

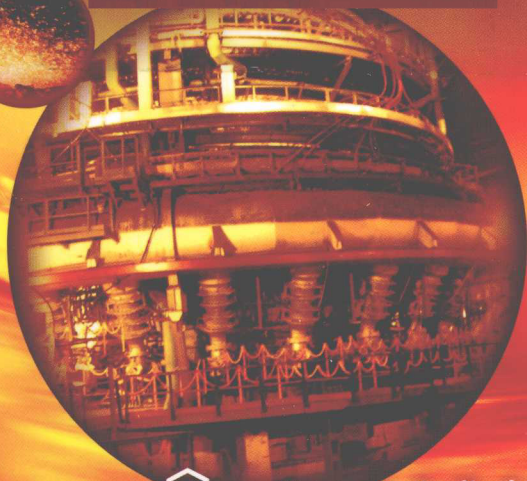


高炉炼铁设计原理

GAOLU LIANTIE SHEJI YUANLI

胡洵璞 主编

吕岳辉 王建丽 副主编



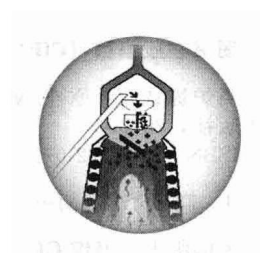
化学工业出版社

高炉炼铁设计原理

GAOLU LIANTIE SHEJI YUANLI

胡洵璞 主编

吕岳辉 王建丽 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了高炉系统设计中的主要设计方法和思路,对近年来高炉设计及应用中的新技术和方法进行了介绍。着重阐述了炼铁工艺计算、高炉本体设计、高炉装料系统设计、热风炉设计、高炉煤气处理系统设计等内容。本书内容丰富,涉及面广,深度适中,切合当今炼铁生产和设计技术发展的实际。

本书可以作为高炉炼铁设计和生产技术人员参考用书,也可以作为大学本科、职业院校冶金工程专业教材及相关人员技术培训教材和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高炉炼铁设计原理/胡洵璞主编. —北京:化学工业出版社, 2010.3

ISBN 978-7-122-07113-2

I. 高… II. 胡… III. 高炉炼铁-设计 IV. TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 001896 号

责任编辑:旷英姿
责任校对:王素芹

文字编辑:咎景岩
装帧设计:史利平

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张14½ 字数406千字
2010年2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:35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

进入 21 世纪，中国钢铁工业进入了飞速发展阶段。在原有的炼铁设计理论与实践基础上，炼铁设计上进行了大胆的创新，新的技术和思想不断涌现并得到应用，极大地推动了炼铁生产的进步和发展。本书在参考有关著作、教材、相关参考文献的基础上，结合笔者在教学、生产实践中的应用体会编写而成。

本书对高炉炼铁的相关设计原理和设计方法进行了较全面的总结和阐述，对当今成熟的设计思想和方法进行了较详尽的介绍，重点对炼铁工艺计算、高炉本体设计、热风炉设计及高炉炉顶设备系统设计做了介绍，相信对使用本书的读者能起到帮助作用。

本书可以作为从事高炉炼铁工作的技术人员的参考用书，也可作为高等院校本科、高职高专冶金工程专业教材及供相关人员的技术培训使用。

本书由湖南工业大学冶金工程学院胡润璞担任主编，冷水江钢铁总厂吕岳辉高级工程师，湖南工业大学冶金工程学院王建丽、黄雄源等参与了教材的编写工作，湖南工业大学冶金工程学院刘竹林参与了稿件的审阅。

