

材料成形工艺学

主编：张长春

编者：张长春 王金国

宣兆志 李笑明

吉林大学出版社

前 言

伴随着科学技术突飞猛进的发展，各种新材料不断涌现，大大地推动了材料成形加工技术的进步。这里所论及的加工材料，应包括金属材料、高分子材料、无机非金属材料及由其所发展的复合材料及纳米材料。

材料的成形加工技术涵盖了液态成形、塑性成形、焊接成形、表面成形加工技术等诸多加工成形方法。学科和专业的相互交叉、渗透、融合，不仅淡化了专业，而且使现代机械工程研究领域突破了传统的界限而更趋广泛。当前，三大材料以其各自的优势不断向前发展，传统材料不断被新材料所代替，材料加工成形技术也相互借鉴、结合，形成别具特色的复合工艺成形技术，联合工艺成形技术及新的相关成形技术。

本教材以培养人才的知识结构和能力具有更大的通用性和适应性为出发点，打破传统的专业界限；以强化开拓创新能力和综合解决实际问题能力为培养目标；以材料成形的机理为成形分类的依据。材料成形机理可分为金属的凝固，塑性成形物理力学基础，材料成形热过程，聚合物成形流变理论等。本教材主要面向材料加工工程专业的大学本科；对设有相关课程的材料学、机械、汽车、管理等学科的学生，可根据所学专业涉及材料加工方面知识的深度与广度的不同要求而有选择性地学习；也可供从事材料加工与成形工作的科技人员阅读参考。

本书共分五章。其中第一章由王金国教授编写，第三章由宣兆志副教授编写，第五章的第一节、第二节由李笑明讲师编写，其余第二章、第四章、第五章的第三节由张长春教授编写。全书由张长春教授负责主编。由于时间仓促、编者水平有限，教材中遗漏和错误之处在所难免，望读者惠予批评指正。

编 者

二〇〇九年 八月

目 录

第一章 液态金属成形工艺	(员)
第一节 液态金属成形方法	(圆)
异元题 普通砂型铸造方法	(圆)
一、概述	(圆)
二、铸型的制造方法	(圆)
三、铸型制造用原材料	(员)
异元题 特种铸造方法	(员)
一、熔模铸造	(员)
二、金属型铸造	(员)
三、压力铸造	(圆)
四、离心铸造	(圆)
五、低压铸造	(圆)
六、陶瓷型铸造	(圆)
七、连续铸造	(圆)
八、真空吸铸	(圆)
九、液态金属冲压	(圆)
异元题 金属半固态铸造	(圆)
一、半固态金属非树枝晶组织的制备技术	(圆)
二、半固态金属成形工艺	(猿)
三、半固态金属成形技术的特点	(猿)
第二节 铸造工艺方案	(猿)
异元题 铸造工艺方案的确定	(猿)
一、零件结构的铸造工艺性分析	(猿)
二、确定浇注位置	(源)
三、分型面的选择	(源)
四、砂芯设计	(源)
五、铸造工艺参数	(源)
异元题 浇注系统设计	(缘)
一、浇注系统的概念、基本组成及对铸件质量的影响	(缘)
二、液体金属在浇注系统中的水力学现象	(缘)
三、浇注系统的分类	(缘)
四、浇注系统最小断面尺寸的计算	(远)
五、各种合金浇注系统的设计特点	(远)

异型圆环 补缩系统设计	(180)
一、冒口的种类、形状和位置	(180)
二、冒口补缩条件及冒口尺寸计算	(180)
三、提高冒口补缩效率的方法	(180)
第三节 铸造工艺装备设计	(180)
异型圆环 概述	(180)
异型圆环 模板设计	(180)
一、模样设计	(180)
二、模底板和模板框设计	(180)
三、模样在模底板上的布置和紧固	(180)
异型圆环 热芯盒设计	(180)
一、热芯盒材料	(180)
二、芯盒本体结构设计	(180)
三、热芯盒的定位	(180)
四、热芯盒排气	(180)
五、单工位垂直分盒热芯盒的出芯方法	(180)
六、热芯盒的加热	(180)
第二章 塑性成型工艺	(180)
一、体积成形方法	(180)
二、板料成形方法	(180)
第一节 体积成形方法及其模具	(180)
异型圆环 锻造	(180)
一、锻造成形方法分类及工艺流程	(180)
二、自由锻基本工序及其变形特点	(180)
三、模锻变形工步及模锻变形特点	(180)
异型圆环 挤压	(180)
一、挤压成形方法及其分类	(180)
二、挤压成形的特点	(180)
异型圆环 典型体积成形模具结构及模具设计	(180)
一、典型锤用锻模结构及模具设计的步骤和内容	(180)
二、典型热模锻压力机用锻模结构及其特点	(180)
第二节 板料成形方法及其模具	(180)
异型圆环 板料成形方法	(180)
一、冲裁	(180)
二、弯曲	(180)
三、拉深	(180)
四、胀形	(180)
五、翻边	(180)

