

高炉炼铁 生产工艺

GAOLU
LIANTIE
SHENGCHAN
GONGYI

★ 林万明 宋秀安 编著



化学工业出版社

高炉炼铁生产工艺

林万明 宋秀安 编著



化学工业出版社

·北京·

全书是在整理国内外高炉冶炼最新发展及作者个人多年科研与生产的基础上编著而成，着重介绍了高炉炼铁生产工艺、操作技术、工艺参数及相关的理论与计算等。内容包括：高炉炼铁原料和燃料、铁矿粉造块、高炉炉体结构及维护、高炉冶炼基本操作制度、高炉原料高炉热风炉操作技术、高炉炉前操作技术、高炉炉况判断与调节、高炉喷吹操作技术、高炉强化冶炼、高炉炼铁综合计算及炼铁环境保护等。

本书综合了近年来的实践经验和科技进步，通俗易懂，理论与实践相结合，具有较强的实用性和普及性。可供高炉生产工程技术人员及管理人员学习参考，也可用作高等院校的冶金教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

高炉炼铁生产工艺/林万明, 宋秀安编著. —北京: 化学工业出版社, 2010. 4

ISBN 978-7-122-07734-9

I. 高… II. ①林…②宋… III. 高炉炼铁-生产工艺
IV. TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 023374 号

责任编辑: 丁尚林
责任校对: 蒋宇

文字编辑: 徐雪华
装帧设计: 杨北

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

787mm×1092mm 1/16 印张 21 $\frac{1}{4}$ 字数 541 千字 2010 年 5 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: 49.00 元

版权所有 违者必究

前 言

钢铁工业是国民经济的重要基础产业，是国家经济水平和综合国力的重要标志。

近年来，我国高炉炼铁工业处于高速发展阶段，2008年全国生铁产量达到4.6亿吨，粗钢产量突破5亿吨。同时高炉炼铁技术也取得了较大进步，全国重点钢铁企业高炉炼铁焦比达到392kg/t，热风温度达到1125℃，喷煤比达到137kg/t，利用系数达到2.677t/(m³·d)。

但在资源和能源利用率、高炉大型化、提高产业集中度以及环保等方面还有很大差距，尚有6000多万吨/年生产能力属于淘汰之列，造成中国炼铁技术发展不平衡。所以，中国炼铁工业要加快淘汰落后技术装备的进程，要大力推动各项炼铁先进技术装备的发展，努力实现炼铁企业的清洁生产，使我国钢铁工业走可持续发展的道路。

2009年3月，国务院发布的《钢铁产业调整和振兴规划》中，分析了当前我国钢铁产业面临的形势，提出了调整和振兴钢铁产业的指导思想、基本原则、目标、重点任务及政策措施。强调要控制钢铁生产总量，淘汰落后产能，加快联合重组，加强技术进步和自主创新，做好节能减排。为了适应这种新形势的需要，加快行业的发展与调整，我们整理了国内外高炉炼铁的技术现状，并结合我们多年的研究与教学成果，编写了本书。

全书共分14章，主要内容包括：高炉炼铁原料和燃料；铁矿粉造块；高炉冶炼原理；高炉炉体结构及维护；高炉冶炼基本操作制度；高炉原料系统；高炉热风炉操作；高炉炉前操作；高炉炉况判断与调节；高炉喷吹操作；高炉强化冶炼；高炉炼铁综合计算；炼铁环境保护。本书着重介绍了高炉炼铁生产工艺、操作过程、工艺参数及相关的理论与计算，尽可能结合近年来的实践经验和科技进步，通俗易懂，理论与实践相结合，具有较强的实用性和普及性。

本书由林万明、宋秀安编著，第1章、第6~13章由林万明编写，第2~5章、第14章由宋秀安编写，全书由林万明统稿和校对。在编写过程中得到陈津教授、王社斌教授及同事们的诸多帮助，在此对他们的帮助表示衷心的感谢。

