

冶金技工学校教学用书

氧气顶吹转炉 炼钢工艺与设备

4

冶金工业出版社

冶金技工学校教学用书

氧气顶吹转炉 炼钢工艺与设备

王雅贞 等编

冶金工业出版社



B 020387

冶金技工学校教学用书
氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备
王雅贞 等编

冶金工业出版社出版
(北京灯市口74号)
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 8 1/2 字数 224 千字
1983年3月第一版 1983年3月第一次印刷
印数00,001~2,200册
统一书号: 15062·3885 定价0.73元

前 言

本书是根据1979年冶金部技工学校教材会议制订的“氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备”教学大纲编写的。与《炼钢原理》、《铸锭》等书作为技工学校氧气顶吹转炉炼钢的专业课教材，也可供在职工人技术培训参考。

本书内容分为氧气顶吹转炉炼钢工艺和工艺设备两大部分。由上钢一厂郑定中、攀枝花钢铁公司杨崇华、马鞍山钢铁公司王益芳、首钢技校王雅贞等同志编写，王雅贞担任主编，首钢公司李孝诗工程师进行了审查和修改，并经上海钢研所副所长、副总工程师顾德骥等同志复审。

在编写过程中曾得到许多单位，特别是北京冶金机电学院朱承平老师、太钢公司二炼钢厂张根录同志的热情帮助和支持，在此表示衷心感谢。由于编写时间仓促和编者水平所限，有缺点和错误之处，希望读者批评指正。

编 者

目 录

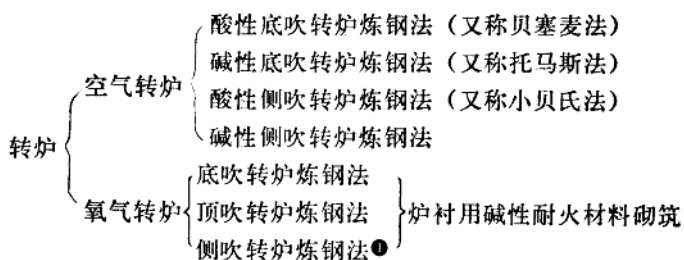
绪论.....	1
第一章 炼钢用原材料.....	6
第一节 金属料	6
第二节 造渣剂	10
第三节 冷却剂	12
第四节 铁合金	12
第五节 其它	15
第二章 炼钢工艺操作.....	16
第一节 一炉钢的吹炼过程	16
第二节 装入制度	19
第三节 供氧制度	22
第四节 造渣制度	50
第五节 温度制度	65
第六节 终点控制	80
第七节 脱氧合金化	85
第八节 吹损与喷溅	94
第九节 开新炉操作	101
第十节 操作事故及其处理	107
第十一节 各类钢的冶炼要点	111
第三章 特种生铁的吹炼	117
第一节 含钒生铁的吹炼	117
第二节 高磷铁水的吹炼	123
第四章 顶吹转炉炉衬与炉龄	125
第一节 耐火材料的分类	125
第二节 耐火材料的主要性能	126
第三节 氧气顶吹转炉常用耐火材料	129
第四节 炉衬寿命	135
第五节 炉衬的喷补	144

第五章 其它转炉炼钢法	147
第一节 氧气底吹转炉炼钢法	147
第二节 侧吹转炉炼钢法	155
第六章 氧气顶吹转炉炼钢发展前景	161
第一节 采用精料	161
第二节 工艺过程的自动控制	165
第三节 氧气顶—底吹转炉炼钢法	169
第四节 炉外精炼	171
第七章 氧气顶吹转炉车间的组成与布置	178
第一节 炼钢车间的组成与任务	178
第二节 原材料供应系统	184
第三节 转炉跨的布置	193
第四节 铸锭跨的布置	199
第八章 转炉炉体结构与倾动机械	205
第一节 炉型和计算	205
第二节 转炉炉体金属结构	216
第九章 供氧系统	229
第一节 顶吹转炉炼钢车间供氧	229
第二节 氧枪的构造	232
第三节 氧枪提升和更换机构	235
第十章 烟气净化回收系统	240
第一节 烟气的性质	240
第二节 净化回收系统主要设备	242
第三节 烟气及烟尘的综合利用	253
第四节 净化回收系统的防爆与防毒	254
第五节 国内某些净化回收系统简介	256
第十一章 辅助设备简介	261
附录 氧气顶吹转炉车间技术经济指标	265

