


高等学校专业教材

聚合物成型机械

魏丽乔 曹民干 李 梅 合编
贾润礼 吴世见 刘廷华 王文生
刘廷华 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

聚合物成型机械/刘廷华主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2005. 7
高等学校专业教材
ISBN 7-5019-4883-6

I. 聚... II. 刘... III. 塑料成型加工设备-高等学校-教材 IV. TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 059377 号

责任编辑: 王 淳 赵红玉

策划编辑: 王 淳 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 邱亦刚

版式设计: 马金路 责任校对: 燕 杰 责任监印: 胡 兵

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷:

经 销: 各地新华书店

版 次: 2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 34

字 数: 777 千字

书 号: ISBN 7-5019-4883-6/TQ·279 定价: 50.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010—85111938 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010—65141375 85119845

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

30191J4X101ZBW

编写说明

《聚合物成型机械》是高等学校高分子材料与工程、高分子材料成型工程和高分子成型机械与模具相关专业的专业课主要教材之一。本教材是根据全国高校高分子材料科学与工程相关专业本科高等工程技术人员的培养目标和要求，由四川大学、中北大学（原华北工学院）、太原理工大学、同济大学、中国民用航空学院共同编制的编写大纲后，精心编写而成。

本教材是编者们在根据所在高校使用 1982 年出版的《塑料成型机械》教材对高分子材料科学与工程相关本科专业进行多年教学实践经验总结的基础上，针对聚合物成型机械近年来的发展变化，对《塑料成型机械》教材进行的重编。新教材在内容和编排形式上都做了较大的调整、充实和改进，主要体现如下：

1. 根据目前对高分子材料科学与工程相关专业学生专业知识适当拓宽的要求，适量增加了橡胶成型机械和化纤纺织机械的内容。据此，新教材更名为《聚合物成型机械》。

2. 在编排形式上，按预处理及初混设备、混炼设备、挤出成型机、注射成型机、中空成型机、压延成型机、压制成型机、其它塑料成型机、炼胶过程装备、轮胎生产设备、工业橡胶制品设备和化纤纺织机械的排序来安排章节，使之与聚合物单元操作顺序大体一致。

3. 在编排内容上，以讲述设备基本结构和原理为主，简述设计计算和强度与刚度校核、突出设备选型、安全使用维护等内容。教材尽量反映当今橡塑和化学纤维纺织机械国内外先进技术，对原《塑料成型机械》教材中较陈旧或与其它课程重复的部分做了较大的精简，重点突出和加强了挤出成型机和注射成型机这两类最常用聚合物成型机械的内容，其它章节则力求内容精练。

4. 本教材各章节末均附加了习题和思考题，以培养、充实和增加学生分析问题和解决问题的能力。

本教材是由中国轻工总会人教部和中国轻工业出版社组织编写，具体写作分工为：四川大学刘廷华老师为主编，并编写第 1 章和第 4 章；太原理工大学魏丽乔老师编写第 5 章和第 10~12 章；同济大学曹民干老师编写第 2~3 章和第 7 章；四川大学吴世见老师编写第 6 章；中国民用航空学院李梅老师编写第 8~9 章；中北大学（原华北工学院）王文生、贾润礼老师编写第 13 章；全书由刘廷华教授统稿。

本教材在编写过程中，承蒙参编院校有关领导的大力支持；四川大学黄锐教授、北京化工大学耿孝正教授等对教材的编写给予了具体的建议和指导，还有罗荣尧、诸葛晓舟、梁丽华老师校审工作，在此谨至衷心的感谢。原《塑料成型机械》教材的编者刘第宇、张承琦、张奇鹏、耿孝正、王余良、周国定等老师由于年事已高，未参加新编教材的编写工作，对他们在原教材中曾付出的辛勤劳动和做出的贡献，谨致崇高的敬意。

本书除用作高等院校相关专业的教材外，亦可供从事橡塑及化纤制品生产及聚合物材料开发研究的科技人员阅读参考。本教材力图观点正确、能充分反映最新科技成就及尽量符合教学需要，但限于编者水平，不当和错误难免，恳请使用本书的广大师生及读者批评指正。

编者

2005 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 聚合物成型机械及其在 高分子材料成型工业中的地位	1
1.2 聚合物成型机械的现状及其发展趋势	2
1.3 本课程的性质、任务及要求	3
第 2 章 预处理及初混设备	5
2.1 预处理设备	5
2.2 初混设备	13
本章习题与思考题	20
主要参考文献	20
第 3 章 混炼机械	21
3.1 开炼机	21
3.2 密炼机	29
本章习题与思考题	42
主要参考文献	43
第 4 章 挤出成型机	44
4.1 概述	44
4.2 单螺杆挤出机	47
4.3 排气式挤出机	142
4.4 双螺杆挤出机	148
4.5 挤出成型辅机	162
4.6 特种挤出机及其应用	179
4.7 挤出生产线的计算机在线控制	189
4.8 现代挤出设备的发展趋势	197
本章习题与思考题	199
主要参考文献	201
第 5 章 注射成型机	203
5.1 概述	203
5.2 注射成型机的基本参数	206
5.3 注射装置	211
5.4 合模装置	228
5.5 注射成型机的操纵与加料方式	237
5.6 注射成型机液压系统	239
5.7 注射成型机的电气系统	286
5.8 注射成型机安全与保护装置	293
5.9 注射成型机的试车、操作与维护	296

