

(原著第二版)

# 双螺杆挤出

## ——技术与原理

[美] 詹姆斯 L. 怀特 (James L. White)

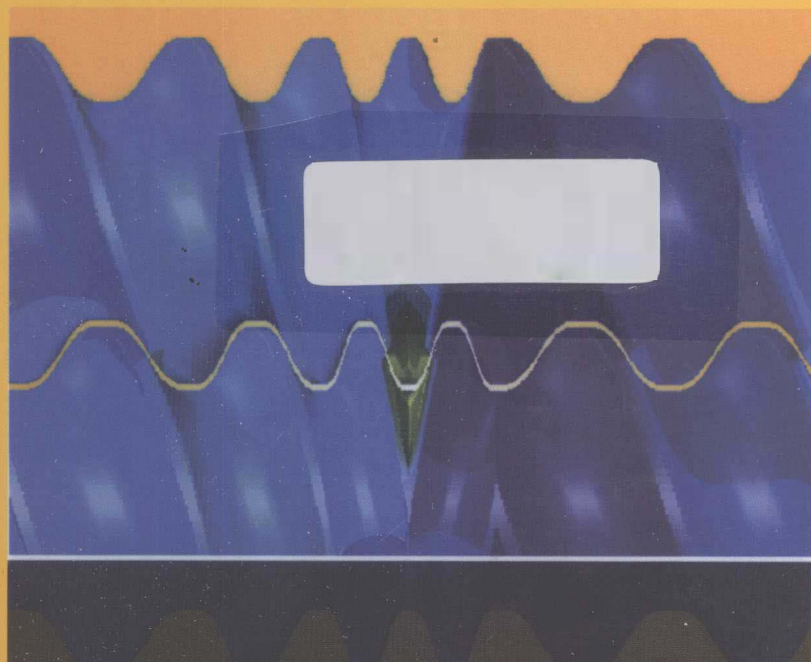
[韩] 金永奎 (Eung K. Kim)

著

任冬云 译

# Twin Screw Extrusion Technology and Principles

(2nd Edition)



化学工业出版社

# 双螺杆挤出 (原著第二版)

## ——技术与原理

[美] 詹姆斯 L. 怀特 (James L. White) 著  
[韩] 金永奎 (Eung K. Kim) 著  
任冬云 译

**Twin Screw Extrusion**  
Technology and Principles  
(2nd Edition)



化学工业出版社

· 北京 ·

双螺杆挤出是一种重要的聚合物加工技术，双螺杆挤出机被广泛用于反应加工（包括聚合和接枝反应）、混合与共混、脱挥以及热塑性塑料最终成型加工，特别是型材挤出。本书主要介绍了非啮合异向旋转、啮合异向旋转、啮合同向旋转这三种类型的双螺杆挤出机及它们的技术发展史，同时讲述了这些机器流动特性的建模与模拟的研究成果，以及对这些机器特征实验研究的实验研究，其独特之处，在于清晰地区分市场上双螺杆挤出机的不同类型以及对它们的性能进行了评价。希望能让化学家、工程师以及相关的技术人员加深对双螺杆挤出技术的了解，并通过本书为他们在实际操作中提供技术指导。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

双螺杆挤出——技术与原理/[美]怀特, [韩]金永奎  
著; 任冬云译. —北京: 化学工业出版社, 2012. 10

书名原文: Twin Screw Extrusion Technology and  
Principles 2nd Edition

ISBN 978-7-122-15317-3

I. ①双… II. ①怀…②金…③任… III. ①挤出机  
IV. ①TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 213804 号

Twin Screw Extrusion, 2nd edition/by James L. White, Eung K. Kim  
ISBN 9781569904718

Copyright © 2010 by Carl Hanser Verlag, Munich 2010. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Carl Hanser Verlag  
GmbH&Co. KG

本书中文简体字版由 Carl Hanser Verlag GmbH&Co. KG 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，违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2012-0382

---

责任编辑：仇志刚 夏叶清  
责任校对：王素芹

装帧设计：韩 飞

---

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 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 17¼ 字数 319 千字 2013 年 1 月北京第 2 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：78.00 元

