

转炉炼钢

功能性辅助材料

Auxiliary Materials for BOF Steelmaking

潘贻芳 王振峰 编著



冶金工业出版社

<http://www.cimip.com.cn>

转 炉 炼 钢 功 能 性 辅 助 材 料

潘 贻 芳 王 振 峰 编 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 提 要

本书系统介绍转炉炼钢流程功能性辅助材料,内容包括转炉炼钢流程中铁水预处理、转炉冶炼、炉外精炼、连铸各工序所用功能性辅助材料的种类、性能要求、使用效果及配方设计等方面的知识和相关理论,以及生产转炉功能性辅助材料用原料和加工工艺。

本书可作为转炉炼钢领域从事工艺管理、技术应用、质量改进、品种开发的科研、生产、管理、教学人员和炼钢辅助材料生产单位的无机非金属材料专业工程技术人员、管理人员的学习参考资料,也可作为大专院校相关专业高年级学生及教师的专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

转炉炼钢功能性辅助材料/潘贻芳,王振峰编著.——北京:
冶金工业出版社,2007.8

ISBN 978-7-5024-4322-1

I. 转… II. ①潘… ②王… III. 转炉炼钢—辅助材料
IV. TF702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 119061 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)
责任编辑 刘小峰(forrest_liuxf@sohu.com) 美术编辑 李 心
版面设计 张 青 责任校对 侯 璐 李文彦 责任印制 丁小晶
ISBN 978-7-5024-4322-1

北京兴顺印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销
2007 年 8 月第 1 版,2007 年 8 月第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16;14 印张;335 千字;212 页;1-3000 册

40.00 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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



潘贻芳 1961年8月生。分别于1983年、1989年和2004年在江西冶金学院、北京科技大学和天津大学获得学士、硕士和博士学位。现任天津钢铁有限公司教授级高工、副总经理,兼任天津市金属学会常务理事、炼钢学术委员会主任,《天津冶金》编委等职务。2002年享受国务院政府特殊津贴。

近年来,主要从事炼钢工艺、技术、品种开发与研究、质量控制以及钢铁生产管理工作。

荣获省部级科技进步奖二等奖2项、三等奖3项;通过天津市科技成果鉴定5项;申请或被授予发明专利5项。出版专著3部;发表科技论文50余篇。



王振峰 1965年生。1986年毕业于北京科技大学冶金系专业,工学士;1998年获博士学位。1989~1998年在河南省安阳钢铁集团公司工作,高级工程师。1999年后在郑州大学材料科学与工程学院任教,主讲热工基础和窑炉学等课程,从事冶金和材料方面的科研工作。

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定 价
转炉溅渣护炉技术	25.00 元
炼钢氧枪技术	58.00 元
氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备 (第 2 版)	29.80 元
转炉炼钢生产	58.00 元
转炉一连铸工艺设计与程序	159.00 元
中国电炉流程与工程技术文集	60.00 元
电炉炼钢 500 问 (第 2 版)	25.00 元
电弧炉炼钢工艺与设备 (第 2 版)	35.00 元
电炉炼钢原理及工艺	40.00 元
现代电炉—薄板坯连铸连轧	98.00 元
薄板坯连铸连轧 (第 2 版)	45.00 元
薄板坯连铸连轧工艺技术实践	56.00 元
薄板坯连铸装备及生产技术	48.00 元
新编连续铸钢工艺及设备 (第 2 版)	40.00 元
连续铸钢原理与工艺	30.00 元
连续铸钢生产	45.00 元
实用连铸冶金技术	35.00 元
连铸及炉外精炼自动化技术	52.00 元
连铸过程控制理论与技术	15.00 元
连续铸钢	25.00 元
连铸坯质量 (第 2 版)	24.50 元
连铸坯热送热装技术	20.00 元
炉外精炼	30.00 元
炉外精炼的理论与实践	48.00 元
炉外精炼及铁水预处理实用技术手册	146.00 元
铁水预处理与钢水炉外精炼	39.00 元
冶金技术概论	28.00 元
钢铁冶金原理 (第 3 版)	40.00 元
炼钢工艺学	39.00 元
炼钢学	40.00 元
现代冶金学 (钢铁冶金卷)	36.00 元
钢铁冶金学 (炼钢部分)	35.00 元
冶金流程工程学	65.00 元
洁净钢——洁净钢生产工艺技术	65.00 元
钢铁冶金及材料制备新技术	28.00 元
2006 年—2020 年中国钢铁工业科学与技术发展指南	50.00 元
钢铁生产工艺装备新技术	39.00 元
冶金设备液压润滑实用技术	68.00 元



