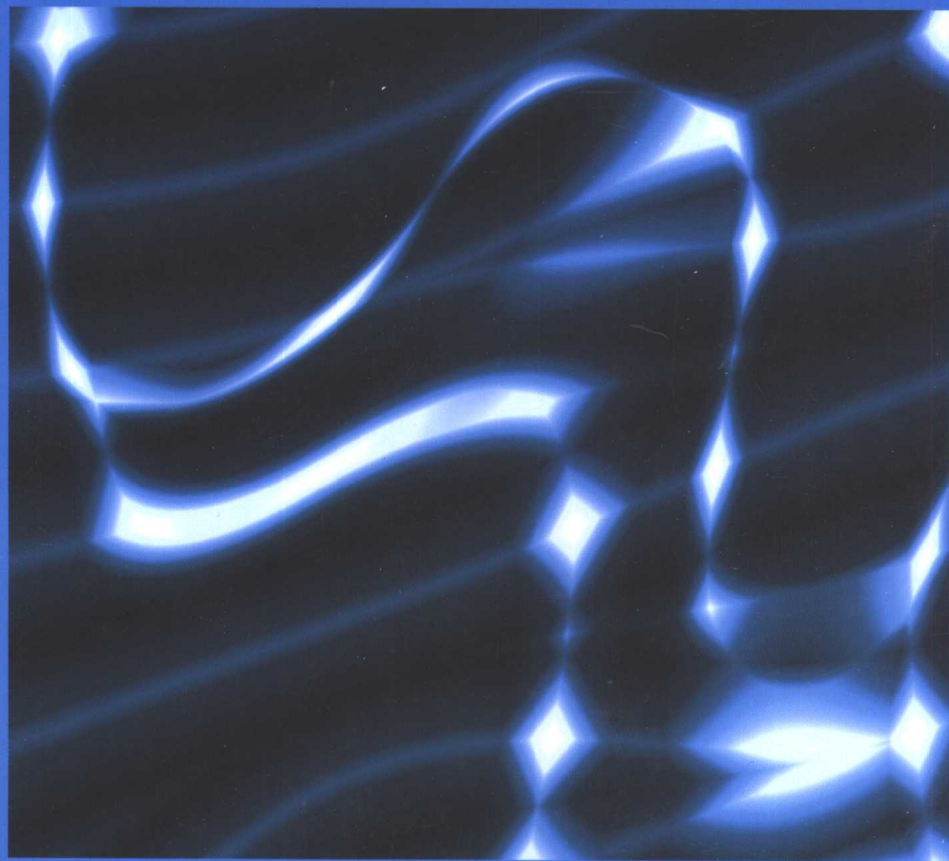


聚合物加工 设计与原理

[美] D.G.贝尔德 主编
[美] D.I.科利斯 等译
西 鹏



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

聚合物加工设计与原理

[美] D. G. 贝尔德 主编
[美] D. I. 科利斯
西 鹏 等译

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

聚合物加工设计与原理/[美] 贝尔德 (Baird, D. G.),
[美] 科利斯 (Collias, D. I.) 主编; 西鹏等译. —北京:
化学工业出版社, 2003. 12

书名原文: Polymer Processing: Principle and Design
ISBN 7-5025-5074-7

I. 聚… II. ①贝…②科…③西… III. ①高聚物-聚合
过程②高聚物-生产工艺 IV. TQ316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 125362 号

Polymer Processing: Principles and Design/Edited by Donald G. Baird
and Dimitris I. Collias

ISBN 0-471-25453-3

Copyright © 1998 by John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved

Authorized translation from the English language edition Published
by John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体版由 John Wiley & Sons, Inc. 出版公司授权化学
工业出版社独家出版发行

未经出版者许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-7157

聚合物加工设计与原理

[美] D. G. 贝尔德 主编

[美] D. I. 科利斯

西鹏 等译

责任编辑: 龚浏澄 邢 涛

责任校对: 顾淑云

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

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 719 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5074-7/TQ·1885

定 价: 46.00 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

本书主要对热塑性塑料加工设计进行了介绍。它能够满足化学，机械工程以及流体力学，热传递，物料传递的材料工程师的需求。作为参考，本书也适用于大学毕业生。例如：在本书中的第二章和第三章提供了大量成熟的非线性结构方程并使用限定条件的方法对它们进行了论述。

大量的化学，机械工程师就业于聚合物加工厂。他们的主要任务是改善现有的加工工艺或设计一套新的加工工艺，以此来提供聚合物一定的性能指标（如：力学的，光学的，电学的或隔声上的性能）。虽然人们过去经常认为当一种给定聚合物不能满足所需的要求时，一种新的聚合物就不得不被使用。但是，同时给定的聚合物的性质也可以通过加工工艺或加入其他别的材料如：另一种聚合物，填料，玻璃纤维或增塑剂来改善，这已成为一种共识。当然，大量的工作是能通过近似于试、凑的方法进行的。但通过目的在于估计获得理想性能的加工条件的定量设计，从事实验的时间能够显著地减少。然而，工程师们上学期间在聚合物的加工设计方面接触得很少或缺乏训练。部分原因是他们在迁移现象和解答在从事聚合物加工设计中产生的方程所需的数学知识方面没有足够的基础。本书的一个目的是为了扩展专业学生在应用于聚合物加工工艺方面的迁移现象的基础知识。另一方面是向他们介绍数字化模型。

