

## 天津钢管公司 100 t RH 的设备功能和冶金效果

刘彬<sup>1</sup> 曹海玲<sup>2</sup> 宋宝和<sup>1</sup> 魏金生<sup>1</sup>

(1 天津钢管集团股份有限公司炼钢部,天津 300301; 2 西安重型机械研究所有限公司,西安 710032)

**摘要** 国内自行设计制造的 100 t RH 真空循环脱气设备的真空度可达 67 Pa 以下,真空处理能力为 500 kg/h 以上。生产实践表明,氩气流量越大,钢水循环速度越大,高真空脱气时间越长,钢水脱气效果越明显,所处理的管线钢的氢、氧、碳含量可分别降至  $1 \times 10^{-6}$ 、 $20 \times 10^{-6}$  和  $20 \times 10^{-6}$  以下。

**关键词** 100 t RH 真空度 抽气能力 冶金效果

### Equipment Function and Metallurgical Effect of 100 t RH Unit at Tianjin Pipe Co

Liu Bin<sup>1</sup>, Cao Hailing<sup>2</sup>, Song Baohe<sup>1</sup> and Wei Jinsheng<sup>1</sup>

(1 Steelmaking Department, Tianjin Pipe Group Co Ltd, Tianjin 300301;  
2 Xi'an Heavy Machinery Research Institute Co Ltd, Xi'an 710032)

**Abstract** An 100 t RH unit with less than 67 Pa and vacuum degassing capacity up to more than 500 kg/h is designed and manufactured at home. Production practice show that the more recirculating rate of liquid steel with increasing argon flow rate and the longer degassing time at high vacuum, the more obvious degassing effect; the hydrogen, oxygen and carbon content in treated pipe line steels could respectively decrease to less than  $1 \times 10^{-6}$ ,  $20 \times 10^{-6}$  and  $20 \times 10^{-6}$ .

**Material Index** 100 t RH Unit, Vacuum, Exhaust Capacity, Metallurgical Effect

RH 真空循环脱气法是由德国 Ruhrstahl 和 Heraeus 公司于 1958 年前后共同开发的真空精炼设备。在冶炼处理过程中,钢液的真空脱气是在一个砌有耐火砖的真空槽中进行。真空槽的下部是两个带有耐火砖的浸渍管,上部装有热弯管。处理时将浸渍管插入钢液,通过真空槽抽真空时产生的内外压差和气泡泵原理使钢液由浸渍管上升管进入真空槽,这时在上升管下部吹入驱动气体的氩气,在真空槽内产生的静压差促使钢包中的钢液,经真空槽和下降管而流回钢包里,如此往复循环。被抽气体由热弯管经气体冷却器至真空系统排到厂房外。达到脱 H、N、O、S、CO 气体的目的<sup>[1,2]</sup>。

为了满足钢种需要、精确控制成分,在循环处理过程中,可以通过真空料斗、合金溜管在真空状态下将合金通过真空槽加入到钢水中,完成钢水的合金化及碳氧反应,提高钢液的纯净度和生产低碳钢等精炼目的。

#### 1 主要设备组成

天津钢管公司采用的 RH 精炼炉为单处理工位,双槽横移,钢包顶升升降形式。由钢包运输车、钢包液压升降系统、真空槽及热弯管、真空槽移送台车、顶枪系统、真空泵系统、浸渍管维修车、自动测温

定氧及取样装置、待机位烘烤系统、合金加料系统、喷粉系统、喂丝机及吹氩系统等几部分组成。

真空系统的主要性能参数见表 1。

表 1 RH 真空槽的主要参数  
Table 1 Main parameters of RH vacuum leg

项目	参数
真空槽高度/mm	8 450
真空槽内径/mm	1 760
浸渍管内径/mm	450
驱动气体流量/( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	$\leq 100$
吹氩管数量/根	12
处理能力/t	$100 \pm 5$

