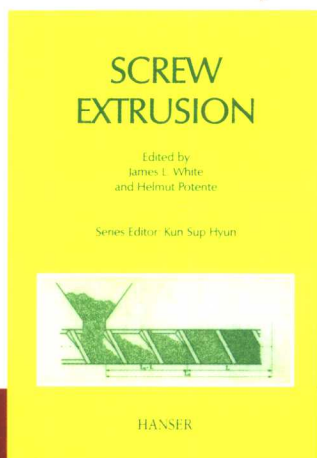


螺杆挤出

[美] J. L. 怀特 (James L. White) 著
H. 波滕特 (Helmut Potente)
何 红 金志明 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

螺 杆 挤 出

[美] J. L. 怀特 H. 波滕特 著

何 红 金志明 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

螺杆挤出/(美)怀特(White, J. L.), (美)波滕特(Potente, H.)著;
何红, 金志明译. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4
书名原文: SCREW EXTRUSION
ISBN 7-5025-6961-8

I. 螺… II. ①怀…②波…③何…④金… III. 挤出成型 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 035116 号

SCREW EXTRUSION/by James L. White, Helmut Potente
ISBN 3-446-19624-2

Copyright © 2003 by Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Munich/FRG.
All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Carl Hanser Verlag.

本书中文简体字版由 Carl Hanser Verlag 出版公司授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 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: 01-2004-0404

螺 杆 挤 出

[美] J. L. 怀特 H. 波滕特 著

何 红 金志明 译

责任编辑: 丁尚林

文字编辑: 余德华

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

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 14½ 字数 385 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6961-8

定 价: 32.00 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

撰 稿 人

Dr. -Ing. Ulrich Berghaus, Bekum Maschinenfabrik GmbH,
12107 Berlin, Germany

Dr. -Ing. E. Bürkle, Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH,
80973 Munich, Germany

Prof. Dr. -Ing. Helmut Potente, GH-Universität Paderborn,
FB 10, 33098 Paderborn, Germany

Dipl. -Ing. Hans Recker, Institute of Plastics Processing (IKV),
52072 Aachen, Germany

Dr. K. Schäfer, Barmag AG, 42897 Remscheid-Lennep,
Germany

Dr. -Ing Volker Schöppner, Hella KG Hueck & Co. , 59552
Lippstadt, Germany

Prof. James L. White, Institute of Polymer Engineering,
College of Polymer Science & Polymer Engineering, University of
Akron, Akron, OH 44325-0301, USA

Dr. G. Wiegand, B. W. & Partner, 69469 Weinheim, Germany

Dipl. -Ing. Martin Würtele, Krauss-Maffei Kunststofftechnik
GmbH, 80973 Munich, Germany

序 言

在所有聚合物加工设备中，螺杆挤出机最为重要。它们用于泵送、混合、进行化学反应和除去聚合物系统中的易挥发成分。工业用螺杆挤出机有两种形式：简单的螺杆旋转和螺杆既旋转又往复运动。螺杆挤出机经常用多螺杆（通常是双螺杆）而不是单螺杆，这些螺杆的转动方向可以相同也可以相反。使用螺杆挤出机可以生产出多样工业产品。可以根据形状来划分一些产品，例如薄膜、管材、型材、涂层电线、轮胎胎面侧壁，还有玻璃和矿物填充的复合物、混合物以及聚合和化学改性（例如接枝）聚合物。基于螺杆的注射成型机用于生产不连续的产品，如汽车组件。

螺杆挤出技术可以自然地划分为：(i) 以机器为基础的螺杆设计和特性；(ii) 后螺杆加工，包括口模、引出装置和模具。本书仅讨论第一方面。从 20 世纪 50 年代开始，人们已经认识到需要该主题的一本综合性书。这类书的第一本主要著作是 Schenkel 写的“Schneckenpressen für Kunststoffe”（1959 年）和它的第二版“Kunststoff-Extrudertechnik”（1963 年）。这一时期的其他书一般限定为单螺杆热塑性塑料挤出机。第二本著作是 Rauwendaal 的“Polymer Extrusion”，它出版于 1985 年。第三本主要著作是 1989 年 Knappe 和 Potente 著的“Handbuch der Kunststoff-Extrusionstechnik I Grundlagen”。由于过去 15 年的发展，上述所有书均已过时。本书为原著，但它也是由上面提到的 Knappe-Potente 著作自然发展而来，它的特征是集体的原创作者。本书在聚合物加工学会的支持下出版，是《聚合物加工进展》(PPP) 丛书的一个分册。

