

国家示范性高职院校建设项目成果



材料成型与控制技术专业领域

铸钢件生产技术

ZHUGANGJIAN SHENGCHAN JISHU

■ 李明 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

013033735

TG26
08

国家示范性高职院校建设项目成果
材料成型与控制技术专业领域

铸钢件生产技术

主 编 李 明
副主编 葛维雅
参 编 姚永红 张 木
主 审 王晓江 曹瑜强



机械工业出版社

TG26
08

687880810

本书是高等职业院校材料成型及控制技术（铸造）专业的专业核心课程系列教材之一。本系列教材基于工作过程中的教学理念组织教学内容，构建教材结构，是高等职业教育教学示范建设教改教材。本书以铸钢件砂型铸造生产工艺过程为主线，针对性地介绍了造型材料的配制、造型制芯、铸钢熔炼与浇注、铸钢件后处理和热处理、铸钢件质量检验与缺陷分析、铸钢件无损检测、铸钢件铸造工艺与工装设计等专业知识和技能。本书内容简明而实用，注重基础性、实用性、全面性和新颖性。

本书为高等职业院校材料成型及控制技术专业教学用书，也可作为成教学院、民办高校、社会培训大专班、高级技校、技师学院及中等职业学校材料成型专业及机械类相关专业教材或教学参考书，还可作为铸造行业中相关工程技术人员、工人学习及工作参考用书。

本书配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

图书在版编目（CIP）数据

铸钢件生产技术/李明主编. —北京：机械工业出版社，2013.3
国家示范性高职院校建设项目成果. 材料成型与控制技术专业领域
ISBN 978-7-111-41328-8

I. ①铸… II. ①李… III. ①铸钢件—铸造—高等职业教育—教材
IV. ①TG26

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 020041 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王海峰 于奇慧 责任编辑：于奇慧

版式设计：霍永明 责任校对：纪 敬

封面设计：路恩中 责任印制：邓 博

三河市国英印务有限公司印刷

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.5 印张 · 457 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-41328-8

定价：36.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203

封面防伪标均为盗版

前 言

为了从根本上解决高等职业院校材料成型及控制技术（铸造）专业应该“培养什么样的人”和“怎么培养人”的问题，实现人才培养与实际岗位需求的高度吻合，陕西工业职业技术学院材料成型及控制技术专业教研室，在国家示范专业建设工作中，对近百家重大装备制造企业进行了广泛的专业人才需求调研工作。在此调研的基础上，校企合作，共同研讨本专业高职人才培养定位的问题。以行业协会专家主笔，共同制定了《材料成型及控制技术（铸造）专业岗位职业标准》。根据本标准所界定的实际工作任务及职能，以铸造工艺流程为主线，结合高职教育规律，校企合作制定了全新的《人才培养方案》，将“铸造工艺实作技能”和“铸造工艺编制与实施能力”作为学生的两大核心专业能力（本课程就是“铸造工艺编制与实施能力”培养的主要载体之一）。基于上述两大核心能力培养需要，系统设计课程体系并开发相应课程，本课程体系有“灰铸铁件生产技术”、“球墨铸铁件生产技术”、“铸钢件生产技术”、“铜合金铸件生产技术”、“铝合金铸件生产技术”五门核心课程。本教材是该五门核心课程教材之一。

本课程及其教材基于校企合作、工学结合的教学理念，以铸件生产任务为驱动，以铸件铸造工艺过程为线索，将过去的“造型材料”、“铸钢熔炼”、“铸造工艺与工装设计”等理论课程，“铸造工艺与工装课程设计”以及生产实习三个环节合并；将铸造生产各工序相关理论知识、铸造工艺规程编制、实作训练、车间管理等方面的训练和考核结合起来，工学交替，学做合一，校企合作共同完成教学任务，实施联合考核；每个教学项目原则上按照“资讯、决策、计划、实施、检查、评价”六步骤进行教学。企业中兼职的教师全程参与课程、教材建设与教学实施的各个环节，实施专兼职教师合作的“双师授课教学法”。构建“三合一、六步骤、双师授课”的理实一体化课程教学模式，实现理论教学、实践教学、生产组织、团队协作精神培养的有机结合，培养学生“学、做、研、管、说”等综合素质和能力，实现校企合作、工学结合、手脑并用、培养综合能力的课程改革目标，为学生就业和拓展职业生涯奠定坚实的基础。

本书共分六个教学项目，项目1 配制型砂涂料，项目2 造型制芯，项目3 铸钢熔炼与浇注，项目4 铸钢件的后处理和热处理，项目5 铸钢件的检验和缺陷分析，项目6 铸钢件的铸造工艺及工装设计。本书由李明主编，葛维雅为副主编，姚永红、张木参编。其中项目1 由张木编写，项目2 由葛维雅编写，项目3、项目5 和项目6 由李明编写，项目4 由姚永红编写。全书由李明统稿，由陕

西工业职业技术学院王晓江教授和曹瑜强教授主审。在此对两位教授在审稿过程中付出的辛勤劳动致以崇高的敬意和衷心的感谢!

