



劳动和社会保障部培训就业司推荐  
冶金行业职业教育培训规划教材

# 炼钢基础知识

LIANGANG JICHU ZHISHI

冯 捷 张红文 主编



冶金工业出版社

## 内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

书中内容分为4篇共16章:第1篇为钢铁材料知识,第2篇为物理化学知识,第3篇为炼钢基本原理,第4篇为传热知识。为便于读者自学,各章均附有复习思考题。

本书也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

炼钢基础知识/冯捷,张红文主编. —北京:冶金工业出版社,2005.10  
ISBN 7-5024-3572-7

I. 炼… II. ①冯… ②张… III. 炼钢—基础知识  
IV. TF7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 070925 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)  
责任编辑 宋 良 美术编辑 王耀忠  
责任校对 侯 璐 李文彦 责任印制 牛晓波  
北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销  
2005年10月第1版,2005年10月第1次印刷  
787mm×1092mm 1/16; 18印张; 474千字; 270页; 1-4000册  
39.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893  
冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081  
(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 冶金行业职业教育培训规划教材

## 编辑委员会

**主 任** 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会  
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

**副主任** 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会  
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

**顾 问** 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成  
**委 员**

|            |     |                                    |         |     |
|------------|-----|------------------------------------|---------|-----|
| 首钢总公司      | 舒友珍 | 何智广                                | 宝山钢铁公司  | 杨敏宏 |
| 太原钢铁公司     | 贾宝林 | 孟永钢                                | 武汉钢铁公司  | 孙志桥 |
| 马鞍山钢铁公司    | 王茂龙 | 陈 宣                                | 本溪钢铁公司  | 张春雨 |
| 唐山钢铁公司     | 宋润平 | 冯柄晓                                | 江苏沙钢公司  | 黄国刚 |
| 济南钢铁公司     | 陈启祥 | 赵树俭                                | 天津天铁公司  | 王金铭 |
| 南京钢铁联合公司   | 陈龙宝 | 朱朝全                                | 钢协培训中心  | 宋 凯 |
| 承德钢铁公司     | 魏洪如 | 高 影                                | 济源钢铁公司  | 靳沁萍 |
| 石家庄钢铁公司    | 侯 敏 | 冷学中                                | 滦河集团公司  | 王爱民 |
| 首钢迁安钢铁公司   | 王宝军 | 王 蕾                                | 河北冶金研究院 | 彭万树 |
| 邯郸钢铁公司     | 张晓力 | 李 阳                                | 河北冶金设计院 | 周建宏 |
| 宣化钢铁公司     | 张聪山 | 李豪杰                                | 港陆钢铁公司  | 赵福桐 |
| 淮阴钢铁公司     | 刘 瑾 | 王灿秀                                | 邯钢衡水薄板厂 | 魏虎平 |
| 邢台钢铁公司     | 张力达 | 孙汉勇                                | 半壁店钢铁公司 | 刘春梅 |
| 纵横钢铁公司     | 王建民 | 阚永梅                                | 鹿泉钢铁公司  | 杜会武 |
| 河北工业职业技术学院 | 袁建路 | 李文兴                                | 河北立国集团  | 郭志敏 |
| 山西工程职业技术学院 | 王明海 | 史学红                                |         |     |
| 冶金工业出版社    | 宋 良 | (010 - 64027900, 3bs@cnmip.com.cn) |         |     |

# 序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量的迅速增长、素质的不断提高与否,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在 2003 年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

# 前 言

本书是按照劳动和社会保障部的规划,受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托,在编委会的组织安排下,参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

学习炼钢首先要了解钢铁材料的基本知识。这些知识主要包含钢的分类和钢的编号,钢铁材料的组织与性能之间的关系,钢铁材料的选用原则,钢的结构与结晶,铁碳合金相图,钢的热处理知识和元素在钢中的作用等内容。

物理化学是一门应用物理学的原理和实验方法,从物理变化和化学变化的相互联系中,研究整个化学领域内各种现象间内在联系和本质的共同规律的学科。掌握这些具有实质性的共同规律,能加深我们对物质世界的认识,促进并指导生产和科学技术的发展。