天津钢管公司 RH 设备的抽气能力为 500 kg/h,达到 67 Pa 以下,真空泵采用的是 5 级蒸汽喷射泵系统(图 1)。带有 2 台中间冷凝器,1 台末级冷凝器。冷凝器的作用是将前级喷射泵排出的蒸汽冷凝成水,以提高后级喷射泵的效率。为提高真空段的抽气能力和缩短抽气时间,在 4、5 级真空泵并联了 2 台预抽真空喷射泵。从第 5 级泵排出的废气(蒸汽混合物)通过末级冷凝器、排气管再由烟囱排到厂房外,该排气管上方装有废气分析仪(质谱仪)的检测取样点。

图 1 中 B1、B2、B3 分别为第 1、2、3 级喷射泵,

C1- 第 1 级冷凝器, S4a- 第 4 级喷射泵(主列), S4b- 第 4 级喷射泵(辅列), C2a- 第 2 级冷凝器(主列), C2b- 第 2 级冷凝器(辅列), S5a- 第 5 级喷射泵(主列), S5b- 第 5 级喷射泵(辅列), C3a- 第 3 级冷凝器(主列), C3b- 第 3 级冷凝器(辅列)。

主要设计参数为:抽气能力在 67 Pa 时为 500 kg/h; 在 8.9 kPa 时为 3 000 kg/h; 蒸汽压力 1.0~1.4 MPa(绝对)干饱和; 蒸汽温度 180~210 ℃; 蒸汽耗量 ≤ 18 t/h; 浊环水压力 0.6 MPa; 浊环水温度 ≤ 35 ℃; 浊环水用量约为 900 t/h; 真空系统的漏气量 ≤ 20 kg/h。

RH 真空泵系统的设计性能参数见表 2。

## 2 RH 真空精炼生产工艺

### 2.1 工艺概述

RH 精炼工艺是依靠真空槽和大气间的压差, 将钢包中的钢水提升到真空槽内, 并通过吹氩造成钢水连续循环处理的一种冶金方法。在现代钢铁生产中, RH 与 LF 相配合, 特别适合于快速冶炼。RH 真空精炼工艺主要用于脱 H、O、N、C(轻处理时)和脱 S, 同时具有合金微调 and 温度调整的功能<sup>[3]</sup>。

RH 精炼工艺流程: (1) EAF→LF→RH→CCM; (2) EAF→RH→LF→CCM(先脱碳方案)。

电弧炉出钢 → } → 200/50 t 天车吊至 RH 吊包  
LF  
位 → 开至 RH 处理位 → 提升钢包车至处理位 → 测温、取样、测渣厚、必要时定氧 → 打开真空主阀开始处理 → 按钢种要求进行处理 → 根据试样结果调整成分 → 测温、取样、定氧 → 半闭真空主阀, 破真空复压 → 下降钢包车 → 根据钢种需要喂丝, 加保温剂 → 钢包开至吊包位 → } → CCM。  
LF 处理

在 RH 精炼跨内, 待处理的钢包由天车吊运至 RH 钢包车台上, 钢包车台开至真空槽下部的处理工位, 并进行钢水液面高度的人工判定。根据人工判定钢水液面高度, 液压顶升钢包车, 使真空槽的两

