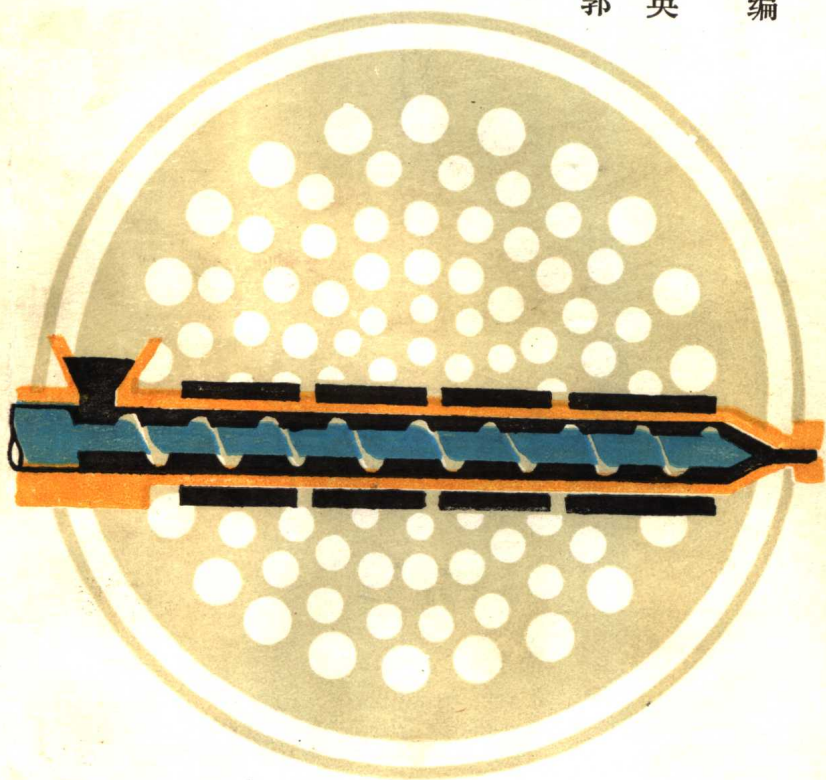


螺杆挤出机

郭英 编



纺织工业出版社

螺 杆 挤 出 机

郭 英 编

纺织工业出版社

内 容 提 要

本书叙述聚合物加工用螺杆挤出机的工作原理、性能、结构特点以及使用操作。内容包括聚合物熔体流变性，单螺杆塑化挤出机工作原理，螺杆挤出机类型和选用，纺丝螺杆挤出机的性能，螺杆和机筒的设计、制造及选用，螺杆挤出机的驱动、加热和冷却装置，螺杆挤出机的使用等。

本书可供从事聚合物加工，特别是合成纤维加工方面的科技人员以及大专院校师生阅读参考。

责任编辑：周皎林

螺 杆 挤 出 机

郭 英 编

纺织工业出版社出版

(北京东直门南大街4号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张：7 8/32 字数：160千字

1990年10月 第一版第二次印刷

印数：1—4,000 定价：1.95元

ISBN 7-5064-0737-X/TS·0700

前 言

在聚合物加工工业中，螺杆挤出机被广泛应用。随着螺杆挤出理论研究的日益深入和新型螺杆的不断涌现，螺杆挤出机的生产能力得到大幅度地提高，各项性能大为改善。为便于使用和制造者全面了解螺杆挤出机，特编写本书。

本书简要地介绍螺杆挤出理论和螺杆挤出机的结构特征，提供设计、选用螺杆挤出机的计算方法和公式，汇集供设计计算参考的数据、表格和曲线。由于纺丝螺杆挤出机的特殊性，本书有一定篇幅加以叙述，以满足合成纤维加工业者的需要。

本书尽量采纳国内外新理论和新技术成果，突出纺丝螺杆挤出机，但兼容其他。为了切合实用，本书多方收集数据资料并对生产经验进行总结。

在编写过程中曾得到北京化纤工学院化纤机械教研室同事们的热心帮助，特别是纺织工业部的李树璠同志，对本书提出宝贵意见，在此一并致谢。

限于编者水平，书中谬误难免，恳请读者批评指正。

编者

目 录

概述	(1)
第一章 聚合物熔体流变性	(4)
一、基本概念简介	(4)
(一) 熔体层流流动特性	(4)
(二) 聚合物的物理状态及其转变	(6)
(三) 简单流动的几何模型	(7)
(四) 剪切流动	(11)
二、牛顿流体与非牛顿流体	(12)
(一) 聚合物流变特性	(12)
(二) 幂次定律	(15)
第二章 单螺杆塑化挤出机工作原理	(20)
一、螺杆的几何尺寸关系	(21)
(一) 螺杆的径向尺寸	(21)
(二) 螺杆的轴向尺寸	(22)
二、固体输送	(23)
(一) 固体塞模型	(23)
(二) 固体物料输送速率	(28)
(三) 固体输送速率计算举例	(31)
三、熔融	(33)
(一) 熔融模型	(33)
(二) 熔融过程的理论计算	(36)
(三) 熔融过程计算举例	(41)
四、熔体输送	(47)
(一) 熔体流动的平板模型	(48)

