

环境保护与消防安全中的 电力电子技术

冯玉生 李 宏 编著

机械工业出版社

本书详细介绍了环境保护与消防安全中的电力电子技术方面的基本知识,内容包括:环境保护与电力电子技术的关系,高压静电除尘类电力电子设备,高压脱硫类电力电子设备,空气净化类电力电子设备,污水处理技术和所用的电力电子设备,消防安全与电力电子技术。书中不但介绍了这些电力电子设备的原理构成,而且给出了其应用实例及部分生产厂家。本书取材新颖,内容以通俗性和实用性为主,重点突出,通俗易懂,实用性较强,可供从事安全环保类电力使用单位从事设备运行管理、维护的人员、操作及装配人员以及高等院校、中等专业学校相近专业的师生和各种职业培训学校相近专业的教师及学员作为参考,也可作为环保部门工作人员的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

环境保护与消防安全中的电力电子技术/冯玉生 李宏编著.
—北京:机械工业出版社,2005.12
ISBN 7-111-17597-2

I. 环... II. ①冯... ②李... III. ①环境保护—电子技术②
消防—安全管理—电子技术 IV. ①X②D035.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 120259 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:唐海燕
封面设计:姚毅 责任印制:
印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
850mm×1168mm 1/32·5.75 印张·142 千字
定价:12.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68326294
封面无防伪标均为盗版

前 言

自从盘古开天地至今，人类的诞生已有近 6000 年的历史，在这近 6000 年的历程中，人们为使自己的生活更加美好和舒适而永远无止息地探索，进行着艰苦卓绝地奋斗。从古代神话中的夸父追日，到如今的宇宙科学考察，地球人正经历着物质文明和精神文明日新月异的变化。我们已从老祖先的钻木取火、兽皮树枝为衣的原始社会进入到了如今的经济信息社会，地球人已在几十年前成功登上月球，火星等遥远太空的外星已成为今日科学探测的重要区域，宇宙飞船、太空旅游已成为街谈巷议的大众话题……。

然而事物的发展都是一分为二的，我们应当清楚地看到，人类在不断创造着物质文明的同时，过去的岁月由于缺乏统筹兼顾和技术发展的整体观念，伴随着物质文明高度发展的副产品，便是人类也在不断地破坏着赖以生存的环境，更在不断地积累着由此而带来的后果，并承受着由此而带来的灾难和折磨。举例来说，工业化排出的热量使人类不由自主地承受着气候变暖、北极与南极的冰山不断自然溶化、海平面逐年升高、使各国沿海城市正愈来愈严重地受着被海水淹没的巨大威胁，已使与人类共同生存在同一个地球上的太平洋岛国——图瓦努不得不举国寻找迁移地点；对森林的过度开发和对水资源的极度使用，使人类已背上了缺水、耕地逐年减少、土地沙漠化的速度逐年加快的沉重包袱；沙尘暴、空气污染、洪涝灾害、泥石流、森林大火、瓦斯爆炸、天然气爆炸、水土流失、干旱、工业污水排放、臭氧层的变薄、癌症病人的逐年增加、禽流感、非典、

口蹄疫、疯牛病的肆虐、……，已使人类正愈来愈剧烈地承受着由于生存环境的恶化而引起的痛苦和灾难。据不完全统计，我国每年由此而造成的经济损失高达数百亿元，对人类的生存和发展构成了严重的威胁。

环境危机令人反思，促使人惊醒，人类已清楚地认识到，没有良好的环境支撑，经济的快速发展是不能持久的，人们要安居乐业也是不可能的，因而在联合国的框架下，可持续发展与环境保护已成为国际通用准则，伴随着环境保护方面的一系列国际公约的签署，各国政府都把环境保护作为立国之本来抓，并已取得了极为显著的效果，且已获得了巨大的经济效益。改革开放以来，我国经济持续高速发展，呈现出了前所未有的繁荣景象，但由于前几年过多的关注经济发展的高速度，而忽略了环境保护与经济增长的协调发展，使我国环境恶化趋势在不断增加，城市环境质量下降、江河水质变坏、水土流失加剧、资源浪费严重，给我国经济的发展造成了很多不利的影响。幸运的是，国家已开始着手解决这些问题，全国人民已行动起来，努力搞好环境保护与资源保护，力争在短时间内使我国的环境问题得到更大的改善。

电力电子技术是电工技术的重要分支，是当代世界各发达国家竞争的一个高技术领域，由于采用电力电子技术可以实现广泛的节能，保护资源、减少资源的浪费，实现生存环境及电网的绿色化，所以在人类日益面临能源危机、环境危机和人口危机的时代，电力电子技术必将变得越来越重要，越来越受到人类和各国政府的重视，越来越与人们的日常生活密不可分。电力电子技术的组成可分为三大部分，即电力半导体器件、电力电子变换技术（Power Conversion）和控制技术。这三者中电力半导体器件是基础，控制技术是手段，而实现电力电子变换（又称功率变换）是目的。这种变换包括了对电能三大要素（频

率、电压、电流)进行量值与类型的变换以及对交流电相数的变换。若用一个人的身体来表示电力电子技术的话,可以把电力半导体看作人的健康躯体,而控制技术是人的大脑和四肢,电力电子变换便是具有健康身体的人在大脑指挥下完成各种工作取得的良好效果了。

虽然电力电子技术的专业术语对于许多非电子专业的人士来说有点陌生,但电力电子变换在人类的生活中可以说无处不在,无时不用。1955年人类第一只电力整流二极管由美国通用电气公司(General Electronic Company)发明,标志着电力电子技术的诞生。1970年地球上有了电力电子技术的Newell定义至今,经过几十年的发展,我们已经拥有40多种电力半导体器件可以选用。各种电力电子变换技术的应用已经深入到工业、农业、交通运输、国防和社会生活的各个方面,其典型的应用领域包括电化学、直流牵引、直流传动、交流传动、电机励磁、电火花加工、电镀、电冶、电磁合闸、充电、中频及高频感应加热、交流及直流不间断电源、开关电源、稳压电源、电子开关、高压静电除尘、直流输电、无功补偿、风力发电、环境保护、家用电器、储能电站、航空器控制、感应电能传输、空间探测、遥测遥感、交通运输、火灾预防、医疗卫生、防盗报警、污水处理等诸多方面。

电力电子技术正愈来愈多地用于环境保护与消防安全领域,主要表现在以下几个方面:利用电力电子技术,可以提高用电效率和功率因数,实现最佳用电;应用电力电子技术,可以解决潮汐发电、风力发电、太阳能发电、储能电站、空间电站中的关键技术,从而减少对燃气和煤炭及汽油的消耗,减少资源消耗,极大地保护资源;应用电力电子技术可以实现机车、汽车的电动化,极大地减少尾气的排放,改善空气质量;应用电力电子技术生产的高压静电除尘设备、污水处理设备、高压脱

硫设备、空气净化设备的批量应用，将极大地改善我国城乡环境质量；应用电力电子技术和手段，可以进行火灾预防、易燃气体的预警和检测，对防止火灾及爆炸的发生都具有极为重要的作用和意义。正由于此，电力电子技术已当之无愧地成为安全工程与环境保护的重要支撑技术。

据不完全统计，国内从事消防安全和环境保护用电力电子技术设备研究和生产的企、事业单位有几百家，环境保护与消防安全类电力电子设备在国内已有很多用户。但由于我国消防安全和环境保护用电力电子设备的研制开发与生产及全民的掌握程度相对发达国家还很薄弱，消防安全和环境保护用电力电子设备的实际使用量与应当使用量几乎不成比例。许多已应用这类设备的单位，操作与维修调试人员很少受过这一方面的严格培训，更不用说系统掌握这一方面的知识了，加之国内有关这方面的资料又甚少，甚至可以说是极度缺乏，有关该领域的系统参考书几乎是一个空白，为了部分解决这些问题，更为了给国内诸多从事安全环保类电力电子设备的设计、调试和维护人员提供一实用的有价值的参考资料，根据自己多年收集的资料，并结合有关技术人员从事环境保护和消防安全类电力电子设备设计、调试和维修的经验教训和总结，在较短的时间内编写了这本通俗读物，以期给从事这一领域的下列人员有点实用和参考价值，并能为他们的工作带来一点方便，达到抛砖引玉的效果。

1) 环境保护与消防安全类电力电子设备设计、制造企业的设计人员及现场调试人员。

2) 环境保护与消防安全类电力电子设备使用单位从事设备运行管理、维护的人员。

3) 上述两种单位的操作及装配人员。

4) 高等院校以及中等专业学校相近专业的师生。

5) 各种职业培训学校相近专业的教师及学员。

在本书编写过程中，北京机械工业学院的栗书贤教授、山东大学的张庆范教授及郑州大学王俊鹄教授对本书书稿，提出了许多修改意见，冯翔宇同志参与了第6章的编写以及书中大量的文稿整理和绘图工作，在此一并感谢！

本书由西安石油大学李宏教授选题并编写了提纲，中原工学院自动化系的冯玉生副教授编写了全书的书稿，西安石油大学李宏教授对全书初稿进行了修改，对书稿进行了统稿和终审，肖俊明、王耕、裴素萍等同志参与了本书的有关工作。由于国内这一领域的资料十分有限，加之编写时间甚为仓促，书中定有不少错误与纰漏之处，恳请本书的读者及国内消防安全与环境保护类电力电子设备行业的专家们斧正，并提出宝贵的意见，望阅读本书的专家学者及同仁们不吝赐教。

作 者

2005 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 环境保护与电力电子技术的关系	1
1.1 可持续发展与环境保护已成为国际通用准则	1
1.2 发展与环境保护可以相互协调	3
1.3 环保产业的发展	5
1.4 我国生态环境的现状 & 对策	11
1.5 安全保护是一项系统工程	16
1.6 电力电子技术是环境保护的一个重要支撑技术 ...	18
第 2 章 高压静电除尘类电力电子设备	31
2.1 概述	31
2.2 电除尘的工作原理	31
2.3 电除尘器的分类	34
2.4 工频升压整流型高压除尘电源	36
2.5 高频逆变类高压除尘电源	45
第 3 章 高压脱硫类电力电子设备	70
3.1 概述	70
3.2 脱硫技术	73
3.3 酸雨防治与高压脱硫	77
3.4 高压脱硫类电力电子设备	83
第 4 章 空气净化类电力电子设备	91

4.1	概述	91
4.2	臭氧杀菌消毒原理及其应用	92
4.3	空气净化类设备应用举例	95
4.4	消毒柜	102
4.5	空气负离子发生器	106
4.6	加湿器	107
第5章	污水处理	114
5.1	概述	114
5.2	污水处理技术	118
5.3	污水处理中常用的电气方法	119
5.4	电力电子技术在污水处理中应用的实例	123
第6章	消防安全与电力电子技术	136
6.1	概述	136
6.2	安全隐患信号的常用检测方法	137
6.3	煤气漏气报警与防火	143
6.4	火灾的预报及处理	144
6.5	从供电方式上彻底解决火灾及爆炸 隐患的 IPT 技术	156
6.6	应用举例	159
参考文献		171

第 1 章 环境保护与电力 电子技术的关系

1.1 可持续发展与环境保护已成为国际通用准则

20 世纪，人类社会经历了各种挑战，取得了巨大的物质成就，建立了广泛的物质文明，然而在这些文明与物质成就取得的同时，由于缺乏统筹兼顾和持续发展，伴随着这些物质文明的副产品，便是人类也使自己面临空前的危机，人口膨胀、资源耗竭、环境恶化、粮食短缺等问题，对人类的生存和发展构成了严重威胁。危机令人反思，促人惊醒，人类逐渐开始认识到，没有良好的环境支撑，经济的快速发展是不可能持久的，也是与我们的根本宗旨相违背的。为摆脱这场危机，人类进行了一场广泛而深刻的变革，它向人们的生产方式、生活方式和思维方式发起冲击，向一切传统观念、传统模式发起了挑战，这些变革和冲击表现在下述几个方面。

1) 在发展模式上，世界各国已逐步认识到，以片面追求国民生产总值为主要目标的传统发展模式，已带来了一系列不可克服的社会弊端，环境污染和资源破坏就是最突出的表现。相反，可持续发展战略已为世界各国普遍接受。这种战略主张，在发展经济的同时，必须推动社会进步，特别是保护好环境和资源，为后代人的生存和发展奠定一个良好的物质基础。强调经济社会与环境资源协调发展，反对以牺牲环境为代价来换得今天的、局部的发展去损害明天的、整体的发展。

2) 在国际贸易上, 保护环境越来越成为一个重要准则。凡不符合环境标准的物品, 比如说珍稀野生动植物、有害物质含量过高的农副产品和各类饮料、食品以及有碍环境或污染环境的工业产品, 都不准在国际市场上进行交易。有的国家不仅规定严格禁止进口这类产品, 而且还主张对出售这类产品的国家实行贸易制裁。

3) 在经济援助上, 保护环境也成为一个重要的前提条件。许多经济援助组织和国家提出, 凡是不利于环境保护的项目不赠款、不贷款; 凡是保护环境或改善环境的项目给以优惠。这条原则现已为世界银行等许多国家的金融机构所推行。

4) 在工业发展上, 现代工业界已逐步认识到, 工业生产对环境的损害, 不利于市场竞争, 已成为企业发展的一个制约因素。因此, 工业界正在积极推行清洁生产, 降低物耗能耗, 减少污染物排放。

5) 在科学技术上, 环境保护正在推动一场新的技术革命。节能技术、新能源开发技术、无害或低害工业新技术、有害废物处理技术、资源综合利用技术、资源替代技术等都受到了科技界和工业界前所未有的重视, 并投入了大量的人力、物力进行开发研究。

6) 在生活方式上, 人们也逐步把保护环境作为自己的生活准则。节约能源和水源, 将生活垃圾分类包装, 在公共场合不吸烟, 生活消费品尽量选用可回收利用的新产品, 或者对环境无害的产品。这种消费倾向必然引导企业生产、经营朝着有利于环境保护的方向发展。

7) 在制度方面, 各国正在通过制定越来越严格的环境保护法律和有利于环境保护的经济政策, 来引导和约束企业界、消费者和整个社会减少污染物排放, 保护和改善环境, 提高人类生存环境的质量。同时, 国际性环境公约也在不断出台, 并以

一般性的要求，进入到制定一些具体的量化指标。

8) 在人们的价值观念上，人们对人与自然、这一代与下一代人的关系的理解也正在发生变化。

在人与自然的关系上，过去人们信仰这样一种哲学：人是自然的主人和所有者，人可以通过自己掌握的知识技能去征服、支配自然。现在，人们认识到人类仅仅是自然链条上的一个环节，这根链条不论在哪个环节上断裂，整个生态都会濒临崩溃。因此，人们必须学会尊重自然，不再把它看作无止境盘剥的对象，而应看作是我们生存的根基，人类必须与自然重新结盟，和谐相处。

1.2 发展与环境保护可以相互协调

1) 环境恶化不是经济发展的必然结果。把今天与历史时期进行对比，可以肯定地认为，兼顾经济与环境是可能的。工业化国家环境质量明显改善的事实证明了这一点。在相似的自然条件下，是人们的行为决定了环境的发展方向和经济的增长趋势。如果人类能精心地利用自然赐予的一切，像保护自己的身体一样去爱护生存环境，则经济的发展不会招致环境的恶化。

2) 发展经济与保护环境可以相互协调。人类保护环境和发展经济的事业永无止境，将二者协调起来是人类面临的一大难题。过去的经验证明，实现经济发展与环境保护相协调虽然困难，却并非不可能。世界各国对水污染、煤烟污染治理所取得的成效就证明了这一点。而取得这种成效一般不需要对企业的规模、产品等进行限制，只要对其排污进行严格控制就能见效。并且此种做法往往能促进利用率提高，因此环境投资可以有正效益，只要指标合理。例如，运用污水处理技术有时可以回收贵金属，甚至于一年就可以收回设备投资；利用生物技术可以大幅度提高单产，而不加重土地的负荷。除去大气中最后几

个有害粒子所需的费用极其昂贵，但若是合理地对污染进行控制，使环境质量保持在一个适当的水平上，则不会妨碍经济的发展。

3) 实现经济与环境相互协调的途径。协调经济与环境的最直接的手段是技术：大气质量的彻底改善有待于燃烧技术、回收技术和其他化工技术的突破。发达国家能耗系数的逐年下降证明了这一点。同样，水体质量、土壤质量的彻底改善也有待于技术的发展。环境恶化不是技术进步的必然回报，而是高消耗低产出及从事生产所应用科学技术不发达的必然结果。政策是协调环境与经济的有效手段。单靠技术解决不了问题，还需要正确的政策。技术是中性的东西，它应用得好便可以用来造福，不以可持续发展为目标来应用技术则有可能造成其他方面的危害。在任何技术条件下，政策对经济和环境都有重大作用。在技术没有取得突破时，采用适当的政策对产业进行合理的调整 and 规划，会推动经济的发展，政策能减轻石油危机的消极影响，好的人口政策也会使人口在最短的时间内向适宜的人口过渡。市场在环境上具有外部不经济性，因此单靠市场机制无法解决环境问题，尤其是在环保资金的落实上，政策是决不可以缺少的。事实上，许多发展中国家的环境恶化与政府政策有直接关系。

4) 国际合作与监督作用。由于环境问题的国际化，世界经济的一体化，解决环境与发展问题就需要国际合作。事实上，像大气污染、海洋污染、臭氧层破坏、气候异常、温室效应这类全球性问题，离开了国际合作几乎是不可能得到解决的。例如，前苏联的核事故会使邻国受害，北方的工业污染会使南方受酸雨之苦。对世界经济而言，南北合作尤其重要，南北差距的拉大对世界经济和环境都有不利影响。目前，占世界人口 $3/4$ 的发展中国家，其总收入只占全球收入的 15%，发达国家居民

的人均收入是发展中国家的 23 倍,是最不发达国家的 47 倍。1990 年,发展中国家的外债突破 1.33 万亿美元,许多国家都背上了沉重的债务包袱,使经济发展严重受阻。由于经济发展的不平衡性,导致了在全球环境问题上的矛盾:在发展与环境的关系上,发展中国家坚持发展优先,而发达国家则要求发展中国家以环境政策指导经济发展;在资金上,据估计,每年用于保护地球和援助发展中国家的资金至少需要 1250 亿美元,但发达国家除了提供 550 亿美元的政府开发援助外,其余则不愿承担;在环保技术方面,发达国家占有明显优势,然而他们却不愿把技术传授给发展中国家;在环境责任上,发展中国家认为发达国家排放有害气体占全球的 65%,消耗世界 80% 的原料,对全球环境负有主要责任,因此有义务和责任为解决全球环境问题提供资金和技术,但发达国家则表示反对。

所以,对于全球环境与发展,国际合作是十分必要的。正因如此,1992 年,在巴西的里约热内卢举行了环境与发展大会。会议通过《里约宣言》、《21 世纪议程》两个纲领性文件以及关于森林问题的原则声明,签署了关于气候变化和生物多样性两个公约,明确了责任,开辟了资金渠道。会议认为,发达国家对全球环境应负主要责任,承担部分资金,发展中国家也负有一定责任,发展中国家所需的 6000 亿美元环境与发展资金,发达国家出 1250 亿,其余由发展中国家自己解决。

1.3 环保产业的发展

环保产业作为一个新的经济生长点,无论在全中国还是其他国家,都是一个日益受到关注的事实。世界经合组织(OECD)的研究表明,它已与生物技术、通讯技术并列为当代最被看好的三大技术领域。在发达国家中,它的产值位于制药业与信息产业之间(但高于其中的计算机产业)。

环保产业在 OECD 的英语文献中, 它表示为“ENVIRONMENT INDUSTRY”或“ENVIRONMENTAL INDUSTRY”(直译为“环境产业”), 是“ENVIRONMENTAL GOODS AND SERVICES INDUSTRY”(直译为“环境物品与服务产业”)的简称。OECD 文件也曾使用过“ECO - INDUSTRY”(生态产业)这一名称, 个别的学术论文中也有使用“ENVIRONMENTAL PROTECTION INDUSTRY”(环境保护产业)的。在日本, 它至今仍被称为“生态产业”, 并英译为“ECO - BUSINESS”。

(1) 环保产业定义 国际环保产业界共知, 环保产业的产业边界与产业内容有着相当的模糊性。环保产业在产业构成的方式上与旅游业有相似之处。旅游业不仅包括游览观光, 还包括交通、住宿、饮食、购物等多项活动, 从而显示了旅游业与其他经济门类之间的渗透性。环保产业的这种渗透性更广、更深。第一, 许多环保产品与服务往往是由其他经济门类生产与提供的; 第二, 许多环保产品, 尤其是“洁净技术”(CLEAN TECHNOLOGY)和“洁净产品”(CLEAN PRODUCT), 具有着复合功能, 即一方面它们保持了所替代的旧技术与旧产品的使用功能, 另一方面它们又增添了旧技术与旧产品所不具备的环境安全功能。环保产业的边界和内容的模糊性, 主要来源于第二方面的原因。这使定义环保产业较为困难。

OECD 对环保产业流行着两种定义。一种是“狭”定义, 即: 环保产业是为污染控制与减少污染物的排放, 对污染进行清理及对废弃物进行处理等方面提供设备与服务的企业; 一种是“宽”定义, 即: 环保产业既包括能够在测量、防止、限制及克服环境破坏方面生产与提供有关产品与服务的企业, 也包括能使污染和原材料消耗最小量化的洁净技术与产品。

以上“狭”定义与“宽”定义之间的区别是相当明显的。“狭”定义主要针对环境问题的“终端治理”(END-of-PIPE)

而言；而用于终端治理的产品与服务，其使用功能与环境功能是一致的。如污水处理设施，其使用功能是消除水污染物，这同时也正是它的环境功能。因此，这类企业作为环保产业是易于确认的。环保产业的“宽”定义，是针对产品的生命全过程（LIFE CYCLE，即生产、使用以及废弃物的环境安全处置与再利用等）而言的。它不仅包括“狭”定义的内容，还包括涉及产品生产过程的洁净技术与涉及产品使用过程的洁净产品。顺便说，洁净技术与洁净产品的含义并不一致，即洁净技术并非一定是洁净产品，而生产洁净产品的技术也并非一定是洁净技术。这里更需指出的是，洁净技术与洁净产品的使用功能往往不是它们的环境功能，如无氟冰箱的环境功能是由于没有 CF-_{CS} 排放而避免了对臭氧层破坏，而它的使用功能则是制冷。这样，这些技术与产品是应隶属于原先的产业还是转而隶属环保产业，通常存在争议，难予确认。在 OECD 国家中，欧洲国家（如德国、意大利、挪威、荷兰等）大体采用较“狭”的定义，日本、加拿大则采用较“宽”的定义，美国的定义居于两者之间。对环保产业的定义不一致，既不利于环保产业管理的国际标准化，也不利于环保产业数据的国际可比性，这些阻碍了世界环保产业市场的发展，影响了它在世界环境保护中理应起到的作用。

目前，国际上认为，“狭”定义的内容，可视为环保产业的核心，但由于世界环境保护越来越重视对产品的生命全过程的环境行为控制，因而必须将洁净技术与洁净产品纳入环保产业之内。这样，采用“宽”定义是一个必然趋势。

1996 年由世界经合组织（OECD）的“科学、技术与工业理事会”工业部秘书处组织的最新研究提出了环保产业应当包括的内容。概括如下：

- 1) 环保设备：废水处理设备，废弃物管理与再循环设备，

大气污染控制设备，消除噪声设备，监测设施，科研与实验室设备，用于自然保护与提高城市环境舒适性的设施。

2) 环保服务：从事废水处理、废弃物处理、大气污染控制、消除噪声等方面的操作，提供有关分析、监测与保护方面的服务，技术与工程服务，环境研究与开发，环境培训与教育，核算与法律服务，咨询服务，生态旅游及其他环境事务服务。

3) 洁净技术与洁净产品：洁净生产技术与设备，高效能源开发与节能的技术及设备、生态产品。

该研究还进一步把上述内容概括为 8 个领域，并视为环保产业的核心活动。它们是：水及水污染处理，废弃物管理与再循环，大气污染控制，消除噪声，事故处置/清理活动，环境评价与监测，环境服务，能源与城市环境舒适性。

中国对环保产业的理解也经历了一个由“狭”到“宽”的过程。1995 年完成的第二次全国环保产业调查的内容，已与世界经合组织所提出的上述见解基本一致。因此，可以得出结论，关于环保产业定义的认识，中国是与世界主流同步的。

(2) 环保产业发展的驱动因素 环保产业发展的驱动因素，主要是由公众需求驱动的。公众需求体现着对全民性的长远利益追求。政府则是这种公众需求的实际代表者。政府通过制定有关的环境标准，颁布为实现这些标准所必需的法令法规（如有关的税、费、罚款、贸易许可证等），形成了环保产业特有的政策驱动机制，这种政策因素是环保产业发展的首要驱动因素。

在政府环境标准与政策的驱动下，形成了环保的两类主要的消费者群体：一是政府与公益性组织；二是企业。表 1-1 是世界经合组织成员中几个国家政府方面（包括公益性组织）与企业合作用于减少污染与控制污染方面投资的相对份额。

表 1-1 5 个世界经合组织成员国政府及企业
用于控制污染的投资相对份额

消费群体 年份 国家	政府公益性组织		企 业	
	1985	1990	1985	1990
日本	0.85	0.90	0.15	0.10
德国	0.54	0.60	0.46	0.40
法国	0.67	0.64	0.33	0.36
荷兰	0.69	0.43	0.31	0.57
美国	0.35	0.41	0.65	0.59

表 1-1 表明，在污染治理方面，政府与企业同为重要的投资者。政府的投资地位更重要些，仅美国是个例外。企业的投资更多地取决于环境规则的执行方式以及投资的经济效益。无论怎样，政府与企业形成了驱动环保产业发展的第二因素，即用户因素。

环保产业的发展还受到社会经济发展水平的制约。在经济发展水平低下的阶段，用于环境保护的投入比例较小；当经济发展达到一定水平后，环保投入不仅在总量而且在比例上会有较大幅值地提高。这意味着环保产业的发展不仅受到环境消费水平的制约，并且还需要总体经济因素（第三个因素）的配合。

公众的环境意识是促进环保产业发展的第四个驱动因素。公共环境意识的提高将促使政府提高环境标准，完善与严格环境法规，促使企业承担更大的环境责任，促使人们改进自己的生活方式，特别是消费方式。公众环境意识是驱使环保产业发展的意识形态基础。

上述驱动因素，对环保产业发展的影响是相当明显的。自 20 世纪 80 年代以来，世界经合组织成员国国家环保产业一直是以国民经济增长速度 2~3 倍的速度增长，甚至在经济不景气时期

也是如此。并且,一些国际机构的预测表明,这种高增长状况在跨世纪期间仍会持续下去;自20世纪90年代以来,由于这些国家的生态环境破坏已基本得到控制,公众的环境追求与政府的环境政策导向开始发生变化,世界经合组织成员国家越来越重视环境安全技术与生态标志产品,洁净技术与洁净产品的相对重要性明显上升,进一步带动了环保产业中空前的新一轮技术创新(TECHNICAL - INNOVATION)。

(3) 环保产业的发展特征 环保产业的发展特征包括环保产业的就业人数和产值及其在国家经济系统中的位置,环保产业的规模与职工素质,环保产业的增长率,环保产业的技术进步状况等。加拿大国际可持续发展研究所认为,环境技术有四个层次。

1) 针对污染破坏的治理技术,如治理受污染的土地和河流等。

2) 终端污染减排技术,如烟尘脱硫、废水处理、消声器等。

3) 生产过程中的污染防治技术,如无氯纸、无铅汽油、无氰电镀、无污染的工业流程设计等。

4) 可持续性,如生态工程可循环产品,DSM技术(即从需求看除无污染外,还具有替代、高效、节省等特点的技术)。

这四个方面构成了环境技术发展的域谱。后两方面日益成为环境技术创新的主要领域,甚至生产过程中的污染防治技术也趋向于被可持续性技术所替代;这些都扩展与丰富了环境技术创新的内容。

(4) 促进环保产业发展的政策 激活环保产业发展的内在机制的政策,在世界经合组织成员国家看来,其核心是技术创新。通过技术创新,易于克服外部性,易于适应由于法规变化而引起的商务机会的不定性,易于适应市场对新产品的需求。

因此有关政策都应围绕这一核心来制定。

1) 要完善 R&D (开发与发展) 政策, 不仅要加大这一方向的投资比重, 而且要对环保产业的 R&D 项目实行减税、信贷或补贴等优惠。在德国, 环保设备制造业的 R&D 投入在其产值或收入中所占比例 3.1%, 远高于制造业 1.8% 及整个工业的水平 (1.3%)。

2) 要鼓励与支持专业化小型企业的发展, 简化管理法规, 加强财政支持。

3) 要促进全球化, 鼓励国际投资与国际合作, 加速实施环保产品的世界标准化等。

促进环保产业发展的政策还需适应一个国家的发展目标选择。比如韩国, 环境状况像其他东南亚新兴发展的国家一样比较恶劣, 环保市场需求很大, 但本身的环保产业很小。但是韩国政府高度重视自己的环保产业, 并以出口为导向。这样, 韩国在环境贸易方面的政策, 不是购买环保产品, 而是购买环保技术。

1.4 我国生态环境的现状及对策

改革开放以来, 我国呈现了前所未有的繁荣景象, 但在发展繁荣的背后, 我国环境恶化趋势也在不断加剧, 城市环境质量下降、江河水质变坏、水土流失加剧、资源利用不当等等, 这一切给中华大地的锦绣河山蒙上了一层深重的阴影。幸运的是, 我们已经警觉并已开始着手解决这些问题。全国人民正在积极努力搞好环境和资源保护, 这是时代赋予我们这一代人的重任, 是中华民族的根本利益所在。我们应当发奋努力, 把一个完美的世界留给我们的子孙后代。

(1) 生态环境现状 我国目前生态环境状况的基本评价是: 总体在恶化, 局部在改善, 治理能力远远赶不上破坏速度, 生

态赤字逐渐扩大。主要表现：

一是水土流失严重。全国水土流失面积从建国初期的 116 万平方公里，到 1992 年已扩大到 179.4 万平方公里，占国土面积的 18.7%。

二是沙漠化扩展迅速。全国沙漠、戈壁、沙漠化土地达 149 万平方公里，占国土面积的 15.5%，且每年以 2100 平方公里的速度扩展。近 25 年来，丧失土地 3.9 万平方公里。目前约有 393 平方公里农田，493 平方公里草场，2000km（1km = 1 公里）长的铁路受到沙漠化威胁。

三是森林资源锐减，生物物种灭绝加速。中国许多主要林区，森林面积大幅度减少。植物种有 15% ~ 20% 处于濒危状态，有 4000 ~ 5000 种高等植物处于濒危边缘。属于我国特有的珍贵、濒危野生动物达 300 多种。

四是地下水位下降，湖泊面积缩小，水质污染加重，华北地区地下水位每年下降 12cm；湖泊自 1949 年以来已减少 500 多个，面积减少 1.86 万 km²，占现有面积的 26.3%，蓄水量减少 513 亿 m³；42% 的城市饮用水源地受到严重污染，80% 的河流受到不同程度的污染。

五是废渣存放量大，垃圾堆积如山。我国废渣年产量超过 5 亿 t，1988 年全国积存量为 66 亿 t，人均 6t；全国城市生活垃圾为 6000 万 t/年，有 2/3 的城市处在垃圾包围之中。

六是大气污染，环境污染严重且由城市向农村蔓延。煤目前仍是我国的主要能源，燃烧产生大量粉尘、二氧化碳、二氧化硫等污染物。近年来，被称为“空中死神”的酸雨不断蔓延，对工农业生产造成巨大经济损失。随着乡镇企业的发展，也给农村生态环境带来更大范围的污染。

（2）生态环境恶化原因 造成目前中国生态环境不断恶化的原因是多方面的，它主要来自于三大压力：

一是人口压力。人口数量的迅猛增长，是生态环境的最大压力。迫于生存，人们毁林开荒，围湖造田、乱采滥挖、破坏植被，众多人口的不合理活动超过了大自然许多支持系统的支付能力、输出能力和承载能力。

二是工业化压力。中国工业化发展起点低，又面临赶超发达国家的繁重任务，许多地区不仅以资本高投入支持经济高速增长，而且以资源高消费、环境高代价换取经济繁荣，重视近利，失之远谋，重视经济，忽视生态。短期性经济行为为中国生态环境带来长期性、积累性后果。

三是市场压力。中国正处在市场经济转型过程中。市场经济本身会产生许多外部经济效应或者外部不经济效应，环境污染就是最明显的例子。环境作为一种公共财产，良好环境的提供，对所有人都有好处且多一些人享受它的好处并不会加大总成本；但它受到破坏，个人或市场都不会提供控制环境污染的费用和服务。只有政府才是公共财产的提供者。来自市场经济的压力愈大，政府对防治环境污染、整治国家资源的责任就愈大。

(3) 我国社会发展对策 环境对经济发展具有推动和约束的双重作用。合理的保护和改善环境为发展提供物质基础；合理的发展又为治理环境提供更多的资金和技术。中国是个人口众多的发展中国家，正处于向工业化转化的关键时期，只有走持续发展的道路，才能实现我国既定之长远的社会、经济目标。

中国应走持续发展的道路，首先应保证满足全体人民的基本需求；其次是尽快建立资源节约型的国民经济体系，从掠夺性开发向集约性经营转变，合理保护资源，提高资源的利用率，维持平衡和持续发展能力；第三，实现社会、政治、经济、技术、管理等方面的全方位转变，建立有效、协调、创新的持续发展新机制。

当前及今后一个时期，应注意解决好以下问题：解决人口过快增长问题；解决贫困人口问题；制定目标和政策时应充分考虑环境问题；建立基于市场经济的环境保护政策；采用减少污染型技术；加强对资源的公众管理；加强全民环境教育；大力开展国土整治，改善生态环境；推广生态农业，植树造林，保护森林，保护生物多样性。

(4) 中国环保产业政策需要考虑的问题 中国环保产业的政策制定，既面临其他国家所面临的共同问题，也面临本国的特殊问题。既要学习其他国家环保产业发展的经验，又需针对自己的特殊问题对症下药。中国环保产业的政策制定概括起来有以下四个方面：

1) 环保产业的宏观激励与管理 这方面的政策是如何通过法规、制度等因素促进环保产业扩大、质量提高和技术升级；如何通过用户因素，指导政府与企业在环境支出方面的费用分担；如何通过财政因素保证环保投入的恰当比例；如何通过公众因素，为环保产业创造出适宜的发展气氛和新的发展内容。环保产业的宏观管理，是中国的一个特殊问题，其核心是将不同部门的环保产业政策与行动协调起来。

2) 环保产业的技术创新 如何发挥与增强中国自己的环保技术开发能力？中国既存在技术开发的资金投入问题，又存在技术开发的激励机制（即知识产权）及技术认证问题。前者由于中国的客观条件，尚不能有大幅度改善，后者则是完全可以也应当办到。在环保技术的知识产权方面，应当对技术开发者，技术拥有者，技术使用者的权利与义务有法律效果的安排。鉴于目前我国环保技术与世界先进水平相距甚远，国内环境技术开发体制远不成熟，所以，环保产业政策的制定应高度重视技术引进这一问题和如何引导环保产业的技术结构朝更合理的方向变化。

发达国家环保产业的经验是,加速对旧技术的淘汰、更新和技术结构的改进。对中国来说,这种过渡应与我国的环境要求、经济技术能力、贸易导向等相适应。由于我国污染排放仍在逐年增加,污染方面的历史欠账甚重,所以在相当长时期内(至2010年),针对污染破坏的治理技术与终端污染处理技术都是我国环保产业的主要的技术组成部分。具体说,应力求尽快以较高效技术取代低效技术。

3) 环保企业的经营管理问题 鼓励和引导大型企业从事环保产品生产。如冶金、化工、纺织、轻工、交通、机电、军工等,各自都有一大批大型企业。它们有着技术、装备与人员素质优势,选择它们中的一部分以高效环保产品的多门类系列化生产,是极为有利的。加强小型环保企业的专业化水平。中国小型环保企业多为县、乡、镇办企业,技术素质差,众多的环境研究机构及与环境有关的研究机构又大多不具备经营企业的能力,因此,应从政策上鼓励两者嫁接。在技术开发上,甚至可以鼓励银行、企业、研究机构三结合。这样可以有效地借助银行贷款,使研究机构的技术开发走上市场,发挥小型企业本身的经营能力。在环保企业的管理中,中型企业的改造是一个应优先关注的问题;鼓舞与吸引国际环保产业投资,随着发展中国家环保市场的迅速扩大,发达国家向发展中国家环保产业的大规模投资一定会出现。中国应对此有政策上的准备,应当充分利用自己巨大的市场需求优势有选择地吸引外资,使国际资本成为中国环保产业健康迅速地向国际市场进军的推动力。

4) 寻找与创造环境贸易优势 中国环保产业以出口为导向,必然会面临国际环境贸易的激烈竞争。从技术先进性角度看,我国不具有优势。但是,如果把销售对象定为广大发展中国家,如果考虑到我国与他们面临着相似的环境问题与环保需求,那么从环保产品的性能/价格比和产品的适用性看,我国还

是可以在世界环保市场中找到发展空间的。

1.5 安全保护是一项系统工程

人类的发展过程，集中体现为人类生产发展的过程。从远古的原始生活到今天这样高度文明的社会，无一不是生产发展的结果。从这个意义上说，没有生产的发展就没有人类的一切。

为了顺利的进行生产，人们必须有效地控制能量运作的方向和运作方式，使能量完全按照人们的需求进行释放。如果生产中的能量失去控制，那些失控的能量在释放过程中就会肇发事故。

在生产中，工人（人）、机具（机）、环境构成的硬件系统，称为人、机、环境系统，生产过程就是人、机、环境系统控制各种能量（电、水、汽、风、...）对各种材料进行加工作业的过程。为了不断提高生产的安全水平，就需要不断提高人、机、环境三者安全品质匹配，使之成为安全生产系统。

使人、机、环境三者安全品质达到最佳匹配称为人机环境系统本质安全化。

充分运用现有的技术经济条件可达到的本质安全化水平，决定着系统的安全运行品质（安全程度）。将现有技术经济条件充分利用于人、机、环境系统的本质安全化程度，则取决于安全管理水平。

人是社会的主体，也是人—机—环境系统的核心。事故、灾害、环境恶化等危害的共同对象主要是人的生命安全、健康安全及人类赖以生存和发展的环境。为了保障社会可持续发展，首先必须树立以人为本的思想，建设以保护人身安全、健康安全和人类赖以生存和发展的环境条件为核心的安全保护体系，只有在这个前提下，才能保障社会可持续发展。因此，当前世界在可持续发展条件下所重视的保护资源、改善环境与广义的

安全保护的观念是完全一致的。

机具的本质也因对机具讨论的问题不同而异，从安全的角度讨论机具的本质称为安全本质。通过分析，可以确定机具的安全本质有可靠性、安全性、安全防护性及安全保护等四个方面的性能。

环境主要指自然环境，是社会发展和人类生存的基础。一旦自然环境发生变异，如果超过一定的程度，就可能引发自然灾害和事故，使人类生命财产受到损失，影响社会的发展。目前我国因植被减少、土地荒漠化与水土流失面积的扩大，以及淡水资源的减少和水质恶化，已使干旱、洪涝水灾、地质灾害、生物灭绝灾害加剧。

安全保护的核心是人类及人类赖以生存和发展的环境条件，安全保护是一项系统工程，需要以人为本，加强劳动保护，减轻灾害、保护环境。

(1) 保护环境 改善生态环境，保护资源环境，优化人居环境，保障生产环境，是减少人类不安全因素的基础。目前我国已将植树种草、退耕还林、防治水土流失、防治荒漠化、保护水资源、减少大气、水系污染等定为基本国策。第十届全国人大二次会议把环境保护与可持续发展写入政府工作报告并确立了逐步实施的时间表，这将有效地减少不安全因素，为减轻灾害、保证国家安全、城市安全、农村安全和企业安全创造基础条件。

(2) 防灾减灾 目前国家、城市、地方正在分级逐步实施防灾减灾系统工程。在加强灾害监测预报的前提下加强防灾体系的建设，提高抗灾和救灾的能力。在增强工程性减灾能力的同时又在灾害管理、灾害教育、灾害保险、灾害立法等方面加强了减灾非工程性能力建设。

(3) 劳动保护 目前我国已从四个方面加强了劳动保护。

一是建设安全工程，优化安全生产环境；二是改善生产活动的硬件设备，使之运行安全；三是加强职业卫生，基础建设和个体安全与卫生防护技术手段；四是加强安全管理。

科学技术为环境管理提供了必要的技术支持，为决策科学化提供了必要的依据。

首先，随着科学技术的发展和科学研究的深入，人们正确认识了人类活动与环境关系、环境变化的后果以及这种变化对人类本身的影响，从而才把“保护环境”提上了议事日程。

科学技术的进步一方面为污染防治、生态保护提供了必要的实用技术，另一方面，技术改造和新技术的应用本身就节约了资源和能源，减少了对环境的影响。10多年来，在污染较严重的轻工、纺织、化工、电力、建材、冶金等行业的污染治理，重金属和高浓度有机废水、城市生活污水等水污染防治，消除烟尘、脱硫、控制汽车尾气，工业废物综合利用、处理处置等多方面，科学技术开发了一大批适合我国国情的环保技术及装备，在我国工业污染防治方面发挥了巨大的作用。生态恢复、物种保护和生态农业研究也在我国生态环境保护上发挥了积极的作用。而随着生产技术的进步，工艺的改革，实行清洁生产，将进一步减弱生产发展带来的环境问题，为真正实现可持续发展创造条件。