5.10	专用注射成型机	298
5.11	新型注射成型及其装备简介	305
5.12	注射成型机的发展趋势	318
	本章习题与思考题	323
	主要参考文献	324
第 6 章	中空吹塑成型机	326
6.1	概述	326
6.2	中空吹塑成型机工作原理	328
6.3	中空吹塑成型机主要参数	332
6.4	塑化吹塑装置	332
6.5	型坯控制装置	349
6.6	合模装置	353
6.7	吹塑控制系统	354
6.8	中空吹塑成型的发展	357
	本章习题与思考题	358
	主要参考文献	358
第 7 章	压延成型机	359
7.1	概述	359
7.2	压延机的主要技术参数	364
7.3	压延机工作基本原理	366
7.4	辊筒	368
7.5	辊距调节装置和辊筒传动装置	377
7.6	压延辅机	380
7.7	压延机的操作与维护	384
7.8	新型压延机及其发展趋势	388
	本章习题与思考题	391
	主要参考文献	392
第 8 章	压制成型机械	393
8.1	塑料液压机	393
8.2	塑料层压机	406
8.3	橡胶硫化设备	408
8.4	其它塑料压制设备	412
8.5	压力成型机的选择、使用与维护	415
	本章习题与思考题	416
	主要参考文献	417
第 9 章	其它塑料成型机	418
9.1	浇铸成型装置	418
9.2	热成型设备	425
9.3	发泡成型设备	427
9.4	增强塑料成型机	433

9.5 其它辅助成型设备	448
本章习题与思考题	460
主要参考文献	460
第 10 章 橡胶原材料加工设备	462
10.1 概述	462
10.2 卧式液压切胶机	463
10.3 橡胶填料粉碎机	465
10.4 筛选机	467
10.5 胶浆搅拌机	469
本章习题与思考题	471
主要参考文献	472
第 11 章 轮胎生产设备	473
11.1 轮胎成型机	473
11.2 轮胎钢丝圈设备	475
11.3 轮胎定型及硫化准备设备	477
11.4 轮胎定型硫化机	480
11.5 水压硫化罐	483
本章习题与思考题	484
主要参考文献	484
第 12 章 工业橡胶制品成型设备	485
12.1 概述	485
12.2 裁布机	485
12.3 帘布浸胶机	487
本章习题与思考题	490
主要参考文献	490
第 13 章 化纤纺丝机械	491
13.1 概述	491
13.2 纺丝预处理设备	492
13.3 纺丝配套设备	495
13.4 纺丝的后加工设备	511
13.5 非织造布成型设备	527
本章习题与思考题	532
主要参考文献	533

第1章 绪 论

1.1 聚合物成型机械及其在高分子材料成型工业中的地位

1.1.1 聚合物成型机械的定义与分类

高分子聚合物有天然与合成之分，我们通常所说的聚合物主要指合成高聚物。合成高聚物按用途又有塑料、合成橡胶和化学纤维之分。合成高聚物原料（即树脂）的生产，可称之为高分子材料工业；合成高聚物制品的生产，则称之为聚合物成型工业。于是，聚合物成型机械可定义为：

聚合物成型机械——所有能对高聚物原料（树脂）进行加工和成型制品的机械设备。

高分子材料从原料（树脂）到制成制品的工艺方法繁多，决定了聚合物成型机械的多样性。按照以上定义，聚合物成型机械可概括划分为以下几类：

① 预处理机械（如筛析机、研磨机、混合机、捏合机、开炼机、密炼机、团粒机、烘料装置和浸胶机等）；

② 独立成型机械（如液压机、压延机、挤出机、注射机、流涎机、浇铸机、喷涂机、搪塑成型机、浸渍装置、轮胎成型机和硫化设备等）；

③ 组合成型机（如挤出中空吹塑成型机、注射中空吹塑成型机和连续纺丝机等）；

④ 二次加工机械（如圆织机、层合机、制袋机、热成型机、组装拼焊设备、印刷机和粉碎机等）；

⑤ 成型辅机（如计量装置、定型装置、冷却装置、牵引装置、切割（切粒）装置、堆放（卷取）装置和表面处理装置等）。由于高分子材料具有许多独特的性能，因而聚合物成型机械不仅如上所述种类众多，与普通机械相比，还具有许多特殊性和复杂性。

1.1.2 聚合物成型机械的地位

高分子材料在当今世界具有极为重要的作用，其与钢材、水泥、木材并列称为人类社会四大基本材料。近一个世纪以来，合成树脂、橡塑制品及化学纤维的生产以惊人的高速度发展起来，聚合物材料与制品的应用领域及用量不断扩大，几乎深入到所有经济领域和人们的日常生活中。

聚合物成型机械是聚合物成型工业中的一个重要的组成部分，是完成塑料制品生产的必要手段。因此，可以说塑料成型机械工业是发展整个聚合物工业的基础。通常，一个国家聚合物成型机械的制造水平，可以作为衡量这个国家聚合物工业整体技术水平高低的主要标准之一。可见，聚合物成型机械在国民经济建设中具有重要的地位。

在现代聚合物成型加工工业中，正确的加工工艺、高效的设备和先进的模具是影响聚合物制品生产的三大重要因素。精良的聚合物成型装备对聚合物成型加工工艺的实现、保障和提升制品的质量和产量起着极为重要的作用。

