

Pro / E 注塑模具设计与制造

肖爱民 戴峰泽 袁铁军 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

Pro/E 注塑模具设计与制造/肖爱民, 戴峰泽, 袁铁军等编著. —北京: 化学工业出版社, 2007. 12
ISBN 978-7-122-01459-7

I. P… II. ①肖…②戴…③袁… III. ①注塑-塑料模具-计算机辅助设计-应用软件, Pro/ENGINEER②注塑-塑料模具-制造-应用软件, Pro/ENGINEER IV. TQ320.66-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 180206 号

责任编辑: 李军亮
责任校对: 凌亚男

文字编辑: 冯国庆
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 25½ 字数 656 千字 2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 56.00 元

版权所有 违者必究

前言

“模具是促进社会繁荣富裕的动力”、“模具是金属加工的帝王”，这是国内外对模具工业的评价。现代工业产品的发展在很大程度上取决于模具的设计与制造发展水平，可以认为，模具行业已成为国民经济的基础工业之一。

随着各种性能优越的工程塑料的不断开发，注塑工艺越来越多地被各个制造领域用以成型各种性能要求的制品。要高质量地生产注塑制品，必须综合考虑成型树脂、注塑模具及注塑机等方面的问题。

目前很多产品为了迎接市场调整，一般都是小批量生产，产品更新周期短。为了提高模具的制造速度，模具工业广泛使用 CAD/CAM 软件进行模具的设计与加工，而 Pro/ENGINEER Wildfire3.0 就是一款优秀的 CAD/CAM 软件，利用该软件中的模具设计模块、模架专家系统 (EMX) 和 Pro/NC 数控加工系统，熟练的技术人员可以在较短的时间内完成模具产品的设计与制造，极大地提高了工作效率。

本书详细地介绍了注塑模设计的基础知识、Pro/ENGINEER 模具设计模块的各项功能、模架专家系统 (EMX) 以及 Pro/NC 数控加工方面的知识，力求简明、系统地介绍注塑模具设计与制造方法、原则及关键问题的处理对策。本书主要特点如下。

① 内容广泛。内容涉及注塑模具设计基础理论、Pro/E 模具设计、EMX 模架设计和模具零件的数控加工。读者学习本书后，可以全面地掌握模具设计和制造方面的知识。

② 实例讲解深入浅出，大部分实例均来自于工程实际。实例包括各种典型模具设计与制造，读者通过这些实例的学习，能够对各种类型的模具进行设计与制造。

③ 知识点讲解深入透彻，本书对每个知识点均作详细讲解。在模具设计过程中，最重要的内容就是分型面设计，Pro/E 提供多种创建分型面的方法，例如复制、裙状曲面和阴影曲面，本书详细地讲解这 3 种方法。除了复制方法外，对于裙状曲面，本书做了细致深入的分析，读者学习了这部分内容后，将会对分型面创建有深入的理解。与此同时本书还结合模具加工的实例对 Pro/NC 不同的数控加工方法及应用进行了细致的介绍。

④ 语言叙述通俗易懂。本书摒弃了一般图书使用冗长文字来表达操作过程的方式，而是以图文并茂的方式来完成操作过程的叙述。

⑤ 提供视频，方便学习。本书随书光盘提供了所讲实例的 Part 源文件和操作步骤的视频文件，这些都为学习本书提供了便利条件。

本书供从事模具设计与制造的工程技术人员以及大中专院校相关专业的师生学习使用。

本书由肖爱民、戴峰泽、袁铁军等编写，其中塑料模基础部分（第 1 章～第 4 章）由袁铁军编写，Pro/E 模具设计和 EMX 模具设计部分（第 5 章～第 11 章）由肖爱民编写，数控加工方法和加工实例部分（第 12 章～第 14 章）由戴峰泽编写。参加编写的人员还有毛卫平、潘海彬、刘珍、戴亚春、任国栋、沈春根、赵峰、杨德勇、郭子刚、吴莹、顾红霞、李娟、陈建华、邹俊红、陈敏、孙国辉、陆繁、刘中华、章再俊、付永忠、朱江、李秀明、王文军、李文超、丁华。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

第 1 篇 注塑模设计基础

第 1 章 塑料成型基础

塑料是指以有机合成树脂为主要组成的材料，合成树脂中加入添加剂后可获得改性品种。因此，塑料的性能主要取决于树脂本身，但添加剂也起很大作用。随改性目的的不同，添加剂的类型变化很大。塑料组成如下。

① 合成树脂 它是由低分子化合物通过缩聚或聚合反应合成的高分子化合物，如酚醛树脂、聚乙烯等，是塑料的主要组成，并起黏结剂作用，决定塑料的基本性能。

② 固化剂 指能促进树脂固化、硬化的添加剂，又称硬化剂。它的作用在于通过交联使树脂具有体型网状结构，成为较坚硬和稳定的塑料制品。例如，在酚醛树脂中加入六亚甲基四胺，在环氧树脂中加入乙二胺、顺丁烯二酸酐等固化剂，均可使塑料成型为坚硬的制品。

③ 稳定剂 指能阻缓塑料变质的物质。稳定剂可以分为光稳定剂、热稳定剂、抗氧化剂等。其添加目的是阻止或抑制树脂受热、光、氧和霉菌等外界因素作用而发生质量变异和性能下降。对稳定剂的要求是：能耐水、耐油、耐化学药品，并与树脂相容；在成型过程中不分解，挥发小，无色。常用的稳定剂有硬脂酸盐、铅的化合物及环氧化合物等。例如，能抗氧的物质有酚类及胺类等有机物，炭黑则可以用作紫外线吸收剂。

④ 增塑剂 指能够改善树脂成型时的流动性和提高塑件柔顺性的添加剂，常用的为液态或低熔点固体有机物。其作用是降低聚合物分子间的作用力。如：在聚氯乙烯树脂中加入邻苯二甲酸二丁酯，可以变为像橡胶一样的软塑料。对增塑剂的要求是：与树脂有较好的相容性，性能稳定，挥发性小，不降低塑料的主要性能，无毒、无害、成本低。常用的增塑剂有甲酸酯类、磷酸酯类和氯化石蜡等。增塑剂的使用一定要适量，以免过多而降低塑件的力学性能和耐热性能。

⑤ 着色剂 在塑料中加入有机颜料、无机颜料或有机染料时，可以使塑料制件获得美丽的色泽，美观宜人，提高塑件的使用品质。对着色剂的要求是：性能稳定，不易变色，不与其他成分（增塑剂、稳定剂等）起化学反应，着色力强，与树脂有很好的相容性。日常生活中用的塑料制品，应选用无毒、无臭、防迁移的着色剂。