我国环境保护法规的实施，管理制度的建立、标准的制定都是建立在我们对环境及其变化规律的认识和了解之上的，都离不开科学技术提供必要的数据、方法和技术。要想真正实现科学管理，就离不开科学技术的支撑。

1.6 电力电子技术是环境保护的一个重要支撑技术

(1) 什么是电力电子技术 所谓电力电子技术就是用电力半导体器件及电子技术对电气设备的电功率进行变换和控制的

技术。它以实现“高效率用电和高品质用电”为目标，是一门综合电力半导体器件、电力变换技术、现代电子技术、自动控制技术等许多学科的交叉学科。

(2) 电力电子技术的地位和作用 电力电子技术诞生至今已经近 50 年，特别近年来更是获得了突飞猛进的发展，已经形成较完整的学科体系和理论。各国专家学者认为：信息电子技术的发展造就了信息时代，而实现“弱电控制强电”的电力电子技术的发展是人类社会的第二次电子革命。在将来工业高度自动化情况下，计算机技术、电力电子技术及自动控制技术将成为三种最重要的技术。

电力电子技术这个学科严格地讲是从 20 世纪 60 年代开始的。在 20 世纪 60 年代首先是发明了半导体晶体管，接着是大功率晶闸管和门极可关断晶闸管 GTO；在 20 世纪 70 年代，很重要的发明是微处理机（Microprocessor）。微处理机出现后，全世界的工业界出现了变革。主要是在产品自动化、生产自动化上进行了变革。

工业革命后电力电子技术继续发展。20 世纪 60 年代中期发明了大功率整流二极管，70 年代初期有了大功率的晶体管。20 世纪 70 年代末就有了功率场效应晶体管（POWER MOSFET）。POWER MOSFET 非常好用，很容易实现高频开关功能。80 年代有了另一个功率器件 IGBT。IGBT 就是将 MOSFET 与晶体管复合在一起的电力半导体器件，它的控制与驱动容易，且可控制很大的电流及很高的电压。20 世纪 90 年代以后国际上一个很重要的发展方向是 SiC（碳化硅）半导体。它与现有的半导体不太一样，用 SiC 做成的器件可以用很简单的控制方法来控制开关，可以承受很高的电压、电流，也可承受很高的温度，并可工作在很高的频率 f ，估计这种新器件在今后 5 ~ 10 年会出现，它的出现会有革命性的影响。

未来电力电子技术最大的挑战是怎样把电力电子设备做成普遍化、大众化,将电力电子半导体器件设计标准化。现在我们用的很多物品其驱动与控制环节都不是用最好的电力电子技术的方法来设计的,比如家里的洗衣机、烘干机、微波炉、空调等的供电系统,大部分都是定频式控制,如果把定频式改成变频式控制,就可以节省 $1/3$ 的能源。目前家用电器中没能大量采用变频控制的主要原因是成本问题,把成本降低,让使用普遍化,将来对节约能源、环境保护都会有很大贡献。

电力电子技术的应用领域几乎涉及到国民经济的各个工业部门,它将成为本世纪乃至下世纪重要关键的技术之一。近年来,电力电子技术发展十分迅速,作为最重要、也是最基本的共性技术——功率变换技术的发展,伴随着其应用领域的不断扩大,为了满足高效、高能量密度、高精度,快速响应、宽调节范围、低谐波失真和低成本等应用要求,功率变换技术的发展大致可分为三个阶段:第一阶段,是应用二极管和晶闸管的不控或半控强迫换流技术;第二阶段,主要是应用全控型电力半导体器件,例如 GTO、电力晶体管 GTR、电力 MOSFET、IGBT 等以及普遍采用的 PWM 控制技术;第三阶段,是以采用软开关、功率因数校正、消除谐波和考虑电磁兼容为特征的新技术。

(3) 电力电子技术与关键科技的关系 与国家发展密切相关的关键科技主要有 7 个方面,而在每项科技里电力电子技术都起到重要作用。

1) 能源 发电、核能、热力、风动、太阳能的开发利用。

2) 环保 在能源的环保中储能的问题、能量转换的问题、能量输配的问题、避免污染的装置等都与电力电子技术有很大关系。

3) 信息与通信 这是过去 10 年中发展最快的产业。这些设

备作用时,通信电源、手机电源、充电器、计算机电源等都不可缺少。

4) 生命科学 在生命医学方面,有很多医学工程上都用到了电力电子技术,如人工心脏,其关键部分就有一个开关电源。

5) 生产 生产自动化主要靠电力电子技术与电力半导体器件来工作。

6) 材料 新材料、贵金属、建筑材料、航天材料等的生产与加工。

7) 交通 在航天、航空、地铁、电动汽车等方面,电力电子技术与电力半导体器件都扮演着很重要的角色。

(4) 电力电子技术是支撑技术 一般非电力电子专业的人员对电力电子技术的认识都不很深入,因为看不到它,比如在计算机里面,使用计算机时人们没有想到电源,但打开计算机先打开电源,然后才能操作计算机;又因为一般电力电子变换装置往往都是仪器或设备的一部分,是幕后英雄,这是一般人不重视的原因。电力电子技术是支撑的科技,它是基本科技,因为所有的电子设备都需要电源才能操作,所以电力电子技术支持所有的电子工业。电子工业 1990 年的市场为 10 兆美元,2000 年市场已到 20 兆美元,而电力电子技术产品的年销售量只有 600 亿美元,这种支持结构是不够稳定的,必须大力发展,才足以支持整个电子工业。

在当今工业自动化社会中,电能起着十分重要的作用,人均消耗的电能量已成为一个国家实力的重要指标。为了高质量、高效率地使用电能,发达国家所生产总电能中所占比例越来越高的经过电力电子技术实行能量变换后,才用于工业和军事及其他行业。这种应用电力电子技术进行的能量变换在节能、减小环境污染、改善工作条件、节省原材料、降低成本和提高产品产量及产品质量等方面均起着十分重要的作用。所以,电力

电子技术无论对改造传统工业还是对新建高技术产业来说均至关重要，从而使它迅速发展成为一个独立的技术和学科领域，并已经或正在显示出来，对一个国家工业的发展和对一个国家在国际市场激烈竞争中的地位，起着越来越巨大的重要作用。毫无疑问，电力电子技术将成为本世纪乃至下世纪重要关键技术之一。

电力电子技术是以功率处理、电能变换为主要对象的现代工业电子技术，一般包括电力半导体器件、功率变换器及其控制系统。近年来，功率变流技术得到迅猛发展，通过变流技术处理的电能在整个国民经济总耗电量中所占的比例越来越大，发达国家现在电能 75% 经过电力电子技术变换和控制后使用，预计到 2010 年将发展到 95% 以上。

电能的变换形式如图 1-1 所示，可概括为以下四种：

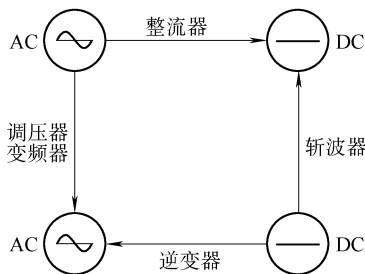


图 1-1 电能的变换形式

1) $AC \rightarrow DC$ 把交流电能转换为直流电能，实现上述转换的装置统称为整流器。如用于充电、电镀、电解和直流电动机速度调节等。

2) $DC \rightarrow AC$ 把直流电能转换为交流电能。实现上述转换的装置系统称为逆变器。逆变器输出可以是恒频，如常用的恒压恒频（CVCF）电源或不间断供电设备（UPS）；也可以变频，

如各种变频电源、高频感应加热电源、电焊机电源、有功功率电源调节器和交流电动机的变频调速器等。

3) AC→AC 将交流电能的任一参数(幅值、频率和相位)加以转换,实现这类转换的装置统称为交流变换器。其中,对交流电压幅值进行转换的电路称为交流调压器,如用于调温、调光、交流电动机的变频调速等。

4) DC→DC 将直流电能的任一参数(幅值和极性)加以转换。实现这一转换的装置称为直流电压变换器。如开关电源和电车、地铁、矿车、搬运车等的牵引直流电动机的供电电源。

电力电子技术的主要任务为实现电能的转换,它的主要研究目标是节能,努力挖掘一切潜在的提高效率的途径,来节省有限的资源和保护人类的生存环境。功率变换技术是实现这一目标的重要手段,也始终是电力电子技术的核心技术。经过30多年,特别是近10多年的发展,功率变换技术已比较成熟,近年来的发展动向主要集中在软开关、高电压、大功率和低电压、大电流变换技术方面及中、高压大功率逆变技术。它们主要应用于大功率电动机调速传动系统和电力系统中应用的各类电力电子变换装置中。

(5) 电力半导体器件 电力电子技术的应用极其广泛,是机电融合的重要环节。自1957年人类第一个晶闸管诞生,电能的变换和控制从旋转变流机组、离子变流器而进入以电力半导体器件为核心的固态变换器时代,标志着电力电子技术的新纪元,经过近40年的迅猛发展,一代又一代新型电力半导体器件相继问世。

图1-2表示了几种主要电力半导体器件单管控制容量—开关频率的覆盖情况。

以晶闸管(THYRISTOR)为代表的第二代电力半导体器件和由它组成的变流装置,解决了传统电能变换装置中存在的能

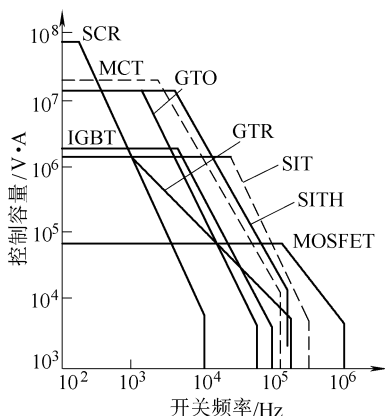


图 1-2 几种主要电力半导体器件

单管控制容量—开关频率覆盖情况

耗大、效率低和装置笨重问题，一定程度上控制了工业噪声，装置的寿命也延长了。但这类器件在阳极承受正向电压时，无法控制其关断，致使它在逆变器和斩波器应用中需要庞杂的强迫换流电路，也由于它的开关频率低（普通晶闸管 400Hz 以下，快速晶闸管 2000Hz 以下，高频晶闸管 8000Hz 以下）又采用相控原理，因而由它组成的电力电子变流器出现网侧谐波成分高以及功率因数低的弊病。但它的最大单管定额容量直至目前仍是所有电力半导体器件中最高的，所以在大容量应用中目前还得使用它。

进入 20 世纪 70 年代，随着变频器技术的发展，特别是交流变频技术的兴起，采用脉宽调制（PWM）技术提高变换器的性能，日益迫切需要高开关频率、可控制关断时刻的电力半导体器件。相继出现了功率晶体管 GTR、门极可关断晶闸管 GTO、电力场效应晶体管 MOSFET。这些都是第三代电力半导体器件。

GTR 的工作频率比普通晶闸管（THYRISTOR）高（达林顿

晶体管 3kHz 以下, 非达林顿晶体管 20kHz), 这样 PWM 技术在 GTR 变换器中得到了广泛的使用, 出现了所谓“20 千周革命”, 但它是双极性多数载流子器件, 开关频率仍然偏低, 还存在二次击穿, 不易并联等缺点, 所以应用受到限制。目前容量已达 1200V/800A。

GTO 是门极可控制关断的电力半导体器件, 开关频率为几千赫, 电压、电流可达很高 (4500V/3000A), 但它关断增益低 (一般 2~3), 需要一个十分庞大的关断驱动电路。通态压降要比晶闸管高 (约 2~4.5V), 开通的 di/dt 和关断的 du/dt 较低, 需要一个庞大的吸收电路, 这些都限制了它的应用。

电力 MOSFET 的出现标志着电力半导体器件在高频化进程中的一次重要进展, 它是多数的载流子、电压控制、有自关断能力的电力半导体器件。它具有工作频率高 (几十千赫至数百千赫, 低压管可达兆赫)、开关损耗小、安全工作区宽 (几乎不存在二次击穿问题)、输入阻抗高、峰值容量大、易并联等特点。它的问世引起了开关电源超小型化的变革。但它的通态特性是阻性的, 且它的通态电压降随着额定电压的增加而成倍增大, 因此限制了它在中、大功率领域中的应用。目前可使用的最大容量为单管 1000V/100A。

20 世纪 80 年代是国际电力电子技术飞速发展的时代, 除了对现有器件进一步提高其开关频率、降低通态压降、扩大容量外, 又发展起来静电感应晶体管 SIT 和静电感应晶闸管 SITH。它们是利用门极电场改变空间电荷区的宽度来开闭电流通道的原理制成的器件, 都具有高电压、大电流和高频同时兼备的特点, 也是工业高频应用中很有发展前途的器件。

20 世纪 80 年代电力半导体器件较为引入瞩目的成就之一就是开发出双机理复合器件, 这是第四代电力半导体器件。研制复合器件的主要目的是实现器件高电压、大电流参数同

其动态参数之间最合理的折衷,使其兼有 MOS 器件和双极性器件的突出优点,从而产生出较为理想的高频、高压和大电流器件。

目前认为最有发展前途的复合器件是绝缘栅控双极型晶体管 IGBT。这种器件是场控器件,其工作频率超过 20kHz,它的出现为工业应用领域的高频化开辟了广阔的前景。IGBT 集 GTR 和 MOSFET 的优点于一身,既有电流密度大,通态电压低(1.5 ~ 3.5V),耐高压的优点,又有输入阻抗高、速度快、热稳定性好和驱动容易、驱动电路简单的优点,因此,由开始生产第一代产品(最高开关频率 10kHz)、第二代产品(最高开关频率 20kHz),发展到第三代产品(最高开关频率 40kHz)、第四代(最高开关频率 100kHz),并已生产出把驱动电路和保护电路及 IGBT 集成于一体的变频器用智能功率模块 TPM。

IGBT 目前容量水平为 2500A/1700V,它有取代 GTR 和 MOSFET 的趋势。另一个曾认为有发展前途的是场控晶闸管 MCT 是 MOS 门控制的晶闸管,它具有晶闸管的低通态压降和 MOSFET 驱动功率小的双重优点,其工作电流密度远高于 IGBT 和 GTR。与任何 MOS 门控器件一样,MCT 的驱动功率要求也很小,它的导通 di/dt 和关断 du/dt 能力非常高,是一种非常有希望的器件,有取代 Thyristor 和 GTO 的趋势。目前器件水平为 500 ~ 1000V/50 ~ 100A,但受材料和工艺的制约,目前进展缓慢。

20 世纪 80 年代另一个重要的发展是高压功率集成电路(HVIC)和智能功率集成电路(SMART POWER IC)的研制和开发,智能功率模块 IPM 也属于这一类,被称为第五代电力半导体器件。它们是电力电子技术同微电子技术紧密结合的产物。在功率集成电路中,不仅是主电路器件,而且把驱动电路、过电压过电流保护、电流检测,甚至温度自动控制等电路集成为一个整体。它们实际上是一种新型功率变换装置,应用起来更

加方便、可靠。

图 1-3 为 PIC 及其应用产品的电压和电流容量图。目前产品的容量还不小，因为要解决高、低压绝缘隔离、热传导等问题。有人预言它的进一步发展将使“人类站在第三次电子革命的边缘”。

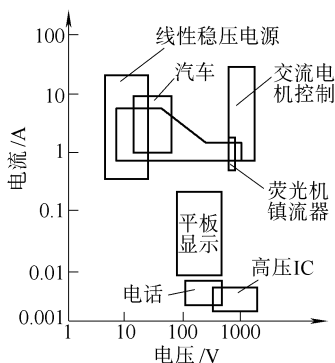


图 1-3 PIC 及其应用产品的
电压和电流容量图

概括起来，20 世纪 80 年代，集高频、高压和大电流于一身的性能优越的电压控制器件——场效应全控器件快速兴起，它的出现使人们开始了以高频化方法处理电力电子技术问题的阶段，并同时开始智能化。有学者曾指出，20 世纪 90 年代是高频电力电子技术时代，而 2000 年以后很可能迎来的是智能电力电子技术时代。

(6) 功率变换器的发展 为了使电能高效利用、高性能转换，对功率变换器的要求是：转换的能量品质要好，能耗小，效率高，动态响应快，体积小、重量轻、节省材料，对电网污染小，功率因数高。根据电能转换的需求，随着电力半导体器件的更新，由它组成的变换器也必须换代。

1) 由半控型电力半导体器件组成的相控变换器逐渐为全控型电力半导体器件组成的脉宽调制 (SPWM) 变换器所取代, 后者输出谐波含量小, 功率因数高, 主电路和控制电路简单, 效率高, 能耗小、体积小、重量轻, 当然它需要以高开关频率的全控型电力半导体器件作物质基础。以 SPWM 变频器为例, 根据不同需要有: 载波调制的 SPWM 变频器; 按最小谐波计算开关角度的 SPWM 变频器; 电压空间矢量 SPWM 变频器; 电流跟踪型 SPWM 变频器等。

2) 图 1-4 为应用 IGBT 制作的双 SPWM 变流器主电路原理图。在电动状态, 电动机吸收有功功率, 电源侧的变流器作为整流器, 而电动机侧的变流器作为逆变器工作。在再生制动状态, 两个变流器作用正好相反。由于网侧也采用 SPWM 控制, 因此网侧电流的位移因数控制为 1。网侧电流的谐波很小, 只要很小的电感就足以使网侧电流近似为正弦。

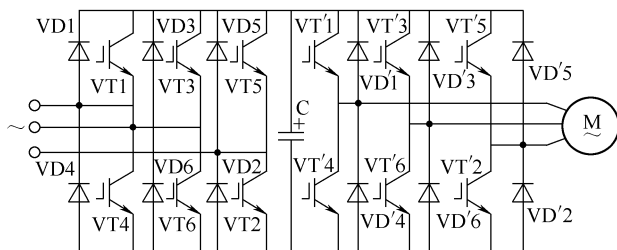


图 1-4 双正弦 SPWM 变流器主电路原理图

3) 具有谐振环的变流器。由于传统的逆变器是挂在稳定的直流母线上, 电力半导体器件是在高压大电流情况下进行转换的“硬开关”, 其开关损耗较大, 限制了开关频率的提高。与此不同, 谐振环过零的谐振槽路上, 使电力半导体器件在零电压或零电流下转换, 即工作在所谓的“软开关”状态下, 从而使开关损耗降低到零, 其优点表现在:

换技术，通过各方面通力协作，相信我国的电力电子技术必将有一个更大的发展。我国电力电子技术的飞速发展，必然会推动我国安全消除、环境保护技术的日新月异。

第 2 章 高压静电除尘类 电力电子设备

2.1 概述

静电除尘是利用高压电场产生的静电力，使粉尘荷电产生定向运动而从气体中分离得到净化的方法，与其他除尘方法相比，其根本区别在于实现粉尘与气流分离的力直接作用于粉尘上，这种力是由电场中粉尘荷电引起的库仑力。因此，在实现粉尘与气流分离的过程中，电除尘器可分离的粒度范围为 $0.02 \sim 200\mu\text{m}$ ，除尘效率为 $80\% \sim 90\%$ ，处理气体的量愈大，经济效果就愈明显。随着电力电子技术迅猛发展，用于高压静电除尘的电力电子设备越来越普遍，由于电力电子技术具有控制方便、灵敏度和精度高的优点，故使得电力电子技术成为影响静电除尘器除尘效果的不可分隔的必备技术。

2.2 电除尘的工作原理

电除尘过程首先需要发生大量的供粒子电荷的气体离子。现在所有工业电除尘器中，都是采用电晕放电的方法实现的。

图 2-1 为管式电除尘器的结构示意图。接地的金属圆管叫集尘极，与高压直流电源相接的细金属线叫放电极（又称电晕极）。放电电极置于圆管的中心，靠下端的吊锤拉紧，含尘气体从除尘器的下部进气管进入，净化后的清洁气体，从上部排气管排出。放电的电极为负极，集尘极为正极并接地。

由于辐射、摩擦等原因，空气中含有少量的自由离子，电

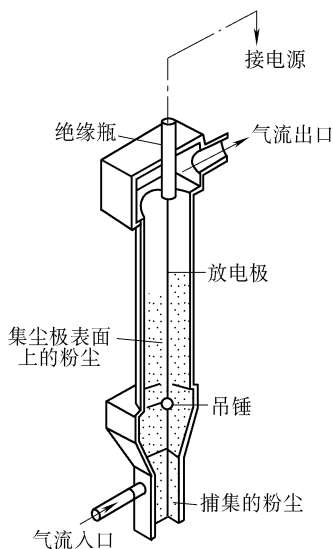


图 2-1 管式电除尘器的
结构示意图

除尘器内设置了高压电场，在电场的作用下空气中的自由离子将向两极运动，静电场的电压愈高，电场强度愈大，离子运动的速度就愈快。由于离子的运动在电极之间形成了电流，开始时，空气中的自由离子少，电流较小，当电压升高到一定数值后，电晕极附近的离子获得了较高的能量和速度，它们撞击空气的中性分子时，中性分子就会被电离成正、负离子，这种现象称为空气电离。空气电离后，由于连锁反应，在极间运动的离子数大大增加，表现为极间电流，即电晕电流急剧增大。当电晕极周围的空气全部电离后，形成了电晕区，此时在电晕极周围可以看见一圈蓝色的光环，这个光环称为电晕放电，如图 2-2 所示。

在离电晕极较远的地方，电场强度较小，离子运动的速度

较慢，那里的空气还没有被电离。如果进一步提高电压，空气电离的范围逐渐扩大，最后导致极间空气全部电离，这种现象为电场击穿，发生火花放电，造成短路，电除尘器停止工作，电除尘的电晕电流与电压的关系曲线如图 2-3 所示。

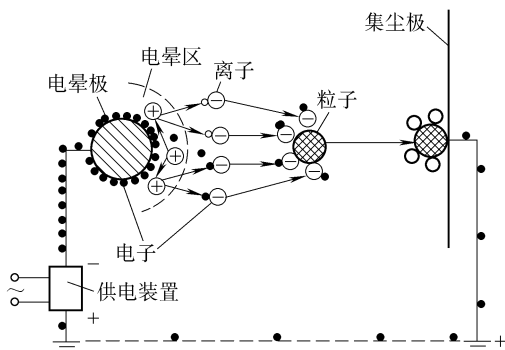


图 2-2 除尘过程示意图

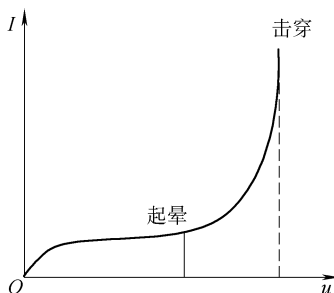


图 2-3 除尘器的电晕电流与电压的关系曲线

为了保证电除尘器的正常运行，电晕的范围一般应局限于电晕区。电晕区以外的空间称为电晕外区。电晕区内的空气电离之后，正离子很快向负极（电晕极）移动，只有负离子才会

进入电晕外区，向阳极移动。含尘空气通过电除尘器时，由于电晕区的范围很小，只有少量的尘粒在电晕区通过，获得正电荷并沉积在电晕极上。大多数尘粒在电晕外区通过，获得负电荷并最后沉积在阳极板上（管上）。这个过程如图 2-2 所示。因此，阳极称为集尘极。

电除尘器的除尘过程分为四步：

1) 气体电离 在放电电极及集尘电极之间加上直流的高电压，在电晕极附近形成强电场，并发生电晕放电，电晕区内空气电离，产生大量的负离子和正离子。

2) 粉尘荷电 在放电电极附近的电晕区内，正离子立即被电晕极表面吸引而失去电荷；自由电子和负离子则因受电场力的驱使和扩散作用，向集尘电极移动，于是在两极之间的绝大部分空间内都存在着自由电子和负离子，含尘气流通过这部分空间时，粉尘与自由电子、负离子碰撞而结合在一起，实现了粉尘荷电。

3) 粉尘沉积 在电场库仑力的作用下，荷电粉尘被驱往集尘电极，经过一定时间后，到达集尘电极表面，放出所带电荷而沉集在表面上，逐渐形成一粉尘薄层。

4) 清灰 当集尘电极表面上粉尘集到一定厚度时，要用机械振打等方法将沉集的粉尘与集尘电极分离，然后粉尘在重力作用下顺着圆管管臂落下，所以隔一定的时间就需要进行清灰一次。

为了保证电除尘器在高效率下运行，必须使上述四个过程进行得十分有效。

2.3 电除尘器的分类

电除尘器的分类方法很多，不同的分类方法会有不同的结果。根据电除尘器的结构与工作特点，常用的有以下几种分类：

1) 按集尘极的形式可以分为管式和板式电除尘器, 管式电除尘器的集尘极一般为多根并列的金属圆管 (或呈六角形), 适用于气体量较小的场合。板式电除尘器采用各种断面形状的平行钢板做集尘极, 极板之间均布有电晕线 (见图 2-4), 适用于气体量较大的场合。

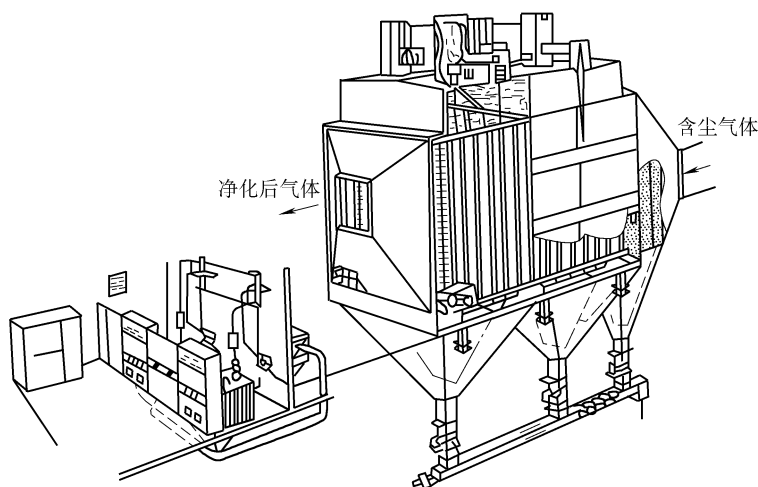


图 2-4 板式电除尘器示意图

2) 按气流流动方向可分为立式和卧式电除尘器。管式电除尘器都是立式的, 板式电除尘器也有采用立式的。在工业废气除尘中, 卧式的板式电除尘器应用最广。无论是立式、卧式, 都要用机械振打等方法将沉积的粉尘清除, 隔一定的时间需要进行一次清灰, 行业术语称为振打。

3) 按粒子荷电段和分离段的空间布置不同, 可分为单区式和双区式电除尘器。静电除尘的四个过程 (气体电离、粉尘荷电、粉尘沉积、清灰) 都在同一空间区域完成的叫做单区式电除尘器。而荷电和除尘分设在两个空间区域的称为双区式电除尘器。目前应用最广泛的是单区式电除尘器。

4) 按沉降粒子的清除方式可以分为干式和湿式电除尘器。湿式电除尘器是用喷雾或溢流水等方式使集尘极表面形成一层水膜, 将沉积到极板上的尘粒带走。用湿式清灰可以避免二次飞扬, 但存在腐蚀及污水和污泥的处理问题。一般只是在气体含尘浓度较低, 要求除尘效率较高时才采用。干式清灰便于处置和利用可以回收的干粉尘, 但振打清灰时存在二次扬尘等问题。

5) 按工作波形分类, 可分为直流与高频脉冲直流两大类, 随着新型电力半导体器件的不断出现, 高压高频脉冲直流电源的应用越来越广泛, 其除尘的效率大大提高。

2.4 工频升压整流型高压除尘电源

由施加电压和电流决定的除尘器电气状况, 对除尘效率有极大的影响。通常, 电压和电流的大小取决于电极尺寸、粉尘特性以及气体的成分和比重。但是当电极配置、粉尘和气体特性一定时, 电气状况还会因电气系统的设计, 特别是电场划分程度和控制设备的设计不同而有较大差异。

2.4.1 高压静电除尘电源的组成单元

(1) 高压系统 电除尘器的高压系统由升压变压器、高压整流器、控制元件、自动控制反馈四部分组成, 如图 2-5 所示。高压整流器将高压交流电转换成电除尘器需用的直流电。

控制系统的作用之一, 是调节作用于电极上直流电压的幅值。此系统设在变压器的一次侧, 即低压侧。控制系统可以是手动的, 也可以是自动的。自控方式有许多种, 可以选择其一。现代设备中一般都配备自动控制系统, 故当设计良好时, 即使粉尘特性和浓度有所波动, 仍能将电压维持在最佳值。

1) 高压发生器 高压发生设备有: 摩擦高压发生器 [例如范德格拉夫 (Vande Graff) 起电器]、高频变压器、机械整流器

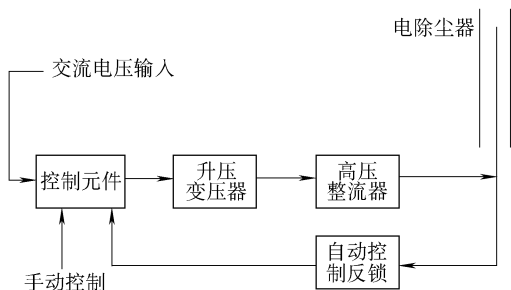


图 2-5 电除尘器高压控制系统的框图

和标准铁心变压器。摩擦起电器和高压变压器的电流都太小，不能满足工业电除尘器之用，因此一般都采用常规高压变压器，把正常的供电线路电压升到除尘器运行所需的电压。

2) 高压整流器 高压整流设备经几次演变达到目前的水平。莱普 (Lemp) 1904 年发明了同步机械整流器。1907 年科特雷尔首次用它来产生大功率高压电，由此静电除尘方得以成为现实。

同步整流器出现不久，洛奇在英国申请到了水银蒸气整流器的专利。直到 1920 年前后，高压整流管才在工业上应用。大约在 1928 年，第一台非旋转供电设备用的整流管诞生，使用了氧化铜整流器，1939 年前后应用了硒整流器。20 世纪 40 年代后期电子管整流器得到了广泛应用。更新式的整流器则是采用高压、高效的硅整流器，目前硅整流器应用最为广泛，这是因为它的整流效率和可靠性都比较高的缘故。

3) 电压控制 在正常的运行范围内，变压器是线性的，输出电压正比于输入电压，因而输出电压可以通过改变变压器的输入电压加以调节。现代化的控制设备，采用饱和电抗器（磁力装置）、晶闸管可控整流器。由于晶闸管的运用使得电压控制与调节十分方便。

为了防止拉弧时损坏供电设备，限流功能是必不可少的。

当电晕线与收尘电极之间拉弧时，电离通道实际上成了供电设备的短路导电捷径。如果没有限流措施，电流太大，就要损坏变压整流系统。

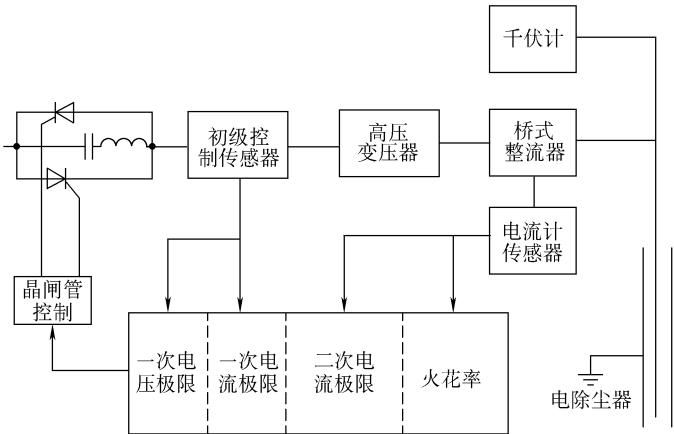
只要整个系统的设计容量足够，则高压除尘电源的控制信号就决定着电除尘器除尘效果的优劣，控制信号或者是与电流、电压、火花率（或其组合）有关的动态控制信号、除尘器的伏—安特性都与粉尘的浓度和成分有关，粉尘浓度太高，会使除尘器的入口电场出现电晕闭塞，比电阻升高，尘层内的电压降就要加大，往往出现过多的火花和反电晕，从而直接降低除尘效率，因此动态控制的必要性是非常明显的。

上述参数（电压、电流、火花率）的各种组合都在供电的自动控制系统中采用过，不过目前美国主要采用带有限流的火花率控制系统。所谓火花率控制就是把工作电压限制在某一水平上，从而每分钟产生的火花次数也就固定下来（一般每个电场 50 ~ 150 次/min），除尘条件不变时，火花率是工作电压的函数。电压愈高，火花率也愈高。火花率增加时，浪费在火花电流上的输入功率也增多，该电场中断的时间也随之加长，用于除尘的有效功率自然也就减少了。所以设计火花率控制系统时，要使除尘器的运行处于最佳工作点（或其附近）。

当粉尘的性质和浓度发生变化时，火花放电的条件也跟着改变，特别是高比电阻粉尘，在较低的电压下就会出现闪烁。此时，火花率自动控制环节将电压调低，使除尘器工作处于较佳的范围。

工业电除尘器的控制线路类型很多，图 2-6 是其中的一个。用火花率进行主控，火花率传感器根据浪涌电流侦测出火花，积分线路将浪涌电流加以平均，得出一个与单位时间内的火花次数成正比的电压，将此电压与电流极限、电压极限和瞬变极限信号一起都加到主晶闸管触发回路上。只要达到整定点，无

论作用于哪一个基本控制元件上，一次电压都会降低，使控制信号回到整定点。这种电路，基本上是一个火花率控制器。



注：其运行极限由火花率、二次电流、一次电流或一次电压确定

图 2-6 工频升压整流电除尘器的一种控制方案示意图

第二种类型的控制线路，使用的是晶闸管控制元件，如果将两个晶闸管接成反并联形式（如图 2-7 所示），则输出即为经过整流的全波，此时可以利用供电电压的相位来控制晶闸管。在触发脉冲到来之前，没有输出电压，触发脉冲由交流控制器提供，输出电压的脉冲频率可用下式按输入电压表示：

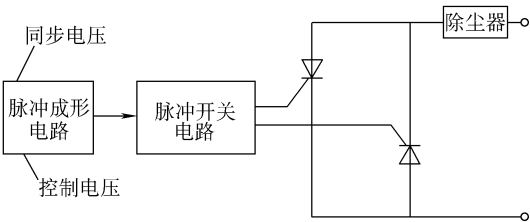
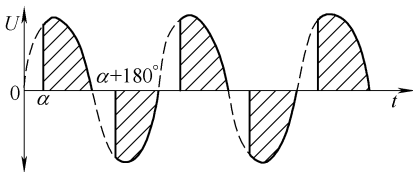


图 2-7 舒默的全波供电晶闸管控制系统

$$U_{\text{有效}} = U_{\text{供}} \sqrt{1 + \frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha - \frac{\alpha}{\pi}} \quad (2-1)$$

式中 α ——中心脉冲在电压波形上的相位角，在这种控制方式中，延迟触发晶闸管可使输出电压波形呈陡直上升状，如图 2-8 所示。



注:阴影面积表示晶闸管触发后的输出电压

图 2-8 反并联晶闸管控制线路用于正弦波时，电除尘器的电压与时间的关系

设计电除尘器供电控制线路时，要特别注意它的响应性能和控制范围。除尘器一般都在一定火花情况下工作，以提高收尘效率。火花闪烁时，必须限制电流剧增，并快速熄弧以防止拉弧烧坏放电极。在大多数现代高压静电除尘装置中，拉弧时电压会迅速下降，闪烁后电压又恢复到正常值。因此除尘器能很快恢复到正常的工作状态。

(2) 输入功率 电除尘器的性能主要受尘粒电荷和电场的支配，因此电流和电压必须匹配得当才能获得最高的效率。

(3) 应用场合 适用燃煤锅炉、热电厂、水泥厂等气体除尘场合。

2.4.2 高压静电除尘用整流装置（简介）

GGJ、GGAJ、KGGJ、KGGAJ 系列高压静电除尘用硅二极管和晶闸管可控整流装置如表 2-1 所示。

表 2-1 GGJ、GGAJ、KGGJ、KGGAJ 系列硅二极管
和晶闸管可控整流装置

型 号	交流输入		直 流 输 出				整流线路 及调压 方式
	相数	电压 /V	电压 /kV		电流 /A		
			额定值	调节范围	额定值	调节范围	
GGJ—0. 2 /40	1	380	40	20 ~ 40	0. 2	0. 05 ~ 0. 2	单相 桥式 线路、 和电 器调 压
GGJ—0. 2 /60			60	30 ~ 60	0. 2	0. 05 ~ 0. 2	
GGJ—0. 2 /72			72	36 ~ 72	0. 2	0. 05 ~ 0. 2	
GGJ—0. 3 /80			80	—	0. 3	—	
GGJ—0. 4 /60			60	30 ~ 60	0. 4	0. 1 ~ 0. 4	
GGJ—0. 4 /72			72	36 ~ 72	0. 4	0. 1 ~ 0. 4	
GGAJ—0. 2 /40			40	—	0. 2	—	
GGAJ—0. 2 /60			60	—	0. 2	—	
GGAJ—0. 4 /60			60	—	0. 4	—	
GGAJ—0. 4 /80			80	—	0. 4	—	
GGAJ—1. 0 /40			40	—	1. 0	—	
GGAJ—1. 0 /60			60	—	1. 0	—	
GGAJ ₀₂ —0. 1 /72			72	0 ~ 72	0. 1	0 ~ 0. 1	
GGAJ ₀₂ —0. 2 /72				0 ~ 72	0. 2	0 ~ 0. 2	
GGAJ ₀₂ —0. 4 /72				0 ~ 72	0. 4	0 ~ 0. 4	
GGAJ ₀₂ —0. 7 /72				0 ~ 72	0. 7	0 ~ 0. 7	
GGAJ ₀₂ —1. 0 /72				0 ~ 72	1. 0	0 ~ 1. 0	
KGGJ—0. 1 /72				40% ~ 100%	0. 1	20% ~ 100%	
KGGJ—0. 2 /72					0. 2		
KGGJ—0. 4 /72					0. 4		
KGGJ—0. 7 /72			0. 7				
KGGJ—1. 0 /72			1. 0				
KGGJ—1. 5 /72			1. 5				
KGGAJ—0. 4 /60	1	380	60	0 ~ 60	0. 4	0 ~ 0. 4	单相 桥式 线路、 饱 和电 控 器调 压
KGGAJ—0. 4 /72			72	0 ~ 72	0. 4	0 ~ 0. 4	
KGGAJ—0. 4 /80			80	0 ~ 80	0. 4	0 ~ 0. 4	
KGGAJ—0. 6 /60			60	0 ~ 60	0. 6	0 ~ 0. 6	
KGGAJ—0. 6 /72			72	0 ~ 72	0. 6	0 ~ 0. 6	
KGGAJ—0. 4 /80			80	0 ~ 80	0. 6	0 ~ 0. 6	
KGGAJ—1. 0 /60			60	0 ~ 60	1. 0	0 ~ 1. 0	
KGGAJ—1. 0 /72			72	0 ~ 72	1. 0	0 ~ 1. 0	
KGGAJ—1. 0 /80			80	0 ~ 80	1. 0	0 ~ 1. 0	

绍如下：

(1) 概述 高压静电用 GGJ、GGAJ、KGGJ、KGGAJ 系列硅二极管和晶闸管整流装置，适于作高炉气体除尘、有色金属冶炼粉末回收、稀有金属提炼回收、煤气脱焦油、水泥窑烟道除尘、除雾、空气净化等的高压直流电源。

本系列整流装置采用单相桥式整流电路，饱和电抗器调压。直流输出的电极为正极接地，负极经高压出线套管引出。

(2) 结构简介 本系列整流装置由高压硅堆或晶闸管可控整流器、电抗器、控制柜等几部分组成。高压硅堆或晶闸管整流器由整流变压器、硅堆、电容器共同装在一个油箱内组成。油箱外面装有高低压出线套管、储油箱及吊环等，油箱下部装有滚轮以便移动。

控制柜前后开门，前门上部装有信号灯、交流电流表、直流电压表、电流表、按钮、调节旋钮等，柜内装有磁放大器、继电器板、开关板等控制保护单元。

电抗器柜内装饱和电抗器，有的生产厂将电抗器放在控制柜内。

(3) 技术数据 ①GGJ、GGAJ、KGGJ、KGGAJ 系列硅二极管和晶闸管整流装置技术数据，如表 2-1 所列。②图 2-9 给出了由西安电力整流器厂生产的 GGJ—0.2/60 型硅高压静电除尘器所用硅整流装置的电气原理图。

