



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

高炉炼铁基础知识

GAOLU LIANTIE JICHU ZHISHI

贾 艳 李文兴 主编

冶金工业出版社

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

高炉炼铁基础知识

主 编 贾 艳 李文兴

副主编 张宝全

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2006

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,根据现代高炉生产工艺特点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。

全书共分2篇18章,主要介绍了高炉炼铁原料、炼铁基本原理、高炉炼铁设备、炼铁技术新进展及技术经济指标的计算等基本知识,各章后均附有复习思考题。

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

高炉炼铁基础知识/贾艳,李文兴主编. —北京:冶金工业出版社,2005.3(2006.5重印)

ISBN 7-5024-3557-3

I. 高… II. ①贾… ②李… III. 炼铁—基本知识
IV. TF5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 071602 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 王秋芬 美术编辑 王耀忠

责任校对 刘倩 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3月第1版,2006年5月第2次印刷

787mm×1092mm 1/16;16印张;383千字;236页;4001~8000册

38.00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)

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。

目前,我国冶金行业发展迅猛,高炉炼铁技术已成为现代钢铁生产的重要工艺之一。随着高炉炼铁的发展,对操作人员的技术水平要求也越来越高。为了适应高炉炼铁技术发展的需要,我们编写了《高炉炼铁基础知识》一书。

书中内容主要包括高炉炼铁原料、炼铁基本原理、高炉炼铁设备、炼铁技术新进展及技术经济指标等。在具体内容的组织安排上,力求少而精,通俗易懂,便于自学。

本书主编为河北工业职业技术学院材料系贾艳、李文兴,副主编为石家庄钢铁集团公司张宝全,参编人员有石家庄钢铁集团公司赵雷,山西工业职业技术学院侯向东。

在编写本书时还参阅了有关炼铁方面的著作、杂志以及有关人员提供的资料与经验总结,在此向有关作者和出版单位致谢。

本书对冶金类高职高专师生、现场从事炼铁工作的技术人员、技术工人、技工学校师生亦有一定的参考价值。

由于编者水平有限,加之完稿时间仓促,不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 高炉炼铁原料及原理

1 高炉炼铁简述	1
1.1 高炉炼铁的任务及工艺流程	1
1.2 高炉冶炼产品及其用途	2
1.2.1 生铁	2
1.2.2 高炉炉渣	3
1.2.3 高炉煤气	3
1.3 高炉生产主要技术经济指标	3
复习思考题	4
2 炼铁原料及其质量要求	5
2.1 天然铁矿石	5
2.1.1 磁铁矿	5
2.1.2 赤铁矿	5
2.1.3 褐铁矿	5
2.1.4 菱铁矿	5
2.2 烧结矿和球团矿	7
2.2.1 烧结矿	7
2.2.2 球团矿	8
2.3 燃料	8
2.3.1 焦炭在高炉冶炼中的作用	8
2.3.2 高炉冶炼对焦炭质量的要求	8
2.4 熔剂	10
2.4.1 熔剂的作用	10
2.4.2 熔剂的种类	10
2.4.3 高炉炼铁对碱性熔剂的质量要求	10
复习思考题	11
3 高炉解剖研究	12
3.1 高炉解剖研究的意义及现状	12
3.1.1 高炉解剖研究的意义	12

3.1.2 国内外高炉解剖研究的研究现状	12
3.1.3 炉料下降过程的层状分布现象	12
3.2 软熔带及其对高炉行程的影响	13
3.2.1 软熔带的形状	13
3.2.2 影响软熔带形状的因素	13
3.2.3 软熔带对高炉冶炼的影响	13
复习思考题	14
4 炉料的蒸发、挥发与分解	15
4.1 水分的蒸发与水化物的分解	15
4.1.1 吸附水的蒸发	15
4.1.2 结晶水的分解	15
4.2 挥发物的挥发	15
4.2.1 燃料挥发分的挥发	15
4.2.2 其他物质的挥发	16
4.3 碳酸盐的分解	16
4.3.1 石灰石的分解	16
4.3.2 石灰石分解对高炉冶炼的影响	17
4.3.3 消除石灰石不良影响的措施	17
复习思考题	18
5 还原过程与生铁的生成	19
5.1 还原反应的基本理论	19
5.2 铁氧化物的还原	21
5.2.1 用 CO 还原铁氧化物	21
5.2.2 用固定碳还原铁的氧化物	23
5.2.3 用氢还原铁的氧化物	24
5.2.4 复杂化合物中的铁氧化物的还原	26
5.3 非铁元素的还原	26
5.3.1 锰的还原	27
5.3.2 硅的还原	27
5.3.3 磷的还原	28
5.3.4 铅、锌、砷的还原	29
5.4 铁氧化物的直接还原和间接还原对焦比的影响	29
5.4.1 直接还原度的概念	29
5.4.2 直接还原与间接还原对焦比的影响	30
5.4.3 降低焦比的基本途径	32
5.5 生铁的形成与渗碳过程	33
复习思考题	34