炼钢过程,实际上是在高温条件下进行的复杂的物理化学过程。为了适应生产发展的需要,不断地改进工艺流程和工艺操作,必须深入、全面地分析研究各种冶炼过程中所发生的现象,所以必须掌握一定的物理化学知识,为科学炼钢奠定理论基础。

炼钢基本原理是研究炼钢过程中所有的反应,在给定条件下,反应进行的可能性、限度;怎样选择条件使反应沿着希望的方向进行,达到预期的限度。也就是研究炼钢主要反应的热力学规律。

热力学只能预言反应的可能性,而不能回答实现这种可能性所需要的时间,即不涉及反应机理问题。所以,炼钢原理还需要研究炼钢主要反应的机理、速度,以及怎样选择条件来控制反应速度。也就是说,要研究炼钢主要反应的动力学规律。

炼钢基本原理不仅研究炼钢中主要反应的热力学和动力学,而且还要研究参与反应的物质结构和性质。在两者中涉及到的物质,最主要的是金属熔体和熔融炉渣。所以本书要讨论金属熔体、熔渣的结构及主要的物理化学性质。

传热知识主要介绍传热的目的:一是力求换热的增强或减弱。例如炼钢过程中增强向炉料的传热,加速炉料的熔化和熔池升温,这往往是提高产量的关键;又如力求减少炉内的热损失(减弱炉内与炉外大气间的传热),这对维护炉内高温,降低能耗和改善劳动条件十分重要。二是介绍确定对象的温度分布。

确定最高温度是否超过材料所允许的温度极限,或者针对温度分布解决实际问题。

学习传热知识的目的是掌握传热的一些基本知识,并在此基础上对氧气顶吹转炉和电弧炉的炉内传热进行简单的分析。

以上钢铁材料知识、物理化学知识、炼钢基本原理、传热知识4个方面,就是炼钢基础知识的基本内容。

炼钢基础是钢铁冶金专业的一门重要的技术基础课程,通过学习,可使读者掌握炼钢过程的基本规律,为学习转炉炼钢、电炉炼钢和炉外精炼知识打下理论基础。

本书由河北科技大学材料学院冯捷、首钢工学院张红文任主编;河北工业职业技术学院沈翎、石家庄信息工程职业学院任卫东任副主编,山西工程职业技术学院刘根来任主审;参加编写工作的人员有河北科技大学材料学院李立新、谭建波,承德民族职业技术学院刘晓燕,邯郸钢铁集团公司李阳、赵会敏,石家庄钢铁集团公司赵雷,济南钢铁集团公司李殿明、孙凤晓、杨娟。

本书对以培养重技能和操作为主要目标的冶金类高职高专师生、从事冶金生产的现场工程技术人员和技术工人,以及技工学校师生,都有实用价值。

在编写过程中,得到了有关单位和专家学者的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|           |   |
|-----------|---|
| 绪 论 ..... | 1 |
|-----------|---|