本书是高职高专材料成型及控制技术专业教材,也可作为机械类相关专业的教材或教学参考书,也可作为广大铸造技术工人和技术人员学习参考用书。

在本书编写过程中,编者参阅、引用了大量相关的著作、教材,谨对这些著作、教材的作者表示衷心的感谢。同时也对编者所在教研室、学院的同仁及领导提供的帮助和关心表示感谢。

限于编者水平,书中内容及观点难免存在不当之处,疏漏之处也在所难免,恳请读者批评指正,以便进一步改进。来信可发 E-mail: liming-sxpi@163.com。

编 者

目 录

前言

项目 1 配制型砂涂料	1
任务 1 配制水玻璃砂	1
【知识准备】	1
一、造型材料概况	1
二、铸造用原砂	3
三、铸造用水玻璃	9
四、水玻璃砂	13
【任务实施】	22
【完成工作页】	22
任务 2 选用或配制涂料	23
【知识准备】	23
一、铸造涂料的作用和性能要求	23
二、铸造涂料的组成和制备	26
三、涂料性能检测方法	29
四、铸造涂料的使用	30
【任务实施】	33
【完成工作页】	34
【教学评价】	34
项目 2 造型制芯	36
任务 1 造型制芯工艺过程	36
【知识准备】	36
一、造型前的准备工作	36
二、水玻璃砂造型	40
三、造型安全规程	46
【任务实施】	47
【完成工作页】	48
任务 2 下芯、合箱	48
【知识准备】	48
一、合箱前的准备	49
二、砂型摆放及质量检查	49
三、下芯操作	49
四、合箱操作	51
五、紧箱操作	53
【任务实施】	56
【完成工作页】	56
【教学评价】	57

项目 3 铸钢熔炼与浇注	59
任务 1 电弧炉炼钢	59
【知识准备】	59
一、铸造碳钢	60
二、铸造低合金钢	65
三、铸造高合金钢	69
四、炼钢用原材料	71
五、三相电弧炉	73
六、碱性电弧炉氧化法熔炼工艺	79
【任务实施】	93
【完成工作页】	94
任务 2 感应炉炼钢	94
【知识准备】	94
一、感应电炉熔炼原理	95
二、感应电炉的基本结构	97
三、感应电炉熔炼工艺	99
【任务实施】	102
【完成工作页】	102
任务 3 钢液浇注与铸件的凝固	103
【知识准备】	103
一、钢液浇注	103
二、铸件的凝固	107
【任务实施】	112
【完成工作页】	113
【教学评价】	114
项目 4 铸钢件的后处理和热处理	116
任务 1 铸钢件的后处理	116
【知识准备】	116
一、铸钢件的清砂	117
二、铸钢件浇冒口的去除	121
三、铸钢件表面的清理	124
四、铸钢件缺陷的修补	125
五、铸钢件的精整	130
【任务实施】	131
【完成工作页】	131
任务 2 铸钢件的热处理	131
【知识准备】	132

一、热处理基本原理	132	三、铸钢件的变形和裂纹	173
二、铸钢的热处理	134	四、铸钢件的气孔	176
【任务实施】	145	五、铸钢件的夹砂、粘砂、砂眼缺陷	178
【完成工作页】	145	六、铸钢件的冷隔与浇不足	180
【教学评价】	146	【任务实施】	181
项目5 铸钢件的检验和缺陷分析	147	【完成工作页】	181
任务1 铸钢件形状尺寸、化学成分、力学性能、金相组织检验	147	【教学评价】	182
【知识准备】	147	项目6 铸钢件的铸造工艺及工装设计	183
一、铸钢件形状尺寸检测	149	任务1 铸造工艺设计	183
二、铸钢件化学成分检验	151	【知识准备】	183
三、金相检验	153	一、工艺设计的内容与依据	183
四、力学性能试验	153	二、铸造工艺方案的确定	195
五、检验结果的处理及质量管理要求	155	三、砂芯设计	204
【任务实施】	157	四、铸造工艺参数设计	212
【完成工作页】	157	五、浇冒口系统	225
任务2 铸钢件的无损检测	158	六、出气孔和冷铁的设计	257
【知识准备】	158	【任务实施】	264
一、磁粉检测	158	【完成工作页】	264
二、渗透检测	160	任务2 工装设计和工艺文件的编制	265
三、射线检测	161	【知识准备】	265
四、超声波检测	164	一、绘制铸造工艺图	265
【任务实施】	167	二、工艺装备设计	270
【完成工作页】	168	三、铸造工艺设计实例	283
任务3 铸钢件缺陷分析与防止	168	【任务实施】	286
【知识准备】	168	【完成工作页】	287
一、铸钢件缺陷的分类	168	【教学评价】	288
二、缩松和缩孔	170	参考文献	289

项目 1 配制型砂涂料

根据铸钢件生产任务要求,结合生产具体条件,配制合格、适量的造型(芯)型砂、涂料。在完成项目任务的过程中,学习配制型(芯)砂、涂料的基本知识,掌握其基本操作技能,注重安全、环保、经济等问题。

【学习目标】

1. 知识目标

掌握型(芯)砂的分类、组成和性能要求,掌握水玻璃砂的原材料选用、配制和旧砂处理,掌握铸钢用涂料的选用、配制。

理解水玻璃砂再生的基本原理和方法。

了解水玻璃砂硬化的基本原理。

2. 技能目标

通过专业知识学习、项目实施训练,能根据铸件生产任务要求、结合生产条件确定合理的型砂配制方案,并选用合适的铸型涂料。

通过项目实施训练,会用常用的型砂配制设备配制型砂,并用常用的检测仪器检测型砂性能。

【工作任务】

任务 1: 配制水玻璃砂。生产普通碳钢件铸件,牌号为 ZG230—450,铸件中等大小,一般壁厚,比较复杂,手工造型。

任务 2: 配制涂料。在完成任务 1 的基础上,为其选用或配制涂料。

任务 1 配制水玻璃砂

某企业生产普通碳钢铸件,牌号为 ZG230—450,中等大小、一般壁厚、比较复杂铸件,小批量生产,手工造型。根据生产习惯和资源情况决定选用 CO₂ 水玻璃砂型铸造,试确定其型砂配方、配制工艺和对原材料的技术要求,并对其配方、工艺、材料要求进行必要的技术说明。

