

首钢第二炼钢厂 2 号 LF 炉精炼设备设计

王 玲 李 健 胡海霞 赵炳国

(北京首钢国际工程技术有限公司, 北京 100043)

摘 要 本文重点叙述了首钢第二炼钢厂 2 号 LF 钢包精炼炉主体精炼设备。该厂原有一套 210 tLF 钢包精炼炉, 主体设备从国外引进。2005 年 7 月, 首钢总公司批复了第二炼钢厂新增一台 210 tLF 钢包精炼炉的项目建议。现以首钢第二炼钢厂 2 号 LF 炉钢包精炼炉为例, 详细地介绍主要精炼设备的结构特点, 技术性能, 设计选型。

关键词 LF 精炼 设备组成 性能参数 设计优化

Equipment Design of No. 2 LF Refining Furnace in Shougang No. 2 Steel-making Plant

Wang Ling Li Jian Hu Haixia Zhao Bingguo

(Beijing Shougang International Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100043)

Abstract This paper emphasizes on the main equipments of the No. 2 LF refining furnace in Shougang No. 2 steel-making plant. Before July 2005, there was a set of 210 t LF reeling furnace in No. 2 steel-making, at July 2005, Shougang Corporation, approved to build another 210 t LF furnace. This paper takes this LF refining furnace as an example, describes the main structure characteristic, technical performance and type and design options of LF refining furnace main equipments.

Key words LF refining, equipment composition, performance parameters, design optimization

1 LF 炉法设备简介及精炼流程

1.1 LF 炉设备简介

LF 是以电弧加热为主要技术特征的炉外精炼方法, 包括电极加热系统、合金与渣料加料系统、底部透气砖吹氩搅拌系统、喂丝系统、炉盖冷却水系统、除尘系统、测温取样系统、钢包及钢包车控制系统等。首钢第二炼钢厂 2 号 LF 炉设备示意图见图 1。

1.2 2 号 LF 炉精炼流程

转炉出钢后, 吊车将盛有钢液的钢包吊至 2#LF 炉钢包车上, 通过快速接头将钢包底透气砖内吹氩管与外部氩气管线接通, 以便实施底吹氩搅拌。将钢包车开到精炼工位, 底吹氩开始搅拌, 同时降下钢包盖, 测温加渣料, 电极下降, 开始通电加热。基本达到工艺需要温度后停止加热, 提起电极, 继续进行底吹搅拌, 以使钢水成分及温度更加均匀, 之后进行测温取样。在等待快速化验结果的同时, 继续进行通电加热。合金加料系统根据 PLC 指令, 将规定牌号和数量的铁合金料经上料系统选择、称量、输送到 LF 钢包内, 从而达到合金微调的目的。加入合金料后, 增大吹氩强度, 加速合金料的溶解和钢液成分的均匀, 使钢水的成分和温度达到规定的目标。此时再进行一次测温取样, 然后电极升起, 包盖提升, 钢包车开到等待位进行喂丝处理, 也可在精炼工位进行喂丝处理。通过双线喂丝机向钢水中喂入铝线或硅钙线进行最终脱氧、脱硫, 以及夹杂物的变形处理。在喂丝过程中用较小的底吹氩气量软吹, 保持钢水的蠕动, 促进

