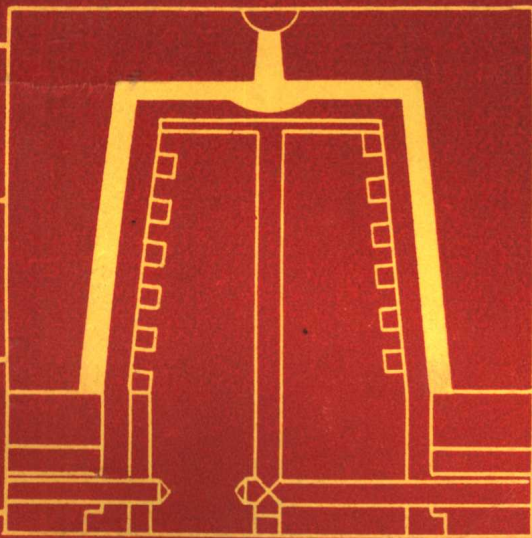


大型注塑模设计基础

Design Fundamentals to
Large-Scale Injection Mold

唐志玉编



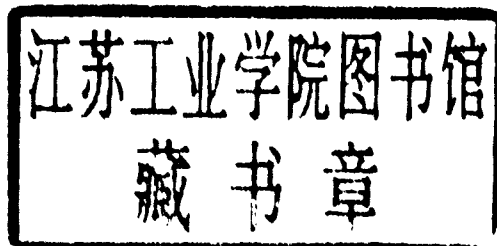
成都科技大学出版社

Q320.6

7

大型注塑模设计基础

唐志玉 编



成都科技大学出版社

一九八七年十二月成都

内 容 提 要

本书是根据作者多年来的教学与科研实践编写而成。全书共分五章。主要内容为利用流变学理论进行注塑模浇注系统设计；同时通过结构力学理论对模具受力构件进行刚度计算与强度校核；此外还对模温的控制及其影响因素作了新的论述；书中还适当介绍了热流道、热管技术等。全书内容丰富，取材新颖，为国内较为系统地介绍大型注塑模设计的一本专著。

本书可作为大专院校有关塑料成型加工、模具专业教学参考书，也可供塑料模设计与研究的工程技术人员参考。

大型注塑模设计基础

唐志玉 编

成都科技大学出版社出版

四川省新华书店发行

四川教育学院印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：9.5

1987年12月第1版 1987年12月第1次印刷

印数：1—3000 字数：228千字

ISBN7—5616—0178—6/T·28

统一书号：15475·45 定价：1.65

序

在现代工业发展的进程中，模具的地位及其重要性日益为人们所认识。模具工业作为进入富裕社会的原动力之一，正推动着整个工业技术向前迈进。塑料模具是塑料制品生产的基础之深刻含意，也正在为人们所理解和掌握。当塑料品种及其成型设备被确定之后，制件质量的优劣及生产效率的高低，模具因素约占80%。由此可知，推动模具技术的进步应是刻不容缓的策略。大型注塑模的设计技术与制造水平，常可标志一个国家工业化的发展程度。

在现代塑料制品生产中，合理的加工工艺、高效率的成型设备和先进的模具，被誉为塑料制品成型技术的“三大支柱”。就注塑成型技术而言，为满足不同塑料品种的加工工艺要求、制品的使用要求、外观造型设计要求，以及对保证制品质量和提高生产效率等方面，模具设计技术均起到决定性作用。

考虑到大型注塑模与一般注塑模在尺寸上、重量上的巨大差异，给制造、运输、安装、修模与使用带来诸多不便，因而造成其价值令人惊奇的昂贵。因此在设计大型注塑模时，必须有一套完整的、非同一般的思考方法与步骤。简单说来，从受力结构件来看，着重考虑的是刚度，而不是强度。就成型而言，是如何使塑料熔体按快而有序的规律充满模腔各个深处与角落。就制品质量和生产效率来说，是如何保持模具恒温及加快整个热交换过程的进程。这就构成了大型注塑模设计的“三大核心内容”。

本书并非包括大型注塑模设计的各个方面，它只涉及到“三大核心内容”的基本理论，故定名为《大型注塑模设计基础》。为了方便读者深入了解和掌握本书的内容，用以解决工程设计中的理论与实际问题，除在各章节中选入了一定数量的“示例计算”外，还在书末列出了若干主要参考文献和必要的附表。显然书中之引证绝非完整的，但通过这些有限的文献引证，读者肯定可以找到更多所必须的资料。

借本书出版之机会，作者感谢吴大诚教授，黄锐、王鹏驹副教授等的关怀和指教，感谢成都科技大学出版社同志的帮助和鼓励。限于作者的水平有限，书中难免有缺点，敬请读者不吝指正。

