



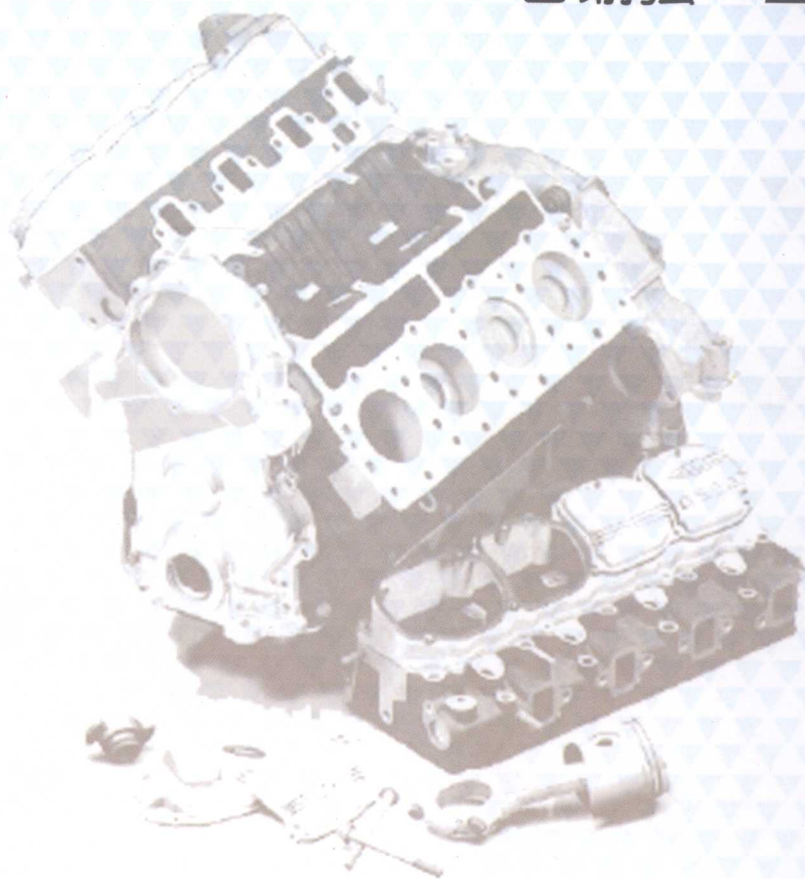
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专规划教材

铸造工艺及设备

ZHU ZAO GONG YI JI SHE BEI

第2版

曹瑜强 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专规划教材

铸造工艺及设备

第2版

主编 曹瑜强
副主编 高敏
参编 石富 韩荣富 丁建生 鲁靖国
主审 范志康

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书为材料成形与控制工程专业铸造专业方向教材之一。全书涵盖了专业改革前铸造专业的若干门专业课程内容,通过去粗取精,整编精简,力求体现职业教育特色。本书主要论述了铸造成形工艺过程、特点、方法以及铸造机械装备的应用等,在叙述上力求深入浅出,重视基础理论,联系生产实际,反映先进技术,注意培养学生分析和解决实际问题的能力。本书贯彻执行最新国家标准和法定计量单位。

本书内容包括:绪论、造型材料、铸型的制备、浇注系统设计、铸件的凝固与补缩、铸造工艺设计及工装的应用、铸造生产质量控制、铸件缺陷分析与防止、铸造生产机械装备、特种铸造。

本书可作为高职高专院校材料加工、材料成形与控制、热加工等专业用教材,亦可作为成人高校、函授、中等职业教育院校教材,也可供有关铸造专业的工程技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

铸造工艺及设备/曹瑜强主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2008. 1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专规划教材

ISBN 978-7-111-13162-5

I. 铸… II. 曹… III. ①铸造—工艺—高等学校—教材
②铸造设备—高等学校—教材 IV. TG2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 139251 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王海峰 封面设计:王奕文 责任校对:刘志文
责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2008 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·421 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-13162-5

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379756

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是教育部确定的普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据教育部关于加强高等职业教育教材建设的要求,在总结教学改革经验并征求有关企业技术人员意见的基础上,组织部分高等职业院校教师编写的。

为适应新专业“材料成形及控制工程”专业的需要,本书将过去作为“铸造”一个专业所开设的若干门专业课程,进行整编精简,以最基本的砂型铸造为主线兼顾其他,力求体现职业教育特色,贯彻“必需、够用”的原则。在叙述上力求深入浅出,重视基础理论,联系生产实际,反映先进技术,注意培养学生分析和解决实际问题的能力,贯彻执行最新国家标准和法定计量单位,内容充实,实用性强。

本书为材料成形与控制技术专业铸造专业方向教材之一。其教学基本目的是:熟悉铸造生产的基本过程;熟悉砂型铸造铸型的制备技术;熟悉铸造工艺设计的内容、方法、步骤及工装的应用;了解铸造生产基本的机械装备;了解特种铸造技术的基本方法;能够分析常见铸件缺陷产生的原因及采取相应的防止措施;会使用相关的资料和手册;具有在铸造生产一线操作的基本知识和能力;具有从生产实际出发,采用新工艺、新材料、新技术的初步能力。

