



冶金操作岗位培训丛书

YEJIN CAOZUO GANGWEI PEIXUN CONGSHU

转炉炼钢工

ZHUANLU LIANGANGGONG

郑金星 主编 郑国民 副主编



化学工业出版社



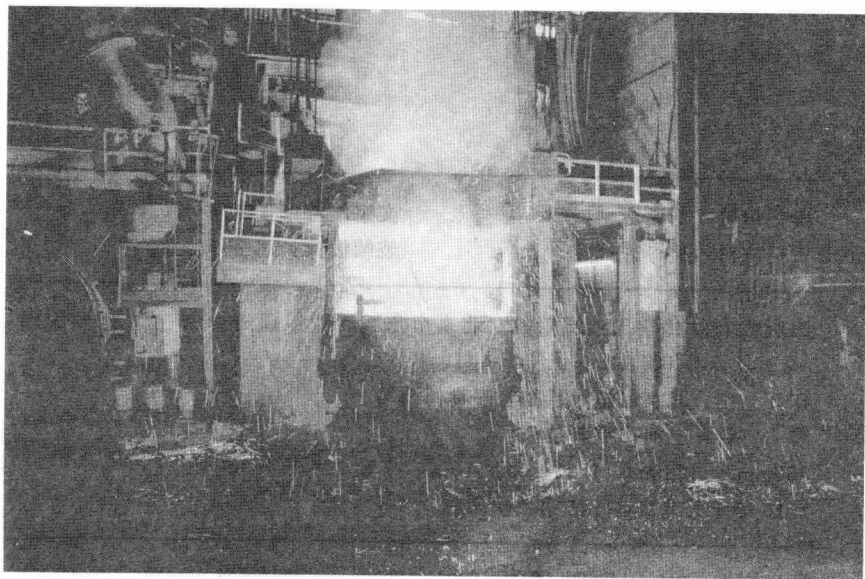
冶金操作岗位培训丛书

YEJIN CAOZUO GANGWEI PEIXUN CONGSHU

转炉炼钢工

ZHUANLU LIANGANGGONG

郑金星 主编 郑国民 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

转炉炼钢工/郑金星主编. —北京: 化学工业出版社,
2009. 11

(冶金操作岗位培训丛书)

ISBN 978-7-122-06741-8

I. 转… II. 郑… III. 转炉炼钢 IV. TF71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 176325 号

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 吴 静

装帧设计: 刘丽华

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 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 294 千字

2010 年 1 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: 29.00 元

版权所有 违者必究

前言

近十年来，我国钢铁工业发展迅速，新设备、新技术不断涌现，产品的技术含量越来越高。转炉炼钢作为目前国内最主要的炼钢方法，产量从2000年的1.058亿吨增长到2007年的4.4亿吨，平均年增长率为19.5%，高于国内粗钢产量的增长速度。转炉钢比例从2000年的82.4%增长到90%左右。随着钢铁工业发展，越来越多的新人进入了转炉炼钢岗位，企业的发展不仅需要大量精通炼钢生产技术的专业技术人员和炼钢工人，也需要全员职工掌握一定的转炉炼钢生产工艺知识。本书就是为适应上述需要而编写的。

本书参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范，根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求，主要介绍了转炉炼钢工所必须掌握的基本知识和技能。书中先从与转炉炼钢密切相关的金属材料、物理化学、流体力学基础知识入手，介绍了转炉炼钢的基本原理、转炉炼钢的生产工艺，使读者在较短的时间内比较全面地掌握转炉炼钢的基础知识；重点结合企业生产实际介绍了转炉炼钢用原材料、氧气顶吹转炉炼钢工艺、顶底复吹转炉炼钢工艺，以及转炉炉衬和长寿技术。在强调应用、注重实际操作技能的同时，本书也注意反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。希望本书能成为转炉炼钢相关技术人员的良师益友。

本书由郑金星主编，郑国民副主编。其中，第1、2、4、5、7、8章由山东工业职业学院郑金星编写，第3章由山东工业职业学院王厚山编写，第6章由山东金岭铁矿郑国民编写，第9章由山

东工业职业学院王振光编写。本书在编写过程中得到了许多同行的大力帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，编写时间仓促，书中不当之处难免，敬请读者批评指正。

