
第 1 章

模具设计基础知识

本章学习目标

简单了解模具行业现今的发展状况和趋势，熟悉注射模具的基本组成结构，理解注射模具成型工艺中的参数含义，通过试模等时出现的问题，提高解决问题的能力。

本章重点内容

- ☑ 注射模的基本机构
- ☑ 注射模的成型工艺参数
- ☑ 出现的问题及其对应的解决方法

1.1 模具设计简介

模具工业是制造业中的一项基础产业，是技术成果转化的基础，同时本身又是高新技术产业的重要领域，在欧美等工业发达国家被称为“点铁成金”的“磁力工业”。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”；德国则认为它是所有工业中的“关键工业”；日本模具协会也认为“模具是促进社会繁荣富裕的动力”，同时也是“整个工业发展的秘密”，是“进入富裕社会的原动力”。

1.1.1 模具行业现状及发展趋势

模具是工业产品生产用的重要工艺装备，在现代工业生产中，60%~90%的工业产品需要使用模具，模具工业已成为工业发展的基础，许多新产品的开发和研制在很大程度上都依赖于模具生产，汽车、摩托车、轻工、电子、航空等行业尤为突出。近年来，我国的模具工业一直以每年13%左右的增长速度快速发展。据推测，我国模具工业的增长速度在“十五”期间将达到13%~15%。

模具钢的需求量也将以每年12%的速度递增，全国年需求量约70万吨左右，而国产模具钢的品种只占现有国外模具钢品种的60%，每年进口模具钢约6万吨。我国每年进口模具约占市场总量的20%左右，已超过10亿美元，其中塑料与橡胶模具占全部进口模具的50%以上；冲压模具约占全部进口模具的40%。目前，全世界模具的年产值约为650亿美元，我国模具工业的产值在国际上排名位居第三位，仅次于日本和美国。

虽然近几年来，我国模具工业的技术水平已取得了很大的进步，但总体上与工业发达的国家相比仍有较大的差距。例如，精密加工设备还很少，许多先进的技术如CAD/CAE/CAM技术的普及率还不高，特别是大型、精密、复杂和长寿命模具远远不能满足国民经济各行业的发展需要。

塑料成型所用的模具称为塑料成型模，是用于成型塑料制件的模具，它是型腔模的一种。塑料成型工业是新兴的工业，并随着石油工业的发展应运而生。塑料工业又是一个飞速发展的工业领域，世界塑料工业从20世纪30年代前后开始研制，到目前塑料产品系列化、生产工艺自动化、连续化以及不断开拓功能塑料新领域，经历了初创阶段(30年代以前)、发展阶段(30年代)、飞跃发展阶段(50—60年代)和稳定增长阶段(70年代至今)。随着工业塑料制件和日用塑料制件的品种和需求量的日益增加，这些产品更新换代的周期越来越短，



因此对塑料的品种、产量和质量都提出了越来越高的要求。这就要求塑料模具的开发、设计与制造水平也必须越来越高。纵观发达国家对模具工业的认识与重视,我们感受到制造理念陈旧是我国模具工业发展滞后的直接原因。模具技术水平的高低,决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力,它已成为衡量一个国家制造业水平高低的重要标志。因此,模具是国家重点鼓励与支持发展的技术和产品,现代模具是多学科知识集聚的高新技术产业的一部分,是国民经济的装备产业,其技术、资金与劳动相对密集。

目前,我国模具工业的当务之急是加快技术进步,调整产品结构,增加高档模具的比重,质中求效益,提高模具的国产化程度,减少对进口模具的依赖。

据新近有关统计资料表明,在国内外模具行业中,各类模具占模具总量的比例大致为:冲压模、塑料模各占 35%~40%,压铸模占 10%~15%,粉末冶金模、陶瓷模、玻璃模等其他模具约占 10%,因此,塑料成型模具的应用在各类模具的应用中占有与冲压模并驾齐驱的“老大”位置。

到目前为止,我国在塑料模的制造精度、模具标准化程度、制造周期、模具寿命以及塑料成型设备的自动化程度和精度方面已经有了长足的进步,但与国外工业先进国家相比,仍有一定的差距。许多精密技术、大型薄壁和长寿命塑料模具自主开发的生产能力还较薄弱。因此要在模具先进的设计技术、先进的制造技术和开发研制优质的模具材料等方面下工夫,以提高模具的整体制造水平和模具在国内外的市场竞争力。

现代模具技术的发展,在很大程度上依赖于模具标准化、对优质模具材料的研究、先进的设计与制造技术、专用的机床设备,更重要的是生产技术的管理等。21 世纪模具行业的基本特征是高度集成化、智能化、柔性化和网络化。追求的目标是提高产品的质量及生产效率,缩短设计及制造周期,降低生产成本,最大限度地提高模具行业的应变能力,满足用户需要。可见,未来我国模具工业和技术的主要发展方向主要表现在以下几个方面。

- 大力普及、广泛应用 CAD/CAE/CAM 技术,逐步走向集成化。现代模具设计制造不仅应强调信息的集成,更应该强调技术、人和管理的集成。
- 提高大型、精密、复杂与长寿命模具的设计与制造技术,逐步减少模具的进口量,增加模具的出口量。
- 在塑料注射成型模具中,积极应用热流道,推广气辅或水辅注射成型,以及高压注射成型技术,满足产品的成型需要。
- 提高模具标准化水平和模具标准件的使用率。模具标准件是模具基础,其大量应用可缩短模具设计制造周期,同时也显著提高模具的制造精度和使用性能,大大提高模具质量。我国模具商品化、标准化率均低于 30%,而先进国家均高于 70%,每年从国外进口相当数量的模具标准件,其费用约占年模具进口额的 3%~8%。
- 发展快速制造成型和快速制造模具,即快速成型制造技术,迅速制造出产品的原型与模具,降低成本,推向市场。
- 积极研究与开发模具的抛光技术、设备与材料,满足特殊产品的需要。

- 推广应用高速铣削、超精度加工和复杂加工技术与工艺，满足模具制造的需要。
- 开发优质模具材料和先进的表面处理技术，提高模具的可靠性。
- 研究和应用模具的高速测量技术、逆向工程与并行工程，最大限度地提高模具的开发效率与成功率。
- 开发新的成型工艺与模具，以满足未来多学科多功能综合产品开发设计技术。

在科技发展中，人是第一因素，因此要特别注重对人才的培养，实现产、学、研相结合，以培养更多的模具人才，搞好技术创新，提高模具的设计制造水平。在制造中积极采用多媒体与虚拟现实技术，逐步走向网络化、智能化环境，实现模具企业的敏捷制造、动态联盟与系统集成。

1.1.2 塑料成型模具分类

按照塑料制件成型的方法不同，塑料成型模具通常可以分为以下几类。

1. 注射模

注射模又称注塑模。塑料注射成型是在金属压铸成型的基础上发展起来的，成型所使用的设备是注射机。注射模通常适合于热塑性塑料的成型，目前部分热固性塑料也可以采用该方法。塑料注射成型是塑料成型生产中自动化程度最高、采用最广泛的一种成型方法。本书后面讲解的内容正是此类注射模。

2. 压缩模

压缩模又称压塑模或压胶模。塑料压缩成型是塑件成型方法中较早采用的一种方法。成型所使用的设备是塑料成型压力机，是热固性塑料通常采用的成型方法之一。与塑料注射成型相比，压缩模成型周期较长，生产效率较低。

3. 压注模

压注模又称传递模。压注成型所使用的设备和塑料的适应性与压缩成型完全相同，只是模具的结构不同。

4. 挤出模

挤出模是安装在挤出机料筒端部进行生产的，因此也称为挤出机头。成型所使用的设备是塑料挤出机。只有热塑性塑料才能采用挤出成型。

5. 气动成型模

气动成型模是指利用气体作为动力介质成型塑料制件的模具。气动成型包括中空吹塑成型、抽真空成型和压缩空气成型等。与其他模具相比较，气动成型模具结构最为简单，只有热塑性塑料才能采用气动成型。

除了上述介绍的几种常用的塑料成型模具外，还有浇铸成型模、泡沫塑料成型模、聚



四氟乙烯冷压成型模和滚塑模等。

1.2 塑料注射模具的构成形式

塑料注射成型模具主要用于热塑性塑料制品的成型。注射成型的特点是生产效率高，容易实现自动化生产，因此使用最为广泛。注射模具根据性质不同，也有很多种类。比如按塑料性质分类，可分为热塑性塑料注射模具、热固性塑料注射模具；按注射模具所使用注射机的类型可分为卧式注射机用模具、立式注射机用模具和角式注射机用模具等。