电气原理图中主回路的调节元件及限流元件采用饱和电抗器，稳流效果好，但当负荷很小时，调节范围较窄。该装置的 AM 采用 CF_3 型中间磁放大器作为信号的综合放大，它有五个控制绕组，可同时进行五个信号放大，放大倍数高，工作可靠。另外采用硅二极管作整流元件。为构成闭环调节系统达到稳流目的，通过电流互感器取得电流负反馈信号，经整流后送至中间磁放大器，它的极性为负，与控制信号相反。当负载被短路时，由于系统具有

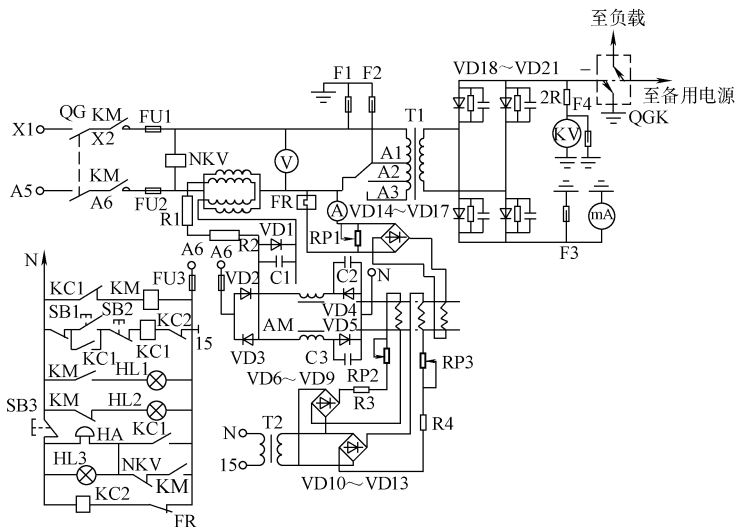


图 2-9 GJGJ—0.2/60 型硅整流装置电气原理图

恒流特性，短路电流只有额定电流值的 120%，故系统短路时，不必切断电源，但此时应发出事故报警信号。

2.4.3 数字化微机控制高压静电除尘整流设备应用

济南钢铁集团总公司第一炼铁厂（简称济钢一炼铁）5[#]高炉上料电除尘系统于 1994 年 5 月正式投入使用。至 1998 年 4 月中修共运行了 4 年，中修时，对该整流设备进行了更新换代改造，使用了新一代数字化微机控制的高压静电整流设备。没有出现任何设备故障，整个除尘系统除尘效果明显提高（整流设备型号 GGAT (02) 0.4A/72kV - E）。改造后在电除尘系统中，电气系统主要由以下设备构成；数字化微机整流设备控制柜、电抗器、整流变压器。其中，数字化微机控制柜电路是一个以 MCS—51 系列单片机 8031 为核心，配以高性能的外围芯片组成的数字化电压控制器，其结构原理框图，如图 2-10 所示。

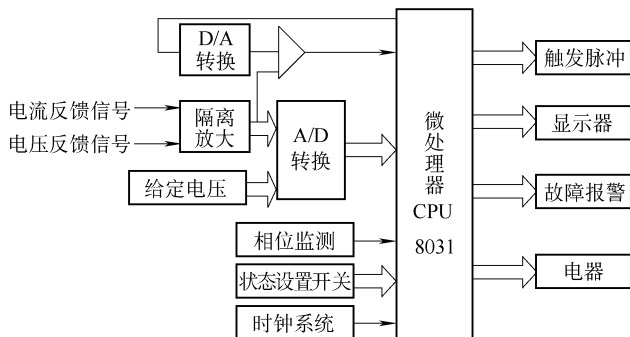


图 2-10 自动电压控制器系统框图

(1) 工作原理 单相交流 380V 电源经空气开关，由自动控制系统对反并联的晶闸管进行交流调压，通过线性电抗器送至整流变压器再经升压，整流输出直流负高压送至电场。电流和电压信号送至自动电压控制器，经微机处理器运算处理后，输出信号调节晶闸管的导通角，形成闭环的自动电压控制系统。自动电压控制器将一次侧、二次侧的电流、电压取样信号经运算放大器处理后和两路给定信号一起由 A/D 转换成数字信号送 CPU 处理。CPU 根据选定控制方式确定晶闸管的导通角。当电场发生火花时，电流峰值同 D/A 转换器输出的基准值比较，以确定火花强度，并发出中断信号，CPU 响应后按照火花强度决定晶闸管全关断或部分关断以及再开通速度，典型火花响应特性较为理想。

当电场发生故障需断电时，控制系统发出命令使主回路断电，故障灯亮，报警铃响，同时，LED 显示器将故障类型显示如下：1111（一次侧低电压），2222（一次侧过电流），3333（二次侧过电压），4444（二次侧过电流）。

(2) 主要优点 具有多种控制特性，适应不同工况条件的应用。能自动区分不同强度的闪络并进行相应的处理，使火花

放电后电场电压尽快恢复,提高收尘率。具有多种故障报警和保护以及自检功能。采用了大印制电路板结构,减少了信号连接,提高了可靠性。设置4位LED显示器,可随时显示运行参数及故障状态,抗干扰能力强。

本数字化微机控制柜采用了美国GE公司电除尘器的电气控制技术,选用了高可靠性外围芯片,因此控制柜工作性能稳定,电气故障率由原来的每季度5次降低到1次,且多为外部设备引起的保护性动作;同时,自动调节速度十分迅速,除尘效率明显提高,二次工作电压由原来的40kV提高到60kV,除尘效率也由原来的90%提高到98%。

2.5 高频逆变类高压除尘电源

新一代电力半导体器件,如MOSFET、IGBT等的应用,使高频逆变技术越来越成熟,从而产生了各种不同类型和特点的电路,已经广泛地应用于直流—直流变换,直流—交流逆变等场合,使高压静电除尘系统总体的体积缩小,重量减轻,系统的效率也都得到一定程度的提高。

静电高压电源广泛应用于各种工业领域,例如用于工业除尘、臭氧发生器、静电喷涂、静电植绒等场合,静电高压形成高梯度电场还应用于生物工程中,如种子处理等领域。

工业上除尘用高压静电通常需要50~150kV的直流高压,电流一般较小,随除尘本体的大小和除尘功率的不同,约在5~100mA范围,针对具体应用情况,电压、电流都是根据除尘环境及粉尘特点决定的。例如可以多级除尘,各级采用不同的电压,变压器直接升压方式可以利用变压器一次绕组与二次绕组匝数比变化来达到升压目的。很多场合直接用50Hz工频电压来升压,这就使得变压器的体积较大,且对高压绝缘技术要求也较高。电容倍压的升压电路,由于其电路上能倍压的特点,降

低了对变压器二次侧（高压侧）电压幅值的要求，因此相对于变压器直接升压的方式来说变压器二次输出电压较低，降低了变压器耐压等级的要求。采用新型电力半导体器件的高频逆变技术，为高频逆变型静电高压除尘电源技术的研究与发展提供了可行性。电容倍压整流电路与高频逆变技术的结合，组成了高频逆变型静电高压电源。变压器采用高频软磁材料，工作频率可以达到 30kHz，从而使得变压器具有体积小、重量轻的明显特点。

2.5.1 电容倍压整流式高频逆变型静电高压除尘电源

（1）电容倍压整流电路 获得高频交流电压的电路有很多类型，如全桥逆变电路、半桥逆变电路、推挽电路、准推挽电路以及单边斩波电路。一般在高频逆变电路设计时，根据系统的技术指标和电路成本等因素选择一种逆变电路。但对于电容器倍压整流电路为负载的高频逆变电路有其特殊性，电容器倍压整流电路的等效电路如图 2-11 所示。

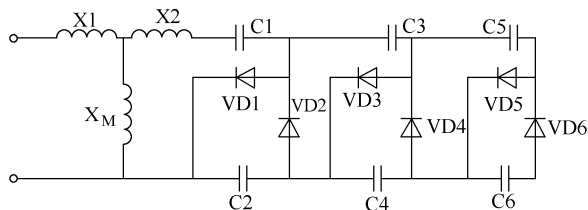


图 2-11 电容器倍压整流电路的等效电路

对以电容倍压整流电路为负载的高频逆变电路来说，其特点是逆变电路上电后，电容不断进行充电的过程，最终实现倍压整流，电容器电压建立有个过程，其建立过程初期如图 2-12 所示。逆变电路供电过程中反复对电容器充电。图 2-12 中变压器采用“T”形等效电路。经过若干周期后，电容器倍压整流电

路的输出电压将逐渐升高，同时出现电晕放电。

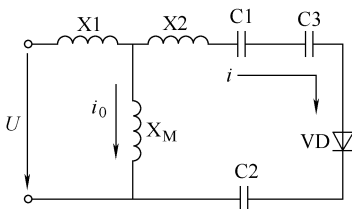


图 2-12 电容器电压建立过程

如果负载电流为零，电路的输出电压能达到 6 倍的变压器交流峰值电压。

倍压电容器上电压建立后，在有放电电流情况下，电容器也始终处于充电过程，电容器上的电压是波动的，电压波动的幅值大小与选用的倍压电容值的大小有关。

电容器稳态充放电过程见图 2-13a 中供电半个周期，变压器对电容器 C1 充电，如果有

$$U_{C2} + U_{C4} \geq U_{C3} + U_{C5} \quad (2-2)$$

则会有电容器 C2、C4 向电容器 C3、C5 放电，达到平衡状态。

图 2-13b 中供电半个周期，变压器对电容器 C1 充电，如： $U_{C3} + U_{C5} \geq U_{C4} + U_{C6}$ ，则会有电容器 C3、C5 向电容器 C4、C6 放电，达到平衡状态。

电容器倍压整流电路输出的电压作为除尘用高压静电电源。

此高压引到除尘器的除尘室，形成高压静电场。放电电极周围区域空气会产生电离，形成正负离子。

通过除尘室气流中的粉尘会因为电场荷电机理及扩散荷电机理而成为荷电粒子，该荷电粉尘粒子在电场力作用下，运动到达极板放出电荷，而粉尘粒子则沉积在极板上，再通过粉尘收集装置收集起来，从而达到除尘的目的。

因此静电除尘高压电源必须有一定的负载能力，来提供除

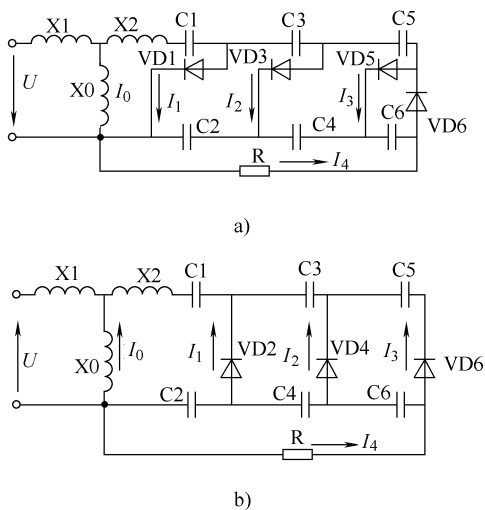


图 2-13 稳态电容倍压整流电路原理示意图

a) 稳态正半周充电等效电路 b) 稳态负半周充电等效电路

尘所需要的电流。高压在除尘室引起的放电属于电晕放电。伴随着电晕放电的同时，因各种因素不同也会出现火花放电方式（或称之为全路击穿现象）。

正常电晕放电时，可以把除尘室放电电流看作电路的充放电是一恒定电压作用于等效电阻上产生的电流。图 2-14 为电容器倍压整流电路的电容及电晕放电的等效电阻并联电路。放电

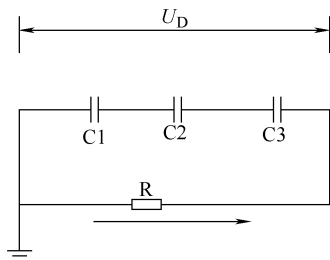


图 2-14 电晕放电的等效电阻并联电路

电流来自电容器的储能及供电电路，在电容器放电过程中，电容器的电压是下降的（即电容器储能减少）。在电容器充电过程中，电容器的电压是上升的。只要在一段时间内给电容器的补充能量等于该段时间电容器所放出的能量，则电容器两端的电压就能够维持平均值不变。高频逆变电路中功率模块容量的选择就是结合供电电压及所需放电电流值的大小来决定的。

因为电容倍压整流电路充电电流是冲击的、脉动的，所以控制器的软起动是必须的。这样，也可以降低电力半导体器件在电容开始充电时所承受的冲击电流。

(2) 高频逆变电路 由于静电除尘电源中逆变电路的负载为升压变压器及电容器倍压整流电路这样一个特殊负载。从等效电路可以看出，逆变电路承担给电容充电的任务，选择逆变电路的型式和开关器件的容量是非常关键的问题。从逆变电路输出电压的对称性出发，这里选择了半桥逆变电路。半桥逆变电路及系统驱动原理如图 2-15 所示。该逆变电路的特点是使用器件少，而且电路输出电压具有自平衡能力。

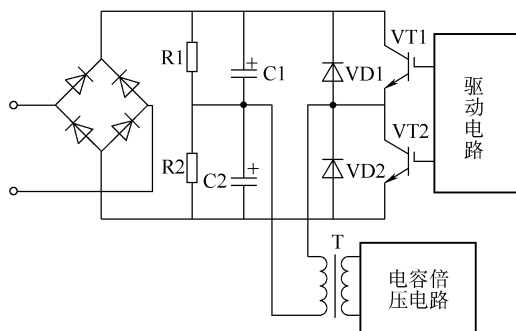


图 2-15 半桥逆变电路及系统驱动原理

高频逆变电路的输出容量，应满足在额定放电电流情况下，具有维持电路输出平均电压不变的能力。图 2-12 等效电路中电

容的电容量在考虑变压器匝数比后,折算值为 $47\mu\text{F}$ 。由图 2-15 可知,如直接采用的电路是电压型逆变电路时,由于电容两端电压不能突变的特性,将会导致在每次功率开关管 VT1 或 VT2 导通时流过较大的尖峰冲击电流,这必然造成功率开关导通损耗过大。解决此问题的有效办法是串入一个电感来限制电流变化率。

设图 2-15 中电力半导体器件 IGBT 的开关工作频率为 30kHz ,在 30kHz 工作频率时, $47\mu\text{F}$ 电容的阻抗为 0.12Ω ,设计时应按照工作频率及需要的电流来合理的确定串联电感量大小。电感太小将起不到应有效果,电感太大将会因电感上压降的增加而影响输出功率。

在图 2-15 中高频逆变电路的功率开关选用了 IGBT 功率模块。IGBT 模块是电压控制型的,控制功率小,并且有较高的工作频率和较低的导通损耗,所以决定了这种除尘电源相对具有较高的用电效率。

(3) 逆变控制器 图 2-15 中逆变电源的控制器以 TL494 脉冲宽度调制 (PWM) 控制芯片为核心,辅以其他定时、放大、检测等电路构成控制器。脉冲宽度控制器的原理框图如图 2-16 所示。

图 2-16 中,IGBT 功率模块的驱动电路,采用陕西高科电力电子有限责任公司生产的厚膜电路 HL402 来实现。由于 HL402 厚膜集成电路内部有光电隔离部分,这样同时解决了强电与弱电电路之间的隔离问题。减少了功率电路对控制部分的干扰,同时该驱动器厚膜电路内集成有先降栅压,后软关断,过电流、短路等保护,其工作性能很好,且应用陶瓷基片,所以工作频率特性和散热性能都明显优于进口的 EXB840、M57952 等驱动器,是一种比较理想的 IGBT 驱动器集成电路。

HL402 驱动器是国家“八·五”攻关成果,是 1995 年国家

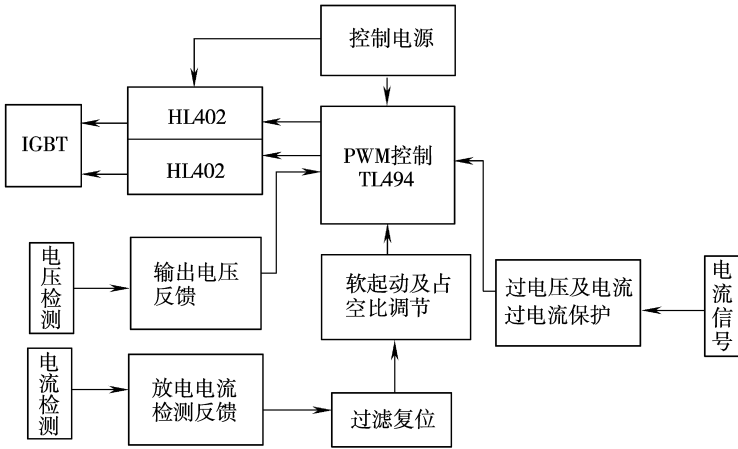


图 2-16 脉冲宽度控制器的原理框图

级产品。它具有先降栅压、后软关断的双重短路保护功能，其降栅压延迟时间、降栅压时间、软关断斜率均可通过外接电容器进行整定，因而能适应不同饱和压降的 IGBT 的驱动和保护。

1) 引脚排列、各引脚功能及用法 HL402 的外形尺寸及引脚排列如图 2-17 所示。它采用单列直插式标准 17 引脚厚膜集成电路封装，对外引线共有 15 个引脚。

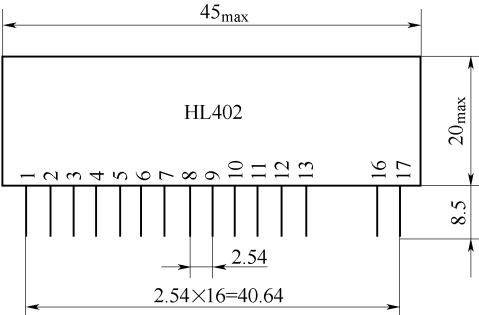


图 2-17 HL402 的外形尺寸及引脚排列

2) 工作原理 HL402 的内部结构及原理框图如图 2-18 所示。

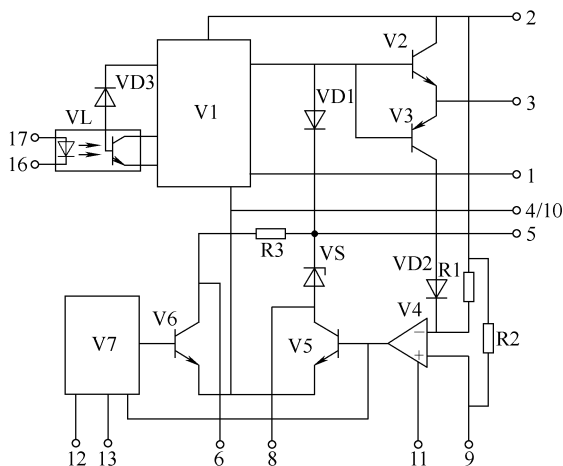


图 2-18 HL402 内部结构及原理框图

图 2-18 中，VL 为带静电屏蔽的光耦合器，它用来实现与输入信号的隔离。由于它具有静电屏蔽，因而显著提高了 HL402 抗共模干扰的能力。图中 V1 为脉冲放大器，晶体管 V2、V3 实现驱动脉冲功率放大，V4 为降栅压比较器，正常情况下由于引脚 9 输入的 IGBT 集电极电压 V_{CE} 不高于 V4 的基准电压 V_{REF} ，V5 不翻转，晶体管 V5 不导通，故从引脚 17、16 输入的驱动脉冲信号经 V1 整形后不被封锁。该驱动脉冲经 V2、V3 放大后提供给被驱动的 IGBT 使之导通或关断，一旦被驱动的 IGBT 退饱和，则引脚 9 输入的集电极电压取样信号 V_{CE} 高于 V4 的基准电压 V_{REF} ，比较器 V4 翻转输出高电平，使晶体管 V5 导通，由稳压管 VS 将驱动器输出的栅极电压 V_{CE} 降低到 10V。此时，软关断定时器 V7 在降栅压比较器 V4 翻转达到设定的时间后，输出正电压使晶体管 V6 导通，将栅极电压软关断降到 IGBT 的

栅极—发射极门槛电压，给被驱动的 IGBT 提供一个负的驱动电压，保证被驱动的 IGBT 可靠关断。

3) 基本设计特点 HL402 内置有静电屏蔽层的高速光耦合器实现信号隔离，抗干扰能力强，响应速度快，隔离电压高。它具有对被驱动功率 IGBT 进行先降栅压、后软关断的双重保护功能，在软关断及降栅压的同时能输出报警信号，实现封锁脉冲或分断主回路的保护。它输出驱动电压幅值高，正向驱动电压可达 15 ~ 17V，负向驱动电压可达 10 ~ 12V，因而可用来直接驱动容量为 150A、1200V 以下的功率 IGBT。

(4) TL494 的性能与特点 TL494 是一种脉宽调制型开关电源集成控制器，它的特点如下。

1) 推挽/单端输出。

2) 最高工作频率 300kHz。

3) 内部基准电压 5V。

4) 输出级供电电源电压 $\leq 41V$ 。

5) 工作温度范围：TL494I 为 - 40 ~ 85 ， TL494C 为 - 20 ~ 85 。

其内部等效电路如图 2-19 所示，它由振荡器（锯齿波发生器）、D 触发器、比较器 1 和 2、误差放大器 1 和 2、5V 基准电压源与两个驱动晶体管等组成。管脚分配图如图 2-20 所示，1、2 脚和 15、16 脚分别为两个误差放大器输入端；3 脚为相位控制端；4 脚为死区电平控制端；5、6 脚为振荡器外接电阻和电容的 R、C 的连接输入端；8、9 脚和 11、10 脚分别为两个内部驱动晶体管的集电极和发射极，通过它们发出的脉冲可以控制变换器开关管的交替导通与截止；13 脚为低电平时，两个内部驱动晶体管同时导通或截止，此时只能控制变换器的一个开关管；14 脚是控制器内部输出的 +5V 基准参考电压；12 脚为控制器的电源输入端。该电路的生产厂家及常用型号的表示如表 2-2 所示。

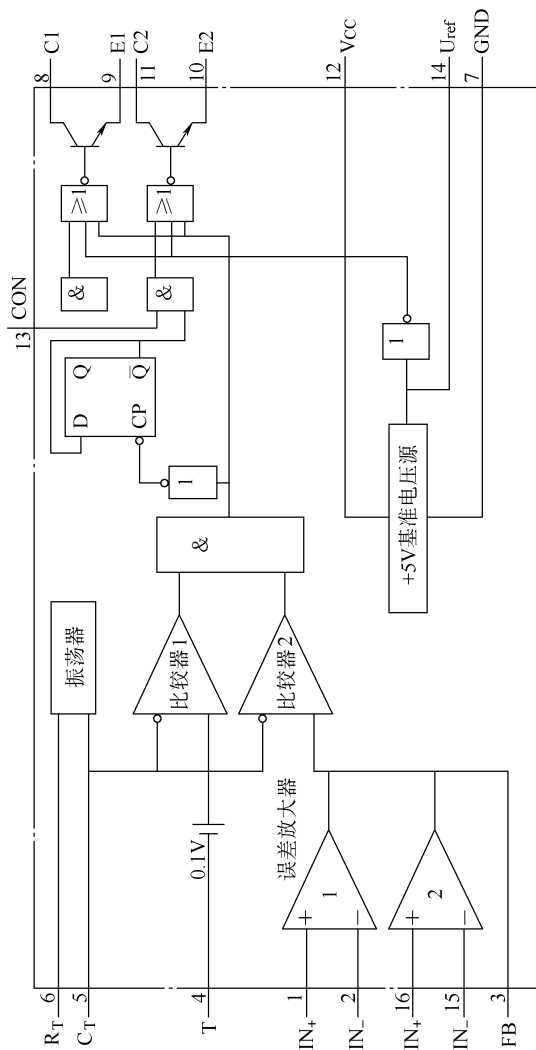


图2-19 TL494 内部等效电路

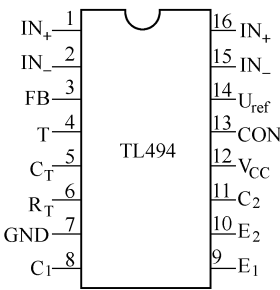


图 2-20 TL494 管脚分配图

表 2-2 TL494 生产厂家及常用型号标法

型 号	厂 家
TL494	美国德州仪器公司
μ PC494	日本电气
MST494	三菱
MB3759	富士通（同 TL494）
IR3M04	夏普（同 TL494）
IR9494	夏普（同 TL494）

(5) TL494 工作原理 TL494 在工作时，其工作频率仅取决于外接在锯齿波发生器（即振荡器）上的定时元件 R_T 和 C_T 的数值，一旦定时元件固定后，TL494 输出信号的工作频率也就固定不变了。一般通过 5、6 脚分别接定时元件 C_T 和 R_T 。锯齿波发生器起振后，可在 5 脚所接定时电容 C_T 上产生锯齿波电压，其频率 $f = 1.1 / (R_T C_T)$ ，该锯齿波在内部分别被送到比较器 1 和 2 的同相输入端。一般开关电源的稳压控制、过电流保护控制、过电压保护控制等采样电压是加在误差放大器的同相输入端（1 或 16 脚）或死区控制输入（4 脚）的。因此，在片内误差放大器的输出电平与锯齿波在比较器 2 中进行比较，而死区控制电平与锯齿波在比较器 1 中进行比较，二者的输出分别得

到一串具有一定宽度的矩形脉冲。它们同时送与门电路，经 D 触发器分频后，再经相应的门电路去控制 TL494 内部的两个驱动晶体管交替导通和截止，通过 8 脚和 11 脚向外输出相位相差 180° 的脉宽调制控制脉冲。工作波形如图 2-21 所示。

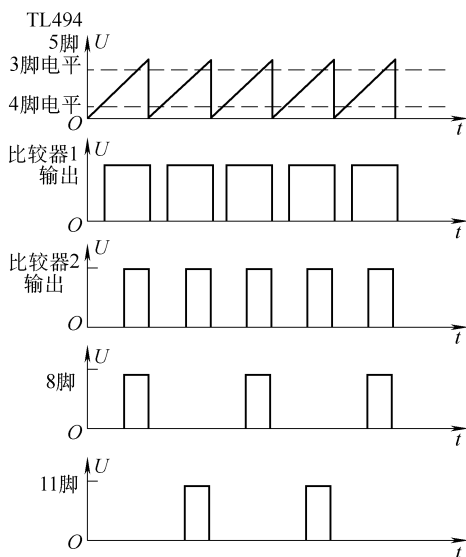


图 2-21 工作波形

由上可知，若 TL494 片内部的两个误差放大器的反相输入端（2 脚或 15 脚）的参考电位一定，当它们的同相输入端电平升高时，则可使片内的两个驱动晶体管输出的控制脉冲的宽度变窄；反之，可使脉冲宽度变宽。另外，当死区控制端的电位高于 C_T 上的电压时，片内的两个驱动晶体管截止；当死区控制端的电位不断下降时，则可使两个驱动晶体管输出的脉冲宽度增加。在实际中，多利用 TL494 的内部基准电源向外提供 $+5V$ 基准参考电压，再通过设置不同的电阻分压器来为两个误差放大器的反相输入端提供参考电位。

另外, TL494 内部的两个晶体管在工作电压 $7 \sim 40\text{V}$ 的范围内工作时, 最大输出电流可达 250mA , 若将 13 脚与 14 脚相连, 就可推挽工作, 若将 13 脚与 7 脚相连, 就形成单端输出, 为增大输出可将两个晶体管并联。

在图 2-16 中, TL494 芯片是专用的 PWM 控制集成电路, 用于脉冲宽度调制。该芯片内部集成有欠电压保护, 基准电压、锯齿波振荡器、PWM 控制及用来控制电流、电压的两个比较器电路。集成度相对较高, 它的使用简化了控制电路。TL494 芯片管脚 4 用来控制占空比。图 2-16 原理图中的软起动、最大脉冲宽度设置、过电流复位等功能均通过此管脚的控制来实现; 输出电压反馈及低压方器件电流过电流保护是通过两个内部比较器来实现的; 输出电压反馈用变压器附加绕组取样然后再经整流处理接到其中一个比较器的输入端。电流用霍尔电流传感器取样接到另一个比较器的输入端。

对于电容倍压整流电路这样特殊的负载控制器的软起动是必要的, 这样可以降低功率器件在电容开始充电时所承受的冲击电流。

2.5.2 直接耦合式静电除尘脉冲电源

脉冲供电技术是静电除尘中一种先进的供电方式, 具有抑制电晕、降低能耗、提高电场工作电压及除尘效率, 减小本体体积、降低本体钢材消耗量和造价的优点。对于高比电阻粉尘和超细粉尘, 脉冲供电除尘技术具有更重要的意义。采用微秒级和纳秒级的脉冲供电技术, 可以与一些脱硫技术结合, 进一步提高脱硫效率, 是实现脱硫除尘一体化的有效途径。

目前, 国内外应用较多的是能量回收型的脉冲电源, 采用多个串联的晶闸管作为脉冲形成开关, 也有的使用击穿火花开关和液体火花开关。这里的开关元件是脉冲装置的关键部件。

(1) 脉冲电源工作方式及工作原理 用于静电除尘的高压脉冲电源电路形式有多种多样, 这里仅介绍采用了开关串接式不带基压电路的高压脉冲工作方式的高压脉冲电源, 其原理电路如图 2-22 所示。

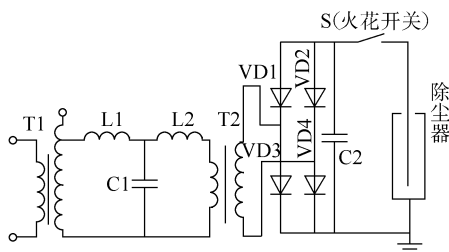


图 2-22 高压脉冲电源电路图

图 2-22 中采用火花开关技术, 直接耦合产生高压。与以多个串联晶闸管为开关的脉冲电源相比, 可以形成宽度较小的波形, 且省去了脉冲变压器, 设备成本低、可靠性高、寿命长。为了进一步提高电源运行的稳定性, 对工作电压幅值和工作频率进行控制, 降低噪声, 使用了封闭循环旋转吹气的场畸变火花开关。

为了充分利用充电设备的容量, 提高工作频率, 降低充电系统的能耗, 提高充电效率, 图 2-22 中将常规的恒压充电方式改进为恒流充电方式; 充电由输入电压经调压器 T1 升压, 再经 L1、L2 和 C1 构成的 T 形恒流变换器, 由高压变压器 T2 升压, VD1、VD2、VD3 和 VD4 桥式整流向储能电容器 C2 充电。脉冲形成电路由储能电容器 C2、吹气的场畸变火花开关和除尘器组成。

(2) 场畸变火花开关的触发系统 图中场畸变火花开关 S 所用的脉冲变压器型触发电路图如图 2-23 所示。

其工作原理为: 当电容器 C 充好电后, 当触发脉冲使晶闸管 VT 导通后, 电容通过脉冲变压器 T3 的一次侧和晶闸管放电,

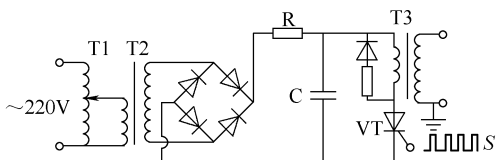


图 2-23 场畸变火花开关 S 所用的脉冲
变压器型触发电路图

在脉冲变压器的一次侧产生振荡型的脉冲电压。通过脉冲变压器，该电压被升压，形成高压触发脉冲。由于晶闸管关断时间较长，电路中波形总要经过几个周期的振荡。晶闸管关断后，一次侧的剩余能量通过泄放回路释放。电容又被重新充电，等待下一次触发脉冲的到来。由于吹气型场畸变开关是工作在重复率的状态下，故所用的触发系统亦需要能在重复率下工作。静电除尘脉冲电源的开关对时延和分散性无严格的要求，因此对触发脉冲的上升时间及脉宽要求不高，由于触发脉冲的幅值越高，开关的工作范围越大，故应在条件允许的情况下，尽量提高触发脉冲的幅值。

2.5.3 静电除尘用斩波控制交流调压电源

用于静电除尘器的可控交流电源有相控交流调压器、恒流源型电源和逆变器，如今逆变器中一般多使用全控型开关器件、由于逆变器的开关频率较高，所以高压系统所用升压变压器体积小，可通过改变逆变开关导通占空比快速调整输出电压。这种高压电源对闪烁反应快，但需附加为逆变器供电的整流装置，同时升压变压器二次侧要求选用高频且能承受较高反向电压的整流元件。恒流源型高压电源体积大、动态响应特性差且当粉尘流量小时，电压会自动升高，给系统中其他部分的耐压提出了更高的要求，由此决定了恒流源型和以逆变器为交流调压手

段制作的静电除尘电源仅可用于中、小功率静电除尘装置中。采用大功率 IGBT 的斩波控制式交流调压器,具有调节方便、动态响应快,对电网谐波污染小,装置功率因数高等优点,用于静电除尘器中进行高压直流电压的调节和控制,具有更好的性能和应用前景。

(1) 主电路结构及工作原理 图 2-24 即为常见的斩波控制交流调压器主电路原理图,图中 VT1、VD1、VT2 和 VD2 构成双向斩波开关,VT_{F1} 和 VD_{F1}、VT_{F2} 和 VD_{F2} 构成双向续流开关。在实际电路中,双向开关采用带有反并联二极管的单 IGBT 功率模块反向串联组成。这种连接,IGBT 与二极管特性配合好,由于引线最短,所以可减小引线电感对换流的影响。L_{if}、C_{if} 和 L_{of}、C_{of} 分别组成低通输入、输出滤波器。

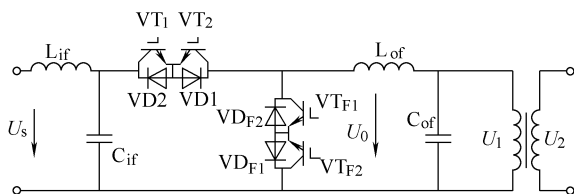


图 2-24 斩控式交流调压主电路结构

理想斩波控制方式下,每个开关周期中斩波开关和续流开关互补工作,输出电压为

$$u_o = \begin{cases} u_s & \text{斩波开关导通 } (u_s \text{ 为输入电源电压}) \\ 0 & \text{续流开关导通} \end{cases} \quad (2-3)$$

对这种电压波形的傅里叶分析结果表明,除基波以外含有其他谐波,谐波频率在开关频率及其整数倍两侧 $\pm \omega_s$ 分布,开关频率越高,越容易滤波。经优化设计的滤波器滤波后,可认为输出电压仅含有基波:

$$u_o = D \sqrt{2} u_s \sin \omega_s t = D U_s \quad (2-4)$$

式中 u_s ——电源电压有效值；

D ——导通占空比；

ω_s ——电源电压角频率。

(2) 控制电路结构与工作原理 由于开关器件的开通和关断时间，斩波开关和续流开关互补控制的交流调压器换流过程中会出现电源短路，产生瞬时电流冲击，通常需设置换相死区时间。但这又可能造成换相死区时间内两个开关都不导通，使负载开路，在有电感存在的情况下，会产生瞬时电压冲击。为避免换相期间这两种共态运行所造成的瞬时电流或电压冲击，本电路采用有电压、电流相位的非互补控制方式。在 R_L 负载下，这种非互补控制的斩波开关和续流开关门极驱动信号的时序配合及一个电源周期中输出电压的理想波形如图 2-25 所示。

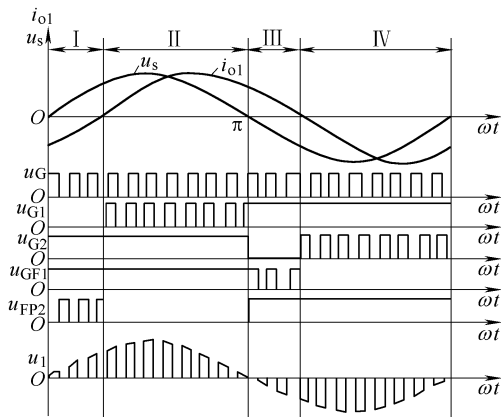


图 2-25 带电流的非互补控制时序及一个电源周期中输出电压的理想波形

由图 2-25 可见，根据负载电压电流相位，一个电源工作周期可分为 4 个区间，一周期内各 IGBT 开关栅极驱动状态如表 2-3 所示。

表 2-3 IGBT 栅极驱动状态表

状 态 工作区	电压电流极性		IGBT 开关栅极驱动状态			
	u_s	i_{ol}	VT1	VT2	VT_{F1}	VT_{F2}
区间 I	+	-	0	1	1	u_G
区间 II	+	+	u_G	1	1	0
区间 III	-	+	1	0	u_G	1
区间 IV	-	-	1	u_G	0	1

注：“1”代表在该区间内栅极施加驱动信号；“0”代表栅极驱动信号封锁；
 u_{G1} u_{G2} 代表斩波开关和续流开关栅极 PWM 驱动信号。

上述工作状态，可用逻辑表达式表示为

$$VT1 = u_s + u_s i_{ol} u_G \tag{2-5}$$

$$VT2 = u_s + u_s i_{ol} u_G \tag{2-6}$$

$$VT_{F1} = u_s + u_s i_{ol} u_G \tag{2-7}$$

$$VT_{F2} = u_s + u_s i_{ol} u_G \tag{2-8}$$

为保证电源满足静电除尘器负载特性的要求及运行可靠性，系统采用了图 2-26 所示的控制电路结构。

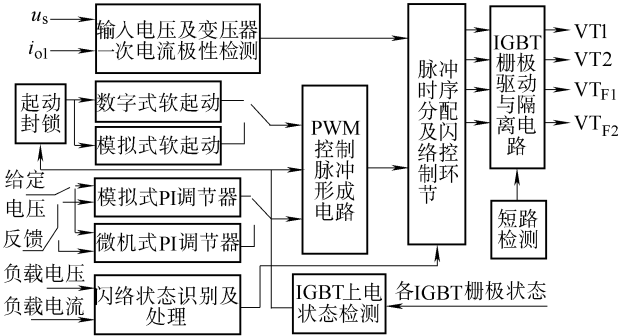


图 2-26 斩波式交流调压电源控制电路结构图

由脉冲调制控制集成电路 TL494 产生基本 PWM 控制脉冲，脉冲宽度由 PI 调节器输出调节，以保证负载电压跟随给定。考

考虑到电源控制设备的配置形式,PI 调节器可用印制电路板上的PID 开关来选择模拟式或微机数字式。其控制核心在于根据交流输入电源电压 u_s 和流入输出端升压变压器一次的电流 i_{o1} 的相位关系,由脉冲时序分配及闪络控制环节生成控制,主电路中各开关器件的控制信号,经 IGBT 栅极驱动隔离电路后送到各 IGBT 栅极。为在除尘器电极出现闪络时及时调整负载电压避免拉弧,闪络状态识别及处理环节根据负载电压和电流变化来确定是否产生闪络,并在出现闪络时立即封锁斩波开关栅极驱动信号,同时使续流开关进行保护导通,经 10ms 后,系统重新软启动恢复运行。

驱动环节采用专用 IGBT 驱动模块,利用其降栅压软关断功能实现 IGBT 短路保护。

为避免全电压启动时开关器件过大的电流冲击,电路中设置了软启动环节,在任何给定状况下,保证脉冲占空比逐步上升,根据控制环节的配置和电源设备主电路的要求,可用 PID 调节开关选择使用模拟式或数字式软启动。

电路中所用各种组合逻辑电路和时序逻辑电路全部采用了电可擦除可编程逻辑器件 GAL 来实现其数字功能,使印制电路板元件和引线尽量减少,电路结构更加简化,工作可靠性进一步提高,调试十分方便、灵活。

2.5.4 静电除尘用高频高压直流发生器

采用变频技术和功率变换电路将工频电压整流滤波后,输入功率变换电路,变换为高频方波交流电压(频率 20kHz 以上),然后再经高频变压器升压,根据反馈电压调节实现输出直流电压的稳定。通常需根据除尘环境设定直流电压稍小于回路火花电压,同时在直流电压上叠加一个高频电压,输出电流根据电流设定值进行调节,电流峰值可由用户根据除尘效果进行

调节，火花放电频繁时，降低电流设定值，当除尘电压偏低时，可适当增加电流设定值（最高 200mA 左右）。

（1）电源的组成及工作原理 电源由直流发生器（额定输出电压 100kV）和脉冲电压发生器（频率 $20\text{kHz} < f < 40\text{kHz}$ ，输出峰值为 10kV）组成。脉冲电压发生器的输出电压经隔直电容后和直流发生器的直流输出电压相叠加，使输出电压运行在闪烁包络线以下，同时输出电压平均值较高，保证了除尘效果。系统组成原理框图如图 2-27 所示。

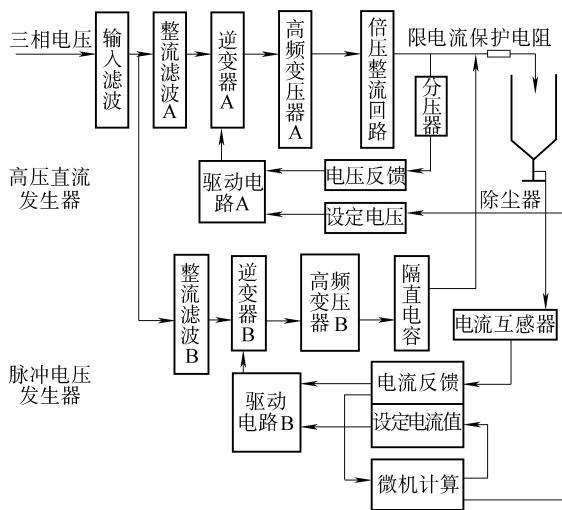


图 2-27 高频高压除尘电源组成原理框图

输入滤波电路将电网存在的杂波过滤掉，同时也防止高频高压除尘电源产生的杂波进入公共电网。市电经全桥整流并滤波后变为较平滑的直流电，再经逆变器变为高频交流电，这是该电源的核心部分，频率越高，电源体积、重量与输出功率之比越小，但由于回路参数、元器件、成本、干扰、功耗等多种因素的影响，当功率较大时，频率一般选择在 20 ~ 40kHz，本例

