

120 t 级大型电渣重熔炉设备优化设计

刘喜海¹ 贾维国¹ 贾明兴¹ 王长周¹ 唐作滨² 赵林²

(1 东北大学, 沈阳 110004; 2 中国第一重型机械集团公司, 齐齐哈尔 161042)

摘要 东北大学大型电渣炉研发中心(东大兴科冶金技术有限公司)采用创新理念设计研发了120 t级大型电渣炉重熔设备。该设备采用了3台单相变压器,3机架,3立柱+横臂旋转双极串联模式。结晶器采取两节分体式组合叠加构成。机械运行系统全部采用液压传动。在控制系统总体采用PLC网络化控制,对熔速、称重、电流电压、自动交换电极等采取智能化控制。在热试与生产中,设备达到设计要求,获得了良好的冶金效果。

关键词 120 t级大型电渣炉 三相双极串联 液压传动 智能化自动控制

Optimizing Design of Equipments for an 120 t Large Electroslag Remelting Furnace

Liu Xihai¹, Jia Weiguo¹, Jia Mingxing¹, Wang Changzhou¹, Tang Zuobing² and Zhao Lin²
(1 Northeastern University, Shenyang 110004; 2 China First Heavy Industries Group Co, Qiqihaer 161042)

Abstract Large-Scale Electroslag Furnace R&D Center, Northeastern University (Shenyang Dongda Xingke Metallurgical Technology Co Ltd) has designed and manufactured an 120 t large electroslag remelting furnace with advanced new idea. The mode of 3 sets of single-phase transformer, 3-stands, 3-pillars + double electrode series with cross arm rotating is adopted for the unit. The crystallizer consists of two separated parts assembled and piled up. The liquid pressure transmission is used in all mechanical running system. The PLC web-net control is adopted in whole control system and the intelligent control is used to control remelting speed, weighing, current, voltage and automatically changing electrodes etc. The equipment met the requirement of design to get excellent metallurgy effects in pilot and commercial production.

Material Index 120 t Large Electroslag Remelting Furnace, 3-phase Double Electrode Series, Liquid Pressure transmission, Intelligent Automatic Control

2009年,由国家工业和信息化部牵头组织,中国第一重型机械集团公司(简称中国一重)、东北大学(东北大学大型电渣炉研发中心)共同承担《大型电渣重熔炉设备》国家重大科技专项课题“120 t级大型电渣重熔炉”设备于2010年4月在中国一重试制成功。并于5月31日首次进行热试验,并于6月、8月和10月先后3次成功地生产出100 t、80 t级大型电渣钢锭。

从此,为中国一重生产大型核电转子锻件、管筒锻件、环形锻件、轴类锻件、盘类锻件、核反应器锻件等高端产品开辟了电渣冶金新工艺路线。东北大学大型电渣炉研发中心(东大兴科冶金技术有限公司)采用创新理念设计研发了120 t级大型电渣炉重熔设备。

1 120 t 级大型电渣重熔炉设备的创新理念

120 t级大型电渣重熔炉的工艺设计理念是在总结、研究了上重厂200 t级大型电渣炉的成功经验与不足之处,并探讨了德国萨尔钢厂(Saarstahl)165 t大型电渣炉、前苏联克拉玛托斯克ЗЩП-50 t大型

电渣炉、日丹夫重型机器厂($y_m-100 A$)大型电渣炉等国外典型大吨位电渣炉的设计结构与运行状态的基础上,确定了采用是3台单相双极串联电渣炉组合成为120 t大型电渣重熔的基本设计方案。

1.1 120 t 级大型电渣炉炉体构成^[1]如图1所示

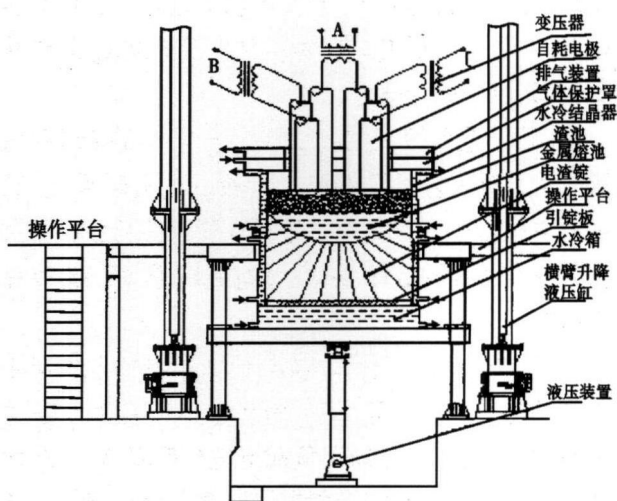


图1 120 t 级三相双极串联电渣重熔炉示意图

Fig. 1 Schematics of 120 t electroslag remelting furnace with 3-phase double electrode series circuit