前 言

现代转炉炼钢的发展以工序效能的单一化、高效化、长寿化、产品优质化为主要特征，而各工序的各类功能性辅助材料的质量改善、技术进步和广泛应用，是炼钢、精炼、连铸等工序充分发挥其功能的必要保证。炼钢功能性辅助材料对现代转炉炼钢高效、长寿、节能和产品质量保证方面所起到的作用，越来越受到炼钢工作者的重视。

铁水预处理技术的采用，不仅使其成为一个独立的工序，而且引发了各种新型功能性材料的采用和变化。如三脱技术的实施需要优质、高效、低廉的脱硫、脱磷、脱硅材料，同时对转炉造渣材料也提出了更高的要求；随着二次冶金的发展，炉外处理如喂线处理、钢包精炼等引起传统造渣材料的变革，产生了功能各异的精炼造渣材料；受转炉炉龄的限制以及炉役过程中每次补炉时间过长等原因的影响，往往造成转炉—连铸机之间不能很好地同步运行，破坏了转炉—连铸作业过程中的连续性、协同性，推广应用转炉溅渣护炉技术，引起溅渣护炉材料的兴起和进步；实现钢包自动开浇是保护浇铸的核心工作，引流材料和引流技术成为关键；低过热度浇铸技术必须有可靠的钢包和中间包保温技术和保温覆盖材料；高拉速连铸的实现，要求具有良好的填充性能、改善润滑、减小摩擦力、促进传热、使坯壳快速均匀生长的保护渣。因此，炼钢技术进步离不开具有不同功能和作用的辅助材料的使用和发展。系统总结辅助材料在炼钢、精炼、连铸中的使用，介绍辅助材料为炼钢生产带来的变革，更进一步推动辅助材料的发展和炼钢技术的进步，这正是作者撰写本书的目的。

本书共分10章。其中，第1章介绍了转炉炼钢的基本原理和现代转炉炼钢对功能性辅助材料的要求；在相关理论的基础上结合开发和应用炼钢功能性材料的经验，第2~9章分别介绍了化渣助熔材料、溅渣调渣材料、钢包顶渣改质材料、钢水覆盖保温材料、连铸开浇引流材料、连铸保护渣、铁水预处理脱硫脱磷剂和钢包精炼渣的种类、性能要求、使用效果和配方设计；第

10 章总结介绍了生产转炉功能性辅助材料用原料及其加工工艺。

感谢在本书成稿过程中给予帮助的华北水利学院图书馆王岚老师、郑州大学化学系刘蒲老师、天津钢铁有限公司王宝明高级工程师，同时感谢冶金工业出版社的领导和编辑们对本书所做的工作。

