

丁浩 主编

# 塑料工业 实用手册

第二版

中册

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心



中国轻工业出版社

# 塑料工业 实用手册

第三版

李 强

中国轻工业出版社  
CHINA LIGHT INDUSTRY PRESS

# 塑料工业实用手册

第二版

中册

丁浩 主编

上海市退(离)休高级专家协会 审

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

塑料工业实用手册·中册/丁浩主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2000.8  
ISBN 7-5025-2781-8

I. 塑… II. 丁… III. 塑料工业-实用手册  
N. TQ32-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 08041 号

---

塑料工业实用手册

第二版

中册

丁浩 主编

上海市退(离)休高级专家协会 审

责任编辑:龚浏澄 虞旻 王苏平

责任校对:陈静

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)

<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 45 $\frac{1}{4}$  插页 2 字数 1730 千字

2000 年 8 月第 2 版 2000 年 8 月北京第 3 次印刷

印数:7501—11500

ISBN 7-5025-2781-8/TQ·1044

定 价:85.00 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

## 二版编者的话

岁月飞逝,《塑料工业实用手册》第一版出版至今已有四个年头,塑料工业的发展、工农业的需要、社会的需要、读者的要求,鞭策我们抓紧手册第二版的编写与出版工作,以新的面貌与读者见面。

塑料材料看来非常重要!根据中国石化咨询公司估算,到2010年,我国合成树脂及塑料总生产能力可望达到16000kt/a,而中国塑料加工工业协会的统计表明1998年我国塑料制品产量已经达到16000kt。因而合成树脂原料的缺口很大,需要花费大量外汇进口合成树脂,这也说明,塑料工业在改革开放的良好环境中得到了很大的发展。

要发展塑料工业,需要多方面的支持,国家政策和规划、人才培养教育、资金筹措、科研开发、提供优质原材料、塑料机械与模具的发展、塑料成型加工工艺的进步、塑料应用技术和推广工作的开发、标准的制订与国际接轨等。但是千头万绪中,“塑料大军”的培养、教育、组织是第一位。

我们这本手册包括:塑料原材料、塑料成型加工技术、塑料机械选用与维修、塑料制品设计、模具设计、塑料质量控制与管理、塑料加工厂设计,二版中又增加了塑料应用技术,更增加了塑料生产的经济分析,在质量控制中又增加了产品生产的全面品质管理。

我们希望手册能对现有塑料专业科研、教学、生产、设计、建设、推广应用、流通领域中的读者可资参考。近来,塑料门窗、塑料管材和土工布成为塑料行业中的三大热点。我们相信还有更多的热点等待着塑料工作者。

衷心祝愿2000年起塑料在农业中的应用有个翻天覆地变化的开端,农村是个广阔天地,应该鼓励8亿农民“打塑料仗”。塑料棚膜、地膜,在农村已广泛推广,农民朋友从中获得了相当大的收益;塑料用于节水、灌溉工程中将会发挥更大的作用。塑料对包装材料、建筑材料、汽车工业、家用电器等各个行业都将起到极大的推动、发展。

加速促进我国塑料在农业中的广泛应用,将是促进我国国民经济高速增长的有力方针政策与措施之一。希望本手册受到广大农民朋友的青睐!

本手册在编写出版过程中,始终得到原化工部、华宜(集团)公司、中国塑料工程学会、中国塑料加工工业协会、上海市退(离)休高级专家协会、上海化学化工学会、交通大学、同济大学、中山大学、华东理工大学、北京化工大学、南京化工大学、上海化工高等专科学校、上海市塑料工业研究所、上海市塑料制品工业研

究所、上海工程塑料应用开发中心、上海飞机研究所、上海玻璃钢研究所、南京市化工设计研究所、上海化工厂、上海胜德塑料厂、中国塑料工程学会降解塑料研究会、辽宁省塑料工业公司大连科技发展公司等单位的领导、专家和各界朋友们的热情关注、鼓励和支持，符卫国同志为本书写序，上海市退（离）休高级专家委员会余盖年、郭寿源、林珍安、沈堃裕四位老专家对全稿进行校审，我们由衷地感谢！