(1) 采用 3 个单相变压器供电、3 机架、3 立柱 + 横臂旋转双极串联构成设备主体。结晶器采取两节分体组合方式进行电渣重熔; (2) 采用 3 相双极串联、6 支石墨电极炉内启动化渣工艺; (3) 采用 3 相双极串联、6 支金属电极进行电渣重熔工艺; (4) 采用具有抽锭程序(后备)装置熔位设计; (5) 配置组合结晶器叠加、小车运送设计; (6) 炉体机械传动系统, 采用全液压传动设计。

1.2 120 t 级大型电渣重熔炉设计创新点

(1) 建立炉型设计研究策略。结合国内外大型电渣炉炉型设计的最新研究和进展、分析多种炉型设计的优缺点, 优化大型电渣炉的设计。

(2) 建立大型电渣炉炉体结构分析模型。通过 ANSYS 有限元进行炉体大型结构力学计算分析, 对大型电渣炉关键零部件进行有限元分析, 研究机械强度的可靠性。采用三维实体软件 Pro/Engineering 建立电渣炉横臂、立柱及结晶器的实体模型。为结构的优化设计提供理论依据和指导。

(3) 机械装置传动系统采用全液压功能。采用国际先进的液压系统仿真软件 DSHPIUS 进行液压系统的原理建模, 通过施加运动条件和液压系统参数, 进行液压系统的参数考核与性能分析。

(4) 总体控制系统设计实现全过程智能化自动控制。用 WINCC 组态软件, 采用 PLC 网络化控制, 完成数据采集、逻辑连锁、控制信号综合及控制命令输出功能。实现熔速修正自动控制、自动换电极控制, 冷却水的压力、流量、进出口水温实时采集与监测及对气体保护系统的压力流量其它辅助设备控制^[2,3]。

(5) 采用三相六支电极自动换电极装置设计。在控制上采用软测量技术实现剩余金属电极长度的计算, 并采用 S 形曲线控制方法。实现电极自动升降、旋转及快速准确定位。

(6) 工艺参数及实时量动态显示与故障预警功能设计。对工艺参数及实时量等进行实时采集、通过形象化图形动态显示。根据连锁条件及数据异常判断进行系统的故障预警, 具有故障数据存储和分析功能。

(7) 供电短网设计。供电系统采用 3 台单相变压器供电, 频率为 50 Hz。为防止设备发生电磁共振的危害, 变频器可以在负载下进行频率调控, 减少外电路的影响以及炉子大电流回路的电抗损耗。全程实现弱感抗短网系统设计, 较好解决供电三相平衡问题^[4]。

2 120 t 级大型电渣炉主要技术特性

120 t 电渣炉设备工艺技术参数^[1]见表 1。

表 1 120 t 电渣重熔炉工艺技术参数

Table 1 Technology parameters of 120 t electroslag remelting furnace

项目	三臂交替参数
生产能力/(t·炉 ⁻¹)	120
假电极直径/mm	Φ300
假电极长度/mm	~2 600
金属电极直径/mm	Φ250~500
金属电极长度(有效)/mm	2 500~4 500
金属电极质量/kg	5 000~10 000
冶炼时工作行程/mm	3 600
最大行程/mm	4 800
快速升降速度/(mm·min ⁻¹)	2 000~6 000
慢速升降速度/(mm·min ⁻¹)	2~20
结晶器平台升降快速/(mm·min ⁻¹)	1 000~2 000
结晶器平台升降慢速/(mm·min ⁻¹)	1~10
结晶器平台行程/mm	3 000
电极交换时间/(s·次 ⁻¹)	360
每炉结晶器叠加次数/(次·炉 ⁻¹)	1
变压器额定容量/kVA	4 200×3
变压器额定电压/V	35 000/60~128
变压器额定电流/A	120/32 810
变压器相数	单相

3 智能控制系统总体设计与实现

3.1 智能控制系统的结构设计

120 t 级大型电渣重熔设备全程智能控制系统的设计, 主要包括电渣重熔控制、熔速控制、递减功率控制、工艺参数及实时量动态显示与故障预警控制、气体保护、冷却水控制系统和自动换电极装置的设计。

针对系统的时变及非线性特点, 采用自适应技术、神经网络解耦控制技术、模糊迭代自学习控制技术和串级综合控制技术、建立熔速智能控制器, 实现电渣重熔全过程的自动化^[5,6]。

3.2 重熔速度检测控制技术

熔速检测系统主要由称重传感器、称重仪表、数据转换通信接口、PLC 构成, 从信号检测、变换、传输上都充分考虑了抗电磁性和抗高温性。

电渣炉称重信号不可避免的受到电磁干扰、机械传动干扰等影响, 虽在硬件上采用抗干扰措施, 但却无法消除, 而熔速的计算属于求导, 对于干扰异常敏感^[7]。为此在熔速计算上提出了基本小波变换的子带自适应滤波算法^[7]。

