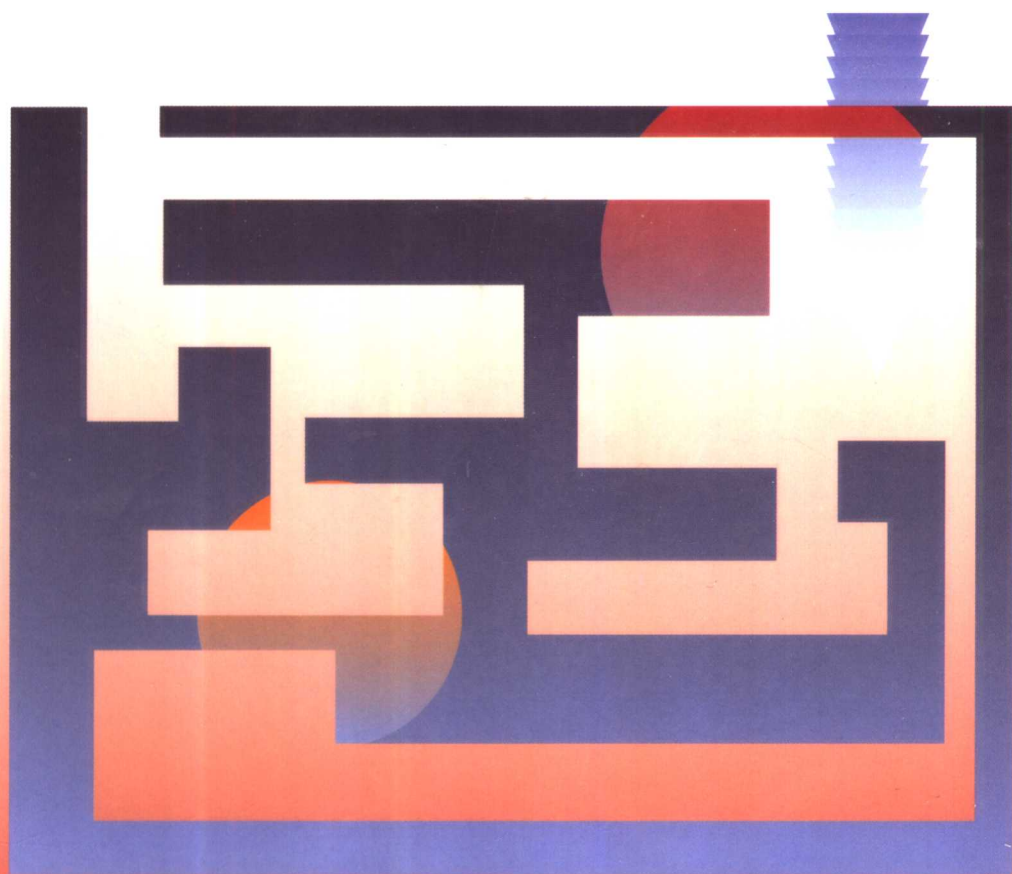


职业技术学院规划教材

铸造工艺学

刘喜俊 主编



机械工业出版社

职业技术学院规划教材

铸造工艺学

主 编 刘喜俊
副主编 高 敏
参 编 张银海 罗惕非
主 审 曹渝强



机械工业出版社

本书分为四篇。第一篇造型材料，第二篇铸造工艺原理，第三篇砂型铸造工艺及工装设计，第四篇特种铸造。本书系统论述了砂型铸造从型砂、涂料的配制到获得优质铸件的工艺方法及其工艺工装设计的全过程，并着重介绍了各种主要铸造缺陷的形成机理及防止方法，增加了树脂自硬砂和铸件均衡凝固理论的有关内容；对特种铸造也作了简单介绍。本书注意吸收国内外有关技术成果和先进经验，内容丰富，采用新标准，实用性强。

本书为高、中等职业技术院校铸造专业教材，同时适用于中等专业学校该专业师生，也可供铸造专业工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸造工艺学/刘喜俊主编. - 北京: 机械工业出版社

1999. 10

职业技术院校规划教材

ISBN 7-111-07146-8

I. 铸… II. 刘… III. 铸造-工艺-职业技术院校-教材
IV. TG24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 45026 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: 王霄飞 版式设计: 张世琴 责任校对: 张 佳

封面设计: 姚 毅 责任印制:

中国农业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 20 印张 · 488 千字

0 001 - 3000 册

定价: 25.50 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、68326677 - 2527

前 言

本教材是原机械工业部 95 规划教材，根据原机械工业部教育司 1996 年 3 月颁发的“铸造工艺学”教学大纲编写。

本书共分四篇 16 章。第一篇造型材料，第二篇铸造工艺原理，第三篇砂型铸造工艺及工装设计，第四篇特种铸造。编写中力求体现职教特色，反映最新成就，便于组织教学，贯彻以工艺为主的原则，重点放在为解决生产实际问题所必需的实用知识、理论和技能上。本教材在吸收其它教材内容的基础上，增加了树脂自硬砂和铸件均衡凝固理论的有关内容。

本书系高、中等职业技术学院铸造专业教学用书，同时适用于中等专业学校该专业师生，也可供铸造专业有关工程技术人员参考。

本书由山东省机械工业学校刘喜俊任主编，负责编写绪论、第四、五、七章、第四篇；大连职业技术学院高敏任副主编，负责编写第六、八、九、十、十一章；湖南职业技术学院罗惕非编写第一、二、三章；河北省机电学校张银海编写第十二、十三章。

本书由陕西工业职业技术学院曹渝强任主审。参加审稿的除参编学校外，还有沈阳市机电工业学校、广西职业技术学院、内蒙古工业学校、四川省机械工业学校、常州铁路机械学校的有关老师等。

在编写和审稿过程中，许多兄弟学校的老师对教材提出了宝贵建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在一些片面、不妥甚至谬误之处，恳切希望读者批评和指正。

