

电渣炉横臂升降装置液压伺服控制系统研究

王长周, 宋锦春

Hydraulic Servo Control System Study of Cross Arm Lifting Device for Electric Slay Furnace

WANG Chang-zhou, SONG Jin-chun

(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要:电渣重熔是特种冶金的主要手段之一。决定电渣产品质量的关键因素是电极熔化速度,而熔化速度的控制主要体现在横臂升降装置速度的控制上。该文对某型电渣炉的电极升降系统进行了改进设计,采用大尺寸液压缸代替传统的滚珠丝杠传动系统,并采用电液伺服阀实现对液压缸的速度控制;建立了系统的数学模型,并进行了对控制系统的仿真分析。

关键词:电渣炉;横臂升降装置;伺服控制;系统建模;仿真研究

中图分类号:TH137 文献标志码:B 文章编号:1000-4858(2012)07-0032-04

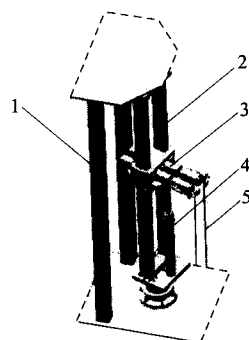
0 前言

电渣重熔是特种冶金的主要手段之一。经过电渣重熔的钢以其高纯度、组织质密和良好的机械性能成为各种高级钢和特殊钢的首选,被广泛应用在航空、航天、军工、能源工业等具有特殊要求的场合。决定电渣炉产品质量的关键因素是熔化速度,而熔化速度的控制主要体现在电极升降速度的控制上^[1]。传统电渣炉的电极升降系统是采用滚珠丝杠系统进行传动,此种传动系统易受机械加工误差、机械结构磨损、控制响应频率低等问题的影响,而不能实现熔速的精确控制,从而影响产品质量^[2]。本文采用液压系统实现电极的升降控制,采用大尺寸液压缸作为电极升降的传动执行元件,采用电液伺服阀控制电极升降的速度。采用液压系统作为动力装置具有系统刚度大、结构简单、故障率低、可靠性高且易于操作和维护等优点。

1 电渣炉横臂升降装置的改进设计

电渣炉给料系统机械装置包括立柱、导电横臂、横臂驱动装置。传统电渣炉的横臂驱动装置是伺服电机+滚珠丝杠。由于电渣炉的电横臂的举升高度通常为3~10 m,且电渣炉横臂及其所携带的电极重量通常为几吨至十几吨,要求作为驱动装置的滚珠丝杠的尺寸往往较大,而为了满足控制精度又要求其加工精度很高,使得电渣炉滚珠丝杠在很大程度上依赖进口,因此带来很高的制造成本。另一方面,采用伺服电机驱动

滚珠丝杠,把旋转运动转化为直线运动进而驱动导电横臂升降的形式,控制的中间环节较多,在机械结构上存在安装精度误差、机械磨损、机械效率降低等方面的问题,影响了横臂下降速度的控制精度,进而影响电渣重熔的熔速控制精度。为解决上述问题,本文采用大尺寸液压缸作为横臂升降的驱动装置,对电渣炉给料系统进行改进设计。改进设计后的电渣炉横臂升降装置三维实体模型如图1所示。



1. 支承 2. 立柱 3. 横臂 4. 液压缸(内置位移传感器) 5. 电极

图1 电渣炉横臂升降装置三维模型

收稿日期:2012-02-01

基金项目:国家“十一五”机床重大专项课题(2009ZX04006-032)

作者简介:王长周(1981—),男,河南商水人,讲师,博士研究生,主要从事液压传动与控制方面的教学与研究工作。

改进设计后,电渣炉横臂由液压缸驱动,并由高精度位移传感器进行位置检测与反馈,形成闭环系统,采用电液伺服阀进行液压缸的速度控制。这种驱动与控制形式的机械系统只有一条液压缸,且直接作用于导电横臂,避免了其他转换环节。而且,液压系统本身具有刚度大、功率重量比大、频响高等优势,可以实现对导电横臂的快速、精确控制。优化设计后的导电横臂液压系统原理如图2所示。