炼钢功能性辅助材料不仅涉及钢铁冶金学科方面的知识，还涉及无机非金属材料学科方面的知识，限于作者水平，书中疏漏和不足之处敬请读者谅解与指正。

作 者

2007 年 4 月 18 日

目 录

1 转炉炼钢概述	1	2.2.1 转炉成渣过程	28
1.1 氧气顶吹转炉炼钢技术的发展	1	2.2.2 转炉快速成渣的条件	30
1.2 氧气顶吹转炉炼钢过程	2	2.3 化渣助熔剂机理	30
1.2.1 炼钢的基本任务	2	2.4 化渣助熔剂的作用和种类	32
1.2.2 氧气吹炼过程	3	2.4.1 化渣助熔剂的作用	32
1.3 转炉炼钢主原料、铁合金和 氧气	5	2.4.2 化渣助熔剂的种类	32
1.3.1 铁水	6	2.5 化渣助熔剂的使用效果	34
1.3.2 废钢	8	参考文献	36
1.3.3 铁合金	9	3 溅渣护炉及调渣剂	37
1.3.4 氧气	11	3.1 传统护炉技术及措施	37
1.4 转炉炼钢辅助原料	11	3.1.1 造黏渣护炉	37
1.4.1 造渣材料	11	3.1.2 炉衬喷补	38
1.4.2 冷却剂	15	3.1.3 炼钢技术和操作进步	38
1.4.3 其他材料	16	3.2 转炉溅渣护炉方法	39
1.5 转炉炼钢技术的进步	16	3.2.1 冲刷涂挂	40
1.5.1 铁水预处理技术	17	3.2.2 溅渣挂渣	40
1.5.2 转炉顶底复合吹炼 技术	18	3.3 液态炉渣对炉衬的侵蚀机理	40
1.5.3 长寿炉衬技术	19	3.4 溅渣层与炉衬的结合机理	41
1.5.4 钢包精炼技术	20	3.5 炉渣对溅渣层的侵蚀机理	42
1.5.5 高效连铸技术	22	3.6 溅渣护炉成渣过程	43
参考文献	24	3.7 溅渣护炉工艺技术参数	44
2 转炉化渣技术及化渣剂	26	3.7.1 转炉溅渣护炉工艺操作	44
2.1 转炉化渣技术	26	3.7.2 出钢温度	45
2.1.1 氧枪及枪位控制技术	26	3.7.3 溅渣频度	45
2.1.2 造渣监测与声纳化渣 技术	27	3.7.4 炉渣条件	45
2.1.3 喷溅与返干抑制技术	28	3.7.5 入炉铁水与废钢比	47
2.2 转炉成渣过程与快速成渣	28	3.7.6 枪位控制	47
		3.7.7 溅渣时间的选择	47
		3.7.8 操作的一致性	48
		3.8 溅渣护炉技术存在的问题 及其解决方法	48

3.9 溅渣终渣调整和控制	48	5.1.3 覆盖剂的性能要求和 理化指标	68
3.9.1 终渣 MgO 含量的调整 和控制	49	5.2 覆盖剂对钢水的净化能力	70
3.9.2 终渣 FeO 含量的调整 和控制	50	5.2.1 覆盖剂碱度对钢水中夹 杂物的影响	70
3.9.3 终渣碱度的调整和控制	50	5.2.2 中间包覆盖剂碱度对钢 水中硫的影响	71
3.9.4 终渣黏度的调整和控制	51	5.3 覆盖剂对长水口、包衬耐火 材料的影响	72
3.10 溅渣护炉调查剂	51	5.4 覆盖剂的结渣性能和烧结 性能	72
3.10.1 溅渣护炉调查剂作用和 性能要求	51	5.5 覆盖剂的选用和设计	73
3.10.2 溅渣护炉调查剂生产和 应用案例	52	5.5.1 覆盖剂的选用	73
参考文献	54	5.5.2 覆盖剂的设计	74
4 钢包顶渣控制与钢包顶渣改质剂	56	5.6 覆盖剂应用案例	76
4.1 钢包顶渣的作用和控制方法	56	参考文献	78
4.2 钢包顶渣改质的方法	57	6 连铸开浇与引流砂	80
4.3 顶渣改质剂的主要作用	58	6.1 自动开浇方法与引流砂的 工作原理	80
4.4 顶渣改质剂的成分设计和 性能要求	59	6.1.1 自动开浇方法	80
4.4.1 顶渣改质剂的成分设计	59	6.1.2 引流砂的工作原理	81
4.4.2 改质剂的性能和理化指标 要求	60	6.2 引流砂的种类和理化指标	81
4.5 操作因素对顶渣改质效果的 影响	60	6.2.1 引流砂的种类	81
4.5.1 改质剂的使用量	60	6.2.2 引流砂的颗粒形状及 粒度	83
4.5.2 改质脱硫剂的加入方式	61	6.2.3 引流砂的烧结性能	84
4.5.3 钢包底吹氩搅拌强度	61	6.2.4 引流砂的导热性	85
4.5.4 喂线处理	61	6.2.5 引流砂的热膨胀率	85
4.6 顶渣改质脱硫剂实用案例	63	6.2.6 引流砂的抗钢液渗透性	85
4.6.1 船板钢等	63	6.3 滑动水口堵塞机制与影响 自动开浇的因素	86
4.6.2 SPHC (08Al)	64	6.3.1 引流砂的充填状态	87
4.6.3 45 号钢	65	6.3.2 钢包水口结构及维护	87
参考文献	66	6.3.3 钢包的周转特性	88
5 钢水保温与覆盖剂	67	6.3.4 钢种和工艺条件	89
5.1 覆盖剂的作用和种类	67	6.4 提高开浇率的措施	91
5.1.1 覆盖剂的作用	67	6.5 引流砂的生产应用案例	91
5.1.2 覆盖剂的种类	67	参考文献	93

