

高职高专规划教材

# 铸造工艺及设备

国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会 组编  
曹瑜强 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高 职 高 专 规 划 教 材

# 铸 造 工 艺 及 设 备

国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会 组编

主 编 曹瑜强

副主编 高 敏

参 编 石 富 韩荣富 丁建生

主 审 范志康



机 械 工 业 出 版 社

本书为材料成形及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,进行了去粗取精与整编精简。本书力求体现职业技术教育特色,贯彻“必需、够用”的原则,主要论述和介绍铸造成形的工艺过程、特点、方法以及铸造机械装备的应用,采用图文对照和列表说明。在叙述上由浅入深,注重理论联系实际。书中注意吸收国内外有关先进的技术成果和生产经验,内容充实,标准规范,实用性强。

本书内容包括绪论、造型材料、铸型的制备、浇注系统的设计、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、铸件缺陷分析及防止、铸造生产机械装备、特种铸造等。

本书是高职高专院校材料加工工程、材料成形及控制工程、热加工工程等专业的教材,亦可作为成人高校、函授、中等职业教育院校教材及有关铸造专业的工程技术人员学习、参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

铸造工艺及设备 / 曹瑜强主编. —北京:机械工业出版社, 2003.10

高职高专规划教材

ISBN 7-111-13162-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第090212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: 何月秋  
汪光灿

封面设计: 陈 沛 责任印制: 闫 焱

北京中加印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003年10月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·16.25印张·395千字

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

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 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这个新专业的需要,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

## 前言

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 绪论 .....                | 1   |
| 第一章 造型材料 .....          | 5   |
| 第一节 型(芯)砂的组成和性能要求 ..... | 5   |
| 第二节 粘土型(芯)砂 .....       | 8   |
| 第三节 水玻璃粘结剂型(芯)砂 .....   | 25  |
| 第四节 树脂砂 .....           | 32  |
| 第五节 以油类为粘结剂的芯砂 .....    | 46  |
| 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与计算 .....  | 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 .....              | 164        |
| 第四节 铸造工艺装备的应用 .....             | 169        |
| <b>第六章 铸造生产质量控制 .....</b>       | <b>175</b> |
| 第一节 铸件质量的概念 .....               | 175        |
| 第二节 铸造生产过程的质量控制 .....           | 176        |
| 第三节 铸造质量技术检验 .....              | 179        |
| 第四节 铸造生产的环境保护 .....             | 181        |
| <b>第七章 铸件缺陷分析与防止 .....</b>      | <b>187</b> |
| 第一节 铸件缺陷 .....                  | 187        |
| 第二节 铸件常见缺陷的分类 .....             | 188        |
| 第三节 铸件常见缺陷分析与防止 .....           | 191        |
| 第四节 铸件缺陷的修补 .....               | 194        |
| <b>第八章 铸造生产机械装备 .....</b>       | <b>198</b> |
| 第一节 造型(芯)设备 .....               | 198        |
| 第二节 混砂及旧砂再生设备 .....             | 202        |
| 第三节 配料、加料及浇注设备 .....            | 205        |
| 第四节 落砂、清理及环保设备 .....            | 208        |
| 第五节 铸造车间概论 .....                | 211        |
| <b>第九章 特种铸造 .....</b>           | <b>218</b> |
| 第一节 熔模铸造 .....                  | 218        |
| 第二节 压力铸造 .....                  | 230        |
| 第三节 金属型铸造 .....                 | 237        |
| 第四节 离心铸造、低压铸造和挤压铸造的特点及其应用 ..... | 242        |
| 第五节 其他液态成形方法简介 .....            | 248        |
| <b>参考文献 .....</b>               | <b>253</b> |

## 绪 论

铸造生产通常是指用熔融的合金材料制作产品的方法。将液态合金注入预先制备好的铸型中使之冷却、凝固，而获得具有一定形状、尺寸和性能的毛坯或零件，这种制造过程称为铸造生产，简称铸造，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、制芯、合型及清理等工段组织生产。

