

· 工艺技术 ·

## 马钢 120 t 转炉冶炼深脱硫铁水的冶金效果

吴明 吴发达 李应江

(马钢股份有限公司第一钢轧总厂, 马鞍山 243000)

**摘要** 马钢 120 t 转炉冶炼洁净钢时, 采用  $\leq 0.002\%$  S 深脱硫铁水、冷料比 17%, 使用  $[S] \leq 0.020\%$  低硫优质废钢, 应用烟气分析动态控制技术, 转炉终渣碱度 3.2 ~ 3.5, 出钢过程加活性石灰 600 kg, 使终点  $[S] \leq 0.008\%$ , 提高了终点  $[C]$  和温度的命中率, 终点钢水活性氧为  $556 \times 10^{-6}$ , 吹损喷溅下降, 石灰等散装料消耗为  $\leq 90$  kg/t, 钢铁料消耗  $\leq 1104$  kg/t。

**关键词** 铁水深脱硫 转炉冶炼 冶金效果

## Metallurgical Effect of Converter Smelting with Deep-Desulphurizing Hot Metal at Masteel

Wu Ming, Wu Fada and Li Yingjiang

(No. 1, Steelmaking and Rolling Plant, Maanshan Iron & Steel Co Ltd, Maanshan 243000)

**Abstract** As the cleanliness steel was melted by 120 t converter at Masteel, with using  $\leq 0.002\%$  S deep-desulphurizing hot metal, cold charge ratio 17%, using  $[S] \leq 0.020\%$  low sulphur quality scrap steel, applying off gas analysis dynamic-state controlling technique, controlling converter end slag basicity 3.2 ~ 3.5 and adding active lime 600 kg during tapping, it ensured the end  $[S] \leq 0.008\%$ , the percentage of hits for end  $[C]$  and temperature increased, the end active oxygen content in steel was  $556 \times 10^{-6}$ , the blowing melting lose and splashing decreased, the lime etc slag-making material was  $\leq 90$  kg/t and the charge of iron and steel was  $\leq 1104$  kg/t.

**Material Index** Deep-Desulphurizing Hot Metal, Converter Smelting, Metallurgical Effect

马钢第一钢轧总厂在开发汽车板、家电板、硅钢、管线钢等洁净钢种时, 要求转炉出钢硫含量必须  $\leq 0.008\%$ 。试验初期为实现此目标, 主要依赖转炉脱硫而被迫采用多加石灰大渣量高温操作法, 反复倒炉来倒渣测温取样, 导致消耗增加、炉衬侵蚀严重、吹损加大、钢水过氧化严重以及质量难以保证及命中率低等一系列问题的发生; 为解决转炉脱硫率不高而产生上述问题, (1) 采取铁水深脱硫工艺, 既利用镁粉将铁水中硫脱至  $0.002\%$  以下, 关键操作是将脱硫渣彻底扒除干净, 要求铁水亮面大于  $95\%$ ; (2) 提高散状料质量, 使用低硫活性石灰, 冷料选用内部自循环低硫优质废钢, 不加生铁; (3) 通过静态模型计算最佳原料配比, 确定适合的深脱硫铁水加全废钢的装入制度, 转炉应用烟气分析动态控制, 采用少渣冶炼, 提高终点碳和温度命中率, 实现不倒炉直接出钢, 以此达到转炉出钢终点  $[S] \leq 0.008\%$ 、终点钢水氧含量低而稳定、吹损喷溅减少、石灰等散状料和钢铁料消耗降低和钢水洁净度高冶金效果。

### 1 铁水深脱硫工艺效果

使用单喷颗粒镁和复合喷吹二种铁水脱硫工艺: 高炉出铁  $\rightarrow$  高炉鱼雷罐  $\rightarrow$  转炉铁水罐  $\rightarrow$  扒渣  $\rightarrow$

喷吹脱硫  $\rightarrow$  扒渣  $\rightarrow$  转炉。

实践中, 不论铁水中原始硫含量多少, 只要喷入足够量镁粉, 均可将铁水中硫脱至  $0.002\%$  以下, 马钢铁水成分为 (%): 4.0 ~ 4.4C、0.20 ~ 0.70Si、0.20 ~ 0.40Mn、0.090 ~ 0.120P、0.20 ~ 0.80S, 温度为  $1280 \sim 1350$  °C。关键操作一是喷吹前尽量将高炉渣扒除; 二是喷吹脱硫后一定要将脱硫渣彻底扒除干净并要求铁水亮面大于  $95\%$  以上。马钢高炉渣主要成分为 (%): 38CaO、36SiO<sub>2</sub>、16.4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、0.8TiO<sub>2</sub>、1.5S<sup>[1]</sup>, 脱硫渣主要成分见表 1。深脱硫和扒渣彻底干净必将导致铁水温降  $\geq 35$  °C。