现在已经有若干本类似的以热塑性塑料为重点的聚合物加工工艺的书。人们也许会问本书怎样来满足许多不同的需求或者本书比现在已存在的这方面的书有什么优点？首先我们没有改变现在所教的聚合物加工领域，作为相关理论也没有被改变，然而，我们所做的是使这些资料能够更有效地解决聚合物加工工艺设计的问题。许多时候也许有许多理论能有效地用在一个加工过程的模型上。代替讨论它们不同的研究途径，我们选择我们认为最好的理论（但是指出它的局限和不足），并且说明怎么使用它们来解决设计问题。另一个重要特点是我们为解决这些问题提供了数学工具。在别的书中向学生提供的只是一些方程和它们如何进行解答的描述。这不能帮助人们对在形式上有轻微不同的一些方程进行解答，同时也不能帮助那些需要答案的人。在本书中我们尽最大可能地向学生提供得到一个结论的各种方法。也包括从国际数学和统计学程序库（IMSL）中选择一个子程序，对应用于聚合物加工工艺设计上不同类型的方程进行解答。子程序使用起来相当容易，并且根据这些范例和在附录 D 中给出的每一个子程序的描述，对于一些复杂问题的答案能很快被得到。本书没有全部依靠于使用计算机，但对于一些特定的问题，没有数字化技术的支持是不能解答的。代替详细地研究数字化技术，我们选择用一个“黑盒子”的方式使用它们。然而，如果读者需要了解数字化技术以及一些方程的详细推导过程，则在我们提供的参考文献中能够找到。许多人将批评这个近似，然而在他们表述反对意见的时候，这些方程将被解答，并且答案是恰当的。通过实践，当学生将学会什么的时候其实已产生了答案。

在本书的前五章涉及的是设计聚合物加工工艺所需的基础知识。后五章覆盖了专门的各种类型的加工过程。第一章是对聚合物加工技术的综述，用来帮助读者理解在以后四章中的实例和问题。另外，在第一章的后面介绍了吹塑薄膜的特性怎样强烈地依赖于加工过程的实例研究。在第一章以后的其余的章节都从一个设计问题开始，这个问题能够帮助读者对存在于这一章中的资料进行深入的理解。在第二章和第三章中我们介绍了基本的非牛

顿液体的力学性能。这是聚合物加工设计的关键。在第四章，我们介绍了应用于聚合物体系的质量传递的问题。最后，在第五章我们讨论了聚合物加工过程的非等温现象、加工过程、结构之间的相互关系，性能是重点。前面的五章内容囊括了读者需要的全部的基础知识，信息；包括了 IMSL 子程序应用的实例。混料对聚合物的加工过程是非常重要的，以至对于这个题目我们用了一整章即第六章对之进行讲述。在后面几章中我们介绍了与各种加工方法密切联系的要素。我们尽量用类似的格式来组织编写课题的材料。在每章中我们都注意使读者懂得：根据他们自己的理论水平他们能够完成的设计内容。在聚合物加工工艺方面的许多书中对于读者来说他们能够从事哪部分设计是不清晰的。

除了第一章外，每一章中都设有习题。这些习题由四类组成。A 类：这些问题使用在每一章给出的方程或图能够被解答。并且它通常包含有数学变换。B 类：这些问题需要方程式的推导，这有利于加强对一章中主要题目资料 and 知识的理解、吸收。C 类：这些问题需要使用计算机，目的在于指导 INSL 子程序的应用。D 类：这些问题是设计问题，就这点而论，它有许多解法。对它们的解答需要使用前面章节覆盖的内容，但侧重于存在本章中的资料。我们尽量把这些问题与本章的资料结合起来，努力加强理解在本章给定的资料。然而，大部分问题都是以在工厂中能够遇到的情况作为主题。

这本书总体材料需要 45~60 课时。大部分课时依赖于学生的基础知识。其中较深的是在本书的后五章覆盖的内容。在大多数情况下，建议在教授第四章内容之前先教授第五章的材料。因为热传递内容的理解有利于质量传递上的教学。如果仅有 30 课时被用来教授这些材料，那么我们建议删去第四章和第六章的内容。然而这依赖于教师的想法。

在弗吉尼亚综合技术学院和国家大学、布莱克斯博格，本书已被发展成为超出教学之外的一门关于聚合物加工的高水平的课程。在那里，正在对本科化学工程师讲授数字化方法，并正在总结经验。首先，它表明在我们开始教授聚合物加工工艺之前我们需要加强学生对迁移现象方面知识的学习。第二，我们认识到理科工程师需要提供答案，并没有时间得出在各种理论中的全部变化和引起的原因。第三，刚毕业的工程师正逐渐变成计算机能手，与许多教授相比他们更愿意使用计算机。基于心目中的这些愿望，我们试着写了一本聚合物加工方面的书。用此对设计计算提供必要的工具，并确切地告诉学生用手边的这个水平的资料他们能做什么。

如果没有许多人的帮助，我们在写这本书上的努力将不会有成果。首先，D. G. Baird 于 1992 年春季在化工机械部和在弗吉尼亚综合技术大学机械学院以及国家大学在用了一学期作为研究，其成果被用来写成这本书，故特别希望感谢上述单位的同仁。此外，Diane Cannaday 请接受我们最诚挚的感谢，是你对手稿进行了打印，并且承受了连续的改变和更改。感谢将送给 Sylvan Chardon 先生和 Jennifer Brooks 先生，是他们制作了本书中的数据图和图表。许多在聚合物加工小组中的毕业生以各种方式做出了贡献。尤其我们将希望感谢 Gerhard Guenther, Agnita Handlos, Will Hartt, Chris Robertson, Ed Sabol, David Shelby, Paulode Souza 和 Robert Young。

