

鲁棒保护-时滞跟踪自适应控制 及其在球磨机上的应用

徐宏跃 傅家祥
(贵州工学院)

摘 要

本文介绍鲁棒保护-时滞跟踪自适应控制新方法,着重论述该方法在球磨机微机自控系统中的成功应用。实践和计算机仿真实验都一致表明:该方法成功而有效地解决了时变滞后系统的控制问题,克服了自校正调节器等方法的主要缺点,其实际工程应用效果令人十分满意。

一、引 言

工业系统中普遍存在的时滞都具有不同程度的时变性,且对象时滞变动对控制系统的稳定性及控制品质等的影响极大。因此对于时变滞后系统控制这一难题的研究具有重要的理论意义和很大的应用价值^[1]。

Åström 提出的自校正调节器 (STR) 能较好地解决未知定常参数系统的控制问题^[2]。但这一类经典自校正方法都不适用于时变滞后系统^[3-5]。尤其是当对象时滞变化较大时,STR 和那些经典自校正控制技术都不能保证系统稳定^[1,3-6]。为此,作者提出鲁棒保护-时滞跟踪自适应控制 (RTAC) 新方法。大量的计算机仿真实验表明,RTAC 方法很好地解决了上述难题^[6]。特别是该方法在球磨机自控系统中获得了成功应用,从而有力地证实了它的优越性及其工程应用价值。

二、鲁棒保护-时滞跟踪自适应控制

定理 1. 设实系数多项式

$$\varphi(z^{-1}) = 1 + \alpha_1 z^{-1} + \dots + \alpha_n z^{-n}$$

含有单位圆外的根,则存在着正实数

$$\omega \geq \sum_{i=1}^n |\alpha_i| - 1 + \varepsilon, (\varepsilon > 0), \quad (1)$$

使得方程 $\Phi(z^{-1}) = \varphi(z^{-1}) + \omega = 0$ 的所有根都位于单位圆内。

定理 2. 设实系数多项式

$$f(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + \dots + f_n z^{-n}, (f_0 > 0),$$

含有根 $|z| > 1$; $g(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + \dots + g_n z^{-n}, (g_0 > 0)$ 为另一实系数多项

式. 如果存在

$$R > \frac{\left| \sum_{i=1}^n f_i \right| - f_0}{g_0 - \left| \sum_{i=1}^n g_i \right|} > 0, \quad (2)$$

则方程 $F(z^{-1}) = f(z^{-1}) + Rg(z^{-1}) = 0$ 的根全部都满足 $|z| < 1$. 定理 1、2 与下述命题 1、2 的证明及应用参见 [6]、[7].

命题 1. 在最小方差自校正控制系统中, 如果预报模型的时滞 m_0 等于对象时滞 m , 则预报误差 $\varepsilon_0(t)$ 的方差为最小, 即

$$E[\varepsilon_0^2(t)]|_{m_0=m} = \min\{E[\varepsilon_i^2(t)]\}, \quad i = m - m_0. \quad (3)$$

命题 2. 设(3)式的预报误差 $\varepsilon_i(t)$ 为各态历经的平稳随机过程, 则当 N 取得足够大时,

$$\sum_{t=1}^N \varepsilon_0^2(t)|_{m_0=m} = \min \left\{ \sum_{t=1}^N \varepsilon_i^2(t) \right\} \quad (4)$$

成立. 在实用中(4)式往往可用下式代替:

$$\sum_{t=1}^N |\varepsilon_0(t)| |_{m_0=m} = \min \left\{ \sum_{t=1}^N |\varepsilon_i(t)| \right\}.$$

为了圆满地解决时变滞后系统的控制问题, 作者研究出新的控制策略和时滞跟踪方法等, 进而提出 RTAC 新方法如下:

(1) 对象模型. 设被控对象(参数未知)为 CAR 模型

$$y(t) + \sum_{i=1}^n a_i y(t-i) = \sum_{i=0}^n b_i u(t-m-i-1) + e(t),$$

其中参数 a_i 、 b_i 均未知且缓变.

