

铸造工人学技术必读丛书

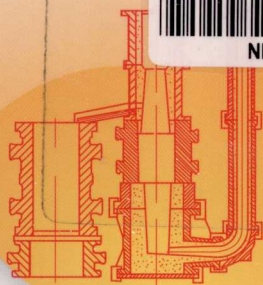
铸铁 及其熔炼技术

中国铸造协会◎组织编写

芮争家◎编著



NLIC2970620840



ZHUTIE
JIQI RONGLIAN JISHU



化学工业出版社



铸造工人学技术必读丛书



铸铁及其熔炼技术

铸钢及其熔炼技术

铸造有色合金及其熔炼技术

造型材料及砂处理

造型制芯及工艺基础

特种铸造

ISBN 978-7-122-07829-2



9 787122 078292 >



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

销售分类建议：机械/铸造

定价：28.00 元



铸造工人学技术必读丛书

铸铁

及其熔炼技术

中国铸造协会◎组织编写

芮争家◎编著



NLIC2970520840



化学工业出版社

·北京·

冶金工业出版社

元 00.85 : 份 五

本书是《铸造工人学技术必读丛书》之一。书中重点介绍了铸铁的结晶过程以及灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁、可锻铸铁、特种铸铁的成分、组织、性能、应用、工艺要求及其熔炼技术。全书尽可能突出专业性和注重实用性，将基础知识和生产应用密切结合。

本书可作为铸造技术人员、工人培训和自学用书，也可作为职业院校铸造相关专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸铁及其熔炼技术/芮争家编著. —北京: 化学工业出版社, 2010.4
(铸造工人学技术必读丛书)
ISBN 978-7-122-07829-2

I. 铸… II. 芮… III. 铸铁-熔炼 IV. TF593

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 032281 号

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 235 千字

2010 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

《铸造工人学技术必读丛书》编委会

主 任：张立波

副主任：姜不居 温 平 吕志刚

委 员：张立波 姜不居 温 平 吕志刚

芮争家 胡汉起 李双寿 蔡震升

林家骝 荣丽辉 高 岩

序

铸造是制造业的基础，也是国民经济的基础产业，各行各业都离不开铸件。近年来，随着国民经济的高速发展，我国铸造业也迅猛发展，各类铸件的产量持续增长，截止到 2008 年底铸件总产量已连续 9 年稳居世界首位。众所周知，我国是一个铸造大国，但远不是一个铸造强国，与当前各工业发达国家相比，我国铸造业在工艺技术水平、生产管理水平、装备水平、产品技术含量（附加值）、平均生产规模、铸件生产效率、各项经济指标、设备利用率、能耗、环境治理和从业人员培训等方面仍存在较大差距。有鉴于此，中国铸造协会特组织编写行业系列图书，旨在提高从业人员素质，致力于中国铸造业的发展与振兴。

高效传播实用知识和技能是中国铸造协会的重要职责。《铸造工人学技术必读丛书》（以下简称《丛书》）就是为了满足广大铸造从业人员的需求，特别是生产一线工人和初学者的强烈要求而编辑出版的，希望能够得到读者的厚爱。《丛书》共分 6 册：

- | | | |
|----------------|-----|--------|
| 《铸铁及其熔炼技术》 | 芮争家 | 编著 |
| 《铸钢及其熔炼技术》 | 胡汉起 | 编著 |
| 《铸造有色合金及其熔炼技术》 | 李双寿 | 唐靖林 编著 |
| 《造型材料及砂处理》 | 蔡震升 | 编著 |
| 《造型制芯及工艺基础》 | 林家骝 | 编著 |
| 《特种铸造》 | 姜不居 | 编著 |

《丛书》从基础写起，内容简明、通俗易懂，紧密联系生产应用实际，力求使读者通过学习，短期内迅速掌握铸造的基本知识和应用技能，从而达到快速上岗和熟练操作的目的。

《丛书》既可作为工人培训用书和自学教材，也可作为职业院校等学校铸造专业的教材。

《丛书》中各分册由主编统稿，由黄惠松、胡汉起、曾大本、

潘江

中国铸造协会执行副理事长兼秘书长

中国铸造协会执行副理事长兼秘书长

前 言

铸铁是现代工业中应用最广泛的铸造金属材料，在国民经济中占据着相当重要的地位。努力培养大批铸造技术工人和工程技术人员及管理人员，使之学习、研究和掌握铸铁生产技术，并应用到铸造生产实践中去，具有重要的现实意义。

