



智能制造与装备制造业转型升级丛书
MADE IN CHINA

HOT RUNNERS IN INJECTION MOLDING

热流道注射模塑

徐佩弦 张占波 王利军 / 编著



制造业是国民经济的主体
经济的主体是立国之本、兴国之器、强国之基
致力于助力中国智能制造的快速进步和装备制造业的转型升级



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

智能制造与装备制造业转型升

热流道注射模塑

徐佩弦 张占波 王利军 编著



机械工业出版社

本书全面系统地介绍了塑料注射模的现代热流道技术。主要内容
包括：热流道概述，塑料注射材料，塑料熔体流变学，热流道的热传
递和热膨胀，开放式喷嘴，针阀式喷嘴，热流道系统的流道板，温度
控制系统，浇注系统的设计，先进的热流道注射模，热流道注射模的
安装、使用和维护。本书在流变学和传热学理论基础上，创造性地提
出了热流道直径和浇口口径设计计算方法，从理论、方法到实例，详
细介绍了热流道注射模浇注系统流变平衡的设计过程。书中大量的技
术资料和结构图样，以及热流道浇注系统流动分析案例，都来自于实
际生产，实用性强。

本书可供从事塑料注射成型与模具设计及热流道研发的工程技术
人员使用，也可供相关专业在校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

热流道注射模塑/徐佩弦，张占波，王利军编著. —北京：机械工
业出版社，2016.7

（智能制造与装备制造业转型升级丛书）

ISBN 978-7-111-54016-8

I. ①热… II. ①徐… ②张… ③王… III. ①流道-注塑-塑料模具
IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 130124 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：陈保华 责任编辑：陈保华 王 珑 崔滋恩

责任校对：刘怡丹 责任印制：乔 宇

北京铭成印刷有限公司印制

2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 32.25 印张 · 656 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-54016-8

定价：99.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

策 划 编 辑：010-88379734

封面防伪标均为盗版

网络服务

机 工 官 网：www.cmpbook.com

机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

金 书 网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

前言



用热流道注射模塑制品是塑料注射工艺发展过程中的重大改革。热流道技术是注塑成型的一项先进技术。将热流道系统安装在注射模具上,模具的浇注系统采用绝热和加热方法,使其塑料熔体始终保持熔融状态,可避免产生浇注系统凝料,实现无流道凝料生产,能节省原材料和节约能源。对热流道系统实施有效的温度控制,可实现塑料制品质量优化,提高生产效率。

自1940年,美国的第一个热流道的专利公开以来,热流道技术已经得到巨大的发展和进步。目前,热流道技术在我国塑料注射模设计和生产中已经得到广泛应用,用热流道的注射模占全部注射模的比例在逐年提高,热流道装备生产企业数目和从业人员已有相当规模。近年来,国内的生产企业在提高热流道装备和元件的质量方面成效显著,正在为创建优质品牌而努力。

热流道系统的设计和元器件制造的技术难度高,又与塑料材料和温度自动控制等学科关系密切,而目前从事热流道装备制造、注射模具设计和生产的技术人员大都是学习机械制造专业的,且从业时间不长,因此,本书编入了较全面的塑料材料、注射模塑、传热学、流变学和自动控制的基础知识和理论。

本书详细介绍了热流道喷嘴和流道板的设计与制造,着重分析了针阀式喷嘴的设计,并介绍了流道板和喷嘴的整体化设计。热流道技术在不断发展,它与新型塑料注射工艺关系密切。本书还介绍了大型注塑件、多腔小塑件、高温塑料和针阀式浇口时间程序控制等热流道注射模的设计,以及双色热流道注射模和叠式热流道注射模的设计,总结了热流道注射模塑的生产经验,介绍了热流道注射模的操作规程和失误的解决方法。

本书作者长期以来一直从事塑料注射模的热流道技术开发、设计、制造及员工培训,这次与上海占瑞模具设备有限公司合作,在原有著述的基础上,汇编了近年来技术发展的新资料,旨在提高我国的热流道技术水平。

在本书出版之际,我们要感谢为本书提供技术资料的同行卢红和余志良等人士,感谢《模具工业》和《模具制造》等期刊为热流道技术积累的素材。同时,感谢上海占瑞模具设备有限公司的陶玉清、李家龙和肖龙生等设计人员为本书提供大量的插图。最后,还要感谢机械工业出版社承担了本书的出版工作。

本书读者对象为塑料注射模具和注射工艺领域的技术和管理人员,以及从事热流道技术开发和应用的人员。中国的热流道技术发展方兴未艾,我们期待有更多年轻有为之士加入到这一充满活力和期待的高新技术领域。