中电源工作频率约为 37kHz。采用 PWM 集成电路 SG3525（包含在驱动器 A 和驱动器 B 中），提供脉冲频率及宽度可控的控制信号，使输出电压、电流值变为可控。高频变压器的设计是这种电源的技术难点，由于频率的升高，分布容抗变得很小，所以必须考虑足够的绝缘距离，同时一、二次侧匝数、回路参数与频率也必须调节到最优运行点，才能保证高频变压器工作在 B-H 曲线的线性区，保证变压器一、二次侧的波形。

通过调节设定电压值和电流值，可以调节直流发生器的输出电压，使它低于闪烁电压，调节脉冲电压发生器的输出电流，使它稍小于闪烁时的电流。因此系统通过反馈电压来使直流输出电压稳定，通过比较设定电流值与反馈电流值来调节输出电流。用户可根据不同的除尘本体和粉尘情况设定高频高压电源的实用输出参数，扩大电源的使用范围。

图 2-27 的原理框图中所用直—交变换的环节为单相全桥逆变器，具体电路构成如图 2-28 所示，图中选用了两个 IGBT 模块作为开关型全桥直—交逆变器，每个 IGBT 模块中的两个功率管分别由控制电路输出的两个相位互差 180° 的驱动信号，经光电隔离后进行栅极驱动。逆变电路工作在 PWM 控制方式。当 G 信

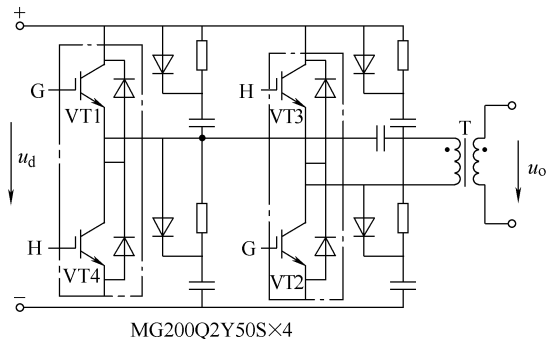


图 2-28 高频高压除尘电源中应用的直—交逆变器原理示图

号变为高电平时, VT1 与 VT2 能导通高频变压器 T 的两端直接接到直流电源 U_d 两端, 当 H 信号为高电平时, VT3、VT4 导通, 相当于高频变压器的两端反相接到直流电源 U_d 两端, 因此, 改变驱动信号的占空比将改变输出交流电压的脉冲宽度及有效值。当驱动信号占空比为 0.5 时, 输出电压中的基波分量最大, 其基波电压幅值为

$$U_{ol} = 4U_d / \pi \quad (2-9)$$

式中, U_d ——直流电压幅值。

脉宽可控制方式的主要优点为逆变器通过脉宽调制即可调节输出功率, 并且逆变器工作在较高频率时, 其产生的开关损耗较小, 这在功率大的应用场合是很重要的。当输出电流大于设定值时, 驱动脉冲信号变窄, 从而使输出功率变小, 输出电压、电流随之减小, 通过调节脉冲宽度控制直流高压发生器的输出电压值, 达到使之小于闪烁电压的目的。

(2) 控制脉冲电压发生器 该电源采用专用脉冲宽度调制器 SG3525A 产生逆变所需的驱动控制信号, SG3525A 内部集成有欠电压锁定、软启动等电路, 其输出采用图腾柱输出结构, 具有工作稳定, PWM 波频率调节范围宽, 有独立封锁端, 故障时可以很快的关断等性能。

控制脉冲电压发生器工作在恒流工作方式, 电流反馈端 (电流已转换为电压信号) 输入到误差比较放大器的反相端 IN_- , 与误差比较放大器的同相端 IN_+ 的设定电压值作比较, IN_+ 和 IN_- 电压经 SG3525A 内的误差放大器比较放大后输出小于 6V 的电压, 这时将该电压和峰值为 6V 的三角波进行比较, 就可以根据 IN_- 的反馈电流幅值输出不同占空比的驱动信号, 对不同的尘埃情况都能工作在恒流方式下。当发生火花放电时, 直流高压发生器通过测量电源输出电流值, 利用微处理器调节电压设定值, 降低直流高压发生器的输出电压, 使火花放电消

失,当除尘实际电流值小于设定电流值时,微处理器增加电压值,使直流高压发生器的输出电压增加。

2.5.5 用于消烟除尘的多功能高压静电电源

该电源适用于燃煤锅炉的消烟除尘,其原理框图如图 2-29 所示,高压电源主电路为常规的交流调压变压器升压再整流(T/R)系统。

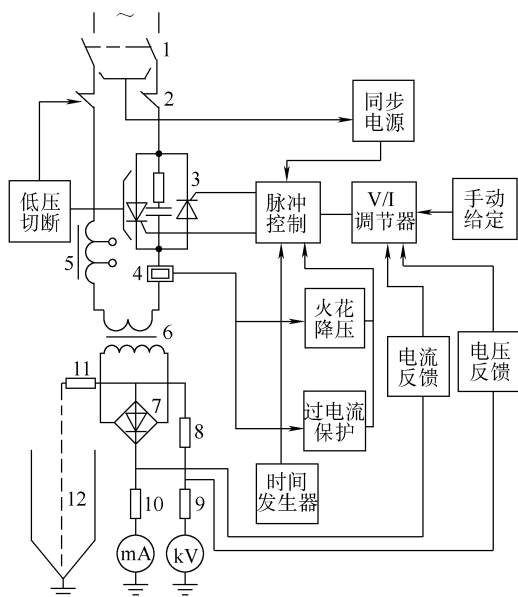


图 2-29 用于消烟除尘的高压静电
电源电路原理方框图

- 1—断路器 2—电磁开关 3—晶闸管 4—电流传感器
5—限流电感 6—变压器 7—整流硅堆 8—降压电阻
9—测量电阻 10—电流反馈电阻
11—阻尼电阻 12—收尘空间

反馈闭环控制电路包括恒流控制（可手动给定电流大小的环节），火花降压控制（由晶闸管控制使主电路降压时 du/dt 大，升压时 du/dt 小），过流和短路保护（通过关断晶闸管，确保稳定的电晕工作状态的环节等），稳压控制环节等。

通过可调周期时间发生器获得具有数个周期的连续交流电压，该电压的有效值由晶闸管移相控制或不移相但控制加到升压变压器一次侧的正弦交流电压周期数波，经升压变压器升压、二极管整流后在高压侧便可获得平均电压大小可调的直流供电、间隙供电（其间断式半波的通断比可为 $1/1$ 、 $1/3$ 、 $1/5$ ，...）、通断供电（即输出一组半波再中断一组半波，改变通断比可调节负载平均功率）共 3 种不同的供电形态以适应不同情况的小型锅炉除尘要求。

该电源有四种运行状态：

1) 恒压工作，电场处于稳定电晕放电状态，适用于燃烧状态较好，烟气浓度变化不大的场合。

2) 恒流工作，电流按给定的电流供给，可减少电功率的损耗，适用于燃烧状态欠佳，粉尘浓度变化较大的场合。

3) 降压工作，使电源获得快速降压和慢速升压特性，其 du/dt 可人为整定。适用于烟气浓度和湿度较大，电场频繁产生火花闪烁放电的场合。

4) 手动/自动工作，前者用于试验调整，后者用于正常运行。

民用小型燃煤锅炉工作周期短，为确保高压操作的安全性应注意操作程序：

送电：先接通市电电源，高压变压器一次绕组从零电压起逐步升压至额定值。

停电：将高压变压器一次绕组电压从额定电压降至零，再将电磁开关切断，使高压变压器与市电隔离。为此，高压电源

应与锅炉引风机实行“联锁”运行。

由于它灵活的供电运行方式和降压保护等控制特性，除尘效果较好，适用于中小型民用燃煤锅炉的除尘。

第 3 章 高压脱硫类 电力电子设备

3.1 概述

国民经济离不开能源，而从可燃矿物原料获取能量的过程中，排放出许多对环境有害的物质，例如烟气中的二氧化硫（ SO_2 ）、多氧化氮（ NO_x ）是酸雨的主要来源，它对大气、森林和农作物等造成的不良影响，已经引起了广泛的关注。

对人类危害最大的大气污染物中，硫的氧化物，特别是二氧化硫气体的数量最大，影响面最广。硫的氧化物的严重危害表现在以下几个方面：

（1）对人体健康的危害 SO_2 是具有刺激性的无色气体，它容易溶解于人体的血液和其他粘液中。大气 SO_2 污染对人体健康的影响，具有广泛、长期、慢性作用等特点。

据报导，城市大气中 SO_2 的浓度在 $(0.03 \sim 0.01) \times 10^{-6}$ 时，可导致发病率增加。有统计资料表明，大气中 SO_2 的浓度若每年增加 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ ，呼吸道系统疾病的死亡人数将增加 5%。

大气中 SO_2 浓度较低时，一般不会造成急性中毒，但在一些无风、逆温等特殊的气象条件下， SO_2 不易被大气稀释与扩散，就有可能发生急性中毒，加速一些老弱慢性疾病患者的死亡。

（2） SO_2 对植物的危害 植物对 SO_2 特别敏感， SO_2 主要通过叶面气孔进入植物体，在细胞或细胞液中生成 SO_3^{2-} 或 HSO_3^-

和 H^+ 。如果其浓度和持续的时间超过了本身的自解机能（或阈值浓度）时，就会破坏植物正常的生理机能，使光合作用下降，影响体内物质代谢和酶的活性，从而使叶细胞发生质壁分离、收缩或崩溃，叶绿素分解等。从表观上看，叶片出现伤斑、发黄、枯卷、落叶、落果或生长缓慢等，严重时则枯死。研究表明，当 SO_2 的浓度为 $(0.01 \sim 0.08) \times 10^{-6}$ 时，许多植物就开始受到不同程度的伤害。有些植物在更低的浓度下也遭受伤害。

(3) SO_2 对生态的影响 大气中的 SO_2 经氧化吸收水分而形成硫酸，进而与降水混合可形成酸雨。酸雨被称为“空中死神”，它对水生生态系统、农业生态系统、森林生态系统、建筑和材料、人体健康等方面均有较大的危害。酸雨危害主要表现是使土壤酸化和贫瘠化，破坏土壤结构，使农作物及森林生长缓慢或死亡。酸雨可使湖水酸化，土壤中大量铝（Al）、钙（Ca）、锰（Mg）等金属离子溶出，在水中的浓度增高，造成对水生生物毒性的增加，在 pH 值为 5 时，Al 的毒性最大。这种水质，可抑制鱼类繁殖与生长，乃至灭绝。酸雨对建筑物和材料有腐蚀作用，加速风化过程等。

目前国内外控制二氧化硫气体污染的办法很多，例如改革工艺流程，高烟囱扩散稀释，燃料脱硫及烟气脱硫等。

由于烟气中硫氧化物的成分是以二氧化硫的形式存在，因此烟气脱硫技术比重油脱硫简单，而且烟气脱硫既能消除 SO_2 的大气污染，还能以不同的工艺流程，使烟气中的 SO_2 生成化学肥料、石膏、硫酸、浓态 SO_2 和元素硫等，从而达到“废物资源化”的目的。

根据烟气中二氧化硫含量的不同，可分为高浓度二氧化硫烟气和低浓度二氧化硫烟气两种，一般二氧化硫含量在 2% 以上的称为高浓度烟气，主要来自有色金属冶炼过程和火力发电厂；二氧化硫含量在 2% 以下的称为低浓度烟气，它主要来自燃料燃

烧过程。

我国是个燃煤大国，大气中 87% 的 SO_2 ， $2/3$ 的 NO_x 和 79% 的粉尘来源于燃煤过程，因而要更加注意改善大气的质量，我们应当选择高效的治理方案。同时我国又是个急需磷钾肥的农业大国，相当珍视煤中的硫资源，因而把它直接转化为宝贵的硫磺和硫酸，是我们渴求的净化方案之综合利用资源的理想目标。

我国政府 1998 年曾提出环保工作的重点之一是治理 SO_2 污染，在我国要防治 SO_2 污染，控制火电厂、工业锅炉及窑炉等三大项烟气源的排放是关键，烟气脱硫技术（FGD）是解决烟气排放污染的主要途径。

烟气脱硫方法甚多，一般可分为干法和湿法两大类。此外，根据脱硫过程中最终形成副产物的回收利用与否，还可分为抛弃法和回收法两大类。

湿法烟气脱硫及其优缺点：

湿法烟气脱硫，是指应用液体吸收剂（如碱性溶液等）洗涤烟气脱除烟气中的 SO_2 。

湿法烟气脱硫的优点是脱硫效率高，设备小，投资省，操作简便，控制容易，操作稳定，以及占地面积小；缺点是易造成二次污染，存在废水后处理问题，能耗高，特别是洗涤后烟气温度低，不利于烟囱排气的扩散，易产生“白烟”，需要二次加热，腐蚀严重。

干法烟气脱硫及其优缺点：

干法烟气脱硫，是指应用干粉状或粒状吸收剂、吸附剂或催化剂来处理 SO_2 烟气，使烟气中的 SO_2 得到净化。

干法烟气脱硫的优点是工艺过程简单，无污水、无污酸处理问题，能耗低，特别是净化后烟气温度高，有利于烟囱排气的扩散，不会产生“白烟”现象，净化后的烟气不需要二次加

热，腐蚀性小；缺点是脱硫效率较低，设备庞大，投资大，占地面积大，操作不稳定，操作技术要求高等。

目前，国内外一般比较重视湿法烟气脱硫技术的深层研究及开发，如进一步提高其经济有效性等。日本、美国及德国研究得最多。湿法烟气脱硫是目前国内外烟气脱硫应用最多的方法。近年来，由于湿法烟气脱硫自身的严重缺点，并由于新技术、新材料的发展，使干法烟气脱硫的效率得以提高，所以干法烟气脱硫研究及开发也普遍受到重视。

技术上成熟、经济上可行、已用于电力工业的脱硫技术大约有 10 几种。在世界各国现有的烟气脱硫中，湿法占 85% 左右，其中石灰石—石膏法为 36.7%，其他湿法为 48.3%；吸收剂再生法占 3.4%；炉内喷钙法占 1.9%。吸收剂再生法主要有氧化镁法、双碱法、W - L 法。以湿法烟气脱硫为主的国家有日本（占总脱硫设备的 98%）、美国（占总脱硫设备的 92%）和德国（占总脱硫设备的 90%）等。

烟气脱硫技术（FGD）是一项有广阔发展前景的技术，新的研究方法层出不穷，随着研究的深入，有不少先进的新技术不断涌现。目前美国、日本、英国等国开发出的新工艺有电除尘脱硫，半干式及干式脱硫装置以及炉内喷射吸收剂法、烟道喷射吸收剂等。我国根据自己的国情，在设备的内部结构上，吸收剂的配方调整上，以及脱硫灰的再循环利用和根据企业生产实际再回收产物产生效益等方面作了大量的研究，取得了可喜的研究与应用成果，在防治 SO_2 污染、加强环境保护工作中发挥了积极的作用。

3.2 脱硫技术

SO_2 的脱硫控制技术可分为三大类：燃烧前脱硫，燃烧中脱硫，燃烧后脱硫。

(1) 燃烧前的脱硫技术 主要指燃料脱硫技术, 对于以燃煤为主要能源的我国来说, 又主要指煤的脱硫技术, 有化学法、物理法和微生物法。工业应用中最广泛的是煤的重力分选法。浮选法、氧化脱硫法、微波脱硫法、磁力脱硫法以及煤的气化、液化法等正在得到推广应用。

天然气、液化石油气以及煤制气等, 是方便、干净、热效率高的优质燃料, 特别是供给民用, 可取得最大的节能效果, 同时可消除民用小煤炉的低空 SO_2 排放和烟尘污染。

(2) 燃烧中脱硫技术 它是型煤固硫技术和循环流化脱硫技术(型煤燃烧时, 在煤中的固化剂 CaO 与生成的 SO_2 、 SO_3 反应生成 CaSO_4 达到固硫的目的, 使用的脱硫剂是电石。也可以用石灰石, 白云石作脱硫剂的加入流化床, 在燃烧过程中固硫)。实践表明, 工业锅炉、窑炉及铁路机车燃烧工业固硫型煤, 是减少 SO_2 和烟尘排放量、提高热效率、降低能耗的简便、易行的有效措施。据称, 国外应用工业固硫型煤后, SO_2 的排放量可减少 87%, 烟尘排放量可减少 80%, 节煤 20% ~ 30%。近年来, 我国对工业锅炉、窑炉及铁路机车用工业固硫型煤进行了研究及开发。研究表明, 我国工业锅炉、窑炉及铁路机车燃烧工业固硫型煤后, SO_2 排放量可减少 40% ~ 75%, 烟尘排放量可减少 50% ~ 80%, 节煤 15% ~ 17%, 经济效益及环境效益令人满意。在目前及今后相当长的时期内, 我国对燃煤工业锅炉、窑炉及铁路机车, 应大力推广应用工业固硫型煤, 这对我国大气 SO_2 污染防治具有极其重要的意义及深远影响。

水煤浆为国外 70 年代研究与开发的以煤代油的一种新型燃料, 它是由灰分及硫分很低, 挥发分高的煤, 研磨成很细的颗粒, 按一定级配, 再加水和少量添加剂制成。水煤浆可以象液体燃料一样运输和贮存, 喷入锅炉、窑炉燃烧, 而成本比燃油低。锅炉和窑炉燃烧水煤浆时, 热效率高达 81%, SO_2 及烟尘

排放量可明显减少,经济及环境效益相当可观。近几年来,我国水煤浆的研究试验及示范工程试验工作,已取得重大突破性进展,首批输煤浆管道即将铺设,不久即可开始实际应用。我国石油资源短缺,石油产量供不应求,以煤代油势在必行,水煤浆在我国的市场潜力很大,它对我国大气 SO_2 污染防治具有极其重要的意义。

(3) 燃烧后脱硫技术 烟气脱硫技术,烟气脱硫的工艺很多,有200多种,石灰石—石膏法烟气脱硫系统,主要由变压器、交直流 UPS/配电柜、开关控制屏及继电保护装置组成,系统中使用的脱硫风机、水泵、输送机械等控制电路都选择电力半导体器件,应用了电力电子技术,使得工艺流程顺畅,控制灵活方便,例如这几年使用的电子束,脉冲电晕脱硫方案,就更离不开电力电子技术的应用了。

烟气脱硫技术是一项跨行业、多学科的系统工程,涉及环境工程、化学及化学工程、机械、电子、自动化等学科领域,以及项目规划、工艺研究、技术开发、设备研制、工程设计等内容。在技术难度上,消烟除尘技术是不可相比的。

如前所述,我国大气 SO_2 污染主要是由煤炭燃烧造成的,准确地说主要是由于煤炭非洁净利用造成的。因此,我国大气 SO_2 污染防治对策,应首先着眼于洁净煤技术,即煤炭洗涤及加工、煤炭成型、气化、集中供热、水煤浆化等,这是防治我国大气 SO_2 污染的根本措施,也是许多国家成功防治大气 SO_2 污染的经验。但是,一般来说,仅单独使用任何一种方法都不可能一举而完全达到环境标准,常常是几种方法联合作用,才能收到良好的效果。仅仅采用上述几种洁净煤技术,大气质量一般不可能完全达到环境标准,在采用洁净煤技术的基础上,再采用烟气脱硫技术,大气质量才能达到环境标准,这也是多年来许多国家的成功经验。到目前为止,世界上没有一个国家不

采用洁净煤技术，仅采用烟气脱硫而实现大气 SO_2 污染控制的；但是，也没有一个国家仅采用洁净煤技术，不采用烟气脱硫而实现大气 SO_2 污染控制的。

在目前情况下，我国燃煤发电厂烟气脱硫正处于起步阶段，当前应大力推广使用已成熟的工业化的烟气脱硫技术，使设备系列化、定型化；同时，针对我国近 50 万台燃煤工业锅炉 SO_2 污染大气的严重问题，应重点研究与开发简易、经济、实用的烟气脱硫技术。

这里简单介绍几种新研究开发的烟气脱硫技术与装置：

1) 电子束氨法烟气脱硫工艺 (EBA) 电子束烟气脱硫脱氮技术是一项物理与化学紧密结合的高新技术，国外 20 世纪 70 年代初期就开始了探索研究。作为我国“七·五”期间国家重点科技攻关项目，以上海原子能研究所为主曾做过小型试验，至今仍有一些院校在不断深入研究电子束法脱除烟气中 SO_2 和 NO_x ，在电子束照射的同时加入氨气，均证明脱硫的同时也能脱氮。

其工艺流程为：锅炉所排烟气经静电除尘去除烟尘后，进入喷雾冷却塔，从塔顶喷射出的冷却水，在落到塔底之前，完全蒸发汽化，将其冷却到接近其饱和温度值（60 ~ 70 °C）然后烟气进入反应器，在反应器内，喷入氨气，再通过电子束照射，烟气接受由于电子加速器产生的高能电子束辐射，电子束中大部分能量被烟气中氮、氧、水蒸气吸收，生成大量的离子，它们可以在极短的时间内将烟气中的 SO_2 、 NO_2 氧化成硫酸和硝酸，与先前注入的氨进行反应，生成硫酸氨、硝酸氨的混合粉体。喷氨与电子束照射工序同时在反应室内完成。生成的硫酸铵与硝酸铵混合粉体进入副产品电收集器，收集后用造粒机造粒，分离机分离打包后作为化肥贮存入库。

其工艺原理为：

① 游离基的生成：燃煤排烟由氮、氧、水蒸汽、 CO_2 、 SO_x 、 NO_x 等微量有害成分构成。当电子束照射烟气时，电子束能量大部分被烟气中的氮、氧、水蒸气所吸收，从而生成富有反应活性的游离基（OH 基、O 原子、 HO_2 基、N 基）：



② SO_2 与 NO_x 的氧化：烟气中的 SO_2 与 NO_x ，与因电子束照射生成的游离基进行反应，分别氧化成硫酸（ H_2SO_4 ）与硝酸（ HNO_3 ）。

③ 硫酸铵与硝酸铵的生成：已生成的硫酸和硝酸再与电子束照射以前喷入的氨进行中和反应，分别生成硫酸铵和硝酸铵的粉状微粒，若有尚未进行反应的剩余的 SO_2 和 NH_3 时，可分别在上述微粒表面进一步进行热化学反应，从而 SO_2 和 NH_3 的一部分会生成硫酸铵、硝酸铵。

从电子束照射到硫酸铵、硝酸铵生成所需要的时间极短，仅约 1s。

2) 脉冲电晕等离子氨法烟气脱硫工艺（PPCP 法）与 EBA 法相同，只是采用高压脉冲电晕放电代替了 EBA 中的电子加速器，二者相比，EBA 结构简单、投资少、技术难度低。

3) 高频高压开关电源（HFHVSPS）它用于高压除尘电源及烟气脱硫的电源系统中，随着智能型电力半导体器件的应用，开关电源以其体积小、重量轻、变换效率高等特点越来越受到广泛的欢迎。

3.3 酸雨防治与高压脱硫

3.3.1 酸雨的危害

目前国内外都不同程度的受到酸雨的危害，由于它破坏了水生生态系统和农业生态系统，影响了人体健康，腐蚀建筑物

及材料等,造成巨大损失,因此它是当今人们最为关切的环境问题之一。酸雨的危害主要表面在如下几个方面:

(1) 使农作物减产,土壤酸化严重 近年来,酸雨对我国生态系统的危害日趋严重。例如,1982 年夏季,重庆连降酸雨,6 月 18 日夜一场酸雨过后,1300 多公顷水稻叶片骤然枯黄,犹如火烤,纷纷枯死。

据 1981 年对我国 13 个省市 25 个工矿企业的统计,因 SO_2 污染造成农业受害面积为 2.33 万公顷,粮食损失 1.8 万吨,蔬菜 50 万公斤 ($1\text{kg}=1$ 公斤),赔款达 595 万元。我国南方一家冶炼厂因大量排放 SO_2 ,污染了周围的 500 平方公里的土地,部分农田颗粒不收,果树死绝。苏州一家硫酸厂,一度因排放 SO_2 超标,使周围农作物和蔬菜连年减产,受害农田几百公顷,工厂每年赔偿农业损失 10 万元以上。

我国广东省每年因酸雨造成的经济损失就超过 20 亿元;四川和云南两省以及广西壮族自治区每年酸雨造成的经济损失高达 160 亿元;重庆市每年因酸雨造成的经济损失也在 5 亿元以上。目前,我国受酸雨危害的面积,已占国土总面积的 $1/3$ 以上。江苏省受酸雨危害的面积,占该省总面积的 84% 以上,这在世界上其他国家都是不多见的。

(2) 对森林生态系统危害严重 当大气 SO_2 浓度长期为 $0.36\text{mg}/\text{m}^3$ 时,马尾松将枯死,许多树种不能正常生长,许多花草不能在城市栽种。据初步调查,西南地区针叶林有大面积受酸雨危害甚至死亡的事例。如重庆南山马尾松死亡率达 46%,四川峨嵋山金顶的冷杉已有 40% 的死亡。

(3) 影响人体健康 SO_2 污染和酸雨,酸雾的频繁发生主要对人体的呼吸道有影响。

流行病学研究发现,大气 SO_2 污染可导致多种疾病,如上呼吸道炎症、慢性支气管炎、支气管哮喘、肺气肿等。大气 SO_2

污染对青少年的生长发育有不良的影响,可降低青少年机体的免疫功能,使抗病能力下降。大气中的 SO_2 ,对眼结膜也有强烈的刺激作用。

SO_2 往往被飘尘吸附, SO_2 和飘尘的协同效应,使其对人体的危害更大。吸附 SO_2 的飘尘可将 SO_2 带入人的肺部,使 SO_2 的毒性增加 3~4 倍。飘尘中的 Fe_2O_3 等物质可将 SO_2 催化氧化成 SO_3 ,遇水可形成硫酸雾并被飘尘吸附。此飘尘经呼吸道吸入肺部滞留在肺壁上,可引起肺纤维性病变和肺气肿,硫酸雾的刺激作用比 SO_2 强 10 倍。硫酸雾对眼结膜也有强烈的刺激作用。长期食用受酸雨影响的蔬菜、瓜果对人体健康也有影响。

(4) 严重腐蚀建筑物和室外材料 暴露在室外的铁制品、腐蚀速率是 0.2~0.4mm/年,若直接受酸雨浇淋其腐蚀速率大于 1mm/年,电视铁塔、路灯电杆、汽车铁壳、输电铁架,受酸雨的损失费用在四川、重庆、贵州等地明显高于其他地区。

SO_2 以及硫酸雾、酸雨,可以加速建筑及材料的腐蚀,从而破坏各种材料、建筑物及人工制品。

重庆嘉陵江大桥的锈蚀速率为 0.16mm/年,仅钢结构维护费每年达 20 万元,是南京长江大桥的 1.6 倍(而钢架长度则只有南京长江大桥的 1/4),该桥金属构件的维护周期只及南京长江大桥的 1/5。重庆市区水银路灯每年损失 11 万元。电视铁塔每年锈损 3 万元。客车铁壳无论如何保护,一年就锈穿,每年损失 18 万元。建筑行业的塔吊、井吊的锈蚀每年损失 10 万元。重庆体育馆的水泥栏杆因酸雨侵蚀,钢筋、石子外露 5~10mm,腐蚀速率为 0.2~0.4mm/年。这类事例在重庆不胜枚举。重庆地区的酸雨对金属材料的腐蚀速率大约为非酸雨区的 2~4 倍以上。

此外,水泥建筑物的外层砂浆,经过 3~4 年酸雨的侵蚀,石子就开始外露。至于 SO_2 、硫酸雾及酸雨对古建筑物等历史文

化遗产的损失，则是无法用经济数字来估算的。

(5) 对生态环境的影响 由于酸雨的作用，水体的物理、化学性质发生变化，土壤酸化，许多动物、植物及微生物不能正常生长，有些动物会改变生活习性。

据国内研究报告显示，在 20 世纪 80 年代，仅广东和广西、四川、重庆、贵州五省市由于酸雨造成的损失，每年超过 160 亿。目前我国由于 SO_2 和酸雨造成的各类经济损失超过每年 500 亿元。

3.3.2 酸雨污染防治

当天然降水（包括降雪）pH 值小于 5.6 时，其降水称为酸雨，引起降水酸化的主要物质，有硫氧化物、氮氧化物和氯化物，在三类物质中， SO_2 和 NO_2 是形成酸雨的主要物质，其中 90% 是人为活动—燃烧矿物质燃料造成的。目前酸雨已成为世界上最严重的三大空气污染问题之一。

中国是以煤炭为主要能源的国家，能源结构中煤炭占 80% 以上。近几年来，由于中国经济的快速发展，中国的煤炭产量一直位居世界第一位，年产量达到 10 亿吨以上，中国不少煤田煤炭灰分和含硫量较高，大部分灰分在 25% ~ 30% 之间，而一些小煤窑挖掘的煤炭中灰分达到 40% 以上，中国煤炭中平均含硫量为 1.1% 左右，在西南省分煤质含硫量高达 7% 以上。随着煤炭产量的增加，二氧化硫的排放量呈上升趋势。1995 年，二氧化硫排放量达到 2370 万吨，超过了美国的 2100 万吨，居世界第一位。近几年来，虽然中国二氧化硫控制力度有所加大，另外燃煤量也有所减少，但二氧化硫排放量还在 2000 万吨左右，仍居世界第一位。

根据中国环境状况公报显示。2001 年降水 pH 值小于 5.6 的城市主要分部在我国的西南、华南、华中及华北地区，对我国

274 个城市酸雨监测, 出现酸雨的城市有 161 个, 占 58.8%。20 世纪 80 年代, 我国酸雨主要发生在我国的西南地区的几个工业城市, 酸雨区面积约为 170 万平方公里, 到 20 世纪 90 年代中期, 南方酸雨扩大到了长江以南, 加上北方出现的酸雨区域估计我国目前酸雨面积超过 300 万平方公里, 占国土面积的 30% 以上。由此可见, 中国的大气污染仍以煤烟型污染为主, 酸雨也是硫酸型的, 造成酸雨的主要原因是燃烧排放二氧化硫所致。

我国燃煤烟气脱硫技术起步于 20 世纪 60 年代, 进入 80 年代以来我国的烟气脱硫研究与引进国外先进技术同步开展, “七·五”期间引进了丹麦的喷雾干燥脱硫技术和关键设备, 安装在沈阳飞机发动机厂锅炉上。同时国内自行设计、制造喷雾干燥脱硫中试设备安装在四川白马电厂。2000 年, 引进日本电子束照射脱硫设备安装在成都热电一厂 100MW 机组锅炉上, 并投入运行, 该设备为目前世界上采用电子束照射脱硫设备中处理能力最大的。

2000 年中国人大常委会通过了修改后的《大气污染防治法》规定限制高硫煤的开采, 对现有高硫矿必须采取洗煤脱硫措施。如燃烧高硫煤必须配备有烟气脱硫措施与设备。

SO₂ 污染的综合防治: 大气 SO₂ 污染防治, 是一个综合性很强的系统工程, 仅孤立地考虑单个污染源治理, 是远远不够的, 同时生产末端 SO₂ 污染治理的压力不堪承受, 很不经济。各国的经验证明, 大气 SO₂ 污染综合防治是解决大气 SO₂ 污染的基本对策, 要通过清洁生产模式来实现我国可持续发展的战略目标。只有按照经济和社会的发展、资源保护和利用、能源和大气环境质量之间的相互依赖和制约的规律, 推行清洁生产, 运用全面规划, 加强管理, 防治结合, 以防为主, 积极治理的综合性防治对策, 才能作到防患大气 SO₂ 污染于未然。综合防治在于综合考虑社会、经济、环境、资源、污染源等多种因素,

统筹规划，以求最佳的总体效益。

1) 加强城市规划，积极主动防治大气 SO_2 污染，搞好经济建设规划，工业合理布局，强化功能分区，合理利用资源，大力推行清洁生产，是防治大气 SO_2 污染和保护大气质量的一项基本措施。这是贯彻预防为主，改变先污染后治理的有效办法，也是实现人类生存、发展、环境良性循环的最佳方法。

2) 调整不合理的工业布局，对 SO_2 严重污染的工业企业坚决实行关、停、并、转、迁。

通过技术改造，改变工业结构及产品结构，发展高新技术，使原料和能源消耗最少化， SO_2 排放最少化、资源化、无害化。对于那些 SO_2 严重污染的工业企业要限期治理或进行调整、改造或搬迁，以期达到积极主动防治大气 SO_2 污染。实践证明，大气 SO_2 污染防治，“防”重于“治”，减少能源的消耗和原材料的消耗，资源回收利用，是促进经济发展和保护大气环境的上策。

3) 推行洁净生产，实行有利于大气环境的能源政策，改进煤炭分配，优质煤应优先供给民用，应用洁净煤技术，包括煤炭洗选，加工成型，气化、液化。煤炭加工成固硫煤，发展城市燃气，改变城市民用燃料结构，实行集中供热，是现代城市的基础之一，是节约能源和控制大气 SO_2 污染的有效途径。

3.3.3 高压脱硫

高压脱硫是一种烟气脱硫的新方法、新技术，它的脱硫原理是：利用高压、高频的工作电源，对烟气中的气体分子（ O_2 、 H_2O 、 N_2 等）作用产生丰富的离子和自由基，这些活性粒子同污染分子（ SO_2 、 NO_x ）反应，氧化或是还原（主要途径是氧化），在有添加剂 NH_3 存在的条件下生成相应的氨盐，然后由布袋过滤器或是静电除尘器收集这些副产品，从而达到净化烟气

的目的。有关反应机理是, 高压脉冲电场对气体电离产生的自由基反应脱除 SO_2 约占 30%, 对 SO_2 的脱除主要依赖热化学反应; NO_x 脱除主要依靠脉冲电晕诱导的自由基反应和离子反应; H_2O 的存在能降低能量损耗同时能提高 SO_2 和 NO_x 脱除效率; 多相反应对 SO_2 和 NO_x 脱除有利。电离产生的氧离子具有极强的氧化作用, 高压放电特性主要受控于水蒸汽和氧的浓度, 离子—分子反应在脱硫脱硝过程中起的作用和自由基反应一样重要(该过程也包含负离子—分子反应); H_2O 和 NH_3 的浓度以及外加电场的电压频率, 脉冲形状等在处理过程中有着重要作用; 离子诱导和气溶胶形成在 NH_4NO_3 超细粒子形成中起重要作用; 液相中自由基 SO_3^- 在把 SO_3 氧化成 SO_4 的过程中起重要作用, 液相吸收的 OH 产生 85% 以上的脱硫率, 从而成功地解释了脱硫中硫酸盐的形成过程, 以及主要活化液相反应的作用原理。

所以说高压脱硫就是在极高的脉冲电压所产生的高压电场作用下的电离或称电晕现象, 通过高能电子同烟气中气体分子作用产生离子和自由基与污染分子 SO_2 、 NO_x 氧化反应, 达到脱硫的效果, 如果在这个过程中添加 NH_3 , 则可以生成硫酸铵盐的副产品。

高压脱硫是一项正在研究发展的新工艺、新技术, 它使用的高压脉冲电源其主电路中就可以选用最新的耐高压且开关速度很高的电力半导体器件, 在以后的脱硫类电力电子设备的例子中还有介绍。

3.4 高压脱硫类电力电子设备

高频、大功率、高可靠性开关电源是当今电源变换技术发展的重要方向之一, 智能型电力半导体器件, 抗干扰技术和新的控制理论的应用使其在高频、高效、高可靠性方面更具有竞

争力。这里有几个实例可以充分说明电力电子技术在高压脱硫和高压除尘系统中的成功应用。

3.4.1 20kHz 高压开关电源

应用含有 IGBT 驱动、保护的智能功率模块和脉宽调制 (PWM) 稳压, 限流双闭环集成控制技术设计的 20kHz 高频高压开关电源, 其原理电路框图如图 3-1 所示。

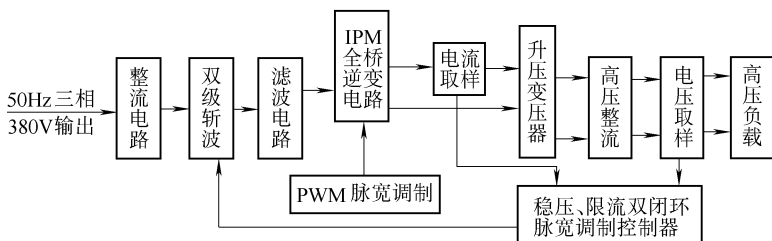


图 3-1 20kHz 高频高压开关电源原理框图

它的核心电路有整流电路、斩波电路、全桥逆变电路、IPM 驱动控制电路和 PWM 脉宽调制集成控制电路。经升压变压器、高压整流后, 送给高压负载 (脱硫吸收塔的高压电极)

(1) 高压开关电源的功率主回路 380V 50Hz 的三相交流电源送入三相桥式不可控整流电路、经电容滤波为平稳的直流

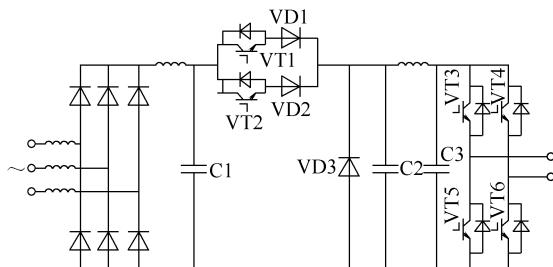


图 3-2 20kHz 高频高压开关电源的主回路原理图

电后,经推挽式斩波变换器斩波调压,主电路结构如图 3-2 所示,两只开关管 VT1、VT2,分别与二极管 VD1、VD2 串联,然后再并联,以扩大通流能力,斩波开关管选用 IGBT 全桥型功率器件,VT1、VT2 以小于 180° 的导通时间互补工作,若单管工作频率为 20kHz,则推挽式输出后频率可以达到 40kHz。

(2) 全桥逆变电路及其驱动控制 逆变部分采用全桥逆变电路,功率开关器件可选用第三代智能功率模块 (IPM),由于 IPM 内集成有能连续监控电流的单元,从而实现高效的过流保护和短路保护。IPM 内还集成有过热保护和欠电压锁定保护电路,因而进一步提高了系统的可靠性。全桥逆变电路的主回路原理图如图 3-3 所示,由两个双单元封装的 IPM 和输出变压器 Tr 构成。输入直流电压为 U_{in} ,输出交流电压为 U_o ,变压器 Tr 的一次绕组接于 AB 两端,一次绕组匝数为 N_1 ,二次绕组匝数为 N_2 ,电压比 $k = N_1 / N_2$,其中 N_1 与 N_2 分别为输入变压器 Tr 的一次与二次绕组的匝数,全桥逆变电路有双极性控制,有限双极性控制和移相控制三种控制方式,这里图 3-3 表示的是采用双极性控制电路。

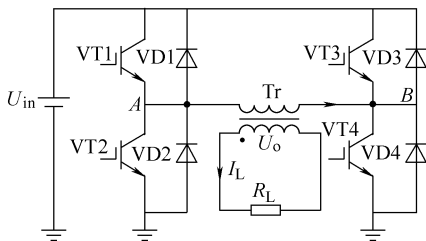


图 3-3 全桥逆变主电路的原理图

IPM 全桥逆变驱动控制电路的原理图如图 3-4 所示。外同步信号进行脉宽调制,控制由 CD4027B 双 JK 主从触发器构成的互补脉冲产生电路,由 CD4098B 双单稳态多谐振荡器分别控制

两路互补脉冲的死区时间。故障信号及方波脉冲信号通过 CD4081 双输入、输出的与门电路，输出给 CD4043B 四 R/S 锁存器，经光耦驱动输出，送给 V1、V2、V3、V4，实现全桥逆变。

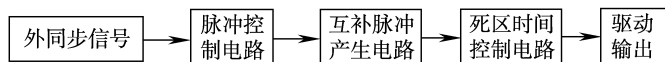


图 3-4 全桥逆变驱动控制电路原理框图

变压器 Tr 是开关电源中非常重要的部件，是高频升压变压器（电压比 $k > 1$ ），由于工作频率较高（ $1 \sim 40\text{kHz}$ ）实现磁耦合的磁路不是普通变压器中的矽钢片，而是选用导磁率较高的铁氧体磁心或钼莫合金铁心材料，可以获得较大的励磁电感，减小磁路中的功率损耗，便于传输具有宽频带的脉冲能量。变压器 Tr 的输出电压为 U_o ，负载为 R_L ，如图 3-3 所示。这样的高频高压开关电源应用于高压静电除尘及烟气脱硫的环保设备系统中是非常合适的。