六、复合成形	(页码)
异质问题 板料成形性能与成形极限	(页码)
一、基本概念	(页码)
二、板料成形工序间的联系与区域划分	(页码)
三、板料成形极限图及其应用	(页码)
四、板料的力学性能与成形性能的关系	(页码)
异质问题 典型板料成形模具结构及模具设计	(页码)
一、板料成形模具的分类	(页码)
二、典型模具结构	(页码)
三、板料成形模具设计的步骤和内容	(页码)
第三节 塑性成型过程的计算机模拟及模具 仿真	(页码)
异质问题 塑性成型过程的计算机模拟方法	(页码)
一、模拟的目的和方法	(页码)
二、刚塑性有限元法	(页码)
异质问题 模具 仿真	(页码)
一、概述	(页码)
二、数据的处理方法	(页码)
三、模具 仿真系统中的几何造型与图形处理	(页码)
四、冲裁模 仿真简介	(页码)
第三章 焊接成形工艺	(页码)
第一节 电弧焊方法及工艺	(页码)
异质问题 焊接电弧	(页码)
一、电弧的形成与导电机构	(页码)
二、电弧周围气体介质对电弧的影响	(页码)
三、电弧的静特性	(页码)
四、电弧的机械力	(页码)
异质问题 氩弧焊	(页码)
一、钨极氩弧焊	(页码)
二、熔化极氩弧焊	(页码)
异质问题 惰性气体保护电弧焊	(页码)
一、惰性焊的特点与焊接材料的选择	(页码)
二、惰性焊的熔滴过渡	(页码)
三、减少惰性焊飞溅的措施	(页码)
异质问题 埋弧焊	(页码)
一、埋弧焊的特点与应用	(页码)
二、埋弧焊焊接材料的选择	(页码)
三、埋弧焊工艺	(页码)
四、其它埋弧焊方法	(页码)

第二节 电阻焊方法及工艺	(圆元)
异廉圆质 电阻点焊	(圆元)
一、点焊的热源	(圆愿)
二、点焊过程及工艺参数的选择	(圆元)
三、常用金属材料的点焊	(圆缘)
异廉圆质 对焊	(圆元)
一、电阻对焊	(圆元)
二、闪光对焊	(圆愿)
第四章 材料成型的复合工艺	(圆愿)
第一节 铸锻联合工艺	(圆愿)
异廉圆质 铸坯模锻的国内外现状及发展前景	(圆愿)
一、铸造毛坯在模锻生产中的应用现状	(圆愿)
二、铸造毛坯在模锻生产中应用的特点	(圆缘)
三、铸坯模锻的应用方法	(圆元)
四、铸坯模锻的发展应用前景	(圆元)
异廉圆质 铸坯模锻中的力学特征分析	(圆元)
一、模锻中的力学特征对铸坯成形的影响	(圆元)
二、模锻中的力学特征对铸坯改性的影响	(圆愿)
三、铸坯模锻中力学特征对改性作用的试验分析	(圆愿)
四、结论	(圆元)
异廉圆质 铸坯模锻中的冶金特征分析	(圆元)
一、应用于模锻生产中的铸造毛坯的金属冶金性能	(圆元)
二、铸造毛坯在模锻中的冶金工艺性	(圆愿)
三、铸造毛坯的冶金性能在模锻工艺中的应用	(圆缘)
四、结论	(圆愿)
异廉圆质 牙嵌式摩擦片铸坯模锻的应用研究	(圆愿)
一、工艺分析与对比	(圆愿)
二、牙嵌式摩擦片的铸坯模锻工艺	(圆缘)
三、牙嵌式摩擦片铸坯模锻件性能分析	(圆元)
四、结论	(圆元)
第二节 粉末材料成形技术	(圆元)
异廉圆质 粉末及粉末制取	(圆愿)
一、粉末的性能	(圆愿)
二、粉末制取方法	(圆元)
异廉圆质 粉末成形工艺	(圆缘)
一、成形前原料准备	(圆元)
二、粉末模压成形工艺	(圆元)
三、粉末注射成形工艺	(圆缘)

第五章 非金属材料成形工艺	(圆 愿)
第一节 塑料注射成形工艺	(圆 愿)
异 编 题 塑料注射成形及模具	(圆 愿)
一、塑料注射成形原理	(圆 愿)
二、塑料成形工艺过程	(圆 愿)
三、工艺条件对制品质量的影响	(圆 愿)
四、新型注射成形工艺	(圆 愿)
异 编 题 注射成形模具	(圆 愿)
一、模具的基本结构	(圆 愿)
二、模具、注射机的大小选型	(圆 缘)
异 编 题 模具在注塑模设计中的应用	(圆 缘)
一、注射模具 模具的任务	(圆 缘)
二、注射模 模具的知识范畴	(圆 愿)
三、注射模 模具的发展概况	(圆 愿)
第二节 塑料挤出成形工艺	(圆 愿)
异 编 题 吹塑薄膜工艺	(圆 愿)
一、吹塑薄膜工艺方法概述	(圆 愿)
二、影响吹塑薄膜主要工艺因素	(猿 愿)
三、吹塑薄膜主要设备	(猿 愿)
异 编 题 板材、管材、异型材挤出成形	(猿 愿)
一、聚乙烯板、片材挤出成形	(猿 愿)
二、聚丙烯板材挤出成形	(猿 愿)
三、硬管、软管和异型材的挤出成形	(猿 缘)
第三节 无机非金属材料成形工艺	(猿 愿)
异 编 题 陶瓷成形工艺	(猿 愿)
一、旋压成形	(猿 愿)
二、滚压成形	(猿 愿)
异 编 题 玻璃成形工艺	(猿 猿)
一、玻璃的人工成形	(猿 猿)
二、玻璃的机械成形	(猿 愿)
参考文献	(猿 愿)

第一章 液态金属成形工艺

液态金属成形是指将液态金属浇注到与零件形状相适应的铸型空腔中，待其冷却凝固获得零件毛坯的方法，也称为铸造。

铸造作为一种材料成形的方法具有悠久的历史。公元前三千多年，人类即已经能铸造出精美的青铜器，在我国公元前二世纪的汉代，已经广泛应用铸铁农具。随着近代工业的发展，作为液态成形方法的铸造也取得了飞速的进步。这些进步体现在以下几个方面：