作者

目 录



前 言

第 1 章 热流道概述	1
1.1 冷流道注射模	1
1.1.1 注射模塑	1
1.1.2 注射模的组成和结构	8
1.1.3 注射模的冷流道系统	15
1.2 热流道技术	34
1.2.1 热流道的结构和系统	34
1.2.2 热流道技术的优势和发展	38
1.2.3 热流道注射模塑的成本分析	48
第 2 章 塑料注射材料	52
2.1 塑料材料的分类	52
2.1.1 实用分类	52
2.1.2 聚合物的形态	54
2.2 塑料注射材料的品种	56
2.2.1 热塑性塑料及热塑性弹性体	56
2.2.2 热固性塑料	65
2.2.3 注射用特种塑料	68
2.3 塑料的注射工艺性能	76
2.3.1 塑料的固态和液态密度	76
2.3.2 塑料熔体的黏度	80
2.4 塑料的加工温度范围和热性能	82
2.4.1 加工温度范围	82
2.4.2 塑料熔体的热性能	86
2.5 添加剂对热流道注射的影响	88
2.5.1 填料和纤维等添加剂的影响	89
2.5.2 阻燃剂的影响	90
2.5.3 颜料的影响	93
2.6 塑料的注射生产准备	98
2.6.1 原料预热干燥	98
2.6.2 机筒和热流道清洗	101

第3章 塑料熔体流变学	103
3.1 塑料熔体的压力流动	103
3.1.1 非牛顿型塑料熔体的流动	103
3.1.2 塑料熔体在管隙中的流动分析	120
3.2 影响黏性流动的因素	127
3.2.1 剪切速率、温度、压力和分子参数的影响	127
3.2.2 塑料熔体的弹性和熔体破裂	133
第4章 热流道的热传递和热膨胀	137
4.1 热传递	137
4.1.1 热量和比热容	137
4.1.2 热传导、热对流和热辐射	138
4.1.3 喷嘴的传导加热	144
4.2 热管	147
4.3 热流道的热膨胀	154
4.3.1 热膨胀和热应力	154
4.3.2 流道板的热补偿	156
第5章 开放式喷嘴	160
5.1 喷嘴的种类	160
5.2 主流道单喷嘴	165
5.2.1 单点注射的主流道单喷嘴	165
5.2.2 多点注射的单喷嘴	172
5.3 直接浇口喷嘴	176
5.3.1 直接浇口	176
5.3.2 直接浇口喷嘴的应用和结构	189
5.4 针尖式喷嘴	195
5.4.1 针尖式浇口	195
5.4.2 导流梭针尖分喷嘴的结构和设计	203
5.4.3 针尖式喷嘴热补偿	210
5.4.4 侧孔管道针尖分喷嘴的结构和设计	214
5.5 多浇口和边缘式喷嘴	225
第6章 针阀式喷嘴	231
6.1 针阀式喷嘴的结构和应用	231
6.1.1 针阀式主流道单喷嘴	232
6.1.2 针阀式分喷嘴	239
6.2 针阀式喷嘴的设计	254
6.2.1 浇口	254
6.2.2 圆锥头阀针和环隙流道	259
6.2.3 针阀式喷嘴的驱动装置	266
6.2.4 喷嘴壳体强度	269

6.2.5 整体式热流道	274
6.3 喷嘴的选择和制造材料	282
6.3.1 喷嘴的选择	282
6.3.2 喷嘴的制造材料	286
第7章 热流道系统的流道板	291
7.1 流道板流道的熔体传输	291
7.1.1 一模多腔自然平衡的熔体传输	292
7.1.2 一模多腔非自然平衡的熔体传输	299
7.1.3 针阀式多喷嘴时间程序控制的注射	312
7.1.4 多角度针阀式喷嘴的注射	314
7.2 流道板的结构和装配	320
7.2.1 流道板的总体结构	320
7.2.2 主流道喷嘴、承压圈和旋塞	329
7.2.3 流道板的装配	334
第8章 温度控制系统	341
8.1 流道板的加热和功率计算	341
8.1.1 流道板上的加热器	341
8.1.2 流道板的内加热	353
8.1.3 流道板的加热功率和热损失计算	354
8.2 喷嘴的加热	361
8.2.1 外加热喷嘴上的加热器及其功率	361
8.2.2 外加热喷嘴的径向热传导分析	368
8.2.3 内热式喷嘴上的加热器	371
8.3 温度调节	372
8.3.1 热电偶	372
8.3.2 温度控制器	375
第9章 浇注系统的设计	386
9.1 冷流道浇注系统的设计	386
9.1.1 冷流道浇注系统的浇口数目	386
9.1.2 冷流道浇注系统的浇口位置	393
9.2 热流道浇注系统的类型和设计过程	399
9.3 热流道浇注系统的流动分析	410
9.3.1 热流道注射模流动分析的应用	411
9.3.2 浇口数目和位置优化	423
9.3.3 流道平衡的热流道浇注系统	427
第10章 先进的热流道注射模	438
10.1 热流道注射模的发展	438
10.2 双色的热流道注射模	450
10.3 叠式热流道注射模	458

