

# 第六章 塑料成型工艺

6.1 塑料的种类

6.2 塑料制件的结构工艺性

6.3 塑料成型设备

6.4 塑料模具材料

习题



# 6.1 塑料的种类

## 6.1.1 塑料及其类型

塑料的主要成分是树脂，无论是天然树脂(如松香、沥青、琥珀、虫胶等)还是合成树脂(酚醛树脂、氨基树脂、环氧树脂、聚乙烯等)，它们都属于高分子聚合物，简称高聚物。

按制造方法，塑料可分为聚合树脂塑料和缩聚树脂塑料两类；按成型性能，塑料可分为热塑性塑料和热固性塑料两类，前者主要由聚合树脂制成，后者大多以缩聚树脂为主。常用塑料名称及英文代号如表6-1所示。此外，按用途，塑料还可分为通用塑料、工程塑料和特殊用途塑料等。


表6-1 常用塑料名称及英文代号

塑料种类	塑料名称	代号
热塑性塑料	聚乙烯（高密度、低密度） 聚丙烯 聚苯乙烯 丙烯晴-丁二烯-苯乙烯共聚物 聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃) 聚苯醚 聚酰胺（尼龙） 聚枫 聚氯乙烯 聚甲醛 聚碳酸酯	PE(HDPE, LDPE) PP PS ABS PMMA PPO PA(N) PSF PVC POM PC
热固性塑料	酚醛 脲醛 三聚氰胺甲醛 环氧 不饱和聚酯	PF UF MF EP UP

## 6.1.2 热塑性塑料的工艺特性 $\psi$

### 1. 收缩性 $\psi$

在熔融状态下一定量塑料的体积总比其固态下的体积大，说明塑料经成型冷却后发生了体积收缩，塑料的这种性质称为收缩性。收缩性的大小以收缩率表示，即单位长度塑件收缩量的百分数。由于成型模具材料与塑料的线膨胀系数不同，因此塑件的实际收缩率和计算收缩率也不相同。


计算收缩率表示室温时模具尺寸与塑件尺寸的差别，在普通中、小型模具成型零件尺寸计算时，计算收缩率与实际收缩率相差很小，常采用计算收缩率；而实际收缩率则表示模具或塑件在成型温度时的尺寸与塑件在室温时的尺寸之间的差别，实际收缩率表示塑料实际所发生的收缩，在大型、精密模具成型零件尺寸计算时常采用。 

塑件收缩的形式除由于热胀冷缩、塑件脱模时的弹性恢复、塑性变形等原因产生的尺寸线性收缩外，还会按塑件形状、料流方向及成型工艺参数的不同产生收缩方向性。另外，塑件脱模后残余应力的缓慢释放和必要的后处理工艺也会使塑件产生后收缩。

## 2. 流动性

塑料的流动性是指在成型过程中，塑料熔体在一定的温度与压力作用下充填模腔的能力。塑料流动性的好坏，在很大程度上影响成型工艺的许多参数，如成型温度、压力、周期、模具浇注系统的尺寸及其它结构参数等。在决定零件大小与壁厚时，也要考虑流动性的影响。

流动性主要取决于分子组成、相对分子质量大小及其结构。只有线形分子结构而没有或很少有交联结构的聚合物流动性好。合物中加入填料会降低树脂的流动性，加入增塑剂、润滑剂可以提高流动性。流动性差的塑料，在注射成型时不易充填模腔，易产生缺料，在塑料熔体的会合处不能很好地熔接而产生熔接痕。这些缺陷甚至会导致零件报废。反之，若材料流动性太好，注射时容易产生流涎，造成塑件在分型面、活动成型零件、推杆等处的溢料飞边，因此，成型过程中应适当选择与控制材料的流动性，以获得满意的塑料制件。

热塑性塑料的流动性分为三类：流动性好的，如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、醋酸纤维素等；流动性中等的，如改性聚苯乙烯、ABS、AS、有机玻璃(聚甲基丙烯酸甲酯)、聚甲醛、氯化聚醚等；流动性差的，如聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚苯醚、聚砒、氟塑料等。 

