

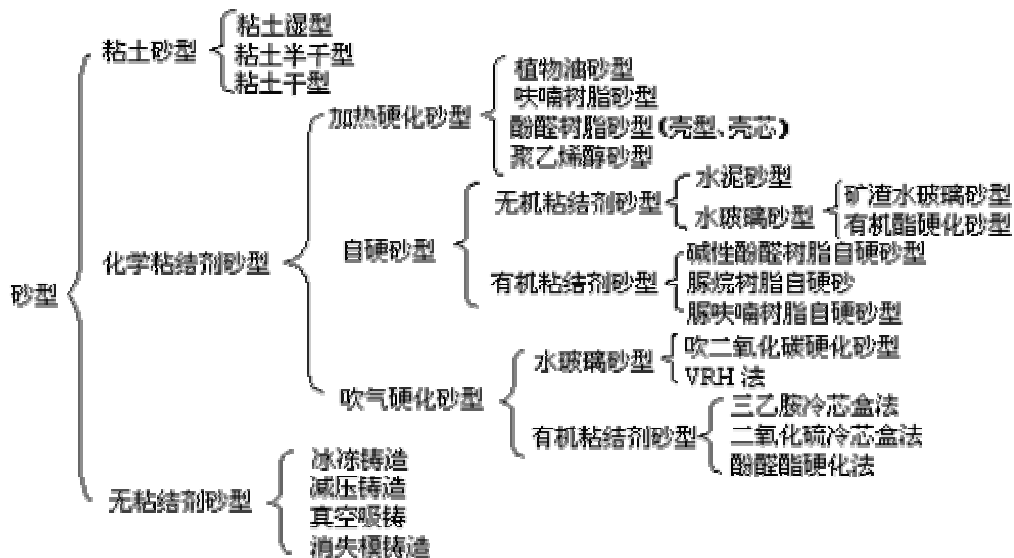
铸造技术

1. 铸造技术的方法选择

铸造是将通过熔炼的金属液体浇注入铸型内，经冷却凝固获得所需形状和性能的零件的制作过程。铸造是常用的制造方法，优点是：制造成本低，工艺灵活性大，可以获得复杂形状和大型的铸件，在机械制造中占有很大的比重，如机床占 60~80%，汽车占 25%拖拉机占 50~60%。铸件的质量直接影响着产品的质量，因此，铸造在机械制造业中占有重要的地位。

铸造是一种古老的制造方法，在我国可以追溯到 6000 年前。随着工业技术的发展，铸造技术的发展也很迅速，特别是 19 世纪末和 20 世纪上半叶，出现了很多的新的铸造方法，如低压铸造、陶瓷铸造、连续铸造等，在 20 世纪下半叶得到完善和实用化。由于现今对铸造质量、铸造精度、铸造成本和铸造自动化等要求的提高，铸造技术向着精密化、大型化、高质量、自动化和清洁化的方向发展，例如我国这几年在精密铸造技术、连续铸造技术、特种铸造技术、铸造自动化和铸造成型模拟技术等方面发展迅速。

铸造主要工艺过程包括：金属熔炼、模型制造、浇注凝固和脱模清理等。铸造用的主要材料是铸钢、铸铁、铸造有色合金(铜、铝、锌、铅等)等。铸造方法常用的是砂型铸造，其次是特种铸造方法，如：金属型铸造、熔模铸造、石膏型铸造.....等。而砂型铸造又可以分为粘土砂型、有机粘结剂砂型、树脂自硬砂型、消失模等等,如下图：



铸造方法选择的原则：

1. 优先采用砂型铸造

据统计，我国或是国际上，在全部铸件产量中，60~70%的铸件是用砂型生产的，而且其中70%左右是用粘土砂型生产的。主要原因是砂型铸造较之其它铸造方法成本低、生产工艺简单、生产周期短。所以象汽车的发动机气缸体、气缸盖、曲轴等铸件都是用粘土湿型砂工艺生产的。当湿型不能满足要求时再考虑使用粘土砂表干砂型、干砂型或其它砂型。粘土湿型砂铸造的铸件重量可从几公斤直到几十公斤，而粘土干型生产的铸件可重达几十吨。

一般来讲，对于中、大型铸件，铸铁件可以用树脂自硬砂型、铸钢件可以用水玻璃砂型来生产，可以获得尺寸精确、表面光洁的铸件，但成本较高。

当然，砂型铸造生产的铸件精度、表面光洁度、材质的密度和金相组织、机械性能等方面往往较差，所以当铸件的这些性能要求更高时，应该采用其它铸造方法，例如熔模（失腊）铸造、压铸、低压铸造等等。

2. 铸造方法应和生产批量相适应

例如砂型铸造，大量生产的工厂应创造条件采用技术先进的造型、造芯方法。老式的震击式或震压式造型机生产线生产率不够高，工人劳动强度大，噪声大，不适应大量生产的要求，应逐步加以改造。对于小型铸件，可以采用水平分型或垂直分型的无箱高压造型机生产线、实型造型生产效率又高，占地面积也少；对于中件可选用各种有箱高压造型机生产线、气冲造型线，以适应快速、高精度造型生产线的要求，造芯方法可选用：冷芯盒、热芯盒、壳芯等高效制芯方法。中等批量的大型铸件可以考虑应用树脂自硬砂造型和造芯。

单件小批生产的重型铸件，手工造型仍是重要的方法，手工造型能适应各种复杂的要求比较灵活，不要求很多工艺装备。可以应用水玻璃砂型、VRH法水玻璃砂型、有机酯水玻璃自硬砂型、粘土干型、树脂自硬砂型及水泥砂型等；对于单件生产的重型铸件，采用地坑造型法成本低，投产快。批量生产或长期生产的定型产品采用多箱造型、劈箱造型法比较适宜，虽然模具、砂箱等开始投资高，但可从节约造型工时、提高产品质量方面得到补偿。

低压铸造、压铸、离心铸造等铸造方法，因设备和模具的价格昂贵，所以只适合批量生产。

3. 造型方法应适合工厂条件

例如同样是生产大型机床床身等铸件，一般采用组芯造型法，不制作模样和砂箱，在地坑中组芯；而另外的工厂则采用砂箱造型法，制作模样。不同的企业生产条件（包括设备、场地、员工素质等）、生产习惯、所积累的经验各不一样，应该根据这些条件考虑适合做什么产品和不适合（或不能）做什么产品。

4. 要兼顾铸件的精度要求和成本

各种铸造方法所获得的铸件精度不同，初投资和生产率也不一致，最终的经济效益也有差异。因此，要做到多、快、好、省，就应当兼顾到各个方面。应对所选用的铸造方法进行初步的成本估算，以确定经济效益高又能保证铸件要求的铸造方法。

铸造方法的特点和适用范围见下表：

铸造方法	铸件材质	铸件重量	表面光洁度	铸件复杂程度	生产成本	适用范围	工艺特点
砂型铸造	各种材质	几十克~很大	差	简单	低	最常用的铸造方法 手工造型:单件、小批量和难以使用造型机的形状复杂的大型铸件 机械造型:适用于批量生产的中、小铸件	手工:灵活、易行,但效率低,劳动强度大,尺寸精度和表面质量低 机械:尺寸精度和表面质量高,但投资大
金属型铸造	有色合金	几十克~20公斤	好	复杂铸件	金属模的费用较高	小批量或大批量生产的非铁合金铸件,也用于生产钢铁铸件(	铸件精度、表面质量高,组织致密,力学性能好,生产率高。
熔模铸造	铸钢及有色合金	几克~几公斤	很好	任何复杂程度	批量生产时比完全用机加工生产便宜	各种批量的铸钢及高熔点合金的小型复杂精密铸件,特别适合铸造艺术品、精密机械零件	尺寸精度高、表面光洁,但工序繁多,劳动强度大
陶瓷型铸造	铸钢及铸铁	几公斤~几百公斤	很好	较复杂	昂贵	模具和精密铸件	尺寸精度高、表面光洁,但生产率低
石膏型铸造	铝、镁、锌合金	几十克~几十公斤	很好	较复杂	高	单件到小批量	
低压铸造	有色合金	几十克~几十公斤	好	复杂(可用砂芯)	金属模的制作费用高	小批量,最好是大批量的大、中型有色合金铸件,可生产薄壁铸件	铸件组织致密,工艺出品率高,设备较简单,可采用各种铸型,但生产效率低
差压铸造	铝、镁合金	几克~几十公斤	好	复杂(可用砂芯)		高性能和形状复杂的有色合金铸件	压力可控,铸件成型好,组织致密,力学性能好,但生产效率低
压力铸造	铝、镁合金	几克~几十公斤	好	复杂(可用砂芯)	金属模的制作费用很高	大量生产的各种有色合金中小型铸件、薄壁铸件、耐压铸件	铸件尺寸精度高、表面光洁,组织致密,生产率高,成本低。但压铸机和铸型成本高
离心铸造	灰铁、球铁	几十公斤~几吨	较好	一般为圆筒形铸件	较低	小批量到大批量的旋转体形铸件、各种直径的管件	铸件尺寸精度高、表面光洁,组织致密,生产率高
连续铸造	钢、有色	很大	较差	长形连续铸件	低	固定截面的长形铸件,如钢锭、钢管等	组织致密,力学性能好,生产率高
消失模铸造	各种	几克~几吨	较好	较复杂	较低	不同批量的较复杂的各种合金铸件	铸件尺寸精度较高,铸件设计自由度大,工艺简单,但模样燃烧影响环境

2. 铸件材料及其熔炼

2.1 铸钢

2.1.1 铸造碳钢

我国多年来沿用的是以钢的含碳量作为分级的标准。表 1 列出铸造碳钢的国家标准中，关于钢的牌号，化学成份和机械性能的要求，牌号中的“ZG”表示铸钢，其后的数字表示钢中碳的重量分数的公称值，以万分之几表示。铸造碳钢依其杂质元素磷和硫含量的高低而分为三级，磷和硫单项质量分数各低于 0.04%的特质(Ⅰ级)钢;低于 0.05%的优质(Ⅱ级)钢。低于 0.06%的为普通(Ⅲ级)钢。

表 1 铸造碳钢的牌号、化学成分及机械性能

钢号	化学成分			机械性能				
	$W_c \times 100$	$W_{Mn} \times 100$	$W_{Si} \times 100$	σ_b / MPa	σ_s / MPa	σ_b / MPa	$\Psi \times 100$	$a_k(\text{CVN}) / (10^5 \text{J/m}^2)$
ZG15	0.12-0.22	0.35-0.65	0.20-0.45	400	200	25	40	6.0
ZG25	0.22-0.32	0.50-0.80	0.20-0.45	450	240	20	32	4.5
ZG35	0.32-0.42	0.50-0.80	0.20-0.45	500	280	16	25	3.5
ZG45	0.42-0.52	0.50-0.80	0.20-0.45	580	320	12	20	3.0
ZG55	0.52-0.62	0.50-0.80	0.20-0.45	650	350	10	18	2.0

一般工程用铸造碳钢的标准 (GB5676-85) 将铸造碳钢按照室温下的机械性能分为 5 个牌号，即 ZG200-400、ZG230-450、ZG270-500、ZG310-570 和 ZG340-640。对钢中的基本化学成分只规定其质量分数的上限，对钢中残余合金元素的限制比较宽。

2.1.2 铸造低合金钢

一、通用铸造低合金钢系列钢种

在机械制造中，通用的铸造低合金钢主要包括锰系、铬系和镍系三个系列。这些系列钢种是在铸造碳钢的成分基础上进行合金化，并通过相就的热处理，以获得比铸造钢更高的常温机械性能的。

1) 锰系低合金钢

以锰作为主要合金化元素，而以硅、钼等作为辅助强化元素，构成锰钢、锰硅钢、锰硅铬钢和锰钼钢。

2) 铬系低合金钢

以铬作为主要合金化元素，而以钼、镍等作辅助强化元素，构成铬钢，铬镍钢。

3) 镍系低合金钢

以镍作为主要合金化元素，而以铬或与作辅化元素构成镍钢、镍铬钢、镍铬钼系钢种。

二、具有特殊性能和用途的低合金钢种

根据对铸件提出的特殊使用性能要求，进行钢的合金设计，即是有专门用途的铸造低合金钢种，其中包括用于厚大截面而又不允许淬火处理的析出强化型低合金钢，耐热用低合金钢，低温用低合金钢以及抗磨用低合金钢等。

2.1.3 铸造高合金钢

在铸造高合金钢中，加入有合金元素总量在 10%（质量分数）以上，加入的合金元素可以是一种，两种，或更多种。钢中含有大量合金元素后，组织发生了根本的变化。使得钢具有特殊的使用性能，例如 $\omega_{\text{Mn}}=13\%$ 的奥氏体高锰钢，具有很高的抗冲击磨损的性能，又如 $\omega_{\text{Cr}}=18\%$ 、 $\omega_{\text{Ni}}=9\%$ 的奥氏体不锈钢，具有很好的耐腐蚀性能等，因此，高合金铸钢实际上是特种铸钢。

与特种铸铁相比，高合金铸钢具有更高的性能，特别是机械性能，如高铬抗磨白口铸铁，虽有很高的抗磨性，但其韧性则较差，不适于在高冲击力的作用下工作，而高锰钢则既有很高的抗磨性，又有很高的冲击韧性，能经受高冲击磨损。又如高硅铸铁在酸类介质中有强腐蚀性，但其强度很低，极易脆裂。而奥氏体不锈钢则既具有耐腐蚀性，又有较高的强度和很高的冲击韧性，适用于经受冲击或震动条件下的耐蚀铸件，如酸泵的叶轮等。再如高铬铸铁虽有很高的耐热性，但也是低强度、高脆性的材料，而高铬镍钢和铬锰氮钢则具有很高的强度和韧性。因此，高合金铸钢比特种铸铁更适合于在重载荷、冲击和震动条件下工作的机器零件，比特种铸铁具有更大的可靠性和安全性。

由于高合金钢中含有大量合金元素，故在铸造性能、焊接性能以及切削加工性能方面均比碳钢和低合金钢差。在铸造性能方面，每种高合金钢均有其特点，生产上需要根据其铸造性能特点来制定相应的铸造工艺。在焊接方面，一般需要使用特定的合金焊条。有些钢种焊接时还需要采取惰性气体保护，必要时还需要在焊前进行铸件预热和在焊后进行的改善焊接部位组织以及消除焊接应力的热处理等。在切削加工方面，由于高合金钢种硬度很高，有的钢种韧性很强，以至于用加工一般碳钢及低合金所用的刀具和切削工具，不能进行加工，而必须采用特定的刀具切削工艺。

一、铸造抗磨钢（高锰钢）

在铸造抗磨钢中，高锰钢是最通用的一种。高锰钢中锰的公称含量为 13%（质量分数），牌号为 ZGMn13，钢经过热处理后具有单一奥氏体组织，韧性很好，但硬度并不高，但这种奥氏体有加工硬化，铸件在工作中经受强烈的冲击或挤压时，其表面层组织发生加工硬化，硬度大为提高，因而具有很高的抗磨性。

二、铸造耐蚀钢（不锈钢）

铸造耐蚀钢的钢种很多，但基本上都以铬作为耐蚀的主要合金元素。依照化学成分和组织可分为铬不锈钢和铬镍不锈钢两类。

1) 铬不锈钢

铬不锈钢的公称含量为 13%，是不锈钢钢种当中含铬量最低的一种。Cr13 型钢是一个系列，按照钢含量不同而分为五种钢号，即 0Cr13，1Cr13，2Cr13，3Cr13 和 4Cr13。作为铸造不锈钢使用的是耐蚀性较好的 ZG 0Cr13 和 ZG1Cr13 两

种。

2) 铬镍不锈钢

铬镍不锈钢中铬的公称含量 $\omega_{Cr}=18\%$ ，其耐蚀性能优于 Cr13 钢。

三、抗磨耐蚀合金钢（不锈钢）

由于水力发电和其它工业的需要，近年来国内外发展了抗磨耐蚀合金钢，其中典型的是用于制造水轮机转子和单浆叶片所用的铬镍钼马氏体不锈钢和析出硬化型铸造不锈钢。

抗磨耐蚀不锈钢也是以铬为主要耐蚀合金元素的，为了使钢具有高硬度，应使钢具有马氏体组织。为此在钢中添加镍和钼，以便在铬镍的联合作用下，使钢仍有很高的淬透性，从而使大型厚壁铸件能在油淬或空冷条件下，得到沿全断面厚度的马氏体组织。在析出硬化型不锈钢中，由于有弥散硬化相在马氏体基体上析出，因而更进一步提高了钢的硬度和抗磨性。为了保证有良好的耐蚀性和焊接性，这类钢中碳的质量分数比较低，一般在 0.1% 以下。

四、铸造耐热钢

耐热用合金钢在 400℃ 以下的温度具有抗氧化性，并能保持其强度，但在更高的温度下具有耐热性，就需要用高合金钢。

钢的高温性能包括抗氧化性及热强性两个方面，抗氧化性是钢在高温下具有对气体介质的氧化腐蚀的稳定性，热强性则是钢在高温下能长期保持承受机械负荷的能力。高温下使用的钢种即按照这两种性能而分为两类。

1) 耐热不起皮钢（抗氧化钢），这是在高温下具有良好的抗氧化性的钢，但对钢的高温强度无严格要求。

2) 热强钢，这是在高温下既具有良好的抗氧化性，又能长期保持高强度的钢。

生产上所用的耐热温度在 800℃ 以上的钢有铬耐热钢、铬镍耐热钢、铬锰氮耐热钢和铝锰耐热钢等四大类。

五、铸造热强钢

1) 钢在高温下的强度及热强性

钢在高温下受力时，发生两种现象，即软化和蠕变。软化的表现是强度降低，而塑性升高。蠕变的表现是钢在高温下受力时，在应力不变的条件下，其变形量不断增长，直至最后断裂。

2) 低合金热强钢

热强钢通常按其金相组织而分为珠光体型、马氏体型和奥氏体型。前两种含的强化元素较少，热强性较差，一般用于 600℃ 以下的温度。奥氏体能固溶大量合金元素，有利于提高钢的热强性。因此，在 600℃ 以上的温度使用的热强钢，基本上都是奥氏体型

在更高温度（800℃ 以上）使用的热强性材料已不是钢（铁基合金），而是镍基合金或钴基合金了。

2.1.4 铸钢的熔炼

一、 炼钢的目的和要求

炼钢的目的和要求包括以下四个方面：

- 1) 将炉料熔化成钢液，并提高其过热温度，保证浇注的需要。
- 2) 将钢液中的硅，锰和碳（冶炼合金钢时，还包括有合金元素）的含量，控制在规则范围以内。
- 3) 降低钢液中的有害元素硫和磷，使共含量降低到规定限度以下。
- 4) 清除钢液中的非金属夹杂物和气体，使钢液纯净。

二、炼钢的方法，特点和应用

1) 电弧炉炼钢

电弧炉的基本构造如图 1 所示。利用电弧产生的热量来熔化炉料和提高钢液过热温度。由于电弧炉不用燃料燃烧的方法加热，故容易控制炉气的性质。可按照冶炼的要求，使之成为氧化性或还原性。电弧炉成为在铸钢方面应用最普遍的炼钢炉。

2) 感应电炉炼钢

炼钢采用无芯感应电炉，其工作原理和构造铸铁的电炉相同。炉体结构与外观如图 2 所示，主要包括感应器和坩埚两部分。但由于炼钢需要消耗更多的热量，故在输入功率方面比同样容量的熔炼铸铁用炉大。炼钢用的感应电炉依炉子容量（坩埚直径）的不同而采用不同的频率，容量在 10kg 左右的用高频（10000Hz 以上），容量从 100~500kg 的用中频（1000~3000Hz），而容量在 500kg 以上的感应电炉采用工业用电频率（50Hz）。

3) 平炉炼钢

平炉的构造如图 2 所示。用煤气或重油作燃料，与预热送风相混合，进行燃烧，产生的火焰直接喷射在炉料上，进行加热和熔化，由于是靠火焰加热，故炉气呈氧化性，炼钢过程中元素烧损较电炉重，平炉的容量大，一般自几十吨至数百吨，适用于浇注重型铸件。

4) 钢包精炼炉

用电弧炉熔化炉料，然后将钢液倾入钢包精炼炉中（图 3），用氩气进行吹炼，能有效地清除钢液中的气体和夹杂物，提高钢液的质量。在钢包精炼炉基础上发展起来的氩氧脱碳（AOD）法和真空氩氧脱碳（VOD）法是冶炼高纯净度钢液，特别是低碳的高纯净度钢液的先进方法，特别适用于生产高强度钢、超高强度钢等钢种。

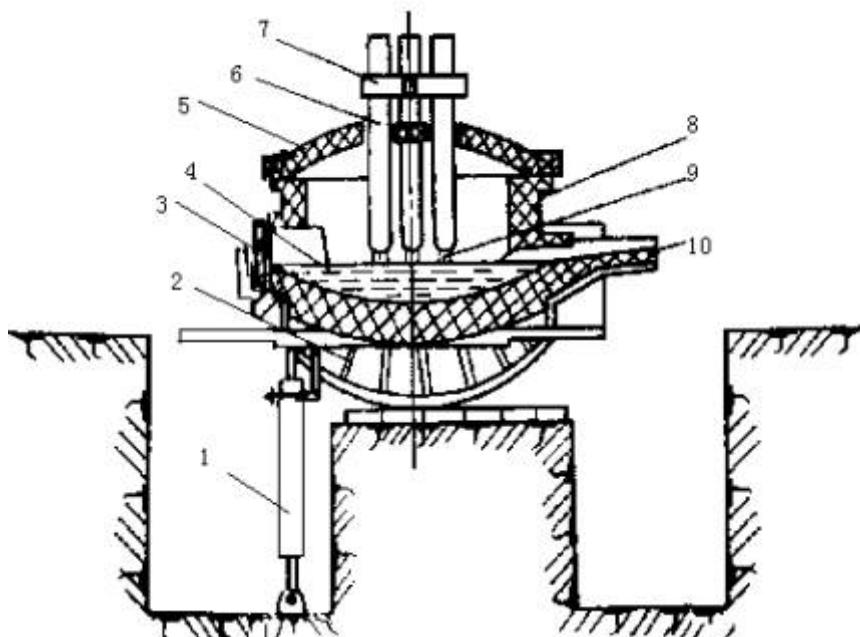


图 1 炼钢电弧炉结构示意图

1-倾炉液压缸 2-倾炉摇架 3-炉门 4-熔池 5-炉盖 6-电极 7-电极 夹紧器 8-炉体 9-电弧 10-出钢槽

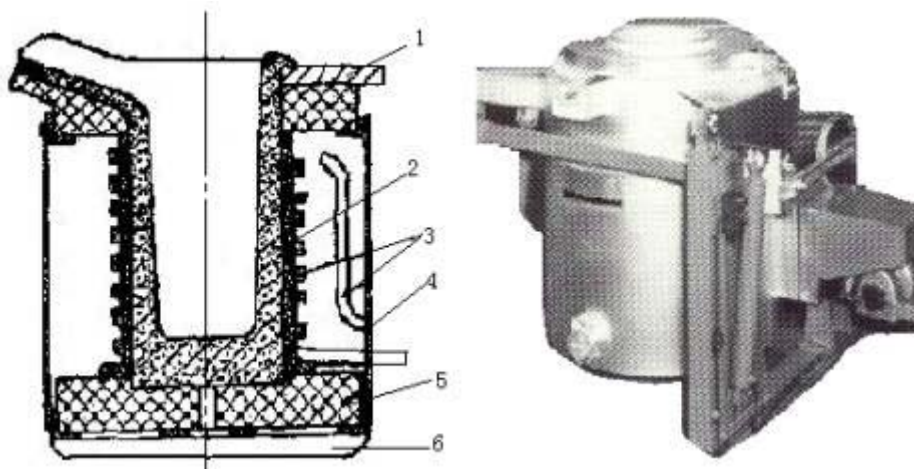


图 2 感应电炉炉体结构和外观

1-水泥石棉盖板 2-坩埚 3-感应线圈 4-水泥石棉防护板 5-耐火砖底座 6-铝制边框

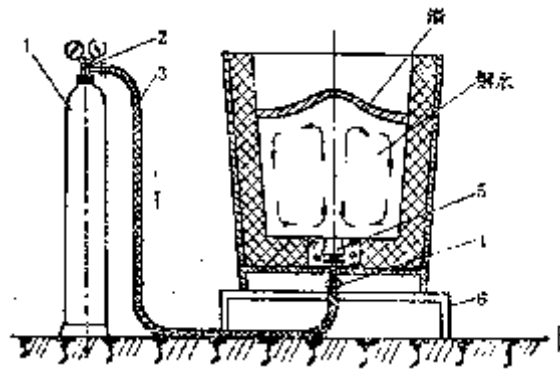


图 3 钢包精炼炉示意图

1—氩气瓶 2—减压阀 3—耐压橡皮管 4—活接头 5—透气塞 6—盛钢筒支架

2.2 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11 或者组织中具有共晶组织的铁碳合金。工业上所用的铸铁，实际上都不是简单的铁—碳二元合金，而是以铁、碳、硅为主要元素的多元合金。铸铁的成分范围大致为：C 2.4-4.0%, Si 0.6-3.0%, Mn 0.2-1.2%, P 0.1-1.2%, S 0.08-0.15%。有时还加入各种合金元素，以便获得具有各种性能的合金铸铁。

根据碳在铸铁中存在的形态不同，通常可将铸铁分为白口铸铁、灰口铸铁及麻口铸铁。而灰铸铁中又可根据石墨的形态不同而分为普通灰铸铁，蠕虫状石墨铸铁，球黑铸铁以及可锻铸铁。

2.2.1 灰铸铁

灰铸铁通常是指具有片状石墨的灰口铸铁，这中铸铁具有一定的机械性能、良好的铸造性能以及其它多方面的优良性能，因而在机械制造业中获得最广泛的应用。

表 2 为灰铸铁的新的国家标准。该标准是以灰铸铁的抗拉强度作为分级依据的。由于灰铸铁对冷却速率的敏感性（壁厚效应），同一种牌号铸铁在不同铸件壁厚条件下的实际强度有很大的差别（薄壁与厚壁之间在强度上的差别达 50-80MPa）。

表 2 灰铸铁分级

牌号	抗拉强度 MPa (kg/mm ²)
HT 100	≥100 (10.2)
HT 150	≥150 (15.3)

HT 200	≥ 200 (20.4)
HT 250	≥ 250 (25.5)
HT 300	≥ 300 (30.6)
HT 350	≥ 350 (35.7)

2.2.2 球墨铸铁及蠕墨铸铁

球墨铸铁和蠕墨铸铁一般是用稀土镁合金对铁液进行处理，以改善石墨形态，从而得到比灰铸铁有更高机械性能的铸铁。

球墨铸铁依照其基体和性能特点而分为六种：即铁素体（高韧性）球墨铸铁，珠光体（高强度）球墨铸铁，贝氏体（耐磨）球墨铸铁，奥氏体—贝氏体（耐磨）球墨铸铁，马氏体—奥氏体（抗磨）球墨铸铁及奥氏体（耐热、耐蚀）球墨铸铁。

蠕墨铸铁具有不同比例的珠光体—铁素体基体组织。铸铁性能与其石墨的蠕化程度（蠕化率）及基体有关。在石墨蠕化良好条件下，珠光体蠕墨铸铁的强度和硬度较高，耐磨性强。适于制造耐磨零件，如汽车的刹车鼓等。而铁素体蠕墨铸铁的导热性较好，在高温作用下，不存在珠光体分解问题，组织较稳定，适用于制造在高温下工作、需要有良好的抗热疲劳能力、导热性的零件，如内燃机汽缸盖、进排气歧管等。

2.2.3 可锻铸铁

可锻铸铁是将白口铸铁通过固态石墨化热处理（包括有或无脱碳过程）得到的具有团絮状石墨的铁碳合金。采用不同的热处理方法，可以得到具有不同组织和性能的可锻铸铁，即黑心可锻铸铁、珠光体可锻铸铁和白心可锻铸铁。

当将白口铸铁毛坯件在密封的退火炉中进行热处理，即在中性炉气条件下退火时，得到的铸铁组织中有呈团絮状的石墨（退火碳）存在。这种石墨虽不很圆整和紧密，但它对基体的割裂作用则比灰铸铁中的片状石墨要小得多，因此它能使铸铁得到较高的强度及良好的韧性。铸铁的基体可以通过热处理来加以控制。使之成为铁素体或珠光体。用这种方法得到的铁素体基体可锻铸铁因组织中有石墨存在，因而铸铁的断面呈暗灰色，而在表层经常有薄的脱碳层呈浅灰色，故通称为黑心可锻铸铁。而珠光体可锻铸铁则是以其基体命名的。

当将白口铸铁毛坯件在氧化性质的炉气条件下进行退火时，铸件断面上从外层到心部，发生强烈的氧化和脱碳。在完全脱碳层中无石墨存在，铸铁的组织为铸素体。实际上，在小断面尺寸条件下，铸铁的组织基本上为单一的铁素体和退火碳。而在大断面尺寸条件下，表层为铁素体，中间区域为珠光体和铁素体及退火碳，而心部区域则为珠光体及退火碳（间或有少量铁素体）。这种铸铁断面由于其心部区域有发亮的光泽，而表层色泽较暗，故通称为白心可锻铸铁。

2.2.4 特种铸铁

特种铸铁是指具有特殊使用性能的铸铁材料，主要包括抗磨铸铁、耐热铸铁和耐腐蚀铸铁。为了使铸铁具有这些特殊

使用性能，需要使铸铁有一定的组织。特种铸铁中既有非合金铸铁（例如普通白口抗磨铸铁），也有低合金铸铁、中合金铸铁和高合金铸铁（如中锰抗磨用球墨铸铁及高铬抗磨用白口铸铁等）。

对任何一种特种铸铁而言，首先是要求具备一定的使用性能，如抗磨、耐热等。但由于是用来制造机器零件，就需要保证有一定的机械性能，主要是强度和塑性，为此需要在铸铁的化学成分设计上，考虑同时满足特定的使用性能和一定的机械性能这两方面的要求。

由于特种铸铁中含有大量合金元素，使得其在熔炼和铸造性能方面，与非合金化的铸铁有显著的差别。大多数合金元素降低铸铁的铸造性能，而含有大量合金元素的特种铸铁的铸造性能通常是很差的，在铸造过程中容易产生多种铸造缺陷，因此需要针对各种铸铁在熔炼和铸造方面的特性，采取适当的工艺措施，防止缺陷的发生，以保证铸件的质量。

2.2.5 铸铁的熔炼

一、熔炼对保证铸件质量的重要性

熔炼铁液是生产铸铁件的重要环节。铸件质量包括内在质量、外观质量以及是否形成缺陷等，这些都与铁液方面因素有直接的关系。如铁液的流动性、薄壁和结构复杂铸件的成型性以及冷隔缺陷等受铁液温度的影响，而熔炼的铁液化学成分是否符合要求，则对铸件的机械性能有直接的影响。铁液中的气体和非金属夹杂物含量不仅影响铸铁的强度和铸件的致密度，而且还与铸件形成气孔、裂纹等缺陷有关。随着机械制造科学的发展，对铸铁提出薄壁、高强度的要求，铸件的最小壁厚由过去 4~6mm 减小至 2~3mm，这要求相应提高铁液浇注温度。铁液温度还对铸铁件的内在质量有重要的影响，如灰铸铁件的质量指标（GZ），即与铁液温度有显明的关系。在球墨铸铁生产方面，熔炼出铁液的温度及原始含硫量成为球化及孕育处理有否成功的先决条件。

二、对铁液质量的基本要求

1. 出炉温度

不同牌号灰铸铁件的浇注温度范围大致为 1330-14100C。在一般情况下，铁液的出炉温度至少比浇注温度提高 500C，故根据铸铁牌号（自 HT100 至 HT350）和铸件结构条件的具体情况，铁液出炉温度应不低于 1380-14600C。当需要浇注特薄（2-4mm）铸件时，出炉温度还应提高 20-300C。为了满足浇注铸件的需要，不同牌号可锻铸铁的出炉温度应不低于 1460-14800C。对球墨铸铁及其它变质处理的铸铁，在其球化—孕育处理过程中铁液的温度会有显著的下降，为了补偿铁液的温度损失，需相应提高铁液的出炉温度。

2. 化学成分

熔炼得到的铁液化学成分需要满足铸件的规格要求。

用冲天炉熔炼时，配料计算是保证铁水化学成分合乎要求的首要环节。即根据铁水化学成分的要求，考虑冲天炉在熔炼过程中元素的变化和炉料的实际情况，计算出各种金属炉料的配合比例。

各种牌号铸铁要求的化学成分随铸件壁厚和铸造方法而异。例如，HT20-40 铸铁的化学成分范围为：C3.3-3.5%、

Si1.5-2.0%、Mn0.5-0.8%、S<0.12%、P<0.25%。用于配置 HT20-40 的金属料平均成分如表 3。

表 3 配置 HT20-40 的金属料平均成分

炉料名称	化学成分 %				
	C	Si	Mn	P	S
Z15 生铁	4.19	1.56	0.76	0.04	0.036
回炉料	3.28	1.88	0.66	0.07	0.098
废钢	0.15	0.35	0.50	0.05	0.05

所用铁合金为含硅 45%硅铁，含锰 75%的锰铁。
熔炼过程中元素的变化为：Si - 15%、Mn - 20%、S +50%。
其配料计算如下：

- (1) 计算炉料中各元素的变化
- a) 炉料含碳量： $C_{铁水\%} = 1.8\% + 0.5 C_{炉料\%}$
已知铁水所需的平均含碳量为 3.4%，按上式算得 $C_{炉料\%}=3.2\%$ ；
 - b) 炉料含硅量：已知铁水所需的平均含硅量 1.75%，硅的熔炼烧损为 15%，则
 $Si_{炉料}=1.75/ (1-0.15) =2.06\%$ ；
 - c) 炉料含锰量 已知 Mn 铁水=0.65%，熔炼烧损 20%，故 $Mn_{炉料}=0.65/ (1-0.20) =0.81\%$ ；
 - d) 炉料含硫量 已知 S 铁水=0.12%，增硫 50%，则： $S_{炉料}=0.12/ (1+0.5) =0.08\%$ ；
 - e) 炉料含磷量 磷在熔炼过程中变化不大， $P_{炉料}=P_{铁水}<0.25\%$
- 综合上列计算结果，所需配置的炉料平均化学成分为：
- C 炉料 3.2%、Si 炉料 2.06%、Mn 炉料 0.81%、S 炉料<0.08%、P 炉料<0.25%
- (2) 初步确定炉料配比
- a) 回炉料的配比 主要取决于废品率和成品率，它随具体生产情况而变化。此处取 20%。
 - b) 新生铁和废钢配比 设新生铁为 $\chi\%$ ，则废钢为 $80\%-\chi\%$ 。按炉料所需含碳量为 3.2%，新生铁、废钢、回炉料的含碳量各为 4.19%、0.15%、3.28%，可列出下式：
 $4.19 \chi +0.15 (80-\chi) +3.28 \cdot 20=3.2 \cdot 100$
得出 $\chi =60.0\%$ 。故铁料配比为：Z15 生铁 60%、废钢 20%、回炉料 20%。
- (3) 然后按上述配比及各种炉料的成分，计算配合后的炉料成分如表 4。

