



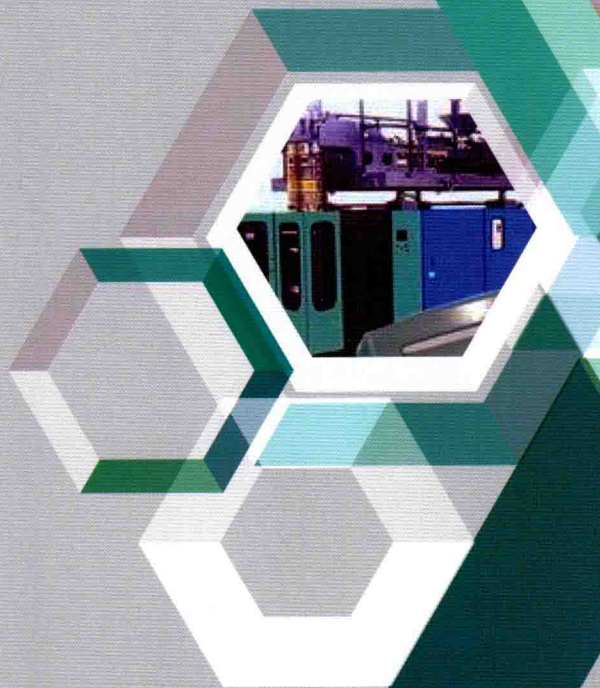
“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

塑料挤出成型

SULAO JICHU
CHENGXING

3 第三版
3RD EDITION

李建钢 吴清鹤 主 编



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

塑料挤出成型

第三版

李建钢 吴清鹤 主编
孔 萍 吴健文 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材共分为十二项目,项目一主要介绍挤出成型技术的发展概况。项目二主要介绍单、双螺杆挤出机的结构,工作原理。项目三至项目十二主要以10种塑料制品的挤出成型工艺及生产过程为主线,以模具、辅机结构由简单到复杂为编写顺序,详细地阐述了各种制品的性能要求、挤出机的选择、模头的基本结构及工作原理等,并对各种制品在挤出生产中的不正确现象、产生原因及解决方法进行了分析。书后附录中附有各种挤出机的选型,可供学习参考。

本书内容丰富,可作为高职高专高分子材料类专业的专业教材,可供塑料制品加工的工程技术人员使用,也可作为从事高分子材料研究的人员、大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塑料挤出成型/李建钢,吴清鹤主编.—3版.—北京:
化学工业出版社,2015.8
“十二五”职业教育国家规划教材
ISBN 978-7-122-24226-6

I. ①塑… II. ①李… ②吴… III. ①塑料成型-
挤出成型-高等职业教育-教材 IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第123880号

责任编辑:于卉
责任校对:蒋宇

文字编辑:李玥
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:高教社(天津)印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数385千字 2015年9月北京第3版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:36.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书自 2004 年 4 月第一版、2008 年 12 月第二版出版以来，广泛用于高职院校相关专业的教学，以及作为相关专业人员培训进修的教材，受到广泛好评。根据使用反馈意见，我们进行了第三版的修订。主要集中在以下几个方面：

精简了全书内容，增加了一些塑料挤出成型方面的新技术、新方法；增加了一些参考文献及相关网络学习资源；增加了一些实际操作部分；部分项目部分内容进行了重新编排。

全书由李建钢、吴清鹤任主编，孔萍、吴健文任副主编。项目一、项目三、项目四由吴清鹤、吴健文编写；项目七、项目九、项目十、项目十一由孔萍编写；项目二、项目八由李建钢编写；项目五、项目六、项目十二由张治平编写。

本书在编写过程中得到陶国良、戚亚光等同志的支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中若有疏漏、不妥之处，衷心希望读者给予批评指正。

编者
2015 年 3 月

第一版前言

本书是教育部高职高专规划教材，是按照教育部对高分子材料加工人才培养指导思想，在广泛吸取近几年高职高专教育成功经验的基础上编写的。供高职高专高分子材料加工专业高年级学生学习专业课使用，也可供从事高分子材料研究、开发和应用及工程技术人员参考。

教材在编写中注重以下几个方面：一是着重阐述塑料挤出成型加工中的共性问题，兼顾各自的特性；二是注重理论对实践的指导作用，力求公式推导简练，物理意义明确；三是对于挤出成型的每种制品，均从工艺特点、原理分析、设备类型及配置等方面讨论，这是本书的重点。

近年来，高分子材料的新品种不断涌现，制品高性能化和多功能化的要求逐年提高，挤出成型方法也在不断改进和推陈出新，丰富的内容已远不是一本教科书所能涵盖的。在编写过程中力求通用性和新颖性兼顾，尽管如此，有些新的成型方法可能漏编，有些介绍较为简单，敬请读者谅解。

全书由广东轻工职业技术学院吴清鹤任主编，江苏常州轻工职业技术学院王加龙任主审。第一章、第三章、第七章、第十三章由吴清鹤编写；第四章、第六章、第十章、第十一章由广东轻工职业技术学院孔萍编写；第二章、第八章由广东轻工职业技术学院李建钢编写；第五章、第九章、第十二章由江汉石油学院张治平编写。

本书在编写过程中得到陶国良、戚亚光等同志的支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中的疏漏、不妥之处，衷心希望读者给予批评指正。

