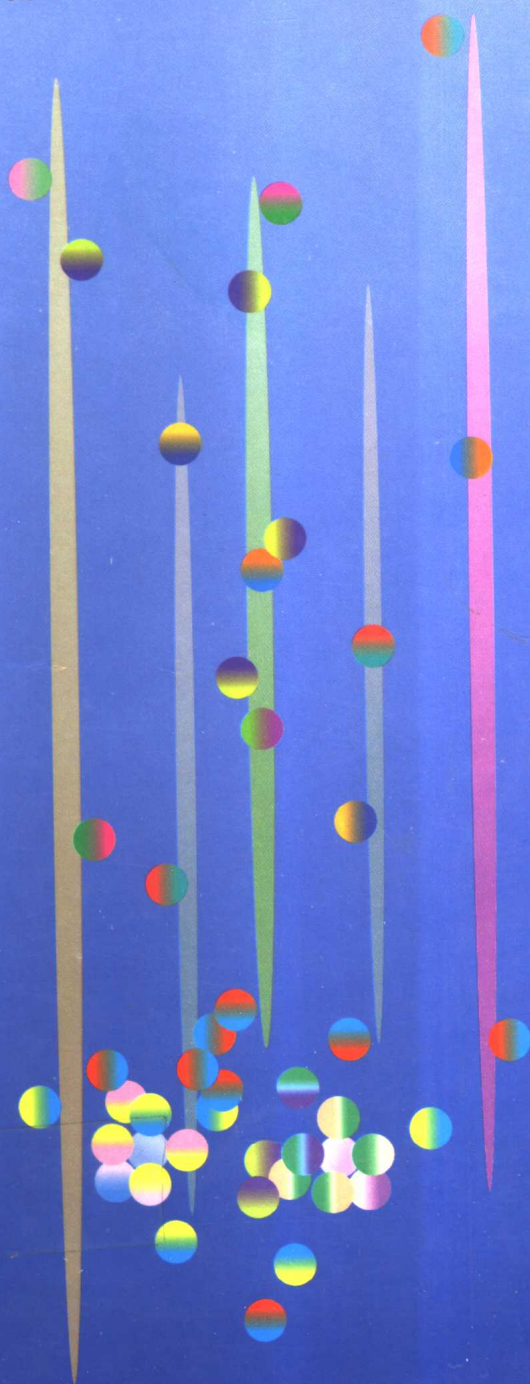


聚合物加工中的传递现象

戴干策 编著



中國石化出版社

内 容 简 介

本书在阐述流体流动(动量传递)、热量传递、物质传递基本原理的基础上,结合聚合物的特性,特别是流变性、热物理性质以及扩散性质,探讨聚合物加工过程中的基本传递现象与规律。第一章为全书的总纲,除简述典型聚合物制品的生产方法外,着重讨论聚合物加工过程中的工程分析、共性原理和研究聚合物加工的基本方法;第二章简要概括传递现象的基本原理;第三章讨论聚合物的流变性和流动;第四章讨论聚合物系中的传热与传质;第五至九章分别讨论聚合物加工单元操作中的流动与传热,依次为单螺杆挤出成型、双螺杆挤出成型、注射成型、压延成型和吹塑成型。

全书强调理论与实践的结合。在阐述重要实验观测的基础上形成理论,理论分析的结果对实际有指导意义。贯彻全书的主线是,建立加工过程的物理和数学模型,介绍计算方法,分析计算结果。为有助于理解基本原理,各章选编了若干例题。

本书适用于从事聚合物加工的技术人员、高分子材料专业和化学工程专业研究生及高年级本科学生阅读,亦可作为机械、化工类专业人员进行高分子材料开发和加工时的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

聚合物加工中的传递现象/戴干策编著. —北京:中国石化出版社,1999
ISBN 7-80043-779-5

I. 聚… II. 戴… III. 高聚物-传递成型 IV. TQ316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 02979 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

金剑照排厂排版

北京京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 27.75 印张 705 千字印 1—2000

1999 年 11 月第 1 版 1999 年 11 月第 1 次印刷

定价:56.00 元

前 言

“传递现象”于本世纪 60 年代初作为一门课程问世,随后发展成为化学工程学科的一个分支,日益受到人们的重视。但由于这类著作多数着重论述简单几何条件下的传递,解决问题的方法主要是数学解析,因而给人们一种“印象”,数学公式很多,而又并不直接解决设计、操作等实际问题。这既构成学校教学中的难点,也往往是本学科进一步普及并在工业中发挥其应有作用的障碍。我长期从事流体力学和传递现象的教学,也一直受这一问题的困扰。结合自己的教学和科研实践,试图作些改进,主要的方向是强调传递现象的物理分析,避开繁杂的数学推演,加强工程应用,推荐理论指导下的实践,即半经验处理工程问题的方法。《化学工程基础》、《传递现象导论》在 90 年代初、中期相继出版是这一思路的产物。

80 年代以来,我有机会结识了高分子学科领域的一些学者和朋友,加上工作上的需要迫使我学习这方面的知识,从而对聚合物材料及其加工有粗浅的了解,并认识到传递现象的原理及方法在聚合物加工中有广泛的应用。从学习聚物流变学入手,进一步阅读聚合物加工有关书刊,在将近二十年的时间里积累了一些资料,时断时续地写下了一些学习记录和心得。于是产生一种愿望将这些资料整理出来,用“聚合物加工中的传递现象”的名义出版,这一设想得到了中国石化出版社领导和编辑同志的理解。

目前,世界合成高分子材料的产量已超过 1.4 亿吨,其体积超过钢铁产量的总和。研究高分子材料加工的重要性是不言而喻的。50~60 年代经典的化学工程刊物,登载着不少聚合物加工过程分析和计算的论文,70 年代聚合物工程类刊物相继创刊,二者似乎“分流”,近十多年著名化学工程刊物登载的聚合物工程(含聚合及加工)方面的论文在“回升”,化学工程和材料科学与工程相结合已是一种发展趋势。

