

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

钢铁冶金原燃料 及辅助材料

储满生 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

钢铁冶金原燃料及辅助材料

储满生 主编

北 京
冶金工业出版社
2010

内 容 提 要

本书系统、全面地介绍了高炉炼铁、非高炉炼铁、转炉及电炉炼钢、炉外精炼等钢铁生产主要工序中所使用的原料、燃料、辅助原料以及耐火材料的概况、生产工艺、基本理论、技术进步和发展方向、性能检测方法等方面的内容。

本书可供大专院校钢铁冶金专业师生以及相关研究机构的科研人员使用,也可供钢铁冶金、煤炭、化工等工业部门的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁冶金原燃料及辅助材料/储满生主编. —北京:冶金工业出版社,2010. 1

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-4988-9

I. 钢… II. 储… III. ①炼钢—原料—高等学校—教材
②炼钢—原料—高等学校—教材 IV. TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 207943 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 王 优 宋 良 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4988-9

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

2010 年 1 月第 1 版,2010 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;28.75 印张;765 千字;442 页;1-3000 册

59.00 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

钢铁冶金是我国国民经济的支柱产业,而原燃料及辅助材料是钢铁产业实现可持续发展的物质基础和前提。因此,以“优化学科和课程设置,突出冶金工程专业特色,实现创新性专业教学”为指导精神,在整合“钢铁冶金”专业平台课的基础上,冶金工程学科还设置了“钢铁冶金原料”、“钢铁冶金辅助材料”等专业基础课。但多年来,相关的针对性强、综合全面、反映钢铁冶金原燃料和辅助材料领域新技术应用和学术科研最新成果的教材一直相对缺乏,因此,为了满足冶金工程专业教学改革和教材建设的需要,我们几位工作在钢铁冶金教学、科研和生产第一线的同志共同编写了本教材。

本书共 16 章。第 1 章主要介绍钢铁冶金发展史和现代钢铁生产工艺;第 2~8 章主要介绍铁矿资源、铁矿石准备处理、炼铁用熔剂和辅助材料、烧结原理及工艺、球团理论及工艺、烧结矿和球团矿的质量指标及其性能检测方法;第 9~11 章重点介绍煤资源、煤的组成和理化性质、焦炭生产工艺及新技术、煤和焦炭的性能指标及检测方法、喷吹用燃料;第 12 章主要介绍非高炉炼铁所使用的含铁原料以及气、固、液等燃料和还原剂,并结合 MIDREX 直接还原和 COREX 熔融还原生产实际,重点论述了直接还原和熔融还原工艺对原燃料条件的要求;第 13~15 章主要介绍转炉炼钢、电炉炼钢、铁水预处理和二次精炼所使用的各种原料和辅助材料的种类和特性;第 16 章主要介绍耐火材料的生产、分类和性能以及其在钢铁冶金中的应用,概述了焦炉、高炉、热风炉、铁水预处理设备、转炉和电炉、二次精炼设备、连铸和热处理设备所使用的耐火材料的特点,并展望了耐火材料生产技术的未来发展。

本书由东北大学储满生教授担任主编,并负责全书的统稿和整体修改工作。各章的具体编写分工为:东北大学储满生教授负责第 1 章 1.5 节、第 2~12 章的编写;东北大学朱苗勇教授负责第 1 章 1.1~1.4、1.6 和 1.7 节以及第 15 章的编写;鞍钢孙群高级工程师负责第 13 章和第 14 章的编写;东北大学于景坤教授负责第 16 章的编写。编写过程中,得到了东北大学教务处、材料与冶金学院、钢

铁冶金研究所等有关部门领导和同事们的鼎力支持;东北大学钢铁冶金研究所博士研究生王兆才,硕士研究生柳政根、李壮年、陈世强以及郭同来在本书数据搜集、资料整理等方面做了大量工作;另外,书中还参考和引用了我国钢铁冶金界同行的科研成果,编者在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 7 月

