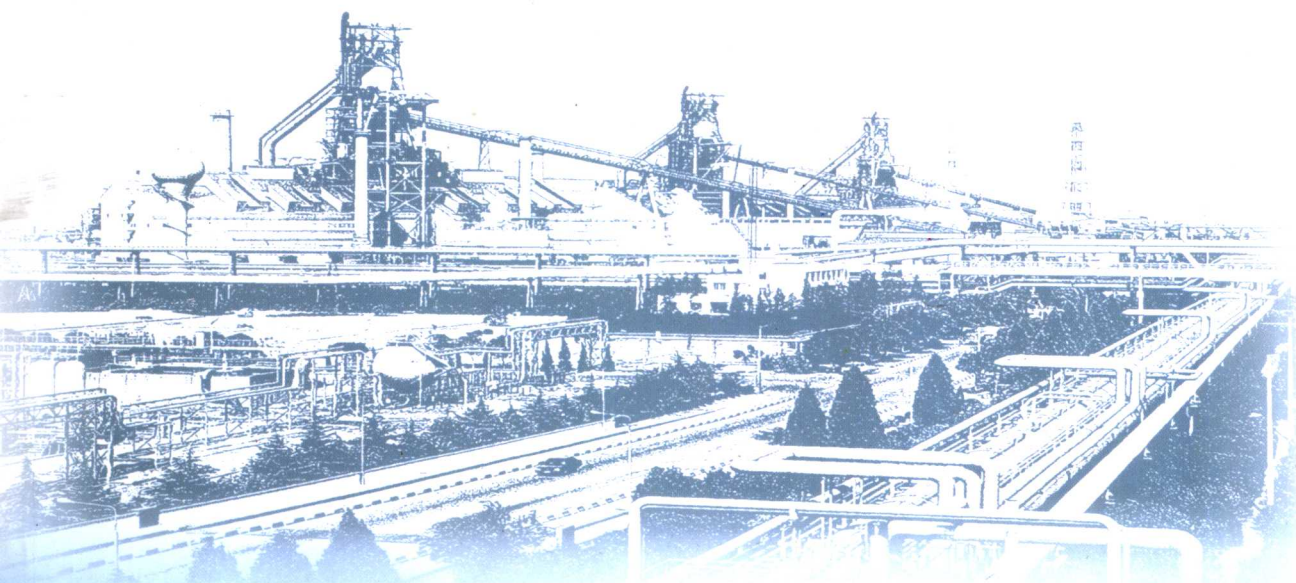


高炉设计

——炼铁工艺设计理论与实践

项钟庸 王筱留 等 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高 炉 设 计

——炼铁工艺设计理论与实践

项钟庸 王筱留 等编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2007

图书在版编目(CIP)数据

高炉设计: 炼铁工艺设计理论与实践/项钟庸等编著.
—北京: 冶金工业出版社, 2007. 11
ISBN 978-7-5024-4349-8

I. 高… II. 项… III. 高炉—工艺设计 IV. TF572

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 165193 号

出版人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 郭富志 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 刘 倩 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4349-8

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

2007 年 11 月第 1 版, 2007 年 11 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 48.75 印张; 1182 千字; 758 页; 1-3000 册

136.00 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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

国民经济新的发展理念是要从粗放型经济增长方式转变到实现经济又好又快发展的轨道上来。对于炼铁工业来说,要继续全面贯彻“高效、优质、低耗、长寿、环保”的炼铁方针,在保证生产的基础上,以节约资源和能源为中心来组织生产和进行设计。为此,必须在技术思想、生产理念和操作习惯等方面进行调整。大家知道,烧结、焦化和高炉组成的炼铁系统的资源消耗和能源消耗及污染物的排放量约占整个钢铁企业的三分之二。高炉炼铁是高能耗、高资源消耗型的生产单元。高炉炼铁设计必须积极推行可持续发展和循环经济的理念,提高环境保护和资源综合利用水平,节能降耗。以“减量化、再利用、再循环”为原则,以低消耗、低排放为目标,积极采用降低能耗和清洁生产的技术,减轻对环境的不良影响。炼铁工业从技术思想、生产理念到操作习惯都必须做大幅度的调整。高炉冶炼过程是一个矛盾的统一体。按照过去组织生产所强调的统一点和重心,往往倾向于高产的一面,而忽视了低耗、长寿和环保的一面。为了彻底改变这种状况,必须提高认识,在行动上对统一点和重心做必要的转移。这一转移需要整个炼铁界同仁的共同努力。本书从最基本、最能起引导作用的地方着手,对炼铁方面存在的一些问题,以及制约炼铁工业可持续发展的问题进行了梳理,其中重要的问题莫过于建立新的考核指标和修订原有的考核指标。例如,自20世纪50年代从苏联引进高炉冶炼强度指标以来,就一直对合适的冶炼强度问题有争论,历经半个多世纪,问题仍没有得出明确的结论,即使有时意见趋于一致,但时间不长,又产生了新的分歧。

