

塑料成型加工技术读本

塑料回收利用

周凤华 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

塑料回收利用/周凤华编著. —北京:化学工业出版社, 2005.4

(塑料成型加工技术读本)

ISBN 7-5025-6812-3

I. 塑… II. 周… III. ①塑料-废品回收②塑料-废物综合利用 IV. X783.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 023392 号

塑料成型加工技术读本

塑料回收利用

周凤华 编著

责任编辑:白艳云 李晓文 王苏平

文字编辑:李 □

责任校对:于志岩

封面设计:潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 316 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6812-3/TQ·2179

定 价:25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

塑料材料作为四大基础材料之一，因其具有质量轻、加工方便、产品美观、经济实用等特点，颇受人们青睐，广泛应用于各行各业，发展速度相当快，产量逐年增加，但塑料材料具有一定的稳定性，在环境中一二百年不分解，造成垃圾增加、土质恶化。目前废旧塑料对环境已经造成严重的污染；而当今石油危机，能源紧张，对“放错位置的垃圾”——废弃塑料进行回收并加以科学的、合理的利用，不仅可以作为 21 世纪的新能源，而且是保护环境，实现可持续发展的有效手段。

本书就废旧塑料的来源、鉴别、分选、清洗、干燥、利用等进行分别论述，有工艺、方法、设备、操作规程、设备的使用、操作注意事项、产品出现问题的解决方法、举例等。内容丰富、图文并茂、实用性强，特别是塑料再利用方面重点讲述，通俗易懂、简单易记。

本书特别适合于从事塑料加工、物资回收和环境保护等的工人及技术人员阅读。

作者

2005 年 4 月

目 录

第一章 绪论	1
一、塑料与环境	1
二、废旧塑料的再生利用	2
三、废旧塑料再利用展望	3
思考题	6
第二章 废旧塑料的回收	7
第一节 废旧塑料的来源	7
一、树脂合成过程中产生的废料	7
二、塑料制品成型加工产生的废料	8
三、塑料制品应用产生的废料	8
第二节 废旧塑料的种类及性能	12
一、热塑性塑料（含共聚物、共混物）	12
二、热固性塑料	25
第三节 废旧塑料的鉴别方法	28
一、根据塑料回收标志进行鉴别	28
二、常规鉴别法	29
三、密度鉴别法	30
四、加热分析法	32
五、其他鉴别方法	33
第四节 废旧塑料的分选	37
一、手工分选法	37
二、风筛分选法	38
三、浮选分离法	38
四、密度分选法	39
五、其他分选法	40

六、塑料废弃物与其他物质的分离方法	42
思考题	44
第三章 废旧塑料的再生利用	46
第一节 废旧塑料的直接再生利用类别	46
一、根据不同的废旧塑料来源采用的工艺方法	46
二、废旧塑料的再生利用成型生产工艺	49
第二节 废旧塑料再生料的制备	50
一、破碎及其设备	50
二、预洗	56
三、精洗	56
四、干燥	57
五、塑料泡沫材料的预处理	60
六、塑炼、均化与造粒	60
第三节 挤出成型工艺及设备	70
一、挤出成型设备	71
二、挤出成型工艺过程	107
三、挤出机的操作有关事项	108
四、废旧塑料挤出成型典例	117
第四节 吹塑与吹塑中空成型工艺及设备	127
一、吹塑薄膜	129
二、中空吹塑成型	134
第五节 注射成型工艺及设备	140
一、注射成型设备	140
二、注射成型工艺	157
三、废旧塑料注射成型典例	164
四、废旧塑料注射成型制品产生缺陷的主要原因及解决 办法	167
第六节 压延成型工艺及设备	169
一、压延成型设备	169
二、压延成型工艺	174
三、回收塑料的压延成型典例	182

四、压延机操作与维护	185
第七节 其他再生利用方法及设备	192
一、浇铸成型方法	192
二、发泡成型方法及设备	198
三、热成型方法及设备	200
四、模压成型方法及设备	214
思考题	223
第四章 废旧塑料的改性利用	225
第一节 废旧塑料的物理改性利用	225
一、成型前的预处理	225
二、共混改性	228
三、充填改性	251
四、增强改性	259
五、增韧改性	266
六、其他性能的改性方法	271
第二节 废旧塑料的化学改性	274
一、聚烯烃的氯化改性	274
二、聚烯烃的交联改性	276
三、聚烯烃的接枝共聚改性	280
四、回收塑料物理与化学的同时改性方法	282
第三节 混合废旧塑料的利用	283
一、混合废旧塑料材料的结构与性能	284
二、加工方法	285
三、混合废旧塑料的回收利用	286
第四节 热固性塑料的利用	288
一、聚氨酯回收利用	289
二、酚醛树脂回收利用	290
三、不饱和聚酯树脂回收利用	292
四、环氧树脂回收利用	292
五、其他热固性树脂的回收利用	293
六、热固性复合材料的回收利用	293

思考题	296
第五章 废旧塑料的其他利用	298
第一节 废旧塑料的热分解	298
一、废旧塑料油化工艺	299
二、热分解的汽化工艺	303
三、炭化	304
四、回收废旧塑料的热分解典例	305
第二节 化学分解	309
一、水解法	309
二、醇解法	310
三、废聚酯的解聚	310
第三节 分解工艺及设备	311
一、槽（釜）式反应器	311
二、窑式反应器	312
三、流化床反应器	312
四、螺旋反应器和螺杆挤出反应器	314
第四节 废旧塑料的热能利用	317
一、废旧塑料焚烧工艺及设备	317
二、残留物的处理	321
思考题	321
第六章 废旧塑料回收利用典型实例	323
第一节 常用塑料回收利用途径	323
一、回收废旧聚乙烯的利用途径	323
二、回收废旧聚丙烯的利用途径	323
三、回收废旧聚氯乙烯的利用途径	323
四、回收废旧聚苯乙烯的利用途径	324
第二节 薄膜的使用回收与利用	324
一、薄膜的使用	324
二、薄膜的回收	326
三、薄膜回收料的利用	332
第三节 塑料容器的使用与回收	334

一、容器的使用	334
二、容器的回收	334
第四节 编织袋和周转箱的回收	336
一、编织袋的回收	336
二、周转箱的回收	336
第五节 聚氯乙烯门窗回收利用	337
第六节 利用废旧塑料生产塑木制品及塑木托盘	338
一、塑木技术发展背景及概况	338
二、塑木制品的生产工艺过程	338
第七节 废 PET 塑料饮料瓶的回收利用	355
第八节 塑料包装材料容器直接回收再作包装	359
第九节 聚苯乙烯制备涂料和黏合剂	360
一、制高分子快干漆	361
二、制防潮涂料	361
三、制保护漆	362
四、制不干胶	362
五、制塑料漆	362
思考题	363
参考文献	364

第一章 绪 论

一、塑料与环境

环境是指人类赖以生存和发展的物质空间。在《中华人民共和国环境保护法》中明确指出：环境是指大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生植物、名胜古迹、风景游览区、温泉、疗养院、自然保护区、生活居住区等。可以看出，环境包括社会环境和自然环境，社会环境是由政治、经济、文化等要素组成的。自然环境是指环绕人群空间，可以直接或间接影响人类生活、生产的一切自然形成的物质和能量的总体，如空气、土壤、动植物、岩石、矿物、太阳辐射等，这些都是人类赖以生存的物质基础。这里所提到的环境指自然环境。

“人类既是环境的创造物，又是环境的创造者”。就是说环境不但创造了人类，人类也在改造、影响环境。

塑料材料从 20 世纪初问世以来，因其具有质量轻、加工方便、产品美观、经济实用等特点，颇受人们青睐，广泛应用于各行各业，发展速度相当快，可以说，从人们的日常生活到高、精、尖的技术领域，都离不开塑料。我国每年塑料的生产量已经超过 2000 万吨，稳居世界前列。塑料产量的不断增加，对地球生态环境的危害越来越大，废弃塑料导致的环境污染，俗称“白色污染”，其危害包括：环境中的废弃塑料不易腐烂，堆放会造成垃圾增加；焚烧塑料垃圾可获得一些能量，处理不当会给环境造成二次污染；埋入地下不易分解，使土质恶化；漂浮在水中造成海洋污染，使海洋生命咽下塑料会有死亡的危险等。基于上述塑料废弃于环境中给环境造成的危害，必须重视对废旧塑料的处理和利用，塑料工业要持续、高速发展，就必须正视塑料工业在发展过程中带来的负面影

响，而将对废旧塑料进行回收并加以科学的、合理的利用，不仅可以做 21 世纪的新能源，而且是保护环境，实现可持续发展的有效手段，回收利用废旧塑料具有战略性意义。

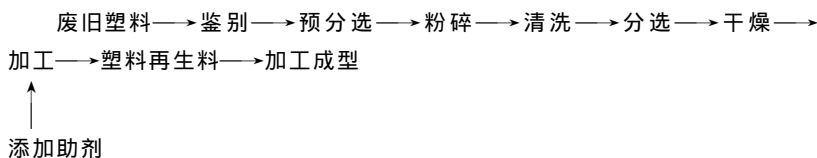
二、废旧塑料的再生利用

为了防止废旧塑料对环境的影响及充分利用有限能源，废旧塑料必须回收再利用。塑料回收后，特别是回收的塑料包装容器可通过一些严格工序进行直接回收再作包装使用，但更多的塑料回收后是进行再生利用，其方法有熔融再生、化学改性、热裂解、能量回收、回收化工原料及生产防水抗冻胶产品等。

1. 熔融再生利用

废旧塑料的熔融再生利用一般是指废旧塑料的再加工过程，包括直接再生利用和经添加助剂的改性利用方法。

直接再生利用是从废旧塑料的来源分为两类：一是由树脂厂、加工厂的边角料回收的清洁废塑料的回收；二是经过使用后混杂在一起的各种塑料制品的回收再生。前者称单纯再生，可制得性能较好的塑料制品；后者称复合再生，一般只能制备性能要求相对较差的塑料制品，且回收再生过程较为复杂。而改性利用可提高塑料的某些性能，满足制品性能的需要，具体如下面流程所示。



2. 化学改性

回收的废旧塑料可以通过化学改性的方法拓宽再生利用废旧塑料的渠道，还可以提高再生改性塑料的应用价值，它包括氯化改性、交联改性、接枝改性。氯化改性即对聚烯烃树脂进行氯化，制得含氯量不同而特性各异的氯化聚烯烃；交联改性即对聚烯烃树脂通过一定方法进行交联成热塑性或热固性塑料，交联后其性能有很大改变；接枝改性即用接枝单体通过一定的接枝方法对聚丙烯进行接枝，其接枝改性的聚丙烯性能取决于被接枝物的含量、接枝链的

长度等，但其基本性能与聚丙烯相似，其他性能有很大改变。

3. 裂解产物及能量的利用

(1) 裂解产物的利用 废旧塑料在有氧或无氧的条件下，经热或水、醇、胺等物质的作用，使其发生降解反应，形成的低分子量产物（气体、液体、油）和固体（蜡、焦炭）等可进一步再利用的方法。

(2) 能量的利用 废旧塑料是高热量值的材料。废旧塑料的热能利用是指将其作为燃料，使用以焚烧炉为主的设备，通过控制燃烧温度，充分利用废旧塑料焚烧时放出的热量或取热或发电，并将废旧塑料进行焚烧、使其转化为热能的方法。

4. 回收化工原料

一些品种的塑料加入聚氨酯后，可通过水解获得合成时的原料单体。这是一种利用化学分解废旧塑料变成化工原料进行回收的方法。

除了上述废旧塑料的回收方法外，还有各种利用废旧塑料的方法，如将废旧聚苯乙烯泡沫塑料粉碎后混入土壤中以改善土壤的保水性、通气性和排水性，或作为填料同水泥混合制成轻质混凝土，或加入黏合剂压制成垫子材料等。

而废旧塑料再生利用是废旧塑料利用的主要途径，不仅使环境污染得到妥善的解决，而且资源得到有效的节省和利用。

三、废旧塑料再利用展望

世界塑料工业的发展带来塑料制品的普遍使用，同时产生了大量塑料废弃物，给环境带来巨大的负担。美国、日本等国在塑料废弃物的回收利用方面制订了比较完善的政策法规，建立了行之有效的社会回收与再利用系统。而中国塑料废弃物的回收利用形势严峻，应建立更为完善的法规与社会回收系统，支持企业销纳塑料废弃物的项目建设。塑料废弃物的回收利用需要具备两项最基本的条件：一是完备的社会回收系统，这需要一系列完善的政策法规的保证；二是塑料废弃物的处理技术。

1. 国外塑料废弃物的再利用现状

随着塑料工业的发展，塑料废弃物的回收利用作为一项节约能源、保护环境的措施，日益受到各国的重视，特别是发达国家在这方面积累了较为丰富的经验。

美国一直是世界塑料生产第一大国，每年产生的塑料废弃物居世界首位。2000 年，美国生产塑料 3500 余万吨，塑料废弃物超过 1700 吨（约占塑料年产量的 48%，相当于 1.5 亿吨钢的体积）。20 世纪 80 年代末，美国的塑料废弃物回收率为 9%，2000 年塑料废弃物回收率达到 45%；燃烧塑料废弃物回收能源率由 20 世纪 80 年代的 3% 增至 18%；掩埋处理率从 96% 下降到 37%。

美国政府及其他政府机构制定了涉及塑料废弃物的法规，除联邦议会关于处理塑料废弃物的措施及开发研究议案外，各州还制定了近 800 项有关城市垃圾管理的法规。尤其是对塑料废弃物，各州的立法不尽相同。除了用立法的强硬措施解决塑料废弃物问题外，一些民间组织也采取了一些有效措施和切实可行的办法。如新泽西州的塑料再生中心（CPRR）建造了一个处理热塑性塑料废弃物的装置，具有年产 3500 吨再生粒料的能力。

日本是世界塑料生产的大国，其中塑料废弃物排放量相当于生产量的 46%，已成为日本的严重环境问题。20 世纪 90 年代初，日本回收利用塑料废弃物回收率为 7%；到 1997 年，日本塑料废弃物回收率达到 40%，填埋占 34%，焚烧占 26%。日本还成功地研制出塑料废弃物的处理设备，正在运行的设备约有 20 台，并向国外出口。

日本固体废弃物再利用与循环经济对策的原则：一是抑制废弃物的产生；二是重复使用经济制品；三是将回收物作为原料来循环利用。产业废弃物的最后处理场所的占用，废弃物非法丢弃现象，给生活和生产带来极大的影响，必须给予足够重视。1997 年 6 月，在促进废弃物减量化及再生利用、改进废弃物处理方式、解决非法丢弃等方面形成综合治理对策，修订了《关于废弃物处理和清扫法》，并从 2000 年 12 月开始实施。

废旧塑料的发热量高达 $8000 \sim 9000 \text{ kcal/kg}$ ($1 \text{ kcal} = 4.18 \text{ kJ}$)，

比煤高而比重油略低，故国外将废塑料用于高炉喷吹代替煤、油和焦炭。许多钢铁企业投入到废塑料再资源化领域，在废旧塑料的回收利用中进行了卓有成效的工作。钢铁业作为废塑料的有效利用技术，主要是把废塑料在高炉和焦炉做还原剂利用的化学回收及作燃料（热源）利用的热回收。日本钢铁行业在这方面更为突出。

2000 年，川崎钢铁公司与地球环境产业技术研究机构共同开发成功高炉喷吹混合废塑料技术。在高炉喷吹废塑料时，为了防止含氯废塑料产生的氯损害炉体和煤气管道，一般多采用将含氯废塑料选出，经单独脱氯处理后再喷入的方式。新技术将未经分选的混合废塑料在 300℃ 的溶酶中浸渍，将氯作为盐酸回收而除去，对脱氯后的废塑料再送去供高炉喷吹，以代替煤和焦炭。在千叶厂建成 500kg/天试验装置后试验成功，今后将建设实用装置，以达到实用化的目的等。

2. 我国塑料废弃物的回收利用现状与对策

(1) 现状 我国每年产生的废塑料处理方法中，填埋占 93%，焚烧占 2%，回收率仅占 5%。与发达国家比较，塑料废弃物的资源化率极低。我国能源紧缺，而废旧塑料综合利用水平也低，通过废旧塑料焚烧回收热能，具有重要的现实意义。在我国，通过燃烧从废塑料废物中回收热量的工作进展缓慢，没有形成工业体系，相关技术还有待于开发。

(2) 展望 根据国家中长期科学技术发展纲要，对再生资源领域里废塑料部分规划的战略目标是：到 2020 年，再生利用废塑料率达到 50%；研究废旧有机高分子材料再生利用技术，提出现行废塑料再生工艺的改进方法，在解决预处理技术的基础上，借鉴国外先进经验，研究推广适合我国国情的废塑料再生技术，以提高产品性能和质量。

(3) 对策 建立一套完善、切实可行的有关塑料废弃物的回收、管理、利用的法规和制度。支持企业对塑料废弃物再利用，调动和发挥企业再利用塑料废弃物的积极性，需要给予优惠政策。为了不增加政府负担，可以借鉴国外塑料包装物生产销售者负责处理

包装废弃物的办法，同时体现“污染者付费”的原则，应要求产生废弃物者自行回收利用，不能自行回收利用的企业或个人要交纳回收处理费，作为对回收利用者的补偿。

思 考 题

1. 何为环境及自然环境？
2. 什么叫“白色污染”？
3. “白色污染”的危害？
4. 简述废旧塑料的再生利用。
5. 什么是废旧塑料化学改性？
6. 简述废旧塑料再生利用的意义。

第二章 废旧塑料的回收

随着我国塑料工业的发展，我国的塑料制品在包装、建筑、农业、工业等领域得到了广泛应用，但伴随而来的是塑料废弃物也日益增多，甚至已影响到人们的生存空间。因此，废弃塑料的处理已成公众关注的热点。

从保护环境资源的综合利用角度考虑，回收利用是我国当前消除塑料废弃物对环境污染的首要途径，而塑料回收利用中的关键问题之一是需要对不同回收塑料制品按材质分类收集与分选。因为各种塑料的物理、化学性质相差较大，随意混合在一起不能进行加工利用，必须对回收的塑料制品按材料分选归类，才能成为可适合加工的材料。废旧塑料回收不但有利于保护环境，而且可充分利用有限的资源发展生产，提高经济效益和社会效益。

第一节 废旧塑料的来源

一、树脂合成过程中产生的废料

塑料树脂作为高分子是由单体经过加聚、缩聚等反应而制得的，在树脂生产过程中（即单体聚合而成高聚物树脂的反应过程中），一般可因以下因素产生废料。

1. 更换合成树脂牌号时产生废料

单体的聚合反应通常是在反应釜中连续进行的，更换合成树脂的牌号时，在两种牌号更换之间聚合的树脂，包含前、后两种牌号的成分，这种树脂叫做过渡料，即废料。

2. 聚合时产生低分子量的副产品

在聚合时，除按原设计要求合成出合乎原结构参数（如平均

分子量、分子量分布、结晶度、有规立构物含量等)的树脂,还会产生低分子量的副产品,如在合成聚丙烯中产生低聚物无规聚丙烯。

3. 合成条件及原材料因素产生废料

树脂由单体聚合成高聚物的反应过程中,合成条件的变化或合成原料的突然变化会产生不符合质量要求的废树脂,或由于原料配比不当,造成聚合物分子量偏低,达不到质量要求而成废料。

二、塑料制品成型加工产生的废料

合成树脂经过加工制造才能成为有用的制品,而在加工制造过程中会产生一定量的废品。

对热塑性原料,可直接加工或经过配合、混合后加工成制品,加工过程中会产生加工废料,如注射成型时产生的飞边;制膜产生的引料、废料;热压成型和压延成型产生的切边;纺丝产生的引料、废坯、废丝等,这些成型加工中产生的废料由于所属树脂清楚,不需鉴别和分类,组分单一、比较干净,可经破碎后即可利用,按适当比例(依据对制品性能影响情况决定掺用配比)加到同品种新料中再成型。

对于热固性原料,加工过程中产生的废料,如废品、边角料、接头料等厂家很难消耗,不能进行再加工而成废料。热固性原料由于运输、贮存不当或加工不当,会发生固化,使材料失去使用性能而形成废料。

对于由多种树脂复合的材料、热固性泡沫材料等由于厂家不能再加工利用而成废料。

三、塑料制品应用产生的废料

在流通、消费和使用过程中产生的废料是废旧塑料的主要来源,是研究、开发、回收利用方法的基本点,目前我国在回收废旧塑料方面已经取得较大进展,但难度还是较大。塑料制品品种多,应用非常广泛,包括农业、航空航天、商业、医用、渔业、家庭日用等,其产生的废料也多,表 2-1 为典型塑料材料的特性和应用。

表 2-1 典型塑料材料的特性和应用

树脂名称	特性	主要应用领域	产品示例
低密度聚乙烯(LDPE)	防潮、低温性好、惰性	包装	薄膜、食品袋、垃圾袋、电缆、管材、复合纸
高密度聚乙烯(HDPE)	半透明、韧,其他同LDPE等	包装	牛奶及洗洁精瓶、电线电缆绝缘材料等
聚丙烯(PP)	柔韧性好、疲劳性高、耐热等	包装、家具	渔网、薄膜、板材、管材、编织袋、周转箱等
聚氯乙烯(PVC)	透明、易老化、易变脆等(加入助剂可改性)	包装、建筑	各种管道、管件、人造革、薄膜、电线电缆、地板、扶手、线槽等
聚酯(PET)	强韧性、耐疲劳性、耐热性、尺寸稳定性好等	包装、建材等	饮料瓶、复合食品袋、录音磁带、汽车车身、耐磨零件等
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)	极好的冲击强度、抗蠕变性、电绝缘性好等	机械制造、汽车等	机械零件、电冰箱及洗衣机的内衬等
聚酰胺(PA)	拉伸强度优秀、耐磨性优秀等	包装、工业、日用品等	缆绳、刷子、衣服、管材、棒材、复合薄膜等
聚碳酸酯(PC)	良好的透光性、冲击强度极好、耐热性、较高的拉伸强度等	包装、航空航天、医疗器械等	汽车外壳、飞机座舱罩、饮水桶、灯罩、电器零件等
聚苯乙烯(PS)	透明、脆、耐热性及加工性好等	包装、光学仪器等	泡沫包装盘、光学玻璃及仪器等
聚氨酯(PU)	可压制成硬、软泡沫塑料,绝热、吸音等	建筑、运输、化工、航空等	飞机及车厢等墙面、门的保温、隔热保温防震包装材料、吸音吸油材料等
酚醛树脂(PF)	耐热、耐粉碎、强度高	建筑、房屋	板、管、棒、电话机、手柄、灯头、插座、电熨斗的底座等

从表 2-1 中可见,包装工业应用塑料材料所占比例较高,使用寿命也短,产生的废料量多。

1. 家庭日用中的废旧塑料制品

日常生活所用塑料制品占整个塑料制品的较大比例。

包装用材料，如家用电器的聚苯乙烯泡沫塑料防震材料包装电视机、电冰箱、洗衣机等；包装袋、礼品盒；捆扎绳等。

做原材料用的，如计算机外壳、洗衣机外壳、家具、灯具、座椅、沙发、柜子、桶、盒、碗、牙膏、杯子、雨衣、伞、瓶子、梳子、垃圾箱、箱包、磁带、电话、插销座、电熨斗等都可用塑料材料制作。主要塑料材料有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯、聚碳酸酯、聚酰胺、聚氨酯、酚醛树脂等。

所以家庭日用中的废旧塑料制品回收难度很大，涉及到千家万户，目前城市塑料垃圾的回收正成为课题，被正式列入研究中。

2. 农业领域中的废旧塑料制品

我国是一个农业大国，农用塑料占整个塑料制品的比例较大，农业上的应用主要是农用地膜、棚膜、编织袋（盛装粮食、种子、化肥等用）、各种输水管、排水管、塑料绳、网具。以聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯为主要材料，这些农用塑料制品中，回收难度大的是农用地膜。

3. 商业部门的废旧塑料制品

百货商场、批发市场、超级市场等广泛使用塑料薄膜、捆扎绳、编织袋、泡沫塑料等，这些塑料制品为一次性使用的包装材料，比较干净，回收、分类即可再生利用。

消费中废弃的塑料制品，旅馆、旅游区、饭店、汽车及火车站、轮船等食物的盛装器具，瓶子、快餐盒、盘等一次性使用塑料，对这些使用的塑料，国家已规定使用环保型材料，所以数量在逐渐减少。

商业部门使用的塑料一般为 PP、PE、PS、PC、PET、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物（EVA）、聚偏二氯乙烯（PVDC）、PA 等。

4. 其他应用

（1）工业 塑料的应用较广泛，如齿轮、油箱、油管、电解槽、管道、阀门、塑料门窗、下水管、地下水管、地板、电线电

缆、开关、插座、插头、电冰箱、电视机、洗衣机、计算机等电器外壳和元件。

(2) 渔业 渔网、鱼袋、鱼竿等。环卫部门所用的垃圾箱、桶、文教应用的文具盒、文件夹等。

根据有关报道, 2003 年 1~9 月, 中国塑料制品总产量 1189.00 万吨。详见表 2-2。

表 2-2 2003 年 1~9 月中国塑料制品行业产品产量

9 月份/万吨	1~9 月累计/万吨	同期增长/%	名 称
149.47	1189.00	17.10	塑料制品总计
29.16	234.58	17.02	塑料薄膜
7.66	57.26	3.11	农用薄膜
7.80	65.85	15.97	塑料板片材
17.04	134.34	25.07	塑料棒管材
16.06	133.78	18.43	塑料丝及编织品
9.38	58.20	15.73	塑料人造革/合成革
7.03	61.76	18.37	泡沫塑料
5.97	55.03	16.17	塑料包装箱及容器
1.57	16.07	5.48	塑料鞋
15.22	120.66	11.44	日用塑料制品
40.24	308.73	16.75	其他塑料制品

在《全国塑料工业“十五”计划和 2015 年规划》中, 农用塑料、包装塑料、建筑塑料和工业及工程塑料制品被列为“十五”期间我国塑料制品发展重点。塑料产品在 2001~2005 年的年增长率预计为 10%, 2006~2015 年的年增长率将为 8%, 相应产量分别为 2500 万吨和 5000 万吨。

根据有关部门的市场预测, 2005 年按用途划分, 部分塑料产品的产量及占总量比例分别为: 农用塑料产品 470 万吨, 占总产量的 19%; 包装用塑料产品 550 万吨, 占总产量的 22%; 建筑用塑料产品 400 万吨, 占总产量的 16%; 工业配套用塑料产品 450 万吨, 占总量的 18%; 日用塑料与医用塑料产品 472 万吨, 占总产量的 19.1%。

塑料材料应用的所有领域都将产生废料，随应用日益增多，塑料的废料也相应增加，在我们享受着塑料材料所带来的方便、舒适生活的同时，也将对资源和环境产生巨大压力，所以科学有效的回收和利用废旧塑料是当务之急。

第二节 废旧塑料的种类及性能

塑料是一种具有高分子量的有机化合物，一般以固体形态存在的合成树脂或改性了的天然树脂，在热和压力等作用下，可以流动，形成一定形状的一类物质，通常它还包括相当量的增塑剂、稳定剂、填料、增强材料等。塑料按其加工性质可分为：热塑性塑料，即在特定温度范围内能反复加热软化和冷却硬化的塑料；热固性塑料，即因受热或其他条件能熟化成为不溶不熔性物料的塑料。

一、热塑性塑料（含共聚物、共混物）

（一）聚氯乙烯

由乙炔和氯化氢（电石路线）或乙烷、乙烯与氯气（石油路线）合成为氯乙烯单体，再由氯乙烯单体聚合而成聚氯乙烯树脂，可分为本体、悬浮、乳液、溶液聚合产品，其中 90% 以上是悬浮聚合产物，悬浮法聚氯乙烯又分为疏松型和紧密型，两者性能有较大差异。

1. 一般性能

聚氯乙烯是白色粉末状、无毒；相对密度（20℃）为 1.4；不溶于水、酒精和汽油；在醚、酮、氯代脂肪烃和芳烃中能溶胀或溶解；在常温下可耐任何浓度的盐酸。

2. 聚氯乙烯的物理化学性能

聚氯乙烯具体的物理化学性能见表 2-3。

3. 改性

（1）加入助剂 加入增塑剂可使其塑性增加，柔软性提高；加入稳定剂使抗老化性提高，提高加工时物料的热稳定性；加入润滑剂改善物料的加工性。

表 2-3 聚氯乙烯的物理化学性能

项 目	硬质聚氯乙烯	软质聚氯乙烯
密度/(g/cm ³)	1.35~1.45	1.16~1.35
拉伸强度/MPa	35~56	10~25
伸长率/%	2~40	100~450
收缩率/%	1~1.5	2~2.3
热导率/[4.187×10 ⁻⁸ W/(m·K)]	3~7	3~4
比热容/[4.2×10 ³ J/(kg·K)]	0.2~0.28	0.3~0.5
热膨胀系数/(10 ⁻⁵ /°C)	5~18.5	7~25
耐热温度/°C(连续)	65~80	65~80
体积电阻率/(Ω·cm)	>10 ¹⁶	10 ¹¹ ~10 ¹⁵
介电强度/(kV/mm)	25~35	20~30
吸水率/%	0.07~0.4	0.15~0.75
抗弱酸性	良好	良好
抗强酸性	轻微影响	轻微影响
抗弱碱性	良好	良好

(2) 共聚 用两种或两种以上的单体，一起聚合生成的产物叫共聚物。如氯乙烯-乙酸乙烯共聚可改进聚氯乙烯的硬度、脆性及加工性，随乙酸乙烯含量的增加硬度下降、脆性下降，而加工性提高，一般乙酸乙烯的含量在 3%~14%；氯乙烯与偏二氯乙烯共聚可改进聚氯乙烯脆性、流动性，提高力学性能。

(3) 共混 两种或两种以上的聚合物通过共混合而得到的聚合物称共混聚合物（也称高分子合金）。聚氯乙烯树脂可以和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物（EVA）等共混，改进其冲击性能。

4. 成型加工方法

可模压、层合、注塑、挤塑、压延、中空吹塑、注吹、发泡、喷涂、滚塑、真空成型、热成型、机加工、焊接、粘接、印刷、表面装饰。

5. 用途

可制成挤塑薄膜（或压延薄膜）、管材、片材、异型材、线缆包覆和护套、单丝、渔网、网具、条带、波纹板、中空吹塑容器、注塑阀件及各种制品；板材可真空成型、热成型制容器；大型制

件、发泡制品可用作合成木材、垫片、绝热（隔音、防震）材料和包装材料。

用于建筑材料，如塑料门窗、地板、室内装饰、化工设备与管道、电器部件、电线与电缆绝缘材料、输水管道等。

（二）聚乙烯

由乙烯单体聚合而成，通常按照聚乙烯的密度大小分为低密度聚乙烯（LDPE）、高密度聚乙烯（HDPE）、线形低密度聚乙烯（LLDPE）；根据分子量大小，还分为超高分子量聚乙烯（VHMWPE）、低分子量聚乙烯（LMPE）、氯化聚乙烯（CPE）及交联聚乙烯。

1. 低密度聚乙烯特征、成型加工方法与用途

（1）特征 密度为 $0.91\sim 0.93\text{g/cm}^3$ ，分子链上有部分长、短支链，结晶度低；乳白色半透明的蜡状固体，无毒；超过软化点（即熔融）时，其热熔接性、成型加工性能很好；耐冲击韧性、耐低温性极好；可在 -80°C 下工作，但表面硬度、刚性小，蠕变热膨胀性大，耐热性差；电绝缘性优异；黏附性、黏合性、印刷性差，需进行表面处理方可改变；二氧化碳、有机性臭气渗透性大，但水蒸气、空气的渗透性差；吸水性极低，化学稳定性优异，但易产生环境应力开裂现象；易燃，燃烧时有石蜡味，在日光及热的作用下易老化降解而变色，性能变坏或龟裂，可通过加入抗氧剂、紫外线吸收剂改善其性能；在化学交联剂或高能辐照下会交联，可提高软化点、耐温性、刚度、耐溶剂性等。

（2）成型加工方法 成型加工性非常好，各种热塑性塑料成型加工方法都适用，但主要是挤塑，如吹塑薄膜，挤出板、管、电线电缆包覆、异型材，中空吹塑大型或小型容器；注塑，包括注拉吹容器；还可以涂覆、滚塑、发泡、热成型、热封焊、热焊接等。

（3）用途 作为医疗器具、药具、食品、玩具等的包装，果品保鲜、地膜覆盖、蔬菜大棚，化工管道和设备内衬，电器部件、电线、电缆绝缘护套等。

2. 高密度聚乙烯的特征、成型加工方法与用途

（1）特征 外观及性能与 LDPE 基本相似，支链极少，因而

密度大，为 $0.941\sim 0.965\text{g/cm}^3$ ，结晶度高，呈乳白色半透明蜡状物，刚度、拉伸强度、抗蠕变性等优于 LDPE，电绝缘性能、韧性、抗冲击性能、耐寒性都很好，但不如 LDPE；吸水极低，无毒，化学稳定性好，薄膜对水蒸气、空气的渗透性小，耐环境应力开裂性不如 LDPE。

(2) 成型加工方法 成型加工性能很好，与 LDPE 相同，可注塑、挤塑、吹塑、中空吹塑、喷塑、涂覆、滚塑、发泡、热成型、热封焊、热焊接等。

(3) 用途 自来水管、下水管道、耐腐蚀输液管道，化工设备衬里及涂层，合成木材、合成纸，绳索、拉伸带、渔网、窗纱、编织物用纤维、周转箱、瓦楞箱、各种容器（瓶、桶等）大型贮槽（滚塑成型品）。

3. 线形低密度聚乙烯的特征、成型加工方法与用途

(1) 特征 外观与 LDPE 相似，表面光泽好而透明性差，熔体弹性小，熔体黏度高，用一般挤塑机难于成型，应缩短长径比 (L/D)、加大模口、改变冷却风环的设计等，薄膜抗撕裂强度、拉伸强度、耐冲击强度、耐应力开裂性、耐热性、耐低温性都很好，热熔焊接温度高但强度也高，在挤出涂布和吹塑薄膜时要求细颈大，熔体张力小而易牵伸，但加工性不稳定。

(2) 成型加工方法 成型性较好，可注塑、挤塑、吹塑、滚塑、热熔焊接、涂覆。

(3) 用途 用于重包装袋、农用膜、收缩薄膜包装袋、超大包装袋等，纸、布、织物涂覆制包装箱、瓦楞箱、瓦楞板等，注-吹法制容器，滚塑制大型容器，管材、挤塑管材可输送天然气等化学物品等。

4. 超高分子量聚乙烯的特征、成型加工方法与用途

(1) 特征 密度为 $0.95\sim 0.97\text{g/cm}^3$ ，用特殊成型工艺加工，耐应力开裂性、冲击强度、抗低温冲击性、化学稳定性极高，脆化温度低于 -140°C ，可在 -269°C 下使用，无毒、不吸水、无表面吸附性，对任何材料无黏性，耐高温蠕变性、耐热稳定性较高，耐磨

耗，拉伸强度、刚性等低于 HDPE。

(2) 成型加工方法 在结晶熔点也不流动，在高剪切速率下易降解，因而采用冷压型坯后烧结成型工艺，烧结制品可机加工，加入助剂后可挤塑、注塑、喷涂、层合、热冲压。

(3) 用途 用于农业机械、汽车、煤矿、纺织、造纸、化工、食品工业，做不粘、耐磨、低噪声、自润滑部件，如导轨、泵、压滤机、阀、衬垫、密封圈、轴套，与食品接触的材质，人体内部器官、关节等器件。

5. 低分子量聚乙烯（又称聚乙烯蜡）

低分子量聚乙烯分子量小于 1000，可作助剂，起润滑作用，广泛用于涂料、黏合剂等。

6. LLDPE 与 LDPE、HDPE 性能及成型加工性能比较

LLDPE 与 LDPE、HDPE 性能及成型加工性能比较见表 2-4 和表 2-5。

表 2-4 LLDPE 与 LDPE、HDPE 性能比较

性 能	与 LDPE 比较	与 HDPE 比较	性 能	与 LDPE 比较	与 HDPE 比较
拉伸强度	较高	较低	加工性能	较困难	较容易
伸长率	较高	较高	浊度	较差	较好
冲击强度	较好	相似	光泽度	较差	较好
抗环境应力开裂	较好	相同	透明度	较差	—
耐热性	高 15℃	较低	熔体强度	较低	较低
硬度	较高	较低	熔体范围	较小	较小
翘曲	较少	相似			

表 2-5 LLDPE、LDPE、HDPE 成型加工性能比较

成型工艺	LDPE	LLDPE	HDPE
薄膜	最容易	中等	困难
注塑	柔软	较硬,但翘曲少	硬
管材	软	圆周应力较好	较硬
电线电缆	挤出较快	抗环境应力龟裂和耐温性较好	耐温性最好,可交联
吹塑成型	型坯强度高	型坯强度差	硬度好
挤出涂层	低缩幅	高缩幅	硬
交联发泡	易控制	难控制	易控制

聚乙烯回收料经改性后可以生产蓄电池槽。改性的主要内容是配入适当的不同品种的填充剂，如滑石粉、碳酸钙和陶土粉。滑石粉耐酸腐蚀，刚性好，尺寸稳定性好，但韧性差；碳酸钙的韧性好，但遇酸易分解。为了获得好的综合效果，需加入适量陶土，并配入适量助剂。由于在改性过程中加入了较多的填充剂，使在成型过程中物料的流动性能和表面粗糙度变差。为此，需要提高模具的表面粗糙度，加入一定的润滑剂和光亮剂，进行塑炼后，压制成型。

聚乙烯的回收料也可生产涂料，其配方为聚乙烯 10%，废聚酰胺 7%，甲酸胺 10%，四氢萘 10%，十氢萘 10%，香蕉水 40%，再加入一定量的云母、氧化钛（珠光粉），可制成珠光漆。

（三）聚丙烯

采用齐格勒-纳塔催化剂催化丙烯单体聚合而成，根据聚丙烯的立构规整性的不同，聚丙烯产品可分为等规聚丙烯（IPP）、间规聚丙烯（SPP）、无规聚丙烯（APP）三种，另外还有玻璃纤维增强聚丙烯（FRPP）、填充聚丙烯（FPP）、氯化聚丙烯（CPP）等。

聚丙烯的分子结构根据其侧链甲基（ $-\text{CH}_3$ ）的空间排列有三种不同的形式。

（1）等规聚丙烯 甲基在碳链同一侧（平面之上或之下）为顺式立构。这种有规则性的结构很容易结晶。

（2）间规聚丙烯 甲基交替出现在碳链两侧，为间规立构。这种也是规则性的结构，容易结晶。

（3）无规聚丙烯 甲基无规律地出现在碳链两侧，由于结构规整性差，所以结晶困难。

成型加工使用的聚丙烯通常是等规聚合物，具有高度的结晶性。

1. 等规聚丙烯一般性能

① 白色、无毒、无味的乳白色高结晶性聚合物，结晶度达 95%，光滑度不如聚乙烯。

② 密度仅为 $0.90 \sim 0.91 \text{g/cm}^3$ ，是通用塑料中最低的。

③ 刚性、耐磨耗性好，硬度较高，高温冲击强度高（但 -5°C 以下急剧降低），耐反复折叠性强。

④ 耐热性较好，软化点大于 140°C ，连续使用温度达 $110 \sim 120^\circ\text{C}$ ，但耐寒性较差。

⑤ 不吸水，化学稳定性好（对酸、碱稳定），但不耐日光及热稳定性差，必须加入各种助剂。

⑥ 易燃，燃烧时有石油味。

⑦ 电绝缘性优异，耐电压、耐电弧性好，但静电度高，与铜接触易老化。

⑧ 薄膜透明而有光泽，对水蒸气和空气的渗透性小。

⑨ 成膜、成纤维性和成型加工性好，染色、印刷性、黏合性差。

⑩ 薄膜经双向拉伸后，透明度、光泽度、折叠强度、撕裂强度、冲击强度、缺口敏感性等有较大提高。

2. 等规聚丙烯成型加工性能

可注塑、挤塑、中空成型、熔接、热成型、机加工、电镀、发泡。

3. 等规聚丙烯的用途

（1）挤出制品 管、板、型材、窄带、包紧带、电线电缆包覆和护套、拉伸带、绳索、单丝、吹塑薄膜、撕裂薄膜、双向拉伸薄膜等，化工管道及设备衬里、上下管、渔网、过滤布、缆绳等。

（2）注塑制品 汽车、机械、电器等绝缘部件，生活用品、医疗卫生器材、化工耐腐蚀部件。低发泡、钙塑板可作合成木板，高发泡可作结构泡沫体，可制成合成纸等。

而无规聚丙烯没有结晶性，是非结晶的黏稠物，没有机械强度，作为黏合剂、增塑剂使用。

使用聚丙烯回收料，可生产具有良好耐酸碱性的涂料，其配方为：聚丙烯 19%，聚甲基丙烯酸（也可用回收料）17%，四氢萘 10%，十氢萘 10%，丙酮 20%，适量松香水。聚丙烯回收料的制

品多为塑料打包带、捆扎绳等。

(四) 聚苯乙烯

由苯乙烯单体聚合而成，聚苯乙烯的主要产品是通用级聚苯乙烯。

1. 通用级聚苯乙烯特性

- ① 无色、无毒、无味的非结晶型透明热塑性塑料。
- ② 刚度和表面硬度大，尺寸稳定性好，但性脆，冲击强度小，耐磨性差。
- ③ 软化点低（80~90℃），只能在 60~75℃和低负荷下使用。
- ④ 着色性、表面装饰性、耐辐射性好。
- ⑤ 电性能优异，特别是高频绝缘性能较好，耐电弧性好。
- ⑥ 耐日光性较差，易燃，燃烧时发黑烟，有特殊臭味。
- ⑦ 耐水、酸、碱，但溶于芳香烃、氯代烃、酮类和酯类等，耐油性差，不耐热水。

2. 成型加工方法

成型加工性能好，可注塑、挤塑、吹塑、发泡、热成型、粘接、涂覆、焊接、机加工、印刷等。

3. 用途

可制造透明或色泽鲜艳的各类制品，如日用品、文具、灯具、室内外装饰品、化妆品、容器、仪器仪表、车灯、光学零件、透明窗镜、电讯零器件、高频电容器，高频绝缘材料、电视机等集装板，可制成不同密度的泡沫塑料，用作绝热、隔热、防震、漂浮、包装材料、软木代用品，预发泡体可作水过滤介质及制备轻质混凝土，低发泡塑料可制合成木材做家具等，玻璃纤维增强可提高其耐热性、耐冲击性、热膨胀系数。

(五) 乙烯-乙酸乙烯酯共聚物

由乙烯和乙酸乙烯酯共聚而成，该共聚物中，乙酸乙烯含量可以在 1%~99%变化。乙酸乙烯含量为 5%~20%的共聚物为塑料；含量为 40~50%的共聚物为弹性体；含量为 50%以上的共聚物作黏合剂使用。

1. 特性

① 透明性、表面光泽好。

② 柔软、可绕性，具有橡胶的弹性，耐低温，机械强度、撕裂强度大，耐穿刺、回弹性好。

③ 当熔体流动速率（MFR）一定时，乙酸乙烯含量提高，其弹性、柔韧性、相溶性、透明度提高；当乙酸乙烯含量降低时，性能接近聚乙烯，刚性增大，耐磨性及电绝缘性上升。

当乙酸乙烯含量一定时，MFR 增加，软化点下降，加工性能和表面光泽性改善，强度降低，反之，随着 MFR 降低，冲击强度和耐应力开裂性能提高。

④ 溶于烃类、溶剂和油类。

⑤ 与 PVC 相溶性好，与填料掺混性好，易加工、着色，耐应力开裂，耐老化，耐臭氧。

2. 成型加工方法

可用一般热塑性塑料成型方法，如注塑、吹塑、挤塑、压延、回转成型、热成型、发泡、涂覆、热封、焊接等。

3. 用途

作电缆护套、密封容器、医用导管、人造革、绝缘薄膜、农用薄膜、食品包装薄膜、发泡制品、软管及制冰容器等。

（六）聚酯

一种线形聚酯，由苯二甲酸二甲酯和乙二醇经交换后缩聚而成，或将高纯度对苯二甲酸和乙二醇直接酯化后缩聚而成。简称聚酯，俗称涤纶树脂。

1. 特性

① 乳白色或浅黄色高度结晶的聚合物，表面平滑而有光泽。

② 耐蠕变、耐疲劳性、耐摩擦和尺寸稳定性好，磨耗小而硬度大。

③ 强韧性为热塑性塑料之首，经热处理延伸后的拉伸强度可与铝膜相媲美。

④ 耐热性好，长期使用温度达 120°C ，在较宽的温度范围内保

持良好的物理力学性能。

⑤ 电绝缘性好，受温度影响小，但耐电晕性较差。

⑥ 吸水率低、无毒，耐候性、化学稳定性好，耐弱酸和有机溶剂，不耐热水浸泡，不耐碱。

2. 成型加工方法

可注塑、挤出、吹塑、涂覆、粘接、机加工、电镀、真空镀膜、印刷，但成型前应充分干燥。

3. 应用

涤纶树脂在塑料制品方面多用于制造薄膜，大量用于电影片基、X光片基、录音录像带基材等；在电子、电气工业中可做 B 级（130℃）绝缘材料，广泛用于电动机、变压器、电容器、电线电缆中的绝缘材料；还大量用于吹塑瓶子，如饮料瓶、食用油瓶及矿泉水桶等都是涤纶树脂制品。

（七）丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物

由三种单体聚合而成的，是典型的共聚物。兼有三种组分的共同性能。丙烯腈能使共聚物具有耐化学腐蚀性能，具有一定的表面硬度；丁二烯使共聚物具有橡胶的韧性；苯乙烯使共聚物具有良好的加工性。

ABS 的性能可通过改变 ABS 中的某一成分的用量使 ABS 树脂具有不同的特性，如抗冲击性、耐热性、低温性等。

1. 特性

① 浅象牙色不透明的非结晶型颗粒，无毒、无臭、着色性好。

② 密度为 $1.08\text{g}/\text{cm}^3$ ，坚韧、硬，刚性、耐低温冲击性、耐蠕变性好。

③ 尺寸稳定性、耐磨性、电性能都较好，线膨胀系数很小，成型收缩率低。

④ 耐油、耐酸、耐碱、耐无机盐，但溶于酯、醛、醚及氯化烃。

⑤ 可电镀、抛光、表面光泽好。

⑥ 可燃、耐紫外线差、火焰呈黄色黑烟，有特殊臭味，但不

滴落。

⑦ 加工性能好，与极性树脂相容性好。

2. 成型加工方法

成型性很好，成型前必须干燥，可挤塑、吹塑、注塑、压延、层合、发泡、热成型、涂覆、粘接、焊接、电镀、机加工、印刷。

3. 应用

ABS 是重要的工程塑料，广泛应用于汽车、电器、仪表、机械工业。如电视机、录音机等电器仪表的外壳和部件、汽车和机械工业用零件，齿轮、叶片、轴承、汽车零件，电冰箱内衬，洗衣机的桶体，建材用管道、管件、百叶窗、门窗框架，可制造低发泡材料代替木材制造家具、建材、大型制件，与 PVC 共混可改进其成型加工性和冲击韧性。

（八）聚碳酸酯

一种线形聚酯，用二酚基丙烷（双酚 A）与碳酸二苯酯在催化剂存在下，于 200°C 左右熔融状态进行酯交换而成。

1. 特性

① 无色或微黄色透明固体颗粒，有良好的透光性，透光率可达 $75\% \sim 90\%$ ，是非结晶型热塑性工程塑料。

② 密度为 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，着色性好，可制成各种透明、半透明、不透明的制品。

③ 冲击强度极佳，蠕变最小，有较高的拉伸强度，但耐疲劳性、耐磨性较差。

④ 耐热性较好，热变形温度高，长期使用温度可在 $-60 \sim 120^{\circ}\text{C}$ ，短期耐 $-100 \sim 135^{\circ}\text{C}$ ，耐候性好，成型加工时不易氧化降解，但熔体黏度高。

⑤ 吸水率、收缩率小，尺寸精度高。

⑥ 电性能优异，且不受温度的影响。

⑦ 室温下能耐稀酸、盐、油、脂肪烃、氧化剂等。胺、酮、酯、芳香烃能使其溶胀，并导致应力开裂。

2. 成型加工方法

加工前必须干燥，可挤塑、注塑、模压、热成型、涂覆、粘接、机加工、印刷。

3. 应用

价格高，主要用于电子、电器零件、汽车外壳、计算机外壳、照相机体，医疗器械，包装材料，飞机座舱罩，齿轮、蜗轮蜗杆、轴，灯罩、路标、装饰，电容器、薄膜、录音带、彩色电视机阴极射线管径口部件。

(九) 聚酰胺

又称尼龙，是线形热塑性塑料，一般根据合成单元的碳原子数来命名，如尼龙 66、尼龙 610、尼龙 1010、尼龙 1313 及尼龙 6、尼龙 7、尼龙 8、尼龙 9、尼龙 11、尼龙 12 等。

1. 聚酰胺类树脂的通性

① 半透明白色、无毒、无味的粉末或颗粒，密度为 $1.05 \sim 1.15\text{g/cm}^3$ 。

② 力学性能优异，耐冲击，是强韧的工程塑料。

③ 结晶度高，熔点明显，表面硬度大，耐磨耗，摩擦系数小，有自润滑性和消音性。

④ 熔点高、熔融温度范围窄，见表 2-6 聚酰胺的熔融温度范围，热变形温度较低，低温性能优异，有一定的耐热性，长期使用温度 80°C ，短时间使用可达 120°C ，热膨胀系数大，尺寸精度差。

表 2-6 聚酰胺的熔融温度范围

名 称	尼龙 66	尼龙 610	尼龙 612	尼龙 1010	尼龙 6	尼龙 11	尼龙 12
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	250~260	208~220	215~206	195~210	215	180	170
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$	104	—	82	66	67	54	—

⑤ 电绝缘性好，但易受温度的影响。

⑥ 吸水性大，水分影响尺寸稳定性和电性能，玻璃纤维增强可减少吸水率，且可长期在高温、高湿度下工作。

⑦ 有自熄性，不霉烂，耐光性差。

⑧ 化学稳定性好，耐海水、耐溶剂、耐油、不耐酸。

2. 成型加工方法

加工前必须干燥，可挤塑、注塑、吹塑、浇铸、模压、回转成型、涂覆、焊接、粘接、发泡、热冲压成型、印刷、真空镀金属等。

3. 应用

纤维、缆绳、刷子、衣服、轴承、齿轮、轴瓦、纺织、食品包装、管材、棒材、复合材料。

(十) 聚甲醛

均聚甲醛由无水三聚甲醛聚合而成。其密度、结晶度、力学强度高。

共聚甲醛由无水三聚甲醛与少量二氧戊烷共聚而成。其短期强度、模量、伸长率、热变形温度、耐蠕变性、耐热老化、耐热水性等都优于均聚甲醛。

1. 聚甲醛特性

① 白色或象牙色粉末或颗粒，有光泽、着色性好。

② 气密性较好，对氧、空气、氮、二氧化碳透过性都小。

③ 耐疲劳性极为优良，力学强度和刚性高，能在恶劣的环境下使用，具有出色的耐磨性、优良的自润滑性、冲击性，有良好的电绝缘性、尺寸稳定性，具有复原弹性。

④ 使用温度范围较宽，但耐热老化性差，耐大气老化性不强，可燃，不耐强酸、强碱，粘接性差。

2. 成型加工方法

加工前需要干燥，因熔融温度与热分解温度相近，故成型性差。主要成型方法是注塑，还可挤出、吹塑、滚塑、涂饰、焊接、粘接、印刷、电镀、机加工等。

3. 应用

用于电子电器、汽车、机械零件及卫生设备等日用品，齿轮、轴承，代替铜、锌等有色金属，可作容器、管材、阀件等。

(十一) 聚甲基丙烯酸甲酯

俗称有机玻璃，由甲基丙烯酸甲酯自聚合而成。

1. 特性

① 无色、透明的非结晶聚合物，其透光率高达 90%~92% 以上，相对密度为 1.18g/cm^3 。

② 质轻、坚韧，常温下有较强的力学强度，且不受环境温度的影响，只有当接近软化点和玻璃化温度时，强度才急剧下降。

③ 着色力强，表面光泽好，尺寸稳定性好，电性能好，但表面硬度和耐刻划度性差，冲击强度较低。

④ 吸水性小，耐水溶性无机盐及某些稀酸，耐油，不耐碱、氢氟酸、醛、酮、醇等。

⑤ 耐老化性好，无毒，燃烧时无火焰。

2. 成型加工方法

以本体聚合为主，先在反应釜中预聚合，然后浇模加热进一步聚合成型，最后冷却脱模。有机玻璃的产品可以直接作为产品使用（如板材），也可以把它作为基材，进一步加工成型，可采用挤出、模压、吹塑和真空等成型方法，也可以通过机加工和粘接等方法加工成各种所需制品。

3. 应用

有机玻璃主要是作为一种良好的透明材料而广泛使用的，如飞机的座舱罩、建筑的天窗、汽车的风挡及车尾灯罩，医用光导管、化工耐腐蚀透镜、仪表盘和罩盒、电气绝缘部件及文具生活用品等都可以用有机玻璃制作。

二、热固性塑料

热固性塑料因受热或其他条件能成为不溶不熔性物料，它包括酚醛树脂（PF）、环氧树脂（EP）、聚氨酯（PU）等。

（一）酚醛树脂

由苯酚或甲酚、二甲酚等与甲醛缩聚而成，由于两者配比和催化剂的不同，其性质和用途不同。

酚醛树脂的主要特性有化学稳定性好，耐酸、但不耐碱，耐热性好，耐燃，可自灭，电绝缘性好，耐电弧性差，制品尺寸稳定，成型收缩率和嵌件附加收缩率小，成型加工容易。

1. 酚醛模塑料

苯酚与甲醛在酸性介质中（盐酸、草酸等）缩聚成热塑性酚醛树脂，再加入木粉、废棉、碎棉布片、石棉、云母、毛毡等作为填料，及六亚甲基四胺（固化剂）、脱模剂、润滑剂、促进剂、着色剂、无机填料等，经塑炼、滚压成片，再粉碎成模塑粉，填料不同，性能不一样。

以模塑粉为原料的成型工艺为模压和传递模塑，可注塑、挤出、机加工、涂层、黏合。用模塑粉可制造机器零件、手柄、电话机、纽扣、开关、仪表盘、电绝缘零件、接触酸性介质的化工容器、管件、阀门、蓄电池盖板、在高温下工作的电器部件等。以石棉为填料的模塑粉可制成电炉、电熨斗的底座等。

2. 酚醛层压塑料

苯酚与甲醛在碱性介质中，经缩聚、真空脱水后加酒精成甲阶段线形酚醛树脂，该树脂为深棕色黏性液体，再将片状填料（棉布、纸、木材片、玻璃片、石棉布等）浸入该树脂，干燥后置于层压机内热压成层压板，也可模压成管、棒或其他制品。

酚醛层压制品有电工用布质层压板、玻璃布层压板、模压制品、卷压制品、石棉布基层压板、木材片基层压板、酚醛棉纤维模塑料等。

（二）环氧树脂

环氧树脂品种较多，但主要是由环氧氯丙烷与二酚基丙烷（双酚 A）缩聚而得到的双酚 A 型环氧树脂，缩聚得到的是线形热塑性树脂，要使其从线形热塑性转变为体形热固性材料需加入固化剂、促进剂、稀释剂、增韧剂、填充剂等。

1. 特性

- ① 黄色或棕色透明液体，与固化剂组合可得各种性能的塑料。
- ② 成型收缩率小，尺寸稳定性好，热膨胀系数小。
- ③ 黏结性好、电绝缘性和力学强度较高，化学稳定性好。

2. 成型加工方法

可浇铸、浸渍、包封、模塑、层合、发泡、喷涂、涂覆。

3. 应用

电子工业中作包封、包装材料，浇铸电机定子、变压器，各种线圈、互感器、电容器、电缆头的浸渍、制化工管材、容器，汽车、船舶、飞机零件、运动器材，泡沫塑料作绝热、吸音材料，高强度夹心和蜂窝结构及防震包装材料。

(三) 聚氨酯

聚氨基甲酸酯，简称聚氨酯，由有机多元异氰酸酯和多元羟基化合物或聚合物经逐步反应而成，主要的原料是多元异氰酸酯（二元酯或三元酯）和多元醇或含有多元羟基的化合物（聚酯或聚醚）。

当两种反应物都是具有双官能团时，得到的是线形热塑性树脂，具有橡胶的弹性。若其中之一或两种都具有两个以上官能团时，得到网状热固型树脂。

根据所采用的含多元羟基的聚合物的种类，聚氨酯商品分为聚酯型和聚醚型聚氨酯两类；按聚氨酯泡沫塑料材料的质地分为硬质、软质等。

1. 聚氨酯泡沫塑料特性

(1) 聚醚型

① 硬质聚氨酯泡沫塑料。浅黄色、无臭、闭孔结构的热固性塑料，泡沫密度为 $0.04 \sim 0.06 \text{ g/cm}^3$ ；部分溶于丙酮，在氯仿、脂肪烃、芳香烃中溶胀，耐无机酸、碱、盐及弱氧化剂，耐油，保温、绝热、隔音性好，热导率小，耐磨性、撕裂强度、耐老化、耐紫外线、粘接性均好，吸水性小。

② 软质聚氨酯泡沫塑料。无臭、浅黄色开孔结构的热固性塑料，密度低、弹性大、永久变形小，耐寒、吸音、隔热、工作温度 $-40 \sim 100^\circ\text{C}$ ，耐一般无机酸、碱、盐溶液，在有机溶液中溶胀，部分溶于丙酮，耐油。

(2) 聚酯型

① 硬质聚氨酯泡沫塑料。与聚醚型相同。

② 软质聚氨酯泡沫塑料。物理力学性能优于聚醚型（如耐热、强度等），但价格较高，因黏度大而使加工困难。

2. 聚氨酯泡沫塑料成型加工方法

(1) 硬质泡沫塑料 可浇铸、喷涂、反应注射成型、机加工、黏合。

(2) 软质泡沫塑料 可浇铸、喷涂，反应注射成型，可黏合。

3. 聚氨酯泡沫塑料应用

(1) 硬质泡沫塑料 用于建筑、船舶、飞机、车厢等作屋面、墙面、门等保温、隔音的结构泡沫塑料，冷藏设备、管线的绝热保温材料，建筑物、矿山、地下工程救护、封闭坑道、防渗水材料，还作雷达罩、仪器壳体等。

(2) 软质泡沫塑料 在建筑、船舶、运输、化工、航空业中作隔热、保温、防震包装、吸音、过滤、吸油等材料，也用于制造服装、日用品、手套的衬里。

第三节 废旧塑料的鉴别方法

废旧塑料制品品种多，但组成也复杂，同种形状和规格的塑料制品可以用不同的树脂加工而成。而同种树脂可以生产出不同形状和规格的产品，如各种包装瓶，可以用 PVC、PP、PET 树脂加工而成，而 PVC 可加工制成管材、片材、线缆包覆和护套、渔网、渔具、瓶子、门窗、地板、电器部件、农业薄膜、输水管等。而回收的废旧塑料制品来源于不同使用者和多渠道，使回收的塑料制品是各种树脂的混杂物，又由于每种树脂软化点、熔点不同，加工工艺不同，所以废旧塑料回收后再利用前，必须对树脂进行鉴别、归类、分离。而鉴别是分离的前提条件和手段，分离是目的。鉴别可使用以下方法。

一、根据塑料回收标志进行鉴别

中国轻工总会塑料加工应用研究所专门制作了按材质分类的塑料回收标志，它是由国家质量技术监督局批准发布使用的塑料回收标志，已与国际接轨，国家有关部委发布的法规中为防治塑料污染环境，强制要求使用塑料回收标志。该标志是标注在塑料制品上用

于回收利用的标志，它由图形、塑料代码与对应的缩写代号组成，其中图形为带三个箭头的等边三角形，阿拉伯数字顺序号位于图形中央，分别代表不同的塑料，塑料缩写代号于图形下方。如塑料名称为聚酯的代码 1，缩写代号为 PET。塑料名称为聚氯乙烯的代码为 3，缩写代号为 PVC。其表示方式既简易、又明了，制作方便，投入极少，解决了通常情况下人们识别塑料材质的困难。既可促进废弃塑料分类投放及分类收集，又可节约分选归类所需的人力、物力及资金。对减轻生产垃圾的处理，消除白色污染，保护环境，节约能源、资源综合利用具有深远意义，详见图 2-1 常用塑料标志。

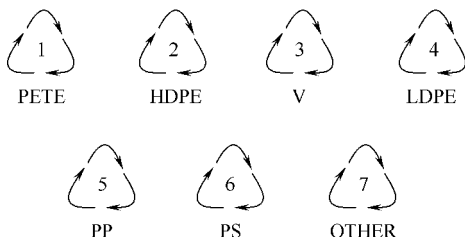


图 2-1 常用塑料标志

二、常规鉴别法

1. 热塑性塑料和热固性塑料的区分

通过观察塑料的外观，可初步鉴别出塑料制品所属哪一类（即热塑性塑料、热固性塑料及弹性体）。一般热塑性塑料有结晶和无定形两类。结晶性塑料外观呈半透明、乳浊状或不透明，只有在薄膜状态呈透明状。无定形一般为无色，在不加添加剂时为全透明。热固性塑料通常含有填料且不透明，如不含填料时为透明。弹性体具有橡胶状手感，有一定的拉伸率。根据加工性质分类，热塑性塑料是可溶可熔的、可以反复加工；热固性塑料是不溶不熔的，只能成型加工一次，可根据加工性质通过加热、溶解的方法区别之。

2. 根据常用塑料制品的鉴别

透明性好的硬制塑料用 PMMA、PS、PC；灰色的塑料管、板

材、塑料地板、塑料门窗用 HDPE，塑料雨衣、台布、电线套管、人造革、吹气玩具、部分塑料凉鞋、鞋底、拖鞋用 RPVC（软质聚氯乙烯）；塑料桶、水管、食品袋、微波炉用碗（盘）、药品包装瓶用 PE、PP；硬制泡沫塑料、牙刷柄、茶盘、酒杯、衣架、自行车和汽车的灯罩、硬制玩具用 PS；齿轮 NY、ABS；眼镜框用 PMMA；半导体、电视机、计算机、洗衣机、仪表等的壳体用 ABS；汽车方向盘、电器开关、插座、仪表壳、输油管、氧气瓶、冷却塔、贮罐、贮槽、小渔船用 PF；泡沫塑料用 PS、PVC、PU；汽车保险杠大多用 ABS；蓄电池壳大多用 PP；饮料瓶大多用 PET。

3. 根据塑料外观性状鉴别

不同的树脂具有不同的外观性状，可根据不同的外观区别不同的废旧塑料品种，见表 2-7 常用塑料外观性状。

表 2-7 常用塑料外观性状

树脂名称	外 观 性 状
PE	未着色时是乳白色、半透明，有蜡状滑腻感、柔而韧，密度越高，手感越硬
PP	未着色时是乳白色、半透明状，手感滑润，较 PE 硬
PVC	本色为微黄色透明状，透明度好于 PE、PP，软制品柔软而有弹性，表面光滑；硬制品平直坚硬，硬度大于 LDPE 低于 PP
PS	未着色时为无色透明状，性脆易断裂，敲打时有清脆的金属声
PET	涤纶树脂，乳白色或浅黄色，表面平滑而有光泽
NY	乳白色或微黄色
PMMA	无色透明、表面光滑、质轻、坚韧
PC	透明的无色或微黄色
POM	乳白色不透明，表面有光泽
ABS	浅象牙色不透明，表面有光泽

三、密度鉴别法

各类塑料具有不同的密度，可通过材料的密度大致判断出塑料的品种，方法是将试样放进配制的一定密度的已知溶液中，根据其

沉下或浮上的现象鉴定塑料的品种，对含有其他组分的如填充料等的 PVC 或 PP 等使用此法有一定误差，可以配以其他方法进一步鉴别，见表 2-8 常用塑料的密度。

表 2-8 常用塑料的密度

聚 合 物	密度/(g/cm ³)	聚 合 物	密度/(g/cm ³)
PE(线形,HDPE)	0.94~0.98	聚甲醛	1.42
PE(支化,LDPE)	0.89~0.93	聚苯醚	1.08
PP	0.85~0.92	聚醚砜	1.37
PS	1.04~1.09	聚芳酯	1.21
ABS	1.01~1.06	聚砜	1.24
PVC(硬质)	1.30~1.45	聚酰亚胺	1.40
PVC(增塑)	1.19~1.35	聚酰胺酰亚胺	1.40
PET	1.30~1.60	聚醚酮	1.265
PBT	1.31	液晶聚芳酯	1.35
PMMA	1.16~1.20	聚氨酯	1.05~1.25
PC	1.20~1.22	脲醛树脂	1.47~1.52
尼龙 66,尼龙 6	1.12~1.16	乙酰丁酸纤维素	1.15~1.25
聚四氟乙烯	2.14~2.02		

例如，当使用水（H₂O），溶液的密度为 1.0g/cm³，PE、PP 的密度低于水的密度而上浮，而 PVC、PS 密度高于水的密度而下沉。溶液也可使用 CaCl₂ 与水、NaCl 与水、酒精与水、甲醛与水等不同质量配比出不同溶液的密度，可对不同密度的塑料进行鉴别。见表 2-9 四大通用塑料密度的鉴别方法。

表 2-9 四大通用塑料的密度鉴定

溶液类别	溶液密度	溶液的配制	上 浮	下 沉
CaCl ₂ 溶液	1.27	水 150g CaCl ₂ 100g	PE PP PS	PVC
H ₂ O	1.0	净水	PE PP	PVC PS
NaCl 溶液	1.19	水 74g NaCl 26g	PS	PVC
乙醇溶液	0.91	水 100g 95%酒精 160g	PP	PE

四、加热分析法

此方法是根据塑料各自的熔点、软化点等确定是哪种塑料，可用差热扫描量热仪（DSC）和热台偏光显微镜来测定熔点，再根据测定的熔点和已知聚合物的熔点相对照，判定试样是哪种塑料。而最为方便、较准确的是使用转矩塑化仪或双辊塑炼机等，测定塑料的塑化温度。热塑性塑料在一定高温下可以被塑化，结晶热塑性塑料的塑化温度在熔点以上，非结晶热塑性塑料的塑化温度在软化点以上，见表 2-10 热塑性塑料玻璃化转变温度、熔点、软化点。

表 2-10 热塑性塑料玻璃化转变温度、熔点、软化点

塑料名称	玻璃化温度/℃	熔点(软化点)/℃	塑料名称	玻璃化温度/℃	熔点(软化点)/℃
聚乙烯	-70	137[100(LDPE), 130(HDPE)]	聚碳酸酯	157	267(220~230)
聚丙烯	-15	167(160~170)	聚偏二氯乙烯	-18	
聚氯乙烯	80	212(超过分解温度) (75~90)	尼龙 6	50	225(215~260)
聚苯乙烯	100	240(70~115)	尼龙 66	50	265(220)
聚对苯二甲酸乙二醇酯	69	267(250~260)	聚甲醛	-82	180

但塑化温度会随塑料中添加剂或混合组分的变化而变化，如含有增塑剂比例较大的软质 PVC 膜与 HDPE 膜的塑化温度相差不大，PP 制品与硬质 PVC 塑化温度接近，所以要结合其他鉴别方法加以区分。

聚酰胺（尼龙）的品种很多，也可通过测定其熔点区分不同的种类，如尼龙 6、尼龙 66、尼龙 610、尼龙 1010、尼龙 11 和尼龙 12。见表 2-11 各种尼龙的熔点范围。

表 2-11 各种尼龙的熔点范围

聚酰胺类型	熔点范围/℃	聚酰胺类型	熔点范围/℃
尼龙 6	215~225	尼龙 1010	190~200
尼龙 66	250~260	尼龙 11	180~190
尼龙 610	210~220	尼龙 12	170~180

五、其他鉴别方法

对废旧塑料也可用溶剂法、燃烧试验法、显色反应、材料裂解的不同产物判定塑料的种类。

1. 溶剂法

根据塑料溶剂与非溶剂的不同而判定。热塑性塑料在溶剂中会发生溶胀，但一般不溶于冷溶剂，在热溶剂中，有些热塑性塑料会发生溶解，如 PE 和 PP 在常温下不溶于任何溶剂，仅溶于沸腾的甲苯；PVC 可溶于常温下的甲苯、氯苯、环己酮；PS 溶解于四氯化碳等。

热固性塑料在溶剂中不溶，一般也不发生溶胀或仅轻微溶胀，弹性体不溶于溶剂，但通常会发生溶胀。使用溶剂法鉴别塑料品种缺点是极不方便，程序复杂，需要使用多种仪器和溶剂，见表 2-12 塑料的溶解性。

表 2-12 塑料的溶解性

聚 合 物	溶 剂	非 溶 剂
聚乙烯	对二甲苯、三氯苯	丙酮、乙醚
聚 1-丁烯	癸烷、十氢化萘	低级醇
无规聚丙烯	烃类、乙酸异戊酯	乙酸乙酯、丙醇
聚异丁烯	己烷、苯、四氧化碳、四氢呋喃	丙酮、甲醇、乙酸甲酯
聚丁二烯	脂肪族和芳香族烃类	
聚苯乙烯	苯、甲苯、三氯甲烷、环己酮、乙酸丁酯、二硫化碳	低级醇、乙醚(溶胀)
聚氯乙烯	四氢呋喃、环己酮、甲酮、二甲基甲酰胺	甲醇、丙酮、庚烷
聚氟乙烯	环己酮、二甲氨基甲酰胺	脂肪族烃类、甲醇
聚四氟乙烯	不可溶	
聚丙烯酸酯和聚甲基丙烯酸酯	三氯甲烷、丙酮、乙酸乙酯、四氢呋喃、甲苯	甲醇、乙醚、石油醚
聚丙烯腈	二甲氨基甲酰胺、二甲亚砷、浓硫酸水	醇类、乙醚、水、烃类
聚乙烯醇	水、二甲基甲酰胺、二甲亚砷	烃类、甲醇、丙酮、乙醚

聚 合 物	溶 剂	非 溶 剂
纤维素	含水氢氧化铜铵、含水氯化锌、含水硫氰酸钙	甲醇、丙酮
脂肪族聚酯类	三氯甲烷、甲酸、苯	甲醇、乙醚、脂肪族烃类
对苯二甲酸乙二醇酯	间甲酚、邻氯酚、硝基苯、三氯乙酸	甲醇、丙酮、脂肪族烃类
聚酰胺	甲酸、浓硫酸、二甲氨基甲酰胺、间甲酚	甲醇、乙醚、烃类

2. 塑料的燃烧鉴别

燃烧鉴别法是利用小火燃烧塑料试样，观察塑料在火中和火外时的燃烧性，同时注意熄火后，熔融塑料的滴落形式及气味来鉴别塑料种类的方法。见表 2-13 塑料燃烧性能及图 2-2 燃烧试验法识别塑料。

表 2-13 塑料燃烧性能

燃 烧 性 能	火 焰 状 态	气 化 物 气 味	材 料
不 燃	—	刺激性(氢氟酸 HF)	聚硅酮, 聚四氟乙烯; 聚三氟氯乙烯, 聚酰亚胺
阻 燃, 离开火焰后即熄灭	明亮, 有黑烟; 鲜黄色, 火苗边缘呈绿色; 闪亮, 有黑烟; 黄色, 有灰烟; 橘黄色, 有蓝烟	苯酚; 甲醛氨; 胺; 甲醛盐酸(烧焦的动物角质)	酚醛树脂, 氨基树脂, 氯化橡胶; 聚氯乙烯; 聚偏二氯乙烯(无易燃增塑剂), 聚碳酸酯硅橡胶; 聚酰胺
在火焰中燃烧, 离开火焰则缓慢熄灭或依旧燃烧	黄色, 闪亮, 材料分解; 橘黄色, 有黑烟; 黄色, 边缘呈蓝色; 黄色, 中心呈蓝色	苯酚, 烧焦的纸, 有刺激性, 损伤气管; 烧焦的橡胶, 新鲜芳香; 有刺激性(异氰酸酯); 石蜡	酚醛树脂, 聚乙烯醇, 聚氯丁二烯, 聚对苯二甲酸乙二醇酯, 聚氨酯, 聚乙烯; 聚丙烯
易 引 燃, 离开火焰后继续燃烧	闪亮, 有黑烟; 黄色闪亮, 有黑烟; 深黄色, 有少许黑烟; 深黄色, 有黑烟闪亮, 中心呈蓝色, 放出火花	有强烈刺激性, 苯酚; 芳香, 乙酸; 烧焦橡胶, 芳香; 水果香, 甲醛	聚酯树脂, (玻璃纤维增强)环氧树脂; (玻璃纤维增强)聚苯乙烯, 聚乙酸乙烯橡胶; 聚甲基丙烯酸甲酯, 氧化丙烯

燃 烧 性 能	火 焰 状 态	气 化 物 气 味	材 料
易引燃,离开火焰后继续燃烧	深黄色,微弱的火花;浅绿色,放出火花;橘黄色,明亮而强烈	乙酸和丁酸;乙酸;烧焦的纸,氮的氧化物	乙酸丁酯纤维素;乙 酸纤维素;硝酸纤维素

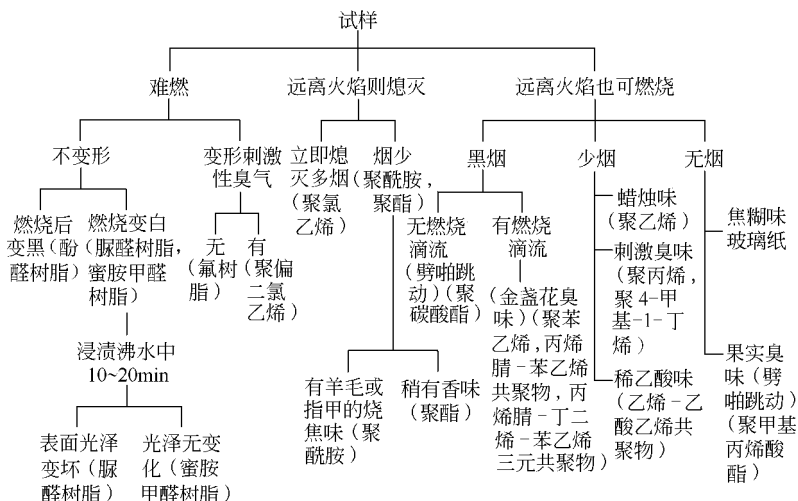


图 2-2 燃烧试验法

3. 塑料的显色反应鉴别

通过不同的指示剂可鉴别某些塑料,在 2mL 热乙酸酐中溶解或悬浮几毫克试样,冷却后加入 3 滴 50% 的硫酸(由等体积的水和浓硫酸制成),立即观察显色反应,在试样放置 10min 后再观察试样颜色,再在水浴中将试样加热至 100℃,观察试样颜色。用此法可鉴别回收的废旧塑料,很复杂,见表 2-14 几种塑料的显色反应。

含氯塑料有聚氯乙烯、氯化聚氯乙烯、聚氯丁二烯、聚偏二氯乙烯、聚氯乙烯混配料等,它们可通过吡啶显色反应来鉴别,见表 2-15。注意试验前,试料必须经乙醚萃取,以除去增塑剂。

试验方法是将经乙醚萃取过的试样溶于四氢呋喃，滤去不溶成分，加入甲醇使之沉淀，萃取后在 75℃ 以下干燥。将干燥过的少量试样用 1mL 吡啶与之反应，过几分钟后，加入 2 滴 5% 氢氧化钠的甲醇溶液（1g 氢氧化钠溶解于 20mL 甲醇中），立即观察一下颜色，5min 和 1h 后再分别观察一次。根据颜色即可鉴别不同的含氯塑料。

表 2-14 几种塑料的显色反应

材 料	立即显色	10min 后颜色	加热到 100℃ 后颜色
酚醛树脂	浅红紫-粉红色	棕色	棕-红色
聚乙烯醇	无色-淡黄色	无色-浅黄色	棕色-黑色
聚乙酸乙烯酯	无色-浅黄色	蓝灰色	棕色-黑色
氯化橡胶	黄棕色	黄棕色	浅红色-黄棕色
环氧树脂	无色到黄色	无色到黄色	无色-黄色
聚氨酯	柠檬黄	柠檬黄	棕色-绿荧光

表 2-15 吡啶用于含氯塑料的显色反应

材 料	与吡啶和试剂溶液一起煮沸		与吡啶煮沸，冷却后加入试剂溶液		在试样中加入试剂溶液和吡啶，不加热	
	即刻	5min 后	即刻	5min 后	即刻	5min 后
聚氯乙烯	红-棕	血红， 棕-红	血红， 棕-红	红-棕， 黑沉淀	红-棕	黑-棕
氯化聚氯乙烯	血红， 棕-红	棕-红	棕-红	红-棕， 黑沉淀	红-棕	红-棕
氯化橡胶	深红-棕	深红-棕	黑-棕	黑-棕沉淀	茶青-棕	茶青-棕
聚氯丁二烯	白色-浑浊	白色-浑浊	无色	无色	白色-浑浊	白色-浑浊
聚偏二氯乙烯	棕-黑	棕-黑沉淀	棕-黑沉淀	黑-棕沉淀	棕-黑	棕-黑
聚氯乙烯混合料	黄	棕-黑沉淀	白色-浑浊	白色沉淀	无色	无色

尼龙也可通过对二甲基氨基苯甲醛显色反应来鉴别。此鉴别方法如下：在试管中加热 0.1~0.2g 试样，将热分解物置于小棉花塞上，在棉花上滴上浓度为 14% 的对二甲基氨基苯的甲醇溶液，再滴一滴浓盐酸，如为尼龙则显示枣红色，当显示的颜色为深蓝色时，即可知材料为聚碳酸酯。

4. 通过裂解的产物判断塑料的品种

塑料在一定温度下，可以裂解成低分子物，经仪器判断低分子的产物，即可判定聚合物的品种，如聚苯乙烯裂解的产物是苯乙烯。

第四节 废旧塑料的分选

废旧塑料来源复杂，常混入有金属、橡胶、织物、泥砂及其他各种杂质，且不同品种的塑料往往混在一起，这不仅会对回收的废塑料进行加工造成困难和对生产的制品质量造成影响，而且混入的金属杂质还会损坏加工设备，因此，在用废旧塑料生产制品时，不仅要将在废旧塑料中的各类杂质清除掉，而且也要将不同品种的塑料分开，只有这样，才能制得优质再生制品。

废旧塑料无论是直接再生利用、化学改性，还是热解转化、燃烧取热都要求废旧塑料达到一定的纯度，回收塑料的纯度应达到99%以上，否则混杂塑料相容性差，软化点、熔点不同，无法进行加工。而较复杂、最困难分选的是家用废旧塑料制品，但是这些废旧塑料制品也大都是用几种通用塑料材料制成的，又给分选带来了许多方便。

一、手工分选法

手工分选是最简单、最经济、最方便的方法，但手工分选需要有一定的经验。

1. 手工分选法优点

- ① 可直接将非塑料制品挑选出来，如木制品、石块等。
- ② 将油污、变色、烧焦等不能再利用的制品挑选出来。
- ③ 很容易地将热塑性废旧塑料与热固性废旧塑料分开。
- ④ 可根据制品印上的材料标识及已知物品由什么材料制造的经验，按树脂品种归类。
- ⑤ 凭手感及外观经验识别 PE、PP、PVC、PS 及 PET 的软硬制品等。

2. 手工分选步骤如下

① 除去金属和非金属杂质及剔除严重质量下降的废旧塑料。

② 先按制品，如薄膜（农用薄膜、本色包装膜），瓶（矿泉水瓶、碳酸饮料瓶），杯和盒类，鞋底，凉鞋，泡沫塑料，边角料等进行分类，再根据上节鉴别法分类不同的塑料品种，如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯等。

③ 将经上述分类的废旧塑料制品再按颜色深浅和质量分选，颜色可分成如下几类：黑、红、棕、黄、蓝、绿和透明无色。

手工分类遇到较难分辨的制品，可再用其他方法区别分选。

二、风筛分选法

该分选方法依据的是塑料的相对密度不同，随风漂移的距离也不同。原理是：首先将废旧塑料制品破碎，然后将破碎的塑料送进分选装置的料斗中，开启风机，风向有横向或纵向，使塑料碎片利用相对密度差异及对空气阻力不同，喷散出去，落下的距离不同而自行分离。此法使用于密度相差较大的塑料，如金属与塑料、塑料与泡沫塑料，特别是能将碎石块、土沙块分离出去。不足点在于密度差小的不易分离，同种塑料由于制品规格不同，比如板材和管材的不同壁厚，造成粉碎后的碎块体积或粒度粗细不同，塑料制品中填料含量不同，引起碎块密度改变等因素，可产生较大的误差。

三、浮选分离法

塑料浮选主要针对密度相近、荷电性质相近的废旧塑料之间的分选，针对常见塑料 PE、PVC、PP、PS、PET、ABS、PMMA、PC、POM、PA 等的分选问题，塑料浮选通常指从废旧混合物中分离，如 PVC、PVC/PET、PVC/PC/POM 以及 ABS/PC/PS/PA 等。

浮选分离的原理是建立在待分离颗粒对气泡选择固着的基础上，在自然状态下，大多数塑料是疏水的，即可浮的，因此要实现塑料的浮选分离就必须使待分离各组分能选择性润湿。

塑料浮选方法大致可以分为三类： γ 浮选、物理调控浮选和化学调控浮选。以 γ 浮选为例进行说明。

不同塑料具有不同的润湿临界表面张力（或称表面自由能）

γ_C 。对塑料浮选而言， γ_C 的意义是：当某种液体的表面张力 $\gamma_L > \gamma_C$ 时，塑料不会被液体所润湿，保持疏水可浮性；当 $\gamma_L < \gamma_C$ 时，塑料被液体润湿而受抑制。当 γ_L 与两种塑料的润湿临界表面张力 γ_{C1} 、 γ_{C2} 之间满足 $\gamma_{C1} < \gamma_L < \gamma_{C2}$ 的关系时，塑料 2 将被液体润湿，而塑料 1 将上浮，从而实现塑料的 γ 浮选分离。部分塑料的 γ_C 值列于表 2-16 中，图 2-3 为浮选工艺流程图。

表 2-16 部分塑料的 γ_C 值（20℃）

塑料	PVC	PET	PP	PE	PS	PC	POM	PMMA	PA ₆₆
γ_C	39	46	29	31	33	39	26	39	46

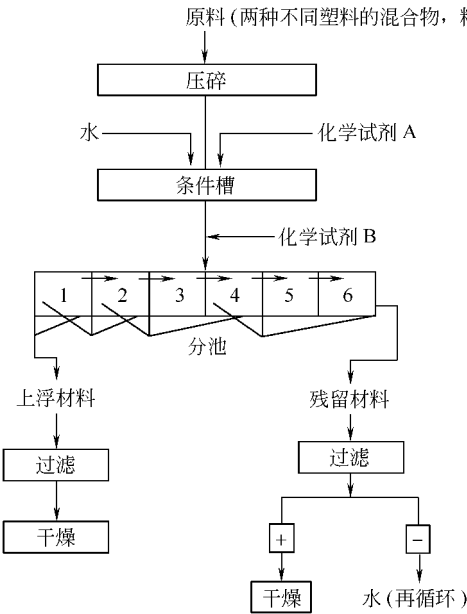


图 2-3 浮选工艺流程图

四、密度分选法

密度分选是利用不同塑料具有不同密度这一性质进行分选的方法，通常有溶液分选、水力分选和离心密度分选法等。

1. 溶液分选法

是将混杂的废旧塑料放进某种具有一定密度的溶液中，然后根据废旧塑料在该溶液中的沉浮状态来进行分选。

溶液分选方法的优点是简易可行，只要选择配制一种或几种溶液就可以进行大批量分选，而避免烦琐的人工分选，其缺点是有些种类的塑料的密度非常接近，因此，要获得高纯度的分离物比较困难，此法受物料形状、大小、填充料的含量影响。见表 2-17 塑料在不同密度溶液中的沉浮现象。

表 2-17 塑料在不同密度溶液中的沉浮现象

溶液种类	密度 /(g/cm ³)	配制方法	应用举例	
			浮于溶液的塑料	沉入溶液的塑料
水	1	—	聚乙烯,聚丙烯	聚氯乙烯,聚苯乙烯
食盐水溶液 (饱和)	1.19 (25℃)	水 74mL,食盐 26g	聚苯乙烯,ABS	聚氯乙烯,有机玻璃
酒精溶液(58.4%)	0.91 (25℃)	水 100mL,95%酒精 160mL	聚丙烯	聚乙烯
酒精溶液(55.4%)	0.925 (25℃)	水 100mL,95%酒精 140mL	低密度聚乙烯	高密度聚乙烯
氯化钙水溶液	1.27	水 150mL,氯化钙 100g(工业用)	聚苯乙烯,有机玻璃,聚乙烯	聚氯乙烯

2. 水力分选法

水力分选常用水力分选器，为提高分选效率，常需先对废旧塑料进行清洗，后溶液分选，图 2-4 为用水作分选介质的一种分选器。而离心密度分离采用离心密度分离机进行分选。

五、其他分选法

对于混杂的塑料材料，也可采用温差分选法、静电分选法和磁选法等。

温差分选也称为低温分选，它是利用各种塑料具有不同的脆化温度来进行分选的方法。具体方法如下：将混杂的废旧塑料经一次

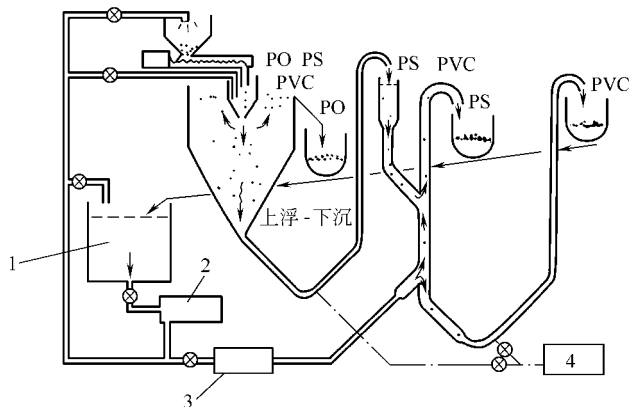


图 2-4 水力分选器

1—蓄水池；2—水泵；3—流量计；4—空气源

粉碎后置于温度为 -50°C 的冷却器中冷却并粉碎，脆化温度在 -50°C 以上的塑料即被粉碎，经筛分后分出。尚未粉碎的塑料再置于温度为 -100°C 的冷却器中冷却粉碎，然后筛分出脆化的塑料。冷却剂采用液氮，可冷却至 -140°C 。如 PVC 与 PE，前者的玻璃化温度为 -40°C 左右，后者玻璃化温度为 -100°C 以下，利用液化氮吸热冷却物料到 -50°C 左右，将混合物料送入粉碎机，PVC 脆化变成细块而 PE 却未被破碎，然后进行分离，只是此法成本太高，见图 2-5 低温粉碎装置示意。

还可以利用废旧塑料对温度敏感程度（如热收缩温度、软化和熔化温度）之差来分选，先收缩的被分离出来，先软化的树脂通过过滤网可从聚合物中分离出来，但热固性塑料不适用此法，软化点、熔点相近的聚合物用此法困难。

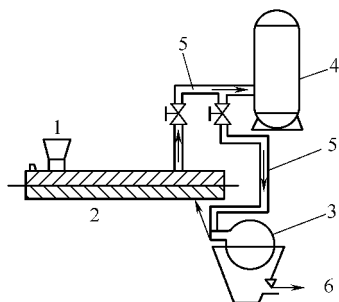


图 2-5 低温粉碎装置示意

1—塑料投料口；2—螺杆预冷器；
3—粉碎机；4—液氮贮罐；
5—液氮；6—氮气放出口

静电分选是利用各种塑料不同的静电吸力来进行分选的方法。步骤是先将塑料粉碎成面积约为 10mm^2 的小块，经干燥后，利用高压电极进行分选，对于多种混杂在一起的废旧塑料需通过多次分选，这是因为每通过一次预选设定电压的高压电极只能分选出一种塑料。静电分选法特别适用于带极性的聚氯乙烯，分离纯度可达 100%。

磁选法是使用磁铁清除金属碎屑的有效方法，废旧塑料中混杂的金属碎屑在破碎前、后都需要磁铁吸磁，以确保清除塑料中金属杂物的彻底性。

六、塑料废弃物与其他物质的分离方法

1. 塑料和纸的分离

从城市固体废弃物中会遇到将塑料与纸分离的问题，困难在于塑料薄膜和纸具有许多相似性，以下 3 种方法可以较好地解决这个问题。

(1) 加热法 利用加热方法减少塑料薄膜的表面积，然后利用空气分离器将纸和热塑性塑料分离。加热法分离原理见图 2-6。

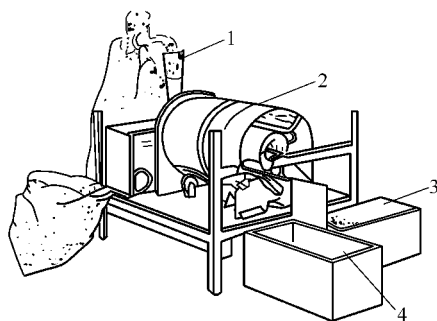


图 2-6 加热法分离原理

1—料斗；2—加热分离器；3,4—离物贮存箱

分离设备主要由可进行电加热的镀铬料筒组成。料筒内装有 1 个带叶片的空心圆筒，料筒和圆筒的转动方向相反。混合物加入料筒熔融后出料，输送到分离机中，分离机中的空气流将纸带走，热

塑性塑料留在分离机底部。

(2) 湿浆法 主要用于分离与塑料混合的纸。由运输机将各种废料送入干燥式撕碎机中，撕碎后进入空气分选机，将轻质部分（约含 60% 的纸，20% 的塑料）送入搅碎机中加入适量的水进行搅碎，搅碎过程中产生的纸浆通过泄放口排出，剩下的塑料混合物通过分离出口输送到脱水分选装置，最后进入空气分选机对各种塑料进行分选。工艺流程见图 2-7。

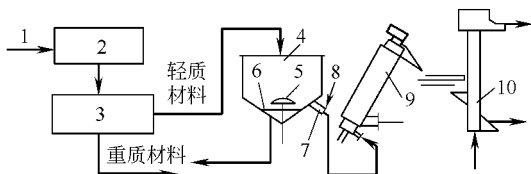


图 2-7 湿浆法工艺流程

1—输送机；2—干燥式撕碎机；3—空气分选机；4—搅碎机；5—旋转体；
6—挡板；7—分离出口；8—阀门；9—脱水器；10—空气分离器

(3) 电动分离法 纸和塑料的混合物经振动喂料器进入分离机，然后落入可转动的圆筒中，并被送入电极之间的电场中，纸被吸向电极，而塑料黏附到圆筒上。圆筒的转动，使塑料落在圆筒底部，达到分离目的。电动分离器的原理见图 2-8。

2. 从涂布塑料的织物上分离塑料

大量涂布树脂的织物上的废料是可以回收的。以聚氯乙烯人造革为例，回收聚氯乙烯树脂的工艺流程如图 2-9 所示。收集到废料后，将其切割成合适的尺寸，按颜色分类，干燥，并装入带夹套的反应釜中；将其封闭，通入惰性气体，釜中灌入溶剂如四氢呋喃，搅拌并加热混合物

