

结晶器液位专家系统控制研究

李祖林

LI Zu-lin

湖南工学院 电气与信息工程系, 湖南 湘潭 421002

Department of Electric and Information Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan, Hunan 421002, China

E-mail: Lizulin321@yahoo.com.cn

LI Zu-lin. Research on expert system for mould level control. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(10): 199-201.

Abstract: Level control project has disadvantage for conventional mould control system. According to mechanism model, compare mould level control effect based on Jam-stick Proportion-Integral (PI) and casting speed PI conditioner and analyze question of Jam-stick PI conditioner, controller based on Radial Basis Function Neural Networks (RBFNN) and casting speed compensator are designed. Coordination control system is studied based on expert system of Jam-stick and casting speed regulating by using rule model. Interfere is resolved for switching level regulator. Expert system is simulated based on MATLAB, and tested in practice. The results show that level control accuracy and stability and dynamic response excel conventional single-loop control project.

Key words: expert system; neural networks; mould; level control

摘要: 针对传统的结晶器液位控制系统方案存在缺点, 根据对象机理, 比较了塞棒比例积分 (PI) 控制和拉速 PI 控制和对结晶器液位控制效果, 分析了塞棒 PI 控制液位存在的问题, 设计了基于径向基函数神经网络 (RBFNN) 的塞棒控制器和拉速补偿器。使用规则模型, 研究了基于专家系统的塞棒和拉速控制液位的协调控制系统, 解决了液位控制器切换存在的干扰。系统在 MATLAB 上进行了仿真, 并在实际中进行了测试。实际测试结果表明该系统的液位控制精度、稳定性和动态响应优于传统的单回路控制方案。

关键词: 专家系统; 神经网络; 结晶器; 液位控制

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.10.060 **文章编号:** 1002-8331(2009)10-0199-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP181

在研究连铸技术领域, 结晶器是连铸机上的重要设备, 结晶器液位控制在连铸机的研究中最为活跃, 其液位的控制精度对提高生产率、生产特殊钢材和降低连铸的漏钢事故率有重要意义。在传统的结晶器液位控制中, 一种方法采用速度型, 通过 PI 调节器控制拉矫机的拉速来控制结晶器的液位, 例如 Cs-137 或 Co-60 控制系统, 但这种控制系统对外界扰动的动态响应速度慢, 液位控制精度低; 另一种方法是流量型, 采用塞棒控制结晶器的液位, 即改变塞棒或滑动水口的位置, 但这种方法是人工操作, 误差大, 系统稳定性差。

由于传统的结晶器液位控制存在的缺点, 在连续铸钢的结晶器液位控制研究领域, 目前国外已将模糊神经网络控制技术应用于结晶器的液位控制中^[1-2], 在国内也有学者对结晶器液位进行过自抗干扰控制的研究^[3]和基于神经网络的自抗干扰协调控制的研究^[4], 本文通过实际对象, 设计了基于专家系统的塞棒和拉速的结晶器液位协控制系统。

1 塞棒和拉速控制结晶器液位比较

(1) 结晶器液位模型^[5]

$$\frac{dH}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A_m} = \frac{A_{cst} \sqrt{2gh} - V_s A_m}{A_m} \quad (1)$$

式中: H 为液面高度, A_m 为结晶器截面积, V_s 为铸坯拉速, A 为水口面积, c_{st} 为注入系数, h 为钢液高度差, g 为重力加速度。

(2) 塞棒控制液位

用塞棒控制结晶器液位时, 采用塞棒 PI 控制器实施控制液位, 塞棒是通过液压伺服系统进行驱动, 液压伺服驱动位置系统开环传递函数为^[5]:

$$G(s) = \frac{K_a K_{sv} K_f \omega_n^2}{A_p s (s + 2\xi \omega_n + \omega_n^2)} \quad (2)$$

式中: K_a 为伺服放大器增益, K_{sv} 为伺服阀静态流量增益, K_f 为传感器位移/电压转换系数, A_p 为液压缸活塞面积, ω_n 为液压系统固有频率, ξ 为液压阻尼比。

塞棒控制用 PI 控制器, 其模型为:

$$u(t) = K_p (e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt) \quad (3)$$

式中: $e(t)$ 为液位偏差, K_p , T_i 为控制器控制参数。

实际控制中, K_p , T_i 参数首先通过系统仿真进行调整, 仿真后的结果在现场进行微调。通过塞棒控制结晶器液位, 由于塞棒动作的响应时间长, 对液位控制非线性度大, 甚至还可能出现无规律现象, 从而导致对液位控制的不稳定性。