我国长期以冶炼强度作为考核指标,造成了高炉强化方针的片面性和操作思想的混乱。特别是在“大跃进”时期,提出了“以风为纲”的错误口号,对我国高炉生产造成了巨大损失,致使我国炼铁能耗和燃料比长期处于落后局面,对此应该很好地总结经验教训。

强化高炉冶炼包括两个方面:一是强化冶炼;二是降低燃料比,缺一不可。两者必须统一。本书赞成采用合适的冶炼强度的观点,但是认为采用与指

导高炉日常操作的透气阻力系数密切相关的炉腹煤气量来衡量高炉的强化程度更为适宜。本书对炉腹煤气量进行了深入研究，提出了更加通用、更加科学、更加量化的炉腹煤气量指数，以求规范高炉设计和操作。本书认为用炉腹煤气量指数取代冶炼强度等旧指标、老观念，势在必行。

现代高炉炼铁工艺设计旨在计划、规划新高炉的各个方面，包括硬件和软件，包括操作设计和设备、结构设计，全面贯彻高炉炼铁的高效、优质、低耗、长寿、环保的方针。高炉炼铁设计工作具有创新性、创造性和创作性。

为了达到上述目的和要求，现代高炉设计工作者需要具有高炉过程、设备、结构等方面的理论知识和应用理论的能力。本书用一定的篇幅介绍了与高炉设计有关的基本理论，包括炉腹煤气量的计算、最大炉腹煤气量的确定、高炉破损机理以及热风炉热交换理论、燃烧过程等等。本书对这些方面的成果做了简要介绍，力求为炼铁工作者和设计工作者提高理论和技能水平指明方向。只有用正确的理论指导实践，才能做好设计工作。对于有机会更多接触实际的设计工作者来说，理论是不可缺少的基础，有了坚实的理论基础才能更好地深入研究设计，抓住创新的机遇。

为了深入贯彻落实科学发展观和国家产业政策，国务院要求组织编写一批国家规范。2005~2007年建设部组织编写了国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》（以下简称《规范》）。《规范》对最重要的高炉炼铁设计经验进行了总结，并提炼成条文，用以指导和规范设计工作。《规范》根据我国炼铁工业当前面临的形势，在建立新的理念、转变观念方面做了一定的努力。

虽然《规范》也有一定的前瞻性，但是迄今尚未得到炼铁界公认的新观念、新理念、新指标和新方法，暂不便纳入《规范》中，本书的作者大多都参与了《规范》的起草和撰稿工作，特地将其整理、融入到本书中，与炼铁界的同仁进行探讨。本书提出了新的理念，具有鲜明的观点，系统地进行了论述，并落实到各章节中，具有很高的可操作性。本书全面反映了我国高炉炼铁设计的大量科学试验和工程实践，从而提出了高炉设计的新体系。编写本书的目的之一就是为了阐释制定《规范》的思路及其理论与实践方面的依据。同时，对于今后执行和修订《规范》具有参考意义。如果本书在这些方面能起到一定作用的话，就达到我们编写本书的目的了。