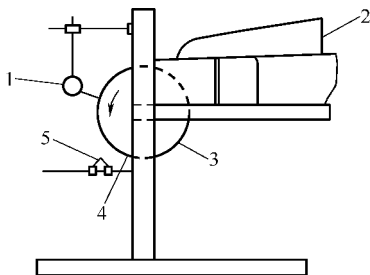


图 2-8 电动分离器原理

1—电极；2—振动料器；3—转动筒；
4—刷子；5—可调整出料量的分离机

[illegible]

1—聚氯乙烯边角料；2—分拣台；3—反应釜；4—聚合物贮罐；5—过滤器；
6—主蒸发器；7—缓冲罐；8—树脂干燥器；9—冷凝器；10—溶剂贮罐；
11—氮气贮罐；12—干燥器；13—打包机；14—洗涤槽和旋转槽

思考题

1. 我国废旧塑料的来源渠道？
2. 常用塑料材料名称及符号？

3. 常用塑料的外观特性及加工方法？
4. 何为共混、共聚？
5. 聚乙烯按照密度可分为哪几种？性能有何不同？
6. 何为热塑性塑料及热固性塑料？
7. 你能说出十种常用塑料的主要制品吗？
8. 风筛分选、密度鉴别法、加热分析法是怎么回事？
9. 塑料与纸如何分选？
10. 我国塑料生产发展趋势？

第三章 废旧塑料的再生利用

废旧塑料的再生利用是开发再生资源的基本目标，废旧塑料再生利用的投资和成本相对较低，目前直接再生利用较为普遍。

第一节 废旧塑料的直接再生利用类别

直接再生利用是相对于改性再生利用而言，直接再生利用是指废旧塑料直接塑化、破碎后塑化或经过相应前处理破碎塑化后，再进行成型加工制得再生塑料制品的方法。直接再生利用可根据废旧塑料的不同来源，采用不同的工艺方法。

一、根据不同的废旧塑料来源采用的工艺方法

1. 直接破碎后造粒或塑化成型

这类废旧塑料制品大都是塑料厂生产过程中产生的边角余料或不合格品，以及直接从商业部门回收的无污染、无混杂的包装材料，将它们破碎后直接造粒或按一定比例掺入新料中使用，如将破碎的 PVC 硬质碎料经挤出机直接生产再生 PVC 管材，直接成型省去了造粒工序，降低了成本。但对于力学性能要求苛刻的制品要慎重使用。

2. 必须经过鉴别、分选、清洗、干燥、破碎后造粒或直接塑化成型

这类废旧塑料是经过多渠道收集的有污染的废旧塑料，如农膜、洗衣机外壳、塑料瓶等日用品。

3. 特别预处理后再直接利用

例如，回收泡沫塑料制品需脱泡后再利用，目前主要的发泡塑料有 PE、PU、PS、PVC 等泡沫塑料；对于电缆包覆和护套类废

旧塑料需特殊处理方法剥离后再利用；我国是农业大国，使用农膜、棚膜数量与日俱增，除了通用膜外，还有专用性的农膜，采用的树脂有 PVC、PE，一般是 LDPE/HDPE 并用、LDPE/LLDPE 并用或单一的 LLDPE 或 HDPE，估算 PE 系列的农膜约占农膜总量的 85% 左右，其次是 PVC，回收的废旧农膜必须经过分选、清洗、干燥后再利用。

【例 1】开塑炼化与模压成型法

1. 工艺流程

洗废旧农膜并干燥→计量→开塑炼化→热熔坯→模具中压制成型→整理成制品

2. 主要设备

清洗机、干燥装置、双辊塑炼机、平板液压机、模具。

3. 工艺特点

农膜不用破碎，设备简单投资少、见效快、适应多种产品的生产，但劳动强度大。

操作时应注意：①双辊温度的控制一般在 $135 \sim 145^{\circ}\text{C}$ 之间；②投放料量与开炼机的允许加工的量相匹配；③如果生产较大的制品，开炼机生产量不能提供足够的熔体来充满模具时，可同时使用两台或三台双辊开炼机，也可在废旧的农膜中加入适量的无机填料及颜料生产各种盆、盘、桶等。

【例 2】挤出塑化与模压成型法

1. 工艺流程

破碎料或再生料→挤出塑化→计量→热熔坯→模具中压制成型→整理成制品

2. 主要设备

单螺杆挤出机、平板液压机、模具。

操作时应注意：①该工艺流程使用的塑化设备是单螺杆挤出机制备热熔料坯，趁热立即将料坯放入液压机上的模具内进行冷却定型；②挤出机螺杆转速控制在 $20 \sim 30\text{r/min}$ ，各段温度控制参考表 3-1 废农膜挤出模压成型挤塑机各段温度控制参数，由于废料的种

类不同，添加的填充料不同，温度控制不同；③熔融料坯的计量方法是挤出机螺杆转速及各段温度一定时，挤出量可按挤塑时间计算熔体流出量，料坯的量应多于制件的质量；④液压机的压力应控制在 10~15MPa。

表 3-1 废农膜挤出模压成型挤塑机各段温度控制参数

各段名称	加料段	塑化段	均化段	机头
各段温度/℃	130~140	150~160	160~170	150~155

【例 3】 吹塑中空成型法

1. 工艺流程

挤出塑化→熔体型坯→放入模具→闭幕→通压缩空气→吹胀→定型→启模→整理成制品

2. 主要设备

单螺杆挤出机、中空成型机、机头、模具、空气压缩机。

加工时应注意：①熔融的物料坯放入中空成型机中的模具内，然后通压缩空气吹胀定型；②挤出机的螺杆转速不宜太低，以防止熔融料坯折断；③螺杆各段温度应适当高于模压成型工艺中的各段温度，得到一定黏度熔融体；④通入的压缩空气的充气压力控制在 0.3~0.8MPa。

【例 4】 PVC 回收料制再生电线穿管

热塑性塑料中，PVC 是工业化最早的品种之一，广泛应用于膜制品，压延革，软、硬管材，异型材，鞋底，电缆护套，地板材料，中空制品等，废弃料很多，用回收的料生产再生电线穿管的方法如下。

1. 参考配方

PVC 回收料制再生电线穿管参考配方见表 3-2。

表 3-2 PVC 回收料制再生电线穿管参考配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收料	100	三碱式硫酸铅	2.4
PVC 新树脂	18	二碱式亚硫酸铅	1.2
硬脂酸钡	0.6	颜料	适量

2. 工艺流程

回收 PVC → 破碎 → 捏合 → 冷却 → 挤出 → 管型机头 → 水中冷却 → 牵引 → 切割

3. 主要设备

破碎机、捏合机、单螺杆挤出机、管型机头、冷却水槽、冲击刀具、空气压缩机。

加 2 时应注意：①回收的 PVC 制品的类别，如含有大量填料的再生料的熔体流动性差，性能较低，再生制品时应加入适量的新料，或选用含充填料少的废旧料搭配使用；②加工过程中需加入适量的稳定剂，保证加工顺利及耐用性；③挤出机螺杆转速为 16～26r/min，挤出机机身温度控制见表 3-3。

表 3-3 挤出机机身温度控制参数

各段名称	加料段	塑化、均化段	机头	分流器支架温度	口模温度
各段温度/℃	150～160	180～190	180～190	165	185～190

二、废旧塑料的再生利用成型生产工艺

热塑性塑料再生制品一般生产过程为：

预处理 → 造粒 → 成型 → 后加工 → 装配

(1) 预处理 对废旧塑料进行洗涤、脱泡、干燥、配料、捏合等。

(2) 造粒 通过挤出机造粒供后工序使用，但有些工序可不用造粒直接成型。

(3) 成型方法 挤塑、共挤塑，吹塑与中空成型，注塑、压延、热成型等。

(4) 后加工 修边、制孔、冲孔、锯切等。

(5) 装配 黏合、焊接等。

在这个生产过程中，成型是关键工序，成型方法很多，它是将再生料制成所需制品坯件的过程。预处理、造粒及各种成型方法在以下几节分别论述。

第二节 废旧塑料再生料的制备

废旧塑料被制成再生料有以下两种途径。

① 简单再生：树脂生产厂及制品加工厂的边角余料、废品直接熔融造粒。

② 处理再生：废旧塑料→破碎→清洗→干燥后作为直接再生制品用料、直接造粒生产再生粒料、经过配合混合后造粒。下面分别论述破碎、清洗、干燥、混合、捏合、塑炼、造粒工艺及其设备。

一、破碎及其设备

通过相对运动对物体进行剪切、冲击、压缩、撕裂、摩擦而达到使物体碎裂的目的，这是破碎设备的原理。破碎分粗破碎（将物料破碎到 10mm 以上）、中破碎（破碎至 10~50mm）及细破碎（即研磨至细度 $50\mu\text{m}$ 以下）。粗破碎也就是对大型废旧塑料制品（如汽车保险杠、板材、周转箱、船只等）利用切割机切割成可以放入破碎机进料口的过程。细破碎还可以进一步划分为微破碎、超微破碎、特超微破碎。

废旧塑料的破碎按功能大致可分为剪切破碎和冲击破碎。当物块太大时，不能直接使用破碎机，需先利用切割机把物料切割成可以装入破碎机进料口的程度。切割有射流切割法、气割法、等离子切割法、激光束切割法等。新型破碎机往往兼有剪切和冲击破碎的功能，可将主要功能为剪切作用的称作剪切破碎机，而将主要功能为冲击作用的称为冲击破碎机。相比之下，剪切破碎处理速度慢，容易受到混入的杂质的影响，但它具有破碎后物料粒度均匀的优点。常见破碎机的类型及使用特性如表 3-4 所示，除了表中所列的破碎机外还有各种改进型。破碎机的大小、破碎条件不同会产生粒度不同的破碎品。

1. 压缩式破碎机

(1) 颞式压碎机 颞式压碎机是在按某种角度闭合的一对齿板

间，将被粉碎物压缩粉碎的一种设备，被粉碎物越向下移动就越细，最后从齿板的下端卸出。见图 3-1。

表 3-4 常见破碎机的类型及使用特性

类 型	破 碎 机 械	干 式 破 碎	湿 式 破 碎	施 力 方 式	被粉碎物特性						破 碎 品 粒 度/mm	粒度分布			磨损程度		
					脆	韧	橡 胶 弹 性 体	纤 维 状	柔 软	非 均 质	复 合 体	宽	中	小	大	中	小
粗 碎	颚式压碎机	o		a	o							500~15		o			o
	环动压碎机	o		a	o							200~50		o			o
	圆锥破碎机	o		a	o							100~10		o			o
	滚筒破碎机	o															
	平滑滚筒	o		a	o	o						10~1			o		o
	带齿滚筒	o	o	a	o	o		o	o	o	o				o		o
碎	冲击破碎机	o			o	o		o		o	o	>30		o			o
	锤式破碎机	o		e		o						>20		o			o
	切割式碾磨	o		e		o	o	o			o	10~1			o	o	
微 破 碎	棒磨机	o	o	b	o						o	>1			o		o
	球磨机	o	o	b	o							>1		o			o
	振动棒磨机	o	o	b	o							>1		o	o		o
	振动球磨机	o	o	b	o							>1				o	o
	盘磨机	o	o	d	o							>10	o				o
	辊磨机	o		d	o						o	>1		o			
	冲击磨	o		e	o	o					o	1~0.005		o		o	
	圆盘形磨	o		c				o		o	o	>0.01			o	o	
	搅拌式磨碎机	o	o	d	o	o		o				>0.1	o	o		o	
	气能磨	o		e	o	o						>0.1					o

注：a~e 表示不同的施力方式。a—压缩（0~0.4m/s）；b—打击（0.7~8m/s）；c—切割、剪断；d—摩擦（8~20m/s）；e—冲击（10~200m/s）。字符 o 表示此项可适用。

图 3-1(a) 可以将大小不一的原料，破碎成颗粒均匀的小块。图 3-1(b) 的设计原理类似动物的上下颚破碎食物，所不同的是破



图 3-1 两种鄂式压碎机

碎机的两块颚板，有一个是连接传动装置可做周期性的往复运动，当两颚板间距离缩小时，料块受挤压力的作用而被碎裂，被粉碎物越向下就越细。其优点是料块体积较大时不需粗破碎而可直接进行破碎。但碎块不均一，且进行细粉碎较困难，不适于韧性塑料制品。规格见表 3-5。

表 3-5 颚式压碎机型号及性能

型 号	规 格	进料尺寸/mm	产量/(t/h)	主轴转速/(r/min)
PE-150	250×150	125	1-4	285
PE-200	300×200	160	3-10	290
PE-250	400×250	210	5-20	300
PE-400	600×400	350	25-60	250

(2) 双辊式破碎机 见图 3-2，型号及性能参数见表 3-6。

2. 冲击式破碎机

冲击式粉碎机是将材料在高速旋转刀或锤的打击下和固定刀、机内壁进行冲撞，使材料被粉碎。这种设备粉碎能力大，尤其是锤式破碎机，设备下配有格栅，可使粉碎品的粒度较为均匀，一般用



图 3-2 两种双辊破碎机

于脆性物料粗碎，打碎后的物料可通过直径 1~7mm 的筛网，若用 800~2800r/min 高转速可粉碎至几毫米到几微米。

表 3-6 双辊式破碎机型号及性能参数

型 号		φ2PG 200×75	φ2PG 400×250		φPG 610×400	
电子直径/mm		200	400		610	
辊子长度/mm		75	250		400	
最大进料/mm		10	32	20	85	30
出料粒度/mm		0~4	2~8	0.5~5	10~30	1~10
辊子转速/(r/min)		400	200		75	
产量/(t/h)		0.86	5~10			
电动机	功率/kW	15	11		12~40	
	转速/(r/min)	950	970		1000	
外形尺寸(长×宽×高)/mm		525×388×330	1430×1481×816		2235×1722×810	
质量/kg		110	1300		3500	

(1) 锤式破碎机 型号及性能参数见表 3-7，图 3-3。

锤式破碎机的重锤安装在旋转轴的圆盘上，锤随着轴转动，物料在锤的打击下在机内壁进行冲撞，加以粉碎，碎料经格栅漏出，因此可通过调节格栅间隙来控制破碎的程度，该机适用于硬、软塑料制品，碎块均匀、粒度较小。

表 3-7 锤式破碎机型号及性能参数

型 号	给料粒度/mm	出料粒度/目	产量/(t/8h)	电机功率/kW	机器质量/kg
PC 400×300	≤100	≤10	5~10	11	800
PC 600×400	≤120	≤15	10~25	18.5	1500
PC 800×600	≤120	≤15	20~35	55	3100
PC 1000×800	≤200	≤15	20~40	115	7900



图 3-3 两种锤式破碎机

(2) 叶轮式破碎机 它与锤式粉碎机的主要差别在于“击锤”换成“击刀”或“击轮”。特制钢结构机体，强度特佳，噪声极低，特殊刀轴设计，破碎力特强，电机负载极轻，筛网拆卸便利，易清料，并附有安全装置，主轴系统精心平衡处理，运转平衡无震动，多种合金钢制刀片，可依破碎物而选用，机型齐全。见表 3-8 叶轮式破碎机主要机型及参数。

3. 棒磨机 and 球磨机

棒磨机 and 球磨机是在圆筒形的粉碎室中放入直径为 50~100mm 的棒或球作为粉碎媒体，粉碎室旋转，被粉碎物被敲击而粉碎，最后形成均匀的粉末。球磨的旋转速度决定了球在筒体中的情况，影响研磨效率。球的大小、质量和数量对研磨质量也有影

响。一般球体容积占转筒容积的 30%~35%，若以振动的方式代替旋转，单位空间的处理能力可以提高 14 倍以上。

表 3-8 叶轮式破碎机主要机型及参数

机 型	电机/kW	入料口/mm
PS 230J	0.75	300×260
PS 102	1.5	160×160
PS 103	2.2	220×180
PS 105	4.0	260×225
PS 107	5.5	300×265
PS 110	7.5	360×265
PS 115	11	420×265
PS 120	15	480×330
PS 130	22	660×450
PS 280A	37	800×600
PS 280	55	

具体到球磨机是一个钢制或瓷制圆筒体，圆筒体的口稍小，有盖与筒体紧配，或用螺栓拧紧，圆筒体内有钢球或瓷球。将要粉碎物料置于圆筒体内，加料量为筒内容积的 2/3 左右。研磨作用是在圆筒体旋转的过程，靠着球与球、球与筒壁的撞击、碾磨使物料研磨粉碎。球磨机型号及性能参数见表 3-9，球磨机外观见图 3-4。

表 3-9 球磨机型号及性能参数

型号/mm	筒体转速 /(r/min)	电机功 率/kW	装球量 /g	进料粒度 /mm	排矿粒度对应产量(粒径)		
					0.3mm	0.15mm	0.075mm
φ750×1060	49.6	4	600	0~12	0.34	0.21	0.14
φ750×1540	49.6	7.5	800	0~12	0.72	0.42	0.18
φ750×1800	49.6	7.5	1000	0~12	1.11	0.80	0.55
φ900×1200	41	11	1000	0~15	0.72	0.36	0.29
φ900×1800	41	13	1500	0~15	1.26	0.83	0.66

型号/mm	筒体转速 /(r/min)	电机功 率/kW	装球量 /g	进料粒度 /mm	排矿粒度对应产量(粒径)		
					0.3mm	0.15mm	0.075mm
$\phi 900 \times 2100$	41	15	1700	0~15	1.30	1.11	0.69
$\phi 1200 \times 1600$	35	18.5	2500	0~20	2.0	1.0	0.80
$\phi 1200 \times 2000$	35	22	3000	0~20	2.6	1.3	1.1
$\phi 1200 \times 2400$	35	30	3500	0~20	3.2	1.6	1.3
$\phi 1200 \times 2800$	35	30	4000	0~20	3.8	1.72	1.42
$\phi 1500 \times 2000$	31	37	4400	0~25	4.5	2.3	1.8
$\phi 1500 \times 3500$	31	75	8200	0~25	8.2	4.2	3.3



图 3-4 圆锥球磨机

在实际工作中,选择破碎机,除要考虑被碎物的特性外,还要考虑动力消耗大小、处理能力大小、粉碎品粒型、粒型整齐度、粒度分布、噪声控制、粉尘多少、粉碎过程中是否发生熔融和物料变质、安全性、耐用性等。

二、预洗

也称粗洗,目的是除去砂土、石块和金属等异物,以防止其损坏破碎机。废旧塑料制品预洗后要离心脱水。

三、精洗

废旧塑料通常在不同程度上沾染有油污、垃圾、泥砂等,这些杂质会严重影响再生塑料制品的质量,因此,必须对废旧塑料进行精洗,精洗的原理是将被清洗的废旧塑料制品放入加入洗涤剂的热

水先浸泡数小时，再用机械搅拌，通过彼此摩擦和撞击，一边粉碎一边洗涤，除去杂质和污物，洗涤剂的加入量、水温、洗涤时间等试洗涤效果而定。精洗的方法有手工清洗和机械清洗。

1. 手工清洗及干燥

手工清洗要根据制品品种和污染程度决定具体清洗方法。一般农用薄膜及包装薄膜清洗过程如下：温碱水清洗（去油污）→刷洗→冷清水漂洗→晒干。包装有毒药品的薄膜和容器的清洗过程如下：石灰水清洗（中和去毒）→刷洗→冷清水漂洗→晒干。

2. 机械清洗和干燥

机械清洗有间歇式和连续式两种，间歇式是先将废旧塑料放在装有热的碱水溶液的容器中浸泡一定时间，然后通过机械搅拌使薄膜彼此摩擦和撞击，以达到除去沾染的污物的目的，再取出清洗后的薄膜的方法。连续式是间歇式的改进方法，切碎的废旧塑料连续喂入，清洗后的薄膜连续排出，见图 3-5 废膜清洗流水线。特点是整条清洗流水线设计简洁而有效，从开始作业到成品，可非常容易地清洗废塑料制品。废脏农用薄膜、废包装材料或硬塑料在这里一步步得到处理。

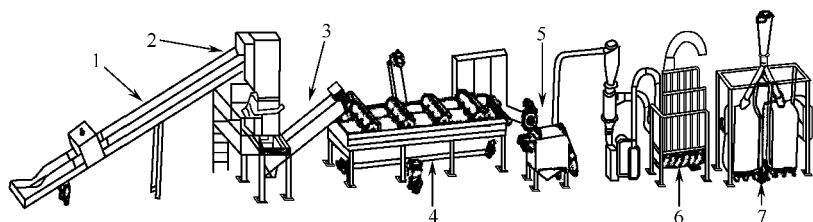


图 3-5 废膜清洗流水线

1—配有金属探测器的传送带；2—湿碎机；3—摩擦清洗机；4—沉淀箱；

5—机械干燥机；6—电热烘干机；7—大双料袋配接装置

四、干燥

干燥是将材料中的所含水分、溶剂等可挥发成分气化除去的操作，它在塑料加工过程中是很重要的环节，很多树脂在常温下易吸

收水分，使其含水率较高，如 ABS 树脂、PA 树脂，在成型加工前必须干燥，否则成型的制品会产生气泡、材料强度下降等质量问题，成为不合格品。干燥类型很多，可根据材料的特性、形态、干燥过程中材料变化、干燥机理等情况选择合适的干燥装置和干燥条件。

干燥设备一般采用热风、红外线、氮气等惰性气体为干燥介质，而常采用电加热空气法，下面介绍几种干燥设备。

干燥设备一般采用热风、红外线、氮气等惰性气体为干燥介质，而常采用电加热空气法，下面介绍几种干燥设备。

1. 热风干燥机

热风干燥机技术参数见表 3-10，图 3-6 为热风干燥机的一种——料斗式热风塑料干燥机。

料斗式塑料干燥机的工作方式是：当开动风机后，风机把经过电阻加热的空气由料斗下部送入干燥室，热风由下往上吹，热风在原料中通过时，把原料中的水分加热蒸发并带走，潮湿的热气流由干燥室顶部排出。这种热风连续进出，把原料中的水分一点点蒸发带走，达到干燥原料的目的。

不同原料的干燥处理温度见表 3-11。

表 3-10 热风干燥机技术参数

型号	容量 /L	装料量 /kg	电热 /kW	风机 /W	桶径 /mm	高度 /mm	质量 /kg	底座尺寸 /mm	电源(50Hz)
GZ 102	20	12	1.8	60	260	700	20	110×110	220 V
GZ 104	40	25	2.7	100	345	960	40	160×160	220 V
GZ 108	80	50	3.9	130	420	1160	50	160×160	220 V

续表

型号	容量 /L	装料量 /kg	电热 /kW	风机 /W	桶径 /mm	高度 /mm	质量 /kg	底座尺寸 /mm	电源(50Hz)
GZ 112	120	75	5.0	180	490	1240	60	180×180	380 V(三相)
GZ 116	160	100	6.0	180	550	1320	72	180×180	380 V(三相)
GZ 132	320	200	9.0	370	685	1660	112	230×230	380 V(三相)
GZ 164	640	400	18.0	550	890	1940	180	280×280	380 V(三相)
GZ 196	960	600	24.0	750	950	2260	250	280×280	380 V(三相)
GZ 1128	1280	800	30.0	1100	1000	2900	300	280×280	380 V(三相)

表 3-11 不同塑料干燥处理温度

原料名称	聚乙烯、聚丙烯	聚苯乙烯	丙烯酸树脂、ABS、AS
干燥温度/℃	65~80	70~80	70~90
原料名称	纤维素塑料	聚碳酸酯	尼龙
干燥温度/℃	65~75	100~120	70~75

2. 圆桶形、方形真空干燥器

见图 3-7 真空干燥器。

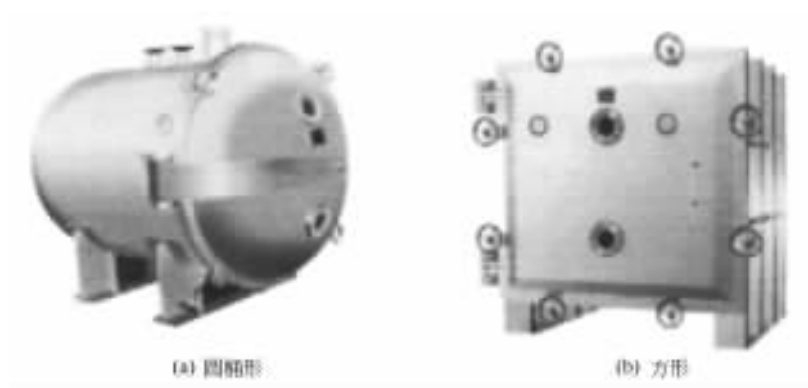


图 3-7 真空干燥器

五、塑料泡沫材料的预处理

作为防震包装材料的泡沫塑料，使用量也较大，在废弃物中占的体积大，但质量比例小，收集和运输过程中如果不进行处理就像运输空气一样效果极差，一般把废弃的泡沫塑料进行脱泡处理，压缩体积，常使用旋转式脱泡机进行脱泡。

该机的两个轧辊平行排列，轧辊内用丙烷气加热至表面温度约为 220°C ，两辊表面温差约 30°C ，将泡沫 PS 放入两辊之间加热并挤压，不断地将黏附辊上的 PS 用刮取机刮出，由于温差使附于两辊上的 PS 熔体向高温一辊集中，从而易于刮取，机器处理能力 $80\sim 100\text{kg/h}$ ，也可将泡沫塑料进行粉碎成粒子直径为 $1\sim 2\text{cm}$ ，在 $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ 条件下，烘 30min ，粒子直径缩小到 $2\sim 5\text{mm}$ ，体积可缩小 50% 以上。

六、塑炼、均化与造粒

废旧塑料经过分选、破碎、清洗、干燥等一系列预处理之后，有的可直接塑化成型，有的就需进行塑化、造粒，有的要经过均化工艺。

（一）塑化

将固态的粉料或颗粒转变为具有一定流动性的均匀连续熔体的过程。

（二）均化

将废旧塑料及其助剂或改性剂实施混炼使其均匀混合的一种塑化过程。它分为两种方式，一种是混炼与塑化一步完成，即将破碎的废旧塑料与各类助剂（稳定剂、润滑剂、增塑剂、改性剂等）经捏合、均化后直接成型加工成制品；另一种为均化后造粒制成半成品再生粒料。

（三）回收废旧塑料的塑化与熔混设备

塑炼、塑化是指热塑性塑料与各种助剂在高于热塑性塑料流动温度下的混合与均化，也是指热塑性塑料自身再塑化的过程；而熔混则仅指热塑性塑料及各类助剂在热塑性塑料的熔融温度下混合和

均化的过程。当然，在热塑性塑料流动温度下的混炼也包括不同高聚物之间的共混性均化。总之，塑化混合都是通过加热和剪切力的作用，使热塑性塑料熔化、剪切、混合（有时也逸出物料中的挥发分），最后使物料各组分充分均化。

混合设备根据其操作方式，一般可分为间歇式和连续式两大类；根据混合过程特征，可分为分布式和分散式两类；根据混合物强度大小，又可分为高强度、中强度和低强度混合设备。

1. 间歇式和连续式混合设备

（1）间歇式混合设备 间歇式混合设备的混合过程是不连续的。混合过程主要有三个步骤：投料、混炼、卸料。此过程结束后，再重新投料、混炼、卸料，周而复始。间歇式混合设备的种类很多，就其基本结构和运转特点可分为静态混合设备、滚筒类混合设备和转子类混合设备。而这些间歇式混合设备是高分子材料的初混设备，是物料在非熔融状态下进行混合所使用的设备。此外还有用于溶液或乳液混合的各类桨叶搅拌器，其结构与一般化工混合中的搅拌器相似。

间歇式混合设备中的两种最主要的设备是开炼机与密炼机，从结构角度来看，应属于转子类混合器，其用途广泛，混合强度很高。间歇混合设备还有 Z 形捏合机、高速混合机。

（2）连续式混合设备 连续式混合设备的混合过程是连续的，主要设备有单螺杆挤出机、双螺杆挤出机、行星螺杆挤出机以及由密炼机发展而成的各种连续混炼机，如 FCM 混炼机等。而单螺杆挤出机是聚合物加工中应用最广泛的设备之一，主要用来挤出造粒，成型板、管、丝、膜、中空制品、异型材等，也用来完成某些混合任务。由于是连续操作，可提高生产能力，易实现自动控制，减少能量消耗，混合质量稳定，降低操作人员的劳动强度，尤其是配备相应装置后，可连续混合-成型，减少了生产工序，又可避免聚合物性能的降低，所以连续式混合设备是目前的发展趋势。尽管连续式混合设备较间歇式混合设备有许多优点，但是，目前聚合物加工过程中的许多工序仍是间歇式的，加之间歇式混合设备发展历

史较早，在操作中可随时调整混合工艺，特别是某些间歇式混合设备具有很高的混合强度，因而间歇式混合设备的使用仍很广泛。

2. 分布式和分散式

分布式混合设备主要具有使混合物中组分扩散、位置更换、形成各组分在混合物中浓度趋于均匀的能力，即具有分布式混合的能力。代表性设备有重力混合器、气动混合器及一般用于干混合的中、低强度混合器等。分布式混合设备主要是通过对物料的搅动、翻转、推拉作用使物料中各组分发生位置更换，对于熔体则可使其产生大的剪切应变和拉伸应变，增大组分的界面面积以及配位作用等，从而达到分布混合目的。

分散式混合设备主要是使混合物中组分粒度减小，即具有分散混合的能力。分散式混合设备主要通过向物料施加剪切力、挤压力而达到分散目的，如开炼机、密炼机等。

分散混合能力与分布混合能力往往是混合设备同时具有的，因为任一混合过程总是同时有分散与分布的要求，只是要求的侧重点不同而已。

3. 高强度、中强度和低强度混合设备

根据混合设备在混合过程中向混合物施加的速度、压力、剪切力及能量损耗的大小，又可分为高强度、中强度和低强度混合设备。强度大小的区分并无严格的数量指标，有些资料建议以混合单位质量物料所耗功率来标定混合强度，如对间歇式混合设备，所耗功率相同，能混动物料的批量多的混合设备定为低强度混合设备；反之，能混动物料的批量少的混合设备则定为高强度混合设备。习惯上，又常以物料所受的剪切力大小或剪切变形程度来区分混合强度的高低。

使用各种混炼设备，应掌握好剪切力、熔化温度和混炼时间。在确定混炼设备时，应知道开炼机的剪切力取决于辊距，密炼机取决于上顶栓的压力和转子转速，挤出机则取决于螺杆的转速。另外，还应注意温度、时间的等效性原则，即混炼效果在某种条件下的等效作用。例如，较低温度下较长时间的混炼与较高温度下较短

时间的塑化效果是等效的，当然，也存在着相对应的匹配值。混炼中应防止时间过长、温度过高、剪切力过大，否则，会使高聚物发生相应的热降解、化学降解和氧化降解。

4. 各种混熔设备

(1) 转鼓式混合机 这类混合机的形式很多，其结构形式见图 3-8。该类混合机的共同特点是，混合作用靠盛载混合物料的混合室的转动来完成。该类混合机只适用于非润性物料的混合。

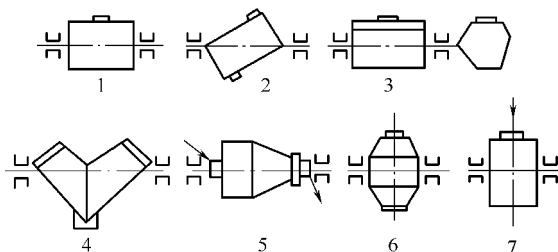


图 3-8 转鼓式混合机结构

1—筒式；2—斜形筒式；3—六角形式；4—双筒式；

5—锥式；6—双锥式；7—颠覆筒式

(2) 螺带式混合机 螺带式混合机的结构如图 3-9 所示。它的机体是一个两端封闭的半圆筒形槽，槽上有可启闭的盖，作装料用。槽体附夹套，以供加热或冷却用。在半圆形槽的混合室内一般装两根结构坚固、方向相反的螺带。当螺带转动时，两根螺带即各以一定方向将混合室内的物料推动，使物料各部分的位移不一，从而达到混合的目的。螺带的转速一般为 $10 \sim 30 \text{ r/min}$ ，混合室下部开有卸料口。此混合机可用于润性或非润性物料的混合，容量范围自几十升到几千升不等。

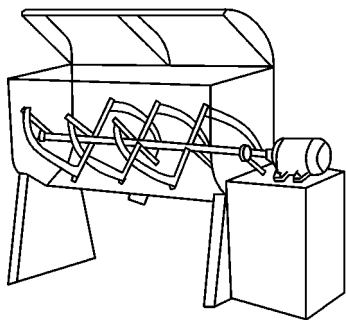


图 3-9 螺带式混合机结构

(3) 捏合机 捏合机的结构如

图 3-10 所示。捏合机主要由一个具有鞍形底的钢制混合室和一对反向旋转的 Z 形搅拌器所组成。混合室槽壁附有夹套，以供加热或冷却用。捏合机卸料用钢槽倾倒装置，可使钢槽倾倒 120° 。混合时，物料借两个搅拌器的相反转动（一般主轴 20r/min ，副轴 10r/min ），使物料沿混合室的侧壁上翻，而在混合室的中间落下。这样，物料受到重复的折叠和撕捏作用，从而达到均匀混合。捏合机可用于润性或非润性物料的混合，容量范围 $5\sim 2500\text{L}$ ，最常用的为 $250\sim 1000\text{L}$ 规格的。

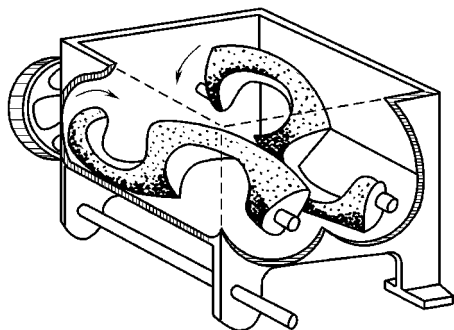


图 3-10 捏合机结构

(4) 高速混合机 高速混合机的结构如图 3-11 所示。它是由混合容器、盖、折流板、搅拌装置、排料装置、驱动电机、机座等组成。混合容器外附加热冷却装置（一般为夹套）。搅拌装置由 $1\sim 3$ 组叶轮组成（分别装置在同一转轴的不同高度上），每组叶轮的数目通常为两个。叶轮的转速一般有快慢两挡，两者之速比为 $2:1$ ，快速约为 860r/min 。混合时，物料受到高速搅拌，在离心力的作用下，物料沿混合室侧壁上升，至一定高度时落下，然后再上升和落下，从而使物料颗粒间产生较高的剪切作用和热量。除起到物料混合均匀的效果外，还可使物料温度上升而部分塑化。混合时间较捏合机大为缩短，一般仅需 $8\sim 10\text{min}$ 即可。高速混合机可用于润性或非润性物料的混合，容量范围 $10\sim 500\text{L}$ 或更大。

(5) 开炼机 开炼又称塑炼，开放式塑炼机结构简单、操作容

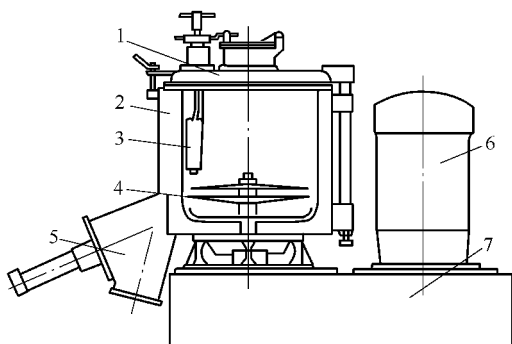


图 3-11 高速混合机结构

- 1—容器盖；2—容器；3—挡板；4—高速中轮；
5—放料口；6—电动机；7—机座

易、清理方便，其构造见图 3-12。经过配料、捏合、密炼的物料在开炼机混合塑化，可以压片制造颗粒或为压延机供料。

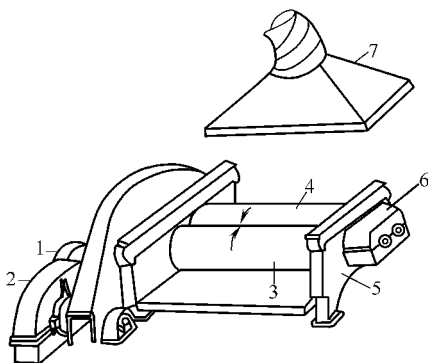


图 3-12 开炼机的构造

- 1—电动机；2—减速箱；3—前辊；4—后辊；
5—机架；6—速比齿轮罩；7—排风罩

开炼机是由一对做相向旋转的辊筒，借助物料与辊筒的摩擦力，将物料拉入辊隙，在剪切、挤压力及辊筒加热的混合作用下，使各组分得到良好的分散和充分的塑化。

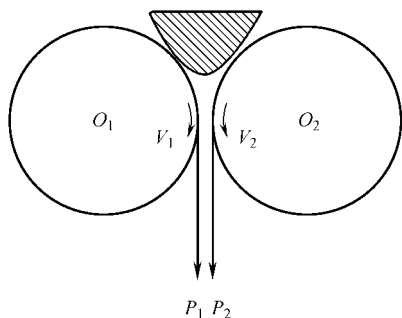


图 3-13 物料在辊筒上受力情况

开炼机的两只辊筒，前辊为操作辊，辊速较低，且辊温较高，后辊速度较快，辊温较低，如图 3-13 物料在辊筒上受力情况，当前辊速度 V_1 大于后辊速度 V_2 时，圆周力 P_1 也大于 P_2 。

$$P_1 - P_2 = \Delta P$$

ΔP 越大，两辊速差也越大，因此剪切力也越大，这有利于物料的塑化，但由于受机械负荷和操作的限制，两辊速差不宜过大。高速辊物料圆周力大，呈受的离心力也大，所以物料大多在低速高温辊上，使操作也方便。

开炼机两只辊筒可用蒸汽、电、煤气加热，采用气加热，通常蒸汽压力为 0.6~1MPa，RPVC（软聚氯乙烯）塑炼温度为 160~180℃，UPVC（硬聚氯乙烯）塑炼温度为 170~190℃，拉片厚度 2~3mm，也可调节两辊辊距，制造不同厚度的成型片。

开炼机结构简单，对多种工艺适应性强，换色清理容易，因此使用较方便，也可不经过密炼，直接用捏合的粉料塑炼成片，这种工艺混炼效率及生产能力较低，自动化程度低，劳动条件差，敞开作业粉尘飞扬，易落入杂质，质量不宜稳定。见表 3-12 国产开炼机主要技术参数。

表 3-12 国产开炼机主要技术参数

开炼机 技术参数	型 号				
	SK 160	SK 230	SK 400	SK 450	SK 550
辊筒直径/mm	160	230	400	450	550
工作长度/mm	320	630	1000	1100	1500
前辊线速度/(m/min)	1.72~5.76	11.3	18.6	30.4	27.6
速比	1~1.5	1.3	1.27	1.27	1.28
一次投料量/kg	1~2	5~10	10~35	50	50~80
功率/kW	5.5	10.8	40	75	95

(6) 密炼机 密闭式塑炼机是密闭式间歇的塑炼设备，使混合好的物料进一步混合，预塑化。密炼机的基本构造如图 3-14 所示。它主要由混炼室、转子、压料装置、卸料装置、加热冷却装置及传动系统组成。

密炼机的工作过程大致如下：预混料经加料斗进入混炼室，随着压料装置下降，并以一定压力作用于预混料。预混料在具有一定速比〔一般为 $1:(1\sim1.18)$ 〕的相向旋转的转子的作用下，在混炼室内得到混合塑化，塑化好的物料经卸料门排出。根据塑料品种的不同，可对混炼室进行加热和冷却。物料在密炼机内受到连续的剪切、撕拉、混合、塑炼作用。转子也可制成各种特殊形式，使预混料做极为复杂的运动，提高塑炼效果，部分国产密炼机主要型号有：MLX 25、XSM 30、SHM 50、SM 50/35×70、SM 50/35、SM 50/70、SM 50/48。

密炼机主要优点有混炼效果好、时间短，每次只要 4～5min、不易混入灰尘、杂质、粉尘飞扬少、生产环境较好。但是它调换色泽、品种、清洗困难、工艺流程长、间歇式生产、生产工艺不易稳定、结构复杂、设备投资大。因此密炼这道工序适宜大批量、更换品种少时使用。

(7) 造粒 粒料的成型方法很多，按成型方法分为冷切法和热切法两大类。冷切法又分为拉

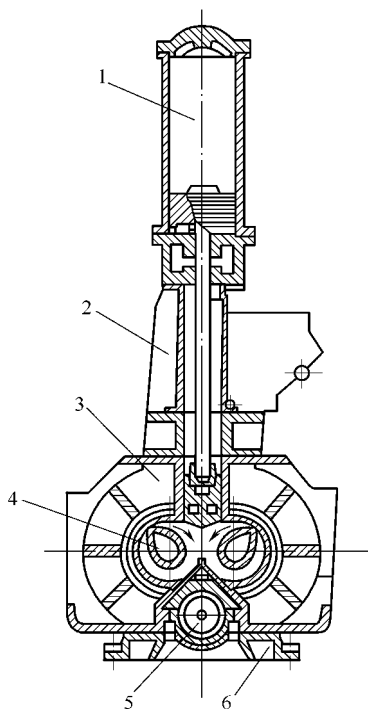


图 3-14 密炼机的基本构造

1—压料装置；2—加料斗；3—混炼室；4—转子；5—卸料装置；6—底座

片冷切、挤片冷切、挤条冷切，热切法也可分为干热切、水下热切、空中热切。粒料要求颗粒大小均匀、色泽一致，外形尺寸不超过 3~4mm，颗粒过大会给成型带来困难，颗粒形状以球形和药片形较好。

除拉片冷切法用双辊塑炼机切片然后用切粒机切粒，其余造粒大多用挤出法，挤出法造粒可利用普通单螺杆挤出机（后面有介绍）进行挤出造粒，具有连续、密闭、机械杂质混入少、劳动强度小、噪声小等优点，但产量不如用塑炼机高。

① 冷切法。主要采用拉片冷切法，是经两辊塑炼机压成片，冷却后经切粒机切粒，该法主要用于 PVC 造粒，工艺流程如下：

树脂称量（助剂计量）→高速捏合→密炼→塑炼→片→切粒

该工艺料塑化好、产量高，但是加工工序多，易混入杂质，劳动强度及粉尘大。

② 热切法。将旋转的切刀紧贴于机头模板上，直接将刚从挤出机挤出热的圆条状料切成粒料，然后冷却而制得颗粒。

a. 干热切：机头处装切刀 2~8 把，切刀形状可以是长条形或镰刀形。此法只适用于 PVC。

b. 空中热切：与干热切相似。为防止颗粒黏结，在切粒罩内用鼓风机或喷淋温水冷却颗粒。用鼓风机冷却适用于 PVC 的造粒，特别是含铅稳定剂，碳酸钙等用量较多时，切粒后不易互相粘连。

c. 水冷热切：适用于聚烯烃造粒，料一经挤出马上切断并喷水，防止料粒互相粘连并粘在机头上，水与料一起落下，经脱水后送贮槽。

d. 水下热切：适用于聚烯烃。该法是把机头和切刀都放置在循环的温水中进行生产。图 3-15 为料条造粒法，图 3-16 为水中切粒机，表 3-13 为各种造粒法的特点。

【例】 废旧聚苯乙烯（PS）泡沫塑料的再生造粒技术

将废旧 PS 泡沫塑料在 140~190℃ 下进行恒温烘烤，使其收缩

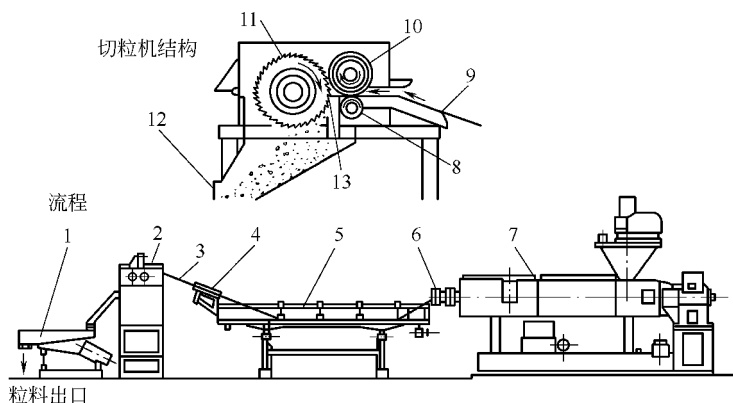


图 3-15 料条造粒法

- 1—振动筛；2—切料机；3,9—料条；4—脱水辊；5—冷却水槽；
6—喷嘴；7—挤出机；8—下加料辊；10—上加料辊；
11—切料机；12—出料口；13—固定刀

表 3-13 各种造粒法的特点

方 法		形 状	特 点
冷切	片料造粒	圆片状	启动容易,切口形状不良,粒料流动性差
	料条造粒	圆柱状	适用于多数树脂,产量大、料条根数增多时操作困难
热切 (模切)	空气中切粒,空冷	圆柱状	操作简单,不需干燥,不过限于 PVC 或高黏度物料的挤出
	空气中切粒,水冷	围棋子状	易发生粒料的熔接,此法用得较少
	水中切粒	圆柱状-球状	适用于高产量,尤其适用于聚丙烯

脱泡,冷却后进行粉碎。烘烤时会产生易燃气体,需采取有效排气措施,注意生产安全。将粉碎的 PS 料通过挤出机挤出,并经过 60~80 目的滤网,熔融的 PS 由模头挤出呈条状,在冷却槽里冷却固化后由造料机切粒。工艺路线如下:

破碎 PS → 挤出机 → 制条模头 → 水槽冷却 → 旋转式切刀切粒

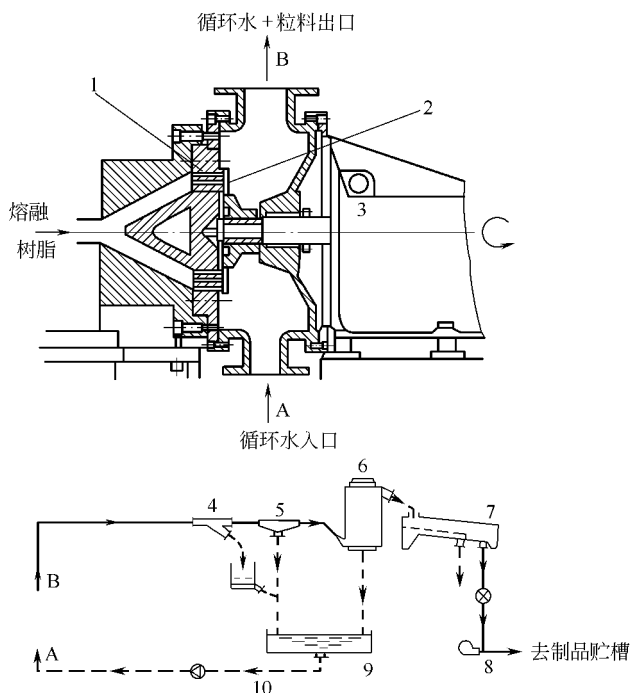


图 3-16 水中切粒机

1—孔板；2—旋转刀；3—切粒机轴心；4—分流阀；5—过滤器；6—离心脱水机；7—振动筛；8—鼓风机；9—循环水槽；10—循环水泵

主要设备有单螺杆挤出机、拉条机头、水槽、旋转切刀。所生产出来的 PS 再生粒料可以用来生产小型箱盒类产品，主要用于工业生产线上的小型周转箱及家庭园艺、花卉栽培、育苗的盆、盒、罐等类制品。

第三节 挤出成型工艺及设备

塑料制品的成型方法有多种，如注射成型、压延成型、中空吹塑成型、发泡成型和挤出成型等。挤出成型塑料制品在塑料制品总

产量中占有较大比例。按塑料制品的总产量计算，挤出成型塑料制品占 1/3 左右。大部分热塑性塑料都可用挤出机挤出成型。

挤出成型也称挤压成型或挤塑成型，是废旧塑料回收利用的主要加工方法，挤出成型主要用于生产具有一定横截面的连续型材，如薄膜、片、板、硬管、软管、波纹管、异型材、丝、电缆、包装带、棒、网和复合膜等；也可周期性重复生产中空塑件型坯，如瓶、桶等中空容器。使用回收的废旧塑料为 PVC、PE、PP、ABS、PA、PC 等。

挤出成型有如下特点：

① 挤出机设备结构比较简单、造价低，挤出成型生产线投资比较少。

② 挤出机成型制品的产量比较高。

③ 挤出机成型制品的长度可按需要无限延长。

④ 挤出成型生产操作比较简单，产品质量比较容易保证，制造成本也比较低。

⑤ 挤出成型生产线占地面积较小，生产环境比较清洁。

⑥ 挤出成型，也可用于混合、塑化、喂料和造粒等工作。

⑦ 挤出机的维护保养和修理也比较容易、简单。

一、挤出成型设备

挤出成型设备包括挤出机及其他辅助装置，而最基本、最重要的设备是挤出机。挤出机的种类很多，可按螺杆的数量分，也可按挤出机的功能分。

① 按螺杆的数量分，挤出机可分为单螺杆挤出机、双螺杆挤出机和多螺杆挤出机。

② 按挤出机的功能分，挤出机可分为通用型单螺杆挤出机、排气式挤出机、发泡挤出机、喂料挤出机和阶式挤出机。

单螺杆挤出机是一种应用最多的通用型挤出机。它的特点是，挤出系统由一根螺杆和机筒配合组成。单螺杆挤出机外形见图 3-17。

该机主要供挤制软、硬聚氯乙烯、聚乙烯等热塑性塑料使用，它与相应辅机（包括成型机头）配合，可加工多种塑料制品，如



图 3-17 单螺杆挤出机外形

膜、管、板、丝带等，也可用于造粒。这种单螺杆挤出机只要更换不同结构形式螺杆，就可以完成各种热塑性塑料的挤出成型工作。单螺杆挤出机的螺杆机筒组合见图 3-18。

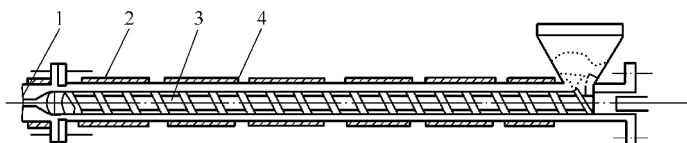


图 3-18 单螺杆挤出机的螺杆机筒组合

1—机头模具；2—电加热器；3—螺杆；4—机筒

（一）挤出机主机结构

见图 3-19 单螺杆挤出机主机结构示意图。

（二）挤出机的主要技术参数

以单螺杆挤出机的主要参数为例说明，单螺杆挤出机的性能特征通常用以下几个主要技术参数表示。

① 螺杆直径。指螺杆的螺纹外圆直径。用 D 表示，单位为 mm。

② 螺杆的长径比。指螺杆的螺纹部分长度与螺杆直径的比值。用 L/D 表示。

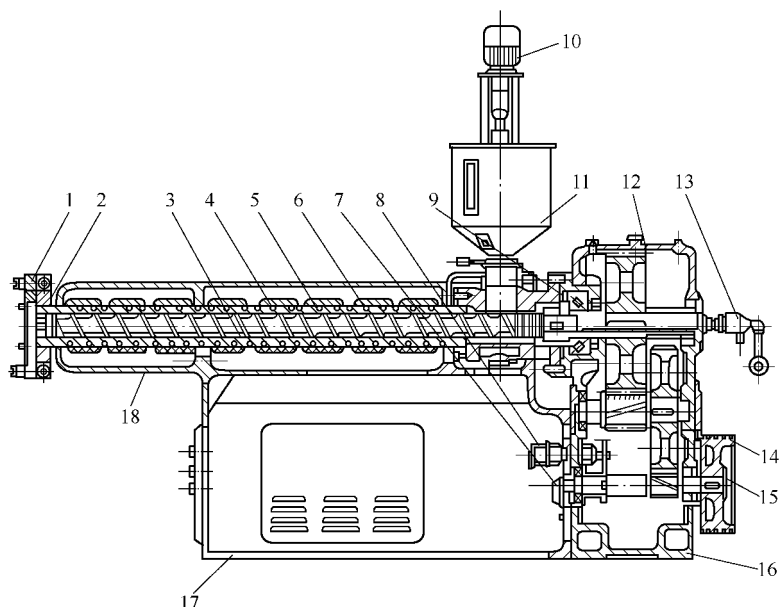


图 3-19 单螺杆挤出机主机结构示意图

- 1—机头法兰；2—分流板；3—冷却水管；4—加热器；5—螺杆；6—机筒；
7—油泵；8—测速电机；9—止推轴承；10—搅拌电机；11—料斗；
12—减速箱；13—旋转接头；14—三角皮带轮；15—电动机；
16—箱座；17—机架；18—罩

③ 螺杆的转速范围。指螺杆工作时的最高转数和最低转数值。用 $n_{\max} \sim n_{\min}$ 表示。

④ 电机功率。指驱动螺杆转动的电动机的功率，用 P 表示，单位为 kW。

⑤ 机筒加热功率。指机筒用电阻加热时的电功率，单位为 kW。

⑥ 机筒加热段数。机筒加热分几段控制，也是温度控制段数。

⑦ 挤出机生产率。指挤出机每小时生产的塑料制品的质量。用 q 表示，单位为 kg/h。

⑧ 名义比功率。指每小时生产 1kg 塑料制品所需电机功率的综合指标。用 P' 表示, 即 $P' = P/q_{\max}$, 单位为 $\text{kW}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。

⑨ 比流量。指螺杆每转动一周时所生产的塑料制品的质量。它可体现出挤出机的生产效率, 用 $q = q_{\text{实测}}/n_{\text{实测}}$ 表示。单位为 $(\text{kg}/\text{h})/(\text{r}/\text{min})$ 。

⑩ 中心高。指挤出机的机筒内螺杆的中心线距地面的高度。用 h 表示, 单位为 mm 。

现将我国塑料挤出机系列标准有关部分列出, 供参考。单螺杆挤出机的基本参数 (标准 ZB G 95009.1—88 规定), 见表 3-14 和表 3-15。表 3-14 是以挤出聚烯烃为主的单螺杆挤出机基本参数, 也可生产挤出成型软聚氯乙烯塑料制品。表 3-15 是以挤出生产成型软、硬聚氯乙烯为主的单螺杆挤出机的基本参数。标准 JB/T 8061—1996 单螺杆挤出机的基本参数见表 3-16, 是以挤出生产成型聚丙烯为主。上海挤出机厂和大连橡胶塑料机械厂生产的部分挤出机基本参数见表 3-17。

表 3-14 单螺杆挤出机基本参数 (挤出聚烯烃为主)

螺杆直径 D/mm	长径比 L/D	螺杆最高转数 $n_{\max}/(\text{r}/\text{min})$	最高产量 $q_{\text{m}}/(\text{kg}/\text{h})$ LDPE MFR2~7	电动机功率 P /kW	名义比功率 P' /[kW/(kg/h)]	比流量 $q/[(\text{kg}/\text{h})/(\text{r}/\text{min})]$	机筒加热段数 (推荐)	机筒加热功率 /kW	中心高 h/mm
20	20	120	3.2	1.1	0.34	0.27	3	≤ 3	1000
	25	160	4.4	1.5	0.34	0.28	3	≤ 4	500
	30	210	6.5	2.2	0.34	0.03	3	≤ 5	350
30	20~25	160	16	5.5	0.34	0.1	3	≤ 5	1000
	28~30	200	22	7.5	0.34	0.11	4	≤ 6	500
									350
45	20~25	130	38	13	0.34	0.29	3	≤ 8	1000
	28~30	155	50	17	0.34	0.32	4	≤ 10	500
									350
65	20~25	120	90	30	0.33	0.75	4	≤ 14	1000
	28~30	145	117	40	0.34	0.81	4	≤ 18	500
90	20~25	100	150	50	0.33	1.5	4	≤ 25	1000
	28~30	120	200	60	0.3	1.67	5	≤ 30	500

螺杆直径 D/mm	长径比 L/D	螺杆最高转数 $n_{\max}/(\text{r/min})$	最高产量 $q_m/(\text{kg/h})$ LDPE MFR2~7	电动机功率 P /kW	名义比功率 P' /[kW/(kg/h)]	比流量 $q/[(\text{kg/h})/(\text{r/min})]$	机筒加热段数 (推荐)	机筒加热功率 /kW	中心高 h/mm
120	20~25	90	250	75	0.3	2.78	5	≤ 40	1100
	28~30	100	320	100	0.31	3.2	6	≤ 50	600
150	20~25	65	400	125	0.31	6.1	6	≤ 65	1100
	28~30	75	500	160	0.32	6.6	7	≤ 80	600
200	20~25	50	600	200	0.33	12	7	≤ 120	1100
	28~30	60	780	250	0.32	13	8	≤ 140	600

表 3-15 单螺杆挤出机基本参数 (挤出聚氯乙烯为主)

螺杆直径 D /mm	长径比 L/D	螺杆转数 $n_{\min} \sim n_{\max}$ /(r/min)		产量 q_m /(kg/h)		电动机功率 P /kW	名义比功率 P' /[kW/(kg/h)]		比流量 q [(kg/h)/(r/min)]		机筒加热段数 (推荐)	机筒加热功率 P/kW	中心高 h /mm
		UPVC	RPVC	UPVC	RPVC		UPVC	RPVC	UPVC	RPVC			
20	20	20~	20~	0.8~	1~	0.8	0.4	0.27	0.04	0.03	3	≤ 3	1000
	25	60	120	2	3								
30	20	17~	17~	2~	3~	2.2	0.44	0.28	0.11	0.09	3	≤ 4	1000
	25	50	102	5	8								
45	20	15~	15~	6~	9~	5.5	0.37	0.25	0.4	0.3	3	≤ 6	1000
	25	45	90	15	22								
65	20	13~	12~	15~	22~	15	0.4	0.27	1.15	0.85	3	≤ 12	1000
	25	39	78	37	55								
90	20	11~	11~	32~	40~	24	0.38	0.25	2.9	1.8	3	≤ 24	1000
	25	33	66	64	100								
120	20	9~	9~	65~	84~	55	0.42	0.29	7.2	4.7	4	≤ 40	1100
	25	27	54	130	190								
150	20	7~	7~	90~	120~	75	0.42	0.27	12.8	8.6	5	≤ 60	1100
	25	21	42	180	280								
200	20	5~	5~	140~	180~	100	0.36	0.24	28	18	6	≤ 100	1100
	25	15	30	280	430								

表 3-16 单螺杆挤出机基本参数 (挤出聚丙烯为主)

螺杆直径 D/mm	长径比 L/D	螺杆最高转数 $n_{\max}/(\text{r/min})$	最高产量 $q/(\text{kg/h})$	电动机功率 P/kW	名义比功率 $P'/[\text{kW}/(\text{kg/h})]$	比流量 $q/[(\text{kg/h})/(\text{r/min})]$	机筒加热段数	机筒加热功率 P/kW	中心高 h/mm
20	20~25	140	3.6	1.5	0.41	0.26	3	≤ 3	1000 500 350
	28~30	190	5.4	2.2		0.28	3	≤ 4	
30	20~25	140	13.4	5.5	0.41	0.096	3	≤ 5	
	28~30	170	18.4	7.5		0.108	4	≤ 6	
45	20~25	130	37.5	15	0.4	0.288	3	≤ 8	
	28~30	150	46	18.5		0.307	4	≤ 4	
65	20~25	100	75	30	0.4	0.75	4	≤ 14	1000
	28~30	125	100	40		0.8	4	≤ 18	
90	20~25	98	128	50	0.39	1.306	4	≤ 25	
	28~30	108	154	60		1.426	5	≤ 30	
120	20~25	74	192	75	0.39	2.595	5	≤ 40	1100
	28~30	85	255	100		3	6	≤ 50	
150	20~25	60	338	132	0.39	5.673	6	≤ 65	1000 600
	28~30	70	410	160		5.857	7	≤ 80	

表 3-17 国内挤出机主要生产厂生产的部分挤出机基本参数

型 号	螺杆直径 D/mm	长径比 L/D	螺杆转速 $/(\text{r/min})$	产量 $/(\text{kg/h})$	电动机功率 $/\text{kW}$	加热功率 $/\text{kW}$	加热段数	中心高 h/mm	生产厂
SJ 30	30	20	11~100	0.7~6.3	1~3	3.3	3	1000	上海挤出机厂
SJ 30×25B	30	25	15~225	1.5~22	5.5	48	3	1000	
SJ 45B	45	20	10~90	2.5~22.5	5.5	5.8	3	1000	
SJ 65A	65	20	10~90	6.7~60	5~15	12	3	1000	
SJ 65B	65	20	10~90	6.7~60	22	12	3	1000	
SJ 90(排气式)	90	30	12~120	25~250	6~60	30	6	1000	
SJ 120	120	20	8~48	25~150	18.3~55	37.5	5	1100	
SJ 150	150	25	7~42	50~300	25~75	60	8	1100	
SJ-Z 150(排气式)	150	27	10~60	60~200	25~75	71.5	6	1100	

型 号	螺杆 直径 D/mm	长径 比 L/D	螺杆转速 $/(r/\text{min})$	产 量 $/(kg/h)$	电动机 功率 $/kW$	加热 功率 $/kW$	加热 段数	中心 高 h $/mm$	生 产 厂
SJ 30×28 ^①	30	28	13~130	15	5~7.5	10			大 连 橡 胶 塑 料 机 械 厂
SJ 45×25B ^②	45	25	12~120	30~36	10~15	13.6			
SJ 45×25L ^③	45	25	9~90 11~110	34 40	10~15	13.6			
SJ 45×25C ^④	45	25	15~150	50	4~24	15.6			
SJ 45 ^⑤	45	20	25~250	70~80	2.4~24	16.3			
SJ 90-A	90	20	12~72	20~90	7.3~22	16	4	1000	
SJ 90×25	90	25	33.3~100	50~100	18.3~55	20	5	1000	
SJZ F120	120	18	10~30	70~150	13.3~40	24	4	1000	
SJ 150-A	150	20	7~42		25~75	48	5	1100	
SJ 200-A	200	20	5~15		33.3~100	60	6	1100	

① 加工 HDPE、LDPE、LLDPE;

② 加工 HDPE、LDPE;

③ 加工 HDPE、LDPE、LLDPE;

④ 加工 HDPE、LDPE、LLDPE;

⑤ 加工 HDPE、LDPE。

(三) 塑料挤出机型号说明

在橡胶塑料机械标准 GB/T 12783—91 中规定, 标牌上的型号标注说明见图 3-20 型号标注说明。

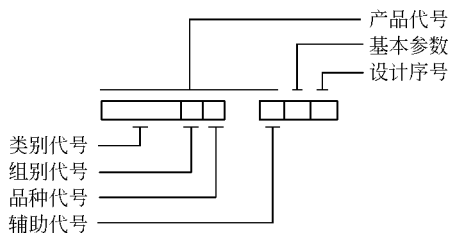


图 3-20 型号标注说明

从左向右顺序：第一格塑料机械代号为 S；第二格挤出机代号为 J；第三格是指挤出机不同的结构形式代号。三个格组合在一起就是：塑料挤出机为 SJ；塑料排气式挤出机为 SJP；塑料发泡挤出机为 SJF；塑料喂料挤出机为 SJW；塑料鞋用挤出机为 SJE；阶式塑料挤出机为 SJJ；双螺杆塑料挤出机为 SJS；锥形双螺杆塑料挤出机为 SJSF；多螺杆塑料挤出机为 SJD。第四格表示辅机，代号为 F；如果是挤出机组，则代号为 E。第五格参数是指螺杆直径和长径比。第六格是指产品的设计顺序，按字母 A、B、C 等顺序排列，第一次设计不标注设计号。

例如，SJ 45×25 表示塑料挤出机、螺杆直径为 45mm，螺杆的长径比为 25：1。螺杆长径比为 20：1 时不标注。

(四) 挤出机螺杆的选择

1. 螺杆直径

螺杆直径是螺杆的基本参数之一，是挤出机规格大小的表征，挤出机螺杆与制品的规格尺寸关系见表 3-18。

表 3-18 挤出机螺杆与制品的规格尺寸关系 单位：mm

螺杆直径	30	45	65	90	120	150	200
硬管直径	3~30	10~45	20~90	30~120	50~180	80~300	120~400
吹膜折径	50~300	100~500	400~900	700~1200	约 2000	约 3000	约 4000
挤板宽度	—	—	400~800	700~1200	1000~1400	1200~2500	

2. 螺杆的长径比

同样是挤出机性能指标的主要参数之一，同时还是挤出机型号 的表征之一。螺杆的长径比较大，能改善塑料的温度分布，有利于 塑料的混合与塑化，并能减少漏流与逆流，提高挤出机的生产能 力，但是过大的长径比会使塑料受热时间长而降解，增大挤出机的 功率消耗。常用塑料要求螺杆的长径比的选择见表 3-19。

3. 螺杆几何压缩比的选择

不同的塑料要求螺杆有不同的压缩比，不同形状的塑料也要求 螺杆有不同的压缩比。常见塑料适用的几何压缩比见表 3-20。

表 3-19 常用塑料要求螺杆的长径比的选择

塑 料 名 称	长 径 比	塑 料 名 称	长 径 比
UPVC	16~22	ABS	20~24
RPVC	12~18	PS	16~22
PE	22~25	PA	16~22
PP	22~25		

表 3-20 常见塑料适用的几何压缩比

塑 料 名 称	压 缩 比	塑 料 名 称	压 缩 比
UPVC(粒)	2.5(2~3)	ABS	1.8(1.6~2.5)
UPVC(粉)	3~4(2~5)	POM	4(2.8~4)
RPVC(粒)	3.2~3.5	PC	2.5~3
RPVC(粉)	3~5	PA6	3.5
PE	3~4	PA66	3.7
PS	2~2.5(2~4)	PA11	2.8(2.5~4.7)
PP	3.7(2.5~4)	PA	3

4. 螺杆压缩比的获得方法

- ① 等距不等深螺杆。压缩比通过螺槽深度的变化而获得。
- ② 等深不等距螺杆。压缩比通过螺距的变化而获得。
- ③ 不等深不等距螺杆。如设计得当，效果最好，但加工困难。
- ④ 综合型结构的螺杆。根据需要对各段进行设计而成，但加工困难。

(五) 挤出机的组成

一台挤出机一般由挤压系统、传动系统、加热冷却系统、机头、定型装置、冷却装置、牵引装置、切割装置、卷取装置、挤出机的控制系统等组成。

(1) 挤压系统 主要由料筒和螺杆组成。塑料通过挤压系统而塑化成均匀的熔体，并在这一过程中建立的压力下，被螺杆连续定压、定量、定温地挤出机头。

(2) 传动系统 它的作用是给螺杆提供所需的扭矩和转速。

(3) 加热冷却系统 其功能是通过料筒（或螺杆）进行加热和冷却，保证成型过程在工艺要求的温度范围内完成。

(4) 机头 它是制品成型的主要部件，熔融塑料通过它获得一定的几何截面和尺寸。

(5) 定型装置 它的作用是将机头中挤出的塑料的既定形状稳定下来，并对其进行精整，从而得到更为精确的截面形状、尺寸和光亮的表面。通常采用冷却和加压的方法达到这一目的。

(6) 冷却装置 由定型装置出来的塑料在此得到充分的冷却，获得最终的形状和尺寸。

(7) 牵引装置 其作用为均匀地牵引制品，并对制品的截面尺寸进行控制，使挤出过程稳定地进行。

(8) 切割装置 其作用是将连续挤出的制品切成一定的长度或宽度。

(9) 卷取装置 其作用是将软制品（薄膜、软管、单丝等）卷绕成卷。

一般将挤压系统、传动系统、加热冷却系统组成的部分称为主机，而将机头以后几部分称为辅机。根据制品的不同，辅机可由不同部分组成。

(10) 挤出机的控制系统 它由各种电器、仪表和执行机构组成。根据自动化水平的高低，可控制挤出机的主机、辅机的拖动电机，驱动油泵、油（汽）缸和其他各种执行机构，按所需的功率、速度和轨迹运行，以及检测、控制主辅机的温度、压力、流量，最终实现对整个挤出机组的自动控制和对产品质量的控制。

一般称由以上各部分组成的挤出装置为挤出机组。

(六) 挤出机机组

以挤出机为主机组成的塑料制品生产线，有硬管挤出成型生产线、软管挤出成型生产线、异型材挤出成型生产线、棒材挤出成型生产线、吹塑薄膜挤出成型生产线、中空塑料制品挤出吹塑成型生产机组、板材挤出成型生产线、扁丝挤出成型生产线、单丝挤出成型生产线、包装带挤出成型生产线和塑料网、复合材料挤出成型生产线等。见图 3-21 是聚乙烯挤出成型丝用挤出机生产线设备布置示意。板（片）材挤出成型生产用设备有挤出机、机

头模具、三辊压光机、冷却装置、牵引机、切割机、输送或卷取装置。挤出机机组由主机和辅机组成，下面介绍挤出机的各种辅机的组成。

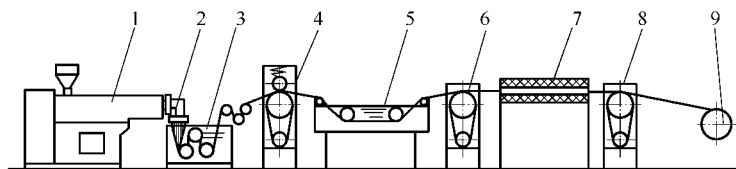


图 3-21 聚乙烯挤出成型丝用挤出机生产线设备布置示意

- 1—挤出机；2—成型模具；3—冷水箱；4,6—牵引机；
5—热水箱；7—热处理装置；8—导辊；9—卷取机

(七) 挤出机辅机

在整个挤出机组中，挤出机固然是很重要的组成部分，其性能的好坏对产品的产量和质量有很大影响，但没有机头、辅机的配合，也不能生产出制品来。如果机头和辅机性能不好，也很难得到产量高、质量好的制品。机头和辅机是挤出机组的重要组成部分。

辅机的作用是将从机头出来已初具形状和尺寸的高温熔体通过冷却并在一定的装置中定型下来（或将由机头挤出的型坯吹胀、牵伸再冷却定型下来），再通过进一步冷却，使之由高弹态最后转变为室温下的玻璃态，而获得合乎要求的制品或半制品。

辅机一般按生产的制品进行分类，如挤管辅机、吹膜辅机、挤板辅机、拉丝辅机等。塑料经过辅机时，要经历物态的变化，分子要取向，要发生形状和尺寸的变化。这些变化，是在辅机提供的成型、温度、力、速度和各种动作的条件下完成的。这些条件提供的好坏，它们配合的好坏，对产品的产量和质量有很大影响。例如冷却能力不足，不单限制生产率的提高，也会影响产品质量；而温度条件控制不当，又会影响结晶过程和分子取向，使制品产生内应力、翘曲变形、表面质量降低等；定型装置设计得不合理，就难以得到所希望的几何形状和尺寸精度；牵引速度和牵引力也是对制品

性能影响的重要因素；如果卷取不平整，就会影响二次加工等。总之，辅机对挤出生产影响很大。图 3-22 为牵引装置和冷却装置对管子产生弯曲的影响因素分析。

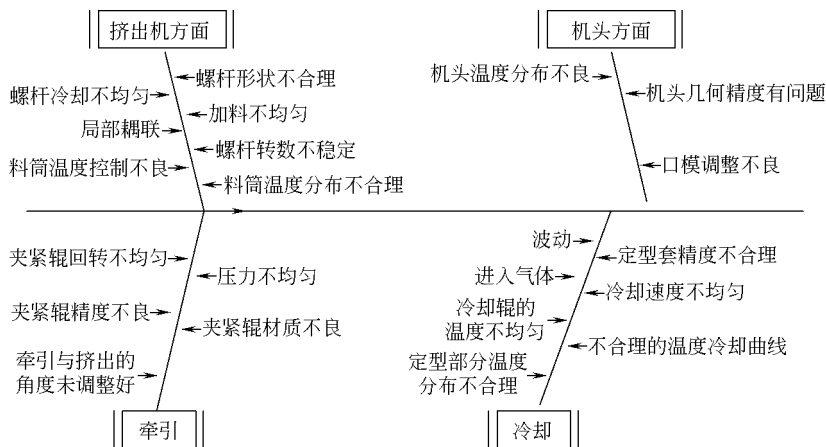


图 3-22 牵引装置和冷却装置对管子产生弯曲的影响因素分析

由以上分析可知，除了挤出机、机头方面的影响外，牵引和冷却对管材的弯曲也产生了不良影响。所以在一定意义上，辅机是挤出生产中的关键，应引起高度重视。

1. 吹膜辅机

塑料薄膜是塑料制品中最常见的一种。它可以用压延法、流延法、挤出法生产。用挤出机生产薄膜，又分为吹塑法和用狭缝机头直接挤出法两种。此处只介绍挤出吹塑法所用的辅机。

用挤出吹塑法生产的薄膜（片），其厚度在 0.01~0.25mm 之间（厚度小于 0.25mm 的通称为膜，大于 0.25mm 的通称为片材），展开宽度最大可达 40m。可以用吹塑法生产薄膜的塑料有聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、乙烯-乙酸乙烯酯（EVA）薄膜。我国以聚氯乙烯和聚烯烃薄膜居多。

吹塑薄膜工艺，根据出料方向的不同，可分为上吹、下吹和平吹三种方法。

(1) 吹塑薄膜工艺出料方向

① 上吹法。见图 3-23，薄膜泡管在机头上方，此法由于整个膜管都挂在已冷却的坚韧的上部膜管上，所以牵引稳定，能生产厚度范围大和宽幅的薄膜，且挤出机安装在地面上，操作方便。缺点是管膜周围的热空气流向上，而冷空气流向下，对膜管的冷却不利，不宜用于熔融黏度较低的塑料物料在机头处拐 90°C 的弯，增加了料流的阻力，且易因停滞而分解。此法多用于聚氯乙烯、聚乙烯塑料的吹塑。

② 下吹法。如图 3-24 所示。该法的管坯垂直向下牵引，牵引方向与机头产生的向上热气流相反，有利于膜管的冷却。但整个膜管挂在上部未定型的塑性段上，在生产厚膜或牵引速度较快时，有可能拉断管膜，对密度较大的塑料（如聚氯乙烯等）牵引更难控制。挤出机必须安装在较高的操作台上，操作也不方便。此法主要用于吹塑那些黏度低的塑料以及要求透明度高而需要急剧冷却（水冷）的聚丙烯、聚酰胺、聚偏二氯乙烯的塑料薄膜。

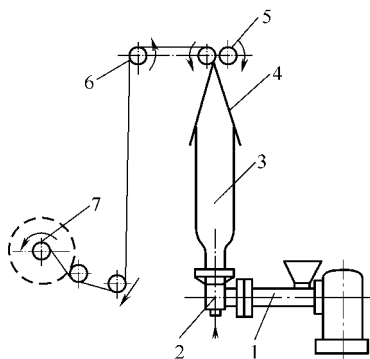


图 3-23 上吹法吹塑薄膜生产示意

1—挤出机；2—机头模具；3—泡管；4—夹板；5—牵引辊；6—导辊；7—卷取

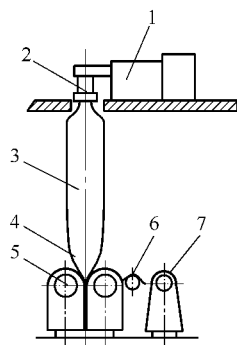


图 3-24 下吹法吹塑薄膜生产示意

1—挤出机；2—机头模具；3—泡管；4—夹板；5—牵引辊；6—导辊；7—卷取

③ 平吹法。这种方法所用辅机结构简单，操作方便，所有设

备可安装在同一层建筑物上，由于膜管的自重，易横向下垂，由于热气流向上，冷气流向下，膜管上半部的冷却要比下半部困难。此外，膜的厚度也不易调节均匀，机组占地面积较大，由图 3-25 可见。此法生产的薄膜的幅宽一般小于 600mm。适于用此法生产塑料薄膜的有聚乙烯、聚苯乙烯等。此法也用于生产热收缩薄膜。

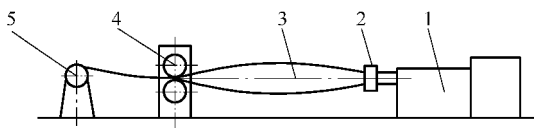


图 3-25 平吹法薄膜生产示意图

1—挤出机；2—机头模具；3—泡管；4—牵引辊；5—卷取

由上述可以看出，吹塑机组由挤出机、机头，（吹胀）冷却系统、牵引装置、卷取装置、切割装置等组成。

（2）吹塑机组的组成

① 机头。吹塑机头对吹塑薄膜的质量有很重要的影响，机头的结构形式有很多种，常见的有侧面进料的芯棒式机头，中心进料的十字机头和螺旋机头，以及旋转机头和复合机头。下吹和上吹都用直角机头，平吹用水平机头。

② 吹胀及冷却系统。熔料从机头环形缝隙中挤出时温度较高，约在 160°C 以上，呈半流动状态或塑性状态，随即被由机头通入的压缩空气横向吹胀，然后进入牵引辊，在牵伸装置的牵伸下，纵向得到牵伸。这段时间很短，仅几秒钟到 1min 左右，单靠自然冷却，薄膜厚度不均匀，热的管膜两层压紧后易黏着，故需强力冷却。一般用介质（空气或水）对膜管的（内外）表面进行冷却。通过冷却，管膜定型，获得一定的尺寸精度。这是一个很重要的阶段。吹胀及冷却系统就是完成这一任务的。

a. 吹胀比和牵伸比。为了描述吹胀牵伸过程，我们引入两个重要术语：吹胀比和牵伸比。

（a）吹胀比。是指吹胀后的膜管直径与机头环形模口直径之比。若用 a 代表吹胀比， D_p 代表吹胀后的膜管直径， D_k 表示环形

模口直径，则 $a = D_p / D_k$ 。

吹胀比实际上是薄膜横向牵伸倍数。一般将 a 控制在 $2.5 \sim 3$ ，这样容易操作，同时薄膜的纵、横向强度差不多。吹胀比太大，薄膜易产生摆动，难以控制厚度均匀。为了得到合格的制品，吹塑过程中吹胀比应保持恒定。这主要取决于压缩空气的稳定性。

(b) 牵伸比。指通过夹辊时薄膜的速度（牵伸速度）与挤出速度之比。此即薄膜的纵向牵伸倍数。若令 β 代表牵伸比， V_D 代表牵伸速度， V_Q 代表挤出速度，则 $\beta = V_D / V_Q$ 。牵伸比一般取 $4 \sim 6$ ，太大，薄膜易拉断，也难以控制厚度均匀。

为了保证薄膜纵、横向强度一致，吹胀比和牵伸比最好相同。但在实际中，常用同一口模而用不同的牵伸速度来得到不同厚度的薄膜，因此薄膜的纵横向强度往往是不同的。

为适应不同的牵伸速度，以得到不同厚度的薄膜，要求牵伸速度能在较大的范围内无级调节。

b. 薄膜的冷却系统。薄膜冷却系统应当满足生产能力高、生产的薄膜质量好、生产过程稳定等项要求。因此，它必须有较高的冷却效率，冷却均匀且能对薄膜厚度的不均匀性进行调整，挤出过程中保证泡管稳定而不抖动，生产出的薄膜物理力学性能良好。

目前冷却方法很多，按冷却介质分，有空气冷却和水冷却；按冷却部位分，有外冷和内外双面冷等。国内多用风冷和水冷，对薄膜外表面进行冷却。

外冷风环冷却系统，风环是外冷中常用的冷却装置。它的形式很多，此处仅介绍普通风环和双风口减压风环。

普通风环其作用是将来自风机的冷风沿着薄膜圆周均匀地定量定压定速地按一定方向吹向薄膜，进行冷却。图 3-26 所示为我国最常用的一种风环。它由上下两个环组成，有 $2 \sim 4$ 个进风口。压缩空气沿风环的切线（或径线）方向由进风口同时进入。在风环中设置了几层挡风板，使进入的气流经过缓冲稳压以均匀的速度吹向管壁。出风量应当均匀，否则膜管的冷却快慢就不一样，而造成薄膜厚度不均匀。风环出风口的间隙一般为 $1 \sim 4\text{mm}$ ，可以调节。风

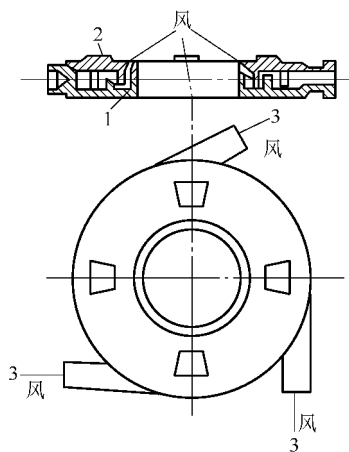


图 3-26 常用单风口冷却风环结构

1—风环体；2—风环上盖；3—进风口

气流分布。它有两个出风口，分别由两个鼓风机单独送风，出风口的大小可以调节。风环中部设置了隔板，分为上、下风室，在上、下风室间设置了减压室。减压室与数根调压管接通，通过转阀可与大气相通。为使出风均匀，在出风口前设置多孔板。这种风环的工作原理是，当冷却空气自下风口吹向膜泡后，很快就转为平行膜泡的气流向上流动，于是在膜管与减压室的环形空间中形成了一股高速气流，环形室间将出现负压效应，该处的压力将依气流的流动状况而有不同程度的下降。局部的压力下降将使与减压室对应部位的膜泡内外压差增大，于是膜泡在离开口模不远处被提前吹胀，这是第一次吹胀。一

从风环吹出方向与水平面的夹角（一般称为吹出角）为 60° 较好，也有 45° 的。如果该角度太小，风吹向薄膜会引起空气骚动，使膜管抖动而影响膜的质量。出风口和薄膜之间的径向距离应调整到能得到合适的风速。如果风速太高，径向距离太短，也会使膜管受冲击面抖动，影响薄膜质量。冷却风环与模口距离一般为 $30 \sim 100\text{mm}$ ，冷却风环内径为模口直径的 $1.5 \sim 3$ 倍。

双风口减压风环是减压风环的一种。图 3-27 所示为其结构及

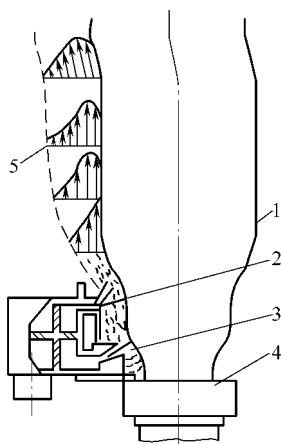


图 3-27 双风口减压风环结构及气流分布

1—薄膜泡管；2—上风口；3—下风口；4—口模；5—气流分布

般来说，上风口气流速度较高，吹出角也选择的较大。它的作用除了改变气流流动状态强化冷却外，对下风口的空气流还能起到携带作用，从而使负压效应更加明显。当泡管自负压区移出后，开始第二次膨胀，负压室还能起到自动调节泡管直径的作用。用转阀调节调压管的开启度，可以控制负压区局部负压力。从而调节薄膜的厚度。这种风环比普通风环可以提高薄膜的产量和质量。影响这种风环性能的参数有上风口吹出角、负压室高度、上风口风速和下风口风速等。

内外冷却系统（简称内冷系统）的冷却效率明显地高于一般的外冷却系统。这是因为泡管的冷却面积增加了。内冷系统的冷却介质多为空气。又分为闭式系统和开环系统。用于闭式冷却系统的空气在工作过程中循环使用，不与外界大气发生置换。开环系统中的冷却空气在工作过程中与大气进行全部置换。后一种方法被公认为冷却效率高，产量大，易于实现自动控制。图 3-28 所示为一种空气内冷系统原理。外冷和内冷空气由一台风机 1 供应，进入外冷风环和内冷管道的空气分别由节流装置 2 和外冷气控制元件 3 控制。泡管定径高度和直径由 4、8 控制。牵引速度和薄膜宽度分别由 5 和 6 控制。牵引速度和薄膜宽度分别由 5 和 6 控制。

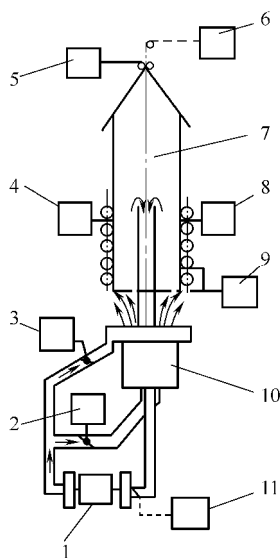


图 3-28 空气内冷系统原理
1—风机；2—节流装置；3—外冷气控制元件；4—定径高度控制；5—牵引速度控制；6—薄膜宽度控制；7—泡管；8—定径直径控制；9—定径信息贮存；10—口模；11—空气控制装置

对于聚丙烯一类结晶度高的塑料，生产薄膜多用下吹法，用水冷却，图 3-29 所示为水冷用的冷却水环结构。冷却水环是内径与管膜外径相吻合的夹套，夹套内通冷却水，冷水可从夹套中流出，也可像图 3-29

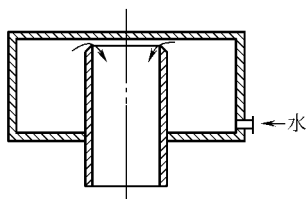


图 3-29 冷却水环结构

从夹套中溢出，顺薄膜流下。薄膜表面黏附的水分可用在导向辊上包布的方法除去。一般在冷却水环前放冷却风环，稳定泡管形状。

③ 人字板。人字板是稳定泡管形状，使其逐渐压扁导入牵伸辊的装置。它由两块板状结构物组成，因呈人字形，故俗称人字板（见图 3-30），其夹角可用螺丝调节。平吹法人字板夹角一般为 30° ，上吹法与下吹法大约为 50° 。夹角大，易操作，但太大会造成薄膜折皱，有荷叶边等现象。人字板用纸板、木板或铝板制造，也可用数根直径约 50mm 的金属辊筒排列起来代替，当薄膜冷却不够时，可在人字板或金属辊筒内通冷水进一步冷却。

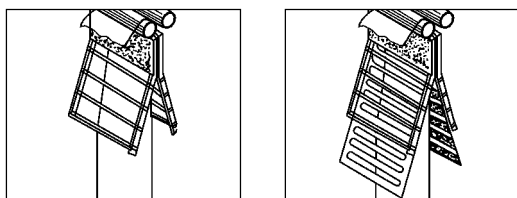


图 3-30 人字板

④ 牵引装置。其作用是将人字板压扁的薄膜压紧并送至卷取设备，以防止膜管内空气漏出，保证泡管形状及尺寸稳定。牵引装置由一对牵引辊组成。牵引辊之一用钢做成，其表面抛光或镀铬，另一个钢辊表面覆上橡胶。辊子之间的压力靠弹簧或气缸加载产生。用螺丝调节弹簧可以改变两辊之间的压力，以适应厚薄不同的薄膜。其中抛光或镀铬钢辊为主动辊，与可无级变速的驱动装置相连。牵引辊间的接触线应与人字板中心和机头中心对准，否则会造成薄膜各处到牵引辊距离不等而引起皱折现象。口模与牵引辊之间的距离至少为泡管直径的 3~5 倍。如果该距离太短，膜管圆周不同点到牵引辊的路程差使得薄膜压扁不产生皱折和变形就越来越困

难。此外，由于泡管冷却的路程太短，会造成泡管不能完全膨胀。

在已展平的薄膜进入卷取装置以前，不但要使薄膜完全冷却以避免粘连，也应使薄膜得以松弛，防以后收缩。在牵引装置和卷取装置之间应保持一定距离，其间还应设置若干个直径约 50mm 的金属导向辊或扩展辊，它们的作用是稳定卷取速度和薄膜位置，展平薄膜，防止薄膜皱折。扩张辊见图 3-31。

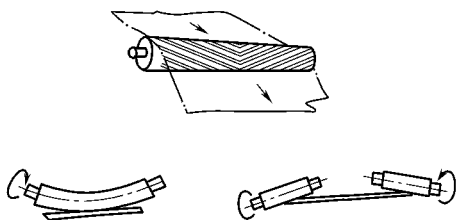


图 3-31 扩张辊

⑤ 卷取装置。卷取装置的作用是将薄膜平整、两边整齐、松紧适度地卷到卷轴上。因此要求卷取装置能提供可以无级调节的不因膜卷直径变化而变化的卷取速度和松紧适度的张力。卷取装置有中心卷取和表面卷取。

表面卷取见图 3-32(a)。电动机通过皮带（或链）将动力和速度传至表面驱动辊，驱动辊与卷取辊相接触，依靠两者之间的摩擦力带动卷取辊将薄膜卷在卷取辊上。这种卷取又叫摩擦卷取。其卷绕速度决定于表面驱动辊的圆周速度，而不受卷绕辊直径变化的影响。其卷取张紧力决定于表面驱动辊和卷辊之间的摩擦力。由于表面驱动辊往往放在卷取辊的正下方或斜下方，故它实际上承受卷绕辊的一部分质量，而摩擦力与这有关，故张紧力也决定于卷绕辊的质量（可见它是随卷辊所卷薄膜多少而变化的）。当薄膜厚度不均匀时，就会导致卷绕辊与表面驱动辊各点之间的压力发生变化，而使沿卷绕辊宽度上的张紧力分布不均匀，严重时，总的张紧力会与卷绕方向成一角度，最终导致卷绕成锥形或套叠形。从表面驱动辊传到卷取辊的摩擦力，当薄膜较薄时，会对膜的表面产生不良影

响。但这种卷取装置结构简单，卷取辊由表面驱动辊支撑，卷取轴不受弯曲，不需大的刚度，价格低廉，维修方便，一般适于卷取厚的薄膜和带状制品，以及适于中心卷取难于实现的宽幅薄膜的卷取。

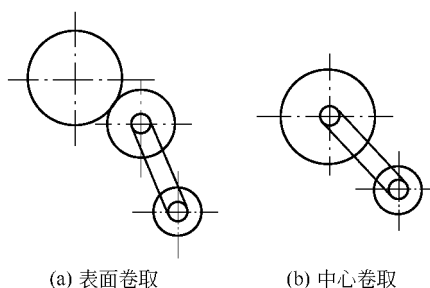


图 3-32 卷取装置

中心卷取见图 3-32(b)。驱动装置直接将力和速度提供给卷绕辊。这种装置可以卷取多种厚度的薄膜，膜的厚度的变化对卷取影响不大。可以在高速下实现自动换卷。

⑥ 切割装置。在用人工上卷的情况下，可用手动剪刀剪断。在装有高速、自动化水平高的卷取装置时，必须是自动切割装置。要求切割装置动作准确可靠，切断部分要有利于上卷。

常用的自动切割装置有电热切割法，即用电阻丝加热将膜熔断；还有飞刀切割法、剪刀切割法和齿状刀切割法。

⑦ 其他装置。为了适应高速吹塑机组的发展，提高自动化水平，在薄膜机组中逐渐采用了薄膜厚度、宽度自动检测以及反馈控制系统。一般机组中都设置了静电消除装置、自动记长装置等。

