

铜管水平连铸保温炉液位气控系统研究

张远深¹, 谢秉峰¹, 薛飞², 杨海超¹, 胡引弟¹

(1. 兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 甘肃省金属塑性成型装备智能控制重点实验室, 甘肃 兰州 730314)

摘要:针对铜管水平连铸系统保温炉液位气控系统精度不高, 安全性差和残液利用率低的问题, 提出利用电-气伺服系统代替原来的开关阀系统, 为提高控制精度, 加入了PID控制; 对新系统进行数学建模, 利用AMESim软件进行仿真分析, 仿真结果表明, 改进后铸造腔液位波动量很小, 最大误差为1.95mm, 达到了很好的控制效果。

关键词:铜管水平连铸; 保温炉液位; 电-气伺服系统; PID控制

中图分类号:TH137.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-0813(2017)12-0060-05

Research on Liquid Level Pneumatic Control of Copper Tube Horizontal Continuous Casting Insulation Furnace

ZHANG Yuan-shen¹, XIE Bing-feng¹, XUE Fei², YANG Hai-chao¹, HU Yin-di¹

(1. School of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Gansu Province Metal Plastic Molding Equipment Intelligent Control Laboratory, Lanzhou 730314, China)

Abstract: In view of the problem that the accuracy of the gas control system is low, the safety is poor and the utilization rate of the residual liquid is low, proposed the use of electric-gas servo system instead of the original on-off valve system, in order to improve the control precision, PID control is added. Establishing a mathematical model of the new system, the use of AMESim software for simulation analysis, the simulation results show that the fluctuation of the liquid level of the improved cavity is very small and the maximum error is 1.95mm, which has achieved good control effect.

Key words: copper pipe horizontal continuous casting; insulation furnace level; electric-gas servo system; PID control

0 前言

铜管在工业生产和人们的生活中有着重要的应用, 如空调, 无氟冰箱用内波浪铜管, 输水输油管道等。随着国民经济的发展, 铜管的应用领域和应用量都在逐年增加^[1]。目前我国铜管生产较多应用水平连铸, 而在水平连铸的过程中, 铜液泄漏是生产中最常见的生产事故, 往往使铸造过程失败甚至发生爆炸等严重事故。其中铜液的溢出和结晶器中冷却水进入保温炉是造成爆炸事故的主要原因。针对此问题国内外专家采取了很多措施, 其中德国工程师利用高压氮气控制保温炉液位的方法, 最为行之有效。兰州理工大学张远深和刘晓光对气控系统控制策略进行了优化, 提高了控制系统的稳定性和精度, 并在新乡某铜管厂投入应用, 但没用从根本上改变液位波动大的问题。针对此问题, 本文对气动系统的结构进行了改进, 并加入适当的控制策略, 使铸造腔液位高度近似达到恒定。

1 常用保温炉液位气控系统

1.1 保温炉的结构

保温炉划分为了三腔, 分别为进料腔、加压腔和铸造腔, 其结构如图1所示。进料腔接受来自熔炼炉的铜液; 铸造腔侧壁下方开有安装孔, 用来安装结晶器; 在进料腔与铸造腔之间为加压腔, 加压腔为密封结构, 其底部与铸造腔和进料腔相通。对加压腔通入氮气, 通过控制氮气的压力来控制铸造腔铜液的高度。铸造腔上有一个液位传感器, 液位传感器有三个开关分别为:

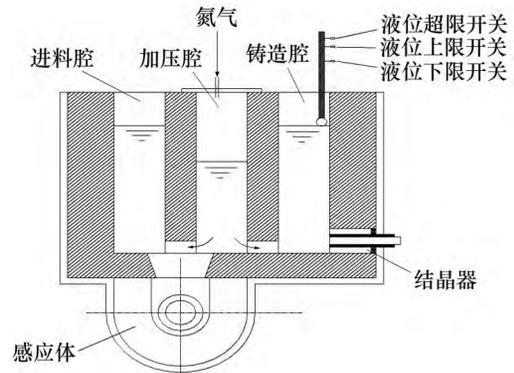


图1 保温炉结构

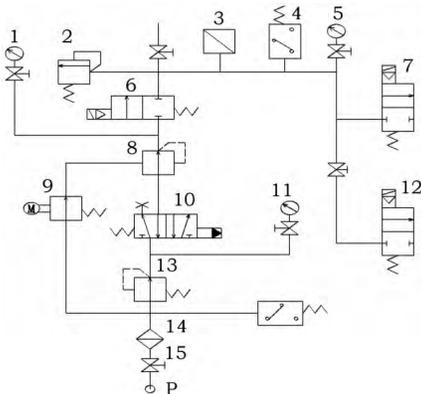
收稿日期: 2017-03-29

作者简介: 张远深(1962-), 男, 辽宁鞍山人, 副教授, 硕士, 主要从事液压、气动方面的科研和教学工作。

液位超限开关(用于放气和报警);液位上限开关(控制液位上限);液位下限开关(控制液位下限)^[2]。

1.2 气压控制系统

气压控制系统的原理如图2所示。当铸造腔液位达到液位的下限时,给PLC一个脉冲信号,经PLC控制器给气控减压阀8的先导数字减压阀9一个控制信号,使气控减压阀8向加压腔供气,增大加压腔的压力,从而使铸造腔液位上升,当液位达到液位上限时,经PLC给数字减压阀一个脉冲信号,停止向加压腔进气,由于加压腔温度很高,氮气受热会迅速膨胀,铸造腔液位会继续升高,当达到超限时,数字开关阀7得电,加压腔卸荷。随着铸造的进行液位会逐渐下降,当达到液位的下限时,会重复进行以上加压过程。



1、5、11-压力表 2-安全阀 3-压力传感器 4-压力继电器 6-换向阀
7、12-数字开关阀 8-气控减压阀 9-数字减压阀 10-主换向阀
13-减压阀 14-过滤器 15-截止阀

图2 气压控制系统

设液位下降为正,铸造腔液位的变化曲线如图3所示,从图中可以看出液位变化量在0~14cm范围内来回波动。

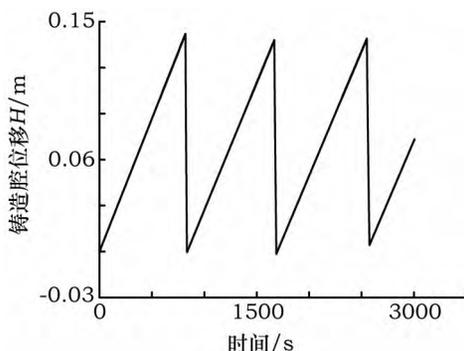


图3 铸造腔位移曲线

此系统有两大缺点:①当加压腔内的铜液耗尽以后,且铸造腔液位达到下限时,加压腔还会不断进气,从而使加压腔内的氮气和石墨鳞片保温层等杂质进入铸造腔,影响铜液温度和铜管质量;②铸造腔液位达到下限时系统进气,达到超限时放气,铜液在较大的范围

内波动,不仅浪费气源能量也会影响铜液温度,从而影响铜管的品质。

2 改进后保温炉和气控系统

2.1 改进后的保温炉结构

改进后保温炉的结构如图4所示,保温炉的基本结构保持不变,把原来只有三个限位开关的传感器,改成图4所示的能连续测量铸造腔液位的传感器。传感器是由全桥电路构成,右半桥的接触点固定,左半桥的触点随着铸造腔液位的变化而变化。两触点输出的电压输入到电压减法器得到铸造腔液位的电压信号。

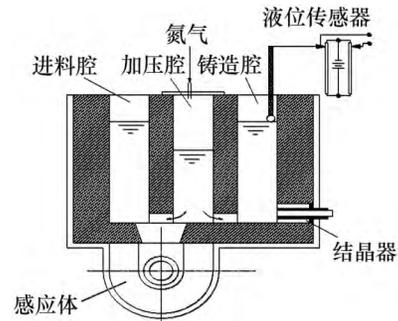
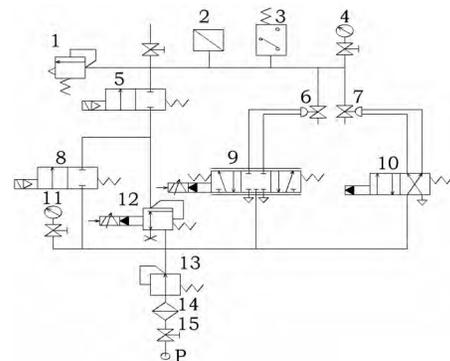


