

第 1 章 塑料基础知识介绍

塑料工业包括两个生产系统，即塑料的生产和塑料制品的生产（也称塑料的成型加工），一般可用方框图 1-1 表示：

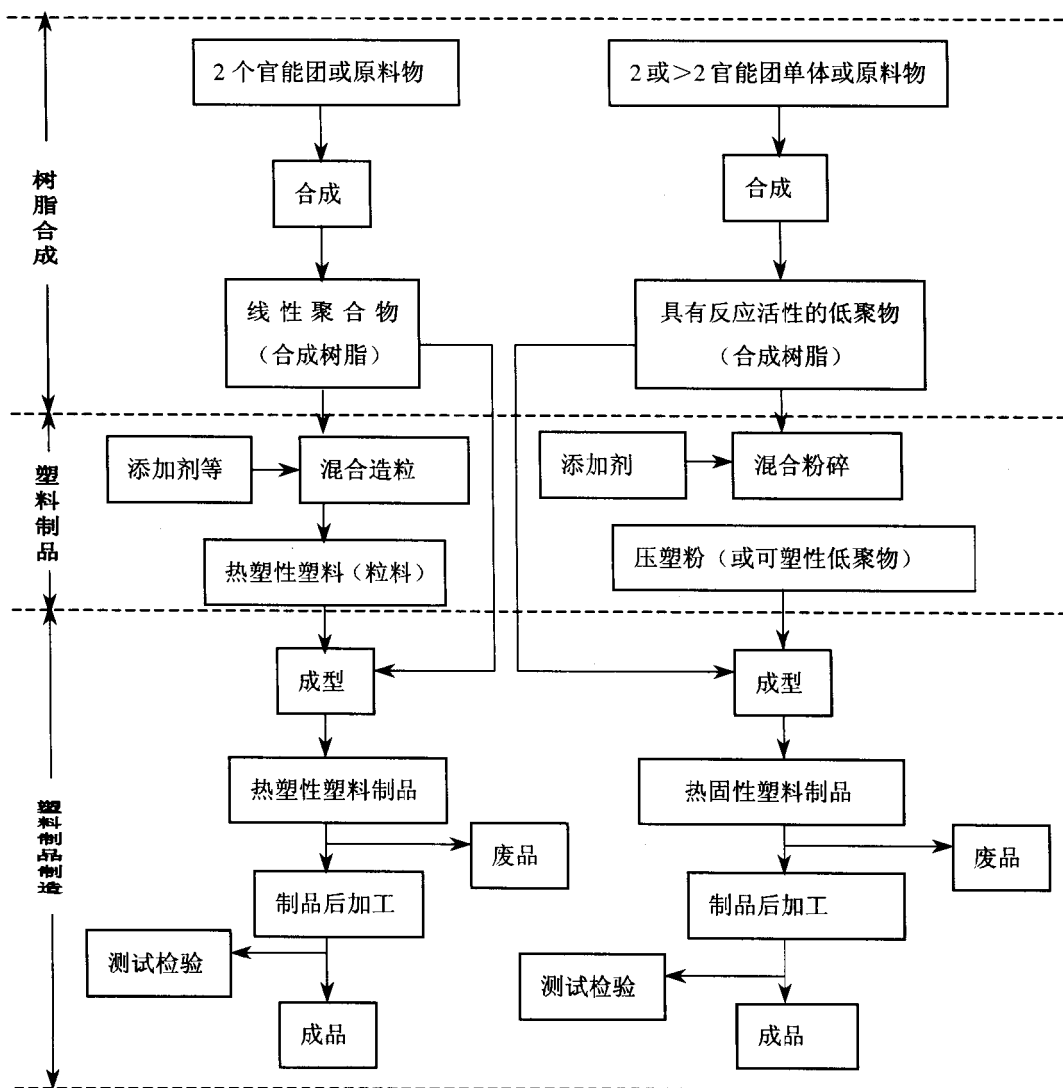


图 1-1 塑料和塑料制品的生产方框图

从图可看出，两个生产系统是一个体系的两个组成部分，是相互依存而处于同等重要的地位。

塑料的成型加工的目的在于根据塑料原有的性能，利用一切可行的方法使其成为具有一定形状而又可以应用的产品。塑料的成型加工一般包括原料的配制和准备、成型及制品后加工等几个过程；成型是将各种形态的塑料，制成所需形状或坯件的过程。成型的方法很多，分类也不一致，一种常用的分类法分为一次成型和二次成型。一次成型包括挤出成型、注射成型、压延成型、铸塑成型、模压烧结成型、传递模塑、发泡成型；二次成型包括中空吹塑成型、热成型、拉幅薄膜成型等。

为此，在学习塑料模具制造技术之前，有必要首先学习塑料的基础知识。只有这样，才能针对塑料制品的具体要求进行模具加工。

1.1 塑料的组成和分类

1.1.1 塑料的组成

塑料是由多组分组成的，其主要成分是树脂，另外，根据不同的树脂或者制品的不同要求，加入不同的添加剂，从而获得不同性能的塑料配件。

(1) 树脂：合成树脂是塑料的主要成分，它在塑料中起粘结作用，也叫粘料。树脂的成分决定塑料的主要性能（物理性能、化学性能、力学性能及电性能），也决定塑料的类型（热塑性或热固性）。

(2) 填料：填料在塑料中主要起增强作用，有时还可以使塑料具有树脂所没有的性能。正确使用填料，可以改善塑料的性能，扩大其使用范围，也可减少树脂的含量，降低成本。

对填料的一般要求是：易被树脂浸润；与树脂有很好的粘附性；本身性质稳定；价格便宜；来源丰富。

填料按其形状有粉状、纤维状和片状。常用的粉状填料有木粉、滑石粉、铁粉、石墨粉等；纤维状填料有玻璃纤维、石棉纤维等；片状填料有麻布、棉布、玻璃布等。

(3) 增塑剂：增塑剂是为改善塑料的性能、提高柔软性而加入塑料中的一种低挥发性物质。对增塑剂的基本要求是：能与树脂很好地混溶而不起化学变化；不易从制件中析出及挥发；不降低制件的主要性能；无毒、无害、成本低。常用的增塑剂有邻苯二甲酸酯类、癸二酸酯类、磷酸酯类、氯化石蜡等。

(4) 稳定剂：稳定剂能阻缓材料变质。常用的稳定剂有二盐基性亚磷酸铅、三盐基性硫酸铅、硬脂酸钡等。

(5) 着色剂：着色剂是为了使塑料附上色彩，起着美观和装饰的作用。有的着色剂还具有其他性能，如耐候性。一般对着色剂的要求是：不易分解、耐候性良好、易扩散以及性能稳定。

(6) 润滑剂：润滑剂的作用是为了降低塑料内部分子之间的相互摩擦或者减少和避免对模具的磨损。常用的润滑剂有醇类、脂类、石蜡、硬脂酸以及金属皂类。润滑剂分为两类：内润滑剂和外润滑剂。