1.2.1 注射模具的结构组成

注射模具的结构是由塑件的复杂程度和注射机的形式等因素决定的。注射模具可分为动模和定模两大部分，定模部分安装在注射机的固定模板上，动模部分安装在注射机的移动模板上，注射时动模与定模闭合，构成浇注系统和型腔，开模时动模与定模分离，取出塑件。

不管模具结构如何复杂，结构如何多，注射模具的总体结构大致由以下几个部分或系统组成。

1. 成型部分

成型部分是指与塑件直接接触的成型塑件内表面和外表面的模具部分，它由凸模(型芯)、凹模(型腔)以及嵌件和镶块等组成。作为塑件的几何边界，要包容塑件，完成塑件的结构和尺寸等的成型。

2. 浇注系统

浇注系统是熔融塑料在压力作用下充填模具型腔的通道(熔融塑料从注射机喷嘴进入模具型腔所流经的通道)。浇注系统由主流道、分流道、浇口及冷料穴等组成。浇注系统对塑料熔体在模内流动的方向与状态、排气溢流、模具的压力传递等起到重要作用。

3. 导向机构

为了保证动模、定模在合模时的准确定位，模具必须设计有导向机构。导向机构分为导柱、导套导向机构与内外锥面定位导向机构两种形式。

4. 侧向分型与抽芯机构

塑件上的侧向如有凹凸形状及孔或凸台，就需要有侧向的型芯或成型块来成型。在塑件被推出之前，必须先推出侧向型芯或侧向成型块，然后才能顶离脱模。带动侧向型芯或侧向成型块移动的机构称为侧向分型与抽芯机构。

5. 推出机构

推出机构是将成型后的塑件从模具中推出的装置。推出机构有推杆、复位杆、推杆固定板、推板、主流道拉料杆、推板导柱和推板导套等组成。

6. 温度调节系统

为了满足注射工艺对模具的温度要求，必须对模具的温度进行控制，模具结构中一般都设有对模具进行冷却或加热的温度调节系统。模具的冷却方式通常是在模具上开设冷却水道；加热方式通常是在模具内部或四周安装加热元件。

7. 排气系统

在注射成型过程中，为了将型腔内的气体排出模外，通常需要开设排气系统。排气系统通常是在分型面上有目的地开设几条排气槽，另外许多模具的推杆或活动型芯与模板之间的配合间隙也可起排气作用。

8. 支撑零部件

用来安装固定或支撑成型零部件以及前述各部分机构的零部件均称为支撑零部件。把支撑零部件组装在一起，就构成注射模具的基本骨架。

根据注射模中各零部件的作用，上述八大部分可以分为成型零部件和结构零部件两大类。在结构零部件中，合模导向机构与支撑零部件合称为基本结构零部件，把二者组装起来可以构成注射模架(已标准化)。

1.2.2 注射模具的基本结构

1. 单分型面注射模

单分型面注射模又称二板式注射模，是注射模中最简单、最常见的一种结构形式。单分型面注射模只有一个分型面，其典型结构如图 1-1 所示。

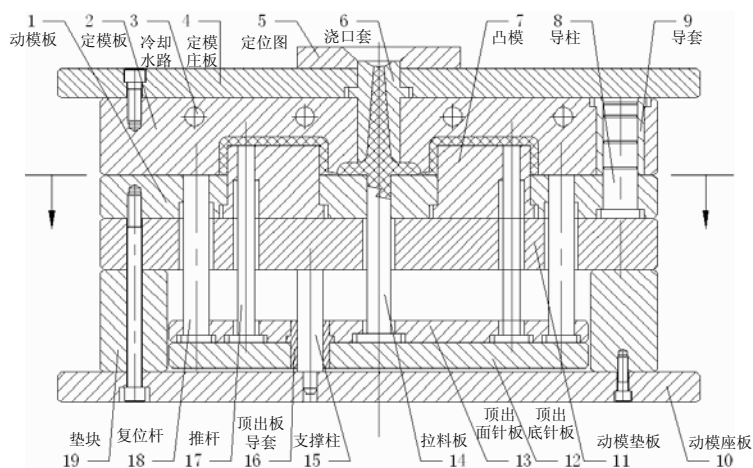


图 1-1

其工作原理为：合模时，在导柱 8 和导套 9 的导向和定位作用下，注射机的合模系统带动动模部分向前移动，使模具闭合，并提供足够的锁模力锁紧模具。在注射液压缸的作用下，塑料熔体通过注射机喷嘴经过模具浇注系统进入型腔，待熔体充满型腔并经过保压、补缩和冷却定型后开模。开模时，注射机合模系统带动动模向后移动，模具从动模和定模分型面分开，塑料包在凸模 7 上随动模一起后移，同时拉料杆 14 将浇注系统主流道的凝料从浇口套中拉出，开模行程结束。注射机液压顶杆推动并顶出底针板 12，推出机构开始工作，推杆 17 和拉料杆 14 分别将塑件及浇注系统凝料从凸模 7 和冷料穴中推出，至此完成一次注射过程。合模时，复位杆使推出机构复位，模具准备下一次注射。

2. 双分型面注射模

双分型面注射模又称三板式注射模，其结构特点是有两个分型面，通常用于点浇口浇注系统，结构如图 1-2 所示。

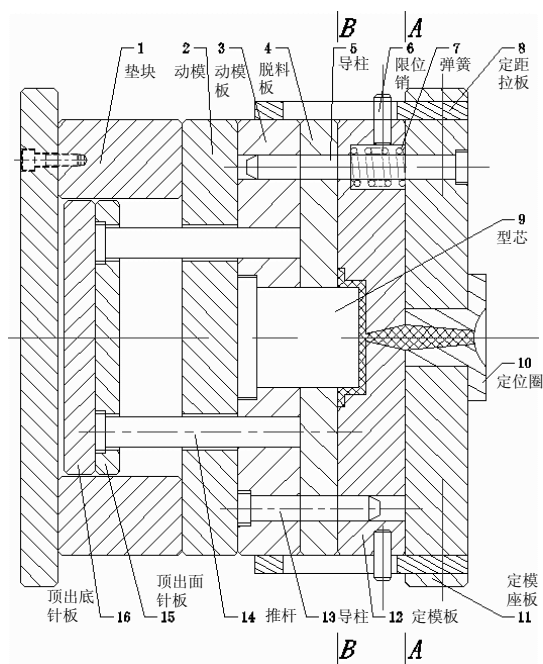


图 1-2

其工作原理为：开模时，动模部分向后移动，由于弹簧 7 的作用，模具首先在 A 分型面分型，中间板(定模板)12 随动模一起后退，主流道凝料从浇口套 10 中随之拉出。当动模部分移动一定距离后，固定在定模板 12 上的限位销 6 与定距拉板 8 的左端接触，使中间板停止移动，A 分型面分型结束。动模继续后移，B 分型面分型。因塑件抱紧在型芯 9 上，这时浇注系统凝料在浇口处拉断，然后在 B 分型面之间自行脱落或人工取出。动模部分继续后移，当注射机的顶杆接触并顶出底针板 16 时，推出机构开始工作，脱料板在推杆 14 的推动下将塑件从型芯 9 上推出，塑件在 B 分型面自行落下。

1.3 塑料

1.3.1 塑料成分

塑料在很多领域获得了广泛应用。对于一个实际的物品，我们都能简单地分辨是不是由塑料制成的。这时几乎不会去想塑料是什么，但是塑料究竟是什么呢？

塑料是以树脂为主要成分的高分子有机化合物。树脂最早指的是树木分泌出来的脂物，最常见的如松香。松香就是从松树分泌出来的乳液状松脂中提炼出来的。后来还从石油中分离出沥青。松香、沥青等都是天然树脂。



由于天然树脂在数量和质量上都满足不了需求,人们就根据天然树脂的结构特性由人工方法生产出合成树脂。目前,我们所使用的塑料一般都是用合成树脂制成的,很少采用天然树脂。常见的合成树脂如环氧树脂、酚醛树脂、聚乙烯等。并且树脂一般不能单独使用,只有加入一些助剂后才有使用价值,而加有各种助剂的树脂才称作塑料。