本书可供高炉生产工程技术人员及冶金专业的相关人士使用，也可供高等院校师生使用和参考。

由于时间紧迫，加之水平有限，经验不足，书中不足之处，敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 高炉炼铁工业的发展过程	1
1.1.1 炼铁技术发展简史	1
1.1.2 我国炼铁工业的发展	3
1.2 高炉炼铁生产工艺流程	4
1.3 高炉炼铁产品	5
1.3.1 生铁	5
1.3.2 炉渣	5
1.3.3 煤气	7
1.3.4 炉尘	7
1.4 高炉炼铁生产主要技术经济指标	7
参考文献	9
第 2 章 高炉炼铁原料和燃料	10
2.1 铁矿石	10
2.1.1 铁矿石的分类及主要特性	10
2.1.2 铁矿石的要求	13
2.2 熔剂	15
2.2.1 熔剂在高炉炼铁中的作用	15
2.2.2 熔剂的质量要求	16
2.2.3 石灰生产工艺	17
2.3 其他含铁代用品	18
2.3.1 高炉炼铁用锰矿	18
2.3.2 铬铁矿	20
2.3.3 其他含铁原料	20
2.4 燃料	21
2.4.1 燃料及其种类	21
2.4.2 煤的焦化	23
参考文献	28
第 3 章 铁矿粉造块	29
3.1 铁矿粉烧结理论	29
3.1.1 烧结过程料层的变化	29
3.1.2 燃料的燃烧和热交换	30
3.1.3 水分的蒸发和冷凝	32
3.1.4 烧结过程中的化学反应	34

3.1.5	固相间的反应与液相生成	35
3.1.6	冷却、凝固和烧结矿的形成	36
3.2	烧结生产工艺及设备	36
3.2.1	烧结原料的准备	36
3.2.2	配料与混合	37
3.2.3	烧结生产	40
3.2.4	产品处理	43
3.2.5	烧结厂的余热利用	45
3.3	球团矿生产过程的基本理论	45
3.3.1	成球理论	45
3.3.2	球团粘接剂——膨润土	46
3.3.3	生球焙烧机理	47
3.4	球团矿生产工艺	48
3.4.1	球团矿生产迅速发展的原因	48
3.4.2	球团矿生产方法及工艺流程	48
3.4.3	竖炉球团矿生产工艺	49
3.4.4	带式焙烧机	52
3.4.5	链篦机-回转窑系统	53
3.5	成品矿质量检验	53
3.5.1	烧结矿质量检验	53
3.5.2	生球和球团矿质量检验	59
	参考文献	62
第4章	高炉冶炼原理	63
4.1	炉料在炉内的物理化学变化	63
4.1.1	高炉炉内的状况	63
4.1.2	水分的蒸发与分解反应	64
4.1.3	挥发物的挥发	64
4.1.4	碳酸盐的分解	64
4.1.5	气化反应	65
4.1.6	析碳反应	65
4.2	高炉内的还原过程	65
4.2.1	还原反应的概念	65
4.2.2	高炉内铁氧化物的还原	66
4.2.3	高炉内非铁元素的还原	71
4.2.4	生铁的生成与渗碳过程	74
4.3	高炉造渣和脱硫	74
4.3.1	高炉炉渣的来源与成分	74
4.3.2	炉渣碱度	75
4.3.3	成渣过程	75
4.3.4	生铁去硫	76

4.4	高炉内燃料燃烧过程	78
4.4.1	燃料燃烧	78
4.4.2	回旋区及燃烧带	79
4.5	高炉内炉料和煤气的运动	80
4.5.1	炉料运动	80
4.5.2	煤气运动	84
	参考文献	87
第5章	高炉炉体结构及维护	89
5.1	高炉炉型	89
5.1.1	高炉炉型发展	89
5.1.2	高炉炉型表示方法	89
5.1.3	高炉炉型尺寸与高炉冶炼的关系	90
5.1.4	高炉料线及容积	92
5.1.5	高炉炉体结构	92
5.2	高炉炉衬结构	92
5.2.1	高炉炉衬破损原因	93
5.2.2	高炉对耐火材料的要求	93
5.2.3	高炉常用耐火材料	94
5.2.4	高炉炉衬结构及耐火材料使用	95
5.3	高炉炉体冷却设备结构	98
5.3.1	高炉冷却目的	98
5.3.2	冷却介质选择及处理	98
5.3.3	高炉各部位冷却设备	101
5.3.4	高炉冷却水系统	103
5.4	炉体维护	104
5.4.1	炉体维护的重要性	104
5.4.2	高炉维护措施	104
5.4.3	高炉炉役后期的操作维护	108
	参考文献	108
第6章	高炉冶炼基本操作制度	110
6.1	送风制度	110
6.1.1	选择适宜的鼓风动能	110
6.1.2	选择合理的理论燃烧温度	111
6.1.3	送风制度的调节	112
6.2	热制度	114
6.2.1	热制度的选择	114
6.2.2	影响热制度的主要因素	115
6.3	造渣制度	117
6.3.1	成渣过程对高炉冶炼的影响	117
6.3.2	高炉冶炼对炉渣性能的要求	118