## 第1篇 钢铁材料知识

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1 钢的分类及性能 .....          | 7  |
| 1.1 钢的分类和牌号 .....        | 7  |
| 1.1.1 碳素钢的分类、牌号及用途 ..... | 7  |
| 1.1.2 合金钢的分类、牌号及用途 ..... | 10 |
| 1.2 钢的性能 .....           | 14 |
| 1.2.1 钢的力学性能 .....       | 15 |
| 1.2.2 钢的物理性能 .....       | 21 |
| 1.2.3 钢的化学性能 .....       | 22 |
| 1.2.4 钢的工艺性能 .....       | 22 |
| 思考题 .....                | 22 |
| 2 金属结构与结晶 .....          | 24 |
| 2.1 晶体的结构 .....          | 24 |
| 2.1.1 晶体结构的概念 .....      | 24 |
| 2.1.2 金属晶格的类型 .....      | 25 |
| 2.1.3 晶体结构的缺陷 .....      | 26 |
| 2.2 金属的结晶 .....          | 28 |
| 2.2.1 纯金属的冷却 .....       | 29 |
| 2.2.2 纯金属的结晶 .....       | 30 |
| 2.2.3 晶粒大小的控制 .....      | 31 |
| 2.2.4 纯铁的同素异构转变 .....    | 32 |
| 思考题 .....                | 33 |
| 3 铁碳合金 .....             | 34 |
| 3.1 合金组织 .....           | 34 |
| 3.1.1 固溶体 .....          | 34 |
| 3.1.2 金属化合物 .....        | 36 |
| 3.1.3 多相混合物 .....        | 37 |
| 3.2 二元合金相图 .....         | 37 |
| 3.2.1 二元合金相图的建立 .....    | 37 |
| 3.2.2 水平截线法则和杠杆定律 .....  | 38 |
| 3.2.3 匀晶相图 .....         | 40 |



|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 3.2.4 共晶相图 .....                             | 41 |
| 3.3 铁碳合金相图 .....                             | 44 |
| 3.3.1 铁碳合金中的基本相 .....                        | 44 |
| 3.3.2 铁碳合金相图分析 .....                         | 46 |
| 3.3.3 典型的铁碳合金结晶过程及其组织 .....                  | 48 |
| 3.3.4 碳含量对铁碳合金组织与性能的影响 .....                 | 50 |
| 3.3.5 铁碳相图的应用 .....                          | 53 |
| 思考题 .....                                    | 54 |
| 4 钢的热处理 .....                                | 56 |
| 4.1 钢在加热和冷却时的转变 .....                        | 56 |
| 4.1.1 钢在加热时的转变 .....                         | 56 |
| 4.1.2 钢在冷却时的转变 .....                         | 57 |
| 4.2 钢的退火和正火 .....                            | 59 |
| 4.2.1 退火 .....                               | 59 |
| 4.2.2 正火 .....                               | 60 |
| 4.2.3 退火与正火的选择 .....                         | 60 |
| 4.3 钢的淬火与回火 .....                            | 61 |
| 4.3.1 淬火 .....                               | 61 |
| 4.3.2 钢的回火 .....                             | 63 |
| 4.4 钢的表面处理 .....                             | 64 |
| 4.4.1 表面淬火 .....                             | 64 |
| 4.4.2 钢的化学热处理 .....                          | 65 |
| 思考题 .....                                    | 66 |
| 5 钢中元素作用 .....                               | 68 |
| 5.1 钢中常存元素 .....                             | 68 |
| 5.1.1 碳的影响 .....                             | 68 |
| 5.1.2 锰的影响 .....                             | 68 |
| 5.1.3 硅的影响 .....                             | 68 |
| 5.1.4 硫的影响 .....                             | 69 |
| 5.1.5 磷的影响 .....                             | 69 |
| 5.2 钢中气体元素 .....                             | 69 |
| 5.2.1 氧的影响 .....                             | 69 |
| 5.2.2 氮的影响 .....                             | 69 |
| 5.2.3 氢的影响 .....                             | 70 |
| 5.3 合金元素在钢中的作用 .....                         | 70 |
| 5.3.1 合金元素在钢中存在形式 .....                      | 70 |
| 5.3.2 合金元素对 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图的影响 ..... | 71 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 5.3.3 合金元素对钢热处理的影响 ..... | 71 |
| 5.3.4 合金元素对钢性能的影响 .....  | 75 |
| 思考题 .....                | 78 |