本书引自《规范》的条文特地用黑体排印，故对《规范》的条文说明和专题报告就不再注明参考文献。在此谨向《规范》的主编单位——中冶赛迪工程技术股份有限公司，参编单位——宝山钢铁股份有限公司、鞍钢新钢铁有限责任公司、中冶京诚工程技术股份有限公司、中冶南方工程技术股份有限公司、首钢设计院、鞍钢设计院、武汉钢铁（集团）公司、本溪钢铁（集团）有限责任公司、中冶华天工程技术股份有限公司、中冶东方工程技术股份有限公司、攀枝花钢铁（集团）公司等表示谢意。

本书的作者来自我国重点院所、学校和企业，他们中有的设计大师，有的是教授、博士，有的是知名专家。大家在百忙之中积极参与，从开始编写到交稿仅用了不到一年的时间。由于《规范》尚在审批中，书中内容如与《规范》有出入之处，应以正式公布的《规范》为准。

参加本书各章编写的人员名单如下（各章中的第一作者为该章的编写工作负责人）：

- | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 第1章 | 项钟庸 | | | | |
| 第2章 | 曹传根 | | | | |
| 第3章 | 徐万仁 | | | | |
| 第4章 | 王冬 | | | | |
| 第5章 | 朱锦明 | | | | |
| 第6章 | 陶荣尧 | 项钟庸 | | | |
| 第7章 | 汤清华 | 姜华 | | | |
| 第8章 | 王筱留 | | | | |
| 第9章 | 项钟庸 | 孙明庆 | | | |
| 第10章 | 吴启常 | 项钟庸 | 胡显波 | 张涛 | |
| 第11章 | 邹忠平 | 熊拾根 | 项钟庸 | 汤传盛 | |
| 第12章 | 苏蔚 | 李文忠 | 项钟庸 | 贺友多 | 李超 |
| | 陈映明 | 刘冬梅 | 李仲 | 王利峰 | 李益民 |
| 第13章 | 唐振炎 | 李勇 | 张建 | 张汇川 | 贺春萍 |
| | 徐辉 | 张春 | 于洪海 | 毛庆武 | |
| 第14章 | 马作舫 | 向廷海 | 熊树林 | 熊拾根 | |

第15章 唐文权

第16章 欧阳标 徐 坚 杨 兵

全书由项钟庸任主编、王筱留任副主编。

本书在编写过程中，得到了宝钢、鞍钢和各炼铁厂，以及炼铁信息网和中国金属学会王维兴的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。本书编写和出版过程中，还得到了编写人员所在单位的支持和帮助，尤其是得到了主编单位的领导和同事们的鼎力支持，在此谨向他们表示诚挚的感谢。

项钟庸 王筱留

2007年4月

目 录

1 我国炼铁工业发展现状

1.1 我国炼铁工业发展历程及现状	1
1.2 我国炼铁工业面临的形势	3
1.2.1 我国工业化进程为钢铁产业提供广阔的发展前景	3
1.2.2 产能扩张压力大	3
1.2.3 炼铁工业存在着结构性的矛盾和生产布局不合理	4
1.2.4 资源、能源、供给、运输、环境生态压力增大	4
1.2.5 技术创新能力弱	5
1.3 贯彻科学发展观和贯彻钢铁产业发展政策	6
1.3.1 提高资源、能源及市场竞争力,实现产业升级	6
1.3.2 提高炼铁工业的集中度,搞好产业布局	7
1.3.3 改变增长方式	8
1.3.4 提高创新能力	10
1.4 高炉技术指标及确定	10
1.4.1 《规范》使用的术语	11
1.4.2 合理确定高炉技术指标	13
1.4.3 高炉装备水平的确定	15
1.4.4 高炉长寿	18

2 炼铁工业可持续发展的保障条件

2.1 我国铁矿石资源及生产	19
2.1.1 我国铁矿石资源状况	19
2.1.2 我国铁矿石生产现状	21
2.2 世界铁矿石资源、生产及贸易	26
2.2.1 世界铁矿石资源状况	26
2.2.2 世界铁矿石生产状况及发展趋势	28
2.2.3 世界主要铁矿石出口企业的生产状况	29
2.2.4 世界铁矿石产能扩张分析	41
2.2.5 未来全球铁矿石产能预测及面临的问题	42
2.3 我国煤炭资源及生产现状	42
2.3.1 我国煤炭资源状况	43
2.3.2 我国炼焦煤生产	45

