

● 冶金工业出版社 ●

氧气顶吹转炉炼钢 工艺与设备 (第2版)

王雅贞 张 岩 张红文 编著

氧气顶吹转炉炼钢 工艺与设备

(第2版)

王雅贞 张 岩 张红文 编著

北 京
冶金工业出版社
2001

内 容 简 介

本书主要论述氧气顶吹转炉炼钢工艺及设备。其中包括炼钢用原材料、吹炼工艺制度、物料平衡与热平衡计算、炉衬与炉龄;并简要阐述了钢的精炼方式及原理、转炉钢种的冶炼、顶底复合吹炼工艺、转炉与氧枪等主要设备的结构和计算、车间布置;还介绍了转炉车间环境保护、辅助设备;煤气、烟尘、炉渣的回收利用和转炉生产的技术经济指标等。

本书系作者结合多年的教学经验,在深入现场进行广泛调研和参阅大量文献资料基础上编写的。

本书可作为冶金中等职业技术学校炼钢专业教学用书、炼钢专业的高职、大专学生、技术人员的参考书,也可作为从事炼钢生产的工人技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备/王雅贞等编著. —2
版. —北京:冶金工业出版社,2001.6

ISBN 7-5024-2728-7

I. 氧… II. 王… III. ①氧气顶吹转炉炼钢—工
艺②氧气顶吹转炉炼钢—设备 IV. TF724

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 11785 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 赵培德 美术编辑 李 心 责任校对 栾雅谦

北京市兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1983 年 3 月第 1 版;2001 年 6 月第 2 版,2001 年 6 月第 5 次印刷

850mm×1168mm 1/32;14.375 印张;385 千字;444 页;11801—14800 册

29.80 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)

前 言

《氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备》一书的第1版于1979年编写,1983年出版发行,是冶金技工学校炼钢专业的教学用书。由于炼钢技术的发展,原书已不能满足现在教学和职工培训的要求。编者受冶金工业出版社的委托,在北京钢铁学校的具体组织下,根据炼钢工艺技术发展的现状和趋势,对王雅贞、杨崇华、郑定中、王益芳编写的《氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备》进行了全面修改,以《氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备》第2版出版。

本书共有12章,其中绪论、第1、3、4、6、7章和附录由北京钢铁学校王雅贞编写,第2、5章由首钢技校张岩编写,第8、9、10、11、12章由北京钢铁学校张红文编写,全书由王雅贞汇总串编。

在编写过程中,编者曾到首钢炼钢厂、宝钢炼钢厂、武钢二炼钢厂、太钢二炼钢厂、攀钢炼钢厂、邯钢炼钢三分厂等单位学习、调研,得到有关领导、工程技术人员和工人的大力支持和热情帮助。此外,首钢工学院的关立华副教授、原冶金工业部的潘荫华高级工程师和东北大学的蔡锡年高级工程师也给予了很大帮助和指导,在此向以上单位和个人表示衷心的感谢。

编写过程中,编者还参阅了有关炼钢、耐火材料、溅渣护炉、复吹技术、提钒工艺、炉外精炼、品种质量以及钢铁标准等方面的资料、专著和杂志,并参考了相关人员提供的经验,在此也向有关作者和出版社致谢。

本书可作为冶金中等职业技术学校炼钢专业的基本教材,以及冶金炼钢专业的高职和大专学生的教学参考书,也可作为炼钢厂生产人员的技术培训教材。

由于编者水平有限,编写时间仓促,错误之处敬请各位读者批评指正。

编 者

2001 年 1 月

目 录

0 绪论	1
0.1 氧气顶吹转炉炼钢法的发展概况	1
0.2 转炉的分类	3
0.3 氧气顶吹转炉炼钢法的特点	4
0.3.1 吹炼速度快、生产率高	4
0.3.2 品种多、质量好	4
0.3.3 原材料消耗少、热效率高、成本低	4
0.3.4 基建投资省、建设速度快	5
0.3.5 氧气顶吹转炉容易与连续铸钢相匹配	5
1 炼钢用原材料	6
1.1 主原料	6
1.1.1 铁水	6
1.1.2 铁水预处理	10
1.1.3 废钢	22
1.1.4 生铁块	23
1.2 辅原料	23
1.2.1 造渣剂	23
1.2.2 冷却剂	26
1.3 铁合金	27
1.4 其他材料	27
1.4.1 增碳剂	27
1.4.2 焦炭	32
1.4.3 氧气	32