由于计算数学和计算机技术的发展及普及,数学模型与数值模拟的研究方法日益成为工程技术发展必不可少的工具,几何结构复杂、多相、非等温、伴有化学反应等复杂过程的计算分析逐渐成为可能。聚合物加工过程的数学模型与模拟迅速发展,加工过程的专用软件已经成为商品,软件开发已是一种产业。推广计算机辅助设计和开发已经是国家的产业政策。在上述种种背景下我感到,在传递现象的教学、研究中,强调物理分析固然是必要的,但视数学处理(含方程建立,简化求解等)为畏途,从而加以回避的状况也应有所改变。

基于这些思考,本书的基本出发点是,将化学工程学科中传递现象的原理、方法与聚合物材料加工相结合,贯穿全书的主线是,论述加工问题、简化工程处理方法,建立加工过程的物理模型和数学模型,介绍基本算法,分析计算结果。本书的基本特点是:

(1) 物理分析与数学处理并重 从聚合物特性、几何结构因素、操作参数三方面,分析加工过程特点、性能影响因素以及重要的实验观测结果,在物理分析和物理事实的基础上,进行数学处理,建立繁简程度不同的数学方程,并进而给出求解的基本方法和途径、解析方法、数值法、量级比较和相似类比等。不回避数学方程,但力求层次分明、线条清晰,删节过分繁杂的推演。

(2) 经典理论与近代发展相结合 阐述聚合物系传递理论及加工过程的理论、模型和方法,遵循历史发展,以经典的、相对成熟、广泛应用的理论为重点,适当介绍近年来的发展。

三种传递现象的探讨,以流体流动(动量传递)为先导和重点,兼顾传热、传质和加工过程中的反应特性。对常用加工操作花费较大篇幅,对正在发展的新技术也简单提及。

(3) 共性规律为主,兼顾制品的特性 本书探讨聚合物加工基本原理、传递过程的共性规律。而不同加工方法,不同的制品是各有特点的,这些在本书中难以有详尽的分析。鉴于实际问题的解决必须将共性与特性结合,本书在相关部分简要指出了一些聚合物制品的特点,以期能更好地运用聚合物加工的基本规律。

全书共九章,第一章是总纲,简述典型聚合物制品的生产方法,借以认识不同制品的特性,通过分析不同制品的加工过程,确立本书的基本内容及研究聚合物加工的基本方法。第二章是传递现象基本原理的概括,对已熟悉传递原理的读者是温习,对不很熟悉的则是入门。第三、四章是聚合物系的传递,包括流变特性与传递特性以及流动、传热与传质。第五至第九章分别讨论主要加工单元操作中的传递现象,依次是挤出、注射、压延和吹塑。纺丝没有作为单独的章节,但在第一、三章中有简要分析。全书虽然没有分上、下篇,但实际前四章是不同聚合物系的传递现象,后五章是不同加工过程和设备中的传递现象。可以认为前四章是基本原理,更强调共性,后五章是应用,兼顾了过程和制品特性。两部分相互关联,但可以分别使用。为有助于理解基本原理和计算方法,本书选编了若干例题。

本书提供了两类参考文献,一类是本书编写中参考、引用的基本书刊,以编号方式给出;另一类是专题参考文献,是值得进一步深入参阅的资料,以文献作者名义给出。

本书部分章节曾在华东理工大学高分子材料专业、化学工程专业中试用过。

本书撰写过程中,一直得到曹丽芳同志的支持和帮助。李铭、赵文忠、王良生等参与了文献查阅、例题编写,以及有关内容的分析、讨论、制图、打印等多项工作。

北京化工大学朱复华教授和他的学生郭奕崇博士审阅本书的第五、六章,提出了许多有益的意见,并提供了有关他们研究工作的大量珍贵资料。丁浩教授审阅了本书第七章,提供了许多重要的修改意见。

对于许多同志和朋友的帮助、鼓励和支持,作者表示衷心的感谢。

由于作者缺少聚合物加工方面的研究和教学经验,书中会有谬误和不妥之处,恳请读者批评指正。

戴千策

1998. 11. 5

目 录

第一章 聚合物加工方法及其工程分析	1
第一节 聚合物制品的生产方法.....	1
一、塑料管.....	1
二、汽车塑料部件.....	5
三、合成纤维成型.....	8
第二节 聚合物加工过程分析	10
一、聚合物特性与聚合物加工	10
二、聚合物加工的基本步骤	12
三、聚合物成型方法	14
四、加工单元操作	17
五、聚合物加工中的传递现象	17
第三节 聚合物加工中传递现象的数学模型和模拟	20
一、数学模型方法	20
二、聚合物加工过程模型化	24
三、计算机技术在聚合物加工中的应用	25
第四节 聚合物加工中传递现象的实验研究——可视化技术的应用	26
一、可视化技术的基本原理	27
二、可视化方法在研究聚合物加工中的应用	28
第二章 牛顿流体传递特性	30
第一节 传递现象机理	30
一、分子传递	30
二、对流传递	34
三、对流传递的简化处理——传递系数	35
第二节 传递现象基本方程组	36
一、动量传递微分方程组	36
二、热量传递微分方程(能量方程)	39
三、质量传递微分方程(扩散方程)	40
四、定解条件	41
第三节 简单流场的流动特性	42
一、压力流	43
二、拖曳流	45
三、组合流动	48
四、极慢运动	49
五、润滑近似	53
六、边界层近似	55