我们把这些添加进去的非主要成分称作添加剂。添加剂的种类比较多,可能是下面说的一种或者几种。

- 填充剂。在塑料中加入填充剂后,能使塑料的成本降低,而且还能使塑料的性能改善。比如在酚醛树脂中加入木粉,可以克服其脆性;在尼龙中加入玻璃纤维,可以使其抗拉强度和一般的灰铸铁相近。有的填充剂可以使塑料具有树脂没有的性能,如可以使塑料有良好的导电性、导热性、导磁性等。最常见的填充剂有玻璃纤维(简称玻纤)、碳纤维,滑石粉、大理石粉、木粉等。

- 增塑剂。在树脂中加入一些化合物,改善塑料的加工性能,这类物质叫增塑剂。增塑剂能使塑料在较低温度下具有好的成型性能和柔软性。如在聚氯乙烯中加入邻苯二甲酸二丁酯,可使塑料变得像橡胶一样柔软。常见的增塑剂为液态或低熔点固态有机化合物,如甲酸酯类、磷酸酯类、氯化石蜡等。

- 稳定剂。塑料和金属相比容易老化,即在光、热、霉菌氧等外界自然因素作用时,塑料的树脂性能会变差甚至失去使用性能。在塑料中加入稳定剂可以有效地延缓塑料老化。常用的稳定剂有硬脂酸盐、铅或锡的化合物以及环氧化合物等。

- 润滑剂。润滑剂可改善塑料在成型加工时的流动性,减少对模具的摩擦或者黏附,使之容易脱模,并使产品表面光洁。常用的润滑剂是硬脂酸及其盐类。平时所说的“脱模剂”的作用就是在成型过程中,在熔融的塑料和金属模具之间形成一层很薄的隔离膜,使塑料不粘在模具表面而容易脱模。

- 染色剂。合成树脂本身多为半透明乳白色或无色透明的。许多塑料制品,比如日用品、各种装饰品、儿童玩具,都要求颜色鲜艳美观。还有电器上使用的导线,为接线时方便识别也需要区分不同的颜色。为了使塑料制品具有不同颜色而加入的添加剂就是染色剂。染色剂有两种:染料和颜料。染料是在生产原材料(造粒)的时候加入的,颜料则是在成型加工的时候加入的。

- 固化剂。固化剂的作用是使树脂具有体型网状结构,使制品有较好的刚度和硬度。

- 阻燃剂。许多合成树脂遇火都会燃烧,有的离火后还能自燃。为了使用安全,常在塑料中加入阻燃材料以防止塑料制品遇火燃烧。常见的阻燃剂有氢氧化铝、三氧化二锑等。常见的阻燃 ABS 就是在 ABS 里面加了阻燃剂。

- 抗静电剂。塑料是较好的绝缘体。但是如果在使用过程中与其他材料摩擦,也很容易在制品表面产生静电。静电的危害很多,轻者表面容易吸尘变脏,严重的能引起火花放电造成火灾。加入抗静电剂可以使制品表面形成导电层放电。

- 发泡剂。发泡剂使塑料形成微孔结构。发泡的原理是,发泡剂在受热时分解放出气

体。泡沫塑料是使用发泡剂的典型例子，具有良好的隔音、隔热和减震效果，使用广泛。

- 特殊功能添加剂。在塑料中加入一些物质可使塑料具有某种特殊性能。比如在树脂中加入发光材料，可使塑料在黑暗环境中发光，成为发光塑料；加入芳香物质可使塑料发出香味等。

另外把不同性能的塑料融合起来可以形成塑料“合金”，塑料合金具有综合的性能优势。例如 ABS 就是由苯乙烯、丁二烯、丙烯腈组成。

值得注意的是并非所有塑料都必须添加上面所述的添加剂，而是根据制品使用要求有选择的添加，加入的分量也根据要求而定。

1.3.2 塑料性能

随着社会科学技术的发展，制造业对其使用的材料提出了越来越高的要求。塑料因其具有质量轻、强度高、耐腐蚀、绝缘、可塑且易于成型等特点，受到越来越广泛的青睐，正逐步取代木材，并部分取代金属等传统材料，成为广泛应用的结构件材料。本章我们将对塑料进行一个简单的介绍。

1. 塑料的使用性能

不同材料的性能也不相同。金属材料、特种陶瓷、纤维、增强工程塑料和木材在强度、密度、耐热性、膨胀系数、导热性等方面都存在很大的差异。同时，不同材料的性能都有其突出和不足之处。

其突出性能主要表现在质量轻，比强度高，可塑性好，耐腐蚀性高，绝缘性能好，具有防震、隔热、隔音性能，自润滑性好等方面。

(1) 质量轻

塑料的密度为 $1\sim 2\text{g/cm}^3$ ，为钢材的 $1/8\sim 1/4$ ，在众多材料中只比木材的相对密度稍高一点，而且泡沫塑料材料会更低。因此，在产品对质量有要求，而木材又不能满足要求时，一般选择塑料。可大大减轻重量，提高速度，降低能耗，在飞机、轮船、车辆等交通工具中应用广泛，另外对高层建筑也具有特殊意义。

(2) 比强度高

比强度是材料强度与材料相对密度之比。塑料的强度较高，而相对密度低，其比强度远超过传统的土木工程材料，是一种优质的轻质高强材料。

(3) 可塑性好，具有优良的加工性能

除少数热敏型、热固型和高黏度型纯原料加工需要改性处理外，塑料材料具有优良的加工性能，易加工成复杂形状的产品，也可加工出厚度十分薄的产品。可按需要调节制品的硬度、密度、色泽，也可用多种加工工艺塑制成不同形状的产品，来适应不同用途的需要。

(4) 耐腐蚀性高

其化学稳定性良好，是憎水性材料，对弱酸弱碱的抵抗性强。其腐蚀性仅次于玻璃和



陶瓷材料。

一些化工管道、容器和需要润滑的结构部件都宜应用耐腐蚀塑料材料制造。

(5) 绝缘性能好

按照材料的体积电阻率值材料导电性进行分类。

- 绝缘材料，体积电阻率大于 $10^9\Omega\cdot\text{cm}$ ，一般在 $10^9\sim 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ 范围内。
- 半导体材料，体积电阻率在 $10^{-2}\sim 10^9\Omega\cdot\text{cm}$ 范围内。
- 导电材料，体积电阻率小于 $10^{-2}\Omega\cdot\text{cm}$ ，一般在 $10^{-2}\sim 10^{-6}\Omega\cdot\text{cm}$ 范围内。

大部分塑料的体积电阻率都在绝缘材料的数值范围内，是优良的绝缘材料，只有少数吸水性塑料的体积电阻率小于 $10^9\Omega\cdot\text{cm}$ 。

(6) 具有防震、隔热、隔音性能

塑料特别是泡沫塑料具有优良的防震、隔热、隔音性能，除了木材有相近的性能之外，其他材料都不能匹敌。

(7) 自润滑性好

在很多场合中，摩擦接触的结构产品要防止污染(如食品、纺织、日用及医药机械等)，禁止使用润滑剂，而很多塑料品种具有优良的自润滑性，因此自润滑性塑料很好地解决了这个问题，该类材料制造的运动型结构产品，不需润滑也能正常运动。

不足之处主要表现在机械强度低、尺寸精度低、耐热温度低、易老化、可燃性等方面。

(1) 机械强度低

与一般的工程材料相比，塑料的机械强度低。虽然使用超强纤维增强的工程塑料会大幅度提高强度，且强度高于钢，但在大负荷应用场合，塑料材料仍不能满足要求，这时只好用高强度金属材料或超级陶瓷材料。

(2) 尺寸精度低

塑料材料的成型收缩率大且不稳定，所以塑料产品受外力作用时产生的变形(蠕变)大，热膨胀系数比金属要大几倍。因此，塑料产品的尺寸精度不高。

(3) 耐热温度低

一般来说，大多数塑料的使用温度在 $100^\circ\text{C}\sim 260^\circ\text{C}$ 范围内，且最高使用温度不超过 400°C 。所以，当使用环境的温度长时间超过 400°C 时，几乎没有合适的塑料材料可以选用；而当使用环境温度超过 400°C ，甚至达到 500°C 以上，且无较大的负荷时，有些耐高温塑料可短时间使用。部分热固性塑料如以碳纤维、石墨或玻璃纤维增强的酚醛等比较特别，它们长期耐热的温度虽然不到 200°C ，但其瞬间可耐上千度的高温，可作为耐烧材料，多用在导弹外壳及宇宙飞船的表面层。