为了提高薄膜的卷取平整度，有利于二次加工（如印刷），除了采用旋转机头外，也采用人字板旋转或挤出机旋转的办法。

（3）吹膜辅机的维护保养

① 辅机安装注意事项

- 模具安装时要校正模唇的水平。
- 连接机头模具和机筒用螺栓，在安装前要涂一层二硫化钼

或硅油，便于在高温条件下机头模具的拆卸。

c. 风环、人字板和牵引辊的安装，应以机头模具的模唇口为基准。

d. 风环、人字板和牵引辊安装后，用线坠、角尺、水平仪和钢板尺测量校正。注意检查口模中心线的延伸线，即是风环的中心线，又是人字板夹角的等分线，同时又要通过两牵引辊的接触线，而且这条接触线还要与其垂直。

e. 对于牵引辊后面导辊和卷取辊的安装，注意各辊间的平行。在调整找正时，以牵引钢辊为基准，一个个往下排列找正调整。调整时用钢卷尺，包住要找正平行的两个辊面测量。分别调整辊两端距离尺寸相等，两辊即达到中心线的平行。

f. 对于传动零件链轮的安装，两皮带轮的安装方法要找正两传动链轮，以保证链条传动工作时平稳运行。

挤出吹塑薄膜成型用辅机的安装比较简单。各部件和零件间的相互位置尺寸，在固定机架安装好后，即可保证。在辅机安装前，一定要认真阅读辅机安装说明书，按说明书要求操作安装。

② 辅机生产前的准备

a. 检查各部位紧固螺母、安全罩是否松动。用手搬动对轮或V形皮带轮，检查传动系统是否正常。

b. 检查电控箱是否有接地保护，是否有紧急停车按钮，位置在哪，工作是否正确。

c. 试验供电、水和压缩空气及加热、冷却系统，是否连通，有无泄漏现象。

d. 按产品厚度要求，适当调整口模间隙，用塞尺检查，间隙要均匀。固定好调整螺钉。

e. 机头升温与机筒升温同时进行。升温到工艺要求温度时，恒温30min。用水银温度计校正控温仪表上的温度显示误差。

f. 核实风环与模口距离，检查风口角度和风量大小、人字板角度和牵引辊的夹紧力大小、两辊接触是否均匀，用塞尺检查、调整。

- g. 试验牵引辊和卷取装置的工作运转情况。
- h. 排除发现的故障，一切正常。清理辅机附近环境，准备投料开车。

③ 生产开车

- a. 清理模具口，用铜丝刷或铜铲工具清理，涂上石蜡。
- b. 低速启动挤出机电动机、牵引机和卷取电动机，观察各电机的电流表指针摆动情况，是否在额定值内。一切正常时开压缩空气和风机。检查各部位运转和工作声音是否正常。
- c. 塑化好的熔融料挤出口模后，开始手工牵膜。牵伸膜管至一定长度，把膜管端拍扁黏合，黏合线与牵引辊平行。泡管形成后，进气量要均匀。牵引泡管要速度平稳，速度过快泡管容易拉断；速度偏慢，又容易塌泡。进入牵引辊前泡管折径要平整，不能让膜多层折叠在一起引进牵引辊，更不能让膜黏结在一起，成团状进入牵引辊。避免损坏牵引辊和传动零件。牵引辊传送过来的膜，通过各导辊进入卷取装置。
- d. 各生产设备全部投入工作。要立即检查膜的厚度公差尺寸、膜折径宽度和膜的表观质量，观察塑化质量。根据塑化质量，调整各部位温度。按膜的厚度公差和折径尺寸，适当调整口模和进入泡管风量及吹胀比。调整挤出料速度、牵引速度和卷取速度，三者速度要匹配协调，保证膜的尺寸公差，使生产平稳运行。正常生产运行时，经常要查看薄膜的表面质量，若出现皱褶、发暗、有条纹等问题，分析产生的原因，然后局部调整某一装置。
- e. 在用工具清理口模时，不准用刀铲等较硬工具清理，避免划伤模具唇口，影响制品质量。断膜时不准用刀在辊上断膜，避免划伤辊的工作表面。

④ 机头模具对制品质量的影响

- a. 芯棒倾斜，口模、芯棒不同心。(a) 泡管偏离中心线；(b) 膜的薄厚不均，误差较大；(c) 泡管牵引较困难；(d) 薄膜制品有皱褶。
- b. 料流道表面粗糙。(a) 薄膜透明性差；(b) 膜面有不规则

丝状条纹。

c. 内腔过渡弧线有凸凹台死角。(a) 膜面有黄色焦斑；(b) 泡管易破裂。

d. 机头各部位温度均匀性差。(a) 膜的厚度误差较大；(b) 温度较高部分，膜面发黄、易断裂、有纵向纹条；(c) 温度较低部分，膜透明性较差。

e. 流道内腔压缩比较小。膜面有纵向熔接线条纹。

f. 模唇口有划痕。膜面有纵向条纹。

g. 模唇口不水平。(a) 薄膜厚薄误差大；(b) 膜面皱褶多。

⑤ 风环工作对制品质量的影响

a. 风量较小。(a) 泡管冷凝线偏高，泡管膜冷却不良；(b) 薄膜厚度误差较大。

b. 风量较大。(a) 泡管膜冷凝线偏低；(b) 膜制品透明性差。

c. 风环圆周风量不均。(a) 泡管膜偏离中心；(b) 膜面有皱褶；(c) 膜厚度误差大。

⑥ 人字板角度位置不正对制品质量的影响 膜面有皱褶。

⑦ 牵引辊工作对制品质量的影响

a. 牵引速度偏快。(a) 泡管膜易拉断；(b) 膜透明性差；(c) 膜易黏结。

b. 牵引速度不稳定。(a) 膜制品厚度误差大；(b) 膜面有皱褶。

c. 牵引辊夹紧力不均匀。(a) 膜牵引容易走偏；(b) 膜面产生皱褶。

2. 挤管辅机

管材是挤出制品的重要产品之一。随着社会需要的增多，塑料品种的增加和挤出工艺的发展，管材的生产得到很大的进展。可以用作管材原料的塑料有（软质和硬质）聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、ABS、聚酰胺、聚碳酸酯、聚四氟乙烯等。目前我国塑料管生产以聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯为主，管子的直径小至几个毫米，大至 500mm 都有生产。生产管材的工艺有好多种，此处只介绍用

挤出法生产管材所用的挤出辅机。挤出硬管材的机组如图 3-33 所示, 由机头出来的已初步成型的坯料进入冷却定型装置, 在冷却定型装置内其温度逐渐下降, 获得所需要的最终几何形状、尺寸精度、表面粗糙度, 然后进入冷却水槽进一步冷却, 最后由牵引装置牵引至切割装置, 切成所需要的长度。图 3-34 为软质塑料管挤出机生产线。

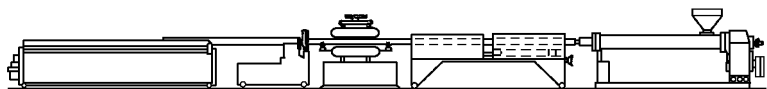


图 3-33 挤出硬管材的机组

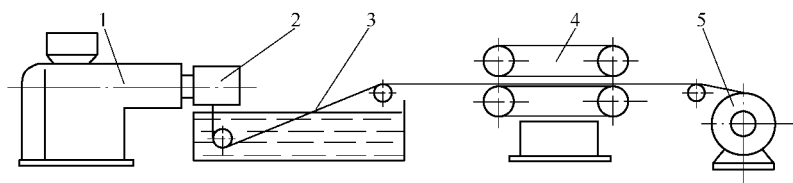


图 3-34 软质塑料管挤出机生产线

1—挤出机；2—软管成型模具；3—冷却水槽；4—牵引机；5—收卷机

由图可见, 挤管机组包括主机、机头、定型装置、冷却装置、牵引装置、切割装置和卷取装置。

挤出管材的挤出机分为单螺杆挤出机和双螺杆挤出机。用双螺杆挤出机直接将硬聚氯乙烯粉料挤出成型管材的方法生产效率高, 管材质量好。单螺杆挤出机多用来挤出聚乙烯、聚丙烯管材。

挤出管材所用机头形式较多, 若按物料在挤出机和机头中流动方向是否变化来分, 基本上可以分为三种: 直通式机头、直角机头和偏置机头。用何种机头与材料种类、管子的标准及定型方法有关。

(1) 挤管机组的组成

① 定型装置。为保证管子正确的几何形状、尺寸精度、粗糙度, 具有相当高的温度管坯离开口模后, 必须进行定径和冷却, 定

径装置即起这个作用。管材的定径方法一般有两种，外定径和内定径。

a. 外径定径。是靠管子外壁和定径套内壁相接触进行冷却来实现的。根据实现接触的方法，又可分管内充气加压定径法和在管外壁与定径套内壁之间抽真空的真空定径法。

(a) 内压充气法。这是一种管内加压缩空气、管外加冷却定型套，使管材外表面贴在定型套内表面迅速冷却固定外径尺寸的方法（见图 3-35）。定径套可用螺纹或法兰连接到机头上。螺纹连接装拆方便，定径套与口模、芯模同心，管材圆度好，缺点是模口处散热较大，导致管材表面粗糙，但装绝缘垫可改善；用法兰连接，接触面积小，热损失小，但使定型套、口模、芯模同心较难。在挤出管中通以压缩空气，为保持气压，在管子的远端设置用橡皮制成的气塞进行密封。橡皮塞固定在气塞杆上或与链条（钢丝绳）相连。气塞杆用螺丝固定在芯模上的。生产小口径管，装气塞不方便，可用薄膜或布包扎管口，但每次切断管材后要重新包扎，较麻烦；生产大口径管，气塞杆太长，使用不便，可用链条（钢丝绳）代替。更换气塞必须熟练。适于大直径和薄壁管。压缩空气压力的大小决定于管子的直径、壁厚以及物料的黏度，一般取 $0.02 \sim 0.049 \text{ MPa}$ 。当管子通过由水冷却的定型套时，就会迅速冷却硬化，将外径尺寸确定。

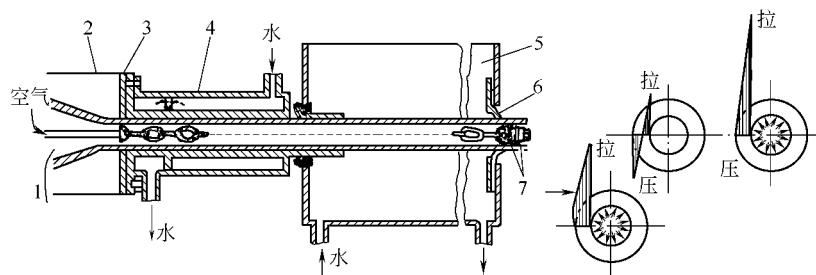


图 3-35 内压充气法（外径定）

1—芯棒；2—外口模；3—绝热橡胶垫；4—外定径套；

5—水浴槽；6—密封套；7—橡胶垫

(b) 真空定径法。这是一种借助管外抽成真空而将管外壁吸附在定型套内壁冷却定外径尺寸的方法（见图 3-36）。真空定径套与机头相距约 20~50mm。管材先经空气冷却，然后进入真空定型套。有的定型套内分隔为三段，第一段冷却，第二段抽真空，第三段继续冷却。真空段实为一圆筒，周围打上直径为 0.5~0.7mm 的小孔，这些小孔与真空泵相连。真空度一般为 0.04~0.067MPa。这种方法简单，不存在内压充气法的更换气塞，有压力损失的问题，易于操作，生产稳定，适合加工聚烯烃等结晶性材料的中小尺寸的管子。管子的内应力较小，废料较少。缺点是管径大时，靠抽真空吸力难以控制得到好的圆度，抽真空设备费用较贵。

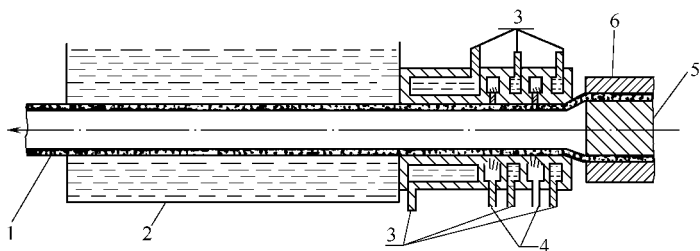


图 3-36 真空定径

1—管子；2—水槽；3—冷却水；4—通真空泵；5—芯模；6—口模

我国塑料管材标准规定了管子的外径公差，因此我国皆用外径定径。用外径定径的方法生产的管子，其外径尺寸精度好，表面粗糙度高，外观好，但内表面粗糙。有缺陷，不利于物料流动。用这种方法生产的管子，其外层最先冷却，内层最后冷却，物料收缩到最先冷却的外层硬壳上，故外层处于压应力状态，而内层处于拉应力状态。

b. 内径定径。它是一种在具有很小锥度的芯模延长轴内通冷却水，靠芯模延长轴的外径确定管子内径的方法。管材从机头上出来后就套在冷却定型套——芯模延长轴上，使管材内表面冷却而定径。这种方法多用直角机头或偏心机头，便于冷却水从芯模后部流

入冷却定径套，使管子内外部同时冷却（见图 3-37）。这种方法特别适于 PE、PP，尤其是要求内径尺寸稳定的包装筒。由于机头流道较长，这种方法对硬聚氯乙烯等流动性差、易分解的塑料应用较少。但这种方法由于管子内外表面同时冷却，机头阻力小，故可以以高于外径定径的牵引速度进行生产，产量可提高。

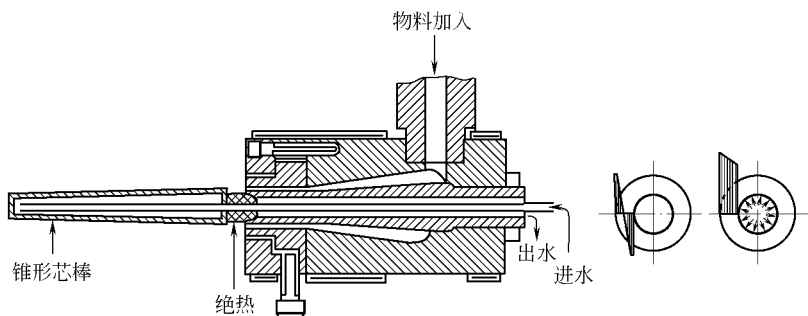


图 3-37 内径定径法

用这种方法生产的管子适于充内压。由于机头流道长，料流稳定，竹节现象少，管材质量好。其内孔表面质量好，尺寸精度高，有利于管内流体的流动。但其缺陷多集中于外径，外观不及用外径定径所生产的管子的质量好。用这种方法生产管子，操作简单，不受压缩空气等因素的影响，但冷却水对机头温度有影响。

② 冷却装置。冷却装置管子由冷却定型装置出来时，并没有完全冷却到室温，如果不继续冷却，在其壁厚径向方向存在的温度梯度会使原来冷却的表层温度上升，引起变形，因此必须继续冷却，排除余热。冷却装置就承担了此项工作，使管子尽可能冷却到室温。冷却装置一般有冷却水槽（见图 3-38）和喷淋水箱两种，对于薄壁管子，有的采用冷空气冷却。

冷却水槽一般分 2~4 段，长约 2~3m。一般通入自来水或经过热交换器的循环水作为冷却介质。水多从最后一段水箱通入，使水流方向与管子运动方向相反，以使冷却缓和，减少管子的内应力。水槽中水位应将管材完全浸没。冷却水槽因上下层水温不同，

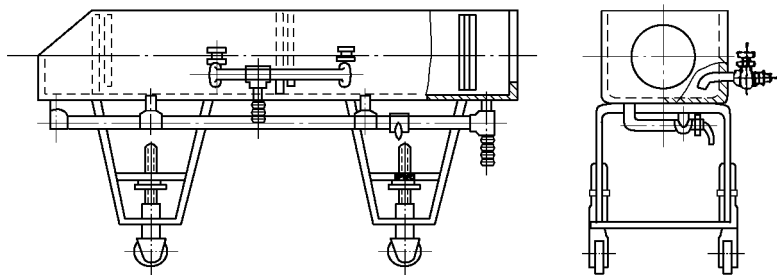


图 3-38 冷却装置

管材有可能弯曲，大管所受浮力大，也易弯曲。冷却长度与冷却水温、管子给定的温度、管子的壁厚、牵引速度和塑料的种类有关，几乎完全凭经验决定。一般要求冷却后管子的平均温度为 30°C 。结晶型聚合物冷却水槽的长度一般为聚氯乙烯的两倍。

喷淋冷却中，喷淋水管可有 $3\sim 6$ 根，均布管子周围。靠近定径套一端喷水孔较密。喷淋冷却能提供强烈的冷却效果。由于水喷到四周的管壁上，故克服了水槽冷却因粘到管壁上的水层大大减少热交换的缺点。该方法适于大直径管材的冷却。

③ 牵引装置。牵引装置（见图 3-39）作用是给由机头出来的已获得初步形状和尺寸的管子提供一定的牵引力和牵引速度，均匀地引出管材，并通过牵引速度调节管子的壁厚。牵引速度必须能在一定范围内进行无级平滑地变化。由于同一台挤出机要挤出不同直径的管材，故其速比范围要宽一些，通常为 $1:10$ 。牵引力也必须能保持恒定，否则会在管材表面形成波纹。牵引装置对管子的夹持

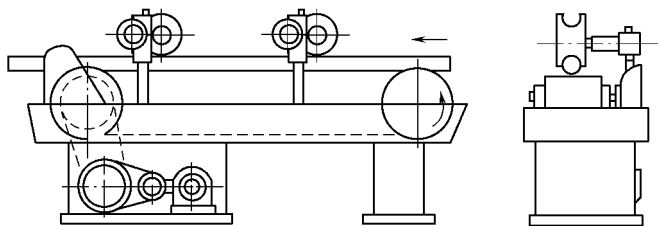


图 3-39 橡胶带式牵引装置

力必须能调节，以使薄壁管材不产生永久变形，同时也能适应挤人大直径管子时需要的大的牵引力。

④ 切割装置。如果是硬管，当管子挤到一定长度后要切断，这就需要切割装置。切割装置的好坏影响切割尺寸。要求切断尺寸准确，切口均匀整齐。切割装置有自动式或手推式电动圆锯切割机。

⑤ 卷取装置。如果是软管，就要用卷取装置。卷取装置有卷盘式与风轮式。

(2) 挤管辅机运行步骤 挤管辅机在运行前要进行试车，试车后要生产开车，各具体步骤如下。

① 挤管辅机的试车。(a) 试车前应认真阅读设备说明书，按说明书核对各辅机安装是否正确。(b) 检查电机、减速箱中润滑油，油量是否充足到位。(c) 检查各紧固螺母是否松动，安全罩是否牢固。(d) 用手搬动 V 形皮带，查看各传动件是否能灵活工作，有无卡紧现象。(e) 检查控制箱是否有接地保护装置。(f) 试验安全保护设施是否能正常、准确工作。(g) 检查、调整牵引机上的管材夹紧输送装置，与管材外圆的接触和夹紧力是否均匀（可用塞尺检测）。(h) 合闸送电。低速启动电动机，观察各传动零件和夹紧输送管材装置的运行情况。听传动运转声音，看电流表是否超载，夹紧装置运行是否平稳。(i) 开车运转正常，进行调速试验。缓慢升降（升到最高速，降到最低速）牵引机的夹紧输送装置的运行速度，观察运行是否平稳，升降调速是否灵活准确工作。

如果变速装置是齿链式变速箱，开车前应把传动比调到 1 : 1 位置。然后再开车，转动变速手轮，升降调速。

② 挤管辅机生产开车。(a) 当挤出机升温操作工作完成后，挤出机电动机启动投料。这时，辅机的牵引机开车，切割机合闸送电。(b) 牵引机的夹紧输送装置缓慢运行，观察电动机工作电流、运行速度是否平稳。(c) 牵引机的夹紧输送装置工作正常后，调整牵引速度接近管材挤出速度。(d) 当管材进入牵引机后，微调变速装置，使牵引速度与管坯挤出速度匹配。(e) 调速后观察管材直

径规整、表面无横向皱纹，说明牵引速度及夹紧力比较适合要求，能正常生产。(f) 当管材运行延伸长度端面碰到限位开关，切割机夹紧装置夹住管材，切割锯片转动切管。切割部分随管材同时沿轨道移动，直到锯断管材，切割部分返回原位，等待第二次切割。

(3) 挤管辅机工作对制品质量的影响

① 定径部分工作条件对制品质量的影响。定径部分的工作条件包括空气压力不足（内压法定径）、真空度不够（真空外径定型法）、冷却水温控制偏高和定型段长度偏短。这几个条件有一项不符合工艺条件要求，都要影响制品的截面几何尺寸和形状，有较大误差。定径装置内径表面不光滑，将使制品表面粗糙、无光泽。

② 冷却水槽工作条件对制品质量的影响。(a) 水槽长度尺寸不够，水温偏高，将影响管材冷却效果，使管材易变形。(b) 管材冷却不均匀，管材容易弯曲。

③ 牵引机工作对制品质量的影响。(a) 牵引机的夹紧输送部分运行不稳和夹紧力不足。影响制品有横向皱纹，直径忽大忽小，管壁厚不均匀。(b) 牵引速度偏快。制品直径收缩率大，管坯易拉断，影响管材强度。(c) 夹紧输送带运行偏离管坯挤出中心线，使管材弯曲变形。(d) 夹紧力过大，薄壁管易变形。

(4) 辅机的工作故障及产生原因

① 牵引机的夹紧输送装置运行不稳。(a) 输送带自身打滑；(b) 传动 V 形皮带工作打滑；(c) 速度控制仪器失灵；(d) 减速或变速箱内，传动齿轮掉齿。

② 履带运行时抖动。(a) 传动链条磨损严重，链节距增大，链条过长；(b) 传动辊中心距过小；(c) 橡胶块破损；(d) 减磨托条变形；(e) 牵引力不稳。

③ 切割机圆锯片跳动。(a) 锯片转动轴弯曲；(b) 锯片固定螺母松动；(c) 锯片转动轴承磨损严重；(d) 圆锯片变形；(e) 锯片外圆不同心。

④ 切割部分移动不灵活。(a) 夹紧力不足；(b) 运行导轨不水平，导轨变形；(c) 运行传动零件工作位置错位。

3. 挤板（片）辅机

塑料板（片）材是常用的工业用材。随着工业的发展和塑料应用的扩大，板（片）材的需要量越来越大。可以用作生产板（片）材的塑料有聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、纤维素等。成品宽度最大为3~4m。通常把厚度0.25~1.0mm称为片，1.0mm以上的称为板。

板（片）材生产的方法有多种，如层压法、压延法、挤出法等。挤出法是最简单的。图3-40为挤板（片）机组示意。由图可以看出，挤板机组由挤出机、挤板（片）机头、三辊压光机、牵引装置、切割装置等组成。由机头出来的熔料立即进入三辊压光机，再经冷却输送辊、切边装置、牵引装置、切断装置，最后得到成品。

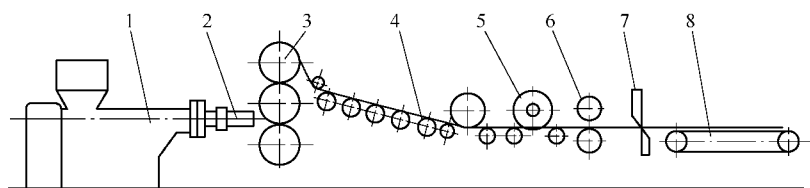


图 3-40 挤板（片）机组示意

1—挤出机；2—板材成型机头；3—三辊压光修整机；4—冷却输送辊组；5—切边机；6—牵引机；7—切割机；8—输送机

（1）挤出机组的组成 挤出板（片）材用的机头统称狭缝机头，又分为鱼尾机头、衣架机头、支管机头和螺杆分配机头、挤出多层复合板（片）材的机头等。

① 三辊压光机。熔料由机头出来时温度较高，立即进入三辊压光机，由三辊压光机压光并逐渐冷却。三辊压光机还能起一定的牵引作用，调整板（片）材各点速度一致，保证板的平直。三辊压光机由直径200~450mm的上、中、下三个辊组成。中间辊的轴线固定，上下两辊的轴线可以上下移动，以调整辊隙适应不同厚度的板（片）。三个辊都是中空的，且都带有夹套，为的是通入介质

(多为蒸汽、油或水)进行温控。辊筒长度一般比机头宽度稍宽,其表面镀硬铬。

三辊压光机辊筒的排列方式有多种,如图 3-41 所示。其中,图 3-41(a) 较常用,它在压光方面和产生的弯曲应力方面,综合效果是较好的,结构也比较简单。图 3-41(b) 主要用于大型挤板机以增大下面的空间。图 3-41(c)、(d)、(e) 结构比较紧凑,但机架的机械加工较复杂。图 3-41(c) 包角大,对压光有利,但对塑料产生的弯曲应力大。图 3-41(d)、(e) 包角小,对压光不利。图 3-41(f) 为辊筒的结构。三辊压光机与机头的距离应尽可能靠近,一般为 5~10cm,若太大,板(片)易下垂发生皱折,粗糙度不好,同时易散热冷却,对压光不利。

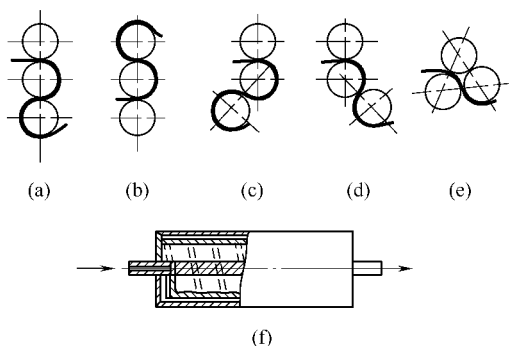


图 3-41 三辊压光机的排列形式及辊筒的结构

三辊压光机的辊距应能准确调节,否则会影响压光质量。但靠压光机辊隙来纠正板(片)的表面不平度是有一定限度的,因为它不同于压延机,其辊筒和机架的强度和刚度远没有压延机好。

各压光机一般采用链传动、齿轮传动或蜗轮传动。各辊的速度应保持同步。为了适应主机的不同挤出量和机头的不同缝隙,压光辊的圆周速度一般应有较大的调节范围,多为 1:20 左右,最大圆周速度为 2~8m/min。三辊的牵引速度必须控制到与挤出量相适应或稍快,以使皱纹消失,并抵消物料离开口模时的膨胀和减少板

(片)材的内应力。

② 牵引装置。由压光辊出来的板(片)在导辊的引导下进入牵引装置。牵引装置一般由一个主动钢辊(在下方)和外面包着橡胶的被动钢辊组成。两辊靠弹簧压紧。其作用是将板(片)均匀地牵引至切割装置,防止在压光辊处积料,并将板(片)压平。其牵引速度要与压光辊同步,或稍小于压光辊的速度,这是考虑到冷却给板造成收缩的缘故。牵引辊的速度应能无级调节,上下辊的间隙也应能调节。

③ 切割装置。板(片)材的切割包括切边和裁断。板(片)材因其两边往往厚薄不均,也不整齐,故两边要切去一部分。多用圆盘切刀进行切割。圆盘切刀装在牵引辊以前。板(片)材最后要切成一定长度。裁断方式有电热切、锯切和剪切,用得最多的是后两种。其中锯切消耗动力小,也较简单,但噪声较大,且锯屑飞扬,切断处有毛边,效率也低。锯片必须与板(片)同步移动才能切出垂直于移动方向的切口,这种方法适于切硬板。剪切的方法不易产生飞边,切裁速度快、效率高、无噪声和飞屑,工人劳动条件好,但剪床设备庞大而笨重。这种方法主要适于切平的软板(片)。

④ 其他装置。在三辊压光机与牵引装置之间有若干个冷却输送辊,其作用是输送并冷却板(片)材。

关于板(片)材的自动测厚,目前已能用 β 射线自动测厚仪连续测示,这种测示方法不直接与板(片)材接触,不会损伤板(片)材。测厚仪可沿板(片)的横向移动,将测得的厚度自动记录下来。这种测示方法快而准确,其精度可达 0.002mm 。还可以在测厚仪和口模阻力调节器或螺杆转数之间建立反馈系统,通过调节口模的阻力和螺杆转数来控制板(片)材的质量。

(2) 板(片)材生产设备工作对产品质量的影响

① 机筒加热温度波动误差大。(a)板(片)材表面有横纹;(b)板(片)材纵向厚度误差大;(c)板(片)材表面不平整、粗糙。

② 螺杆转速不稳定。(a)板(片)材纵向厚度误差大;(b)板(片)材表面不平整。

③ 过滤网破裂。(a) 板(片)材表面粗糙、不平整;(b) 有纵向纹。

④ 机头模具温度分布不合理。(a) 板(片)材的横向厚度误差大;(b) 板(片)材表面不平整。

⑤ 模唇间隙不均匀。(a) 板(片)材横向厚度误差大;(b) 有纵向纹。

⑥ 模唇粗糙度不高有划痕。(a) 板(片)材表面不光亮、粗糙;(b) 有纵向纹。

⑦ 三辊压光机对产品质量的影响。(a) 三辊辊面粗糙、有划痕,影响板(片)材表面不光亮,有纵向纹;(b) 三辊没有中高度,使板(片)材中间厚度偏厚;(c) 三辊中高度偏大,使板(片)材中间厚度偏薄;(d) 三辊温度偏低,使板(片)材表面发暗、粗糙;(e) 三辊间隙不均匀,使板(片)材横向厚度误差偏大,有纵向纹;(f) 三辊转速不平稳,使板(片)材有横向纹,纵向厚度误差大。

⑧ 牵引速度偏慢。(a) 板(片)材表面有横纹;(b) 板(片)材的纵向厚度误差大。

⑨ 牵引速度偏快。(a) 板(片)材宽度难达到尺寸;(b) 板(片)材强度降低。

(八) 挤出机机头模具的使用与维修

辅机和挤出机配合工作,来完成塑料制品的成型生产,是塑料制品生产线上不可缺少的设备。辅机中各设备的工作好坏,同样对制品的质量有重大影响。这里介绍机头模具的使用与维修。

在挤塑成型制品生产中,发生质量问题和一些故障,对机头模具的拆卸和调整是经常出现的工作。所以,在日常生产中,对机头模具的正确使用和拆卸,就是对机头模具最好的维护保养。

1. 机头模具的维护保养

① 机头模具安装前要清理干净,搬动和存放,要轻拿轻放。

② 装配顺序应该先装与机筒连接的法兰,然后是机头外套、

分流锥体、芯棒、口模、定型套和紧固压盖。

③ 各连接调整螺钉在使用时先涂一层二硫化钼或硅油，便于高温状态下拆卸。连接螺栓在紧固时，应对角两螺栓同时紧固，避免两连接零件端面不能紧密接触。

④ 调节口模与定型套，注意要先松开管坯壁薄侧螺钉，然后再紧壁厚侧调节螺钉。避免折断螺钉或零件变形。

⑤ 机头模具的安装和拆卸时，不许用手锤击打模具。拆卸时要与装配顺序相反，一件件拆下。同时要立即清理干净各零件。清理黏料用比较软的金属片或工具，不能划伤零件各工作面。

⑥ 如机头模具暂不用，组装机头时应涂防锈油，进出料口要封好，避免杂物进入机腔内。

2. 机头模具的维修与制造

当塑料制品表面出现有焦斑、纵向沟纹和截面几何形状误差较大时，经调整机筒和机头模具的温度，这些质量问题还没有解决，可能是机头模具出现问题，应拆卸机头检查。如果是由于机头内有一些分解料或有划伤部位，经清理和钳工对划伤部分的修理、研磨，制品出现的焦斑和纵向沟纹，就可以消除了。

对于制品的截面几何形状误差大，如果经对挤出机、机头和冷却等部位的温度调整还不见效，这时就应该考虑对机头模具进行制造更换。产生问题的原因是定型套磨损严重，机头模具内压缩比较小。

(1) 机头模具制造技术要求

① 对机头模具制造用材料要求。耐高温，在高温条件下工作不变形；耐腐蚀；耐磨损；机械加工性能好。比较常用的材料有40Cr、1Cr13、2Cr13、3Cr13、65Mn和铬锰合金钢。

② 毛坯材料应进行锻造，经自由锻造，留6~10mm加工余量。

③ 正火处理。消除锻造应力，晶粒细化，改善切削加工性能。

④ 粗加工各部留2~3mm加工余量。

⑤ 调质处理 HB235~275。

⑥ 精车各部。精车时要分半精车和精车两次加工。同心度精度要求高的圆和端面与中心线垂直度要求精度高的部位，注意要尽量在一次装夹中完成加工。

⑦ 料流道表面镀硬铬厚度 0.03~0.05mm。

(2) 机头模具装配要求

① 装配前要清理各部位毛刺，清洗干净。

② 两零件结合面要严密贴合，接缝处无凸凹台，应平滑过渡，无滞料死角。

③ 零件连接螺栓，装配时要涂一层二硫化钼润滑油，便于高温时拆卸。注意机头模具升温后，再紧固一下机头与机筒的连接螺栓，避免漏料。

④ 电加热套与机头模具要紧密贴合。

⑤ 水、气管路接头密封好，不许有泄漏。

⑥ 调整口模、定型套与芯棒间隙，要均匀。

(3) 机头模具对制品质量的影响

① 口模与芯棒同心度误差大。制品的截面几何形状尺寸误差大；制品弯曲；表面有横向皱纹。

② 分流锥体角度过大。制品表面有焦斑；料流阻力大，在机头内易分解。

③ 定型段比较短。制品表面有纵向纹线；表面无光泽，粗糙；制品截面几何形状尺寸误差较大。

④ 压缩比小有纵向接缝线。截面形状误差大；制品不密实，强度差。

⑤ 料流道表面粗糙。制品表面无光泽；表面有焦斑。

⑥ 定型套内表面不光滑，有划伤。制品表面无光泽；表面有纵向沟纹。

⑦ 机头体各部位温度误差大。截面几何形状尺寸误差大；有表面水纹，色泽不一；制品容易弯曲。

(4) 机头的工作故障及产生原因

① 口模出料不匀。模具各部位温度差比较大；口模与芯棒之间的间隙不均匀；口模出料部位有异物或焦料局部堵塞；机筒加料口部位进料有“架桥”现象发生。

② 物料易分解。分流锥角度大；料流道表面粗糙；有滞料区，内腔各件连接过渡弧线有死角；模具腔内压缩比过大。

③ 机头模具面漏料。连接螺栓拉伸变形；零件接触面光滑度不够，端面接触不严密；紧固螺钉拧紧力各部位不均匀；模唇口堵塞，机头体内压力增大；机头模具升温后，没有重新再紧固一次连接螺栓。

二、挤出成型工艺过程

单螺杆挤出机挤出成型塑料制品的工艺过程是，按塑料制品配方要求，把混合均匀的原料经料筒送入挤出机的机筒内。随着螺杆的旋转，原料被螺纹强制推向机筒前方。由于机筒前面有过滤网、分流板和成型模具的阻力，再加上螺纹间容积的逐渐缩小，被螺纹推动前进的原料在受到很大的压力，同时原料又受机筒的供热，原料在受挤压、剪切、搅拌作用时，与机筒、螺纹间的摩擦及原料分子间的摩擦，都会产生一定的热量。结果，原料在机筒中温度逐渐升高，其物理状态也随之逐渐由玻璃态转变为高弹态，最后成为黏流态，达到完全塑化。由于螺杆一直在稳定不停地旋转，则把塑化均匀的熔融料等压、等量地从成型模具口挤出，成为具有一定形状的塑料制品。再经冷却定型，即完成挤出成型制品工作。

1. 挤出成型三个阶段

挤出成型制品的过程可分为三个阶段：塑化、成型、定型。

(1) 塑化 固体废旧塑料由料斗加入挤出机料筒后，经料筒加热、螺杆的旋转、压实及混合作用，将固态的粉料或颗粒转变为具有一定流动性的均匀连续熔体。

(2) 成型 塑化均匀的塑料熔体在螺杆的旋转、挤压、推动作用下，通过具有一定形状的口模得到截面和口模形状一致的型材（如棒、管、丝、薄膜等）。

(3) 定型 被挤出的具有一定高温的型材在挤出压力和牵引的

作用下，经过冷却后，形成具有一定强度、刚度和一定尺寸精度的连续制品。

由此可见，挤出成型可连续化、自动化生产，生产效率高、设备简单、操作容易，可通过使用不同形式口模生产不同横截面的制品，投资少、见效快。

2. 挤出成型工艺控制

挤出成型的有效运行要求挤出机和模具的运行环境良好，即保持在由材料特性和模头运行特性的范围内。这就要求对工艺参数如温度、压力、挤出机速度和辅助下游设备的速度进行控制。该控制的有效性对控制产品尺寸和均匀性起决定性作用。

(1) 温度的控制 在挤出成型的温度控制中，所能控制的是挤出机料筒、模头及连接器的温度。这些温度决定了挤出机内热传递的环境，也是熔融温度的决定性因素。

(2) 压力控制 指对塑料机头的压力控制。

(3) 挤出机速度的控制 指螺杆速度的控制。

(4) 辅助下游设备的速度控制 主要指牵引装置的速度控制。

三、挤出机的操作有关事项

1. 正确合理地使用挤出机

机器设备使用寿命的长短、生产效率的高低和产品质量的好坏都与设备的制造质量和对设备规格型号的选择有关。但是，如何让操作者合理使用设备、如何注意设备维护保养，对延长挤出机的使用寿命和正常发挥挤出机应具备的生产效率，也有直接关系。要做到正确合理地使用挤出机，必须注意以下几点。

① 挤出机生产线上相应的配套设备、每台机器的生产能力要匹配，各台设备能充分发挥作用，使生产线上各设备能协调工作。上下工序间供大于求或不足、停止等，都属于选择设备不配套、规格选择不合理。

② 应按产品的规格需要量选择挤出机的规格型号。若使用大规格挤出机生产较小规格产品，要增加动力消耗、加快挤出机磨损，提高产品的制造成本，是一种不讲经济核算、很浪费的生产

方案。

③ 要想保证挤出机能在较长时间的最佳状态下工作，就应该配备相应熟练的技术操作工。要求操作工既要有熟练的操作技能，又要了解设备的结构、功能和加工产品的规格及生产能力；同时，还应知道如何对设备进行维护保养。对于新工人的使用，必须经过技术培训，让他们熟记设备操作规程；进行实际操作培训，经考试合格后，才能上岗独立操作。

④ 挤出机要有一个较好的工作环境。生产车间内的设备要防潮、防腐蚀、防受压和风沙。

2. 挤出机的维护保养与维修的关系

设备的维护保养与维修是对设备进行的两种不同维护方法，但目的只有一个，即希望生产设备能保持最佳运转状态，保证设备能有最高的产量和最好的产品，尽最大可能延长机器设备的工作使用寿命。

设备维护保养是一项经常性的工作，内容包括：要求操作工人严格认真地按着挤出机的操作规程使用设备；操作生产、经常清洁擦洗设备灰尘和油污及加注润滑油工作；巡视观察机器的运转情况，发现问题及时请有关人员排除。这样可以延缓机器零件的磨损，延长机器的使用寿命。

设备修理是修复由于正常或不正常原因引起的机器零件的损坏。通过修理或更换某一零件，使设备恢复正常工作能力，这是修理的目的。

要注意维护保养与维修是同等重要的工作。维护保养是对设备零件磨损破坏的一个防护措施，维修更换零件是保证生产正常进行，使设备发挥原有性能的一个必要手段。这两项工作要很好地结合起来，以防为主，防患于未然。在机器零件损坏不能工作之前，应及时修理更换，才能保证机器长期有良好工作状态。

3. 挤出机开车前的准备工作

① 清理挤出机周围的环境卫生，清洗挤出机及附属设备。

② 认真学习挤出机操作规程，了解、熟悉设备结构中各部位

零件的功能作用，熟记各开关、按钮的功能及用法。

- ③ 检查设备上各螺母是否松动。
- ④ 检查各安全防护罩是否牢固。
- ⑤ 检查 V 形带的安装松紧，适当调整。
- ⑥ 搬动 V 形带，转动应该比较轻松，螺杆转动无卡紧现象。
- ⑦ 检查螺杆旋转方向。面向机筒口查看，如果螺杆的螺纹是右旋，则螺杆的旋转方向应该是顺时针转动才正确。
- ⑧ 检查设备和控制箱的接地保护是否紧固。
- ⑨ 测量机筒和螺杆装配后的实际间隙，同时检测螺杆外圆和机筒内孔的实测尺寸，记录备案。这个尺寸应符合 GB 8061—1996 标准规定。

⑩ 清点专用工具和附属配件，做记录。

4. 挤出机空运转试车检查

(1) 挤出机的机筒不加热升温空运转试车检查

- ① 控制箱电路合闸供电。
- ② 启动润滑油泵，齿轮箱润滑 3min，各润滑部位加润滑油。
- ③ 检查料斗，内应无任何异物，再搬转一次 V 形带，应转动平滑无阻滞现象。
- ④ 低速启动螺杆驱动电机运转。
- ⑤ 观察电压表、电流表指针摆动是否正常。
- ⑥ 核实螺杆旋向是否正确。
- ⑦ 检查、试验设备上的紧急停车按钮、应准确可靠工作。
- ⑧ 检查润滑油工作管路是否通畅，喷油位置是否正确，各部位有无漏油现象。
- ⑨ 检查冷却水管路送水，应无渗漏现象。
- ⑩ 退出螺杆，检测螺杆传动轴的最高、最低转速 (r/min)，应与说明书一致。

(2) 机筒各段加热升温空运转试车检查

- ① 机筒各段加热升温，按工艺温度要求调整控温仪表。
- ② 用水银温度计检测机筒各段温度，核实、调整仪表显示温

度与水银温度计的检测温度。

③ 检查加热装置中是否有加热电路断路报警，是否能正确工作。

④ 机筒加热升温至工艺温度后，恒温加热 1h，记录升温时间。

⑤ 重新紧固机筒与机筒座连接螺钉。

⑥ 低速启动驱动螺杆电机，观察电压、电流表摆动是否有异常；看螺杆转动是否平稳；听传动各零件工作运转声音是否有异常。一但异常立即停车。注意：螺杆空运转时间不应超过 3min。

如果空运转试车检查挤出机的实际工作参数与挤出机说明书（或合同要求）上的不符，应立即与挤出机生产方联系，以使发现的问题及时解决。

5. 挤出机投料试车检查

① 检验试车用原料的质量。颗粒大小是否均匀、料是否潮湿（如含水分较大时应进行干燥处理）、料中是否有杂质。

② 核实螺杆结构。是否适合试车用料的塑化工艺条件要求。

③ 安装过滤网和分流板。

④ 安装试车生产的塑料制品用成型模具。注意模具连接螺栓安装前应涂一层二硫化钼或硅油，同时调整模具中口模与芯棒间隙，达到均匀。

⑤ 机筒和成型模具加热升温，达到工艺温度后再恒温 1h。

⑥ 启动润滑油泵，3min 后再低速启动驱动螺杆电机；观察电压表、电流表的指针摆动是否正常，螺杆转动是否平稳；一切正常后准备投料。

⑦ 初投料时要少而均匀，同时要注意观察电流表的变化及螺杆运转情况。

⑧ 模具口出料时（假如是生产硬管），先清除一些塑化不完全熔料。待出料正常时，检查管坯挤出状况。如果管坯挤出模具口时走向偏斜，应调整口模与芯棒的间隙——先松开管坯壁薄侧调整螺钉，再紧管坯壁厚侧螺钉，直到管坯直线运行出料。注意：调节口

模与芯棒间隙时，操作工不能正面对着模具口，防止发生意外事故。

⑨ 安装定径套或冷却定型套。

⑩ 把管坯引入冷却槽，冷却管坯。

⑪ 取管制品样品，检测其尺寸规格是否达到产品要求规格；检查制品各项质量要求，应与产品质量要求相符。

⑫ 调整螺杆的工作转速，记录螺杆在高、中、低三种不同转速时的电流变化及制品的产量。

⑬ 检查试验挤出机工作超载、温控失灵和料中有金属异物时的报警装置，是否能准确工作。

⑭ 检测挤出机工作噪声。在离挤出机 1m 远、1.5m 高的位置，检测挤出机工作噪声不大于 85dB(A)。

⑮ 投料试车检查不少于 2h。

6. 挤出机试车检查后停车方法

① 把螺杆的工作转速降到最低。

② 切断加热电源，停止机筒和成型模具的加热，启动机筒冷却风机。

③ 机筒降温至 140℃ 时，停止机筒供料，直到模具口不出料后，停止螺杆驱动电机。

④ 关闭冷却水，关闭压缩空气和真空泵阀门。

⑤ 拆卸模具外的电热装置、压缩气管，卸下气塞；然后再拆卸成型模具，拆下模具中各零件，立即清理模具上的黏料。

⑥ 点动螺杆旋转电机，把分流板和过滤网用机筒内残料顶出，清理分流板上的黏料。

⑦ 退出螺杆，清理螺杆和机筒内的黏料。检查螺杆和机筒有无划伤或明显磨损现象。如出现磨损较严重的现象，应与挤出机制造厂联系，查找原因并解决。如果是螺杆或机筒的表面硬度未达到标准要求，应要求挤出机制造厂方更换。

⑧ 如果挤出用成型模具暂时不使用，应清理干净后涂油装配在一起，封好进出料口，放在干燥通风处。机筒内也应涂防锈油，

把进料口和出口封好。螺杆清理干净后要涂油包好，垂直吊放在干燥通风处。

⑨ 排出水槽中的水，关闭电源、关闭总供水阀门。

7. 挤出机生产操作工须知

挤出机设备生产操作工，是维护保养设备、延长挤出机工作寿命的主要负责人。每个操作者都应该明白，减少挤出机维修及更换零件次数、延长挤出机工作使用年限，是降低生产塑料制品成本和提高经济效益的重要措施。设备能长期在最佳状态工作、塑料制品的质量和产量稳定，是保证生产企业有较高利润的基本条件。

操作工要按设备操作规程工作，尽职尽责，是对设备的最好的维护保养。所以，新工人上岗之前，必须学好、熟记挤出机的操作规程，经实际操作考核和应知应会考试合格后才能正式上岗，独立操作。

要自己独立工作，并成为一名合格的挤出机生产操作工，应注意下列事项。

① 交班时应把本班次中生产设备发生的问题提示给下一班，将其作为应注意的问题交接清楚；把本班生产量和制品质量情况及生产用工器具做好交接班记录。

② 接班时办好交接班手续后，首先应查看制品的生产质量、检查生产用原料质量、检查挤出机的料斗内生产用料量，如发现问题，应及时向代班负责人提出。

③ 检查挤出机机筒、成型模具上的工艺控制温度是否在生产要求的工艺温度范围内。按塑料制品的质量状况，根据自己的操作经验，可适当调整。

④ 围绕生产设备巡视一周，检查设备运转时各传动零件的工作情况、看转动是否平稳正常、听工作声音有无异常、看润滑油供应及润滑部位的润滑油是否充足（必要时适当加油补充）、检查轴承部位温度是否正常等工作。

⑤ 查表查看操作控制箱上的主机电电压、电流表指针，此时的电流表指针应在正常额定电流指标内。

⑥ 生产一切正常挤出机螺杆平稳转动工作，塑料制品坯匀速、均匀地从成型模具口挤出；间隔一段时间，看一下制品的外观质量，或取一段制品，复检一下产品的规格尺寸，应在规定的公差范围内。

⑦ 工作中遇到突然停电时应立即关闭主电机、电热和供料系统开关，各调速开关旋钮调回零位。恢复供电时，应先给机筒和成型模具加热升温，达到工艺温度后，恒温一段时间；用手盘动 V 形带，试验螺杆转动的阻力大小，如果比较轻松，可低速启动电机，开始工作。如果电流表指针超出额定电流值或螺杆启动转速不平稳，应及时停车，查找原因（可能是机筒内料的温度低），查出故障原因并排除后再开车。

⑧ 如果停车时间较长或停止生产，机筒内存料如果是聚烯烃类原料，可不用清理。如果机筒内是聚氯乙烯原料，则必须清理机筒内原料。清理时应先把机筒降温至 140°C ，可在机筒内投入一些不易分解的原料，把机筒内聚氯乙烯残料顶出；然后再拆卸螺杆，清理螺杆和机筒内的黏料；螺杆机筒内残料清理干净后，涂一层防锈油，把螺杆包好，垂直吊放在干燥通风处。

8. 如果挤出机停车时间较长，开首班车时挤出机的操作顺序如下。

① 清理设备环境卫生，擦洗设备，清洗螺杆、机筒和成型模具。如有生锈等问题，要及时找有关人员。

② 核实螺杆与使用原料，螺杆结构及各参数应适合原料挤出工艺要求。

③ 安装螺杆和生产塑料制品用成型模具。

④ 用手盘动 V 形带，如果转动轻松，无阻滞现象，开始给机筒和成型模具加热升温。

⑤ 检查设备上各紧固螺母有无松动，各安全罩是否牢固。

⑥ 清点、擦洗使用工具。

⑦ 控制箱合闸供电，启动润滑油泵，3min 后低速点开设备，让螺杆试转动；检查电压、电流表，看指针工作有无异常。

⑧ 检查润滑油量是否在标定油位内，可适当补充；需要手工加油部位要加足润滑油。

⑨ 试验、检查通水和送气管路有无渗漏现象，供应是否正常。

⑩ 机筒、成型模具加热升温达到工艺温度后，应恒温 1h。

⑪ 再一次检查料斗内有无异物，清理料斗上一切工具和异物（料斗上不许放任何物品）。

⑫ 料斗内上料，同时检查原料质量，观察有无杂物、湿度如何。如果含水分较高，应找有关人员，必要时要对原料进行干燥处理。

⑬ 检查、紧固机筒与机座、成型模具与机筒的连接螺栓、螺母。

⑭ 用手再盘一次 V 形带传动，如果螺杆转动轻松正常，准备生产开车。

⑮ 低速启动螺杆转动电机，如果电流表工作正常，开始投料，料投入机筒要少而均匀。观察电流表指针摆动情况。

⑯ 成型模具口开始出料时，注意熔料挤出变化。调整口模与芯棒间的间隙，直至产品厚度合格、熔料挤出量均匀。如果是生产管材，这时要安装定径套或定型套，把管坯引入水槽，冷却定型。

⑰ 检查制品的规格尺寸是否达到生产要求、在允许公差范围以内，制品的表观质量如何，必要时适当调整挤出机或成型模具的工艺温度或螺杆的工作转速。

⑱ 合格的制品开始引入牵引机，注意调整牵引机牵引制品的速度，要与制品从模具口挤出的速度相匹配。

⑲ 按规定的制品长度切断制品。

⑳ 开始正常生产。

9. 挤出机生产操作工注意事项

① 发现生产设备工作运转出现异常声响或运转不平稳，自己不清楚故障产生的原因时，不许自己动手随意处理，应及时停车找有关人员解决。

② 每次挤出机开车前都要检查机筒、料口上下及内部有无

异物。

③ 清理机筒、螺杆和成型模具上的黏残料时，必须用竹或铜质刀具清理，不许用钢质刀刮残料或用火烤零件。

④ 拆卸、安装螺杆和成型模具中各零件时，不许用重锤直接敲击零件，必要时应垫硬木再敲击拆卸或安装零件。

⑤ 螺杆在机筒内，如果机筒内无生产原料，不许螺杆长时间空转。空运转试车时，螺杆旋转时间最长应不超过 $2\sim 3\text{min}$ 。

⑥ 挤出机生产工作中出现故障，操作工在排除处理时，不许正面对着机筒或成型模口，以防止意外事故。

⑦ 检查轴泵、电机工作温度是否高时，应该用手指背轻轻接触检查部位。挤出机运转工作中不许用手触碰任何传动零件。

⑧ 挤出机生产工作时，操作工不许离开岗位，不许让未经培训者带班生产操作。

⑨ 螺杆拆卸清理后，如果暂时不使用，应涂防锈油，包扎好，垂直吊放在干燥通风处。

⑩ 长时间停产不用的挤出机成型模具和机筒内涂好防锈油后，要封好各出入料口。

10. 挤出机的日常维护保养

挤出机从投入生产工作那一天开始，就要承受各种动力载荷。各个零件由于工作传动磨损、接触腐蚀性气体及熔料的腐蚀和操作工人生产操作程序不合理等，工作一段时间后，其工作性能和工作效率都要发生变化，略有下降。对设备维护保养的目的，就是为了延长其使用工作年限、保证其工作性能和效率能在较长时间内保持在正常状态，以提高其经济效益。

挤出机的日常维护保养，就是指挤出机正常生产工作中，每个生产班次操作工对设备的维护保养检查。如接班后对设备加润滑油、紧固松动的螺母、擦洗设备上的油污等工作。这些工作也是挤出机操作规程中的部分内容，所以，操作工认真执行操作规程，按设备操作顺序要求进行操作，就是对设备最好的维护保养。

11. 设备的定期保养

正常情况下，挤出机设备的定期维护保养是一年一次，时间常安排在节假日休息的前几天或在节假日期间进行。由设备管理人员参加指导工作，由设备维修工和操作工配合工作。对设备进行定期维护保养工作的主要内容如下。

① 清扫、擦洗挤出机上各部位的油污及电控箱内灰尘。

② 拆开减速箱、轴承压盖，检查润滑油质量及油内金属粉末的多少，必要时清洗换油。

③ 检查各种传动零件的磨损情况，磨损较严重的齿轮应进行测绘，准备下次维修时更换。

④ 检查 V 形带传动中皮带的磨损情况，并调整 V 形带安装的松紧，磨损严重的 V 形带要进行更换。

⑤ 检查机筒和螺杆的磨损情况，对于轻度的划伤和磨损粗糙面，要用油石或细砂布修磨平整光滑，记录机筒、螺杆工作面的实测尺寸。

⑥ 记录磨损较严重的 V 形带型号规格、轴承型号规格，维护保养工作后，提出损坏件订购计划，准备下次维护保养时更换。

⑦ 检查、校正机筒加热温度（用水银温度计实测）与仪表显示温度数值差，以保证挤出工艺温度的正确操作。

⑧ 调整、试验各安全报警装置，验证其工作可靠性和准确性。

⑨ 试验、检查各种管路（水、气和润滑油）是否通畅，对渗漏和阻塞部位进行修理。

⑩ 检查、调整电加热装置、冷却风机及安全罩位置，保证它们能有效正常地工作。

四、废旧塑料挤出成型典例

【例 1】回收 PVC 膜挤出再生软管

1. 配方

回收 PVC 膜挤出再生软管配方见表 3-21。

表 3-21 回收 PVC 膜挤出再生软管配方

配 方	质量份	配 方	质量份
PVC 树脂	7~10	PVC 回收料	100
邻苯二甲酸二辛酯	4~6	邻苯二甲酸二丁酯	2~4
三碱式硫酸铅	2	氯化石蜡	0.6
二碱式亚磷酸铅	1	颜料	适量

2. 生产工艺流程

PVC 回收膜→预处理→切碎→配料→捏合→挤出造粒→挤出软管→冷却成型→卷取

3. 挤出软管控制要点

采用直通式机头，机头的压缩比大些。

① 用回收 PVC 膜生产软管的挤出机可采用直径为 45~65mm、 L/D 值为 25:1、压缩比 2.5:1、螺杆的螺槽为等距不等深的挤出机。因软质 PVC 熔融黏度低、流动性能好，机头压缩比可控制在 10~20，口模平直部分长度约为软管厚度的 10~20 倍，芯模尺寸可以比管内、外径放大 10%~30%。挤出软管后需经拉伸达到所要求的管径尺寸。采用喷淋冷却水冷却，喷淋的位置距机头 20~40mm。

② 挤出机的各段温度控制范围

挤出机的各段温度控制范围见表 3-22。

表 3-22 挤出机的各段温度控制范围

各段名称	加料段	压缩段	均化段	分流器	口模
各段温度/℃	100~120	120~140	140~160	140~160	160~180

③ 螺杆转速。软 PVC 熔融流动性好、易塑化，所以螺杆转速比挤出硬 PVC 管材快，当直径 45mm 的挤出机螺杆转速为 (40 ± 10) r/min，而直径 65mm 的挤出机螺杆转速为 (30 ± 10) r/min。在加工中不用压缩空气，但通气孔应与外界空气接通，避免产生粘连和管径不圆的问题。

④ 牵引速度。软管生产无需管内通压缩空气，无需冷却定型

套，牵引力相应减少，由于牵引速度控制着管材壁厚和软管外径尺寸，一定要严格控制其速度。

⑤ PVC 再生软管生产过程中出现的一些不正常现象、产生的原因及解决办法见表 3-23。

表 3-23 回收 PVC 软管生产中的异常现象及解决办法

异常现象	原因	办法
管壁不均匀	① 口模与芯模定位不正 ② 口模温度不均	① 校正两者的同心度 ② 检查温控及加热线圈
管不圆	① 挤出温度过高 ② 口模与冷却水距离太近 ③ 冷却水量太大	① 降低挤出温度 ② 加大冷却水与口模距离 ③ 减少冷却水用量
管壁毛糙	挤出温度太高	降低挤出温度
管外表有痕迹	① 口模粗糙度不高或有痕迹 ② 口模处有积料	① 磨光、修整口模 ② 清除积料
管材表面有焦料出现	① 各段温度过高 ② 过滤板未清洗 ③ 再生料有焦状物 ④ 稳定剂少	① 降低各段温度 ② 清洗机头、过滤板 ③ 清理、检查再生料 ④ 增加稳定剂
管材表面无光泽	口模温度偏低或过高	调整机头和口模温度
管材表面有黑条纹	① 机头温度过高 ② 过滤板未清洗	① 降低机头温度 ② 清洗过滤板
管材表面有皱纹	① 口模温度不均匀 ② 冷却水温度偏高 ③ 牵引速度太慢	① 检查电热圈 ② 降低冷水槽温度 ③ 加快牵引速度
管内壁有皱纹	① 模芯温度偏低 ② 机身温度太低	① 提高模芯温度 ② 提高机身温度
管内壁有裂纹	① 料中有杂质 ② 机身温度低 ③ 牵引速度快	① 清除杂质 ② 提高各段温度 ③ 降低牵引速度
管材表面有气泡	① 再生料有水分 ② 温度过高	① 进一步烘干料 ② 降低加工温度
管壁不均	① 口模与芯模不同心 ② 牵引产生打滑 ③ 压缩空气不稳定	① 调整同心度 ② 检修牵引装置 ③ 稳定气流

PVC 管材一般用于给水、排水管和通讯、电线护套管，其废旧 PVC 管材经挤出再利用可得再生管材，其性能受热可弯曲而不会塌陷。常用于在建筑物中的电线护套，是 PVC 硬制品制得再生管材较普遍的再生制品。

在使用废旧硬 PVC 制品挤出再生管材时，适当加入新的 PVC 树脂，为了提高其加工过程中的热稳定性，需加入少量的稳定剂。或加入一定量的填充料。表 3-24 为几种热塑性塑料管材挤出工艺条件。

表 3-24 热塑性塑料管材挤出工艺条件

工 艺 条 件	LDPE	HDPE	硬 PVC	软 PVC
管材外径/mm	24		95	31
管材内径/mm	19		85	25
壁厚/mm	2±1		5±1	3
料筒温度/℃				
（后部）	90~100	120~140	80~100	90~100
（中部）	110~120		140~150	120~130
（前部）	120~135	150~170	160~170	130~140
口模温度/℃	130~135	155~165	160~170	150~160
模唇温度/℃	130~140	150~160	160~180	170~180
螺杆转速/(r/min)	16	22	12	20
口模内径/mm	24.5		90.7	32
芯模外径/mm	19.1		79.7	25
平直部分长度/mm	60		120	60
拉伸比	1.1		1.04	1.2
冷却定型套内径/mm	25		96.5	—
冷却套长度/mm	160		300	—

【例 2】 PVC 回收料生产钙塑 PVC 制品配方及工艺

1. 配方

PVC 回收料生产钙塑 PVC 制品配方见表 3-25。

表 3-25 PVC 回收料生产钙塑 PVC 制品配方

配 方	质量份	配 方	质量份
PVC 回收料	100	PVC 树脂	18
二碱式亚硫酸铅	1	硬脂酸钡	0.5~0.6
碳酸钙	80~100	三碱式硫酸铅	2~3
颜料	适量		

2. 生产工艺流程

如图 3-42 所示, 已初步成型的坯料由口模出来进入冷却定型装置, 在冷却定型装置内逐步降温, 获得所需要的最终几何形状、尺寸精度、表面粗糙度, 然后进入冷却水槽进一步冷却, 最后由牵引装置引至切割装置, 切割成所需要的长度。具体的工艺流程如下。

硬 PVC 制品回收破碎料 → 混合 → 捏合 → 冷却 → 挤出管型机头 → 真空定型 → 水冷却 → 牵引 → 切割 → 检验 → 包装入库

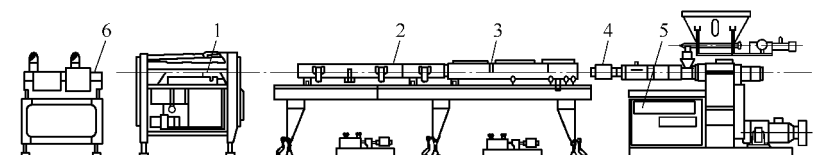


图 3-42 挤出管材机组示意

1—牵引机；2—冷却水槽；3—真空定型；4—口模；5—挤出机；6—切割机

3. 挤出机的有关要求

管材挤出机的螺杆一般为直径 30~40mm 的等距不等深渐变型螺杆, 螺杆长径比 L/D 为 15~25, 压缩比为 2~4。挤管机均需在出料与口模衔接处加过滤板、过滤网。一般软质塑料管一层 40 目网过滤网, 聚乙烯管材加 4×80 目网的过滤网。

4. 口模

塑料管材在给定挤出机上生产时, 一般管材直径应控制在螺杆直径的 30%~130% 范围内, 对于双螺杆挤出机, 可控制在螺杆直径的 45%~450% 范围内。目前, 我国硬 PVC 管材规格与所配用的挤出机关系见表 3-26。

表 3-26 硬 PVC 管材与挤出机规格关系

项 目	尺 寸/mm					
口模公称直径	10~63	40~90	63~125	110~180	125~250	200~400
螺杆直径	45	65	90	120	150	200
牵引速度	0.14~2	0.3~1.5	0.3~1.5	0.2~1	0.2~1	0.2~1
管材直径	10~63	40~90	63~125	110~1800	125~250	200~100

挤管口模是对塑化的物料保持一定塑性状态，并产生一定压力使塑料成型所需的形状。

挤管口模类型有：直角式挤管口模，物料在口模中流动方向即挤出管材方向与挤出机物料输送方向成直角；筛孔板式挤管口模，物料在口模和挤出机的螺杆中流动是一致的，即无分流栅板筋又无芯棒，其物料通过筛板孔进入定型段；双层异形挤管口模，物料在口模和挤出机中流动方向是一致的，可用筛板孔式结构，也可用直角式结构。

5. 定型装置

使用内径定型法或外径定型法。

内径定型法的定径套，通常用于直角口模，连接在口模芯模上，定型套内通入循环冷却水，管材半熔体型坯从口模出来直接套在定型套上，可得到内径尺寸一定而且圆度较好的管材制品。

外径定型法的定型套有浸水定型套和真空吸附定型套，前者不用牵引装置，靠挤出机螺杆输送物料的推力将管材顶出口模和定型套，适用于硬 PVC 型管材质顶出法生产。后者真空吸附定型是借助真空吸附力将管材外壁紧贴于定型套内壁。同时定型套内通入冷却水，管材通过真空吸附过程而冷却硬化，将得到符合定型套内径形状及尺寸的管材。

6. 切割装置

切割装置使用圆锯切割机或行量式切割机。

7. PVC 再生管材加工条件

PVC 再生管材加工条件见表 3-27。

表 3-27 PVC 再生管材加工条件

机 身 部 位	加工条件	机 身 部 位	加工条件
加料段温度/℃	150~160	分流器支架温度/℃	165
塑化、均化段温度/℃	180~190	口模温度/℃	185~190
机头温度/℃	180~190	螺杆转速/(r/min)	16~26

目前生产的三层共挤出管材，中间层为 PVC 回收料，里、

外层使用新树脂，或中间层为回收 PVC 低发泡层。还可以用废 PVC 膜制再生钙塑管材，由于 PVC 膜属软制品，其中含较多的增塑剂，在制造硬制管材时需加入适量的无机填充料，如 CaCO_3 等。

【例 3】再生 PVC 挤出法生产低泡硬制品

低发泡制品指密度在 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ 以上的制品，低发泡制品质量轻、强度较高，具有广泛的应用价值，用回收的 PVC 料制备硬低发泡制品是 PVC 再生料的又一利用的途径。

1. 配方

再生 PVC 挤出法生产低泡硬制品配方见表 3-28。

表 3-28 再生 PVC 挤出法生产低泡硬制品配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收 PVC 粉碎料	70~90	润滑剂	0.5~2.0
PVC 新树脂	30~10	发泡剂 Ac	0.6~0.8
ACR(201)	2~8	滑石粉	3~6
稳定剂	1.0~3.0	颜料	适量

2. 生产工艺流程

配合→捏合→挤出发泡→逐渐冷却、定型→剪切

操作时应注意，设备选用通用单螺杆挤出机，但螺杆应是两段或三段渐变螺杆， L/D 值在 $(20\sim25):1$ ，压缩比 $(2\sim3):1$ ，螺杆的压缩比要小些，不能在螺槽内开始发泡，并严格控制料筒温度，低发泡制品的冷却定型和一般挤塑制品相似，由于接近表面处存在的含有热气体的气泡遇冷要收缩，因此需要缓慢冷却。

【例 4】用回收的 PE 薄膜通过挤出片材生产各种托盘

回收的 PE 农膜经过处理以后得到的破碎料可直接加工成海水养殖托盘。

1. 配方

回收的 PE 薄膜通过挤出片材生产各种托盘配方见表 3-29。

表 3-29 回收的 PE 薄膜通过挤出片材生产各种托盘配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收 PE 膜破碎料	100	防老剂	0.3
滑石粉	10~30	颜料	0.3
CaCO ₃	20		

2. 生产工艺流程

回收破碎 PE 膜→配合→造粒→挤出片材→裁切→冲孔→凹陷定型→修理

【例 5】PP 再生打包带的生产

编织袋、打包带、捆扎绳等大都是用 PP 树脂制造的，其废旧材料可再生利用，在利用前对其力学性能指标进行检测，再判断适合于何种产品，也可与新树脂并用。

废旧 PP 制品（如编织袋）应进行清洗、破碎、干燥处理后可直接制造打包带。

1. 生产工艺流程

挤出机挤出塑化→打包带机头→前牵伸辊→加热水箱→后牵伸辊→轧花纹→卷取

其生产时的主要设备有直径为 45~65mm 的单螺杆挤出机、打包带机头、水槽、轧花机械。

2. 控制要点

在操作时要注意机头到冷却水槽的距离不宜过远，一般在 10cm 以内。冷水槽温度在 50℃ 左右，热水槽温度在 90~100℃ 之间。最后的压花工序是为了增加对受捆物件的摩擦力，防止捆包时打滑。压花是采用一对表面刻有花纹的钢辊进行的。

【例 6】回收 PP 料生产再生拉丝与纺绳

将废旧的编织袋回收后生产再生单丝和绳。

1. 工艺流程

拉丝与纺绳挤出机挤出塑化→拉丝机头→水冷却→第一牵伸辊→热处理→第二牵伸辊→再次热处理→热处理牵伸辊→卷取

其生产时的主要设备有直径为 45~65mm 的单螺杆挤出机、拉丝机头、水槽、热烘道装置。

生产过程中要注意避免有杂质堵塞喷嘴丝板的孔径，特别是回收料的杂质较多，要清除干净，并在挤出机与机头之间加过滤网等，目数可用 40~80 目的铜筛，一般为 3~4 层网。冷却水温度对单丝的性能也有一定的影响，水槽温度控制在 30℃ 左右。温度过高，PP 的结晶度增大，难以牵伸取向，使丝的拉伸强度下降；水温太低，丝内常有空洞。热处理的目的是减少单丝的收缩。生产渔网丝或绳索丝时，喷丝板的温度为 $(290 \pm 10)^\circ\text{C}$ ，冷却水槽温度为 30℃ 左右，牵伸温度为 100℃ 左右为宜。

2. 拉丝生产中常见的问题及解决办法

拉丝生产中常见的问题及解决办法见表 3-30。

表 3-30 拉丝生产中常见的问题及解决办法

现 象	原 因	解 决 方 法
喷丝板处断头	① PP 塑化不充分 ② 喷丝孔设计不合理 ③ 有杂质或焦料 ④ 第一牵伸过快	① 提高机头温度 ② 改进设计 ③ 换原料、更换过滤网 ④ 减低速度
在热牵伸水箱中断头	① 水温低 ② 牵伸倍率过高 ③ 原料中含有杂质或降解 ④ 橡胶压辊损坏	① 提高牵伸温度 ② 降低牵伸倍数 ③ 更换原料，清洗机头 ④ 换压辊
单丝细度公差过大	① 牵伸辊太滑 ② 卷取张力小	① 检修牵伸装置 ② 换皮带盘
单丝太粗	① 牵伸倍数不足 ② 牵伸速度慢 ③ 喷丝孔径偏大	① 提高第二牵伸辊线速 ② 提高各个牵伸速度 ③ 调换喷丝板
单丝太细	① 牵伸倍数过大 ② 挤出温度偏低	① 降低牵伸倍数 ② 提高挤出温度
单丝强度偏低	① 牵伸倍率或高或低 ② 冷却水温过高 ③ 牵伸温度过低 ④ 牵伸时间短	① 调整倍数 ② 降低水温 ③ 提高牵伸温度 ④ 加长烘箱

现 象	原 因	解 决 方 法
单丝有竹节现象	① 喷丝孔表面不光洁 ② 机头温度偏低 ③ 冷却不均匀 ④ 牵伸温度不均匀	① 修理喷丝孔 ② 提高机头温度 ③ 保证水面平稳 ④ 检查烘道
单丝表面有气泡	① 原料含水过多 ② 原料发生降解	① 烘干原料 ② 适当降低挤出温度

【例 7】 废旧 PVC 软制品制再生地板

1. 配方

废旧 PVC 软制品制再生地板配方见表 3-31。

表 3-31 废旧 PVC 软制品制再生地板配方

配 方	质量份	配 方	质量份
废旧 PVC 软制品	100	二碱式亚磷酸铅	1
轻质 CaCO_3	200~260	硬脂酸	2
三碱式硫酸铅	2	氧化铁红	0.3

2. 工艺流程

破碎→捏合→密炼→开炼→放片→压光→冷却→冲切→成品

如果所用 PVC 废料为硬制品，在生产再生钙塑地板时，不宜再添加无机填料，其配方见表 3-32。

表 3-32 废旧 PVC 硬质制品生产再生钙塑地板配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收 PVC 硬制品	100	DOP	2~3
PVC 树脂	5~15	石蜡	1
三碱式硫酸铅	4	颜料	适量
二碱式亚磷酸铅	1.5		

【例 8】 用共挤塑生产回收再生塑料制品

共挤塑以挤塑工艺为基础，采用两台挤出机，生产夹心结构的

塑料产品。表皮采用新树脂用挤出机Ⅰ塑化，夹心材料使用该类树脂的同种再生料，通过挤出机Ⅱ塑化。两种不同的塑化熔体通过一个机头（如图 3-43）。因此，共挤塑的模头设计决定夹心层和表皮层的厚度。夹心层与表皮层的厚度比例由制品的性能决定。由于表皮用的是新树脂，具有较高的强度和模量，且颜色鲜艳外观好。增加表层厚度自然提高制品的力学性能，却增加了制品的成本。夹心材料使用回收废旧塑料可以进行微发泡。这样，便可能制得夹心微发泡层与未发泡树脂表皮的复合材料。该复合材料可以用来生产管材、片材、棒和异型材等。

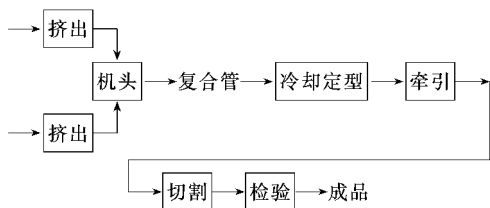


图 3-43 复合管生产工艺流程

第四节 吹塑与吹塑中空成型工艺及设备

吹塑成型是指将熔融状态的塑料型坯或管模，通过压缩空气直接或间接吹胀成型，冷却后得到相应制品的一种热塑性塑料的成型加工工艺。吹塑成型工艺适用于多种回收的热塑性塑料，如 PE、PVC、PP、PS、PET、PA、PC 等。特别是 PE 应用最为广泛。

对于回收的塑料再生制品，已经商品化的大宗吹塑制品有 PE 类的再生膜、中空制品、PVC 再生膜等。吹塑成型有直接吹塑和间接吹塑之分，见图 3-44 吹塑成型分类。

直接吹塑可用以制备膜管。将环形缝隙的机头安装在挤出机的端部，塑化后的熔融体在机头出口处成圆筒状型坯时，直接鼓入一定量的压缩空气，使之横向吹胀，经冷却后的膜管由导向牵引辊叠

成双折薄膜制品。

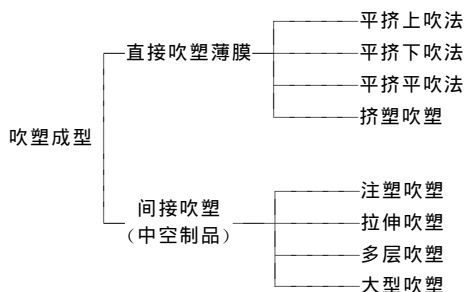


图 3-44 吹塑成型的分类

间接吹塑可用以制得中空制品，用作包装容器。间接吹塑与直接吹塑的差别在于，间接吹塑法的第一步是由挤塑或注塑法制得型坯（管坯、含封底的管坯），第二步是趁热置入瓣合模中（注塑法是管坯留在芯模上），然后合模吹胀，再经冷却定型。

无论是吹膜还是中空制品，均以挤塑吹塑应用最为广泛，尤其是回收的塑料，更适用于挤塑吹塑制备中空或再生膜制品。因此，特对挤塑吹塑工艺用于吹膜成型重点介绍。

吹塑挤塑工艺的特点是适用于多种塑料，操作工艺简单，生产效率高，投资较少，一机多用，可吹塑又可挤塑，型坯温度较均匀，可生产大型中空制品。

吹塑成型对塑料的熔体流动速率（MFR）有一定要求，尤其是膜制品，MFR 值不宜大，否则易吹破；另外，对于膜制品，小颗粒状杂质的存在也不适应于吹膜。对再生塑料则适应于吹塑较厚的膜制品，并应做好前处理。

膜制品主要由吹塑工艺生产，但对于再生塑料膜其他生产工艺也有其优越性，其具体的制备方法包括：吹塑薄膜、压延薄膜、T 形机头挤出薄膜、滚压-流延拉伸薄膜。

对不同品种的回收料及同品种的再生料，熔体黏度不同，所选择的制膜工艺也不应相同，如流动性好的 PE 料可采用流延工艺；

回收 PVC 料可采用压延或 T 型机头挤出工艺。

一、吹塑薄膜

1. 基本原理

在挤出机的端部配有带环状狭缝的口模，熔融树脂从模口挤成圆筒状膜管，同时向膜管中吹入一定量的压缩空气使其膨胀，并对其周围喷吹空气或采用其他方法使熔融的树脂冷却固化，然后将膜筒通过人字板，经夹辊折叠后卷取。

2. 工艺控制

(1) 温度控制 加工温度是控制产品产量和质量的主要手段之一。温度控制原则是：主机与其他挤出过程相似，加料段温度较低，避免下料口“搭桥”、抱螺杆；机身即压缩及均化段要根据树脂的熔点、熔体流动速率（MFR）、密度选择温度，物料在此阶段熔融塑化、排气、压实、均化、稳压；口模起着使物料进一步塑化均匀、密实的作用，并由此挤出定型，口模温度一般控制在与均化段基本一致或下降 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

各段温度如果过高，会造成抱螺杆而影响排气，漏流加大，挤出压力不稳及有漏料的现象。各段温度如果过低，延长熔融塑化的时间，熔体黏度高，增加驱动功率，口模反压大，挤出量下降，严重时扭断螺杆等。所以口模温度、螺杆温度与挤出量、口模压力具有一定的关系。

(2) 吹胀比 吹胀比不仅决定了薄膜的规格（折径），而且决定薄膜各项物理力学性能，膜制品的力学性能之一是纵横强度，而吹胀比的大小直接影响横向强度，同时也对厚度产生一定作用。吹胀的物理作用是横向拉伸或取向。大的吹胀比可使薄膜减薄，当然，压缩空气与充气量对吹胀比也有直接的影响。

① 吹胀比的选择原则。树脂本身的各项条件及要求的物理和各项力学性能指标。

② 吹胀比的选择。不同品种、不同用途薄膜的最佳吹胀比范围见表 3-33。

表 3-33 各种薄膜的最佳吹胀比

薄膜名称	PVC	LDPE	收缩膜、拉伸膜、保鲜膜	LLDPE	HDPE 超薄	PP	PA
最佳吹胀比	2.0~3.0	2.0~3.0	2.0~5.0	1.5~2.0	3.0~5.0	0.9~1.5	1.0~1.5

吹胀比与机头直径及产品折径的关系分别见表 3-34、表 3-35、表 3-36。

表 3-34 低密度聚乙烯薄膜模口直径、折径、吹胀比的选定

折径/mm	模口直径/mm	吹 胀 比
120~200	40	1.9~3.2
150~250	50	1.9~3.2
190~300	60	2.0~3.2
240~400	80	1.9~3.2
400~500	100	2.5~3.2
500~700	150	2.1~3.0
600~900	200	1.9~2.9
700~1200	250	1.8~3.0
1200~1500	350	2.2~2.7
1500~2000	500	1.9~2.5
2000~3500	1000	1.3~2.2

表 3-35 高密度聚乙烯薄膜模口直径、折径、吹胀比的选定

项 目	尺 寸 大 小				
折径/mm	200~300	240~380	280~460	380~460	480~600
模口直径/mm	40	50	60	80	100
吹胀比	3.2~5.1	3.0~4.8	3.0~4.9	3.0~3.7	3.0~3.8

表 3-36 聚丙烯薄膜模口直径、折径、吹胀比的选定

项 目	尺 寸 大 小				
折径/mm	120~200	200~320	240~400	300~500	600~800
模口直径/mm	80	100	150	200	300,350
吹胀比	0.96~1.6	1.3~2.0	1.0~1.7	0.96~1.6	1.1~1.5

(3) 牵伸比与模口间隙

① 牵伸比。牵伸比 (b) 是牵引线速度和机头环形间隙出料速度

之比。即 $b=V_{\text{牵}}/V_{\text{挤}}$ 。牵伸比与模口间隙的关系可用如下公式表示：

$$b=\frac{t}{\text{BUR}\times\delta}$$

式中， b 为牵伸比、 t 为模口间隙、BUR 为吹胀比、 δ 为薄膜厚度。

理论上，推荐牵伸比为 4~6 较好。在生产实践中，当膜的厚度、吹胀比、模口间隙确定后，牵伸比也就确定了。因此，牵伸比是调节薄膜厚度的一个手段。要想把膜厚度降下来，可提高牵引速度，即提高牵伸比。

② 模口间隙。LDPE 树脂选择较狭窄的模口间隙，HDPE 极薄薄膜应该采取加宽模口间隙的做法。常用树脂的模口间隙见表 3-37。

表 3-37 模口间隙选择

薄膜名称	PVC	LDPE	HDPE	LLDPE	PP	PA
模口间隙/mm	0.8~1.2	0.5~1.0	1.2~1.5	1.5~2.5	0.7~1.0	0.5~0.75

(4) 人字板张角 人字板的作用有两个：一是将筒状膜泡夹平，送入牵引夹辊；二是使膜泡进一步冷却。膜泡通过人字板时，有一部分先和人字板接触，而另一部分（人字板两侧）的膜泡则和人字板接触较晚。这样，必然会出现膜泡圆周方向冷却的不均衡，为薄膜薄厚不均、皱折等问题埋下隐患。为此，在人字板的结构和选择上要考虑，即要缓和冷却效果，又要使其散热良好，减少膜和人字板面的摩擦。人字板的张开角度与薄膜平整度关系极大。

(5) 风环和冷却速度 合理的风环设计和调控，可以提高吹膜厚度的均匀性及调节膜的厚度。用风环中风量调节膜的冷却速度并起定型作用。风环的口径与吹胀比相适应，最好是一种吹胀比用一种与之相匹配的风环。

【例 1】回收废 PVC 膜吹塑成型生产再生薄膜

1. 配方

废 PVC 膜吹塑成型生产再生薄膜配方见表 3-38。

表 3-38 废 PVC 膜吹塑成型生产再生薄膜配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收 PVC 膜碎料	100	增塑剂	3~10
稳定剂	3	润滑剂	1

2. 生产工艺流程

回收 PVC 膜→前处理→切碎→配合→造粒→挤出管坯→提料→喂辊→充气→调整→卷取

可选用螺杆直径为 90mm、 L/D 值为 20 的单螺杆挤出机进行挤塑吹塑。

3. 操作工艺

(1) 温度控制范围 加料段 $120\sim 130^{\circ}\text{C}$ ；压缩段 $(150\pm 10)^{\circ}\text{C}$ ；均化段 $170\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 操作注意事项

① 加热。机头与挤出机机筒通过加热器加热到所需温度，保温一段时间。

② 加料。在保温后，开动挤出机，加入再生粒料。起初低速运行，当熔融体被吹胀成管膜后再逐步提高螺杆转速。

③ 提料。将最初挤出的管膜折拢并将其上提，同时通入少量空气，以防止互相黏结。

④ 喂料。将提起的管膜通过人字板，喂入夹辊，压成平膜，再由导辊送入卷取装置。

⑤ 充气。当管膜喂辊以后，即可将空气充入管膜进行吹胀，以达到要求的幅宽，并在管膜中保持恒定的压力。

⑥ 调整。薄膜的厚薄公差可通过调节模唇间隙、冷却风环风量以及牵引速度来进行控制。

开车一段时间后，在各工艺条件达到平衡，厚度、宽幅及外观达到要求时，才能切断管膜，正式卷绕在卷筒上。

【例 2】回收废旧低密度聚乙烯生产蔬菜包装袋

回收废旧聚乙烯经过预处理后填充适量的颜料，可生产蔬菜包装袋。回收的低密度聚乙烯经过处理后应无毒、无嗅、开口性好、

热封性好、原料干净无杂质。

生产工艺采用平挤平吹法，将聚乙烯树脂加入挤出机的料斗中，通过螺杆塑化，由机头口模挤出水平管坯后，吹胀，风冷，进入夹板和牵引辊，最后卷取，后加工。

此产品也可采用上吹法，但一般生产折径小的薄膜多采用平吹法。所谓平吹法，即膜管与机头中心线在同一水平面上的吹塑流程，此法设备结构简单，安装操作方便，无需高大的厂房，但机器占地面积大。

工艺操作要点如下。先升机头温度，20min 后再升挤出机机身的温度。温度控制在机身后段 $120\sim 140^{\circ}\text{C}$ ，中段温度 $140\sim 160^{\circ}\text{C}$ ，前段温度 $170\sim 180^{\circ}\text{C}$ ，机头温度 $160\sim 170^{\circ}\text{C}$ 。机身温度晚升温是避免机身过热影响出料。生产此种薄膜时，吹胀比应控制在 $1.5\sim 2.5$ 之间，牵伸比控制在 $4\sim 6$ 之间，按此工艺参数操作，膜管稳定，厚薄均匀，产品质量好。主要生产设备挤出机采用通用型挤出机，一般螺杆直径为 45mm，长径比为 $20:1$ ，压缩比为 $3:1$ 。

4. 吹塑薄膜异常现象及解决办法

不同回收塑料在吹塑中出现的相同现象，其原因可能不同，因而处理方法也就不同。尤其是回收再生料，来源庞杂，比用纯树脂吹塑成膜的异常现象成因更复杂，因此必须及时调控工艺参数和成型加工条件。吹膜生产中的异常现象及解决措施见表 3-39。

表 3-39 吹膜生产中的异常现象及解决措施

现 象	原 因	措 施
薄膜起皱	厚度不匀、口模各部温度不匀、吹胀比过大、膜管厚度不匀、膜冷却不够	调节口模间隙、调整各部温度、减少吹胀比、充分冷却
膜管形状不正(细颈长、细颈短、膜泡后鼓)	出料快，膜管冷却不良，出料量太少，芯棒不正、机身温度过高	降低机头温度，减少挤出量，增高机头温度或增加挤出量，校正芯棒、降低芯棒温度
膜厚不均匀	普遍偏厚或偏薄，单边偏厚或偏薄，局部偏厚或偏薄	调节吹胀比及牵引速度，调整口模间隙，调控风环、风量

现 象	原 因	措 施
膜上有焦粒或白点与僵块	成型温度过高、物料分解, 固体助剂细度大, 过滤网顶破或塑化不良	调整成型温度、清理机头, 处理填料细度, 换过滤网, 提高塑化温度
膜管呈葫芦状	有规则的是牵引辊过松, 无规则的是风环风力过大	增加牵引辊的夹紧力, 降低风环的风压
薄膜两层黏合	冷却不良, 润滑剂量过少, 填料过少	充分冷却, 改进配方, 增加润滑剂, 减少增塑剂, 适量增加填料

二、中空吹塑成型

1. 中空成型设备

由主机挤出机和辅机模具、合模架、锁模装置、电路、油路、气路系统等组成。见图 3-45 挤出成型中空塑料制品用设备结构

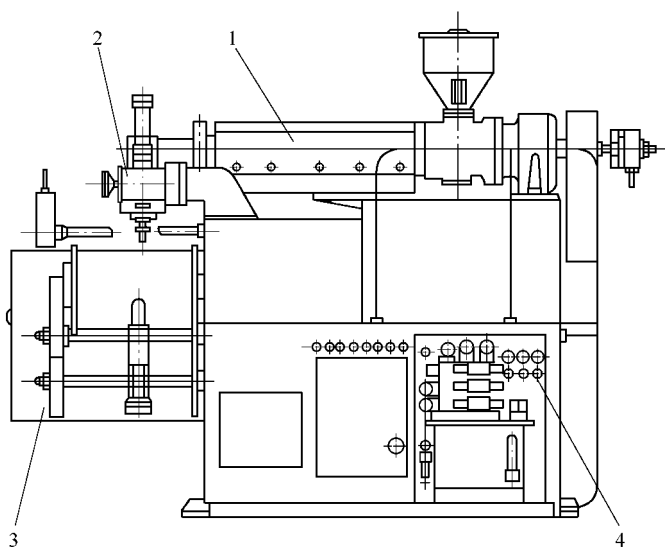


图 3-45 挤出成型中空塑料制品用设备结构示意图

1—挤出机；2—型坯用模具；3—制品成型模具组合件；
4—成型制品动作控制系统

示意。

2. 原理

中空吹塑成型的一般原理为将压缩空气鼓入熔融的型坯，使之横向吹胀，紧贴于模具型腔表面，经过冷却成为中空制品，根据型坯制造方法不同，可分为注射吹塑、挤出吹塑、注射拉伸吹塑、挤出拉伸吹塑和多层吹塑等。见图 3-46 和图 3-47 的注射吹塑和挤出吹塑的工艺过程。

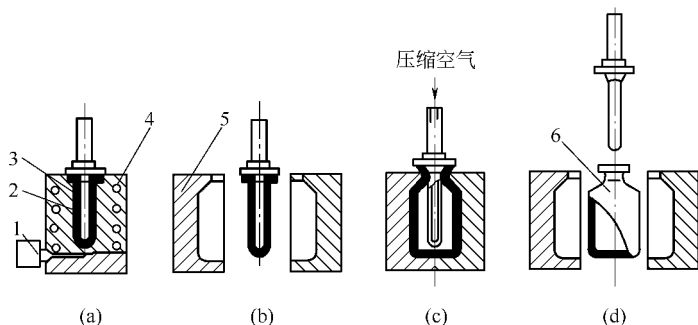


图 3-46 注射吹塑成型工艺过程

1—注塑机；2—注射型坯；3—空心凸模；4—加热器；5—吹塑模；6—制品

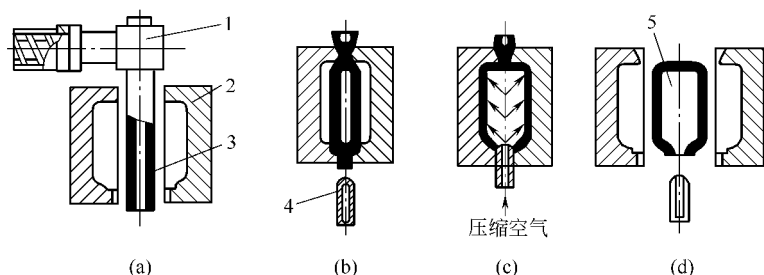


图 3-47 挤出吹塑成型工艺过程

1—挤出机头；2—吹塑模；3—管状型坯；4—压缩空气吹管；5—制品

3. 工艺控制

影响中空吹塑加工稳定性和制品质量的主要因素除原料外，还有型坯温度、模温、冷却时间、吹胀比、吹塑压力和吹塑速度等。

选择回收的 PE 废料制造中空吹塑制品，原材料主要参数是密度及熔体流动速率，应选用密度高、熔体流动速率小的树脂，生产的制品刚性大，并可生产薄壁产品。

(1) 型坯温度 每种树脂都有一定的熔融温度，加工时应严格控制。温度低或高都会影响产品质量，型坯温度高则型坯保持自身形状的能力差，在型坯转移过程中容易发生破坏。而温度过低则吹塑性能差，塑件中留下残余应力，导致翘曲变形。为了提高产品的外观质量，模唇处的温度应略高于料温 5°C 左右。挤出温度还直接影响型坯下垂程度、吹胀比、冷却定型时间等。因此，熔融温度是控制产品质量、决定生产率的一个重要参数。

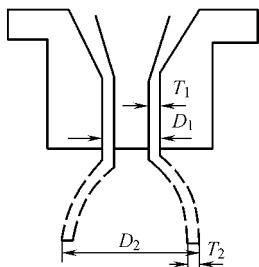


图 3-48 离模膨胀现象

D_1 、 D_2 —料坯膨胀前、后

直径； T_1 、 T_2 —料坯

膨胀前、后的厚度

(2) 膨胀比 膨胀比是指挤出的熔融型坯尺寸大于口模尺寸的现象。见图 3-48 离模膨胀现象。

了解膨胀比对控制吹塑成型工艺、提高产品质量、决定口模设计尺寸和选用口模都有重要意义。

膨胀比 = 型坯实际直径 - 口模（模套）直径 / 口模（模套）直径 $\times 100\%$

影响口模膨胀比的因素主要有挤出速度、树脂的分子量及其分布、分子结构等。

(3) 机头参数 包括模口形状、间隙、定型段长度、模口定型段流道等。

(4) 吹胀比 在确定机头尺寸时，除膨胀比之外的重要因素是吹胀比。吹胀比是制品的最大外径与型坯外径之比，即

吹胀比 = 制品的最大外径 / 型坯的最大外径

其大小影响制品的壁厚和厚度的均匀性，通常吹胀比在 $2 \sim 3$ 之间，薄制品吹胀比取小值，厚制品可取大值，为了壁厚的均匀，通常吹胀比不超过 2。

(5) 机头尺寸和模口间隙的确定 机头的直径和模口间隙受吹胀比、膨胀比、颈部直径等因素的影响。

模口间隙为 $t = (D_d - D_c) / 2$

式中, t 为模口间隙; D_d 为模套内径; D_c 为模芯外径。

(6) 吹塑压力 吹塑压力影响制品的粗糙度、壁厚均匀度、切口熔接强度等, 吹塑压力随着制品壁厚、树脂种类的不同而不同, 约为 $0.2 \sim 0.7 \text{ MPa}$ 。对于壁薄、大容积的中空制件, 吹塑压力取较大值。