目 录

1 钢铁冶金概论	1
1.1 钢铁的分类	1
1.2 钢铁的重要性	1
1.3 钢铁冶炼的发展史	2
1.4 现代钢铁生产流程	4
1.5 现代炼铁工艺	7
1.5.1 高炉炼铁	7
1.5.2 直接还原炼铁	17
1.5.3 熔融还原炼铁	26
1.6 现代炼钢工艺	32
1.6.1 铁水预处理	33
1.6.2 氧气转炉炼钢	35
1.6.3 电炉炼钢	39
1.6.4 炉外精炼	43
1.6.5 连铸	46
1.7 现代轧钢工艺	50
1.7.1 现代轧钢生产系统	50
1.7.2 现代轧钢生产流程	51
2 铁矿资源	55
2.1 铁矿资源分类和特征	55
2.2 我国铁矿资源概况	56
2.2.1 我国铁矿资源特点	56
2.2.2 我国铁矿资源分布	57
2.3 世界铁矿资源	59
2.3.1 世界铁矿资源储量及特点	59
2.3.2 世界主要铁矿区	61
2.3.3 国际铁矿石企业	63
2.3.4 我国常用的进口铁矿	64
2.4 铁矿石质量的评价	65
2.4.1 铁矿石的理化特性	65
2.4.2 铁矿石的冶金性能	68
2.4.3 铁矿石价值的评价方法	70

2.5 铁矿石替代品	72
2.5.1 高炉炉尘	72
2.5.2 转炉炉尘	79
2.5.3 其他含铁资源	79
3 铁矿石的准备处理	81
3.1 铁矿石处理流程	81
3.2 采矿	82
3.3 破碎和筛分	82
3.3.1 破碎方法和设备	83
3.3.2 筛分方法和设备	84
3.3.3 破碎和筛分流程	87
3.4 焙烧	88
3.5 选矿	88
3.5.1 选矿目的和指标	88
3.5.2 选矿方法	90
3.6 贮存和混匀	92
3.6.1 贮存和混匀的作用	93
3.6.2 贮存和混匀方法	93
3.6.3 室内混匀料场	94
3.6.4 混匀效果的评价方法	95
3.7 造块	97
4 炼铁用熔剂	98
4.1 熔剂概述	98
4.1.1 熔剂的功能	98
4.1.2 熔剂的分类	98
4.1.3 高炉冶炼对熔剂的要求	98
4.2 石灰石	99
4.3 冶金石灰	100
4.4 菱镁石	101
4.5 橄榄石和蛇纹石	102
4.6 白云石	103
4.7 转炉钢渣	104
5 炼铁辅助原料	106
5.1 膨润土	106
5.2 萤石	108
5.3 硼矿	108
5.4 含钛原料	110

5.5 天然锰矿石	110
6 烧结矿	112
6.1 铁矿烧结概述	112
6.2 烧结用原燃料	114
6.2.1 烧结用含铁料	114
6.2.2 烧结用熔剂	115
6.2.3 烧结用燃料	116
6.3 带式抽风烧结生产	116
6.3.1 烧结配料	118
6.3.2 烧结料的混匀和制粒	119
6.3.3 布料	121
6.3.4 点火	121
6.3.5 混合料烧结	122
6.3.6 烧结矿的破碎、筛分和冷却	124
6.3.7 烧结生产技术经济指标	125
6.4 烧结过程主要理论	126
6.4.1 烧结过程	126
6.4.2 水分的蒸发和凝结	128
6.4.3 碳酸盐分解及矿化作用	128
6.4.4 固体炭燃烧	129
6.4.5 烧结料层中的热交换	131
6.4.6 铁和锰氧化物的分解、还原和再氧化	133
6.4.7 硫及其他杂质的去除	135
6.4.8 烧结过程的气体动力学	136
6.5 烧结矿固结机理	137
6.5.1 烧结过程的固相反应	138
6.5.2 液相的生成	140
6.5.3 冷凝固结	145
6.5.4 矿物组成、结构及其对烧结矿质量的影响	146
6.6 烧结矿质量指标及检测	152
6.6.1 烧结矿冶金性能及其检测	152
6.6.2 烧结矿质量对高炉冶炼的影响	160
6.6.3 我国烧结矿质量现状	161
6.7 强化烧结过程的技术措施	161
6.7.1 烧结机生产能力	161
6.7.2 改善料层透气性的措施	162
6.7.3 增加烧结过程的有效风量	166
6.7.4 热风烧结	166