(4) 易老化

在阳光、氧、热等条件的作用下，塑料中聚合物的组成和结构会发生变化，致使塑料性质恶化，这种现象称为老化。虽然塑料存在老化问题，但通过一定措施，塑料制品的使用寿命可以和其他材料相媲美，有的甚至能长于传统材料。

(5) 可燃性

塑料大多可燃，且在燃烧时会产生大量有毒的烟雾。目前正在研究具有自熄性、难燃甚至准不燃的塑料。

2. 塑料的成型性能

塑料是以高分子量合成树脂为主要成分，在一定条件下(如温度、压力等)可塑制成一定形状且在常温下保持形状不变的材料。

塑料按受热后其表面的性能，可分为热固性塑料与热塑性塑料两大类。前者的特点是在一定温度下，经一定时间加热、加压或加入硬化剂后，发生化学反应而硬化。硬化后塑料的化学结构发生变化、质地坚硬、不溶于溶剂、加热也不再软化，如果温度过高便会分解。后者的特点为受热后发生物态变化，由固体软化或熔化成粘流体状态，但冷却后又可变硬而成固体，且过程可多次反复，塑料本身的分子结构则不发生变化。

塑料都是以合成树脂为基本原料，再加入填料、增塑剂、染料、稳定剂等各种辅助料而组成的。因此，不同品种牌号的塑料，由于选用的树脂及辅助料的性能、成分、配比及塑料生产工艺不同，其使用及工艺特性也各不相同。为此，在进行模具设计时必须了解所用塑料的工艺特性。

3. 塑料的收缩性

塑料注射成型的过程是在较高温度下将熔融的熔料注入型腔内，固化、冷却后成型。塑件自模具中取出并冷却到室温后，发生尺寸收缩的这种性能称为收缩性。由于收缩不仅是树脂本身的热胀冷缩，而且还与各成型因素有关，因此成型后塑件的收缩称为成型收缩。

热固性塑料成型收缩的形式

主要表现在下列几方面。

- 塑件的线尺寸收缩。由于热胀冷缩，塑件脱模时的弹性恢复、塑性变形等原因导致塑件脱模并冷却到室温后其尺寸缩小，因此设计型腔时须考虑补偿。

- 收缩方向性。成型时，分子沿充模方向(即平行方向)排列，塑件呈现各向异性，则收缩大、强度高；而充模直角方向(即垂直方向)上则收缩小、强度低。另外，成型时塑件的各部位密度及填料分布不匀，使收缩也不均匀，产生的收缩差使塑件易发生翘曲、变形、裂纹等缺陷，在挤塑及注射成型时其方向性更为明显。因此，模具设计时应考虑收缩方向性，按塑件形状、流料方向选取收缩率为宜。

- 当脱模后由于应力趋向平衡及贮存条件的影响，残余应力可能会发生变化，使塑件发生再收缩，称为后收缩。后收缩塑件成形时，受成形压力、剪切应力、各向异性、密度不匀、填料分布不匀、模温不匀、硬化不匀、塑性变形等因素的影响，会引起一系列应力的作用，在粘流态时不能全部消失，故塑件在应力状态下成形时存在残余应力。一般塑件在脱模后 10 小时内变化最大，24 小时后基本定型，但最后稳定要经 30~60 天。通常热塑性塑料的后收缩比热固性大，挤塑及注射成形的比压塑成形的大。



● 后处理收缩。有时塑件按性能及工艺要求，成形后需进行热处理，处理后也会导致塑件的尺寸发生变化。故设计模具时对高精度塑件应考虑后收缩及后处理收缩的误差并予以补偿。

(1) 收缩率

计算塑件成形收缩可用收缩率来表示，如公式(1-1)及公式(1-2)所示。

$$Q_{\text{实}} = (a - b) / b \times 100 \quad (1-1)$$

$$Q_{\text{计}} = (c - b) / b \times 100 \quad (1-2)$$

式中，

Q ——实际收缩率(%)；

$Q_{\text{计}}$ ——计算收缩率(%)；

a ——塑件在成形温度时的单向尺寸(mm)；

b ——塑件在室温下的单向尺寸(mm)；

c ——模具在室温下的单向尺寸(mm)。

实际收缩率表示塑件实际所发生的收缩率，因其值与计算收缩率相差很小，所以设计模具时以 $Q_{\text{计}}$ 为设计参数来计算型腔及型芯尺寸。

(2) 影响收缩率变化的因素

在实际成型时，不仅不同品种塑料的收缩率各不相同，而且不同批的同种塑料甚至同一塑件的不同部位其收缩率也不尽相同，影响收缩率变化的主要因素有如下几个方面：

● 塑料品种。各种塑料都有其各自的收缩范围，同种类塑料由于填料、分子量及配比等不同，其收缩率及各向异性也不同。

● 塑件特性。塑件的形状、尺寸、壁厚、有无嵌件、嵌件数量及布局对收缩率大小也有很大影响。

● 模具结构。模具的分型面及加压方向，浇注系统的形式，布局及尺寸对收缩率及方向性影响也较大，尤其在挤塑及注射成形时更为明显。

● 成型工艺。挤塑、注射成型工艺的一般收缩率较大，方向性明显。预热情况、成型温度、成型压力、保持时间、填装料形式及硬化均匀性对其收缩率及方向性都有影响。

另外，成型收缩还受到各成型因素的影响，但主要决定于塑料品种、塑件形状及尺寸。所以成型时调整各项成形条件也能够适当地改变塑件的收缩情况。

热塑性塑料成型收缩的形式及计算如前所述，影响热塑性塑料成型收缩的因素如下。

(1) 塑料品种。热塑性塑料的成型过程中，由于还存在结晶化所引起的体积变化、内应力强、冻结在塑件内的残余应力大、分子取向性强等因素，与热固性塑料相比则其收缩率较大，收缩率范围宽，方向性明显。另外，成形后的收缩、退火或调湿处理后的收缩一般也都比热固性塑料大。

(2) 塑件特性。成形时，融料与型腔表面接触外层立即冷却形成低密度的固态外壳；由于塑料的导热性差，塑件内层冷却缓慢而形成收缩大的高密度固态层，所以壁厚、冷却慢、高密度层厚的塑件收缩大。另外，有无嵌件及嵌件布局、嵌件数量都直接影响料流方向、密度分布及收缩阻力的大小等，所以塑件的特性对收缩大小、方向性影响较大。

(3) 进料口的形式、尺寸、分布。这些因素直接影响充模方向、密度分布、保压补缩作用及成形时间。直接进料口且进料口截面大(尤其截面较厚的)的收缩小但方向性大；进料口宽且长度短的则方向性小。距进料口近的或与充模方向平行则收缩大。

(4) 成形条件。模具温度高，融料冷却慢、密度高、收缩大，尤其对结晶料则因结晶度高，体积变化大，故收缩更大。模温分布与塑件内外冷却及密度均匀性也有关，直接影响到各部分的收缩量大小及方向性。另外，压力及冷却时间对收缩也影响较大，压力大、时间长，的则收缩小但方向性大。注射压力高，熔料黏度差小，层间剪切应力小，脱模后弹性回跳大，故收缩也可适量地减小，料温高，收缩大，但方向性小。因此在成形时调整模温、压力、注射速度及冷却时间等诸因素也可适当地改变塑件的收缩情况。

模具设计时可根据各种塑料的收缩范围，塑件壁厚、形状，进料口形式、尺寸及分布情况，按经验确定塑件各部位的收缩率，进而来计算型腔尺寸。对于高精度塑件或当难以掌握收缩率时，一般宜用如下方法设计模具。

- 对塑件外径取较小的收缩率，内径取较大的收缩率，以留有试模后修正的余地。
- 试模确定浇注系统的形式、尺寸及成形条件。
- 要后处理的塑件经后处理确定尺寸的变化情况(测量必须在脱模 24 小时以后进行)。
- 按实际收缩情况修正模具。
- 再试模并可适当地改变工艺条件，略微修正收缩值以满足塑件要求。

4. 塑料的流动性

塑料在一定温度与压力下填充型腔的能力称为流动性。这是设计模具时必须考虑的一个重要工艺参数。流动性大易造成溢料过多，填充得不密实，塑件组织疏松，树脂、填料分头聚积，易出现粘模、脱模，清理困难，硬化过早等弊病。但流动性小则填充不足，不易成形，成形压力大。所以选用塑料的流动性必须与塑件要求、成形工艺及成形条件相适应。

