

塑料成型加工丛书

# 挤出成型

张丽叶 编著

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

挤出成型/张丽叶编著. —北京:化学工业出版社,  
2001.9

(塑料成型加工丛书)

ISBN 7-5025-3380-X

I. 挤… II. 张… III. 挤出成型 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 045731 号

---

塑料成型加工丛书

挤出成型

张丽叶 编著

责任编辑:白艳云

责任校对:洪雅姝

封面设计:蒋艳君

\*

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

北京市燕山印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 16¼ 字数 441 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3380-X/TQ·1397

定 价: 36.00 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

挤出成型是聚合物加工中出现较早的一门技术，在 19 世纪初已有使用。随着聚合物合成技术的发展，挤出技术得到不断挖掘和完善，尤其是塑料工业的迅速发展和新型聚合物材料的生产，更加促进了挤出成型技术的发展。挤出成型在塑料新材料的加工、新产品的成型中占有重要位置，与其他加工方法相比，它应用的广泛性是人们公认的。对于挤出成型理论的研究和技术的开发也是诸种成型方法中较为深入的。

编写本书的出发点有二：一是目前我国从事挤出成型生产和应用这一技术的人员数量增长，人们对这一技术的系统了解有需求；二是有关专业在校的大学生课程设置宽泛，不可能在某一领域讲授非常细致，本书可望在需要时能达到为他们补充知识的作用。

本书以讲述挤出成型技术为主，涉及所加工原材料的品种和性能、挤出成型的原理，重点讲述几类产品的加工方法。

本书第一章由樊润协助编写，第二章由熊茂林编写，其他章节主要由张丽叶编写。熊茂林、樊润等还协助做了大量文字方面的工作。

在编写过程中，我们力图努力从实践和理论出发，也尽量编入一些比较新鲜的内容，但由于水平有限，时间仓促，自知存在一些遗憾与不足，更会存在许多错误之处，欢迎批评指正，也期待着将来有机会完善、改进，让这本书更加有生命力。

张丽叶

2002 年 5 月

北京

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 挤出成型技术的发展</b> .....	1
一、挤出成型技术的历史和概况 .....	1
二、挤出成型技术的成长和发展 .....	2
三、挤出成型技术在聚合物加工中的地位与作用 .....	3
<b>第二节 挤出成型过程及设备简介</b> .....	4
一、挤出成型生产的基本过程 .....	4
二、挤出成型生产线的组成 .....	5
三、挤出成型生产工艺控制 .....	7
<b>第三节 挤出成型用原材料</b> .....	8
一、概述 .....	8
二、热塑性塑料 .....	8
三、橡胶及热塑性弹性体 .....	16
四、共混物 .....	17
<b>主要参考文献</b> .....	17
<b>第二章 与挤出成型有关的聚合物基本性能</b> .....	18
<b>第一节 聚合物的一般物理性能</b> .....	18
一、松散物料性能 .....	18
二、聚合物材料的力学性能 .....	23
三、聚合物材料的热性能 .....	26
<b>第二节 聚合物的流变性能</b> .....	29
一、流变学的基础方程 .....	29
二、牛顿流体与非牛顿流体 .....	32
三、高聚物的流动性表征 .....	33
四、温度和压力对粘度的影响 .....	35
五、粘弹性行为 .....	36
六、流体在简单截面管道中的流动 .....	37

七、口模内流动的不稳定性 .....	40
第三节 聚合物的结晶性能 .....	42
一、高分子链结构与结晶性 .....	42
二、成型过程与聚合物结晶 .....	42
三、成型后处理方法与聚合物结晶 .....	43
四、结晶对聚合物制品性能的影响 .....	43
五、挤出成型工艺条件与聚合物结晶 .....	44
第四节 挤出成型过程中的聚合物分子取向 .....	45
一、聚合物的流动取向 .....	46
二、拉伸取向工艺对挤出产品性能的影响 .....	46
三、结晶型聚合物的拉伸定向 .....	48
主要参考文献 .....	49
<b>第三章 挤出原理</b> .....	<b>50</b>
第一节 概述 .....	50
一、聚合物在单螺杆中的挤出过程 .....	50
二、挤出理论的主要内容、研究方法和意义 .....	53
三、普通螺杆的结构参数及几何形状 .....	54
第二节 固体输送理论 .....	56
一、固体摩擦输送的基本假设 .....	56
二、固体输送率的计算 .....	57
三、对固体输送理论方程中有关因素的讨论 .....	60
四、对固体摩擦理论的修正 .....	66
五、固体输送段的功率计算 .....	67
第三节 熔融过程 .....	69
一、熔融模型 .....	70
二、熔融过程的数学分析 .....	72
三、影响熔融过程因素的讨论 .....	80
第四节 熔体输送 .....	83
一、螺槽中熔体流动的速度分布 .....	83
二、均化段的生产率 .....	91
三、对生产率公式的讨论 .....	96
四、生产率公式的修正 .....	98
五、均化段流动理论对功率消耗的分析 .....	101