6 炉渣与脱硫	35
6.1 炉渣的成分与作用	35
6.1.1 炉渣的成分	35
6.1.2 炉渣的作用	36
6.2 炉渣的性质及其影响因素	36
6.2.1 熔化性	36
6.2.2 炉渣的黏度	39
6.2.3 炉渣的稳定性	41
6.3 高炉内的成渣过程	41
6.3.1 初成渣的生成	42
6.3.2 中间渣的变化	42
6.3.3 终渣的形成	43
6.4 高炉内的脱硫	43
6.4.1 硫在高炉中的变化及决定生铁含硫量的因素	43
6.4.2 炉渣的脱硫能力	45
6.4.3 实际生产中有关脱硫问题的处理	46
6.5 生铁的炉外脱硫	47
6.5.1 炉外脱硫的目的和必要性	47
6.5.2 炉外脱硫剂和脱硫方法	47
6.6 炉渣成分的选择	48
复习思考题	49
7 炉缸燃烧与煤气在上升过程中的变化	50
7.1 焦炭和其他燃料的燃烧	50
7.1.1 燃烧反应	50
7.1.2 炉缸煤气成分和数量计算	51
7.1.3 炉缸煤气成分沿半径方向的变化	52
7.2 理论燃烧温度与炉缸内的温度分布	54
7.2.1 理论燃烧温度	54
7.2.2 炉缸煤气温度的分布	55
7.3 燃烧带的大小及影响因素	56
7.3.1 燃烧带的大小对高炉冶炼的影响	56
7.3.2 影响燃烧带大小的因素	57
7.3.3 煤气在炉缸内的初始分布对高炉过程的影响	59
7.4 煤气在上升过程中的变化	60
7.4.1 煤气在上升过程中的体积和成分的变化	60
7.4.2 煤气上升过程中压力的变化	61
7.5 高炉内的热交换	62

7.5.1 热交换基本规律	62
7.5.2 水当量概念	62
7.5.3 高炉上部热交换及影响高炉炉顶温度的因素	63
7.5.4 高炉下部热交换及对炉缸温度的影响因素	64
复习思考题	64
8 炉料和煤气运动及其分布	65
8.1 炉料运动	65
8.1.1 炉料下降条件及力学分析	65
8.1.2 影响 $W_{\text{有效}}$ 和 Δp 的因素	66
8.1.3 炉料运动与冶炼周期	69
8.2 煤气运动及分布	73
8.2.1 通过软熔带时的煤气流动	73
8.2.2 煤气运动失常	74
8.2.3 高炉内煤气流分布	74
8.3 上下部调剂的综合运用	81
复习思考题	82
9 高炉强化冶炼与技术发展	83
9.1 高炉强化的基本内容	83
9.1.1 提高高炉生产率的途径	83
9.1.2 提高冶炼强度	84
9.2 精料	85
9.2.1 提高矿石的品位	86
9.2.2 提高熟料使用率	86
9.2.3 稳定原、燃料的化学成分	86
9.2.4 加强原料的整粒工作	86
9.2.5 改善炉料的高温冶金性能	86
9.2.6 高炉的合理炉料结构	86
9.2.7 改进焦炭质量	87
9.3 高压操作	87
9.3.1 高压操作的条件和设备系统	88
9.3.2 高压操作的效果	88
9.3.3 高压高炉的操作特点	89
9.4 高风温	90
9.4.1 提高风温对高炉冶炼的作用	90
9.4.2 高风温与降低焦比的关系	91
9.4.3 高风温与喷吹燃料的关系	91
9.4.4 高风温与炉况顺行的关系	92