(二) 熔体流动速率·····	(50)
(三) 螺杆特性·····	(54)
(四) 熔体输送速率计算举例·····	(57)
第三章 螺杆挤出机的类型和选用 ·····	(59)
一、单螺杆挤出机 ·····	(61)
(一) 熔体挤出机·····	(61)
(二) 塑化挤出机·····	(67)
(三) 排气挤出机·····	(71)
二、双螺杆挤出机 ·····	(75)
(一) 概述·····	(75)
(二) 非啮合型双螺杆挤出机·····	(80)
(三) 啮合型同向旋转式双螺杆挤出机·····	(82)
(四) 啮合型异向旋转式双螺杆挤出机·····	(88)
第四章 纺丝螺杆挤出机的性能 ·····	(90)
一、产量 ·····	(91)
(一) 纺丝联合机的产量要求·····	(91)
(二) 纺丝螺杆挤出机产量范围及选用·····	(92)
二、驱动功率 ·····	(97)
(一) 螺杆挤出机的能量平衡关系·····	(97)
(二) 螺杆驱动功率·····	(98)
三、加热功率 ·····	(103)
(一) 挤出过程中理论耗热量·····	(103)
(二) 加热器功率的经验概算·····	(104)
四、螺杆转速范围 ·····	(107)
第五章 螺杆和机筒的设计及选用 ·····	(110)
一、纺丝螺杆类型 ·····	(112)
(一) 常规螺杆·····	(112)

(二) 新型螺杆·····	(113)
二、螺杆尺寸和结构·····	(118)
(一) 常规螺杆的经验设计·····	(118)
(二) 常规螺杆的半经验设计·····	(127)
(三) 常规螺杆的模型放大设计·····	(132)
(四) 分离型螺杆设计·····	(134)
(五) 直槽屏障型螺杆设计·····	(139)
(六) 销钉分流型螺杆设计·····	(143)
三、机筒结构·····	(147)
(一) 普通机筒·····	(147)
(二) 开槽机筒·····	(151)
四、螺杆和机筒的强度计算·····	(153)
(一) 螺杆的强刚度计算·····	(153)
(二) 机筒的强度校核·····	(157)
第六章 螺杆和机筒的制造·····	(159)
一、螺杆和机筒的材料及表面处理·····	(159)
(一) 螺杆的材料及表面处理·····	(159)
(二) 机筒的材料及表面处理·····	(162)
二、螺杆和机筒的技术要求·····	(166)
(一) 螺杆的技术要求·····	(166)
(二) 机筒的技术要求·····	(168)
三、螺杆的制造·····	(170)
(一) 螺杆的加工工艺·····	(170)
(二) 加工螺杆的机床和附件·····	(171)
四、机筒的制造·····	(173)
(一) 机筒的加工工艺·····	(173)
(二) 加工机筒的机床和附件·····	(173)

第七章 螺杆挤出机的驱动装置	(175)
一、螺杆挤出机的驱动电机和调速方式.....	(175)
(一) 螺杆挤出机的工作特性.....	(175)
(二) 驱动电机和调速方式.....	(177)
二、螺杆挤出机的传动和推力轴承系统.....	(180)
(一) 螺杆挤出机的传动系统.....	(180)
(二) 螺杆挤出机的推力轴承系统.....	(186)
第八章 螺杆挤出机的加热和冷却装置	(190)
一、加热器和系统的保温.....	(190)
(一) 加热器.....	(190)
(二) 保温.....	(197)
二、冷却装置.....	(200)
(一) 冷却装置的应用.....	(200)
(二) 冷却系统计算.....	(203)
第九章 螺杆挤出机的使用	(205)
一、螺杆挤出机的安装与调整.....	(205)
(一) 挤出机的安装.....	(205)
(二) 挤出机螺杆的装拆.....	(208)
二、螺杆挤出机的操作.....	(210)
(一) 挤出机的开车.....	(210)
(二) 挤出机的正常运转操作.....	(212)
(三) 挤出机维护保养.....	(212)
三、螺杆挤出机的故障及其处理.....	(214)
(一) 螺杆挤出机故障发生的规律性.....	(214)
(二) 挤出系统的故障及其处理.....	(215)
参考文献	(221)