绪 论

一、转炉炼钢法的分类

转炉炼钢法的分类方法很多。根据转炉炉衬所砌耐火材料性质的不同，转炉可以分为酸性转炉和碱性转炉。由于空气引入炉内的部位不同，又可以把转炉分为底吹转炉和侧吹转炉。根据其使用氧化剂的不同，转炉分为空气转炉和氧气转炉。转炉炼钢法可概括如下：



二、氧气顶吹转炉炼钢发展概况

早在1856年，英国人贝塞麦发明了酸性（空气）底吹转炉炼钢法。1878年德国人托马斯发明了碱性（空气）底吹转炉炼钢法。转炉炼钢法有生产率高、成本低、设备简单等优点，因而在欧洲各国得到很大的发展。此后，由于机械工业产生的大量废钢需要回收利用，另一方面空气底吹转炉钢的质量也不能适应工业发展的需要，钢中含氮、氢、磷较高，不能承受强烈冷加工。因此，世界各国转炉炼钢法逐渐被平炉炼钢法所代替。只有欧洲少数国家，由于有大量的高磷铁矿，仍然采用碱性空气底吹转炉炼钢法。

在1856年贝塞麦就已经指出利用纯氧炼钢的可能性。但是，

① 只有中国有氧气侧吹转炉炼钢法。

由于当时制氧工业水平低，氧气成本高，氧气炼钢未能实现。

1924~1925年间，德国开始在空气底吹转炉上采用富氧鼓风的试验。试验结果表明，随着富氧程度的提高，转炉钢的质量得到显著的改善。但鼓风中含氧40%以上时，炉底风眼砖很容易损坏。为了解决风眼砖寿命短的问题，曾经进行用 $O_2 + CO_2$ 或 $O_2 + H_2O$ （蒸汽）混合气体代替富氧鼓风的试验，但结果都不够理想，没有投入生产。随着工业的发展，制氧技术有了提高，氧气成本不断降低。1936年曾在底吹转炉上试用工业纯氧吹炼，结果只炼了一炉钢，炉底的风眼就损坏了。

1948年德国人特罗在瑞士，改进了使用纯氧的吹炼方法，采取水冷氧气喷管，从转炉炉口伸入炉内，在熔池的上方供氧进行吹炼，得到满意的结果。经过不断地试验和改进以后，形成了氧气顶吹转炉的雏形。奥地利钢铁公司根据特罗的设计，先后在装入量为2吨、10吨、15吨的转炉上进行氧气顶吹工业性试验，取得了丰富的经验。于1950~1951年在林茨（Linz）和多那维茨（Donawitz）两地相继建立了两个30吨氧气顶吹转炉车间，分别在1952年11月和1953年投入了生产。

由于氧气顶吹转炉炼钢首先在林茨和多那维茨两地投产，所以取这两个城市名称的第一个字母L-D做为氧气顶吹转炉炼钢法的代称。

L-D炼钢法是近三十年发展起来的。由于它的出现，很快使平炉炼钢法相形见绌。氧气顶吹转炉炼钢法除了有生产率高、成本低等优点外，它的钢质量也可以与平炉钢媲美，因而在世界各国得到迅速的发展。特别是近二十年来，各国纷纷拆除平炉，改建成氧气顶吹转炉。例如日本到1977年平炉已全部由氧气顶吹转炉所代替。氧气顶吹转炉钢的产量也飞速增长。1959年世界氧气顶吹转炉钢产量是840万吨，到了1969年猛增到20300万吨，十年中增加了20多倍，在世界钢的总产量中占38.5%。日本氧气顶吹转炉钢所占比例更大，1969年就达到了77%。