本书由陕西工业职业技术学院曹瑜强任主编,并编写绪论、第一章、第五章、第九章;大连职业技术学院高敏任副主编,并编写第三章、第四章;内蒙古机电职业技术学院石富编写第二章;河北机电职业技术学院韩荣富编写第七章;四川工程职业技术学院丁建生编写第六章;陕西工业职业技术学院鲁靖国编写第八章及制作全书电子课件。全书由曹瑜强统稿及修稿。本书由西安理工大学范志康教授任主审。

本书在编写和审稿过程中,得到了有关院校和铸造企业各位同仁的大力支持和热情帮助,陕西工业职业技术学院田昊对书稿的文字进行了校对,付出了辛勤劳动,在此一并表示衷心感谢。对所有为本书提供资料和帮助的各方人士也表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限,书中难免有不少的错误和疏漏,恳请广大师生和读者不吝指教。

编者

第1版前言

本教材是国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会规划教材。是依据国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会最新审定的《铸造工艺及设备》教学大纲，在总结近几年教学经验并征求相关企业技术人员意见的基础上，组织部分高职高专院校长期从事铸造专业教学的教师编写而成。

为适应材料成形及控制工程专业的需要，本书将过去作为“铸造”一个专业所开设的若干门专业课程，进行整编精简，以最基本的砂型铸造为主线兼顾其他，力求体现职业技术教育特色，贯彻“必需、够用”的原则，且注意吸收国内外有关先进的技术成果和生产经验。在编写中，本书采用图文对照和列表说明，叙述上由浅入深，注重理论联系实际，内容充实，标准规范，实用性强。

本书为材料成形及控制工程专业铸造专业方向教材之一。其教学基本目的是：熟悉铸造生产的基本过程；熟悉砂型铸造铸型的制备技术；熟悉铸造工艺设计的内容、方法、步骤及工装的应用；了解铸造生产的基本机械装备；了解特种铸造技术的基本方法；能够分析常见铸件缺陷产生的原因及采取相应的防止办法；会使用相关的资料和手册；具有在铸造生产一线操作的基本知识和能力；具有从生产实际出发，采用新工艺、新材料、新技术的初步能力。

本书由陕西工业职业技术学院曹瑜强任主编，并编写绪论、第一章、第五章、第八章、第九章；大连职业技术学院高敏任副主编，并编写第三章、第四章；内蒙古机电职业技术学院石富编写第二章；河北机电职业技术学院韩荣富编写七章；四川工程职业技术学院丁建生编写第六章。全书由曹瑜强统稿，西安理工大学范志康教授任主审。

本书在编写和审稿过程中，得到了许多兄弟院校各位同仁的大力支持和热情帮助，各执笔人所在单位，特别是陕西工业职业技术学院领导给予了积极的支持，陕西工业职业技术学院田昊老师对书稿的文字校对付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心感谢。对所有为本书提供资料、建议和帮助的各方人士，借此也表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限，书中难免有错误和疏漏之处，恳请广大师生和读者不吝指教。

编者

目 录

第2版前言

第1版前言

绪论 1

第一章 造型材料 4

第一节 型(芯)砂的组成和性能要求 4

第二节 粘土型(芯)砂 7

第三节 水玻璃粘结剂型(芯)砂 24

第四节 树脂砂 31

第五节 以油类为粘结剂的芯砂 45

第六节 铸型用涂料 53

第七节 造型材料性能检测 57

第二章 铸型制备 67

第一节 砂型制备 67

第二节 砂芯制备 79

第三节 铸型的装配 83

第三章 浇注系统设计 86

第一节 液态金属的充型 86

第二节 金属液在浇注系统中的流动 88

第三节 浇注系统的基本类型及选择 93

第四节 铸铁件浇注系统设计 with 计算 98

第五节 其他合金铸件浇注系统的特点 105

第四章 铸件的凝固与补缩 111

第一节 铸件的凝固 111

第二节 铸件的缩孔和缩松 115

第三节 冒口的种类及补缩原理 120

第四节 铸钢件冒口的设计与计算 127

第五节 铸铁件冒口的设计与计算 134

第六节 提高冒口补缩效率的方法 142

第七节 冷铁的应用 145

第五章 铸造工艺设计及工装的应用	150
第一节 铸造工艺设计概述	150
第二节 铸造工艺方案的确定	152
第三节 铸造工艺设计参数	165
第四节 铸造工艺装备的应用	169
第五节 铸造工艺实例分析	175
第六节 铸造工艺 CAD 简介	182
第六章 铸造生产质量控制	186
第一节 铸件质量的概念	186
第二节 铸造生产过程的质量控制	187
第三节 铸造质量技术检验	191
第四节 铸造生产的环境保护	192
第七章 铸件缺陷分析与防止	199
第一节 铸件缺陷	199
第二节 铸件常见缺陷的分类	200
第三节 铸件常见缺陷分析与防止	205
第四节 铸件缺陷的修补	207
第八章 铸造生产机械装备	211
第一节 造型(芯)设备	211
第二节 混砂及旧砂再生设备	215
第三节 配料、加料及浇注设备	217
第四节 落砂、清理及环保设备	221
第五节 铸造车间概述	224
第九章 特种铸造	231
第一节 熔模铸造	231
第二节 压力铸造	243
第三节 金属型铸造	250
第四节 离心铸造、低压铸造和挤压铸造的特点及其应用	255
第五节 其他液态成形方法简介	261
参考文献	266

