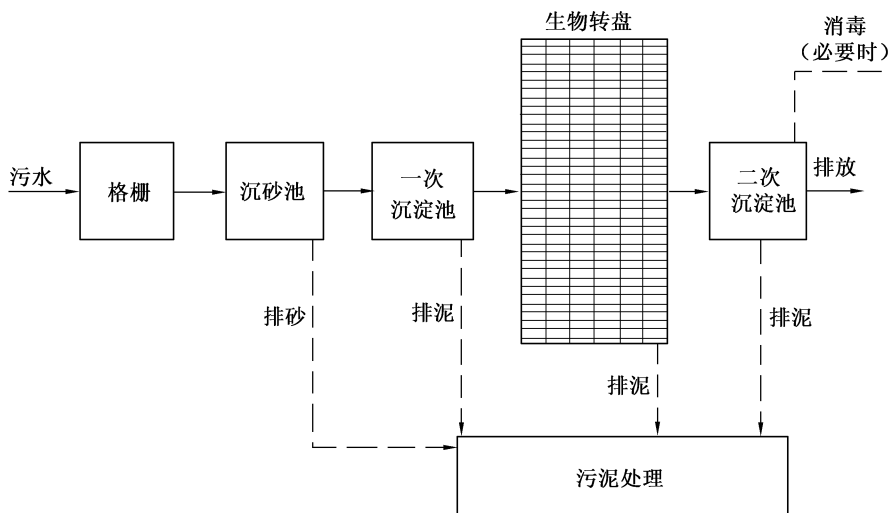


图 5.63 生物转盘系统工艺流程(基本工艺流程)图

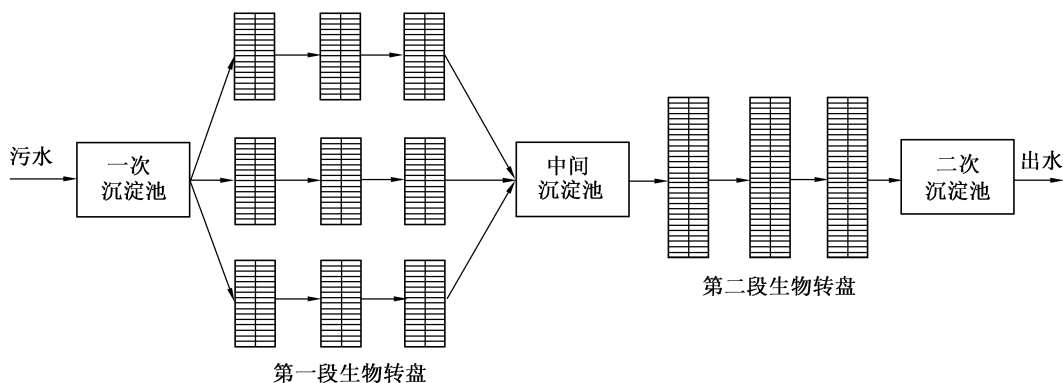


图 5.64 设有中间沉淀池的高浓度污水处理工艺流程图

3. 生物转盘的特点

与活性污泥法及生物滤池法相比,生物转盘具有如下特点。

(1)微生物浓度高,因此处理效果好,BOD 去除率可达 90% 以上。

(2)生物转盘缓慢均匀转动在水中,水与盘片之间产生剪力,可连续除去过剩的生物膜,控制污泥生长,不易产生污泥膨胀。

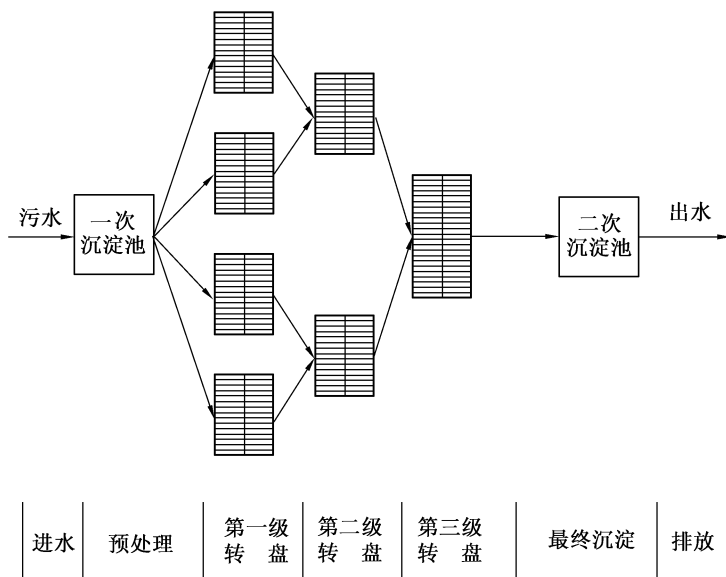


图 5.65 大型逐段减少生物转盘工艺流程图

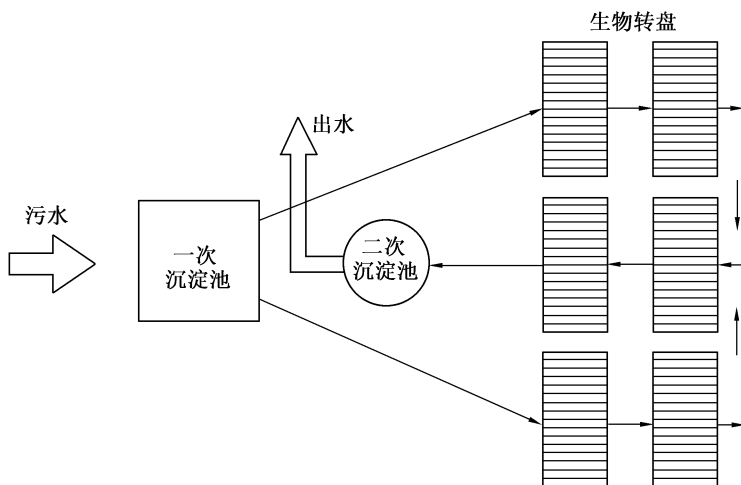


图 5.66 小型逐段减少生物转盘工艺流程图

- (3) 运转灵活, 维护简单, 占地面积小。
- (4) 设备构造简单, 无通风、回流及曝气设备, 运转费用低, 耗电量小。
- (5) 抗冲击负荷, 能处理高浓度污水。
- (6) 污水在氧化槽内停留时间短, 一般为 $1 \sim 1.5$ h。
- (7) 剩余污泥量小, 含水率低, 污泥颗粒大, 沉淀速度快, 污泥易于脱水与干化。

(8)不产生池蝇,不散发臭味,不出现泡沫,环境效果好。

(9)其主要缺点为:盘材昂贵,基建投资大,处理含易挥发性污染物时对大气有污染。

4. 生物转盘的设计计算

(1)设计数据见表 5.20。

表 5.20 生物转盘的设计数据

名 称	设 计 数 据	说 明
转盘组数/组	≥ 2	当污水量小且允许间歇运行时可设 1 组
盘片直径/mm	2 ~ 3	
盘片厚度/mm	1 ~ 5	聚苯乙烯泡沫塑料 10 ~ 15 硬聚氯乙烯板 3 ~ 5 玻璃钢 1 ~ 2.5 金属板 < 1
盘片净距/mm	进水段 25 ~ 35 出水段 10 ~ 20	对繁殖藻类转盘以 65 mm 为宜
转盘与氧化槽表面净距/mm	≥ 150	
转轴中心与氧化槽水面的距离/mm	$\frac{d}{D} = 0.05 \sim 0.10$ ≥ 150	d—轴中心与水面距离 D—转盘直径
转盘转速/(r·min ⁻¹)	0.8 ~ 3.0	
转盘浸没率	20% ~ 40%	转盘浸没在水中的面积与总面积之比
转盘产泥量 (kg 污泥/kgBOD ₅)	0.3 ~ 0.5	
转盘级数/级	≥ 3	

(2)计算公式见表 5.21。

表 5.21 生物转盘计算公式

名 称	公 式	符 号 说 明
转盘总面积(按盘面负荷计算)	$F = \frac{Q(L_a - L_t)}{N}$	F—转盘总面积 m ² Q—平均日污水量 m ³ /d L _a —进水 BOD ₅ 质量浓度 mg/L L _t —出水 BOD ₅ 质量浓度 mg/L N—BOD ₅ 盘面负荷 g/(m ² ·d)

续表 5.21

名 称	公 式	符 号 说 明
转盘总面积(按水力负荷计算)	$F = \frac{Q}{q}$	q —水力负荷 $\mu\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
转盘盘片总数	$m = \frac{4F}{2\pi D^2} = 0.637 \frac{F}{D^2}$	m —转盘盘片总数 片 D —盘片直径 μm
每组转盘的片数	$m_1 = \frac{0.637F}{nD^2}$	m_1 —每组转盘的盘片数 片 n —转盘组数 组
每组转盘转动轴有效长度 (即氧化槽有效长度)	$L = m_1(a + b)K$	L —每组转轴有效长度 μm a —盘片厚度 μm b —盘片净距 μm K —考虑循环沟道系统($K = 1.2$)
每个氧化槽的有效容积	$W = 0.32(D + 2c)^2 L$	W —每个氧化槽的有效容积 μm^3 c —转盘与氧化槽表面净距 μm
每个氧化槽的净有效容积	$W = 0.32(D + 2c)^2 (L - m_1 a)$	W —每个氧化槽的净有效容积 μm^3
每个氧化槽的有效宽度	$B = D + 2c$	B —每个氧化槽的有效宽度 μm
转盘的转速	$n_0 = \frac{6.37}{D} \left(0.9 - \frac{W}{Q_1}\right)$	n_0 —转盘转速 r/min Q_1 —每个氧化槽的污水量 $\mu\text{m}^3/\text{d}$
电动机功率	$N_p = \frac{3.85R^4 N_0^2}{b \times 10^{12}} m_0 \alpha \beta$	N_p —电动机功率 μkW R —转盘半径 μcm n_0 —转盘转速 r/min m_0 —1 根转轴上的盘片数 片 α —同一电动机带动的转轴数 β —生物膜厚度系数 b —盘片间距 μcm
污水在氧化槽中的停留时间	$t = \frac{W}{Q_1} \times 24$	t —污水在氧化槽中的停留时间 h (一般 $t = 0.25 \sim 2$) Q_1 —每个氧化槽的污水量 $\mu\text{m}^3/\text{d}$

(3)计算例题

【例】 已知某住宅区的生活污水量为 $500 \text{ m}^3/\text{d}$,污水的 BOD_5 质量浓度为 300 mg/L ,平均水温为 16°C ,拟采用生物转盘处理 ,出水 BOD_5 质量浓度要求不大于 30 mg/L 。试设计生物转盘。

【解】 见表 5.22。

表 5.22 生物转盘计算实例

名 称	计算公式	计算结果	说 明
平均日污水量(Q)		$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) = 500$	
进水 BOD_5 质量浓度(L_a)		$L_a/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = 300$	
出水 BOD_5 质量浓度(L_t)		$L_t/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = 30$	
BOD_5 去除率(η)	$\eta = \frac{L_a - L_t}{L_a}$	$\eta = 90\%$	
BOD_5 负荷(N)		$N/[\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}] = 25$	
水力负荷(q)		$q/[\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}] = 0.085$	
转盘总面积	$F = \frac{Q(L_a - L_t)}{N}$ $F = \frac{Q}{q}$	$F/\text{m}^2 = 5\,400$ $F/\text{m}^2 = 5\,882$	按 BOD_5 负荷计算 按水力负荷计算,并选用其中的大值作为设计值
转盘盘片总数(m)	$m = \frac{0.637F}{D^2}$	$m/\text{片} = 600$	$D/m = 2.5$
转盘组数(n_1)		$n_1/\text{组} = 4$	
每组盘片数(m_1)	$m_1 = \frac{m}{n_1}$	$m_1/\text{片} = 150$	
转盘级数(n_2)		$n_2/\text{级} = 3$	
每级盘片数(m_2)	$m_2 = \frac{m_1}{n_2}$	$m_2/\text{片} = 50$	布置成单轴三级形式
氧化槽有效长度(L)	$L = m_1(a + b)K$	$L/m = 4.5$	$a/m = 0.005$ $b/m = 0.02$
每个氧化槽有效容积(W)	$W = 0.32(D + 2c)^2 L$	$W/\text{m}^3 = 11.29$	$c/m = 0.15$
每个氧化槽净有效容积(W)	$W = 0.32(D + 2c)^2 \cdot (L - m_1 a)$	$W/\text{m}^3 = 9.41$	
氧化槽宽(B)	$B = D + 2c$	$B/m = 2.80$	
转盘转速(n_0)	$n_0 = \frac{6.37}{D} (0.9 - \frac{W}{Q_1})$	$n_0/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1}) = 2.10$	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) = 125$

续表 5.22

名 称	计算公式	计算结果	说 明
电动机功率(N_p)	$N_p = \frac{3.85 R^4 n_0^2 m_1 \alpha \beta}{10^{12} b}$	$N_p / \text{kW} = 0.932$	$R / \text{cm} = 125$ $n_0 / (\text{r} \cdot \text{min}^{-1}) = 2.10$ $m_1 / \text{片} = 150$ $b / \text{cm} = 2$ $\alpha = 1$ $\beta = 3$
污水在氧化槽内的停留时间(t)	$t = \frac{W}{Q_t} \times 24$	$t / \text{h} = 1.8$	

5.4.3 接触氧化

1. 接触氧化的原理

生物接触氧化法就是在曝气池中填充填料,经曝气的污水流经填料层,使填料颗粒表面长满生物膜,污水和生物膜相接触,在生物膜中微生物的作用下,污水得到净化。生物接触氧化池又名浸没式曝气滤池,也称固定式活性污泥法,它是一种兼有活性污泥法和生物膜法特点的污水处理构筑物。

2. 生物接触氧化池的工艺流程

生物接触氧化池的工艺流程分为一段、二段和多段处理流程,可根据污水水量、水质的要求选用,如图 5.67~5.69 所示。

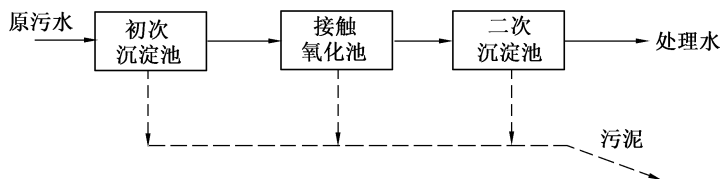


图 5.67 一段接触氧化处理流程图

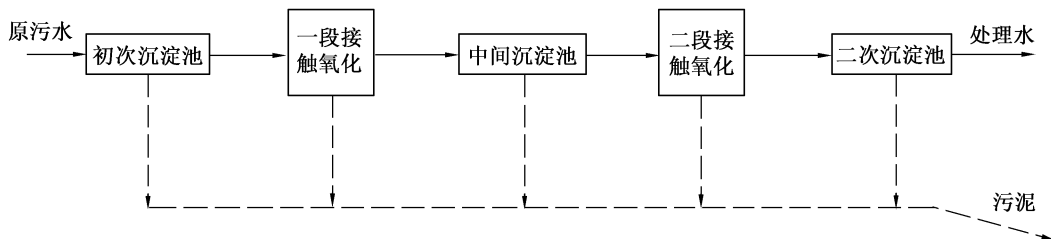


图 5.68 二段接触氧化处理流程图

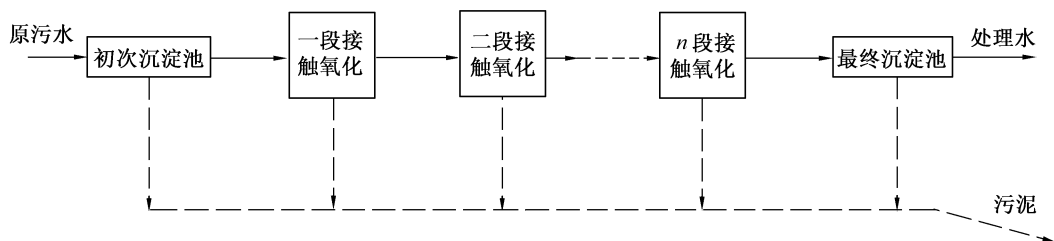


图 5.69 多段接触氧化处理流程图

3. 生物接触氧化池的构造

生物接触氧化池由池体、填料、支架、曝气装置、进出水装置及排泥管组成，如图 5.70 所示。

(1) 池体。生物接触氧化池在平面上多呈圆形、矩形或方形，用钢板焊接制成或钢筋混凝土浇灌砌成。

(2) 填料。

① 蜂窝状填料。如图 5.71 所示，蜂窝状填料形如蜂窝，材质为玻璃钢或塑料。其优点为比表面积大，质轻高强，管壁光滑无死角，衰老的生物膜易脱落。主要缺点是，当选定的蜂窝孔径与 BOD 负荷不相适应时，生物膜的生长与脱落失去平衡，填料易堵塞。

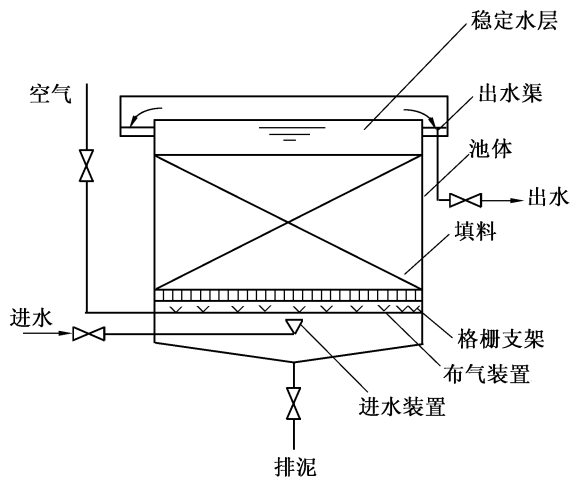


图 5.70 接触氧化池的基本构造图

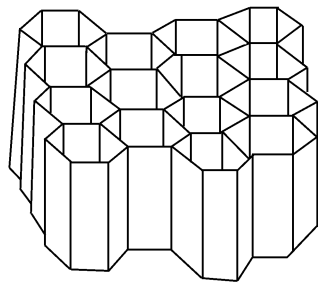


图 5.71 蜂窝状填料

②波纹板状填料。如图 5.72 所示,波纹板状填料的主要优点是孔径大,不易堵塞,结构简单,便于运输。主要缺点是,波纹板内的流速难以均一。

③软性纤维状填料。如图 5.73 所示,软性纤维状填料是用尼龙、维纶、涤纶和腈纶等化纤编织结成束联结而成,其比表面积大,高强质轻,化学性能稳定。主要缺点是纤维束中心易形成厌氧状态。

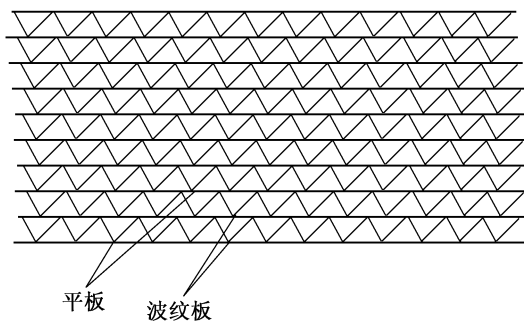


图 5.72 波纹板状填料

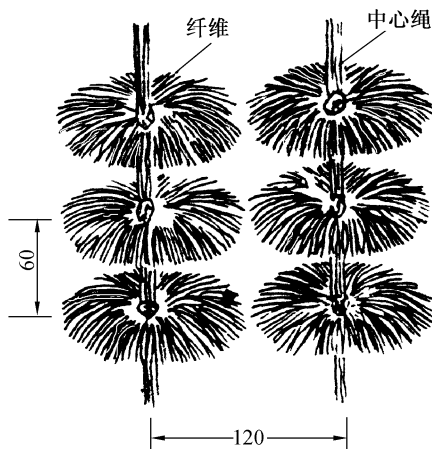


图 5.73 软性纤维状填料

④半软性填料。半软性填料由变性聚乙烯塑料制成,它既有刚性又有柔性,既可保持一定形状,又有一定变形能力。它有良好的传质效果,净化效率高,耐腐蚀,不易堵塞。

⑤粒状填料。粒状填料有砂粒、碎石、焦炭、无烟煤等,主要优点是其表面粗糙,易于“挂膜”。缺点是水流阻力大,易发生堵塞。

(3)曝气装置。曝气装置可分为鼓风曝气和表面曝气。按曝气装置与填料的相对位置,可分为中心表面曝气、单侧鼓风曝气和底部鼓风曝气三类(如图 5.74~5.76 所示)。前两类生物接触氧化池是将曝气池设在池子中心或一侧,污水先经曝气充氧,然后进入填料层与生物膜接触处理。其优点是填料层内水流平静,有利于生物膜的生长。缺点是冲刷力小,生物膜不易脱落,易发生堵塞现象。设在底部的鼓风曝气接触氧化池,可增加有效池容,填料间紊流激烈,生物膜更新快,活性高,不易堵塞。缺点是曝气装置设在填料底部,不便检修。

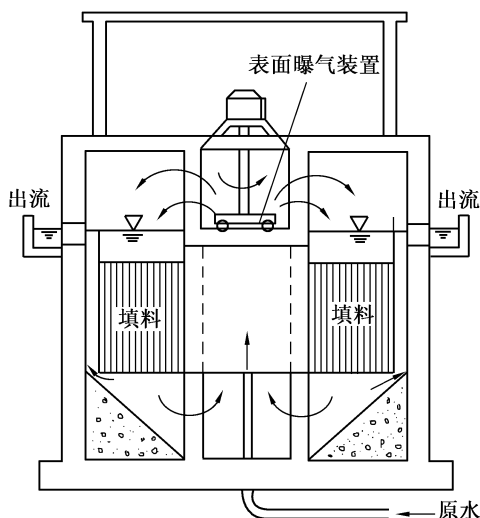


图 5.74 中心表面曝气型接触氧化池

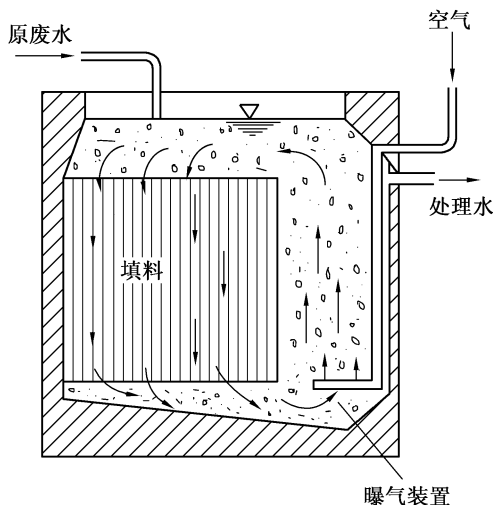


图 5.75 单侧鼓风曝气型接触氧化池

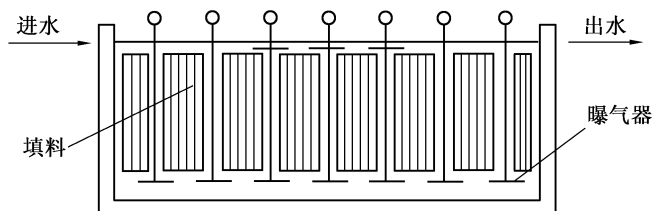


图 5.76 填料底部鼓风曝气型接触氧化池

4. 生物接触氧化池的设计计算

(1) 设计参数。

①生物接触氧化池一般不应少于 2 座。

②设计时采用的 BOD_5 负荷最好通过试验确定,也可采用经验数据。一般处理城市污水时,可用 BOD_5 容积负荷 $1.0 \sim 1.8 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;处理 $\rho(BOD_5) \leq 500 \text{ mg/L}$ 的污水时,可用 BOD_5 容积负荷 $1.0 \sim 3.0 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

③污水在池中停留时间不应小于 $1 \sim 2 \text{ h}$ (按有效容积计)。

④进水 BOD_5 质量浓度过高时,应考虑设出水回流系统。

⑤填料层高度一般大于 3.0 m ,当采用蜂窝填料时,应分层装填,每层高度为 1 m ,蜂窝孔径应不小于 25 mm ;当采用小孔径填料时,应加大曝气强度,增加生物膜脱落速度。

⑥每单元接触氧化池面积不宜大于 25 m^2 ,以保证布水、布气均匀。

⑦气水比控制在 $(10 \sim 15):1$ 。

(2)计算公式。

生物接触氧化池计算公式见表 5.23。

表 5.23 生物接触氧化池计算公式

项 目	公 式	符 号 说 明
滤池的有效容积(即滤料体积)	$V = \frac{Q(L_a - L_c)}{M}$	V —滤池有效容积 m^3 Q —平均日污水量 m^3/d L_a —进水 BOD_5 质量浓度 mg/L L_c —出水 BOD_5 质量浓度 mg/L M — BOD_5 容积负荷 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$
滤池总面积	$F = \frac{V}{H}$	F —滤池总面积 m^2 H —滤料层总高度 m (一般 $H/m=3$)
滤池格数	$n = \frac{F}{f}$	n —滤池格数,个($n/\text{个} \geq 2$) f —每个滤池面积 m^2 ($f/\text{m}^2 \leq 25$)
校核接触时间	$t = \frac{nFH}{Q} \times 24$	t —滤池有效接触时间 h
滤池总高度	$H_0 = H + h_1 + h_2 + (m-1)h_3 + h_4$	H_0 —滤池总高度 m h_1 —超高 m ($h_1/m=0.5 \sim 0.6$) h_2 —填料上水浸没的深度 m ($h_2/m=0.4 \sim 0.5$) h_3 —填料层间隙高 m ($h_3/m=0.2 \sim 0.3$) h_4 —配水区高度 m (当采用多孔管曝气时,不进入检修时 $h_4/m=0.5$ 进入检修时 $h_4/m=1.5$) m —填料层数,层
需气量	$D = D_0 Q$	D —需气量 m^3/d D_0 — 1 m^3 污水需气量 m^3/m^3 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}) = 15 \sim 20$

(3)举例计算。

【例】某印染厂废水量为 $2\,500 \text{ m}^3/\text{d}$,废水平均 BOD_5 质量浓度为 150 mg/L , COD 质量浓度为 800 mg/L ,采用接触氧化法处理,要求出水 $\rho(\text{BOD}_5) \leq 20 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{COD}) \leq 300 \text{ mg/L}$ 。

【解】采用参数如下。

BOD_5 容积负荷(M) = $2 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$

接触时间(t) = 1.5 h

气水比(D_0) = $15:1$

对采用的接触氧化池计算如下。

①有效容积

$$V/\text{m}^3 = \frac{Q(S_0 - S_e)}{M} = \frac{2\,500 \times (0.15 - 0.02)}{2.0} = 162.5$$

②总面积(填料层高度为 3 m)

$$F/\text{m}^2 = \frac{V}{H} = \frac{162.5}{3} \approx 54.2$$

③池座数及单池面积(根据现场条件,拟采用两座接触氧化池,每池三格)

$$f/\text{m}^3 = \frac{F}{n} = \frac{54.2}{2 \times 3} \approx 9.0$$

由于 $9.0 \text{ m}^3 < 25 \text{ m}^3$, 因此可行。每座池单元的尺寸采用 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。

④校核接触时间

$$t/h = \frac{V}{Q} = \frac{162.5}{2\,500/24} = 1.56$$

由于 $1.56 \text{ h} > 1.5 \text{ h}$, 因此合理。

⑤氧化池总高度(拟采用蜂窝填料)

$h_1 = 0.6 \text{ m}$, $h_2 = 0.5 \text{ m}$, $h_3 = 0.3 \text{ m}$, $h_4 = 1.5 \text{ m}$, 填料分三层, 由此 $m = 3$

$$H_0/m = H + h_1 + h_2 + (m - 1)h_3 + h_4 =$$

$$3.0 + 0.6 + 0.5 + (3 - 1) \times 0.3 + 1.5 = 6.2$$

⑥空气量

$$D/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) = D_0 Q = 15 \times 2\,500 = 37\,500$$

5.4.4 生物流化床

1. 生物流化床的原理

生物流化床是以砂、活性炭、焦炭等较小颗粒为载体填充在流化床内,载体表面被覆着生物膜。污水从下向上流动,使载体处于流化状态,故称流化床。载体颗粒小,比表面积大($200 \sim 3\,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$),生物量高于其他生物膜法。同时,载体处于流化状态,广泛而频繁地与生物膜接触,强化了传质过程,提高了处理设备的单位容积的生物量,强化了污水中的污染物向微生物细胞菌的传质过程,因此,生物流化床具有处理效率高,占地面积小和投资少等优点。

2. 生物流化床的类型

生物流化床有液流动力流化床、气流动力流化床和机械搅动流化床三种,如图 5.77 ~ 5.79 所示。液流动力流化床的工艺流程为:经过充氧后的污水与回流水的混合污水,从底部通过布水装置进入床内,推动载体流化状态,并与载体上的生物膜接触反应,经处理后的污水由床上部流出,进入沉池进行泥水分离,使处理水得到澄清。气流动力流化床是原污水

与空气同步进入输送混合管,气、固、液三相进行强烈的摩擦处理。机械搅动流化床是在池中央安装叶片搅动器,搅动载体呈流化悬浮状态进行生物处理。

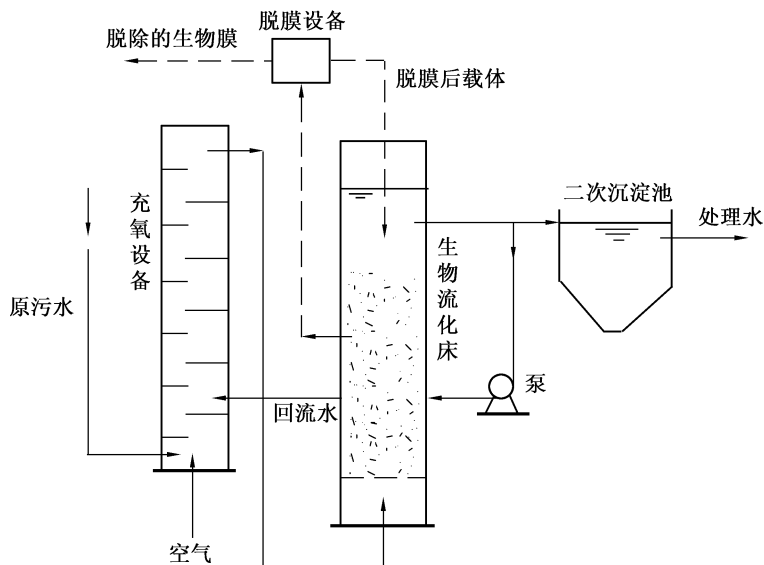


图 5.77 液流动力流化床(二相流化床)

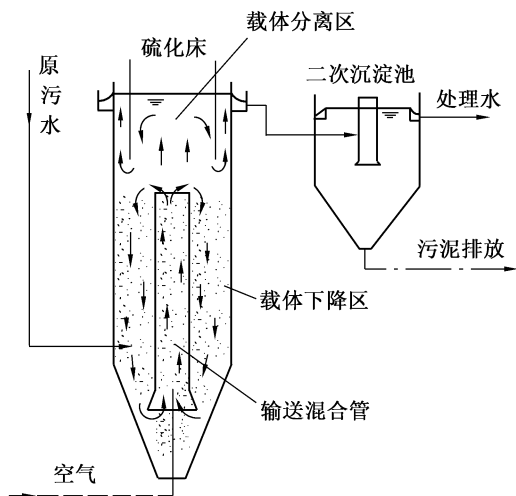


图 5.78 气流动力流化床(三相流化床)

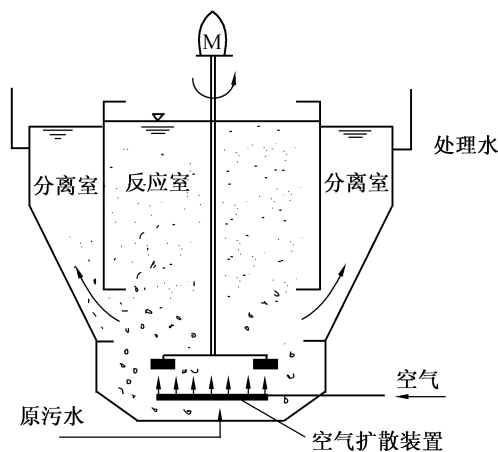


图 5.79 机械搅动流化床(悬浮粒子生物膜处理工艺)

3. 生物流化床的构造

生物流化床由床体、载体、布水装置、充氧装置及脱膜装置等组成。

(1)床体。床体平面多为圆形,由钢板焊制成或钢筋混凝土浇灌砌成。

(2)载体。载体常用砂、活性炭、焦炭等,详见表 5.24。

表 5.24 生物流化床常用载体及其物理参数

载 体	粒 径 /mm	相对密度	载体高度 /m	膨胀率 /%	空床时水上升速度 /(m·h ⁻¹)
聚苯乙烯球	0.3~0.5	1.005	0.7	50	2.95
				100	6.90
活性炭 (新华 8 [#])	$\phi(0.96 \sim 2.14) \times$ $L(1.3 \sim 4.7)$	1.50	0.7	50	84.26
				100	160.50
焦 炭	0.25~3.0	1.38	0.7	50	56
				100	77
无烟煤	0.5~1.2	1.67	0.45	50	53
				100	62
细石英砂	0.25~0.5	2.50	0.7	50	21.60
				100	40

注 本表所列为载体未被生物包覆时的数据。

(3)布水装置。布水装置是流化床的技术关键环节,若布水不均,可能导致载体堆积而不流化,破坏床体工作。布水装置同时又是载体的承担层,停水时要使载体不流失,并易于再次起动。

5.5 稳 定 塘

5.5.1 基本原理

稳定塘(氧化塘)属污水的自然生物处理范畴,它是利用洼池、废河道、沼泽地或峡谷等地段,经过人工适当修整成池塘,依靠池塘内自然生物净化功能使污水得到净化的方法。

1. 突出的优点

(1)充分利用地形,节省基建投资。

(2)污水可用于灌溉,处理利用结合。

(3)操作管理方便,运行费用低廉。

2. 一定的弊端

(1)污水净化效果不稳定,受气候、光照等自然因素影响较大。

(2)防渗不当时,可能渗漏污染地下水。

(3)易于散发臭气和滋生蚊蝇。

3. 净化功能

稳定塘的净化功能模式如图 5.80 ~ 5.82 所示,其净化作用如下。

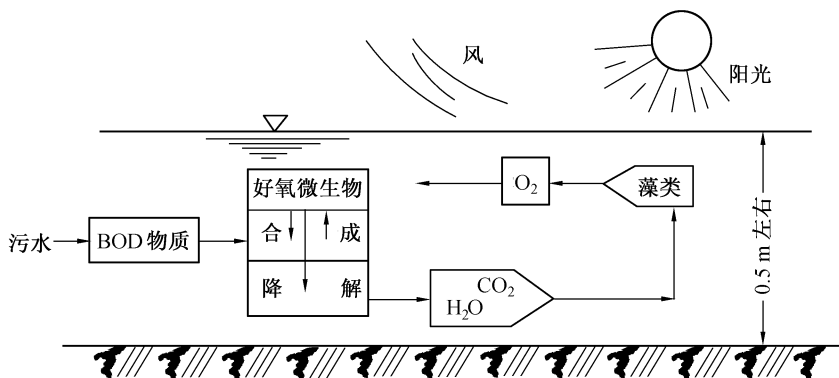


图 5.80 好氧氧化塘净化功能模式图

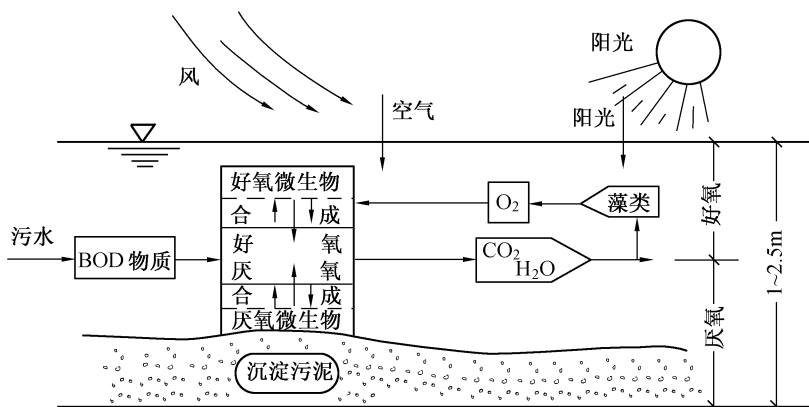


图 5.81 兼性氧化塘净化功能模式图

(1)稀释、沉淀、絮凝作用。进塘污水与塘内水,在风力、水力的作用下,可进行混合稀释;污水进塘后流速降低可产生沉淀;塘内含有大量具有絮凝作用的生物分泌物,可使污水发生絮凝而沉淀。