表 4 炉料成分

炉料名	配	C%	Si%	Mn%	S%	P%
-----	---	----	-----	-----	----	----

称	比%	成分	数量	成分	数量	成分	数量	成分	数量	成分	数量
Z15 生铁	60	4.19	2.51	1.56	0.94	0.76	0.46	0.036	0.022	0.04	0.024
回炉料	20	3.28	0.66	1.88	0.38	0.66	0.13	0.098	0.020	0.07	0.014
废钢	20	0.15	0.03	0.35	0.07	0.50	0.10	0.050	0.010	0.05	0.010
合计	100		3.20		1.39		0.69		0.052		0.048
要求成分			3.20		2.06		0.81		<0.08		<0.25
差额			0.00		0.67		0.12		合格		合格

(4) 计算铁合金加入量

a) 硅铁加入量 今缺硅量 0.67%，亦即每 100 公斤炉料需加硅 0.67 公斤。所用硅铁含硅量为 45%，故每 100 公斤炉料需加硅铁量为 $0.67/0.45=1.5$ 公斤

b) 锰铁加入量 同上法计算，每 100 公斤炉料需加入含锰 75%的锰铁为： $0.12/0.75=0.16$ 公斤。

(5) 制定配料单

根据配比和层铁量，确定每批炉料中各种炉料的重量，写出配料单。设已知层铁 500 公斤，可算得每批铁料的组成为：生铁：500'60%=300 公斤、废钢：500'20%=100 公斤、回炉料：500'20%=100 公斤、45%硅铁：500'1.5%=7.5 公斤、75%锰铁：500'0.16%=0.8 公斤。

3. 有害成分

铸铁熔炼过程中，必须将有害的元素成分（磷、硫以及其它干扰铸铁正常结晶和组织控制的微量元素等），控制在限量以下。

1) 脱硫 冲天炉熔炼中铁液中硫的来源，一是炉料中固有的硫，二是从焦炭中吸收的硫。酸性冲天炉不具有脱硫能力，碱性冲天炉能在一定程度上起到脱硫的作用。

炉渣碱度在一定范围内提高时，有利于降低铁液含硫量；温度提高时，铁液在熔炼过程中增硫量减少；炉气氧化性强时，渣中 FeO 含量增高，不利于脱硫反应的进行。适当提高焦铁比，减小送风强度，有利于脱硫。但当生产球墨铸铁件时，除了用热风冲天炉进行炉内脱硫外，还常采用炉外脱硫的措施。炉外脱硫的基本要点是尽量扩大脱硫剂与铁液之间的接触面积，以加强脱硫效果。常用方法有：利用电石脱硫的摇动包脱硫法、喷射脱硫法、机械脱硫法、机械搅拌脱硫法和多空塞脱硫法等。

2) 脱磷 磷对铸铁的机械性能，特别是对球墨铸铁和可锻铸铁的韧性有害，因此要严格控制铸铁的含磷量。冲天炉熔炼的脱磷能力很弱。因此对铁液的含磷量只能通过配料来控制。应采用一定比例的低磷生铁和废钢进行配料。

4. 铁液纯净，含有的渣、气体、夹杂物量少。

为了将冲天炉熔炼中形成的夹杂物从铁液中去除，常在熔炼过程中按照炉料重量，加入一定量的石灰石 CaCO_3 作为溶剂。石灰石在高温下分解，与泥沙、灰分等化合形成低熔点的复杂化合物——熔渣。熔渣易于与铁液分离便于去除。当熔渣粘度高时，可加入一些萤石 (CaF_2)，以降低炉渣熔点。

三、铸铁的熔炼方法及其特点

熔炼铸铁的方法依照所用的熔炉设备而分为冲天炉熔炼，感应电炉熔炼，电弧炉熔炼，反射炉熔炼，以及由某些方法的联合，如冲天炉—电弧炉、冲天炉—感应电炉双联法等。

1. 冲天炉熔炼法

(1) 冲天炉构造 冲天炉的基本构造示如图 4。炉身、风箱及烟道等用钢板焊成。炉身内部通常砌以耐火砖层，以便抵御焦炭燃烧产生的高温作用。为了储存铁液，多数冲天炉都配有前炉。

(2) 冲天炉熔炼原理 在熔炼过程中，炉身的下部装满焦炭，称为底焦。在底焦的上面交替装有一批批的铁料（生铁、废钢、回炉料、铁合金等）、焦炭及熔剂（石灰石、萤石等）。通过鼓风，使底焦强烈燃烧，产生的高温炉气沿炉身高度方向上升，使其上面一层铁料熔化。

(3) 冲天炉熔炼的优缺点及其应用 冲天炉是最普遍应用的铸铁熔炼设备。它用焦炭作燃料，焦炭燃烧产生的热量直接用来熔化炉料和提高铁液温度，在能量消耗方面比电弧炉和其它熔炉节省。而且设备比较简单，大小工厂皆可采用。但冲天炉也存在一定的缺点，主要是由于铁液直接与焦炭接触，故在熔炼过程中会发生铁液增碳和增硫的过程。

采用了冲天炉—电弧炉双联熔炼法或冲天炉—感应电炉双联熔炼法，以充分利用冲天炉熔化效率较高、电弧炉和感应电炉对铁液过热能力强及化学成分控制容易的优点。

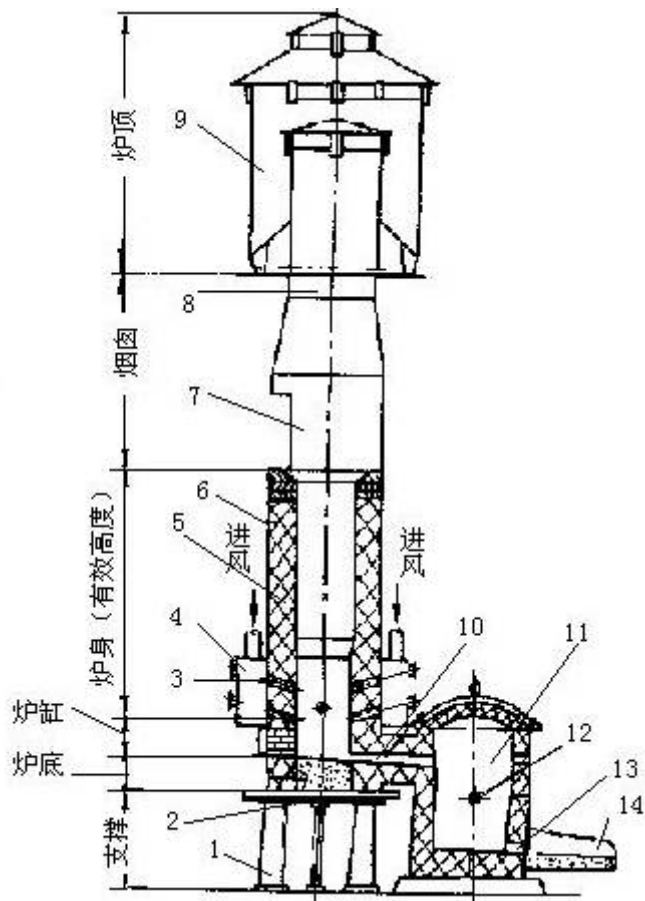


图 4 冲天炉结构简图

2. 感应电炉熔炼

(1) 感应电炉构造及工作原理 感应电炉是利用电流感应产生热量来加热和熔化铁料的熔炉。炉子的构造分为有芯式（图 5）和无芯式两种，在无芯式感应电炉中，坩埚内的铁料在交变磁场的作用下产生感应电流，并因此产生热量，而将其自身熔化和使铁液过程热。在有芯式感应电炉中，需要加入用其它熔炉（如冲天炉）熔化的铁液，在环形铁芯内产生的交变磁场使沟槽内的铁液过程，并利用沟槽中铁液与其上面熔池中的铁液循环作用而加热全部铁液。无芯式感应电炉具有熔化固体炉料的能力，而有芯感应电炉只能过热已熔化的铁液，但在过热铁液的电能消耗方面，则以有芯感应电炉更为节省。

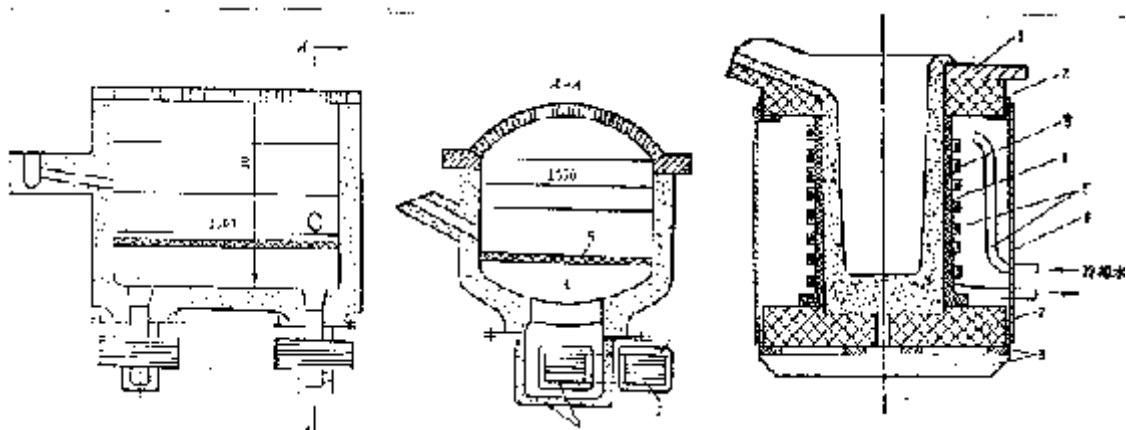


图5 有芯感应电炉炉体部分构造图（容量 20t）

1—感应线圈 2—轭铁 3—耐火材料 4—铁液 5—熔渣

(2) 感应电炉熔炼的优缺点及其应用 与冲天炉熔炼相比，感应电炉熔炼的优点是熔炼过程中不会有增碳和增硫现象，而且熔炼过程可以造渣覆盖铁液，在一定程度上能防止铁液中硅、锰及合金元素的氧化，并减少铁液从炉气中吸收气体，从而使铁液比较纯净。这种熔炼方法的缺点是电能耗费大。

感应电炉适用于熔炼高质量灰铸铁、合金铸铁、球墨铸铁及蠕墨铸铁等。无芯感应电炉能够直接熔化固体炉料，而且开炉及停炉比较方便，适合于间断性生产条件。有芯感应电炉开炉及停炉不便，适合于连续性生产。这种炉子熔化固体炉料的热效率低，而对过热铁液的热效率高，故适于与冲天炉配合使用。目前这两种形式的感应电炉在铸铁生产上都得到应用。

3. 电弧炉熔炼

(1) 电弧炉构造及工作原理 电弧炉熔炼是利用石墨电极与铁料（铁液）之间产生电弧所发生的热量来熔化铁料和使铁液进行过热的。生产上普遍使用的是三相电弧炉，其炉体部分的构造示于图 6。在电弧炉熔炼过程中，当铁料熔清后，进一步地提高温度及调整化学成分的冶炼操作是在熔渣覆盖铁液的条件下进行。电弧炉依照炉渣和炉衬耐火材料的性质而分为酸性和碱性两种。碱性电弧炉具有脱硫和脱磷的能力。

(2) 弧炉熔炼的优缺点及其应用 电弧炉熔炼的优点是熔化固体炉料的能力强，而且铁液是在熔渣覆盖条件下进行过热和调整化学成分的，故在一定程度上能避免铁液吸气和元素的氧化。这为熔炼低碳铸铁和合金铸铁创造了良好的条件。电弧炉的缺点是耗电多，从熔化的角度看不如冲天炉经济，故铸铁生产上常采用冲天—电弧炉双联法熔炼。由于碱性电弧炉衬耐急冷急热性差，在间歇式熔炼条件下，炉衬寿命短，导致熔炼成本高，故多采用酸性电弧炉与冲天炉相配合。

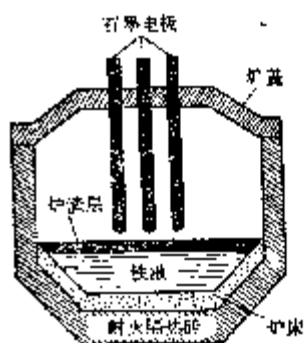


图 6 三相电弧炉体剖面简图

2.3 铸造有色合金

2.3.1 铸造铝合金

(1) 铝合金的性能及应用

铸造铝合金的密度比铸铁和铸钢小，而比强度则较高。因此在承受同样载荷条件下采用铝合金铸件，可以减轻结构的重量，故在航空工业及动力机械和运输机械制造中，铝合金铸件得到广泛的应用。

铝合金有良好的表面光泽，在大气及淡水中具有良好的耐腐蚀性，故在民用器皿制造中，具有广泛的用途。纯铝在硝酸及醋酸等氧化性酸类介质中具有良好的耐蚀性，因而铝铸件在化学工业中也有一定的用途。纯铝及铝合金有良好的导热性能，放在化工生产中使用的热交换装置，以及动力机械上要求具有良好导热性能的零件，如内燃机的汽缸盖和活塞等，也适于用铝合金来制造。

铝合金具有良好的铸造性能。由于熔点较低（纯铝熔点为 660.230°C ，铝合金的浇注温度一般约在 $730\sim 750^{\circ}\text{C}$ 左右），故能广泛采用金属型及压力铸造等铸造方法，以提高铸件的内在质量，尺寸精度和表面光洁程度以及生产效率。铝合金由于凝固潜热大，在重量相同条件下，铝液的凝固过程时间延续比铸钢和铸铁长得多，故流动性良好，有利于铸造薄壁和结构复杂的铸件。

(2) 铸法铝合金的分类、牌号

铝合金按照加工方法的不同分为两大类，即压力加工铝合金和铸造铝合金（分别以 YL 和 ZL 表示）。在铸造铝合金中又依主要加入的合金元素的不同而分为四个系列，即铸造铝硅合金、铸造铝铜合金、铸造铝镁合金和铸造铝锌合金（分别以 ZL1X X，ZL2 X X，ZL3 X X 和 ZL4 X X 表示），在每个系列中又按照化学成分及性能的不同而分为若干牌号。表 3 中列出了铸造铝合金国家标准所包括的几种铝合金的牌号。

表 3 铸造铝合金的牌号

序号	合金牌号	合金代号	序号	合金牌号	合金代号	序号	合金牌号	合金代号
1	ZALSi7Mg	ZL101	10	ZALSi12 Cu1Mg1Ni1	ZL109	19	ZALCu5MnCdA	ZL204A
2	ZALSi7MgA	ZL101A	11	ZALSi9Cu2Mg	ZL111	20	ZALCu5MnCdVA	ZL205A
3	ZALSi12	ZL102	12	ZALSi7Mg1A	ZL114A	21	ZALR5Cu3Si2	ZL207
4	ZALSi9Mg	ZL104	13	ZALSi5Zn1Mg	ZL115	22	ZALMg10	ZL301
5	ZALSi5Cu1Mg	ZL105	14	ZALSi8MgBe	ZL116	23	ZALMg5Si1	ZL303
6	ZALSi5Cu1MgA	ZL105A	15	ZALCu5Mn	ZL201	24	ZALMg8Zn1	ZL305
7	ZALSi8Cu1Mg	ZL106	16	ZALCu5MnA	ZL201A	25	ZALZn11Si7	ZL401
8	ZALSi7Cu4	ZL107	17	ZALCu10	ZL202	26	ZALZn6Mg	ZL402
9	ZALSi12Cu2Mg	ZL108	18	ZALCu4	ZL203			

2.3.2 铸造铜合金

铸造铜合金是工业上广泛应用的一种铸造合金材料。铜基合金因具有良好的对淡水、海水及某些化学溶液的耐蚀性能而大量用于造船及化学工业。铜基合金又由于具有良好的导热性及耐磨性，故也常用于制造各种机器上承受重负荷及高速运转轴的滑动轴瓦轴套等。

铸造铜合金分为两大类，即黄铜与青铜。黄铜是以锌为主加合金元素的铜合金。在铸造黄铜中又因加入其它合金元素而形成锰黄铜、铝黄铜、硅黄铜、铅黄铜等。在铜合金中不以锌为主加元素的统称为青铜，如锡青铜、铝青铜、铅青铜、铍青铜等。在国家标准中规定铸造铜合金共有 9 种，计 29 个牌号。

2.3.3 其他有色合金

除了铸铝合金和铸铜合金以外，还有很多种铸造有色合金。其中比较常用的是铸造镁合金、铸造钛合金和铸造锌合金。镁合金和钛合金由于具有高的比强度，故多用于航空工业。其中钛合金还对多种腐蚀性介质具有很强的耐蚀性，故也用于制造石油化工设备上经受腐蚀作用的铸件。锌合金具有比较高的强度和优良的铸造性能，故广泛用于制造薄壁的和结构复杂的铸件。

在铸造方法上，铜合金及其它有色合金除了采用砂型铸造外，还广泛采用金属型铸造、离心铸造、低压铸造以及石墨型铸造等多种特种铸造方法。

在铜合金铸造中，采用金属型铸造方法，以加速合金的凝固，对提高铸件质量，减少铸造缺陷，具有重要的作用。金属型铸造可细分晶粒（特别对于铝青铜和锰黄铜），减少气孔，提高合金的机械性能和气密性（对锡青铜特别重要），在铅青铜等高含铅量铜合金中，采用金属型（以及水冷金属型）铸造，能防止铜成分的偏析。又由于铜合金铸件中，筒形零件（轴承、衬套）等较多，故采用离心铸造方法较多。此外，大型铸铜件（如大型船用螺旋桨）还可采用低压铸造方法，以提高合金的致密度，并减少铸件在浇注过程中产生的夹杂物。某些铜合金（如铅黄铜）还可采用压力铸造方法。

镁合金由于铸造性能较差，特别是容易产生热裂，故大部分镁合金铸件仍是采用砂型铸造，仅小部分形状简单的铸件，可用金属型铸造。压力铸造方法在镁合金铸造中用得很少。

锌合金具良好的铸造性能，充填铸型能力强，且不产生热裂，故特别适宜于采用金属型和压力铸造。在大量生产中常用压力铸造方法生产薄壁和结构复杂的锌合金铸件。

钛合金由于化学活泼性极强，在铸造过程中钛液与大多数铸型材料（包括各种型砂及钢铁）都发生相互作用，致使铸件被沾污，故只能用特殊的铸型材料（如氧化钽或石墨）来铸造。

2.3.4 铸造有色合金的熔炼

熔炼工艺对有色合金铸件的性能和缺陷有很大影响。多数有色合金易产生气孔和夹杂，尤其是钛合金、铝合金、镁合金和某些铜合金。一般的熔炼工艺流程是：

- 1) 根据铸件技术要求所规定的合金牌号，可查出合金的化学成分范围，从中选定化学成分；
- 2) 根据元素的烧损率和成分要求，进行配料计算，得出各种炉料的加入量，并选择炉料。若炉料受到污染，则需要进行处理，保证所有的炉料清洁、无锈，并在投料前进行预热；
- 3) 检查和准备化用具，涂刷涂料，并预热，防止气体、夹杂物和有害元素的污染；
- 4) 加料。一般加料顺序为：回炉料、中间合金和金属料，低熔点易氧化的金属料，如镁，在炉料熔化之后加入；
- 5) 为了减少合金液的吸气和氧化的污染，应尽快熔化，防止过热，根据需要，有的合金液须加覆盖剂保护；
- 6) 炉料熔化后，进行精炼处理，以净化合金液，并进行精炼效果的检验；
- 7) 根据需要，进行变质处理和细化组织处理以提高性能，并检验处理效果；
- 8) 调整温度，进行浇注。有的合金在浇注前要进行搅拌，以防发生比重偏析。

3. 砂型铸造

粘土砂型概述

粘土砂型可分为湿型、干砂型和表面烘干砂型。三者之间的主要差别在于：湿型是造好的砂型不经烘干，直接浇入高温金属液体；干砂型是在合箱和浇注前将整个砂型送入窑中烘干；表面烘干砂型只在浇注前对型腔表层用适当方法烘干一定深度（一般 5~10mm，大件 20mm 以上）。

目前，湿型砂是使用最广泛的、最方便的造型方法，大约占有所有砂型使用量的 60~70%，但是这种方法还不适合很大或很厚实的铸件。表面烘干型与干型比，可节省烘炉，节约燃料和电力，缩短生产周期，所以曾在中型和较大铸件的生产中推广过。通常采用较粗砂粒（使有高的透气性），加入较多粘土和水分，有时还在型砂中加 1~2% 的木屑（提高抗夹砂结疤能力），其型腔表面必须涂敷涂料。

干型主要用于重型铸铁件和某些铸钢件，为了防止烘干时铸型开裂，一般在加入膨润土的同时还加入普通粘土。干型主要靠涂料保证铸件表面质量。其型砂和砂型的质量比较容易控制，但是砂型生产周期长，需要专门的烘干设备，铸件尺寸精度较差，因此，近些年的干型，包括表面烘干的粘土型已大部分被化学粘结的自硬砂型所取代。

3.1 湿型铸造

3.1.1 湿型铸造特点

湿型铸造法的基本特点是砂型（芯）无需烘干，不存在硬化过程。其主要优点是生产灵活性大，生产率高，生产周期短，便于组织流水生产，易于实现生产过程的机械化和自动化；材料成本低；节省了烘干设备、燃料、电力及车间生产面积；延长了砂箱使用寿命等。但是，采用湿型铸造，也容易使铸件产生一些铸造缺陷，如：夹砂、结疤、鼠尾、粘沙、气孔、砂眼、胀砂等。随着铸造科学技术的发展，对金属与铸型相互作用原理的理解更加深刻；对型砂质量的控制更为有效；加上现代化砂处理设备使型砂质量得到了一定保证；先进的造型机械使型砂紧实均匀，起模平稳，铸型的质量较高，促进了湿型铸造方法应用范围的扩大。例如汽车、拖拉机、柴油机等行业中，质量在 300~500kg 以下的薄壁铸件，现都已成功地采用湿型铸造。现代化造型方法有：普通机器造型、微震压实造型、多触头高压造型、射压造型、冲击造型及静压造型等。各种造型方法的特点及所生产的铸件尺寸精度和表面粗糙度值见表 1。

3.1.2 湿型砂用原材料

湿型砂是由原砂、粘土、附加物及水按一定配比组成的。常用的加料顺序是先将回用砂和新砂、粘土粉、煤粉等干料混匀，再加水混至要求的水分。型砂的配方应根据浇注合金种类、铸件特征和要求、造型方法和工艺、清理方法等因素

确定型砂应具有的性能范围，然后再根据各种造型原材料的品种和规格、砂处理方法和设备性能、砂铁比等因素拟定。

一、 石英质原砂(具体参数请查询铸造技术数据-铸造技术-铸造工艺参数-铸造造型材料-铸造用砂)

铸造生产中使用量最大的原砂是以石英为主要矿物成分的天然硅砂。天然硅砂资源丰富，分布极广，易于开采，价格低廉，能满足铸造上多数情况的要求。生产中通常根据铸件的合金种类、质量、壁厚不同来选定原砂的化学成分和矿物组成。例如铸钢的浇注温度高达 1500℃左右，钢液含碳量较低，型腔中缺乏能防止金属氧化的强还原性气氛，与铸型相接触的界面上金属容易氧化生成 FeO 和其他金属氧化物，因而较易与型砂中杂质进行化学反应而造成化学粘砂。所以要求原砂中 SiO₂ 含量应较高，有害杂质亦应严格控制。铸钢件的浇注温度越高，壁厚越厚，则对原砂中 SiO₂ 含量的要求就越高。

表 1 各种造型方法的特点及所生产的铸件尺寸精度和表面粗糙度

造型方法		比压 /MPa	硬度 ①	砂型平均密度 (g.cm-3)	铸件基本尺寸／mm 和尺寸公差等级 CT				铸件表面粗糙度 Ra/um
					>7～ 63	>63～ 100	>100～ 160	>160～250	
低压造型；例如普通机器造型		0.13～ 0.4	60～ 80	1.2～1.3	8～9	8～9	8～9	9～10	50～400
中压造型：例如微震压实		0.4～ 0.7	70～ 90	1.4～1.5	7～9	7～9	7～9	8～10	50～400
高压造型	射压造型	>0.7	90 左右	1.5～1.6	6～7	6～7	6～7	7～8	6.3～ 50(12.5～25)
	多触头高压造型	>0.7	90 左右	1.5～1.6	5～6	6～7	6～7	7～8	6.3～ 50(12.5～25)
冲击造型	气流冲击造型		90 左右	1.5～1.6	提高了砂型的尺寸精度、铸件的尺寸精度 低于高压造型				6.3～50
	动力（机械）冲击造型		90 左右	1.5～1.6	提高了砂型的尺寸精度、铸件的尺寸精度 相当或略优于高压造型				6.3～50

①指砂型上下平面的表面度值，用 B 型砂到硬度计利出。

② 括号内为常见的粗糙度值，但我国的劳件 q 比此但法度值大 1～2 个等级。

③ 我国高压造型实际达到的精度比表中约差 1～3 个等级。

二、非石英质原砂

非石英质原砂是指矿物组成中不含或只会少量游离 SiO_2 的原砂。虽然硅砂来源广，价格低，能满足一般铸铁、铸钢和非铁合金铸件生产的要求而得到广泛应用，但是硅砂还有一些缺点：热膨胀系数比较大，热扩散率比较低，蓄热系数比较低，容易与铁的氧化物起作用等。这些都会对铸型与金属的界面反应起不良影响。在生产高合金铜铸件或大型铸钢件时，使用硅砂配制的型砂，铸件容易发生粘砂缺陷，使铸件的清理十分困难。清砂过程中，工人长期吸入硅石粉尘易患矽肺。

为了提高铸件表面质量，改善劳动条件，在铸钢生产中已逐渐采用一些非石英质原砂来配制无机和有机化学粘结剂型砂、芯砂或涂料。这些材料与硅砂相比，大多数都具有较高的耐火度、热导率、热扩散率和蓄热系数，热膨胀系数低而且膨胀均匀，与金属氧化物的反应能力低等优点，能得到表面质量高的铸件并改善清砂劳动条件。但这些材料中有的价格较高，比较稀缺，故应当合理选用。目前可用的非石英质原砂有橄榄石破、锆砂、铬铁矿砂、石灰石砂、镁砂、刚玉砂、钛铁矿砂、铝矾土砂等等。

三、粘土

粘土是湿型砂的主要粘结剂。粘土被水湿润后具有粘结性和可塑性，烘干后硬结，具有干强度。而硬结的粘土加水后又能恢复粘结性和可塑性，因而具有较好的复用性。粘土资源丰富，价格低廉，所以应用广泛。

粘土主要是由细小结晶质的粘土矿物所组成的土状材料。按晶体结构可分为高岭石（kaolinite）组，包括高岭石、珍珠陶土、地开石、埃洛石等；蒙脱石（montillonite）组，包括蒙脱石、贝得石、绿脱石、皂石等；伊利石（illite）组，包括依利石、海绿石等。

铸造工作者通常根据所含粘土矿物种类不同将所采用的粘土分为铸造用粘土（fireclay）和铸造用膨润土两类。膨润土主要是由蒙脱石组矿物组成的，主要用于湿型铸造的型砂粘结剂。铸造用粘土主要含有高岭石或依利石类矿物。

四、附加物

型砂中除了含有原砂、粘土和水等材料以外，通常还加入一些附加物如煤粉、渣油、淀粉等，目的是使型砂具有特定的性能，并改善铸件的表面质量。

在铸铁及有色合金用湿型砂中加入煤粉，可以防止铸件表面产生粘砂缺陷，并能改善铸件的表面光洁程度。湿型铸铁件所用型砂中煤粉的含量常在 3~8%（质量分数）范围内，根据铸件大小和厚薄而异。

煤粉的代用材料，包括固体沥青或其乳化液，渣油或煤焦油或其乳合液，膨润土与沥青或其他石油衍生物的混合粉末或浆液，固态或水中分散的合成聚合物和淀粉等。铸铁面砂中淀粉含量（按质量分数计）一般为 0.5% 左右，铸钢面砂在 0.5~1.0% 左右。

3.1.3 湿型砂性能要求及检测方法

高质量型砂应当具有为铸造出高质量铸件所必备的各种性能。根据铸件合金的种类，铸件的大小、厚薄、浇注温度、金属液压头、砂型紧实方法、紧实比压、起模方法、浇注系统的形状、位置和出气孔情况，以及砂型表面风干情况等的不同，对湿型砂性能提出不同的要求。最主要的，即直接影响铸件质量和造型工艺的湿型性能有水分、透气性、强度、紧实率、变形量、破碎指数、流动性、含泥量、有效粘土含量、颗粒组成、细化物、砂温、发气性、有效煤粉含量、灼烧减量、抗夹砂性、抗粘砂性等。

一、水分、最适宜湿程度和紧实率

为了得到所需要的湿态强度和韧性，粘土砂必须含有适量水分，太干或太湿均不适于造型，也难铸造出合格铸件。因此，型砂的干湿程度必须保持在一个适宜的范围。

判断型砂干湿程度有以下几种方法：

(1) 水分也叫含水量或湿度 它是表示型砂中所含水分的质量百分数，这是一般工厂中确定型砂干湿程度最常用的传统方法。测定的原理是称取定量的型砂，放入 105~110℃烘干装置中使之干燥，由烘干前后的质量差异计算出型砂的水分。

(2) 手捏感觉 有实际操作的混砂或造型工人常根据用手捏型砂时砂是否容易成团和是否沾手来判断型砂的干湿程度，还根据捏紧动作中砂是否柔软和变形情况来判断型砂的可塑性；根据手指掐碎砂团时用力大小来判断型砂的强度是否合适。

(3) 紧实率 是指湿型砂用 1MPa 的压力压实或者在鼓击式制作机上打击三次，其试样体积在紧实前后的变化百分率，用试样紧实前后高度变化的百分数来表示，见图 1，即紧实率= [（筒高一紧实距离）筒高] ×100%。

手工和机器造型用型砂最适干湿状态下的紧实率接近 50%；高压造型和气冲造型时为 35~45%；挤压造型时为 35~40%；不管型砂中有效膨润土、煤粉和灰分的含量有多少，只要将紧实率控制在上述范围内，手捏感觉的干湿程度就处于最适宜状态。这时型砂的水分可称为最适宜水分。

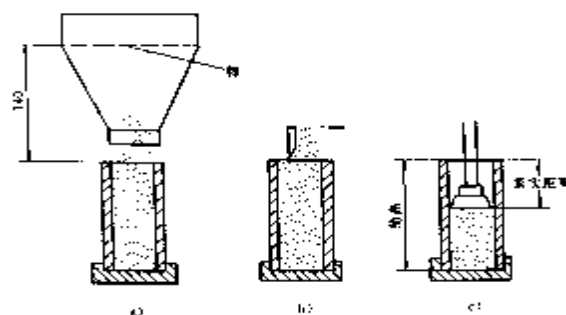


图 1 紧实率测定法示意图

a)填满型砂 b)刮去多余型砂 c)紧实

二、透气性

紧实的型砂能让气体通过而逸出的能力称为透气性。

透气性的高低主要受砂粒的大小、粒度分布、粒形、含泥量、粘结剂种类、加入量和混砂时粘结剂在砂粒上的分布状况以及型砂紧实度的影响。对于湿型的单一砂和面砂而言，透气性不但要有下限，而且必须严格规定其上限。

图 2 为透气性测定仪原理图，它是测出气钟内的空气在压力下通过试样的时间来计算透气性 k 。

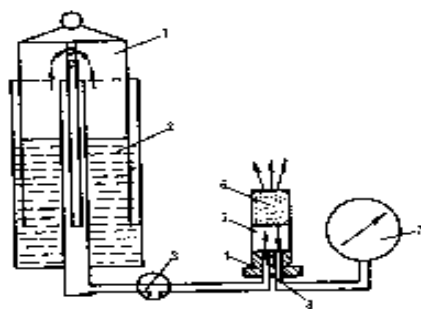


图 2 透气性测定仪示意图

- 1 — 气钟 2 — 木筒 3 — 三通阀 4 — 试样座 5 — 试样筒
6 — 标准试样 7 — 微压表 8 — 阻流孔

三、湿态强度

型砂必须具备一定的强度以承受各种外力的作用。型砂的强度用型砂标准试样在外力作用下遭到破坏时的应力值来表示。常用计量单位为兆帕(MPa)或千帕(kPa)。湿型铸造时，往往主要检查型砂石的湿态抗压强度，有的也测湿态抗剪强度和湿态抗拉强度。对普通机器造型用湿型砂，通常控制湿压强度为 0.06~0.12MPa 之间，高密度造型用湿型砂，湿压强度常控制在 0.09~0.20MPa。

在生产中常采用表面硬度计测定硬度，以此反映型砂紧实的质量，反映铸型表面强度。

四、流动性

型砂在外力或自重作用下，沿模样和砂粒之间相对移动的能力称为流动性。流动性好的型砂可形成紧实度均匀、无局部疏松、轮廓清晰、表面光洁的型腔，这有助于防止机械粘砂，获得光洁的铸件。此外，还能减轻造型紧实砂的劳动强度，提高生产率和便于实现造型、造芯过程的机械化。

目前测流动性的方法还未统一，较多采用以下几种方法来判定型砂流动性：①用湿型硬度计测定标准试样两个端面硬度值的差别，硬度差别越小，指明型砂的流动性越好；②在标准圆柱形试样筒中放置一块高 25mm 的半圆形金属块，测定阶梯试样两平面的硬度差值；③测定在底侧有环形空腔型砂试样筒中冲击成的试样的高度；④侧孔法：测定在冲击型

砂试样时圆柱形试样筒侧面 12mm 小孔中挤出的型砂的质量。⑤试样质量法：即对比测定紧实率后的试样质量，容积密度愈大，则流动性好。

五、起模性、变形量、韧性和破碎指数

型砂的起模性是表示起模时模样或模板与砂型分离是否容易损坏，是否产生掉落的性能。

型砂的变形量通常是在用强度试验机测定型砂抗压强度的同时，用一个百分表测出试样破碎前的变形量（高度减小量）。由此也可计算出型砂韧性，即将型砂湿压强度(MPa)承变形量(cm)再乘 1000 的乘机来表示韧性(MPa.cm)。