6.7.5 增加返矿和改善返矿质量	167
6.7.6 厚料层烧结	167
6.7.7 小球烧结	167
6.8 烧结新工艺	169
6.8.1 低温烧结	169
6.8.2 球团烧结	169
6.8.3 高铁低硅烧结	170
6.8.4 烧结机扩容	177
7 球团矿	181
7.1 铁矿球团概述	181
7.2 球团生产过程及理论	183
7.2.1 球团生产概述	183
7.2.2 球团原料及准备	184
7.2.3 配料和混合	186
7.2.4 造球	187
7.2.5 生球干燥与焙烧	194
7.2.6 成品球团矿的处理	199
7.3 球团矿生产工艺	199
7.3.1 竖炉焙烧法	199
7.3.2 带式焙烧机法	201
7.3.3 链算机-回转窑法	201
7.3.4 三种球团工艺的比较	203
7.4 球团矿的质量指标及检测	204
7.4.1 成品球团矿质量要求及标准	204
7.4.2 成品球团矿质量检测	205
7.4.3 球团矿与烧结矿质量比较	209
7.4.4 国内外球团矿质量比较	210
7.5 球团矿生产新工艺	211
7.5.1 氧化镁球团矿	211
7.5.2 多孔球团矿	212
7.5.3 破碎球团矿	213
7.5.4 内燃球团矿	213
7.6 特殊球团工艺	213
7.6.1 金属化球团	214
7.6.2 冷固球团矿	214
7.6.3 球团过程综合回收有用金属	215
7.6.4 铁矿含碳球团	217

8 高炉精料和合理炉料结构	224
8.1 精料	224
8.1.1 精料要求	224
8.1.2 精料与高炉强化冶炼	226
8.1.3 我国高炉精料技术的进步	226
8.2 高炉炉料结构	227
8.2.1 国外高炉炉料结构	228
8.2.2 我国高炉炉料结构	230
8.2.3 我国高炉的合理炉料结构	234
8.3 精料与合理炉料结构之间的关系	236
9 煤	237
9.1 煤在能源中的地位	237
9.2 煤的形成	239
9.2.1 成煤原始物质	239
9.2.2 成煤过程	240
9.2.3 成煤期	241
9.3 煤的组成和分析	241
9.3.1 煤的化学结构	242
9.3.2 煤的岩相组成	243
9.3.3 煤的工业分析	244
9.3.4 煤的元素分析	247
9.3.5 煤的发热量	250
9.4 煤的性质	250
9.4.1 煤的密度	251
9.4.2 煤的比热容	251
9.4.3 煤的热导率	251
9.4.4 煤的热稳定性	251
9.4.5 煤的可磨性	252
9.4.6 煤的反应性	252
9.4.7 煤的可选性	253
9.4.8 煤的塑性	254
9.4.9 煤的结焦性	259
9.5 煤炭资源和分类	259
9.5.1 我国煤炭资源概况	259
9.5.2 世界煤炭资源分布	262
9.5.3 煤的分类	263
9.6 煤的开采和洗选加工	267

10 焦炭	269
10.1 概述	269
10.2 焦炭生产	271
10.2.1 炼焦理论	272
10.2.2 炼焦用煤	273
10.2.3 炼焦煤的准备	274
10.2.4 炼焦	280
10.2.5 炼焦化学产品	285
10.3 焦炭的组成	286
10.3.1 焦炭工业分析	286
10.3.2 焦炭元素分析	286
10.4 焦炭的性质和质量指标	287
10.4.1 焦炭的主要性质	287
10.4.2 影响焦炭质量的因素	290
10.4.3 高炉冶炼对焦炭质量的要求	291
10.4.4 国内外焦炭质量比较	292
10.5 炼焦新工艺	293
10.5.1 无回收焦炉	294
10.5.2 巨型炼焦反应器	294
10.5.3 SCOPE21 炼焦技术	296
10.5.4 大容积焦炉	297
10.5.5 连续层状炼焦	297
10.5.6 型焦工艺	297
11 高炉喷吹燃料	302
11.1 煤粉喷吹	302
11.1.1 煤粉喷吹工艺	302
11.1.2 煤粉喷吹技术的发展和现状	304
11.1.3 喷吹用煤	307
11.1.4 高炉喷吹用煤的评价因素	308
11.1.5 高炉冶炼对喷吹用煤的要求	309
11.1.6 提高喷煤量的措施	310
11.1.7 喷煤新技术	314
11.2 喷吹用液体燃料	319
11.3 喷吹用气体燃料	320
11.3.1 常见气体燃料	320
11.3.2 高炉喷吹还原气工艺	323