第五节	排气挤出机工作原理	105
一、	排气挤出机的基本结构及工作原理	106
二、	排气挤出机的稳定工作条件及其稳定化调节	107
三、	排气螺杆的主要参数	112
第六节	双螺杆、多螺杆及无螺杆挤出机挤出原理	115
一、	双螺杆挤出机的结构和类型	116
二、	双螺杆挤出机的工作原理	118
三、	双螺杆挤出机中的功能元件	124
四、	多螺杆挤出机	130
五、	无螺杆挤出机	132
	主要参考文献	134
第四章	挤出机	136
第一节	概述	136
一、	挤出机的分类	136
二、	单螺杆挤出机的主要参数及规格	137
三、	双螺杆挤出机的主要参数和规格	137
第二节	常规螺杆设计	141
一、	选择和设计螺杆应考虑的因素	141
二、	常规全螺纹三段螺杆的设计	143
第三节	新型螺杆	154
一、	常规全螺纹三段式螺杆存在的问题及其解决办法	155
二、	几种常见的新型螺杆结构	157
三、	新型螺杆设计中应注意的问题	173
第四节	料筒及挤压系统其他零部件	174
一、	机筒	174
二、	分流板和过滤网	176
三、	加料装置	178
四、	聚合物加工中对螺杆料筒的磨蚀问题及材质的选择	180
第五节	挤出机的传动系统	181
一、	挤出机的工作特性	181
二、	挤出机的转速调节	182
三、	传动系统的组成及传动形式	183
第六节	挤出机的加热冷却系统	184

一、挤出机加热 .....	184
二、挤出机冷却 .....	186
三、螺杆的加热与冷却 .....	187
四、挤出机的测温与控温 .....	188
第七节 挤出机的正常操作及故障排除 .....	190
一、挤出机的正确使用 .....	190
二、挤出机的维护与保养 .....	191
三、挤出机的常见故障及处理方法 .....	191
主要参考文献 .....	194
<b>第五章 造粒</b> .....	<b>195</b>
第一节 概述 .....	195
一、造粒在树脂生产和聚合物加工中的作用 .....	195
二、造粒工艺流程 .....	195
三、造粒物料的组成 .....	197
第二节 造粒设备及其操作 .....	200
一、原料准备 .....	200
二、捏合 .....	203
三、塑炼 .....	205
四、成粒 .....	210
第三节 聚氯乙烯粒料的制备 .....	216
一、聚氯乙烯树脂的型号及性能 .....	216
二、聚氯乙烯中常用的助剂 .....	217
三、聚氯乙烯配方举例 .....	227
四、聚氯乙烯造粒工艺 .....	230
第四节 聚合物共混物粒料的制备 .....	238
一、共混聚合物的结构形态 .....	239
二、共混体系的相容性 .....	244
三、共混改性聚合物品种 .....	246
四、共混聚合物造粒工艺 .....	251
第五节 填充聚合物粒料的制备 .....	254
一、填充剂的种类及性能 .....	254
二、填充改性聚合物的形态结构 .....	259
三、填料的处理技术 .....	260

