

1 铸 造

在机械制造行业中，零件加工的方法多种多样。其中，通过加热对毛坯或工件的形状和尺寸等进行改变的方法叫作金属的热加工。热加工包括铸造、锻造、焊接等。将金属熔炼，制造铸型，并将熔融金属浇注、压射或吸入铸型，待其凝固后获得一定形状、尺寸和性能铸件的成型方法称为铸造。铸造生产历史悠久，是人类掌握比较早的一种金属热加工工艺，已有约 6 000 年的历史。铸造技术在现代工业、农业生产中占有极其重要的地位。如铸件质量在机床、内燃机、中型机器中占 70%~90%，在农业机械中占 40%~70%，在汽车中占 20%~30%。

1.1 铸造工艺基础知识

1.1.1 铸造的特点

铸造的特点是金属液态成型。铸造的主要优点如下：

(1) 适应性强。铸件的形状可以较为复杂；铸造时还可以利用芯子，因此可以获得一般机械加工设备难以加工的内腔，如箱体、气缸体等。

(2) 工艺灵活性大。铸件尺寸、质量不限，从几毫米、几克到十几米、数百吨都可以。壁厚可由 0.5 mm 到 1 m 左右。铸件材料可用铸铁、铸钢、碳钢和有色金属等。

(3) 生产批量不受限制。铸件可从单件小批量到大量生产。

(4) 生产成本低。铸件可直接利用成本低廉的废机件和切屑等作为原材料，设备费用低，同时铸件的加工余量小，节省金属。

因此，铸造在工业生产上得到了广泛的应用，已经成为机械制造行业中的一个重要组成部分。但是，铸造也存在某些不足：工艺过程和生产工序较多，有些工艺难以控制，铸件质量不稳定，废品率较高；铸件组织粗大，常出现缩孔、疏松、气孔等缺陷，其力学性能不如同类材料的锻件；铸件表面较粗糙，尺寸精度不高；工人的劳动强度大，劳动条件差等。

1.1.2 铸造的分类

生产中，铸造的种类非常多，通常按铸件成型方法和工艺特点的不同分成两大类：一种

为砂型铸造；另一种为特种铸造。

所谓砂型铸造，就是利用型砂和芯砂，通过使用模样和型芯来制成零件的外形和内腔，用金属浇注的方法获得金属零件或毛坯的一种铸造成型方法。常见的砂型铸造主要有手工造型、机器造型和生产线造型等。其中，按砂型的干湿程度，铸造又可分为干型铸造和湿型铸造两种。

通常，也把除砂型铸造以外的其他铸造方法称为特种铸造。常见的特种铸造主要有金属模铸造、压力铸造、离心铸造和熔模铸造等。

铸造的种类虽然多，但最常用的基本方法是砂型铸造。目前，砂型铸造约占铸件总产量的80%以上。

1.1.3 铸造工艺流程

随着科技的进步与铸造业的蓬勃发展，不同的铸造方法有不同的铸型准备内容。以应用最广泛的砂型铸造为例，砂型铸造工艺可分为铸型准备、铸造金属准备和铸件处理3个基本部分。铸型准备包括制造砂型（简称造型）、制造砂芯（简称造芯）及合箱等；铸造金属准备包括金属熔炼及浇注等；铸件处理包括落砂清理、铸件检验、铸件热处理等，如图1-1所示。

