

转炉炼钢脱磷工艺研究

李涛 许晓东 齐振亚 许东利

(首钢技术研究院)

(首钢第三炼钢厂)

摘要 通过详述目前首钢第三炼钢厂的转炉冶炼控制情况,并针对高碳钢中含磷量高的问题,提出了转炉双渣操作与冶炼终点低拉增碳相结合的脱磷冶炼控制工艺,以提高钢水的洁净度和产品质量。

关键词 转炉炼钢 脱磷率 双渣法

1 前言

近年来,首钢为提高产品市场竞争力,投资近两亿元,在第三炼钢厂兴建了 LF 精炼炉和 VD 真空脱气设备,并改造了一台 130mm x 130mm 八流小方坯连铸机,使该厂具备了优质长材坯料生产条件。在开发和生产 82B, 77B, 冷墩钢, 焊条拉丝等钢种的过程中,针对钢中磷含量要求较高的问题,采用

表 1 铁水成分及温度

铁水成分	C/%	Si/%	Mn/%	P/%	S/%	温度/°C
分布情况	3.44~4.73	0.15~0.64	0.11~0.16	0.062~0.072	0.013~0.044	1390~1330
平均值	4.54	0.41	0.15	0.065	0.026	1345

从表 2 可见,石灰中氧化钙,二氧化硅,氧化镁和硫的含量波动很大,使其加入量很难控制直接影响炉渣碱度,对前期去磷和后期脱硫不利。

目前,第三炼钢厂所用废钢中生铁块含量

转炉双渣操作和终点低拉增碳相结合的冶炼工艺,降低了钢水含磷量,提高了钢的洁净度和产品质量。

2 主要原材料

从表 1 可见,铁水温度,含硅量和含硫量波动较大,使辅料(废钢,石灰,矿石)的加入量不易控制,前期枪位不好把握,影响冶炼效果。

较高,对转炉冶炼十分不利。其原因是:(1)生铁块堆比重大,加入转炉后会出现成“坨”现象,从而影响冶炼过程的热传递,使前期化渣时间延长,影响脱磷率;(2)生铁中的磷,硫等有害元素高于废钢,加重了脱磷,去硫的负担;(3)生铁块中硅的含量高,氧化生成二氧化硅进入渣中,影响初渣碱度,降低了前期脱磷率。因此,严格控制废钢中生铁块含量对转炉冶炼十分重要。

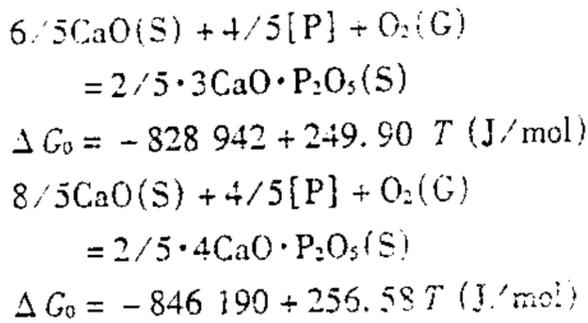
成分	CaO	SiO ₂	MgO	S
分布情况	65.60~89.60	1.06~4.87	3.02~22.18	0.028~0.307
平均值	81.60	3.22	10.12	0.100

表 2 石灰成分

3 转炉前期冶炼脱磷情况及分析

3.1 转炉脱磷机理

磷是炼钢过程中的有害元素,脱磷反应式为:



从反应式可得出脱磷的热力学条件是：增大脱磷渣的氧化性；增加渣中氧化钙含量或添加碱性比氧化钙更强的氧化钠或氧化钡等，以提高炉渣碱度；脱磷反应为放热反应，故采用低温操作，双渣冶炼，添加助溶剂（Fe₂O₃、CaF₂、CaCl₂）以降低炉渣的粘度，改善渣的物理性质和强化脱磷过程。

双渣冶炼是在吹炼过程中倒出或扒出部分炉渣（约1/2~2/3）后重新加渣料造渣。其优点是去磷，硫效果较好，对炉衬侵蚀小。操作的关键取决于适宜的倒渣时间，一般应在硅氧化完毕，炉渣基本化好，渣中磷含量高，铁含量低时倒渣，才能达到去磷率高，铁损小的效果。

3.2 前期冶炼控制情况

由表3，表4和表5数据可见：（1）前期倒渣时间较短，平均为2.9min，且波动很大；（2）前期枪位控制不够稳定；（3）矿石的加入量虽较高而有利于前期去磷，但因其波动大则不利于冶炼操作控制；（4）倒前期渣时钢水平均温度达1462℃，就双渣操作前期脱磷而言，应增加废钢入炉量，将温度控制在1380-1420℃；（5）钢水成分和前期渣成分的各项数据，特别是硅的碱度波动范围较大，对前期脱磷不利，使前期钢水中磷含量平均为0.035%，最高为0.067%。可见，前期脱磷控制很不稳定，操作很不规范，效果不够理想。