编 者

目 录

前言
绪论

第一篇 造型材料

第一章 粘土型砂	5	第一节 植物油砂	48
第一节 铸造用原砂	5	第二节 合脂砂	52
第二节 铸造用粘土	10	第四章 树脂自硬砂	56
第三节 粘土型砂	15	第一节 树脂自硬砂用原材料	56
第四节 涂料及其配制	31	第二节 呋喃树脂自硬砂的性能控制	65
第二章 水玻璃型砂	37	第三节 其它树脂砂	68
第一节 水玻璃的模数、浓度及调整	37	第五章 造型材料性能检测	73
第二节 水玻璃砂的硬化机理	40	第一节 原砂性能的检测	73
第三节 CO ₂ 硬化水玻璃砂	42	第二节 普通粘土和膨润土性能的检测	77
第三章 植物油砂和合脂砂	46	第三节 粘土型砂性能的检测	80

第二篇 铸造工艺原理

第六章 金属液的充型与浇注系统	88	特种冒口	158
第一节 金属液的充型	88	第六节 冷铁的应用	161
第二节 金属液在浇注系统中的流动	90	第九章 铸件的裂纹及变形	167
第三节 浇注系统的类型及开设位置 的选择	96	第一节 铸件的热裂	167
第四节 浇注系统的计算	102	第二节 铸件的变形与冷裂	171
第五节 其它合金铸件浇注系统的特点	108	第十章 金属液与铸型的相互 作用	176
第七章 铸件的凝固	114	第一节 金属液与铸型相互的热作用	176
第一节 铸件的凝固过程	114	第二节 金属液与铸型相互的机械 作用	180
第二节 铸件的凝固方式及影响因素	118	第三节 金属液与铸型相互的物理化学 作用	181
第三节 铸件的凝固时间	126	第十一章 铸件缺陷的分类及其 修补	190
第八章 铸件的补缩	129	第一节 铸件质量的基本概念	190
第一节 铸件的缩孔和缩松	129	第二节 铸件缺陷的分类	191
第二节 铸件凝固原则及控制	133	第三节 铸件缺陷的修补方法	196
第三节 铸钢件冒口补缩	135		
第四节 铸铁件冒口尺寸计算	151		
第五节 提高冒口补缩效率的方法和			

第三篇 砂型铸造工艺及工装设计

第十二章 砂型铸造工艺设计	200	第十三章 铸造工艺装备设计	227
第一节 砂型铸造工艺设计概述	200	第一节 金属模样	227
第二节 铸造工艺方案的确定	201	第二节 模板	232
第三节 铸造工艺参数的选择	221	第三节 金属芯盒	242
		第四节 砂箱	249

第四篇 特种铸造

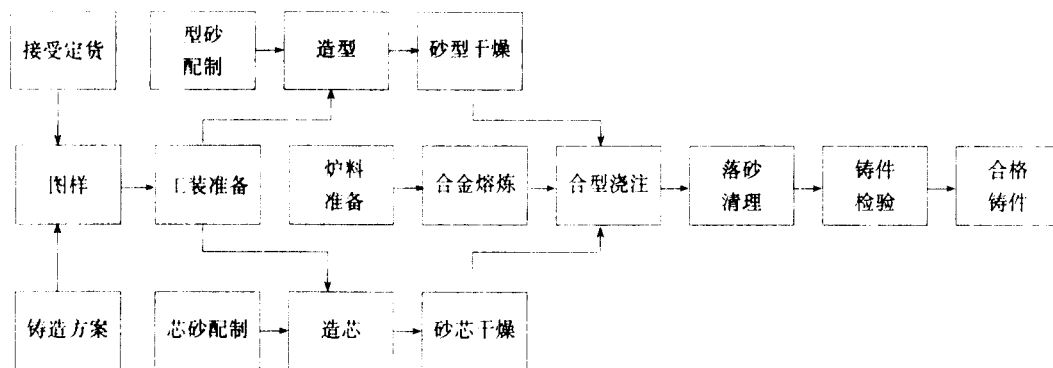
第十四章 熔模铸造	257	金属型结构	286
第一节 熔模的制造	257	第二节 金属型铸造工艺	294
第二节 型壳的制造	265	第十六章 压力铸造	300
第三节 浇注和清理	277	第一节 压铸机简介	301
第四节 熔模铸造工艺设计特点及 压型结构	279	第二节 压铸件的工艺设计及 压铸型结构	303
第十五章 金属型铸造	285	第三节 压铸工艺	309
第一节 金属型铸造工艺设计及		参考文献	313

绪 论

铸造是指熔炼金属、制造铸型，并将熔融金属浇入铸型，凝固后获得一定形状和性能铸件的成型方法。绝大多数铸件需要机械加工后才能成为各种机器零件；少数铸件当达到零件所要求的尺寸精度和表面粗糙度时，可作为成品或零件直接使用。

一、铸造生产的工艺过程、特点及重要性

铸造生产过程是一个复杂而多工序的组合，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组成。砂型铸造生产工艺流程如下：



根据铸造工艺过程的要求，一般砂型铸造车间常设模具、熔炼、配砂、造芯、造型、合金及清理等工段组织生产。

近代铸造方法虽然很多，但基本上可分为砂型铸造和特种铸造两大类。用型砂紧实成型的铸造方法称为砂型铸造；与砂型铸造不同的其它铸造方法统称为特种铸造。如果按铸造合金的种类不同，则又可分为铸铁、铸钢、铜合金、铝合金、镁合金铸造等。

铸造生产的发展水平和铸件质量的优劣，极大地影响着机械产品的发展和使用寿命。可以说，铸造是现代机器制造业的基础，在国民经济和四化建设中占有重要的地位。无论是重工业、轻工业、石油化工和军工生产，还是工艺美术、仿古制品和人民日常生活用具，都离不开各式各样的铸件。从现代各类机械产品中使用铸件的比例（重量比）可以看出铸造的重要性：机床、内燃机占 50%~70%；重型机械占 70%~90%；压缩机、风机占 60%~80%；拖拉机占 50%~70%；农业机械占 40%~70%；汽车占 20%~30%。根据资料介绍，美国铸造行业的产值仅次于航空、车辆和通信行业，在国民经济中占第四位。