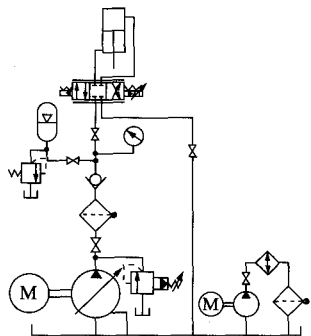


图2 横臂升降液压系统原理图

2 伺服控制系统建模

本文所采用大尺寸液压缸为非对称液压缸。对于横臂升降装置的伺服控制系统,应按照阀控非对称液压缸系统进行建模,其控制方框图如图3所示。

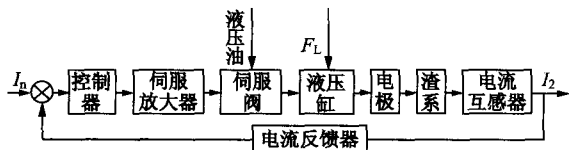


图3 横臂升降装置伺服系统控制框图

2.1 液压缸数学模型

非对称液压缸的数学建模从活塞杆收缩和伸出两个方面进行。

1) 活塞杆收缩 (\$x_v \geq 0\$)

前提:伺服阀是零开口四边滑阀,四个节流窗口是匹配对称的,供油压力 \$p_s\$ 恒定,回油压力 \$p_0\$ 为零。

对指令输入 \$X_v\$ 的传递函数为:

$$\frac{X_p}{X_v} = \frac{\frac{k_q}{A_1}}{s \left[\frac{s^2}{\omega_h'^2} + \frac{2\zeta_h'}{\omega_h'} s + 1 \right]} \quad (1)$$

对于干扰输入 \$F_L\$ 的传递函数为:

$$\frac{X_p}{F_L} = \frac{\frac{k_{ce}}{A_1^2} \left(1 + \frac{V_t}{4k_{ce}\beta_e} s \right)}{s \left[\frac{s^2}{\omega_h'^2} + \frac{2\zeta_h'}{\omega_h'} s + 1 \right]} \quad (2)$$

式中, \$\omega_h\$ 为液压固有频率; \$\zeta_h\$ 为液压阻尼比; \$k_q\$ 为流量增益; \$k_{ce}\$ 为总流量-压力系数; \$\beta_e\$ 为有效体积弹性模量, Pa; \$V_t\$ 为等效容积, \$\text{m}^3\$; \$A_1\$ 为液压缸有杆腔活塞有效面积, \$\text{m}^2\$; \$x_p\$ 为活塞位移, m; \$F_L\$ 为外负载力, N。

2) 活塞杆伸出 (\$x_v \leq 0\$)

对输入指令 \$X_v\$ 的传递函数为:

$$\frac{X_p}{X_v} = \frac{\frac{k_q'}{A_2}}{s \left[\frac{s^2}{\omega_h'^2} + \frac{2\zeta_h'}{\omega_h'} s + 1 \right]} \quad (3)$$

对于干扰输入 \$F_L\$ 的传递函数为:

$$\frac{X_p}{F_L} = \frac{\frac{k_{ce}'}{A_2^2} \left(1 + \frac{V_t'}{4\beta_e k_{ce}'} s \right)}{s \left[\frac{s^2}{\omega_h'^2} + \frac{2\zeta_h'}{\omega_h'} s + 1 \right]} \quad (4)$$

2.2 伺服阀数学模型

一般伺服阀采用二阶振荡环节形式的传递函数。由于在本文所研究的系统中,伺服阀的动态响应大大高于系统负载的响应,可以把伺服阀看作一阶惯性环节^[3]。

电液流量伺服阀的二阶近似传递函数:

$$W_{sv}(s) = \frac{K_{sv}}{1 + \frac{2\zeta_{sv}}{\omega_{sv}} s + \frac{s^2}{\omega_{sv}^2}} \quad (5)$$

式中, \$W_{sv}(s)\$ 为伺服阀的传递函数; \$K_{sv}\$ 为伺服阀增益; \$\omega_{sv}\$ 为伺服阀频宽; \$\zeta_{sv}\$ 为阻尼系数。

将放大器简化为比例环节^[14], 则:

$$W_a(s) = K_a \quad (6)$$

式中, \$W_a(s)\$ 为伺服放大器传递函数; \$K_a\$ 为放大器的比例增益。

2.3 其他环节数学模型^[4] (见图4、5)