6.4 装料制度	120
6.4.1 装入顺序和装入方法	120
6.4.2 影响炉料分布的因素	121
6.4.3 装料制度的调节	126
参考文献	127
第7章 高炉原料系统	128
7.1 原料供应	128
7.1.1 原料的贮存与混匀	128
7.1.2 贮矿槽	129
7.1.3 槽下供料	131
7.1.4 料车坑	132
7.2 上料系统	133
7.2.1 斜桥料车式上料机	134
7.2.2 皮带机上料系统	135
7.3 装料设备	137
7.3.1 钟式炉顶装料设备	137
7.3.2 钟阀式炉顶	140
7.3.3 无料钟炉顶	142
7.3.4 均压控制装置	146
7.3.5 探料装置	146
参考文献	148
第8章 高炉热风炉操作技术	149
8.1 热风炉的结构及其主要设备	149
8.1.1 内燃式热风炉	149
8.1.2 改进型热风炉	157
8.1.3 外燃式热风炉	159
8.1.4 顶燃式热风炉	160
8.1.5 球式热风炉	161
8.2 热风炉用耐火材料	162
8.2.1 热风炉砌体破损机理	162
8.2.2 热风炉用耐火材料的主要特性	163
8.3 热风炉的燃料及燃烧计算	163
8.3.1 热风炉燃料	163
8.3.2 燃烧计算	164
8.4 热风炉的操作	167
8.4.1 热风炉的燃烧制度	167
8.4.2 热风炉的送风制度	168
8.4.3 热风炉换炉和休风操作	170
8.5 提高风温的措施	171
参考文献	173

第9章 高炉炉前操作技术	174
9.1 炉前操作平台	174
9.1.1 风口平台	174
9.1.2 出铁场	174
9.2 出铁设备与铁沟	176
9.2.1 开口机	176
9.2.2 泥炮	181
9.2.3 炉前吊车	183
9.2.4 铁沟与下渣沟	183
9.2.5 铁水处理设备	185
9.3 高炉炉前操作指标	187
9.3.1 出铁次数的确定	187
9.3.2 炉前操作指标	188
9.4 出铁操作	189
9.4.1 出铁口的构造和维护	189
9.4.2 出铁操作	190
9.4.3 打开出铁口的方法	191
9.4.4 出铁事故及处理	192
9.5 撇渣器的操作	194
9.5.1 撇渣器的构造	194
9.5.2 撇渣器的操作及注意事项	195
9.5.3 撇渣器的事故与处理	195
9.6 放渣操作	197
9.6.1 放渣操作	197
9.6.2 渣口事故及处理	198
9.6.3 更换渣口的操作	200
9.7 送风管路及风口	200
9.7.1 送风管路	200
9.7.2 更换风口操作	203
9.8 炉前用耐火材料	205
9.8.1 对炉前常用耐火泥料的要求	205
9.8.2 炮泥	205
9.8.3 铁沟料	207
参考文献	208
第10章 高炉炉况判断及调节	209
10.1 高炉炉况判断	209
10.1.1 高炉炉况的直接观察	209
10.1.2 高炉炉况的间接判断	211
10.1.3 炉况综合判断	213
10.2 高炉冶炼过程失常与处理	215

10.2.1	正常炉况与失常炉况	215
10.2.2	炉况失常的危害与处理	217
10.3	高炉事故处理	228
10.3.1	炉体跑火、跑渣	228
10.3.2	炉缸烧穿	229
10.3.3	风口灌渣	230
10.4	高炉开炉、停炉、封炉操作	231
10.4.1	开炉	231
10.4.2	高炉停炉	236
10.4.3	封炉	238
10.4.4	高炉休风和送风	240
	参考文献	245
第 11 章	高炉喷吹操作技术	247
11.1	固体燃料喷吹	247
11.1.1	煤的化学组成及理化性质	247
11.1.2	原煤及气体的供应系统	251
11.1.3	煤粉的制备系统	252
11.1.4	煤粉喷吹系统	256
11.1.5	喷煤计量控制与安全	260
11.2	液体燃料喷吹	262
11.2.1	重油的性质	262
11.2.2	喷吹工艺流程及设备	263
11.2.3	重油的燃烧及其强化	266
	参考文献	268
第 12 章	高炉强化冶炼	269
12.1	高压操作	269
12.1.1	高压操作冶炼特征	269
12.1.2	高压效果	269
12.1.3	高压操作注意事项	270
12.2	高风温	271
12.2.1	提高风温对冶炼的影响	271
12.2.2	提高风温的效果	271
12.2.3	提高风温的途径	272
12.3	富氧鼓风	273
12.3.1	高炉富氧鼓风冶炼特点	273
12.3.2	富氧鼓风对高炉冶炼的影响	274
12.3.3	富氧鼓风冶炼操作	275
12.4	喷吹燃料	275
12.4.1	高炉喷煤冶炼特征	276
12.4.2	喷吹燃料的效果	277