本书在编写过程中，得到了各方面的支持和帮助，在此，本书编写组谨深表谢意，同时，对参考文献的著作者们深表感谢。

由于时间匆忙，水平所限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编者

2009 年 12 月

目 录

1 炼铁设计概论	1
1.1 炼铁生产工艺流程及设备	1
1.2 高炉炼铁现状及其发展	2
1.3 炼铁设计原则	6
1.4 炼铁厂设计内容	7
1.5 炼铁主要技术经济指标及确定	8
思考题	15
2 炼铁工艺计算	16
2.1 概论	16
2.2 配料计算	17
2.2.1 计算准备及需要确定的已知条件	18
2.2.2 计算步骤	20
2.2.3 物料平衡	24
2.2.4 热平衡计算	27
思考题	33
3 高炉炼铁车间设计	34
3.1 设计概述	34
3.1.1 工程设计的一般概念	34
3.1.2 冶金工艺设计	36
3.2 厂址选择及高炉车间在总图中的位置	37
3.2.1 厂址选择	37
3.2.2 高炉车间在钢铁厂总图运输设计中的位置	38
3.3 炼铁车间高炉座数规划	39
3.3.1 生铁产量的确定	39
3.3.2 高炉总容积的确定	40

3.3.3	高炉座数确定	42
3.4	高炉车间的平面布置	43
3.4.1	应遵循的原则	43
3.4.2	高炉车间平面布置形式	45
	思考题	50
4	高炉本体设计	51
4.1	炉型设计	51
4.1.1	炉型概述	51
4.1.2	炉型设计基本原则	52
4.1.3	炉型设计方法	53
4.1.4	薄壁内型设计	63
4.1.5	炉型设计计算举例	66
4.2	炉衬设计	70
4.2.1	炉衬及其破损机理	70
4.2.2	高炉用耐火材料	74
4.3	炉衬设计方法	78
4.3.1	炉底和炉缸	78
4.3.2	炉腹	84
4.3.3	炉腰和炉身	84
4.4	炉衬砌筑与砖量计算	87
4.4.1	砖量计算	87
4.4.2	炉衬砌筑	90
4.5	高炉冷却系统设计	96
4.5.1	高炉冷却的目的及意义	96
4.5.2	冷却介质及水质控制	97
4.5.3	常用冷却设备	99
4.5.4	系统设计	108
4.5.5	冷却器工作制度	116
4.5.6	高炉供排水系统设计	122
4.6	高炉送风管路、渣口及铁口	125
4.6.1	高炉送风管路	125
4.6.2	渣口	131
4.6.3	铁口	132

4.7 高炉钢结构及基础设计	133
4.7.1 高炉钢结构	133
4.7.2 高炉基础	138
思考题	140
5 高炉供料系统设计	142
5.1 高炉供料系统概述	142
5.1.1 料车斜桥方式	143
5.1.2 胶带运输机方式	148
5.2 储矿(焦)槽及其主要设备	152
5.2.1 储矿(焦)槽	152
5.2.2 给料机	154
5.2.3 振动筛	155
5.3 槽下运输及炉料称量	158
5.3.1 称量漏斗	158
5.3.2 储焦槽槽下称量及运输能力的确定	160
思考题	174
6 高炉炉顶装料设备	175
6.1 概述	175
6.1.1 炉顶装料设备形式分类	177
6.1.2 对炉顶装料设备的要求	178
6.2 双钟装料方式	179
6.2.1 双钟式高炉装料设备结构	179
6.2.2 使用中的主要问题和改进措施	184
6.3 无钟炉顶装料方式	187
6.3.1 无料钟炉顶结构	187
6.3.2 无料钟炉顶特点	200
6.3.3 布料功能	201
6.3.4 重要参数的确定	204
6.4 探料装置	212
6.4.1 探料尺	212
6.4.2 料面仪	214
思考题	216
7 高炉送风系统设计	217

