

## 降低 150 t LF 精炼电耗的生产实践

裴凤娟 黄重 向华 徐筱芴

(安阳钢铁集团股份有限公司技术中心, 安阳 455004)

**摘要** 通过提高转炉出钢温度(Q235A/Q235B 钢 1 660 ~ 1 670 °C, Q345A/Q345B 钢 1 665 ~ 1 675 °C, 终点 [C] ≥ 0.06%, 终点 [P] ≤ 0.025%), 强化钢包周转管理, 出钢过程减少下渣量、加炉渣改质剂或脱硫剂提前造渣脱硫和精确计算合金加入量, 控制钢包底吹氩流量防止二次氧化和卷渣等工艺措施, 使 150 t LF Q235B 和 Q345B 钢平均送电时间分别从 8.10 min 和 9.39 min 降至 2.60 min 和 3.13 min, 平均电耗分别从 17.33 kWh/t 和 20.09 kWh/t 降至 5.55 kWh/t 和 6.69 kWh/t, 平均 LF 精炼时间分别从 40 min 和 42 min 降至 20.1 min 和 22.4 min, 各项精炼指标均达到要求, 取得了较好的经济效益。

**关键词** 150 t LF 精炼 电耗 生产实践

## Practice of Production on Cutting-down Consumption of Electric Power for 150 t LF Refining

Pei Fengjuan, Huang Zhong, Xiang Hua and Xu Xiaoxiang  
(Technology Center, Anyang Iron and Steel Co Ltd, Anyang 455004)

**Abstract** With the process measures including increasing temperature of liquid in BOF tapping (steel Q235A/Q35B 1 660 ~ 1 670 °C, steel Q345A/Q345B 1 665 ~ 1 675 °C, end [C] ≥ 0.06%, end [P] ≤ 0.025%), intensifying ladle turnover administration, reducing down slag amount, adding modifier or desulphurizing agent for slagging and desulphurization in advance and accurately calculating alloys addition during tapping, and controlling ladle bottom argon blowing rate to protect reoxidation of liquid and slag entrapment, the average power on time for refining steel Q235B and steel Q345B in 150 t LF decreases respectively from 8.10 min and 9.39 min to 2.60 min and 3.13 min, the average electric power consumption reduces respectively from 17.33 kWh/t and 20.09 kWh/t to 5.55 kWh/t and 6.69 kWh/t, and the average LF refining time decreases respectively from 40 min and 42 min to 20.1 min and 22.4 min, all refining indexes are all meet the requirement with getting better economic performance.

**Material Index** 150 t LF, Refining, Electric Power Consumption, Practice of Production

LF(钢包炉)是 20 世纪 70 年代由日本开发成功的,是一种以电弧加热为主要技术特征的二次精炼方法,包括电极加热系统、合金与渣料加料系统、底透气砖吹氩搅拌系统、喂线系统、炉盖冷却水系统(有的没有冷却系统)、除尘系统、测温取样系统、钢包及钢包车控制系统等<sup>[1]</sup>。

在转炉-LF-连铸工艺流程中,LF 是其中的用电大户,降低 LF 电耗对于节约电极消耗、降低生产成本和提高生产效率具有重大意义。

安钢第一炼轧厂现有 2 座 100 t LF,第二炼轧厂有 3 座 150 t LF,平均加热速度为 4 ~ 5 °C/min, LF 平均送电时间在 8 min 以上,精炼送电时间长、电耗高。随着电力资源的日益紧缺,有时甚至需要停机来平均平衡电力负荷分配,为了缓解这种紧张的局面,进一步提高产品创效空间,针对 LF 进行了降低精炼电耗的工艺研究。

### 1 原材料条件

根据统计,转炉的入炉铁水成分和温度波动较

表 1 试验钢种的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test steels / %

钢种	C	Si	Mn	P	S
Q235A、Q235B	0.14 ~ 0.18	0.12 ~ 0.30	0.40 ~ 0.55	≤ 0.030	≤ 0.030
Q345A、Q345B	0.15 ~ 0.18	0.20 ~ 0.50	1.30 ~ 1.45	≤ 0.030	≤ 0.035