(7) 吹塑速度 吹塑速度的大小取决于通入的压缩空气的体积流量, 一般吹塑速度取大值, 可有利于获得壁厚均匀、表面光洁的制件, 但吹塑速度过大会使型坯口处拉断。

(8) 模温和冷却时间 吹塑模温通常控制在 $20 \sim 50^\circ\text{C}$ 范围内, 过高过低都会影响制品质量。冷却周期占整个生产周期的一大部分时间, 为了缩短冷却周期、提高生产效率, 应注意模具的材质、冷却介质的循环、冷却水温、检查制品成型是否饱满、通过空气置换进行内冷等事项。

(9) 成品收缩率 制品的成型收缩率随模具温度、料缸温度、制品壁厚的增加而增加, 与制品的造型也有一定关系。制品颈部收缩率大于其他部位的收缩率。高密度聚乙烯成型收缩率一般可达 $4\% \sim 5\%$ 。

由于挤出吹塑工艺的壁厚均匀性差、瓶口不规整、原料耗用量高等缺点, 发展了挤出拉伸吹塑工艺、注射吹塑工艺、注射拉伸吹塑工艺。其共同特点是将塑料在特定温度下进行双向拉伸吹塑, 以提高其性能。

双向拉伸吹塑工艺具有以下优点: 提高了制品的拉伸强度、冲击强度、刚度和承受压力的能力; 在同样的使用要求下可减薄壁厚, 减轻质量, 节约原料; 能提高透明度和光泽, 制品更加美观; 制品壁厚均匀、尺寸精度好; 热变形温度也有所提高。

双向拉伸吹塑的基本原理是将挤出或注塑的料坯冷到处于高弹态的特定温度, 然后进行拉伸、吹塑, 使大分子链在纵向和横向两

个方向上定向排列。大分子定向排列的程度取决于拉伸倍数，拉伸倍数越大，制品的性能就越好，但要考虑生产周期及使用要求等综合条件，不能取最大值。见图 3-49 挤出拉伸吹塑工艺。

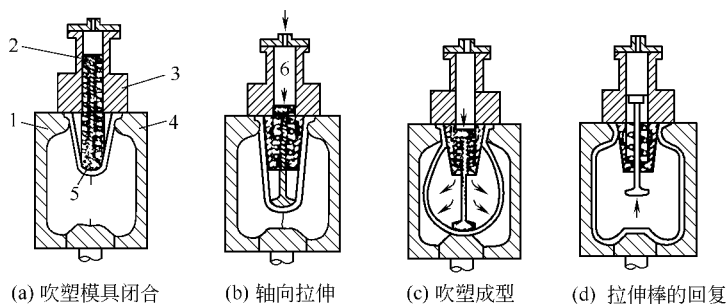


图 3-49 挤出拉伸吹塑工艺

1—吹塑模具；2—柱塞；3—挤出冲头；4—模具；5—顶出弹簧；6—压缩空气

4. 中空吹塑成型过程中常见故障及解决办法

具体的中空吹塑成型常见故障及解决办法见表 3-40。

表 3-40 中空吹塑成型常见故障及解决办法

异常现象	产生原因	解决办法
型坯自垂严重	成型温度过高 挤出或压料速度慢 合模速度慢 熔体流动性大	降低成型温度,尤其是口模温度 提高挤出和压料速度 加快合适速度 选择低黏度树脂或 MFR 小的物料或配混料
型坯弯曲	模口间隙不对称、不均匀 模口处受热不均 口模结构不合理	调节模口间隙,使之均匀 检修口模加热系统 修改口模结构,使流道均衡、对称
型坯内卷	模套温度过高	降低模套温度
型坯外卷	模芯温度过高	降低模芯温度
型坯表面粗糙,凹凸不平	熔体温度过低,塑化不良 挤出、压料速度过快 口模结构不当	调节成型温度(主要是口模) 适当提高挤出、压料速度,提高料温或更换 MFR 高的料 增长定型段

异常现象	产生原因	解决办法
制品变形	熔体温度高,吹塑周期过短 模体冷却效率差 吹塑压力小,型坯不能紧贴模具	降低熔体温度或延长吹塑时间 增大冷却水量或降低进水温度, 检查冷却水道是否堵塞或修改夹 套结构 提高吹塑压力,使不低于 0.196MPa(2kgf/cm ²)
切口部位开裂	型坯温度低 模具切口部位温度过高 切口太锐利 充气压力过大	提高熔体温度 加强切口部位冷却 增加刃口宽度 降低充气压力
制品有气泡	原料水分含量大或有易挥发物 成型温度过高,局部过热分解	预先干燥物料,或更换配方 降低成型温度,防止局部过热或 部分存料
制品熔合线显著	口模温度过低 树脂熔体黏度大或 MFR 小 口模结构不好	调整口模温度 提高成型温度或更换 MFR 大的料 增加扼流装置或加长定型段
制品表面有麻坑	排气孔太小、太少或堵塞 模腔表面有麻坑 成型温度过高,树脂 MFR 大 模腔表面有冷凝水或其他杂物	修理模具排气孔 修理并打光模腔 适当降低成型温度,选用 MFR 小一点的料 降低车间湿度,提高模温至 35~ 40℃,缩短模具的空停时间,清理 干净模腔
表面有流动花纹	树脂温度过高 模唇处圆弧不合理	降低口模(特别是定型段)温度 出口部位加 0.5R 圆弧
切边部位有凹痕	刃口溢料角不当 闭模速度太快	修理刀口角度 放慢闭模速度
制品切边难去除	切边刃口太宽 刃口不平 锁模压力小	修整刃口宽度 修平刃口 提高锁模力
制品合模线明显	锁模压力小 模具不平整	提高锁模力 修理合模面
脱模难	筋部长锥度 底部凹槽太深	筋上加(1:50)~(1:100)的锥度 尽可能减小凹槽深度

5. 回收塑料的中空吹塑成型典例

【例 1】回收 PE 料经挤出吹塑工艺制备筒状容器

1. 参考配方

回收 PE 料经挤出吹塑工艺制备筒状容器配方见表 3-41。

表 3-41 回收 PE 料经挤出吹塑工艺制备筒状容器配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收 HDPE	100	颜料	适量
白油	0.2~0.6	防老剂(1010)	0.1

2. 工艺流程

回收 PE 再生料→配合→挤出型坯→趁热夹入模具→闭模→充气吹胀→保压下冷却定型→放气→启模→修边成成品

3. 挤出机各段温度控制范围

加料段 160~170℃；塑化段 (190±10)℃；机头 170~180℃。

充气吹胀的要求应是制品外观平滑，花纹清晰。熔体表观黏度低者，其充气压力可低些，反之应高些。一般可选用压力为 0.3~0.8MPa 的压缩空气进行吹胀，闭模时间以充分定型为准，模具温度 50℃左右，充气口可选在下部。

容器桶应有一定刚度，特别是容量大的桶。因此，回收 PE 废料中 HDPE 中再生料占 70%以上为宜。

【例 2】回收 PVC 废瓶制再生 PVC 瓶工艺流程

PVC 废瓶→粉碎→筛选→洗涤→浮选或水力旋流分离→熔融过滤→冷却→添加新料及其他助剂→混合造粒→挤出吹塑成型→再生瓶

第五节 注射成型工艺及设备

一、注射成型设备

注射成型是将热塑性或热固性塑料制成各种塑料制品的主要成型方法之一。注射成型在注塑机上进行。

随着塑料工业的发展，注射成型工艺和注射成型机在不断地得

到改进与发展。从 1948 年在注塑机上开始使用螺杆塑化装置，并于 1956 年制造出世界上第一台往复螺杆式注射成型机以后，使更多的塑料和制件采用注射成型法加工。

1. 注塑机的结构组成和分类

(1) 注塑机的结构组成 图 3-50 为注塑机的外形立体示意，图 3-51 为注塑机的外观正面侧视。

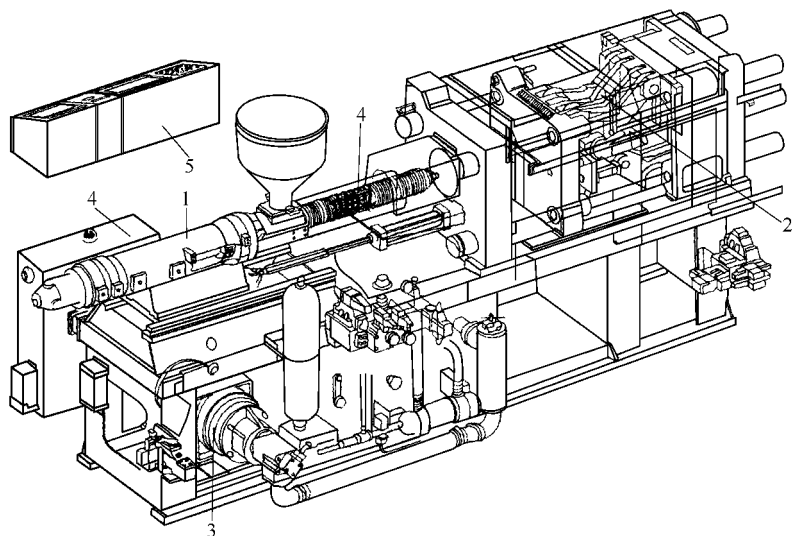


图 3-50 注塑机的外形立体示意

1—塑化注射部分；2—合模成型部分；3—液压传动工作部分；

4—加热及控制部分；5—操作控制箱

这种结构组成形式的注塑机，是目前应用最多的一种普通型注塑机。注塑机结构由塑化注射、合模成型、液压传动系统、电控、加热冷却、润滑和安全保护及监控测试等部分组成。

① 注射装置。其主要作用是将塑料均匀地塑化，并以足够的压力和速度将一定量的熔料注射到模具的型腔中。注射装置主要由塑化部件（螺杆、料筒和喷嘴所组成的）以及料斗、计量装置、传

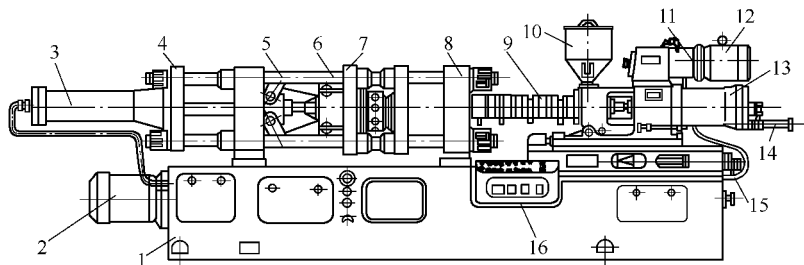


图 3-51 注塑机的外观正面侧视

- 1—机身；2—油泵用电机；3—合模油缸；4—固定板；5—合模机构；6—拉杆；
7—活动模板；8—固定板；9—塑化机筒；10—料斗；11—减速箱；12—电动机；
13—注射油缸；14—计量装置；15—移动油缸；16—操作台

动装置、注射和移动油缸等组成。

② 合模装置。其作用是实现模具的启闭，在注射时保证成型模具可靠地合紧，以及脱出制品。合模装置主要由前后固定模板、移动模板、连接前后固定模板用的拉杆、合模油缸、移模油缸、连杆机构、调模装置以及制品顶出装置等组成。

③ 液压系统和电气控制系统。其作用是保证注塑机按工艺过程预定的要求（压力、速度、温度、时间）和动作程序准确有效地工作。注塑机的液压系统主要由各种液压元件和回路及其他附属设备组成。电器控制系统则主要由各种电器和仪表等组成。液压系统和电器控制系统有机地组织在一起，对注塑机提供动力和实现控制。

(2) 注塑机的塑化注射部分结构分类 近些年来，由于塑料注塑制品的应用量在逐年扩大，制品的种类和外观结构形式在不断变化，为适应这些制品的生产需要，注塑机的结构形式和成型方法也在不断地改进。

注塑机设备中的塑化注射部分有多种结构形式，如柱塞式、单螺杆预塑式、螺杆复合式、斜角螺杆式、平角螺杆式、直角螺杆式、连续式和三阶螺杆式及多级螺杆式。这些不同结构形式的塑化

注射装置其工作特点如下。

① 柱塞式注塑机结构工作特点。柱塞式塑化注射装置的工作方法是：塑料的粒料先落入柱塞的头部，在工艺温度和柱塞的推力下，前移至分流梭部位的物料塑化成熔融状态；熔融状态物料经单向阀流入注射活塞的待注射的空腔中。当注射程序开始工作时，注射油缸活塞推动注射活塞前移，把熔融料经由喷嘴注入成型模具空腔内，冷却固化成型。柱塞复合式结构组成见图 3-52。

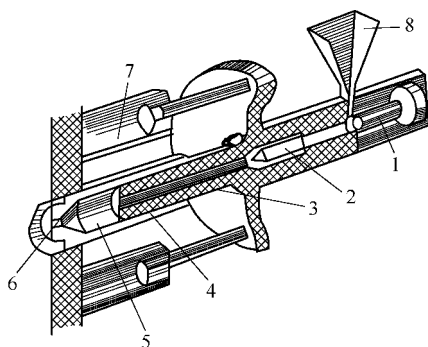


图 3-52 柱塞复合式结构组成

1—预塑活塞；2—分流梭；3—注射活塞；4—单向阀；5—注射室；
6—喷嘴；7—注射油缸；8—料斗

② 单螺杆预塑化式注塑机结构工作特点。单螺杆预塑式，是由一根螺杆在机筒中工作，即能转动把物料均匀塑化，又能前后移动，把塑化的物料推入模具腔内。这种塑化注射结构型式，是目前注塑机中应用最多的一种结构。其工作方法是：粒料进入机筒中，在转动螺杆的推动、挤压和机筒外部供热的工艺条件作用下，开始前移并逐渐塑化成熔融状态，在物料前移反阻力作用，螺杆转动工作的同时后移，则螺杆前形成一定容积的空腔，存留熔融料。当注射程序开始时，螺杆被注射油缸中的活塞推动前移，把熔融料经喷嘴注入模具空腔内。冷却固化成型。螺杆预塑式结构组成，见图 3-53。

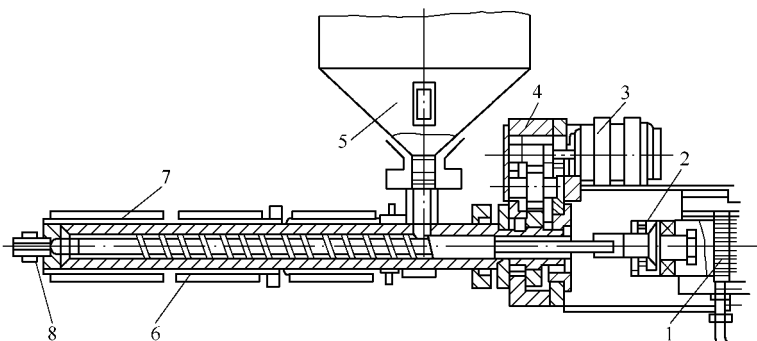


图 3-53 螺杆预塑式结构组成

- 1—注射油缸；2—轴承；3—液压马达；4—减速箱；5—料斗；
6—螺杆；7—机筒；8—喷嘴

③ 螺杆复合式注塑机结构工作特点。螺杆复合式是由螺杆塑化和柱塞注射两种结构组合在一起，联合完成塑化注射工作。工作时，当粒料落入机筒中，第一步像单螺杆预塑式一样，物料被塑化成熔融状，被转动的螺杆推向机筒前部，经由单向阀流入注射空腔内。注射开始时，整个塑化机筒部件，在注射油缸活塞推动下前移，这时与机筒成一体前端圆柱体即成为柱塞，把注射空腔内的塑化好的熔融料，经由喷嘴注入模具成型腔中，经冷却固化成型。螺杆复合式结构组成，见图 3-54。

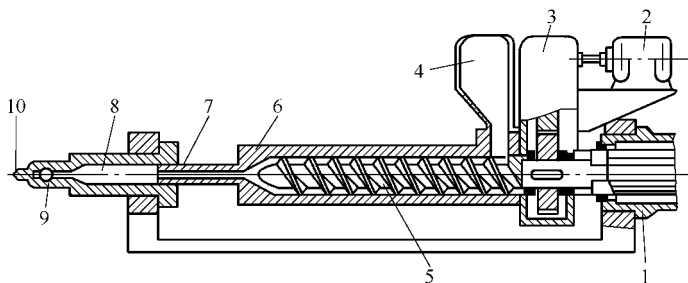


图 3-54 螺杆复合式结构组成

- 1—注射油缸；2—电动机；3—减速箱；4—料斗；5—螺杆；6—机筒；
7—单筒阀；8—注射料腔；9—单向阀；10—喷嘴

④ 斜角螺杆式注塑机结构工作特点。这种斜角螺杆式塑化注射装置，由两个工作料筒组成。它们之间的工作位置，形成一个倾斜角度，倾斜的料筒为螺杆挤出式，用来塑化物料，塑化工作方法与单螺杆预塑式对物料的塑化相同。塑化好的熔融料经单向阀进入注射筒的空腔内。注射工作开始时，注射活塞在注射油缸作用下，把熔融料经喷嘴注入成型模具腔内。这种结构的塑化注射工作，计量比较准确，熔融料回流量少，工作效率较高。斜角螺杆式塑化注射部件结构，见图 3-55。

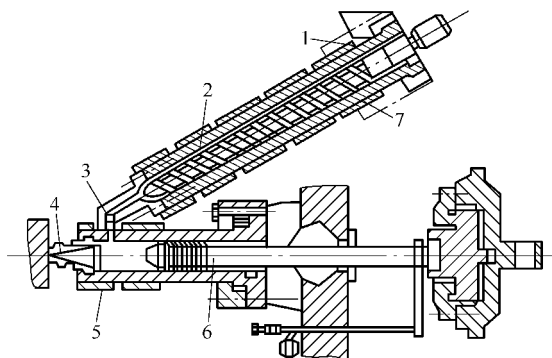


图 3-55 斜角螺杆式塑化注射部件结构

1—料斗口；2—机筒；3—单向阀；4—喷嘴；5—注射料筒；
6—注射用柱塞；7—螺杆

⑤ 平角螺杆式注塑机结构工作特点。图 3-56 是平角螺杆式塑化注射装置的结构组成。从工作方法上比较，基本上与斜角螺杆式塑化注射工作方法相同，不同之处只是塑化部分的料筒位置有变化，与注射料筒不是倾斜一个角度，而是与其平行。

以上是注塑机按塑化注射部分结构分类，另外，注塑机还有玻璃纤维增强塑料注塑机、发泡塑料注塑机、热固性塑料注塑机等。如果我们把加工一般塑料和一般制品的注塑机称为通用注塑机，那么这些注塑机称为专用注射。

2. 注塑机的基本参数

注塑机的主要参数有公称注射量、注射压力、注射速率、塑化

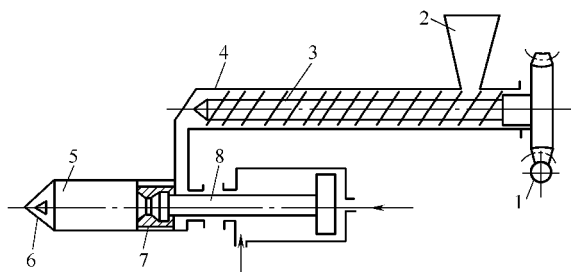


图 3-56 平角螺杆式塑化注射装置的结构组成

1—螺杆传动；2—料斗；3—螺杆；4—机筒；5—注射料筒；
6—喷嘴；7—逆止阀；8—柱塞

能力、锁模力、合模装置的基本尺寸、开合模速度、空循环时间等。这些参数是设计、制造、购置和使用注射成型机的依据。

(1) 公称注射量 公称注射量是指在对空注射的条件下，注射螺杆或柱塞作一次最大注射行程时，注射装置所能达到的最大注射量。公称注射量在一定程度上反映了注塑机的加工能力，标志着能成型的最大塑料制品，因而经常被用来表征机器规格的参数。注射量一般有两种表示方法，一种是以聚苯乙烯为标准，用注射出熔料的质量表示，另一种是用注射出熔料的容积表示。我国注塑机系列标准采用后一种表示方法。系列标准规定有 30cm^3 、 60cm^3 、 125cm^3 、 250cm^3 、 350cm^3 、 500cm^3 、 1000cm^3 、 2000cm^3 、 3000cm^3 、 4000cm^3 、 6000cm^3 、 8000cm^3 、 12000cm^3 、 16000cm^3 、 24000cm^3 、 32000cm^3 、 48000cm^3 、 64000cm^3 等规格的注塑机。

我国注塑机的表示方法举例有 XS—Zy—500，即表示公称注射量为 500cm^3 的螺杆式 (y) 塑料 (S) 注射成型 (X) 机。公称注射量即实际最大注射量。

(2) 注射压力 为了克服熔料流经喷嘴、浇道和型腔时的流动阻力，螺杆（或柱塞）对熔料必须施加足够的压力，我们将这种压力称为注射压力。注射压力的大小与流动阻力、制品的形状、塑料的性能、塑化方式、塑化温度、模具温度及对制品精度要求等因素有关。

注射压力的选取很重要。注射压力过高，制品可能产生毛边，脱模困难，影响制品的粗糙度，使制品产生较大的内应力，甚至成为废品，同时还会影响到注射装置及传动系统的设计。注射压力过低，则易产生物料充不满模腔，甚至根本不能成型等现象。注射压力的大小要根据实际情况选用，如加工黏度低、流动性好的低密度聚乙烯、聚酰胺之类的塑料，其注射压力可选用 34.3~54MPa；加工中等黏度的塑料（如改性聚苯乙烯、聚碳酸酯等），形状一般，但有一定的精度要求的制品，注射压力可选 98~137MPa；对聚砷、聚苯醚之类高黏度工程塑料的注射成型，又属于薄壁长流程厚度不均和精度要求严格的制品，其注射压力大约选在 137~166.7MPa 范围内；加工优质精密微型制品时，注射压力可用到 225.5~245MPa 以上。

为了满足加工不同塑料对注射压力的要求，一般注塑机都配备三种不同直径的螺杆（或用一根螺杆而更换螺杆头）。采用中间直径的螺杆，其注射压力范围在 98~127.5MPa；采用大直径的螺杆，注射压力在 63.7~88MPa 范围内；采用小直径的螺杆，其注射压力在 118~176MPa 的范围内。

（3）注射速率（注射时间、注射速度） 注射时，为了使熔料及时充满型腔，除了必须有足够的注射压力外，熔料还必须有一定的流动速度。描写这一参数的为注射速率或注射时间或注射速度。

所谓注射速率、注射速度、注射时间可用下面两式定义：

$$q_{\text{注}} = \frac{Q_{\text{公}}}{t_{\text{注}}} (\text{cm}^3/\text{s}) \quad (1)$$

$$V_{\text{注}} = \frac{S}{t_{\text{注}}} (\text{mm}/\text{s}) \quad (2)$$

式中 $q_{\text{注}}$ —— 注射速率， cm^3/s ；

$Q_{\text{公}}$ —— 公称注射量， cm^3 ；

$t_{\text{注}}$ —— 注射时间，s；

$V_{\text{注}}$ —— 注射速度， mm/s ；

S —— 注射行程，即螺杆移动距离，mm。

可见，注射速率是将公称注射量的熔料在注射时间内注射出

去，单位时间内所达到的体积流率；注射速度是指螺杆或柱塞的移动速度；而注射时间，即螺杆（或柱塞）射出一次公称注射量所需要的时间。

注射速率或注射速度或注射时间的选定很重要，直接影响到制品的质量和生产率。注射速率过低（即注射时间过长），制品易形成冷接缝，不易充满复杂的模腔。合理地提高注射速率，能缩短生产周期，减少制品的尺寸公差，能在较低的模温下顺利地获得优良的制品，特别是在成型薄壁、长流程制品及低发泡制品时采用高的注射速率，能获得优良的制品。因此目前有提高注射速率的趋势：1000cm³以下的中小型螺杆式注塑机注塑时间通常在3~5s，大型或超大型注塑机也很少超过10s。表3-42列出了注射速率的数值，供参考。但是，注射速率也不能过高，否则塑料高速流经喷嘴时，易产生大量的摩擦热，使物料发生热解和变色，模腔中的空气由于被急剧压缩产生热量，在排气口处有可能出现制品烧伤现象。一般说来，注射速率应根据工艺要求、塑料的性能、制品的形状及壁厚、浇口设计以及模具的冷却情况来选定。

表 3-42 常用的注射速率

注射量/cm ³	125	250	500	1000	2000	4000	6000	10000
注射速率/(cm ³ /s)	125	200	333	570	890	1330	1600	2000
注射时间/s	1	1.25	1.5	1.75	2.25	3	3.75	5

为了提高注射制件的质量，尤其对形状复杂制品的成型，发展了变速注射，即注射速度是变化的，其变化规律根据制件的结构形状和塑料的性能决定。

（4）塑化能力 塑化能力是指单位时间内所能塑化的物料量。显然，注塑机的塑化装置应该在规定的时间内，保证能够提供足量的塑化均匀的熔料。塑化能力应与注塑机的整个成型周期配合协调，若塑化能力高而机器的空循环时间太长，则不能发挥塑化装置的能力，反之，则会加长成型周期。目前注塑机的塑化能力有了较大的提高。

提高螺杆转速、增大驱动功率、改进螺杆的结构型式等都可以提高塑化能力和改进塑化质量。

(5) 锁模力 锁模力是指注塑机的合模机构对模具所能施加的最大夹紧力。在此力的作用下，模具不应被熔融的塑料顶开。锁模力同公称注射量一样，也在一定程度上反映出机器所能塑制品的大小，是一个重要参数，所以有的国家采用最大锁模力作为注塑机的规格标称。

为使注射时模具不被熔融的塑料顶开，则锁模力（见图 3-57）应为一般在 $3.9 \sim 6.9$ 之间选取，对黏度小的塑料如尼龙，取 6.9 ，对黏度大的塑料如聚氯乙烯，取 3.9 ；模具温度高时取大值，模具温度低时取小值。

有的资料把上式中 P 理解为模具型腔内熔料的平均压力，它是由实验测得的模腔内熔料总的作用力和制品在模具分型面上投影面积的比值，而把 K 称为安全系数，一般取 $1 \sim 2$ 。但模腔内熔料的平均压力是一个比较难取的数值，这是因为它受各种因素影响，这些因素是注射压力、塑料黏度、成型工艺条件、制品形状和精度要求、喷嘴和浇道形式以及模具的温度等。

对一般用途的螺杆式注塑机，平均模腔压力为 19.6MPa 左右，柱塞式注塑机要高些。加工黏度高的塑料，精度要求高的制品，模腔压力可达 $29.4 \sim 44\text{MPa}$ 。表 3-43 列出了加工不同制品、不同塑料时，通常所选用的平均模腔压力的数值，供参考。

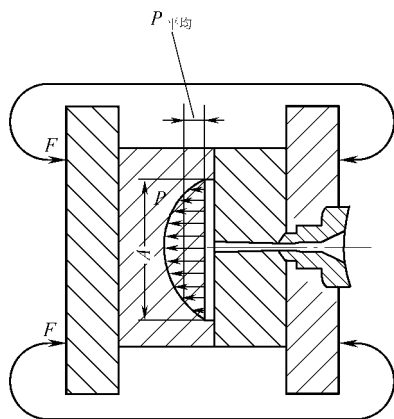


图 3-57 模腔压力和合模力
 $F \geq KPA$ ； F —锁模力，N； P —注射压力，MPa； A —制品在模具分型面上的投影面积， cm^2 ； K —安全系数，一般取 $1 \sim 1.2$

表 3-43 平均模腔压力数值

塑 料 名 称	平均模腔压力/MPa	塑 料 名 称	平均模腔压力/MPa
LDPE	10~15	AS	30
MDPE	20	ABS	30
HDPE	35	PMMA	30
PP	15	乙酸纤维树脂类	35
PS	15~20	塑料(CA)	

平均模腔压力的大小，涉及对锁模力的要求，也影响锁模机构的设计。我国塑料注塑机系列标准（1974）是根据平均模腔压力为24.5MPa确定锁模力的。

（6）合模装置的基本尺寸 合模装置的基本尺寸包括模板尺寸、拉杆空间、模板间最大开距、动模板的行程、模具最小厚度与最大厚度等。这些参数规定了机器所加工制品使用的模具尺寸范围，亦是衡量合模装置好坏的参数。

① 模板尺寸及拉杆间距。我国注塑机系列标准规定以装模方向的拉杆中心距代表模板的尺寸，而规定垂直方向两拉杆之间的距离与水平方向两拉杆之间的距离的乘积为拉杆间距。显然这两个尺寸都涉及到所用模具的大小。因此，模板尺寸及拉杆间距应满足机器规格范围内常用模具尺寸的要求。而模板尺寸与成型面积有关。

② 模板间最大开距。模板间最大开距是指定模板与动模板之间能达到的最大距离（包括调模行程在内）。为使成型后的制品顺利取出，模板最大开距一般为成型制品最大高度的3~4倍。

③ 动模板行程。动模板行程是指动模板行程的最大值，为了便于取出制品，一般大于制品最大高度的两倍。为了减少机械磨损和动力消耗，成型时尽量使用最短的模板行程。

④ 模具最小厚度与最大厚度。指动模板闭合后，达到规定锁模力时，动模板和定模板间的最小和最大距离。

（7）开合模速度 为使模具闭合时平稳以及开模、顶出制品时不使塑料制件损坏，要求模板慢行，但模板又不能在全行程中都慢速运行，这样会降低生产率。因此，在每一个成型周期中，模板的

运行速度是变化的。即在合模时从快到慢，开模时则由慢到快再慢。目前国产注塑机的动模板移动速度，高速已达 25~35m/min。有的甚至可达 60~90m/min。

(8) 空循环时间 空循环时间是在没有塑化、注射保压、冷却、取出制品等动作的情况下，完成一次循环所需要的时间（s）。它由合模、注射座前进和后退、开模以及动作间的切换时间所组成。

空循环时间是表征机器综合性能的参数，它反映了注塑机机械结构的好坏、动作灵敏度、液压系统以及电气系统性能的优劣（如灵敏度、重复性、稳定性等）。也是衡量注塑机生产能力的指标。

以上介绍了注塑机的基本参数，注塑机的其他技术参数如注塑机功率、开模力、注射座推力、液压马达最大扭矩等，不一一介绍。部分国产塑料注塑机技术参数见表 3-44。

表 3-44 部分国产塑料注塑机的技术规格

项目 型号	一次注射 量/cm³	螺杆 (柱塞) 直径 /mm	注射 压力 /MPa	锁 模 力 /t	最大 成型 面积 /cm²	压板 行程 /mm	模具 最大 厚度 /mm	模具 最小 厚度 /mm	压板尺寸 /mm	拉杆空间 /mm
XS—ZS—22	30	25×2	73.5							
	20	20×2	114.7	25	90	160	180	60	250×280	235
XS—Z—30	30	28	116.7	25	90	160	180	60	250×280	235
XS—Z—60	60	38	119.6	50	130	180	200	70	330×440	190×300
XS—ZY—125	125	42	116.7	90	320	300	300	200	450×420	260×290
G54—S200/400	200~400	55	106.9	254	645	260	406	165	532×634	290×363
SZY—300	320	60	76.0	140		340	355	130	620×520	400×300
XS—ZY—500	500	65	102.0	350	1000	500	450	300	750×850	560×440
XS—ZY—1000	1000	85	118.7	450	1800	700	700	300	850×750	650×550
SZY—2000	2000	110	88.3	600	2600	750	800	500	1180×1180	760×700
XS—ZY—4000	4000	130	104	1000	3800	1100	1000	700	1500×1590	1050×950
	3980	110	154.9							
	5170	130	110.8	1800	7200	1500	1200	600	1800×1900	1200×1800
T—S—Z—7000	7000	150	83.4							

3. 注塑机的维护保养

注塑机经试车验收合格后，由车间安排操作者使用设备。操作

者应明白，从开始操作生产那天起，自己就是这台设备的安全生产责任人，也是对该设备维护保养的责任人。要当好一名合格的操作工，应知道上岗的工作职责、注意事项，熟记操作规程和对设备的维护保养方法。

(1) 操作工须知

① 操作工职责。

a. 认真学习设备说明书，应了解设备结构组成及各零部件的功能作用。

b. 经培训后熟记设备操作规程，经考核合格后，能独立操作、及时发现设备生产中异常故障，并能排除解决。

c. 知道如何维护保养设备。

d. 设备出现异常故障，要向有关人员及时报告，并说明故障现象及发生的可能原因。

e. 不经车间领导批准，任何人不许随意操作应由责任人操作的设备，责任人一旦发现，有权制止。即使经车间同意，也不能让该人员单独操作。

f. 设备生产工具及维修用附属部件应由操作者保管，不许乱堆放，如损坏或丢失，应负保管不当责任。

g. 根据设备出现的异常声响和不正常的运行动作，能判断出设备哪个部分出现问题，并能及时排除。

h. 注意安全操作，不允许以任何理由为借口，做出容易造成人身伤害或损坏设备的操作方式。

② 操作工注意事项

a. 上岗生产前穿戴好车间规定的安全防护服装。

b. 清理设备周围环境，不许存放任何与生产无关的物品。

c. 清理工作台、注射导轨和料斗部位，不许有任何异物存在。同时要检查料斗内有无异物。注射座导轨加好润滑油。

d. 检查设备上安全设施装置，应无损坏，确认工作可靠。

e. 检查各部位紧固螺母是否拧紧，有无松动。

f. 发现零部件异常，有损坏现象，应向有关人员报告，不能

开车，不能私自处理。

g. 核实喷嘴球形半径与模具衬套口圆弧是否相符。

h. 生产工作中的任何设备故障或事故，都应向车间报告，并做好记录。

i. 设备上的安全防护装置不准随便移动，更不许改装或故意使其失去作用。

j. 对已发现有问题的设备，未经维修排除故障，不许开车生产。

k. 经常检查液压油温度变化情况。检查油箱中的油量应在油标范围内。

l. 试车，对空注射时，注意喷嘴前方不许有人。

m. 设备运转开动时，不许任何人在机器上做其他工作。

n. 操作者离开设备时，应切断电源。

o. 对于突然停电或意外事故，应立即排净机筒内残料。

p. 合模部位的安全装置接班时要检查试验其可靠性。

q. 生产停止时要清理设备中一切剩余残料，不许用硬铁锤拆卸敲击，应使用铜质手锤、刀具刮净全部黏料。

r. 车间内严禁烟火。

s. 车间内不许打闹或大声喧哗。

t. 产品堆放整齐。

(2) 注塑机四种操作方式的应用

① 调整操作

a. 工作特点。各部位的工作运动，是在按住相应的按钮开关时才能慢速动作，手离开按钮，动作即停止，此动作方式也可叫点动。

b. 应用原则。应用在模具的安装调整工作，试验检查某一部位的工作运动时及维修拆卸螺杆时应用。

② 手动操作

a. 工作特点。手指按动某一按钮，其相应控制的某一零部件开始运动，直至完成动作停止，不再按动此按钮，也就不再有重复动作。

b. 应用原则。在模具装好后试生产时应用，检查模具装配质量及模具锁紧力的大小调试。对某些制品生产时的特殊情况，也可用手动操作。

③ 半自动操作

a. 工作特点。关闭安全门后，注塑制品的各个生产动作，由时间继电器和限位开关连通控制，按事先调好的动作顺序进行，直至制品成型，打开安全门，取出制件为止。

b. 应用原则。注塑机的各部位工作零部件，质量完好，能够准确完成各自的工作动作，批量生产某一制品时，采用半自动操作。

④ 全自动操作

a. 工作特点。注塑机的各部位工作零部件质量完好，能够保证各动作正确工作条件下，由电器自动控制各工作程序，使各种动作按固定编制好的程序循环工作。

b. 应用原则。用于大批量注射生产某一种制品时。由于目前成型制件顶出装置的工作可靠性还存在一些问题，所以，当前的机械传动条件暂不宜采用。

(3) 注塑机的生产操作规程 这里主要强调作为一名注塑机操作工，应该如何按操作程序对注塑机进行生产操作，以及如何对设备维护保养和生产中交接班的注意事项。

操作工必须明白，认真执行生产操作程序是生产设备及个人工作安全的需要，是保证产品质量的必要手段。执行操作中的各项程序要求，就是对生产设备的最好维护保养，所以操作工要熟记注塑机的生产操作程序内容，工作时必须认真执行操作规程程序。

① 生产前的准备工作

a. 清理生产设备的四周环境，不许存放任何与生产无关物品。

b. 对生产设备进行一次清洁卫生工作，各部位不应有油污及各种污物，注射座移动导轨和合模部分拉杆，一定要清洁如新，然后涂好润滑油，同时要清扫控制箱上的通风过滤网，保证通风良

好。使用工具清洁后要摆放整齐。

c. 检查各部位的安全保护装置是否完好。检查试验紧急停车, 各种安全防护报警是否能准确报警工作。安全门应滑动灵活, 开与关位置应与限位开关正确接触等。

d. 检查各部位螺钉、螺帽是否有松动, 应确保各零件间的牢固结合。

e. 检查各控制开关、按钮及手柄等有无损坏, 操作应灵活。各开关应在“断开”位置。

f. 检查液压系统的油箱、油量应在油标最高位置。同时清洗油箱中的液压油过滤网、通风孔过滤网。

g. 检查冷却水管路, 查看水流是否通畅。

h. 核实生产用料与工艺条件要求螺杆结构形式和喷嘴结构形式是否相符。

i. 检测原料质量及含水分程度, 如超标应进行干燥处理。

j. 查看料斗内是否有异物, 料斗上方不许存放任何物品。

k. 擦净模板工作面, 安装固定模具。模具在安装前应清洗油污, 检测衬套口直径应与模板定位孔直径尺寸相符, 以保证准确的中心对位。

② 注塑机开车

a. 控制箱总开关合闸。

b. 机筒、喷嘴和模具合闸升温。按工艺温度要求设定。达到工艺温度时恒温 1~2h, 以确保各部位温度均匀。

c. 用水银温度计实测机筒温度, 校准控制箱上仪表显示温度误差。

d. 把操作方式调整至手动位置。

e. 点车启动螺杆转动, 查看螺杆转动声响有无异常。

f. 低速启动螺杆转动, 如一切正常时开始加料, 直至喷嘴口挤出熔料。

g. 手动操作对空注射熔料, 查看熔融料塑化质量, 根据塑化状况适当调整螺杆背压, 直至原料塑化均匀、光泽发亮

为准。

h. 合模。

i. 注射座前移、喷嘴与模具衬套口圆弧严密接触，注塑制品。检查制品质量，按制品中存在问题，适当调整注射压力，保压时间及锁模力，直至制品质量合格。

j. 调整操作方式至半自动位置。

k. 关闭安全门，开始正常生产。转入注塑生产后，操作工要经常检查液压系统的油温高度，以不超过 55°C 为准，如有超高现象，应适当加大冷却水流量。重点查看曲肘连杆和注射座移动导轨润滑情况。

③ 交接班工作要点

a. 交班操作工应做好本班生产工作记录，写明本班设备运转工作情况，发生过什么样工作设备故障，如何排除，设备还存在什么异常现象，通知下班注意。

b. 接班操作工应先阅读交接班记录，与上一班操作工交流一些有关生产及设备工作情况问题。

c. 接班操作工应检查各润滑点润滑油量及润滑部位工作情况，酌情加注润滑油。

d. 查看液压系统油温，应不超过 55°C ，适当调节冷却水流量，查看油箱油量不得低于油标高度。

e. 查看曲轴连杆、拉杆及注射座导轨部位润滑情况，这里要保证充分润滑。

f. 查看安全报警装置是否完好。

g. 清点专用工具，摆放整齐。

④ 停止生产时操作工工作要点

a. 把操作方式调整至手动位置。

b. 料斗停止为注塑机筒供料。

c. 手动操作、对空注射。注射-预塑反复动作数次，直至喷嘴无熔料流出。

d. 降低螺杆转速，根据机筒塑料品种类别，清洗机筒。

- e. 关闭冷却水，把各开关旋至“断开”位置。
- f. 拆卸喷嘴及与机筒连接部分，用专用工具拆卸螺杆。立即用铜刷或铜质刀，铲清除喷嘴、螺杆上的黏料。
- g. 关闭电源。
- h. 喷嘴、螺杆清理后涂防护油。螺杆涂油后应包好，吊挂在安全通风处。

二、注射成型工艺

注射成型工艺是热塑性塑料和再生塑料重要的成型加工方法。

注射成型又称注射成型，是将注射用的原料（颗粒状塑料）置于能加热的料筒内受热、受压塑化后，用螺杆或柱塞施加压力，使熔体经料筒末端的喷嘴注入到所需形状的模具中填满模腔，经冷却定型后脱模即得到具有要求形状的制品。

注射成型工艺的主要优点是：①成型周期短、可实现完全自动化生产；②能一次性成型，得到尺寸较精确、外形复杂的各类制品；③生产效率高，对各种塑料的加工适应性强。与模塑、挤塑工艺相比，注射成型操作较复杂，有温控、自控、液压、电控等系统。注塑设备的一次投资较大。对物料的熔体流动性有较高的要求。

1. 注射成型工艺过程

对于塑料的回收料，应用于加工性能要求不高的注塑制品的生产，回收料可以单独使用，也可以加入 20%~50% 的新料配合使用。

注射成型工艺过程包括成型前的准备、注射成型过程和制品的后处理三个阶段。

（1）成型前的准备 由于塑料供应形式（粉料或粒料）和性质，制品的结构（有无嵌件）及使用要求的不同，各种制品成型前的准备工作亦不同。一般包括以下几方面。

① 粒料的预热及干燥。一般情况下，粒料树脂都具有一定的吸水性，见表 3-45。

表 3-45 热塑性塑料的吸水性

塑料名称	吸水率/%	允许含水量/%	塑料名称	吸水率/%	允许含水量/%
ABS	0.2~0.45	0.1	PMMA	0.3~0.4	0.05
PE	<0.01	0.5	PC	0.24	0.02
PP	<0.03	0.5	PSU	0.22	0.1
PS	0.03~0.10	0.1	PPO	0.07~0.2	0.05
POM	0.02~0.35	0.1	PPS	0.02~0.08	0.1
PA6	1.3~1.9	0.2	CP	0.01	0.01
PA66	1.5	0.2			

当树脂吸水量高于成型加工的允许值时，必须进行成型前的干燥处理。水分的存在是塑料在高温下产生交联反应和降解的原因之一，会造成制品性能及外观质量下降。如 PA、PC 等是极易吸湿的塑料，在成型温度下对水分很敏感，少量水分就会造成产品缺陷，出现气泡、斑纹等，甚至性能下降。对于 ABS、PMMA 等塑料一般也应进行干燥，对于 PE、PP、POM 等塑料贮存较好，一般可以不必干燥。

② 嵌件预热。在成型制件中，由于装配及强度的要求，常需要在制品中嵌入金属嵌件。嵌件放入模具前必须预热，尤其是较大的嵌件。以减少金属与塑料冷却收缩值的差距，降低由于两者热膨胀系数不同在嵌件周围产生的收缩应力。

③ 料筒的清洗。在注塑过程中，当改变产品、更换原料及颜色时均需清洗料筒。为节约时间和原料，清洗料筒时应注意以下几点。

a. 料筒内残存塑料热稳定性较好，可直接加入新料将料筒内残料置换出来。

b. 料筒内为热敏性塑料（如 PVC、POM），为防止这些塑料加工受热使过热分解，可采用热稳定性好的塑料（如 PE、PS）进行过渡换料，先换出热敏性塑料，再加入新料置换 PE、PS 料等。

c. 新料成型温度高于料筒内的残留塑料温度，应先将料筒及喷嘴温度升到新料最低成型温度，再加入新料的回料，连续“对空注射”，直到射出熔体完全是回料再加入新料。

d. 新料成型温度低于料筒内残留塑料温度时，应切断加热，边降温度边加入新料的回料，进行“对空注射”，直到射出的料完全是回料时再加入新料。

(2) 注射成型过程 各种注塑机完成注射成型的动作程序可能不完全相同，但其成型的基本过程还是相同的。现以螺杆式注塑机为例予以说明。

从料斗落入料筒中的塑料，随着螺杆的转动沿着螺杆向前输送。在这一输送过程中，物料被逐渐压实，物料中的气体由加料口排除。

在料筒外加热和螺杆剪切热的作用下，物料实现其物理状态的变化，最后呈黏流态，并建立起一定的压力。当螺杆头部的熔料压力达到能克服注射油缸活塞退回时的阻力（所谓背压）时，螺杆便开始向后退，进行所谓计量。与此同时，料筒前端和螺杆头部熔料逐渐增多，当达到所需要的注射量时（即螺杆退回到一定位置时），计量装置撞击限位开关，螺杆即停止转动和后退。至此，预塑完毕。同时，合模油缸中的压力油推动合模机构动作，移动模板使模具闭合。继而，注射座前移，注射油缸充入压力油，使油缸活塞带动螺杆按要求的压力和速度将熔料注入到模腔内。当熔料充满模腔后，螺杆仍对熔料保持一定的压力，即所谓进行保压，以防止模腔中熔料的反流，并向模腔内补充因制品冷却收缩所需要的物料。模腔中的熔料经过冷却，由黏流态回复到玻璃态，从而定型，获得一定的尺寸精度和表面粗糙度。当完全冷却定型后，模具打开，在顶出机构的作用下，将制件脱出，从而完成一个注射成型过程，参看图 3-58。

按照习惯，我们把一个注射成型过程称为一个工作循环，而该循环由合模算起，为了明了起见，我们用下面工艺流程图表示。

合模→注射→保压（螺杆预塑）→冷却→开模→顶出制品→
合模

注射成型过程包括加料、加热塑化、闭模、加压注射、保压、冷却定型、启模、制件取出等工序。其中，加热塑化、加压注射、

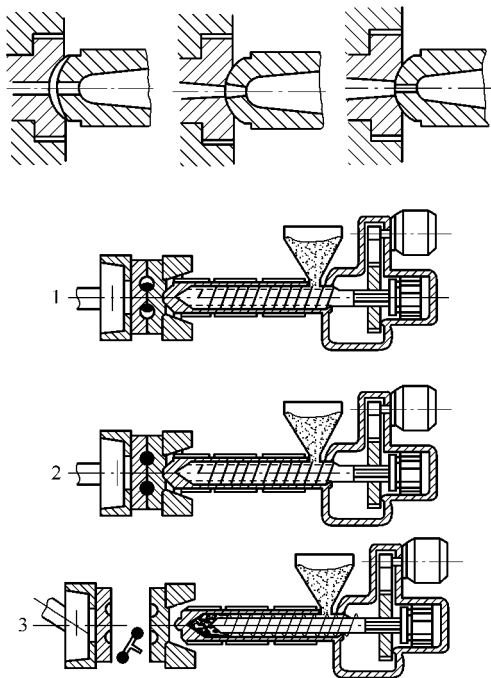


图 3-58 注射成型过程

1—合模，注射；2—保压；3—螺杆预塑、制品顶出

冷却定型是注射过程中三个基本步骤。

① 加料。每次加料量应尽量保持一定，以保证塑化均匀一致，减少注射成型压力传递的波动。

② 塑化。塑料在进入模腔之前要达到规定的成型温度，提供足够数量的熔融塑料，以保证生产连续进行。熔融料各处温度应均匀一致，热分解产物的含量应最小。可见，塑料塑化的快慢即塑化速度直接影响注塑机的生产率，而塑化的均匀性则影响制品的质量。

③ 注射。指注塑机用柱塞或螺杆对熔融塑料施加推压力，使料筒内的熔融料经喷嘴、浇道、浇口进入模腔的工序。在注射阶段，主要控制注射压力、注射时间和注射速度来实现充模并得到制

件。熔融塑料充模时间一般在几秒或几十秒内完成。它包括充模、压实、补料等过程。

④ 保压。指注射结束到注射柱塞或螺杆开始后移的这段时间。保压不仅可防止注射压力卸除后模腔内的熔融料倒流入浇道，还可向模腔内补充少量塑料，以补偿体积收缩。

⑤ 冷却。为使塑料制品具有一定强度、刚性和形状，在模腔内必须要冷却一定时间。制品冷却时间是保压开始至卸压开模取件为止。

⑥ 开模取件。模具打开，手动或自动顶出制品。

(3) 制品的后处理 注塑制品一般结构复杂，壁厚不均，制品各部分在模具中冷却速度不一致，使制品内部产生复杂的内应力，制品在贮存和使用过程中产生变形或裂纹。为避免这种现象，对制品进行热处理和调湿处理是十分必要的。制品的热处理条件参见表 3-46。

表 3-46 热塑性塑料热处理条件

塑料名称	处理介质	处理温度/℃	制品厚度/mm	处理时间/min
PS	空气或水	60~70	≤6	30~60
		70~77	>6	210~360
		77	≤3	1
			3~6	3
S/AN	空气或水	80~100	>6	4~25
		75	—	16~20
ABS	空气或油	125~130	—	240~360
PMMA		165	1	30~40
PC		150	—	60~240
PSU		130	3	15
PA-66	油	160	12	15
PA-6	油	150	25	30(油)60(水)
POM	空气或油		≤3	30~60
PP	空气		≤6	60
			≤6	15~30
PE	水		>6	60

调湿处理是使制品在一定的湿度环境中预先吸收一定的水分，

使其尺寸稳定下来。

注塑过程中所产生的废料可粉碎重新使用。当制品对强度、电性能、外观质量、颜色要求较高时，一般不使用废料。废料只能用于加工性能要求不高的制品。废料可单独使用，也可加入部分新料中进行成型。

2. 工艺条件的控制

注射成型最重要的工艺条件是温度、压力和注射的时间。

(1) 温度 注射过程需要控制的温度有料筒温度、喷嘴温度和模具温度。前两者关系到塑料的塑化过程，而后者关系到塑料的成型。

① 料筒温度。料筒温度的选择应保证塑料塑化良好，能顺利实现注射，又不引起塑料分解。料筒温度应根据塑料的热性能确定，各种塑料具有不同的流动温度。因此，对无定型塑料料筒末端最高应高于流动温度，对结晶性塑料应高于熔点，但必须低于塑料的分解温度。如果高于分解温度就会引起熔融分解。在确保充模顺畅的情况下，料筒温度应尽可能地接近于流动温度。此外，料筒温度的选择还应考虑到塑料受热时的持续时间，如果时间过长，即使温度还没有完全达到分解温度，也同样会引起塑料熔融体的逐步分解。

采用不同类型的注塑机，塑料在料筒内的塑化过程也不同，因此料筒温度选择也不同。在柱塞式注塑机中，如使塑料内外层受热，塑化均匀则需要较高的料筒温度。在螺杆式注塑机中，塑料在螺槽中受到搅拌及混合，此外，塑料受螺杆的剪切作用还产生摩擦热，因此料筒温度选择可低一些，一般可降低 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

选择料筒温度还应结合制品及模具的结构特点。薄壁制件的模腔呈狭窄的孔穴，熔体注入阻力大。冷却快，应提高塑料的流动性，才能较好地充模，因此料筒温度应选择高一些。而对厚壁制品，充模较方便，制件在模具中冷却时间较长，料筒温度可选择低一些。料筒温度的分布，通常从料斗一侧起至喷嘴，由低到高，以利于塑料逐步塑化流动。

② 喷嘴温度。塑料在注射时，快速通过喷嘴，尚有一定摩擦加热作用，为防止喷嘴料流延，喷嘴温度通常略低于料筒温度，但喷嘴温度过低则造成熔体冷凝堵塞喷嘴，或在模腔中流入冷凝料。

塑料熔体通过注射喷嘴时，喷嘴孔孔径和注射成型压力对熔体温度有一定影响。表 3-47 中列举喷嘴孔径对熔融塑料温度升高的关系。

表 3-47 喷嘴孔径对熔融塑料温度升高的关系

注射压力/MPa	49						98			
喷嘴孔径/mm	3.2	2.0	1.46	1.0	0.7	0.5	1.46	1.0	0.7	0.5
温升/℃	18	19	23	25	26	26	43	45	47	46

③ 模具温度。模具温度决定于塑料的特性（特别是对结晶型塑料），制品尺寸与结构、性能及工艺条件等。

塑料注射成型时，模具通常呈两种状态，一是用电热圈加热；另一种是通冷水冷却。不论是加热或冷却，塑料熔体在模具内部是进行冷却降温的过程。只有当熔体在模具内冷凝获得要求的形状后才能脱模。为了保证脱模时不变形，塑料熔体应由黏流态冷却至玻璃态（或结晶态）。

无定型热塑性塑料（如聚苯乙烯及其共聚物）注射成型时，模具温度对制品力学性能的影响比较小。在保证顺利充射的前提下，采用较低的模具温度可缩短冷却时间，提高生产效率。

结晶型热塑性塑料注射成型时，模具温度对制品的力学性能影响较大。一般来说，聚烯烃制品的力学性能随模具温度的提高而提高。模具温度直接影响制品在模具内的冷却速率，因此模具温度直接影响制品的密度。参见表 3-48。

（2）注射压力 注射压力对塑料充模起决定性作用，而压力大小和保压时间则影响制品性能。注射压力的大小取决于塑料的品种、注塑机类型、模具结构、制品的厚度、流程及注塑工艺等。

表 3-48 模具温度对聚烯烃制品密度的影响

模具温度/℃	密度/(g/cm ³)		
	MDPE	HDPE	PP
20	0.9375	0.9540	0.8960
40	0.9378	0.9540	0.8970
60	0.9386	0.9560	0.8990
80	0.9422	0.9590	0.9000
100		0.9620	0.9020

注射压力大致控制在 $39.2 \sim 137 \text{MPa}$ ($400 \sim 1400 \text{kgf/cm}^2$) 内。这一数值是指注塑机注射缸中所反映的压力。实际上, 作用到制品上的压力只有原来的 $30\% \sim 60\%$, 其压力损失消耗在克服熔体流经喷嘴和流道阻力上。

(3) 成型周期 完成一次注射过程所需要的时间, 称为成型周期。它是决定注射成型生产率及制品质量的一项重要因素。包括注射压力时间(注射时间+保压时间)、冷却时间(预塑时间+模内冷却时间)、辅助时间(开模+取出制品+涂脱模剂+安放嵌件+闭模)等。

在注射加压时间里, 保压时间所占比例大。在注射加压总时间 $30 \sim 120 \text{s}$ 内, 充模时间一般只有 $3 \sim 10 \text{s}$, 其余时间都是保压时间。对于特别厚的制品, 总时间可长达 $5 \sim 10 \text{min}$ 。

冷却时间是指注射结束到开启模具的一段时间。冷却时间长短, 主要根据制品厚度、塑料冷凝速度及模具温度来选定。一般冷却时间应保证制品脱模时不引起变形弯曲, 大约在 $30 \sim 120 \text{s}$ 之间。

在成型过程中, 应尽可能地缩短辅助操作时间, 以提高生产效率。工艺条件的设定与控制是至关重要的, 表 3-49 列出了常用塑料注射工艺条件。

三、废旧塑料注射成型典例

【例 1】软 PVC 的回收料注射成型再生凉鞋

回收 PVC 软制品包括泡沫塑料凉鞋、鞋底、拖鞋、废农膜、

软管及生产这类制品中的边角料等。无论回收的是何种 PVC 软制品，除必要的前处理外，必须造粒以备注塑机使用。

表 3-49 常用塑料注射工艺条件

塑料名称	注射温度/℃					注射压力 /MPa	注射时间 /s	冷却时间 /s	螺杆转速 /(r/min)
	后部	中部	前部	喷嘴	模温				
HDPE	180~190	180~220	140~160	150~180	30~60	70~100	15~60	15~50	30~60
RPVC	160~170	165~180	170~190	—	—	78~127	15~60	15~60	28
PP	160~180	180~200	200~230	180~190	20~60	69~98	20~60	20~90	<80
ABS	150~170	165~180	180~200	170~180	40~70	78~98	20~90	20~120	<69
PS	140~180	180~190	190~200	180~190	40~60	27~118	15~45	15~60	<69

1. 参考配方（见表 3-50）

表 3-50 软 PVC 回收料注射成型再生凉鞋配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收 PVC 软料	100	石油酯	1
PVC 树脂	0~10	碳酸钙(活化)	2~4
DOP	6~8	三碱式硫酸铅	2
DBP	6~8	二碱式亚磷酸铅	1
氯化石蜡	2	颜料(或色母粒)	适量

2. 工艺流程

流程一：回收 PVC 软制品→前处理→切碎→配合→捏合→挤出造粒→注射成型→修整→检验→成品

流程二：回收 PVC 软制品→前处理→塑化→配合混炼→压片→切粒→注射成型→修整→检验、成品

3. 注意事项

采用挤出造粒工艺流程生产效率高。但回收料经前处理后需切碎以供挤出机造粒。如果采用开炼混炼后放片、再切粒工艺，

勿需将回收料切碎，可在前处理后直接在开炼机上塑化，然后加入配合剂进行混炼，待掺混均匀后放片，再将此片材进行切料。

如果配方中不使用色母粒，宜将颜料与增塑剂、稳定剂、填充剂（适量）在一起预混，制成经研磨的色膏，可以使色料分散得更均匀，也防止色料不稳定和物料焦烧等现象。若要进一步提高再生塑料凉鞋的质量，则可采用氯化聚乙烯（CPE）或丁腈橡胶（NBR）弹性体进行改性，其工艺过程和工艺条件可参照有关章节。

使用开炼法混炼时应注意辊温控制。软制品塑化料的辊温在 $160\sim 170^{\circ}\text{C}$ 时即可，视混合料能够完全塑化包辊，并注意打三角包 6 次。混炼时间一般依经验控制，应根据投料量、辊的规格、加工温度、增塑剂含量、辊距大小等因素确定。混炼适度的料片外表光滑平整，没有“夹生料”，找不到条状、粒状聚集物；截取不同部位料片做拉伸试验，性能不出现明显差距即为均匀混合。达到均匀混合的最少时间就是理论上的混炼时间。超过混炼时间，不仅造成能源、工时的浪费，而且对性能有不利的影响。

开炼后的料片，依切料机的规格切成适宜的宽度，并切去放片后的两边的毛边，以备切成均匀的粒料。

注塑制鞋时，要注意调控各部位温度，过低的塑化温度会影响注塑充模，过高的温度则容易使制品起泡、颜色畸形。一般回收料的加工温度略低于新树脂的加工温度。以加料段为 $140\sim 150^{\circ}\text{C}$ 、塑化段为 $165\sim 175^{\circ}\text{C}$ 、喷嘴温度为 $160\sim 165^{\circ}\text{C}$ 为好。

【例 2】 用回收 HDPE 料注射成型生产周转箱

用回收高密度聚乙烯制周转箱比用纯树脂的成本下降 50%，各类塑料周转箱消耗量甚大。回收的 HDPE 料中混有少量的 LDPE 废料亦可，但一般不应超过 20%，否则影响周转箱的刚性。

1. 参考配方（见表 3-51）

表 3-51 回收 HDPE 料注射成型生产周转箱配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
回收 HDPE 料(破碎)	100	硬脂酸	0.8
HDPE 树脂	5~8	石蜡	0.5
防老剂	0.2	炭黑	适量
活化 CaCO_3	2~6		

2. 工艺流程

回收 HDPE 料（破碎）→配合→捏合→挤出造粒→注射成型→修边

3. 注意事项

因 HDPE 为非极性的结晶型高聚物，吸水率很低，注射时一般不需对粒料进行干燥。再生粒料的熔体流动速率不宜太小，以保证熔体有较好的流动性。欲改善回收料流动性，可在配合中加入 2~4 份（质量份）的 LDPE，或加入少量减黏度的母粒。

料筒温度可控制在 180~230℃，喷嘴温度 170~190℃，注射压力 60~150MPa，模具温度 50~70℃。

四、废旧塑料注射成型制品产生缺陷的主要原因及解决办法（见表 3-52）

表 3-52 注射成型制品产生缺陷的主要原因及解决办法

异常现象	产生原因	解决办法
制品形状欠缺	料筒及喷嘴温度偏低 模具温度太低 加料量不足 注射压力低 进料速度慢 锁模力不够 模腔无适当排气孔 注射时间太短，柱塞或螺杆后退时间太早 杂物堵塞喷嘴 流道浇口太小、太薄、太长	提高料筒及喷嘴温度 提高模具温度 增加料量 提高注射压力 调节进料速度 增加锁模力 修改模具，增加排气孔 增加注射时间 清理喷嘴 正确设计浇注系统

异常现象	产生原因	解决办法
制品溢边	注射压力太大 锁模力过小或单向受力 模具碰撞或磨损 模具间落入杂物 料温太高 模具变形或分型面不平	降低注射压力 调节锁模力 修理模具 擦净模具 降低料温 调整模具或磨平
熔合纹明显	料温过低 模温低 擦脱模剂太多 注射压力低 注射速度慢 加料不足 模具排气不良	提高料温 提高模温 少擦脱模剂 提高注射压力 加快注射速度 加足料 通模具排气孔
黑点及条纹	料温高且分解 料筒或喷嘴接合不严 模具排气不良 染色不均匀 物料中混有深色物	降低料温 修理接合处,除去死角 改变模具排气 重新染色 将物料中深色物取缔
银丝、斑纹	料温过高,料分解物进入模腔 原料含水量高,成型时汽化 物料含有易挥发物	迅速降低料温 原料预热或干燥 原料进行预热干燥
制品变形	冷却时间短 顶出受力不均 模温太高 制品内应力太大 通水不良,冷却不均 制品薄厚不均	加长冷却时间 改变顶出位置 降低模温 消除内应力 改变模具水路 正确设计制品和模具
制品脱皮、分层	原料不纯 同一塑料不同级别或不同牌号相混 配入润滑剂过量 塑化不均匀 混入异物 进浇口太小,摩擦力大 保压时间过短	净化处理原料 使用同级或同牌号料 减少润滑剂用量 增加塑化能力 消除异物 放大浇口 适当延长保压时间
裂纹	模具太冷 冷却时间太长 塑料和金属嵌件收缩率不一样 顶出装置倾斜或不平衡,顶出截面 积小或分布不当 制件斜度不够,脱模难	调整模具温度 降低冷却时间 对金属嵌件预热 调整顶出装置或合理安排 顶杆数量及其位置 正确设计脱模斜度

异常现象	产生原因	解决办法
制品表面有波纹	物料温度低,黏度大 注射压力 模具温度低 注射速度太慢 浇口太小	提高料温 料温高,可减小注射压力, 反之则加大注射压力 提高模具温度或增大注射 压力 提高注射速度 适当扩展浇口
制品性脆、强度下降	料温太高,塑料分解 塑料和嵌件处内应力过大 塑料回用次数多 塑料含水	降低料温,控制物料在料筒 内滞留时间 对嵌件预热,保证嵌件周围 有一定厚度的塑料 控制回料配比 原料预热干燥
脱模难	模具顶出装置结构不良 模腔脱模斜度不够 模腔温度不合适 模腔有接缝或存料 成型周期太短或太长 模芯无进气孔	改进顶出装置 正确设计模具 适当控制模温 清理模具 适当控制注射周期 修改模具
制品尺寸不稳定	机器电路或油路系统不稳定 成型周期不一致 温度、时间、压力变化 塑料颗粒大小不一 回收下脚料与新料混合比例不均 加料不均	修理电器或油压系统 控制成型周期,使其一致 调节、控制基本一致 使用均一塑料 控制混合比例,使其均匀 控制或调节加料均匀

第六节 压延成型工艺及设备

对于回收的热塑性塑料薄膜和片材来说,通过压延成型工艺加工再生制品也是一种比较好的成型加工方法。

一、压延成型设备

压延机按照辊筒数目来分,可以分成两辊、三辊、四辊和五辊等。其中以三辊和四辊压延机为最普遍,五辊压延机较少。若辊筒的数目为 n , 则辊间间隙为 $(n-1)$ 道。两辊只有一道辊隙,通常

用于混炼或半制品的成型。三辊虽有两道间隙，其成型制品的精度、表面质量以及压延速度都受到限制。目前已发展四辊、五辊、六辊压延机以及不同辊径的压延机等。四辊较三辊多一道间隙，辊筒线速度可以更高，而且产品厚度均匀，表面粗糙度也低。通常四辊压延机的压延速度是三辊的 $2\sim 4$ 倍。所以塑料加工工业中，三辊压延机正逐步被四辊压延机所代替。但是，辊筒数目增多，机器庞大，结构复杂，造价也大，幅度增加。

四辊压延机较三辊多一个辊筒，其基本结构没有本质差别，如图 3-59 为四辊压延机结构。按照辊筒的排列方式，压延机又可分为“ I ”型、“ F ”型、“ Z ”型和“ S ”型等。

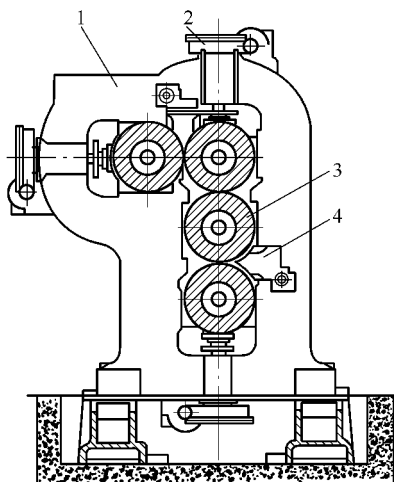


图 3-59 四辊压延机结构

1—机架；2—调距装置；3—辊筒；4—挡料装置

辊筒排列不同，对制品的精度影响很大，同时也影响到操作和附属装置的设置。例如“ I ”型，三只（或四只）辊筒呈上下一线式排列，压延过程中，由于物料顶开辊筒的作用，使所有辊筒的变形都近乎在垂直平面内，互相干扰。同时，随着压延速度、物料、辊温和进口存料等的变化，辊筒的变形也在不断变化，尤其第二

(或第三)道间隙,随着这些因素的变动而忽大忽小,直接影响制品的质量。同时,加料也不方便。如果把1辊移向一旁,与2辊在同一水平上,便成了“F”型。这样,机器的高度减小,加料方便,但2辊、3辊(或1和4辊)仍呈上下一线排列,仍有“I”型的缺点。“Z”型四辊压延机3辊的变形近乎垂直向下,但对成型制品的第三道间隙的影响甚微,所以“Z”型排列有利于提高制品的精度。机器高度较“F”型还低,但机器厚度增大了。检修时,辊筒的拆装较“I”型或“F”型方便。不过,1辊与3辊、2辊与4辊之间的距离甚小,对附属装置的设置带来不便。因此,在“Z”型基础上,又出现了“S”型,既有“Z”型的优点,又使1辊、3辊和2辊、4辊间的距离有增加,便于附属装置的设置。目前,新设计四辊压延机以采用“S”型的居多。

1. 压延机的分类

压延机的结构形式有多种,既有辊筒数量不相同的压延机,又有辊筒排列形式不相同的压延机,另外还有在一台压延机上,组成压延机的辊筒直径不同形式的压延机。塑料制品行业一般都按这三种类型来划分压延机。

(1) 按辊筒数量的分类 辊筒是压延机设备上的主要零件。如果按组成压延机的辊筒数量,可分为两辊压延机、三辊压延机、四辊压延机和五辊压延机。三辊压延机国内是20世纪50年代开始应用的;四辊压延机是20世纪70年代开始应用的;五辊压延机现已有生产。目前,国内应用最多的还是四辊压延机。

(2) 按辊筒的排列形式分类 压延机设备上辊筒的排列形式类型很多。按标准GB/T 13578—1992规定,可分为I形、Γ形、L形和S形,见图3-60压延机辊筒排列形式。在标准规定之外,辊筒的排列形式还有Z形和由5个辊筒组成的S形和L形。

2. 三辊和四辊压延机的基本结构组成

三辊压延机如图3-61所示。

挡料装置起调节制品幅宽的作用。压延机生产制品的最大幅宽近于辊筒长度,此时挡料装置可以防止物料从辊筒端部挤出。辊筒

辊筒数量	2	3	3	3	4	4	4
排列形式							
符 号	I	Γ	L	I	Γ	L	S

图 3-60 压延机辊筒排列形式

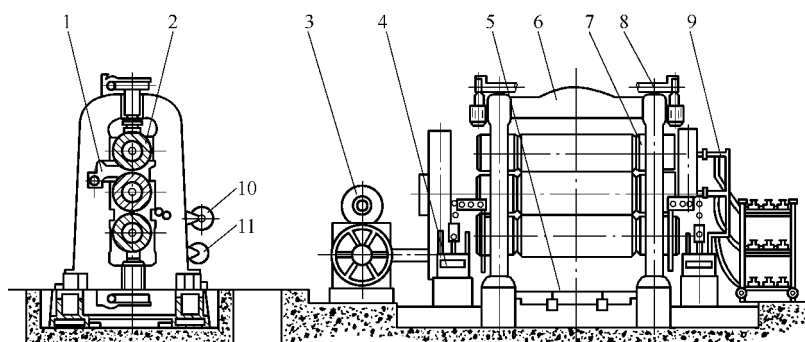


图 3-61 三辊压延机

1—挡料装置；2—辊筒；3—传动系统；4—润滑装置；5—安全装置；6—机架；7—辊筒轴承；8—辊距调整装置；9—加热冷却装置；10—导开装置；11—卷取装置

是压延机的成型部件，其内部可进行加热和冷却，以适应被加工物料的工艺要求。机架承受全部机械作用力，要求具有足够的强度和刚度，并有抗冲击震动能力。

调距装置是调节辊间间隙的，以便生产各种不同厚度的制品。调距装置是成对出现的。三辊压延机一般是 2 辊固定，调节 1 辊、3 辊来改变两道辊间间隙量。

为保持压延机的精度，维持良好的润滑是十分必要的。压延机

辊筒轴承一般用稀油循环润滑，兼有冷却轴承的作用。

四辊压延机的结构组成与三辊基本相同，如图 3-59 所示。较之三辊压延机，四辊压延机除了多一个辊筒，多一对调距装置以及机架的结构形状有些不同之外，还多了辊筒轴交叉装置（有的并有拉回装置，即预应力装置）和自动测厚装置等。

图 3-59 是“F”型四辊压延机的剖视图，轴交叉装置和拉回装置未能表示出来。轴交叉装置和拉回装置是为了补偿辊筒挠度给制品厚度带来误差而设置的。两者都是成对出现的，四辊压延机有三对轴交叉装置。

四辊压延机的生产速度是很高的，手工测厚不能适应，有的因此设有自动测厚装置。除此之外，和三辊压延机一样，辊筒轴承、传动装置、辊筒加热装置（四辊压延机通常用过热水加热），润滑系统、刹车装置等都是必不可少的组成部分。

3. 主要技术参数

表征四辊压延机的参数较多，主要有辊筒直径，辊筒长度和长径比、辊筒线速度、调速范围、辊筒速比、驱动功率等。

（1）辊筒直径和长度 辊筒直径 D （外径）和长度 L （有效）通常用以表征四辊压延机的规格，是重要的特征参数。

辊筒的长度越大，表示所能加工制品的宽度越大。与开炼机一样，平常所说辊筒长度，是指有效长度，并非实际长度。一般实际长度比有效长度多 20~30mm，这跟操作技术有关，有效长度就是制品的最大幅宽。

随着辊筒长度增大，辊筒直径也要相应增加，以增大辊筒的刚性，否则辊筒变形大，无法保证制品的精度。

压延机辊筒的长度和直径常维持某一定比例，即所谓长径比。例如加工软质塑料，由于其分开辊筒的作用力较硬质的要小，其长径比可以大些，常取 $L/D=2.5\sim 2.7$ ，一般不超过 3；而对硬质塑料， L/D 常取 2~2.2。长径比的取大取小，跟冶金和机械制造的技术水平有关，各国不尽相同。

长径比取得小，对提高制品精度有利，但会使单位产量的功率

消耗增多。由于对压延制品精度的要求越来越高，从减小变形的角度看，长径比可以适当小些。

辊筒直径增大，其转速不增加线速度也会有增大，可以提高产量。

国产 S 型 $\phi 700\text{mm} \times 1800\text{mm}$ 四辊压延机辊筒的长径比为 2.57。

(2) 辊筒线速度和调速范围 辊筒线速度是表征压延机生产能力的重要参数。线速度的高低取决于机械化、自动化水平的高低，因而辊筒线速度也是代表压延机先进水平的技术参数之一。

现有压延速度已达 $200 \sim 250\text{m/min}$ 。辊筒线速度确定之后，压延机的生产能力也就确定了。

(3) 辊筒的速比 辊筒速比是指两只辊筒线速度之比。四辊压延机一般以三辊的线速度为标准，其他三只辊筒都对三辊维持一定的速度差，以便对物料产生剪切，补充塑化，并使物料顺序贴在下一只辊筒上，保证压延的正常进行。

速比过大有可能造成物料包在速度高的一只辊筒上，而不贴附下一只辊筒。速比过小，物料贴附辊筒的能力差，容易夹入空气，造成气泡，同时影响塑化质量。物料种类不同，或同一物料不同厚度或不同用途的制品，其速比都应有差别。

对软质聚氯乙烯薄膜，其速比大致范围如下： $1:3=1:(1.4 \sim 1.5)$ ； $2:3=1:(1.1 \sim 1.25)$ ； $3:4=(1.2 \sim 1.3):1$ 。可见，一般三辊的速度最高。

四辊压延机的四只辊筒分别由四个直流电动机带动，其速比可以根据需要任意调节。

(4) 驱动功率 驱动功率是表征压延机经济技术水平的重要参数。影响功率消耗的因素很多，并随塑料品种和操作条件的变化而变化，所以很难用理论公式准确计算。目前在压延机设计中，主要以实测数据为依据，运用类比法确定。

二、压延成型工艺

压延成型是将已经基本塑化的热塑性塑料，在热的辊筒中滚压

并成型为片材或薄膜的方法，也可以生产人造革（塑料与布或与纸的复合制品）。压延成型用的塑料有聚氯乙烯、聚乙烯、ABS、聚乙烯醇等，而以聚氯乙烯为最常见。压延制品广泛用作农业薄膜、包装薄膜、床单、室内墙壁装饰纸、地板以及热成型的片材等。

压延法通常生产厚度为 $0.05 \sim 0.30\text{mm}$ 范围内的薄膜， 0.30mm 以上的片或板材。制品厚度小于或大于这个范围的，一般用挤出吹塑法或挤出法生产。压延制品的最大宽度已超过 3m 。压延成型是塑料加工工业中的主要方法之一，压延生产产量高、制品质量好。

1. 工艺流程

如图 3-62 所示，是四辊压延机生产软质聚氯乙烯薄膜的工艺流程的一种，按照配方要求，把树脂和各种添加剂经过计量加入捏合机，进行搅拌混合。达到一定程度后，转入密炼机密塑炼化，然后进入喂料机塑化和过滤。

压延成型是用各种塑炼设备将成型物料加热熔融塑化，然后使已熔融塑化的熔体通过相向旋转的数个辊筒组（由两个以上辊筒组成）中的辊筒间隙，使之经受挤压与延展作用成为平面状的连续塑性体，再经冷却定型和适当的后处理即可得到膜、片材的塑料制品。压延成型工艺适应于 PVC 膜、软片材、硬片材、ABS、EVA 及改性 PS 树脂等。

压延成型的特点：生产的连续性使其生产能力大、效率高、产品质量好、即可生产膜、片等产品，也可生产供层压或冲压用的硬质片型料坯、与压花辊或印刷机械配套，可以生产带图案的片材和人造革。但设备庞大，所以设备投资较高，必须配以开炼、密炼、挤出等塑化设备，维修复杂，产品种类仅限于膜和片材，不适合小批量制品的生产。

采用上述工艺流程，塑化主要由密炼机完成，喂料机起补充塑化和过滤杂质的作用。有的在密炼之后经开炼机塑化供料，其优点是物料的塑化质量较好，同时，一部分易挥发气体在滚压过程中跑掉，而挤出喂料的塑化不很均匀，易挥发气体一般不易排除，不过开炼机生产能力低，自动化程度低，劳动强度大，物料塑化的质量也不易稳定。

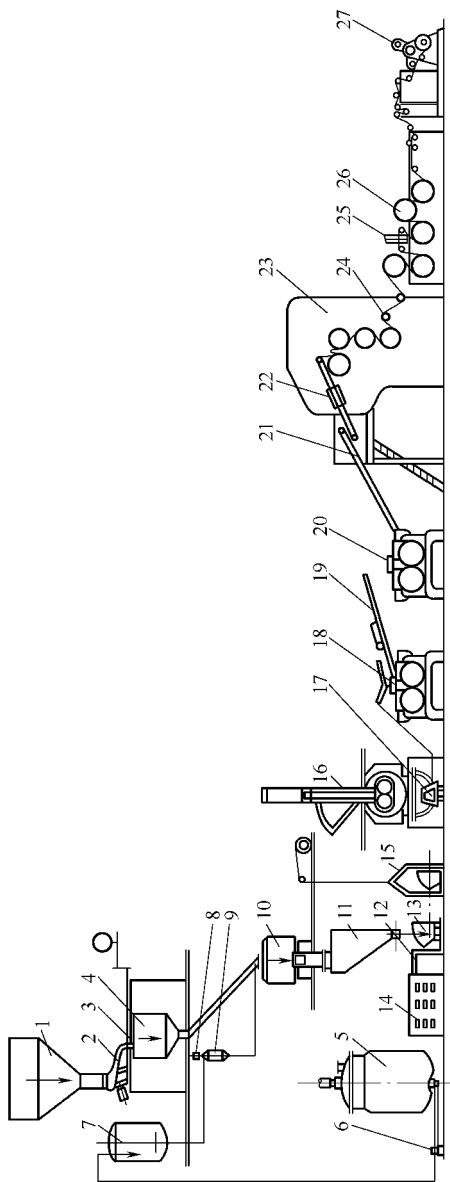


图 3-62 聚氯乙烯薄膜成型用压延机生产线

- 1—原料贮仓；2—振动加料；3—自动计量；4—计量斗；5—增塑剂等辅料混合器；6—泵；7—辅料中间贮仓；
8—传感器；9—辅料计量；10—高速混合机；11—输料斗；12—计量秤；13—料车；14—烘箱；15—吊车；
16—密炼机；17—料斗；18、20—开炼机；19、21—输送带；22—金属检测仪；23—压延机；

24—剥离导辊；25—测厚装置；26—冷却辊；27—卷取成捆

金属检测器是用以检测物料中是否夹带金属。当夹带有金属时，检测器鸣叫报警，运输带自动停止。此时应将被检测的一段料片取出，仔细查找金属杂质，除去金属后，再通过检测器一次，无报警方可。如果金属杂质进入辊隙，使压延机辊筒表面遭到破坏，留下永久的痕迹，轻则使产品降级，重则使价值昂贵的辊筒报废，所以必须严格保证金属检测器的正常工作。

摇头式运输带的作用是使物料较均匀地加在辊筒间隙里，而不是集中在一点。物料在四辊压延机中，经过三道辊筒间隙而被压延成型，并由引离辊把制品从压延机辊筒上剥离下来。要把处在塑性状态下厚度只有 0.5mm 以下的薄膜剥离下来，薄膜必定受到拉伸。这个拉伸是有好处的，既可增加强度，又能增大产量。但拉伸要适当，一般引离辊的线速度比压延机三辊（或四辊）高出 30%~40%。另外，为避免冷拉伸，引离辊应尽量靠近压延辊筒，以防止膜的过度冷却。有的薄膜需要压花，压花是由花辊和胶辊完成的，花辊可以根据需要更换。花辊和胶辊内通冷却水冷却，使压出的花纹冷却定型，同时使胶辊在较低温度下工作，防止过快老化。

薄膜的冷却定型，主要由冷却辊完成，要使膜的正、反面都得到冷却，冷却不足，容易发黏发皱；冷却过度，辊面出现水珠，也会影响产品质量。冷却辊线速度不应过大，否则出现冷拉伸，会造成产品有内应力，存放后收缩增大，展不平。

测厚仪是利用放射性同位素放出射线，穿透薄膜，在电离室内产生电离电流。随着膜厚的变化，射线的强度和电离电流也随之改变，经过放大，测出数据，并自动记录下来，有的还可以自动调节辊距。

冷却定型后的薄膜，平坦而松弛地放在无端橡皮输送带上，这样可以减少或消除产品在前面过程中产生的内应力。

卷取分表面卷取和中心卷取两种。前者的卷取速度与卷绕直径无关，后者则随着卷绕直径的增大，卷取速度加快。因此，为维持卷取张力不变，就必须使卷取辊的转速随卷绕直径的增大而降低。

这样往往需要采用直流串激电动机（或交流力矩电动机），借薄膜的张力，使张力辊在支架的长槽中浮动。当薄膜的生产速度与卷取速度相当时，张力辊浮在长槽的中间位置；如果卷取速度大于生产速度，张力增大，张力辊上升。在上升过程中，通过一定的机构带动电位器旋转，改变电阻，从而调节卷取辊电机的电枢电流，使卷取速度降低。相反，则电动机的电枢电流增大，使卷取速度加快。为了适应各种厚度薄膜所需张力的不同，可以更换不同直径的张力辊。

综上所述，压延过程一般为塑料配制、塑炼、向压延机送料、压延、牵引、轧花、冷却、卷取、切割等。见图 3-63 压延成型工艺过程。

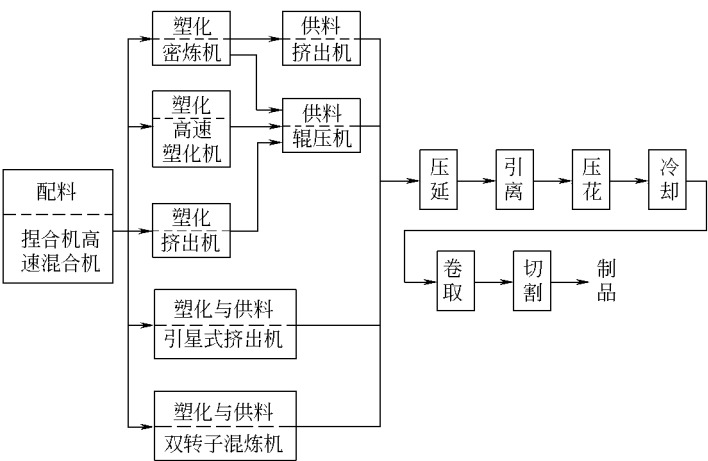


图 3-63 压延成型工艺过程

2. 压延成型过程中操作要点

(1) 辊温 辊筒具有足够的热量是使物料熔融塑化、延展的必要条件。辊筒热量的来源有下列几个方面：①加热；②物料与辊筒之间的摩擦热；③物料自身的剪切摩擦，辊间温差控制在 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。因 PVC 料在滚压时易包在辊温较高和转速较快的辊筒上，所以通常辊温控制顺序为二辊温 $>$ 一辊温、三辊温 $>$ 四辊温、三辊

温 $\leq$ 二辊温，因三辊线速度 $>$ 二辊，所以即使三辊辊温等于或略低于二辊温，薄膜也能顺利地贴合在三辊上。

(2) 辊速和速比 压延机最适合的速度是由使用的物料和产品厚度要求决定的，软质车速高于硬质。一般控制在下列范围：硬质聚氯乙烯 3~30m/min；软质聚氯乙烯 10~100m/min；地板料 4~40m/min。

压延机相邻两辊筒线速度之比称为辊筒的速比。通常以三辊速度为准，使其他辊筒对三辊筒保持一定速差。压延机辊筒有速比的目的：①使压延物料依次贴辊；②物料受到更多的剪切，更好的塑化；③取得一定的延伸和定向，为达到延伸和定向目的，辅机各转辊的线速度对于第三辊也有一定的速比，且依次增高。

调节速比的要求是不能使物料包辊，也不能不吸辊。速比过大会出现包辊现象，反之薄膜吸辊性差，空气极易夹入，产品出现气泡。对硬片来说，则产生“脱壳”现象，塑化不良，质量下降。见表 3-53 四辊压延机各辊筒间速比控制范围。

表 3-53 四辊压延机各辊筒间速比控制范围

薄膜厚度/mm	0.1(农膜)	0.23(工业膜)	0.14(包装膜)	0.5(硬片)
主辊辊速/(m/min)	45	35	50	18~24
速比范围				
$V_{\text{二}}/V_{\text{一}}$	1.19~1.2	1.21~1.22	1.20~1.26	1.06~1.18
$V_{\text{三}}/V_{\text{二}}$	1.18~1.19	1.16~1.18	1.14~1.16	1.20~1.23
$V_{\text{四}}/V_{\text{三}}$	1.20~1.22	1.20~1.22	1.16~1.21	1.24~1.26

(3) 辊温与辊速的关系 物料在压延成型时所需热量，一部分由加热辊筒供给，另一部分来自物料与辊筒之间的摩擦以及由于辊隙间料流速度不一致所产生的物料自身剪切作用。产生摩擦热的大小除与辊速有关外，还与物料的黏度有关。因此压延不同配方的塑料时，辊温和辊速都不同。即使配方相同，辊速不同，其温度控制也不一样。例如，同一配方生产 0.10mm 厚软质的农膜，如采取两种不同的辊速，其辊温必须作相应调整，见表 3-54 不同辊速时的温度控制。

表 3-54 不同辊速的温度控制

辊速/(m/min)	加热辊筒蒸汽压力(三辊加热时控制)/MPa
40	0.41~0.49
60	0.39

如果在 60m/min 的辊速条件下仍采用 40m/min 的辊温操作,料温势必升高,引起包辊故障。反之,如在 40m/min 的线速度下仍用 60m/min 的辊温,料温就会过低,从而使薄膜表面毛糙、不透明、有气泡,甚至出现孔洞。

(4) 辊距和辊隙存料 辊距和辊隙存料目的是:一方面适应不同产品的厚度要求;另一方面可改变存料量。调节辊距的辊隙存料,在压延过程中起贮备、补充和继续完善塑化作用。生产中要求存料粗细呈铅笔状,保持旋转运动状态。

存料过多或过少,薄膜表面都会产生毛糙现象。硬片存料过多,会出现冷疤;过少则有菱状孔空产生,严重时边料易断。比较合适的存料量见表 3-55 存料要求。

表 3-55 存料要求

产 品	二/三辊(存料量)	三/四辊(存料量)
0.10mm 薄膜	细至一条线	直径约 10mm,呈铅笔状
0.50mm 硬片	折叠状连续消失,直径约 10mm,呈铅笔状	直径 10~20mm,缓慢旋转

存料旋转不佳,会影响制品横向厚度均匀性和外观质量。例如薄膜出现气泡,硬片出现冷疤。存料旋转不佳的原因主要是料温、辊温太低,或辊距调节不当。在操作中需经常观察与调节。

为了得到较好的辊隙存料,有时采用辅助工具,即透气辊和辊隙存料破料板,如图 3-64 所示。

透气辊和破料板的作用都是为了脱除包在辊隙存料中的空气,并令存料本身经过分割后又重新汇合,达到理想状态。

(5) 如何防止包辊

① 调节好主机速比及主机与引离辊、冷却辊、卷取辊速比。

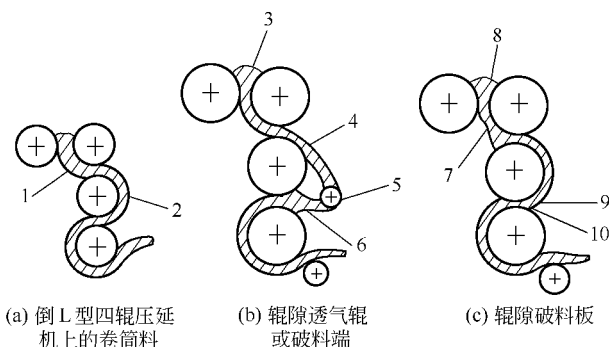


图 3-64 辊隙破料装置

1—表面 A；2—表面 B；3—辊隙存材；4—卷筒料；5—透气辊或破料辊；
6、7、8—辊隙存料；9—辊隙破料板；10—小的辊隙存料

② 引离辊与主辊（三辊）的速比适当，一般引离辊速度高于三辊，过小产生包辊故障，过大造成拉伸。在生产厚度为 $0.10 \sim 0.23\text{mm}$ 的较薄产品时，引离辊速度比三辊提高 30% 左右。

③ 为了有利于引膜，可在引离辊前设置风管，冷风从气孔中排出，压住薄膜，以免包住三辊。

(6) 如何克服“三高二低”现象 在进行辊中高、轴交叉和预负荷补偿薄膜横向厚度偏差的同时，可在四辊两端和中间装红外线电加热装置，而在近中区域两边采用风管冷却。其结果是增加了辊筒中部和两端的热膨胀，减少了近中区域辊筒的热胀，有利于克服“三高二低”，使产品横向厚度分布比较均匀。

(7) 冷却定型 冷却不良的制品会发黏、发皱、收缩率大。影响冷却定型的主要因素有：①冷却水量；②冷却辊流道传热方式；③冷却辊速比若太大，薄膜产生冷拉伸，产品内应力增加，收缩率大，影响产品质量；④冷却辊材质最好用铝质磨砂，低粗糙度镀铬处理的冷却辊不适用。

(8) 张力导辊调节 卷机在收卷薄膜时，其薄膜直径是逐渐增大的。在压延机线速度稳定的情况下，要维持卷取张力不变，即张

力导辊浮升在中间，必须使卷取辊的转速随薄膜直径的增大而降低。若卷取张力过大，则薄膜存放中产生应力松弛现象，导致摊不平 and 过大的收缩率。若卷取张力过小，堆放时会压皱。故应充分注意调节卷取张力，使薄膜始终保持在一个稳定的松紧度上。同时，张力导辊的大小要随薄膜厚度增加而加大，见表 3-56 导辊张力与薄膜厚度。

表 3-56 导辊张力与薄膜厚度

项 目	农用膜	工业膜	封面膜	包 装 膜		
张力导辊/mm	0.10	0.23	0.32	0.10	0.14	0.20
柱重/kg	1.5×2	2.0×2	3.0×2	1.25×2	1.25×2	2.0×2

(9) 拉伸作用与定向效应 被压延物料因引离辊、冷却辊、卷取辊具有一定的速比而受到剪切应力和拉伸应力的作用，使膜或薄片在拉伸方向上的强度有所提高，横向方向强度则降低。这种各向异性的现象就是压延成型工艺中的定向效应，该定向效应的程度随辊筒线速度、辊筒速比、存料量和物料表面黏度等的提高而上升，反之则下降。

除合理控制上述各操作工艺参数外，物料中回收料的结构参数及辅料配合、设备自身因素等都会影响产品质量，也应注意。

三、回收塑料的压延成型典例

PVC 回收料很适合压延成型法生产再生板材、片材、薄膜等制品。

【例 1】 用人造革废料制取软质片材

将废旧人造革中的纤维切成短纤维，用以生产改性再生塑料，则对人造革废料的回收利用更为有利。具体做法为：将人造革废料先切成碎块（5mm×5mm～10mm×10mm 左右的碎块），使连续纤维成为短纤维，以增加成型时的流动性。经此前处理后再进行后面的工序。

1. 参考配方（见表 3-57）

表 3-57 人造革废料制取软质片材配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
PVC 人造革	100	二碱式亚磷酸铅	1
PVC	6~8	碳酸钙	10~30
DOP	3~6	颜料	适量
三碱式硫酸铅	2		

2. 工艺流程

废旧人造革——→前处理——→配合——→捏合——→双辊塑炼——→三辊压延——→切割修边——→卷取

双辊温度控制在 $155\sim 165^{\circ}\text{C}$ ，经充分翻炼后直接供压延机压延。要注意必须使用两台或多台开炼机（开炼机的规格应与压延机规格相匹配）才能满足压延机连续生产的供料。这种再生 PVC 软、硬或半软质片材可以作为铺地材料或垫板。

【例 2】用农用废旧膜制备一般包装膜

1. 参考配方（见表 3-58）

表 3-58 农用废旧膜制备一般包装膜配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
回收 PVC 膜	100	氯化石蜡	5~8
PVC	6~10	稳定剂	2~4
DBP	6~8	颜料	适量
DOP	8~10		