1.1.2 塑料的分类

塑料的种类很多，按其受热后所表现的性能不同，可分为热固性塑料和热塑性塑料两大类。

(1) 热固性塑料：是指在初受热时变软，可以塑制成一定形状，但加热到一定时间后或加入固化剂后，就硬化定型，再加热则不熔融也不溶解，形成体型（网状）结构物质的塑料。例如，酚醛塑料、环氧塑料、氨基塑料等。

(2) 热塑性塑料：是指在特定温度范围内能反复加热和冷却硬化的塑料。这类树脂在成型过程只发生物理变化而没有化学变化，所以，受热后可多次成型。其废料可回收和重新利用。常用的热塑性塑料有聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS、有机玻璃、尼龙等。

1.2 塑料的工艺特性

1.2.1 热固性塑料的工艺特性

1. 收缩性

塑料从模具中取出后冷却到室温，会发生尺寸收缩，这种性能称为收缩性。在模具设计过程中，应根据不同塑料的收缩率进行模具设计。

塑料的收缩有其规律性和影响因素，为了获得精度高的模具，下面介绍收缩性的影响因素：

(1) 塑料品种：每种塑料的收缩性各不相同，同类塑料由于填料、相对分子质量及配比等不同，则其收缩情况及方向性也各不相同。

(2) 塑件特性：塑件的形状、尺寸、壁厚、有无嵌件，对收缩性亦有很大影响。

(3) 模具结构：模具分型面及加压方向、浇注系统的形式及尺寸，对塑件的收缩亦有很大影响。

(4) 成型工艺：传递和注射成型工艺一般收缩较大，方向性明显。同时，预热情况、成型温度、成型压力、保压时间及填充料形式等对收缩及方向性均有影响。

2. 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。这是模具设计时必须考虑的一个重要工艺参数。流动性好的塑料，在成型时易形成溢料过多，填充型腔不密实，塑件组织疏松，树脂、填料分头积聚，易粘模，硬化过早等缺陷；流动性差的则兼有填充不足，不易成型。由此可见，选用塑料的流动性必须与塑件要求、成型工艺及成型条件相适应。对面积大、嵌件多、型芯及嵌件细弱、有狭窄深槽及薄壁的复杂形状塑件，应选用流动性好的塑料。在模具设计时，应根据塑料流动性来设计浇注系统、分型面及进料方向等。

下面介绍流动性的影响因素：

(1) 填料及润滑剂：实践证明，填料是影响流动性的重要因素。如采用木粉作为电木的填料，则流动性最好；采用无机盐作为填料，则流动性较差；用玻璃纤维则流动性最差。

另外，润滑剂对塑料的流动有提高的作用。

(2) 模具结构：模具的结构对流动性的影响主要表现在塑料成型过程中充满型腔的过程，所以流道简单、型腔内部光滑，则熔体流动阻力小，有利于流动。

(3) 成型工艺：塑料的流动性受温度和压力影响很大，提高压力和温度，都可以提高塑料的流动性。

3. 硬化特性

热固性塑料在成型过程中，在加热受压的条件下软化转变成可塑性粘流状态，随之流动性增大，可迅速填充型腔，同时发生缩合反应，密度不断增加，流动性迅速下降，熔料逐渐固化。在模具设计时，对硬化速度快、保持流动状态时间短的塑料则应注意便于装料，便于装卸嵌件，并且选择合理的成型条件，以免过早硬化或硬化不足，导致塑件成型不良。

硬化速度应适合成型工艺要求，例如，注射、传递成型时应要求在塑化、填充时化学反应慢、硬化慢，应保持较长时间的流动状态，当充满型腔后在高温、高压下应快速硬化。

热固性塑料的成型特性与塑料的品种有关，也与所含填料品种和粒度及颗粒均匀度有关。如细料流动性好，但预热不易均匀，充入空气多不易排出，传热不良，成型时间长。粗料则易使塑件表面少光泽，表面不均匀。塑料过粗或过细，直接影响比容及压缩率和模具加料室容积。常用热固性塑料的成型特性见表 1-1。

表 1-1 常用热固性塑料成型特性

塑料名称	成 型 特 性
酚醛塑料	(1) 成型性较好，适用于压缩成型，部分适用于传递成型，个别适用于注射成型； (2) 含水分、挥发物，应预热、排气； (3) 模温对流动性影响较大，一般超过 160℃时流动性迅速下降； (4) 收缩及方向性较大； (5) 硬化速度慢，硬化时放出热量大，厚壁大型塑料制品内部温度易过高，故易发生硬化不均匀
氨基塑料	(1) 用于压缩和传递成型； (2) 含水分及挥发物多，易吸潮而结块，使用时要预热干燥，要注意排气； (3) 成型温度对塑料制品质量影响较大。温度过高易发生分解、变色、气泡、开裂、变形、色泽不匀；温度过低，则流动性差、欠压、无光泽，故应严格控制温度； (4) 流动性好，硬化速度快，因此，装料、合模和加压速度要快； (5) 性脆、嵌件容易应力集中，尺寸稳定性差
有机硅塑料	(1) 流动性好，硬化速度慢，适用于压缩成型； (2) 压制温度较高； (3) 压缩成型后塑料制品要经高温固化处理

续表 1-1

塑料名称	成型特性
硅酮塑料	(1) 要用于低压传递成型, 封装电子元件; (2) 流动性好, 易溢料, 收缩小; (3) 硬化速度慢、成型后需高温固化、要发生后收缩; (4) 一般成型温度为 160~180℃, 成型压力为 4~10MPa
环氧树脂	(1) 常用于浇注成型, 低压传递成型, 封装电子元件等; (2) 流动性好, 收缩小; (3) 硬化速度快, 装料后要立即加压, 硬化时一般不需排气; (4) 一般预热温度为 140~170℃, 成型压力为 10~20MPa, 保压时间为 36s/mm

1.2.2 热塑性塑料的工艺特性

1. 收缩性

热塑性塑料成型收缩的形式与热固性塑料类似。影响热塑性塑料成型收缩的主要因素有以下几方面:

(1) 塑料品种: 热塑性塑料成型过程中, 由于存在结晶化引起的体积变化、内应力强、塑件内的残余应力大、分子取向性强等因素, 因此, 与热固性塑料相比收缩率较大, 方向性明显。另外, 脱模后收缩和后处理收缩也比热固性塑料大。

(2) 塑件特性: 塑件成型时, 熔料与型腔表面接触, 外层立即冷却, 形成低密度的固态外壳。由于塑料导热性差, 使塑件内层缓慢冷却而成收缩大的高密度固态层。因此, 塑件壁愈厚, 则收缩愈大。