【知识准备】

一、造型材料概况

1. 造型材料在铸造生产中的作用

造型材料的含义很广,凡是用来制造铸型(芯)的材料都属于造型材料,如制造砂型所用的型砂、涂料和它们的组成材料,制造金属型用的钢、铸铁或铜,制造其他特种铸型用

的石墨、石膏、陶瓷浆料等。实际上,在现代铸造生产中,最普遍使用的是砂型。在世界范围内,用砂型生产的铸件占 80% 以上。因此,在铸造行业里,一般说到造型材料,通常指的是砂型铸造用的造型材料,包括所用的各种原材料以及造型、制芯混合料和涂料等。

造型材料在铸造生产中占有非常重要的地位,其质量的好坏直接影响铸件的质量、生产效率和生产成本。据统计,铸造生产中由于造型材料质量欠佳或使用不当而造成的铸件废品率约占总废品率的 60%。造型、制芯费用一般情况下约占铸件生产总成本的 50%,金属熔炼占成本的 25%,其余 25% 的成本要花费在铸件清理及其后处理工序上。清理工序成本中的 70% 也与造型材料有着密切的关系。

高效造型、制芯材料和工艺的出现,往往会给铸造车间的面貌带来巨大的变化。如船用柴油机铸件、机床铸件采用树脂自硬砂代替原先的粘土干型砂,尺寸公差可达 CT9 ~ CT10 级,比用粘土砂工艺生产高两级;铸件表面粗糙度可达 $Ra12.5 \sim 50\mu\text{m}$,比用粘土砂高 1 ~ 2 级;铸件废品率可稳定在 3% 以下;车间单位面积的铸件产量比用粘土砂工艺时翻一番;铸件的清理效率提高 3 倍。显然,研究开发新品种造型材料,生产供应符合铸造生产需要的造型材料,以及合理选用各种造型材料,对于提高铸件质量、降低成本、提高劳动生产率和改变铸造生产环境有着现实和深远的意义。

毛坯精化及近净形铸造、洁净及高效生产一直是世界各国铸造企业共同追求的目标。随着我国制造业的发展,对铸件质量(包括内在质量和表面质量)的要求也越来越高,这将对造型材料提出更高的要求,并且造型材料在铸造生产中的重要地位将进一步显现出来。

随着国家对环保的重视和人们环保意识的增强,铸造厂的节能问题越来越受到关注,其中造型方法和材料的选择起着关键性的作用。这不但关系到周围的环境,同时也关系到铸造企业本身的发展。据统计,每吨铸件至少要消耗掉 1t 左右的新砂,全国每年消耗新砂千万吨以上,同时也废弃掉大量的旧砂。如不能对旧砂进行处理回收,必定会给环境带来严重污染。此外,砂处理产生的灰尘,造型、制芯、浇注过程中树脂等有机物的分解,溶剂挥发放出的有害废气,溶解在水中的酸碱物质等都是污染的源头。因此,采用少污染和无污染的先进造型材料和工艺,对达到国家工业卫生排放标准意义重大,有时甚至会成为铸造企业能否生存的关键。

2. 造型材料的分类

砂型铸造是指造型材料以原砂为主要材料的铸造工艺,按所用粘结剂可分为粘土型砂、无机粘结剂型(芯)砂、有机粘结剂型(芯)砂等不同种类,具体分类如图 1-1 所示。

在这些型(芯)砂中,最为常用的是粘土型砂,用这种造型材料生产的铸件大约占所有砂型铸件产量的 65%。粘土型砂采用天然矿物粘土作为粘结剂,因天然矿物粘土具有来源广泛、价格低廉、型砂便于反复使用、生产周期短等特点,所以粘土型砂不但为汽车、拖拉机制造等行业中大批量铸件生产时所采用,也为众多单件小批量铸件生产所采用。粘土湿型砂一般用来生产 200kg 以下的小铸件,如大多数的汽车铸铁件。较大的铸件,如机床铸件,大多采用各种自硬砂。除了粘土型砂外,在无机化学粘结剂型砂中,目前主要应用的是水玻璃砂,包括直接吹 CO_2 气体硬化的工艺,以及先抽真空再吹 CO_2 气体硬化的 VRH 工艺。近三十多年逐渐推广使用的有机酯水玻璃自硬砂使水玻璃砂溃散性差的问题得到了较好的解决,再生困难的问题也有所缓解,所以在一些生产铸钢件的工厂中得到越来越多的应用。

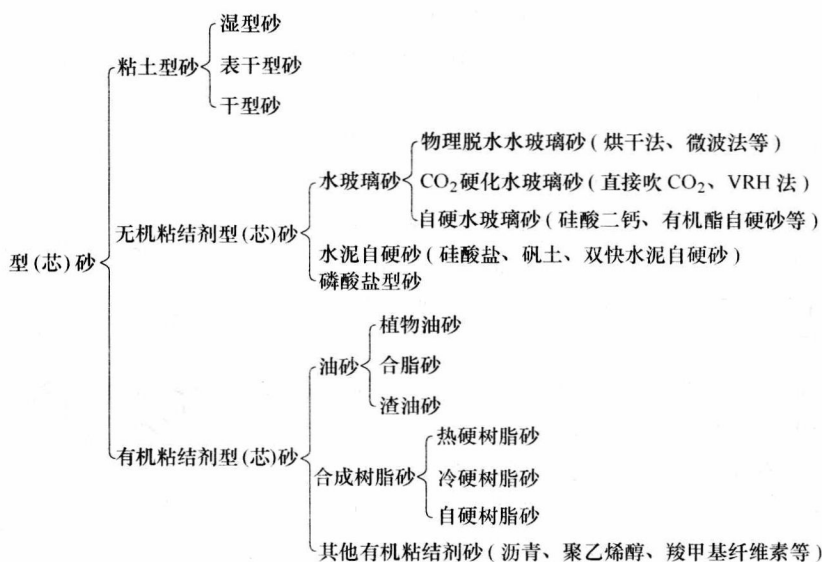


图 1-1 造型材料的分类

二、铸造用原砂

原砂是指铸造厂配制型(芯)砂所用的砂子,是型(芯)砂中的基本组成部分。原砂的化学性质和物理状况对型(芯)砂的工艺性能及其制得铸件的质量都有很重要的影响。

按照降低生产成本和保证铸件质量的原则适当地选用原砂,是铸造工艺中最为关键的问题。要做出正确的选择,不但要充分考虑到铸件的材质和结构特点、生产批量及可供利用的资源条件,而且还要对原砂的各种特性做尽可能全面的分析。

