

GAOLU LIANTIE SHENGCHAN JISHU SHOUCHE

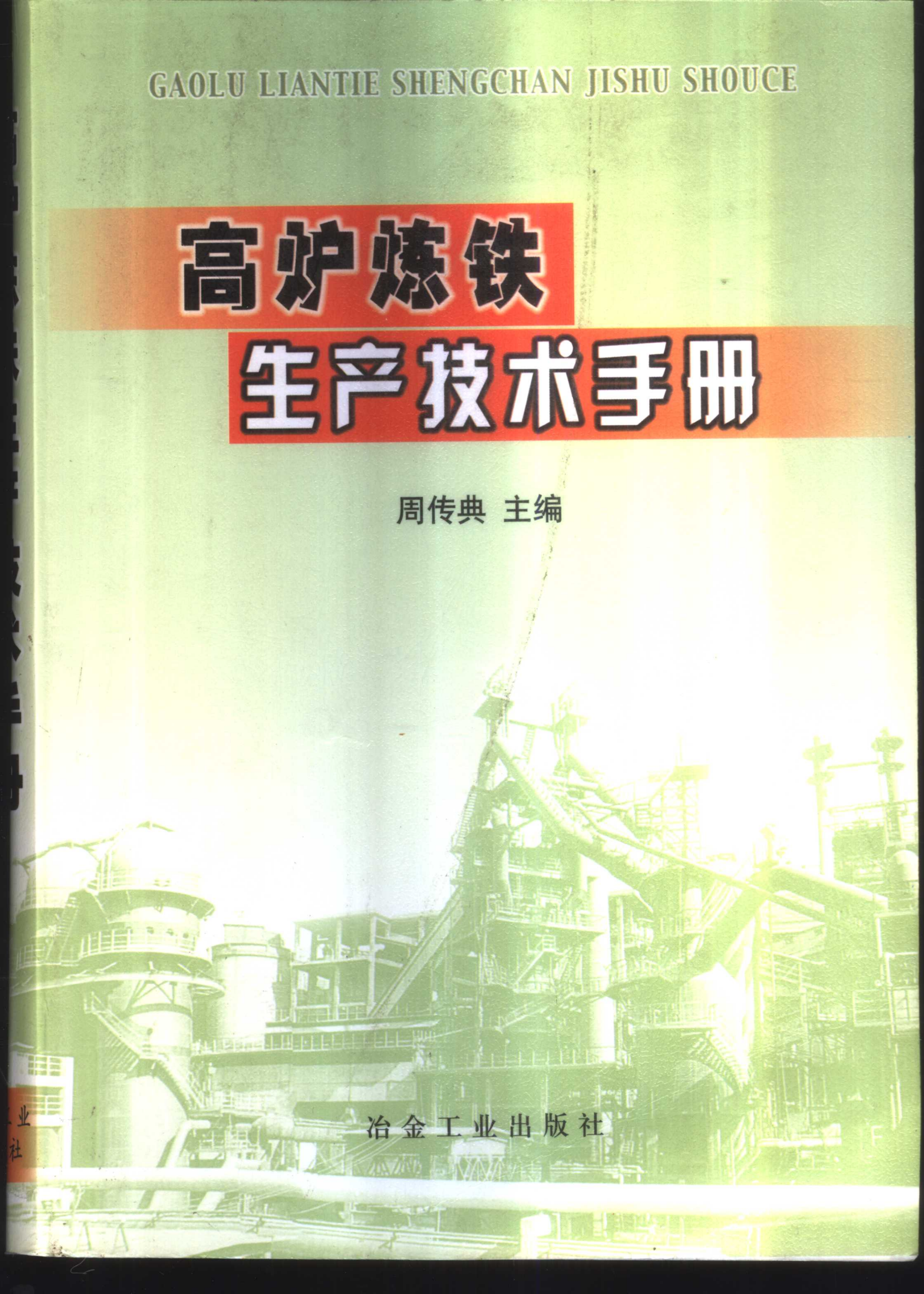
# 高炉炼铁

# 生产技术手册

周传典 主编

冶金工业出版社

业  
社



# 高炉炼铁生产技术手册

主 编 周传典

副主编 刘万山 王筱留 许冠忠

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2002

### 图书在版编目(CIP)数据

高炉炼铁生产技术手册/周传典主编. —北京:冶金工业出版社, 2002. 8

ISBN 7-5024-3013-X

Ⅰ. 高… Ⅱ. 周… Ⅲ. 高炉炼铁—技术手册  
Ⅳ. TF54-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 033143 号

出版人 曹胜利(北京沙滩高祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 李继蕙 郭历平 美术编辑 李 心 责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2002 年 8 月第 1 版, 2002 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 56.5 印张; 1548 千字; 881 页; 1:3000 册

118.00 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)

# 《高炉炼铁生产技术手册》

## 编委会成员名单

(按姓氏汉语拼音顺序排列)

蔡漳平	常久柱	陈 谦	陈昆生
刁日升	窦力威	窦庆和	杜鹤桂
高清举	龚树山	郭可中	韩 庆
韩建臻	胡小云	黄达文	雷有高
李 鸣	李朝金	李怀远	梁津源
刘道林	刘万山	刘云彩	刘正平
罗登武	苗治民	秦 勇	汤清华
王殿君	王喜庆	王祥元	王筱留
谢国海	徐 刚	徐矩良	许冠忠
杨 镛	杨淙垣	杨振和	由文泉
于仲浩	袁万能	周传典	

# 前 言

1999年夏冶金工业出版社侯盛镗副社长来访,倡议改编《高炉炼铁工艺及计算》一书并向各方面征求意见。这一倡议首先获得鞍钢技术中心和过去编写该书的专家们的支持,在全国也得到出乎意料的回应。凡是被征询的专家,如徐矩良、杜鹤桂、刘云彩、王筱留、刘秉铎、王喜庆、王祥元等,没有一个不赞成的,都说出版社抓得对,还都提出了不少有价值的改编建议。他们都是炼铁界的知名人士,已经退休,甘愿为炼铁事业再出一份力。对我来说,同意这个建议的原因大致有以下两点:

第一点,据介绍,鞍钢炼铁厂曾在20世纪70年代编印过《高炉炼铁工艺及计算》,很受欢迎。80年代,冶金工业出版社请成兰伯同志组织有关人士对此稿进行校勘,全国大多数炼铁厂参加了编审工作,将内容扩充到80多万字,正式出版。后因颇受青睐,多次重印。有人估计全国的高炉工长、炉长几乎人手一册,可以说是钢铁类图书的畅销书之一。我找来这部书,粗读一遍,深有感触。这部书的理论并不深奥,文风亦很朴素。它为什么会那样受欢迎,我是很理解的。回想起解放后从1949年到1951年的三年中,我到鞍钢炼铁厂把从敌人手中接收的高炉修复之后,当了三年工长、炉长。那个时候我没有一点实际经验,在校时学到的点滴知识,也用不到实际操作上去,可以说完全是在实践中慢慢摸索。炉子顺行不知是什么原因,炉况失常也找不到毛病在哪里,非常苦恼。如果当时有这类书作参考该有多好呀!所以我很早就想过:我们这些老工长、老炉长应该把自己一生的经验和体会写出来,交给年轻的一代。1997年在鞍钢的一次会议上,我说了句诚恳的笑话:“我们的这把老骨头,辛苦一生,不要把知识带到坟墓里去!”我的话引起很大反响,老专家们迅速编写了一本《鞍钢炼铁技术的形成与发展》。现在他们又都积极参加了这部书的改编工作。

第二点,我看了70年代和80年代的两个版本,既感到这部书的巨大作用,又看到它在新世纪中的不足。我这一辈子,先是从1949年到1978年的30年间,由担任高炉工长到冶金部的炼铁处长,从高炉操作到炼铁管理,从未离开过专业,故而对炼铁情有独钟!1979年以后,从管炼铁到管钢铁,因此熟悉50年来中国炼铁工业发展的轨迹。我把它分为三个时期:第一个时期是以鞍钢为代表和源头的高涨时期;第二个时期是从1966年到1978年的停滞时期;第三个时期则是从1979年到现在第二次高涨时期。在此期间,全国大型高炉以宝钢为代表,引进、消化国外新技术,利用系数纷纷跨过2.0,正在向国际水平迈进;中型高炉则以安阳钢铁厂和三明钢铁厂为代表,利用系数纷纷跨过3.0,正在向3.5迈进,有的如三明钢铁厂正向4.0靠近,引起国外炼铁界的重视。我们及时召开了大型高炉和中型高炉的会议,介绍他们的经验。而第一高涨期的鞍钢已落在了后边,显然以它为蓝本的工艺技术便显得不符合当前的要求了。这就是原书最重要的不足之处。在《高炉炼铁工艺及计算》的基础上,编写《高炉炼铁生产技术手册》必须要吸收宝钢、三明、安阳等现代先进厂的经验,这是新时代的要求,也是技术进步的必然结论,编委会对此取得了共识。

1999年秋,在刘玠、刘万山同志的支持下,在鞍钢召开了第一次编委会,组成了编写班子,主要撰稿人有高光春、杨世农、袁庸夫、安云沛、张万仲、吴延辉、金镇德、戴嘉惠等8人。

确定了这部书的框架和编写大纲之后,分发给部分炼铁厂,征求意见。

2000年夏,编写组在完成初稿后,分头赴国内各大先进炼铁厂考察,收集资料。趁炼铁综合会在宝钢开会之机,又在那里开了第二次编委会,这部书的副主编许冠忠同志,在会上分别拜访了各厂的领导人,分发了“编辑《高炉炼铁生产技术手册》编委会会议纪要”,汇报情况,征求意见,并扩大了编委会。有许多炼铁厂的专家积极参加进来,如宝钢郭可中,武钢于冲浩,首钢由文泉,攀钢刁日升,太钢梁津源,马钢黄达文,唐钢常久柱,本钢王殿君,鞍钢炼铁厂窦力威、汤清华,包钢杨镛,安(阳)钢窦庆和,邯钢刘正平,宣钢李鸣,酒钢韩建臻,济钢李源平,南(京)钢杨振和,新(余)钢刘道林,新疆八钢袁万能,南(昌)钢胡小云,柳钢谢国海,重钢罗登武,重钢雷有高等。随后即启动初稿的审定工作。

2001年初,编写组完成编委会审定后的初稿,我在北京请徐矩良、王筱留、刘云彩、王祥四位专家审阅,四位专家欣然同意。他们非常认真,在确定审稿原则后,分章进行了仔细审阅。审阅过程中,他们互相交流情况,讨论问题,交换意见,而且写出了详细的修改意见,并提出了参考书目。为了进一步提高书稿质量,便于更好地修改,2001年5月,在鞍钢技术中心刘万山同志的组织下,在鞍山召开了审稿会。上述几位审稿同志、东北大学的杜鹤桂教授以及冶金工业出版社的同志参加了会议。会上肯定了四位审稿同志的意见,审稿的同志分别与撰稿人充分交换了看法。会上决定由撰稿人根据会上审定的意见进行修改。修改稿送北京后,王筱留、徐矩良、刘云彩三位同志受我之托再次对书稿进行了反复修改、增删,某些地方甚至重新编写;王筱留同志受鞍山审稿会之托,统览全稿,系统修改;2002年3月,我与上述几位同志一起在冶金工业出版社审阅定稿。上述几位同志,为本书的定稿认真、负责,劳心劳力,做出了可贵的奉献。值此本书出版之际,向他们表示深切的谢意。

鞍钢技术中心刘万山同志自始至终领导编写组的工作,召开编写组会议8次之多,解决编写中的各项困难,对编写组工作给以各方面的全力支持。特别是在编委会审定初稿时,认真记录、听取各方审查意见,组织编写组成员认真讨论,仔细修改,对全书的编写工作做出了积极贡献。此外,本书从开始到截稿,许冠忠同志独任其劳,跑北京、跑上海,会见各位编委,沟通意见,联系工作,送达稿件,组织会议,都是他一人承担,却无任何报酬。这部书稿编写工作得以完成,他功不可没,应该向他表示感谢,难得这样的热心人。

编写组在收集资料、考察过程中,先后得到首钢炼铁厂、安(阳)钢炼铁厂、武钢炼铁厂及技术部、宝钢炼铁厂及技术中心和济钢一铁等单位大力支持,这些厂热情提供资料和介绍有关情况,使本书资料趋于详实完整。鞍山钢院李文忠教授认真阅读了热风炉一章并提供了宝贵意见;安(阳)钢炼铁厂南向民、魏群同志为炼铁综合计算一章提供了资料;武钢陈令坤等同志以及浙大刘祥官教授提供了人工智能与专家系统方面的应用情况资料;首钢炼铁厂温仕淇、孙洁娜,宝钢李维国、陶荣耀、徐守厚、邓炳扬、胡伯康、济钢一铁程颖久、贾广顺等同志也提供了有关资料,对此一并致谢。