概 述

螺杆挤出机是聚合物加工工业中广为应用的重要机器。利用螺杆挤出机进行的挤出加工具有优质、高产、连续成形的优点，在各种聚合物加工机械中占有突出的地位。螺杆挤出机的应用不仅遍及聚合物加工工业，而且正向食品加工、药品加工、玻璃加工和建材加工等工业延伸。

回溯螺杆挤出机的历史，已有一百余年。最原始的“挤出机”是用来制砖瓦陶瓷和加工食品的。真正作为工业应用的标志是1866~1890年创造的用于挤出橡胶电线绝缘层的螺杆挤出机。1920~1930年，一些新型的聚合物材料陆续问世，塑料工业有了迅速发展的条件。特别是在1939~1946年二次世界大战期间军事工业的需求和刺激，聚氯乙烯和聚乙烯的挤出技术飞跃发展。螺杆挤出机就整体来说得到定型，各个工作部件日益精良。到本世纪50年代初，螺杆挤出机在设计、制造和使用技术方面积累起丰富的经验，机器质量和相应的挤出制品质量达到完善的程度。与此同时，对螺杆挤出成形的理论进行研究。第一项成果是卡里(Carley)、马劳克(Mal-louk)、麦凯威(Mckelvey)等于1952年发表的关于牛顿流体的挤出理论。1956年达涅(Darnell)和摩尔(Mol)等发表固体输送理论的研究报告。1965年泰莫尔(Tadmor)、马歇尔(Marshall)和柯林(Klein)等人建立相迁移区的数学模型，成为熔融理论的基础。随后郑(Chung)和多诺万(Donovan)等人进一步发展挤出理论。70年代初，电子计算机技术迅速

发展，为螺杆挤出理论的研究和实际应用提供得力工具。近年来，在能源危机冲击下，人们不仅注意大幅度提高螺杆挤出机的产量和挤出制品质量，而且更加注意能量的有效利用。近些年生产的螺杆挤出机大量采用新型结构的螺杆。微型计算机温度监控系统已成功地用于实际生产。螺杆挤出机不仅在传统的橡胶加工、塑料加工中广为应用，而且在合成纤维熔体纺丝加工生产线中也成为重要的组成部分。目前，螺杆挤出机不仅担负推送熔体的任务，而且还具有熔融固体物料，使之充分混炼的能力（如塑化挤出机）。

现代螺杆挤出机可分为以下 5 部分（参见图 0-1，0-2）。

挤出系统：担负输送、熔融、混炼物料等任务，是挤出机的工作机构。主要由螺杆和机筒组成。螺杆和机筒均经过精密加工和特殊处理。要求螺杆外径和机筒内孔有很小的间隙，以保证螺杆既能在机筒中轻快旋转；又不致有大量物料漏泄回流，同时保证机件有较长的工作寿命。一个机筒中配置一根螺杆时，称为单螺杆挤出机；配置两根螺杆时，称为双螺杆挤出机。超过两根螺杆的多螺杆挤出机极为少见。

传动系统：作用是保证螺杆以所需要的扭矩和转速稳定而均匀地旋转。主要由电动机、减速器、推力轴承系统等组成。一般要求速度可调节，现代挤出机大多数采用电动机无级调速，机械减速器减速的传动系统。

加热、冷却系统：功用是通过加热和冷却，调节聚合物温度，以保证物料始终在其工艺要求的范围内挤出。主要由加热器和冷却装置组成。

供料系统：担负向挤出机供应物料的任务。因机器功能不同而有不同的组成。如熔体挤出机主要由管路组成，塑化挤出机则采用料斗供料。

电气控制系统：常由温度、压力和转速控制系统构成。温控系统通过测温元件和二次仪表检测温度，并控制加热、冷却系统按设定温度工作。压力和转速控制系统，通过熔体测压元件和二次仪表检测压力并反馈调节电机转速，稳定挤出压力。