(3) 浇口形式和尺寸: 这些因素直接影响料流方向、密度分布、保压补缩作用及成型时间。采用直接浇口, 浇口截面大时则收缩小, 但方向性明显。

(4) 成型条件: 模具温度、注射压力、保压时间等成型条件对塑件收缩均有直接影响。模具温度高, 熔料冷却慢, 密度高, 收缩大, 尤其对结晶料, 因其体积变化大, 故收缩更大。模温分布是否均匀, 亦直接影响到塑件各部分收缩量的大小及方向性。注射压力高, 熔料粘度差小, 层间剪切应力小, 脱模后弹性回跳大, 收缩减少。保压时间对收缩亦有影响, 保压时间长则收缩小, 但方向性明显。

在模具设计时, 应根据各种塑料的收缩范围、塑件壁厚、形状、进料口形式和尺寸, 按经验确定塑件各部位的收缩率, 再计算模具型腔尺寸。对高精度塑件, 在模具设计时应留有修模余地, 通过试模后逐步修正模具, 以达到塑件尺寸、精度要求及改善成型条件。

2. 流动性

塑料流动性的大小, 可从塑料的相对分子质量、熔融指数、阿基米德螺旋线长度、表现粘度及流动比(流程长度/塑件壁厚)等进行分析。相对分子质量小、熔融指数高、螺旋线长度长、表现粘度小、流动比大的塑料, 则流动性好。按模具设计要求, 可将常用塑料的流动性分三类:

- (1) 流动性好：有尼龙、聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、醋酸纤维素、聚（4）甲基戊烯。
- (2) 流动性中等：有改性聚苯乙烯（如 ABS、AS）、有机玻璃、聚甲醛、氯化聚醚。
- (3) 流动性差：有聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚苯醚、聚砒、氟塑料。

3. 影响流动性的主要因素

(1) 温度：料温高，则塑料流动性增大，料温对流动性的影响大小视不同塑料而异。有的影响大，有的影响小。所以，对温度敏感的塑料，在成型时可通过调节温度来控制流动性。

(2) 压力：注射压力增大则熔融塑料受剪切作用大，其流动性也随之增大。特别是聚乙烯、聚甲醛对压力的反应十分敏感。所以，成型时可通过调节温度、压力来控制流动性。

(3) 模具结构：模具浇注系统的形式、尺寸和布置，冷却系统设计的合理性、熔融料流动阻力（如型腔表面粗糙度、流道截面厚度、型腔形状和排气系统设计）等因素都直接影响到熔料在型腔内的实际流动性。凡促使熔料降低温度，增加流动阻力的因素，都会使流动性降低。在模具设计时应根据所用塑料的流动性，选用合理的模具结构。

4. 结晶性

热塑性塑料按其冷凝时有无出现结晶现象可划分为结晶形塑料和非结晶型（又称无定型）塑料两大类。

塑料的结晶现象是指塑料由熔融状态到冷凝状态的过程中，分子由无次序的自由运动状态而逐渐排列成为正规模型的倾向的一种现象。

一般说来，结晶型塑料是不透明和半透明的，非结晶型塑料是透明的。但也有例外情况，如聚甲基戊烯为结晶形塑料，却有高透明性，ABS 为非结晶型塑料，但却不透明。

对结晶形塑料在模具设计及选择注射机时应注意以下几点：

- (1) 料温上升到成型温度所需的热量多，要选用塑化能力大的设备。
- (2) 冷凝时放出热量大，模具要充分冷却。
- (3) 塑件成型后收缩大，易发生缩孔、气孔。
- (4) 塑件壁厚，冷却快，结晶度低，收缩小。塑件壁厚，冷却慢，结晶度高，收缩大，物理性能好。因此，对结晶型塑料应按塑料要求控制模温。
- (5) 塑料各向异性明显，内应力大，脱模后塑件易发生变形翘曲。
- (6) 塑料结晶熔解点范围窄，易发生未熔解粉末熔料注入模具或堵塞进料口。

5. 热敏性

热敏性是指某些塑料对热较为敏感，在料温高和受热时间长的情况下就会产生变色、降解、分解的特性。具有这种特性的塑料称为热敏性塑料，如硬聚氯乙烯、聚甲醛、聚三氯乙烯等。为防止热敏性塑料在成型过程中出现变色、分解现象，一方面可在塑料中加入热稳定剂，另一方面应选用螺杆注射机，正确控制成型温度和成型周期，同时应及时清除分解产物，对模具和设备采取防腐措施。

6. 应力开裂和熔融破裂

有些塑料对应力敏感，成型时易产生内应力且质脆易裂，塑件在外力作用下或在试剂作用下会发生开裂现象。为此，除在原料内加入附加剂提高抗裂性外，对原料应注意干燥，同时选用合理成型条件和使塑件形状结构尽量合理。在模具设计时应增大脱模斜度，选用

合理的进料口和顶出机构。在成型时应适当调节料温、模温、注射压力及冷却时间，尽量避免塑件在冷脆的情况下脱模。在塑件成型后要进行后处理，以提高抗裂性，消除内应力。

当一定熔融指数的聚合物熔体，在恒温下通过喷嘴孔时，其流速超过一定值后，挤出的熔体表面发生明显的横向裂纹称为熔融破裂。发生熔融破裂会影响塑件的外观和性能，故若选择熔融指数高的聚合物，在模具设计时应增大喷嘴、注道和浇口截面，减少注射速度和提高料温。

7. 热性能和冷却速度

各种热塑性塑料有比热容、热导率、热变形温度等热性能。比热容高的塑料在塑化时需要热量大，应选用塑化能力大的注射机。热变形温度高的塑料冷却时间短，脱模早，但脱模后要防止冷却变形。热导率低的塑料冷却速度慢，必须充分冷却，要加强模具冷却效果。

各种热塑性塑料按其品种特性及塑件形状，要求保持适当的冷却速度。因此，模具设计时必须按成型要求设置加热和冷却系统，以控制模具温度。

1.3 常用塑料的名称及其性能

1.3.1 热塑性塑料

1. 聚苯乙烯 (PS)

聚苯乙烯分为通用型聚苯乙烯和在此基础上增添聚丁二烯的高抗冲型聚苯乙烯两种。通用型聚苯乙烯是表示注射成型机性能的标准塑料。它成型加工性良好，价格较低，用途很广。通用聚苯乙烯主要具有以下特性：流动性良好，成型温度范围宽；具有良好的透明性（可见光透过率仅次于聚甲基丙烯酸甲酯，达到 90%）；优良的电气性能；脆性较大。

高抗冲型聚苯乙烯是为改善通用型聚苯乙烯的脆性而加入橡胶制成的，其耐冲击性较通用型提高了 5~10 倍，但失去了透明性，呈乳白色。

这种材料适合于家电壳体、箱体、饮料容器、灯罩等。

2. 聚乙烯 (PE)

聚乙烯分为低密度 (LDPE)、中密度 (MDPE) 和高密度 (HDPE) 三种。这种材料热稳定性良好，富有柔韧性，具有良好的抗腐蚀性和电气绝缘性，成型性能也很好。