7.1 高炉鼓风机	217
7.1.1 对高炉鼓风机的要求	217
7.1.2 高炉鼓风机及其特性	218
7.1.3 高炉鼓风机的选择	224
7.2 热风炉设计	233
7.2.1 内燃式热风炉结构	236
7.2.2 内燃式热风炉热工设计	256
7.2.3 热风炉简易设计计算	260
7.2.4 外燃式热风炉结构	264
7.2.5 顶燃式热风炉结构	269
7.2.6 顶燃式热风炉设计	275
7.2.7 球式热风炉	278
7.2.8 热风炉用耐火材料	282
7.3 热风炉附属设备	286
7.3.1 烟道、烟囱及管道	288
7.3.2 助燃风机	290
7.3.3 阀门	292
7.4 热风炉烟道废气余热回收	298
7.5 高风温技术	301
7.5.1 提高拱顶温度	301
7.5.2 缩小炉顶温度与热风温度的差值	305
思考题	308
8 高炉喷吹系统设计	309
8.1 概述	309
8.2 煤粉的制备	310
8.2.1 工艺流程	311
8.2.2 主要设备	313
8.3 喷煤工艺流程	317
8.3.1 喷煤工艺设施	317
8.3.2 喷煤车间的辅助设施	320
8.4 高炉喷煤工艺的分类	321
8.4.1 直接喷吹和间接喷吹	321
8.4.2 串罐与并罐	321

8.4.3	多支管和总管加分配器	322
8.4.4	上出料和下出料	323
8.4.5	并联喷吹罐的配置	325
8.4.6	流态化喷吹	326
8.4.7	浓相输送和稀相输送	326
8.4.8	常压与高压喷吹	327
8.5	喷煤车间主要设备的选择及其能力的确定	328
8.5.1	原煤仓	328
8.5.2	喷吹罐组及有效容积的确定	329
8.5.3	混合器	331
8.5.4	螺旋输送	332
8.5.5	仓式泵	333
8.5.6	分配器	335
8.5.7	喷煤枪	336
8.6	喷煤的计量与控制	337
8.6.1	入炉总煤量的计量与控制	337
8.6.2	喷煤单支管的计量与调节	340
8.7	煤粉喷吹的安全措施	342
8.7.1	煤粉爆炸条件	342
8.7.2	防护措施	343
思考题		345
9	高炉煤气系统设计	346
9.1	概论	346
9.2	粗煤气除尘系统	348
9.2.1	粗煤气管道	349
9.2.2	重力除尘器	351
9.2.3	轴向旋风除尘器	353
9.2.4	重力除尘器和切向旋风除尘器	355
9.3	湿式除尘	356
9.3.1	环缝洗涤系统	356
9.3.2	双文氏管洗涤系统	359
9.3.3	文氏管设备	361
9.3.4	环缝和文氏管洗涤系统的比较	365

9.4 干式除尘	365
9.4.1 干式布袋除尘	366
9.4.2 干式静电除尘	374
9.4.3 干式除尘器的特点及比较	376
9.4.4 干式除尘存在的问题及对策	377
9.4.5 干式除尘的社会效益和经济效益	379
9.5 除尘系统附属设备	380
9.5.1 捕泥脱水器	380
9.5.2 阀门	382
9.5.3 煤气清洗系统污水处理	385
9.6 高炉炉顶余压发电	388
9.6.1 煤气余压回收装置的工艺流程及特点	389
9.6.2 炉顶煤气余压透平能力的确定	389
9.6.3 设备组成及结构	395
9.6.4 节能及效益	395
思考题	398
10 高炉渣铁处理系统设计	399
10.1 风口平台及出铁场	399
10.1.1 风口平台及出铁场布置	400
10.1.2 风口平台出铁场结构	405
10.1.3 主铁沟和撇渣器	406
10.1.4 摆动流嘴	409
10.1.5 高炉计器室等建筑物布置	412
10.2 炉前设备	412
10.2.1 开铁口机	412
10.2.2 堵铁口泥炮	418
10.2.3 堵渣机	422
10.2.4 炉前吊车	425
10.2.5 换风口机和换弯管机	425
10.3 出铁场除尘	427
10.3.1 高炉出铁场烟尘的产生	427
10.3.2 高炉出铁场烟尘的特性	428
10.4 铁水处理设备	432

10.4.1 铁水罐车	432
10.4.2 铸铁机	438
10.5 炉渣处理技术	439
10.5.1 Ocp 法	440
10.5.2 Rasa 法	441
10.5.3 Tyna 法	442
10.5.4 Inba 法	444
10.5.5 明特克 (MTC) 法	447
10.5.6 高炉渣处理的新趋势——干法粒化	448
思考题	449
参考文献	451