(1) 热固性塑料的流动性

设计模具时应根据流动性能来考虑浇注系统、分型面及进料方向等等。热固性塑料的流动性通常以拉西格流动性(以毫米计)来表示。数值大则流动性好，每一品种的塑料通常分三个不同等级的流动性，以供不同塑件及成形工艺选用。一般塑件面积大，嵌件多，型芯及嵌件细弱，有狭窄深槽及薄壁的复杂形状对填充不利时，应采用流动性较好的塑料。挤塑成形时应选用拉西格流动性在 150 毫米以上的塑料，注射成形时应用拉西格流动性在 200 毫米以上的塑料。为了保证每批塑料都有相同的流动性，在实际中常用并批方法来调节，即将同一品种而流动性有差异的塑料加以配用，使各批塑料的流动性互相补偿，以保证塑件质量。



必须指出塑料的流动性除了取决于塑料品种外,在填充型腔时还常受其他各种因素的影响而使塑料实际填充型腔的能力发生变化。如粒度细匀(尤其是圆状粒料),湿度大,含水分及挥发物多,预热及成形条件适当,模具表面光洁度好,模具结构适当等都有利于改善流动性。反之,预热或成形条件不良,模具结构不良,流动阻力大或塑料贮存期过长、超期,贮存温度高(尤其对氨基塑料)等都会导致塑料填充型腔时实际的流动性能下降而造成填充不良。

(2) 热塑性塑料材料的流动性

热塑性塑料的流动性大小,一般可用分子量大小、熔融指数、阿基米德螺旋线长度、表现黏度及流动比(流程长度/塑件壁厚)等一系列指数进行分析。分子量小,分子量分布宽,分子结构规整性差,熔融指数高,螺旋线长度长,表现黏度小,流动比大的则流动性就好,对同一品名的塑料必须检查其说明书,判断其流动性是否适用于注射成形。按模具设计的要求我们大致可将常用塑料的流动性分为三类。

- 流动性好: 尼龙、聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、醋酸纤维素、聚四甲基成烯。
- 流动性中等: 改性聚苯乙烯(例 ABS·AS)、有机玻璃、聚甲醛、聚氯醚。
- 流动性差: 聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚苯醚、聚砒、聚芳砒、氟塑料。

(3) 塑料流动性的影响因素

各种塑料的流动性也因各成形因素而变化,主要影响的因素有如下几点。

- 温度。料温高则流动性增大,但不同塑料也各有差异。如聚苯乙烯(尤其耐冲击型及 MI 值较高的)、聚丙烯、尼龙、有机玻璃、改性聚苯乙烯(例 ABS·AS)、聚碳酸酯、醋酸纤维等塑料的流动性随温度变化较大。而对于聚乙烯、聚甲醛,则温度增减对其流动性影响较小。所以前者在成形时宜调节温度来控制其流动性。

- 压力。注射压力增大则熔料受剪切作用大,流动性也增大,特别是聚乙烯、聚甲醛较为敏感,所以成形时宜调节注射压力来控制其流动性。

- 模具结构。浇注系统的形式、尺寸、布置,冷却系统的设计,融料流动阻力(如型面光洁度、料道截面厚度、型腔形状、排气系统)等因素都直接影响到融料在型腔内的实际流动性,凡促使融料降低温度,增加流动性阻力的则其流动性就会降低。

5. 其他特性

1) 热固性塑料材料

(1) 比容及压缩率

比容为每一克塑料所占有的体积(以 cm^3/g 计)。压缩率为塑粉与塑件两者体积之比或比容之比(其值恒大于 1)。它们都可被用来确定压模装料室的大小。其数值大即要求装料室体积要大,同时又说明塑粉内充气多,排气困难,成形周期长,生产率低。比容小则反之,而且有利于压锭、压制。各种塑料的比容详见表 1-1。但比容值也常因塑料的粒度大小及颗粒的不均匀度而有误差。

(2) 硬化特性

热固性塑料在成形过程中加热受压转变为可塑性粘流状态,随后,流动性增大填充型腔,与此同时发生缩合反应,交联密度不断增加,流动性迅速下降,熔料逐渐固化。模具设计时,对于硬化速度快,保持流动状态短的材料应注意便于装料,装卸嵌件及选择合理的成形条件和操作等,以免过早硬化或硬化不足,导致塑件成形不良。

硬化速度与塑料品种、壁厚、塑件形状、模温有关。还受其他因素影响,特别是与预热状态有关,适当的预热应保持在使塑料能发挥出最大流动性的条件下,尽量提高其硬化速度。一般预热温度高,时间长(在允许范围内)则硬化速度加快,尤其是预压锭坯料,经高频预热后硬化速度显著加快。另外,成形温度高,加压时间长则硬化速度也随之增加。因此,硬化速度可通过调节预热或成形条件来予以适当的控制。

硬化速度还应适合成形方法的要求,例注射、挤塑成型时应要求在塑化、填充时的化学反应慢、硬化慢,应保持较长时间的流动状态,但当充满型腔后在高温、高压下应快速硬化。

(3) 水分及挥发物含量

各种塑料中含有不同程度的水分、挥发物等,含量过多时流动性增大,易溢料,保持时间长,收缩增大,易发生波纹、翘曲等弊病,影响塑件的机电性能。但当塑料过于干燥时也会因流动性不良而导致成形困难,所以不同塑料应按要求进行预热干燥,对吸湿性强的塑料,尤其在潮湿季节,即使对预热后的塑料也应防止其再吸湿。

由于各种塑料中含有不同成分的水分及挥发物,同时在缩合反应时要产生缩合水分,这些成分都需在成形时变成气体排出模外,因为有的气体对模具有腐蚀作用,对人体也有刺激作用。为此在模具设计时应对各种塑料的此类特性有所了解,并采取相应措施,如预热、模具镀铬、开排气槽或成形时设排气工序。

2) 热塑性塑料材料

(1) 结晶性

热塑性塑料按其冷凝时是否有出现结晶现象可划分为结晶形塑料与非结晶形(又称无定形)塑料两大类。

所谓结晶现象即为塑料由熔融状态冷凝时,从分子自由独立移动,完全处于无次序状态,变成分子停止自由运动,按略微固定的位置,并有一个使分子排列成为正规模型倾向的一种现象。

塑料厚壁塑件的透明性可作为判别这两类塑料的外观标准,一般结晶性料为不透明或半透明的(如聚甲醛等),而无定形料为透明的(如有机玻璃等)。但也有例外情况,如聚四甲基成烯为结晶性料却有高透明性,ABS 为无定形料但却并不透明。

在模具设计及选择注射机时应注意对结晶料有下列要求。

- 料温上升到成形温度所需的热量多,要用塑化能力大的设备。
- 冷凝时放出的热量大,要充分冷却。
- 熔态与固态的比重差大,成形收缩大,易发生缩孔、气孔。



- 结晶度与塑件的壁厚有关,冷却慢,结晶度高,收缩大,物性好,冷却快,结晶度低,收缩小,透明度高。所以结晶性料应按要求控制模温。

- 各向异性显著,内应力大。脱模后未结晶化的分子有继续结晶化倾向,处于能量不平衡状态,易发生变形,翘曲。

- 结晶熔点范围窄,易发生未熔粉末注入模具或堵塞进料口。

(2) 热敏性及水敏性

- 热敏性塑料是指对热较为敏感的塑料。高温下,受热时间较长或进料口截面过小,剪切作用大时,料温增高易发生变色、降聚、分解倾向的塑料称为热敏性塑料。如硬聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、醋酸乙烯共聚物、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等。热敏性塑料在分解时产生单体、气体、固体等副产物,特别是有的分解气体对人体、设备、模具都有刺激、腐蚀作用或毒性。因此,模具设计、选择注射机及成形时都应注意,应选用螺杆式注射机,浇注系统截面宜大,模具和料筒应镀铬,不得有死角滞料,必须严格控制成形温度、塑料中加入的稳定剂,减弱热敏性能。