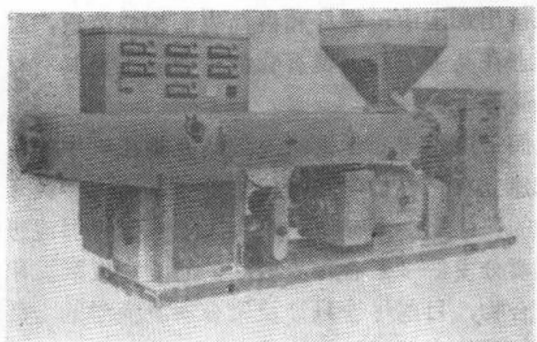


图0-1 单螺杆挤出机外观

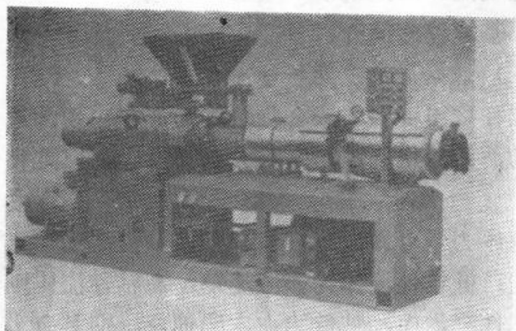


图0-2 双螺杆挤出机外观

第一章 聚合物熔体流变性

在挤出加工中，螺杆和机筒表面构成流道，聚合物以固态或液态在其中流动。聚合物液体实际上是具有粘弹性的熔融体，简称熔体。

人们常应用流变学来研究熔体在挤出机中的行为。流变学就是建立在弹性力学和流体力学等基础上“关于物质形变及流动的科学”。高分子材料加工工业的发展促进现代流变学的重要分支——聚物流变学的建立和发展。用挤出方法加工聚合物，目前尽管只涉及聚物流变学的一部分内容，然而它却是挤出原理重要的基础，因此，必须了解聚合物熔体在形变及流动时的表现，或其流变性。

一、基本概念简介

(一) 熔体层流流动特性

在螺杆挤出机中，聚合物熔体的形变表现为近似的纯粘弹性流动，为简化问题，常略去其弹性，而以纯粘性流体来对待。

由流体力学可知，一般情况下，粘性流动形式因流体性质而不同。低粘性流体为紊流流动，高粘性流体则为层流流动。高粘性流体中，粘性力占支配地位，即具有小的雷诺数。一般聚合物熔体粘度都很高，雷诺数极小，均可维持层流状态。

沿着任一截面管道流动的雷诺数 Re 的表达式为：

$$Re = \frac{4Ur}{\nu} \quad (1-1)$$

式中：U——流体平均流动速度(m/s)；

r——水力半径(m)；

ν ——流体运动粘度(m^2/s)。

水力半径系管道横截面面积A与封闭轮廓周长 Π 之比，即

$$r = \frac{A}{\Pi} \quad (1-2)$$

螺杆挤出机螺杆矩形截面螺槽的水力半径为：

$$r = \frac{WH}{2W + 2H} \quad (1-3)$$

式中：W——螺槽法向宽度；

H——螺槽深度。

一般螺杆的H值都比W值小得多，故上式可简化为：

$$r \approx \frac{H}{2} \quad (1-4)$$

采用这一近似式，经整理后，得出熔体在螺槽中流动的雷诺数计算式：

$$Re = \frac{2UH\rho_m}{\eta} \quad (1-5)$$

式中： ρ_m ——聚合物熔体密度(kg/m^3)；

η ——聚合物熔体动力粘度($Pa \cdot s$)。

在实际计算中，粘度单位常采用泊(P)，其换算关系为， $1P = 0.1 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 0.1Pa \cdot \text{s}$ 。

例如，聚酯熔体密度 $1.17 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，粘度2000P，螺杆

直径90mm，螺槽深度4mm，熔体在螺杆中的平均流动速度0.1m/s。由式(1-5)可计算出雷诺数：

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{2 \times 0.1 \times 4 \times 10^{-3} \times 1.17 \times 10^3}{2000 \times 10^{-1}} \\ &= 4.68 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

(二) 聚合物的物理状态及其转变

按照聚合物分子链排列是否有序，可将其划分为有序的结晶聚合物和无序的无定形（非结晶）聚合物。

熔融挤出加工是在一定的温度范围内进行的。无论何种聚合物都经历由固态到粘性液态的相变过程。考察聚合物的热机械曲线（图1-1）可发现，无定形聚合物有明显的三个状态变化：玻璃态、橡胶态（或高弹态）和粘流态。玻璃态下，聚合物脆硬；橡胶态下，则具有丰富的弹性。玻璃态和橡胶态的转化温度称为玻璃化温度 T_g 。粘流态下聚合物成为粘滞流体。橡胶态和粘流态的转化温度称为粘流温度 T_f 。