唐志玉

1987. 5. 成都

大型注塑模设计基础

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 研究大型注塑模设计的意义	(1)
1.2 大型注塑模定义初见	(1)
1.3 讨论范围及内容	(3)
第二章 熔体流动设计	(4)
2.1 流变方程及有关参量分析	(4)
2.1.1 熔体流变方程的基本概念	(4)
2.1.2 有关流变参量分析与选择	(10)
2.2 浇注系统的功能考虑	(12)
2.2.1 主流道	(12)
2.2.2 分流道	(12)
2.2.3 浇口	(14)
2.2.4 冷料井	(14)
2.3 浇口部位与数目的选择	(14)
2.3.1 避免制件上产生缺陷	(15)
2.3.2 有利于流动、排气和补缩	(15)
2.3.3 增加熔接痕牢度	(17)
2.3.4 取向方位对制件性能的影响	(18)
2.3.5 浇口数目与制件变形	(20)
2.3.6 考虑流动距离比	(21)
2.3.7 防止型芯变形	(22)
2.4 浇注系统断面尺寸的确定	(23)
2.4.1 普通浇注系统断面尺寸	(23)
2.4.2 热流道模具浇注系统尺寸	(25)
2.4.3 状态方程	(27)
2.5 浇注系统压降及型腔压力估算	(28)
2.6 模腔压力的测量与调整	(30)
2.6.1 测量原理及传感器	(30)

2.6.2 测量模腔压力的作用·····	(31)
2.6.3 检测位置的选择·····	(32)
2.6.4 模腔压力的控制与调整·····	(33)
2.7 示例计算·····	(34)
第三章 模具结构设计 ·····	(40)
3.1 大型注塑模结构设计特点·····	(40)
3.2 受力结构件的尺寸计算·····	(44)
3.2.1 刚性条件的依据·····	(44)
3.2.2 园形型腔尺寸计算·····	(45)
3.2.3 矩形型腔尺寸计算·····	(51)
3.3 脱模力计算及其应用·····	(66)
3.3.1 脱模力的计算·····	(66)
3.3.2 脱模机构设置方位的判断·····	(70)
3.3.3 脱模机构有关元件尺寸的确定·····	(71)
3.4 脱出螺纹塑件的理论计算·····	(75)
3.4.1 螺纹塑件对其型芯的包紧力·····	(77)
3.4.2 从螺纹塑件中旋出型芯所需最小扭矩·····	(78)
3.4.3 旋出螺纹型芯或型环所需之实际扭矩·····	(78)
3.4.4 旋出螺纹型芯或型环所需动力计算·····	(79)
3.5 侧向分型与抽芯之理论计算·····	(83)
3.5.1 抽拔力计算·····	(85)
3.5.2 最小开模行程和斜导柱(斜面)的长度计算·····	(86)
3.5.3 斜导柱受力分析及其直径确定·····	(89)
第四章 模具温度设计 ·····	(94)
4.1 模温设计的意义与作用·····	(94)
4.1.1 模温调节对制件质量的影响·····	(94)
4.1.2 模温控制与生产效率的关系·····	(94)
4.2 模具冷却·····	(96)
4.2.1 影响冷却时间的因素·····	(96)
4.2.2 制件所需冷却时间的计算·····	(102)
4.2.3 冷却回路的布置·····	(104)
4.2.4 冷却回路的计算·····	(106)
4.2.5 逻辑密封的利用·····	(117)
4.3 模具加热·····	(118)
4.3.1 注塑模加热的意义与作用·····	(118)
4.3.2 热流道的保温与隔热·····	(119)

4.3.3 加热功率计算	(123)
4.3.4 加热装置设计	(125)

第五章 新技术应用

(126)

5.1 注塑模技术进步的标志	(126)
5.2 热流道模具技术	(127)
5.3 热管技术	(129)
5.3.1 热管工作原理	(130)
5.3.2 热管在注塑模上的应用	(133)

参考文献

附 录

(一) 各类塑料精度等级选用	(136)
(二) SJ1872—78公差数值表	(137)
(三) 热塑性塑料常用性能一览表	(138)
(四) 大型注塑模型腔壁厚刚性计算允许变形值 (δ)	(140)
(五) 部分优质碳素钢牌号及机械性能	(141)
(六) 大型模具常用合金工具钢的牌号、成分及热处理	(142)
(七) 常用渗碳钢牌号、热处理及机械性能	(142)
(八) 常用调质钢牌号、热处理及机械性能	(143)
(九) 模板用球墨铸铁牌号与机械性能	(143)
(十) 制模材料选用及其热处理参考表	(144)