3.3 转炉前期脱磷情况

从表6可见，冶炼前期倒初渣后，钢水中磷含量波动较大（0.010%~0.067%），主要分布在0.030%~0.040%，去磷率较低，平均为46%，没有很好达到双渣冶炼，前期去磷的效果。由转炉中磷在钢渣间分配系数 $L_p = (\%$

$\text{P}_{2\text{O}_5}) / (\% \text{P})$ ，对初渣中五氧化二磷和前期钢水中磷进行计算分析，得出 $L_p > 100$ 的炉次仅占14%， L_p 为50-100的炉次占31%， $L_p < 50$ 的炉次为55%，而 L_p 合理的波动范围为100-500，可见前期去磷率很低。

表6 前期钢水中磷含量

磷含量	出现频率
<0.020	12
0.020 - 0.030	16
0.030 - 0.040	44
0.040 - 0.050	8
>0.050	20

3.4 影响冶炼前期脱磷的主要因素

3.4.1 钢水中硅的氧化

对冶炼前期钢水中的硅和相应的磷进行回归分析，结果见图1。钢中磷含量随硅不断氧化而降低的趋势十分明显，说明冶炼前期要把钢中硅含量降到较低水平，才能很好的去磷。而冶炼前期钢中硅含量最高达0.16%， $\text{Si} \geq 0.03\%$ 的炉次占88%，可见前期硅的氧化很不充分，钢中含磷量仍很高，说明此时磷的氧化正处于中期，要想使磷降到较低水平，提高去磷效率，还需继续吹氧，充分搅拌熔池，推迟倒前期渣的时间，彻底脱硅，以达到理想的去磷效果。

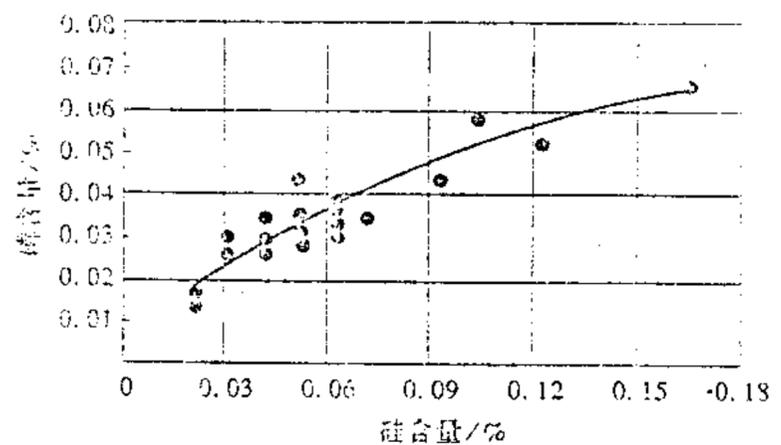


图1 冶炼前期钢水中磷与硅的关系

3.4.2 前期渣碱度的控制

第三炼钢厂冶炼高碳钢的初渣碱度主要分布在1.64~5.26，波动较大。如图2所示，炉渣碱度对炉渣的脱磷能力影响很大，炉渣

碱度越高则脱磷能力越强,碱性氧化钙与酸性五氧化二磷结合,从渣钢平衡的观点看,相当于增大了渣量。即提高了炉渣积蓄五氧化二磷的能力;从另一角度分析,增加碱性氧化物含量可抑制二氧化硅对磷化物的破坏,因此要有足够高的碱度,但碱度过高又会使大量氧化钙和氧化锰微粒悬浮于液态渣中,降低炉渣的流动性,并导致炉渣变粘而不利于脱磷,故应将前期渣碱度控制在 2.8-3.0,以更好地发挥双渣前期去磷的作用。