基金项目: 湖南省教育厅青年基金项目 (No.06B019)。

作者简介: 李祖林 (1966-), 男, 副教授, 主要从事信号处理、智能控制和检测技术方面的研究。

收稿日期: 2008-05-05 修回日期: 2008-09-08

(3) 拉速控制结晶器液位

基于拉速控制结晶器液位时,是通过控制拉矫机的交流电机转速,从而控制拉坯速度,通过PI控制器实现对拉速的控制。用改变拉速来控制结晶器液位,从理论上说其控制精度是很高的,但拉速的控制,一方面取决于铸坯的质量,不同的钢种、断面尺寸、钢液过热度,就决定了相应的冷却度和拉速,因此,在保证铸坯质量的前提下,拉速应有一个上限值;另一方面,低拉速易造成液面结冷钢而发生粘连,同时为提高铸坯生产效率,拉速应有一个下限值,为满足结晶器液位控制的精度要求,拉速应动态地跟踪液位进行调节,应把拉速的调节范围限制在一个较少的动态范围内。因此,当浇注普通碳钢或对质量要求不高的钢种时,塞棒控制和拉速控制均可采用,且应优先使用控制拉速的办法,因为拉速控制液位是线性的。当浇注特殊钢种,应综合采用两种控制方法,因为此时连铸工艺要求液位稳定,也同时要求拉速稳定,但只要当连铸工艺过程状态没有突变或没有很大的扰动时,还是应采用控制拉速的方法。

2 基于专家系统的结晶器液位控制

2.1 结晶器液位控制专家系统

根据对拉速PI控制器和塞棒PI控制器控制结晶器液位控制比较分析,如果采用单一控制回路对液位进行控制,不能对所有的扰动都被抑制住。另外塞棒PI控制器控制液位时,会出现较大非线性度或无规律现象,本文设计了RBF神经网络控制塞棒对液位进行控制。设计的基于拉速PI控制、塞棒PI控制和塞棒神经网络控制的专家协调控制系统如图1所示,对结晶器液位、拉速、中间罐钢液重量、漏钢事故和溢钢进行监视,并依据这些过程值的全体集合来选择控制回路或控制逻辑。

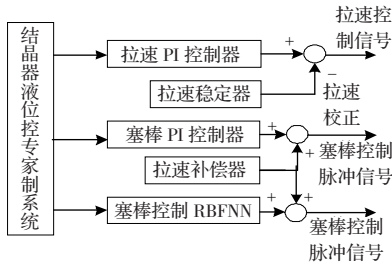


图1 基于专家系统的结晶器液位控制系统

2.2 专家系统设计

专家系统有多种结构形式,本文设计了基于规则的专家系统,由5个部分组成:知识库、推理机、综合数据库、解释器和人机界面,专家系统结构框图如图2所示。知识库是专家系统的核心,其主要功能是存贮和管理专家系统中的知识;综合数据库用于存贮反映系统当前状态的事实数据,包括用户输入的事实、已知的事实以及推理过程中得到的中间结果等;推理机主要功能是控制整个系统,决定如何选用知识库中的知识,对用户提供的证据进行推理,并对用户提出的特定问题作出回答,

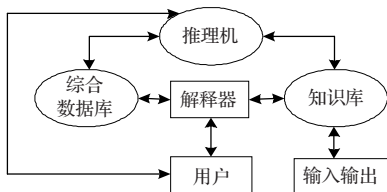


图2 专家系统结构图

本文设计的专家系统推理流程如图3所示;解释器负责回答用户提出的各种问题;输入输出是将专业领域内的事实性知识和专家所特有的经验性知识送入知识库,同时也负责知识库中知识的修改、删除和更新,并对知识库的完整性和一致性进行维护。基于对结晶器液位控制的仿真结果和实际操作经验,得出26条的规则,其中的8条规则如下。

Rule1: IF $|e| < 0.2$ AND $|V_c| < 0.1$ AND $CC = NN$ THEN $CC = S_PI$;

Rule2: IF $|e| < 1.0$ AND $e' < 0.2$ AND $|V_c| < 0.1$ AND $CC = J_PI$ THEN $CC = S_PI$;

Rule3: IF $|e| < 1.0$ AND $e' < 0.2$ AND $|V_c| < 0.1$ AND $CC = NN$ THEN $CC = S_PI$;

Rule4: IF $|e| < 2.0$ AND $e' < 0.5$ AND $|V_c| > 0.5$ AND $CC = NN$ THEN $CC = J_PI$;

