

啤酒发酵全系数自适应控制

钟国民 李志民 燕育民

(河北机电学院) (河北电子技术研究所)

摘 要

笔者运用吴宏鑫提出的全系数自适应控制方法及经验公式^{[1], [2]}, 对啤酒发酵温度进行控制。文章给出了这一具有滞后特性的全系数自适应控制系统, 并对经验公式进行了简化, 以便在单板计算机上简单地实现。该系统已用于石家庄啤酒厂露天发酵罐, 并获得成功。

一、被控对象特性

被控对象是露天锥形啤酒发酵罐, 其温度特性可用一阶差分方程描述。啤酒发酵是一个复杂的生化反应过程。由于酵母的作用, 把糖类转变为二氧化碳、酒精, 并放热。最后要求负温保温。整个发酵过程的温度是一条随时间变化的曲线。此即所谓工艺曲线。

影响发酵的因素很多, 关键是温度。某种发酵工艺对温度的要求, 以及温度对发酵过程的影响如图1所示。

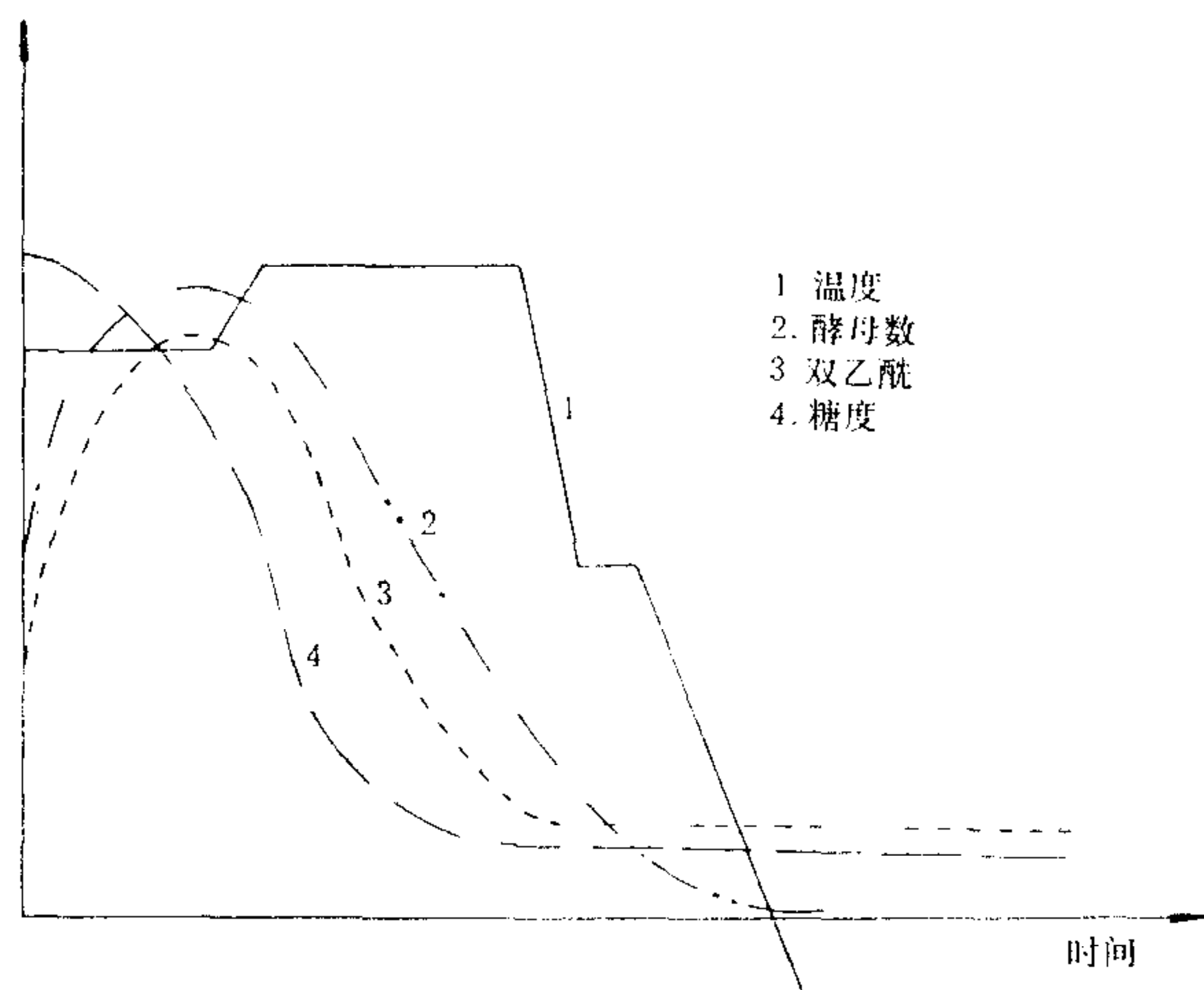


图1 发酵过程主要参数变化

啤酒发酵是一个复杂的大容器（一百立方米）热过程。一方面由于发酵放热，一方面

本文初稿于1985年11月19日收到。

1) 吴宏鑫, 自适应控制方法及其应用(讲义), 河北自动化学会翻印, 1984年11月, 第228页。

要按工艺要求升温、降温、保温。不仅要向锥形罐夹套注入冷却液,通过罐壁与罐内发酵液进行热交换,而且罐内发酵液内部又以自然对流方式(无搅拌)进行热交换。这种热交换在发酵前期、中期、后期差异较大,即被控对象模型参数变化较大。要准确建立数学模型比较困难。采用全系数自适应控制,只需确定数学模型阶数,测量估算一个滞后步数,即可编制算法实施控制,系统参数变化及环境影响可看作干扰编入算法自动处理。应当指出,啤酒发酵工艺温度曲线连续变化,没有突变,且变化速度较慢。采用全系数自适应控制非常合适。该方法中有状态预报,所以尽管对象滞后较大,仍能适应。啤酒发酵热过程可用一阶惯性环节加纯滞后动态特性描述。开环传递函数为