绪 论

铸造是指熔炼金属，制造铸型，并将熔融金属浇入铸型，凝固后获得具有一定形状、尺寸和性能金属零件毛坯的成形方法。铸造所生产的产品称为铸件。大多数铸件只能作为毛坯，经过机械加工后才能成为各种机器零件。当有的铸件达到使用的尺寸精度和表面粗糙度要求时，才可作为成品或零件直接使用。

一、铸造生产的工艺过程、特点及在制造业中的地位

铸造生产是复杂、多工序的组合过程，基本上由铸型制备、合金熔炼及浇注、落砂及清理等三个相对独立的工艺过程所组成。砂型铸造生产的工艺流程如图 0-1 所示。一般铸造车间常设模具、熔炼、配砂、造型、造芯、合型及清理等工段组织生产。

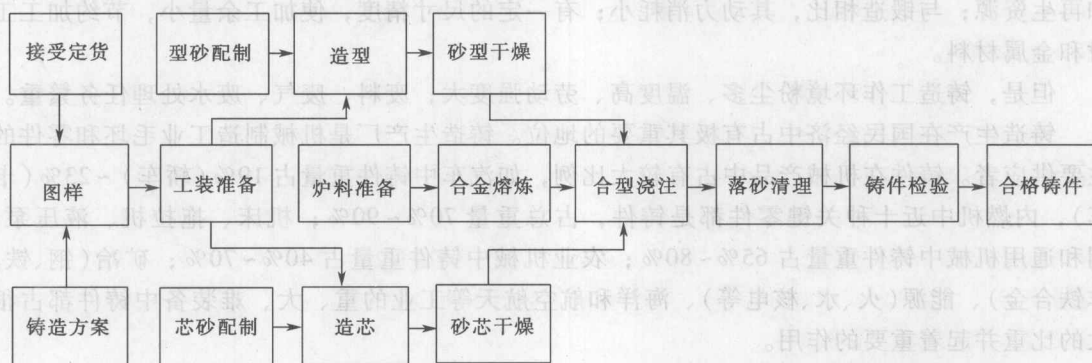


图 0-1 砂型铸造生产工艺流程图

铸造方法虽然很多，但习惯上一般把铸造分成砂型铸造和特种铸造两大类。在砂型中生产铸件的方法称为砂型铸造。图 0-2 所示为齿轮毛坯的砂型铸造简图。砂型铸造按其铸型性质不同，分为湿型铸造、干型铸造和表面干型铸造三种。特种铸造按其形成铸件的条件不同，又可分为熔模铸造、金属型铸造、离心铸造、压力铸造等。如按铸造合金不同，则有铸

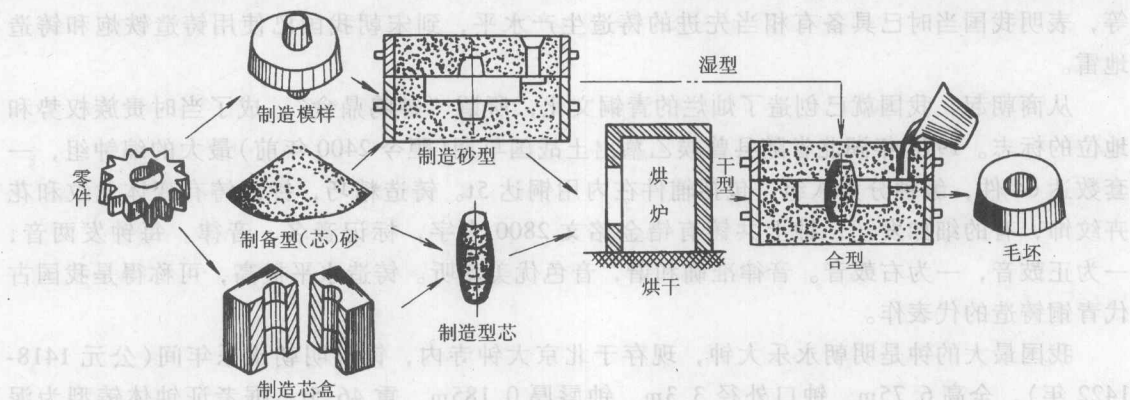


图 0-2 齿轮毛坯的砂型铸造

铁、铸钢、非铁合金铸造等。

在制造业的诸多材料成形方法中，铸造生产具有以下特点：

1) 使用范围广。铸造生产几乎不受铸件大小、厚薄和形状复杂程度的限制，铸件的壁厚可达 0.3 ~ 1000mm，长度从几毫米到几十米，重量从几克到 300t 以上。最适合生产形状复杂，特别是内腔复杂的零件，如复杂的箱体、阀体、叶轮、发动机气缸体、螺旋桨等。

2) 铸造生产能采用的材料广，几乎凡能熔化成液态的合金材料均可用于铸造，如铸钢、铸铁、各种铝合金、铜合金、镁合金、钛合金及锌合金等。对于塑性较差的脆性合金材料(如灰铸铁等)，铸造是惟一可行的成形工艺。在工业生产中，以铸铁件应用最广，约占铸件总产量的 70% 以上。

3) 铸件具有一定的尺寸精度。一般情况下，比普通锻件、焊接件成形尺寸精确。

4) 成本低廉，综合经济性能好，能源、材料消耗及成本为其他金属成形方法所不及。铸件在一般机器中占总质量的 40% ~ 80%，而制造的成本只占机器总成本的 25% ~ 30%。成本低廉的原因是：生产方式灵活，批量生产可组织机械化生产；可大量利用废、旧金属材料 and 再生资源；与锻造相比，其动力消耗小；有一定的尺寸精度，使加工余量小，节约加工工时和金属材料。