## 第2篇 物理化学知识

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>6 炼钢过程的热能</b> .....      | 81  |
| 6.1 热力学第一定律 .....           | 81  |
| 6.1.1 炼钢过程的热效应 .....        | 81  |
| 6.1.2 比热容与焓变计算 .....        | 83  |
| 6.1.3 化学反应热效应和盖斯定律 .....    | 85  |
| 6.1.4 基尔霍夫定律 .....          | 85  |
| 6.1.5 标准生成热 .....           | 85  |
| 6.2 热力学第二定律 .....           | 86  |
| 6.2.1 热力学第二定律 .....         | 86  |
| 6.2.2 自由能 .....             | 87  |
| 6.3 溶液 .....                | 87  |
| 6.3.1 理想溶液 .....            | 87  |
| 6.3.2 稀溶液 .....             | 88  |
| 6.3.3 真实溶液和活度 .....         | 88  |
| 6.4 化学反应的方向、限度和速度 .....     | 90  |
| 6.4.1 化学反应的方向 .....         | 90  |
| 6.4.2 化学平衡及影响因素 .....       | 91  |
| 6.4.3 氧化物的标准生成自由能和分解压 ..... | 92  |
| 6.4.4 化学反应速率及影响因素 .....     | 93  |
| 6.5 炼钢过程的表面现象 .....         | 95  |
| 6.5.1 表面张力 .....            | 95  |
| 6.5.2 润湿 .....              | 96  |
| 6.5.3 吸附作用 .....            | 97  |
| 思考题 .....                   | 97  |
| <b>7 金属熔体</b> .....         | 101 |
| 7.1 金属熔体的结构 .....           | 101 |
| 7.1.1 金属的三态及其转化 .....       | 101 |
| 7.1.2 金属熔体的结构 .....         | 101 |
| 7.2 金属熔体的物理性质 .....         | 102 |
| 7.2.1 密度 .....              | 102 |
| 7.2.2 熔点 .....              | 103 |
| 7.2.3 黏度 .....              | 105 |
| 7.2.4 表面张力 .....            | 106 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 7.2.5 扩散系数 .....            | 108 |
| 7.2.6 蒸气压 .....             | 109 |
| 7.3 元素在铁液中的溶解 .....         | 109 |
| 7.3.1 元素在铁液中的溶解度 .....      | 109 |
| 7.3.2 溶解元素与铁形成的溶液 .....     | 110 |
| 7.3.3 元素在铁液中溶解时的自由能变化 ..... | 110 |
| 思考题 .....                   | 111 |

