

文章编号: 1007-6492(2002)01-0055-04

智能控制在黄原胶发酵温度及pH 值控制中的应用

尚海涛, 陈铁军

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 简介了黄原胶发酵过程的工艺与特性, 重点讨论了发酵过程温度和pH 值的控制问题. 控制的重点与难点是系统的非线性与时变特性. 采用决策逻辑单元, 将模糊控制与智能PID 控制相结合, 以调节温度, 通过分析系统的误差曲线, 用仿人智能开关控制方法控制pH 值. 智能控制的方法取得了较好的控制效果.

关键词: 黄原胶发酵过程; 模糊控制; 智能PID; 仿人智能控制

中图分类号: TP 273.5 **文献标识码:** A

生化反应过程较为复杂, 在检测、建模和控制诸方面都有不少困难, 许多研究者进行了不同层次的研究和探讨^[1~3]. 本文以一种新型的SMG 型气升式发酵罐为对象, 探讨黄原胶发酵过程的智能控制问题.

SMG 型气升式发酵罐的系统流程如图 1 所示, 微生物黄单孢菌在种子罐中培养后, 引入发酵罐在基质中进行发酵. 菌体生长繁殖和黄原胶的合成在不同的最佳温度下进行, 因而发酵环境参数中温度是最重要的. 系统调节温度措施是采用冷热水交互使用夹套保温. 对于小罐温度可应用冷热水调节阀, 为了节约能源, 热调节阀采用气开式, 冷调节阀采用气闭式, 这样对调节阀的调节信号可以合成为对单变量信号调节的控制策略, 其输出为正时表示需加热控制, 输出为负时表示需加冷控制.

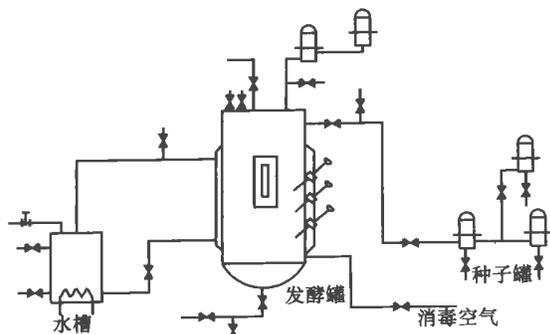


图 1 发酵系统的工艺流程

Fig. 1 Technics flow of fermentation system

发酵液pH 值直接影响到菌体的生长繁殖和代谢产物黄原胶的合成. 菌体在培养过程中, 本身具有一定的调节环境pH 值的能力. 发酵液的pH 值呈现典型的非线性和时滞特性. 一般通过补酸或补碱来调节pH 值, 需要注意的是, pH 值的控制模式必须适应发酵液中pH 值变化能力的需要, 不易过快或过慢, 以免出现不必要的超调.

1 发酵过程中温度的控制

在黄原胶的发酵过程中, 对温度的控制是至关重要的. 但菌体发酵前、中、后期的热交换有很大的差异, 影响过程温度的因素表现出明显的时变性和随机性, 同时控制系统要求较高的控制精度和鲁棒性, 这使得常规PID 控制难以尽如人意. 本文采用模糊控制与智能PID 相结合的方法对过程的温度加以控制.

自美国自动控制专家Zedeh 提出模糊方法以来, 模糊在控制中的应用从理论研究到实际应用取得了长足进展. 模糊控制系统主要包括模糊控制、模糊接口、解模糊接口、知识库四部分. 其系统算法结构如图 2 所示. 模糊控制是模糊控制系统的核心, 它根据模糊化的输入, 依照知识库中的规则, 进行模糊推理, 输出模糊化的控制量, 解模糊后用来控制被控对象.

在模糊控制模式下, 系统采用模糊PD 方法. 模糊控制器的输入为 e 和 e' 的模糊量, 输出为控制量的模糊量 u . e , e' 和 u 的模糊变量分为“负大

收稿日期: 2001-10-10; 修订日期: 2001-12-28

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(0111060300)

作者简介: 尚海涛(1976-), 男, 河南省滑县人, 郑州大学硕士研究生, 主要从事复杂系统的计算机智能控制.

