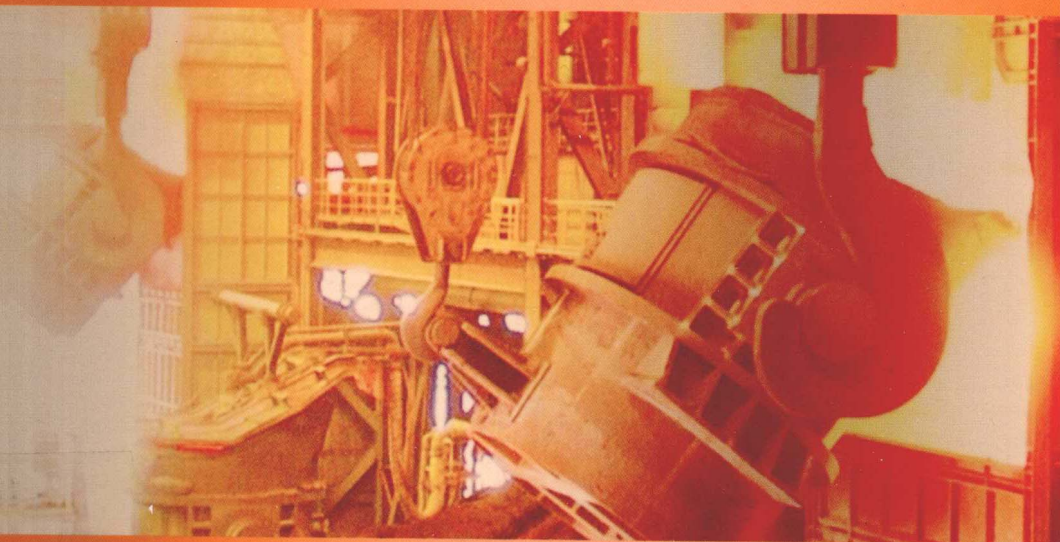


转炉护炉实用技术

田志国 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

71.213

TF713
2012066

转炉护炉实用技术

田志国 编著



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2012

内 容 提 要

本书共分7章,从护炉材质、转炉砌筑、冶炼护炉、护炉操作等方面精要地介绍了转炉护炉技术和操作。

本书适合广大转炉炼钢工程技术人员和转炉炼钢操作工人阅读,也可作为大专院校、职业技术学院的实习、实训教材。

图书在版编目(CIP)数据

转炉护炉实用技术/田志国编著. —北京:冶金工业出版社, 2012. 4

ISBN 978-7-5024-5926-0

I. ①转… II. ①田… III. ①转炉炼钢—护炉
IV. ①TF713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 052926 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 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 常国平 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5926-0

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012 年 4 月第 1 版, 2012 年 4 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 5.75 印张; 149 千字; 166 页

30.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

转炉炼钢技术的发展已经有比较长的历史了。1856 年英国人亨利·贝塞麦 (Henry Bessemer) 开发了酸性底吹空气转炉炼钢法; 1878 年英国人托马斯 (S. G. Thomas) 开发了碱性底吹空气转炉炼钢法; 1940 年获得廉价氧气后, 瑞士、奥地利开发了顶吹氧气转炉; 1952 年在奥地利林茨 (Linz) 和多纳维茨城 (Donawitz) 建成第一座 30t 碱性顶吹氧气转炉 (LD 转炉), 又称为 BOF (Basic Oxygen Furnace)。随着转炉配套技术的不断发展, 转炉炼钢技术日趋成熟并不断取得新的突破。特别是 20 世纪 90 年代中后期长寿复吹转炉技术的成功开发, 对炼钢生产技术的发展产生了深刻的影响, 不仅降低了转炉炼钢的生产成本, 提高了转炉作业率, 而且改变了转炉的操作制度, 使我国炼钢厂均不再采用“三吹二”或“二吹一”的生产模式, 实现了“三吹三”的生产模式, 充分发挥了每个转炉的生产效率。我国粗钢产量从 1996 年的 1 亿吨增加到 2011 年的 6.83 亿吨, 约占全世界钢产量的 70%, 其生产技术的发展令全世界瞩目。

转炉从开新炉到停炉, 整个炉役期间炼钢的总炉数称为炉衬寿命, 简称炉龄, 它是炼钢生产的一项重要技术经济指标。炉龄, 特别是平均炉龄在很大程度上反映出炼钢车间的管理水平和技术水平。