有些着色剂兼有其他作用，如本色聚甲醛塑料用炭黑着色后可防止光老化；聚氯乙烯用二盐基性磷酸铅等颜料着色后，可避免紫外线的射入，对树脂起着屏蔽作用，因此，它们可以提高塑料的稳定性。在塑料中加入金属絮片、珠光色料、磷光色料或荧光色料时，可以使塑件获得特殊的光学性能。

⑥ 填充剂 填充剂又称填料或增强材料，是塑料中一种重要但并非必要的成分。在塑料中加入填充剂可以减少贵重树脂含量，降低成本，同时还可以起到增强作用，改善塑料性能，扩大使用范围。填充剂用量可达 20%~50%，是改性最重要的成分。

对填充剂的要求是：易被树脂浸润，与树脂有较好的黏附性，本身性质稳定，价格便宜，来源丰富。填充剂按照其形态分有粉状、纤维状和片状三种。常用的粉状填充剂有木粉、大理石粉、滑石粉、石墨粉、金属粉等；纤维状填充剂有石棉纤维、玻璃纤维、碳纤

维、金属须等；片状填充剂有纸张、麻布、石棉布、玻璃布等。

例如：在酚醛树脂中加入木粉后，既克服了它的脆性，又降低了成本；在聚乙烯、聚氯乙烯等树脂中加入钙质填充剂后，可成为刚性强、耐热性好、价格低廉的钙塑料；在尼龙、聚甲醛等树脂中加入二硫化钼、石墨、聚四氟乙烯后，其耐热性、抗水性、耐磨性、硬度及机械强度等会得到改善。用玻璃纤维作塑料填充剂，能使塑料的机械强度大幅度提高。

⑦ 润滑剂 加入少量的润滑剂，可防止成型过程中产生黏膜。常用润滑剂为硬脂酸及其盐类。有些润滑剂兼有稳定剂的作用。

⑧ 阻燃剂 该物质的作用是阻止燃烧或造成自熄。比较成熟的阻燃剂有氧化锑等无机物，或磷酸酯类和含溴化合物等有机物。

此外，塑料中还有其他一些添加剂，如抗静电剂、发泡剂、导电剂、导磁剂、溶剂和稀释剂等。加入银、铜等粉末可制成导电塑料；加入磁粉可制成导磁塑料。

另外，塑料可以制成“合金”，即把不同品种和性能的塑料熔合起来，或者将不同单体通过化学共聚或接枝等方法结合起来，组成改性品种。例如，ABS 塑料就是由苯乙烯、丁二烯、丙烯腈三种组成，经接枝和混合而制成的三元“合金”或复合物。苯乙烯-氯化聚乙烯-丙烯腈（ACS）、丁腈-酚醛和聚亚苯基苯氧-苯乙烯等三元或二元复合物，均属塑料合金。

第 2 章 注射成型工艺

本章讲述注射成型工艺，通过本章的学习，读者可以学习到以下内容。

- ① 注射成型方法；
- ② 注塑机的组成。

2.1 注塑机结构

塑料注塑机是成型塑件的一种压力设备，主要由注射装置和合模装置两大功能部分组成，一种常见的柱塞式注塑机结构示意图如图 2-1 所示。

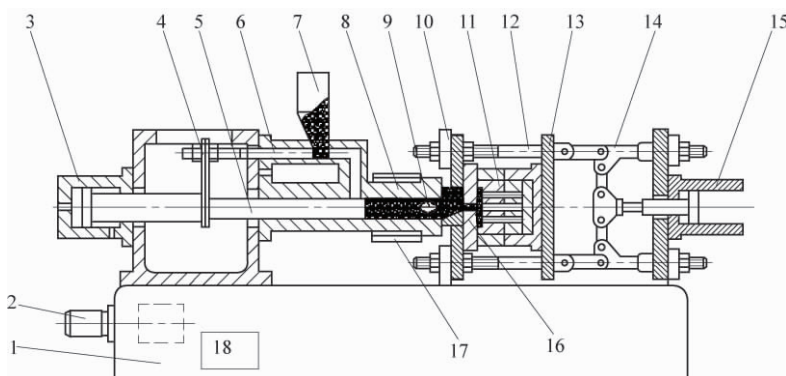


图 2-1 柱塞式注塑机结构示意图

- 1—机身；2—电机及油泵；3—注射液压缸；4—加料调节装置；5—注射柱塞；6—加料柱塞；7—料斗；
8—料筒；9—分流锥；10—定模固定板；11—模具；12—拉杆；13—动模固定板；
14—合模机构；15—合模液压缸；16—喷嘴；17—加热器；18—油箱

如图 2-2 所示是螺杆式注塑机结构示意图。

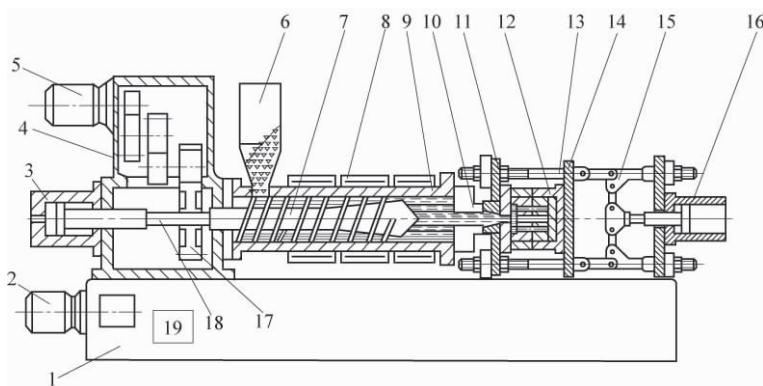


图 2-2 螺杆式注塑机结构示意图

- 1—机身；2—电机及油泵；3—注射液压缸；4—齿轮箱；5—齿轮传动电机；6—料斗；7—螺杆；
8—加热器；9—料筒；10—喷嘴；11—定模固定板；12—模具；13—拉杆；14—动模固定板；
15—合模机构；16—合模液压缸；17—螺杆传动齿轮；18—螺杆花键；19—油箱