12.4.3 喷吹燃料对高炉冶炼的影响	278
12.5 富氧喷煤	279
12.5.1 富氧喷煤特点	279
12.5.2 富氧喷煤冶炼特点	279
12.6 加湿与脱湿鼓风	281
12.6.1 加湿鼓风	281
12.6.2 脱湿鼓风	282
12.7 精料	283
12.8 冶炼低硅生铁	285
参考文献	286
第13章 高炉炼铁综合计算	287
13.1 原始资料	287
13.2 高炉配料计算	287
13.3 物料平衡计算	291
13.4 热量平衡计算	296
13.4.1 热量收入 $q_{收}$	296
13.4.2 热量支出 $q_{支}$	297
13.5 焦比及某些有关指标的计算	300
13.5.1 直接还原度的计算	300
13.5.2 一氧化碳和氢利用率的计算	302
13.5.3 焦比的计算	302
参考文献	306
第14章 炼铁环境保护	308
14.1 炼铁生产过程中的污染源	308
14.1.1 炼铁生产过程中的废气来源	308
14.1.2 炼铁废水来源	308
14.1.3 高炉炉渣	309
14.2 烟尘治理	310
14.2.1 高炉煤气除尘	310
14.2.2 高炉出铁场除尘	315
14.2.3 其他含粉尘废气处理	316
14.3 废水治理	317
14.3.1 炼铁废水水循环系统	317
14.3.2 高炉煤气洗涤废水处理技术	317
14.3.3 高炉煤气洗涤水处理常见工艺	322
14.4 炉渣处理	325
14.4.1 高炉炉渣处理方法概述	325
14.4.2 几种高炉炉渣处理工艺	326
14.4.3 高炉渣利用	330
参考文献	337

第 1 章 概 述

1.1 高炉炼铁工业的发展过程

1.1.1 炼铁技术发展简史

人类使用铁至少有五千多年历史，原始的炼铁炉是由石堆炼铁法改造而成的。在地下挖坑，周围用石块堆砌，内填矿石和燃料，以木炭为燃料，利用自然风力进行燃烧、加热和还原铁矿石，由于温度不高，渣铁不能熔化，最终产品为类似块状的海绵铁。随着人力、畜力和水力鼓风方法的出现，产量提高，渣和铁也比较容易分离，产品质量有所改进。为适应冶炼难熔和难还原的矿石，需要增加炉子的高度，于是开始出现竖炉。14 世纪中叶，最早的一批冶炼生铁的高炉出现了。由于水力鼓风的发展，高炉鼓风量增大，促使高炉炉缸温度提高，于是炉内海绵铁可以大量渗碳而熔化，就产生了生铁。然而由于生铁不能锻造，在使用上受到限制。将生铁和矿石一起装炉再一次熔炼，加工成熟铁，这种方法称为二步冶炼法。该方法的出现是钢铁冶金史上的一个转折点，从此逐渐发展成近代钢铁冶金工业的工艺流程：首先，矿石在高炉中还原成生铁；然后在精炼炉中将生铁中的碳、硅等元素氧化而炼成熟铁和钢。进而发展为当前高炉炼铁—转炉炼钢的二步流程。

1735 年英国人达比发明了焦炭，并应用于炼铁生产。由于焦炭强度高于木炭和煤，可满足高炉冶炼的要求，从而使生铁的产量大幅度提高。

18 世纪中叶（1755~1765 年间）英国人和俄国人分别以蒸汽机驱动鼓风机为高炉鼓风，送风量剧增，产量猛涨，从而促进了 18 世纪末高炉生铁产量的迅速增长，并为高炉大型化创造了条件。

1829 年，英国人尼克逊以热风炉给高炉预热鼓风，取得明显效果。1832 年，开始用炼铁炉本身煤气预热冷风，使冶炼设备进一步改进。1857 年发明蓄热式热风炉后，风温急剧升高，促使燃料消耗大幅度下降，使高炉冶炼达到一个崭新的阶段。

自 19 世纪中叶以后，高炉冶炼技术发展迅速，生产日益强化，指标不断更新，自动化程度越来越高。主要表现有以下几方面。

(1) 采用精料 19 世纪 40 年代开始生产人造富矿（烧结矿、球团矿等）。起初烧结配料中不加熔剂，烧结矿是自然碱度的，到 20 世纪中叶发展为自熔性烧结矿，进而发展成熔剂性烧结矿，其冶金性能大为改善，高碱度烧结矿和球团矿成为高炉的主要原料，高炉基本上不再加石灰石。此外，矿石混匀、整粒、筛分等技术也有很大发展。与此同时焦炭质量也不断提高。