2.3.3 我国炼焦煤的洗选情况	46
2.3.4 我国无烟煤的资源及生产能力	47
2.3.5 影响国内煤炭市场的因素	47
2.4 世界煤炭资源	48
2.4.1 世界煤炭资源状况	48
2.4.2 世界煤炭产量、消费量及贸易量	49
2.4.3 世界煤炭价格及走势分析	52
2.5 结语	52
参考文献	52

3 炼 铁 精 料

3.1 高炉炼铁对原燃料的要求	53
3.2 提高含铁原料的质量	55
3.2.1 提高入炉品位	56
3.2.2 提高烧结矿的质量	59
3.2.3 提高球团矿的质量	63
3.2.4 天然块矿	67
3.2.5 喷煤对原料质量的要求	69
3.3 提高燃料的质量	70
3.3.1 高炉冶炼和喷煤对焦炭质量的要求	71
3.3.2 提高焦炭质量的途径	78
3.3.3 焦炭质量要求	80
3.3.4 高炉喷煤和冶炼对煤粉质量的要求	84
3.3.5 喷吹用原煤的质量要求	86
3.4 辅助原料	87
3.4.1 高炉冶炼对辅助原料的质量要求	87
3.4.2 辅助原料的质量要求	88
3.5 入炉有害杂质	89
3.5.1 有害杂质对高炉生产的影响	89
3.5.2 碱金属的危害及其控制	91
3.5.3 高炉内的锌危害及其控制	93
参考文献	94

4 发展循环经济，降低资源和能源消耗

4.1 循环经济是我国经济和环境保护发展的必然选择	95
4.2 循环经济和清洁生产是高炉炼铁环境保护设计的指导思想	95
4.3 发展循环经济的基本途径和对策	97

4.3.1 “减量化”是实现可持续发展的根本	97
4.3.2 清洁生产和绿色技术是推行循环经济的支撑	97
4.3.3 建立工业生态循环方式	98
4.3.4 循环经济是系统工程	98
4.3.5 建立绿色经济核算体系	98
4.4 在高炉炼铁设计、生产中,贯彻科学发展观	98
4.4.1 改变高炉炼铁的设计、生产理念	99
4.4.2 “精料”是贯彻“减量化”生产的基础	100
4.4.3 确定高炉炼铁生产指标时,应贯彻“减量化”生产的思想	100
4.4.4 采取替代紧缺资源的技术	101
4.5 合理利用能源	101
4.5.1 高炉炼铁能耗状况	101
4.5.2 充分利用高炉煤气	103
4.5.3 余热、余能利用	104
4.5.4 脱湿鼓风	104
4.5.5 节电和减少能源介质、辅助材料的消耗	105
4.6 资源综合利用	105
4.6.1 炉渣综合利用	105
4.6.2 含铁尘泥综合利用	106
4.7 水资源循环利用	107
4.8 污染治理	109
4.8.1 废气治理	110
4.8.2 废水治理	111
4.8.3 噪声控制	112
4.8.4 环境风险	113
4.8.5 绿化	113
参考文献	114

5 降低燃料比和焦比的措施

5.1 合理布料	117
5.1.1 布料的调节手段	117
5.1.2 合理煤气流分布	122
5.1.3 提高煤气利用率的措施	123
5.2 高风温	123
5.2.1 风温对节焦的影响	124
5.2.2 风温对高炉冶炼的影响	125
5.3 喷吹煤粉	125
5.3.1 煤种选择和优化	126