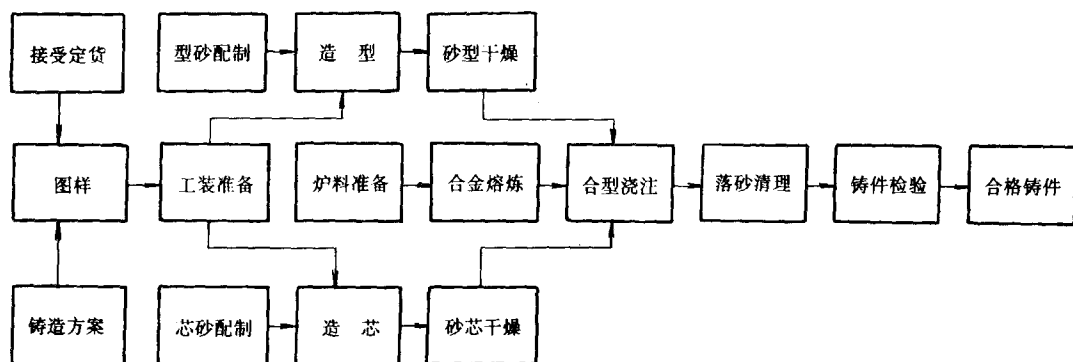


图 0-1 砂型铸造生产工艺流程图

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。以铸造用型砂为主要原材料制成铸型，且液态金属完全靠重力充满整个铸型型腔形成铸件的方法称为砂型铸造。如图 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，有湿型铸造、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、压力铸造等等。如按铸造合金不同，则有铸铁、铸钢、有色合金铸造等。

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，质量从几克到 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（如普通铸铁等），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。

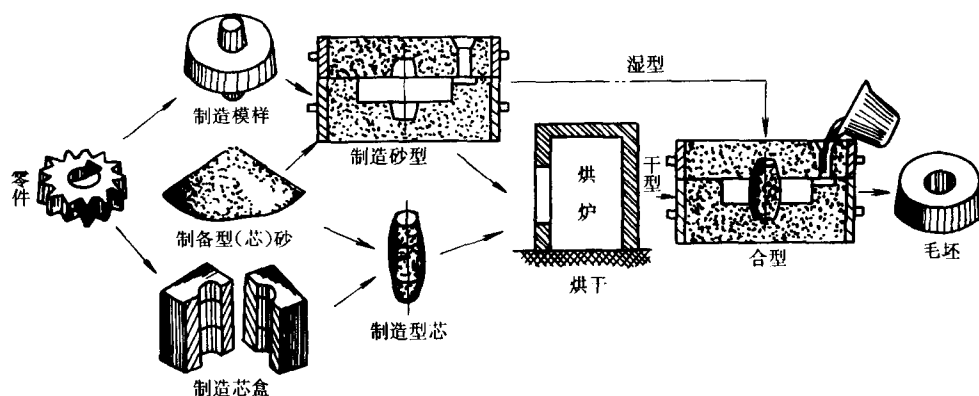


图 0-2 齿轮毛坯的砂型铸造

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，如汽车中铸件质量占 19%（轿车）~23%（卡车），内燃机中近十种关键零件都是铸件，占总质量 70%~90%；机床、拖拉机、液压泵、阀和通用机械中铸件质量占 65%~80%；农业机械中铸件质量占 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，自周朝末年就开始就有了铸铁，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、锹等，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，可称得上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，质量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年在河北省兴隆县的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，质量达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，质量40t，铸于北宋淳熙年间。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。

我国古代铸造技术居世界先进行列。由于过长的封建社会影响了科学技术的发展，阻滞了铸造技术前进的步伐。自20世纪50年代初至今，几乎从零开始，逐步发展到现在这样的规模，成绩是巨大的。现在，铸造在我国是