Rule5: IF $|e| > 3.0$ OR $|V_c| > 2.5$ AND $CC = S_PI$ THEN $CC = J_PI$;

Rule6: IF $|e| > 0.8$ AND $e' > 0.5$ AND $CC = S_PI$ THEN $CC = J_PI$;

Rule7: IF $|e| < 0.1$ AND $e' > 0.5$ AND $|V_c| < 0.1$ AND $CC = J_PI$ THEN $CC = NN$;

Rule8: IF $|e| > 2.0$ AND $e' < 0.5$ AND $|V_c| > 1.0$ AND $CC = J_PI$ THEN $CC = NN$;

在规则库中,符号解释为: e 为液位偏差, e' 为液位偏差变化率, V_c 为拉速; CC 为当前使用的控制器, NN 为神经网络控制器; J_PI 为塞棒PI控制器, S_PI 为拉速PI控制器。

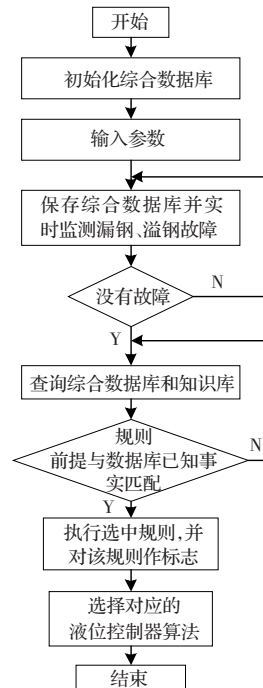


图3 专家系统推理流程图

2.3 塞棒控制的RBF神经网络

RBF神经网络是具有单隐层(径向基层)和一个线性输出层的前向网络,它是模拟了人脑中局部调整、相互覆盖接收域的神经网络结构。该网络具有训练学习时间短、不会陷入局部最小等特点,隐含层采用高斯函数作为网络激活函数。

设BPF网络径向层第 i 节点输出为:

$$q_i = R(\|u - c_i\|) \quad (4)$$

式中: u 为 n 维输入向量; c_i 为第 i 个隐节点的中心; $R(\cdot)$ 为高斯激活函数。

输出层第 k 个节点的输出为隐节点输出的线性组合:

$$y_k = \sum w_{ki} q_i - \theta_k \quad (5)$$

式中: w_{ki} 为 q_i 到 y_k 的权值, θ_k 为第 k 个输出节点的阈值。

设有 p 个输入/输出样本, u_p/d_p , 定义网络的目标函数 (L_2 范数) 为:

$$J = \frac{1}{2} \sum_p \|d_p - y_p\|^2 = \frac{1}{2} \sum_p \sum_k (d_{kp} - y_{kp})^2 \quad (6)$$

使 $J \leq \varepsilon$ 。 d_p 为输入样本 u_p 对应的输出样本向量; y_p 为输入样本 u_p 对应的神经网络实际训练输出向量。

用塞棒控制液位的 RBF 神经网络输入为钢液的入流误差 e , 钢液的入流误差 e 计算为:

$$e = \Delta L + \Delta V \quad (7)$$

其中, ΔL 为液位偏差, ΔV 为拉速偏差。

采用涡流式钢水液面检测计, 通过悬架在结晶器上口 30 mm 处的涡流式传感器探头检测到的液位信号, 与液位给定值相减, 得液位偏差 ΔL 。钢液的入流误差 e 经过 A/D 采样、转换后, 取 10 个采样点作为输入神经元, 径向基层的神经元数设为 10 个, 采用高斯函数激活, 如图 4 所示。

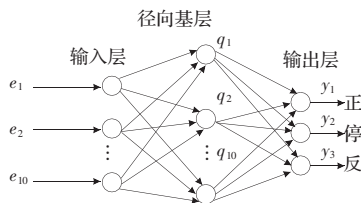


图4 结晶器液位控制神经网络

根据结晶器液位控制的相关性, 确定系统性能指标为:

$$J = \frac{1}{t} \int_0^t (\mu_1 e^2 + \mu_2 \Delta L^2 + \mu_3 \Delta V^2) dt \quad (8)$$

式中 e 为钢液入流误差, ΔL 为液位偏差, ΔV 为拉速偏差, μ_1 、 μ_2 、 μ_3 为权重系数。

网络的训练采用非监督式学习算法训练网络隐层(径向基层)权值, 算法采用 K -均值聚类算法。

$$\begin{aligned} c_i(t) &= c_i(t-1), 1 \leq i \leq 10, i \neq r; \\ c_r(t) &= c_r(t-1) + \beta(u(t) - c_r(t-1)) \end{aligned} \quad (9)$$