聚合物成型机械制造业是一门新兴的工业。随着世界聚合物工业的迅速发展，聚合物成型机械制造已成为现代工业中的一个重要行业，虽然还很年轻，但发展前景广阔。

1.2 聚合物成型机械的现状及其发展趋势

1.2.1 聚合物成型机械的现状

我国的聚合物成型机械工业兴起于 20 世纪 50 年代，从 1958 年第一台柱塞式注射机在我国诞生以来，我国聚合物成型机械工业从无到有、从小到大，近半个世纪以来取得了辉煌的成就。改革开放前，大多数企业集中在原轻、化工和机械系统，规模普遍较小、装备落后、技术力量薄弱。技术上主要以对引进样机进行测绘为主，产品品种少，配套能力差。改革开放后，随着高分子材料工业的高速发展，市场对聚合物成型设备的需求大幅度提高。许多企业通过与国外同类企业合资、合作或购买生产制造许可证等方式，从国外引进先进技术并进行消化吸收，使我国聚合物成型机械产业有了明显的跃升。

进入 20 世纪 90 年代以来，由于新型聚合物材料不断涌现，应用领域从一般民用、农用向几乎所有工业领域，如汽车、家电、建筑、包装、通讯和计算机等产业快速扩展，聚合物成型机械生产企业也打破了原基本局限于轻工、机械和化工系统的格局，迅速在各个工业系统、军工和乡镇企业中蓬勃兴起。“九五”后，我国聚合物成型机械厂已发展到 300 多家，产量已跃居世界前列，其中注射机产量年均 2 万台以上；挤出成型设备年均 6000~8000 台套；中空成型设备年均 800 台；各类二次加工设备年均 20000 余台套。全行业聚合物成型装备年生产能力达 8.5 万台。1995 年全国聚合物成型机械产值已达 45 亿元。

目前，我国制造的挤出机、注射机、开炼机和压延机等已系列化，并能生产一些大型设备，如注射量达 32000cm^3 的塑料注射成型机；螺杆直径为 $\phi 250\text{mm}$ 的塑料挤出机及 $\phi 700\text{mm} \times 1800\text{mm}$ 的大型精密四辊压延机等。尽管在某些方面和某些品种如锁模力 25000kN 的大型精密注射机、超精密注塑机及双向拉伸薄膜机组等尚属空白，还需进口，但在大多数聚合物制品成型机械方面已能满足国内的需求。随着聚合物成型机械行业科技水平的提高和对引进设备的消化吸收，我国聚合物加工机械的制造水平已有显著的进步，一些合资企业生产的产品已与发达国家同类产品没有明显差距，而售价仅为进口产品的几分之一。国内现已能生产部分世界先进的塑料成型专用设备，如多层吹塑、注拉吹及行星螺杆塑料挤出机等。部分技术水平已处于国际领先的产品也开始投入工业化生产并打入国际市场，如华南理工大学研制的电磁动态成型设备及北京化工大学研制的可视化挤出机等。

从总体上看，我国聚合物成型机械行业技术水平接近港台同类设备，在第三世界国家处于前列，但与发达国家相比似有 5~10 年差距。主要表现在以下几个方面：

① 速度、效益、节能方面的指标仍远低于国外先进厂家，大多国产的二、三台设备才抵得上同规格国外一台先进设备；

② 控制水平未能跟上时代的步伐，表现在控制精度和制品重复精度都与国外先进水平有较大的差距；

③ 企业自身装备水平与国外企业相差明显，产品精度低，竞争能力弱；

④ 研究和开发的资金投入低，制约自主技术开发能力的提升，据统计，我国塑料机械行业平均开发性投入不到销售额的 0.3%，只是国际同行业平均的 1/10。

随着我国聚合物制品用途的扩大和需求的增加，特别是改革开放后近 10 多年大规模引进国外先进技术，通过消化吸收和创新，我国聚合物成型机械制造业正在国内外激烈竞争中崛起，进入蓬勃发展的新阶段。虽然我国聚合物成型设备工业与世界先进水平相比仍存在着较大的差距，依靠全行业的拼搏努力，在不远的将来，我们也将赶上甚至超过世界先进

水平。

1.2.2 聚合物成型机械的发展趋势

从聚合物成型机械总的发展趋势来看，近年来，世界各国开发的设备是朝着大型、高速、精密、特殊用途、连续化和自动化、小型和超小型的方向发展。

目前聚合物加工设备发展的主要趋势和特点为：

① 从制品开发开始，向机械使用者提供从制品、工艺配方、设备到售后服务等的全方位服务；

② 紧跟材料科学的进展，使新型设备适应新型材料的加工；

③ 从工作原理到基本结构对传统设备实行转变，开发新的加工装备，如华南理工大学发明的电磁动态塑化挤出机将振动场引入塑料加工过程，集机、电、磁于一体；

④ 及时借鉴相关产业的技术发展，将各类最新的科技成果运用到本行业上，使设备更精密、更高效和更节能；

⑤ 将计算机技术和先进的光电控制仪表引入聚合物加工设备，提高设备的自动化水平和工作平稳性。

事实上，聚合物成型机械如今除完成获取高分子材料制品外，还常常改造用作开发新型高分子材料和提高聚合物材料性能和功能的重要工具。以最低的成本、最省的能量消耗、最少地产生废料和环境污染，实现最大的劳动生产率和获取最优质的聚合物制品是整个行业不断发展、不断推陈出新的源动力和终极目标。

1.3 本课程的性质、任务及要求

1.3.1 聚合物成型机械课程的性质

本课程是高分子材料工程及相关轻工专业高等工程技术人员必修的专业课程。通过本课程的学习和实践，可对各种常用聚合物成型设备的基本理论、基本结构和基本性能有一个系统的认识和了解。

本课程除了介绍常用聚合物成型设备的结构原理、性能、部分设计内容和使用维护知识外，结合成型工艺阐明了这些因素之间的相互关系和影响。只有充分理解这些关系和影响后，才能具体深入分析问题，并进而获得发现问题和解决问题的能力。