① 生产零件的应用面不断拓宽

从最早生产铸铁农具及青铜器到现在可以生产人类生活所涉及到的各个方面的产品，如：飞机发动机上的各种铸件、轮船的螺旋桨、汽车、摩托车上的汽缸体、汽缸盖；日常生活中的暖气片；手机的外壳、笔记本电脑的外壳等等。

② 可成形的合金种类不断增多

目前作为铸造方法浇注的合金有：铸钢、铸铁、铜合金、铝合金、镁合金、锌合金等等。

③ 成形方法不断增多

普通砂型铸造、熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造、磁丸铸造、低压铸造、真空铸造、连续铸造、陶瓷型铸造等等。

④ 各种成形方法的机械化自动化程度不断提高

如普通砂型铸造中，多触头高压造型生产线，垂直分型无箱造型生产线，等等。

一、液态成形优点

(1) 可以制作形状复杂，特别是具有内腔的零件毛坯。如：箱体、汽缸体等。

(2) 铸造的适应性广泛，工业中常用的金属材料都可以用于铸造，铸件的重量可以大至几吨小至几克，铸件的尺寸长可几米，短可几毫米。

(3) 铸造生产成本低，铸造所用原材料大多来源广泛，价格低廉，并可以直接利用报废的零件。

(4) 减少零件的加工费用，铸件的形状和尺寸可以做得与实际零件非常接近。

二、液态金属成形方法的分类

液态金属成形方法可分为普通砂型铸造成形方法、特种铸造成形方法和半固态金属成形方法。普通砂型铸造成形方法适用于各种金属材料及大小、形状和批量不同的铸件，成本低廉，由砂型铸造生产的铸件占铸件总产量的 80% 以上。特种铸造成形方法是指与普通砂型铸造方法相比较改变铸型的制造工艺或材料，或者是改善液体金属充填铸型及随后的冷却条件。包括熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造、陶瓷型铸

造、低压铸造、液体金属冲压、真空吸铸、连续铸造等。半固态成形方法是近几年开发研究出的一种新的成形方法，包括流变铸造方法和触变铸造方法。

第一节 液态金属成形方法

异质型 普通砂型铸造方法

一、概述

在铸造生产中，最基本的方法是砂型铸造。现代砂型铸造所用型砂和芯砂是由原砂和黏接剂组成，必要时还加入一些附加物。砂型铸造制造铸型时使用得最多的是以黏土为黏接剂的黏土型砂，这是由于在自然界中黏土资源丰富，价格低廉（开采后只须稍作加工即可供生产使用），黏土型砂混制方便，砂型制造工艺简单，旧砂回用处理容易。

黏土砂型根据合箱和浇注时的状态不同可分为：湿型、干型和表面干型，三者之间的主要差别在于：湿型造好型后不必烘干，可直接浇入液体金属；干型是在合箱和浇注前将整个砂型送入窑中烘干；表面干型只须将砂型的工作表面烘干一定深度即可以使用。

湿型铸造方法具有很多优点：无须烘干，可节省烘干设备和能源，延长砂箱的使用寿命，改善劳动条件，工序简单，生产周期短，生产率高，便于实现机械化、自动化，因此，使用最为广泛。

近年来，湿型铸造的应用范围在继续扩大，技术较先进的工厂能够用湿型大量生产出重量达几百千克的优质铸铁或铸钢件。而且越来越多地采用高紧实度造型方法，例如高压造型和气冲造型方法等。

二、铸型的制造方法

（一）手工造型和制芯

手工造型和制芯是传统方法，然而，现代手工造型、制芯已不像古老的操作那样，一切都凭人的体力去完成，像砂箱的搬运、翻转及向砂箱中填砂等笨重劳动，都可借助机械来完成。因此，现代手工造型，是指用手工完成紧砂、起模、修型及合箱等主要操作的造型过程。

手工操作灵活，模样、芯盒等工艺装备可以简单化，不需要复杂的专用造型和制芯设备，无论铸件大小、结构复杂程度如何，都能适应。因此，在单件、小批生产中，特别是重型的复杂铸件，手工造型应用较广。在大量生产的工厂中，修理机器设备所需要的配件，模样、芯盒和模板等工艺装备，试制新产品过程中的铸件，也都属于单件、小批生产，也要采用手工造型和制芯。

手工造型和制芯，要求工人有较高的技艺水平，劳动强度大，生产率低，铸件质量

在很大程度上取决于工人的技术水平和熟练程度，不易稳定，故应尽量缩小其应用范围。

常用手工造型方法

两箱造型：两箱造型是最基本的造型方法，适用于各种大、小铸件及批量生产。铸型由成对的上箱和下箱构成，造型时，先将下半模型放在底板上，摆好砂箱、填砂，紧实后下半砂箱翻转，再放上上半模型，撒上分型砂，套好上箱，固定直浇口和冒口模型，填砂、紧实、刮平、扎通气孔，做合箱记号；拔掉直浇口和冒口模型；开箱，起模，修型，开浇口；烘干或表面烘干，湿型不烘干；下砂芯，合箱，浇注，见图 1-1-1。