9.4.5 高炉接受高风温的条件	92
9.4.6 当前我国热风温度徘徊不前的原因	92
9.5 喷吹燃料	93
9.5.1 喷吹燃料对高炉冶炼的影响	93
9.5.2 喷吹量与置换比	95
9.6 富氧与综合鼓风	95
9.6.1 富氧鼓风	95
9.6.2 综合鼓风	97
9.7 加湿与脱湿鼓风	97
9.8 低硅生铁的冶炼	98
9.8.1 硅在高炉内的还原机理	98
9.8.2 冶炼低硅生铁的措施	98
9.9 高寿命炉衬	99
9.10 高炉节能	99
9.10.1 炼铁工序的能源结构	99
9.10.2 高炉节能的主要方向	100
9.11 冶炼新技术	101
9.11.1 高炉大型化	101
9.11.2 炉料分布控制技术	101
9.11.3 脱湿鼓风	101
9.11.4 二次能源的回收和利用	102
复习思考题	103
10 炼铁工艺计算	104
10.1 配料计算	104
10.1.1 计算的原始条件	104
10.1.2 配料计算方法	107
10.2 物料平衡计算	112
10.2.1 原始数据	112
10.2.2 物料平衡计算方法	112
10.3 高炉热平衡计算	116
10.3.1 计算热量收入($Q_{收}$)	116
10.3.2 计算热量支出($Q_{支}$)	117
10.3.3 编制热平衡表	119
10.3.4 高炉热量利用率的计算	119
10.4 现场操作计算	120
10.4.1 现场配料计算	120
10.4.2 变料计算	123
10.4.3 高炉操作综合计算实例	127

复习思考题	129
-------------	-----

第二篇 高炉炼铁设备

11 高炉炼铁车间设计	130
11.1 高炉座数及容积的确定	130
11.1.1 生铁产量的确定	130
11.1.2 高炉炼铁车间总容积的确定	130
11.1.3 高炉座数的确定	131
11.2 高炉炼铁车间平面布置	131
11.2.1 高炉炼铁车间平面布置应遵循的原则	131
11.2.2 高炉炼铁车间平面布置形式	131
复习思考题	134
12 高炉本体	135
12.1 高炉炉型	135
12.1.1 炉型的发展过程	135
12.1.2 五段式高炉炉型	135
12.1.3 炉型计算例题	139
12.2 高炉炉衬	141
12.2.1 炉衬的作用	141
12.2.2 高炉各部位炉衬的工作条件及破损机理	141
12.2.3 高炉用耐火材料	143
12.2.4 高炉炉衬的设计与砌筑	146
12.3 高炉冷却	153
12.3.1 冷却设备的作用	153
12.3.2 冷却介质	153
12.3.3 高炉冷却设备	153
12.3.4 冷却设备的工作制度	160
12.3.5 高炉给排水系统	162
12.3.6 高炉冷却系统	162
12.4 高炉钢结构	163
12.4.1 高炉本体钢结构	164
12.4.2 炉壳	165
12.5 高炉基础	166
12.5.1 高炉基础的负荷	166
12.5.2 对高炉基础的要求	167
复习思考题	167
13 原燃料供应系统	169

13.1 槽上运输	169
13.2 贮矿槽、贮焦槽及槽下运输称量	169
13.2.1 贮矿槽与贮焦槽	169
13.2.2 槽下运输称量	170
13.3 料车坑	171
13.4 上料设备	171
13.4.1 料车式上料机	172
13.4.2 皮带机上料系统	173
复习思考题	174
14 炉顶装料设备	175
14.1 钟式炉顶装料设备	175
14.1.1 布料器	175
14.1.2 装料器	177
14.2 无钟炉顶装料设备	178
14.2.1 并罐式无钟炉顶装料设备	178
14.2.2 串罐式无钟炉顶装料设备	180
14.2.3 无钟炉顶的布料方式	180
14.3 均压装置	181
14.4 探料装置	181
14.4.1 探料尺	181
14.4.2 微波式料面计	182
14.4.3 激光料面计	182
复习思考题	182
15 送风系统	183
15.1 高炉用鼓风机	183
15.1.1 高炉冶炼对鼓风机的要求	183
15.1.2 高炉鼓风机工作原理及特性	184
15.2 内燃式热风炉	186
15.2.1 传统型内燃式热风炉	186
15.2.2 改进型内燃式热风炉	193
15.3 外燃式热风炉	195
15.4 顶燃式热风炉	196
15.5 球式热风炉	196
15.6 提高风温的途径	197
复习思考题	197
16 高炉喷吹煤粉系统	198