聚合物成型机械是一门综合性科学。在学习这门课程时，常常要和许多理论课程和技术课程联系在一起，如在研究机械的型式、规格和工作原理时，要涉及数学、高分子物理及化学、聚合物材料学、聚合物成型工艺学等课程；在研究机械的尺寸和强度时，要分析各部件所受的作用力，将涉及理论力学、材料力学、机械原理、机械零件、液压传动及电工学等；在认识机械部件的结构决定所选用的材料、制造和装配方法时，还将涉及机械制图、金属工艺学等方面的知识。因此，本课程需要在学完有关基础课、专业技术基础课后讲授。

1.3.2 本课程的任务及要求

新的专业目录的实施，高分子材料与工程专业范围已经拓宽，学科涉及塑料、橡胶和化学纤维。新教材遵循这一概念，在调整充实塑料成型机械内容的基础上，增加了适量的橡胶机械和化纤机械的内容，但教材总体上仍以塑料成型机械为主导。

本课程共分为13章。第1章概述了学科在聚合物工业中的地位、现状和发展趋势。第2章至第8章，分别介绍了目前工业中应用较多的7类塑料成型机械，即：预处理及初混设备、混炼机械、挤出机、注射机、中空成型机、压延机和压制机。以上各章除阐明这些机械

的工作原理、基本结构特点和关键零部件的设计计算外，还强调了设备的正确使用与维护。各章内容均突出了这些机械近年来的发展，其中对挤出机和注射机这两类设备做了更详细的阐述。各章对应用于橡胶制品加工的同类机械的异同亦做了提及。第 9 章集中概括介绍了应用中的其它塑料成型机械，目的是使读者能对这些塑料机械有一个感性的认识。第 10 至第 12 章主要介绍应用较多的几种橡胶制品加工设备，即：炼胶设备、轮胎设备和工业制品加工设备。最后在第 13 章，介绍化纤纺丝机械。

为了使读者加深印象，便于复习和提高分析问题和解决问题的能力，本教材各章末均附加了思考题与习题。此外，各章末还列有主要参考文献供感兴趣的读者做进一步研习的参考。

通过本课程的学习，使学生达到以下几个方面的要求：

- ① 了解各种常用聚合物成型机械的基本理论、基本结构和主要零部件的设计计算；
- ② 掌握设备的工作原理、不同类型设备的特点（优缺点）；
- ③ 熟悉设备的正确使用和维护；
- ④ 了解设备的适应性和制约制品质量和产量的因素。

随着聚合物成型工业的不断发展，聚合物成型机械的设计理论和机器的结构也将不断有所创新提高、不断向更加完善的方向发展。因此，在学习聚合物成型机械基本知识的同时，还应关注国内外不断涌现的新技术、新经验，不断充实和提升我们的学识，以利充分发挥我们的聪明才智，为我国聚合物成型工业的更大发展作出贡献。

第2章 预处理及初混设备

聚合物材料在加工之前时常需要根据不同的物料品种、不同的用途进行预处理，然后再根据需要进行混炼塑化和成型。

2.1 预处理设备

预处理设备包括筛析设备、预热与干燥设备以及研磨设备。

2.1.1 筛析设备

材料的筛析是按不同粒度要求进行分级，在有些工艺里也把筛析作为破碎工艺的后序。对聚合物加工业，主要是用于填料或原材料的颗粒筛分，其对一些不能在后续工序中熔融的填料尤显重要，经过筛析实现粒度均匀，便于后续混合和成型时有更好的加工性能，这也是保障制品品质均匀的一项措施。过筛还有利于去除混入物料中的杂质。依据被选物料条件不同，可以干筛，也可以湿筛。

下面介绍几种常见的筛析办法和常用的筛析设备。

2.1.1.1 常见筛析方法

(1) 重力筛析

这是一种利用物料比重的分选法。比重相差越大的体系分离精度越高。典型的机械式重力分选设备，就是利用物料间颗粒尺寸或比重差异，利用自由落体的重力差实现分选（如图2-1）。

(2) 风选

风选是利用物体对空气的阻力差和在空气中下落的速度差来分选物料。下落速度不仅取决于物料颗粒的形状尺寸，还取决于颗粒的比重和在下落中气阻的情况。典型例子如风车选谷。风选分为立式和卧式两种（如图2-2、图2-3）。

(3) 溶剂分选

不同品种的聚合物材料在溶剂中的溶解度通常有所差异，溶剂分选利用这种特性使区分物料的精度比其它物理方法好。如采用水和二甲苯混合液加热溶化混合物料时，能分离多种塑料。

2.1.1.2 常用筛析设备

常用的筛析设备有平动筛析和转动筛析。

(1) 平动筛析

平动筛析常用的设备是电磁振动筛粉机，其主要由装料槽、弹簧、电磁铁线圈、衔铁与机座等组成。弹簧用来连接料槽与底座并限定料槽工作时沿单一方向往复运动。电磁铁线圈固定在铁心上并与衔铁等组成电磁激振系统来实现料槽的往复振动。筛网直接装在槽体上，粉料在槽体内做往复运动从而完成筛析。

