



# 冶金连铸工业过程实时专家控制系统的设计与实现

黄席樾 熊庆宇 石为人 柴毅

(重庆大学电子信息工程学院 重庆 400044)

**摘要** 从工业生产实用要求出发,提出了一类适合于连续过程实时控制系统的专家控制方法,它使控制器的理论设计变得简单、方便.工业生产实用结果表明,系统可靠性高,实时性好.

**关键词** 专家控制,冶金连铸,工程实现.

## 1 引言

专家控制是以知识模型为基础的控制方法,它不仅可以利用现有控制理论的知识,而且可以总结和利用人的知识和操作经验,其对数学模型的依赖性小,因而较适用于难以建模、具有一定不确定性的场合.因此,设计一个性能良好的实时专家控制器,将具有重要的实用价值和诱人的应用前景.

## 2 专家控制系统的结构

根据专家控制系统的设计原则,所设计的基于知识的专家控制基本结构如图1所示.系统由三个部分组成:(1)被控对象;(2)检测机构;(3)专家控制器(EC).

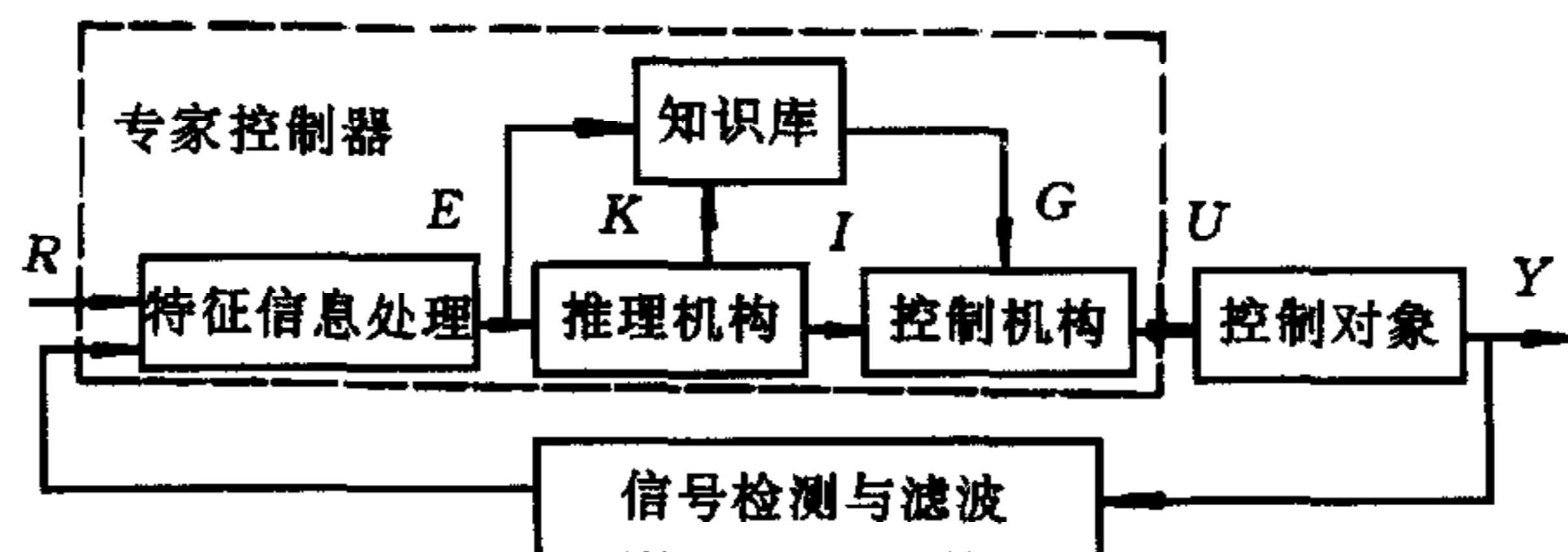


图1 专家控制系统基本结构

被控过程的动态信息经过特征信息处理后得到信息  $E$ ,推理机构根据信息  $E$  进行判断、推理,将推理结果  $I$  送到控制机构,再综合知识库提供的知识  $G$ ,给出合适的控制  $U$ ,对被控过程进行实时控制.知识库存放工业过程控制领域的专门知识,为推理机构提供推理用的经验知识,并且可以根据信息  $E$  决定是否补充或修改数据库的经验知识<sup>[1]</sup>.图中 EC 的一般模型描述