本书是《铸造工人学技术必读丛书》之一。全书力求在结构上保证系统性，在内容上突出实用性，尽可能把基础理论知识和生产操作技能结合起来，学以致用，融会贯通。

全书共分为8章。第1章“铸铁的结晶与组织的形成”重点介绍了铁碳二元合金双重相图及其在铸铁结晶过程中对各种组织形成和铸件生产的理论指导意义。第2章“灰铸铁”阐明了影响灰铸铁组织和性能的基本因素，指出了获得高性能灰铸铁的途径，并提出了在灰铸铁件生产中应重视的问题。第3章“球墨铸铁”重点说明了3个问题：如何生产制造球墨铸铁；球墨铸铁对化学成分有什么要求；怎样在生产工艺上保证获得优质的球墨铸铁件。第4章“蠕墨铸铁”介绍了蠕墨铸铁金相组织和性能的特点，尤其是其生产工艺中应加以重视的方面。第5章“可锻铸铁”重点介绍了可锻铸铁中石墨的形成原理及其生产工艺。第6章“特种铸铁”说明了特种铸铁的特点，并重点介绍了耐磨铸铁、耐热铸铁和耐腐蚀铸铁。第7章“冲天炉熔炼铸铁”详细介绍了冲天炉的结构和生产工艺，及其基本工艺参数。第8章“感应电炉熔炼铸铁”则介绍了感应电炉的结构、工作原理和熔炼特点，重点阐述了无芯感应电炉的熔炼工艺以及铸铁的双联熔炼。

总的来说，本书以灰铸铁为基础，球墨铸铁和铸铁熔炼为重

点，其他内容作一般性介绍，旨在提高读者分析问题和解决问题的能力。

本书由清华大学芮争家编写，由清华大学黄惠松教授审稿。为此，对黄惠松教授在审稿过程中付出的辛劳致以衷心的感谢。

在本书编写过程中，得到了中国铸造协会有关专家的关心指导与大力支持，谨致衷心感谢！

由于编者水平所限，书中不当之处难免，敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 铸铁的结晶与组织的形成

1.1 铁-碳二元合金双重相图	2
1.1.1 铁-碳相图的双重性	3
1.1.2 铁-碳双重相图分析	6
1.1.3 硅对铁-碳双重相图的影响	7
1.1.4 铸铁中常见元素对铁-碳相图上各临界点的影响	8
1.1.5 碳当量和共晶度	10
1.2 铸铁的一次结晶	10
1.2.1 初生奥氏体和初生石墨的结晶	11
1.2.2 奥氏体-石墨共晶	14
1.2.3 灰铸铁的形核与孕育	17
1.3 铸铁的二次结晶	18
1.3.1 奥氏体中碳的脱溶	19
1.3.2 共析转变	19

第 2 章 灰铸铁

2.1 灰铸铁的特点	22
2.1.1 灰铸铁的金相组织与性能	22
2.1.2 灰铸铁的牌号与化学成分	35
2.2 影响灰铸铁组织和性能的基本因素	40
2.2.1 化学成分	40
2.2.2 冷却速度	46
2.2.3 炉料	47
2.2.4 孕育	47
2.2.5 铁液的过热和高温静置	48

2.2.6 气体	49
2.3 灰铸铁的质量评估和质量指标	50
2.3.1 质量评估	50
2.3.2 质量指标	51
2.4 获得高性能灰铸铁的途径	53
2.4.1 控制适宜的化学成分	53
2.4.2 采用孕育技术	57
2.4.3 灰铸铁的低合金化	65
2.4.4 改善熔炼条件和铁液冶金质量	66
2.5 灰铸铁件生产应重视的问题	68
2.5.1 灰铸铁件的牌号、成分和性能的协调	68
2.5.2 灰铸铁件的大小和壁厚	69
2.5.3 灰铸铁铁液的孕育处理	70
2.5.4 选用合格的优质炉料	70
2.5.5 铁液质量和铁液温度	70
2.5.6 灰铸铁的热处理	71

第3章 球墨铸铁

3.1 概述	72
3.1.1 球墨铸铁的特点	72
3.1.2 球墨铸铁的主要种类和应用	73
3.1.3 球墨铸铁的牌号	73
3.1.4 球墨铸铁的生产现状和发展方向	77
3.2 球墨铸铁的生产流程和质量评估标准	77
3.2.1 球墨铸铁的生产流程	77
3.2.2 球墨铸铁材质的质量评估与控制指标	80
3.3 球墨铸铁材质质量的保证措施	85
3.3.1 球墨铸铁材质质量控制的前提	85
3.3.2 影响球墨铸铁组织和性能的基本因素	86
3.4 球墨铸铁的化学成分	86
3.4.1 基本元素的作用	86