(2) 转动筛析

转动筛析设备结构较为简单，工作原理是将需筛析的料粉放置于回转的筛网上进行筛析。

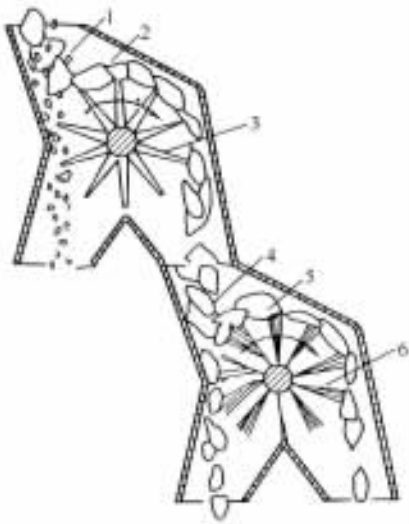


图 2-1 机械式分选

1—含小颗粒的物料 2—大粒物料 3—转刷轮 4—重物 5—轻物 6—转刷轮

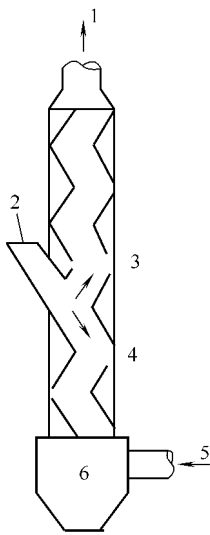


图 2-2 立式风选

1—至有机物箱 2—样品料 3—轻物 4—重物 5—进气口 6—无机材料坑

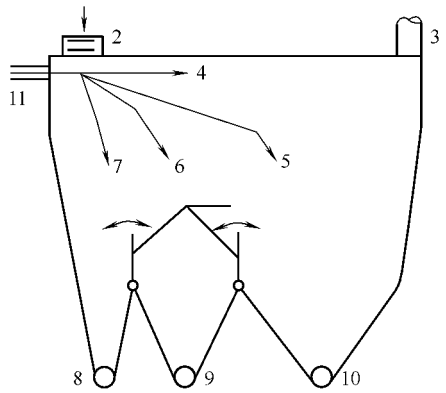


图 2-3 卧式风选

1—样品料 2—皮带 3—废气道 4—水平气流 5—轻物 6—中间类物料 7—重物 8—1号料斗 9—2号料斗 10—3号料斗 11—喷嘴

2.1.2 预热与干燥设备

预热和干燥常常是聚合物加工及树脂处理过程中不可缺少的重要环节。由于在塑料加工中预热和干燥基本是同时进行的，所以简称为干燥设备。

由于塑料加工中粒子料中间含有或夹带的水气及挥发物往往超过原材料允许的含量，这会造成成型加工困难及加工后的制品有一定的外观或内在的缺陷，为了去除多余的水气或挥发物，需采用一定的干燥手段。

塑料干燥的方法很多，有沸腾干燥、对流热风干燥、传导干燥、远红外辐射加热干燥及迴转真空干燥等。下面介绍几种常用干燥设备的构造与应用原理。

真空干燥箱与迴转真空干燥器是最普遍的传统加热干燥工具，其结构较简单、干燥效率相对较低。下面主要介绍高效节能的卧式沸腾干燥机和减湿料斗式干燥机。

2.1.2.1 沸腾干燥与设备

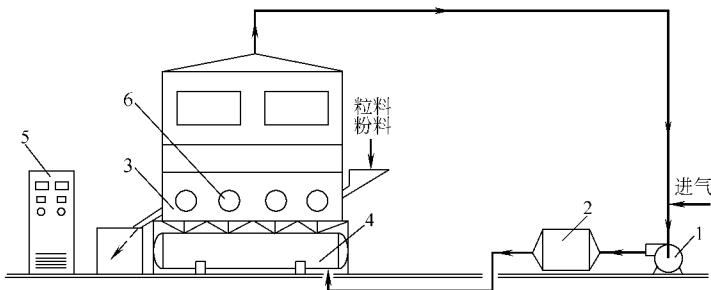


图 2-4 高效节能卧式沸腾干燥机的干燥工艺流程

1—高压离心鼓风机 2—电热箱 3—沸腾干燥器 4—气流分配器 5—电气控制屏 6—观察窗

卧式沸腾干燥需一条流水线。其主要由高压离心鼓风机、电热箱、沸腾床干燥器、气流分配器、控制箱和视窗组成。如图 2-4 所示。

图 2-5 是立式沸腾床干燥炉。

工作时，清洁的空气由高压离心鼓风机 1 吹进电热箱，当被加热到需要的温度后送入气流分配器，经调节到合适的风量后通过沸腾干燥器进入沸腾室，塑料原料由料斗加入沸腾室干燥，由于原料中最初的含水量很低 ($\leq 1.0\%$)，所以干燥过程中物料蒸发出来的水汽远不能使热空气达饱和状态，这就有条件将热空气由沸腾干燥器逸出并重新吸入风机去循环利用，因此，可提高热效率且节能。

这种干燥是利用了固体流态化原理，当多孔板上加入待干燥的塑料原料，热空气由多孔板底部送入，使它均匀地分散并与物料接触。当气速较低时，颗粒层不动，气体在颗粒层（也常称为固体床）的空隙间通过，当气速继续增加后，颗粒开始松动，床层略有膨胀，一部分颗粒变换位置。当气速再次提高，颗粒即悬浮在上升的气流中，此时形成的床层称流化床。固体床转换为流化床时的气速称临界流化速度。气速越大，流化床层越厚。在流化床层中，颗粒在热气流中上下翻动，彼此碰撞混合、气固两相间进行高效的传热与传质，从而达到快速干燥。如果气速增大到颗粒的自由沉降速度，颗粒就会从干燥器顶部吹出，此时的气速称为带出速度。显然沸腾床干燥中的气体速度实际上应介于临界流速和带出速度之间。

图 2-6 是移动式高效节能卧式沸腾干燥机。它的特点是结构紧凑移动灵活、干燥效率高、速度快和质量好，同时省能、控温方便、使用和操作维修容易。这种干燥设备尤其适于塑料原料厂和塑料加工厂用于粒料和粉料干燥作业，不论连续或间歇操作都适合。