第四节 简单流场中的传热	56
一、传热过程的无因次数	56
二、关于热量传递中边界条件的讨论	57
三、管内层流传热	60
四、变物性传热	64
第五节 扩散与物质传递	65
一、扩散现象的进一步分析	66
二、层流物质传递	68
第六节 简单流场模型的应用	70
第三章 聚合物系的传递现象(一)	73
第一节 聚合液体的剪切粘性	73
一、非牛顿流体粘性	73
二、非牛顿流体本构关系的经验表达式	74
三、影响粘度的其它因素	76
四、液晶聚合物的流变性	80
第二节 广义牛顿流体等温流动	81
一、压力流	81
二、拖曳流	84
三、组合流动	85
第三节 聚合液体的粘弹性行为	90
一、粘弹性流体的异常行为	91
二、粘弹性流体的物质函数	97
三、线性粘弹性流体的本构方程	98
四、弹性行为表征的无因次数群	99
五、粘弹现象和聚合物加工	100
第四节 拉伸粘度与拉伸流动	101
一、典型拉伸流动	101
二、聚合液体的拉伸粘度	103
三、拉伸粘度增长曲线	103
四、聚合物加工中的拉伸流	104
第五节 聚合物系混合	106
一、混合物的均匀性	106
二、混合机理	111
三、混合理论	111
四、混合理论应用——混合工艺与设备问题	126
第四章 聚合物系的传递现象(二)	128
第一节 聚合物的导热系数	128
一、固体聚合物导热	128
二、聚合物熔体的热传导	130
第二节 无变形聚合物中的温度分布	131

一、半无限大物体导热·····	131
二、有限厚物体的导热·····	136
第三节 聚合液体的对流传热·····	139
一、常物性幂律流体传热·····	139
二、粘性加热·····	143
三、变物性对流传热和非等温流动·····	150
四、聚合液体管内层流传热的实验研究·····	151
第四节 伴有相变的聚合物系传热·····	153
一、静态一维固化·····	154
二、伴有固化现象的牛顿流体管内流动·····	155
三、伴有固化现象的管内幂律流体流动·····	159
第五节 聚合物系中的分子扩散·····	163
一、聚合物系中低分子物质的扩散·····	164
二、聚合物熔体中聚合物-聚合物扩散·····	167
三、聚合物系扩散系数的预测·····	167
四、聚合物系非费克扩散·····	168
第六节 简单几何条件下聚合物系的传质·····	170
一、无变形聚合物系中的浓度分布·····	170
二、薄膜传质·····	172
三、气泡传质·····	174
第五章 挤出过程中的传递现象(一)·····	179
第一节 单螺杆挤出机的结构、作用原理与性能·····	179
一、螺杆的几何结构·····	179
二、单螺杆挤出的作用原理·····	180
三、单螺杆挤出机的性能特征·····	181
第二节 单螺杆挤出机中的流动与传热·····	185
一、匀化段螺槽中的流动·····	185
二、挤出过程传热分析·····	196
三、挤出机中的固体输送·····	206
四、单螺杆挤出机数值模拟·····	210
第三节 挤出口模中的熔体流动与传热·····	214
一、聚合物熔体通过渐缩口模的压降·····	215
二、锥形收缩流的流动分析·····	216
三、衣架式口模中的流动与传热·····	218
四、螺旋芯棒式口模中的流动与传热·····	223
第四节 单螺杆挤出机中的混合·····	231
一、单螺杆挤出机的混合·····	231
二、新型混合元件·····	233
第六章 挤出过程中的传递现象(二)·····	244
第一节 双螺杆挤出机中的熔体流动特性·····	244

一、单螺杆与双螺杆挤出机的比较·····	244
二、啮合异向旋转双螺杆挤出机中固体物料的输送与熔体流动特性·····	247
三、啮合同向旋转双螺杆挤出机中的熔体流动·····	256
四、非啮合异向双螺杆挤出机·····	271
第二节 双螺杆挤出机中的混合·····	274
一、啮合异向旋转双螺杆中的混合·····	274
二、啮合同向旋转双螺杆挤出机中的混合·····	276
三、非啮合异向旋转双螺杆挤出机中的混合·····	282
第三节 双螺杆挤出机的传热·····	283
一、双螺杆挤出机的平均传热系数·····	284
二、双螺杆挤出机中的温度分布——粘附层模型·····	285
第四节 螺杆挤出机中的传质与反应·····	290
一、螺杆脱挥·····	291
二、反应挤出·····	303
第七章 注射成型中的传递现象 ·····	314
第一节 注射成型原理及工艺过程·····	314
一、注射充模过程·····	314
二、注射成型工艺·····	315
三、注射模基本结构·····	316
四、充模流动的实验观察·····	317
第二节 注射成型中的熔体流动与传热·····	318
一、浇注系统中的熔体流动与传热·····	318
二、熔体充模流动分析·····	328
三、模腔保压、冷却过程中的传递现象·····	341
四、注射模冷却系统设计优化·····	347
第三节 注射过程中聚合物结构发展·····	352
一、结晶现象·····	352
二、取向效应·····	359
三、残余应力·····	364
四、熔合缝·····	365
第四节 反应注射成型·····	365
一、RIM 混合室中对撞混合·····	366
二、反应注射成型中的充模·····	370
三、反应注射成型中的熟化·····	373
第八章 压延过程中的流动与传热 ·····	378
第一节 压延成型工艺·····	378
一、聚氯乙烯薄膜生产工艺·····	378
二、压延机的基本结构·····	379
三、压延过程特征及辊隙间的基本流型·····	379
四、影响压延成型过程的主要参数·····	381