3.4.2 荷电干式吸收剂喷射系统（CDSI）

CDSI 系统是通过在锅炉出口烟道内除尘器前的适当位置喷入干的吸收剂（通常用消石灰， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ），使吸收剂与烟气中的 SO_2 反应生成 CaSO_3 及 CaSO_4 颗粒物质，然后被后部的除尘设备除去。

荷电干式吸收剂喷射系统包括一个吸收剂喷射单元，一个吸收剂给料单元（进料控制器、料斗装置）及计算机控制单元等，吸收剂以高速流过喷射单元产生的高压静电电晕充电区，使吸收剂带有强大的静电荷（通常为负电荷），当吸收剂经喷射单元的喷管被射到烟气流中时，由于吸收剂颗粒均带有同种电荷，因而相互排斥，迅速在烟气中扩散，形成均匀分布的悬浮

状态。每个吸收剂颗粒的表面都充分暴露于烟气中，使其与 SO_2 的反应机会大大增加，从而使脱硫效率大幅度提高。吸收剂颗粒表面的电晕，还大大提高了吸收剂的活性，减少了同 SO_2 反应所需的气固接触时间，一般在 2s 以内即可完成亚硫酸盐化合反应，从而有效地提高了 SO_2 的去除率。

此外，荷电干式吸收剂喷射系统还有助于清除细颗粒（亚微米级 PM_{10} ）粉尘。带静电荷的吸收剂粒子把细颗粒粉尘吸附在自己表面，形成较大颗粒，使烟气中粉尘的平均粒径增大，提高了相应的除尘设备对亚微米级粉尘颗粒的去除效率。

CDSI 系统脱硫后的生成物为干燥的 CaSO_3 及少量 CaSO_4 ，可用作建筑材料，无二次污染问题。

喷射单元由荷电喷枪、高压电源、气-固混合器、一次风机及二次风机组成。一次风机使混合器吸收剂入口处呈负压状态，这样，从给料机来的吸收剂进入混合器后随空气按一定的气固比例，进入荷电喷枪的充电区充电，带静电荷的吸收剂颗粒被喷入烟道中与 SO_2 发生反应。二次风机的作用是自动清扫充电区，以防止充电部分被吸收剂粘附而影响充电效果。高压电源的作用是使喷枪带上高压静电荷，形成充电区。

计算机控制单元，由于 CDSI 系统吸收剂的喷射量是根据烟气中 SO_2 含量的多少来决定的，通过锅炉负荷的变化来调整吸收剂的喷入量，将煤的含硫量与低位发热值等数据输入计算机就可实现自动控制的目的。把计算机控制应用于荷电喷枪与高压电源有机的结合起来，提高了脱硫效率，降低了成本，改善了环境。

3.4.3 电化学法脱除煤中的有机硫

煤中硫分为有机硫和无机硫。高硫煤中有机硫占 30% ~ 40%；华东、中南、西南等地高硫煤中有机硫占 50% 以上。一

一般来说,煤中无机硫易脱除,一些工艺已工业化,而煤中有机硫很难用普通物理方法脱除,必须用化学方法(如 KVB 法、快速热解法、碱液浮混浸熔法)才能达到目的,但化学方法需在高温、高压下进入或者需强氧化剂,不仅设备投资高而且反应剧烈,改变了煤的结构、性质,净化后产品的应用也受到限制,为此在脱硫技术中研究出了一种较温和的脱除煤中的有机硫的方法——电化学法。

硫的脱除过程是在电催化下间接电解而将煤中的有机硫氧化的过程。影响有机硫脱除的因素主要有电解质、电解电位、电流密度、电解电极、电解温度、电解时间等。煤电化学脱硫所用电解质分酸性与碱性,一般在碱性介质中有机硫的脱除率高一些。而且电解温度越高,电解时间延长,可大大提高脱灰、脱硫的效率,一般温度在 70℃ 以上,电解时间超过 6h,最长 250h。

电化学方法脱除煤中有机硫一般在常温、常压下进行,易操作,它不仅能脱除大部分有机硫,而且能产生大量的高纯氢气的副产品,电流效率高,还可降低煤脱硫的费用。

采用电化学方法,利用电力半导体器件设计的电解电源可以实现煤脱硫,效率高达 70% 以上,又以减少或防止煤燃烧时产生含硫气体对大气的污染,实现煤的深度净化。

3.4.4 脉冲电晕法烟气脱硫新技术

脉冲电晕法烟气脱硫技术正处于发展时期,工业性试验已进行了多年,现在的研究着眼于如何有效地减少电能消耗,更有效地提高对烟气中 SO_2 和 NO_x 的脱硫效率。

脉冲电晕法作为一种最有开发前景的烟气脱硫脱硝方法正由实验室阶段走向工业性试验阶段。脉冲电晕法是由 Masuda 提出并进行了实验研究,接着在意大利,美国和日本等国进行了

广泛的研究,并先后建立和进行了试验工作,在其发展过程中,Masuda 等进行了火花隙开关电源的研究,后来,Yan 和 Rea 又提出了一次将硫脱干净的光重要性并进行了电源和反应器的设计。

电源和反应器是脉冲电晕法研究的实体,脉冲电晕特性和反应机理的研究之目的均为了优化电源性能和反应器系统结构。

用于描述脉冲电晕特性的主要电参数有脉冲电压、电流和能量的峰值、上升时间、脉宽和重复频率,其他还有脉冲波形的振荡程度,单次脉冲能量、单次脉冲电量等。用能量利用率来判断脉冲电晕特性的优劣。对电参数研究而获得的有关脉冲电晕特性优化的主要结论有:正脉冲电晕优于负脉冲电晕,因正脉冲电晕等离子体区体积大,脉冲电压峰值高,上升时间短,则电晕特性优,适当的直流电压有利于电源和反应器匹配,电源和反应器本身及运行条件直接决定脉冲电晕特性。

高压窄脉冲电源回路的设计有许多,但主要的是利用电容储能并通过火花隙开关形成和传输高压窄脉冲能量,电源研究所追求的是电源效率、输出特性、大功率实现和运行可靠等。利用直流谐振充电已使充电效率大于 90%,为了实现良好的输出特性,进行了两方面研究,即高的峰值电压,最高电压已达 150kV;陡的上升前沿,这需要放电回路有小的分布电感,达 μH 量级。另外脉冲频率最高达 760Hz 和 1100Hz,有关可靠性研究是至关重要的一方面。

脉冲电晕反应器的结构一般为线—筒式或线—板式,在工业性试验中一般为线—板式结构。有关反应器及其运行条件的研究,利用尖端中空电极喷射 NH_3 气体使 NH_3 在电晕区内分解,以求减少尾气 NH_3 的泄漏。利用湿式或半湿式反应器提高 NO_x 的反应吸收,同时以 CH_4 为添加剂提高 NO_x 脱除且减少 N_2O 生成,通过向烟气中注入氧化氢 (H_2O_2) 而使 NH_3 泄漏小

于 1×10^{-6} ， SO_2 脱除率达 99%。

除上述各自对电源和反应器的研究外，由脉冲电晕特性和反应机理的研究结果可见，电源和反应器两者必须相结合研究。反应器作为电源负载必须同电源相匹配，即经传输线传输以及反应器的脉冲能量全部注入到反应器，而无沿传输线反应。同时，除电源本身外，反应器尺寸、结构和烟气成分等均影响脉冲波形，所以脉冲电晕特性优化必须结合电源和反应器两者进行研究。

由此可见，脉冲电晕烟气脱硫脱硝研究正处于发展时期的关键阶段，需要研究者作更大的努力，才能实现该技术的工业化，用于急待的烟气净化中去。

第 4 章 空气净化类 电力电子设备

4.1 概述

空气的洁净度是人们的生活水平提高到一定程度后就会引起关注的问题。在治理室内空气污染方面独领风骚的空气净化器，近几年逐渐被人们所认识，并且在短期内迅速成了一个国际性的新兴产业。日本、美国、加拿大、荷兰等国家每年销售的空气净化器总数已超过 2000 万台。空气净化器主要有以下几个作用：

（1）清除室内空气中的粉尘。有效去除空气中的过敏源及人体可吸入的悬浮颗粒物。用物理的方法将香烟烟尘捕集，其中的致癌物质用化学方法将其转化为无毒物质。

（2）清除室内空气中的有毒气相物及异味，其原理是采用吸附或化学分解法，主要是用化学方法催化这些有害气体，将其分解成无害无味的物质，从而达到净化的目的。

（3）清除室内空气中的细菌及病毒。它主要采用三种方式：一是过滤式，采用过滤材料将细菌病毒所附着的悬浮颗粒物捕集，并将它滤掉。二是静电式，采用高压等离子陷阱将细菌、病毒所附着的人体可以吸入的悬浮颗粒物捕获并且把细菌、病毒等致病微生物杀死。三是采用灭菌材料，即在净化设备的过滤材料中加入灭菌添加剂将致病微生物杀死。

目前，我国从事空气净化器专业并且有一定规模和实力的企业还不算很多，只有亚都、海尔等较早的介入了这一领域，

许多大专院校、科研机构也都在开发、研制智能空气净化器、负离子发生器、臭氧发生器等理想产品，为生产、生活环境的改善创造了良好的基础条件。在这些新型产品中，都采用了电力电子技术，使净化设备更加小巧、方便、运行可靠。

4.2 臭氧杀菌消毒原理及其应用

自从发现臭氧以来，科学家们对其进行了大量的研究，发现臭氧为已知最强的氧化剂之一，具有奇特的强氧化、高效消毒、催化等作用，100多年来，各发达国家已普及臭氧技术，并为保护人类健康和自我保健做出了积极的贡献。

臭氧又名三子氧，分子式为 O_3 ，分子量为 48.00，在室温下，臭氧是一种淡蓝色的气体，有爆炸性，有特殊臭味。臭氧稳定性极差，可自行分解为氧，由于它的爆炸性和不稳定性，故不能装瓶贮存，只能现用现生产，在众多的消毒方法中，臭氧只是消毒方法之一，对空气和水中的微生物杀灭效果较好。

4.2.1 臭氧发生器

产生臭氧的方法按原理分为光化学法、电化学法、原子辐射法和电晕放电法等几种。光化学法又称紫外线法，产生臭氧，是利用紫外线使空气中的氧气 (O_2) 分解并聚合生成臭氧 (O_3)。电化学法，又称电解法，产生臭氧是利用直流电源电解含氧电解质产生臭氧气体。电解法臭氧发生器具有浓度高、成分纯净、在水中溶解度高的优点，具有广阔的应用前景。电晕放电法产生臭氧，是利用交变高压电场，使含氧气体产生电晕放电，电晕中的自由高能电子离解 O_2 分子，经三体碰撞反应又聚合成 O_3 分子，这种方法得到的是含有臭氧的混合气体，而不能得到纯的臭氧。电晕放电型臭氧发生器是目前应用最广泛、相对能耗较低、单机臭氧产量最大、市场占有率最高的臭氧装

置。其放电器件基本构成有：高压电极、地电极、介电极与放电气隙四部分。其分类方法很多，按放电器件形状分为管式和板式；按冷却方式分为液冷与气冷；按电源分为工频与高频。

4.2.2 臭氧的毒性及其对物品的影响

臭氧杀菌受臭氧浓度、外界温度、相对湿度、有机物质、pH 值、水的浑浊度、水的色度等因素影响。

臭氧的浓度越高，杀菌作用越强，空气中臭氧浓度达到 $(0.02 \sim 0.04) \times 10^{-6}$ 时便可嗅知，浓度达到 2×10^{-6} 时，可引起呼吸加快，出现胸闷症状，在 $(5 \sim 10) \times 10^{-6}$ 时，可引起脉搏加快、疲倦、头疼，停留 1h，可发生肺气肿，甚至死亡。在有人的情况下，空气中臭氧的含量不能大于 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

温度的影响：随着温度的增加，臭氧的杀菌作用在加强，和其他的消毒剂相比，臭氧消毒效果受温度的影响较小。

如果用臭氧杀灭被有机物保护的细菌，需要延长作用时间或加大臭氧量，才能达到臭氧的消毒目的。

pH 值的影响：当水的 pH 值高时，消毒效果不好，也应增加臭氧量。水的深浊度对臭氧消毒有一定的影响，浑浊度在 $5\text{mg}/\text{L}$ 以下，则影响不大。

臭氧对多种物质有腐蚀性，尤其是橡胶类制品，在臭氧 O_3 的作用下容易变硬变脆，甚至裂开，对织物，可使其轻微褪色。

保护环境是我国的一项基本国策，21 世纪中国的经济会有更大的发展，这已成为世界各国的共识。在经济发展过程中，应该时刻注意保护自己的生存环境，有效的利用臭氧的特性，尽快的开发出一些与国际市场接轨的环保产品。臭氧的利用前景看好，臭氧发生器产品应用前景广阔。

4.2.3 臭氧的应用

臭氧的应用基础是其极强的氧化能力与杀菌性能。臭氧在

治理污染、消毒灭菌过程中，还原成氧和水，在环境中不存在残留物。臭氧对有害物质可进行分解，使其转化成无毒的副产物，没有二次污染。臭氧应用型产品种类繁多，按用途可分为水处理、化学氧化、食品加工和医疗四个领域；按应用场合，大致可分为两大类，一类是在空气中的应用，另一类是在水中的应用。空气中应用臭氧的设备一般都是小型或微型，水中应用臭氧设备一般都是大型的。

(1) 臭氧在空气中的应用 臭氧在空气中应用类产品是种类最多的一类臭氧应用产品，它将臭氧直接与空气混合或将臭氧直接释放到室内空气中，利用臭氧极强的氧化作用达到消毒杀菌的目的。整个室内空间及该空间中的所有物品周围都充满了臭氧气体，因而消毒杀菌范围广，应用方便。臭氧技术主要用来制作应用于车船舱、医疗病房、手术室、工厂操作间、食品厂、食品库、粮库、制药厂、工具、墙壁、生产设施、消毒杀菌的臭氧设备。例如臭氧型消毒柜用于食品行业的杀菌、消毒、除臭、保鲜，其耗电省，杀毒效果好。又如家用空气净化器、臭氧型空调器等环保产品，对建筑物装饰材料的释放物、日常生活中产生的以及人体的代谢作用产生的呼吸、汗臭等，利用臭氧的特性都能及时有效的加以治理。

(2) 臭氧在水中的应用 这类产品主要是将高效大功率臭氧发生器产生出来的臭氧溶于水，对水进行消毒或洗涤，从而达到去除污染、消毒灭菌的目的。主要用于饮用水处理、污水处理、游泳池循环水处理等。

4.2.4 臭氧发生器制造厂家及产品简介

生产臭氧发生器的厂家及产品很多，表 4-1 给出了部分生产厂家的产品简介供参考。

表 4-1 部分生产臭氧发生器的厂家名录及其产品

序号	厂 家 名 称	产 品 简 介
1	北京美同达公司	美克森臭氧发生器
2	山东绿邦光电设备有限公司	大、中、小型臭氧发生器及水处理设备专业制造
3	吴江洪鼎净化设备有限公司	臭氧发生器、空气过滤器、加湿器
4	武钢规划设计研究所	全系列高频高压电源、空气净化电源、臭氧发生电源、除尘高压电源、大功率负离子发生器电源
5	隆生公司	LS 系列臭氧发生器，高压电源
6	杭州荣欣电子设备有限公司	爱康牌臭氧发生设备
7	深圳市松野电器有限公司	空气净化器、臭氧消毒机
8	普罗名特（德国）	臭氧发生器用于空气消毒净化
9	广州绿奥环保科技有限公司	大容量、高纯度臭氧发生器
10	潍坊市松峰水处理设备厂	空气消毒系列臭氧发生器，离子交换器
11	山东志伟电子科技有限公司	臭氧发生器，臭氧管臭氧电源等
12	济南双舟科技有限公司	臭氧发生器，臭氧管臭氧电源等
13	济南槐荫三欧臭氧设备厂	臭氧发生器，臭氧管臭氧电源等

4.3 空气净化类设备应用举例

4.3.1 空调净化计算机控制系统

在生物制品的生产过程中，首先对生产环境要求十分苛刻。空气净化不仅对各区域实施温度、湿度、压差控制，而且对设备运行状态加以监视。这里介绍的是应用于生物制品行业中的空调净化计算机控制系统，实现了楼宇结构的多区域空调净化机组的中央控制，如图 4-1 所示。

计算机控制系统是以空调机组为背景，根据工况的要求，完成各区域的一次加热口温度控制，新风恒温恒湿控制，空调机组加湿控制。

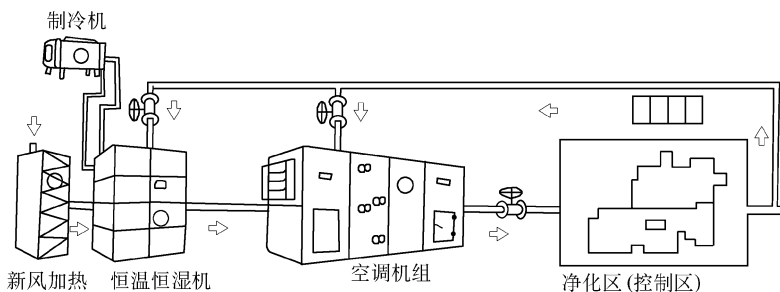


图 4-1 空调机组背景图

在新风口端部安装了电加热器，根据区域的风量，设置电加热功率，单元加热器为多组控型，这样调节范围宽，精度高，冬季新风口温度要保证 T 在 $2 \sim 5$ ，以保证恒温恒湿机的正常工作。

系统由一台中央控制机完成所有数据的处理和打印结果。

4.3.2 智能空气净化器

空气净化器是家庭、办公室及宾馆等场所用来净化空气的理想产品，在我国上十五年有余，由最初的只有简单的开关控制发展为智能控制，功能有三个挡速，四个定时时间，烟雾传感自动开机，高压积尘及产生负氧离子的控制，遥控操作，有的还有红外感应控制。

智能控制的硬件电路是采用单片机及其接口电路组成，通过软件编程实现上述功能。由于电动机和高压电路的存在，对电源的干扰极大，为了减少对单片机的影响，在对电动机控制的接口上普遍采用了光电隔离。

(1) 电源、电动机的控制 图 4-2 给出了一种智能空气净化器的主电路及驱动电路原理图，图中变压器 T 将 AC 220V 电源降到 AC 13V，经全桥电路整流，电容 $C1$ 、 $C2$ 滤波，由稳压集

成电路 7812 输出, $V_{CC} = 12V$ 。VL4 发光二极管, 显示电源的通断状态。晶体管 V1 和电阻 R4、R5 组成控制高压电源的开关电路, 信号 Y4 为低时, V1 导通。Y4 信号为高电压时, V1 截止。M 为净化空气用的电动机, Y3 为高电压时, 晶体管 V2 导通, 晶闸管 VT3 导通, 电动机 M 相当于直接并接在 AC 220V 电源, 转速最高, 可定为一挡转速。Y2 为高电平时, 晶体管 V3 导通, 晶闸管 VT2 导通。电动机 M 与电感 L 的一部分串联后并接在 AC 220V 电源上, 电动机电压低于 220V, 这时电动机的转速稍低, 定为二挡转速。Y1 为高电平时, 晶体管 V4 导通, 晶闸管 VT1 导通, 电动机与电感串联后并接在 220V 电源上, 这时电动机的转速最低, 可定为三挡转速。发光二极管 VL3、VL2、VL1 用来显示转速挡位。

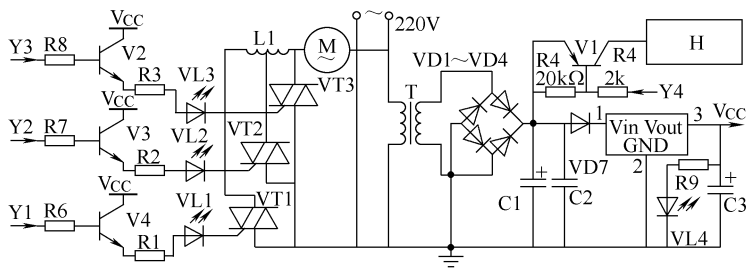


图 4-2 空气净化器控制原理图

(2) 初上电状态及挡速控制 图 4-3 给出了初上电状态和挡速控制电路的原理图, 图 4-3 中, IC8、IC9 所用电源为 +3V, 上电后, 稳压二极管 VS、电解电容 C13 及电阻 R34、R35 为 IC8、IC9 提供 +3V 电源, IC5、IC7、IC10 所用电源 V_{CC} 。IC1、IC2、IC3、IC4、IC6 所用电源为 V_{DD} 。

电源 V_{CC} 在对 C12 充电的过程中, R2 的上端产生一尖脉冲并输入至 IC5 : A 和 IC5 : B 的 R 端, 使两端发器确定状态, Q

端输出低电平。晶体管 V2、V3 截止, V_{DD} 关闭, Y4 为高电平。按键 S3 为开机和关机按键, 按一下 S3, 在 V_{CC} 对 C6 充电的过程中为 IC7: C 的 9 脚提供一尖脉冲, 并通过 IC7: C 使 IC5: A 的 Q 端状态在变为高电平与低电平之间变化, 从而控制晶体管 V2 由截止转为导通或由导通转为截止。即电源 V_{DD} 由断开到接通或由接通到断开、发光二极管 VL5 显示 V_{DD} 的接通与断开状态, 即显示电动机的运行与否。

晶体管 V2 处于导通状态时, 为 IC1、IC2、IC3、IC4、IC6 提供电源 V_{DD} 。在 V2 由截止转为导通的一瞬间, V_{DD} 对 C14 充电, 在 R3 的右端产生一尖脉冲, 并输入至 IC1、IC2 的 RST 清零端, 使计数分配器 IC1、IC2 的 Q0 端输出高电平、Y1 信号为高电平。由图 4-3 知 Y1 为高电平时, 电动机运转, 并处于三挡速状态, 即上电后, 初次按一下开关按键 S3, V_{DD} 接通, 电动机处于三挡速状态。在此状态下, 每按一次按键 S1, 为 IC7: B 的 6 脚提供一尖脉冲并通过 IC7: B 输入至计数分配器 IC1 的 CLK 端。当输入第一个脉冲时, 由 Q0 输出高电平转为 Q1 输出高电平, 输入第二个脉冲时, 转为 Q2 输出高电平, 输入第三个脉冲时, 转为 Q3 输出高电平并通过 VD8 输入 RST 清零端。IC1 的状态又转变为 Q0 输出高电平。如此循环。Q0 ~ Q2 循环输出高电平, 即 Y1 ~ Y3 循环为高电平。则图 4-3 中电动机 M 由三挡、二挡速、一挡速循环变化。由此看出, 挡速的转换由按键 S1 来实现。

(3) 定时控制电路 图 4-3 同时给出了定时控制电路图, 图中 IC2、IC3、IC4 及 IC6 等组成定时电路, 其中 IC6、R17、R18、C9 组成振荡电路, 振荡频率由 R17、R18、C9 的参数决定。其振荡周期 $T = 0.639 (R17 + 2R18) C9$ 。如果定时时间为 30min, 60min, 120min, 240min 四种选择, 振荡频率可定为每分钟 8.533 次。周期 $T = 7.03s$, 取 $C9 = 0.1\mu F$, 则 $R18 + 2R17 = 101.5M\Omega$, 振荡产生的脉冲由 IC6 的 3 脚输出并输入至计数器

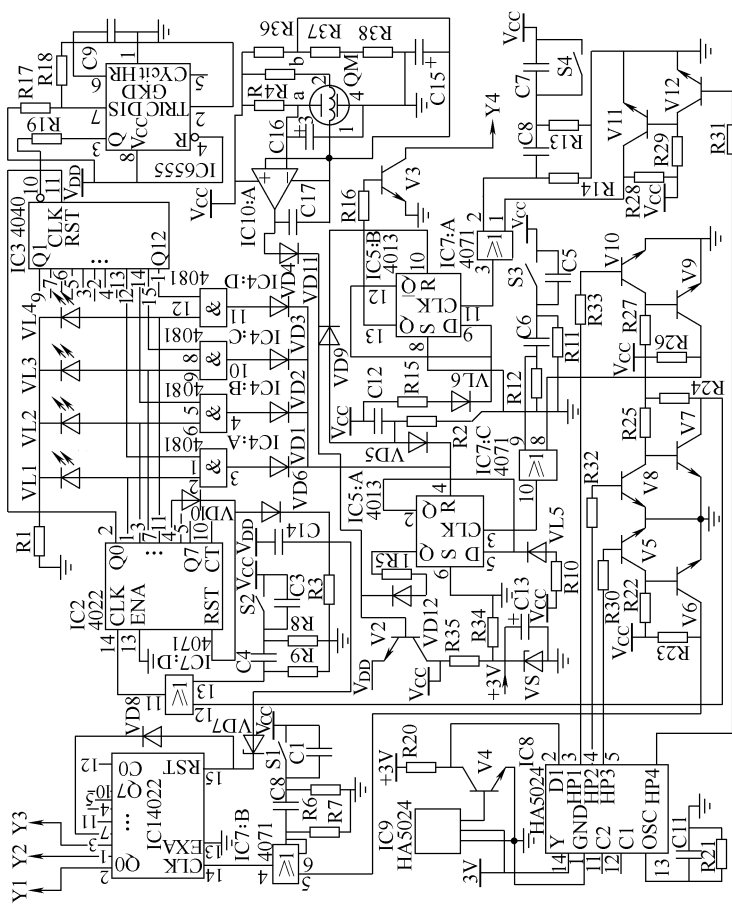


图 4-3 挡速控制电路图

IC3 的 CLK 端, 为计数器提供外部时钟信号。IC3 的 Q9 ~ Q12 分别为 256、512、1024、2048 分频, 它们自计数起至初次输出高电平的时间分别为 30、60、120、240min。刚开机时, IC2 被清零, 其 Q0 保持输出高电平, IC3 保持清零状态, 不计数。按一下按键 S2, 通过 IC7 : D 为 IC2 提供一个时钟脉冲, IC2 的输出也变为 Q1 保持高电平, Q0 变为低电平, 发光二极管 VL1 被点亮, IC3 开始计数, 当计数至 256 个时钟脉冲, 即 30min 时, IC3 的 Q9 端输出高电平, 此时与门 IC4: A 的 1、2 脚同时为高电平, 3 脚输出高电平, 经 DI 输入至触发器 IC5 : A 的 R 端, 触发器翻转, 晶体管 V2 截止, 切断 V_{DD} 电源, IC1 停止输出电动机的控制信号 Y1 ~ Y3, 电动机停止运转, 即 30min 定时完毕。IC2 的 Q1 ~ Q4 与 IC3 的 Q9 ~ Q12 一一对应, 通过 IC4 的四个与门实现 30、60、120、240min 的定时工作。发光二极管 VL1 ~ VL4 为不同定时时间的显示。如果按动五次 S2, IC2 的 Q5 输出高电平, 并通过 VD10 输出至 IC2 的清零端进行清零, Q0 再次输出高电平, IC3 被清零停止计数, 再次按动 S2 可重新定时。

(4) 传感器控制电路 图 4-3 中, QM 为烟雾传感器, 1、2 脚之间加上电压后, 3、4 脚间相当于一个电阻, 阻值的大小与 3、4 脚间电压的大小有关, 同时与 3、4 脚相联的两极板间气体中烟雾浓度的大小有关, 1、2 间电压一定时, 两极板间烟雾的浓度越大, 3、4 脚间阻值越小。

R4、QM、R36 及 R37 + R38 组成桥式电路, 调节电阻 R36、R37 的阻值, 使 a 点的电位 U_a 略高于 b 点的电位 U_b , 使比较器 IC 10: A 输出低电平, 如果室内空气中烟雾的含量增高时, QM 的 3、4 脚间阻值变小, U_a 降低, 当 $U_a < U_b$ 时, IC10 : A 输出高电平, 当达到晶体管 V2 基极的导通门限电压时, V2 导通, V_{DD} 接通, 起到自动开机的作用, 通过调节 R36、R37 的阻值, 改变 a、b 两点电位差的大小, 以此来改变传感灵敏度。R36 可

供厂家调节, R37 可供用户调节使用。通过电解电容 C15、C16 可提高传感控制的稳定性。但 C15、C16 的电容值不可过大, 以 $1\mu\text{F}$ 为宜。

(5) 高压积尘及产生负氧离子的控制电路 积尘及负氧离子的产生都是通过上千伏的直流电压来实现的, 直流高压可利用 18V 电源经高频振荡和升压变压器产生, 图 4-2 中以 H 表示。各生产厂家都有成熟的电路, 在此不再叙述。

图 4-3 中按键 S4 可实现产生高压电路开关的控制。每按一次 S4, 在 R14 上端产生的正脉冲通过或门 IC7: A 输入至触发器 IC5: B 的 CLK 端, 触发器翻转, 晶体管 V3 由截止转为导通或由导通转为截止, V3 的导通与截止控制图 4-2 中晶体管的 V_1 导通与截止, 即控制产生高压电路的开与关, 图 4-3 中发光二极管 VL6 显示高压电路的开与关。

4.3.3 快乐牌 VW—100G 型吸尘器

该吸尘器整机电路如图 4-4 所示, 电路由控制电路、显示电路和电动机驱动电路三部分组成。NE555 定时器与外围元件组成控制电路, 用来产生触发脉冲, NE555 电路的 2 脚为同步信号的输入端, 引入与市电同步的控制信号, 触发脉冲由 NE555 电路的 3 脚输出, 经变压器 T1 耦合后去触发双向晶闸管 BCR。显示电路由一只 LM324 集成运放中的四个运算放大器及黄、绿、红发光二极管等元器件组成, A1 与外围元器件组成弱挡显示电路, A2 与外围元器件组成中挡显示电路, A3 与外围元器件组成强挡显示电路, A4 与外围元器件组成堵塞显示电路。当吸尘器堵塞时, 红色发光二极管就会点亮, 绿色发光二极管用作电源指示, 当吸尘器通电后, 绿色发光二极管就会发出绿光, 以指示电源工作正常。

双向晶闸管 BCR、电动机 M、变压器 T1 等元器件组成电动

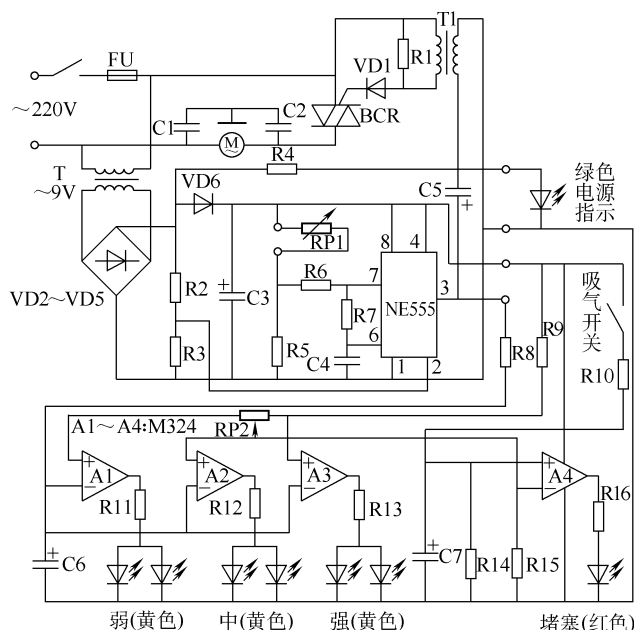


图 4-4 吸尘器整机电路原理图

机驱动电路，变压器 T1 将控制电路输出的触发脉冲耦合后，由 T1 的二次侧输出，经二极管 VD1 加至 BCR 的门极，BCR 得到触发电压而导通，使得电动机 M 得电运转，吸尘器正常工作。调节电位器 RP1 阻值时，控制电路输出的触发脉冲经 T1 耦合后改变 BCR 的导通角，从而控制电动机 M 的转速，以调节吸尘器的工作状态。

4.4 消毒柜

现代小家电已进入普通家庭，随着人们生活水平和生活条件的不断改善，特别是居住环境的改善，人们对小家电的要求也越来越高，小家电已成为现代家庭的重要组成部分，生产厂家也在

不断提高小家电的技术含量，新开发的小家电都离不开电力电子技术的应用。这里介绍几种采用电力电子技术的家电产品。

4.4.1 柯利 KLXG-E 型消毒柜

该机应用臭氧消毒原理，其控制电路如图 4-5 所示，主要由时基电路 NE555 和外接的 TC165P 组成定时控制及触发电路。正常工作时控制 IC（NE555）的②、⑦脚为低电平，③脚为高电平，晶体管 V 饱和导通，继电器 KA 吸合，臭氧发生器及风扇得电工作，达到设定的时间后，定时指示灯熄灭，IC 的②、⑦脚变为高电平，③脚变为低电平，V 截止，继电器释放，臭氧发生器及风扇停止工作。

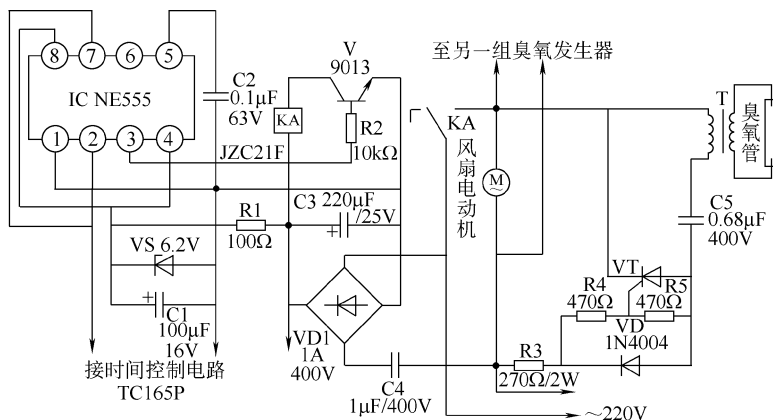


图 4-5 柯利 KLXG-E 型消毒柜工作原理图

4.4.2 精艺 DGK-45L 型消毒柜

精艺 DGK-45L 型消毒柜的电路原理如图 4-6 所示。其工作过程为：220V 交流电经短路保护用熔断器 FU 给继电器 K2 常开触点的 1 脚和变压器 T 供电，降压后所得的 12V 电源，通过

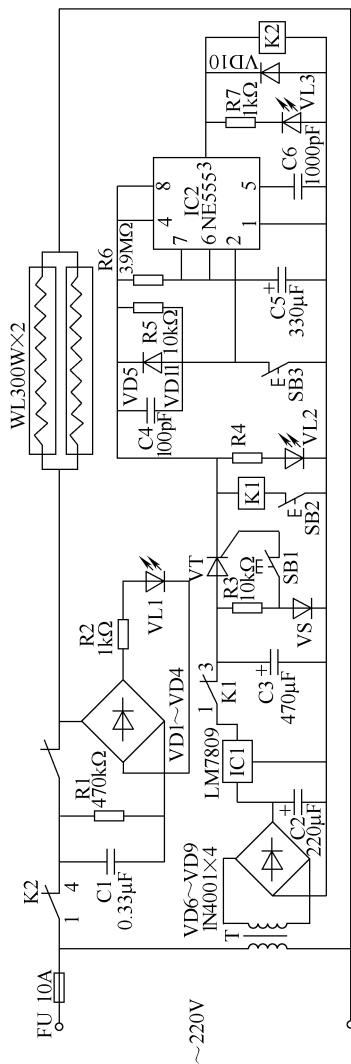


图 4-6 精艺 DCK-45L 型消毒柜电路原理图

VD6 ~ VD9 整流、C2 滤波、IC1 稳压输出 9V 直流电源，加至晶闸管 VT (MCR100—6V) 的阳极。一般情况下，按下按钮 SB1 指示灯 VD10 亮，控制电源接通；按下 SB2，K1 继电器吸合，K1 常开触点闭合给 NE555 提供 9V 电源；按下按钮 SB3，时基电路 IC2 被触发，K2 继电器吸合，K2 接点闭合，内部放电管导通，产生消毒用臭氧。

臭氧发生部分电路这里没有画出，可参阅图 4-7 所示的电路，两图的电路原理基本类似。

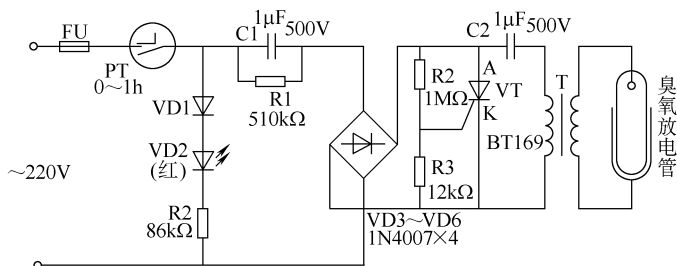


图 4-7 宝利公司的 CY-3 型茶具臭氧消毒柜的原理电路图

4.4.3 宝利 CY-3 型茶具臭氧消毒柜

宝利公司 CY-3 型茶具臭氧消毒柜的原理电路如图 4-7 所示。该电路主要由桥式整流器、晶闸管、脉冲升压变压器和臭氧放电管等组成。接通市电，将定时器 PT 调到消毒时间位置处，内部微动开关接通，电源指示灯 VD2 亮，220V 交流电经电阻 R1 限流电容 C1 降压，VD3 ~ VD6 桥式整流给 C2 充电，并在极短时间内充满。充电后，直流电压经电阻 R2 使晶闸管 VT 触发导通，且 C2 通过脉冲升压变压器 T 的一次绕组放电，二次绕组则感应数千伏脉冲高压加到臭氧放电管进行放电，使空气电离产生臭氧。发现 C2 放电后，VT 截止，C2 再次被充电，使 VT 导通而放电，周而复始循环产生大量臭氧而达到消毒的目的。当

定时器 PT 倒计时走时完毕时, 微动开关自动切断电源, VD2 熄灭, 表示消毒完成。

4.5 空气负离子发生器

山区、湖畔、海滨都是人们向往的疗养胜地, 那里的空气清新, 并含有大量的负离子。当空气中负离子浓度很高时, 能抑制多种病菌的繁殖, 还能降低血压, 消除疲劳, 改善神经系统和内脏功能, 使人心情舒畅, 增进健康, 对神经衰弱、高血压以及支气管炎等疾病都有明显的疗效, 故空气负离子有空气维生素的美名。在工作繁忙, 思想高度集中, 非常容易疲劳的地方, 如果备有小型空气负离子发生器, 只要对着它深深吸几大口含负离子的清新空气, 就能提神醒脑, 精神为之一振。

图 4-8 是利用晶闸管制作的空气负离子发生器电路。该电路性能稳定, 臭氧浓度很低, 负离子浓度很高, 并且效率高, 耗电少, 成本低。因此, 它对一般家庭比较实用。

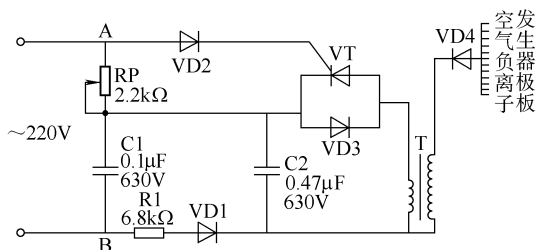


图 4-8 空气负离子发生器电路

空气负离子发生器的工作原理如下: 它利用电网的正反峰值控制晶闸管 VT 起开关的作用。由电位器 RP 和电容 C1 组成分压电路, RP 两端分得的电压作为晶闸管 VT 的门极控制电压。当电网电压 A 点为负, B 点为正时, 二极管 VD2 和晶闸管 VT 均关断, 电网电压通过电阻 R1, 二极管 VD1、电位器 RP 对电

容 C2 能充以足够的电压，R1、RP 采用图上给出的阻值时，在电网 1/4 周期内能使电容 C2 两端电压上升到约 195V。

当电网电压 A 点为正，B 点为负时，二极管 VD1 截止。适当调节 RP 的阻值，在 C1 与 RP 组成的分压电路中，RP 两端获得 4~6V 电压。此电压经二极管 VD2 整流，作为晶闸管的门极触发电压，使晶闸管 VT 触发开通。VT 开通后，电容 C2 通过晶闸管 VT 向高压变压器 T 的一次线圈放电，使高压变压器 T 的二次侧感应出一个很高的电压，这个电压经二极管 VD4 整流，加到空气负离子发生器的极板上，促使空气产生负离子。二极管 VD3 的作用与正半周不同，不再起保护晶闸管的作用，而是同晶闸管一起作为交流开关，使电容 C2 与高压变压器 T 的一次线圈组成振荡电路，在该半周内产生振幅衰减的高频振荡。振荡频率相当于电网频率的 11 倍。此时产生的负离子数同无二极管 VD3 时相比，可提高 3 倍以上。振荡回路中无耗能器件，大大降低了不必要的能量损失。

空气负离子发生器的生产厂家也很多，表 4-2 举例给出几个厂家及其产品简介。

表 4-2 部分生产空气负离子发生器的厂家名示及产品简介

序号	厂 家 名 称	产 品 简 介
1	保定天一超能科技有限公司	负离子发生器、压电陶瓷及其瓷件
2	深圳怡尔康科技有限公司	强力负离子发生器 FT 系列，臭氧消毒机半导体制冷片
3	长沙环利电子实业有限公司	高浓度负离子发生器，直流 12V、24V 负离子发生器
4	深圳市松野电器有限公司	负离子发生器，臭氧发生器
5	武钢规划设计研究所	负离子高频电源，大功率负离子发生器电源