1) 电极的送进模型

电渣重熔过程中,电极送进速度将改变电极在渣池中的位置。由于随着熔化的进行,电极不断缩短而钢锭逐渐上涨,电极的熔化将增加电极与渣金界面的距离,而钢锭的熔化将减少电极与渣金界面的距离,与之相同液压系统的送进将减少电极与渣金的距离。

电极熔化速度 \$V_{\text{极熔}}\$ 为:

$$V_{\text{极熔}} = \frac{m_{\text{熔}}}{\rho_{\text{极}}} \quad (7)$$

电极在渣池中的位置与活塞位移的传递函数为:

$$\frac{L}{X_p} = -1 \quad (8)$$

$x_v \geq 0$ 时:

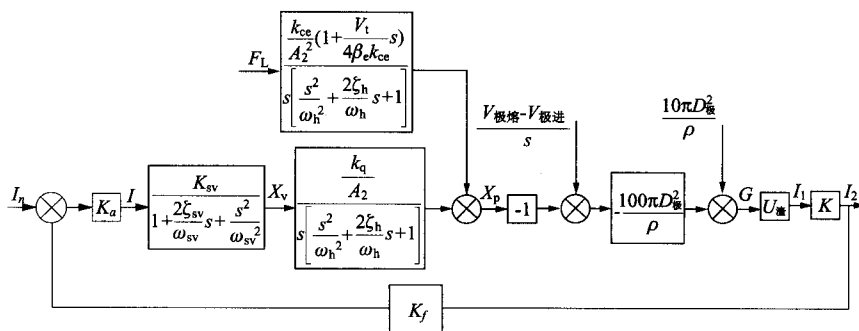


图4 $x_v \geq 0$ 时系统模型方框图

$x_v \leq 0$ 时:

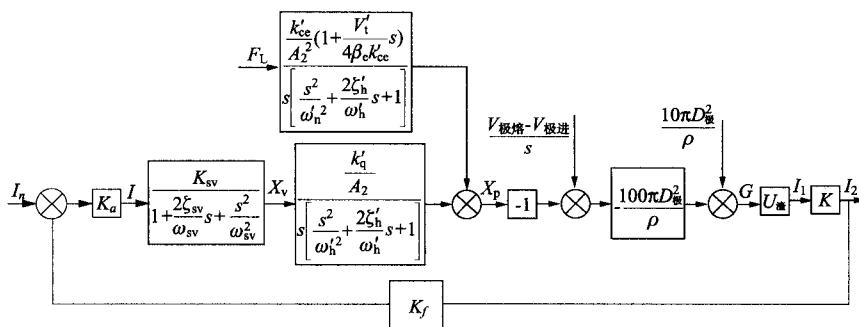


图5 $x_v \leq 0$ 时系统模型方框图

2) 渣阻环节

当电渣炉在高填充比、高电阻率渣、电极浸入深度较小的情况下,电极在渣池内的端面近似为一平面^[15],因此,渣系电阻可简化为

$$\frac{G}{L} = -\frac{100\pi D_{\text{极}}^2}{9\rho} \quad (9)$$

3) 电流环节

由于电渣炉各部分电阻为串联连接,二次电流在各个环节相等。因此可得电流传递函数

$$\frac{I}{G} = U_{\text{渣}} \quad (10)$$

4) 电流互感器环节

电流互感器是电力系统中很重要的一次设备,其实际电流比例公式为:

$$K = N_2/N_1 = I_1/I_2 \quad (11)$$

式中, K 为实际电流比例; N_1 为一次侧线圈匝数; N_2 为二次侧线圈匝数; I_1 为一次侧电流; I_2 为二次侧电流。

5) 电流反馈环节

$$I_n = K_f I_2 \quad (12)$$

2.4 系统总体数学模型

由以上环节的数学模型可得到系统整体的数学模

型如图4、图5。

3 系统仿真研究

对横臂升降系统的电液伺服控制系统引入PID控制算法^[5],经反复修正及调试,得到良好的控制效果,其阶跃响应曲线如图6所示。从仿真曲线可以看出,系统响应时间约为0.55 s,超调量和稳态误差几乎为零,满足电渣冶金过程中的实时控制要求。