表 1 脱硫后铁水渣成分/%

Table 1 Ingredient of slag for hot metal after desulphurization / %

项目	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TFe	S
复喷	20.86	13.81	6.31	0.72	11.16	0.57	32.02	0.84
单喷	24.30	8.73	1.46	0.44	9.34	1.70	36.18	1.10

### 2 转炉冶金效果分析

马钢冶炼洁净钢工艺为铁水深脱硫  $\rightarrow$  120 t 转炉  $\rightarrow$  RH + LF  $\rightarrow$  薄板连铸, 兑入转炉铁水硫含量  $\leq 0.002\%$ 、铁水温度  $1260 \sim 1310$  °C、几乎不含高炉

渣和脱硫渣。

### 2.1 冷料比

马钢 120 t 转炉自 2004 年就采用了烟气分析动态控制炼钢技术。根据所炼洁净钢的终点要求,确定终渣碱度为 3.2 ~ 3.5, FeO 为 17% ~ 28%, 终点温度 1 660 ~ 1 680 °C, 终点碳 0.02% ~ 0.05%, 磷 ≤ 0.012%, 经过一定炉数实践, 确定正常情况下洁净钢的装入制度, 铁水 115 t, 废钢 20 t, 总装入量 135 t, 冷料比为 17%, 比未深脱硫铁水平平均下降 11%。

### 2.2 终点硫

在氧气转炉炼钢时, 渣中氧化铁较高, 使转炉脱硫能力受到限制, 实践也证明转炉脱硫能力在 30% 左右<sup>[2]</sup>。由表 2 可见, 钢中硫主要来源: 废钢、铁水、铁水渣及石灰, 占总硫量 76.48%。为此, 采取如下脱硫措施:

(1) 铁水脱硫时镁粉速率 6 ~ 8 kg/min, 终点目标 [S] ≤ 0.002%。

(2) 扒渣干净铁水亮面 ≥ 95%, 控制扒损 ≤ 28 kg/t<sub>铁</sub>, 温降 ≤ 35 °C, 时间 ≤ 28 min。

表 2 钢中硫的来源分布

Table 2 Distribution of source of sulphur in steel

炉料	质量/kg	S/%	含硫质量/kg	比例/%
铁水	115 000	0.002	2.30	19.97
废钢	20 000	0.020	4.00	34.72
铁水渣	150	0.900	1.35	11.72
石灰	5 800	0.020	1.16	10.07
白云石	2 850	0.025	0.71	6.16
镁球	2 250	0.040	0.90	7.81
其它	2 000	0.055	1.10	9.55
合计			11.52	100

(3) 选用内部自循环低硫优质废钢 ([S] ≤ 0.020%), 不加生铁, 为确保脱硫磷效果, 石灰质量要达到二级以上, CaO ≥ 90%、MgO ≤ 2%、SiO<sub>2</sub> ≤ 2%、S ≤ 0.020%、IL ≤ 5%, 活性度达到 360 ml, 粒度 40 ~ 80 mm ≥ 85%, 粒度 ≤ 40 mm ≤ 15%, 粒度 ≤ 10 mm ≤ 10%, 减少造渣料带入硫含量。

(4) 应用烟气分析, 利用吹炼过程中后期高温、高碱度、低氧化性的有利条件脱硫。

(5) 转炉终渣要求 R 为 3.2 ~ 3.5, 出钢温度 1 660 ~ 1 680 °C, 出钢过程加入活性石灰 600 kg。

按装入量 135 t, 出钢量在 125 t, 就算总硫量 11.52 kg 全部进入钢中, 钢中硫含量为 0.0092%, 经过转炉正常脱硫 30%, 终点出钢硫为 0.0065%, 按此控制标准组织生产, 3876 炉终点出钢硫全部达到 ≤ 0.008% 要求, 其中 ≤ 0.006% 占 87%。

### 2.3 终点磷、碳和温度的命中率

转炉动态控制模型 (DYNACON) 是烟气分析整个系统的核心部分, 主要在吹炼末期 2 min, 根据动态模型计算的终点 [C]、温度 T 并结合转炉烟气变化曲线由模型自行确定吹炼终点<sup>[3]</sup>。