四、填充聚合物的挤出造粒工艺 .....	262
第六节 纤维增强聚合物粒料的制备 .....	264
一、增强材料的种类及性能 .....	265
二、聚合物增强机理 .....	266
三、增强材料的表面处理 .....	267
四、纤维增强热塑性塑料的挤出造粒方法 .....	268
第七节 母粒的制备 .....	270
一、母粒制备工艺的优点 .....	270
二、色母粒的组成及制备方法 .....	272
三、色母粒生产中的挤出机 .....	276
第八节 废旧塑料回收造粒工艺 .....	279
一、废旧塑料的特性 .....	279
二、废旧塑料的预处理 .....	280
三、废旧塑料的挤出造粒工艺及设备 .....	282
主要参考文献 .....	286
第六章 挤出管材 .....	287
第一节 概述 .....	287
一、塑料管材的性能及用途 .....	287
二、挤管工艺 .....	287
三、挤出管材的原材料种类及树脂型号 .....	288
第二节 聚氯乙烯硬管 .....	290
一、挤出设备及装置 .....	290
二、挤管工艺 .....	302
三、聚氯乙烯硬管质量要求 .....	305
四、生产中的现象及解决方法 .....	307
第三节 聚氯乙烯软管 .....	308
一、挤出设备 .....	308
二、生产工艺 .....	309
三、聚氯乙烯软管质量要求 .....	310
四、生产中的不正常现象及解决方法 .....	311
第四节 聚乙烯、聚丙烯管 .....	312
一、机头及冷却定型装置 .....	312
二、辅机的选用 .....	316



三、生产工艺 .....	316
四、聚乙烯、聚丙烯管质量要求 .....	317
五、不正常现象、原因及解决办法 .....	321
第五节 其他树脂挤出管材 .....	322
一、尼龙管的生产工艺及设备 .....	322
二、ABS管的生产工艺及设备 .....	323
三、聚碳酸酯管的生产工艺及设备 .....	324
四、氯化聚氯乙烯管的生产工艺及设备 .....	325
五、聚甲醛管的生产工艺及设备 .....	326
六、氯化聚醚管的生产工艺及设备 .....	327
七、聚砜管的生产工艺及设备 .....	328
第六节 特殊性能与特殊结构的挤出管材 .....	328
一、热收缩管 .....	328
二、交联聚乙烯管 .....	336
三、铝塑复合管 .....	342
四、波纹管 .....	345
五、发泡复合管 .....	349
主要参考文献 .....	353
<b>第七章 挤出异型材 .....</b>	<b>355</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>355</b>
一、塑料异型材的特点及用途 .....	355
二、生产塑料异型材的原料 .....	357
三、塑料异型材生产工艺 .....	358
<b>第二节 聚氯乙烯异型材截面形状 .....</b>	<b>359</b>
一、挤出异型材截面设计原则 .....	359
二、异型材截面形状设计要点 .....	360
三、聚氯乙烯门、窗异型材截面形状实例 .....	362
四、型材截面尺寸的确定 .....	364
<b>第三节 挤出异型材的设备及装置 .....</b>	<b>365</b>
一、挤出机 .....	365
二、异型材机头 .....	367
三、定型装置 .....	382
四、牵引及切割装置 .....	387

第四节	聚氯乙烯异型材生产工艺 .....	389
一、	聚氯乙烯门、窗框的原料组成及生产工艺 .....	389
二、	生产中的不正常现象、原因及解决办法 .....	396
第五节	其他品种的异型材 .....	397
一、	低发泡异型材挤出 .....	397
二、	双组分异型材 .....	402
三、	与非塑料材料复合的异型材 .....	405
主要参考文献	.....	408
<b>第八章</b>	<b>板与片的挤出成型</b> .....	<b>409</b>
第一节	概述 .....	409
第二节	挤出板材与片材的生产设备 .....	410
一、	挤板生产线的组成 .....	410
二、	机头 .....	411
三、	三辊压光机 .....	415
第三节	板与片的生产工艺 .....	416
一、	挤出温度 .....	417
二、	三辊压光机温度 .....	417
三、	板材厚度与模唇间隙、三辊间距的关系 .....	418
四、	牵引速度的调节 .....	418
五、	原料的流动性 .....	419
六、	不正常现象、原因及解决办法 .....	419
第四节	几种热塑性塑料片及板的挤出工艺 .....	420
一、	聚乙烯挤出板材、片材 .....	420
二、	聚丙烯挤出板材、片材 .....	421
三、	聚氯乙烯透明片 .....	422
四、	聚苯乙烯挤出板材 .....	423
五、	ABS 挤出板材 .....	424
六、	聚碳酸酯挤出板材 .....	425
第五节	特殊结构的挤出板材 .....	427
一、	多层共挤复合片材 .....	427
二、	瓦楞板的挤出成型 .....	428
三、	格栅板的挤出成型 .....	432
四、	挤出发泡板、片 .....	433