(2) 高炉大型化 1860 年以前高炉最大容积为 $100\sim 300\text{m}^3$ ，产量 $30\sim 50\text{t/d}$ ；到 19 世纪末容积增大到 $500\sim 700\text{m}^3$ ，产量 $400\sim 500\text{t/d}$ ；进入 20 世纪炉容不断扩大到 $1000\sim 3000\text{m}^3$ ，而到 20 世纪后期容积增大到 $4000\sim 5000\text{m}^3$ ，最大的达 5500m^3 ，日产铁万吨

以上。

(3) 上部和下部调剂技术 通过对高炉上部调整装料制度（包括批重、装料顺序、料线、溜槽角位或活动炉喉挡位等）与下部调整送风制度（包括风口风速、鼓风动能及其他鼓风参数）相结合来获得高炉内合理的炉料分布和煤气分布，以达到炉子稳定顺行，煤气利用率高，焦比低的效果。为便于灵活布料，1970年卢森堡保尔渥斯公司（Paul Wurth）发明了无钟炉顶，于1972年首次在德国汉博恩厂应用后迅速推广，这是炉顶设备的又一次革命。

(4) 高压操作 以前高炉炉顶压力为0.01~0.02MPa，20世纪中期出现了高压（炉顶）操作，初期炉顶压力提高到0.07MPa左右，随着鼓风机能力加大和设备制造水平提高，到20世纪后期炉顶压力已达到0.15~0.25MPa。由于炉内压力提高，煤气速度减慢，使高炉的冶炼强度和利用系数提高了一大步。

(5) 富氧鼓风 为减少煤气体积，利于炉况顺行，提高冶炼强度和产量，20世纪中叶出现了富氧鼓风技术，即在高炉鼓风中兑入一部分工业氧气。但由于风口前火焰温度的限制，这项技术在20世纪60年代高炉喷吹燃料技术发展起来以后，才得到广泛应用。

(6) 加湿鼓风与脱湿鼓风 为避免大气湿度波动对高炉冶炼产生不良影响和防止提高风温时风口前火焰温度过高导致炉况不稳定，20世纪50年代一度广泛应用加湿鼓风技术，即在鼓风中加入部分水蒸气，通过调整加入蒸汽的量来控制鼓风湿度。60年代起高炉大量喷吹燃料以后，风口前的火焰温度已不是过高而是常常不足，于是加湿鼓风逐渐用得少了，反而又出现了脱湿鼓风技术，即将鼓风中的自然水分脱除到适当水平以保持风口前适当的火焰温度，同时又使鼓风湿度保持稳定。

(7) 高风温技术 随着原料的改善，喷吹燃料技术的发展，操作水平的提高，以及热风炉构造和耐火材料的改进，高炉风温水平从20世纪中期的500~600℃提高到20世纪后期的1100~1350℃。由于风温水平大幅度提高，焦比显著降低了。

(8) 喷吹燃料技术 为大量降低高炉焦比，20世纪60年代起普遍采用了从高炉风口喷吹燃料的技术。喷吹燃料的种类主要有重油、天然气和煤粉。由于喷重油和天然气比喷煤粉设备相对简单，60~70年代多数高炉都喷重油和天然气，只有美国和前苏联的少数几座高炉喷煤粉。中国根据自己的资源特点重点发展了喷煤粉，到70年代末全国重点钢铁企业已有40座高炉喷煤粉，占当时重点钢铁企业高炉总数的54.8%。80年代起，由于油价高涨，焦炉老化，炼焦煤和焦炭短缺，以及环保对焦炉的限制等因素，世界高炉迅速转向喷煤，到90年代喷煤量多的已达到200kg/t以上，焦比降到300kg/t以下。

(9) 低硅生铁冶炼技术 由于降低生铁含硅量，高炉可以降低焦比和提高产量，同时对转炉炼钢也有好处；另外由于原料改善，风温提高和操作水平提高，为降硅创造了条件，20世纪后期炼钢生铁含硅量逐步降低，到20世纪末，许多高炉的生铁含硅量已降到0.2%~0.3%的水平。

(10) 高炉长寿技术 随着原料质量和操作水平的提高，以及高炉耐火材料质量的改进（包括碳砖和碳化硅砖等优质耐火材料的应用）和冷却方法的进步，20世纪70年代以后，高炉寿命显著延长，到90年代已达到10~15年，最高达到20年。一代炉役单位炉容产铁量达到7000~9000t/m³，高的达到12000t/m³。

(11) 自动控制技术 随着机械化、自动化技术的发展和电子计算机的应用，高炉的自动控制水平在20世纪后30年间有很大发展。不仅上料系统、热风炉燃烧和换炉、炉前操作等各环节实现了自动化操作，炉内冶炼过程控制也由于人工智能、专家系统