周传典

2002年4月

# 目 录

1 炼铁原料 .....	1	结构构造 .....	27
1.1 炼铁精料 .....	1	1.3.2 烧结矿化学成分与冶金性能的关系 .....	28
1.1.1 高炉炼铁对精料的要求 .....	1	1.3.2.1 烧结碱度与冶金性能的关系 .....	28
1.1.1.1 提高入炉品位 .....	1	1.3.2.2 烧结矿品位、二氧化硅含量与冶金性能的关系 .....	30
1.1.1.2 控制入炉矿的脉石组成和杂质含量 .....	2	1.3.2.3 烧结矿氧化亚铁含量与冶金性能的关系 .....	30
1.1.1.3 做好入炉料成分稳定的工作 .....	4	1.3.2.4 烧结矿中氧化镁、三氧化二铝含量与冶金性能的关系 .....	31
1.1.1.4 提高入炉料的强度和优化粒度组成 .....	5	1.3.2.5 烧结矿中氟化钙和二氧化钛含量与冶金性能的关系 .....	32
1.1.1.5 提高入炉料的冶金性能 .....	7	1.3.3 改善烧结矿冶金性能的技术措施 .....	33
1.1.2 高炉炉料结构合理化 .....	10	1.3.3.1 烧结精料 .....	33
1.1.2.1 几个主要国家高炉炉料结构的特点 .....	11	1.3.3.2 原料中和混匀 .....	34
1.1.2.2 我国高炉炉料结构的优化 .....	12	1.3.3.3 配料自动化 .....	34
1.2 天然块矿 .....	13	1.3.3.4 均匀烧结 .....	35
1.2.1 含铁矿物的分类及铁矿石工业类型的划分 .....	13	1.3.3.5 烧结过程自动控制 .....	35
1.2.2 天然矿石的冶炼性能 .....	13	1.3.3.6 厚料层烧结 .....	36
1.2.2.1 强度与粒度组成 .....	13	1.3.3.7 低温烧结法 .....	36
1.2.2.2 热爆裂性能 .....	15	1.3.3.8 热风烧结 .....	37
1.2.2.3 高温冶金性能 .....	16	1.3.3.9 小球烧结与球团烧结法 .....	38
1.2.3 天然矿石的综合评价 .....	17	1.3.3.10 双层布料、双碱度料烧结与双球烧结 .....	39
1.2.4 部分国内与进口天然矿的理化性能 .....	17	1.3.3.11 改善入炉烧结矿粒度组成的措施 .....	40
1.3 烧结矿 .....	19	1.3.3.12 降低烧结矿低温还原粉化率的措施 .....	41
1.3.1 烧结矿矿物组成与显微结构 .....	19	1.3.4 近年来主要重点企业与典型地方骨干企业烧结矿产质量及主要技术经济指标 .....	42
1.3.1.1 高碱度烧结矿矿物组成与显微结构 .....	24	1.3.4.1 我国主要重点企业烧结矿产	
1.3.1.2 自熔性烧结矿的矿物组成和显微结构 .....	25		
1.3.1.3 酸性烧结矿矿物组成和			

质量及主要技术经济指标	42	球团厂产质量及主要技术	
1.3.4.2 我国典型地方骨干企业烧结		经济指标	55
矿产质量及主要技术经济		1.4.5 部分国外及进口球	
指标	42	团矿理化性能	57
1.3.4.3 日本部分企业烧结矿产		1.4.6 部分国内外球团矿	
质量及主要技术经济指标	43	质量标准	58
1.3.5 YB/T 421—92 铁烧结矿		1.5 原料的理化与冶金性能	
行业标准中的技术要求	44	及检测方法	59
1.4 球团矿	45	1.5.1 常规化学成分	59
1.4.1 球团矿矿物组成与显微		1.5.2 其他元素	59
结构	45	1.5.3 粒度组成	59
1.4.1.1 球团矿的固结	45	1.5.4 物理性能	60
1.4.1.2 国外几种球团矿的矿物		1.5.5 特殊检验	60
组成	47	1.5.6 冶金性能检测	60
1.4.1.3 鞍钢氧化镁酸性球团矿矿物		1.5.6.1 转鼓强度检测	60
组成与结构构造	47	1.5.6.2 落下指数	61
1.4.1.4 含硼自熔性球团矿的矿物		1.5.6.3 抗压强度	61
组成	48	1.5.6.4 贮存强度	61
1.4.2 球团矿冶金性能及其影响		1.5.6.5 热爆裂性能	61
因素	49	1.5.6.6 低温还原粉化性能	62
1.4.2.1 不同品种精矿制造的球团矿		1.5.6.7 还原性能	62
的冶金性能	49	1.5.6.8 铁矿球团还原膨胀性能	63
1.4.2.2 不同焙烧方式对球团矿冶金		1.5.6.9 荷重还原软化性能和	
性能的影响	49	熔滴性能	63
1.4.2.3 不同品位商品球团矿的		1.6 熔剂	64
冶金性能	50	1.6.1 石灰石	64
1.4.2.4 含氧化钙、氧化镁球团矿		1.6.2 白云石、菱镁石和	
的冶金性能	50	蛇纹石	65
1.4.2.5 球团矿的还原膨胀性能	52	1.6.3 硅石	66
1.4.3 提高球团矿质量的技术		1.6.4 转炉钢渣	66
措施	52	1.7 辅助原料	68
1.4.3.1 球团矿生产对铁精矿和		1.7.1 碎铁	68
熔剂添加剂质量的要求	52	1.7.2 轧钢皮与均热炉渣	68
1.4.3.2 黏结剂品种与质量	52	1.7.3 天然锰矿石	68
1.4.3.3 酸性球团矿质量的优化	53	1.7.4 萤石	69
1.4.3.4 焙烧过程均匀化与质量		1.7.5 钛渣及含钛原料	69
的严格控制	54	参考文献	70
1.4.3.5 多孔球团与破碎球团	54		
1.4.3.6 内燃球团矿	55		
1.4.4 近年来我国主要带式机、			
链算机—回转窑、竖炉		2 高炉燃料	72