最后，我们将希望感谢我们的家庭，特别是 Patricia 和 Eugenia，感谢她们在我们似乎所有的事情都集中在写这本书期间所表出的容忍和体谅。

Blacksburg, VA

Donald G. Baird
Dimitris I. Collias

译者前言

21 世纪是信息时代和高科技时代，作为社会生产力发展水平的标志，现代科学技术进步的基础，社会经济发展的先导，材料的发展与应用已经成为人们关注的焦点。聚合物高分子材料是材料领域的后起之秀，它的出现带来了材料领域的重大变革。从而形成了金属材料、无机非金属材料、聚合物高分子材料和复合材料多角共存的局面，并广泛用于人类的衣食住行和各个产业领域。同时人们也已经认识到聚合物高分子材料越来越成为普遍应用且不可或缺的重要材料。

现在聚合物高分子材料的发展日新月异，并且逐渐向多功能化，智能化方向发展。随之而来的是：现代科技的发展对聚合物高分子材料加工的要求日益提高。以往只靠经验的加工方式已远远不能满足发展的各应用领域的要求。因此对聚合物高分子材料的加工进行科学的设计，并对其设计原理进行论述和普及非常重要，也势在必行。

以往有关聚合物加工设计方面的书籍大都以枯燥的公式推导和理论论述为主。而本书的着眼点则在于应用，即：使现有的理论更有效地用于解决聚合物材料加工中的问题。在本书中，除了第一章之外，在以后的各章中均以一个实际生产中经常遇到的典型的加工设计实例作为整章的开始，然后在一章中分成几个部分对这个设计问题中所涉及的内容进行论述。同时在各个部分中又列举了许多实例对所讲述的相关理论、假设及公式的应用进行由浅入深的讲解。真正做到理论与实践结合。

本书主要的研究对象是热塑性聚合物。全书分为十章。前五章涉及的是设计聚合物加工工艺所需的基础知识；后五章覆盖了专门的各种类型的加工过程。尤其是第六章原料混合理论的讲述及第七章和第八章分别对挤出模具和挤出机的论述的详细深入，在国内的书籍中是少有的。在本书的每章后面还列举了 A、B、C、D 四类习题，以供读者对各章的内容进行练习使用。

本书第一章至第四章和第七章由西鹏翻译；第五章由邹海霞翻译；第六章由邱晓荣翻译；第八章由西鹏、高括翻译；第九章由刘其林翻译、马秀青审校；第十章由邹海霞、李雪莲翻译。全书由西鹏统一定稿。

在全书的翻译中得到了上海东华大学国家重点实验室黄象安教授、李文刚副教授以及其他老师和研究生们的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于译者水平有限，不当之处，请读者指正。

译者

2003-11-22

内 容 提 要

本书通过大量的生产实际工作中的典型的加工实例，对热塑性聚合物加工、设计中的原理进行了论述。在对理论的论述中列举了许多相应的实例对相关的理论、假设及公式的应用进行了由浅入深的讲述。真正做到了理论与实践的结合。本书共分十章。前五章涉及的是设计聚合物加工工艺所需的基础知识；后五章覆盖了专门的各种类型的加工过程。

本书适用于从事聚合物加工方面工作的工程师使用。由于在本书的后五章中对聚合物加工中的模具、设备进行了讲述，所以对于从事聚合物加工的模具和设备设计的工程师来说，本书具有很大的参考和实用价值。本书也可以作为聚合物加工专业的本科生或硕士研究生的参考教材。

目 录

第一章 加工工艺设计的重要性	1
1.1 聚合物加工的分类	1
1.2 薄膜吹塑：一个实例的研究	5
1.3 聚合物加工设计基础	7
参考文献	7
第二章 纯黏性非牛顿流体的等温流动	8
2.1 聚合物熔体的黏性	9
2.2 一维等温流动	10
2.2.1 通过一个环状模具的流动	11
2.2.2 在电缆护套模头中的流动	15
2.3 等温系统的变换方程	20
2.4 有效近似	23
2.5 设计问题的解答	25
2.5.1 润滑近似的解答	25
2.5.2 计算机解答	26
参考文献	34
第三章 聚物流体的黏弹现象	35
3.1 黏弹性流体的材料函数	35
3.1.1 运动学	35
3.1.2 剪切应力的组成	37
3.1.3 剪切流动的材料函数	37
3.1.4 无剪切流动的材料函数	39
3.2 非线性结构方程	41
3.3 流变	48
3.3.1 剪切流动的测试	48
3.3.2 无剪切流动的测试	51
3.4 材料函数之间有用的关系	52
3.4.1 分子量的影响	52
3.4.2 线性黏弹性和黏弹函数之间的关系	52
3.4.3 支化	53
3.5 流变的测试和聚合物加工特性	54
3.6 设计问题 2 的解答	55
参考文献	60
第四章 扩散和质量转换	61
4.1 质量转换的基本原理	62
4.1.1 密度和速度的定义	62
4.1.2 流量和它们的关系	63