(2)菌体的代谢作用。由于好氧菌、厌氧菌及兼性菌的代谢作用,使有机物氧化分解。

(3)浮游生物的作用。藻类在阳光照射下进行光合作用,向水中供氧。原生动物及后生动物主要是吞食游离的细菌、悬浮物和污泥颗粒,使塘水进一步澄清。

(4)水生植物的作用。每支水生植物就如同一台小小的供氧机,向塘内供氧并吸收污水中氮、磷,净化水质。

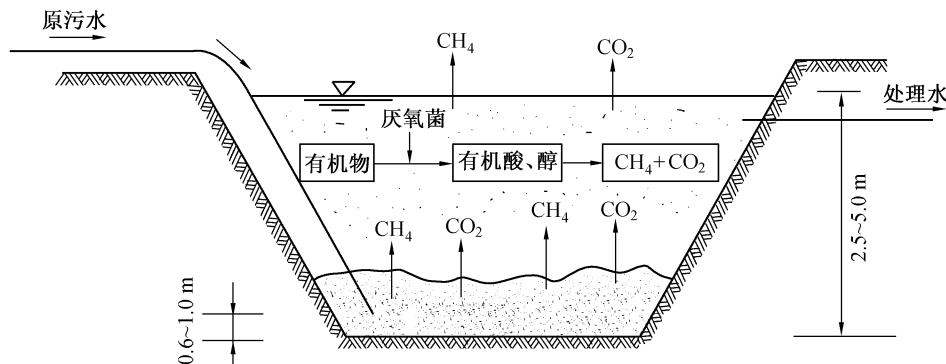


图 5.82 厌氧塘功能模式图

5.5.2 塘体分类

1. 按溶解氧状况分

(1)好氧塘。池塘较浅,一般不超过 0.5 m,阳光能透入塘底,主要由藻类供氧,整个塘水呈好氧状态,由好氧微生物净化污水。

(2)厌氧塘。池塘较深,一般为 2.0 m 以上,整个塘水呈厌氧状态,由厌氧菌进行水解、产酸及甲烷发酵等厌氧反应而净化污水。

(3)兼氧塘。池深一般为 1.0 m 以上,池表面为好氧区,池底为厌氧区,中间层为兼性区。由好氧、兼性及厌氧微生物协调联合处理污水。

(4)曝气塘。塘深在 2.0 以上,由表面曝气器供氧。

(5)深度塘。深度塘是进一步深分净化经二级处理后的污水,可去除二级处理后残余的有机污染物以及氮、磷等。

2. 按处理水的出水方式分

(1)连续出水塘。连续出水塘即连续出水型池塘。

(2)控制出水塘。控制出水塘也称季节性贮存塘。冬贮夏排,丰贮旱灌等。

(3)贮存塘。贮存塘是只有进水而无出水的稳定塘,主要依靠蒸发和微量渗透调节池容。

5.5.3 特征参数

特征参数,可参见表 5.25。

表 5.25 氧化塘的类型与主要特征参数

指 标	好氧氧化塘	兼性氧化塘	厌氧氧化塘	曝气氧化塘
水深 /m	0.2 ~ 0.4	1 ~ 2.5	2.5 ~ 4	2 ~ 4.5
停留时间 /d	2 ~ 6	7 ~ 30	30 ~ 50	2 ~ 10
BOD 负荷 / $[\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}]$	10 ~ 20	2 ~ 10	20 ~ 100	—
BOD 去除率 /%	80 ~ 95	35 ~ 75	50 ~ 70	55 ~ 80
BOD 降解形式	好氧	好氧	厌氧	好氧
污泥分解形式	无	厌氧	厌氧	好氧或厌氧
光合成反应	有	有	—	—
藻类质量浓度 / $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	> 100	10 ~ 50	0	0

5.6 土地处理

5.6.1 基本原理

污水的土地处理属污水的自然生物处理范畴。它是在人工控制下,将污水投配到土地上,通过土壤-植物系统,使污水得到净化的方法。土壤对污水的净化作用是一个复杂的综合过程,包括过滤、吸附、沉淀以及微生物的代谢分解等,现分别简述如下,详见表 5.26。

表 5.26 废水土地处理的净化机理

净 化 作 用	作 用 机 理
物理过滤	土壤颗粒间的孔隙能截留、滤除废水中的悬浮颗粒,土壤颗粒的大小、颗粒间隙的形状、大小、分布及水流流送通道的性质都影响物理过滤效率。土壤堵塞主要由于悬浮颗粒太多、太大,原因是溶解性有机物被微生物代谢生成产物以及有机物厌氧分解等造成。堵塞的控制方法:加强管理、掌握好灌水(湿期)与休田落干(干期)的交替轮接周期,使其能恢复土壤的截污过滤能力
物理吸附和物理沉积	土壤中黏土矿物等能吸附土壤中的中性分子——由于非极性分子之间范德华力所致,废水中的部分重金属离子在土壤胶体表面由于阳离子交换作用而被置换,吸附并生成难溶态物被固定于矿物的晶格中
物理化学吸附	金属、离子与土壤中的无机胶体和有机胶体由于螯合而形成螯合化合物;有机物与无机物的复合化而生成复合物,重金属离子与土壤进行阳离子交换而被置换吸附;某些有机物与土壤中重金属生成可吸性螯合物而固定于土壤矿物的晶格中

续表 5.26

净 化 作 用	作 用 机 理
化学反应与沉淀	重金属离子与土壤的某些组分进行化学反应生成难降性化合物而沉淀。如调节并改变土壤的氧化还原电位能生成难溶性硫化物 ;改变 pH 值能生成金属氢氧化合物 ;另外 ,一些化学反应能生成金属磷酸盐和有机重金属等而沉积在土壤中
微生物的代谢和有机的分解	土壤中含有大量异养性微生物能对土壤颗粒中悬浮有机固体和溶解性有机物进行生物降解。厌氧状态时厌氧菌能对有机物进行发酵分解 ,对亚硝酸盐和硝酸盐进行反硝化脱氮

(1)过滤。污水流经土壤 ,土壤颗粒间的孔隙可截留、滤除污水中悬浮物。

(2)吸附。污水中的部分金属离子 ,可与土壤胶体发生离子置换吸附。

(3)沉淀。污水中的重金属离子与土壤中某些组分发生化学反应 ,生成难溶化合物沉淀。

(4)分解。土壤中生存着数量巨大的微生物 ,可对污水中的有机物进行代谢分解。

污水土地处理系统 ,能够经济有效地净化污水 ,能够充分利用污水中的营养物质和水 ,强化农作物、牧草和林木的生产 ,促进水产和畜产的发展 ;采用污水土地处理系统 ,能够绿化大地 ,建立良好的生态环境 ,因此 ,土地处理系统也是一种环境生态工程。

5.6.2 工艺系统

(1)慢速渗滤系统。如图 5.83 所示 ,污水经布水后垂直向下缓慢渗滤 ,土壤中的微生物和农作物对污水进行净化。有少部分水可蒸发和渗滤 ,农作物还可利用污水中的营养物质。该系统渗流速度慢 ,污水停留时间长 ,因此 ,污水的净化效率高。

(2)快速渗滤系统。如图 5.84 所示 ,污水周期性向滤田灌水和休灌 ,使表层土壤处于好氧 - 厌氧交替运行状态 ,可去除氮、磷 ,是一种高效、经济、低能耗的处理技术。

(3)地表漫流处理系统。如图 5.85 所示 ,将污水投配到坡度较缓、土壤渗透性差的多年生物草地上 ,污水以薄层沿土地缓慢流动 ,在流动过程中污水得到净化。

(4)湿地处理系统。如图 5.86 所示 ,是将污水投配到土壤经常处于饱和状态而且生长着芦苇、香蒲等耐水植物的沼泽地上 ,在耐水植物与土壤联合作用下净化污水。

(5)地下渗滤系统。如图 5.87 所示 ,将经过腐化池(化粪池)或酸化水解预处理后的污水 ,通入设于地下距地面 0.5 m 深处的渗滤田 ,在土壤渗滤的作用和毛细管作用下 ,污水向四周扩散 ,通过过滤、沉淀、吸附及微生物作用而降解污水。本系统适合于居民区、旅游点等分散的小流量的污水处理。

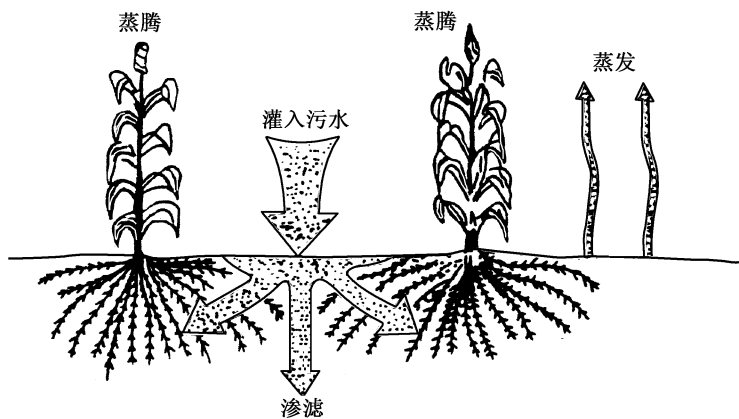


图 5.83 慢速渗滤示意图

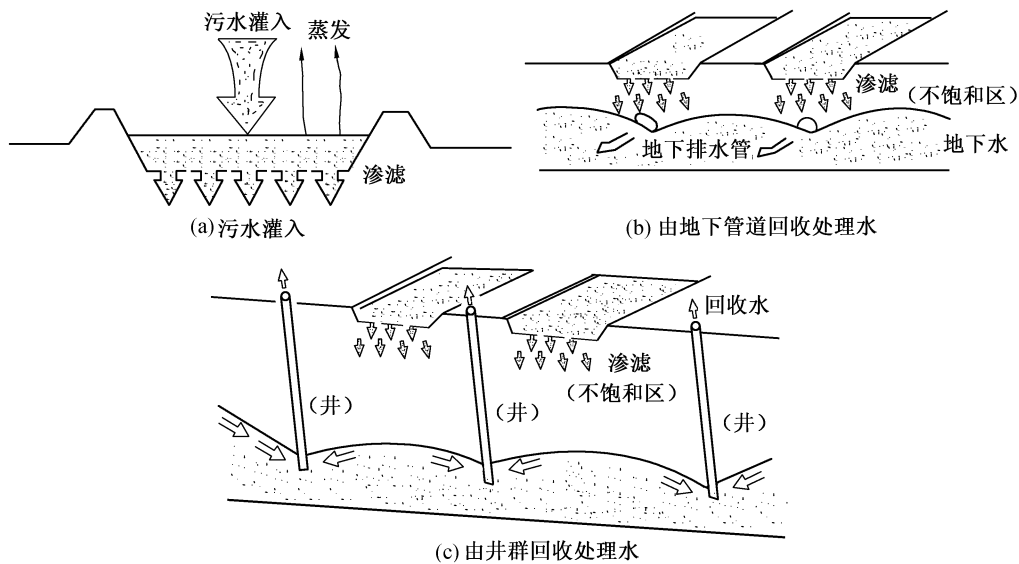


图 5.84 快速渗滤系统示意图

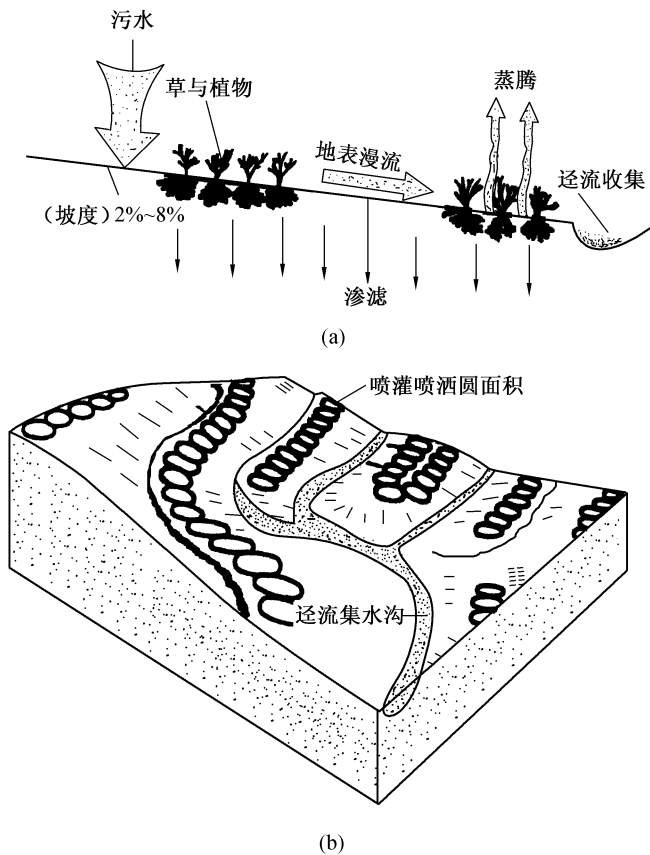


图 5.85 地表漫流处理系统示意图



图 5.86 湿地处理系统示意图

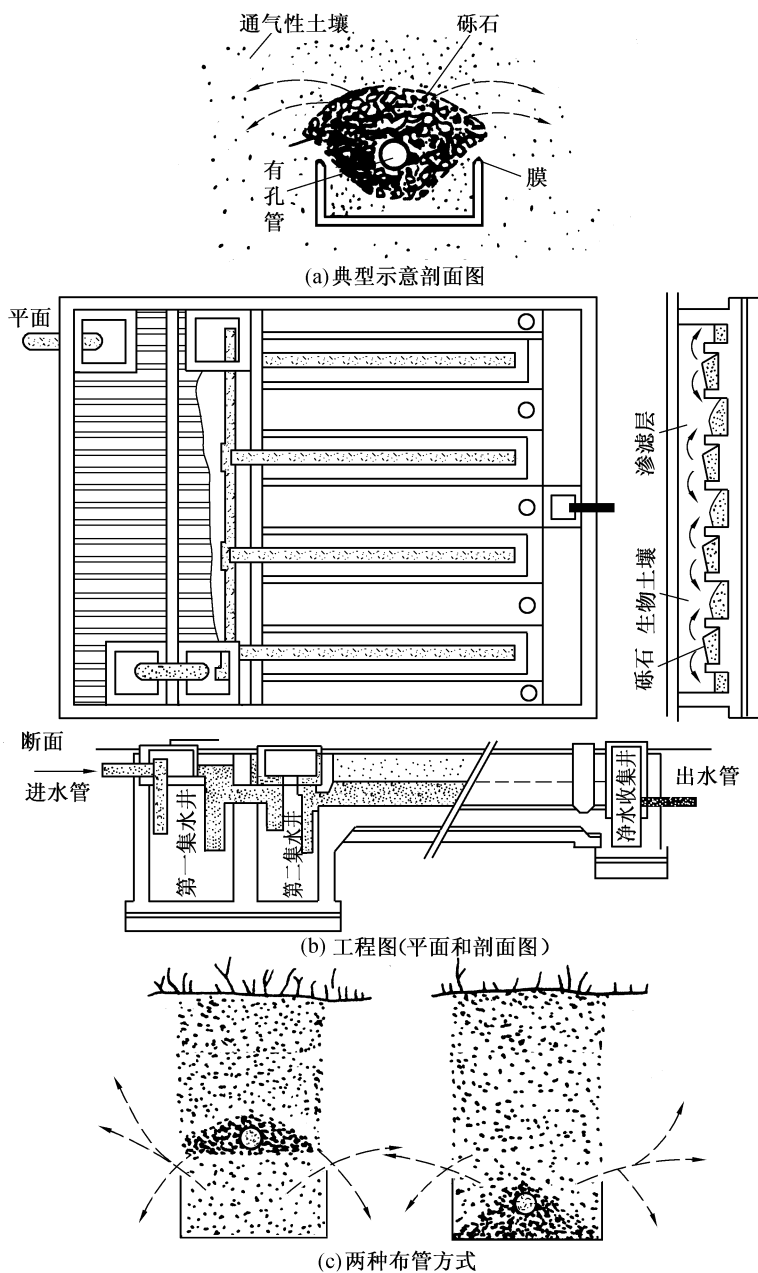


图 5.87 污水地下渗滤系统示意图

5.6.3 性能比较

土地处理的各种工艺性能及出水水质见表 5.27 ~ 5.29。

表 5.27 土地处理工艺的典型设计性能比较

项 目	慢速渗滤	快速渗滤	地表漫流	湿地	地下渗滤
废水投配方式	人工降雨(喷灌);地面投配(面灌、沟灌、畦灌、淹灌、滴灌等)	通常采用地面投配	人工降雨(喷灌)、地面投配	地面布水	地下布水
水力负荷/($\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$)	0.5 ~ 6.0	6.0 ~ 125.0	3 ~ 20	3 ~ 30	0.4 ~ 3
周负荷率(典型值)/($\text{cm} \cdot \text{Wk}^{-1}$)	1.3 ~ 10.0	10.0 ~ 240.0	6.0 ~ 40.0		
最低预处理要求	一般沉淀	一般沉淀	沉砂和拦杂物、粉碎	格栅筛滤	化粪池一级处理
要求灌水面积 [$10^4 \text{m}^2 \cdot (1\,000 \text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$]	6.1 ~ 74.0	0.8 ~ 6.1	1.7 ~ 11.1		
投配废水的去向	土壤水分蒸发、渗滤	主要经渗滤	地面径流;土壤水分蒸发;少量渗滤	径流、下渗、蒸散	下渗、蒸散
是否需要种植植物	需要谷物、牧草、林木	可要可不要	需要牧草	需要芦苇等	草皮、花卉等
适用土壤	具有适当渗透性,灌水后对作物生长良好	亚砂土、砂质土	亚黏土等		
地下水位最小深度/m	~ 1.5	~ 4.5	—		
对地下水水质的影响	可能有一些影响	一般会有影响	可能有轻微影响		
BOD_5 负荷率 [$\text{kg} \cdot (10^4 \text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] [$\text{kg} \cdot (10^4 \text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$]	$2 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4$ 50 ~ 500	$3.6 \times 10^4 \sim 4.7 \times 10^4$ 150 ~ 1 000	1.5×10^4 40 ~ 120	1.8×10^4 18 ~ 140	

续表 5.27

项 目	慢速渗滤	快速渗滤	地表漫流	湿地	地下渗滤
场地条件	种作物不超过20%				
坡度	不种作物不超过40%	不受限制	2%~8%		
土壤渗滤速率	中等	高	低		
地下水埋深/m	0.6~3.0	布水期 ≥ 0.9 干化期 1.5~3.0	不受限制		
气候	寒冷季节需蓄水	一般不受限制	寒冷季节需蓄水		
系统特点 运行管理 系统寿命 对土壤影响 对地下水影响	种作物时管理 严格 长 较小 小	简单 磷可能限制寿命 可改良砂荒地 有影响	比较严格 长 小 无		

表 5.28 各种废水土地处理类型的净化出水水质(典型值)

废水水质指标	慢速渗滤		快速渗滤		地表漫流		湿地		地下渗滤		新型快速渗滤 (人工土壤)	
	平均值	最高值	平均值	最高值	平均值	最高值	平均值	最高值	平均值	最高值	平均值	最高值
$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	<2	<5	5	<10	10	<15	10~20	<30	<2	<5	5	<20
$\rho(\text{SS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	<1	<5	2	<5	10	<20	10	<20	<1	<5	10	<15
$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	3	<8	10	<20	5	<10	10	<20	3	<8	20	<25
$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	<0.5	<2	0.5	<2	<4	<8	5~10	<15	<0.5	<2	—	—
$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	<0.1	<0.3	1	<5	4	<6	4	<10	<0.1	<0.3	—	—
大肠菌群/(个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	0	$<1\times 10^2$	1×10^2	$<2\times 10^3$	2×10^3	2×10^4	4×10^5	$<4\times 10^6$	0	$<1\times 10^2$	—	—

表 5.29 国内外典型废水土地处理系统对 BOD_5 、SS、N 的去除

土地处理工艺及场地	水力负荷 ($\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$)	$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		$\rho(\text{SS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		$\rho(\text{N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		取样点/m
		进水	出水	进水	出水	进水	出水	
1. 慢速渗滤								
北京市高碑店废水试验基地	3.9	142	<2	174	<4	37.4	8.6	0.8
美国新罕布什州汉诺威	1.2~7.6	40~92	0.9~1.7	60	<1	28	7.3	1.5

续表 5.29

土地处理工艺及场地	水力负荷 ($\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$)	$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\rho(\text{SS})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\rho(\text{N})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		取样点/m
		进水	出水	进水	出水	进水	出水	
2. 快速渗滤								
北京市高碑店废水试验基地	12	131.9	0.42	66.2	<4	37.5	4.3	3.7
美国亚利桑那州菲尼克斯	110	15	<1	20~100	<127	10	9.2	—
美国加利福尼亚州豪列斯脱	15	220	8	274	10	40	3	7.6
3. 地表漫流								坡长
北京市高碑店废水试验基地	5(cm/d)	97.0	11.7	109	12	19.3	5.2	28
北京市燕京啤酒厂废水	4(cm/d)	—	—	—	—	—	—	40
北京市昌平镇废水试验基地	—	—	—	—	—	—	—	30
美国俄克拉何马州达源	1.63(cm/d)	150	8	160	8	34	7	36
4. 湿地								距离
美国马里兰州英密斯堡	14(cm/d)	75	21	33	9.8	—	—	76.3
丹麦林司典特	3.75(cm/d)	189	11	243	6	47.9	29.6	32

5.6.4 应用实例

(1)沈阳西部城市污水慢速渗滤土地处理系统,日处理污水 864 m^3 ,灌溉田面积 5 hm^2 种植水稻、高粱、垂柳。水质净化效率 BOD 为 96.67%,COD 为 87.6%,TN 为 82.38%,TP 为 92.34%,SS 为 72.57%。该系统基建投资为常规二级处理的 $1/3 \sim 1/2$,处理费用为 $1/5 \sim 1/3$ 。

(2)北京昌平县快速渗滤系统,日处理毛织等工业污水及生活污水 500 m^3 ,污染物去除达 90%以上。基建费用为常规二级处理 $1/4 \sim 1/3$,处理费用为 $1/5$ 左右。

(3)新疆阿图什市慢速渗滤和地表漫流组合工艺,日处理污水 1200 m^3 。渗滤田水力负荷 $0.6 \text{ cm}/\text{a}$,地表漫流田,坡度 2%,坡增长 30 m,宽 76 m,共 3 条。水质净化效率高。

5.7 厌氧处理

5.7.1 基本原理

1. 厌氧机理

废水的厌氧处理是指在无分子氧的状态下,通过厌氧菌和兼性菌的作用,将污水中的各种复杂有机物分解转化为甲烷和二氧化碳等物质的一种污水生物处理方法。厌氧生物处理是一个复杂的生物化学过程,主要依靠产酸菌、产氢产乙酸菌、同型产乙酸菌和产甲烷菌四

大菌种联合作用,分三个阶段完成,如图 5.88 所示。

(1)水解酸化阶段。污水中复杂的大分子、不溶性的有机物在细胞外酶的作用下水解为小分子、溶解性有机物,然后渗入细胞体内,水解产生挥发性有机酸、醇类及醛类等。

(2)产氢产乙酸阶段。在产氢产乙酸菌的作用下,各种有机酸分解转化为乙酸、氢和二氧化碳。

(3)产甲烷菌阶段。产甲烷菌将乙酸、氢及二氧化碳转化为甲烷。

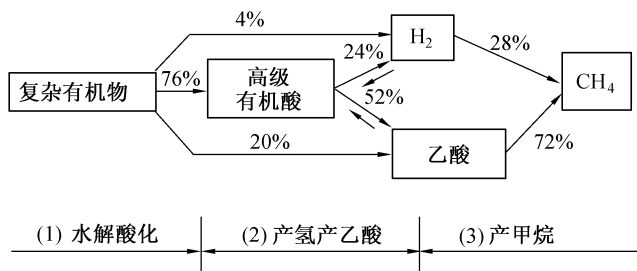


图 5.88 厌氧消化的三个阶段和 COD 转化率

2. 厌氧系统的影响因素

(1)温度。厌氧消化分为常温消化、中温消化和高温消化,有不同的温度要求。

(2)pH 值。反应器内 pH 值保持 6.5 ~ 7.5。

(3)污水营养比。厌氧法营养比为 $m(\text{BOD}):m(\text{N}):m(\text{P}) = (200 \sim 300):5:1$ 。

(4)搅拌与混合。搅拌是影响厌氧消化的重要条件,搅拌可增加微生物与有机物的接触,提高处理效率。搅拌方法可采用机械搅拌器、消化液循环搅拌和沼气循环搅拌。

(5)有机负荷。有机负荷直接影响处理效率与产气率,要根据不同工艺选择。

(6)有毒物质。要控制铜、锌、镉、镍等重金属离子和氨、硫化物以及醛基、双链、苯环等有机物对厌氧过程产生毒害抑制作用。

3. 厌氧系统的特点

厌氧生物处理法与好氧生物处理法比较有下述优点。

(1)可节省能源。厌氧生物处理法的能源消耗约为活性污泥法的 1/10。同时,产生的沼气又可作为能源。去除 1 kgBOD₅ 可产生 0.35 m³ 沼气。沼气的发热量为 21 ~ 23 MJ/m³。

(2)容积负荷高。一般好氧的容积负荷(BOD)为 2 ~ 4 kg/(m³·d),而厌氧法为 5 ~ 10 kg/(m³·d)。

(3)氮磷需量低。好氧法氮磷需量为 $m(\text{BOD}):m(\text{N}):m(\text{P}) = 100:5:1$,而厌氧法为 $m(\text{BOD}):m(\text{N}):m(\text{P}) = (200 \sim 300):5:1$ 。

(4)剩余污泥少。好氧法去除 1 kgCOD 可产生 0.4 ~ 0.6 kg 污泥,而厌氧法仅为 0.02 ~ 0.1 kg。剩余污泥量只有好氧法的 5% ~ 20%。同时厌氧法的剩余污泥性质稳定,浓缩脱水

性能好。

(5)有杀菌作用。厌氧法可杀死污水及污泥中的寄生虫卵及病毒。

(6)污泥存期长。厌氧法的污泥可长期贮存。厌氧反应器可季节性或间歇性运转,停运一段时间后,能迅速启动运行。

(7)应用范围广。好氧法只限于处理低浓度的有机污水,而厌氧法既适用于处理高浓度有机污水,又适用于处理低浓度有机污水。同时还可降解好氧法难以降解的有机物。

(8)水温适应广。好氧法水温在 $10 \sim 35$ 之间,当高温时就需采取降温措施,而厌氧法水温适应广泛,分低温发酵($10 \sim 30$)、中温发酵($30 \sim 40$)和高温发酵($50 \sim 60$)。

厌氧法存在如下缺点。

(1)厌氧微生物增殖缓慢,因此其启动及处理需要较长时间。

(2)厌氧法出水往往达不到标准,一般须在其后串联好氧处理设施。

(3)厌氧法运行控制因素较为复杂和严格,对污水中含有毒有害物质较敏感。

5.7.2 厌氧工艺

1. 普通厌氧消化池

如图 5.89 所示,污水(或污泥)定期或连续加到池内,经搅拌、混合反应和消化处理的污水和污泥分别由池子的上部和下部排出。当进行中温或高温发酵时,还须对发酵料进行加热。普通厌氧法可直接处理悬浮固体含量较高或颗粒较大的料液,消化反应与固液分离在同一池内进行,结构简单。缺点为无法保持和补充厌氧活性污泥,消化效果差。

2. 厌氧接触法

为克服普通厌氧消化池不能保持和补充厌

氧性活性污泥的缺点,在普通厌氧消化池后设置沉淀池,将污泥沉淀后回流至消化池,此工艺称为厌氧接触工艺,如图 5.90 所示。从消化池排出的混合液中含有许多微小气泡,在沉淀池中进行固液分离时,会造成一定困难,因此应进行脱气,脱气的方法如图 5.91 所示。现简述如下。

(1)真空脱气。采用真空脱气器脱气。

(2)换热器急冷法脱气。使混合液进行急速冷却,如将混合液从 35 冷却到 $15 \sim 25$,以控制污泥继续产气。

(3)絮凝沉淀。向混合液中投加絮凝剂,使厌氧污泥凝聚成大颗粒,加速沉降。

(4)用超滤器代替沉淀池,改善固液分离效果。

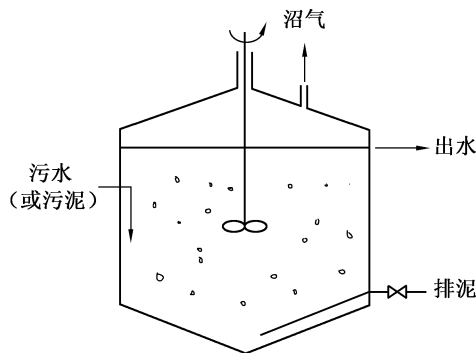


图 5.89 普通消化池示意图

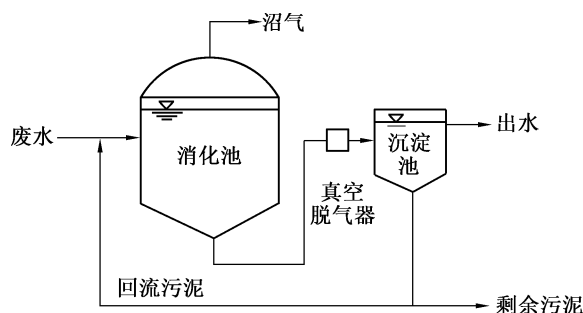


图 5.90 厌氧接触法工艺流程图

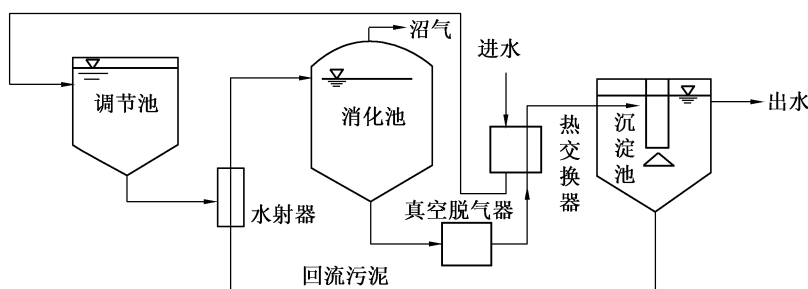


图 5.91 设有真空脱气器和热交换器的厌氧接触法工艺流程图

厌氧接触法有如下优点。

(1)污泥质量浓度高,可达 $10 \sim 15 \text{ g/L}$,耐冲击负荷。

(2)COD 容积负荷高,普通消化池中温发酵容积负荷为 $2 \sim 3 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,而厌氧接触法为 $2 \sim 10 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

(3)水力停留时间短,普通消化池为 $15 \sim 30 \text{ d}$,而此法仅为 10 d 。

(4)可直接处理悬浮固体含量高及颗粒较大的料液,不存在堵塞问题。

(5)混合液经沉淀后,出水水质好。

厌氧接触法的缺点是需增加沉淀池、污泥回流和脱气设备。

3. 升流式厌氧生物反应器(UASB)

升流式厌氧生物反应器工艺原理如图5.92所示。UASB的上部设有气、固、液三相分离器,下部为污泥悬浮区和污泥床。污水由底部流入,通过反应区经气、固、液三相分离器后进入

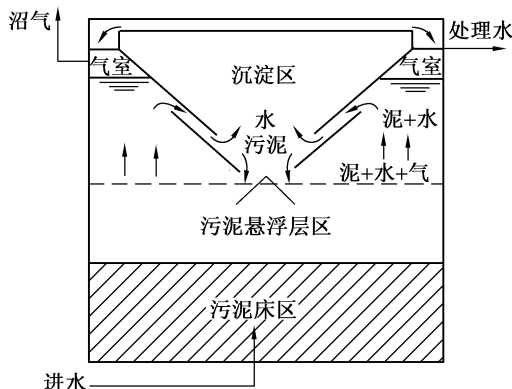


图 5.92 UASB 工作原理图

沉淀区。气、固、液分离后,沼气由集气室收集,再由沼气管流向沼气柜。污泥由沉淀区沉淀后自行返回反应区,沉淀后的污水从出水槽排出。UASB 的主要优点如下。

(1)无须设沉淀池,UASB 设有三相分离器,经沉淀的污泥自动回流到反应区内,无须另设沉淀池及回流设置。

(2)无须混合搅拌设备,依靠发酵过程中产生的沼气的上升运动,对污泥层产生混合搅拌作用,使其处于悬浮状态。

(3)无须填充载体,可避免填料发生堵塞问题,并节省投资。

(4)污泥浓度高,有机负荷大,水力停留时间短。

UASB 主要有如下缺点。

(1)污泥床易产生短流,影响处理能力。

(2)耐冲击能力稍差。

(3)进水悬浮物质量浓度不宜过高,一般控制在 $1\,000\text{ mg/L}$ 以下,若悬浮物含量过高时,会磨损已形成的颗粒污泥,对污泥颗粒化不利。

4. 厌氧膨胀床和厌氧流化床

厌氧膨胀床和厌氧流化床工艺流程如图 5.93 所示。床内填充石英砂、无烟煤、活性炭、陶粒或沸石等载体,粒径一般为 $0.2 \sim 1.0\text{ mm}$ 。污水从床底部流入向上流动,常用泵将部分出水回流,以提高床内水流上升速度,使填料层膨胀或流化。一般常将床内载体略加松动,载体间隙增加,但仍保持互相接触的反应器称为膨胀床;上升流速增大,载体可在床内自由运动而互不接触的反应器称为流化床。

与其他厌氧生物反应器比较,厌氧膨胀床和流化床具有下述优点。

(1)载体处于膨胀或流化状态,可防止载体堵塞。

(2)床内生物停留时间长,运行稳定,剩余污泥量少。

(3)既可处理高浓度有机污水,又可处理低浓度城市污水。

(4)载体为微生物附着生长提供较大的表面积。

(5)床内微生物浓度高,容积负荷大,水力停留时间短,耐冲击负荷。

其主要不足是载体流化耗能较大,操作运行要求严格。

5. 厌氧生物滤池

厌氧生物滤池工艺如图 5.94 所示。池内装放填料,池底和池顶密封,厌氧菌附着于填料的表面生长。当污水通过填料层时,污水中的有机物被降解,并产生沼气从池顶部排出。滤池中的生物膜不断进行新陈代谢,脱落的生物膜随水流流出池外。污水从池底进入,向上流动,从池上部排出,称为升流式厌氧滤池;污水从池上部进入向下流动,从底部排出,称为降流式厌氧滤池。

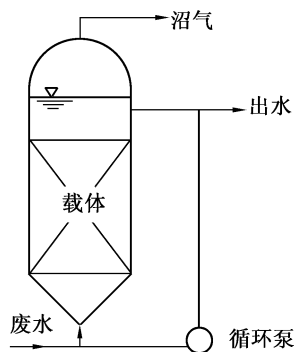


图 5.93 厌氧流化床和厌氧膨胀床工艺流程图

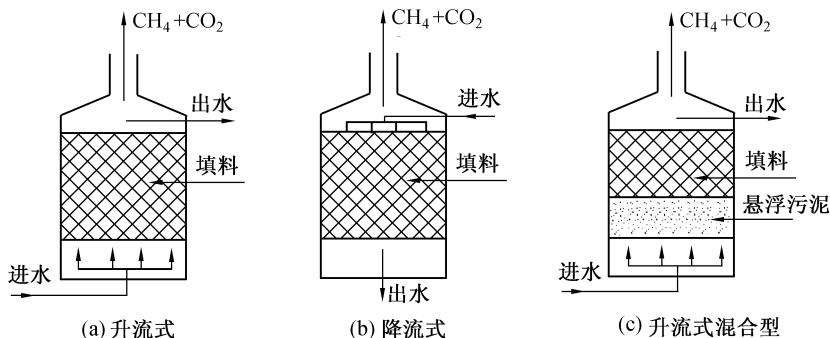


图 5.94 厌氧滤池工艺流程图

厌氧生物滤池的特点如下。

(1) 填料为微生物附着生长提供了较大的表面积, 因此, 池中微生物数量多, 容积负荷大, 耐冲击负荷。

(2) 污水与生物膜接触面积大, 强化了传质过程, 因此有机物去除速度快。

(3) 在池中微生物以固着生长为主, 不易流失, 因此, 无须污泥回流。

(4) 厌氧生物滤池启动或停运后再启动时, 比其他池厌氧生物工艺启动时间短。

该工艺主要缺点是处理含悬浮物浓度高的有机污水时易发生堵塞。

6. 厌氧复合床

厌氧复合床工艺流程如图 5.95 所示, 是将厌氧生物滤池置于升流式厌氧污泥床的上部, 由两种工艺相结合的反应器结构, 称为厌氧复合床。这种形式可发挥升流式厌氧污泥床和厌氧生物滤池的各自特点, 改善运行效果。