第 11 章 热流道注射模的安装、使用和维护	466
11.1 热流道浇注系统的安装和调试	466
11.2 热流道浇注系统的故障和解决方法	474
11.2.1 注塑制品的质量分析	474
11.2.2 注射生产中常见制品的缺陷和解决方法	481
11.2.3 热流道系统的故障和解决方法	485
11.3 热流道注射模具的使用和维护	491
11.3.1 热流道注射模的验收及操作	491
11.3.2 热流道注射模的维修和保存	497
附录	499
附录 A 常用塑料的缩写或代号	499
附录 B 热流道术语的中英文对照	501
参考文献	506

第1章



热流道概述

热流道注射模是无流道凝料注射模中最常见的一种。浇注系统凝料的存在不仅浪费原材料和增大注射机的能耗，而且也增加了流道赘物处理工序，而采用无流道凝料的注射成型方法则可降低生产总成本。

热塑性塑料的无流道凝料注射成型是对模具的浇注系统采用绝热或加热方法，使塑料熔体始终保持熔融状态，从而避免产生浇注系统凝料。热固性塑料的无流道凝料注射模与热塑性塑料成型相仿，也是使浇注系统塑料熔体不固化，维持可流动状态。热固性塑料的无流道凝料注射使用温流道注射模。

设置加热器使浇注系统内塑料保持熔融状态的热流道注射模，其热流道装备有流道板、喷嘴和温度控制器等。由于技术难度高，这些热流道装备都由专业公司制造和经营。注射模具的生产企业与热流道装备的生产和服务公司合作，共同完成注射模具的设计和制造，并保证注射成型的生产。

1.1 冷流道注射模

热流道技术是注射成型技术发展的新阶段，了解热流道系统的原理和结构，要从注射模塑、注射模和冷流道系统开始。

1.1.1 注射模塑

塑料的注射成型是借助螺杆或柱塞的推力，将已塑化的热塑性塑料熔体以一定的压力和速率注入闭合的模具型腔内，经冷却固化定型后开模而获得制品。

塑料的注射成型对塑料制品的形状几乎没有复杂性限制，而且是一次注射成型，允许注射模具内有相同塑件的多个成型型腔，也允许注射模具内有不同塑件的多个成型型腔。注射成型具有中等生产率，其冷却时间由注塑件壁厚来决定。可通过增加每副模具的型腔数来提高生产率。

注射成型能模塑带有各种材质嵌件的制品。金属或硬质材料的骨架嵌件，能提

高注塑件的强度和刚度。在表面的嵌件能装饰制品或使注塑件耐磨。导电金属使绝缘的塑料制品中有通电的接插头。带螺纹的嵌件，能实现注塑件之间的连接。在金属模具型腔表面的修饰和标记对注塑件是有用的。

注塑件尺寸，小到不足 1g，大到几十千克，没有限制。注塑件厚度与熔体充填流程比有关。小件薄壁，大件厚壁。要求单个塑料注射制品的壁厚均匀一致。

在一定温度范围内具有适宜流动性的热塑性塑料都能注射成型。多数塑料的熔化温度在 $170 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，塑料熔体的黏度在 $5 \sim 50\text{g}/10\text{min}$ 范围内的都能注射加工。注射成型可注射高精度的塑件，但比金属零件的尺寸精度低；也有较好的表面质量和尺寸稳定性，但需要高精度的模具和注射机。注射成型易于实现注射生产过程的自动化。

1. 注射机

(1) 注射机的基本结构 掌握注射成型工艺要从了解注射机的基本结构开始。图 1-1 所示为卧式往复螺杆注射机的基本组成。注射塑化装置在定模板 8 的右侧，而合模装置在左侧，电动机驱动装置和液压泵在机座里。该注射机主要由注射液压缸、注塑装置移动液压缸、合模液压缸和螺杆旋转用液压马达组成，还有液压控制系统的控制阀和油箱等，它们分别安装在机座内或注射机各个位置。电气控制装置有的安装在独立的控制柜里，也有的安装在定模板前。

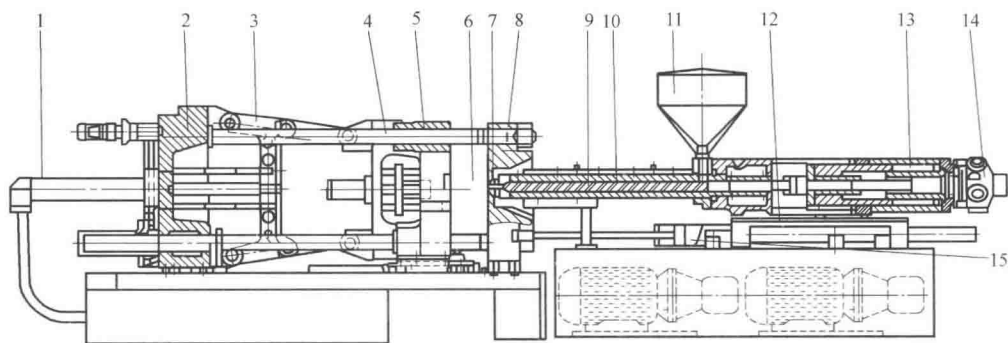


图 1-1 卧式往复注射机的基本组成

- 1—合模液压缸 2—后模板 3—双曲肘 4—拉杆 5—动模板 6—装注射模空间
7—喷嘴 8—定模板 9—往复式螺杆 10—机筒 11—料斗 12—注塑装置的导轨
13—注射液压缸 14—旋转液压马达 15—注塑装置的牵引液压缸