编者

2004年4月

第二版前言

本书第一版自 2004 年 10 月出版以来，广泛用于高职院校相关专业教材、相关专业人员培训进修教材以及工程技术人员参考使用，受到广泛好评。根据使用反馈意见，我们进行了第二版的修订。主要集中在以下几个方面：

精简了全书的内容，对于一些不常用的挤出产品生产的内容进行了精简，突出常见挤出产品的生产；减少了理论推导、公式方面的内容，使全书更加简易明了；更新了全书的国家标准，使其和最新标准同步；更新、增加了一些塑料挤出产品生产的新技术、新方法；增加了一些最新的参考文献。

全书由广东轻工职业技术学院吴清鹤任主编，广东轻工职业技术学院李建钢、孔萍任副主编，江苏常州轻工职业技术学院王加龙任主审。第一章、第十三章由吴清鹤编写；第四章、第六章、第十章、第十一章由广东轻工职业技术学院孔萍编写；第二章、第八章由广东轻工职业技术学院李建钢编写；第五章、第九章、第十二章由江汉石油学院张治平编写；第三章由吴清鹤、吴健文编写；第七章由吴健文编写。

本书在编写过程中得到陶国良、戚亚光等同志的支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中的疏漏、不妥之处，衷心希望读者给予批评指正。

编者

2008 年 12 月

目 录

项目一 绪论：挤出让人类生活更精彩

精彩	1
任务一 认识挤出成型概况	1
一、挤出成型技术的历史与现状	1
二、挤出成型制品的用途	2
任务二 掌握挤出成型过程	2
一、挤出成型生产的基本过程	2
二、挤出成型的特点	5
任务三 了解挤出成型技术的发展	5
一、挤出成型新工艺	5
二、挤出成型工艺的发展趋势	7
三、挤出成型设备的发展	8
任务四 网络链接扩展	9
知识能力检测	10

项目二 挤出机

任务一 单螺杆挤出机	11
一、概述	11
二、挤出成型原理	15
三、螺杆	24
四、料筒及挤压系统其他零部件	29
五、挤出机传动系统	32
六、挤出机加热与冷却系统	33
任务二 排气挤出机和双螺杆挤出机	35
一、单螺杆排气挤出机	35
二、双螺杆挤出机	38
任务三 认识新型挤出机	46
一、电磁动态塑化挤出机	46
二、叶片挤出机	46
三、自洁型同向差动旋转双螺杆挤出机	46
四、动静螺杆挤出机	47
任务四 挤出机的操作与维护	47
一、挤出机的操作	47
二、挤出机的检修与维护	49
知识能力检测	50

项目三 棒材挤出成型

任务一 棒材挤出成型基础	51
任务二 棒材挤出设备	52

一、挤出机	52
二、机头	52
三、冷却定型模	54
四、隔热圈	54
五、制动装置	55
六、切割机	55
任务三 棒材生产工艺	55
一、塑料棒材挤出工艺特点	55
二、成型工艺	56
三、挤出操作过程	58
四、成型中不正常现象、原因及解决方法	58
知识能力检测	59

项目四 管材挤出

任务一 管材挤出基础	60
一、塑料管材的性能及用途	60
二、挤出管材的原材料	60
三、挤管工艺流程	61
任务二 管材挤出设备	62
一、挤出机	62
二、挤管机头	62
三、定型装置	66
四、冷却水槽	68
五、牵引装置	69
六、切割装置	70
七、扩口装置	70
任务三 几种管材的成型工艺	70
一、PVC 硬管	70
二、PVC 软管	74
三、聚烯烃管	75
知识能力检测	77

项目五 异型材挤出成型

任务一 异型材挤出成型基础	78
一、塑料异型材及其用途	78
二、异型材截面形状	79
三、异型材成型的工艺流程	82
任务二 异型材挤出成型设备	83
一、挤出机	83

二、异型材机头	83	四、成型中的不正常现象、原因及解决	
三、定型装置	85	方法	124
四、牵引装置	86	知识能力检测	125
五、切割装置	87		
任务三 PVC 异型材的成型工艺	87	项目八 单向拉伸制品的挤出	126
一、RPVC 窗型材配方	88	任务一 单向拉伸制品挤出基础	126
二、异型材成型工艺	88	一、单向拉伸制品及用途	126
三、成型中不正常现象、原因及解决		二、单向拉伸制品的原料	126
方法	90	三、纤维单位及主要性能	127
知识能力检测	92	四、单向拉伸制品的成型原理	127
		任务二 单丝成型	128
项目六 板材与片材的挤出成型	93	一、塑料单丝	128
任务一 板材与片材的挤出成型基础	93	二、单丝的成型设备	129
任务二 板材成型设备	93	三、塑料单丝的成型工艺	131
一、挤出机	93	任务三 塑料扁丝的成型	134
二、板与片挤出机头	94	一、塑料扁丝	134
三、三辊压光机	96	二、扁丝成型设备	136
四、冷却输送装置	97	三、塑料扁丝的成型工艺	137
五、牵引装置	97	知识能力检测	138
六、切割与卷取装置	98		
任务三 板与片的成型工艺	98	项目九 挤出流延薄膜和双向拉伸	
一、成型温度	98	薄膜	139
二、螺杆冷却	99	任务一 挤出流延膜的成型	139
三、板材厚度与模唇厚度及三辊间距的		一、概述	139
关系	99	二、流延膜的成型设备	140
四、牵引速率	100	三、流延膜的成型工艺	145
五、成型中不正常现象、原因及解决		任务二 双向拉伸薄膜的成型	151
方法	100	一、双向拉伸薄膜	151
知识能力检测	101	二、双向拉伸 PP 薄膜	152
		三、双向拉伸 PET 薄膜	154
项目七 挤出吹塑薄膜	102	四、双向拉伸 PS 膜	156
任务一 挤出吹塑薄膜基础	102	知识能力检测	158
一、吹塑薄膜的特点和原材料	102		
二、吹塑薄膜的用途	103	项目十 中空吹塑成型	159
三、吹塑薄膜的成型方法	103	任务一 中空吹塑成型基础	159
任务二 吹塑薄膜的成型设备	104	一、中空吹塑	159
一、挤出机	104	二、挤出-吹塑	160
二、吹膜机头	105	任务二 中空吹塑成型设备	160
三、冷却装置	110	一、挤出机	160
四、牵引装置	113	二、机头	161
五、卷取装置	114	三、模具	164
任务三 吹塑薄膜成型工艺	115	任务三 中空吹塑成型工艺	170
一、成型工艺流程	115	一、吹塑的形式	170
二、成型工艺控制	116	二、成型工艺	171
三、几种吹塑薄膜的成型工艺	119		