图4 改进后保温炉结构

2.2 改进后的气控系统

改进后气压控制系统的原理如图5所示。将图2中气控减压阀8、数字减压阀9、主换向阀10,换成图5中比例减压阀12来控制进气量,将图2中数字开关阀7和12换成比例换向阀9、带驱动器的球阀6和7、电磁换向阀10来控制排气量。



1-安全阀 2-压力传感器 3-压力继电器 4、11-压力表
5、8-电磁换向阀 6、7-带驱动器的球阀 9-比例换向阀
10-电磁换向阀 12-比例减压阀 13-减压阀 14-过滤器 15-截止阀

图5 改进后气动控制系统

2.3 气压控制逻辑

由于加压腔的温度比较高,所以比例减压阀只能进气不能直接排气。以铸造腔液位的变化量作为输入信号,与液位的理想值相比较产生偏差信号,来控制比例减压阀12的开度从而控制进气量,控制比例换向阀

9的开度来控制驱动器——摆动气缸的角度,进而间接控制球阀的开口大小控制放气量,使液位回归到理想值。控制目标是在铸造开始时只消耗加压腔内的铜液,铸造腔内铜液液位保持不变,当加压腔内铜液消耗完之后,保持其液位不变,只消耗进料腔和铸造腔内的铜液。

为防止伺服系统出现故障,本系统在原系统的基础上加入两个安全环节:①压力继电器控压:为防止加压腔压力达到限定值时,安全阀没有动作,在控制回路中,加入一个压力继电器,当加压腔的压力达到限定值时,电磁换向阀10得电,从而驱动带驱动器的球阀7,使阀口打开系统卸荷。②液位传感器限位:为防止比例减压阀出现故障,在液位传感器上设置两个限位开关,液位上限开关和液位下限开关,当铸造腔液位达到上限时,电磁换向阀10得电,控制带驱动器的球阀7阀口打开,降低加压腔的压力,使铸造腔液位下降;当铸造腔液位达到下限时,电磁换向阀8得电,阀口打开,增加加压腔的压力,使铸造腔液位升高。

3 系统的数学模型

3.1 比例减压阀控密闭容器的数学模型

图6为比例减压阀控密闭容器的结构,由于此减压阀只用于进气,而不排气,所以T口堵死,忽略放气阀芯与阀杆之间的摩擦力,将进气阀芯与阀杆看做一个整体,则在刚阀开启时阀芯的平衡方程为^[3-4]:

$$F + p_j A_1 = F_1 + F_2 + p_j A_m + p_j A_2 + F_n \quad (1)$$

式中 F ——比例电磁铁对阀杆推力/N;

A_1 ——阀口的作用面积/ m^2 ;

p_j ——加压腔压力/Pa;

F_1, F_2 ——两弹簧作用力/N;

A_m ——膜片有效面积/ m^2 ;

A_2 ——阀芯底部的面积/ m^2 ;

F_n ——O形圈的摩擦力/N。

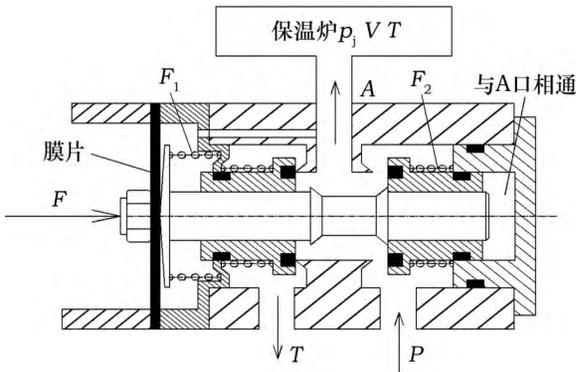


图6 比例减压阀控密闭容器模型

比例电磁铁的推力增大 F' 后,阀芯达到新平衡时的方程为:

$$F' + F + p_j' A_1 = F_1 + \delta c_1 + F_2 + \delta c_2 + p_j' A_m + p_j' A_2 + F_n \quad (2)$$