7. 两相厌氧消化工艺

两相厌氧消化工艺如图 5.96 所示。根据厌氧消化过程产酸和产甲烷两阶段中微生物

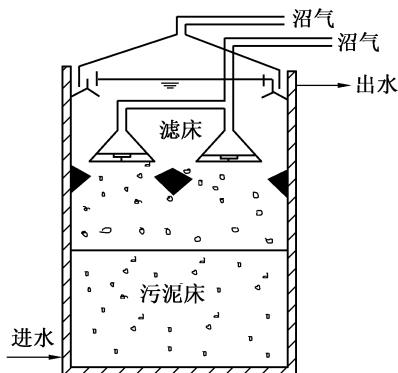


图 5.95 厌氧复合床

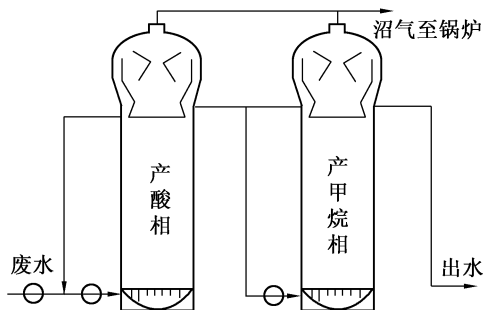


图 5.96 两相厌氧消化工艺流程图

功能的不同,采用两个独立反应器串联运行。第一个反应器称为产酸反应器,第二个反应器称为产甲烷反应器。两相厌氧消化工艺克服了单相厌氧消化中生物协调与平衡的矛盾,提高了反应器处理能力。

8. 厌氧生物转盘

厌氧生物转盘工艺构造如图 5.97 所示。厌氧生物转盘的构造与好氧生物转盘相似,不同之处在于上部加盖密封,以收集沼气,并防止液面上的空间有氧的存在。

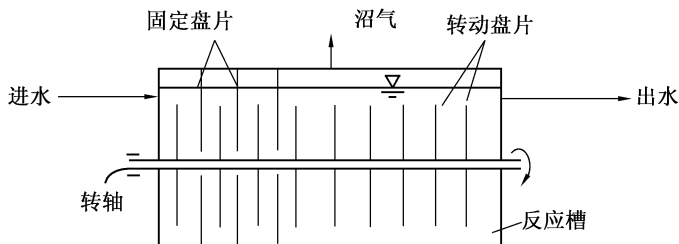


图 5.97 厌氧生物转盘构造图

9. 厌氧挡板反应器

厌氧挡板反应器工艺如图 5.98 所示。在反应器内垂直于水流方向设有多块挡板,来维持反应器内较高的污泥浓度,以减少水力停留时间。厌氧挡板反应器是从厌氧生物转盘发展而来的,只是转盘不转动为固定盘,可减少盘片数量,省去转动装置。

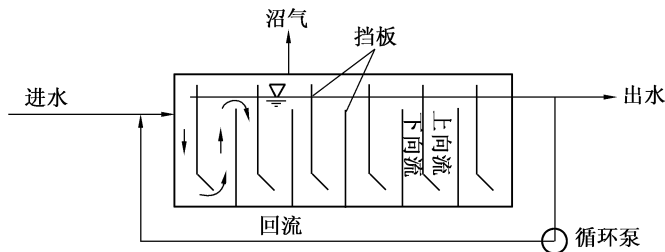


图 5.98 厌氧挡板反应器工艺流程图

5.7.3 沼气回用

厌氧反应池中产生的沼气从污泥的表面散逸出来,聚集在反应器上部的集气室,通过输气管至贮气柜,再由配气管供给用户。贮气柜的容积一般为 6~10 h 的平均产气量,图 5.99 为浮罩式贮气柜构造。贮气柜应设置安全阀,进、出管上应安装阻火器,阻火器的作用是防止明火沿沼气管流窜,引起贮气柜、集气室及其他附属设施爆炸。

沼气的主要成分为甲烷及二氧化碳,甲烷质量分数为 55%~65%,二氧化碳质量分数为 35%~45%,另外还含有少量的 H_2 、 H_2S 、 CO 、 N_2 及 O_2 。污水中有机物(1 kgCOD)的产气率

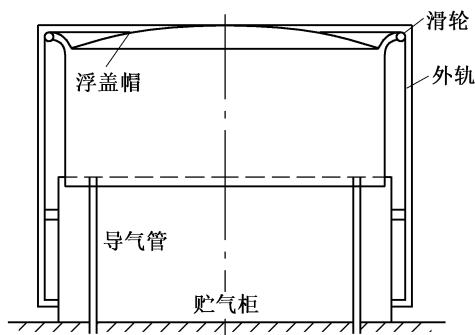


图 5.99 浮罩式贮气柜

为 $0.35 \sim 0.55 \text{ m}^3/\text{kg}$ 。沼气的热值为 22.7 kJ/L , 可用做发电机、锅炉、汽车发电机、燃烧器的燃料等。另外还可利用其生产四氯化碳、二氧化碳等化工产品。许多小型污水厂产生的沼气的量较少, 可用做家属宿舍、食堂的炊事燃料, 也可用于发电, 以补充电力不足。约 $0.6 \sim 0.7 \text{ m}^3$ 的沼气可产生 $1 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 的电。

5.7.4 操作运行

1. 污泥培养

厌氧设备运行前, 首先要进行污泥的培养与驯化。当污泥直接取自厌氧构筑物、下水道等处的腐化污泥时, 可以减少培养和驯化时间。

2. 设备启动

设备启动时首先要控制厌氧池内混合液的升温速度 $1^\circ\text{C}/\text{h}$, 当达到要求的温度时, 即保持恒温, 并保持 pH 值为 $6.8 \sim 7.8$ 。启动时的初始有机负荷因工艺不同、水质不同而异, 一般应通过逐步增加负荷来完成启动。正常成熟的消化污泥呈深灰色到黑色, 无硫化氢臭, pH 值为 $7.0 \sim 7.5$ 。当进水量达到预定的要求, 处理效率较高, 产气量大, 沼气中甲烷成分高时, 说明厌氧设备启动已完成。

3. 运行管理

厌氧工艺的运行管理是通过对产气量、气体成分、池内碱度、pH 值及有机物去除率等进行检测来实现的。消化池应严格密封, 防止漏入空气。消化池常有浮渣, 应及时排除和破碎。厌氧消化过程中容易出现酸化, 使 pH 值下降, 产气量降低, 这时可投加石灰中和积累的酸。保证安全是消化过程控制的重要问题, 消化气体是易燃易爆的, 当甲烷在空气中质量分数为 $5\% \sim 16\%$ 时, 遇明火即可发生爆炸。因此, 要遵章操作, 严格管理, 防止发生安全事故。

第 6 章 污泥处理

6.1 基本知识

在污水处理过程中,会产生大量的污泥,其数量约为处理污水量的 0.3% ~ 0.5%,含水率达 97%。同时,污泥中还含有寄生虫卵、病原微生物、细菌、有机物和重金属离子等有毒有害物质以及氮、磷、钾等营养物和水分。为此,必须对污泥进行处理,使其达到减量、稳定、无害并得到综合利用。其处理方法有:①污泥脱水。减少含水率,缩小污泥体积,便于运输和处置利用,包括污泥浓缩、自然干化、机械脱水、干燥焚烧等。②污泥消化。降解污泥中的有机物,杀灭污泥中的寄生虫卵、病原微生物、细菌等,使污泥处于稳定状态,便于利用处置。③最终处置。利用污泥制作农肥、建材,综合利用或填埋等。

在污水处理厂的全部基建费用中,用于处理污泥的约占 20% ~ 50%,所以,污泥处理是污水处理系统的重要组成部分,必须充分重视。污泥处理的一般方法与流程的选择取决于当地条件、环境保护要求、投资情况、运行费用及维护管理等多种因素。下列各方案可供选择。

- (1)生污泥→浓缩→消化→自然干化→最终处置
- (2)生污泥→浓缩→自然干化→堆肥→农肥
- (3)生污泥→浓缩→消化→机械脱水→最终处置
- (4)生污泥→浓缩→机械脱水→干燥焚烧→最终处置
- (5)生污泥→湿污泥池→农用
- (6)生污泥→浓缩→消化→最终处置
- (7)生污泥→浓缩→消化→机械脱水→干燥焚烧→最终处置

第(1)与第(3)方案以消化为主,产生沼气,再经自然干化或机械脱水后农用或用于他处;第(2)方案以堆肥为主;第(4)方案以干燥焚烧为主,产生热能进行发电;第(5)方案适用于环境要求不高的地区,污泥储存于湿污泥池中就近农用;第(6)方案是消化处理,使污泥稳定后,进行最终处置;第(7)方案是最完整的污泥处理方案,多在环境要求高的地区采用。

污泥按来源可分为:来自初次沉淀池的初次沉淀污泥;来自活性污泥法后二沉池的剩余活性污泥;来自生物膜法后二沉池的腐殖污泥;来自消化池后的熟污泥(消化污泥);来自化学沉淀法的化学污泥,等等。污泥含水率指污泥中含水质量与污泥总质量比的百分数。污泥

含水率(P)、污泥体积(V)、污泥质量(W)及污泥质量浓度(C)之间的关系式为

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{100 - P_2}{100 - P_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

式中 P_1, P_2 ——污泥的含水率, %;

V_1, V_2 ——污泥含水率分别为 P_1, P_2 时的污泥体积 m^3 ;

W_1, W_2 ——污泥含水率分别为 P_1, P_2 时的污泥质量 kg ;

C_1, C_2 ——污泥含水率分别为 P_1, P_2 时的污泥质量浓度 g/L 。

如污泥含水率从 97.5% 降低到 95%, 污泥体积可减少一半, $V_2 = V_1 \frac{100 - P_1}{100 - P_2} =$

$V_1 \frac{100 - 97.5}{100 - 95} = \frac{1}{2} V_1$ 则沉淀污泥的体积为

$$V = \frac{100 C_0 \eta Q}{10^3 (100 - P) r}$$

式中 V ——沉淀的污泥体积 m^3/d ;

Q ——污水流量 m^3/d ;

η ——去除率, % (可按 80% 计);

C_0 ——进水悬污物质量浓度 mg/L ;

P ——污泥含水率, % (剩余活性污泥含水率为 99%; 初沉池污泥含水率可按 95% ~ 97.5% 计算);

r ——沉淀污泥的密度 kg/m^3 (按 $1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ 计算)。

6.2 污泥浓缩

污泥含水率很高, 初沉池的污泥含水率为 95% ~ 97%, 剩余活性污泥含水率达 99%, 体积很大, 输送、处理、利用都很困难, 为此必须对污泥进行脱水。浓缩脱水是去除污泥中所含的空隙水的方法。污泥中所含的水有四类: 一是颗粒间的空隙水, 约占总水分的 70%; 二是毛细水, 即颗粒间的毛细管内的水, 约占总水分的 20%; 三是污泥颗粒间的吸附水; 四是颗粒的内部水。三四两类水, 共约占总水分的 10%, 如图 6.1 所示。污泥脱水的方法有污泥浓缩法、自然干化法、机械脱水法、干燥焚烧法等。污泥浓缩法可去除空隙水; 自然干化法与机械脱

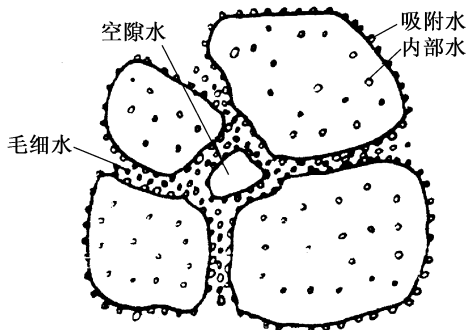


图 6.1 污泥水分示意图

水法可去除毛细水 ;干燥焚烧法可去除吸附水与内部水。它们的脱水效果比较见表 6.1。污泥浓缩可使污泥含水率下降 ,体积减小 ,如可使剩余活性污泥含水率从 99%降到 96% ,体积减小 3/4 ;可使初沉池污泥含水率从 97.5%降到 95% ,体积减小 1/2。污泥浓缩法有重力浓缩法、气浮浓缩法及离心浓缩法 ,其优缺点比较见表 6.2 ,其使用范围及情况见表 6.3。

表 6.1 不同脱水方法及其脱水效果表

脱水方法		脱水装置	脱水后含水率 / %	脱水后状态
污泥浓缩法		重力浓缩、气浮浓缩、离心浓缩	95 ~ 97	近似糊状
自然干化法		自然干化场、晒砂场	70 ~ 80	泥饼状
机械脱水	真空吸滤法	真空转鼓、真空转盘等	60 ~ 80	泥饼状
	压滤法	板框压滤机	45 ~ 80	泥饼状
	滚压带法	滚压带式压滤机	78 ~ 86	泥饼状
	离心法	离心机	80 ~ 85	泥饼状
干燥焚烧	干燥法	各种干燥设备	10 ~ 40	粉状、粒状、
	焚烧法	各种焚烧设备	0 ~ 10	灰状

表 6.2 各种浓缩方法的优缺点比较

浓缩方法	优 点	缺 点
重力浓缩法	贮存污泥能力强 操作要求不高 运行费用低 动能消耗小	占地面积大 污泥易发酵而产生臭气 对于某些污泥工作不稳定 浓缩效果不理想
气浮浓缩法	浓缩效果较理想 出泥含水率较低 不受季节影响 运行效果稳定 池容积仅为重力浓缩法的 1/10 左右 占地面积较小 臭气问题小 能去除油脂、沙砾	运行费用低于离心浓缩法但高于重力浓缩法 操作要求较高 污泥贮存能力小 占地面积比离心浓缩法大
离心浓缩法	少量土地即可取得较高的处理能力 几乎不存在臭气问题	要求专用的离心机 电耗大 要求操作人员有较高的技术素养

表 6.3 污泥浓缩法的使用范围及情况

浓缩方法	污 泥 种 类	使 用 情 况
重力浓缩法	初次沉淀池污泥 初次沉淀池污泥 + 剩余活性污泥	效果良好,使用者常用,特别是对小型污水处理厂,污泥质量分数在4%~8%范围内常有令人满意的效果,但夏季时运行效果不理想
气浮浓缩法	初次沉淀池污泥 + 剩余活性污泥 剩余活性污泥	效果较好,但使用上有些限制 效果良好
离心浓缩法 (转筒式离心机)	剩余活性污泥	使用上有某些限制,需用专用离心机

6.2.1 重力浓缩

重力浓缩是依靠污泥中固体物质的重力作用进行沉淀浓缩的过程。重力浓缩池按运行方式可分为间歇式浓缩池和连续式浓缩池两种;按池形可分为矩形浓缩池和圆形浓缩池两种,如图 6.2~6.6 所示。重力浓缩池固体负荷及浓缩前后污泥质量浓度见表 6.4。

表 6.4 重力浓缩池固体负荷及浓缩前后污泥质量浓度

污泥类型	入流污泥含固率/%	浓缩后污泥含固率/%	固体负荷 /[$\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$]
1. 单一的污泥			
初次沉淀池(PRI)	2~7 (3~5)	5~10 (8~10)	3.92~5.88(3.33~5.0)
生物滤池(TF)	1~4	3~6	1.47~1.96
生物转盘(RBC)	1~3.5	2~5	1.47~1.96
剩余活性污泥(WAS)	(0.4~0.8)	(2.5)	(0.83~1.25)
普通法曝气	0.5~1.5	2~3	0.49~1.47
纯氧曝气	0.5~1.5	2~3	0.49~1.47
延时曝气	0.2~1.0	2~3	0.98~1.47
消化后的初沉池污泥	8	12	4.9
2. 热处理污泥			
PRI	3~6	12~15	7.84~10.29
PRI + WAS	3~6	8~15	5.88~8.82
WAS	0.5~1.5	6~10	4.41~5.88
3. 其他污泥			
PRI + WAS	0.5~1.5	4~6	0.98~2.94
PRI + TF	2.5~4.0	4~7	1.47~3.43
PRI + RBC	2~6(2~6)	5~9(5~8)	2.45~3.92(1.96~3.43)
WAS + TF	0.5~2.5	2~4	0.49~1.47
4. 厌氧消化后的污泥			
PRI + WAS	4	8	2.94

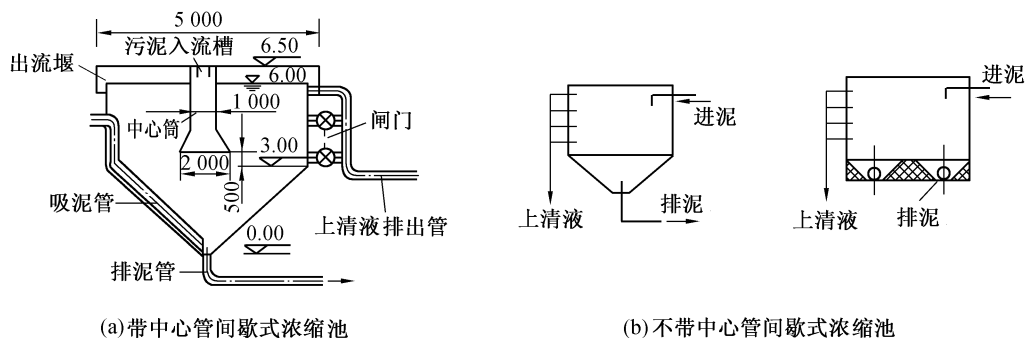


图 6.2 间歇式重力浓缩池结构示意图

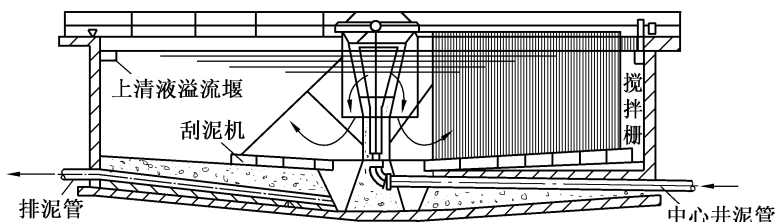


图 6.3 带刮泥机及搅拌栅的连续式重力浓缩池结构示意图

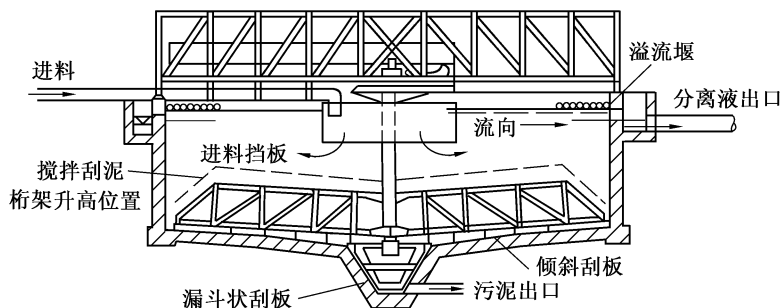


图 6.4 连续式重力浓缩池结构示意图

间歇式浓缩池常用于小型污水厂,连续式浓缩池多用于大、中型污水厂。浓缩池的停留时间一般为 9~12 h,最大不超过 24 h。若停留时间过短,则浓缩效果不好;若停留时间过长,污泥会产生厌氧发酵,破坏浓缩过程。重力浓缩池设计参数及计算公式见表 6.5 及

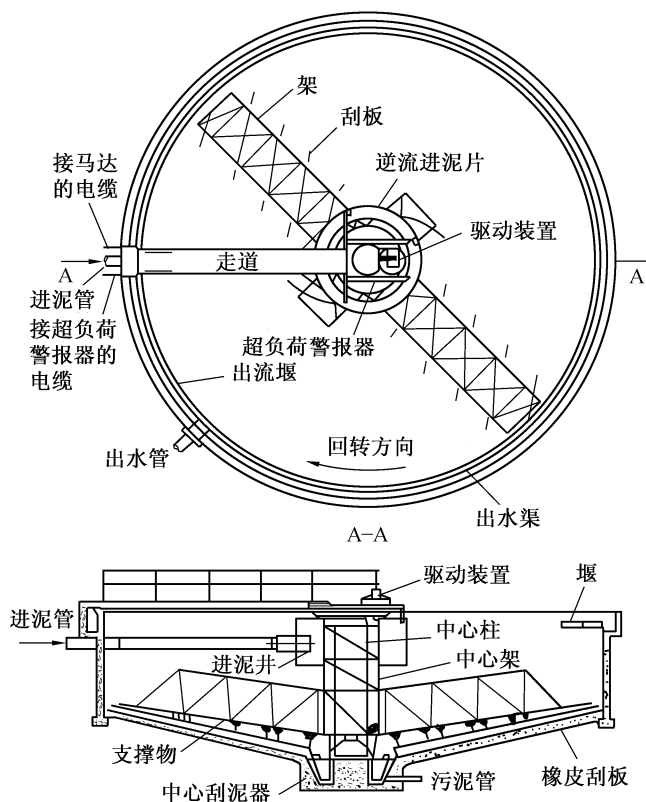


图 6.5 连续式污泥浓缩池结构示意图

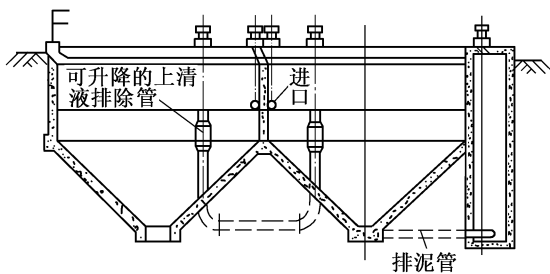


图 6.6 多斗连续式浓缩池结构示意图

表 6.6。连续式浓缩池可采用竖流式或辐射式，其池表面积 (A) 可根据固体负荷 (M) 来计算

$$A = \frac{QC}{M}$$

式中 A——浓缩池总面积 m^2 ；

Q——污泥量 m^3/d ；

C——污泥固体质量浓度 kg/m^3 ;

M——浓缩池污泥固体负荷 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

【例】 剩余活性污泥量为 $480 \text{ m}^3/\text{d}$,含水率为 99.3% (含固体 0.7%) ,固体负荷为 $25 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,污泥固体质量浓度为 $1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3$,求浓缩池总面积 A。

【解】
$$A/\text{m}^2 = \frac{480 \times 0.7\% \times 1\,000}{25} = 134.4$$

表 6.5 重力浓缩池设计参数

污泥种类	进泥质量浓度 /%	出泥质量浓度 /%	水力负荷 $/[\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}]$	固体负荷 $/[\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}]$	固体捕捉率 /%	溢流 TSS $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
初次污泥	1.0 ~ 7.0	5.0 ~ 10.0	24 ~ 33	90 ~ 144	85 ~ 98	300 ~ 1\,000
滴滤池生物膜	1.0 ~ 4.0	2.0 ~ 6.0	2.0 ~ 6.0	35 ~ 50	80 ~ 92	200 ~ 1\,000
剩余活性污泥	0.2 ~ 1.5	2.0 ~ 4.0	2.0 ~ 4.0	10 ~ 35	60 ~ 85	200 ~ 1\,000
初次污泥与剩余活性 污泥的混合污泥	0.5 ~ 2.0	4.0 ~ 6.0	4.0 ~ 10.0	25 ~ 80	85 ~ 92	300 ~ 800

表 6.6 重力浓缩池计算公式

名 称	公 式	符 号 说 明
浓缩池总面积	$A = \frac{QC}{M}$	Q—污泥量 m^3/d C—污泥固体质量浓度 g/L M—浓缩池污泥固体负荷 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
单池面积	$A_1 = \frac{A}{n}$	n—浓缩池数量
浓缩池直径	$D = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}}$	
浓缩池工作部分高度	$h_1 = \frac{TQ}{24A}$	T—设计浓缩时间 h
浓缩池总高度	$H = h_1 + h_2 + h_3$	h_2 —超高 μm h_3 —缓冲层高度 μm
浓缩后污泥体积	$v_2 = \frac{Q(1 - P_1)}{(1 - P_2)}$	P_1 —进泥的含水率 $\%$ P_2 —出泥的含水率 $\%$

6.2.2 气浮浓缩

向污泥液体中压入微小空气气泡,微小气泡黏附在污泥颗粒上,使污泥颗粒的密度小于水的密度而上浮,称为气浮浓缩法,其工艺流程如图 6.7 所示。污泥气浮常采用溶气气浮

法。气浮浓缩池有矩形浓缩池和圆形浓缩池两种,如图 6.8 及图 6.9 所示。

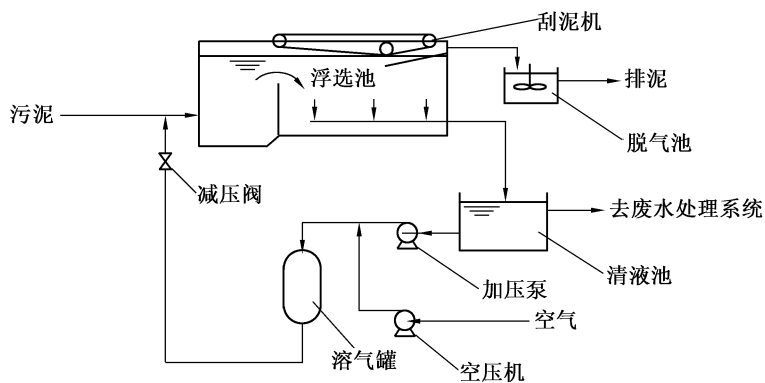


图 6.7 气浮浓缩工艺流程图

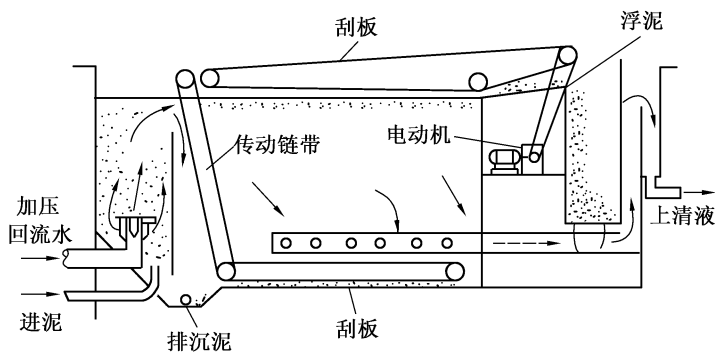


图 6.8 矩形气浮浓缩池结构示意图

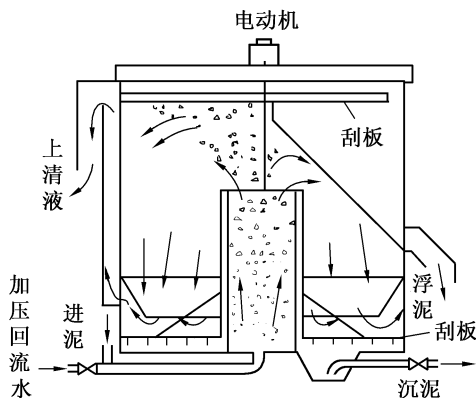


图 6.9 圆形气浮浓缩池结构示意图

气浮浓缩法的主要参数如下。

(1)固体负荷(G)。固体负荷表示浓缩池单位表面积在单位时间所能浓缩的污泥固体量,一般控制为 $50 \sim 120 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

(2)气固比(A/S)。气固比指单位质量的干污泥在气浮浓缩过程中所需的空气质量,即气浮时的有效空气质量(A)与入流的污泥中的固体质量(S)之比,应由试验确定,一般采用 $0.01 \sim 0.04$ 。

(3)水力表面负荷(q)。水力表面负荷为气浮浓缩池单位面积在单位时间内可浓缩的污泥量,一般为 $40 \sim 80 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

(4)停留时间(t)。停留时间对活性污泥一般应大于 20 min 。

(5)回流比(R)。回流比为加压溶气水量与污泥量的比,一般为 $1.0 \sim 3.0$ 。

6.2.3 离心浓缩

污泥中固体与液体的密度不同,在高速旋转的离心机中具有不同的离心力而使两者分离,达到浓缩污泥的目的,用于污泥浓缩的离心筛网浓缩器,如图 6.10 所示。另外,离心浓缩机还有轴筒式、盘式及篮式等,其运行参数见表 6.7 及表 6.8。为提高浓缩效率,常投加助凝剂,如聚合硫酸铁(PFS)及聚丙烯酰胺(PAM)等。近来也用微孔滤机对污泥进行浓缩,先对污泥混凝调节,使含水率从 99% 降到 95%,然后进入微孔滤机浓缩。微孔滤机的金属网络,可用金属丝网、涤纶织物或聚酯纤维品制成,如图 6.11 所示。

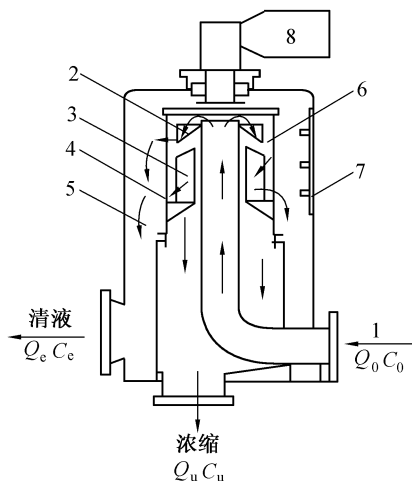


图 6.10 离心筛网浓缩器结构示意图

1—中心分配管 2—进水管 3—排出器；
4—旋转筛网 5—出水集水室 6—调节流量转向器 7—反冲洗系统 8—电动机

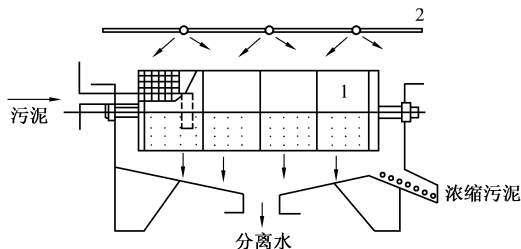


图 6.11 微孔滤机结构示意图

1—微孔滤网 2—反冲洗系统

表 6.7 轴筒式离心机用于污泥浓缩的运行参数

污泥种类	入流污泥含固率 /%	浓缩后污泥含固率 /%	高分子聚合物需要量 [g·(kg 固体污泥) ⁻¹]	固体物质回收率 /%
剩余活性污泥	0.5 ~ 1.5	8 ~ 10	0(0.5 ~ 1.5)	85 ~ 90(90 ~ 95)
厌氧消化污泥	1 ~ 3	8 ~ 10	0(0.5 ~ 1.5)	80 ~ 90(90 ~ 95)
普通生物滤池污泥	2 ~ 3	8 ~ 9(9 ~ 11)	0(0.75 ~ 1.5)	90 ~ 95(95 ~ 97)
厌氧消化的初沉污泥	—	8 ~ 10	0	95 ~ 97
与普通生物滤池的混合污泥	2 ~ 3	7 ~ 9	0.75 ~ 1.5	94 ~ 97

表 6.8 离心浓缩的运行参数与效果

污泥种类	离心机	$Q_0 / (\text{L} \cdot \text{s}^{-1})$	$C_0 / \%$	$C_u / \%$	固体回收率 / %	混凝剂量 / $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$
剩余活性污泥	转盘式	9.5	0.75 ~ 1.0	5.0 ~ 5.5	90	不用
	转盘式	25.3	—	4.0	80	不用
	转盘式	3.2 ~ 5.1	0.7	5.0 ~ 7.0	87 ~ 93	不用
	篮式	2.1 ~ 4.4	0.7	9.0 ~ 10	70 ~ 90	不用
	转鼓式	0.63 ~ 0.76	1.5	9 ~ 13	90	—
		4.75 ~ 6.30	0.44 ~ 0.78	5 ~ 7	80 ~ 90	不用
		6.9 ~ 10.1	0.5 ~ 0.7	5 ~ 8	65	不用
					85	少于 2.26
					90	2.26 ~ 4.54
					95	4.54 ~ 6.8

6.3 污泥消化

污泥消化的目的是降解污泥中的有机物,杀灭污泥中的寄生虫卵、病原微生物及细菌等,使污泥处于稳定状态,便于后续利用与处置。污泥的消化处理有厌氧消化及好氧消化两种方式。

6.3.1 厌氧消化

厌氧消化是在无氧的条件下,由厌氧菌及兼性菌降解污泥中的有机物,使其转变为二氧化碳及甲烷。每去除 1 kg 有机物产沼气量约为 $0.9 \sim 1.1 \text{ m}^3/\text{kg}$ 。

1. 消化池的运行方式

消化池的运行方式有一级消化、二级消化及厌氧接触消化三种。

(1)一级消化。一级消化工艺流程如图 6.12 所示,其主要构筑物为污泥厌氧消化池。消化池可分为圆柱形消化池及椭圆形消化池两种,如图 6.13 所示。消化池的构造主要包括

污泥的投配、排泥及溢流系统、沼气的排出收集与贮气设备、搅拌及加温设备等。一级消化的消化时间一般为20~30 d。

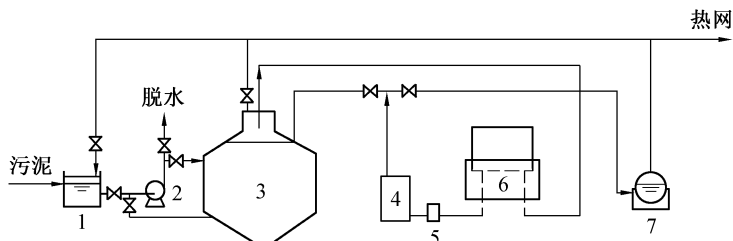
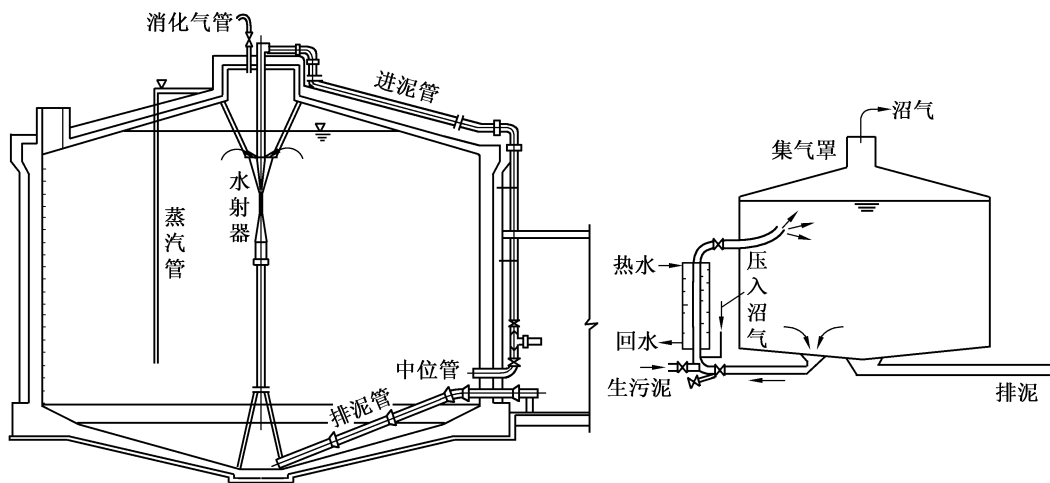


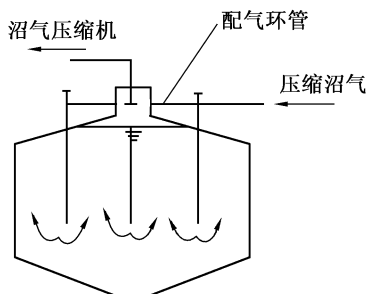
图 6.12 一级消化工艺流程图

1—投配污泥池 2—污泥泵 3—消化池 4—稳压罐 5—沼气管 6—贮气柜 7—锅炉

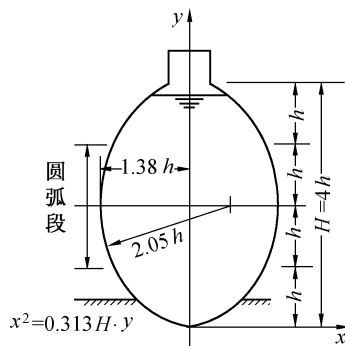


(a) 圆柱形

(b) 圆柱形



(c) 圆柱形



(d) 椭圆形

图 6.13 消化池基本池形示意图

污泥投配管一般布置在污泥池上层,排泥管布置在池底部,溢流管布置必须考虑在池内受压状态下可溢流,溢流管的布置形式如图 6.14 所示。搅拌设备应能在 2~5 h 内将全池污泥搅拌一次,搅拌的方法有沼气搅拌、水泵加水射器搅拌及联合搅拌三种。消化池的加温有两种方式:一是用热水或蒸汽直接通入消化池或通入设在消化池内的盘管进行间接加温,此种方法加温不均匀,还可能使污泥含水率增加,故很少采用;二是在池外间接加热,即用套管式泥-水热交换器加热,如图 6.15 所示。沼气管布置在消化池的上部,其管径按日均产气量计算,管内平均流速为 5 m/s,沼气采用贮气柜贮存。