在国民经济各行业中，铸件之所以得到如此广泛的应用，是因为铸造生产具有以下特点：

(1) 适应性强 铸造方法几乎不受零件大小、厚薄及结构复杂程度的影响，适用范围很广，可以铸造壁厚从半毫米到一米、长度从几毫米到十几米、重量从几克到三百吨的各种铸件。铸件的形状可以非常复杂，例如汽车用多缸式水冷整铸气缸体。

(2) 可以铸造各种合金铸件 用铸造方法可以生产铸铁件、铸钢件、各种铝合金、铜合

金、镁合金、钛合金、锌合金等铸件。对于脆性金属或合金，铸造是唯一可行的加工方法。在生产中铸铁件应用最广，约占铸件总产量的70%。

(3) 铸件的尺寸精度高 铸件尺寸一般比锻件、焊接件尺寸精确，可以节约大量金属材料 and 机械加工工时。

(4) 成本低 在一般机器中铸件约占40%~80%的重量，而成本只占总成本的25%~30%。成本低廉的原因是容易实现机械化生产，生产率高；可大量利用废、旧金属料；与锻件相比，动力消耗少；铸件尺寸精确，加工余量小，节约加工工时和金属。

但是，铸造也存在一些缺点，如铸件尺寸均一性差；与压力加工和粉末冶金相比金属的利用率低；铸件的内在质量比锻件差；工作环境粉尘多、温度高、劳动强度大；消耗原材料多而复杂，“三废”（废料、废气、废水）处理任务繁重。因此，提高铸件质量和生产效率，改善铸造的生产条件，是铸造工作者义不容辞的责任。

二、我国铸造技术的发展概况

铸造是一门科学技术。在金属成型工艺发展的过程中，铸造是历史上最悠久的一种工艺。据出土文物考证和文献记载，我国的铸造技术已有5000年的悠久历史，是世界上最早掌握铸造工艺的文明古国之一。铸造技术的成就推动了农业生产、兵器制造、人民生活以及天文、医学、音乐和艺术等方面的进步。

在我国夏代，就开始采用陶范（泥型）铸造青铜手工器具和农具，它对商、周社会的发展起了重大作用，从而造就了举世闻名的灿烂的商周青铜文化。商朝和西周时期是青铜器鼎盛时期，铸造出了许多有名的铸件，如形状奇巧的四羊尊、龙虎尊、莲鹤方壶等。到商朝晚期，铸接技术已臻成熟，并且有各种形式。最著名的司母戊大方鼎，高1.33m，长1.16m，宽0.79m，重量达875kg，经X射线探伤检测，认定其鼎耳就是用铸接工艺与鼎体连接的。

春秋战国时期，陶范铸造技术有了新的发展，突出表现在编钟和剑的铸造上。1978年湖北随县出土的曾侯乙墓青铜器达十余吨，是青铜铸件的代表作。其中有64件编钟，分八组，钟面上铸有错金铭文2800多字，标记音名、音律，每个钟可发两音，音律准确和谐，音色优美动听。它的出土，引起了国内外的普遍重视，被誉为“世界第八大奇迹”。湖北江陵出土的越王勾践剑，至今光亮无锈，锋利如新，剑首同心圆薄壁构造，厚仅0.4mm，系铸造成形。

铸铁是生铁冶铸技术世界上最先发现并得以广泛使用的一项发明，是世界冶金史上具有重大意义的事件。我国最早铸铁实物出现于春秋中期（公元6、7世纪），这时用生铁铸造的农具和手工工具已取代了青铜，成为主要的生产工具，使社会生产发生了巨大变化。随着生铁冶铸技术的发展和铸铁性能的提高，采用铁范（铸铁金属型）成批铸造生铁器件，是我国冶铁术的重大创造。汉代至南北朝，铁范的应用范围逐渐扩大到斧、镰、镰等农具。唐、宋时期犁铧、犁镜，鸦片战争时期的铸炮等，也都是采用铁范铸造的。

铸铁工具的使用，促使了铸铁强韧化的早期发明。我国河南南阳出土的九件汉代铁农具，有八件是黑心韧性铸铁（即可锻铸铁）。1978年对河南巩县出土的西汉铁镢进行检验，发现基体中石墨球化良好，可称铸造史上的奇迹。

为了创制更复杂的器形和纹饰，到西周东周之交，在陶范铸造的基础上，我国又发明了熔模（失蜡）铸造工艺。1978年湖北随县出土的战国初期的青铜尊和盘，就是先秦熔模铸造产品的例证。西汉时期云南滇池生产的贮贝器、铜兵器，有的由数百个动物、人像镶铸成

型，有的蟠绕着牛、虎、蛇等动物形象，具有熔模铸件的典型特征。

到春秋中、晚期，我国开始采用层叠铸造批量生产小型铸件的先进技术，它不仅可减少作业面积，提高生产率，而且可以改善铸件质量。到汉代，叠铸技术应用得更广泛，用来制作钱币、车马器等的规范化程度更高。

唐代以后，大型、特大型铸件的不断涌现，表明我国中世纪冶铸生产的宏大规模。现存著名的大型铸件有：沧州铁狮（约40t）、正定铜佛（约50t）、当阳铁塔（约40t）、兰州铁柱（约14t）、永乐大钟（约46t）。其铸造方法有分段接铸、分铸组装和整体浇注等三种。

总之，我国古代的铸造工匠，在长期的实践中表现出了卓越的才能、无穷的智慧和惊人的创造力，为铸造业的发展做出了巨大的贡献，使我国古代的铸造工艺一直处于世界领先地位。但是，由于中国的封建社会历史过于漫长，进入近代后，中国铸造技术长期处于停滞状态。新中国成立后，我国的铸造技术又有了很大的发展，突出表现在三个方面：造型制芯的机械化、自动化程度明显提高；取代干型粘土砂和油砂的化学硬化砂的广泛使用；铸造工艺技术由凭经验走向科学化，这对于提高生产率，降低劳动强度，改善铸件质量，节约原材料和能源起到了重大的推动作用。