- 有的塑料(如聚碳酸酯)即使含有少量水分,但在高温、高压下也会发生分解,这种性能称为水敏性,对此必须预先加热干燥。

(3) 应力开裂及熔融破裂

- 有的塑料对应力敏感,成形时易产生内应力且质脆易裂,塑件在外力作用下或在溶剂作用下易发生开裂现象。为此,除了在原料内加入附加剂提高抗裂性外,对原料应注意干燥,选择合理的成形条件,以减少内应力和增加抗裂性;并选择合理的塑件形状,不宜设置嵌件等,以尽量减少应力集中。模具设计时应增大脱模斜度,选用合理的进料口及顶出机构,成形时应适当地调节料温、模温、注射压力及冷却时间,尽量避免塑件过于冷脆而脱模,成形后塑件还应进行后处理,提高抗裂性,消除内应力并禁止与溶剂接触。

- 当一定熔融指数的聚合物熔体在恒温下通过喷嘴孔时,其流速超过某值后,熔体表面会发生明显横向裂纹,称为熔融破裂,有损塑件外观及物性。故在选用熔融指数高的聚合物时,应增大喷嘴、浇道、进料口截面积,减少注射速度,提高料温。

(4) 热性能及冷却速度

- 各种塑料有不同的比热、热传导率、热变形温度等热性能。比热高的塑化时需要的热量大,应选用塑化能力大的注射机。热变形温度高的冷却时间可短,脱模可早,但脱模后要防止冷却变形。热传导率低的冷却速度慢(如离子聚合物等冷却速度极慢)必须充分冷却,要加强模具冷却效果。热浇道模具适用于比热低、热传导率高的塑料。比热大、热传导率低、热变形温度低、冷却速度慢的塑料则不利于高速成形,必须用适当的注射机并加强模具冷却。

- 各种塑料按其品种特性及塑件的形状要求,必须保持适当的冷却速度。所以模具必须按成形要求设置加热和冷却系统,以保持一定模温。当料温使模温升高时应予以冷却,

以防止塑件脱模后变形, 缩短成形周期, 降低结晶度。当塑料余热不足以使模具保持一定温度时, 则模具应设有加热系统, 使模具保持在一定温度, 以控制冷却速度, 保证流动性, 改善填充条件或用以控制塑件使其缓慢冷却, 防止厚壁塑件内外冷却不均匀及提高结晶度等。对流动性好, 成形面积大, 料温不均的, 按塑件的成形情况, 有时需加热或冷却交替使用或局部加热与冷却并用。为此模具应设有相应的冷却或加热系统。

(5) 吸湿性

塑料中因有各种添加剂, 使其对水分有不同的亲疏程度, 所以塑料大致可分为吸湿、粘附水分及不吸水也不易粘附水分两种, 料中所含水量必须控制在允许范围内, 不然在高温、高压下水份变成气体或发生水解作用, 会使树脂起泡, 流动性下降, 外观及机电性能不良。所以吸湿性塑料必须按要求采用适当的加热方法及规范进行预热, 在使用时还需用红外线照射以防止再吸湿。

1.3.3 塑料分类

塑料的分类体系比较复杂, 各种分类方法也有所交叉, 常规的方法分类主要有三种: 一是按使用特性分类; 二是按理化特性分类; 三是按加工方法分类。

1. 按使用特性分类

根据各种塑料不同的使用特性, 通常将塑料分为通用塑料、工程塑料和特种塑料三种类型。

- 通用塑料。一般是指产量大、用途广、成形性好、价格便宜的塑料, 如聚乙烯、聚丙烯、酚醛树脂等。

- 工程塑料。一般指能承受一定外力作用, 具有良好的机械性能和耐高、低温性能, 尺寸稳定性较好, 可以用作工程结构的塑料, 如聚酰胺、聚砒等。

在工程塑料中又将其分为通用工程塑料和特种工程塑料两大类。

通用工程塑料包括聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚、热塑性聚酯、超高分子量聚乙烯、甲基戊烯聚合物、乙烯醇共聚物等。

特种工程塑料又有交联型和非交联型之分。交联型有聚氨基双马来酰胺、聚三嗪、交联聚酰亚胺、耐热环氧树脂等。非交联型有聚砒、聚醚砒、聚苯硫醚、聚酰亚胺、聚醚醚酮(PEEK)等。

- 特种塑料。一般是指具有特种功能, 可用于航空、航天等特殊应用领域的塑料。如氟塑料和有机硅等具有突出的耐高温、自润滑等特殊性能, 增强塑料和泡沫塑料具有高强度、高缓冲性等特殊性能, 这些塑料都属于特种塑料的范畴。

- 增强塑料。增强塑料在外形上可分为粒状(如钙塑增强塑料)、纤维状(如玻璃纤维或玻璃布增强塑料)、片状(如云母增强塑料)三种。按材质可分为布基增强塑料(如碎布增强或石棉增强塑料)、无机矿物填充塑料(如石英或云母填充塑料)、纤维增强塑料(如碳纤维增强



塑料)三种。

- 泡沫塑料。泡沫塑料可以分为硬质、半硬质和软质泡沫塑料三种。硬质泡沫塑料没有柔韧性,压缩硬度很大,只有达到一定应力值时才产生变形,应力解除后不能恢复原状;软质泡沫塑料富有柔韧性,压缩硬度很小,很容易变形,应力解除后能恢复原状,残余变形较小;半硬质泡沫塑料的柔韧性和其他性能介于硬质和软质泡沫塑料之间。

2. 按理化特性分类

根据塑料各种不同的理化特性,可以把塑料分为热固性塑料和热塑性塑料两种类型。

- 热固性塑料是指在受热或其他条件下能固化或具有不溶(熔)特性的塑料,如酚醛塑料、环氧塑料等。热固性塑料又分甲醛交联型和其他交联型两种类型。

- 甲醛交联型塑料包括酚醛塑料、氨基塑料(如脲—甲醛—三聚氰胺—甲醛等)。

- 其他交联型塑料包括不饱和聚酯、环氧树脂、邻苯二甲二烯丙酯树脂等。

- 热塑性塑料是指在特定温度范围内能反复加热软化和冷却硬化的塑料,如聚乙烯、聚四氟乙烯等。热塑性塑料又分烃类、含极性基因的乙烯基类、工程类、纤维素类等多种类型。

- 烃类塑料属非极性塑料,具有结晶性和非结晶性之分,结晶性烃类塑料包括聚乙烯、聚丙烯等,非结晶性烃类塑料包括聚苯乙烯等。

- 含极性基因的乙烯基类塑料,除氟塑料外,大多数是非结晶型的透明体,包括聚氯乙烯、聚四氟乙烯、聚醋酸乙烯酯等。乙烯基类单体大多数可以采用游离基型催化剂进行聚合。

- 热塑性工程塑料,主要包括聚甲醛、聚酰胺、聚碳酸酯、ABS、聚苯醚、聚对苯二甲酸乙二酯、聚砜、聚醚砜、聚酰亚胺、聚苯硫醚等。聚四氟乙烯、改性聚丙烯等也包括在这个范围内。

- 热塑性纤维素类塑料主要包括醋酸纤维素、醋酸丁酸纤维素、塞璐珞、玻璃纸等。

3. 按加工方法分类

根据塑料各种不同的成型方法,可以分为膜压、层压、注射、挤出、吹塑、浇铸塑料和反应注射塑料等多种类型。

膜压塑料多为物性和加工性能与一般固性塑料相类似的塑料;层压塑料是指浸有树脂的纤维织物经叠合、热压而结合成为整体的材料;注射、挤出和吹塑多为物性和加工性能与一般热塑性塑料相类似的塑料;浇铸塑料是指能在无压或稍加压力的情况下倾注于模具中,并能硬化成一定形状制品的液态树脂混合料,如MC尼龙等;反应注射塑料是用液态原材料,加压注入膜腔内,使其反应固化成一定形状制品的塑料,如聚氨酯等。

1.3.4 塑料成型方法

将塑料转化为塑料制品的工艺方法称为塑料成型方法。塑料成型的方法很多,包括压

缩成型、压注成型、挤出成型、吹塑成型、发泡成型、注射成型等。

1. 压缩成型

压缩成型是成型料在闭合模腔内借助加压(一般需加热)的成型方法, 又称模压。压缩成型适用于热固性塑料, 如酚醛塑料、氨基塑料、不饱和聚酯塑料等。

压缩成型由预压、预热和模压三个过程组成。

(1) 预压, 为改善制品质量和提高成型效率等, 将粉料或纤维状成型料预先压成一定形状的操作。

(2) 预热, 为改善成型料的加工性能和缩短成型周期等, 把成型料在成型前先行加热的操作。

(3) 模压, 在模具内加入所需量的塑料, 闭模, 排气, 在成型温度和压力下保持一段时间, 然后进行脱模, 清模等一系列的操作。

压缩成型的主要设备是压机和塑模。压机用得最多的是自给式液压机, 吨位从几十吨至几百吨不等。有下压式压机和上压式压机。用于压缩成型的模具称为压制模具, 分为三类: 溢料式模具、半溢料式模具和不溢式模具。