一个很大的行业，年产量1000~1200万t，居世界第二位。铸造企业多达2万多个，员工100~130万人，其中工程技术人员约占3.5%，已经成为国家重要的基础工业之一。我国铸造工业的生产规模、铸件的产量、品种都已处于世界前列。雄厚的工业基础为众多行业提供着大量的铸件。图0-3为我国铸件年产量与美、日、德三国的对比。表0-1为我国各行业用户消耗铸件的数量。

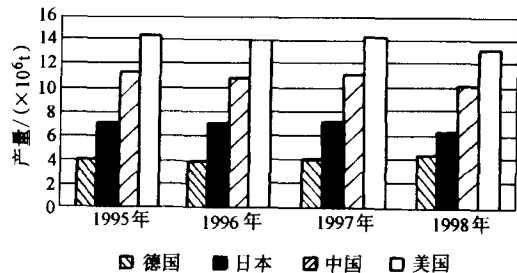


图0-3 我国铸件年产量与美、日、德三国的对比

表0-1 我国各行业用户消耗铸件的数量

（单位：t）

| 铸件用户         | 1995年    | 1996年    | 1997年    |
|--------------|----------|----------|----------|
| 汽车           | 1178000  | 1190000  | 1274600  |
| 铁道和铁道车辆      | 714000   | 700200   | 690700   |
| 拖拉机、柴油机、农业机械 | 1940000  | 1901300  | 1932200  |
| 机床、          | 687000   | 664000   | 657600   |
| 通用机械         | 426000   | 407000   | 414200   |
| 冶金矿山机械       | 2026000  | 2005000  | 1981700  |
| 能源设备         | 374000   | 358000   | 349900   |
| 纺织机械         | 200000   | 123900   | 110500   |
| 铸铁管和管件       | 1836000  | 1674000  | 1715000  |
| 建筑工程及其配件     | 459000   | 445000   | 433500   |
| 其他           | 1492000  | 1434785  | 1520542  |
| 合计           | 11332000 | 10903185 | 11080442 |

近年来，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。

我国铸造行业虽已进入厂点多、产量大、门类齐全的世界铸造大国行列，但与美国、日本等铸造强国相比，还有相当大的差距。我们应及时把握加入世贸组织（WTO）的机遇，充分发挥铸造行业劳动力相对密集、成本较低等方面的优势，积极开拓新的市场，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5~6t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，约占型砂质量的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，把松散的砂粒连结起来，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。

### 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、制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、

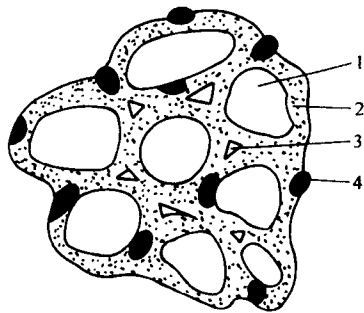


图 1-1 粘土型砂结构示意图

1—砂粒 2—粘土胶体 3—孔隙 4—附加物

强度、可塑性与韧性、不粘模性等。

**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 105~110℃ 烘干装置中使之干燥，由烘干前后的质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沾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，不觉得沾手，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%~45%，挤压造型时为 35%~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、制芯过程的机械化。

**强度：**型砂、芯砂抵抗外力破坏的能力称为强度。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。

**可塑性与韧性：**可塑性是指型（芯）砂在外力作用下变形，外力除去后仍保持所赋予形状的能力。可塑性好的型（芯）砂，造型、起模、修型方便，铸件表面质量较高。型砂可塑性的获得是由于粘土被水润湿后，在砂粒表面形成一层薄膜，外力作用时砂粒沿着薄膜产生滑移的结果。型砂中粘土含量愈多，砂粒越细，可塑性就越好。一般情况下，凡是增加型砂湿强度的因素，均可使可塑性提高。

**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。

**不粘模性：**造型或制芯时，型（芯）砂不粘附在模样（或芯盒）表面的性质称为不粘模性。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）砂抵抗高温作用的性能称为耐火度。一般用烧结点来衡量。型砂在高温作用下发生熔化或烧结时的温度称为烧结点。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  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等均使耐火度降低。砂粒颗粒度大、角形系数小的原砂，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，相应提高了型砂的耐火度。