转炉炉衬在高温、高氧化性的工作条件下, 通常以 $0.2 \sim 0.8\text{mm/炉}$ 的速度被侵蚀。为保证转炉正常生产和提高炉衬寿命,

如采用焦油白云石砖、轻烧油浸白云石砖，贴补、喷补、摇炉挂渣等措施，使炉龄提高到 1000 炉以上。进入 20 世纪 80 年代，转炉普遍采用镁碳砖综合砌炉，使用活性石灰造渣，改进操作，采用挂渣、喷补相结合的护炉方法，使转炉炉龄又有明显提高。1991 年，美国 LTV 公司的转炉厂采用溅渣护炉工艺作为全面护炉的一部分。1994 年 9 月，该厂 232t 顶吹转炉的炉衬寿命达到 15658 炉，喷补料消耗降到 0.38kg/t 钢，喷补料成本节省 66%，转炉作业率由 1984 年的 78% 提高到 1994 年的 97%。我国从 1994 年开始转炉溅渣护炉试验，发展速度很快，取得了明显的效果。如某炼钢厂转炉 1977 ~ 1983 年间炉龄徘徊在 300 ~ 500 炉水平，1986 年大规模使用镁碳砖后，转炉炉龄逐年提高，1995 年的转炉平均炉龄为 3347 炉。1996 年开始，溅渣护炉技术在我国成功开发应用，氧气转炉炉龄有了突破性的提高，如武钢 1999 年转炉炉龄达到了 15208 炉。进入 21 世纪后，武钢、湘钢、济钢等钢厂转炉炉龄纷纷突破了 30000 炉大关。

炉龄延长可以增加钢产量和降低耐火材料消耗，但是不能盲目追求最高炉龄，真正值得关注的应是在转炉生产安全、顺行、高效基础上的最佳炉龄。对于一定的生产条件和技术水平的车间，存在着一个技术经济效益最好的最佳炉龄。因此，应该努力改善生产条件和提高技术水平，将最佳炉龄不断提高到新的水平。

目前，我国年产钢在 6 亿吨以上，转炉护炉的任务很艰巨。为了把转炉生产和护炉工作做得更好，在总结以往历史经验教训的基础上，特编写了《转炉护炉实用技术》一书，希望能够和所有转炉炼钢技术人员、操作人员一起交流、探讨与创新。

本书在编写过程中得到了湖南华菱湘潭钢铁有限公司副总经理张爱兵、唐卫红和副总工程师丁金虎等领导的大力支持和指导，并由他们进行了修改、审定。本书第1~4章由史志凌、张军、冯宇等协助编写。借此，向他们表示崇高的敬意和诚挚的谢意。本书在出版过程中得到了汤伟、陈佩英、刘小峰等师友支持，在此特别致谢。

由于编者水平所限，加之编写时间仓促，书中不当之处，敬请读者批评指正。

田志国

2012年3月于湘钢

目 录

1 耐火材料与转炉炉衬	1
1.1 耐火材料的种类和性能	1
1.1.1 耐火材料的定义和分类	1
1.1.2 耐火材料的主要性能	2
1.2 转炉炉衬	4
1.2.1 转炉炉衬用耐火材料的演变	4
1.2.2 转炉炉衬用砖分类	5
1.2.3 某厂转炉用耐火材料实例	8
2 转炉的砌筑	12
2.1 转炉砌筑前的准备工作	12
2.1.1 砌筑前的条件确认	12
2.1.2 砌筑前监装人员熟悉的资料	12
2.1.3 工程材料准备	13
2.1.4 施工机具设备准备	14
2.1.5 临时施工的用电、用水	14
2.1.6 施工场地布置	14
2.2 转炉砌筑工艺要求	15
2.3 转炉砌筑方案介绍	19
2.4 转炉砌筑前的底吹透气砖试气	19
2.4.1 试气前期准备	19
2.4.2 试气程序	20