2.1 焦炭 .....	72	对还原剂消耗量的影响 .....	107
2.1.1 高炉焦炭的理化性质 .....	72	3.1.3.1 直接还原度 .....	107
2.1.1.1 高炉焦炭的结构性质 .....	72	3.1.3.2 直接及间接还原发展程度	
2.1.1.2 焦炭分析 .....	74	及对还原剂消耗的影响 .....	108
2.1.1.3 焦炭的化学性质 .....	76	3.1.4 非铁元素的还原 .....	109
2.1.1.4 焦炭的物理性质 .....	77	3.1.4.1 硅 .....	109
2.1.1.5 焦炭机械强度 .....	81	3.1.4.2 锰 .....	111
2.1.1.6 焦炭力学性质 .....	82	3.1.4.3 磷 .....	112
2.1.1.7 其他 .....	84	3.1.4.4 硫 .....	112
2.1.2 高炉冶炼对焦炭质量的要求 .....	85	3.1.4.5 其他元素 .....	113
2.1.2.1 焦炭在高炉内的变化 .....	85	3.1.5 铁中渗碳过程及生铁的形成 .....	115
2.1.2.2 高炉冶炼对焦炭质量的要求 .....	86	3.2 炉料在高温下的性状变化及造渣过程 .....	116
2.1.3 提高焦炭质量的措施 .....	89	3.2.1 炉料的分解与挥发 .....	116
2.1.4 焦炭质量与经济效益 .....	92	3.2.1.1 炉料的水分蒸发与水化	
2.2 煤粉 .....	92	物分解 .....	116
2.2.1 高炉喷吹用煤的工艺性能 .....	92	3.2.1.2 燃料中挥发分的逸出 .....	116
2.2.1.1 煤的孔隙率 .....	92	3.2.1.3 碳酸盐分解 .....	116
2.2.1.2 煤的比表面积 .....	93	3.2.1.4 其他物质的挥发 .....	117
2.2.1.3 煤的可磨性 .....	93	3.2.2 炉料的高温性状变化及软熔滴落过程 .....	117
2.2.1.4 煤的着火温度 .....	93	3.2.3 造渣过程及炉渣性能 .....	118
2.2.1.5 煤灰熔融性 .....	93	3.2.3.1 高炉的造渣过程 .....	118
2.2.1.6 胶质层厚度 Y 值 .....	94	3.2.3.2 成渣过程对高炉冶炼的影响 .....	119
2.2.1.7 煤的 CO <sub>2</sub> 反应性 .....	94	3.2.3.3 炉渣结构及矿物组成 .....	119
2.2.1.8 煤粉的流动性 .....	94	3.2.3.4 高炉渣的物理性质及其影响因素 .....	121
2.2.1.9 煤的细度(粒度) .....	94	3.2.3.5 炉渣的化学性质 .....	127
2.2.1.10 煤粉爆炸性 .....	96	3.3 高炉内的煤气、炉料及渣铁的运动 .....	127
2.2.2 高炉对喷吹煤的性能要求 .....	97	3.3.1 料柱中煤气流的运动 .....	128
2.3 气体燃料 .....	98	3.3.1.1 料柱的多孔介质特性 .....	128
参考文献 .....	99	3.3.1.2 煤气在料柱中运动的阻力损失 .....	130
		3.3.1.3 煤气在块状带中的流动特点及影响因素 .....	132
		3.3.1.4 煤气在软熔带和滴落带的流动 .....	134
<b>3 高炉冶炼的基本理论</b> .....	101		
3.1 炉料还原过程 .....	101		
3.1.1 铁氧化物还原热力学 .....	102		
3.1.2 铁氧化物还原的动力学 .....	105		
3.1.2.1 还原机理 .....	105		
3.1.2.2 还原反应速度 .....	105		
3.1.2.3 影响铁矿石还原的因素 .....	106		
3.1.3 直接还原度及其发展程度 .....			

3.3.1.5 煤气在高炉内的流动 与分布的理论解析	136	3.5.3.3 布料控制模型	185
3.3.2 炉料分布与下降运动	142	3.6 高炉过程的人工智能控制 和专家系统	188
3.3.2.1 炉料落点位置及轨迹 计算	142	3.6.1 人工智能技术和专家 系统在高炉上的应用	188
3.3.2.2 炉料的堆角	146	3.6.1.1 概况	188
3.3.2.3 炉料粒度的径向分布	148	3.6.1.2 专家系统控制的基本 方式	190
3.3.2.4 混合料区的形成与焦炭 料层的崩塌现象	149	3.6.1.3 高炉 ES 系统的构成	192
3.3.2.5 炉料的下降与流化	150	3.6.2 炉况诊断与评价 ES 系统	193
3.3.3 高炉内的渣铁液体运动	153	3.6.3 炉况顺行及异常预报 与控制 ES 系统	198
3.3.3.1 渣铁液体在滴落时液泛 现象和流化现象	153	3.6.4 炉热监测和控制 ES 系统	200
3.3.3.2 渣铁液滴的滴下运动	154	3.6.5 炉顶布料控制的 AI 系统	203
3.3.3.3 炉缸中的渣铁运动	157	3.6.6 出铁操作指导 ES 系统	205
3.4 高炉内的热量传递与平衡	158	3.6.7 大型高炉(武钢 4 号)专家 系统应用实例简介	207
3.4.1 风口前燃料燃烧及理论 燃烧温度	158	3.6.7.1 高炉热状态控制	207
3.4.2 高炉内的热交换过程	159	3.6.7.2 对高炉操作炉型的管理	208
3.4.3 高炉内的热量平衡与 利用	161	3.6.7.3 专家系统的顺行控制	209
3.5 高炉冶炼过程计算机控制与 数学模型	163	3.6.7.4 对炉缸平衡的管理	210
3.5.1 高炉过程计算机控制 系统的功能与结构	163	3.6.8 在小型高炉(300m <sup>3</sup> 级) 上过程监控系统的应用 实例介绍	210
3.5.1.1 计算机系统功能与配置	163	参考文献	214
3.5.1.2 数学模型的发展与建立	165	4 高炉炉体结构及维护	217
3.5.1.3 计算机控制对检测信息 的要求	171	4.1 高炉炉顶装料设备	217
3.5.2 高炉中长期控制的模拟 模型	174	4.1.1 钟式装料设备	220
3.5.2.1 Rist 操作线	174	4.1.1.1 固定受料斗	220
3.5.2.2 碳比—直接还原度模型	177	4.1.1.2 布料器	220
3.5.2.3 软熔带模型	177	4.1.1.3 小钟及小料斗	223
3.5.2.4 高炉炉缸炉底侵蚀线 推定模型	181	4.1.1.4 大钟及大料斗	224
3.5.3 高炉短期控制的数学 模型	183	4.1.1.5 大小钟传动	226
3.5.3.1 炉热指数模型	183	4.1.1.6 均压设施	230
3.5.3.2 含硅量预报模型	184	4.1.1.7 可调炉喉	231
		4.1.2 无钟装料设备	231