$$G(s) = \frac{T(s)}{u(s)} = \frac{b_0}{s + a_0} e^{-T_0 s}. \quad (1)$$

系统的微分方程为

$$\frac{dT(t)}{dt} + a_0 T(t) = b_0 u(t - T_0). \quad (2)$$

其中 $T(t)$ 为发酵温度; $u(t)$ 为控制量; T_0 为滞后时间。

相应的差分方程为

$$T(k) = AT(k-1) + Bu(k - k_0). \quad (3)$$

其中 k_0 为滞后步数, $k_0 = \frac{T_0}{\Delta t}$; Δt 为采样周期;

$$A = e^{-a_0 \Delta t}, \quad (4)$$

$$B = \frac{b_0}{a_0} (1 - e^{-a_0 \Delta t}). \quad (5)$$

二、数字仿真及微机实现

1. 数字仿真

根据设计要求,控制精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。为了给单板计算机控制寻求较好的算法,在 AppLEII (后又在 IBM-PC 和 PC-9801FC) 微机上用四种算法进行了仿真研究。由于啤酒发酵温度曲线慢变无突跳,所以主要使用下面增量方程作仿真模型:

$$y(k) = \alpha y(k-1) + \beta u(k - k_0) + e(k). \quad (6)$$

其中 $u(k)$ 为控制量; k_0 为滞后步数; $e(k)$ 为干扰; α, β 为待辨识参数;

$$y(k) = T_1(k + k_0) - T(k),$$

$T(k)$ 是对象输出, $T_1(k)$ 为工艺曲线离散值。

方法 1. 参数估计采用联合估计,控制决策用最小方差控制。所谓联合参数估计就是在过渡过程阶段或误差大于某一值时,以式(3)为基础用全量估计;当误差进入一定范围时,以式(6)为基础用增量估计。