压缩成型的主要优点是可模压较大平面的制品并能大量生产, 其缺点是生产周期长, 效率低。

2. 传递成型

传递成型, 成型时先将成型料在加热室加热软化, 然后压入已被加热的模腔内固化成型, 是热固性塑料的一种成型方式。传递成型按设备不同有三种形式: 活板式、罐式、柱塞式。

传递成型对塑料的要求是: 在未达到固化温度前, 塑料应具有较大的流动性, 达到固化温度后, 又须具有较快的固化速率。因此适用于该加工方法的塑料有酚醛、三聚氰胺甲醛和环氧树脂等。

传递成型具有的优点是: 制品废边少, 可减少后加工量; 能成型带有精细或易碎嵌件和穿孔的制品, 并且能保持嵌件和孔眼位置的正确; 制品性能均匀, 尺寸准确, 质量高; 模具的磨损较小。

缺点是: 模具的制造成本较压缩模高; 塑料损耗大; 纤维增强塑料因纤维定向而产生各向异性; 围绕在嵌件四周的塑料, 有时会因熔接不牢而使制品的强度降低。

3. 挤出成型

挤出成型是在挤出机中通过加热、加压而使物料以流动状态连续通过口模成型的方法, 也称挤压成型或挤塑。

挤出法主要用于热塑性塑料的成型, 也可用于某些热固性塑料。挤出的制品都是连续的型材, 如管、棒、丝、板、薄膜、电线电缆包覆层等。此外, 还可用于塑料的混合、塑化造粒、着色、掺和等。



挤出成型机由挤出装置、传动机构和加热、冷却系统等主要部分组成。挤出机有螺杆式(单螺杆和多螺杆)和柱塞式两种类型。前者的挤出工艺是连续式的,后者是间歇式的。

单螺杆挤出机的基本结构主要包括传动装置、加料装置、料筒、螺杆、机头和口模等部分。

挤出机的辅助设备有物料的前处理设备(如物料输送与干燥)、挤出物处理设备(定型、冷却、牵引、切料或辊卷)和生产条件控制设备等三大类。

4. 吹塑成型

吹塑成型是借气体压力使闭合在模具中的热型坯吹胀成为中空制品,或将管型坯无模吹胀成管膜的一种方法。主要用于各种包装容器和管式膜的制造。凡是熔体指数为 0.04 ~ 1.12 的都是比较优良的中空吹塑材料,如聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、热塑性聚酯、聚碳酸酯、聚酰胺、醋酸纤维素和聚缩醛树脂等,其中以聚乙烯应用得最多。

吹塑成型包括如下四种。

- 挤出吹塑成型,即用挤出法先将塑料制成有底型坯,接着再将型坯移到吹塑模中吹制成中空制品。

- 注射吹塑成型,即用注射成型法先将塑料制成有底型坯,接着再将型坯移到吹塑模中吹制成中空制品。

注射吹塑成型和挤出吹塑成型的不同之处是制造型坯的方法不同,吹塑过程基本上是相同的。吹塑设备除注射机和挤出机外,主要是吹塑用的模具。吹塑模具通常由两瓣合成,其中设有冷却剂通道,分型面上的小孔可插入充压气吹管。

- 拉伸吹塑成型,是双轴定向拉伸的一种吹塑成型,其方法是先将型坯进行纵向拉伸,然后用压缩空气进行吹胀达到横向拉伸。拉伸吹塑成型可使制品的透明性、冲击强度、表面硬度和刚性有很大的提高,适用于聚丙烯、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PETP)的吹塑成型。

拉伸吹塑成型包括注射型坯定向拉伸吹塑、挤出型坯定向拉伸吹塑、多层定向拉伸吹塑、压缩成型定向拉伸吹塑等。

- 吹塑薄膜法,是成型热塑性薄膜的一种方法,即用挤出法先将塑料挤成管,而后借助向管内吹入的空气使其连续膨胀到一定尺寸的管式膜,冷却后折叠卷绕成双层平膜。塑料薄膜可用许多方法制造,如吹塑、挤出、流延、压延、浇铸等,其中以吹塑法应用得最广泛。该方法适宜聚乙烯、聚氯乙烯、聚酰胺等薄膜的制造。

5. 发泡成型

发泡成型是使塑料产生微孔结构的过程。几乎所有的热固性和热塑性塑料都能制成泡沫塑料,常用的树脂有聚苯乙烯、聚氨酯、聚氯乙烯、聚乙烯、脲甲醛、酚醛等。

按照泡孔结构可将泡沫塑料分为两类,若绝大多数气孔是互相连通的,则称为开孔泡沫塑料;如果绝大多数气孔是互相分隔的,则称为闭孔泡沫塑料。开孔或闭孔的泡沫结构是由制造方法所决定的。

- 化学发泡，因特意加入的化学发泡剂受热分解或在原料成分间发生化学反应而产生的气体，使塑料熔体充满泡孔。化学发泡剂在加热时释放出的气体有二氧化碳、氮气、氨气等。化学发泡常用于聚氨酯泡沫塑料的生产。

- 物理发泡，是在塑料中溶入气体或液体，而后使其膨胀或气化发泡的方法。物理发泡适用的塑料品种较多。

- 机械发泡，是借机械搅拌方法使气体混入液体混合料中，然后经定型过程形成有泡孔的泡沫塑料。此法常用于脲眠甲醛树脂，其他如聚乙烯醇缩甲醛、聚乙酸乙烯、聚氯乙烯溶胶等也适用。

6. 注射成型

注射成型(注塑)是使热塑性或热固性成型料先在加热料筒中均匀塑化，而后由柱塞或移动螺杆将其推挤到闭合模具的模腔中成型的一种方法。

注射成型几乎适用于所有的热塑性塑料。近年来，注射成型也成功地用于成型某些热固性塑料。注射成型的成型周期短(几秒到几分钟)，成型制品的质量可由几克到几十千克，能一次成型外形复杂、尺寸精确、带有金属或非金属嵌件的成型品。因此，该方法适应性强，生产效率高。

注射成型用的注射机分为柱塞式注射机和螺杆式注射机两大类，注射机由注射系统、锁模系统和塑模三大部分组成。该成型方法可分为如下几种。

- 排气式注射成型，其应用的排气式注射机，在料筒中部设有排气口，亦与真空系统相连接，当塑料塑化时，真空泵可将塑料中含有的水汽、单体、挥发性物质及空气经排气口抽走。原料不必预干燥，从而提高生产效率及产品质量。特别适用于聚碳酸酯、尼龙、有机玻璃、纤维素等易吸湿的材料成型。

- 流动注射成型，可用普通移动螺杆式注射机，即塑料经不断塑化挤入有一定温度的模具型腔内，塑料充满型腔后，螺杆停止转动，借螺杆的推力使模内物料在压力下保持适当时间，然后冷却定型。流动注射成型克服了生产大型制品的设备限制，制件质量可超过注射机的最大注射量。其特点是塑化的物件不是贮存在料筒内，而是不断挤入模具中，因此它是挤出和注射相结合的一种方法。

- 共注射成型，是采用具有两个或两个以上注射单元的注射机，将不同品种或不同色泽的塑料，同时或先后注入模具内的方法。用这种方法能生产多种色彩和(或)多种塑料的复合制品，有代表性的共注射成型是双色注射和多色注射。

- 无流道注射成型，是模具中不设置分流道，而由注射机的延伸式喷嘴直接将熔融料分注到各个模腔中的成型方法。在注射过程中，流道内的塑料保持熔融流动状态，在脱模时不与制品一同脱出，因此制件没有流道残留物。这种成型方法不仅节省原料，降低成本，而且减少工序，可以达到全自动生产。