**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。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，这种型砂随着铸件收缩而减小其体积的能力称为退让性，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、焦炭粒等附加物时有助于提高退让性，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：**浇注后型砂和芯砂在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。生产中常在粘土砂内加入木屑等附加物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、质量、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，因而浇注质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、制芯、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亦会得到改善。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

#### （一）石英质原砂及应用

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。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。如果沉积的石英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  $\text{SiO}_2$ ，质地极为坚硬。经过人工破碎、筛分后就可得到人造硅砂（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  $0.02\text{mm}$  ( $20\mu\text{m}$ ) 的细小颗粒的含量（质量分数），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下降速度不同，将原砂中颗粒直径大于  $20\mu\text{m}$  与直径小于  $20\mu\text{m}$  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，由烘干的残留砂样质量即可计算出原砂的含泥量。铸造用硅砂根据国家标准 GB/T9442—1998 的规定，按  $\text{SiO}_2$  含量分为五级，见表 1-1。

表 1-1 铸造用硅砂按  $\text{SiO}_2$  含量分级

| 分级代号                  | 98         | 96         | 93         | 90         | 85         |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $w(\text{SiO}_2)(\%)$ | $\geq 98$  | $\geq 96$  | $\geq 93$  | $\geq 90$  | $\geq 85$  |
| 分级代号                  | 0.2        | 0.3        | 0.5        | 1.0        | 2.0        |
| $w_{\text{泥}}(\%)$    | $\leq 0.2$ | $\leq 0.3$ | $\leq 0.5$ | $\leq 1.0$ | $\leq 2.0$ |

(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，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)

| 附录B 筛网规格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/T9156—1999 | 6    | 12   | 20    | 30    | 40    | 50    | 70    | 100   | 140   | 200   | 270   |
|                   | 原机标 JB2488—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) 符号表示法。将铸造用试验筛筛分后所得到的各筛子上砂子质量，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）小数点后的两位数作为粒度分组代号。铸造用硅砂按粒度分组，见表 1-3。在主要粒度组成部分中，如果前筛余留量大于后筛余留量，则在粒度分组代号后用字母 Q 表示，反之在分组代号后用字母 H 表示。例如，经试验筛筛分之后，砂粒最多的三个相邻筛子的筛孔尺寸分别为 0.600mm、0.425 mm、0.300 mm，且前筛余留量大于后筛余留量，则这种原砂的粒度分组代号为 42。

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   | 1.70, 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, 底盘    |
| 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 (%) | 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。粒形从角形到半圆形，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（JB435—63），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。

