

短 文

一类新型的智能控制器及其在电加热炉中的应用

张志强 王顺晃 舒迪前

(北京科技大学自动化系 100083)

摘 要

此文介绍一类新型的智能控制器及其在电加热炉中的应用, 讨论了智能控制器的知识表达、控制量求取和自学习过程, 并给出实时控制结果。

关键词: 电加热炉, 智能控制, 自学习。

1 前言

近年来智能控制有了很大的发展, 新的观点和方法不断涌现。本文设计的智能控制器以人的经验知识, 逻辑思维和记忆学习为基础, 吸取控制理论已有成果, 把定性知识和定量知识结合起来, 对电加热炉进行实时控制, 其结构框图如图 1 所示。图 1 中“黑板”构成求解问题的框架, 并存放控制量和过程状态数据, “黑板”上的数据一旦产生就保持不变, 直到下次求解过程开始时被擦掉为止。

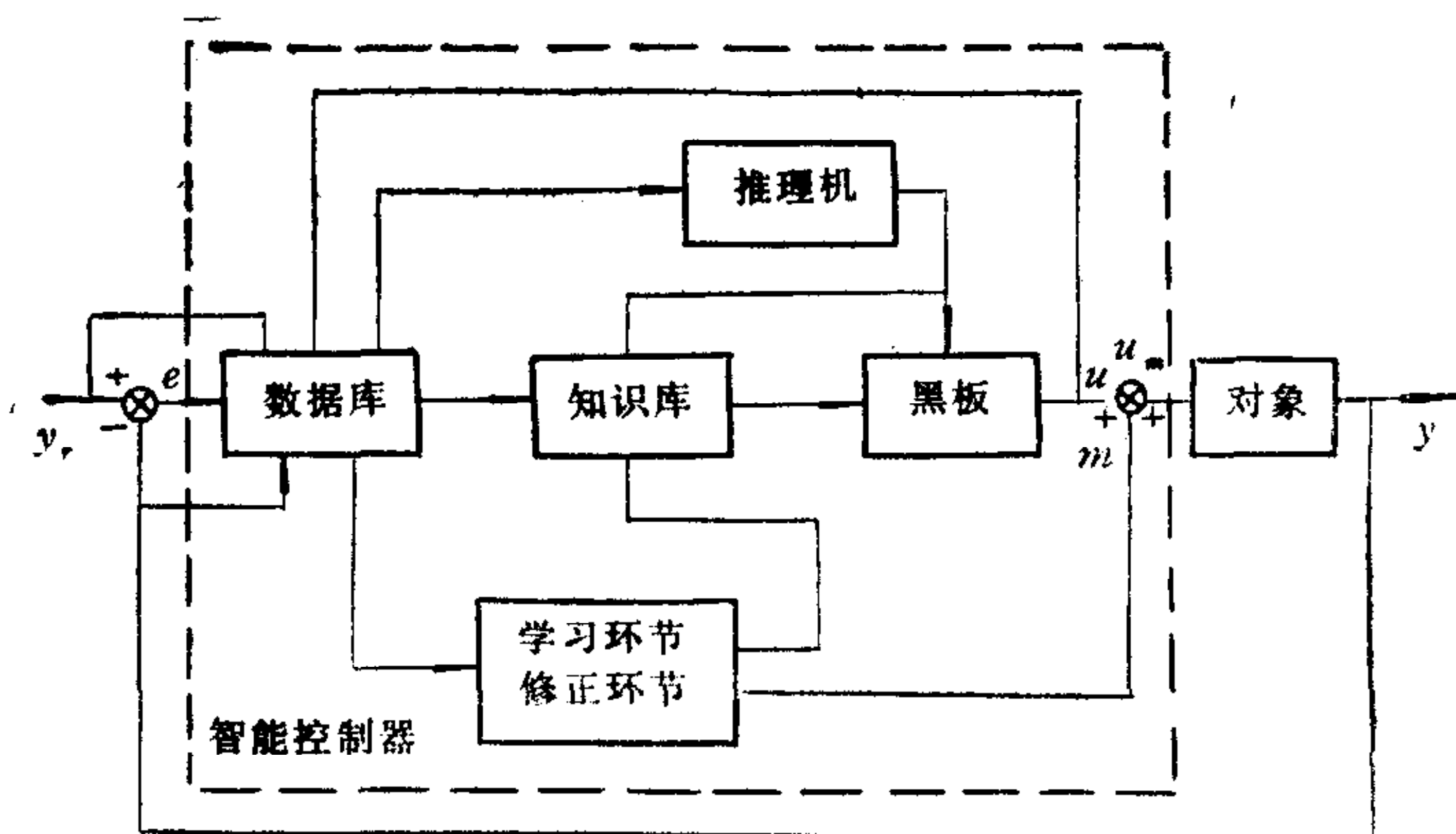


图 1 智能控制器的结构框图

2 智能控制的知识表达与推理^[1]

智能控制是利用人的知识和经验,基于人对被控制量进行给定值调节的过程,可以得到图 2 所示的一组产生式规则。如 (PSe, PMdy) → NMC。图 2 中 $y(t)$ 为被控制量, y_r 为给定值, C 表示控制量, B、M、S、Z 分别表示大、中、小、零等模糊概念, P、N 分别表示正、负。