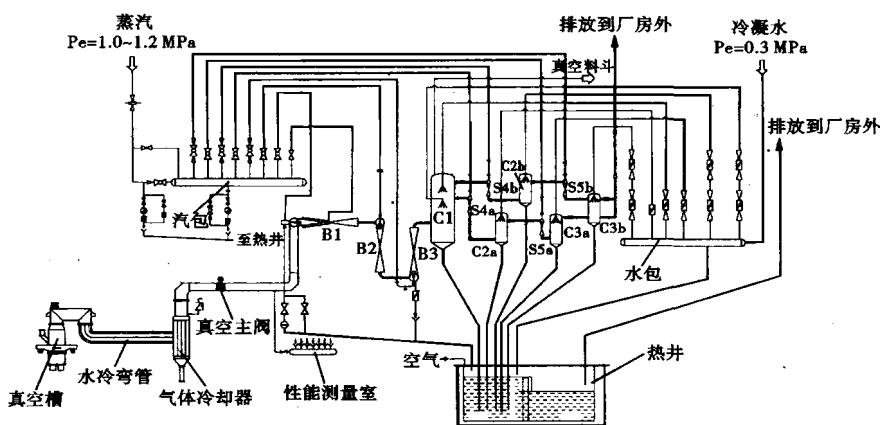


图 1 500 kg/h, 67 Pa 全蒸汽 5 级喷射泵布置图  
Fig. 1 Layout of 500 kg/h, 67 Pa, 5 stage full steam-jet pump

表 2 蒸汽喷射泵的性能参数及操作模式

Table 2 Performance parameters of steam-jet pump and operation mode

模式	泵级代号	B1	B2	B3	S4a	S4b	S5a	S5b	抽气量/ (kg·h <sup>-1</sup> )
A	101→35 kPa	×	×	×	×	×	○	○	≥5 000
B	35→8.9 kPa	×	×	×	○	○	○	○	≥3 500
C	8.9→2.3 kPa	×	×	○	○	×	○	×	≥2 000
D	2.3→0.48 kPa	×	○	○	○	×	○	×	≥1 500
E	480→67 Pa	○	○	○	○	×	○	×	≥500

注: ×- 蒸汽关; ○- 蒸汽通。

个浸渍管浸入钢水到预定的高度。同时, 上升浸渍管自动改吹氮气(对 N 要求高时用氩气)。随着浸渍管完全浸入钢水, 真空泵启动(各级真空泵按照预定的抽气曲线进行工作)。同时, 由于上升浸渍管中通入氮气/氩气而产生上升动力使钢水上升, 并通过下降管而流回钢包, 从而实现钢水的循环。处理到一定时间, 进行测温、取样、定氧操作。而后, 通过真空料斗将合金料加入真空槽中。再次对钢水进行测温、取样、定氧。钢水处理完毕后, 真空泵系统依次关闭, 真空系统破真空, 降下钢包车。上升浸渍管自动改吹氮气。钢包车开至工位、喂丝、加保温剂。最后钢包车开出, 由天车吊出钢包至连铸。

### 2.2 真空处理的类型及钢种

RH 真空系统处理类型主要分为 3 种: 本处理, 脱碳处理和轻处理<sup>[4]</sup>。

(1) 本处理: 在高真空度下, 去除钢水中的 H、N 和非金属夹杂, 以确定钢水成分, 进行温度调整。主要适用于气瓶钢、蓄能器钢、高级管线钢及需进行真空处理的油套管钢等。

(2) 脱碳处理: 随着处理过程的进行, 真空度由低到高, 最终达到最高真空度。在处理过程中进行

深脱碳、减少非金属夹杂,进行合金化、成分、温度的调整和均匀。主要适用于低碳钢、超低碳钢、极低碳钢等。

(3)轻处理:在较低真空度下,对未脱氧钢水进行短时间处理,同时将钢水温度、成分调整到适于连续铸钢的工艺要求。可以降低脱氧剂的消耗量。缩短了真空处理的时间,降低成本,提高钢水质量。主要适用于碳素结构钢、管线钢及普通油套管钢等。

RH处理的主要钢种有08MnVNb、14MnNbs、27CrMo27Vs、26CrMo4、45MnCrMo等管线钢、结构钢和套管钢种。

### 3 RH处理后的冶金效果

(1)RH真空循环脱气法的脱氢效果明显,处理后的钢中的氢含量降到 $2 \times 10^{-6}$ 以下。提高钢水的循环速度,使钢水中的氢含量降至 $1 \times 10^{-6}$ 以下。