转炉使用低硫高氧化钙活性石灰, 为终点碳温度命中和终点磷 ≤ 0.012% 创造了条件。冶炼洁净钢时造渣制度实行铁质成渣路线, 即保证吹炼过程和吹炼终点渣中有较高的氧化铁, 为此, 要求 (1) 根据热平衡计算冶炼前期配加矿石 0.8 ~ 1.5 t 帮助化渣; (2) 留渣操作, 根据上一炉溅渣后的渣量多少, 实行全部或部分留渣操作, 起到早化渣、化好渣的效果; (3) 根据碳-氧反应特点, 吹炼前期为了加速化渣和脱磷, 渣中保持较高氧化铁含量, 采用高枪位 (1.8 ± 0.1) m, 中等供氧强度 22 000 ~ 23 000 m<sup>3</sup>/h, 底吹强度采用大气量 0.06 m<sup>3</sup>/(t · min); 吹炼中期脱碳反应激烈, 采用低枪位 (1.5 ± 0.1) m, 大供氧强度 24 000 ~ 25 000 m<sup>3</sup>/h, 底吹强度采用中供气量 0.04 m<sup>3</sup>/(t · min); 吹炼后期, 碳氧反应减弱, 为保证渣中有一定氧化铁, 进一步均匀熔池成分和温度, 采用中枪位 (1.7 ± 0.1) m, 低供氧强度 21 000 ~ 22 000 m<sup>3</sup>/h, 底吹强度采用大供气量 0.06 m<sup>3</sup>/(t · min); 吹炼终点前 1 min 采用压枪操作枪位 1.3 m。经过实践, 转炉脱磷率达到 90% 以上。

经 638 炉实验, 98% 达到终点 [P] ≤ 0.012%, 86% 炉次达到终点 [P] ≤ 0.010%, 48% 炉次达到终点 [P] ≤ 0.006%, 12 炉次终点 [P] = 0.012% ~ 0.015%。另外, 采用出钢双挡渣, 吹炼前用挡渣帽堵出钢口, 防止摇炉出钢时下渣, 出钢快结束时用挡渣塞挡渣, 控制每吨钢下渣量小于 3 kg, 满足不倒炉直接出钢对磷的要求。

对洁净钢冶炼过程和终点采用烟气分析动态控制, 终点 [C] 均设定在 0.02% ~ 0.05%, 进行了 3876 炉终点碳和温度预报准确性的统计分析, 其中终点碳预报值命中 (± 0.01% 偏差) 3722 炉, 终点温度预报值 (± 16 °C 偏差) 命中 3618 炉, 碳 (± 0.01%) 合格率为 96.02%, 温度 (± 16 °C) 合格率为 93.34%, 碳和温度同时命中合格率为 91.86%。比未深脱硫碳温同时命中合格率提高 5.36%。

### 2.4 散状料消耗的控制

(1) 经过深脱硫后铁水扒渣干净, 避免了脱硫后高炉渣中 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 等酸性物质需要增加石灰用量来保证碱度, 为降低散状料消耗提供了条件; (2) 采用深脱硫铁水冶炼洁净钢, 终渣碱度只需

要达到3.2~3.5,终点温度1660~1680℃,而不需要象冶炼未深脱硫的铁水,迫使转炉脱硫采用多加石灰渣量高温操作法,要求终渣碱度和出钢温度分别达到3.6和1690℃以上,为降低散状料消耗创造了前提;(3)对深脱硫后铁水温度偏低,烟气分析静态模型可根据洁净钢终点温度和碳磷要求确定合理装入制度和吹炼制度;(4)通过烟气分析动态控制模型可根据炉气成分的变化,实现不倒炉直接出钢模式,使散状料和合金消耗明显下降,实现最佳冶炼效果(表3),采用深脱硫铁水与未采用深脱硫铁水冶炼洁净钢相比,终点钢水氧含量平均为 $556 \times 10^{-6}$ ,降低 $316 \times 10^{-6}$ ,渣中(FeO)=19%,降低8%。通过统计,采用深脱硫铁水比未采用深脱硫铁水冶炼洁净钢,渣料和合金消耗要降低5.71元/t<sub>钢</sub>。