12 非高炉炼铁用原燃料	327
12.1 概述	327
12.2 非高炉炼铁用含铁原料	327
12.2.1 含铁原料的化学成分	327
12.2.2 含铁原料的冶金性能	329
12.3 非高炉炼铁用燃料与还原剂	330
12.3.1 固体燃料	331
12.3.2 固体还原剂	331
12.3.3 气体还原剂	333
12.4 冶金还原气的制备	333
12.4.1 利用气体燃料的还原气制备	333
12.4.2 利用液体燃料的还原气制备	336
12.4.3 煤气化制备还原气	337
12.5 典型非高炉炼铁工艺的原燃料	344
12.5.1 MIDREX 直接还原工艺的原燃料	344
12.5.2 COREX 熔融还原工艺的原燃料	347
12.6 非高炉炼铁原燃料条件总论	350
13 转炉炼钢原料	351
13.1 转炉炼钢原料概述	351
13.2 转炉炼钢主原料	352
13.2.1 铁水	352
13.2.2 废钢	353
13.2.3 生铁块	354
13.3 转炉炼钢辅助原料	355
13.3.1 造渣剂	355
13.3.2 冷却剂	356
13.3.3 增碳剂	357
13.3.4 气体	357
13.4 脱氧合金及其他合金化材料	357
14 电炉炼钢原料	362
14.1 电炉冶炼用金属料	362
14.1.1 废钢	362
14.1.2 冷生铁块	363
14.1.3 直接还原铁	363
14.1.4 热装铁水	364
14.1.5 脱碳粒铁	365
14.1.6 碳化铁	366

14.1.7 复合金属料	366
14.2 造渣剂、氧化剂、配碳剂与增碳剂	367
14.2.1 造渣剂	367
14.2.2 氧化剂	369
14.2.3 配碳剂	370
14.2.4 增碳剂	370
14.3 脱氧剂与合金材料	371
14.3.1 粉状脱氧剂与合金材料	371
14.3.2 块状脱氧剂与合金材料	372
14.4 电极	375
14.5 其他用料	377
15 炉外精炼及连铸用辅助材料	378
15.1 铁水预处理剂	378
15.1.1 铁水脱硅剂	378
15.1.2 铁水脱磷剂	379
15.1.3 铁水脱硫剂	380
15.2 LF 精炼渣	384
15.2.1 LF 精炼渣概述	384
15.2.2 LF 精炼渣组分对发泡性能的影响	385
15.2.3 LF 精炼渣组分对脱硫性能的影响	387
15.2.4 LF 精炼渣的展望	389
15.3 炉外精炼用粉剂	389
15.4 连铸保护渣	391
15.4.1 连铸保护渣概述	391
15.4.2 连铸保护渣的行为和功能	393
15.4.3 连铸保护渣的基本特性	395
15.4.4 连铸保护渣的选用与设计	399
15.4.5 连铸保护渣的应用	404
15.4.6 连铸保护渣的发展方向	412
15.5 钢水覆盖剂	413
15.5.1 钢水覆盖剂概述	413
15.5.2 钢水覆盖剂的理化性能及影响因素	414
15.5.3 钢水覆盖剂的使用性能及影响因素	415
16 钢铁冶金用耐火材料	417
16.1 耐火材料概述	417
16.2 耐火材料的分类	417
16.3 耐火材料的组成、结构和性能	419

16.4 耐火材料的生产	419
16.5 耐火材料在钢铁冶金中的应用	420
16.5.1 焦炉用耐火材料	420
16.5.2 高炉用耐火材料	421
16.5.3 热风炉用耐火材料	426
16.5.4 铁水预处理用耐火材料	427
16.5.5 炼钢用耐火材料	427
16.5.6 炉外精炼用耐火材料	430
16.5.7 连铸用耐火材料	431
16.5.8 加热炉、均热炉与热处理炉用耐火材料	435
16.5.9 熔融还原炼铁用耐火材料	435
16.6 耐火材料的发展	436
16.6.1 耐火材料的总体发展趋势	436
16.6.2 定型耐火材料的发展趋势和新技术	437
16.6.3 不定形耐火材料的发展趋势和新技术	438
16.6.4 我国耐火材料工业的发展方向	439
参考文献	441