但是，铸造工作环境粉尘多、温度高、劳动强度大；废料、废气、废水处理任务繁重。

铸造生产在国民经济中占有极其重要的地位。铸造生产厂是机械制造工业毛坯和零件的主要供应者。铸件在机械产品中占有较大比例，如汽车中铸件重量占 19% (轿车) ~ 23% (卡车)，内燃机中近十种关键零件都是铸件，占总重量 70% ~ 90%；机床、拖拉机、液压泵、阀和通用机械中铸件重量占 65% ~ 80%；农业机械中铸件重量占 40% ~ 70%；矿冶(钢、铁、非铁合金)、能源(火、水、核电等)、海洋和航空航天等工业的重、大、难装备中铸件都占很大的比重并起着重要的作用。

二、我国铸造技术的发展

铸造是世界历史上最悠久的工艺之一。青铜冶炼技术的发明，使人类进入了青铜器时代。伴随着青铜冶炼技术的同时，出现了铸造技术。我国的铸造技术已有近 6000 年悠久的历史，是世界上较早掌握铸造技术的文明古国之一。2500 多年以前(公元前 513 年)就铸出 270kg 的铸铁刑鼎。我国是最早应用铸铁的国家之一，自周朝末年开始了有了铸铁，铁制农具发展很快，秦、汉以后，我国农田耕作大都使用了铁制农具，如耕地的犁、锄、镰、铧等，表明我国当时已具备有相当先进的铸造生产水平，到宋朝我国已使用铸造铁炮和铸造地雷。

从商朝起，我国就已创造了灿烂的青铜文化，所谓“钟鸣鼎食”，成了当时贵族权势和地位的标志。1978 年湖北省随县曾侯乙墓出土战国早期(距今 2400 年前)最大的编钟组，一套数达 64 件，编钟分为八组，包括辅件在内用铜达 5t。铸造精巧，钟面铸有变体龙纹和花卉纹饰，有的细如发丝，钟上共铸有错金铭文 2800 多字，标记音名、音律。每钟发两音，一为正鼓音，一为右鼓音。音律准确和谐，音色优美动听。铸造水平极高，可称得是我国古代青铜铸造的代表作。

我国最大的钟是明朝永乐大钟，现存于北京大钟寺内，铸于明朝永乐年间(公元 1418-1422 年)，全高 6.75m，钟口外径 3.3m，钟唇厚 0.185m，重 46.5t。据考证钟体铸型为泥范，芯分七段。先铸成钟钮，然后再使钟钮与钟体铸接成一体。钟体的内外铸满经文，约

227000 余字。大钟至今完好，声音幽雅悦耳，声闻数十里，是世界上罕见的古钟之一。我国古代的钟、鼎等文物，有不少是用熔模铸造的，其工艺复杂、铸工精湛、铸件精美，不难看出我国古代熔模铸造工艺已达到相当高的水平。

1953 年在河北省兴隆县古燕国铸冶作坊遗址的挖掘中，发现距今 2200-2350 年的战国时期的铁范(铁质铸型)等 87 件，可用于铸造铁锄、铁斧、铁镰、铁凿和车具等，表明早在战国时期，铸铁件在我国已广泛应用了。现立于河北省沧州的大铁狮，高 5m 多，长近 6m，重达 19.3t，是公元 9 世纪五代后周时铸成的。现立于当阳的铁塔，由 13 层叠成，重 40t，铸于北宋淳熙年间，这表明在公元前 500 年，我国就已成功地运用了叠箱铸造技术来大量生产铸铁件。这些都向世人展现了我国古代铸造工艺的水平和高超技艺。

新中国成立以来，铸造工业发展取得了辉煌成就，2004 年我国铸件产量达 2300 万 t/年，年产量居世界第一位，已经成为国家重要的基础工业之一。近年生产出了一些技术难度大的铸件，如三峡水力发电机水轮导叶，每片重 13t；直径 2.6m、长 8m 的大型离心球墨铸铁管；毛坯重 480t、钢液 700t、外形尺寸 15.3m×4.7m×2.2m 的厚板轧机机架；最薄壁厚为 3.5mm 的汽车发动机灰铸铁件等。

计算机的广泛应用正从各方面推动着铸造业的发展和变革，它不仅可以提高生产效率和降低生产成本，同时又能促使新技术和新工艺的不断出现，使铸造生产正在从主要依靠经验走向科学理论指导生产的阶段。例如，铸造过程的计算机模拟分析及计算机辅助工程的应用，可以科学地预测液体金属充型过程、凝固过程中的温度场及应力场，以及宏观缺陷和微观组织等。它可以优化铸造过程，缩短试制周期，确保铸件质量；可以在提高铸造生产水平的同时获得显著的经济效益，特别是对大型铸件的单件生产确保一次成功，具有重要意义。计算机在铸造工艺计算机辅助设计技术、凝固过程数值模拟技术、快速成形制造技术、铸造工艺参数检测与生产过程的计算机控制等方面的应用发挥着前所未有的作用。