4.1.3	菲克第一扩散定律	64
4.1.4	微观材料平衡	65
4.1.5	与热传导的类似性——简单应用	67
4.2	在聚合物体系中的扩散性、溶解性和渗透性	70
4.2.1	简单气体的扩散性和溶解性	70
4.2.2	简单气体的渗透系数和渗透压	73
4.2.3	水分的吸收和释放	75
4.2.4	高活性渗透的渗透作用	75
4.2.5	聚合物-聚合物的扩散	77
4.2.6	测试技术和它们的数学模型	78
4.3	非菲克转换	79
4.4	质量转换系数	81
4.4.1	定义	81
4.4.2	在热量和质量转换之间的相似点	82
4.5	设计问题3的解答	84
	参考文献	91
第五章	聚合物加工的非等温现象	93
5.1	温度对流变性能的影响	93
5.2	能量方程	94
5.2.1	壳能量平衡	94
5.2.2	热能方程	98
5.3	热传递性质	100
5.3.1	均聚物体系	101
5.3.2	复合材料体系的热性能	105
5.4	非成型聚合物材料的加热和冷却	105
5.4.1	非成型体系的瞬间热传导	105
5.4.2	热导率	113
5.4.3	辐射传热	115
5.5	结晶、形态和取向	117
5.5.1	静态结晶	118
5.5.2	影响结晶的其他因素	122
5.5.3	聚合物分子取向	124
5.6	设计问题4的解决方法	126
	参考文献	131
第六章	混合	133
6.1	混合的描述	134
6.2	混合物的状态特性	135
6.2.1	混合的统计描述	136
6.2.2	分离尺度和强度	139
6.2.3	混合的测定方法	141
6.3	条纹厚度和层状混合	142
6.3.1	条纹厚度减小的几何理论	142
6.3.2	从动力学理论讨论条纹厚度减小	146

6.3.3 简单几何形状的层流混合	148
6.4 停留时间和应变分布	150
6.4.1 停留时间分布	150
6.4.2 应变分布	153
6.5 分散混合	156
6.5.1 聚集体的分散	156
6.5.2 液体-液体分散	157
6.6 混合的热力学	162
6.7 无规混合	163
6.8 问题5的解答	165
参考文献	171
第七章 挤出模头	173
7.1 不均匀的挤出物	174
7.2 黏弹现象	175
7.2.1 在收缩中的流变特性	175
7.2.2 不稳定挤出	176
7.2.3 模头膨胀	178
7.3 板材和薄膜模头	183
7.4 环状的模头	186
7.4.1 中心喂料的环状模头	186
7.4.2 侧边喂料和螺旋形的芯棒模头	188
7.4.3 电缆护套模头	189
7.5 异型材挤出模头	190
7.6 多层挤出	194
7.6.1 一般性研究	194
7.6.2 设计方程	194
7.6.3 在多层流动中流动的不稳定性	199
7.7 设计问题6的解答	200
参考文献	205
第八章 挤出机	207
8.1 挤出机简介	208
8.1.1 单螺杆挤出机	208
8.1.2 双螺杆挤出机	209
8.2 下料斗的设计	211
8.3 增塑性单螺杆挤出机	213
8.3.1 固体的传递	213
8.3.2 延迟和熔融区	217
8.3.3 计量段	220
8.4 双螺杆挤出机	223
8.4.1 自润滑同向旋转的双螺杆挤出机	223
8.4.2 内啮合异向旋转的挤出机	226
8.5 在挤出机中的混合、排出挥发物和反应	227
8.5.1 在挤出机中排除挥发分	231

8.5.2 反应的挤出机	233
8.6 设计问题7的解答	234
8.6.1 因次分析法	234
8.6.2 扩散理论	236
参考文献	240
第九章 柱状模具成型	241
9.1 纤维纺丝	241
9.1.1 牛顿等温模型	243
9.1.2 非等温牛顿模型	246
9.1.3 等温黏弹性模型	250
9.1.4 高速纺丝和结构形成	252
9.1.5 纤维纺丝中的不稳定性	254
9.2 薄膜铸塑和拉伸	257
9.2.1 薄膜铸塑	258
9.2.2 薄膜铸塑的稳定性	260
9.2.3 薄膜拉伸和特性	260
9.3 薄膜吹塑	261
9.3.1 等温牛顿模型	262
9.3.2 非等温模型	265
9.3.3 非等温牛顿模型	266
9.3.4 双轴拉伸和力学特性	266
9.3.5 薄膜吹塑的稳定性	267
9.3.6 按比例放大	267
9.4 设计问题8的解答	268
参考文献	270
第十章 铸模和成型	273
10.1 注射成型法	273
10.1.1 普遍现象	273
10.1.2 模拟	276
10.2 压缩成型法	279
10.2.1 普遍情况	279
10.2.2 模拟	279
10.3 加热成型法	281
10.3.1 普遍情况	281
10.3.2 模拟	283
10.4 吹塑成型	286
10.4.1 技术方面	286
10.4.2 模拟	288
10.5 设计问题9的解决方法	290
参考文献	298
专业词汇与符号	299
附录	307
A 某些聚合物熔体的流变学参数	307

B 某些常见聚合物在固体状态下的物理性能和摩擦系数 311

C 材料的热性能 311

D IMSL 文档 313

E 单位换算 349

索引 351

第一章 加工工艺设计的重要性

在这章中我们不仅要介绍聚合物加工过程的技术而且引进在聚合物的加工工艺设计中所用的一些概念。今天现存的聚合物的种类和它们加工的方法方面的知识是非常必要的，但这可以在多种资料中得到。例如：现代塑料大全（Green，1992）和塑料工程手册（Frados，1976）。在这一章中我们主要介绍应用于热塑性塑料加工中的主要加工工艺的概述。在 1.1 节中，我们从各种加工工艺的分类开始并指出哪个位置的设计是重要的。在 1.2 节中我们介绍一个在吹塑薄膜上的实例分析，用此来阐述最终的物理性能与聚合物通过模具的熔体流动的所有方式之间的关系。最后，在 1.3 节，我们总结在聚合物加工设计和分析上所依据的原理。