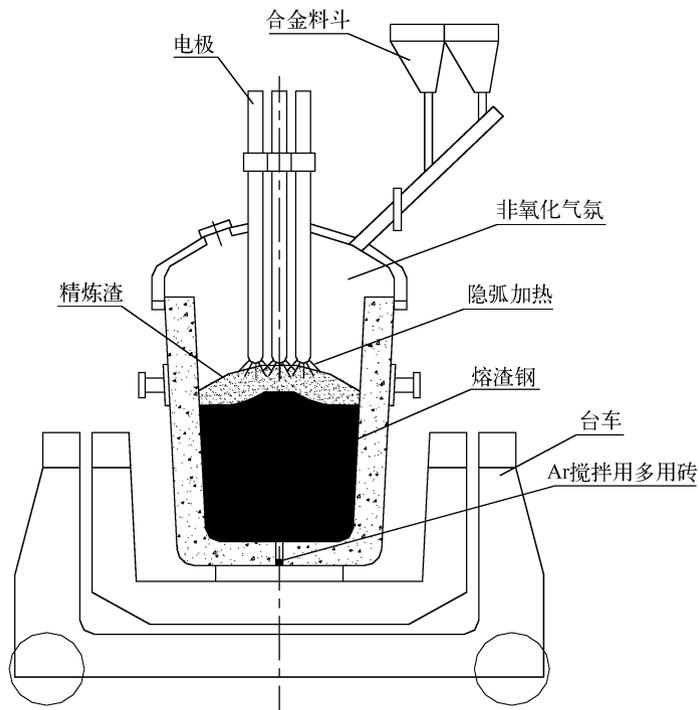


图 1 2 号 LF 炉设备示意图

反应和夹杂物上浮。喂丝完成后，在钢液面撒一层碳化稻壳保温剂，然后由吊车将钢包吊到大包回转台上等待浇注。首钢第二炼钢厂 2 号 LF 炉精炼流程见图 2。

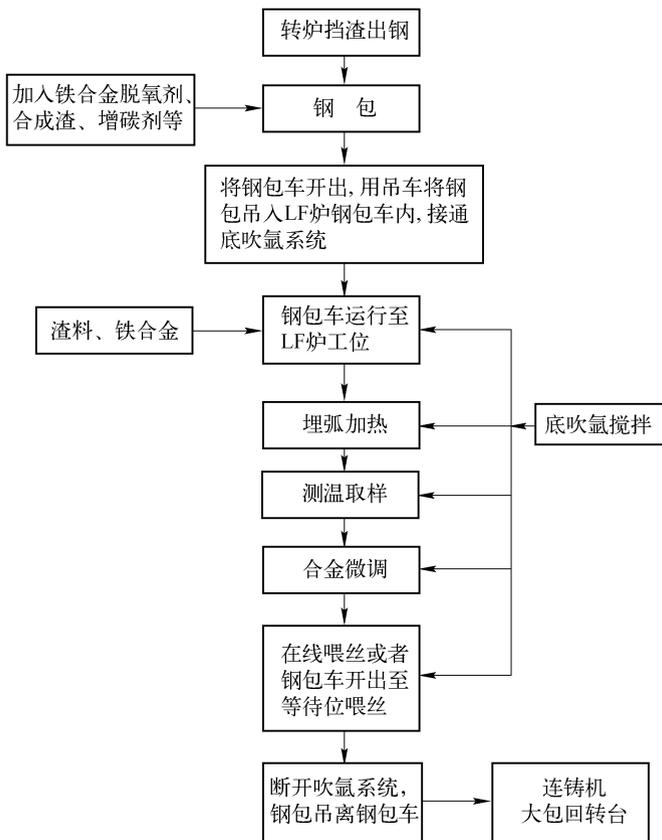


图 2 2 号 LF 精炼流程图

2 2号LF炉主要机械组成及性能参数

2.1 钢包

LF炉精炼设备处理钢液的容器,就是炼钢所采用的钢水包,由于在处理钢液造白渣时,渣液蓬松升高,所以对于LF装置所需的钢包,其钢液面至包沿应留有一定的自由空间,以便防止吹氩和埋弧加热时钢渣外溅。经过长时间的生产实践,钢包自由空间应有500~600mm。

LF炉配以钢包底吹氩操作,效果显著。钢包底吹氩即将钢包底部透气砖内的吹氩管在精炼工位与外部吹氩管相接,实现吹氩搅拌。管线的切换采用快速接头,大大的提高了接管作业率。本次设计是在原钢包的基础上采用加高扩容的方法。这样既节省了投资,也缩短了加工制造周期,首钢第二炼钢厂经过加高后的钢包主要参数如下:

钢包上口直径: 3269 mm

钢包下口直径: 2695 mm

自由空间高度: 450 mm

2.2 钢包车

钢包车是钢包到达LF炉各工位的输送工具。钢包车传动方式为机械传动,钢包车用两台电动机驱动,采用变频调速对速度进行控制,在精炼工位时,要求对位准确,停车误差控制在 ± 10 mm以内。为此,在精炼位每台车各设置了三个接近开关,分别用来控制钢包车的减速、停止和过行程保护。