7 钢水连铸与保护渣	94	8 铁水预处理与脱硫剂、脱磷剂、 脱硅剂	116
7.1 连铸保护渣的作用和工作 原理	94	8.1 铁水炉外脱硫方法	116
7.2 连铸保护渣的种类	96	8.1.1 机械搅拌法	116
7.3 连铸保护渣的理化性能 指标	97	8.1.2 吹气搅拌法	117
7.3.1 黏度	97	8.1.3 喷吹法	117
7.3.2 表面张力	100	8.1.4 铁水连续脱硫	117
7.3.3 熔化温度	100	8.2 脱硫剂的种类及脱硫机理	117
7.3.4 熔化速度	101	8.2.1 苏打粉	118
7.3.5 吸附夹杂物的能力、 凝固温度、析晶温度 和析晶率	103	8.2.2 石灰粉	118
7.3.6 烧结性能与保护渣化学 成分的关系	105	8.2.3 石灰石粉	118
7.4 保护渣性能与连铸工艺参数 的关系	105	8.2.4 电石粉	119
7.4.1 渣层结构对铸坯质量的 影响	105	8.2.5 金属镁	119
7.4.2 保护渣黏度与渣消耗量 和连铸机拉速的关系	107	8.2.6 复合脱硫剂	120
7.5 保护渣的性能和制备工艺 的关系	108	8.3 脱硫剂成分设计	121
7.6 保护渣对连铸坯缺陷的影响 ..	108	8.3.1 脱硫剂成分与其脱硫能 力的关系	121
7.6.1 纵向裂纹	108	8.3.2 脱硫渣成分对动力学条 件的影响	122
7.6.2 星裂与麻面	109	8.4 铁水炉外脱磷处理与脱磷剂 ..	123
7.6.3 角部横裂	109	8.4.1 铁水炉外脱磷方法	123
7.6.4 渗裂	109	8.4.2 脱磷反应热力学和 动力学	124
7.6.5 表面夹杂和结疤	109	8.4.3 脱磷剂	125
7.6.6 铸坯表面渗碳	110	8.4.4 复合脱磷剂	128
7.6.7 卷渣	110	8.5 铁水炉外脱硅处理与脱硅剂 ..	130
7.7 连铸保护渣使用中的其他 问题	110	8.5.1 脱硅剂的加入方法	130
7.7.1 加渣问题	110	8.5.2 脱硅剂	131
7.7.2 保护渣分熔现象	111	8.6 脱硫剂、脱磷剂、脱硅剂的 实际应用	132
7.7.3 氟污染问题	111	参考文献	136
7.8 连铸保护渣使用典型案例	112	9 钢包精炼与精炼渣	138
参考文献	113	9.1 精炼渣的作用和种类	138
		9.1.1 精炼渣的作用	138
		9.1.2 精炼渣的种类	138
		9.1.3 精炼渣的性能要求和 理化指标	140

9.2 精炼渣系的选择和设计	141	10.1.9 石英及石英岩	171
9.2.1 基本渣系的确定	141	10.1.10 长石及霞石正长岩	173
9.2.2 精炼渣的脱硫特性	142	10.1.11 膨润土	175
9.2.3 精炼渣成分与脱氧和吸 附夹杂物特性的关系	143	10.2 炼钢功能性辅助材料用 黏结剂	178
9.2.4 减少热损失和防止钢水 吸气的能力	144	10.2.1 水玻璃的基本性质	178
9.3 合成精炼渣应用实例	146	10.2.2 水玻璃的水解	179
9.3.1 合成精炼渣的生产	147	10.2.3 水玻璃的物理性质	180
9.3.2 钢包精炼工艺及效果	147	10.2.4 水玻璃的化学性质	182
参考文献	152	10.2.5 硬化与促凝剂	183
10 炼钢功能性辅助材料用原料 及加工	154	10.2.6 水玻璃的生产与质量 标准	184
10.1 炼钢功能性辅助材料用 原料	154	10.2.7 水玻璃在炼钢功能性 辅助材料中的应用	185
10.1.1 石灰石	154	10.3 炼钢功能性辅助材料用 原料的加工	185
10.1.2 白云石	156	10.3.1 粉碎	185
10.1.3 萤石	158	10.3.2 筛分	188
10.1.4 菱镁石	160	10.3.3 混合	191
10.1.5 铝土矿	162	10.3.4 造粒	200
10.1.6 镁铬砂	164	10.3.5 炼钢功能性辅助材料 加工工艺选择	210
10.1.7 硅灰石	166	参考文献	212
10.1.8 珍珠岩	168		