(2)RH真空精炼时脱氮比较难,但在一定条件下(强脱氧,大氩气流量,确保真空度),也能使钢水的氮含量降低20%左右。

(3)RH循环处理时,碳有一定的脱氧作用,处理过程中脱碳量和脱氧量之比约为3:4,这表明钢中溶解氧的脱除,主要是依靠真空下碳的脱气作用。一般经过处理后,氧含量可降到 $20 \times 10^{-6}$ 以下。

(4)RH具有很强的脱碳能力,可以在较短时间内(20 min)脱碳至 $20 \times 10^{-6}$ 以下。

(5)在RH真空吹氧时,由于铝的氧化放热,能使钢水获得 $4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温效果。

(6)钢液经RH精炼处理后由于钢中H、O、N及非金属夹杂物的减少,使钢的纵向和横向力学性能均匀,提高伸长率、断面收缩率和冲击韧性,钢的加工性能和机械性能显著改善。

以27CrMo27Vs为例,蒸汽温度 $195 \text{ }^\circ\text{C}$ ,压力12 bar,氩气循环流量 $70 \text{ m}^3/\text{h}$ ,高真空(67 Pa以下)循

环脱气时间15 min,处理前后的[N]、[H]、[O]见表3。

表3 RH处理前后27CrMo27Vs钢中的气体含量/ $10^{-6}$   
Table 3 Gas content in steel 27CrMo27Vs before and after RH treatment / $10^{-6}$

工艺	[N]	[H]	[O]
处理前	70	5	120
处理后	35	1.2	16~20

根据现场的实际生产数据,钢水的循环速度越快(在允许的范围内,氩气流量越大,钢液循环速度越快;氩气流量越小,钢液循环速度相应降低),高真空脱气时间越长(在保证温度的前提下),钢水的脱气效果越明显,高真空保持时间 $\geq 10 \text{ min}$ 。一般成品氢含量 $\leq 1.5 \times 10^{-6}$ ;氮含量可以达到 $40.0 \times 10^{-6}$ ,脱氮率为0~25%;成品钢中氧含量 $\leq 12.0 \times 10^{-6}$ ;经RH自然脱碳可以将钢中碳含量最低可以达到 $20.0 \times 10^{-6}$ ;钢水温度可以满足连铸工艺要求,控制在 $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 的范围内,并做到温度均匀;钢水成分控制范围可以做到 $\text{C} \pm 50.0 \times 10^{-6}$ , $\text{Al} \pm 30.0 \times 10^{-6}$ ,钢中硫含量 $\leq 20.0 \times 10^{-6}$ ,脱硫率达50%以上。

#### 参考文献

- 1 陈建斌,杨治立,贺道中,等.炉外处理.北京:冶金工业出版社,2008
- 2 赵沛,成国光,沈甦,等.炉外精炼及铁水预处理实用技术手册.北京:冶金工业出版社,2004
- 3 陈家祥.钢铁冶金学.北京:冶金工业出版社,1990
- 4 吕铭,付博,孟宪俭,等.RH精炼炉工艺.莱钢科技,2005(1):10

刘彬(1982-),男,助理工程师,2008年内蒙古科技大学毕业,RH工艺研究。

收稿日期:2010-02-03

## 下期要目

奥氏体不锈钢中氮溶解度的热力学计算和实验研究 .....	沈春飞等
不锈钢VOD冶炼工艺模型的研究 .....	裴芬等
90 t钢包炉底吹氩工艺优化的水模拟试验研究 .....	丁宁等
165 mm × 165 mm方坯连铸结晶器安全性的数值模拟分析 .....	陈艳霞等
重轨端部淬火温度场与相变的计算机模拟 .....	张敏等
单嘴精炼炉真空处理过程气泡行为及冶金效果研究 .....	秦哲等
铁路用钢轨及其制造技术 .....	任安超等
高强度非调质冷镦钢研究和开发现状 .....	曹杰等