塑料的种类很多,其成型方法也很多,有注射成型、压缩成型、压注成型、挤出成型、气动与液压成型、泡沫塑料成型等,其中前四种方法最为常用。

2.2 注射成型

2.2.1 注射成型的原理

如图 2-3 所示,注射成型的原理是将颗粒状或粉状塑料从注塑机的料斗送进加热的料筒中,经过加热熔化呈流动状态后,在柱塞或螺杆的推动下,熔融塑料被压缩并向前移动,进而通过料筒前端的喷嘴以很快的速度注入温度较低的闭合模腔中,充满型腔的熔料在受压的情况下,经冷却固化后即可保持模具型腔所赋予的形状,然后开模分型获得成型塑料件。这样在操作上完成了一个成型周期,以后就不断地重复上述周期的生产过程,注射成型工作循环如图 2-4 所示。通常,一个成型周期从几秒钟至几分钟不等,时间的长短取决于塑件的大小、形状和厚度,模具的结构,注塑机的类型及塑料的品种和成型工艺条件等因素。每个塑件的质量可从小于 1g 至数十千克不等,视注塑机的规格及塑件的需要而异。

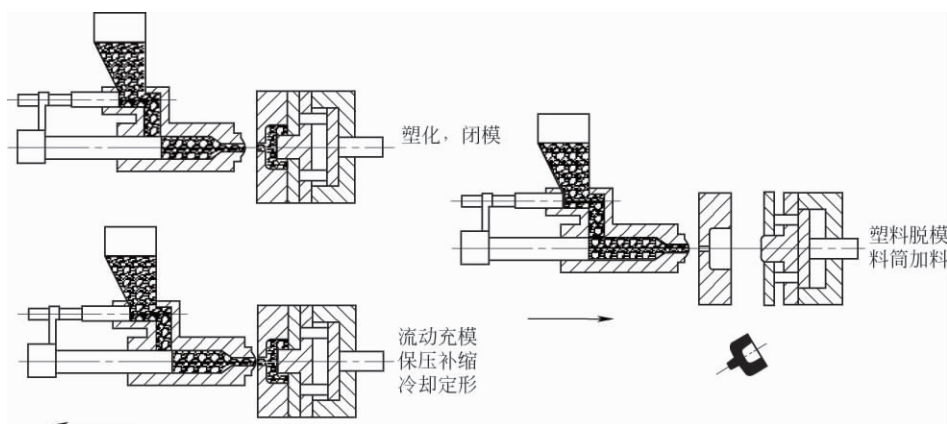


图 2-3 注射成型过程

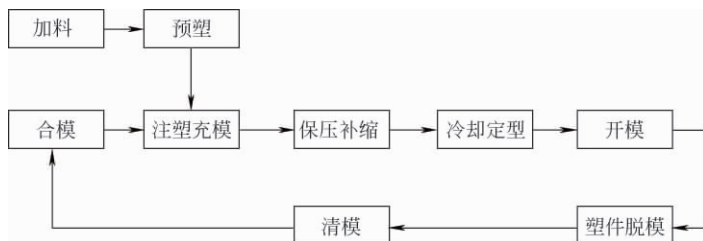


图 2-4 注射成型工作循环

2.2.2 注射成型的特点及应用

注射成型是热塑性塑料成型的一种重要方法。到目前为止,除氟塑料外,几乎所有的热塑性塑料都可以采用此法成型。它具有成型周期短,能一次成型外形复杂、尺寸精确、带有金属或非金属嵌件的塑料制件;对成型各种塑料的适应性强;生产效率高,易于实现全自动化生产等一系列优点。因此,广泛地用于塑料制件的生产中,其产品占目前塑料制件生产的 30% 左右。但应当注意的是,注射成型的设备价格及模具制造费用较高,不适合单件及批量较小的塑料件的生产。

目前,注射成型工艺发展很快,除了热塑性塑料注射成型以外,一些热固性塑料也可以

成功地用于注射成型，且具有效率高、产品质量稳定的特点；低发泡塑料（密度在 $0.2 \sim 0.9 \text{ g/cm}^3$ 的发泡塑料）注射成型提供了缓冲、隔音、隔热等优良性能的塑料制件；双色或多色注射成型提供了多种颜色、美观适用的塑料商品。此外，应用热流道注射成型工艺在获得大型塑件和降低或消除浇注系统塑料等方面具有明显优点。注射成型还是获得中空塑料制品型坯的重要工艺方法。

2.2.3 注射成型的过程

完整的注射工艺过程，按其先后顺序应包括：成型前的准备、注射过程、塑件的后处理等。

(1) 成型前的准备

成型前应根据不同的塑料进行不同的准备工作。通常，成型前的准备工作有以下几部分。

① 分析检验成型物料质量 根据塑料工艺性能要求，检验其各种性能指标，如含水量等。

② 物料预热和干燥 干燥的方法很多，如热风循环干燥、红外线干燥、真空干燥、新型的负压沸腾干燥等。实际生产中应根据具体情况，选择合适的干燥方法。

③ 嵌件的预热 在成型带金属的嵌件，特别是带较大嵌件的塑件时，嵌件放入模具之前必须预热，以降低嵌件周围塑料的收缩应力，保证嵌件质量。

④ 料筒的清洗 在注射成型过程中，当改变产品、更换原料及颜色时均需清洗料筒。通常，柱塞式料筒可拆卸清洗，螺杆式料筒可采用对空注射法清洗。

⑤ 选择脱模剂 使用脱模剂是为了便于成型后的塑件顺利地脱出模腔。常用的脱模剂有硬脂酸锌、液体石蜡（白油）和硅油等。必须注意，在成型聚酰胺塑料的，不能使用硬脂酸锌。使用脱模剂将影响塑件的透明性能。

(2) 注射过程

注射过程一般包括加料、塑化、注射、冷却和脱模几个步骤。

① 加料 由于注射成型是一个间歇过程，因而需要定量（定容）加料，以保证操作稳定、塑料塑化均匀，最终获得良好的塑件。加料过多、受热的时间过程较长等容易引起物料的热降解，同时注塑机功率损耗增多；加料过少，料筒内缺少传压介质，型腔中塑料熔体压力降低，难于补塑（即补压），容易引起塑件出现收缩、凹陷、空洞等缺陷。

② 塑化 加入的塑料在料筒中进行加热，由固体颗粒转换成黏流态并且具有良好的可塑性的过程称为塑化。决定塑料塑化质量的主要因素是物料的受热情况和所受到的剪切作用。通过料筒对物料的加热，使聚合物分子松弛，出现由固体向液体转变；一定的温度是塑料得以形变、熔融和塑化的必要条件；而剪切作用则以机械力的方式强化了混合和塑化过程，使混合和塑化扩展到聚合物分子的水平（而不仅是静态熔融），它使塑料熔体的温度分布、物料组成和分子形态都发生改变，并更趋于均匀，同时螺杆的剪切作用能在塑料中产生更多的摩擦热，促进了塑料的塑化，因而螺杆式注塑机对塑料的塑化比柱塞式注塑机要好得多。总之，对塑料的塑化要求是：塑料熔体在进入型腔之前要充分塑化，既要达到规定的成型湿度，又要使塑化料各处的温度尽量均匀一致，还要使热分解物的含量达到最小值，并能提供上述质量的足够的熔融塑料以保证生产连续并顺利地进行，这些要求与塑料的特性、工艺条件的控制及注塑机塑化装置的结构等密切相关。

