

· 工艺技术 ·

## 天津钢管公司 RH-WPB 水冷顶枪喷粉系统的应用与展望

曹海玲<sup>1</sup> 刘彬<sup>2</sup> 王海斌<sup>1</sup> 任彤<sup>1</sup>

(1 中国重型机械研究院股份公司, 西安 710032; 2 华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 北京 100098)

**摘要** 100 t RH 真空炉外精炼设备, 备有 RH-WPB 水冷顶枪喷粉系统, 该套喷粉系统一次最大喷吹量 2 000 kg, 理论最大喷吹速度 250 kg/min, 采用的喷粉脱硫剂为 80CaO/20CaF<sub>2</sub>。14Mn5V 钢、30CrMnSi 钢和 27CrMo27V 钢的 RH-WPB 处理结果表明, 经过 RH 喷粉处理后, 钢水中的硫含量分别从 42 × 10<sup>-6</sup>、28 × 10<sup>-6</sup> 和 39 × 10<sup>-6</sup> 降至 28 × 10<sup>-6</sup>、15 × 10<sup>-6</sup> 和 22 × 10<sup>-6</sup>, 脱硫效果显著。

**关键词** RH 真空精炼 喷粉系统 喷吹罐 喷吹速度 脱硫率

## Application and Prospect of Powder Injection System with RH-WPB Water-Cooling Top Lance at Tianjin Steel Tube Co

Cao Hailing<sup>1</sup>, Liu Bin<sup>2</sup>, Wang Haibing<sup>1</sup> and Ren Tong<sup>1</sup>

(China National Heavy Machinery Institute Co Ltd, Xi'an 710032; 2 Huaneng Clean Energy Research Institute, Beijing 100098)

**Abstract** The 100 t RH vacuum refining unit is equipped with RH-WPB water-cooling top lance powder injection system, the set of powder inject system has one-time largest injection volume 2 000 kg with theory max injection rate 250 kg/min and using injecting powder desulfurizer 80CaO/20CaF<sub>2</sub>. The RH-WPB treated results on steel 14Mn5V, steel 30CrMnSi and steel 27CrMo27Vs show that after RH powder injection treatment the sulphur content in liquid decreases respectively from 42 × 10<sup>-6</sup>, 28 × 10<sup>-6</sup> and 39 × 10<sup>-6</sup> to 28 × 10<sup>-6</sup>, 15 × 10<sup>-6</sup> and 22 × 10<sup>-6</sup>, it has obviously desulphurization effect.

**Material Index** RH Vacuum Refining, Injection Powder System Storage Room, Injection Tank, Injection Speed, Desulphurization Rate

### 1 RH-WPB 水冷顶枪喷粉系统设备简介

天津钢管公司为了生产对硫含量有较高要求的钢种, 集团公司炼钢部引进了由中国重型机械研究院设计的一套 100 t RH 真空炉外精炼设备, 并为该成套 RH 系统设备中增加了 RH-WPB 水冷顶枪喷粉系统。通过顶枪以 200 kg/min 左右的速度向钢液中喷入脱硫剂, 它能够有效的脱硫、改变夹杂物形态、脱氧、脱磷以及合金化, 达到了在冶炼过程中要降低 C、S、P、O、H 含量的目的<sup>[1-3]</sup>。本套喷粉系统以惰性气体 Ar 为载体, 采用先进的空气动力理念, 优化的管路设计和平衡管路内阻力损失的空气省气器, 可以达到高浓度的浓相输送物料, 有效地降低了管道磨损、节约气体使用量, 降低成本。中国重型机械研究院股份公司研发的这套喷粉脱硫系统, 已经获得了系统设计方法和设备结构的实用新型专利保护<sup>[4]</sup>。

### 2 系统简述

#### 2.1 主要设备组成

这套 RH-WPB 水冷顶枪喷粉系统的主要组成部分为: 系统 100、系统 200、RH-WPB 顶枪和相应的

电气控制系统。

系统 100: 上料管道, 贮料仓, 输送管道, 气力发送罐, 空气控制模块 GCM(氮气);