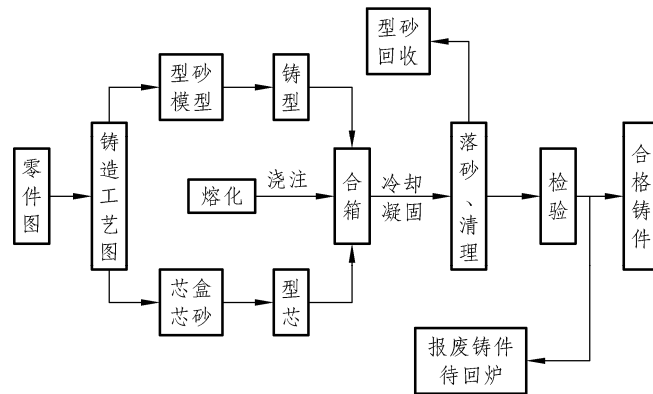


图 1-1 砂型铸造工艺流程

1.2 铸型准备

1.2.1 型（芯）砂

1. 型（芯）砂的组成及种类

为了满足型（芯）砂的性能要求，型砂由原砂、黏结剂、水及附加物按一定比例混制而

成。图 1-2 为硅砂粒黏结后的型砂结构示意图。

(1) 原砂：一般采自海、河或山地，但并非所有的砂子都能用于铸造，铸造用砂应进行控制。

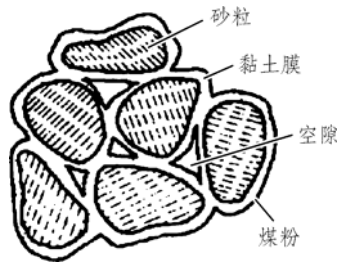


图 1-2 型砂结构示意图

① 化学成分：原砂的主要成分是石英和少量的杂质（钠、钾、钙、铁等的氧化物）。石英的化学成分是二氧化硅（ SiO_2 ），它的熔点高达 $1700\text{ }^\circ\text{C}$ 。砂中 SiO_2 含量越高，其耐火性越好。铸造用砂 SiO_2 含量为 $85\% \sim 97\%$ 。

② 粒度与形状：砂粒越大，耐火性和透气性越好。

砂粒的形状可分为圆形、多角形和尖角形。一般湿型砂多采用颗粒均匀的圆形或多角形的天然石英砂或石英长石砂。高熔点金属铸件应选用粗砂，以保证耐火性。

(2) 黏结剂：用来黏结砂粒的材料，如水玻璃、桐油、干性植物油、树脂和黏土等。前几种黏结性比黏土好，但价格高，且来源不广，因此除特殊要求的型砂，一般不用。黏土价廉且资源丰富，有一定的黏结强度，用得较多。黏土又分为普通黏土和膨润土。湿型砂普遍采用黏结性较好的膨润土，而干型砂多采用普通黏土。

(3) 附加物：为改善型砂的某些性能而加入的材料，常用的有煤粉、油、木屑等。型（芯）砂是制造砂型和型芯的造型材料。配置好性能符合要求的型（芯）砂经紧实后，可塑造成各种形状的砂型和型芯。型（芯）砂的质量对铸件生产起着重要作用，据统计，铸件废品中约有 50% 以上与其有关；另外，型（芯）砂的用量也很大，生产 1 t 铸件，需要 $3 \sim 4\text{ t}$ 型（芯）砂。因此，为了提高铸件质量，降低成本，应对型（芯）砂的性能提出要求。

2. 型（芯）砂的性能要求

(1) 强度。强度是指型（芯）砂在外力作用下不变形和不破坏的能力。型（芯）砂应具有足够的强度，以便于砂型和型芯的制造、装配和搬运，并能承受浇注时液体金属的冲击力和浮力。型（芯）砂强度不够时，容易发生塌箱、冲砂、胀砂等现象，使铸件产生砂眼、夹砂、黏砂等缺陷；如果强度太高，又会阻碍气体的排除和铸件的收缩，使铸件产生气孔、过大的内应力，甚至裂纹等缺陷。

(2) 透气性。透气性是指型（芯）砂在正常紧实后能让气体通过的能力。浇注时，型（芯）砂在高温液态金属作用下会产生大量的气体，液态金属冷却时也会析出一些气体。如果型（芯）砂透气性不好，这些气体不能迅速排除，将会留在铸件内，生成气孔等缺陷。

型（芯）砂的透气性除了与所含砂粒的大小及黏土和水分的多少有关外，还与造型时的

紧实程度有关。在砂型上打上透气针孔，有利于气体外逸；采用干型砂则能避免产生水蒸气。这些造型工艺措施都能有效地防止铸件中形成气孔。

(3) 耐火性。耐火性是指型（芯）砂在高温液态金属作用下不熔融、不烧结的性能。型（芯）砂耐火性不足时，砂粒将被烧融而黏附在铸件表面上形成黏砂缺陷。

型（芯）砂的耐火性主要取决于硅砂粒中所含二氧化硅的纯度。纯二氧化硅熔点非常高，但是，如果硅砂中含有碱性氧化物，其熔点便会明显降低，影响耐火性。生产铸铁件时，可以在型腔表面涂一层石墨粉，使铁液与型（芯）砂隔离。由于石墨有很高的耐火性，因此能有效地防止铸铁件表面产生黏砂。又因为石墨能使型腔表面平滑，所以铸件表面比较光洁。

