

# 结晶器钢水液位电液伺服控制系统分析

(21)  
123-127

徐克林 罗小明  
(重庆建筑大学机电工程学院 630045)

TH137.7  
TG233.6

**摘要** 结晶器钢水液位的稳定是连续生产出高质量钢产品的关键。利用电液伺服控制系统,可以有效地减小钢水液位的波动范围,提高结晶器液位稳定精度。

**关键词** 电液伺服系统、结晶器、液位控制 连续铸造设备, 铸造

**中图分类号** PG233.6

冶金连铸设备近几年来发展迅猛。它以其连续浇铸提高成材率 20%,降低能耗 50% 而倍受青睐。我国各钢铁企业争相采用,据有关资料记载,几年间全国已有数百条连铸线,连铸比由 20% 迅速上升到 70%。

结晶器是连铸机的重要部件,结晶器内液位的稳定性是保证连铸机浇铸质量,防止皮下夹渣,消除表面裂纹等缺陷的重要环节。研究液位的稳定也为进一步提高拉坯速度,提高生产率奠定了基础。

由于结晶器内钢水温度高达 1 500℃ 液面浮有保护渣层及钢渣,且连铸过程要求结晶器要不断的振动,现有各种液位控制方法,均因工作条件恶劣而导致使用并非理想。目前,国内不少连铸设备的液位控制依靠人工,凭人的“精细的”头脑来实现其控制。由于是连续浇铸十几到几十个小时,控制者的劳动强度之大可想而知。即使是从国外引进的连铸设备,使用一段时间后,一些液位控制装置也会失灵,依然回到“人工”控制状态。随着连铸设备的发展,更有效地解决这一问题已经提到议事日程上来了。

为此,我们对目前在板坯连铸机结晶器上可采用的放射性同位素法、激光法、涡流法进行了分析比较,特别是对采用涡流法的电液伺服控制系统从原理到静、动态品质进行了深入的研究,以利改进提高。

## 1 液位控制系统的组成和原理

液位控制系统主要由液位传感器、以 PC 机为中心的结晶器液位控制器、位置检测反馈装置以及由电液伺服阀、伺服缸控制中间包滑动水口开度组成的伺服控制系统等组成。其原理示意图见图 1。

收稿日期:1996-12-09

徐克林,女,1945年生,副教授

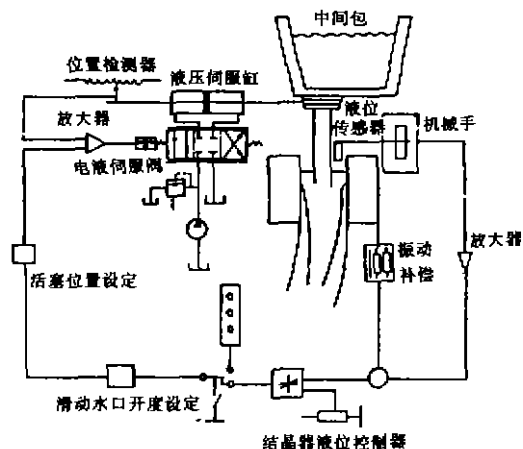


图 1 液位控制系统原理示意图

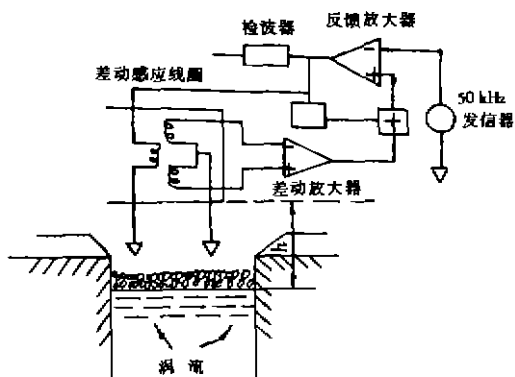


图 2 结晶器液位检测原理图

### 1.1 液位传感器

图 1 所示液位传感器是利用电磁感应原理产生涡流来检测结晶器内钢水液位的装置。它由检测单元、信号处理单元以及专用电缆所组成。其检测原理如图 2 所示。它含有三个匝数相同的绕组。初级绕组和两个次级绕组构成差动感应线圈。当 50 kHz 的高频电压加在初级绕组上时，在结晶器钢水中产生涡流，该涡流产生的磁场在两个次级线圈中感应产生差分电压。此差分电压值随结晶器内钢水液位的高低而变化。差分电压值反映液位的高低，而与浮在钢水液面的钢渣、保护渣无关。

传感器中设置信号处理单元可以消除浇铸过程中由于结晶器需要不断振动而产生的干扰信号。处理后所得的线性化电压，通过专用电缆输送至结晶器液位控制器。在连铸机结晶器的这种恶劣条件中使用更有其特殊性，本文在此不作详论。

### 1.2 结晶器液位控制器

以微机为中心的结晶器液位控制器的组成框图见图 3。结晶器钢水液位参数以及液压缸活塞位移参数可逐点被实时采集，通过多路转换进入 PC 机。这些信号在 PC 机上利用软

