

首钢三炼钢厂 VD 真空精炼炉工程设计

何 巍 冯术勋

(北京首钢设计院)

摘 要 本文介绍了首钢三炼钢厂 VD 真空精炼炉的选择、工艺、主要设备组成、工艺布置,冶金效果,工艺控制与操作和该工程的设计特点,简述了取得的社会经济效益。认为采用工程项目总承包是一个有意的尝试,开发 VD 精炼炉顶吹氧技术是必要的。

关键词 VD 真空 精炼 设计

DESIGN OF VD VACUUM REFINING FURNACE OF SHOUGANG No.3 STEELMAKING PLANT

He Wei Feng Shuxun

(Beijing Shougang Design Institute)

ABSTRACT In this article, the determine of VD vacuum refining process used in Shougang No.3 Steelmaking plant, the process and it's main equipment composing, process layout are introduced. The metallurgy effect, operation and control of the process and the design feature of this project are also introduced, and the society and economy benefit gained by using VD are described in brevity. Consider that engineering general contract is a significative experiment, and the development of top blowing oxygen technology in VD is necessary.

KEY WORDS VD, vacuum, refining, design

1 概述

随着市场的需求变化和竞争的日渐激烈,总公司决定对三炼钢厂进行技术改造,使其产品由普碳钢逐步改变为高附加值有市场竞争力的特、优质钢。

技术改造的第一步——增上 LF 钢包精炼炉、VD 真空精炼炉,将 4 号方坯连铸机改造为品种钢连铸机,相应改造线材轧机等上下游生产设施,形成首钢的第一条精品钢生产线。VD 真空精炼炉工程为其中的一个重要部分。该工程引进关键技术和设备,由首钢设计院设计并进行工程总承包,2000 年 4 月交付三炼钢厂。

2 真空精炼装置的选择

较典型的真空处理装置其主要冶金功能比较见表 1。

表 1 中后三种真空精炼由于一些无法克服的缺点在新建项目特别在大中型转炉炼钢厂已不在选用,

表 1 真空处理装置主要冶金功能比较

Tab.1 Comparison for several vacuum refining device

项 目	VD	RH	DH	ASEA-SKF	钢流脱气
成分控制	好	好	好	好	一般
温度调节	一般	较好	一般	好	不好
脱 氧	好	好	好	好	一般
脱 氢	好	好	好	好	好
脱 碳	较好	较好	较好	好	一般
脱 硫	较好	无	无	好	一般
去夹杂物	好	较好	较好	好	一般

仅在一些小型的特殊冶炼车间使用。而在我国的宝钢、武钢、攀钢、鞍钢和本钢等厂的转炉炼钢车间均采用 RH 真空精炼设备,用于高性能板材的生产。

从表 1 可以看到,VD 炉精炼设备功能较为全面,与 LF 钢包精炼炉配合形成:转炉—LF 炉—VD 炉—连铸或转炉—VD 炉—连铸等工艺路线,



能满足优质钢生产和开发高附加值新品种钢的要求。

从建设投入、生产运行成本以及对工艺条件的要求比较：根据估算^[1]对于处理容量为 100t 左右的 VD 和 RH 真空处理装置，总投资：RH 约 1.0 亿元，VD/VOD 0.3~0.5 亿元（首钢三炼钢仅 0.2 亿元）；生产运行成本：RH 的耐火材料、预热燃气、氧气、蒸汽等消耗均高于 VD。同时，RH 的维修量是 VD 的 8 倍；真空处理每吨钢水成本 VD 20~30 元/t，RH40~70 元/t。工艺条件要求：VD 的占地面积仅为 RH 的 1/3 左右，同时，RH 还需要较大的耐火材料贮存和设备维修面积，庞大的公辅设施等。可见 VD 真空精炼具有明显的优势。

为了保证其合理的处理周期选用双罐位高架式布置形式，可节省 4~5min 的辅助时间，抽真空系统设有大容量启动器和高效率的真空泵，节省抽真空时间，这样可将 VD 炉的真空处理周期控制在 40min 以内的合理时间。