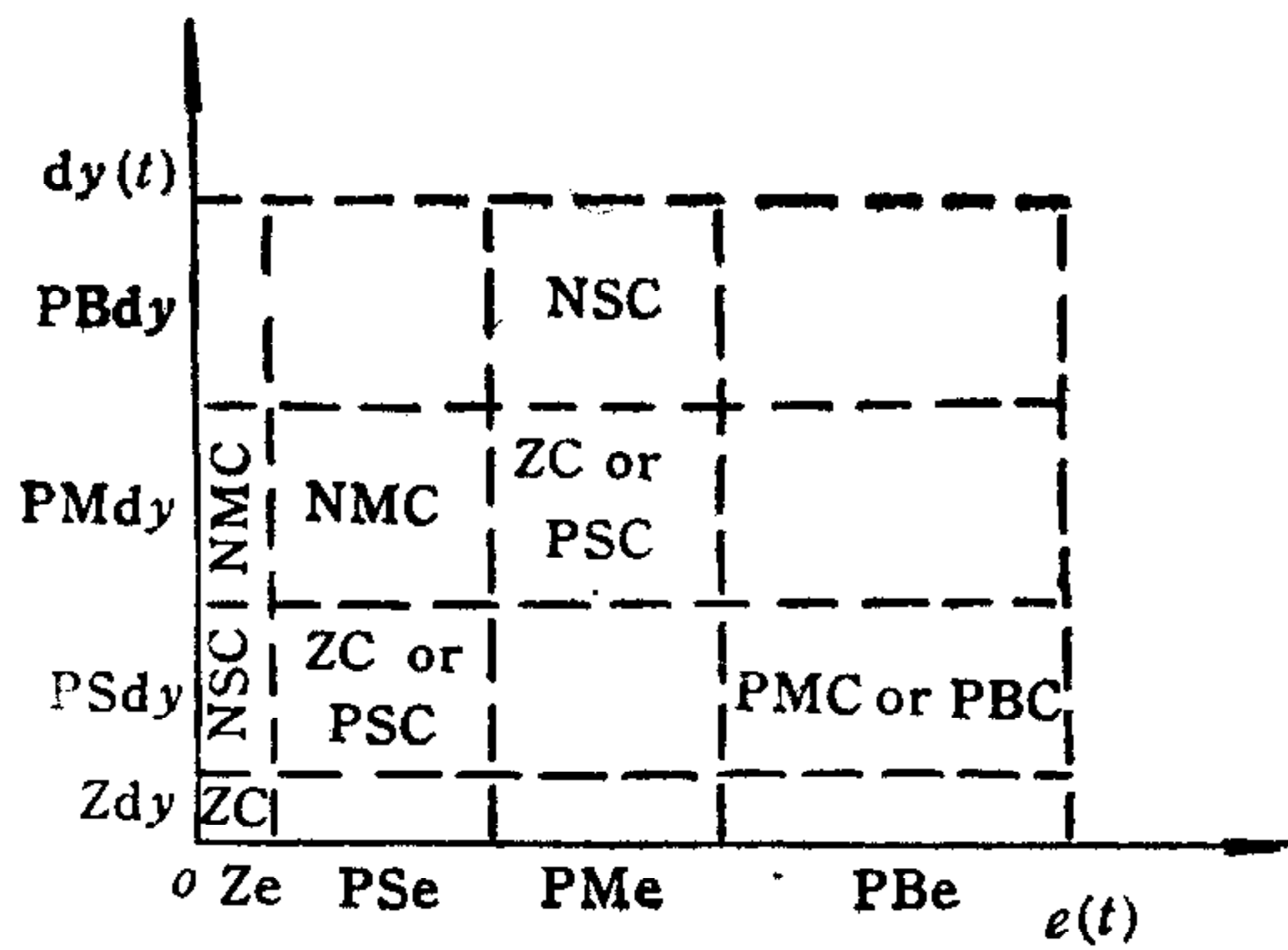


图 2 规则构成局部示意图

上述规则中的大、中、小、零等都是模糊概念,通常可以引入模糊集方法来细化规则,但这样增加控制规则使推理速度变慢,而且 $e(t), dy(t), u(t)$ 的描述仍然是离散的,使控制器产生死区,影响控制精度。为解决这个问题,作者提出一种新的知识表达,及推理方法。

如图 3 所示, $e_i, dy_i, u_i (i = 1, 2, \dots)$ 分别将 $e(t), dy(t)$ 和 $\Delta u(t)$ 分成七个区间,对应不同状态。对 $e(t)$, 引入变量 $he (0 \leq he \leq 1)$ 来描述 $e(t)$ 在不同区间上的相对大小,并使 he 与 $e(t)$ 在不同的区间上有不同的线性关系,如

$$Ze: he = 0, (e_5 < e(t) < e_1),$$

$$PSe: he = \frac{e - e_1}{e_2 - e_1}, (e_1 < e(t) < e_2),$$

.....

同理对于 $dy(t)$, 引入变量 $hdy (-1 \leq hdy \leq 0)$, 则有

$$Zdy: hdy = 0, (dy_5 < dy < dy_1),$$

$$PSdy: hdy = \frac{dy - dy_1}{dy_1 - dy_2} (dy_1 < dy \leq dy_2),$$

.....