的应用有很大提高。

1.1.2 我国炼铁工业的发展

我国是世界上用铁最早的国家之一。据历史资料记载，早在 2500 年前的春秋、战国时期，就已生产和使用铁器，逐步由青铜时代过渡到铁器时代。公元前 513 年，赵国铸“型鼎”就是我国掌握冶炼液态铁和铸造技术的见证。而欧洲各国直到 14 世纪才出现冶炼液态生铁。

汉武帝时（公元前 110 年），将炼铁收归官营，先后设立了 49 个官办的冶炼厂。东汉时发明了以水力代替人力鼓风，有力地推动了炼铁生产的发展。1400 年前的南北朝时期，在一些冶铁炉上已开始用煤。后来由于长期的闭关自守，炼铁技术逐渐落后。

19 世纪下半叶清政府为发展近代军事和民用工业，开始兴办近代矿冶工业。1890 年湖广总督张之洞主持兴建的汉阳铁厂是中国第一个近代炼铁企业。该厂在 1894 年建成两座 248m³ 高炉（每座日产生铁 100t 左右），因为焦炭要从德国进口，所以到 1896 年才正式出铁。1908 年盛宣怀将汉阳铁厂由官办改为官督商办，成立汉冶萍煤铁厂矿公司，自己生产焦炭，并在 1910 年新建 477m³ 高炉（日产生铁 250t 左右），使该公司成为当时东亚最大的钢铁企业。辛亥革命后在大冶新建两座 650~700m³ 高炉（日产生铁各 450t 左右），汉阳铁厂又添建一座 477m³ 高炉。在第一次世界大战期间钢铁价格高涨，汉冶萍公司的生产发展迅速，但战后钢铁价格暴跌，该公司走向衰落，1925 年被迫停产。除汉冶萍公司外，第一次世界大战前后（1915~1920 年间），本溪、鞍山、上海、阳泉、石景山等地也先后建起高炉 10 余座（其中 200~695m³ 高炉 7 座，其余为 100m³ 以下的小高炉），使 1920 年生铁年产量达到 43 万吨，但因钢铁价格下跌，导致部分厂关闭，使往后的几年里，生铁年产量降到 40 万吨以下。1931 年“九·一八”事变和 1937 年“七·七”事变后，日本侵略者对我国资源大肆掠夺，在其占领区新建了一批高炉。与此同时当时的中国政府将汉阳铁厂、六河沟铁厂、上海钢厂等内迁，在四川、云南建设一批小钢铁厂投入生产。这样，国民党统治区和日本占领区的生铁产量在 1942 年达到最高的年产量 178.7 万吨（其中，国统区 7.8 万吨，敌占区 170 万余吨）。1945 年日本投降，大部分钢铁厂被破坏，生铁年产量降到不足 20 万吨，到 1949 年中华人民共和国成立前，全国能开工的高炉只有 9 座。在抗日战争和解放战争时期，解放区的军民和科技人员在极端困难的条件下于 1938 年建起柳沟铁厂，1942 年在延安建成一座近代小高炉，1946 年在长治建钢铁厂，先建成一座小高炉，后又将阳泉的 20t 高炉迁建到该厂，1947~1948 年又恢复阳泉的 1 号和 3 号高炉。

1949 年中华人民共和国成立后，迅速对原有高炉进行了恢复和改造，使生铁产量迅速增加，1949 年全国生铁产量只有 19 万吨，1953 年生铁产量达到 190 万吨，超过了历史最高水平。1957 年生铁产量达到了 597 万吨，高炉利用系数达到了 1.321，我国在这一指标上跨入世界先进行列（美国当时高炉利用系数为 1.0）。1958 年生铁产量为 1364 万吨，1978 年突破了 3000 万吨，1988 年达到了 6000 万吨，1993 年生铁产量为 8000 万吨，跃居世界第二位，1996 年产钢和铁均突破 1 亿吨，均居世界第一位，以后连续十多年持续保持世界钢铁之冠，并成为世界钢铁大国。2003 年突破 2 亿吨，2005 年突破 3 亿吨，2006 年突破 4 亿吨，2008 年突破 5 亿吨，遥遥领先于世界其他国家，创世界钢铁发展史上的新纪录，标志着中国成为世界炼铁强国，并领跑未来世界炼铁业持续发展。

目前，中国高炉炼铁生产技术是处于世界先进水平，高炉操作技术进入成熟发展阶段。

以宝钢、武钢、首钢、鞍钢为代表的一批大型高炉已实现高效化生产 [系数在 $2.5\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上, 燃料比低于 $500\text{kg}/\text{t}$, 寿命达 15 年以上等]。我国中小高炉的生产技术已是多年在高新技术水平上运行, 一批 $300\sim 750\text{m}^3$ 高炉利用系数在 $3.0\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上, 最高的达 $4.3\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 入炉焦比低于 $400\text{kg}/\text{t}$, 喷煤比在 $150\text{kg}/\text{t}$ 以上。