我国50年代初开始在纺织机械行业自行设计、投产机械化造型的铸造车间，并先后在机床、汽车、拖拉机等行业从国外引进机械化造型生产线，从此结束了我国长期沿袭下来的单一的手工造型方法，进入了机械化生产年代。但拥有较先进的成套技术设备的铸造厂目前在我国还为数不多，仅限于汽车、内燃机、机床等一些大、中型企业里。目前我国铸造行业中80%以上的铸造厂（车间）属于单件、小批量、多品种生产，仍以手工造型为主。

据统计，铸件的缺陷30%~60%是由型、芯方面的原因引起的，铸件的生产成本约有50%用于造型、制芯。因此世界各国都很重视造型材料的研究与发展。50年代初，英国首次将水玻璃作为型砂粘结剂，当时唯一的硬化剂是 CO_2 ，60年代出现了以硅酸二钙、赤泥等粉状硬化剂为主体的水玻璃自硬砂，70年代初，美国又引入了液态硬化剂——有机酯硬化的水玻璃自硬砂。大大提高了造型生产率，缩短了清砂时间，降低了劳动强度。

随着机械工业的发展，对铸件的尺寸精度和表面质量，即对型砂的强度和溃散性提出了越来越高的要求。60年代末，国外提出了树脂自硬砂，我国从70年代开始研究树脂自硬砂，80年代已在机床、阀门、造船、重型机械及其它行业得到了应用，并成功地浇注了重达百吨的铸件。

由于高效造型工艺的发展，对造芯也提出了较高的要求，必须具有与造型相匹配的高效造芯工艺。70年代以来，国外广泛采用了树脂砂制芯工艺，如汽车、内燃机工业，70%以上的砂芯是使用热芯盒和壳芯树脂砂生产的。以后又相继出现了用三乙胺硬化的酚醛脲烷树脂砂和用二氧化硫硬化的呋喃或环氧树脂砂冷芯盒造芯工艺，基本上满足了大批量、高效造型生产线的同步供芯。

近年来，电子计算机在铸造生产中也得到广泛的应用。利用计算机可对各种铸造过程进行数值模拟，如凝固过程的温度场数值模拟，铸型充填过程的速度场数值模拟，金属液固相转变过程中的热应力场数值模拟以及固相转变后组织形态力学性能数值模拟等。通过这些单一和复合过程的数值模拟，可在铸件生产之前对其铸造工艺方案及其凝固过程进行计算机浇和质量预计，利用各种数据判断各种铸造缺陷（如缩孔、缩松、气孔、夹渣、裂纹等）能否产生及其产生的部位，从而调整工艺方案。这对新产品试制可减少大量的人力、物力和时

间，特别是对大型铸件的单件生产确保一次成功，带来可观的经济效益。

目前我国生产的最大碳钢件达 300t，最大铸铝件达 2t 以上，这充分说明我国的铸造水平已重新跨入世界先进行列。但同时我们也应看到，我国大多数铸造厂（车间）的造型、造芯工艺落后，设备陈旧，加之管理机制等原因，导致铸件质量差，废品率高，劳动强度大，环境污染严重。因此，不断研究开发和采用新的铸造工艺，以满足当今对铸件的优质、低耗、少污染、高效益等方面的要求，并加强铸造车间的管理，对提高我国铸造生产的技术水平和铸件质量，改变铸造行业的落后状况，实现铸造生产技术、管理的现代化是十分必要的。

三、本课程的性质和任务

铸造工艺学是铸造专业的主要专业课之一，讲授铸造工程技术人员必备的工艺理论和基础知识。内容是以铸铁件为主，兼顾铸钢和非铁合金铸件；在研究砂型铸造的基础上，讨论特种铸造方法的特点；围绕提高铸件质量这个主题，阐述铸件形成过程的基本规律和控制方法，以及铸造工艺及其装备的设计方法等。

学完本课程后，学生应掌握以下方面的知识：

1) 造型材料的选用，型（芯）砂的配比及混制工艺，型砂性能对铸件质量和铸造工艺过程的影响，原材料质量和型砂性能的检测方法。

2) 铸件形成过程的基本规律和内在联系：液态合金的充型能力及浇注系统设计；铸件凝固的规律及其控制；合金收缩对铸件质量的影响，铸件缩孔、裂纹、变形等缺陷的形成机理、影响因素及补缩、防裂措施；金属与铸型的相互作用，气孔、夹砂、粘砂等缺陷的形成机理、影响因素及防止方法。

3) 砂型铸造工艺工装设计的内容、步骤及方法，工艺工装设计资料的应用。

4) 各种特种铸造方法的实质，即各种特种铸造方法由于铸型材料、浇注方法、合金充填铸型或凝固条件的改变引起的铸件成型特点，以及每种特种铸造方法起决定性作用的工艺因素。

学完本课程后，学生应达到下列要求：

1) 能够分析和拟定铸件的砂型铸造工艺，并能设计相应的工艺装备。

2) 具有提高铸件质量，鉴别和分析常见铸件缺陷的初步能力。

3) 具有从生产实际出发，采用新工艺、新材料和新技术的初步能力。

学习本课程时，应注意把所学的知识与生产经验和实验知识结合起来，把各章节的内容前后联系起来，广泛阅读有关铸造专业杂志、学报等，以广开思路，了解发展动向，及时掌握新技术、新知识，为以后的实际工作打下坚实的基础。

第一篇 造型材料

凡是用来制作铸型的原材料（如原砂、粘结剂、催化剂、附加物等）以及由各种原材料按一定比例配制成的混合料统称为造型材料。用来制作砂型的混合料称为型砂，用来制作砂芯的混合料称为芯砂，用来涂敷型腔或砂芯表面的混合料称为涂料。