注射成型时，虽然没有过多的要注意之处，但由于成型收缩率较大 (1.5%~5.0%)，结晶度和收缩率随成型条件而变化，因此，应在模具的设计和成型条件的设定方面予以充分的注意。另外，由于比热容很大，需要周全考虑模具的冷却设计。

这种材料主要用于管材、食品容器、洗发香波容器及箱体等。

3. AS 树脂

AS 树脂是以聚苯乙烯为主要成分，与丙烯腈共聚而成的。它弥补了通用型聚苯乙烯的缺点，是一种性硬而强度高的材料。AS 树脂固有的颜色是透明而稍带黄色，通常使用的 AS 树脂因加入蓝色漂白剂（上蓝剂）而呈现微蓝的透明色。AS 树脂在机械强度、耐热性、耐油性、耐药品腐蚀性、抗老化性等方面均比通用型聚苯乙烯优良，特别是在机械强度中，

抗拉强度和弹性率较高。

由于丙烯腈的粘度高，所以，AS 树脂成型流动性较聚苯乙烯差，成型前需要进行预干燥。

AS 树脂主要用于风扇叶轮、电度表壳、电池盒、钢笔及圆珠笔芯、牙刷柄及人工脏器等等。

4. ABS 树脂

ABS 树脂是丙烯腈 (Acrylonitrile)、丁二烯 (Butadiene) 和苯乙烯 (Styrene) 三种单体共聚而成的。其中丙烯腈 (A) 使之有较高的硬度，表面有光泽；丁二烯 (B) 能增加韧性；苯乙烯 (S) 则使加工性良好。因而，ABS 树脂具有良好的综合性能，应用领域很广泛。

由于聚丁二烯的作用，ABS 树脂抗老化性能稍有下降，但可以喷涂及电镀。注射成型时，需要注意进行预备性干燥。由于聚丁二烯的作用，熔融时易产生气体，造成烧痕、产生银线等。

ABS 树脂的用途极其广泛，如可用于散热器护栅、仪表盘、照相机壳体、电器产品（电视机、音响）的机壳及主体、录音及录像带盒以及电镀类零件等等。

5. 聚丙烯 (PP 树脂)

聚丙烯与聚乙烯性质十分相近，密度更小。与聚乙烯不同，聚丙烯燃烧时会产生异味。聚丙烯具有良好的耐热性，可以煮沸，同时延伸后可以显著提高抗弯疲劳强度，也就是所谓的合页特性，如果设计得当，可以在 0°C 的条件下经受住 300 万次的开合。加入玻璃纤维增强后，可以提高其抗冲击性。

这种材料多用于食品容器、医疗器具、瓶盖、框体、菜板、冰箱内胆、制冰盒、拉锁及记号笔等等。

6. 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA 树脂)

聚甲基丙烯酸甲酯又俗称有机玻璃。用它成型时，由于粘度高，流动性差，所以需要控制好料筒及模具的温度。

由于 PMMA 树脂具有良好的透明性、抗老化性能好、机械强度高、机械加工性能好等多种优良特性，因而广泛应用于建筑、照明、刻度盘以及光学零件等方面。

7. 聚氯乙烯 (PVC 树脂)

聚氯乙烯为无色透明、硬质、无毒、难燃材料，电气绝缘性、耐酸性、耐碱性、耐水性都很好。一般都是加入各种添加物以后使用的。在加入增塑剂后，成为软质聚氯乙烯，不加入者为硬质聚氯乙烯。聚氯乙烯的用途非常广泛，其使用量仅次于聚乙烯。

聚氯乙烯在 65~85°C 范围内软化，在 170°C 熔融，当到达 190°C 以上时就会激烈分解，并产生氯化氢气体，因此，一般还需要加入热稳定剂。

由于粘度较高，流动性较差，在成型时需要特别注意料筒温度、模具温度的合理设置，避免材料残存在料筒中。当树脂产生分解时应立即停止作业，清扫料筒内部。

8. 聚碳酸酯 (PC 树脂)

聚碳酸酯具有十分优良的力学、电气、耐热性能，与聚酰胺、聚甲醛并列，是具有代表性的工程塑料。

聚碳酸酯的主要特性有：①极好的抗冲击性能；②耐热性能良好（热变形温度为 132°C），

而且耐低温性能也很好；③具有消火性；④抗老化性能等。

聚碳酸酯的主要缺点是耐药品腐蚀性能较差、耐热水性差和会产生溶剂性裂纹。

聚碳酸酯成型前，一定要进行预备干燥，在参杂水分进行成型时，会产生水解反应，使分子量降低，性能降低，成型时也可用热风烘干型料斗，防止吸湿。

由于粘度较高，一般需要在分解温度（320℃）附近成型加工，所以，需要注意材料阻滞而引起的材料劣化。在暂停成型时，应将温度降至150℃附近，以防止产生成型黑点。特别是因其流动性对温度极其敏感，所以，模具的温度至少应在70℃以上，以保持树脂在模具内的良好流动性，尽量减少由于充填压力造成的内部应力。这些措施可以有效防止产品裂纹的发生。

9. 聚甲醛（POM 树脂）

聚甲醛是最优良的工程塑料之一，在很多情况下，即使不加入增强填充材料，也可以代替金属材料而具有良好的性能。

它的主要问题是抗氧化性较差，在高温油中使用时，会因油的氧化而遭到腐蚀，或被润滑油中的添加剂所侵蚀。另外，它的抗冲击强度在工程塑料中是较低的，所以不适合于用作壳体。成型时，由于成型温度（170~200℃）与分解温度（220~230℃）接近，因而，当树脂材料在料筒内滞留时，会产生热分解，生成气体，因此，要十分注意温度的控制。在注射暂停时，需要将料筒温度下降50℃左右，在长时间中断注射时，最好用热稳定性良好的材料，如聚乙烯等进行置换为好。当模具温度较低（40~50℃）时，容易在模具表面附着熔融树脂的沉积物，对模具有腐蚀作用，应注意清除。

它主要用于齿轮、轴承、轴套、凸轮、开关、风扇、拉锁、录像机卷带轮、转轴、各种壳体等等。

10. 聚酰胺（PA 树脂）

聚酰胺的商品名称为尼龙，但根据制造方法的不同，又分为很多种，其中较常用的有尼龙6、尼龙66等。

尼龙具有非常良好的耐磨性、润滑性、耐蚀性，而且具有吸收震动的特性。但由于尼龙具有很大的吸湿性，会造成物性变化和成型件的尺寸变化，在使用时要予以充分的注意。另外，尼龙的玻璃化温度接近常温，因此，要注意在大载荷下的热变形问题（168MPa时，尼龙6的热变形温度为65℃，尼龙66的热变形温度为75℃）。