对湿型砂而言，有人认为韧性也可用破碎指数来代表，即测定在冲击条件下型砂的韧性。图 3 为用落球法测定破碎指数示意图。湿型砂标准抗压试样放在铁砧上受到一个自 1m 高度自由落下的 φ50mm、510g 钢球的冲击，破碎的型砂，碎的通过网眼为 12.7mm（0.5in）的筛网，留在筛网上的大块型砂的质量占试样原质量的比值即为破碎指数。通常震压造型的破碎指数控制在 68~75%，高压造型型砂的破碎指数要求在 68%左右。

图 3 落球法测定破碎指数示意图



六、发气量和有效煤粉含量

为了检查铸铁件用湿型砂的抗机械粘砂能力和推算出型砂中有效煤粉含量，我国普遍采用的是测定型砂发气性的办法。发气性（发气量）测定大都是让待测定量样品在密闭体系中加热气化，或测定所产生气体的容积（用单位质量析出的气体体积表示，cm／g）；或测定气体的压力（容积恒定，发气量大，压力大）；或称量残留物的质量（灼烧碱量），以确定发气量。

3.1.4 湿型砂制备

在拟定型砂的配方之前，必须首先根据浇注合金种类、铸件特征和要求、造型方法和工艺、清理方法等因素确定型砂应具有的性能范围。然后再根据各种造型原材料的品种和规格、砂处理方法和设备性能、砂铁比和各项材料烧棉比例等因素拟定型砂的配方一个车间的型砂性能指标和配方要经长期生产考验才能确定。

一、湿型砂的性能和配方特点

表 2 是一些工厂用型砂性能的实例。

表 2 铸铁件湿型砂典型性能

造型方法	水分 (%)	湿压强度 (kPa)	热湿强度 (kPa)	紧实率 (%)	透气性	有效粘土 (%)	挥发分 (%)	灼减 (%)	泥分 (%)	AFS 细度
震压	3~4	70~100	—	45~52	80~	5. 0~5.5	2.5	7.0~	—	约 55

造型					100			7.5		
高压造型	2.5~3.2	150~200	—	38~40	80~100	6.0~10.0	2.0	6.0	9.0~15.0	约 55
气冲造型	4.3	266.0	2.6	30.5	89	8.6	1.7	6.8	15.5	54
	4.4	231	3.0	32	110	9.1	1.3	5.2	15.1	62
	4.1	231	3.0	32	110	9.1	1.3	5.2	15.1	62
	2.9	243.0	2.8	36.0	78	8.4	0.9	1.3	8.9	63
	3.6	196.5	1.35	27.6	164	6.4	1.5	4.7	12.7	61

二、旧砂的特性及其处理

生产 1t 湿型铸件约需要 5~10t 型砂，在实际生产中，配制型砂时都尽量回用旧砂（即重复使用过的型砂）、这不仅 是经济上的需要，而且也是保护环境、防止公害的需要。图 4 为铸铁湿型单一砂循环过程的示意图。可以看出，混砂时 还需向旧砂中补充加入新砂、膨润土、煤粉和水等材料，才能使混制出的型砂性能符合要求。

铸件打箱后，砂中常有铁块、铁豆和砂块等杂物，因而旧砂要经过多次磁选、破碎团块及过筛去除杂物。还应该经过 除尘处理，降低旧砂中的粉尘含量，然后回用。另外，还要采取一系列措施以降低旧砂温度。

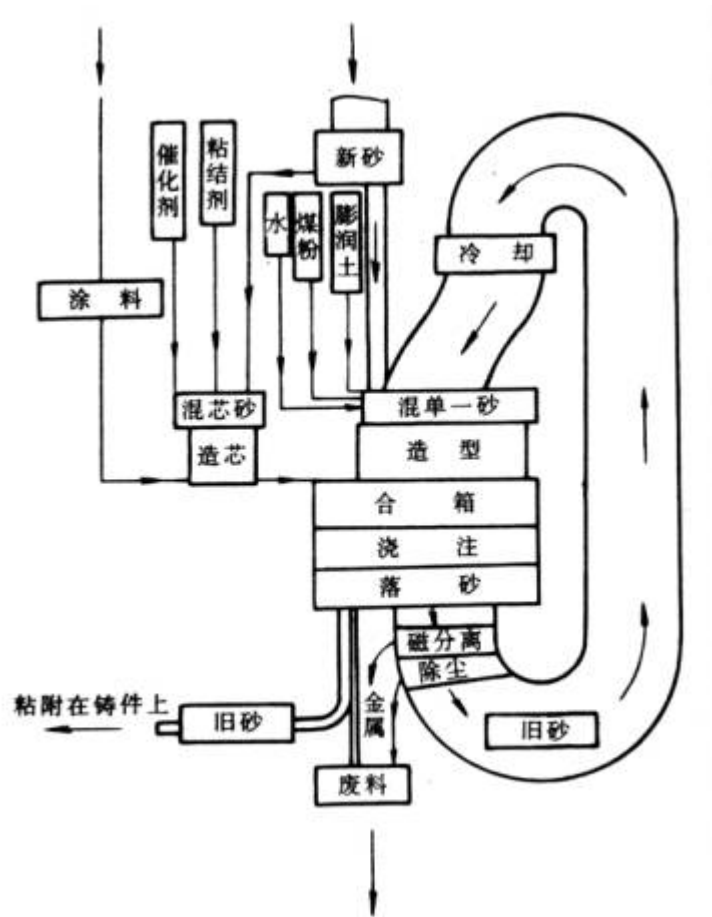


图 4 铸铁湿型单一砂循环过程示意图

三、湿型砂的混制工艺

生产中常用的混砂机有碾轮式、摆轮式、叶片式等。有些大量生产的铸造工厂使用的双碾盘碾轮式混砂机，是一种高生产率的连续式混砂机。常用的加料顺序是先将回用砂和新砂、粘土粉、煤粉等干料混匀，再加水混至要求的水分。对湿型砂而言，混砂时严格控制加水量是必要的。

3.2 干型(芯)砂和表面烘干砂型铸造

3.2.1 基本特点

干型砂是以粘土和膨润土作粘结剂的一种型砂。干型砂制成的砂型（芯）都需要经过烘干，因此湿态强度可以稍低一些，含水量可以稍高一些，以达到较高的干强度。干型主要靠涂料保证铸件表面质量，对原砂化学成分和耐火度要求不很高。砂型表面可以涂刷水基涂料，也可以采用粒度较粗的原砂，型砂可以有较高的透气性，不容易产生冲砂、粘砂、气孔等缺陷。

干型主要用于浇注中、大型铸件。型砂和砂型的质量都比较容易控制，但铸件尺寸精度较差，砂型需要专门的烘干设备，生产周期较长，因此在许多方面干型正逐渐被自硬砂型所代替。

表干型砂的主要特点是采用粗砂、活化膨润土和加入木屑。表干型砂的性能及配制基本兼有湿型砂和干型砂的要求。表干砂型不需专门的烘干设备，生产周期比较短，清砂也比较容易，但它对型砂性能和工艺操作要求比较严格。表干砂型主要用于浇注中型铸件，其中较大的达十几吨重。

3.2.2 各种材料的选用

(1) 原砂 铸铁件和铸钢件的干型大多采用粒度较粗的原砂。例如，40/70 目以上。非铁合金铸件干型所用原砂其粒度则较细，一般为 70/140 目和 100/200 目。

(2) 粘结剂 表干型砂一般都采用钠膨润土或采用湿强度和热湿拉强度较高的钙膨润土作粘结剂。干型砂所用的粘土应具有一定的干强度和耐火度。

(3) 附加物 形状比较复杂的砂芯和砂型可在型砂混合料中加入可以提高退让性和溃散性的附加物。

3.2.3 干型砂和表干型砂的配比和性能控制

(1) 配比 干型砂和表干型砂主要由新砂、旧砂、粘土、膨润土、附加物和少量的水所组成。铸铁件和非铁合金铸件用的干型砂和表干型（芯）砂，旧砂回用量一般占 50~80%。铸铁表干型砂中膨润土加入量在 5~10% 之间，总含泥量要求控制在 16~18% 以下；如采用钙基膨润土还须在配砂时加入占膨润土量 4% 左右的碳酸钠进行活化处理。铸铁件的干型砂中粘土和膨润土的总量控制在 8~12%，两者比例一般在 1:1 左右，可根据铸件大小适当调整。表干型砂和芯砂中一般还加入 0.5~1.5% 的木屑，还可加入 2~3% 的石油沥青乳浊液或其它有机水溶性粘结剂。铸钢件用的干型砂大都采用新砂配制。膨润土及粘土的加入量占 10~15%，有的芯砂和型砂中还加入 1.5~3.0% 的有机水溶性粘结剂。

(2) 性能控制 对干型砂和表干型砂除含水量、湿透气性、湿压强度等性能外，表干型砂应着重控制其热湿拉强度，干型砂应着重控制其干强度。

3.2.4 混制工艺

干型砂的混制工艺与湿型砂基本相同。混砂时间一般在 5~15min 之间。铸铁表干型砂的混砂时间一般均在 10min 以上。

3.2.5 烘干工艺

干型和表干砂型很重要的一个环节是烘干工艺的控制。表干砂型在每刷一次水基石墨涂料后，要经过自然干燥（如 24h）或喷烘才可刷下一遍涂料。厚大铸铁件往往要刷 2~3 遍涂料。砂型

的烘干温度见表 3。烘干后的砂型，干燥层深度一般都在 50mm 以上，砂芯的干燥层深度更大一些。

表 3 几种砂型（芯）烘干保温温度（℃）

名称	一般砂型	加木屑的砂型	加有机粘结剂的砂芯
烘干温度	350—400	300—360	250—300

3.2.6 旧砂回用及性能控制指标

和湿型砂一样，干型砂及表干型砂需要定期对旧砂的总含湿量和有效膨润土含量及 pH 值进行监测相应调整新砂和旧砂的比例，以求得型砂和芯砂性能的稳定。总含湿量至求控制在 16～18%以下。

3.3 水玻璃砂型铸造

3.3.1 概述

到目前为止，铸造生产中应用最广泛的无机化学粘结剂是钠水玻璃。

水玻璃是各种聚硅酸盐水溶液的通称，别名泡花碱。铸造上使用的主要是钠水玻璃（Sodium silicate, water glass），价格便宜，来源充足；其次为钾水玻璃，此外还有锂水玻璃、钾钠水玻璃、季铵盐水玻璃等。钠水玻璃的化学式为 $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。直接影响钠水玻璃的化学和物理性质以及水玻璃砂的工艺性能的几个重要参数是：

1) 模数 模数的大小仅表示钠水玻璃中 SiO_2 和 Na_2O 的物质的量比。

$$M = n\text{SiO}_2 / m\text{Na}_2\text{O} = 1.033 W_{\text{SiO}_2} / W_{\text{Na}_2\text{O}}$$

式中 W_{SiO_2} 、 $W_{\text{Na}_2\text{O}}$ ——分别为硅酸钠中 SiO_2 和 Na_2O 的质量百分数（%）。

模数越高，作为芯（型）砂粘结剂时的硬化速度越快，但模数过高，将使芯（型）砂的保存性差，不适于造型和制芯。铸造生产中，吹 CO_2 硬化常用模数 2 的钠水玻璃。水玻璃的模数可以通过加入 NaOH 水溶液(浓度 10-20%)或 NH_4Cl 水溶液(浓度 10%)进行调整。调整计算：

$$X_{\text{NaOH}} = 13.3 W_{\text{SiO}_2} / M - 12.9 W_{\text{Na}_2\text{O}} \quad (\text{克})$$

$$X_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 1.73 (W_{\text{Na}_2\text{O}} - W_{\text{SiO}_2} / M) \quad (\text{克})$$

2) 密度、含固量和粘度

密度低，水的质量分数高，含固量少，不宜用作型（芯）砂粘结剂；反之，密度过大，粘稠，也不便定量和不利与砂子混合。铸造上通常采用密度 ρ 为 $1.32 \sim 1.68 / \text{cm}^3$ 或波美度 30~54 的钠水玻璃。实际上，水分和含固量较之采用密度更直接反映钠水玻璃的粘结力和价值。

3.3.2 水玻璃砂造型工艺

一、 CO_2 钠水玻璃砂

目前广泛采用的 CO_2 钠水玻璃砂，大都由石英砂加入 4.5~8.0% 的钠水玻璃配制而成。对于几十吨的质量要求高的大型铸钢件砂型（芯），全部面砂或局部采用镁砂、铬铁矿砂、橄榄石砂、锆砂等特种砂代替石英砂较为有利。

钠水玻璃砂可使用各种混砂机混制。混好的砂最好放在有盖的容器中，或者覆以湿的麻袋，以免砂中水分蒸发和与空气中 CO_2 接触。

钠水玻璃砂流动性好，制芯时可用手工或靠微震紧实，也可采用吹射制芯（型）。大的砂芯为增加容让性和便于排气，砂芯内部放块度为 30—40mm 的焦碳块、炉渣或干砂，并在中心挖出气孔，上部通至箱口。型和芯一般要扎通气孔，使 CO_2 气体可以通过，加速硬化。

目前应用较多的是插管发法和盖罩法（见图 1），也有通过模样吹 CO_2 硬化的方法，还开发了真空— CO_2 硬化和脉冲吹气硬化等方法。

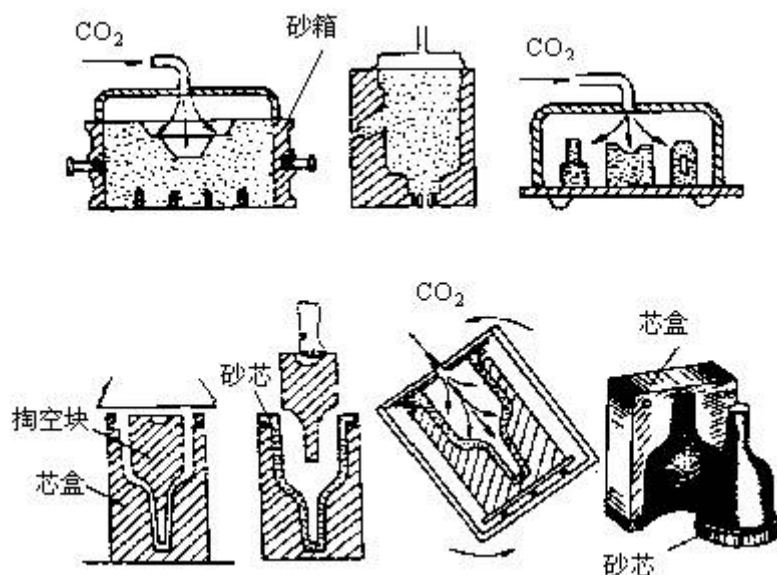


图 1 盖罩法硬化示意图

应用 CO₂ 硬化法常采用的吹气压力为 0.15~0.2MPa，吹气时间视型、芯大小和形状而定，一般从 10s 到几 min。每吨铸件 CO₂ 的耗用量为 10~12kg。

二、 自硬钠水玻璃砂

自硬钠水玻璃砂由原砂、钠水玻璃、粉状固化剂或液体有机酯硬化剂及为改善砂芯（型）的保存性、

出砂性、减少铸件缺陷、提高铸件表面质量的附加物所组成。

液体有机酯自硬砂采用的液体硬化剂如表 1 所示。

表 1 水玻璃砂用液体催化剂

名 称	化 学 组 成
甘油单醋酸酯（一醋精，monaceticin）	$C_3H_5(OH)_2OOCCH_3$
甘油双醋酸酯（二醋精，diaceticin）	$C_3H_5(OH)(OOCCH_3)_2$
甘油三醋酸酯（三醋精，triaceticin）	$C_3H_5(OOCCH_3)_3$
有机酯（organicer）	上述醋酸酯的混合物
乙二醇二醋酸酯（ethylene glycol diacetate）	$(CH_3COOCH_2)_2$
二甘醇二醋酸酯（diethylene glycol diacetate）	$(CH_3COOCH_2CH_2CH_2O)_2$
乙二醇丙酸酯	$(C_2H_5COOCH_2)_2$
丙烯碳酸酯（碳酸酯和丙烯乙二醇）	$CH_3CHOCOOCH_2$
氟硅酸（hydrofluosilic acid）	H_2SiF_6

通常市售的铸造用有机酯大都是由上述酯以不同比例混合而成，以满足生产上所需不同的使用时间和硬化速度的要求。用酯硬化钠水玻璃，酯水解产物之一的丙三醇在浇注时被烧掉，有助改善型芯的出砂性。

对于用于铸造生产的有机酯至今尚未制定产品质量标准。现根据某工厂的进货验收条件，摘编于下，供参考。该验收条件强调了产品主成分质量分数和有害杂质的质量分数，即规定产品酯质量分数大于 98%；有力酸质量分数小于 0.5%。根据该厂反映这两项指标工厂有检测条件，控制好这两项指标，工艺也相对稳定。

工厂选择有机酯应根据本厂铸件的结构特点所需要的操作实践来确定型砂工艺的可操作实践。在这个基础上，经过严格的工艺试验（包括与之搭配的水玻璃），确定选用快酯、中酯或慢酯或根据自己的特殊情况，再用调节酯自行调节。

温度是大多数化学反应的重要影响因素，对于有机酯水玻璃自硬砂也一样，大多数工厂在没有条件控制环境和原材料温度的情况下，在季节变化时所选用的硬化剂也应有所变化。高温季节多用慢酯；低温季节多用快酯。

有机酯钠水玻璃砂可用于单件和成批生产钢铁及其他合金铸件，小的型、芯用单一砂，而大、中型砂型则用它作面砂。它的典型配方按质量分数是石英砂 95.6~97%，钠水玻璃 3~44%。有机酯为钠水玻璃质量的 8~12.5%。

三、烘干硬化水玻璃砂

烘干硬化水玻璃的强度比 CO_2 硬化砂的强度高 10 倍左右。为得到 CO_2 硬化砂同样的常温强度，烘干硬化砂水玻璃的加入量可降到 2~3%，因而使溃散性有显著改善。烘干硬化水玻璃砂，除传统的进窑烘干外，现已发展了在芯盒内吹热风硬化、热芯盒内硬比、微波硬化等新的制芯工艺，但这些新的制芯工艺只适于制中小型芯。

烘干硬化水玻璃砂的配比根据烘干硬化方法决定。进窑烘干的水玻璃砂，要求有一定湿强度，配比中常加适量耐火粘土、膨润土或含膨润土的溃散剂，并加适量水或 NaOH 溶液。采用这种工艺时，型砂的配比和 CO_2 硬化砂的配比接近。热芯盒内硬化和微波加热硬化，对湿压强度没有要求，不加附加物，水玻璃加入量可降到 2.5~3.5%。

热气烘干法是使干燥的热气流均匀地透过砂芯，溢出时带走砂芯中水玻璃的水分，从而使水玻璃胶凝，砂芯固化的一种方法。应用这种方法，在设计芯盒时应设计好进、排气通道，务必使砂芯全部硬透。热气烘干法对工装设计要求较高，热气流烘干需要较长时间，效率也受影响。

四、真空置换硬化(VRH)法

真空置换硬化(VRH)法是近年来开发成功并已应用于生产的先进水玻璃砂工艺之一。该工艺以水玻璃为粘结剂，砂型（芯）在真空室内经真空脱水后，再经 CO_2 硬化。

1. VRH 法工艺的主要特点

(1) 水玻璃加入量少

当水玻璃加入量在 3%~4%，真空吹 CO_2 后 2h，砂型强度可达 1~2MPa，终强度可达 2MPa 以上，完全满足生产工艺要求。

(2) 显著改善砂型的溃散性

尽管比树脂砂的溃散性差些，但落砂及旧砂再生均能明显改善，可用干法再生，其再生回收率达80%左右。

(3) 提高铸件质量

VRH 法实行先硬化后起模的工序，而且由于水玻璃加入量少，砂型（芯）在高温下变形减少，均有利于提高铸件尺寸精度，同时硬化后的砂型（芯）水质量分数小，铸件的气孔、针孔等缺陷相应减少。

(4) 降低造型材料费用，提高经济效益

由于水玻璃加入量减少，CO₂消耗量降低，旧砂回用率提高，节省新砂耗量等因素，VRH 法与普通水玻璃 CO₂ 硬化工艺相比，每吨铸件型砂费用可节约 15%~20%。

2. VRH 法的主要工序及相关要求

(1) 抽真空

将紧实的砂箱或芯盒置于真空室内抽真空，要求真空度至少在 4000Pa 之下，最好 2600Pa 之下。

(2) 往真空室导入 CO₂

VRH 法水玻璃砂型（芯）吹 CO₂ 是在真空室内进行的，因为 CO₂ 在抽真空的砂型（芯）里运动没有障碍，扩散迅速，与水玻璃反应快而均匀，CO₂ 耗量减少。注意 CO₂ 压力随室温变化而变化，冬天应比夏天压力高。

五、微波硬化法

微波烘干法是一项正在开发中的新工艺，它的特点是利用微波加热快而均匀的特点，充分发挥水玻璃脱水硬化粘结强度最高的优势，使型砂中水玻璃加入量降到最低限度。现将试验的有关结论介绍如下：

1. 在一定范围内，微波烘干水玻璃砂的强度与水玻璃加入量成正比。微波烘干水玻璃砂的强度与水玻璃加入了成正比。

2. 微波烘硬时间与微波炉功率成正比。

3.3.3 水玻璃旧砂的再生

水玻璃旧砂的再生比较困难，再生的难度与水玻璃加入量、砂铁比、浇注温度、铸件壁厚，型砂的硬化方法等有关。水玻璃再生砂的质量指标，主要为 Na₂O 含量，要求大件 Na₂O 含量 < 0.2~0.3%，小件含量 < 0.5%；亦有的要求灼减量 < 0.8%。

水玻璃旧砂的再生方法主要有：

- 1) 砂块的破碎用振动破碎机可将破块破碎成砂粒
- 2) 湿法再生, 将经破碎的旧砂加水后机械搅拌, 或用水力旋流器清洗。这种方法适用于水玻璃砂烧结程度轻的中小件的生产车间。湿法再生砂的质量比干法好, 可去除大部分微粉, Na_2O 去除率可达 80%~90%, 砂粒的破碎损失小, 再生砂的回用率可达 50%~70%。湿法再生的缺点是设备系统庞大, 占地面积和基建投资大, 用水量大, 运转费用高, 再生砂要烘干, 能耗大, 污水、污泥处理困难。
- 3) 干法再生, 有逆流式、气流撞击式、机械离心式等再生装置。其中以逆流再生机的再生效果较好, Na_2O 去除率达 40%-50%。”
- 4) 干—湿法再生, 先用干法去除部分惰性膜, 再用湿法再生, 主要用于有机酯水玻璃自硬砂。

3.4 有机粘接剂砂芯和砂型

3.4.1 概述

砂芯主要用来形成铸件的内腔、孔洞和凹坑等部分, 在浇注时, 它的大部分或部分表面被液态金属包围, 经受铁液的热作用、机械作用都较强烈, 排气条件也差, 出砂、清理困难, 因此对芯砂的性能要求一般比型砂高。

3.4.2 植物油砂

采用干性油和靠近干性油的半干性油作油砂粘结剂。干性油含不饱和脂肪酸, 其加热硬化机理一般认为是氧化聚合的结果。常用的植物油有, 桐油、亚麻油等。

烘干温度一般以 200~220°C 为宜。如需缩短烘干时间, 可将温度提高到 250°C, 但不能超过 300°C, 否则粘结性能将被破坏。

3.4.3 合脂粘结剂及合脂砂

(一) 合脂粘结剂

合脂是合成脂肪酸蒸馏残渣的简称, 是从炼油厂原料脱蜡过程中得到的石蜡, 制皂工业再将石蜡制取合成脂肪酸时所得的副产品。

合脂砂的烘干湿度范围比油砂宽些, 但是最适宜范围仍是 200~220°C 之间。合脂粘结剂的加入量一般为砂质量的 2.5~4.5%, 过多, 强度增加不显著, 而发气量明显增大, 粘膜加重, 蠕变加大, 出砂性变差。

存在的问题:

1. 湿强度低

合脂砂的湿压强度只有 2.0~2.5kPa。比植物油砂还要低。加入膨润土或者含泥量高的天然粘土砂可以提高湿强度。

2. 砂芯蠕变

合脂砂湿强度低，合脂本身在常温下粘度大，芯砂流动性差，造芯时不易紧实；因此合脂砂芯在湿态和烘干过程中易发生蠕变，即逐渐往下沉。在冬天，合脂变得更加粘稠，蠕变现象就更为严重。可采用加入膨润土和高温入炉烘干硬化的方法来减少蠕变的缺陷。

3.4.4 壳芯（型）

一、壳芯（型）的制造

1940 年，Johannes Croning 发明用热法制造壳型，称为“C”法或“壳法”，此法不仅可用于造型，更主要的是用于制造壳芯。该法用酚醛树脂作粘结剂，配制的型（芯）砂叫做覆膜砂像干砂一样松散。其制壳的方法有两种：翻斗法和吹砂法（见图 1）。

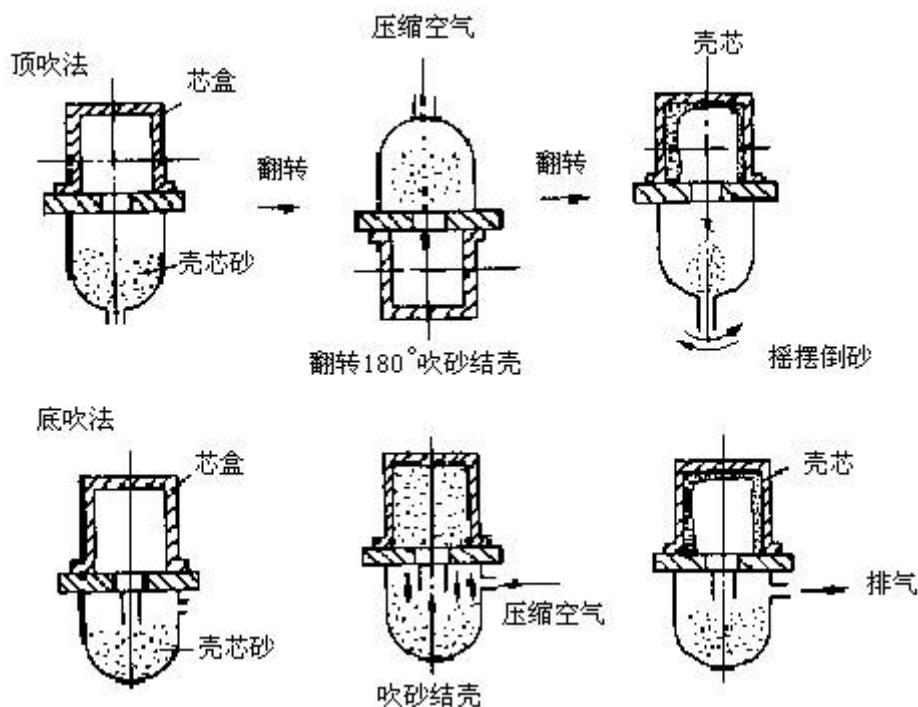


图 1 顶吹法和底吹法制造壳芯示意图

壳法造型、造芯的优点是混制好的覆膜砂可以较长期贮存（三个月以上）；无需捣砂，能获得尺寸精确的型、芯；型、芯强度高，质量轻，易搬运；透气性好，可用细的原砂得到光洁的铸

件表面；无需砂箱；覆膜砂消耗量小；型、芯可以长期贮放。尽管酚醛树脂覆膜砂价格较贵，造型、造芯耗能较高，但在要求铸件表面光洁和尺寸精度甚高的行业仍得到一定应用。通常壳型多用于生产液压件、凸轮轴、曲轴以及耐蚀泵件、履带板等钢铁铸件上；充芯多用于汽车、拖拉机、液压阀体等部分铸件上。

二、壳型砂用原材料及混制工艺

（1）酚醛树脂

壳法采用热塑性酚醛树脂。它是在苯酚过量（通常苯酚与甲醛的物质的量之比为 1：0.75～0.85）及温度在 105℃以下缩合制成的。常用的硬化剂为乌洛托品，学名六亚甲基四胺，即(CH₂)₆N₄，其加入量一般占树脂质量的 10～15%。

（2）原砂

壳法一般采用硅砂，对于表面质量要求很高的铸件，特别是壁很厚实、易产生粘砂的铸钢件，也常使用锆砂、铬铁矿砂。

（3）附加物

为了改善覆膜砂的性能，有时在覆膜过程中加入某些附加物。例如加入硬脂酸钙（为砂量的 0.25～0.35%），可防止覆膜砂存放期间结块；增加覆膜砂的流动性，制壳时易于顶出等。加入石英粉（加入量为砂质量的 2%左右），可提高覆膜砂的高温强度。

（4）覆膜砂混制工艺

酚醛树脂覆膜砂一般以原砂为 100（质量比），酚醛树脂加入量为：对于壳型是 3.5～6.0，壳芯是 1.5～4.0，另加入乌洛托品和硬脂酸钙。覆膜砂的混制工艺可分为冷法、温法和热法三种。

其中热法是一种适于大量制备覆膜砂的方法，需要专门设备。混制时一般为先将加热到 130～160℃的砂加到间歇式混砂机中，再加树脂混匀，熔化的树脂包在砂粒表面，当砂温降到 105～110℃时，加入乌洛托品水溶液，吹风冷却，再加入硬脂酸钙混匀，经过破碎、筛分备用。

3.4.5 热芯盒法制芯

热芯盒法制芯，是用液态热固性树脂粘结剂和催化剂配制成的芯砂，填入加热到一定温度的芯盒内，贴近芯盒表面的砂芯受热，其粘结剂在很短时间即可缩聚而硬化。而且只要砂芯的表层有数毫米结成硬壳即可自芯盒内取出，中心部分的砂芯利用余热和硬化反应放出的热量可自行硬化。它为快速生产尺寸精度高的中小砂芯（砂芯最大壁厚一般为 50～75mm。）提供了一种非常有效的方法，特别适用于汽车、拖拉机或类似行业的铸件生产。

（1）热盒法用粘结剂

热芯盒用的树脂有呋喃树脂和酚醛树脂，大多数是以尿醛、酚醛和糠醇改性为基础的一些化合

物，根据所使用的铸造合金及砂芯的不同以及市场供应情况，进行树脂的选择。

常用的呋喃树脂有：1) 脲呋喃 (UF/FA) 树脂；2) 酚呋喃 (PF/FA)，树脂此类树脂不含氮，或含极少量的氮，主要用于制造铸钢和球墨铸铁件，硬透性较尿呋喃树脂稍差。我国的呋喃—2 型热芯盒树脂属于这类树脂中的一个品种；3) 脲—酚呋喃共聚物 (UF/PF/FA)，含氮高的这类树脂主要用于铸铁件，也可用于有色合金铸件。

(2) 热芯盒法硬化用催化剂

国内对呋喃-1 型树脂砂最常用的催化剂是氯化铵和尿素的水溶液，其配比（质量比）为氯化铵：尿素：水=1：3：3。

(3) 热芯盒法砂的工艺性能及树脂砂的配制

热芯盒法可以使用任何干净、干燥的原砂。要求砂芯有较好的透气性时，可选用稍粗的原砂；对铸件内表面要求很光洁的，可选用较细的原砂。热芯盒砂可用一般碾轮式混砂机混碾，混制工艺如下：

干砂+附加物——→加催化剂——→加树脂粘结剂——→出砂

热芯盒制芯工艺通常采用射芯机射芯，呋喃 I 型树脂砂的固化温度在 140~250°C 之间，芯盒温度保持在 200~250°C 较适宜。一般几十秒即可从芯盒中取出砂芯。

3.4.6 气硬冷芯盒法制芯

气硬冷芯盒法制芯是将树脂砂填入芯盒，而后吹气硬化制成砂芯。根据使用的粘结剂和所吹气体及其作用的不同，而有三乙胺法、SO₂ 法、酯硬化法、低毒和无毒气体促硬造芯等方法。

一、三乙胺法

此法为美国 Ashland 油脂化学公司研制成功，1968 年开始向铸造厂推广并取得应用，国外常称 Isocure 法，或称酚醛—尿烷冷芯盒法，我国叫三乙胺法。粘结剂由两部分液体组成：组分 I 是酚醛树脂，组分 II 为聚异氰酸酯。催化剂为液态叔胺，可用三乙胺[(C₂H₅)₃N](TEA)、二甲基乙胺 (DMEA)、异丙基乙胺和三甲胺 [(CH₃)₃N] (TMA)，造芯时，其工艺过程如图 2 所示。填砂后向树脂砂中吹入催化剂气雾（压力 0.14~0.2 MPa）便能在数秒至数十秒内硬化，达到满足脱模搬运的强度。

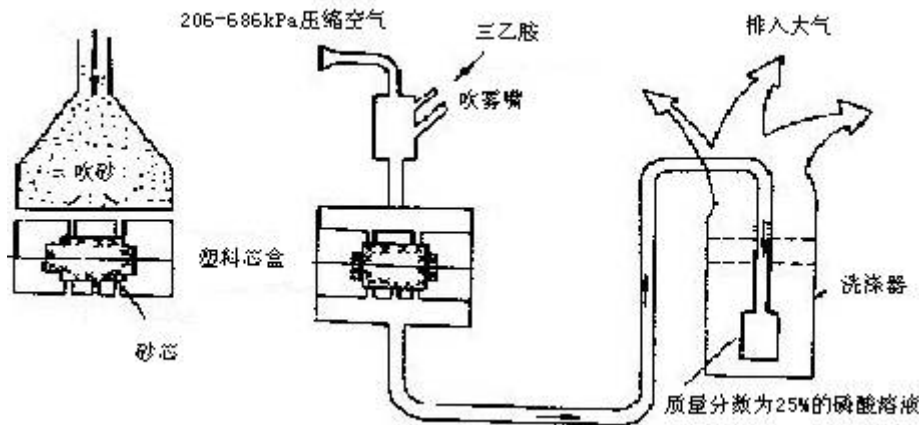


图 2 三乙胺法造芯工艺过程

采用三乙胺法造芯时，原砂采用干净的 AFS 细度 50~60 的硅砂，也可使用锆砂、铬铁矿砂。原砂必须干燥，水分超过 0.1%（质量分数），就会减少芯砂的可使用时间，降低砂芯抗拉强度。典型的芯砂配方是树脂粘结剂占砂质量的 1.5%，由等质量的组分 I 和组分 II 构成。

二、SO₂ 法

SO₂ 法是继三乙胺法之后开发的一种新型吹气冷芯盒制芯和造型方法，用于铸造生产始 1978 年，近些年来又开发了一些新型 SO₂ 法。

（一）呋喃树脂/SO₂ 法

此法在 1971 年由法国 SaPic 公司取得专利权，称 Sapici 法，直到 1978 年才用于生产，欧洲大陆称 Hardox 法，英国称 SO₂-Fast 法，美国叫 Insta-Darw 法。其造芯工艺过程类似三乙胺法。