(4) 可塑性。可塑性是指型（芯）砂在外力作用下变形，去除外力后能完整地保持已有形状的能力。可塑性好，则造型操作方便，制成的砂型形状准确、轮廓清晰。

(5) 退让性。退让性是指型（芯）砂具有随着铸件的冷却收缩而被压缩或溃散的性能。型（芯）砂的退让性不好，将使铸件冷却收缩受阻，产生内应力、变形和裂纹等缺陷。

用油类作为黏结剂的型（芯）砂（称为油砂）具有良好的退让性。油砂型芯在高温金属液体的作用下，油被烧损，体积缩小，而且使黏结作用脆弱。当受到铸件的收缩压力时，油砂型芯就被压碎。因此，油砂型芯不会阻碍铸件的收缩，而且便于清理铸件内腔。黏土砂的退让性较差，但是在黏土砂中配入适量木屑，能改善其退让性。用这种型砂制造型芯，效果虽不如油砂，但较油砂经济。

型（芯）砂除具有上述主要性能外，还应具有良好的流动性、发气性、出砂性和回用性等。型（芯）砂的性能可用专门的仪器来测定，也可采用如图 1-3 所示的手测法估测。型砂湿度适当时，可用手捏成砂团状，手放开后可看到清晰的手纹；砂团折断时，断面没有碎裂状，同时有足够的强度。

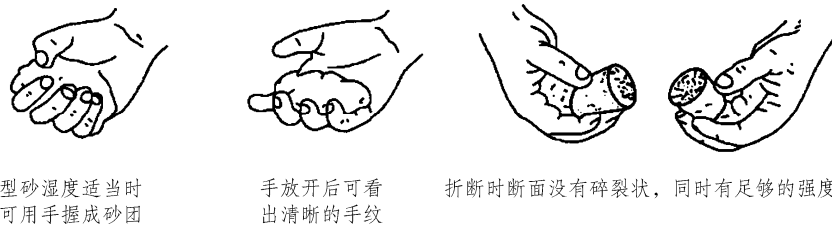


图 1-3 手测法检验型砂性能

3. 型（芯）砂的配制

根据铸件的材料、复杂程度，以及对型（芯）砂的具体性能要求不同，型（芯）砂应选用不同的原材料，并按不同的比例配制。在铸造生产中，黏土型（芯）砂应用最广，其配制是在混砂机中进行的。混砂时，按比例加入新砂、旧砂、黏结剂和附加材料，先进行干混，然后加水湿混。在混砂机碾压和搓揉的作用下，各种材料被混合均匀并使黏土膜均匀包敷在砂粒表面。为了保证型（芯）砂和水分渗透均匀，混好的型（芯）砂通常要储放 4~6 h，最后经松砂处理后使用。生产中还常把型砂分为面砂和背砂。与铸件接触的那一层砂称为面砂；

与铸件不接触的只作为填充用的型(芯)砂称为背砂。要求面砂的强度、耐火性较高,而背砂则较低。为了节约造型材料,降低生产成本,背砂一般用旧砂,即已使用过的但经适当处理后可重复使用的型砂,而面砂则用专门配制的新砂。

1.2.2 造型

造型是指用造型材料及模样等工艺装备制造铸型的过程。造型是铸造生产过程中最复杂、最主要的工序之一,对铸件的质量影响极大。造型方法可分为手工造型和机器造型两大类。后者制作的砂型型腔质量好,生产效率高,但只适用于成批或大批量生产条件。手工造型具有机动、灵活的特点,因此应用仍较为普遍。

1. 手工造型的工具及附件

手工造型是指全部用手工或手动工具制作铸型的造型方法。根据铸件结构、生产批量和生产条件,可采用不同的手工造型方案。由于手工造型的种类较多、方法各异,再加上生产条件、地域差异和使用习惯等的不同,造成了手工造型时使用的造型工具及辅具(包括砂箱、造型工具、修型工具及检验测量用具)的多样性。图 1-4、图 1-5 分别为砂箱和常用造型工具、常用修型工具。