铸造原砂的用量也是非常重要的。近年来,出于经济和环境方面的考虑,人们都十分重视旧砂的回收与再生,投入生产的原砂再生系统也日益增多。同时,在设计铸造工艺时,也比较注重降低砂铁比。尽管如此,即使在先进的工业国,每生产 1t 铸件,仍大致要耗用 1~2t 原砂。

型(芯)砂要受高温液态金属的作用,原砂的化学成分是重要的特性,通常都要根据铸造合金的浇注温度和铸件的厚度来确定对硅砂质量的要求。特定的条件下,需要采用特种砂代替硅砂。但是,对于铸造用的原砂,其物理性状有时比化学成分更为重要。原砂的表面性状、颗粒形状、粒度及其分布状况等,都是评定其是否适于生产优质铸件的基本性能。

根据原砂的基本组成,铸造原砂通常可分为硅砂和非硅质砂两大类。

1. 铸造用硅砂

铸造用的原砂以硅砂为主。硅砂资源丰富,价格低廉,其性能通常可满足铸件的要求。硅砂是岩石经过风化作用,再经风、水、冰川等的搬运和沉积而形成的天然矿物。由于其在形成过程中的经历不同,天然硅砂可分为山砂、河砂和海砂。山砂多是岩石风化后在原地沉积而成,含有较多的泥分和杂质。河砂和海砂是经水力搬运后沉积下来的矿物,泥分较少,由于运动中的摩擦作用,形状多为圆形或半圆形。经风力搬运而沉积的砂为风积砂,多产在

内陆地区，泥分较少，形状也较圆。沉积后的硅砂，经地壳运动时的高温高压作用，可形成石英岩。石英岩破碎加工后，就是人造硅砂。人造硅砂杂质少，其形状呈不规则的尖角形或多角形。

硅砂是以石英为主的矿物，石英的化学成分是 SiO_2 ，它是无色透明或半透明的固体，其晶体是骨架状硅氧四面体结构，每个硅原子的周围有 4 个氧原子排列成正四面体，硅原子位于四面体的中心，氧原子位于四面体的 4 个顶点，硅原子与氧原子以强的共价键相联系，其晶体结构如图 1-2 所示。要破坏此 $\text{Si}-\text{O}$ 键，需要很大的能量，所以 SiO_2 有很高的熔点和硬度，而且耐磨性也较好。

自然界中存在的结晶二氧化硅可划分为石英、鳞石英和方石英三种不同的晶型。结晶二氧化硅在不同的温度下能以不同的晶型存在，若改变温度，它能从一种结晶形态转变为另一种结晶形态，其转变情况如下：

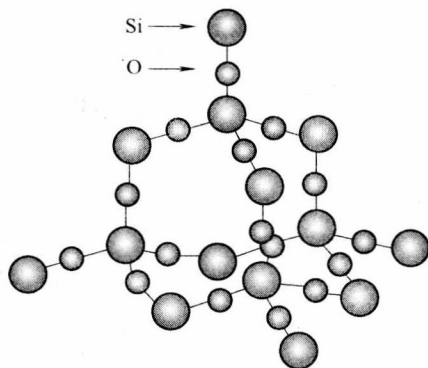
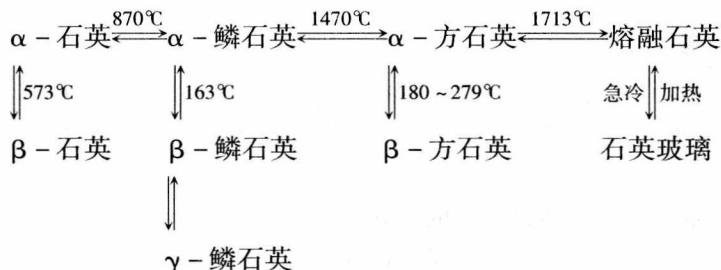


图 1-2 二氧化硅的晶体结构

其中 α 是高温稳定晶型， β 和 γ 是低温稳定晶型，以上的同质异晶转变可以分为以下两种情况：

(1) 横向转变 如 α -石英、 α -鳞石英、 α -方石英之间的转变。它们的晶体结构显著不同，故在相互转变时，必须先将原来的硅氧骨架拆散，破坏原有的 $\text{Si}-\text{O}$ 键，然后再形成新的骨架，这就需要很大的能量，并经历较长的时间。这种转变称为慢转变或重建转变。

(2) 纵向转变 如 β -石英与 α -石英之间的相互转变。由于它们的结构差别很小， $\text{Si}-\text{O}$ 四面体之间排列方式是相同的，只是键角略有变化，并不需要将原有骨架拆散再重新排列，只需在原有骨架基础上将各 $\text{Si}-\text{O}$ 四面体稍微扭动，作一点位移。这种转变需要的能量小，转变速度快，故称为快转变或位移转变。

铸造用的硅砂为 β 型， β -石英在 573°C 转变为 α -石英，同时伴随着体膨胀。在铸造条件下，经常遇到的是 β -石英与 α -石英的同质异晶转变，这种转变过程体膨胀可使铸型产生较大的应力和变形，导致铸件产生夹砂缺陷。