钢包车的电源线、控制线及氩气软管通过拖缆装置送到钢包车上,拖缆装置一端固定在轨道上,另一端固定在车体上。

主要性能参数:

| | |
|---------|------------------------------|
| 钢包车承载能力 | 350 t |
| 钢包车运行速度 | 2.22 ~ 22.2 m/min |
| 钢包车定位精度 | ± 10 mm |
| 钢包车驱动方式 | 电机驱动 |
| 驱动电机功率 | 2 × 37 kW |
| 输出转速 | 585 r/min |
| 钢包车行程 | 1号车 16145 mm 2号车 16500 mm |
| 钢包车轨距 | 4800 mm |
| 钢包车轮距 | 6000 mm |

2.3 电极升降装置

电极升降装置包括电极升降立柱及菱形导向装置两大部分。升降立柱为方钢和钢板焊接而成的坚固焊接箱式结构,立柱内装有柱塞式液压缸,驱动立柱和导电横臂,实现电极的升降动作。每根升降立柱均由上下两层的菱形导向装置导向支承。每层导向装置四角装有导向辊组,辊组与立柱的间隙由偏心轴调节;辊组采用干油集中润滑。导向辊组密封在保护套内,在导柱上端有电极臂支架用以支承导电横臂。

主要性能参数:

| | |
|---------|----------------|
| 电极升降速度 | |
| 人工模式 | 100 ~ 200 mm/s |
| 自动模式 | 120 ~ 150 mm/s |
| 电极升降行程 | 3200 mm |
| 升降液压缸直径 | $\phi 125$ mm |
| 液压缸工作压力 | 14 ~ 16 MPa |

2.4 导电横臂

导电横臂是用来连接电极升降立柱和电极之间的设备，它主要的作用是支承电极，传导二次电流。它一端通过水冷电缆与二次短网相接，另一端与电极相连，构成完整的二次回路。导电横臂由铜钢复合板焊接而成，铜板在箱形电极臂的外面。结构简单可靠，并进行强制水冷，以保证足够的热态强度及刚度。端头装配有电极夹紧放松机构，为弹簧抱紧，液压油缸放松。导电横臂通过绝缘支座与升降立柱连接。

三相横臂布置紧凑，以减小电极节圆直径。

电极臂的布置力求从变压器到电极的二次短网系统的电抗不对称性达到最小。

电极夹持装置集成在电极臂中，必要的高夹持压力通过一个盘式弹簧组件获得，夹持系统的松开是通过一个液压缸实现的。液压缸集成在电极臂内，电极把持器由冷却水强化冷却，并对电极与电极臂采取电绝缘。

主要性能参数：

| | |
|-----------|-----------------------|
| 导电横臂断面尺寸 | 370 × 580 mm |
| 横臂联接电缆的间距 | 300 mm |
| 三相电极横臂中心矩 | 600 × 600 |
| 夹持液压缸直径 | φ180 mm |
| 液压缸工作行程 | 37 mm |
| 液压缸工作压力 | 24 MPa |
| 电极直径 | φ450 mm |
| 电极节圆直径 | φ800 mm |
| 电流密度 | 5.2 A/mm ² |

2.5 水冷包盖

水冷包盖在精炼中的作用是盖住钢包，在电弧加热、成分微调以及其它操作期间减少能量损失，提高加热效率。2 号 LF 炉水冷包盖由上下两部分组成，下部为水冷管式密排结构的倒锥筒部分，为满足精炼工艺的需要，在包盖上设有如下开孔：测温取样孔、加料孔、测压孔、事故搅拌枪孔和观察孔；上部为水冷箱式结构的垂直包盖部分，上设三个电极插孔和一个排烟孔，钢包炉中产生的烟气通过一段水冷废气管道从水冷包盖的上部的排烟口排出。上下包盖的内壁涂上 50 mm 厚的耐火材料层，对包盖进行隔热保护。对于电极插入部分顶部耐材则采用绝缘性好、耐热度高的刚玉质打结料整体成形。