SO₂ 许多优点胜过其他方法，因此从钢铁到有色合金均有应用。其主要优点如下；①热力度高，使铸件的尺寸精度和表面质量高（高于三乙胺法）；②出砂性优良，对给镁合金也极易出砂；③树脂砂有效期特别长，混好的砂不接触 SO₂ 气体，决不会硬化；④发气量是有机粘结剂中最低的；⑤强度发展快。

SO₂ 的缺点也很明显，例如：①树脂中游离糠醇汽化易使芯表面结垢；②低碳钢芯盒用于砂芯大量生产时，锈蚀是一个严重问题；③SO₂ 泄漏，将引起严重环境问题；④过氧化物为强氧化剂，易燃烧，要妥善保管。

（二）环氧树脂 SO₂ 法

环氧树脂 SO₂ 法于 1983 年用于生产。此法与呋喃-SO₂ 法比，芯砂的可使用时间更长（可达 5 天），而且基本解决了芯盒结垢和粘模问题，很适合大量生产。

环氧树脂 SO₂ 法有效地克服了呋喃—SO₂ 法的大部分缺点，但是用于钢铁铸件时，由于易产生冲砂和夹砂，因此需涂敷耐火涂料；浇注系统应有助于平稳层流。当使用水基涂料时，建议在低于 81℃ 温度下烘干。

（三）自由基硬化法

自由基硬化法用于铸造生产始于 1982 年。此法采用三种组分组成的液态粘结剂，包括：①丙烯酸聚氨酯树脂；②少量有机氢过氧化物引发剂（用来激发自由基聚合）③用来提高抗拉强度、延长砂芯保存期的乙烯基硅烷增强剂。此法用氮稀释的 SO₂ 气体促进硬化。

粘结剂的加入量通常为 0.9~1.8%。所用树脂混合物的典型组成是 95% 的粘结剂、3% 的增强剂和 2% 的过氧化物引发剂。催化剂气体由 1~10%（典型的为 2%）的 SO₂ 和惰性气体载体（氮）所组成。每吨芯砂约需 SO₂ 0.45kg。用干燥空气或氮清洗是为了充分分散 SO₂ 气体催化剂，并使 SO₂ 随后从硬化好的砂芯或砂型中排出。

三、乙缩醛硬化法（红硬法）

乙缩醛硬化法又称红硬（red-set）法，这是因为该法用树脂砂硬化后变成粉红色而得名。此法是由原联邦德国开发的，粘结剂是三级分体系。组分 1 是树脂，是一种具有高反应的甲阶酚醛树脂水溶液，不含游离酚，含游离甲醛少于 0.1%；组分 2 是活化剂，是不同类型的磷酸在无机酸中的浓缩水溶液；组分 3 是硬化剂，常用乙缩醛。

此法所配树脂砂在二周内使用仍有好的强度。硬化时需要的乙醛量理论上占组分 40%，实际为 60~100%。所制出的砂芯（型）有好的抗吸湿性，砂芯有强的抗毛刺能力。但这一方法不宜采用橄榄石砂，高耗酸值砂也减慢硬化过程。此法的工艺较复杂，对工艺参数要求严格，成本较高，价格为三乙胺法的 2~3 倍。

3.4.7 树脂自硬砂

将砂子、液态树脂及液态催化剂混合均匀后，填充到芯盒（或砂箱）中，稍加紧实、即于室温下在芯盒（或砂箱）内硬化成型，叫自硬冷芯盒法造芯，简称自硬法造芯（型）。自硬法可大致分为酸催化树脂砂自硬法、尿烷系树脂砂自硬法和酚醛—脂自硬法。

树脂自硬砂不仅用于造芯，亦用于造型，特别适用于单件和小批量生产，可生产铸铁、铸钢及有色合金铸件。其主要优点是：①提高了铸件的尺寸精度，改善了表面粗糙度；②节约能源，节约车间面积；③砂中的树脂的质量分数，由早期的 3~4% 降到了 0.8~1.2%，这是通过对原砂的处理及对树脂、催化剂、混砂设备、工艺等方面进行改进得到的，从而降低了成本；④大大减轻了造芯、造型、落砂、清理工人的劳动强度，便于实现机械化；⑤旧砂可再生，有利于防止二次公害。

一、 酸催化树脂自硬砂

(1) 酸催化树脂自硬砂用的树脂

常用粘结剂为呋喃树脂和热固性酚醛树脂。也有采用酮醛树脂与糠醇的混合物 (AR/FA)、糠醇—甲醛聚合体 (FA/F)、糠醇与其他活性化合物的混和物 (FA/C)。糠醇含量越高,氮和水的含量会愈低,粘结剂的质量也愈好,但价格也高。

(2) 酸催化树脂自硬砂用的催化剂

通常自硬法用催化剂应符合以下要求:①保证改工艺过程带所规才的硬化速度和强度;②具有低的粘度的液体,不产生沉淀;长期贮存时,性能不变;③如冬季运输引起冷凝,随后加热融化,性能可回复;④价格合理,经济。

(3) 可使用时间和脱模时间

可使用时间是指自硬树脂砂混砂后能够制出合格砂芯的那一段时间。脱模时间是指从混砂结束开始,在芯盒内制的砂芯(或未脱模的砂型)硬化到能满意地将砂芯从芯盒中取出(或脱模),而不致发生砂芯(或砂型)变形所需的时间间隔。

影响可使用时间、脱模时间的因素很多。实验表明,所采用的原砂、树脂、催化剂的类型、质量和加入量、混砂工艺、环境温度和湿度,均对可使用时间和脱模时间有明显的影响,影响最大的为环境温度和催化剂加入量。当催化剂量相同,室温不同时,温度低时可使用时间长;温度高时可使用时间短。其趋势是温度每增加 10oC,可使用时间缩短 1/2—1/3。室温相同时,催化剂入量减少,可使用时间明显增长;催化剂增多,可使用时间缩短,但是催化剂加入量超过一定范围后,可使用时间变化不大,但对脱模时间影响显著,温度变化也明显影响脱模时间,其趋势是每增加 5 oC,脱模时间缩短 1/2—1/3。

(4) 混砂工艺

合理地选用混砂机,采用正确的加料顺序和恰当的混砂时间有助于得到高质量的树脂砂。混砂工艺如下:

混砂 混砂
砂+催化剂——→树脂——→出砂

砂和催化剂的混合时间的确定,应以催化剂能均匀地覆盖住砂粒表面所需的时间为准。太短了混合不匀,树脂强度低,个别地方树脂砂型硬化不良或根本不硬化;太长了,影响生产率和使砂温上升。树脂加入后的混拌时间也不能过短(混拌不均)和过长(砂温升高,可使时间变短),混拌时间一般通过实验确定。

二、自硬尿烷树脂砂

自硬尿烷树脂砂有不同的品种。

(1) 醇酸油尿烷树脂砂 (Linocure 法)

这种方法是 1965 年左右由美国 Ashland 化学公司开发的, 称为 Linocure 法。这种工艺采用的粘结剂由三部分组成, 即组分 I—油改性醇酸树脂; 组分 II—液态胺/金属催干剂, 常用的催干剂为有机酸的金属皂类催干剂; 组分 III——聚 MDI 型异氰酸酯。三种成分均为液体, 其中 I 和 II 是主要成分。组分 I 的加入量占砂质量的 1~2%; 组分 III 加入量为组分 I 的 18~20%; 组分 II 为用来达到预定的可使时间和脱模时间, 加入量为组分 I 的 2~10%, 可单独加入, 也可预先接入组分 I 内。

(2) 多元醇尿烷树脂砂

它是在 70 年代末期开发的, 特别适用于铝、镁和其他轻合金铸造厂。组分 I 是一种具有良好热溃散性的多元醇, 组分 II 是 MDI 型异氰酸酯, 组分正是胺催化剂。当组分 I 和组分 II 的质量比为 50:50 时可得到最好结果。

组分 III 一般不用, 脱模时间从 8min 到超过 1h, 但也可用组分 I 来控制脱模时间, 有时可快达 3min。粘结剂加入量对于轻合金来说为砂质量的 0.7~1.5%。

(3) 酚醛尿烷树脂砂 (Pep-set 法)

这种工艺于 1970 年开始用于铸造, 国外称 Pep-set 法, 采用的粘结剂由三部分组成, 即苯基醚酚醛树脂—组分 I, 聚异氰酸酯—组分 II, 胺催化剂—组分 III。三种成分均为液体。组分 I 和组分 II 之比常采用 50:50, 或为了减少含氮量而采用 60:40。这两种成分的总加入量为砂质量的 1.4~1.6%。催化剂用于调整树脂砂的硬化速度, 其加入量为组分 I 质量的 1~5%。

混制方法如下: 先把酚醛树脂与催化剂混合, 使催化剂均匀地分散在树脂中。混砂时再把含有催化剂的酚醛树脂和聚异氰酸酯依次加到砂中。最好使用高效混砂机。

三、酚醛—酯自硬砂

酚醛—酯自硬砂低氮或无氮, 在混砂、浇注时气味和烟雾少, 自 1981 年开始推广以来, 已逐步获得较多的应用。

(1) 树脂的性能

酚醛—酯自硬法用树脂的粘度与酸催化酚醛自硬树脂相似。在室温下的保存(储存)期约为 4~6 个月。

(2) 酯催化剂

用于这种粘结剂的催化剂为一系列的液态酯, 它不能取代通常的自硬法用酸催化剂, 也不能同它们混合在一起。尽管这种酯催化剂具有弱酸性, 但它们不能同呋喃和酚醛用酸催化自硬的磺

酸相容。脱模时间取决于所用酯催化剂的类型，催化剂加入量和砂子的温度。

(3) 混砂

当采用间歇式或连续式混砂机混砂时，象酸催化法一样，首先加入酯催化剂组分，直到完全包覆砂子后再加入树脂组分。

(4) 使用情况

原砂中的粘结剂的典型质量分数为 1.5~2%，催化剂占树脂质量的 20~25%。这一方法采用各种各样的石英砂、铬砂、锆砂都合适，特别是橄榄石砂。

树脂和催化剂都是水溶性的，一些地方即使粘附了未受催化剂作用的树脂砂，也易清洗掉。

在树脂加入量差不多的条件下，酯硬化砂的实际强度没有酸催化的树脂砂和尿烷自硬的高。不过当采用通常的 1.5~2%（质量分数）的加入量时，一般已足够适合生产优质低碳钢、不锈钢、球铁、灰铁、青铜和铝铸件。由于此法不含硫，它能很好地用于那些因吸收硫会出现问题的钢种的生产。

酯硬化酚醛自硬法的一个特殊优点是降低脉纹缺陷。其他自硬酚醛铸型，在浇铸过程中，在铸型——金属界面会出现裂纹，而此法在浇注过程中，表层出现可避免开裂的短暂的热塑性阶段，然后再变成刚性并清散，因而可得到无脉纹缺陷的光洁铸件。

3.5 铸造用涂料[\(涂料数据查询\)](#)

(具体参数请查询铸造技术数据-铸造技术-铸造工艺参数-铸造造型材料-辅助材料-涂料)

3.5.1 涂料的作用

砂型铸造用涂料是指用来涂敷在砂型型腔和砂芯表面形成薄层的材料。其作用是：

- 1) 避免铸件产生表面粗糙、机械粘砂、化学粘砂；
- 2) 防止减少铸件产生与砂子有关的其他铸造缺陷或质量问题；
- 3) 用涂料来产生冶金效应，改善铸件局部的表面性能和内在质量。

3.5.2 优质涂料应具有的性能

- 1) 好的悬浮性及再搅匀性；
- 2) 一定的触变性；
- 3) 好的覆盖能力，对砂芯（型）施涂时，涂料能以一定厚度遮盖砂芯（型）表面的性能；
- 4) 具有适当的渗透性；
- 5) 具有良好的粘结强度和耐激热性，也不应出现开裂或剥落；
- 6) 好的抗粘砂性；

- 7) 低的发热性；
- 8) 好的贮存性；
- 9) 各种原材料资源丰富，成本低廉，并能满足劳动卫生方面的要求。

3.5.3 涂料的基本组成

1) 耐火粉料

耐火粉料是涂料中的最主要组分，在涂料中的质量分数通常高于 50%。国外常称为耐火填料、基料。因其主要组成物皆为耐火材料粉碎而成的细粉。

2) 载体液体

载体液体的作用是使耐火粉料分散或悬浮在载体液体中，使涂料保持一定粘度和密度，便于喷涂、浸涂、流涂或刷涂到型、芯工作表面。可用的载体液体有水、乙醇、甲醇、异丙醇、1-丁醇、汽油、煤油、2-丙醇、氯化烃类等，其中最常用的是水。

3) 悬浮剂

它是稠化载体液体，促使涂料中耐火粉料在载体液体中保持悬浮，防止沉淀、分层和防止载体液体过分渗入造型材料而加入的物质。水基涂料常用的悬浮剂一类是使水形成胶体溶液的无机粘结剂，例如膨润土、蒙托石等；一类是能与水形成高分子溶液的有机悬浮剂，例如羟甲基纤维素（CMC）、海藻酸钠、聚乙烯醇（PVA）、糖浆、聚丙烯酸钠、聚丙烯酰胺等。

4) 粘结剂

它使涂料中的耐火粉料彼此粘结在一起，并使涂料能牢固粘附在型、芯的表面。属于低温型的有水溶性合成树脂、聚醋酸乙烯乳液（乳白胶）、淀粉、干性植物油、亚硫酸盐纸浆废液、水柏油等；属于高温型的有钠水玻璃、硅溶胶、聚合磷酸等，后者中大多在低温时也起粘结作用。

醇基涂料用的粘结剂属于低温型的有松香、漆片（虫胶）、PVB 等；属于较高温型或高温型的有加了六亚甲基四胺的线性酚醛树脂、热固性酚醛树脂、硅酸乙酯等。

5) 其他添加剂

为了改善涂料的某种性能而须另加少量物质。有表面活性、消泡剂、防腐剂、防潮剂、减水剂和防渗剂等。

3.5.4 涂料的配制

铸造涂料按使用的合金种类分，有铸钢、铸铁、有色合金用涂料；按涂料中的主要耐火粉料分，有石墨涂料、锆英粉涂料、刚玉涂料等；按使用的载体液体分，有水基、醇基及无载体液体（无溶剂）涂料；按砂型铸造采用的主要工艺分，有湿型用涂料、化学粘结剂砂型（芯）用涂料、气化模用涂料以及具有冶金效应的涂料等。

涂料的配制按砂型铸造采用工艺的不同而有所差别。湿型采用液体涂料，例如将质量分数为 50~60%的石墨粉和 40~50%废机油掺和搅拌，再用适量汽油稀释喷涂于湿型型腔表面或采用其他类似配方。

化学粘结剂砂型一般采用水基涂料。耐火粉料的加入量，以其质量为 100，其他组分按比例假如。用膨润土作悬浮剂加入量不宜超过 4%，粘结剂的加入量为 1~3%，改善某些性能用的其他添加剂，则根据具体实际需要决定。

涂料的组分及配比确定后，制备工艺是很重要的一环。制备时各组分定量要准，所用容器及设备应清洁。为使涂料各组分高度分散，可采用多种制备工艺。例如：①先使用轮碾机或球磨机对涂料进行充分碾压或球磨，制成膏状（用轮碾机时）或液态涂料，使用时再稀释和用搅拌机搅拌；②单纯用搅拌机搅拌；③用搅拌机搅拌后的涂料再经胶体磨（或对滚机）使涂料受到很大的剪切力、摩擦力、离心力和高频振动等作用，达到被有效的粉碎、搅拌、均质和分散的目的。

3.5.5 涂料的涂敷方法

涂料的主要涂敷方法有刷、浸、喷、流、静电喷等。每种涂敷方法需要不同的涂料性能，而正确涂敷方法的采用，取决于砂芯（型）形状，大小、批量，以及是型还是芯。

1) 刷涂法 要求涂料的流型是触变性流体，刷涂要求工人有熟练的技术，劳动强度大，生产率低。

2) 浸涂法 是将砂芯用手工或机械浸没在涂料槽中，经过一定时间从槽内取出，用振动或旋转或抖动或刷子去除多余涂料。此法是最快的施涂方法，大多用于高生产率的铸造车间，容易实现机械操作。

3) 喷涂法 是比刷涂要快得多的施涂法。此法最好用于形状较简单的砂型和砂芯。使用醇基涂料时，酒精雾化散入空气的量，污染环境。

4) 流涂法 是一种新型快速方法，特别适合较大砂型和砂芯生产线上涂料工位的施涂要求。

图 29 是流涂装置示意图。

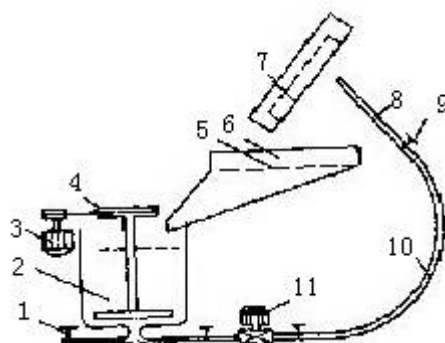


图 1 流涂装置示意图

1 一泄流阀, 2 一涂料罐, 3 一电动机, 4 一搅拌杆, 5 一滤网, 6 一回收槽
7 一砂型, 8 一流涂杆头, 9 一控制开关, 10 一软管, 11 一泵

5) 静电喷涂法 采用粉末涂料, 借高压直流电形成强大静电场使粉末涂料微粒在喷枪头部的电晕放电区带电, 在电场力和风力作用下向异性砂芯(型)表面迅速集积成涂层, 然后加热使涂料中粘结剂软化重熔建立涂层强度。此法适用于尺寸较狭小的凹坑或狭缝不易涂敷上涂料的场合。

3.6 工艺分析与设计(工艺分析与参数查询)

3.6.1 浇注位置的确定

根据对合金凝固理论的研究和生产经验, 确定浇注位置时应考虑以下原则:

1. 铸件的重要部分应尽量置于下部。
2. 重要加工面应朝下或呈直立状态。
3. 使铸件的大平面朝下, 避免夹砂结疤类缺陷。

对于大的平板类铸件, 可采用倾斜浇注, 以便增大金属液面的上升速度, 防止夹砂结疤类缺陷(见图 1、2)。倾斜浇注时, 依砂箱大小, H 值一般控制在 200~400mm 范围内。

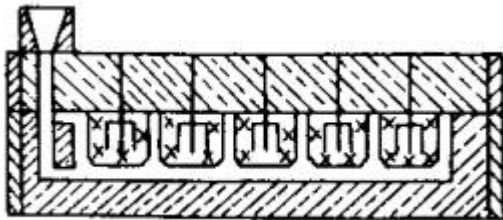


图 1 具有大平面的铸件正确的浇注位置

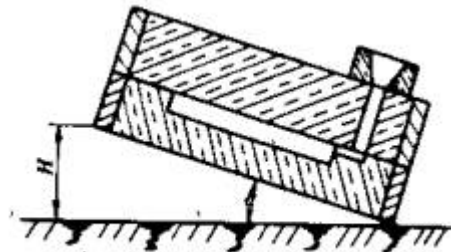


图 2 大平板类铸件的倾斜浇注

4. 应保证铸件能充满。

对具有薄壁部分的铸件, 应把薄壁部分放在下半部或置于内浇道以下, 以免出现浇不到、冷却等缺陷。图 3 为曲轴箱的浇注位置。

5. 应有利于铸件的补缩。
6. 避免用吊砂、吊芯或悬臂式砂芯, 便于下芯、合箱及检验。

7. 应使合箱位置、浇注位置和铸件冷却位置相一致这样可避免变合箱后或于浇注后再次翻转铸型。

此外，应注意浇注位置、冷却位置与生产批量密切相关。

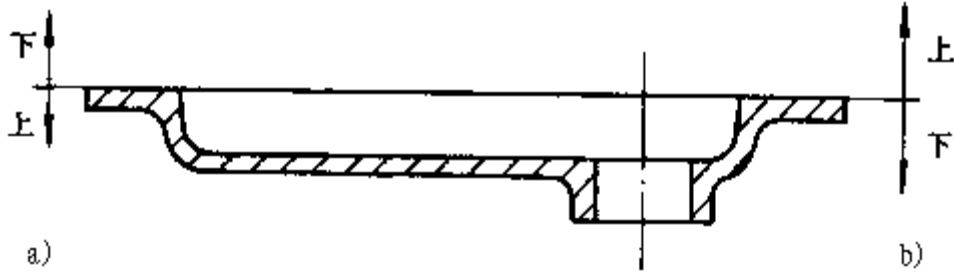


图 3 曲轴箱的浇注位置

a)不正确 b) 正确

3.6.2 分型面的选择

分型面是指两半铸型相互接触的表面。除了地面软床造型、明浇的小件和实型铸造法以外，都要选择分型面。

分型面一般在确定浇注位置后再选择。但分析各种分型面方案的优劣之后，可能需重新调整浇注位置。生产中，浇注位置和分型面有时是同时确定的。分型面的优劣，在很大程度上影响铸件的尺寸精度、成本和生产率。应仔细地分析、对比，慎重选择。

分型面的选择原则如下：

1. 应使铸件全部或大部分置于同一半型内；
2. 应尽量减少分型面的数目；

分型面数目少，铸件精度容易保证，且砂箱数目少。

3. 分型面尽量选用平面；

平直分型面可简化造型过程和模底板制造，易于保证铸件精度。

4. 便于下芯、合箱和检查型腔尺寸；
5. 不使砂箱过高；

分型面通常选在铸件最大截面上，以使砂箱不致过高。

6. 受力件的分型面选择不宜削弱铸件结构强度；
7. 注意减轻铸件清理和机械加工量。

一个铸件应以哪几项原则为主来选择分型面，需要进行多方案的对比，根据实际生产条件，并结合经验来作出正确的判断，最后选出最佳方案。

3.6.3 浇注系统设计(浇注系统设计参数查询)

浇注系统是铸型中液态金属流入型腔的通道之总称。铸铁件浇注系统的典型结构如图 4 所示，它由浇口杯（外浇口）、直浇道、直浇道窝、横浇道和内浇道等部分组成。广义地说，浇包和浇注设备也可认为是浇注系统的组成部分，浇注设备的结构、尺寸、位置高低等，对浇注系统的设计和计算有一定影响；此外，出气孔也可看成是浇注系统的组成部分。

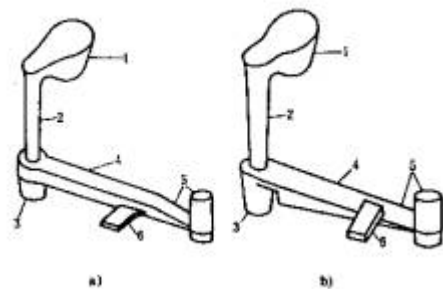


图 4 典型浇注系统的结构

a)封闭式 b) 开放式

1 浇口环 2 直浇道 3 直浇道窝 4 横浇道 5 末端延长段 6 内浇道

一、对浇注系统的基本要求

- 1) 所确定的内浇道的位置、方向和个数应符合铸件的凝固原则或补缩方法。
- 2) 在规定的浇注时间内充满型腔。
- 3) 提供必要的充型压力头，保证铸件轮廓、棱角清晰。
- 4) 使金属液流动平稳，避免严重紊流。防止卷入、吸收气体和使金属过度氧化。
- 5) 具有良好的阻渣能力。
- 6) 金属液进入型腔时线速度不可过高，避免飞溅、冲刷型壁或砂芯。
- 7) 保证型内金属液面有足够的上升速度，以免形成夹砂结疤、皱皮、冷隔等缺陷。
- 8) 不破坏冷铁和芯撑的作用。
- 9) 浇注系统的金属消耗小，并容易清理。
- 10) 减小砂型体积，造型简单，模样制造容易。

二、封闭、开放式浇注系统的特点

1. 封闭式浇注系统：封闭式浇注系统包括了以内浇道为阻流的各种浇注系统和部分扩张式(S

内/S 阻 $<1.5—2.5$)的浇注系统。

封闭式浇注系统有较好的阻渣能力，可防止金属液卷入气体，消耗金属少，清理方便。主要缺点是：进入型腔的金属液流速高，易产生飞溅和冲砂，使金属氧化，使型内金属液发生扰动、涡流和不平静。因此，主要应用于不易氧化的各种铸铁件。对于容易氧化的轻合金铸件。

2. 开放式浇注系统：开放式浇注系统的内浇道截面比阻而面积大得多，一般 $S_{内}/S_{阻}>3$ 。当直浇道不充满时，会使金属液高度紊流，造成氧化、卷气等，故生产中往往要求应用充满式直浇道。

在正常浇注条件下，金属液不能充满所有组元的浇注系统，又称为非充满式或非压力式浇注系统。在金属液流未能充满的部位存在着等大气压力的自由表面。完全开放式浇注系统在内浇道被淹没之前，各组元均呈非充满流态几乎不能阻渣且会带入大量气体。因此，使用转包浇注的铸铁件上不宜应用这种浇注系统。其主要优点是进入型腔时金属液流速小，充型平稳，冲刷力小，金属氧化轻。适用于轻合金铸件、球铁件等。漏包浇注的铸钢件也直采用开放式浇注系统。主要缺点是阻渣效果稍差，内浇道较大，金属消耗略多。

三、按内浇道在铸件上的位置分类

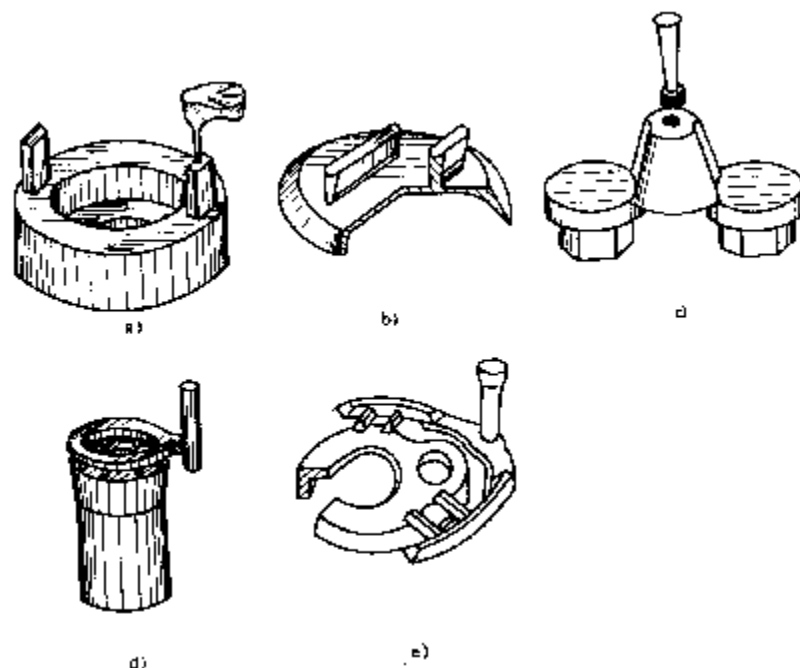


图 5 顶住式浇注系统

1. 顶注式浇注系统：以浇注位置为基准，内浇道设在铸件顶部回的，称为顶注式浇注系统（见图 5）。

简单式用于要求不高的简单小件；楔形式，浇道窄而长，断面积大。适用于薄壁容器类铸件；压边式，多用于中、小型各种厚壁铸铁件；雨淋式，金属液经型腔顶部许多小孔（内浇道）流入，状似雨淋，比其他顶注式对型腔的冲击力小，适用于要求较高的筒类铸件，如缸套、大的铁活塞、机床卡盘等，也可用于床身、柴油机缸体等；搭边式，自上而下导入金属液，避免直接冲击型的侧壁，适用于湿型铸造薄壁铸件，如纺织机铸件。

2. 底注式浇注系统：内浇道设在铸件底部的称为底注式浇注系统（见图 6）。

主要优点有：充型平稳；可避免金属液发生激溅、氧化及由此而形成的铸件缺陷。缺点是：不利于顺序凝固和冒口补缩；内浇道附近容易过热，导致缩孔、缩松和结晶粗大等缺陷；金属液面在上升中容易结皮，难于保证高大的薄壁铸件充满，易形成虎不到、冷隔等缺陷；金属消耗较大。

底注式（基本形）浇注系统适用于容易氧化的非铁合金铸件和形状复杂、要求高的各种黑色铸件。牛角式，用于各种铸齿齿轮和有砂芯的盘形铸件；底雨淋式：充型后金属温度分布均匀，适用于内表面质量要求高的筒类铸件等。

3. 中间注入式浇注系统：从铸件中间某一高度面上开设内浇道的称为中间注入式浇注系统（如图 7）。

它兼有顶注式和底注式浇注系统的优缺点。由于内浇道在分型面上开设，故极为方便，广为应用。适用于高度不大的中等壁厚的铸件。

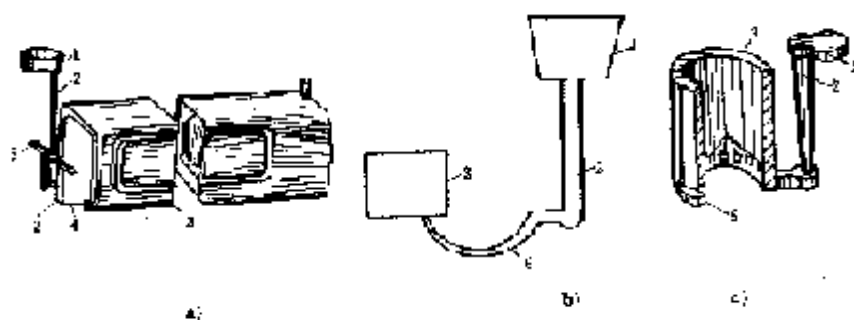


图 6 底注式浇铸系配

a) 基本形式 b) 牛角式 c) 底雨淋式

1—浇口杯 2—直浇道 3—铸件 4—内浇道 5—一根浇道 6—牛角浇口

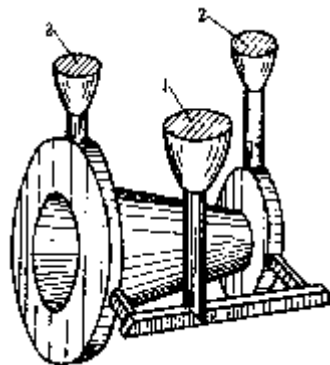


图 7 中间注入浇注系统的一般形式

1 浇口杯 2-出气冒口

4. 阶梯式浇注系统：在铸件不同高度上开设多层内浇道的称为阶梯式注入系统（图 8）。该系统适用于高度大的中、大型铸件。具有垂直分型面的中大件可优先采用。

总之，选择浇注系统类型时要综合考虑多种因素：铸件的浇注位置，分型面，铸件的结构、尺寸、合金的铸造性能，是否应用冒口、冷铁及如何发挥它们的作用，满足铸件的技术要求等等。

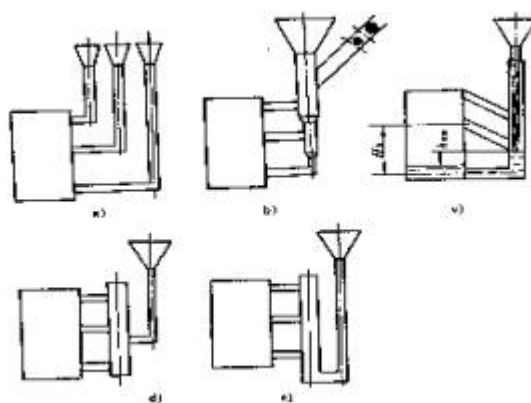


图 8 阶梯式浇注系统

a)多直浇道的 b)用塞球法控制度 c)科学各组元比例的 d)带缓冲直道的 e)带反直浇道的

四、浇注系统设计步骤

通常在确定铸造方案的基础上设计浇注系统。大致步骤：

- 1) 选择浇注系统类型；
- 2) 确定内浇道在铸件上的位置、数目和金属引入方向；
- 3) 决定直浇道的位置和高度。一般使直浇道高度等于上砂箱高度，但应检验该高度是否足够。近代造型机（如多触头高压造型机）模板上的直浇道位置一般都被确定，在这样的条件下应遵守规定的位置。直浇道距离第一个内浇道应有足够的距离。
- 4) 计算浇注时间并核算金属上升速度；

应指出，重要的是核算铸件最大横截面处的型内金属上升速度。当不满足要求时，应缩短浇注时间或改变浇注位置。

内金属液面上升速度用下式计算：

$$V_{\text{型}} = C / \tau$$

式中 C ——铸件（或某段）的高度； τ ——浇注时间（或浇注某段铸件时间）。

对铸铁件可依表 4 决定型内铁液液面的最小上升速度。铸钢件的最小型内上升速度见表 5。

表 4 型内铸铁液最小上升速度

铸件壁厚 δ /mm	$V_{\text{型}}$ min/(mm.s-1)
>40, 水平浇注大平板	8-10
>40, 上箱有大平面	20-30
10-40	10-20
4-10	20-30
1.5-4	30-100

表 5 型内钢液面最小上升速度 $V_{\text{型}}$ min/(mm.s-1)

铸件质量 m/t 特点	复杂	一般	实体
≤ 5	25	20	5
>5-15	20	15	10
>15-35	6	12	8
>35-55	14	10	6
>65-100	12	8	5
>100	10	7	4

5) 计算阻流截面积 $S_{阻}$ ；

依据水利公式计算 $S_{阻}$ 。如果铸件质量很大，则计算铸件质量 M 时，应包括型腔扩大量—由于各种原因引起的增重。增重因铸件大小及铸型等工艺条件而异，一般增重在 3%—7% 范围内。考虑铸件增重，不仅使浇注系统计算精确，更重要的是提供了浇注时所需要的金属量。

计算阻流截面积的水利学公式为：

$$S_{阻} = \frac{m}{\rho \tau \mu \sqrt{2g H_p}}$$

式中 m ——流经阻流的金属总质量； τ ——充填型腔的总时间； μ ——充填全部型腔时，浇注系统阻流截面的流量系数； H_p ——充填型腔时的平均计算压力头。

6) 确定浇口比并计算各组元截面积；

7) 绘出浇注系统图形。

3.6.4 冒口(冒口系统设计数据查询)