(2) 预报模型. $y(t+m_0) = \beta_0 u(t) + \theta^T(t)x(t) + \varepsilon(t+m_0)$, 合理选取式中 m_0 的初值, 并由时滞跟踪法则(5)在线校正.

(3) 控制算法. 设 $u(t) = -\frac{\theta^T(t)x(t)}{\beta_0 + R(y, u, t)}$, 式中鲁棒保护函数 $R(y, u, t)$ 随系统运行工况取适当的值^[6], 并由 RTAC 控制策略(6)调整, 以确保控制系统稳定. 若令 $R(y, u, t) = 0$, 则该控制算法就是 STR 的控制律.

(4) 参数估计. 采用带有遗忘因子的递推最小二乘法 (RLS, 见[6])在线辨识参数 $\theta(t)$.

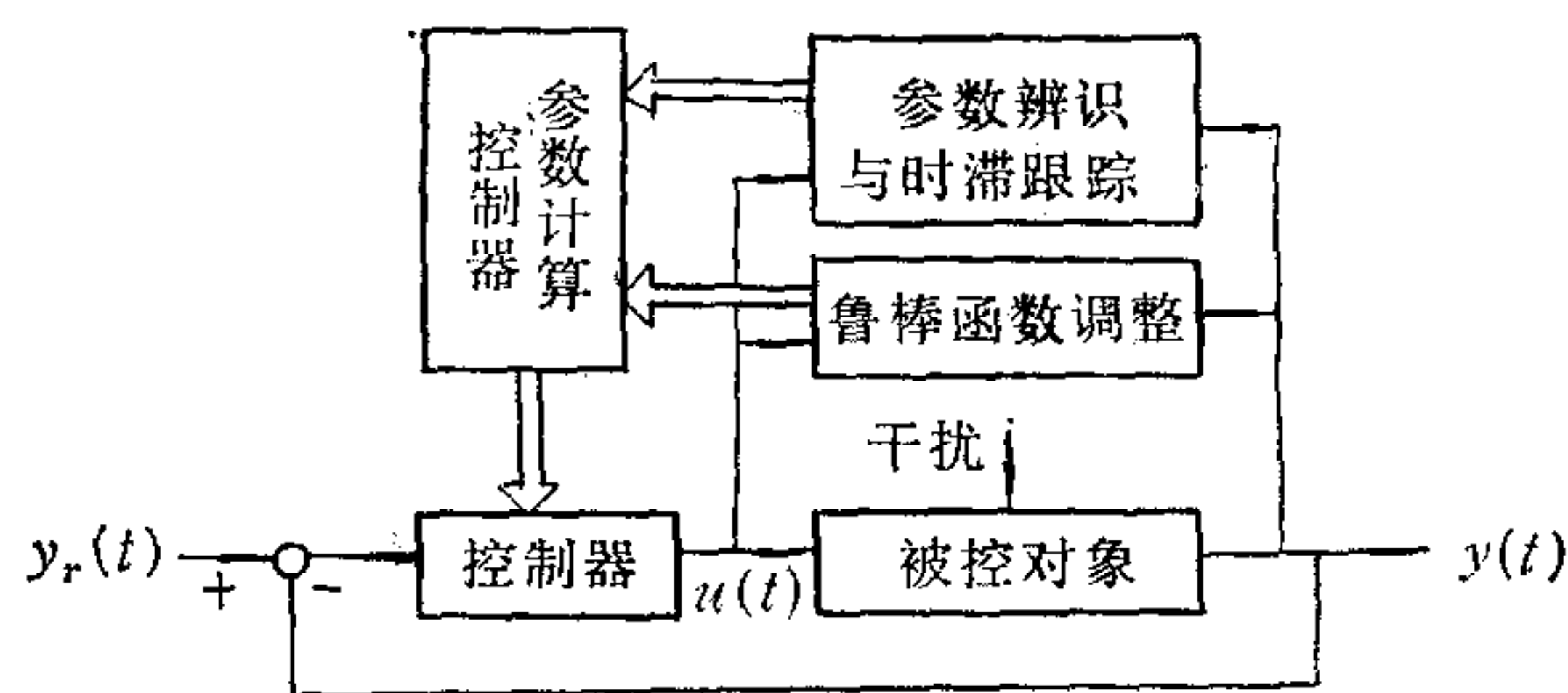


图 1

(5) 时滞跟踪法则。根据命题 1、2 取 $m_i \in \{m_0 - 1, m_0, m_0 + 1\}$ 且使预报误差指标 $J = \sum_{t=t_1}^{N+t_1} |\varepsilon_i(t)| = \min$ 的 m_i 为新的 m_0 , 并取代所有的原 m_0 值, 即每 N 步校正一次 m_0 使 $m_0 = m$, 从而实现时滞跟踪。