1 钢铁冶金概论

1.1 钢铁的分类

钢铁是一种以铁元素为主,与碳等其他元素共同组成的合金材料。根据含碳量的不同,可将钢铁划分如下:

铁	化学纯铁	$w[\text{C}] \approx 0\%$
	工业纯铁	$w[\text{C}] = 0\% \sim 0.007\%$
	工业用铁	$w[\text{C}] = 0.007\% \sim 1.2\%$
	铸铁或生铁	$w[\text{C}] = 2.0\% \sim 4.5\%$

一般将含碳 2.0% 以上的铁称为生铁;含碳 2.0% 以下的铁称为钢;含碳量处于 1.2% ~ 2.0% 之间的由于缺乏实用性,工业上很少使用。由于含碳量不同,生铁和钢在性能方面存在明显差异。生铁坚硬耐磨,性脆,缺乏延展性,不能锻打或进行塑性加工,但可以浇注成型;含碳在 6.67% 以上的生铁由于过脆而无法使用。与生铁相比,钢不但具有良好的韧性,还具有较高的机械强度,用途十分广泛。

根据是否有目的地加入合金元素,可将钢分为碳素钢和合金钢两大类。

根据含碳量的高低,可把钢分为高碳钢($w[\text{C}] > 0.6\%$)、中碳钢($w[\text{C}] = 0.25\% \sim 0.6\%$)和低碳钢($w[\text{C}] < 0.25\%$)。一般情况下,钢中碳含量增加时,其强度增强,但韧性和塑性减弱。

为了改善钢的性能或使之获得新性能,在炼钢过程中加入适量的一种或多种合金元素(常见的有锰、铬、镍、钼、钨、钒、钛、锆、钴、铌、稀土等金属元素以及硅、硼等非金属元素),这样炼出的钢称为合金钢。按钢中合金元素总含量的高低,可将合金钢分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。一般的划分方法是:合金元素总含量小于 3% 的,称为普通低合金钢;合金元素总含量为 3% ~ 5% 的,称为低合金钢;合金元素总含量位于 5% ~ 10% 之间的,称为中合金钢;而合金元素总含量大于 10% 的,称为高合金钢。此外,按钢中所含主要合金元素的不同,可将合金钢分为锰钢、硅钢、硼钢、铬镍钢、铬镍钨钢、铬锰硅钢等。

1.2 钢铁的重要性

现代社会使用的工业材料可大致分为 5 大类:(1)金属材料,包括钢铁、铝、铜、锌、铅等;(2)硅酸盐类,包括水泥、玻璃、砖、陶器等;(3)塑料类,包括聚乙烯、聚氯乙烯、聚酯等;(4)木材类;(5)纤维类。在这些工业材料中,最重要、生产量最大的是金属材料。据产量统计,在全世界生产的所有金属材料中,钢铁占 94.9%,铝占 2.5%,铜占 1% ~ 3%,锌占 0.7%,铅占 0.5%,其他合计为 0.1%,其中,居第 2 位的铝产量不过是钢铁产量的 3% 左右。因此,从金属材料的角度讲,可以说现代社会仍处于“钢铁时代”。

在现代社会中,钢铁材料保持着重要地位和突出优势,其理由分析如下:

(1)从资源上看,铁元素约占地壳组成的 5%,是储量居第 4 位的丰富元素,有高品位矿石的大型矿床,铁矿资源量相当可观。

(2)从生产工艺上看,钢铁冶炼技术成熟且相对简单,早已确立了工业化大生产方式。特别

是近年来,随着大型化、高速化、连续化以及自动化的进展,钢铁生产成本逐步降低,经济性显著提高。

(3)从强度、硬度、韧性等性能上看,钢铁作为使用量最大的一般性结构材料,具有其他材料不可与之相比的优越性。

(4)从后处理工艺上看,钢铁的合金化、热处理、加工技术已日臻成熟,由此极大地改善了钢铁的性能,并拓展了其适用空间;再加上各种新技术(如高强度钢、不锈钢、表面处理和电化学防腐等技术)的成功开发,使钢铁成为近乎万能的工业材料。