第二节 压延等温流动.....	383
一、牛顿流体流动.....	383
二、假塑性流体流动.....	386
第三节 压延过程中的传热分析.....	388
一、模型方程.....	388
二、计算结果及其与近似计算的比较.....	390
第九章 吹塑成型中的动量与热量传递.....	395
第一节 吹塑成型工艺及装置.....	395
一、薄膜吹塑成型.....	395
二、中空吹塑成型.....	396
第二节 吹塑成膜过程中的传递特性.....	398
一、薄膜吹塑过程分析.....	398
二、吹塑薄膜流动与传热.....	404
三、薄膜吹塑过程的空气动力学.....	410
第三节 中空吹塑过程分析与模型研究.....	416
一、吹塑过程中型坯的形成.....	416
二、型坯吹胀.....	420
主要符号表.....	428

第一章 聚合物加工方法及其工程分析

合成聚合物主要包括塑料、橡胶和纤维，通称为三大合成材料。近几十年来迅速发展，以体积计，其总产量在 70 年代末期就已超过金属，不久，按重量计亦将超过金属。但聚合物作为一种工程材料，并不能与金属相比，缺乏强度，硬度，呈现依时性行为，可用的温度范围有限。但亦有其突出的优点，廉价，加工方便。性能上的缺陷，往往可通过各种添加剂而得以克服。这种情况表明，聚合物材料能够广泛应用是与其加工方法密切联系的。因此聚合物加工方法的研究与聚合物材料的开发具有同等重要的地位。

由于近年来通过聚合物改性获得的新材料，远远超过通过合成新树脂所得到的新材料，而改性的实施往往依赖于某种加工过程和设备，所以不难理解，聚合物加工在高分子材料工业中的地位更为突出。

本书着重讨论聚合物加工的基本原理、计算与实践，旨在探讨加工的共性规律，而非论述某种特定树脂的加工方法与机械；力求通过分析，理解加工过程，既不企求复杂、严格的数学处理，亦不满足于完全的经验规则，而是希望在两者之间寻求某种“妥协”。

第一章是本书的总纲，在这一章，基于对本书的上述思考，借助于化学工程中分析与综合的基本观点，以及化学工程的几个主要学科分支所阐述的若干基本理论和方法，在介绍典型聚合物制品生产方法的基础上(第一节)，作聚合物加工过程的分析(第二节)，最后探讨聚合物加工的研究方法，主要是数学模型法(第三节)和实验观察法(第四节)，并对聚合物加工中的计算机技术，给予简要的介绍。

第一节 聚合物制品的生产方法

聚合物制品种类繁多，分布在国民经济的许多行业中，以塑料制品为例，其消耗量的分布见图 1-1。这些制品中占有突出地位的是化学建材和汽车塑料，其它如电器外壳、包装材料、日用消费品等属重要聚合物制品。

聚合物制品生产是将聚合物原料转变成制品的加工过程，包括成型、机械加工、修饰和装配等环节。成型是制品的基础，生产不同制品，采用多种方法。这一节将就几种制品如管道、汽车塑料零部件、合成纤维等，对其典型的生产流程、设备及工艺作简要论述。

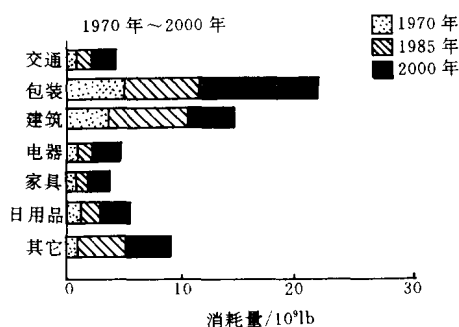


图 1-1 塑料消耗增长

1lb≈0.4536kg

一、塑料管

塑料管是以合成树脂为原料制备的管材，它具有质轻、价廉、耐腐蚀、易施工等优点，广泛用于输水管、电缆套管、燃气管以及工业管道等。使用温度低温可达 -20~30℃，高温通

常可达 80~100℃，特殊可达到 150℃以上；使用压力小于 1MPa。塑料管径从数毫米至 1600mm 以上，壁厚可达 60mm。

塑料管道用挤出法生产^[1]，所用聚合物以聚氯乙烯和聚烯烃为主，其余如 ABS、聚碳酸酯等。

1. 聚氯乙烯管

在塑料管材中产量居第一位，按是否添加增塑剂有硬质和软质之分，此外还有轻型和重型之分。常温下轻型管使用压力为 0.6MPa，重型管为 1.0MPa。

硬质 PVC 管材挤出的生产线如图 1-2。

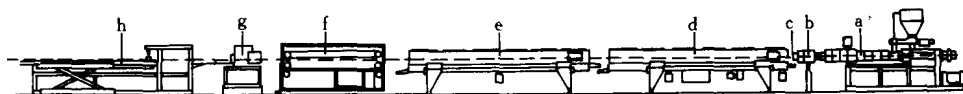


图 1-2 硬质聚氯乙烯管生产线

a—双螺杆挤出机；b—机头；c—定型口模；d—真空定径；
e—冷却槽；f—牵引机；g—切割机

一定组成的 PVC 物料从料斗中加入，经螺杆挤出机及主机头挤压成管状，接着经过定径和冷却后成为一定直径的管材，由牵引装置引出，并根据规定长度切断，而得到所需产品。

(1) 物料配制 几乎所有塑料生产需经配料，聚合物大分子中加入若干种小分子添加剂，小分子与大分子相互作用。不同聚合物，不同的最终使用目的，配料复杂程度有很大差异。

配料的任务就在于，依据制品的使用要求，选择聚合物(树脂)品种、各种添加剂及其含量，形成配方。典型硬 PVC 管的配方包括 PVC、稳定剂和内、外润滑剂等(参见表 1-1)。选定组成并经混合设备，完成物料配制。