版权所有 违者必究

---

## 译者前言

从啮合同向双螺杆挤出机问世至今，双螺杆转子机器的发展及应用已经经历了近一个半世纪。双螺杆机器的应用范围从最初的人工石浆加工、食品加工、橡胶加工等工业领域，已经扩展到目前的聚合物加工与合成、造纸连续制浆、废旧橡胶连续脱硫等众多工业。2011年中国累计进口塑料加工设备13718台，出口51647台，进出口额分别为21.8亿美元和14.7亿美元。从这组数据可以看出，进口设备的技术附加值很高。我国塑料机械行业实现从中国制造到中国创造的转变，还有很长一段路要走。值得一提的是，我国通过技术协作攻关，于2010年实现了国内首套年产20万吨聚丙烯大型双螺杆挤压造粒机组在中国石化集团北京燕山石化公司首次试车成功，打破了由国外机械制造商垄断聚烯烃大型造粒机组定价权的局面。在这里应该感谢和纪念美国新泽西理工学院聚合物加工研究所的双螺杆设备世界著名专家David B. Todd博士（1925.12.21—2012.2.1），本书译者邀请Todd博士于2007年1月来华访问，年届82岁高龄的他，就这台大型造粒机组前期立项论证中的关键技术问题与我国有关专家学者讨论了3天时间。通过本书的介绍，读者也能体会到Todd博士在双螺杆挤出领域渊博的知识和造诣。

尽管双螺杆设备已经被广泛地应用于各种工业领域，但与单螺杆挤出机的基础理论研究比较系统和完善相比，针对双螺杆挤出基础理论的研究仍处在众多不同理论共鸣的阶段。因此，本书作者，将啮合同向/异向双螺杆挤出机、非啮合同向双螺杆挤出机以及连续混炼机的实验研究作为重点介绍的内容，以弥补相应的理论研究内容的不足。

双螺杆（多螺杆）聚合物加工设备种类繁多，应用领域也不尽相同。本书作者力图通过对四大类双螺杆（双转子）机器的理论分析和实验研究成果较详细介绍以及对各类机器结构的简要介绍，最大限度地满足各类读者对其实际应用中可能遇到技术问题的解答。现代布斯往复式单螺杆混炼机、双螺杆机器中的反应挤出及脱挥技术，均是目前在聚合物加工工业中普遍应用的最新科技成果。本书作者将这些技术单独成章，使读者能较完整详细地了解它们的机理及其应用知识。

因此，对于研究、学习和应用双螺杆挤出技术的研究学者、研发及应用的工程技术人员、大学生，这本书均可作为参考书籍。

参与本书翻译的人员还有：林祥、杨彩霞、刘英杰、张有军、聂成磊、胡学永、陈成杰。在此，谨向他们表示衷心感谢！

任冬云

2012年6月于北京

---

## 第二版前言

本书是资深作者 White 于 1990 年出版的“双螺杆挤出：技术与原理”一书的第二版。第一版是首次试图撰写一本详细介绍双螺杆挤出技术与科学认识的专著。从第一版发行以来，在双螺杆挤出技术、与之相关的工业领域以及我们对这一过程的建模和预测这些机器的性能的认识和能力等方面，已经有许多变化和进步。最引人注目的变化是啮合同向旋转机器应用的持续增加和在工业中占主导地位。

在第二版中，我们将第一版的各个章节内容做了更新。我们扩展了同向旋转机器的内容，并将它从第一版中的第 10 章至第 12 章变更为第二版中的第 4 章至第 6 章。我们注意到其他的变化，将第一版原来关于相切式异向双螺杆机器的第 4 章至第 6 章拆分为第二版中关于焊接工程师机器的第 10 章至第 12 章和关于连续混炼机的第 13 章至第 15 章。关于反应挤出（新第 17 章）和关于脱挥和脱水（新第 18 章）作为独立章节已被加入。总之，这本书已经从第一版的 13 章增加到第二版的 19 章。