我们恳请广大读者一面参考、一面审阅本手册，提出您们的意见和建议，书中错误处请严正指出，以便再版时改正，谢谢！

编者

1999年9月9日

## 二 版 前 言

记得 1980 年天津汉沽化工厂和大沽化工厂生产的聚氯乙烯树脂大量积压滞销，而当年全国合成树脂产量只有 900kt（当年美国产量高达 16000kt），如此小的产量尚且销不出去，这个现象反映我国经济发展中存在着问题。于是引起了国家有关经济部门的重视，遂由国家科委、原化工部、原轻工业部等部门组织了推广应用领导小组，寻找滞销原因，组织力量开发推广。

先从情报资料中鲜明看出：国外聚氯乙烯塑料硬软制品比例是 9：1，而国内硬软制品比例是 1：9，尽做些软制品，硬制品一片空白。于是原化工部组织仅有的 9 家塑料加工厂着手开发聚氯乙烯硬制品。首先开发硬聚氯乙烯排水管道系统和硬聚氯乙烯塑料门窗，项目明确了、架子也搭起来了，可是开发起步时就遇到：国内塑料助剂不齐全，硬制品加工专用设备（同向双螺杆挤出机管材生产线和门窗异型材生产线）国内尚无法制造。于是进口助剂，引进设备与生产线，通过试制开发，做出了以上两系列新产品，然后制定企业标准、地方标准、乃至国家标准。用户习惯铸铁管与管件并误认为其牢固坚实寿命长，担心硬聚氯乙烯排水管与管件轻不牢易裂寿命短，推广应用工作经历了曲折艰难的历程，足足花了 18 个年头，直到 1998 年才全面大量推广，在全国几乎占领了坑管的九成市场；至于门窗，不久的将来也会占领“半壁江山”。

以上事实说明：我国四大工业材料（混凝土、钢铁、塑料、木材）中塑料占的比例小得可怜，塑钢比只有 2.4%，塑料工业还没形成完整的体系。塑料工业大家族中的成员包括：合成树脂工业、塑料机械工业、塑料加工工业、助剂化学工业、模具工业、塑料测试与仪器，都不配套、不齐全。塑料制品的开发推广应用仅处在萌芽阶段，应用领域一片空白。

自那时起，国家十分重视塑料在建筑、包装、农业中的推广、尤其是塑料建材，已批准由建设部、原化工部、原轻工业部、国家建材局、中国石化总公司联合组成化学建材协调领导小组来加强这方面的生产应用和发展工作。虽然领导小组仅对化学建材协调生产应用与发展，但由此影响带动了整个塑料行业，包括塑料工业大家族中每个成员的配套成龙地发展，我国合成树脂产量由 1980 年的 900kt 跃升到 1995 年的 4240kt，提高 3.7 倍，塑钢比由 1980 年的 2.4% 提高到 4.4%。与合成树脂工业相配套的塑料机械工业、塑料加工工业、助剂化学工业、模具工业、塑料测试及仪器、塑料的推广应用与普及工作有了长足进步，初步形成了初具规模完整的塑料工业体系。

累计发展至1996年,又明显地出现了新问题,1996年国内合成树脂实际需用量高达10000kt,而生产量只有3600kt,6400kt靠进口,1985~1996年12年内累计进口三千二百余万吨,而且一年比一年递增;相反粗钢产量高达一亿吨以上,居世界首位,但是已出现积压滞销的势头。再综观1996年美国合成树脂产量为39950kt,粗钢产量为94600kt,塑钢比高达42.2%,韩国合成树脂产量为7260kt(为我国产量的翻一番),粗钢产量为38900kt,塑钢比也高达18.7%。塑料工业大家族中:合成树脂产量、品种、质量跟不上需求,十多年来合成树脂生产线只是依靠80年代引进的“老黄牛”拖车,少有消化吸收、少有新的引进;塑料机械通用型遍地开花,专用型、完整的生产线、高新技术设备则是“凤毛麟角”,塑料加工厂则是“星罗棋布”,但是规模小,制品都是大路货,高精尖一片空白;塑料推广应用工作做得不宽不深,塑料在农业中的应用多集中在棚膜地膜,建材主要推广塑料管材与塑料门窗,包装中的应用多用于编织袋、薄膜与人造革等,其他应用领域推广应用甚少。所以,现有的塑料推广应用工作仅仅是一个起步,无限风光在前头!