测温取样孔和加料孔通过专用的气动门开闭，观察孔上设有气帘，防止炉内烟气外溢。

为了使进入电极孔的空气减少到最低程度，设置了三个陶瓷密封套。在废气管道固定管道上装有一个调节阀，可控制废气的流量和调节炉内压力。

主要性能参数：

| | |
|-------|--------------------------|
| 包盖内直径 | φ4700 mm |
| 包盖高度 | 2490 mm |
| 冷却水量 | 170 m ³ /h |
| 排烟量 | 50000 Nm ³ /h |

2.6 包盖升降机构

包盖升降机构用于钢包盖支撑及其升降，通过包盖升降机构的液压缸伸缩进行升降动作，应保证钢包盖升降的平稳及钢包盖的水平。其结构类似于电极的升降机构，也是由立柱、液压缸和辊式导向系统等组成。包盖柱的支撑和导向与电极的提升系统相互独立。

其组成包括：升降立柱、液压缸、导向轮、立柱定位销及限位开关等。

升降立柱上部为一叉形三点支架结构，一端与包盖相接，另一端连接在立柱上。包盖支架也是包盖冷却水的分配器，为包盖各个水冷装置提供冷却用水。

主要性能参数:

| | |
|---------|-------------|
| 包盖升降行程 | 1300 mm |
| 包盖升降速度 | 30 mm/s |
| 液压缸直径 | φ180 mm |
| 液压缸工作压力 | 14 ~ 16 MPa |

2.7 二次短网

LF 炉变压器输出侧的电流很大, 一般都在几十千伏以上, 因此通常把 LF 炉变压器二次出线端以后部分叫做高电流系统, 也称之为二次短网。二次短网由挠性补偿器、穿墙水冷铜管、联接端子、大截面水冷电缆、防磁支架和绝缘设备等组成。变压器二次出线端与水冷铜管的起始端之间, 采用的是软铜绞线柔性补偿器, 可以消除热膨胀、电动力对固定件的影响。由于大电流通过时会产生较大的磁场, 周围的钢结构被反复磁化后产生热效应, 会引发安全事故, 因此穿墙铜管以及水冷电缆的支承处均由非导磁不锈钢的支架承托, 并用绝缘件衬垫。

主要性能参数:

| | |
|----------|-------------------------|
| 水冷电缆电流密度 | 5.2 A/mm ² |
| 电缆截面 | 4032 mm ² |
| 电缆阻抗 | ≤2.6 mΩ |
| 冷却水量 | 6 m ³ /(h·根) |
| 水冷电缆根数 | 2+2 |
| 三相阻抗不平衡度 | ≤4% |
| 水冷电缆长度 | 6500 mm |

2.8 加料系统

LF 炉加料系统的主要作用是向钢包内投加铁合金、废钢和造渣材料。该系统是由储料仓、称量斗、电振给料机、皮带机、汇总斗、加料溜槽和气动插板阀组成。钢液所需原料定量进入汇总斗后, 顺着插入包盖的溜槽加入钢包内。根据精炼工艺需要, 溜槽应能随包盖升降; 并且在不加料时, 溜槽口应封闭, 以保持炉内的还原气氛。

首钢第二炼钢厂 2 号 LF 炉加料系统溜槽分为两段, 下段焊接在包盖上, 上段固定在平台支架上。上段设有气动插板阀, 加料时打开阀门, 不加料时关闭此阀门, 以便保持炉内的还原气氛。两段接口处为套管结构, 通径小的上段直接插入通径大的下段, 上段带有活套法兰, 两法兰之间填入密封材料, 既保证了溜槽的升降, 又解决了动密封问题。

3 2 号 LF 炉设备设计的难点

由于 1 号 LF 炉主要设备都由奥钢联设计和供货, 奥钢联当时没有提供首钢详细设备图纸, 给我们进行国产化设计带来一定困难。在二炼钢厂的大力支持和积极配合下, 首钢设计院组织设计人员仔细研究引进的 1#LF 炉设备、消化有关设备资料和外方基本设计图纸, 分析讨论设备结构, 最终了解和掌握了关键设备技术要点。