2.5 转炉各部位的主要砌筑方法及砌筑要点	20
2.5.1 测定炉底中心线	20
2.5.2 炉底永久层砌筑	21
2.5.3 炉底工作层砌筑	21
2.5.4 炉身永久层砌筑	22
2.5.5 熔池工作层砌筑	22
2.5.6 炉子直筒部位工作层砌筑	23
2.5.7 炉帽砌筑	23
2.5.8 砖环合门	24
2.5.9 胀缝的留设	24
2.5.10 质量验收标准	24
2.6 转炉砌筑的安全和质量保证措施	25
2.6.1 拆炉和修炉安全操作规定	25
2.6.2 确保转炉砌筑质量的主要措施	26
2.7 转炉砌筑完成后的工作	26
2.7.1 炉衬养生	27
2.7.2 原始数据测量	27
3 转炉修炉及开炉、停炉操作	29
3.1 转炉开新炉操作	29
3.1.1 开新炉准备工作	29
3.1.2 开新炉注意事项	30
3.1.3 开新炉烘炉操作	31
3.1.4 开新炉第一炉操作	32
3.2 转炉停炉操作	33
3.2.1 停炉前准备工作	33
3.2.2 洗炉操作	34
3.2.3 拆炉	35

3.2.4 注意事项	35
3.3 转炉停炉、开新炉安全注意事项	35
3.3.1 停炉操作安全注意事项	35
3.3.2 开新炉操作安全注意事项	36
3.4 某厂 120t 转炉 OG 试车实例	37
3.4.1 转炉烟气冷却、净化和煤气回收系统热试前的 准备确认	37
3.4.2 OG 系统连锁测试项目	38
3.4.3 一次风机系统测试项目	41
3.4.4 转炉烟气冷却及净化系统和煤气回收系统的 热试车操作	43
3.4.5 转炉烟气冷却及净化系统和煤气回收系统的 安全注意事项	44
附录 1 80t 转炉开炉设备确认表	46
附录 2 80t 转炉开炉能源介质及生产材料确认表	48
附录 3 80t 转炉开炉 OG 系统确认表	49
附录 4 120t 转炉开炉确认表	51
附录 5 120t 转炉 OG 系统开炉确认表	58
4 转炉冶炼护炉技术	61
4.1 装入制度	61
4.1.1 装入制度内容及依据	61
4.1.2 装入制度类型	62
4.1.3 装入操作	63
4.1.4 装入操作对转炉护炉的影响	63
4.1.5 某厂装入制度实例	64
4.2 供氧制度	64
4.2.1 氧枪	65

4.2.2 供氧	66
4.2.3 氧压	69
4.2.4 枪位	70
4.2.5 供氧操作对护炉的影响	73
4.2.6 某厂供氧制度实例	74
4.3 造渣制度	76
4.3.1 炼钢熔渣的作用	76
4.3.2 炼钢熔渣的来源	76
4.3.3 炉渣的形成	76
4.3.4 造渣方法	77
4.3.5 渣料加入量的确定	78
4.3.6 造渣操作对护炉的影响	80
4.3.7 某厂造渣制度实例	80
4.4 温度制度	82
4.4.1 影响温度控制的因素	82
4.4.2 温度控制对护炉的影响	83
4.4.3 温度控制的注意事项	83
4.4.4 某厂温度制度实例	84
4.5 终点控制	86
4.5.1 终点目标控制	86
4.5.2 终点碳控制方法	87
4.5.3 终点温度的判断	88
4.5.4 挡渣操作	88
4.5.5 终点控制制度对护炉的影响	89
4.5.6 出钢后对炉况的检查	89
4.5.7 某厂终点控制制度实例	91
4.6 转炉炼钢终点自动控制及炼钢全自动控制	91
4.6.1 静态控制	92

4.6.2 动态控制	92
4.6.3 炼钢全自动控制	93
5 转炉护炉操作工艺	95
5.1 粘渣护炉工艺	95
5.1.1 粘渣护炉机理	95
5.1.2 粘渣护炉工艺操作	96
5.1.3 冶炼末期加轻烧白云石造粘渣的护炉操作	97
5.2 炉衬喷补工艺	97
5.2.1 喷补料	98
5.2.2 喷补方法	98
5.3 补炉操作工艺	100
5.3.1 补大面	100
5.3.2 补炉底	101
5.3.3 注意事项	101
5.4 出钢口的更换与维护	102
5.4.1 延长出钢口寿命的措施	102
5.4.2 更换出钢口操作	103
5.5 提高转炉炉龄的操作实践	105
5.5.1 转炉炉衬采用综合砌筑	105
5.5.2 加强过程控制和终点控制	105
5.5.3 降低出钢温度	105
5.5.4 转炉炉役后期的维护	106
5.5.5 优化生产组织, 加强护炉管理	108
6 转炉溅渣护炉技术	109
6.1 溅渣护炉技术简介	109
6.1.1 溅渣护炉技术的发展	109