1 炼铁设计概论

1.1 炼铁生产工艺流程及设备

现代化炼铁生产是用高炉来完成的。高炉炼铁是用还原剂（焦炭、煤等）在高温下将铁矿石或者含铁原料还原成液态生铁的过程。液态生铁是钢铁联合企业炼钢的主要原料。高炉炼铁生产工艺流程如图 1-1 所示。

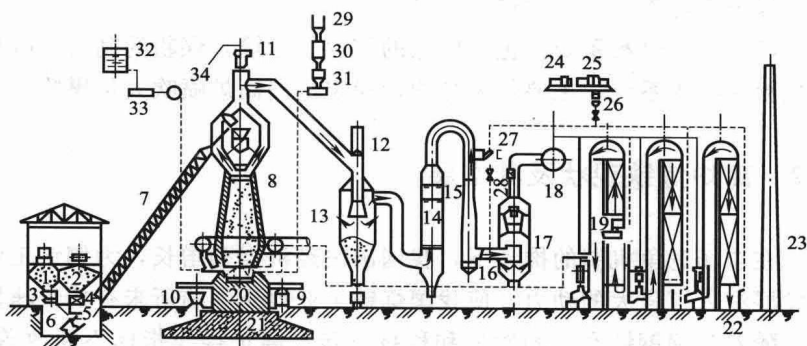


图 1-1 高炉炼铁工艺流程

- 1—储矿槽；2—焦仓；3—称量车；4—焦炭筛；5—焦炭称量漏斗；6—料车；7—斜桥；
8—高炉；9—铁水罐；10—渣罐；11—放散阀；12—切断阀；13—除尘器；
14—洗涤塔；15—文氏管；16—高压调节阀组；17—灰泥捕集器（脱水器）；
18—净煤气总管；19—热风炉；20—基墩；21—基座；22—热风炉烟道；
23—烟囱；24—蒸汽透平；25—鼓风机；26—放风阀；27—混风调节阀；
28—混风大闸；29—收集罐；30—储煤罐；31—喷吹罐；
32—储油罐；33—过滤器；34—油加压机

高炉本体是冶炼生铁的主体设备，是由耐火材料砌筑的竖立式圆筒形炉体。现在已经发展为一种五段式炉体结构形式，其最外层为用钢板制成的炉壳，里层为耐火材料形成高炉的工作空间，在炉壳和耐火材料之间有各种冷却设备。

要完成高炉炼铁生产，除高炉本体外，还必须要有其他的附属系统设备，主要有以下几种。

(1) 供料系统 包括储矿槽、储焦槽、称量与筛分等一系列设备，主要任务是及时、准确、稳定地将各种合格原料送入高炉。

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

(3) 煤气除尘系统 包括各种除尘设备和煤气管道，主要任务是降低高炉煤气含尘量，回收高炉煤气，实现对资源的再利用。

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

(5) 喷吹燃料系统 包括原煤的储存、运输，煤粉的制备、收集及煤粉喷吹等系统，主要任务是均匀稳定地向高炉喷吹大量煤粉。

1.2 高炉炼铁现状及其发展

在市场竞争机制的推动下，我国国民经济强劲增长，为钢铁工业的发展注入了强大的动力，使我国炼铁工业得到了前所未有的快速发展。随着我国钢铁产业的发展和科技进步，高炉操作指标不断改善，高炉容积不断扩大，现代化水平不断提高。1993 年，我国产生铁量 8738 万吨，超过日本，跃居世界首位。1995 年，生铁产量突破 1 亿吨，1998 年产铁 1.1863 亿吨，成为世界上第一大产铁大国。“十五”期间（2001~2005 年）炼铁工业超高速发展，2003 年突破 2 亿吨，2004 年突破 2.5 亿吨，2005 年突破 3.3 亿吨，2006 年生铁产量突破 4.0 亿吨大关，年平均增长率为 30.4%。我国生铁年产量已占世界生铁年产量的近 50%。近几年来，世界生铁产量的增加几乎全部是由