编者

化学工业出版社相关图书推荐

书号	书名	定价/元
03849	轧制过程自动化技术	30
03478	冲压件生产指南	46
01665	轧钢生产问答	36
03161	钢管生产技术问答	36
02952	冷弯成型技术手册	68
01110	特种轧制技术	30
01112	现代无缝钢管生产技术	36
01066	冷弯成型技术	36
01355	钢材质量检验	28
02869	实用轧制工艺参数检测技术	25
02977	不锈钢板带材生产技术	25
05134	材料成型(轧制)专业英语	29
05314	轧钢加热工	29
05131	轧制工程学	68

以上图书由化学工业出版社机械-电气分社出版。如需要以上图书的内容简介和详细目录,或者更多的专业图书信息,请登录 www.cip.com.cn。如果出版新著,请与编辑联系。

地址:北京市东城区青年湖南街13号(100011)

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

编辑:010-64519283(刘丽宏), editor2044@sina.com

目 录

第 1 章 转炉炼钢概述	1
1.1 钢与生铁的区别	1
1.2 炼钢的基本任务	1
1.3 氧气转炉炼钢	2
1.3.1 氧气转炉炼钢法的发展	2
1.3.2 我国氧气转炉的发展概况	4
1.3.3 氧气转炉炼钢法的工艺概述	5
1.3.4 氧气转炉炼钢法的特点	6
1.4 转炉炼钢的主要技术经济指标	7
第 2 章 金属材料基本知识	9
2.1 物质形态	9
2.2 力学性能.....	10
2.2.1 屈服强度.....	11
2.2.2 抗拉强度.....	11
2.2.3 伸长率.....	12
2.2.4 断面收缩率.....	12
2.2.5 弯曲试验.....	12
2.2.6 冲击值.....	12
2.2.7 硬度.....	12
2.3 铁的同素异晶(构)转变.....	13
2.4 合金的结构.....	13
2.4.1 合金.....	13

2.4.2	固溶体	14
2.4.3	金属化合物	15
2.4.4	机械混合物	16
2.5	铁碳合金状态图	17
2.5.1	铁碳合金状态图上的特性	17
2.5.2	铁碳合金状态图中的相	18
2.5.3	合金状态图中的线	19
2.5.4	铁碳合金状态图中的区域	19
2.5.5	铁碳合金状态图中的重要转变	19
2.5.6	铁碳合金成分-组织-性能之间的关系	20
2.6	钢的热处理工艺	21
2.6.1	退火	24
2.6.2	正火	24
2.6.3	淬火	24
2.6.4	回火	25
2.6.5	表面热处理	25
2.7	钢的分类	26
2.7.1	按用途分类	26
2.7.2	按化学成分分类	27
2.7.3	按显微组织分类	27
2.7.4	按品质分类	27
2.8	钢的编号	28

第3章 物理化学基础知识 31

3.1	热力学定律	31
3.1.1	理想气体状态方程	31
3.1.2	热力学第一定律	31
3.1.3	热力学第二定律	34
3.2	溶液	35
3.2.1	理想溶液	35

3.2.2	稀溶液	36
3.2.3	真实溶液和活度	36
3.3	化学反应的方向和限度	40
3.3.1	化学反应平衡常数的表示法	40
3.3.2	外在因素对平衡的影响——平衡移动	41
3.4	化合物的稳定性	42
3.5	化学反应动力学	44
3.5.1	反应速率	44
3.5.2	多相反应和扩散	44
3.6	表面现象	45
第 4 章	热工基础	47
4.1	流体力学原理	47
4.1.1	流体的基本物性	47
4.1.2	理想流体和实际流体	48
4.1.3	稳定流动和不稳定流动	49
4.1.4	流体静力学基本方程	49
4.1.5	管内流型与雷诺数	49
4.1.6	流体流动的连续方程式	50
4.1.7	流体流动具有的能量	51
4.1.8	柏努利方程式	52
4.1.9	压头损失与气体输送	53
4.2	传热原理	55
4.2.1	稳定态导热	56
4.2.2	对流给热	61
4.2.3	辐射传热	64
第 5 章	转炉炼钢原理	73
5.1	金属熔体	73
5.1.1	金属熔体的结构	73