1 转炉炼钢概述

1.1 氧气顶吹转炉炼钢技术的发展

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，但从以铁水为原料炼钢技术出现至今已有 100 多年的历史^[1~3]。早在 1856 年英国人亨利·贝塞麦就研究开发了以铁水为原料，从转炉底部通入空气氧化去除杂质的酸性底吹转炉炼钢法，第一次实现了铁水炼钢的工业化生产，从此进入了转炉炼钢的工业化生产阶段。由于贝塞麦转炉是用酸性耐火材料砌筑炉衬，冶炼过程不能有效地脱除铁水中的磷、硫等有害杂质，因而只能使用磷、硫含量低的铁水为原料；可是，当时西欧各国均用高磷铁矿炼铁，铁水中的磷含量高达 1.0%~1.5%，所以贝塞麦炼钢法的发展受到限制。英国在 1878 年由 S. G. 托马斯和 P. C. 吉尔克里斯特改进了贝塞麦转炉炼钢法，发明了用碱性耐火材料砌筑炉衬，吹炼过程可以加入石灰石造渣，能够有效地脱除铁水中磷、硫的碱性底吹转炉炼钢法，解决了高磷铁水冶炼技术问题。转炉炼钢法具有生产率高、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，因此空气底吹转炉炼钢法逐渐被平炉炼钢法所代替，只是少数具有高磷铁矿资源的国家仍然采用托马斯炼钢法。

1856 年，贝塞麦就曾提出利用纯氧炼钢的设想，但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，发现随着鼓入空气中 O_2 含量的增加，钢的质量有明显的改善。当富氧空气中氧的浓度超过 40% 时，出现了炉底风眼损坏严重的问题，因此又开展了用 $CO_2 + O_2$ 或 $CO_2 + O_2 + H_2O$ 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。

第二次世界大战结束之后，从空气中分离氧气的技术获得成功，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。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。1952 年，在林茨（Linz）城建成 30t 氧气顶吹转炉并投入生产；1953 年初，在多纳维茨（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纳维茨两城投入生产，所以取这两个城市名称的第一个字母的组合 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 20% 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 万~500 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 炉次以上,并实现了计算机控制终点碳与出钢温度。

我国也于 20 世纪 50 年代初开始了转炉炼钢法的工业化研究,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,我国第一个氧气顶吹转炉炼钢车间(2×30t)于 1964 年 12 月 26 日在首钢投入生产。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 月投入生产,还建设了弧形连铸机与之相配套,试验并扩大了氧气顶吹转炉炼钢的品种。这些都为我国日后氧气顶吹转炉炼钢技术的发展提供了宝贵经验。此后,我国原有的一些空气侧吹转炉车间逐渐改建成中小型氧气顶吹炼钢车间,并新建了一批中、大型氧气顶吹转炉车间。小型顶吹转炉有天津钢厂 20t 转炉、济南钢厂 13t 转炉、邯郸钢厂 15t 转炉、太原钢铁公司引进的 50t 转炉、包头钢铁公司 50t 转炉、武钢 50t 转炉、马鞍山钢厂 50t 转炉等;中型的有鞍钢 150t 和 180t 转炉、攀枝花钢铁公司 120t 转炉、本溪钢铁公司 120t 转炉等。20 世纪 80 年代,宝钢从日本引进建成具有 70 年代末先进技术水平的 300t 大型转炉 3 座、首钢购入二手设备建成 210t 转炉车间;90 年代,宝钢又建成 250t 转炉车间,武钢引进 250t 转炉,唐钢建成 150t 转炉车间,重钢和首钢又建成 80t 转炉炼钢车间;许多平炉车间改建成氧气顶吹转炉车间等。