三、成型中不正常现象、原因及解决方法	知识能力检测	199
方法		174
任务四 了解其他挤出吹塑成型		176
一、挤出拉伸吹塑		176
二、共挤吹塑		180
知识能力检测		181
项目十一 泡沫塑料的挤出		182
任务一 泡沫塑料的挤出基础		182
一、泡沫塑料及其分类		182
二、气泡形成原理		183
三、泡沫塑料挤出成型		184
任务二 泡沫塑料用的原辅材料		187
一、树脂		187
二、发泡剂		187
三、发泡助剂		190
四、辐射交联		192
五、助交联剂		192
六、泡孔稳定剂		192
七、化学发泡剂的促进剂		193
任务三 PS 泡沫塑料挤出成型		193
一、PS 挤出发泡		193
二、挤出发泡成型设备		194
三、挤出发泡成型工艺		197
项目十二 挤出涂覆与包覆		200
任务一 挤出涂覆与包覆基础		200
任务二 挤出涂覆的成型		200
一、挤出涂覆的特点及原理		200
二、挤出涂覆设备		201
三、涂覆用基材		202
四、涂覆的主要工序		203
五、挤出涂覆中不正常现象、产生原因及解决方法		205
任务三 线缆挤出包覆成型		205
一、电缆料的制造		206
二、电线电缆的包覆成型		208
三、电线电缆生产中的不正常现象、原因及解决方法		209
知识能力检测		209
附录 塑料挤出设备的选型		210
一、塑料单螺杆挤出机的选型		210
二、排气式塑料挤出机选型		220
三、双螺杆塑料挤出机选型		220
参考文献		223

绪论：挤出让人类生活更精彩

章节要点及提示

知识、技能要点	目标要求	学习方法
挤出成型发展及现状	熟悉	课程讲解、多媒体演示、参观实习
挤出成型过程、特点	熟悉	课程讲解、多媒体演示、实例分析、参观实习
挤出成型的几种新工艺：反应挤出、固态挤出、共挤出	熟悉	课程讲解、多媒体演示
挤出成型工艺、材料、设备发展方向	熟悉	课程讲解、多媒体演示

任务一 认识挤出成型概况

一、挤出成型技术的历史与现状

挤出成型技术作为聚合物加工技术之一，是伴随聚合物加工工业技术的发展而成长的。

20 世纪 50 年代，石油化工的发展使高分子工业迅速成熟；60 年代，塑料、橡胶、化纤三大合成材料的生产向规模化转变；70 年代，世界合成高分子材料在总体积上已超过了金属材料。聚合物只有通过成型加工才能成为有使用价值的制品。成型加工是高分子材料不可缺少的生产环节。

挤出成型作为聚合物加工工业中的一项重要技术，是在聚合物树脂应用工程技术、挤出生产设备研制技术两方面互相促进，又互相依存而发展起来的。形形色色的挤出产品有：早期的硬 PVC 管，包覆电缆，PS、PP 和 ABS 片材与板材，PE 吹塑薄膜和涂覆薄膜等；如今的 PVC 型材，交联 PE、铝塑复合、RPP 管材，双向拉伸聚丙烯薄膜，多层共挤复合膜，具有高阻隔性、透气性、自黏性、热收缩性、自消性等特殊性能的薄膜，功能母粒与色母粒，发泡制品。运用挤出加工手段制备改性聚合物材料，共混增强、增韧技术，辐射改性技术，纳米复合技术，以及其他一些新型改性技术。各种结构与功能的挤出机如混炼型螺杆挤出机，排气式挤出机，双螺杆、多螺杆式挤出机，反应式挤出机，组合式挤出机，适应高分子材料物理与化学特性而建立的成型装置，具备各种制品所需要的专门功能，能够实施成型步骤的挤出生产线辅机，以追求操作简便、控制精确、节能高效、清洁生产的目标而不断改进的新型设备。

目前，许多产品的挤出成型技术已发展成为包括生产工艺和生产线设备在内的专门化成套技术。制品达到高质量，可获得良好的经济效益。虽然挤出成型新的加工方法和理论快速发展的时期已经过去，现在正处于一个较过去水平高得多而在发展上趋于