在铸造生产中，砂型铸造占极大的比例，有 80% 左右的铸件都是用砂型铸造生产的，通常生产 1t 铸件约需 5~6t 型（芯）砂，在铸件的废品中，由于造型材料方面的原因所造成的废品往往要占到半数以上，所以造型材料在铸造生产中占有重要的地位。本篇主要论述砂型铸造中所用的原砂、粘结剂、附加物等各种原材料的成分和性质，以及常用各种型砂、芯砂和涂料的组成、配制工艺及性能控制，介绍原材料及型砂性能的检测方法。

第一章 粘土型砂

粘土型砂是以粘土为粘结剂配制的型砂，简称粘土砂。它是砂型铸造中应用最广的一种型砂，也可以用于制造某些形状简单的砂芯。

粘土砂主要由原砂和粘土组成，此外还加入一些附加物和适量的水分。原砂、粘土的质量，水分的高低直接影响着型砂的性能和铸件质量。本章主要论述原砂、粘土以及型砂的性质，并简单介绍砂型、砂芯所用涂料的组成和性能要求。

第一节 铸造用原砂

铸造生产中用来制造砂型和砂芯的原砂称为铸造用原砂。

原砂为岩石风化后在原地或经风、水、冰川等搬运后沉积而成的天然矿物，或为人工方法将石英岩及石英砂岩破碎后得到，此种砂称为人造硅砂。

天然原砂按矿源不同可分为山砂、风积砂、海砂、湖砂和河砂等。山砂含较多的泥分和杂质，颗粒大小不均匀，形状不规则。风积砂含泥分较少，形状比较圆整，颗粒比较细且均匀。海砂、湖砂和河砂含泥量很少，颗粒较圆整且均匀。

并非所有的砂都适用于铸造生产，即对铸造用砂有一定的性能要求。原砂的性能主要指砂的矿物组成和化学成分、含泥量、颗粒组成、耐火度及加热过程中的体积变化等，现分别介绍如下。

一、铸造用硅砂

1. 原砂的矿物组成及化学成分

原砂的矿物组成和化学成分直接影响到砂的耐火度、热化学稳定性和复用性，也影响铸件的表面质量。

硅砂的主要矿物成分是石英，其次为长石以及少量的云母、铁的化合物、碳酸盐、硫化物等。

石英的化学成分是 SiO_2 ，莫氏硬度为 7 级，熔点为 1713°C ，密度为 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。因此石英能耐高温，耐磨。纯洁的硅砂颗粒是无色透明或半透明的；存在杂质时，可能呈红色、黄色等颜色。石英含量是评定原砂质量的重要指标。

长石的化学成分为铝硅酸盐。常见的有钾长石 $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$ ，钠长石 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$ 。长石的莫氏硬度为 6~6.5 级，熔点为 $1170\sim 1550^\circ\text{C}$ ，密度为 $2.54\sim 2.76\text{g}/\text{cm}^3$ 。

云母有白云母和黑云母，是一种含水铝硅酸盐。莫氏硬度为 2~3 级，熔点为 $1150\sim 1400^\circ\text{C}$ ，密度为 $2.7\sim 3.2\text{g}/\text{cm}^3$ 。

铁的化合物以褐铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，赤铁矿 Fe_2O_3 ，磁铁矿 Fe_3O_4 的形式存在于砂中。

碳酸盐类矿物有石灰石 CaCO_3 、白云石 $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$ 、菱苦土 MgCO_3 等。

硫化物有黄铁矿 FeS_2 、石膏 $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等。

原砂化学成分中除 SiO_2 外，其它成分均会降低原砂的耐火度及复用性，属于杂质。

原砂中杂质的含量与砂的来源有关，海砂、湖砂比较纯净，有害杂质的含量较少。山砂的有害杂质含量较高。

2. 原砂的含泥量

自然界中的砂和粘土及其它杂质常混杂在一起，在铸造上，将小于 $20\mu\text{m}$ (0.02mm) 的颗粒称为泥。含泥量为砂中泥类的质量分数。

如果砂和泥的混合物中，含泥量（质量分数）小于 50%，则称这种混合物为砂；含泥量（质量分数）大于 50% 者为粘土。含泥量对型砂的透气性、强度和其它性能都有很大的影响，因此含泥量为铸造用砂质量的主要指标之一。

根据国家标准《铸造用硅砂》

(GB9442—88) 的规定，铸造用硅砂按 SiO_2 含量和含泥量的分级情况见表 1-1。

3. 原砂的颗粒特性

原砂的颗粒特性包括：砂的颗粒大小、砂粒粗细之间的比例（即均匀度）、颗粒形状。砂的颗粒特性影响型（芯）砂的性能、粘结剂的用量和铸件质量，是铸造用砂质量的主要指标之一。

(1) 颗粒大小和均匀度 通常用筛分法来测定原砂的颗粒大小和均匀度。根据国家专业标准《铸造用试验筛》(ZJB31004—88) 的规定，用于测定原砂粒度的试验筛筛孔尺寸和筛号见表 1-2。铸造用硅砂按粒度分组情况见表 1-3。

表 1-2 铸造用试验筛筛孔尺寸

(mm)

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	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
相当于旧标准的筛号(目)	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270
相当于新标准的筛号(目)	6	12	24	28	45	55	75	100	150	200	260

表 1-1 铸造用硅砂按 SiO_2 含量分级

分级代号	w_{SiO_2} (%)	$w_{\text{泥}}$ (%)
98	≥ 98	$\leq 0.2, \leq 0.5, \leq 1.0$
96	≥ 96	
93	≥ 93	
90	≥ 90	$\leq 0.3, \leq 0.5, \leq 1.0, \leq 2.0$
85	≥ 85	
80	≥ 80	$\leq 1.0, \leq 2.0, \leq 10.0$
75	≥ 75	