由于塑料在生产、加工、使用中可以显著节约能源、材料综合性能优异、且加工方便、还可重复使用,更有塑料加工新技术可以预设与控制塑料制品最终结构与性能。所以,塑料应用不仅渗透到国民经济各行各业,人们日常生活衣食住行中,不断提供许多量大面广、不可缺少的、日新月异的新产品和新材料,而且为发展高新技术提供更多更有效的高性能结构材料、高功能材料以及满足各种特殊用途的专用材料。因而,塑料在四大工业材料中的数量、作用、地位、应用范围急剧扩张,节节领先。预测2010年我国的塑料产量突破16000kt以上,但需求可能达到30000kt。

再从世界各国不论大国小国,都把发展塑料材料放在首位。相反,对钢铁产量都是采取抑制或缓增,仅是增加高功能钢种,提高质量,这样的材料结构比例发展战略方策值得我国借鉴!

半个世纪实践证明,增加高分子合成材料在整个材料结构中的比重,广泛采用合成材料,可节省资源、降低能耗、社会总体经济效益大大提高、社会资金和自然资源可得到更加合理的利用。1998年世界塑料总产量突破140000kt,其体积相当于10亿t钢材。难怪科学家们豪言:“人类已进入高分子合成材料时代”。

要发展塑料工业,必须同步促进塑料工业大家族中各个成员(含合成树脂工业、塑料机械工业、塑料加工工业、助剂化学工业、模具工业、塑料测试技术与设备等)工业的发展,除此更要强化塑料的推广应用工作,本绪论中说得好,要全民皆兵大张旗鼓做好推广应用工作。各种新闻媒体、信息公路、都要为“塑料”做宣传,要发动高、中等院校(更要创建专业职业学校),科研院所、各种经济性质大小企业、行业协会、社会团体、流通领域联手开发推广应用。要鼓励奖励个人搞塑料应用。农村是个广阔天地,政府还需给予政策倾斜。



以上这些促进我国塑料工业高速发展的量大面广工作，“事在人为”。“人为”的首要任务，即是塑料知识的普及、更新提高。

为此目的，化学工业出版社经过精心策划，上海市退（离）休高级专家协会审阅，由丁浩主编，组织 60 余位各专业领域的专家，在各级领导和热心塑料事业的同志们的支持下，编写了《塑料工业实用手册》。第一版于 1995 年出版。第二版内容是在第一版的基础上去旧添新，更突出增加了“塑料应用技术”篇。全书共八篇七十八章，八篇为：塑料原料性能配方与应用、塑料成型加工技术、塑料机械选用与维修、产品设计、模具设计、质量控制、加工厂设计、塑料应用技术。全书更加体现了理论与实际相结合，“全面、新颖、实用”，深入浅出，适用各行各业接触塑料的科研人员，高、中等院校、职业学校的师生、塑料加工厂、合成树脂厂、塑料机械厂等的从业人员，以及管理人员、销售人员和广大的农民朋友们学习、参考和借鉴。希望本书能成为广大读者的良师益友！相信此书在促进我国塑料工业发展和精神文明建设科教兴国中起着积极作用。因而我虽识狭文拙，但乐于为此书写序。

符卫国

1998 年 10 月

## 内 容 提 要

本手册是《塑料工业实用手册》的第二版,分上、中、下三册,共8篇80章。上册为第一章至第二十章,主要介绍了塑料原材料的性能和用途,阐述了聚合物加工原理和塑料加工工艺。

中册为第二十一章至第五十一章,分为成型工艺篇、塑料机械与电器篇,介绍塑料机械和电器控制 and 产品设计篇,阐述了模塑、注塑、挤出、吹塑模具的设计, CAD/CAM/CAE 的应用。