1.1 聚合物加工的分类

热塑性塑料的主要加工过程可以分为如下：挤出，柱状模加工，热成型和注射成型。在这里我们描述这些加工中的一些比较常用的具体例子。

绝大多数热塑性塑料能够通过挤出的方式进行加工。挤出机是用来熔融和挤压聚合物通过模头的主要设备。目前，基本上有两种基本类型的挤出机：单螺杆和双螺杆挤出机。单螺杆挤出机，如图 1-1 所示。单螺杆挤出机主要由在一个

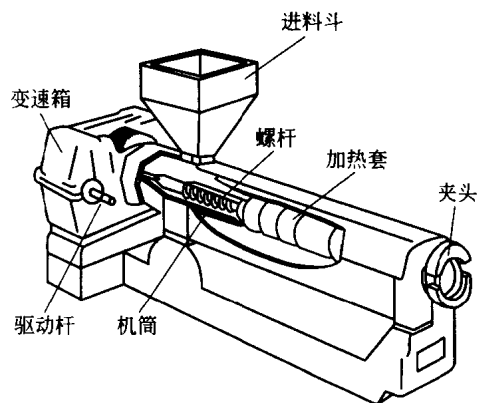


图 1-1 典型的单螺杆挤出机

金属料筒中旋转的螺杆组成（图 1-2）。其长径比通常在 20~24 的范围内，直径在 1.25~50cm 之间。主要设计要素是螺纹间距（或螺旋角）和槽深曲线。塑化用挤出机的主要功能是熔融固体聚合物和输送均匀的熔体到挤出机末端的模头。挤出机也可以作为一个混合设备、反应器和一个排出挥发物的工具（见第八章）的组合。

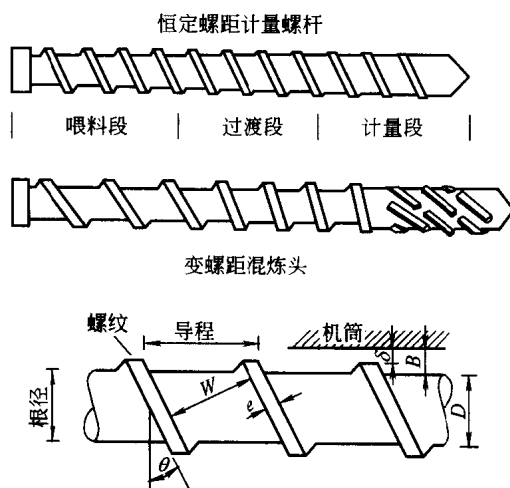


图 1-2 两种不同的挤出螺杆的几何尺寸

今天，同单螺杆挤出机一样，有许多双螺杆挤出机在使用。它具有许多不同的结构包括：同向旋转和异向旋转的螺杆（见图 1-3）以及内啮合和非内啮合螺杆。这些挤出机主要适用于加工难于加工的材料和用于混合和搅拌的操作。这些设备的分析和设计是很复杂的，一些已经超出了在本文中的材料水平的范围。然而，一些基本的设计要素将在第八章讲述。

挤出机喂料给称作模头的成型设备。单螺杆和同向双螺杆挤出机的操作受模头提供的流动阻力的影响。因此，我们不能将挤出机的设计和模头的设计分开。在模头设计中的问题包括分配熔体均匀地流过整个模头宽度，获得一个均匀的温度，生产一个表面规则的光滑的挤出物。这些问题的一部分与材料本身密切相关，但另一部分还是研究的问题（见第七章）。

挤出模头的几何形状有许多类型，包括那些

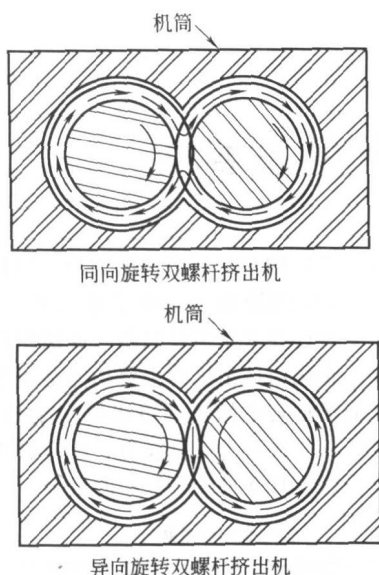


图 1-3 同向和异向双螺杆挤出机截面图

生产片材和薄膜，管材和软管，棒材，不规则横截面（异型材）和电缆护套的模头。作为一个例子，电缆护套的模头如图 1-4 所示。这里，金属电缆被推着通过模头的中心，同时熔体被挤压通过这个圆孔来密封这个电缆。这里遇到的设计问题集中在提供给层流的熔体以一个最大可能的挤出速率并得到一个具体厚度和均匀的聚合物护套。在一些拐角的地方，聚合物经历了一个低雷诺数的不稳定流动，称作熔体破裂。这将导致一个不均匀的护层。另外，熔体的离模膨胀将使护层的厚度比离开模具时增加几倍（这与模头的膨胀现象有关）。这个问题对于其他类型的甚至几何形状不同的挤出过程是很相似的。与模头设计相关的详细资料将在第七章介绍。

我们接下来讨论柱状模头的加工操作。这样加工过程的例子包括纤维纺丝，如图 1-5，吹塑薄膜如图 1-6 和片材成型如图 1-7。这些加工过程具有许多类似之处。尤其它们是自由平面的加工，