方法 2. 参数估计用经验公式(以式(6)为基础),控制决策用最小方差控制。

方法 3. 参数估计同方法 2,控制决策用二次型性能指标最优控制。

方法 4. 简化算法。先用经验公式估计 β ,然后引入式(7)计算 α

$$\alpha(k) = 1 - \beta(k). \quad (7)$$

其理由有二。1)文献[1]已证明,用全系数自适应控制,模型系数可在线辨识,收敛于工程真值,系数之和为一;2)用方法2和3仿真,当计算到五十步左右时,模型系数 $\alpha(k)$ 与 $\beta(k)$ 之和等于一,以后始终保持这一关系,直到对整个工艺曲线仿真结束。

引入式(7),强迫式(6)两系数之和为一,是为了在单板机上实现简单。简化算法主要步骤基本上与经验公式相同。1)参数估计。先用经验公式估计 $\beta(k)$,再用式(7)计算 $\alpha(k)$;2)状态预报;3)控制决策。本系统用最小方差控制。

仿真表明,四种方法都能满足要求。就啤酒发酵这一特定对象而言,对于同一条工艺曲线,在相同初始条件下仿真,其进入误差范围 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 的速度,方法4较方法2,3稍慢。但也只需十多步仿真计算。用方法4仿真,在一定范围内改变式(3)的系数(相当于改变被控对象参数),仍可适应。仿真表明,式(3)系数 A 由0.6变到0.95(相应地 B 为0.4—0.05),仍保证很快收敛到 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 误差范围之内。由式(4)可知,相应的式(2)的参数 a_0 允许变化十倍。

2. 微机实现

本系统采用 MOTOROLA 公司的工业控制单板机 ID0653,采用总线结构,系统配置灵活,扩充方便,工作可靠,抗干扰性好。自行配置十六路十二位 A/D 模板,八路八位 D/A 模板,以及 I/O 接口板,报警、显示、操作板等。