2 氧气顶吹转炉炼钢工艺	33
2.1 一炉钢的吹炼过程	33
2.1.1 炼钢的基本任务	33
2.1.2 吹炼过程	34
2.1.3 冶炼的五大制度	38
2.2 装入制度	39
2.2.1 装入制度内容及依据	39
2.2.2 装入制度类型	40
2.2.3 装入操作	41
2.3 供氧制度	42
2.3.1 喷嘴的类型及特点	42
2.3.2 氧气流出的运动规律	46
2.3.3 供氧制度中的几个工艺参数	55
2.3.4 供氧操作	62
2.4 造渣制度	65
2.4.1 造渣方法	66
2.4.2 渣料加入量确定	67
2.4.3 炉渣的形成	71
2.4.4 渣料加入时间	75
2.4.5 泡沫渣	76
2.4.6 渣量计算	78
2.5 温度制度	79
2.5.1 热量来源与热量支出	80
2.5.2 出钢温度的确定	83
2.5.3 温度控制	84
2.6 终点控制	92
2.6.1 终点的标志	92
2.6.2 终点控制方法	93
2.6.3 人工判断方法	94

2.6.4	吹炼过程自动控制	99
2.6.5	挡渣操作	103
2.7	脱氧及合金化制度	105
2.7.1	镇静钢、沸腾钢、半镇静钢	105
2.7.2	脱氧方法	107
2.7.3	合金的加入原则	108
2.7.4	脱氧操作	109
2.7.5	合金加入量的确定	110
2.8	吹损及喷溅	122
2.8.1	吹损	122
2.8.2	喷溅	124
2.9	操作事故及处理	129
2.9.1	温度不合格	129
2.9.2	成分不合格	129
2.9.3	回炉钢冶炼	131
2.9.4	氧枪粘钢及漏水	132
2.9.5	漏钢	132
2.9.6	冻炉	133
2.10	物料平衡与热平衡计算	133
2.10.1	原始数据	134
2.10.2	物料平衡初算	136
2.10.3	热平衡初算	142
2.10.4	物料平衡热平衡终算	144
3	氧气顶吹转炉炉衬与炉衬寿命	150
3.1	耐火材料的分类	150
3.1.1	酸性耐火材料	151
3.1.2	碱性耐火材料	151
3.1.3	中性耐火材料	151
3.1.4	常用耐火材料的化学组成	151

3.2 耐火材料的主要性质	152
3.2.1 耐火度	152
3.2.2 荷重软化温度	152
3.2.3 耐压强度	153
3.2.4 抗热震性	154
3.2.5 热膨胀性	154
3.2.6 导热性	154
3.2.7 重烧线变化	155
3.2.8 抗渣性	155
3.2.9 气孔率	156
3.2.10 体积密度	157
3.3 氧气顶吹转炉用耐火材料	157
3.3.1 镁碳砖用材料	157
3.3.2 镁碳砖生产工艺要点	161
3.3.3 转炉内衬砌砖	163
3.3.4 转炉出钢口用砖	166
3.3.5 复吹转炉底部供气用砖	167
3.4 炉衬寿命	168
3.4.1 炉衬损坏的原因	168
3.4.2 炉衬砖的蚀损机理	168
3.4.3 影响炉衬寿命的因素	169
3.4.4 提高炉衬寿命的措施	177
3.5 溅渣护炉技术	179
3.5.1 熔渣的性质	181
3.5.2 溅渣护炉的机理	184
3.5.3 溅渣层的蚀损机理	187
3.5.4 溅渣护炉工艺	189
3.6 开新炉操作	197
3.6.1 开新炉前的准备工作	198
3.6.2 炉衬的烘烤	199