我国铸造工业的生产规模、铸件的产量、品种等已处于世界前列。今后应继续走优质、高效、低耗、清洁、可持续发展的道路，使我国由铸造大国变为铸造强国。

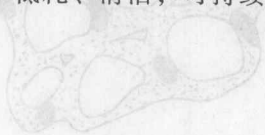


图 1-1 砂型铸造示意图

1. 型砂 2. 型壳 3. 型芯

4. 浇口 5. 冒口 6. 出气孔

我国铸造工业的生产规模、铸件的产量、品种等已处于世界前列。今后应继续走优质、高效、低耗、清洁、可持续发展的道路，使我国由铸造大国变为铸造强国。

第一章 造型材料

凡用来制作铸型的原材料(如原砂、粘结剂、附加物等)以及由各种原材料所混制成的混合物统称为造型材料。制作砂型的混合物称为型砂,制作砂芯的混合物称为芯砂,涂敷在型腔或砂芯表面的混合物称为涂料。

砂型和砂芯直接承受合金液的作用,型(芯)砂质量的高低对造型(芯)工艺、铸件质量和生产成本有很大影响。铸件的一些铸造缺陷如砂眼、气孔、粘砂、夹砂等,都与造型材料有直接关系。在铸造生产中,80%左右的铸件是用砂型铸造生产的,生产1t铸件通常需要4~5t型砂。造型材料在铸造生产中占有重要地位。本章主要介绍砂型铸造中所用原材料的成分和性质;常用型(芯)砂的组成、配制工艺及性能控制;相应的性能检测方法。

第一节 型(芯)砂的组成和性能要求

一、型(芯)砂的组成

要控制型(芯)砂的性能,使其达到所需的性能要求,首先要了解型(芯)砂的组成和结构。型(芯)砂是由骨干材料、粘结材料和附加物等原材料按一定比例配制而成。以粘土为粘结材料的粘土型(芯)砂主要由原砂、粘土、附加物和水配制而成。由于自然界中的粘土资源丰富,价格低廉(开采后只需稍作加工即可供生产使用),且粘土砂型制造工艺简单,旧砂回用处理容易等,被广泛用来配制型(芯)砂用于制造铸钢件、铸铁件和非铁合金铸件的砂型及形状简单的砂芯。因此,粘土型砂是砂型铸造生产应用最多的造型材料。粘土型砂结构如图1-1所示。砂粒是型砂的骨干,约占型砂重量的90%左右,砂粒本身不具有粘结力。粘土是型砂的粘结剂,它在干态时没有粘结性,粘土与水混合后形成粘土胶体,以薄膜形式覆盖在砂粒表面,把松散的砂粒粘结起来,使型砂具有强度。加入的附加物如煤粉、木屑等用来改善型砂的某些性能。砂粒间具有孔隙,浇注时可使气体通过孔隙逸出型外使型砂具有透气性。由此可见,原砂、粘土的性质以及原砂、粘土、水分的配比与混制工艺对型(芯)砂的性能起着决定性作用。

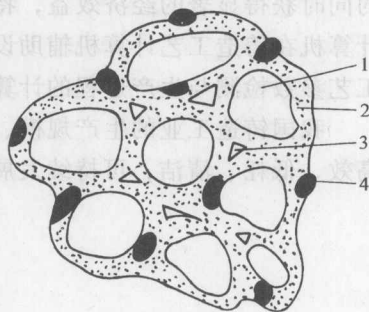


图 1-1 粘土型砂结构示意图

- 1—砂粒 2—粘土胶体
- 3—孔隙 4—附加物

二、型(芯)砂应具备的性能

高质量型砂应当具有能铸造出高质量铸件所必备的各种性能。需根据铸件合金的种类、铸件的大小、壁厚、浇注温度、金属液压头、砂型紧实方法、浇注系统的形状、位置和出气孔等情况,对型砂性能提出不同的要求。下面从铸造生产工艺过程的两个阶段进行分析,提出型(芯)砂的性能要求。

(1) 造型、造芯和合型阶段对型砂性能的要求 为了制造出合格的砂型和砂芯,装配

合型成可靠的铸型，型（芯）砂应具有良好的工艺性能，如湿度、流动性、强度、成型性、韧性、粘模性等。

湿度：为了得到所需的湿态强度和韧性，粘土砂必须含有适量水分。判断型砂湿度有以下几种方法：水分也叫含水量，它表示型砂中所含水分的质量分数，这是一般工厂确定型砂干湿程度最常用的指标。测定的原理是称取定量的型砂，放入 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 烘干装置中使之干燥，由烘干前后的重量差计算出型砂的水分。有实际操作经验的混砂或造型工人常根据用手捏型砂是否容易成团和是否粘手来判断型砂的干湿程度；还根据捏紧动作中型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。如果用手捏砂时，只有潮的感觉，不觉得粘手，且手感柔和，印在砂团上的手指痕迹清晰，那么这样的型砂干湿程度就比较合适。紧实率是指湿型砂用 1MPa 的压力压实或者在锤击式制样机上打击三次，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表示。一般情况下，混砂时的加水量应按固定的紧实率范围来控制。通常的手工和机器造型用型砂，最适宜干湿状态的紧实率接近 50% ，高压造型和气冲造型时为 $35\% \sim 45\%$ ，挤压造型时为 $35\% \sim 40\%$ 。近年来，已有部分工厂用紧实率调节混砂加水量来控制型砂性能。