4.6 加湿器

空气湿度是一个与生产及人们生活密切相关的重要环境参

数,它对发展生产、改善舒适度起着重要作用。室内空气相对湿度过低,人们就会感到口干舌燥,甚至鼻子流血,嗓子发炎,进一步诱发气管炎、咽炎等疾病,患病率大幅度提高。过低的湿度会导致细菌寿命延长,干燥的空气造成呼吸系统水分大量散失,粘膜弹性降低,粘液分泌差,纤毛运行减少,原有的滤尘灭菌作用削弱,从而导致人体抗病能力下降,这就是空气干燥的冬季呼吸道疾病高发的主要原因。空气湿度过低,还会使家具干裂,产生静电等一系列危害,严重影响人们正常的生活和工作。由此可见,创造适宜的室内空气湿度,是确保人们身体健康、提高工作效率的重要措施。室内加湿器能有效地增加室内空气湿度,满足人们的这种需要。

加湿器、净化器和空调等家用电器,都是人们用来创造人工气候环境的现代化家庭基本设备,为了获得理想舒适的生产、工作和生活空间,还必须对周围湿度进行调控,并且利用水分携带香味使人心旷神怡。

目前,常用的加湿器有挥发式、蒸发式和雾化式三大类,它们的核心部件分别为离心电动机、电势元件和超声波发生器。挥发式加湿器通过离心泵电动机的高速旋转所产生的负压将水吸到旋转的扩散盘上,并且靠离心力将扩散盘上的水扩散到空气中。蒸发式加湿器是利用电热元件将水加热到 60℃ 以上,使水分子能够克服水面张力的束缚而蒸发到空气中。雾化式加湿器则利用具有压电效应的换能器把高频脉动电信号转换成高频机械振动、产生 1.7 ~ 2MHz 的高频振动,用以造成剧烈的水滴撕裂,将水雾化成超微细粒,并且被风机吹散到空气中去,以便调节有限空间的湿度。

4.6.1 加湿器的可调湿度测控器

可以方便地从表头上直接读出加湿的程度,同时,按不同

用户的需要随意调整加湿的温度范围，自动地控制加湿器的开关。不仅适用于家庭，也适用于农业生产环境和库房，调整所需的湿度。测控器电路的框图如图 4-9 所示。加湿器的可调湿度测控器的电路总原理图如图 4-10 所示。

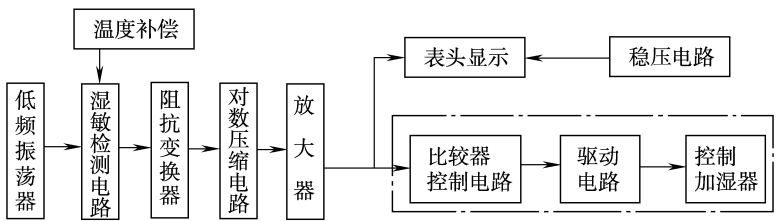


图 4-9 测控器电路的框图

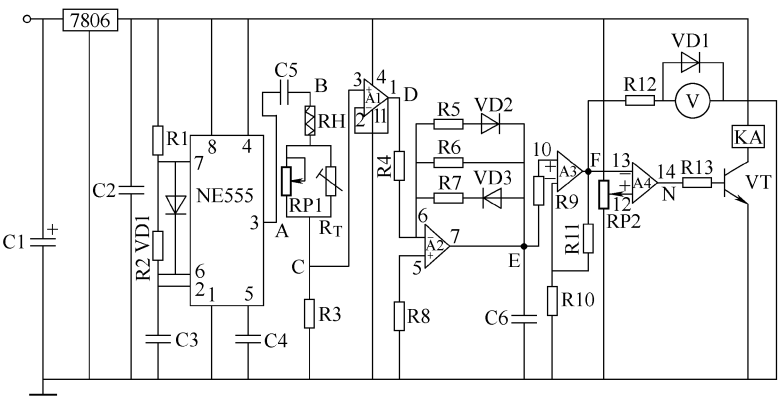


图 4-10 加湿器的可调湿度测控器的电路总原理图

其工作原理可分析如下：

低频振荡器：NE555 集成定时器的的工作电压 1.5 ~ 4.5V，将 NE555 接成多谐振荡器，形成振荡过程，B 点输出矩形波。

湿敏检测电路：利用湿度传感器（湿敏电阻 RH）和具有正温度系数的热敏电阻 RT 和电位器 RP1，组成一个电阻分压器，

输出电压

$$U_C = R_3 \cdot U_B / (R_H + R_3 + R_{PI} // R_T)。 \quad (4-1)$$

对数压缩电路：湿敏电阻的交流阻抗随大气相对湿度变化的特性曲线，一般呈指数关系，为了使湿度指示表头刻度为线性读数，必须使指数关系的 D 点电压 U_D 转换成线性关系的 E 点电压 U_E ，此转换工作由运算放大器 A2 所组成的电路完成。

控制电路：继电器 KA、功率开关元件 VT，电阻 R13 完成功率放大驱动，去控制电动机的工作。

稳压电路：选用 AN7806 三端稳压器，输出 +6V 工作电压。

4.6.2 高精度恒温恒湿洁净室

高精度恒温恒湿空调技术相对而言已比较成熟，但用于高级别的洁净室却是一个缺少实践和经验的课题。由于维持高级别洁净的需要，其通风量远大于常规空调房间，因而使得洁净室的高精度恒温恒湿度控制具有其特殊性。

电子部某研究所的恒温恒湿洁净室主要技术指标如下：

洁净级别：美国联邦标准 FS-209EM3.5 级（即习惯采用的英制 100 级）

洁净室有效空间：长 × 宽 × 高 = 2500mm × 2000mm × 2500mm

室内温度：(21 ± 0.1)

室内湿度：55% ± 5%

套间参数：洁净度为美国联邦标准 FS-209E M6.5 级（即习惯采用的英制 100000 级）温度为 (25 ± 2)。

恒温恒湿洁净室的控制：自动控制的调节品质不仅决定于控制装置的设计，同时与被控对象的环节特性也有着密切关系。

从控制系统来看，其品质参数及控制方案的确定必须以被控对象的特性为基础，洁净室以回风温度作为调节的输入。

控制规律的选择，着眼于使控制系统和被控对象能进行良好配合，PID 参数调节法在技术上已经很成熟，在单回路的空调控制中应用很广泛，能解决空调系统中存在的滞后性大等问题，有效地消除静差，提高系统的动态品质指标，其规律是：

$$P = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (4-2)$$

式中 P ——输出信号；

e ——输入偏差；

K_c ——放大系数；

T_i ——积分时间；

T_d ——微分时间。

PID 调节器输出的是 $0 \sim 10\text{mA}$ 的连续信号，利用晶闸管元件，调节电加热器和电加湿器的电压，使其功率可连续变化，这也是提高控制精度的一个有效方面，具体控制方案如图 4-11 所示。



图 4-11 洁净室空调机组控制方案

考虑到洁净室的负荷随干扰变化比较平和，同时考虑到初投资和运行费用，因此控制系统采用单回路控制方式。

洁净室同时有湿度要求，因此空气处理过程必须包括除湿。由于本系统常年有余热余湿，所以采用表冷器降温同时去湿的方案。为对空气参数进行灵敏精确的调节，在表冷器后设置电加热器和电极式加湿器，虽然会发生热湿负荷的抵消，增加能耗，但换来的是对比较难于调节的直接蒸发式表冷器可以不予

控制，减少了控制环节。同时电加热器和电极式加湿器滞后小，反应灵敏，便于控制，这在很大程度上改善了控制效果。

4.6.3 电子恒湿控制器

电子恒湿控制器，采用有机高分子薄膜电阻型湿度传感器，利用其将空气湿度变化转化为电量变化，从而对湿度进行测量和自动控制。本电子恒湿控制器电路简单，成本低廉，制作方便，工作稳定，可控制湿度在 10% ~ 90% RH 范围内，开关点精度达 $\pm 2\%$ RH，反应时间感湿不大于 2 ~ 3s，脱湿小于 15s。应用于加湿器或去湿器，自动控制环境湿度恒定。

电子恒湿控制器的原理图如图 4-12 所示，它由湿度传感电路、正弦波振荡电路、直流放大电路、开关电路四部分组成，其中：

① 湿度传感电路：由湿度传感器 RH1、电位器 RP3、电阻 R10、温度补偿电阻 R_T 组成。

② 正弦波振荡电路：也称零移相桥式振荡器，由 IC1B (LM324) R8、VD2、VD3、R4、R3、C2、C3、C4 等组成。

③ 直流放大电路：IC1D 接成同相直流放大形式，进行直流

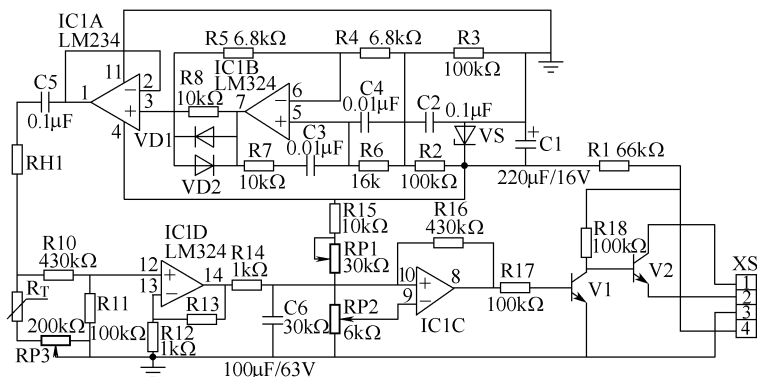


图 4-12 电子恒湿控制器原理图

放大，经 C6 滤波后，向下一级传递。

④ 开关电路：IC1C 接成迟滞型电压比较器形式，电阻 R15 及电位器 RP1、RP2 组成湿度给定电路，R1、VS 组成稳压电路，晶体管 V1、V2 为射极输出器，控制加湿器、去湿器的开启或关闭。

第 5 章 污水处理

5.1 概述

污水是生活污水、工业废水、被污染的雨水及其他形式的非洁净水（如医院、饭店排放的脏水）的总称，是被污染了的淡水，这样的水是不能使用的，更不能饮用。

当今，工业的发展和科学技术的进步使水污染加剧，地球上可用的淡水资源愈来愈少，水危机约束着人类的活动和生存，早已经是全球性的问题了。

（1）水是人类的生命线 地球上只有 2.5% 的水为淡水，而且其中的 $\frac{2}{3}$ 被冰川和冰封盖着，仅不足 1% 的淡水存在于河川、湖泊、地下蓄水层、沼泽、土壤、植物和大气中。人们能收集到的雨水约占总降雨量的 26%，现在可供农耕和放牧用的水塘已不多了，既是今后 30 年建造水坝能增加 10% 的淡水收集量，也仍满足不了其间世界人口增加 45% 的用水需求量。所以，人类如不改变非农业、工业及家庭用水的习惯，未来 30 年内淡水供应量将赶不上人口的增长速度。目前，人们将 54% 可利用的淡水（包括地下水），用于农业、工业及其他生产活动中。由于人口的增长，预计 2025 年全球淡水需求量将达到可利用淡水总量的 70%，下世纪水危机会比预想的还要严峻。

中国人口占全世界的 22%，而淡水量仅占全世界的 8%，我国人均水资源占有量仅为世界人均占有量的 $\frac{1}{4}$ （约 2500 立方米），人均占有量排在 109 位，时空分布又极不均匀，加之经

济发展带来的污染，水危机已相当突出。在华北、西北、胶东、辽宁中南部和部分沿海严重缺水。河流水质在四、五类的河段，长江、珠江超过 20%，黄河、辽河、松花江超过 60%；淮河分支流常年五类以上，在 2800 公里的河段上鱼类基本绝迹，造成经济损失 3 亿多元。近几年来全国年均污水排放量达 360 亿吨，污水中化学耗氧量、重金属、砷、氰化物、挥发酚呈上升趋势，全国 9.5 万 km (1km = 1 公里) 河川，有 1.9 万公里受到污染，0.5 万公里受到严重污染，清江变浊，浊水变臭，鱼虾绝迹。松花江、淮河、海河和辽河水系统污染较重，氨氮、耗氧有机物和挥发性酚监测面超过国家三类标准。86% 的城市河流受到不同程度污染。重庆共有 64 条流域面积在 100 平方公里以上的次级河流，对 36 条较大次级河流调查，有 8 条变成臭水沟，有 13 条中度污染，轻度污染有 15 条。另外，由于沈阳、抚顺等 8 个城市每年排放工业污水 4.37 亿吨，排放城市污水 6.42 亿吨，使辽河、大辽河、浑河和太子河枯水期时，水质均超过五类。

其他省（市）的水污染也相当严重，如贵阳市大气中的 SO_2 超过国家二级标准 6 倍多， SO_2 排放量 10 年增长了一倍，降雨 pH 值低于 4.8，形成降雨必酸。因酸雨造成的经济损失达 10 亿多元，日缺水量 5 ~ 10 万吨。

水危机正威胁着人类的活动和生存，防治水污染，保护水资源是各国都关注的问题，地球上的水资源是人类共有的，保护水资源不受污染的可持续发展已是人类共同遵循的原则。世界各国在保存、保护与恢复地球生态系统的健康和完整方面开始了全面的合作。

(2) 城市工业和生活用水加快 城市近几年发展很快，城市用水量逐年增加，城市由于工业发展使人口增加，水资源供需矛盾日益尖锐，制约着国民经济的发展。西安被称为“八水绕长安”，1995 年夏因遭旱灾，八水全部断流，西安市经历

1953 年以来供水最为紧张的一年, 6 ~ 7 月只是平时供水的 50%, 供需差距在 60 万 m^3 , 致使部分工厂停工, 学校提前放假, 企业上班时间更改, 四处找水。西安保温瓶厂、机床厂、印染厂等 49 家用水大户因停水被迫停工, 霸桥发电厂只能半日工作, 同时居民供水都采取分区定点供应。为此, 居民区的消防队、绿化队、自来水公司全部出动为困难户送水。因争水, 多处发生械斗事件, 经济损失达 5 亿元。在山西的太原, 辽宁的营口, 山东的济南、青岛, 广东的深圳……干渴困扰着城市, 而且威胁着城市的安全。

过去水资源被看作“用之不竭”, 政府把供水作为福利事业; 而人类经济的发展又损害了自然资源, 市场上的商品价格极少反映环保、健康和社会的支出, 直到出现水危机才唤起人们对水价值的重新认识。节约用水, 保护自然资源, 优化生态环境, 合理利用水资源应对之策: ①要从资源和能源的利用着手, 通过企业管理、工艺技术改造, “三废”资源化等, 把污染物控制在生产过程或其延伸线上, 最大限度地压缩排污量。在农业生产中也要把合理施用农药、化肥的技术与严格管理措施结合起来, 提高农药、化肥的利用率, 减少对环境的流入量。②对工业废水中的污染实行分类、分级控制, 达到排放标准后方许排放, 对其他的有机制实行总量控制。③因地制宜建立城市污水处理系统。在最大限度减少排污量, 进行污染源严格控制的基础上建立健全城市排污管网, 把含有一般有机物的工业废水与城市生活污水合并加以处理。使处理后的水能进一步回收利用, 如进入“水中道”系统, 作低水质要求的生活杂用水, 达到农灌水质标准的, 可引灌农田, 以及补充地表水和地下水。④调整空间结构, 向大海要淡水: 我国海水资源丰富, 在淡水日趋紧张的情况下, 可在沿海地区条件较好的地点建立海水综合利用基地, 建立开发示范厂、探索海水综合利用经验。如果

使用一项新的工业污水处理技术，使废水回用、节约大量新鲜水，使其不仅具有社会效益、环境效益，而且产生了经济效益。所以，水污染防治是具有经济价值的。

依靠科学技术在环境发展中发挥作用的力度不小，以其产生社会效益、环境效益和经济效益的大小，对其进行技术资产评估，使污染与防治技术具有了特定的经济价值。“水”是具有经济价值的商品，已被人们所共识。

水污染的控制手段，过去一直采用“末端处理”，直到20世纪80年代，由于西方发达国家从观念上发生了改变，故对污染防治产生了重大改变。人们开始研究工业生产过程中减量、减毒、节约能源和水、原料；同时围绕产品的生命周期，提出清洁技术及改变人们的生活方式。这种取代“末端处理”的手段，美国称之为“废料最少化”、“减废技术”、“污染预防”、“清洁工艺”、“绿色技术”、“生态经营”等。

近几年，我国提出大力推行清洁生产，环保投入也发生了重大变化。仅环保投资就逐年增加，“六·五”期间150亿元，“七·五”期间550亿元，“八·五”期间800多亿元，分别占国民生产总值的0.5%、0.6%和0.8%~1%。由于政府的支持，促进了“水工业”的发展，所以“水工业”是发展最快的行业。

(3) 水工业是发展最快的行业 “水工业”从事水的可持续利用和保护。解决水污染是环境保护的主要任务之一，而环保科技又是发展最快的行业，因此，“水工业”在经济领域中占据主要的地位。

我国“水工业”发展速度很快，以生产水处理设备为主的环保企业遍及全国，有的已是地方工业的支柱产业。

我国经济正腾飞发展，工业排污量很大，但处理能力有限，这为“水工业”的发展提供了良好的机遇。国家已把环保列为重点项目，早在1998年我国政府就实现了计划拨款1000亿元，

作为推行未来 5 年跨世纪环保计划，并积极寻求国际合作伙伴。进入 21 世纪后，拨款数量不断上升，污水治理成效显著。

5.2 污水处理技术

污水处理的目的是用某种方法把污水中的污染物质分离出来，或者将其转化分解成无害无毒的稳定物质，从而使污水得到净化。从用普通生物滤池、传统活性污泥处理生活污水、到目前发展为光电氧化法，磁化法等高新技术用于污水处理，据专家资料证明，污水处理技术已经过了一百多年的发展历史。污水中的污染物种类、污水量是随着社会发展、生活水平的提高而不断增加的。污水处理的技术也随着科学技术水平的发展而发生着日新月异的变化，真所谓，魔高一尺，道高一丈。

污水中污染物的成分是相当复杂的，控制处理污水中的污染物质的技术也种类繁多，不同的污水水质、水量、处理后接纳水体以及是否有回用目的、处理程度等要求都决定所采用的废水处理方法各不相同。现代污水处理技术按原理大致分为物理处理法、化学处理法及生物处理法等。

物理处理法：利用物理作用处理、分离和回收废水中的污染物。例如传统的沉淀法就是利用水中的悬浮物质的比重大于 1，使悬浮物自然沉淀而去除污物的。浮选法则是利用污染物质（例如油）密度小于 1 而上浮达到去除的目的。还有离心、过滤、蒸发等都属于物理法。

化学处理法：利用化学反应的作用，转化、分离、回收或处理污水中的污染物质。例如：用混凝法使污水中的可溶性或胶体物质变成比重较大的矾花而沉淀去除；用中和法处理污水中的酸、碱性物质。还有电解、氧化还原、汽提、萃取、吸附、离子交换和电渗析等。化学处理方法常用于工业废水的处理。

生物处理法：它是利用微生物能够降解代谢有机物的作用，

处理污水中呈溶解或胶体的有机污染物质，如生活污水及与之相近的工业废水。根据参与降解的微生物的种类不同，生物处理法又可分为好氧生物处理和厌氧生物处理方法。好氧生物处理法根据微生物在水中所处的状态不同，又可分为活性污泥法和生物膜法，活性污泥法中的微生物在水中呈悬浮状态，而生物膜法中的微生物是附着在其他载体表面呈膜状。活性污泥法和生物膜法应用得较早，技术也较为成熟，但它们也在不断地改进和创新之中。

现代工业的迅猛发展，人们生活水平的不断提高对水量、水质的要求也越来越高，而近年来水环境污染问题又日趋严重。为了解决这一矛盾，在合理规划利用水资源的同时，又必须利用污水处理技术对产生的污水进行处理，使之消除污染物后再排放、减轻对水体的污染。近年来，许多高新技术融入污水处理技术之中，使污水处理技术获得了很大的发展。

5.3 污水处理中常用的电气方法

物理处理法的新发展，如高磁分离技术，是利用高的磁场梯度来分离水中的一些污染物质。其原理是利用高梯度和磁分离装置，其磁场梯度达到每微米 1000 高斯，因此它不仅能轻易地分离铁磁性物质和顺磁物质，而且在投加磁种和混凝剂使磁种和污染物形成磁性的混凝体后，还能有效地分离弱磁性乃至反磁性的物质，高梯度磁分离技术已在钢铁工业废水处理上首先得到应用。

正在推广的膜分离技术，是利用一种特殊的半渗透膜分离水中离子和分子的技术，它主要包括反渗透（RO）、纳滤（NF）、超滤（UF）、微滤（MF）等。其中纳滤也称纳米过滤，是介于 UF 和 RO 之间的一种以压力为驱动力的新型膜分离技术，最适用于有机物污水的处理。

物理法和其他化学法结合出现了光化学氧化法,如光激发氧化是利用光激发氧化将 O_3 、 H_2O_2 、 O_2 等氧化剂与光化学辐射相结合,所用光主要是紫外光,可用于处理污水中某些难降解的物质。而光催化氧化是采用 N 型半导体,如 TiO_2 作为催化剂,可迅速降解水中的有机卤化物、芳香族化合物,有机酸、醇类等。

静电、电子水处理技术在杀菌、灭藻、防垢等方面都有应用。

废水净化的电化学方法,其实质就是直接或间接的利用电解作用把污水中污染物去除,或把有毒物质变化为无毒、低毒无害的物质。废水的电化学净化,根据电极反应发生方式不同,可分为电凝聚电气浮、电沉积法、电化学氧化、内电解法等。简单介绍如下:

(1) 电凝聚电气浮法 在外电压作用下,利用可溶性阳极(铁或铝)产生大量阳离子,对胶体、废水进行凝聚,同时阴极上析出大量氢气微气泡,与絮粒粘附在一起上浮,这种方法称为电凝聚电气浮。主要治理印染污水、含油废水、化纤废水,国内外都有大量的应用实例。新发展的电源技术主要是脉冲电源,由于施加脉冲信号,电极上的反应时断时续,有利于扩散,降低浓差极化,从而降低电耗。

耗氧有机物成分复杂,分别测定其中各耗氧有机物的浓度相当困难。实际工作中常用 COD_{cr} 、 BOD_5 、 TOC 、 TOD 等指标来表示。一般说来,上述指标值越高,消耗水中的溶解氧就越多,水质越差。自然水体中, BOD_5 低于 3mg/L 时,表明水质已经很差,其中的溶解氧已接近于零。表示为化学耗氧量(COD_{cr}),生物化耗氧量(BOD)。

采用高压脉冲电解净水设备用于印染废水治理,电极采用 A3 钢板,极板电路采用复极式结构,平均电流密度为 $50 \sim$

$100\text{A}/\text{m}^2$ 。色度去除率大于 90%， COD_{Cr} 的去除率大于 70%，每吨废水耗电 $0.6 \sim 0.8\text{kW}$ ，耗铁 $25 \sim 50\text{g}$ ，与常规电凝聚电气浮相比，电耗、铁耗均可降低 50% 左右。脉冲电源的频率、宽度、峰值、电流等参数值的选取和废水水质有关，应当通过实验后，确定最佳值。

在电解过程中，如果施加周期换向的脉冲信号，既具备脉冲电能的特点，又由于两极均为可溶，更有利于金属离子与胶体间的絮凝作用，同时两电极极性的经常变化，对防止电极钝化也起到积极作用，这就是周期换向脉冲电解新概念。

在电极的结构方面，除平板电极外，采用网状电极，可减少电解析气泡的滑移并聚，缩小微气泡尺寸，强化上浮效果。

(2) 电沉积法 采用电沉积法处理低浓度金属离子废水，是近年来一个十分活跃的领域。由于废水中重金属离子浓度很低，浓差极化严重，电解过程中传质问题突出。所以改进电极结构，使用高效传质电化学反应器是关键。20 世纪 60 年代发展起来的流化床电极，在金属离子废水处理中得到了开发应用。

国内同济大学等单位进行了这方面的工作，研究表明，对于含 $\text{Cu}^{2+} 10.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{Ni}^{2+} 3.75\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的废水，采用流化床电极处理， Cu^{2+} 下降到 $1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下，而 Ni^{2+} 未在电极上沉积，分离效率几乎达 100%。

(3) 电化学氧化 含氰废水的电化学氧化处理研究和应用由来已久，通常以石墨为电极的阳极，氰根在直流电场作用下，在阳极上被氧化变为无毒物质，电解时添加氯化钠 (NaCl) 可提高处理效果。

废水处理中的电化学方法研究最多的还是有机污染物的氧化，尤其是一些生物难降解物质，如染料、酸类、合成表面活性剂等。染料电化学性能，国内有人作过系统的研究。结果表明，各类染料用铁电极处理时，其 COD_{Cr} 去除率的顺序为硫化

染料、还原染料→酸性染料、活性染料→中性染料、直接染料→阳离子染料。除阳离子染料外，各类染料的脱色率均大于92%。印染废水电凝聚电气浮处理中，实际上包含了染料在阳极上的电化学氧化作用。酚是有毒的有机污染物的代表，因此对酚的电化学氧化，从电极材料、反应机理、去除率和电能消耗都精心研究，采用高氧超电压的金属阳极可抑制阳极析氧副反应的发生，提高电流效率。例如在钛基 $\text{SnO}_2 - \text{Sb}_2\text{O}_5$ 涂层电极上，电流效率达到60%以上，对于含酚废水，当 COD_{Cr} 值为 $500 \sim 15000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，去除 $1 \text{ kg COD}_{\text{Cr}}$ 耗电约 50 kW 。但到目前为止，由于电耗过高，尚难以实现工业化。该技术走向实用化的关键是研制具有高效催化性能的电极材料。利用高效催化性能的电极材料，钛基金属氧化物涂层电极是发展方向。

此外，活性碳填充电极，电解氧化法应用于有机废水的深度处理工艺，在电极板之间填充活性碳颗粒，作为微电极，在外电场作用下，吸附在活性碳表面上的有机物分子被电解氧化，集吸附，电化学氧化于一体，吸附和电化学氧化可达到自身平衡，无需单独设置活性碳再生装置。

(4) 内电解法 内电解法工艺，又称絮凝床，其构造类似于吸附固定床，按照填料的不同可分为铁碳床、硫化铁矿床等。内电解法是一种新兴起的水处理应用技术，理论上还不够成熟，但有其节能，以废治废的优越性，故日益受到工程界的重视。

在应用方面，铁碳床处理电镀、印染、化工废水，已有很多报导。但还存在着铁屑结块和处理效果不稳定等缺点。据文献报导，采用铁屑高频结孔技术较好地解决铁屑结块问题，即在一定温度下把铁屑烧结成类以活性碳的多孔烧结物。中山大学环境治理研究室据此原理研制的 ZSU 絮凝床产品，用于石油废水的处理，可使油类从 $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， COD_{Cr} 从 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 降至 $130 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，取得了较好的效果。

在废水净化的几种电化学方法中，电凝聚电气浮法运用较为成熟，是当前发展方向，通过改进电源技术，研制新型的电极材料及结构，可进一步降低电能消耗和材料消耗。

电沉积法处理金属离子废水优势在于能回收金属，无二次污染。电化学氧化处理微生物降解有机废水是当前的一个热门研究领域，正在实际应用中扩展开来。

5.4 电力电子技术在污水处理中应用的实例

水环境质量的恶化趋势使得传统的水处理方法受到挑战，相关的污水处理技术逐渐成为研究热点，尤其是污水处理的电化学方法逐渐成熟，进入工程应用，解决了废水处理中不少工艺与技术难题。由于电化学方法主要是靠电解、高压、静电、电子水处理，都需要使用高频、高压、脉冲电源与设备，所以电力电子技术在水处理中的应用也就势在必行，其功用是不可替代的，这里举几个实际应用的例子供参考。

5.4.1 脉冲电源污水处理技术应用

臭氧发生法，高压脉冲放电法和脉冲电解法都是使用了脉冲电源的污水处理技术，下边逐一作简单介绍。

(1) 臭氧发生法 臭氧 (O_3) 是一种可溶解于污水且氧化性能很强的气体，通过与水中污染物反应实现净化，与其他常用的氧化剂（如氯气 (Cl_2)、次氯酸钠 ($NaClO$) 等）相比， O_3 具有无色，无恶臭，无强腐蚀性和毒性，原料（空气）价廉易得，现制现用等优点。尤其是使用后没有二次污染，还会增大有益区域含氧量。

突变电场（脉冲作用下）电离空气生成活性 O 并与 O_2 结合生成 O_3 过程中，脉冲电流输出的电能仅 7% ~ 14% 用于 O_3 的生成，其余全为热损失，电能利用效率低，工艺成本高。这是由

于早期采用的是固定低频（50 ~ 60Hz）和固定中频（400 ~ 600Hz）可变电压电源，随着电力电子技术的发展，高频电源的制作变的简单， O_3 发生采用高频供电技术（1 ~ 100kHz）优点很多：强化臭氧合成过程，减少装置的体积和重量，降低发生器的工作电压。在合成臭氧使用的各种脉冲波形的高频应用中，试验及实用效果证明：供电电源采用高频快上升的方波或脉冲波形比传统的正弦波合成臭氧效果更佳。

（2）高压脉冲放电法水处理技术 以高能化的高电压技术处理难以处理的工业污水它是当前研究的热点之一，气水相间的混合系统中施加高压的窄脉冲可以实现气体电晕放电，外加电压幅值数十千伏，上升时间纳秒（ $10^{-9}s$ ）级的高压脉冲时，电晕放电产生的电子温度高达几百度，而离子和中性气体温度接近常温。被这种非平衡等离子体包围的水滴同时承受 4 种效应。①高能电子轰击；②电晕放电时产生的臭氧 O_3 对水滴的杀菌消毒；③放电产生的紫外线对水滴起光化学处理作用；④放电等离子体中产生某些活性自由基（OH 基等）。它们的共同作用使难处理的工业污水达到快速净化的目的。

高压脉冲放电等离子体水处理技术使放电生产的臭氧与水直接作用。简化了传统臭氧净水技术的程序，使装置小型化，既避免了 O_3 质量浓度随时间的衰减，又发挥了放电产生的活性粒子的净化作用，应用前景很好。

（3）脉冲电解水处理技术 最初利用直流供电电源电解净化污水时，废水处理的电能消耗和阳极的消耗都很大，工艺成本高，改为脉冲电源后，电能和阳极损耗均有明显降低，极板结垢，阳极钝化，处理效果不稳诸多问题，都比直流供电明显改善。

图 5-1 所示给出了应用电力晶体管 GTR 制作的脉冲电解电源（PEP）的示意图，该图所示的 GTR 脉冲电源设计方案为一斩波器，电路采用直流电平与基准三角波比较后输出一个驱动

信号，以控制 GTR 的通断将直流电源 E 转变为脉冲输出电源。改变直流电平的大小可调节脉冲电源的脉宽；改变三角波的频率可调节脉冲电源的频率。这样脉宽和脉冲频率可分开调节，以满足不同废水处理对脉冲电源的电气参数要求。这种脉冲电解电源因使用了中频变压器和扼流电感，体积和重量都较大。为了解决上述脉冲电解电源的缺点，应采用高频电力半导体器件来制作高频脉冲电解电源。图 5-2 给出了一种应用场效应晶体管 MOSFET 为主功率器件的高频脉冲电解电源的原理图。在图 5-2 所示的脉冲电解电源 PEP 电源原理示意图中，系统先由整流滤波获得直流电压，再通过 Buck 功率变换器获得脉冲输出。反馈调节环形成的误差信号通过 PWM 发生器控制开关管 VF 通断，使直流电压稳定在所设定的幅值上。调制信号由微机控制系统发出，适时的控制主电路中 VF 的工作，实现封锁 PWM 开关变换。当开关管场效应晶体管 MOSFET VF 断开时，电源输出随电感和电容的放电而衰减到零。当封锁信号撤销时，电源又重新启动，输出电压重新建立，从而在输出端形成 PWM 功率脉冲输出。该电源因使用了高频开关电源技术，使脉冲电解电源设备体积小，变换效率高、轻巧，适用于工业废水及含油污水的处理。

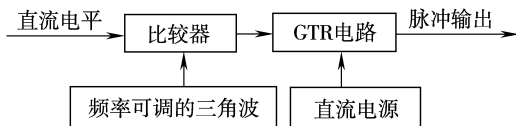


图 5-1 应用 GTR 制作的脉冲电解电源示意图

电解净化污水用的脉冲电源，在设计其控制系统时应注意以下几个问题：

1) 提高电源效率 为减小电源的体积和重量，必须实现高频化。但是，高频化同时引起了功率管的开通和关断，使损耗加剧。故要提高电源效率，有必要采用软开关技术。

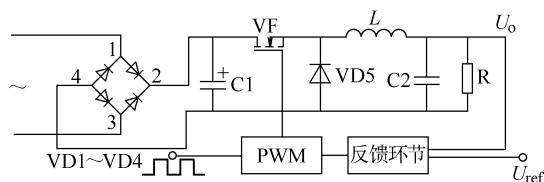


图 5-2 应用 MOSFET 为主功率器件制作的脉冲电源原理图

2) 功率因数较正 脉冲电源中的整流二极管、滤波电容等电子元件的使用，由于不会使整流二极管在电网交流电压的整个周期中都流过电流而使电网电压瞬时值大于电源两端电压时才会有电流流通，因而引起输入电流严重畸变，结果使电网谐波增加降低了开关电源的功率因数。与直流供电电源相比，脉冲电源的等效功率因数较低，现有的污水处理用脉冲电源的功率因数仅有 0.3 ~ 0.4，故电源内部最好有功率因数较正（PFC）环节。

3) 采用模糊控制 为污水的电解净化过程建立精确的数学模型是十分困难的，而模糊控制不需要建立控制对象的数学模型，只需通过语言描述建立控制系统的数学模型，其控制策略以有经验的操作者提供的事先确定的值为基础。电解净水机的模糊控制原理如图 5-3 所示。首先根据各类传感器测量值确定各语言变量的隶属度，然后经过模糊控制器自动选择电气参数（包括脉冲频率、脉冲占空比、脉冲幅值）和处理时间，以最佳的净化方案自动完成污水净化全过程。电解净水过程的模糊语

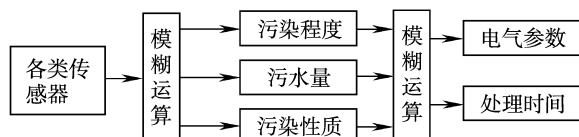


图 5-3 电解净水机的模糊控制原理图

言变量包括污水的污染程度（严重、一般、轻）、污水量（大、中、小）、污水性质（如印染废水、含油生活污水）。其核心是建立合理的模糊规则库。

4) 提高电源自适应性 实际工程应用中，污水成分复杂多变，故有必要提高电源的自适应性，使之在不同的污水处理条件下自动调整，保证输出波形既能满足净化结果，又能达到节能的目的。

脉冲电源处理污水技术具有不需要添加氧化剂、絮凝剂等化学药品，无二次污染，设备体积小，操作简便可以与其他污水处理技术灵活组合等优点。脉冲电源污水处理技术仍然需要在降低能耗，提高污水处理效率上深入研究。

(4) IGBT 脉冲电源系统 脉冲电源形式多样，用途十分广泛。其主要的应用领域包括：脉冲电镀、极性相和非极性相的相分离、工业废气处理、脉冲电解污水处理、高频脉冲感应加热、高功率激光泵、产生高功率带电粒子束、电弧焊接、电火花（放电）加工、静电除尘、臭氧的制取。在军事上，脉冲电源还用在电磁轨道炮、电磁脉冲模拟、粒子束武器、液电爆炸等领域。

不同的应用场合，对电源的输出电压、输出电流及开关频率的要求不尽相同。按照输出特性的不同，可以将其分为能量密度型、时间间隔型以及组合型三类。作为能量密度型脉冲电源的基础，脉冲功率技术可以概括为电感储能式、电容储能式和 LC 组合储能式三种。磁脉冲压缩技术是电感与电容（LC）组合储能的一种特殊形式。它利用磁性材料在饱和前后磁导率显著变化这一特性，将可饱和电感制成控制能量流动方向的“磁开关”，把脉宽较大的电流脉冲压缩成为具有窄脉宽、陡前沿特性且能量更加集中的脉冲。

电力电子技术的不断发展和新型高频软磁材料制造工艺的

不断改进加速了磁脉冲压缩技术的进一步推广应用。

采用 IGBT 作为功率开关，输出级采用磁压缩电路压缩脉冲前沿的脉冲电源，主电路原理如图 5-4 所示。该电源按功能划分主要由整流电路、充电电路、放电电路以及磁脉冲压缩电路构成。视对脉冲前沿的要求，后者可以是单级磁脉冲压缩电路或多级磁脉冲压缩电路。图 5-4 所示的是两级磁压缩电路，下面按功能电路分析其工作过程。

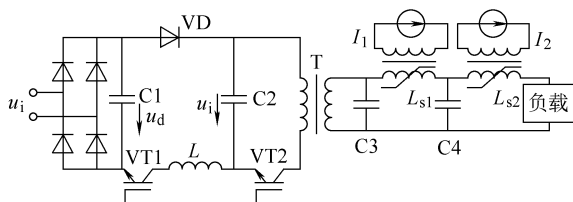


图 5-4 IGBT 脉冲电源主电路原理图

1) 充电电路 首先经过单相不可控整流以及电容滤波得到平直的直流电压 U_d 。当功率开关 IGBT, VT_1 开通时, $C1$ 、 $C2$ 、 L 、 VD 组成充电电路。通常滤波电容的值很大, 在这里 $C1$ 、 $C2$ 满足 $C1 \gg C2$ 。

2) 放电电路 放电电路由 $C2$ 、 $VT2$ 、 $C3$ 以及脉冲变压器 T 组成。通常, 为了满足负载的要求, 负载电压必须升到足够高, 利用脉冲升压变压器可以方便地通过调节变压器电压比来得到需要的高压。

3) 磁脉冲压缩电路 两级磁脉冲压缩电路由 $C3$ 、 $C4$ 以及饱和电感 L_{s1} 、 L_{s2} 、磁心复位电流源 I_1 、 I_2 组成。

5.4.2 高压静电技术在活性污泥微生物法中的应用

静电场的生物效应日益受到重视, 已经涉及到高压静电对人体和动物体的影响, 对植物生长和种子活力的影响, 果蔬的

保鲜技术以及医疗保健的作用等。关于活性污泥在高压静电处理水中行为的影响研究尚未见报道,有文献报道活性污泥微生物传感器可快速测定污水的生化需氧量(BOD)。就是利用活性污泥微生物制成BOD传感器,以考察在静电处理前后的水中活性污染对有机物的降解能力。

(1) 实验部分

1) 试剂

① BOD标准溶液 浓度为2200mg/L是由150mg葡萄糖和150mg谷氨酸与0.1mol/L KH_2PO_4 、0.05mol/L $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 缓冲液(pH6.0)配制而成(总体积为1L)。

② 培养基配方 由葡萄糖(1%),蛋白胨(1%),氯化钠(0.5%),谷氨酸(0.1%)和pH6.0的磷酸硼砂缓冲液配制而成。本实验所用缓冲液全部为pH6.0缓冲液。

2) 微生物培养 活性污泥取自上海曲阳污水厂,将少许活性污染接种于100mL培养基溶液中,摇床上振荡培养20h,600r/min下离心5min,弃去底部污泥残渣。取上清液,4500r/min下离心10~15min,弃去上清液,倒入0.9%的氯化钠溶液中,4500r/min离心洗涤,弃去上清液,得乳白色湿菌体,取少许湿菌体接种于斜面培养基中,恒温培养20h,4℃冰箱保存。

3) 微生物膜的制备 选用海藻酸钠—氯化钙法固定微生物湿菌体与4%海藻酸钠溶液按1:1(V/V)混合涂在玻片上,并均匀涂压成一薄膜(约0.2mm厚),浸于4%氯化钙中固定约0.5h,取出用蒸馏水冲洗后得微生物膜,在20%甘油溶液中4℃冰箱保存。

4) BOD电极的制备 BOD电极是由氧电极和固化的微生物膜组成,将上述固化的微生物膜用打孔器取下 $\phi=100\text{mm}$ 的圆形薄膜,用橡皮圈固定在聚四氟乙烯膜和醋酸纤维膜之间,同氧电极结合组成BOD电极,于pH6.0的磷酸盐缓冲液中活化

2~3h, 取出浸入重蒸水中。

5) 实验装置 高压静电装置如图 5-5 所示。

6) 高压静电处理水的制备 将新鲜配制的 pH6.0 磷酸盐缓冲液引入静电处理器, 在不同静电压下定时取样, 测定传感器的耗氧曲线, 将未经静电处理的缓冲液作为对照。