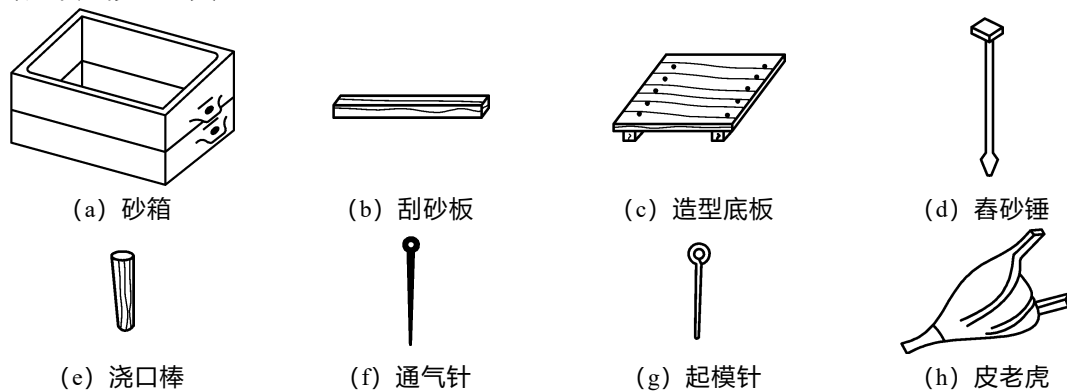


图 1-4 砂箱和常用造型工具

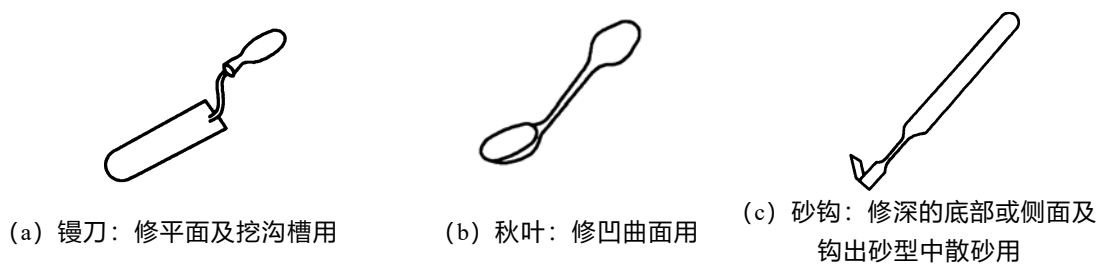


图 1-5 常用修型工具

砂箱:一般由铸铁、钢、木材等材料制成,多为方形或者长方形框子。砂箱要有准确的定位和锁紧装置,通常由上箱和下箱组成,上下箱之间用销定位。手工造型常用的砂箱可分

为可拆式砂箱、无挡砂箱、有挡砂箱等。

刮砂板：也称刮尺，用来刮去型砂舂实后高出砂箱的型砂，一般由平直的木板或铁板制成，其长度应比砂箱宽度略长。

造型底板：用来安装和固定模样，在造型时用来托住模样、砂箱和砂型，一般由硬质木材或铝合金、铸铁、铸钢制成，具有光滑的工作面。

舂砂锤：用于舂实型砂，平头部分用来捶打紧实、舂平砂型表面；尖头部分则用来舂实模样周围及砂箱靠边处或者狭窄部分的型砂，有时舂砂锤也可用木榔头代替。

起模针：也称起模钉，用来从砂型中取出模样。起模针与通气针相似，比通气针粗。

皮老虎：用来吹去模样上的分型砂及散落在型腔中的散砂和尘土等。使用皮老虎时应注意不要碰到砂型或者用力过猛，以免损坏砂型。

镘刀：也称刮刀，用来修理砂型或砂芯的较大平面，也可用于开挖浇注系统、冒口，切割较大的沟槽及在砂型插钉时把钉子撇入砂型。镘刀通常由头部和手柄两部分组成：头部一般用工具钢制成，有平头、圆头、尖头几种；手柄用硬木制成。