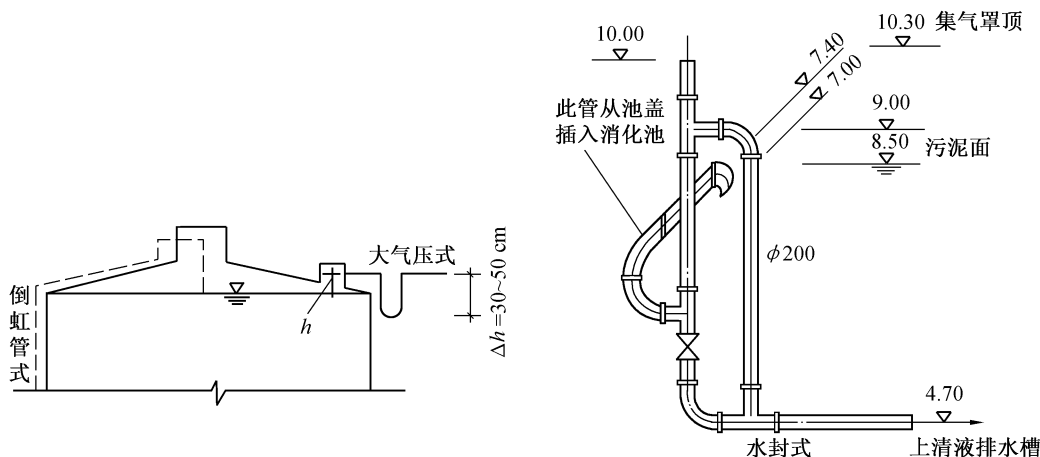


图 6.14 消化池的溢流管布置形式示意图

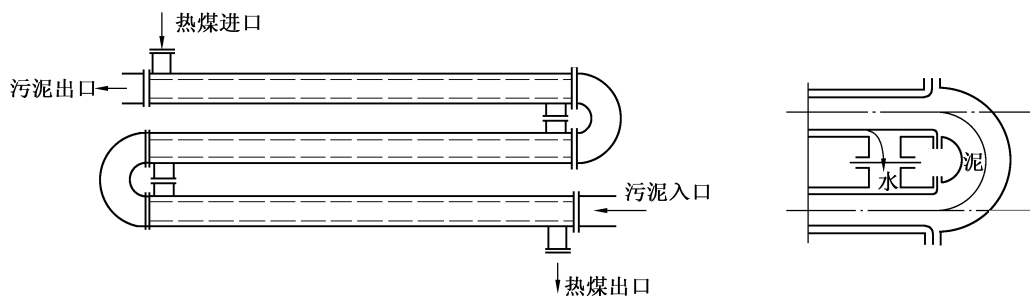


图 6.15 套管式热交换器结构示意图

(2) 二级消化。污泥消化在两个池子中完成,其中第一级消化池构造与一级消化工艺中的消化池完全相同,所不同的是消化时间短,约 7~10 d。第一级消化池排出的污泥进入第二级消化池,第二级消化池可为敞开式或密闭式,不加热、不搅拌,仅利用余热进行消化,消化温度为 20~26℃。二级消化池的容积大致与一级消化池的容积相等,所需加热的热能及搅拌设备的电耗都较一级消化节省。

(3) 厌氧接触消化。厌氧接触消化工艺流程如图 6.16 所示,厌氧接触消化又称完全混

合活性污泥法消化,即向池中回流活性污泥,进入池内的处理泥液可立即与回流的活性污泥接触反应,从而可加快污泥中有机物的降解,缩短消化时间。

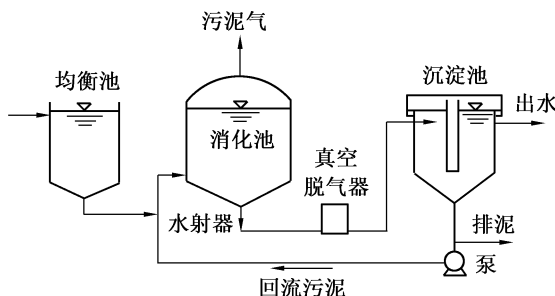


图 6.16 厌氧接触消化工艺流程图

2. 消化池的运行与管理

(1) 污泥培养驯化。若能取得现有消化池的活性污泥,则可减少培养驯化时间。污泥的培养驯化方法有如下两种。

① 逐步培养法。将污泥投入消化池,然后加热,使每小时温度升高 1°C 。当温度升高到消化温度时,维持该温度,然后逐日加入新鲜污泥,直至设计泥面,停止加泥,维持消化温度,使有机物水解、液化,约需 30~40 d,待污泥成熟、产生沼气后,方可投入正常运行。

② 一次培养法。将池塘污泥经 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 孔网过滤后投入消化池,投加量占消化池容积的 $1/10$ 以后逐日加入新鲜污泥至设计泥面。然后加温,控制升温速度为 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$,最后达到消化温度,控制池内 pH 值为 6.5~7.5,稳定 3~5 d,污泥成熟产生沼气后,再投加新鲜污泥。

(2) 运行指标。产气率及沼气成分(CO_2 与 CH_4 所占百分比)应保持正常,投配的污泥含水率为 94%~96%;有机物质量分数为 60%~70%;有机物分解程度为 45%~50%;脂肪酸质量浓度(以醋酸计)为 2 000 mg/L 左右;总碱度(以重碳酸盐计)大于 2 000 mg/L;氨氮质量浓度为 500~1 000 mg/L。

(3) 运行参数。

① 搅拌。污泥沼气循环搅拌可全日工作;采用水力提升器搅拌时,每日搅拌量应为消化池容积的 2 倍;间歇搅拌,如搅拌 30 min,间歇 1.5~2 h。

② 排泥。有上清液排除装置时,应先排上清液再排泥。否则应采用中、低位管混合排泥或搅拌均匀后排泥,以保持消化池内污泥质量浓度不低于 30 g/L,否则消化很难进行。

③ 沼气压。消化池正常工作所产生的沼气压在 1.176~1.961 kPa 之间,过高或过低都说明池组工作不正常或输气管网中有故障。

(4) 异常处理。

① 产气量下降。a. 投加的污泥浓度过低,甲烷菌的底物不足。解决办法是设法提高投配污泥浓度。b. 消化污泥排量过大,使消化池内甲烷减少。解决办法是减少排泥量。c. 消

化池温度降低。解决办法是检查加温设备,保持消化温度。d.消化池的容积减小。由于池内浮渣与沉砂量增多,使消化池容积减小。解决办法是检查搅拌效果及沉砂池的沉砂效果,并及时排除浮渣与沉砂。e.有机酸积累,碱度不足。解决办法是减少投配量,继续加热,观察池内碱度的变化,如不能改善,则应投加石灰、 CaCO_3 等。

②上清液水质恶化, BOD_5 和SS浓度增加。原因可能是排泥量不够,固体负荷过大,消化程度不够,搅拌过度等,应分析上述异常可能产生的原因,分别加以解决。

③沼气的气泡异常。a.连续喷出像啤酒开盖后出现的气泡,这是消化状态严重恶化的征兆。原因可能是排泥量过大,池内污泥量不足或有机物负荷过高,或搅拌不充分。解决办法是减少或停止排泥,加强搅拌,减少污泥投配。b.大量气泡剧烈喷出,但产气量正常。由于池内浮渣层过厚,沼气在层下聚集,一旦沼气穿过浮渣层,就有大量沼气喷出。解决办法是充分搅拌,破碎浮渣层。c.不起泡。解决办法是暂时减少或中止投配污泥。

6.3.2 好氧消化

污泥厌氧消化时要求消化池要密闭,池容要大,运行管理要严格。因此,当污泥量较少时,可采用好氧消化,即在不加底物的条件下,对污泥进行长时间曝气,使污泥中的微生物处于内源呼吸阶段进行自我氧化。

好氧消化的优点如下。

(1)消化程度高,污泥量少,污泥稳定无臭,脱水处置方便。

(2)消化污泥肥分高,易被植物吸收。

(3)消化池运行管理方便,构筑物基建投资少。

(4)上清液BOD质量浓度低。

好氧消化的主要缺点如下。

(1)运行能耗高,运行费用多。

(2)不能回收沼气。

(3)消化后的污泥进行重力浓缩时,上清液SS质量浓度高。

(4)因好氧消化不加热,所以污泥分解程度随温度波动大。

污泥好氧消化池的构造如图6.17所示,其构造与空气混合式活性污泥法曝气池相似,包括污泥消化的好氧消化室,进行泥液分离的泥液分离室,提供氧气并进行搅拌的曝气系统及消化污泥排除管道等。好氧消化池的设计参数见表6.9。

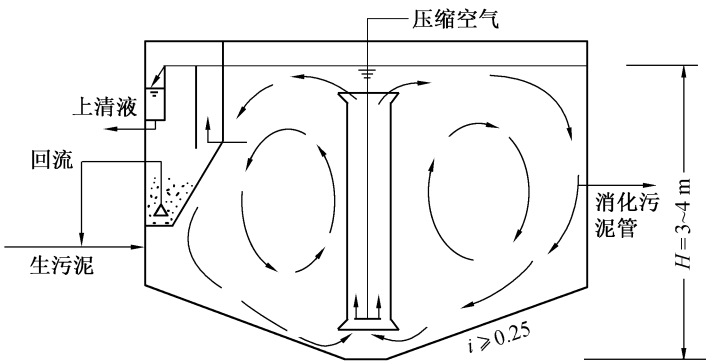


图 6.17 好氧消化池
表 6.9 好氧消化池设计参数

序 号	设 计 参 数	数 值
1	污泥停留时间 /d	
	活性污泥	10 ~ 15
	初沉污泥、初沉污泥与活性污泥混合	15 ~ 20
2	污泥有机负荷 /[$\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$]	0.38 ~ 2.24
3	空气需要量(鼓风机曝气)/[$\text{m}^3 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{min})^{-1}$]	
	活性污泥	0.02 ~ 0.04
	初沉污泥、初沉污泥与活性污泥混合	≥ 0.06
4	机械曝气所需功率 /[$\text{kW} \cdot \text{m}^{-3}$]	0.03
5	最低溶解氧质量浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2
6	温度 /	> 15
7	挥发性固体(VSS)去除率 /%	50 左右

6.4 干化脱水

污泥经浓缩处理后 ,含水率仍为 95% ~ 97% ,需进一步脱水。污泥自然干化和机械脱水 ,主要是为了去除污泥中的毛细水。

6.4.1 自然干化

污泥干化场是污泥自然干化的主要构筑物。污泥在干化场上的脱水是依靠蒸发、渗透和人工撇除等过程实现的。干化场可分为自然滤层干化场与人工滤层干化场两种。自然滤层干化场适用于自然土质渗透性能好 地下水位低的地区 ;人工滤层干化场的滤层是人工铺设的。干化场又可分为敞开式干化场与有盖式干化场两种。图 6.18 为人工滤层干化场 ,它

是由不透水底层、排水系统、滤水层、输泥管、隔墙和围堤组成的。干化场可处理初次沉淀池污泥、腐殖污泥、消化污泥、化学污泥及混合污泥。干化后的污泥含水率为 75% ~ 80% ,污泥体积可缩小 $1/10 \sim 1/2$ 。污泥干化场是一种古老、经济、简便、应用广泛的污泥脱水设施,适用于用地方便、气候条件好、地下水位低及环境卫生条件允许的地区。

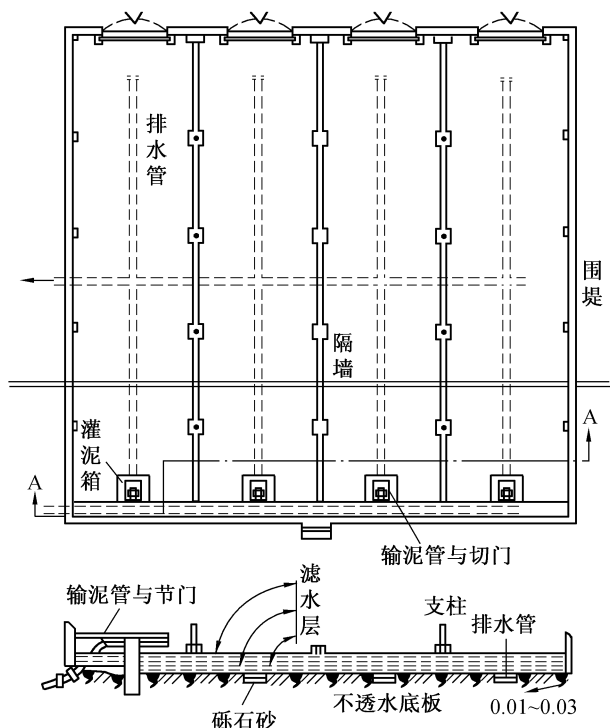


图 6.18 人工滤层干化场

6.4.2 机械脱水

机械脱水的方法有：真空过滤法、压滤脱水法、离心脱水法等。

1. 真空过滤法

目前广泛使用的真空过滤设备为 GP 型转鼓式真空过滤机,其组成及脱水工艺流程如图 6.19 及图 6.20 所示。它的主要部件为空心转鼓及污泥贮槽,另外还有真空系统、空气压缩系统和调理投药系统。系统工作时转鼓旋转,由于真空的作用,将污泥吸附在滤布上,液体通过滤布沿管道流入气水分离罐。滤布上的污泥在运转中形成滤饼并继续吸干水分,滤饼被压缩空气反吹松动剥落,剥落的滤饼由皮带输送机运走。转鼓每旋转 1 周,将依次经过滤饼形成区、吸干区、反吹区和休止区。该系统的优点是运行平稳,可自动控制,缺点是附属设备较多,工序复杂,运行费用高,滤布紧包在转鼓上,再生与清洗不充分,容易堵塞。图

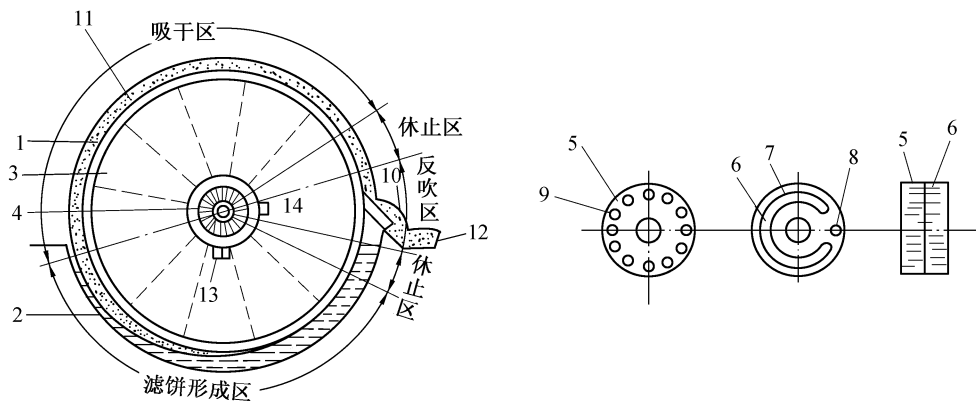


图 6.19 转鼓式真空过滤机

1—空心转鼓 ;2—贮槽 ;3—扇形间格 ;4—分配头 ;5—转鼓动片 ;6—固定片 ;7—缝 ;8—孔 ;9—孔道 ;
10—反吹区 ;11—吸干区 ;12—皮带输送机 ;13—真空管路 ;14—压缩空气管道

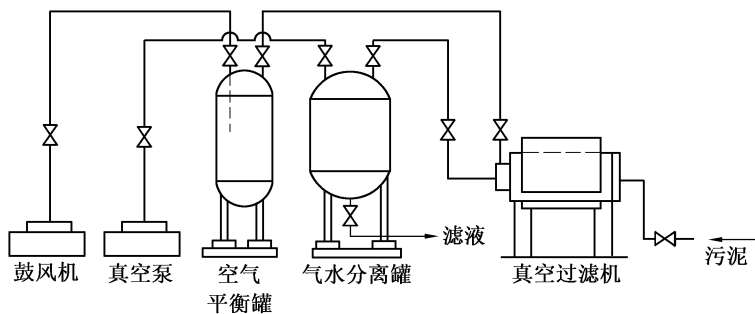


图 6.20 转鼓式真空过滤机脱水工艺流程图

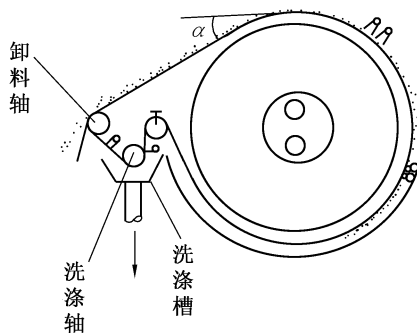


图 6.21 链带式转鼓真空过滤机

6.21为链带式转鼓真空过滤机,该机将滤布从转鼓上引伸过来,通过冲洗槽进行清洗,这样就避免了滤布堵塞。

2. 压滤脱水法

压滤脱水设备有板框压滤机、带式压滤机等。

(1)板框压滤机。板框压滤设备如图6.22~6.25所示。压滤机工作时,先开动压紧装置,将板、框、布压紧,然后将污泥输入压滤机内,通入压缩空气使泥面上气压达到 $0.5 \sim 1.5 \text{ MPa}$,保持2 h左右。泥液在压力作用下渗过滤布,与污泥分离。滤框中的污泥成为固体泥饼,并吹风 $5 \sim 10 \text{ min}$,使泥饼进一步脱水。然后放松压滤机的压紧部件,拆开滤板的滤框,泥饼即从滤布上脱落。板框压滤机的优点是:构造简单,过滤推动力大,缺点是:操作麻烦,产率较低,不能连续运行。

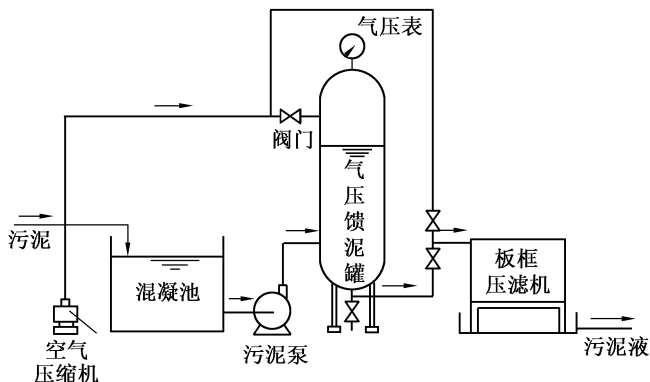


图 6.22 板框压滤机整套设备布置示意图

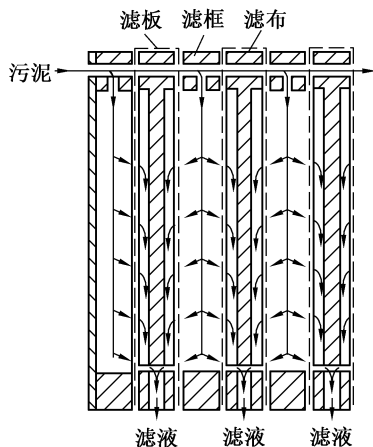


图 6.23 滤框、滤板和滤布组合后的板框压滤机

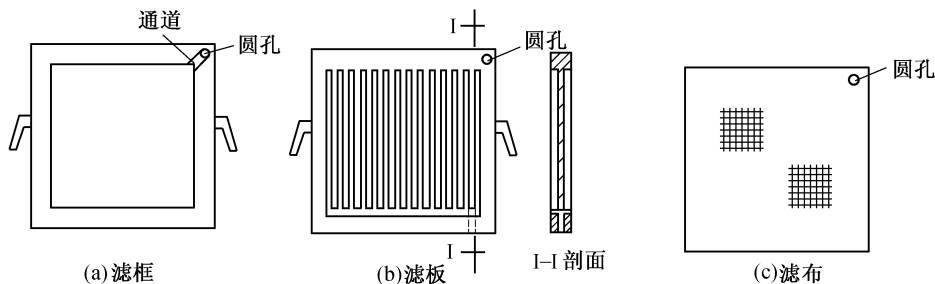


图 6.24 滤板、滤框及滤布

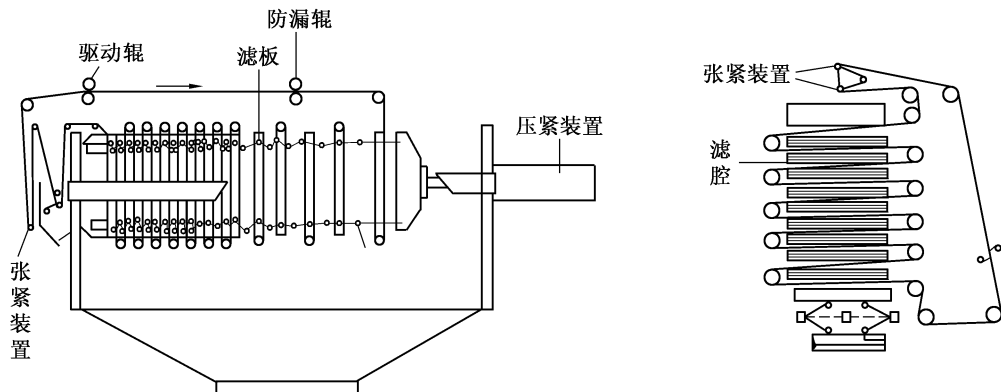


图 6.25 自动板框压滤机

(2)带式压滤机。带式压滤机构造如图 6.26 所示。带式压滤机由不同规格的辊压筒排列组成,相邻辊压筒之间有滤布穿过,另外,还有污泥混合筒、驱动装置、滤带张紧装置、滤带调偏装置、滤带冲洗装置、滤饼剥落及排水设备。其脱水过程为:污泥首先进入压滤机的重

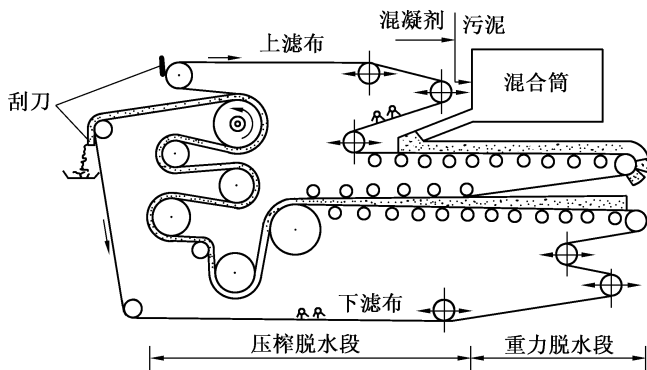


图 6.26 带式压滤机

力脱水段脱水,重力脱水段由上下两段滤布组成,接着进入楔形脱水段,污泥进入由上下滤带形成楔形空间进行挤压,然后进入压榨脱水段,由压榨辊按直径由大到小排列,压榨力由小到大。污泥脱水后成泥饼经刮刀剥离落下。带式压滤机的优点是:能连续运行,机器制造容易,操作管理简单,附属设备少,在国内污水厂得到了广泛应用。

3. 离心脱水法

离心脱水是通过水和泥的离心力之差,使水与泥相互分离,从而进行脱水。目前常用的离心脱水设备为卧式螺旋沉降离心机(如图 6.27 所示),主要由转鼓和带空心转轴的螺旋输送器组成。其工作过程为:污泥进入转鼓,在离心力作用下,污泥被甩向转鼓内壁,而液相在污泥层上形成液环层,实现泥水分离。污泥由螺旋输送器推向排渣口甩出,液相则通过溢流堰溢出。离心脱水的优点是:占地面积小,基建费用少,运行操作简单,可不加或少加调理剂。另外,由于机械产生的离心力是重力沉淀的重力场的 1 000 倍以上,因而可使细小颗粒很快与水分离。

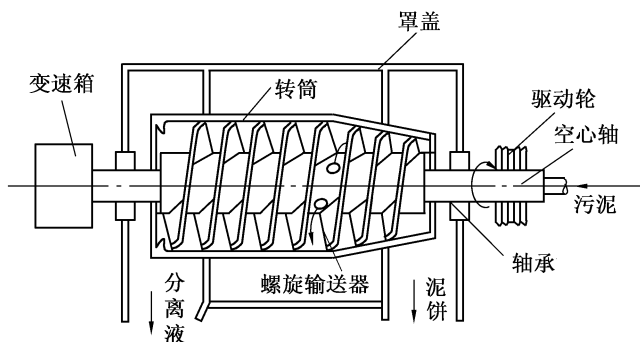


图 6.27 卧式螺旋沉降离心机

6.5 干燥焚烧

6.5.1 污泥干燥

污泥干燥主要是去除污泥中的吸附水与内部水。污泥经浓缩脱水与机械脱水后,含水率约在 60%~80%之间,可经过干燥进一步脱水,使含水率降至 10%~20%左右。污泥干燥处理成本很高,很少采用。污泥干燥的装置有:回转圆筒干燥器、急骤干燥器及干基标准干燥器(DB 干燥器),各种干燥处理装置比较见表 6.10。

表 6.10 各种干燥处理装置比较

干燥处理装置	回转圆筒干燥器	急骤干燥器	DB 干燥器
设备	有定型产品	无定型产品	无定型产品
灼热气体温度 /	120 ~ 150	530	160 ~ 180
卫生条件	可杀灭致病微生物与寄生虫卵	同左	同左
蒸发强度 / $[\text{kg}(\text{水}) \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h})^{-1}]$	55 ~ 80	—	—
干燥效果(以含水率 % 表示)	15 ~ 20	约 10	约 10 ~ 15
运行方式	连续	连续	连续
干燥时间 / min	30 ~ 32	$\leq 1 \text{ min}$	—
热效率	较低	高	较低
臭味	低	低	低
排烟中灰分	低	高	低

1. 回转圆筒干燥器

回转圆筒干燥器工艺流程如图 6.28

所示,脱水污泥经粉碎机 1 粉碎后,与旋流分离器 4 返送来的细粉混合进入回转圆筒 2,干燥污泥由卸料室 3 通过格栅 6 送到贮存池 7,排出的气体经旋流分离器分离出细粉后,经除臭燃烧器 5 除臭后排入大气。回转圆筒干燥器内的干燥介质均为灼热气体。灼热气体的来源有两种:一是用蒸汽盘管加热气体后送入干燥器,灼热气体温度约为 120 ~ 150 ;二是在燃烧室内燃烧煤、干污泥、燃料油或污泥气等,灼热气体温度控制在 600 ,污泥中所含病菌及寄生虫卵可被全部杀死,而其肥分降低很少。

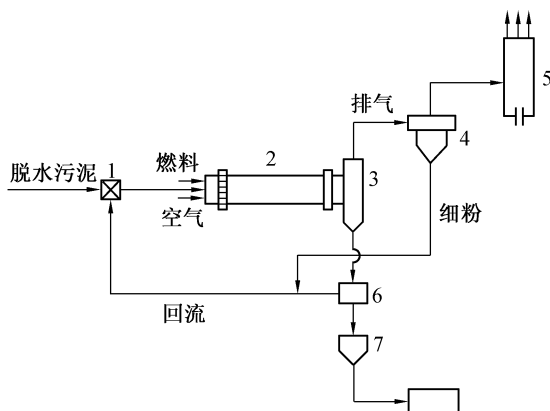


图 6.28 回转圆筒干燥器流程图

1—粉碎机 2—回转圆筒 3—卸料室 4—旋流分离器;
5—除臭燃烧器 6—格栅 7—贮存池

2. 急骤干燥器

急骤干燥器工艺流程如图 6.29 所示。湿泥饼由加料器 1 送入混合器 2,使其与干燥后的部分干污泥混合,混合后的含水率降至 50% 左右,经粉碎机 3 粉碎,并与预热到 530 左右的热空气一起,沿着急骤干燥管 4(管外有绝热层)喷流而上(管内空气流速为 10 ~ 20 m/s),进行热交换,再经旋流分离器 5,热空气回流到急骤干燥管作为热源或经洗涤塔 7 进行脱臭处理后排放。一部分干燥泥粉回流混合,另一部分外运。

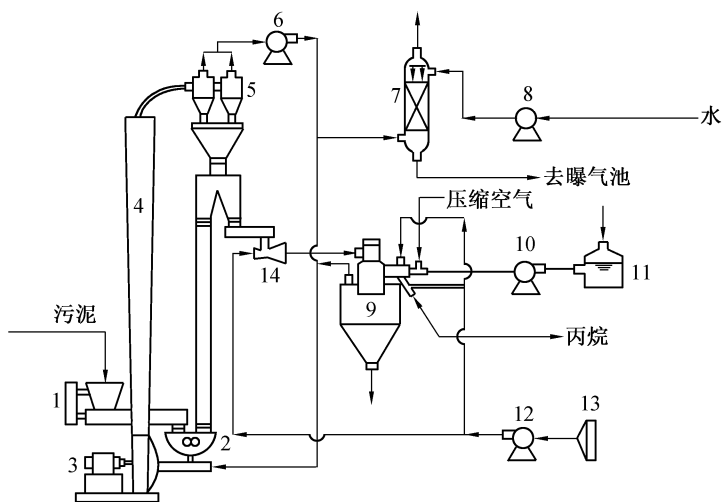


图 6.29 急骤干燥器流程图

- 1—加料器 2—混合器 3—粉碎机 4—急骤干燥管 5—旋流分离器；
6—鼓风机 7—洗涤塔 8—给水泵 9—焚烧炉 10—重油泵；
11—重油罐 12—燃烧鼓风机 13—空气 14—加料器

3. 干基标准干燥器(DB 干燥器)

DB 干燥器工艺流程如图 6.30 所示。成型器 3 是两个相对转动的空心圆筒，圆筒上有相互吻合的一系列宽 5~10 mm、深几毫米的槽沟，圆筒内部通蒸汽(热源)，圆筒旋转时将污泥压入槽沟成型，然后用刮板刮下。成型后的污泥粒刮落在网状传送带 9 上，用热风通气干燥方式烘干至要求的含水率。热源可用废蒸汽或燃烧重油、煤油及煤气，干燥的温度保持在 160~180℃，蒸发的水分与废气一起排出，一部分作为循环加热用，一部分经水洗脱臭后排放。

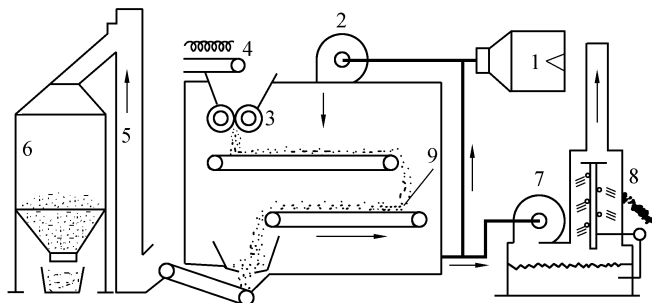


图 6.30 DB 干燥器

- 1—炉 2—送风机 3—成型器 4—皮带输送机 5—斗式输送机；
6—料仓 7—抽风机 8—烟囱 9—网状传送带

6.5.2 污泥焚烧

当污泥自身的燃烧热值高,可以用于发电或供热时,可考虑采用焚烧处理的方法。另外,当污泥中有毒物质含量高,不符合卫生要求时,也可考虑采用焚烧处理的方法。焚烧处理可去除污泥中的吸附水与内部水,污泥含水率可降至零,体积很小,便于运输、利用等最终处理。

污泥焚烧前,应首先进行干燥。焚烧所需热量,主要来自于污泥自身含有的有机物的燃烧热量,当污泥所含有机物燃烧所产生的热量不足以使污泥自燃时,则需补充辅助燃料。常用的焚烧设备有回转式焚烧炉、立式焚烧炉、立式多段焚烧炉、流化床焚烧炉等。

1. 回转式焚烧炉

回转式焚烧炉又称回转窑,其工艺流程如图 6.31 所示,运行前先用石油气或燃料油燃烧预热炉膛,然后投入脱水后的泥饼,泥饼从炉体的高端进入,由低端排出。燃料油从低端喷入,所以低端始终具有最高温度,而高端温度较低。随着炉体转动,污泥缓缓从高端向低端移动。首先在干燥带内预热干燥,使其含水率达到 10%~30%,温度达到 160℃,然后进行恒温蒸发,使其温度上升到 700~900℃,达到着火点,污泥开始在燃烧带内燃烧。回转炉的优点是:对污泥数量和形状变化适应性强,结构简单,温度容易控制,污泥与燃气逆流移动,可充分利用燃烧废气。

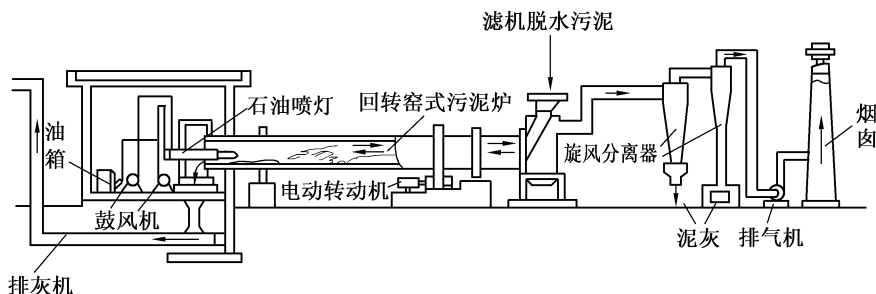


图 6.31 回转式焚烧炉工艺流程图

2. 立式焚烧炉

立式焚烧炉工艺流程如图 6.32 所示。立式焚烧炉具有固定的炉膛,像立式锅炉一样,但无热能回收。外壳由钢板焊制而成,内衬耐火材料,可以连续生产,也可以间断生产,适用于石油化工厂等既富有余热,又能够利用除油池和浮选池的油渣作为辅助燃料的工厂采用。

3. 立式多段焚烧炉

立式多段焚烧炉工艺流程如图 6.33 所示。立式多段焚烧炉是内衬耐火材料的钢制筒,一般分成 6~12 层。各层都是旋转齿耙,所有的齿都固定在一根空心转轴上。空气由轴中心鼓入,泥饼从炉的顶部进入,依靠齿耙的耙动,翻动污泥,并自上层逐层下落。顶部两层为

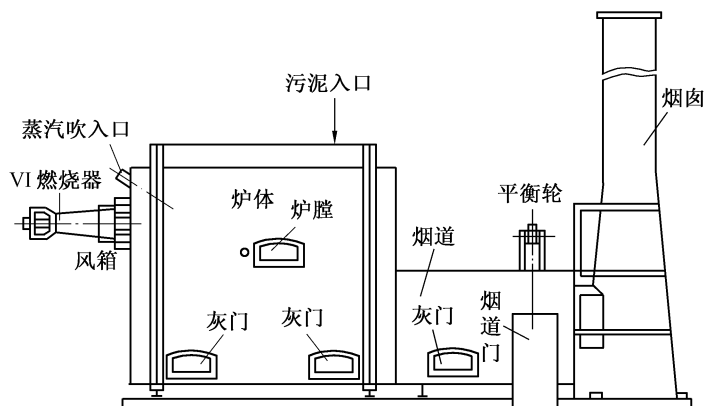


图 6.32 立式焚烧炉工艺流程图

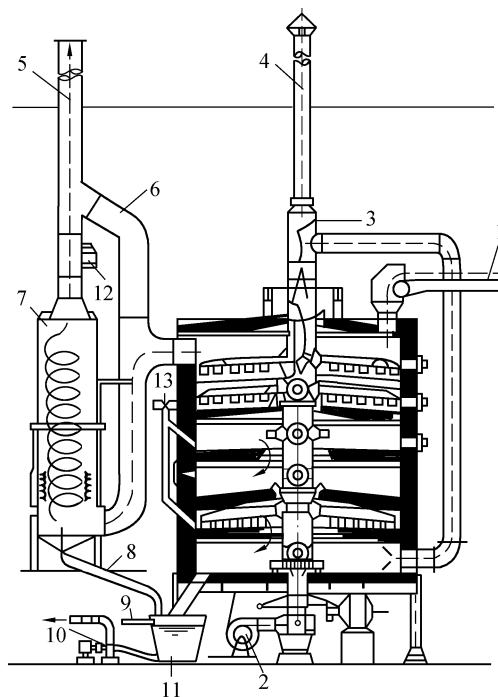


图 6.33 立式多段焚烧炉工艺流程图

1—泥饼 2—冷却空气鼓风机 3—浮动风门；
 4—废冷却气 5—清洁气体 6—无水时旁通风道；
 7—旋风喷射洗涤器 8—灰浆 9—分离水 10—砂
 浆 11—灰桶 12—感应鼓风机架 13—轻油