5.3.2	煤粉成分控制	127
5.3.3	提高煤粉利用率	128
5.3.4	提高煤焦置换比的措施	133
5.4	脱湿鼓风	135
5.4.1	脱湿鼓风对高炉过程的影响	136
5.4.2	脱湿鼓风对燃料比的影响	137
5.5	冶炼强度对燃料比的影响	138
5.5.1	冶炼强度与燃料比的综合情况	138
5.5.2	各级高炉合适的冶炼强度	140
5.5.3	用冶炼强度来衡量高炉强化程度所遇到的问题	143
5.5.4	采用冶炼强度来衡量高炉强化程度是不合适的	144
5.6	低硅冶炼	145
5.6.1	低硅冶炼的意义	145
5.6.2	国内外低硅冶炼水平	145
5.6.3	低硅冶炼的理论与实践	145
5.6.4	降低铁水硅含量的措施	147
5.7	降低高炉热量损失	149
5.7.1	高炉炉体热负荷计算方法	150
5.7.2	影响炉体热负荷的因素	150
5.7.3	气流分布对热负荷的影响	151
5.7.4	确定合理的热负荷	153
5.7.5	热负荷变化对焦比的影响	153
	参考文献	154

6 强化高炉冶炼的途径

6.1	高炉炉内的煤气流动阻力	155
6.1.1	散料层的煤气流动阻力	156
6.1.2	高炉炉料性能和未燃煤粉对透气性的影响	157
6.1.3	软熔带和滴落带的煤气流动阻力	160
6.2	高炉炉腹煤气量与透气阻力系数	164
6.2.1	炉腹煤气量和透气阻力系数	164
6.2.2	实际炉腹煤气量与透气阻力系数的关系	165
6.3	限制高炉强化的气体力学因素	166
6.3.1	高炉上部的流态化现象	166
6.3.2	高炉下部的液泛现象	168
6.4	高炉炉内温度对高炉强化的影响	171
6.4.1	风口循环区	171
6.4.2	风口前燃烧温度和软熔带热量消耗与高炉操作区域	174

6.4.3 热流强度与炉内温度分布	178
6.5 提高利用系数的措施	180
6.5.1 降低燃料比和焦比	180
6.5.2 富氧鼓风	181
6.5.3 提高炉顶压力	183
6.5.4 增加鼓风量	186
6.6 以炉腹煤气量指数取代冶炼强度	188
6.6.1 限制高炉强化因素的回顾	188
6.6.2 高炉炉腹煤气量指数	188
6.6.3 影响高炉炉腹煤气量指数的因素	190
6.6.4 炉腹煤气量指数的使用价值	191
6.7 提高高炉高效, 稳定运行时间	192
6.8 结语	193
参考文献	194

7 延长高炉寿命的措施

7.1 高炉寿命的现状	195
7.1.1 高炉的长寿化	195
7.1.2 高炉大型化	195
7.1.3 实现高炉长寿是一项系统工程	198
7.2 高炉损坏的原因	199
7.2.1 破损调查及分析	199
7.2.2 高炉炉底和炉缸的化学侵蚀和侵蚀进程的分析	201
7.2.3 有害元素对炉体的损坏	205
7.3 合理的操作制度	211
7.3.1 烘炉和开炉	212
7.3.2 高炉顺行与长寿	212
7.3.3 控制边缘气流	212
7.3.4 适宜造渣制度和活跃炉缸中心	215
7.3.5 高炉热负荷的监测与控制	215
7.3.6 冷却水量、水质调节及控制	219
7.3.7 合理的出铁制度及出铁口的维护	220
7.3.8 钛矿护炉	224
7.4 高炉的功能性检修	226
7.4.1 高炉内衬的诊断	226
7.4.2 炉缸、出铁口及风口的维修技术	229
7.4.3 高炉炉体内衬的修复技术	232
7.4.4 冷却设备的修理	236