小,其中 96% 以上炉次的入炉铁水硫含量在 0.030% 以下,因此,针对一般成品硫含量要求(硫含量 ≤ 0.030%)的钢种,如 Q235A/Q235B、Q345A/Q345B 钢等(其化学成分见表 1),LF 脱硫负担较小,有一定的工艺控制富余。

### 2 降低 LF 精炼电耗的措施

从理论上讲,正常操作情况下,电耗高,加热时间长,电极消耗高<sup>[2]</sup>。因此,LF 冶炼电耗主要是由钢水加热时间决定的,而钢水加热时间又由钢种、钢包周转、钢水进出站温度、LF 送电操作、造渣剂加入情况、钢包散热、埋弧状况等因素共同决定<sup>[3]</sup>。生

产实践主要从缩短 LF 送电时间来采取措施。

### 2.1 适当提高转炉出钢温度

缩短 LF 送电时间,意味着转炉出钢后钢水得到的温度补偿减少,相同的温降情况下需要提高转炉出钢温度,考虑到转炉炉衬的寿命,将转炉出钢温度提高 20 ℃ 并保持稳定。

冶炼过程中根据实际情况,合理调整炉料结构和氧枪制度,利用污泥球或返矿调节钢水温度,加强终点控制,避免后吹,保证出钢温度符合要求,如 Q235A/Q235B 钢控制在 1 660 ~ 1 670 ℃, Q345A/Q345B 钢控制在 1 665 ~ 1 675 ℃,终点成分控制在  $[C] \geq 0.06\%$ 、 $[P] \leq 0.025\%$ 。图 1 为 4 个不同浇次 Q235B 钢的平均出钢温度及其对应的平均送电时间(LF 精炼平均钢水容量为 110 t,每个浇次统计炉数均为 12 炉),由图 1 可知,出钢温度越高,LF 精炼送电时间越短。

### 2.2 强化钢包管理

钢包的热状态对其蓄热能力影响较大,包壁预热温度越高,钢水的温降越小<sup>[4]</sup>,一般采取红包出钢和钢包在线烘烤等来减少出钢过程钢水温降。为了进一步稳定钢水温降,缩短 LF 加热时间,根据钢包的热状态及其修补情况,将钢包进行详细的分类管理,生产时采用热状态好的周转包以减少温降和稳定操作。

### 2.3 细化出钢渣洗与合金化制度

在出钢过程中减少下渣并向钢包内加入一定量的炉渣改质剂或脱硫剂,利用转炉出钢过程良好的热力学和动力学条件,进行提前造渣、脱硫,缩短 LF 精炼化渣加热时间,减轻 LF 精炼脱硫负担,有效保证钢水硫含量满足钢种要求<sup>[5-6]</sup>。

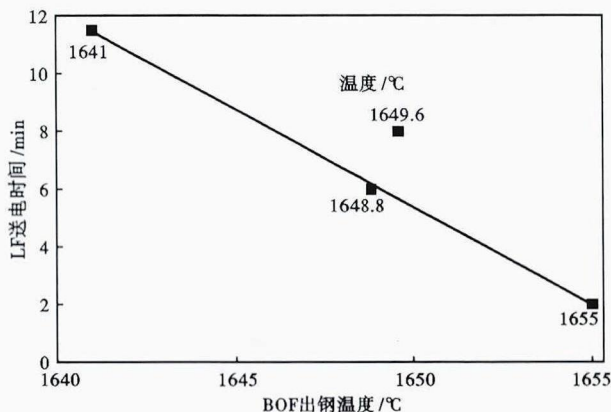


图 1 试验浇次的 BOF 平均出钢温度对 150 t LF 平均送电时间的影响

Fig. 1 Effect of average BOF tapping temperature on average 150 t LF refining power on time of test casting heats