秋叶：也称双头铜勺，用来修整砂型曲面或窄小的凹面。

砂钩：也称提钩，由工具钢制成，用来修理砂型或者砂芯中深而窄的底面和侧壁，以及提出掉落在砂型中的散砂。常用的砂钩有直砂钩和带后跟砂钩。

2. 砂型结构

砂型是用金属或其他耐火材料制成的组合整体，是金属液凝固后形成铸件的地方。以两箱砂型铸造为例，典型的砂型如图 1-6 所示，它由上砂型、下砂型、浇注系统、型腔、型芯和通气孔组成。型砂被舂紧在上、下砂箱中，连同砂箱一起，称为上砂型（上箱）和下砂型（下箱）。取出模样后，砂型中留下的空腔称为型腔。上、下砂型的分界面称为分型面，一般位于模样的最大截面上。型芯是为了形成铸件上的孔或局部外形，用芯砂制成。型芯上用来安放和固定型芯的部分称为型芯头，型芯头放在砂型的型芯座中。

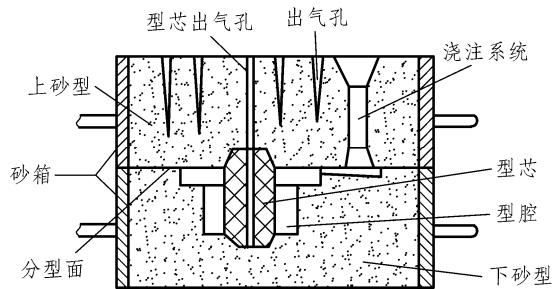


图 1-6 典型砂型结构

浇注系统是为了将熔融金属填充入型腔而开设于铸型中的一系列通道。金属液从外浇口浇入，经直浇道、横浇道、内浇道而流入型腔。因此，浇注系统包括外浇口、直浇道、横浇道、内浇道。型腔最高处开有出气孔，以观察金属液是否浇满，也可排除型腔中的气体。被高温金属包围后，型芯产生的气体则由型芯通气孔排出，而型砂中的气体及部分型腔中的气体则由通

气孔排出。有的铸件为了避免产生缩孔缺陷，在铸件厚大部分或最高部分加有补缩冒口。

3. 模样及芯盒

造型时需要模样和芯盒。模样用来形成铸件的外部轮廓；芯盒用来制造砂芯，形成铸件的内部轮廓。图 1-7 为法兰盘的零件图、铸造工艺图及铸件和模样。制造模样和芯盒所用的材料，根据铸件大小和生产规模的大小而有所不同。产量少的铸件一般用木材制作模样和芯盒，产量大的铸件可用金属或塑料制作模样和芯盒。