NB”、“负小NS”、“零ZR”、“正小PS”、“正大PB”，其隶属函数如图3所示，其中，各模糊子集之间的交集的最大隶属度采用0.5，以便能较好地使控制规则覆盖整个论域。

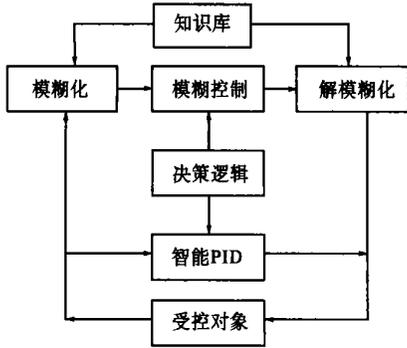


图2 系统算法结构图

Fig. 2 System algorithm structure

如果用1, 2, 3, 4, 5 分别表示“负大NB”、“负小NS”、“零ZR”、“正小PS”、“正大PB”，则系统的模糊控制规则可简写如表1所示。模糊控制量的解模糊采用常用的区域重心法。解模糊后得到精确控制量，乘以一可调比例因子作为输出控制量。

众所周知，在常规PID控制系统中引入积分控制作用是减小系统稳定性误差的重要途径，这种积分作用在一定程度上模拟了人的记忆特性。但常规PID积分控制存在着积分控制作用不具针对性、容易导致“积分饱和”等不足之处。

令 e_n 表示离散化的当前采样时刻误差值， e_{n-1} 和 e_{n-2} 分别表示前一个和前两个采样时刻的误差值，则有 $\Delta_n = e_n - e_{n-1}$ ， $\Delta_{n-1} = e_{n-1} - e_{n-2}$ 。

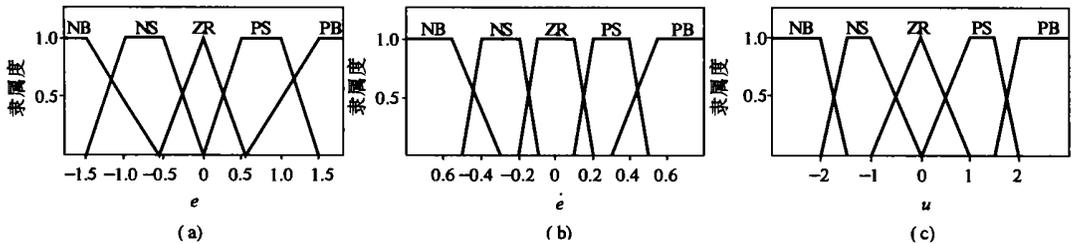


图3 模糊控制控制系统隶属度函数

Fig. 3 Fuzzy control system membership function

表1 模糊控制规则简表

Tab. 1 Compact table of the fuzzy regulations

项目	模糊变量																								
e	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
e'	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
u	5	5	4	4	3	5	4	4	3	3	4	4	3	3	2	4	3	3	2	2	3	3	2	2	1

对于图4所示的动态系统响应曲线的不同阶段，特征变量 $e_n \cdot \Delta_n > 0$ 时，如BC段和DE段，表明系统的动态过程正向着误差减小的方向变化； $e_n \cdot \Delta_n < 0$ 时，如AB段和CD段，表明系统的动态过程正向着误差增大的方向变化。

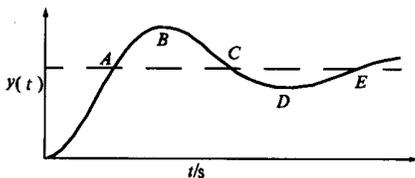


图4 动态过程曲线

Fig. 4 Dynamic process curve

在 $e_n \cdot \Delta_n < 0$ 时，应该使控制量在原来基础上加一个负量控制，以压低超调，尽快降低误差；若再进行积分作用，由于前一段的积分结果而难以改变符号，必然增加正的控制量，导致系统再次

出现超调。考虑到误差和误差变化的极值点，引进智能积分的条件如下：

(1) 如果 $e_n \cdot \Delta_n < 0$ 或者 $\Delta_e = 0$ 且 $e \neq 0$ ，则对误差积分；

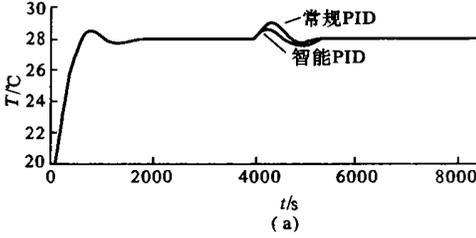
(2) 如果 $e_n \cdot \Delta_n < 0$ 或者 $e = 0$ ，则不对误差积分。