α -石英在 870°C 转变成 α -鳞石英， α -鳞石英冷却转变为 β -鳞石英和 γ -鳞石英，鳞石英之间的相变线胀系数为 0.06% ，密度变化最小，因此采用经 870°C 以上焙烧的硅砂和多次循环的再生砂有利于保证铸件表面质量。

硅砂中还有其他矿物，主要有长石、云母等。硅砂的矿物成分和化学成分直接影响砂子的耐火度、热化学稳定性和复用性，对铸件表面是否产生粘砂缺陷也有很大的影响。硅砂中

除了石英以外的成分均认为是杂质，它们的熔点较低，硬度较小。

铸造硅砂应符合 GB/T 9442—2010《铸造用硅砂》中的规定。根据二氧化硅的含量，铸造用硅砂的分级见表 1-1。其中 SiO₂ 含量在 90% 以上的主要用于铸钢件和大型铸铁件，SiO₂ 含量较低的主要用于非铁金属铸件和小型铸铁件。硅砂越纯，熔点越高，复用性越好，但热膨胀大，抗夹砂能力小。其粒度分组及其细粉含量见表 1-2；按角形因数分类见表 1-3。

表 1-1 铸造用硅砂根据二氧化硅含量分级表

分级代号	SiO ₂ (质量分数)/ %	杂质化学成分 (质量分数)/%			
		Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO + MgO	K ₂ O + Na ₂ O
98	≥98	<1.0	<0.3	<0.2	<0.5
96	≥96	<2.5	<0.5	<0.3	<1.5
93	≥93	<4.0	<0.5	<0.5	<2.5
90	≥90	<6.0	<0.5	<0.6	<4.0
85	≥85	<8.5	<0.7	<1.0	<4.5
80	≥80	<10.0	<1.5	<2.0	<6.0

表 1-2 铸造用硅砂粒度分组及其细粉含量

粒度	主要粒度组成部分的筛孔 尺寸/mm	细粉含量 (质量分数) /%		
		擦洗砂	水洗砂	人工硅砂
30/50	0.600, 0.425, 0.300	≤0.1	≤0.5	≤0.5
40/70	0.425, 0.300, 0.212	≤0.1	≤1.0	≤1.0
50/100	0.300, 0.212, 0.150	≤0.4	≤3.0	≤1.5
70/140	0.212, 0.150, 0.106	≤0.7	≤3.5	≤2.0
100/200	0.150, 0.106, 0.075	≤8.0	≤10.0	≤10.0

表 1-3 铸造用硅砂按角形因数分类

形状	圆形	椭圆形	钝角形	方角形	尖角形
分级代号	○	○ - □	□	□ - △	△
角形因数	≤1.15	≤1.30	≤1.45	≤1.63	>1.63

2. 非硅质砂

由于硅砂是酸性的，易与液态金属中的碱性氧化物生成低熔点的硅酸盐，使铸件粘砂，而且硅砂的热胀系数大，常使铸件产生夹砂，因此，在一些特殊的场合，硅砂就不能满足要求，需要一些热胀系数小、化学性质稳定的非硅质砂。非硅质砂是以不含游离 SiO₂ 为主要组分的各种原砂的总称，作为造型材料的非硅质砂主要有锆砂、烧结镁砂、铬铁矿砂、橄榄石砂、人造莫来石砂等。由于非硅质砂的价格昂贵，迄今为止，其用量尚不到原砂总用量的 2%。

(1) 锆砂 锆砂又称锆英砂, 主要由硅酸锆 (ZrSiO_4) 组成, 硅酸锆可在 1450°C 时分解出 ZrO_2 和 SiO_2 。纯的锆砂中 ZrO_2 的质量分数为 67.1%, 商品锆砂中 ZrO_2 的质量分数为 63% ~ 65%, 密度为 $4.4 \sim 4.7 \text{ g/cm}^3$, 莫氏硬度为 7.8 级, 熔点为 2430°C 左右。当锆砂中含有少量的 Fe_2O_3 、 CaO 、 Al_2O_3 等杂质时, 它的熔点将降至 $2040 \sim 2050^\circ\text{C}$, 呈棕黄色。

锆砂的主要产地是澳大利亚, 其产量约占世界产量的 70%, 我国广东湛江地区、海南岛、山东荣成和福建诏安等地也有比较丰富的锆砂。原锆砂中含有微量的放射性元素钍, 但经处理后对人体的健康基本没有影响。经过精选的锆砂颗粒粒度一般为 100/200, 加工成粉末状的锆砂粉 95% 通过 200 号筛。

虽然锆砂也是酸性造型材料, 但它具有如下优点: ①锆砂多为圆形或椭圆形颗粒, 后者类似两端磨圆的圆柱体, 其表面光滑, 很少有裂隙及凹坑, 故耗用粘结剂的量较少; ②在各种铸造用砂中, 锆砂的热膨胀最小, 约为硅砂的 $1/3$, 一般不会造成型腔表面起拱或夹砂; ③高温下热化学稳定性极好, 基本上不被液态金属和金属氧化物润湿; ④需酸量很低, 适合于用酸硬化的树脂作粘结剂; ⑤导热系数和蓄热系数高, 比硅砂大一倍, 故能使铸件较快冷却凝固并有良好的抗粘砂性能。锆砂主要用于磨粉作为铸钢涂料, 也用于特殊件的面砂或型(芯)砂, 如水泵叶轮件砂芯、液压件型(芯)砂。

根据 JB/T 9223—1999《铸造用锆砂》的规定, 锆砂按化学成分分为四个等级, 按粒度组成成分三个规格, 具体数据请查阅《铸造手册》。锆砂中水的质量分数应不大于 0.3%, 酸耗值不大于 5mL。