### 第3篇 炼钢基本原理

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 8 炼钢熔渣 .....             | 113 |
| 8.1 熔渣的来源、组成和作用 .....    | 113 |
| 8.1.1 熔渣的来源和组成 .....     | 113 |
| 8.1.2 熔渣的作用 .....        | 114 |
| 8.2 熔渣结构 .....           | 114 |
| 8.2.1 熔渣结构的分子理论 .....    | 114 |
| 8.2.2 熔渣结构的离子理论 .....    | 115 |
| 8.2.3 分子-离子共存理论 .....    | 118 |
| 8.3 熔渣相图 .....           | 119 |
| 8.3.1 炼钢中的主要二元系相图 .....  | 119 |
| 8.3.2 三元系熔渣相图 .....      | 121 |
| 8.4 熔渣的化学性质 .....        | 122 |
| 8.4.1 熔渣的碱度 .....        | 122 |
| 8.4.2 熔渣的氧化性 .....       | 124 |
| 8.4.3 熔渣的还原性 .....       | 126 |
| 8.4.4 熔渣的透气性 .....       | 127 |
| 8.5 熔渣的物理性质 .....        | 128 |
| 8.5.1 熔渣的黏度 .....        | 128 |
| 8.5.2 熔渣的密度 .....        | 130 |
| 8.5.3 熔渣的表面张力和界面张力 ..... | 131 |
| 8.5.4 熔渣中各组元的扩散 .....    | 134 |
| 8.5.5 熔渣的导电性 .....       | 135 |
| 8.5.6 熔渣的焓变量和导热性 .....   | 135 |
| 8.6 造渣 .....             | 136 |
| 8.6.1 造渣的目的及要求 .....     | 136 |
| 8.6.2 熔渣的泡沫化 .....       | 137 |
| 思考题 .....                | 139 |
| 9 炼钢的基本反应 .....          | 140 |
| 9.1 炼钢的基本任务 .....        | 140 |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 9.2 铁的氧化和氧的传输 .....           | 141     |
| 9.2.1 铁的氧化 .....              | 141     |
| 9.2.2 熔渣的传氧作用 .....           | 141     |
| 9.2.3 杂质元素的氧化方式 .....         | 142     |
| 9.3 硅和锰的氧化与还原 .....           | 143     |
| 9.3.1 硅的氧化与还原 .....           | 143     |
| 9.3.2 锰的氧化与还原 .....           | 144     |
| 9.4 碳的氧化 .....                | 145     |
| 9.4.1 碳-氧反应在炼钢中的作用 .....      | 145     |
| 9.4.2 碳-氧反应的热力学 .....         | 145     |
| 9.4.3 碳-氧反应的动力学 .....         | 148     |
| 9.4.4 氧气顶吹转炉的碳-氧反应机理和特点 ..... | 151     |
| 9.5 去磷 .....                  | 154     |
| 9.5.1 磷对钢性能的影响 .....          | 154     |
| 9.5.2 去磷反应热力学 .....           | 155     |
| 9.5.3 还原性脱磷 .....             | 160     |
| 9.5.4 回磷 .....                | 162     |
| 9.6 去硫 .....                  | 163     |
| 9.6.1 硫对钢性能的影响 .....          | 163     |
| 9.6.2 去硫的热力学 .....            | 164     |
| 9.6.3 去硫和去磷的动力学 .....         | 170     |
| 9.7 其他元素的氧化 .....             | 171     |
| 9.7.1 铬的氧化 .....              | 171     |
| 9.7.2 钒的氧化 .....              | 174     |
| 思考题 .....                     | 175     |
| <br>10 钢的脱氧及合金化 .....         | <br>177 |
| 10.1 脱氧的目的和任务 .....           | 177     |
| 10.1.1 氧对钢质量的影响 .....         | 177     |
| 10.1.2 脱氧的目的 .....            | 177     |
| 10.1.3 脱氧的基本任务 .....          | 178     |
| 10.2 元素的脱氧能力及常用脱氧元素 .....     | 179     |
| 10.2.1 元素的脱氧能力 .....          | 179     |
| 10.2.2 常用的脱氧元素 .....          | 180     |
| 10.3 各元素的单独脱氧和复合脱氧 .....      | 181     |
| 10.3.1 各元素单独脱氧的特点 .....       | 181     |
| 10.3.2 复合脱氧及其特点 .....         | 183     |
| 10.4 脱氧产物的排除 .....            | 184     |
| 10.5 扩散脱氧 .....               | 186     |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 10.5.1 脱氧方法及其特点 .....       | 186        |
| 10.5.2 扩散脱氧的基本原理 .....      | 187        |
| 思考题 .....                   | 188        |
| <b>11 钢中的非金属夹杂物 .....</b>   | <b>189</b> |
| 11.1 非金属夹杂物的分类 .....        | 189        |
| 11.1.1 按照夹杂物的组成分类 .....     | 189        |
| 11.1.2 按照夹杂物的来源分类 .....     | 192        |
| 11.1.3 按照夹杂物的变形性能分类 .....   | 192        |
| 11.1.4 按照夹杂物的尺寸大小分类 .....   | 193        |
| 11.2 非金属夹杂物对钢性能的影响 .....    | 193        |
| 11.2.1 夹杂物对钢力学性能的影响 .....   | 193        |
| 11.2.2 夹杂物对钢工艺性能的影响 .....   | 195        |
| 11.3 减少钢中非金属夹杂物的途径 .....    | 196        |
| 11.3.1 减少钢中的氧化物夹杂 .....     | 196        |
| 11.3.2 减少钢中的硫化物夹杂 .....     | 197        |
| 思考题 .....                   | 197        |
| <b>12 钢中气体 .....</b>        | <b>198</b> |
| 12.1 钢中的氮 .....             | 198        |
| 12.1.1 钢中氮的来源 .....         | 198        |
| 12.1.2 氮在钢中的溶解 .....        | 198        |
| 12.1.3 氮对钢性能的影响 .....       | 200        |
| 12.1.4 影响钢中氮含量的主要因素 .....   | 200        |
| 12.2 钢中的氢 .....             | 202        |
| 12.2.1 钢中氢的来源 .....         | 202        |
| 12.2.2 氢在钢中的溶解 .....        | 203        |
| 12.2.3 氢对钢性能的影响 .....       | 204        |
| 12.2.4 减少钢中含氢量的措施 .....     | 205        |
| 12.3 常压下的钢液脱气 .....         | 207        |
| 12.3.1 转炉吹炼中钢液气体含量的变化 ..... | 207        |
| 12.3.2 电炉冶炼中钢液气体含量的变化 ..... | 208        |
| 思考题 .....                   | 209        |
| <b>13 钢液的炉外精炼原理 .....</b>   | <b>210</b> |
| 13.1 真空精炼理论 .....           | 210        |
| 13.1.1 真空下的脱氧和脱气 .....      | 211        |
| 13.1.2 真空精炼中的钢液搅拌 .....     | 214        |
| 13.1.3 真空精炼中的钢液加热 .....     | 215        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 13.1.4 真空下钢中元素的挥发 .....    | 216 |
| 13.1.5 真空下耐火材料的分解与还原 ..... | 219 |
| 13.2 非真空精炼原理 .....         | 220 |
| 13.2.1 钢包吹氩 .....          | 220 |
| 13.2.2 氩氧精炼 .....          | 221 |
| 13.3 减少钢中气体的措施 .....       | 222 |
| 13.3.1 加强原材料的干燥及烘烤 .....   | 222 |
| 13.3.2 采用合理的生产工艺 .....     | 222 |
| 思考题 .....                  | 224 |