进入七十年代以后，氧气顶吹转炉炼钢法逐渐成为世界主要

的炼钢方法，顶吹转炉钢的比重也越来越大。1970年世界钢的总产量是59400万吨，其中氧气转炉^①钢为24000万吨，约占48.8%。1978年世界钢的总产量为71250万吨，其中氧气转炉钢32300万吨，约占49.1%。

七十年代以来，氧气顶吹转炉的炼钢技术日趋完善，其最大公称吨位已达到400吨，单个炉子的生产能力已达400~500万吨/年。大型氧气顶吹转炉月平均每炉吹氧时间是11~12分钟，月平均冶炼周期已缩短到26~28分钟。氧气顶吹转炉不仅可以冶炼全部平炉钢种，而且可以冶炼部分电炉钢种。炉衬耐火材料消耗的先进指标已低于1公斤/吨钢。大型氧气顶吹转炉最高炉龄已达10110次。在电子计算机控制方面也取得了卓越成就，动态控制碳与温度的综合命中率已达90%以上。

氧气顶吹转炉炼钢法在我国的发展也是比较早的，在1955年就开始了小型试验研究工作。1962年进行了工业性试验。在试验取得成功的基础上，我国第一座30吨氧气顶吹转炉炼钢车间于1964年在首钢建成并投入生产。以后又在上海、唐山、杭州等地改建了一些中、小型的氧气顶吹转炉炼钢车间。1966年上钢一厂将原有的一个侧吹转炉车间改建为30吨氧气顶吹转炉炼钢车间，并在我国首次采用了先进的烟气净化回收装置，还配置了弧型连铸机，试验和扩大了氧气顶吹转炉钢的品种。这些都为我国大力发展氧气顶吹转炉炼钢提供了宝贵经验。

此后，我国原有的一些空气侧吹转炉炼钢车间逐渐改建成中小型氧气顶吹转炉炼钢车间，并新建了一批中型和大型氧气顶吹转炉钢厂。

三、氧气顶吹转炉炼钢法的优点

1. 生产率高

氧气顶吹转炉炼钢法的生产率比平炉和电炉炼钢法高得多，随着转炉公称吨位的增大，生产率的提高就更为突出。例如，一

① 氧气转炉包括氧气底吹转炉。

个有6座200~250吨顶吹转炉的炼钢车间，年产钢可达1200万吨；若修建平炉，要达到这样的生产能力则需要500吨的大平炉20~40座。再如，120吨氧气顶吹转炉生产能力为160~200吨/时，而相同吨位的平炉在用氧的情况下，生产能力为30~35吨/时，不用氧时只有12~20吨/时。

2. 品种多，质量好

氧气顶吹转炉及它与其它精炼装置联合，能够冶炼全部碱性平炉钢种和部分电炉钢种。

从钢中含碳量来看，氧气顶吹转炉可以冶炼微碳 ($C < 0.015\%$)、低碳、中碳、直到含碳达1.30~1.50%的高碳钢种；以钢中含合金元素来看，从含微量元素的工业纯铁、低合金钢、中合金钢、直到镍铬含量高达30%的超低碳不锈钢等，都能冶炼。

氧气顶吹转炉钢的质量是很好的。钢中氮、氢含量较平炉钢低，同时冷加工变形性能、抗时效性能、抗脆裂折断性能和焊接性能也比较好。特别是顶吹转炉钢的深冲性能和延展性能较好，用于轧制板、管、丝、带钢材性能优越。一个国家所需要的这类钢材往往占钢材总量的50~60%，或者更多。

3. 原材料消耗少，热效高，成本低

氧气顶吹转炉的金属消耗一般为1100~1140公斤/吨钢，个别的还低于1100公斤/吨钢。虽然比平炉稍高些，但由于顶吹转炉的热效率高，不需要外加热源，因此燃料、动力消耗均较平炉、电炉炼钢低。耐火材料的消耗只有4~9公斤/吨钢，是平炉钢耐火材料消耗的15~30%。由于顶吹转炉各项消耗比平炉、电炉钢低，加上它的生产率高，所以顶吹转炉钢的成本也较低。