基速计算模型:

$$\Delta L_{\text{极}} \times M_1 = \Delta L_{\text{锭}} \times M_2; \quad S = \Delta L_{\text{极}} - \Delta L_{\text{锭}}$$

$$V_{\text{熔}} = \frac{M_1 \times \Delta L_{\text{极}}}{t}; \quad V_{\text{极}} = S/t = \frac{V_{\text{熔}}}{M_1} - \frac{V_{\text{熔}}}{M_2}$$

式中: M_1 - 电极单位长度质量/($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$); M_2 - 锭单位长度质量/($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$); $\Delta L_{\text{极}}$ - 电极长度变化量/($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$); $\Delta L_{\text{锭}}$ - 锭的高度变化量/($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$); $V_{\text{熔}}$ - 熔化速度/($\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$); t - 时间间隔/s; $V_{\text{极}}$ - 自耗电极进给速度/($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$); S - 电极行程/mm。

基本速度迭代学习修正模型:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n}; \quad u_{k+1}(t) = u_k(t) + \Phi(U)$$

式中: U - PID 控制器输出窗口平均值/v; u_i - PID 控制器输出采样值/v; n - 一个窗口时段内采样次数; $u(t)$ - 基速($k=0, 1, 2, \dots$ 为迭代次数)/v; $\Phi(U)$ - 修正函数。

串级 + 基速前馈 + 迭代学习 + PID 自适应控制。

4 120 t 级电渣重熔炉短网设计

4.1 短网功能化与特点

(1) 采用 3 个单相变压器平行逆相布线结构 + 系统防磁设计技术。可实现 3 个变压器同时工作进行熔炼, 也可以实现单个变压器工作进行熔炼;

(2) 双极串联短网采用两相平行多股密排细径水冷电缆 + 中性点连接结构, 并可以实现换电极操作, 单相电渣炉重熔;

(3) 短网整体设计基于同轴原理的无磁导电原理;

(4) 短网电流检测, 采用二次电流检测(0.2 级)精度, 霍尔元件电流变换器, 变换器输出 4 ~ 20 mA、0 ~ 5 V, 检出电流 0 ~ 50 kA;

(5) 采用超强冷却 + 耐高温防漏技术的板式导电底水箱。

4.2 短网结构

(1) 短网由变压器、铜管、水冷电缆、互感器、电极夹持器、底水箱、连接件、固定件等部件组成;

(2) 导线回路采用双极串联铜管平行逆相布线结构;

(3) 水冷电缆采用多股细径密排水冷电缆;

(4) 双极串联设有中线, 3 个中线并于底水箱上;

(5) 电极夹持器采用半开式结构, 液压自动合、分, 双极可实现离线伸缩;

(6) (0.2 级) 精度, 霍尔元件电流变化器。

5 结论

(1) 此台 120 t 级大型电渣炉是我国第 2 台百吨级以上大型电渣重熔设备。在设备的结构设计与控制上不同于目前国内外的普通大型电渣炉。采取了多项创新设计技术。

(2) 在短网、电路设计上具有独到之处。采用了三相双极串联供电, 显著减小了网路和导电系统的电能损失, 降低了电耗。

(3) 在机械传动系统, 实现了整体采用液压传动技术, 设备运行准确、稳定、功能完善。对超大型电渣炉采用全液压控制技术起到了先导作用。

(4) 对炉体操作和工艺控制系统实现了全程智能化控制。在设计中考虑了所有可用的信息, 通过模拟获得实际应用。

(5) 120 t 级大型电渣重熔炉的正式投产, 标志着该台设备已完全具备为超超临界电站高中压转子、核电主管道等用大型锻件提供高质量、高纯度、高端大型电渣钢锭的生产能力。

国家“十一五”《高档数控机床与基础装备》科技重大专项“大型电渣重熔炉设备”子课题(2009ZX04006-32)

参考文献

- 宋锦春, 刘喜海. 120 吨级大型电渣炉总体方案设计. 沈阳: 东北大学, 2007: 9
- Hotzgruber W. New ESR Technology for New Improved Products. Proceeding of 7th International Conference on Vacuum Metallurgy. Tokyo Japan, 1982(3): 1452
- Stein G. Industrial Manufacture of Massively Nitrogen Alloyed Steels in a Pressure ESR Furnace. Steel Times, 1989, 217(3): 3
- Medorarl B, Stovpchenko A P, Fedordvsky B B, et al. 提高锻造用钢锭的新方法生产大型钢锭的多功能 ESR 工业原理. 中国国际自由锻会议 2010 论文集. 成都, 2010: 19
- 贾明兴, 王 维. 电渣炉迭代学控制方法与应用: [博士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2009
- 李 磊. 120 吨级大型电渣炉智能化解耦控制研究: [博士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2008
- 李秋新, 贾明兴. 电渣炉软测量技术及应用: [博士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2008

刘喜海(1963-), 男, 副教授, 大型电渣炉冶金理论、工艺研究, 装备设计与制造。现为国家“十一五”科技重大专项“大型电渣重熔炉设备”课题负责人。并曾组织三峡水利电站工程电渣熔铸导叶项目及电渣熔铸巨型板坯重大科技项目。

收稿日期: 2010-11-03