③ 注射 不论何种形式的注塑机，注射的过程可分为充模、保压、倒流、浇口冻结后的冷却和脱模等几个阶段。

a. 充模 塑化好的熔体被柱塞或螺杆推挤至料筒前端，经过喷嘴及模具浇注系统进入并填满型腔，这一阶段称为充模。

b. 保压 在模具中熔体冷却收缩时, 继续保持施压状态的柱塞或螺杆迫使浇口附近的熔料不断补充入模具中, 使型腔中的塑料能成型出形态完整而致密的塑件, 这一阶段称为保压。

c. 倒流 保压结束后, 柱塞或螺杆后退, 型腔中压力解除, 这时型腔中的熔料压力将比浇口前方的高, 如果浇口尚未冻结, 就会发生型腔中熔料通过浇口向浇注系统倒流的现象, 使塑件产生收缩、变形及质地疏松等缺陷。如果保压结束之前浇口已经冻结, 那就不存在倒流现象。

d. 浇口冻结后的冷却 当浇注系统的塑料已经冻结后, 继续保压已不再需要, 因此可退回柱塞或螺杆, 卸除料筒内塑料的压力, 并加入新料, 同时通入冷却水、油或空气等冷却介质, 对模具进行进一步的冷却, 这一阶段称为浇口冻结后的冷却。实际上冷却过程从塑料注入型腔起就开始了, 它包括从充模完成、保压到脱模前的这一段时间。

e. 脱模 塑件冷却到一定的温度即可开模, 在推出机构的作用下将塑料制品推出模外。

(3) 塑件的后处理

注射成型的塑件经脱模或机械加工之后, 常需要进行适当的后处理以消除存在的内应力, 改善塑件的性能和提高尺寸稳定性。其主要方法是退火和调湿处理。

① 退火处理 退火处理是将注射塑件在定温的加热液体介质(如热水、热的矿物油、甘油、乙二醇和液体石蜡等)或热空气循环烘箱中静置一段时间, 然后缓慢冷却的过程。其目的是减少由于塑件在料筒内塑化不均匀或在型腔内冷却速度不同致使塑件内部产生的内应力, 这在生产厚壁或带有金属嵌件的塑件时更为重要。退火温度应控制在塑件使用温度以上 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$, 或塑料的热变形温度以下 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。退火处理的时间取决于塑料品种、加热介质温度、塑件的形状和成型条件。退火处理后冷却速度不能太快, 以避免重新产生内应力。

② 调湿处理 调湿处理是将刚脱模的塑件放在热水中, 以隔绝空气, 防止对塑料制品的氧化, 加快吸湿平衡速度的一种后处理方法, 其目的是使制品的颜色、性能以及尺寸得到稳定。通常聚酰胺类塑料制品需进行调湿处理, 处理的时间随聚酰胺的品种、塑件的形状、厚度及结晶度大小而异。

2.2.4 注射成型的工艺参数

注射成型工艺的核心问题, 就是采用一切措施以得到塑化良好的塑料熔体, 并把它注射到型腔中去, 在控制条件下冷却定型, 使塑件达到所要求的质量。影响注射成型工艺的重要因素是塑化流动和冷却的温度、压力以及相应的各个作用时间。

(1) 温度

注射成型过程需控制的温度有料筒温度、喷嘴温度和模具温度等。前两种温度主要影响塑料的塑化和流动; 而后一种温度主要是影响塑料的流动和冷却。

① 料筒温度 料筒温度的选择与各种塑料的特性有关。每一种塑料都具有不同的黏流态温度, 为了保证塑料熔体的正常流动, 不使物料发生变质分解, 料筒最合适的温度范围应在黏流态温度和热分解温度之间。

料筒温度过高、作用时间过长时, 塑料的热氧化降解量就会变大。因此, 对热敏性塑料, 如聚甲醛、聚三氟氯乙烯、硬聚氯乙烯等, 除需严格控制料筒最高温度外, 还应控制塑料在加料筒中停留的时间。

同一种塑料, 由于来源和牌号不同, 其平均分子量和分子量分布亦不同, 则其黏流态温度及热分解温度是有差别的。为了获得适宜的流动性, 对于平均分子量高、分布较窄的塑料, 因其熔融温度一般都偏高, 应适当提高料筒温度。玻璃纤维增强的热塑性塑料, 随着其含量的增加, 熔体的流动性降低, 因此要相应地提高料筒温度。

柱塞式注塑机和螺杆式注塑机由于其塑化过程不同, 因而选择料筒的温度也不同。通常

后者选择的温度应低一些（一般约比柱塞式低 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ）。

选择料筒温度还应结合塑件及模具的结构特点。由于薄壁塑件的型腔比较狭窄，熔体注入的阻力大，冷却快，因而，为了顺利充型，料筒温度应选择高一些，相反，注射厚壁塑件时，料筒温度可降低一些。对于形状复杂及带有嵌件的塑件，或者熔体充模流程曲折较多或较长时，料筒温度也应该选择高一些。

料筒温度的分布，一般是从料斗一侧（后端）起至喷嘴（前端）止逐步升高的，以使塑料温度平稳地上升以达到均匀塑化的目的。但当原料含水量偏高时，也可适当提高后端温度。由于螺杆注塑机的剪切摩擦热有助于塑化，因而前段的温度可低于中段，以便防止塑料的过热分解。

② 喷嘴温度 喷嘴温度一般略低于料筒最高温度，以防止熔料在直通式喷嘴发生“流延现象”。由喷嘴低温产生的影响可以从塑料注射时所发生的摩擦热得到一定的补偿。当然，喷嘴温度也不能过低，否则将会造成熔料的早凝而将喷嘴堵死，或者由于早凝料注入模腔而影响塑件的质量。

料筒和喷嘴温度的选择不是孤立的，与其他工艺条件存有一定关系。例如选用较低的注射压力时，为保证塑料流动，应适当提高料筒温度；反之，料筒温度偏低就需要较高的注射压力。由于影响因素很多，一般都在成型前通过“对空注射法”或“塑件的直观分析法”来进行调整，以便从中确定最佳的料筒和喷嘴温度。