3.4.2	球化元素的作用	89
3.4.3	合金元素的作用	91
3.4.4	微量元素的作用	92
3.5	球墨铸铁的生产及控制	93
3.5.1	采用高质量的原材料	94
3.5.2	选择合适的化学成分	95
3.5.3	高温低硫的原铁液	98
3.5.4	适宜的球化剂和球化处理	101
3.5.5	合理的合金化	106
3.5.6	高效强化的孕育工艺	109
3.5.7	有效实用的热处理	115
3.6	球墨铸铁的铸造性能及缺陷防止	117
3.6.1	铸造性能	117
3.6.2	常见缺陷及防止措施	118

第4章 蠕墨铸铁

4.1	概述	120
4.1.1	蠕墨铸铁的特点	120
4.1.2	蠕墨铸铁的牌号和应用	125
4.2	蠕墨铸铁的生产工艺	126
4.2.1	化学成分	126
4.2.2	蠕化剂	128
4.2.3	炉前处理	130
4.2.4	质量控制	132
4.3	蠕墨铸铁的铸造性能及缺陷防止	132
4.3.1	铸造性能	132
4.3.2	常见缺陷及防止	133

第5章 可锻铸铁

5.1	概述	134
5.1.1	可锻铸铁的特点	134

5.1.2	可锻铸铁的生产工艺过程	135
5.1.3	可锻铸铁的牌号、性能和用途	136
5.2	可锻铸铁中石墨的形成	137
5.2.1	第一阶段石墨化过程	137
5.2.2	第二阶段石墨化过程	138
5.3	可锻铸铁的生产工艺	138
5.3.1	白口坯件	138
5.3.2	退火处理	143
5.4	可锻铸铁的铸造性能和常见缺陷	146
5.4.1	铸造性能	146
5.4.2	常见缺陷	147

第 6 章 特种铸铁

6.1	概述	149
6.2	耐磨铸铁	150
6.2.1	减摩铸铁	150
6.2.2	冷硬铸铁	155
6.2.3	抗磨铸铁	157
6.3	耐热铸铁	165
6.3.1	铸铁的耐热性	165
6.3.2	常用的耐热铸铁	167
6.4	耐腐蚀铸铁	171
6.4.1	铸铁的耐腐蚀性	171
6.4.2	常用的耐腐蚀铸铁	173

第 7 章 冲天炉熔炼铸铁

7.1	概述	177
7.1.1	铸铁熔炼设备	177
7.1.2	对铸铁熔炼的基本要求	179
7.1.3	铸铁熔炼中节能降耗、减排防污的主要措施	180
7.2	冲天炉结构和操作	180

7.2.1	冲天炉结构和类型	180
7.2.2	冲天炉操作工艺	185
7.2.3	冲天炉工作原理	188
7.2.4	冲天炉检测	189
7.2.5	操作时炉况的观察和判断	195
7.2.6	常见故障及排除	198
7.3	冲天炉工作过程	201
7.3.1	焦炭的特性和对铸造用焦的要求	201
7.3.2	冲天炉内焦炭的燃烧过程及炉气和温度的分布	203
7.3.3	冲天炉内的热交换及铁料熔化和铁液过热	208
7.3.4	影响冲天炉工作的主要因素	212
7.4	冲天炉基本工艺参数	215
7.4.1	冲天炉网形图	215
7.4.2	底焦高度的确定	216
7.4.3	层铁量和层焦量的确定	217
7.4.4	熔剂量的确定	218
7.4.5	风量的确定和风机的选择	218
7.4.6	风压的确定	220
7.5	冲天炉内的冶金过程	221
7.5.1	冲天炉熔炼过程中化学成分变化的一般规律	221
7.5.2	碳量的变化	221
7.5.3	铁、硅和锰的氧化烧损	224
7.5.4	硫、磷的变化	225
7.5.5	配料计算和控制	226

第8章 感应电炉熔炼铸铁

8.1	概述	234
8.1.1	感应电炉的分类和结构	234
8.1.2	感应电炉的工作原理	235
8.1.3	感应电炉熔炼铸铁的特点	239
8.1.4	感应电炉发展趋势	241

8.2 无芯感应电炉熔炼过程	242
8.2.1 无芯感应电炉的设备组成	242
8.2.2 无芯感应电炉的规格	244
8.2.3 无芯感应电炉的炉衬材料及筑炉	246
8.2.4 无芯感应电炉的熔炼操作	252
8.3 铸铁的双联熔炼	255
8.3.1 冲天炉与感应电炉双联	256
8.3.2 感应电炉与感应电炉双联	258