4. 对原材料适应性强

氧气顶吹转炉不仅能吹炼平炉生铁，而且能吹炼中磷 ($P = 0.50 \sim 1.50\%$) 生铁和高磷 ($P > 1.50\%$) 生铁，还能吹炼含钒、钛的特殊生铁。

5. 基建投资少，建设速度快

由于顶吹转炉生产率高，设备简单且重量轻，厂房占地面积小，因而基建投资比平炉低30~40%，建设速度也快。

氧气顶吹转炉生产比较均衡，有利于与连续铸钢相配合，有利于实现生产的自动控制和综合利用。

但是，用氧气顶吹转炉吹炼高磷铁水时，工艺比较复杂，也不经济。另外，用以冶炼高合金钢也有一定的困难。

第一章 炼钢用原材料

原材料是炼钢的物质基础。原材料的好坏对炼钢操作工艺及产品质量有直接关系。如果原材料的质量不合要求，势必造成原材料消耗增加、成本提高、产品质量低，有时还会出现废品。国内外的生产实践证明，采用精料以及原材料标准化是实现冶炼过程自动化和改善各项技术经济指标的重要途径。

当前我国有许多炼钢厂对原材料的质量不够重视，特别是铁水和石灰的质量较差。这不仅给生产带来很大困难，也使各项技术经济指标比较落后。如果不彻底改变这种状况，很难提高钢的质量、扩大钢的品种和提高劳动生产率。

氧气顶吹转炉用原材料有铁水、废钢、铁矿石、铁皮、石灰、萤石和各种铁合金等。

第一节 金属材料

一、铁水

铁水是氧气顶吹转炉炼钢的主要金属料，占装入量的70~100%。氧气顶吹转炉是依靠铁水的化学热和物理热来炼钢的，因此对铁水的化学成分和温度必须有一定要求。

1. 对铁水化学成分的要求

氧气顶吹转炉对铁水的适应性较强，能够将各种成分的铁水吹炼成钢。然而，铁水中各元素含量的差异会明显的影响生产过程和各项技术经济指标。因此，在一定的条件下，首先应力求铁

水成分和温度的稳定，同时要不断地改进铁水成分。

表1-1是氧气顶吹转炉用生铁标准。

表 1-1 炼钢用生铁标准 (GB717—75)

	D08		D10
Si	≤ 0.80		$> 0.80 \sim 1.25$
Mn	一 组	≤ 0.60	
	二 组	> 0.60	
P	一 级	不大于	0.15
	二 级		0.20
	三 级		0.40
S	一 类	不大于	0.03
	二 类		0.05
	三 类		0.07

对炼钢用生铁的化学成分的要求。

(1) 硅 (Si)

硅是转炉炼钢中重要的发热元素之一。铁水中含硅量高，转炉的热量来源多，这样可以提高废钢比，多加矿石，增加钢水收得率。有人曾根据热平衡计算认为，铁水中的硅每增加0.10%时，废钢比可以提高1.3~1.5%。由于硅含量的增加，渣量也随着加大，对去除磷、硫有一定好处。但是，硅含量过高，也会给冶炼带来不良后果。其主要影响有：

1) 增加渣料的消耗，也增加了渣量。若铁水中含硅量每增加0.10%时，吹炼一吨铁水增加2公斤多的二氧化硅，就要多加6公斤多的石灰造渣。有人曾经做过统计，当铁水中含Si0.55~0.65%时，渣量占装入量的12%，若Si增加到0.95~1.05%时，