1) 注射塑化装置。其作用是将塑料原料由机筒电加热，又经螺杆混合、均化和剪切加热，塑化成黏流态，并以很高的压力和速度注入进模具型腔。注塑装置主要由料斗等组成的加料装置、电加热的机筒、旋转并移动的螺杆、注射喷嘴和计量装置等组成。

当液压马达驱动螺杆旋转时，固态塑料粒子被压缩、加热、剪切而熔化，熔融

的塑料积聚在螺杆头的前面,迫使螺杆与注射液压缸的活塞后退,完成计量后螺杆止转,塑化结束。在密闭模具中,注塑件的冷却固化时间比塑化时间长。要等到注射模打开,注塑件被顶出,重新闭合后,液压缸才能注射定量的塑料熔体。

整个注塑装置在床身的导轨上可由牵引液压缸往复拖动。在注射和保压时,注射喷嘴紧压贴合在注射模的凹坑上,高压熔料经模具的主流道射入型腔。

2) 合模装置。合模装置由模板、拉杆、合模机构、制品顶出机构、调模机构和安全门等组成。

注射成型时,熔融塑料通常是以 $40 \sim 200\text{MPa}$ 的高压注射。为了保持注射模紧密闭合,合模液压缸和机械肘杆机构要提供足够的锁模力。合模装置不但启闭模具,还在开模运动的后期驱使模具的脱模机构推顶固化的注塑件。

合模装置的动模板牵引动模慢速开模,保证注塑件顺利脱离定模型腔。动模在运行途中应快速移动,以压缩辅助时间。在开模运动的后期,动模的脱模机构在对注塑件进行顶出运动时也应该减速,以保护塑件不受脱模损伤。合模装置在牵引动模闭模时,为避免与定模碰撞,应减速接近定模。

3) 液压系统。液压系统为了实现注射工艺过程中注塑装置和合模装置的动作程序,需对液压系统的执行液压缸和液压马达提供液压动力并进行控制,其组成有液压泵及驱动电动机,有附设的管道、油箱和过滤器等。对压力油有压力调节、控制流量和流向的各种液压阀,这些液压控制阀又与电气控制系统连接。

4) 控制系统。对于液压油的温度、机筒的温度、模具温度、锁模力、注射压力和速率等几十个参数,在一定时间里要保持某一数值。另外,还要保证注射周期内螺杆、喷嘴和动模等功能零部件按照逻辑程序在确定的时刻达到所要求的数值和方向。控制系统的直接目标是监控加工过程,间接任务是保证注塑件的质量。

(2) 热流道系统与注射机的关系

1) 热流道系统的注射模塑在注射机上操作有四项特征:

- ① 热流道注射模需要更大的模具闭合高度。
- ② 注射计量时,需要考虑在注射高压下大容量流道中塑料熔料的压缩性。
- ③ 提倡连续的生产操作,提倡温度控制从低到高的多级启动。
- ④ 热流道系统要充分利用注射机的自动循环和控制能力。

2) 充分利用计算机控制注射机,可为热流道注射模的自动操作提供以下方便:

① 在新型的计算机控制注射机上,可以把热流道系统加热区(如喷嘴的温度控制)连接到注射机整机的控制系统中,有的还可以接到状态过程控制 SPC (Statistical Process Control) 系统,与其他控制参量一起来控制温度,如在喷嘴温度超差时,将被注射的制品作为废品去除。

② 具有 SPC 的注射机可以充分监察注射过程的压力,在计算机的屏幕上显示注射压力随时间的变化曲线,还可以有选择地对注射压力或保压压力等进行参数检

测,当出现浇口堵塞、熔体泄漏或加热失效时可以观察到压力曲线数值的超常显示。与此同时,能对超过压力公差 of 的注射报警,并去除废品。当然,如果在制造模具时,将压力传感器置于型腔或顶杆的根部,并连接到自适应的控制系统,则可直接有效地进行压力监控,并自动调节注射压力。目前已经有此新型的注射机。

3) 使用热流道注射时,有必要配置如下附加设备:

① 模具的调节温度系统,使用水或油循环的自动调温的恒温箱。

② 在注射机的料斗里放置磁性栅板。热流道不允许塑料原料中混有杂物。

③ 可控的机械手,它可保证注射成型的自动操作,快速取出塑料成品并堆放。这对大型塑料制品是不可缺的附属设备。机械手的液压动力来自注射机,操作信息来自注射机的微机控制系统。还有一些注射机上安装了模具的辅助设备,都确保了热流道注射模的使用,提高生产率。

2. 注射成型循环过程

在注射成型循环的时间周期内,注塑装置与合模装置相互协作,完成注射成型的动作程序,生产质量合格的注塑件。

(1) 注射成型的循环动作 螺杆式注射成型机的循环动作可以分成四个阶段,如图 1-2 所示。

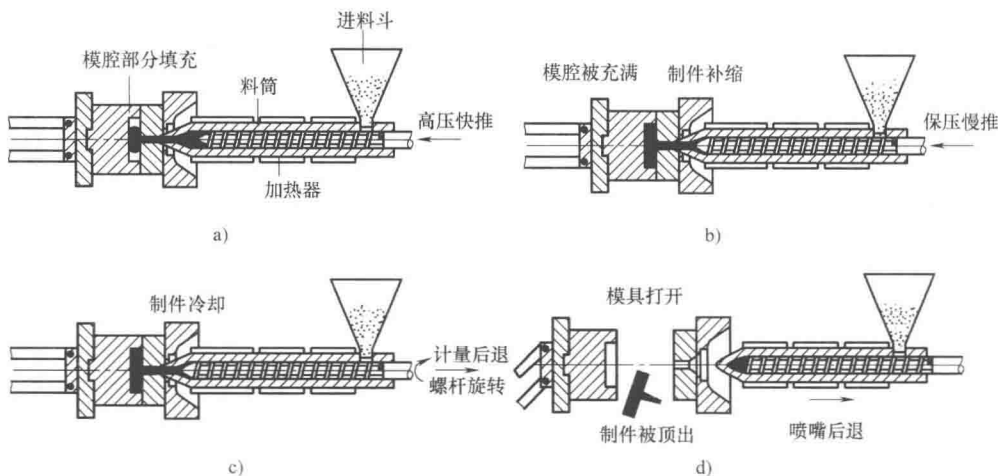


图 1-2 螺杆式注射成型机的循环动作

a) 锁模与注射 b) 保压与补缩 c) 塑化与冷却 d) 开模并顶出

1) 锁模与注射。模具被低压快速推进闭合;当动模将要合上定模时,动模低速行进;确认型腔内无异物时,自动切换成高压锁模。

模具锁紧后,注塑装置前移,使喷嘴贴合模具,由注射液压缸以高速高压给力螺杆,将螺杆熔料注入模具的闭合型腔。

2) 保压与补缩。塑料熔体注入低温型腔后有较大收缩,应进行熔料补充,使

制品的质量密实。机筒内预留一定的熔料量，注射螺杆以高压少量地向前推挤。模具内浇口冻结时，应撤除保压压力。注塑件在密封的型腔中冷却固化。

3) 塑化与冷却。制品冷却的同时，螺杆在液压马达驱动下转动，将来自料斗的粒料沿螺旋槽向前输送，粒料受机筒外加热和螺杆剪切热的共同作用逐渐软化，并最终完全熔融。由于螺杆头部熔体压力的作用，迫使螺杆转动时发生后退。注射液压缸可调节 25MPa 以下的油压，阻挡螺杆的后退，这个阻力被称为背压。螺杆的后移量可折算成塑化后积存的熔体体积。当螺杆退回到一次注射所需的计量值时，由监测信号控制螺杆停止转动，完成塑化。

4) 开模并顶出。通常要求预塑时间少于注塑件的冷却时间。制品冷却定型后模具开启，在开启移动的后期，注射机合模装置上的顶杆或者液压缸活塞驱使动模的脱模机构顶出注塑件。

(2) 注射成型周期 注射成型周期指完成一次注射成型工艺过程所需的时间。它包含注射成型过程中所有的时间问题，直接关系到生产率的高低。注射成型机工作循环周期如图 1-3 所示。图 1-3 中的冷却时间从保压结束到开模为止，被称为模具内的冷却时间。实际上模内塑料件自熔体流动充满型腔后，即刻开始冷却。在开模后，在室温下的注塑件还会继续冷却。