所有的章节已经被更新，包括关于同向双螺杆挤出机计算机辅助设计的讨论。

关于双螺杆挤出还有其他的书籍。早期的著作有：Janssen（“双螺杆挤出”）和 Martelli（“双螺杆挤出：基本知识”），在他们的视野范围内其实是不详细的和已经过时。最近的 Manas-Zloczower 和塔德莫尔 1994 年和 2009 年的“聚合物的混炼与共混：理论与实践”受到许多作者用不同观点非常广泛的关注，非常值得一读。Todd 1998 年的“塑料混合工艺及加工”是非常适合机械制造商的技术参考书，但缺乏流动基本原理。Kohlgrueber 2007 年的“同向双螺杆挤出机”仅考虑了同向旋转机器，其亮点是关于流动基本原理的分析。

有许多关于挤出的常用书籍，将双螺杆挤出作为单独章节纳入其中。

2010 年 6 月

J. L. White

E. K. Kim

## James Lindsay White 教授, 1938 — 2009

James Lindsay White 于 1938 年 1 月 3 日出生在美国纽约市布鲁克林区的 Robert Lindsay 和 Margaret (Young) White 的家庭。他父亲的家庭起源于苏格兰的 20 世纪 80 年代, 从煤矿工人到后来的机器店主。这些经历将他的终身兴趣植根于采矿和工业技术的历史。他就读于布鲁克林的技术高中, 后来在布鲁克林理工学院学习化学工程。然后, 他加入特拉华大学的化学工程系, 在 A. B. Metzner 教授的研究团队, 并于 1962 年完成他的硕士学位和 1965 年完成他的博士学位。他们共同提出了现在著名的 White-Metzner 模型, 仍然被用于聚合物加工模拟。

White 教授的早期职业始于为 Uniroyal 公司工作, 作为一名研究工程师。然后在 1963—1967 年期间是一名研究团队的领导者, 在这期间他获得了在橡胶科学和工程方面的终身兴趣, 他在这方面做出了大量的贡献。他在 Uniroyal 公司的领导 Noboru Tokita 博士将他引见给他的首任妻子 Yoko。

1967 年, White 教授作为一名副教授加入到田纳西大学, 并且很快晋升为教授。最终成为聚合物科学与工程硕士和博士项目的创始人与教授。他的兴趣转入到填充聚合物的实验和理论流变学和过程诱导聚合物结构化方面, 并且很快潜身于聚合物熔体/溶液、纤维纺丝、吹膜和双向拉伸工艺以及注射成型等新领域。在这一时期, 还扩展到液晶聚合物领域, 他开创了制造双轴取向溶致液晶膜的独特工艺, 并发展了从溶液加工到固化的基础认识。在田纳西大学的时期, 他创立了聚合物工程杂志 (Journal of Polymer Engineering), 担任主编直到 1984 年。

1983 年, White 教授转入阿克伦大学, 创建了聚合物工程研究所和系, 并担任中心主任和系主任。在阿克伦大学, 他将注意力转移到橡胶加工和共混、实验研究和模拟密炼机和销钉机筒挤出机以及双螺杆挤出机中的流动, 以及在双螺杆挤出机中是否有化学反应的两种情况。这些研究达到顶点的标志为第一个商业开发的模拟双螺杆挤出流动的 Akro-Twin 软件。

正是在这一时期, White 教授发起成立了一个新的专业学会, 现在被称为聚合物加工学会 (Polymer Processing Society)。从 1985 年开始, 这一学会已经具有国际性质。大量的关键人物与 White 博士一起工作组建 PPS, 其中包括 Lloyd Goettler, Musa Kamal, Tom Lindt, Jim Stevenson, Leszek Utracki 以及 Jim Throne。在 White 教授的领导下, 在这些核心成员及其他许多人的参与下于 1985 年在阿克伦举办了 PPS 的首次会议。在这一学会成立后不久, 创办了国际聚合物加工 (International Polymer Processing) 杂志, White 教授为该杂志的主编 (1986—2004 年)。