对于 $u(t)$, 引入变量 hu 来描述它在各区间上的相对大小,有

$$hu = he + hdy, (-1 \leq hu \leq 1).$$

在不同的控制器输出状态下(如 PSC, PMC 等), 在 Δu 与 hu 之间构造不同的线性关系,如

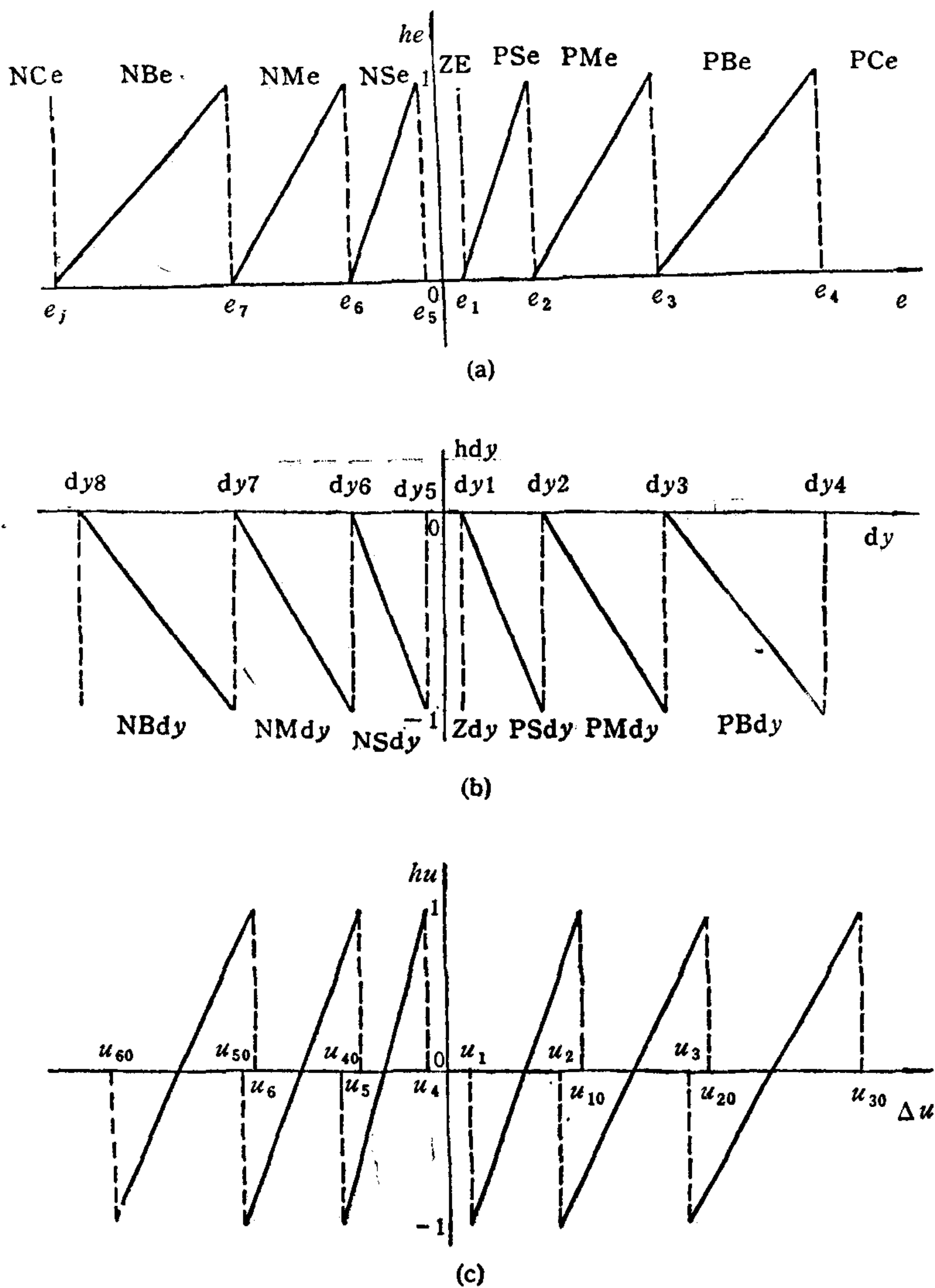


图 3 控制量求取说明

$$ZC: \Delta u = 0,$$

$$PSC: \Delta u = \frac{hu + 1}{2} (u_{10} - u_1) + u_1,$$

.....

在图 3(c) 中, $u(t)$ 的相邻两个状态之间有一个重叠区, 它可以使得相邻的两个控制局势之间实现平滑过渡, 从而消除了一般规则控制所难克服的死区, 提高了控制精度。

基于上述知识表达方法, 控制量求解步骤如下:

- 1) 根据采样值判断 $e(n)$, $dy(n)$ 所处模式, 并求出相应函数 $he = f_1(e)$, $hdy = f_2(dy)$;
- 2) 根据 $e(n)$, $dy(n)$ 所处模式对控制规则集进行搜索, 找到匹配的规则后, 记下该

规则的修正系数 r 和 $u(t)$ 所处模式(如 PSC, PMC 等), 并找到与该模式相对应的函数 $\Delta u = f(hu)$

3) 计算控制量

$$u(n+1) = u(n) + r \cdot f_3(f_1(e(n)) + f_2(dy(n))).$$

这种知识表达和推理方法可消除控制死区, 提高控制精度, 加快控制量求解过程。

3 学习环节^[2]