本书可供从事塑料加工、应用、设计、教学单位的技术人员参考使用。

## 第二篇 塑料成型加工技术（续）

### 第二十一章 注塑之一

#### 第一节 概 述

由于注塑成型所得塑料制品千变万化、五花八门，广泛用作装饰件、结构件、功能件以及其他特殊用途。又由于注塑工厂规模可大可小，一台注塑机也是厂，而且水电接通，装上模具，即可开车加工。所以国内注塑工厂鸟瞰全国，蔚然星罗棋布。

注塑是热塑性塑料的主要成型方法之一，也是热固性塑料和结构泡沫塑料的有效成型方法。注塑过程是：将粒料或粉料塑料从注塑机的料斗送进加热的料筒，经加热剪切熔化呈流动状态后，借柱塞或螺杆的推动通过料筒端部的喷嘴注入闭合夹紧的模具中；充满模腔的熔料在受压的情况下，经冷却固化后即可保持模腔所赋予的形样，最后拉开模具从中取出注塑制品。这样就在注塑操作上完成了一个注塑周期，以后就是不断重复上述周期的生产过程。

要获得注塑制品质量优、生产效率高、成品合格率高、成本低，就必须考虑：怎样选材、怎样选用注塑机、怎样选用辅机、怎样设计生产环境、怎样对模具提出要求、怎样对原料与嵌件进行前处理、怎样设定最佳注塑工艺、怎样进行注塑、怎样进行制品后处理、怎样进行制品的修剪整理包装、对大中型加工厂来说，还要注重科学管理。

以上这些考虑的问题不是孤立的，而是有机联系着的，缺一不可，需要全面考虑，才能事半功倍，马到成功。

#### 第二节 注塑过程原理

##### 一、注塑周期

注塑周期是将若干个单一的工序按照预定的顺序 [图 21-1 (a)] 组成一个工作循环。所以，注塑就是将注塑工作循环周而复始作周期性动作的过程。

为了便于说明问题，现将合模装置的一次工作循环和注射装置的一次工作循环分别叙述，并以往复螺杆式注塑机为例。合模装置的一次工作循环为：模板开始闭合、正式闭模、模板开始开放和正式开模（此时取出制品）四个工序。注射装置

的一次工作循环为：注射（螺杆前进）保压和预塑（螺杆旋转和后退）三个工序。注射装置的三个工序是在合模装置模板开始闭合后进行，直至模板开始开启前结束。整个注塑周期期间的压力变化参阅图 21-1 (b)。

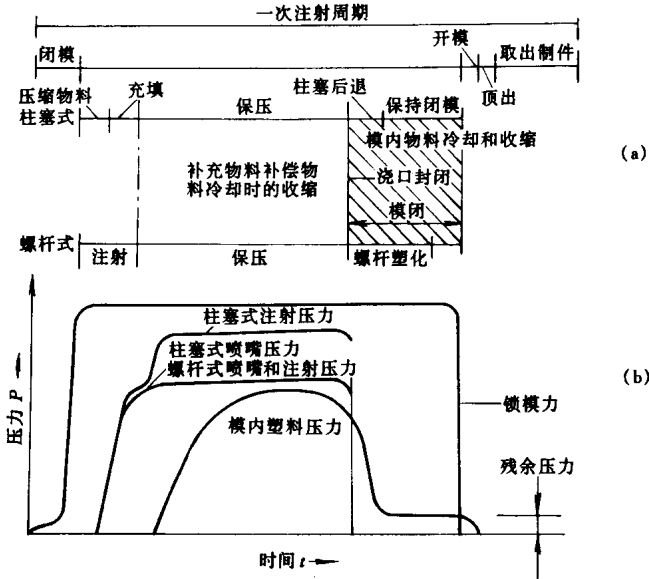


图 21-1 柱塞式和往复式注塑机的注塑周期

在任一给定的注塑操作中，存在一最大残余模腔压力，超此不能获得满意的制品，因此操作者必需正确调节各个注塑工艺参数（包括注射压力、保压力、锁模力、熔体温度、模腔温度、液压油温度、注射时间、保压时间、冷却时间等）。