3.6.3	开新炉第1炉钢吹炼操作	200
4	氧气转炉顶底复合吹炼工艺	202
4.1	简述	202
4.1.1	各国顶底复合吹炼技术概况	202
4.1.2	我国顶底复合吹炼技术的发展概况	206
4.2	复吹的底部供气气源	208
4.2.1	气源选择	208
4.2.2	气源的应用	208
4.3	复合吹炼底部供气元件	211
4.3.1	供气元件的构造	211
4.3.2	底部供气元件的布置	214
4.4	复合吹炼的底部供气	218
4.4.1	底部供气的原则	218
4.4.2	底部供气模式	218
4.5	底部供气元件的维护与更换	222
4.5.1	形成稳定的微孔蘑菇体	222
4.5.2	底部供气元件的维护	222
4.6	炉底供气元件的更换	224
4.6.1	炉底的整体更换	224
4.6.2	单个供气元件的更换	224
5	炉外精炼	225
5.1	炉外精炼的目的和手段	225
5.1.1	真空	225
5.1.2	搅拌	226
5.1.3	成分调整	228
5.1.4	温度调整	229
5.1.5	造渣	230
5.2	炉外精炼的分类	230

5.2.1	真空脱气法	230
5.2.2	非真空精炼法	231
5.2.3	其他精炼法	233
5.3	几种常用的炉外精炼方法	233
5.3.1	RH 法和 DH 法	233
5.3.2	LF 炉、ASEA-SKF 法、VAD 法	235
5.3.3	VOD 法、AOD 炉	239
5.3.4	CAS 及 CAS-OB 法	241
5.3.5	喷粉、喂丝、合成渣洗	243
6	某些钢种的生产	249
6.1	钢的分类	249
6.1.1	按化学成分分类	249
6.1.2	按主要质量等级分类	250
6.1.3	按钢的主要特性及使用特性分类	251
6.1.4	按冶炼方法分类	251
6.1.5	按钢的脱氧程度分类	252
6.1.6	按钢的金相组织分类	252
6.1.7	铸钢的分类	252
6.2	钢种牌号的表示方法	268
6.2.1	各国钢种牌号的表示方法	268
6.2.2	我国国家标准钢种牌号表示方法	268
6.3	氧气顶吹转炉钢种的冶炼	274
6.3.1	型钢生产	274
6.3.2	线材生产	284
6.3.3	钢板生产	288
7	含钒铁水的吹炼	299
7.1	简述	299
7.1.1	钒的性质	299

7.1.2	钒的用途	300
7.2	提取钒的方法	301
7.2.1	从含钒铁矿石中直接提取钒	301
7.2.2	钒渣提取钒	302
7.2.3	其他提取钒的方法	302
7.3	含钒铁水吹炼提取钒	303
7.3.1	氧化提取钒的原理	304
7.3.2	氧气顶吹转炉吹炼提取钒	305
7.3.3	其他提钒方法	309
7.4	半钢的吹炼	310
7.4.1	温度制度	311
7.4.2	造渣制度	311
8	氧气顶吹转炉炼钢车间布置及组成	312
8.1	炼钢车间的组成与任务	312
8.1.1	炼钢车间的生产流程	312
8.1.2	炼钢车间的组成与任务	312
8.1.3	主厂房的组成与任务	314
8.2	原材料供应系统	315
8.2.1	铁水的供应和铁水预处理	315
8.2.2	散状材料的供应	318
8.2.3	废钢的供应	322
8.2.4	铁合金的供应	323
8.3	转炉跨的布置	324
8.3.1	转炉位置的确定	324
8.3.2	转炉跨各层平台标高的确定	326
8.3.3	转炉跨厂房尺寸的确定	329
8.4	浇铸跨的布置	331
8.4.1	连铸跨的布置	331
8.4.2	模铸跨的布置	337