16.1 煤粉制备系统	198
16.1.1 煤粉制备工艺	198
16.1.2 制粉主要设备	200
16.2 煤粉喷吹系统	204
16.2.1 喷吹工艺	204
16.2.2 喷吹主要设备	206
16.3 喷煤技术的发展	208
16.4 烟煤喷吹的安全措施	209
16.4.1 煤粉爆炸的条件	209
16.4.2 高炉喷吹烟煤的安全措施	210
复习思考题	211
17 高炉煤气处理系统	212
17.1 煤气除尘设备及原理	213
17.1.1 粗除尘设备	213
17.1.2 半精细除尘设备	214
17.1.3 精细除尘设备	215
17.2 脱水器	216
17.2.1 重力式脱水器	217
17.2.2 挡板式脱水器	217
17.2.3 填料式脱水器	217
17.3 煤气除尘系统附属设备	218
17.3.1 荒煤气管道	218
17.3.2 煤气遮断阀	218
17.3.3 煤气放散阀	219
17.3.4 煤气切断阀	219
17.3.5 调压阀组	219
复习思考题	220
18 渣铁处理系统	221
18.1 风口平台及出铁场	221
18.1.1 风口平台及出铁场	221
18.1.2 铁口、渣铁沟和撇渣器	221
18.1.3 摆动溜嘴	223
18.2 炉前主要设备	223
18.2.1 开铁口机	223
18.2.2 堵铁口泥炮	225
18.2.3 堵渣口机	226
18.2.4 炉前吊车	227

18.3 铁水处理设备	227
18.3.1 铁水罐车	227
18.3.2 铸铁机	228
18.4 炉渣处理设备	229
18.4.1 水淬渣生产	229
18.4.2 干渣生产	233
18.4.3 渣棉生产	233
18.4.4 膨渣生产	234
18.4.5 冲渣注意事项	234
复习思考题	234
 参考文献	 236

- 1—矿石输送皮带机;2—称量漏斗;3—贮矿槽;4—焦炭输送皮带机;5—给料机;6—粉焦输带机;
7—粉焦仓;8—贮焦槽;9—电除尘器;10—调节阀;11—文氏管除尘器;12—净煤气放散管;13—下降管;
14—重力除尘器;15—上料皮带机;16—焦炭称量漏斗;17—矿石称量漏斗;18—冷风管;19—烟道;
20—蓄热室;21—热风主管;22—燃烧室;23—煤气管;24—混风管;25—烟囱

(1) 供料系统。包括贮矿槽、贮焦槽、称量与筛分等一系列设备,其任务是将高炉冶炼所需原燃料通过上料系统装入高炉。

(2) 送风系统。包括鼓风机、热风炉及一系列管道和阀门等,其任务是连续可靠地供给高炉冶炼所需的热风。

(3) 煤气除尘系统。包括煤气管道、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器等,其任务是将高炉冶炼所产生的煤气,经过一系列的净化使其含尘量降至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,以满足用户对煤气质量的要求。

(4) 渣铁处理系统。包括出铁场、开铁口机、堵渣口机、炉前吊车、铁水罐车及水冲渣设备等,其任务是及时处理高炉排放出的渣、铁,保证高炉生产正常进行。

(5) 喷吹燃料系统。包括原煤的储存、运输、煤粉的制备、收集及煤粉喷吹等,其任务是均匀稳定地向高炉喷吹大量煤粉,以煤代焦,降低焦炭消耗。

高炉炼铁过程是连续不断进行的,高炉上部不断装入炉料和有煤气被导出,下部不断鼓入空气(有时富氧)和定期排放出渣铁。入炉料主要有含铁物料、焦炭和熔剂等。

1.2 高炉冶炼产品及其用途

高炉生产的主要产品是生铁,副产品有炉渣、煤气及煤气带出的炉尘。

1.2.1 生铁

生铁按化学成分和用途可分为三种。

1.2.1.1 炼钢生铁

炼钢生铁是炼钢的主要原料,表 1-1 列出了炼钢生铁标准。一般情况下生产炼钢生铁主要是控制其硅、硫含量。

表 1-1 炼钢用生铁铁号及化学成分(%)

铁 种			炼 钢 用 生 铁		
铁 号	牌 号		炼 04	炼 08	炼 10
	代 号		L04	L08	L10
化学成分	硅		≤0.45	<0.45 ~0.85	<0.85 ~1.25
	硫	特 类	≤0.02		
		一 类	>0.02 ~0.03		
		二 类	>0.03 ~0.05		
		三 类	>0.05 ~0.07		
	锰	一 组	≤0.03		
		二 组	>0.03 ~0.05		
三 组		>0.05			
磷	一 级	≤0.15			
	二 级	>0.15 ~0.25			
	三 级	>0.25 ~0.4			