通常料温高，则流动性大。但不同塑料也各有差异，聚苯乙烯、聚丙烯、聚酰胺、有机玻璃、ABS、AS、聚碳酸酯、醋酸纤维等塑料的流动性随温度变化的影响较大；而聚乙烯、聚甲醛的流动性受温度变化的影响较小。



如果注射压力增大,则熔料受剪切作用大,流动性也增大,聚乙烯、聚甲醛等尤为敏感。🔥


另外,浇注系统的形式、尺寸、布置,包括型腔表面粗糙度、浇道截面厚度、型腔形式、排气系统、冷却系统的设计及熔料的流动阻力等因素都直接影响塑料熔体的流动性。总之,凡促使熔料温度降低、流动阻力增加的,流动性就会降低。🔥

### 3. 相容性 $\psi$

相容性又俗称为共混性,是指两种或两种以上不同品种的塑料,在熔融状态不产生相分离现象的能力。如果两种塑料不相容,则混熔时制件会出现分层、脱皮等表面缺陷。不同塑料的相容性与其分子结构有一定关系,分子结构相似者较易相容,例如高压聚乙烯、低压聚乙烯、聚丙烯彼此之间的混熔等。分子结构不同时较难相容,例如聚乙烯和聚苯乙烯之间的混熔。


通过塑料的这一性质,可以得到类似共聚物的综合性能,这是改进塑料性能的重要途径之一,例如聚碳酸酯和ABS塑料相容,就能改善聚碳酸酯的工艺性。

## 4. 吸湿性

吸湿性是指塑料对水分的亲疏程度。据此塑料大致可以分为两类：一类是具有吸湿或黏附水分倾向的塑料，例如聚酰胺、聚碳酸酯、ABS、聚苯醚、聚砒等；另一类是吸湿或黏附水分极小的材料，如聚乙烯、聚丙烯等。 

具有吸湿或黏附水分的塑料，当水分含量超过一定的限度时，由于在成型加工过程中，水分在成型机械的高温料筒中变成气体，促使塑料高温水解，导致塑料降解，因此使成型后的塑件出现气泡、银丝与斑纹等缺陷。可见，塑料在加工成型前，一般都经过干燥，使水分含量在0.5%~0.2%以下。并要在加工过程中继续保温，以免重新吸潮。

## 5. 热敏性

某些热稳定性差的塑料,在高温下受热时间较长、浇口截面过小或剪切作用大时,料温增高就易发生变色、降解、分解的倾向,塑料的这种特性称为热敏性。如硬聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等就具有热敏性。 

热敏性塑料在分解时产生单体、气体、固体等副产物,分解产物有时对人体、设备、模具等有刺激、腐蚀作用或毒性,有的分解物往往又是促使塑料分解的催化剂(如聚氯乙烯的分解物为氯化氢)。为防止热敏性塑料在成型过程中出现过热分解现象,可采取在塑料中加入稳定剂、合理选择设备、合理控制成型温度和成型周期、及时清理设备中的分解物等措施。另外,还可采取模具表面镀铝、合理设计模具的浇注系统等措施


## 6.1.3 热固性塑料的工艺特性 $\psi$

### 1. 收缩率 $\psi$

热固性塑料也具有因成型加工而引起的尺寸减小现象。计算方法与热塑性塑料收缩率相同。收缩率的影响因素有原材料、模具结构或成型方法及成型工艺条件等。塑料中树脂和填料的种类及含量,直接影响收缩率的大小。当在固化反应中树脂放出的低相对分子质量挥发物较多时,收缩率较大,反之收缩率小;在同类塑料中,填料含量多时收缩率小,无机填料比有机填料所得的塑料件收缩小。

凡有利于提高成型压力、增大塑料充模流动性、使塑件密实的模具结构,均能减少制件的收缩率,例如用压缩或压注成型的塑件比注射成型的塑件收缩率小;凡能使塑件密实,成型前使低分子挥发物溢出的工艺因素,都能减少制件收缩率,例如成型前对酚醛塑料的预热、加压等可降低制件收缩率。