平缓的时期,但在对这些技术的运用中仍可以不断创新,开发新产品、制造新材料、形成新技术。

二、挤出成型制品的用途

挤出成型可以加工部分热固性塑料和绝大部分热塑性塑料以及弹性体。

挤出制品主要有薄膜、管材、板材、片材、型材、棒材、丝、网、带、电线、电缆包覆、中空容器、泡沫塑料、复合材料等。它们广泛应用于国民经济各个部门。

包装材料是挤出制品的重要用途之一。各种薄膜、复合材料、中空容器、编织袋、网、打包带、捆扎绳等广泛用于粮食、农副产品、纺织品、食品、药品、化工产品、化肥、水泥、精密仪器、日用品、体育用品、文化用品等的包装。

农业上,大量使用塑料薄膜育秧及温室种植,可缩短农作物生长期,增加产量,增加农民收入。如水稻育秧,能提早 15~20d 收割,每亩增产 100~200kg,太阳温室可使寒冷的北方常年吃到新鲜的蔬菜。塑料管可用于农田排灌,塑料网用于养殖业可大大提高诸如珍珠、鲜贝的产量,也可用于捕鱼业、水产业。

在机械制造业及交通运输业上,塑料制品的应用也十分广泛。塑料棒材可加工成轴承、齿轮、管件等机械零件。各种塑料管、板、异型材制造各种仪表盘、车门内壁、挡泥板内衬、水管、油管、气管、装饰件、门、窗、顶板、扶手、地板等。

由于塑料制品具有优异的耐化学腐蚀性,在化学工业上,大量采用塑料管、板、棒、中空容器作为防腐蚀材料,制造各种槽、罐、釜、管道、泵、风机、塔等的内衬、填料,节约了大量金属材料。如 1t 塑料可以代替 6~7t 不锈钢、铜等金属。

在电子、电信工业上,利用塑料的电绝缘性能好的优点,大量采用塑料作绝缘材料,如电线、电缆的绝缘层、防护层,各种电器的绝缘件、绝缘板等。

建筑工业越来越多地采用塑料板材、型材制造门窗、地板、壁板、屋顶板、上下水管、隔音隔热材料、家具等。

在医疗卫生业,塑料薄膜、管材可以制造输血袋、输血管、氧气管、食道、尿道及手术器具等。

日常生活中使用的塑料制品更是琳琅满目,比比皆是。

任务二 掌握挤出成型过程

在挤出机中通过加热、加压而使物料以流动状态连续通过口模成型的方法称为挤出成型或挤塑。

一、挤出成型生产的基本过程

挤出成型可加工的聚合物种类很多,制品更是多种多样,成型过程也有许多差异,图 1-1 列举了几种挤出成型工艺流程。常见的聚合物加工中,挤出管材、挤出板材、吹塑薄膜、电线电缆包覆是连续式塑化挤出,吹塑中空制品、热挤冷压工艺中挤出机是以周期方式操作。基本过程大致相同,比较常见的是以固体状态加料挤出制品的过程。这一挤出成型过程是:将颗粒状或粉状的固体物料加入到挤出机的料斗中,挤出机的料筒外面有加热器,通过热传导将加热器产生的热量传给料筒内的物料,温度上升,达到熔融温度。机器运转,料筒内的螺杆转动,将物料向前输送,物料在运动过程中与料筒、螺杆以及物料与物料之间相互摩擦、剪切,产生大量的热,与热传导共同作用,使加入的物料不断熔融,熔融的物料被连续、稳定地输送到具有一定形状的机头(或称口模)中。通过口模后,处于流动状态的物

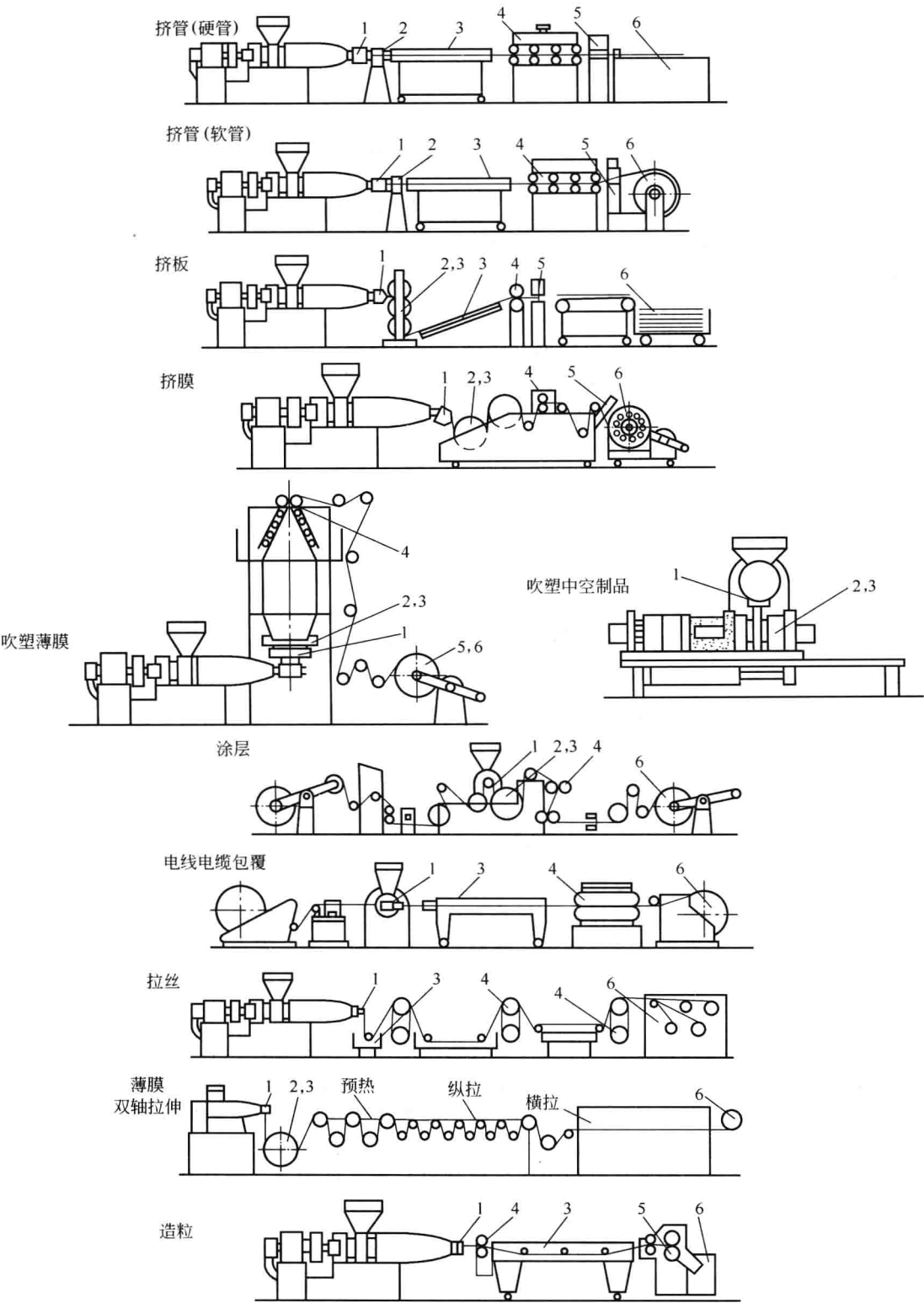
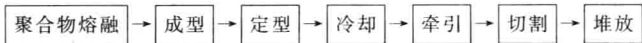