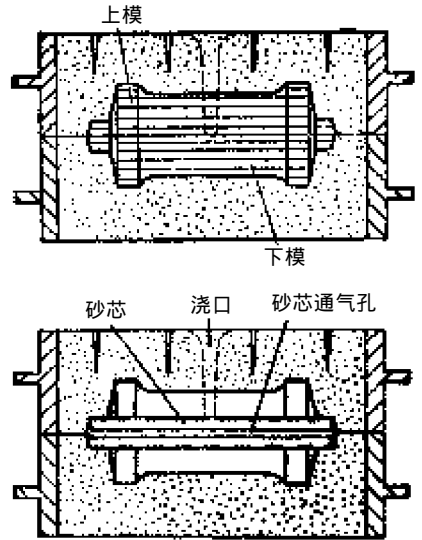


图 1-1-1 两箱造型工艺简图

三箱造型：适用于有两个分型面的铸件，单件小批量生产。铸型由上、中、下三个砂箱构成，造型时，一般先做中箱，再在中箱上做下箱，然后在中箱的另一面上做上箱，再从中箱的两个分型面起模，见图 1-1-2。

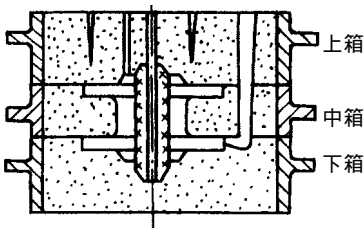


图 1-1-2 三箱造型工艺简图

脱箱造型：多用于形状不复杂的小铸件生产，手工造型、机器造型均可采用。造型方法与两箱造型相同，用活动砂箱进行造型，铸型合箱后，将砂箱脱出，重新用于造型，一个砂箱可造许多铸型；金属浇注时，为防止错箱，须用型砂将铸型周围填紧，见图 1-1-3。

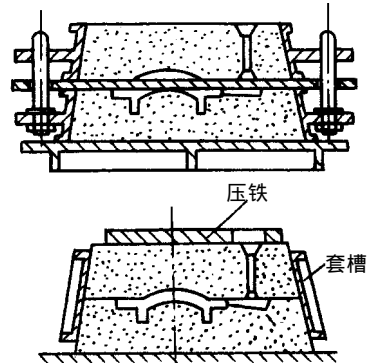


图 1-1-3 脱箱造型工艺简图

地坑造型：常用于大型铸件、单件小批量生产。造型是利用车间地坑代替铸件下箱，地坑中垫上焦炭并用管子从焦炭处引到地面上，以便浇注时所产生的气体引出地面，地坑造型只用上箱造型，减少砂箱投资，砂箱与地面的定位，可采用定位楔，见图 1-1-4。

整体模造型：适应于铸件最大截面为一平面的铸件，并以该平面作分型面。特点为铸件形状简单，模型为整体，整个模样放在一个砂箱内，铸件不会产生错箱，见图 1-1-5。

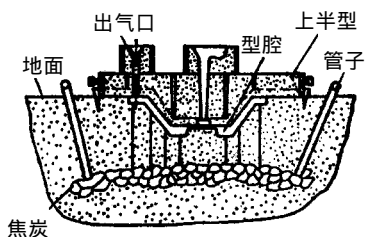


图 1-1-1 地坑造型工艺简图

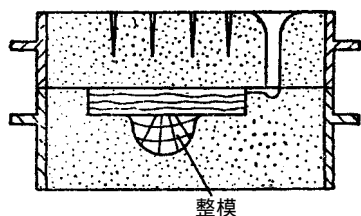


图 1-1-2 整体造型工艺简图

挖砂造型：适用于单件、小批量生产。工艺特点为模样做成整体，但铸件的分型面为曲面，为了便于起模，造型时用手工挖出阻碍起模的型砂，造型时费工，生产效率低，见图 1-1-3

假箱造型：用于批量生产时代替挖砂造型。为了克服挖砂造型的缺点，在造型前预先作个假箱，然后在假箱上制作下箱，假箱不参加浇注，假箱造型可提高生产率，见图 1-1-4

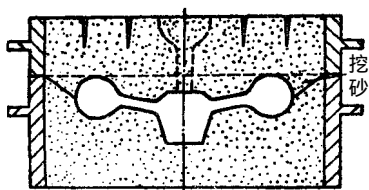


图 1-1-3 挖砂造型工艺简图

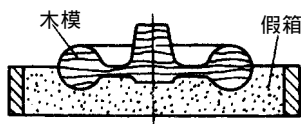


图 1-1-4 假箱造型工艺简图

活块造型：适用于单件小批量生产。当铸件上有妨碍起模的局部凸起、筋条等时，将该部分作成活块，造型起模时，先起出主体模型，然后再从侧面取出活块。但活块的厚度不得大于主体模型的厚度，见图 1-1-5