成型加工时，温度超过熔点后，尼龙的粘度急剧降低，容易产生进料阻滞过热以及喷嘴流涎，同时也容易造成烧伤。

聚酰胺广泛地用于齿轮、轴承、轴辊、气化器、存储槽、线圈骨架、开关零件、脚轮、结插件等许多工业制品。

11. PET 树脂

PET 树脂属于饱和聚酯性树脂，常用于纤维及薄膜的制造，用于注射成型时往往采用玻璃纤维增强型。PET树脂的主要优点有：①良好的耐热性；②良好的抗电弧等绝缘特性；③耐蚀性。

注射成型时，由于 PET 树脂在模具内的固化速率大，因此，对于薄壁成型制品需要高速充填。在熔点（约 260℃）附近会急剧降低粘度，产生与尼龙材料一样的问题。PET 树脂具体用途有胶卷筒、胶带等。

12. PBT 树脂

PBT 树脂与 PET 树脂一样，也是属于饱和聚酯性树脂。

它的主要优点有：①良好的耐热性；②在高频范围内具有很低的介电常数；③良好的耐药品、腐蚀性及耐油性；④难燃性；⑤玻璃纤维增强时，其流动性较 PC 树脂好。

它的缺点主要有：收缩率大（1.5%~2.5%）；热变形温度低（180MPa 时的热变形温度为 60℃）；吸湿后成型时，会引起水降解反应，使性能降低。

PBT 树脂在成型时，一定要预先进行充分的干燥处理，还要注意不要使其在料筒内长时间滞留，以免劣化。PBT 树脂主要用作耐热电器产品的壳体等。

1.3.2 热固性塑料

1. 氨基塑料

氨基树脂是含有氨基或酰胺基单体和甲醛缩聚反应而制得的热固性树脂。氨基树脂除可以作为粘合剂和涂料之外，还可以生产胶合板、塑料等。氨基树脂的品种主要有三聚氰胺 - 甲醛、三聚氰胺 - 脲 - 甲醛以及脲 - 甲醛等。

(1) 三聚氰胺 - 甲醛 (MF)：该树脂是由三聚氰胺与甲醛缩聚反应而成，其制得的塑料具有吸水性低、耐热性及耐水性好、韧性高，可以制造一些质量要求较高的生活用品。

(2) 脲 - 甲醛 (UF) 该树脂由尿素与甲醛缩聚而得，可以制成塑料如电玉粉，用于生产电开关插座等。但该树脂比较脆，吸水性高，耐热性差。

(3) 三聚氰胺 - 脲 - 甲醛 (MUF)：该树脂的性能决定于三聚氰胺和尿素的比例。这种树脂是在三聚氰胺甲醛树脂合成过程中加入尿素，目的是为了在性能基本不变的条件下降低成本；或者是脲醛树脂中加入三聚氰胺以达到改善其性能的目的。

2. 酚醛树脂

酚醛树脂是指由酚类和醛类化合物经缩聚反应而制得的一类聚合物。该树脂与氨基树脂类似，主要缺点是硬而脆、吸水性较高等。该树脂加入不同的填料，可以得到不同性能的材料，如加入木粉可以制得电木粉；加入玻璃纤维可以制得纤维状酚醛塑料；加入棉布或玻璃布，可以制得层状酚醛树脂等。

以上主要介绍两种最常用的热固性树脂。除此之外，还有环氧树脂 (EP) 以及不饱和聚酯 (UP)，在这里就不详细介绍。

1.4 塑料的热力学性能及成型过程的变化

1.4.1 塑料的热力学性能

塑料的主要成分是树脂，因此，塑料的热力学性能主要体现树脂的热力学性能。树脂的物理状态主要受其分子结构、化学组成、受力情况及环境温度的影响，但当塑料的成分一

定的情况下，其分子运动主要受温度的影响，并表现出二种不同的力学状态，即玻璃态、高弹态及粘流态，图 1-2 是塑料的物理状态与温度的关系图。

图中， T_g 是指玻璃化温度，是塑料使用的最高温度； T_f 或 T_m 是指粘流温度或结晶温度，是塑料的最低成型温度； T_d 是指分解温度，是塑料的最高使用温度。

通常所称的塑料，是指室温处于玻璃态的高聚物；如果室温处于高弹态，则属于橡胶材料。

1.4.2 塑料加工性能

当温度在 T_g 以下的温度时，塑料处于玻璃态，塑料表现出坚硬，弹性模量和力学强度都比较高，而且，当温度很低的情况下，塑料还表现出脆性，受力容易发生断裂破坏，所以，脆化温度是塑料使用的下限温度。

对于非结晶的塑料在 $T_g \sim T_f$ 温度时处于高弹态，体积膨胀，力学性能大大降低，在力的作用下变形显著，但弹性变形在外力解除后可以部分回复。当温度接近 T_f 时，可以对塑料进行真空成型、压力成型、弯曲成型等。

当温度处于 T_f (或 T_m) 到 T_d 时，塑料处于粘流态，呈液状熔体，在外力作用下出现变形很大的流动，在外力解除后，这种变形和流动不再回复。当温度处于 T_f 以上不高的温度，可进行挤出和吹塑成型；当温度处于 T_f 再高的温度时，可进行挤出、注射和吹塑等成型；当温度接近 T_d 时，易引起聚合物的分解。

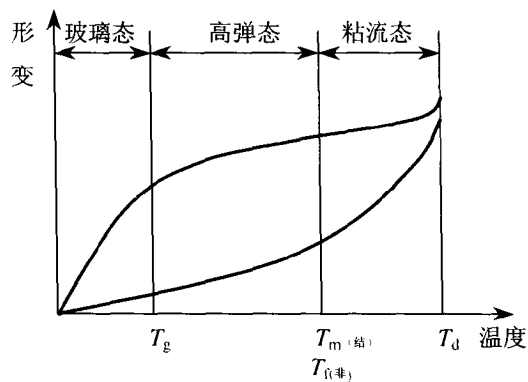


图 1-2 塑料物理状态与温度的关系图

第2章 塑料模基础知识介绍

2.1 塑料成型原理与工艺

塑料成型的方法很多，包括有注射模塑（注射成型）、压缩模塑（又称压塑成型）、挤出模塑（又称挤出成型）、吹塑和铸塑（又称浇注成型）等方法。下面主要介绍注射成型、压塑成型、挤出成型和压注成型。

2.1.1 注射成型

注塑成型又称注射模塑式注塑，是热塑性塑料的一种重要成型方法。迄今为止，除氟塑料外，几乎所有的热塑性塑料都可以用此成型法；它的特点是生产周期快、适应性强、生产率高和易于自动化，因此广泛用于塑料制品的生产中。从塑料产品的形状看，除了很长的管、棒板等型材不能采用此法之外，其他各种形状、尺寸的塑料制品，基本上都可以用此方法成型；它所生产的产品占目前塑料制品生产的 20%~30%。近年来，注射成型也可以用于某些热固性塑料的成型。