主要粒度组成部分指筛分后余留量之和为最大值的相邻三筛。其中前筛余留量大于后筛的，在分组代号后加字母 Q，反之在分组代号后加字母 H。

筛分后的原砂可用以下几种方法表明粒度的组成：

- 1) 列表法。例如，江西湖口砂的粒度组成如表 1-4 所示。
- 2) 直方图表示法。例如，大林砂粒度组成如图 1-1 所示。

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	与旧标准对应的符号
85	1.70 0.850 0.600	12/30
60	0.850 0.600 0.425	20/40
42	0.600 0.425 0.300	30/50
30	0.425 0.300 0.212	40/70
21	0.300 0.212 0.150	50/100
15	0.212 0.150 0.106	70/140
10	0.150 0.106 0.075	100/200
07	0.106 0.075 0.053	140/270
05	0.075 0.053	

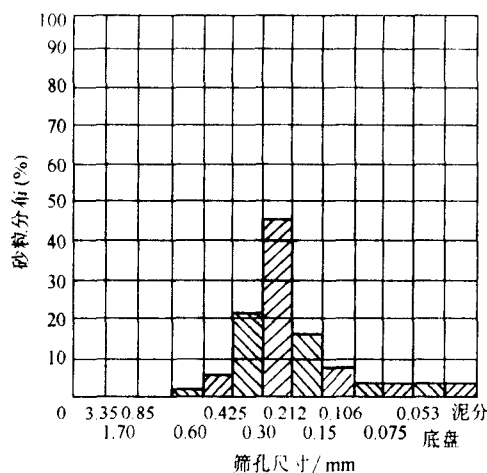


图 1-1 大林砂粒度组成直方图

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	0.420	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053	底盘	含泥量 (质量分数)	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) 符号表示法。根据试验筛筛分以后余留量总和最多的三个相邻筛子的筛孔尺寸，用分组代号表示。这种表示方法简单清楚，我国应用较多。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 0.85mm、0.60mm、0.425mm，则这种原砂的粒度分组代号为 60。

与砂粒大小有关的另一个概念是比表面积，比表面积是指单位重量[⊖]原砂的实际表面积 (cm²/g)。砂粒直径越小，比表面积越大。当砂粒上的粘结剂薄膜层厚度一定时，比表面积越大，粘结剂的用量越多。当型砂空隙率（或容积密度）一定时，比表面积越大，则型砂透气性越低。铸件大小在一定范围内时，砂粒的比表面积增大，则铸件表面粗糙度降低。

(2) 原砂的颗粒形状 用立体显微镜或放大镜观察原砂的颗粒形状，可分为圆形、多角形和尖角形三种，如图 1-2 所示。

- 1) 圆形砂。颗粒为圆形或接近圆形，表面光滑，没有突出的棱角。
- 2) 多角形砂。颗粒为多角形，且多为钝角。
- 3) 尖角形砂。颗粒为尖角形，且多为锐角。

⊖ 此处的重量即指质量。

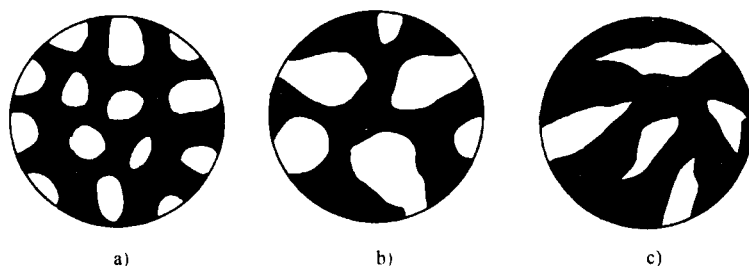


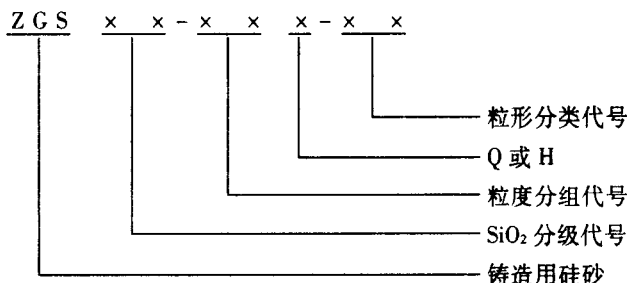
图 1-2 原砂的颗粒形状
a) 圆形 b) 多角形 c) 尖角形

原砂的颗粒形状可用原砂的角形系数 E 来定量地表示。角形系数是测得的砂粒实际比表面积 $S_{测}$ (cm^2/g) 与这种原砂理论计算出的 (计算时设砂粒为球形) 比表面积 $S_{理}$

之比。砂粒越趋于尖角形, 实测的比表面积与理论计算的比表面积差别越大, E 值就越大。根据 GB9442—88《铸造用硅砂》的规定, 我国铸造用硅砂按角形系数分为五类, 见表 1-5。

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 $E > 1.6$ 。

(3) 铸造用硅砂的牌号 其表示方法为:



Z、G、S 分别为铸、硅、砂的汉语拼音第一个字母。

为了正确、统一地评价各种粘结剂的强度, 必须采用统一的标准砂, 这样检测的结果才有可比性。根据国家专业标准《检定铸造粘结剂的标准砂》(ZBJ31006—89) 的规定, 铸造用标准砂 (由内蒙古自治区哲里木盟通辽市大林硅砂厂生产) 的性能如下:

w_{SiO_2} 不小于 90%, $w_{\text{泥}}$ 及 $w_{\text{H}_2\text{O}}$ 不大于 0.3%, 角形系数不大于 1.30, 粒度组成应符合表 1-6 的要求。

表 1-6 检定铸造粘结剂用标准砂的粒度组成

筛孔尺寸/mm	3.35 ~ 0.600	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075 - 底盘
余留量 (%)	< 2	< 13	18 ~ 23	40 ~ 46	13 ~ 17	< 8	< 3