刮板造型：适用于等截面的或回转体大中型铸件的单件、小批量生产。其特点是用刮板代替木模造型，降低模型的制造成本，投产快，但要求工人的技术水平高，见图 1-1-6

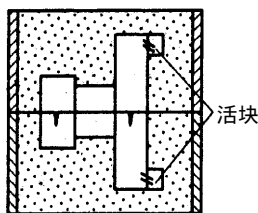


图 1-1-5 活块造型工艺简图

组芯造型：适用于外形、内腔复杂，大批量生产的铸件。工艺特点为：用砂芯制作铸型，见图 1-1-7

常用手工造芯方法

芯盒造芯：在芯盒腔内进行填砂、加放芯骨及开挖气道等操作。依芯砂性质可以在芯盒内硬化，也可以脱出芯盒后再烘干硬化。用芯盒造芯尺寸准确，生产效率高。

刮（车）板造芯：用刮板制芯，其尺寸精度和生产效率都不如芯盒法，但刮板法较芯盒法省工、省料。多用于单件生产的断面一致的或回转体砂芯。

(二) 机械造型和制芯

同手工相比，机器造型和制芯的生产效率高，质量稳定，工人劳动强度低。但设备和工艺装备费用高，生产准备时间长。适用于大量和成批生产的铸件。

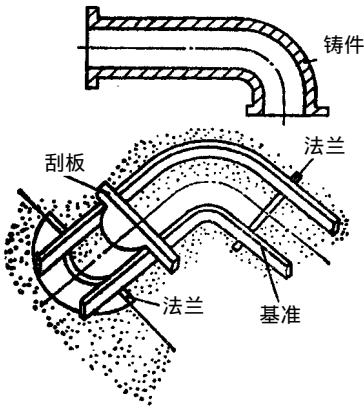


图 员-圆-圆 刮板造型工艺简图

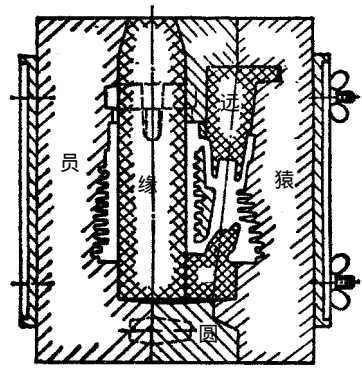


图 员-圆-猿 组芯造型工艺简图
员-远 砂芯

圆普通机器造型

震实造型：多以压缩空气为动力，使砂型和工作台等一起上下跳动震实，利用型砂向下运动的动能和惯性，使型砂紧实。该法在砂箱顶部的型砂紧实度不足，常需要手工补压加以紧实。机器结构简单、成本低，但噪音大，生产效率较低，对厂房基础要求较高，劳动较繁重。多用于中大型、高度较大的砂箱。

压实造型：依靠压力使型砂紧实。多以压缩空气为动力，由于压强（即比压）小，故只能得到中等紧实度的砂型。砂箱高度有一定限制，以免紧实度不足。其砂型上表面紧实度高，底部则低。机器结构简单、生产效率高、无噪音。适用于砂箱较矮的扁平铸件。

震压造型：先以震实法使砂箱底部型砂紧实，然后再利用压实法对砂箱顶部较松散的型砂补加压实。其优缺点与震实法基本相同，但效率较高。由于补加压实法以压缩空气为动力，压强较低，故适用于中、小型尺寸砂箱。

圆抛砂造型

型砂进入抛砂头后，通过抛砂铲甩向弧板，砂团这时已受到初步紧实，然后被高速抛入砂箱中，再次受到紧实。抛砂机本身完成填砂和紧砂两个工序，这种造型方法称为抛砂造型，见图 员-圆-猿。

砂团被抛入砂箱时的抛砂速度高，砂团具有的动能大，转化为紧实能的部分也高，砂型的紧实度（或硬度）也大。一般抛砂速度多在 猿-缘 缘皂转范围内。抛砂头的水平移动速度要求大于 圆缘皂转，才能保证砂型有足够的紧实度。此外，供砂量、型砂性能、模样形状和砂箱尺寸等因素也对铸型紧实度有一定影响。

单独使用抛砂机，其生产效率比手工造型可高 源-缘 倍。如配以翻转起模机、转盘、辊道等辅机组成流水线，则比单独用抛砂机的生产效率还可提高一倍多。此外，

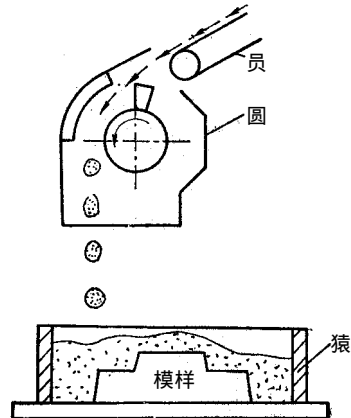


图 员-圆-猿 抛砂造型原理
员—输送带；圆—抛砂头；猿—砂箱

减轻劳动强度；不要求专用的模板和砂箱；不受批量的限制；铸型紧实度均匀，特别适用于单件小批生产的大、中型铸件。

猿 高压造型

高压造型是指比压大于或等于 10^4 Pa (约 0.1 MPa) 的压实造型法。一般粗略地以 10^4 Pa 作为高压造型比压的分界值。高压造型是获得高紧实度铸型的主要方法。

高压造型法的主要优点是：

①铸件尺寸精确、表面光洁。这是由于铸型紧实度高，浇注时型壁移动量小的缘故。②铸件重量比普通造型法减轻约 10% ，且重量均匀一致。铸钢件的重量偏差由普通机器造型的 10% 降为 5% ；铸铁件的重量偏差由原来的 10% 降到 5% 。由于精度高可以减小加工余量，不仅节约了金属也节约了加工工时，铸件可以做得更薄，为减轻各种机器的重量提供了条件。③压实紧砂的工艺简单，易于实现自动化造型，生产效率。④降低劳动强度，改善劳动条件。很大一部分铸件可采用单纯压实造型法，噪音有所减少。基本上消除了原有震实式造型机的有害影响。⑤铸型紧实度高，蓄热系数也高，加快了金属的凝固、冷却速度，改善了铸件内在质量，金相组织更为致密，机械性能有所提高。⑥高压造型有较大的适应性，能制造复杂、较大的铸型。

主要缺点是：

①设备投资大，结构复杂、庞大，多采用液压传动。为了充分发挥机器效率，一般是主机、辅机配套组成流水线。②要求工艺装备精度高、刚性大，因而费用高。③要求有较高的设备维修和保养能力。

猿 水平分型高压造型

水平分型高压造型可分为有箱和无箱两类造型工艺，依填砂方式的不同可分为机械加砂的普通高压造型和射砂填砂的射压造型。普通高压造型中依压头形式又有多触头高压造型、平压头高压造型、弹性压头高压造型及成型压头高压造型等。但从实际生产的广泛程度和造型工艺过程的代表性来看，应首推多触头高压造型。多触头高压造型工艺过程如图 猿 所示。