J. L. 怀特

H. 波滕特

译者前言

《螺杆挤出》一书是美国聚合物加工协会“聚合物加工进展”丛书之一，由著名的德国汉斯出版公司于2003年出版，是当今世界范围内螺杆挤出领域的“经典名著”，其宗旨在于促进全球范围内聚合物挤出技术的发展。本书的两位主编是美国的 James L. White 教授和德国的 Helmut Potente 教授，作为螺杆挤出加工领域的国际知名专家，他们与来自德国和美国的其他多位作者一起，在汇集和整理了该领域过去各个时期直至当今大量文献的基础上，共同编撰成书。书中体现了该专业内众家丰富而成熟的学术思想和技术成果，蕴含着螺杆挤出的发展历史以及各时期挤出专著的演变和评述以及大量图片，代表着该领域内最新研究水平和成果系统而精粹的总结和记录。此外，本书不同于以往挤出专著的特点就在于强调理论与实际加工技术并重，不仅从理论的角度介绍了国际范围内的实验与研究成果，而且非常重视工程设计和实际加工技术，因此它不仅对聚合物螺杆加工相关的专业研究人员，而且对工程实际技术人员，都是一本很好的综合性专业书，也可用作高等院校聚合物加工机械和加工工程专业教师和学生的教学参考书。该书的重点为螺杆挤出的基本原理和以螺杆为基础的机械设备的设计与性能，具体内容包括：螺杆挤出的发展历史和早期有关重要论著的介绍；螺杆机械的基本原理；螺杆以及往复式单螺杆挤出技术；单螺杆挤出机的分析与设计；双螺杆和多螺杆挤出的理论和设备。

21 世纪，新材料的发展将会取得突破性进展，与材料发展密切相关的聚合物加工技术正受到愈来愈多的关注和重视，可能会有更多的功能性材料直接产生于加工过程中，聚合物加工技术的发展无疑蕴含着巨大的潜力和广阔的前景。为提高我国聚合物加工的技术水平和研究水平，我们组织人力在尽量短的时间内翻译了新近出

版的《螺杆挤出》一书，应当说该书可以让你快捷而全面地接近和了解聚合物螺杆加工方面各种先进技术和理论的研究思想和成果，书中既有设备技术发展过程介绍，又有理论指导与设计相结合；既具有学术价值，又对工业实际有指导意义。愿这本专著能给渴望得到这方面知识以及在这一领域工作的同仁以非常有价值的帮助。

本书翻译的整个过程中，始终得到我国聚合物加工领域著名专家、北京化工大学朱复华教授的支持、鼓励和指导，在此深表感谢。本书的第一章、第二章、第三章和第六章由何红翻译，第四章由金志明翻译，第五章由刘维亮、王保森、梁志刚和徐艳秋共同翻译，全部译文由何红统一修改最后定稿。由于水平和时间的原因，难免存在各种错误，欢迎广大读者给予批评指正。

何 红

2005 年 4 月于北京

前 言

第二次世界大战以来，以聚合物材料为基础的工业迅速发展而且广泛传播。在 20 世纪 60~70 年代，新种类的聚合物发展非常快，这种新聚合物的性能范围越来越宽。接着出现了很多独具特性的专门聚合物。茂金属催化剂技术的使用促进了这种进展。这些材料的最终用途取决于以下方面的新技术和新方法、成型方式；存放方法即用有利的方式放置材料。而这些方法通常不同于金属工业或玻璃纤维工业中使用的方法。当反思聚合工业的发展和成功时，人们常常低估“聚合物加工”活动的重要性。

聚合物加工过程如挤出、注射成型、热成型和铸塑能生产特定形状和尺寸的零件和产品。而且要求这一过程必须控制这些独特材料一些不寻常、复杂的性能。由于材料具有高分子量，在许多情况下趋向于结晶，所以聚合物加工中要控制材料取向和结晶的性质与程度，它们对所加工产品的最终性能具有本质影响。某些情况下，经典的聚合物加工操作中包括了聚合物的合成，如反应挤出。挤拉成型和反应注射成型两种方法都可将聚合物的合成与成型为最终制品或零件的这两个过程在一步中完成，这是该工业成熟的证据。鉴于以上原因，成功的聚合物加工的研究者和工程师必须具有广博的基本理论知识和掌握解决工程问题的方法。