随着科学技术的不断进步和发展,新型结构材料(如铝合金、钛合金、镁合金、结构用塑料、合成材料、非晶材料、微晶材料、经特殊处理的木材等)不断出现,在发达工业国家中,这些新型结构材料的消费量在所有结构材料中所占的比例已达14%~18%。因此,在21世纪,钢铁材料正面临着不同新功能材料的挑战。但是由于钢铁材料性能优越,生产和消费都比较经济,在钢铁应用的大多数领域中尚无材料可与之匹敌;再加上随着发展中国家国民经济的快速发展,人类社会和产业对钢铁材料的需求将保持稳定增加,故在可预见的将来,钢铁仍将是重要的结构材料。

1.3 钢铁冶炼的发展史

据推测,人类最早冶炼铁矿石用于制作和使用铁器约在公元前14世纪至公元前13世纪,西亚两河(底格里斯河和幼发拉底河)流域和埃及最先掌握了冶铁技术。随后,于公元前500年左右传入欧洲。这个时期的炼铁方法属于铁矿石固相还原法,如图1-1所示。把铁矿石和木炭放在简单的火坑里一起加热,在较低温度下用碳还原脱除与铁结合的绝大部分氧,得到少量的铁块。这种产物未经熔化,需用锻打的方式把铁中的渣和杂质挤出,使铁的单体颗粒得以焊接,再按要求锻打成型,经渗碳处理后生产出称为“锻铁”的铁制品。这种生产方法效率极低,质量难以保证。德国的克虏伯粒铁生产法、英国的熟铁吹炼炉法、日本古代的脚踏风箱炼铁法大都与之类似。在欧洲地区,直到14世纪炼出生铁之前,主要采取这种低温固态还原的炼铁方法。

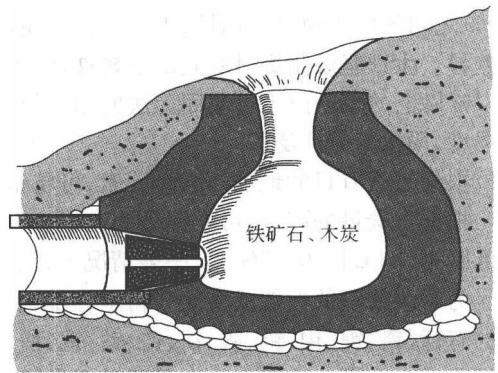


图 1-1 早期的锻铁冶炼方法

我国的铁器生产始于公元7世纪以前的西周。虽然较晚,但几乎在掌握了“铁矿石固相还原”技术的同时,就用竖炉炼出了铁水,步入生铁冶铸阶段,比欧洲早两千年生产和应用生铁,并且很快开发出铸铁柔化、炒铁成钢、钢材淬火等一系列先进技术。从先秦到明代,我国的钢铁产量和技术水平在世界上一直遥遥领先,在此之后,由于长期受封建社会制度等多方面因素的束缚,逐步衰落下来。

但是,钢铁生产在世界范围内从手工业普遍转向大规模的近代技术和机器生产,并使钢铁工业本身成为各国工业化的基础与支柱,则是在英国产业革命以后、近百年以来的事。

15世纪文艺复兴时期,增加了熟铁吹炼炉炉高、提高了炉底部热量集中度、进行强制送风的高炉(熔矿炉)在莱茵河上游出现。用这种方法得到了熔融状态的铁水,再将铁水置于火坑中,可生产锻铁或锻钢等铁制品。这种炼铁法进行两段式冶炼,带来了划时代的技术革新;但由于这种方法使用大量木炭作为还原剂和燃料,导致了当地森林的枯竭。为此,1709年前后,英国人A.

Darby 开发出焦炭高炉,使用煤生成焦炭来代替木炭,这种将钢铁冶炼和煤焦化工相结合的方法为钢铁生产的发展开拓了伟大的道路。18 世纪 80 年代,蒸汽机的发明和采用又大大改善了高炉鼓风设备的性能。1828 年,英国煤气工程师 J. B. Nilson 发明了用热空气代替冷空气鼓风,使高炉炼铁的燃料消耗大为降低。这一连串的技术进步,使欧洲的近代炼铁工业在 19 世纪上半叶获得了惊人的发展。图 1-2 给出了 17~18 世纪欧洲高炉的构造实例。