9 转炉炉体结构与倾动机械	341
9.1 炉型和计算	341
9.1.1 炉型的选择	341
9.1.2 炉型的主要参数	342
9.1.3 炉型主要尺寸的确定	344
9.2 转炉炉体及倾动机械	350
9.2.1 炉壳	350
9.2.2 托圈和耳轴	354
9.2.3 转炉倾动机械	362
10 供氧系统.....	370
10.1 氧气顶吹转炉炼钢车间供氧.....	370
10.1.1 制氧基本原理.....	370
10.1.2 供氧系统工艺流程.....	370
10.1.3 车间需氧量计算.....	372
10.1.4 制氧机的选择.....	373
10.2 氧枪的构造.....	374
10.2.1 氧枪的构造.....	374
10.2.2 喷嘴类型的选择与主要尺寸计算.....	374
10.2.3 枪身各层管径尺寸的确定.....	385
10.2.4 氧枪长度的确定.....	389
10.3 氧枪升降和更换机构.....	390
10.3.1 对氧枪升降和更换机构设备的要求.....	390
10.3.2 氧枪垂直升降机构.....	391
10.3.3 氧枪横移更换装置.....	393
10.4 氧枪各操作点的控制位置.....	394
10.5 副枪.....	396
10.5.1 副枪的功能与要求.....	396
10.5.2 副枪结构与类型.....	398

10.5.3 测试探头	399
11 炼钢厂的环境保护	400
11.1 烟气、烟尘的性质	400
11.1.1 烟气的特征	401
11.1.2 烟尘的特征	402
11.2 烟气、烟尘净化回收系统主要设备	403
11.2.1 未燃全湿净化系统的主要设备	403
11.2.2 静电除尘系统主要设备	412
11.2.3 煤气回收系统的主要设备	414
11.3 风机与放散烟囱	416
11.3.1 风机	416
11.3.2 放散烟囱	417
11.4 烟气及烟尘的综合利用	417
11.4.1 回收煤气的利用	418
11.4.2 烟尘的利用	419
11.4.3 回收蒸汽	419
11.5 烟气净化回收的防爆与防毒	419
11.5.1 防爆	419
11.5.2 防毒	420
11.6 净化回收系统简介	421
11.6.1 OG 净化回收系统	421
11.6.2 静电除尘干式净化系统	422
11.7 二次除尘系统及厂房除尘	423
11.7.1 二次除尘系统	423
11.7.2 厂房除尘	426
11.8 钢渣及含尘污水处理系统	426
11.8.1 钢渣处理系统	426
11.8.2 含尘污水处理系统	428

12 炼钢用辅助设备	430
12.1 钢包车及渣罐车.....	430
12.2 修炉车.....	430
12.2.1 下修式修炉机.....	431
12.2.2 上修式修炉机.....	431
12.3 炉底车.....	435
12.4 喷补机.....	435
12.5 拆炉机.....	436
附录 氧气顶吹转炉炼钢车间技术经济指标	439
参考文献	444