图 1-1 挤出成型工艺流程

1—机头; 2—定型; 3—冷却; 4—牵引; 5—切割; 6—卷取

料形成近似口模的形状，再进入冷却定型装置，使物料一面固化，一面保持既定的形状，在牵引装置的作用下，使制品连续地被挤出，获得最终的制品尺寸。最后用切割的方法截断制品，以便贮存和运输。项目四中图 4-1 所示的管材挤出工艺流程是比较有代表性的挤出成型生产线，挤出成型的工艺流程为：



其他的挤出成型产品，根据物料特性，制品大小和产量要求，挤出机的结构、类型和规格是不同的；机头结构、形状、尺寸按具体制品而设计制造；冷却定型方式根据制品品种和材料性能而定；其余的辅机也不同。但工艺过程中的各工艺环节基本相同。

1. 挤出成型生产线的组成

挤出生产线通常由主机、辅机组成，统称为挤出机组。

(1) 主机 挤出机由以下三部分组成：挤压系统、传动系统、加热冷却系统。

(2) 辅机 挤出机组辅机的组成可根据制品的种类而定，通常由下列部分组成：机头（口模），是制品成型的主要部件，当物料经机头口模不同截面形状的出料口时，便可得到不同的制品；定型装置，作用是将机头挤出的物料的形状和尺寸进行精整，并将它们固定下来，从而得到具有更为精确的截面形状、表面光亮的制品；冷却装置，从定型装置出来的制品，在冷却装置中充分地冷却固化，从而得到最后的形状；牵引装置，用来均匀地引出制品，使挤出过程稳定地进行，牵引速率的快慢，在一定程度上，能调节制品的截面尺寸，对挤出机生产率也有一定的影响；切割装置，作用是将连续挤出的制品按照要求截成一定的长度；堆放或卷取装置，将切成一定长度的硬制品整齐地堆放或将软制品卷绕成卷。

(3) 控制系统 主要由电器仪表和执行机构组成，其主要作用是：控制主机、辅机的驱动电机，使其按操作要求的转速和功率运转，并保证主机、辅机协调运行；控制主机、辅机的温度、压力、流量和制品的质量；实现全机组的自动控制。

2. 挤出成型生产工艺控制的因素

(1) 螺杆转速 螺杆的转速在挤出生产线主机控制装置中调节。螺杆转速的大小直接影响挤出机输出的物料量，也决定由摩擦产生的热量，影响熔体物料的流动性。螺杆转速的调节随螺杆结构和所加工的材料而异，视制品形状、产量和辅机中的冷却速率而定。

(2) 螺杆背压 挤出机前的多孔板、滤网和机头上的可调节阻力元件对熔体流动的节制作用可产生不同的螺杆背压。背压的调节使物料得到不同的混合程度和剪切，改变塑化质量和供料的平稳性。

(3) 机筒、螺杆和机头温度 热塑性聚合物固体在一定的温度条件下发生熔融，转化为熔体。熔体黏度与温度成反比关系，因此，挤出机的挤出量会因物料温度的变化而受到影响。当物料被加入到挤出机料筒内时，会受到外部加热装置提供的热量及做功所产生的摩擦热的综合作用。物料在机头中时，由机头外部的加热装置提供热量。

操作中挤出物料的温度不足以把固体物料熔融，流动性很差，产品的质量达不到要求；温度过高，会使聚合物过热或发生分解。温度的控制是挤出操作中非常重要的控制因素。

螺杆的温度控制涉及物料的输送率、物料的塑化、熔融质量。许多挤出机将螺杆制造成可控制温度的结构，料筒各段的温度根据物料状态变化的需要设定，比较大的机头也可将加热装置分成多个部位。挤出机的温度是按螺杆、料筒各段、机头各段分别设定并控制的。