第一章 绪 论

1.1 研究大型注塑模设计的意义

模具技术的进步,不但关系到机械产品,还影响到轻工、电子、仪表、汽车、家用电器等新产品的开发和发展,特别是大型注塑模设计与制造方面已显得尤为突出。在这些大型产品的开发过程中,碰到的最大困难是模具设计问题多、制造周期长、成本费用高和使用寿命短。近十五年来,国外大型注塑模主要靠专业模具厂设计与制造。如联邦德国的LAPPLe(雪甫莱)公司、HASCO(哈斯考)公司、美国的DME公司、日本的池上金型株式会社等,都是世界上有名的模具制造公司。池上金型株式会社专门生产2—30吨的大型模具,雪甫莱公司生产的垃圾箱注塑模达110吨。但由于专利的限制和经营的激烈竞争,大型注塑模的设计技术彼此保密,绝不外传。因此要想从国外得到这方面的任何资料,几乎是不可能的。在这种情况下来研究和讨论,如何提高我国大型注塑模的设计水平,其重要意义是不言而喻的。

众所周知,由于注塑成型能一次完成外形复杂、尺寸准确、或带有金属嵌件的塑料制品,且对各种塑料均有良好的适应性。所以近30年、特别是近15年来,该项技术得到了迅猛的发展。为满足人们对汽车、洗衣机、电视机、电冰箱等日益增长的需要,世界各发达国家都竞先生产大型注塑机。世界上拥有最大注塑机的国家,首先是法国(SMTP—Billion 联合公司生产),其最大注塑容量为17.7万克(390磅),锁模力为100000KN。其次是联邦德国(Batten-feld 公司)、美国(Incoe 公司)和意大利,其额定注塑量为10万克,锁模力50000KN。日本名机制作所,于1975年制成了一次注塑量为9.6万克、锁模力为50000KN的特大型注塑机。我国上海塑料机械厂于1977年也生产出了额定注塑量为3.2万克、锁模力为40000KN的特大型注塑机。

随着我国塑料工业的迅猛发展,对塑料注塑成型的大型制品的需求量日益增多,全国各地不少厂家从日本、民主德国等国家购买了一大批大型注塑机。要使这些庞大的机器运转起来,生产出合格的大型制品,首先碰到的第一个问题,便是大型注塑模的设计与制造。由于大型注塑模的造价十分昂贵,其价值由几万至几十万元,甚至上百万元。因此要求其设计、制造必须是“一举成功”,切忌返工,更不允许因设计不当而报废。那么怎样才能达到如此要求呢?这就是本书所要讨论和研究的主要课题。

1.2 大型注塑模定义初见

什么样的模具才算大型注塑模呢?目前尚无科学的和肯定的一致看法。当前还只能根据注塑机的级别予以区分。按习惯可把国产系列注塑机分为如表1—1所示的五个等级。

表1—1 国产注塑机级别的初步划分

序	级 别	额 定 容 量 (cm ³)	锁模力(KN)
1	微型注塑机	<10	<300
2	小型注塑机	15、30、60、80、125、250	≤1500
3	中型注塑机	350、500、1000、2000、3000	≤6500
4	大型注塑机	4000、6000、8000、16000、24000	≥7500
5	特大型注塑机	32000、48000、64000、80000、96000	≥30000

表1—2 民主德国大型注塑机的规格

序号	注塑机型号	相似容量(cm ³)	锁模力(KN)
1	KuASY5000/630	≈4000	6300
2	KuASY9000/1000	≈7000	10000
3	KuASY16000/1600	≈10000	16000

在国外，民主德国的大型注塑机有三种型号，如表 1-2 所示。日本生产注塑机的厂家甚多，规格型号各异，叫法不一，但多以锁模力在8500KN、一次注塑容量在110盎司以上者为大型注塑机。如日本三菱重工业株式会社有三个级别的锁模吨位和 9 种容量的大型注塑机，其规格型号如表 1-3 所示。

表1—3 日本三菱重工业株式会社的大型注塑机

注 塑 机 型 号	850MF			1250MF			1600MF		
	110	160	240	160	240	340	160	240	340
相似容量(cm ³)	3000	4500	6800	4500	6800	9600	4500	6800	9600
锁模力(KN)	8500			12500			16000		

由以上所知，一般来讲，锁模力在6300KN、额定注塑量在3000cm³(≈110盎司)以上的注塑机，所使用的模具属于大型注塑模之列。但在工业生产的实际中，也有以模具重量来划分的说法，如表 1-4 所示，常把模具重量大于2吨以上的注塑模称为大型注塑模。

表1—4 按重量划分模具类型

模 具 类 型	微 型	小 型	中 型	大 型	特大型
公 称 重 量	<5	>5~100	>100~2000	>2~30	>30
常 用 单 位	kg	kg	kg	t	t

1.3 讨论范畴及内容

理论分析和实践表明, 注塑模设计的优劣, 对其制品的内在和外观质量以及生产效率和成本的高低, 都起着决定性作用。与中小型相比, 大型注塑模设计有其特殊性。本书力图以科学的方法, 系统地介绍大型注塑模设计所应遵循的途径——各种设计数据及其要求, 尽量来自于较为可靠的理论计算, 不允许无根据的凭经验取舍, 以避免不必要的、因设计不当而造成的巨大损失。