干燥层,温度为 $480 \sim 680$,可使污泥含水率降至 40% 以下;中部几层为焚烧层,温度为 $760 \sim 980$;下部几层为缓慢冷却层,温度为 $260 \sim 350$ 。这种炉型的优点是:热效率高,污泥搅动好。

4. 流化床焚烧炉

流化床焚烧炉工艺流程如图 6.34 所示。泥饼经快速干燥器干燥后含水率可下降到 40% 左右,干燥器的热源为流化床焚烧炉排出的烟道气(温度约为 800)。泥饼由输送带从焚烧炉顶部加入,加入流化床的泥饼与流化床灼热的砂层(温度约为 700)搅拌混合,全部分散气化,产生的气体在流化床上部焚烧。二次空气由炉壁沿切线方向高速吹入,焚烧温度可达 850 。焚烧灰与燃烧气一起飞散出去,用旋流分离器加以捕集。流化床的优点是:结构简单,热传导效果好,缺点是:操作较复杂,动力消耗较大。

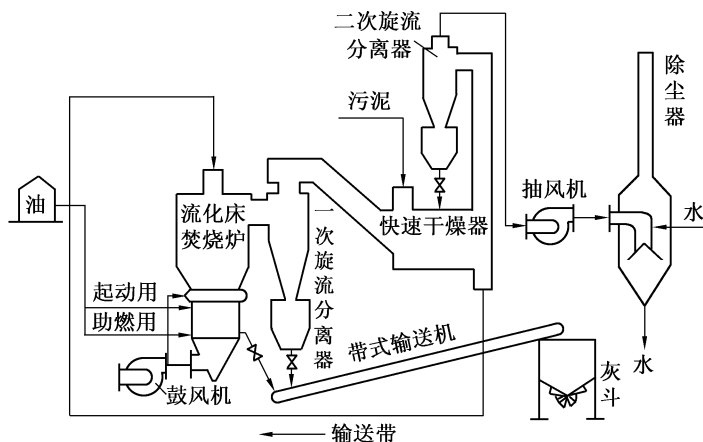


图 6.34 流化床焚烧炉工艺流程图

6.6 污泥处置

污泥最终处置的途径有:污泥堆肥、制作建材、污泥填埋、污泥投海等。

6.6.1 污泥堆肥

如果污泥所含重金属等物质符合农肥卫生标准,则可进行堆肥,杀死病菌及寄生虫卵,提高肥分,成为易于被农作物吸收的农肥。污泥堆肥的工艺流程如图 6.35 ~ 6.37 所示。

(1)泥饼脱水。利用自然干化或机械脱水手段,使泥饼含水率下降到 $70\% \sim 80\%$ 。

(2)调节含水率。掺入稻草、木屑等膨胀剂,增加污泥的孔隙度,使其通风良好,降低污泥含水率并改善堆料的 C/N 值(碳氮化)。

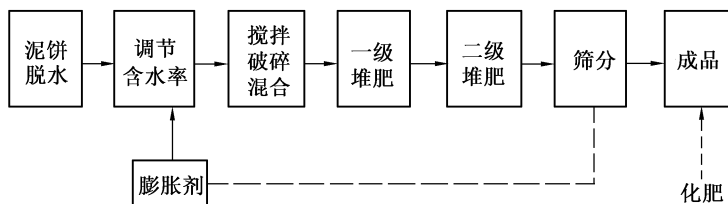


图 6.35 污泥堆肥一般工艺流程图

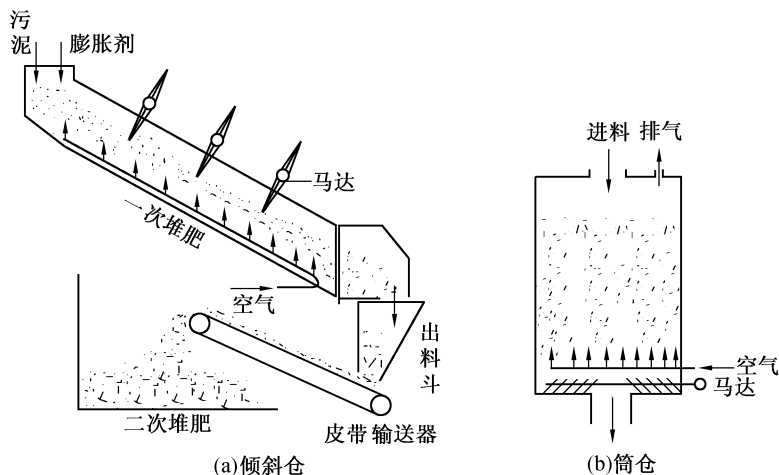


图 6.36 发酵仓

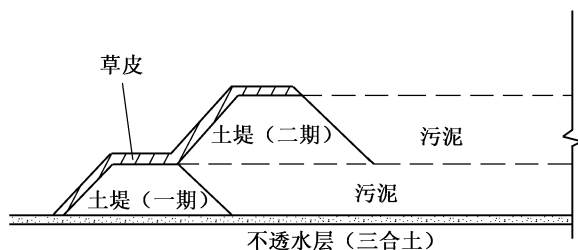


图 6.37 露天堆肥法

(3) 搅拌破碎混合。搅拌破碎混合使堆肥的颗粒粒径为 2~60 mm。

(4) 一级堆肥。一级堆肥可在发酵仓或肥堆上进行，必须进行通风供氧，进行好氧分解，温度为 55~70℃，时间约为 1 周。杀死寄生虫卵、病原体，除去恶臭，分解有机物。

(5) 二级堆肥。二级堆肥可自然堆放，不需通风供氧，是降温继续分解有机物的过程，时间约为 20~30 d，堆肥已成熟。

(6) 筛分。筛去粗大颗粒，这些大颗粒均属不能降解腐化的无机物。

(7)成品。经筛分后即为农肥成品,成品为灰黑色、无恶臭、疏松的农肥料。

6.6.2 制作建材

1. 污泥制砖

(1)用干化污泥制砖,应适当调整污泥的成分,使其与黏土砖的化学成分相当。污泥与黏土的质量比约为(0.5~1):10,当污泥与黏土的质量比为1:10时,污泥砖可达到红砖的强度,详见表6.11。

表 6.11 污泥砖的一般物理性能

污泥:黏土 /质量比	平均抗压强度 /($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	抗折强度 /($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	成品率 /%	鉴定标号
0.5:10	82	21	83	75
1:10	106	45	90	75

(2)用污泥焚烧灰制砖,较适宜的配比为:m(焚烧灰):m(黏土):m(硅砂)=100:50:(15~20)。

2. 污泥制生化纤维板

利用活性污泥中的粗蛋白(有机物)与球蛋白(酶)能溶解于水、稀酸、稀碱及中性盐的水溶液的性质,在碱性条件下,加热、干燥、加压后会发生一系列物化变化(称为蛋白质的变性作用),从而制成活性污泥树脂(蛋白胶),使之与经漂白、脱脂的废纤维(棉、毛纺厂下脚料)拌和压成板材,即为生化纤维板。其性能与三级硬质纤维板的比较见表6.12。

表 6.12 生化纤维板与三级硬质纤维板比较

板 名	密 度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	抗折强度 /($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	吸水率 /%
生化纤维板	1 250	180~220	30
三级硬质纤维板	≥ 800	≥ 200	≤ 35

6.6.3 污泥填埋

进行污泥填埋时,填埋场地周围应设围栏,填埋场排出的高浓度有机污水,应进行处理,防止其对地下水及地表水的污染,防止臭味向外扩散,防止鼠类及蚊蝇栖息繁殖,未焚烧的污泥应分层填埋。生污泥填埋时,污泥层厚度应不大于0.5 m,其上铺砂土厚0.5 m,交替进行填埋,并设置通风装置,消化污泥填埋时,污泥层厚度应不大于3 m,其上铺砂土厚0.5 m,交替进行填埋。

6.6.4 污泥投海

沿海地区可将生污泥、消化污泥、脱水泥饼或焚烧灰投海,可用管道运输或船运。例如,英国污泥投海离海岸 10 km 以外,海水深 25 m,海水量为污泥量的 500 ~ 1 000 倍,可使投海区海水不受污染。另外,还可进行填海造地,填海造地时应设护栏,避免污泥及废弃固体废物污染海水,渗水必须收集后进行处理,填海造地的污泥及焚烧灰中,重金属含量应符合填海造地的标准。

附录 1 地表水环境质量标准(摘)

1 范围

- 1.1 本标准按照地表水环境功能分类和保护目标,规定了水环境质量应控制的项目及限值,以及水质评价、水质项目的分析方法和标准的实施与监督。
- 1.2 本标准适用于中华人民共和国领域内江河、湖泊、运河、渠道、水库等具有使用功能的地表水水域。具有特定功能的水域,执行相应的专业用水水质标准。

2 引用标准

《生活饮用水卫生规范》(卫生部,2001年)和本标准表4~表6所列分析方法标准及规范中所含条文在本标准中被引用即构成为本标准条文,与本标准同效。当上述标准和规范被修订时,应使用其最新版本。

3 水域功能和标准分类

- 依据地表水水域环境功能和保护目标,按功能高低依次划分为五类:
- I类 主要适用于源头水、国家自然保护区;
 - II类 主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等;
 - III类 主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区;
 - IV类 主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区;
 - V类 主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。
- 对应地表水上述五类水域功能,将地表水环境质量标准基本项目标准值分为五类,不同功能类别分别执行相应类别的标准值。水域功能类别高的标准值严于水域功能类别低的标准值。同一水域兼有多类使用功能的,执行最高功能类别对应的标准值。实现水域功能与达功能类别标准为同一含义。

4 标准值

- 4.1 地表水环境质量标准基本项目标准限值见表1。
- 4.2 集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值见表2。
- 4.3 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值见表3。

5 水质评价

- 5.1 地表水环境质量评价应根据应实现的水域功能类别,选取相应类别标准,进行单因子评价,评价结果应说明水质达标情况,超标的应说明超标项目和超标倍数。
- 5.2 丰、平、枯水期特征明显的水域,应分水期进行水质评价。
- 5.3 集中式生活饮用水地表水源地水质评价的项目应包括表1中的基本项目、表2中的补充项目以及由县级以上人民政府环境保护行政主管部门从表3中选择确定的特定项目。

6 水质监测

- 6.1 本标准规定的项目标准值,要求水样采集后自然沉降 30 min,取上层非沉降部分按规定方法进行分析。
- 6.2 地表水水质监测的采样布点、临测频率应符合国家地表水环境监测技术规范的要求。
- 6.3 本标准水质项目的分析方法应优先选用表 4~表 6 规定的方法,也可采用 ISO 方法体系等其他等效分析方法,但须进行适用性检验。

7 标准的实施与监督

- 7.1 本标准由县级以上人民政府环境保护行政主管部门及相关部门按职责分工监督实施。
- 7.2 集中式生活饮用水地表水源地水质超标项目经自来水厂净化处理后,必须达到《生活饮用水卫生规范》的要求。
- 7.3 省、自治区、直辖市人民政府可以对本标准中未作规定的项目,制定地方补充标准,并报国务院环境保护行政主管部门备案。

表 1 地表水环境质量标准基本项目标准限值 mg/L

序号	标 准 值		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
	项 目						
1	水温 /		人为造成的环境水温变化应限制在： 周平均最大温升 ≤1 周平均最大温降 ≤2				
2	pH 值(无量纲)		6~9				
3	溶解氧	≥	饱和率 90% (或 7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数	≤	2	4	6	10	15
5	化学需氧量(COD)	≤	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量(BOD ₅)	≤	3	3	4	6	10
7	氨氮(NH ₃ - N)	≤	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
8	总磷(以 P 计)	≤	0.02 (湖、库 0.01)	0.1 (湖、库 0.025)	0.2 (湖、库 0.05)	0.3 (湖、库 0.1)	0.4 (湖、库 0.2)
9	总氮(湖、库 ,以 N 计)	≤	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜	≤	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌	≤	0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
12	氟化物(以 F ⁻ 计)	≤	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
13	硒	≤	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷	≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞	≤	0.000 05	0.000 05	0.000 1	0.001	0.001
16	镉	≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬(六价)	≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
18	铅	≤	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1

续表 1

mg/L

序号	标 准 值	分 类	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
	项 目						
19	氰化物	≤	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2
20	挥发酚	≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类	≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
22	阴离子表面活性剂	≤	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物	≤	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
24	粪大肠菌群(个/L)	≤	200	2 000	10 000	20 000	40 000

表 2 集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值

mg/L

序 号	项 目	标 准 值
1	硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计)	250
2	氯化物(以 Cl^- 计)	250
3	硝酸盐(以 N 计)	10
4	铁	0.3
5	锰	0.1

表 3 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值

mg/L

序号	项 目	标准值	序号	项 目	标准值
1	三氯甲烷	0.06	29	六氯苯	0.05
2	四氯化碳	0.002	30	硝基苯	0.017
3	三溴甲烷	0.1	31	二硝基苯④	0.5
4	二氯甲烷	0.02	32	2,4-二硝基甲苯	0.000 3
5	1,2-二氯乙烷	0.03	33	2,4,6-三硝基甲苯	0.5
6	环氧氯丙烷	0.02	34	硝基氯苯⑤	0.05
7	氯乙烯	0.005	35	2,4-二硝基氯苯	0.5
8	1,1-二氯乙烯	0.03	36	2,4-二氯苯酚	0.093
9	1,2-二氯乙烯	0.05	37	2,4,6-三氯苯酚	0.2
10	三氯乙烯	0.07	38	五氯酚	0.009
11	四氯乙烯	0.04	39	苯胺	0.1
12	氯丁二烯	0.002	40	联苯胺	0.000 2
13	六氯丁二烯	0.000 6	41	丙烯酰胺	0.000 5
14	苯乙烯	0.02	42	丙烯腈	0.1

续表 3

mg/L

序号	项 目	标准值	序号	项 目	标准值
15	甲醛	0.9	43	邻苯二甲酸二丁酯	0.003
16	乙醛	0.05	44	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	0.008
17	丙烯醛	0.1	45	水合肼	0.01
18	三氯乙醛	0.01	46	四乙基铅	0.000 1
19	苯	0.01	47	吡啶	0.2
20	甲苯	0.7	48	松节油	0.2
21	乙苯	0.3	49	苦味酸	0.5
22	二甲苯 ^①	0.5	50	丁基黄原酸	0.005
23	异丙苯	0.25	51	活性氯	0.01
24	氯苯	0.3	52	滴滴涕	0.001
25	1,2-二氯苯	1.0	53	林丹	0.002
26	1,4-二氯苯	0.3	54	环氧七氯	0.000 2
27	三氯苯 ^②	0.02	55	对硫磷	0.003
28	四氯苯 ^③	0.02	56	甲基对硫磷	0.002
57	马拉硫磷	0.05	69	微囊藻毒素-LR	0.001
58	乐果	0.08	70	黄磷	0.003
59	敌敌畏	0.05	71	钼	0.07
60	敌百虫	0.05	72	钴	1.0
61	内吸磷	0.03	73	铍	0.002
62	百菌清	0.01	74	硼	0.5
63	甲萘威	0.05	75	锑	0.005
64	溴氰菊酯	0.02	76	镍	0.02
65	阿特拉津	0.003	77	钡	0.7
66	苯并(a)芘	2.8×10^{-6}	78	钒	0.05
67	甲基汞	1.0×10^{-6}	79	钛	0.1
68	多氯联苯 ^⑥	2.0×10^{-5}	80	铊	0.000 1

注 ①二甲苯 指对-二甲苯、间-二甲苯、邻-二甲苯。

②三氯苯 指 1,2,3-三氯苯、1,2,4-三氯苯、1,3,5-三氯苯。

③四氯苯 指 1,2,3,4-四氯苯、1,2,3,5-四氯苯、1,2,4,5-四氯苯。

④二硝基苯 指对-二硝基苯、间-二硝基苯、邻-二硝基苯。

⑤硝基氯苯 指对-硝基氯苯、间-硝基氯苯、邻-硝基氯苯。

⑥多氯联苯 指 PCB-1016、PCB-1221、PCB-1232、PCB-1242、PCB-1248、PCB-1254、PCB-1260。

附录 2 污水综合排放标准(摘)

(GB 8978—1996)(摘)

在污水综合排放标准中,将排放的污染物按其性质及控制方式分为两类,并按建设年限规定了部分行业最高允许排放水量和第一类污染物、第二类污染物最高允许排放浓度。

1997 年 12 月 31 日之前建设(包括改、扩建)的单位,水污染物的排放必须同时执行表 1、表 2、表 3 的规定。1998 年 1 月 1 日起建设(包括改、扩建)的单位,水污染物的排放必须同时执行表 1、表 4、表 5 的规定。

表 1 第一类污染物最高允许排放浓度

mg/L

序号	污染物	最高允许排放浓度	序号	污染物	最高允许排放浓度
1	总汞	0.05	8	总镍	1.0
2	烷基汞	不得检出	9	苯并[a]芘	0.000 03
3	总镉	0.1	10	总铍	0.005
4	总铬	1.5	11	总银	0.5
5	六价铬	0.5	12	总 α 放射性	1 Bq/L
6	总砷	0.5	13	总 β 放射性	10 Bq/L
7	总铅	1.0			

表 2 第二类污染物最高允许排放浓度

(1997 年 12 月 31 日之前建设的单位)

mg/L

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	一切排污单位	6~9	6~9	6~9
2	色度(稀释倍数)	染料工业	50	180	—
		其他排污单位	50	80	—
3	悬浮物(SS)	采矿、选矿、选煤工业	100	300	—
		脉金选矿	100	500	—
		边远地区砂金选矿	100	800	—
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	200	400

续表 2

mg/L

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
4	五日生化需氧量 (BOD ₅)	甘蔗制糖、苕麻脱胶、湿法纤维板工业	30	100	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	30	150	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	30	60	300
5	化学需氧量 (COD)	甜菜制糖、焦化、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1 000
		味精、酒精、医药原料药、生物制药、苕麻脱胶、皮革、化纤浆粕工业	100	300	1 000
		石油化工工业(包括石油炼制)	100	150	500
		城镇二级污水处理厂	60	120	—
		其他排污单位	100	150	500
6	石油类	一切排污单位	10	10	30
7	动植物油	一切排污单位	20	20	100
8	挥发酚	一切排污单位	0.5	0.5	2.0
9	总氰化合物	电影洗片(铁氰化合物)	0.5	5.0	5.0
		其他排污单位	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	一切排污单位	1.0	1.0	2.0
11	氨氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—
12	氟化物	黄磷工业	10	20	20
		低氟地区(水体含氟量 < 0.5 mg/L)	10	20	30
		其他排污单位	10	10	20
13	磷酸盐(以 P 计)	一切排污单位	0.5	1.0	—
14	甲醛	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	一切排污单位	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂(LAS)	合成洗涤剂工业	5.0	15	20
		其他排污单位	5.0	10	20
18	总铜	一切排污单位	0.5	1.0	2.0
19	总锌	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
20	总锰	合成脂肪酸工业	2.0	5.0	5.0
		其他排污单位	2.0	2.0	5.0

续表 2

mg/L

序号	污 染 物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
21	彩色显影剂	电影洗片	2.0	3.0	5.0
22	显影剂及氧化物总量	电影洗片	3.0	6.0	6.0
23	元素磷	一切排污单位	0.1	0.3	0.3
24	有机磷农药(以P计)	一切排污单位	不得检出	0.5	0.5
25	粪大肠菌群数	医院 ^① 、兽医院及医疗机构含病原体污水	500 个/L	1 000 个/L	5 000 个/L
		传染病、结核病医院污水	100 个/L	500 个/L	1 000 个/L
26	总余氯(采用氯化消毒的医院污水)	医院 ^① 、兽医院及医疗机构含病原体污水	< 0.5 ^②	> 3(接触时间≥1 h)	> 2(接触时间≥1 h)
		传染病、结核病医院污水	< 0.5 ^②	> 6.5(接触时间≥1.5 h)	> 5(接触时间≥1.5 h)

- ①指 50 个床位以上的医院。
②加氯消毒后需进行脱氯处理 ,达到本标准。

表 3 部分行业最高允许排水量
(1997 年 12 月 31 日之前建设的单位)

序号	行 业 类 别			最高允许排水量或 最低允许水重复利用率	
1	矿山工业	有色金属系统选矿		水重复利用率 75%	
		其他矿山工业采矿、选矿、选煤等		水重复利用率 90%(选煤)	
		脉金 选矿	重选	16.0 m³/t(矿石)	
			浮选	9.0 m³/t(矿石)	
			氰化	8.0 m³/t(矿石)	
			碳浆	8.0 m³/t(矿石)	
2	焦化企业(煤气厂)			1.2 m³/t(焦炭)	
3	有色金属冶炼及金属加工			水重复利用率 80%	
4	石油炼制工业(不包括直排水炼油厂)加工深度分类： A.燃料型炼油厂 B.燃料+ 润滑油型炼油厂 C.燃料+ 润滑油型+ 炼化化工型炼油厂 (包括加工高含硫原油页岩油和石油添加剂生产基地的炼油厂)			A	> 500 万吨 1.0 m³/t(原油)
					250 ~ 500 万吨 1.2 m³/t(原油)
					< 250 万吨 1.5 m³/t(原油)
				B	> 500 万吨 1.5 m³/t(原油)
					250 ~ 500 万吨 2.0 m³/t(原油)
					< 250 万吨 2.0 m³/t(原油)
C	> 500 万吨 2.0 m³/t(原油)				
	250 ~ 500 万吨 2.5 m³/t(原油)				
			< 250 万吨 2.5 m³/t(原油)		

续表 3

序号	行 业 类 别		最高允许排水量或 最低允许水重复利用率	
5	合成洗涤剂工业	氯化法生产烷基苯	200.0 m³ /t(烷基苯)	
		裂解法生产烷基苯	70.0 m³ /t(烷基苯)	
		烷基苯生产合成洗涤剂	10.0 m³ /t(产品)	
6	合成脂肪酸工业		200.0 m³ /t(产品)	
7	湿法生产纤维板工业		30.0 m³ /t(板)	
8	制糖工业	甘蔗制糖	10.0 m³ /t(甘蔗)	
		甜菜制糖	4.0 m³ /t(甜菜)	
9	皮革工业	猪盐湿皮	60.0 m³ /t(原皮)	
		牛干皮	100.0 m³ /t(原皮)	
		羊干皮	150.0 m³ /t(原皮)	
10	发酵酿造业	酒精工业	以玉米为原料	100.0 m³ /t(酒精)
			以薯类为原料	80.0 m³ /t(酒精)
			以糖蜜为原料	70.0 m³ /t(酒精)
		味精工业		600.0 m³ /t(味精)
		啤酒工业(排水量不包括麦芽水部分)		16.0 m³ /t(啤酒)
11	铬盐工业		5.0 m³ /t(产品)	
12	硫酸工业(水洗法)		15.0 m³ /t(硫酸)	
13	苧麻脱胶工业		500 m³ /t(原麻)或 750 m³ /t(精干麻)	
14	化纤浆粕		本色 150 m³ /t(浆) 漂白 240 m³ /t(浆)	
15	黏胶纤维工业 (单纯纤维)	短纤维(棉型中长纤维、毛型中长纤维)	300 m³ /t(纤维)	
		长纤维	800 m³ /t(纤维)	
16	铁路货车洗刷		5.0 m³ /辆	
17	电影洗片		5 m³ /1 000 m(35 mm的胶片)	
18	石油沥青工业		冷却池的水循环利用率 95%	

表 4 第二类污染物最高允许排放质量浓度

(1997 年 1 月 1 日后建设的单位)

mg/L

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	一切排污单位	6~9	6~9	6~9
2	色度(稀释倍数)	一切排污单位	50	80	—
3	悬浮物(SS)	采矿、选矿、选煤工业	70	300	—
		脉金选矿	70	400	—
		边远地区砂金选矿	70	800	—
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	150	400
4	五日生化需氧量 (BOD ₅)	甘蔗制糖、苕麻脱胶、湿法纤维板、染料、洗毛工业	20	60	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	20	100	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	20	30	300
5	化学需氧量 (COD)	甜菜制糖、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1 000
		味精、酒精、医药原料药、生物制药、苕麻脱胶、皮革、化纤浆粕工业	100	300	1 000
		石油化工工业(包括石油炼制)	60	120	500
		城镇二级污水处理厂	60	120	—
		其他排污单位	100	150	500
6	石油类	一切排污单位	5	10	20
7	动植物油	一切排污单位	10	15	100
8	挥发酚	一切排污单位	0.5	0.5	2.0
9	总氰化合物	一切排污单位	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	一切排污单位	1.0	1.0	1.0
11	氨氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—
12	氟化物	黄磷工业	10	15	20
		低氟地区(水体含氟量 < 0.5 mg/L)	10	20	30
		其他排污单位	10	10	20
13	磷酸盐(以 p 计)	一切排污单位	0.5	1.0	—
14	甲醛	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	一切排污单位	1.0	2.0	5.0

续表 4

mg/L

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
16	硝基苯类	一切排污单位	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂(LAS)	一切排污单位	5.0	10	20
18	总铜	一切排污单位	0.5	1.0	2.0
19	总锌	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
20	总锰	合成脂肪酸工业	2.0	5.0	5.0
		其他排污单位	2.0	2.0	5.0
21	彩色显影剂	电影洗片	1.0	2.0	3.0
22	显影剂吸氧化物总量	电影洗片	3.0	3.0	6.0
23	元素磷	一切排污单位	0.1	0.1	0.3
24	有机磷农药(以P计)	一切排污单位	不得检出	0.5	0.5
25	乐果	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
26	对硫磷	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
27	甲基对硫磷	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
28	马拉硫磷	一切排污单位	不得检出	5.0	10
29	五氯酚及五氯酚钠(以五氯酚计)	一切排污单位	5.0	8.0	10
30	可吸附有机卤化物(AOX)(以Cl计)	一切排污单位	1.0	5.0	8.0
31	三氯甲烷	一切排污单位	0.3	0.6	1.0
32	四氯化碳	一切排污单位	0.03	0.06	0.5
33	三氯乙烯	一切排污单位	0.3	0.6	1.0
34	四氯乙烯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
35	苯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
36	甲苯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
37	乙苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
38	邻二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
39	对二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
40	间二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
41	氯苯	一切排污单位	0.2	0.4	1.0
42	邻二氯苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
43	对二氯苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0

续表 4

序号	污 染 物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
44	对硝基氯苯	一切排污单位	0.5	1.0	5.0
45	2,4-二硝基氯苯	一切排污单位	0.5	1.0	5.0
46	苯酚	一切排污单位	0.3	0.4	1.0
47	间甲酚	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
48	2,4-二氯酚	一切排污单位	0.6	0.8	1.0
49	2,4,6-三氯酚	一切排污单位	0.6	0.8	1.0
50	邻苯二甲酸二丁酯	一切排污单位	0.2	0.4	2.0
51	邻苯二甲酸二辛酯	一切排污单位	0.3	0.6	2.0
52	丙烯腈	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
53	总硒	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
54	粪大肠菌群数	医院 ^① 、兽医院及医疗机构含病原体污水	500 个/L	1 000 个/L	5 000 个/L
		传染病、结核病医院污水	100 个/L	500 个/L	1 000 个/L
55	总余氯(采用氯化消毒的医院污水)	医院 ^① 、兽医院及医疗机构含病原体污水	< 0.5 ^②	> 3(接触时间 ≥ 1 h)	> 2(接触时间 ≥ 1 h)
		传染病、结核病医院污水	< 0.5 ^②	> 6.5(接触时间 ≥ 1.5 h)	> 5(接触时间 ≥ 1.5 h)
56	总有机碳(TOC)	合成脂肪酸工业	20	40	—
		苧麻脱胶工业	20	60	—
		其他排污单位	20	30	—

①指 50 个床位以上的医院。

②加氯消毒后需进行脱氯处理,达到本标准。

注:“其他排污单位”指除在该控制项目中所列行业以外的一切排污单位。

表 5 部分行业最高允许排水量
(1998 年 1 月 1 日后建设的单位)

序号	行 业 类 别			最高允许排水量或 最低允许水重复利用率
1	矿山工业	有色金属系统选矿		水重复利用率 75%
		其他矿山工业采矿、选矿、选煤等		水重复利用率 90%(选煤)
		脉金 选矿	重选	16.0 m³ /t(矿石)
			浮选	9.0 m³ /t(矿石)
			氰化	8.0 m³ /t(矿石)
			碳浆	8.0 m³ /t(矿石)

续表 5

序号	行 业 类 别		最高允许排水量或 最低允许水重复利用率	
2	焦化企业(煤气厂)		1.2 m³ /t(焦炭)	
3	有色金属冶炼及金属加工		水重复利用率 80%	
4	石油炼制工业(不包括直排水炼油厂)加工深度分类： A. 燃料型炼油厂 B. 燃料 + 润滑油型炼油厂 C. 燃料 + 润滑油型 + 炼油化工型炼油厂 (包括加工高含硫原油页岩油和石油添加剂生产基地的炼油厂)		A > 500 万吨 1.0 m³ /t(原油)	
			A 250 ~ 500 万吨 1.2 m³ /t(原油)	
			A < 250 万吨 1.5 m³ /t(原油)	
			B > 500 万吨 1.5 m³ /t(原油)	
B	B 250 ~ 500 万吨 2.0 m³ /t(原油)			
	B < 250 万吨 2.0 m³ /t(原油)			
	C > 500 万吨 2.0 m³ /t(原油)			
C	C 250 ~ 500 万吨 2.5 m³ /t(原油)			
	C < 250 万吨 2.5 m³ /t(原油)			
5	合成洗涤剂工业	氯化法生产烷基苯	200.0 m³ /t(烷基苯)	
		裂解法生产烷基苯	70.0 m³ /t(烷基苯)	
		烷基苯生产合成洗涤剂	10.0 m³ /t(产品)	
6	合成脂肪酸工业		200.0 m³ /t(产品)	
7	湿法生产纤维板工业		30.0 m³ /t(板)	
8	制糖工业	甘蔗制糖	10.0 m³ /t(甘蔗)	
		甜菜制糖	4.0 m³ /t(甜菜)	
9	皮革工业	猪盐湿皮	60.0 m³ /t(原皮)	
		牛干皮	100.0 m³ /t(原皮)	
		羊干皮	150.0 m³ /t(原皮)	
10	发酵酿造工业	酒精工业	以玉米为原料	100.0 m³ /t(酒精)
			以薯类为原料	80.0 m³ /t(酒精)
			以糖蜜为原料	70.0 m³ /t(酒精)
		味精工业		600.0 m³ /t(味精)
		啤酒行业(排水量不包括麦芽水部分)		16.0 m³ /t(啤酒)
11	铬盐工业		5.0 m³ /t(产品)	
12	硫酸工业(水洗法)		15.0 m³ /t(硫酸)	
13	苕麻脱胶工业		500 m³ /t(原麻)	
			750 m³ /t(精干麻)	

续表 5

序号	行 业 类 别		最高允许排水量或 最低允许水重复利用率
14	黏胶纤维工业 单纯纤维	短纤维(棉型中长纤维、毛型中长纤维)	300.0 m ³ /t(纤维)
		长纤维	800.0 m ³ /t(纤维)
15	化纤浆粕		本色 150 m ³ /t(浆) 漂白 240 m ³ /t(浆)
16	制 药 工 业 医 药 原 料 药	青霉素	4 700 m ³ /t(青霉素)
		链霉素	1 450 m ³ /t(链霉素)
		土霉素	1 300 m ³ /t(土霉素)
		四环素	1 900 m ³ /t(四环素)
		洁霉素	9 200 m ³ /t(洁霉素)
		金霉素	3 000 m ³ /t(金霉素)
		庆大霉素	20 400 m ³ /t(庆大霉素)
		维生素 C	1 200 m ³ /t(维生素 C)
		氯霉素	2 700 m ³ /t(氯霉素)
		新诺明	2 000 m ³ /t(新诺明)
		维生素 B ₁	3 400 m ³ /t(维生素 B ₁)
		安乃近	180 m ³ /t(安乃近)
		非那西汀	750 m ³ /t(非那西汀)
		呋喃唑酮	2 400 m ³ /t(呋喃唑酮)
		咖啡因	1 200 m ³ /t(咖啡因)
17	有 机 磷 农药工业 ^①	乐果 ^②	700 m ³ /t(产品)
		甲基对硫磷(水相法) ^②	300 m ³ /t(产品)
		对硫磷(P ₂ S ₅ 法) ^②	500 m ³ /t(产品)
		对硫磷(PSCl ₃ 法) ^②	550 m ³ /t(产品)
		敌敌畏(敌百虫碱解法)	200 m ³ /t(产品)
		敌百虫	40 m ³ /t(产品) (不包括三氯乙醛生产废水)
		马拉硫磷	700 m ³ /t(产品)

续表 5

序号	行 业 类 别		最高允许排水量或 最低允许水重复利用率
18	除 草 剂 工业 ^②	除草醚	5 m ³ /t(产品)
		五氯酚钠	2 m ³ /t(产品)
		五氯酚	4 m ³ /t(产品)
		2 甲 4 氯	14 m ³ /t(产品)
		2,4-滴	4 m ³ /t(产品)
		丁草胺	4.5 m ³ /t(产品)
		绿麦隆(以 Fe 粉还原)	2 m ³ /t(产品)
		绿麦隆(以 Na ₂ S 还原)	3 m ³ /t(产品)
19	火力发电工业		3.5 m ³ /(MW·h)
20	铁路货车洗刷		5.0 m ³ /辆
21	电影洗片		5 m ³ /1 000 m(35 mm 胶片)
22	石油沥青工业		冷却池的水循环利用率 95%

①产品按 100%浓度计。

②不包括 P₂S₅、PSCl₃、PCl₃ 原料生产废水。

附录 3 污水排入城市下水道水质标准(摘)

(CJ 3082—1999)(摘)

序号	项目名称	单位	最高允许浓度
1	pH 值		6.0~9.0
2	悬浮物	mL/L	150(400)
3	易沉固体	mL/(L·15 min)	10
4	油脂	mL/L	100
5	矿物油类	mL/L	20.0
6	苯系物	mL/L	2.5
7	氰化物	mL/L	0.5
8	硫化物	mL/L	1.0
9	挥发性酚	mL/L	1.0
10	温度		35
11	生化需氧量(BOD ₅)	mL/L	100(300)
12	化学需氧量(COD _{Cr})	mL/L	150(500)
13	溶解性固体	mL/L	2 000
14	有机磷	mL/L	0.5
15	苯胺	mL/L	5.0
16	氟化物	mL/L	20.0
17	总汞	mL/L	0.05
18	总镉	mL/L	0.1
19	总铅	mL/L	1.0
20	总铜	mL/L	2.0
21	总锌	mL/L	5.0
22	总镍	mL/L	1.0
23	总锰	mL/L	2.0(5.0)
24	总铁	mL/L	10.0
25	总锑	mL/L	1.0

续表

序号	项目名称	单位	最高允许浓度
26	六价铬	mL/L	0.5
27	总铬	mL/L	1.5
28	总硒	mL/L	2.0
29	总砷	mL/L	0.5
30	硫酸盐	mL/L	600
31	硝基苯类	mL/L	5.0
32	阴离子表面活性剂(LAS)	mL/L	10.0(20.0)
33	氨氮	mL/L	25.0(35.0)
34	磷酸盐(以 P 计)	mL/L	1.0(8.0)
35	色度	倍	80

注 括号内数值适用于有城市污水处理厂的城市下水道系统。

附录 4 废水分析项目与方法

1 pH 值的测定 玻璃电极法(GB 6920—86)

1.1 适用范围

1.1.1 本方法适用于饮用水、地面水及工业废水 pH 值的测定。

1.1.2 水的颜色、浊度、胶体物质、氧化剂、还原剂及较高含盐量均不干扰测定。但在 pH 值小于 1 的强酸性溶液中,会有所谓酸误差,可按酸度测定;在 pH 值大于 10 的碱性溶液中,因有大量钠离子存在,产生误差,使读数偏低。通常称为钠差。消除钠差的方法,除了使用特制的低钠差电极外,还可以选用与被测溶液的 pH 值相近似的标准缓冲溶液对仪器进行校正。

温度影响电极的电位和水的电离平衡。须注意调节仪器的补偿装置与溶液的温度一致,并使被测校正样品与校正仪器用的标准缓冲溶液温度误差在 ± 1 之内。

1.2 定义

pH 值是从操作上定义的。对于溶液 X,测出伽伐尼电池的电动势 E_x

参比电极 | KCl 浓溶液 || 溶液 X | H_2 | Pt

将未知 pH 值的溶液 X 换成标准 pH 值溶液 S,同样测出电池的电动势 E_s 则

$$pH(X) - pH(S) = (E_s - E_x)F / (RT / \ln 10) \quad (1.1)$$

式中 $pH(X)$ $pH(S)$ ——未知溶液和标准溶液 pH 值;

E_x 和 E_s ——未知溶液和标准溶液电动势, mV;