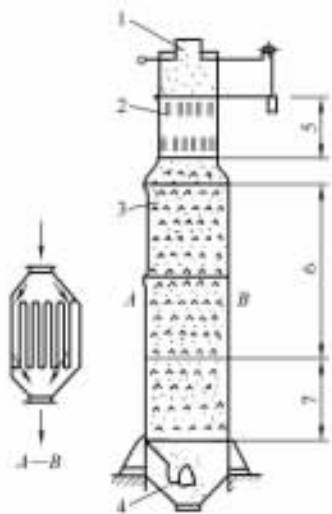


图 2-5 立式沸腾床通风干燥炉

- 1—进料口 2—预热器 3—热空气浴 4—出料口
- 5—预热区 6—干燥区 7—冷却区

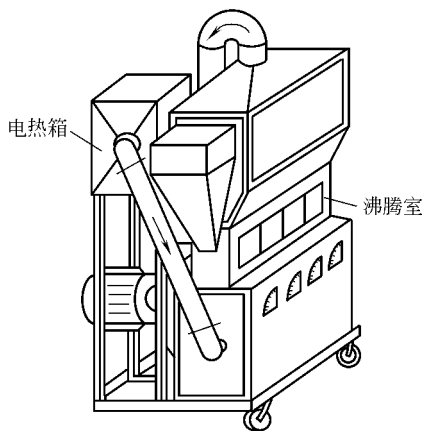


图 2-6 移动式高效节能卧式沸腾干燥机示意图

表 2-1 是上述三种干燥模式技术经济指标的比较。

2.1.2.2 减湿料斗式干燥机组

目前国内外均常采用由料斗式干燥机和空气减湿加热器组合成的干燥机组。它的原理是利用减湿的热空气流来干燥塑料粒子，以降低热空气中水蒸气的分压。实际上是利用拉大塑料粒子表面水汽的压强与热空气中水蒸气的分压之间的压差来提高传质推动功，促使粒子内

技术经济指标	真空干燥箱	迴转真空干燥器	高效节能卧式沸腾干燥机
PA1010 粒料, 最初含水量/%	1.0	1.0	1.0
最终含水量/%	0.15~0.20	0.15	0.10
干燥温度/℃	100	100	125
干燥时间/h	20	6	0.5
物料干燥均匀度	不均匀	均匀	均匀
电能消耗/kWh/kg 物料	0.7	0.9	0.2
劳动强度	强	中	轻
操作人工/(工日/t 物料)	7.5	5	2.5
占用厂房面积/(m ² /t·d)	70	55	10
投资比例	5	2	1

部水分快速向表面传递并汽化。

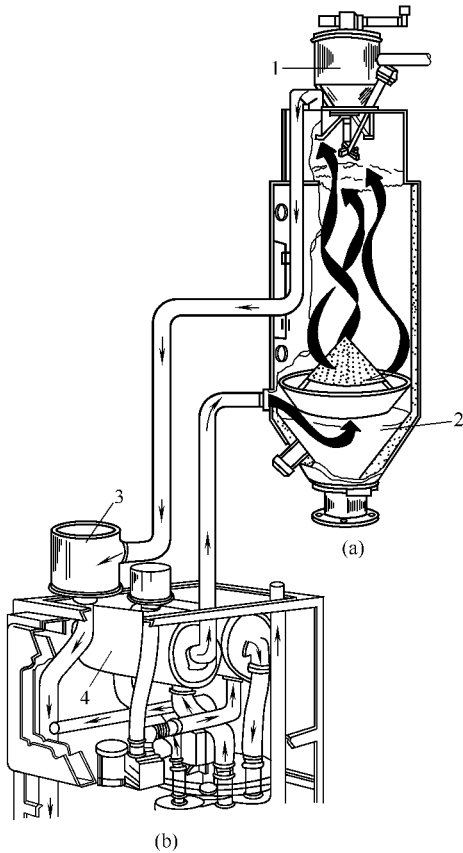


图 2-7 减湿料斗式干燥机组示意图

(a) 料斗式干燥器 (b) 减湿加热器

1—真空加料器 2—料斗式干燥器

3—分子筛减湿罐 4—再加热器

空气减湿料斗式干燥机组的构造示意如图 2-7 所示。图中设备由料斗式干燥器和空气减湿加热器两部分组成。工作时, 需干燥的塑料粒料由真空加料器吸入料斗式干燥器中, 由分子筛减湿加热后的热空气送入料斗式干燥器, 热空气由下往上吹过全部粒料层, 粒料中的水分汽化后混入热空气中, 增湿后的热空气从干燥器顶部带出重新回到空气减湿加热器中, 经过滤器滤去杂质后用鼓风机再送入分子筛减湿罐内, 让料内的水蒸气被分子筛吸除, 而后减湿的空气经再热器加热后又送入料斗式干燥器如此循环。通常, 分子筛罐数以 3~5 个一组, 其中大部分罐用作空气减湿, 另 1~2 个罐供再生热用。鼓风机和加热器均是为再生热系统服务的。

一般而言, 年产规模较大的塑料加工厂, 可选用移动式高效节能卧式沸腾干燥机。若加工塑料品种较多, 可选用多台小规格移动式干燥机。对于干燥聚碳酸酯、聚砜、改性聚苯醚等需高温快速干燥的塑料, 也最好选用沸腾干燥来替代传统的真空干燥, 传统的热风循环烘箱, 则最好用作已干燥好的塑料未及时使用时的保温防潮。