(4) 定型装置、冷却装置的温度 挤出不同的产品，采用的定型方式和冷却方式是不同

的, 相关的设备也不同, 共同点是需要控制温度。冷却介质可以是空气、水或其他液体。温度影响冷却速度、生产效率、制品内应力, 若为结晶型聚合物, 还影响到与制品的结晶度、晶粒尺寸相关的一些物理性能。冷却介质的温度和流量在操作中可适当调节。

(5) 牵引速率 挤出机连续挤出物料, 进入机头, 从机头流出的物料被牵出, 进入定型、冷却装置, 牵引速率应与挤出速率相匹配。牵引速率还决定制品截面尺寸、冷却效果。牵引作用影响制品纵向的拉伸、制品的力学性能和纵向尺寸的稳定性等。有些工艺靠牵引速率的调节获得所需性能。牵引速率在挤出操作中的调节很重要。

二、挤出成型的特点

挤出成型加工的主要设备是挤出机, 此外, 还有机头口模、冷却定型、牵引、切割、卷取等附属设备。塑料在挤出机内熔融塑化, 通过口模成为需要的形状, 经冷却定型得到与口模断面形状相吻合的制品。

同其他成型方法相比, 挤出成型具有以下突出的优点。

① 设备成本低, 制造容易, 投资少, 上马快。

② 生产效率高。挤出机的单机产量较高, 如一台直径为 $\phi 65\text{mm}$ 的挤出机, 生产聚乙烯薄膜, 年产量可达 300t 以上。

③ 可以连续化生产。能制造较长的管材、板材、型材、薄膜等。产品质量均匀、密实。

④ 生产操作简单, 工艺控制容易, 易于实现自动化。占地面积小, 生产环境清洁, 污染少。

⑤ 可以一机多用。一台挤出机, 只要更换机头, 就能加工多种塑料制品。挤出机也能进行混合、塑化、造粒。挤出机与压延机配合, 可以喂料生产压延薄膜, 与油压机配合生产模压制品。

因此, 挤出成型是重要的成型方法之一, 在塑料加工工业中占有相当重要的地位。目前挤出成型制品占中国塑料制品总量的 1/3 以上。

任务三 了解挤出成型技术的发展

在广泛的生产实践中, 挤出成型的理论和技术得到不断地深化和拓展; 可加工的聚合物种类、制品结构和制品形式越来越多; 挤出工艺得到不断地发展; 挤出成型的设备得以不断改进和创新, 设备越来越大型化、高效率化、精密化、智能化及专用化; 计算机技术在挤出成型加工中的应用越来越广泛、深入。

一、挤出成型新工艺

由于石油化学工业和聚合物加工工业的不断发展, 为了扩大可成型材料的范围和增加挤出制品的类型, 在传统的挤出成型技术的基础上不断发展, 形成一些新技术, 其中主要有反应挤出工艺、固态挤出工艺和共挤出工艺等。

1. 反应挤出工艺

反应挤出工艺是 20 世纪 60 年代后才兴起的一种新技术, 因可以使聚合物性能多样化、功能化、生产连续、工艺操作简单和经济实用而普遍受到重视。它是连续地将单体聚合并对现有聚合物进行改性的一种方法。该工艺的最大特点是将聚合物的改性、合成与聚合物加工这些传统工艺分开的操作联合起来。

反应挤出机一般有较大的长径比、多个加料口和特殊螺杆结构。反应物由各个不同的加料位置加入到挤出机中, 固体物料从料斗加入, 黏性流体或气体反应物按反应顺序沿机筒各

点通过注入口加料。通过螺杆的旋转将物料向前输送，在一定的反应温度下，物料在混合过程中充分反应，在适当的位置除去反应过程产生的挥发物，反应完全的聚合物经口模被挤出，冷却、固化、造粒或直接挤出成型为制品。

反应挤出早已引起世界化学和聚合物科学与工程界人士的广泛关注，在工业方面发展很快。获得关注并迅速发展是由于挤出机特有的处理纯高黏度聚合物的功能。挤出机能熔融、挤出、配混聚合物及对聚合物排气脱挥处理。这种功能正是化学反应器所需要的。

反应挤出机的特点是：①熔融进料预处理容易；②混合分散性和分布性优异；③温度控制稳定；④可控制整个停留时间的分布；⑤可连续加工；⑥分段性；⑦未反应单体和副产品易除去；⑧具有对后反应的限制能力；⑨可进行黏流熔融输送；⑩可连续制造异型制品。

反应挤出加工主要应用于聚合物的降解、合成、接枝、增容等。如在反应挤出过程中，通过向 PP 中加入适量的过氧化物，使 PP 主链断裂，支化终止，由断裂产生的大分子自由基制得用一般方法难以制得的熔体黏度低、分子量分布窄、分子量小的可用于满足薄膜挤出、薄壁注射制品要求的 PP。以特制的双螺杆挤出机为反应器，采用己内酰胺阴离子快速聚合原理直接反应成型，可实现单体-聚合物-制品一体化，用此工艺制得的 PA6 的强度为普通 PA6 的 120%，韧性为普通 PA6 的 3 倍以上，将该双螺杆挤出机与成型装置相连，可直接制得 PA6 制品，大大缩短成型周期，降低成本。在极性聚合物分子链上接枝极性官能团，可赋予制品一些特殊的性能，这种接枝物在塑料改性、复合材料制备等方面有着广泛的应用，如通过硅烷交联或辐射交联反应挤出生产的 XPE 管材具有耐高温、耐高压、柔软性好、耐化学药品性优良、蠕变性能较好、耐应力开裂性好等优点。在聚合物增容方面，在加入增容剂 PE-g-MAH 的 PE/CaCO₃ 共混物中，CaCO₃ 粒径一致且分布均匀，使共混物的拉伸强度明显提高，断裂伸长率变化较小，MFR 略有下降。