5.1.2	熔铁的物理性质	73
5.2	炼钢熔渣	75
5.2.1	熔渣的来源和组成	75
5.2.2	熔渣的作用	76
5.2.3	熔渣物理性质	76
5.2.4	熔渣化学性质	78
5.3	气体射流与熔体的相互作用	80
5.3.1	顶吹氧气射流	80
5.3.2	底吹气体射流	86
5.4	硅、锰的氧化和还原	87
5.4.1	硅的氧化	87
5.4.2	锰的氧化	88
5.5	碳的氧化	89
5.5.1	碳氧反应在炼钢中的作用	89
5.5.2	碳氧反应的热力学	89
5.5.3	碳氧反应的动力学	91
5.6	钢液脱磷	94
5.6.1	磷对钢性能的影响	94
5.6.2	碱性氧化脱磷	95
5.6.3	影响炉渣脱磷的主要因素	97
5.6.4	回磷	99
5.7	钢液脱硫	99
5.7.1	硫对钢性能的影响	99
5.7.2	脱硫反应	101
5.7.3	原料含硫量对脱硫的影响	103
5.7.4	气化去硫	103
5.8	钢液脱氧	103
5.8.1	钢中氧的危害性	104
5.8.2	脱氧的目的和任务	104
5.8.3	各元素的脱氧能力和特点	105

5.8.4	脱氧产物的上浮与排除	109
5.8.5	常用的脱氧方法	111
5.9	去除钢中的非金属夹杂物	112
5.9.1	钢中非金属夹杂物的来源	113
5.9.2	钢中非金属夹杂物的分类	113
5.9.3	夹杂物对钢性能的影响	117
5.9.4	减少钢中夹杂物的途径	118
5.10	去除钢中气体	120
5.10.1	氢的来源及其对钢质量的影响	120
5.10.2	氮的来源及其对钢质量的影响	124
5.10.3	钢液脱气	127

第 6 章 转炉炼钢用原材料 130

6.1	主原料	130
6.1.1	铁水	130
6.1.2	废钢	133
6.1.3	生铁块	134
6.2	辅原料	134
6.2.1	造渣剂	134
6.2.2	冷却剂	139
6.3	铁合金	140
6.4	其他材料	143
6.4.1	增碳剂	143
6.4.2	焦炭	143
6.4.3	氧气	143
6.5	铁水预处理	143
6.5.1	铁水炉外脱硫	143
6.5.2	铁水炉外脱硅	148
6.5.3	铁水炉外脱磷	150
6.5.4	铁水同时脱硫与脱磷	153

第 7 章 氧气顶吹转炉炼钢工艺	155
7.1 一炉钢的吹炼过程	155
7.1.1 一炉钢的操作过程	155
7.1.2 金属液成分的变化规律	156
7.1.3 熔渣成分的变化规律	160
7.1.4 熔池温度的变化规律	161
7.2 装入制度	164
7.2.1 装入制度内容及依据	164
7.2.2 装入制度类型	165
7.2.3 装入操作	166
7.3 造渣制度	166
7.3.1 炉渣的形成	167
7.3.2 泡沫渣	169
7.3.3 造渣方法	170
7.3.4 渣料加入量确定	171
7.3.5 渣料加入时间	174
7.4 供氧制度	174
7.4.1 氧枪喷头	175
7.4.2 供氧制度中的几个工艺参数	175
7.4.3 氧枪操作	182
7.5 温度制度	183
7.5.1 出钢温度的确定	184
7.5.2 热量来源与热量支出	184
7.5.3 冷却剂的种类及其冷却效应	188
7.5.4 生产实际中的温度控制	191
7.6 终点控制和出钢	195
7.6.1 终点的标志	195
7.6.2 终点控制方法	196
7.6.3 终点判断方法	197
7.6.4 出钢	201