第六节 平膜的挤出工艺 .....	437
一、挤出流延平膜成型工艺 .....	437
二、双向拉伸薄膜成型工艺 .....	439
三、多层共挤复合平膜 .....	445
四、气热膜的成型工艺 .....	448
主要参考文献 .....	450
<b>第九章 吹塑薄膜 .....</b>	<b>451</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>451</b>
一、吹塑薄膜的特点和使用的原材料 .....	451
二、吹塑薄膜的用途及性能要求 .....	451
三、吹塑薄膜工艺流程 .....	452
<b>第二节 吹塑薄膜成型设备及装置 .....</b>	<b>453</b>
一、挤出机 .....	453
二、机头 .....	454
三、冷却装置 .....	458
四、人字板 .....	459
五、牵引装置 .....	460
六、导向辊与展平辊 .....	460
七、卷取装置 .....	460
<b>第三节 吹塑薄膜生产工艺 .....</b>	<b>461</b>
一、成型温度 .....	461
二、吹胀比 .....	462
三、拉伸比 .....	464
四、冷却速度 .....	465
五、生产中的异常现象及其处理 .....	466
<b>第四节 各种吹塑薄膜的生产工艺 .....</b>	<b>467</b>
一、LDPE 和 LLDPE 吹塑薄膜 .....	467
二、HDPE 吹塑薄膜 .....	472
三、PP 吹塑薄膜 .....	473
四、EVA 吹塑薄膜 .....	475
五、软质 PVC 吹塑薄膜 .....	476
六、硬质 PVC 吹塑薄膜 .....	478
七、尼龙吹塑薄膜 .....	479

第五节 特殊性能吹塑薄膜生产工艺 .....	480
一、重包装吹塑薄膜 .....	480
二、热收缩薄膜 .....	481
三、聚偏氯乙烯 (PVDC) 高阻隔性薄膜 .....	484
四、多孔薄膜 .....	486
五、防雾滴农用薄膜 .....	487
六、自消型薄膜 .....	489
七、共挤复合膜生产工艺及设备 .....	489
主要参考文献 .....	497
<b>第十章 挤出成型的发展 .....</b>	<b>498</b>
第一节 反应挤出 .....	498
第二节 固态挤出 .....	500
第三节 挤出成型工艺的发展趋势 .....	502
一、挤出产品的大型化 .....	502
二、挤出生产的高效率 .....	503
三、共挤出技术的发展 .....	504
四、挤出成型的新工艺 .....	505
第四节 挤出成型设备的发展 .....	506
主要参考文献 .....	507

# 第一章 绪 论

## 第一节 挤出成型技术的发展

### 一、挤出成型技术的历史和概况

找寻挤出成型技术的产生年代，可能会溯及比较久远的通心粉和其他食品，制砖和陶瓷制品的挤出法加工。而对于最早将挤出法用于聚合物加工的说法，比较一致地认为——始于 1845 年，专利申请人 R. Brooman 的关于挤出法成型以古塔波胶为包覆层的电线的专利申请。

当时的挤出机是柱塞式的，操作方式由手动到机械式到液压式，不断进步，但这一时期中无论哪种形式，只反映操作的难易程度和人工劳动强度的差异，而生产过程的本质——间歇式，是那一个时期挤出机共同的特点。

到了 1879 年，英国人 M. Gray 取得第一个采用阿基米德螺旋式螺杆挤出机专利，同年另一英国人 F. Shaw 也研制出螺杆式挤出机，而且在两年之后，他将自己研制的螺杆式挤出机转化为产品出售。1880 年，美国人 J. Royle 也开发了一种螺杆式挤出机。在比较接近的几年中，涌现出几种不同类型的挤出机。

最早成批量生产和出售螺杆式挤出机的是德国的机械制造商 Paul Troester。从 1892 年~1912 年的 20 年里，他生产销售了 500 多台螺杆式挤出机。也是这一制造商，于 1935 年研制生产了用于热塑性塑料的挤出机。在此之前，挤出机螺杆长径比约为 3~5，显然，挤出橡胶不成问题，但对于热塑性塑料则不可能满足塑化的要求。这家公司除增大了挤出机螺杆的长径比，还在加热方式、加料装置和传动装置方面也做了许多改进。到了 1939 年，他们把塑料挤出机发展到了一个新阶段，或许可称为“现代单螺杆挤出机阶