中国产量增加引起的。炼铁工业的发展对我国国民经济的发展起了重要作用。

近 12 年来，世界、中国和日本生铁产量的变化如图 1-2 所示。

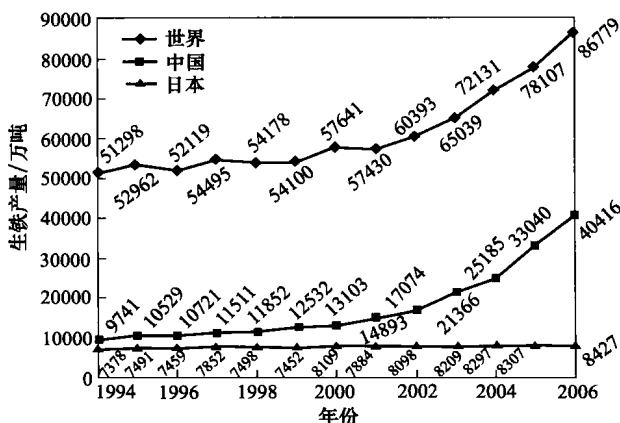


图 1-2 世界、中国和日本生铁产量的变化

在高炉的分类方面，打破了几十年来的大（1000m³ 以上）、中（300~1000m³）、小高炉（300m³ 以下）三个档次的概念。如果与国际接轨的话，建立以 3000m³ 或 4000m³ 级高炉为大型高炉，以 2000m³ 级高炉为中型高炉，以 1000m³ 级或以下为小型高炉的新概念。但是，这种划分会随时间的推移而发生变化。根据 1993 年发布的《高炉炼铁工艺设计规定》的统计，当时 1000~4000m³ 大型高炉只有 38 座，总有效容积 65600m³，平均容积为 1726m³。据不完全统计，300~999m³ 中型高炉 94 座，总容积 36574m³，平均炉容 389m³。

据不完全统计，我国 2001 年底 1000m³ 以上的高炉只有 50 座，2003 年底有 57 座，2004 年底有 77 座，而 2005 年底有 110 座，2006 年底增加到 121 座，其构成见表 1-1。

从表 1-1 看出，1000m³ 级高炉的座数占高炉总座数一半以上，比例还有增加的趋势，2000~4000m³ 高炉座数增加不多，有效容积 3000m³ 以上高炉的座数约占 10%，造成平均炉容仍然偏小，还不到 2000m³。

表 1-1 截至 2004 年底、2005 年底和 2006 年底中国炉容 1000m³ 以上的高炉构成

炉容级 别/m ³	1000			2000			3000			4000			总数		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006
年份															
高炉座 数/座	44	64	72		25	37	37		5	5	7		3	4	5
														77	110
															121
占高炉 总数的 比例/%	57.1	58.7	59.5		32.5	33.0	30.6		6.5	4.6	5.8		3.9	3.7	4.1
														100	100
高炉容 积/m ³	55792	82521	98321		58393	85001	86461		16000	16000	22800		12476	17223	22676
														142661	203245
															230258
占总炉 容的比 例/%	39.1	40.6	42.7		40.9	43.1	37.6		11.2	7.9	9.9		8.8	8.5	9.8
														100	100
平均炉 容/(m ³ 座)	1268.0	1289.4	1365.6		2335.7	2364.9	2336.8		3200.0	3200.0	3257.1		4158.7	4305.8	4535.2
														1852.7	1847.7
															1903.0

我国虽然是产铁大国，但还不是炼铁强国，影响因素很多。重要原因之一是在长期计划经济体制下，片面追求产量，对经济效益、社会效益、资源综合利用、降低能耗和质量重视不够，基本还是粗放型的经营方式，竞争力不足。主要表现在对资源利用上没有统一和长远的战略眼光；生铁的生产结构十分不合理， 1000m^3 以下的小型高炉数量太多，有一半以上的生铁是由炉容小于 1000m^3 、能源消耗高、污染环境严重、劳动生产率低下的高炉生产的；总体上，大型高炉的生产操作指标水平差距较大；整个钢铁工业的利润受制于钢材的市场价格，呈现浮躁和虚假繁荣，以及抵抗风险的能力差；高炉建设存在投机现象，存在无序的盲目建设和设计不规范的问题。