### 2.5 吹损喷溅的控制

根据分析和表3可得出,转炉采用深脱硫铁水与未采用深脱硫铁水冶炼洁净钢相比:(1)总渣量从96 kg/t<sub>钢</sub>下降到91 kg/t<sub>钢</sub>,出钢温度从1692℃下降到1666℃,渣中(FeO)从27%下降到19%,由于熔池内总渣量降低,渣子氧化性减弱,导致炉渣泡沫性减弱,转炉钢液面之上自由空间增加,减少了喷溅发生几率;(2)烟气分析动态控制模型提高转炉终点命中率,实现不倒炉直接出钢模式,钢水氧化性降低,终点钢水氧含量由 $872 \times 10^{-6}$ 降低到 $556 \times 10^{-6}$ ,也减少了吹损;(3)通过对烟气分析曲线变化趋势的研究,掌握了喷溅发生与曲线变化的对应关系,开发了对可能出现喷溅的预报模式,操作人员可以直观地了解到炉内的冶金反应情况(图1),及时采取措施制止喷溅发生,使转炉喷溅发生率明显下降,由原来的18%降低到现在的5.9%。因吹损下降使吹炼的金属料消耗由原来的9.1%降低到8.6%,提高了钢水收得率。钢铁料消耗由1113 kg/t<sub>钢</sub>降至1104 kg/t<sub>钢</sub>以下。

表3 采用与未采用深脱硫铁水冶炼洁净钢渣料消耗与成本比较

Table 3 Comparison of slag & alloy material consumption and cost between with and without deep-desulphurizing hot metal to smelt clean steel

原料名称	价格/(元·t <sup>-1</sup> )	渣料消耗/(kg·t <sub>钢</sub> <sup>-1</sup> )		节约成本/(元·t <sup>-1</sup> )
		采用铁水	未采用铁水	
石灰	300	49	52	0.90
轻烧白云石	200	17	19	0.40
镁球	530	16	18	1.06
矿石	410	9	7	-0.82
硅铁	5400	0.56	0.60	0.21
硅锰	8300	3.42	3.65	1.91
补炉喷补料	2100	1.13	1.27	2.05

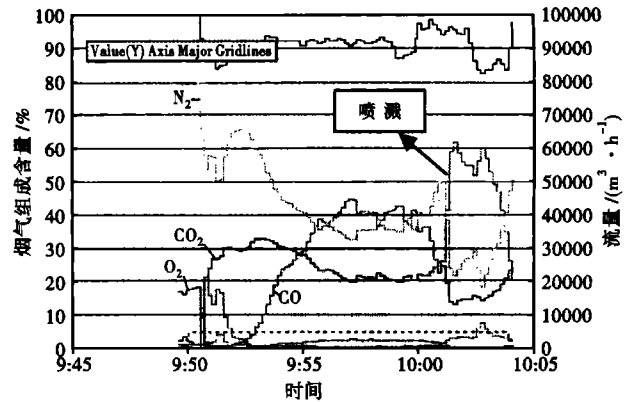


图1 转炉喷溅预报图

Fig. 1 Prediction chart for converter spraying

### 2.6 炉况的控制

转炉采用深脱硫铁水冶炼,使用烟气分析动态控制,终点碳温度命中率提高4.36%,实现了不倒炉直接出钢模式,冶炼时间由40 min缩短至32 min,总渣量从96 kg/t<sub>钢</sub>下降到91 kg/t<sub>钢</sub>,出钢温度从1692℃下降到1666℃,渣中(FeO)从27%下降到19%。钢水温度和炉渣氧化性降低及渣量减少,有利于减轻对炉衬侵蚀,值得注意的是,深脱硫铁水中含有一定量溶解Mg和未完全上浮镁离子,在转炉开吹初期迅速与氧反应生成氧化镁进入渣中即起到化渣效果,也起到保护炉衬作用,避免了冶炼未深脱硫铁水需转炉脱硫被迫采用的高温( $\geq 1690$ ℃)、高碱度( $\geq 3.6$ )、大渣量、多次倒炉操作,现每月洁净钢产量达10万t左右,转炉炉龄超过2万炉,炉况良好。

### 3 结论

马钢120 t转炉通过采用深脱硫铁水冶炼洁净钢,要求扒渣干净、使用低硫原材料、应用烟气分析动态控制等技术,不仅确保了终点出钢[S]  $\leq 0.008\%$ ,提高了终点碳和温度命中率,实现不倒直接出钢模式,钢水中活度氧为 $556 \times 10^{-6}$ 、散状料90 kg/t<sub>钢</sub>,钢铁料消耗1104 kg/t<sub>钢</sub>,冶炼时间短,每月洁净钢产量达10.8万t。

#### 参考文献

- 1 吴明. SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>渣系在铁水预处理生产中的应用. 炼钢, 2007, 23(3): 18
- 2 曲英. 炼钢学原理. 北京: 冶金工业出版社, 1987
- 3 吴明, 梅忠. 转炉烟气分析动态控制炼钢技术. 冶金设备, 2006(4): 71

吴明(1964-),男,高级工程师,1985年安徽工业大学毕业,转炉炼钢及铁水预处理。

收稿日期:2008-09-03