③ 模具温度 模具温度对塑件熔体的充型能力及塑件的内在性能和外观质量影响很大。模具温度的高低决定于塑料结晶性的有无，塑件的尺寸和结构、性能要求以及其他的工艺条件（熔料温度、注射速度及注射压力、模具周期等）。

模具温度通常是靠通入定温的冷却介质来控制的，也有靠熔料注入模具自然升温 and 自然散热达到平衡而保持一定的模温。在特殊情况下，也有采用电阻加热圈和加热棒对模具加热而保持定温。不管采用什么方法使模具保持定温，对塑料熔体来说都是冷却，保持的定温都低于塑料的玻璃化温度，或工业上常用的热变形温度，这样才能使塑料成型和脱模。

无定型塑料熔体注入模腔后，随着温度的不断降低而固化，但并不发生相变。模温主要影响熔料的黏度，也就是充型选择，如果充型顺利，采用低模温是可取的。因为这样可以缩短冷却时间，从而提高生产效率。因此对于熔融黏度较低或中等的无定型塑料（如聚苯乙烯、醋酸纤维素等），模具的温度常偏低；反之，对于熔融黏度高的塑料（如聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜等），则必须采取较高的模温（聚碳酸酯为 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，聚苯醚为 $110\sim 130^{\circ}\text{C}$ ，聚砜为 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ ）。不过应该说明的是，对于软化点较高的塑料，提高模温可以调整塑件的冷却速率，使其均匀一致，以防因温差过大而产生凹痕、内应力和裂纹等缺陷。

结晶性塑料注入模腔后，当温度降低到熔点以下即开始结晶。结晶的速率受冷却速率的控制，而冷却速率是由模具温度控制的，因而模具温度直接影响到塑件的结晶度和结晶构型。模具的温度高时，冷却速率小，但结晶速率可能大，因为一般塑料最大结晶速率的温度都在熔点下的高温一边；其次，模具温度高时还有利于分子的松弛过程，分子取向效应小，折中条件仅适于结晶速率很小的塑料，如聚对苯二甲酸乙二酯等，在实际注射中很少采用，因为模温高也会延长成型周期和使塑件发脆。模具温度适当时，冷却速度适宜，塑料分子的结晶和定向也都适中。模具温度低时，冷却速率大，熔体的流动与结晶同时进行，但熔体在结晶温度区间停留时间缩短。此外模具的结构和注射条件也会影响冷却速度，例如提高料筒温度和增加塑件厚度都会使冷却速率发生变化，高压聚乙烯可达 $2\%\sim 3\%$ ，低压聚乙烯可达 10% ，聚酰胺可达 40% 。即使是同一塑件，各部分的密度也可能是不同的，这说明各部分的结晶度不一样，造成这种现象的主要原因是熔料各部分在模内的冷却速率差别太大。

(2) 压力

注射模塑化过程中的压力包括塑化压力和注射压力两种，它们直接影响塑料的塑化和塑件质量。

① 塑化压力 塑化压力又称背压，是指采用螺杆式注射机时，螺杆头部熔料在螺杆转动后退时所受到的压力。这种压力的大小可以通过液压系统中的溢流阀来调整。注射中，塑化压力的大小是随螺杆的设计、塑件质量的要求以及塑料的种类等的不同而异的。如果这些条件和螺杆的转速都不变，则增加塑化压力时会提高熔体的温度，并使熔体的温度均匀、色彩的混合均匀并排出熔体中的气体。但增加塑化压力会降低塑化速率、延长成型周期，甚至可能导致塑料的降解。一般操作中，塑化压力应在保证塑件质量的前提下越低越好，其具体数值是随所用塑料的品种而异的，但通常很少超过 20MPa。

注射聚甲醛时，较高的塑化压力（也就是较高的熔体温度）会使塑件的表面质量提高，但也可能使塑料变色、塑化速率降低和流动性下降。

对聚酰胺来说，塑化压力必须降低，否则塑化速率将很快降低，这是因为螺杆中逆流和漏流增加的缘故。如需增加料温，则应采用提高料筒温度的方法，聚乙烯的热稳定性较高，提高塑化压力不会有降解的危险，这有利于混料和混色，不过塑化速率会降低。

② 注塑压力 注塑机的注射压力是指柱塞或螺杆头部对塑料熔体所施加的压力。在注塑机上常用表压指示注射压力的大小，一般在 40~130MPa 之间，其作用是克服塑料熔体从料筒流向塑腔的流动阻力，给予熔体一定的充型速率以及对熔体进行压实等。

注射压力的大小取决于注塑机的类型、塑料的品种、模具浇注系统的机构、尺寸与表面粗糙度、模具温度、塑件的壁厚及流程的大小等，关系十分复杂，目前难以做出具有一定关系的结论。在其他条件相同的情况下，柱塞式注塑机作用的注射压力应比螺杆式的大，其原因在于塑料在柱塞式注塑机料筒内的压力损耗比螺杆式的大。塑料流动阻力的另一个决定因素是塑料与模具浇注系统及型腔之间的摩擦系数和熔融黏度，两者越大时，注射压力应越高。同一种塑料的摩擦系数和熔融黏度是随所用料筒温度和模具温度而变动的。此外，还与是否加有润滑剂有关。

为了保证塑件的质量，对注射速度（熔融塑料喷嘴处的喷出速度）有一定的要求，而对注射速度较为直接的影响因素是注射压力。就塑件的机械强度和收缩度来说，每一种塑件都有各自的最佳注射速度，而且经常是一个范围的数值，这一数值与很多因素有关，其中最主要的影响因素是塑件的壁厚，厚壁的塑件用低的注射速度，反之则相反。

型腔充满后，注射压力的作用在于对模内熔料的压实。在生产中，压实时的压力等于或小于注射时所用的注射压力。如果注射和压实时的压力相等，则往往可以使塑件的收缩率减小，并且它们的尺寸稳定性较好。缺点是会造成脱模时的残余压力过大和成型周期过长。但对结晶性塑料来说，成型周期不一定增长，因为压实压力大时可以提高塑料的熔点（例如聚甲醛，如果压力加大到 50MPa，则其熔点可提高 90℃），脱模可以提前。

(3) 时间

完成一次注射成型过程所需的时间称为成型周期，它包括以下各部分。

成型周期	{ 注射时间	充模时间（柱塞或螺杆前进时间）
		保压时间（柱塞或螺杆停留在前进位置的时间）
	闭模冷却时间（柱塞后退或螺杆转动后退的时间均包括在此段时间内）	
	其他时间（指开模、脱模、涂脱模剂、安放嵌件和闭模等时间）	