T——开氏温度, K;

F, R——常数。

pH 值没有理论上的意义,其定义一种实用定义。但是在物质的量浓度小于 0.1 mol/dm^3 的稀薄水溶液有限范围,既非强酸性又非强碱性 ($2 < pH < 12$) 时,则根据定义,有

$$pH = -\log_{10} [c(H^+)a / (\text{mol/dm}^3)] \pm 0.02 \quad (1.2)$$

式中 $c(H^+)$ ——氢离子(H^+)的物质的量浓度, mmol/L;

a——溶液中典型价位的电解质的活度系数。

1.3 原理

pH 值由测量电池的电动势而得。该电池通常由饱和甘汞电极为参比电极,玻璃电极为指示电极所组成。在 25℃, 溶液中每变化 1 个 pH 单位,电位差改变为 59.16 mV,据此在仪器上直接以 pH 值的读数表示。温度差异在仪器上有补偿装置。

1.4 试剂

1.4.1 标准缓冲溶液(简称标准溶液)的配制方法。

1.4.1.1 试剂和蒸馏水的质量

1.4.1.1.1 在分析中,除非另作说明,均要使用分析纯或优级纯试剂。购买经中国计量科学研究院检定合格的袋装 pH 值标准物质时,可参照说明使用书。

1.4.1.1.2 配制标准溶液所用的蒸馏水应符合下列要求:煮沸并冷却,电导率小于 $0.5\text{ }\mu\text{S}^*/\text{cm}$ 的蒸馏水,其pH值以6.7~7.3之间为宜。

1.4.1.2 测量pH值时,按水样呈酸性、中性和碱性三种可能,常配制以下三种标准溶液。

1.4.1.2.1 pH值标准溶液甲($\text{pH}=4.008\text{ }\pm 0.005$)

称取先在 $110\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥 $2\sim 3\text{ h}$ 的邻苯二甲酸氢钾($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) 10.12 g ,溶于水并在容量瓶中稀释至 1 L 。

1.4.1.2.2 pH值标准溶液乙($\text{pH}=6.865\text{ }\pm 0.005$)

分别称取先在 $110\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥 $2\sim 3\text{ h}$ 的磷酸二氢钾(KH_2PO_4) 3.388 g 和磷酸氢二钠(Na_2HPO_4) 3.533 g ,溶于水并在容量瓶中稀释至 1 L 。

1.4.1.2.3 pH值标准溶液丙($\text{pH}=9.180\text{ }\pm 0.005$)

为了使晶体具有一定的组成,应称取与饱和溴化钠(或氯化钠加蔗糖)溶液(室温)共同放置在干燥器中平衡两昼夜的硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 3.80 g ,溶于水并在容量瓶中稀释至 1 L 。

1.4.2 当被测样品pH值过高或过低时,应参考表1.1配制与其pH值相近似的标准溶液校正仪器。

1.4.3 标准溶液的保存

1.4.3.1 标准溶液要在聚乙烯瓶或硬质玻璃瓶中密闭保存。

1.4.3.2 在室温条件下标准溶液一般以保存 $1\sim 2$ 个月为宜,当发现有浑浊、发霉或沉淀现象时,不能继续使用。

表1.1 pH值标准溶液的制备

标准溶液中溶质的浓度 ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	25 $^{\circ}\text{C}$ 的pH值	每 $1\text{ }000\text{ mL}$ 25 $^{\circ}\text{C}$ 水溶液 所需药品质量
基本标准		
酒石酸氢钾(25 $^{\circ}\text{C}$ 饱和)	3.557	$6.4\text{ gKHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ^①
0.05 mol 柠檬酸二氢钾	3.776	$11.4\text{ gKH}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$
0.05 mol 邻苯二甲酸氢钾	4.008	$10.12\text{ gKHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$
0.025 mol 磷酸二氢钾	6.865	$3.388\text{ gKH}_2\text{PO}_4$
0.025 mol 磷酸氢二钠		$3.533\text{ gNa}_2\text{HPO}_4$ ^{② ③}
0.008 695 mol 磷酸二氢钾	7.413	$1.179\text{ gKH}_2\text{PO}_4$
0.030 43 mol 磷酸氢二钠		$4.302\text{ gNa}_2\text{HPO}_4$ ^{② ③}
0.01 mol 硼砂	9.180	$3.80\text{ gNa}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ^③
0.025 mol 磷酸氢钠	10.012	2.092 gNaHCO_3
0.025 mol 碳酸钠		$2.640\text{ gNa}_2\text{CO}_3$
辅助标准		
0.05 mol 四草酸钾	1.679	$12.61\text{ gKH}_3\text{C}_4\text{O}_6\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ^③
氢氧化钙(25 $^{\circ}\text{C}$ 饱和)	12.454	1.5 gCa(OH)_2 ^①

①大约溶解度。

②在 $110\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘 $2\sim 3\text{ h}$ 。

③必须用新煮沸并冷却的蒸馏水(不含 CO_2)配制。

④别名草酸三氢钾,使用前在 $54\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3$ 干燥 $4\sim 5\text{ h}$ 。

1.4.3.3 在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱内存放,用过的标准溶液不允许再倒回去,这样可延长使用期限。

1.4.4 标准溶液的pH值随温度变化而稍有差异。一些常用标准溶液的pH(S)值见表1.2。

* 电导的单位是西(门子)(Siemens),用符号“S”表示, $1\text{ S}=1\Omega^{-1}$ 。

1.5 仪器

1.5.1 酸度计或离子浓度计。常规检验使用的仪器,至少应当精确到 0.1 pH 值单位,pH 值范围从 0~14。如有特殊需要,应使用精度更高的仪器。

1.5.2 玻璃电极与甘汞电极。

1.6 样品保存

最好现场测定。否则,应在采样后保持样品在 0~4℃,并在采样后 6 h 之内进行测定。

表 1.2 五种标准溶液的 pH(S)值

t/	A	B	C	D	E
0		4.003	6.984	7.534	9.464
5		3.999	6.951	7.500	9.395
10		3.998	6.923	7.472	9.332
15		3.999	6.900	7.448	9.276
20		4.002	6.881	7.429	9.225
25	3.557	4.008	6.865	7.413	9.180
30	3.552	4.015	6.853	7.400	9.139
35	3.549	4.024	6.844	7.389	9.102
38	3.548	4.030	6.840	7.384	9.081
40	3.547	4.035	6.838	7.380	9.068
45	3.547	4.047	6.834	7.373	9.038
50	3.549	4.060	6.833	7.367	9.011
55	3.554	4.075	6.834		8.985
60	3.560	4.091	6.836		8.962
70	3.580	4.126	6.845		8.921
80	3.609	4.164	6.859		8.885
90	3.650	4.205	6.877		8.850
95	3.674	4.227	6.886		8.833

注:这里溶剂是水,这些标准溶液的组成是:A 为酒石酸氢钾(25℃饱和);B 为邻苯二甲酸氢钾,0.05 mol/kg;C 为磷酸二氢钾,0.025 mol/kg;磷酸氢二钠,0.025 mol/kg;D 为磷酸二氢钾,0.008 695 mol/kg;磷酸氢二钠,0.030 43 mol/kg;E 为硼砂,0.01 mol/kg。

1.7 步骤

1.7.1 仪器校准 操作程序按仪器使用说明书进行。先将水样与标准溶液调到同一温度,记录测定温度,并将仪器温度补偿旋钮调至该温度上。

用标准溶液校正仪器,该标准溶液与水样 pH 值相差不超过 2 个 pH 值单位。从标准溶液中取出电极,彻底冲洗并用滤纸吸干。再将电极浸入第二个标准溶液中,其 pH 值大约与第一个标准溶液相差 3 个 pH 值单位,如果仪器响应的示值与第二个标准溶液的 pH(S)值之差大于 0.1pH 值单位,就要检查仪器、电极或标准溶液是否存在问题。当三者均正常时,方可用于测定样品。

1.7.2 样品测定 测定样品时,先用蒸馏水认真冲洗电极,再用水样冲洗,然后将电极浸入样品中,小心摇动或进行搅拌使其均匀、静置、待读数稳定时记下 pH 值。

1.8 精密度

重复性根据一个试验室内对 pH 值在 2.21~13.23 范围内的生活饮用水、轻度、中度、重度污染的地面水及部分类型工业废水样品进行重复测定的结果而定。再现性根据北京地区 19 个试验室共使用 10 种不同型号的酸度计、4 种不同型

号的电极用本法对 pH 值在 1.41 ~ 1.66 范围内的 7 个人工合成样及 1 个地面水样的测定结果而定 ,见表 1.3。

表 1.3 pH 计在不同 pH 值时测量的精密度

pH 值范围	允许差 /pH 值单位	
	重复性	再现性
小于 6	± 0.1	± 0.3
6 ~ 9	± 0.1	± 0.2
大于 9	± 0.2	± 0.5

1.9 注释

- 1.9.1 玻璃电极在使用前先放入蒸馏水中浸泡 24 h 以上。
- 1.9.2 测定 pH 值时 玻璃电极的球泡应全部浸入溶液中 ,并使其稍高于甘汞电极的陶瓷芯端 ,以免搅拌时碰坏。
- 1.9.3 必须注意玻璃电极的内电极与球泡之间 ,甘汞电极的内电极和陶瓷芯之间不得有气泡 ,以防短路。
- 1.9.4 甘汞电极中的饱和氯化钾溶液的液面必须高出汞体 ,在室温下应有少许氯化钾晶体存在 ,以保证氯化钾溶液的饱和 ,但须注意氯化钾晶体不可过多 ,以防止堵塞与被测溶液的通路。
- 1.9.5 测定 pH 值时 ,为减少空气和水样中二氧化碳的溶入或挥发 在测水样之前 ,不应提前打开水样瓶。
- 1.9.6 玻璃电极表面受到污染时 ,需进行处理。如果吸附着无机盐结垢 ,可用温稀盐溶解 ,对钙镁等难溶性结垢 ,可用 EDTA 二钠溶液溶解 ;沾有油污时 ,可用丙酮清洗。电极按上述方法处理后 ,应在蒸馏水中浸泡一昼夜再使用。注意忌用无水乙醇、脱水性洗涤剂处理电极。

1.10 试验报告

试验报告包括的内容有 :a. 取样日期、时间和地点 ;b. 样品的保存方法 ;c. 测定样品的日期和时间 ;d. 测定时样品的温度 ;e. 测定的结果(pH 值应取最近于 0.1pH 值单位 ,如有特殊要求时 ,可根据需要及仪器的精确度确定结果的有效数字位数) ;f. 其他需要说明的情况。

2 色度的测定(GB 11903—89)

2.1 定义

本方法参照中华人民共和国国家标准(GB 11903—89)《水质 色度的测定》,本定义取自国际照明委员会第 17 号出版物(CIE publication No. 17) ,采用下述几条。

- 2.1.1 水的颜色 改变透射可见光光谱组成的光学性质。
- 2.1.2 水的表观颜色 由溶解物质及不溶性悬浮物产生的颜色 ,用未经过滤或离心分离的原始样品测定。
- 2.1.3 水的真实颜色 仅由溶解物质产生的颜色 ,用经 0.45 μm 滤膜过滤器过滤的样品测定。

2.2 原理

将样品用光学纯水稀释至用目视比较与光学纯水相比刚好看不到颜色时的稀释倍数作为表达颜色的强度 ,单位为倍。

同时用目视观察样品 ,检验颜色性质 :颜色的深浅(无色、浅色或深色) ,色调(红、橙、黄、绿、蓝和紫等) ,如果可能包括样品的透明度(透明、浑浊或不透明) 。用文字予以描述。

结果以稀释倍数和文字描述相结合表达。

2.3 试剂

光学纯水 将细菌学研究所采用的 0.2 μm 滤膜在 100 mL 蒸馏水或去离子水中浸泡 1 h ,用它过滤 250 mL 蒸馏水或去离子水 ,弃去最初的 250 mL ,以后用这种水配制全部标准溶液并作为稀释水。

2.4 仪器

试验室常用仪器 50 mL 具塞比色管 规格一致 光学透明玻璃底部无阴影 pH 计 精度 ± 0.1 pH 值单位。

2.5 分析步骤

2.5.1 试料 将样品倒入 250 mL 或更大的量筒中 静置 15 min 倾取上层液体作为试料进行测定。

2.5.2 测定 分别取试料和光学纯水于具塞比色管中 充至标线 将具塞比色管放在白色表面上 具塞比色管与该表面应呈合适的角度 使光线被反射自具塞比色管底部向上通过液柱。垂直向下观察液柱 比较样品和光学纯水 描述样品呈现的角度和色调 如果可能包括透明度。

将试料用光学纯水逐级稀释成不同倍数 分别置于具塞比色管并充至标线。将具塞比色管放在白色表面上 用上述相同的方法与光学纯水进行比较。将试料稀释至刚好与光学纯水无法区别为止 记下此时的稀释倍数。

稀释的方法 试料的色度在 50 倍以上时 用移液管计量吸取试料于容量瓶中 用光学纯水稀释至标线 每次取大的稀释比 使稀释后色度在 50 倍之内。试料的色度在 50 倍以下时 在具塞比色管中取试料 25 mL 用光学纯水稀释至标线 每次稀释倍数为 2。

试料或试料经稀释至色度很低时 应自具塞比色管倒至量筒适量试料并计量 然后用光学纯水稀释至标线 每次稀释倍数小于 2。记下各次稀释倍数。另取试料测 pH 值。

2.6 结果的表示

将逐级稀释的各次倍数相乘 所得之积取整数 以此表达样品的色度。同时用文字描述样品的颜色深浅、色调 如果可能 包括透明度。在报告样品色度的同时 报告 pH 值。

3 水质 化学需氧量的测定 重铬酸钾法(GB 11914—89)

3.1 主题内容与应用范围

本标准规定了水中化学需氧量的测定方法。

本标准适用于各种类型的含 COD 值大于 30 mg/L 的水样 对未经稀释的水样的测定上限为 700 mg/L。

本标准不适用于含氯化物浓度大于 1 000 mg/L 的含盐水。

3.2 定义

在一定条件下 经重铬酸钾氧化处理时 水样中的溶解性物质和悬浮物质所消耗的重铬酸盐相对应的氧的质量浓度。

3.3 原理

在水样中加入已知量的重铬酸钾溶液 并在强酸介质下以银盐作催化剂 经沸腾回流后 以试亚铁灵为批示剂 用硫酸亚铁滴定水样中未被还原的重铬酸钾 由消耗的硫酸亚铁铵的量换算成消耗氧的质量浓度。

在酸性重铬酸钾条件下 芳烃及吡啶难以被氧化 其氧化率较低。在硫酸银催化作用下 直链脂肪族化合物可有效地被氧化。

3.4 试剂

除非另有说明 实验时所用试剂均为符合国家标准和分析纯试剂 试验用水均为蒸馏水或同等纯度的水。

3.4.1 硫酸银(Ag_2SO_4) 化学纯。

3.4.2 硫酸汞(HgSO_4) 化学纯。

3.4.3 硫酸 H_2SO_4 $\rho = 1.84$ g/mL。

3.4.4 硫酸银硫酸试剂 向 1 L 硫酸(4.3)中加入 10 g 硫酸银(4.1) 放置 1~2 d 使之溶解 并混匀 使用前小心摇动。

3.4.5 重铬酸钾标准溶液

3.4.5.1 浓度为 $c(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.250$ mol/L 的重铬酸钾标准溶液 将 12.58 g 在 105℃ 干燥 2 h 后的重铬酸钾溶于水 中 稀释至 1 000 mL。

3.4.5.2 浓度为 $c(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.0250$ mol/L 的重铬酸钾标准溶液 将 3.4.5.1 条的溶液稀释 10 倍而成。

3.4.6 硫酸亚铁铵标准滴定溶液

3.4.6.1 浓度为 $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx 0.10 \text{ mol/L}$ 的硫酸亚铁铵标准滴定溶液:溶解 39 g 硫酸亚铁铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 于水中,加入 20 mL 硫酸(4.3),待其溶液冷却后稀释至 1 000 mL。

3.4.6.2 每日临用前,必须用重铬酸钾标准溶液(3.4.5.1)准确标定此溶液(3.4.6.1)的浓度。

取 10.00 mL 重铬酸钾标准溶液(3.4.5.1)置于锥形瓶中,用水稀释至约 100 mL,加入 30 mL 硫酸(4.3),混匀,冷却后加 3 滴(约 15 mL)试亚铁灵批示剂(4.7),用硫酸亚铁铵(3.4.6.1)滴定溶液的颜色由黄色经蓝绿色变为红褐色,即为终点。记录下硫酸亚铁铵的消耗量(mL)。

$$c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] = 10.00 \times 0.250 / V = 2.50 / V \quad (1.3)$$

式中, V 为滴定时消耗硫酸亚铁铵溶液的毫升数。

3.4.6.1 浓度为 $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] \approx 0.010 \text{ mol/L}$ 的硫酸亚铁铵标准滴定溶液:将 3.4.6.1 条的溶液稀释 10 倍,用重铬酸钾标准溶液(3.4.5.2)标定,其滴定步骤及浓度计算分别与 3.4.6.2 及 3.4.6.3 类同。

3.4.7 邻苯二甲酸氢钾标准溶液, $c(\text{KC}_6\text{H}_5\text{O}_4) = 2.0824 \text{ mmol/L}$;称取 105 于干燥 2 h 的邻苯二甲酸氢钾 $(\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK})$ 1.4251 g 溶于水,并稀释至 1 000 mL,混匀。以重铬酸钾为氧化剂,将邻苯二甲酸氢钾完全氧化的 COD 值为 1.176 g 氧/g(指 1 g 邻苯二甲酸氢钾耗氧 1.176 g),故该标准溶液的理论 COD 值为 500 mg/L。

3.4.8 1,10-菲咯啉(1,10-phenanthroline)指示剂溶液:溶解 7 g 七水合硫酸亚铁 $(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ 于 50 mL 的水中,加入 1.5 g 菲咯啉,搅动溶解,加水稀释至 100 mL。

3.4.9 防爆沸玻璃珠。

3.5 仪器

常用实验室仪器和下列仪器。

3.5.1 回流装置:带有 24 号标准磨口的 250 mL 锥形瓶的全玻璃回流装置。回流冷凝管长度为 300 ~ 500 mm。若取样量在 30 mL 以上,可采用带 500 mL 锥形瓶的全玻璃回流装置。

3.5.2 加热装置。

3.5.3 25 mL 或 50 mL 酸式滴定管。

3.6 采样和样品

3.6.1 水样要采集于玻璃瓶中,应快速分析。如不能立即分析时,应加入硫酸(4.3)至 $\text{pH} = 2$,置 4 °C 下保存。但保存时间不多于 5 d。采集水样的体积不得少于 100 mL。

3.6.2 试料的准备。将试样充分摇匀,取出 20.0 mL 作为试料。

3.7 步骤

3.7.1 对于 COD 值小于 50 mg/L 的水样,应采用低浓度的重铬酸钾标准溶液(3.4.5.2)氧化,加热回流以后,采用低浓度的硫酸亚铁铵标准溶液(3.4.6.4)回滴。

3.7.2 该方法对未经稀释的水样其测定上限为 700 mg/L,超过此限时必须经稀释后测定。

3.7.3 对于污染严重的水样,可选取所需体积 1/10 的试料和 1/10 的试剂,放入 $10 \times 150 \text{ mm}$ 硬质玻璃管中,摇匀后,用酒精灯加热至沸数分钟,观察溶液是否变成蓝绿色。如呈蓝绿色,应再适当少取试料,重复以上试验,直至溶液不变为蓝绿色为止。从而确定待测水样适当的稀释倍数。

3.7.4 取试料(3.6.2)于锥形瓶中,或取适量试料加水至 20.0 mL。

3.7.5 空白试验:按相同步骤以 20.0 mL 水代替试料进行空白试验,其余试剂和试料测定(7.8)相同,记录下空白滴定时消耗硫酸亚铁铵标准溶液的毫升数 V_0 。

3.7.6 校核试验:按测定试料(7.8)提供的方法分析 20.0 mL 邻苯二甲酸氢钾标准溶液(3.4.7)的 COD 值,用于检验操作技术及试剂纯度。

该溶液的理论 COD 值为 500 mg/L,如果校核试验的结果大于该值的 96%,可以认为实验步骤基本上是适宜的,否则,

必须寻找失败的原因,重复实验,使之达到要求。

3.7.7 去干扰试验 无机还原性物质如亚硝酸盐、硫化物及二价铁盐将使结果增加,将其需氧量作为水样 COD 值的一部分是可以接受的。

该实验的主要干扰物为氯化物,可加入硫酸汞(3.4.2)部分地除去,经回流后,氯离子又与硫酸汞结合成可溶性的氯汞络合物。当氯离子超过 1 000 mg/L 时,COD 的最低允许值为 250 mg/L,低于此值结果的准确度就不可靠。

3.7.8 水样的测定 于试料(3.7.4)中加入 10.0 mL 重铬酸钾标准溶液(3.4.5.1)和几颗防爆沸玻璃珠(3.4.9),摇匀。将锥形瓶接到回流装置(3.5.1)冷凝管下端,接通冷凝水。从冷凝管上端缓慢加入 30 mL 硫酸银-硫酸试剂(3.4.4),以防止低沸点有机物的逸出,不断旋动锥形瓶使之混合均匀。自溶液开始沸腾起回流 2 h。

冷却后,用 20~30 mL 水自冷凝管上端冲洗冷凝管后,取下锥形瓶,再用水稀释至 140 mL。溶液冷却至室温后,加水 3 滴 1.0-菲咯啉指示剂溶液(3.4.8),用硫酸亚铁铵标准滴定溶液(3.4.6)滴定,溶液的颜色由黄色经蓝绿色变为红褐色即为终点。记下硫酸亚铁铵标准滴定溶液的消耗毫升数 V_2 。

3.7.9 在特殊情况下,需要测定的试料在 10.0~50.0 mL 之间,试剂的体积或质量要按表 1.4 作相应的调整。

表 1.4 试剂的体积或质量关系

水样量 /mL	0.250 0 mol/L $K_2Cr_2O_7$ 标准溶液用量 /mL	硫酸试剂 /mL	硫酸银 /g	硫酸汞 /g	硫酸亚铁铵 标准液 /(mol·L ⁻¹)	滴定前体积 /mL
10.0	5.0	15	0.15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	0.75	1.0	0.25	350

3.8 结果表示

3.8.1 计算方法 以 mg/L 计的水样化学耗氧量计算公式如下:

$$\rho(\text{COD})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = c \times (V_1 - V_2) \times 8\,000 / V_0 \quad (1.4)$$

式中 V_1 ——空白试验(3.7.4)所消耗硫酸亚铁铵标准溶液体积, mL;

V_2 ——试料测定(3.7.8)所消耗硫酸亚铁铵标准溶液体积, mL;

V_0 ——试料的体积, mL;

c ——硫酸亚铁铵标准溶液(3.4.6)的浓度, mol/L;

8000——0.25O₂ 的摩尔质量以 mg/L 为单位的换算值。

测定结果一般保留三位有效数字,对 COD 值小的水样(3.7.1),当计算出 COD 值小于 10 mg/L 时,应表示为“ $\rho(\text{COD}) < 10 \text{ mg/L}$ ”。

3.8.2 精密度

3.8.2.1 标准溶液测定的精密度 40 个不同的实验室测定 COD 值为 500 mg/L 的邻苯二甲酸氢钾(4.7)标准溶液,其标准偏差为 20 mg/L。相对标准偏差为 4.0%。

3.8.2.2 工业废水测定的精密度(见表 1.5)。

表 1.5 工业废水 COD 测定的精密度

工业废水类型	参加验证的 实验室个数	COD 均值 /(mg·L ⁻¹)	实验室内相 对标准偏差 /%	实验室间相 对标准偏差 /%	实验室间总相 对标准偏差 /%
有机废水	5	70.1	3.0	8.0	8.5
石化废水	8	398	1.8	3.8	4.2
染料废水	6	603	0.7	2.3	2.4
印染废水	8	284	1.3	1.8	2.3
制药废水	6	517	0.9	3.2	3.3
皮革废水	9	691	1.5	3.0	3.4

4 五日生化需氧量(BOD₅)的测定 稀释与接种法(GB 7488—87)

本标准参照采用国际标准 ISO 5815—1983 本国家标准规定采用稀释与接种法作为测定水中生化需氧量的标准方法,这是一种经验性的常规方法。

4.1 适用范围

本方法适用于 BOD₅ 大于或等于 2 mg/L 并且不超过 6 000 mg/L 的水样。BOD₅ 大于 6 000 mg/L 的水样仍可用本方法,但由于稀释会造成误差,有必要要求对测定结果做慎重的说明。

本试验得到的结果是生物化学和化学作用共同产生的结果,它们不像单一的、有明确定义的化学过程那样具有严格和明确的特性,但是它能提供用于评价各种水样质量的指标。

本试验的结果可能会被水中存在的某些物质所干扰,那些对微生物有毒的物质,如杀菌剂、有毒金属或游离氯等,会抑制生化作用。水中藻类或消化菌会造成结果偏高。

4.2 定义

生物化学需氧量(BOD₅) :在规定条件下,水中有机物和无机物在生物氧化作用下所消耗的溶解氧(以质量浓度表示)。

4.3 原理

将水样注满培养瓶,塞好后应不透气,将瓶置于恒温条件下培养 5 d。培养前后分别测定溶解氧浓度,由两者的差值可计算出每升水消耗掉氧的质量,即 BOD₅ 值。

由于多数水样中含有较多的需氧物质,其需氧量往往超过水中可利用的溶解氧(DO)量,因此在培养前需对水样进行稀释,使培养后剩余的 DO 量符合规定。

一般水质检验所测 BOD₅ 只包括含碳物质的耗氧量和无机还原性物质的耗氧量。有时需要分别测定含碳物质耗氧量和硝化作用的耗氧量。常用的区别含碳和氮的硝化耗氧的方法是向培养瓶中投加硝化抑制剂,加入适量硝化抑制剂后,所测出的耗氧量即为含碳物质的耗氧量。在 5 d 培养时间内,硝化作用的耗氧量取决于是否存在足够数量的能进行此种氧化作用的微生物,原污水或初级处理的出水中这种微生物的数量不足,不能氧化显著量的还原性氮,而许多二级生化处理的出水 and 受污染较久的水体中,往往含有大量硝化微生物,因此测定这种水样时应抑制其硝化反应。

在测定 BOD₅ 的同时,需用葡萄糖和谷氨酸标准溶液完成验证试验。

4.4 试剂

分析时,只采用公认的分析纯试剂和蒸馏水或同等纯度的水(在全玻璃装置中蒸馏的水或去离子水),水中含铜不应高于 0.01 mg/L,并不应有氯、氯胺、苛性碱、有机物和酸料。

4.4.1 接种水 如试验样品本身不含有足够的合适性微生物,应采用下述方法之一,以获得接种水。

4.4.1.1 城市废水 取自污水管或取自没有明显工业污染的住宅区污水管。

在 1 L 水中加入 100 g 花园土壤,混合并静置 10 min。取 10 mL 上清液用水稀释至 1 L。

4.4.1.2 含有城市污水的河水 and 湖水。

4.4.1.3 污水处理厂出水。

4.4.1.4 当待分析水样为含难降解物质的工业废水时,取自待分析水排放口下游约 3~8 km 的水或所含微生物适宜于分析水并经实验室培养过的水。

4.4.2 盐溶液 下述溶液至少可稳定一个月,应贮存在玻璃瓶内,置于暗处。一旦发现生物滋生迹象,则应弃去不用。

4.4.2.1 磷酸盐 缓冲溶液。

将 8.5 g 磷酸二氢钾(KH_2PO_4)、21.75 g 磷酸氢二钾(K_2HPO_4)、33.4 g 七水磷酸氢二钠($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)和 1.7 g 氯化铵(NH_4Cl)溶于约 500 mL 水中,稀释至 1 000 mL 并混合均匀。

此缓冲溶液的 pH 值应为 7.2。

4.4.2.2 七水硫酸镁 22.5 g/L 溶液。

将 22.5 g 七水硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)溶于水中,稀释至 1 000 mL 并混合均匀。

4.4.2.3 氯化钙 27.5 g/L 溶液。

将 27.5 g 的无水氯化钙(CaCl_2) (若用水合氯化钙,要取相当的量)溶于水,稀释至 1 000 mL 并混合均匀。

4.4.2.4 六水氯化铁(Ⅲ) 0.25 g/L 溶液。

将 0.25 g 的六水氯化铁(Ⅲ) ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 溶解于水中。稀释至 1 000 mL 并混合均匀。

4.4.3 稀释水 取每种盐溶液(3.4.2.1、3.4.2.2、3.4.2.3 和 3.4.2.4)和 1 mL,加入约 500 mL 水中,然后稀释至 1 000 mL 并混合均匀,将此溶液置于 20℃ 下恒温,曝气 1 h 以上,采取各种措施,使其不受污染,特别是不被有机物质、氧化或还原性物质或金属污染,确保溶解氧浓度不低于 8 mg/L。

此溶液的五日生化需氧量不得超过 0.2 mg/L。此溶液应在 8 h 内使用。

4.4.4 接种的稀释水 根据需求和稀释水的来源,向每升稀释水(4.4.3)中加 1.0~5.0 mL 接种水(4.4.1),将已接种的稀释水在约 20℃ 下保存,8 h 后尽早应用。

4.4.5 盐酸(HCl)溶液 0.5 mol/L。

4.4.6 氢氧化钠(NaOH)溶液 20 g/L。

4.4.7 亚硫酸钠(Na_2SO_3)溶液 1.575 g/L,此溶液不稳定,需每天配制。

4.4.8 葡萄糖-谷氨酸标准溶液 将一些无水葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)和谷氨酸($\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHNH}_2-\text{COOH}$)在 3℃ 下干燥 1 h,每种称量 $150 \text{ mg} \pm 1 \text{ mg}$,溶于蒸馏水中,稀释至 1 000 mL 并混合均匀。此溶液于临用前配制。

4.5 仪器

使用的玻璃器皿要认真清洗,不能吸有毒的或生物可降解的化合物,并防止沾污。常用的实验室设备如下。

4.5.1 培养瓶 细口瓶的容量在 250~300 mL 之间,带有磨口玻璃塞,并具有供水封用的钟形口。

4.5.2 培养箱 能控制在 20 ± 1 ℃。

4.5.3 溶解氧测定 碘量法或溶解氧仪器法。

4.5.4 用于样品运输和贮藏的冷藏手段($0 \sim 4$ ℃)。

4.5.5 稀释容器 带塞玻璃瓶,刻度精确到毫升,其容积大小取决于使用稀释样品的体积。

4.6 样品的贮存

样品需充满并密封于瓶中,置于 $2 \sim 5$ ℃ 保存到进行分析时。一般应在采样后 6 h 之内进行检验。若需远距离转运,在任何情况下贮存皆不得超过 24 h。样品也可以深度冷冻贮存。

4.7 操作步骤

4.7.1 样品预处理

4.7.1.1 样品的中和 如果样品的 pH 值不在 6~8 之间,先做单独试验,确定需要用的盐酸溶液(4.4.5)或氢氧化钠溶液(4.4.6)的体积,再中和样品,不管有无沉淀形成。

4.7.1.2 含游离氯或结合氯的样品 加入所需体积的亚硫酸钠溶液(4.4.7),使样品中自由氯和结合氯失效 ,注意避免加过量。

4.7.2 试验水样的准备 将试验样品温度升至 20 ,然后在半充满的容器内摇动样品 ,以便消除可能存在的过饱和氧。将已知体积样品置于稀释容器(4.5.5)中 ,用稀释水(4.4.3)或接种稀释水(4.4.4)稀释 ,轻轻地混合 ,避免夹杂空气泡。稀释倍数可参考表 1.6。

若采用的稀释比大于 100 ,将分两步或几步进行稀释。若需要抑制硝化作用 ,则加入 ATU 或 TCMP 试剂。若只需要测定有机物降解的耗氧 ,必需抑制硝化微生物以避免氮的硝化过程 ,为此目的 ,在每升稀释样品中加入 2 mL 浓度为 500 mg/L 的烯丙基硫脲(ATU)(C₄H₆N₂S)溶液或一定量的固定在氯化钠(NaCl)上的 2 - 氯代 - 6 - 三氯甲基吡啶(TCMP) ,使 TCMP 在稀释样品中浓度大约为 0.5 mg/L。

表 1.6 测定 BOD₅ 时建议稀释的倍数

预期 BOD ₅ 值 /(mg·L ⁻¹)	稀释比	结果取整到	适用的水样
2 ~ 6	1 ~ 2 之间	0.5	R
4 ~ 12	2	0.5	R ,E
10 ~ 30	5	0.5	R ,E
20 ~ 60	10	1	E
40 ~ 120	20	2	S
100 ~ 300	50	5	S ,C
200 ~ 600	100	10	S ,C
400 ~ 200	200	20	I ,C
1 000 ~ 3 000	500	50	I
2 000 ~ 6 000	1 000	100	I

注 R 为河水 ,E 为生物净化过的污水 ,S 为澄清过的污水或轻度污染的工业废水 ,C 为原污水 ,I 为严重污染的工业废水。

适当的稀释比应使培养后剩余溶解氧至少有 1 mg/L 和消耗的溶解氧至少 2 mg/L。当难于确定恰当的稀释比时 ,可先测定水样的总有机碳(TOC)或重铬酸盐法化学需氧量(COD) ,根据 TOC 或 COD 估计 BOD₅ 可能值 ,再围绕预期的 BOD₅ 值 ,做几种不同的稀释比 ,最后从所得测定结果中选取合乎要求条件者。

4.7.3 空白试验 用接种稀释水(4.4.4)进行平行空白试验测定。

4.7.4 测定 按采用的稀释比(见 4.7.2)用虹吸管充满两个培养瓶至稍溢出。

将所有附着在瓶壁上的空气泡赶掉 ,盖上瓶盖 ,小心避免夹空气泡。

将瓶子分为两组 ,每组都含有一瓶选定稀释比的稀释水样和一瓶空白溶液(见 4.7.3)。

放一组瓶子于培养箱(4.5.2)中 ,并在暗中放置 5 d。

在计时起点时 ,测量另一组瓶的稀释水样和空白溶液中的溶解氧浓度。

达到需要培养的 5 d 时间时 ,测定放在培养箱中那组稀释水样和空白溶液溶解氧浓度。

4.7.5 验证试验 为了检验接种稀释水、接种水和分析人员的技术 ,需进行验证试验。将 20 mL 葡萄糖 - 谷氨酸标准溶液(4.4.8)用接种稀释水(4.4.4)稀释至 1 000 mL ,并且按照 4.7.4 的步骤进行测定。得到的 BOD₅ 应在 180 ~ 230 mg/L 之间。否则 ,应检查接种水。如果必要 ,还应检查分析人员的技术。本试验与试验样品同时进行。

4.8 结果的表示

4.8.1 被测定溶液若满足以下条件 ,则能获得可靠的测定结果。

培养 5 d 后 ,剩余 ρ(DO)≥1 mg/L ;消耗 ρ(DO)≥2 mg/L。若不能满足以上条件 ,一般应舍掉该组结果。

4.8.2 五日生化需氧量(BOD₅)以每升消耗氧的毫克数表示 ,由下式算出 :

$$\text{BOD}_5 = \left[(\rho_1 - \rho_2) - \frac{V_t - V_e}{V_t} (\rho_3 - \rho_4) \right] \frac{V_t}{V_e} \quad (1.5)$$

式中 ρ_1 ——在初始计时时一种试验水样的溶解氧质量浓度, mg/L;

ρ_2 ——培养 5 d 时同一种水样的溶解氧质量浓度, mg/L;

ρ_3 ——在初始计时空白溶液的溶解氧质量浓度, mg/L;

ρ_4 ——培养 5 d 时空白溶液的溶解氧质量浓度, mg/L;

V_e ——制备该试验水样用去的样品体积, mL;

V_t ——该试验水样的总体积, mL。

若有几种稀释比所得数据皆符合 4.8.1 所要求的条件, 则几种稀释比所得结果皆有效, 以其平均值表示检测结果。

5 氨氮(NH₃ - N)

氨氮以游离氨(NH₃)或铵盐(NH₄⁺)形式存在于水中, 两者的组成比取决于水的 pH 值。当 pH 值偏高时, 游离氨的比例较高。反之, 则铵盐的比例较高。水中氨氮的来源主要为生活污水中含氮有机物受微生物作用的分解产物, 某些工业废水, 如焦化废水和合成氨化肥厂废水等, 以及农田排水。此外, 在无氧环境中, 水中存在的亚硝酸盐亦可受微生物作用, 还原为氨。在有氧环境中, 水中氨亦可转变为亚硝酸盐, 甚或继续转变为硝酸盐。测定水中各种形态的氮化合物, 有助于评价水体被污染和“自净”状况。氨氮含量较高时, 对鱼类则可呈现毒害作用。