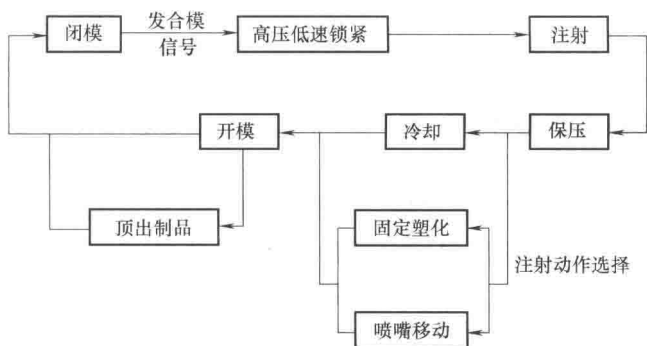


图 1-3 注射成型机工作循环周期

注射机在加工结晶型塑料时，喷嘴不宜长时间同低温的模具接触。有时，注射机刚开始生产，需要用喷嘴来加热模具。在注射成型周期较长时，应减少喷嘴对模具的热传导。因此，注塑装置的支座应在每一循环的往复运动中移动一次，称为注射座的整体移动。热流道注射模的主流道喷嘴简称为注射嘴。注射嘴直线输送塑料熔料。大多数注射嘴还用加热器保持熔料的温度。注射机在各个工作循环中，其喷嘴始终同高温的模具接触，也就是说注射座固定。加料方式以采用固定加料方式为宜，即注射座不移动。

3. 注射充模

注射液压缸以高压将塑料熔体经机筒前喷嘴和注射模的热流道与喷嘴的浇口输

入制品成型的型腔。这个熔体的传输过程可分为流动充模、保压补缩和倒流三个阶段。

(1) 流动充模 图 1-4 所示为注射成型的压力-时间曲线,也是三个位置的塑料熔体的压力随时间的变化曲线。曲线 1 是螺杆头前熔料的压力变化,也是注射液压缸的活塞推力的压力变化。以微电脑控制注射机,可以测定并显示该曲线。曲线 2 为注射机的喷嘴出口处熔料的压力变化。曲线 3 为热流道注射模中喷嘴浇口出口处熔料的压力变化,而且,喷嘴浇口是开放式的,浇口里的塑料熔体由热量和压力控制启闭。该处可用压力传感器测试,说明成型型腔的最高压力随时间的变化。

要理解熔体压力在流动充模中的压力变化,必须了解塑料熔体是高黏度的流体,而且具有明显的弹性,塑料熔体的密度随压力变化。在熔体进入成型型腔前的流程中,由于机筒、喷嘴、流道与浇口的阻力,注射压力被不断消耗。在流动充模的熔体传输过程中,机筒和喷嘴有一定的加热温度,在热流道板和喷嘴的流道里保持熔融温度,而熔体进入模具的制品型腔后,低温的流道壁面对熔体有冷却作用,因此塑料熔体的流动充模过程,不但

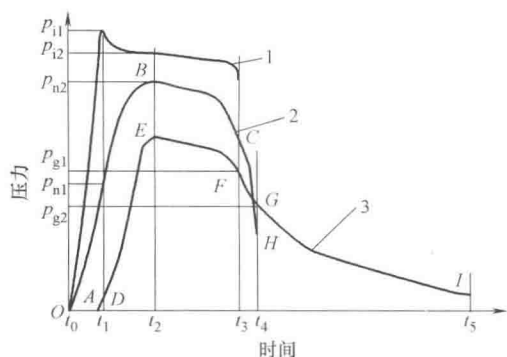


图 1-4 注射成型的压力-时间曲线

1—注射压力曲线 2—注射机喷嘴出口处熔料的压力曲线
3—注射模中喷嘴浇口出口处熔料的压力曲线

1) 注射压力曲线。在图 1-4 中, t_0 为螺杆开始推压熔体的时刻。在压力曲线 1 上, p_{i1} 为螺杆的注射压力; t_2 为熔体充满型腔的时刻, 故时间段 $t_0 \sim t_2$ 为整个充模阶段; t_1 为塑料熔体冲出浇口, 进入成型型腔的时刻。 $t_0 \sim t_1$ 为流动前期。在流动前期, 喷嘴口和流道中熔体压力急剧上升梯度很大。在 $t_1 \sim t_2$ 注射充模的后期, 型腔内被塑料熔体充满。 p_{i2} 为切换的保压压力。控制对于 t_2 的保压切换时刻十分重要, 过早切换会使制品的密度不足。

2) 注射机喷嘴出口处熔料的压力曲线。在图 1-4 中, 流道中熔体压力在流动前期, A 点上升至 B 点。B 点对应注射机喷嘴出口的保压压力 p_{n2} 。显然, $p_{i1} - p_{n2}$ 为在注射后期, 塑料熔体在机筒和喷嘴传输时的压力损失。而在模具内, 压力从 p_{n1} 上升至 p_{n2} 。 t_3 是螺杆后撤时刻, 此时压力曲线 1 上螺杆头的注射压力急剧降至零压。在 $t_2 \sim t_3$ 的保压期间, 塑料熔体在保压压力下补充给模具的制件型腔。螺杆一旦后撤, 流道中熔体压力自 C 点迅即下落至 H 点, 期间, 流道中熔体压力和温度下降很快, 而制件型腔内的熔体压力较高。如果浇口有足够大的流通截面, 则塑料熔体会倒流至流道中。