则渣量占装入量的15%。过大的渣量容易引起喷溅，却不能提高去除磷、硫的效率。

2) 加剧对炉衬的侵蚀。根据有的厂统计，铁水中 $\text{Si} > 0.80\%$ 时，炉龄有下降的趋势。

3) 当渣中 SiO_2 含量过高时，影响成渣速度。铁水含硅高，吹损增加。

如果铁水中 $\text{Si} < 0.40\%$ 时热量不足，渣量较少，对去除磷、硫不利。

因此，为了快速成渣，并保持适当的渣量，要求铁水中含硅量有适当的数值。例如，首钢用铁水要求 $\text{Si} 0.4 \sim 0.6\%$ ；上钢一厂要求 Si 在 $0.60 \sim 1.20\%$ ；马钢要求 $\text{Si} \leq 0.80\%$ 。一般说来，大型转炉要求铁水含硅量较低；小型转炉要求含硅量较高。吹炼含钒铁水时，为了得到高品位的钒渣，要求含硅量要低。

(2) 锰 (Mn)

实践证明铁水中 Mn/Si 比值为 $0.8 \sim 1.0$ 时，对冶炼操作控制很有利，特别表现在改善化渣、脱硫以及提高炉体寿命上。含锰低于这个要求，炉渣不容易熔化；相反，又容易造成喷渣。铁水含锰量适当时：

1) 可以减少萤石用量，提高炉衬寿命。据有的研究报导，要显著提高炉龄，必须将铁水中平均含锰量从 0.30% 提高到 0.70% 。如果锰平均含量从 0.30% 提高到 0.90% 时，萤石用量可以减少 82% 。同时还能减少氧枪结渣，提高金属收得率。

2) 加速石灰的溶解，促进前期早化渣，有助于提高初期渣碱度。

(3) 磷 (P)

磷也是强发热元素之一。一般讲它是炼钢过程要去除的有害元素，所以铁水中磷含量低，对冶炼有利。氧气顶吹转炉一般的脱磷效率为 $85 \sim 95\%$ 。要求铁水含磷低于 0.20% 。但铁水中 $\text{P} 0.40 \sim 0.50\%$ 时，炼钢操作也无太大困难。用 $\text{P} > 1.50\%$ 的铁水炼钢时，必须采用特殊的操作方法，所产生的钢渣可以做磷肥。

铁水中含磷高时，可采用炉外脱磷的办法。

(4) 硫 (S)

一般而言，硫也是炼钢过程中要去除的有害元素。氧气顶吹转炉一般的脱硫效率为30~40%，高的可达50%。因此希望铁水中含硫越低越好。如果铁水中硫含量较高时，可以进行炉外脱硫处理，以达到炼钢对铁水的要求。

此外，有的铁水中还含有钒 (V)、钛 (Ti) 等元素。这种铁水都是先吹炼钒渣，回收钒，然后用半成品炼钢。

表1-2是我国一些钢厂所用生铁化学成分。

表 1-2 各厂用生铁成分

厂 名	化 学 成 分, %					
	Si	Mn	P	S	V	Ti
首钢	0.40~0.65	0.40~0.70	<0.20	0.030~0.050	—	—
上钢一厂	0.60~1.20	0.30~0.60	<0.65	0.040~0.070	—	—
马 钢	0.50~1.00	—	<0.40	<0.070	0.25~0.30	—
攀 钢	≤1.25	0.30~0.50	0.15~0.30	0.050~0.070	0.20~0.60	<0.50

2. 对铁水温度的要求

铁水温度的高低也就是通常所指铁水物理热的多少。氧气顶吹转炉炼钢所用铁水的温度不应过低，并尽可能稳定。一般应在1250~1300°C以上。兑铁水应尽量不带渣或少带渣。目前国外转炉已普遍采用铁水扒渣工艺。

一般有高炉和化铁炉两种铁水供应方式。

二、废钢

废钢是炼钢用金属料，也是氧气顶吹转炉炼钢用冷却剂，一般允许加入装入量30%以下。废钢的主要来源是本厂返回废钢和外购废钢。如炼钢车间的废锭，中注管、汤道、盛钢桶内残钢等；轧钢车间的切头切尾、轧后废品等；另外还有机械加工废品、车屑、钢管和钢板的切头切边，以及各种废旧设备等。