虽然 LF 精炼可以调整钢水成分,但是如果加入合金较多,LF 精炼送电升温时间会相应延长,电耗也相应增加。因此,在转炉出钢脱氧合金化时,做到精确计算合金加入量,尽量一次就将钢水成分控制到目标范围,使 LF 精炼真正地做到微调成分,减轻精炼负担,降低精炼电耗。

### 2.4 加强生产组织管理、使各工序衔接顺畅

加强各工序间的信息传递与交流,减少工序间钢包运输等待时间,弱化 LF 的工序缓冲功能,缩短等待连铸时的送电时间,在保证产品质量的同时提高精炼效率和生产节奏。

### 2.5 防止钢水二次氧化,提高钢水纯净度

精炼及软吹搅拌过程中,严格控制钢包底吹氩气流量,防止钢水二次氧化和卷渣以及促进夹杂物上浮排出。钢水浇注过程应做好保护浇注和钢水保温,如及时检查钢包长水口、塞棒、滑板和浸入式水口的氩气密封情况,严格中间包烘烤工艺与操作,浇注过程中给钢包和中间包加盖,减少钢水温降。

## 3 降低 LF 精炼电耗的效果

采取降低 LF 精炼电耗的措施后,由于 LF 送电时间缩短,LF 工位的精炼周期也相应缩短,整个工艺流程操作都得到了优化,通过统计工艺优化前后两年内的炉次数据,结果如表 2。

### 3.1 降低 LF 精炼送电时间

工艺优化后,以 Q235B、Q345B 钢为例,其 150 t LF 精炼的平均送电时间由原来的 8 ~ 9 min,降低至 2 ~ 3 min(见表 2),平均送电时间缩短 5 ~ 6 min,平均约降低电耗 12 kWh/t,按照平均工业电价 0.555 元/kWh 计算,约降低生产成本 6.66 元/t。

### 3.2 缩短 LF 工位处理周期

工艺优化后,以 Q235B、Q345B 钢为例,其 150 t LF 精炼的平均工位处理周期由原来的 40 ~ 42 min 降低到 20 ~ 22 min(见表 2),平均处理周期约缩短

表 2 工艺优化前后 150 t LF 精炼平均送电时间和平均工位时间

Table 2 Average power on time and average total refining time at 150 t LF station before and after optimization of refining process

钢种	工艺	统计炉数/炉	LF 精炼平均值		
			送电时间/ min	工位时间/ min	电耗/ (kWh · t <sup>-1</sup> )
Q235B	优化前	1 515	8.1	40.0	17.33
	优化后	1 359	2.6	20.1	5.55
Q345B	优化前	341	9.39	42.0	20.09
	优化后	301	3.13	22.4	6.69

注:LF 精炼平均钢水容量为 165 t。

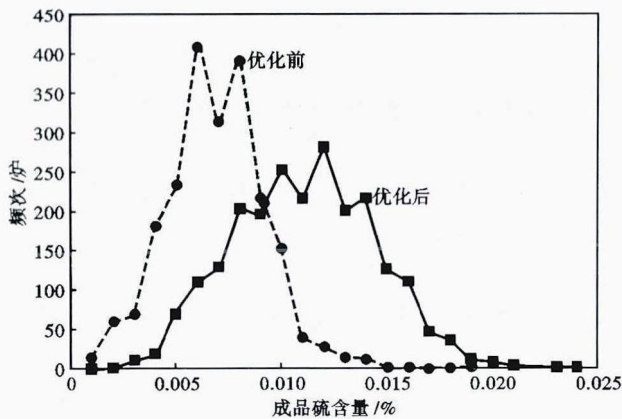


图 2 LF 精炼优化前和优化后的 Q345B 钢成品硫含量分布  
Fig. 2 Distribution of finishing sulphur content in steel Q345B before and after LF refining optimization

一半,不仅有利于减少钢水温降,还可使生产效率得到大幅提高。

### 3.3 钢水成分及质量

#### 3.3.1 钢中成品硫含量

缩短 LF 送电时间对钢水脱硫影响较大,对比 150 t LF 工艺优化前后的钢中成品硫含量发现,工艺优化后生产 Q345B 钢的成品硫含量均低于 0.025% (图 2)。虽然工艺优化后的成品硫含量比优化前略有升高(平均升高约 0.005%),但都能满足其标准和质量要求。工艺优化前后,钢中其他成分基本没有变化,都能满足标准与质量要求。