本书所要讨论的范围, 是在已有中、小型模具设计的基础上, 着重讨论大型注塑模设计理论考虑及计算问题。几乎不涉及模具的具体结构。主要有四个方面的内容:

(1) 熔体流动设计 聚合物熔体流变学的基本概念, 浇注系统的功能考虑, 浇口位置与数目对制品性能的影响, 确定浇注系统断面尺寸的依据, 流道系统压降及模腔压力的计算以及模腔压力的测量与调整等。

(2) 模具结构设计 大型注塑模结构设计特点, 受力结构件的刚性及其尺寸计算, 脱模力计算及其应用, 脱出螺纹塑件的扭矩及其所需功率, 侧向分型与抽芯之理论计算等;

(3) 模具温度设计 模温设计的意义与作用, 模具冷却的影响因素及其回路计算与布置, 逻辑密封的利用, 加热装置设计及其理论计算等;

(4) 新技术应用 热流道模具技术及其在大型注塑模具上应用, 热管的工作特性及其在控制模温上的应用等。

第二章 熔体流动设计

2.1 流变方程及有关参量分析

注塑成型，是热塑性塑料的主要成型方法之一。用这种成型方法制得的制品，其品种与样式之多，是其它成型方法所无法比拟的。塑料注塑成型过程是借助于螺杆的推力，将已塑化好的塑料熔体，注入闭合的模具型腔内，经冷却固化定型后，开模获得制品。

在塑料制品生产中，合理的加工工艺，高效率的成型设备和先进的模具，被誉为塑料成型技术的“三大支柱”。就注塑成型技术来说，为实现不同塑料品种的加工工艺要求、制品外观造型要求、满足塑料制品的使用要求、确保制品质量和提高生产效率等，模具设计都起到决定性作用。

理论分析与实践一再表明，在设计塑料模具时，必须遵循塑料熔体流动的固有规律行事，才能使所成型的塑料制品获得最佳效果。对于大型注塑模设计来说，研究塑料熔体在浇注系统及模腔中的流动行为，已成为“三大核心内容”之一，即所谓按流变学理论进行设计，越来越多的为人们所普遍关注，并引起极大的兴趣。熔体流变学在大型注塑模设计中的应用与实践，已成为开发新技术的中心课题。

塑料注塑过程可分为三个区段（如图 3-1-1 所示）。第一区段是塑料在旋转螺杆与料筒壁之间进行输送、压缩、熔融和塑化，并将塑化好的塑料熔体储存在料筒前端（螺杆头与喷嘴之间）。有关这方面的流变理论由于与模具设计关系不大，故在此从略。第二区段是储存在料筒前端的塑料熔体，由于受到螺杆向前的推压作用，便通过喷嘴、模具的主流道、分流道和浇口，开始进入模腔内。注塑过程的研究，多集中在这一区段内，故是我们讨论的重点。第三区段是塑料熔体经浇口射入模腔过程中的流动、相变和固化。这一区段的过程非常复杂，涉及三维流动、相迁移理论、不稳定传热等过程交织在一起，到目前为止还多半停留在半经验阶段。

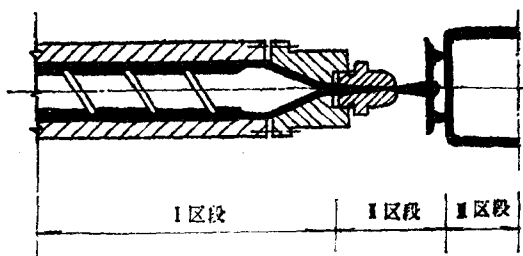


图2-1-1 注塑过程塑料熔体流动的三个区段示意图

2.1.1 熔体流变方程的基础概念

在第二区段中塑料熔体的流变行为，与毛细管流变仪中塑料熔体的流动过程极为相似。尽管有若干差别，但理论和实验都表明，用毛细管流变仪测定的结果和注塑过程之间有着良好的一致关系。因此塑料熔体流经浇注系统的情况，可近似地用剪切应力与剪切速率之间的函数关系式来描述。

毛细管流变仪测量所得数据, 常常包括很大的流动速率范围, 故常用对数标尺表示。实际上, 提高熔体温度只能降低整个剪切速率或剪切应力范围内的表观粘度, 而很少能改变流动曲线的形状 (如图2-1-3和2-1-4所示)。