(2) 烧结镁砂 烧结镁砂是菱镁矿 (MgCO_3) 高温煅烧再经破碎分选得到的, 主要成分是氧化镁 (MgO), 纯氧化镁的熔点为 2800°C , 但因烧结镁砂中存在着 SiO_2 、 CaO 、 Fe_2O_3 等杂质, 使其熔点降低至 1800°C 左右。烧结镁砂的莫氏硬度为 4 ~ 5 级, 密度约 3.5 g/cm^3 , 它是碱性材料, 抗碱性渣能力强, 不与 FeO 或 MnO 等起反应, 没有因相变引起的体积突然膨胀。

菱镁矿经低温煅烧 ($800 \sim 900^\circ\text{C}$) 得到的是疏松的活性氧化镁, 由于其化学活性大, 不能用作原砂。只有在 $1500 \sim 1600^\circ\text{C}$ 以上高温煅烧得到的稳定晶体结构的氧化镁, 其体积致密, 密度较大, 方可作为造型材料使用。

菱镁矿煅烧技术较复杂, 而由其煅烧而来的镁砂价格比硅砂贵 6 倍左右, 所以仅用于生产重大高锰钢铸件、高熔点合金钢铸件以及表面质量要求较高的铸钢件, 适用于作高锰钢铸件的型(芯)砂和涂料。

GB/T 2273—2007《烧结镁砂》, 将烧结镁砂按其物化指标划分为 14 个牌号, 具体数据请查阅《铸造手册》。

(3) 铬铁矿砂 铬铁矿砂是将铬铁矿破碎而得到的砂粒, 属于尖晶石类矿物, 主要矿物有铬铁矿 FeCr_2O_4 、镁铬铁矿 $(\text{Mg} \cdot \text{Fe}) \text{Cr}_2\text{O}_4$ 和铝镁铬铁矿 $(\text{Fe} \cdot \text{Mg}) (\text{Cr} \cdot \text{Al})_2\text{O}_4$ 。铬铁矿砂的密度为 $4.0 \sim 4.8 \text{ g/cm}^3$, 莫氏硬度为 5.5 ~ 6 级, 耐火度大于 1900°C , 高温下发生固相烧结, 抗粘砂能力强。国产铬铁矿砂数量少、品位低, 目前以进口南非铬铁矿砂为主。铬铁矿砂主要用作大型铸钢件的面砂。由于锆砂短缺, 价格昂贵, 而铬铁矿砂又具有锆砂的一些主要优点, 故常用来代替锆砂。

铬铁矿砂导热系数比硅砂大, 具有急冷作用, 对铸钢件的小热节处的型芯局部加一定厚度的铬铁矿砂, 可防铸件产生缩松、缩孔、裂纹等缺陷。

根据 JB/T 6984—1993《铸造用铬铁矿砂》的规定，铸造用铬铁矿砂根据其物化性能分为两级，按粒度组成不同分三组，具体数据请查阅《铸造手册》。

(4) 橄榄石砂 橄榄石砂是将橄榄石破碎而制得的砂粒，其颗粒形状为尖角形和多角形。通常所说的橄榄石砂是镁橄榄石 (Mg_2SiO_4) 和铁橄榄石 (Fe_2SiO_4) 类质同相的中间物。镁橄榄石中 MgO 的质量分数为 57.1%， SiO_2 的质量分数为 42.9%，熔点为 1890℃。铁橄榄石中 FeO 的质量分数为 70.6%， SiO_2 的质量分数为 29.4%，熔点为 1205℃。作为铸造用的橄榄石，应以镁橄榄石为主要组分。

因其没有硅砂那样的相变膨胀，铸件不会产生膨胀缺陷。镁橄榄石砂为碱性耐火材料，在高温下耐 FeO 和 MnO 侵蚀的能力较强，主要用于高锰钢铸件型（芯）砂及涂料。根据 JB/T 6985—1993《铸造用镁橄榄石砂》的规定，按物化性能分为三级，按粒度组成为五组，具体数据请查阅《铸造手册》。

适于铸造用的橄榄石矿主要产地有挪威、瑞典、奥地利及美国，我国陕西商南、湖北宜昌和河南西峡也有优质的橄榄石矿。

(5) 人造莫来石砂 高铝矾土熔化后造粒制成的砂，俗称“宝珠砂”，颗粒为球形，角形系数为 1.1，表面光洁，矿相以莫来石为主。该砂耐火度为 2000℃ 左右，热胀系数小，高温下体积稳定，耐火度高，抗渣能力强。

我国高铝矾土资源丰富，人造莫来石砂比进口铬铁矿砂价格便宜，可以部分代替铬铁矿砂。

3. 原砂的加工处理

随着化学粘结砂的发展，对原砂的质量要求也日益严格。为了适应这些变化，原砂的加工处理也有了相应的发展，目前，硅砂的处理方法主要有水洗法、擦洗法和浮选法三种。

(1) 水洗法 水洗法采用水力分级设备进行，该设备结构简单，可达到降低原砂的含泥量并将其按粒度分级的目的。天然沉积砂经水力分级后，基本上可以满足一般铸造用砂的要求，因而，国内外很多采砂场采用这种处理方法。

目前我国采用的水力分级器几乎全部都是旋流分离器。这种装置造价低，操作方便，易于管理。但是，旋流分离器的缺点是：与砂粒接触的都是悬浮有泥分的浊水，砂粒不可能经清水漂洗，因而其脱泥效果很不理想，经处理的原砂，含泥量一般在 1%（质量分数）左右，这很难达到树脂砂对原砂的要求。