段”。这一阶段的特征是挤出机采用直接电加热，空气冷却、自动控温装置、内衬式料筒和螺杆表面渗氮处理，螺杆长径比为 10，无级变速的传动装置等。

自现代单螺杆挤出机出现至今的几十年里，可加工的聚合物种类，制品的结构、形式不断扩大，使得包括挤出成型工艺，成型设备，研究开发新产品、新工艺的手段等全面推进。

## 二、挤出成型技术的成长和发展

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，石油化工的发展使得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：早些年的硬 PVC 管，包覆电缆，聚苯乙烯、聚丙烯和 ABS 片材与板材，聚乙烯吹塑薄膜和涂覆薄膜等，如今的 PVC 型材，交联聚乙烯、铝塑复合、PPR 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、自粘性、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及生产线；混炼型螺杆，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。制品能够达到高质量，生产中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。

### 三、挤出成型技术在聚合物加工中的地位与作用

与聚合物其他的成型方法相比，挤出成型有许多突出的优点。

(1) 生产连续化 可以根据需要生产任意长度的管材、板材、棒材、异型材、薄膜、电缆及单丝等。

(2) 生产效率高 挤出机的单机产量较高，如一台直径 65mm 的挤出机组，生产聚氯乙烯薄膜，年产量可达 450t 以上。

(3) 应用范围广 这种加工方法在橡胶、塑料、纤维的加工中都广为采用，尤其是塑料制品，几乎是绝大多数热塑性塑料和一些热固性塑料都可以用此法加工。除直接成型制品外，还可用挤出法进行混合、塑化、造粒、着色、坯料成型等，如挤出机与压延机配合，可生产压延薄膜；与压机配合，可生产各种压制成型件；与吹塑机配合，可生产中空制品。在橡胶制品生产工艺中，将挤出法用于制造胎面、内胎、胶管以及各种复杂断面形状制品及空心、实心、包胶等半成品，还可作滤胶、生胶的连续混炼、塑炼及造粒等用途。在石油化工厂中，生产树脂过程中，可用挤出机挤压脱除树脂中的水分，用挤出机完成各种牌号树脂中助剂、改性剂的混合，完成树脂的成粒工艺。

(4) 一机多用 一台挤出机，能够加工多种物料和多种制品。只要根据物料性能特点和产品的形状、尺寸更换不同的螺杆和机头，就可以生产不同的产品。

(5) 设备简单，投资少 与注塑、压延相比，挤出设备比较简单，制造较容易，设备费用较低，安装调试较方便。设备占地面积较小，对厂房及配套设施要求相对简单。

以上的优点决定了挤出成型在聚合物加工中的重要地位。完全使用或在工艺中含有挤出过程的塑料制品的生产，约占热塑性塑料

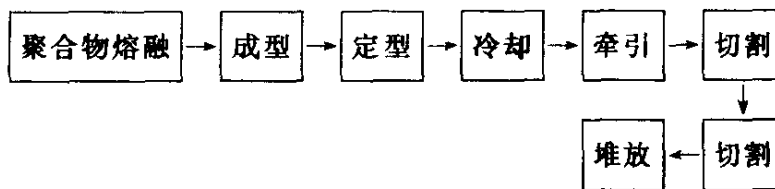
制品总量的一半。用这种方法成型的产品在农业、建筑业、石油化工、机械制造、医疗器械、汽车、电子、航空航天等工业部门都有应用。

## 第二节 挤出成型过程及设备简介

### 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，但基本过程大致相同，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，处于流动状态的物料取近似口型的形状，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，使制品连续地前进，并获得最终的制品尺寸。最后用切割的方法截断制品，以便储存和运输。

图 1-1 所示的管材挤出生产线是比较有代表性的挤出成型生产线，挤出成型的工艺过程为：



其他的挤出成型产品，随物料特性，制品大小和产量要求，挤出机的结构、类型和规格可以是不同的；机头结构、形状、尺寸按具体制品而设计制造；冷却定型方式依制品品种和材料性能而定；其余的辅机也会有很多不同点。然而，以上框图中的各工艺环节是基本相同的。