冒口是铸型内用以储存金属液的空腔，在铸件形成时补给金属，有防止缩孔、缩松、排气和集渣的作用。习惯上把冒口所铸成的金属实体也称为冒口。

一、冒口的种类

冒口形状有圆柱形、球顶圆柱形、长（腰）圆柱形、球形及扁球形等多种。图 9 为常用冒口种类。

二、选择冒口位置的原则

- 1) 冒口应就近设在铸件热节的上方或侧旁。
- 2) 尽量设在铸件最高、最厚的部位。对低处的热节增设补贴和使用冷铁造成补缩的有利条件。

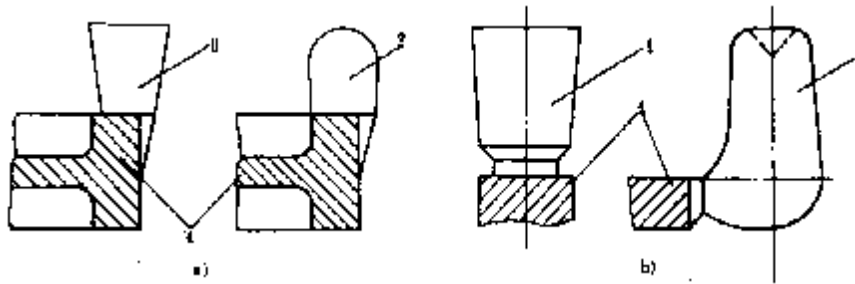


图9 常用冒口种类

a)铸钢件 b)铸铁件

1—明顶冒口(open top riser) 2—暗顶冒口(blind top riser) 3—侧冒口 (side riser) 4—铸件

- 3) 冒口不应设在铸件重要的、受力大的部位，以防组织粗大降低强度。
- 4) 冒口位置不要选在铸造应力集中处，应注意减轻对铸件的收缩阻碍，以免引起裂纹。
- 5) 尽量用一个冒口同时补缩几个热节或铸件。
- 6) 冒口布置在加工面上，可节约铸件精整工时，零件外观好。
- 7) 不同高度上的冒口，应用冷铁使各个冒口的补缩范围隔开。

3.6.5 冷铁(冷铁设计数据查询)

为增加铸件局部冷却速度，在型腔内部及工作表面放置的金属块称为冷铁。冷铁分为内冷铁和外冷铁两大类。放置在型腔内能与铸件熔合为一体的金属激冷块叫内冷铁；造型（芯）时放在模样（芯盒）表面上的金属激冷块叫外冷铁。内冷铁成为铸件的一部分，应和铸件材质相同。外冷铁用后回收，一般可重复使用。根据铸件材质和激冷作用强弱，可采用钢、铸铁、铜、铝等材质的外冷铁，还可采用蓄热系数比石英砂大的非金属材料，如石墨、碳素砂、铬镁砂、铬砂、镁砂、锆砂等作为激冷物使用。

冷铁的作用有：

- 1) 在冒口难于补缩的部位防止缩孔、缩松；
- 2) 防止壁厚交叉部位及急剧变化部位产生裂纹；
- 3) 与冒口配合使用，能加强铸件的顺序凝固条件，减少冒口数目或体积；
- 4) 用冷铁加速个别热节的冷却，使整个铸件接近于同时凝固。既可防止或减轻铸件变形，又可提高工艺出品率；
- 5) 改善铸件局部的金相组织和力学性能；
- 6) 减轻或防止厚壁铸件中的偏析。

外冷铁分为直接外冷铁和间接外冷铁两类。直接外冷铁（明冷铁，见图 10）与铸件表面直接

接触，激冷作用强，它又可分为有气隙的和无气隙的两种（见图 11）；间接外冷铁同被激冷铸件之间有 10~15mm 厚的砂层相隔，故又名隔砂冷铁、暗冷铁。间接外冷铁(如图 12)。

内冷铁的激冷作用比外冷铁强，能有效地防止厚壁铸件中心部位缩松、偏析等。通常是在外冷铁激冷作用不足时才用内冷铁，主要用于壁厚大而技术要求不太高的铸件上，特别是铸钢件。一般应用的是“熔接内冷铁”，要求内冷铁和铸件牢固地熔合为一体。只在个别条件下才允许应用“非熔接内冷铁”，例如，在铸件加工孔中心放置的内冷铁，在以后加工时被钻去。

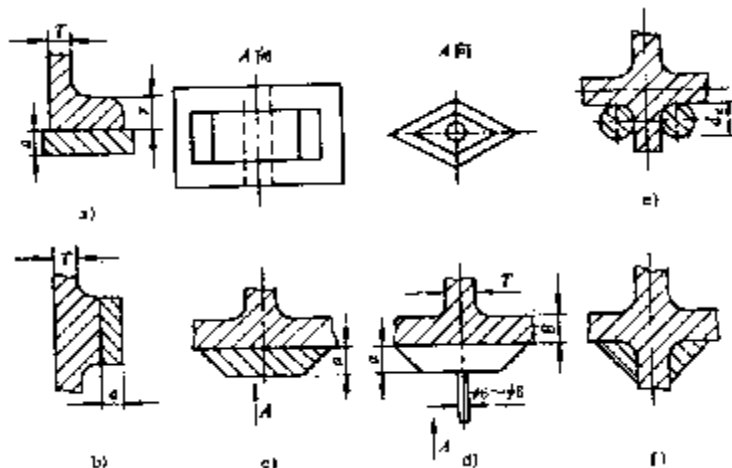


图 10 直接外冷铁

a) 、b) 平面直线形的 c) 带切口平面的 d) 平面菱形的 e) 圆柱形的 f) 异形的

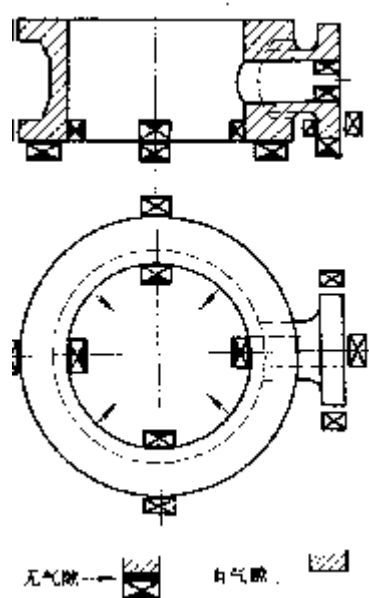
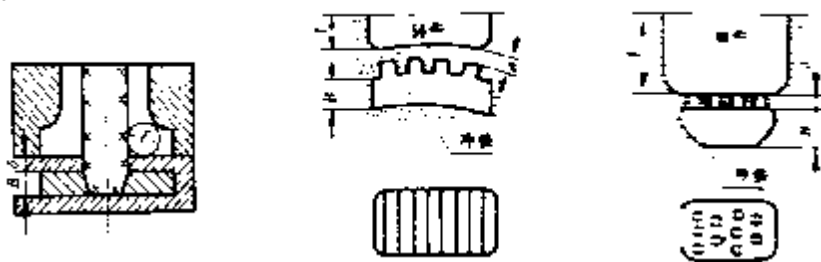


图 11 有气隙的和无气隙的外冷铁



$$B=(1-1.4)T \quad B=(0.8-1.2)T \quad B=0.5T \quad \delta=20-30\text{mm} \quad \delta=10\text{mm} \quad \delta=10\text{mm}$$

图 12 间接外冷铁

3.6.6 砂芯设计

砂芯的功用是形成铸件的内腔、孔和铸件外形不能出砂的部位。砂型局部要求特殊性能的部分，有时也用砂芯。

砂芯的形状、尺寸以及在砂型中的位置应符合铸件要求，具有足够的强度和刚度，在铸件形成过程中砂芯所产生的气体能及时排出型外，铸件收缩时阻力小和容易清砂。

确定砂芯形状（分块）及分盒面选择总的原则是使造芯到下芯的整个过程方便，铸件内腔尺寸精确，不致造成气孔等缺陷，使芯盒结构简单。

基本规则为：

- (1) 保证铸件内腔尺寸精度，凡铸件内腔尺寸要求较严的部分应由同一半砂芯形成；保证操作方便，复杂的大砂芯、细而很长的砂芯可分为几个小而简单的砂芯。
- (2) 保证铸件壁厚均匀，使砂芯的起模斜度和模样的起模斜度大小、方向一致；
- (3) 应尽量减少砂芯数目；
- (4) 砂面应宽敞，烘干支撑面是平面；
- (5) 砂芯形状适应造型、制芯方法。

除上述原则外，还应使每块砂芯有足够的断面，保证有一定的强度和刚度，并能顺利排出砂芯中的气体；使芯盒结构简单，便于制造和使用等。

3.6.7 铸造工艺参数

包括铸件的加工余量、拔模斜度、分型负数、不铸出孔等工艺参数的确定。

3.7 铸造工艺装备设计

铸造工艺装备是造型、造芯及合箱过程中所使用的模具和装置的总称。包括模样、模板、模板框、砂箱、砂箱托板、芯盒、烘干板（器）、砂芯修整磨具、组芯及下芯夹具、量具及检验样板、套箱、压铁等。此外，芯盒及烘干器的钻模和修整标准也属于铸造工艺装备。

3.7.1 模样

1. 材质的选择

- (1) 木模 适用于单件、小批生产的各种铸件。木模可做成各种结构形式，如整体模、分开模、刮（车）板、骨架模，以适应不同大小、形状和批量的铸件。
- (2) 金属模样 适用于大量、成批生产的各种铸件。制造前，应经过专门的设计。
- (3) 塑料模 大多为环氧树脂玻璃钢结构。制造、修理简便，表面光洁，不吸潮，变形小，轻巧耐磨，寿命长，成本为金属模的 20~50%。但导热性差，不能加热，不宜在型砂周转快、砂温高的流水线上应用，硬化剂有毒性，多用于成批生产的中小模样。
- (4) 聚苯乙烯泡沫塑料模（消失模） 造型后不取出模样，直接浇注。

2. 金属模的结构设计

原则是在满足铸造工艺要求的前提下，便于加工制造。特别复杂、难于加工的模样，可采用陶瓷型铸造法、电铸法等。一般金属模应尽量采用机床加工，减少钳工量。

- (1) 模样本体结构类型可参照表 1 选择。

表 1 模样本体结构

分 类 方 法	模 样 名 称	主 要 特 点	适 用 范 围
有无分模面	整体式	模样为一整体，无分模面	极其简单的铸件
	分开式	模样分为两半或多块	各种铸件
是否装配	整铸式	模样与模底板整铸在一起	简单的小双面模板
	装配式	平装式：模样平装在模底板上 嵌入式：模样嵌入模底板上表面	一般模样的：模板 特殊需要时用

平装式结构简单，容易加工，最常用。嵌入式在特殊条件下应用，如模样部分表面凹入分型面以下（图 1a）；分型面以上模样过薄，加工、固定困难（图 1b）；分型面通过模样圆角（图 1c）；很小的模样（图 1d），为便于加工、定位和固定等。选定模样结构后，即可依铸造工艺图确定模样的外形。

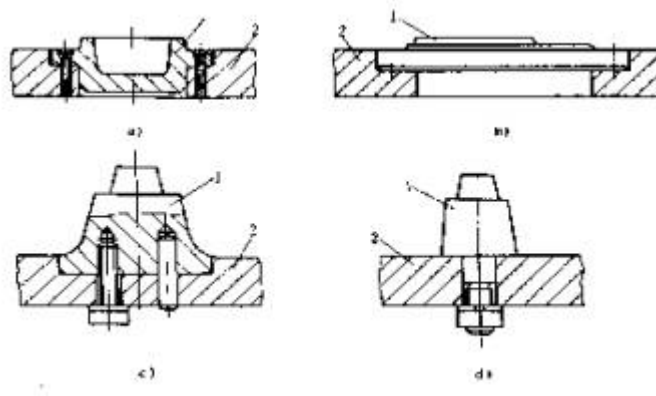


图 1 嵌入式模样

1—模样 2—底板

(2) 壁厚及加强肋 应尽量减轻模样质量,除了薄小模样小于 50mm×50mm 或高度低于 30mm) 以外,都应制成空心结构。平均轮廓尺寸大于 150mm 的模样,内部设加强肋。

(3) 固定和定位孔 模样向模底板上固定,可用螺钉或螺栓,用定位销定位。故模样上应设有定位销孔及固定用通孔或螺纹孔。

3.7.2 模板

一般模板由模底板、模样、浇冒系统模、加热元件、定位元件等组成。在组合快换模板系统中,还包括有模板框及其定位、固定元件。

模板尺寸应符合造型机的要求,模底板和砂箱、各模样之间应有准确的定位,模板应有足够的强度、刚度和耐磨性,制作容易,使用方便,尽量标准化。模板实例见图 2。

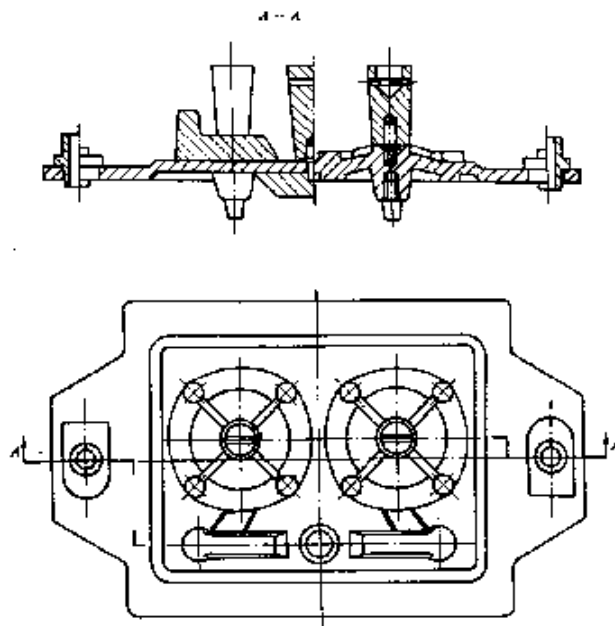


图 2 水平分型无箱造型用双面模板

模底版上应有与砂箱定位用的定位销、同造型机连接用的突耳、供运输用的吊轴或手把、顶杆起模用的通道等。通常模底板外廓和砂箱一致。

3.7.3 砂箱

砂箱的设计内容有：选择类型和材质，确定砂箱尺寸。结构设计，定位及紧固等。

1. 设计和选用砂箱的基本原则

- 1) 满足铸造工艺要求。如砂箱和模样间应有足够的吃砂量、箱带不妨碍浇冒口的安放不严重阻碍铸件收缩等。
- 2) 尺寸和结构符合造型机、起重设备、烘干设备的要求。砂箱尺寸、形状是设计或选造型机的主要依据。为此，大量生产中应对计划在造型线上生产的全部铸件逐一进行铸造工艺分析，以确定共用砂箱的尺寸和形状。
- 3) 有足够的强度和刚度，使用中保证不断裂或发生过大变形。
- 4) 对型砂有足够的附着力，使用中不掉砂或塌箱，但又要便于落砂。
- 5) 经久耐用，便于制造。
- 6) 应尽可能标准化、系列化和通用化。

2. 类型的选择

- 1) 专用砂箱和通用砂箱：专为某一复杂或重要铸件设计的砂箱为专用砂箱，凡是模样尺寸

合适的各种铸件均可使用的砂箱为通用砂箱。多为长方形。

2) 依制造方法分类可分为整铸式、焊接式和装配式。

3) 依造型方法及使用条件分类分为手工造型用砂箱、机器造型用砂箱，高压、气冲造型用砂箱等。

图 3 为手工造型用整铸式大型铸钢砂箱。图 4 为近代高压造型用整铸式双层壁通用砂箱。

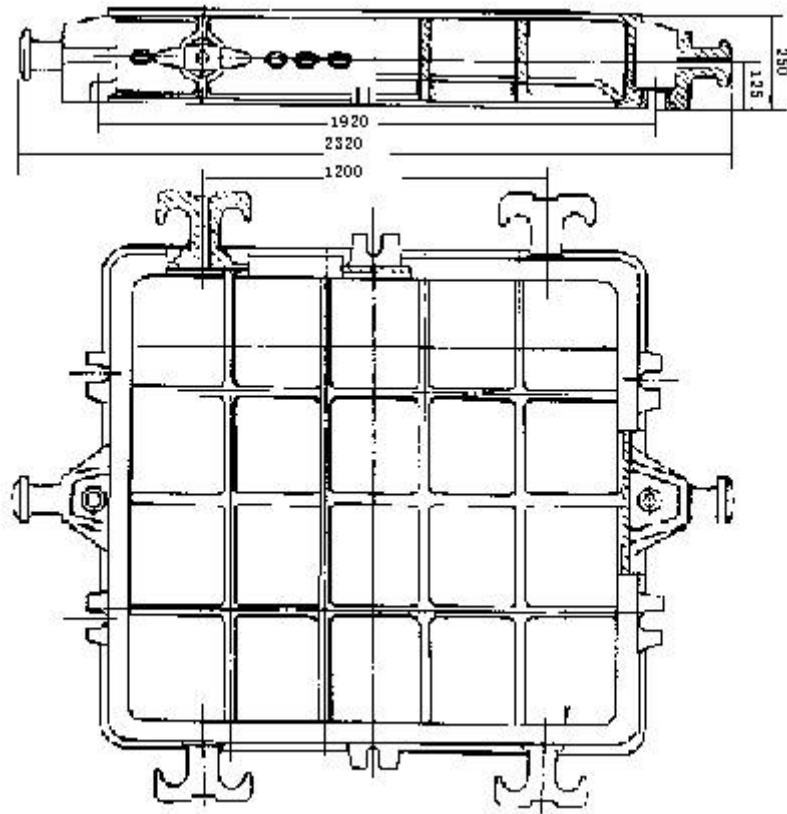


图 3 手工造型用大型铸钢砂箱（材质：ZG35）

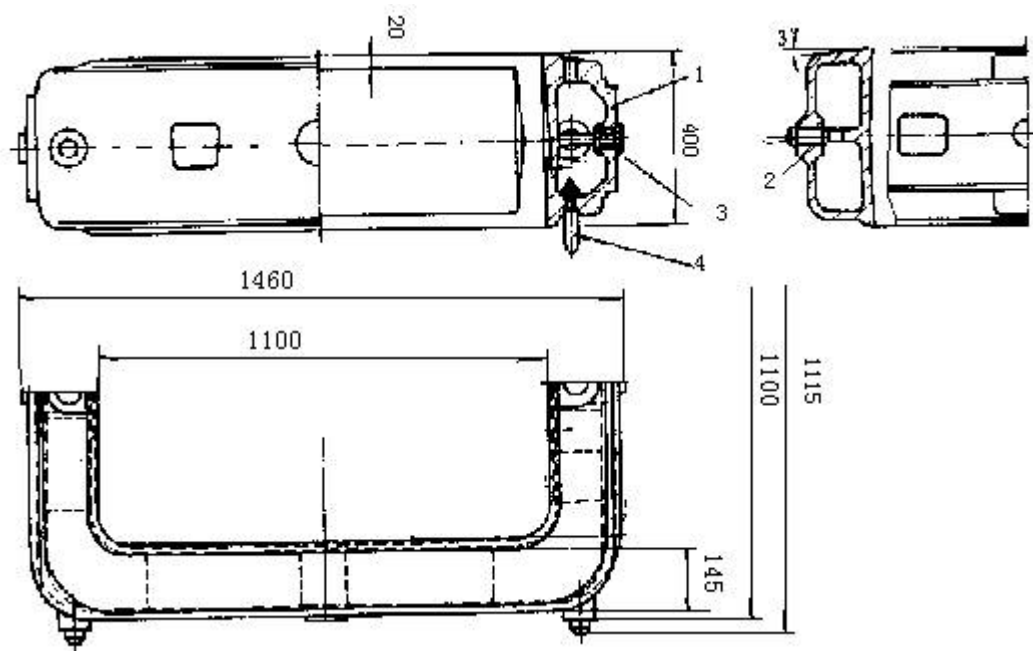


图 4 高压造型用双层砂箱（上）

3. 砂箱结构

1) 砂箱名义尺寸是指分型面上砂箱内框尺寸（长度×宽度）乘砂箱高度。确定砂箱尺寸时要考虑一箱内放置铸件的个数和吃砂量。吃砂量的最小参数参照表 2。所设计的砂箱长度和宽度应是 50 或 100mm 的倍数，高度应是 20 或 50mm 的倍数。

表 2 吃砂量的最小值（mm）

模样高	8	10	15	25	30	35	40	50	60	70	90	120
吃砂量	15	18	20	24	26	28	32	35	38	40	45	50

2) 砂箱壁的断面形状、尺寸影响强度和刚度。普通砂箱壁的形式见图 5。

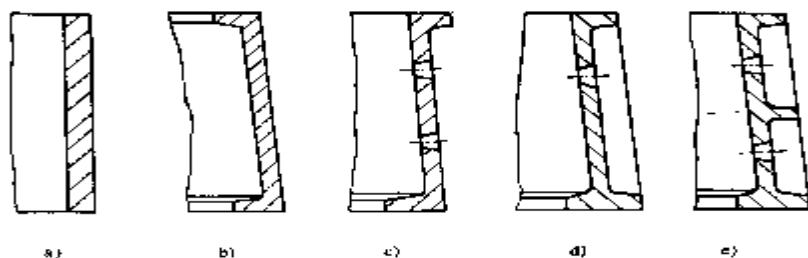


图 5 普通砂箱壁的形式

3) 箱带（箱档、箱肋）增加对型砂的附着面积和附着力，提高砂型总体强度和刚性，防止塌箱和掉砂，延长砂箱使用期限。但使紧砂和落砂困难，限制浇冒口的布局，故用于中、大砂箱。平均内框尺寸小于 500mm 的普通砂箱、小于 1250mm 的高压造型用砂箱可不设箱带。

4) 上下砂箱定位方法有多种：泥号、楔律、箱垛、箱锥、止口及定位销等。机器造型时只用定位销定位，如图 6 所示。插销多用于成批生产的矮砂箱，座销用于大量生产的各种砂箱。a、b、c 型属于插销，d、e 属于座销。箱耳多布置在砂箱两端，一端装圆孔的定位套（或销），一端装长孔的导向套。合箱时上下箱的圆孔套对应圆销，另一端对应方销。

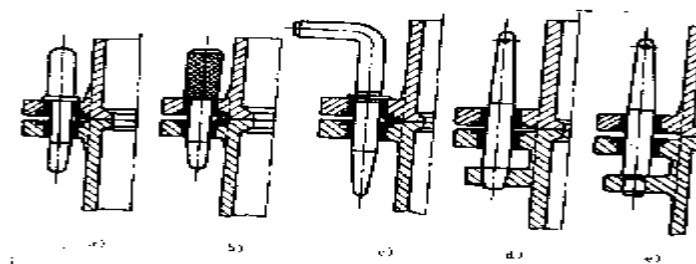


图 6 合箱销的形式

5) 搬运、翻箱结构：手把用于小型砂箱，吊轴广泛用于各种中大砂箱，吊环主要用于重型砂箱。

6) 为防止胀箱、跑火等缺陷，上下箱间应紧固。紧固方式有：上箱自重法、压铁法、手工夹紧（箱卡）法和自动卡紧法等。

3.7.4 芯盒

金属芯盒的设计步骤为：确定类型、材质，选取分盒面，芯盒结构设计和工作尺寸计算等。

1. 芯盒的类型和材质

依制芯方法分普通芯盒、热芯盒、壳芯盒和冷芯盒。几种普通芯盒的常用结构见图 7。无开口的水平对开芯盒，造芯时两半芯盒需分别填砂、紧实，两半芯盒合在一起后四周封闭。为了使两半砂芯牢固结合为一体，一半砂芯的紧砂高度应稍高，用填砂板厚度控制高度为 1.5~2.5mm（芯盒大取上限）。两半芯盒合在一起时，要求动作快，以防芯砂塌落，并把两半砂芯挤合为一体。这种芯盒，或设计成“书式”芯盒形式，或把两定位销（套）装在芯盒一侧。

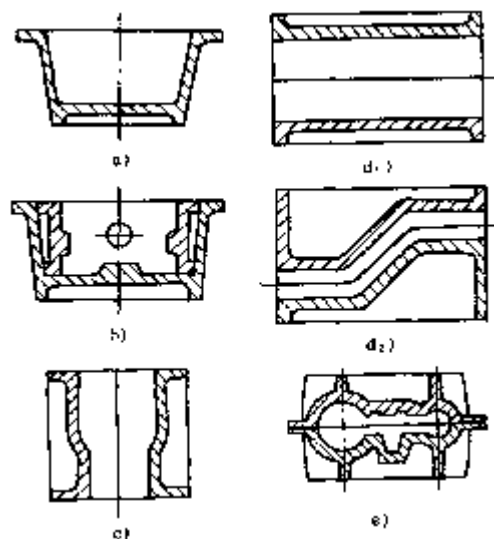


图 7 普通金属芯盒的结构

a) 单面敞开式 b) 单面脱落式 c) 垂直对开式 d) 有开口的水平对开式 e) 无开口的水平对开式

中小芯盒多用铝合金铸造。铝芯盒轻巧，易加工，表面光洁，不生锈。但强度、硬度低，不耐磨。在经常受摩擦的表面上镶装钢板——耐磨片，可延长寿命；大芯盒多用铸铁制造。铸铁芯盒强度、硬度高，耐磨。但沉重易锈；铜合金及钢材，多用于制作芯盒中的镶块和活块，满足高耐磨性的要求。

2 芯盒结构设计

普通金属芯盒结构的实例如图 8 所示。芯盒本体的结构包括壁厚、加强肋、边缘、活块、镶块等。外围结构包括定位、夹紧装置、手柄、吊轴、同造芯机连结的耳子等。附件有气孔针、通气板和填砂板等。

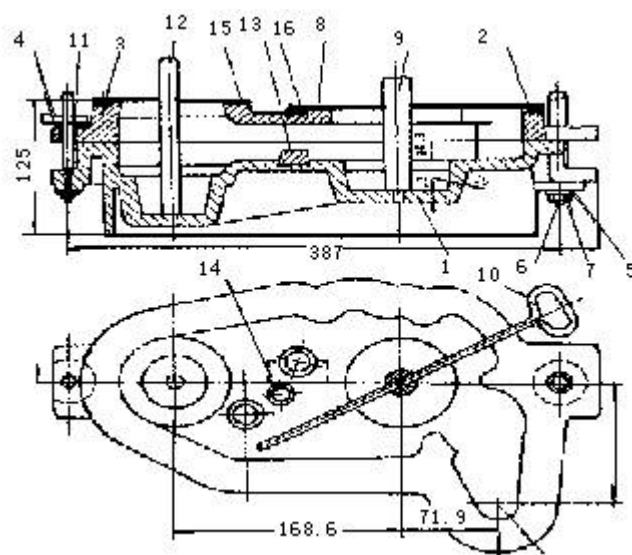


图 8 传动箱体芯盒

1、8 —上、下芯主体 2、3、15、17 —防磨片 4、5、6、7、11 —定位、夹紧元件 9、10、12 —通气装置 13、14 —镶块

(1). 壁厚、加强肋和边线

可参照有关手册选取壁厚、肋和边缘尺寸。肋可加强芯盒强度和刚度，增加芯盒高度，以便安放手柄，还利用助使芯盒在工作台上放置平稳。铝芯盒边缘上应镶装厚 3~4mm 的钢板——防磨片，用沉头螺钉固定。

(2). 活块、镶块

妨碍砂芯取出的部分应制成活块。活块同芯盒本体之间可用定位销、楔及燕尾槽定位。应使活块重心落入芯盒窝座之内，以保持稳定。一般先加工窝座，然后钳工用涂色法修配活块，使之松紧适度。

为加工方便，常将芯盒内某些局部——镶块分开加工，然后镶装在本体上，故叫镶块。

(3). 定位、夹紧结构

对开芯盒都有定位结构，常用定位销、铰链及止日。定位销是标准件，精度高，应用广。销子、销套用工具钢制造，工作部分淬火，40~45HRC，销子直径一般为 8mm、10mm、12mm，以适应芯盒大小。典型定位结构如图 9 所示。

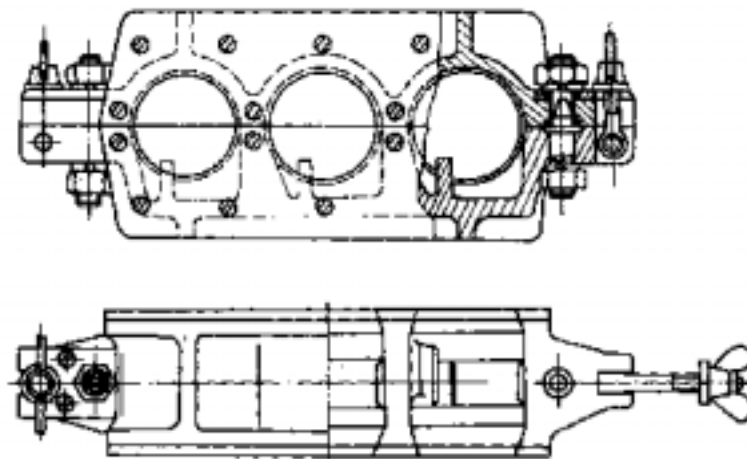


图 9 垂直对开芯盒的定位、夹紧结构

手工造芯的简单芯盒，其夹紧可用钢丝制成的弓形夹。成批生产的芯盒应有操作方便的、由标准元件构成的夹紧结构，结构应简单、紧凑，操作、修理应方便。

(4). 手柄、吊轴

小芯盒可利用突耳当作手柄。为了搬运、翻转方便，中、大芯盒上应有手柄或吊轴。手柄、吊轴可采用铸接式或整铸式、装配式。位置应使芯盒搬运时保持平衡，形式如图 10 所示。

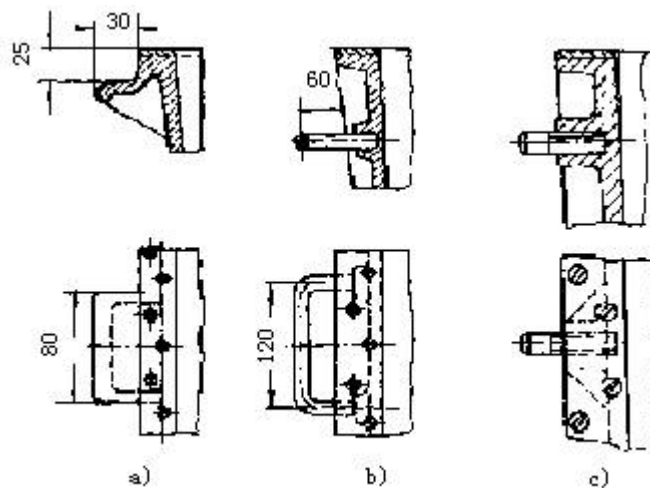


图 10 芯盒手柄形式

a) 整铸突耳 b) 铸接式吊环 c) 铸接式吊轴 d) 装配式吊轴

机用芯盒应设有同造芯机工作台联结用的耳子和螺栓孔，其位置和尺寸应和工作台面上的“T”形槽尺寸一致，并满足造芯机工作要求。

3. 一般金属芯盒的精度

大量生产中，依第一套新芯盒复制“钻模及成型烘干机修整导具”（简称修整导具）。以后复制芯盒时，再依修整导具钻定位销孔和修整内腔。第一套芯盒的定位销中心距偏差不超出 0.05mm；不使用成型烘干器的对开芯盒，定位销孔中心路偏差为 0.25mm。活块与窝座间隙不超过 0.2~0.3mm。

防磨片上的紧固螺钉头应低于工作表面，并应在沉头螺钉头开口两端的防磨片上“冲眼”，以防松动。

4. 热芯盒和壳芯盒的特点

在设计芯盒之前，应熟悉机器的工艺特性及对芯盒的有关要求。例如，热芯盒射芯机 ZZ8612，最大射芯质量 12kg，芯盒最大尺寸 450 mm×300mm×400mm，垂直分盒。有移出式和转出式两种取芯方式；壳芯机 K87，最大芯盒尺寸为 700 mm×650mm×（200~300）mm，垂直分盒。

芯盒的构成包括有芯盒本体、定位、出芯机构。芯盒本体上作出芯腔、射（吹）砂口、排气槽、排气塞或孔等。除芯盒外，尚有加热板、水冷射砂板、射头内的导砂块需要设计。

(1). 芯盒材质

芯盒本体多用灰铸铁、镶块用钢或导热性高的铜合金。定位销、套、顶芯杆、回位导杆等可用 T8 或 T10 钢，也可用 45 钢，淬火达 50~55HRC。

(2). 分盒面的确定

依机型选用垂直分盒或水平分盒面。ZZ863、ZZ8612 及 K85、K87、K89 等机型用垂直分开的芯盒；2 ZZ8612、2ZZ8625 及 2ZZ8640 等为水平分盒式机型。

依砂芯形状确定使用平面分盒面或曲折分盒面。要求砂芯开盒后留在动芯盒内，以便顶出砂芯。

(3). 射（吹）砂口

射砂口的位置应优先选择芯头处，这可免去修补砂芯。射口位置的选取应保证砂——气流畅通，减少窝气的死角，便于排气。

(4). 加热方式和芯盒厚

电加热方便、清洁、易控制，但费用高；煤气加热便宜，但不易控制，且欠卫生。当采用电热时，芯盒体多制成厚实的立方体形，储热量大，使用中温度波动小。最薄处约 20~30mm。很厚大的芯盒体内直接放入电加热管，管壁距芯盒内腔应大于 10mm；煤气加热的芯盒壁厚均匀，厚 20~25mm。芯盒背面应有足够大的空腔，作为煤气燃烧室。燃烧室高度 45~60mm。加强肋

不应分割燃烧室，并留有进气孔和烟火逸出口。

(5). 工作内腔尺寸

热（壳）芯盒内腔尺寸通常只考虑铸造收缩率。对中小砂芯，可粗略认为芯盒因升温内腔尺寸的扩大和砂芯出盒后冷却所导致的尺寸缩小相互抵消；对于大芯盒，为了避免砂芯尺寸增大，设计芯盒内腔时，使用较小的铸造收缩率。

(6). 芯盒的定位

多用定位销定位。在静芯盒上装销，在动芯盒上装套。销直径为 $\varnothing 15\text{mm}$ 、 $\varnothing 20\text{mm}$ 。

(7). 排气

分盒面上开排气槽，内腔死角处装排气塞，钻排气孔，利用镶块、顶芯杆的间隙都可进行排气。加强排气，可改善砂芯紧实度。芯盒内的总排气道面积应为射口面积的 0.1~0.2 倍。

(8). 尺寸精度

内腔尺寸公差可参考表 6 中数据。其余尺寸公差同普通芯盒。

分盘面间隙：芯盒尺寸小于 500mm 时，间隙不大于 0.05mm；芯盒尺寸大于 500mm 时，间隙不大于 0.1mm。

表 3 热（壳）芯盒的尺寸公差

芯盒公称尺寸	公差
<300	-0.15/+0.10
301~500	-0.2/+0.1
>500	-0.3/+0.15

4. 金属型铸造

4.1 概述

金属型铸造又称硬模铸造，它是将液体金属浇入金属铸型，以获得铸件的一种铸造方法。铸型是用金属制成，可以反复使用多次（几百次到几千次）。

金属型铸造与砂型铸造比较：在技术上与经济上有许多优点。

(1) 金属型生产的铸件，其机械性能比砂型铸件高。同样合金，其抗拉强度平均可提高约 25%，屈服强度平均提高约 20%，其抗蚀性能和硬度亦显著提高；

(2) 铸件的精度和表面光洁度比砂型铸件高，而且质量和尺寸稳定；

(3) 铸件的工艺收得率高，液体金属耗量减少，一般可节约 15~30%；

(4) 不用砂或者少用砂，一般可节约造型材料 80~100%；

此外，金属型铸造的生产效率高；使铸件产生缺陷的原因减少；工序简单，易实现机械化和自动化。金属型铸造虽有很多优点，但也有不足之处。如：

(1) 金属型制造成本高；

(2) 金属型不透气，而且无退让性，易造成铸件浇不足、开裂或铸件白口等缺陷；

(3) 金属型铸造时，铸型的工作温度、合金的浇注温度和浇注速度，铸件在铸型中停留的时间，以及所用的涂料等，对铸件的质量的影响甚为敏感，需要严格控制。

金属型铸造目前所能生产的铸件，在重量和形状方面还有一定的限制，如对黑色金属只能是形状简单的铸件；铸件的重量不可太大；壁厚也有限制，较小的铸件壁厚无法铸出。因此，在决定采用金属型铸造时，必须综合考虑下列各因素：铸件形状和重量大小必须合适；要有足够的批量；完成生产任务的期限许可。