为达到湿法脱泥分级的目的，可采用跳汰式（也可称为流态床式）水力分级器，其结构示意图如图 1-3 所示。清水由底部送入，经多孔的跳汰板进入分级器。待处理的原砂由顶部进入，由于分级器内的水以一定的速度上升，可将在此流速下不能沉降的部分细粉携带至上部排出口溢出。通过调节分级器内液流上升的速度，即可控制排出的部分细粉的粒度。跳汰板上钻有许多孔，其总截面积比分级器的截面积小得多，故在孔的出口处，液体流动速度比分级器内液流上升速度高得多。因此，孔出口处的水流能使沉降下来的粗粒砂跳动而互相摩擦。分离出来的泥分被上升的液流带走，粗粒砂所接触的是清水。用此法处理的砂，含泥量可降到 0.4%（质量分数）左右，基本上可满足配制树脂砂的要求。经处理的成品砂从下端卸料口放出，为使砂粒易于排出，可由上方插入一根直达卸料口附近的管子，给一股向下的水流。这股水流可由人工控制，也可自动控制。

这种设备结构不复杂，而去泥效果却比旋流分离器好得多。

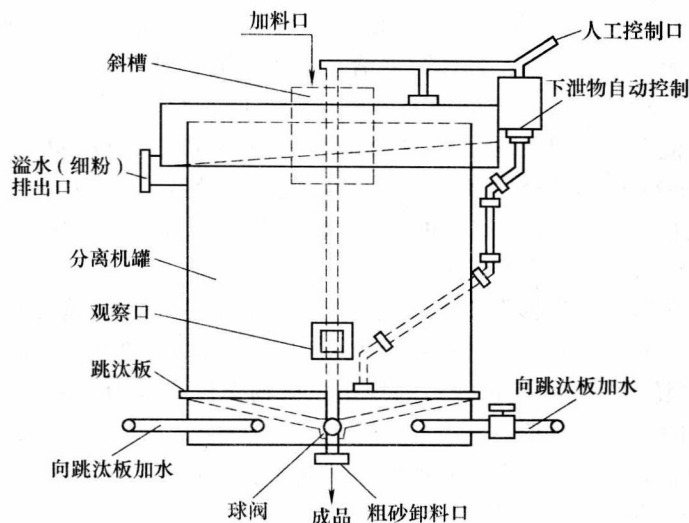


图 1-3 跳汰式水力分级器示意图

(2) 擦洗法 擦洗原砂的目的是使其在水介质中增大砂粒间的摩擦，以求更有效地清除微小污物，从而更好地满足树脂粘结砂的需要。

英国某工业用砂公司的擦洗工艺是：在擦洗筒内将砂和水调制成含砂量 65% ~ 80%（质量分数）的浓砂浆，用高速叶片搅拌器搅拌造成强力摩擦，经处理后，可以清除砂粒表面的大部分微小污物，然后，再将擦洗过的砂漂洗去泥。

在原砂含金属氧化物较多而对原砂质量要求又特别高的情况下，在擦洗过程中可在砂浆中加入盐酸，以改善擦洗效果。清华大学曾进行过擦洗脱泥的研究，所用的擦洗装置为 XFC16—63 型单槽浮选机，砂浆浓度为 65% ~ 80%（质量分数）。进行酸擦洗试验时，可在砂浆中加入 0.35%（质量分数）的浓盐酸。

如果对原砂的要求并不很高，则可用螺旋洗砂机擦洗。用这种方式，能量消耗较小，但对微小污物的清除作用较差。

(3) 浮选法 用药剂浮选法使原砂中的长石与石英分离，国外在 1960 年已经在生产中使用这种方法，但其目的是提取玻璃工业中所用的砂。至于用浮选法处理铸造用砂，一般的看法都认为此方法不合算。近年来虽有人在实验室研究浮选提纯的问题，但迄今为止还没有实际投入生产的报道。

从我国的硅砂资源情况不难看出，我国的条件与国外不尽相同。由于迄今为止还未发现 SiO_2 的质量分数在 96% 以上的圆形硅砂，我国铸钢工业所用的原砂，主要是由破碎硅砂岩或石英岩制得的，砂粒为多角形或尖角形，这对于推广使用树脂砂是不利的。针对这种情况，沈阳铸造研究所对原砂进行了浮选提纯的研究工作。经处理后，精选砂 SiO_2 的质量分数由 90% 左右提高到 98% 以上，能满足铸钢用砂的要求。

4. 原砂的选用原则

原砂需要根据合金种类、铸件的大小和结构、铸型种类（湿型或干型）、粘结剂种类和造型方法（手工或机器），在保证铸件质量的前提下，就地就近选用。

铸钢件因浇注温度高，要求原砂的耐火度高、透气性好，所以原砂中 SiO_2 的质量分数

要高,杂质要少,砂粒要粗且均匀。铸钢件多选用 SiO_2 的质量分数在 90% 以上的硅砂。

铸铁件的浇注温度较铸钢件低,原砂耐火度可低一些。但铸铁件结构不同,所以所用原砂可在很大范围内变化,可以用 SiO_2 质量分数较高的硅砂,也可以用 SiO_2 质量分数较低的硅砂。从防止夹砂的角度看,后者反而有利。小型铸铁件,也可以用粘土砂。

铜、铝铸件的原砂,一般要求颗粒较细,以获得较低的表面粗糙度值,但对 SiO_2 的质量分数要求并不一定高。

对于油类、树脂、水玻璃粘结剂要求用含泥量小的圆形砂,以充分发挥粘结剂的作用,节约材料。对于酸硬化的树脂砂,还要控制原砂中碱金属及碱土金属氧化物的含量,以免影响硬化工艺和强度。

刷涂料的型(芯)砂,原砂可以粗些;不刷涂料的型(芯)砂,原砂应细些。

三、铸造用水玻璃

水玻璃俗称泡花碱,又称硅酸盐。硅酸盐的种类很多,能溶于水的有钠系硅酸盐、钾系硅酸盐、锂系硅酸盐等,后两者的价格昂贵,所以,铸造中用作粘结剂的水玻璃都是钠系硅酸盐的水溶液。但近年的研究表明,非钠水玻璃对硅砂的侵蚀性和烧结性较小,具有许多更优越的性能,在铸造生产中已经开始得到应用。