β 为学习速率, $0 < \beta < 1$ 。

经过训练和自学习后的 RBF 神经网络, 并与实际操作经验相比较, 使系统的性能指标 J 达到一合理值, 在本文中取 0.32。神经网络的输出是对塞棒执行机构的控制, 有三个脉冲信号, 对应于塞棒驱动马达的正转、停、反转, 即对应塞棒的上升、静止、下降三种动作状况。

2.4 拉速补偿器

在专家系统决定从拉速 PI 控制切换到以塞棒 PI 控制或 RBF 神经网络塞棒控制时, 液位通常是偏离设定值, 同时, 拉速也偏离设定值。为成功地控制住整个切换过程中的波动, 必须将拉速变回设定值, 但是这将使液位偏差加大, 为避免这种耦合的发生, 设计了相应的拉速补偿器, 如图 5 所示。

由于拉速对结晶器液位控制的影响频繁且比较剧烈, 是结晶器液位控制的主要干扰, 用反馈控制不易克服, 因此, 速度补偿器设计为动态前馈调节器, 它使结晶器液位的控制作用及时

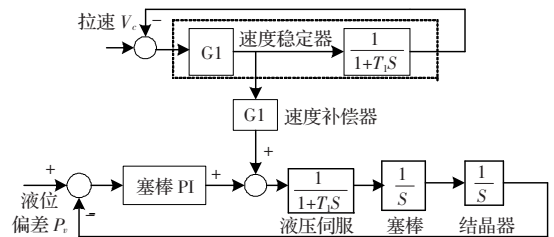


图5 拉速补偿器

和动态指标好, 从而保证结晶器液位控制的动态误差较小。速度稳定器为一阶延迟惯性环节的反馈控制器, 其作用是控制器切换时使得对拉速值的重新设置减慢。所设计的拉速补偿器通过计算机仿真, 仿真结果如图 6, (a) 为无补偿时拉速曲线, (b) 为有补偿时拉速曲线。由图可见, 在控制器切换时, 不会引起液位的波动超出允许范围, 从而抑制了拉速的改变而引起的液位扰动, 液位控制的稳定性得到了提高。

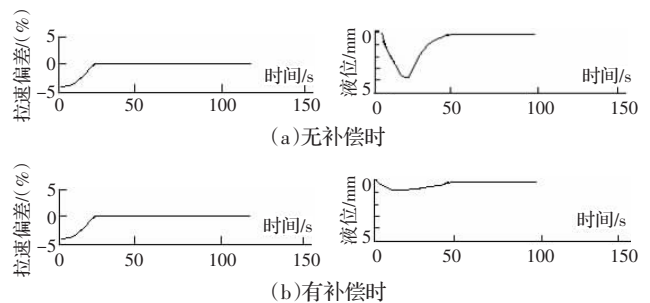


图6 拉速补偿仿真曲线

3 应用结果分析

将设计的结晶器液位控制专家系统对小方坯连铸机控制进行测试, 在相同的钢种和断面尺寸时, 拉速和液位控制曲线如图 7 所示, 图 8 是新旧系统液位偏差控制对比的直方图, 结果表明采用专家系统控制后, 液位控制偏差小, 拉速平稳, 液位控制精度较高, 同时, 系统的稳态性能和动态响应都较为理想。在浇注特殊钢种时, 必须修改专家系统知识库中的规则, 才能得到较好的控制效果。

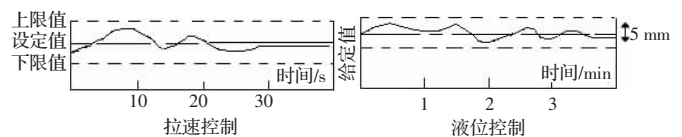


图7 拉速和液位控制曲线

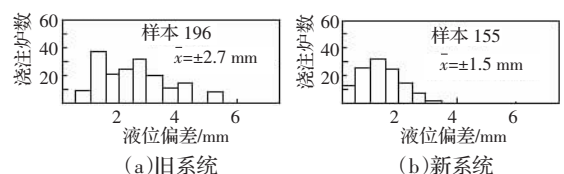


图8 液位偏差控制的对比直方图

4 结束语

本文设计的基于专家系统的结晶器液位控制系统, 使液位控制在拉速 PI 控制器、塞棒 PI 控制器与塞棒神经网络控制器之间进行切换, 解决了传统的结晶器液位控制存在的非线性

(下转 234 页)