3 主要设计参数及设备组成

3.1 设计参数

(1) 转炉基本参数：

转炉公称容量	80t
转炉座数	3 座
冶炼周期	38min
钢包净空	不小于 600mm

(2) VD 真空精炼炉主要性能参数：

布置形式	双罐高架式
额定容量	80t
工作真空度	67Pa
极限真空度	30Pa
真空泵抽气能力	250kg/h
真空泵的抽气时间	5min
真空处理时间	15min
蒸汽压力	约 1.05Pa
蒸汽耗量	10.5t/h
处理周期	35~40min
设计年产量	50 万 t

3.2 设备组成

VD 真空处理装置工艺主体设备主要包括：真空罐（2 个）、真空罐盖、罐盖车及其提升系统、真空料斗系统、抽真空系统、铁合金添加系统、喂丝装置（2 台）、液压站和其他介质供应系统

等。

(1) 真空罐。真空罐是圆桶形的刚性焊接结构，其底部由一个冲压而成的半椭圆形封头构成。内衬耐火材料。罐体上设有水冷密封法兰，底部装有漏钢用铝帽，当发生漏钢事故时，事故钢水沿罐体下部的事故流槽进入隔离式事故坑内，达到保护设备的目的。罐体侧装有钢包吹氩用软管和快速接头。

主要技术参数：

数量	2 个
罐体直径	5000mm
罐体总高	5000mm

(2) 真空罐盖系统。真空罐盖系统由罐盖、防溅罩和更换台架、摄像机、观察孔等组成。设有密封法兰，罐盖内侧由耐火材料浇铸而成。该系统的主要作用是真空处理时对真空罐进行密封。

主要技术参数：

数量	1 个
盖体直径	5200mm
盖体总高	1800mm
冷却水流量	21m ³ /h
冷却水压力	0.5~0.6MPa

(3) 真空料斗系统。由受料斗、真空给料斗、真空密封阀和加料均压系统组成，它安装在真空罐盖上，在真空处理时进行合金微调。

主要技术参数：

受料斗容积	0.5m ³
给料斗容积	0.5m ³

(4) 罐盖移动小车系统。该系统由真空盖移动车和罐盖提升装置组成。其功能是将罐盖和真空料斗系统升降并输送到两个不同的处理位或等待位。

主要技术参数：

最大行程	20m
行走速度	0~16m/min
驱动方式	交流变频电机
罐盖提升行程	400mm
驱动方式	液压

(5) 真空系统。真空系统由抽气管和真空泵等组成。抽气管道把真空泵与真空罐连接起来，真空泵提供冶炼需要的真空效果。

主要技术参数：

工作真空度	67Pa
极限真空度	30Pa
真空泵抽气能力	250kg/h (67Pa, 20℃)
蒸汽压力	约 1.05Pa
蒸汽耗量	10.5t/h

冷凝水流量 650m³/h

冷凝水温度(入口) ≤35℃

(6) 合金加料系统。该系统由铁合金贮存料仓,称量系统,运输皮带等组成。它们同时满足VD和LF炉对铁合金的需求。

(7) 喂丝系统。喂丝机系统由两台喂丝机及其相应的行走轨道、丝卷架等组成。每一台对应一个处理罐位。

主要技术参数:

型 号	WX-4BF
喂线根数	2 根
喂线种类	合金/铝线
喂线规格	φ6~16mm
喂线速度	1~6m/s

4 工艺布置简述

主体工艺设备布置在炼钢主厂房E轴线两侧(转炉跨D-E、出钢跨E-F)的26号~29号柱范围内,沿钢水的运行方向左侧是LF钢包精炼炉,右侧是转炉蓄热器室和VD炉的冷凝水高速过滤器,前方是4号品种钢连铸机。

两个真空处理罐坐落于±0.00地面上,通过抽气管与真空泵连接。另外,地面上还设有冷凝水密封水池,设备冷却水阀门站等设施。

设有▽4.40m工艺主操作平台,并通过连接通道与相同标高的LF炉主操作平台连接。平台上设有罐盖运输车,主操作室,快速化验室,值班室等。其主要工艺操作均在此平台上完成。