2. 工艺流程

回收 PVC 废膜——→前处理——→切碎——→配合——→捏合——→密炼——→强喂料挤出机——→三辊压延机——→冷却——→切边——→卷取

按通常的加热顺序进行高速捏合 $3\sim 5\text{min}$ ，捏合温度为 $110\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，密炼温度 $155\sim 160^{\circ}\text{C}$ 。当混炼曲线达到平稳后（约在 3min 后），密炼后的物料温度不得超过 165°C 。密炼后的物料供强喂料挤出机，挤出机的各段温度均不应超过 170°C 。然后送入三辊压延机进行压延成型。压延机的上辊温度为 $162\sim 164^{\circ}\text{C}$ ，中辊温度为 $164\sim 166^{\circ}\text{C}$ ，下辊温度为 $168\sim 170^{\circ}\text{C}$ 。

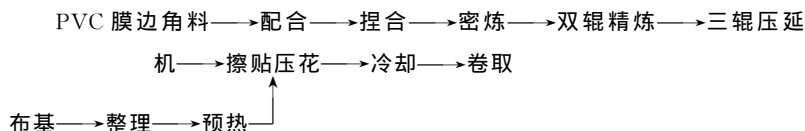
【例 3】 用 PVC 薄膜边角料制备泡沫人造革

1. 参考配方 (见表 3-59)

表 3-59 PVC 薄膜边角料制备泡沫人造革配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
回收 PVC 边角料	100	硬脂酸铅	0.4~0.5
DOP	6~10	碳酸钙(活化)	6~12
硬脂酸钡	0.3~0.6	AC(发泡剂)	1.6~2.0

2. 工艺流程



应注意密炼机的温度不可过高,压下上顶栓后,电机电流控制在 280A。双辊温度 160~170℃。三辊压延机温度为上辊 (160±10)℃,中辊 (160±10)℃,下辊 (165±10)℃。

【例 4】 用废旧 PVC 软质膜制备防水卷材

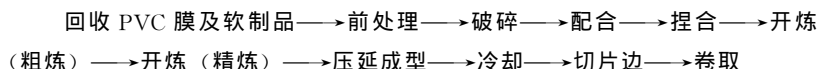
废旧 PVC 软质膜是指回收的农业棚膜、地膜及人造革或者软管等。所得卷材防水性能颇佳,与地基及片材间的接缝处皆能牢固粘接。

1. 参考配方 (见表 3-60)

表 3-60 废旧 PVC 软质膜制备防水卷材配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
回收软 PVC 再生料	100	三碱式硫酸铅	2
CPE(Cl%=35%左右)	3~8	二碱式亚磷酸铅	1
氯化石蜡	2~4	防紫外线剂	0.2
邻苯二甲酸二癸酯	8~12	活化 CaCO ₃	60~80
邻苯二甲酸二辛酯	6~8	颜料	适量

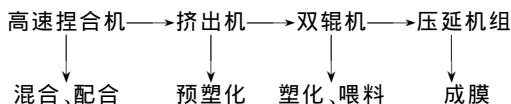
2. 工艺流程



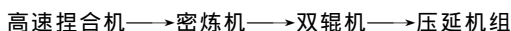
混炼温度 $(160 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，可用多台开炼机供料使三辊压延机连续生产。如果用玻璃布与之复合，使其提高防水卷材的强度，则可用四辊压延机，将布层夹在中间。

用防水卷材铺屋顶时，应将接缝处接成一个整体，并与屋顶水泥基面粘牢。如果直接铺在表面，则应在表层复合一层 0.3mm 左右的浅色膜，以提高防水卷材的耐候性能。也可不暴露在屋顶表层，而是在上面加上一层薄水泥薄板或泡沫砖，这样可使防水卷材的使用寿命更长。

【例 5】压延成型工艺生产再生农用薄膜工艺过程



【例 6】压延成型工艺生产再生 PVC 硬片工艺过程



四、压延机操作与维护

1. 压延机生产操作顺序

① 辊筒用润滑油加热升温，各润滑部位加润滑油（脂），清除设备上一切杂物。

② 辊筒用润滑油加热温度达到 80°C 时，启动润滑油循环油泵；调整润滑油循环流动油压至 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ ，达到左右轴承用润滑油流量均匀，润滑油流量在 $6 \sim 8\text{L/min}$ 。

③ 启动减速箱中润滑油循环油泵，检查润滑油供应是否到位，适当调整修正供油准确到位；注意高速部位润滑油流量要大，控制在 $3 \sim 5\text{L/min}$ ；低速部位润滑油流量可小些，控制在 $0.4 \sim 0.6\text{L/min}$ 。

④ 启动液压系统循环油用油泵，排出油缸中空气，调整液压系统各部位用循环油的油压，拉回油缸系统油压为 3.5MPa ，轴交叉油缸系统油压为 5MPa 。

⑤ 各润滑部位供油 10min 后，低速启动辊筒转动用电机。按工艺要求调整各辊筒间速比，试验紧急停车按钮的工作准确性及刹车可靠性，按动紧急停车按钮，辊筒继续运转应不超过 $3/4$ 个圆周。

⑥ 辊筒用加热介质给电加热。

⑦ 查看主机电流是否正常，主电机功率不应超过额定功率的 15%。听和检查各传动部位运转声音有无异常，各传动件和辊筒运转是否平稳。

⑧ 启动导热介质循环泵，辊筒开始加热升温，辊筒升温应缓慢进行，以每小时升温 30℃ 左右较适宜。

⑨ 调小各辊筒间距离接近生产用间隙。

⑩ 辊筒上料，料要先少加，量要均匀，先在一辊、二辊中间加料。供料正常后，根据熔料包辊情况，适当微调各辊的温差及速比直至熔料包辊运行正常。按制品厚度尺寸精度要求，微调辊距。如果制品厚度小于 0.20mm，可采用轴交叉装置，酌情调整使用辊筒反弯曲装置和预负荷装置。

⑪ 调整各辅助装置，使制品的厚度尺寸精度控制在要求公差内。一切调整正常后，压延制品生产连续进行。

⑫ 生产任务完成，停止计量上料。

⑬ 降低辊筒转速至最低。

⑭ 辊筒间熔料接近没有时，立即快速调节一号、二号辊间距离；同样，快速调大二辊、三辊及三辊、四辊间距离，调节后辊距应不小于 3mm。

⑮ 辊距调大后，将辊筒反弯曲和预负荷装置油缸卸压，让辊筒恢复原形态，然后调整轴交叉回零位。

⑯ 停止导热介质加热，辊筒开始降温。

⑰ 清除辊面上残余熔料。

⑱ 辊筒表面温度降至低于 80℃ 时，停止辊筒转动电机。

⑲ 辊筒驱动电机停止 10min 后，停止导热介质循环泵。

⑳ 停止液压系统循环油泵，停止润滑油循环油泵。

㉑ 全部清除设备上及辊面上一切杂物和油污，如停机时间较长，应在辊面上涂防锈油。

㉒ 关冷却水循环泵。

㉓ 切断设备供电总电源。

2. 压延机操作注意事项

① 新压延机试车和试生产期间内不许用大于 $60\text{m}/\text{min}$ 的车速生产，不许满负荷生产试车。

② 正常生产后，不许电机超负荷工作（允许瞬间超载）。

③ 正常生产中，辊筒轴承润滑油的回油温度应控制在 110°C 以下；要经常检查回油中的铜末含量，随时查出磨损铜末增加的原因，及时排除。

④ 没有特殊意外事故不许按紧急停车开关；由于停电或紧急停车时要清除辊面中熔料，此时允许辊筒开倒车（短时开车时间不大于 2min ），以方便清除残料。

⑤ 清除辊面熔料，不许用钢质刮刀，只能用铜质或竹刀类工具，避免划伤辊面。

⑥ 只有在两辊间有存料时才允许采用微调辊距操作。

⑦ 辊筒的加热升温必须缓慢进行，升温速度每小时应不超过 30°C 。

⑧ 生产停止时，辊筒降温必须降至小于 80°C 时才能停止辊筒转动。

⑨ 新设备试车生产 1 个月后，必须清洗各润滑部位，换润滑油；检查各工作传动零件磨损情况，做好记录；磨损严重的零件，要求制造厂给予更换。

⑩ 注意辊筒轴承用润滑油的选用。一般采用 52# 过热汽缸油中混有 30% 的二硫化钼粉（细度不大于 $0.5\mu\text{m}$ ）润滑油；采用进口美孚石油公司的 mobil 80# 润滑油，效果也很好。

⑪ 备件用辊筒要涂防锈油，用泡沫人造革类物品包扎好，存放在环境温度不小于 5°C 的库房内。

⑫ 轴交叉的使用只能用于压延生产制品厚度小于 0.2mm 时；调整轴交叉时，是以辊筒的工作面中心为轴心，交叉时辊筒两端向相反方向移动，左右移动量对称相等，轴交叉角不大于 1° 。

⑬ 辊筒的反弯曲和预负荷装置的使用调整应在辊筒间有存料时进行。不用这两种装置时，应先调大辊距后再将推动这两个装置

的油缸卸压，避免擦伤辊面。

制造、安装大而精密的四辊压延机是很不容易的，因此，精心维护与操作是十分重要的。

3. 压延机常见故障及产生原因

压延机生产制品过程中会经常出现一些影响制品的质量问题。为了能迅速查出质量问题出现的原因，要求压延机生产车间的技术人员必须了解压延机生产线上各辅助设备及主机的生产工作性能，掌握每个生产工艺程序中的工艺条件要求及可能出现的问题。故障发生后，参照设备控制仪表的显示数据，再用一些检测仪器或工具进行实测核实，即可判断出问题产生的根源，及时调整设备操作或工艺条件，使故障得到排除，保证生产顺利进行。

(1) 原料问题

- ① 原料的来源及聚氯乙烯 K 值的变化。
- ② 制品用原料的配比组成变化。
- ③ 树脂原料质量（热稳定性、相容性、杂质质量的多少及含水分的多少）变化。

(2) 机械设备问题

- ④ 各种助剂的质量、配比量的大小。
- ⑤ 填充料用量比例大小。
- ⑥ 辊筒轴承间隙过大。
- ⑦ 辊筒轴承润滑油密封不好，漏油严重。
- ⑧ 喂料挤出机过滤网破裂。
- ⑨ 辊筒工作面几何尺寸精度低，辊面粗糙，镀铬层脱落，辊面磨损严重，压伤、划痕较多。
- ⑩ 万向联轴器传动工作不平稳。
- ⑪ 辊筒传动齿轮啮合传动不平稳（检修后重新啮合装配，原啮合齿位配错）。
- ⑫ 辊隙间熔料存量分配不合理。
- ⑬ 轴交叉调整不当。
- ⑭ 预负荷装置调整不当。

⑩ 空腔型辊筒壁厚不均。

(3) 操作工艺条件问题

① 原料混合不均。

② 预塑化混炼时间过长，辊筒转速慢。

③ 预塑化混炼时间过短，原料塑化不均。

④ 预塑化混炼工艺温度偏高，料发黄。

⑤ 给压延机供料不均。

⑥ 熔料中有空气。

⑦ 压延机辊筒工作面温度过高。

⑧ 压延机辊筒出膜的温度偏低。

⑨ 压延机辊筒两端温度偏低。

⑩ 压延机辊筒中间温度偏低。

⑪ 增塑剂有析出现象，辊面污染。

⑫ 剥离辊牵引速度不稳定，过快或过慢。

(4) 常见制品质量问题原因分析

① 制品的横向截面厚度误差大

a. 辊筒两端调距不一致，两辊筒工作面不平行。

b. 辊筒两端进料量不均匀。

c. 辊筒工作面温度不均匀。

d. 辊筒轴交叉调整不当或两端调整角度不相等。

e. 辊筒工作面几何形状精度低。

f. 预负荷装置调整不当。

② 制品的纵向厚度误差大

a. 万向联轴器传动工作不平稳。

b. 齿轮啮合传动不平稳或齿轮模数过大。

c. 辊筒轴颈在轴承内浮动，轴承间隙过大。

d. 供料不均或辊间熔料存料量两端不均。

e. 物料预塑化混炼不均。

f. 检修后齿轮装配没按原齿轮啮合齿位装配。

③ 制品的边缘过厚

- a. 辊筒工作面两端温度过低。
 - b. 挡料板宽度调整过小。
 - c. 轴交叉调整不当。
 - d. 辊面辅助加热冷却系统调整不当。
- ④ 制品的幅宽误差大
- a. 切边后部的牵引工作不稳定，左右摆动。
 - b. 辊筒两端进料不一致。
 - c. 挡料板距离过小，供料宽度小。
- ⑤ 制品表面有气泡或缩孔
- a. 压延熔料中有空气。
 - b. 喂料挤出机中过滤网破裂，料中杂质多。
 - c. 工作环境的空气中灰尘多，混入熔料中。
 - d. 填充料量过大。
 - e. 预塑化温度偏高或压延辊筒温度高。
 - f. 辊面严重磨损，损伤面较大。
 - g. 原料中水分过高。
 - h. 辊隙间存料少，摩擦热较高。
- ⑥ 制品表面不光泽
- a. 辊面温度低。
 - b. 辊面污染或有水雾。
 - c. 润滑剂混合不均或用量少。
 - d. 辊面磨损比较粗糙。
 - e. 填充料量较大。
- ⑦ 制品表面有阴影
- a. 增塑剂析出。
 - b. 填充料或着色剂结垢。
 - c. 原料混合不均。
 - d. 出膜辊工作面温度低。
 - e. 辊面污染。
 - f. 辊筒间隙中熔料分布不均。

⑧ 制品表面有条纹

- a. 辊筒工作表面有划痕。
- b. 挡料板距离过小，供料宽度不足。
- c. 辊筒转动不平稳。
- d. 原料混合不均。
- e. 辊筒工作面污染。

⑨ 制品表面有孔洞、斑点

- a. 辊筒工作面磨损严重，有划痕、粗糙。
- b. 填充料量过大。
- c. 稳定剂量少或与树脂相容性差。
- d. 原料中杂质多。
- e. 工作环境中杂质多，混入料中。
- f. 辊筒温度偏高。
- g. 填充料或着色剂结垢。

⑩ 制品的透明度差

- a. 有增塑剂析出薄膜表面。
- b. 原料混合不均匀。
- c. 辊筒工作面温度不均匀。
- d. 填充料量过大。
- e. 辊筒工作面比较粗糙，精磨后应镀硬铬层。
- f. 熔料温度比较低。
- g. 三辊、四辊的转速比过大。
- h. 原料的混炼预塑化质量不好。

⑪ 制品表面颜色不一致

- a. 着色剂的分配性差。
- b. 预塑化温度过高或工艺时间过长。
- c. 原料的混合、预塑化均匀性差。
- d. 原料热稳定性差。
- e. 着色剂渗出。
- f. 辊筒工作面温度过高。

⑫ 制品表面发黏

- a. 增塑剂用量过大或有析出现象。
- b. 润滑剂混合不均匀或用量不足。
- c. 聚氯乙烯树脂的 K 值过高。
- d. 增塑剂的挥发蒸气在出膜辊部位凝集。

⑬ 制品的收缩率过大

- a. 牵引剥离制品速度过快。
- b. 增塑剂混合分配不均。
- c. 出膜辊筒的工作面温度过低。
- d. 制品在冷却时有被拉伸现象。
- e. 制品降温定型时间过短。

⑭ 制品的机械强度差

- a. 压延制品的辊筒工作面温度偏低。
- b. 辊筒之间的转速比过小。
- c. 剥离辊对制品的牵引拉伸比小。

第七节 其他再生利用方法及设备

废旧塑料再生利用除上述几种主要成型方法外，还有下述几种方法。

一、浇铸成型方法

浇铸成型方法是借用金属浇铸工艺而来的。其成型方法是将聚合物的单体、预聚的浆状物、熔融的热塑性塑料、高聚物的溶液溶液等倾倒入一定形状的模具中，然后固化定型或因溶剂挥发而硬化成为制品的一种成型方法。浇铸成型时很少施加压力，对模具和设备的强度要求较低，投资少，对产品的尺寸限制较少，适宜生产大型制品。此外，产品的内应力低也是一个优点。但成型周期长、制品尺寸准确性差。

浇铸成型工艺过程如下：

浇铸液的配制——→过滤和脱色——→浇注——→硬化——→脱模——→后处理——→制品

浇铸技术包括静态浇铸、嵌铸、离心浇铸、流延铸膜、搪塑、滚塑等成型工艺。

1. 静态铸塑

最简单而应用广泛的一种成型方法，指在常压下将物料灌入模腔，经固化硬化成为制品。能用于静态铸塑的回收塑料品种很多，但应满足以下条件：①浇铸原料熔体或溶液的流动性好，容易充满模具型腔；②浇铸成型的温度应比产品的熔点低；③原料在模具中固化时没有低沸点产物，或气体等副产物生成使制品不产生气泡；④浇铸原料的化学变化、反应的放热及结晶、固化等过程在反应体系中能均匀分布且同时进行，体积收缩较小，不易使制品出现缩孔或残余应力。

浇铸用模具设计与注射成型基本相同，由于浇铸过程多在较低的压力下进行，对模具强度的要求也不高，只要模具材料对浇铸过程无不良影响，能承受浇铸过程所需要的温度和加工性能良好即可。在生产中，根据实际需要，为有利于料流的充模和气泡的排出，或使气泡移到非工作部位去。常采用敞开式浇铸、水平浇铸、侧立式浇铸、倾斜式浇铸等方式，相应模具也有所不同。一般可用铸铁、钢、铝合金、铸铝、硅橡胶、塑料、玻璃、水泥、石膏等材料制造。在制造大型制品时，为了加强模具的刚度，常在模具外加上模框、模座，或在模具中设骨架等，常用铜或木材为材料。而常用的回收塑料有聚酰胺（PA）、环氧树脂（EP）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）。

静态铸塑不需要什么特定的设备，按照制品性能的要求和铸塑成型工艺条件，选择恰当的塑料配方即可。

2. 嵌铸

嵌铸（又称包封）是用聚合物熔融包封非塑料件，它是在模型内预先安放经过处理的样品或零件，然后将浇铸料倾入模中，在一定条件下固化成型。使用最多的是用透明塑料包封各种生物或医用标本、商品标本、纪念品等。在工业上还有借嵌铸而将某些电气元件及零件与外界环境隔绝，以便起到绝缘、防腐、防震

动破坏等作用。使用塑料回收料一般为环氧树脂、聚甲基丙烯酸甲酯等。其工艺过程为：将嵌件进行适当的处理，然后按照要求使其固定于模具内，最后是塑料浇铸和固化。塑料的浇铸及固化与静态浇铸过程相同。嵌件要进行预处理，预处理的目的是为了

避免塑料与嵌件之间发生化学反应或浸溶作用等不良影响，或避免在嵌件上带气泡，以致不能相互紧密黏合。随处理目的的不同，可分为干燥、嵌件表面润湿、表面涂层和表面糙化等方式。

3. 离心铸塑

离心铸塑是将原料加入到高速旋转的模具中，在离心力的作用下，使原料充满模具，而后使之硬化定型成为制品的一种方法。其制品多为圆柱形或近似圆柱形，如轴套、齿轮、滑轮、轮子、垫圈等。离心铸塑所采用的塑料通常都是熔融黏度较小、熔体热稳定性较好的热塑性塑料，如聚酰胺（PA）、聚乙烯（PE）等。

根据制品的形状和尺寸，可以采用水平式（卧式）或立式的离心铸塑设备。当制品直径较大而轴线方向较小，适宜采用立式设备，生产中通常是将模具固定于离心铸塑设备的壳体内，靠电动机经减速装置带动其旋转，所产生的离心力即基本决定了塑料在模具内所受压力的大小。一般随塑料品种和制品类型的不同，所需的离心力的大小略有差异，通常离心力在 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ 即可。见图 3-65 立式离心铸塑示意图，其中模具型腔的上部留有贮备塑料的空间，外部设有绝热层以保持内部的塑料呈熔融状态，以便此后填补型腔中空余部分和型腔内塑料因冷却收缩而缺少的部分。铸塑时先由挤出机将一定量的物料挤出到旋转和加热的模具内，利用模具的高速旋转将气泡赶向模具中央，然后将模具送到紧压机上，旋转紧压机使气泡置换转移型腔的贮料部分，逐渐冷却后即可脱模。见图 3-66 水平离心铸塑设备，其生产工艺与滚塑基本类似，用此法生产的管材力学强度不如挤出管材高。离心浇注具有下列优点：①适宜制造薄壁或厚壁的大型制品；②制品内应力很小，内部无缩孔，表面光滑；③制品精度较普通浇铸件高，故机加工量小；④制品力

学强度较高，但设备投资费用和成本高于普通浇铸件，生产周期较长，难于制造外型复杂的制件。

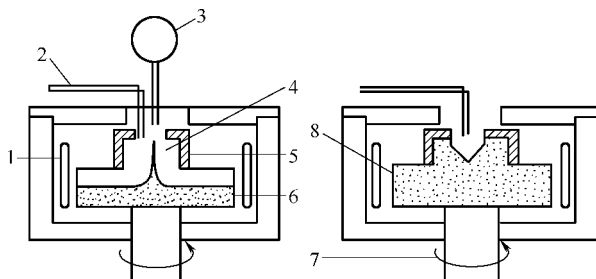


图 3-65 立式离心铸塑示意图

- 1—红外线或电阻丝；2—惰性气体送入管；3—挤出机；4—贮备塑料部分；
5—绝热层；6—塑料；7—转动轴；8—模具

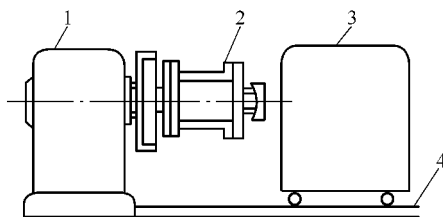


图 3-66 水平离心铸塑设备

- 1—传动减速器；2—旋转模具；3—可移动的烘箱；4—轨道

4. 滚塑

滚塑又称旋转铸塑或旋转浇铸成型，是制取大型中空制品最经济的方法。其方法是将一定量的液状或糊状塑料加入模具中，通过对模具的加热及纵横向的滚动旋转，使塑料熔融塑化，并借塑料自身的重力作用均匀地布满模具型腔的整个表面，待冷却固化后脱模即可得到中空的制品。滚塑与离心铸塑的区别在于后者靠离心力的作用使物料流动并黏附于模腔，转速较大，而前者靠浇注原料的自重而流布并黏附于旋转模具的壁面，转速较慢。滚塑工艺最初用于PVC糊塑料生产小型制品，如玩具、皮球、瓶罐等，近年来使用

PP、ABS、PC、PA 等塑料，生产不同形状和容量的大型制品。

滚塑所用的模具，小型的常用铝或铜的瓣合模，大型制品多采

用薄钢板制成，成型时将一定量的物料（粉状塑料、液状或糊状塑料）加入可以完全闭合的模具内，然后将模具合拢，并将它固定在能够顺着两根正交的（或几根互相垂直的）轴同时旋转的机器上，见图 3-67 滚塑设备。放入烘箱内，当模具旋转时，即用热空气或红外线等对其加热，塑料完全熔化并均匀地分布在型腔的表面后，经冷却即可开模取出制品。

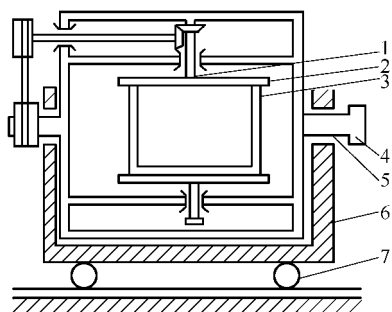


图 3-67 滚塑设备

- 1—次轴；2—模架；3—模具；4—联轴器；
5—主轴；6—支撑架；7—导轮

在成型过程中，加热温度偏高可以加速物料的熔化，缩短生产周期，易于排出气泡，制品表面粗糙度较低。但温度过高则易使制品变色、降解等。同时加热不能过快，否则制品厚度不均匀。保温旋转的时间视制品的大小、厚度等决定。旋转速度偏高时可增加塑料的流动性，制品均匀性较好。采用黏度较低的糊塑料也有利于提高制品厚度的均匀性。某些加热下易氧化变色、变质的塑料，如聚酰胺类的塑料，则应在惰性气体保护下进行整个操作。此外，选择适当的脱模剂也是决定制品质量的重要因素。

5. 流延铸塑

流延铸塑是将热塑性塑料溶于溶剂中配成一定浓度的胶液，然后以一定的速度流布在连续回转的基材上，通过加热使溶剂蒸发并进而使塑料硬化成膜，从基材上剥离即为流延薄膜（铸塑薄膜）。薄膜的宽度取决于基材的宽度，而厚度则取决于所配胶液的浓度和基材的运动速度等。流延铸塑薄膜的特点是厚度小、厚薄均匀、不易带入机械杂质、透明度高、内应力小，多用于光学性能要求较高的薄膜的制造。缺点是生产速度较慢、需要耗费大量的溶剂，成本

高及强度较低、且易造成污染。用于铸塑薄膜的回收塑料主要有聚乙烯醇（PVA）、氯乙烯和乙酸乙烯共聚物等。

流延铸塑所用的设备主要是带式流延机，也有采用大型镀银金属回转转鼓的。流延机由回转的、表面无接头的、有镜面粗糙度的不锈钢带及加热装置等组成。不锈钢带用两个回转的辊筒张紧并带动。在前回转辊筒处，不锈钢带的上部有流延嘴，流延嘴的断面呈三角形，宽度较不锈钢带稍小，其下部有开缝。溶液经流延嘴从开缝处流布于不锈钢带表面上。流布溶液的厚度是由不锈钢带的转速和距流延嘴缝口的距离决定的。整个流延装置均密封在一烘房内。从不锈钢带下边逆向吹入热空气，使溶液逐步干燥，蒸发的溶液送至回收装置回收。送入流延机的热空气主要是在回收装置排出的尾气中加入少量的新鲜空气并经加热器加热后循环利用，其气量和温度可调。溶液从流延嘴流布在不锈钢带上后随之转动，到前辊筒下部时，溶液已初步干燥并能形成薄膜，此时即与不锈钢带剥离，送去进一步干燥。剥离的薄膜在支撑架、转向辊和卷取辊的帮助下通过烘房。

干燥的方式有烘干和熨烫两种。烘干的主要设备是长方形的烘房，通常都分隔成几个部分，每个部分所保持的温度不一定相同，而且温度可调，温度是顺着薄膜的前进方向逐渐升高的，而后由高温突然变为低温。熨烫法是利用一系列加热辊直接熨烫薄膜来达到干燥的目的，与烘干一样，熨烫也应在烘房中进行。某些流延设备中是将熨烫干燥辊筒和流延部分紧连在一起的。

6. 搪塑

搪塑主要用于溶胶塑料的成型，它是将塑性溶胶（主要是聚氯乙烯塑料）倾倒在预先加热到一定温度的塑模（阴模）中，接近模壁的塑料即会因受热而胶凝，然后将没有胶凝的塑料倒出，并将附在模子上的塑料进行热处理，再经冷却即可从模中取得空心制品，主要用来制造玩具一类的制品。搪塑的优点是：设备费用低、生产速度快、工艺控制比较简单，但是制品的厚度、质量等的准确性较差。

在搪塑成型中，制品的厚度取决于塑性溶胶的黏度、灌注时模具的加热温度和塑料溶胶在模具中的停留时间。如果单用预热模具仍不能使制品达到要求的厚度时，则可在未倒出塑料溶胶前对模具进行短时间加热（红外线照射或将模具浸在热水中），或使用重复灌注的方法。搪塑工艺对塑性溶胶的要求黏度适中，灌入模具后能充分润湿整个型腔表面。黏度太大则达不到润湿的要求，而过低则制品厚度太薄。搪塑所用的模具大多是整块阴模，并在一端开口，通常都由电镀法制成。

二、发泡成型方法及设备

泡沫塑料是以树脂为基础而内部具有无数微孔性气体的塑料制品，又称为多孔性塑料。再生的热固性和热塑性塑料都能制成泡沫塑料。由于有气孔的存在，泡沫塑料具有密度低、隔热、吸音等优点。泡沫塑料的发泡方法可分为三种：物理发泡法、化学发泡法和机械发泡法。

1. 发泡成型方法

（1）机械发泡 机械发泡是利用强烈的机械搅拌作用，将空气卷入树脂的乳液、悬浮液或溶液中，使其成为均匀的泡沫物，而后再经过物理或化学变化使之稳定成为泡沫塑料。机械发泡常用的树脂有聚乙烯醇缩甲醛、聚乙酸乙烯、聚氯乙烯溶胶等。

机械发泡工艺流程如下：

树脂的准备——→鼓泡——→固化、硬化

机械发泡设备是由钢或不锈钢的圆筒和搅拌系统共同组成的。搅拌器是多桨叶式的，可以按顺逆两个方向转动，顺转时桨叶使液体向上运动，是作为鼓泡用的，逆转时是作为出料用的。筒的下部设有空气进口，底部有出料口，出料口由轻便阀板操纵启闭。鼓泡时加入发泡液，发泡液一般由表面活性剂、树脂硬化剂、泡沫稳定剂和溶液等组成，搅拌一定时间后便产生大量泡沫，然后注入塑模。装有泡沫物的塑模应先在室温下放置一段时间，以便沥除部分溶剂，并使泡沫物得到一定程度的固化，然后从塑模中脱出泡沫物并将它放在漏孔的托架上，在严格控制温度的烘室内进行热处理，

处理的目的是硬化、固化和除去溶剂。

(2) 物理发泡 物理发泡的优点是操作过程中毒性小，用作发泡的原料成本较低，发泡剂无残余体，因此对泡沫塑料的性能影响不大，缺点是生产设备投资较大。在物理发泡法中，低沸点液体发泡和惰性气体发泡在生产中占有重要位置，适用的品种较多。

以溶解液体为发泡剂制造泡沫塑料的具体措施可分为以下两种。①用高压加料设备把液体发泡剂注入挤出机的熔化区段，混合均匀后，在严格控制温度下从口模挤出，经过膨胀、冷却，可得到泡沫塑料。此法要附设高压加料设备，控制泡沫大小比较困难，仅限于挤出型材。②在聚合后期，将发泡液体与塑料混合先制成可发性珠状物，再以此珠状物作为原料，通过蒸汽箱模塑法、挤出法或注射法生产泡沫塑料制品。其生产过程可分为预发泡、熟化和模塑三个工序。

预发泡是为了使制品的泡沫均匀并达到要求的密度，预发泡有间歇法和连续法两种，一般采用连续法，其主要设备为连续蒸汽预发泡机，机内有搅拌装置，并直接通入蒸汽加热。

预发泡后的珠粒须在空气中熟化一段时间，以防止成型后收缩。然后通常用蒸汽加热模压法成型。按加热方式不同，可分为蒸汽缸发泡和液压机直接同蒸汽发泡两种方法，前者是将预胀物填满模具后放入蒸汽缸通蒸汽加热，根据具体情况施加一定压力，模内预胀物受热软化、膨胀、互相熔结在一起，冷却脱模即为泡沫塑料；后者是用气送法将珠料加至模内，由模具上开的通气孔通入蒸汽，赶走空气，随后加热膨胀黏结为一体，冷却后得泡沫塑料。可发性珠料还可用挤出机挤出成型，一般用单螺杆挤出机，并带有排气设施，螺杆头部应呈鱼雷状，以提高混合效率，并防止料流产生脉动，机头口模内应有一定压力差，以阻止物料在模内发泡。

以溶解气体为发泡剂制造泡沫塑料的间歇法和连续法，间歇法比较简单，是将糊状聚合物放入加压釜内，在搅拌下用高压通入惰性气体，待压力稳定后即充模，经烘熔、冷却、脱模可得泡沫塑料制品；连续法生产是用泵将聚合物连续送至混合器内与高压惰性气

体混合，混合器备有温控装置，以保证良好的混合，混合好的物料由混合器的喷嘴定量排出，经加热胶凝和熔化、冷却即得泡沫塑料。

(3) 化学发泡 利用混合原料中的某些组分在成型过程中的化学反应而产生的气体来进行发泡的方法属于化学发泡法。利用化学发泡剂发泡的设备比较简单，对塑料品种无多大的限制，是发泡生产中最主要的方法，其工艺的控制参数主要是控制配方及各段工序的温度、压力和加料量，可用模压、注射、挤出、压延等的成型设备来进行泡沫塑料的成型。

2. 发泡成型设备

泡沫塑料是以树脂为基础，而内部具有无数微孔性气体的塑料制品，又称为多孔性塑料。再生的热固性和热塑性塑料一般都能制成泡沫塑料。这里主要介绍机械发泡所用的设备。

机械发泡法是利用强烈的机械搅拌作用，将空气卷入树脂的乳液、悬浮液或溶液中，使其成为均匀的泡沫物，而后再经过物理或化学变化，使之稳定成为泡沫塑料。机械发泡常用的树脂有脲甲醛、聚乙烯醇缩甲醛、聚乙酸乙烯、聚氯乙烯溶胶等。所用鼓泡设备（如图 3-68 所示）由钢或不锈钢制的圆筒和搅拌系统共同组成。搅拌器是多桨叶式的，可以按顺逆两个方向转动，顺转时桨叶使液体向上运动，是作为鼓泡用的，逆转时是作为出料用的。筒的下部设有空气进口，底部有出料口，出料口由轻便阀板操纵启闭。鼓泡时加入发泡液，搅拌一定时间后便产生大量泡沫，然后注入塑模。

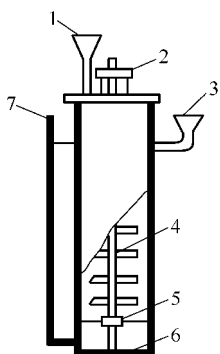


图 3-68 鼓泡设备

- 1—发泡液入口；2—传动轮；3—树脂入口；4—搅拌桨叶；5—搅拌轴；6—闸门；7—通空气的管道

鼓泡时加入发泡液，搅拌一定时间后便产生大量泡沫，然后注入塑模。

三、热成型方法及设备

1. 热成型原理及方法

热成型是利用热塑性塑料的片材作为原料来制造塑料制品的一

种方法。制造时，先将裁成一定尺寸和固定形样的片材夹在框架上，并将其加热到高弹态，然后借施加的压力使其贴近模具的型面，从而得到与型面相仿的形样，成型后的片经冷却后，从模具中取出，最后经过适当的修饰即成为制品，热成型的方法有很多，具体工艺见表 3-61。

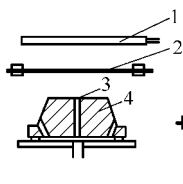
表 3-61 塑料片材热成型工艺

成型方法	图 例	
单阳模法 (旋转体)		1—阳模； 2—压边圈； 3—夹具； 4—坯料； 5—制件； 6—拉伸环
单阴模法 (圆筒体) 模压		1—角钢支架； 2—钢阴模(4~10mm 厚)； 3—帆布衬； 4—施力方向； 5—活络铁条； 6—制件； 7—角钢(固定在阴模上)
对模成型 型		1—压机柱塞； 2—气孔； 3—阴模； 4—加热器； 5—夹具； 6—片材； 7—阳模； 8—制件
复合模压成型		1—压机柱塞； 2—模具； 3—片材

成型方法

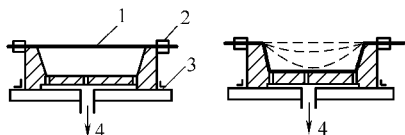
图 例

单阳模法



- 1—加热器;
2—片材;
3—气孔;
4—阳模;
5—抽真空;
6—制件

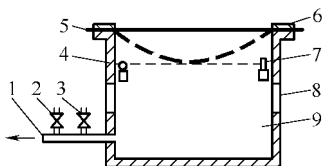
真空模法



- 1—片材;
2—夹具;
3—密封;
4—抽真空

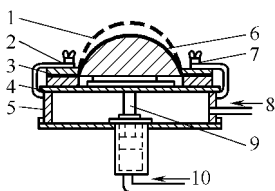
差压成型

无模具真空成型



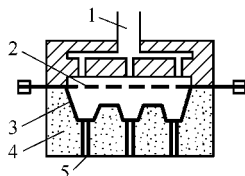
- 1—真空;
2—真空解除阀;
3—光电管控制阀;
4—光源;
5—片材;
6—夹具;
7—光电管;
8—观察窗;
9—真空室

气阳模法



- 1—坯料;
2—夹具;
3—拉伸环;
4—支承环;
5—气室;
6—阳模;
7—升降台;
8、10—压缩空气入口;
9—柱塞

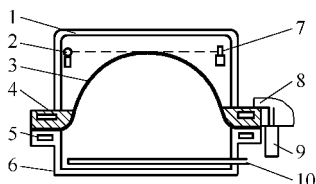
单阴模法



- 1—压缩空气进口;
2—成型前片材;
3—制件;
4—阴模;
5—排气口

成型方法

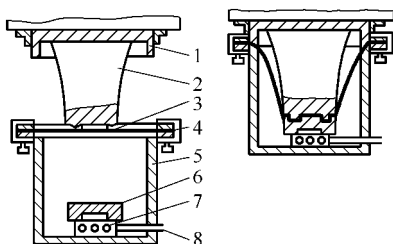
图 例

无模具
气压成型

- 1—绝热罩；
2—光源；
3—制件；
4—拉伸环；
5—支承环；
6—支座；
7—光电管；
8—压紧件；
9—气缸（用于调节压紧压强）；
10—进气接嘴（由光电管控制）

差压
成型

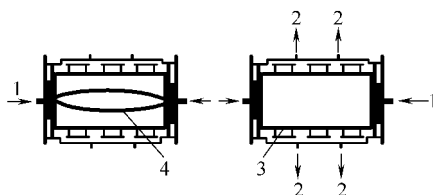
对模成型



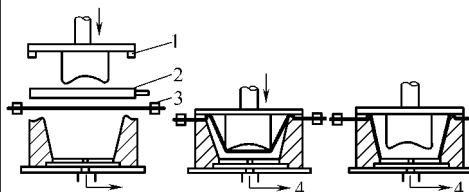
- 1—气室盖；
2—阳模；
3—坯料；
4—压板；
5—气室；
6—阴模；
7—空气分配器；
8—进气管

复合

双片热成型



- 1—由吹针吹压缩空气；
2—抽真空；
3—制品；
4—片材

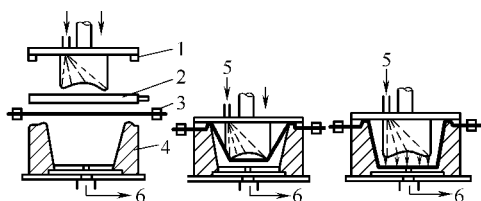
柱塞助压
阴模真空成型

- 1—密封；
2—加热器；
3—夹具；
4—抽真空

成型方法

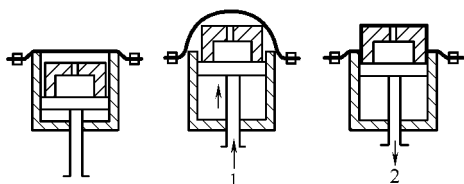
图 例

柱塞助压·阴模气压成型



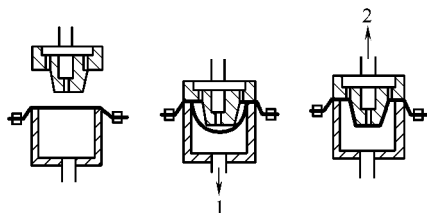
- 1—密封;
2—加热器;
3—夹具;
4—阴模;
5—压缩空气进口;
6—排气口

推气真空回吸成型



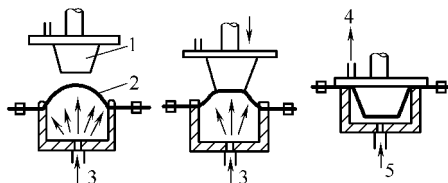
- 1—推气;
2—回吸

抽气真空回吸成型



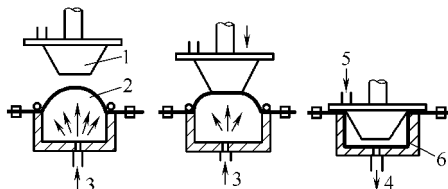
- 1—抽真空阳模下降;
2—反抽回吸

气胀阳模回吸成型



- 1—阳模;
2—片材;
3—压缩空气;
4—抽真空;
5—进气口

气胀阴模回吸成型



- 1—阳模;
2—片材;
3—压缩空气;
4—抽真空;
5—进气口;
6—阴模

热成型方法制品的特点是：①壁厚薄，用作原料的片材厚度一般只有 1~2mm，甚至更薄，制品的厚度则比这一数值还小；②热成型制品的表面积可以很大。小型制品有杯、碟和其他日用器皿、医用器皿、电子仪表附件、收音机与电视机外壳、玩具等，大型制品有汽车、建筑构件、化工设备、雷达罩和飞机舱罩等。

热成型方法的另一特点是：生产效率高，如采用多槽生产时，每分钟产量可高达数百件制品。设备较简单、投资少。但由于所采用的原料是片材，故加工成本较高且后加工工序多。由于它能制造面积大的制品，且设备投资少，所以这种成型方法发展较快。热成型所用设备除液压机外，其余皆在热成型机上进行，根据热成型方法不同，热成型机有很大的差异，但均需具备片材的夹持、片材的加热、成型、冷却、脱模五个功能。

2. 热成型应用的材料

(1) 常用热成型塑料品种 目前工业上常用于热成型的塑料品种有各种类型的 PS、PMMA、PVC、ABS、HDPE、PP、PA、PC、PET 等。作为原料的片材可用浇铸、流延、压延或挤出等方法制造。

如软 PVC 片材通过压延或挤出方法生产之后，经过热成型工序制造用手提箱和汽车中的内门板和装饰件。

硬 PVC 片材可用挤出、压延、层压方法生产，经过热成型工序制造小型船体、滑槽、盘、机壳等部件。

ABS 片材可用压延、挤出方法生产，经过热成型工序制得大型精致结构的制品，制造飞机、汽车和某些设备的部件、冷藏车的衬材等。

可用压延、挤出方法生产双轴定向的 PS 片材，经过热成型工序，可制造小型包装容器、护罩等。非定向的 PS 不宜用作热成型的原料，因为成型后的切边较困难。

(2) 塑料片材的工艺性能

① 塑性记忆。当用机械或气动的方法拉伸片材时，它们既有紧缩反抗拉力的倾向，也有尽可能均匀拉伸的倾向。这些特性使得

塑料片材能在许多热成型方法所通常应用的一个简单模具上成型。已经成型的制品，如果重新加热到原来的成型温度，那么就产生“塑性记忆”，并使它回复至原来的形状（即变成平片）。因此，成型制件的外形误差往往可以用重新成型的办法来加以改正。也可以对成型的制件进行装饰，然后加热松弛，把它恢复至原来的平片状，利用变形的花纹“失真印刷”以后的片材，然后用这种片来成型装饰花纹与立体表面互相对准的产品，例如军用地图。

② 热拉伸。所有热塑性塑料片材在加热时可以拉伸，某些塑料可拉伸 15%~20%，而有些塑料甚至可拉伸至 500%~600%。自然，这一性能对于产品的形状和质量都是有很大的影响。

③ 热强度。某些塑料只要稍受压力，不论是气动还是机械压力，就会在模具上形成清晰的轮廓。反之，另一些片材却显示出较强的阻力，因此需要重型的设备和模具。而真空成型方法所提供的有限压力差，可能在某些产品上还不足以显示出细微的花纹。

④ 成型温度。热成型所用的热塑性塑料均有一个特定的加工温度范围。例如，一种塑料片材可能在 182℃ 软化，实现成型，但它的熔融温度是 204℃。另一种材料在某一给定温度范围内可以很好地拉伸，不过温度偏高或偏低成型又容易发生撕裂。因此，成型温度是成型塑料片材最重要的工艺参数之一。表 3-62 为塑料片材热成型温度范围。

表 3-62 塑料片材热成型温度范围

塑 料	固化温度/℃	加工温度 下限/℃	正常成型 温度/℃	加工温度 上限/℃
高密度聚乙烯	82	126	146	182
ABS	85	126	146	182
乙酸纤维	71	126	154	182
聚氯乙烯	66	93	118	149
聚甲基丙烯酸甲酯	85	149	177	193
聚甲基丙烯酸甲酯/聚氯乙烯	79	163	188	204
聚苯乙烯	85	126	146	182
聚碳酸酯	137	168	191	204

3. 热成型工艺过程

热成型加工工序

片材的夹持——→加热——→成型——→冷却——→脱模

(1) 夹持 夹持框架通常由上下两个机架组成。上机架受压缩空气操纵，常能均衡有力地将片材压在下机架上。均衡的夹持是保证物料均匀分布的必要条件。夹持的片材应有可靠的气密性，否则成型时就会发生漏气，造成片材滑动和弯扭等。

(2) 加热 是将片材加热到成型温度，所需要的时间一般为整个成型工作周期的 50%~80%，加热（或冷却）片材的时间，随片材厚度和比热容的增大而加多，但却随片材的导热系数和传热系数的增大而减少。在相同条件下，对不同厚度的一种片材进行加热，其情况如表 3-63 所示。

表 3-63 加热时间与片材（聚乙烯）厚度的关系

片材厚度/mm	0.5	1.5	2.5
加热到 121℃ 所需时间/s	18	36	48
单位厚度加热时间/(s/m)	26	24	19.2

采用的片材应力求厚薄均匀，否则会出现温度不均的现象，从而使制品具有内应力。塑料片材的厚薄公差不应大于 4%~8%，否则就要延长加热时间，让热量传至厚壁内部。在加热厚的片材时应采用如下加热方法：双面加热、预热或高频加热来缩短加热时间。而成型温度的下限应以片料在牵伸最大的区域内不发白或不出现明显的缺陷为度，而上限则是片材不发生降解和不会在夹持架上出现过分下垂的最高温度。例如 ABS 其下限成型温度可低至 127℃，上限可达 180℃，用快速真空成型低牵伸制品时，成型温度 140℃ 左右，深度牵伸的制品，温度约为 150℃，只有较为复杂的制品才用偏高的成型温度，约为 170℃。表 3-64 为各种塑料片材的成型条件和热膨胀系数。

表 3-64 各种塑料片材的成型条件和热膨胀系数

塑 料 种 类	成 型 条 件				热 膨 胀 系 数/[$\times 10^5$ cm/ ($\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)]
	成型温度		模具温 度/ $^\circ\text{C}$	辅用柱塞 温度/ $^\circ\text{C}$	
	最佳值/ $^\circ\text{C}$	最低值/ $^\circ\text{C}$			
硬聚氯乙烯	135~180	93~127	41~46	60~149	6.6~8
聚乙烯(低密度)	121~191	107	49~77	149	15~30
聚乙烯(高密度)	135~191	121	64~93	149	16~30
聚丙烯	149~202				11
聚苯乙烯(双轴取向)	182~193		49~60	116~121	6~8
ABS	149~177	140~160	72~85		4.8~11.2
聚甲基丙烯酸甲酯(铸塑)	143~182				
聚甲基丙烯酸甲酯(挤出)	110~160				7.5~9.0
乙酸纤维素	227~246	216	77~93	274~316	7
聚酰胺-6	216~221	210			10
聚酰胺-66	221~249				10
聚对苯二甲酸乙二酯(取向)	177~254				
聚对苯二甲酸乙二酯(非取向)	177~204				

(3) 成型 成型时最容易产生的毛病是制品厚薄不均，其主要原因是各部分所受牵伸不同。此外，牵伸或拖曳片材的速率快慢也会影响制品厚薄不均。一般地说，速率应尽可能地快，这对成型本身和缩短成型周期均有利，因而有时甚至将孔改为长而窄的缝。例如电冰箱衬套成型时，用正常的真空孔，抽气时间需要 2~5s，而改用长窄缝后，则抽气时间可降到 0.5s。牵伸的速率还取决于片材的温度，薄型片材的牵伸一般都应快于厚型的。

(4) 冷却脱模 在片材热成型中，为了缩短成型周期，一般都要采用人工冷却方法。冷却分内冷和外冷两种。成型好的制品必须冷却到变形温度以下才能脱模。例如聚氯乙烯制品为 40~50 $^\circ \text{C}$ ，冷却不足，制品脱模后会变形。

4. 热成型中出现的问题、引起的原因及解决办法

热成型过程中，由于工艺条件掌握不当，模具设计不良，设备的故障以及片材质量等原因，造成制品质量问题，甚至变为废品，表 3-65 列出了热成型中出现的问题、引起的原因及解决方法。

表 3-65 热成型中出现的问题、引起的原因及解决办法

出现的问题	引起的原因	解 决 办 法
起泡或气泡	加热太快 含湿量过大 加热不均	降低加热器的温度 缓慢加热 增大加热器与片材的距离 预干燥 预热 片材两面加热 片材使用时才剥去防湿材料 用挡板面罩或遮蔽物遮蔽 检查加热器或屏蔽物
成型不完整或花纹欠佳	片材太冷 夹片前夹持器未加热 真空度不够 真空牵伸不快 压力不够	延长片材加热时间 升高加热器温度 增加加热器 检查加热均匀性 夹片前应预热夹持器 检查真空孔是否阻塞 增加真空孔的数目 增大真空孔的尺寸 用真空窄缝代替真空孔 增加真空度或泵的容量 检查真空系统 增加压力 使用框架助推器 使用柱塞等助压
焦烧	片材表面太热	缩短加热时间 缓慢加热
泛色或变色	加热不够 过热 模具太冷 助压柱塞太冷 片材过分牵伸 片材在成型前已变冷 模具设计不当	延长加热时间 升高加热器温度 降低加热器温度 缩短加热时间 如斑点重复出现在同一区域,应检查加热器 模具保温 加热助压柱塞 使用较厚的或富有弹性和牵伸性的片材 改变模具设计 加快模具向片材移动 增加抽气速率 确保模具和柱塞的热量 降低牵伸度 增加模具锥度 增大圆角半径

出现的问题	引起的原因	解 决 办 法
发白	片材在屈服温度下的冷牵伸 采用的片材是干着色的	增加片材的热量 加快覆盖和抽空的速度 改变片材类型 用热气枪来减轻或消除成型品上的白色表面
熔塌,起拱或折皱	片材太热 树脂的熔体强度太低 成型区的拉伸比太大或模具设计欠佳	缩短加热时间 增大片材与加热器的距离 降低加热器的温度 改用低熔体流动速率的树脂 改用定向程度高的片材 尽量使用片材的最低成型温度 使用柱塞等助压 加用调整块件,消除折皱 用阴模代替阳模 尽可能地增大制品的锥度和圆角半径 提高助压柱塞或模具的移动速度 重新设计框架,助压柱塞等
冷痕或分有冷热区	助压柱塞温度太低 模温太低,与冷模或冷柱塞接触的片材得不到牵伸 模具温度控制不当 片材太热	增加助压柱塞的温度 使用木质助压柱塞 用棉绒布或毛毯覆盖柱塞 增加模具温度 调剂模具关键部分 增加冷却管或冷却槽的数目 检查水流有无堵塞 减小热量 缓慢加热 成型前,用压缩空气轻微冷却加热片材的表面
表面有严重痕迹	空气截留在光滑模面上形成的痘斑 真空不良 若使用有增塑剂的片材,由于增塑剂在模具表面上积存而形成的痕迹线 模具太冷 模具太热 模具材质不当	模具表面喷砂 增大附加的真空孔 增加真空孔 检查真空孔有无堵塞 采用能够控制温度的模具 在加热时间内,模具应尽可能地远离片材 增加模具温度 降低模温度 不用酚醛塑料模具成型清澈透明的片材 用铝模

出现的问题	引起的原因	解 决 办 法
表面有严重痕迹	模具表面太粗糙 片材不干净 模具不干净 大气中的灰尘 片材受到污染 片材表面有伤痕	打磨模面 更换模具 清洁片材 清除模具 清除热成型区,必要时应隔离和过滤空气 如用回头料,应保证是清洁的,不同的片材应分开贮放 贮放时用纸隔离片材 抛光
制件上有发光条纹	这一区域内的片材过热	降低灼伤区的温度 用铁丝网屏蔽加热器,防止过热 缓慢加热 增大加热器与片材的距离
制件在脱模后有较大的收缩与变形	制件脱模太早 模具太热	增加冷却时间 使用冷却夹具 用风扇或喷雾气体加快制件在模具上的冷却 用较低的模具温度(模温高,收缩大)
翘曲	制件冷却不均 制件壁厚分布不均 模具设计不好 制品设计不合理 模温太低 制件在“凝固温度”以上脱模 制件冷成型	在模具上增设水槽 检查柱塞用水的流动情况 改进预伸与助压技术 使用助压柱塞 检查片材加热是否均匀 检查片材厚薄差值 增加真空孔 增加模具在修整线处的槽沟 大平面制品要用加强筋 将模温刚好升至片材的“凝固温度”之下 将片材冷却到“凝固温度”以下脱模 片材应加热到适当的温度并快速抽空

出现的问题	引起的原因	解 决 办 法
壁厚分布不均,在某些区域过薄	片材过分下垂 片材冷却不均 片材厚薄不均 模具太冷 片材滑出夹持料	使用真空回吸方法 使用低熔体流动速率的树脂 试用定向度稍大的材料 使用屏蔽物或另外的加热器组控制片材中心区域的温度 改进加热方法或用屏蔽物 改进片材质量,减小厚薄差值 将模具均匀地加热到适当的温度 调节夹持架,提供均匀的压力 检查片材尺寸的变化 夹持架在夹料前应加热到适当的温度
预伸泡物不均	片材厚薄不均 片材加热不均 吹气不均	提高片材质量,减小厚薄差值 改进加热方法并检查加热器有无问题 预拉伸箱中应安上进气折流装置
黏模	制件温度太高 模具壁的斜度不够 模具有伏陷物 木制模具 模具表面粗糙	增长冷却时间 降低模具温度 增加斜度 使用阴模 尽可能早的脱模,如果在“凝固温度”以上应使用冷却夹具 使用脱模架 增加脱模气压 尽可能早的脱模,如果在“凝固温度”以上应使用冷却夹具 用凡士林润滑脂 用聚四氟乙烯乳液喷涂 抛光模具的隅角 使用脱模剂 用聚四氟乙烯乳液喷涂
粘助压柱塞	金属助压柱塞温度不当 木制助压柱塞	降低柱塞温度 用脱模剂 用聚四氟乙烯乳液喷涂 用棉绒布覆盖柱塞 用棉绒布覆盖嘴塞 用凡士林润滑剂 用脱模剂 用聚四氟乙烯乳液喷涂

出现的问题	引起的原因	解 决 办 法
成型时片材撕裂	模具设计不当 片材太热 片材太冷(常指薄片)	增大模具转角半径 减少加热时间或降低温度 应均匀加热片材 预热片材 增加加热时间或温度 均匀加热 预热
使用时易在转角处 出现应力开裂	应力集中 模具设计欠佳	增加加强筋 透明料可用偏振光检查 提高片材温度 在片材某些部分过冷前应确保制 件完全成型 改用耐应力开裂的树脂 重新设计模具

5. 热成型典例

【例】 热压成型法回收 PU 废料

热压成型法是将聚氨酯废料在常温下切割成 0.5~3mm 小片或颗粒,于 140~200℃ 预热 2~12min,然后在高温(185~195℃)、高压(30~80MPa)、高剪切力下作用 1~3min,聚氨酯与聚脲分子间产生黏结力,使聚氨酯颗粒结合起来,压制成成品或半成品。这种方法的特点是温度在 $(190 \pm 5)^\circ\text{C}$ 时,制品能充分填充模具,加工无需脱模剂,聚合物的结构也不发生变化。其工艺流程如下:

回收聚氨酯→废料→造粒→200℃ 预热 7min→放入模具→热压成型→脱模→修整

热压成型回收用得到的聚氨酯再生制品的拉伸强度、弹性模量、断裂伸长率下降较大,而硬度与抗撕裂性下降较小,所得制品的表面粗糙度较大,因此只适用于对断裂伸长率与表面性能要求不高的领域,如车轮罩、备轮罩、挡泥板、小工具箱等客车部件,这些部件都是带部分增厚区或肋的薄壁部件,一般只要求有良好的尺

寸稳定性、耐热性和耐老化性。

四、模压成型方法及设备

1. 模压成型特点

① 可灵活地生产多样再生塑料制品。可生产片材、板材、微孔泡沫塑料、盆等制品，更换模具可以随时生产对应的制品。

② 适合于高填充钙塑再生制品和纤维增强制品。钙塑再生品的无机填料量大，钙塑品或纤维增强制品的熔体黏度大、加工流动性欠佳，采用模压工艺可以得到外观平亮的制件。

③ 主要是用压机和模具，所以设备投资少。模压成型属于劳动密集型产业，适宜乡镇企业。

④ 可模压较大平面的制品和利用多槽模进行大量生产。

⑤ 缺点是生产周期长、产品生产效率较低；不能压制形状复杂和尺寸较为精确的制件；需要先制取坯料。

2. 模压成型工艺

模压成型也称压缩成型或压制成型，废旧塑料的模压成型工艺是生产再生热塑性塑料和热固性塑料制品的主要方法，是将塑料坯料放入具有一定温度的模具型腔或框模中，然后闭模加热加压下使其熔融成型固化，脱模取出制品。如 PVC 硬板、PE 板、PVC 微发泡制品、改性 PE 微发泡制品等。

模压生产工艺流程：

加料闭模——排气——固化——脱模——清理模具

3. 模压成型工艺控制

模压过程中影响制品质量的主要因素有：模压的压力、模压时间、模压温度及坯料的加入量。

(1) 模压压力 是指模压时迫使熔体充满模具或框模、由压机对塑料所加的压力，该压力与模具面积及压机公称吨位有关。

压力的控制要适中。制品的密度一般随模压压力的增加而增加；降低压力会增加制品中的气孔。密度大的制品，其机械强度一般较高。单纯增大模压压力并不能保证制品内没有气孔，有效的措施是模压时放慢闭模速度、预热时的压力要偏低，并分两段或三段

升到所需压力，其间注意排气。发泡的模压制品不宜分段加压，更不得中间放气。

(2) 模压温度 是指模压时所规定的模具温度，不是模具型腔内塑料熔体的温度。模压温度高可缩短模压周期，但过高的模压温度会使树脂成分发生热氧老化，因此，在不损害制品性能的前提下，适当提高模压温度，有益于缩短模压周期和提高制品质量。因废旧塑料与其原树脂一样是热的不良导体，因此模压厚度较大的制品自然需要较长的模压时间。

不同的回收塑料有不同的塑化模压温度，控制温度的基本原则是模压温度在该热塑性塑料的软化点以上 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 左右。对微发泡制品还应注意模压温度的选择要与交联速率、发泡剂分解速率相匹配。对 PVC 的钙塑制品还应适当提高模塑温度。

4. 模压成型设备

模压生产的主要设备是液压机，液压机在压制过程中的作用是通过模具对塑料施加压力、开启模具和顶出制品。

模压成型主要用于热固性塑料的成型。对于热塑性塑料，由于需要预先制取坯料，需要交替地加热再冷却，故生产周期长，生产效率低，能耗大，而且不能压制形状复杂和尺寸较为精确的制品，因此一般趋向于采用更经济的注射成型。

模压用的压制成塑机（简称压机），为液压式压机，其压制能力以公称吨数表示，一般有 40t、63t、100t、160t、200t、250t、400t、500t 等系列规格压机。多层压机有千吨以上。压机规格的主要内容包括操作吨位、顶出吨位、固定压模用的模板尺寸和操作活塞、顶出活塞的行程等。一般压机的上下模板装有加热和冷却装置。小型制件可以用冷压机（不加热，只通冷却水）专作定型冷却用，用加热压机专作热塑化用，这样可以节能。

压机按自动化程度可分为手板压机、半自动压机、全自动压机；按平板的层数可分为双层和多层压机。

(1) 液压机工作原理 液压机如图 3-69 所示是以液压传递为动力的压力机械。压制时，首先把塑料加入敞开的模具内，随后向

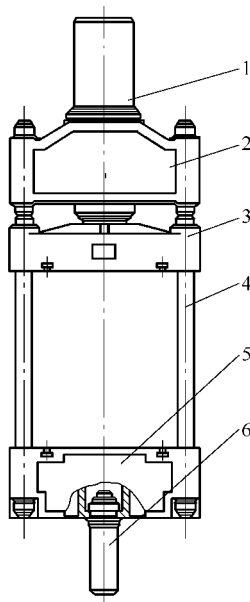


图 3-69 下压式液压机的结构

- 1—工作油缸；2—上横梁；
3—活动横梁；4—立柱；
5—下横梁；6—顶出缸

工作油缸通入压力油，活塞连同活动横梁以立柱为导向，向下（或向上）运动，进行闭模，最终把液压机产生的力传递给模具并作用在塑料上。模具内的塑料，在热的作用下熔融和软化，借助液压机所施压力充满模具并进行化学反应。为了排出塑料在缩合反应时所产生的水分及其他挥发物，保证制品的质量，需要进行卸压排气。随即升压并加以保持，此时塑料中的树脂继续进行化学反应，经一定时间后，便形成了不溶不熔的坚硬固体状态，完成固化成型，随即开模，从模具中取出制品。清理模具后，即可进行下一轮生产。

从上述过程可知，温度、压力、时间是压制成型的重要条件。为了提高机器的生产率和运行的安全可靠，机器的运转速度也是一个不可忽视的重要因素。因此，作压制用的塑料液压机应能满足下列基本要求。

① 压制压力应该足够并能调整，还要求在一定的时间内达到和保持预定压力。

② 液压机的活动横梁在行程中的任何一点位置上，都能停止和返回。这在安装模具、预压、分次装料或发生故障时，是十分必需的。

③ 液压机的活动横梁在行程中任何一点位置都能进行速度控制和施加工作压力。以适应不同高度模具的要求。

④ 液压机的活动横梁，在阳模尚未接触塑料前的空行程中，应有较快的速度，以缩短压制周期，提高机器的生产率和避免塑料流动性能降低或硬化。当阳模接触塑料后即应放慢闭模速度，不然

可能使模具或嵌件遭致损坏或粉料从阴模中冲散出来，同时放慢速度还可以使模内空气得到充分排除。

(2) 结构和分类 图 3-69 所示为典型下压式液压机的结构。它由机身（包括上横梁、下横梁、立柱等）、工作油缸、活动横梁、顶出机构、液压传动和电器控制系统等组成。工作油缸安装在上横梁上。活动横梁与工作油缸的活塞连接成整体，以立柱为导向上下运动（框式液压机以导轨为导向），并传递工作油缸内产生的力量，向塑料施压。考虑到装料和操作的方便，液压机一般采用立式启闭模的形式。应用于塑料成型方面的液压机，可按以下数种方法进行分类。

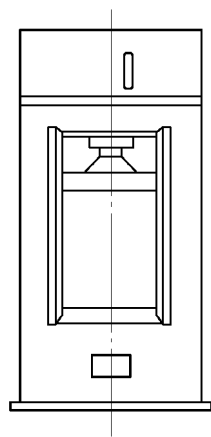
① 按动作方式分为上压式液压机、下压式液压机、特种液压机。

② 按机身结构分为柱式液压机、框式液压机。

③ 按操纵方式分为手动液压机、半自动液压机、全自动液压机。

④ 按传动形式分为泵直接传动液压机、泵蓄压器传动液压机。

从目前塑料液压机的使用和发展情况看，使用较多的是上压式泵直接传动半自动的柱式或框式液压机，如图 3-70 为框式液压机。上压式的工作油缸装在机器的上方，下横梁是固定的，比起工作油缸在下面的下压式使用方便。国产塑料液压机基本上均属此种类型，但对层压塑料，一般以下压式为多。成型大、中型热固性塑料，常采用泵蓄压器传动的液压机，即集中供应高压油的办法，避免各台压机单独配备液压系统。这样可节省资金，提高液压设备的利用率，但需要高压蓄压器和一套中央供压系统，以平衡低负荷和高峰负荷时对高压液体的需要。



(3) 主要技术参数 见表 3-66，用来表征液压机的性能参数虽然比较多，但其中不少参

图 3-70 框式液压机

数与注射成型机合模部分的参数相类似，因此，这里着重讨论液压机的几个重要参数。

① 最大总压力（公称压力）。液压机的最大总压力或称液压机的吨位，是表示机器压制能力的主要参数，一般用它表示机器规格。例如国产 SY-250 液压机即表示最大总压力为 250t 的塑料（S）液压机（Y）。

② 工作液的压力。工作液压力是液压机设计中比较重要的参数。工作液压力的高低影响工作油缸的大小、液压机的结构尺寸、液压传动系统的设计以及机器的维修等一系列问题。因此，在确定工作压力时，一定要考虑各方面的因素，按照压力标准系列进行确定。目前国内塑料液压机所使用的工作压力有 16.7MPa、29.4MPa、31.4MPa、49MPa 等数种，多数用 29.4MPa 左右的工作压力。液压机的工作压力不宜过低，否则，为了满足液压机最大总压力的需要，就要有较大的工作油缸，使液压机结构庞大，质量增加。

③ 最大回程力。即液压机活动横梁在回程时所需要的力。可根据实际经验选定回程力的大小，液压机的最大回程力一般为液压机吨位的 20%~50%。

④ 升压时间。升压时间虽然在一些液压机的性能参数中并未列出，但它却是液压机一个比较重要的技术指标。因为在塑料压制过程中不仅需要液压机产生足够的力，而且当被压制塑料正处于黏度最低、流动性最好时，要求液压机的压力能迅速达到最大值，才能保证塑料充满模具，得到满意的制品。因此，液压机工作压力必须在一定时间内升高到所需要的数值。根据经验，目前 500t 以下的塑料液压机，要求升压时间大约在 10s 以内。

至于其他参数如活动横梁和工作台（下横梁）之间的最大距离、活塞行程（即活动横梁行程）、低压行速（即快速）、高压行速（即低速）、工作台尺寸、立柱或导轨之间距离等项都是表示机器性能的参数。它们的意义可参看注塑机的有关章节。

为了满足压制不同塑料的需要，液压机的高压行速，常采用可

调式，调节范围多在 0~6mm/s 之间。

表 3-66 部分国产上压式液压机规格

项 目	YX(D) —45	Y71 —63	YX —100	Y71 —160	SY —250	Y71 —300	Y71 —500
公称压力/t	45	63	100	160	250	300	500
最大工作压力/MPa	31.4	31.4	31.4	31.4	29.4	31.4	31.4
最大回程力/t	7	20	50	63	125	100	
活塞最大行程/mm	250	350	380	500		600	600
模板最小开挡/mm	80		270		600	600	
模板最大开挡/mm	330	750	650	900	1200	1200	1400
最大顶出力/t		20	20	50	34	50	100
最大顶出行程/mm	150	200	自动 165 手动 280	250		250	300
电机功率/kW	1.1	3	1.5	7.5		10	17
工作台尺寸/mm	400×360	600×600	600×600	700×700	1000× 1000	900×900	1000× 1000
外形尺寸/mm	1050× 610× 2180	2530× 1270× 2645	1400× 970× 2478	1950× 1700× 3350	2650× 1000× 3700	2613× 2540× 3670	1800× 2800× 4270
机器质量/t	1.2	3.5	1.5	4	8	8	14

5. 模压工艺置备回收塑料制品的典例

【例 1】 压制回收 PVC 板材，由片材起始的层压工艺流程：

片材坯——>层压——>冷却——>锯切

置备片材坯可由不同的工艺流程实施：

- ① 回收破碎料——>配合——>捏合——>开炼——>放片
- ② 回收破碎料——>开炼——>压延——>片材坯
- ③ 回收再生粒料——>挤出——>T 形口模——>片材坯
- ④ 破碎粒——>配合——>捏合——>密炼——>开炼——>压延——>片材坯

可根据所具备的设备条件，适当选用上述制备片材坯工艺。

- ①法制片材坯的生产效率低，劳动强度大，适用于小型压制板材。
- ②工艺是多台套开炼机供应压延机混熔体，须依据开炼机及压延机的规格计算如何匹配供料。

生产回收 PVC 层压板材的关键过程是层压工艺的调控。根据

压制硬板的生产实践，压制较厚硬板（如在 40mm 以上者）时，为避免板材在压制过程中受高温时间太长，引起成品面层料片分解变色而影响质量，在热压时应按 3 个加温加压阶段操作。

（1）低温预热阶段 使热量从料片面层向中间层传热，温度范围在 130~140℃，压制压力为 2~3MPa，并使其保持在这个压力值上。

（2）中温传热阶段 加快传热，使板材中间层接近塑化温度，温度范围在 160~165℃，压制压力控制在 1~1.5MPa。如果料片外胀，可适当减压。

（3）高温塑化阶段 使料片达到熔融流动状态，温度可达 170~175℃，若填充量大，可适当增高温度，压力逐次增加到 1.5~2.0MPa。

【例 2】 废旧 PVC 微孔拖（凉）鞋的模压发泡成型

PVC 是制鞋工业的重要原料，但废旧 PVC 塑料由于受到热氧老化等原因，使其耐屈挠性能更差，难于直接用来做泡沫塑料鞋底。用弹性体进行共混改性，可以制得综合性能良好、耐屈挠和耐磨性突出的泡沫塑料鞋。

工艺流程如下：

改性料制备——丁腈橡胶（NBR）——三段塑炼（38℃）——停放——开炼（150℃辊温）+CPE 均匀的共混胶片——捏合

回收 PVC 粒料——适量 PVC 树脂（XS-3 型）+助剂（稳定剂 DOP、DCP、AC）捏合后 +活化 CaCO_3 ——双辊混炼——混合+改性料以后放片、停放、切坯片、热压机发泡、冲切、打眼、组装、检验、包装

配合中 PVC 树脂的加入量应依回收 PVC 料的质量而酌定，如回收 PVC 质量较好时，PVC 树脂可以少加。改性料的比例可在 10% 左右。

在双辊混炼时，注意温度控制和混炼时间，防止发泡剂在混炼时分解。在操作时可调小辊距、打 6 次三角包，既可使偶氮双甲酰胺（AC 发泡剂）等各助剂分散均匀，又可缩短熔混体在辊上的停留时间。

发泡的坯片不宜长时间放置，应随时出片、随时发泡成型，如

果未发泡的片材放置时间超过 24h 则会影响发泡,使发泡率变小、硬度变大。

【例 3】 模压法制回收 PE 盆

工艺流程如下:

回收 PE 膜 (清洗、干燥) → 配合 → 开炼 → 模压 → 带压冷却定型 → 修边

该工艺的优点是操作方便、设备投资少,可直接用洗净的 PE 膜,不需切碎,配合中可加入适量防老剂、色料、活化填充剂。辊温 145~155℃,混匀后取下熔混体,趁热放入待压制的压机平板间的模具内 (阴模),合模加压、定型。除制取盆外,如盘、海洋养殖业的某些用品也用此工艺置备。

【例 4】 模压法制回收改性 PE 微孔鞋底

1. 基本配方 (见表 3-67)

表 3-67 模压法制回收改性 PE 微孔鞋底配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
回收 PE 鞋底	100	SA	1.0
三号烟片胶	10~15	ZnO	1.0
EVA	5~10	CaCO ₃	30~40
AC	5~6	氧化铁红	0.5
DCP	0.7~1.0	尿素	1.5

2. 工艺流程:

橡胶 → 开炼 → 废鞋底料 → EVA → 其他添加剂 → 薄通 6 次 → 出片 → 切料坯 → 放片、挠压、冲切

开炼时先加橡胶,并使其包辊,然后按工艺流程加入各组分,注意辊温应控制在 130℃,出片后应使坯片厚度在 2mm 左右,按模框大小切坯片,在热压发泡时,控制温度在 160℃ 左右,时间 10~16min。

除使用三号烟片胶外,也可用顺丁橡胶或丁苯橡胶代替烟片胶。选择 EVA 时 VA 含量应在 15% 左右,过高的 VA 含量因与回收 PE 塑料相容性差而影响发泡鞋底质量。

【例 5】 用热挤冷压法制回收 PE 再生钙塑箱

1. 基本配方（见表 3-68）

表 3-68 热挤冷压法制回收 PE 再生钙塑箱配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
回收 PE 再生粒料	100	SA	1
HDPE 树脂	10~20	石蜡	1
活化 CaCO_3	30~80	氧化铁红	0.5

2. 工艺流程：

捏合——→挤出料坯——→压机压制——→修边

捏合设备的型号应与挤出机规格、压机规格相匹配。直接用回收 PE 粉碎料时，为使回收 PE 料与其他组分混炼均匀，应使用螺杆长径比较大的挤出机。

采用热挤冷压法可以生产多种再生塑料制品，该工艺比用开炼法塑化再压制的流程生产效率高、劳动力省。

【例 6】 用包装废弃塑料材料制新型环保分类垃圾桶

其桶身原料来自牛奶利乐包、易拉罐、食品包装袋、一次性快餐盒等铝、塑、纸材料，经过细碎、加热、压制等一系列技术工艺制造而成。

这种材料不仅变废为宝，而且防水、防潮、耐酸碱、可清洗，强度可达到中密度纤维板的国家标准。按照垃圾桶制成所需材料换算，一个环保垃圾桶相当于节省 30~50kg 铁矿砂。

另外，利用废旧塑料制作的庭院家具，深受用户欢迎。这种家具外观漂亮、颜色鲜艳，而且不弯翘、不易脆断、不褪色等，比一般室外用木制家具更经得起风吹日晒，使用寿命也更长，其价格与中高档木制家具差不多，用废旧塑料制成家具，材料来源广，还可节约木材，有利于保护环境。

回收的废旧塑料，主要是通过上述这些成型方法加工成各种制品而再生利用的，即充分地利用了可贵的资源，也防止废旧塑料对环境的污染。

思 考 题

1. 再生塑料制品一般生产工艺过程？
2. 废旧塑料制成再生料的两种途径？
3. 废旧塑料加工前干燥的目的及方法？
4. 塑化、均化的目的？
5. 捏合机、高速混合机、开炼机、密炼机设备特点及应用？
6. 简述造粒工艺方法？
7. 挤出成型工艺过程？
8. 挤出成型制品种类？
9. 挤出机的组成？
10. 挤出机的主要技术参数？
11. 何谓挤出机螺杆的长径比？
12. SJ—45×25 为挤出机型号，各代表什么？
13. 薄膜和片材的厚度区别？
14. 吹塑薄膜上吹、平吹、下吹工艺过程及适应哪些材料？
15. 什么是吹胀比、牵伸比？应如何控制？
16. 人字板的角度如何控制？
17. 挤管冷却装置的设置？
18. 画出三辊压光机的排列形式图，并说明三个辊的作用？
19. 挤出软管控制要点？
20. 挤出机开车前都有哪些准备工作？
21. 挤出机生产操作工须知？
22. 开首班车时，挤出机的操作顺序？
23. 挤出机生产操作工注意事项？
24. 注射成型工艺的特点？
25. 注射成型嵌件预热的目的？
26. 清洗注射料筒注意事项？
27. 注射成型工艺过程？
28. 注射成型温度、压力控制要求？

29. 掌握注塑机主要参数的意义？
30. 注塑机操作工注意事项？
31. 注塑机 4 种操作方式如何应用？
32. 注塑机的生产操作规程？
33. 吹射成型工艺适应哪些回收塑料材料？
34. 吹塑薄膜工艺原理？
35. PVC、PP、PE、PA 薄膜吹胀比的控制方法？
36. 吹塑薄膜温度控制原则？
37. 中空吹塑要控制好哪些工艺条件？
38. 影响中空吹塑加工稳定性和制品质量的主要因素有哪些？
39. 什么是挤出、吹塑、中空吹塑、压延成型方法？
40. 压延成型生产工艺流程及特点？
41. 压延成型过程中要注意哪些操作要点？
42. 四辊压延机辊筒排列方法及对制品精度的影响？
43. 压延机辊温、辊速如何控制？
44. 压延机生产操作顺序？
45. 压延机生产操作注意事项？
46. 什么是浇铸成型、发泡成型、热成型？
47. 浇铸成型方法？
48. 发泡成型种类及特点？
49. 热成型加工过程？
50. 热成型有哪些方法及区别？
51. 热成型工艺可使用哪些回收塑料？
52. 举例说明回收废旧塑料使用挤出成型、注射成型、中空吹塑成型、压延成型、热成型生产的例子。

第四章 废旧塑料的改性利用

废旧塑料通过预处理及各种成型方法，可直接再生利用制得制品，采用直接利用的方法，再生制品的成本较低，但再生料的制品力学性能大大下降，不适合制作高档次的制品。

要改善再生料的基本力学性能，满足专用制品的质量需要，要采用各种改性方法，如通过不同树脂的共混合使性能互补，填加具有一定活性的填充料进行填充改性，用纤维进行增强改性，用弹性体增加废旧塑料的韧性，加入热稳定剂改善加工性、增加其耐热性及耐光性及化学改性等改性方法，使废旧塑料制成再生制品，性能达到或超过原树脂制品的性能。

第一节 废旧塑料的物理改性利用

一、成型前的预处理

不同热塑性树脂成型前的预处理也各不相同，如 PP、PE、PS 粒状树脂可直接注塑、挤出成制品；有时需添加色母粒、各种功能性母粒（如防雾滴母粒和除草母粒等）、钙塑填充母粒等各类母粒；有些易吸水树脂粒料成型前需进行烘干以除去吸附的水分，如 PA 类树脂等。

有些粉末状树脂在成型加工前需进行配方设计、干燥、筛选、磨浆、捏合、塑化、造粒等 7 个工序的预处理。当然，有的只经过其中的 3 个工序，如配合、捏合和造粒。

对于再生料成型前的预处理虽可借鉴于原树脂成型前的预处理，但对于不同种再生料和同种再生料制备不同制品，其成型前的预处理也是不相同的。

1. 配料

回收的废旧塑料经一系列前处理得到干燥的粉碎料，或直接塑化成型，或经造粒后再成型。在造粒前或由粉碎料直接塑化成型之前，往往需要进行配料，即加入各类配合剂。一般说来，配合剂有稳定剂（防老剂）、着色剂、润滑剂、增塑剂、填充剂和各类改性剂等。

这 6 大类配合剂可针对不同再生塑料制品的实际用途进行选择 and 配合设计。

废旧塑料制品一般都有不同程度的老化。为了保证再生塑料制品的稳定性能，应当加入稳定剂。稳定剂的种类很多，有热稳定剂、防紫外线稳定剂等。

使用稳定剂时，应注意稳定剂的毒性和污染性，如再生 PVC 料中的碱式铅类稳定剂有一定毒性，不宜作与食品接触的塑料制品；弹性体的防老剂中 4010 颜色深，不宜作浅色制品。再生 PVC 料中可选取配合碱式铅类、脂肪皂类、复合稳定剂，PE、PP 再生料可用 1010 防老剂。

在实际操作中，稳定剂用量比例很少，为充分发挥其作用，应设法使其分散均匀。把稳定剂制成浓缩稳定剂母粒较为方便，配合时只要加入该母粒即可。

废旧塑料常有一定程度的污染，故常选用深色着色剂，如炭黑、铁红、酞菁紫、塑料棕。用较干净的再生料置备再生型色母粒的效果好，工艺操作合理。

润滑剂也是回收料中不可缺少的助剂。再生的 PVC 料中加入极性润滑剂比非极性者效果好，如用氯化石蜡比用普通石蜡对 PVC 的润滑作用好。而对 PP、PE、PS 再生料则用普通石蜡即可，若用低分子量聚乙烯（LMPE）蜡效果会更好，但成本高。

回收 PVC 料往往需要增塑剂。由于小分子增塑剂（如 DOP、DBP 等）易在制品使用中发生迁移现象，所以对再生 PVC 制品有时需补充一定量的增塑剂，增塑剂的加入量是由再生 PVC 制品要求的硬度决定的。另外，应考虑回收的 PVC 制品中软、硬制品的

比例。由于 PVC 膜、革、壁纸类与硬质 PVC 管、异型材类中残留增塑剂很不同，所以若将适量软 PVC 回收制品与硬 PVC 回收制品掺用，可以减少或不用增塑剂。

在再生料中加入填充剂（如碳酸钙、陶土、滑石粉、硫酸钡、赤泥、木粉等）时，应注意 3 个问题。①注意回收料中钙塑回收品的比率，如地板砖中已含大量的填充剂，不宜再加入相应的填充剂；②在不影响加工流动性并保证其基本力学性能指标的前提下，可以适当增加填充量；③填充剂应经偶联剂（如钛酸酯偶联剂）活化，针对不同种填充剂，选择适宜型号的钛酸酯。

2. 捏合

再生回收料与各类配合剂的捏合是十分重要和必要的，它能使需要配合的各组分在塑化混熔前达到宏观上的均匀分散而成为一个均态多组分的混合物。在选定捏合设备与配合组分后，捏合的效果主要取决于捏合工艺（如捏合温度、时间、加料顺序、搅拌速度等）的控制。

回收塑料的捏合一般在混合造粒之前，如果再生料粉碎后不需造粒而直接加工成型，那么捏合后成型。如果回收料进行原位反应挤出的改性，则应将有关在另外加料口单独加入的配合剂分开；另外，需进行动态硫化时，也应将交联剂组分分开，以便适时加入。

捏合工序的捏合温度、时间、搅拌速度、加料顺序等的操作及控制可参照原树脂捏合工艺进行。

3. 造粒

不论何种废旧塑料制品，在制备回收废旧塑料的再生粒料前，首先应进行预处理，鉴别、分检、清洗、粉碎或切碎（硬制品通过破碎而粉碎，软制品进行切碎），然后经过两段热干燥，使水分含量不超过 0.5%，这样的回收碎料称为前处理料。

将前处理料经过其他组分的配合与捏合即可造粒。有的回收料（如回收 PVC 软制品）也可不经过切碎而直接用开炼机塑化、放片、切料。各类品级的回收料或前处理料的造粒工艺如下：

配合剂、改性剂、母粒



PP、PE 前处理料→配合→捏合→挤出→切粒

制备 PP、PE 的再生钙塑粒料可采用开炼或密炼工艺，其工艺流程基本相同，只是捏合后经开炼机塑化、混炼、放片后切粒，也可由密炼机塑化、混炼，接开炼机放片后切粒。

回收 PVC 料因其熔体黏度高，适宜在开炼机上人工控制，不论是否是钙塑再生料，皆可采用开炼工艺，流程如下：

配合剂、改性剂、增塑剂、母粒



PVC 前处理料→配合→捏合→挤出→切粒→冷却

或 PVC 前处理料→配合→捏合→开炼→放片→切粒

对回收料的造粒需注意以下事项。

(1) 强喂料 为防止轻质薄膜类回收前处理料在喂料时产生“架桥”现象，可在挤出机上通过喂料螺杆预压缩，使物料压实，喂料螺杆的速度应与挤出造粒速度相匹配。

(2) 采用排气式挤出机 无论使用单螺杆挤出机还是使用双螺杆挤出机，都应是排气式的，尤其是在回收料中有一定量的水分、易分解和易挥发成分时，其水分和挥发分得以及时由螺杆挤出机排出。

(3) 熔体过滤 获得高质量的再生粒料需要进行熔体过滤，以清除其中的杂质。熔体的过滤装置可采用间歇或连续过滤网设备。间歇式因更换网时需中断熔体流动，对热切造粒有不利的影响。

若采用双螺杆挤出机，以螺杆反向旋转式塑炼为好。双螺杆挤出机比单螺杆挤出机能耗低、效率高。反向式双螺杆挤出机不是靠摩擦产生对物料的剪切力，即不取决于进料和塑炼，故可采用多处进料口，这对于进行原位反应挤出或动态硫化工艺都是适合的。

二、共混改性

是由两种或两种以上的聚合物通过共混合而得到的聚合物称为共混聚合物（也可称为高分子“合金”），“合金化”是改善聚合物

性能的重要途径，塑料合金一词是流行于塑料工程界的一种俗称，无严格定义，实际是泛指以聚合物共混物为基本成分组成的塑料。聚合物通过共混改性获得了许许多多性能卓越的新材料，研究其改性原理、制造技术与设备以及发现开拓新的共混改性品种已成为高分子材料科学的重要分支。相应地，塑料合金也就同样成为塑料工程界的关注焦点。

最早实现工业化生产的塑料合金是 ABS 塑料，经过几十年的探索与发展，到了 20 世纪 80 年代，塑料合金才真正进入大规模、多品种生产与广泛实用化阶段，近十年更有突飞猛进之势。

塑料合金的制造方法综合于表 4-1 中，在该表中同时介绍了各种方法的特点，表 4-2 则列出了重要的塑料合金品种、组成、制法、性能及应用范围。

(一) 塑料合金制法

表 4-1 塑料合金制法一览表

方法分类		基本概念及特点
物理法	干粉共混	将两种或两种以上品种不同的细粉状聚合物在各种通用的塑料混合设备中加以混合,形成各组分均匀分散的粉状聚合物混合物的方法;必要时也可同时加入各种助剂一起共混,此法简单易行,但要求原料应为细粉状;由于混合分散效果达不到制造塑料合金的要求,故一般仅作为熔体共混的预备工序
	熔体共混	将共混所用的聚合物组分在它们的黏流温度以上用各种塑料混炼设备制取各组分均匀分散的聚合物共熔体,然后再冷却、造粒的方法;此法为制造塑料合金的最重要方法,其工艺简单,操作方便,混合分散效果好;常用的设备为开放式双辊塑炼机及双螺杆挤出机
	溶液共混	将各原料聚合物组分加入共同溶剂中(或分别溶解、再混合)搅拌溶解混合均匀,然后加热蒸发溶剂或加入非溶剂沉淀制取聚合物共混物的方法;此法因消耗大量溶剂并受聚合物溶解性能的限制而不宜工业化应用,但用于试验研究聚合物之间的相容性及形态则非常方便
	乳液共混	将不同种类聚合物乳液搅拌混合均匀后,加入凝聚剂使各种聚合物共沉析以形成聚合物共混物的方法;当原料聚合物为聚合物乳液或聚合物共混物将以乳液形式被应用时,此法最为有利;一般情况,难以普遍推广

方法分类		基本概念及特点
化学法	共聚-共混	将聚合物组分Ⅰ溶于聚合物组分Ⅱ的单体中,形成均匀溶液后,再引发单体与聚合物组分Ⅰ发生接枝共聚,同时单体还会发生自聚;此共混体系由聚合物Ⅰ、聚合物Ⅱ以及它们的接枝共聚物组成;由于接枝共聚物起到两种聚合物增容剂的作用,此法产物性能一般优于物理共混法的产物;共聚-共混法所用设备及生产工艺较复杂,使其应用受到一定限制
	间充聚合 (互穿聚合物网络-IPN法)	这是一种以化学法制取物理共混物的方法,其典型操作是先制备一交联聚合物网络,将其在含有活化剂和交联剂的第二种聚合物单体中溶胀,然后聚合,于是第二步反应所产生的聚合物交联网络与第一种聚合物交联网络相互贯穿,形成聚合物共混物,但两聚合物网络之间无化学键;此法可得到均匀分散、形态稳定的共混体系,性能协同效应得到充分发挥;目前应用尚不够普遍
	反应增容	对于相容性不良的聚合物对,可加入增容剂促进两者相容,以达到改性的目的;反应增容的概念包括外加反应性增容剂与共混聚合物组分反应而增容以及使共混聚合物组分官能化,并凭借相互反应而增容;反应增容拓宽了可共混改性的聚合物的范围,强化了组分之间相容性,改性效果卓越;此法发展时间不长,应用领域正在不断扩大;反应容易伴随副反应,且共混条件必须严格控制为其主要缺点

表 4-2 主要塑料合金品种简介

品种	组 成	性能特点及应用范围	
聚乙烯系 列合金	HDPE/LDPE	HDPE 强度大与 LDPE 柔软性好,可互补,主要用于制造容器、薄膜	
	PE/EVA	改进 PE 的柔性、加工性、透气性及印刷性,主要用于泡沫塑料的制造	
	PE/CPE	提高 PE 的耐燃性、韧性及印刷性,用于耐燃 PE 制品的制造	
	PE/SBS	改善 PE 的韧性,提高冲击强度,主要用于生产容器,注塑制品	
	PE/PA	提高 PE 对氧及烃类溶剂的阻隔性,主要用于容器制造	
	LLDPE/LDPE	LLDPE 高拉伸强度、耐穿刺性与 LDPE 良好加工性能互补,主要用于生产高强度超薄地膜	
品种	组 成	性能特点及应用范围	制造方法
聚丙烯系 列合金	PP/PE	改善 PP 的韧性,主要用于注射成型制品	熔体共混
	PP/EPR 及 PP/EPDM	提高 PP 的韧性,耐低温脆裂性,用以制造汽车保险杠等工程部件	熔体共混及共聚-共混
	PP/SBS	提高 PP 的冲击强度,主要用于制造抗冲制品	熔体共混,常用双辊塑炼机

品种	组 成	性能特点及应用范围	制造方法
聚丙烯系列合金	PP/NBR	耐油性卓越, 韧性较好, 适用于耐油抗冲制品	反应增容, 熔体共混
	PP/PA	改善 PP 耐磨性、耐热性和着色性, 可用于生产工程制品	反应增容, 熔体共混
聚氯乙烯系列合金	PVC/EVA	改善 PVC 的柔韧性, 可用于生产柔性好、耐寒性较好的 PVC 管、板等制品	熔体共混或接枝共聚-共混
	PVC/E-VA-CO	改善 PVC 的柔韧性, 适宜制造柔性 PVC 制品, 例如鞋底、软管、密封件等	熔体共混
	PVC/CPE	提高 PVC 冲击强度, 共混物具有良好阻燃性、耐候性, 用于制造异型材、管、板等制品	熔体共混
	PVC/NBR	抗冲、耐油性优良, 主要用于生产管、卷材、泡沫塑料、密封件等制品	熔体共混, 常用双辊塑炼机
	PVC/ABS	综合了 PVC 阻燃、耐腐蚀、价廉与 ABS 抗冲、耐低温、易加工的优点, 用于制造机械零部件、纺织器材、箱包等	熔体共混
	PVC/MBS	与 PVC/ABS 性能类似, 但透明性好, 适宜生产要求透明且抗冲性好的制品	熔体共混
聚苯乙烯 (PS) 系列合金	PVC/ACR	有改进 PVC 韧性及改进 PVC 加工性两种类型, 适宜制造透明、抗冲制品	熔体共混
	PS/PPO	改善 PS 的耐热性、抗冲性、耐环境应力开裂性和尺寸稳定性, 用于制造抗冲、透明制品	熔体共混
	PS/SBR	此共混物为高抗冲 PS(HIPS), 适宜制造机械零部件、纺织器材、仪器外壳等	共聚-共混或熔体共混
	AS/NBR(ABS)	ABS, 典型的塑料合金, 用于制造机械零部件、仪表盘、电子制品配件、管、板、箱包等	共聚-共混或熔体共混
其他重要品种合金	ABS/PVC	改善 ABS 阻燃性, 耐腐蚀性, 适宜制造阻燃电器材料、工业零部件	熔体共混
	PA/PE(及 PA/PP)	改善 PA 的吸湿性大, 湿态强度低的缺点, 适宜制造在潮湿环境下使用的机械零部件	反应增容, 熔体共混
	PA/ABS	此合金具有较 PA 高的热变形温度, 同时加工流动性好, 主要用于生产汽车及一般工业零部件	熔体共混
	PA/E	E(弹性体)改善了 PA 的柔韧性, 适用于生产汽车及机械零部件	反应增容, 熔体共混