4.1.2.1 并罐式无料钟炉顶 .....	232	4.4.1.1 高炉冷却结构的基本	
4.1.2.2 串罐式无料钟炉顶 .....	237	要求 .....	262
4.2 高炉内型 .....	242	4.4.1.2 冷却设备的种类 .....	262
4.2.1 高炉内型计算 .....	242	4.4.1.3 常用冷却设备性能 .....	263
4.2.1.1 高炉内型尺寸符号 .....	242	4.4.1.4 各种冷却壁的使用	
4.2.1.2 高炉内型各部尺寸间		部位及作用 .....	265
的关系 .....	242	4.4.1.5 铜冷却壁 .....	266
4.2.1.3 内型设计不合理影响		4.4.1.6 冷却壁材质 .....	269
高炉冶炼的例子 .....	245	4.4.1.7 冷却壁水管防渗碳 .....	269
4.2.2 高炉内型演化 .....	245	4.4.2 冷却设备结构选择 .....	269
4.2.3 合理的高炉内型 .....	248	4.4.2.1 冷却壁几何尺寸 .....	270
4.2.3.1 合理的高炉内型原则 .....	248	4.4.2.2 冷却壁传热计算 .....	270
4.2.3.2 合理的高炉内型各部位		4.4.2.3 冷却设备结构选择 .....	271
尺寸关系 .....	248	4.4.3 合理冷却结构 .....	273
4.3 高炉炉体内衬结构 .....	249	4.4.3.1 合理冷却结构的条件 .....	273
4.3.1 高炉对耐火材料的基本		4.4.3.2 国外高炉冷却结构 .....	273
要求 .....	249	4.4.4 建议采用的冷却结构 .....	275
4.3.1.1 高炉内衬的基本要求 .....	249	4.4.5 高炉炉体冷却方式 .....	276
4.3.1.2 高炉常用耐火材料		4.4.5.1 高炉冷却水质要求 .....	276
理化性能 .....	249	4.4.5.2 工业水冷却 .....	277
4.3.1.3 特种耐火材料 .....	250	4.4.5.3 炉底冷却 .....	281
4.3.2 高炉耐火材料的技术		4.4.5.4 汽化冷却 .....	282
要求和选择原则 .....	252	4.4.5.5 软水闭路循环冷却 .....	284
4.3.2.1 高炉耐火材料的技术		4.4.5.6 武钢5号高炉软水	
要求 .....	252	闭路循环冷却 .....	287
4.3.2.2 高炉耐火材料选择原则 .....	252	4.4.5.7 炉壳喷水冷却 .....	290
4.3.2.3 高炉各部耐火材料的		4.4.6 高炉合理用水 .....	291
选择 .....	252	4.4.6.1 选用合理的冷却型式 .....	291
4.3.3 高炉内衬耐火砖结构 .....	253	4.4.6.2 选择合理的用水方法 .....	291
4.3.3.1 20世纪80年代高炉		4.5 炉体维护 .....	292
内衬结构 .....	253	4.5.1 建立完善的监控设施 .....	292
4.3.3.2 砌砖厚度 .....	256	4.5.1.1 高炉冷却水水温差监测 .....	292
4.3.3.3 20世纪90年代以后高炉		4.5.1.2 高炉各部温度监测 .....	292
内衬结构 .....	257	4.5.1.3 高炉各部热流强度监测 .....	293
4.3.4 高炉炉体耐火砖的砌筑 .....	258	4.5.1.4 冷却壁破损监测 .....	295
4.3.4.1 炉体耐火砖衬标准砖型		4.5.1.5 冷却壁水管结垢监测 .....	295
砌筑 .....	258	4.5.1.6 高炉内衬侵蚀监测 .....	296
4.3.4.2 非标准砖型砌筑 .....	258	4.5.2 加强高炉操作,控制	
4.3.4.3 炉体砌筑的注意事项 .....	261	边缘气流 .....	300
4.4 高炉炉体冷却设备结构 .....	262	4.5.3 炉体灌浆和压入泥料 .....	302
4.4.1 高炉冷却设备 .....	262		

4.5.3.1 灌浆及压入所用泥料	302	5.1.4.2 变料有关计算	351
4.5.3.2 灌浆孔和压入孔	304	5.1.4.3 炉渣碱度及成分的核算	352
4.5.3.3 灌浆和压入机械	304	5.1.4.4 由炼钢铁改为铸造铁的 变料计算	354
4.5.3.4 高压喷灌造衬机	305	5.1.4.5 负荷调整	356
4.5.4 炉衬喷补	306	5.1.5 冶炼制度的调整	358
4.5.4.1 喷补料	306	5.2 高压操作	359
4.5.4.2 喷补装置	310	5.2.1 高压操作简况	359
4.5.5 含钛矿护炉	310	5.2.2 炉顶均压、放散工艺	359
4.5.5.1 含钛炉料护炉原理	310	5.2.2.1 钟式高炉炉顶均压、放 散工艺	359
4.5.5.2 含钛矿加入方法 及其用量	311	5.2.2.2 无料钟高炉炉顶均压、 放散工艺	360
参考文献	312	5.2.3 炉顶均压制度	360
5 高炉冶炼操作	313	5.2.3.1 两钟一室炉顶均压制度	360
5.1 高炉操作制度	313	5.2.3.2 无料钟炉顶均压制度	361
5.1.1 送风制度	313	5.2.4 高压、常压转换程序	361
5.1.1.1 正确选择风速或鼓风 动能	313	5.2.4.1 常压转高压操作程序	361
5.1.1.2 控制适宜的理论燃烧 温度	321	5.2.4.2 高压转常压操作程序	361
5.1.1.3 日常操作调节	325	5.2.5 高压操作冶炼特征	361
5.1.1.4 冶炼强度的选择	327	5.2.6 高压效果	362
5.1.2 装料制度	328	5.2.6.1 对产量的影响	362
5.1.2.1 固定因素对布料的影响	329	5.2.6.2 对焦比的影响	363
5.1.2.2 原料装入顺序	329	5.2.6.3 对生铁成分的影响	363
5.1.2.3 钟式高炉装料方法	329	5.2.7 高压操作	364
5.1.2.4 无料钟布料	330	5.2.8 故障处理	364
5.1.2.5 料线	333	5.3 富氧鼓风	365
5.1.2.6 批重	335	5.3.1 富氧鼓风工艺和设备	365
5.1.2.7 控制合理的气流分布和 装料制度的调节	337	5.3.2 高炉富氧鼓风冶炼特征	366
5.1.3 造渣制度	338	5.3.3 富氧鼓风对产量、焦比 的影响	367
5.1.3.1 造渣制度的要求	338	5.3.4 富氧鼓风冶炼操作	368
5.1.3.2 对原燃料的基本要求	338	5.3.5 高炉送、停氧操作程 序(鞍钢)	368
5.1.3.3 一般(普通)炉渣	338	5.3.6 故障处理	369
5.1.3.4 特殊炉渣	344	5.3.7 氧气管道维护及安全 规定	369
5.1.3.5 排碱	348	5.4 高炉喷煤	369
5.1.3.6 洗炉	350	5.4.1 高炉喷煤工艺流程布置	370
5.1.4 热制度	351	5.4.1.1 高炉喷煤工艺	370
5.1.4.1 热制度的选择	351		