1.2 高炉炼铁生产工艺流程

高炉炼铁是指利用含铁矿石、燃料、熔剂等原燃料通过冶炼生产合格生铁的工艺过程 (如图 1-1)。自然界中的铁绝大多数以铁氧化物的形态存在于矿石中, 如赤铁矿、磁铁矿等。高炉炼铁就是从铁矿石中将铁还原出来, 并熔炼成液态生铁, 还原铁矿石需要还原剂。为了使铁矿石中的脉石生成低熔点的熔融炉渣而排出, 必须有足够的热量并需加入熔剂 (主要是石灰石)。在高炉炼铁中, 还原剂和热量都是由燃料与鼓风供给的。目前所用的燃料主要是焦炭 (个别少数地区用无烟煤等), 有的高炉还从风口喷入重油、天然气、煤粉等其他燃料, 以代替部分焦炭。通常, 冶炼 1t 生铁需要 $1.5\sim 2.0\text{t}$ 铁矿石, $0.4\sim 0.6\text{t}$ 焦炭, $0.2\sim 0.4\text{t}$ 熔剂, 总计需要 $2\sim 3\text{t}$ 原料。

从图 1-1 中可知, 高炉生产工艺过程由一个高炉本体和五个辅助设备系统完成。

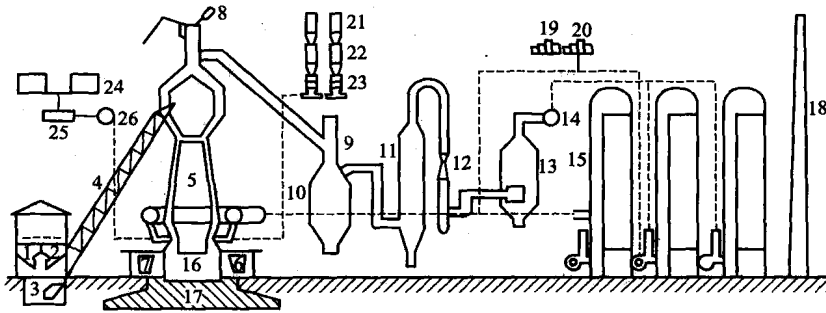


图 1-1 高炉炼铁生产工艺流程

- 1—贮矿槽; 2—焦仓; 3—料车; 4—斜桥; 5—高炉本体; 6—铁水罐; 7—渣罐; 8—放散阀; 9—切断阀;
10—除尘器; 11—洗涤塔; 12—文氏管; 13—脱水器; 14—净煤气总管; 15—热风炉; 16—炉基基墩;
17—炉基基座; 18—烟囱; 19—蒸汽透平; 20—鼓风机; 21—煤粉收集罐;
22—贮煤罐; 23—喷吹罐; 24—贮油罐; 25—过滤器; 26—加油泵

(1) 高炉本体 高炉本体是炼铁生产的核心设备, 包括炉基、炉壳、炉衬、冷却设备、炉顶装料设备等。高炉内部工作空间的形状称为高炉内型。高炉内型从下往上分为炉缸、炉腹、炉腰、炉身和炉喉五个部分, 该容积总和为它的有效容积, 反映高炉所具备的生产能力。整个冶炼过程是在高炉内完成的。

(2) 上料系统 上料系统包括贮矿场、贮矿槽、焦炭仓、焦炭滚筛、称量漏斗、称量车等, 其主要任务是将高炉所需原燃料通过上料设备装入高炉内以供高炉冶炼用。

(3) 送风系统 送风系统包括鼓风机、热风炉、热风弯管、直吹管等, 其主要任务是将风机送来的冷风经热风炉预热以后送进高炉内。

(4) 煤气净化系统 煤气净化系统包括上升管、下降管、重力除尘器、洗涤塔、文氏管、脱水器等, 其主要任务是将高炉冶炼所产生的荒煤气进行净化处理, 以获得合格的气体

燃料。

(5) 渣铁处理系统 渣铁处理系统包括出铁场、泥炮、开口机、炉前吊车、铁水罐、铸铁机、渣罐等，其主要任务是将炉内放出的渣、铁按要求进行处理。

(6) 喷吹燃料系统 喷吹燃料系统包括煤粉收集罐、贮煤罐、喷吹罐、混合器和喷枪等，其主要任务是将按一定要求准备好的燃料喷入炉内可代替部分昂贵的冶金焦，以降低冶炼成本，改善高炉操作指标。