品种	组 成	性能特点及应用范围	制造方法
其他重要品种合金	PA/PPO	冲击强度高,抗蠕变能力强,尺寸稳定性好,耐热性高,用于制造机械零部件	熔体共混
	PC/PE	抗冲性、耐沸水性、耐候性均优,宜制机械零部件、板、管、安全帽等	熔体共混
	PC/ABS	具有良好抗冲性、刚性、耐挠曲性,用于制造汽车、机械零部件	熔体共混
	PPO/PS	改善 PPO 加工流动性,保持了较好冲击性能、耐热性能,适宜制造机械零部件	熔体共混
	PPO/PA	优良的力学性能、耐热性、耐油性和尺寸稳定性,用于制造汽车外装材料	反应增容,熔体共混

(二) 相容剂

塑料制品在我们的生活中几乎是无处不有, 目前尽管已经提出要分类加以回收再利用, 但绝大多数的使用者不具备分辨塑料制品种类的能力, 所以, 除工厂的废塑料制品和大量单一使用某种塑料制品的用户外, 回收的废旧塑料有相当一部分是混杂的。这些种类各异、相互混杂的塑料垃圾如果单纯凭借肉眼识别、人工分拣, 劳动强度和分拣难度相当大, 且不可能大规模生产。

在废旧塑料回收利用中, 虽然希望获得单一品种的废旧塑料, 但是还有近 10%~30% 的其他品种塑料混杂在其中, 而且这部分混杂塑料也不大容易分离干净, 这势必会影响塑料的加工性能和力学性能, 因此, 在该体系中加入相应的相容剂来改善这种情况, 利用相容剂在聚合物与聚合物之间起“桥联”作用, 降低两相或多相间的界面张力, 或产生化学键及物理键, 达到多元体系相容的目的。

随着高新技术的发展, 聚合物材料应用范围的扩大, 对聚合物材料提出了功能化、高性能化的要求。单一聚合物材料已无法满足需要, 而开发一种全新的合成材料投资大、周期长, 性能又未必理想, 因此世界各国利用现有聚合物制造聚合物合金, 作为开发高性能高分子材料的途径。近年来, 聚合物合金开发工作相当活跃, 产品种类繁多, 应用广泛, 可使用现有设备, 使其达到研制开发周期

短、投资省、见效快。据估计，将有一半以上的工程塑料成为合金得到广泛应用。已广泛应用于汽车、电子电器、机械工业和尖端技术等领域。

但由于大多数聚合物为互不相容的分离体系，因此聚合物共混的关键是使非相容体系尽量接近相容体系。相容技术的核心之一，是在不相容的聚合物体系中加入相容剂。由于相容剂技术是制造聚合物合金技术的核心，因此，相容剂的开发和应用就成为多组分混杂塑料开发应用的首要任务。

1. 通用相容剂的种类

在聚合物共混体系（多组分废旧塑料）中加入第三组分，使本来相容性较差或不相容的聚合物组合成相容性较好的体系，并获得卓越性能。这些能够增加某些高聚物共混体系相容性的第三组分，通常称为该共混体系的相容剂。所谓相容剂，广义地说，是指与两种聚合物组分都有较好的相容性或黏合性，可降低界面张力，增加两种或两种以上聚合物的相容性的物质。相容剂的作用是在原料聚合物之间进行“桥联”，具有乳化作用，降低界面张力；或与原料聚合物反应产生化学键而相互结合；或兼具乳化和反应两种功能。随着聚合物合金的不断发展，促进了相容剂研究开发的速度。许多功能各异的相容剂已先后商品化，并获得实际应用。相容剂归纳起来可分为高分子相容剂和低分子相容剂。高分子相容剂是当前聚合物合金开发中的研究重点，可分为反应型和非反应型两种，其分类如图 4-1 所示。反应型和非反应型相容剂的优缺点示于表 4-3。

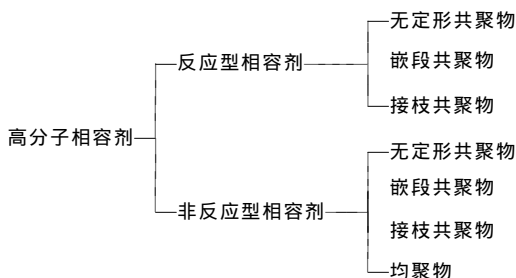


图 4-1 高分子相容剂的分类

表 4-3 反应型和非反应型相容剂的优缺点

类型	反 应 型 相 容 剂	非反应型相容剂
优点	用量少,效果好,相容性极差的聚合物体系有可能微观分散	混炼、成型条件容易
缺点	价格稍高,副反应引起物性降低的可能性大,必须控制混炼、成型条件	添加量较大

(1) 反应型相容剂 反应型相容剂是指本身含有反应基团,在聚合物混炼时能与原料聚合物发生化学反应,形成化学键,从而提高相容性。国外很多公司对反应型高分子相容剂的开发相当重视,日本、美国和英国等国家都向市场提供了较多的品种。常用反应型高分子相容剂见表 4-4。

表 4-4 常用反应型高分子相容剂

聚合物 A	聚合物 B	相 容 剂
PP 或 PE	PA-6 或 PA-66	PP- <i>g</i> -MA, PP- <i>g</i> -AA, EAA
PP 或 PE	PET	PP- <i>g</i> -AA, 含羧基 PE
ABS	PA-6	PMMA- <i>g</i> -(羧基改性丙烯酸聚合物)
PBT	PA-6	PS- <i>co</i> -MA- <i>co</i> -GMA
PPE	PA-6 或 PA-66	SEBS- <i>g</i> -MA
PPE	PBT	PS- <i>g</i> -(环氧改性 PS)
NR	PE	PE- <i>g</i> -MA/ENR
PBT	PA-6	PCL- <i>co</i> - <i>s</i> - <i>co</i> -GMA
PS+PPE	EPDM 的磺酸锌盐	PS 的磺酸锌盐
PS+PE	EPDM- <i>g</i> -二乙基乙烯基磷酸盐	PS 的磺酸盐+硬脂酸锌
PA	PS	P(St-MMA), MA- <i>g</i> -PS
PA	EPR 或羟基丙烯酸橡胶	MA-EPR
PC	PA	P(MA-芳基化合物)

注: AA 为乙醛; ABS 为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物; EAA 为乙烯-丙烯酸共聚物; ENR 为环氧化天然橡胶; EPR 为乙丙橡胶; EPDM 为三元乙丙橡胶; GMA 为甲基丙烯酸缩水甘油酯; MA 为丙烯酸甲酯; MMA 为甲基丙烯酸甲酯; NR 为天然橡胶; PA 为聚酰胺; PBT 为聚对苯二甲酸丁二醇酯; PC 为聚碳酸酯; PCL 为聚己内酰胺; PPE 为聚苯醚; PS 为聚苯乙烯; SEBS 为苯乙烯-乙烯/丁二烯-苯乙烯三嵌段聚合物; St 为淀粉; -*co*-表示共聚; -*g*-表示改性; -*s*-表示硫化。

已开发的反应型高分子相容剂的特点归纳如下:

- ① 烯烃和苯乙烯系树脂采用共聚法引入羧酸（酐）者居多；
- ② 反应型高分子相容剂用于 PA 与聚烯烃或苯乙烯系树脂共混者居多，用于热塑性聚酯和其他工程塑料共混则相对较少，其中有些属于氢键键合增容；
- ③ 添加量少，效果明显，而且成本不高，一般加入 3%~5%（质量分数），最多可达 20%左右；
- ④ 反应型接枝共聚物相容剂居多，嵌段共聚物占少数；
- ⑤ 使用反应型高分子相容剂时副反应多，可能影响合金性能和质量，混炼和成型条件不易控制；
- ⑥ 应用广泛，不仅可以使聚合物合金具有各共混组分的优良性能，还可以增加或改善某些性能，并兼具其他用途，如涂料、表面改性剂等。

（2）非反应型相容剂 非反应型高分子相容剂是指那些不含反应基团，在混炼过程中不参加化学反应的聚合物。它通过对原料聚合物的乳化作用提高体系相容性。非反应型相容剂多为接枝共聚物和嵌段共聚物。

接枝共聚物的支链和主链的分子量、支链的数目及其分布等结构特征对增容效果的影响较大。支链分子量过大、数目过多时，会阻碍主链对原料聚合物的贯穿。因此，嵌段共聚物的增容效果比接枝共聚物好，而且纯的双嵌段共聚物比多嵌段共聚物更好。当双嵌段共聚物链段长度相等时，增容效果最佳。

从非反应相容剂的组成来看，它可以分为 3 种（见表 4-5）。

表 4-5 非反应型高分子相容剂

类 型	聚合物 A	聚合物 B	相容剂
AB 型	PS	PMMA	PS- <i>g</i> -PMMA
	PS	PB	PS- <i>g</i> -PB
	PS	PEA	PS- <i>g</i> -PEA
	PDMS	PEO	PDMS- <i>b</i> -PEO
	PP	PA-6	PP- <i>g</i> -PA-6
	PE	PS	CPE-SEBS
	PS,PP 或 LDPE	PVC	PCL- <i>b</i> -PS-CPE

类 型	聚合物 A	聚合物 B	相容剂
AC(ABC)型	PE	PP	EPDM
	SBR	SAN	BR- <i>b</i> -PMMA
	PS-MMA	PC	PS- <i>b</i> -PBA
	PPE	PVDF	PS- <i>g</i> -PMMA
CD 型	PVC	BR	EVA
	PVC	LDPE	氢化 PB-PCL
	PMMA	PP	SEBS

注：CPE 为氯化聚乙烯；BR 为丁基橡胶；EVA 为乙烯-乙酸乙烯酯共聚物；PB 为聚丁二烯；PBA 为聚对苯甲酰胺；PDMS 为聚二甲基硅氧烷；PEA 为苯乙醇；PEO 为聚乙二醇；PVDF 为聚偏（二）氟乙烯；SAN 为苯乙烯-丙烯腈共聚物；SBR 为丁苯橡胶；-*b*-表示共混；-*g*-表示改性。

AB 型相容剂是由原料聚合物 A、B 经接枝或嵌段而成，A(B) 链段与聚合物 A(B) 具有良好的相容性。这类相容剂实际应用较少。AC(ABC) 型相容剂是由单体 A、C(A、B、C) 或相应的聚合物经接枝或嵌段共聚而成，它也适用于聚合物 A、B 组成的混合体系，链段 C 可溶于 B 或与 B 有强烈的相互作用。CD 型属于新型相容剂，链段 C、D 可分别与聚合物 A、B 相容，它适用于聚合物 A、B 不易共聚的场合。

通过大分子单体法合成的帘状或梳型接枝共聚物是一种优良的相容剂，增容效果优于普通的嵌段共聚物和接枝共聚物，结构规整，且相容性可调整。

相容剂可归纳成如下几个类型：与塑料合金成分相同的相容剂；与塑料合金成分相容的其他成分或部分相同于合金成分的相容剂；不是预先添加相容剂，而是在掺混时通过高分子间的反应，部分形成接枝共聚物或嵌段共聚物而起相容剂作用等。

2. 塑木材料专用相容剂

目前世界各国对各种废旧塑料污染进行了全方位治理，并已取得了一定的成效，其中用木粉或植物纤维填充，经专用设备挤出、压制或注射成型，可用来在某些场合替代木材制品的塑木制品尤为实用。该成果是近年来国外发展较快且经济效益显著的实用型新技

术，主要应用在建材、汽车工业、货物的包装运输、装饰材料及日常生活用具等方面，产品可制成板材、型材、片材、管材等，并具有木材的加工优点。后文将对塑木材料专用相容剂稍作介绍。

木粉与废旧塑料复合材料的开发与研究不但可以提供充分利用自然资源的机会，而且也可以减轻由于废旧塑料而引起的环境污染，因此，这种塑木复合材料是一种节约能源、保护环境的绿色环保材料。木粉作为塑料的一种有机填料，具有许多其他的无机填料所无法比拟的优良性能：来源广泛、价格低廉、密度低、绝缘性好、对加工设备磨损小。但它并没有像无机填料那样得到广泛应用，原因主要有与基体树脂的相容性差、在熔融的热塑性塑料中分散效果差、流动性差、挤出成型加工困难等。

随着塑木技术的不断发展和环保需求的日益提高，塑木技术已由单一组分的废旧塑料和木粉共混合生产塑木制品，向多组分废旧塑料和木粉共混合生产塑木制品过渡，这样多组分的废旧塑料间的相容性就变得十分重要。

由于木粉中主要成分是纤维素，纤维素中含大量的羟基，这些羟基形成分子间氢键或分子内氢键，使木粉具有吸水性，吸湿率可达 $8\% \sim 12\%$ ，且极性很强；而热塑性塑料多数为非极性的，具有疏水性，所以两者之间的相容性较差，界面的黏结力很小。使用适当的添加剂来改性聚合物-木粉表面，可以提高木粉与树脂之间的界面亲和能力，且改性的木粉填料具有增强的性质，能够很好地传递填料与树脂之间的应力，从而达到增强复合材料强度的作用。因此，要得到性能优良、符合条件的塑木复合材料，首先要解决的是材料相容性的问题。相容性问题主要靠加入各种添加剂来解决。

(1) 偶联剂法 偶联剂可以提高无机填料、无机纤维与基体树脂之间的相容性，同时也可改善木粉与聚合物之间的界面状况。硅烷偶联剂和钛酸酯偶联剂是目前应用最广泛的两类偶联剂。实验表明，这两种偶联剂都能改善填料与树脂的相容性。

(2) 相容剂法 加入相容剂是最简单而且很有效的方法。据报道，合适的相容剂有马来酸酐等接枝的植物纤维或马来酸酐改性的

聚烯烃树脂、丙烯酸酯共聚物、乙烯丙烯酸共聚物。这些相容剂中大部分含有羧基或酞基，能够与木粉中的羟基发生酯化反应，从而降低木粉的极性和吸湿性，使其与树脂有很好的相容性。

不同的添加剂的用量对复合材料的拉伸强度、相容性都有不同程度的影响，故筛选合适的添加剂至关重要。

偶联剂的用量与填料的活化效果并非成正比关系，而是与偶联剂在木粉颗粒表面的状况有关。木粉颗粒在基体中并不是理想的单独分散状态，而以某种聚集状态的形式存在。呈聚集态的木粉对填充体系流动性能的影响是不利的，可加入适量的硬脂酸来降低木粉颗粒的集聚数量，改善成团现象，使其向基体树脂中充分分散。此外，塑木复合材料在熔融状态时属于假塑性流体，随着剪切速率的增加，表观黏度下降。所以为了使填充体系具有良好的加工流动性能，应当尽可能采用较高的剪切应力，以降低填充体系的剪切黏度，使之适合于挤出成型加工，针对塑木加工工艺而开发专用相容剂是塑木生产技术的的一个重要方面。

(3) 实用的塑木用相容剂 现介绍 4 种用于塑木加工的复配相容剂：①氯化聚乙烯体系；②丙烯酸酯类体系；③EVA+丙烯酸酯+低分子乙烯聚合物体系；④脂肪酸酯+烯烃聚合物+活性剂体系。

相容剂和多组分废旧塑料加工工艺路线见图 4-2。

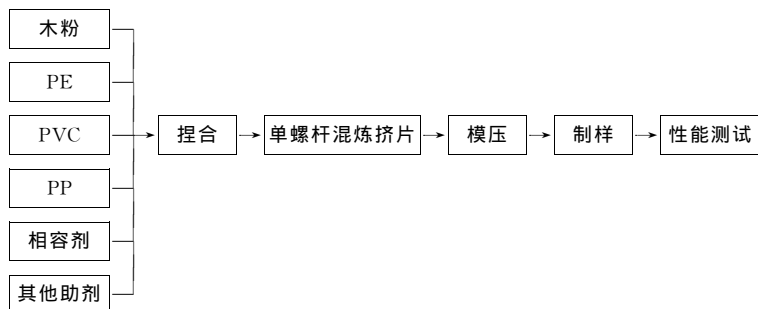


图 4-2 相容剂和多组分废旧塑料加工工艺路线

在实际生产使用不同种类相容剂体系，加入份数不同，对塑木

材料的冲击强度、弯曲强度和弯曲模量及热变形温度等指标都有一定影响。

氯化聚乙烯体系综合性能较好，在使用最低份数相容剂的条件下，基本达到生产要求的各项技术指标。在只添加较少的相容剂条件下就能达到实际的使用要求，这是较为理想的结果，且经济成本低，更有利于工业化生产。

丙烯酸酯体系改性塑木材料体系的性能也较好，各项指标可满足使用要求，但在相同份数基础上，与①相容剂价格相差较大，这样经济效益就无优势可言，因此，这类相容剂可作为备用替代品。

③和④相容剂的其他技术指标尚可，但热变形温度一项较差，不能达到塑木产品在某些场合的使用要求，而这又是很重要的一项指标，所以这两种相容剂还不很适用。另外，这两种相容剂加入后材料的弹性模量和弯曲强度都表现为高加入量才好，这不利于成本核算。

可见，以上四种相容剂中前两者较为理想，应优先考虑在塑木制品中使用。

现在再回到高聚物的共混合的问题上，高聚物共混合可以提高其某些性能，但会损失某方面的力学性能，回收单一聚合物其耐热性、耐冲击性、刚性、加工性等特性不能满足制品性能要求时，和其他聚合物共混可获得所需要制品的性能。可根据制品对力学性能的要求侧重点不同进行混合，如 PVC 与 ABS 共混可提高冲击性能，但模量下降。PE 与 PP 共混使 PE 制品力学性能、耐热性提高等，所以通过聚合物共混技术可制造性能良好的共混聚合物产品。另外，回收的塑料往往是多种塑料的混合物，使用共混技术制造良好的塑料产品即省去了塑料的分离工序，可以直接实施熔融共混并有选择性地加入某些再生塑料，以调节再生塑料合金的性能，降低了成本，又比用低分子助剂进行改性更持久，可以保持塑料制品的长期使用效能及充分发挥回收利用再生塑料的使用价值。

生产聚合物共混物常用混炼的设备有双辊开炼机、单（双）螺杆挤出机、密炼机等。

(三) 各种回收废旧塑料的共混合

1. 聚乙烯 (PE) 共混物

(1) 回收不同 PE 品种的共混物 PE 产品一般用低密度聚乙烯 (LDPE)、高密度聚乙烯 (HDPE)、线性低密度聚乙烯 (LLDPE) 制造, 回收后很难分离。对于 PE 制品大致可按以下方法鉴别: 硬质 PE 管材为 HDPE 制品; 农用 PE 膜为 LLDPE + LDPE 或 LDPE + HDPE; 食品包装袋为 LDPE 或 LDPE + LLDPE 或 HDPE 材料。可采用其共混合技术, 制成再生制品, 若回收塑料中混有 PP、PVC 制品, 必须将这两者挑选出来, 否则加工困难, 制品性能下降。

① LLDPE 与 LDPE 共混。a. 25% LLDPE + 75% LDPE 可生产吹塑地膜, 加入 LLDPE 可使地膜减薄 33%, 而拉伸强度提高 45% 以上, 直角撕裂强度提高 50% 以上。b. 20% LLDPE + 80% LDPE 可生产中空吹塑桶, 强度与纯 LDPE 相同, 但制品壁厚可减薄, 桶重可减少 12.5%。

② LLDPE + HDPE 共混。a. 50% LLDPE + 50% HDPE 可生产中空吹塑桶, 耐冲击性能比纯 HDPE 提高 3.1 倍, 由于 LLDPE 加入使熔体黏度降低, 易于加工成型, 生产周期缩短, 效率高。b. 20% LLDPE + 80% HDPE 可生产注塑周转箱, 箱的刚性、抗翘曲性和耐环境应力开裂性提高, 外观漂亮, 加工工艺条件易操作。

对于回收的 PE 制品, 可对其进行力学性能的测试, 如 MFR 值、拉伸强度、断裂伸长率、冲击强度等, 然后根据再生制品对性能的要求进行不同品种 PE 的共混合, 如需要较高的冲击性能, 可混入一定量的 LDPE 的再生料或原树脂, 需要较高强度值的, 可混入一定量的 HDPE 再生料或原树脂。

(2) PE 与聚酯 (PET) 共混 两者极性相差较大, 而且不相容, 共混物的力学性能较差, 而且两者熔点相差太远, PE 的熔点为 90~125℃, PET 的熔点是 254℃, 可加入少量其他共聚物提高相容性或其他性能, 如用乙烯与甲基丙烯酸缩水甘油酯 (E-GMA) 共聚物作混容剂, 可提高两者的相容性。配比为 PET : LDPE :

E-GMA=50 : 40 : 10, 其共混物具有良好的相容性, 大大提高冲击强度, 如果加入 5% 的 EVA, 其冲击强度也能提高。

(3) PE 与其他聚合物的共混

① PE 与 PP (1 : 1) 的共混物用乙烯-丙烯-丁二烯 (少量) 共聚物 (EPDM) 作混容剂。

② LDPE 与 PS 及 LDPE 与 PVC 的共混物可用氯化聚乙烯 (CPE) 作混容剂。

2. 回收聚丙烯 (PP) 共混物

回收 PP 力学强度和模量高于 PE, 但耐冲击强度、耐应力开裂性差, 成型收缩率较大, 低温易脆裂, 耐磨性不足, 热变形温度不高, 耐光性差, 不易染色等。通过共混对聚丙烯改性获得显著成效, 例如聚丙烯与聚乙烯、乙-丙共聚物 (EPR)、异戊二烯 (IR)、聚丁二烯 (BR) 等共混可改善其低温脆裂性, 提高冲击强度; 与聚酰胺 PA (商品名: 尼龙) 共混不仅增加韧性, 而且使耐磨性、耐热性、染色性获得改善; 与乙烯-乙酸乙烯酯共聚物 (EVA) 共混在提高冲击强度的同时, 改进了加工性、印刷性、耐应力开裂性; 可选择乙丙共聚物或 CPE 等作增容剂。聚丙烯的共混改性普遍采用机械共混。

(1) 聚丙烯与聚乙烯的共混 聚丙烯/聚乙烯共混物的性质受组分比例的制约, 其拉伸强度一般随聚乙烯含量增加而下降。但韧性有所提高, 例如掺入 10%~40% 高密度聚乙烯的聚丙烯共混物, 在 -20℃ 时落球冲击强度比聚丙烯提高 8 倍以上, 且加工流动性增加, 因而适合于大型容器的注射成型。聚丙烯钙塑塑料中掺入低密度聚乙烯也有良好的改性效果。

【例 1】 共混物聚丙烯钙塑材料管的生产

可以提高聚丙烯钙塑塑料的冲击强度、刚性、耐磨耗性能, 而且制品较透明。此种共混物钙塑材料管, 可采用表 4-6 的配方。

可采用原料混合、挤出造粒、挤出成型的工艺成型方法制取。

当回收的废旧塑料制品中, 仅含有 PP、PE 制品, 以 PP 废料为主体, 可无需分选, 将两种废旧塑料直接清洗、干燥、破碎, 加

入适量的乙丙橡胶作增容剂，即可得到较好冲击强度的 PP 共混聚合物。

表 4-6 聚丙烯/低密度聚乙烯钙塑管材参考配方

配 方	质量份	配 方	质量份
聚丙烯	90	重晶石粉	50
低密度聚乙烯	10	硬脂酸钙	1.5

当回收的聚丙烯废旧塑料中含有 PE 及 PVC 制品时，也无需分选，可制得多元 PP 共混聚合物，但需要加入 CPE 作增容剂，可提高共混聚合物的机械强度，还可以通过反应性挤出工艺，采用马来酸酐或马来酸酯进行接枝反应，工艺流程如下：

PP、PE、PVC 清洗、干燥、粉碎→挤出、塑化→在中间加料口加入马来酸酐（酯）、过氧化物接枝反应→均化→切料

该工艺特点：塑化、接枝反应与高聚物的共混合增容同时完成，加入马来酸酐（酯）的量应以回收 PVC 组分为基准。

使用单螺杆挤出机及双螺杆挤出机均可，但应是排气式并带中间加料口，便于加入试剂进行反应。单螺杆挤出机的螺杆长径比应在 40 左右。

（2）聚丙烯与乙-丙共聚物的共混 为了改善聚丙烯的冲击性能、低温脆性，可在其中掺入一定量的乙-丙共聚物，即制取聚丙烯/乙-丙共聚物（EPR）的共混物，但其共混物的耐热性及耐老化性能有所下降。选用 100 份聚丙烯回收料、30 份乙-丙共聚物，首先将乙-丙共聚物在混炼机上于 140℃ 初炼软化，然后升温至 175℃ 加入聚丙烯继续炼成均匀光滑薄片，最后拉片、造粒。也可使两种聚合物混炼后直接经挤出机造粒。

另一种常用作聚丙烯改性的乙-丙共聚物是含有二烯烃成分的乙-丙-丁二烯（少量）三元共聚物（EPDM），PP-EPDM 共混物的耐老化性能超过 PP-EPR 共混物。此外还有多元共混体系——聚丙烯-聚乙烯-乙-丙共聚物，这种共混体系具有较好的综合性能，其共混工艺前面已有所述。

上述共混物主要应用在汽车保险杠、仪表罩、各种机械零部件制造、建筑防护制品、安全帽等，可承受高、低温下的冲击及跌落。

(3) 聚丙烯与其他聚合物的共混 聚丙烯可与苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物 (SBS) 共混，SBS 可增加聚丙烯的韧性，而共混物的冲击强度、断裂伸长率逐步提高，而拉伸强度、弯曲强度和模量下降。一般 SBS 掺混量为 30 份，可直接采用普通挤出机混炼造粒。

聚丙烯可与顺丁橡胶 (BR) 共混，韧性有极大提高，可采用普通的机械共混法，在温度为 $180\sim 190^{\circ}\text{C}$ 双辊混炼机上混炼成片，再挤出造粒。

聚丙烯与尼龙共混可以提高耐热性、耐磨性和着色性，可使用少量马来酸酐 (MAH) 作为反应性增容剂，增加两者的相容性，获得理想的共混物。

3. 回收聚氯乙烯 (PVC) 塑料的共混物

聚氯乙烯与聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等非极性热塑性塑料混合需添加增容改性剂，从共混物的组分看，属于三元共混物。

(1) 聚氯乙烯与聚乙烯共混物 聚氯乙烯为极性热塑性塑料，而聚乙烯为非极性热塑性塑料，它们的极性相差很大，所以不相容，为了提高两者的相容性，增加共混物界面的黏合力，达到提高共混物性能的目的，需要加入增容剂如 CPE、ABS、EVA 等，在 100 份聚氯乙烯质量份中加入 2 质量份低密度聚乙烯，可削弱聚氯乙烯大分子间的作用力，使聚氯乙烯的塑化时间延长，降低聚氯乙烯熔体黏度及软化温度，提高流动性，改变加工性。为了达到综合提高此种合金性能的目的，同样需要在聚氯乙烯中加入增容剂，缩短聚氯乙烯的塑化时间。

聚乙烯-氯化聚乙烯-聚氯乙烯共混物合金具有良好的手感、较低的成型成本、优良的耐候性等优点。该体系的再生料制备合金中聚乙烯可以用回收农膜及聚氯乙烯可用回收料，而氯化聚乙烯用原树脂。

(2) 聚氯乙烯与聚丙烯共混物

① 聚氯乙烯-氯化聚乙烯-聚丙烯共混物。氯化聚乙烯使用原树脂，聚氯乙烯及聚丙烯使用回收料，可提高共混物的冲击强度。

② 聚氯乙烯-聚丙烯-三元乙丙橡胶-氯化聚乙烯共混物。四者以 100 : 10 : 20 : 20 的配比相混合，冲击强度提高。其中，聚丙烯使共混物成型流动性好，氯化聚乙烯作增容剂，三元乙丙橡胶增加共混物的韧性，而共混物中的聚氯乙烯及聚丙烯使用回收料。

(3) 聚氯乙烯与丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物的共混物 聚氯乙烯与丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物使用回收废料，100 份聚氯乙烯中，由于丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物质量份不同，其共混物的力学性能差异较大，见表 4-7。

表 4-7 回收 PVC 与 ABS 废料共混物力学性能

100 份 PVC 中 ABS 量(质量份)	密度 /(g/cm ³)	拉伸强度 /MPa	延伸率 /%	软化温度 /℃	透光率 /%
0	1.40	57	122	67.6	87.8
5	1.38	53	119	68.1	86.5
10	1.35	47	117	67.8	83.8
15	1.38	42	115	66.8	84.0

4. 回收聚苯乙烯 (PS) 塑料的共混物

橡胶可以作为一种增韧改性剂与聚苯乙烯的回收塑料共混，能显著地增加聚苯乙烯的韧性，得到高抗冲聚苯乙烯共混物。使用苯乙烯含量较多的丁苯橡胶与聚苯乙烯混合效果好，使其共混物抗冲击性能大大提高。表 4-8 列出含丁苯橡胶 15% 的改性聚苯乙烯主要性能。

表 4-8 聚苯乙烯-丁苯橡胶 (85 : 15) 的主要性能

性 能	数 值
冲击强度/(kJ/m ²)	≥25
弯曲强度/MPa	≥60
维卡耐热/℃	≥80

具体的共混方法：使用微珠状聚苯乙烯和丁苯橡胶按要求性能

的配比量投入到双辊筒混炼机，温度控制在 150℃ 左右，20min 即可。

回收聚苯乙烯可与回收的聚烯烃共混加入一定量的增容剂，使共混物具有良好的抗冲击性、耐候性、柔韧性和良好的加工性，并使两大废旧塑料得以回收利用。如聚苯乙烯与低密度聚乙烯按 80：20 配比并加入少量的氯化苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物作增容剂，共混物的耐候性好。

再生聚苯乙烯还可以和丙烯酸酯类聚合物、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物进行共混，前者共混物具有良好的综合性能，如透明性、抗冲击性能、尺寸稳定性和较低的吸湿性，而且还具有一定的形状记忆功能。后者共混物可充分体现丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物树脂的优良性能，其制品的抗冲击强度、硬度、光泽度及耐溶剂性都可达到较高的程度。

5. 回收聚酯（PET）塑料的共混物

（1）回收聚酯塑料与聚烯烃共混 可提高聚酯再生制品的性能。如回收聚酯料加入 0.5%～50% 的聚乙烯，通过挤出-双向拉伸制得薄膜，提高其冲击强度，若再加入少量聚丙烯树脂，可使制品的尺寸稳定性好。

为了改善聚酯与聚烯烃的相容性，加入乙烯-乙酸乙烯共聚物作相容剂可改善制品的屈服强度和伸长率。具体各项性能见表 4-9。

表 4-9 聚酯废料共混改性配方及性能

序号	配方/质量份				屈服强度/MPa	伸长率/%
	PET	LLDPE	LDPE	EVA		
1	100	5		10	31.88	20.44
2	100	7		10	30.92	17.23
3	100	10		10	30.54	17
4	100	15		10	29.44	13.3
5	100		15	10	20.55	11.5
6	100		15	10	22.25	15.5
7	100		15	15	33.78	21.6

(2) 回收聚酯与其他聚合物共混改性 在聚酯废料中加入尼龙和聚酯酰胺进行共混可提高聚酯的柔性，而对聚酯的软化点没有影响。加入尼龙和聚酯酰胺的总量小于 25%，每种塑料用量小于 20%。

【例 2】 共混的聚酯酰胺制得方法

100 份己内酰胺、7.7 份对苯二甲酸、0.3 份水于 255℃ 反应 6h，然后加入 14.4 份乙二醇、5.3 份癸二酸双（乙羟乙基）酯和 0.02 份 Sb_2O_3 ，在 200℃ 加热 40min 除水，再在 245℃、133.3Pa 下聚合 2.5h，即得到软化点为 193℃、特性黏数 $[\eta]$ 为 0.98dL/g（在钾氯苯酚中测定）的聚酯酰胺。

制得的聚酯酰胺与聚酯废料（软化点 260.3℃、特性黏数 0.65dL/g）和尼龙-6（软化点 205℃、特性黏数 0.81dL/g）按表 4-10 配方进行配比，于挤出机中在 280℃ 下共混 5min，进行熔融纺丝，得到的纤维特性黏数为 0.55~0.58dL/g，软化点为 260.3~261.1℃。

表 4-10 聚酯共混物配方及性能

聚酯：聚酯酰胺：尼龙-6	韧性/(g/d)	伸长率/%	杨氏模量/(g/d)
100：0：0	3.9	29	100
92.5：0：7.5	4.88	27	124
85：5：10	3.1	27	72
82.5：2.5：15	3.9	29	81

由表可见，单独使用尼龙起不到改善柔性的作用，起决定作用的是聚酯酰胺。

6. 回收聚酰胺（尼龙）的共混物

回收的聚酰胺塑料与回收的聚乙烯共混，由于聚乙烯低温性好，可以获得耐低温、吸水率低、冲击韧性及耐摩擦性能好的共混物，回收聚酰胺与回收高密度聚乙烯共混物性能见表 4-11 回收聚酰胺和回收高密度聚乙烯共混物性能。

表 4-11 回收聚酰胺和回收高密度聚乙烯共混物性能

质量份		熔体流动 速率 ^① /(g/10min)	拉伸 强度 /MPa	相对断裂 伸长率 /%	缺口冲击 强度 /(kJ/m ²)	吸水率 /%	介电损耗角 正切(在 10 ² Hz 以下)
HDPE	PA-6						
100	0	1	11.5	230	19.0	0.1	0.0002
90	10	1.2	12.5	190	18.3	0.1	0.0012
70	30	1.25	17.0	80	17.5	0.2	0.0035
30	70	17.8	47.0	50	12.8	1.0	0.0100
10	90	25.1	67.0	85	9.5	3.0	0.0135
0	100	38.0	57.0	300	5.5	3.8	0.0170

① 在 24℃ 和 21.6N 压力下测定。

7. 回收塑料制备共混型热塑性弹性体

(1) 共混型热塑性弹性体的种类

① 热塑性树脂与弹性体的简单共混型。简单共混型热塑性弹性体制备方法可分为两种。

a 法：二元乙丙橡胶、聚丙烯——→密炼机——→强喂料挤出机——→冷却水槽——→切粒机——→粒料、PP 母粒——→挤出机——→冷却水槽、切粒

b 法：二元乙丙橡胶、聚丙烯——→开炼机——→冷却水槽——→切粒机——→粒料、PP 母粒——→挤出机——→冷却水槽、切粒

先制备成母粒，即按乙丙橡胶与聚丙烯共混质量比 50 : 50 在密炼机中共混，混合温度高于树脂软化点 10℃ 左右。由密炼机排出的料紧接着通过强喂料挤出机制成圆条，经水槽冷却连续用切料机造粒。然后将此母粒料与聚丙烯树脂按合适橡塑比要求在单螺杆挤出机上挤出、拉条、水冷、切料、干燥、包装。

简单机械共混型材料的主要特点有密度低、低温耐冲击性能好，且加工成型时熔体流动性好。

一般在共混物中乙丙橡胶的用量在 50 质量份以下，以保持共混物具有足够的成型流动性。但是，由于在这样的共混体系中，乙丙橡胶是非硫化的，提高乙丙橡胶含量时共混物的流动性会大大降低，难以制得柔软品级的材料，这是简单共混型热塑性弹性体的主要不足。

② 部分动态硫化型热塑性弹性体。部分动态交联的热塑性烯烃类弹性体可以统称为 TPO，是由三元乙丙橡胶（EPDM）与聚丙烯共混制得的。

生产工艺流程：

密炼——强喂料挤出机——冷却水槽——压缩空气吹干——切料（见表 4-12）

表 4-12 密炼工艺的操作条件

加料时间/min	加 入 料
0	聚丙烯、橡胶、炭黑
2~4	过氧化物 DCP(待聚丙烯融化后)
4.5~7	防老剂
5.5~7.5	排胶

排胶时记录仪的温度为 $150\sim 160^{\circ}\text{C}$ ，用针状热电偶实测混炼胶内温度为 $180\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

该密炼机与强喂料挤出机配套，挤出时间约为 1min。经机头口模挤出成圆条状、水冷、压缩空气吹干、切料。如果没有强喂料挤出机，可趁热用开炼机放片后再切料。

由于部分硫化型 TPO 中橡胶相已经部分交联，所以其压缩永久变形和耐热性比简单共混的 TPO 好，而且还可以制备橡胶含量大于 50 质量份的柔软品级，这也是简单共混 TPO 所不及的。另外，对于部分交联的 TPO，为了进一步减少其刚性，还可以进行充油（达 30 质量份），使手感更接近于弹性体的特征。

③ 完全动态硫化型热塑性弹性体。完全动态硫化型热塑性弹性体-热塑性硫化胶（TPV）的形态结构是独具特征的，即使橡胶含量为主要成分的 TPV，硫化了的橡胶粒子也分散在聚丙烯的基质中。

a. 加工方法。密炼机间歇式共混温度为 190°C ，先加入聚丙烯，然后加入三元乙丙橡胶，稍后再加入交联剂边混合边动态交联，同时还加入 $10\%\sim 20\%$ 的油。在密炼机中的共混时间总共为

6~7min，然后将物料排至密炼机下部的排料式挤出机，挤出胶条、切粒并干燥得 TPV。

b. 材料特性。TPV 比 TPO 的硬度、高温力学性能、耐热性和耐油性能都优异。

c. 商品 TPO 与 TPV 性能对比见表 4-13。

表 4-13 商品 TPO 与 TPV 性能对比

类 型	TPO(EPDM/PP)	TPV(EPDM/PP)
硬度(邵 A)	77	80
拉伸强度/MPa	6.6	9.7
断裂伸长率/%	200	400
体积溶胀(ASTM100℃,70h)/%	破裂	50
压缩永久变形/%	70	39
使用温度/℃	100	125
加工方法	热塑性	热塑性

④ 以 TPO 或 TPV 的橡塑基本组分的极性状况，可将共混型热塑性弹性体分为 3 大类：非极性橡塑部分、极性橡塑部分、橡胶组分之一为极性高聚物。

a. 非极性橡塑组分。在这类共混型热塑性弹性体中，回收的热塑性基质为聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯 3 种树脂，与弹性体三元乙丙橡胶、天然橡胶、丁基橡胶、顺丁橡胶、丁苯橡胶 5 种橡胶，可以组合成若干种共混型热塑性弹性体。当然，综合性较好的为三元乙丙橡胶-聚丙烯、丁基橡胶-聚丙烯、天然橡胶-聚丙烯、顺丁橡胶-聚丙烯、丁苯橡胶-聚苯乙烯。

b. 极性橡塑组分。此类共混型热塑性弹性体的热塑性基质与弹性体组分皆为极性高分子，通用的系列是聚氯乙烯体系和尼龙体系。

聚氯乙烯系列中，丁腈橡胶-聚氯乙烯体系具有良好的共混性质，两者可以以任何比例共混合。

丁腈橡胶与聚氯乙烯的简单共混可以分为以聚氯乙烯为主体的非硫化型和以丁腈橡胶为主体的硫化型。但是，作为丁腈橡胶-聚

氯乙烯共混型热塑性弹性体，与两者的简单共混体系不同。因为经过动态硫化反应，产生具有交联结构的丁腈橡胶相与提供热塑性的聚氯乙烯相。但应注意，丁腈橡胶相应采取适当地动态硫化，以防止交联程度过大而影响加工流动性。

氯化聚乙烯-聚氯乙烯共混可以制得具有良好性能的热塑性弹性体。对氯化聚乙烯组分应注意选用氯的含量在 30%~40% 的型号，它与聚氯乙烯有良好的共混效果。如果在该体系中聚氯乙烯含量较大时，可制成非硫化型热塑性弹性体；当氯化聚乙烯组分含量较大时，为保证共混体具有良好的力学性能，应进行动态硫化制成硫化型热塑性弹性体。

另外，极性橡塑组分聚氯乙烯体系中还有乙烯-乙酸乙烯共聚物-聚氯乙烯、氯丁橡胶-聚氯乙烯等热塑性弹性体。

尼龙系列的极性共混热塑性弹性体如丁腈橡胶-尼龙体系中，尼龙树脂品种较多；丁腈橡胶为丁二烯-丙烯腈共聚物，该共聚物随着丙烯腈链节含量不同也有不同种类。其中，共混型 TPO 或 TPV 是很有发展的系列品种。此类共混体具有优良的耐热油性，故适应于制备耐热油封、耐油胶管、板、辊等。

尼龙系列的共混热塑性弹性体还有氯化聚乙烯-尼龙、乙烯-乙酸乙烯共聚物-尼龙、聚氨酯-尼龙等。

c. 橡塑组分之一为极性高聚物。制备这类共混体是将具有不同性能的塑料材料组合在一起，以制得兼备所有共混组分优秀性能的新材料。但绝大多数塑料不具有互容性。所谓的互容性有两层意义：一是指形成分子水平的均相体系，即所谓的热力学相容，它的力学性能不一定最好；另一个是指宏观上相容、亚微观上相分离的体系。现绝大多数共混型高分子材料属于这类不相容体系或部分相容的体系。

(2) 用回收农膜及回收的聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯制取聚烯烃型共混热塑性弹性体 (TPO) 采用回收农膜与废胶粉为基本组分，加入氯化聚乙烯为增容剂，通过共混配合和动态硫化可得到热塑性弹性体材料。通过使用动态硫化剂过氧化二异丙苯 (DCP) 来

调节回收的农膜与废胶粉的配比，可以得到不同硬度的材料，制作对力学性能要求不高的橡塑模压、层压、冲压型制品。

总之，回收的废旧塑料进行共混改性，可充分利用各种塑料的性能进行互补，减少分检工序，共混改性基本上是机械共混，投资少、见效快，比较适合我国回收废旧塑料再生利用的国情。

三、充填改性

为了改善回收的废旧塑料性能、增加制品的强度和刚性、改善和调节电性能、热膨胀系数、减少制品的收缩性、提高耐热性等，可通过充分利用填充剂的性能，使废旧塑料再生利用。

（一）填充剂的分类

广义的填料包括气体（如发泡剂释放的气体）、液体（增量剂或增量增塑剂）和固体（即本节所论的充填、增强材料）物质。填料（也称填充剂）的作用在于改进塑料制品的性能和降低成本。

填料的品种很多，按化学组成为无机（如碳酸钙、陶土）、有机（如木粉、纤维）；按形状分为粉状（如碳酸钙、硫酸钡等）、纤维状（如玻璃纤维、石棉等）、片状、带状、织物、中空微球等；按用途可分为补强性（可改进物理、力学性能，赋予特殊功能性）和增量性（增加体积或质量以降低成本）填料。

1. 粉状填料

（1）碳酸钙（ CaCO_3 ） 一般指轻体碳酸钙，生产方法包括机械法（也称研磨碳酸钙）和化学法（沉淀碳酸钙）。为白色轻质粉末，多呈纺锤形结晶（方解石型），相对密度为 2.0~2.7、粒径范围为 1~16 μm 。

在塑料成型工业中，它能使塑料易于成型，并可调节塑料黏度和改善加工性能，主要用于软制品，如电线包皮、人造革及其他挤出制品，一般用量为 20 质量份，同时可降低成本。有些制品为高充填物，其填料用量可高达 200~250 质量份。

（2）活性碳酸钙（胶体碳酸钙） 粒子近似于球形，粒径小于 0.1 μm 。与轻体碳酸钙相比，粒径较小。因粒子表面涂覆一层有机物，能改善加工性能。制造活性碳酸钙是加入 1%~5% 硬脂酸及

表面活性剂进行表面处理。活性碳酸钙在橡胶中作补强剂，在塑料中主要作填充剂，能提高制品耐冲击强度。在聚氯乙烯中，轻体碳酸钙由于表面处理剂的作用而改善了相容性和润湿性，因此，能减少制品在弯曲时的白化现象，并赋予制品高度光泽及光滑的作用。在软聚氯乙烯制品每 100 质量份树脂中，注射制品加入 15 份，挤出制品加入 30 份，压延制品加入 50 份，电线包皮加入 15~50 份，地板材料加入 120~150 份。

(3) 空心微珠——新型的无机填料 空心微珠新型材料的直径在 $0.2\sim 400\mu\text{m}$ 范围内。空心微珠是一种轻质非金属多功能材料，主要成分是 SiO_2 和 Al_2O_3 ，外观为灰白或灰色，松散，球形，流动性好，中空，有坚硬的外壳，壁厚为其直径的 $8\%\sim 10\%$ 。空心微珠被誉为“空间时代材料”。作为球形颗粒，空心微珠在塑料中应用具有如下特性。

① 流动性好、产品尺寸稳定。空心微珠拥有优异的流动性能，可提高生产效率、降低能耗，提高制品尺寸稳定性，防止翘曲等。

② 消除玻纤外露。用于各种工程塑料的玻纤改性，可消除玻纤外露现象，改善流动性，减少玻纤用量，降低成本。

③ 热稳定性好、阻燃。空心微珠熔点高、高温下不分解，可提高制品的阻燃性和热变形温度。

④ 增加制品的耐刻划性和耐磨性。空心微珠的硬度达到 7（莫氏硬度），填充于塑料制品中能提高制品表面的耐刻划性和耐磨性。

⑤ 吸油量低。空心微珠吸油量远低于常规填料，可大量填充，特别适用于 PVC 软制品（如人造革、鞋底料等）的加工生产，可减少增塑剂的用量，大大降低成本。

⑥ 摩擦系数小。球形空心微珠的摩擦系数小，对模具的磨损小，使模具的使用寿命加长。与不规则的填料相比，可以提高模具的使用寿命达一倍。

⑦ 绝缘性好、吸水率低。空心微珠比电阻高，吸水率低（ 0.2% ），使用于生产电缆绝缘材料。

⑧ 耐腐蚀性强。空心微珠主要为硅酸铝成分，可在各种有机

溶液及酸、碱溶剂中保持稳定。

⑨ 低密度。空心微珠有一种规格产品密度是 $0.4 \sim 0.8 \text{g/cm}^3$ 。填充于塑料制品中，可减轻制品质量，大幅度降低成本。

空心微珠在塑料中的应用领域为尼龙、PP、PC、POM 等工程塑料的改性，可改善流动性、消除玻纤外露、克服翘曲、提高阻燃性能，减少玻纤用量，降低生产成本。填充硬质 PVC、PP、PE、生产异型材、管材和板材，可使制品具有良好的尺寸稳定性，提高刚性和耐热温度，并可使生产效率大大提高。填充 PVC 人造革和鞋底料，可改善塑料制品的压延性、提高抗刻划性、耐磨性和表面粗糙度，减少增塑剂用量，降低成本。填充不饱和聚酯，可降低产品的收缩率和吸水率，提高耐磨性和硬度，且在层压和涂覆时空穴少，降低制品的密度。用于玻璃钢制品、抛光轮、工具等。

(4) 硫酸钡（重晶石粉） 硫酸钡为白色粉末，相对密度为 4.5，吸油量小，与增塑剂成糊容易，在聚氯乙烯中作填料，也可作白色颜料，可使制品表面有良好的光泽，在聚氯乙烯硬管配方中一般加入量为 10~20 份。

(5) 陶土（高岭土） 主要成分是水合硅酸铝，浅灰或浅黄色粉末、粒子呈六角形片状结晶，相对密度为 $2.6 \sim 2.63$ 。在塑料加工中，陶土常用于聚氯乙烯和聚酯树脂。使模制品和挤出制品有比较好的表面光泽及光滑表面。

经煅烧（ $450 \sim 600^\circ\text{C}$ ）除去水分，称为煅烧陶土。在聚氯乙烯中它不仅介电强度较高，且能改善它在塑料中的分散性和制品的耐湿性，煅烧陶土广泛用作电线绝缘材料的填料。

(6) 其他粉状填料 白炭黑（胶体二氧化硅、二氧化硅），耐热电缆中使用或在塑料溶液中作增稠剂；云母粉，电性能较好；滑石粉（光粉）具有润滑性、耐火性及优良的电绝缘性。

2. 纤维状填料

(1) 玻璃纤维（无碱玻璃纤维） 相对密度为 $2.5 \sim 2.7$ 。由二氧化硅等多种氧化物组成，玻璃纤维最初仅用于热固性塑料，其中

玻璃纤维增强塑料（俗称玻璃钢），它的某些力学性能超过了一般有色金属。玻璃钢主要用于化工管道、容器衬里、汽车车身、飞机船舶构件以及农业用具等。也可以用玻璃纤维增强热塑性塑料，能提高制品的力学强度，如拉伸强度、弯曲强度、压缩强度、弹性模量、耐蠕变性；提高热变形温度、降低线膨胀系数；降低吸水量、增加尺寸稳定性；提高热导率、硬度；抑制应力开裂；阻滞燃烧性及改善电性能。玻璃钢中，增强用玻璃纤维的品种及配合量随所要求的制品性能、用途及成型方法的不同而异。主要品种有短纤维、纱、玻璃布、粗纱等。玻璃纤维的加入量一般为 20%~30%。为了提高玻璃纤维与塑料的结合强度，改善制品性能，玻璃纤维在使用前必须经表面化学处理。处理剂的选择又称偶联剂。

（2）石棉纤维（湿石棉） 主要成分为水合硅酸镁，用石棉充填的塑料可以提高耐化学腐蚀性、耐热性、尺寸稳定性。用石棉增强的氟塑料，由于可高度压缩、耐腐蚀性优良，常用于石油化工的阀主体密封、玻璃管道密封及导弹燃料系统的密封等。用石棉增强的聚丙烯可作电绝缘部件及机动车辆化工设备零件。

（二）充填改性

1. 回收聚乙烯的充填改性

回收的聚乙烯塑料通过加入填充剂可以制造各类箱。

【例 3】 回收聚乙烯和木纤维混合物制柑橘箱

收集的聚乙烯材料（如膜等）经清洗、粉碎后可按表 4-14 配方混合制料，并加工成产品。各项性能见表 4-15。

表 4-14 回收聚乙烯和木纤维混合物参考配方

配 方	A1/质量份	A2/质量份
聚乙烯再生料	100	100
木屑	122	65
滑石粉	30	40
石棉粉	30	52
硬碳酸钙	5	4.7
炭黑	适量	适量

表 4-15 回收的聚乙烯塑料的各项性能

性 能	A1	A2
箱体质量/(kg/个)	6.4	8.0
硬度(邵氏)	92.5	95
常温空箱承受最大静压力/MPa	39.2	49
常温载荷从 2m 高自由落下	不散箱	不散箱
在 -25℃ 下处理 6h, 从 2.5m 高处自由落下	板面不裂	板面不裂

用废旧聚乙烯与木粉生产柑橘箱，成本低、箱体质量轻，也可回收使用，但是木纤维的干燥和过筛比较困难，木纤维与聚乙烯相容性差。

2. 回收聚氯乙烯的充填改性

聚氯乙烯通过充填改性，可制得多种制品，也是充填改性的主要树脂。

【例 4】回收聚氯乙烯膜制品再生钙塑管材

聚氯乙烯膜软制品中增塑剂含量较多，用废的聚氯乙烯膜制硬管材时需要加入无机填料（如碳酸钙）。可采用密炼、开炼工艺，然后挤出成型。

工艺流程：

回收料破碎——密炼（粗炼）——开炼（精炼）——粉碎——挤出管材——切割、成品

主要设备有破碎机（软、硬型）、密炼机、双辊塑炼机、单螺杆挤出机、空气压缩机。配方见表 4-16。

表 4-16 回收聚氯乙烯膜制品参考配方

配 方	质量份	配 方	质量份
回收聚氯乙烯膜	100	硬脂酸	1
CaCO ₃	80~100	石蜡	1
三碱式硫酸铅	2	炭黑	0.8
二碱式亚磷酸铅	1		

将废料与配合剂按比例加入密炼机塑化（粗炼），密炼的蒸汽压力在 0.6MPa 左右，密炼时间 4~5min，将密炼的团状料放

入开炼机中进行精炼，双辊温度保持在 160～170℃。然后下 4mm 厚的片，将冷却的厚片放在破碎机上破碎，此碎块可供挤出机加工管材。使用密炼机时应注意，加入料的总体积不能超过密炼室容积的 70％。根据密炼机的大小确定开炼机尺寸和台套。如果密炼机型号过大、开炼机型号过小，两机不匹配会使密炼的熔融团料冷却结块，因此在生产中应注意各加工段中的加工能力的合理匹配。

【例 5】 回收聚氯乙烯软制品制钙塑地板

聚氯乙烯软制品包括膜、片材、防水卷材等。配方见表 4-17。

表 4-17 回收聚氯乙烯软制品参考配方

配 方	质量份	配 方	质量份
软聚氯乙烯制品	100	二碱式亚磷酸铅	1
轻质 CaCO ₃	200～260	硬脂酸	2
三碱式硫酸铅	2	氧化铁红	0.3

工艺流程：

破碎——→捏合——→开炼——→放片——→压光——→冷却——→冲切——→成品

主要设备有软制品破碎机、高速捏合机、密炼机、双辊塑炼机、压光机、压花机、水槽等。

首先将软制品破碎，与其他配合剂一起放入高速捏合机中捏合，捏合机夹层通入蒸汽（压力为 0.3～0.4MPa）。捏合 5～6min，将捏合后的物料放入密炼机中，密炼机夹层蒸汽压为 0.4～0.6MPa，密炼 3～4min。密炼后的物料再用开炼机进一步塑炼，辊温在 180℃左右，然后放片厚度保持在 1.5mm。压光辊需加热保温。压光后紧接着通过压花辊，使板材背面压上花纹，以改善与地板的黏合效果。压花纹后通过水槽冷却，按规定尺寸冲切成地板块。

地板在使用过程中主要受压力和摩擦两种作用，加大填料 CaCO₃用量可以提高制品硬度、抗蠕变性和尺寸稳定性，同时降低成本。见表 4-18 CaCO₃加入量对加工性能的影响。

表 4-18 CaCO_3 加入量对加工性能的影响

废聚氯乙烯 /质量份	CaCO_3 /质量份	活性 CaCO_3 /质量份	现 象
100	100		拉片稳定,易包辊,表面平整均匀
100	150		拉片稳定,包辊,表面较平整
100	200		拉片不稳定,包辊,表面粗糙
100	250		拉片不稳定,难包辊,易断
100		250	拉片稳定,易包辊,表面平整均匀
100		300	拉片稳定,包辊,表面平整均匀
100		350	拉片稳定,包辊,表面平整均匀,易控制
100		400	拉片不稳定,表面有气泡,不平整

3. 回收聚苯乙烯的充填改性

聚苯乙烯在日常生活中,主要是制造泡沫塑料,其质轻、占地面积很大,可用其废旧泡沫制砖、制人造地板。

【例 6】 废旧聚苯乙烯泡沫塑料制轻质混凝土(砖)

用废旧聚苯乙烯制轻质混凝土(砖)是直接把泡沫塑料所具有的质轻、保温、隔音等特点在建筑材料上体现出来,这不仅变废为宝,符合建筑材料发展要求,而且还可减轻因挖土制砖造成的农业土地资源的流失。

用废旧聚苯乙烯泡沫塑料制轻质混凝土(砖)的具体方法是:将废旧聚苯乙烯泡沫塑料粉碎成粒径为 2mm 左右的细微颗粒,按适当的配比将其掺和到黄砂、水泥中,加水搅拌均匀,注入各种模具制成各种预制件,然后将其泡在水中,一周后取出晾干即得各种轻质混凝土(砖)产品。

由于用上述方法制成的轻质混凝土制品中基体和发泡聚苯乙烯骨料的密度相差很大,在制备过程中很容易导致这种材料的分层离析,解决这一问题的方法是在混凝土中加入一定量的黏结剂(如聚乙烯醇等),或者通过控制一定的工艺参数解决这一问题。在这些工艺参数中,最主要的是控制发泡聚苯乙烯、水泥、黄砂的配比,把握好材料密度和其力学性能的关系,通常轻质混凝土的一些力学性能和密度呈正比关系,故轻质混凝土合适的密度范

围大约在 $800\sim 1200\text{kg}/\text{m}^3$ 之间。另外，还有向聚苯乙烯泡沫塑料细粒与磷蛋白质的混合物送热风，熔化其表面，并在添加氨基酸或油脂等干燥之后，加入炭、生石灰、水泥和水等，制成轻质混凝土。

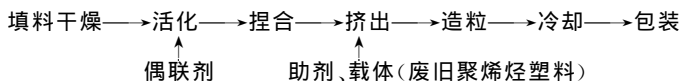
轻质混凝土制品在力学性能方面要优于其他同质混凝土，有些性能要优于普通混凝土，如抗渗、抗冻、吸水率等。轻质混凝土制品的生产能力适应现有的混凝土生产工艺设备。

轻质混凝土可作为砖、内外挂墙板、屋面板等建筑预制件，又可用于公路、铁路基层的底层防冻层等。另外，轻质混凝土制品可以随配料中发泡聚苯乙烯掺量的变化，或掺加其他混合材料制得各种具备特殊功能的制品。所以说轻质混凝土的研究开发具有广阔的发展前景。

4. 母粒化方法

以回收的聚烯烃树脂为载体的填充母料可降低塑料制品的成本，填充母料的基本组成是：无机填料是该类母料的主体，其用量为母料的 $70\%\sim 85\%$ ；载体为回收的废旧聚烯烃塑料；偶联剂的最后用量为填料量的 $0.5\%\sim 2\%$ ，在制备浓缩母料时可根据母料的品种和性质适当增加活化剂的浓度。

填充母料挤出法生产工艺流程：



挤出法生产工艺，生产质量较稳定，节省劳力，生产效率高。因为回收的废旧塑料中含有一定水分及挥发物，最好使用 L/D 比较高的排气式双螺杆挤出机。

(三) 填料的发展趋势

1. 填料的超细化

过去的填料的粒度，一般不超过400目，很少使用超细粉体。随着技术的发展，填料日趋超细化。现在塑料界使用的重钙其细度要求如下。

① 编织袋母料、打包带母料：400目。

② 注塑用母料：800~1250 目。

③ 薄膜母料：1250~2500 目。

④ PVC 管材、型材用填料：400~1250 目。

目前正在试验使用 6000 目填料和 40~60nm 的纳米轻钙填料。这两种填料将来必然领导填料发展的潮流。

2. 填料品种扩大化

随着塑料改性的发展，填料的品种将不断扩大。其增加的品种如下。

① 重钙和轻钙：仍然占据主导地位，约占 65%。

② 滑石：刚性好，是汽车用塑料中主要填料。

③ 高岭土：用于薄膜和电缆料。

④ 重晶石：用于注塑高档产品。

⑤ 硅灰石：主要用尼龙和聚丙烯、聚乙烯。

3. 填料发展趋势

随着塑料改性技术的发展，向填料提出更高的要求，反映如下。

① 纤维化填料：以取代玻纤，作为补强填料。

② 轻质量填料：当填料使用技术不断提高，充填量大幅度提高时，带来一个重要问题是制品密度大了，相对影响使用质量和成本。现在寻求相对轻的填料，即是密度小的、松装密度小的填料。如现在使用煅烧黑滑石填料，其松装密度为 0.73，而茂名高岭土尾矿松装密度只有 0.43。显然后者是所需要的轻质量填料。

③ 复合填料：填料的发展趋势是使用复合填料，是指两种以上填料混合在一起使用。这也有两种情况，一种是人为的制成复合填料。现在有碳酸钙-滑石、碳酸钙-硅灰石、滑石-硅灰石 3 种复合填料，另一种是天然生成的复合填料。如安徽宿松产的滑石、方解石混合矿石，浙江长兴产的方解石、硅灰石混合矿石，目前正在试验研究。

四、增强改性

回收通用塑料的拉伸强度明显降低，要提高其强度，可以通过

加入一定质量份的玻璃纤维、合成纤维、天然纤维的方法，扩大回收塑料的应用范围。

合成纤维是以石油、煤、天然气为原料，经提炼、聚合及纺丝而制得的纤维，合成纤维品种很多，常见的有涤纶（聚酯纤维）、腈纶（聚丙烯腈纤维）、锦纶（聚酰胺纤维）、氨纶（聚氨酯纤维）等，其中以前两种产量最大，合计占整个合成纤维产量的 90%。合成纤维具有强度高、耐磨、耐酸碱等性能。

以合成树脂为黏合剂，由含各种纤维增强材料所制成的材料称为复合材料。其中以玻璃纤维及其产品作为增强材料的制品，称为玻璃纤维增强塑料，俗称“玻璃钢”，是复合材料的主要代表产品。回收的热塑性塑料经过纤维增强改性后，其强度、模量大大提高，并明显地改善了热塑性塑料的耐热性、耐蠕变性和耐疲劳性，其制品成型收缩率小，废弃的热塑性玻璃钢（FRTP）可反复加工成型。

影响复合材料性能的还有纤维在塑料基质中的分散程度和纤维在基质中的取向。分散越均匀，取向程度越高，复合材料的性能越好。分散均匀性在选定设备后主要取决于混炼工艺。如使用双辊开炼机，辊温、辊距等工艺参数都直接影响分散均匀性，辊温高、辊距小、混炼时间长，有利于纤维的均匀分散，但辊温高容易使塑料发生热氧老化，混炼时间长且辊距小，易使纤维的长径比下降，因此应选取适当的混炼方式，兼顾两种不同的影响效果。使用螺杆挤出机进行混炼，应注意螺杆的长径比、压缩比、螺距大小、螺槽深度的选择和设计。

在加工成型时，纤维增强复合材料的纤维取向主要与机头口模的构造有关，注射成型时则与熔体注口有关，要注意熔体的流道不要出现过小角度。

增强热塑性塑料的玻璃状态有 3 类：①纤维毡或纤维布与热塑性塑料片材进行热复合的材料；②长纤维增强热塑性塑料的复合材料；③短纤维增强热塑性塑料的复合材料。

当短纤维增强回收的热塑性塑料时要注意：使用适当的表面处

理剂（或偶联剂）进行处理，能够增加与树脂的黏合性，纤维在热塑性塑料中的分散取向等。

1. 玻璃纤维增强改性回收聚丙烯

用短玻璃纤维（SGF）增强聚丙烯（PP）回收料。当短玻璃纤维的充填量为 10%~40% 时，制得的复合材料可以用于汽车配件，如电通讯机的支架、散热器零件、照明设备零件、蓄电池外壳、防护板衬里、泵壳体和泵盖等。

回收聚丙烯的拉伸强度较低，一般制品在 18~25MPa 左右。用短玻璃纤维增强后，其拉伸强度可达 30~50MPa 左右。故用纤维增强后可显著地提高回收聚丙烯的力学性能和使用价值。

活化短玻璃纤维的常用偶联剂有硅烷 A—151、A—174（KH—570）、A—1100（KH—550）、A—187（KH—560）以及 A—1010 等。偶联剂用量占玻璃纤维含量的 0.2%~1.5%，对不同纤维品种、塑料品种需经实验求得适宜的偶联剂用量。

玻璃纤维与回收聚丙烯的造粒工艺可以分为两种：一种是直接混合、塑化造粒；另一种是运用活化后的长纤维丝，在螺杆挤出机的中间加料口输入，然后与熔融体塑料掺混，最后切粒而成。

直接混合工艺：

PP（助剂）→高速混合→挤出塑化→冷却→成粒料

挤出机转速为 30~50r/min，挤出机各段温度为 I 段 160℃、II 段 190℃、III 段 210℃、机头 198℃。

非直接混合工艺即纤维增强 PP（GFRPP）的生产工艺流程见图 4-3。

玻璃纤维增强聚丙烯（GFRPP）的质量控制要注意以下几点：玻璃纤维（GF）不可过度粉碎；纤维长度分布范围应较窄；GF 必须均匀分布，且必须被熔融的 PP 充分湿润；挥发性组分靠真空排气除去；要求连续地进行造粒生产。

如果采用单螺杆挤出机混合造粒，宜选用螺杆长径比较大者，以便充分混合。若使用双螺杆挤出机，则应选取同向型双螺杆挤出机。

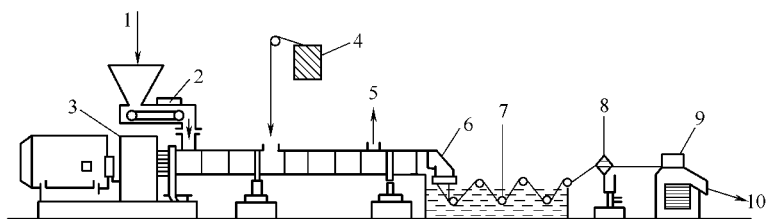


图 4-3 GFRPP 粒料生产工艺流程

- 1—PP 及配合剂；2—计量加料器；3—双螺杆挤出机；4—玻璃纤维无捻丝；
5—真空排气口；6—机头；7—水浴；8—空气口；
9—切粒机；10—筛分后贮运包装

表 4-19 为 GF 组分对 GFRPP 性能的影响。一般 GF 含量增加，GFRPP 的力学性能有所增加。通常工业生产上 GF 含量在 40% 以内，因 GF 超过 40% 时，GFRPP 性能反而开始下降。GF 单丝直径越小、纤维长度越长，则复合材料的力学性能越好。但在成型加工过程中，纤维被磨损过细则会削弱纤维的增强作用。

表 4-19 不同 GF 组分含量的 GFRPP 性能

性 能	GF 含量/%(质量分数)				
	0	10	20	30	40
密度/(g/cm ³)	0.91	0.96	1.03	1.12	1.23
拉伸强度/MPa	32	55	77	88	103
断裂伸长率/%	800	4	3	2	1
弯曲强度/MPa	44	74	98	117	151
弯曲模量/MPa	1569	2550	3924	5396	6475
悬臂梁缺口冲击强度/(J/m)	20	59	88	88	108
洛氏硬度(R)	R100	R105	R107	R110	R121
热变形温度(1.82MPa)/℃	65	135	150	153	166
成型收缩率/(mm/mm)	0.016	0.006	0.004	0.003	0.003

作为增强材料的纤维现在大都使用玻璃纤维。此外，天然纤维、合成纤维和人造纤维都可以作为通用塑料的增强材料。用特种增强纤维（如碳纤维、芳纶纤维 Kavler 等）增强特种树脂，所得

产品可作宇航、核电站等用的高档复合材料，常用的 GF 种类及其主要成分见表 4-20。

表 4-20 3 种常用 GF 的成分 单位：%（质量分数）

种类	SiO ₂	Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃	CaO、MgO	Na ₂ O、K ₂ O	B ₂ O ₃ 、BaO
E(无碱)	52.4~53.2	14.4~14.8	21.4~21.8	<1	9.3~10.6
C(中碱)	63.6~64.6	4.0~4.1	16.6~16.7	9.1~9.6	5.6~5.7
A(碱)	72.5	0.7~1.5	12.5~13.1	13.5~13.8	

GF 的强度大、模量高，其拉伸强度可达到 1000~3000MPa，密度为 2.53~2.55g/cm³。

增强纤维一般使用无碱型 GF，它的碱金属含量低，SiO₂ 含量也低，增强复合材料的性能较好。短玻璃纤维是将粗纱切成 0.6~6mm 长的纤维，作为热塑性塑料的增强剂。

作为塑料的增强纤维，一般玻璃丝厂家都将其进行活化处理，用硅烷偶联剂、润滑剂和乳化剂配制成水乳剂，通过浸渍、干燥等工艺。

玻璃纤维增强 PP，当 SGF 含量达 10%~40% 制得的复合材料可以用于汽车配件，如电通讯的支架、散热器零件、照明设备零件、蓄电池外壳、防护板衬里、泵壳体和泵盖等。

用锯木粉增强聚丙烯，以提高 PP 的刚性，但拉伸强度、延伸率、韧性趋于减少，并随含量提高而降低。加入双马来酰亚胺改性的 PP 或马来酸酐化的 PP 可以改善这种木纤维复合材料的性能，而且后者比前者更有效。

2. 玻璃纤维增强改性回收聚乙烯

对 PE 再生料的增强改性更有意义。再生制品 PE 比 PP 的拉伸强度、模量低，仅耐冲击韧性比 PP 稍好。通过对 PE 进行纤维增强改性，可显著提高其机械强度，增强后的玻璃纤维与 HDPE 复合材料可以作为工程材料使用。

玻璃纤维与 HDPE 的共混造粒与 PP 相同，只是混合温度要控制的低一些。见表 4-21 为短玻璃纤维经活化处理后增强改性

HDPE 树脂的实验结果。

表 4-21 短玻璃纤维经活化处理后增强改性 HDPE 树脂的实验结果

SGF 含量 /%	拉伸强度/MPa		断裂伸长率/%		弯曲强度 /MPa(L)	弯曲模量 /MPa(L)	维卡软化点 /℃
	L	T	L	T			
0	16.5	16.5	882	882	32.9	685	120
10	26.8	24.1	42	36	35.2	733	128
20	38.9	26.1	16	28	59.5	1240	138
30	45.6	28.8	10	18	60.2	1460	141

注：L—纤维取向方向；T—垂直于纤维取向方向。

表中的基质是弹性体改性高密度聚乙烯，其强度值偏低。用 20% 含量的短玻璃纤维改性高密度聚乙烯已超过聚丙烯树脂的强度。短玻璃纤维活化剂为硅烷偶联剂。用短玻璃纤维改性回收聚乙烯制品的拉伸强度也超过了其树脂的强度（再生高密度聚乙烯制品的拉伸强度 15MPa 左右）。回收的聚乙烯料经造粒和干燥后再与活化短玻璃纤维实施共混造粒。

3. 玻璃纤维增强回收聚氯乙烯

从极性相近原则看，PVC 较 PP 与玻璃纤维的相容性好。即使如此，玻璃纤维仍需进行活化处理，以进一步改善复合材料的性能。

再生 PVC 塑料按常规洗净、烘干、粉碎；玻璃纤维用活化剂进行表面处理。制备复合材料工艺流程按图 4-4。

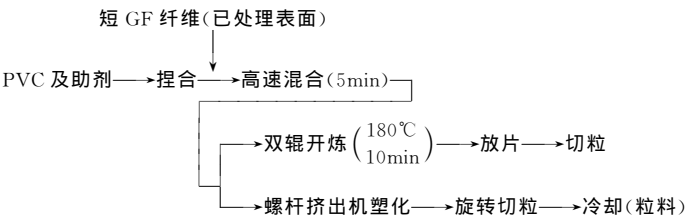


图 4-4 制备复合材料工艺流程

以 PVC 树脂进行增强改性的试验，考察不同偶联剂的活化作用见表 4-22。

表 4-22 偶联剂在 PVC 复合材料中作用

性 能	NH-891		NH-902		KH-550		KH-590	
	20	30	20	30	20	30	20	30
拉伸强度/MPa	46.5	73.8	60.5	43.4	80.9	90.3	68.3	81.8
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	2.92	3.78	4.78	4.01	5.23	8.34	3.83	4.83

注：20、30 分别表示 GF 含量为 20%和 30%。

仅 PVC 树脂自身的拉伸强度为 52.4MPa，缺口冲击强度为 2.80kJ/m²，可见玻璃纤维含量在 20%时，除偶联剂 NH-891 外皆表现为既增强又增韧；在玻璃纤维含量为 30%时，除 NH-902 外，皆表现为既增强又增韧，且随着纤维含量的增加，增强及增韧改性效果也提高。

对玻璃纤维的活化效果最好的是 KH550。纤维含量过高其复合材料的性能并非更好，见表 4-23 GF 含量对复合材料拉伸强度的作用。

表 4-23 GF 含量对复合材料拉伸强度的作用

GF/%(质量分数)	20	30	40
拉伸强度/MPa	80.9	90.3	74.2

注：玻璃纤维经 KH—550 偶联剂活化处理。

增加纤维含量还会使复合材料的成型加工遇到困难。因此，从 PVC 树脂的增强结果看，以 20%左右的纤维含量为宜。

4. 玻璃纤维增强回收聚苯乙烯

聚苯乙烯树脂也可和其他树脂产品一样，用纤维增强材料进行增强，以提高产品的综合性能和附加值。其中，聚苯乙烯玻璃纤维增强树脂的生产和使用较为普遍。

再生聚苯乙烯纤维增强塑料产品的生产方法：先将废旧聚苯乙烯泡沫塑料脱泡、粉碎制成模塑粉，再加入 20%~30%的玻璃纤维，在模内压制成型；也可在废旧聚苯乙烯热轧辊脱泡时直接加入玻璃纤维混合、粉碎，制成含 80%玻璃纤维和 20%树脂的母料，然后掺入树脂中，使混合后玻璃纤维含量为 20%，再进行模压加

工。增强聚苯乙烯树脂的加工除模压成型外，也可注射成型和挤出成型，但注射成型时成型温度应比原树脂成型温度高 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，注射速度要快，压力要高，模具温度为 $60\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。

注射聚苯乙烯树脂经玻璃纤维增强后，保持了原树脂优良的性能和耐化学腐蚀性能，改变了原树脂脆性、冲击强度低等缺点；刚性、韧性和机械强度比原树脂增强一倍左右，蠕变性和松弛率大为降低，热膨胀率减少一半，低温尺寸稳定性和耐老化性良好。

五、增韧改性

塑料制品在使用过程中，由于受到光、热、氧等的作用，会发生老化现象，使树脂大分子链发生降解，所以回收的塑料力学性能发生很大变化，耐冲击性随老化程度的不同而变化，改善回收塑料耐冲击性的途径之一，可使用弹性体或共混型热塑性弹性体与回收料共混进行增韧改性。

弹性体有顺丁橡胶（BR）、三元乙丙橡胶（EPDM）、苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物（SBS）、丁苯橡胶（SBR）、丁基橡胶（IIR）等。

还可以使用非弹性体，如高密度聚乙烯（HDPE）、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物（EVA）、甲基丙烯酸甲酯-丁二烯共聚物（MBS）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）及氯化聚乙烯、活化有机粒子等，对回收塑料进行增韧改性，从而提高其耐冲击性，可充分利用回收塑料，扩大应用范围。

1. 增韧回收聚丙烯

（1）弹性体增韧聚丙烯 此部分内容在共混章节中已经谈到，这里就不重复了。

（2）非弹性体增韧聚丙烯 在聚丙烯树脂中，加入 $10\%\sim 45\%$ 的高密度聚乙烯，可使聚丙烯大分子链柔顺，提高聚丙烯制品耐低温性、冲击强度，而且成型加工流动性好，免去了分捡 PP、PE 的工序。若在聚丙烯和聚乙烯共混物中加入 $5\%\sim 20\%$ 的乙丙橡胶，还可改善两者的相容性，提高共混物的强度，可获得 $90\text{kJ}/\text{m}^2$ 的高抗冲高级材料。

2. 增韧回收聚乙烯

(1) 弹性体增韧聚乙烯 增韧改性聚乙烯的弹性体有很多，如 SBR、BR、EPDM、IIR、SBS 等，增韧改性聚乙烯与聚丙烯工艺相似，但由于聚乙烯的塑化温度低于聚丙烯，用开炼工艺塑化温度控制在 145℃ 左右即可。

(2) 活化无机粒子增韧高密度聚乙烯 用活性偶联剂对无机粒子（如 CaCO_3 ）表面进行处理，并加入少许马来酸酐（MAH）、过氧化二异丙苯（DCP）后，添加到高密度聚乙烯中，能改善共混物的冲击性能、拉伸强度、模量等。见表 4-24 活化 CaCO_3 对 HDPE 的改性结果。

表 4-24 活化 CaCO_3 对 HDPE 的改性结果

CaCO_3 /质量份	活化剂及配合剂/质量份		缺口冲击强度 /(kJ/m^2)	拉伸强度/ MPa
	活化剂	配合剂 DCP		
0	0	0	20	30.0
70	0	0	7	20.7
70	MAH 0.7	0.10	20	30.5
70	MAH 1.1	0.40	36	32.2
70	KH-570 1.1	0.40	22	29.1
70	0	0.40	1	25.5

当在 100 质量份高密度聚乙烯中加入被活化的 CaCO_3 70 质量份，用 MAH 1.1 质量份及 DCP 0.4 质量份时，与未进行活化的相同填充量比较，缺口冲击强度提高 4 倍、拉伸强度提高 60%，与未充填的高密度聚乙烯相比，冲击强度提高近 1 倍、拉伸强度提高 2MPa。用活化的钛白粉（ TiO_2 ）改性 HDPE 的结果见表 4-25。

表 4-25 活化 TiO_2 对 HDPE 改性的结果

TiO_2 /质量份	活化剂及配合剂/质量份		缺口冲击强度 /(kJ/m^2)	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 /%
	KH-570	DCP			
70	1.1	0	11	20.7	16
70	1.1	0.10	不断	31.6	850
70	1.1	0.25	不断	32.2	900
70	1.1	0.40	不断	28.0	850

活化 TiO_2 的改性效果极为显著，适度的活化剂及配合剂使被改性体冲击不断，使断裂伸长率提高几十倍。

3. 增韧回收聚氯乙烯

原树脂的聚氯乙烯制品本身韧性、缺口冲击强度就低，经过长期使用后，树脂中的增塑剂、润滑剂等低分子物质发生溶出、挥发和迁移，使制品变脆、变硬，韧性更差，在对回收料增韧改性加工过程中，必须加入相应的助剂，以改善其加工性和使用性。

可使用的改性剂有 NBR（丁腈橡胶）、CR（氯丁橡胶）等弹性体，含氯量 35% 左右的 CPE（氯化聚乙烯）类弹性体，含 65%~70% 乙酸乙烯（VA）的 EVA（乙烯-乙酸乙烯酯共聚物，用量为 5%~15%）、含 40% 丁二烯的 MBS（甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物，用量为 10%~20%）、含 50% 丁二烯的 ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物，用量 8%~25%）等非弹性体。

（1）弹性体增韧聚氯乙烯 聚氯乙烯（PVC）的韧性差，其硬制品的简支梁缺口冲击强度仅 2.4kJ/m^2 ，其回收料的韧性因老化作用而变得更差。另外，为了改善 PVC 的加工性能和使用性能，常加入一些低分子增塑剂，这些增塑剂在制品的加工和使用过程中发生溶出、挥发和迁移，使制品变硬发脆。因此，对再生 PVC 料进行增韧改性是十分必要的。

如以 NBR 橡胶改性 PVC 为例，根据极性相似原理，丁腈胶（NBR）是 PVC 的优良增韧改性剂。NBR-26 型及 NBR-40 型及粉末 NBR 是 PVC 通用的改性胶种。当丙烯腈含量为 8% 以下时，橡胶以孤立的分散相存在；丙烯腈含量为 15%~30% 时，橡胶以网状形式分散相；丙烯腈含量为 40% 时，呈完全相容的状态。

实际实施共混操作时，应将 NBR 胶破碎成细小碎块或挤出切粒，然后与 PVC 及其配合剂在高速捏合机中混合。混合后料可直接塑化成型或经造粒后再加工成型。

氯丁胶（CR）对 PVC 的冲击性能也有较好的改性效果。

（2）氯化聚乙烯（CPE）弹性体改性 PVC 氯化聚乙烯（CPE）的氯含量在 35% 左右时属弹性体，它是改善 PVC 的加工

性、分散性和冲击强度等综合性能颇好的改性剂。但 CPE-PVC 共混物的拉伸强度会随着 CPE 加入量的增多而下降，同时提高了共混物的熔体黏度，这将对加工带来不利的影响。在 PVC-CPE 中加入少量的 LDPE 可提高改性效果。CPE 为粉状物，与 PVC 及助剂一起捏合十分方便，可按 PVC 的成型工艺生产制品。

【例 7】用 NBR 及 CPE 对废旧 PVC 软制品进行增韧改性生产塑料泡沫鞋底，其配方见表 4-26。

表 4-26 NBR-CPE 增韧改性废旧 PVC 软制品制泡沫鞋底的配方

配 方	质量份	配 方	质量份
PVC 废料	90	碳酸钙(活化)	15
PVC 树脂	10	过氧化二异丙苯(DCP)	0.2
NBR(AN 含量 24%~29%)	6	稳定剂	1.6
CPE(含 Cl 量 36.5%)	4	增塑剂	8

PVC 废料的配方是：注塑鞋底：薄膜：泡沫鞋底 = 30：20：50。

NBR 塑炼及 NBR/CPE 共混胶制备工艺如下：NBR 在 40℃ 辊温下分三段塑炼，每段塑炼时间 25min，停放 12h 以上。NBR-CPE 以 60：40 在 150℃ 辊温下混炼。

PVC 废旧料及

PVC 树脂——捏合——搅拌（AC、增塑剂、活性碳酸钙、稳定剂）——约 130℃ 塑化——混匀——拉片冲裁——压模发泡——冷却至 50℃——蒸汽发泡——堆放成型

(3) 非弹性体改性 PVC

① EVA 改性 PVC。作为 PVC 抗冲改性剂，当 EVA（乙烯-乙酸乙烯酯共聚物）中 VA（乙酸乙烯）的含量为 45% 时，EVA 与 PVC 表现出部分相容；VA 的含量为 65%~70% 时，EVA 与 PVC 完全相容；VA 含量超过 80% 时，EVA 与 PVC 又表现为不相容。仅当 EVA 用量为 5%~15% 时，EVA 与 PVC 产生明显的协同作用，改性效果最好。因此，用 EVA 作为 PVC 的改性剂时应注意 VA 的含量及 EVA 组分用量。一般来说，随着 EVA 含量

的增加，改性后共混物的抗冲性能、加工流动性和热、光稳定性提高，而模量、强度和热变形温度则下降。

EVA-PVC 共混物的耐化学性能和低温性能好，增塑效果稳定，耐候性好，并具有良好的手感，因而改性共混物可以制备硬质或软质制品。用 EVA 改性 PVC 回收料的工艺与原树脂的改性相类似。回收 PVC 需进行用前处理，然后粉碎，其他捏合等工艺与改性 PVC 树脂相同。

② MBS 改性 PVC。MBS（甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物）含有与 PVC 有较好相容性的甲基丙烯酸甲酯及苯乙烯，同时有一个橡胶核存在，MBS 的这个结构特征使它可以作为 PVC 的冲击改性剂。当 MBS 组分含量在 5%~30% 时（尤其是在 10%~20% 时），改性后的共混物拉伸强度、冲击强度、模量等性能均有提高。在 MBS 共聚物中，B 组成（丁二烯）含量为 40% 时，MBS 改性的效果最好，即共混物的冲击强度最大。同时也改善了它的加工性能，提高了 PVC 制品的透明性。但 MBS 售价高，使改性 PVC 制品的成本提高。

③ ABS 改性 PVC。用 ABS 树脂（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物）对 PVC 进行改性，ABS 含量在 8%~40% 范围时，冲击强度达到最大值。如果综合考虑其他性能，一般用量范围为 8%~25% 较适宜。

从 ABS 树脂的相结构看，弹性体相 B（丁二烯）和硬质相的组成是影响改性的关键因素。从改善增韧效果角度看，ABS 中 B 的含量为 50% 时可明显提高增韧改性的效果。

4. 增韧改性回收聚苯乙烯

橡胶可以作为增韧改性剂与回收的聚苯乙烯共混，而丁苯橡胶和聚苯乙烯有相似的结构，相容性好，丁苯橡胶中苯乙烯含量增多，两者相容性就越好，可均匀地分散在聚苯乙烯树脂的基体中，共混物具有较高的抗冲击强度，制品一般无剥离现象。

丁苯橡胶与回收聚苯乙烯可直接用各种混炼机进行机械共混，混炼设备可用双螺杆挤出机、带有静态混合器的单螺杆挤出

机和双辊筒混炼机、密炼机等。具体操作方法见共混改性的有关章节。

六、其他性能的改性方法

废旧塑料制品都有不同程度的老化，为了保证其成型加工性及再成型制品符合使用要求，要对回收的废旧塑料成型前加入各种助剂，如稳定剂、润滑剂、充填剂及各类改性剂、着色剂等。可根据再生制品的不同用途选择不同的助剂而进行配方设计。

1. 提高耐热性的方法

提高再生制品的耐热性可以加入热稳定剂，防止废旧塑料在加工过程中或使用过程中受热而发生降解或交联。特别是回收的聚氯乙烯树脂分解温度较低，加工困难，在加工过程中易受热分解脱出低分子物，通过加入热稳定剂可提高聚氯乙烯热稳定性及制品耐热性。

热稳定剂主要有碱式铅盐、金属皂类、有机锡化合物、有机稳定剂及复合稳定剂。用量少，一般为 3 份。见表 4-27 稳定剂性能。

表 4-27 稳定剂性能

稳定剂名称	耐热性	耐光性	透明性	电器绝缘性	毒性	润滑性	备 注
硬脂酸钙	○	○	△	○	无	●	挤出,稳定兼润滑性
蓖麻油酸钙	△	○	△	○	无	△	
硅酸钙	○	○	△	◎	无	△	
乙酰基乙酸钙	△	△	○	×	无	×	
硬脂酸镁	○	△	△	×	无	○	填充剂,可作稳定剂
硬脂酸锶	○	○	△	○	有	◎	
月桂酸锶	○	○	○	○	有	○	
环烷酸锶	○	○	○	△	有	△	
蓖麻油酸锶	○	○	○	△	有	△	与月桂酸二丁锡并用有相剩效果
硬脂酸钡	○	○	△	○	无	◎	
月桂酸钡	○	○	○	○	无	△	
蓖麻油酸钡	○	◎	○	○	无	△	
硬脂酸镉	◎	○	●	○	有	◎	提高初期耐热性与硬脂酸镉并用
月桂酸镉	◎	◎	●	○	有	◎	

稳定剂名称	耐热性	耐光性	透明性	电器绝缘性	毒性	润滑性	备 注
硬脂酸铅	◎	○	×	◎	有	◎	铅盐为不透明
二碱式硬脂酸铅	◎	○	×	◎	有	◎	挤出用
碱式碳酸铅	◎	△	×	△	有	×	颜料的稳定剂
硅酸铅	○	○	△	●	有	○	高绝缘电线用,半透明
碱式硅酸铅	●	○	△	◎	有	○	
碱式硬脂酸铅	◎	○	△	◎	有	○	
三碱式硫酸铅	◎	○	×	◎	有	△	电线用
二碱式亚磷酸铅	◎	◎	△	◎	有	△	强盐酸捕捉剂,电绝缘性好
水杨酸铅	◎	○	△	◎	有	△	
二碱式苯二甲酸铅	◎	○	○	◎	有	○	
三碱式马来酸铅	◎	○	○	◎	有	△	
二乙酸二丁基锡	○	○	○	×		×	分散性好、泡沫用
月桂酸二丁基锡	◎	◎	◎	△		○	
马来酸二丁基锡	●	●	●	△		×	能防止初期着色
硫醇二丁基锡	●	△	●	△	有	×	耐热,透明性优秀,注射用
月桂酸三苄基锡	◎	◎	◎	△		○	
硬脂酸三苄基锡	●	●	◎	△		○	

注: $\times < \triangle < \bigcirc < \bigcirc < \bullet$ 。

使用稳定剂时,应注意稳定剂的毒性和污染性,如再生聚氯乙烯料中的碱式铅盐类稳定剂有一定毒性,不宜作与食品接触的塑料制品。

2. 降低成型加工温度方法

在聚合物中加入增塑剂可以显著提高聚合物的塑性和流动性,降低流动温度,有利于塑料的成型加工,同时被增塑的聚合物的柔软性、冲击强度、伸长率、低温性能等都有提高,而拉伸强度、玻璃化温度、软化温度、弹性模量下降。

回收的聚氯乙烯料往往需要增塑剂,由于小分子增塑剂:邻苯二甲酸二辛酯(DOP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)等易在制品使用时发生迁移现象,所以对再生聚氯乙烯制品有时需补充一定量的增塑剂,增塑剂的加入能降低流动温度易于加工成型,但加入量由再生聚氯乙烯制品要求的硬度决定。另外,应考虑回收的聚氯乙烯

制品中软、硬制品的比例。由于聚氯乙烯膜、革、壁纸类与硬质聚氯乙烯管、异型材类中残留增塑剂量很不同，所以若将适量软聚氯乙烯回收料与硬聚氯乙烯回收料掺用，可以减少或不用增塑剂。

增塑剂主要有邻苯二甲酸酯类、脂肪族二元酸酯类、磷酸酯类、石油磺酸酯类、环氧酯类、聚酯类、含氯化合物（含氯量43%~52%的氯化石蜡）等。

3. 提高塑料耐光性的方法

塑料在阳光、空间高能射线的照射下，会迅速发生老化、出现泛黄、变脆、龟裂、表面失去光泽等现象，力学性能和电性能大大降低，以致最终失去使用价值。

塑料的光氧老化是由于综合因素作用而发生的复杂过程。这些因素中，最重要的是阳光中的紫外线和大气中的氧。太阳光是影响塑料老化的最主要原因。户外使用的塑料都受到它的破坏。光稳定剂是提高塑料光稳定性的一种物质。它能屏蔽紫外光波，减少紫外线的透射作用；或能吸收高能量的紫外线进行能量转换，以热能形式或无害的较长波长而把能量放出；或能迅速地使已经被紫外线激发的塑料材料回到稳定的基态，从而达到保护塑料材料，使其免受紫外线破坏的作用。

光稳定剂能够防止塑料材料发生老化，大大延长了它的使用寿命，效果十分显著，用量极少，通常仅需1~5份。

常用的光稳定剂有以下几种。

① 紫外线吸收剂。吸收紫外线，把光能变成热能转移出去。

② 先驱型紫外线吸收剂。经光照后分子结构重排，具有紫外线吸收剂的作用。

③ 消光效应剂（紫外线淬灭剂）。把处于激发态分子的能量转移，而回到稳定的基态。

④ 光屏蔽剂（颜料）。将有害光波变成热能散发或将光波发射出去。

4. 提高塑料加热成型的流动性、脱模性的方法

能够改善高聚物加热成型时的流动性、脱模性的物质都称为润

滑剂。

配方中加入 0.5~2 份的润滑剂，可以减少塑料分子链之间的摩擦力，改进塑料熔体的流动性，减少塑料与加工机械之间的摩擦，避免它们之间的黏附，降低制品表面的粗糙度。

需要添加润滑剂的常见塑料有 PVC、PP、PE、PS、PA、ABS 等，其中以硬 PVC 最为突出。常用的润滑剂有金属皂类、饱和烃类、脂肪酸及其衍生物、脂肪酸盐等四大类。润滑剂使用方法：①聚氯乙烯软制品与硬制品比较，应使用润滑剂多些；②在各种制品中，压延制品应以内外润滑为主，主要使用金属皂类；挤出、注射制品以内润滑为主，在金属皂类的基础上增加硬脂酸；层压、模压制品以外润滑（石蜡）为主，使制品表面光亮；透明制品则主要添加高碳醇、硬脂酸正丁酯或硬脂酸。

另外，废旧塑料常有一定程度的污染，故常选用深色着色剂。如果用较干净的再生料制备色母粒，效果更好。

第二节 废旧塑料的化学改性

回收的废旧塑料，不仅可以通过共混、充填、增强、增韧等方法进行改性扩大其用途，还可以通过化学改性（氯化改性、交联改性、接枝共聚改性）的方法，拓宽回收塑料的应用渠道，提高其应用价值。

一、聚烯烃的氯化改性

聚烯烃（PO）是指乙烯、丙烯、丁烯等烯烃为主的均聚物和共聚物，也包括部分改性、共混、增强、复合物，主要品种有 LDPE、LLDPE、MDPE、HDPE、EVA、PP 等。聚烯烃通过氯化可得到阻燃、耐油等良好特性，其产品具有广泛的应用价值。

1. 聚乙烯的氯化

（1）加工方法 将废 PE 膜进行洗涤、脱水、粉碎后，送入反应釜进行氯化，可制得氯化聚乙烯（CPE），具体工艺路线如图 4-5 所示。在 100℃左右氯化反应时间大于 1h，含氯量可达 35%，具