猿 垂直分型无箱高压造型

在造型、下芯、合箱及浇注过程中，铸型的分型面呈垂直状态（垂直于地平面）的无箱造型法称为垂直分型无箱造型。

以丹麦 阅 公司研制的造型机最具有代表性，故国外称这种造型机为 阅 造型机。

我国的 在 造型机采用同样的工艺过程，见图 工艺过程为：（葬）射砂。（遭）正压模板压实。（糟）反压模板起模。（凿）正压模板推出砂型进行合型。（藻）正压模板起模并回位。（躁）反压模板向下旋转，关闭造型室。这样，造好的型块不断由水平方向挤出，横向重叠合型成一长列，进行浇注、冷却及落砂等工序。

猿 热芯、壳芯及冷芯盒法制芯

砂芯用来形成铸件的内腔、孔及要求较高的外形部分。由于砂芯在浇注后处于金属液体包围之中，受到强烈的热、化学和机械力的作用，对芯砂材料和制芯工艺比对砂型有更高的要求。制芯工艺对于降低铸件成本、改善质量和劳动环境有着重要意义。依芯砂种类不同，制芯方法各有其特点，如表 所示。

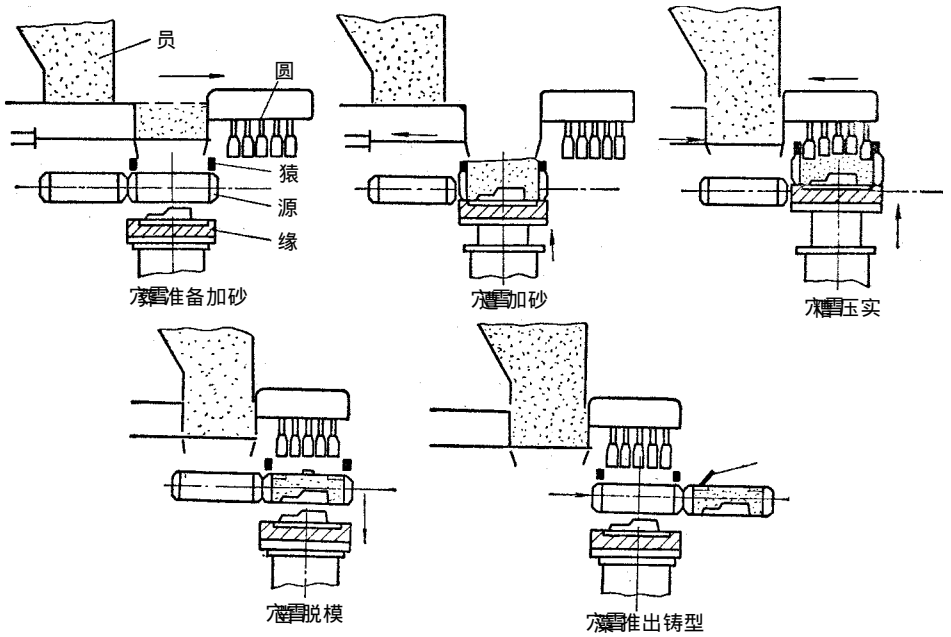


图 1-10 多触头高压造型工艺过程

员—砂斗 圆—多触头 猿—填砂框 源—砂箱 缘—模板 远—刮砂板

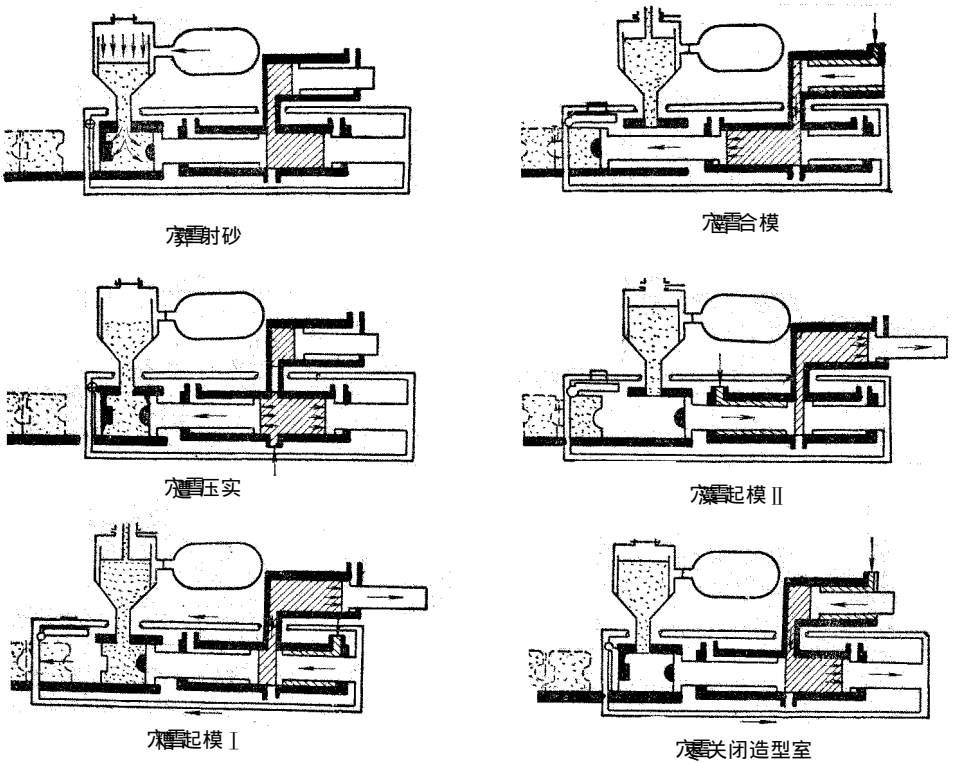


图 1-11 迪萨压铸机的工艺过程

表 员愿愿 不同种类芯砂的制芯工艺特点

芯砂种类 工艺特点	黏土砂	水玻璃砂	水泥砂	油砂及 合脂砂	热芯盒砂	壳芯砂	冷芯盒砂
芯砂可用时间	长	中	中	长	中	长	——
紧砂方法	舂、射	轻舂、射	轻舂	舂、射	射	吹	射
硬化方法	烘	烘、自硬	自硬	烘	热硬	热硬	气硬、自硬
盒内或外硬化	外	内	内	外	内	内	内
芯盒周转率	快	中	慢	快	中	中	快
铸件精度	低	中	中	低	高	高	高