① 绪 论

0.1 氧气顶吹转炉炼钢法的发展概况

氧气顶吹转炉炼钢法是 20 世纪 50 年代产生和发展起来的炼钢技术,但从其出现至今已有 100 多年的历史。早在 1856 年英国人亨利·贝塞麦就研究开发了酸性底吹转炉炼钢法,以铁水为原料,从转炉底部通入空气氧化去除杂质冶炼成钢。第一次实现了液态钢冶炼的规模生产,从此进入了现代钢铁工业生产阶段。由于贝塞麦转炉是用酸性耐火材料砌筑炉衬,冶炼过程不能脱除铁水中的 P、S 等有害杂质,因而只能使用 P、S 含量低的铁水为原料;可是,当时西欧各国均为高磷铁矿,铁水中的 $w_{[P]}$ 高达 1.0%~2.5%,所以贝塞麦炼钢法的发展受到限制。1878 年德国尼·托马斯研究发明的碱性底吹转炉炼钢法,以碱性耐火材料砌筑炉衬,吹炼过程可以加入石灰造渣,能够脱除铁水中的 P、S,解决了高磷铁水冶炼技术问题。由于转炉炼钢法有生产率高、成本低、设备简单等优点,在欧洲得到迅速的发展,并成为当时主要的炼钢方法。由于机械工业的发展,产生了大量的废钢需要回收利用,另一方面因为空气底吹转炉钢的氮含量较高,不能承受强烈的冷加工,因此转炉炼钢法逐渐被平炉炼钢法所代替,只是少数有高磷铁矿资源的国家仍然采用托马斯炼钢法。

早在 1856 年贝塞麦就提出利用纯氧炼钢的设想,由于当时工业制氧技术水平较低,成本太高,氧气炼钢未能实现。直到 1924~1925 年间,德国在空气转炉上开始进行富氧鼓风炼钢的试验,试验证明,随着鼓入空气中 O_2 含量的增加,钢的质量有明显的改善。当鼓入空气中富氧的浓度超过 40% 时,炉底的风眼砖损坏严

重,因此又开展了用 CO_2+O_2 或 $\text{CO}_2+\text{O}_2+\text{H}_2\text{O}_{(\text{气})}$ 等混合气体的吹炼试验,但效果都不够理想,没能投入工业生产。

第二次世界大战之后,从空气中分离氧气技术的成功,提供了大量廉价的工业纯氧,使贝塞麦的氧气炼钢设想得以实现。在 1939 年罗伯特·杜勒尔在瑞士采用水冷氧枪从转炉炉口伸入,在熔池的上方供氧进行吹炼,得到满意的效果。经过不断地试验改进后,形成了氧气顶吹转炉的雏形。奥地利钢铁公司根据杜勒尔的设计,先后在 2t、10t、15t 转炉上进行氧气顶吹炼钢的工业试验,取得了丰富的经验。于 1952 年在林茨(Linz)城建成 30t 氧气顶吹转炉并投入生产;1953 年初在多那维茨(Donawitz)城又建成两座 30t 顶吹转炉正式投入工业生产。由于氧气顶吹转炉炼钢首先在林茨和多那维茨两城投入生产,所以取这两个城市名称的第一个字母 L-D(LD)作为氧气顶吹转炉炼钢法的代称。

LD 炼钢法具有反应速度快,热效率高,又可使用约 30% 的废钢为原料;并克服了底吹转炉钢质量差,品种少的缺点;因而一经问世就显示出巨大的优越性和生命力。

进入 20 世纪 70 年代以后,顶吹转炉炼钢技术趋于完善。转炉的最大公称吨位达 380t;单炉生产能力达到 400~500 万 t/a;能够冶炼全部平炉钢种,若与有关精炼技术相匹配,还可以冶炼部分电炉钢种;大型转炉炉龄在 1999 年达到 10000 炉次/炉役以上;并实现了计算机控制终点碳与出钢温度。

1951 年碱性空气侧吹转炉炼钢法首先在我国唐山钢厂试验成功,并于 1952 年投入工业生产。1954 年开始了小型氧气顶吹转炉炼钢的试验研究工作,1962 年将首钢试验厂空气侧吹转炉改建成 3t 氧气顶吹转炉,开始了工业性试验。在试验取得成功的基础上,我国第 1 个氧气顶吹转炉炼钢车间($2\times 30\text{t}$)在首钢建成,于 1964 年 12 月 26 日投入生产。以后,又在唐山、上海、杭州等地改建了一批 3.5~5t 的小型氧气顶吹转炉。1966 年上钢一厂将原有的一个空气侧吹转炉炼钢车间,改建成 3 座 30t 的氧气顶吹转炉炼钢车间,并首次采用了先进的烟气净化回收系统,于当年 8 月投