7.4.5 炉壳开裂的修补	238
7.5 热风炉长寿	240
7.5.1 热风炉的破损	240
7.5.2 主要热态维修技术	243
参考文献	245

8 炼铁工艺计算

8.1 高炉炼铁工艺计算的意义	247
8.2 联合算法	247
8.2.1 A. H. 拉姆联合算法	248
8.2.2 J. G. 皮西和 W. G. 达文波特联合算法 (P. D. R 联合算法)	258
8.3 线性配料计算	262
8.3.1 应用 A. H. 拉姆联合算法时的线性配料计算	263
8.3.2 应用 P. D. R 联合算法时的线性配料计算	264
8.3.3 线性规划配料计算	265
8.4 理论最低碳的计算	267
8.4.1 氧化铁还原的还原剂碳消耗	267
8.4.2 氧化铁还原热量需求的碳消耗	268
8.4.3 理论最低碳比和吨铁最低燃料比	269
8.5 高炉操作线计算	269
8.5.1 里斯特操作线的画法	271
8.5.2 操作线的特点	272
8.6 影响高炉炼铁焦比诸因素的计算	274
8.6.1 A. H. 拉姆联合算法的应用	275
8.6.2 应用 P. D. R 联合算法计算	277
8.6.3 应用里斯特操作线图计算	277
8.7 理论燃烧温度计算	282
8.7.1 循环区内生成的煤气成分数量和炉腹煤气成分及数量	282
8.7.2 燃料带入循环区的热量	283
参考文献	284

9 高炉鼓风机的选择

9.1 高炉鼓风量及鼓风压力的确定	285
9.1.1 吨铁耗风量的确定	285
9.1.2 高炉最大风量的确定	287
9.1.3 高炉产量、入炉风量和富氧率之间的关系	290
9.1.4 鼓风机风压的确定	297

9.2 高炉鼓风机能力的确定	300
9.2.1 鼓风机的稳定运行范围和有效使用范围	300
9.2.2 高炉配置的鼓风机	304
9.3 脱湿鼓风	310
9.3.1 脱湿鼓风的发展	310
9.3.2 高炉脱湿鼓风的作用	310
9.3.3 各种脱湿方法及其特点	313
9.3.4 冷却脱湿鼓风的作用	317
参考文献	318

10 高 炉 炉 体

10.1 高炉内型	319
10.1.1 高炉容积的定义及内型尺寸代号	319
10.1.2 高炉内型设计	321
10.1.3 操作内型及薄壁内型设计	324
10.1.4 死料堆的运动及死铁层的深度	328
10.2 炉底、炉缸冷却和砌体结构	330
10.2.1 炉底、炉缸冷却结构	330
10.2.2 炉底、炉缸砌体结构	332
10.2.3 炉底、炉缸用耐火材料	336
10.3 炉底、炉缸结构的分析	340
10.3.1 铁水渗透和侵蚀	340
10.3.2 铁水流动冲刷力的分析	345
10.3.3 热应力形成炭砖脆裂带	350
10.4 炉腹、炉腰和炉身冷却和砌体结构	355
10.4.1 炉腹、炉腰和炉身下部工作条件	356
10.4.2 炉腹、炉腰和炉身冷却结构	357
10.4.3 炉腹、炉腰和炉身砌体结构	361
10.4.4 炉腹、炉腰和炉身用耐火材料	362
10.5 炉腹、炉腰和炉身耐材损坏的分析	366
10.5.1 炉腹、炉腰和炉身下部的热应力破坏	366
10.5.2 炉腹、炉腰和炉身下部耐材的热震破坏	370
10.6 高炉冷却设备	373
10.6.1 冷却壁的材料及其传热分析	373
10.6.2 铸铁冷却壁	377
10.6.3 铸铁冷却壁的损坏分析	383
10.6.4 铜冷却壁和铜冷却板	385
10.7 高炉冷却系统	393

10.7.1	冷却介质	394
10.7.2	冷却系统的分类及水质控制	394
10.7.3	软水密闭循环冷却系统设计	397
10.8	高炉炉体钢结构	405
10.8.1	钢结构框架	405
10.8.2	炉壳	406
10.8.3	炉体平台走梯	409
10.9	结语	410
	参考文献	410