表 1-1 硬质通用聚氯乙烯管配方^①

组 成	份 数	组 成	份 数
硬聚氯乙烯树脂	100	硬脂酸钙	1.2
三碱式硫酸铅	4	石蜡	0.8
硬脂酸铅	0.5	硫酸钡	10

① 本表取自蓝风祥等编：聚氯乙烯生产与加工应用手册，化学工业出版社，1996。

(2) 加工机械 管道生产的主要设备是挤出机，其类型与规格的选择甚为重要，PVC 挤出常用异向排气双螺杆。管道配方不如型材配方对剪切敏感，转速可以快些以提高产量，但相应地要求较长的机筒，以提供更多的热量。与加工聚烯烃相比，PVC 产量通常低得多。管材大小(kg/m)与挤出机大小(挤出机适宜排出量)之间有一定关系。

依据聚合物特性、制品类型、产量，可以选择适宜的挤出机，并确定螺杆的结构参数。不同树脂的螺杆选择参见表 1-2，作为对比，表中同时给出了型材挤出用双螺杆挤出机的特征。

熔融物料在挤出机机筒中螺旋运动，需转变为直线运动，并具备足够的压力，才能导入口模，形成管道，亦即通过挤出模具(机头)成型。

表 1-2 双螺杆挤出机特征数据

	螺杆直径/mm	螺杆长度 L/D	转速范围/(r/min)	驱动功率/kW	比能量/(kWh/kg)
管材双螺杆挤出机	60~70	18~22	35~50	15~25	0.10~0.14
	80~90	18~22	30~40	28~40	0.10~0.14
	100~110	18~22	25~38	58~70	0.10~0.14
	120~140	18~22	20~34	65~100	0.10~0.14
型材双螺杆挤出机	45~55	16~18	35~40	10~16	0.12~0.14
	60~70	16~18	30~40	16~20	0.12~0.16
	80~90	16~18	20~30	20~28	0.12~0.16

管材机头主要部件包括过滤网、多孔板、分流锥、芯模和口模以及机头体等。参照成型塑料及其加工工艺特性,选择机头类型和结构。

口模是具有一定截面形状的通道,是成型管线外表面的部件,分收缩段和平直段两部分(图 1-3),收缩角和平直长度有重要意义。芯棒是成型管材内表面的机头零件,其结构如图 1-4,亦具有收缩段和平直段。口模平直段和芯棒平直段构成管材成型段。

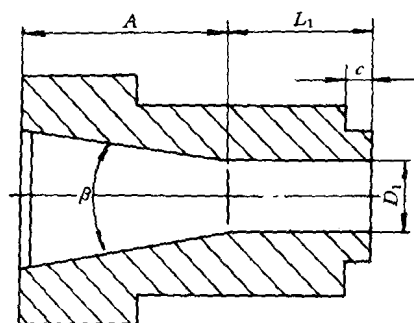


图 1-3 口模

A —收缩段; L_1 —平直部分;
 c —与水套配合段; β —收缩角; D_1 —口模内径

(3) 成型工艺 管材成型工艺依照配方、设备(挤出机)和模具(机头)三者协调的原则确定,被加工聚合物的特性以及所生产的管道的规格则是制定成型工艺的基础。使用不同塑料挤出成型管材时,工艺参数有

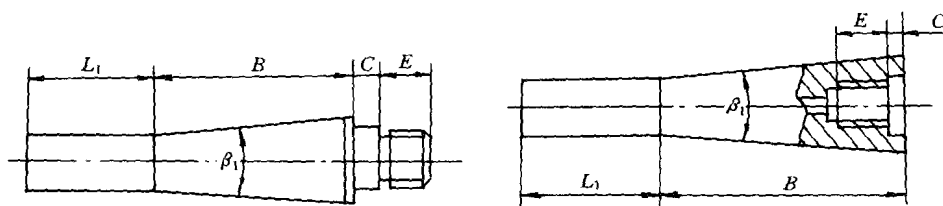


图 1-4 芯棒

L_1 —平直部分; B —收缩段; C —定位段;

E —连接段; β_1 —收缩角

很大不同;同一种塑料,管道规格不一,工艺参数往往也需要作适当调整。

管道规格主要由管外径、内径、壁厚确定(有时包括长度)。工艺条件则涉及温度(机筒温度、机头温度、口模温度)、压力、螺杆转速、停留时间等。硬、软聚氯乙烯管的成型工艺条件参见表 1-3。

表 1-3 几种塑料管材的挤出成型工艺条件^①

工 艺 条 件	塑 料 管 材		
	硬聚氯乙烯	软聚氯乙烯	低密度聚乙烯
管材外径/mm	95	31	24
管材内径/mm	85	25	19

续表

工 艺 条 件		塑 料 管 材		
		硬聚氯乙烯	软聚氯乙烯	低密度聚乙烯
管材壁厚/mm		5±1	3	2±1
机筒温度/℃	后段	80~100	90~100	90~100
	中段	140~150	120~130	110~120
	前段	160~170	130~140	120~130
机头温度/℃		160~170	150~160	130~135
口模温度/℃		160~180	170~180	130~140
螺杆转速/(r/min)		12	20	16
口模内径/mm		90.7	32	24.5
芯模外径/mm		79.7	25	19.1
稳流定型段长度/mm		120	60	60
拉伸比		1.04	1.2	1.1
真空定径套内径/mm		96.5	—	25
定径套长度/mm		300	—	160
定径套与口模间距/mm		—	—	—

① 本表取自曹宏深、赵仲治编：塑料成型工艺与模具设计，北京：机械工业出版社，1993。

从口模挤出的管材型坯，还具有相当高的温度。为使管坯成为管材，必须及时定型、冷却，这无论对于尺寸的准确性，还是对于管壁中的应力都有重要意义。定型通常用定径套完成，其原理是借助于内压或真空，在管内外压差的作用下，使管外壁紧贴于定径套的内壁，完成定型。