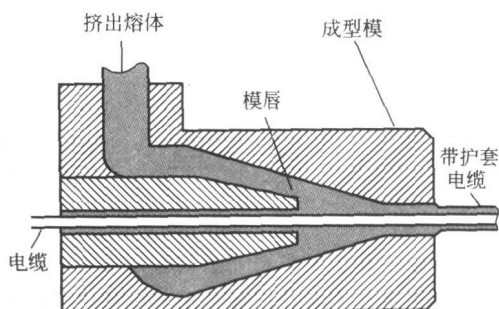


图 1-4 电缆护套模头的连接头

其形状和厚度或挤出物的直径由熔体的流变（流动）特性，模头的几何尺寸，冷却情况和相对于挤出速率的牵引速度决定。另外，在熔体流变特性上的轻微变化会在最终的薄膜和纤维的性能上产生重大的影响。设计考虑必须包括如下情况的预测，即不仅要提供薄膜，纤维，片材产品理想的外观尺寸，还包括光学和物理性能。

热塑性塑料加工过程的第三个方面是成型。这个加工类型的三个实例是：吹塑成型，热成型，压缩成型。吹塑成型（见图 1-8）主要应用于制作容器来盛放不同的流体。

虽然，聚烯烃类如：高密度聚乙烯（HDPE）或涤纶（PET）是两种广泛使用的树脂，但用这种技术对具有较高性能的工程塑料进行加工正逐渐引起人们的兴趣。其基本过程是：一个被挤出或注射成型的料坯被空气吹胀直到它填满模具的型腔。这个吹胀的型坯被控制紧贴在冷模壁上，直到固化。

在热成型中（图 1-9）一个聚合物片材通过加热片（有时通过强制对流进行间断性的冷却）加热到玻璃化转变温度以上或在一些情况下被加热到结晶熔体温度以上，然后通过机械力或压力或真空拉力将其压到模具的底部。其重要的流动特性是控制部件壁厚均匀的延伸流动特性。有时再次成型被应用在刚低于开始熔融的温度。在这