2005 年全国粗钢产量 35579 万 t,其中转炉钢 31349 万 t。2005 年末全国钢铁工业粗钢年生产能力 42376 万 t,其中转炉钢 36827 万 t。2005 年全国重点大中型钢铁企业转炉炼钢设备总数 342 座,其中:300t 转炉以上 3 座,100~300t 转炉 86 座,50~100t 转炉 86 座,11~50t 转炉 167 座^[3,4]。

1.2 氧气顶吹转炉炼钢过程

1.2.1 炼钢的基本任务

从化学成分来看,钢和生铁都是含有硅、锰、磷、硫等元素的铁碳合金,根据 Fe-C 相图划分,碳含量在 0.0218%~2.11%之间的铁碳合金为钢;碳含量在 2.11%以上的铁碳合金为生铁(根据国家标准和国际标准规定以碳含量 2%为钢和铸铁的分界点);碳含量在 0.0218%以下的铁碳合金称为工业纯铁。YB/T 001 规定碳含量在 0.04%以下为工业纯铁,GB/T 9971—2004 规定了原料纯铁的化学成分和技术要求。

若以生铁为原料炼钢,需氧化脱碳;钢中磷含量过高会造成钢的“冷脆”性,而硫含量过高会造成钢的“热脆”性,故炼钢过程应尽可能地脱除磷、硫;钢中的氧含量超过限度后会加剧钢的热脆性,并形成大量氧化物夹杂,因而要脱氧;钢中含有氢、氮会分别造成钢的氢脆和时效性,应该降低钢中有害气体含量;夹杂物的存在会破坏钢基体的连续性,从而影响钢的力学性能,也应该去除;炼钢过程应设法提高温度达到出钢要求,同时

还要加入一定种类和数量的合金，使钢的成分达到所炼钢种的规格。

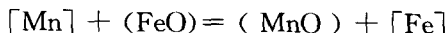
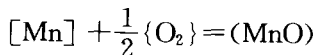
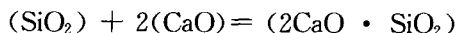
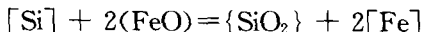
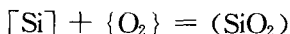
因此，可以得出炼钢的基本任务包括^[3]：脱碳、脱磷、脱硫、脱氧；去除有害气体和夹杂物；提高温度，调整成分。炼钢过程通过供氧、造渣、升温、加合金、搅拌等手段，完成炼钢基本任务。

1.2.2 氧气吹炼过程

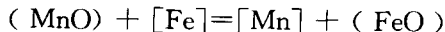
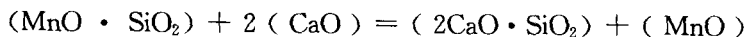
氧气顶吹转炉炼钢的吹氧时间仅仅是十几分钟，在这段时间内要完成造渣、脱碳、脱磷、脱硫、脱气、去除非金属夹杂物及升温等基本任务。

由于使用的铁水成分和所炼钢种的不同，吹炼工艺也有所区别。现以采用单渣操作工艺为例说明一炉钢在吹炼过程中金属成分、熔渣成分及熔池温度的变化情况。通过研究图 1-1 所示的吹炼过程可知：

(1) 吹炼开始约 10min 内，硅、锰元素即被大量氧化，而且硅、锰的含量降到很低，几乎为痕迹量；继续吹炼，它们不再氧化；随着吹炼的进行，锰有回升现象。其反应式如下：



硅、锰的氧化均为放热反应。在碱性操作条件下，冶炼后期硅含量为痕迹量；冶炼的中、后期有回锰现象，为吸热反应。其反应式如下：



(2) 硅、锰被氧化的同时，铁和碳也部分被氧化。当硅、锰氧化基本结束后，炉温达到 1450℃ 以上时，碳的氧化速度迅速提高。吹炼后期，脱碳速度又有所降低。其反应式如下：