## 2. 流动性

流动性的意义与热塑性塑料流动性类同, 每一品种的塑料分为三个不同等级的流动性: 流动性较差的, 适用于压制无嵌件、形状简单、厚度一般的塑件; 流动性中等的, 用于压制中等复杂程度的塑件; 流动性好的, 可用于压制结构复杂、型腔很深、嵌件较多的薄壁塑件, 或用于压注成型。 

流动性过大, 容易造成溢料过多、填充不密实、塑件组织疏松、树脂与填料分头聚积、因易粘模而使脱模困难。可见, 必须根据塑件要求、成型工艺及成型条件选择塑料的流动性。模具设计时应根据流动性来考虑浇注系统、分型面及进料方向等。

### 3. 比容和压缩率

比容和压缩率都表示粉状或短纤维状塑料的松散性。单位质量中松散塑料所占的体积称为比容 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ), 压缩率是塑料的体积与塑件的体积之比, 其值恒大于1。


可用比容和压缩率来确定模具加料室的大小。比容和压缩率较大, 要求模具加料室尺寸要大, 从而使模具体积增大, 操作不便, 浪费钢材, 不利于加热; 同时, 使塑料内充气增多, 排气困难, 成型周期变长, 生产率降低。比容和压缩率小, 使压锭和压缩、压注容易, 压锭质量也较准确, 但是, 比容太小, 则影响塑料的松散性, 以容积法装料时造成塑件质量不准确。



## 4. 硬化速度

热固性塑料树脂分子完成交联反应,由线形结构变成体形结构的过程称为硬化。硬化速度通常以塑料试样硬化1mm厚度所需的秒数来表示,此值越小时,硬化速度就越快。影响硬化速度的因素有塑料品种、塑件形状、壁厚、成型温度及是否预热、预压等。通常,采用压锭、预热、提高成型温度、增长加压时间等,都能显著加快硬化速度。另外,硬化速度还必须与成型方法的要求相适合。如压注或注射成型时要求在塑化、填充时化学反应慢,硬化慢,以保持长时间的流动状态,但当充满型腔后,应在高温、高压下快速硬化。硬化速度慢的塑料,会使成型周期变长,产率降低;硬化速度快的塑料,则不能成型大型复杂的塑件。

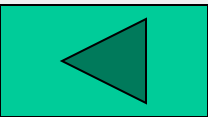
## 5. 水分与挥发物含量

塑料中的水分及挥发物来自两个方面:其一是塑料在制造中未能全部除净水分,或在储存、运输过程中,由于包装或运输条件不当而吸收水分;其二是来自压缩或压注过程中化学反应的副产物。 

塑料中水分及挥发物的含量,在很大程度上直接影响塑件的物理、力学和介电性能。塑料中水分及挥发物的含量大,在成型时产生内压,促使气泡产生或以内应力的形式暂存于塑料中,一旦压力除去后便会使塑件发生变形,降低其机械强度。

压制时,由于温度和压力的作用,有大多数水分及挥发物逸出。在逸出前,这些水分和挥发物占据着一定的体积,严重地阻碍化学反应有效进行,造成冷却后塑件的组织疏松;当挥发物气体逸出时,会割裂塑件,使塑件产生龟裂,机械强度和介电性能降低。过多的水分及挥发物含量,使塑料流动性过大,容易溢料,成型周期长,收缩率增大,塑件容易发生翘曲、波纹及光泽不好等现象。反之,塑料中水分及挥发物的含量不足,会导致流动性不良,成型困难,不利于压锭。🔥