4.2 金属型铸件形成过程的特点

金属型和砂型，在性能上有显著的区别，如砂型有透气性，而金属型则没有；砂型的导热性差，金属型的导热性很好，砂型有退让性，而金属型没有等。金属型的这些特点决定了它在铸件形成过程中有自己的规律。

型腔内气体状态变化对铸件成型的影响：金属在充填时，型腔内的气体必须迅速排出，但金属又无透气性，只要对工艺稍加疏忽，就会给铸件的质量带来不良影响。

铸件凝固过程中热交换的特点：金属液一旦进入型腔，就把热量传给金属型壁。液体金属通过型壁散失热量，进行凝固并产生收缩，而型壁在获得热量，升高温度的同时产生膨胀，结果在铸件与型壁之间形成了“间隙”。在“铸件—间隙—金属型”系统未达到同一温度之前，可以把铸件视为在“间隙”中冷却，而金属型壁则通过“间隙”被加热。

金属型阻碍收缩对铸件的影响：金属型或金属型芯，在铸件凝固过程有无退让性，阻碍铸件收缩，这是它的又一特点。

4.3 金属型铸造工艺

4.3.1 金属型的预热

未预热的金属型不能进行浇注。这是因为金属型导热性好/液体金属冷却快，流动性剧烈降低，容易使铸件出现冷隔、浇不足夹杂、气孔等缺陷。未预热的金属型在浇注时，铸型，将受到强烈的热击，应力倍增，使其极易破坏。因此，金属型在开始工作前，应该先预热，适宜的预热温度（即工作温度），随合金的种类、铸件结构和大小而定，一般通过试验确定。一般情况下，金属型的预热温度不低于 1500C。

金属型的预热方法有：

(1) 用喷灯或煤气火焰预热；(2) 采用电阻加热器；(3) 采用烘箱加热，其优点是温度均匀，但只适用于小件的金属型；(4) 先将金属型放在炉上烘烤，然后浇注液体金属将金属型烫热。这种方法，只适用于小型铸型，因它要浪费一些金属液，也会降低铸型寿命。

4.3.2 金属型的浇注

金属型的浇注温度，一般比砂型铸造时高。可根据合金种类、如化学成分、铸件大小和壁厚，通过试验确定。下表中数据可供参考。

各种合金的浇注温度

合金种类	浇注温度℃	合金种类	浇注温度℃
铝锡合金	350~450	黄铜	900~950
锌合金	450~480	锡青铜	1100~1150
铝合金	680~740	铝青铜	1150~1300
镁合金	715~740	铸铁	1300~1370

由于金属型的激冷和不透气，浇注速度应做到先慢，后快，再慢。在浇注过程中应尽量保证液流平稳。

4.3.3 铸件的出型和抽芯时间

如果金属型芯在铸件中停留的时间愈长，由于铸件收缩产生的抱紧型芯的力就愈大，因此需要的抽芯力也愈大。金属型芯在铸件中最适宜的停留时间，是当铸件冷却到塑性变形温度范围，并有足够的强度时，这时是抽芯最好的时机。铸件在金属型中停留的时间过长，型壁温度升高，需要更多的冷却时间，也会降低金属型的生产率。

最合适的拔芯与铸件出型时间，一般用试验方法确定。

4.3.4 金属型工作温度的调节

要保证金属型铸件的质量稳定，生产正常，首先要使金属型在生产过程中温度变化恒定。所以每浇一次，就需要将金属型打开，停放一段时间，待冷至规定温度时再浇。如靠自然冷却，需要时间较长，会降低生产率，因此常用强制冷却的方法。冷却的方式一般有以下几种：

(1) 风冷：即在金属型外围吹风冷却，强化对流散热。风冷方式的金属型，虽然结构简单，容易制造，成本低，但冷却效果不十分理想。

(2) 间接水冷：在金属型背面或某一局部，镶铸水套，其冷却效果比风冷好，适于浇注铜件或可锻铸铁件。但对浇注薄壁灰铁铸件或球铁铸件，激烈冷却，会增加铸件的缺陷。

(3) 直接水冷：在金属型的背面或局部直接制出水套，在水套内通水进行冷却，这主要用于浇注钢件或其它合金铸件，铸型要求强烈冷却的部位。因其成本较高，只适用于大批量生产。

如果铸件壁厚薄悬殊，在采用金属型生产时，也常在金属型的一部分采用加温，另一部分采用冷却的方法来调节型壁的温度分布。

4.3.5 金属型的涂料

在金属型铸造过程中，常需在金属型的工作表面喷刷涂料。涂料的作用是：调节铸件的冷却速度；保护金属型，防止高温金属液对型壁的冲蚀和热击；利用涂料层蓄气排气。

根据不同合金，涂料可能有多种配方，涂料基本由三类物质组成：1. 粉状耐火材料（如氧化锌，滑石粉，锆砂粉、硅藻土粉等）；2. 粘结剂（常用水玻璃，糖浆或纸浆废液等）；3. 溶剂（水）。具体配方可参考有关手册。

涂料应符合下列技术要求：要有一定粘度，便于喷涂，在金属型表面上能形成均匀的薄层；涂料干后不发生龟裂或脱落，且易于清除；具有高的耐火度；高温时不会产生大量气体；不与合金发生化学反应（特殊要求者除外）等。

4.3.6 复砂金属型(铁模复砂)

涂料虽然可以降低铸件在金属型中的冷却速度，但采用刷涂料的金属型生产球墨铸铁件（例如曲轴），仍有一定困难，因为铸件的冷速仍然过大，铸件易出现白口。若采用砂型，铸件冷速虽低，但在热节处又易产生缩松或缩孔，在金属型表面复以 4—8mm 的砂层，就能铸出满意的球墨铸铁件。

复砂层有效地调节了铸件的冷却速度，一方面使铸铁体不出白口，另一方面又使冷速大于砂型铸造。金属型无溃散性，但很薄的复砂却能适当减少铸件的收缩阻力。此外金属型具有良好的刚性，有效地限制球铁石墨化膨胀，实现了无冒口铸造，消除疏松，提高了铸件的致密度。如金属型的复砂层为树脂砂，一般可用射砂工艺复砂，金属型的温度要求在 180～200℃之间。复砂金属型可用于生产球铁，灰铁或铸钢件，其技术效果显著。

4.3.7 金属型的寿命

提高金属型寿命的途径为：

1. 选用导热系数大，热膨胀系数小，而且强度较高的材料制造金属型；

2. 合理的涂料工艺，严格遵守工艺规范；
3. 金属型结构合理，制造毛坯过程中应注意消除残余应力；
4. 金属型材料的晶粒要细小。

4.4 金属型铸件的工艺设计

根据金属型铸造工艺的一些特点，为了保证铸件质量，简化金属型结构，充分发挥它的技术经济效益，首先必须对铸件的结构进行分析，并制订合理的铸件工艺。

4.4.1 铸件结构的工艺性分析

金属型铸造结构工艺性的好坏，是保证铸件质量，发挥金属型铸造优点的先决条件。合理的铸造构应遵循下列原则：

1) 铸造结构不应阻碍出型，妨碍收缩；2) 厚差不能太大，以免造成各部分温差悬殊，从而引起铸件缩裂和缩松；3) 限制金属型铸件的最小壁厚。

另外，对铸件非加工面的精度和光洁度应要求适当。

4.4.2 铸件在金属型中的浇注位置

铸件的浇注位置直接关系到型芯和分型面的数量、液体金属的导入位置，冒口的补缩效果，排气的通畅程度以及金属型的复杂程度等。选择浇注位置的原则如下：

1. 保证金属液在充型时流动平稳，排气方便，避免液流卷气和金属被氧化；
2. 有利于顺序凝固，补缩良好，以保证获得组织致密的铸件；
3. 型芯数目应尽量减少，安放方便、稳定、而且易于出型；
4. 有利于金属型结构简化，铸件出型方便等。

4.4.3 铸性分型面的选择

分型面形式一般有垂直、水平和综合分类（垂直、水平混合分型或曲面分型）三种。选择分型面的原则如下：

1. 为简化金属型结构，提高铸件精度，对形状教简单的铸件最好都布置在半型内，或大部分布置在半型内；
2. 分型面数目应尽量少，保证铸件外形美观，铸件出型和下芯方便；
3. 选择的分型面应保证设置浇冒口方便，金属充型时流动平稳，有利于型腔里的气体排出；
4. 分型面不得选在加工基准面上；
5. 尽量避免曲面分型，减少拆卸件及活决数量。

4.4.4 浇铸系统设计

根据金属型铸造的某些特点，在设计浇注系统时须注意以下几点：金属浇注速度大，超过砂型的约 20%。其次，在液

体金属充型时，型腔里的气体要能顺利排除，其流向应尽可能与液流方向一致，顺利的将气体挤向冒口或出气冒口；此外，应注意使液体金属在充型时流动平稳，不产生涡流，不冲击型壁或型芯，更不可产生飞溅。

金属型的浇注系统一般分为顶注式底注式和侧注式三类。

- 1) 顶注式，其热分布较合理，有利于顺序凝固，可减少金属液的消耗，但金属液流动不平稳，易进渣，铸件高时，易冲击型腔底部或型芯。若用于浇注铝合金件，一般只适用于铸件高度小于 100 毫米的简单件；
- 2) 底注式，金属液流动较平稳，有利于排气，但温度分布不合理，不利于铸件顺利凝固；
- 3) 侧注式，兼有上述两者的优点，金属液流动平稳，便于集渣，排气等，但金属液消耗大，浇口清理工作量大。

金属型浇注系统的结构与砂型铸造基本相似，但由于金属型壁不透气，导热能力强，因此要求浇注系统结构，能有利于降低金属液流速，流动平稳，减少其对型壁的冲刷。除应保证型腔内气体有充裕的时间排除外，还保证在充型过程中不得产生飞溅。

当用金属型浇注黑色金属时，由于铸件冷速大，液流的粘度急剧增加，因此多采用封闭式浇口，其各部分截面积比例为： $F_{内} : F_{横} : F_{直} = 1 : 1.15 : 1.25$

4.4.5 冒口设计

金属型铸造的冒口和砂型铸造时具有同等的作用：即为补缩、集渣和排气。它的设计原则也与砂型用冒口相同。由于金属型冷却速度大，而冒口又常采用保温涂料或砂层，因此金属型的冒口尺寸可比砂型的冒口小。

4.4.6 金属型铸件的工艺参数

由于金属型工艺的特点，其铸件的工艺参数与砂型铸件略有区别。金属型铸件的线收缩率不仅与合金的线收缩有关，还与铸件结构、铸件在金属型中收缩受阻的情况、铸件出型温度，金属型受热后的膨胀及尺寸变化等因素有关，其取值还要考虑在试浇过程中留有修改尺寸的余地。

为取出金属型芯和铸件，在铸件的出芯和出型方向应取适当斜度，对各种不同合金铸件的铸造斜度参阅有关手册。金属型铸件精度一般比砂型铸件高，所以加工裕量可较小，一般在 0.5~4mm 之间。在确定铸件工艺参数之后，就可绘制金属型铸件工艺图，该图与砂型铸件的工艺图基本相同。

4.5 金属型的设计

铸件工艺图绘制之后，就可进行金属型设计。设计内容主要包括确定金属型的结构、尺寸、型芯、排气系统和顶杆机构等。

对设计的金属型应力求结构简单，加工方便，选材合理，安全可靠。金属型的结构形式

4.5.1 金属型的结构形式

金属型的结构取决于铸件形状、尺寸大小；分型面数量；合金种类和生产批量等条件。按分型面位置，金属型结构有

以下几种形式：

1. 整体金属型，铸型无分型面，结构简单，但它只适用于形状简单，无分型面的铸件；
2. 水平分型金属型，它适用于薄壁轮状铸件。
3. 垂直分型金属型，这类金属型便于开设浇冒口和排气系统，开合型方便，容易实现机械化生产；多用于生产简单的小铸件；
4. 综合分型金属型：它由两个或两个以上的分型面组成，甚至由活块组成，一般用于复杂铸件的生产。操作方便，生产中广泛采用。

4.5.2 金属型主体设计

金属型主体系指构成型腔，用于形成铸件外形的部分。主体结构 with 铸件大小，其在型中的浇注位置，分型面以及合金的种类等有关。在设计时应力求使型腔的尺寸准确；便于开设浇注系统和排气系统，铸件出型方便，有足够的强度和刚度等。

4.5.3 金属型芯的设计

根据铸件的复杂情况和合金的种类可采用不同材料的型芯。一般浇注薄壁复杂件或高熔点合金（如锈钢、铸铁）时，多采用砂芯，而在浇注低熔点合金（如铝、镁合金）时，大多采用金属芯。在同一铸件上也可砂芯和金属芯并用。

4.5.4 金属型的排气

在设计金属型时就必须有排气设施，其排气的方式有以下几种：

1. 利用分型面或型腔零件的组合面的间隙进行排气。
2. 开排气槽。即在分型面或型腔零件的组合面上，芯座或顶杆表面上做排气槽。
3. 设排气孔。排气孔一般开设在金属型的最高处。
4. 排气塞是金属型常用的排气设施

4.5.5 顶出铸件机构设计

金属型腔的凹凸部分，对铸件的收缩会有阻碍，铸件出型时就会有阻力，必须采用顶出机构，方可将铸件顶出。在设计顶出机构时，须注意下面几点：防止顶伤铸件，即防止铸件被顶变形或在铸件表面顶出凹坑；防止顶杆卡死，首先是顶杆与顶杆孔的配合间隙要适当。如果间隙过大易钻入金属，过小则可能造成卡死的现象。根据经验最好采用 D4/dC4 级配合。

4.5.6 金属型的定位、导向及锁紧机构

金属型合型时，要求两半型定位准确，一般采用两种办法，即定位销定位和“止口”定位。对于上下分型，而分型面为圆形时，可采用“止口”定位，而对于矩形分型面大多采用定位销定位。定位销应设在分型面轮廓之内，当金属型本身

尺寸较大，而自身的重量也较大时，要保证开合型定位方便，可采导向形式。

4.5.7 金属型材料的选择

从金属型的破坏原因分析可以看到，制造金属型的材料，应满足下列要求：耐热性和导热性好，反复受热时不变形，不破坏；应具有一定的强度、韧性及耐磨性，机械加工性好。

铸铁是金属型最常用的材料。其加工性能好，价廉，一般工厂均能自制，并且它又耐热、耐磨，是一种较合适的金属型材料。只是在要求高时，才使用碳钢和低合金钢。

采用铝合金制造金属型，在国外已引起注意，铝型表面可进行阳极氧化处理，而获得一层由 Al_2O_3 及 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 组成的氧化膜，其熔点和硬度都较高，而且耐热、耐磨。据报导这种铝金属型，如采用水冷措施，它不仅可铸造铝件和铜件，同样也可用来浇注黑色金属铸件。

5. 熔模铸造

5.1 概述

熔模铸造又称"失蜡铸造",通常是在蜡模表面涂上数层耐火材料,待其硬化干燥后,将其中的蜡模熔去而制成型壳,再经过焙烧,然后进行浇注,而获得铸件的一种方法,由于获得的铸件具有较高的尺寸精度和表面光洁度,故又称"熔模精密铸造"

熔模铸造的工艺过程见图 1。可用熔模铸造法生产的合金种类有碳素钢、合金钢、耐热合金、不锈钢、精密合金、永磁合金、轴承合金、铜合金、铝合金、钛合金和球墨铸铁等。

熔模铸件的形状一般都比较复杂,铸件上可铸出孔的最小直径可达 0.5mm,铸件的最小壁厚为 0.3mm。在生产中可将一些原来由几个零件组合而成的部件,通过改变零件的结构,设计成为整体零件而直接由熔模铸造铸出,以节省加工工时和金属材料的消耗,使零件结构更为合理。

熔模铸件的重量大多为零点几十牛(即几十克到几公斤),太重的铸件用熔模铸造法生产较为麻烦,但目前生产大的熔模铸件的重量已达 800 牛左右。

熔模铸造工艺过程较复杂,且不易控制,使用和消耗的材料较贵,故它适用于生产形状复杂、精度要求高、或很难进行其它加工的小型零件,如涡轮发动机的叶片等。图 1 是熔模铸件的照片。熔模铸造的工艺过程见图 2。

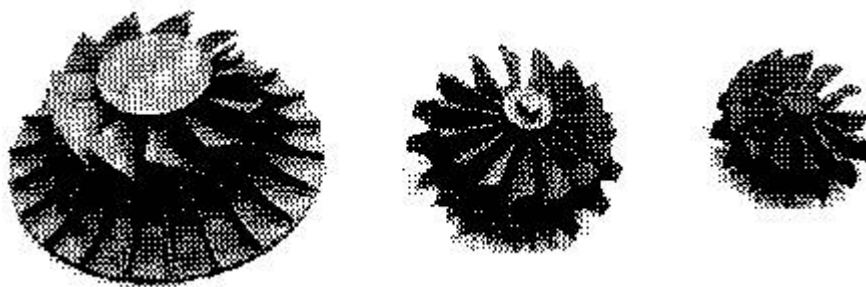


图 1 熔模铸件照片

5.2 熔模的制造

熔模铸造生产的第一个工序就是制造熔模,熔模是用来形成耐火型壳中型腔的模型,所以要获得尺寸精度和表面光洁度高的铸件,首先熔模本身就应该具有高的尺寸精度和表面光洁度。此外熔模本身的性能还应尽可能使随后的制型壳等

工序简单易行。为得到上述高质量要求的熔模，除了应有好的压型（压制熔模的模具）外，还必须选择合适的制模材料（简称模料）和合理的制模工艺。

5.2.1 模料

制模材料的性能不单应保证方便地制得尺寸精确和表面光洁度高，强度好，重量轻的熔模，它还应为型壳的制造和获得良好铸件创造条件。模料一般用蜡料、天然树脂和塑料（合成树脂）配制。凡主要用蜡料配制的模料称为蜡基模料，它们的熔点较低，为 60~700C；凡主要用天然树脂配制的模料称为树脂基模料，熔点稍高，约 70~1200C。经常用来配制模料的原材料的性能见表 1。

表 1. 常用模料原材料的性能

名称	熔点(°C)	灰分(重量%)	重度 25° C 时(牛/米 ³)	抗拉强度(牛/米 ²)	延伸率(%)	线收缩率(%)	软化点(°C)
石蜡	58-66	<0.11	(8.5-8.7)X10 ³	(2.21-2.94)X10 ⁵	2-2.5	0.5-0.7	约 30
硬脂酸	70-71	<0.02	(8.4-8.7)X10 ³	(1.72-1.96)X10 ⁵	2.0-3.0	0.6-0.69	约 35
松香	89-93	<0.03	(8.8-10.7)X10 ³			0.07-0.09	52-66
川蜡	80-85	0.036-0.051	(9.0-9.3)X10 ³	(11.3-12.7)X10 ⁵	1.6-2.2	0.8-1.2	
地蜡	67-80	0.03	9.8X10 ⁴	71.74X10 ⁵		2.0	约 40
褐煤蜡	82-87	0.1-0.5	(8.6-10.1)X10 ³				
聚乙烯	115-130	0.04-0.08	(8.8-9.1)X10 ³	(118-137)X10 ⁵		1-1.5	约 80

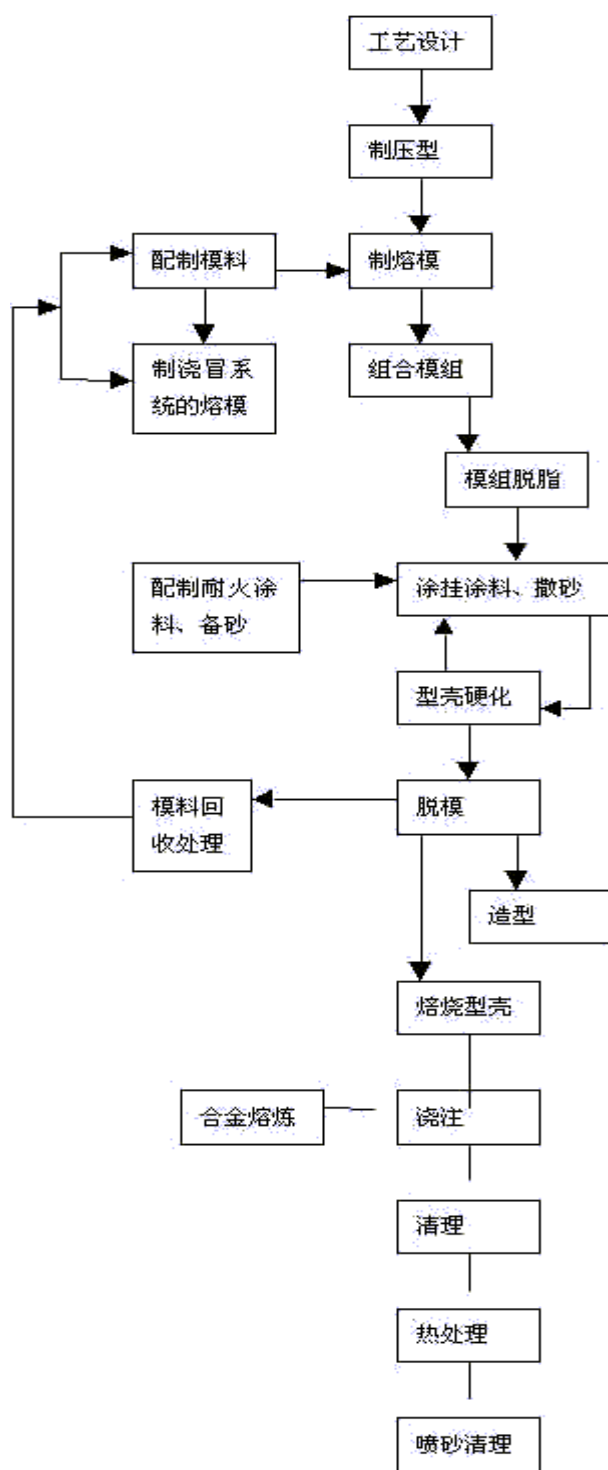


图 2 熔模铸造工艺过程

5.2.2 模料的配制及回收

1) 模料的配制

配制模料的目的是将组成模料的各种原材料混合成均匀的一体，并使模料的状态符合压制熔模的要求。

配制时主要用加热的方法使各种原材料熔化混合成一体，而后在冷却情况下，将模料剧烈搅拌，使模料成为糊膏状态供压制熔模用。有时也有将模料熔化为液体直接浇注熔模的情况。

2) 模料的回收。

使用树脂基模料时，由于对熔模的质量要求高，大多用新材料配制模料压制铸件的熔模。而脱模后回收的模料，在重熔过滤后用来制作浇冒口系统的熔模。

使用蜡基模料时，脱模后所得的模料可以回收，再用来制造新的熔模。可是在循环使用时，模料的性能会变坏，脆性增大，灰分增多，流动性下降，收缩率增加，颜色由白变褐，这些主要与模料中硬脂酸的变质有关。因此，为了尽可能地恢复旧模料的原有性能，就要从旧模料中除去皂盐，常用的方法有盐酸（硫酸）处理法，活性白土处理法和电解回收法。

5.2.3 熔模和模组的制造

1) 熔模的制造

生产中大多采用压力把糊状模料压入压型的方法制造熔模。压制熔之前，需先在压型表面涂薄层分型剂，以便从压型中取出熔模。压制蜡基模料时，分型剂可为机油、松节油等；压制树脂基模料时，常用麻油和酒精的混合液或硅油作分型剂。分型剂层越薄越好，使熔模能更好地复制压型的表面，提高熔模的表面光洁度。压制熔模的方法有三种，柱塞加压法、气压法和活塞加压法。

2) 熔模的组装

熔模的组装是把形成铸件的熔模和形成浇冒口系统的熔模组合在一起，主要有两种方法：

1、焊接法 用薄片状的烙铁，将熔模的连接部位熔化，使熔模焊在一起。此法较普遍。

2、机械组装法 在大量生产小型熔模铸件时，国外已广泛采用机械组装法组合模组，采用此种模组可使模组组合和效率大大提高，工作条件也得到了改善。

5.3 型壳的制造

熔模铸造的铸型可分为实体型和多层型壳两种，目前普遍采用的是多层型壳。

将模组浸涂耐火涂料后，撒上料状耐火材料，再经干燥、硬化，如此反复多次，使耐火涂挂层达到需要的厚度为止，这样便在模组上形成了多层型壳，通常将近其停放一段时间，使其充分硬化，然后熔失模组，便得到多层型壳。

多层壳有的需要装箱填砂；有的则不需要，经过焙烧后就可直接进行浇注。

在熔失熔模时，型壳会受到体积正在增大的熔融模料的压力；在焙烧和注时，型壳各部分会产生相互牵制而又不均的

膨胀的收缩，因此，金属还可能与型壳材料发生高温化学反应。所以对型壳便有一定的性能要求，如小的膨胀率和收缩率；高的机械强度、抗热震性、耐火度和高温下的化学稳定性；型壳还应有一定的透气性，以便浇注时型壳内的气体能顺利外逸。这些都与制造型壳时所采用的耐火材料、粘结剂以及工艺有关。

5.3.1 制造型壳用的材料

制造型壳用的材料可分为两种类型，一种是用来直接形成型壳的，如耐火材料、粘结剂等；另一类是为了获得优质的型壳，简化操作、改善工艺用的材料，如熔剂、硬化剂、表面活性剂等。

1) 耐火材料

目前熔模铸造中所用的耐火材料主要为石英和刚玉，以及硅酸铝耐火材料，如耐火粘土、铝矾土、焦宝石等。有时也用锆英石、镁砂（MgO）等。

2) 粘结剂

在熔模铸造中用得最普遍的粘结剂是硅酸胶体溶液（简称硅酸溶胶），如硅酸乙酯水解液、水玻璃和硅溶胶等。组成它们的物质主要为硅酸（ H_2SiO_3 ）和溶剂，有时也有稳定剂，如硅溶胶中的 NaOH。

硅酸乙酯水解液是硅酸乙酯经水解后所得的硅酸溶胶模铸造中用得最早、最普遍的粘结剂；水玻璃壳型易变形、开裂，用它浇注的铸件尺寸精度和表面光洁度都较差。但在我国，当生产精度要求较的碳素钢铸件和熔点较低的有色合金铸件时，水玻璃仍被广泛应用于生产；硅溶胶的稳定性好，可长期存放，制型壳时不需专门的硬化剂，但硅溶胶对熔模的润湿稍差，型壳硬化过程是一个干燥过程，需时较长。

5.3.2 制壳工艺

制壳过程中的主要工序和工艺为：

1) 模组的除油和脱脂

在采用蜡基模料制熔模时，为了提高涂料润湿模组表面的能力，需将模组表面的油污去除掉。

2) 在模组上涂挂涂料和撒砂

涂挂涂料以前,应先把涂料搅拌均匀,尽可能减少涂料桶中耐火材料的沉淀,调整好涂料的粘度或比重，以使涂料能很好地充填和润湿熔模，挂涂料时,把模组浸泡在涂料中,左右上下晃动,使涂料能很好润湿熔模，均匀覆盖模组表面。涂料涂好后，即可进行撒砂。

3) 型壳干燥和硬化

每涂复好一层型壳以后，就要对它进行干燥和硬化，使涂料中的粘结剂由溶胶向冻胶、凝胶转变，把耐火材料连在一起。

4) 自型壳中熔失熔模

型壳完全硬化后，需从型壳中熔去模组，因模组常用蜡基模料制成，所以也把此工序称为脱蜡。根据加热方法的不同，有很多，脱蜡方法，用得较多的是热水法和同压蒸汽法。

5) 焙烧型壳

如需造型（填砂）浇注，在焙烧之前，先将脱模后的型壳埋箱内的砂粒之中，再装炉焙烧。如型壳高温强度大，不需造型浇注，则可把脱模后的型壳直接送入炉内焙烧。焙烧时逐步增加炉温，将型壳加热至 8000-10000C，保温一段时间，即可进行浇注。

5.4 熔模铸件的浇注和清理

5.4.1 熔模铸件的浇注

熔模铸造时常用的浇注方法有：

1) 热型重力浇注方法有以下几种。

这是用得最广泛的一种浇注形式，即型壳从焙烧炉中取出后，在高温下进行由浇注。此时金属在型壳中冷却较慢，能在流动性较高的情况下充填铸型，故铸件能很好复制型腔的形状，提高了铸件的精度。但铸件在热型中的缓慢冷却会使晶粒粗大，这就降低了铸件的机械性能。在浇注碳钢铸件时，冷却较慢的铸件表面还易氧化和脱碳，从而降低了铸件的表面硬度、光洁度和尺寸精度。

2) 真空吸气浇注

将型壳如图 3 所示放在真空浇注箱中，通过型壳中的微小孔隙吸走型腔中的气体，使液态金属能更好地充填型腔，复制型腔的形状，提高铸件精度，防止气孔、浇不足的缺陷。该法已在海外应用。

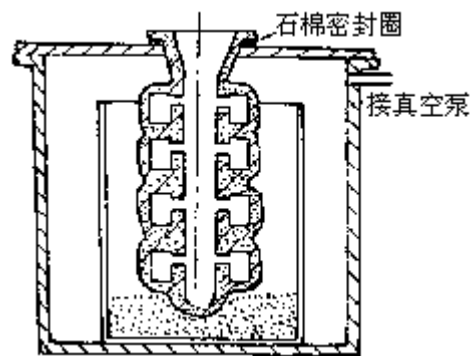


图 3 真空吸气浇注装置示意图

3) 压力下结晶

将型壳放在压力罐内进行浇注，结束后，立即封闭压力罐，向罐内通入高压空气或惰性气体，使铸件在压力下凝固，以增大铸件的致密度。在海外最大压力已达 150atm。

4) 定向结晶（定向凝固）

一些熔模铸件如涡轮机叶片、磁钢等，如果它们的结晶组织是按一定方向排列的柱状晶，它们的工作性能便可提高很

多，所以熔模铸造定向结晶技术正迅速地得到发展。

5.4.2 熔模铸件的清理

熔模铸件清理的内容主要为：（1）从铸件上清除型壳；（2）自浇冒系统上取下铸件；（3）去除铸件上所粘附的型壳耐火材料；（4）铸件热处理后的清理，如除氧化皮、尽边和切割浇口残余等。

5.5 熔模铸造工艺设计

如同一般铸造工艺设计，熔模铸造工艺设计的任务为：

- （1）分析铸件结构的工艺性；
- （2）选择合理的工艺方案，确定有关的铸造工艺参数，在上述基础上绘制铸件图；
- （3）设计浇冒系统，确定模组结构。

在考虑上述三方面的问题时，主要的依据仍是一般铸造过程的基本原则，尤其在确定工艺方案、工艺参数时（如铸造圆角，拔模斜度、加工余量、工艺筋等），除了具体数据由于熔模铸造的工艺特点稍有不同之外，而设计原则与砂型铸造完全相同。

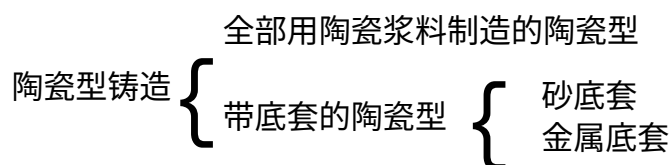
6. 陶瓷型铸造

6.1 概述

陶瓷型铸造是在砂型熔模铸造的基础上发展起来的一种新工艺。陶瓷型是利用质地较纯、热稳定性较高的耐火材料作造型材料；用硅酸乙酯水解液作粘结剂，在催化剂的作用下，经灌浆、结胶、起模、焙烧等工序而制成的。

采用这种铸造方法浇出的铸件，具有较高的尺寸精度和表面光洁度，所以这种方法又叫陶瓷型精密铸造。

陶瓷型的制造方法可分为两大类：一类是全部采用陶瓷浆料制造铸型法；另一类就是采用底套（相当于砂型的背砂层）表面再灌陶瓷浆料以制陶瓷型的方法。底套又分砂套和金属底套两种；即



小型陶瓷型铸件，常采用全部以陶瓷浆料制造的陶瓷型，其造型过程如图 1 所示。首先将模型固定于模板上（a），再套上砂箱（b），然后将预先调好的陶瓷浆料倒入砂箱（c），将上表面刮平，等待结胶硬化（d），待浆料一旦出现弹性即可进行起模（e）。随即点火喷烧（吹压缩空气助燃）（f），待火熄灭后，移入高温炉中喷烧即成所需的陶瓷型。

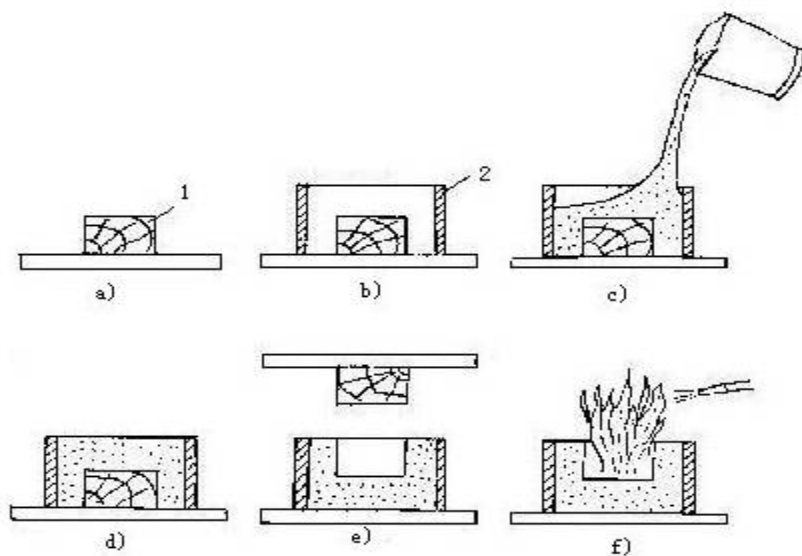


图 1 全部采用陶瓷浆料造型过程示意图

a) 模型 b)准备灌浆 c)灌浆 d)结胶 e) 起模 f)喷烧 1—模型 2—砂箱

另一类就是带底套的陶瓷型。生产中常采用带底套的复会铸型，即与液体金属直接接触的面层，灌注陶瓷浆料，而其

余部分用砂套或金属套代替。

目前生产上应用最广泛的是 CO₂ 水玻璃砂底套陶瓷型。CO₂ 水玻璃套有强度高，透气性好制作简便等优点。其次作过程如图 2 所示。其特殊之处，在于事先要准备两个模型，一个用于灌陶瓷浆料的铸件模（A 模），另一个用于制造底套（B 模）其尺寸较（A 模）大。