3) 注射模中喷嘴浇口出口处熔料的压力曲线。在图 1-4 中, 自 t_1 时刻熔体冲出浇口, 压力在流动充模期间自 D 点上升至 E 点。自 E 点至 F 点, 制件型腔内塑料得到压实和补缩。 F 点有螺杆后撤时的型腔压力 p_{g1} 。在 $t_1 \sim t_4$ 期间, 熔料充填并压实了制件型腔, 而塑料熔体温度在下降。 t_4 是截面狭窄的浇口中塑料凝固的时刻。自 t_4 起, 制件型腔成为密封容器, 停止质量传递。 p_{g2} 是浇口冻结时刻的型腔中塑料的内压。从 G 点到 I 点, 型腔内生产的注塑件的内压和温度不断下降, 形体冷却收缩。直到时间 t_5 , 模具的分型面打开。

(2) 保压补缩 在整个充模阶段结束后, 螺杆不能立即退回, 必须在前段位置保持一定的压力, 使螺杆缓慢推进。塑料熔体有补给型腔的保压流动, 此时螺杆前端的压力称保压压力, 俗称二次注射压力。与注射充模阶段对型腔压实不同, 此时型腔内熔体温度已下降, 黏度升高, 只是低速流动, 而压力的传递起主导作用, 影响注塑件的质量。产生保压流动的原因是模具壁间附近的熔体因冷却而产生体积收缩。在浇口冻结之前, 熔体在保压压力下, 产生补缩的流动, 此时在注射机的机筒内, 螺杆前端应有一定量的熔体, 经喷嘴和流道系统至型腔末端, 能够传输质量和压力。

保压阶段的压力是影响型腔压力和补缩程度的主要因素。较高的保压压力提高了型腔的内压, 补进了较多物料, 增大了制品的密度, 也提高了注塑件内密度分布的均匀性。同时, 熔体压力增大和持续保持, 可提高熔合缝的力学强度, 也可提高塑料与金属嵌件的连接牢度。但是, 由于保压压力和流动是在成型物的温度不断下降时进行的, 故较高的压力会在制品中产生较大的残余应力和大分子取向, 使得制品在使用期内容易翘曲变形, 甚至开裂。

在一定的保压压力下, 延长保压时间能向型腔中补进更多的熔料, 其效果与提高保压压力相似。如果浇口的截面较大, 又保持较长的保压时间, 会使得型腔中塑料凝固之后浇口才冻结, 故型腔的内压将缓慢下降, 这有利于保证薄壁深腔的大型注塑件的质量。反之, 保压时间不足, 浇口又不能及时冻结, 则物料会从模具型腔中倒流, 型腔内压力会下降很快。

(3) 倒流 如果模具内的浇口没有冻结就撤除保压压力, 则塑料熔体会在较高的模具型腔压力作用下发生倒流。倒流使型腔压力很快下降。倒流将持续到浇口冻结为止。浇口冻结以后才结束保压是注射生产操作的失误。浇口冻结后制品的密度不会变化了, 因此用不同的保压时间, 对注塑件称重, 可寻觅合适的切换时间。浇口截面的大小和形状决定了冻结的时刻。注射模内采用针点式的小浇口, 一般不会发生倒流。大型的注塑件采用主流道型的大浇口, 保压时间可长达 $1 \sim 1.5 \text{ min}$ 。保压时间对制品的密度和尺寸的精度有较大的影响。曾发生倒流的模塑制品会出现密度不足, 表面有凹陷, 内部有真空泡等缺陷。

(4) 热流道系统的注射和保压 热流道的喷嘴有几十种的浇口。浇口的启闭会影响注射充模、保压补缩和倒流, 大致有以下四种类型:

1) 如果热流道系统是开放式浇口的喷嘴, 则注射与保压由注射机的控制系统实施。

2) 如果注射模是针阀式单喷嘴, 则模具型腔的注射与保压由注射机的控制系统跟单喷嘴的驱动阀针联合控制。通常, 两者的起始注射和保压结束是同步的。

3) 如果注射模有数个针阀式的多喷嘴, 而且这些喷嘴的阀针是圆柱头, 则对模具型腔各注射点的注射与保压、各阀针的启闭与注射模的控制系统同步控制。在注射生产中, 注射机的保压结束, 而多喷嘴的阀针迟不闭合, 如果此时开放的浇口不能热力闭合, 会出现模具型腔内熔体的倒流。

4) 注射模有数个针阀式的多喷嘴, 为了控制这些喷嘴按时间程序逐个注射和保压, 应该采用圆锥头的阀针。这种针阀式多喷嘴的结构虽复杂, 但对于浇口孔的闭合可靠, 常用于各注射点的注射保压时间的控制, 可以获得较理想的熔合缝的分布位置, 甚至可消除熔合缝。在注射机开始注射后, 这些喷嘴的注射保压时间由时间程序控制器逐个调节, 直到注射机的保压终止。