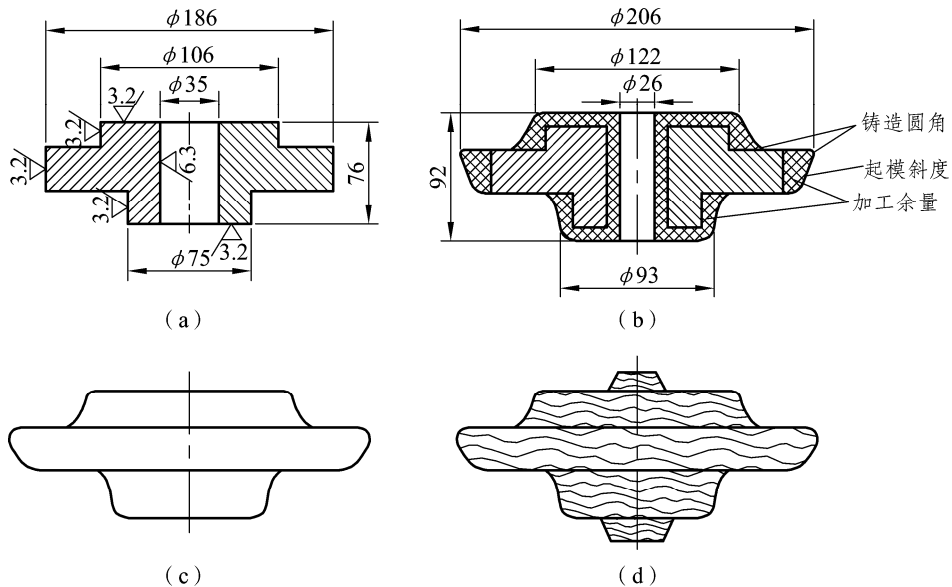


图 1-7 法兰盘零件图、铸造工艺图及铸件和模样

在设计、制造模样和芯盒时，必须考虑下列问题：

- (1) 分型面的选择：分型面是两半铸型相互接触的表面，分型面选择要恰当。
- (2) 起模斜度的确定：一般木模斜度为 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，金属模斜度为 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 。
- (3) 考虑到铸件冷却凝固过程中的体积收缩，为了保证铸件的尺寸，模样的尺寸应比铸件的尺寸大一个收缩量。
- (4) 铸件上凡是需要机械加工的部分，都应在模样上增加加工余量，加工余量的大小与加工表面的精度、加工面尺寸、造型方法以及加工面在铸件中的位置有关。
- (5) 为了减少铸件出现裂纹的倾向，并为了造型、造芯方便，应将模样和芯盒的转角处都做成圆角。
- (6) 当有型芯时，为了能安放型芯，模样上要考虑设置芯座头。

4. 常用的手工造型方法

根据铸件结构、材料、批量和生产条件不同，常用的造型方法有整模两箱造型、分模造型、挖砂造型、活块模造型、刮板造型及三箱造型等。

(1) 整模两箱造型。当零件的最大截面在端部，并选此最大截面作为分型面，将模样做成整体模型，采用两箱进行造型的方法称为整模两箱造型。整模两箱造型的过程如图 1-8 所示。

① 造下砂型：如图 1-8 (c) 所示，将模样安放在底板上的砂箱内，安放两个定位销座（图中未表示出），加型砂后用舂砂锤舂实，用刮砂板刮平。注意舂砂时应均匀地按一定路线进行，以保证型砂各处紧实度均匀，并注意不要撞到模样，舂砂力大小要适当。同一砂型各处的紧实度是不同的：靠近砂箱内壁应舂紧，以免塌箱；靠近模样处应较紧，以使型腔承受熔融金属的压力；其他部分应较松，以利于透气。舂满砂箱后，应再堆高一层砂，用平头锤打紧。下砂箱应比上砂箱舂得紧实些为好。

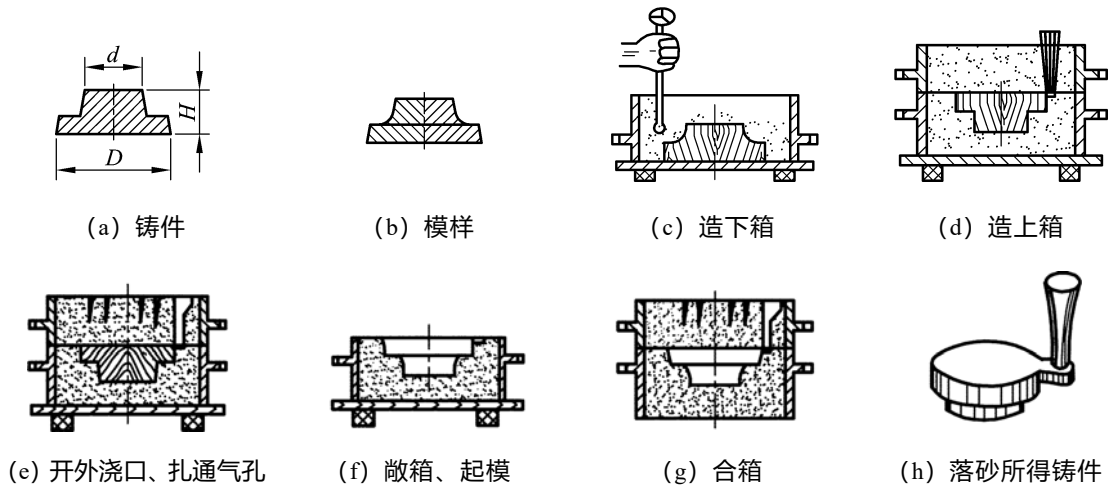


图 1-8 整模造型

② 造上砂型：用刮砂板刮去砂箱上面多余的型砂后，使其表面与砂箱四边齐平，然后翻转下砂型，按要求放好上砂箱、横浇口、直浇口棒，撒上分型砂后加型砂造上砂型，如图 1-8 (d) 所示。