学习是人类主要智能活动, 也是衡量控制器智能水平的重要标志之一。作者提出“动态奖罚”的学习方法。如果被控制量有减小偏差的好趋势, 即制定函数 $C(n) = e(n) \cdot dy(n) > 0$ 时, 则对产生导致这一变化控制量的控制规则进行奖励, 即乘以一个系数 $r (r > 1)$ 使控制作用增强; 如果被控制量有增大偏差坏趋势, 即 $C(n) < 0$ 时, 则对相应控制规则进行处罚, 即乘一个系数 $r (0 < r < 1)$ 使控制作用减弱。学习算法为

1) 系统启动后, 取对象的纯滞后拍数 d ;

2) 在第 n 时刻, 从数据库读取 $e(n), dy(n), e(n-1-d)$;

3) 从数据库中读取 $u(n), u(n-1-d)$ 所使用规则的序号 $num(n), num(n-1-d)$;

4) 根据 $num(n-1-d)$ 从数据库中读取相应的规则加权系数 $r[num(n-1-d)]$;

5) 判断 $e(n)$ 所处模式 (Ze, PSe, ...), 取

$$a = \max\{e(n) \text{ 所处模式端点偏差的绝对值}\};$$

6) 判断 $e(n-1-d)$ 所处模式, 取

$$b = \max\{e(n-1-d) \text{ 所属模式区间端点偏差绝对值}\};$$

7) 计算评价函数 $C(n) = e(n) \cdot dy(n)$;

8) 如果 $C(n) = 0$, 转 13), 如果 $C(n) > 0$ 转 9), 如果 $C(n) < 0$ 转 11);

9) 计算量化函数 $f(n) = 1 + |e(n)| / (a + b)$;

10) 如果第一次修正 $r[num(n-1-d)]$, 则取

$$r[num(n-1-d)] = f(n), \text{ 否则取}$$

$$r[num(n-1-d)] = \min\{r[num(n-1-d)] \text{ 的原有值}, f(n)\};$$

11) 计算 $f(n) = 1 - |e(n)| / (a + b)$;

12) 若是第一次修正 $r[num(n-1-d)]$, 则取

$$r[num(n-1-d)] = f(n), \text{ 否则取}$$

$$r[num(n-1-d)] = \max\{r[num(n-1-d)] \text{ 原有值}, f(n)\};$$

13) 本次学习结束。

通过多次仿真和实验结果表明, 对同一被控对象, 某一规则的加权系数 $r[num()]$ 的变动范围越来越小, 可见 $r[num()]$ 是收敛的。而且, 这一学习算法有较好的在线学习效果, 并能把本次学习结果作为永久知识保存起来, 下次实验控制器自动将它们作为已有的知识来使用。