7.7 脱氧及合金化制度	205
7.7.1 脱氧剂的加入量	205
7.7.2 脱氧操作	207
7.7.3 合金化的一般原理	209
7.8 吹损及喷溅	210
7.8.1 吹损的组成及分析	210
7.8.2 喷溅	212
7.9 操作事故与处理	214
7.9.1 低温钢	214
7.9.2 高温钢	216
7.9.3 喷枪粘钢	216
7.9.4 化学成分不合格	216
7.9.5 回炉钢	218
7.10 物料平衡和热平衡计算	218
7.10.1 计算的原始数据	219
7.10.2 物料平衡计算	220
7.10.3 热平衡计算	225
7.11 顶吹转炉计算机自动控制	228
7.11.1 转炉自动控制系统	228
7.11.2 静态控制与动态控制	230

第 8 章 顶底复合吹炼转炉

8.1 氧气底吹转炉炼钢法	233
8.1.1 氧气底吹转炉设备	233
8.1.2 熔池反应的基本特点	235
8.1.3 “底吹转炉”与“顶吹转炉”的比较	238
8.2 氧气顶底复吹转炉炼钢法	239
8.2.1 概述	239
8.2.2 顶底复合吹炼法的种类	240
8.2.3 复合吹炼底部供气元件	240

8.2.4	复吹的底吹气体	246
8.2.5	顶底复吹转炉的冶金特点	249
第 9 章	转炉炉衬与长寿技术	252
9.1	转炉用耐火材料	252
9.1.1	转炉用耐火材料的演变	252
9.1.2	转炉内衬用砖	252
9.1.3	转炉出钢口用砖	255
9.1.4	复吹转炉底部供气砖	256
9.1.5	对炉衬砖的砌筑的要求	256
9.2	炉衬寿命及影响因素	256
9.2.1	炉衬的损坏	256
9.2.2	提高炉衬寿命的措施	259
9.3	溅渣护炉技术	269
9.3.1	熔渣的性质	269
9.3.2	溅渣护炉的机理	272
9.3.3	溅渣层的蚀损机理	275
9.3.4	溅渣护炉工艺	278
9.3.5	复吹转炉溅渣护炉工艺	284
9.3.6	溅渣操作程序	285
9.3.7	溅渣时间与溅渣频率	286
9.3.8	炉底上涨的原因及防止措施	287
9.4	开新炉操作	288
9.4.1	开炉前的准备工作	288
9.4.2	炉衬的烧结过程	289
9.4.3	炉衬的烘烤	289
9.4.4	开新炉第 1 炉钢吹炼操作	291
附录 1	转炉炼钢工 (中级) 理论知识复习题	293
附录 2	转炉炼钢工 (中级) 理论知识复习题参考答案	309
	参考文献	326

第1章 转炉炼钢概述

1.1 钢与生铁的区别

钢和生铁都是铁基合金，都含有碳、硅、锰、磷、硫 5 种元素。其主要区别见表 1-1。

表 1-1 钢和生铁的主要区别

项 目	钢	生 铁
碳(质量分数)	$\leq 2.11\%$ ，一般 $0.04\% \sim 1.7\%$	$> 2.11\%$ ，一般 $2.5\% \sim 4.3\%$
硅、锰、磷、硫含量	较少	较多
熔点	$1450 \sim 1530^{\circ}\text{C}$	$1100 \sim 1150^{\circ}\text{C}$
力学性能	强度、塑性、韧性好	硬而脆，耐磨性好
可锻性	好	差
焊接性	好	差
热处理性能	好	差
铸造性	好	更好

钢和生铁最根本的区别是含碳量不同，钢中含碳量 $\leq 2.11\%$ ，生铁含碳量 $> 2.11\%$ 。含碳量的变化引起铁碳合金质的变化。钢的综合性能，特别是力学性能（抗拉强度、韧性、塑性）比生铁好得多，从而用途也比生铁广泛得多。因此除约占生铁总量 10% 的铸造生铁用于生产铸件外，约占生铁总量 90% 的炼钢生铁要进一步冶炼成钢，以满足国民经济各部门的需要。