4 2 号 LF 炉设备设计的优化

2 号 LF 炉的设计不是对 1 号 LF 炉的简单复制, 而是在消化吸收 1 号 LF 炉技术资料 and 图纸的基础上, 吸收 1 号 LF 炉的优点, 结合首钢第二炼钢厂 1 号 LF 炉的使用经验和改造意见, 优化 2 号 LF 炉的设计, 在设计中主要对以下几方面进行了设计优化:

(1) 为保证 LF 炉钢水精炼的高效处理, 2 号 LF 炉设立了独立的渣料及合金加料系统, 同时兼顾 1 号 LF 炉与 2 号 LF 炉加料系统的公用性。2 号 LF 炉设计时优化了合金、渣料加料系统, 设置了 14 个料仓以满足钢水精炼和成分调整的要求, 其中考虑了 4 个料仓可分别向 1 号 LF 炉和 2 号 LF 炉双向送料, 且 1 号

LF 炉全部料种可向 2 号 LF 炉加料。

(2) 铁合金加料系统电振给料机采用变频调速技术, 实现合金的精确给料, 满足精炼处理对钢水成分的准确控制。

(3) 配置了大功率喂丝机, 采用变频调速, 缩短喂丝时间, 喂丝速度最大 12 m/min。配置了一台在线喂丝机和两台离线喂丝机, 喂丝操作方便灵活。

(4) 电极提升装置结构形式为三相三臂独立基架式, 三相电极分别由液压缸升降调节。包盖提升机构也采用导向式立柱液压升降。

(5) 强化了电极升降立柱结构, 增强了电极导电横臂的稳定性, 减少了导电横臂的颤动, 降低了电极的三相不平衡度。为了增强立柱的强度和刚度, 将外方设计的 1 号 LF 炉立柱截面由 320 × 280 改为 460 × 280; 导向装置长度由 965 改为 1032; 导向装置安装处门型架高度方向定位尺寸加高 50 mm。

(6) 导电横臂采用铜-钢复合材料、箱型水冷结构设计及空间布置, 保证了导电横臂本体的强度和刚性, 同时具有较大的自几何均距。在保证相互不短路的条件下, 优化了电极分布圆直径, 有效地提高包衬使用寿命和加热效果。导电横臂截面尺寸由 300 × 500 改为 370 × 580, 通过以上设计不仅增大了通流面积, 而且也增强了立柱和电极臂的强度和刚度, 使设备布局更加合理, 设备运行更加安全可靠。

(7) 电极升降及包盖升降导向装置采用门型架方式, 结构新颖, 可靠, 电极及包盖的升降稳定, 有效防止了设备机械负荷及交变电磁力负荷引起的颤动。

(8) 设备冷却水系统采用不锈钢管路和闭路循环系统, 改善水质, 避免外界对水质的污染, 避免设备冷却水中断烧损重要部件的发生。

5 结束语

首钢第二炼钢厂 2#LF 钢包精炼炉的建成打破了以往大型 LF 炉靠引进国外技术的先例, 它是首钢首次在大型 LF 炉项目上, 完全立足于自行设计, 自主集成, 并全部国产化的一次全新尝试。该项目由首钢设计院技术总负责, 首钢自动化信息技术公司和首钢第二炼钢厂协同配合共同完成。2#LF 炉成功投产, 表明我们首钢在消化引进国外先进技术又向前迈了一大步, 我们完全有能力自主集成和优化设计各种大中型 LF 钢包精炼炉。

参考文献

- [1] 张鉴. 炉外精炼的理论与实践. 北京: 冶金工业出版社, 1993. 12.
- [2] 赵沛. 炉外精炼及铁水预处理实用手册. 北京: 冶金工业出版社, 2004. 6.
- [3] 冯聚和. 铁水预处理与钢水炉外精炼. 北京: 冶金工业出版社, 2006. 6.
- [4] 杨楚荣. 大型 LF 钢包精炼炉自主集成与实践. 全国炼钢—连铸生产技术会议文集, 2008. 7.