6.1.2	熔渣的性质	109
6.1.3	溅渣护炉的机理	110
6.2	溅渣护炉工艺	112
6.2.1	熔渣成分的调整	114
6.2.2	合适的留渣量	115
6.2.3	溅渣护炉枪位选择	116
6.2.4	溅渣时间的选择	116
6.2.5	溅渣频率	117
6.2.6	溅渣护炉引起的问题及解决方法	117
6.2.7	复吹转炉溅渣护炉操作工艺实例	119
6.3	复吹转炉底吹透气砖维护	121
6.3.1	转炉底吹系统参数	121
6.3.2	底吹透气砖的熔损机理	123
6.3.3	底吹透气砖的寿命	123
7	转炉炼钢常见事故的排除及预防	126
7.1	转炉常见设备事故的排除及预防	126
7.1.1	转炉钢水倾覆	126
7.1.2	氧枪钢绳掉道	128
7.1.3	氧枪小车坠落	130
7.1.4	活动烟罩坠落	132
7.1.5	冶炼中氧枪不动作（及自动提枪）	133
7.1.6	加料口堵塞	135
7.1.7	转炉设备漏水	136
7.2	转炉常见工艺事故的排除及预防	138
7.2.1	回炉钢水	138
7.2.2	氧枪点不着火	140
7.2.3	氧枪粘钢	141

7.2.4 大喷溅	143
7.2.5 转炉炉下钢包穿包事故	146
7.3 转炉护炉过程中常见事故的排除及预防	147
7.3.1 转炉塌炉事故	147
7.3.2 出钢口堵塞	150
7.3.3 穿炉事故	151
7.3.4 冻炉事故	154
7.4 转炉生产事故实例	155
7.4.1 炉底接缝冒火、漏钢事故	155
7.4.2 补炉操作不当喷渣,工人避让不及烫伤	156
7.4.3 炉底发红、渗钢事故	158
7.4.4 转炉出钢口上方漏钢事故	159
7.4.5 转炉大面刺穿、放炮事故	160
7.4.6 钢水包倾覆特别重大事故	163
参考文献	166



耐火材料与转炉炉衬

1.1 耐火材料的种类和性能

1.1.1 耐火材料的定义和分类

凡具有抵抗高温以及在高温下产生物理化学作用的材料统称为耐火材料。耐火材料的分类方法如下：

(1) 按耐火度分类：

- 1) 普通耐火材料，耐火度为 $1580 \sim 1770^{\circ}\text{C}$ ；
- 2) 高级耐火材料，耐火度为 $1770 \sim 2000^{\circ}\text{C}$ ；
- 3) 特级耐火材料，耐火度大于 2000°C 。

(2) 根据化学矿物组成分类：

- 1) 氧化硅质耐火材料；
- 2) 硅酸铝质耐火材料；
- 3) 氧化镁质耐火材料；
- 4) 铬质耐火材料；
- 5) 碳质耐火材料；
- 6) 其他高耐火度制品。

(3) 根据耐火材料的化学性质分类：

- 1) 酸性耐火材料；
- 2) 碱性耐火材料；

3) 中性耐火材料。

1.1.2 耐火材料的主要性能

耐火材料的基本特性可以通过它的物理性能和高温使用性能来表示。

1.1.2.1 耐火材料的物理性能

耐火材料的物理性能主要包括气孔率、体积密度、真比重、吸水率、透气性、耐压强度、热膨胀性等。这些物理性能的好坏，直接影响着耐火材料的使用性能，具体介绍如下：

(1) 气孔率。在耐火制品内，有许多大小不同、形状不一的气孔。和大气相通的气孔称为开口气孔；贯穿耐火制品的气孔称为连通气孔；不和大气相通的气孔称为闭口气孔。气孔率是指耐火材料制品的所有气孔体积占该耐火材料制品的体积分数。

(2) 体积密度（容重）。体积密度是指包括全部气孔在内的 1m^3 砖块体积的质量。

(3) 真比重。真比重是指不包括气孔在内的单位体积砖块质量与 4°C 水的单位体积质量之比。

(4) 吸水率。吸水率是原料中所有开口气孔所吸收的水的质量与砖块质量之比。

(5) 热膨胀性。耐火制品受热膨胀、冷后收缩，这种变化属于可逆变化。耐火制品的热膨胀性能主要取决于其化学—矿物组成和所受的温度。耐火制品的热膨胀性可用线膨胀系数或体积膨胀系数来表示，也可用线膨胀率或体积膨胀率表示。