有良好的性能，用来替代市售 CPE，可用于 PVC 低发泡鞋底和硬质 PVC 的改性。

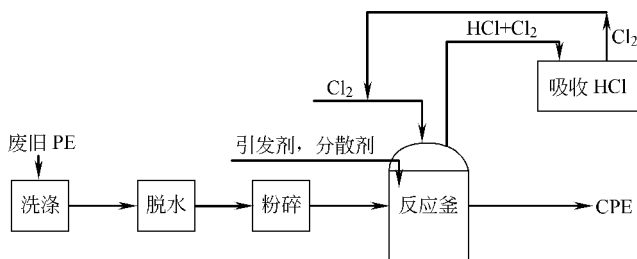


图 4-5 制备 CPE 的工艺示意

(2) 特性 氯化聚乙烯的分子结构中含有乙烯-氯乙烯-1,2-二氯乙烯。含氯量为 25%~40% 时，拉伸、抗应力开裂性下降；含氯量 $\geq 45\%$ 时易分解，需加入稳定剂。耐热、耐低温、耐燃、耐候性和耐化学稳定性皆优，柔韧性、耐磨耗性和耐应力开裂性好；填充能力高，与 PE、CPVC、橡胶等共混性好，无毒，加工性能好；与碱、 $-\text{NH}_2$ 等加热会交联成体型结构，尤其是 CPE 弹性体（含氯量 35% 左右），可以作为大分子增塑剂及高分子共混物的相容剂。

(3) 氯化聚乙烯用途 主要用来与 PVC 共混改进其冲击韧性、耐低温、耐候、耐燃和成型性等，也用来与 ABS、PS、PP、PE、CPVC、橡胶等共混改性。注塑制品用作机械部件，约有 1/3 产品用于涂层和薄片复合。

2. 聚丙烯的氯化

回收的聚丙烯与回收的聚乙烯一样，也可以进行氯化改性。

(1) 加工方法 聚丙烯在 SbCl_5 等氯化介质中以过氧化苯甲酰或 P_2O_5 等加速氧化而得。

(2) 特性 氯含量低时化学稳定性好，但可溶于溶剂，与其他树脂相容性好；含氯量 30% 左右的软化点最低；含氯量 38%~65% 的结晶被破坏，但耐热、耐光、耐磨性好、黏合性、印刷性

提高。

(3) 用途 用作包装膜、覆盖物、涂料、黏合剂、油墨载体等。

3. 聚氯乙烯的氯化

氯化聚氯乙烯 (CPVC) 是聚氯乙烯的重要化学改性方法之一。对回收 PVC 再生料的氯化改性有两个基本目标。第一个目标是提高 PVC 的连续使用温度。普通 PVC 的缺点之一是最高的连续使用温度仅在 65℃ 左右, 经过氯化改性的聚氯乙烯的最高连续使用温度可达 105℃。除了提高使用温度外, 强度和模量等性能也得到了改善, 见表 4-28。但氯化改性聚氯乙烯也有不足之处, 一是脆性略增, 二是氯化改性后增加了熔体黏度, 且 CPVC 的软化点也高于普通 PVC。

表 4-28 CPVC 与 PVC 的性能对比

品 种	CPVC	PVC
氯含量/%	67.8	56.8
密度/(g/cm ³)	1.54~1.59	1.35~1.45
洛氏硬度(R)	117~125	105~115
拉伸强度/MPa	58.8~73.5	49.0~65.9
弯曲强度/MPa	78.4~17.6	68.6~107.8
热变形温度/℃	94~113	55~80

注: 聚氯乙烯和氯化聚氯乙烯的聚合度范围均为 565~740。

第二个目标是氯化改性后用于做涂料和胶黏剂。此类氯化改性采用溶液氯化工艺, 其产品俗称过氯乙烯。而通常用悬浮氯化工艺制得的改性产品主要用于制备耐热、耐化学药品的器件, 如电解设备配件、污水处理净化装置配件、热水管等产品。

二、聚烯烃的交联改性

回收的聚烯烃, 可通过交联大大提高其拉伸性能、耐热性、耐环境性能、尺寸稳定性、耐磨性、耐化学性能等。

交联有三种类型: 辐射交联、化学交联、有机硅交联。

聚合物的交联度可通过加交联剂的多少或辐照时间长短来控制。交联度不同, 其力学性能也不同。轻度交联的聚烯烃可具有热

塑性，易于加工；交联度比较高的聚合物，由于形成三维网络结构的聚合物，所以成为热固性材料。因此，这种改性加工方法有两种：①在聚合物软化点之上，加入交联剂，混合均匀，在低于交联剂分解温度情况下进行造粒，最后成型与交联反应一步完成；②在低于交联剂分解温度情况下成型，然后在高于交联温度情况下完成交联。目前比较先进的技术是利用反应挤出技术，聚合物和交联剂在双螺杆挤出机中混合和交联反应，并直接制成产品，如管子。

1. 聚乙烯的交联改性

对回收的高密度聚乙烯和低密度聚乙烯进行交联，称为交联聚乙烯。交联聚乙烯有如下三种类型。

(1) 辐射交联 聚乙烯成型成电缆、薄膜或其他制件后，经电子、 α 射线、 β 射线、 γ 射线等高能射线辐照交联。

(2) 化学交联 聚乙烯与有机过氧化物和其他添加剂配合混合后造粒，再成型加工成制品，然后经热处理交联。

(3) 有机硅交联 聚乙烯与有机过氧化物和有机硅共混接枝、造粒，再与总量 5% 的加入有机锡催化剂的聚乙烯混炼，成型加工成制品，最后经热处理交联。此法也属化学交联。

如果采取轻度交联，在保持其热塑性的前提下，可适度提高力学性能，废弃后还可以再回收利用。如果经过充分交联，其特征为：具有网状结构而成热固性，有突出的耐磨性、耐应力开裂，无毒、无味、不吸水；低温柔韧性好，软化点达 200°C ，可在 140°C 下长期使用；冲击强度、拉伸强度、抗蠕变性、刚性等皆优于 HDPE，弹性模量比 HDEP 高 5 倍；电绝缘性、化学稳定性优异，薄膜有适度透明和足够的水蒸气透过性。但无法再成型，可经机械加工再成型。

薄膜类用于食品包装、热收缩薄膜、建筑和农业用，线缆包覆及绝缘护套，各种耐热、耐腐蚀介质管材和容器，火箭、导弹、机电产品及高电压、高频绝缘材料。

例如回收聚乙烯的化学交联改性。在适当温度下，以过氧化二异丙苯 (DCP) 为交联剂，用螺杆挤出机将 DCP 和回收 PE 混合

并进行交联，控制温度为 $170\sim 180^{\circ}\text{C}$ ，螺杆长径比以 35 为宜。得到的轻度交联的聚乙烯可进行热塑性加工，并改善了聚乙烯的性能。

2. 聚氯乙烯的交联改性

聚氯乙烯 (PVC) 是我国目前使用最早、产量最大、应用最广的通用塑料品种之一。由于聚氯乙烯具有原料易得、价格低廉、成型性能良好等优点，其制品广泛应用于建筑装潢、农用地膜、汽车工业、电线电缆、日用品等领域。可是聚氯乙烯是热敏性材料，存在耐热性差、抗老化性及抗变形性、耐磨性、耐电击穿性及机械强度差等缺点，严重制约了聚氯乙烯的进一步应用。采用交联方法可以克服这些缺点，提高聚氯乙烯产品档次。

PVC 交联方法有过氧化物交联、辐射交联、硅烷交联、二巯基—三嗪化合物交联、共聚/接枝导入易交联基团等方法。辐射交联方法较其他方法交联效率高，工艺条件易于控制，加之挤出工序和交联工序分开的特点，使得辐射交联方法得到广泛应用。

(1) PVC 辐射交联 所谓聚合物辐射交联，就是将聚合物置于辐射场中，在射线、电子束等高能射线的作用下，引发聚合物发生一系列的化学反应，在聚合物内部形成交联的网络结构。如图 4-6 所示。辐射剂量是影响交联效率显著的因素之一，一般随着辐射剂量的增加，交联效率提高，凝胶含量增大，高聚物交联密度增大。但辐射剂过大，会使得辐射高聚物产生不利一面。具体的 PVC 辐射交联材料的应用可分为以下几方面。

① 电线电缆。PVC 材料经辐射交联具有强度大耐热、耐溶剂、耐老化、热变形小、耐磨损、耐电击穿性及机械强度高等优点。在电线、电缆的绝缘与护套材料已得到广泛应用。

如 PVC 绝缘软线、PVC 绝缘护套电缆、电气装备用 PVC 绝缘电线、高压交联电缆、星绞式/对绞式聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套通信电缆等。PVC 辐射电缆具有一些优异性能，可以代替比较昂贵的聚四氟乙烯等电缆，用在一些特殊的场合，如排气扇、空调器、汽车引擎装置等。

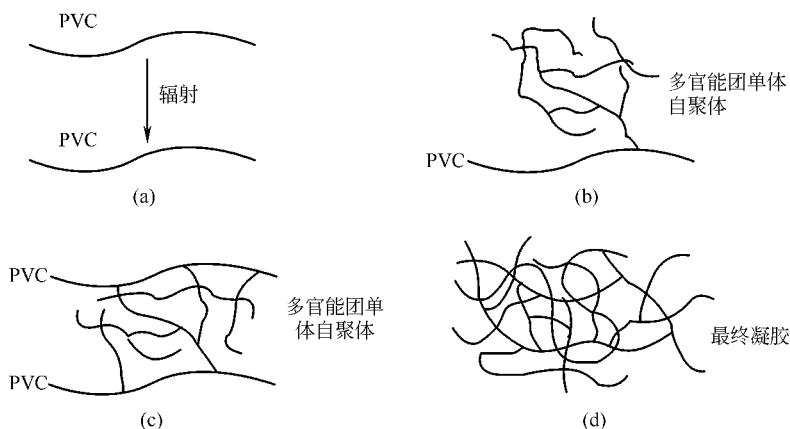


图 4-6 交联过程模型

② 热收缩材料。PVC 经过适当的配方可以通过辐射交联制得热收缩材料，可以用做热收缩包装薄膜、热收缩套管等热收缩材料。此外，通过在 PVC 中加入反应型不饱和增塑剂及透明加工助剂，可以制得无毒的透明热收缩包装材料，用于食品及高档次商品包装。

③ 医用材料。PVC 辐射工艺具有挤出工序和交联工序分开的特点，可以采用辐射交联法只对辐射产品的某些部位进行辐射，以满足不同部分的性能需求，如对交联剂、增塑剂加以选择，采用合适的辐射剂量可以使 PVC 的化学性能指标中的易氧化物含量、pH 值等满足医用要求。如目前医疗上用的冠状动脉球囊扩张导管，要求纵向上具有硬度变化，即前一部分较软 [邵氏硬度 (A) 为 70~76]，后一部分较硬 [邵氏硬度 (A) 为 90~96]，采用此辐射交联便于确定合适的工艺进行操作。

④ 建筑材料。虽然塑料瓶市场已被 PET 瓶大部分代替，但管材、门窗料，PVC 占主要市场份额，而且增长速度比木质、铝质门窗快得多。辐射交联改性更扩大了 PVC 材料的应用范围，辐射交联 PVC 材料具有优异的尺寸稳定性、阻燃性、耐磨性及耐化学

溶剂性，特别适用于做高级地板材、墙纸等建筑装饰材料。用辐射法制得交联地板砖，有阻燃、耐化学腐蚀、热变形小等优点，把吸剩的烟头扔在地板上，踏灭后扫掉即可，毫无痕迹。

(2) PVC 的化学交联 PVC 的化学交联改性也有多种方法，使用的交联剂多为含硫的有机化合物，如巯基 043 酯、二硫羧化合物等，以及硫、二硫化钠等无机物；溶剂多为 DMF、液氨、乙二胺 (EN) 等。具体参见表 4-29 PVC 交联改性方法汇总。

表 4-29 PVC 交联改性方法汇总

交 联 剂	反应促进剂	反应条件	生成物特征
O-NH ₂ C ₆ H ₄ SH 或 HSCH ₂ COOH	EN	非均相 ^① 30℃	用有机酸或胺进行离子交联
HOC ₆ H ₄ CH ₂ Cl	EN	非均相 30~70℃	内部可塑性
C ₂ H ₅ OSCSK	DMF	均相 60~70℃	与光或热交联

① 取粒状 PVC 分散于碳化物的 EN 或液氨溶液中，或取 PVC 与硫化物混炼的薄板，浸渍于 EN 或液氨中。

PVC 废料用交联剂进行改性，不仅可以提高 PVC 制品的力学性能，还能有效抑制 PVC 的脱 HCl 反应，使 PVC 再生制品稳定。

三、聚烯烃的接枝共聚改性

废旧塑料的化学改性，除了有交联改性和氯化改性以外，还有接枝、嵌段等共聚改性，目前实用性较强的属回收聚丙烯的接枝共聚改性。

1. 聚丙烯接枝共聚改性

接枝改性聚丙烯 (GPP) 的目的是为了提高聚丙烯与金属、极性塑料、无机填料的粘接性或增容性。对回收聚丙烯再生材料而言，至少有两点意义。一是当回收的聚丙烯料中混杂着部分 PVC 等极性树脂制品时，可不必分离而直接实施共混，在混塑炼化过程中引入接枝改性反应，使 PP 与 PVC 相间增容；二是经接枝改性后的回收 PP 再生料可拓宽其应用范围，不仅可与极性高聚物制品共混，也可以较大量地进行填充或增强改性，以达到提高再生制品的性能并降低生产成本的目的。

所选用的接枝单体一般为丙烯酸及其酯类、马来酰亚胺类、顺丁烯二酸酐及其酯类。

接枝共聚的方法有：①辐射法；②溶液法，在溶剂中加入过氧化物引发剂进行共聚；③熔融混炼法，在过氧化物存在下使聚丙烯活化，在熔融状态下进行接枝共聚。

无论对 PP 树脂还是回收 PP 再生料，采用熔融混炼法工艺实施接枝改性都是易行的。在熔融混炼法中（如开炼混融法、密炼混融法和螺杆挤出混融法）进行接枝改性，以推原位反应挤出工艺为好。接枝改性后的高分子材料（即聚丙烯与不饱和酸酐或酯的接枝共聚物）的物化性质取决于被接枝物的含量及接枝链的平均聚合度（如果能形成支链）。此类共聚物的基本力学性能与聚丙烯相近，但与无机材料和极性塑料或橡胶的相容性提高。接枝改性物的结晶度和熔点随着被接枝物的含量增加而下降，透明性和低温热封性却提高。

2. 聚苯乙烯接枝共聚改性

聚苯乙烯是非极性物质，如要提高其在钢材、木材等表面的黏附性，必须用强极性物质对其进行改性。化学接枝法就是通过化学反应，将接枝单体接到聚苯乙烯大分子上，使聚合物分子上分别带有一OH、—CCl、—CONH₂等活性基团。化学接枝的程度用接枝率表示，接枝率以每克聚苯乙烯分子链上接入的一OH 摩尔数来表示，单位为 mmol/g。经过化学接枝改性的聚苯乙烯可以制成涂料和黏结剂等产品。其中制造涂料的工艺流程见图 4-7。

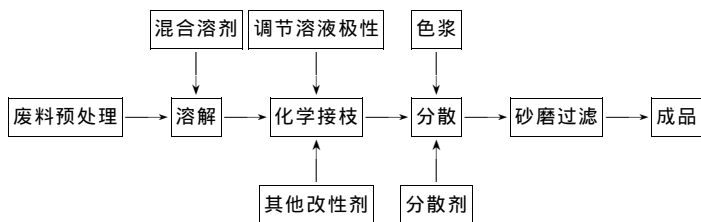


图 4-7 制造涂料的工艺流程

综合考虑溶剂的溶解能力、挥发性、成本及对后续工序的影响

等因素，选择混合溶剂甲苯和甲醇，两者的体积比为 94.2 : 5.8，按废旧聚苯乙烯与混合溶剂 1 : 3 的比例在室温下将聚苯乙烯溶解，以氯乙酸甲酯或环氧氯丙烷为接枝单体进行接枝反应，接枝后高聚物的极性增大，加入丙酮调节溶液极性。为使涂料具有适当的挥发度，另加入二甲苯和 200 号溶剂油作稀释剂。为提高涂料的综合性能，加入的其他添加剂还有：5% 的酚醛树脂和 0.3% 甲苯二异氰酸酯，以增强附着力；含量各为 0.5% 的蓖麻油改性的醇酸树脂和氯化石蜡，为增韧剂；0.5% 的甲基硅油，作润湿剂，以改善涂料对工件的润湿性能；用吡唑酮为缓蚀剂，含量为 0.1% ~ 0.3%；用邻苯二甲酸二丁酯和蓖麻油调制色浆。

经过化学接枝改性后的涂料对金属具有良好的附着力和耐腐蚀性，对施工基底无特殊处理要求，可一次成型，干燥迅速。适用于涂刷、喷涂和浸涂等施工方法。

四、回收塑料物理与化学的同时改性方法

对回收热塑性废旧制品再生料的改性一般为单纯的物理改性与单纯的化学改性。前者是通过机械混炼设备在塑料的软化点以上的温度下实施熔融混合，以制备多组分多相态的共混物合金及复合材料；后者则通过大分子的化学反应或共聚反应实施改性。改性的目的是改善再生料的性能并扩大其应用范围。

塑料改性的另一个方法，即原位反应挤出工艺的改性与成型。是同时实现化学改性和物理改性。它突破了过去的化学改性、物理改性和成型加工之间的界限或不连续化，大幅度地缩短了塑料材料制备和制品生产的周期，也有效地改善了再生塑料的综合力学性能。

这一改性方法是在特制螺杆挤出机中边实施组分共混边进行接枝化学改性，且进一步连续就地进行改性共聚物的再混合，它体现了两种改性方向的同时性和就地性；可以直接得到改性粒料，也可以直接通过成型辅机或模具成型，又体现了改性与成型的连续化。

原位反应挤出的改性及成型工艺的具体操作办法：用一种长径比很大的 ($L/D > 40$) 单螺杆或双螺杆挤塑机一次性地完成共混、

改性及成型（或造粒）。

原位反应挤出设备除大的长径比外，在机身适当位置还有几个加料口和减压口，其设备的构造特点如图 4-8 所示。选取马来酸酐或其酯化物作为接枝反应的中介单体较好，因它不能产生单体的均聚，使相对接枝率升高；还可以引入酯基。

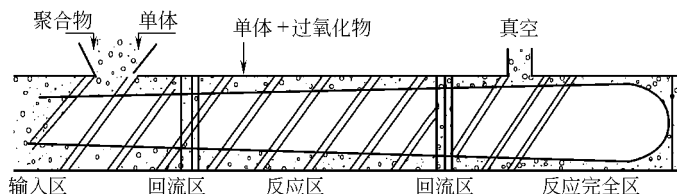


图 4-8 原位反应挤出机示意

原位反应挤出工艺所进行的塑料改性及其加工成型的主要优点是：①多相材料的内在相容性提高，促进了材料热力学稳定性及力学性能的稳定；②实现了共混、改性、成型连续化，显著提高了生产效率；③使通用大品种塑料改性成工程塑料或结构材料；④生产场地面积小，污染少，节能，自动化程度高。

该改性工艺特别适合双组分或多组分高聚物间的增容共混，即组分间有极性和非极性的聚合体间的共混。另外，产生接枝反应的引发剂常用过氧化物。原位反应挤出工艺对回收废旧塑料同样适用。

第三节 混合废旧塑料的利用

混杂塑料材料指由许多不同塑料材料组成的材料，这些材料通过一般技术还不能加以分离，但因其制品消费量很大，故仍应对这些材料加以回收利用。包装是塑料应用的主要领域，主要制品是容器和薄膜，但包装产物使用寿命很短，大部分包装塑料都进入城市垃圾。在硬性包装中，高密度聚乙烯（HDPE）和聚酯（PET）分别可以用来做牛奶壶、水壶和饮料瓶，这两种材料容易识别，能被

分离，且容易回收，所以这两种塑料在世界各地都有回收利用的实例。剩下的塑料薄膜、塑料制品（容器、玩具）等包装，由于对包装没有标准化，容器的形状、颜色、组成随制造公司的不同而不同，所以不易识别分类，分离也非常困难或者非常昂贵，这些材料可再加工成仿木料，制成异型材，或制成可出售的有用产品。

一、混合废旧塑料材料的结构与性能

混合废塑料经分离出 PET 可乐瓶和 HDPE 奶瓶或壶后，剩下的废塑料主要成分如表 4-30 路边收集的废旧塑料类别所示。

表 4-30 路边收集的废旧塑料类别

塑料名称	百分率/%	塑料名称	百分率/%
HDPE(非牛奶壶)	80	PVC	4
LDPE	4	PET(非软饮料瓶)	4
PP	4	其他	1
PS	3		

可见，聚烯烃在废旧塑料中占有 88%，其中 HDPE 占绝对优势，除了少量 PET、PS、PVC 外，还有一些铁和非铁金属、食物、纸头和塑料标签、黏合剂等，还有塑料中添加剂带入的较多元素是 Al、Cl、Ca、Mg、Na、Si、Ti，含量较少的元素是 Sb、Cu 等。

混合废塑料制成的材料性能可能发生一系列变化，首先是材料的均相问题。如回收的混合废塑料加工成的圆仿木料是不均相的，加工时，塑料制品通常里层冷却慢，外层冷却快，同时固化并结晶，结晶使传热更慢。一旦外层固体化，产品的形状就定了，形状一定，内部冷却并收缩，从而产生空隙；此外，水气和其他气体一旦固化，就不易放出，也会产生空隙。因此仿木料往往是内疏外密的结构，材料的密度里外不一样，内部空隙率可达 10%。此外，废塑料的组成也是发生变化的，如夏天与冬天的废料组成是有区别的，地区不同，其废料组成也不一样，因此混合废塑料的性能不是完全一样的，具有一定幅度的变化。一般来说，性能指标的波动不超过 10%是正常的，另外，混合塑料的性能是不高的，与建筑材

料（如木头）相比性能偏低，这样就失去了竞争力。为了提高混合废塑料的性能，需加一些更刚性的高分子材料。如在混合废塑料中加入回收的 PS 料（RPS，再生 PS 料），随 RPS 量提高，性能有很大提高，当 RPS 用量达 50％时，几乎可以提高一倍。见表 4-31 RPS 与混合废塑料（NJCT）共混物的力学性能。

表 4-31 RPS 与混合废塑料（NJCT）共混物的力学性能

组 成	压缩模量	屈服应力	最终应力	组 成	压缩模量	屈服应力	最终应力
RPS：NJCT	/MPa	/MPa	/MPa	RPS：NJCT	/MPa	/MPa	/MPa
0：100	794	18.63	21.87	35：65	1649	34.16	34.16
10：90	996	21.39	22.22	40：60	1534	32.78	32.78
20：80	1127	26.63	26.63	50：50	1518	36.71	36.71
30：70	1363	30.02	30.02				

二、加工方法

1. 挤出加工方法

在 20 世纪 70 年代，荷兰 Eduard klobbie 公司开发出一种可以加工未分类的热塑性塑料废料，制造具有木头加工和使用性能的制品的系统，该系统由挤出机、几个安装在转台上的直线型大截面的模具和能把转台部分浸没的冷却水槽组成。挤出机首先软化热塑性混合物，然后不经过筛或不经过挤出嘴就迫使塑料进入模具之一；模腔填满后，转台旋转一个位置而填充另一个模具；最后，每个模具浸入槽中的冷却水，塑料冷却固化，收缩脱模，冷却水进入间隙；在转台进一步旋转脱离冷却液体时，最终部件从模中脱去。这个过程是传统的注射模压和挤出的结合，故称为挤进加工过程。广泛应用于各种原料的加工。

另有一种绝热的挤出机，能加工多种类型致密的混合热塑性材料，可接受最大杂质量 30％～40％，杂质可以是不软化或不熔化的聚合物材料，也可以是其他非聚合物，如纸、玻璃、脏物、金属等。高于 60％的材料由聚烯烃组成，在加工期间软化或熔化，包覆污染物（杂质）。目前所用的原料是各种废旧塑料，这种挤出机可以生产恒定横截面或可变横截面的物品，面积尺寸可达

15.2cm×15.2cm，长度达 3.7m，生产能力为 204kg/h，可连续 24h 生产。如生产柱子、棒材、桩、板条等产品。

2. 模压加工

利用混合塑料进行模压，这种技术可加工含 50%~70% 热塑性塑料的混合物。混合料由于摩擦而部分熔化（低熔点），自动调整刮板从塑化机中除去熔化的材料，并且将其通过一个加热的挤出机模子压入一个预定量、辊状的面包式容器中，然后传送到压料装置，可有选择地填进一系列压缩模具中。产品在模具中冷却至 40℃，弹出到转送带上，被携带到贮存处。模压过程中的废料可粉碎再使用。这一制法可生产厚壁产品，如货盘、门窗格栅、凳子和堆肥发酵容器。此制法要求工厂规模大、投资大，具有生产效率高等特点。

三、混合废旧塑料的回收利用

目前普遍利用混合废旧塑料来生产仿木料。混合废料由多种材料组成，包括多种塑料、纸、软金属（如铝等）及其他废料。这种废料通过挤出模压可直接加工成塑料木头。大多数塑料木头在颜色上是不均一的，故常常加工成深颜色，如绿、棕、灰色。塑料木头有许多优点：①耐候性、耐化学品性、耐盐水性好；②对低温有优势；③耐紫外线；④不腐烂、不裂开或翘曲；⑤耐振动等。塑料木头可获得广泛应用，停车点、马厩、野外餐桌、防腐柱子等都可用塑料木头制造；用塑料木头制猪圈和羊房的地板，可保温、耐动物尿、不繁殖细菌。但塑料木头价格较高。

【例 1】生产塑料木头和类似产品

其原料主要是 90% 的用后废弃物和工业废料。一般来说，废料要进行适当的前处理，如泥土、耐磨材料等要除去。造粒后的混合塑料进入挤出机，熔化并在低压下进入一定形状（如管状）的模具。挤出机是绝热的，具有短、可变高速、水力驱动的螺杆，螺杆设计成低长径比、高转速。物料在高剪切下熔化，停留时间短，不降解；熔体温度大约 177~190℃，PS、PVC、PA 等易熔化，而 PET、PC 等不易熔化，与固体污物、热固性材料、金属一起被低

熔点组分所包覆。空心模安装在升降机或旋转台中，当物料进入后就进行工作。模具在水浴中旋转冷却。注意避免带入湿气，否则会给制品带来气孔。

【例 2】 加工混合塑料成各种模压制品

此工艺过程成本高。原料使用混合塑料，但热塑性塑料在其中所占比例要高于 50%，其工艺流程如图 4-9 所示。

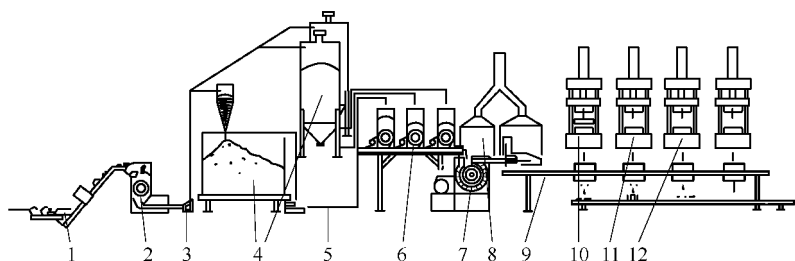


图 4-9 混合塑料生产各种模压制品工艺流程

- 1—具有金属分离功能的加料器；2—切割碾碎；3—提取鼓风机；4—筒仓和容器贮存；5—机械送运；6—加料装置；7—塑化机；8—脱气设备/洗气装置；9—塑化物的加料装置；10—自动压料；11—冷压；12—自动卸压

废塑料经金属分离器或手工分离后被送到切割粉碎机，粉碎成碎片，碎片经风扇抽提到贮罐中。然后经配料，进行辊轴塑化，温度约为 200℃，塑化时产生的气体通过废气洗涤装置后排入大气。经塑化捏合得到比较均匀的材料，杂质以粒子形式埋在混合物中，有害的有机体经高温处理而被破坏；物料再在压机上进行加工。由混合废塑料制成的木材的应用情况见表 4-32 混合废塑料仿木制品的应用。

表 4-32 混合废塑料仿木制品的应用

应用部门	具 体 产 品 及 应 用
农业	农场围栏, 马厩分隔, 果树支撑, 牧场篱笆, 葡萄架, 门, 标牌等, 栅栏挡板, 树木防护挡板
海洋	码头冲击防护, 船坞防撞物, 船坞, 海岸防蚀保护, 护岸, 海墙, 磨损围栏, 甲板走道, 龙虾捕获器, 海滩和沼泽地的风蚀控制, 渔船的容器薄板

应用部门	具 体 产 品 及 应 用
娱乐	公园长凳,砂桶,贮存箱,野外餐桌,田径场设施,体育场坐凳,高尔夫球场的人行道,花盆
花园/园艺	栅栏,门,围墙,花园用具(家具),堆肥箱,挡板墙,花园隔离板
工程建筑	挡板和栅栏,交通指示柱,道路图形板,水路护岸工程柱,支撑座,百叶窗,波形瓦,木瓦封面,混凝土分隔,楼梯踏步,地板垫衬,土地防蚀控制
交通	高速公路建筑,装载的马头墙,管子架,指示牌,栏杆和路标,交通障碍栏,货车地板,板条,栅栏,底座,柱子等

第四节 热固性塑料的利用

热固性废旧塑料是可以再生利用的。热固性塑料包括热固性树脂及其增强塑料或材料（也称复合材料）。增强塑料（FRP）大多是不饱和聚酯、环氧树脂和酚醛树脂等热固性树脂与玻璃纤维、碳纤维等制成的复合材料，典型的复合材料是不饱和聚酯树脂增强塑料。热固性树脂及其增强塑料（热固性）和热塑性塑料一样，在再利用前也要进行切断及粉碎，在常温下热固性塑料比热塑性塑料脆性大，更容易粉碎。热固性塑料经粉碎后，可作为复合材料的填料，用以制造砂浆、复合材料或裂解制油等。此外，FRP 废物可用热分解方法回收油、碳化物质和玻璃纤维，并用在团状模塑料或石膏板等方面。不饱和聚酯 FRP 经某种催化剂处理后，在 $110\sim 360^{\circ}\text{C}$ 即刻分解，分解产物是以苯乙烯为主要成分的油分，从残渣中可回收玻璃纤维和碳化物质，再生玻璃纤维用于石膏板中其性能不亚于市场销售的玻璃纤维。

在热固性树脂中，聚氨酯占绝大多数，其次是酚醛树脂，环氧树脂用量相对较小。热固性树脂的应用方式比较多，有黏合剂、涂料、复合材料、密封剂等。热固性树脂的回收利用有两方面：①粉碎料加黏结剂，形成复合材料；②粉碎料在热塑性和热固性树脂中作部分填料。

热固性复合材料的回收利用和其树脂利用类似，主要也包括两

方面：①粉碎后作填料；②裂解以回收原料，包括化学原料（单体或油）和增强材料，见表 4-33 玻璃纤维增强塑料的主要制品。

表 4-33 玻璃纤维增强塑料的主要制品

应用领域	主 要 制 品
建材	波形板、平板、道路标识、露天产品或成型品、灯台、浮标
住宅用品	洗面化妆台、便池、洗池、太阳热水器、床下收纳箱、防水盆、浴缸、浴橱等
船舶等	渔船、浮艇、柱杆、浮体
贮罐与容器	水罐、饲料槽、鱼箱、烟囱、容器、压力容器、药物贮罐、管道
工业机械材料	耐腐蚀管道、冷却塔、机架产品、工厂配线盘、电池箱等
其他	汽车、车辆、电器部件等

一、聚氨酯回收利用

聚氨酯的应用有软质泡沫、硬质泡沫、反应注射成型（RIM）弹性体、铸造弹性体，以及鞋底、黏合剂、涂料、密封剂等，其中泡沫占绝大多数，而泡沫中软性泡沫又占绝大多数。软性泡沫主要用在家具的防震、床垫、地毯的下层、汽车坐垫、防震包装等。硬性泡沫主要用在绝缘方面，用作建筑绝缘层压板，可以与软性材料如纸、铝箔或硬性材料如铝或钢板复合；也可用于冰箱、冷柜等，及用于工业热绝缘；此外，在包装、运输等方面都有应用。RIM 产品主要用在汽车工业上，包括仪表板、保险杠、主体板、标准窗户，也用于农业装备、开矿设备、设备外壳以及运动物品。聚氨酯浇铸体主要用于工业轮胎、溜冰鞋轮子、打印机滚轮、运输带、泵等。

所有的软泡沫废料都可用在再黏合地毯的下层。软性泡沫经分离、净化后被切割成一定大小的碎片，泡沫碎料用黏合剂涂上，黏合剂是以甲苯二异氰酸酯（TDI）或二苯甲烷二异氰酸酯（MDI）和多醚醇为原料的聚氨酯，用量是泡沫用量的 10%~20%。加入催化剂后经混合，放入模具中压制，并加热加压固化。根据施加压力的不同，可获得密度不同的模压产品（40~100kg/m³）。另一种利用泡沫的方法是将软泡沫在低温下粉碎成一定尺寸的粉末，粉末

再与多元醇混合，相对于多元醇的用量可达到 15%~20%；将多元醇与粉末制成的浆料与异氰酸混合，再在泡沫加工设备上发泡加工，通过控制催化剂和异氰酸的量，可获得性能良好的泡沫，可与原始料制成的泡沫性能相媲美。

另外将聚氨酯进行醇解、水解、裂解等，可回收多元醇及相关的原料。可蒸汽水解、二元醇醇解、裂解等方法。

二、酚醛树脂回收利用

酚醛树脂是苯酚和甲醛在催化剂作用下形成的缩合产物。它是最古老的合成树脂，因其成本低、性能优良，尤其在广泛的温度范围内具有良好的强度和力学性能，故在热固性树脂中用量很多，仅次于聚氨酯。主要应用是树脂基体和黏合剂，可与木纤维、玻璃纤维、石棉纤维复合制成胶合板、绝缘材料、摩擦材料和家用物品的把柄、把手及许多电热绝缘部件。因酚醛树脂有阻燃、燃烧时烟少等特点，所以酚醛泡沫可用作建材，如用作房顶绝缘材料。酚醛模压制品可以含有高达 50% 的填料，木粉、玻璃纤维、碳纤维都可用作填料。固化的酚醛树脂经粉碎可以加入到酚醛树脂中，加入量在 5%~20% 之间，不会过多影响树脂的性能，见表 4-34 所示。但非缺口冲击强度会下降较多，而缺口冲击强度反而上升（这可能是因改善了裂纹的扩展）；拉伸性能下降，尤其是粗填料比较明显；热变形温度、介电强度、吸水性等不受影响。在加工上，由于加入填料而变得困难，这是因为产生了较高的剪切黏度，需要较高的模压力。

表 4-34 酚醛粉末填料对酚醛树脂性能的影响

试 样	弯曲强度/MPa	拉伸应力/MPa	缺口冲击强度/(J/m ²)	非缺口冲击强度/(J/m ²)	热变形温度/℃
原始酚醛	85.8	46.7	752	3154	115
酚醛+5%粗填料	74.0	23.1	904	1955	110
酚醛+5%中等大小填料	81.2	40.6	1135	2039	107
酚醛+5%细填料	79.1	37.0	967	2376	109
酚醛+10%中等大小填料	80.5		736	2039	107
酚醛+15%中等大小填料	78.8		820	2018	111
酚醛+20%中等大小填料	77.0		749	1998	109

回收的酚醛树脂粒料可用在酚醛树脂的复合材料中，粉碎粒子的大小影响增强酚醛树脂产品的性能，粒子小有利于改善性能。表 4-35 列出玻璃纤维增强酚醛树脂（40％玻璃纤维）的性能，在其中加入 10％再生酚醛后，其性能变化不大。

表 4-35 玻璃纤维增强酚醛树脂的性能

性 能	增强酚醛	加 10％再生料	性 能	增强酚醛	加 10％再生料
拉伸强度/MPa			弯曲强度/MPa		
室温	94.5	94.4	室温	218.6	200.3
150℃	63.9	57.1	150℃	131.0	121.8

酚醛树脂粉碎粒料既可用在酚醛树脂中，又可用在产品性能要求不高的场合，也可用在沥青中。除此之外，酚醛树脂还可用于回收能量，酚醛树脂产品的燃烧值较高，如表 4-36 所示。酚醛树脂燃烧放出 CO、NO_x、粒子等，不会放出有害气体。

表 4-36 酚醛树脂材料的燃烧性质

增强体	填 料	质量比(树脂：纤维：填料)	燃烧值/(kJ/kg)
玻璃纤维	无	1：2：0	19300
无	硅酸钙、氢氧化铝、玻璃、瓷土	1：0：1	13600
无	木粉、碳酸钙、硅酸钙、瓷土	1：0：1	22500

热固性塑料是不溶不熔的高分子材料，可以通过裂解加以利用，酚醛树脂通过化学裂解过程可回收苯酚。酚醛树脂在 440～500℃进行加氢分解时，液化率为 30％，液体产物中有 40％～50％是苯酚；用活性炭载负白金作催化剂时，液化率可达 80％以上。这是由于酚醛树脂中的—OH 或醚键、—CH₂OH 等基团被吸附在白金催化剂的活性表面上，极大地促进了加氢作用，在交联的亚甲基部位首先发生加氢分解，最先生成酚类，酚类除了苯酚之外，还有高含量甲酚、二甲酚等；其次进行二次热分解和加氢分解，可生成碳氢化合物、环己醇类、气体烃和水。

三、不饱和聚酯树脂回收利用

不饱和聚酯树脂主要是指由苯酐或马来酐酐与丙二醇等反应形成的聚酯和由双官能团环氧与丙烯酸反应形成的乙烯基聚酯。聚酯的不饱和基团可与苯乙烯等单体聚合，形成交联结构的聚合物。不饱和聚酯的主要应用是玻璃纤维增强材料。主要成型品有模压品、缠绕制品、挤拉产品、手糊产品，还有片材等。产品有增强板、暖房、遮篷、浴缸、淋浴室、管子及管件、贮罐、冷却塔、船体、汽车体、雷达、印刷电路板、野营用车辆、履带式雪上汽车等。废不饱和聚酯的利用主要通过化学回收利用。

四、环氧树脂回收利用

通用环氧树脂是由双酚 A 和环氧氯丙烷制成，双酚 A 也可以用线形酚醛树脂代替形成多官能团 (>2) 环氧。环氧树脂可用胺、酸酐等固化，形成不溶不熔的交联产物。

环氧树脂的用途是比较广泛的，主要应用是涂料、复合材料和黏合剂等。增强塑料是环氧树脂的第二大用途，具体应用有印刷电路的层压板、雷达装置的复合材料、商业设备、飞机和汽车部件等。因环氧树脂复合材料具有高强度和优良的尺寸稳定性，所以被广泛用作浇铸和模压的工具、电子元件的包覆、地板和黏合剂。

热固性环氧树脂经粉碎，同样可作填料使用，几种不同固化体系使用环氧树脂填料的性能列于表 4-37，在此体系中，70%~80% 粒子尺寸在 $200\sim 500\mu\text{m}$ 范围，剩下的小于 $200\mu\text{m}$ ，配比是 80% 原始环氧树脂加 20% 回收环氧粉末。一种方法是粉末直接混合后就固化，另一种方法是粉末经沉泡 (1h/90℃) 后再固化。由表 4-37 可见，与原始料环氧树脂相比，掺用回收料后弯曲强度、冲击强度有较大幅度的降低，硬度变化不大。对于胺固化体系，经沉泡后粉末的加入使树脂冲击强度有较大的上升，但体系的体积电阻降低。粉末作为填料加入树脂中，固然可以回收利用，但粉末的加入造成黏度增加，会使加工比较困难。

表 4-37 粉碎环氧填料对环氧树脂性能的影响

材 料	洛氏硬度(L)	弯曲强度 /MPa	弯曲模量 /MPa	冲击强度 /J	热变形温度 /℃	体积电阻 $\times 10^{-15}$ /($\Omega \cdot \text{cm}$)
胺固化	120	111	3272	1.13	103	1.700
20%干粉末	129	39	2315	<1.13	90	1.340
20%沉泡粉末	128	46	2239	2.23	108	0.024
酰胺固化	118	84	2638	3.39	60	0.690
20%干粉末	121	82	2507	<1.13	54	2.300
20%沉泡粉末	113	40	1626	1.13	46	0.870
酸酐固化	121	83	2467	2.26	70	12.100
20%干粉末	122	47	2535	1.13	71	7.190
20%沉泡粉末	126	50	1681	<1.13	65	8.010

五、其他热固性树脂的回收利用

脲醛树脂和蜜胺树脂分别是尿素和三聚氰胺与甲醛缩聚反应的产物，其最大用途是作人造（木材）胶合板的黏合剂、粒子增强板和柜台以及桌面层压板；也可用于纸处理、织物的防皱处理和用作保护性涂料，模压品的应用包括电子设备、餐具和纽扣等。

蜜胺树脂和脲醛树脂在 600°C 热裂解 30min 可产生活性炭，活化用水蒸气温度为 1000°C 时，蜜胺裂解产生的活性炭产率为 2.6%，其比表面积为 $750\text{m}^2/\text{g}$ （脲醛树脂裂解时活性炭产率为 5.2%，其比表面积为 $1300\text{m}^2/\text{g}$ ）。蜜胺塑料可在氧化镍作用下加氢裂解，于 200°C 开始裂解， 300°C 速度加快， 400°C 全部加氢裂解，产物为气体，气化率达 68%，其中 NH_3 为 37%， CH_4 为 31%。

六、热固性复合材料的回收利用

过去，废旧复合材料主要采用焚烧处理，后来其回收利用主要用作粉末填料，但最近人们利用裂解法裂解聚合物复合材料，使有机聚合物裂解生成油状烃化合物、气体等，残留的纤维也可用于复合材料的再生产。

复合材料解体要经裁剪（切断）、破碎、粗碎（粒径 $2 \sim 10\text{mm}$ ）、细碎，甚至微粉碎（粒径 >200 目）后，再加以利用。解

体可用油压式压碎机压坏，也可用爆破技术。切断可用回转刀等技术切断，一般尺寸为 1~2m；破碎是将 1m 左右的废料破碎成 15cm 左右的加工碎粒。这里主要介绍废旧的玻璃纤维增强塑料 (GFRP) 回收利用。

GFRP 材料的回收利用有几种方法：①将 FRP 材料如 SMC 或 BMC (片状模塑料或团状模塑料) 废料粉碎，在 SMC 和 BMC 模压料中用作填料或用在热塑性塑料配方中作填料；②将废料进行化学回收利用，如把 SMC 等废料进行裂解，回收油和填料。

1. 物理回收方法

SMC 经粉碎可以用作热固性树脂或热塑性树脂的增强材料或填料。当 100%原始填料或增强材料被回收 SMC 替代时，制得的复合材料的力学性能要比标准复合材料的性能差，但在某些场合是可以使用的。优化配方或优化加工过程，如粒状 SMC 用偶联剂上胶，可以改善复合材料的性能。

回收 SMC 可再用在 SMC 中。用粉碎 SMC (微粉) 替代部分 CaCO_3 ，得到 SMC 的性能如表 4-38 所示，可见粉碎料完全可以部分替代 CaCO_3 ，产品的最终性能没有太大变化。

表 4-38 回收 SMC 性能

SMC 试 样 编 号		1	2	3
质量组成	树脂/%	31	33	35
	CaCO_3 /%	39	27	15
	微粉/%	0	10	20
	玻璃纤维(长 2.54cm)/%	30	30	30
成型品性能	收缩率/%	0.06	0.07	0.08
	相对密度	1.73	1.64	1.59
	拉伸强度/MPa	76.4	75.5	77.4
	拉伸模量/GPa	11.52	11.30	10.93
	弯曲强度/MPa	196	209	182
	弯曲模量/GPa	12.33	11.56	11.12
	弯曲挠度/%	2.6	2.9	2.7
	悬臂梁冲击强度/(J/cm ²)	8.03	8.57	8.43

回收的 SMC 废料也可用在 BMC 中。固化的 SMC 废料被粉碎成粒子，根据粗细不同（粗 9.5mm，细 4.8mm）混入 BMC 配方中，可替代 10%~20% 标准填料。模压材料的性能如表 4-39 所示，可见拉伸强度和模量有较大的损失，加粗粒 SMC 填料的损失更大。冲击强度也受填料的影响。

表 4-39 含回收 SMC 的 BMC 材料性能

项 目	BMC	BMC+回收粗 SMC 粒子		BMC+回收细 SMC 粒子	
回收 SMC 用量/%	0	1.0	2.0	10	20
拉伸强度/MPa	27.9	16.1	14.5	17.3	16.1
拉伸模量/GPa	13.1	9.9	9.2	12.7	10.2
延伸率/%	0.44	0.68	0.34	0.22	0.14
弯曲模量/GPa	10.5	9.8	9.4	10.2	9.2
缺口冲击强度/(J/m)	270	270	158	209	221
非缺口冲击强度/(J/m)	361	278	183	276	301

粉碎的 SMC 也可以加入到聚乙烯和聚丙烯中，量可达 50%。以 SMC 加入 PP 做成的材料性能如表 4-40 所示，可见拉伸模量、弯曲模量都有提高，热变形温度有较大提高，缺口冲击强度有所改善。用短纤维增强 PP 作为对比，后者的热变形温度大大提高，缺口冲击强度、拉伸模量成倍提高，这说明 SMC 粒子在 PP 中仅作填料，而不是作增强料。

表 4-40 含回收 SMC 的聚丙烯材料性能

性 能	PP	PP+回收 SMC 粗粒			PP+回收 SMC 细粒			PP+9% 短切纤维
粉碎 SMC 用量/%	0	15	30	50	15	30	50	0
拉伸应力/MPa	22.1	21.5	21.0	22.4	20.5	20.9	17.2	37.9
拉伸模量/GPa	1.00	1.72	2.20	3.03	1.45	2.07	2.82	2.00
延伸率/%	9.72	3.50	2.34	1.61	4.78	2.47	1.25	3.45
弯曲模量/GPa	0.96	1.31	1.65	2.27	1.31	1.65	2.48	1.45
缺口冲击强度/(J/m)	78.0	84.4	89.2	101.5	74.2	82.2	73.2	150.6
非缺口冲击强度/(J/m)	969	237	155	148	205	164	104	362
热变形温度(在 0.5MPa 下)/℃	63.8	67.2	78.3	94.4	66.1	84.4	82.8	115

若将 SMC 废料粉碎成更小的粒子 ($30\mu\text{m}$)，可以用于替代 SMC 配方中的碳酸钙。每 100 份树脂可加到 88 份细粉末，但黏度要求所加的量不能太高。在低份量时，SMC 的性能不受影响；在高份量时，一些性能有所降低，但影响不是非常严重；当用量高于 30% 时，表面质量将受影响。例如印刷电路板通过分离铜材料后，粉碎成各种尺寸的粒子，可用于热塑性塑料的填料。

2. 化学回收方法

SMC 裂解产物有气体、液体和残留物。裂解气可直接用于燃烧，液体可作汽油和燃油，残留物可用于 BMC 作部分填料。裂解温度在 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ 之间比较好，温度低获得的液体具有低热值；温度高易使 CaCO_3 分解产生 CaO 。若要利用残留物，就不要让其生成 CaO ，因为 CaO 用在 BMC 中树脂会增黏，不易加工。在 BMC 中加适量的回收 SMC (残留物)，不影响 BMC 材料的性能。

环氧树脂复合材料的回收利用是将复合材料煅烧，除去树脂，留下增强体再用于复合材料。例如，把电路板 (玻纤/环氧) 的铜除去 (滤去) 之后进行煅烧，以除去环氧黏合剂，得到无树脂的玻璃纤维布，这些纤维切成一定长度的短纤维，可用于热固性聚酯树脂作增强体。如用 15% 长度为 10.2mm 的回收纤维增强，制造的复合材料的拉伸和弯曲强度可分别达到 25.0MPa 和 81.3MPa，与新纤维增强的复合材料性能相当。

思 考 题

1. 物理改性有哪些方法？
2. 什么叫共混改性？
3. 共混改性的目的及方法？
4. 举例说明共混改性的材料及改性方法？
5. 充填改性的目的？
6. 充填料的种类及用途？
7. 填料的发展方向？
8. 举例说明充填改性？

9. 增强改性的目的和方法？
10. 增强改性使用哪些材料？
11. 举例说明增强改性？
12. CPE、EVA 改性 PVC 的方法及目的是什么？
13. 提高制品耐热性、耐光性，降低树脂成型加工温度的方法？
14. 混合废旧塑料有哪几种？如何加工利用？
15. 聚氨酯、酚醛树脂、不饱和聚酯树脂、环氧树脂等热固性塑料回收利用的方法及制品情况如何？

第五章 废旧塑料的其他利用

将回收的废旧塑料进行综合利用的途径见图 5-1。

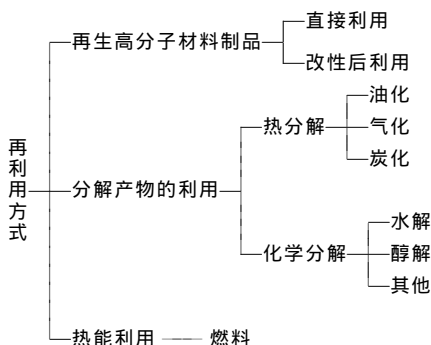


图 5-1 废旧塑料的综合利用途径

废旧塑料经过直接利用或改性后利用，制得再生塑料制品，这是再生利用废旧塑料的主要途径，也可将废旧塑料进行热分解回收或生产高价值化工产品，但设备投资大。本章就废旧塑料的热分解、化学分解、能量回收及其他相关方面综合利用进行论述。

第一节 废旧塑料的热分解

热分解产物随所用设备及工艺条件不同而有所不同，它们可以以液状油为主，或以气体为主，或油、气、固体等产物兼而有之。从化学角度看，塑料及其他大分子聚合物热分解的最终产物应当是单体，然而实际上是除单体之外，还可能有聚合度较低的低聚物、分子量不等的烃类及其衍生物等低分子有机化合物，它们都是高价值的有机化工原料或产品。

塑料的热分解需要专门的设备，操作工艺较复杂。由于塑料是热的不良导体，达到热分解需较长时间或较苛刻的条件；热分解过程中，时常产生难以输送的高黏度熔体或液体粘接反应器内壁，且其排出困难。尽管如此，还是开发出了许多不同的工艺和专用设备，并各具特色。

一、废旧塑料油化工艺

目前废旧塑料的油化法已有槽式、管式炉、流化床和催化法，它们各自的工艺特点见表 5-1。表中所列 4 种方法的工艺设备可以处理 PVC、PP、aPP、PE、PS、PMMA 等多种废旧塑料，只是不同工艺设备更适于热解某种废旧塑料而已。所得热分解产物皆以油类为主，其次是部分可利用的燃料气、残渣、废气等。

表 5-1 油化工艺中各方法的比较

方法	特 点		优 点	缺 点	产物特征
	熔 融	分 解			
槽式法	外部加热或不加热	外部加热	技术较简单	加热设备和分解炉大；传热面易结焦；因废旧塑料熔融量大，紧急停车困难	轻质油、气（残渣）
管式炉法	用重质油溶解或分散	外部加热	加热均匀，油回收率高；分解条件易调节	易在管内结焦；需均质原料	油、废气
流化床法	不需要	内部加热（部分燃烧）	不需熔融；分解速度快；热效率高；容易大型化	分解生成物中含有机氧化物，但可回收其中馏分	油、废气
催化法	外部加热	外部加热（用催化剂）	分解温度低，结焦少；气体生成率低	炉与加热设备大；难于处理 PVC 塑料；应控制异物混入	

注：表中操作设备或工艺皆为日本公司的开发实例。

1. 槽式法

其中又有聚合浴法和分解槽法之分，但它们的设计原理则完全相同。槽式法的热分解与蒸馏工艺比较相似，加入槽内的废旧塑料在开始阶段受到急剧的分解，但在蒸发温度达到一定的蒸气压以前，生成物不能从槽内馏出。因此，在达到可以馏出的低分子油分以前先在槽内回流，在馏出口充满挥发组分，待以后排出槽外。然后经冷却、分离工序，将回收的油分放入贮槽，气体则供作燃料用。槽式法的油回收率为 57%~78%。

槽式法中应注意部分可燃馏分不得混入空气，严防爆炸。另外，因采用外部加热，加热管表面有炭析出，需定时清除，以防导热性能变差。

2. 管式炉法

又称管式法，所用的反应器有管式蒸馏器、螺旋式炉、空管式炉、填料管式炉等，皆为外加热式，所以需大量加热用燃料。管式法中螺旋式工艺所得油的回收率为 51%~66%，管式法中的蒸馏工艺适于塑料回收品种均一，该法容易回收得到废旧 PS 的苯乙烯单体油、PMMA 的单体油。可以说它比槽式法的操作工艺范围宽，收率较高。在管式法工艺操作中，如果在高温下缩短废旧塑料在反应管内的停留时间，以提高处理量，则塑料的气化和炭化比例将增加，油的收率将降低。以聚烯烃为原料，在 500~550℃ 分解，可得到 15% 左右的气体；以 PS 为原料，则可得到 1.2% 的挥发组分。但残渣达 14% 之多，这是因为物料在反应管内停留时间短，热分解反应不充分所致。

3. 流化床法

该法油的收率较高，燃料消耗少。如将废旧 PS 进行热分解时，因以空气为流化载体而产生部分氧化反应使内部加热，故可不用或少用燃料，油的回收率可达 76%；在热分解 aPP 时，油的回收率则高达 80%，比槽式法或管式法提高 30% 左右。

流化床法的热分解温度较低，如将废旧 PS、aPP、PMMA 在 400~500℃ 进行热分解即可获得较高收率的轻质油。流化床法

用途较广，且对废旧塑料混合料进行热分解时又可得到高黏度油质或蜡状物，再经蒸馏即可分出重质油与轻质油。以流化床法处理废旧塑料时往往需要添加热导载体，以改善高熔体黏度物料的输送效果。

4. 催化法

其热分解较槽式、管式和流化床法的明显区别在于因使用固体催化剂，致使废旧塑料的热分解温度降低，优质油的收率增高，而气化率低，充分显示了此油化工艺的特点。催化法的工艺流程是：固体催化剂为固定床，用泵送入较净质的单一品种的废旧塑料（如 PE 或 PP）；在较低温度下进行热分解。此法对废旧塑料的预处理要求较严格，应尽量除去杂质、水分等。

另外，并不是所有废旧塑料都适合制油，如聚氯乙烯不适合制油，这种废旧塑料热解生成氯化物，腐蚀设备、环境污染，而尼龙裂解制油本身就是一种错误概念。

由于利用废塑料油化不仅可以使原来难于处理的废塑料得到很好的回收，还能使人类资源得到最大限度的利用，所以近年来世界各国对废塑料油化这一研究都非常重视，目前美国、日本、英国、德国、意大利等工业发达国家都在大力开发废塑料油化技术，并使之成为工业化规模生产。

我国在学习研究国外经验技术的基础上也有不少企业已研究开发出了利用废塑料油化的技术与设备，目前已有 20 多家（见表 5-2）。其方法均是热裂解，设备也大同小异，有使用催化剂的和不使用催化剂的，催化剂多是自己研制的。例如，北京大康技术发展公司历时 5 年研制的“DK—2 废塑料转化燃料装置”，已通过专家鉴定并投产。全套装置为全封闭式，连续性生产，出油率达 70%，其中汽油、柴油各占 50%。山西省永济县福利塑化总厂开发的废旧塑料油化工艺流程如图 5-2 所示。先把废塑料除尘后加入熔蒸釜中，使之熔融、裂解。冷凝后进入催化裂解釜中，进一步裂解。冷凝后气、液分离，分别进入贮罐。得到的产品为汽油、煤油、柴油，出油率为 70%。

表 5-2 我国废旧塑料热分解油化装置与技术

单 位	原料类型	年处理量 /(t/a)	产 品
北京大康技术发展公司	PE,PP,PS	4500	出油率 70%,汽油 50%,柴油 50%
山西省永济县福利塑化总厂	PE,PP,PS	700	出油率 70%,汽油、柴油、煤油
北京市石景山垃圾堆肥厂	PE,PP,PS	1500	出油率 50%,汽油、柴油各占 50%
北京邦凯豪化工有限公司	PE,PP,PS		汽油、柴油、液化气
北京市丰台三路农工商公司			出油率 70%,汽油、柴油、低分子烃
北京丽坤化工厂	PE,PP,PS	4500	汽油、柴油
西安石油学院,西安兴隆化工厂	PE,PP,PS	2000	出油率 70%,汽油、柴油
中科院山西煤炭化学研究所	PE,PP,PS		出油率 70%,汽油 80%,柴油 20%
江西华隆化工有限公司			
湖北汉江化工厂	PSF	50	产率 70%,苯乙烯单体 70%,有机溶剂 30%
湖北省化工研究设计所			
河北轻工业学院	PSF	300	苯乙烯单体、有机溶剂
河北省定兴县京兴化工厂			
浙江省绍兴市塑料厂	PS		苯乙烯单体
山东省胶州市力达钢丝厂	PS	1000	产率 70%,苯乙烯单体 70%,混合苯
北京中大环境技术研究所			产率 20%
河南省开封市科技开发中心与化工试验厂	PS	100	产率 60%,苯乙烯单体
北京邦美科技发展公司	PE,PP,PS	3000	柴油、汽油
四川省蓬安县长风燃化设备厂	PE,PP,PS	3000	燃料油
沈阳富源新型燃料厂	PE,PP,PS	100	汽油、柴油
成都市龙泉驿废弃塑料炼油厂	PE,PP,PS		汽油、柴油
巴陵石油化工公司	PE,PP,PS		产率 70%,其中汽油、柴油各 50%,另有 15%的液化气和 10%的炭黑
佳木斯市群力塑料再生厂	PE,PP,PS	800 (kg/d)	300kg/d,汽油、柴油

近年来,国内研究开发了不少回收苯乙烯单体的方法。尽管这些方法比较简单,但实用、有效,而且设备投资均不需很多。据了解,除表 5-2 中的单位外,吉林工学院、华南环境资源研究所、武

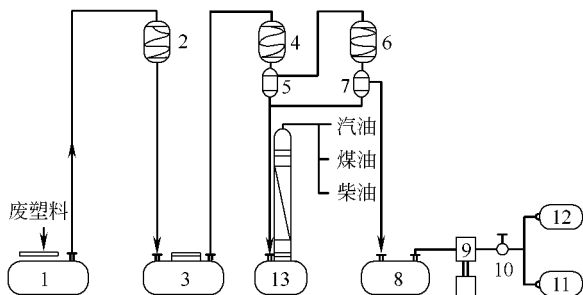


图 5-2 永济县福利塑化总厂废旧塑料油化工艺流程

1—熔蒸釜；2,4,6—蛇管式水冷器；3—裂解釜；5,7—气液分离器；
8—缓冲器；9—烃类压缩机；10—节流阀；11—液化气贮罐；
12—不凝气贮罐；13—分馏塔

汉化工研究所、武汉塑料研究所等单位都研究过用废聚苯乙烯塑料回收苯乙烯的方法，其回收工艺大致相同，其过程均是：加热→（反应釜）分解→粗苯乙烯→粗馏→苯乙烯成品，反应温度一般在 $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。反应时加入少量催化剂，因各自的方法不同，最后获得的苯乙烯产率在 $70\%\sim 90\%$ 不等。最后的剩余物可作为防水材料。

湖北省化工研究设计所研究的用废聚苯乙烯泡沫催化裂解回收苯乙烯的方法，工艺流程为：预处理→催化裂解→精馏→产品。工艺简单，回收率高，回收的粗苯乙烯经过精馏纯度可达到 99% 。这套回收工艺可实现工业化生产，用该所研究的技术建立 1 个年处理能力为 100t 废聚苯乙烯泡沫回收车间，设备投资在 2 万~3 万元，可回收苯乙烯约 65t。该所与湖北江汉化工厂应用此技术，建立了年处理 50t 废聚苯乙烯泡沫能力的生产装置，年回收苯乙烯 25t，联产有机溶剂 10t，产品质量符合化工部 HG2-247-77 一级品及二级品标准。

二、热分解的气化工艺

废旧塑料的热分解大都采用油化工艺，而对城市垃圾中的混杂废旧塑料或混有部分废旧塑料的垃圾则多采用“气化工艺的热分解

装置”，有立式多段炉、流化床、转炉等。气化工艺的特点是无需进行像油化工艺所要求的预处理，可以是不同塑料混杂的，也可以是与城市垃圾混杂的废旧塑料制品。用气化工艺处理混杂垃圾，可制得燃料气体。如用立式炉气化分解装置，即可得到 58% 的各类可燃气体；用流化床气化分解装置则可得到约 84% 的燃料气体。

三、炭化

废旧塑料进行热分解时会产生炭化物质，多数情况下是油化工艺或气化工艺中所产生的副产物。当炭化物质排出系统外用作固体燃料时，需要采用高效率并且无污染的燃烧方法。这些炭化物的发热量为 $16.75 \sim 20.93 \text{ GJ/kg}$ ($4000 \sim 5000 \text{ kcal/kg}$)。

废旧塑料在一定热分解条件下炭化，并经相应处理即可制得活性炭或离子交换树脂等吸附剂，将 PVC 先进行热分解使其炭化，并采取适当措施使炭化物形成具有牢固键能的立体结构，即得高性能活性炭。在所采取的措施中，要注意调节升温速度、引入交联结构和使用添加剂等。其具体过程是将 PVC 在 350°C 脱氯化氢后的生成物以每分钟 $10 \sim 30^\circ\text{C}$ 的速度升温，加热到 $600 \sim 700^\circ\text{C}$ 获得炭化物，然后在转炉中用水蒸气于 900°C 活化，即得到比表面积为 $400 \text{ m}^2/\text{g}$ 、亚甲基蓝脱色能力为 120 mL/g 左右的活性炭。工艺调控十分重要，升温速度过快，将降低炭化物的机械强度，而炭化过程温度超过 750°C ，将阻碍孔隙结构的更好形成。如果活化时的蒸汽温度低于 800°C ，活化反应缓慢，活化效率低；而高于 900°C 时，则活性炭微孔不再发展，表面积不会增大。在活化过程中，除用水蒸气等气体活化外，还可用水解性物质（氯化锌和氯化钙等）或氧化性物质（如重铬酸钾和高锰酸钾等）与废旧 PVC 一起加热，使炭化和活化同时进行，活化温度一般比用水蒸气低。在加速形成交联结构的研究中，通过在空气中脱除氯化氢，或在氨水中加压加热，以促进交联作用，对提高活性炭的活性取得了良好的效果。

回收的 PVC 废弃物中，因含有各种不同的助剂，所以制得的活性炭的收率和活性都不尽相同。废旧 PVC 中的增塑剂（邻苯二甲酸酯类）、碱式硫酸铅盐稳定剂和碳酸钙添加剂等对炭化均有一

定影响。废旧 PVC 来源不同，所产活性炭的质量也有较大差异。混合 PVC 废弃物炭化的工艺条件为：脱氯温度 350°C ，炭化温度 700°C ，用水蒸气于 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 在转炉内炭化，即可得到比表面积 $400\text{m}^2/\text{g}$ 、收率为 7.5% 的活性炭；用作电缆护套的 PVC 回收料可制得比表面积为 $650\text{m}^2/\text{g}$ 、收率为 14% 的活性炭；用回收的硬质 PVC 管材，炭化温度为 600°C ，用水蒸气于 $750\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 活化，可得到比表面积为 $550\text{m}^2/\text{g}$ 、收率为 16% 的活性炭。

以废旧通用塑料制取活性炭时，综合考虑产量和排放量等问题，废旧 PVC 则是最主要的回收利用对象。在一般气氛中热分解 PE 和 PS 等热塑性树脂时，低分子化以后得不到其炭化物；而在氯气中使之炭化，则可以制得较好收率的活性炭。这说明在炭化过程中，氯对高分子碳链反复进行加成和脱氯化氢反应，从机理上解释了氯可促进缩合和环化反应的发生，因而有利于形成牢固的碳骨架结构。废旧 PVC 还可用以制备离子交换体。其过程是先炭化后用硫酸进行磺化反应，或者直接在浓硫酸中先磺化、后脱氯化氢即得。具体做法是将废旧 PVC 投入到约 10 倍质量计的浓硫酸中，缓缓提高温度，最后在 180°C 完成脱氯化氢的反应，即可制得活性炭状的离子交换体，其离子交换容量为 $4.2\text{mmol}/\text{g}$ 。另外，具有一定规模的废旧 PVC 热分解装置中，将含有稳定剂的 PVC 进行炭化，再用 20% 的硫酸（发烟品级）在 70°C 经 20h 进行磺化，结果表明，含锡类稳定剂 2% 的 PVC 可制得最大离子交换容量的离子交换体。

炭化温度对所制得的离子交换体的性能有较大影响。如在 $275\sim 325^{\circ}\text{C}$ 下进行炭化，所得炭化物的磺化及羧基化反应率均较低；达到 350°C 之上时，则炭化物易形成多孔质，提高了磺化率，从而使离子交换体的交换容量增大。

四、回收废旧塑料的热分解典例

【例 1】 废旧聚烯烃的裂解制油

聚烯烃在热作用下可以发生裂解，产生低分子量化合物，有气体、液体、固体，气体可作燃气，液体作汽油、柴油等，固体作铺

路材料。有催化剂存在时会改变裂解机理或裂解速度，使产物组分发生改变。聚烯烃在催化剂存在下分解，其分解速度大大增加，如 PE 在熔融盐分解炉中有沸石催化剂存在下在 $420\sim 580^{\circ}\text{C}$ 分解，其分解速度提高 $2\sim 7$ 倍。催化剂的存在可以减少聚合物裂解的残留物，即催化剂易使聚合物产生低分子量化合物，可能加快裂解速度，也可能裂解机理发生变化。同时发现碱性催化剂易产生不饱和和烃，而有些酸性催化剂不易产生不饱和烃化合物，因此裂解制油时，酸性催化剂比较有利。若裂解回收不饱和单体，则用碱性催化剂比较好。聚丙烯在 380°C 左右裂解，可进行热裂解和催化裂解。用硅/铝粉末 ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) 作催化剂，催化剂可与裂解产物的气相和液相接触。用液相接触催化剂方法，可得到 69% 的液体产物，具有沸点 $30\sim 270^{\circ}\text{C}$ 的 $n\text{-C}_6$ 到 $n\text{-C}_{15}$ 石蜡油；气相接触催化，可获得 54% (质量分数) 液体产物，而且得到产物速度要低得多。对于催化与非催化降解的研究表明，催化降解的液体产物不饱和度要大大高于非催化降解，裂解产物也不一样，聚烯烃在催化剂作用下于 400°C 左右分解，可产生一系列物质，各种产物的产率及组分如表 5-3 所示。催化剂含量的提高，可以提高液体产率，而气体和残留物的量降低；催化剂的种类对产率及组成影响不大。温度对裂解反应有影响，温度提高，成液率提高，而残留物百分比降低，气体量稍有降低，如图 5-3 所示。在水蒸气气氛下裂解，可以提高成液

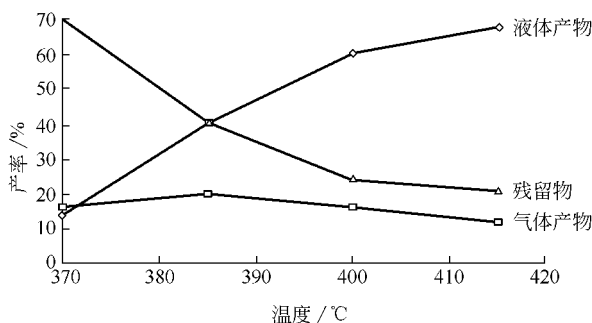


图 5-3 PP 裂解产物与裂解温度的关系

率。另外，在裂解反应中没有交互作用（如协同反应等）发生。

表 5-3 不同温度下的 PP 裂解产物及其分析结果

温度/℃		370	485	400	415
裂解产物	液体/%	14.0	40.0	60.0	67.0
	气体(沸点<35℃)/%	16.0	20.0	16.0	12.0
	残留物/%	70.0	40.0	24.0	21.0
液体 组分的 GC 分析 结果/%	戊烷	6.8	9.1	9.9	8.1
	2-甲基戊烯	19.0	19.1	19.2	16.6
	2-甲基-1,3-戊二烯等	3.7	3.8	4.2	3.6
	3-甲基己烯等	10.8	12.7	12.5	9.5
	2,4-二甲基庚烯;2,4-二甲基庚烷	14.2	13.9	12.9	12.5
	4,6-二甲基-2-庚烯	11.1	11.5	10.8	12.0
	3,5-二甲基壬烷	3.2	3.1	3.0	5.8
	2,4,6-三甲基壬烯;2,4,6,8-四甲基壬烷等	30.2	26.8	26.6	30.4
	2,4,6,8,10-五甲基十三烯等	1.1	1.0	0.9	1.4

注：反应条件为催化剂含量 1%，时间 120 min，N₂气氛下。

【例 2】聚烯烃热裂解

废旧 PE 和 PP 聚合物在高温下（>350℃）可以发生裂解，随温度不同，裂解产物有所变化。裂解温度在 800℃时，热分解产物大部分是乙烯、丙烯和甲烷；在中等温度 400～500℃之间，热分解产物有液体、气体、固体残留物，其中气体占 20%～40%，液体占 35%～70%，残留物占 10%～30%；在较低温度下裂解，产生较多高沸点的烃化合物或低聚物。随温度提高，低分子量物质质量会提高，在常温下为气体。

低密度聚乙烯在 420℃下热分解 2h，得到油品以尿素加成法把直链和侧链化合物分开，再用硅胶色谱柱分离石蜡和烯烃，发现生成物中 C₁₀～C₃₀ 石蜡占 60%（质量分数），C₁₀～C₂₈ 的末端烯烃占 35%，非末端烯烃只占 5%。把高密度聚乙烯用熔化器连续导入反应系统，在 400～450℃热分解，可得到分解油 94.5%，分解气 5.5%。分解气是氢和 C₁～C₅ 的碳氢混合物，其产量大小是丙烯>乙烷、丙烷>甲烷>正丁烷，分解油主要是 C₃～C₃₀ 的烃化合物，

但多数是 C_9 和 C_{15} 附近的物质。使用高压釜在 CO_2 、He 及 H_2 气氛下裂解可提高油化率，如在 $340^\circ C$ 左右附近，油化率可达 $87\% \sim 93\%$ 。把水作为添加物加入，可控制分解时的局部过热，因而可提高油化率。在氢气下使用漆原镍或 Pt-C 催化剂，PE 的油化率可提高到 $85\% \sim 90\%$ 。

PP 在 $400^\circ C$ 热分解可得到 95% 油，油为 $C_5 \sim C_{28}$ 的碳氢化合物，其中以 C_9 最多，其次是 C_6 、 C_{11} 、 C_{14} ， C_9 主要是 2,4-二甲基-1-庚烯。aPP 在流化床中 $450 \sim 640^\circ C$ 分解，则油化率为 $50\% \sim 85\%$ ，与固定床裂解类同。PP 中加入氯化锌，在高压釜中进行加氢分解，可得到辛烷值为 83 的分解油 64% ，在质量上完全可以用作汽油。若在釜中加入水，可得到辛烷值为 86 的分解油，其中含烯烃 40% 。

【例 3】聚烯烃裂解生产高价值原料

对聚烯烃而言，若能裂解产生高含量的单体组分，像 PMMA、PS 等一样，将会提高裂解的应用价值。

对 LDPE 和 PS 的超裂解反应进行研究，发现利用微反应器裂解 PS（居里点加热器）和利用内循环流化床反应器裂解 LDPE，单体苯乙烯和苯的含量可超过 95% ，随温度、反应时间而变化。最佳反应温度是 $965^\circ C$ 、时间 $500ms$ 。利用内循环流化床反应器裂解 LDPE，温度范围 $780 \sim 860^\circ C$ ，停留时间 $600ms$ ，产物乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯、甲烷等均随裂解温度而变化，在温度 $860^\circ C$ ，乙烯和丙烯产率可达 55% （质量分数）。

从废旧聚烯烃可回收烯烃类单体。将 PE 连续导入熔化炉，在 $590 \sim 800^\circ C$ 下分解，可得到高含量的单体产物。如在 $700^\circ C$ 左右，汽化率为 75% （质量分数），其中乙烯、丙烯和丁烯等合计约达 58% ，乙烯占 32% ；在 $850^\circ C$ （用熔融盐热分解炉）分解 PE，烯烃得率为 60% （质量分数），其中乙烯为 30% ，丙烯为 17% 。

PP 在 $500 \sim 650^\circ C$ 下热分解，可得到较多丙烯，且随温度升高，汽化率提高。在 $600^\circ C$ 左右可得到 26% （质量分数）丙烯，此外还有乙烯、甲烷等；在熔融盐分解炉中 $900^\circ C$ 左右，得到产物乙烯 20% 、甲烷 20% ，丙烯减少到 10% 。

第二节 化学分解

用化学法分解塑料废弃物也是可行的。化学分解法比热分解法有诸多优越性：分解产物均匀且易于控制；在一般情况下，产物不需进行分离和纯化；生产设备投资少等。但化学分解法不适用于混杂型废旧塑料，一是因为所用试剂均有严格的选择性；二是因为它对废旧塑料预处理的清洁度和品种均匀性皆有较高的要求。因此，化学分解法更适用于较单一品种的无污染型废旧塑料。

化学分解法对多种塑料都是可行的，但目前主要是处理聚氨酯、热塑性聚酯、聚酰胺类等极性类废旧塑料。

一、水解法

水解法适用于含有水解敏感基团的高聚物，这类高聚物多由缩聚反应制得，水解反应其实质是缩合反应的逆向反应。现以聚氨酯泡沫塑料为例，略述水解反应工艺条件及主要水解产品。图 5-4 为聚氨酯（PU）泡沫塑料连续水解反应工艺流程，主要的水解反应

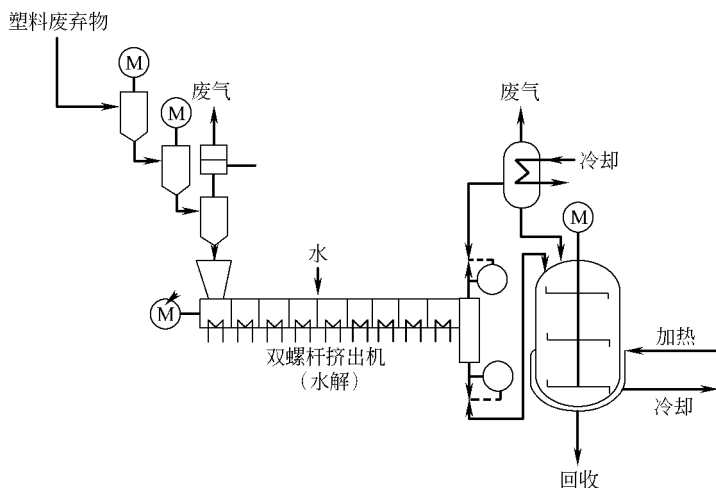


图 5-4 PU 泡沫塑料连续水解反应工艺流程

装置是双螺杆挤出机。

水解工艺流程为：

PU 泡沫塑料→粉碎→进料（双螺杆挤出机）→ 300°C →高温挤塑→中间加料口送水→混合浆料→水解→分离产物

双螺杆挤出机既是制浆混炼室，又是水解反应器，制浆和水解反应约需 5~30min。当螺杆低速旋转时，将加入的泡沫塑料进行塑化并在向前推进中与水掺混形成浆料，边混边进行水解，通过温度和反应时间控制水解程度。其水解产物主要是聚酯和由异氰酸酯产生的二胺，经分离可得到均一的产品。混合产物的分离可采取蒸馏法，先蒸出二胺，后纯化聚酯，也可采用往混合产物中加入酸与胺反应使之沉淀，经过滤所得滤液为聚酯，沉淀物则含二胺。

二、醇解法

醇解法的操作比较简单，它既适用于分解聚氨酯泡沫塑料，又适用于分解聚氨酯软质或硬质制品。

聚氨酯废旧制品的醇解可通过有机金属化合物或叔胺类催化剂进行。聚氨酯泡沫塑料的醇解条件较温和，在适量的乙二醇存在下，于 $185\sim 200^{\circ}\text{C}$ 即可进行醇解，其反应产物主要是混合多元醇。

工业上醇解工艺比较简单和易于操作，具体过程是将预先切碎的泡沫塑料送入用氮气保护的反应器内，以乙二醇为醇解剂，醇解温度可控制在 $185\sim 210^{\circ}\text{C}$ 之间。由于泡沫塑料密度小，易浮于醇解剂的液面上，因此需要进行有效地搅拌与掺混，使醇解反应充分。如此制得的多元醇生产成本低，有较高的经济效益和社会效益。

三、废聚酯的解聚

废旧聚酯（如 PET 等）在复合催化剂的作用下，于常温常压下进行解聚，解聚产物主要是聚酯的原单体，此单体不需掺和新单体即可直接缩聚成纺丝级聚酯。所选用的复合催化剂为乙酸锌 0.15%、乙酸钙 0.05%、乙酸锂 0.02%。

综上所述，回收的废旧塑料的化学分解主要是通过粉碎、清洗、干燥后，再进行化学处理，从而得到有用的化工原料或油品的

过程。一般的化学分解工艺如图 5-5 所示。

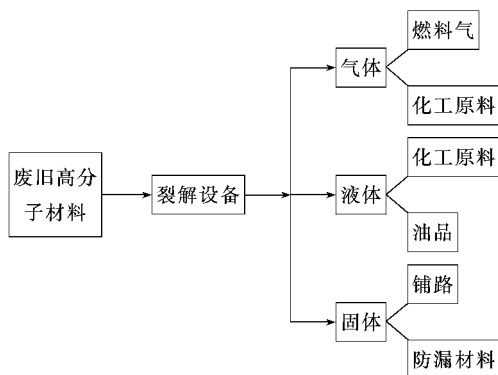


图 5-5 化学分解过程示意

第三节 分解工艺及设备

一、槽（釜）式反应器

槽（釜）式反应器适用于废旧塑料的油化处理。塑料材料可以直接进入反应器，也可以熔融后再进入反应分解槽，后者避免了加料带入的空气。槽式反应器常常是外部加热、内部搅拌，要得到轻质油需保持常压、低温和长时间反应。汽化和碳化会同时进行，碳化物质易沉积于槽内壁或加热管的表面，结果导致传热不良，因此每隔一定时间，需将碳化物或固体残留物排出。

要得到质量高的油品，必须对原料进行严格的预处理，尽量除去杂质。若混有 PVC，应在进入反应槽前分离或进行前裂解，以除去产生的 HCl。高温下 HCl 存在会严重腐蚀设备，并使产物的质量受到影响。

裂解反应如图 5-6 所示，废料从反应器顶部加入，经加热介质传热，使聚合物分解（也可通入空气或氧燃烧使聚合物分解），分解的气体经冷却可得到液体油和不能冷却的气体。

裂解残留物可从釜或井底排出，加热介质可采用金属浴等。槽

(釜)式或井式反应器是最简单、最便宜的。竖式和卧式反应器(垂直和水平反应器)的区别是加料和除去产物的方法不一。

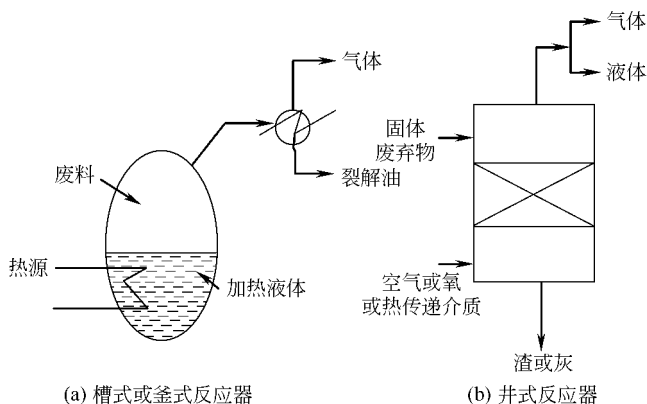


图 5-6 裂解反应示意

二、窑式反应器

窑式反应器如图 5-7 所示。反应器是圆筒形结构，具有通常是 4 : 1 或 10 : 1 的长径比。窑在裂解时旋转并且置于倾斜位置。废塑料从上部加入，由于重力和旋转作用，物料向下移动，一边裂解一边流动，高沸点残留物到下部而流出，低沸点物质在上部出来，冷凝后为气体和液体油。

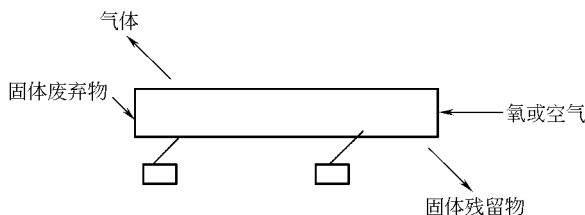


图 5-7 旋转式窑式反应器

三、流化床反应器

用于裂解的流化床反应器类似于煤气化反应器，其反应示意如图 5-8 所示。

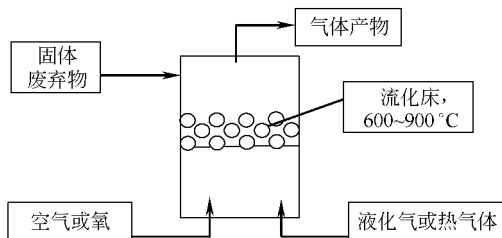


图 5-8 流化床反应示意

流化床用于裂解废塑料有几点特点：①良好的温控和加热快；②热源可用原料（固体废料）部分氧化来供热，也可用循环预加热的流化固体；③在反应器加热区无移动部件；④反应器易密封，可形成完全封闭系统。一般废料进入流化床前，需粉碎成一定大小的碎料，然后进入裂解器裂解。表 5-4 为一些塑料裂解体系。流化床的流动层可用石英砂，常用空气使砂层热载体成流态化，在流化床上废塑料熔融成为液体（但塑料量不能太多），液体分散在热载体颗粒表面，与颗粒一起流化而热分解。裂解挥发组分由床顶排出，经冷凝可得到产物。塑料热分解时，温度达到 450°C 以上，与加热面接触的部分塑料会发生碳化，这样热载体表面有碳化物质吸附。这些碳化物与由流化床下部进入的空气接触则燃烧并发热，加热颗粒和气体，使附于颗粒表面的塑料分解，裂解产物与上升的气体一起导出反应器之外，再经冷却、分离和精制，即成为优质油。在分解时由于空气的存在，所以产生的油往往是褐色或黑色的。此外，燃烧还生成水和 CO_2 ，需进行油水分离。生成的气体、水、废渣等在焚烧炉中燃烧，余热可以通过制蒸汽和热水加以回收。

废旧塑料热裂解工艺流程如下。

废旧塑料首先加工成粒料，并加入搅拌槽或釜中。然后粒状塑料在槽或釜中大约在 204°C 时发生熔融（温度取决于塑料类型）。熔化的塑料用泵送入反应器内，在 $0.35 \sim 1.74\text{MPa}$ 压力下，反应器内的塑料被加热到大约 $430 \sim 510^{\circ}\text{C}$ ，停留时间不少

于 30min（操作温度及压力视塑料而定）。在反应器内，塑料热裂解为气体和液体。当压力下降后，产物送入闪急蒸馏槽，沸点高和低的馏分在槽中分离，从而得到不同的产物。难以冷却的气体可作为燃料，进入燃烧器燃烧。具体流程如图 5-9 所示。热分解器是一个管式的、活塞式流动的热解反应器，它浸没在一个气体加热的砂子流化床中。

表 5-4 一些塑料裂解体系

发 展 商	反应类型及 加热方法	反应温度 /℃	工厂容量 /(t/天)	原 料	产 品
UC	挤出机,环状管 式裂解,电加热	420~600	0.035~ 0.07	PE,PP,PS, PVC, PET, PA 混合物	蜡
三 菱 重 工 (MFIhara 工厂)	槽式反应器,带 循环泵和回流 冷凝	400~500	0.7/2.4	聚烯烃	石脑油, 煤油燃料
MFIItsui ship building 和 工 程九公司	搅拌槽式反应 器,聚合物浴	420~455	24~30	低分子量 聚合物(PE, APP)	燃料油
三 洋 电 器 公司	管式反应器,具 有螺杆可除炭,介 电加热	260(PVC), 500~550	0.3(中试) 0.2(Gifu) 5(Kusatsu)	泡 沫 PS, 混合塑料(选 择收集)	单体,燃料 油,HCl
日 本 汽 油 公司	管式反应器(外 加热)			溶 解 或 悬 浮 在 循 环 油中	重油

四、螺旋反应器和螺杆挤出反应器

用螺旋反应器裂解塑料每小时能处理 100kg 废旧塑料。塑料材料首先在熔融槽熔化（温度 250~270℃），然后进入外加热或螺旋反应器进行分解，在 500~550℃聚烯烃分解，产生气体、油及残渣。螺旋式裂解反应器特点是：①生产可连续化进行；②螺旋搅拌器搅拌，可提高传热效率；③缩短高温裂解时间，汽化和碳化比

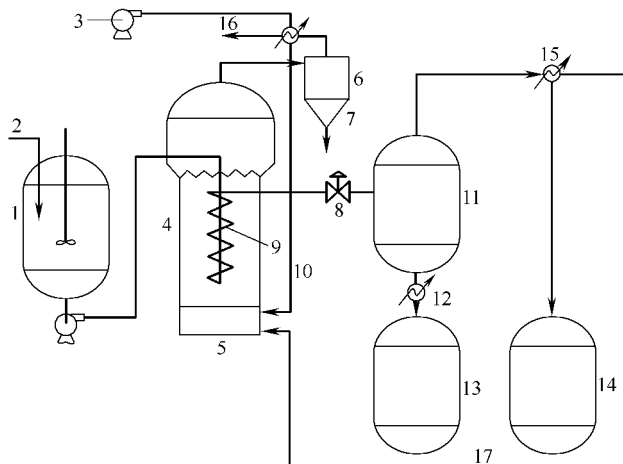


图 5-9 废旧塑料热裂解工艺流程

- 1—搅拌槽；2—废塑料；3—液态化空气鼓风机；4—流化床；5—燃烧炉；
6—旋风分离器；7—清洁砂、废物；8—压力控制；9—反应蛇形管；
10—预热过的燃烧空气；11—闪急蒸馏；12—冷却器；
13—重的烃类；14—轻的烃类；15—冷凝器；
16—排气；17—从冷凝器来的燃料

例增加，液体油量减少；④熔融槽加热量高，燃料用量大；⑤只适用于分解速度快的塑料；⑥产量受设备管径限制。

为了改善不足，可用几种方法结合进行，如螺旋裂解器和流化床裂解器相结合，控制裂解。也可用二步法进行，第一步低温裂解，可把含有 PVC 的塑料裂解掉，脱去 HCl；第二步高温裂解，使高温裂解设备的腐蚀情况大为改观，见图 5-10。

螺杆挤出机可用于降解，这种降解挤出方法具有以下特点：①通过机械和热方法结合，使分子断裂；②可消除分解产物如 HCl，可过滤和脱气；③可转化杂相高分子成均相液体物质；④可引入辅助物质，如空气、氧气、催化剂、蒸汽等。螺杆挤出机用于降解的过程如图 5-11 所示。

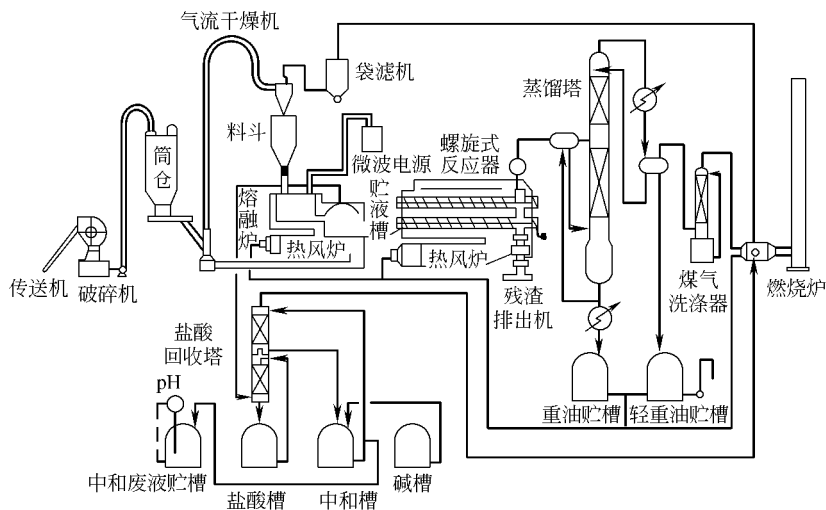


图 5-10 裂解反应器

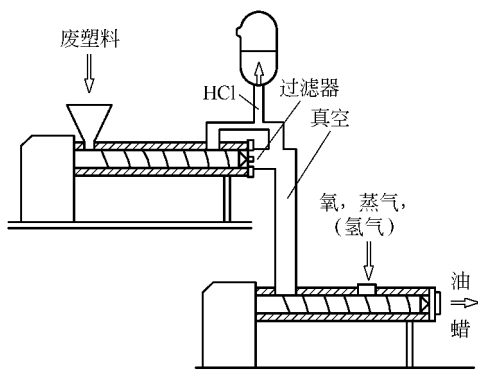


图 5-11 螺杆挤出机的降解挤出技术

双螺杆反应挤出机在 400℃可以把废旧高分子材料降解成低分子量油、蜡或气体，在降解过程中可以加氧或水蒸气。若在螺杆后段加压力，到 3~10MPa，并把过热水蒸气压入熔体，用分隔板分开熔体，再进入低压的反应器，高压水蒸气把熔体流转化成小熔体

滴，在温度高达 1500°C 时，部分燃烧，部分转变成 CO 、 CO_2 和 H_2 ，这种合成气可进一步利用。这种技术是降解挤出技术和汽化技术的结合。

第四节 废旧塑料的热能利用

废旧塑料的能量回收是通过它在焚烧炉焚烧时释放的热能的有效利用来达到回收目的的方法。燃烧热通常用热交换器将热能转化成温水，或通过锅炉转化成蒸汽发电和供热来加以利用。

废旧塑料能量回收的关键问题：一是焚烧技术，二是燃烧废气的处理。前者因塑料的热值较高以及废旧塑料种类不同，所以对焚烧炉的设计有一定的要求；后者由于环境保护的要求，对排出的废气要求无公害，所以必须进行处理。

一、废旧塑料焚烧工艺及设备

废旧塑料焚烧产生的能量可用于加热水或发电等，这种将废旧塑料进行焚烧，使其转化为热能的方法具有明显的优点：①不需繁杂的预处理，也不需与生活垃圾分离，特别适用于难以分捡的混杂型塑料品；②废旧塑料的生热值与相同种类的燃料油相当，产生的热量可观；③从处理废弃物的角度看是十分有效的，焚烧后可使其质量减少 80% 以上，体积减少 90% 以上，燃烧后的渣滓密度较大，作掩埋处理也很方便。因此，废旧塑料的热能利用得到了越来越大的重视。由于我国废旧塑料回收再利用的综合技术比较落后，所以焚烧废旧塑料利用其热能是很适合我国国情的。采用燃烧法回收热能时，值得注意的问题是：有些塑料燃烧时产生有害物质 [如 PVC 燃烧时产生氯化氢气体，聚丙烯腈燃烧时产生氰化氢 (HCN)，聚氨酯燃烧时也产生氰化物等]，所以如何做到保护环境、不致产生二次公害是很关键的。

现行的燃烧废弃旧塑料的方式有 3 种：①使用专用焚烧炉焚烧废旧塑料回收利用能量法。其所用的专用焚烧炉有流动床式燃烧炉、浮游燃烧炉、转炉式燃烧炉等。这类专用设备都要求尽量无公