除了以上列出的干燥设备外, 常见的干燥设备还有箱形热风循环干燥机、料斗式干燥器、远红外线干燥器及真空干燥器等。

箱形热风循环干燥机的箱体内存有电热器, 由电风扇吹动箱内空气形成热风循环, 物料一般平铺于盘内。这种设备烘箱内控制温度一般为 95~110℃。由于效率较低, 故只适用于小批量料的除湿处理或预热。料斗式干燥是指挤

出机或注射机于料斗鼓入热风的干燥形式，干燥一定时间后，物料直接放入料筒供成型使用。

远红外干燥的干燥温度可达 130℃，其是利用物料对一定波长的红外线吸收率高的特点来干燥物料的，可实现连续干燥。

真空干燥器是利用减压的环境使物料吸附的水分挥发而实现干燥的。

除以上介绍之外，还有振动干燥、喷雾干燥和带式传送烘干等干燥形式，多用于大批量物料的干燥处理。

2.1.2.3 干燥设备的选用

表 2-2 为一些常用塑料应用沸腾式和减湿式干燥设备时的干燥工艺条件。表 2-3 和表 2-4 为美国 Conair 公司的 6 种型号减湿干燥机组的规格与工艺参数。

表 2-2 常用塑料采用沸腾干燥的工艺条件

塑料名称	干燥温度/℃	干燥时间/h	塑料名称	干燥温度/℃	干燥时间/h
PET	150~170	2.0	PA	120~130	0.5~1.0
PBT	120~135	2.0	ABS	100~110	0.5~1.0
PC	130~150	2.0	POM	110~120	0.5~1.0
PSU	130~150	1.0~2.0	PP	100~120	<0.5
MPPO	125~140	1.0~2.0	LDPE	90~100	<0.5
PI	150~170	2.0	HDPE	90~100	<0.5
PPS	150~170	2.0	PS	90~100	<0.5
PES、PEEK	150~170	2.0	PVC	70~80	<0.5
PAS	150~170	2.0	CA	80~90	0.5
PMMA	100~120	1.0	AS	90~100	0.5~1.0

表 2-3 美国 Conair 公司的减湿干燥机组的型号规格

机组型号	D-100A	D-200A	D-400A	D-600A	D-800A	D-1600A
总功率/kW	8.3	16.5	31	44.4	48	105
总电流/A	12.1	22.6	43.6	67.5	73	160
空气减湿加热器外形尺寸/mm	711×864× 1345	813×1168× 1880	915×1346× 2185	940×1524× 1803	940×1625× 1829	1550×2235× 2083
热空气流量(通过物料)/(m ³ /h)	102	204	408	612	816	1700
分子筛室数目	3	4	4	5	5	5
机组毛重/kg	338	495	585	720	810	1890

表 2-4 美国 Conair 公司 6 种型号规格的减湿干燥机组的工艺参数

塑料品种	干燥温度/℃	干燥时间/h	装料量/kg					
			D-100A	D-200A	D-400A	D-600A	D-800A	D-1600A
ABS	80	2~3	60	115	225	340	455	905
POM	100	2	60	120	245	365	490	980
PMMA	70~80	2	50	120	235	355	470	945
NBR 改性 AMMA	70	6	65	125	255	380	510	1015
纤维素塑料	70	2	45	90	180	270	365	725
离子键聚合物	65	8	40	80	160	245	325	655
PA(PA6 除外)	70	4~5	50	100	200	300	400	800
PC	120	3~4	45	90	180	270	365	725

2.1.3 研磨设备

研磨是聚合物生产中，尤其是漆类产品生产的主要预处理设备。研磨机的种类很多，归纳起来可分二类：一类带研磨介质；另一类不带研磨介质，单纯依靠力进行研磨分散。带研磨介质的常用的有各种砂磨机和球磨机，不带研磨介质的指各种辊磨和高速分散机。

2.1.3.1 砂磨机

砂磨机于 20 世纪 50 年代在美国问世，由于最早是用砂作为研磨介质而得名。现代许多砂磨机已改用多种人造研磨介质，但传统叫法仍保持下来。砂磨机生产效率高，操作简便，在很多领域有取代三辊研磨机的趋势。砂磨机有立式和卧式之分。

图 2-8 所示是最常见的立式砂磨机的工作原理简图，它是由带夹套的筒体和分散轴、分散盘、平衡轮等组成。筒体中盛有一定的介质，分散轴上装有几个分散盘，轴下端的平衡轮对转轴有一定的稳定作用。该机工作过程为：经过预分散的浆状物料从底部用泵泵入（送料用的泵流量可调）。底阀是特制的单向阀，防止停泵后玻璃珠倒流。当浆料进入后，启动砂磨机，由分散轴带动分散盘高速旋转，靠近分散盘表面的浆料和玻璃珠受黏度阻力作用随着分散盘运转，并抛向砂磨机筒壁又返回中心，这样形成了一个双环滚动，产生良好的分散效果。特别是在靠近分散盘表面处，以及分散盘外缘与筒壁之间的区域内分散作用更强。浆状物料在上升过程中多次回转于两个分散盘之间，料粒由此受到高速运动介质的剪切和冲击，促使颗粒研散。研散后的浆料由筛网口溢出，介质玻璃珠或砂粒则由筛网截住。

砂磨机效率高的一个原因是研磨介质的旋转速度很高，10m/s 左右的高速使作用在浆料上的离心力比重力大数十至上百倍，球体颗粒间相互碰击摩擦产生极强的冲击和剪切，由此提高了研碎率。若经砂磨机研磨后的颗粒仍不满足要求，则可重复以上工作。生产中也可将几台砂磨机串联，采用不同粒径的研磨介质与不同的研磨速度，从而使被研浆料达到预期要求。图 2-9 是立式砂磨机的外形结构图。