#### 3.3.2 钢水洁净度

工艺优化后,以 Q235B 钢为例,其钢中的氮含量为 0.003 8% ~ 0.004 5%,氧含量在 0.005 1% ~ 0.006 8%,钢中夹杂物尺寸相对较小(6 ~ 30  $\mu\text{m}$ ),形状多为球形,主要为脱氧产物( $\text{SiO}_2\text{-MnO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO-SiO}_2$ )、外来夹杂( $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}$ 、 $\text{CaO-SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2\text{-CaO-MnO-MgO}$ )、复合夹杂( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  外裹  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ )、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{MnS}$  等。与工艺优化前相比,钢水洁净度基本相当。

#### 3.3.3 钢材性能

以 Q235B、Q345B 热轧卷板为例,工艺优化后其综合性能合格率分别为 99.79% 和 99.32%,与工艺优化前的 99.88% 和 99.73% 基本相当。

### 4 结语

(1) 通过适当提高转炉出钢温度、强化钢包管理、细化出钢渣洗与合金化制度、加强生产组织管理和防止钢水二次氧化等措施,150 t LF 精炼平均送电时间缩短 5 ~ 6 min,LF 精炼电耗约降低 12 kWh/t。

(2) 工艺优化后,Q235B 和 Q345B 钢的 150 t LF 精炼平均处理周期降低到 20 ~ 22 min,时间约缩短一半,不仅有利于减少钢水温降,还可使生产效率得到大幅提高。

(3) 缩短 LF 精炼送电时间,在降低精炼电耗的同时能有效保证钢水的成分、质量与性能,如 Q235B 和 Q345B 钢工艺优化前后其成分、质量与性能合格率基本相当。

#### 参考文献

- [1] 赵沛. 炉外精炼及铁水预处理实用技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2004:257.
- [2] 郑颖,乔光,赵鑫. 包钢炼钢厂 3# LF 炉降低电耗及电极消耗实践[J]. 包钢科技,2004,30(4):28-30.
- [3] 吴铿,梁志刚. 包钢 LF 精炼过程脱硫工业实验研究[J]. 钢铁,2001,36(8):16-18.
- [4] 《炼钢-连铸新技术 800 问》编辑委员会. 炼钢-连铸新技术 800 问[M]. 北京:冶金工业出版社,2004:178.
- [5] 马杰,侯伟,赵磊磊. 转炉出钢渣洗脱硫的理论研究与工业试验[J]. 钢铁研究,2009,37(2):23-26.
- [6] 曾加庆,罗廷樑,刘浏,等. 转炉出钢过程中脱硫及钢中夹杂物改性[J]. 钢铁研究学报,2005,17(2):12-15.

裴凤娟(1982-),女,硕士(北京科技大学),工程师,2004 年河北理工大学(本科)毕业,炼钢、连铸工艺研究。

E-mail: pfj526@126.com

收稿日期:2013-08-26

## 下期要目

- 特殊非对称型 12 流 35 t 中间包的水模拟试验和控流装置的优化 ..... 茅晓慧等  
230 mm × 1 500 mm 板坯连铸凝固过程传热与机械变形的有限元分析 ..... 詹美珠  
组分和粒度对高碱度精炼渣半球熔点和熔化速度的影响 ..... 董方等  
200 mm × 200 mm 方坯连铸用新型浸入式水口的数值模拟 ..... 陈远清等  
20CrMnTi 齿轮钢棒材热连轧有限元模拟 ..... 肖玉等  
专用钢种超快速冷却研究和应用进展 ..... 唐洋洋等  
120 t 转炉出钢利用 LF 固态精炼渣进行渣洗的工艺实践 ..... 石枚梅  
06Cr18Ni5Mn7Cu3N 奥氏体不锈钢带脱皮缺陷的成因分析及预防工艺措施 ..... 李志栋等