软件配置有过程控制常规应用软件,数字滤波,自适应控制程序,自诊断程序等。在 EPROM 中存有七条不同的发酵工艺曲线,都可方便地进行修改。

硬件、软件均采用模块化结构,便于扩充,以实现多罐多参数控制,以及进一步实现两级分布式控制。

三、结 束 语

该系统工作可靠,操作方便,运行时毋须人工干预。自 1985 年 7 月投入运行,未出现

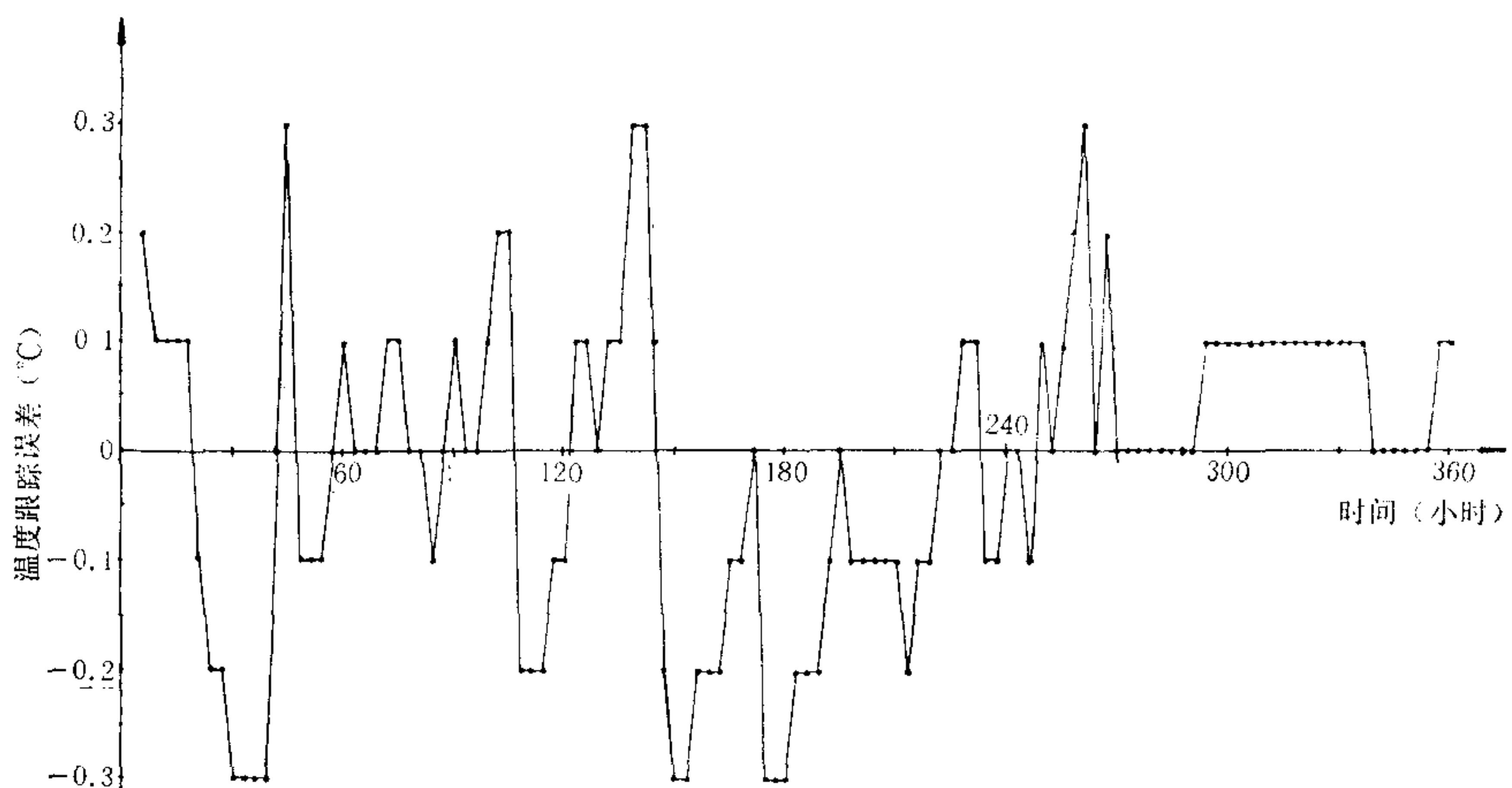


图2 温度跟踪误差曲线

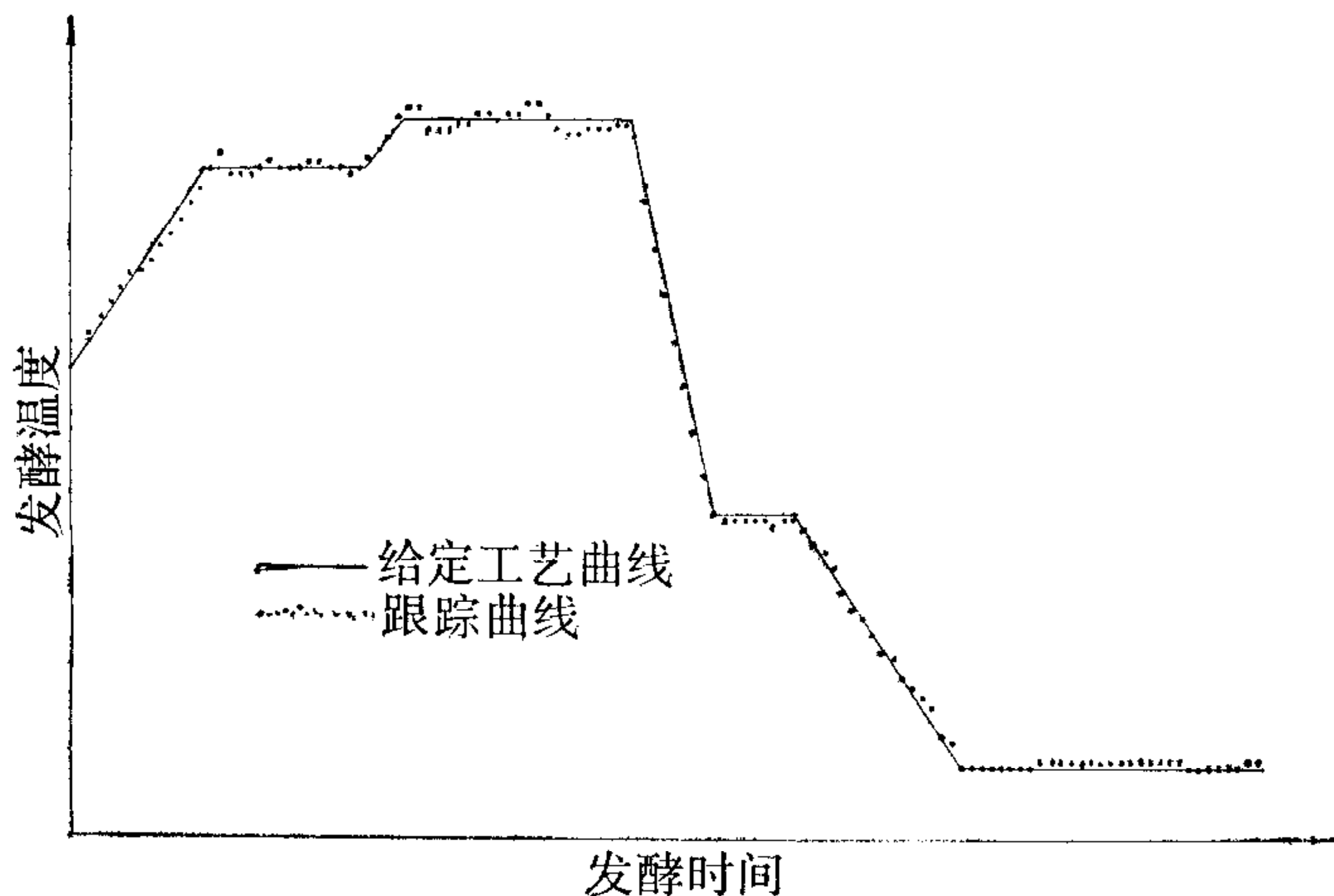


图3 温度跟踪曲线

故障。系统简单,对锥形发酵罐上、中、下三段冷却夹套,采用单回路调节,控制精度满足设计要求。现场实测误差小于 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$,均方误差小于 0.2。温度跟踪误差曲线如图 2 所示,温度跟踪曲线如图 3 所示。该项目于 1985 年 9 月 27 日通过省级鉴定。1986 年 6 月在北京参加全国微机应用展览,被评为优秀项目三等奖。截止 1987 年二季度,该系统已推广到河北、河南、山东的七个啤酒厂,控制 114 个发酵罐。

本文所提简化算法,使程序缩短,节省内存,减少了运算时间。实践表明,用全系数自适应控制设计的系统简单可靠,易于实现。对于啤酒发酵这一类被控过程,甚至使用简化算法,也达到设计指标。

在我们的工作中,得到吴宏鑫同志具体指导,得到北京控制工程研究所领导大力支持,表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 吴宏鑫、萨支天,一种全系数的自适应控制方法,自动化学报,第 11 卷,第 1 期,1985 年 1 月,第 12 页。

ALL-COEFFICIENT ADAPTIVE CONTROL FOR BEER FERMENT

ZHONG GUOMIN

(Hebei Institute of Machinery and Electricity)

LI ZHIMIN YAN YUMIN

(Hebei Institute of Electronic Technology)

ABSTRACT

By means of the all-coefficient adaptive control method presented in literature^[1] and an empirical formula, the authors are capable of controlling the fermentation temperature of beer brewery. With a view to simplify the control of temperature through a single board computer, the all-coefficient adaptive control system with lagging characteristic is presented and the empirical formula simplified. The system has already been adopted to an open air fermentation tank in Shijiazhuang Beer Factory and proved successful.