(6) RTAC 控制策略。当系统时滞失配 ($m_0 \neq m$), 使系统的 $y(t)$ 、 $u(t)$ 趋向于异常时, $R(y, u, t)$ 立即自动取大值以保证系统稳定; 与此同时, 时滞跟踪法则(5)迅速使 m_0 跟踪上 m , 即 $m_0 = m$ 。当系统正常运行后, $R(y, u, t)$ 随之衰减为零, 使系统恢复最小方差控制。

RTAC 系统框图见图 1。该方法的大量数字仿真结果都十分令人满意。

三、RTAC 方法在球磨机上的应用

球磨机系统包括球磨机、圆盘给料机和提升机等主要大设备。混合物料经球磨机加工后由提升机送到选粉机筛选, 输出成品后剩余料再回馈到球磨机与进料一起再被加工, 如此循环工作。球磨机系统是典型的大时变超大滞后(20-40 分钟)系统, 并且其动态特性复杂, 参数时变, 随机干扰多以及回料量大等。该系统的理想工作指标是保持提升机电流 $I = (24 \pm 1)$ 安, 即系统满负荷运行, 但因其难控性, 人工操作只能欠载运行 ($I < 20$ 安)且易出事故。

为使这类复杂系统稳产高产, 笔者研究设计出其微机控制系统示于图 2。图中控制机为 TMC-80 型微机(配有外设), 被控量 I 经电流互感器和 A/D 进入机器, 主机输出控制量用于控制步进电机来调节可控硅整流输出量, 以驱动圆盘给料机来控制进料量, 从而实现对球磨机系统的自动控制。