水分及挥发物在成型时变成的气体,必须排出模外,有的气体对模具有腐蚀作用,对人体也有刺激作用。为此,在模具设计时应应对这种特征有所了解,并采取相应措施。



## 6.2 塑料制件的结构工艺性

塑件结构工艺性设计时必须遵循的原则如下：🔥

(1) 在保证使用性能、物理与力学性能、电性能、耐化学腐蚀性能和耐热性能等的前提下, 力求壁厚均匀, 结构简单, 使用方便。🔥

(2) 在设计塑件时, 考虑其成型模具的总体结构, 使模具型腔易于制造、装配和修模, 抽芯和推出机构简单。

(3) 考虑原料的流动性、收缩率等成型工艺性的同时, 进行塑件设计。🔥

(4) 对外观要求较高的塑件, 应先通过造型, 而后逐步绘制图样。🔥

塑料制件结构工艺性设计的主要内容包括: 尺寸和精度、表面粗糙度、塑件形状、壁厚、斜度、加强筋、支承面、圆角、孔、螺纹、齿轮、嵌件、文字、符号及标记等。


## 6.2.1 塑料制件的尺寸和精度 $\psi$

塑件尺寸的大小主要取决于塑料品种的流动性。在一定的设备和工艺条件下,流动性好的塑料可以成型较大尺寸的塑件;反之,成型出的塑件尺寸较小。另外,塑件外形尺寸还受成型设备的限制。从能源、模具制造成本和成型工艺条件出发,在满足塑件使用要求的前提下,应将塑件设计得尽量紧凑、尺寸小巧一些。

塑件的尺寸精度是指所获得的塑件尺寸与产品图中设计尺寸的符合程度,即所获得塑件尺寸的准确度。影响塑件尺寸精度的因素很多,首先是模具的制造精度和模具的磨损程度,其次是塑料收缩率的波动以及成型时工艺条件的变化,塑件成型后的时效变化和脱模斜度及模具的结构形状等。为降低模具制造成本和便于模具生产制造,在满足塑件使用要求的前提下应尽量把塑件尺寸精度设计得低一些。🔥

塑件的精度等级分为八个等级,其中1、2级为精密技术级,只有在特殊要求下使用。7、8级的精度太低,一般不用,常用的是3~6级。未注公差尺寸通常为8级精度。


## 6.2.2 塑料制件的表面质量

塑料制件的表面质量包括表面粗糙度和表观质量。塑件表面粗糙度主要与模具型腔表面的粗糙度有关。目前,注射成型塑件的表面粗糙度通常为 $R_a 0.02 \sim 1.25 \mu\text{m}$ ,模腔表壁的表面粗糙度应为塑件的一半,取 $R_a 0.01 \sim 0.63 \mu\text{m}$ 。 

塑件的表观质量指的是塑件成型后的表观缺陷状态,常见的如缺料、溢料、飞边、凹陷、气孔、熔接痕、银纹、斑纹、翘曲与收缩、尺寸不稳定等。其与塑件成型工艺条件、塑件成型原材料的选择、模具总体设计等多种因素有关。




### 6.2.3 形状

塑件的内外表面形状应尽可能保证有利于成型。侧抽芯或瓣合凹模或凸模使模具结构复杂,制造成本提高,并且还会在分型面上留下飞边,增加塑件的修整量,可见塑件设计时应尽可能避免侧向凹凸,若有侧向凹凸,则在保证塑件使用要求的前提下,适当改变塑料制件的结构,以简化模具的结构。 

塑件内侧凹较浅并允许带有圆角时,则可以采取强制脱模的方法使塑件从凸模上脱下,但此时塑件在脱模温度下应具有足够的弹性,以使塑件在强制脱下时不会变形,例如聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛等能适应这种情况。多数情况下塑件的侧向凹凸不可能强制脱模,应采用侧向分型抽芯结构的模具。

## 6.2.4 脱模斜度


由于黏附作用,塑件紧贴在凹模型腔内,另外,塑料制件冷却后产生收缩,会紧紧包在凸模或成型型芯上。为了便于脱模,防止塑件表面在脱模时划伤、擦毛等。在设计时塑件表面沿脱模方向应具有合理的脱模斜度。 