定径与冷却同时进行，通常为水冷，使表层先凝固再进入冷却水槽进一步冷却定型。最先冷却表面附近受压缩应力，后来冷却表面附近受拉伸应力。外径定径过程中外壁先冷却，是压缩应力而内壁受拉伸应力。内径定径正好与此相反，当管道受内压时，对内径定径，管内壁所受拉应力和压应力可部分抵销，使整个管壁应力较为均匀。

内径定径可以改善管壁应力分布，但因其结构较复杂而仅限于某些特定情况下使用。

冷却装置为冷却水槽或喷淋水箱。冷却速度是限制管道生产线生产能力的主要因素，所以需有足够的冷却长度。严格控制水温，借以调节冷却强度。水流与料流反向，使温差较为均匀，也避免急剧冷却所造成的过大的内应力。

管道的牵引速度影响管壁厚度，必须使其与挤出速度相匹配。牵引速度太大，会使管壁变薄，还可能导致大分子取向。牵引速度太小，使管壁增厚，甚至物料在口模内壅积。一般牵引速度比挤出速度大1%~10%。常用牵引装置有滑轮式和履带式。

2. 聚烯烃管

聚烯烃管包括低密度聚乙烯、线性低密度聚乙烯、高密度聚乙烯以及聚丙烯管。聚乙烯管相对密度小，强度与质量比值高，脆化温度低，低温性能好，可用于城市燃气、天然气输送以及饮用水管等，是很有发展前途的塑料管材。

聚烯烃管的生产线类似于图1-2，配方示于表1-4。聚烯烃挤出常用单螺杆挤出机。机头为直角式，即机头的轴线与物料挤出方向成一定角度，90°或45°。关于成型工艺条件已在表1-3中给出，下面进一步作些说明。

原料聚乙烯熔融指数为 0.3~2.0，太小，难以挤出；太大则管材不易定径。挤出温度取决于熔融指数。HDPE 挤出温度高于 LDPE。聚乙烯对剪切敏感，一般可控制螺杆转速在最大速度的 2/3。LDPE 和 HDPE 冷却速度不同，LDPE 应缓慢冷却，HDPE 需迅速冷却。

表 1-4 聚烯烃管配方^①

组 成	份 数	组 成	份 数	组 成	份 数
LDPE	100	抗氧剂	1010	PbSt	0.8
DLTP	0.5	HDPE	100	炭黑母料	0.8
CaCO ₃	50	CPE	100		

① 本表取自段予忠、徐凌秀编：塑料配方设计及应用，中国石化出版社，1995。

二、汽车塑料部件

随着汽车向着轻量、安全、节能方向发展，塑料在汽车材料中的地位日益重要，不仅是内饰件，而且有一些承重部件亦采用塑料和复合材料。汽车零部件由于其种类繁多，几何形状复杂，成型方法不一，例如真空模塑制备仪表板，浇铸发泡生产坐垫，反应注射成型生产方向盘。但多数零部件以普通注射法成型，注射制品约占所有塑料制品总量的 30%，由此可见其重要性。现以保险杠和方向盘作为实例，阐述普通注射法和反应注射法^[2,3]。

1. 轿车保险杠

保险杠可部分吸收碰撞能量，是轿车不可缺少的部件。目前大多数保险杠由弹性体改性的聚丙烯注射成型。

(1) 保险杠专用料 适宜制作汽车保险杠的聚丙烯材料必须具有超高冲击强度，常温下最低要在 400J/m 以上，低温下要在 50J/m 以上，而普通的 PP 冲击强度常温下最高也只得 50J/m，必须经过改性才能使用。主要采取三种方法：经过分子量调整的聚丙烯与 EPDM 共混；丙烯-乙烯嵌段共聚物/聚烯烃热塑性弹性体共混；通过气相本体聚合，直接由聚合反应器产生出橡胶相含量高的耐冲击 PP 树脂与 EPM 共混。

(2) 注射生产线 注射成型工艺过程如图 1-5，包括塑化计量、注射充模、冷却定型、脱模等几个阶段，主要硬件有模具、注射单元、启动和关闭模具的执行机构。

在挤出机中树脂熔融、塑化、计量；螺杆前端熔体累积；通过喷嘴经流道、浇口充入模腔；模腔关闭、冷却、固化、脱模。为节省循环时间，有些操作可能同时进行。

(3) 主要设备 注射机是注射成型的主要设备，通常分为柱塞式和螺杆式两类。

螺杆式注射机与螺杆挤出机结构相似，但挤出机在注射成型中的作用与挤出成型中的不完全相同。挤出时，熔体以连续方式送入口模；而注射时，熔体是间歇地注入模腔。因此挤出机的螺杆必须既具有旋转又具有往复运动，从而具备活塞的功能。

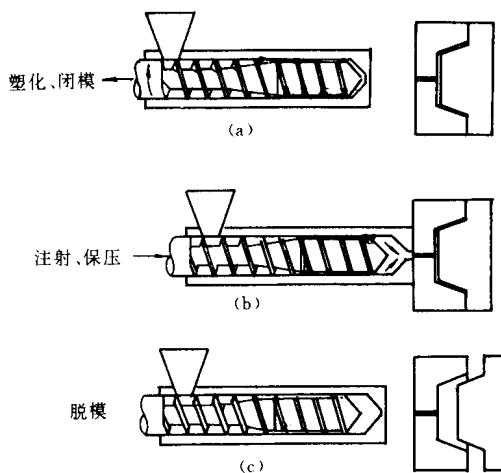


图 1-5 注射成型循环

由于保险杠复面的横向尺寸比较大(长度可达1.5m,而厚度仅4mm左右),因此要求注射机具有比较大的模板尺寸,以便于安装、固定模具及保证整个分型面上能受到均匀的锁紧力。保险杠复面的净重仅3~4kg,注射机塑化装置不宜选得过大,以免物料在高温下停留时间过长。