7) 测定步骤和原理 将 BOD 电极插入盛有 20mL 磷酸盐缓冲液的电解池中, 控制阴极电位在 $-0.7V$, 在恒速搅拌和恒温下 (24 ± 2) 得到一稳定的氧化还原电流输出, 将含有有机物的样品溶液加到电解池中, 有机物向微生物膜内扩散, 细菌进行呼吸作用分解有机物消耗氧气, 于是输出电流逐渐随之下落到另一稳定值, 由电流下降值通过标准曲线法即可求得 BOD 值, 实验直接采用 BOD 标准溶液进行微生物降解有机物能力的测试。

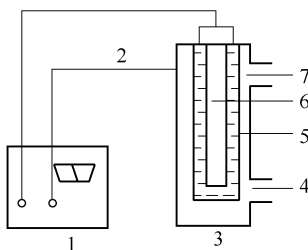


图 5-5 高压静电装置

- 1—高压发生泵 2—高压导线
3—静电处理器 4—进水口
5—聚四氟乙烯绝缘层
6—阳极铁心 7—出水口

(2) 结果与讨论

1) 活性污泥微生物传感器工作温度的选择 在 $15 \sim 50$ 温度范围内, 对微生物传感器的响应进行测试。结果发现, 当温度低于 20 , 传感器的响应较小, 且响应时间过长, 温度高于 35 时, 响应不稳定, 且对菌膜寿命不利。本工作选择室温 (24 ± 2) 作为工作温度, 传感器的稳态响应时间为 5min。

2) 活性污泥微生物传感器工作 pH 的选择 考察了微生物传感器在 pH5.0 ~ pH8.0 范围内的响应, 结果表明, pH5.8 ~ pH7.5 内, 传感器的响应变化不大 (见图 5-6)。故选择 pH6.0 作为工作条件。

3) 活性污泥微生物传感器的响应 微生物传感器在 5000V 高压静电处理 6h 和未处理的缓冲介质中的响应情况如图 5-7 所示。活性污泥微生物传感器在经过高压静电处理的水介质中的响应增大, 其响应斜率变化明显。这一结果表明, 在高压静电处理一定时间的水介质中, 活性污泥微生物的降解能力有明显改善。

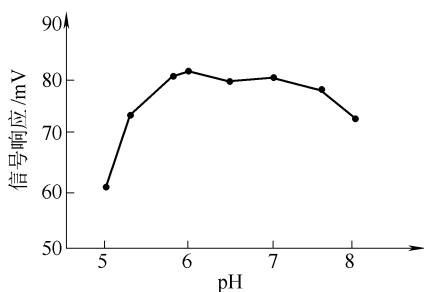


图 5-6 BOD 传感器在不同 pH 缓冲液中的响应 (BOD 标准溶液浓度为 5.5mg/L, 未经高压静电处理)

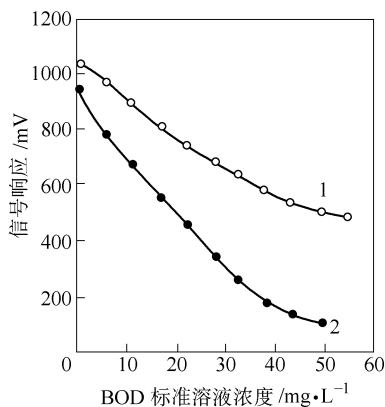


图 5-7 BOD 传感器在缓冲液中的响应

1—未处理 2—处理 6.0h (5000V)

研究证明, 高压静电处理水行为使水中活性污泥对有机物的降解能力有所改善。

不同高压静电处理时间对微生物降解能力的影响即 BOD 传感器的信号响应值如表 5-1 所示。

(BOD—活性污泥微生物传感器, 可快速测定污水的生化需氧量)

表 5-1 5000V 高压静电处理不同时间对
BOD 传感器信号响应的影响

处理时间/h	0	0.2	3.5	5.8	8.0	9.0
信号响应/mV	642	645	649	798	707	673

注: 进样为 400 μ L BOD 标准溶液。

由表 5-1 可看出, 同一电压不同处理时间对微生物降解能力影响有较大差异。对于 5000V 电压处理水, 3.5h 的处理时间使微生物降解能力有一些增加 (约为 1%), 到 5.8h 后, 增加达到最大 (24.2%), 然后随处理时间继续增长, 增加值又下降。

同样对 2000V 电压处理水, 1.5h 使响应增加 6.1%, 处理 3.7h 后, 响应增高 25.5%, 达到最大值, 处理时间继续增长, 信号响应到呈现下降, 至 6.0h, 读数反而下降 20.6%, 比 0h 处理值还低, 说明微生物此时降解能力比未处理时还要低, 这与高压静电场具有先刺激细菌生长, 随后加速死亡的作用相类似。不同电压达到良好的处理效果所需时间不同, 5000V 时约需 6.0h, 而 7000V 时约需 4.0h。

经高压静电场处理后的水介质, 影响和改变了细菌的生理代谢环境, 使水的相关理化特性改变, 增强或抑制了微生物细胞的某些酶的活性, 促进或减慢了活性污泥微生物在该介质中的代谢。只要选择好适当的电压和处理时间, 就可以使处理过程优化。所以, 高压静电方法, 可有效地提高活性污泥的耗氧速率。高压静电处理接种活性污泥, 将成为处理某些有机物废

水的有效方法之一。

5.4.3 污水处理的自动监控技术

正确合理的采样方法和先进的自动采样仪器，是实现水质自动监测的必要条件。

目前我国开发出了能进行连续自动采样的水质采样器，如 S - 700 型自动水质采样器，具有微孔排气罩的特殊结构，可保证采取的水样能连续、均匀、缓慢地进入取样器内腔，所取水样能代表一段时间（如 24h）内连续均匀的混合水样。也有微机控制的自动水质采样器，这种通过微机调控实现人机对话的自动采样技术，可根据需要任意调节采样时间。还有经改进的引进产品，如 SC - 05 型多功能水质自动采样器，已在我国污水水质自动监测控制系统中得到了实际应用。

20 世纪 80 年代以来，依据 COD_{Cr} 库仑法原理研制出了 COD 全自动监测装置。该装置体现了输送技术、小型耐强腐蚀电磁阀、小剂量液体自动定量技术、恒温消解技术、库仑滴定判终技术等五大跨学科的关键技术。同时也有了国产的 BOD 自动监测仪，可以测定出 $\text{BOD} > 2000\text{mg/L}$ 的高浓度有机废水，对造纸黑液、酿酒废液、屠宰废水及厌氧发酵液等多种废水进行监测。

除此以外，测定其他指标的水质自动监测仪都在快速地更新与发展，如酸碱度 pH 值自动测定仪，已更新了几代产品。

在我国工业废水和生活污水排放中，流量测定是薄弱环节，实行污水排放的总量控制标准，使排放污水的水量测定成为污水监控程序中不可缺少的环节，从而大大促进了流量技术的发展。超声波传感器及物位计的发展，加上微电脑的应用，致使污水流量自动测定仪能够进行污水动态排放条件下的连续监测。如 SM-1A 流量计，它是由帕歇尔量水槽、超声波液位传感器及数据处理仪、微电脑监控仪组成。因为具有独特的液位数据测

量、处理能力和良好的温度跟踪补偿,使计量结果准确、抗干扰能力强、耐腐蚀、不易堵塞,不易受液体悬浮物和气泡的影响,因而应用范围广,是理想的自动流量计。

(1) 在线过程与微机控制

1) 单元在线过程 为实现该单元自动监测或自动控制操作过程而设置微机控制,叫单元在线过程。微机控制在线给水处理应用较多,目前在污水处理中正在逐渐引入工业废水处理的单元在线过程。例如含酸(或碱)废水的 pH 值调整,应用双回路微机控制的在线过程,消除了人工调节与控制的弊端,可使系统精度达 $\pm 0.25\text{pH}$ 值,能在高油含量的污水中长期稳定地运行,实现全过程的自动化处理,且投资省、占地少;又如在电镀含氰含铬废水中,也成功地使 pH/ORP(氧化还原电位)调节实现了单元在线过程的自动操作。

2) 水质自动监测系统 它要求所有在线装置均根据实际需要来选择,且自动化程度高,微机需编程控制。20 世纪 80 年代以来,我国陆续在一些大中城市和大型企业建立了水质自动监测系统,或者是大企业或区域环境自动监测系统中配置水质自动监测站,亦有流动监测站即水质自动监测车。例如天津水质监测系统、鞍钢环境自动监测系统、太钢污染源连续自动监测系统、锦州炼油厂污水水质监测系统及 SIG-785 型水质监测站等。应用实践表明,这些水质自动监测系统设计合理、运行稳定,能对城市污水和工业废水进行连续自动监测,有助于对企业或区域的水污染状况作出评价与预测,便于及时掌握水质污染变化规律,有效地控制了污染物的排放,减少资源流失,取得了较大的经济效益与环境效益。

(2) 闭路循环与零排放 以节约水资源和保护环境为宗旨,其废水处理均应从闭路循环工艺着手、以零排放为目标进行研究。发达国家从 20 世纪 60 年代就开发出一些零排放系统的处理

工艺。美国、日本在 80 年代中期,电镀废水达到了零排放。我国亦在 80 年代进行了大量的研究,在电镀废水、煤气站含酚废水等处理中,引进和开发了闭路循环及零排放工艺。尤其是含重金属离子的电镀废水,出现了可将处理工序设置在生产工序之中的自动控制技术,同步进行,使生产用水与废水处理形成完整的封闭循环系统,以达最大限度地回用水和金属的目的。对于单种电镀工艺,采用闭路循环可以回用 99% 的清洗水,乃至实现零排放,同时可回用 90% 的金属资源。电镀废水槽边循环漂洗法与多级逆流漂洗法,均是利用生产程序控制废水处理工艺的方法,其生产过程中的污染物被生产过程自身消化,因此可以达到零排放。

(3) 污水处理监控技术的发展前景

1) 部分处理工艺实现了全自动或半自动的监控技术,尤其是设置在生产线上与生产装备同步的废水处理自动设备,能使污染物消化在生产过程中或污染的源头。

2) 监控系统的结构由开路系统向闭路循环系统发展。闭路循环中的在线监测仪表与控制设备,既独立发挥各自的功能又相互协调作用,保证整个系统的良性循环以实现零排放,达到污染控制的最佳状态。

3) 区域水质连续自动监测系统的出现,标志着我国水质监测技术的飞跃发展,说明我国废水污染源全面彻底地实现总量控制和区域污染防治,已经为期不远了。

第6章 消防安全与 电力电子技术

6.1 概述

消防是防火和灭火的总称。我国的消防工作执行“预防为主，防消结合”的方针。为使这一方针得到贯彻，每个与消防有关的人员都应认真做好防火工作，力求制止火灾的发生，同时充分做好灭火的准备。每当火灾发生时，应尽快扑灭，尽可能地减少火灾造成人员伤亡和财产损失。防，可以减少火灾的发生。消，可以减少损失和伤亡，两者相辅相成，融为一体。

江泽民同志关于消防工作的重要讲话《责任重于泰山》的发表，具有十分重要意义，这一讲话阐述了我国消防工作的方针和任务，深刻揭示了消防工作的客观规律，不仅对做好当前的消防工作有着重大的现实意义，而且对促进今后消防工作改革，增强社会安全意识，推动消防事业的发展有着深远的指导意义。“隐患险于明火，防范胜于救灾，责任重于泰山”这三句话，既从政治的高度，又从消防工作规律的角度，对做好消防安全工作提出了全面要求。我们从政治和改革、发展、稳定的大局出发，从促进经济快速发展的大好形势出发，必须深刻领会精神实质，统一思想，提高认识，切实增强做好消防工作的自觉性和责任感。

消防工作涉及经济发展，城市规划，市政建设，科技进步，群众组织，执法监督以及宣传教育，经费投入等诸多方面，任务繁重。因此，要在公安消防部门指导下建立相应的组织，制

订有效措施,购置相应的消防设施及装备,防患于未然。消防工作是万万不可轻视的,麻痹大意一定要吃大亏的,尽管如此,每年火灾造成的伤亡数字是惊人的,这样的教训太多了,太深刻了。所以,改革开放以来,随着我国建设事业的发展,城市的规模越来越大,高层建筑及建筑群体也越来越多,近代高层建筑可以说是在灾害中成长壮大的,其中最严重的莫过于火灾了。在各种类型的高层建筑中,均有大量的可燃物 and 由于在该高层建筑中电气设备及工作与生活的人们造成的潜在火源,因而起火的可能性很大,一旦起火,高层建筑的火灾蔓延快,扑救难度大,人员伤亡大。所以,高层建筑的防火技术也就越来越先进,从而促进了消防事业的快速发展,尤其是火灾报警和灭火系统已引起了广泛的关注,其自动化程度逐渐完善,在建筑防火中发挥着越来越重要的作用。现代高层建筑已向智能化方向发展,各种自动消防设施也就相应的进入智能控制的新阶段。根据高层建筑多功能的特点,一般都需要配备有:①火灾自动报警系统;②消火栓和自动喷淋灭火系统;③消防正压送风和排烟系统;④安全疏散标志与应急照明系统;⑤通信广播系统;⑥消防电梯运输系统等。高层建筑消防应“立足自防,自救,采用可靠的防火措施,做到安全适用,技术先进,经济合理”。

6.2 安全隐患信号的常用检测方法

这里的安全隐患主要指火灾的发生与预防过程中,所能得到的信息,那么安全隐患信号的检测方法,则大都是根据火灾早期产生的烟雾、温度、光、气体等的传感派生出不同类型的探测器。

火灾探测器的类型,可分为感温式火灾探测器、感烟式火灾探测器、光电式火灾探测器、可燃气体探测器与复合式火灾

探测器。

6.2.1 感烟探测器

常用的感烟探测器有离子感烟探测器、光电感烟探测器及红外光束线性感烟探测器。感烟探测器对火灾前期及早期报警很有效，应用最广泛。

感烟探测器是对探测区域内某一点或某一连续线路周围的烟参数敏感响应的火灾探测器。

在探测器的电离室内空气的氮和氧分子受放射性核素的 α 粒子的轰击引起电离，产生大量带正、负电荷的离子。当在电离室的两电极上施加一电压时，引起正、负离子向极性相反的电极移动，产生了电离电流。电离电流的大小与电离室的几何尺寸、放射源活度、 α 粒子能量、施加电压的大小以及空气的密度、温度、湿度和气流速度等因素有关。当烟粒子进入电离室时，这些比离子重千百倍的烟粒子俘获离子，此时离子的复合机率大大增加，从而电离电流减小，当电离电流减小到预定程序时便输出报警信号。

(1) 离子感烟探测器 离子感烟探测器是对能影响探测器内电离电流的燃烧产物敏感的探测器。

离子感烟探测器有双源双室和单元双室之分，它利用放射源制成敏感元件，并由内电离室 K_R （也称补偿电离室或参考电离室）和外电离室 K_M （又称检测电离室或采样电离室）及电子线路或编码线路构成。图 6-1 给出了这种感烟探测器的原理框图，外电离室是开孔的，烟可顺利通过，内电离室是封闭的，不能进烟，但能与周围环境缓慢相通，以补偿外电离室环境的变化对其工作状态发生的影响。

放射源由物质镅²⁴¹（元素符号表示为 ^{241}Am ） α 放射源构成。放射源产生的 α 射线使内外电离室内空气电离，形成正负

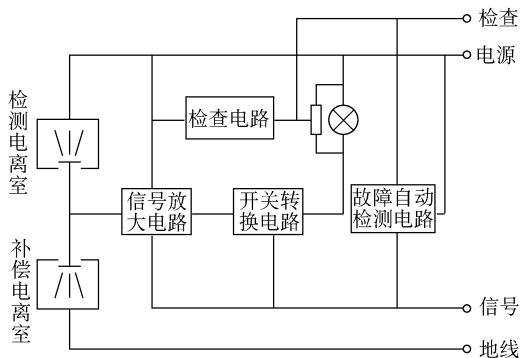


图 6-1 离子感烟探测器的原理框图

离子，在电离室电场作用下，形成通过两个电离室的电流。

当发生火灾时，烟雾进入外电离室后，钋²⁴¹产生的 α 射线被阻挡，使其电离能力降低率增大，因而电离电流减小。正负离子被体积比其大得多的烟粒子吸附，外电离室等效电阻变大，而内电离室因无烟进入，电离室的等效电阻不变，因而引起两电阻交接点电压变化。当交接点电压变化到某一定值，即烟密度达到一定值时（由报警阈值确定），交接点的超阈部分经过处理后，开关电路动作，发生报警信号。

现以 FJ-2701 型离子感烟探测器为例说明其工作原理，这种感烟探测器的原理电路图如图 6-2 所示。由于两电离室的钋²⁴¹ α 放射源是串联的，所以等效阻抗很大，大约在 $10^{10} \Omega$ 左右，这样就必须采用高输入阻抗的场效应晶体管 VF。

由 V1、V2 两只晶体管组成正反馈电路，当外离子室由于受烟粒子影响电阻变大而使场效应晶体管 VF 导通后，V1 基射极获得大于 VS 稳压值 + 1.4V 的电压而导通，稳压管 VS 超过稳压值后也导通，晶体管 V3 也随之导通，V3 的集电极电流使确认灯 H 亮，同时信号线输出火警信号。晶体管 V4 作为探测器断

线监控，安装在终端时，起断线故障告警作用。

从图 6-2 可知，FJ - 2701 型离子感烟探测器的引出线为 4 根：即信号线、巡检线、电源线、地线。其中信号线为单线，每个探测器有一根，其他三根线可与同一工作系统中别的探测器共用，为总线。应注意的是，不同型号的探测器其接线是不同的。

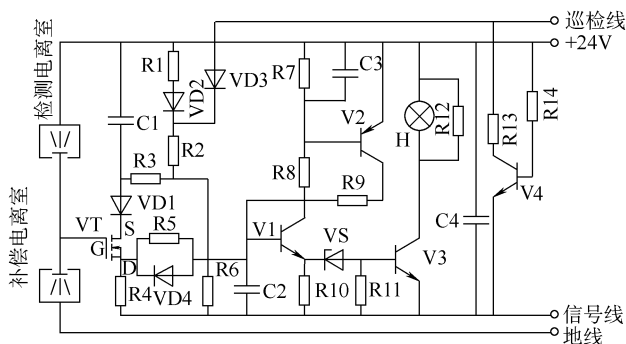


图 6-2 离子感烟探测器原理图

(2) 光电式感烟探测器 这种感烟探测器是对能影响红外、可见和紫外电磁波频谱区辐射的吸收或散射的燃烧产物敏感的探测器。

光电式感烟探测器由光源、光电元件、电子开关及迷宫般的型腔密室组成。散射光型探测器的内部结构如图 6-3 所示。它是利用光散射原理对火灾初期产生的烟雾进行探测，并及时发出报警信号。

(3) 红外光束线性感烟火灾探测器 线型火灾探测器是响应某一连续线路附近的火灾产生的物理和化学现象的探测器。红外光束线型感烟火灾探测器是应用烟粒子吸收或散射红外光束强度发生变化的原理而工作的一种探测器。

其特点是：具有保护面积大、安装位置较高、在相对湿度较高和强电场环境中反应速度快，适宜保护较大空间的场所，

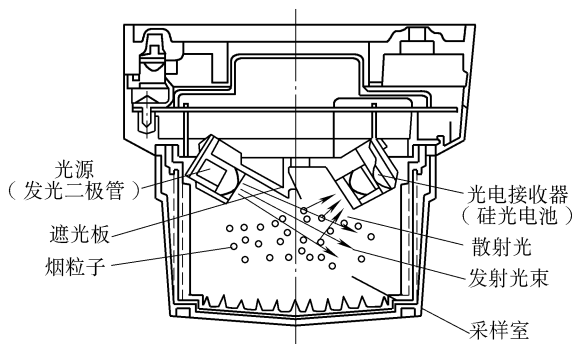


图 6-3 散射光型探测器内部结构图

尤其适宜保护难以使用点型探测器甚至根本不可能使用点型探测器的场所。

6.2.2 火焰探测器（感光探测器）

点型火焰探测器是一种对火焰中的特定波段中的电磁辐射敏感（红外，可见和紫外谱带）的火焰探测器又叫感光探测器。所以其分类有红外火焰探测器、紫外火焰探测器及紫外/红外火焰探测器。

6.2.3 感温探测器

感温探测器是响应异常温度，温升速率和温差等参数的探测器，分为电子式和机械式两种。每种按原理又可分为定温、差温和差定温组合式三种。

这里介绍差定温组合式探测器的一种。

电子式差定温探测器：图 6-4 为 JW - DC 型电子差定温探测器的原理图，它采用了 3 只热敏电阻 R1、R2 和 R5，其特性均随着温度升高而使阻值下降。其中差温探测部分的 R1 和 R2 阻值相同，R2 布置在铜外壳上，对外界温度的变化较为敏感；

R1 布置在一个特制的金属罩内，对环境温度变化不敏感。当环境温度缓慢变化时，R1 和 R2 阻值变化相近。晶体管 V1 维持在截止状态。当发生火灾时，温度急剧上升，R2 因直接受热，阻值迅速下降；而 R1 则反应较慢，阻值下降小，A 点电位降低，当降低到一定值时，V1 导通，晶体管 V3 也随即导通，向报警器输出火警信号。

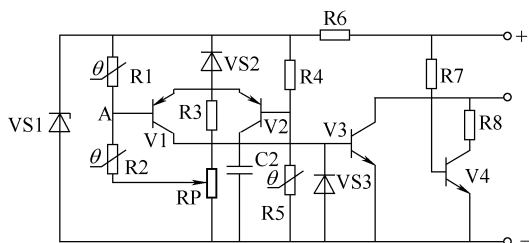


图 6-4 电子式差分温探测器原理图

定温部分由晶体管 V2 和 R5 组成。当温度升高至设定值时，R5 的阻值降低至动作值，使 V2 导通，随即 V3 也导通，向报警器发出火警信号。

晶体管 V4 为断线检测监控环节，正常时 V4 导通，当探测器三根引出线中任一条断线，V4 截止，向报警器发出断线故障信号。这一监控环节只在报警器的一个分路上的最后一只（终端）探测器上才设置，与其并联的其他探测器上均无此监控环节。

6.2.4 气体火灾探测器（又称可燃气体探测器）

这种探测器是对探测区域内某一点周围的气体参数敏感响应的探测器，利用金属氧化物半导体元件（二氧化锡制成的多晶体 N 型半导体）、催化燃烧元件，电化电池等敏感元件，对一氧化碳等可燃气体、浓度的探测、可预知火灾的发生。

在火灾自动报警系统中，探测器的选择是否合理、关系到系统能否正常运行，因此探测器的种类及数量的确定十分重要。另外，选好后合理布置和正确安装是保护探测质量的关键环节。为此在选择与布置和正确安装时一定要符合国家规范。

6.3 煤气漏气报警与防火

火灾包含有机物质的不完全燃烧、产生大量的一氧化碳气体。一氧化碳气体往往先于火焰或烟的出现，因此能提供最早的火灾预报。一氧化碳半导体气体探测器对各种火灾具有普遍的响应性和灵敏度。

这里介绍一种最简单的煤气探测器，它是采用双向晶闸管制作的，该煤气探测器的原理电路如图 6-5 所示。

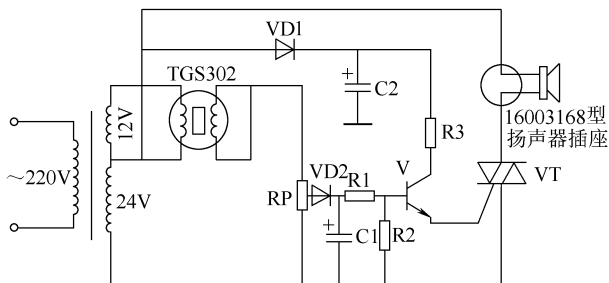


图 6-5 应用双向晶闸管制作的煤气探测器电路原理图

R1 4.7k Ω R2 47k Ω R3 1.5k Ω RP 2k Ω C1 10 μ F50V C2 50 μ F50V

VD1 1N4001 VT MPS6565 VD2 1N914 V 2N6070A

当环境中存在煤气可燃性气体时，探测器中的 TCS308 型气体传感器的电导率增大，使电位器 RP 两端的交流电压增大，此电压经 VD2 整流、C1 滤波后，输入晶体管 V 基极，引起 V 导通。V 导通后向双向晶闸管 VT 的门极注入触发电流，使双向晶闸管 VT 导通，接于双向晶闸管 VT 阳极与交流电源之间的扬声器

器因有电流流过而发出报警声音。当可燃性气体消失时，双向晶闸管恢复关断状态，扬声器停止发声。

该探测器中，敏感元件采用金属氧化物半导体元件，当氧化物暴露在温升 $200 \sim 300$ 的还原性气体中时，大多数氧化物的电阻将明显降低。这种元件的机理是：由于半导体表面接触的气体的氧化作用、被离子吸收的氧从半导体表面移出，自由形成的电子对电传导有贡献。目前应用较多的是二氧化锡 (SnO_2) 材料适量掺杂 [添加微量钯 (Pd) 等贵金属做催化剂]，在高温上烧结成多晶体为 N 型的半导体材料，在其温度为 $(250 \sim 300)$ 条件下，这种半导体材料如遇可燃性气体，便对外发出报警信号，大约 10^{-5} 的一氧化碳气体是足够灵敏的，因此它能够探测初期火灾的气体一氧化碳，做到对煤气的预报。对于煤气、天然气泄漏的探测也是完全有效的。所以煤气探测器的使用对于安全防火是十分有意义的。

6.4 火灾的预报及处理

重大火灾事故的发生，不仅带来了巨大的经济损失，而且还造成了严重的人员伤亡。人们日益认识到火灾危害的严重性，同时对火灾事故的预防及控制工作也在不断加强。《中华人民共和国消防法》的正式贯彻实施，就是要提高全民的防火意识，使我国的消防工作进一步走上规范化、法制化的轨道。

在火灾事故的预报及控制工作中，应用火灾报警系统的目的就是为对火灾隐患的区域进行早期的火灾探测、火灾预报。只有做到早探测、早预防才能将火灾事故的发生控制在萌芽状态，将人身和财产损失降到最低限度。

6.4.1 火灾自动报警系统

火灾自动报警系统由火灾报警控制器、火灾探测器、手动

报警按钮、声光报警器、各种输入输出模块及控制模块组成。近年来,新技术、新工艺的应用,使消防电子产品更新周期不断缩短,在火灾自动报警系统中,无论是火灾探测器,还是报警控制器,都趋于小型化、微机化,而功率输出及驱动部分都采用了电力半导体器件,无触点,无电弧,安全可靠。

火灾报警控制器是火灾自动报警系统的核心,可向探测器供电,并有以下几个功能:

① 用来接受火灾信号并启动火灾报警装置,可以指示着火的位置和记录有关信息。

② 能通过火警发送装置启动火灾报警信号或通过自动消防灭火控制装置启动自动灭火设备和消防联动控制设备。

③ 自动地监视系统的正确运行和对特定故障做出声、光报警。

火灾报警控制器主要包括电源和主机。

(1) 电源部分 承担主机部分和探测器的供电,是整个控制器的供电保证环节,输出功率要求较大,大多采用线性调节稳压电路,在输出部分增加相应的过电压、过电流保护。具有稳压精度高、输出稳定的特点。但存在热损耗大的缺点,影响整机的热稳定性。目前,使用的开关电源,利用大规模微电子技术和电力半导体器件,且功率输出环节工作在高频开关状态,使得整个电源部分的体积大大缩小,整个电源部分转换效率大大提高,可达 80% ~ 90%。同时改善了电源部分的热稳定性,提高了整个控制器的技术性能。

(2) 主机部分 它承担着将火灾探测源传来的信号进行处理、报警并中继的作用。从原理上讲,无论是区域报警控制器,还是集中报警控制器,都遵循同一工作模式,即收集探测源信号→输入单元→自动监控单元→输出单元。同时,为了使用方便,增加功能,增加了辅助人机接口——键盘、显示部分、输

出联动控制部分、计算机通信部分、打印机部分等。火灾报警控制器主机部分基本原理框图如图 6-6 所示。

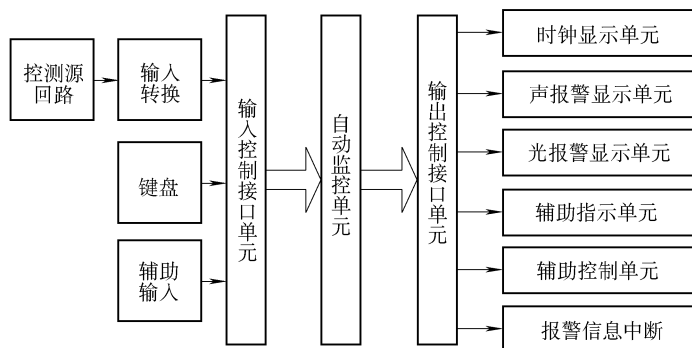


图 6-6 火灾报警控制器主机部分基本原理框图

以微型计算机技术和电力电子技术为基础发展起来的现代火灾自动报警系统，开始向智能化方向发展，比传统系统更好地完成了火灾探测和报警等各项功能，它使用最新探测器件将发生火灾期间所产生的烟、温、光等以模拟量形式连同外界相关的环境参量一起传送给报警器；报警器再根据获取的数据及内部存储的大量数据，利用火灾判据来判断火灾是否存在。由于该系统为解决火灾报警系统存在的两大难题（误报与漏报）提供了新的方法和手段，并在处理火灾真伪方面表现了明显的有效性乃至创造性，所以它是火灾报警系统在技术上的飞跃，是从传统型走向智能型的必然趋势。

6.4.2 自动（执行）灭火系统

为将火灾损失降到最低限度，必须采取最有效的灭火方法。灭火方式有两种：一种是人工灭火，动用消防车、云梯车、消防栓、灭火弹、灭火器等器械进行灭火。这种灭火方法具有直观、灵活及工程造价低等优点，缺点是：消防车、云梯车等所

能达到的高度十分有限,灭火人员接近火灾现场困难,灭火缓慢、危险性大。另一种是自动灭火。自动灭火又分为自动喷水灭火系统和固定式喷洒灭火剂灭火系统两种。

(1) 灭火的基本方法 燃烧是一种发热放光的化学反应。要达到燃烧必须同时具备三个条件即:①有可燃物(如汽油、甲烷、木材、氢气、纸张等);②有助燃物(如高锰酸钾、氯、氯化钾、溴、氧等);③有火源(如高热、化学能、电火、明火等)。显而易见,只要不使上述三个条件同时具备,就可以实现防火、灭火的目的。一般灭火方法有以下三种:

1) 化学抑制法 灭火剂为二氧化碳、卤代烷等。将灭火剂施放到燃烧物上,就可以起到中断燃烧的化学链锁反应,达到灭火之目的。

2) 冷却法 灭火剂为水。将灭火剂喷于燃烧物上,通过吸热使温度降低到燃点以下,火随之熄灭。

3) 窒息法 灭火剂为泡沫。这种方法是阻止空气流入燃烧区域,即将泡沫喷射到燃烧液体上,将火窒息;或用不燃物质进行隔离(如用石棉布、浸水棉被覆盖在燃烧物上),使燃烧物因缺氧而窒息。

自动喷水灭火系统是目前世界上采用最广泛的一种固定式消防设施。从19世纪中叶开始使用,至今已有100多年的历史,具有价格低廉、灭火效率高的特点。据统计,灭火成功率在96%以上,有的已达99%。在一些发达国家(美国、英国、日本、德国等)的消防规范中,几乎所有的建筑都要求自动喷水灭火系统。有的国家(如美国、日本等)已将其应用在住宅中了。我国随着工业民用建筑的飞速发展,消防法规正逐步完善,自动喷水灭火系统在宾馆、公寓、高层建筑、石油化工中得到广泛的应用。

(2) 基本功能及分类

1) 基本功能

① 能在火灾发生后，自动地进行喷水灭火。

② 能在喷水灭火的同时发出警报。

2) 自动喷水灭火系统的分类有好多种，从不同的角度可得到不同的分类结果，这里按习惯将这种系统分为 12 类：

① 湿式喷水灭火系统；

② 室内消火栓灭火系统；

③ 干式喷水灭火系统；

④ 干湿两用灭火系统；

⑤ 预作用喷水灭火系统；

⑥ 雨淋灭火系统；

⑦ 水幕系统；

⑧ 水喷雾灭火系统；

⑨ 轻装简易系统；

⑩ 泡沫雨淋系统；

⑪ 大水滴（附加化学品）系统；

⑫ 自动启动系统。

现从这 12 种灭火系统中选出一种予以介绍。

(3) 湿式自动喷水灭火系统

系统简介：自动喷水灭火属于固定式灭火系统。它分秒不离开值勤岗位，不怕浓烟烈火，随时监视火灾，是最安全可靠的灭火装置，适用于温度不低于 4℃（低于 4℃ 受冻）和不高于 70℃（高于 70℃ 失控，误动作造成水灾）的场所。

湿式喷水灭火系统的组成由喷头 20、报警止回阀 10、延迟器 14、水力警铃 11、压力开关 2（安在干管上）、水流指示器 12、报警控制器 8 等组成，其详细构成如图 6-7 所示，各单元之间的相互关系如图 6-8 所示。平时报警阀前后的管道内充满具有一定压力的水。

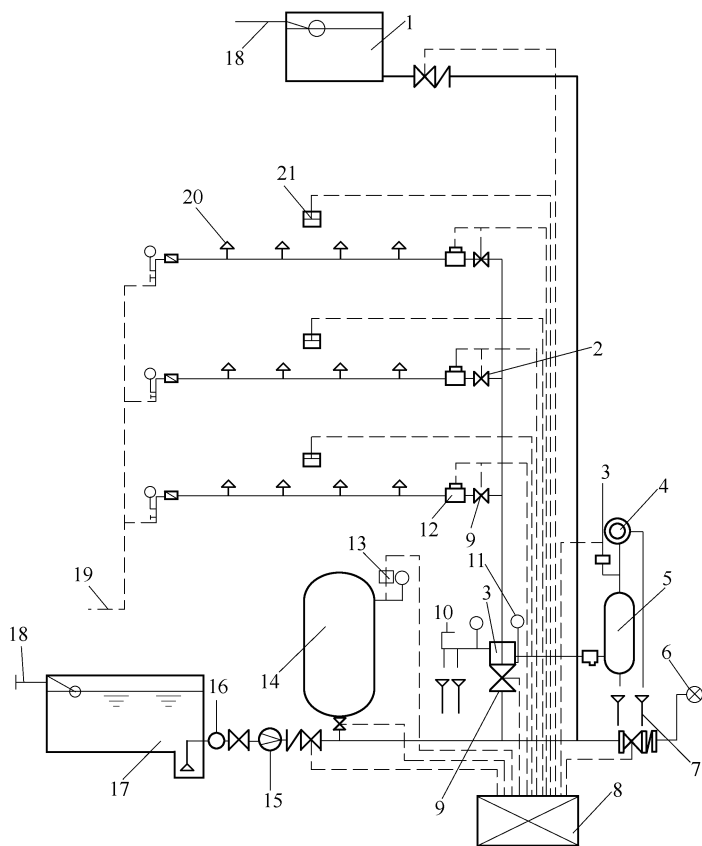


图 6-7 湿式自动喷水灭火系统示意图

- 1—高位水箱 2—压力开关 3—排气管 4—气压表 5—空压机
6—压力指示器 7—排水漏斗 8—报警控制器 9—电磁阀 10—报警止回阀
11—水力警铃 12—水流指示器 13—压力继电器 14—延迟器
15—湿式报警阀 16—过滤器 17—消防水池 18—进水管
19—排水管 20—开式喷头 21—火灾探测器

1) 水流指示器 水流指示器的作用是把水的流动转换成电

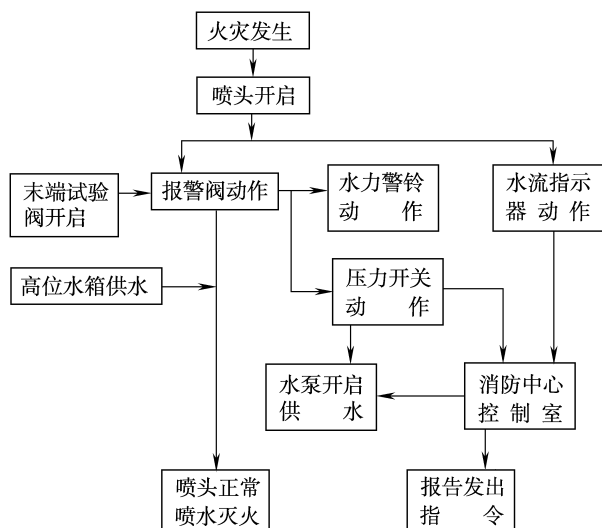


图 6-8 湿式自动喷水灭火系统动作程序图

信号报警的部件，其接点即可直接启动消防水泵。

在多层或大型建筑的自动喷水灭火系统中，在每一层或每分区的干管或支管的始端安装一个水流指示器。为了便于检修分区管网，水流指示器前宜装设安全信号阀。也可接通电警铃报警。

水流指示器分类：按叶片形状分为板式和桨式两种。按安装基座形式分为管式、法兰连接式和鞍座式三种。

这里仅以桨式水流指示器为例说明。桨式水流指示器又分为电子接点方式和机械接点方式两中。桨式水流指示器的构造，主要由桨片、法兰底座、螺栓、主体和电接点等组成。

桨式水流指示器的工作原理：当发生火灾时，报警阀自动开启后，流动的消防水使桨片摆动，带动其电接点动作，通过消防控制室启动水泵供水灭火。

水流指示器的接线：水流指示器在应用时应通过模块与系

统总线相连。

2) 洒水喷头 喷头可分为开启式和封闭式两种。它是喷水系统的重要组成部分, 因此其性质、质量和安装的优劣会直接影响火灾初期灭火的成败, 可见选择时必须注意。

① 封闭式喷头: 可分为易熔合金式、双金属片式和玻璃球式三种。应用最多的是玻璃球式喷头, 喷头布置在房间顶棚下边, 与支管相连。

在正常情况下, 喷头处于封闭状态。火灾时, 开启喷水是由感温部件(充液玻璃球)控制, 当装有热敏液体的玻璃球达到动作温度(按不同的使用场合有八挡可选, 57、68、79、93、141、182、227、260)时, 球内液体膨胀, 使内压增大, 玻璃球炸裂。密封垫膜开, 喷出压力水, 喷水后, 由于压力降低压力开关动作, 将水压信号变为电信号, 向喷淋泵控制装置发出启动喷淋泵信号, 保证喷头有水喷出。同时, 流动的消防水使主管道分支处的水流指示器电接点动作, 接通延时电路(延时 20~30s), 发出声光信号给控制室, 以识别火灾区域。喷头具有探测火情、启动水流指示器及扑灭早期火灾的重要作用, 其特点是耐腐蚀性强, 动作灵敏, 性能稳定, 适用于高(多)层建筑、仓库、地下工程、宾馆、饭店等适用灭火场所。

② 开启式喷头: 其结构可分为双臂下垂、单臂下垂、双臂直立型和双臂边墙型四种, 开启式喷头与雨淋阀(或移动喷水阀)、供水管网以及探测器、控制装置等组成雨淋灭火系统。

③ 压力开关: 工作原理是, 当湿式报警阀阀瓣开启后其触点动作, 发出电信号至报警控制箱, 从而启动消防泵。报警管路上如装有延迟器, 则压力开关应装在延迟器之后。

④ 湿式报警阀: 在湿式喷水灭火系统中是非常关键的, 安装在总供水管道上, 连接供水设备和配水管网, 它必须十分灵敏。

湿式报警阀的作用是平时阀心前后水压相等，水压平衡，发生火灾时，闭式喷头喷水，水压不再平衡，于是阀板开启，向洒水管网及洒水喷头供水，同时水沿着报警阀的环形槽进入延迟器、压力继电器及水力警铃等设施，发出火警信号并启动消防水泵等设施。

湿式自动喷水灭火系统原理：当发生火灾时，温度上升，喷头开启喷水，管网压力下降，报警阀后压力下降，使阀板开启，接通管网和水源以供水灭火，管网中压力开关因管网压力下降到一定值时，也发生电信号、启动水泵供水，消防控制室同时接到信号，则信号灯亮，警铃响，即发出报警信号。

6.4.3 火灾疏散照明及专用通信系统

(1) 火灾事故照明与疏散标志 火灾事故照明与疏散指示标志是保证在发生火灾之际，其重要的房间或部位能继续正常工作。大厅、通道应指明出入口方向及位置，以便有秩序地进行疏散。

火灾事故照明包括火灾事故工作照明及火灾事故疏散指示照明。而疏散指示标志包括通道疏散指示灯及出入口标志灯。

(2) 火灾事故广播及紧急通信系统 在消防控制中心设有广播通信专用柜，主要包括火灾事故广播系统及对讲电话系统，主要作用是：①各层安装有专用对讲电话，这些电话直接和消防中心的专用对讲电话总机联系，能够迅速确认火情。专用对讲电话和普通公用电话不能共线，以免在发生紧急火情时，由于普通公用电话占线而延误报告火情。有条件的应配无线对讲系统。②火灾时为了有效地组织人员迅速疏散，需设置火灾紧急广播系统。