系统 200: 喷吹罐, 空气控制模块 GCM(氩气), 可变形耐磨橡胶软管。

喷吹过程中, 喷吹管路由氩气带动粉料进入顶枪, 送粉管径 Φ80 mm, 喷枪出口直径为 27 mm。

喷粉系统的最大喷吹速度为 250 kg/min, 喷枪插入深度为 3.5 m, 脱硫剂配比为 CaO: CaF<sub>2</sub> = 80: 20 或 CaO: CaF<sub>2</sub> = 60: 40, 平均单耗为 3 kg/t, 处理后的钢水硫含量在 20 × 10<sup>-6</sup> 以下, 喷吹温降 20 ~ 30 °C。

#### 2.2 系统工艺流程

本套设备由喷粉系统和多功能顶枪(RH-WPB 顶枪)组成, 其主要工艺流程为: 粉剂由专用粉罐车运来, 由气体输送管道压送到贮料仓; 通过贮料仓的旋转给料机下料, 当气力发送罐满料, 通过料位计反馈信号给旋转给料机, 停止下料, 系统 100 空气控制模块接收信号打开, 开始将料发送到接收仓, 操作人员设定喷粉重量, 接收仓旋转给料机和称重系统, 共同完成称重过程, 称重结束。系统 200 空气控制模

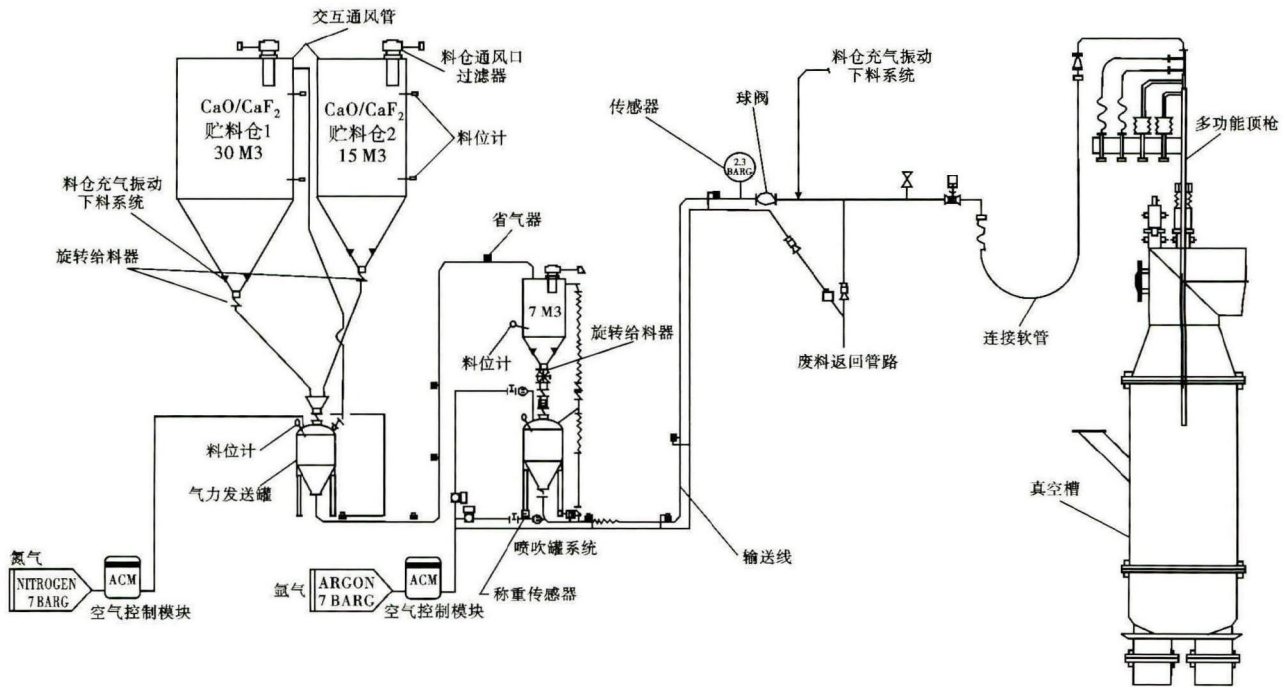


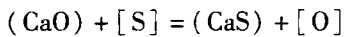
图1 100 t RH-WPB 顶枪喷粉系统设备简图

Fig. 1 Schematics of 100 t RH-WPB top lance powder injection system

块接收信号启动开始预加压,预加压结束开始喷吹,直到喷粉结束。该系统自动化程度高,系统所有参数进入主 PLC 系统。只需输入喷吹量便可自动完成整个喷粉过程。主要设备组成见图 1。