流动性：型（芯）砂在外力或自重的作用下，沿模样（或芯盒）表面和砂粒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时的劳动强度，提高生产率和便于实现造型、造芯过程的机械化。

强度：型砂、芯砂试样抵抗外力破坏的能力称为强度。包括湿强度、干强度、热强度等。型砂必须具备一定的强度以承受各种外力的作用。如果强度不足，在起模、搬动砂型、下芯、合型等过程中，铸型有可能破损塌落；浇注时可能承受不住金属液的冲刷和冲击，冲坏砂型而造成砂眼缺陷，或者造成胀砂（铸件肿胀）或跑火（漏铁液）等现象。但是强度也不宜过高，因为高强度的型砂需要加入更多的粘土，不但增加了不适宜的水分和降低透气性，还会使铸件的生产成本增加，而且给混砂、紧实砂型和落砂等工序带来困难。

成型性：型砂围绕模样在砂箱内流动的能力称为成型性。用成型性差的型砂造的砂型易使铸件产生粘砂缺陷。

韧性：韧性是指型砂抵抗外力破坏的性能。韧性差的型砂起模时铸型容易损坏。增加粘土加入量和相应地增加含水量可明显地提高型砂的韧性。型砂中失效粘土和粉尘的含量增加，将使型砂的变形量显著减小，韧性变差，起模困难。

粘模性：粘模性是指型砂粘附模样的性质，与型砂的温度、水分和粘结剂含量及模样的材质及表面粗糙度有关。粘模是由于型（芯）砂的粘结材料与模样表面的附着力超过了砂粒之间的粘结膜的凝聚力造成的，故粘模性与粘结材料和模具材料有关。润湿的粘土对木材的附着力比铁大，故木模比铁模易粘模。当型砂的温度高，模样的温度低时，因水气凝结，易发生粘模。粘土砂中含水量越高，粘土含量越低，越易发生粘模。为了减轻粘模，木质模样和木质芯盒表面应刷漆，或擦拭防粘模材料，如石墨粉、石松子粉、滑石粉、煤油等；降低型砂含水量，使用内聚力较大的钠基膨润土，型砂温度不宜过高。

(2) 铸件浇注、冷却、落砂、清理阶段对型（芯）砂性能的要求 液态合金浇入铸型后，与型腔表面砂层之间发生着机械作用、热作用和化学作用。机械作用是指液态合金充填过程中对型腔壁的动压力和静压力，合金液凝固收缩时对铸型产生的压应力。热作用是由于合金

液与铸型型腔存在着很大的温差，型腔壁被强烈加热，靠近合金液的型腔表面加热特别严重，局部甚至开裂或烧结。化学作用是液态合金及其氧化物与型腔表面砂层发生化学反应。为铸造出合格铸件，该阶段对型(芯)砂提出以下性能要求。

耐火度：型(芯)砂承受高温作用的能力称为耐火度。主要与原砂耐火度有关。影响型砂耐火度的主要因素是原砂的化学成分和矿物组成。原砂中有较多的低熔点物质，如 Na_2O 、 MgO 、 CaO 、 Fe_2O_3 等均使耐火度降低。砂粒颗粒度大、角形因数小的原砂，其热容量大，比表面积小，吸收的热容量少，不易熔化，故粗砂、圆形砂的耐火度比细砂、尖角形砂、多角形砂的耐火度高。所以铸件越大，采用的原砂也越粗，这除了能改善透气性外，也提高了耐火度。一般粘土的耐火度比砂粒的耐火度低，增加型砂中粘土含量会降低型砂的耐火度。采用高粘结能力的粘土可减少粘土用量，能相应提高型砂的耐火度。

透气性：透气性是表示紧实砂样孔隙度的指标。在液体金属的热作用下，铸型产生大量气体，如果砂型、砂芯不具备良好的排气能力，浇注过程中就有可能发生呛火，使铸件产生气孔、浇不到等缺陷。砂型的排气能力，一方面靠冒口和穿透或不穿透的出气孔来提高；另一方面决定于型砂的透气性。而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、粘结剂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。但是，不应误解为型砂透气性越高越好，因为不涂敷涂料的砂型的透气性高，表明砂粒间孔隙直径较大，金属液易于渗入砂粒间孔隙中，造成铸件表面粗糙和发生机械粘砂。

发气量和有效煤粉含量：为了使铸铁用湿型砂具有良好的抗机械粘砂性能并且能制得表面光洁的铸件，型砂除应有适宜的透气性外，还应含有煤粉或其他有机附加物(如重油、沥青等)。这些材料在浇注受热后，产生大量挥发物，在高温下进行气相分解，在砂粒表面沉积形成“光亮碳”，从而可以防止铸铁件表面机械粘砂，提高铸件表面光洁程度。型砂的有效煤粉含量要适当，而且应根据清理方法和对铸件表面粗糙度的具体要求不同而不同。如果型砂中有效煤粉含量过高和发气量过大，同时型砂透气性能又差，则会使铸件产生气孔、冷隔、浇不到等缺陷。