5.4.1.2 制粉系统压力运行方式	371	5.7 炉外脱硫	405
5.4.1.3 磨煤机与燃烧炉匹配 方式	372	5.7.1 脱硫剂	405
5.4.1.4 喷吹罐组布置方式	372	5.7.2 复合脱硫剂	407
5.4.1.5 喷吹管路布置方式	373	5.7.3 脱硫工艺	408
5.4.1.6 喷吹罐出粉方式	374	5.7.3.1 喷吹法	408
5.4.2 高炉喷煤设备	375	5.7.3.2 搅拌法	409
5.4.2.1 混合器	375	5.7.3.3 浸入法	410
5.4.2.2 分配器	376	5.7.4 宝钢铁水包镁脱硫工艺	410
5.4.2.3 防火防爆监控技术措施	377	5.8 高炉炉况判断和调节	412
5.4.3 高炉喷煤与停煤操作 程序	377	5.8.1 影响炉况波动的因素	412
5.4.4 输煤及倒罐操作程序	378	5.8.2 正常炉况象征	412
5.4.5 喷煤量调节	379	5.8.3 异常炉况象征和调节	412
5.4.6 喷煤故障及事故处理	380	5.8.4 失常炉况及处理	415
5.4.6.1 喷煤故障处理	380	5.8.5 高炉事故处理	425
5.4.6.2 喷煤事故处理	381	5.8.5.1 炉缸和炉底烧穿	425
5.4.7 高炉喷煤防火防爆技术 安全要求	381	5.8.5.2 水压降低或停水	428
5.4.8 高炉喷煤冶炼特征	384	5.8.5.3 停电	428
5.4.9 高炉富氧喷煤	389	5.8.5.4 高炉停风	428
5.4.9.1 国内外富氧喷吹基本 情况	389	<b>6 高炉开炉与停炉、封炉与开炉、休风 与送风及煤气处理</b>	429
5.4.9.2 富氧喷煤冶炼特征	389	6.1 高炉开炉与停炉	429
5.4.9.3 富氧喷煤冶炼操作	390	6.1.1 高炉开炉	429
5.5 铸造生铁冶炼	392	6.1.1.1 开炉工艺参数控制	429
5.5.1 铸造铁冶炼特征	393	6.1.1.2 高炉试水	430
5.5.2 操作制度的选择	394	6.1.1.3 高炉通风试漏	431
5.5.3 配加硅石和炉外增硅	395	6.1.1.4 高炉烘炉	432
5.5.3.1 入炉料配加部分硅石	395	6.1.1.5 高炉开炉配料计算	434
5.5.3.2 炉外增硅	395	6.1.2 高炉停炉	443
5.5.4 高纯铸造生铁	395	6.1.2.1 停炉方法	444
5.6 低硅铁冶炼	398	6.1.2.2 停炉实例	451
5.6.1 低硅铁冶炼发展情况	398	6.2 高炉封炉与开炉	454
5.6.2 冶炼低硅铁措施	399	6.2.1 高炉封炉	454
5.6.3 冶炼低硅铁的经济效益 和适宜的含硅量	402	6.2.2 封炉后的开炉	456
5.6.4 铁水预脱硅	403	6.3 高炉的休风、送风及煤气操作	457
5.6.4.1 向炉内喷吹脱硅剂降硅	403	6.3.1 高炉的短期休风与送风	457
5.6.4.2 炉外脱硅	403	6.3.2 高炉的长期休风、送风及 煤气处理	459
		6.3.3 高炉的特殊休风	465

6.3.4 特殊情况下的煤气操作	468	7.3.1.4 预热助燃空气和煤气	504
6.3.5 煤气事故	471	7.3.1.5 烧单一低发热量煤气实现 1200℃以上高风温	510
6.3.6 高炉煤气的净化与利用	474	7.3.1.6 降低空气利用系数	515
参考文献	480	7.3.1.7 降低煤气含水量	516
<b>7 热风炉</b>	481	<b>7.3.2 缩小炉顶温度与热风 温度的差值</b>	517
7.1 热风炉的结构形式	481	7.3.2.1 增大蓄热面积和砖重	517
7.1.1 热风炉结构形式的演变	481	7.3.2.2 提高废气温度	518
7.1.2 内燃式热风炉	482	7.3.2.3 增加换炉次数缩短工作 周期	519
7.1.2.1 传统内燃式热风炉的 通病	482	7.3.2.4 改善热风炉的气流分布	520
7.1.2.2 改造型内燃式热风炉	482	7.3.2.5 加强热风炉的绝热减少 散热损失	522
7.1.3 外燃式热风炉	484	<b>7.4 热风炉热平衡的测定和计算</b>	522
7.1.3.1 外燃式热风炉的结构形式	484	7.4.1 热风炉热平衡测定的 原则	523
7.1.3.2 外燃式热风炉的特征	485	7.4.2 热风炉热平衡和热效率 的计算	523
7.1.4 顶燃式热风炉	488	7.4.3 热风炉热平衡测定与计 算实例	525
7.1.4.1 顶燃式热风炉结构	488	7.4.3.1 测定前的准备	525
7.1.4.2 顶燃式热风炉的特征	491	7.4.3.2 测定实录	526
7.1.5 其他形式热风炉	492	7.4.3.3 测定数据的整理和热平 衡基础参数的确定	527
7.1.5.1 球式热风炉	492	7.4.3.4 热平衡计算	531
7.1.5.2 ZSD型热风炉	494	7.4.3.5 热效率的计算	533
<b>7.2 热风炉燃料燃烧计算与燃烧 装置</b>	495	<b>7.5 热风炉的操作</b>	534
7.2.1 热风炉燃料及燃烧计算	495	7.5.1 蓄热式热风炉的传热 特点	534
7.2.1.1 确定煤气成分	496	7.5.2 热风炉的操作特点	534
7.2.1.2 煤气低发热量的计算	497	7.5.3 热风炉的燃烧制度	535
7.2.1.3 空气需要量和燃烧生成 物的计算	497	7.5.4 热风炉的送风制度	536
7.2.1.4 理论燃烧温度的计算	498	7.5.5 热风炉换炉操作	538
7.2.1.5 热风炉实际燃烧煤气量和 助燃空气量的计算	499	7.5.6 高炉休风、送风时的热 风炉操作	538
7.2.2 热风炉燃烧装置	499	7.5.7 热风炉操作全自动闭环 控制	539
<b>7.3 提高风温的措施和各种因素 对风温的影响</b>	501	7.5.7.1 热风炉的工作制度与控制 方式	539
7.3.1 提高拱顶温度	501		
7.3.1.1 拱顶温度的确定	501		
7.3.1.2 拱顶温度、热风温度与热风 炉理论燃烧温度的关系	501		
7.3.1.3 配用高发热量煤气提高 拱顶温度	502		