1. 注塑机的基本结构

注塑机类型的划分有不同的方法，但目前人们多采用以结构的特征来区别，通常分为柱塞式（如图 2-1 所示）和螺杆式（如图 2-2 所示）两类。最大注射量在 60g 以上多数为移动螺杆式。

2. 注塑机主要由注射系统、锁模系统、模具三部分组成

(1) 注射系统：注射系统是注射机的主要部分，其作用是使塑料均匀地塑化并达到流动状态，在很高的压力和较快的速度下，通过螺杆或柱塞的推挤注射入模。注射系统包括：加料装置、料筒、螺杆及喷嘴等部件。

①加料装置：注射机上的加料斗就是加料装置，其容量一般设计可供注射机 1~2h 之用。

②料筒：料筒的内壁要求尽可能光滑，呈流线型，避免缝隙、死角或不平整。料筒外部有加热元件，可分段加热，通过热电偶显示温度，并通过感温元件控制温度。

③螺杆：螺杆的作用是送料压实、塑化、传压。当螺杆在料筒内旋转时，将从料斗来的塑料卷入，并逐步将其压实；排气和塑化，熔化塑料不断由螺杆推向前端；并逐渐积存在顶部与喷嘴之间，螺杆本身受熔体的压力而缓慢后退，当积存熔体到一次注射量时，螺杆停止转动，传递液压或机械力将熔体注射入模。

塑化就是将料斗内的树脂在由螺杆向前输送的同时，依靠料筒外部的电热器的加热和树脂本身的摩擦剪切热，进行均匀的熔融，并按照预先设定的量，存储到加热料筒前端的进程。

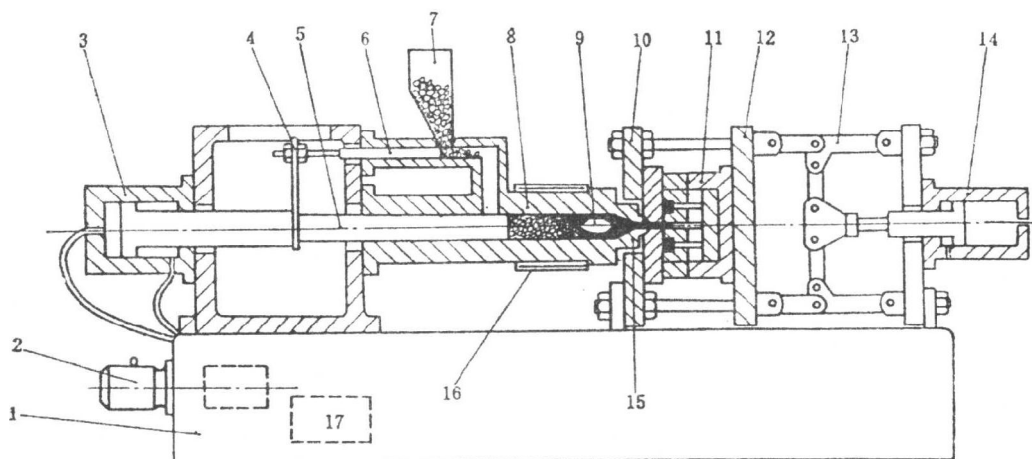


图 2-1 卧式柱塞注塑机结构示意图

1—机座；2—电动机及油泵；3—注射油缸；4—加料调节装置；5—注射料筒柱塞；6—加料筒柱塞；
7—料斗；8—料筒；9—分流梭；10—固定模板；11—模具；12—动模板；13—锁模机构；
14—锁模（副）油缸；15—喷嘴；16—加热器；17—油箱

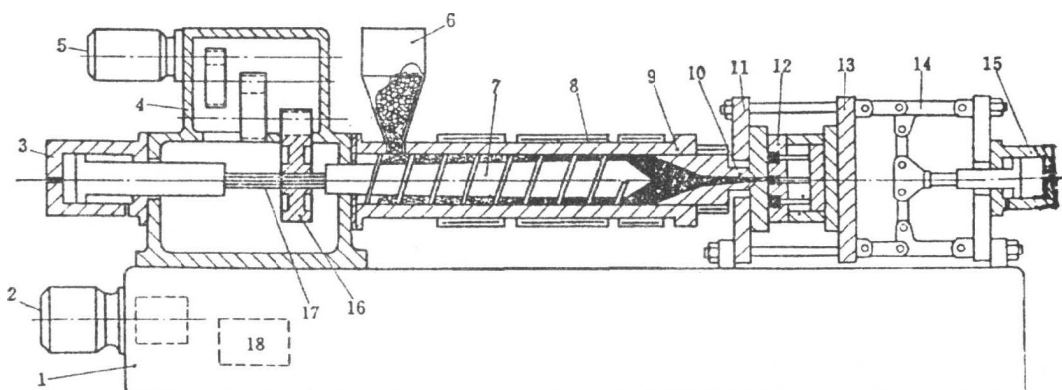


图 2-2 卧式螺杆注塑机结构示意图

1—机座；2—电动机及油泵；3—注射油缸；4—齿轮箱；5—齿轮传动电动机；6—料斗；7—螺杆；
8—加热器；9—料筒；10—喷嘴；11—固定模板；12—模具；13—动模板；14—锁模机构；
15—锁模（副）油缸；16—螺杆传动齿轮；17—螺杆花键槽；18—油箱

当熔融树脂从料筒前端开始积蓄时，只要树脂不从喷嘴流出，螺杆就会在往前输送的树脂的压力作用下后退，到达预先设定的行程位置时停止转动和后退，完成一次塑化和计量。

单位时间内可以塑化树脂的量，称为塑化量。它是衡量注射机性能的一个重要指标。

在塑化过程中，螺杆起着非常重要的作用，其作用主要体现在以下部分（图 2-2）。

供料部：这一段的螺杆槽底是平形或略带锥度。在这一部分，将树脂以固体或部分熔化的状态向前输送，并在这一段将树脂加热到接近熔融点附近。温度设定得过高或过低，都会对供给效率产生影响。

压缩部：这一段的螺杆槽底具有很大的锥度，并且沟槽底很浅。这是由于树脂颗粒之

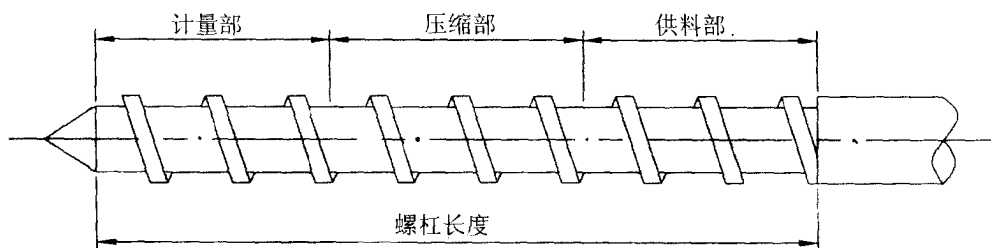


图 2-3 注射螺杆

间有间隙，熔融后其体积大约减少一半，为了补充这一体积，就需要减少树脂通过的空间，以防止产生空隙。同时通过压缩熔融树脂，具有增大预热效果，提高树脂压力，将气体和树脂内含有的水分、挥发气体等挤向料斗方向的作用。