成型周期直接影响到劳动生产率和注塑机使用率，因此在生产中，在保证质量的前提

下，应尽量缩短成型周期中各个阶段的有关时间。在整个成型周期中，以注射时间和冷却时间最重要，它们对塑料的质量均有决定性的影响。注射时间中的充模时间与充模速率成正比。在生产中，充模时间一般为 $3\sim 5\text{s}$ 。注射时间中的保压时间就是对型腔内塑料的压实时间，在整个注射时间内所占的比例较大，一般为 $20\sim 25\text{s}$ （特厚塑件可高达 $5\sim 10\text{min}$ ）。在浇口处熔料冻结之前，保压时间的多少对塑料密度和尺寸精度有影响，若在此以后则无影响。保压时间的长短不仅与塑料的结构尺寸有关，而且与料温、模温以及主流道和浇口的大小有关。如果主流道和浇口的尺寸合理、工艺条件正常，通常以塑件收缩率波动范围最小的压实时间为最佳值。

第3章 注射成型模具结构

3.1 注射模具的分类及结构

注射模具的结构是由塑料制品结构、注射机种类与规格所决定的。塑料制品结构根据用途不同千变万化，注塑机的种类和规格又有很多，从而导致注射模具的结构形式亦十分繁多。不管其结构如何变化，总有规律可循。

热塑性塑料注射模具的基本组成如图 3-1 所示。任何注射模具均可分为定模和动模两大部分，定模安装在注塑机的固定模板上，动模安装在注塑机移动模板上。注射前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，由脱模机构推出制品。

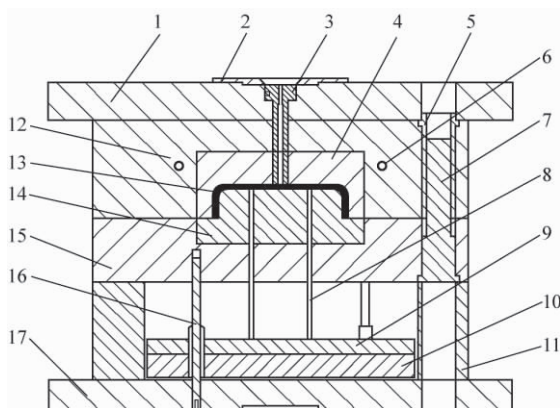


图 3-1 热塑性塑料注射模具基本结构

- 1—定模座板；2—定位环；3—浇口套；4—凹模；5—导套；6—冷却水道；7—导柱；
8—顶杆；9—顶杆固定板；10—推板；11—支承板；12—定模板；13—塑件；
14—凸模；15—动模板；16—推板导柱；17—动模座板

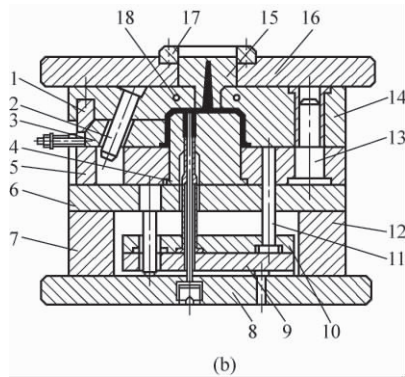
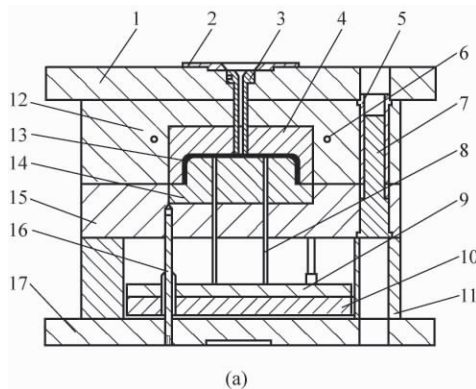
根据塑件材料性能、结构形状和工艺条件等要求，有些注射模具还有侧向分型与抽心机构及排气结构等。按各部件的作用不同注射模具可由下列几个部分组成。

① 成型零部件 通常由凸模、凹模、镶件等组成，合模时构成型腔，用于填充塑料，它决定塑件的形状和尺寸。在图 3-2 中由凸模 14 和凹模 4 构成型腔。

② 浇注系统 将熔融塑料由注塑机喷嘴引向型腔的流道称浇注系统。它由主流道、分流道、浇口、冷料井组成。

③ 导向机构 通常由导柱 7 和导套 5（或导向孔）组成。它用于确定动模与定模合模时的相对位置。有的注射模具推出脱模机构为避免推出过程中推出板歪斜也设置了导向机构，如图 3-2 中的推板导柱 16。

④ 脱模机构 脱模机构的作用为开模时将塑件从模具中脱出，其结构形式很多，常见的有推板脱模机构、推件板脱模机构和推管脱模机构等。图 3-2 中由顶杆 8、顶杆固定板 9、推板 10、动模板 15 组成推板脱模机构。



1—定模座板；2—定位环；3—浇口套；4—凹模；
5—导套；6—冷却水道；7—导柱；8—顶杆；
9—顶杆固定板；10—推板；11—支承板；
12—定模板；13—塑件；14—凸模；15—动
模板；16—推板导柱；17—动模座板

1—锁紧块；2—斜导柱；3—侧型心滑块；4—型心；
5—固定板；6—动模垫板；7—支架；8—动模座板；
9—推板；10—推出板；11—推杆；12—拉料杆；
13—导柱；14—动模板；15—浇口套；16—定
模座板；17—定位环；18—冷却水道

图 3-2 注塑模具基本结构

⑤ 侧向分型或侧向抽心机构 如图 3-2 (a) 所示带有侧凹或侧孔的塑件，在成型后开模被推出前，必须先进行侧向分型或抽出侧型心，为此设置了侧向分型或抽心机构（由浇口套 3、定位环 2、定模座板 1 组成）。

⑥ 温度调节系统 为满足注射成型工艺对模具温度的要求，注射模具设有冷却或加热系统。冷却系统一般在型腔或型心周围开设冷却水道 [图 3-2 (a) 6]，加热装置则在模具内部或周围安装加热元件。

⑦ 排气结构 为了在注射过程中排除型腔中的空气和成型过程中产生的气体，常在分型面上开设排气槽，或利用型心或推杆与模板间的间隙排气，当排气量不大时，也可以仅利用分型面排气。