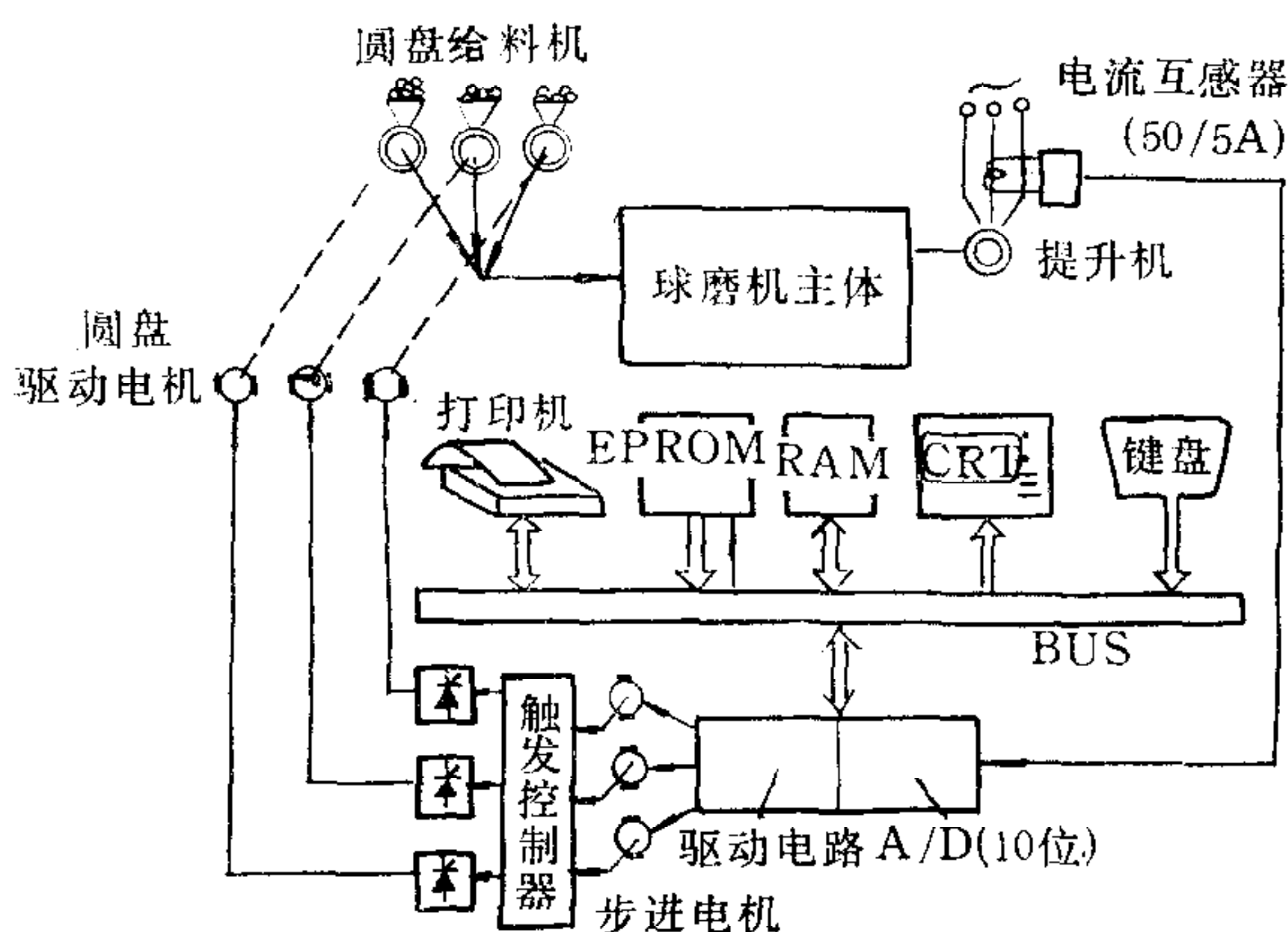


图 2

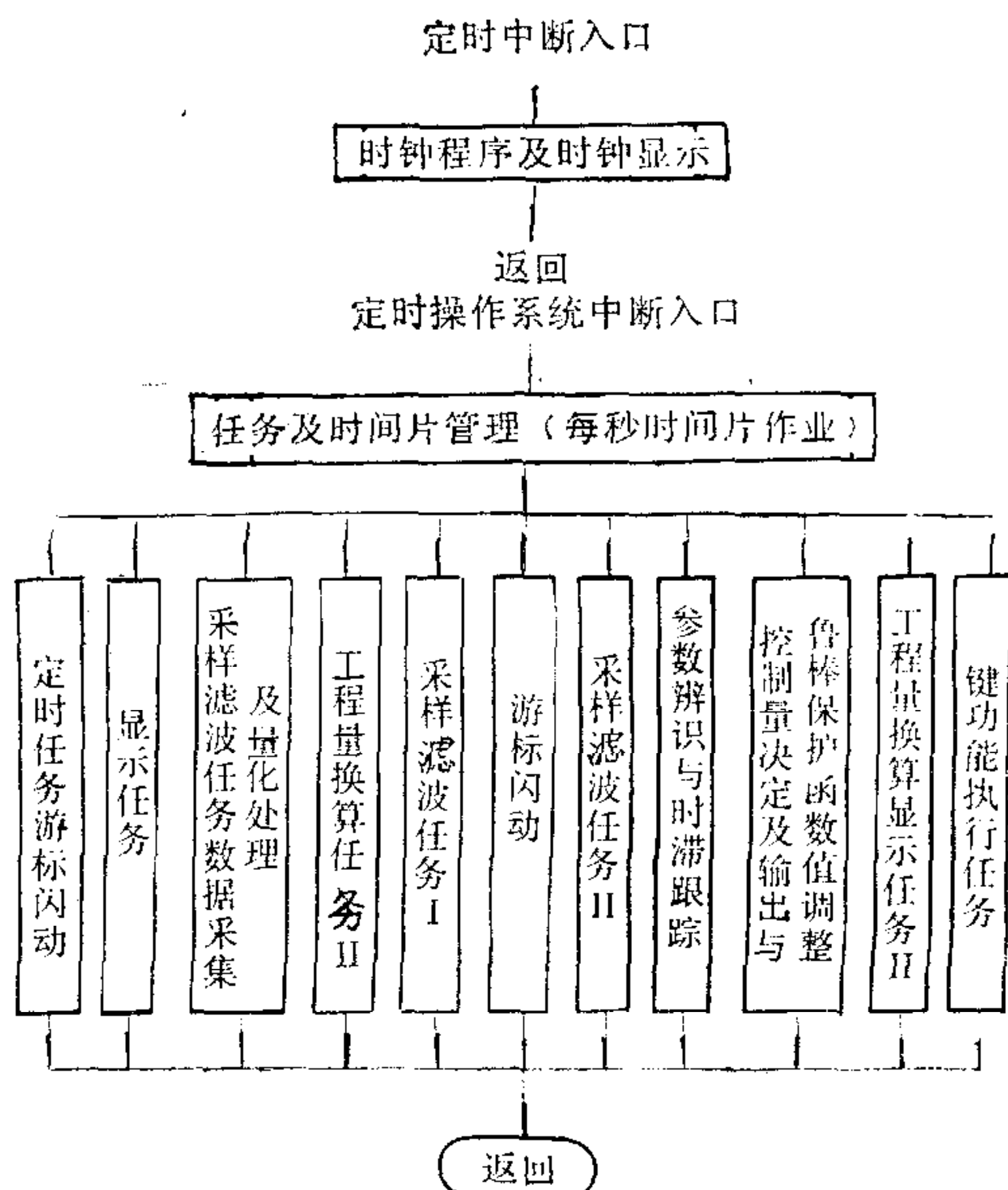


图 3

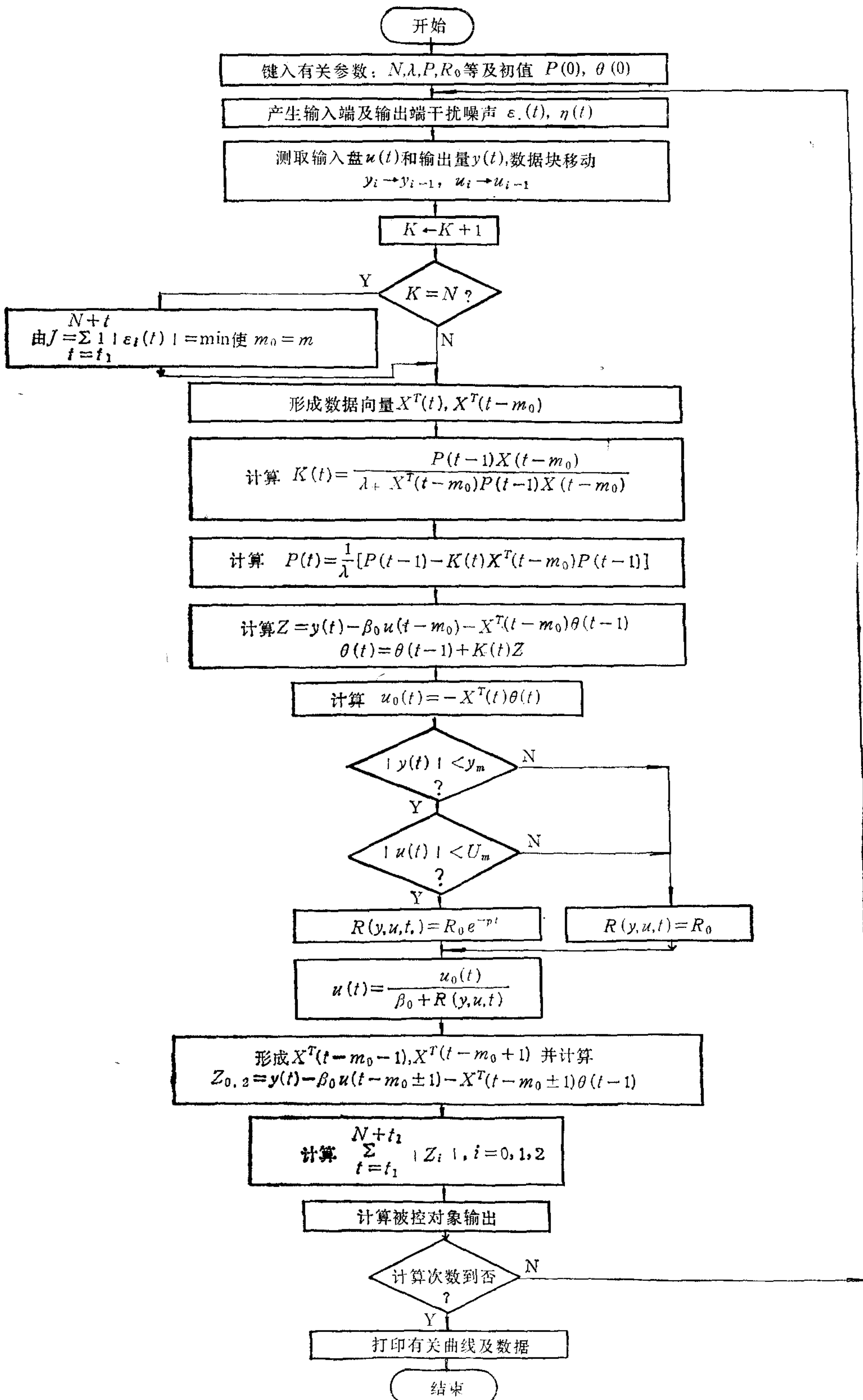


图 4

在构成图 2 系统并设计出其控制方案后,已经进行了大量的软件编制与调试.其中实时操作中断服务程序框图见图 3. 这部分全部采用功能块结构并分别由各子程序来完成. RTAC 的应用软件采用 Z-80 汇编语言的短浮点制编制. RTAC 算法(占内存 0.8K, 占时约 0.7 秒)的程序框图如图 4 所示.

通过现场大量研究、分析与调试,选择出一组较好的控制参数 (N , R_0 , λ 等),协调了系统的软硬件等,并使该控制系统投运成功,获得了非常好的控制效果.由图 5 可知, RTAC 控制系统的输出值基本保持在最佳指标上,即满负载运行.这使该系统的水泥产量提高 5—8%;吨水泥电耗减少 3%,从而提高了球磨机的效率,取得了较显著的经济效益.

实践证明, RTAC 新方法具有许多明显的优越性^[6]和应用价值,可以推广应用到工业过程控制中.

参 考 文 献

- [1] 胡锡恒,徐宏跃,时变滞后系统自适应控制,信息与控制,第 4 期(1986),38-43.
- [2] Astrom, K. J. and Wittenmark, B., On self-tuning regulators, *Automatica*, 2(1973), 185—199.