真空泵系统在该区域的转炉跨内紧邻主厂房E轴线布置,新增加大倾角皮带机和可逆皮带机,将贮存在LF炉区域的铁合金输送给真空受料斗。

5 VD炉精炼工艺和效果

5.1 精炼工艺

转炉或LF钢包精炼炉的钢水经吊车放入等待的真空处理罐内,在主操作平台上测温、取样,并对包内钢渣进行观测(取样)。在操作室内将真空盖运输车开到该罐位并降下真空盖将罐密封。同时,启动弯管运输车将该罐的抽气管与真空系统连接。真空泵系统接到启动命令,从启动器开始分四步启动并形成真空对钢水进行处理。

根据需要,由铁合金系统称量好的渣料或铁合金经皮带机送入真空加料系统的受料斗,通过密封阀进入罐内的钢包里。这些工作一般在抽真空开始

10min内完成。

通过监视系统可以观察到钢包液面情况,同时通过对真空度和吹氩系统的调节达到控制包内反应程度的目的。

待真空处理完成后,关闭真空泵,同时打开相关的阀门对系统进行破真空处理。均压后,将真空盖升起,启动盖车开至下一个处理罐位或等待位。

测温、取样后,再由吊车将钢包运送到4号(品种钢)方坯连铸机的钢包转台上等待浇铸。

5.2 冶金效果

真空处理是减少和控制钢水中气体含量的最主要手段,同时还具有脱碳、脱氧,分离夹杂物,调整钢水成分和控制钢水温度的功能。

VD炉冶炼过程中强烈的惰性气体搅拌和熔池反应确保钢-渣间的反应,实现钢液脱硫;通过喂丝处理,还可以对硫化物夹杂做变形处理。

三炼钢经过VD单联工艺生产的低碳硅铝镇静钢,钢材平均全氧 $(75\sim 95)\times 10^{-6}$ (未处理时为 124×10^{-6});钢中A、B、C、D类夹杂物评级平均为1.73(未处理的2.53),钢中夹杂物降低23%~40%^[2]。

通过VD炉处理钢水中的气体含量可达到: $[H]\leq 2\times 10^{-6}$ 、 $[N]\leq 60\times 10^{-6}$,氧控制在小于 $(12\sim 19)\times 10^{-6}$ 的水平。投产后,钢中实测氢、氮、氧平均含量分别降至 3.89×10^{-6} 、 59.9×10^{-6} 、 27.2×10^{-6} 最低达到 1.97×10^{-6} 、 28×10^{-6} 、 17×10^{-6} ^[3]达到了预期效果。

6 蒸汽供应

国内外真空泵的蒸汽供应一般采用建设专用锅炉供汽或高品质中压蒸汽源供汽两种方式,本工程独辟蹊径开发了具有自主知识产权的转炉自产蒸汽供真空精炼炉技术,并取得成功。

为了满足真空泵对蒸气的质量要求,对转炉汽化冷却系统进行必要的补充和修改:

(1) 更换系统中质量不稳和失灵的阀门控制系统,并增加新的控制阀组以保障供汽压力和流量的稳定。

(2) 在汽冷蓄热器室内增加脱水器和加热器等装置,使蒸汽具有一定的过热度并保持干燥。

7 控制与操作

主体工艺部分采用集中和就地两中控制方式,按设备系统设置就地操作箱,而操作简单的喂丝机



和外围部分采用机旁控制，仅将相关信号送入控制系统参与必要的连锁和操作室显示等。

采用一套 PC 机和 PLC 系统对主体工艺过程进行监测、控制和调节，使工艺控制达到最佳化。

主要控制系统包括：真空、蒸气供应、盖车、氩气搅拌等 9 个系统。

主要操作与控制可全部在操作室内完成，操作和监控系统收集操作所需的数据并使工艺过程形象化。

主要功能：

- (1) 屏幕菜单显示；
- (2) 工艺图像及形象化的工艺参数显示（共 6 幅）；
- (3) 设备操作状态；
- (4) 趋势线显示；
- (5) 故障信息指示表（1 幅）。