注射模具分为动模和定模两大部分。注射时动模与定模闭合构成模腔和浇注系统,开模时动模与定模分离,取出制件。定模安装在注射机的固定模板上,对典型注射模具,根据模具上各部件的作用,可细分为浇注系统、成型零件和结构零件三部分。浇注系统(图1-6、图1-

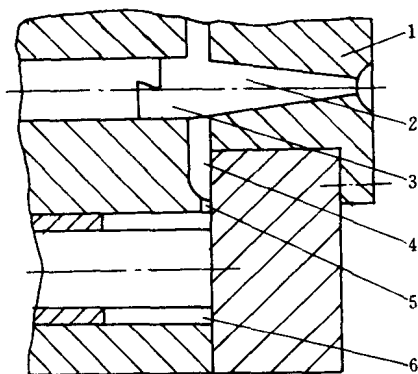


图 1-6 卧式注射机用模具的浇注系统

1—主流道衬套；2—主流道；3—冷料井；
4—分流道；5—浇口；6—型腔

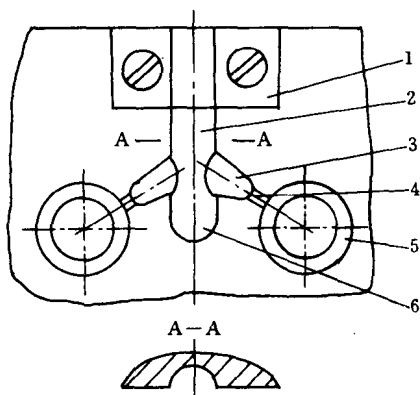


图 1-7 角式注射机用模具的浇注系统

1—镶块；2—主流道；3—分流道；
4—浇口；5—型腔；6—冷料井

7)是指熔体从喷嘴进入型腔前的流道,包括主流道、分流道、浇口等。成型零件即构成制品(保险杠)的各种零件,包括凸模(成型制品的内部形状)、凹模(成型制品的外部形状)、型芯、排气孔等。结构零件指构成模具结构的各种零件,包括执行导向、脱模、抽芯、分型等动作的各种零件。

模具设计的依据是充模流动行为以及聚合物结晶特征。保证固化前完全充满模腔,脱模后制品无残余应力,尺寸稳定。为使制品质量一致,无翘曲,需正确布置冷却通道。充模压力通常在 100MN/m^2 ,可以高达 200MN/m^2 ,注射速率为 $3 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ 或更高。

(4) 工艺参数 影响制品性质的主要参数涉及熔体温度和模具温度、注射速率和压力、保压及冷却时间、模腔中聚合物 T_g 以上的“作业时间”。

参考工艺数据:螺杆转速43r/min,模具温度 $31 \sim 35^\circ\text{C}$,成型周期117s。

2. 驾驶盘 汽车驾驶盘早期用普通注射法,现在则采用反应注射成型法。它将聚合反应和成型加工在一个工艺过程中完成,因而具有能耗低,投资费用小,操作方便等优点。

制造驾驶盘的化学体系属聚氨酯系统,整个过程示于图1-8。

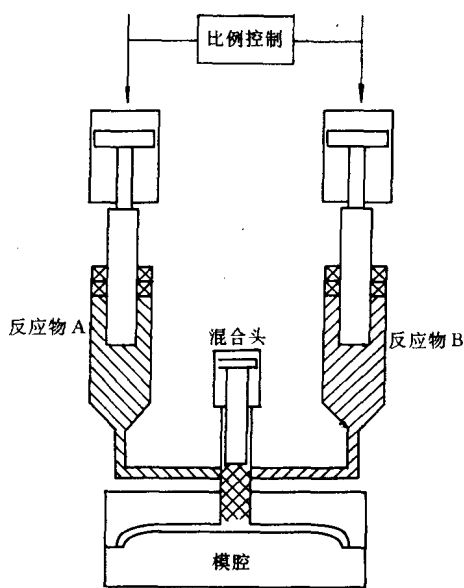


图 1-8 反应注射成型机简图

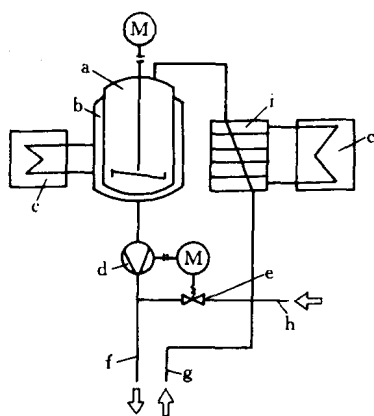


图 1-9 反应物料混合与温度控制
a—储料槽；b—夹套；c—加热冷却器；
d—加料泵；e—降压阀

(1) 成型物料准备 聚氨酯反应注射成型物料，一为醇相(A 组分)，包含多元醇、扩链剂、催化剂及其添加剂；另一为酯相(B 组分)，主要为异氰酸酯。改变扩链剂、催化剂的种类和含量可控制反应体系的活性，具有不同的反应动力学和流变性质。

物料准备的流程如图 1-9，主要包括：

混合：辅助组分加入主要组分；

调温：温度控制和组分均匀；

运输：传送物料至计量泵。

温度是最重要的参数，在通常的加工温度 $20\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间，多元醇粘度随温度急剧变化，温度的任何改变将导致粘度显著变化，并由此而影响计量的准确性，影响压力、密度、通气以及反应物料的活性，所以有必要非常精确地控制温度。

(2) 反应物料撞击混合 两组反应物料迅速混合均匀，这是制品质量控制的关键。混合以撞击射流方式在混合室中完成。混合室的基本结构如图 1-10，所包含的部件及其功能如下：