4. 原砂受热后的体积变化

硅砂的主要矿物组成是石英。石英有几种同素异晶体, 常温下为 β 石英。当加热至

573℃时转变成 α 石英,因晶型转变而发生突然膨胀(相变线膨胀为0.45%);在870℃以上和有溶剂的条件下, α 石英会转变成 α 鳞石英(线膨胀为5.1%);在1470℃ α 鳞石英又可转变成 α 方石英(线膨胀为1.05%);在1713℃石英会熔融。硅砂在573℃时的体积变化是可逆的,当浇注后铸型受热,砂粒膨胀,而在铸型冷却时砂粒出现收缩。原砂反复使用时便不断经历着膨胀和收缩的过程,砂粒内部便存在应力,导致砂粒破碎细化,影响原砂的耐火度和复用性,降低型砂的透气性和强度,进而影响铸件表面质量和落砂清理的难易程度。

5. 原砂的选用

原砂的选用应根据铸件重量大小、复杂程度、合金种类、铸型及型芯种类(干砂型、湿砂型、表面干型、树脂砂、植物油砂等)、造型制芯方法(手工或机器)来考虑,另外还应考虑来源丰富,就地取材,节约粘结剂,降低成本。

(1) 铸钢 铸钢的浇注温度达1500℃左右,因此要求原砂的耐火度高, $w_{\text{SiO}_2} \geq 94\%$,有害杂质少。一般来说,98级、96级的硅砂可用于配制铸钢件的型砂、芯砂;90级硅砂可用于配制小型铸钢件的型砂、芯砂。粒度可选60组、42组、30组、21组等粗粒砂。

(2) 铸铁 铸铁的浇注温度一般在1400℃以下,因而对原砂耐火度的要求比铸钢低,一般可用 SiO_2 分级代号为93级~75级的硅砂配制型砂和芯砂。大的铸铁件用85级以上的原砂,中小件可用85级以下的原砂。原砂的粒度一般为42组~10组。大件的表干型砂中,往往采用60组、42组的粗砂,以获得高的透气性。

(3) 铸铜和铝镁合金 铸铜的浇注温度约为1200℃,铝镁合金的浇注温度不超过800℃,故对砂中的 SiO_2 含量要求不高。但是铜合金的流动性好,容易钻入砂型孔隙中,引起机械粘砂,而且这些非铁合金铸件要求表面光洁,因此一般选用较细的原砂,如15组、10组、07组。

二、非石英质原砂

虽然硅砂来源广,价格低,一般能满足铸造生产的要求,但是硅砂的热膨胀大,耐火度有限,不适用于高熔点合金铸件的生产;而且 SiO_2 是酸性氧化物,易与碱性的金属氧化物作用形成低熔点化合物,导致铸件产生化学粘砂,使铸件清理困难。为提高铸件质量,在某些场合需采用非石英质原砂。

(1) 石灰石砂 石灰石砂的主要组成是 CaCO_3 ,含游离 SiO_2 量不大于5%,用石灰石砂生产的铸钢件不粘砂,易清理。目前国内主要用作生产铸钢件的型砂和芯砂。

(2) 镁砂 镁砂的主要化学成分是 MgO ,因砂中含有 SiO_2 、 CaO 、 Fe_2O_3 等杂质,熔点约为1840℃,热膨胀率比硅砂小,蓄热系数比硅砂大1.5倍,莫氏硬度为4~4.5级,密度约为 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。它不与氧化铁或氧化锰相互作用,因而铸件不易产生粘砂缺陷。镁砂常用于生产锰钢铸件和其它高熔点的合金铸件,以及表面质量要求较高的铸钢件。

(3) 锆砂 锆砂的主要化学成分是 ZrSiO_4 ,熔点约为2400℃,莫氏硬度为7~8级,密度为 $4.5 \sim 4.7\text{g}/\text{cm}^3$,热膨胀率只有硅砂的 $1/6 \sim 1/3$,因而可减少铸件产生夹砂缺陷。锆砂的导热性极好,可加速铸件的凝固,有利于防止大型铸件粘砂。锆砂可用作铸钢件或合金钢铸件的型砂、芯砂或涂料。

(4) 铬铁矿砂 铬铁矿砂的主要化学成分是 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$,密度为 $4 \sim 4.8\text{g}/\text{cm}^3$,熔点为1450~1480℃,热导率比硅砂高几倍,热膨胀率小,不与氧化铁起化学作用。一般用作大型铸钢件或合金钢铸件的面砂、芯砂或涂料。

(5) 碳质材料 碳质材料主要指焦炭碴(冲天炉打炉后未烧掉的焦炭破碎成颗粒)、石墨及废石墨电极、坩埚破碎筛分后的碴块,它们都是中性材料,化学活性很低,不被金属液和金属氧化物浸润,耐火度高(一般工业用石墨的熔点约为 2100°C),导热性好,热容量大,热膨胀率很低。这些特点有利于防止铸件产生粘砂、夹砂缺陷,还可以作面砂代替冷铁。

(6) 刚玉 刚玉的化学成分是 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$,由工业氧化铝经电弧炉熔融转变而成。纯刚玉的耐火度 $1850\sim 2050^{\circ}\text{C}$,莫氏硬度约为9级,热导率比硅砂高约一倍,热膨胀率比硅砂约小一倍。由于其结构致密,能抗酸和碱的浸蚀。但价格贵,仅用于铸造精度高、表面粗糙度低的合金钢铸件时作涂料用。

(7) 耐火熟料 在 $1200\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 高温下焙烧过的硬质粘土(如铝矾土、高岭土)称为耐火熟料。为多孔性材料,密度约为 $1.45\text{g}/\text{cm}^3$,熟料的热膨胀率小,耐火度高,铁及其氧化物对它的浸润性较小。可作为大型碳素钢铸件的涂料和熔模铸造的制壳材料。

(8) 橄榄石砂 铸造用橄榄石砂 $w_{\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2}$ 应不低于90%,熔点为 1790°C ,它不与MnO作用。用于铸造高锰钢铸件时,可获得较好的表面质量。

第二节 铸造用粘土

粘土是岩石经过长期风化作用分解和沉积而成的。粘土矿物的特点为:加适量水润湿后具有塑性和粘聚力,烘干后硬结。在适当的温度下烘干硬结后,加入水仍会具有塑性;若烘干温度过高,粘土被烧结,再加水也不能恢复塑性。