一些聚合物加工过程在大型工业设备中很兴旺，如合成纤维纺丝。尽管如此，在发达国家和新的发展中国家中，大部分的聚合物加工过程扎根于小型和中型企业。他们的活力和聪明才智使之维持发展到今天，但是无疑未来属于那些能不断适应工业中科学知识和工程原理新发展的企业。数学建模、在线过程控制和产品监测以及基于最新科学技术的品质鉴定将是保持这些组织在未来具有竞争力的重要工具。

聚合物加工学会于 1985 年在俄亥俄州阿克伦城建立，目标是在国际范围内为新型和改进的聚合物加工技术的发展、讨论和传播提供一个中心。为了这个目标，聚合物加工学会每年主办几次讨论会，出版杂志《国际聚合物加工》和丛书《聚合物加工进展》。这一系列教科书将完成的学术研究和工业专家的意见结合在一起。丛书由多位作者共同完成，这样每卷的主题来自世界范围内作者的观点，提供了宽广的视角。为了实现这些目标，我们很幸运挑选到了有深刻洞察力并非常努力的作者和各卷的编辑，我们编委会对此作了全面评述，并让出版社进行了高效制作。

本书论述螺杆挤出的科学和技术。单螺杆挤出和双螺杆挤出设备是塑料工业广为应用的设备。所有反应器中制造出的树脂经这些设备后转化为加工聚合物产品所需的有效形式。这些加工过程已发展成为一个提高产品和配方制品品质的最大出口。了解这些机器发展的历史观点将会激励工程师们去创新开发新型设备。了解这些设备的基本操作原理有助于工程师们优化设备，提高生产速率和改善合成聚合物的性能。这些结果依赖于螺杆的最佳设计，以便为后加工的成功如纤维纺丝、吹膜、流延膜和片提供均一的熔体。本书中最重要的是在理解控制挤出过程各阶段的发展方面作了广泛的讨论，各阶段包括固体输送、熔融和计量段。本书是众多作者合作的结果，他们来自工业和学术界，来自欧洲和北美等，对塑料工业作出了非常有益的贡献。这一本是我主编的第二本。感谢 White 教授、Potente 教授和对本书作出贡献的作者。我们都非常喜爱这本书。

K. S. 希安

2002 年 7 月于美国新泽西州利文斯通

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 发展历史	1
1.2.1 初期	1
1.2.2 1920 年~1945 年	3
1.2.3 1946 年~1959 年	5
1.2.4 1960 年~现在	7
1.3 早期关于螺杆挤出的著作	8
参考文献	12
2 基本原理	15
2.1 导言	15
2.2 泵送机制	15
2.2.1 概要	15
2.2.2 正位移泵	15
2.2.2.1 柱塞挤出机	15
2.2.2.2 旋转正位移泵	17
2.2.3 拖动流泵	21
2.2.4 法向应力泵	25
2.3 螺杆规格	26
2.4 单螺杆泵	29
2.4.1 原理	29
2.4.2 简单螺杆设计特点	33
2.5 反向旋转双螺杆挤出机	33
2.5.1 切向	33
2.5.2 相互啮合	35
2.6 同向旋转双螺杆挤出机	36
2.7 多螺杆挤出	38

参考文献	40
3 螺杆挤出技术	42
3.1 橡胶挤出	42
3.1.1 简介	42
3.1.2 挤出技术	42
3.1.2.1 热喂料挤出机和冷喂料挤出机	42
3.1.2.2 冷喂料挤出机专用螺杆的设计	43
3.1.2.3 螺杆挤出机的总体设计	51
3.1.3 基本实验研究	54
3.1.3.1 概述	54
3.1.3.2 塑化和均化螺杆	56
3.1.3.3 销钉机筒挤出机	57
3.1.3.4 真空挤出机	57
3.1.4 流动模拟	60
3.1.4.1 混炼胶的流变性能	60
3.1.4.2 简单螺杆	61
3.1.4.3 螺纹切槽的螺杆段	61
3.1.4.4 销钉机筒挤出机	62
3.1.5 多层挤出生产线	62
3.1.6 连续硫化生产线	64
参考文献	65
3.2 热塑性塑料挤出	67
3.2.1 单螺杆挤出机的发展趋势	67
3.2.1.1 配有熔体泵的高速挤出机	68
3.2.1.2 螺杆长度为 $30D$ 或 $33D$ 的沟槽加料式挤出机	70
3.2.1.3 加料段设计	70
3.2.1.4 螺杆设计	71
3.2.1.5 提高产量而不增加磨损	71
3.2.1.6 均化与在线分散	72
3.2.1.7 屏障型螺杆	74
3.2.1.8 螺杆长为 $30D$ 或 $33D$ 的排气式挤出机	76
3.2.1.9 适当选择材料以降低磨损	77
3.2.2 单螺杆挤出技术	78