5.1 水样的保存

水样采集在聚乙烯或玻璃瓶内, 并应尽快分析, 必要时可加硫酸将水样酸化至 pH 值 < 2, 于 2 ~ 5 °C 下存放。酸化样品应注意防止吸收空气中的氨而遭致污染。

5.2 预处理

水样带色或浑浊以及含其他一些干扰物质, 影响氨氮的测定。为此, 在分析时需作适当的预处理。对较清洁的水, 可采用絮凝沉淀法, 对污染严重的水或工业废水, 则以蒸馏法使之消除干扰。

5.3 絮凝沉淀法预处理

5.3.1 概述 加适量的硫酸锌于水样中, 并加氢氧化钠使呈碱性, 生成氢氧化锌沉淀, 再经过滤除去颜色和浑浊等。

5.3.2 仪器 100 mL 具塞量筒或比色管。

5.3.3 试剂

5.3.3.1 质量分数为 10% 硫酸锌溶液 称取 10 g 硫酸锌溶于水, 稀释至 100 mL。

5.3.3.2 质量分数为 25% 氢氧化钠溶液 称取 25 g 氢氧化钠溶于水, 稀释至 100 mL, 贮于聚乙烯瓶中。

5.3.3.3 硫酸 $\rho = 1.84$ 。

5.3.4 步骤 取 100 mL 水样于具塞量筒或比色管中, 加入 1 mL 质量分数为 10% 硫酸锌溶液和 0.1 ~ 0.2 mL 质量分数为 25% 氢氧化钠溶液, 调节 pH 值至 10.5 左右, 混匀。放置使沉淀, 用经无氨水充分洗涤过的中速滤纸过滤, 弃去初滤液 20 mL。

5.4 蒸馏法预处理

5.4.1 概述

调节水样的 pH 值在 6.0 ~ 7.4 的范围, 加入适量氧化镁使呈微碱性, 蒸馏释出的氨, 被吸收于硫酸或硼酸溶液中。采用纳氏比色法或酸滴定法时, 以硼酸溶液为吸收液; 采用水杨酸 - 次氯酸比色法时, 则以硫酸溶液为吸收液。

5.4.2 仪器

带氮球的定氮蒸馏装置 500 mL 凯氏烧瓶、氮球、直形冷凝管和导管。

5.4.3 试剂

5.4.3.1 无氨水制备(水样稀释及试剂配制均用无氨水)。

5.4.3.1.1 蒸馏法 每升蒸馏水中加 0.1 mL 硫酸, 在全玻璃蒸馏器中重蒸馏, 弃去 50 mL 初馏液, 接取其蒸馏液于具塞磨口的玻璃瓶中, 密塞保存。

5.4.3.1.2 离子交换法 使蒸馏水通过强酸性阳离子交换树脂柱。

5.4.3.2 1 mol/L 盐酸溶液。

5.4.3.3 1 mol/L 氢氧化钠溶液。

5.4.3.4 轻质氧化镁(MgO) 将氧化镁在 500℃ 下加热,以除去碳酸盐。

5.4.3.5 质量分数为 0.05%溴百里酚蓝指示液(pH = 6.0 ~ 7.6)。

5.4.3.6 防沫剂 如石蜡碎片。

5.4.3.7 吸收液。

5.4.3.7.1 硼酸溶液 称取 20 g 硼酸溶于水,稀释至 1 L。

5.4.3.7.2 硫酸(H₂SO₄)溶液 0.01 mol/L。

5.4.4 步骤

5.4.4.1 蒸馏装置的预处理 加 250 mL 水于凯氏烧瓶中,加 0.25 g 轻质氧化镁和数粒玻璃珠,加热蒸馏,至馏出液不含氨为止,弃去瓶内残液。

5.4.4.2 分取 250 mL 水样(如氨氮含量较高,可分取适量并加水至 250 mL,使氨氮含量不超过 2.5 mg),移入凯氏烧瓶中,加数滴溴百里酚蓝指示液,用氢氧化钠溶液或盐酸溶液调节至 pH = 7 左右。加入 0.25 g 轻质氧化镁和数粒玻璃珠,立即连接氮球和冷凝管,导管下端插入吸收液液面下。加热蒸馏,至馏出液达 200 mL 时,停止蒸馏,定容至 250 mL。

采用酸滴定法或纳氏比色法时,以 50 mL 硼酸溶液为吸收液;采用水杨酸 - 次氯酸盐比色法时,改用 50 mL 0.01 mol/L 硫酸溶液为吸收液。

5.5 注意事项

5.5.1 蒸馏时应避免发生爆沸,否则可造成馏出液温度升高,氨吸收不完全。

5.5.2 防止在蒸馏时产生泡沫,必要时可加少许石蜡碎片于凯氏烧瓶中。

5.5.3 水样如含余氯,则应加入适量的质量分数为 0.35%硫代硫酸钠溶液,每 0.5 mL 可除去 0.25 mL 余氯。

5.6 滴定分析法

5.6.1 概述

滴定法仅适用于已进行蒸馏预处理的水样。调节水样至 pH 值在 6.0 ~ 7.4 范围,加入氧化镁使呈微碱性。加热蒸馏,释出的氨被吸收入硼酸溶液中,以甲基红 - 亚甲蓝为指示剂,用酸标准溶液滴定馏出液中的铵。

当水样中含有在此条件下,可被蒸馏出并在滴定时能与酸反应的物质,如挥发性胺类等,则将使测定结果偏高。

5.6.2 试剂

5.6.2.1 混合指示液 称取 200 mg 甲基红溶于 100 mL 体积分数为 95%乙醇溶液中;另称取 100 mg 亚甲蓝溶于 50 mL 体积分数为 95%乙醇溶液中。以两份甲基红溶液与一份亚甲蓝溶液混合供用。混合液一个月配制一次。

注:为使滴定终点明显,必要时添加少量甲基红溶液或亚甲蓝溶液于混合指示液中,以调节二者的比例至合适为止。

5.6.2.2 硫酸标准溶液 分取 5.6 mL(1+9)硫酸溶液于 100 mL 容量瓶中,稀释至标线,混匀。按下述操作进行标定。

称取经 180℃ 干燥 2 h 的基准试剂级无水碳酸钠(Na₂CO₃)约 0.5 g,溶于新煮沸放冷的水中,移入 500 mL 容量瓶中,稀释至标线。移取 25.00 mL 碳酸钠溶液于 150 mL 锥形瓶中,加 25 mL 水,加 1 滴质量分数为 0.05%甲基橙指示液,用硫酸溶液滴定至淡橙红色止。记录用量,用下式计算硫酸溶液的浓度。

$$\text{硫酸溶液浓度} (1/2\text{H}_2\text{SO}_4, \text{mol/L}) = (W \times 1\,000 \times 25) / (V \times 52.995 \times 500) \quad (1.6)$$

式中 W——碳酸钠的质量, g;

V——硫酸溶液的体积, mL。

5.6.3 步骤

5.6.3.1 水样的测定 于全部经蒸馏预处理、以硼酸溶液为吸收液的馏出液中,加 2 滴混合指示液,用 0.020 mol/L 硫酸溶液滴定至绿色转变成淡紫色止,记录用量。

5.6.3.2 空白试验 以无氨水代替水样 ,同水样全程序步骤进行测定。用下式计算 :

$$\text{氨氮}(\text{N}, \text{mg/L}) = [(A - B)M \times 14 \times 1\,000] / V \quad (1.7)$$

式中 A——滴定水样时消耗浓度 $\mu\text{mol/L}$;

B——空白试验消耗硫酸溶液体积 μL ;

M——硫酸溶液浓度 mol/L ;

V——水样体积 μL ;

14——氨氮(N)摩尔质量。

6 悬浮物的测定 重量法(GB 11901—89)

6.1 主题内容和适用范围

本标准规定了水中悬浮物的测定。

本标准适用于地面水、地下水 ,也适用于生活污水和工业废水中悬浮物测定。

6.2 定义

水质中的悬浮物是指水样通过孔径为 $0.45 \mu\text{m}$ 的滤膜 ,截留在滤膜上并于 $103 \sim 105^\circ\text{C}$ 烘干至恒重的固体物质。

6.3 试剂

蒸馏水或同等纯度的水。

6.4 仪器

常用实验室仪器 :全玻璃微孔滤膜过滤器 ,孔径 $0.45 \mu\text{m}$,直径 60 mm CN-CA 滤膜 ,吸滤瓶、真空泵 ,无齿扁嘴镊子。

6.5 采样及样品贮存

6.5.1 采样

所用聚乙烯瓶或硬质玻璃瓶要用洗涤剂洗净。再依次用自来水或蒸馏水冲洗干净。在采样之前 ,再用即将采集的水样清洗三次。然后 ,采集具有代表性的水样 $500 \sim 1\,000 \text{ mL}$,盖严瓶塞。注意 :漂浮或浸没的不均匀固体物质不属于悬浮物质 ,应从水样中除去。

6.5.2 样品贮存

采集的水样应尽快分析测定。如需放置 ,应贮存在 4°C 冷藏箱中 ,但最长不得超过 7 d 。注意 :不能加入任何保护剂 ,以防破坏物质在固、液间的分配平衡。

6.6 步骤

6.6.1 滤膜准备

用扁嘴无齿镊子夹取微孔滤膜放于事先恒重的称量瓶里 ,移入烘箱中于 $103 \sim 105^\circ\text{C}$ 烘干 0.5 h 后取出置干燥器内冷却至室温 ,称其质量。反复烘干、冷却、称重 ,直至两次称量的质量差不大于 0.2 mg 。将恒重的微孔滤膜正确的放在滤膜过滤器(4.4.1)的滤膜托盘上 ,加盖配套的漏斗 ,并用夹子固定好。以蒸馏水湿润滤膜 ,并不断吸滤。

6.6.2 测定

量取充分混合均匀的试样 100 mL 抽吸过滤 ,使水分全部通过滤膜。再以每次 10 mL 蒸馏水连续洗涤 2 次 ,继续吸滤以除去痕量水分。停止吸滤后 ,仔细取出载有悬浮物的滤膜放在原恒重的称量瓶里 ,移入烘箱中于 $103 \sim 105^\circ\text{C}$ 烘干 1 h 后移入干燥器中 ,使冷却到室温 ,称其质量。反复烘干、冷却、称重 ,直至 2 次称量的质量差不大于 0.4 mg 为止。

注意 :滤膜上截留过多悬浮物可能夹带过多的水分 ,除延长干燥时间外 ,还可能造成过滤困难 ,遇此情况 ,可酌情少取试样。滤膜上悬浮物过少 ,则会增大称量误差 ,影响测定精度 ,必要时 ,可增大试样体积。一般以 $5 \sim 100 \text{ mg}$ 悬浮物量作为量取试样体积的实用范围。

6.7 结果的表示

悬浮物含量 $\rho(\text{mg/L})$ 按下式计算

$$\rho = \frac{(A - B) \times 10^6}{V} \quad (1.8)$$

式中 c ——水中悬浮物浓度 mg/L ;

A ——悬浮物 + 滤膜 + 称量瓶质量 g ;

B ——滤膜 + 称量瓶质量 g ;

V ——试样体积 mL 。

7 溶解氧的测定

7.1 溶解氧的测定 碘量法(GB 7489—87)

本标准等效采用国际标准 ISO 5813—1983。本标准规定采用碘量法测定水中溶解氧,由于考虑到某些干扰而采用改进的温克勒(Winkler)法。

7.1.1 适用范围

碘量法是测定水中溶解氧的基准方法。在没有干扰的情况下,此方法适用于各种溶解氧浓度大于 0.2 mg/L 和小于氧的饱和浓度两倍(约 20 mg/L)的水样。易氧化的有机物,如单宁酸、腐殖酸和木质素等会对测定产生干扰。可氧化的硫的化合物,如硫化物硫脲,也如同易于消耗氧的呼吸系统那样产生干扰。当含有这类物质时,宜采用电化学探头法。

亚硝酸盐质量浓度不高于 15 mg/L 时就不会产生干扰,因为它们会被加入的叠氮化钠破坏掉。

如存在能固定或消耗碘的悬浮物,本方法所测结果偏高,需改进后方可使用。

7.1.2 原理

在样品中溶解氧与刚刚沉淀的二价氢氧化锰(将氢氧化钠或氢氧化钾加入二价硫酸锰中制得)反应。酸化后,生成的高价锰化合物将碘化物氧化游离出等当量的碘,用硫代硫酸钠滴定法,测定游离碘量。

7.1.3 试剂

分析中使用分析纯试剂和蒸馏水或纯度与之相当的水。

7.1.3.1 硫酸溶液*

小心地把 500 mL 浓硫酸($\rho = 1.84 \text{ g/mL}$)在不停搅动下加入到 500 mL 水中。

7.1.3.2 硫酸溶液 : $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ mol/L}$ 。

7.1.3.3 碱性碘化物叠氮化物试剂。

注:当试样中亚硝酸氮含量大于 0.05 mg/L 而亚铁含量不超过 1 mg/L 时为防止亚硝酸氮对测定结果的干涉,可在试样中加叠氮化物。叠氮化钠是剧毒试剂。若已知试样中的亚硝酸盐低于 0.05 mg/L ,则可省去此试剂。

a. 操作过程中严防中毒。

b. 不要使碱性碘化物 - 叠氮化物试剂(3.3)酸化,因为可能产生有毒的叠氮酸雾。将 35 g 的氢氧化钠(NaOH)[或 50 g 的氢氧化钾(KOH)和 30 g 碘化钾(KI)或 27 g 碘化钠(NaI)]溶解在大约 50 mL 水中。单独地将 1 g 的叠氮化钠(NaN_3)溶于几毫升水中。将上述两种溶液混合并稀释至 100 mL 。溶液贮存在塞紧的细口棕色瓶子里。经稀释和酸化后,在有指示剂(3.7)存在下,本试剂应无色。

7.1.3.4 无水二价硫酸锰溶液 340 g/L (或一水硫酸锰 380 g/L 溶液)。

可用 450 g/L 四水二价氯化锰溶液代替。过滤不澄清的溶液。

7.1.3.5 碘酸钾 : $c(1/6\text{KIO}_3) = 1.0 \text{ mmol/L}$ 标准溶液。

在 180°C 干燥数克碘酸钾(KIO_3)称量($3.567 \pm 0.003 \text{ g}$)溶解在水中并稀释到 1000 mL 。将上述溶液吸取 100 mL 移入 1000 mL 容量瓶中,用水稀释至标线。

7.1.3.6 硫代硫酸钠标准滴定液 : $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \approx 10 \text{ mmol/L}$ 。

* 若怀疑有三价铁的存在,则采有磷酸(H_3PO_4 , $\rho = 1.70 \text{ g/mL}$)。

a. 配制 将 2.5 g 五水硫代硫酸钠溶解于新煮沸并冷却的水中 ,再加 0.4 g 的氢氧化钠(NaOH) ,并稀释至 1 000 mL。溶解贮存于深色玻璃瓶中。

b. 标定 在锥形瓶中用 100 ~ 150 mL 的水溶解约 0.5 g 的碘化钾或碘化钠(KI 或 NaI) ,加入 5 mL 2mol/L 的硫酸溶液(7.1.3.2) ,混合均匀 ,加 20.00 mL 标准碘酸钾溶液(7.1.3.5) ,稀释至约 200 mL ,立即用硫代硫酸钠溶液滴定释放出的碘 ,当接近滴定终点时 ,溶液呈黄色 ,加指示剂(7.1.3.7) ,再滴定至完全无色。

硫代硫酸钠浓度(c ,mmol/L)由式(1.7)求出 :

$$c = 6 \times 20 \times 1.66 / V \quad (1.9)$$

式中 c ——硫代硫酸钠浓度 ,mmol/L ;

V ——硫代硫酸钠溶液滴定量 ,mL。

每日标定一次溶液。

7.1.3.7 淀粉 新配制 10 g/L 溶液。

注 :也可用其他适合的指示剂。

7.1.3.8 酚酞 1 g/L 乙醇溶液。

7.1.3.9 碘 约 0.005 mol/L 溶液。

溶解 4 ~ 5 g 的碘化钠于少量水中 ,加约 130 mg 的碘 ,待碘溶液后稀释至 100 mL。

7.1.3.10 碘化钾或碘化钠。

7.1.4 仪器

除常用试验室设备外 ,还有细口玻璃瓶。

7.2 溶解氧的测定 氧电极法

7.2.1 原理

氧敏感薄膜电极由两个与支持电解质相接触的金属电极及选择性薄膜组成。薄膜只能透过氧和其他气体 ,水和可溶解物质不能透过。透过膜的氧气在电极上还原 ,产生微弱的扩散电流 ,在一定温度下其大小和水样溶解氧含量成正比。

7.2.2 方法的适用范围

电极法的测定下限取决于所用的仪器 ,一般适用于溶解氧大于 0.1 mg/L 的水样。水样有色、含有可和碘反应的有机物时 ,不宜用碘量法及其修正法测定 ,可用电极法。但水样中含有氯、二氧化硫、碘、溴的气体或蒸汽 ,可能干扰测定 ,需要经常更换薄膜或校准电极。

7.2.3 仪器

7.2.3.1 溶解氧测定仪 仪器分为外加电压极谱式和原电池式两种。

7.2.3.2 温度计 精确至 0.5 。

7.2.4 试剂

亚硫酸钠 ;二价钴盐($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。

7.2.5 步骤

7.2.5.1 测试前的准备

使用仪器时 ,按说明书操作。

a. 按仪器说明书装配探头 ,并加入所需的电解质。使用过的探头 ,要检查探头膜内是否有气泡或铁锈状物质。必要时 ,需取下薄膜重新装配。

b. 零点校正 将探头浸入每升 1 g 亚硫酸钠和 1 mg 钴盐的水中 ,进行校零。

c. 校准 按仪器说明书要求校准 ,或取 500 mL 蒸馏水 ,其中一部分虹吸入溶解氧瓶中 ,用碘量法测其溶解氧含量。将探头放入该蒸馏水中(防止曝气充氧) ,调节仪器到碘量法测定数值上。当仪器无法校准时 ,应更换电解质和敏感膜。

7.2.5.2 水样的测定

a.按仪器说明书进行 ,并注意温度补偿。

b.精密度与准确度

经 6 个实验室分析人员在同一实验室用不同型号的溶解氧测定仪 ,测定溶解氧含量为 4.8~8.3 mg/L 的 5 种地面水 ,每个样品测定值相对标准偏差 不超过 4.7% ,绝对误差(相对于碘量法)小于 0.55 mg/L。

7.2.6 注意事项

7.2.6.1 原电池式仪器接触氧气可自发进行反应 ,因此在不测定时 ,电极探头要保存在无氧水中并使其短路 ,以免消耗电极材料 ,影响测定。对于极谱式仪器的探头 ,不使用时 ,应放潮湿环境中 ,以防电解质溶液蒸发。

7.2.6.2 不能用手接触探头薄膜表面。

7.2.6.3 更换电解质和膜后 ,或膜干燥时 ,要使膜湿润 ,待读数稳定后再进行校准。

7.2.6.4 如水样中含有藻类、硫化物、碳酸盐等物质 ,长期与电极接触可能使膜堵塞或损坏。

表 1.7 在 101.3 kPa 压力下不同温度水中饱和溶解氧

温度 /	溶解氧 /(mg·L ⁻¹)	温度 /	溶解氧 /(mg·L ⁻¹)	温度 /	溶解氧 /(mg·L ⁻¹)
0	14.60	17	9.65	34	7.05
1	14.19	18	9.45	35	6.93
2	13.81	19	9.26	36	6.82
3	13.44	20	9.07	37	6.71
4	13.09	21	8.90	38	6.61
5	12.75	22	8.72	39	6.51
6	12.43	23	8.56	40	6.41
7	12.12	24	8.40	41	6.31
8	11.83	25	8.24	42	6.22
9	11.55	26	8.09	43	6.13
10	11.27	27	7.95	44	6.04
11	11.01	28	7.81	45	5.95
12	10.78	29	7.67	46	5.86
13	10.52	30	7.54	47	5.78
14	10.29	31	7.41	48	5.70
15	10.07	32	7.28	49	5.62
16	9.85	33	7.16	50	5.54

7.2.6.5 不同温度下水中的饱和溶解氧见表 1.7 ,溶解氧饱和和百分率见式(1.11)。如果大气压力改变 ,可按下式计算溶解氧

$$S = sp/101.3 \tag{1.10}$$

式中 S——大气压为 p 下的溶解氧含量 ,mg/L ;
s——大气压为 101.3 kPa 下的溶解氧含量 ,mg/L ;
p——大气压 ,kPa。

$$\text{溶解氧饱和和百分率} \% = \text{水样中溶解氧含量} / \text{采样时水温下饱和溶解氧} \tag{1.11}$$

8 石油类

8.1 范围

8.1.1 主题内容

本标准规定了测定水中石油类和动植物油类的红外分光光度法。

8.1.2 适用范围

本标准适用于地面水、地下水、生活污水和工业废水中石油类物质的测定。

本方法采用石油醚萃取重量法,测定是易被石油醚溶解的芳烃类和烷烃类等有机物。

本方法最低检出质量浓度 10 mg/L 以上。

8.2 原理

用硫酸酸化废水样,用石油醚从废水中萃取油类,蒸除石油醚后,烘干称重。

8.3 试剂

本标准分析中使用分析纯试剂(二级品)和蒸馏水。

8.3.1 石油醚(沸程 30~60)

按规定每 100 mL 石油醚的蒸干残渣应小于 0.2 mg。

8.3.2 无水硫酸钠(Na_2SO_4),于 300 °C 马弗炉中灼烧 1 h,冷却后装磨口瓶中备用。

8.3.3 1+1 硫酸(H_2SO_4)。

8.3.4 氯化钠(NaCl)二级品试剂。

8.4 仪器

万分之一分析天平,恒温精度 ± 0.5 °C 恒温箱,恒温精度 ± 0.5 °C 恒温水浴,规格梨形 1 000 mL 分液漏斗,直径 13 cm 定量快速滤纸。

8.5 采样和样品

8.5.1 采样按照标准规定进行现场取样,并按以下规定取样。

8.5.1.1 取石油类样品应取废水中溶解油和乳化油,不能取漂油,因此取水水下 20~50 cm 处水样。

8.5.1.2 取来水样就加入硫酸(8.3.3)立即酸化,抑制微生物活动,要求水样 pH 值小于 2。

8.5.1.3 采样瓶即是化验室操作的盛液瓶,避免油粘壁损失。

8.5.2 样品保存 样品采来应立即进行分析,保存在 2~5 °C 处,应在 24 h 内进行做样。

8.6 步骤

8.6.1 已酸化后的废水样(8.5.1.2)倾入 1 000 mL 分液漏斗中(8.4),加入氯化钠(8.3.4)按水样量 2% 加入。用 25 mL 石油醚(8.3.1)洗涤采样瓶后移入分液漏斗中,充分振摇 3 min(注意分液漏斗放气),静止分层后,水样放入原采样瓶中(8.5.1.3),石油醚放入 100 mL 锥形瓶中。

8.6.2 再取 25 mL 石油醚重复(8.6.1)操作,再萃取两次。

8.6.3 合并三次萃取液于锥形瓶中,向锥形瓶中石油醚萃取液加入适量无水硫酸钠(8.3.2),(加入量至不再结块),盖上盖,放置 0.5 h,以便脱水。

8.6.4 用预先以石油醚润洗过的定性滤纸过滤,收集滤液于 100 mL 已称重的锥形瓶中,用少量石油醚洗涤原锥形瓶、无水硫酸钠及滤纸,洗液并入称重的锥形瓶中。

8.6.5 将锥形瓶安装在冷凝器下,并置于 (65 ± 5) °C 的水浴上进行蒸馏,蒸出石油醚回收。锥形瓶石油醚蒸发近干后,取下置于 (65 ± 5) °C 的烘箱内,烘干 1 h,取出放入干燥器中冷却 30 min 后,称重。

8.7 结果表示

8.7.1 计算方法

石油类含量(mg/L)按下式计算

$$\text{石油 } \rho(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = (W_1 - W_2) \times 1\,000 \times 1\,000 / V \quad (1.12)$$

式中 W_1 ——锥形瓶加石油的质量 /g;

W_2 ——锥形瓶的质量 /g;

V ——取废水样体积。

8.7.2 精密度和准确度

含油 22.5 mg/L 的油标准溶液。实验室内相对标准偏差为 2.0% ,实验室间相对标准偏差为 7.0%。

注 ①分液漏斗的活塞不要涂凡士林油。②定容积采样。

附录 5 污泥分析项目与方法

1 污泥体积指数(SVI)

1.1 适用范围

本方法适用于活性污泥法处理污水,测定曝气池中泥水混合液的分析。

1.2 方法原理

将被测污泥溶液经 30 min 静止沉淀后,每克干污泥所占的体积(mL)。

1.3 材料

漏斗,定量滤纸,量筒,干燥器。

1.4 仪器

定时表,烘箱,分析天平。

1.5 测定步骤

按“污泥质量浓度的测定”与“污泥体积的测定”方法,对被测污泥混合物测定其污泥质量浓度与污泥体积。

1.6 计算

$$\text{污泥体积指数 } SVI/(\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}) = SV\% \times 10 / \text{MLSS} \quad (1.1)$$

$$\text{或 } SVI/(\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}) = 1\,000 V_1 / V_p \rho \quad (1.2)$$

式中 SV%——污泥沉降比,%;

MLSS——污泥质量浓度,g/L;

V_1 ——污泥溶液经 30 min 沉降后污泥占有的体积,mL;

V——所取污泥溶液样品体积,mL;

ρ ——污泥样品的污泥质量浓度,g/L。

2 污泥质量浓度(MLSS)

2.1 定义

1 L 曝气池污泥混合液所含干污泥的质量称为污泥质量浓度。

2.2 适用范围和方法原理

适用于活性污泥法处理污水,测定曝气池中泥水混合液的分析。方法原理为称量法,取一定体积的污泥溶液,经过滤、烘干、称重,求得污泥质量浓度。

2.3 材料

漏斗,定量滤纸,量筒,干燥器。

2.4 仪器

烘箱,快速水分测定仪,分析天平。

2.5 测定过程

2.5.1 烘箱烘干法——适用于污泥质量浓度较低的情况

用量筒取摇匀的污泥溶液 100 mL,用已烘干恒重的定量滤纸过滤,其滤纸与沉淀物放在烘箱内在 105 ~ 110 °C 下烘干

若干小时,取出放入干燥器内,冷却 30 min 后称重,重复烘干、称重操作,直至恒重为止。

2.5.2 快速水分测定仪法——适用于污泥质量浓度较大的情况。

用小量筒取摇匀的浓污泥 8~10 mL,放入快速水分测定仪称量盘中,量筒壁上的污泥用少量水清洗,洗液倾入盘中,开启红外线灯烘干污泥,开启天平旋钮称量至恒重(称量天平指针不摆动),然后关闭红外线灯及天平旋钮,取下天平盘洗净烘干备下次用。

2.6 计算

2.6.1 烘箱烘干法计算

$$\text{污泥质量浓度 } \rho(\text{MLSS})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) = (W_2 - W_1)/1\,000V \quad (2.3)$$

式中 W_2 ——滤纸、沉淀物之混合质量, g;

W_1 ——滤纸质量, g;

V ——取污泥溶液体积, mL。

2.6.2 快速水分测定仪法计算

$$\text{污泥质量浓度 } \rho(\text{MLSS})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) = (10 - W)/1\,000V \quad (2.4)$$

式中 W ——烘干污泥后天平平衡时,所加砝码重, g;

V ——取污泥体积, mL。

3 污泥体积(SV)

3.1 方法原理

取一定体积均匀污泥液,静止沉降 30 min 后测定其沉降后污泥占原污泥溶液体积的百分比。

3.2 仪器

量筒,定时表。

3.3 测定过程

在 100 mL 量筒中,放入摇匀的污泥溶液 100 mL,静止沉降 30 min,观察沉降后污泥的体积(mL)。

3.4 计算

$$\text{污泥体积 } \text{SV}/\% = (V_1/V) \times 100 \quad (2.5)$$

式中 V_1 ——经 30 min 沉降后污泥占有的体积, mL;

V ——取污泥混合溶液样品的体积, mL。

4 污泥灰分及挥发分

4.1 适用范围

适用于活性污泥法处理污水过程中曝气池中污泥的分析测定。

4.2 方法原理

将污泥烘干、灼烧后,其残存物即为污泥灰分,干污泥与灼烧残存物质量之差,即灼烧损失为污泥的挥发分。

4.3 材料

滤纸,量筒,坩埚,干燥器。

4.4 仪器

高温炉,烘箱,电炉。

4.5 测定步骤

4.5.1 取一洁净的坩埚于 600 的高温炉中灼烧至恒重,准确称量。

4.5.2 将一定体积的被测泥样用滤纸进行过滤,滤后滤纸上的沉淀物与滤纸一并放入恒重的坩埚中,将坩埚放入 105 烘箱中烘干,待沉淀物干燥后,将坩埚取出放在电炉上,使滤纸慢慢焦化,焦化过程注意不能使滤纸燃烧。当滤纸全部灰

化,停止冒烟后,再将坩埚移入高温炉中,在 600℃ 下灼烧 1 h,稍冷后取出放入干燥器中,冷却至室温(需 30 min)后称重。

4.6 计算

$$\text{污泥灰分}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1}) = (W_2 - W_1)/1\,000V \quad (2.6)$$

$$\text{挥发分}/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1}) = \text{污泥质量浓度} - \text{污泥灰分} \quad (2.7)$$

式中 W_2 ——坩埚与灰分的混合质量, g;

W_1 ——坩埚自重, g;

V ——所取污泥样品的体积, mL。

附录 6 气体分析项目与方法

1 甲烷及总烃的测定

1.1 原理

用气相色谱仪以火焰离子化检测器分别测定空气中甲烷烃及总烃的含量,总烃与甲烷烃之差即为非甲烷烃的含量。

以氮气为载气测定总烃时,总烃的峰中包括着氧峰,气样中的氧产生正干扰。在固定色谱条件下,一定量氧的响应是固定的。因此可以用净化空气求出空白值,从总烃峰中扣除,以消除氧的干扰。

方法检出限为 0.14 ng(以甲烷计,仪器噪声的 2 倍,进样量 1 mL)。

1.2 仪器

1.2.1 玻璃注射器 100 mL。

1.2.2 气相色谱仪 附火焰离子化检测器。气相色谱仪并联两根色谱柱,两根色谱柱的尾端连接一个三通与火焰离子化检测器相连。柱 1 为长 2 m,内径 4 mm 不锈钢螺旋空柱,用于测定总烃;柱 2 为长 2 m,内径 4 mm 不锈钢螺旋柱,柱内填充 60~80 目 GDX-502 担体。用于测定甲烷。

1.2.3 除烃净化装置 U 型管为内径 4 mm 的不锈钢管,内装数克钯-6201 催化剂,床层高约 7~8 cm,在 U 型管前接 1 m 长,内径为 4 mm 的不锈钢预热管,炉温为 450~500℃。

1.3 试剂

以氮气为底气的 10×10^{-6} 甲烷标准气体,经硅胶、5A 分子筛及活性炭净化处理的氮气、氢气和压缩空气。

钯-6201 催化剂 取一定量氯化钯(PdCl_2)在酸性条件下用去离子水将其溶解,溶液用量要能浸没 10 g60~80 目 6201 担体为宜。放置 2 h,在轻轻搅拌下将其蒸干,然后装入 U 型管内,置于加热炉中,在 100℃ 通入空气烘干 30 min。再升温至 500℃ 灼烧 4 h,然后将温度降至 400℃,用氮气置换 10 min 后,再通入氢气还原 9 h。再用氮气置换 10 min,即得到黑褐色钯-6201 催化剂。

1.4 采样

用 100 mL 注射器抽取现场气体,冲洗注射器 3~4 次,采气样 100 mL,密封注射器口,样品应在 12 h 之内测定。

1.5 步骤

1.5.1 色谱条件 柱温 80℃;检测室温度 120℃;汽化室温度 120℃。载气:氮气流量 70 mL/min;燃气:氢气流量 70~75 mL/min;助燃气:空气流量 900~1 000 mL/min。

1.5.2 定性分析 样品经 1 mL 定量管,通过六通阀进入色谱仪空柱,总烃只出一个峰,不能将样品中的各种烷烃、烯烃、芳香烃以及醛、酮等有机物分开。样品经 1 mL 定量管,通过六通阀进入色谱仪 GDX-502 柱时,空气峰及其他烃类与甲烷均分开。配制已知气样,根据保留时间,可对气样中各种成分进行定性分析。

1.5.3 定量分析 将气样、甲烷标准气体及除烃净化空气,依次分别经 1 mL 定量管,通过六通阀进入色谱仪空柱。分别测量总烃峰高 h_t (包括氧峰),甲烷标准气体峰高 h_s 以及除烃净化空气峰高 h_a 。

将气样及甲烷标准气体,经 1 mL 定量管,通过六通阀进入 GDX-502 柱,测量气样中甲烷的峰高 h_m 及甲烷标准气体的峰高 H_s 。

1.6 计算

$$\rho(\text{总烃})(\text{以甲烷计, mg/m}^3) = (h_t - h_a)C_s/h_s \quad (3.1)$$

$$\rho(\text{甲烷})/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}) = h_m C_s / H_s \quad (3.2)$$

以上两质量浓度之差即为非甲烷烃的质量浓度。

式中 h_t ——气样中总烃峰高(包括氧峰) ,mm ;
 h_a ——除烃净化空气中氧的峰高 ,mm ;
 h_s ——甲烷标准气体经空柱后测得的峰高 ,mm ;
 h_m ——气样中甲烷的峰高 ,mm ;
 H_s ——甲烷标准气体经过 GDX-502 柱测得的峰高 ,mm ;
 C_s ——甲烷标准气体的质量浓度 ,mg/m³。

1.7 说明

- 1.7.1 气相色谱所用气体流量比 氮气:氢气:空气 = 1:1:(13~14) 助燃气体用量比通常用量稍微大一些。
 1.7.2 净化空气处理量以 500~600 mL/min 为宜。在 GDX-502 柱上检验不出烃类峰为合格。
 1.7.3 GDX-502 柱使用前,应在 100℃ 左右通氮气老化 24 h。

2 硫化氢的测定 硝酸银比色法

2.1 原理

硫化氢与硝酸银作用形成黄褐色硫化银胶体溶液,比色定量。

2.2 仪器

多孔玻板吸收管,抽气机 0~10 L/min 流量计,10 mL 比色管。

2.3 试剂

- 2.3.1 吸收液 称取 2 g 亚砷酸钠(NaAsO_2)溶于 100 mL 50 g/L 碳酸铵溶液中,用水稀释至 1 L。
 2.3.2 10 g/L 淀粉溶液 称取 1 g 可溶性淀粉,加冷水 10 mL 搅匀后,缓缓倾入 90 mL 沸水中,随加随搅拌,煮沸 1 min,然后放冷备用。
 2.3.3 10 g/L 硝酸银溶液 称取 1 g 硝酸银溶于 90 mL 水中,加入 10 mL 硫酸。放置过程中如产生硫酸银沉淀,须将溶液过滤。
 2.3.4 硫代硫酸钠溶液 0.1 mol/L 称取 25 g 硫代硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)溶于煮沸放冷的水中,移入 1 L 量瓶中,加水至刻度。然后 1 L 溶液中加入 0.4 g 氢氧化钠(或 0.2 g 无水碳酸钠)防止分解。
 硫代硫酸钠的溶液浓度的标定 称取 0.1500 g 经 105℃ 干燥 30 min 的碘酸钾,于 250 mL 碘量瓶中,加 100 mL 水并加热溶解后,放冷,加入约 3 g 碘化钾及 10 mL 冰醋酸,此时生成碘,溶液呈棕色,迅速用 0.1 mol/L 硫代硫酸钠溶液滴定,直至颜色变为极淡的黄色,加入 1 mL 淀粉溶液(3.2),继续滴加 0.1 mol/L 硫代硫酸钠溶液至溶液由蓝色变为无色,记录硫代硫酸钠的用量。

$$c = a / (0.03567b) \quad (3.3)$$

式中 c ——硫代硫酸钠的浓度 ,mol/L ;
 a ——碘酸钾的质量 ,g ;
 b ——硫代硫酸钠溶液用量 ,mL。

- 2.3.5 标准溶液 量取 6.0 mL 0.1 mol/L 硫代硫酸钠溶液放在 100 mL 量瓶中,用煮沸放冷的水稀释至刻度。此溶液 1.0 mL = 200 μg 硫化氢。再用吸收液稀释 10 倍,配成 1 mL = 20 μg 硫化氢标准溶液。