炉料从炉顶装料设备装入高炉后，自上而下运动。从高炉下部的风口处鼓入热风(1000~1300℃)，燃料中的碳素(还有少量碳氢化合物)在热风中发生燃烧反应，产生具有很高温度的还原性气体(CO、H₂)。炉料下降过程中被上升的炽热煤气流加热，在此过程中发生一系列的物理化学变化：有炉料的挥发与分解，铁氧化物和其他物质的还原，生铁与炉渣的形成，燃料的燃烧，热交换等。这些过程不是单独进行的，而是在相互制约下数个过程同时进行的。基本过程是燃料在炉缸风口前燃烧形成高温煤气，煤气不停地向上运动，与不断下降的炉料相互作用，其温度、数量和化学成分逐渐发生变化，最后从炉顶逸出炉外。炉料在不断下降过程中，由于受到高温还原煤气的加热和化学作用，其物理形态和化学成分逐渐发生变化，最后在炉缸里形成液态渣铁，铁水定期从铁口放出。矿石中的脉石与熔剂作用变成炉渣浮在液态的金属铁液面上，从渣口排出。反应后的气态产物称为高炉煤气，从炉顶排出。煤气含有可燃性气体，经净化处理后成为气体燃料。以上就是炉料通过高炉生产生铁的一般过程。

1.3 高炉炼铁产品

高炉冶炼的主要产品是生铁，副产品是炉渣、煤气和一定量的炉尘等。

1.3.1 生铁

生铁、钢和熟铁都是铁碳合金，它们的主要区别是含碳量不同，含碳量小于0.2%的为熟铁，含碳量在0.2%~1.7%范围内的为钢，含碳量在1.7%以上的为生铁。

高炉冶炼生铁的含碳量一般为2.5%~4.5%，并有少量的硅、锰、磷、硫等元素。生铁质硬而脆，缺乏韧性，不能压延成形，机械加工性能及焊接性能不好，但含硅量高的生铁(灰口铁)的铸造及切削性能良好。

生铁按用途可分普通生铁和合金生铁两种(普通生铁占生铁产量的98%以上)。

合金生铁主要是锰铁和硅铁。合金生铁作为炼钢的辅助材料，如脱氧剂、合金元素添加剂。

普通生铁分为炼钢生铁和铸造生铁两大类，我国约90%以上的为炼钢生铁，其余的部分为铸造生铁。它们的主要区别是含Si量不同。可分别分为3个和6个牌号，各种牌号的炼钢生铁和铸造生铁的成分要求分别见表1-1和表1-2。

1.3.2 炉渣

炉渣是高炉的副产品。矿石中的脉石和熔剂、燃料灰分等熔化后组成炉渣，其主要成分为CaO、MgO、SiO₂、Al₂O₃等。炉渣有许多用途，常用作水泥原料及隔热、建材、铺路等材料。我国大中型高炉的渣量一般在每吨铁300~600kg之间，地方小高炉的渣量大大超过此数值。

表 1-1 炼钢生铁的成分

铁 种		炼 钢 生 铁			
铁号	牌 号	炼 04	炼 08	炼 10	
	代 号	L04	L08	L10	
化学成分/%	C	≥3.50			
	Si	≤0.45	0.45~0.85	0.85~1.25	
	S	特类	≤0.020		
		一类	0.02~0.03		
		二类	0.03~0.05		
		三类	0.05~0.07		
	Mn	一组	≤0.40		
		二组	0.40~1.00		
		三组	1.00~2.00		
	P	特级	≤0.10		
		一级	0.10~0.15		
		二级	0.15~0.25		
		三级	0.25~0.40		

表 1-2 铸造生铁的成分

铁 种		铸 造 生 铁						
铁号	牌 号	铸 34	铸 30	铸 26	铸 22	铸 18	铸 14	
	代 号	Z34	Z30	Z26	Z22	Z18	Z14	
化学成分/%	C	≥3.3						
	Si	3.20~ 3.60	2.80~ 3.20	2.40~ 2.80	2.20~ 2.40	2.00~ 2.40	1.60~ 2.00	
	S	一类	≤0.03					
		二类	≤0.04					
		三类	≤0.05					
	Mn	一组	≤0.50					
		二组	0.50~0.90					
		三组	0.90~1.30					
	P	一级	≤0.06					
		二级	0.06~0.10					
		三级	0.10~0.20					
		四级	0.20~0.40					
		五级	0.40~0.90					

高炉炉渣有水渣、渣棉和干渣之分。水渣是液态炉渣用高压水急冷粒化形成的，它是良好的制砖和制作水泥的原料；渣棉是液态炉渣用高压蒸汽或高压压缩空气吹成的纤维状的渣，可作为绝热材料；干渣是液态炉渣自然冷凝后形成的渣，经处理后可用于铺路、制砖和生产水泥，还可以制成建筑材料。