如下<sup>[2]</sup>:

$$EC = f(E^*, U^*, I^*), \quad (1)$$

其中智能算子  $f$  为几个算子的复合运算  $f = m \cdot n \cdot p$ ,  $m: (R, Y) \rightarrow E$ ,  $n: E \times K \rightarrow G$ ,  $p: G \times I \rightarrow U$ ;  $m, n, p$  均为智能算子, 其基本形式为 IF(条件) THEN(结论);  $E^* = (E_1, E_2)$ ;  $U^* = (G, U)$ ;  $I^* = (K, I)$ .  $E_1, E_2$  分别为知识库、控制机构的特征模型, 构成控制的特征模态集  $E^*$ ;  $G$  为参数校正与自适应集;  $U$  为控制规则集, 构成了控制(决策)模态集合  $U^*$ ;  $K, I$  分别是实现  $E_1 \rightarrow G$  和  $E_2 \rightarrow U$  的规则集, 构成整个专家控制器的启发与直觉推理规则集  $I^*$ .

## 2.1 特征信息处理机构(CIP)的设计

CIP 的主要作用是对采集到的原始信息进行加工、处理和特征抽取, 为推理机构进行实时推理提供决策依据. 特征模态的抽取和划分应围绕实时控制和稳定性这两方面进行.

根据以上设想, EC 的特征模态集为

$$E^* = (E_1, E_2). \quad (2)$$

这里知识库的特征模态集为

$$E_1 = \{a_{1i}\} \quad (i = 1, \dots, 10); \quad (3)$$

控制机构的特征模态集为

$$E_2 = \{a_{21}, a_{22}, a_{23}\}. \quad (4)$$

式中  $a_{11} = \{|e_n| > A_1 \cap |\dot{e}_n| < B_3\}$ ;  $a_{12} = \{|e_n| > A_1 \cap |\dot{e}_n| > B_1\}$ ;  $a_{13} = \{|e_n| < A_1 \cap |\dot{e}_n| > B_2\}$ ;  $a_{14} = \{|e_n| < A_1 \cap |e_n| > A_2 \cap |\dot{e}_n| < B_4\}$ ;  $a_{15} = \{|e_n| > A_2 \cap |\dot{e}_n| > B_4\}$ ;  $a_{16} = \{e_n > A_m\}$ ;  $a_{17} = \{e_n > -A_m\}$ ;  $a_{18} = \{|e_n| \leq A_m\}$ ;  $a_{19} = \{c_1 > c_m\}$ ;  $a_{110} = \{c_2 > c_m\}$ ;  $A_1, A_2$  为偏差的阈值, 且  $A_1 > A_2$ ;  $B_1, B_2, B_3, B_4$  为偏差变化率的阈值, 且  $B_1 > B_2 > B_3 > B_4$ ;  $e_n$  为第  $N$  次偏差值;  $\dot{e}_n$  为第  $N$  次偏差变化率;  $A_m$  为控制允许误差值;  $c_m$  为次数阈值;  $c_1, c_2$  为在线实际误差连续超过控制允许误差的次数;  $a_{21} = \{|e_n| > A_0\}$ ;  $a_{22} = \{|e_n| < A_2 \cap |\dot{e}_n| < B_4\}$ ;  $a_{23} = \{\text{not}(|e_n| > A_0) \cap \text{not}(|e_n| > A_2 \cap |\dot{e}_n| > B_4)\}$ ;  $A_0$  为偏差的阈值, 且  $A_0 > A_1 > A_2$ .

## 2.2 知识库的建立

知识库由学习与自适应机构和经验数据库组成. 在经验数据库中存储的都是在大量仿真实验和实控试验基础上建立的非常实用的经验知识; 学习与自适应机构的功能是根据特征信息  $E_1$ , 能自动补充或修改知识库的内容, 解决控制机构中控制模态的参数自校正问题, 保证控制机构稳定地完成控制任务.