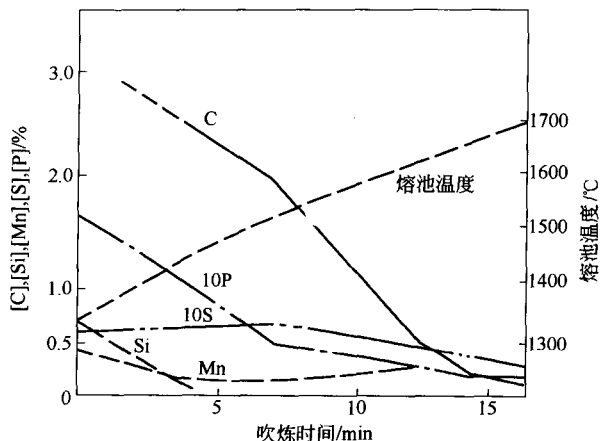
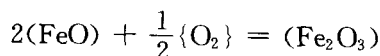
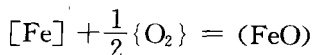
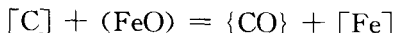
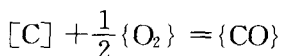
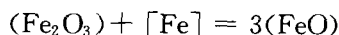


图 1-1 转炉炼钢过程中金属成分及熔池温度的变化情况

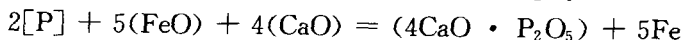
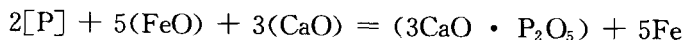


在吹炼过程中，除了碳与渣中 FeO 的反应是吸热外，其余都是放热反应。碳氧反应速度最快的阶段在冶炼中期。

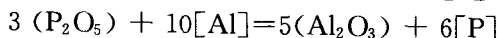
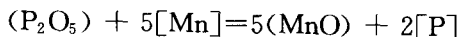
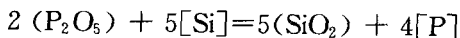
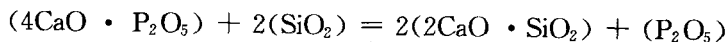
(3) 吹炼一开始，由于硅的迅速氧化，使渣中 SiO_2 含量高达 20%。又因为石灰的逐渐渣化，渣中 CaO 含量不断升高。当硅的氧化基本结束后，渣中 SiO_2 的含量又有所下降。炉渣碱度随石灰的渣化而迅速提高。

(4) 在开吹后不久，渣中 FeO 含量就可以达到 20%~30%。随着脱碳速度的提高，渣中 FeO 含量逐渐降低，吹炼后期又有所升高。

(5) 大约在吹炼的 40% 时间内，随着碱性氧化性炉渣的迅速形成，磷含量已降至 0.02% 左右。脱磷反应如下：



脱磷反应为放热反应。冶炼的中、后期若温度过高，也会发生回磷，同时脱氧合金加入不当也会发生回磷现象。其反应式如下：



硫含量在开吹后下降不明显，在吹炼中、后期，高碱度活性渣形成后，温度升高才得以脱硫，其反应式如下：

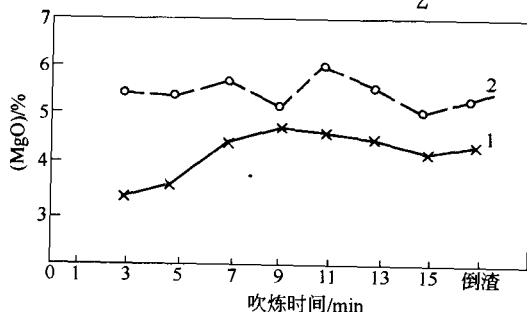
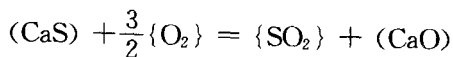
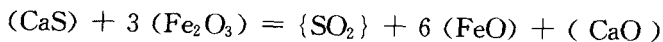
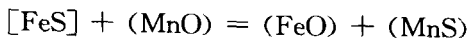
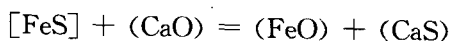