## 第4篇 传热知识

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 14 炼钢热能 .....                | 225 |
| 14.1 转炉炼钢热能 .....            | 225 |
| 14.2 电弧炉炼钢热能 .....           | 226 |
| 14.3 炼钢用辅助热能 .....           | 227 |
| 14.3.1 冶金生产常用燃料 .....        | 227 |
| 14.3.2 燃料组成和发热量 .....        | 228 |
| 14.3.3 燃烧的基本概念及燃烧温度 .....    | 230 |
| 思考题 .....                    | 233 |
| 15 传热原理 .....                | 235 |
| 15.1 稳定态传导传热 .....           | 235 |
| 15.1.1 传导传热的基本定律 .....       | 235 |
| 15.1.2 平壁导热 .....            | 237 |
| 15.1.3 圆筒壁导热 .....           | 239 |
| 15.2 对流给热 .....              | 240 |
| 15.2.1 对流给热的本质 .....         | 240 |
| 15.2.2 对流给热基本公式 .....        | 241 |
| 15.2.3 对流给热系数的几个实验公式 .....   | 241 |
| 15.3 辐射传热 .....              | 244 |
| 15.3.1 辐射传热的基本概念 .....       | 244 |
| 15.3.2 辐射的基本定律 .....         | 245 |
| 15.3.3 两物体间的辐射热交换 .....      | 247 |
| 15.3.4 气体与固体间的辐射热交换 .....    | 250 |
| 15.4 稳定态综合传热 .....           | 253 |
| 15.4.1 气体与表面间的热交换 .....      | 253 |
| 15.4.2 流体通过固体壁对另一流体的传热 ..... | 254 |
| 思考题 .....                    | 255 |