转向器 a：一组阀门，使物料从循环转向混合；

进料口 b：孔口或喷嘴使物料获得所期望的速度，约 150 m/s ；

混合室 c：反应物料在其中相互接触，其体积与产量有关，约 $0.1\sim 10\text{ cm}^3$ ，最小产量近似为 $30\text{ cm}^3/\text{s}$ ，高产量可达 7 L/s 。反应组分停留时间约千分之几秒；

节流口 d：控制混合室的压力；

稳定器 e：通过扩散管、浇口及折流板使反应混合物呈层流状态。

物料混合质量主要受初始动量、动量比、粘度及混合室结构等因素影响，在第六章将作进一步分析。

(3) 充模成型 反应混合物经节流装置离开混合室，排出模腔中的空气，呈层流状态进入模腔，无飞溅或旋涡形成，注射速度在 $0.5\sim 3\text{ m/s}$ 之间，在速度从混合室中的 $10\sim 50\text{ m/s}$ 降至注射速度过程中，无空气吸入反应混合物中。注入开始时，出口系统中的空气不应在反应混合物中形成气泡。除要求注入速度低，避免流动分离外，在出口系统和浇口所停留的物料应尽可能少。

流入模腔的物料温度约 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，模腔温度为 $60\sim 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，脱模时间 $20\sim 30\text{ s}$ 。

(4) 固化定型 由于反应物的活性高，两种单体混合，进入模腔并具有模腔型样后，可在很短时间内完成固化定型。从模内顶出制品的适宜时间，由制品取得足够的强度和刚度所需固化时间决定。

驾驶盘从模腔取出后，往往还需静置一段时间，以进一步熟化。

对反应注射成型(RIM)和普通注射成型(TIM)作简单比较，见表 1-5。

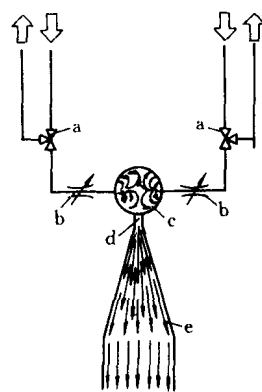


图 1-10 碰撞射流混合器

表 1-5 反应注射成型与普通注射成型的比较

成型方式	RIM	TIM	成型方式	RIM	TIM
温度 物料/℃	40	200	注射压力/MPa	10	100
模腔/℃	70	25			
物料粘度/Pa·s	0.1~1	$10^2 \sim 10^5$	锁模力/MPa	0.5	30

上述比较表明, RIM 成型温度低, 压力小, 需较小的锁模力。

三、合成纤维成型

化学纤维的形成过程一般称为纺丝。代表性的纺丝方法有熔融、干法、湿法^[4]。三大合成纤维中的聚对苯二甲酸乙二酯(涤纶)和尼龙采用熔融纺丝, 熔融困难的聚丙烯腈(腈纶)采用干法和湿法纺丝。

1. 熔融纺丝

熔融聚酯在保持其熔点的温度下, 通过齿轮泵增压, 经过滤器从纺丝组件的喷丝板细孔中挤出, 冷却成为丝状固体, 以一定速度卷取而制得纤维。

(1) 纺丝组件 由加热金属部件组成, 包括过滤器, 喷丝板等。由高精度的齿轮泵计量后的熔体送入过滤器, 除去杂质, 以免引起断丝和疵点, 并应尽量减少由于过滤残留物所造成的压力升高。过滤器通常为烧结金属片或金属丝网, 金属丝网几乎全部用作其它填充物的承载体。

过滤净化后的熔体经一定空间(称为均化室)即进入喷丝板, 喷丝板的结构如图 1-11, 入口锥角 $20^\circ \sim 40^\circ$, 孔口长度与孔口直径比 $L/D \approx 1.3$ 。纺制长丝时喷丝板的孔数几个到几十个; 纺制短丝时, 从几百个到几万个。必须严格控制钻孔精度, 同时要保证各细孔内聚合物温度相等; 一般喷丝板温度与聚合熔体特性有关, 如聚酯控制在 $270 \sim 300^\circ\text{C}$ 之间。若温度过高, 会引起热降解; 过低则引起不稳定流动, 纺丝不能进行。

(2) 冷却体系 从喷丝板出来的热丝条, 借助气流的冷却作用而凝固。冷却方法有两种: 气流与纤维垂直的错流冷却; 气流与纤维平行的并流冷却。

错流冷却方式如图 1-12, 预先冷却到一定温度、湿度的空气被导入气流分配室 A, 整流成垂直于热丝条的方向, 并经均流网层 E 流化, 均流网是由许多小孔的孔板或由细孔筛网组成。平行于丝条运行轴向设置两块平板 P, 用于导引气流, D 为排烟环, R 为气流调节器。

轴向冷却方式的困难在于冷却气流的导入, 其结构如图 1-13, 空气从两个以上的导管引入, 保证主圆形通道中有良好的气流分布。

2. 溶液纺丝

以含适当溶剂的成纤高分子溶液作为纺丝原液, 即为溶液纺丝, 这是历史上最先采用的纤维成型方法, 它分干法和湿法。干法是高分子溶液从喷丝孔挤入加热气体中, 使溶剂蒸发而凝固的过程。湿法是高分子溶液从喷丝孔挤出, 进入凝固浴中, 然后进行脱溶剂或伴有化学反应的脱溶剂而凝固成纤维的过程。

溶液纺丝与熔体纺丝的重大差别在于, 离开喷丝板毛细孔道的聚合物细流中有溶剂存在,

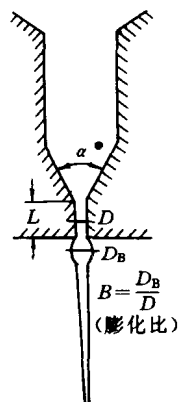


图 1-11 喷丝板
喷丝孔

D —孔口直径; L —孔口长度; D_B —吐丝条的最大直径; α —导入部角度