③ 扎通气孔：取出直浇口棒，开外浇口并按要求扎通气孔，如图 1-8 (e) 所示。注意出气孔应扎在模样投影面的上方且气孔的底部应离模样上表面 10 mm 左右。

④ 開箱起模与合型：打开上砂型，清除分型面上的分型砂，用掸笔沾一些水，刷在模样周围的型砂上，以增强这部分型砂的强度和塑性，以防止起模时损坏砂型。刷水时应一刷而过，且不宜过多。起模时，起模钉应钉在模样的重心上，并用小锤前后左右轻轻地敲打起模钉的下部，使模样和砂型之间松动，然后将模样慢慢地向上垂直提起，如图 1-8 (f) 所示。注意，如果砂箱没有定位装置，则还需要在開箱前，在砂箱外壁上、下型相接处，做出定位符号，以免上、下砂型合箱时，铸件产生错箱缺陷。

⑤ 修型、开挖横浇道和内浇道后合箱，如图 1-8 (g) 所示。按要求将浇注系统的横浇道及内浇道挖好并修光浇道表面；如果起模时砂型有损坏，则需要修型，修型时应由上而下，由里向外进行。

整模两箱造型时，模样全部在一个砂箱内，分型面是平面，起模时模样从两砂箱的分型面上取出，因此造型简便，无错箱，适用于形状简单、最大截面在一端且为平面的铸件。

(2) 分模造型。分模造型适用于最大截面不在端部的铸件。如果铸件只有一个分型面，可采用两箱分模造型；如果铸件有两个或两个以上的分型面，应采用三箱或多箱分模造型。两箱分模造型是把模样沿最大截面处分分成两半，造型时两个半模分别位于上、下两个砂箱内，分型面是平面。两箱分模造型的铸型简单，操作方便，是应用最广泛的造型方法。分模造型如图 1-9 所示。

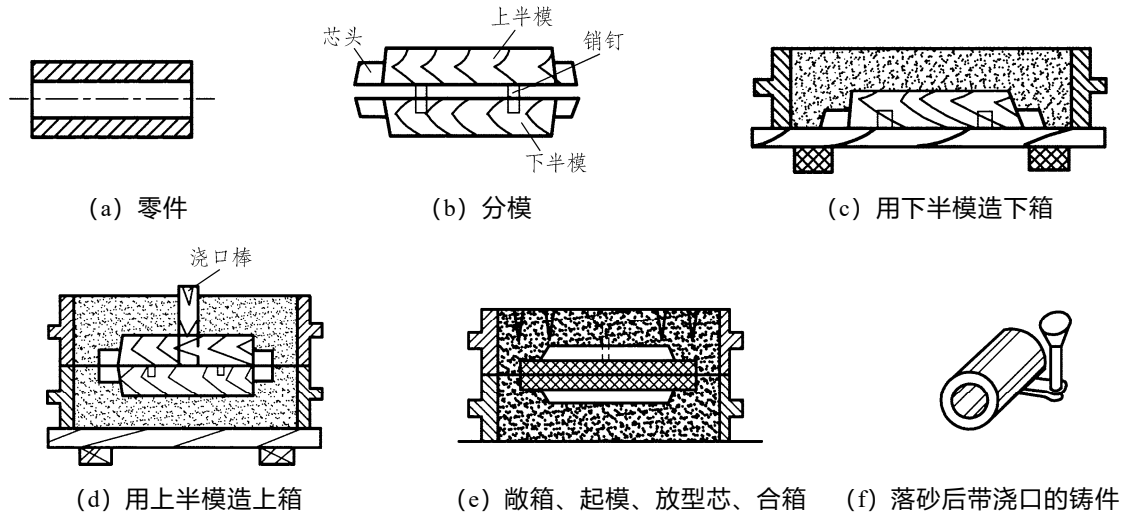


图 1-9 分模造型

(3) 挖砂造型和假箱造型。当铸件的分型面为曲面且模样又不宜分开制造时，可将模样做成整模，采用挖砂造型。挖砂造型时一定要挖到模样的最大截面处，将下砂箱中阻碍起模的砂型全部挖掉。挖砂造型如图 1-10 所示。