2.3 RH 真空脱硫的原理

RH 真空脱硫是真空状态下向真空槽的钢液中添加 CaO-CaF<sub>2</sub> 为主的脱硫剂,脱硫化学反应式为:



$$\text{反应平衡常数为: } K = \frac{a_{(CaS)} \cdot a_{[O]}}{a_{(CaO)} \cdot a_{[S]}}$$

式中: $a_{[S]}$ ,  $a_{[O]}$ - 用质量分数计算的金属液中硫和氧的亨利活度; $a_{(CaS)}$ ,  $a_{(CaO)}$ - 以纯固体状态作为基准的活度,用摩尔分数表示<sup>[3]</sup>。

根据上述反应的平衡常数表达式可知,渣中的 CaO ( $O^{2-}$ ) 的活度越大, CaS ( $S^{2-}$ ) 的活度越小,且钢水中的氧含量低,硫的活度大一些,脱硫反应易于进行。因此要求炉渣碱度较高,且溶解度大。

实测现场 RH 真空喷粉过程中 [S] 的变化测试的几组数据如表 1。

RH 真空深度脱硫的实践证明,钢中含铝量足以与脱硫反应产生的氧相结合,并有一定剩余时,采

表 1 RH-WPB 顶枪喷粉记录数据

Table 1 Record data of RH-WPB top lance powder injecting

钢种	喷吹粉剂量/kg	喷吹时间/min	喷吹速度/(kg·min <sup>-1</sup> )	处理前硫含量/10 <sup>-6</sup>	处理后硫含量/10 <sup>-6</sup>	脱硫率/%
14Mn5V	500	3	166.7	42	28	33.3
30CrMnSi	800	4	200	28	15	46.5
27CrMo27Vs	1000	4.5	222.2	39	22	43.6

用 CaO-CaF<sub>2</sub> 脱硫剂进行深度脱硫,可以获得超低硫钢,钢中硫含量可以降低到  $20 \times 10^{-6}$  以下。喷吹降温 20 ~ 30 ℃。

3 冶金功能简述

粉剂的物料由石灰钙粉和萤石粉混合物组成,堆密度 1 200 kg/m<sup>3</sup>,颗粒 100 目,含水量 0.2%,温度 ≤ 50 ℃。

RH 真空喷粉所用粉剂必须满足以下要求:

- (1) 粉剂粒度适中,满足真空喷粉工艺的要求,同时兼顾脱硫效率;
- (2) 流动性好,不结团,防止喷吹过程堵塞喷枪和管道;
- (3) 粉料中夹杂少,特别是铁屑等坚硬夹杂,保证喷粉过程中的安全以及不损坏喷枪和管道;
- (4) 粉料要进行钝化处理,防止水化。

钢包喷粉是利用气体做载气,将粉剂直接喷射到钢液深部,避免粉剂与空气的直接接触,扩大了反应界面,加强了搅拌,从而加速了传热过程<sup>[5-7]</sup>。其主要冶金功能有:

(1)降低钢中氧和硫含量,控制钢中氧化物和硫化物夹杂的形态,有利于夹杂物的聚合和上浮;

(2)提高粉剂的收得率,能更好地解决冶炼时通过喷吹粉剂来调节钢中微量合金元素;

(3)能精确地调整钢水成分。

#### 4 前景展望

##### 4.1 喷吹过程中载体气量的影响

喷粉载体气量较小时,粉剂在钢液中的均混时间变化很小。当喷粉载体气量增加时,粉剂在钢液中的均混时间逐渐变长。当气量达到一定值时,粉剂的均混时间达到最长。当载体气量超过该值时,均混时间随着载体气量的增加逐渐减小。现场实际生产过程中观察到,真空室内喷枪下形成的冲击坑对粉剂在钢液内的均混时间影响较大。顶枪气量较小时,形成的冲击坑很浅,对钢液流动形成的阻力很小,粉剂的均混时间基本没有变化。随着气量的增加,形成的冲击坑逐渐加深,对钢液流动形成的阻力随之增大,钢液流动变慢,则粉剂的均混时间逐渐变长。当顶枪气量超过一定值时,在真空室内流动钢液形成冲击坑进一步加深,但是其直径却随之变小,使得钢液流动受到的阻碍变小,流动速度逐渐加大,粉剂在钢液内部运动加快,则粉剂的均混时间减少。天津钢管公司喷粉系统经过多次实践生产证明,当载体气量达到一定程度,粉剂以 160 kg/min 的速度喷吹时,脱硫效率最好,说明此时气量达到理想状态。