反应挤出成型技术是近年来发展的旨在实现高附加值、低成本的高新技术，已经引起世界化学和聚合物材料科学与工程界的广泛关注，在工业方面发展很快。与原有的挤出成型技术相比，其明显的优点是：①节约加工中的能耗；②避免了重复加热；③降低了原料成本；④在反应挤出阶段，可在生产线上及时调整单体、原料的物性，保证最终制品的质量。

2. 固态挤出工艺

固态挤出是使聚合物在低于熔点的条件下被挤出口模。固态挤出一般使用单柱塞挤出机，柱塞式挤出机为间歇式操作。柱塞的移动产生正向位移和非常高的压力。挤出时口模内的聚合物发生很大的形变，使得分子严重取向，其效果远大于熔融加工，从而使制品的力学性能大幅度提高。

固态挤出有两种方法：一种是直接固态挤出，另一种是静液压挤出。在直接固态挤出中，

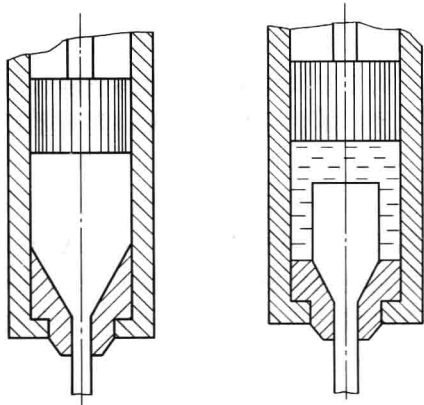


图 1-2 直接固态挤出

图 1-3 静液压挤出

预成型的实心圆棒状物料被放入料筒，柱塞直接接触固体物料，推动物料从口模中挤出，如图 1-2 所示。在静液压挤出中，挤出所需的压力由柱塞经润滑油传递至料锭，料锭形状与口模相配合以防止润滑油漏失。静液压减小摩擦，因而降低挤出压力，如图 1-3 所示。

固态挤出 HDPE 的力学性能与某些金属材料及普通熔融挤出 HDPE 的比较，见表 1-1。

从表 1-1 中可看出，由于单柱塞挤出机的料筒截面积远大于口模截面积，因此，挤压料锭通过口模时需要足够的压力，在力的作用下固态物料产生形变和分子取向。固态挤出中，将料筒截

表 1-1 几种材料的力学性能比较

材 料	力学性能	拉伸模量/MPa	拉伸强度/MPa	伸长率/%	密度/(g/cm ³)
碳素钢					
退火 SAE1020 钢		210000	410	35	7.86
W-200-SAE1020 钢		210000	720	6	7.86
不锈钢					
退火 304 钢		200000	590	50	7.92
铅 1100-1		70000	90	45	2.71
固态挤出 HDPE		70000	480	3	0.97
熔融挤出 HDPE		10000	30	2~100	0.96

面积与口模截面积之比定义为挤出比。在高挤出比的情况下，基本上不产生熔融挤出中的离模膨胀，因而挤出物的尺寸与口模尺寸相等。固态挤出 HDPE 的力学性能优于熔融挤出的 HDPE，其拉伸强度约与碳素钢相同。固态挤出的基本过程不连续，不能用普通的聚合物加工设备成型，需要很高的压力才能实现挤出。

3. 共挤出工艺

共挤出技术在塑料制品上的应用可使制品多样化或多功能化，从而提高制品档次。共挤出工艺由两台或两台以上的挤出机完成，可以增大挤出制品的截面积，组成特殊结构和不同颜色、不同材料的复合制品，使制品获得最佳性能。

共挤出技术按照共挤物料的特性可分为软硬共挤、芯部发泡共挤、废料共挤、双色共挤等。由三台挤出机共挤出制得 PVC 发泡管材的生产线，比两台挤出机共挤的方式控制挤出工艺条件更准确，内外层和芯部发泡层的厚度尺寸更精确，可以获得更优异的管材性能。

为满足农用薄膜、包装薄膜功能发展的需要，共挤出吹塑薄膜趋于向多台挤出机、多层化发展。目前多层共挤出吹塑膜可达 9 层。多层共挤对各种聚合物的流变性能、相黏合性能、各挤出机之间的相互匹配有很高的要求，机头流道的设计与制造更为关键。

随着聚合物加工的高效率和应用领域的不断扩大和延伸，挤出成型制品的种类不断出现，挤出成型的新工艺层出不穷。

为了满足工业和建筑用管材在耐压、耐温、抗开裂方面的更高要求，人们研制了以特种纤维为骨架的复合管、以多孔金属管为骨架的复合管、铝塑复合管、XPE 管、RPP 管及 UHMWPE 管等，这些管材的成型工艺有别于普通管材的挤出成型。