结合本系统实际, 知识库中的参数校正与自适应集可设计为

$$G = \{g_i\} \quad (i = 1, \dots, 10), \quad (5)$$

式中

$$g_1 = \{k_p = k_p + \alpha_1 \cdot k_p\}; \quad g_2 = \{k_p = k_p - \alpha_2 \cdot k_p; \quad k_d = k_{d0}\};$$

$$g_3 = \{k_p = k_p - \alpha_1 \cdot k_p; \quad k_d = k_d + \alpha_1 \cdot k_d\};$$

$$g_4 = \{k_p = k_p + \alpha_3 \cdot k_p\}; \quad g_5 = \{k_p = k_p - \alpha_3 \cdot k_p\};$$

$$g_6 = \{c_1 = c_1 + 1; c_2 = 0\}; \quad g_7 = \{c_1 = 0; c_2 = c_2 + 1\};$$

$$g_8 = \{c_1 = 0; c_2 = 0\}; \quad g_9 = \{d = \phi_1(e_n); c_1 = 0\};$$

$$g_{10} = \{d = \phi_2(e_n); \quad c_2 = 0\};$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  是调整比例或微分系数的参数, 且  $\alpha_2 > \alpha_1 > \alpha_3$ ;  $k_p$  为比例系数;  $k_d$  为微分系数;  $d$  为特征点基准位置;  $\phi_1, \phi_2$  是经验公式.

### 2.3 控制机构的建立

控制机构的模态集为

$$U = \{U_1, U_2, U_3\} \quad (6)$$

式中  $U_1 = \{u_n = \text{Sgn}(e_n) \cdot U_m\}$ ;  $U_2 = \{u_n = u_{n-1}\}$ ;  $U_3 = \{u_n = k_p \cdot e_n + k_i \cdot \sum e_n + k_d \cdot \dot{e}_n\}$ ;  $u_n$  为控制级第  $n$  次输出;  $U_m$  为控制级输出最大值;  $\text{Sgn}(e_n)$  为符号函数.

### 2.4 推理机构的设计

推理机构的功能是实现实时推理和决策,使整个 EC 以逻辑方式协调地工作.因此,推理机构直接采用数据驱动的正向推理策略即可.这样,也可保证控制决策的实时性.

推理规则集为  $I^* = \{K, I\}$ , (7)

其中  $K: E_1 \rightarrow G$ , (8)

$$K = \{k_i\} \quad (i = 1, \dots, 10), \quad k_i: a_{1i} \rightarrow g_i (i = 1, \dots, 10);$$

$I: E_2 \rightarrow U$ , (9)

$$I = \{h_1, h_2, h_3\}, \quad h_1: a_{21} \rightarrow u_1, \quad h_2: a_{22} \rightarrow u_2, \quad h_3: a_{23} \rightarrow u_3.$$

以上所述的四个部分,就构成了 EC 的基本结构.

## 3 专家控制系统的工程实现

冶金连铸生产的工艺流程如图2所示<sup>[3]</sup>.钢水通过钢包流入到中间包,在塞棒的开启机构控制下,中间包的钢水以一定的流量注入到结晶器内,然后再从结晶器中拉出,经二次冷却水冷却后形成中心尚未结晶的拉坯,而电磁搅拌器使拉坯中心部分的钢液更加均匀地结晶.拉坯则在辊道上按规定的尺寸长度进行剪切,得到不同规格的产品.