4 实时控制结果

以电加热炉为对象进行实时控制,系统在单位函数输入下,其输出过渡过程如图 4 所示。实验数据见表 1。

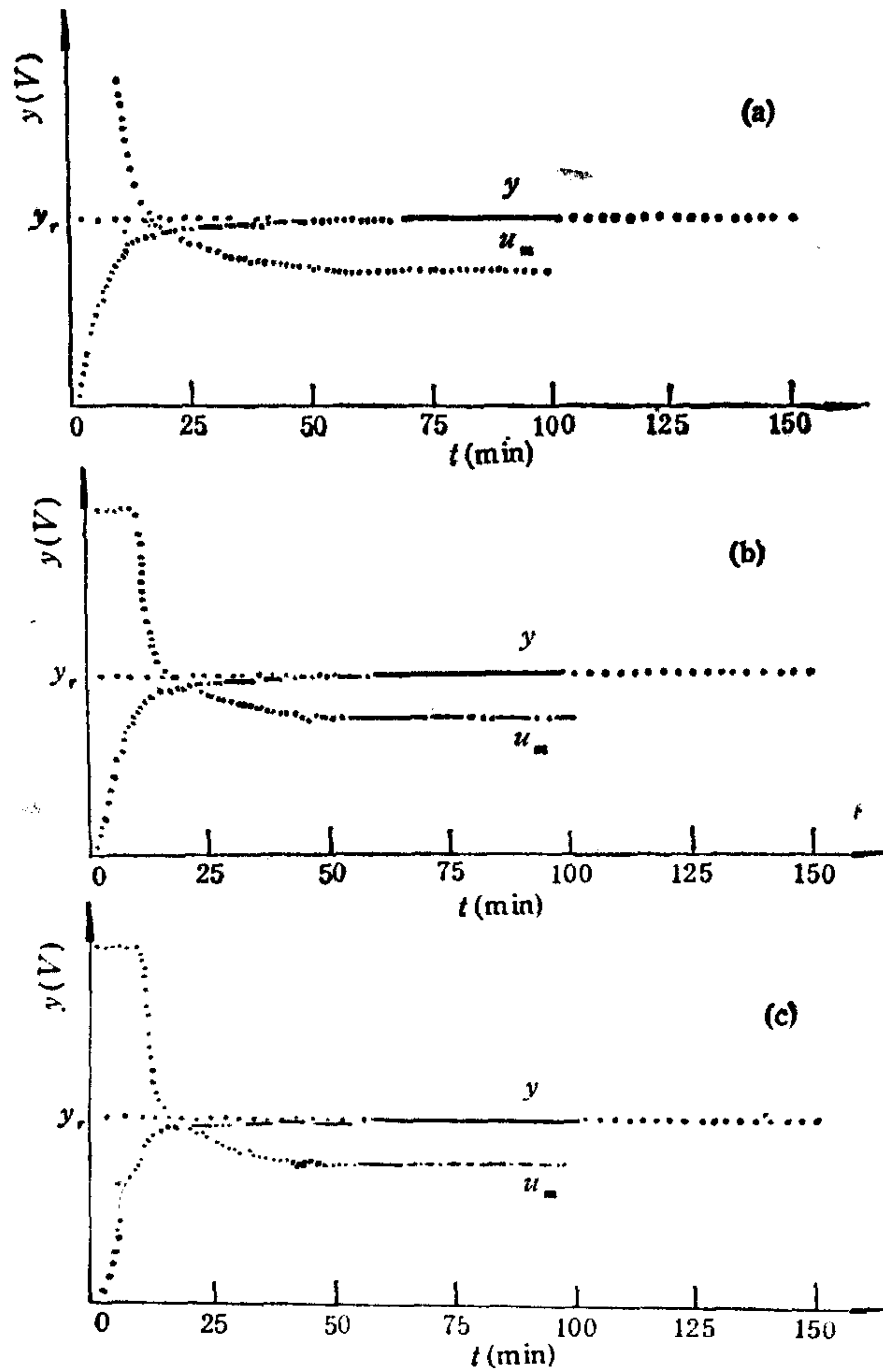


图 4 智能控制系统输出波形

表 1 实 验 数 据

图 名	设 定 值		第几次运行	进入 $ e < 2^{\circ}\text{C}$ 所需时间 (分)	到稳态所需 的时间 (分)	稳态误差 $^{\circ}\text{C}$
	$^{\circ}\text{C}$	V				
图 4(a)	503	5.2	1	71	76	-1—+2
图 4(b)	503	5.2	2	60	69	-1.5—+1.5
图 4(c)	503	5.2	3	56	68.5	-1.5—+1.5

实时控制结果验证了上述关于控制量求解速度、控制精度及自学习效果等方面结论的正确性。

参 考 文 献

- [1] Aström K J et al. Expert Control, *Automatic*, 1986, 22(3): 157—215.
- [2] F K S. Learning Control System and Intelligent Control System: An Intersection of AI and Automatic Control. *IEEE on AC*, 1971, 16(4): 318—342.

A NEW INTELLIGENT CONTROLLER AND ITS APPLICATION IN THE ELE- CTRIC HEATING FURNACE

ZHANG ZHIQIANG WANG SHUNHUANG SHU DIQIAN

(Dept. of Automation, Beijing Univ. of Science and Technology
100083)

ABSTRACT

In this paper, a new intelligent controller and its application in the electric heating furnace are introduced. The knowledge expression of intelligent control, obtaining of control value and self-learning process are emphatically discussed. Results of real-time control are also given.

Key words: Electric heating furnace; intelligent control; selflearning.