作为初步近似, 可用下列剪切速率的关系式。对于圆形和矩形通道可分别使用

$$\dot{\gamma}_N = \frac{4Q}{\pi R^3} (s^{-1}) \quad (2-1-1)$$

$$\dot{\gamma}_N = \frac{6Q}{wh^2} (s^{-1}) \quad (2-1-2)$$

式中, R 为圆形通道半径 (cm), h 为矩形通道高度 (cm), w 为其宽度 (cm), Q 为体积流量 (cm^3/s)。

利用剪切应力的定义, 对于圆形和矩形通道, 可分别得

$$\tau = \frac{R\Delta P}{2L} (N/cm^2) * \quad (2-1-3)$$

$$\tau = \frac{h\Delta P}{2L} (N/cm^2) \quad (2-1-4)$$

式中, L 为通道长度 (cm), ΔP 为熔体流经通道所产生的压降 (N/cm^2)。

实验证明, 大多数塑料熔体为非牛顿型的假塑性流体, 其剪切应力 (τ) 与剪切速率 ($\dot{\gamma}$) 之间的关系为一幂律函数式, 即

$$\tau = K (\dot{\gamma})^n \text{ 或 } \tau = K' (\dot{\gamma}_N)^n \quad (2-1-5)$$

对于圆形通道, 显然有

$$\frac{R\Delta P}{2L} = K' \left(\frac{4Q}{\pi R^3} \right)^n \quad (2-1-6)$$

对于矩形通道, 同样有

$$\frac{h\Delta P}{2L} = K'' \left(\frac{6Q}{wh^2} \right)^n \quad (2-1-7)$$

根据推导知

$$K' = K \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \quad (2-1-8)$$

$$K'' = K \left(\frac{2n+1}{3n} \right)^n \quad (2-1-9)$$

由式 (2-1-8) 和 (2-1-9) 联立, 求解可得

$$K'' = \left[\frac{4(2n+1)}{3(3n+1)} \right]^n K' \quad (2-1-10)$$

上式中, K 、 K' (K'') 分别称为稠度和表观稠度, 但也可称为粘度系数, 当 $n = 1$ 时 (即为牛顿型流体), 由上式可知

$$K'' = K' = K = \eta$$

此时, 才能称之为粘度。 n 称为非牛顿流体流动行为指数, 简称非牛指数。对于塑料熔体来说, $n < 1$ 。

应当指出的是, K (K' 、 K'') 和 n 均随塑料品种和熔体温度不同而异。但在塑料加工温度范围内, 常可看成近似不变的常数。表2-1-1和表2-1-2分别列出了若干聚合物的非牛指数 n 和粘度系数 (表观稠度) K' 值。

将方程 (2-1-8) 和 (2-1-9) 分别代入方程 (2-1-6) 和 (2-1-7), 可解得塑料熔体在圆形和矩形断面通道中流动的真实剪切速率, 分别为

$$* 1 N/cm^2 = 10^4 P.$$

表2—1—1A 若干聚合物的非牛指数

聚 合 物		非牛指数n值 ($\dot{\gamma} = 10^3 \sim 10^4 \text{s}^{-1}$)									
代 号	生 产 厂	温 度 °C									
		170	190	210	230	250	270	290	310	330	
LDPE(F702)	北京前进化工厂	0.40	0.40	0.42	0.45	0.49					
LDPE(G201)	北京前进化工厂	0.30	0.36	0.41	0.39	0.37					
PP(J300)	北京向阳化工厂		0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.28			
PS	北京向阳化工厂		0.25	0.30							
PMMA	苏州树脂厂			0.20	0.23						
ABS	兰州化工厂			0.15	0.17	0.19					
PA1010	靖江大众塑料厂				0.40	0.44					
PA6	南京塑料二厂				0.32	0.43					
PC	清华大学实验厂						0.30	0.28			
PSF	上海天山塑料厂								0.26	0.30	

表2—1—1B 若干聚合物的非牛指数 n 值

聚 合 物		非牛指数 n ($\dot{\gamma} = 10^2 \sim 10^3 \text{s}^{-1}$)									
代 号	生 产 厂	温 度 $^{\circ}\text{C}$									
		170	190	210	230	250	270	290	310	330	
LDPE(F702)	北京前进化工厂	0.43	0.49	0.54	0.58	0.60					
LDPE(G201)	北京前进化工厂	0.41	0.44	0.48	0.52	0.56					
PP(J300)	北京向阳化工厂		0.30	0.30	0.30	0.32	0.35	38			
PS	北京向阳化工厂		0.30	0.38							
POM(M250)	上海溶剂厂		0.46	0.49							
POM(M90-04)	Celanse(美)		0.56	0.56							
POM(C9021)	Hoechst(西德)		0.57	0.57							
POM(F20-01)	日本三菱		0.52	0.57							
PMMA	苏州树脂厂			0.23	0.36						
ABS	兰州化工厂			0.22	0.23	0.25					
PA1010	靖江大众塑料厂				0.54	0.48					
PA6	南京塑料二厂				0.56	0.78					
PC	清华大学实验厂					0.48	0.50	0.52			
PET	北京化工五厂						0.86	0.91			
PSF	上海天山塑料厂								0.46	0.48	