图 1-2 某 30t 转炉吹炼过程渣中 MgO 含量的变化情况

1—未加白云石造渣；2—加白云石造渣

(6) 渣中 MgO 含量的变化与是否采用白云石或菱镁矿造渣工艺有关。如果加白云石或菱镁矿，还与加入的数量有关。图 1-2 为 30t 转炉吹炼过程渣中 MgO 含量的变化情况。可以看出，未加白云石时（图中曲线 1），从开吹至 7min 左右，MgO 含量逐渐上升，7~13min 时 MgO 含量变化不大，后期由于渣量的增加，MgO 含量略有下降，这说明吹炼的前 7min，初期酸性熔渣对炉衬的侵蚀

较大,渣中 MgO 含量增加。当采用白云石造渣时(图中曲线 2),吹炼开始后加入 800kg 白云石,前期 MgO 含量变化不大,7min 后渣中 MgO 含量波动,后期上升后又下降,对比可见,若加入白云石造渣,渣中保持一定 MgO 含量,在冶炼过程中可减轻熔渣对炉衬的侵蚀。

(7) 由于铁水中各元素氧化放出热量,熔池温度升高。元素的氧化速度与熔池的升温速度是一致的,由于吹炼过程还要加入冷却剂,熔池的实际升温情况与冷却剂加入的种类、数量、时间以及其他因素有关。吹炼过程中熔池需要升温 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。

根据前文对转炉吹炼过程中金属成分、炉渣成分、熔池温度的变化规律分析,可将吹炼过程分为 3 个阶段:

(1) 吹炼前期。吹炼前期也称硅锰氧化期。兑入铁水加废钢后,供氧的同时加入大部分造渣料。吹炼前期的任务是早化渣,多去磷,均匀升温。这样不仅对去除磷、硫有利,同时又可以减少熔渣对炉衬的侵蚀。为此,开吹时必须有一个合适的枪位,能够加速第一批渣料的熔化,及早形成具有一定碱度、一定 FeO 和 MgO 含量并有适当流动性和正常泡沫化的初期渣。

当硅、锰氧化基本结束,第一批渣料基本化好,碳焰初起时,加入第二批渣料。第二批渣料可以一次加入,也可以分小批多次加入。

(2) 吹炼中期。吹炼中期也称碳的氧化期。由于碳激烈氧化,渣中 TFe 含量往往较低,容易出现熔渣“返干”现象,由此而引起喷溅。在这个阶段内主要是控制碳氧反应均衡地进行,在脱碳的同时继续去除磷和硫。操作的关键仍然是合适的枪位。这样不仅对熔池有良好的搅拌,又能保持渣中有一定的 TFe 含量,并且还可避免熔渣严重的“返干”和喷溅。

(3) 终点控制和出钢。终点的任务是在拉碳准确的同时,确保钢中磷、硫含量合乎要求;钢水温度达到所炼钢种要求的范围;控制好熔渣的氧化性;使钢水中氧含量合适,以保证钢的质量。为完成上述任务,确定一个合适的枪位同样是很重要的。

拉碳后,测温、取样。若成分和温度合格,便可以出钢。在出钢过程中进行脱氧合金化。

出钢完毕,检查炉衬损坏情况,进行溅渣或喷补操作,然后组织装料,继续炼钢。

炼好一炉钢必须抓住各阶段的关键,精心操作,才能达到优质、高产、低耗、长寿的目标。

1.3 转炉炼钢主原料、铁合金和氧气

原材料是炼钢的基础,原材料质量的好坏对炼钢工艺和钢的质量有直接影响。倘若原材料质量不符合技术要求,势必导致消耗增加、产品质量变差,有时还会出现废品,造成产品成本的增加。国内外实践证明,采用精料以及原料标准化,是实现冶炼过程自动化的先决条件,也是改善各项技术经济指标和提高经济效益的基础。

当前我国许多炼钢厂家,尤其是一些小型炼钢厂对炼钢用原材料质量的重要性认识不足,重视不够,特别是铁水和石灰的质量较差。这样给转炉生产带来很大困难,使其技术经济指标也较落后,若不彻底扭转这种局面,很难提高钢的质量,扩大钢的品种。炼钢用原材料一般分为主原料、辅助原料和各种铁合金。

以下介绍氧气顶吹转炉炼钢用主原料铁水和废钢,以及转炉炼钢时使用的铁合金和