White 教授在国际杂志上发表了 500 篇以上的文章。他也出版了关于流变

学、双螺杆挤出、橡胶加工、聚烯烃、聚合物共混物和热塑性弹性体等方面的 8 本专著。

White 教授是将聚合物工程创建为一门学科的先驱。世界上各个聚合物协会、学会和工业界都已认识到他在橡胶和塑料领域的许多研究贡献。White 教授是一位知识渊博的人，是阿克伦大学最受爱戴的研究者。

White 教授在他的职业生涯中因他的成就屡获殊荣，其中有流变学会的 Bingham 奖章；日本流变学会的 Yuko-Sho 奖（1984 年）；塑料工程师学会的教育奖（1987 年）；塑料工程师学会的研究奖（1992 年）；塑料工程师学会挤出分会的 Heinz Herrmann 双螺杆挤出奖；美国化学学会橡胶分会的 Charles Good-year 奖（2009 年）。最近，White 教授被授予阿克伦大学的聚合物工程 Harold A. Morton 教授。

White 教授具有广泛的兴趣和渊博的历史知识，从各种工业机械的发展史到世界各个地区的社会问题。他留给他的妻子 Alganesh 和世界各地的朋友以及聚合物工程界的同事许多宝贵财富。

编辑、编委会和 Hanser 出版社的代表

Andrew Hrymak

国际聚合物加工杂志主编

Wolfgang Beisler

Hanser 出版社总经理



---

# 目 录

<b>第 1 章 多螺杆挤出机概论</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 螺杆几何结构 .....	2
1.3 根据旋转方向和螺杆数的分类 .....	4
1.4 根据螺杆接触形式的分类 .....	7
1.5 根据结构模式的分类 .....	7
参考文献 .....	8
<b>第 2 章 基础知识：聚合物性能和流动原理</b> .....	10
2.1 概述 .....	10
2.2 聚合物特性 .....	10
2.3 聚合反应 .....	14
2.4 质量守恒和力学 .....	17
2.5 聚合物流体的流动 .....	19
2.6 本构方程 .....	23
2.7 能量守恒和热传导 .....	25
2.8 流体动力润滑理论 .....	26
参考文献 .....	28
<b>第 3 章 单螺杆挤出</b> .....	31
3.1 概述 .....	31
3.2 单螺杆挤出机的发展史 .....	31
3.3 计量流动的机理 .....	37
3.4 计量流动：螺棱及间隙的影响 .....	41
3.5 螺杆挤出机中的熔融 .....	43
3.6 塑料螺杆挤出机中的固体输送 .....	46

3.7	单螺杆挤出机中的停留时间分布	47
3.8	比例放大	49
	参考文献	52
<b>第4章</b>	<b>啮合同向双螺杆挤出技术</b>	<b>55</b>
4.1	概述	55
4.2	发展史	56
4.3	哥伦伯 LMP RC 挤出机	57
4.4	Meskat-Erdmenger-Geberg, I. G. 法本公司的沃尔芬工厂的双螺杆 研发简介	59
4.5	Meskat 拜耳(多尔马根)简介	61
4.6	Erdmenger 拜耳(勒沃库森)简介	63
4.7	Kraffe de Laubarede 的均化螺杆	65
4.8	WP ZSK 系列 Erdmenger	66
4.9	Erdmenger-Oetke 4-螺杆 VDS-V 脱挥器	68
4.10	LMP-RH 温莎螺杆简介	68
4.11	Readco 和贝克-珀金斯双螺杆挤出机	70
4.12	后续的拜耳研发成果	72
4.13	后续的 WP 研发成果	73
4.14	新增的机械制造商	75
4.15	贝尔斯托夫研发成果	76
4.16	橡胶共混	76
	参考文献	77
<b>第5章</b>	<b>啮合同向双螺杆挤出机的流动机理及建模</b>	<b>81</b>
5.1	概述	81
5.2	螺杆几何结构	81
5.3	正向泵送螺纹元件的流场建模	82
5.4	反向泵送螺纹元件的流场建模	89
5.5	捏合块元件中的流动机理及建模	90
5.6	能量平衡	97
5.7	熔融	99
5.8	整体组合积木式双螺杆挤出机的建模	100
5.9	混合建模	102
5.10	瞬态分析	103