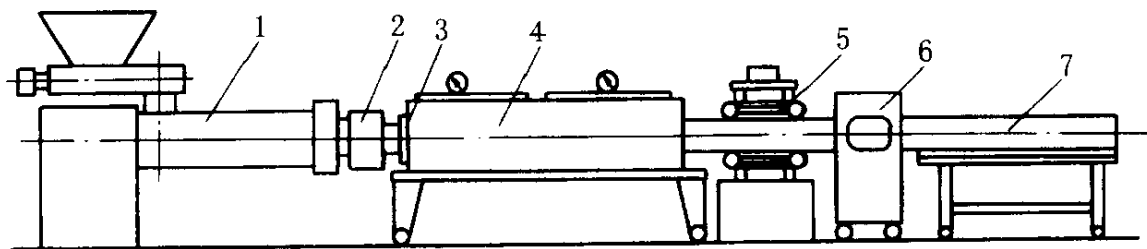


图 1-1 挤出管材生产线

1—挤出机；2—口模；3—定型装置；4—冷却水槽；  
5—牵引机；6—切割机；7—堆放装置

## 二、挤出成型生产线的组成

完成一种挤出产品的生产线通常由主机、辅机组成，这些组成部分统称为挤出机组。

### 1. 主机

如图 1-2 所示，一台挤出机由以下三部分组成。

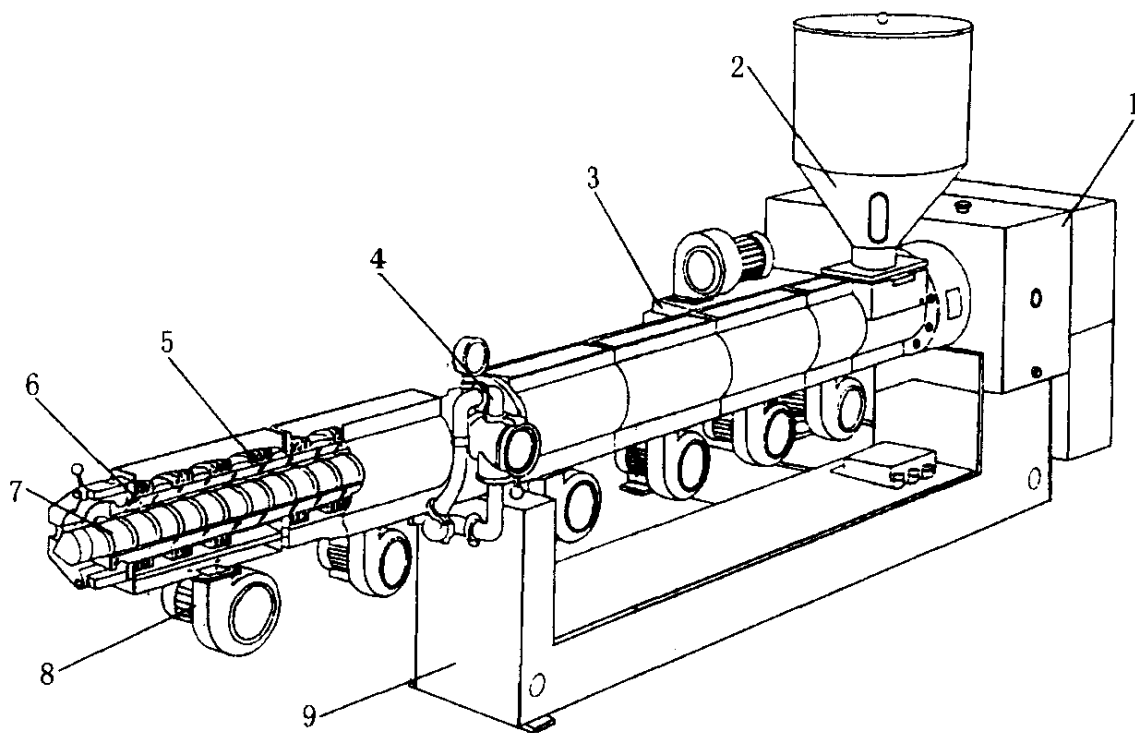


图 1-2 挤出机的组成

1—传动装置；2—加料斗；3—传动马达；4—排气装置；  
5—料筒加热器；6—料筒；7—螺杆；8—冷却装置；9—底座

① 挤压系统。它是挤出机的关键部分，主要由螺杆和机筒组