影响塑件脱模斜度的因素有塑件的性质、收缩率、摩擦因数、塑件壁厚和几何形状等。硬质塑料比软质塑料脱模斜度大;成型孔较多或形状较复杂的塑件取较大的脱模斜度;塑件高度较大、孔较深时,则脱模斜度取小值;壁厚增加,内孔对型芯的包紧力大,脱模斜度应大些。为了在开模时让塑件留在凹模内或型芯上,有时有意将该边斜度减小或将斜边放大。

### 表6-2常用塑件的脱模斜度

制件材料		聚酰胺 (通用)	聚酰胺 (增强)	聚乙烯	聚甲基丙 烯酸甲酯	聚苯 乙烯	聚碳 酸酯	ABS 塑料
脱模斜度	凹模 (型腔)	20' ~ 40'	20' ~ 50'	20' ~ 45'	35' ~ 1° 30'	35' ~ 1° 30'	35' ~ 1°	40' ~ 1° 20'
	凸模 (型芯)	25' ~ 40'	20' ~ 40'	25' ~ 45'	30' ~ 1°	30' ~ 1°	30' ~ 50'	35' ~ 1°

## 6.2.5 壁厚

在脱模时,壁厚承受着脱模推力,并且要满足使用时的强度和刚度要求,因此,塑件应有一定的厚度。壁厚应设计合理,壁厚太薄会增加塑料熔体充满型腔时的流动阻力,出现缺料现象;壁厚太大会在塑件内部产生气泡、外部产生凹陷,并增加成本;壁厚不均匀造成塑件各部分收缩不一致,导致塑件翘曲、缩孔、裂纹甚至开裂,因此在可能的条件下应使壁厚尽量均匀一致。如果结构要求必须有不同壁厚时,其比例不应超过1:3,且应采用适当的修饰半径以减缓厚薄过渡部分的突然变化。 

塑件的壁厚一般为1~4mm。大型塑件的壁厚可达8mm。热固性与热塑性塑件壁厚常用值见表6-3和表6-4。

表6-3热固性塑件的壁厚

塑料名称	塑件外形高度		
	<50	>50=100	>100
粉状填料的酚醛塑料	0.7~2.0	2.0~3.0	5.0—6.5
纤维状填料的酚醛塑料	1.5~2.0	2.5~3.5	6.0~8.0
氨基塑料	1.0	1.3~2.0	3.0~4.0
硬脂玻璃纤维填料的塑料	1.0~2.0	2.4~3.2	>4.8
聚脂无机物填料的塑料	1.0~2.0	3.2~4.8	>4.8

表6-4热塑性塑件的最小壁厚和推荐壁厚

塑料种类	制件流程50mm 的最小壁厚	一般制件壁厚	大型制件壁厚
聚酰胺 (PA)	0.45	1.75~2.60	>2.4~3.2
聚苯乙烯 (PS)	0.75	2.25~2.60	>3.2~5.4
改性聚苯乙烯	0.75	2.29~2.60	>3.2~5.4
有机玻璃 (PMMA)	0.80	2.50~2.80	>4~6.5
聚甲醛 (POM)	0.80	2.40~2.80	>3.2~5.4
软聚氯乙烯 (LPVC)	0.85	2.25~2.50	>2.4~3.2
聚丙烯 (PP)	0.85	2.45~2.75	>2.4~3.2
氯化聚醚 (CPT)	0.85	2.35~2.80	>2.5~3.4
聚碳酸酯 (PC)	0.95	2.60~2.80	>3~4.5
硬聚氯乙烯 (HPVC)	1.15	2.60~2.80	>3.2~5.8
聚苯醚 (PPO)	1.20	2.75~3.10	>3.5~6.4
聚乙烯 (PE)	0.60	2.25~2.60	>2.4~3.2