退让性：合金在凝固和冷却过程中会收缩，此时要求铸型相关部位发生变形或退让，以不阻碍铸件收缩而获得应力小而不产生裂纹的铸件。这种型砂不阻碍铸件收缩的高温性能称为退让性，也称容让性。退让性小时，铸件收缩困难，会使铸件内产生应力甚至开裂。型砂退让性主要取决于该型砂的热强度。热强度高，抵抗合金液机械作用的能力强，但退让性差。粘土型砂随粘土和水分含量的增加退让性下降。在型砂中加入木屑、焦炭粒等附加物有助于提高退让性，尤其以木屑作用最为显著。在要求有较高退让性的砂芯(如管类铸件的砂芯)中，常使用稻草绳，铸件收缩时，草绳已烧掉，砂芯就不会阻碍铸件的收缩，清砂也比较容易。

溃散性：浇注后型(芯)砂是否容易解体而脱离铸件表面的性能称为溃散性。溃散性好的型(芯)砂，在铸件凝固冷却后很容易从铸件上脱落。生产中常用在粘土砂内加入木屑等附加物的方法来改善干型和表干型的溃散性。

显然，上述各种性能，要求一种型砂全部满足是很难达到的，在制订和控制型砂性能时，要根据铸造实际生产中铸件的特点(合金种类、尺寸、重量、形状结构、技术要求等)和生产条件(批量大小、手工或机器造型、技术水平)来具体确定，由此相应确定原砂和粘土的种类及加入量、水分含量和附加物的加入量、型砂配制工艺和砂型紧实度。在通常情况下，铸

造厂为了保证铸件质量,除制订严格的型砂配比和混制工艺外,还要定期检查和控制型砂在使用中的基本性能变化,如含水量、透气性和强度等。

第二节 粘土型(芯)砂

粘土砂型根据在合型和浇注时的状态不同可分为湿型(湿砂型或潮型)、干型和表干型(表面烘干型)。三者之间的主要差别是:湿型是造好的砂型不经烘干,直接浇入高温金属液;干型是在合型和浇注前将整个砂型送入烘干窑中烘干;表面烘干型是在浇注前对型腔表层用适当方法烘干一定深度。

湿型用的湿型砂按造型时情况不同,可分为面砂、背砂和单一砂。面砂是指特殊配制的在造型时铺覆在模样表面上构成型腔表面层的型砂。

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;容易落砂等。但是,采用湿型铸造,也容易使铸件产生一些铸造缺陷,例如夹砂结疤、鼠尾、粘砂、气孔、砂眼、胀砂等。因此,湿型铸造必须在生产过程中全面控制型砂质量,即从原砂材料到型砂的配方、混制、储运、使用等必须严格监控,保证型砂始终具有所要求的性能,湿型铸造主要用于500kg以下的铸件,在机械化流水生产和手工造型中均可应用。手工造型时,主要用于几十千克以下的小件。

表干型是仅将砂型表面层烘干,烘干的深度一般为5~20mm,或将砂型、砂芯自然干燥24~48h后再合型浇注。它与湿型相比,表面层强度高、湿度小,因而浇注重量较大的铸件时不易产生气孔、粘砂、夹砂、冲砂等缺陷。但表干型要采用粗砂,型砂水分要严格控制,而且在造型、造芯、合型、浇注等方面应严格按照工艺规程操作才能稳定生产。

干型是将粘土砂型烘干,可显著提高砂型的强度、透气性,降低发气量,使铸件减少气孔、砂眼、粘砂、夹砂等缺陷,采用涂料后铸件的表面质量也会得到改善。但干型铸造需要烘干设备,增加燃料消耗,增加起重机作业次数,延长生产周期,缩短砂箱使用寿命,使铸件的成本增加,生产率降低;干型落砂比较困难,还会产生大量灰尘。因此,粘土干型主要用于铸件表面质量要求高,或结构特别复杂的单件或小批生产及大型、重型铸件。

湿型、表面干型、干型对型砂性能要求有较大差别,而原砂、粘土的质量和水分含量的高低直接影响着型砂性能和铸件质量,因而有必要了解原砂、粘土的性质,以便在生产中合理地选择和使用。

一、铸造用原砂

1. 石英质原砂及应用

铸造生产中用量最大的原砂是以石英为主要矿物成分的天然硅砂。因为天然硅砂资源丰富,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。

天然硅砂是由火成岩风化形成的。例如,火成岩中的花岗岩是由石英、长石、黑云母等矿物颗粒组成的岩石,经过长期风化作用后,花岗岩中的石英由于化学性质稳定和较坚硬,风化时成分不变,仅被破碎成细粒。而花岗岩中的长石、云母,一部分通过化学风化变成粘土,另一部分未被化学风化,混在砂子中。所以一般说来,砂中除了主要成分石英以外,还

混有一些长石、云母和粘土矿物等夹杂物。

风化后的产物或就地储集，或经过水力、风力的搬运，远离原处沉积。就地储集的砂矿称为山砂，含泥分较多，粒形不规则，例如江苏六合红砂、河北唐山红砂等。经过水力搬运的砂称为海砂、湖砂或河砂。经风力搬运的砂称为风积砂。河砂、湖砂、海砂经过水流的冲洗和分选，含泥量很少，颗粒较圆，粒度比较均匀，例如河北北戴河砂、广东新会砂、福建东山砂均为海砂；江西都昌砂、星子砂为湖砂；上海吴淞砂、河南郑庵砂为河砂；内蒙古通辽市大林、哲里木盟的伊胡塔、甘旗卡等处的砂子为风积砂，其颗粒形状更圆整而均匀。