- [3] Allidina, A. Y., Hughes, F. M. and Tahmassbi, T., An implicit selftuning controller for variable delay systems, 7th IFAC Identification and Systems Parameter Estimation, York, UK. 1985, 1779—1785.
- [4] Kurz, H. and Goedecke, W., Digital parameter-adaptive control of processes with unknown dead time, *Automatica*, 11(1981), 245—253.
- [5] Wong, K. Y. and Bayoumi, M. M., A self-tuning control algorithm for systems with unknown time delay, 6th IFAC World Congress, 1982, 1064—1069.
- [6] 徐宏跃,胡锡恒,时变滞后系统的鲁棒保护-时滞跟踪自适应控制,信息与控制,第 1 期(1987),1—6.
- [7] 徐宏跃,实系数多项式根的两项引理及其应用,自动化与仪器仪表,第 4 期(1986),4—7.

ROBUSTNESS PROTECTION-TIME DELAY TRACING ADAPTIVE CONTROL AND ITS APPLICATION TO BALL MILL SYSTEM

XU HONGYAO FU JIAXIANG

(Guizhou Institute of Technology)

ABSTRACT

In this paper, a new method of Robustness Protection-Time Delay Tracing Adaptive Control(RTAC) is introduced, and its successful application in the microcomputer control system of the ball mill is emphatically discussed. Application and digital simulation results all demonstrate that RTAC has effectively solved the control problem of systems with varying time delay, and has avoided the main weakness of self-tuning regulators. The practical effects of its application to industry are quite satisfactory.