3.2.2.1	吹胀薄膜——具有良好性能的经典产品	78
3.2.2.2	生产双轴取向吹胀膜的双膜泡生产过程	81
3.2.2.3	流延薄膜——最高标准品质	83
3.2.2.4	挤出涂层——改进复合材料的质量	87
3.2.2.5	塑料片材和热成型片材——大量应用的最高品质	89
3.2.2.6	塑料管材和型材——土木工程和技术应用中的理想 构件	92
3.2.2.7	合成长丝——单丝、纵切膜带、捆带条	95
3.2.2.8	无纺布物——划算的方案	98
3.2.2.9	展望	100
参考文献		102
3.3	螺杆设计	102
3.3.1	介绍	102
3.3.2	评价和规范	103
3.3.2.1	输入变量说明	104
3.3.2.2	输出值的质量标准	106
3.3.2.3	挤出机内部的质量标准	107
3.3.2.4	质量标准的量化	108
3.3.3	细分工作区和结构类型	111
3.3.3.1	加料区	112
3.3.3.2	熔融区	112
3.3.3.3	计量区	115
3.3.3.4	鱼雷区	116
3.3.3.5	混合区	117
3.3.3.6	特殊的几何参数	118
3.3.3.7	螺杆构造类型和应用	119
3.3.4	几何设计	122
3.3.4.1	设计策略和方法	122
3.3.4.2	适当的比产量定义	126
3.3.4.3	单一功能区的优化	127
3.3.4.4	系列设计	136
3.3.5	实例: $\phi 90\text{mm}$ 挤出机生产 PET, 固有黏度 0.8, 产量 300kg/h	139

参考文献	144
3.4 机器设计和构型	145
3.4.1 挤出机的大小	145
3.4.2 单螺杆挤出机的部件	146
3.4.2.1 机架	147
3.4.2.2 挤出机的驱动	147
3.4.2.3 变速器和离合器	148
3.4.2.4 齿轮箱	149
3.4.2.5 加料段	151
3.4.2.6 料斗	153
3.4.2.7 机筒	153
3.4.2.8 机筒加热和冷却装置	154
3.4.2.9 螺杆	158
3.4.3 专用设计	160
3.4.3.1 抽丝挤出机	160
3.4.3.2 绝热挤出机	161
3.4.3.3 排气式挤出机	162
3.4.3.4 计量挤出机	163
3.4.3.5 串联挤出机	164
3.4.3.6 立式挤出机	165
3.4.3.7 有锥形加料区的挤出机	166
参考文献	167
3.5 测量与开环和闭环控制工程	167
3.5.1 温度测量和闭环控制	169
3.5.1.1 壁面温度	169
3.5.1.2 熔体温度	169
3.5.1.3 表面温度	171
3.5.1.4 闭环温度控制	172
3.5.2 压力测量与闭环控制	174
3.5.2.1 熔体压力	174
3.5.2.2 开环压力控制	175
3.5.2.3 闭环压力控制	175
3.5.2.4 借助压力和温度测量而进行厚度闭环控制	176

3.5.3 产品具体性能的测量	176
3.5.3.1 确定尺寸	176
3.5.3.2 板条和薄膜表面缺陷的识别	177
3.5.3.3 外形表面的检测	179
3.5.4 挤出机的过程控制	180
3.5.4.1 自动系统构成	180
3.5.4.2 材料计量	181
3.5.4.3 闭环启动控制	182
3.5.4.4 选定挤出方法的过程控制	183
参考文献	185
4 往复式单螺杆挤出技术	187
4.1 螺杆注射成型	187
4.1.1 关于从连续操作到非连续操作转变的特性	187
4.1.1.1 加料段	191
4.1.1.2 过渡段	196
4.1.1.3 计量段	199
4.1.1.4 混合段	200
4.1.2 相似设计	202
4.1.3 把塑化单元作为一个整体来考虑	202
4.1.3.1 加料性能	202
4.1.3.2 夹气	202
4.1.3.3 扫过体积	203
4.1.3.4 加料问题	205
4.1.3.5 熔融段	210
4.1.3.6 混合质量	214
4.1.3.7 停留时间	217
命名	218
参考文献	221
4.2 布斯捏合机	223
4.2.1 前言	223
4.2.2 机器技术	223
4.2.2.1 早期相关的机器	223
4.2.2.2 捏合机的起源	224