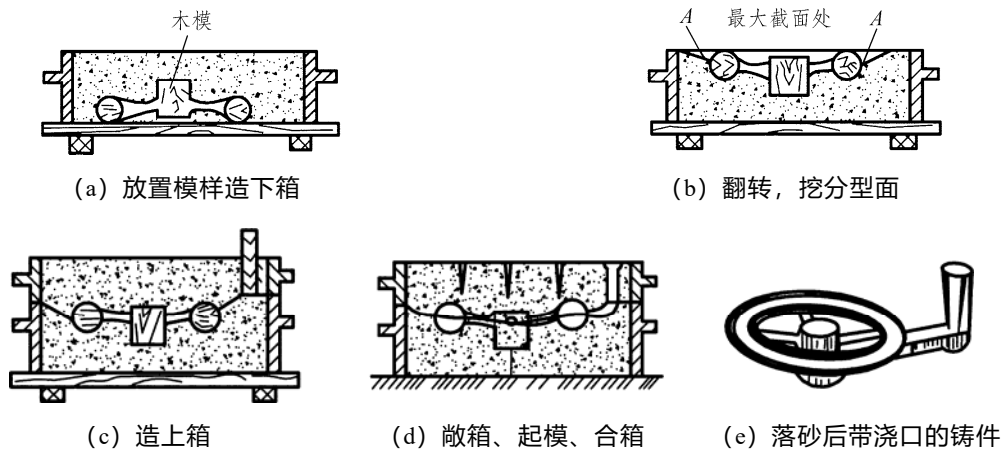


图 1-10 挖砂造型

挖砂造型生产率低，对操作者的要求较高，只适用于单件生产。当生产量较大时，可采

用假箱造型，即用成型底板代替底板，将模样放在成型底板上造型，从而省去挖砂的操作。假箱造型如图 1-11 所示。

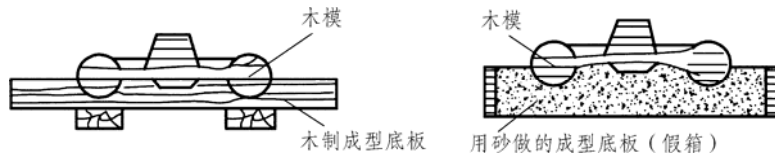


图 1-11 假箱造型

(4) 活块造型。将模样上妨碍起模的凸起部分做成活块，用销子或燕尾榫与模样主体连接，起模时，先取出模样主体，然后再取出活块的造型方法称为活块造型，如图 1-12 所示。活块造型时必须将活块下面的型砂捣紧，以免起模时该部分型砂塌落，同时要避免撞紧活块，造成起模困难。活块造型主要用于单件或小批量生产带有突出部分的铸件。

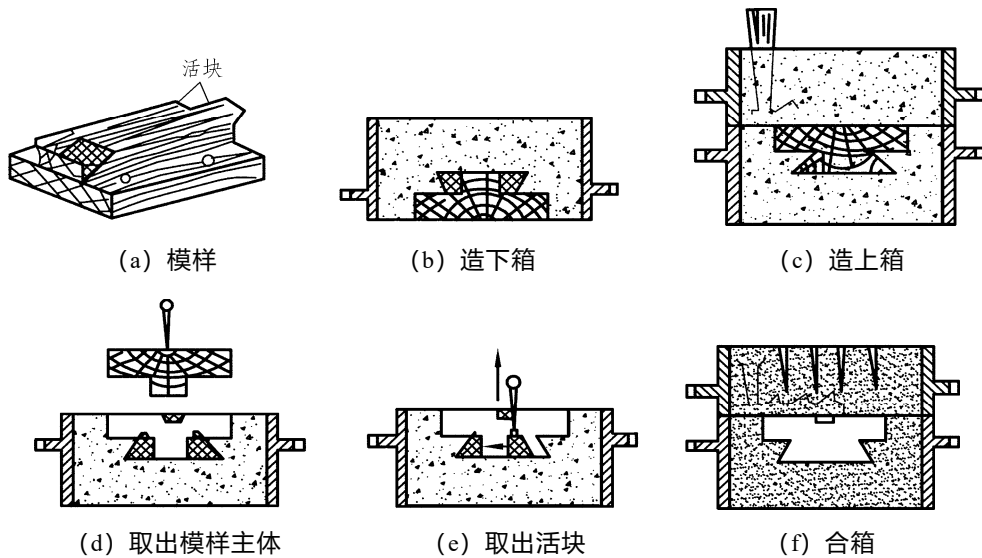


图 1-12 活块造型

活块造型生产率低，对操作者的技术要求高，只适合于单件生产。当生产量较大或采用机器造型时，可采用外型芯来形成铸件上妨碍起模的凸起部分，如图 1-13 所示，从而避免使用活块造型。