1.1.2 注射模的组成和结构

本节通过分析三种冷流道注射模具的工作原理和基本结构, 从而了解热流道注射模设计的基本原理和基础知识。注射成型模具是用闭合和开启的型腔, 成型一定形状和尺寸塑料制品的工具。本节介绍单分型面、双分型面和侧向分型抽芯, 三种典型的冷流道注射模结构。

1. 注射模组成

凡是注射模, 均可分为动模和定模两大部件。注射充模时动模与定模闭合, 构成型腔和浇注系统; 开模时动模与定模分离, 取出制件。定模安装在注射机的固定板上, 动模则安装在注射机的移动模板上。

图 1-5 所示为典型的单分型面注射模。它根据模具上各个零部件的不同功能, 由以下七个系统机构组成。

1) 成型零件。成型零件指构成型腔, 直接与熔体相接触并成型塑料制品的零件, 通常有凸模、型芯、成型杆、凹模、成型环、镶件等零件。在动模和定模闭合后, 成型零件确定了塑件的内部和外部轮廓和尺寸。图 1-5 所示模具中, 型腔是由凹模 3、型芯 4 和动模板 12 构成的。

2) 浇注系统。将塑料熔体由注射机喷嘴引向型腔的流道称为浇注系统, 它由主流道、分流道、浇口和冷料井组成。图 1-6 所示为单分型面注射模上的浇注系统。

3) 导向与定位机构。为确保动模和定模闭合时, 能准确导向和定位对中, 通常分别在动模和定模上设置导柱和导套。深腔注射模还必须在主分型面上设有锥面定位。有时为保证脱模机构的准确运动和复位, 顶出板 8 和顶出固定板 7 也设置导向零件。

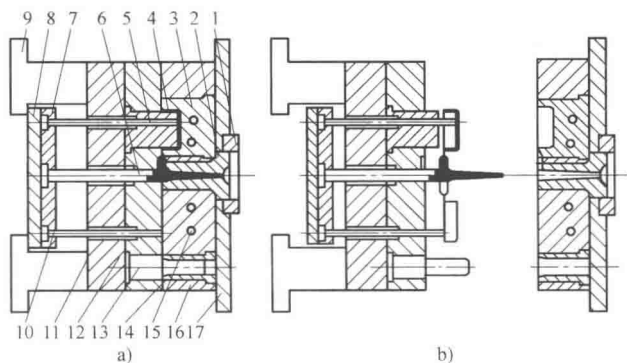


图 1-5 单分型面注射模

a) 闭合充模 b) 开模取件

- 1—定位环 2—主流道衬套 3—凹模 4—型芯 5—顶杆 6—拉料杆 7—顶出固定板
8—顶出板 9—动模座 10—回程杆 11—动模垫板 12—动模板 13—导柱
14—导套 15—冷却水管道 16—定模板 17—定模安装板

4) 脱模机构。脱模机构是指在开模过程的后期，将塑件从模具中脱出的机构。在图 1-5 中，脱模机构由顶杆 5、拉料杆 6、顶出固定板 7、顶出板 8 及回程杆 10 组成。

5) 侧向分型抽芯机构。带有侧凹或侧孔的塑件在被脱出模具之前，必须先进行侧向分型或拔出侧向凸模或抽出侧型芯。

6) 温度调节系统。为了满足注射工艺对模具温度的要求，模具设有冷却或加热的温度调节系统。模具冷却一般在模板内开设冷却水道，加热则在模具内或周边安装电加热元件。有的注射模需配备模具温度自动调节装置。

7) 排气系统。为了在注射充模过程中将型腔内原有的气体排出，常在分型面处开设排气槽。小型腔的排气量不大，可直接利用分型面排气，也可利用模具的顶杆或型芯与配合孔之间间隙排气。大型注射模必须设置专用排气槽。

单分型面注射模也称两板式注射模（见图 1-5）。单分型面注射模的主流道设在定模一侧，分流道设在分型面上，开模后制件连同流道凝料一起留在动模一侧。动模上的脱模机构顶出制件和流道凝料，在打开的动模和定模之间取走塑件和流道凝料。在模具重新闭合时，一般由回程杆 10 使脱模机构复位。

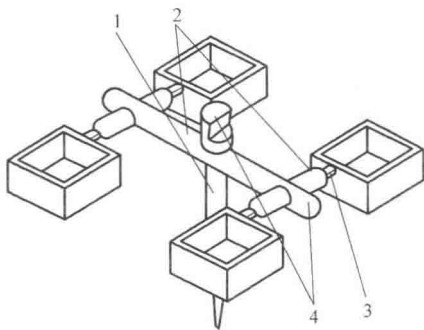


图 1-6 单分型面注射模上的浇注系统

1—主流道 2—分流道 3—矩形浇口 4—冷料井