4.2.2.3	捏合机的发展	225
4.2.2.4	现代捏合机	229
4.2.3	基础实验研究	230
4.2.4	流动模拟	231
4.2.4.1	概述	231
4.2.4.2	振动螺杆引起的流动	232
4.2.4.3	流量分布和捏合机元件的泵出特性	233
4.2.4.4	标准组件机器的理论	235
4.2.5	应用	237
	参考文献	237
5	单螺杆挤出机的分析与设计	239
5.1	熔体输送段分析	239
5.1.1	等温分析	239
5.1.1.1	熔体输送	239
5.1.1.2	功率消耗	248
5.1.2	非等温分析	252
5.1.2.1	熔体输送	252
5.1.2.2	温度	254
5.1.2.3	功率消耗	259
5.1.2.4	熔体壁面滑移	259
5.2	熔融分析	266
5.2.1	起点	266
5.2.2	熔融	268
5.2.2.1	数学分析的条件	268
5.2.2.2	不考虑横跨螺杆漏流的数学处理	270
5.2.2.3	考虑横跨螺杆螺棱漏流的数学处理	277
5.2.2.4	注射成型过程中螺杆停工期熔融的数学处理	279
5.2.2.5	熔体量计算	281
5.2.2.6	预熔融	282
5.2.2.7	螺杆处熔膜的计算方法	284
5.2.3	熔融区压力与产量关系及功率消耗	285
5.3	固体输送	291
5.3.1	光滑机筒加料段	291

5.3.1.1	产量	291
5.3.1.2	功率消耗	300
5.3.2	开有凹槽的加料段	301
5.3.2.1	产量	301
5.3.2.2	功率与扭矩	306
5.3.3	高速输送	306
5.4	复合挤出机模型	309
5.4.1	整体处理	309
5.4.1.1	熔体决定输送的光滑机筒挤出机的产量变化	309
5.4.1.2	开槽机筒挤出机的产量行为	312
5.4.1.3	排气挤出机的产量行为	313
5.4.1.4	功率输入	315
5.4.2	各功能区结合模型	316
5.5	相似放大	322
5.5.1	相似性原理	322
5.5.2	相似放大原则的一般公式	322
5.5.3	分区处理	324
5.5.3.1	熔体输送区	324
5.5.3.2	塑化区	327
5.5.3.3	固体输送区	331
5.5.4	总结	339
5.5.4.1	熔体和光滑机筒塑化机器的相似放大原则	339
5.5.4.2	开槽机筒挤出机的相似放大原则	343
命名		345
参考文献		349
6	双螺杆和多螺杆挤出	353
6.1	导言	353
6.2	啮合型同向旋转双螺杆挤出	353
6.2.1	技术	353
6.2.2	几何参数	366
6.2.3	实验研究	367
6.2.3.1	到 1975 年的早期研究	367
6.2.3.2	包括固体输送和熔融的流动可视化	368

6.2.3.3	停留时间分布	370
6.2.3.4	泵送特性	371
6.2.3.5	传热	372
6.2.3.6	混合	372
6.2.4	流动模型	378
6.2.4.1	概述	378
6.2.4.2	组件中的流动泵送	378
6.2.4.3	组合模块化机器行为	390
6.2.4.4	熔融和组合泵送模型	392
6.2.4.5	混合	394
6.2.4.6	反应挤出	398
6.2.5	应用	398
6.3	啮合型反向旋转双螺杆挤出机	398
6.3.1	技术	398
6.3.2	实验	404
6.3.2.1	流动可视化	404
6.3.2.2	停留时间分布	404
6.3.2.3	泵送特性	405
6.3.2.4	熔融	406
6.3.2.5	混合	407
6.3.3	模型	409
6.3.3.1	概要	409
6.3.3.2	C形室泄漏模型	410
6.3.3.3	流动的 FAN 分析	412
6.3.3.4	三维解法	414
6.3.3.5	复合泵送模型	414
6.3.4	螺杆弯曲	415
6.3.5	应用	416
6.4	切向反向旋转双螺杆挤出机	416
6.4.1	技术	416
6.4.2	实验	417
6.4.2.1	流动可视化	417
6.4.2.2	螺杆泵送特性	418