参考文献	103
<b>第 6 章 啮合同向双螺杆挤出机的实验研究</b>	<b>106</b>
6.1 概述	106
6.2 流场的可视化	106
6.3 泵送特征	108
6.4 停留时间分布	110
6.5 混合	112
6.6 传热	114
6.7 熔融	115
参考文献	115
<b>第 7 章 啮合异向双螺杆挤出技术</b>	<b>118</b>
7.1 概述	118
7.2 发展史	118
7.3 I. G. 法本-雷士捏合泵研发简介	120
7.4 聚氯乙烯 (PVC) 的商业双螺杆挤出机的起源	123
7.5 锥形双螺杆挤出机	123
7.6 Pasquetti 的 Bitruder 挤出机	124
7.7 Mapre 挤出机	125
7.8 Kestermann 挤出机	125
7.9 Anger 挤出机	126
7.10 欧洲二战后啮合异向双螺杆挤出机的回顾	127
7.11 日本啮合异向双螺杆挤出机制造商	127
7.12 雷士积木式机器-1	128
7.13 日本制钢的研究	129
7.14 日本宝理公司的异向旋转捏合块机器	130
7.15 雷士积木式机器-2	130
7.16 聚氯乙烯双螺杆挤出机的详细设计及制造	131
参考文献	131
<b>第 8 章 啮合异向双螺杆挤出机的流动机理及建模</b>	<b>134</b>
8.1 概述	134
8.2 螺杆几何结构及正位移泵送原理	134
8.3 C 型室中的流场	137

8.4	漏流 .....	139
8.5	在模块元件中流场的 FAN 模型 .....	141
8.6	熔融模型 .....	144
8.7	积木式啮合异向双螺杆挤出机的组合模型 .....	144
8.8	螺杆-螺杆-机筒的相互作用 .....	147
	参考文献 .....	147
<b>第 9 章</b>	<b>啮合异向双螺杆挤出机的实验研究 .....</b>	<b>149</b>
9.1	概述 .....	149
9.2	流场可视化 .....	149
9.3	泵送特征 .....	150
9.4	停留时间分布 .....	153
9.5	熔融现象 .....	154
9.6	分散混合 .....	154
	参考文献 .....	155
<b>第 10 章</b>	<b>非啮合异向双螺杆挤出技术 .....</b>	<b>157</b>
10.1	概述 .....	157
10.2	发展史 .....	157
10.3	焊接工程师公司机器 .....	158
10.4	焊接工程师公司机器的应用 .....	160
10.5	锥形双螺杆机器 .....	162
10.6	WP 公司的 Kammerkneiter 挤出机 .....	163
10.7	Eisenmann 可调节节流双螺杆挤出机 .....	164
10.8	带反向螺纹的机器 .....	165
	参考文献 .....	165
<b>第 11 章</b>	<b>非啮合异向双螺杆挤出机的流动机理及建模 .....</b>	<b>167</b>
11.1	概述 .....	167
11.2	相切式异向旋转螺纹元件的 Kaplan-塔德莫尔流场模型 .....	168
11.3	Nichols 及其合作者的理论 .....	169
11.4	相切式异向旋转螺纹元件中的流场润滑理论的数值模型 .....	171
11.5	相切式异向旋转螺纹元件中的流场有限元模型 .....	175
11.6	非牛顿流场建模 .....	176
11.7	反向泵送相切式异向旋转螺纹元件 .....	179