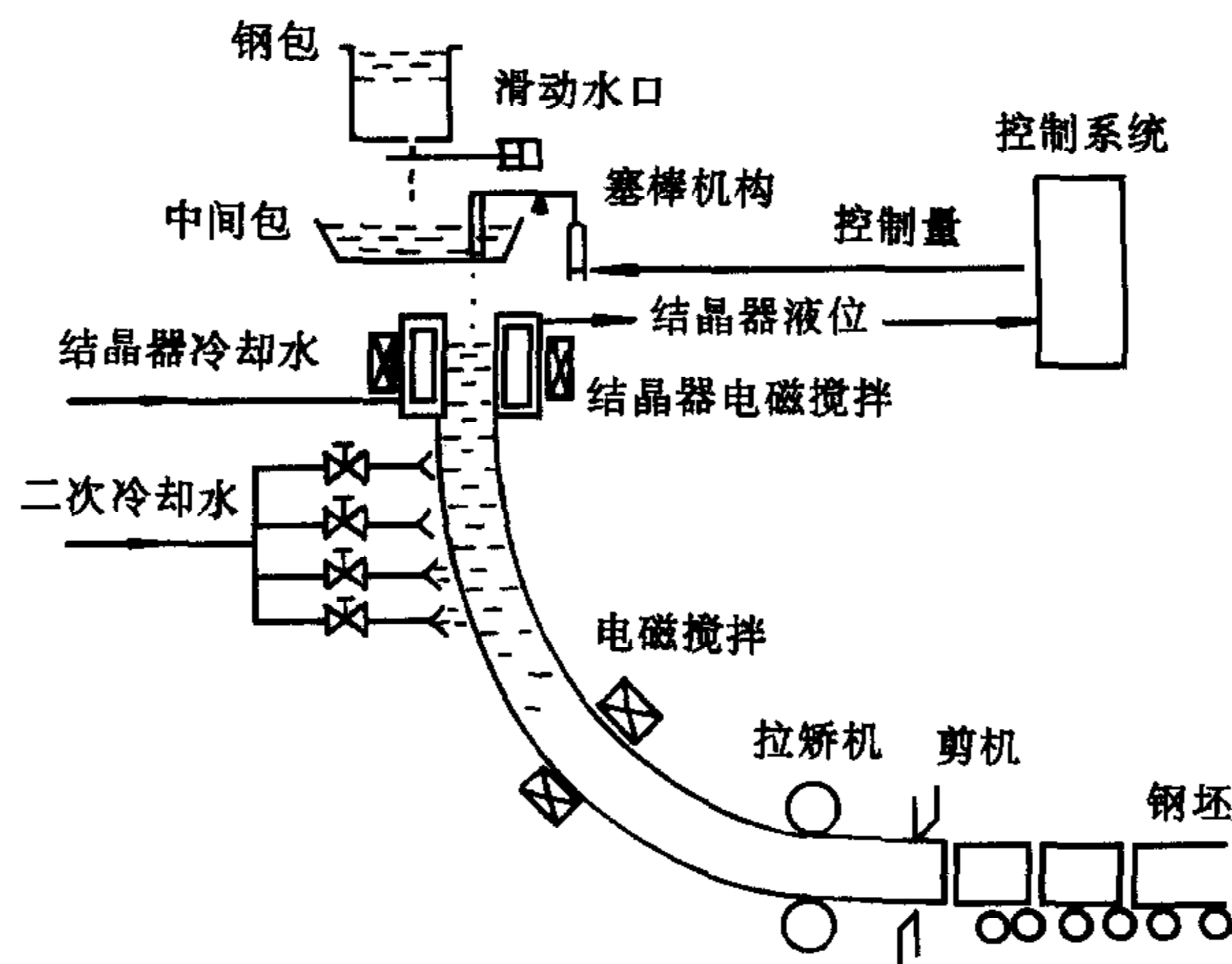


图2 连铸工艺流程

在整个浇铸过程当中,塞棒开启机构的任务就是把结晶器中钢水的液位控制在60% (即认定的0mm位置)附近,从而有效地保证钢坯质量,防止溢钢、漏钢等事故的发生,确保连铸生产过程顺利进行.

结合连铸生产工艺特点,按前面所述的专家控制器思想设计了一个用于小方坯连铸的实

用专家控制系统. 被控的直接对象为直流伺服电机传动机构, 最终的控制效果是通过结晶器中液位的波动情况来反映. 控制系统的构成如图3所示.