低雾度、高光泽度 PP 片材的生产工艺与普通 PP 片材不同，片材由口模挤出后，进入与其同步运动的两钢带之间，钢带被水冷却，与 PP 挤出物接触后，使之快速冷却形成透明片材，再经回火处理，得到雾度为 2%~5%、光泽度为 120%~145%（厚度为 0.2~0.3mm）的 PP 片材。

双膜泡法挤出吹塑单层、多层双向拉伸热收缩薄膜是近几年新发展的吹膜工艺，挤出的管膜先经水冷，再加热至适于吹胀的温度，充入压缩空气和调节两对牵引辊间的速比，形成单层或多层的双向拉伸复合收缩膜。

为了提高生产效率，挤出工艺中采用新的冷却工艺。德国 Battenfeld 公司采用液氮冷却系统使吹塑膜产量提高 41%。在吹塑双向拉伸热收缩膜中也有改变管膜的水浴冷却为定径套中水雾冷却的工艺，双向拉伸时可得到更大的拉伸比。

二、挤出成型工艺的发展趋势

制品的大型化、生产的高效率、制品的新结构和新工艺是挤出成型在传统挤出生产基础

上发展的趋势。

1. 挤出制品的大型化

(1) 管材 随着塑料管材应用领域的不断扩大, 管材生产正朝着高性能、大口径方向发展。管材高性能依赖于聚合物新品种、聚合物的改性和管材成型设备的改进。目前国内可生产的用作给排水管、市政工程污水管的 UPVC 管材, 管径已达 630mm, 而国外可达到 1000mm。国外的 HDPE 燃气管的管径最大达到 1600mm, 输水管的管径可达 2500mm。

(2) 薄膜 为减少拼幅在铺设中的工作量, 人们希望农用棚膜、地膜能加大幅宽。目前国内挤出吹塑棚膜最大幅宽为 14m, 而国外可达 25m。国内 BOPP 膜可加工成厚度为 $10\sim 18\mu\text{m}$, 膜宽 9m。德国 Battenfeld 公司的三层共挤膜幅宽可达 6.1m。宽幅膜更广泛地适应各种包装的需要, 由于幅宽增大, 可减少平膜由于切边形成的边角膜与成品膜之间的比例, 增大成品率, 降低成本。因此流延膜和双向拉伸膜均向宽幅方向发展。

(3) 板材、片材 广泛用作工业衬垫、绝缘、建筑材料和广告制作的板材, 以及食品包装、医药、工业包装的片材, 也正根据市场需要向特殊性能和宽幅面发展。目前中国生产的板材宽度可达 2500mm, 板厚为 55mm; 共挤出 PVC 发泡板宽度为 2000mm, 其中的发泡层的厚度为 20mm。

2. 挤出成型的高效率

自从挤出成型方法用于生产以来, 对于高质量和高效率的追求从未停止过。人们不断地改进工艺和设备, 以高质量为前提, 提高生产率。

世界上比较先进的挤出造粒设备有: 直径为 $\phi 700\text{mm}$ 的单螺杆挤出机, 产量达 36t/h; 直径为 $\phi 600\text{mm}$ 的双螺杆挤出机, 产量达 45t/h。中国目前造粒生产线产量不足 1t/h, 需向大型化、高速化迈进。

产量占挤出制品份额很大的几种产品挤出速率不断提高。德国某公司的 $\phi 130\text{mm}$ 平行双螺杆挤出硬 PVC 管材生产线, 挤出产量达 1200kg/h; 美国某公司的 $\phi 68\text{mm}$ 平行双螺杆生产线挤出硬 PVC 管材, 产量达 2000kg/h; 奥地利某公司的 92 型锥形双螺杆挤出机, 产量达 1100kg/h。

吹塑薄膜的牵引线速度由目前的 100m/min, 提高到 300~350m/min 的高速牵引。挤出复合的多层热收缩膜, 幅宽 2300mm, 挤出线速度达 90m/min, 挤出产量为 200kg/h。流延膜在北美和欧洲, 5 年前典型的生产线速度为 210~270m/min, 如今已达 450~610m/min; 三层共挤幅宽 6.1m 的薄膜, 产量达 450kg/h; 幅宽 3.2m 的复合流延拉伸膜生产线速度达 550m/min, 生产能力 9100t/a。BOPP 薄膜, 10 年前挤出线速度为 200m/min, 5 年前挤出线速度为 250m/min, 目前可达 350~400m/min。

挤出涂覆宽 4.2m 的编织布, 挤出线速度可达 60m/min, 涂覆 PP 树脂时产量为 550kg/h, 涂覆 PE 树脂时产量为 600kg/h。

挤出结构发泡 PVC 板材的产量最大可达 600kg/h, 挤出发泡片材的双阶单螺杆挤出机的螺杆直径分别为 114mm 和 150mm, 长径比为 30, 生产发泡聚苯乙烯片时产量达 545kg/h; 生产发泡聚乙烯片时产量可达 455kg/h。大型双阶发泡片材挤出生产线的螺杆直径分别为 120mm 和 160mm, 产量可达 815kg/h。

建筑用门、窗框 PVC 型材的挤出成型, 中国普遍为挤出线速度 0.8~1.2m/min, 产量 80~120kg/h; 国外通过挤出机和定型冷却装置的改进, 挤出线速度可达 6m/min, 产量高达 500kg/h。

三、挤出成型设备的发展

近年来, 高速挤出已经带来了生产效率的大幅度提高。高速、高效、智能化一直是挤出