表2—1—2A 若干聚合物的粘度系数K' 值 ($N \cdot s/cm^2$)*

聚 合 物		粘度系数K' 值($\gamma = 10^3 \sim 10^4 s^{-1}$)									
代 号	生 产 厂	温 度 $^{\circ}C$									
		170	190	210	230	250	270	290	310	330	
LDPE(F702)	北京前进化工厂	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2					
LDPE(G201)	北京前进化工厂	2.3	1.2	0.8	0.7	0.6					
PP(J300)	北京向阳化工厂		4.5	4.0	2.8	2.3	1.8	1.4			
PS	北京向阳化工厂		4.1	1.8							
PMMA	苏州树脂厂			12.8	5.0						
ABS	兰州化工厂			18.0	13.0	10.3					
PA1010	靖江大众塑料厂				2.5	1.0					
PA6	南京塑料二厂				3.2	0.9					
PC	清华大学实验厂					15.1	14.8	14.4			
PSF	上海天山塑料厂								20.0	11.3	

* $1N \cdot s/cm^2 = 10^4 Pa \cdot s$, 故表中数值 $\times 10^4$ 即得IS的粘度单位。表2—1—2B 若干聚合物的粘度系数K' 值 ($N \cdot s/cm^2$)*

聚 合 物		粘度系数K' 值($\gamma = 10^2 \sim 10^3 s^{-1}$)									
代 号	生 产 厂	温 度 °C									
		170	190	210	230	250	270	290	310	330	
PP(J300)	北京向阳化工厂	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.1	0.7			
LDPE(G201)	北京前进化工厂	1.1	0.7	0.6	0.4	0.2					
LDPE(F702)	北京前进化工厂	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1					
PS	北京向阳化工厂		2.8	1.0							
POM(M250)	上海溶剂厂		1.3	1.0							
POM(M90-04)	Celanese (美)		0.5	0.4							
POM(F20-01)	日本三菱		0.4	0.4							
POM(O9021)	Hoechst (西德)		0.4	0.4							
ABS	兰州化工厂			11.0	8.8	7.0					
PMMA	苏州树脂厂			10.4	2.1						
PA1010	靖江大众塑料厂				0.7	0.7					
PA6	南京塑料二厂				0.6	0.1					
PC	清华大学实验厂					4.4	3.7	3.0			
PET	北京化工五厂						0.06	0.03			
PSF	上海天山塑料厂								5.0	3.3	

* $1N \cdot s/cm^2 = 10^4 Pa \cdot s$, 故表中数值 $\times 10^4$ 即得IS粘度单位。

$$\dot{\gamma} = \frac{3n+1}{n} \cdot \frac{Q}{\pi R^3} \quad (s^{-1}) \quad (2-1-11)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{4n+2}{n} \cdot \frac{Q}{Wh^2} \quad (s^{-1}) \quad (2-1-12)$$

对于幂律流体（符合幂律函数关系式的大多数塑料熔体），其剪切应力（ τ ）与剪切速率（ $\dot{\gamma}$ ）之间的函数关系，还有另一种表达式，即对于圆形通道为

$$\dot{\gamma}_N = k' (\tau)^m \quad (2-1-5')$$

或
$$\frac{4Q}{\pi R^3} = k' \left(\frac{R\Delta P}{2L} \right)^m \quad (2-1-6')$$

对于矩形通道为

$$\dot{\gamma}_N = k'' (\tau)^m$$

或
$$\frac{6Q}{Wh^2} = k'' \left(\frac{h\Delta P}{2L} \right)^m \quad (2-1-7')$$

经推导有

$$k' = \frac{4k}{m+3} \quad (2-1-8')$$

$$k'' = \frac{3k}{m+2} \quad (2-1-9')$$

$$\therefore k'' = \left[\frac{3(m+3)}{4(m+2)} \right] k' \quad (2-1-10')$$

式中， k 和 k' （ k'' ）称为流度和表观流度， m 亦简称为非牛指数，但 $m > 1$ 。经换算可得

$$m = \frac{1}{n} (>1) \quad (n \text{ 值见表 } 2-1-1)$$

$$k = \frac{1}{K^m}$$

或
$$k' = \frac{1}{(K')^m} \quad (K' \text{ 值见表 } 2-1-2)$$

但在工程实际使用中，若用方程（2-1-6）和（2-1-7）求解，常觉不便且太繁，因而在实验所得的数据中多用表观剪切速率（ $\dot{\gamma}_N$ ）和表观粘度（ η_a ）以对数标尺作图（见图2-1-3和2-1-4），使得问题解答十分方便，避免了求解指数方程所带来的麻烦。由此，对于圆形和矩形通道可分别表示为

$$\frac{R\Delta P}{2L} = \eta_a \left(\frac{4Q}{\pi R^3} \right) \quad (2-1-13)$$

$$\frac{h\Delta P}{2L} = \eta_a \left(\frac{6Q}{Wh^2} \right) \quad (2-1-14)$$

式中， η_a 称为表观粘度（ $N \cdot s/cm^2$ ）*。图2-1-2和图2-1-3分别为用毛细管流变仪测得的PA1010的流动曲线和 $\eta_a \sim \dot{\gamma}$ 关系曲线。