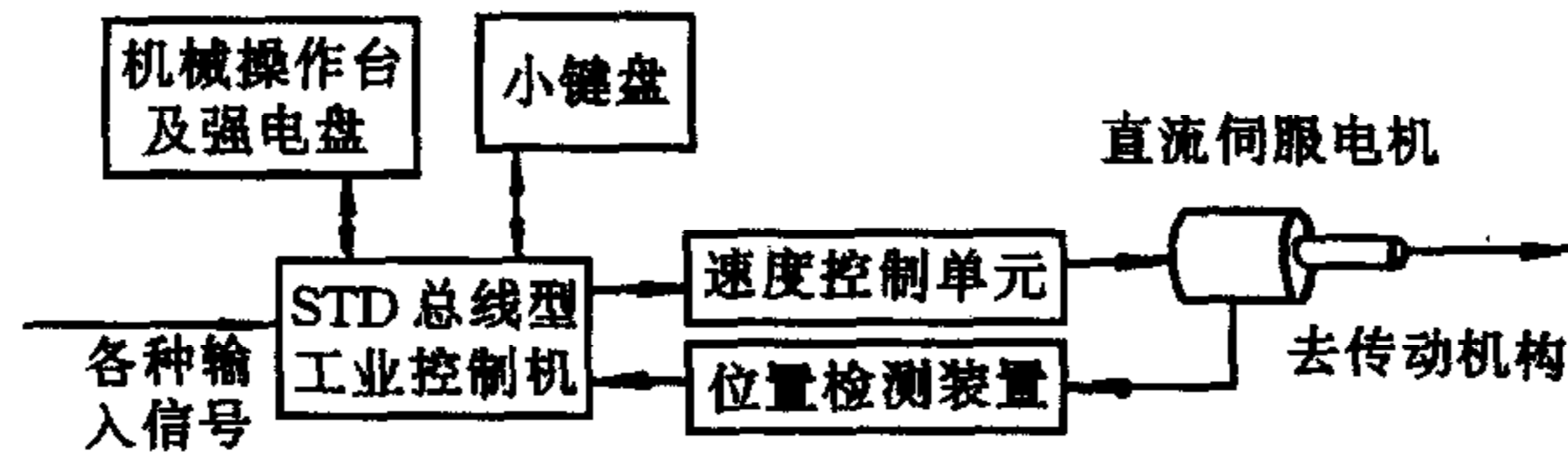


图3 控制系统组成情况

EC 的知识库中存储了关于自动浇铸过程塞棒开启机构实时控制及常规故障判断的专门知识, 而控制规则集和特征模态集是对被控过程中各种经验和控制方法的归纳与总结, 它集中反映了浇铸过程控制的独有特性, 使系统能进行实时推理, 实现高速高精度的控制.

本文所设计的连铸中间包塞棒开启机构专家控制系统, 控制结晶器液位按国外类似产品的精度规定允许液位波动在  $\pm 10$  mm 以内考虑. 现场工业试验证明系统具备很强的可靠性, 之后正式投入实时运行. 图4是 EC 控制下的液位曲线及相应的控制量输出状况(控制周期为 300ms).