计量部：这一部分是沟槽最浅的部分，因而在此部分，树脂间的剪切力极大，伴随着自己发热，达到均匀的温度。也由于在这一段的剪切作用，使得色料或增强玻璃纤维等得以均匀分散，提高混炼效果。同时，这一部分带起到将预定量的树脂向喷嘴方向输送的计量作用。

与螺杆有关的形状和工艺参数主要有以下几项：

- a. 螺杆沟槽较深时，容易使熔融树脂的分布不均匀。
- b. 螺杆沟槽较深、压缩比较小时，可增加塑化能力。
- c. 压缩比大可以提高混炼作用，但容易使局部发热，引起树脂的烧伤。
- d. 杆背压力是指在螺杆后退时，对其施加阻力，使其达到均匀塑化、准确计量的效果。一定的背压（5~15MPa）还可以除去塑化过程中的水分、挥发性气体，促进树脂自身的发热和混炼效果。

当螺杆背压过低时，会产生计量的不稳定，从而在制品上产生银线等不良现象，但当螺杆背压过高时，计量时间会变得过长，甚至会产生咬死现象。

④**喷嘴：**喷嘴是连接料筒和模具的桥梁。其主要作用是注射时引导塑料从料筒进入模具，并具有一定射程。所以，喷嘴的内径一般都是自进口逐渐向出口收敛，以便与模具紧密接触，如图 2-4 所示。

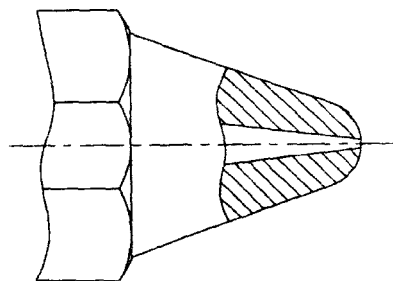


图 2-4 喷嘴

注射时，喷嘴与模具的浇口之间要保持一定的压力，以防止由注射的反作用力而造成树脂泄漏。但注射完成后，由于模具需要冷却，此时喷嘴最好脱离模具。

(2) **锁模系统：**最常见的锁模机构是具有曲臂的机械与液压力相结合的装置，如图 2-5 所示，它具有简单而可靠的特点，故应用较广泛。

(3) **模具：**利用本身特定形状，使塑料成型为具有一定形状和尺寸的制品的工具称为模具。模具的作用在于：在塑料的成型加工过程中，赋予塑料以形状，给予强度和性能，

完成成型设备所不能完成的工作，使它成为有用的型材。

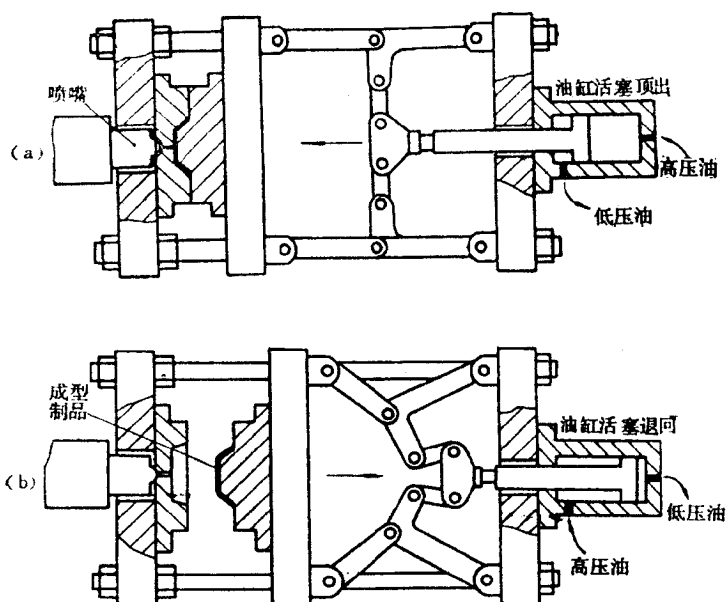


图 2-5 曲臂锁模机构闭模 (a) 和开模 (b) 工作原理示意图

不同的成型方法有不同的模具，其中有压制模具、压铸模具（传递成型模）、中空吹塑模具、真空或压力成型模具、挤出模具及注射模具。这里只讨论注射模具。

注射模具主要由浇注系统、成型零件和结构零件三大部分所组成。

浇注系统是指塑料熔体从喷嘴进入型腔前的流道部分，包括主流道、分流道、浇口等。成型零件是指构成制品形状的各种零件：包括动、定模型腔，型芯，排气孔等。结构零件，是指构成模具结构的各种零件，包括执行导向、脱模、抽心、分型等动作的各种零件。现简述如下。

①主流道：是指紧接喷嘴到分流之间的一段流道，与喷嘴处于同一轴心线上，可以直接开设在模具上，但常常加工成主流道衬套再紧配合于模板上。为便于取出流道赘物，主流道形状呈圆锥形，锥度为 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ ，其进口端直径应比喷嘴孔径大 $0.5 \sim 1\text{mm}$ ，便于对中和减小流动阻力；进口端与喷嘴头接触处开成球面；为使喷嘴头能紧密地与主流道配合，主流道进口球面的半径应略大于喷嘴头半径。主流道出口端设有冷料井，为捕集喷嘴端部两次注射间产生的冷料，防止堵塞分流道及浇口；冷料井的直径为 $8 \sim 10\text{mm}$ ，深约 6mm 。为了顺利地脱模，其底部常设计有脱模杆，脱模杆的顶部呈曲折钩形或设下陷沟槽，以便脱模时，能顺利地拖出主流道赘物。为减少赘物回头量，主流道长度应尽量短。

②分流道：是主流道和浇口之间的过渡部分；为满足熔体以等速充满各型腔，分流道在模具上的排列应成对称和等距离分布；并要求其形状使熔体流动时压力损失最小，能快速充模。故常做成圆形、半圆形、梯形、矩形或椭圆形，但以半圆形和矩形、梯形较易加工。在保证制品质量和正常的工艺条件下，分流道的截面应尽量小，长度尽可能短。