害、长期使用和稳定连续操作。②作为补充燃料与生产蒸汽的其他燃料掺用法。这是一项可行而又比较先进的能量回收技术，热电厂即可使用塑料废弃物作为补充燃料。③通过氢化作用或无氧分解，转化成可燃气体或可燃物再生热法。这是一种特殊条件下的分解。

上述方法中专用焚烧炉回收利用能量的方法可以燃烧各种塑料废弃物及其与部分城市垃圾的混杂物，但需根据废弃塑料分布状况，合理地选择焚烧设备及其场地，以最大限度地减少运输费用和确保连续经常地焚烧处理。专用焚烧炉法的不足之处是需要较大场地、较庞大的辅助设施和有效地防止气体排放物中的有害成分污染环境，所需投资较大。对废旧塑料焚烧在设计上有如下要求：能用机械操作，且焚烧稳定，即使是多种塑料的混合物或混有其他城市固体垃圾也能有效焚烧，最大限度防止有害气体放出，焚烧能力大，故障少，燃烧完全，不产生烟尘粒子，废水排放要符合环保要求。

热塑性塑料投入高温的焚烧炉时，部分塑料很快熔融并急速成分解或汽化，结果进行气相燃烧，而产生的碳质残渣的燃烧较慢，部分熔体覆盖其表面，造成缺氧而燃烧不充分。热固性塑料加热也不熔融，而进行分解燃烧和表面燃烧，着火温度高而燃烧速度慢。当上述热塑性塑料和热固性塑料同时投入焚烧时，常会发生燃烧较慢的碳质残渣和热固性塑料的残留而导致燃烧停滞的情况，为此，在焚烧炉中要有适当的搅拌和良好的通风，以促进固体物的燃烧。专用能量回收利用焚烧厂的主要设施如下。

1. 焚烧炉

是主体设备，炉体以钢架结构支撑，以混凝土为基础。炉壁设计的关键是承受高温，热能吸收采用通水的围在炉壁四周的钢管导热，从燃烧区吸热的水或蒸汽通过钢管循环输热；排气口上的锅炉用于回收能量，也就是说，燃烧的废旧塑料放出大量热能，同时，在高温条件下，分解出的一氧化碳、甲烷、氢气等可燃气体也由排气口导出，以利用它们再回收热能。

作为主体设备的焚烧炉，其构造和类型很多。从炉体构型上

分，有立式圆柱型、卧式圆柱型、流化床型、转炉型等；从加热方式上又有直接加热式与间接加热式之分；在间接加热式中还有炉壁传递型和循环介质传递型两种。不论何种结构，衡量燃烧炉的基准是工艺操作的简单性、加热速度和热效率的优劣等。

2. 辅助设备中的燃烧前设施

其中有大型的贮料设施（如贮备废旧塑料的坑、库等），一般在地表下，以防止在地表上发生自氧化燃烧。大型焚烧炉应配备自动称量装置，以确定每次进料数量，有助于设施的控制和管理、评估成本和改进工艺。输送设施由升降设备和进料设备组成，前者从贮料坑中将废旧塑料铲起提升，卸料于进料口处；后者通过进料阀门将物料经料斗送入燃烧室。

3. 辅助设备中的燃烧后设施

主要是污染控制装置，用以妥善处理燃烧对所产生的有毒和危害性气体。

废旧塑料焚烧的主要工艺过程如图 5-12 所示，而图 5-13 所示为固体废物焚烧和能量回收系统。各种固体废物如家用、工业、商业、医用或非危险废料加入到焚烧炉中燃烧，通过控制燃烧过程，可使放出的产物对环境影响最小。焚烧炉可连续进行操作，燃烧温度 $>1100^{\circ}\text{C}$ ，辅助的燃烧器帮助平衡因开动、关闭或其他方面操作引起的温度变化，使温度保持在不低于 1000°C 。一级和二级燃烧空气系统用于控制空气分布，能自动调节空气量，以适应废料特性、焚烧炉的加料速度、加料或燃烧方式等的变化。焚烧炉中燃烧气的滞留时间温度控制在 1000°C ，不小于 1s 。滞留时间可以根据大部分燃烧已经完成和燃烧温度达到最高时来推算。

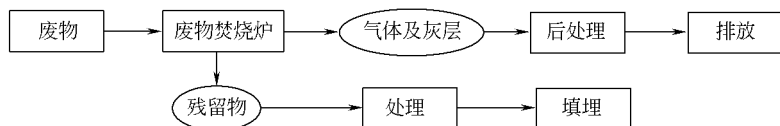


图 5-12 焚燃的主要工艺过程

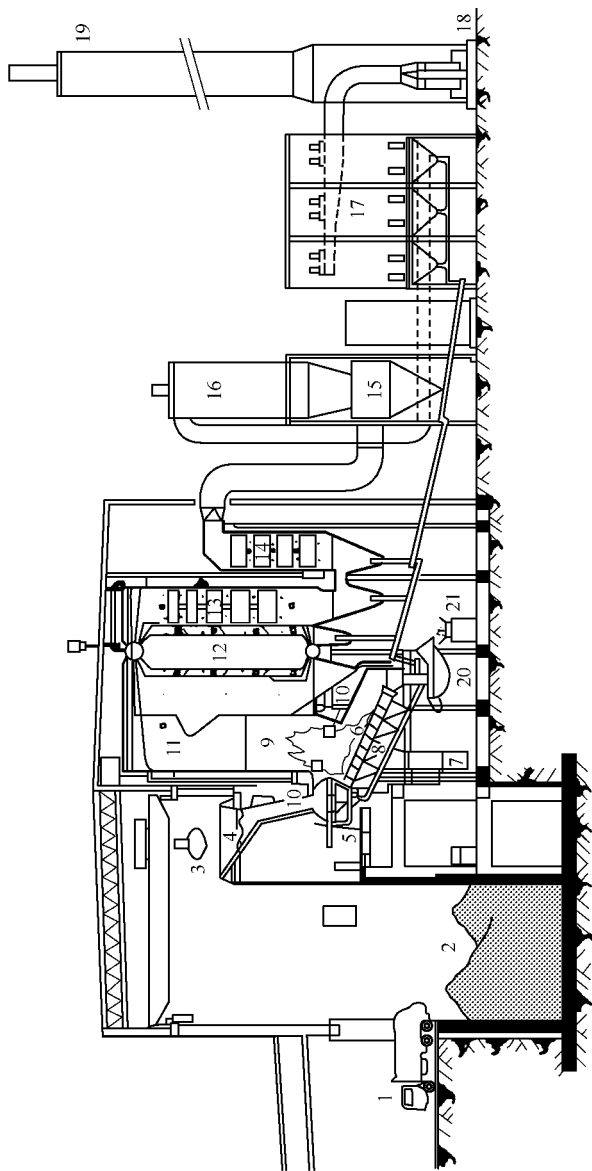


图 5-13 固体废物焚烧和能量回收系统

1—废物收集车；2—废料贮存坑；3—废料操纵吊车；4—加料斗；5—喂料器；6—反向作用烧火炉栅；7—气流风扇；8—栅下空气区；

9—燃烧炉；10—次级空气喷嘴；11—锅炉；12—蒸发器；13—过热器；14—废气预热器；15—旋风分离器；

16—净(漆)气器；17—织物过滤包；18—诱导气流风扇；19—烟囱；20—残留物排出装置；21—残留物输送机

二、残留物的处理

物料的燃烧将产生灰，现代焚烧炉都配备涤气器和过滤包（袋）或静电沉淀器来加以处理。织物过滤包和静电沉积器是两大系统，都能非常好地除去废气流中危险的飞扬灰粒子和低挥发的金属蒸汽，从而进入烟囱排放。现代静电沉积器配备有间歇能量化系统，在收集高电阻率的烟灰时限制逆电离。良好的燃烧器可以消除大部分飞尘和黏附于灰尘上的危险化学药品，如在过滤包的入口处粒子浓度约为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，经过滤能被有效地减少到 $<0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 。通过一系列涤气器和化学处理反应器，可以处理并中和酸性气体，如氯化氢、 SO_2 和 NO_x 。

酸气涤气器可以有几种：干过程、半干过程或湿过程涤气器。使用粉末或熟石灰作反应化学品，是最适合于干过程或半干过程；湿过程使用苛性钠溶液除去酸气。通过改变气体燃烧区的空气比例或在燃烧室中喷射 NH_3 溶液，可把 N_xO 转变成 NO_x ，使氮的氧化物得到控制。

现代焚化炉是具有非常严格的控制和监视功能，包括使用计算分析技术，能检测极其低的化学品浓度，低至 10^{-9}g 。温度控制、滞留时间和燃烧气、烟道气及飞尘的空气流分析均能连续自动记录。

废物燃烧的结果会产生几种非燃烧气体和蒸气，如低挥发的低熔点的重金属和各种酸气。如果不控制气体与飞尘而排放到大气中，会对环境进行污染。

有机物质的完全燃烧将产生二氧化碳和水，焚烧炉对温室效应的影响将是填埋处理的 $1/3 \sim 1/6$ 。有机物和无机物的混合废弃物的燃烧将产生固体废料，主要在底部残留物中，部分飞灰被收集在过滤包中。残渣常是初始废弃物体积的 10% 和质量的 $15\% \sim 20\%$ 。在焚烧前除去金属、玻璃等可以减少残渣固体，同时提高废弃物热值。

思 考 题

1. 废旧塑料进行热分解的目的及方法？
2. 废旧塑料热分解油化工艺方法及特点？

3. 废旧塑料热分解的气化工艺及特点？
4. 举例说明聚烯烃裂解制油的方法？
5. 试述化学分解过程？
6. 废旧塑料进行焚烧处理的特点？
7. 焚烧废旧塑料的方式？
8. 废旧塑料焚烧主要设备？
9. 废旧塑料焚烧主要工艺过程？
10. 废旧塑料焚烧后有哪些主要的残留物？如何处理？

第六章 废旧塑料回收利用典型实例

废旧塑料回收再利用大有前途，因为其资源丰富（废旧塑料及其制品到处都是，回收价廉），又是国家扶持对象（免税），而且设备投资少，生产工艺简单，谁先抢占这个巨大市场，就会赢得商机。那么，废旧塑料回收再利用有哪些项目值得我们去开发投资？

第一节 常用塑料回收利用途径

一、回收废旧聚乙烯的利用途径

- ① 回收的聚乙烯废旧塑料可通过各种成型方法直接再生利用。
- ② 通过共混、增强、增韧、氯化、交联等改性方法提高回收的聚乙烯废旧塑料各项性能，满足制品性能的需要。
- ③ 裂解制油、生产高价值原料、生成低分子量物质。
- ④ 焚烧回收能量。

二、回收废旧聚丙烯的利用途径

- ① 回收的聚丙烯废旧塑料可通过各种成型方法直接再生利用。
- ② 通过共混、增韧、增强、氯化、接枝等改性方法提高回收的聚丙烯废旧塑料各项性能，满足制品性能的需要。
- ③ 裂解制油、生产高价值原料、生成低分子量物质。

三、回收废旧聚氯乙烯的利用途径

- ① 回收的聚氯乙烯废旧塑料可通过各种成型方法直接再生利用。
- ② 通过共混、增韧、增强、氯化、交联等改性方法提高回收的聚氯乙烯废旧塑料各项性能，满足制品性能的需要。
- ③ 从PVC软制品中回收增塑剂和树脂、裂解制油、裂解制炭化物。
- ④ 焚烧回收能量。

四、回收废旧聚苯乙烯的利用途径

① 回收的聚苯乙烯废旧塑料可通过各种成型方法直接再生利用，泡沫塑料可脱泡造粒再成型。

② 通过共混、增韧、增强、接枝等改性方法提高回收的聚苯乙烯废旧塑料各项性能，满足制品性能的需要。

③ 制涂料、建材辅助材料（如防水材料）。

④ 裂解制苯乙烯单体、制苯乙烯的催化剂、油、新型涂改液等。

⑤ 焚烧回收能量。

回收废旧 PE、PP 经过处理可用来生产低档产品，尤其是日用品，如各种瓶子、膜、袋、箱、坛子、盘、电线电缆、捆扎绳、泡沫塑料等；其次用来裂解制油，根据塑料组分不同，可制成汽油、柴油等。

废旧 PVC 的回收利用大都采用熔融再生法，PVC 废品经人工分拣、清洗后，热压混炼、拉片切粒或用单螺杆挤出设备造粒，再生料再与新料混合使用，制造鞋底、膜、片材、防水卷材、地板、排水管、门窗、瓶子、电线电缆；裂解制油、制碳化物等。

人们利用 PS 的方法也很多，回收的泡沫塑料制造建筑材料，如制轻质的混凝土砖、仿木材料；利用 PS 制造涂料和黏合剂；利用 PS 回收单体；裂解制油等。

废旧 PET 经清洗、干燥后制成再生料用于制造再生饮料瓶、制纤维、膜等；废旧 PET 分解制单体，生产对苯二甲酸和乙二醇；利用 PET 制造油漆涂料；利用 PET 制造热熔胶；利用 PET 制造增塑剂对苯二甲酸-2-乙基己酯（DOTP）等。

第二节 薄膜的使用回收与利用

一、薄膜的使用

农用塑料薄膜的应用在农业现代化进程中起了重要的作用。农用塑料薄膜基本上以聚乙烯为主。以地膜为例，主要使用线形低密度聚乙烯（LLDPE），由于线形低密度聚乙烯具有强度高、耐环境应力开

裂性好、耐热及耐低温性好、突出的薄膜抗穿刺性以及加工过程中熔体的延伸性大、拉伸特性极好等特点，可制成微薄薄膜（ $6\sim 7\mu\text{m}$ ）；高密度聚乙烯（HDPE）可在高温下进行超薄薄膜加工，也是生产地膜的主要原料之一。温室棚膜大多数国家仍以聚乙烯、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物（EVA）为主，也有以聚氯乙烯为主的。

目前，农用塑料棚膜的质量不断提高，品种繁多，以棚膜为例，有耐候寿命 $3\sim 5$ 年的长寿膜、紫外线吸收膜、防雾滴膜、防尘膜、多层膜等。农用地膜除了常用的保温膜外，还有除草膜、水稻育秧膜、苗避蚜膜等。

我国是一个农业大国，采用农用塑料薄膜覆盖栽培农作物是促进农作物增产和农业现代化的重要措施之一，是在有限的耕地面积上增加农作物产量的有效途径。我国农膜技术起步于 20 世纪 50 年代，70 年代获得较快的发展，特别是 1978 年从日本引入地膜生产技术后，1998 年地膜产量已逾 0.8Mt。1998 年我国地膜覆盖面积 1 亿多亩（1 亩 = 666.67m^2 ），棚膜覆盖面积超过 1000 万亩，累计增产粮食、棉花、蔬菜、瓜果、糖类等逾 70Mt。1998 年我国农地膜产量已接近 1Mt。

我国农用塑料薄膜使用与回收中的问题主要集中在农用地膜上。由于目前地膜生产趋于薄型化，生产与使用者过分追求经济效益，忽视薄膜耐候性的改善，致使农地膜强度低、易破碎，寿命仅有 $4\sim 5$ 个月，给回收带来困难。

有关生态和环境污染问题已引起有关方面的注意。据北京有关部门对土壤残留农地膜进行的大面积调查及人工模拟试验表明，大量残留的农地膜污染农田，给农作物的生长带来了危害，造成不同程度的减产。耕作土壤层有废膜的土地比没有废膜的减产 $8.3\%\sim 54.2\%$ ，减产幅度因作物品种不同而有差异。据山西省有关部门统计表明，由于部分农膜残留在土壤中，造成土壤结构破坏、板结，土壤透气状况恶化，破坏了植物根系的吸收能力，致使减产 9%。连续使用地膜 5 年，每亩耕地的地膜平均残留量达 $6\sim 7\text{kg}$ ，会使小麦减产 26%。欲解决这一问题，一方面需要开发新产品，提高

薄膜强度，降低成本，使薄膜容易回收。另一方面，应加强农地膜的科学与管理，防止大量的农地膜碎片残留在田间土壤中。

农用塑料薄膜回收与利用有利的一面是塑料的种类比较单一，分类工作比较简单；困难在于收集和清洗。

自 20 世纪 90 年代初以来，环境问题向塑料包装材料提出了严重的挑战，但从实际情况来看，塑料仍然是全世界包装工业中增长最快的材料之一。近 10 年来，年平均增长率为 8.7%，超过了所有其他包装材料的生长，用于包装的一些主要材料如纸板、金属、木材和纺织物等的实际使用量均在下降。

用于包装材料的塑料主要有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚偏二氯乙烯、聚酯、聚酰胺等。塑料包装最广泛的应用领域是食品、饮料、化妆品、洗涤用品、药品以及其他消费用品。塑料也用于工业部门的货运箱。

二、薄膜的回收

用于薄膜的主要材料有高密度聚乙烯、低密度聚乙烯和线形低密度聚乙烯及各种聚丙烯薄膜（BOPP、OPP、CPP）等。

1. 薄膜的回收工艺

薄膜的回收工艺过程如下：

粉碎→清洗→脱水→烘干→造粒

对于在生产过程中产生的边角料或试车时产生的废膜，因为不含杂质，可以直接粉碎、造粒，进行回收利用。图 6-1 为聚乙烯膜的一种回收造粒设备。

包装薄膜和农用薄膜的回收，难点是分选和除去杂质及附着在薄膜表面的其他物质（灰尘、油渍、颜料等）。

（1）粉碎 收集到大片的或成捆的薄膜需要剪切或研磨粉碎成易处理的碎片。粉碎设备有干式和湿式之分。干式粉碎机可直接对收集到的薄膜进行粉碎；湿式粉碎机则需要对收集到的薄膜在进行预清洗后再粉碎。前者结构简单，投资小，但由于所粉碎的薄膜含有较多的杂质，刀具磨损较大；后者虽然增加了一道工序，但刀具磨损小、噪声低。

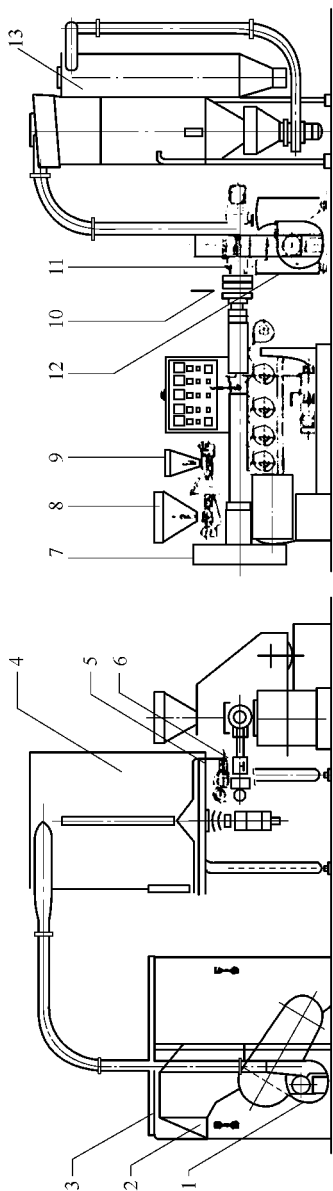


图 6-1 聚乙烯膜回收造粒设备

1—鼓风机；2—切断研磨机；3—传送器；4—混合室；5—排出装置；6—加料与进料螺杆；

7—挤出机；8—漏斗；9—添加剂加料装置；10—过滤器交换装置；

11—空气热切造粒机；12—气流输送装置；

13—可产生旋风和装袋的冷却装置

(2) 清洗 清洗的目的是除去附着在薄膜表面的其他物质，使最终的回收料具有较高的纯度和较好的性能。通常用清水清洗，用搅拌的方法使附着在薄膜表面的其他物质脱落。对于附着力较强的油渍、油墨、颜料等，可用热水清洗或使用洗涤剂清洗。

清洗设备按工作方式分类有连续式和间歇式；按结构分类有敞开式和封闭式。不论何种方式，都有一个产生很强洗涤作用的拨轮或滚筒。拨轮或滚筒的高速转动，使薄膜碎片受到较强的离心力作用，而使附着物脱落。由于薄膜与附着物的密度不同，脱落的附着物最终沉淀，薄膜碎片浮于水面。为了取得更好的清洗效果，薄膜碎片用水清洗后，可送入摩擦清洗机继续进行清洗。在摩擦清洗机内，薄膜碎片表面受到较大的摩擦作用而使附着物脱落。

农用塑料薄膜回收的主要问题是泥砂的清洗。一般情况下，农膜表面附着的泥砂含量与单位质量农膜的表面积成正比关系。农膜的清洗比较费时费力。如果清洗不彻底，容易磨损回收加工设备。常用的干式粉碎（切碎）设备不大适用于处理农膜。一般采用湿式粉碎设备，粉碎（切碎）刀的使用寿命也可提高1倍。由于粉碎清洗后薄膜碎片常常还会夹杂着少量的泥砂杂质，因此有必要配备进一步分选泥砂的装置，通常使用水力旋流器将膜片与泥砂分离。图6-2为粉碎和清洗塑料碎片的简易设备示意。

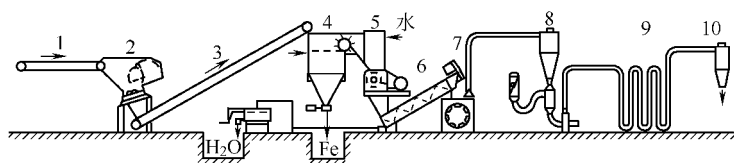


图 6-2 粉碎和清洗塑料碎片的简易设备示意

- 1—加料器；2—撕碎机；3—传送带至顶磨碎机磨碎；4—材料的粗略分离；
5—湿式磨碎机；6—螺旋脱水机；7—机械干燥器；8—旋网分离器；
9—热空气干燥部分；10—包装

(3) 脱水 经清洗后的薄膜碎片含有大量的水分，为了进一步

加工处理，必须脱水。目前脱水方式主要有筛网脱水和离心过滤脱水。筛网脱水是将清洗后的薄膜碎片送到有一定目数要求的筛网上，使水与薄膜碎片分选。筛网的放置形式既可平放，也可倾斜。带有振动器的筛网脱水效果更佳。离心脱水机是以高速旋转的甩干筒产生的强离心力使薄膜碎片脱水的。

(4) 烘干 经脱水处理后的薄膜碎片仍含有一定的水分，为了使水分的含量减少到 0.5% 以下，必须进行烘干处理。烘干通常使用热风干燥器或加热器进行，为了节约能源、降低成本，干燥器或加热器产生的热风应该循环使用。

(5) 造粒 经过清洗烘干的薄膜碎片可送入挤出造粒机进行造粒。为了防止轻质大容积的薄膜碎片 (50g/L) 出现“架桥”现象，需要采用喂料螺杆进行预压缩，使物料压实，喂料螺杆的速度应与挤出机相匹配，以防止机器过载。通过计量设备加入适量的助剂，以改善回收料的性能。

造粒既可使用单螺杆挤出机，也可使用双螺杆挤出机。用于回收薄膜的单螺杆挤出机的长径比 (L/D) 一般都在 30 以上。使用单螺杆挤出机的优点在于设备投资小，缺点是混炼效果不如双螺杆挤出机。使用双螺杆挤出机造粒，对螺杆的转向无特殊要求，其转向既可为同向旋转也可为异向旋转。在双螺杆挤出机内，物料的混炼机理不同于单螺杆挤出机，因此可多处进料和开设排气孔。使用双螺杆挤出机时，物料混炼所需的剪切力不是靠螺杆与机筒的摩擦产生，而是由两个螺杆之间的捏合产生，大大提高了混炼效果，降低了能耗。双螺杆挤出机的螺杆自洁性也优于单螺杆挤出机。对于专门从事薄膜回收的厂家而言，采用双螺杆挤出机比较合理。

在薄膜碎片的熔融挤出过程中，常有水蒸气、单体分解物气体产生，为了使生产出的粒料不含气泡，应当采取排气措施。此外，为了得到高质量的回收料，对回收料的熔体进行过滤也是很有必要的。通过熔体过滤可将清洗后滞留的杂质滤掉。熔体的过滤可使用间歇式或连续式过滤网装置。间歇式过滤网会造成熔体流动的中

断，每次调整过滤网后需要重新调整工艺条件，连续式过滤网的更换则不会中断熔体的流动。

切粒方式采用冷切或热切工艺都是可行的，再进行烘干处理，最后送入料仓。

2. 典型薄膜回收工艺及设备

图 6-3 为常见的薄膜回收生产线总体工艺流程。

零散的农膜送至粉碎用圆筒碾磨机 1，然后到预洗涤装置 2，农膜中夹杂的固体杂质如石子、砂或金属被分选出来。塑料组分输送到湿法切割磨碎机 3，在水中被滚动着的排料辊粉碎，然后送至湿料贮仓 4。另外，捆好的薄膜直接送至切割磨碎机 5，在传送带上装有金属检测装置，被粉碎的薄膜送至撕碎的薄膜贮料仓 6，与来自湿料贮仓的碎膜一起进行计量。来自贮料仓的碎料在搅拌器的搅动下形成水、泥土、碎料混合物。由于产生较强的湍流和在机械力作用下，黏附在塑料上的杂质松动，粉碎的原料得到充分的清洗，并由循环泵将混合物送至水力旋流器 8。作为预分离器或称为旋流分离器，必须与分离的产品完全匹配。旋流器的效率受圆筒长度的限制和圆锥面的角度、溢流与排出水流之比的影响，其结构尺寸要针对分离介质的要求进行专门设计。泥土在溢流部分排出，作为回收加工中的废料收集处理。水和塑料组分进入摩擦分离器 9，分离出纸、纤维和类似的其他物质，再进入旋转/沉降槽 10，使细小的残留的杂质进一步得到分离。下一个阶段是进入带搅拌器的容器 11，通过水力旋流器 12 进入到摩擦分离器 13 分离出细小的剩余杂质，然后输送到离心式机械干燥器 14，水与纯净的原料分离，剩余的水分在材料进入热干燥器 15 中彻底干燥。水分和空气一起被旋转分离器排出，干净的回收料送到清洁的料仓 16，采用搅拌器使料仓中的物料保持运动状态，以防物料间的粘连。

该装置的主要特点是采用密闭圆筒型卧式清洗装置。圆筒内壁装有许多固定叶片，中心搅拌轴上也装有叶片，叶片上有许多小孔，搅拌轴转速为 300r/min，电机功率 7.5kW。全部物料经管道输送。

3. 聚乙烯薄膜回收生产线示例

(1) 日本制钢所废农膜回收装置工艺流程（见图 6-4）

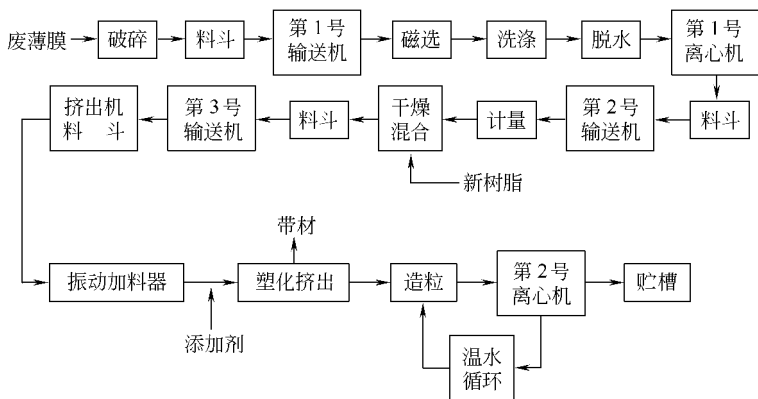


图 6-4 日本制钢所废农膜回收装置工艺流程

(2) 日立造船株式会社废农膜回收装置流程（见图 6-5） 该装置的主要特点是整个系统无加热装置。破碎后的碎片经多次脱水，然后在粉碎机中粉碎和干燥。粉碎机形似高速捏合机，内装有刀片，利用粉碎时产生的摩擦热使水分蒸发。此装置的月处理能力为 400t。

三、薄膜回收料的利用

聚乙烯薄膜回收料用来生产新的薄膜，产品可以作为透明包装薄膜、着色的包装薄膜、垃圾袋薄膜或其他包装薄膜。此外，适当的着色，可以用于生产栅栏支柱、排水槽、电缆盘、污水管、树木支撑、货架和标牌等。

对于包装薄膜的材料包括玻璃纸（赛路玢）、PE、PVC、PP、EVA、PVDC、PA、PET 以及各种复合薄膜。单层的一种材料的包装膜，在经分拣、清洗后，可直接制成塑料制品或造粒后制成各种制品。复合薄膜包括不同塑料的复合薄膜和塑料与纸、铝箔等其他材料制成的薄膜，回收后的再生处理要复杂一些，如多层塑料复合薄膜有 PE/PP、PE/EVA/PE、PE/黏合剂/PA/黏合剂/PE、PP/PVDC 等，在再生利用前，首先要将不同的材料分离，分离可

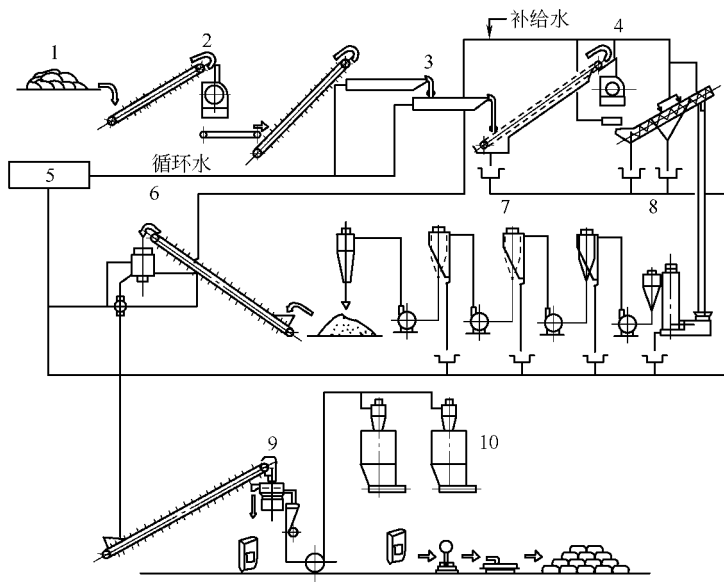


图 6-5 日立造船株式会社废农膜回收装置流程

- 1—塑料；2—一次破碎；3—二次洗净；4—二次破碎；5—废水处理装置；
6—粉碎；7—干燥；8—三次洗净；9—分类；10—包装

用溶剂分离法。

纸塑复合薄膜在再生利用前需先将纸塑分离，这也是纸塑复合分离的方法，分离设备为一带有电加热的一镀铬空心料筒，料筒内装有一个带叶片的空心圆筒、料筒和空心圆筒以相反方向转动，破碎后的纸塑混合物加入料筒，在料筒中经加热的混合物上的塑料熔融后以料筒下部出料，空心圆筒中的空气将废气带走。

铝塑复合薄膜有 BOPP/铝、PE/铝等，用于各种食品包装，使用后的铝塑复合软包装袋实际是一种混合废料，回收利用较为困难。处理的方法国外主要为焚烧回收热量。下面介绍利用铝的导电性，制造抗静电功能材料的例子，其工艺过程如下：

铝塑复合废料→清洗→粉碎→过筛→团粒→铝粉→助剂→挤出→半成品→挤出→成品

将铝塑复合废料经清洗，粉碎过 10 目筛筛选，再进行团粒，该过程可采用北京塑料机械厂的团粒机。团粒工艺条件为喷水 95℃ 下 0.8L，加料时间 3min，抽气时间 5min，粉碎时间 10min，每次处理 15kg。经团粒的物料再用挤出机挤出，成半成品，将此半成品再添加入 20% 铝粉、阻燃剂、相容剂及其他助剂，再经挤出造粒即可得制品，用作导电性材料。

第三节 塑料容器的使用与回收

一、容器的使用

塑料包装材料具有强度高、成本低、耐候性好等优点，使其在与许多传统包装材料的竞争中具有较强的优势。例如在过去的 20 年中，美国牛奶容器总量的塑料容器从 4% 上升至 67%，美国工业用货运袋市场的 45% 以上已被塑料包装材料所占领。

从塑料包装材料所占的比例看，大致分布如下：聚乙烯占 64%，聚苯乙烯占 11%，聚丙烯占 9%，聚酯占 7%，聚氯乙烯占 5%，其他 4%。这些材料按用途分为薄膜（35%），瓶（27%），其他容器盒、桶、盆、杯（24%），纸和箱的涂层（9%），罩和隔板（5%）。

二、容器的回收

容器包括各种饮料瓶、冷饮盒、医药瓶、洗发香波瓶、洗涤剂、车油箱、蓄电池外壳等，其容积从几十毫升到 200 多升不等。这些容器如不回收，只能与生活垃圾一起填埋或焚烧。

目前，回收利用所面临的主要问题是分类。我国已明确规定通用的几大类塑料所成型的制品要有类别标记，以方便分类，便于回收。

容器类塑料一经收集后，即发往中间处理工厂（又称为材料回收厂）去分选。要求按树脂种类将其分类。分选的目的是为了使回收的塑料在性能上具有一致性，以保证掺混大量回收树脂生产的新产品最终的使用价值。

在材料回收厂中接收、检验、称量所收集的容器，并将其输送到分选工艺。第一道处理设备是破捆机，此装置接受成捆的原料，除去全部捆扎带并取出料捆，均匀地将容器送入多孔筛板或筛选机中。

筛选机进一步从已压实的瓶体分选回收物中的异物，除去原料中的尘土和其他松散碎片，包括碎玻璃、石子、铝护层、残液和其他污染物。离开筛选机后，将回收物传送通过磁铁分选器除去金属铁。

人工分选时，材料处理人员需在传送机的预定位置，分选所要回收的容器。所有附在容器上的保护层和密封件，由处理工在分选前或分选过程中用手工除去。

采用人工分选存在下列问题：①成本高，效率低；②作业人员处在存在残留化学品或有害物质的环境中；③难于分选外观相似的树脂，例如聚氯乙烯和聚酯树脂；④由人工分选造成的材料分类误差较大。

造粒是回收加工中的重要环节，因为只有这样加工的材料才能获得较高的市场价值。造粒也要求符合严格的质量控制标准，因为一经造粒后，许多小碎片再不能进行分选。造粒的成本、效率是开发自动化分选机的一个主要原因，自动化分选机可以解决与人工分选相关的许多问题。

目前，国外已有商业化的自动化的容器类分选系统。有些分选系统的设计是针对某一种容器，如外观很相似的容器，按树脂种类和颜色分选。例如，聚氯乙烯瓶和聚酯瓶两者都是非常容易回收的容器，然而，当这两类瓶混合在一起回收时，由于这两种树脂之间的流变性能不相容，会影响整体质量。这也是聚酯瓶回收厂特别关心的问题，因为当聚酯加热至加工温度时，微量聚氯乙烯能引起所回收聚酯树脂的性能下降，因而在回收利用之前，必须以各种办法分选和除去聚氯乙烯树脂。

美国得克萨斯州 Asoma 公司开发了探测和分选聚氯乙烯瓶的技术。该装置采用 X 射线荧光光谱传感器探知树脂内部是否有氯

原子存在，传感器和微处理器及皮带输送机相连，正常选择只需要 10ms 这种传感器扫描聚氯乙烯/聚酯瓶流，通过喷射压缩空气，从进料流中分选出聚氯乙烯或聚酯瓶。

目前，探测和分选混合瓶的单一装置，处理量已达到 400～600kg/h。

美国的现代机械（modern machinery）公司制造的冷冻法回收装置，可成功地将聚氯乙烯成分从聚酯碎片中分离。这种方法使用液氮在 -129°C 冷冻聚酯和聚氯乙烯，高速搅拌碎片，聚酯不会受影响，聚氯乙烯被碾成均匀的颗粒，然后进行机械筛选，从聚酯中分选出聚氯乙烯。这种筛选法可分选出 90% 的聚氯乙烯。据称，如果在分选前仅有聚氯乙烯，而没有其他成分，冷冻法处理后残留的聚氯乙烯量不会大于 100mg/kg，通常少得微乎其微。对于效率为 1000kg/h 的生产线，液氮、电费及人工费大约为 95 美元/h，即生产成本约为 10 美分/kg。对于其他可回收利用的容器也可用类似的方法分选，只是要调整检测仪器的有关参数。

第四节 编织袋和周转箱的回收

一、编织袋的回收

聚丙烯编织袋的使用非常广泛，对于回收的编织袋首先要进行清洗，将残留的各种粉尘洗掉，然后除去各种杂质，如金属、纸片、棉线等。

清洗后的编织袋可直接进行粉碎，也可先进行粉碎，然后清洗、除去杂质。粉碎、清洗干净后的聚丙烯料稍经烘干处理后便可造粒。

二、周转箱的回收

高密度聚乙烯周转箱广泛用于运输领域。在使用和运输过程中长期受紫外线的照射后，高密度聚乙烯周转箱料的力学性能会下降，最终成为废品。

可利用添加紫外线稳定剂的方法对回收的高密度聚乙烯周转箱

再生料进行改性，加入紫外线稳定剂后，回收料的力学性能有很大的改善，但与新料相比，还是有一定的差距。因此，在成型周转箱时加入一定量的回收料。如果过量，会影响其抗应力开裂性。

第五节 聚氯乙烯门窗回收利用

PVC 门窗因其独特的节能、防潮、隔音、隔热和防腐性能，逐步取代钢质、木质门窗，我国现已有 PVC 门窗组装线 1000 条，组装能力约 2000 万平方米。PVC 门窗的使用寿命长达 40~50 年，而现在只有 1%左右的门窗使用时间超过了 30 年，因此现在能得到的废旧 PVC 门窗数量有限，大多是建筑物更新和拆除中产生，超过使用寿命而报废的门窗几乎没有。这种状况使得目前的废旧 PVC 门窗的回收技术还不成熟。

废弃 PVC 门窗料的来源主要有 3 个：①生产中的废料；②切割碎料及门窗安装施工中产生的废料；③旧门窗拆换中产生的废料。

PVC 门窗废料经收集分选除去玻璃和金属，清洁、粉碎后，可与新料一起通过共挤出工艺生产再生门窗型材。这种门窗型材的芯层由再生料制得，面层则由新料构成，芯层与面层融合在一起，形成不可分离的整体。两部分的质量比为 2：1，即再生料占了 2/3。由 100%新料构成的面层可以保证有足够的耐光性、耐候性及美观性，制得的门窗安装后与完全由新料制得的门窗没有区别。

除了废旧 PVC 门窗回收制成原产品外，其他的 PVC 废料经适当处理也可用来生产 PVC 门窗。表 6-1 为利用废旧 PVC 塑料与冶金工业废料赤泥混合制备再生塑料门窗框架的配方，其耐热温度为 80~95℃，拉伸强度为 15.97MPa，抗压强度为 24.2MPa。

表 6-1 废旧 PVC、赤泥制备塑料门窗的配方

原 料	质 量 份	原 料	质 量 份
旧 PVC 料	100	硬脂酸铝	3
赤泥	217	胶质碳酸钙	13

第六节 利用废旧塑料生产塑木制品及塑木托盘

一、塑木技术发展背景及概况

塑木技术是近些年来在世界上发展起来的一项新型加工技术。其技术特点是把两大类差别较大的不同材料相互混合在一起，即木材、塑料合二为一。塑木技术的问世以其新颖的观念、新颖的设计、新颖的产品，极大地推进了新材料的发展。在木材方面，我国是一个森林覆盖率极低的国家。近些年来，由于一些管理和规划上的漏洞，使天然林木的减少加快了，对我国社会和工业发展带来了极大的负面影响。国家有关部门十分重视这一问题，明令于1998年9月1日起禁止对天然森林进行砍伐，因此就必须有新材料来补充由于限伐木材而产生的材料空间。塑木新产品就是一种很好的可替代木材的新材料。在塑料方面，由于塑木加工使用的塑料为通用塑料，其原料来源广泛，供应充足。在此值得关注的还有一点是，在塑木加工技术可以大量使用回收的废旧塑料进行加工。从这个角度来看，塑木技术的推广应用就有了更大的意义。我国每年都有大量的废塑料要回收利用，如不能有效处理，会对社会和环境造成极大影响。这些废旧材料都是可多次利用的资源，如将回收的废旧塑料与木粉或其他无机、有机材料进行复合，加工成为一种复合材料，使其相互可以借助各自的材料优势，补偿自己不足的一面，这样就大大提高了它们的使用范围，其价值无形中也增加了，这样不仅有利于新材料的推广应用，也有利于国家环保事业的发展。

塑木技术可利用木材下脚料及木材加工中的锯末以及农业生产中的麦秆、稻壳等，可节约木材、保护资源，也可大量回收利用废旧塑料、治理白色污染、保护环境、节约能源。塑木技术现已发展为一种全新的材料——挤出成型木材，为国家大量回收利用废旧材料开辟了新途径。

二、塑木制品的生产工艺过程

1. 塑木制品种类

目前塑木制品的应用已经非常广泛，如公园、球场、街道等场合的露天桌椅；建筑材料、吊板、屋顶、高速公路噪声隔板等；下水井盖、铁路枕木、格栅板；包装材料、搬运垫板和托盘及底盘；围墙、花箱、篱笆、走道、地板、防潮隔板。

2. 塑木制品的成型工艺

使用木粉或植物纤维超高份额填充废旧塑料，同时添加部分相关增黏及相容改性剂，经挤出成型制成板材、型材、管材替代相应木制品。塑木制品除具有木加工的优点外，还具有强度高、防腐、防虫、防湿、使用寿命长、可重复使用等优点。

木粉填充改性塑料，国外早已开始研究，但超高份额的木粉填充则是近几年才发展起来的，在国内外的专利文献中已有报道。日本有名的“爱因木”就是该类产品；加拿大的协德公司开发了类似的塑木包装材料；奥地利辛辛那提公司及PPT 模具公司开发出各种板材塑木制品（采用挤出工艺）；韩国的大山株式会社（利用挤压联用工艺）开发出了塑木板材制品。塑木制品可采用挤出、压延、热成型、注射等多种成型方法生产，现以挤出成型及模压成型为例介绍。

（1）塑木制品的挤出成型工艺 虽然木粉和塑料粒子之间的相容性问题主要靠加入偶联剂和相容剂来解决，但我们在实验生产中却可以从另一个角度出发，即不考虑材料的均匀分布的相容性问题，而是只考虑材料表面的结合或粘接问题。基于这个思路，在木粉改性 PP 和 PE 的配方中并不刻意寻找解决木粉和树脂相容问题的方法，而是只要使这两种材料表面（或界面）经过挤出机的高温高压能强制地粘接在一起并挤出成型即可。我们认为，木粉改性 PP 和 PE 的成型机理是一种类似于表面（或界面）被粘接在一起的机理，电镜图也可以明显看出木粉和塑料被挤压粘接在一起的现象。

由于在高温高压下树脂（PP 和 PE）已经完全熔融，起粘接作用的应该是树脂本身，即 PP、PE 和木粉在高温高压下挤出经冷却后，PP 和 PE 就在各自的体系中把大量的木粉粘在一起，同时表

现出很好的成型效果。

PP 和 PE 是无极性的材料，不会和有极性的木粉粘接在一起，但通过生产试验发现，挤出后的木塑制品成型非常好。可能是木粉中含有的部分物质起到了相容剂的作用，另一个原因可能是在高温高压下木粉和塑料被强制挤压在一起，从而达到成型的作用。因此，初步认为木粉改性 PP 和 PE 的挤出成型机理是大量的木粉和树脂在高温高压下通过挤出机强制地类似于被粘在一起。

各种塑木制品的挤出成型工艺流程大体相同，一般包括原料的准备、预热、干燥、挤出成型、挤出物的定型与冷却、制品的牵引与卷取（或切割），有些制品成型后还需经过后处理。工艺流程如图 6-6 所示。

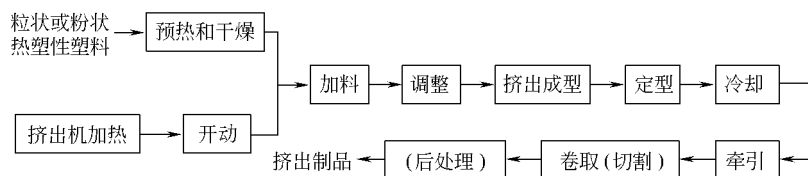


图 6-6 塑木制品的挤出成型工艺流程

① 原料准备和预处理。用于挤出成型的热塑性塑料大多数是粒状或粉状塑料，木粉也是粉状物，由于原料中可能含有水分，会影响挤出成型的正常进行，同时影响制品质量，例如出现气泡、表面晦暗无光、出现流纹、力学性能降低等，因此，挤出前要对原料进行预热和干燥。不同来源的木粉含水量不同，含水量应控制在 3% 以下方可。

② 挤出成型。在塑木制品的加工中，生产线上的核心机器为挤出机。从国内外现有加工机器来看，塑木制品用挤出机基本可分为两类：一类为单螺杆挤出机；另一类为双螺杆挤出机。

塑木用单螺杆挤出机与一般塑料挤出机有所不同，主要是塑木制品用挤出机螺杆要求混炼效果更好，螺杆结构要充分考虑木粉与塑料的混合效果。由于塑木挤出中物料的流动性较差，造成机械的

背压、扭矩都比较大，因此机器所配的动力较大，根据经验，机器动力最好使用变频调速电机为佳。塑木挤出用单螺杆挤出机应配置计量加料装置，在有条件的情况下，还应考虑计量加料装置和挤出机主机螺杆具有同步功能，以便操作人员更加准确方便地操作。

由于双螺杆挤出机具有极佳的共混效果，因此包括塑木加工等多种类型的塑料加工都首选它作为主机使用。双螺杆挤出机带有计量加料装置，可均匀定量地为主机螺杆供料，使挤出的过程稳定。同时，双螺杆挤出机一般都配有计量和主螺杆同步系统，这样就大大提高了操作的方便程度，并可大大降低废品率。双螺杆特有的螺杆加热—冷却系统可保证机筒内加热均匀，使物料在机筒内混合时多方面均匀塑化，从而提高材料性能。在双螺杆机筒的中部一般都留有排气孔，可对所加的物料中存在的水分、低沸点气体进行排放，从而保证挤出制品的内在质量。

塑木制品加工中除对双螺杆机器现有配置的要求外，对其螺杆结构也有特殊要求，在确定所生产塑木制品的配方基础上，要对螺杆加以修改，以利于塑木物料混合均匀，气体排放完全。

用螺杆生产塑木制品的挤出机还有一大特点就是装有压力传感器系统，可随时测定物料通过机器内部某点的液体压力，以向操作人员提供数据，控制工艺过程和机器的安全，这在单螺杆机器中是少见的。

成型工艺是这样的，首先将挤出机加热到预定的温度，然后开动机器，同时加料。初期挤出物的质量和外观都较差，应根据塑料的挤出工艺要求调整挤出机料筒各加热段和机头口模的温度及螺杆的转速等工艺参数，以控制料筒内物料的温度和压力分布；根据制品的形状和尺寸的要求，调整口模尺寸和同心度及牵引等设备装置，以控制挤出物离模膨胀和形状的稳定性的，直至挤出达到正常状态即进行正常生产。

挤出过程的工艺条件对制品质量影响很大，特别是塑化情况直接影响制品的外观和力学性能，而影响塑化效果的主要因素是温度和剪切作用。

物料的温度主要来自料筒的外加热，其次是螺杆对物料的剪切作用和物料之间的摩擦，当进入正常操作后，剪切和摩擦产生的热量甚至变得更为重要。温度升高，物料黏度降低，有利于塑化，同时降低熔体的压力，挤出成型出料快；但如果机头和口模温度过高，挤出物形状稳定性较差，制品收缩性增大，甚至引起制品发黄，出现气泡，成型不能顺利进行。温度降低，物料黏度增大，机头和口模压力增加，制品密度大，形状稳定性好，但挤出膨胀较严重，可以适当增大牵引速度以减少因膨胀而引起制品的壁厚增加。但是温度不能太低，否则塑化效果差，且熔体黏度太大而增加功率消耗。

口模和型芯的温度应该一致，若相差较大，则制品会出现向内或向外翻甚至扭歪等现象。增大螺杆的转速能强化对塑料的剪切作用，有利于塑料的混合和塑化，且大多数塑料的熔融黏度随螺杆转速的增加而降低。

③ 定型与冷却。塑木材料挤出物离开机头口模后仍处在高温熔融状态，具有很大的塑性变形能力，应立即进行定型和冷却。如果定型和冷却不及时，制品在自身的重力作用下就会变形，出现凹陷或扭曲等现象。

未经定型的挤出物必须用冷却装置使其及时降温，以固定挤出物的形状和尺寸；已定型的挤出物由于在定型装置中的冷却并不充分，仍必须用冷却装置使其进一步冷却。冷却一般采用空气或水冷。冷却速度对制品性能有较大影响，硬质制品不能冷得太快，否则容易造成内应力，并影响外观；对软质或结晶型塑料则要求及时冷却，以免制品变形。

④ 制品的牵引。塑木制品挤出离开口模后，由于有热收缩和离模膨胀双重效应，使挤出物的截面与口模的断面形状尺寸并不一致。此外，制品连续不断挤出，其质量越来越大，如不引出，会造成堵塞，生产停滞，使挤出不能顺利进行或制品变形。因此在挤出热塑性塑料时，要连续而均匀地将挤出物牵引出，其目的一是帮助挤出物及时离开口模，保持挤出过程的连续性；二是调整挤出型材

截面尺寸和性能。牵引的速度要与挤出速度相配合，通常牵引速度略大于挤出速度，这样一方面起到消除由离模膨胀引起的制品尺寸变化；另一方面对制品有一定的拉伸作用。牵引的拉伸作用可使制品适度进行大分子取向，从而使制品在牵引方向的强度得到改善。定型冷却后的制品根据制品的要求进行切割。

⑤ 挤出工艺条件。塑木制品的挤出工艺条件有其独特之处，因为塑木材料体系有如下几个特点：

- a. 木粉含量较高，材料融合性、相容性差；
- b. 该材料体系阻力大，不易成型挤出；
- c. 木粉传热系数小，制品不易冷却，所以挤出速度慢。

考虑到以上情况，用单螺杆挤出木塑制品时，宜采用大直径螺杆挤出机（ $\phi 120\text{mm}$ 以上为好）。实际生产中，以 PP 为基材的塑木制品挤出工艺条件如下：

加料段温度 $\xrightarrow{140^{\circ}\text{C} \ 180^{\circ}\text{C} \ 190^{\circ}\text{C} \ 210^{\circ}\text{C} \ 210^{\circ}\text{C}}$ 挤出段温度

以 PE 为基材的塑木制品挤出工艺条件如下：

加料段温度 $\xrightarrow{140^{\circ}\text{C} \ 150^{\circ}\text{C} \ 160^{\circ}\text{C} \ 160^{\circ}\text{C} \ 160^{\circ}\text{C}}$ 挤出段温度

以上的工艺条件均是用于木粉含量为 50%（质量分数）的材料体系，如果木粉含量增加或减少，则相应的加工温度也要做适当的调节。不同的设备对应的条件有所不同，而不同批次的 PP 及 PE 回收料所对应的温度也有差异，这在生产中应充分注意。

（2）塑木制品模压成型工艺 模压成型又称压缩成型，此法是将废旧塑料放入具有一定温度的模具型腔中，然后闭模加压，使其成型并硬化，最后脱模取出制品。模压生产工艺如图 6-7 所示。

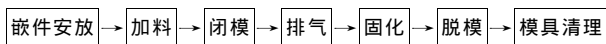


图 6-7 模压生产工艺

模压成型主要用于热固性塑料的成型。对于热塑性塑料，由于需要预先制取坯料，需要交替地加热再冷却，故生产周期长，生产效率低，能耗大，而且不能压制形状复杂和尺寸较为精确的制品，

因此一般趋向于采用更经济的注射成型。模压成型与其他成型方法相比，具有以下优点：①可灵活地生产多样塑料制品，如片材、板材、微孔泡沫塑料、盆等；②适合于高填充钙塑制品和纤维增强制品；③设备投资少；④可模压较大平面的制品和利用槽模进行大量生产。

① 模压成型设备。模压生产的主要设备是液压机，它在压制过程中的作用在于通过模具对塑料施加压力、开启模具和顶出制品。

② 模压成型工艺控制因素。模压成型过程的控制因素主要是模压压力、温度及时间，同时应注意坯料的加入量。模压压力是指模压时迫使塑料熔体充满型腔和进行固化而由液压机对塑料所加的压力。塑料在整个模塑周期内所受的压力与塑模的类型有关，并不一定都相同，因此必须根据模塑过程中的具体变化，进行调节控制。

一般制品的密度随模压压力的增加而增加，降低压力会增加制品中的气孔。密度大的制品，其力学强度一般偏高。单纯增大模压压力并不能保证制品内没有气泡，有效的措施是模压时放慢闭模速度，预热时的压力要偏低，并分两段或三段升到所需压力，在这期间注意排气。但发泡的模压制品不宜分段加压，更不得中间换气。

模压温度是指模压时所规定的模具温度，不是模具型腔内塑料熔体的温度。模压温度高可缩短模压周期，但过高的模压温度会使树脂发生热氧老化，在不损害制品性能的前提下，适当提高模压温度有益于缩短模压周期和提高制品质量。由于塑料是热的不良导体，因此在模压厚度较大的制品时就需要较长的时间，否则制品内层很可能得不到应有的固化。不同的塑料有不同的模压温度，控温的基本原则是模压温度在该热塑性塑料的软化点以上 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 左右。对微发泡制品还应注意模压温度的选择要与交联速率、发泡剂的分解速率相匹配。

对于相当一部分塑木制品，如下水井盖、汽车配件等，采用模压成型的方法更易操作，塑木材料的不易流动性决定了模压此类产

品时，温度应该适当提高，同时模压时间也要延长。下面表 6-2 列出北京化工研究院的模压工艺条件。

表 6-2 模压工艺参考条件

配方中木粉用量(100份树脂)	温度:190℃; 压力:14.710MPa; 预热:5min; 冷压:5min; 保压:5min	温度:210℃; 压力:14.710MPa; 预热:5min; 冷压:5min; 保压:5min	温度:210℃; 压力:14.710MPa; 预热:7min; 冷压:7min; 保压:7min
30 份	表面光滑、平整,压制品致密,无气泡,无裂缝	表面光滑、平整,压制品致密,无气泡,无裂缝	表面光滑、平整,压制品致密,无气泡,无裂缝
50 份	表面光滑、平整,压制品致密,无气泡	表面光滑、平整,压制品致密	表面光滑、平整,压制品致密,无气泡,无裂缝
100 份	表面粗糙,有手指即可刮掉的木粉附着在压制品表面,不致密	表面粗糙性有大的改善,较为光滑和平整,压制品较致密	表面光滑、平整,压制品致密,无气泡,无裂缝

注：以上压制品工艺条件为 PE 改性体系；PP 改性体系压制条件的温度略高于 PE 体系，其压制情况与 PE 体系类似。

3. 建筑模板的生产

随着塑木材料的出现，国内外均有用此材料制作建筑模板的报道。塑木建筑模板价格便宜，重复使用率高，可完全回收，安全性能高于其他类材质。

用木质纤维类材料改性填充回收热塑性塑料，同时添加部分改性剂、润滑剂、增黏剂、抗老化剂和阻燃剂，并根据所需的建筑模板的面积、形状加工挤出成型模具，然后将塑木材料经挤出机连续挤出成型为具有一定断面结构的塑木建筑模板型材，最后根据市场要求切割为一定的长度。工艺流程见图 6-8。

这种新型材料所需的木纤维可由木材下脚料、锯末或农作物等粉碎后代替，造粒成为木粉粒子后使用 PP 回收料及润滑剂、增黏

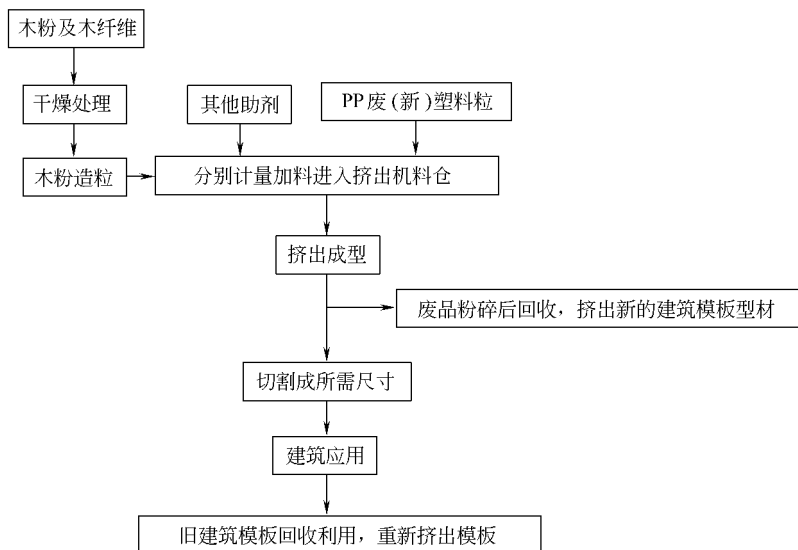


图 6-8 塑木建筑模板生产工艺流程

剂、相容剂、耐老化剂等助剂。塑木材料中回收废旧塑料占15%~30%；木粉占85%~70%；其他助剂占10%~20%。

各种塑木建筑模板型材截面形状为圆形或方形，断面结构可以是中空也可以是实心；模板面积大小和制品的厚度根据实际需要及强度而定，以能满足需要为前提；所涉及的模具根据实际制品的大小加工。

生产塑木建筑模板所需设备包括以下几部分。

① 挤出机。双螺杆，但功率要比一般的挤出机大一倍以上，具体功率由制品尺寸大小来定。

② 模具。使用成型和定型连用式的模具，这样可以提高生产效率。

③ 定型台和切割锯及其翻转台。按长度可由市场购得。

④ 木粉烘干机。常规烘干机、热风干燥机或微波干燥机均可。

⑤ 木粉造粒机。使用食品或饲料加工造粒机。

⑥ 粉碎机。可直接粉碎 1m 以上长度的塑木建筑模板型材的机器即可。

⑦ 其他类。切割锯、打包机等。

(1) 塑木建筑模板的优点

① 原料来源广，综合成本低，在市场上具有竞争力。

② 基本性能和木材相当，可锯、可蚀、可钉，其制品耐用性比木制和竹制的建筑模板好。

③ 制品组装灵活，可根据市场和客户要求而变化。

④ 重复使用率高，可回收利用。

⑤ 塑木建筑模板制品不怕虫咬，抗酸碱，耐老化，不易吸水，易和混凝土剥离等。

目前市场上各类建筑模板和塑木建筑模板的比较见表 6-3。

表 6-3 市场上各类建筑模板和塑木建筑模板的比较

性 能	竹制建筑模板	铁制建筑模板	塑木建筑模板
每次使用费用	低	较低	最低
强度	高	高	高
结构尺寸稳定性	好	好	好
重复使用率	有限	高	高
吸水性	高	不吸水	不吸水
被污染性	无	无	无
废品处理	不可回收	可回收	可回收
安全性	高	低	高
制品组装灵活性	容易	不容易	容易

(2) 塑木建筑模板生产工艺流程说明

① 木纤维（粉）取用 10~200 目的木粉。

② 干燥处理后含水量控制在 13%；烘干机为热风烘干或微波烘干，也可以是自然风干。

③ 其他助剂包括润滑剂、增黏剂、相容剂、耐老化剂及阻燃剂等。

④ 废旧 PP 料。

⑤ 木粉造粒使用专用木粉造粒机，不添加任何添加剂，在木

粉含水量为 13% 的情况下挤出造粒，造粒后木粉的含水量低于 3%。

⑥ 由配方决定各物料的添加份数，自动均匀添加物料到挤出机的加料仓中，然后下料挤出。

⑦ 由挤出机的螺杆挤压物料通过模具和定型设备，使塑木材成为符合设计尺寸要求的模板型材。

⑧ 按客户要求将型材切割为合适的面积尺寸，放入仓库备用。

⑨ 塑木建筑模板型材的废品粉碎后加入到挤出机中直接挤出即可，其他工艺条件不变。

⑩ 其他助剂的添加份数如下。

a. 润滑剂：石蜡，添加 2 份（即木粉和树脂总量的 2%，以下计量方法同此）。

b. 增黏剂：邻苯二甲酸二辛酯（DOP），添加 5 份。

c. 相容剂：硬脂酸和氯化聚乙烯，各 2 份。

d. 耐老化剂：钛白粉（二氧化钛），2 份。

e. 阻燃剂：10 份。

4. 爱因木的生产

塑木制品种类很多，应用场合也非常广泛，其中爱因木（又称爱因超级木材）是发展较早、在世界上较有影响的一大类塑木制品，由日本人西堀贞夫先生发明。

（1）爱因超级木材的特点

① 比胶合板强度大，具有铝板般的尺寸稳定性。

② 120℃ 高温下不软化，有优良的耐热性，对螺钉的保持力强。

③ 由于木粉和塑材紧密结合，吸水少。

④ 可自由涂装和连接，具有高耐水性。

⑤ 通过表面处理，可使大量木粉露出表面，类似天然木材，可用于汽车内装饰和家具。

（2）爱因超级木材的用途

① 对帐篷吊挂的支架板、屋外平面用材、凳子、门扇、凉亭

等要求稳定性好的产品的需求日增，但天然木材在屋外使用时存在易腐、开裂、变形等问题，加上保护天然林生态的要求，使对适于户外使用的爱因超级木材的需求快速上升。

② 模板方面的用途。由于人类保护生态环境的意识日益提高，利用废材料再生后制造混凝土浇铸模板的代用品已引起人们的重视。

(3) 爱因复合木材的制造流程（见图 6-9）

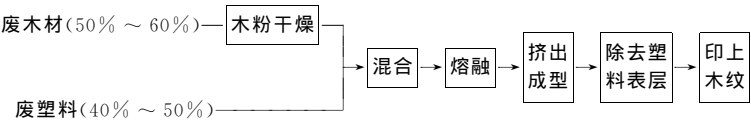


图 6-9 爱因复合木材的制造流程

(4) 爱因超级木材与常规合成木材的物性对照（见表 6-4）

表 6-4 爱因超级木材及与常规合成木材的物性对比

项 目	常规合成木材	爱因超级木材	爱因 PVC 木材
组成/%(质量分数)	PP/木粉(30%)	PP/木粉(55%)	PVC/木粉(51%)
相对密度	0.9	1.1	1.22
弯曲强度/MPa	8.04	56.88	1.98
弯曲模量/MPa	1206.22	4226.67	3040.06
线膨胀系数($\times 100^{-5}$)/℃	9.8	2.9	4.8

(5) 爱因超级木材的螺钉保持力（见表 6-5）

表 6-5 爱因超级木材的螺钉保持力及与其他材料的对比

品 名		爱因超级木材 (木粉 55%+PP 45%+强化剂)	木粉压合板	胶 合 板
螺钉保持力/N	表面	2230.5	494.9	590.0
	断面	2128.6	390.1	439.1

5. 发泡制品的生产

发泡塑木制品多为 PVC 和木粉体系的发泡制品，该类产品分

为两大类，一类是发泡卷材类；另一类是夹芯发泡类。其中前者的木粉含量较低，可制作为发泡软制品，应用在室内地板、车体内地板等场合；而后者为大型厚制品，中间为发泡层，表层为共挤出不发泡层。

6. 塑木托盘生产工艺

目前市场上托盘主要有木质托盘、塑料托盘及少量塑木托盘。其使用性能比较如表 6-6 所示。

表 6-6 各种托盘制品的使用性能比较

性 能	木 制 托 盘	塑 料 托 盘	塑 木 托 盘
每次使用费用	高	较低	最低
强度	高	低	高
结构尺寸稳定性	有限	高	高
重复使用率	有限	高	比木托盘高 5~10 倍
吸水性	高	不吸水	不吸水
被污染性	高	无	无
废品处理	不可回收	可回收	可回收
安全性(尖钉/木刺)	低	高	高
制品组装灵活性	容易	不容易	容易
可货架贮存性	高	不适用	高
维修	经常	不能修理	不经常

从表 6-6 可见，塑木复合托盘综合优势明显，市场潜力巨大。其优点是木托盘无法替代的。更可贵的是，它是一种新型环保产品，于国于民都有十分积极的意义。

(1) 木粉的选择和处理 塑木技术中所应用的木粉一般无大的严格要求，各类木材的木粉和各种植物纤维等一般都可使用（木材加工过程中产生的锯末、下脚料粉碎后皆可），对加工的影响并不大，主要要求各种木粉的粒径一般在 20~100 目，在此基础上，要保证木粉和塑料在混合前进行烘干处理。一般木粉含水量应控制在 3% 以内。烘干设备可采用电加热，也可用微波加热烘干或自然干燥。烘干后的木粉应存放在干燥的地方（室内），不可二次吸潮，

否则会对加工影响较大。需要一提的是，在用带排气功能的挤出机，特别是双螺杆挤出机加工塑木材料时，可以不对木粉进行特别的烘干处理，只需日光下自然干燥即可直接进行挤出加工。

(2) 塑木用废旧塑料 所用塑料种类一般为聚烯烃（聚乙烯、聚丙烯）和聚氯乙烯为主。因为这三种塑料占据了塑料的大部分产量和市场，对这三种废塑料的开发应用具有极大的经济和社会效益。其中大力开发聚烯烃和木粉的共混加工最为重要，而废旧的聚烯烃制品（如农用地膜、棚膜、包装袋、包装膜等）数量之大，颇为惊人，因此，开发废旧塑料与木粉复合物的生产技术就有很重要的意义。

(3) 配方和混料 木粉和塑料的配方是塑木加工技术中的核心技术，它的好坏将直接影响着产品的加工工艺和产品质量。国外公司对配方的技术一般不予介绍和转让，通常只转让销售设备，因此，配方技术在这里是核心技术。塑木配方一般为塑料、木粉和各类助剂所组成，其比例视加工设备不同而变化，同时也因产品的用途、要求不同而异。在加工前按照配方比例，把木粉、塑料及助剂放入高速混合机中进行混合，主要是为了使几种原料和助剂均匀混合，为挤出生产或压制注射做前期准备工作。见表 6-7 塑木托盘生产的配方，在实际生产中，配方和设备要匹配才能生产出合格的塑木托盘。

表 6-7 塑木托盘生产的配方

配 方	质 量 份	配 方	质 量 份
高密度聚乙烯	5.0~17.0	废旧聚乙烯料	100~130
木质纤维素	81.0~85.0	工业废渣红泥	4~9.6
轻质活性碳酸钙	1.35~7.5	季戊四醇酯	0.68~0.74
亚磷酸三苯酯	0.8	2,6-二叔丁基对甲酚	1.1
双水杨酸双酚 A 酯	1.1	八溴联苯醚	5.4~8.5
三氧化二锑	2.7	氯化聚乙烯	1.1
聚丙烯酸酯	0.8	硬脂酸钙	0.54
硬脂酸	0.5	聚乙烯蜡	5.4~8.5
胶合剂	2.7~13.5		

将废旧塑料分拣、清洗、加工造粒；制备胶合剂；再经配料、捏合、高温高压复合、成型、断料、检验、包装而得产品。塑木托盘的特点如下。

- ① 原料来源广，综合成本低，产品具有相当竞争力。
- ② 基本性能和木材相当。可锯、可刨、可钉，其制品耐用性比木制品好。
- ③ 组装灵活，可根据市场和客户要求而变化。
- ④ 重复使用率高，可回收利用。
- ⑤ 不怕虫咬，抗酸碱，耐老化，不易吸水等。
- ⑥ 用于替代木材包装制品出口，不用化学处理，不必出示检疫证书，可节约大量费用。

(4) 成型加工技术 塑木制品的成型加工包括几种形式：挤出成型、压延成型、注射成型、压制成型等。

在压延加工成型中，其过程分为两种：一种是将混合料放入挤出机中通过模具挤出板材后，再经辊压成型为不同尺寸、规格的板材；而另一种是将混合的物料在开炼机中经开炼、密炼后成片，粉碎后再挤出压延成片。目前，压延成型的方式在我国已有引进的国外生产设备。

在挤出成型加工中，其成型方式和设备与塑料加工中常用的型材、板材加工技术类似。方法为：将混合好的物料放入挤出机中，通过模具挤出不同形状的断面型材或板材。挤出机可分为单螺杆和双螺杆两种形式，根据不同情况可选用不同的挤出机。双螺杆挤出机由于其优异的加工性和产量较高，而越来越多地受到人们的欢迎。但双螺杆挤出机有一个较大的缺点，就是一次性投入的购置费大于单螺杆挤出机 2~3 倍以上。在成型加工中，模具的作用非常重要，也可以说在塑木加工技术中，除了配方技术外，模具是第二个关键技术。

在挤出加工中，从模具挤出的异型制品或板材需要冷却定径。通常，定径方式分为干式和湿式两种，还可以有水冷和风冷的形式。选择哪种定径形式，要看其所做制品的情况而定。如果木粉含

量较高，在高于塑料比例的情况下，要选择干式定径及风冷形式，反之就选用湿式定径。但由于塑木技术是一种新型的加工成型技术，因此，几种形式的定径有时候需要互换交叉使用，这可视当时情况和自身技术灵活选定。经过定径的产品（包括型材、板材）一般要经过一牵引装置，使其稳定连续地进行生产，这样就完成了全部挤出生产的过程。

在以上所涉及的塑木成型技术中，较为成熟的工艺路线主要有两种。

① 挤出成型工艺。由单螺杆或双螺杆挤出机挤出成型的工艺，可连续挤出任意所需长度的塑木制品。该工艺又可分为单机挤出和双机复合挤出，复合挤出的目的是在塑木制品的外表共挤出一层纯塑料表层，成为可在特殊场合使用的塑木制品（如在浴室、游泳馆等地使用起到防滑的作用）。

② 挤压成型工艺。即挤出机和压延机联用的一种边挤出边压制的工艺。该工艺成型的制品主要是板材，该板材制品的综合性能要好于挤出工艺的板材制品。另外，还可以通过压制成型方法加工制品。

（5）辅助设备 除上述的挤出机、压延机和压制等加工设备、模具之外，在塑木加工中还需要一些辅助性设备，这部分设备包括粉碎机、空压机、制冷机和其他设备。

由于塑木配方所用的原材料经混配后可有很好的可塑性，所以加工后的制品在使用完经回收后，可进行粉碎后二次加工成制品，因此它也是一种可循环再利用产品。为此，生产单位需配备相应的粉碎机，一方面是为了对回收的产品进行粉碎，另一方面用于调试设备或生产中出现的残次品的回收粉碎。

塑木生产过程和 PVC 塑料门窗型材的挤出生产有类似之处，同样需要空压机和制冷机等辅助设备来冷却定型和切割型材用，因此这些设备必不可少。

（6）成型工艺流程 废旧塑料破碎及粉碎、锯末及秸秆、亚麻秆、棉花秆等的粉碎→原材料的处理→木粉与塑料高速混合处理→

挤出机排气造粒→挤出机挤出异型材→异型材模具→冷却定型装置→牵引机→定长裁断机→成品。

(7) 塑木托盘的适用范围 (见表 6-8)

表 6-8 塑木托盘的适用范围

用 户	托盘产品	使用方式	经济效益
仓库、立体库	单、双面托盘	货架贮存、堆叠存放、传送搬运等	提高仓库空间的利用率,减少货物搬运周期,易于现代化自动搬运;减少人工,减少损坏等
外运单位	托盘、包装箱	搬 运 出 口 产品	减少木托盘和木包装箱,减少各种海关处理费和检验费,缩短通关周期,防潮、防水等 机械制造
机械制造	托盘、纵梁/枕木	存放、搬运模具、原料和产品	以塑木纵梁替代 100mm × 100mm 的原木枕木,减少木材消耗,减少工伤和损坏,可制造特长和其他规格的托盘和纵梁
各种饮料	各种托盘	存放和搬运箱装饮料	易于现代化自动搬运,减少人工,减少损坏,防潮等
食品和零售业	各种托盘	存放和搬运各类货物	减少人工,减少损坏,防止食物变质腐坏,防潮等
铁路、公路运输	托盘、纵梁/枕木	存放和搬运各类货物	减少货物搬运周期,减少损坏和污染等
通信、电子	各种托盘	存放和搬运贵重易碎货物	减少货物搬运周期、减少损坏和污染,防潮、防水等
汽车、化工	托盘、纵梁/枕木	存放和搬运各类货物	减少货物搬运周期,抗强酸碱腐蚀,减少损坏和污染
各类生产资料	各种托盘	存放和搬运各类货物	减少货物搬运周期,减少损坏,减少人工等

(8) 各种塑木产品 (见图 6-10, 图 6-11)



图 6-10 各种中空塑木型材、板材（用于建筑模板）



图 6-11 塑木托盘

（9）塑木复合仿木材料主要技术性能指标（见表 6-9）

表 6-9 塑木复合仿木材料主要技术性能指标

项 目	数 值	测 试 标 准
密度/(g/cm ³)	0.96~1.1	GB 1033
线胀系数(20℃)/K ⁻¹	$\leq 3.5 \times 10^{-5}$	GB 1036
吸水性/%	≤ 0.3	GB 1034
断裂伸长率/%	≥ 3	GE/T 1040
弯曲模量/GPa	≥ 2	GB 9341
弯曲强度/MPa	≥ 40	GB 9341
压缩强度/MPa	≥ 25	GB/T 1041
无缺口 Izod 冲击强度/(J/m)	≥ 155	GB/T 1813
螺钉拔出力(4.4mm 直径 25.4mm 深)/kg	300~320	(5mm 螺钉)

第七节 废 PET 塑料饮料瓶的回收利用

我国目前 PET 塑料饮料瓶的消费量很高，废 PET 饮料瓶的再

生利用，不但可以减少环境污染，而且可以变废为宝。但只有很少部分被利用，其余的被随意丢弃，造成资源的浪费和环境污染。因此其回收利用技术有着广阔的前景。

PET 饮料瓶回收方法有化学回收和物理回收两种。化学回收法是将 PET 废瓶在一定反应条件下解聚生成有用化学品的办法，如生产低档燃料汽油。物理回收法是将废 PET 瓶经过分离、破碎、洗涤及干燥处理进行再造粒方法。物理回收法主要有两种：一是将废 PET 瓶切碎成片，从 PET 中分出 HDPE、铝、纸和黏合剂，PET 碎片再经洗涤、干燥、造粒；二是先将废 PET 瓶上非 PET 的瓶盖、座底、标签等杂质用机械方法分离，再经洗涤、破碎、造粒。

前一种工艺流程：用人工方法先除去石块、木料及其他塑料制品以及有色 PET 瓶。再生 PET 中不得含有 PVC 杂质，因为其存在是影响 PET 色泽的关键因素。当 PVC 混入量较少时可在传送带上用人工方法分离，即受扭力作用时 PVC 与 PET 瓶在受力部分产生不同的物理现象，PVC 瓶出现不透明痕迹，PET 瓶没有，即可进行分离。也有些公司利用 PVC 与 PET 不同熔点将破碎 PET 和 PVC 碎片通过装有加热器控制一定温度的传送带，PVC 被熔化后黏附在传送带上，这样可与 PET 分离。铁的分离采用铁磁分离器。

PET 瓶破碎有的只进行一次破碎，有的先进行粗破碎后再细破碎，最终成 1.0~1.5cm 大小的碎片。破碎机出口处安装有一个孔径为 1.0~1.5cm 的筛子，以控制碎片的尺寸。

洗净及杂质分离技术是获得高质量再生 PET 的关键。饮料瓶通常使用塑料 PE 或指标签，纸标签可用粘接剂，也可在瓶子吹塑过程中粘上去，当 PET 瓶破碎后，部分标签被破碎成碎片，有的仍然黏附在 PET 碎片上，破碎后的 PET 通常采用鼓风机和旋风分离机组合分离装置，可以除去约 98% 疏松标签碎片，也可采用抽气塔分离装置分离，破碎的 PET 碎片垂直从分离塔顶部加入，碎片与上升气流形成逆流，利用 PET 与标签碎片密度差异，标签被抽去，PET 从分离器底部出来，为了保证标签分离效率，在生产

中可采用两套以上的分离装置。

洗涤的目的是除去粘接剂、灰和原瓶中的残留物。洗涤采用 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 热水来软化或溶解粘贴标签和底座的 EVA 粘接剂或其他类型粘接剂，为防止脱落的粘接剂再黏附 PET 碎片，需在水中加入添加剂，如碱、乳化剂或其他专用化学剂，清洗液一般由工厂根据废瓶来源和粘接特性来确定其配方组成和含量，清洗液可滤去杂质重新加热后循环使用，洗涤可在装有搅拌器的特别清选罐内进行，为保证清洗的效果，洗涤可采用二级洗涤工艺。

底座的分离是利用底座 HDPE 密度与 PET 密度不同的特性将其分离。分离在腐洗罐中进行，HDPE 碎片从罐顶部溢出，下沉的 PET 碎片从罐底部出去。有的则采用水力旋流器分离代替浮选罐，其分离效果更好。

PET 碎片通常采用离心脱水机使碎片含水量降至 2% ，再经带式或管式干燥机干燥，使水分含量降至 0.5% 。

PET 中不能含有铝杂质，即使微量铝杂质都会影响再生 PET 的透明性，因此再生 PET 中铝含量应低于 50×10^{-6} ，分离铝的最简单方法是在破碎前人工拆除铝盖、铝环或采用静电分离法使铝含量降低至 100×10^{-6} ，这种分离可在输送带上进行；若 PET 碎片再通过金属检测分离系统进一步净化，铝含量可低于 5×10^{-6} 。

再生 PET 挤出造粒与原生 PET 挤出造粒除进料有所区别外其他方面区别不大。挤出造粒可采用单螺杆或双螺杆挤出机，但在设计时必须考虑传统挤出机的进料压力太大，改用进料部分尺寸较大的螺杆，若用双螺杆挤出机效果更佳。

后一种工艺流程：该回收方法是先把 PET 瓶中的非 PET 成分分离，然后再破碎回收。它是先采用人工方法将石块、木料及其他塑料制品以及有色饮料瓶分离。PVC 瓶的分离可采用人工挑选方法或 PVC 分离设备进行。金属铁的分离可采用磁铁分离器进行分离。饮料瓶通过输送机后进入清理机，瓶子垂直进入加工生产线，通过除环机和除盖机将瓶盖和拉环拆除，并经称重确保瓶盖已拆除，检测发现某个瓶子质量超过标准将其从生产线上分离出去。

然后向每个废 PET 瓶子注入 100mL 开水，溶解瓶内残余饮料，同时将瓶夹紧挂起，瓶外用高压水刷洗，用热水使粘接剂软化，这样底座自行脱落，塑料或纸质标签脱出。经过洗涤后将瓶底部切除，放出瓶内的水。破碎如同第一种工艺方法中的设备即可，经过连续干燥器将 PET 瓶碎片干燥至水分含量低于 0.5%。挤出造粒与第一种回收方法相同。

以上两种回收技术均有工厂采用。其工艺各有特点。第一种回收方法较易形成大规模生产，但分离技术比较复杂，分离设备较多，投资较大。第二种方法产品纯度较高，使用设备较少，投资较省，但仅适用于无破损的完整的饮料瓶，被压扁或有破损的饮料瓶需分离出去，用其他的方法另行回收。实际上，废塑料瓶从运输的经济合理性考虑，应压扁包扎后才可运输。其次切割出的瓶底座回收基本按照第一种方法进行，因此第二种回收法局限性较大。

国内用回收的 PET 制造有色农药瓶，替代玻璃瓶以减少产品破损。国外用回收 PET 制造 PET 包装。澳大利亚用回收的 PET 作为三层包装瓶的中间层原料，再生 PET 广泛用于生产短纤维，用作非织布。美国还应用再生 PET 来生产中空纤维，用作絮棉填充料。再生 PET 还可用于服装用纤维，例如美国 Dyersburg 织物厂用 100% 废 PET 瓶再生 PET 切片生产绒面布，美国 Wellman Fiber 公司开发室外用面料，再生 PET 纤维与其他纤维混纺，混纺率可达 89%，还可以用废 PET 饮料瓶为原料生产衣用涤纶短纤维。美国巴塔哥尼亚公司用再生 PET 纤维与其他纤维混纺生产运动衣，混纺率达 80%。

日本的帝人公司也开发了一种从废 PET 瓶中分离 DMT（对苯二甲酸二甲酯）和 EG（乙二醇）的循环方法，先把废 PET 瓶压碎并清洗，然后溶解于 EG 中，在 EG 的沸点温度和 0.1MPa 的压力下，把 PET 进行解聚，生成双-对苯二甲酸羟乙酯（BHET）。再经过滤，除去滤渣和添加剂，使 BHET 与甲醇起反应，在甲醇的沸点温度和 0.1MPa 的压力下，经过酯交换反应生成 DMT 和 EG。再经过蒸馏，把 DMT 和 EG 进行分离，然后通过重结晶过

程，把 DMT 精制；通过蒸馏把 EG 纯化，甲醇可循环使用。回收的 DMT 和 EG 的纯度都达到 99.99%，DMT 可以转化成纯 TPA（对苯二甲酸），用于制造瓶级 PET 树脂。

【例】 废旧聚酯（PET）制不饱和聚酯

将废旧聚酯（PET）类制品洗净、烘干、切碎，加入适量的丙二醇、苯乙烯、丙三醇、苯酐、马来酸酐、对苯二酚、催化剂等，在反应釜中进行搅拌，反应完成后即可制得不饱和聚酯产品。用其制造大理石，可与其他人造大理石相媲美，且性能有所提高。

第八节 塑料包装材料容器直接回收再作包装

废旧的包装材料可直接回收再作包装使用，可不加任何的物理与化学的变性与变形处理，而是利用其原有的结构、形状、功能直接用于原来的包装产品或其他相关产品的包装。再包装的直接回收利用技术与工艺路线：

分类→挑选→初次水洗→酸洗→碱洗→消毒→二次水洗→硫酸氢钠浸泡→再次水洗→蒸馏水洗→50℃烘干+低温烘干→待用

其中挑选时是十分严格的，一定是刚用后就丢弃的，基本没有什么污染，上面无划痕，透明、光滑如新瓶一样属基本合格。

对于用作装机油及各种液体，农药的非食用桶和容器处理简单些，可采用水洗（洗涤剂）→晾干或烘干即可再用。

各道工艺中，都围绕着清洗和消毒进行。特别是作食品包装的直接回收利用，在烘干前还应增加一道检验工序，检查是否达到相关食品包装的卫生要求。

但是作为非食品或对化学成分要求不是很严格的产品包装，如机油、洗涤剂等产品，相对卫生要求不是很严格，根据具体情况，消毒工序可以不要。不过要视其回收的包装曾是否用于有毒物品的包装，如农药包装等，如果回收的是有毒产品包装，清洗和消毒处理也是很严格的。

本技术与工艺主要适用于一些硬质、光滑、干净、易清洗的较

大容器，如托盘、周转箱、大包装盒及大容器的软料瓶、盛装液体的桶等。这些容器经过技术处理，卫生检测合格后便可重新使用。

可采用再包装直接回收利用技术的产品主要有：食用油、饮料、工业用油、桶装各种食用饮水、食品及超市售货与供货周转箱及托盘、建筑材料及饲料包装等。包装结构多为瓶、桶、箱、袋及托盘。

关于塑料包装回收利用中的再作包装直接利用，应注意以下 6 个原则。

① 塑料包装回收前的物品应与回收后的包装利用所包装品相同。原来是植物油包装瓶回收直接利用也应用于植物油的包装，不宜去包装其他物品。因为有些物品改变包装材料后有可能产生对物品不利的化学反应，这又需要试验、验证和检测，尤其是食品。

② 有的塑料包装其化学成分较为稳定，可能实现非同一种产品的包装。但最好坚持原来是包装酸性物品的，回收利用最好也用于包装酸性物品，即回收前后包装物品的性质应相同。

③ 回收前用于包装农药行业的塑料包装，回收利用后也作农药包装，依次类推，前包装日化品，后也包装日化品……

④ 对于某些产品的包装，不能直接利用的坚决不用。例如药品的包装，就是决不能直接使用回收利用的包装。

⑤ 对某些回收利用的塑料包装，有关信息必须得清清楚楚，弄准确，未搞清楚的决不直接利用。如回收来的塑料包装，无法判断该包装是用于何种产品的包装（或曾包装过何种产品），决不轻易直接利用。有必要时需进行有关检测化验。

⑥ 对直接回收利用的，应有严格的处理规程。坚持严格分类和消毒与检验。否则会因直接回收利用包装而造成重大的失误，如产品变性、人畜中毒等。

第九节 聚苯乙烯制备涂料和黏合剂

对于回收的废旧塑料也可加入各种化学试剂，使其转化成胶黏剂、涂饰剂或其他高分子试剂。

一、制高分子快干漆

生产方法：将废聚苯乙烯泡沫和一些配料加入反应釜中，搅拌，使聚苯乙烯泡沫溶解，经研磨过滤，加入填料、颜料，在一定温度下继续搅拌，最后经过滤即得产品。工艺流程如图 6-12 所示。

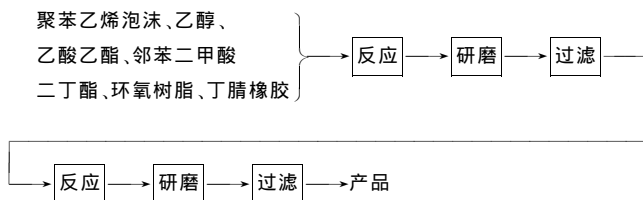


图 6-12 废聚苯乙烯泡沫生产高分子快干漆的工艺流程

这种主要用废聚苯乙烯泡沫生产快干漆的工艺优点很多。成本很低，而且所需设备少。产品的防水性、抗老化性及低温性均很好，而且耐磨，对金属、木材、水泥、纸张、玻璃等均具有良好的粘接力，既可作为保护漆又可作为粘接剂，用于金属的表面喷涂有很好的防腐作用。快干漆的技术指标如下：①黏度（涂 4 黏度计）为 150~170s；②细度（刮板细度计）为 $\leq 100\mu\text{m}$ ；③干燥时间为表干 $\leq 30\text{min}$ ，实干 $\leq 3\text{h}$ ；④附着力（画圈法）为 ≤ 2 级；⑤固体含量为 $\geq 39.4\%$ ；⑥将 5%~98% 的硫酸涂在快干漆表面，50h 漆膜无变化；⑦将 5%~30% 的盐酸涂在快干漆表面，50h 漆膜无变化；⑧将 5%~40% 的碱涂在快干漆表面，50h 漆膜无变化。

二、制防潮涂料

生产方法：将废聚苯乙烯泡沫塑料洗净、破碎、溶解，加入增塑剂、溶剂、水、表面活性剂、增稠剂和消泡剂等即制成一种水乳涂料。其工艺流程如图 6-13 所示。

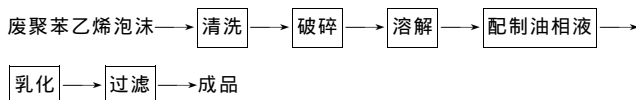


图 6-13 水乳涂料生产工艺流程示意

这种涂料目前主要是作为瓦楞纸箱的表面防潮涂料，而且使用

性能优于现在使用的纸箱防潮剂。该涂料的主要技术数据如下：
①外观为浅黄色黏液；②黏度（涂4黏度计，22℃）为70~85s；
③固含量 $\geq 30\%$ ；④相对密度为0.95~0.98；⑤干燥时间 $\leq 8\text{h}$ ；
⑥耐热性在80℃热水处理表面层不破坏；⑦稳定性在6个月内无凝集现象；⑧稀释剂，可用水作稀释剂。

三、制保护漆

按常规工艺回收废聚苯乙烯泡沫，得到回收聚苯乙烯树脂：清洗→破碎→溶解→低温处理→浓缩→造片→烘干→产品。

生产出的回收聚苯乙烯树脂料的透光性、防水性、耐腐蚀性、隔热性、电绝缘性均接近聚苯乙烯新料，但性脆且附着性差。经过试验制成聚苯乙烯保护漆（涂料），其生产过程为：配料→搅拌反应→沉析分离→加入添加剂→成品。该保护漆吸收了喷漆、烤漆、防锈漆的长处，使用效果很好，具有光亮、耐水、耐腐蚀、不起泡、不失色、不脱落等优点。

四、制不干胶

将废聚苯乙烯泡沫与溶剂、辅料按一定比例熔融后制成不干胶，这种不干胶的成本较目前采用天然胶制成的低得多，而且使用性能很好，重复粘贴性很好，耐酸碱、耐低温，通过配方的调整可以控制不干胶的干湿快慢程度。据报道，浙江省劳动保护研究所以废聚苯乙烯泡沫为主，加入SBS共聚物、松香、甲苯、汽油、松节油等制成黏合剂，该黏合剂可粘贴木材、瓷砖，因此可用于家具、地板、马赛克、瓷砖的粘贴。这种黏合剂毒性低，而且耐水性也很好。

五、制塑料漆

用废聚苯乙烯泡沫生产塑料漆的工艺过程是：清洗→干燥→溶解→搅拌→过滤→成品。这种塑料漆中废塑料含量为15%~40%。溶剂视所用废塑料种类选用苯、甲苯等一种或多种。产品与珠光漆相似，可根据需要分别制成适用于家具及金属制品的表面涂饰漆及防锈漆。根据所选溶剂与填料，还可以制成耐酸碱的防护漆。生产工艺极简单，可在常温下生产，不需加热，能耗极少。

思 考 题

1. 废旧 PE、PP、PVC、PS 塑料回收利用的几种途径？
2. 塑料薄膜主要应用的行业？回收方法？
3. 试述一个农膜回收工艺流程？
4. 塑料容器回收方法？
5. 试述 PVC 门窗的回收利用方法？
6. 利用废旧塑料生产塑木制品工艺方法及工艺控制？
7. 利用热塑性废旧塑料充填木质纤维类材料生产建筑模板的工艺流程及控制？
8. 爱因木材的生产工艺及用途？
9. 塑木托盘的配方及加工方法？
10. 废旧 PET 塑料饮料瓶回收方法？
11. 塑料包装材料容器直接回收再作包装的回收利用工艺？应注意哪些问题？

参 考 文 献

- 1 北京化工学院, 天津轻工业学院主编. 塑料成型机械. 北京: 中国轻工业出版社, 1985
- 2 龚浏澄, 徐定宇, 秦立洁, 高春荣编著. 塑料成型加工实用手册. 北京: 北京科技出版社, 1990
- 3 吴培熙, 王祖玉, 景志坤主编. 塑料制品生产工艺手册. 北京: 化学工业出版社, 1991
- 4 周殿明主编. 塑料成型与设备维修. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 5 周殿明, 张丽娜编著. 塑料挤出成型技术问答. 北京: 化学工业出版社, 2004
- 6 刘均科等编. 塑料废弃物的回收与利用技术. 北京: 中国石化出版社, 2001
- 7 苑志伟, 魏若奇编著. 塑木生产技术与废旧塑料利用. 北京: 化学工业出版社, 2002
- 8 陈占勋编著. 废旧高分子材料资源及综合利用. 北京: 化学工业出版社, 1997
- 9 黄发荣, 陈涛, 沈学宁编著. 高分子材料的循环利用. 北京: 化学工业出版社, 2000
- 10 包装材料直接回收再作包装. 中国包装网, 2003

内 容 提 要

本书从对废旧塑料的再生利用前景出发，详细介绍了废旧塑料的回收、废旧塑料的再生利用、挤出成型工艺及设备、废旧塑料的改性利用、废旧塑料的其他利用等处理废旧塑料的方法、手段。并通过一些对废旧塑料回收利用的典型实例，进一步阐述了塑料回收利用的积极性和必要性。

可供从事塑料加工、物资回收和环境保护等行业的技术人员阅读。