## 二、流变学与注塑过程的关系

往复螺杆式注塑机的注塑过程涉及流变学的可以分成三个区段（图 21-2）。

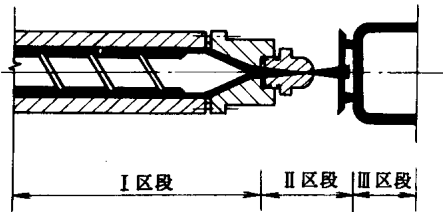


图 21-2 注塑过程中塑料流动的三个区段

第一区段是预塑计量过程，塑料在旋转螺杆与料筒之间进行输送、压缩、熔融、塑化、计量，并将塑化好的一定量的熔体储存在料筒的端部。有关这方面的流变理论已在第十九章挤出成型中详细述及，这里不再重复。所不同者，只是螺杆的动作和结构上有些不同。挤出机

的螺杆只有旋转动作，而注塑机的螺杆既有旋转动作，又有往复动作。当塑化时，螺杆在旋转的同时还有后退动作，以便将塑料熔体储存在料筒端部供注射之用。当注射时，螺杆代替柱塞向前推进，此时螺杆无旋转动作，为了阻止塑料熔体沿螺旋线及料筒与螺杆的间隙间向后漏掉，往往在螺杆头部设有止回装置。

第二区段是注射充模过程，储存在料筒端部的塑料熔体受螺杆的向前推压通过喷嘴、模子的主流道、分流道和浇口，开始射入模腔内。注塑过程的研究多集中在这一区段内。

第三区段是冷却定型过程，在此区段塑料熔体经浇口射入模腔中，由流动、相变乃至固化。这一区段的过程非常复杂，涉及三维流动、相迁移理论、不稳定导热等交织在一起。所以到目前为时多半停留在经验阶段，而且研究工作多着重在固化定型阶段，即从浇口“冻封”开始至制品脱模为止。保压压力卸荷后，模腔中的熔体继续冷却定型，使制品形成能够承受脱模时顶出力所允许的变形。这一阶段的特点是没有熔体流动，温度表现是主要的。塑料的比容和模腔压力随着温度的降低而减小，温度一直降到脱模温度为止。

### 三、注射充模过程

注射充模过程又可分成三段：①注射充模流动阶段；②保压补液流动阶段；③保压切换倒流阶段。第①阶段属熔体通过浇口的流动，而第②、③保压阶段都有固液两相存在相当复杂，保压阶段的特点：压力表现是主要的。保压阶段的注射压力称保压压力，在保压压力作用下，模腔中的熔体得到冷却补液和进一步压缩和增密。

为了使注射充模过程阐述得更形象化，我们把毛细管流变仪（第十一章第七节图 11-29）同注塑过程的第二区段即注射充模过程作一对比，甚为相似，流变仪中的柱塞相当于注料螺杆，流变仪中的塑料相当于料筒端部、喷嘴以及流道系统中的物料，流变仪中的毛细管就相当于浇口。然而，也有某些差别：流变仪中的物料加热靠热传导，而在螺杆式注塑机中的物料加热除借热传导外，还有物料本身的剪切摩擦热；流变仪料筒中的物料借柱塞直接挤进毛细管，而注塑机第二区段中的物料借螺杆推进要经过喷嘴、主流道、分流道最后才挤进浇口，这里阻力变化复杂，压头损失大；流变仪中的毛细管是恒温的，而模具中的主流道、分流道和浇口的温度随时间而变化，温度场不稳定。尽管如此，用毛细管流变仪测定的结果和注塑过程之间有着良好的定性关系。

所以，分析塑料熔体流经浇口的情况仍可近似地应用剪应力与剪切速率之间的函数式。如浇口为圆孔形，且熔体属符合指数定律的非牛顿型流体，则可应用第十一章中的相应流变方程式：

$$\frac{R\Delta P}{2L} = K' \left( \frac{4Q}{\pi R^3} \right)^n \quad (21-1)$$

如浇口为扁孔形,且熔体属符合指数定律的非牛顿型流体,也可应用第十一章中的相应流变方程式:

$$\frac{h\Delta P}{2L} = K'' \left( \frac{6Q}{wh^2} \right)^n \quad (21-2)$$

但在实际使用中上述两式甚觉太烦,因而实验数据中多以表观剪切速率和表观粘度表示:

浇口为圆孔形

$$\frac{R\Delta P}{2L} = \eta_a \left( \frac{4Q}{\pi R^3} \right) \quad (21-3)$$

浇口为扁孔形

$$\frac{h\Delta P}{2L} = \eta_a \left( \frac{6Q}{wh^2} \right) \quad (21-4)$$

式中  $\eta_a$  为表观粘度;  $\frac{4Q}{\pi R^3}$  和  $\frac{6Q}{wh^2}$  分别为圆孔和扁孔的表观剪切速率;  $\frac{R\Delta P}{2L}$  和  $\frac{h\Delta P}{2L}$  分别为圆孔和扁孔的最大剪应力。

式 (21-3) 可改写为:

$$Q = \left( \frac{\pi R^4}{8L} \right) \left( \frac{1}{\eta_a} \right) (\Delta P) \quad (21-5)$$

式 (21-4) 可改写为:

$$Q = \left( \frac{wh^3}{12L} \right) \left( \frac{1}{\eta_a} \right) (\Delta P) \quad (21-6)$$

式 (21-6) 的图解可参阅图 21-3。

注塑的基本要求是根据模腔体积将足量的塑料熔体以较快的速度注入模腔,再配合其他各种条件,使能高效率地生产出外观和内在质量均好的注塑制品。根据实践经验,熔体流经浇口时的表观剪切速率范围在  $1000 \sim 10000 \text{ s}^{-1}$  之间,也即

$$\frac{4Q}{\pi R^3} \approx 1000 \sim 10000 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{或} \quad \frac{6Q}{wh^2} \approx 1000 \sim 10000 \text{ s}^{-1}$$

由于注塑机规格已经选定,制品的体积也为已知值,注射时间工艺也已设定,这样理想的  $Q$  值已是确定了。因此,根据表观剪切速率范围即可求出浇口断面尺寸的范围,也即求出  $R$  的范围和  $w \times h$  的范围。

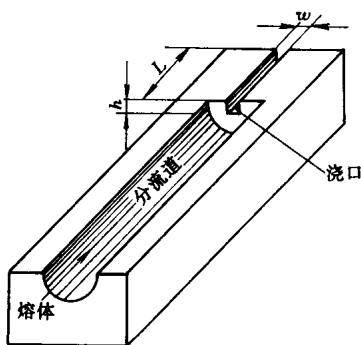


图 21-3 流道和浇口的剖视图

上面所述为理想的  $Q$  值, 但是由式 (21-5) 和式 (21-6) 中看出:  $Q$  值的大小还要受  $L$ 、 $\eta_a$  和  $\Delta P$  的约束,  $Q$  值随浇口断面、浇口长度、熔体表观粘度、压力降等的变化而变化。总的说来, 增大  $R$  或  $w \times h$ , 减小  $L$ , 减小  $\eta_a$ , 增大  $\Delta P$  均有利于提高  $Q$ 。但是它们之间不是孤立的, 而是相互有影响, 改变了某一个参数, 其他参数也随之而变。下面分别进行分析。

### 1. 浇口长度 $L$

当注射压力保持恒定时, 则浇口入口处的压力  $P_1$  保持不变, 如果缩短浇口长度  $L$ , 这就使熔体流经浇口的阻力减小, 也就使浇口入口与出口之间的压力降减小, 熔体在浇口中的流速增大, 这就增大了  $Q$  值。反映到注射螺杆上, 螺杆向前推进的速度加快, 也即注射速度加快。所以, 缩短浇口长度, 在不增大浇口断面的情况下, 就能提高注射速率。同时, 由于熔体在浇口中的流速提高, 也即注射速度提高, 熔体的表观粘度也相应减低, 这是由于非牛顿型流体的表观粘度与剪切速率有关 ( $\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$ )。又短浇口可以不被固封, 可保持常开。由于以上理由, 设计浇口长度  $L$  时, 总是取最小值。一般点浇口长度取 0.5~2.0mm。