最近高炉大型化的发展趋势喜人。鞍钢 2004 年底有 11 座高炉，总容积 17295m^3 ，平均每座高炉炉容为 1572.3m^3 。鞍钢已有三座 3200m^3 高炉投产，在新 2 号高炉投产前，已经在 2005 年 8 月拆除了能耗高的一排高炉，即 1 号 633m^3 高炉、2 号 888m^3 高炉、4 号 1000m^3 高炉、9 号 983m^3 高炉，二排高炉在第三座 3200m^3 高炉投产的同时，拆除了 3 号 831m^3 高炉、5 号 970m^3 高炉、6 号 1050m^3 高炉。将这些高炉合并成两座 2580m^3 高炉。总计有 8 座高炉，高炉容积为 22500m^3 ，平均每座高炉容积为 2812.5m^3 。平均每座高炉增加容积 1240.2m^3 。

本钢也已经淘汰了 1070m^3 的 3 号高炉，相同炉容的 4 号高炉也将停产，平均炉容将达到 2950m^3 。平均每座高炉容积增加 1370m^3 。

原来以 300m^3 高炉为主体的地方骨干企业，也都开始建设 $1000\sim 2000\text{m}^3$ 级高炉，典型的如济钢建设了一批 1760m^3 高炉，南钢建了 $2000\sim 2500\text{m}^3$ 高炉，安钢建了 $2200\sim 2800\text{m}^3$ 高炉等等。

十多年来，我国炼铁技术有了长足的进步，特别是大型高炉的技术有了大幅度的提高。这些技术已经形成一系列成熟的高炉炼铁新技术。这些技术可以保证高炉获得良好的生产操作指标，以及获得良好的经济效果。

我国高炉炼铁工艺设计的实践表明，目前高炉炼铁设计技术已经具有世界先进水平，为编制先进性的规范提供了科学依据和保障。因

此，在总结经验和成绩的基础上，制定新的国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》（以下简称《规范》）代替原有行业标准《高炉炼铁工艺设计规定》，以指导以后的设计工作。

1.3 炼铁设计原则

钢铁厂一般包括炼铁、炼钢、轧钢三个主要车间，再加上矿石准备车间和焦化等车间，这个工厂就称为钢铁联合企业。只有炼钢和轧钢车间组成的工厂只能叫钢铁加工厂。

钢铁联合企业是一个完整的生产过程的组合体，在经济上是最合理的，可以保证较低的生产成本，在技术上可以合理利用资源、能源及本企业的各种副产品。因此，一般大型企业都建成钢铁联合企业。它与不完整的冶金工厂和加工厂比较，具有以下优点：

① 运输费用低廉。如炼钢或轧钢所需要的原材料都可以由本厂直接供应，这样可以节省大量运输费用。

② 在生产中可以采用热装，因此可以节省燃料、提高产量。

③ 能充分利用本企业的副产品。如将高炉煤气、焦炉煤气或焦油供给本企业其他熔炼炉或加热炉作为燃料。

④ 在联合企业设有很多辅助设施，如发电站、水站及各种加工厂等，这样可以保证本企业生产的正常进行，不致受外界因素的影响。

炼铁厂作为钢铁联合企业最为重要的组成部分，其设计应该保证高炉车间工艺布置合理，技术经济指标先进，设备有较高的机械化、自动化水平，有安全和尽可能舒适的劳动条件，有可靠而稳定的环境保护措施。高炉炼铁设计应遵循的基本原则如下。

（1）合法性 设计原则和设计方案的确定，应当符合国家产业建设的方针和政策。

（2）客观性 设计所采用的指标和技术方案应以客观的数据为依据，做出的设计经得起全面的、客观的评价，保证所采用的方案有坚实的基础，并且能成功地付诸实践。