11 高炉炉顶装料和供料系统

11.1	高炉矿槽、焦槽及供料系统	411
11.1.1	矿槽、焦槽及槽上运输	411
11.1.2	矿槽、焦槽及料斗的设计	414
11.2	料批重量及批数	415
11.2.1	料批重量的确定	415
11.2.2	高炉昼夜装料批数及一批料的时间	418
11.3	供料系统的选择及作业时间顺序	419
11.3.1	供料系统的选择	419
11.3.2	供料系统的能力及作业时间顺序	422
11.4	供料系统设备	427
11.4.1	焦槽槽下设备及能力的确定	427
11.4.2	矿槽槽下设备及能力的确定	430
11.4.3	废铁清除装置	434
11.4.4	取样装置	435
11.4.5	上料胶带运输机	435
11.5	炉顶装料系统	436
11.5.1	无料钟炉顶装料设备及其特点	437
11.5.2	炉顶装料系统能力的确定	441
11.5.3	炉顶装料设备	447
11.5.4	无料钟装料设备三电控制	452
11.6	炉顶均排压系统	455
11.6.1	无料钟炉顶均排压系统	455
11.6.2	炉顶均压煤气回收系统	456
11.6.3	无料钟炉顶液压系统及润滑站	457
11.6.4	料面探测设备	457
11.7	炉顶结构及设备检修设备	459
11.7.1	炉顶结构	459

11.7.2 高炉炉顶除尘及设备维修	459
参考文献	460

12 热 风 炉

12.1 热风炉蓄热室热交换理论	463
12.1.1 蓄热过程	464
12.1.2 蓄热室纵向温度分布	465
12.1.3 蓄热室热交换过程的解析	468
12.1.4 基谐波振荡——零次特征函数	470
12.1.5 蓄热室末端的温度变化及其对热交换的影响	479
12.2 热风炉内的燃烧过程及气体运动	484
12.2.1 燃烧器及其研究方法	485
12.2.2 金属燃烧器的研究	487
12.2.3 陶瓷燃烧器的实验研究	488
12.2.4 燃烧过程的数学模拟	500
12.2.5 燃烧振动	506
12.2.6 烟气和冷风的分布	508
12.3 热风炉的使用情况和结构形式	510
12.3.1 热风炉的使用情况	510
12.3.2 热风炉结构形式及其优缺点	513
12.4 热风炉砌体结构及耐火材料	517
12.4.1 热风炉用耐火材料的发展	517
12.4.2 热风炉的砌筑结构	517
12.4.3 耐火材料中的应力	525
12.4.4 对耐火材料的要求	528
12.4.5 热风炉使用的耐火材料	530
12.4.6 不定形耐火材料	538
12.5 蓄热室设计的优化	541
12.5.1 优化热风炉的设计条件	541
12.5.2 优化热风炉的设计	542
12.5.3 蓄热室的最优化	543
12.5.4 格砖的最优化	545
12.6 热风炉金属结构及设备	548
12.6.1 晶界应力腐蚀的成因及预防措施	548
12.6.2 热风炉设备	550
12.7 热风炉废气热量利用及低发热值煤气提高热风温度的途径	556
12.7.1 废气热量利用	556
12.7.2 使用低发热值煤气获得高温的方法	558

12.8 热风炉操作	563
12.8.1 烘炉	563
12.8.2 凉炉	565
12.8.3 热风炉的保温	567
12.8.4 热风炉的操作制度	567
12.8.5 热风炉的自动控制	572
参考文献	573

13 改善炉前劳动条件及高炉炉渣的综合利用

13.1 风口平台及出铁场	575
13.1.1 风口平台及出铁场布置	575
13.1.2 风口平台出铁场结构	579
13.2 改善炉前劳动条件, 提高劳动生产率	581
13.2.1 渣铁沟的设计	581
13.2.2 炉前机械化	586
13.2.3 炉前渣铁沟内衬材料及其修理的工艺和设备	595
13.2.4 炉前通风除尘设施	602
13.3 高炉炉渣及其综合利用	610
13.3.1 沉淀过滤法	611
13.3.2 机械过滤设施	613
13.3.3 矿渣膨珠	623
13.3.4 干渣坑	625
13.3.5 冲渣水处理	626
13.3.6 高炉炉渣的综合利用	627
参考文献	627

14 高炉煤气净化及炉顶煤气余压发电

14.1 粗煤气除尘系统	630
14.1.1 粗煤气管道	630
14.1.2 重力除尘器	632
14.1.3 轴向旋风除尘器	633
14.1.4 重力除尘器和切向旋风除尘器	634
14.2 湿式除尘	635
14.2.1 环缝洗涤系统	635
14.2.2 双文丘里洗涤系统	638
14.2.3 环缝和文丘里洗涤系统的比较	639
14.3 干式除尘	640