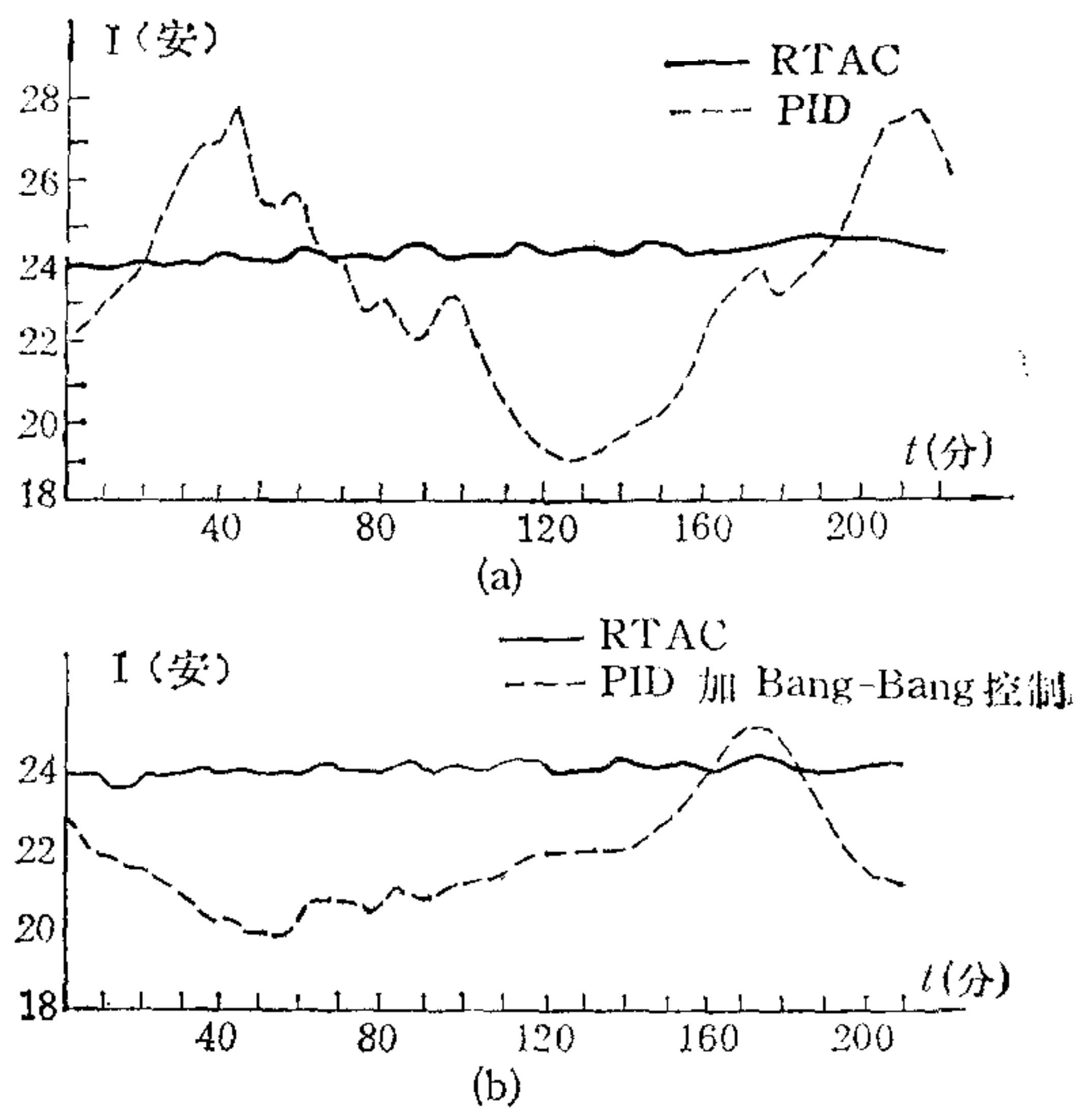


图 5