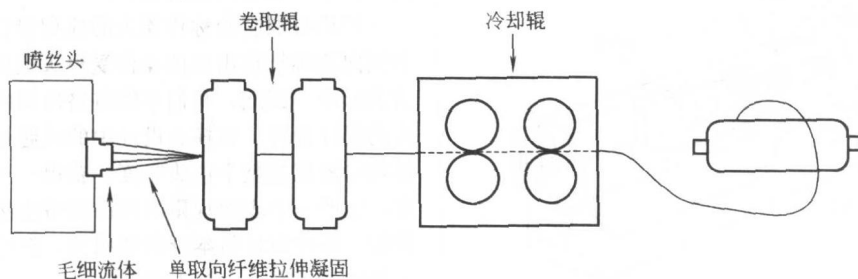


图 1-5 纤维熔融纺丝的加工工艺

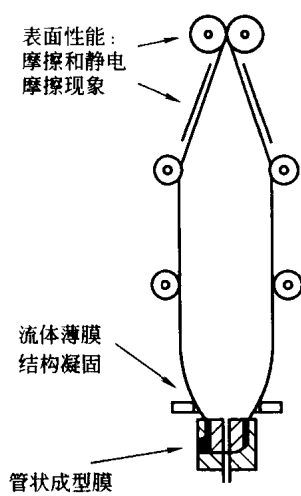


图 1-6 薄膜吹塑的加工工艺

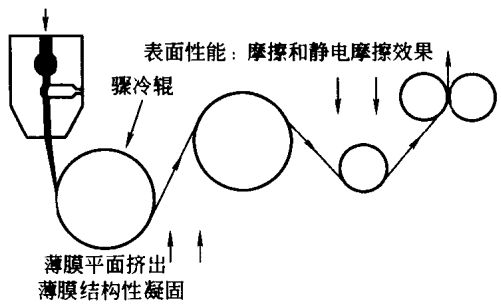


图 1-7 平面薄膜和板材的加工工艺

种情况下的加工被称作**固相成型**。在另外一些场合中，片材被直接挤出到成型单元并在其冷却下来之前被成型（这被称为**无废料或连续的热成**

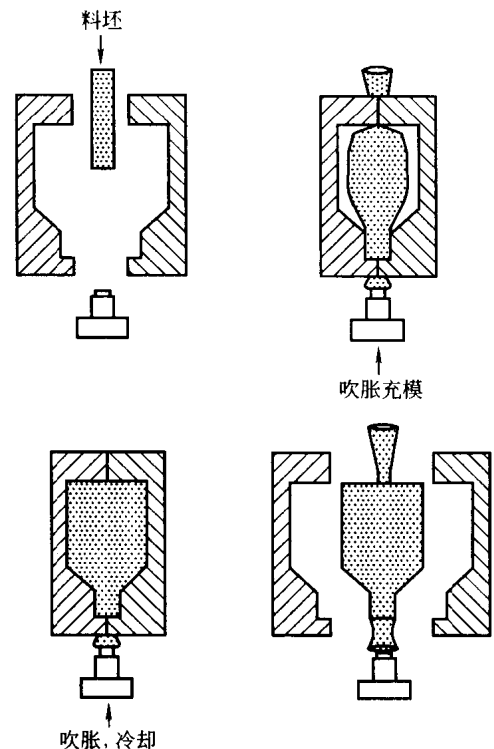


图 1-8 吹塑成型加工工艺

型)。一些重点设计考虑的是加热片材所需要的时间，部件的最后厚度，特别是在尖角周围和控制结晶的数量和类型的冷却速率。

在**压缩成型**中（如图 1-10）一个聚合物块被加热，然后施加压力挤压这个物料到模头的剩余部分。成型的有些内容将在第十章讨论。

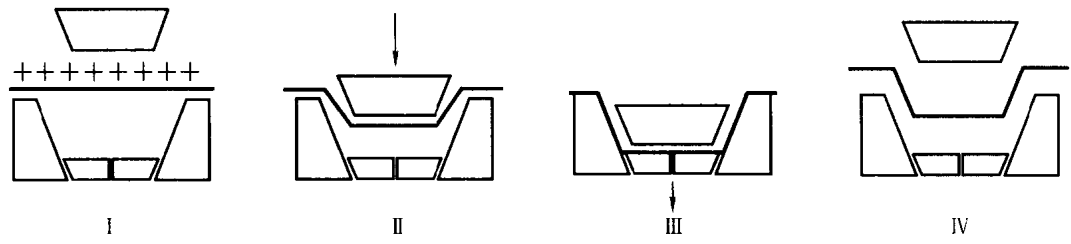


图 1-9 活塞辅助的真空热压成型

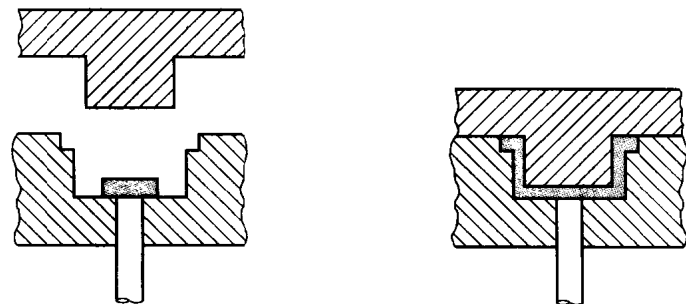


图 1-10 压缩成型加工工艺

普通分类中的最后一种加工类型是**注射成型**（见图 1-11）。聚合物在挤出机中熔融并向前输送。螺杆通过液压系统前移近而推动熔体到模具中。因为高形变和冷却速率的原因，一般认为结构和分子取向产生在充模期间。加工条件对注射成型产品的物理性能具有显著的影响。设计考虑包括填充模腔需要的注射压力，合模线的位置（两熔体合到一起的位置），冷却速率，在模具中保压时间，分子取向的分布。这些因素的一些内容已超出了本书所覆盖的内容，但类似方面的内容将在第十章进行讲述。

尽管在本书中的主要资料涉及的是热塑性塑料的加工，但为了保证论述完整性的原因，**热固性体系**的加工也应被提及。在这里我们叙述了包含反应过程的三种类型的加工工艺：反应注射成型，压缩成型和拉挤成型。

反应注射成型的加工过程是两种液体介质被单独计量后加到混合头，在混合头通过高压碰撞混合的方式被混合。然后，连续地流到模具中，

在模具中进行反应并形成一定形状的产品（见图 1-12）。反应注射成型中一个典型的加工过程是二异氰酸酯和多元醇形成聚氨基甲酸酯的缩合反应。主要的设计要素是混合度和在模具中确保均匀固化的恰当的热转换条件。这个过程在 Becker 1979 年发表的论文中论述的更详细。

热固性混合料能够通过未固化树脂的**压缩成型**进行加工。通常在加工过程中加入补强纤维来增加材料的强度和硬度。一般情况下使用压力推动树脂进入补强纤维，然后加热使树脂发生交联反应形成固体材料。关键因素是使未固化的树脂进入并包住增强材料以及树脂均匀地完全固化，变成制品。这种技术主要被用在航空和汽车工业。

拉挤成型（Pultrusion）是一种利用连续的细丝增强的混合物挤出型材的加工过程（见图 1-13）。增强的细丝，例如玻璃纤维粗丝被含有催化剂的树脂充分浸透后被通过一个类似挤出模头的孔。当两种材料通过模头时树脂的聚合反应产