##### 4.2 真空室环流气体流量对均混时间的影响以及对脱硫效率的影响

环流气量在较小范围内增加,环流气体吹气量的增加会明显提高钢液循环流量,使得粉剂在钢液内的均混时间迅速缩短。当环流气量增加到一定程度时,钢液循环达饱和态,再增大环流气体吹气量对提高循环流量作用不明显,则粉剂的均混时间不再继续减少<sup>[8]</sup>。环流气体流量过大的话,在一定程度上还会影响真空泵抽气时间以及真空度。经过实践证明,当环流气体流量为 80 m<sup>3</sup>/h 时,钢液与粉剂的混合效果最好。

##### 4.3 顶枪枪位与均混时间的关系以及对脱硫效率的影响

顶枪枪位是影响喷粉脱硫效率的重要因素,当顶枪枪位在最佳位置时,粉剂的均混时间可以达到最短。随着顶枪枪位的提高,粉剂的均混时间逐渐增大,而且在真空处理过程中被真空泵抽走的粉剂

也会随之增加,经过多家钢厂的生产实践证明,不同的喷枪喷嘴形式,枪位也有所不同,一般控制在 2.5~3.5 m。过低的枪位对真空室的耐火材料也有一定影响,耐火材料的损伤,会影响真空室的使用寿命。天津钢管公司的多功能喷枪采用的是拉瓦尔喷嘴,枪位选择在 3.5 m。

经过 RH 装置内模拟流场研究表明,真空室内流动的钢液中,下层的钢液能够更加直接地到达下降管处,而上层的钢液则需横向移动一定的距离后再进入下降管。喷粉过程中,顶枪枪位位于槽内较深处时,喷入的粉剂能够进入流动钢液的下层,随着钢液的流动快速进入下降管,到达钢包后迅速进行下一次循环,故粉剂的均混时间较短。随着枪位的提高,喷入的粉剂逐渐进入流动钢液的上层,熔入钢液的粉剂则需要移动稍长的距离,才能到达下降管,粉剂的均混时间则增大。

#### 5 结论

由钢种生产实践证明,喷粉载体气量、顶枪喷吹时形成的冲击坑、环流气体流量以及顶枪枪位高度等严重影响了脱硫效果,也是以后提高脱硫效率的重要研究方向。本套喷粉系统满足原设计要求。用时短,速度快,脱硫效果明显,降低了钢中硫的含量,使处理后的钢水硫含量能满足低硫钢生产的需要,经过 RH 处理后,硫含量在  $20 \times 10^{-6}$  以下,从而改善了钢的性能,提高了钢的质量。

#### 参考文献

- [1] 陈建斌,杨治立,贺道中,等. 炉外处理[M]. 北京:冶金工业出版社,2008:68-74.
- [2] 赵沛,成国光,沈魁,等. 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,2004:254-255.
- [3] 陈家祥. 钢铁冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,1990.
- [4] 曹海玲,任彤,王海斌,等. 一种 RH 钢水精炼用喷粉脱硫装置:中国,ZL201320281203.3,U[P],2013-12-11.
- [5] 区铁,刘振清,刘良田,等. RH 装置的粉剂顶吹脱硫[J]. 钢铁,2006,41(2):250-255.
- [6] 欧阳克诚,刘仁华. WPB 喷粉脱硫装置的应用与改进[J]. 冶金设备,2001(4):23-26.
- [7] 黄会发,魏季和,郁能文,等. RH 精炼技术的发展[J]. 上海金属,2003,25(6):6-10.
- [8] 贾斌,陈义胜. RH 真空处理设备循环流量的研究[J]. 包头钢铁学院学报,2000,19(1):34-38.

曹海玲(1980-),女,硕士(西安交通大学),工程师,2004年西安建筑科技大学(本科)毕业,钢水精炼设备设计。

收稿日期:2014-12-27