7.5.7.2 自动控制要点 .....	539	8.1.1 出铁次数的确定 .....	562
7.5.8 热风炉的几项特殊操作 .....	541	8.1.2 铁口结构 .....	563
7.5.8.1 高炉倒流休风用热风炉 倒流 .....	541	8.1.3 泥炮、开口机的机械性能 .....	564
7.5.8.2 扒出燃烧室掉砖 .....	541	8.1.3.1 泥炮 .....	564
7.6 热风炉的烘炉、保温、凉炉 .....	542	8.1.3.2 开口机 .....	575
7.6.1 热风炉的烘炉 .....	542	8.1.4 出铁过程监控 .....	581
7.6.1.1 热风炉烘炉的目的与原则 .....	542	8.1.4.1 出铁时间规定 .....	581
7.6.1.2 烘炉时间与升温曲线 .....	543	8.1.4.2 打开出铁口方法及堵 铁口操作 .....	583
7.6.1.3 烘炉方法 .....	544	8.1.4.3 铁水和炉渣的流速 .....	584
7.6.1.4 烘炉实例 .....	544	8.1.5 出铁口维护 .....	585
7.6.2 热风炉的保温 .....	548	8.1.5.1 保持正常的铁口深度 .....	585
7.6.3 热风炉的凉炉 .....	549	8.1.5.2 保持正常的铁口角度 .....	586
7.6.3.1 高铝砖、黏土砖热风炉 的凉炉 .....	549	8.1.5.3 保持正常的铁口直径 .....	586
7.6.3.2 硅砖热风炉的凉炉 .....	549	8.1.5.4 保持铁口泥套完好 .....	587
7.7 热风炉的寿命 .....	551	8.1.5.5 控制好炉缸内安全渣 铁量 .....	587
7.7.1 热风炉的事故及其处理 .....	551	8.1.5.6 大型高炉出铁口维护 .....	587
7.7.1.1 热风炉常见事故及其 处理 .....	551	8.1.6 出铁口事故处理 .....	588
7.7.1.2 热风炉的恶性事故及 其预防 .....	552	8.1.7 出铁口操作考核指标 .....	590
7.7.2 热风炉的破损及其原因 .....	553	8.1.7.1 出铁正点率 .....	590
7.7.2.1 热风炉破损及其原因 .....	553	8.1.7.2 铁口深度合格率 .....	590
7.7.3 热风炉炉壳晶间应力腐 蚀及预防措施 .....	555	8.1.7.3 出铁放风率 .....	590
7.8 热风炉用耐火材料 .....	556	8.1.7.4 铁量差 .....	591
7.8.1 热风炉用耐火材料理化 性能指标 .....	556	8.2 渣口 .....	591
7.8.2 蓄热室格子砖的热工 特性 .....	558	8.2.1 渣口结构 .....	591
7.8.2.1 格子砖的热工特性 .....	558	8.2.2 堵渣机机械性能 .....	592
7.8.2.2 热工参数的计算 .....	558	8.2.2.1 四连杆堵渣机 .....	592
7.8.2.3 常用格子砖的热工特性 .....	559	8.2.2.2 折叠式堵渣机 .....	592
7.8.3 我国热风炉用耐火材料 的进步 .....	559	8.2.3 出渣过程控制 .....	593
参考文献 .....	561	8.2.3.1 放渣时间的确定 .....	593
8 炉前操作 .....	562	8.2.3.2 放渣操作 .....	593
8.1 铁口 .....	562	8.2.4 渣口维护 .....	594
		8.2.5 渣口事故处理 .....	594
		8.2.6 渣口操作考核指标 .....	595
		8.2.7 水渣处理方式 .....	596
		8.2.7.1 沉淀池法 .....	596
		8.2.7.2 拉萨(RASA)法 .....	598
		8.2.7.3 INBA法 .....	598
		8.2.7.4 俄罗斯炉前水渣处理	