参考文献

第1章 铸铁的结晶与组织的形成

铸铁作为铸造业中最为广泛应用的一种金属材料，在机械制造、交通运输、冶金矿山、石油化工和国防工业等许多部门中都占有相当重要的地位。大至几十吨重的机床铸件，小到几十克重的汽车、拖拉机或缝纫机配件，在各种机器设备上，铸铁件约占总的机器重量的40%~85%。

铸铁之所以获得广泛的应用和发展，是因为它作为机械制造用的材料，具有其他金属材料所不及的优良性能。例如，铸造性能好、减振性和耐磨性好、缺口敏感性低、加工切削性能好等。表1-1是较为常用的铸铁的分类及用途。

表 1-1 铸铁的分类及用途

类 别	组织特征	断口特征	成分特征	性能特征	用 途
1. 灰铸铁（普通灰铸铁、高强度灰铸铁）	基体+片状石墨	灰口	仅含 C、Si、Mn、P、S 五元素或外加少量合金元素	$\sigma_b = 150 \sim 350 \text{MPa}$ ，基本上无塑性	大量地应用于各种机器零件，如机床、内燃机、汽车、农用机械等
2. 球墨铸铁	基体+球状石墨	银白色断口（珠光体球铁）黑灰状断口（铁素体球铁）	1. 普通五元素或外加不同量的合金元素 2. $\text{Mg}_{\text{残}} \geq 0.03\%$ 、 $\text{RE}_{\text{残}} \geq 0.02\%$	$\sigma_b = 400 \sim 900 \text{MPa}$ $\delta = 2\% \sim 20\%$ $\alpha_K = 15 \sim 120 \text{J/cm}^2$	应用于受力复杂，强度、韧性、耐磨性要求较高的零件，如曲轴、齿轮、连杆等
3. 蠕墨铸铁	基体+蠕虫状石墨（往往伴有少量球状石墨）	灰口（斑点状断口）	同球墨铸铁，但 $\text{Mg}_{\text{残}}$ 及 $\text{RE}_{\text{残}}$ 量可稍低	σ_b 、 δ 比球墨铸铁低，但高于灰铸铁	高强度零件，如机床零件等；耐热零件，如汽缸盖、小型钢锭模、发动机排气管等

续表

类 别	组织特征	断口特征	成分特征	性能特征	用 途
工程结构件用铸铁	4. 可锻铸铁（黑心） 生 坯： 珠光体 + 莱氏体 退火后： 基体 + 团絮状石墨	生 坯： 白口 退 火 后： 灰口（黑色绒状断口）	低 碳、低 硅、铬 ≤0.06%	$\sigma_b=300\sim700\text{MPa}$ $\delta=2\%\sim12\%$	用于受冲击、振动的零件，如汽车后桥外壳、弹簧、钢板支座、机床把手等，亦可用于阀门、管件、农机零件、线路金具等
特殊用途铸铁	5. 抗磨铸铁 基体 + 不同类型的渗碳体	白口（中锰铸铁及冷硬铸铁例外）	除五元素外，可加入低、中、高量合金元素	主要有高的抗磨性能，但韧度较低	农机磨损件、球磨机磨球、衬板、抛丸机叶片、电厂灰渣泵零件、磨煤机易损部件、冷硬铸件等
	6. 耐热铸铁 基体 + 片状或球状石墨	灰口	有 Si、Al、Cr 系（中硅、高铝、中硅铝、高铬等铸铁）	有高的耐热性及抗氧化性能，但强度较低、较脆	锅炉配件、石油化工、冶金设备、加热炉中的耐热零件
	7. 耐腐蚀铸铁 基体 + 片状或球状石墨	灰口	主要合金元素 Si、Ni 含量高	主要有高的耐腐蚀性能	化工工业中的各种抗酸、碱、氯、海水、盐等零件

1.1 铁-碳二元合金双重相图

铸件是由液态铸造合金浇注入铸型中冷却凝固而成的。在铸件冷却凝固过程中, 铸造合金的液态结构性质、结晶凝固特点以及固态合金的基本相和组织的结构等, 强烈地影响着铸造合金的性能。为了研究合金的凝固过程和组织与性能的关系, 就必须了解合金各种组织的形成及变化规律, 合金相图正是研究和分析合金金相组织的理论基础和重要工具。

所谓相图是用图解方法表示不同浓度合金在结晶过程中的合金状态、温度和成分的关系, 也就是合金在平衡条件 (即非常缓慢冷却) 下, 在不同的温度、成分下各相与组织的关系的图解, 因此又