除了细小颗粒状天然硅砂外，还有其他两种存在形式，即石英砂岩和石英岩。沉积的石英颗粒被胶体的二氧化硅或氧化铁、碳酸钙等物胶结成块状，称为石英砂岩。石英砂岩的质地比较松散，易加工破碎，颗粒大多呈多角形，例如湖南湘潭的石英砂岩。如果沉积的硅砂粒在地壳高温高压作用下，经过变质而形成坚固整体的岩石则称为石英岩。这种石英岩通常含有很高的SiO₂，质地极为坚硬。经过人工破碎、筛分后就得到人造硅砂(或称为人造石英砂)，但并不是所有的硅砂都可以供铸造生产使用。对原砂提出的质量要求有以下几个方面：

(1) 含泥量 含泥量指原砂中直径小于0.02mm(20μm)的细小颗粒的含量，其中既有粘土，也包括极细的砂子和其他非粘土质点。由于原砂的形成条件和开采方式不同，其含泥量的差别很大。例如，大林砂、新会砂、都昌砂等的开采加工均用水洗涤，含泥量(质量分数)低到0.5%左右；红砂含泥量(质量分数)可能高达10%或更高。含泥量检测方法的原理是，利用不同颗粒尺寸的砂粒在水中沉降速度的不同，将原砂中颗粒直径大于20μm与直径小于20μm的颗粒分开。检验时，称量烘干的原砂并置入烧杯中，加入水及分散剂，煮沸及搅拌使其充分分散；然后反复按规定时间沉淀，虹吸排除浑水和冲入清水。直到水清后，由烘干的残留砂样重量即可计算出原砂的含泥量。铸造用硅砂根据国家标准GB/T 9442—1998的规定，按SiO₂含量分为五级，见表1-1。

表 1-1 铸造用硅砂按 SiO₂ 含量分级

分 级 代 号	98	96	93	90	85
$w_{\text{SiO}_2}(\%)$	≥98	≥96	≥93	≥90	≥85
分 级 代 号	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0
$w_{\text{泥分}}(\%)$	≤0.2	≤0.3	≤0.5	≤1.0	≤2.0

(2) 原砂的颗粒组成 原砂的颗粒组成(即粒度)包括两个概念：砂粒的粗细程度和砂粒粗细分布的集中程度。为测定不同原砂的颗粒组成，通常采用筛分法，方法是用一套(11个)筛孔尺寸自大而小的铸造用试验筛来筛分已洗去泥分的干砂样。我国国家专业标准规定的用于测试硅砂粒度的试验筛的筛子序号和筛孔尺寸见表1-2。

表 1-2 铸造用试验筛筛子序号和筛孔尺寸 (单位:mm)

筛 子 序 号		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
筛孔尺寸		3.35	1.70	0.850	0.600	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053
相当 筛号	行业标准 JB/T 9156—1999	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270
	原机标 JB 2488—81	6	12	24	28	45	55	75	100	150	200	260

为了能方便地了解原砂粗细和颗粒分布特征，可以用以下几种方法来表示颗粒的组成。

1) 筛号表示法。将铸造用试验筛筛分后所得到的各筛子上砂子重量，选出余留量之和为最大值的相邻三筛，即得该砂样的主要粒度组成部分，用相邻三筛的中间筛孔尺寸(单位为 mm)所对应的筛号代表砂子的粒度，其筛号与筛孔尺寸的对应关系，见表 1-3。

表 1-3 铸造用硅砂按粒度分组

分组代号	主要粒度组成部分筛孔尺寸/mm	分组代号	主要粒度组成部分筛孔尺寸/mm
85	1.700, 0.850, 0.600	15	0.212, 0.150, 0.106
60	0.850, 0.600, 0.425	10	0.150, 0.106, 0.075
42	0.600, 0.425, 0.300	07	0.106, 0.075, 0.053
30	0.425, 0.300, 0.212	05	0.075, 0.053, (地盘)
21	0.300, 0.212, 0.150		

2) 列表法。列表法是用表格列出各筛上砂粒余留量，以表示粒度组成。例如江西湖口砂的颗粒组成，见表 1-4。

表 1-4 江西湖口砂的颗粒组成

筛孔尺寸/mm	3.35	1.70	0.850	0.600	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053	底盘	含泥量	总量
余留量(质量分数)(%)	1	1	2.14	6.26	9.96	24.7	40.84	11.58	2.8	0.26	0.06	0.06	1.22	99.88

(3) 原砂的颗粒形状 用光学显微镜或扫描电子显微镜观察原砂的颗粒，可以清楚地看出各种砂粒的不同轮廓形状(即“粒形”)。如图 1-2 所示为铸造常用原砂的主要颗粒分类法。粒形从角形到半角形，从不圆、但无锯齿状不平处到圆形，分为六种。按圆球度分为三级。这是一种对铸造用砂粒形较细致的分类法。但铸造用原砂的粒形，以往只概略地分为圆形、钝角形(颗粒为多角形、且多为钝角)和尖角形三种，分别用符号“○”、“□”、“△”表示。如果一种形状的原砂杂有其他形状的颗粒，只要不超过 1/3，就仍用主要颗粒的粒形符号表示，否则就用两种符号表示，并将数量较多的粒形符号排在前面，例如“□—△”、“□—○”等。



图 1-2 原砂粒形分类法

近些年，我国制定的国家标准《铸造用硅砂》(GB/T 9442—1998)采用角形因数 E 来定量