3.2 注射模具的典型结构

注射模具结构形式多样，分类方法很多，按注射成型工艺特点可分为热塑性塑料注射模具、热固性塑料注射模具、低发泡塑料注射模具和精密注射模具等。按所使用的注塑机类型不同可分为卧式注射模具、立式注射模具和角式注射模具。

按其在注塑机上的安装方式可分为固定式和移动式注射模具。所谓固定式注射模具是指动模、定模分别固定在注塑机上，而移动式注射模具则在注射成型后，将模具移出机外脱模取出塑件，它仅适用于立式注塑机。按模具成型数目可分为单型腔和多型腔注射模具。若按注射模具总体结构特征可分为下列几种。

(1) 单分型面注射模具

开模时，动模与定模分开，从而取出塑件，称单分型面模具，又称双板式模具，如图 3-3 所示。

(2) 二板式推件板模具结构

二板式推件板模具结构如图 3-4 所示，这个模具塑件是通过推板从凸模上顶出的。该模具适合于塑件壁厚比较薄的塑件。如果使用顶杆脱模将会破坏塑件。

二板式推件板模具结构在 EMX（模具基体专家系统）中的示意图如图 3-5 所示。

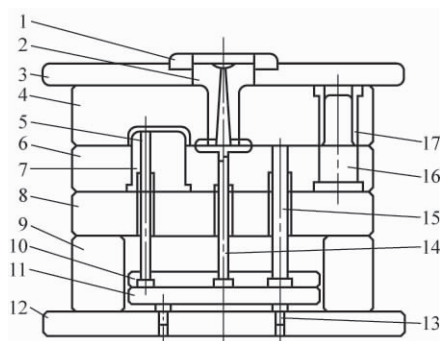


图 3-3 双板式模具

- 1—定位环；2—浇口套；3—定模安装板；4—定模板；
5—推杆；6—动模板；7—型心；8—动模板；9—支柱；
10—推杆固定板；11—推杆基板；12—动模安装板；
13—止位钉；14—主流道锁杆；15—复位杆；16—导柱；17—导套

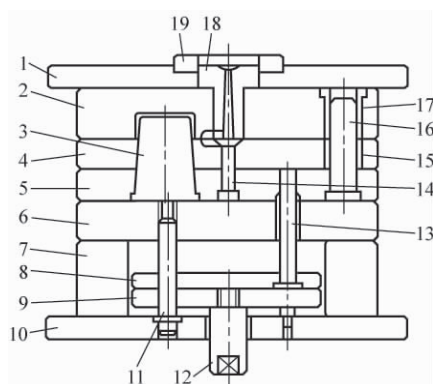


图 3-4 二板式推件板模具

- 1—定模安装板；2—定模板；3—型心；4—推件板；
5—动模板；6—动模垫板；7—支柱；8—上推板；
9—下推板；10—动模安装板；11—推板导柱；
12—注射机顶杆；13—推杆；14—主流道锁杆；
15—下导套；16—导柱；17—上导套；
18—浇口套；19—定位环

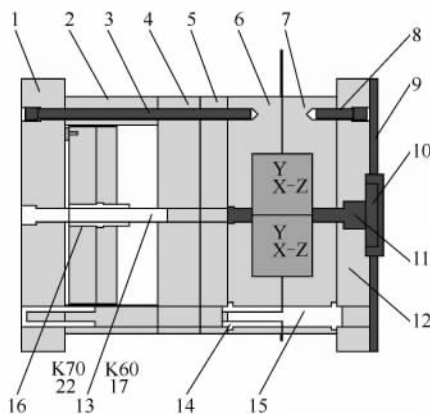
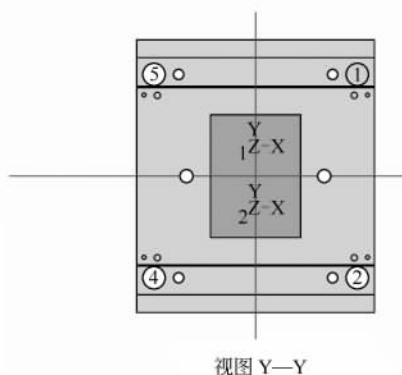


图 3-5 EMX 中表示的二板式推件板模具

- 1—动模座板；2—支柱；3—螺钉；4—动模垫板；5—动模板；6—推板；
7—定模板；8—螺钉；9—保温板；10—定位环；11—浇口套；12—动模座板；13—推板导柱；14—导套；15—导柱；16—推板导套



视图 Y—Y

(3) 三板式单点针状浇口结构

三板式单点针状浇口结构如图 3-6 所示。

(4) 双分型面注射模

如图 3-7 所示为双分型面注射模。为了取出浇注系统凝料增设了活动浇口板 15，开模时除动、定模板分开取塑件外，活动浇口板与定模板作定距分离，以便取出浇注系统凝料，双分型面模具属于三板注射模的一种。

(5) 三板式多点针状浇口结构

三板式多点针状浇口结构如图 3-8 所示。

(6) 瓣合模结构

瓣合式模具结构如图 3-9 所示。

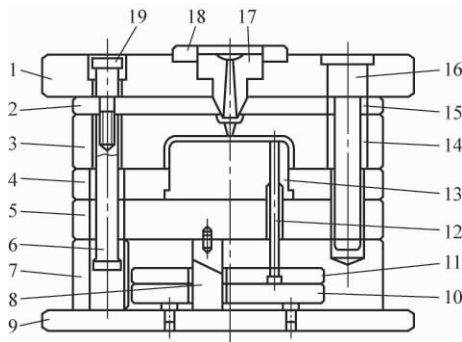


图 3-6 三板式单点针状浇口结构

- 1—定模座板；2—流道推板；3—定模板；4—动模板；
5—动模垫板；6—拉杆；7—支脚；8—支柱；9—动模座板；10—下推板；11—上推板；12—推杆；
13—型心；14—下导套；15—上导套；16—导柱；17—浇口套；18—定位环；19—拉杆螺钉

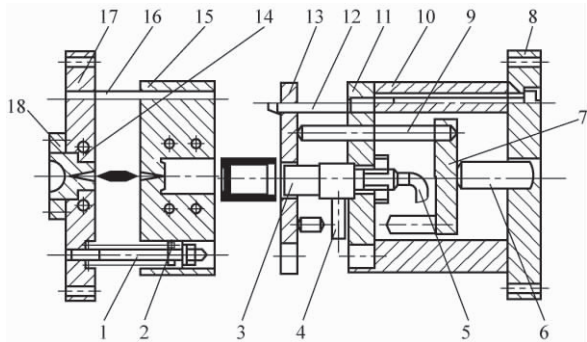


图 3-7 双分型面注射模

- 1—限位钉；2—弹簧；3—成型心；4,5—水嘴；6—注射机顶杆；
7—推杆；8—动模板；9—推杆；10—垫块；11—固定板；
12—动模导柱；13—推件板；14—浇口套；15—活动浇口板；16—动模导柱；17—定模板；18—定位环