11.8	非等温建模	180
11.9	积木式相切异向双螺杆挤出机的组合模型	181
11.10	相切式异向双螺杆挤出机的比例放大	182
	参考文献	183
<b>第 12 章 非啮合异向双螺杆挤出机的实验分析</b>		
12.1	概述	185
12.2	流体运动的流场可视化	185
12.3	相切式异向双螺杆机器中的简单螺杆组合的泵送特征	186
12.4	相切式异向双螺杆机器中模块化螺杆的泵送特征	190
12.5	相切式异向双螺杆机器中停留时间分布	193
12.6	相切式异向双螺杆机器中混合研究	193
12.7	相切式异向双螺杆机器中熔融行为	194
	参考文献	194
<b>第 13 章 连续混炼技术</b>		
13.1	概述	196
13.2	间歇式密炼机	196
13.3	早期连续混炼机的结构	200
13.4	克虏伯的 Knetwolf 混炼机	201
13.5	Eck 挤炼机	202
13.6	Ellermann 克劳斯玛菲 DSM 混炼机	203
13.7	法雷尔连续混炼机	204
13.8	Matsuoka 和 Bolling 的 Mixtrumat 混炼机	205
13.9	日本制钢的研究	206
13.10	神户制钢的 L-串联连续混炼机	207
13.11	后续的法雷尔研发成果	208
	参考文献	209
<b>第 14 章 连续混炼机的流动机理及建模</b>		
14.1	概述	211
14.2	Canedo-Valsamis 模型	211
14.3	法雷尔连续混炼机的笛卡尔坐标润滑理论流动模型	212
14.4	法雷尔连续混炼机的柱坐标润滑理论流动模型	212
	参考文献	216

<b>第 15 章 连续混炼机的实验研究</b> .....	217
15.1 概述 .....	217
15.2 连续混炼机中聚合物的分布 .....	217
15.3 停留时间分布 .....	219
15.4 连续混炼机中的分散混合 .....	220
15.5 不同聚合物的共混 .....	220
参考文献 .....	221
<b>第 16 章 往复式单螺杆混炼机</b> .....	222
16.1 概述 .....	222
16.2 技术研发简介 .....	222
16.3 现代往复式单螺杆混炼机 .....	226
16.4 流场建模 .....	227
16.5 组合模块化机器的理论 .....	230
16.6 实验研究 .....	232
参考文献 .....	234
<b>第 17 章 反应挤出</b> .....	236
17.1 概述 .....	236
17.2 发展史 .....	236
17.3 聚烯烃控制降解 .....	238
17.4 在聚烯烃上接枝反应单体 .....	238
17.5 卤化脂肪族碳氢聚合物 .....	239
17.6 乙烯-乙烯醋酸共聚物的酯交换反应 .....	240
17.7 热塑性弹性体的交联反应 .....	240
17.8 内酰胺的阴离子聚合反应 .....	241
17.9 聚氨酯的聚合反应 .....	242
17.10 三氧杂环己烷的开环聚合反应 .....	242
17.11 内酯的阴离子聚合反应 .....	243
17.12 聚醚酰亚胺的聚合反应 .....	243
17.13 丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物 .....	243
17.14 内酰胺-内酯嵌段共聚物 .....	244
17.15 最后评价 .....	244
参考文献 .....	244

<b>第 18 章 脱挥及脱水</b> .....	248
18.1 概述 .....	248
18.2 早期挤出脱挥 .....	248
18.3 双螺杆挤出脱水和脱挥的发展史 .....	249
18.4 脱挥的建模 .....	251
18.5 脱挥的实验研究 .....	252
参考文献 .....	253
<b>第 19 章 比较与结论性评价</b> .....	255
19.1 概述 .....	255
19.2 流动机理 .....	255
19.3 停留时间分布 .....	256
19.4 机器特征 .....	257
19.5 应用 .....	257
19.6 不同机器的商业成就 .....	258
参考文献 .....	259

---

# 第 1 章

## 多螺杆挤出机概论

### 1.1 概述

螺杆挤出机是热塑性塑料工业的主要加工机械，在许多相关工业中也扮演着重要的角色。当然，聚合物工业中的这类主要连续加工机械一直是单螺杆挤出机。然而，这些年来，我们也见证了多螺杆挤出机的发展过程，尤其是双螺杆挤出机的发展。一般情况下，多螺杆挤出机被归类为单一的范畴，其分类并不清晰。