2.4 采样

串联两个各装 10 mL 吸收液的多孔玻板吸收管,以 0.5 L/min 的速度抽取 1 L 空气。

2.5 分析步骤

- 2.5.1 对照试验 同采样,将吸收管装好吸收液带至现场,但不抽取空气,照样品分析。

2.5.2 样品处理 采样后用吸收管中的吸收液洗涤进气管内壁 3 次,由每个吸收管中各量取 5.0 mL 样品溶液,分别放入比色管中,供测定用。

2.5.3 标准管的配制 按表 3.1 配制标准管。

表 3.1 硫化氢标准管的配制

管号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准溶液/mL	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
吸收液/mL	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0
硫化氢含量/μg	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

向标准管中各加入 0.2 mL 淀粉溶液(2.3.2) 摇匀 加入 1.0 mL 硝酸银溶液(2.3.3) 摇匀 放置 5 min 后比色。

2.5.4 测定 按 2.5.3 相同的操作条件,将处理后的样品进行测定。与标准管比色定量。

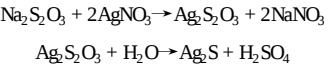
2.6 计算

$$X = 2(C_1 + C_2) / V_0 \tag{3.4}$$

式中 X——空气中硫化氢的质量浓度,mg/m³;
C₁,C₂——分别为第 1、第 2 吸收管所取样品溶液中硫化氢含量,μg;
V₀——标准状况下的样品体积,L。

2.7 说明

- 2.7.1 本法的检测极限为 2 μg/5 mL。变异系数为 3.4%。当采样 1 L 时,本法测定范围为 2 ~ 40 mg/m³。
- 2.7.2 空气中硫化氢浓度较大时,可扩大标准管范围,以 5 μg 间隔做到 40 μg。
- 2.7.3 采样后的样品至少可保存 5 d。采样后须密闭保存,防止日光照射。
- 2.7.4 本法用砷酸钠、碳酸铵溶液吸收,然后再加硝酸银生成硫化银比色,较用硝酸银溶液直接吸收可得到较准确的结果。标准管在 2 ~ 3 d 是稳定的。
- 2.7.5 硫化物对测定有干扰。
- 2.7.6 标准溶液用硫代硫酸钠溶液配制,反应如下:



3 挥发性脂肪酸(VFA)的测定

挥发性脂肪酸(VFA)是厌氧消化过程的重要中间产物,甲烷菌主要利用 VFA 形成甲烷,只有少部分甲烷由 CO₂ 和 H₂ 生成,但 CO₂ 和 H₂ 的生成也经过高分子有机物形成 VFA 的中间过程。由此看来,形成甲烷的过程离不开 VFA 在厌氧反应器中的积累能反映出甲烷菌的不活跃状态或反应器操作条件的恶化,较高的 VFA(例如乙酸)浓度对甲烷菌有抑制作用。因此在反应器运行中,出水 VFA 用做重要的控制指标。在 VFA 测定中,常进行 VFA 总量测定,其单位以 mmol/L 或换算为按乙酸计,以单位 mg/L 表示。对 VFA 中各种低级脂肪酸(乙酸、丙酸等)的分别定量分析也是重要的,有时常需要知道以 COD 表示的 VFA 的量(VFA 单位 mgCOD/L)表示,此时也需要知道 VFA 中各种有机酸的含量,因为它们换算为 COD 的换算系数是不同的。

VFA 包括甲酸、乙酸、丙酸、己酸以及它们的异构体。在运转良好的高速厌氧反应器中,VFA 中乙酸可占有很高的比例,但当反应器运行状态不好时,丙酸、丁酸浓度会上升。常见的 VFA 分析方法有滴定法和气相色谱法。

3.1 VFA 分析的滴定法

3.1.1 原理

本法原理是将废水以磷酸酸化后,从中蒸发出挥发性脂肪酸,再以酚酞为指示剂用 NaOH 溶液滴定馏出液。废水中

的氨态氮可能对测定形成干扰,因此应当首先在碱性条件下蒸发出氨态氮。如果要同时测定氨氮,可以用硼酸溶液吸收后滴定之。因此此法可用于氨态氮和 VFA 的联合测定。

3.1.1.2 药剂

10% NaOH 溶液 0.100 0 mol/L NaOH 标准溶液,10%磷酸溶液,取 70 mL 密度 1.7 g/cm³ 的磷酸用水稀释 1 L,酚酞指示剂,1%的乙醇溶液。

3.1.1.3 测定步骤

于蒸馏瓶中加入 50 ~ 200 mL 待测废水,其 VFA 含量不超过 30 mmol。如水样体积不到 100 mL,可以蒸馏水稀释至 100 mL。放入几粒酚酞指示剂。

加入 10 mL 10% NaOH 溶液,使溶液呈碱性,并使 NaOH 略过量。

开始蒸馏,至瓶中剩余的液体为 50 ~ 60 mL 为止。如果要测定氨态氮,可用硫酸溶液吸收蒸发出的气体。

用蒸馏水将蒸馏瓶中剩余液体稀释至原来的体积,用 10 mL 10% 的磷酸酸化,在接收瓶中加入 10 mL 蒸馏水并使接收瓶与蒸馏瓶上的冷凝管连接,导入管应浸入接收瓶的液面以下。蒸馏至瓶中液体为 15 ~ 20 mL 时为止。待馏瓶冷却后,加入 50 mL 蒸馏水再次蒸馏,至剩余 10 ~ 20 mL 液体为止。

为了除去二氧化碳、硫化氢、二氧化硫等干扰物,可向馏出液中通入高纯氮 10 ~ 15 min 然后加入 10 滴酚酞,用 NaOH 标准溶液滴定至淡粉色不消失为止。

3.1.1.4 计算

挥发性脂肪酸含量计算如下:

$$\rho(\text{VFA}) = (V_{\text{NaOH}} C \times 1000) / V_s \quad (3.5)$$

式中 VFA——挥发性脂肪酸物质的量浓度,mmol/L;

V_{NaOH} ——滴定消耗的 NaOH 溶液的体积,mL;

C ——滴定消耗的 NaOH 标准溶液的准确物质的量浓度,mmol/L;

V_s ——被测废水水样的体积,mL。

3.1.1.5 挥发性脂肪酸的一种简易分析方法

取水样 10 mL,加水至 250 mL,加浓硫酸 2.5 mL,加玻璃珠若干,用氨氮装置蒸馏,没有吸收液,蒸出 200 mL 馏出液,用 0.100 0 mol/L 的氢氧化钠滴定。计算公式:

$$\rho(\text{VFA}) = (V_1 - V_0) \times c \times 60 \times 1000 / V \quad (3.6)$$

式中 VFA——挥发性脂肪酸质量浓度(以醋酸计),mg/L;

V_1 ——氢氧化钠消耗的滴定数,mL;

V_0 ——空白消耗的氢氧化钠滴定数,mL;

V ——水样量,mL;

60——HAC 的摩尔质量;

c ——氢氧化钠的物质的量浓度。

附录 7 微生物检验

1 基本方法

1.1 玻璃器具的洗涤和灭菌

1.1.1 新玻璃器皿的洗涤

先用洗衣粉或清水洗净,然后在稀盐酸中浸泡 24 h,再用清水洗净盐酸,干燥后包扎好,以备灭菌。

1.1.2 一般玻璃器具的洗涤

用洗衣粉水洗刷并用水冲洗即可,如洗不净,可用洗液浸泡,然后再用清水冲净洗液,可用洗液的配方如下:于 35 mL 重铬酸钾的饱和水溶液中慢慢加入浓硫酸 100 mL 即可。

1.1.3 玻璃器皿的灭菌

一般采用干热灭菌,用高压蒸汽灭菌也可,先将玻璃器具包扎好,干热灭菌用烘箱,通常在 150 ~ 160 °C 灭菌 2 h,高压蒸汽灭菌用 0.105 MPa 蒸汽压力灭菌 20 ~ 30 min 即可。

1.2 培养基的制备和灭菌

1.2.1 普通培养基的制备

成分 3 g 牛肉膏,10 g 蛋白胨,5 g 氯化钠,15 g 琼脂,1 000 mL 蒸馏水。

制法 加牛肉膏、蛋白胨、氯化钠、琼脂于蒸馏水中,加热溶解,调溶液 pH = 7 ~ 7.2,用 0.5 mol/L 的氢氧化钠或 0.05 mol/L 的氯化氢进行调整,用脱脂棉或脱脂纱布过滤,然后分装过滤液于 250 mL 锥形瓶中(每瓶约 100 mL)。

1.2.2 灭菌

把分装后的培养基用高压蒸汽灭菌即 0.105 MPa 压力 15 min 即可。

1.2.3 菌种纯化

1.2.3.1 平板划线

取一细菌悬液或一点菌苔,在表面无冷凝水的平板一侧边缘处反复涂抹约 1 cm² 上,烧灼接种环,冷却后从上述涂菌处边缘划出 3 ~ 5 条直线,即前 1 ~ 3 条直线从涂抹处划出,后 4 ~ 5 条直线不再从涂抹处划出,划线时接种环与平板表面成 30° ~ 40° 角,轻轻地接触,不能把培养基表面划破,再把接种环烧灼冷却后通过原划线处再划 2 ~ 3 条直线。按上述方法反复几次,划满整个平板,倒置平板于适温,培养至有明显菌落为止。

1.2.3.2 菌种的保藏

若要使菌种不死亡、不变异、不污染,通常用减低菌种代谢能力的办法来保存菌种。即从改变温度、减少水、降低温度、降低营养和隔绝氧等几方面入手,例如低温保藏、砂管保藏、冷冻干燥保藏和矿油保藏等。

1.2.4 显微镜使用的注意事项

一般光学显微镜的放大倍数在 2 000 倍以下,当放大倍数在 1 000 倍以上时,应使用油浸接物镜,才能看得清晰。使用油镜需要较强的光,先将光源调好,照明要均匀,聚光器的开口率不能小于接物镜的开口率,并将聚光上升到最高点,观察前,先在放有标本的载玻片上滴一滴香柏油,注意油滴中不能有气泡,将有香柏油的片子放在照亮点上,缓缓将注镜浸入香柏油中,并使镜头几乎接触载片。不能接触得太紧,以免损坏镜头或载玻片,然后从接目镜注视视野,调节粗调、微调至清晰处。观察着色深的标本宜于用较强的光,着色浅或未染色的标本可用略暗的光,物影的清晰程度取决于按物镜的分辨能力,因此,物像不清并不能用改变接目镜的放大倍数来改变。一般可用 10 ~ 15 倍的接目镜,油镜使用后,只许

用新的擦镜纸擦去香柏油,再用滴有一滴二甲基的擦镜纸擦一下,然后另用擦镜纸擦去残留的二甲苯,擦镜头只许向一个方向擦,不可往复擦。

2 染色法

2.1 革兰氏染色

革兰氏染色是细菌鉴定中最重要的一个染色法。

2.1.1 染剂

结晶紫液,卢哥碘液,95%乙醇,0.5%番红水溶液。

2.1.2 涂片

在载玻片上滴一小滴无菌蒸馏水,用接种环挑取少许菌苔,于水滴处轻轻涂几下,使水滴干燥后再在火焰上通过1~2次,以固定涂片。

2.1.3 染色步骤

滴加结晶紫,覆盖约1 min,用水冲净结晶紫液,滴加碘液冲去残水并覆盖约1 min,水洗,把片倾斜,流滴95%乙醇约20~30 s。立即用水洗净乙醇,用番红液染1~2 min,水洗净番红,用滤纸吸干玻片,备镜检。

2.1.4 镜检

用油镜镜检,红色为革兰阴性,蓝紫色为革兰阳性。

2.2 芽孢染色——孔雀绿染色法

将生有芽孢的斜面菌苔按革兰染色涂片后,用饱和的孔雀绿水溶液(约为7.6%)染10 min,用自来水冲洗,用0.5%番红液复染30 s,水洗、吸干、镜检,芽孢呈绿色、菌体和芽孢呈现微红色,但菌体中有异染粒时,也可呈现绿色。

2.3 抗酸染色法

2.3.1 染剂

石炭酸复红液,酸性酒精,吕氏亚甲蓝染液。

2.3.2 染色步骤

先常规涂片,然后滴加石炭酸复红于涂片上,并于玻片下缓缓加热,染液冒蒸汽但不沸腾,并连续滴加染液,不使涂片上染液蒸干,这样保持5 min,涂片冷却,倾去染液,用酸性酒精脱色到无红色染料洗脱为止。彻底水洗,用吕氏亚甲蓝复染2~3 min。水洗、吸干、镜检。

2.3.3 观察

镜检时,抗酸性细菌菌体呈红色,即革兰氏染色阴性。

2.4 鞭毛染色

2.4.1 染液

甲液5 g单宁酸,乙液2 g硝酸银溶液,1.5 g三氯化铁,2.0 mL15%甲醛溶液,100 mL1%氢氧化钠溶液,100 mL蒸馏水。

乙液制作法,待硝酸银溶解后,取出10 mL备用,向其余的90 mL硝酸银溶液中滴加氢氧化铵,则形成很厚的沉淀,再继续滴加氢氧化铵到刚刚溶解沉淀变为澄清溶液为止。再将备用的硝酸银慢慢滴入,则出现薄雾,但轻轻摇动后,薄雾状的沉淀又消失,再滴入硝酸银,直到摇动后,仍呈现轻微而微定的薄雾状沉淀为止。如雾状重,则跟盐沉淀出,不宜使用。

2.4.2 菌种

鞭毛染色用新培养的菌种为宜。一般用新制备的斜面,接种后培养10~24 h。如所用菌种已长期未移种,则最好用新制备的斜面连续移种2~3次后再使用。

2.4.3 载玻片的准备

选择光滑无伤痕的玻片。先用洗衣粉水煮沸,洗衣粉最先用蒸馏水煮沸、过滤,最好把玻片放在特殊的架上煮沸,防

止玻片之间磨损,煮后冷却,用清水洗净,再放入浓洗液中浸泡 24 h 左右,然后取出用清水冲洗干净,再用蒸馏水冲洗,沥干水并放入 95%乙醇中脱水,取出片用火焰烧去酒精,立即使用。如不立刻使用可存放于干净盒中或 50%乙醇中短期保存,由于空气常常漂浮油污,最好立即使用,在洗净的玻片上滴上水滴后应能均匀散开。

2.4.4 染色步骤与结果观察

2.4.4.1 涂片:在载玻片的一端滴一滴蒸馏水,取菌苔于片稍倾斜,水滴处涂抹几下,将玻片稍倾斜。

2.4.4.2 染色:涂片干燥后,滴加甲液染 3~5 min,用蒸馏水冲洗。或将残水沥干用乙醇冲去残水,加乙液染色 30~60 s,并在酒精灯上稍稍加热,使其稍冒蒸汽而染液不干,然后用蒸馏水冲洗。镜检时应多找几个视野,有时只能在部分涂片上染出鞭毛,菌体为褐色。

2.4.5 注意事项

2.4.5.1 染液最好当日配制,次日使用效果差,染出的鞭毛色浅,第三日染液一般不使用,此法染鞭毛适于染较多的菌株。

2.4.5.2 充分洗净甲液后再加乙液。

2.5 荚膜染色

2.5.1 染色剂

绘图墨汁(上海墨水厂滤光绘图墨水) 纯甲醇 0.5% 香红溶液。

2.5.2 染色步骤

在载片一端滴一滴无菌水,取少许菌苔在水滴中制成悬液,取一滴墨汁与菌悬液混合,并用另一载片之一端将此水滴在载片刮成薄膜,风干。用甲醇固定 1 min,加 0.5% 番红液数滴于涂片上,冲去残甲醇,并染 30 s,然后倾去染液,立即吸干,备镜检。

2.5.3 镜检

背景黑色,荚膜无色,细胞红色。

3 培养特征观察

3.1 平板菌落形态

观察菌落的形状、大小、边缘、表面、隆起情况、透明程度、颜色、黏度和气味等。

3.2 菌落的形成

3.3 斜面菌苔特征

观察菌落的丰厚程度、边缘和表面形状、颜色、黏度、培养基颜色、透明度及气味等。

3.4 马铃薯生长情况

3.4.1 培养基制作

选择较好的马铃薯,去皮洗净,切成 3.5~4.0 cm 长 0.5 cm 宽的楔形斜面,土豆块放入水中。在试管底部放少许清水和脱脂棉。以稍稍浸没棉花为适度,然后把土豆块大头朝下放入试管中。塞好棉花,用 0.105 MPa 压力灭菌 15~20 min,备用。

3.4.2 接种及观察

将生长好的适龄菌种接在豆斜面上,适温培养 1 d、3 d、7 d、14 d、21 d 观察,记录菌苔丰厚程度、菌苔及色素、土豆块的颜色变化等。

3.5 色素的产生

3.5.1 培养基(见表 4.1)

表 4.1 培养基金氏 A 和金氏 B 成分

项目	蛋白胨 /g	硫酸钾 /g	甘油 /g	氯化镁 /g	磷酸氢 二钾/g	硝酸镁 /g	水洗洋 菜/g	蒸馏水 /mL
金氏 A	2	1	1	—	—	—	1.5~2.0	100
金氏 B	2	—	1	—	0.15	0.15	1.5~2.0	100

调 pH 值为 7.2, 0.105 MPa 压灭菌 20 min, 摆成斜面备用。

3.5.2 接种及观察

用新鲜菌种接种上述培养基中, 于 28~30℃ 培养 1 d、2 d、3 d、5 d、7 d、14 d 观察。在普通光下检查荧光色素, 在紫外光下检查荧光色素。非荧光色素常常随培养时间的延长而加深, 荧光色素仅出现在第一个时期。

4 生化鉴定

4.1 氧化酶反应

4.1.1 试剂

盐酸二甲基对亚苯基二胺 1% 水溶液, 于茶色瓶中在冰箱中贮存, α -萘酚的 1% 酒精(95%) 溶液, 即在 95% 的酒精溶液中含有 1% 的 α -萘酚。

4.1.2 操作

在干净培养基中放一张滤纸, 滴上盐酸二甲基对亚苯基二胺 1% 水溶液, 仅使滤纸湿润即可, 不可过湿。用白金丝接种环(不可用镍铬丝)取 18~24 h 的菌落, 涂抹在湿润滤纸上。在 10 s 涂抹的菌苔呈现红色为阳性。在 10~60 s 呈现红色为延迟反应, 60 s 以上呈现红色可不计, 按阴性处理。另外, 也可用 1% 盐酸二甲基对亚苯基二胺液湿润滤纸后, 再滴加约等量的 1% α -萘酚酒精溶液, 然后再涂抹菌苔, 出现蓝色为阳性, 呈现变色时间要求同上。

4.1.3 氧化酶试纸制作及测定法将质地较好的滤纸用 1% 盐酸二甲基对亚苯基二胺浸湿, 室内风干, 然后剪成适当大小的纸条, 放在有橡皮塞的试管中密闭保存。在冰箱中可存数日。使用方法同前, 如纸条放久, 颜色过深不宜使用。

4.1.4 注意事项

如盐酸二甲基对亚苯基二胺溶液转为红色, 则不宜使用。因其易于氧化, 应放在冰箱中保存。铁、镍等。

金属可催化盐酸二甲基对亚苯基二胺呈红色, 故不宜使用。可用干净的玻璃棒或火柴梗涂抹菌苔。

4.2 过氧化氢酶

4.2.1 试剂

10%~30% 过氧化氢。

4.2.2 接种与培养

将测定菌种于适宜的斜面上, 适湿培养 18~24 h。

4.2.3 结果观察

取一环培养 18~24 h 的菌苔涂抹于干净的载玻片上, 然后滴上一滴 10%~30% 的过氧化氢, 若有气泡, 则阴性反应。或将过氧化氢直接加到斜面上, 观察产气情况。

4.2.4 注意事项

4.2.4.1 测定细菌所生成的培养基不能有血红素或红血球。

4.2.4.2 其中 2 支用灭菌的凡士林油(加一半液体石蜡混匀)封盖约 0.5~10 cm 厚以隔空气为闭管。另 2 支不封盖为开管。同时还应有不接种的闭管作对照。

4.2.4.3 适温培养 1 d、2 d、4 d、7 d、14 d 观察结果。

4.3 结果检验

4.3.1 氧化产酸 仅开管产酸, 氧化作用弱的菌株往往先在(1~2 d)上部产碱, 后来才稍变酸。发酵产酸则开管及闭管

均产酸,如产气则在琼脂柱内产生气泡。

4.3.2 注意事项

4.3.2.1 本实验可同时观察细菌的运动性,观察运动性时琼脂软硬必须合适。琼脂的浓度以放试管不流动,轻轻敲打则琼脂柱破碎为宜。

4.3.2.2 如培养基配好后,在温度液较低的地方存放,则在使用时应在沸水中溶化,并用冷水速凝后,立即使用。否则溶于培养基中的空气会干扰观察发酵产气的结果。

4.4 酶氧化

4.4.1 培养基

在葡萄糖氧化发酵测定法中的培养基中以醇代糖,使乙醇浓度为 1%。

4.4.2 结果

培养 1 d、2 d、3 d、7 d、14 d 观察产酸变黄者为阴性,不变黄者为阳性。

4.5 乙酸的氧化

4.5.1 培养基

成分 10 g 酵母膏、10 g 乙酸膏、20 g 琼脂和 1 000 mL 自来水。pH = 7.0 ~ 7.2 分装三角瓶或大试管以备倒平板,成分装摆成斜面。

4.5.2 接种观察

且幼龄菌接种平面或斜面,培养 1 d、2 d、4 d、7 d 后,观察菌苔四周是否出现乳白色晕圈。出现者为阳性反应,即可溶性乙酸钙中的乙酸氧化分解,将钙游离出来重新成为不溶性的碳酸钙。如未发现乳白色晕圈则为阳性反应,即乙酸未分解。

4.6 M.R. 试验(甲基红试验)

4.6.1 培养基

成分 5 g 蛋白胨、5 g 葡萄糖、磷酸氢二钾(或氯化钠)和 1 000 mL 水。每管分装 4 ~ 5 mL,0.056 MPa 压力下灭菌 30 min。

4.6.2 试剂

成分 0.1 g 甲基红,300 mL 95%乙醇,200 mL 蒸馏水。

4.6.3 接种

接种菌种于上述培养液中,每次两个重复,置适温培养 2 d、4 d、6 d(如为阳性可延长培养时间)。肠杆菌科的菌要求在 37 °C 培养 4 d 检查。

4.6.4 结果观察

在培养液中加入一滴甲基红试剂,红色为阳性反应,黄色为阴性反应。

4.6.5 注意事项

若测试的是芽孢杆菌属的细菌时,则以 5 g 氯化钠代替磷酸氢二钾,因它有缓冲作用。

4.7 VP 试验(乙酰甲基醇试验)

4.7.1 培养基

与甲基红试验相同。

4.7.2 操作与结果观察

取培养液和氢氧化钠等量相混。加约 0.5 ~ 1.0 mg 肌酸,加入后猛烈振荡,2 ~ 10 min 内如培养基出现红色即为 VP 试验阳性反应,有时需更长时间才出现红色反应。

4.8 产氨试验

4.8.1 培养基

成分 5 g 蛋白胨, 1 000 mL 水。pH = 7.2, 分装试管 0.105 MPa 压灭菌 15 ~ 20 min。

4.8.2 奈氏试剂

将 20 g 碘化钾溶于 50 mL 水中, 并在此溶液中加入碘化汞小颗粒, 至溶液饱和为止(约 32 g), 再加 460 mL 和 134 g 氢氧化钾。将上清液贮于暗色瓶中备用。

4.8.3 接种

接种试验菌于产氨培养基(蛋白胨水培养基), 培养 1 d、3 d、5 d, 用奈氏试剂测氨。

4.8.4 结果观察

取培养液少许, 加试剂数滴, 出现黄或褐色沉淀表示有氨存在。

4.9 硝酸盐还原试验

4.9.1 培养基

1 000 mL 肉汁胨培养基、1 g pH = 7.0 ~ 7.6 硝酸钾、10 g 琥珀酸钠、1 g 硝酸钠、1 g 磷酸氢二钾、0.5 g 硫酸镁、0.2 g 氯化钾、1 000 mL 水。pH = 7.2, 每管分装 4.5 mL 0.105 MPa 压灭菌 15 ~ 20 min。

4.9.2 试剂

4.9.2.1 格里斯试剂

甲液 0.5 g 对氨基苯磺酸, 150 mL 10% 稀醋酸。

乙液 0 ~ 1 g α -萘胺, 20 mL 蒸馏水, 150 mL 10% 稀醋酸。

4.9.2.2 二苯胺试剂

二苯胺 0.52 g, 溶于 100 mL 浓硫酸中, 用 20 mL 蒸馏水稀释。

4.9.3 接种

将测定菌种接种于硝酸盐液体培养基中, 置适温培养 1 d、3 d、5 d。每株菌作两个重复, 另外, 留两管不接种作对照。

4.9.4 操作

取两支干净试管或在比色瓷盘中倒入少许培养 1 d、3 d、5 d 的培养液, 再滴一滴甲液及乙液在对照管中同样加入甲、乙液各一滴。

4.9.5 结果检查

当培养液中滴入甲、乙液后, 溶液如变为粉红色、玫瑰红色、橙色等表示有亚硝酸盐存在, 为硝酸还原阳性。如无红色出现, 则可加 1 ~ 2 滴二苯胺试剂。此时如呈蓝色反应, 则培养液中仍有硝酸盐、又无亚硝酸盐反应, 无硝酸盐还原作用, 如不呈蓝色反应, 表示有硝酸盐和新形成的亚硝酸盐都已还原成其他物质, 故仍按硝酸盐还原阳性处理。

4.9.6 注意事项

4.9.6.1 硝酸盐还原反应属厌氧性的, 虽不必用油封液面, 但分装试管时液面不能太低。

4.9.6.2 对不同的细菌来说, 亚硝酸盐既是最终产物, 又是中间产物。另外, 有的细菌还原极为迅速, 有的非常缓慢, 因而第一次检查时(18 ~ 24 h)要及时, 并且对阳性反应的菌株应连续观察。对于未呈现亚硝酸盐, 然后反应的测定应检查是否有硝酸盐, 才能判断有无硝酸盐还原反应。

4.10 吲哚试验

4.10.1 培养基

1% 蛋白胨水培养基, 调 pH = 7.2 ~ 7.6, 分装 1/4 ~ 1/3 试管, 蒸汽压灭菌 30 min。

4.10.2 试剂

8 g 对二甲氨基苯甲醛, 760 mL 95% 乙醇, 160 mL 浓盐酸。

4.10.3 测定

培养 1 d、2 d、4 d、7 d 的培养液, 沿管壁缓缓加入 3 ~ 5 mm 高的试剂于培养液表面, 在液层界发生红色, 即为阳性反应。若颜色不明显, 摇动, 使乙醚散于液中, 将培养液静止片刻, 待乙醚浮至液面后再加吲哚试剂。如培养液中有吲哚

时,可加 4~5 滴醚培养液,吡啶可被提取在乙醚层中,浓液的吡啶和试剂反应,颜色明显。

4.11 硫化氢的产生

4.11.1 培养基

成分:10 g 蛋白胨、0.1 g 胱氨酸、0.1 g 硫酸钠和 1 000 mL 蒸馏水。

pH=7.0~7.6,分装试管,每管液层高 4~5 cm。灭菌 20~30 min。另外将普通滤纸剪成 0.5~1.0 cm 宽的纸条,长度根据试管与培养基高度而定,用 5%~10% 醋酸铅将纸条浸透,然后用烘箱烘干,放于培养器内灭菌备用。

4.11.2 接种观察

用新鲜斜面培养物接种培养基,接种后用无菌镊子取一条醋酸铅纸条,沿棉塞边塞紧,使悬挂于管中。于接种后 3 d、7 d、14 d 观察。纸条变黑为阳性,不变色为阴性。

4.11.3 注意事项

4.11.3.1 本培养基适于肠杆菌种。

4.11.3.2 纸条高度应放适当,离液面太远影响灵敏度。

4.11.3.3 移动试管架也要平衡。

4.11.3.4 除空白对照外,应放阴性对照。

4.12 牛奶试验

4.12.1 培养基

4.12.1.1 脱脂牛奶的制备:新鲜牛奶用离心机分离,除去上层奶油,取下层脱脂牛奶。若无新鲜牛奶可用脱脂奶粉代替,每 1 000 mL 溶解 100 g 脱脂奶粉。或将鲜奶煮沸,在冷处静置 24 h,用虹吸法取底层牛奶。

4.12.1.2 石蕊液的制备:2.5 g 石蕊,蒸馏水 100 mL,将石蕊浸泡在蒸馏水中过夜或更长时间,使石蕊变软而易于溶解,溶解后过滤,即可用做配制石蕊牛奶。

4.12.1.3 石蕊牛奶的配制:2.5% 石蕊水溶液 4 mL,脱脂牛奶 1 000 mL,混合后的颜色为丁香花紫色为适度,分装试管,牛奶高度约为 4 mL,间歇灭菌或 0.056 MPa 压灭菌 20~30 min。

4.12.2 接种培养

将新鲜菌种移至上述石蕊牛奶试管中适温培养。

4.12.3 观察

1 d、3 d、5 d、7 d、14 d 和 30 d 观察酸碱反应、酸凝、酶凝胨化、还原等。

4.12.3.1 产酸:细菌发酵乳糖产酸,石蕊变红。

4.12.3.2 产碱:石蕊变蓝。

4.12.3.3 胨化:牛奶比较澄清略透明。

4.12.3.4 酸凝固:石蕊变红,牛奶凝固。

4.12.3.5 酶凝固胨化:石蕊蓝色或不变色,牛奶中酶蛋白凝固。

4.12.3.6 还原:石蕊退色。

4.12.4 注意事项

最好用鲜牛奶,否则需调 pH,调过 pH 的牛奶色调不正。

4.13 明胶水解

4.13.1 培养基

成分:5 g 蛋白胨、100~150 g 明胶和 1 000 mL 水。pH=7.2~7.4,分装试管,培养基高度约为 4~5 cm,0.105 MPa 压灭菌 20 min。

4.13.2 接种

取 18~24 h 的斜面培养物作穿刺接种,并留两支未接种的空白作对照。

4.13.3 观察

于 20℃ 恒温箱中培养 2 d、7 d、10 d、30 d 观察菌的生长情况和明胶是否液化,如菌已生长,明胶表面无凹陷但有稳定的凝块,则为明胶水解阴性。如明胶凝块部分或分部在 20℃ 下变为可流动的液体则为明胶水解阳性。如菌已生长,明胶未液化,但明胶表面菌苔下出现凹陷小窝(需与未接种的对照管比较,培养过久的明胶因水分扩散也会凹陷)也是轻度水解,为阳性。若细菌未生长是可能不在明胶培养基上生长,也可能是基础培养基不适宜。

4.13.4 注意事项

4.13.4.1 如有的菌不在 20℃ 生长,则可在 30℃ 生长后,观察时放冰箱或冷水中降温,待对照管凝固后再记录。

4.13.4.2 灭菌过度、过低都影响结果,一般 0.105 MPa 压灭菌 15 min。

4.13.4.3 明胶质量不一,为了便于比较,在同一实验室内,最好用同一牌号同一浓度明胶。

5 生理特征测定

5.1 浑浊度试验

5.1.1 培养基

为了便于比较,培养液必须澄清。如用普通肉汁胨培养液,可先调 pH = 7.2 ~ 7.4,用 0.056 MPa 压灭菌 30 min,静止冷却除去沉淀,将上清液分装试管。分装后,再用 0.056 MPa 压灭菌 30 min,所用试管也应十分透明,不可模糊或有过多的划痕。

5.1.2 接种与培养

用液体培养基培养种菌,直接接种。用水浴保温。指示温度的温度计应放在同样的试管和培养基内。一般温度培养 2 ~ 5 d 观察,接近的低温 0℃,则培养 3 d、7 d、30 d 观察。

5.1.3 观察与记载

用目测与空白对比,注意浑浊度、沉淀物和悬浮物(包括环和膜)等项,浑浊度可分段记载,如“+”表示生长良好,与空白比较可立即判断是浑浊,“+ -”表示生长,若与空白比较只有在适宜的角度才能看出浑浊,“-”表示不生长,无浑浊或不能确定有无浑浊。即培养 5 d,能生长者计为可生长,否则计为不生长。

5.1.4 注意事项

5.1.4.1 测定管较多时,不能将试管捆在一起浸入水浴中,以免捆内外温差较大。

5.1.4.2 所用温度计应用标准温度计标定过。

5.2 温度存活试验

5.2.1 测定方法

5.2.1.1 调水浴为 72℃,另备一冷水锅。

5.2.1.2 用无菌脱脂牛奶,将测定菌配成悬浮液。再将悬浮液分装四个试管。

5.2.1.3 取一支装有牛奶的试管,其中牛奶的量与测定管的牛奶量相近。管中插一支温度计。

5.2.1.4 取两支测定菌牛奶悬浮液和标有温度计的牛奶试管同时放入 72℃ 水浴锅内。水浴锅的水面高于牛奶的液面。

5.2.1.5 观察温度计,待温度上升到 72℃ 时,开始计算时间,并保持 15 min。到 15 min 时立即取出测定管并浸于冷水锅中迅速冷却。

5.2.1.6 冷却后,将用 72℃ 处理过的牛奶悬液和未处理的牛奶悬液,分别接种到适宜培养基中,适温培养 3 ~ 7 d,观察生长情况。菌能生长者为阳性,不生长者为阴性。

5.2.2 注意事项

温度计应标定过。

5.3 初始生长 pH 值

5.3.1 培养基

成分 5 g 葡萄糖、0.2 g 硫酸镁、0.2 g 氯化钠、0.2 g 硫酸铜、0.2 g 碳酸氢钾、10.0 g 酵母膏和 1 000 mL 蒸馏水。

将上述成分溶解后,分成若干分,用稀盐酸或稀氢氧化钠溶液调成各种不同的 pH 值,分装试管 0.056 MPa 压灭菌 20 ~ 30 min,灭菌后再分别抽样测 pH 值。以此值为准。

5.3.2 接种与观察

用生长 24 ~ 48 h 的液体培养的实验菌种接种上述培养基,适温培养 3 d 和 7 d 观察,根据各液体的浑浊情况,记录其生长的 pH 值范围。

5.3.3 注意事项

上述培养基的缓冲能力不强,只适于测开始生长的 pH 试验。

5.4 需氧性测定

5.4.1 培养基

成分 20 g 酪素水解物、5 g 氯化钠、2 g 硫基醋酸钠、1 g 甲醛次硫酸钠、15 g 琼脂和 1 000 mL 蒸馏水。

5.4.2 接种与观察

用一环(外径 1.5 mm 的接种环)的营养肉汤培养物穿刺到上述培养基,必须穿到管底。于 30 ℃ 培养,分别于 3 d 和 7 d 记载,在琼脂表面生长较好者为好氧菌,如沿着穿刺线生长厌氧菌。

参考文献

- [1] 张自杰.排水工程(下册)[M].第4版.北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [2] 张自杰.环境工程手册——水污染防治卷[M].北京:高等教育出版社,1996.
- [3] 佟玉衡.废水处理[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [4] 纪轩.污水处理工必读[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [5] 刘景明,王德安.污水处理工[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [6] 张振家,郭晓燕,周长波.工业废水处理站工艺原理与维修管理[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [7] 于尔捷,张杰.给水排水工程快速设计手册·排水工程[M].北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [8] 崔玉川,等.城市污水厂处理设施设计计算[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [9] 金儒霖,金永龄.污泥处置[M].北京:中国建筑工业出版社,1982.
- [10] 李永存,等.饮用水健康与饮用水处理技术问答[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [11] 陈翼孙,胡斌.气浮净水技术的研究与应用[M].上海:上海科学技术出版社,1985.
- [12] 杨钦,等.给水工程[M].北京:中国建筑工业出版社,1986.
- [13] 韩洪军.污水处理构筑物设计与计算[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.
- [14] 萧正辉,马世豪.医院污水处理技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [15] 哈尔滨建筑工程学院给水排水教研室.水化学及水微生物学[M].北京:中国建筑工业出版社,1961.
- [16] 北京市环保研究所.水污染防治手册[M].上海:上海科学技术出版社,1986.
- [17] 同济大学给水排水教研室.给水工程基本知识[M].北京:中国建筑工业出版社,1978.
- [18] 钱易,米祥友.现代废水处理新技术[M].北京:中国科学技术出版社,1993.
- [19] 王彩霞.城市污水处理新技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1990.
- [20] 余淦申.生物接触氧化处理废水技术[M].北京:中国环境科学出版社,1991.
- [21] 郝余祥.土壤微生物[M].北京:科学出版社,1982.
- [22] 张希衡,等.废水厌氧生物处理工程[M].北京:中国环境科学出版社,1996.
- [23] 霍俊山,等.排水工程[M].北京:中国建筑工业出版社,1989.