* $Ns/cm^2 = 10^4 Pa \cdot s$

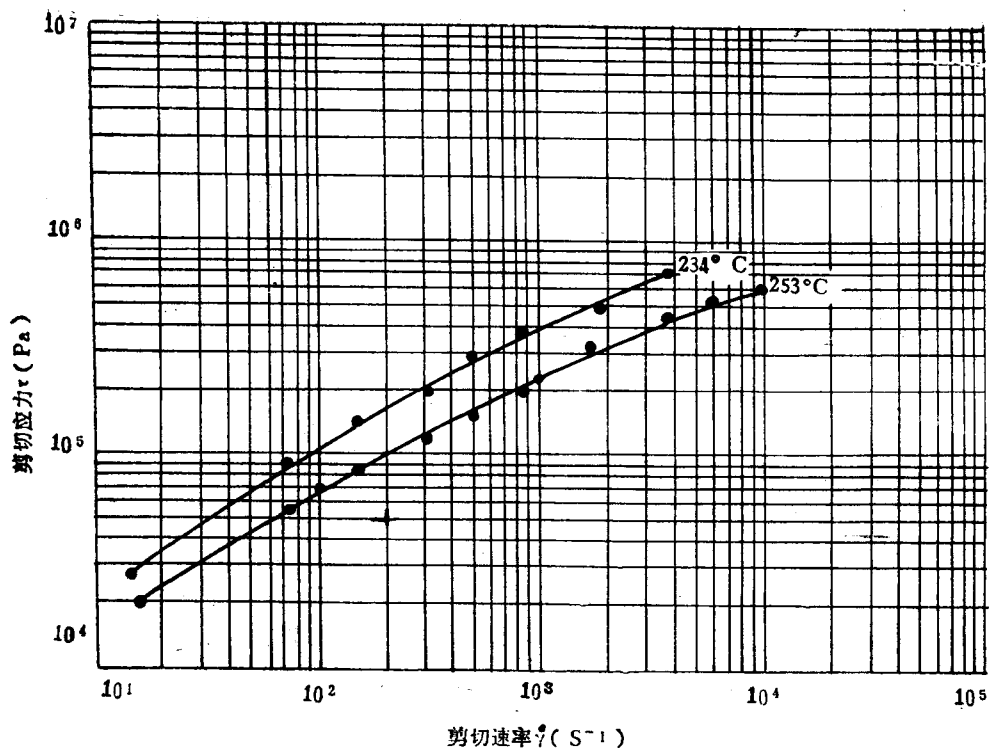


图2—1—2 PA1010的流动曲线 ($L/D = 40/1$)