双螺杆挤出机在实际生产中具有多种优势。啮合异向双螺杆挤出机具有正位移泵送的功能，与单螺杆挤出机比较，其具有高产量、短停留时间、其产量与机头压力无关等特点。双螺杆挤出机，尤其是非啮合双螺杆挤出机，具有很大的界面面积，有利于高效脱挥。积木式双螺杆挤出机是一种多用途设备，可被广泛地用于物料共混、反应挤出和其他应用领域。

本书主要内容包括以下几个方面：①双螺杆挤出机的介绍及其分类；②双螺杆挤出机的发展历程及其应用；③双螺杆中的物料流动机理及其表征模型；④设备性能的实验研究；⑤具有竞争性机器的介绍，如布斯往复式单螺杆混炼机（Buss Kokneter）和连续混炼机。

本章主要介绍不同类型多螺杆挤出机的概述及其分类。其中，1.2节讨论螺杆几何结构，然后延伸到多螺杆机器的分类；1.3节讨论这些机器中螺杆的相对旋转方向及螺杆根数；1.4节讨论了螺杆之间的接触方式；而有关螺杆结构的分



段及模块化问题则在 1.5 节中进行了阐述。

## 1.2 螺杆几何结构

在讨论双螺杆及多螺杆挤出机之前，我们必须了解单根螺杆的几何结构。一根挤出机螺杆的基本几何结构如图 1.1 (a) 所示。 $D_B$  为与螺杆相配合的机筒内直径， $H$  为螺杆根部至机筒内表面的距离， $\delta_i$  为螺棱顶端与机筒内表面的径向间隙。需要注意的是， $H$  值的大小随着相邻螺棱之间的结构位置而变化。螺杆根部可能呈曲面形状，螺棱与螺杆轴线垂直，但无需与螺杆根部相互垂直。

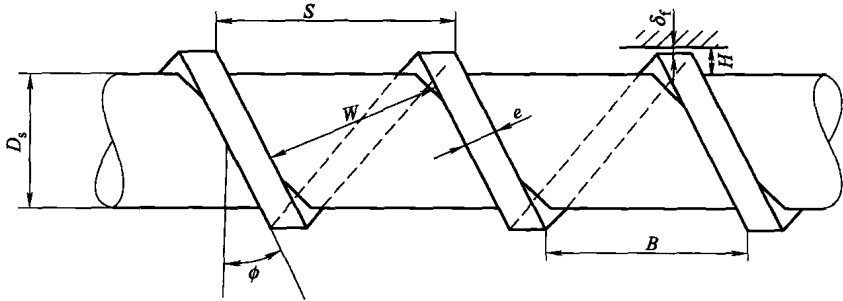


图 1.1 (a) 单头挤出机螺杆

螺纹旋转一圈所形成的轴向距离（螺杆导程或螺距）为  $S$ ，相邻螺棱之间的轴向距离为  $B$ ， $e$  为螺棱的垂直宽度， $W$  为沿螺旋路径方向相邻螺棱之间的垂直距离， $\phi$  为螺旋角。垂直距离  $W$  可能会随着螺棱高度的增加发生改变（增大），螺棱厚度随之减小。

螺旋角  $\phi$  随半径而变化，这是因为螺距  $S$  不变， $\phi$  被定义为将  $S$  与圆周周长关联，如

$$S = 2\pi r \tan\phi(r) \quad (1.1)$$

因此，在螺杆根部，有

$$S = \pi D_s \tan\phi_s \quad (1.2a)$$

在机筒内表面

$$S = \pi D_b \tan\phi_b \quad (1.2b)$$

从螺杆根部至机筒内表面，螺旋角  $\phi$  逐渐减小。

上述定义的几何参数的值沿一根螺杆上不一定是常数，比如， $W$ 、 $e$ 、 $\phi$  不但沿螺杆半径方向从螺杆根部到机筒表面发生变化，也会沿着螺杆长度方向上变化。螺距也可能沿着螺杆长度发生变化。

在上述段落中定义的几何参数之间存在着许多几何关系。螺距  $S$  与  $B$  和  $e$