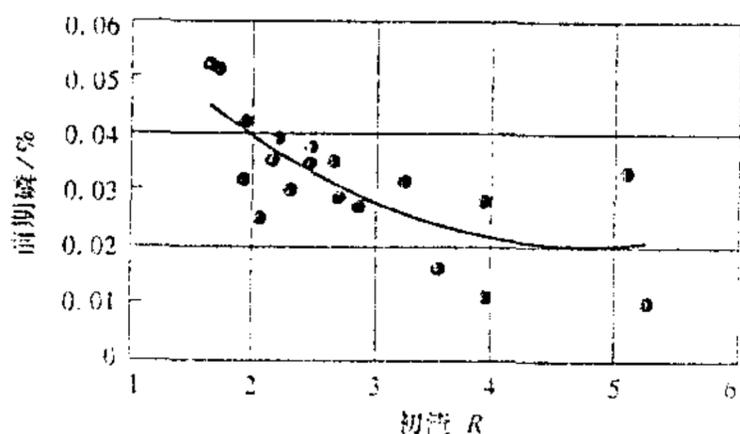


图 2 前期钢水中的磷与初渣碱度的关系

3.4.3 前期渣中氧化铁的控制

(FeO) 含量对脱磷反应由重要作用,磷氧化生成五氧化二磷后与氧化钙作用生成 $3CaO \cdot P_2O_5$ 或 $4CaO \cdot P_2O_5$,若无氧化条件则不能脱磷,所以说 (FeO) 是脱磷的首要因素。(FeO) 在碱度不太高的熔炼初期也能生成 $3FeO \cdot P_2O_5$,但在 (CaO) 逐渐升高时大部分 P_2O_5 生成 $3CaO \cdot P_2O_5$ 在冶炼过程中,(FeO) 升高会促进氧化钙在渣中的溶解,一般碱度在 2.5~4.0 时 (FeO) 对脱磷有利。但这不意味着前期 (FeO) 含量要很高才能有利于去磷,图 3 为 (FeO) 与钢中磷的回归分析图。可见,(FeO) 过低不利于脱磷。

(FeO) 过高并不是不利于脱磷,而是因为此时 (FeO) 含量刚上来,由于倒渣过早,炉渣还没充分发挥其去磷作用,就被倒掉的缘故。因此控制 (FeO) 要因时间而定,要让 (FeO) 先升高后降低,再降低的过程中,让炉渣有充分的脱磷时间,有了这一前提条件,才能从铁损角度控制 (FeO) 含量。经综合分析,前期 (FeO) 含量控制在 8.0~

10.0%为宜。

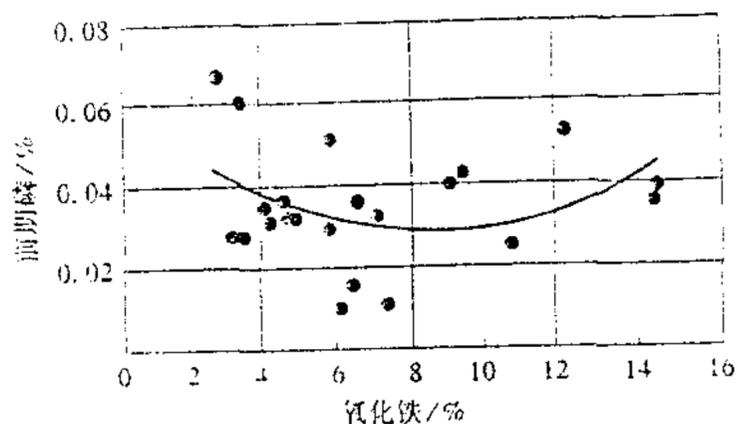


图 3 冶炼前期钢水中的磷与渣中氧化铁的关系

3.4.4 倒前期渣时间的控制

在实际生产中,60%以上的炉次在吹炼 2-3min 后倒前期渣。前面的分析说明在进行双渣冶炼操作,把刚造好的炉渣倒掉时,并没有发挥其去磷功效,故前期倒渣时间过早。

综合分析各种影响因素,根据 [P] 的氧化机理,基于双渣操作原理,其合理的倒渣时间应控制在全程吹炼时间的 35%~40%,故第三炼钢厂 80t 转炉双渣冶炼的倒渣时间应控制在开吹后 4min-4min30s。

3.4.5 前期枪位的控制

在配料合理的前提下,控制好前期枪位是决定脱磷效果的重要因素。其前期枪位控制如图 4 所示,前期渣倒渣时间控制在开吹后 4min-4min30s,这段时间可分为三个阶段:一是化渣阶段,即配料时需一次性加入较大量石灰,使前期渣碱度控制在 2.8-3.0,同时加入 1000-1500kg 矿石,用以降低炉渣粘度,实现大渣量,同时采用高枪位操作,在短时间内化好渣,提高 (FeO) 含量;二是强烈脱磷阶段,即当炉渣化透时需降枪操作,强烈搅拌熔池,使钢液与渣液充分接触,起到良好脱磷效果,同时随着脱磷反应的进行,(FeO) 逐渐降低;三是倒前期渣,由于前一阶段降枪操作,[C] 和 (FeO) 随着脱磷的进行而大量降低,但炉渣碱度始终逐渐升高此时的炉渣粘度低,流动性不好,为能倒出 1/2~3/5 的炉渣,需高枪位操作,适量提高 (FeO) 含量,同时加入少量萤石来改善炉渣流动性,倒大量炉渣,提高前期脱磷率。