---

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 16 炼钢炉的热工分析 .....                                                                | 257 |
| 16.1 氧气顶吹转炉 .....                                                                | 257 |
| 16.1.1 氧气转炉内氧流股与传热的关系 .....                                                      | 257 |
| 16.1.2 提高转炉炼钢热能的利用率 .....                                                        | 258 |
| 16.2 电弧炉热工分析 .....                                                               | 258 |
| 16.2.1 电弧炉炉膛内的热交换 .....                                                          | 258 |
| 16.2.2 电弧炉冶炼的能量供给制度 .....                                                        | 260 |
| 思考题 .....                                                                        | 261 |
| 附    录 .....                                                                     | 262 |
| 附录1 化合物的标准生成吉布斯自由能附录 .....                                                       | 262 |
| 附录2 常用物理化学常数表 .....                                                              | 267 |
| 附录3 物理量的单位及两种单位制的转换关系 .....                                                      | 267 |
| 附录4 $\left(\frac{t+273}{100}\right)^4 = \left(\frac{T}{100}\right)^4$ 的计算值 ..... | 268 |
| 参考文献 .....                                                                       | 270 |

# 绪 论

## A 现代炼钢方法

### a 炼钢方法的发展过程

钢是碳、硅、锰及其他元素在铁中的固溶体。钢中存在的元素可大致分为两大类：碳、锰、硅等是用以改善钢的性能，以满足工程材料要求的有益元素；另一类如磷、硫、氧、氢及氮等，是从炉料或从大气中进入钢中的，它们的存在会使大部分钢的性能变坏。炼钢的任务在于通过化学反应，除去主原料（铁水和废钢等）中的杂质，并调整钢水的成分和温度，达到规定的要求，最后铸成合格的铸坯或钢锭。

钢铁是工业的“粮食”，对工业的发展、国家经济力量的水平及其增长都有很大的作用。2004 年我国钢的产量已超过 2.7 亿吨，居世界第一位，生产这么多钢，需要大量的原料和能源，故有效的操作、高产、高效、优质、节能降耗、多品种和低成本是至关重要的。国内外经验表明，采用新工艺、新技术、新型设备，实现大型化、自动化和电子计算机的应用是达到上述要求的有效方法。自动化和电子计算机的应用是我国一再强调的“用电子技术改造传统工业”这一方针的主要内容，它不仅是现代钢铁工业的标志，而且是能获得重大经济效益并在激烈的市场竞争中立于不败之地的重要措施。

自从 1856 年英国冶金学家亨利·贝塞麦发明酸性底吹空气转炉炼钢方法至今，现代炼钢生产在不断探索中发展了近一个半世纪。设备的不断更新和工艺的不断改进，使钢的产量大幅提高，钢的质量日益改善。目前，现代大规模生产的炼钢方法，按热能来源的不同，可分为两大类，即转炉炼钢法和电炉炼钢法。为了进一步提高钢的质量和扩大钢的品种还发展了各种炉外精炼技术。电炉炼钢法广义地应包括电弧炉炼钢法、感应炉炼钢法、电渣炉炼钢法等，但通常电炉炼钢法是指大规模生产的电弧炉炼钢法。当然，感应炉炼钢法、电渣炉炼钢法在特种冶炼中也占有很重要的地位。因此，炼钢的生产流程主要有以下两种：

铁水 → 氧气转炉 → 初炼钢水 → 炉外精炼 → 精炼钢水 → 连铸机(模铸) → 铸坯(锭)  
废钢 → 电弧炉 → 初炼钢水 → 炉外精炼 → 精炼钢水 → 连铸机(锭铸) → 铸坯(锭)

学习炼钢首先要了解钢铁材料的基本知识，钢和铁都是铁碳合金，理论上将钢中碳的质量分数（又称为碳含量） $w[C] < 2.11\%$  的铁碳合金称为钢，然而经常冶炼的钢其碳含量  $w[C] < 1.40\%$ ，个别合金钢中的碳含量  $w[C] = 2.30\%$ （如 Cr12）。碳含量  $w[C] < 0.040\%$  的铁碳合金叫做工业纯铁，碳含量  $w[C] > 2.11\%$  的铁碳合金叫做生铁。钢和生铁在性能上存在着显著的差别。例如：钢具有良好的塑性和韧性，可以进行拉、压、轧、冲、拔等深加工，所以应用十分广泛；而生铁由于含碳量高而质脆、无塑性和韧性，应用受到限制，一般用来浇注铸件或作为炼钢用原料。