### 2. 浇口断面尺寸

增大浇口断面大大有利于  $Q$  值的增大, 这可以从式 (21-5)、式 (21-6) 中看出,  $Q$  值随  $R^4$  或  $wh^3$  成比例增长。但是反过来, 浇口断面增大了, 熔体在浇口中的流速减慢, 熔体的表观粘度相应增高。所以, 浇口断面的增大有个极限值, 这是大浇口的上限。超过此值时, 再增大断面, 由于表观粘度的增大, 反而使  $Q$  值减小。所以, 若设计浇口尺寸时总认为愈大愈好, 这个概念是不正确的。

相反, 小浇口 (俗称点浇口) 之所以成功, 那是因为绝大多数塑料熔体的表观粘度是剪切速率的函数, 即  $\eta_a = f(\dot{\gamma})$ , 对符合指数函数定律的熔体,  $\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$ 。熔体流速愈快, 也即  $Q$  愈大, 它的剪切速率愈大, 因而表观粘度愈小, 愈容易注射。采用小浇口意味着断面很小, 也即  $R$  很小, 熔体流经小浇口时流速极大, 剪切速率相应也极大, 表观粘度很低。另外, 由于熔体高速流经小浇口, 部分动能转变成热能, 随提高了浇口处的局部温度, 也有利于降低熔体的表观粘度。但是, 当剪切速率提高到极限值 (一般不超过  $10000s^{-1}$ ) 时, 剪切速率与表观粘度失去了依存关系, 我们称为失去了“剪切速率效应”。超过此极限值时, 剪切速率再增加, 表观粘度不再降低。此时浇口的断面就是点浇口的极限值。对多数塑料来说, 点浇口的直径不大于 1.5mm, 对粘度较大的塑料, 点浇口直径可大至 2.9mm。

### 3. 怎样选择合理的剪切速率

因为大多数塑料熔体都属于非牛顿型假塑性流体, 其表观粘度与剪切速率的函数式可表示如下:

$$\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (n < 1) \quad (21-7)$$

式中  $\eta_a$ ——表观粘度, Pa·s;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率,  $s^{-1}$ ,  $\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}$ ;

$K$ ——流体稠度;

$n$ ——流动行为指数。

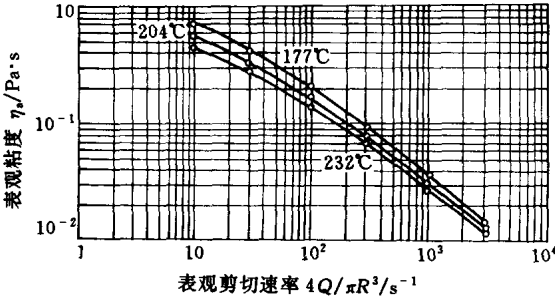


图 21-4 聚乙烯 (MI=0.8) 的  $\eta_a - \frac{4Q}{\pi R^3}$  曲线

$\eta_a$  与  $\dot{\gamma}$  是指数函数关系, 不是线性关系。今以熔体指数 MI=0.8 的聚乙烯为例 (图 21-4), 从图 21-4 中可以读出, 当加工温度为 204°C 时, 剪切速率从 100 增至 300s<sup>-1</sup> 仅增加 200s<sup>-1</sup>, 表观粘度就要从 20×10<sup>-2</sup> 降至 9×10<sup>-2</sup> Pa·s, 即降低 11×10<sup>-2</sup> Pa·s; 而剪切速率从 1000 增至 2000s<sup>-1</sup> 即增加 1000s<sup>-1</sup>, 表观粘度只从 3.3×10<sup>-2</sup> 降至 2×10<sup>-2</sup> Pa·s, 即仅降低 1.3×10<sup>-2</sup> Pa·s。如果剪切速率再高, 表观粘度值降低还要少。由此得出: 在较低剪切速率范围内, 由于剪切速率的微小变化会引起粘度的巨大变化。这将使注塑困难, 难于控制, 使制品表面不良、充模不匀、密度不均、内应力高、易翘曲以及收缩不均等毛病产生。所以, 要在  $\eta_a - \dot{\gamma}$  曲线上选择一段剪切速率对粘度的影响最小, 以有利于注塑, 这是颇为重要的。一般来说, 剪切速率取高值, 粘度影响小。故注塑过程的剪切速率取 1000~10000s<sup>-1</sup> 为宜, 而且尽可能高。这就联系到设计模具时浇口采用大尺寸的缺点。