通讯母线将 PLC 控制（站）系统和操作（站）系统连接起来，并具备向上位计算机系统通讯的功能。

8 工程技术特点

8.1 主体设备选型正确

(1) 与 RH 真空处理装置比较，精炼功能相当，与 LF 钢包炉配合，能很好地发挥钢包内脱硫渣的作用，且占地少，投资少，操作费用低。

(2) 采用双罐位高架式布置和带有大容量启动器、高效率的真空泵系统，节省辅助时间，系统操作灵活。实现了与转炉和铸机的合理配合。

8.2 工艺布置合理

(1) 与 LF 钢包精炼炉和 4 号（品种钢）连铸机紧邻设置，使品种钢的倒运工艺达到最佳，钢水温降小，调度容易。

(2) 所用冷凝水、蒸气、氮气等供应设施均布置在 VD 炉区域内操作平台下，厂房柱间或端头。整套系统形成一个完整的集合体，占用空间小便于操作和管理。

(3) 与 LF 炉共用车间原有铁合金贮运系统，共用操作室和快速化验室等设施。充分发挥了这些设施的作用，投入效益达到最大化。

(4) 合理的布置和集成，特别是真空盖车“坦克链”位置的改进，不仅使施工拆迁量减少，而且由于避免了现有大量工艺管道的改造，施工时对炼钢生产影响降到最低。

(5) 在布置两台喂丝机时，充分利用已有空间将其分别放置在对应处理位的平台上，既节省了工艺空间和投资，又满足了工艺操作的需要。

8.3 独特的蒸汽供应系统

通过对转炉汽化冷却产生的蒸汽脱水、加热等一系列的调节处理，解决了真空泵对蒸汽质量（干燥、过热）的要求，实现了钢水真空处理使用自产蒸汽的突破，为本工程首创。这一技术的成功使用引起业内的广泛关注，已通过了北京市科技成果鉴定，并申请了国家专利。

8.4 简单、实用的 PLC 控制系统

采用 PLC 控制。各系统按工艺流程显示在操作室内的 CRT 上（包括设备工作状态、主要参数的设定值和实际大小、趋势线、报警等）。设备的操作通过鼠标在屏幕上点击来实现，直观简单。

通过施工和近两年的生产实践证实，设备选型合理可靠，工艺布置紧凑合理且有特点，工艺顺行、操作简单，达到了国内先进水平。

9 工程的社会经济效益

三炼钢厂 VD 真空精炼炉工程自开工建设以来，特别是投产后，受到了总公司上下乃至社会的广泛关注，社会经济效益显著。

VD 真空精炼炉的投产，结束了首钢没有高端二次精炼的历史，为首钢实现钢产品结构调整开了一个好头。提高了首钢市场竞争能力。

由于产品质量的提高，得到用户的肯定，扩大了首钢的销售市场。

具备了品种开发的手段，新开发的 82B 等市场短缺品种每 2t 相当于 3t 普碳钢的价格，经济效益是相当可观的。

创新开发的真空泵蒸汽供应技术得到业界的广泛关注，已通过北京市科技成果鉴定，并申请国家专利。由于该技术的使用，不仅节省了大量工程投入，降低了成本获得了良好的经济效益，同时也为首钢在技术创新方面树立了良好形象。

10 结语

(1) 新工艺、新技术的开发与应用，使首钢三炼钢厂的生产工艺得到进一步的优化，产品质量得到提高，生产品种不断扩大。取得较大的社会效益。

(2) 由首钢设计院成立项目经理部对该项目实

施总承包,是一个非常有趣的尝试,它对工程投资的控制,各项技术措施效益的最佳化具有一定意义。

(3) 钢水二次精炼的每一套技术装置都有其自身的特点,随着技术的进步和市场需求,在保留其自身优势的基础上,多功能多用途是二次精炼装置的发展趋势。因此,在现有设施条件下,开发VD炉顶吹氧技术是必要的。

参 考 文 献

- 1 刘川汉,吕红城. RH与VD/VOD比较. 第十一届全国炼钢学术会议论文, 2000, 11
- 2 余光光, 齐振亚. 低碳钢精炼生产工艺的研究. 首钢科技, 2001 (1): 17~20
- 3 章军. 关于对VD炉脱气效果的研究. 首钢科技, 2001 (1): 20~24