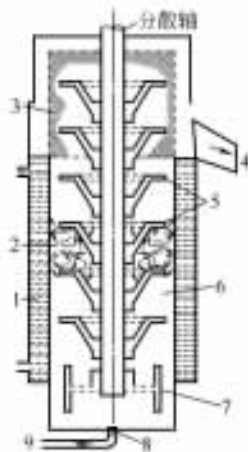


图 2-8 常规立式砂磨机原理示意图

1—水夹套 2—夹在两分散盘之间浆料的典型流型（双圆环滚动研磨作用） 3—筛网（顶筛） 4—分散后漆浆出口 5—分散盘 6—浆料和研磨介质混合物 7—平衡轮 8—底阀 9—预混浆料入口

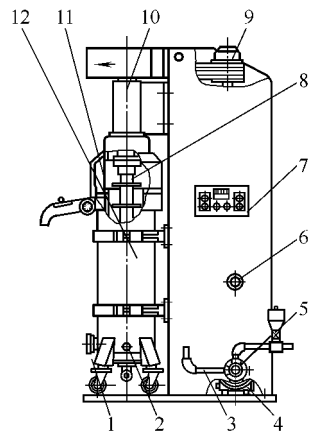


图 2-9 立式砂磨机结构简图

1—放料放砂口 2—冷却水进口 3—进料管 4—无级变速器 5—送料泵 6—调速手轮 7—操纵按钮板 8—分散器 9—离心离合器 10—轴承座 11—筛网 12—筒体

表 2-5 是立式密闭砂磨机的主要规格参数。立式砂磨机存在的缺点是研磨介质会沉底，

表 2-5

立式密闭砂磨机的主要规格

筒体容积/L	20	40	60	筒体容积/L	20	40	60
主机功率/kW	11,15	18.5,22	30	玻璃珠直径/mm	1~3	1~3	1~3
送料泵电机功率/kW	1.1	1.1	1.1	泵送料能力/(L/min)	2~16	2~16	3~24
分散轴转速/(r/min)	1320	1020	880	生产能力/(kg/h)	40~400	70~700	100~1200
分散盘个数/个	9	10	10	密封箱气压/MPa	—	—	0.4~0.5
玻璃珠充填量/kg	14	28	55~65				

停机后再启动困难，故密度大的研磨介质用卧式砂磨机较好。

图 2-10 是卧式砂磨机的结构图。它的筒体和分散轴水平安装，形成密闭式。其结构主要由筒体、分散轴、分散盘、轴承座和机械密封件、送料系统、电器操纵系统的传动件和机座等组成。卧式砂磨机的特点是结构上有一个特制的硬质合金耐磨鼓形筛圈，研磨后的浆料经此出料。筛圈用以挡介质并作浆料过滤。

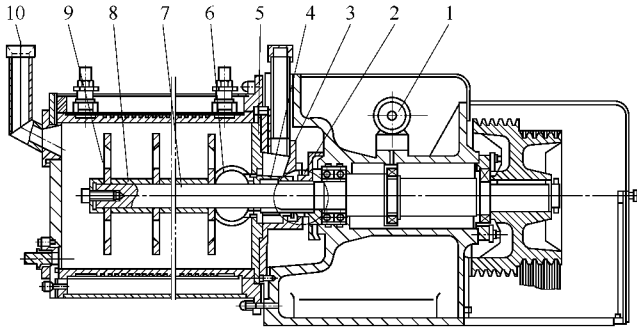


图 2-10 卧式砂磨机结构图

- 1—注油泵 2—机械密封 3—出料盖 4—出料罩 5—前端盖 6—出料筛圈
7—分散轴 8—撑套 9—分散盘 10—进料管

由于筛圈与轴同转，且不易堵塞，故能适应颗粒较细的料研磨。

卧式砂磨机还有其它一些结构形式，图 2-11 为锥形卧式砂磨机的结构简图。

表 2-6 列出了常见卧式砂磨机的主要规格参数。

2.1.3.2 三辊研磨机

三辊研磨机是在聚合物加工中常用的设备，其主要用于加工助剂、增塑剂和颜料搅拌后形成的浆状物料的研磨。

图 2-12 为三辊研磨机的结构简图。三辊研磨机的主要部件为安装在机架上的三个辊筒，其排列形式以水平为多。两个边上的辊相对中辊可以调距离，三个辊的转速不一样以一定的速比形成慢、中、快速转动。三辊研磨机整体由电机、传动装置、机体、辊筒、加料挡板、冷却部件、出料部件、控制代表及操纵装置所组成。三个辊的转向相反，前辊为快辊是出料辊，后辊为慢辊是加料辊，

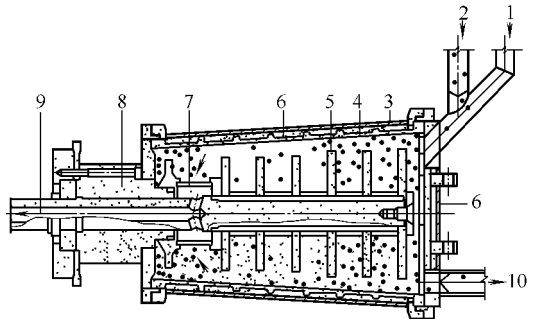


图 2-11 卧式锥形砂磨机结构简图

- 1—漆浆入口 2—研磨介质入口 3—外壳
4—筒体 5—分散盘 6—水冷却夹套
7—叠片式筛圈 8—机械密封
9—出料口 10—研磨介质出口