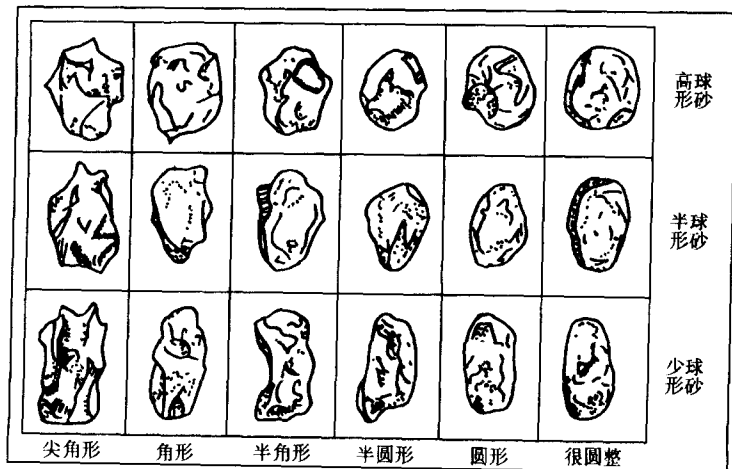


图 1-2 原砂粒形分类法

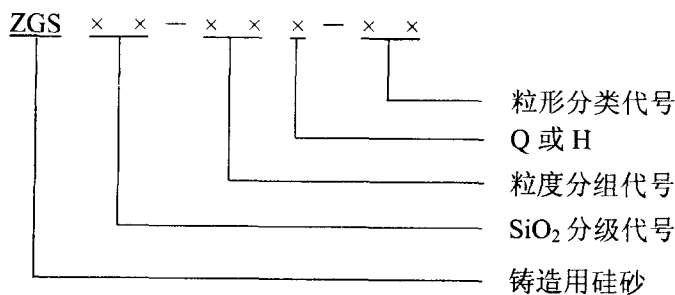
近些年,我国制定的国家标准《铸造用硅砂》(GB/T9442—1998)采用角形因数  $E$  来定量地反映铸造用硅砂的颗粒形貌。角形因数是铸造用硅砂的实际比表面积与这种原砂理论计算出的(计算时设砂粒为球形)比表面积的比值。一般圆形砂  $E=1.0\sim 1.3$ ,多角形砂  $E>1.3\sim 1.6$ ,尖角形砂  $E>1.6$ 。对湿型砂而言,其他条件相同时,原砂的颗粒形状越圆,型砂就越易紧实,但透气性越低;砂粒形状更靠近,粘结剂较多且完善,因而强度更高。对使用树脂等化学粘结剂的型砂和芯砂而言,粒形对强度的影响尤为显著。在粘结剂加入量相同的情况下,用圆粒砂的试样紧实程度高,而且砂粒实际比表面积小,所以比尖角形砂强度高很多。

铸造用硅砂按角形因数分为五类,见表 1-5。

表 1-5 铸造用硅砂按角形因数分类

| 分类代号     | 15          | 30          | 45          | 63          | 90       |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| 角形因数 $E$ | $\leq 1.15$ | $\leq 1.30$ | $\leq 1.45$ | $\leq 1.63$ | $> 1.63$ |

铸造用硅砂牌号表示方法为:



例: ZGS96—42Q—30

(4) 硅砂的选用 硅砂的选用应根据铸件质量大小、壁厚、合金种类、铸型种类(湿、干、表干型)、造型方法(手工或机器造型)的不同来考虑,另外还要考虑来源广,节约粘结剂,降低成本。

铸铁的浇注温度一般在  $1400^{\circ}\text{C}$  左右,因而对原砂耐火度的要求比铸钢件低。铸铁件用原砂的范围较宽,大件可用表 1-1 中的 93、90 号硅砂,小件可用 85 号硅砂。刷涂料的干型和表干型多用粒度较粗的原砂,如表干型可选用表 1-3 中的 85、60、42 号原砂,干型可选用 60、42、30 号原砂。湿型易用较细的原砂,对一些表面质量要求特别高的不加工小件,应选用特细原砂,可选用 21、15、10 号原砂。铸铁件铁液中含有较多碳分,湿型浇注时型砂中加入有煤粉等附加物,能产生大量还原性气氛,在与铸型相接触的界面上金属基本不氧化。实际上湿型铸铁件无化学粘砂现象。实际生产表明:原砂的  $\text{SiO}_2$  含量较低时,靠近铸件表面的型砂易烧结熔融而堵塞孔隙,阻碍金属液向型砂中渗透,从而有利于防止湿型铸铁件产生机械粘砂。

铸钢的浇注温度高达  $1500^{\circ}\text{C}$  左右,钢液含碳量较低,型腔中缺乏能防止金属氧化物的强还原性气氛,在与铸型相接触的界面上金属容易氧化,生成  $\text{FeO}$  和其他金属氧化物,因而较易与型砂中的杂质进行化学反应而造成化学粘砂,所以要求原砂中  $\text{SiO}_2$  含量应较高,有害杂质应严格控制。铸钢件的浇注温度越高,壁厚越厚,则对原砂中  $\text{SiO}_2$  含量的要求就越高,可选用表 1-3 中的 98、96 号硅砂。对于大型铸钢件,可采用人工破碎、筛分的人造硅砂。

铸铜的浇注温度约为  $1200^{\circ}\text{C}$  左右,对原砂化学成分要求不高,铜合金流动性好,容易钻