③浇口：是分流道和型腔的连接部分，塑料熔体经浇口流入型腔成型；其结构应有

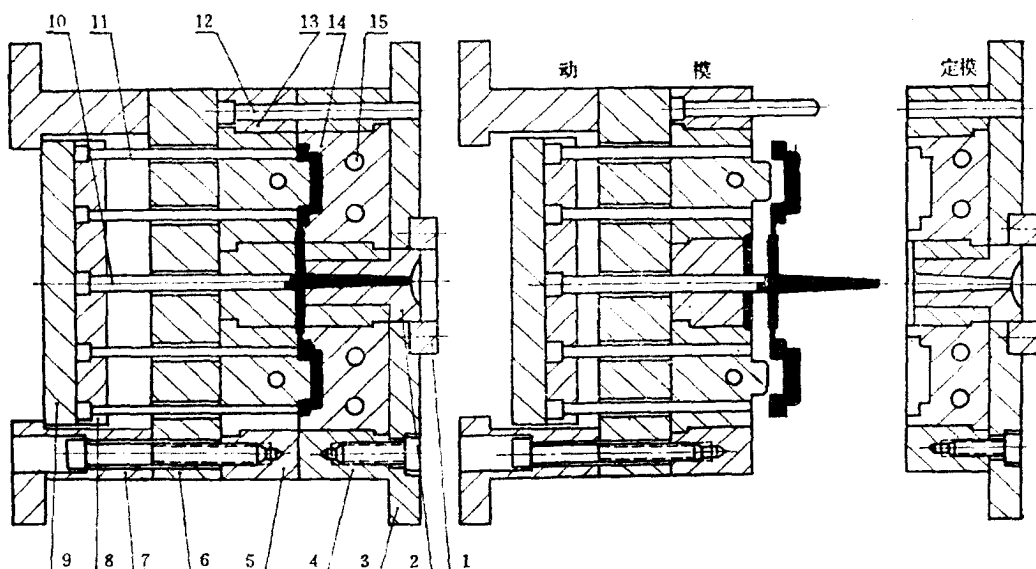


图 2-6 典型注射模具结构

- 1—定位环；2—主流道衬套；3—定模底板；4—定模板；5—动模板；6—动模垫板；7—模座；
8—顶出板；9—顶出底板；10—回程杆；11—顶出杆；12—导向柱；13—凸模；15—冷却水通道

利于熔体尽快地进入和充满型腔，又能较快地冷却封闭，以防止熔体倒流。制品脱离浇口时残痕要小，使不致影响外观。通常，浇口开设在制品较厚部位，其位置应对制品各部分的充模流程最短；另外，浇口截面要小。根据浇口形状、进料位置和进料方式，浇口可分为针点式浇口、边缘浇口、扇形浇口、平缝式浇口、轮辐式浇口、爪式浇口、中心浇口、潜伏式浇口和护耳式浇口等；各种浇口有一定适应范围，应根据制品形状和加工设备的工作方式选用。

④ 型腔：是构成塑料制品几何形状的部分。具体地说，构成制品外形部分叫凹模（又称阴模），构成制品内部形状（如孔、槽等）称型芯或凸模（阳模）。总之，构成型腔的零件统称为成型零件。型腔的设计首先要根据塑料的性能、制品的几何形状、尺寸公差、使用要求等来确定型腔的总体结构。其次是选择分型面、确定排气孔的位置、脱模方式等，然后按制品尺寸进行各种零件的设计及各个零件间的组合方式。另外，还应对成型零件进行正确的选择及强度、刚度的校核；同时，还要考虑加工设备的操作要求。

⑤ 排气孔（或槽）：当塑料熔体注入型腔时，在料流的尽头常积有气体（空气、蒸汽或其他气体等），如不及时排出，会使成型制品上出现气孔，排气孔一般设在型腔内料流的尽头，或设在模具的分型面上；亦可利用顶出杆与顶出孔的配合间隙、脱模板与型芯的配合间隙排气。通常，排气孔的槽深约 $0.025 \sim 0.1\text{mm}$ ，宽约 $1.5 \sim 6\text{mm}$ 。

⑥ 导向零件：模具上通常还设计有导向零件，以确保动、定模合模时准确对中。常见的导向零件是由导向柱和导柱孔组成。

⑦ 脱模装置：开模过程中，为了将制品能迅速和顺利地自型腔中脱出，常在模具中设

置脱模装置，主要有以机械方式和液压方式顶出脱模的两种形式。前者是通过固定在机架上的顶出杆来完成，顶出杆的长度可调；开模时，当移动模板后，顶出杆穿过移动模板上的孔口，触及模具上的脱模板而顶出制品。后者是借助于油缸液压力实现顶出，顶出力和速度可调两者各有优劣，可根据加工设备、制品尺寸来选用。

⑧ 抽芯机构：当制品的侧面带有孔或凹槽（伏陷物）时，除极少数制品（伏陷物深度浅，塑料较软）可进行强制脱模外，在模具中都需考虑设置侧向分型（瓣合模）或侧向抽芯机构（可动式侧型芯）。常用的抽芯机构为斜导柱分型抽芯、弹簧分型抽芯、弯销分型抽芯、齿轮条抽芯等；抽芯可借助于手动、机动、液动或气动等方式实现。

⑨ 模具的加热或冷却：塑料熔体注射入型腔后，根据不同塑料和制品的要求，往往要求模具具有不同温度，因为模温对制品的冷却影响很大，从而对制品中的内应力、结晶与取向作用带来影响。所以，必须控制模温，以便控制冷却速度。一般是采用自然冷却，也有使用冷却介质（通常为水）通入模具的专用管道中以冷却模具；只有对熔融温度高的塑料，为控制冷却速度才对模具加热，以使熔料缓慢冷却。加热模具可用热油或热水等，但常常是直接用电热方法（电热圈、电热棒、电热板等）加热；可根据模具结构、制品形状、加热温度等而加以选择。

2.1.2 注射成型的工艺

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

1. 成型前的准备

为使注射能顺利地进行并保证产品的质量，在成型前要进行一系列的准备工作，包括原料的检验（测定粒料的某些工艺性能），如果来料是粉料，还要进行捏合、塑炼、造粒；原料的预热及干燥；嵌件的预热和安放；试模、清洗料筒及试车。除此之外，一般在生产时都涂上脱模剂，以便产品能顺利脱模。

2. 注射过程

注射过程一般包括加料、塑化、注射、保压、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，因此保持定量加料，以保证操作稳定，塑料塑化均匀，最终获得良好的产品。

(2) 塑化：塑化就是加入塑料在料筒中进行加热，由固体粒子转变成熔体、混合，使之具有良好的可塑性的过程。决定塑化质量的主要因素是物料的受热情况和受到的剪切作用。

(3) 注射：注射就是将塑化好的熔体用柱塞或螺杆推挤至料筒的前端，再经喷嘴、模具浇注系统进入并填满型腔的过程。

(4) 保压：保压就是使模腔中塑料能形成形状完整而致密制品的过程。

(5) 冷却：在保压之后，卸除料筒内塑料中的压力，同时通入冷却水、油，对模具进行冷却，这一过程称为冷却。

(6) 脱模：到一定的温度后，就可以用人工或机械的方式脱模，将塑料推出模外。

3. 制件的后处理

注射制品经脱模或机械加工之后，常需要进行适当的后处理，以改善制品的性能和提高尺寸的稳定性。制品的后处理主要指退火和调湿处理。