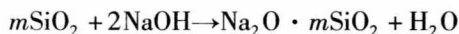
1. 制取水玻璃的方法

水玻璃是以 Na_2O 和 SiO_2 为主要组分的多种化合物的水溶液,是非常复杂的混合物。常用的水玻璃中,固体的质量分数在 30% ~ 60% 之间,其余为水。铸造生产最常用的为钠水玻璃,其化学式为 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

水玻璃的制取方法有干法和湿法两种。

(1) 干法制取水玻璃 用硅砂与碳酸钠按一定比例混合,置于反射炉中。温度高于 850°C 以后,碳酸钠逐渐分解,得到 Na_2O , 并有 CO_2 逸出。然后在 $1300 \sim 1400^\circ\text{C}$ 的高温下与 SiO_2 反应,得到熔融的硅酸钠。熔融的硅酸钠由反射炉中放出来,流到水冷槽中,成为玻璃状的固态硅酸钠,然后将固态硅酸钠置于有水的高压釜中,通入 $4 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的水蒸气使其溶解,即为水玻璃。根据需要,液态水玻璃可经过过滤、澄清、浓缩或稀释,达到所需的规格。

(2) 湿法制取水玻璃 水玻璃还可用湿法制造,即用硅砂和烧碱为原料,在 $4 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的热压釜内加热到 160°C 左右,经真空吸滤和蒸发浓缩,即可制得成品,其反应式为



纯水玻璃为无色透明、有粘性的液体,制造时由于原料不纯或燃料和炉衬的作用而带入不同杂质,如 Fe_2O_3 、 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等,使水玻璃带有青灰、微绿或微黄等颜色。

2. 水玻璃的模数及其调整方法

水玻璃有两个重要参数,直接影响它的化学性质和物理性质,也直接影响水玻璃砂的工艺性能。这就是水玻璃的模数和密度。

(1) 模数和硅碱比 模数代表了 SiO_2 在硅酸钠中所占的比例。硅酸钠中 SiO_2 和 Na_2O 的物质的量之比称为模数,用 M 来表示,即

$$M = \frac{\text{SiO}_2 \text{ 物质的量}}{\text{Na}_2\text{O 物质的量}} = \frac{\text{SiO}_2 \text{ 的质量分数}}{\text{Na}_2\text{O 的质量分数}} \times \frac{62}{60.1} = 1.032 \times \frac{\text{SiO}_2 \text{ 的质量分数}}{\text{Na}_2\text{O 的质量分数}}$$

由此可知,模数 M 不一定是整数。有些国家直接采用水玻璃中 SiO_2 的质量分数和 Na_2O 的质量分数之比来描述其特性,称之为硅碱比。采用硅碱比,不必求物质的量,比较方便。但是由于模数使用已久,完全改用硅碱比还需要一定的时间。

(2) 水玻璃模数的调整 铸造生产中用的水玻璃模数通常在 2.0 ~ 3.5 范围内,普通砂型铸造通常在 2.2 ~ 2.6 之间。实际生产中,根据环境的变化,可适当调整水玻璃的模数。调整水玻璃的模数就是调整水玻璃溶液中 SiO_2 和 Na_2O 的物质的量比值,可以通过数学计算调整水玻璃中 Na_2O 的质量分数来进行。

要求降低水玻璃模数时,可以向水玻璃中加入 NaOH 水溶液(质量分数为 10% ~ 20%),以提高其中 Na_2O 的含量;要求升高水玻璃模数时,可以向水玻璃中加入 NH_4Cl 水溶液(质量分数为 10%)。也可按比例将高、低模数的水玻璃混合,获得一种中间模数的水玻璃。

1) 用 NaOH 和 NH_4Cl 调整水玻璃模数的计算公式为

$$x = 1.33 \times \frac{B}{M} - 12.9 \times C \quad (1-1)$$

$$y = 1.73 \left(C - \frac{B}{M} \right) \quad (1-2)$$

式中 x ——每 1kg 水玻璃应加入的 NaOH (g);

y ——每 1kg 水玻璃应加入的 NH_4Cl (g);

M ——要求达到的模数;

B ——原水玻璃中 SiO_2 的质量分数;

C ——原水玻璃中 Na_2O 的质量分数。

2) 混合高、低模数水玻璃调整模数的计算公式为

$$M = \frac{B_d D + B_g G}{C_d D + C_g G} \quad (1-3)$$

式中 M ——混合后的水玻璃模数;

B_d ——原低模数水玻璃中 SiO_2 的质量分数;

C_d ——原低模数水玻璃中 Na_2O 的质量分数;

D ——原低模数水玻璃加入量 (kg);

B_g ——原高模数水玻璃中 SiO_2 的质量分数;

C_g ——原高模数水玻璃中 Na_2O 的质量分数;

G ——原高模数水玻璃加入量 (kg)。

3. 水玻璃的浓度及其调整

(1) 水玻璃的浓度及表示方法 水玻璃的浓度是指其水溶液中含有 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ 的质量分数,即水玻璃的浓度反应水玻璃中硅酸钠的绝对含量。

水玻璃的浓度常用密度 (ρ) 或波美度 ($^\circ\text{Bé}$) 来表示。生产中常用波美密度计测量溶液的波美度。波美密度计同时标有两种刻度,可以直接读出密度值。20℃ 的水玻璃,波美度与密度的换算公式为

$$\rho = \frac{144.3}{144.3 - \text{波美度}} \quad (1-4)$$

(2) 水玻璃浓度的调整 调整水玻璃浓度只需通过加热脱水或增水即能实现。