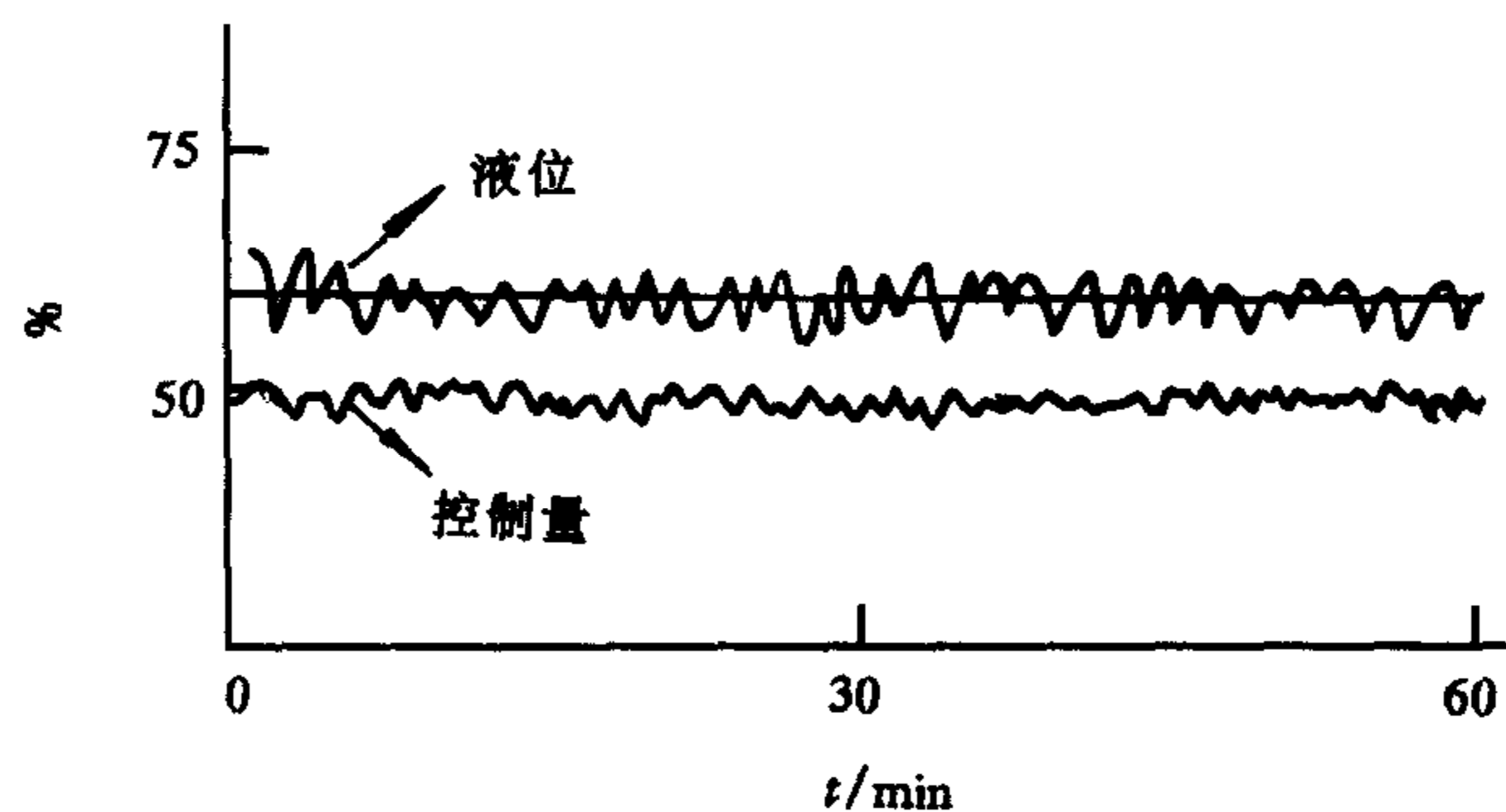


图4 自动控制浇铸状况

从系统实际运行情况看, 系统控制量的输出只在一较小范围内进行调节, 而钢水液位却能较好地稳定在设定位置附近. 实际液位变化在  $\pm 5$  mm 以内, 比液位允许波动范围  $\pm 10$  mm 小很多, 达到工业生产的要求.

## 4 结束语

本文提出的一类适合于连续生产过程实时控制的专家控制方法, 控制器设计简单、方便. 这种专家控制求解速度快, 实时性好. 该方法已应用到特殊钢连铸塞棒开启机构控制的结晶器液位控制系统中, 系统运行的控制品质和鲁棒性很好, 操作简便易行, 深受现场操作人员的欢迎, 这对于发展和完善我国自己的连铸生产技术起到了积极的推动作用.

## 参 考 文 献

- 1 Katsuno H, Mendelson A O. Propositional knowledge base revision and minimal change. *Artificial Intelligence*. 1991, 52 (3): 263—294

- 2 涂亚庆. 一种新型的仿人智能控制器的设计方法. 自动化学报, 1994, 20(5): 616—621.
- 3 熊庆宇. 连铸机中间包塞棒位置控制实现研究. 冶金自动化, 1993, 17(6): 7—9

## DESIGN OF REAL-TIME EXPERT CONTROL SYSTEM AND ITS IMPLEMENTATION FOR METALLURGICAL CONTINUOUS CASTING STEEL PROCESS

HUANG XIYUE    XIONG QINGYU    SHI WEIREN    CHAI YI

(Engineering College of Electronic Information, Chongqing University, Chongqing 400044)

**Abstract** According to practical requirements of industrial manufacturing, an expert control method for real-time control system of continuous process is presented. It makes theoretical design of controller simple and convenient. And the result of its application demonstrates that the system possesses higher reliability and better real-time nature.

**Key words** expert control, metallurgical continuous casting, engineering implementation.



(上接第372页)

2. 文章结构请参照本刊近期发表的文章格式, 论文摘要限制在200字左右, 其内容包括研究目的、方法、结果和结论等. 文中非标准缩写词(中文或英文)须在首次出现时定义清楚, 公式、图、表均须分别用阿拉伯数字全文统一编号.

3. 计量单位一律采用法定计量单位, 即 SI 单位. 名词术语必须规范化、标准化, 前后一致. 外国人名、地名、书刊名称除已通用者外一律用原文.

4. 参考文献按文中出现的先后次序排列. 期刊的格式为: 编号 作者(姓在前, 如 Wiener L N, Kalman R E, Wang H 等). 文章题目. 期刊名(外文可根据国际惯例使用缩写词), 年, 卷号(期号): 页码顺序编排. 图书的格式为: 编号 作者(姓在前). 书名. 出版地点: 出版者, 年份, 页码顺序编排. 正文未引用的文献及未公开发表的文献不得列入参考文献栏目.

5. 文末附英文摘要(内容与中文一致). 摘要包括英文标题、作者姓名和工作单位、文章摘要、关键词. 摘要一般不超过250个单词.

6. 来稿最好用方正打印. 打印稿请用四号字, 行间空距不小于7毫米. 文中符号、大小写等必须清楚.