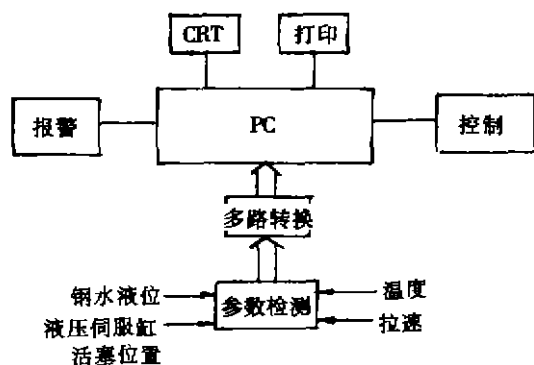


图 3 结晶器液位控制器组成框图

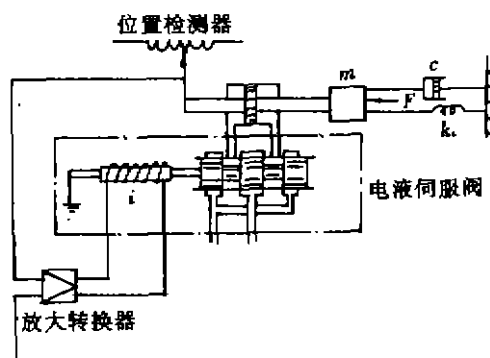


图 4 电液伺服系统原理图

件处理实现即时控制,调整液压伺服系统的“误差”,并将结晶器液位值、液压缸活塞位移的光点跟踪轨迹显示在屏幕上,将跟踪轨迹与设定值进行对比,以利随时监测或打印保存。

### 1.3 电液伺服系统

电液伺服系统如图4所示。当给定液压缸活塞位移  $y_0$  时,相应有一个给定电压  $U_0$ ,它和反馈电压  $U_1$  之差送入运算放大器,转化为电流信号  $i$  送至电液伺服阀电磁控制线圈,使电液伺服阀阀芯移动,引起液压缸活塞的随动。活塞移动又引起反馈电压  $U_1$  的变化。

当  $U_1 = U_0$  时,电液伺服阀的进、回油口被堵住,此时阀输出流量为零,液压缸活塞停止在设定位置上,滑动水口开度也达到设定值。在拉坯速度一定的情况下,结晶器液位高度也就达到与水口开度相对应的设定值(实际生产中可用计算和标定的办法找到水口和液位的对应关系)。系统调整完毕。

## 2 电液伺服系统特性分析

电液伺服系统是控制结晶器液位的直接执行系统,是控制成功与否的一个关键,为此我们对其进行详细分析。

电液伺服系统的负载可简化为质量、弹簧、阻尼三部分,干扰量为外部扰动力。

现列写各组成部分的方程式如下:

1) 偏差电压

$$U(s) = H_y [Y_0(s) - Y(s)] \quad (1)$$

式中  $H_y$ —比例放大系数

2) 伺服阀负载流量方程

$$Q_L(s) = K_x X(s) - K_p P_L(s) \quad (2)$$

3) 阀芯位移方程

$$x(s) = K K_0 U(s) \quad (3)$$

式中

$K_x$ —流量增益;  $K_p$ —流量—压力系数;  $K$ —校正转换系数;

$K_0$ —伺服阀传递函数;  $P_L(s)$ —负载压力。

4) 液压缸负载流量方程

$$Q_L(s) = A s Y(s) + C_t P_L(s) + \frac{V}{4 \beta_e} s P_L(s) \quad (4)$$

5) 液压缸力方程

$$A P_L(s) = m s^2 Y(s) + C s Y(s) + k_s Y(s) + F(s) \quad (5)$$

式中

$A$ —液压缸活塞面积;  $C_t$ —总泄漏系数;

$V$ —液压缸及其至电液伺服阀间管路总容积;

$\beta_e$ —液体容积模数;  $C$ —阻尼系数;

$k_s$ —负载弹性系数。

由式(2)和式(5)得

$$Y(s) = \frac{1}{s} \left[ \frac{K_r}{A} X(s) - \left( \frac{V}{4\beta_e A} s + \frac{K_p + C_l}{A} \right) P_L(s) \right] \quad (6)$$

将式(5)改写成

$$P_L(s) = Y(s) \left( \frac{m}{A} s^2 + \frac{C_l}{A} s + \frac{K_l}{A} \right) + \frac{F(s)}{A} \quad (7)$$

画出系统方块图如图 5 所示。由于伺服阀具有很高的响应特性,与液压动力元件相比,其动态可以忽略,把它看成一个比例环节。这样,系统的输出  $Y(s)$  对输入  $Y_0(s)$  的闭环传递函数为

$$G(s) = Y(s)/Y_0(s) = \frac{H_r K K_0 A K_i}{\frac{mV}{4\beta_e} s^3 + \left[ \frac{VC}{4\beta_e} + (K_p + C_l)m \right] s^2 + \left[ \frac{VK_r}{4\beta_e} + A^2 + (K_p + C_l)C \right] s + (K_p + C_l)K_l + H_r K K_0 A K_i} \quad (8)$$