铸件光洁度	低	低	低	高	高	最高	高
发气速度	慢	慢	慢	中、快	快	中	中
落砂性	中	差	中	好	好	最好	好
砂芯存放性	差	差	差	好	中	好	中
适合单件生产	好	好	好	好	差	差	差
适合大批量生产	差	中	中	中	好	好	好
适合复杂简单砂芯	简	简	简	复杂	复杂	复杂	复杂
综合评价	差	良	良	中	良	良	优

员 热芯盒法制芯

以呋喃树脂为主要黏结剂的芯砂，用热芯盒射芯机把芯砂射入温度为 员缘~ 员缘 的热芯中，使之硬化成芯，称为热芯盒制芯法。自 员缘 年出现以来，应用已相当普遍，特别是在汽车、拖拉机、内燃机等大量生产的工厂中，多用来制造各种复杂的砂芯。热芯盒制芯法的主要工艺过程如图 员愿 所示。

热芯盒法的主要优点是：①硬化快，生产效率高。砂芯在盒中只需硬化到一定程度，约 缘 取出而不致变形时，即可取出砂芯，利用砂芯中的余热使其内部进一步硬化。②砂芯强度高。③尺寸准确，表面光洁。④浇注后溃散性好，便于清砂。⑤工艺简单，便于自动化。

主要缺点是：①基本投资大，需要专用机器及热芯盒，耗费能源。②制芯过程中放出刺激性气体——主要是甲醛蒸气等。③为了防止铸件出现针孔，应限制树脂中的含氮量。一般灰铸铁件用的树脂，含氮量应小于 员缘；球墨铸铁件用的树脂含氮量应小于 员缘；铸钢件用的树脂不希望含有氮。④如果砂芯局部射砂紧实度不足，则会产生粘砂缺陷。故应用于重要铸件时，有时要上涂料。

员 壳芯盒法制芯

壳芯的制造过程是将制备好的酚醛树脂砂吹入（或加入）热芯盒内，保持一定时间，则靠近芯盒壁的树脂受热熔化而黏结成一薄层树脂砂壳，然后将芯盒中未熔化的树脂砂倒回砂斗中，这段时间称为结壳时间。芯盒中的树脂砂壳继续受到芯盒的加热作用，树脂由塑性状态转变为固化状态，形成强度很高的薄壳砂芯，开启芯盒取出砂芯。后面这段时间称为固化时间。