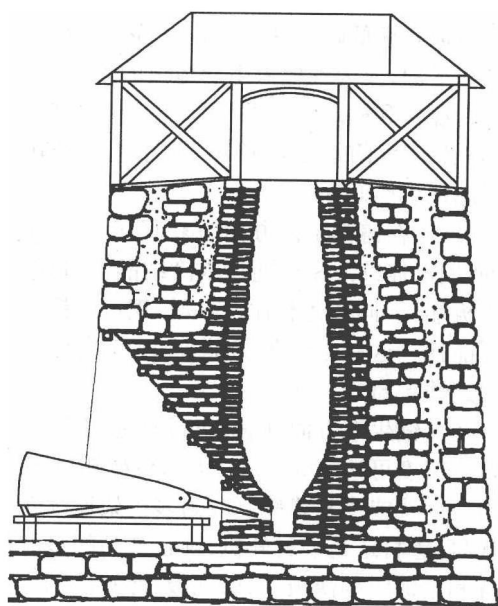


图 1-2 17~18 世纪欧洲的高炉(容积约 20m^3)

进入工业革命时期后,钢熔融精炼法的发明奠定了现代钢铁冶炼工艺的基础。1856 年,英国人 H. Bessemer 发明了酸性底吹转炉法(贝塞麦法),向转炉的铁水中吹入空气炼钢,使铁中的硅、锰、碳等元素的含量迅速降低并产生大量热能,将液态的生铁吹炼成液态的钢。该工艺使钢铁冶炼进入了一个新时期,但由于不能吹炼高磷铁水,未能得到推广。1879 年, S. G. Thomas 又发明了碱性底吹转炉法(托马斯法),用碱性炉(代替酸性炉)和碱性造渣法炼钢,可以大量除磷,提高了转炉的生产水平,有利于西欧高磷铁矿的利用。随着这些方法的发明,钢铁工业迎来了以铁水作为原料高效精炼钢水的大生产时代。这些方法是在熔融状态下分为两个阶段精炼钢:(1)以铁矿石、焦炭和石灰石熔剂等为原料,经高炉冶炼得到铁水;(2)将高温铁水经炼钢炉精炼得到钢液。

1856 年,英国工程师 K. W. Siemens 取得了蓄热式炉的专利,随后利用气体燃料将蓄热室用于反射炉炼钢并获得成功,其所使用的原料是生铁和矿石。1864 年,法国工程师 P. E. Martin 利用这一原理发明了西门子-马丁炉,也称为平炉。与空气转炉相比,平炉的炉温显著提高,并可使用废钢作为原料。1899 年,法国人 P. L. T. Heroult 创造了工业性直接加热电弧炉,利用电极端部和炉料之间产生的电弧高温进行炼钢,这种方法适用于冶炼优质钢和合金钢。

在上述炼钢工艺获得快速发展的同时,使用带有孔型的轧辊来轧制热钢锭的轧钢机也相继问世。1728 年,英国设计了生产圆棒材的轧机。1766 年,英国有了串列式小型轧机。19 世纪中叶,第一台可逆式板材轧机在英国投产,并轧出了船用钢板。1848 年,德国发明了万能式轧机。1853 年,美国开始用三辊式型材轧机,接着出现了劳特式轧机。20 世纪初,美国制成半连续式轧板机。这样,世界特别是欧洲和美国的钢铁工业进入了近代化大生产阶段,推动了欧美各国的工业化。

20 世纪下半叶,钢铁生产技术又出现了革命性发展。首先是炼铁高炉使用了还原性好、强度高和含铁品位高的烧结矿或球团矿作原料,并将热风温度从 $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 提高到 $1000 \sim 1200^{\circ}\text{C}$;同时,采用了 $0.2 \sim 0.25\text{MPa}$ 的高顶压操作、富氧鼓风、喷吹煤粉、无料钟炉顶等新技术。在 20 世纪 70、80 年代还采用了计算机控制生产过程,使炼铁生产效率大大提高。

其次为氧气转炉炼钢方法的应用和发展。随着氧气制造的工业化,氧气的价格大幅度降低。1952 年,奥地利的 Linz 钢厂和 Donawitz 钢厂运用氧气代替空气,建成了氧气顶吹转炉,改变了过去从转炉底部向炉内吹入空气炼钢的老方法,而是从转炉顶部将高压氧(O_2 纯度为 99.5%)通