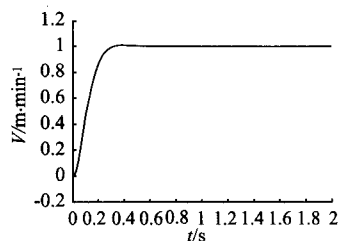


图6 系统阶跃响应仿真曲线

4 结论

对于电渣重熔设备,采用大尺寸液压缸及传感装置取代传统的滚珠丝杠传动装置,大大简化了机械装置,并有效地增大系统刚度、提高了响应频率。通过基于渣阻等环节考虑的系统建模,采用电液伺服控制系统可实现对液压缸活塞杆运动速度的精确控制,进而

便携式水液压教学实验箱研制

朱碧海, 黄 维, 贺小峰

A Portable Teaching Experiment Apparatus for Water Hydraulic

ZHU Bi-hai, HUANG Wei, HE Xiao-feng

(华中科技大学 机械学院机电系, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 基于水液压技术研制了一种水液压教学实验箱, 该箱体包括: 电气隔箱、电机泵隔箱和实验台安装隔箱及相应的测试系统。该实验箱采用集成化、通用化的设计方法使之具有便携的特点; 采用水代替油作为传动介质, 可以避免油液污染环境和操作不便, 提高了教学实验中中学生自己动手操作的主动性和积极性。

关键词: 水液压技术; 测试系统; 教学实验

中图分类号: TH137 文献标志码: B 文章编号: 1000-4858(2012)07-0035-02

1 前言

实验教学是学生获得知识的重要途径, 能够培养学生的实际工作能力、科学研究能力和创新能力。《液压与气压传动》作为一门实践性很强的学科, 对于实践教学的要求更为强烈。

而目前的液压实验教学实验设备又存在着诸多的问题, 主要表现在以下的方面:

- (1) 现有液压实验设备笨重、庞大, 整体价格高;
- (2) 液压系统中的传动介质采用普通液压油, 导致实验环境恶劣、脏乱;
- (3) 目前的液压实验从课程出发, 以验证性实验为主, 缺乏实践与创新。

本文介绍一种自行研制的水液压教学实验箱, 该实验箱采用集成化、模块化、通用化的设计方法使之具有便携的特点; 采用水代替油作为传动介质, 可以避免油液污染环境和操作不便, 提高了教学实验中中学生自己动手操作的主动性和积极性。该实验箱是高等学校、职业学院和工矿企业从事教学和工程师培训的理想设备。

实现对电渣炉给料过程的精确控制。

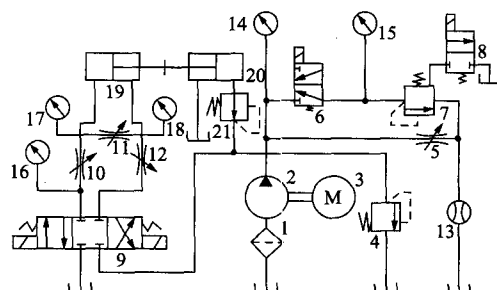
参考文献:

- [1] 李正邦. 电渣冶金原理及应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996: 104-120.
- [2] 陆锡才, 赵渭国. 电渣重熔原理与实践[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1990: 1-4.

2 水液压教学实验箱总体方案

水液压教学实验箱包括这些部分: 液压元件、电气元件、传感器、数据采集卡、测试软件。

水液压实验的原理图如图 1 所示。



1. 过滤器 2. 水液压泵 3. 电动机 4、7. 溢流阀
5、10~12. 节流阀 6. 二位三通电磁阀 8. 二位二通电磁阀
9. 三位四通电磁阀 13. 流量计或流量传感器
14~18. 压力表或压力传感器 19、20. 水液压缸 21. 直动减压阀

图 1 实验原理图

收稿日期: 2012-01-05

作者简介: 朱碧海 (1967—), 男, 湖北罗田人, 副教授, 博士, 主要研究方向为液压传动与控制技术工作。

- [3] 吴振顺. 液压控制系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 1-3.
- [4] Pawlak Z. Rough Set Theory and Its Applications to Data analysis[J]. Cybernetics and System, 1998, 29(7): 661-688.
- [5] 任伟等. 电渣炉电极调节系统的模糊自适应 PID 控制[J]. 人工智能技术应用, 2006, (1): 15-18.