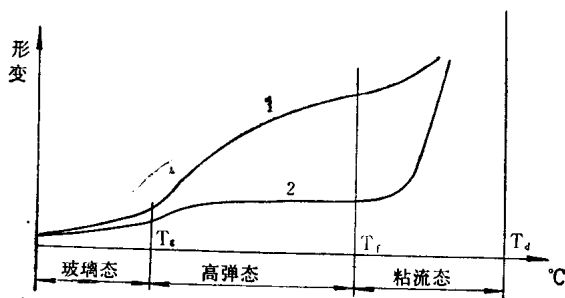


图1-1 聚合物热机械曲线

1—无定形聚合物 2—结晶聚合物

对于完全结晶的聚合物，只存在一个转化温度，即称为

熔点的结晶熔化温度 T_m 。在熔点以下，聚合物总处于硬结晶态，不出现玻璃化转变和高弹态。但实际上许多聚合物，如用于熔融纺丝的高聚物，都是部分结晶，其中仍含有相当数量的无定形体，因此依然有玻璃化转变和高弹态，不过变化不象无定形聚合物那样显著。

结晶或半结晶态的聚合物，习惯上采用熔点 T_m 作为转化温度。由于存在无定形结构等原因，熔点并不完全确定，常有 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 的变动。

聚合物的耐热性是有限度的，当超过它本身的热分解温度 T_d 以后，将发生热裂解和热氧化裂解。挤出加工的基本温度条件是挤出温度高于熔点，低于热分解温度。 T_m 和 T_d 之间的范围愈宽，聚合物愈容易承受挤出加工。表1-1给出几种常用聚合物的熔点等物理性质。

(三) 简单流动的几何模型

聚合物熔体在挤出机中的流动是相当复杂的，对于这样复杂的系统可首先通过理想化的简单流动模型进行研究。流体在圆形管和平行平板中流动是最简单常用的模型。

流体流动是因外力作用引起的，由于压力差造成所谓压力流动，由于摩擦粘附造成所谓牵引流动。

简单模型之一：流体通过圆形截面管，管两端经常保持一定压力差，产生压力流动。见图1-2。

对于牛顿流体，流动速度方程为，

$$u = \frac{R^2 \Delta P}{4\eta L_a} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (1-6)$$

式中： u ——流体在圆形管中 r 处的流动速度；

R ——圆形管半径；

表1-1 挤出常用聚合物物性数据

聚 合 物	低密度 聚乙烯 LDPE	高密度 聚乙烯 HDPE	聚苯乙烯 PS	聚氯乙烯 PVC	聚丙烯 PP	聚 酯 PET	尼龙6 PA6	尼龙66 PA66
密 度 (kg/m^3) $\times 10^3$	0.910~ 0.925	0.940~ 0.965	1.04~ 1.1	1.16~ 1.55	0.90~ 0.91	1.31~ 1.33	1.12~ 1.14	1.13~ 1.15
抗 拉 强 度 (MPa)	7~16	20~38	35~45	10~62	25~40	60~120	55~77	48~80
比 热 ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$) $\times 10^3$	1.93~ 2.30	1.93~ 2.30	1.34~ 1.47	1.05~ 2.09	1.79~ 1.93	1.17~ 2.35	1.26~ 2.51	1.26~ 2.51
热 导 率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	0.335	0.461~ 0.519	0.080~ 0.125	0.121~ 0.176	0.174~ 0.186	0.176~ 0.289	0.174~ 0.326	0.174~ 0.326
玻 璃 化 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	-120	-120	100~105	70~87	-10 -18	70	50	50
熔 点 ($^{\circ}\text{C}$)	108~126	126~136	235~240	200~212	164~176	255~265	215~235	240~265
热 分 解 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	335~450	335~450	300~400	200~300	328~410	283~306	310~380	310~380

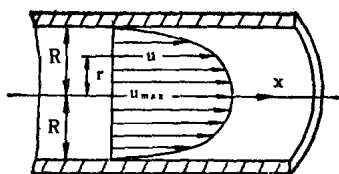


图1-2 圆形管压力流动模型

r ——流体定位半径；

η ——流体粘度；

ΔP ——压力差；

L_s ——建立压力差的管轴向距离。

流体的体积流动速率方程为，

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta L_s} \quad (1-7)$$

这一方程表达的正是著名的海根-泊肃叶 (Hagen-Poiseuille) 定律。

简单模型之二：流体通过两块固定的无限大平行平板之间，在压力差下产生压力流动。见图1-3。

对于牛顿流体，流动速度方程为，

$$u = \frac{H^2 \Delta P}{8 \eta L_s} \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right] \quad (1-8)$$

式中： H ——平板间距离；

y ——流体定位距离。

体积流动速率方程为，

$$\frac{Q}{W} = \frac{H^3 \Delta P}{12 \eta L_s} \quad (1-9)$$