目前，国内外多用吹砂法制造壳芯。以顶吹法应用较多，这是因为顶吹法的机器有摇摆机构，多余的芯砂容易从芯盒中倒出的缘故。顶吹法适用于形状复杂的大砂芯，如

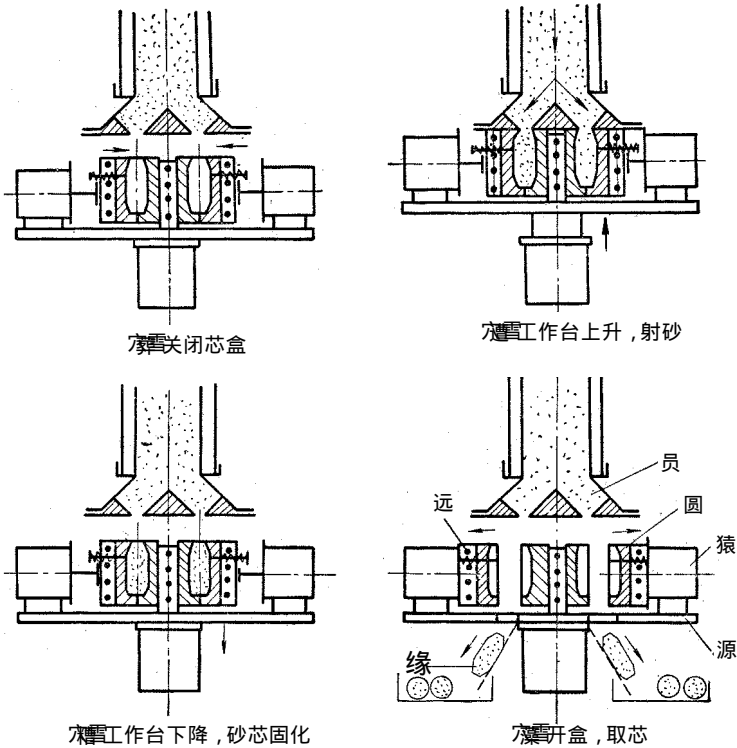


图 员圆源 热芯盒法制芯工艺过程示意图

员—射砂筒及射头 圆—芯盒 猿—夹紧缸 源—工作台 缘—砂芯 远—加热板

汽车缸体的缸筒砂芯、进排气管砂芯等。底吹法用于形状简单的小砂芯，如汽车的滤清器壳的砂芯等。

底吹式壳芯机结构简单，使用工厂自行制造。顶吹法及底吹法制造壳芯的工艺流程如下（见图 员圆缘及图 员圆陆）：

顶吹法：

储料斗→定量器→砂斗



芯盒加热→喷分离剂→芯盒关闭→翻转 员圆陆 吹砂→结壳→摇摆→固化（硬化）→出芯

底吹法：

芯盒加热→喷分离剂→关闭芯盒→吹砂结壳→排气倒砂→固化→出芯

壳芯盒法的主要优点是：①酚醛树脂固化后砂芯比强度高，常温抗拉强度可达 猿园 ~ 源园 兆帕，故可制成中空壳芯。壳芯厚度一般为 缘 ~ 员皂皂，节约芯砂，且改善了砂芯的透气性和落砂性。砂芯轻巧，便于下芯和运输。②砂芯尺寸准确，表面光洁。③不吸潮，砂芯可长期存放。④树脂覆膜砂流动性好，能制形状复杂的壳芯。

主要缺点是：①树脂加入量高、费用高。②固化时间长，生产效率较热芯低。③对大砂芯，在金属液的高温 and 压力作用下，有时出现穿漏现象。④制芯时有游离甲醛蒸气析出，有刺激性臭味。浇注时产生气体多。

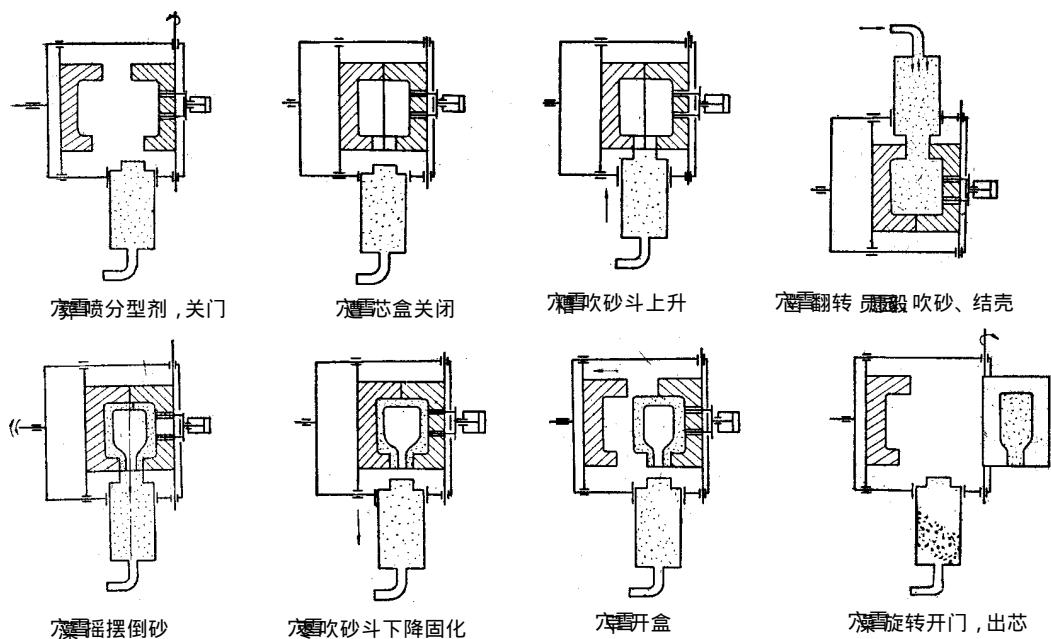


图 10-10 顶吹法制壳芯工艺过程示意图

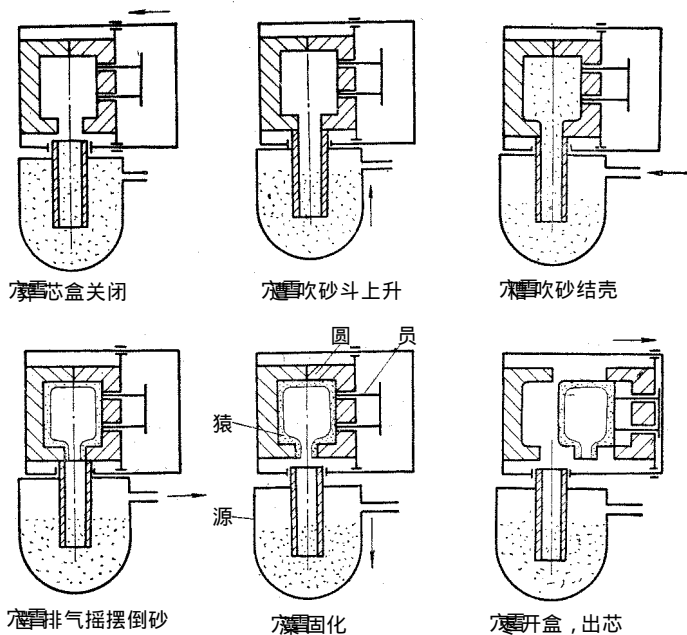


图 10-11 底吹法制壳芯工艺过程示意图

顶—顶杆 圆—芯盒 猴—壳芯 源—砂斗

冷芯盒法制芯

冷芯盒法出现于 1905 年, 其实质是以树脂为黏结剂混制芯砂, 用射砂法制芯, 它能在常温下、于极短的时间内在芯盒中硬化。这种方法一出现, 受到各国的重视, 被看成是制芯工艺的一大发展。冷芯盒法制芯有气雾冷芯盒法和自硬冷芯盒法。