1.2 炼钢的基本任务

钢是由生铁炼成的，炼钢的基本任务可归纳如下。

① 脱碳。在高温熔融状态下进行氧化熔炼，把生铁中的碳氧

化降低到所炼钢号的规格范围内，是炼钢过程中的一项主要任务。

② 脱硫和脱磷。把生铁中的有害杂质硫和磷降低到所炼钢号的规格范围内。

③ 去除钢中气体和非金属夹杂物。把熔炼过程中进入钢中的有害气体和非金属夹杂物去除。

④ 脱氧及合金化。把氧化熔炼过程中生成的对钢质量有害的过量的氧从钢液中排除掉；同时加入合金元素，将钢液中各种合金元素的含量调整到所炼钢号的规格范围内。

⑤ 升温（调整钢液温度）。铁水温度一般仅有 1300℃ 左右，而出钢温度应达到 1600℃ 以上，所以炼钢是一个升温的过程。

1.3 氧气转炉炼钢

氧气转炉炼钢自 20 世纪 50 年代初问世以来，在世界各国得到了广泛的应用，技术不断地进步，设备不断地改进，工艺不断地完善。在短短的几十年里，从顶吹发展到复合吹炼。氧气转炉炼钢的飞速发展，使炼钢生产进入了一个崭新的阶段，钢的产量不断增加，钢的成本不断下降。从目前来看，氧气转炉炼钢法仍是国内外主要的炼钢方法。

1.3.1 氧气转炉炼钢法的发展

1856 年，英国人贝塞麦发明了底吹酸性空气转炉炼钢法。将空气吹入铁水，使铁水中硅、锰、碳高速氧化，依靠这些元素氧化放出的热量将液体金属加热到能顺利地进行浇注所需的温度，从此开创了大规模炼钢的新时代。由于采用酸性炉衬和酸性渣操作，吹炼过程中不能去除磷、硫，同时为了保证有足够的热量来源要求铁水有较高的含硅量。

1879 年英国人托马斯又发明了碱性底吹空气转炉炼钢法，改用碱性耐火材料作炉衬，在吹炼过程中加入石灰造碱性渣，并通过将液体金属中的碳氧化到小于 0.06% 的“后吹”操作，集中化渣脱磷。在托马斯法中，磷取代硅成为主要的发热元素，因而此法适合于处理高磷铁水，并可得到优质磷肥。

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 $CO_2 + O_2 + H_2O$ （汽）等混合气体的吹炼试验，但效果都不够理想，未能投入工业生产。

20 世纪 40 年代初，制氧技术得到了迅速发展，给氧气炼钢提供了物质条件。1948 年德国人杜雷尔在瑞士采用水冷氧枪垂直插入炉内吹炼铁水获得成功。1952 年在林茨（Linz）城，1953 年在多纳维茨（Donawltz）城先后建成了 30t 氧气顶吹转炉车间并投入生产，称为 LD 法。由于氧气顶吹转炉反应速度快，生产率及热效率很高，可使用约 20%~30% 的废钢以及便于自动化控制，又克服了空气吹炼时钢质量差、品种少的缺点，使它成为冶金史上发展最迅速的新技术。

氧气顶吹转炉炼钢法出现以后，在世界各国得到了迅速发展，不仅新建转炉停建平炉，而且还纷纷拆除平炉改建氧气转炉，如日本到 1997 年底平炉已全部拆除。进入 20 世纪 70 年代，转炉炼钢技术日趋完善，公称吨位 400t 的大型氧气顶吹转炉先后在前苏联、西德等国投入生产，单炉生产能力达 400 万~500 万吨/年，大型转炉的平均吹炼时间为 11~12min，平均冶炼周期已缩短到了 26~28min，氧气转炉不仅能冶炼全部平炉钢种，而且还可以冶炼部分电炉钢种。随着炉衬耐火材料的不断改进，溅渣护炉技术的应用，炉衬寿命也不断提高，其中武钢二炼钢 80t 转炉，炉衬寿命达 29942 炉，炉役炼钢 236 万吨，莱芜钢厂 40t 转炉，炉衬寿命最高达 37271 炉。

回顾氧气转炉炼钢技术的发展，可分为三个时期。

① 转炉大型化时期（1950~1970 年）。以转炉大型化技术为核心，逐步完善了转炉炼钢工艺与设备。先后开发出大型化转炉设计制造技术、OG 法除尘与煤气回收技术、计算机静态与副枪动态控制技术、镁碳砖综合砌炉与喷补挂渣等护炉工艺技术。