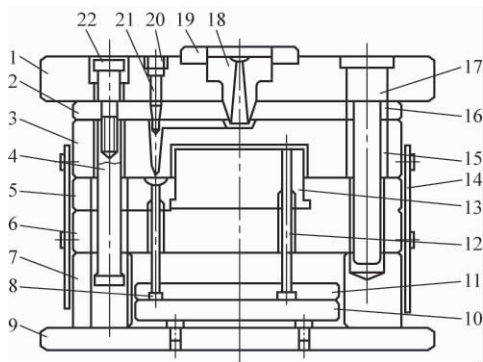


图 3-8 三板式多点针状浇口模具结构

- 1—定模座板；2—流道推板；3—定模板；4—拉杆螺钉；
5—动模板；6—动模垫板；7—支脚；8—流道推杆；
9—动模座板；10—下推板；11—上推板；12—推杆；
13—型心；14—拉板；15—下导套；16—上导套；
17—导柱；18—浇口套；19—定位环；20—螺钉；
21—流道锁杆；22—拉杆螺钉

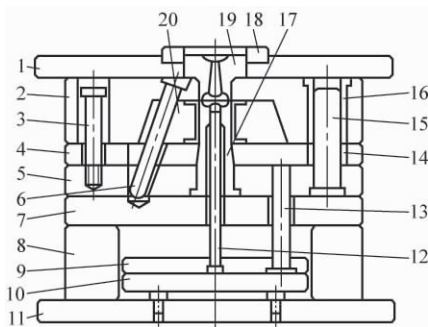


图 3-9 瓣合式模具结构

- 1—定模座板；2—定模板；3—拉杆螺钉；4—推件板；
5—动模板；6—斜导柱；7—动模垫板；8—支脚；
9—上推板；10—下推板；11—动模座板；12—主
流道锁杆；13—推杆；14—下导套；15—导柱；
16—上导柱；17—型心；18—定位环；
19—浇口套；20—瓣合模块

(7) 动模侧向滑块结构

当塑件有侧孔或侧凹时，需采用可侧向移动的类型或滑块成型。图 3-10 为利用弯销进行侧向分型的立式注射模。注射成型后，动模首先向下移动一段距离，然后固定于定模板 7 上的弯销 5 的斜面段迫使滑块 6 向外移动，与此同时脱模机构的推杆 1 推动推件板 4 使塑件自型心上脱下。

(8) 自动卸螺纹注射模

对带有螺纹的塑件，当要求自动脱模时，可在模具上设置能够转动的螺纹型心或型环，利用动模动作或注射机的旋转机构，或设置专门的传动装置，带动螺纹型心或螺纹型环转动，从而脱出塑件。图 3-11 为用于角式注塑机的自动卸螺纹模具，由注塑机开合螺母丝杠带动螺纹型心 1 转动。

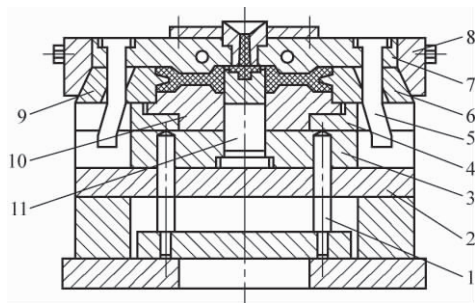


图 3-10 带侧向分型的立式注射模

1—推杆；2—垫板；3—固定板；4—推件板；5—弯销；
6、9—滑块；7—定模板；8—锁紧块；10—凹模；11—型心

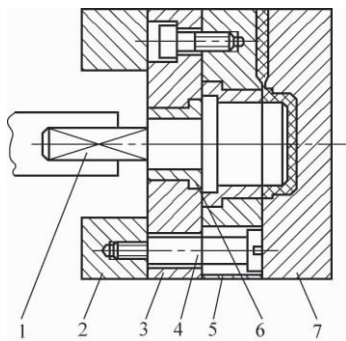


图 3-11 自动卸螺纹注射模

1—螺纹型心；2—垫块；3—动模垫板；4—定距螺钉；
5—动模板；6—衬套；7—定模板

(9) 无流道注射模

无流道注射模是指采用对流道进行绝热或加热的方法，保持从注塑机喷嘴到型腔之间的塑料呈熔融状态，使开模取出塑件时无浇注系统凝料。前者称绝热流道注射模，后者称热流道注射模。如图 3-12 所示为热流道注射模。

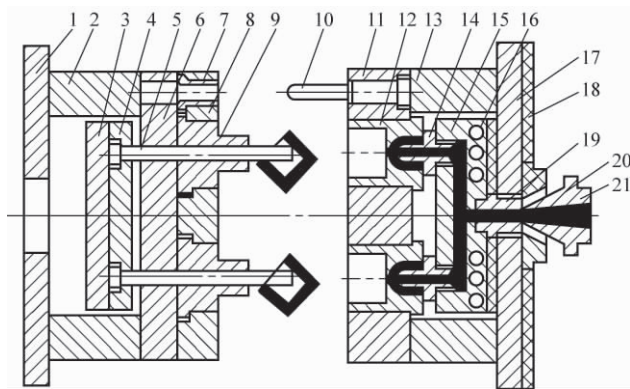


图 3-12 热流道注射模

1、8—动模板；2—支架；3、4—推板；5—推杆；6—动模座板；7—导套；9—凸模；10—导柱；11—定模板；12—凹模；13—支架；14—喷嘴；15—热流道；16—加热器孔道；
17—定模座板；18—绝热层；19—浇口套；20—定位环；21—注射机喷嘴

3.3 注射模具与注塑机的关系

注射模具需安装在注塑机上才能进行工作，因此两者应该相互匹配。注射模具设计时要进行注塑机基本参数的校核。

3.3.1 注射量的校核

注塑机标称注射量有两种方法，一是用容量 (cm^3) 表示，一是用质量 (g) 表示。国产的标准注塑机的注射量均以容量 (cm^3) 表示。

模具设计时，必须使得在一个注射成型周期内所需注射的塑料熔体的容量或质量在注射机额定注射量的 80% 以内。

在一个注射成型周期内，需注射入模具内的塑料熔体的容量或质量，应为制件和浇注系