粘土在自然界中储量丰富,成本低,能满足一般的铸造生产要求。

一、粘土的矿物组成和化学成分

铸造粘土中最常见的粘土矿物是高岭石和蒙脱石,它们的主要化学成分都是含水硅酸铝,化学式为 $m\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{SiO}_2\cdot x\text{H}_2\text{O}$ 。

按粘土矿物种类不同,一般将粘土分为普通粘土和膨润土两大类。普通粘土主要含高岭石类粘土矿物,耐火度高的普通粘土叫耐火粘土。膨润土主要含蒙脱石类粘土矿物。普通粘土用符号N表示,膨润土用符号P表示。

用X射线衍射法得知高岭石和蒙脱石的晶体结构都包含两种基本结构单位:硅氧四面体和铝氧、氢氧八面体。硅氧四面体是由四个氧原子以相等的距离构成四面体形状,一个硅原子居其中心;铝氧、氢氧八面体是由四个氢氧和两个氧以相等距离排列成八面体,一个铝原子居八面体中心。如图1-3所示。

但在高岭石和蒙脱石中,这两种基本结构单位的排列方式不同,因此普通粘土和膨润土具有不同的性能。

1. 高岭石类粘土矿物

高岭石的单位晶层由一层硅氧四面体和一层铝氧、氢氧八面体构成,属二层型结构。所有四面体的顶端都指向八面体层,并与八面体共用顶端的氧原子。这种结构的单位晶层沿一个方向一层层地重叠起来,在另外两个方向无限展开,构成高岭石的晶体。相邻的单位晶层为氧面和氢氧面结合,如图1-4所示。

氧和氢氧能形成氢键,故相邻单位晶层的结合比较牢固。因此高岭石能形成比较粗大的

晶体，比表面积较小；与水混合后，水分子不能进入单位晶层之间，仅仅被吸附在晶体边缘，所以吸水膨胀性小，粘结性较差。

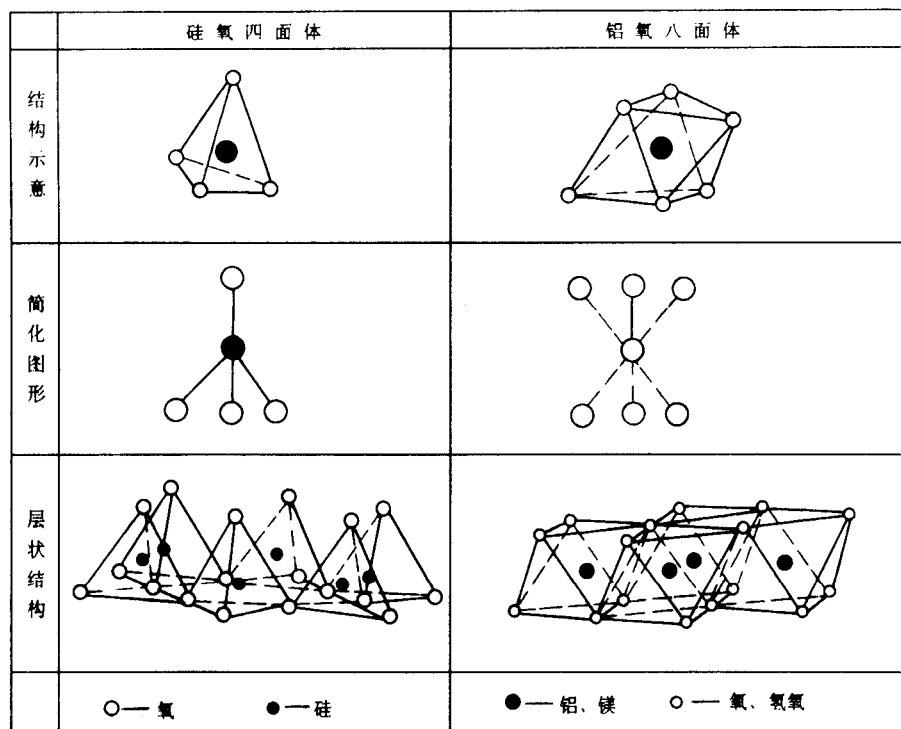


图 1-3 硅氧四面体和铝氧、氢氧八面体构造示意

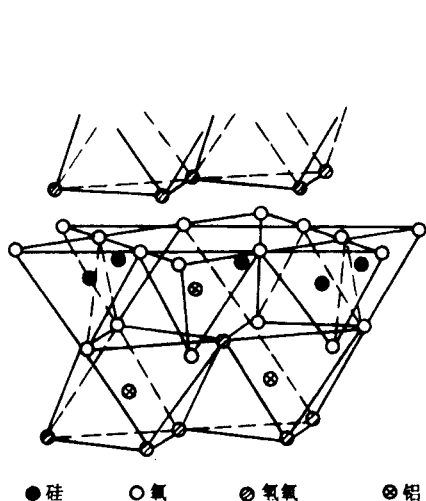


图 1-4 高岭石晶层结构示意图

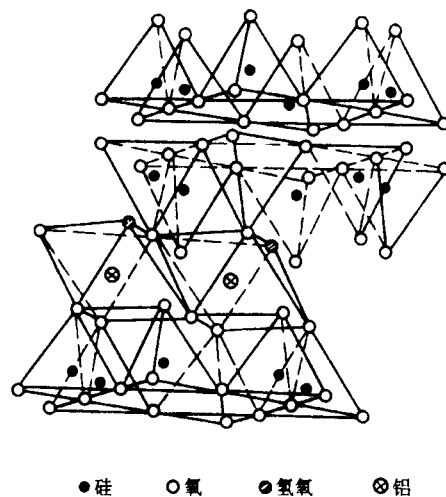


图 1-5 蒙脱石单位晶层结构示意图

2. 蒙脱石类粘土矿物

蒙脱石的单位晶层由两层硅氧四面体中间夹着一层铝氧、氢氧八面体构成，属三层型结构。两层四面体的项端都指向八面体层且与八面体共用顶端的氧原了，这种结构的单位晶层