## 6.2.6 加强筋

加强筋的主要作用是增加塑件的强度和刚度,避免塑件翘曲变形,而不增加壁厚。合理布置加强筋还起着改善充模流动性、减少内应力、避免气孔、缩孔和凹陷等缺陷的作用。

加强筋的厚度应小于塑件壁厚,并与壁圆弧过渡。若 $t$ 为塑件壁厚,则:加强筋高度 $L=(1\sim 3)t$ ,筋条宽 $A=(1/4\sim 1)t$ ,筋根过渡圆角 $R=(1/8\sim 1/4)t$ ,收缩角 $\alpha=2^\circ\sim 5^\circ$ ;筋端部圆角 $r=t/8$ 。当 $t\leq 2\text{mm}$ ,取 $A=t$ ,加强筋端部不应与塑件支承面平齐,而应缩进 $0.5\text{mm}$ 以上。


## 6.2.7 支承面与凸台

塑件的支承面应充分保证其稳定性,不宜以塑件的整个底面作支承面,因为塑件稍有翘曲或变形就会使底面不平。通常采用凸缘或凸台作为支承面。

凸台是用来增强孔或装配附件的凸出部分的。设计时,凸台应当尽可能位于边角部位,其几何尺寸应小,高度不应超过其直径的两倍,并应具有足够的脱模斜度。设计固定用的凸台时,除应保证有足够的强度以承受紧固时的作用力外,在转折处还不应有突变,连接面应局部接触。



## 6.2.8 圆角

对于塑件来说,除使用要求需要采用尖角之外,其余所有内外表面转弯处都应尽可能采用圆角过渡,以减少应力集中度,并且还能增加塑件强度,提高塑件在型腔中的流动性,同时比较美观,模具型腔也不易产生内应力和变形。但是,采用圆角会使钳工劳动量增大,使凹模型腔加工复杂化。 

圆角半径的大小主要取决于塑件的壁厚,通常,内壁圆角半径应是壁厚的一半,而外壁圆角半径可为壁厚的1.5倍,一般圆角半径大于0.5mm。壁厚不等的转角可按平均壁厚确定内、外圆角半径。

## 6.2.9 孔的设计 $\psi$


塑件上的孔通常有通孔、盲孔、异型孔(形状复杂的孔)。理论上讲,这些孔均能用一定的型芯成型。孔与孔边缘之间的距离应大于孔径。表6-5所示为热固性塑料制件的孔与孔之间、孔与壁之间所应留有足够的距离。

**表6-5热固性塑料制件孔间距、孔边距与孔径的关系**

孔径d	< 1.5	1.5~3	3~6	6~10	10~18	8~30
孔间距、孔边距b	1~1.5	1.5~2	2~3	3~4	4~5	5~7

为防止型芯弯曲,孔深不宜太大。通常,注射成型或压注成型时,孔深度应不超过孔径的4倍;压缩成型时,孔深应不超过孔径的2.5倍;当孔径较小深度又太大时,只能在成型后用机械加工的方法加工孔。当成型带有侧孔或侧凹的塑件时,模具必须设置侧向分型与抽芯机构或采用瓣合式结构,这使模具结构复杂。可见,在不影响制件使用要求的前提下,应尽量避免塑件侧孔或侧凹结构。

## 6.2.10 嵌件设计

嵌件是指塑件内部镶嵌的金属、玻璃、木材、纤维、橡胶或已成型的塑件。使用嵌件可提高塑件的强度,满足塑件导电、导磁、耐磨和装配连接等特定的要求。另一方面,嵌件的设置往往增加模具结构复杂性,延长成型周期,增加制造成本,并且不易实现自动化生产。金属是常用的嵌件材料,嵌件形式繁多。 

对带有嵌件的塑件,通常先设计嵌件,然后再设计塑件。由于金属与塑件冷却时的收缩值相差较大,使周围的塑料存在很大的内应力,设计不当会造成塑件的开裂,所以应优先选用与塑料收缩率相近的金属嵌件,或保证嵌件周围的塑料层有足够的厚度。为避免出现鼓泡或裂纹,嵌件顶部的塑料也应有足够的厚度。嵌件不应带有尖角,以减少应力集中度。对于大嵌件通常进行预热,使其温度达到接近塑料温度。同时嵌件上尽量不要有穿通的孔以免塑料挤入孔内。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/248047005131006123>