1.1.2.2 耐火材料的使用性能

耐火材料的使用性能主要包括耐火度、荷重软化温度、热稳定性、高温体积稳定性、抗渣性等。具体介绍如下：

(1) 耐火度。耐火材料抵抗高温而不变形的性能称为耐火度。加热时,耐火材料中各种矿物组成之间会发生反应,并生成易熔的低熔点结合物而使之软化,故耐火度只是表征耐火材料软化到一定程度时的温度。但是耐火度并不能代表耐火材料的实际使用温度。因为在实际使用时,耐火材料承受一定的机械强度,所以实际使用温度比测定的耐火度低。

(2) 荷重软化温度。耐火材料在常温下的耐压强度很高,但在高温下发生软化,耐压强度也就显著降低。一般用荷重软化温度来评定耐火材料的高温结构强度。

荷重软化温度就是耐火材料受压发生一定变形量时的温度。耐火材料的实际使用温度比荷重软化温度高。因为一方面耐火材料的实际荷重很少达 196kPa,另一方面,耐火材料在炉子中只是单面受热。

不同耐火材料在高温下的结构强度见表 1-1。由表 1-1 可以看出:氧化硅质耐火材料的荷重软化温度和耐火度接近,因此氧化硅质耐火材料的高温结构强度好。而黏土质耐火材料的荷重软化温度远比其耐火度低,这是黏土质耐火材料的一个缺点。氧化镁质耐火材料的耐火度虽然很高,但其高温结构强度同样很差,所以实际使用温度仍然低于其耐火度很多。当然,在没有荷重的情况下,其使用温度可以大大提高。

表 1-1 不同耐火材料在高温下的结构强度

耐火材料	荷重软化开始点 温度 $t_0/^\circ\text{C}$	荷重软化终止点 温度 $t_1/^\circ\text{C}$	耐火度 $t_2/^\circ\text{C}$	$t_2 - t_0/^\circ\text{C}$
氧化硅质	1630	1670	1730	100
黏土质	1350	1600	1730	380
氧化镁质	1500	1550	2000	500

(3) 热稳定性。耐火材料抵抗温度急剧变化而不破裂或剥落的能力称为耐火材料的热稳定性或耐急冷急热性。耐火材料的抵抗温度急变性能,除和它本身的物理性质(如膨胀性、导热性、孔隙度

等)有关外,还与制品的尺寸、形状有关。一般薄的、尺寸不大和形状简单的制品,比厚的、尺寸较大和形状复杂的制品有较好的耐急冷急热性。

(4) 高温体积稳定性。耐火材料在高温下长期使用时体积发生不可逆变化,有些体积膨胀,称为残存膨胀,有些体积收缩,称为残存收缩。耐火材料体积膨胀或收缩的值占原尺寸的百分比,就表示其体积的稳定性。这一变化严重时往往会引起炉子的开裂和倒塌。因此,使用耐火材料时,对这个性能必须十分注意。

(5) 抗渣性。耐火材料在高温下抵抗炉渣侵蚀的能力称为抗渣性。影响耐火材料抗渣性的主要因素有:

1) 炉渣化学性质。炉渣按化学性质主要分为酸性渣和碱性渣。含酸性物质较多的耐火材料,对酸性炉渣的抵抗能力强,对碱性炉渣的抵抗能力差。反之,碱性耐火材料,如氧化镁质和白云石质耐火材料,对碱性渣的抵抗能力强,对酸性渣的抵抗能力差。

2) 工作温度。温度在 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 时,炉渣对材料的侵蚀作用不大显著,但温度达到 $1200 \sim 1400^{\circ}\text{C}$ 以上时,材料的抗渣性就大大降低。

3) 耐火材料的致密程度。提高耐火材料的致密度,降低它的气孔率,是提高耐火材料抗渣性的主要措施,可以在制砖过程中选择合适的颗粒配比和较高的成型压力。

1.2 转炉炉衬

1.2.1 转炉炉衬用耐火材料的演变

自氧气转炉问世以来,其炉衬的工作层都是用碱性耐火材料砌筑。曾经用过白云石质耐火材料,制成焦油结合砖,在高温条件下砖内的焦油受热分解,残留在砖体内的碳石墨化,形成碳素骨架。它可以支撑和固定白云石材料的颗粒,增强砖体的强度,同时还能填充耐火材料颗粒间的空隙,提高了砖体的抗渣性能。为了进一步