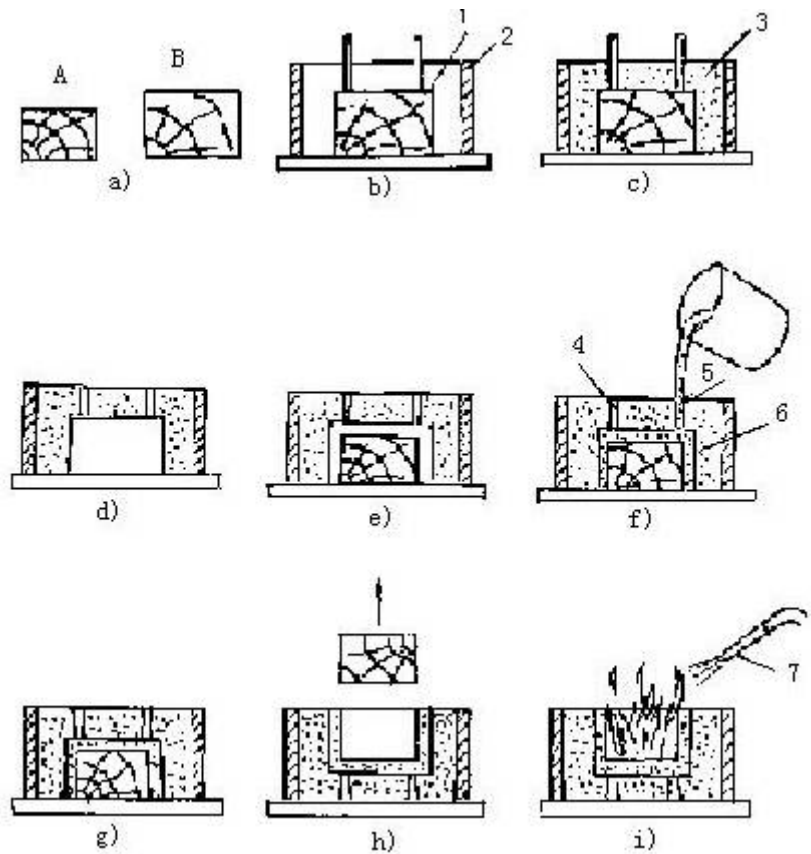


图 2 采用水玻璃砂套的陶瓷型制作过程

a) 模型 b) 准备造型 c) 填充水玻璃砂 e) 准备灌浆 f) 灌浆 g) 结胶 h) 起模 I) 喷烧
1-模型 2-砂箱 3-水玻璃砂 4-排气孔 5-灌浆孔 6-陶瓷浆 7-空气喷嘴

陶瓷型铸造具有以下优缺点：

- 1. 铸件的表面光洁度高；
- 2. 铸件的尺寸精度高；
- 3. 可以铸出大型精密铸件

熔模铸造虽能铸出尺寸精确、光洁度高的铸件，但由于本身工艺的限制，浇注的铸件重量一般都较小，最大件只有几十公斤；而陶瓷型铸件最大可达十几吨。

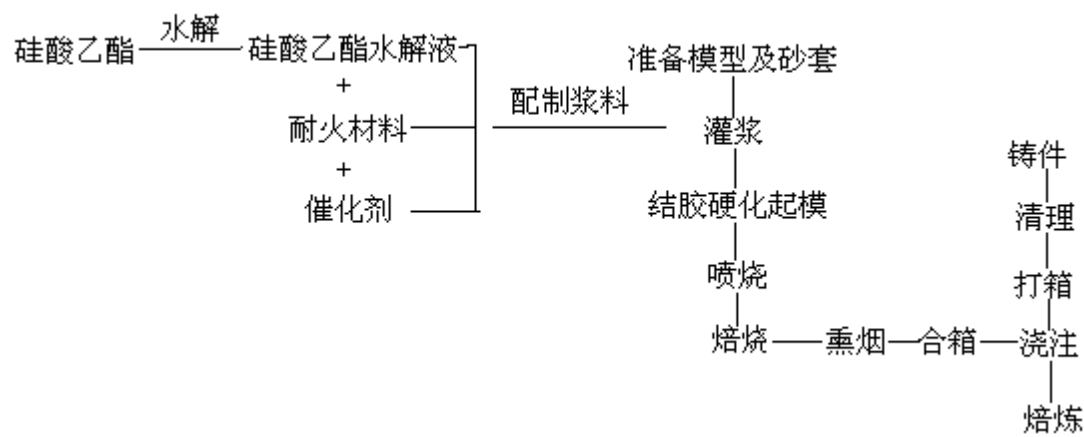
- 4. 投资少，投产快，生产准备周期短。

缺点是原材料价格昂贵，由于有灌浆工序，不适于浇注批量大，重量轻，形状较复杂的铸件，且生产工艺过程难于实现机械化和自动化。

6.2 陶瓷型铸造工艺

（一）陶瓷型铸造的工艺流程

陶瓷型铸造的工艺流程如下：



（二）陶瓷型所用的造型材料

陶瓷型所用的造型材料包括耐火材料、粘结剂、催化剂、脱模剂、透气剂等。

1. 耐火材料，陶瓷型所用的耐火材料要求杂质少，熔点高和高温热膨胀系数小。可作陶瓷型的耐火材料有刚玉粉、铝矾土、碳化硅及锆砂粉等。
2. 粘结剂，陶瓷型常用的粘结剂是硅酸乙酯水解液。
3. 催化剂，陶瓷浆料所用的催化剂有氢氧化钙、氧化镁、氢氧化钠以及氧化钙等。
4. 脱膜剂，常用的脱膜剂有上光腊，变压器油，机油、有机硅油及凡士林等。
5. 透气剂，在陶瓷浆料中加入透气剂以改善陶瓷型的透气性。常用的透气剂是双氧水，其加入量为耐火粉料重量的0.2~0.3%。

（三）陶瓷浆料的配制及灌浆

1. 耐火材料的选择

在铸造尺寸和光洁度要求高的合金钢锻模、压铸型、玻璃器皿模具时，应采用耐高温的、热稳定性好的刚玉粉、锆砂粉或碳化硅作为陶瓷型浆料的耐火材料。对于铸铁件或铝铸件可采用价格较便宜的铝矾土或石英粉作为耐火材料，并正确选择耐火材料的粒度组成。

2. 浆料的配制与灌浆

耐火材料与硅酸乙醇水解液的配比要适当，不同耐火材料所需水解液的比例也不同，耐火材料与水解液的配比可按下表选择。

耐火材料种类	耐火材料(kg): 水解液(l)
刚玉粉或炭化硅粉	2:1
铝矾土粉	10(3.5~4)
石英粉	5:2

开始结胶的时间与灌浆的时间对陶瓷型质量有很大的影响。催化剂含量和室温对结胶时间也有影响。灌浆过迟过早都不好。开始结胶的时间可通过预配小样测定。

灌浆时，浆料倒入速度不应过快，以防卷入空气，最好边灌浆边振动，以排除浆料中的气体。

(四) 起模

灌浆后的陶瓷型经结胶，固化等阶段。但在结胶开始后尚不能立即起模，一般在结胶后 5~15min，待陶瓷层消有弹性时，起模效果最好。起模时先将浇注系统、通气棒取出，然后垂直取出母模（不可敲动），起模后应立即进行点火喷烧，否则易产生裂纹。

(五) 喷烧

起模后应立刻点火并吹压缩空气进行喷烧，而使陶瓷型的表面有一定的强度和硬度。

(六) 焙烧

焙烧的目的是使陶瓷型内残存的乙醇、水分和少量的有机物烧去，并使陶瓷层的强度增加。

全部由陶瓷浆料灌制的陶瓷型，焙烧温度可高达 800oC，焙烧时间 2~3h，出炉温度应在 2500C 以下，以防止产生裂纹。

带有水玻璃套的陶瓷型，焙烧温度（烘干）在 350~550oC。

(七) 浇注与清理

陶瓷型浇注时定要注意挡渣。浇注温度与浇注速度可比同类型的砂型铸件稍高。陶瓷型铸件最好待冷却至室温时再打箱，这样可防止铸件裂纹与变形。

7. 石膏型铸造

7.1 概述

7.1.1 工艺过程

石膏型精密铸造是用世纪 70 年代发展起来的一种精密铸造新技术其工艺过程见图 1。

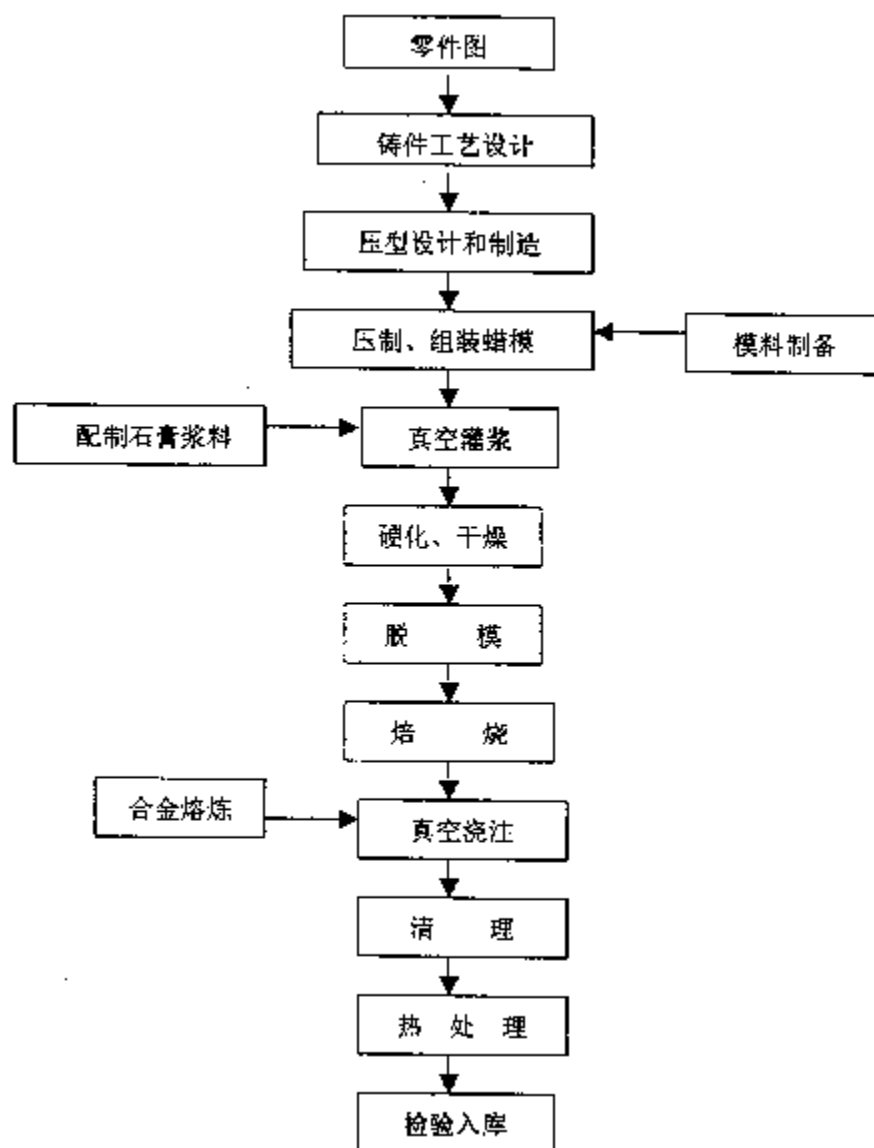


图 1 石膏型精密铸造工艺过程

它是将熔模组装，并固定在专供灌浆用的砂箱平板上，在真空下把石膏浆料灌入，待浆料凝结后经干燥即可脱除熔模，再经烘干、焙烧成为石膏型，在真空下浇注获得铸件。

7.1.2 工艺特点

- 1. 石膏浆料的流动性很好，又在真空下灌注成型，其充型性优良，复模性优异，型精确、光洁。该工艺不像一般熔模精密铸造受到涂挂工艺的限制，可灌注大型复杂铸件用型。
- 2. 石膏型的热导率很低，充型时合金液流动保持时间长，适宜生产薄壁复杂件。但铸型激冷作用差，当铸件壁厚差异大时，厚大处容易出现缩松、缩孔等缺陷。
- 3. 石膏型透气性极差，铸件易形成气孔、浇不足等缺陷，应注意合理设置浇注及排气系统。

7.2.3 应用范围

石膏型精密铸造适于生产尺寸精确，表面光洁的精密铸件，特别适宜生产大型复杂薄壁铝合金铸件，也可用于锌、铜、金、银等合金铸件。铸件最大尺寸达 1000×2000mm、重量 0.03~908kg，壁厚 0.8~1.5mm（局部 0.5mm）。石膏型精密铸造已被广泛应用于航空、宇航、兵器、电子、船舶、仪器、计算机等行业的零件制造上。

7.2 石膏型精密铸件工艺设计

7.2.1 石膏型精密铸件工艺参数选择

- 1) 造斜度 同熔模铸造。
- 2) 加工余量（表 1）。

表 1 石膏型精密铸件的加工余量（mm）

加工面最大尺寸	加工余量
100	0.8
100~300	1.0
300~500	1.5

- 3) 收缩率 熔模收缩率 0.4~0.6%、石膏型脱水收缩率 0~0.5%、当金属收缩率 1.1~1.3%时，综合线收缩率 1.5~2.0 %。

7.2.2 浇注系统及冒口设计

- 1. 石膏型精密铸造的浇冒系统应满足下列要求：
 - (1) 有良好的排气能力，能顺利排出型腔中气体，在顶部和易憋气处要开设出气口。

(2) 要保证合金液在型腔中流动平稳, 顺利充满型腔, 避免出现涡流, 卷气现象。

(3) 合理设置冒口, 保证补缩。

(4) 脱模时浇注系统应先拆先, 减小熔模对石膏型的膨胀力。

(5) 浇注系统在铸件凝固过程中应尽可能不阻碍铸件收缩, 以防止件变形和开裂。

2. 浇注系统类型选择

一般浇注系统可分顶注、中间注、底注和阶梯注几种。对高度大的薄壁筒形、箱形件也可用缝隙式或阶梯式浇注系统。对某些铸件亦可采用平注和斜注。

3. 内浇口位置选择

石膏型表面硬度不够高、热导率小, 因此内浇口一般不应直对型壁和型芯, 防止冲刷型壁和型芯, 而应沿着型壁和型芯设内浇口。对复杂的薄壁件为防止件变形及裂纹, 内浇口应均匀分布, 避免局部过热及浇不足缺陷。内浇口应尽可能设在铸件热节处, 利于补缩。

7.3 石膏型精铸工艺

7.3.1 模样

石膏型精密铸造用的模样主要是熔模, 也可使用气化模、水溶性模(芯)。

1. 熔模模料

对一般中小型铸件也可使用熔模铸造通用模料, 而大中型复杂铸件、尺寸精度和表面粗糙度要求高的件则应使用石膏型精铸专用模料。

2. 水溶性模(芯)料

制作复杂内腔, 无法用金属芯形成时, 就得使用水溶芯或水溶石膏芯来形成内腔。常用的水溶性模料有尿素模料、无机盐模料、羧芯等。

3. 模样制作

熔模压制工艺同熔模铸造。一般水溶尿素模料、无机盐模料及水溶石膏芯都是灌注成形的。水溶性陶瓷芯一般是将各组分先混制成可塑配料, 再加压成型, 经 700℃左右烧结后待用。

7.3.2 石膏浆料的原材料

1. 石膏

天然石膏为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 又称二水石膏。二水石膏有七种变体。 α 型半水石膏做石膏型更为合适。除石膏种类外, 影响石膏强度的因素还有石膏的细度、水固比、水温、搅拌时间等。

2. 填料

为使石膏型具有良好的强度, 减小其收缩和裂纹倾向, 需要在石膏中加入填料。填料应有合适的熔点、耐火度, 良好

的化学稳定性、合适的线膨胀率、发气量少，吸湿性小等性能，常用作填料的材料及其性能见表 2。

表 2 石膏型用填料及性能

名 称	熔点 (℃)	密度 (g/cm ³)	线膨胀系数 (1/℃)	加入填料后石膏混合料强度 (Mpa)		
				7h	烘干 90℃, 4h 后	焙烧 700℃, 1h 后
硅砂	1713	2.65	12.5X10 ⁻⁶	0.5	1.3	0.2
石英玻璃	1700-1800	2.1-2.2	0.5 X10 ⁻⁶			
硅线石	1800	3.25	3.1-4.3 X10 ⁻⁶	1.5	2.8	0.65
莫来石	1810	3.08-3.15	5.3 X10 ⁻⁶	2.3	3.4	0.80
煤矸石				2.4	3.8	0.86
铝矾土	≈1800	3.2-3.4	5.0 X10 ⁻⁶	2.6	4.6	0.85
刚玉	2045	3.95-4.02	8.4 X10 ⁻⁶	2.0	3.5	0.65
氧化锆	2690	5.73	7.2-10 X10 ⁻⁶			
锆英	2430	4.7-4.9	5.1 X10 ⁻⁶			
滑石粉						
波特兰水泥						
石棉						
无碱玻璃纤维						

石膏：填料（W／W） 40:60

3. 添加剂

为提高石膏型焙烧后强度、改变石膏型凝结时间和清理性，改变其线膨胀率等需在石膏浆料中加入添加物。

7.3.3 石膏浆料

石膏浆料的配比及制备对石膏型及铸件质量影响很大，为此应严格加以控制。

1. 生产中常用的几种石膏浆料的成分配比见表 3。

表 3 几种石膏浆料成分配比（质量分数，%）

序号	半水石膏		硅石粉 200/300	硅砂 70/140	高岭土 基料 200/300	石英玻 璃 200/300	滑石粉	硅藻土	水泥	添加剂 (外加)	水 (外加)
	α 型	β 型									
1	30		70							1	~50
2	30		50	20						1	~40

3	30		35			35					45
4		40				60					55
5	35				55						40
6	30				70						38
7	65		28				5	2			若干
8	42		50				7.5		0.5		54

2. 石膏浆料的制备设备简图见图 2，操作要点见表 4。

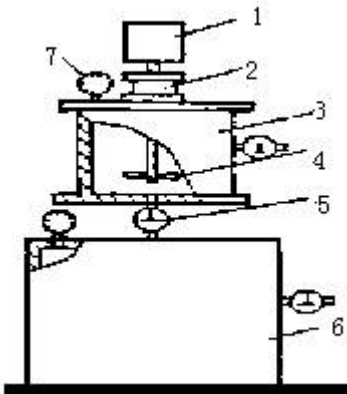


图 2 浆料制备设备简图

1—电动机 2—动密封装置 3—搅拌室 4—搅拌浆叶 5—二通阀 6—灌浆室 7—真空表

表 4 石膏浆料的制备和操作要点

工序名称	操作要点
加料	在浆料搅拌器中现加入适量水,再边搅拌边加份料
真空搅拌	待份料加完后,立即合上搅拌器顶盖抽真空,并继续搅拌.真空度再 30s 达到规定值 0.05~0.06MPa,搅拌时间 2~3min,搅拌机转速 250~350r/min.
备注	石膏浆料的初凝时间一般为 5~75min,搅拌必须在初凝前结束,开始灌注.

4. 真空灌浆

为提高浆料的充填能力，应在真空条件下灌浆。

5. 熔模脱除和石膏型烘干

6. 石膏型焙烧

石膏型焙烧的主要目的是去除残留于石膏型中的模料、结晶水以及其它发气物，同时完成石膏型中一些组成物的相变过程，使其体积稳定。常见的焙烧工艺见图 3。焙烧炉可用天然气炉、电阻炉。

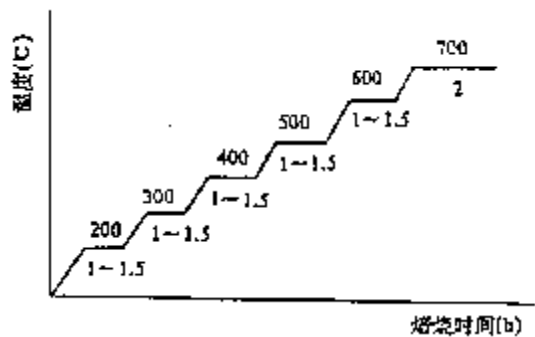


图 3 石膏型焙烧工艺

7. 合金熔炼及浇注

(1) 合金熔炼

石膏型精密铸造以铝合金为主，一般适用于砂型铸造的铝合金亦能用于石膏型精铸，其中以铝硅类合金用得最多。为获得优质的铝铸件，一定要采用最有效的精炼除气工艺和变质处理方法。

(2) 浇注工艺参数

金属液的浇注温度和石膏型温度两者应合理配合，以取得优良铸件质量，石膏型温度可控制在 150~300℃之间，铝合金浇注温度一般可低于其它铸造方法，控制在 700℃左右，对大型薄壁铸件浇注温度可适当提高。

8. 铸件清理

对大型复杂薄壁铝精铸件必须进行大量细致的清理、修补和校正等工作。

8. 低压铸造

8.1 概述

低压铸造是使液体金属在压力作用下充填型腔，以形成铸件的一种方法。由于所用的压力较低，所以叫做低压铸造。其工艺过程（见图 1）是：在密封的坩埚（或密封罐）中，通入干燥的压缩空气，金属液 2 在气体压力的作用下，沿升液管 4 上升，通过浇口 5 平稳地进入型腔 8，并保持坩埚内液面上的气体压力，一直到铸件完全凝固为止。然后解除液面上的气体压力，使开液管中未凝固的金属液流坩埚，再由气缸 12 开型并推出铸件。

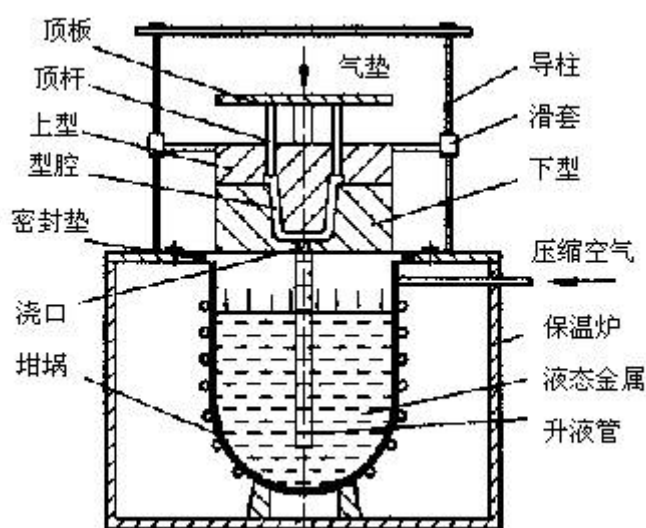


图 1 低压铸造的工艺示意图

1—保温炉 2—液体金属 3—坩埚 4—升液管 5—浇口 6—密封盖 7—下型 8—型腔 9—上型
10—顶杆 11—顶杆板 12—气缸 13—石棉密封垫

低压铸造独特的优点表现在以下几个方面：

1. 液体金属充型比较平稳；
 2. 铸件成形性好，有利于形成轮廓清晰、表面光洁的铸件，对于大型薄壁铸件的成形更为有利；
 3. 铸件组织致密，机械性能高；
 4. 提高了金属液的工艺收得率，一般情况下不需要冒口，使金属液的收得率大大提高，收得率一般可达 90%。
- 此外，劳动条件好；设备简单，易实现机械化和自动化，也是低压铸造的突出优点。

8.2 低压铸造工艺设计

低压铸造所用的铸型，有金属型和非金属型两类。金属型多用于大批、大量生产的有色金属铸件，非金属铸型多用于单件小批量生产，如砂型，石墨型，陶瓷型和熔模型壳等都可用于低压铸造，而生产中采用较多的还是砂型。但低压铸造用砂型的造型材料的透气性和强度应比重力浇注时高，型腔中的气体，全靠排气道和砂粒孔隙排出。

为充分利用低压铸造时液体金属在压力作用下自下而上地补缩铸件，在进行工艺设计时，应考虑使铸件远离浇口的部位先凝固，让浇口最后凝固，使铸件在凝固过程中通过浇口得到补缩，实现顺序凝固。常采用下述措施：

1. 浇口设在铸件的厚壁部位，而使薄壁部位远离浇口；
2. 用加工裕量调整铸件壁厚，以调节铸件的方向性凝固；
3. 改变铸件的冷却条件。

对于壁厚差大的铸件，用上述一般措施又难于得到顺序凝固的条件时，可采用一些特殊的办法，如在铸件厚壁处进行局部冷却，以实现顺序凝固。

8.3 低压铸造工艺

低压铸造的工艺规范包括充型、增压、铸型预热温度、浇注温度，以及铸型的涂料等。

（1）充型和增压

升液压力是指当金属液面上升到浇口，附所需要的压力。金属液在升液管内的上升速度应尽可能缓慢，以便有利于型腔内气体的排出，同时也可使金属液在进入浇口时不致产生飞溅。

（2）充型压力和充型速度

充型压力 P_a 是指使金属液充型上升到铸型顶部所需的压力。在充型阶段，金属液面上的升压速度就是充型速度。

（3）增压和增压速度

金属液充满型腔后，再继续增压，使铸件的结晶凝固在一定大小的压力作用下进行，这时的压力叫结晶压力。结晶压力越大，补缩效果越好，最后获得的铸件组织也愈致密。但通过结晶增大压力来提高铸件质量，不是任何情况下都能采用的。

（4）保压时间

型腔压力增至结晶压力后，并在结晶压力下保持一段时间，直到铸件完全凝固所需要的时间叫保压时间。如果保压时间不够，铸件未完全凝固就卸压，型腔中的金属液将会全部或部分流回批捐，造成铸件“放空”报废；如果保压时间过久，则浇口残留过长，这不仅降低工艺收得率，而且还会造成浇口“冻结”，使铸件出型困难，故生产中必须选择一适宜的保压时间。

(5) 铸型温度及浇注温度

低压铸造可采用各种铸型，对非金属型的工作温度一般都为室温，先特殊要求，而对金属型的工作温度就有一定的要求。如低压铸造铝合金时，金属型的工作温度一般控制在 200~2500C，浇注薄壁复杂件时，可高达 300~3500C。

关于合金的浇注温度，实践证明，在保证铸件成型的前提下，应该是愈低愈好。

(6) 涂料

如用金属型低压铸造时，为了提高其寿命及铸件质量，必须刷涂料；涂料应均匀，涂料厚度要根据铸件表面光洁度及铸件结构来决定。

8.4 低压铸造设备

低压铸造设备一般由保温炉及其附属装置，铸型开合系统和供气系统三部分组成。按铸型和保温炉的连接方式，可分为顶铸式低压铸造机和侧铸式低压铸造机两种类型。

(1) 保温炉及附属装置

它由炉体、熔池、密封盖和升液管等所组成，是低压铸造机的基本部分。保温炉的炉型很多，如焦炭炉，煤气炉，电阻炉，感应炉等。但目前广泛使用的是电阻加热炉，其次是电热反射炉。

(2) 供气系统

在低压铸造中，正确控制对铸型的充型和增压是获得良好铸件的关键，这个控制完全由供气系统来实现。根据不同铸件，不同铸件的要求，供气系统应可以任意调节，工作要稳定可靠，结构要使维修方便。

8.5 特殊低压铸造工艺

低压铸造对一些特殊结构或特殊性能要求的铸件，难以满足时，就在低压铸造的基础上，发展出一些特殊低压铸造工艺。

(1) 压差法低压铸造

有些铸件的内部质量要求高，希望在较高的压力下结晶，但一般低压铸造时的结晶压力不能太大。因而发展出压差法低压铸造。其工艺过程是将电阻保温炉和铸型全部进行密封，在密封罩内通入压力较大如 500kPa 的压缩空气，这时由于铸型与增锅内部的压力相等，金属液不会上升，然后金属液向上补充 50kPa 压力，金属液就会上升充填型腔。同时铸型内的金属液也在高压下结晶凝固。这种方法使铸件得到较致密的结晶组织，提高了铸件的机械性能。据资料介绍这种工艺与一般铸造方法相比，使铸件强度提高约 25%，延伸率提高约 50%。但设备较庞大，操作麻烦，只有特殊要求时才应用。

(2) 真空低压铸造

对薄壁或复杂的大型铸件，采用前述的低压铸造工艺，也难以满足时，采用真空低压铸造就容易解决。它的装置与压差法低压铸造基本相似。在浇注前先将型腔中的气体抽出再进行浇注，这时浇注速度可以提高，不会产生氧化夹杂和气孔等缺陷。

9. 差压铸造

差压铸造又称反压铸造、压差铸造。它是在低压铸造的基础上，铸型外罩个密封罩，同时向坩埚和罩内通入压缩空气，但坩埚内的压力略高，使坩埚内的金属液在压力差的作用下经升液管充填铸型，并在压力下结晶。它是低压铸造与压力下结晶两种铸造方法的结合。

9.1 基本原理与工艺过程

形成金属液充型时的压力差 ΔP 有两种方式：一种是增压法，即增加下压力筒压力，使 $P_2 > P_1$ ；形成 ΔP 进行充型；另一种是减压法，即减少上压力筒压力，使 $P_1 < P_2$ 而形成 ΔP 。

(1) 增压法

压力为 P_0 的干燥压缩空气经c阀、a阀和b阀分别同时进入互通的上、下压力筒（图1a），当达到所需的工作压力 P_1 时，上下压力筒内压力平衡，坩埚内金属液处于静止状态。关闭互通阀d，使上下压力筒相互隔绝。关闭a阀，使压缩空气继续经b阀进入下压力筒，下压力筒内压力由 P_1 增至 P_2 （图1b），上下压力筒间产生一个压力差 $\Delta P = P_2 - P_1$ ，使坩埚内金属液通过升液管，经浇道进入铸型中。充型结束后，保压一段时间，使铸件在高压下凝固。凝固完毕后，打开互通阀，上下压力筒同时放气。

升液管中金属液靠自重流回流。因而差压铸造具有比低压铸造更理想的结晶、凝固条件。

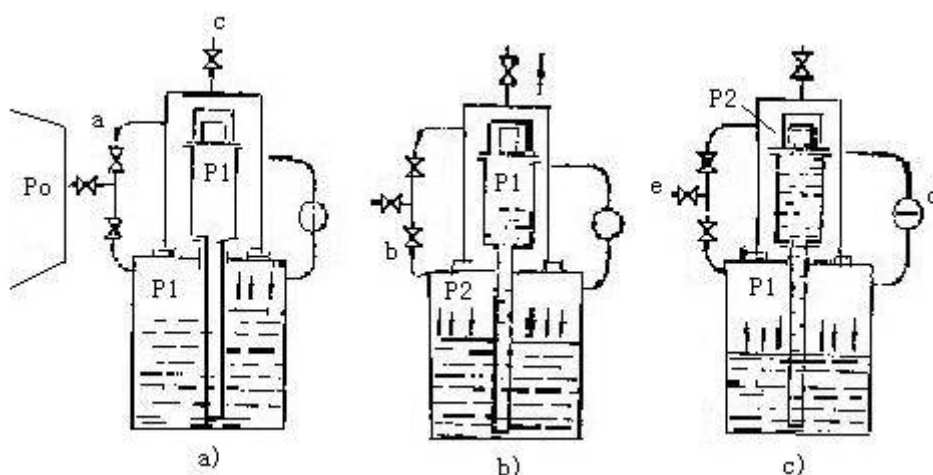


图 1 差压铸造基本原理与工艺过程

(2) 减压法

使上、下压力筒中同时达到工作压力 P_1 的工序与增压法同，而后关闭 a、b、d 阀，使上压力筒中压力逐渐减为 P_2 （图 1 c），上下压力筒间产生压力差 $\Delta P = P_1 - P_2$ ，坩埚内金属液通过升液管充型。充型结束后关闭 C 阀。减压充型可避免上任筒内铸型由于金属液充填升温，产生蒸汽和气体膨胀而影响人的变化。减压法充型时可按浇注工艺控制放气速度。

9.2 铸造工艺特点

因差压铸造金属液是在一定压力下充型，故带来一系列有利于获得优质铸件的因素。1) 可获得最佳的充型速度；2) 可获得最优质的充型金属液，可避免外来夹杂物进入型内。3) 可获得致密的铸件；4) 同获得无针孔、少针孔的铸件；5) 铸件尺寸精度与表面质量改善，不会引起铸型的变形或使铸件表面机械粘砂；6) 可提高铸件力学性能，与低压铸造相比，差压铸造的铸件材料的抗拉强度可提高 10~50%，伸长率可提高 25~50%；7) 能用气体作为合金元素，高压下能提高气体溶解度，故可往一些合金（如钢）中溶入 N_2 ，提高合金强度和耐磨性能。

9.3 应用范围

差压铸适除了可用砂型外，也可用金属型。单件、小批量生产时可用砂型，生产批量大时，可用金属型。铸件重量可从小于 1kg 至 100kg 以上。目前国内最大铸造直径 540mm、高度 890mm、壁厚 8~10mm 的大型复杂薄壁整体舱铸件。可铸造的合金有铝合金、锌合金、镁合金、铜合金，还有铸钢。生产的铸件有电机壳、阀门、叶轮、气缸、轮毂、坦克导轮、船体等。在压力铸造机上生产受投影面积或壁厚限制的铸件均可用差压铸造法生产。差压铸造技术还可应用到注

塑机上生产泡沫塑料结构件，通过发泡剂的加入量和压力控制生产出不同厚度的表面致密层。

10. 压力铸造

10.1 概述

压力铸造（简称压铸）的实质是在高压作用下，使液态或半液态金属以较高的速度充填压铸型型腔，并在压力下成型和凝固而获得铸件的方法。

10.1.1 压铸特点

高压和高速充填压铸型是压铸的两大特点。它常用的压射比压是从几千至几万 kPa，甚至高达 2×10^5 kPa。充填速度约在 $10 \sim 50 \text{ m/s}$ ，有些时候甚至可达 100 m/s 以上。充填时间很短，一般在 $0.01 \sim 0.2 \text{ s}$ 范围内。与其它铸造方法相比，压铸有以下三方面优点：

1. 产品质量好

铸件尺寸精度高，一般相当于 6~7 级，甚至可达 4 级；表面光洁度好，一般相当于 5~8 级；强度和硬度较高，强度一般比砂型铸造提高 25~30%，但延伸率降低约 70%；尺寸稳定，互换性好；可压铸薄壁复杂的铸件。例如，当前锌合金压铸件最小壁厚可达 0.3mm；铝合金铸件可达 0.5mm；最小铸出孔径为 0.7mm；最小螺距为 0.75mm。