表观剪切速率 $\dot{\gamma}/s^{-1}$	100	300	1000	2000
表观粘度 $\eta_a/Pa \cdot s$	20×10 <sup>-2</sup>	9×10 <sup>-2</sup>	3.3×10 <sup>-2</sup>	2×10 <sup>-2</sup>

#### 4. 表观粘度

当模具充不满, 除增大注射量和注射速度, 加大流道系统尺寸以便将此流量传送到浇口外, 降低塑料熔体的表观粘度是一个有效的办法。

降低粘度的一种办法是升高温度, 从图 21-5 中看出, 当剪切速率恒定时, 聚



乙烯的表观粘度随温度的升高而降低。另外从图 21-5 中看出, 聚乙烯升高温度对表观粘度降低的幅度不大, 这是因为聚乙烯分子的活化能不大, 第十一章图 11-21 中列出了 5 种聚合物, 温度对其粘度的影响, 从中看出: 聚合物分子的活化能愈大, 温度对其粘度的敏感性也愈大, 也即升高温度对降低粘度有效。而且温度的升高也有一定限制, 不能高于聚合物的降解温度, 又温度提高了, 将会增加制品在模内的冷却时间。

### 5. 螺旋线流动模具

为了简单、方便、正确地评定塑料熔体的流变性, 已创制了一种螺旋线模具。它的模腔呈阿基米德螺旋线, 由里往外沿螺旋线延伸, 每转一圈螺旋线的半径增大 12.5mm; 螺旋线的总长度为 1925mm; 螺旋线断面呈半圆形, 其直径为 4.9mm。这样的模具其外形面积仅为 300mm×125mm。只要装在 125g 注塑机上即可进行试验。试验时, 一般在恒定的剪切速率下, 测出塑料流动距离对温度的函数关系。图 21-6 中的曲线就是根据塑料流动距离  $d$  对温度  $t$  的

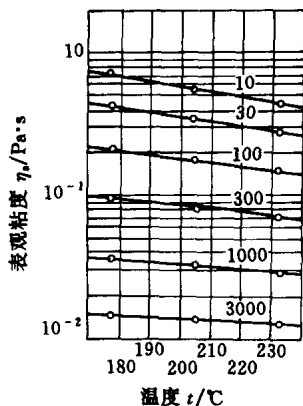


图 21-5 聚乙烯 (MI=0.8) 的  $\eta_a$ - $T$  曲线

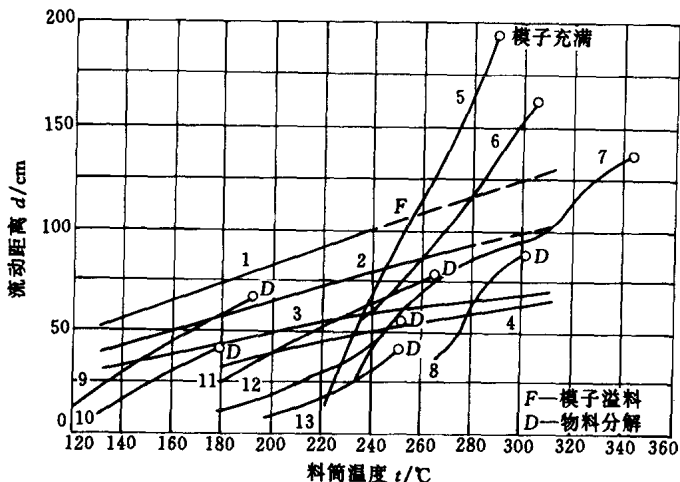


图 21-6 各种塑料在螺旋模具内的流动距离  $d$  与温度  $t$  的函数关系

- 1—聚乙烯 20; 2—聚乙烯 7; 3—聚乙烯 2; 4—高密度聚乙烯; 5—增塑尼龙 66;  
6—尼龙 6; 7—尼龙 610; 8—尼龙 66; 9—软聚氯乙烯; 10—硬聚氯乙烯 (共聚);  
11—聚苯乙烯; 12—有机玻璃模塑粉 LA; 13—有机玻璃模塑粉 MC