必须指出，钢不是简单的铁碳二元合金，而是以铁碳为主要元素的多元合金，这些元素如锰、硅、硫、磷、铬、镍、铜等，存在于钢中，对钢的性能产生各种影响，这些内容将在“钢铁材料知识”的课程中介绍。



钢铁生产首先是从铁矿石中还原出铁,然后将生铁炼成钢,当废钢达到相当多的数量后,废钢可作为冶炼优质钢的原料。

生铁中含碳量  $w[\text{C}] = 3.50\% \sim 4.00\%$ ,而大多数钢的含碳量  $w[\text{C}] < 1.40\%$ ,因此要把生铁炼成钢,首先必须脱碳。

生铁中磷、硫含量都比较高,它们都是钢中的有害元素(少数钢种例外),炼钢过程中必须完成去除磷、硫的任务。

生铁和废钢作为炼钢原料时,含有较多的氮、氢和杂质,这些气体元素和非金属夹杂物对钢的性能是很不利的,炼钢时必须把它们降到最低,一般情况下,去气、去夹杂物是通过脱碳来完成的,所以脱碳过程也是去气、去夹杂物的过程。

炼钢还要根据钢种所规定的化学成分,向钢中加入各种铁合金,进行成分调整,这个操作也称合金化。

冶炼后期或冶炼完毕后倒入钢包的钢液中氧含量增多,氧也是钢中的有害元素,所以还要进行脱氧操作。

出钢时钢液的温度应符合浇注工艺的要求,通常在  $1600^{\circ}\text{C}$  以上,所以炼钢过程也是一个升温和调整温度的过程。

如上所述,炼钢的基本任务可以归纳为:脱碳、脱磷、脱硫、脱氧、去气、去夹杂物、调整成分和温度。

炼钢过程是一个在高温条件下的复杂多相物理化学过程,因此物理化学知识和传热知识是炼钢的重要内容。而炼钢原理是将物理化学的基本原理应用于炼钢过程,所以炼钢原理也称为炼钢过程的物理化学原理,主要研究在炼钢过程中的重要化学反应。

研究炼钢中的化学反应,必须研究在给定条件下,反应进行的可能性、方向和限度;并选择适当的条件使反应沿着指定的方向进行,达到预期的限度。即研究炼钢主要化学反应的热力学规律。

热力学只能预言反应的可能性,而不能回答实践中这种可能性所需要的时间,即不涉及反应机理问题。所以炼钢原理还需要研究炼钢主要化学反应的机理、速度及选择适当的条件来控制反应速度。即研究炼钢主要化学反应的动力学规律。

炼钢原理不仅要研究炼钢中主要化学反应的热力学和动力学,而且还要研究参与反应的物质结构和性质。在两者涉及到的物质中,主要是金属熔体和熔融炉渣。所以炼钢原理部分主要讨论金属熔体、熔渣的结构及其主要的物理化学性质。

研究化学反应的方向、限度、化学反应的热效应和化学反应的速度以及传热的基本规律等,掌握了这些基本知识后,就能对高温条件下的炼钢过程进行分析,从而创造最合适的条件,使炼钢反应得以顺利进行。例如,可找出最合适的炼钢温度;根据钢中元素氧化的先后顺序制定合理的操作步骤等。所以炼钢工在掌握冶炼操作、调整温度、加料、维护炉体等过程中,实际上都是根据一定的物理化学规律和传热规律进行的,力求使有利的反应速度加快,不利的反应速度减慢,从而提高钢的产量和质量。

炼钢基础知识是钢铁冶金专业的一门重要的技术基础课,通过本课程的学习,掌握炼钢的基本规律,为学习转炉炼钢、电炉炼钢、炉外精炼打下理论基础。

工业性的炼钢生产已有 100 多年的历史,近几十年来发展尤为迅速,钢的产量、质量大大提高,设备和工艺都不断更新。目前主要的炼钢方法有氧气转炉炼钢法、电弧炉炼钢法以及正在被普遍采用的炉外精炼法。现分别简述如下。