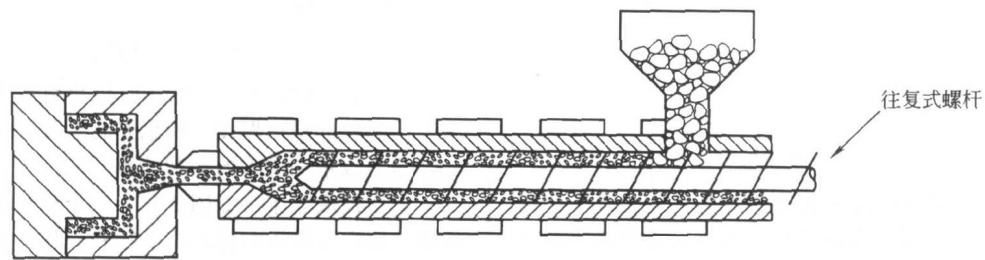


图 1-11 典型的注射成型单元

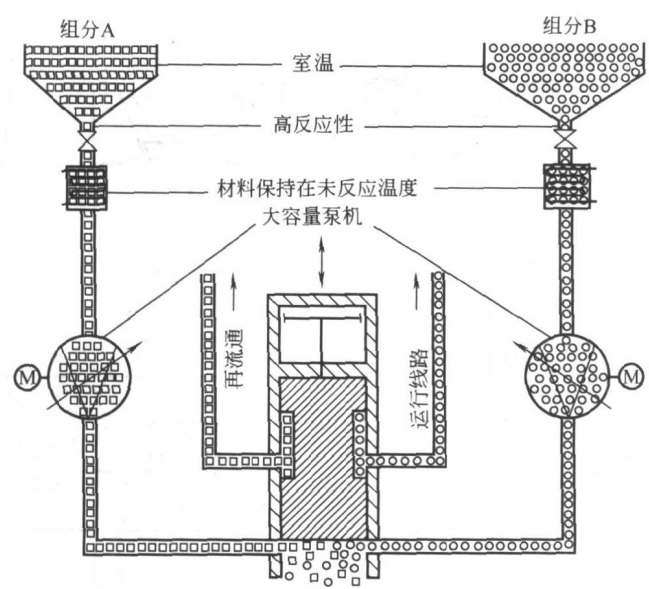


图 1-12 反应注射成型的加工工艺

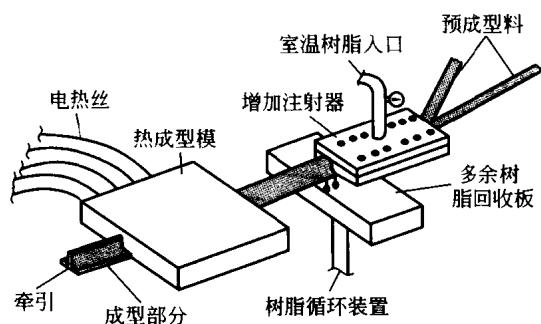


图 1-13 拉挤成型的加工工艺

生，连续地形成一个类似于模头形状的坚硬的固化的型材。材料是被推着而不是被挤压着通过模头的。尽管使用的树脂主要是热固性树脂，例如：聚酯、乙烯基酯和环氧树脂。但是热塑性树脂也能应用同样的加工过程进行加工。对于热固性体系主要设计考虑的包括：树脂在增强物中的分散和树脂全面固化的条件。热固性体系的加工过程在 Macosko 1990 年发表的论文中讨论过。

在 1.1 节中介绍的内容不仅是复习聚合物加工技术，而且指出了在聚合物加工过程中必须被考虑的要素。并且，因为大多数学生对聚合物加工过程技术的知识很少，因此一些一般性的介绍是有意义的。另外，各种加工过程的结构图也是需要的，这有利于接下来的四章中对介绍的资料进行讨论。

1.2 薄膜吹塑：一个实例的研究

在前一节我们介绍了聚合物加工过程。在这一节中我们介绍在影响聚合物体系性质方面加工过程的作用。尤其是通过吹塑生产聚丁烯薄膜的性质对加工条件显示出了高度的敏感性。

大多数薄膜是由某种形式的聚合物组成的。但是聚丁烯（PB）因为稍微便宜些，也被考虑使用在薄膜产品中。然而，如果不改变加工条件，人们不能获得同样的物理性能。鉴别适合的加工条件通常的做法是或者用反复试验接近法或通过统计的设计实验。如果一个薄膜吹塑的模型被使用或者如果有一个能应用于因次分析的概念，那么不用从事一个较长时间的昂贵的试验也可能发现合适的加工条件。下面的例子阐述了许多影响吹塑聚丁烯特性的因素。

吹塑薄膜的加工过程如图 1-6 所示。聚合物颗粒被加到挤出机中，在挤出机中熔融，均化和定量挤出。然后熔体通过模头。模头被设计以提

供熔体均匀的成型和受热过程。空气从模头中心吹入，使筒状熔体吹胀，在环状方向产生分子取向。同时由于牵引速度大于熔体离模的平均速度，所以膜泡被拉伸。拉伸产生在两个方向，控制着分子取向的程度，影响着物理性能。冷空气通过设置在模头周围的风环沿着塑料膜泡吹出。这引起薄膜的固化或结晶并通过轴向延伸过程固定住所产生的取向。然后，薄膜被牵引或者被割开做成薄膜或者被密封切割做成塑料袋。

我们现在考虑影响吹塑薄膜物理性能的一些因素。对于一理想薄膜厚度的环形模头所开间隙的建议值在表 1-1 中已经给出。为什么模头的间隙比理想薄膜的厚度大是很清楚的，这是由于薄膜将牵伸产生分子取向。不明白的是为什么随着模头缝隙的增加被建议的模头的区域（模头的环形部分）被缩短。如图 1-14 所示，根据薄膜撕裂强度的物理特性被发现受模头平台的长度的影响非常显著。这里的撕裂强度用吹胀比的值描述。吹胀比是指最终薄膜直径与模头直径（外径）之比。当模头的环状部分从 38.1mm (1.5in) 减少到 25.4mm (1in) 时，可以发现 5.08×10^{-3} cm 厚度的薄膜在撕裂强度上有三个方面不同的规律。这种结果的一个原因是 25.4mm 模头的环状长度产生更大的离模膨胀（聚合物熔体离开模头

表 1-1 在从 187.8~198.9℃ (370~390°F) 的熔融温度下以从 2.4~2.8 的放大比吹塑聚丁烯薄膜的模头的建议值

薄膜厚度/($\times 10^3$ mm)	模隙/mm	平台长度/mm
0.0127~0.0254	0.381	38.14~50.8
0.0254~0.0508	0.4572~0.5842	38.11
0.0508~0.1778	0.7112~0.8128	25.4
0.2032~0.381	1.016~1.27	25.4
0.381~1.016	1.27~1.524	25.4

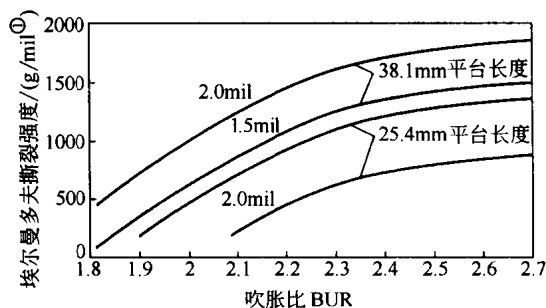


图 1-14 圆环模头平直段长度对以 10m/min 的挤出速率挤出的两种不同厚度的聚丁烯薄膜的撕裂强度的影响

① 1mil=0.025mm