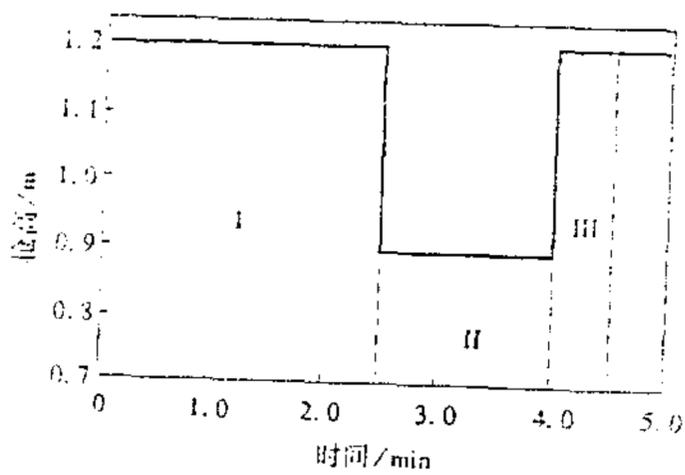


图4 转炉冶炼前期枪位控制图

4 低拉增碳工艺去磷分析

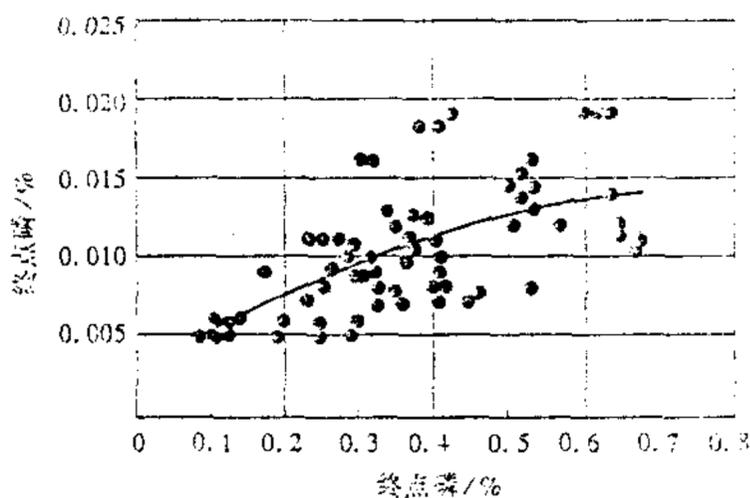
4.1 增碳剂加入量的控制

采用低拉增碳去磷工艺时, 终点[C]含量远低于目标值, 故需向钢水中加碳粉, 以保证钢水到精炼站时有合适的碳含量. 经统计分析, 每 10kg 碳粉可使 80t 钢水平均增碳 0.010%。

4.2 低拉增碳工艺去磷

通过对冶炼末期数据的回归分析, 从图 5 可见 [P] 随着碳含量的降低而降低, 从其趋势和磷的分布来看, 终点 [C] < 0.15% 时, 全部 [P] < 0.010%。故对于顶吹氧气转炉冶炼, 若降低 [P] 含量, 仅有双渣操作还不够, 只有采用低拉增碳与双渣操作相结合的冶炼工艺, 把冶炼前期倒渣时间控制在 4min-4min30s, 终点 [C] 含量控制在 0.15% 以下, 才能有效控制终点 [P] < 0.010%。

图5 冶炼末期钢水中的磷随碳的变化趋势



结 语

在首钢第三炼钢厂现有技术和设备条件下, 冶炼高碳钢时采用双渣操作与低拉增碳相结合的冶炼工艺, 即通过合理配料, 严格遵循高-低-高原则控制前期枪位, 控制到前期渣时间在 4min-4min30s 和保证钢水终点 [C] > 0.15% 等技术措施, 可有效控制高碳钢磷含量 < 0.010%, 为提高钢水纯净度和保证钢材质量创造有利条件。

表3 前期冶炼控制情况

项 目	铁水/t	废钢/t	石灰/t	矿石/kg	萤石/kg	倒流时间/min	枪位/m	钢水温度/℃
波动范围	74-82	5-8	2-3.5	400-2200	50-400	1.9-5.6	0.9-1.3	1452-1484
平均值	78	6	2.8	1350	50-400	2.9	0.9-1.3	1462

表4 前期渣时的钢水成分

钢水成分	C	Si	Mn	P	S
波动范围	2.35-3.77	0.02-0.16	0.04-0.20	0.010-0.067	0.004-0.037
平均值	3.32	0.06	0.10	0.035	0.02

表5 前期渣时的炉渣成分

渣成分	CaO	SiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	FeO	R
波动范围	40.10-65.49	11.47-24.39	4.76-13.25	1.21-2.86	2.51-14.15	1.64-5.26
平均值	51.58	18.95	9.2	1.81	6.5	2.87