式中 p_j' ——达到新平衡是加压腔压力 p_a ;

δ ——阀芯的位移量/m;

c_1, c_2 ——两弹簧的刚度/ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

将1,2相减化简之后得:

$$F' - \delta(c_1 - c_2) = (p_j' - p_j)(A_m + A_2 - A_1) \quad (3)$$

由于 c_1, c_2, A_1, A_2, A_m 为定值,所以比例电磁铁推力增加会导致加压腔压力相应的增加。

3.2 比例阀控摆动气缸的数学模型

比例阀控摆动气缸的结构如图7所示,P口为气源压力 $p_s = 4 \times 10^5 \text{Pa}$, T口为大气压力 p_0 。摆动缸充气为亚音速流动状态,放气为音速流动状态,忽略泄漏,可得 I, II 两阀口质量流量方程^[5-7]。

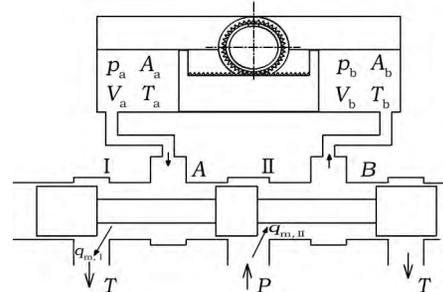


图7 阀控摆动气缸模型

$$q_{m,I} = p_a A_1 \left(\frac{2}{1+k} \right)^{k-1} \sqrt{\frac{2k}{RT_a(k+1)}} \quad (4)$$

$$q_{m,II} = p_s A_{II} \sqrt{\frac{2k}{RT_s(k+1)}} \sqrt{\left(\frac{p_b}{p_s} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_b}{p_s} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (5)$$

式中 $q_{m,I}$ ——流进缸左腔的质量流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;

$q_{m,II}$ ——流进缸右腔的质量流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;

A_1, A_{II} ——节流口面积/ m^2 ;

p_s ——气源压力 $4 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

气缸的平衡方程为:

$$p_b A_b - p_a A_a - F - F_f = m \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (6)$$

式中 F ——齿轮对活塞的作用力/N;

F_f ——摩擦力/N;

m ——阀芯的质量/kg。

由于加压腔最大压力为 $1.87 \times 10^5 \text{Pa}$, 即球阀排气是亚音速的, 所以其质量流量方程为:

$$q_{m,q} = p_j A_q \sqrt{\frac{2k}{RT(k+1)}} \sqrt{\left(\frac{p_0}{p_j} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_j} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (7)$$

式中 $q_{m,q}$ ——球阀的质量流量/ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;

A_q ——球阀节流口面积/ m^2 ;

p_0 ——大气压力取 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

在铸造时不考虑铜液的泄漏,因进放气过程缓慢忽略温度变化,放气量只引起加压腔压力和体积变化,因此可得其计算公式^[8-10]:

$$q_{m,q} = \frac{V}{RT} \cdot \frac{dp_j}{dt} + \frac{p_j}{RT} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (8)$$

3.3 加压腔压力与铸造腔液位的关系

设加压腔的液位高度和铜液表面积分别为 h 和 A_j ,铸造腔的液位高度为 H ,铸造腔和进料腔铜液表面积和为 A_z ,则由铸造腔力平衡方程和质量守恒方程:

$$p_j + \rho gh = p_0 + \rho gH \quad (9)$$

$$\frac{dH}{dt} \cdot A_z + \frac{dh}{dt} \cdot A_j = v_0 \quad (10)$$

将式(9)两端微分,代入式(10)化简得:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{A_j}{\rho g(A_z + A_j)} \cdot \frac{dp_j}{dt} + \frac{v_0}{A_z + A_j} \quad (11)$$