2. 生产效率高

机器生产率高，例如国产 JIII3 型卧式冷空压铸机平均八小时可压铸 600~700 次，小型热室压铸机平均每八小时可压铸 3000~7000 次；压铸型寿命长，一付压铸型，压铸钟合金，寿命可达几十万次，甚至上百万次；易实现机械化和自动化。

3. 经济效果优良

由于压铸件尺寸精确，表面光洁等优点。一般不再进行机械加工而直接使用，或加工量很小，所以既提高了金属利用率，又减少了大量的加工设备和工时；铸件价格便易；可以采用组合压铸以其他金属或非金属材料。既节省装配工时又节省金属。

压铸虽然有许多优点，但也有一些缺点，尚待解决。如：

1. 压铸时由于液态金属充填型腔速度高，流态不稳定，故采用一般压铸法，铸件易产生气孔，不能进行热处理；
2. 对内凹复杂的铸件，压铸较为困难；
- 3) 高熔点合金（如铜，黑色金属），压铸型寿命较低；
- 4) 不宜小批量生产，其主要原因是压铸型制造成本高，压铸机生产效率高，小批量生产不经济。

10.1.2 压铸应用范围及发展趋势

压铸是最先进的金属成型方法之一，是实现少切屑，无切屑的有效途径，应用很广，发展很快。目前压铸合金不再局限于有色金属的锌、铝、镁和铜，而且也逐渐扩大用来压铸铸铁和铸钢件。

压铸件的尺寸和重量，取决于压铸机的功率。由于压铸机的功率不断增大，铸件形尺寸可以从几毫米到 1~2m；重量

可以从几克到数十公斤。国外可压铸直径为 2m，重量为 50kg 的铝铸件。压铸件也不再局限于汽车工业和仪表工业，逐步扩大到其它各个工业部门，如农业机械、机床工业、电子工业、国防工业、计算机、医疗器械、钟表、照相机和日用五金等几十个行业。在压铸技术方面又出现了真空压铸、加氧压铸、精速密压铸以及可溶型芯的应用等新工艺。

10.2 压铸机

10.2.1 压铸机的类型

压铸机一般分为热压室压铸机和冷压室压铸机两大类。冷压室压铸机按其压室结构和布置方式分为卧式压铸机和立式压铸机（包括全立式压铸机）两种。

热压室压铸机（简称热空压铸机）压室浸在保温溶化坩埚的液态金属中，压射部件不直接与机座连接，而是装在坩埚上面。这种压铸机的优点是生产工序简单，效率高；金属消耗少，工艺稳定。但压室，压射冲头长期浸在液体金属中，影响使用寿命。并易增加合金的含铁量。热压室压铸机目前大多用于压铸锌合金等低熔点合金铸件，但也有用于压铸小型铝、镁合金压铸件。

冷室压铸机的压室与保温炉是分开的。压铸时，从保温炉中取出液体金属浇入压室后进行压铸。图 1 是立式压铸机压铸过程的示意图。

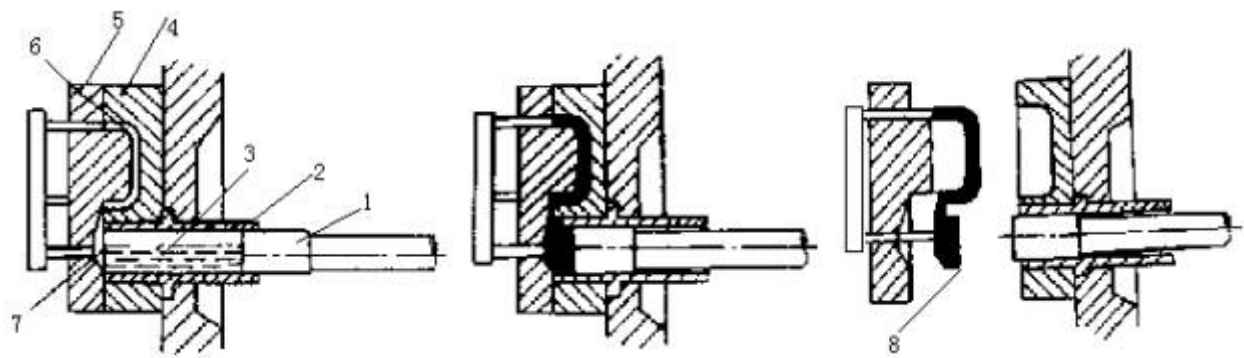


图 1 卧式压铸机压铸过程示意图

1-压射冲头 2-压室 3-液态金属 4-定型 5-动型 6-型腔 7-浇道型腔 8-余料

10.2.2 压铸机的选择

实际生产中并不是每台压铸机都能满足压铸各种产品的需要，而必须根据具体情况进行选用，一般应从下述两方面进

行考虑：

- 1) 按不同品种及批量选择
- 在组织多品种，小批量生产时，一般要选用液压系统简单，适应性强，能快速进行调整的压铸机，在组织少品种大量生产时，要选用配备各种机械化和自动化控制机构的高效率压铸机；对单一品种大量生产的铸件可选用专用压铸机。
- 2) 按铸件结构及工艺参数选择
- 铸件外形尺寸，重量、壁厚等参数对选用压铸机有重要影响。
- 铸件重量（包括浇注系统和溢流槽）不应超过压铸机压定的额定容量，但也能过小，以免造成压铸机功串的浪费。一般压铸机的额定容量可查说明书。
- 压铸机都有一定的最大和最小型距离，所以压型厚度和铸件高度要有一定限度，如果压铸型厚度或铸件高度太大就可能取不出铸件。

10.3 压铸工艺

在压铸生产中，压铸机、压铸合金和压铸型是三大要素。压铸工艺则是将三大要素作有权的组合并加以运用的过程。使各种工艺参数满足压铸生产的需要。

10.3.1 压力和速度的选择

压射比压的选择，应根据不同合金和铸件结构特性确定，表 1 是经验数据。

表 1 常用压铸合金的比压（kPa）

合 金	铸件壁厚<3mm		铸件壁厚>3mm	
	结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	30000	40000	50000	60000
铝合金	30000	35000	45000	60000
铝镁合金	30000	40000	50000	65000
镁合金	30000	40000	50000	60000
铜合金	50000	70000	80000	90000

对充填速度的选择，一般对于厚壁或内部质量要求较高的铸件，应选择较低的充填速度和高的增压压力；对于薄壁或表面质量要求高的铸件以及复杂的铸件，应选择较高的比历和高的充填速度。

10.3.2 浇注温度

浇注温度是指从压定进入型腔时液态金属的平均温度，由于对压室内的液态金属温度测量不方便，一般用保温炉内的温度表示。

浇注温度过高，收缩大，使铸件容易产生裂纹、晶粒粒大、还能造成粘型；浇注源度过低，易产生冷隔、表面花纹和浇不足等缺陷。因此浇注温度应与压力、压铸型温度及充填速度同时考虑。

10.3.3 压铸型的温度

压铸型在使用前要预热到一定温度，一般多用煤气、喷灯、电器或感应加热。

在连续生产中，压铸型温度往往升高，尤其是压铸高熔点合金，升高很快。温度过高除使液态金属产生粘型外，铸件冷却缓慢，使晶粒粗大。因此在压铸型温度过高时，应采取冷却措施。通常用压缩空气、水或化学介质进行冷却。

10.3.4 充填、持压和开型时间

1) 充填时间

自液态金属开始进入型腔起到充满型腔止，所需的时间称为充填时间。充填时间长短取决于铸件的体积的大小和复杂程度。对大而简单的铸件，充填时间要相对长些，对复杂和薄壁铸件充填时间要短些。充填时间与内浇口的截面积大小或内浇口的宽度和厚度有密切关系，必须正确确定。

2) 持压和开型时间

从液态金属充填型腔到内浇口完全凝固时，继续在压射冲头作用下的持续时间，称为持压时间。持压时间的长短取决于铸件的材质和壁厚。

持压后应开型取出铸件。从压射終了到压铸打开的时间，称为开型时间，开型时间应控制准确。开型时间过短，由于合金强度尚低，可能在铸件顶出自压铸型落下时引起变形；但开型时间太长，则铸件温度过低，收缩大，对抽芯和顶出铸件的阻力亦大。一般开型时间按铸件壁厚 1 毫米需 3 秒钟计算，然后经试任调整。

10.3.5 压铸用涂料

压铸过程中，为了避免铸件与压铸型焊合，减少铸件顶出的摩擦阻力和避免压铸型过分受热而采用涂料。对涂料的要求：

- 1) 在高温时，具有良好的润滑性；
- 2) 挥发点低，在 100~150℃时，稀释剂能很快挥发；
- 3) 对压铸型及铸件没有腐蚀作用；
- 4) 性能稳定在空气中稀释剂不应挥发过决而变稠；
- 5) 在高温时不会析出有害气体；
- 6) 不会在压铸型腔表面产生积垢。

表 2 为所常用的压铸涂料

表 2 压铸用涂料及配制方法

序号	原材料名称	配比 (%)	配制方法	适用范围
1	胶体石墨 (油剂)		成油	1. 用于铝合金对防粘型效果 2. 压射冲头, 压室和易咬合部分
2	天然蜂蜡		块状或保持在温度不高于 85 °C 的熔融状态	用于锌合金的成型表面要求光洁的部分
3	氧化钠水	3-5 97-95	将水加热至 70—80 °C 再加氧化钠, 搅拌均匀	用于由于合金冲刷易产生粘型部位
4	石墨机油	5-10 95-90	将石磨研磨过筛 (200 °) 加入 40 °C 左右的机油电搅拌均匀	1. 用于铝合金 2. 压射冲头, 压室部分效果良好
5	锭子油	30° 50°	成品	用于锌合金作润滑

10.3.6 铸件清理

铸件的清理是很繁重的工作，其工作量往往是压铸工作量的 10~15 倍。因此随压铸机生产率的提高，产量的增加，铸件清理工作实现机械化和自动化是非常重要的。

1) 切除浇口及飞边

切除浇口和飞边所用的设备主要是冲床，液压机和摩擦压力机，在大量生产件下，可根据铸件结构和形状设计专用模具，在冲床上一次完成清理任务。

2) 表面清理及抛光

表面清理多采用普通多角滚筒和震动埋入式清理装置。对批量不大的简单小件，可用多角清理滚筒，对表面要求高的装饰品，可用布制或皮革的抛光轮抛光。对大量生产的铸件可采用螺壳式震动清理机。

清理后的铸件按照使用要求，还可进行表面处理和浸渍，以增加光泽，防止腐蚀，提高气密性。

11. 离心铸造

11.1 概述

离心铸造是将液体金属浇入旋转的铸型中，使液体金属在离心力的作用下充填铸型和凝固形成的一种铸造方法。为实现上述工艺过程，必须采用离心铸造机创造使铸旋转的条件。根据铸型旋转轴在空间位置的不同，常用的有立式离心铸造机和卧式离心铸造机两种类型。

立式离心铸造机上的铸型是绕垂直轴旋转的（图 1），它主要用来生产高度小于直径的圆环类铸件，有时也可用此种离心铸造机浇注异形铸件。

卧式离心铸造机的铸型是绕水平轴旋转的（图 2），它主要用来生产长度大于直径的套类和管类铸件。

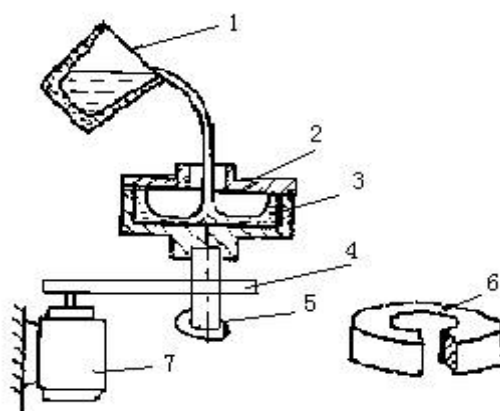


图 1 立式离心铸造示意图

1-浇包 2-铸型 3-液体金属 4-皮带轮和皮带 5-旋转轴 6-铸件 7-电动机

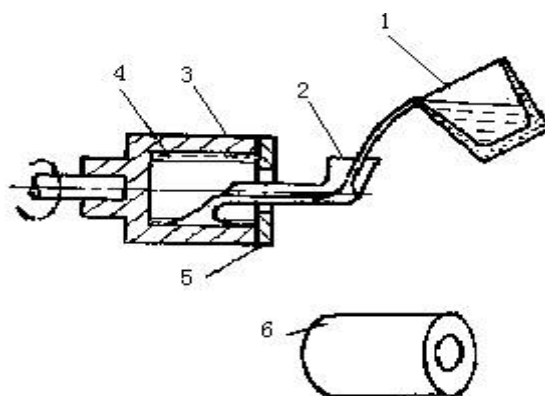


图 2 卧式离心铸造示意图

1-浇包 2-浇注槽 3-铸型 4-液体金属 5-端差 6-铸件

由于离心铸造时，液体金属是在旋转情况下充填铸型并进行凝固的，因而离心铸造便具有下述的一些特点：

- 1) 液体金属能在铸型中形成中空圆柱形自由表面，这样便可不用型芯就能铸出中空的铸件，大大简化了套筒，管类铸件的生产过程；
- 2) 由于旋转时液体金属所产生的离心力作用，离心铸造工艺可提高金属充填铸型的能力，因此一些流动性较差的合金和薄壁铸件都可用离心铸造法生产；
- 3) 由于离心力的作用，改善了补缩条件，气体和非金属夹杂也易于自液体金属中排出，因此离心铸件的组织较致密，缩孔（缩松）、气孔、夹杂等缺陷较少；
- 4) 消除或大大节省浇注系统和冒口方面的金属消耗；
- 5) 铸件易产生偏析，铸件内表面较粗糙。内表面尺寸不易控制。

离心铸造的第一个专利是在 1809 年由英国人爱尔恰尔特（Erhardt）提出的，直到二十世纪初这一方法在生产方面才逐步地被采用。我国在三十年代也开始利用离心管、筒类铸件如铁管、铜套、缸套、双金属钢背铜套等方面，离心铸造几乎是一种主要的方法；此外在耐热钢辊道、一些特殊钢无缝钢管的毛坯，造纸机干燥滚筒等生产方面，离心铸造法也用得很有成效。目前已制出高度机械化、自动化的离心铸造机，已建起大量生产的机械化离心铸管车间。

几乎一切铸造合金都可用于离心铸造法生产，离心铸件的最小内径可达 8 毫米，最大直径可达 3m，铸件的最大长度可达 8m，离心铸件的重量范围为几牛至几万牛（零点几公斤至十多吨）。

11.2 离心铸造工艺

1) 离心铸型转速的选择

选择离心铸型的转速时，主要应考虑两个问题：（1）离心铸型的转速起码应保证液体金属在进入铸型后立刻能形成圆筒形，绕轴线旋转；（2）充分利用离心力的作用，保证得到良好的铸件内部质量，避免铸件内产生缩孔、缩松、夹杂和气孔。

采用砂型离心铸造时，也要注意勿使液体金属对型壁具有太大的离心压力而引起铸件粘砂胀砂等的缺陷。

2) 离心铸造用铸型

离心铸造时使用的铸型有两大类，即金属型和非金属型。非金属型可为砂型、壳型、熔模壳型等。由于金属型在大量生产、成批生产时具有一系列的优点，所以在离心铸造时广泛地采用金属型。

卧式悬臂离心铸造机上的金属型按其主体的结构特点可分为单层金属型和双层金属型两种。图 3 和图 4 所示为这两种铸型的结构特点。

在单层金属型中，型壁由一层组成，单层金属型结构简单，操作方便，但它损坏后需要制作新的铸型才能开始生产，在此铸型中只能浇注单一外径尺寸的铸件。而在双层金属型中，型壁由两层组成，铸件在内型表面成形。双层金属型结构虽复杂性，但只要改变内型的工作表面尺寸就可浇注多种外径尺寸的离心铸件。长期工作后，只需更换结构较简单的

内型就可把旧铸型当作新的铸型使用。

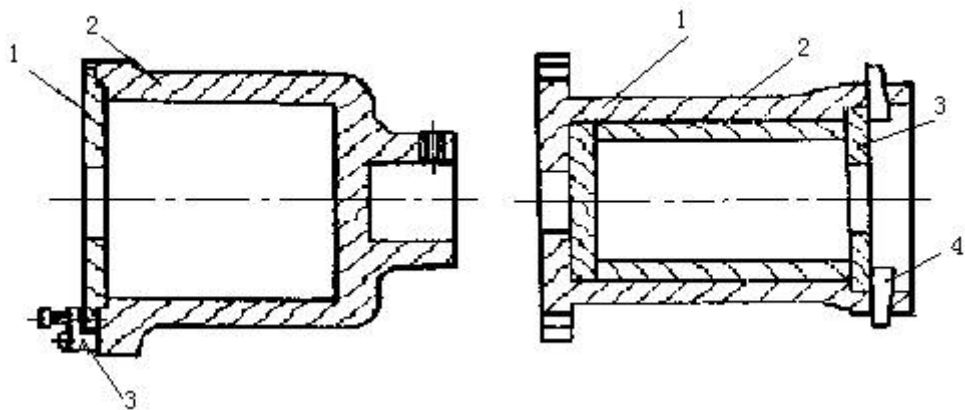


图 3 单金属离心铸型 图 4 图双层金属离心铸型

1-端盖 2-铸型本体 3-端盖夹紧装置 1-外型 2-内型 3-端盖 4-销子

3) 涂料

金属型离心铸造时，常需在金属型的工作表面喷刷涂料。对离心铸造金属型用涂料的要求与一般金属型铸造时相同。为防止铸件与金属型粘合和铸铁件产生白口，在离心金属型上的涂料层有时较厚。离心铸造用涂料大多用水作载体。有时也用于态涂料，如石墨粉，以使铸件能较易地自型中取出。

喷刷涂料时应注意控制金属型的温度。在生产大型铸件时，如果铸型本身的热量不足以把涂料烘干，可以把铸型放在加热炉中加热，并保持铸型的工作温度，等待浇注。生产小型铸件时，尤其是采用悬臂离心铸造机生产时，希望尽可能利用铸型本身的热量烘干涂料，等待浇注。

4) 浇注

离心铸造时，浇注工艺有其本身的特点，首先由于铸件的内表面是自由表面，而铸件厚度的控制全由所浇注液体金属的数量决定，故离心铸造浇注时，对所浇注金属的定量要求较高。此外由于浇注是在铸型旋转情况下进行的为了尽可能地消除金属飞溅的现象，要很好控制金属进入铸型时的方向。

液体金属的定量有重量法、容积法和定自由表面高度（液体金属厚度）法等。容积法用一定体积的浇包控制所浇注液体金属的数量，此法较简便，但受金属的温度，熔渣等影响，定量不太准确，在生产中用的较多。

为尽可能地消除浇注时金属的飞溅现象，要控制好液体金属进入铸型时的流动方向。

12. 连续铸造

12.1 基本原理、工艺特点及应用范围

12.1.1 连续铸造的基本过程

连续铸造是一种先进的铸造方法，其原理是将熔融的金属，不断浇入一种叫做结晶器的特殊金属型中，凝固（结壳）了的铸件，连续不断地从结晶器的另一端拉出，它可获得任意长或特定的长度的铸件。

连续铸锭的工艺过程如图 1 所示，在结晶器的下端插入引锭，形成结晶器的底，当浇入的金属液面达一定高度后，开动拉锭装置，使铸锭随引锭下降，上面不断浇入金属，下面连续拉出铸锭。连续铸管的工艺与此相似，只是在结晶器的中央加——内结晶器，以形成铸管的内孔。

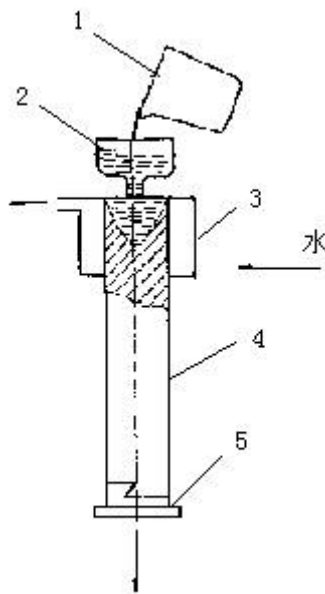


图 1 连续铸锭示意图

1-浇包 2-浇口杯 3-结晶器 4-铸锭 5-引锭

12.1.2 连续铸造的特点和应用

连续铸造在国内外已被广泛采用，例如连续铸锭（钢或有色金属锭），连续铸管等。连续铸造和普遍铸造法比较有下列优点：

1. 由于金属被迅速冷却，结晶致密，组织均匀，机械性能较好；
2. 连续铸造时，铸件上没有浇注系统的冒口，故连续铸锭在轧制时不用切头去尾，节约了金属，提高了收得率；
3. 简化了工序，免除造型及其它工序，因而减轻了劳动强度；所需生产面积也大为减少；
4. 连续铸造生产易于实现机械化和自动化，铸锭时还能实现连铸连轧，大大提高了生产效率。

12.2 连续铸铁管

连续铸管目前已成为我国生产铸铁管的主要方法。铸铁管的品种有承插管（自来水管及煤气管），法兰管（农业排灌及工业用管）薄壁管及小直管等。各种管的形状如图 2 所示。

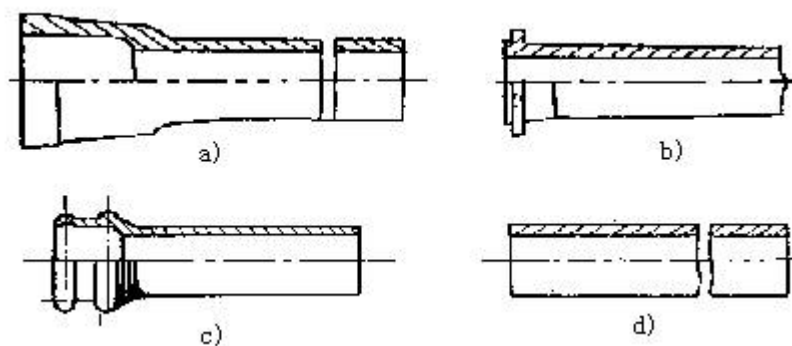


图 2 连续铸造结构图

a-承插管 b-法兰管 c-薄壁管 d-一小直管

目前国内生产的连铸管内直径由 30~1200mm；一般普通压力管出厂前要进行大于 15atm 的水压试验。

连续铸管的方法是将铁水浇入内外结晶器之间的间隙中（间隙大小即铸管的壁厚）结晶器上下振动，从结晶器下方，下断地拉出管子。在拉管过程中，管子通过结晶器下口时，必须有一定厚度的凝固层（图 3），使能承受拉力、和内部铁水的压力，否则将会造成拉漏的现象。上述这些工艺要求，都应由连续铸管机加以实现。连续铸管机由导柱、浇注机构、结晶器及其振动机构，底盘与拉管装置等所组成。

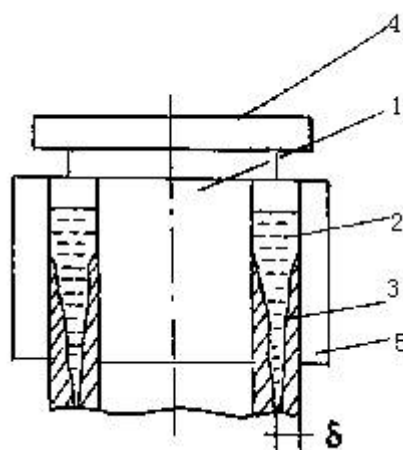


图 3 连续铸管凝固示意图

1-内结晶器 2-未凝固层 3-凝固层 4-转动浇杯 5-外结晶器

12.3 连续铸管工艺与操作

12.3.1 连续铸铁管的基本工序

- 1.安装结晶器，结晶器涂油；
- 2.修整和安装中间浇杯、流槽、转动浇杯；
- 3.合型，开车浇注；
- 4.振动，脱模，拉管；
- 5.倒管，校管；
- 6.热处理（退火、消除应力）
- 7.切头，试压，浸涂沥青。

12.3.2 铁水的化学成分

普通铸铁的化学成分应有利于形成灰口组织和良好的流动性。因此要求其成分应接近于共晶成分，即碳当量接近 4.3%。

生产中常用的灰铁化学成分如下：

C: 3.5-3.8% P≤0.3%

Si: 1.8-2.4% S≤0.1%

Mn: 0.5-0.8%

12.3.3 浇注温度

浇注温度不宜过高，温度过高就需要较长的凝固时间，同时对结晶器的使用寿命也不利。连续铸管的浇注温度一般在 1250~1370℃之间，小管取上限。

12.3.4 脱模

1. 脱模时间，由浇注到开始拉管的时间叫脱模时间。一般适当的脱模时间为 24~95s。
2. 脱模温度，一般在 980~1050℃。

12.3.5 液面高度

铸管时，结晶器铁水液面的高度，一般以距结晶器上沿 10~40 毫米为宜，这样既可充分利用结晶器的有效高度，又便于观察操作，脱模时的液面高度应比拉和时略低，以避免发生卡管。

12.3.6 结晶器的水冷

1. 水压

为使浇入结晶器的迅速凝固和保护结晶器避免受热过度，结晶器内的冷却水须有较快的流速，故水压不宜过低，一般在 $(15\sim25) \times 10\text{kPa}$ 。

2. 冷却水温差

结晶器的进水和出水的温差小说明冷却强度大。温差的大小对拉管的速度和结晶器的寿命影响很大。一般温差在 6~20℃之间，小管温差取上限。

3. 水流量

结晶器中水的流量和水压，进出水管径及水隙等结构有关。水量过小会影响冷却强度。一般水的流量可根据进出水的温差是否适当加以调整，其流量约在 0.1~2.12m³/min 之间。

12.3.7 拉管速度

拉管的长度与所需时间之比叫拉管速度。它标志着生产工艺水平的高低。拉管的速度与操作技术，铁水质量和结晶器的工作状况有一定关系，所有能促进凝固的措施，都有利于提高拉管速度。

12.3.8 连续铸管的主要缺陷

1. 渗漏

渗漏就是铸管在试水压时有漏水或渗水的现象。漏水多发生在靠承口的一端。漏水处的管壁内多有铁豆、开口气孔或夹杂物等。产生的原因：转浇口安放不正，铁水淋在结晶器上形成铁片或铁豆掉入型腔；铁水温度偏低流动性差，开始浇注时，金属液流过小，或双拉管调流不均而产生冷隔、铁豆及气孔等而造成漏水；承口芯子表面清理不净而形成砂眼造成漏水。

2. 重皮

在管壁内或外表面形成不熔合或熔合不良的鱼鳞状皮层谓之重皮。其产生的原因：在拉管过程中掉入冷的铁片；铁水的温度或成分不合要求，流动性低所造成；内或外结晶器壁破裂或有孔眼，当粘附该处的冷的铁片脱落后而形成重皮。

3. 沟陷

在管壁内表面形成不连续的纵向凹陷沟槽，沟槽内有时挂有铁片，这种缺陷叫做沟陷。其产生原因：内结晶器的冷却强度远小于外结晶器时，由于内外层收缩不一致，而形成沟陷；拉管速度与铁水凝固速度不相适应，一般拉管速度偏高时，易出现沟陷缺陷；内外结晶器不同心，造成管壁不均也能产生此类缺陷；内结晶器的锥度过大，而使红热的铸管内壁过早地与内结晶器壁脱离而产生较大的空隙，使管壁内层凝固较慢，因收缩而形成光陷。

4.白口

管壁断面或表面呈白口组织，质地很脆。其产生的原因：铁水成分不当，碳当量过低，；脱模时间过晚或脱模温度过低，因而达不到管子自行退火的目的而造成白口；内外结晶器安装不正，造成壁厚不均，冷速不均，而使局部产生白口。

13 消失模铸造

13. 1 概述

1958 年，H.F.Shroyer 发明了用可发性泡沫塑料模型制造金属铸件的技术并取得了专利。最初所用的模型是采用聚苯乙烯（EPS）板材加工制成的，采用含粘结剂的型砂造型。德国的 Grunzweig 和 Hartrmann 公司购买了这一专利并加以开发和应用。采用无粘结剂干砂生产铸件的技术后来由 T.R.Smith 于 1964 年申请了专利。在 1980 年以前使用无粘结剂干砂工艺必须得到实型铸造工艺公司（Full Mold Process, Inc）的批准，在此以后，该专利就无效了。

最普遍实用的方法是把涂有耐火材料涂层的模型放入砂箱，模型四周用干砂充填紧实，浇注液态金属，取代泡沫塑料模型，这种铸造工艺被称为：消失模铸造（EPC）、气化模铸造及实型铸造等。美国铸造协会消失模铸造委员会采用了"消失模铸造"作为该工艺的名称。

消失模铸造是一项创新的铸造工艺方法，可用于生产有色及黑色金属动力系统的零件，包括：汽缸体、汽缸盖、曲轴、变速箱、进气管、排气管及刹车毂等铸件。消失模铸造的工艺流程如下：

1) 预发泡

模型生产是消失模铸造工艺的第一道工序，复杂铸件如汽缸盖，需要数块泡沫模型分别制作，然后再胶合成一个整体模型。每个分块模型都需要一套模具进行生产，另外在胶合操作中还可能还需要一套胎具，用于保持各分块的准确定位，模型的成型工艺分为两步，第一步是将聚苯乙烯珠粒预发到适当密度，一般通过蒸汽快速加热来进行，此阶段称为预发泡。

2) 模型成型

经过预发泡的珠粒要先进行稳定化处理，然后再送到成型机的料斗中，通过加料孔进行加料，模具型腔充满预发的珠粒后，开始通入蒸汽，使珠粒软化、膨胀，挤满所有空隙并且粘合成一体，这样就完成了泡沫模型的制造过程，此阶段称为蒸压成型。

成型后，在模具的水冷腔内通过大流量水流对模型进行冷却，然后打开模具取出模型，此时模型温度提高且强度较低，所以在脱模和储存期间必须谨慎操作，防止变形及损坏。

3) 模型簇组合

模型在使用之前，必须存放适当时间使其熟化稳定，典型的模型存放周期多达 30 天，而对于用设计独特的模具所成型的模型仅需存放 2 个小时，模型熟化稳定后，可对分块模型进行胶粘结合。

分块模型胶合使用热熔胶在自动胶合机上进行。胶合面接缝处应密封牢固，以减少产生铸造缺陷的可能性。

4) 模型簇浸涂

为了每箱浇注可生产更多的铸件，有时将许多模型胶接成簇，把模型簇浸入耐火涂料中，然后在大约 30~60℃(86-140F) 的空气循环烘炉中干燥 2~3 个小时，干燥之后，将模型簇放入砂箱，填入干砂振动紧实，必须使所有模型簇内部孔隙和外围的干砂都得到紧实和支撑。

5) 浇注

模型簇在砂箱内通过干砂振动充填坚实后，铸型就可浇注，熔融金属浇入铸型后（浇注温度铸铝约在 760C/1400F，铸铁约在 1425C/2600F），模型气化被金属所取代形成铸件。图 1 是消失模工艺的砂箱和浇注示意图。

在消失模铸造工艺中，浇注速度比传统空型铸造更为关键。如果浇注过程中断，砂型就可能塌陷造成废品。因此为减少每次浇注的差别，最好使用自动浇注机。

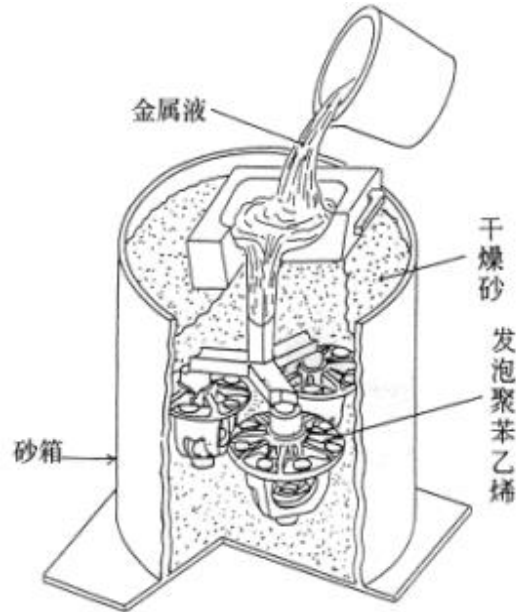


图 1 消失模工艺的砂箱和浇注示意图。

6) 落砂清理

浇注之后，铸件在砂箱中凝固和冷却，然后落砂。铸件落砂相当简单，倾翻砂箱铸件就从松散的干砂中掉出。随后将铸件进行自动分离、清理、检查并放到铸件箱中运走。

干砂冷却后可重新使用，很少使用其他附加工序，金属废料可在生产中重熔使用。

13. 2 消失模铸工艺的优点

消失模铸工艺在技术、经济、环境保护三个主要方面具优势。

1.2.1 技术方面

1) 模型设计的自由度增大

新工艺有可能进行造型设计，并完全可以从第一阶段就能在模型上增加一些附加功能。例如：柴油预热器有一个特殊功能部件，它可采用消失模铸造工艺进行制造，而不能采用传统铸造方法生产。

2) 免除了铸件生产中使用的砂芯

3) 很多铸件可以不要冒口补缩

4) 提高铸件精度

可获得形状结构复杂，可 100 重复生产高精度铸件，可使铸件壁厚偏差控制在-0.15~+0.15mm 之间。

5) 在模型接合面不产生飞边

6) 具有减轻铸件重量约 1/3 的优势

7) 减少加工余量

可以减小机加工余量，对某些零件甚至可以不加工。这就大大减少了机加工和机床投资（例如，对于不同情况可以减少一半投资）。

8) 与传统空腔铸造相比，模具投资下降。

9) 完全消除了传统的落砂和出芯工序



图 2 消失模模型和铸件

1.2.2 经济方面

1) 可整体生产复杂铸件

采用新工艺设计，分块模型可胶合组成整体模型，铸成复杂整体部件，对比原先多个铸件组合装配部件（如柴油预热器）而言，可获益 1 到 10 倍。

2) 减少车间人员

建立消失模铸造工厂，所雇员工数量少于传统铸造工厂，因此应当考虑这一因素。



图 3 消失模铸造车间

3) 铸造工艺灵活

铸造工艺的灵活性非常重要，因为新工艺有可能同时生产在砂箱中变化放置大量类似的或不同的铸件，浇注系统也因此十分灵活。总之，我们可以说，每种优势都与经济利益相一致，同时还改善了工作条件。

1.2.3 环境保护

聚苯乙烯和 PMMA 在燃烧时产生一氧化碳、二氧化碳、水及其他碳氢化合物气体，其含量均低于欧洲允许的标准。干砂可使用天然硅砂，100%反复循环使用，不含有粘结剂。模型使用的涂料是在水中添加粘结剂等辅料组成，不产生污染。