消防专用电话系统：为了适应消防通信的需要，消防专用电话应为独立的消防通信网络系统，宜选用共电式电话总机，

或对讲通信设备。

6.4.4 防排烟控制系统及消防电梯

根据《高层民用建筑设计防火规范》的要求,对于新建、扩建和改建的高层民用建筑及其相连的附属建筑都要具有防火、防烟、排烟系统。在纵向联动控制系统中,消防控制中心设置防排烟控制装置,由该装置集中控制全楼的防火门、防火阀、防火卷帘、排烟机、正压送风机及其通风、空调设施。

火灾时产生的烟主要成分为一氧化碳,人在这种气体的窒息作用下,死亡率很高,约达50%~70%。另外烟气遮挡人的视线,使人们在疏散时难以辨别方向。尤其是高层建筑,因其自身的“烟囱效应”,使烟上升速率极快,如不及时排除,很快会垂直扩散到各处。因此,当发生火灾后,应立即使防排烟系统投入工作,将烟气迅速排出,并防止烟气窜入防烟楼梯、消防电梯及非火灾区内。防排烟设施的作用如下:

- ① 便于安全疏散;
- ② 便于灭火;
- ③ 可控制火势蔓延扩大。

关于消防电梯:火灾时,无特殊情况下不用一般电梯作疏散,因为这时电源无把握,因此对电梯控制一定要保证安全可靠。

消防控制在火灾确认后,应能控制电梯全部停于首层,并接收其反馈信号。电梯的控制有两种方式:一是将所有电梯控制显示的副盘设在消防控制室,消防值班人员随时可直接操作,另一种是消防控制室自行设计电梯控制装置,火灾时,消防值班人员通过控制装置,向电梯机房发出火灾信号和强制电梯全部停于首层的指令。在一些大型公共建筑里,利用消防电梯的感烟探测器直接联动控制电梯,这也是一种控制方式,但是必须注意感烟探测器误报的危险性,最好还是通过消防中心进行控制。

6.4.5 消防供电

(1) 对消防供电的要求及规定 建筑物中火灾自动报警及消防设备联动控制系统的工作特点是连续、不间断。为了保证消防系统的供电可靠性及配线的灵活性,根据《建筑设计防火规范》和《高层民用建筑设计防火规范》应满足下列要求:

1) 火灾自动报警系统应设有主电源和直流备用电源。

2) 火灾自动报警系统的主电源应采用消防电源,直流备用电源宜采用火灾报警控制器专用蓄电池。当直流电源采用消防系统集中设置的蓄电池时,火灾报警控制器应采用单独的供电回路,并能保证消防系统处于最大负荷状态下不影响报警器的正常工作。

3) 火灾自动报警系统中的 CRT 显示器、消防通信设备、计算机管理系统、火灾广播等的交流电源应由 UPS 装置供电。其容量应按火灾报警器在监视状态下工作 24h 后,再加上同时有两个分路报警 30min 用电量之和来计算。

4) 消防控制室、消防水泵、消防电梯、防烟设施、自动灭火装置、火灾自动报警系统、火灾应急照明和电动防火卷帘、门窗、阀门等消防用电设备,一类建筑应按现行国家电力设计规范规定的一类负荷要求供电;二类建筑的上述消防用电设备,应按二级负荷的两回线要求供电。

5) 消防用电设备的两个电源或双回线路,应在最末一级配电箱处自动切换。

(2) 消防设备供电系统 消防设备供电系统应能充分保证设备的工作性能,当火灾时能充分发挥消防设备的功能,将火灾损失降到最小。这就要求对电力负荷集中的高层建筑或一、二级电力负荷(消防负荷)一般采用单电源或双电源的双回路供电方式,用两个 10kV 电源进线和两台变压器构成消防主供电源。

由外部引来的一路低压电源与本部门电源（自备柴油发电机组）互为备用，供给消防设备电源。

备用电源的自动投入装置（BZT）可使两路供电互为备用，也可用于主供电电源与应急电源（如柴油发电机组）的连接和应急电源自动投入。

1) 备用电源自动投入线路组成。图 6-9 给出了一种备用电源自动投入线路的原理图，该电路由两台变压器、KM1、KM2、

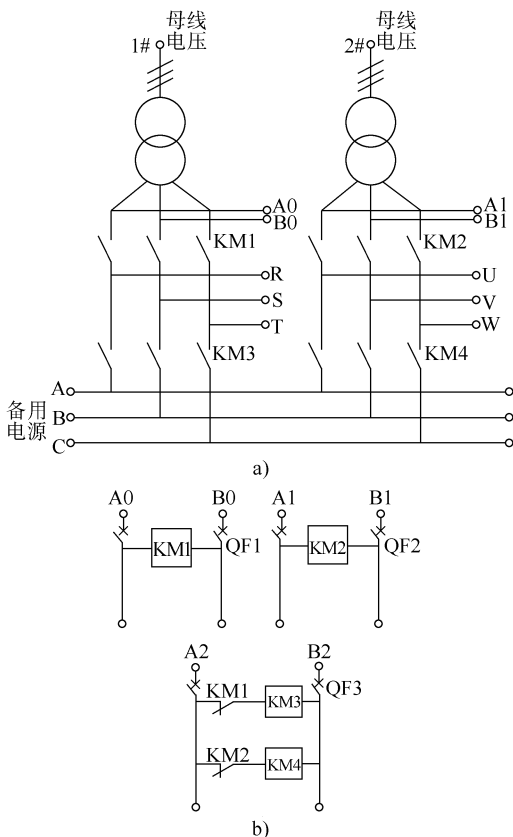


图 6-9 电源自动投入装置接线示意图

a) 主电路 b) 控制电路

KM3、KM4 四只交流接触器、断路器 QF1、QF2、QF3 组成。

2) 备用电源自动投入原理。正常时两台变压器分别运行,向消防系统提供两路独立电源断路器 QF1、QF2、QF3 处于闭合状态,接触器 KM1、KM2 线圈通电闭合,向消防系统提供两路电源 R、S、T 和 U、V、W,此时 KM1 与 KM2 的常闭接点断开 KM3 与 KM4 的主触点,备用电源虽然有电,但不向消防系统供电,一旦 1 号(或 2 号)母线中任一路断电,则相应的 KM1(或 KM2)线包失电,其主触头断开,而辅助常闭触点闭合,使 KM3(或 KM4)线包得电,其主触点 KM3(或 KM4)闭合,向消防供电系统提供供电电源 R、S、T(或 U、V、W)当 1[#](或 2[#])母线电压恢复供电时,KM1(或 KM2)线包又得电,其常闭触点断开,使 KM3(或 KM4)主触点断开,而 KM1(或 KM4)主触点闭合,自动改为由母线电压向消防系统供电,从而实现了备用电源(A₂、B₂、C₂)与主供电电源(1[#]或 2[#])母线之间供电的自动切换。

6.5 从供电方式上彻底解决火灾及爆炸隐患的 IPT 技术

在建筑物中,构建的消防系统,从火灾探测、火灾自动报警系统、自动灭火系统、火灾疏散照明系统、专用通信系统、防排烟控制系统以及消防电梯等所有消防设备的可靠工作,都依赖于供电系统的可靠与完备,所以要设计为两个电源或双回路供电,作为备用电源在应急的情况下能自动投入线路正常运行。应该说这已经很好的解决了消防设备的供电问题,但是这并没有彻底解决问题,因为当供电线路出了问题的时候,是无法挽救的。而且有很多情况下,发生火灾的原因都是由电火花造成的,那么有没有一个更好的办法从供电方式上彻底解决火灾及爆炸的发生呢?解决问题的办法还是有的,这里介绍一种新型的,值得尝试的方法即非接触感应电力传输技术(Inductive

Power Transfer 简称 IPT)

感应电力传输技术 (IPT) 首先由新西兰奥克兰大学包迩斯 (Prof Boys) 教授为首的课题组发明, 该技术利用现代电力电子能量变换技术、磁场耦合技术, 借助于现代控制理论和软开关等控制手段实现能量从静止设备向可运动设备的非接触传递。然而自 1840 年电磁感应现象以及导线可以传输电流被人类发现至今, 电能的传输主要是由导线直接接触进行输送的。现在, 感应电力传输技术 (IPT) 则可以实现能量的非接触传送。它是如何输送能量的呢?

典型的 IPT 系统 (见图 6-10) 由四大部分组成: 大功率能量变换装置、高频载流线圈或电缆、接收线圈和能量调节装置。前两部分构成一次侧能量发射系统, 后两部分构成二次侧能量接收和解调系统。两个系统相对独立但又存在磁场间的耦合, 一般一个一次侧发射电源可供多个二次侧接收, 从而为多个负载同时供电。图中整流、高频逆变及调制三大功能块完成电能的变换, 发射部分可为载流线圈, 亦可为电缆。这种结构可以方便地用来将电缆线铺设在地下而实现非接触传输无地上电缆化。

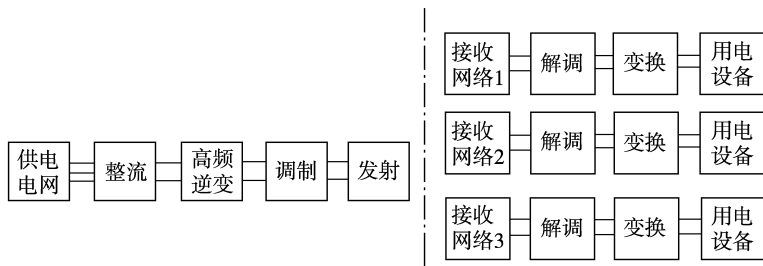


图 6-10 感应电力传输的构成原理框图

IPT 技术从设计上就使设备的供电没有直接的滑动接触, 所以可以从根本上消除摩擦电火花引起爆炸及在易燃场合引起火

灾的可能性。

IPT 的主供电部分和能量接收部分可以独立安装、密封和绝缘，对外没有裸露的带电导线，所以可以有效防止触电的可能性。

IPT 的运行不受周围尘埃、潮湿及化学腐蚀物的影响，没有滑动磨损、腐蚀和脱离接触的可能性，所以可以基本上做到免维护或低维护运行。

它不仅可以在非常恶劣的环境下可靠运行，而且它本身不对周围环境形成危险，或释放有害的污染，如炭积、废气等，它自身用以能量传递的磁场只限定在接收设备周围，不向远处扩散，而且通过大量试验研究，未发现 IPT 所采用的频率波段（10 ~ 10kHz）对动物和人体有任何不良的影响。

感应电力传输技术（IPT）由新西兰奥克兰大学电子与电气工程功率电子学研究中心从 20 世纪 90 年代初开始研究，经过十多年的努力，该技术在理论和实践上已获得重大突破，先后获有关发明专利 11 项。其项目发起和主要负责人包迩斯教授（Prof. Boys）为此获得英国皇家学会勋章 1 枚以表彰他在该领域世界水平的突出贡献。除新西兰外，目前该技术已被成功地推广到日本、德国、美国等地。

另外，诸多已经成功实施的项目为开发这一使用领域提供了宝贵的经验。已经在许多恶劣环境下经过工程检验的方案可以方便地移植到井下感应电力机车上，其风险很小，可行性很高。

有关 IPT 的项目开发研究仍然在不断进行中。主要研究集中在给移动设备，特别是在恶劣环境下使用的移动设备的供电问题。如电动汽车、起重机、运货行车，以及水下、井下设备。其能量等级、距离、效率等指标都在不断提高，目前实用的设备已达 200kW、数千米的传输距离和 85% 以上的传输效率。

IPT 是一种新型的高新技术,它属于电力电子和电气传动的新领域,该技术的推广应用必将能推动我国电力电子及电气自动化技术的巨大进步!

6.6 应用举例

6.6.1 火灾报警控制器专用电源

在现代消防设备中,火灾自动报警控制系统对预防火灾的发生及保护人民生命财产发挥了重要的作用,系统的可靠与否很大程度上取决于其心脏部件——供电电源,所以消防主管部门对消防电源作出了比一般电源更为严格的规定。根据 GB4717—1993《火灾报警控制系统的通用技术条件》,对电源部分有以下严格要求:

1) 当下列任何一种故障发生时,应能发出与火灾报警控制信号有明显区别的声、光报警信号:火灾报警控制器的主电源欠电压;给备用电源充电的充电器与备用电源之间连接线断线、短路;备用电源与其负载之间连接线断线、短路或由备用电源单独供电时其电压不足以保证火灾报警控制器正常工作。

2) 火灾报警控制器应具有电源转换装置。当主电源断电时,能自动转换到备用电源;当主电源恢复时,能自动转换到主电源;主、备电源的工作状态应有指示,主电源应有过电流保护措施。主、备电源转换时应不使火灾报警控制器发出火灾报警信号。主电源容量应能保证火灾报警控制器在最大负载条件下连续工作 4h。

3) 备用电源采用蓄电池时,电池容量应可提供火灾报警控制器在监控状态下工作 8h 后,在报警状态下正常工作 30min;在不超过规定的极限放电情况下,应能将蓄电池在 48h 内充电恢复到正常状态。

4) 应有安全防护功能和抗干扰措施。目前消防控制系统所用的电源绝大部分都是开关电源, 与传统的线性电源相比, 开关电源具有很多的优点:

① 效率高、功耗小: 开关稳压电源的调整开关管工作在开关状态, 截止期间, 开关管无电流, 因此不消耗功率, 可大大提高效率, 通常可达到 80% ~ 90%, 零电压 (ZVS)、零电流 (ZCS) 软开关技术以及谐振型开关电源的效率则可达到 95% 以上。而传统的串联调整型线性稳压电源的晶体管一直工作在放大区, 全部负载电流都通过晶体管, 功耗很大因此效率很低, 一般只有 50% 左右, 甚至更低。由于控制系统一年四季 24h 处于监控状态, 效率高可节约能源。更重要的是功耗小, 使得机内温升大大降低, 周围元器件不会因为长期工作在高温环境下而失效损坏, 有利于提高系统的可靠性和稳定性。

② 体积小、重量轻、成本低: 开关电源是将电网输入的交流电压直接整流, 再通过高频变换器获得各组不同的脉冲电压, 从而省去笨重的工频变压器, 使得电源的体积大大缩小, 重量减轻。另外开关频率的高频化使得元器件体积进一步缩小, 这有利于节约系统的空间和降低成本。

③ 稳压范围宽: 当开关稳压电源输入的交流电压变化很大时, 也能达到很好的稳压效果。经实验, 当外接交流电压在 130 ~ 270V 之间变化时, 其直流输出电压的变化在 2% 以下, 而且能保证稳压电路的高效率。在消防报警控制系统中, 使用开关电源, 就能保证系统在不同的地区有广泛的适应性。

④ 安全可靠: 开关控制电路一般具有自动保护功能。当输入电路、稳压电路、负载等出现故障的时候, 能自动截断电源, 从而起到保护电源和整个控制系统的作用。

开关电源种类繁多, 分类方法也有多种, 按激励开关管的方式可分为: 自激式、他激式和同步式三大类; 按开关电源所

用开关器件可分为：双极型晶体管开关电源、电力 MOS 管开关电源、晶闸管开关电源等；按开关电源控制方式可分为：脉宽调制（PWM）型、脉频调制（PFM）、混合调制型（PWM 和 PFM）开关电源等；按开关管输出电路形式，可分为：单端开关电源、双端开关电源；双端开关电源可分为推挽型、半桥型、全桥型；单端开关电源又可分为：单端正激型、单端反激型。

目前世界上开关电源发展很快，主要是向大功率、高频化、小型化、防电磁污染方向发展。国外开关电源的最高频率已达几兆赫。功率因数达到 99% 以上，效率达 95%。国内有许多科研单位和专业生产厂家也开始了这方面的研究，在一些方面取得了很大的进展。

针对各种开关电源的优缺点和消防控制系统的实际要求，常常采用单端反激式的结构形式。

（1）单端反激式的工作原理 图 6-11 所示为单端反激式开关电源的主回路原理图。图中电力场效应晶体管 VF 和高压变压器 T 的一次侧连在一起，输入电压通过高频变压器 T 的一次侧直接加在场效应晶体管 VF 管的源极和漏极上，高频变压器的二次侧和整流二极管 VD，滤波电容 C2 以及负载电阻 R1 接在一起，一、二次侧的匝数比 $k = N_1 / N_2$ 。

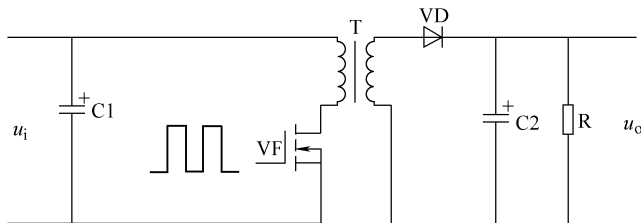


图 6-11 单端反激式开关电源主电路原理图

当场效应晶体管导通时，高频变压器原边电压等于输入电

源电压减去场效应晶体管 VF 管的饱和导通压降, 若忽略 VF 管的饱和管压降, 其值可认为是输入一次电压 U_i , 其极性为上正下负。与之相对应, 二次侧为上负下正, 此时整流二极管 VD 承受反向电压不导通, 负载上的电流靠输出电容 C2 上积累的电荷放电的电流来提供。

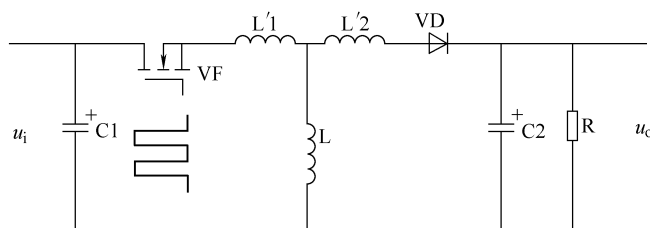


图 6-12 单端反激式开关电源的等效电路图

当场效应晶体管 VF 管截止时, 高频变压器的电压极性发生改变。整流二极管 VD 由反偏转为正偏, 高频变压器就将原先储存的磁能变为电能, 通过二极管整流向负载供电和向输出电容 C2 充电。其等效电路如图 6-12 所示。在稳态时, VF 管导通期间储能电感中电流的增加量和 MOS 管截止期间储能电感中电流的减少量应相等。即

$$U_i T_{ON} / (L + L'1) = U_o T_{OFF} / (L + L'2) \quad (6-1)$$

输出与输入电压的关系为

$$kU_o = U_i q / (1 - q) \quad (6-2)$$

其中, $k = \frac{N_1}{N_2}$ $q = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}}$, 这里 N_1 与 N_2 为高频开关变

压器一次与二次的绕组匝数, 而 T_{ON} 与 T_{OFF} 分别为 VF 导通与关断的时间。

从上面的分析我们不难看出:

1) 反激型开关电源可利用高频变压器的一、二次绕组相互隔离的特点, 方便地实现交流电网和开关输出端机架之间的隔

离,从而充分保证用电设备及人身安全。

2) 方便实现多路输出,在高频变压器的二次侧多绕几组绕组及多提供几组整流二极管和滤波电容就可以获得我们所需要的 +5V、+24V 和充电电压 +27.5V。

3) 保持占空比 q 在最佳范围内的情况下,可通过改变高频变压器的一、二次绕组的匝比 k ,使电源满足稳压范围的要求。

(2) 电源的控制电路 从控制理论的角度来说,传统的电压控制型开关电源是一种单闭环控制系统。一般来说,电压控制型开关电源是一个二阶系统,它有两个状态变量,包括输出滤波电容的电压和输出滤波电感的电流。因为二阶系统是一个有条件的稳定系统,只有对电路经过充分的计算和准确的设计,才能保护闭环系统稳定可靠地工作。20 世纪 80 年代末及 90 年代初发展起来的电流控制型 DC/DC 开关变换器,是在传统的 PWM 电压控制的基础上,增加电流负反馈环,使其成为双环控制系统,让电感电流不再是一个独立变量。从而使开关变换器的二阶系统变为一阶系统。同时其还具备许多的优点:

1) 由于输入电压的前馈控制,使开关电源有很好的开环线性调整能力。其采取了电流控制及斜坡补偿的方法,从而使得在外环电压开路的情况下均可得到很好的电压调整率,这样也就大大减小了外部所需的电压放大倍数。当系统受到任何外来的扰动影响时,如输入阶跃大信号、尖峰、交流扰动等导致开关管和电感电流发生变化时,立即反映到电流控制电路中而被抑制。这保证了输入电压在较大的范围变化以及发生火灾报警负载加重时,输出电压都有非常好的稳定性。

2) 具有过电流保护功能。在电流控制型的 DC/DC 变换器中,内环采用了电流峰值检测技术,可以及时、灵敏和准确的检测输出或开关管或变压器所通过的瞬态电流值,自然形成了逐个电流脉冲的检测电路。只要给定或限制参考电流信号,就

可以限制流过开关管和变压器的最大电流，从而在发生意外导致输出过载或短路时保护开关管和变压器不被损坏。

电流型的 PWM 控制 IC 很多，实际中应用于单端电路的 UC3844 和 UC3842 是应用最为普遍的两种，其外围电路简单，性能价格比高，驱动电平适合于功率场效应晶体管且驱动电流大，封装形式为双列直插式 8 引脚（DIP - 8）型封装，所占空间小。在这里我们对选用 UC3844 控制电路作一介绍，应用它控制的开关电源的原理电路如图 6-13 所示。

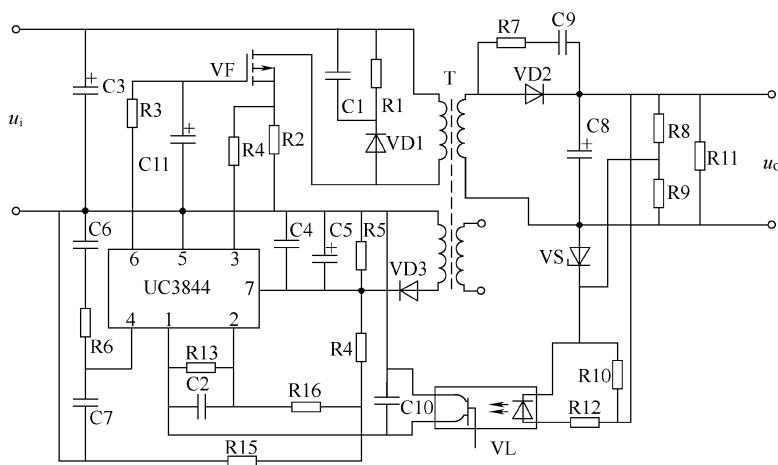


图 6-13 应用 UC3844 控制的开关电源的工作电路原理图

图 6-13 中，高频变压器实现了电隔离，电流内环由 R2、R4、C11、UC3844 的 3 脚、R3 和 VF 等组成，对场效应晶体管 VF 及变压器实现过流及短路保护；而外环由取样电阻 R12、R10、基准电压 VS、光耦 VL、UC3844 的 1 脚、反馈电阻 R13、UC3844 的 2 脚共同实现，完成对输出电压的闭环控制，使输出电压稳定。同时，辅助绕组的输出经过二极管 VD3 整流和电容 C5 滤波后提供给 UC3844。

6.6.2 楼宇（或建筑设备）自动化系统（BAS）

(1) 楼宇自动化系统的范围 楼宇自动化（BA）应包括消防自动化（FA）与保安自动化（SA）。楼宇自动化监控、管理的范围如图 6-14 所示。

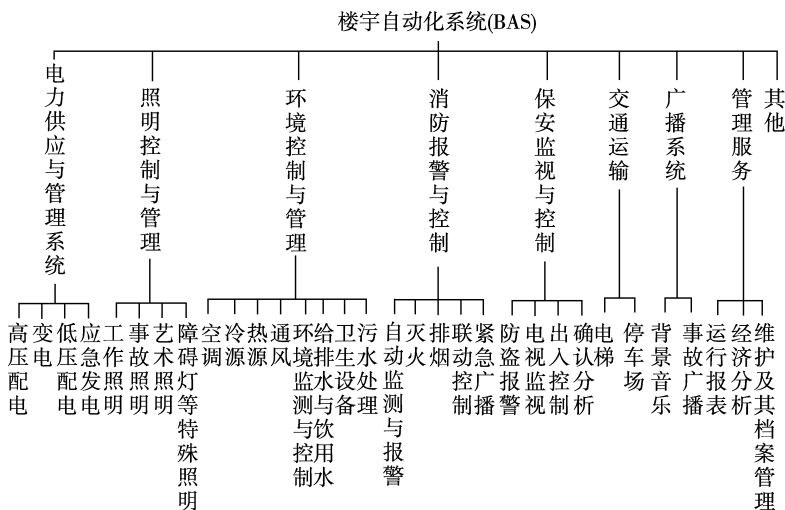


图 6-14 楼宇自动化系统（BAS）的范围

(2) 计算机在楼宇自动化系统中的应用 从目前计算机的应用情况分，计算机可分为两大类：一类是直接数字控制系统（DDC），另一类是监督控制系统（SCC）。

直接数字控制系统（DDC 系统）简介：

1) DDC 系统的定义 计算机在参加闭环的控制过程中，不需要中间环节（调节器），而用计算机的输出（断续的形式）去直接控制调节阀等执行系统，其组成框图如图 6-15 所示。

DDC 系统是利用当代先进的数字控制技术，采用分散式直接控制与中央集中监控相结合的分层控制形式，对局部的数据

首次处理，再将有限的数据传送到中央计算机进行数据交换。这种把控制功能由分散式 DDC、而数据资料由中央处理机集中管理的方法，可加强各子系统的独立性和可靠性，并减少了中央机的工作量。因此能为之带来计算机性能提高及成本降低的优越性。这种控制亦称集散控制。

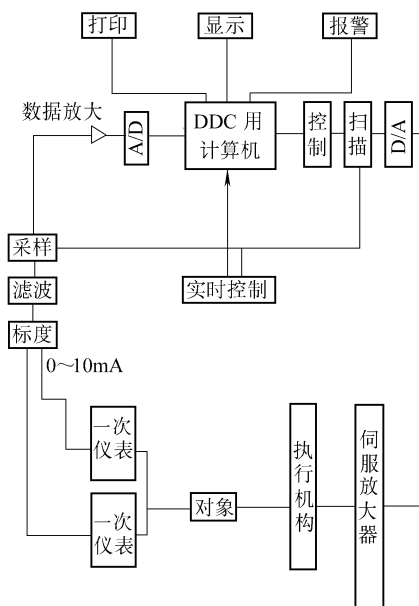


图 6-15 DDC 系统框图

2) DDC 控制系统实例 DDC 控制系统中控制器的构成如图 6-16 所示。

① 模拟量输入 (AI)：有温度、湿度、流量、压力等，这些物理量是由相应的传感器测得后，经变送器变为电信号送入 DDC 的 AI。

② 开关量输入 (DI)：亦称数字量输入，电平高/低（相当于开/关）两种状态，DI 将其转换为数字量“1”或“0”态输

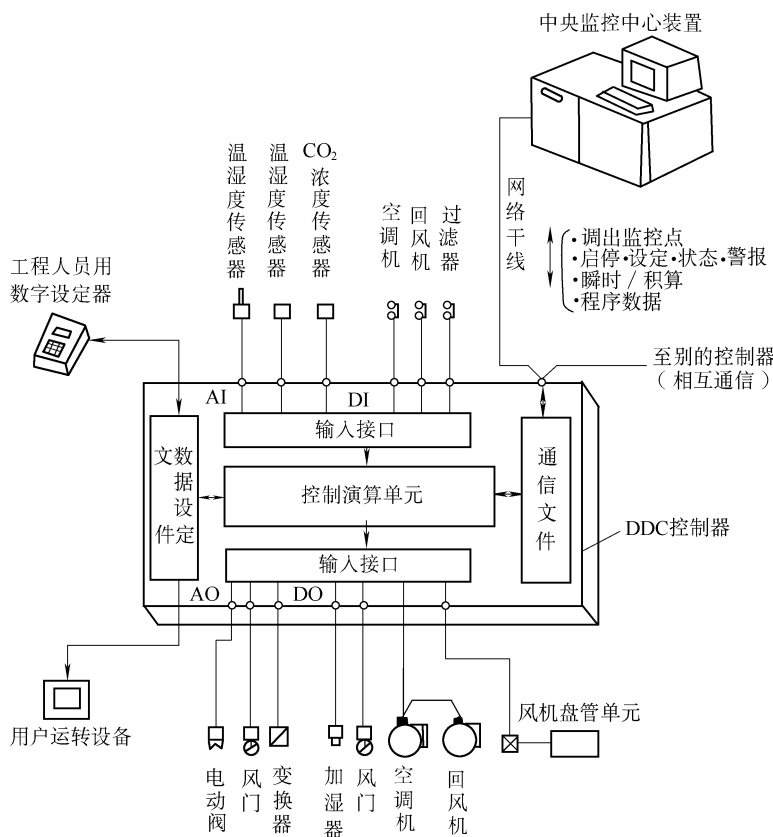


图 6-16 DDC 控制器的构成

入到 DDC 的 DI 口, 对其进行逻辑分析和计算。

水流开关、压差开关和风速开关均为以开关状态为输出的传感器, 可直接接在 DI 通道上。

③ 模拟量输出 (AO): DDC 的 AO 信号是电压 ($0 \sim 10\text{V}$) 或电流 ($0 \sim 10\text{mA}$), 其输出电压 (流) 的大小由控制软件决定, 因为 DDC 计算机内部处理均为数字信号, 所以这种连续变化的模拟量信号是通过内部数字/模拟转换器 (D/A) 产生的。

风阀、水阀有气动执行器和电动执行器两种类型，AC 信号去控制风阀、水阀等执行器的动作。

④ 开关量输出 (DO) 亦称数字量输出：它可由控制软件将输出通道变成高电平或低电平，通过驱动电路可带动继电器或其他开关元件动作，也可以控制显示灯显示状态。

DO 信号可以控制晶闸管、变频器、开关、接触器等执行元件动作。交流接触器可作为风机、水泵及压缩机等启停的执行器。

(3) 高层建筑的消防电气控制 属于安全防火的电气控制内容很多，主要有：

1) 消火栓泵、喷淋泵及稳压泵 它们是灭火的最有效设备，是现代高层建筑中必不可少的消防设备之一。一旦发生火灾，在消防控制中心能及时启动消火栓泵、喷淋泵，并有运行反馈信号及反映机械故障的信号装置。启动消火栓泵的指令信号来自三个方面：①消火栓箱内的启动泵的按钮；②消防水泵房控制箱上的启动按钮；③消防控制中心联动控制柜上的遥控按钮或电脑编程启动。

2) 正压送风机与排烟机 当火灾发生时，为了保证消防人员及时而有效地扑灭火灾，要求疏散楼梯、消防电梯前室等主要通道为无烟区，为此要装备正压送风机，以保证上述场所保证正压，烟气不能进去。

3) 联动关闭空调设备和防火阀 在装有中央空调的大楼里，当火灾发生时，在启动各有关消防设备的同时，要求联动关闭各层的空调设备和防火阀。

4) 控制消防电梯 火灾时，消防电梯是最主要的救灾用垂直交通工具，有了它并充分发挥它的作用，就能将火灾损失降到最低程度。所以在电气控制中，除了发挥它用双电源进行末端自动切换供电外，还必须有降到首层待命的控制要求。通常

与智能型的火灾自动报警控制装置统一考虑，并要求消防电梯定货时加带一块层信号板安装在消防控制中心的适当位置，供消防控制中心值班人员及时了解运行动态，组织灭火救援。

5) 应急照明与疏散指示标志 按《高层建筑防火设计规范》要求：消防控制室、消防水泵房、防排烟风机房、计算机房、配电室、自备发电机房、电话总机房以及发生火灾仍需坚持工作的其他房间的应急照明，仍应保持正常照明的照度。

应急疏散照明应有专用的供电线路。其应急供电方式“自带电源型”和“集中电源型”两种，“集中电源型”消防应急照明电池使用寿命长，运行可靠，故障率低，便于维护，又可集中控制。

6) 火灾自动报警装置 火灾自动报警装置是现代高层建筑消防电气控制最常见的项目。它是火灾初期预报，减少灾害损失的最有效装置之一。在高层建筑中，最常用的是烟感和温感两种探测器。当代智能型的火灾自动报警控制设备，能组成各种各样的联动控制系统，实现在消防控制中心对各种消防设备的联动控制与监视。

7) 消防广播系统 消防广播系统是高层建筑内疏散统一指挥最及时、最有效的配置之一。按照建筑的重复性及功能要求，可以把业务广播、背景音响广播与消防广播设备合用或分开两种。

无论是合用或分开广播设备，分布在各层的扬声器一般是共用的。所以在各层均要有强切功能转换控制，使各层的平时业务广播用的扬声器均有转换成火灾时的消防广播的功能。

8) 防火卷帘门的控制 防火卷帘门用于防火分区的分隔，它的控制一般应同时满足三种方式：一是自动控制，二是手动控制和机械控制，三是消防控制中心远距离控制。当确认某防火区内发生火灾时，在消防控制中心能遥控该区的防火卷帘门，

以免火势蔓延。

近年来,随着我国经济建设的发展,我们的城市变得越来越漂亮,一座座摩天大楼拔地而起。而在这些雄伟的高楼大厦中,也隐藏着巨大的火险隐患。

高层建筑消防灭火的难点是:

1) 高层建筑层数多、面积大、综合性较强,使用功能复杂,集餐饮、娱乐、商店、办公于一体。

2) 高层建筑由于建筑工艺上的需要,设置各种设备管道、竖井和楼梯、电梯等,如防火工作处理不好,一旦发生火灾,就如同一座座拔风良好的烟囱,构成了强烈燃烧条件,并成为火势迅速蔓延的通道。

3) 高层建筑消防设施不完备,火灾扑救难度大。高层建筑由于消防设施比较落后,扑救火灾的困难不小。目前,我国大部分城市消防车其最大垂直供水高度一般在 24m,有的可达 60m,远远满足不了火灾扑救的需要。因此,贯彻执行“以防为主,以消为辅”的方针,把火灾隐患消灭在萌芽状态,实为上策。即使是有了完善的先进的自动报警系统,自动灭火系统也不能高枕无忧、松懈麻痹。

4) 高层建筑人员疏散困难,易造成重大伤亡事故发生。高层建筑由于层数多,垂直距离长,在发生火灾时,需要以最快的速度将人员疏散到地面或其他安全场所。

而对高层建筑如此严峻的安全防火形势,要接受防火检查监督,抓好事故隐患整改,要严格安全管理制度,训练一支召之即来,来之能战的自防自救队伍,一旦出现火警,及时消灭在萌芽状态。

因此,充分认识高层建筑火灾的特点,预防和消除火灾隐患,具有十分重要的现实和长远意义。

参 考 文 献

1. 罗飞路, 曹雄恒, 陈江龙编. 电力电子技术现状和未来. 电气时空, 2002 (4)
2. 李泽元. 21 世纪的电力电子技术. 电信技术, 1999 (1)
3. 钱照明, 吕征宇, 何湘宁. 电力电子变换新技术. 江苏机械制造与自动化, 2000 (2)
4. 裴海潮, 闫荣玲, 姚新爱. 我国生态环境现状与社会发展. 河南农业科技, 1997 (2)
5. 李宏. 感应电能传输——电力电子及电气自动化的新领域. 电气传动, 2001 (2)
6. 郭静, 阮宜纶主编. 大气污染控制工程. 北京: 化学工业出版社, 2001
7. 孙景芝, 韩永学编著. 电气消防. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000
8. 王骥. 试谈当代中国环境保护的措施. 科学、经济、社会, 1997 (3)
9. 曹琦. 安全管理工程总论. 建筑安全. 1997, 12 (1)
10. 马宗晋, 高庆华. 社会的安全保护与可持续发展. 中国人口. 资源与环境, 2002 (1)
11. 谭天佰译. 电除尘器. 北京: 水利电力出版社, 1983
12. 叶靖国编. 家用电器与电力电子技术. 北京: 机械工业出版社, 1989
13. 张新德主编. 家电维修金例. 北京: 机械工业出版社, 2002
14. 张光道, 张琳, 张敬华. 高频逆变型静电高压电源的研究.

安徽广播电视大学学报, 2000 (1)

15. 赵会良, 解子风, 谭穆等编. 一种新型直接耦合式静电除尘脉冲电源. 高电压技术, 1998 (2)
16. 王汝文, 苏丽花, 姚建军. 一种用于静电除尘的斩波控制交流调压电源. 电力电子技术, 2001 (1)
17. 朱庆翔, 阳力军, 肖登明. 用于静电除尘的新型高压直流电源. 高压电器, 2002 (1)
18. 陈德放. 一种适合我国国情的燃煤烟气脱硫技术. 重庆环境科学, 1997 (3),
19. 李登新, 孟凡玲. 煤中有机硫的电化学脱除方法. 煤, 1997 (2)
20. 唐恒. 缪应祺. 烟气脱硫技术的现状和发展. 江苏理工大学学报, 1999 (1)
21. 封晓雷, 刘前卫, 姜学东. 20kHz 高压开关电源的设计. 山东电力技术, 2002 (3)
22. 戴育航, 钱照明. IGBT 脉冲电源系统的设计与研究. 电力电子技术, 1998 (4)
23. 颜斌鲁. 臭氧技术发展及其应用产品的开发与市场状况. 甘肃广播电视大学学报, 1999 (4)
24. 刘耀和, 刘群, 胡宝清. 用于消烟除尘的多功能高压静电电源. 高电压技术, 2000 (1)
25. 陈勇, 刘金. 智能空气净化器控制电路新设计. 家电产品智能化, 1999 (2)
26. 万舟. 空气净化器将成为新兴产业. 应用技术, 1999 (2)
27. 沈大威, 王力等. 电子恒温控制器. 测控技术, 2000 (10)
28. 贾俊王, 涂光备等. 高精度恒温恒湿洁净室的控制设计. 制冷学报, 1999 (4)
29. 丁乃丹, 王利, 贾立业等. 空调净化计算机控制系统. 黑龙

江电子技术, 1999 (2)

30. 彭珂珊. 困扰中国经济发展的水资源问题. 甘肃环境研究与监测, 1997 (2)
31. 李冬黎, 何湘宁. 脉冲电源污水处理技术. 高电压技术, 2001 (6)
32. 于忠民. 当代水污染防治的特点及发展. 中国给水排水, 1997 (3)
33. 张敬东, 张家华. 污水处理技术的新发展. 环境技术, 1997 (6)
34. 陈凡忠, 李德中. 废水净化的电化学技术进展. 重庆环境科学, 1997 (12)
35. 杨峰, 孔继烈, 邓家祺. 高压静电处理水对活性污染耗氧速率的影响. 环境科学, 1997 (5).
36. 吴中城, 倪林, 申飞. 消防自动报警控制系统专用开关电源的设计. 自动化仪表, 1999 (4)
37. 朱益民. 脉冲电晕法脱硫脱硝研究概述. 环境科学进展, 1997 (5)
38. 杨硕芳. 我国污水处理的自动监控技术. 中国给水排水, 1997 (4)
39. 胡远奋, 孔令成, 吴结毛. 火灾报警控制器专用电源的设计, 1999 (1)
40. 徐春燕. 火灾探测技术的发展及其应用. 鞍钢技术, 2000 (9)
41. 吴仲城, 倪林, 申飞. 消防自动报警控制系统专用开关电源的设计、自动化与仪表, 1999 (4)
42. John T M. Doncker D E. Radun R W. et al, System design considerations for a high - power electronics. 1993. 8 (4)
43. Fujishima H et al. Applications of electrostatic precipitator with

- poolse energization system. Proc. of the 4th Int. Conf. on Electrostatic Precipitation 1990. 419
44. Masuda S et al. A pulse voltage source for electrostatic precipitations Conf. Rcc 1987 Ahhu Meet IAS. 23
 45. Haigh D. et al. GaAs Technology and Its Impact on Circuit and System. Published by Peter Peregrinus Ltd. London 1989. 16 ~ 19
 46. Curtice W R. A MESFET Model for use in The Design of GaAs Integrated Circuits. IEEE Trans. Mtt. 1980 (28) : 448 ~ 456
 47. Kacprzak T. et al. Compact DC Model of GaAs FETs for Large signal Computer Calculation IEEE L. Solid state Circuits. 1983. Sc-18 : 211 ~ 213
 48. Ch. Cim ninellis. Electrochemical Oxidation of Phenol for Wastewater Traeatment Using SnO_2 Anodes. J. Appl. Electrochem. , 1993 , 23 : 108 ~ 112
 49. S. Stucki. Electrochem ical Wastewater Treatment Using High Ovcrvoltage Anodes. Part II : Anode Pcrformance and Applications. J. Appl. Electrochem. , 1991 , 21 : 99 ~ 104
 50. C. L. K. Tennakoon. Electrochemical Treatment of Human Wastes in a Packed Bed Reactor. J. Appl. Electrochem. , 1996 , 26 : 99 ~ 104
 51. Haigh D. et al. Ga As Technology and Its Impact on Circun and System. Published by Peter Peregrinus Ltd. London. 1989 : 16 ~ 19
 52. Curtice W R. . A MESFET Model for Use in The Design of Ga As Integrated Circuits. IEEE Trans. Mtt , 1980 , (28) : 448 ~ 456
 53. Kacpizak T. et al. Compact DC Model of Ga As FETs for Large signal Computer Calculation. IEEEE J. Solid State Circuits , 1983 , SC - 18 : 211 ~ 213