4 系统AMESim建模与仿真

4.1 系统AMESim建模

系统主回路的AMESim模型如图8所示,由于在AMESim中很难同时搭出进料腔,加压腔和铸造腔的模型,为了建模方便,在本模型中只搭建加压腔的模型,铸造腔的液位通过加压腔液位变化和铸造时间间接地计算出来。

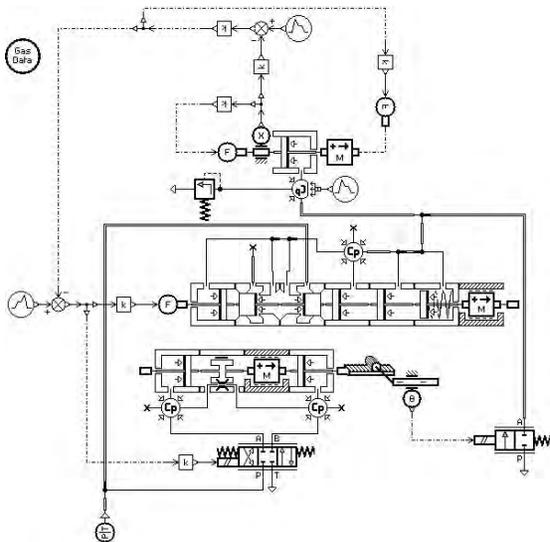


图8 系统的AMESim模型

4.2 仿真结果分析

铸造腔的液位变化曲线如图9所示,虚线为仿真曲线,实线为理想曲线。其偏差曲线如图10所示,在图10两条线的偏差曲线中可清晰地看出,在6.4s时偏差

最大为2.9cm,且一直存在一个较大的偏差。

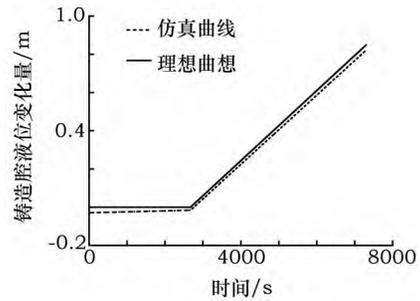


图9 铸造腔的位移曲线

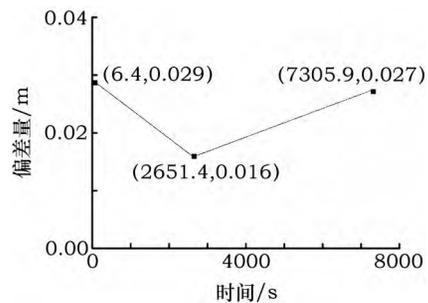


图10 铸造腔位移偏差曲线

4.3 加入PID控制后系统的AMESim模型仿真分析

加入PID控制后铸造腔的液位变化量曲线如图11所示。由于仿真时间较长且偏差量很小,图11两条曲线近似重合。在其局部放大图可以清晰的看出,偏差最大发生在3.1s处,偏差值为1.95mm,稳态误差近似为0,加压腔液位下降曲线如图12所示,在2761.7s时,下降量达到0.98m,此后一直保持不变,直到铸造结束,达到了很好的控制效果。