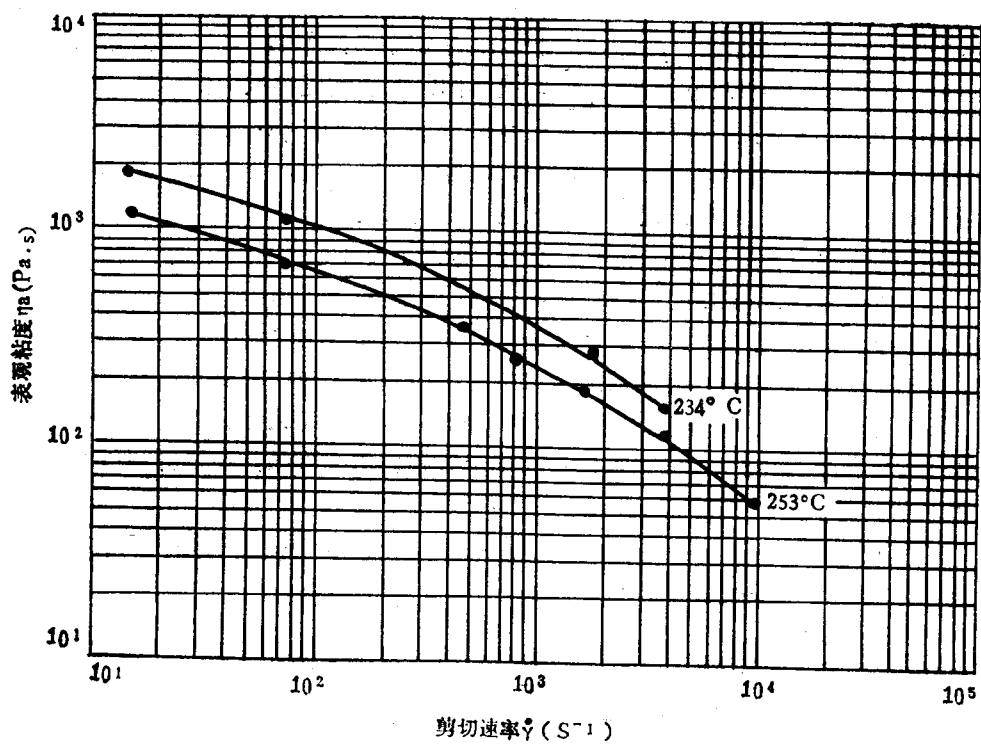


图2—1—3 PA1010的表现粘度与剪切速率的依赖关系 ($L/D = 40/1$)

将方程(2-1-13)和(2-1-14)分别改写为

$$Q = \left(\frac{\pi R^4}{8L} \right) \left(\frac{1}{\eta_a} \right) (\Delta P) \quad (2-1-15)$$

$$Q = \left(\frac{wh^3}{12L} \right) \left(\frac{1}{\eta_a} \right) (\Delta P) \quad (2-1-16)$$

由方程(2-1-15)和(2-1-16)可知, Q值的大小不仅受到L、 η_a 和 ΔP 的影响,而且随流道(或浇口)的断面尺寸(R、h、w)、长度(L)、熔体粘度(η_a)和压降(ΔP)的变化而变化。总的说来,增大R或 $w \times h$,减小L和 η_a 以及增大 ΔP ,均有利于Q值的提高。但它们之间不是孤立的。而是互相影响、为改变某个流变参数,其它参数也随之而变化。

2.1.2 有关流变参数的分析与选择

注塑成型的基本要求,是将足量的塑料熔体以极快的速度,注入一定体积的模腔中,再配合其它工艺条件,使之高效地生产出外观和内在质量均好的注塑制品。为达此目的,现就注塑模浇注系统设计所应考虑流变参量进行分析,并做出恰当选择。

(1) 浇口断面尺寸 增大浇口断面尺寸,有利于Q值的提高。从式(3-1-15)和(3-1-16)可知, Q值随 R^4 或 $W \times h^3$ 成正比例的增加。但浇口断面积增大,熔体在浇口处的流速减慢,其表观粘度(η_a)相应提高,使Q值下降,所以浇口断面尺寸增大有个极限值,这就是大浇口尺寸的上限。超过此值,会取得相反的效果。因此,认为“浇口尺寸越大越容易充模,”的概念是一种误解。相反,小浇口(通称点浇口)之所以成功,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 $\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$ ($n < 1$),熔体流率越快, η_a 越低,越有利于充模, Q值越大。此外,由于熔体高速流经小浇口,部分动能因高速摩擦而转变为热能,从而提高了浇口处的局部温度,使熔体的表观粘度再次降低, Q值再次得到增加。但当剪切速率 $\dot{\gamma}$ 达到极限值(一般为 $\dot{\gamma} = 10^5 s^{-1}$), 剪切速率 $\dot{\gamma}$ 与表观粘度 η_a 便失去了依存关系,称之为失去了“剪切速率效应”。超过此极限值时,剪切速率 $\dot{\gamma}$ 再增加,表观粘度 η_a 不再降低。此时浇口的断面尺寸就是点浇口的极限尺寸。

(2) 浇口长度 当注塑压力保持恒定时,则浇口入口处的压力保持不变。如果浇口长度变短,这就使熔体流经浇口的阻力减小,也就使浇口的入口与出口间的压降减小,从而使塑料熔体在浇口中的流速增大,所以Q值得到提高。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。因此缩短浇口长度,在不增大浇口截面的条件下,就能提高注塑速率Q值。同时,由于熔体在浇口中流速的提高,也即剪切速率 $\dot{\gamma}$ 增加,熔体的表观粘度 η_a 相应降低。此外,短浇口可保持常开,有利于补缩。由上可知,在设计浇口长度时,总是选取其最小值为好。

(3) 剪切速率的选择 由于绝大多数塑料熔体,属于非牛顿型的假塑性流体,其表观粘度 η_a 与剪切速率 $\dot{\gamma}$ 的函数关系可表示为

$$\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (n < 1) \quad (3-1-17)$$

由于 η_a 与 $\dot{\gamma}$ 是幂律函数关系,不是线性关系。今以ABS为例(如图2-1-4所示),当加工温度为255°C时, $\dot{\gamma}$ 从 1×10^2 增至 $3 \times 10^2 s^{-1}$,仅增加200 s^{-1} ,其表观粘度 η_a 就从 2.5×10 降至 1.1×10 ,即净降低 $1.4 \times 10 P_a \cdot s$ 。而剪切速率从 1×10^3 增至 2×10^3 ,即净增加1000 s^{-1}