合金废钢应按其含有合金元素的不同分类堆放，避免混杂，

以避免贵重元素损失，或造成熔炼废品。

炼钢用废钢必须清洁，力求没有泥沙、油污，同时不得有封闭的中空器皿、爆炸物，更不能有锌、铅、锡等有色金属。

入炉的废钢块度不能过大和过小，应小于炉口直径的二分之一。单重不能太重，如果太重，在整个冶炼过程中不能全部熔化，出钢时仍有残存的废钢未化，就会引起钢水量的波动，熔池的温度和化学成分也不均匀。另外，大型废钢装入时对炉体的冲击较大，影响炉衬寿命。如果装入轻型废钢较多，其体积较大，加入炉内高出熔池液面，容易造成送氧点火困难。因此，氧气顶吹转炉对废钢的要求是：便于从炉口装入，减少对炉衬的冲击。为此各厂对废钢块度都有一定的要求。例如首钢30吨顶吹转炉规定，废钢的最大边长 ≤ 500 毫米，最大面积 ≤ 0.27 米²，最大单重不超过200公斤。

第二节 造 渣 剂

一、石灰

石灰是炼钢的主要造渣材料，其主要成分是CaO。石灰质量的好坏对炼钢的操作、产品质量、炉衬寿命等影响很大，必须重视。例如石灰中含S 0.30%时，熔池中由石灰带入的硫有时占40%之多。

当前我国炼钢用石灰的质量存在不少问题，主要是石灰中有效氧化钙含量低，二氧化硅含量较高，有时硫含量也较高，且生烧率、过烧率高，块度也不均匀。

若石灰生烧率过高，说明石灰没有烧透，加入转炉后，必然要继续进行焙烧过程，这样就势必延长化渣时间；如果过烧率高，则导致石灰的气孔率低，也不利于化渣。

炼钢用石灰的有效氧化钙要高，二氧化硅和硫的含量要低，最好没有生烧、过烧和受潮消化的。石灰的贮存要保持干燥，仓内贮存时间不得超过3天。

石灰的熔化速度是氧气顶吹转炉快速成渣的关键。因此，提高石灰质量是当前应该解决的迫切问题。

近几年来，国外已普遍采用软烧石灰，也叫活性石灰。对快速成渣起到良好效果。我国有的厂也做了一些这方面的试验工作。

所谓软烧石灰是在 $900\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 范围内，于回转窑中焙烧成的石灰。它的特点是气孔率高，可达40%呈海绵状；体积密度小，达 $1.7\sim 2.0$ 克/厘米³，比表面大，约 $0.5\sim 1.3$ 米²/克；石灰晶粒细小；这种石灰的熔化能力极强。表1-3是各种石灰特性对比。

表 1-3 各种石灰特性

焙烧特征	体积密度 克 厘米 ³	比 表 面 厘米 ² /克	总气孔率 %	晶粒直径 微米
软 烧	1.60	17800	52.25	1~2
正 常	1.98	5800	40.95	3~6
过 烧	2.57	980	23.30	晶粒连在一起

二、萤石

萤石的主要成分是 CaF_2 ，加入炉内能够帮助化渣，是造渣的助熔剂。萤石的特点是短时间内就可以改善炉渣的流动性。但用量过多时，将会损坏炉衬，还容易引起严重的泡沫渣。

炼钢用萤石含氟化钙要高，二氧化硅要低。其化学成分应该是： $\text{CaF}_2 \geq 85\%$ ； $\text{SiO}_2 \leq 5\%$ ； $\text{S} \leq 0.10\%$ ；块度 $5\sim 40$ 毫米；并要干燥、清洁。

吹炼高磷铁水回收炉渣做磷肥时，不允许加入萤石，可以用铁矾土代替萤石做助熔剂。

三、生白云石

生白云石的主要成分是 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ 。用白云石造渣的目