- 反应注射成型，其原理是将反应原材料经计量装置计量后泵入混合头，在混合头中碰撞混合，然后高速注射到密闭的模具中，快速固化，脱模，取出制品。它适于加工聚氨



酯、环氧树脂、不饱和聚酯树脂、有机硅树脂、醇酸树脂等一些热固性塑料和弹性体。目前主要用于聚氨酯的加工。

- 热固性塑料的注射成型，粒状或团状热固性塑料在严格控制温度的料筒内，通过螺杆的作用塑化成粘塑状态，在较高的注射压力下，物料进入一定温度范围的模具内交联固化。热固性塑料的注射成型除有物理状态变化外，还有化学变化。因此与热塑性塑料注射成型相比，在成型设备及加工工艺上存在着很大的差别。

1.4 塑料注射模具的成型工艺参数

正确的注射成型工艺过程可以保证塑料熔体良好地塑化，顺利充模、冷却与定型，从而生产出合格的塑料制件，而温度、压力和时间是影响注射成型工艺的重要参数。

1.4.1 温度

在注射成型过程中需要控制的温度有料筒温度、喷嘴温度和模具温度等三种温度。其中料筒温度、喷嘴温度主要影响塑料的塑化和流动，模具温度则影响塑料的流动和冷却定型。

- 料筒温度。料筒温度的选择与塑料的品种、特性有关，要大于塑料的流动温度(熔点)，小于塑料的分解温度。料筒温度过高时，塑料易产生分解，产生气体，以致塑料表面变色，产生气泡、银丝及斑纹；模腔中塑料内外冷却不一致，易产生内应力和凹痕；流动性好，易溢料、溢边等。料筒温度过低时，流动性差，易产生熔接痕、成型不足、波纹等缺陷；塑化不均，易产生冷块或僵块等；塑料冷却时，易产生内应力，塑料易变形或开裂等。

- 喷嘴温度。喷嘴温度一般略低于料筒的最高温度。喷嘴温度过高，塑料易发生分解反应。喷嘴温度太低，喷嘴易堵塞，易产生冷块或僵块。

- 模具温度。模具温度对熔体的充模流动能力、塑件的冷却速度和成型后的塑料性能等有直接的影响。模具温度过高，冷却慢，易产生粘膜，脱模时塑件易变形等。模温低时，熔料的流动性降低，易产生成型不足和熔接痕；熔料冷却时，内外层冷却不一致，易产生内应力等。

1.4.2 压力

- 锁模力。当塑料熔体注入型腔后，就会产生一个型腔压力，迫使动定模产生一个打开的趋势，为了确保动定模不被打开，因此需要一个外力来保持闭合，这就是锁模力。锁模力必须足够，否则会产生溢料、溢边等。

- 塑化压力。塑化压力又称螺杆背压，是指采用螺杆式注射机注射时，螺杆头部的熔料在螺杆转动时所受到的压力。这种压力的大小可以通过液压系统中的溢流阀调整。塑化



压力增加会提高熔体的温度，并使熔体的温度均匀，色料混合均匀并排除熔体中的气体，但增加塑化压力则会降低塑化速率，延长成型周期，甚至可能导致塑料的降解。

● 注射压力。注射压力是指柱塞或螺杆轴向移动时其头部对塑料熔体所施加的压力。在注射机上常用压力表指示出注射压力的大小，一般为 40~130MPa。注射压力的作用是克服塑料熔体从料筒流向型腔的流动阻力，给予熔体一定的充模速率以便充满模具型腔。注射压力太高时，塑料在高压下强迫冷凝，易产生内应力，有利于提高塑料的流动性，易产生溢料、溢边，对模腔的残余压力大，塑料易粘模，脱模困难，塑件变形，但不产生气泡等；注射压力过低时，塑料的流动性下降，成型不足，产生熔接痕，不利于气体从熔料中溢出，易产生气泡，冷却中补缩差，产生凹痕和波纹等。

● 保压压力。型腔充满后，继续对模内熔料施加的压力称为保压压力。保压压力的作用是使熔料在压力下固化，并在收缩时进行补缩，从而获得健全的塑件。保压压力太高，易产生溢料、溢边，增加内应力等。保压压力太低，成型不足等。

1.4.3 时间(成型周期)

完成一次注射成型过程所需的时间称为成型周期。它包括合模时间、注射时间、保压时间、模内冷却时间和其他时间等。

● 合模时间。合模时间是指注射之前模具闭合的时间。合模时间太长，则模具温度过低，熔料在料筒中停留的时间过长。合模时间过短，模具温度相对较高。

● 注射时间。注射时间是指注射开始到充满模具型腔的时间(柱塞或螺杆的前进时间)。注射时间缩短，充模速度提高，取向下降；注射时间延长，剪切速率增加，绝大多数塑料的表现黏度均下降，对剪切速率敏感的塑料尤其这样。但剪切速率过大易发生熔体破裂现象。

● 保压时间。保压时间是指型腔充满后继续施加压力的时间(柱塞或螺杆停留在前进位置的时间)。保压压力过高，易产生溢料、溢边，增加内应力等。保压压力过小，成型不足等。

● 其他时间。其他时间是指开模、脱模、喷涂脱模剂、安放嵌件等所用的时间。

1.5 注射成型出现的问题及解决方法

在注射成型过程中，由于塑料在物理和化学上变化等原因，会造成最终成型的塑料零件出现凹痕、银丝和气泡等产品缺陷。具体出现的问题及其解决方法见表 1-1 所示。

表 1-1

制品缺陷	脱模困	尺寸稳	凹痕	表面波	充模不	溢边	表面不	翘曲变	裂纹	熔接痕	银丝斑	气泡	强度下	脱皮分	黑点及	冷块僵	颜料褪
------	-----	-----	----	-----	-----	----	-----	-----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

		难	定	性	差	纹	足	光	形	纹	降	层	条	块	色
塑料选择及塑件设计	检查塑料种类和级别									5		1			
	检查材料是否被污染						2			6	3	2		3	
	选择耐热性高颜料														7
	减小壁厚薄悬殊														
	塑件结构是否合理														
注射机及其中的工艺参数	注射压力↑		4	2	4	2		4		5	4	3	3		
	注射压力↓	1					1		5				8	8	
	螺杆背压↑		5	11					6			7			
	螺杆背压↓						7		6				6	4	5
	注射时间↑		3	3	3	10						4			
	注射时间↓	2							7	8					
	注射速度↑				6	5				4	3				
	注射速度↓			10			3		4				6	9	6
	螺杆转速↓												5		3
	物料温度		2		5	3		3		3	2			5	
	物料温度↓		1	4			4		2			1	2	2	1
	检查喷嘴加热圈														6
	预干燥塑料							1			2	1	1	4	
	嵌件预热														
	调节供料量		9	1	1	1									
	调换容量适当成型机														2

(续表)

制品缺陷		脱模困难	尺寸稳定性差	凹痕	表面波纹	充模不足	溢边	表面不光	翘曲变形	裂纹	熔接痕	银丝斑纹	气泡	强度下降	脱皮分层	黑点及条纹	冷块僵块	颜料褪色
解决办法																		
注射机及其中	回料比例↓		10															
	检查喷嘴是否堵塞					11												
	采用大孔喷嘴									5					10			

艺参 数	喷嘴重新对准 机床																
	检查模板平直度					9											
	增大合模力					2											
模具 及其 中的 工艺 参数	模具分型面是否 有异动					10											
	重新校准分型面					6											
	检查制件投影 面积					8											
	抛光模具表面	5					6										
	增加模具斜度	6															
	镶件处缝隙↓	7															
	流道浇口尺寸			7	7	7		7		7	6	4					8
	流道长度↓			8		9								7			9
	改变浇口位置			9									8	9	9		
	抛光浇道衬套																
	减少浇口个数									8							
	检查模具有无冷 料穴															4	
	增加排气孔			6		6				5			7		6		
	模具温度↑		6		2	4		5		1	1		5	4	3		3
	模具温度↓	4	7	5			5		1								
	冷却时间↑	3				8			3								
	冷却时间↓								2								
	改变冷却水通道	8															
	改进顶出装置	8						8									
	脱模剂用量减少									7							

注：表中数字为解决办法序号，序号越小，则越得优先考虑。除了列出的解决办法外，还有其他办法，可根据具体情况进行分析。

1.6 练习

1. 根据塑料制件成型的方式不同，塑料模具可以分为哪几类？
2. 注射模按其各零部件所起的作用，一般由哪几部分结构组成？
3. 试简述温度、压力和时间对注射模具在充模过程中的影响。