系统 .....	603	8.5.2.1 炮泥理化性能 .....	641
8.2.7.5 轮法炉渣粒化装置 .....	605	8.5.2.2 炮泥种类及配料组成 .....	642
8.2.8 冲渣水余热回收 .....	606	8.5.2.3 炮泥的制备 .....	644
8.2.8.1 余热水供暖工艺流程 .....	606	8.5.2.4 炮泥的使用与管理 .....	647
8.2.8.2 系统运行参数 .....	607	8.5.3 铁沟料 .....	649
8.2.8.3 余热水采暖系统热量 平衡 .....	608	8.5.3.1 铁沟料理化性能要求 .....	649
8.3 砂口(撒渣器) .....	608	8.5.3.2 铁沟料种类及配料组成 .....	652
8.3.1 砂口结构 .....	608	8.5.3.3 铁沟料的制备 .....	658
8.3.1.1 结构 .....	608	8.5.3.4 铁沟料施工工艺 .....	660
8.3.1.2 砂口布置 .....	609	8.5.3.5 铁沟料使用注意要点 .....	662
8.3.1.3 砂口操作 .....	610	8.5.3.6 铁沟料质量考核 .....	663
8.3.1.4 砂口维护 .....	610	8.5.4 铁口泥套、砂口及摆动 流嘴用泥 .....	664
8.3.1.5 砂口事故处理 .....	610	8.5.4.1 铁口泥套用泥 .....	664
8.3.2 出铁主沟 .....	611	8.5.4.2 砂口用泥 .....	667
8.3.2.1 主沟结构形式 .....	611	8.5.4.3 摆动流嘴用泥 .....	667
8.4 渣铁运输 .....	614	参考文献 .....	667
8.4.1 铁水罐及铁罐车 .....	614	9 环境保护 .....	669
8.4.1.1 对铁水罐及罐车的基本 要求 .....	614	9.1 国家环境政策 .....	669
8.4.1.2 铁水罐车种类及其特点 .....	614	9.1.1 国家环境保护法 .....	669
8.4.2 渣罐车 .....	619	9.1.2 钢铁工业环境政策 .....	669
8.4.2.1 对渣罐车的基本要求 .....	619	9.1.2.1 钢铁工业污染物排放 标准的有关规定 .....	669
8.4.2.2 渣罐车技术性能 .....	619	9.1.2.2 钢铁工业废水中污染物 最高容许排放浓度的 有关规定 .....	669
8.4.3 渣铁罐周转 .....	621	9.1.2.3 高炉煤气洗涤水循 环率的规定 .....	669
8.4.3.1 铁水罐车需要量的计算 .....	621	9.1.3 国家噪声标准 .....	670
8.4.3.2 渣罐车数量的计算 .....	622	9.1.3.1 《中华人民共和国国家标准》 中《城市区域环境噪声标准》 (见表 9-3) .....	670
8.4.4 渣铁罐的维护 .....	623	9.1.3.2 厂区各类地点的噪声 A 声级限值(见表 9-4) .....	670
8.4.4.1 铁水罐的维护 .....	623	9.1.4 炼铁厂环境保护设计 规定 .....	670
8.4.4.2 渣罐的维护 .....	625	9.1.4.1 《中华人民共和国行业标准》 YB 9066—95《冶金工业环境 保护设计规定》中的有关	
8.4.5 渣铁罐故障处理 .....	626		
8.4.6 渣铁罐运输考核 .....	627		
8.5 炉前用不定形耐火材料 .....	628		
8.5.1 常用不定形耐火材料 理化性能 .....	628		
8.5.1.1 $\text{SiO}_2$ — $\text{Al}_2\text{O}_3$ 系耐火原料 .....	628		
8.5.1.2 石墨及碳、氮化合物 .....	632		
8.5.1.3 耐火材料外加剂 .....	634		
8.5.1.4 耐火材料结合剂 .....	636		
8.5.2 炮泥 .....	641		



规定 .....	670	9.3.4.3 国外原料系统粉尘治理 .....	706
9.2 环境监测 .....	671	9.3.4.4 鞍钢 11 号高炉沟下除尘 .....	707
9.2.1 噪声监测 .....	671	9.3.5 炼铁厂其他粉尘治理 .....	707
9.2.1.1 声级计 .....	671	9.3.5.1 炉顶除尘 .....	707
9.2.1.2 滤波器 .....	671	9.3.5.2 铸铁机室排烟除尘 .....	708
9.2.1.3 声级分析仪 .....	672	9.3.5.3 碾泥机室粉尘治理 .....	709
9.2.1.4 电平记录仪 .....	672	9.3.5.4 铁水罐修理库粉尘治理 .....	710
9.2.1.5 磁带记录仪 .....	672	9.3.6 粉尘综合利用 .....	711
9.2.2 粉尘监测 .....	672	9.3.6.1 宝钢工业废弃物利用	
9.2.3 有害气体测定 .....	672	状况 .....	711
9.2.3.1 国家对有害气体的限值 .....	672	9.3.6.2 国外粉尘利用情况 .....	711
9.2.3.2 一氧化碳监测 .....	672	9.4 污水治理 .....	712
9.2.4 宝钢环境监测 .....	675	9.4.1 煤气洗涤水治理 .....	712
9.2.4.1 宝钢环境自动监测系统 .....	675	9.4.1.1 煤气洗涤水特性 .....	712
9.2.4.2 宝钢大气 SO <sub>2</sub> 监测 .....	675	9.4.1.2 煤气洗涤水治理 .....	713
9.2.4.3 宝钢大气 NO <sub>x</sub> 测定 .....	675	9.4.1.3 沉淀池清理 .....	717
9.3 粉尘治理 .....	677	9.4.2 污泥的回收和利用 .....	719
9.3.1 粉尘治理设备 .....	677	9.4.2.1 回收污泥的工艺流程 .....	719
9.3.1.1 袋式除尘器 .....	677	9.4.2.2 污泥综合利用 .....	720
9.3.1.2 湿式除尘器 .....	680	9.4.3 铸铁机污水治理 .....	721
9.3.1.3 电除尘器 .....	685	9.4.3.1 铸铁机污水特性 .....	721
9.3.2 炼铁厂的粉尘特点及		9.4.3.2 铸铁机污水治理 .....	721
尘源密封 .....	688	9.4.4 冲渣污水治理 .....	722
9.3.2.1 炼铁厂的粉尘特性 .....	689	9.4.4.1 冲渣污水特性 .....	722
9.3.2.2 尘源密封 .....	690	9.4.4.2 冲渣污水治理 .....	722
9.3.3 出铁场粉尘治理 .....	692	9.5 噪声治理 .....	722
9.3.3.1 出铁场除尘型式 .....	692	9.5.1 消声设备型式及性能 .....	722
9.3.3.2 垂幕式除尘装置 .....	693	9.5.1.1 噪声及消声原理 .....	722
9.3.3.3 国外出铁场粉尘治理 .....	695	9.5.1.2 声压 .....	723
9.3.3.4 气幕式除尘装置 .....	696	9.5.1.3 消声设备及性能 .....	723
9.3.3.5 湿式除尘装置 .....	698	9.5.2 冷风放风阀噪声治理 .....	725
9.3.3.6 几种出铁场除尘型式 .....	699	9.5.2.1 鞍钢 10 号高炉冷风放风	
9.3.3.7 鞍钢 11 号高炉出铁场		阀消声 .....	725
除尘 .....	700	9.5.2.2 鞍钢 5 号高炉冷风放风	
9.3.3.8 武钢 5 号高炉出铁场		阀消声 .....	727
除尘 .....	702	9.5.3 炉顶煤气放散噪声治理 .....	727
9.3.4 原料系统粉尘治理 .....	704	9.5.3.1 鞍钢 10 号高炉炉顶煤气	
9.3.4.1 原料系统粉尘特性 .....	704	放散噪声治理 .....	727
9.3.4.2 原料系统除尘抽风点		9.5.4 其他环境治理 .....	727
的型式 .....	704	9.5.4.1 煤粉制粉车间环境治理 .....	727