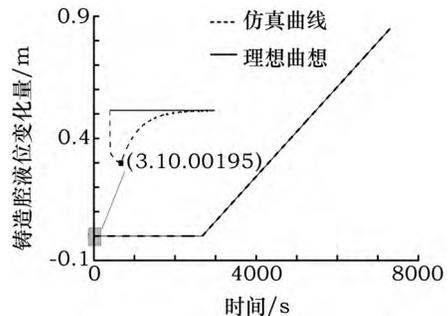


图11 铸造腔液位变化曲线

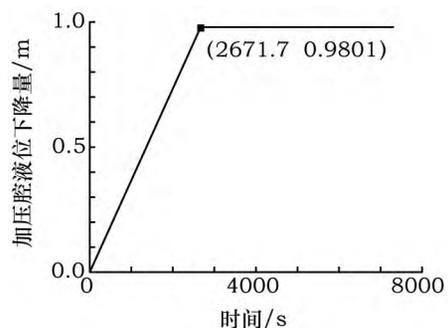


图12 加压腔液位下降曲线

飞机起落架收放液压系统仿真与研究

高文磊, 陈 东

(武汉大学 动力与机械学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:飞机起落架作为飞机的重要组成部分,其系统工作状态及性能对飞机起飞与着陆的安全性具有重要影响。为此,该文对飞机起落架的液压控制系统进行分析研究,介绍了起落架收放液压系统的工作原理,并通过 AMESim 仿真软件对液压系统进行仿真分析。分析了节流阀孔径、液压油含气量及粘度等重要参数对起落架工作性能的影响。该研究对提高飞机安全性具有重要意义。

关键词:飞机;起落架;仿真分析;AMESim

中图分类号:TH137 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-0813(2017)12-0064-03

The Research and Simulation of Hydraulic System for Aircraft Landing Gear

GAO Wen-lei, CHEN Dong

(School of Power and Machinery, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: As an important part of the aircraft, the aircraft landing gear system has an important influence on the safety of takeoff and landing. Therefore, the systematic analysis of the hydraulic control of aircraft landing gear, introduces the working principle of landing gear hydraulic system, and the hydraulic system is simulated by AMESim simulation software. The influence of the throttle orifice, hydraulic oil content and viscosity on the performance of the landing gear is analyzed. The study is of great significance to improve the safety of aircraft.

Key words: aircraft; landing gear; simulation analysis; AMESim

0 前言

液压系统作为起落架的重要组成部分,对起落架的收放进行直接控制,其工作性能的优劣对飞机的安全性能具有重大影响^[1]。该液压系统具有分布参数、非

线性等特点,液压系统的工作性能受节流阀孔径、液压油含气量及粘度等因素影响^[2]。为提高飞机的安全性能,本文通过 AMESim 软件对起落架液压系统进行仿真研究,并对系统的静态、动态特性进行分析。该研究对飞机维修具有指导作用,对提高飞机安全性能具有重要意义。

1 液压系统构成及工作原理

飞机起落架液压系统如图 1 所示。

收稿日期:2017-02-28

作者简介:高文磊(1983-),男,山西大同人,硕士研究生,主要从事机械制造及其自动化、液压技术等方面工作。

5 结论

(1)对原系统进行优化后,提高了铸造腔液面控制的精度,铜液的液位变化量由 0~14cm 范围内浮动,提升到最大误差只有 1.95mm,保障了系统的安全性和节能性。

(2)加料出现延迟时,可保证加压腔液位一直保持在 0.98m,即氮气和石墨鳞片保温层无进入铸造腔,延长铸造时间,提高残液的利用率。

参考文献

[1] 曾时金,潘峰.铜管连铸连轧技术与装备的发展[J].中国金属通报,2012,(32):36-37.
 [2] 刘晓光.铜连铸保温炉铸造腔液面气压控制的研究[D].兰州:兰州理工大学,2011.
 [3] TIAN Y. Modeling of Ultra-Precision Pneumatic Servo Control

Stage[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2013, 46(5):453-456.
 [4] 吴振顺.气压传动与控制[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2009.
 [5] 闵为.气动伺服系统自适应控制方法研究[J].液压与气动,2010,(9):11-13.
 [6] Liermann M, Samhoury O, Atshan S. Energy Efficiency of Pneumatic Power Take-off for Wave Energy Converter[J]. International Journal of Marine Energy, 2016,(13):62-79.
 [7] 谢朝夕.气动伺服定位系统的理论研究与[D].重庆:重庆大学,2005.
 [8] 柏艳红,李小宁.气动位置伺服系统状态反馈控制的改进[J].机械工程学报,2009,45(8):101-105.
 [9] 王然然,李艾民,郑佳,等.气动伺服系统缸内热力过程研究[J].液压与气动,2014,(3):13-16.
 [10] LIU Y T, Kung T T, Chang K M, et al. Observer-based Adaptive Sliding Mode Control for Pneumatic Servo System[J]. Precision Engineering, 2013, 37(3):522-530.