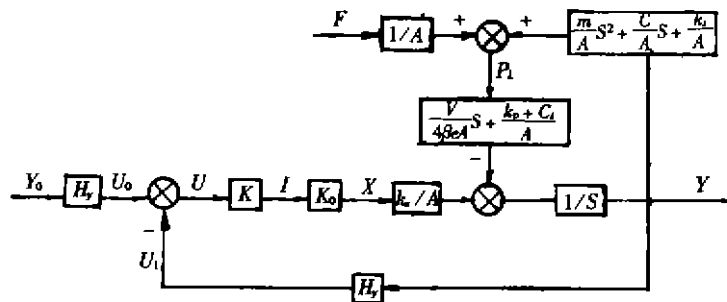


图 5 电液伺服系统框图

系统输出  $Y(s)$  对于干扰  $F(s)$  的传递函数为

$$G_F(s) = Y(s)/F(s) = \frac{\frac{V}{4\beta_e} s + (K_p + C_l)}{\frac{mV}{4\beta_e} s^3 + \left[ \frac{VC}{4\beta_e} + (K_p + C_l)m \right] s^2 + \left[ \frac{VK_r}{4\beta_e} + A^2 + (K_p + C_l)C \right] s + (K_p + C_l)K_l + H_r K K_0 A K_i} \quad (9)$$

由  $G(s)$ 、 $G_F(s)$  的表达式可知,系统为零阶无差系统。负载是影响系统动态品质的主要因素,而干扰的存在不但影响系统的动态品质,而且对系统的静态品质也有很大的影响,引起输出误差。

为了消除负载、干扰对系统的影响,可以选取负载压力  $P_L$  为观测量,传递函数为

$$(A/K K_0 K_i) \left[ (V/4\beta_e A) s + (K_p + C_l)/A \right]$$

的补偿器对系统进行补偿校正。经过补偿校正的系统结构图如图 6 所示,其闭环传递函数为

$$\frac{Y(s)}{Y_0(s)} = \frac{H_r K K_0 K_i}{As + H_r K K_0 K_i}$$

该闭环传递函数为一个惯性环节,从控制理论可知,惯性环节的单位阶跃响应是个指数曲线,恒速响应是时间  $t$  趋于无穷大时,差异趋近于  $T$  的一条与恒速输入平行的斜直线,这种特性可以满足液位控制要求。负载压力补偿是正反馈,但因负载压力数值小,且波动也很

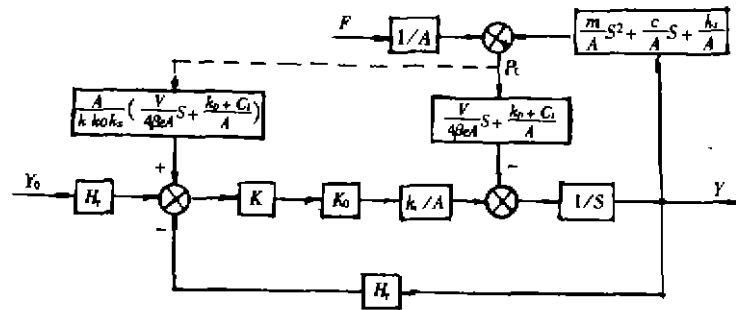


图 6 补偿校正后的电液伺服系统框图

小,对系统稳定的干扰不突出。

通过对连铸机结晶器钢水液位电液伺服控制系统的分析可知,该系统具有响应速度快、运行可靠、控制精度高等优点。且该系统操作简单,使用方便,安全性好。

电液伺服系统市场价格较高,但相对于几千万元一套的连铸机而言,它的价格是可以接受的。何况伺服系统精确的控制可大大提高铸坯质量,保证更高速度的拉坯,大幅度提高生产率,创造的经济效益更为可观。液压伺服系统控制在我国引进的连铸设备中已有应用。

高精度的伺服控制特别应针对大截面的板坯连铸机和质量要求较高钢种的连铸生产过程的控制进行研究。

### 参 考 文 献

- 1 重庆大学机床教研室,控制工程基础,重庆:重庆大学出版社
- 2 王春行,液压伺服控制系统,北京:机械工业出版社

## Analysis of the Level Control Of Molten Steel in Crystallizer With Electro-hydraulic Servo System

*Xu Kelin Luo Xiaoming*

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Chongqing Jianzhu University, 630045)

**Abstract** The steadiness of molten steel level in mold is a key to produce continuously high-quality steel products, With electro-hydraulic servo control system, the undulating range of molten steel level can be decreased effectively and the precision of its steadiness can be improved perfectly.

**Key Words** electro-hydraulic servo system, mold

(编辑:刘家凯)