在实际控制系统中，知识库中模糊控制规则采用填表式，工程人员可以依照自己的经验输入或修改规则，以确保模糊控制的灵活性。智能PID控制模式下，P参数随着过程的进行，根据以前平均误差的大小可在线自动进行调整，以适应外界环境温度等对发酵过程的影响，这也表现出一定的智能性^[4]。

由于发酵过程属于慢过程，采样时间相对较长，若完全采用模糊控制难以取得理想的控制精度；偏差较小时采用智能PID进行调节，参数变化剧烈或突加较大干扰时切换为模糊控制，偏差减

小在一定范围时,再由智能PID来完成控制.控制模式的切换由决策逻辑模块来完成.同时考虑到积分饱和及执行机构灵敏性问题,采用了控制量上、下值限幅控制.

曾经有人通过微机对被控过程采用离线回归辨识的方法,取得温度过程的模型,可以近似为二阶惯性带纯滞后环节,其中开环增益和时间常数随着发酵的进行均不断增大.



作为仿真例子,取

$$G(s) = \frac{K}{T_{1s}^2 + T_{2s} + 1} e^{-\tau s}$$

式中: $K=0.4, T_1=9, T_2=4.2, \tau=10$, 采样时间和控制时间取为 10 秒,作为抗干扰研究,图 5(a)中分别反映参数 K, T_1, T_2 迭加 20% 干扰量时常规PID和智能PID的情况;图 5(b)给出了 K, T_1, T_2 分别连续增大至 $K=2.4, T_1=18, T_2=6.2$ 情

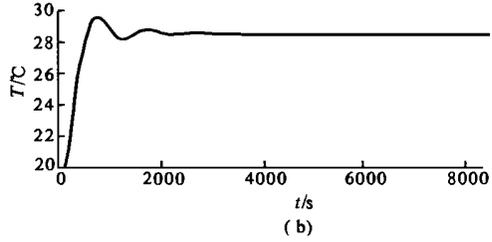


图 5 系统仿真曲线

Fig. 5 System simulation curves

况下的一段曲线.

由此可以看出,在参数突然发生大变化的情况下,系统能控制在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内,在参数连续变化时,系统仍有令人满意的控制效果.

2 发酵过程中 pH 值的控制

黄原胶发酵过程的另一个重要参量 pH 值,呈现出典型的非线性.本文采用仿人智能方法对其加以调节.其原理如图 6 所示^[3].

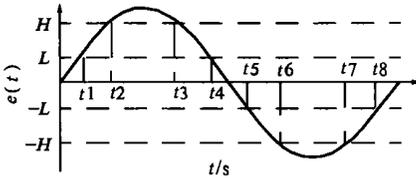


图 6 仿人智能控制原理示意图

Fig. 6 Principle of anthropomorphic intelligence

设 e_k 为 $e(t)$ 在 k 时刻的采样值:

$$e_k = y_{\text{设定}} - y_k$$

$$\Delta e_k = e_k - e_{k-n}$$

其中, $n \geq 1$,考虑到干扰的作用,不易取得太小,否则 Δe_k 变化剧烈,不能准确反映被控量的变化.

当 $|e_k| \leq L$ 时,由于误差较小,可能为干扰所致,不加任何控制;当 $L \leq |e_k| \leq H$ 时,若朝误差较小方向变化,可不加任何控制;若朝相反方向变化,需加相应控制;当 $H \leq |e_k|$ 时,需加相应控制.

若酸泵的开关状态用 U_1 表示,碱泵的开关状态用 U_2 表示,则可得到如下的产生式控制规则:

- (1) 如果 $e_k \geq H$, 则 $U_1=0, U_2=1$;
- (2) 如果 $e_k < H$, 且 $e_k \geq L, \Delta e_k > 0$, 则 $U_1=0, U_2=1$;
- (3) 如果 $e_k \leq -H$, 则 $U_1=-1, U_2=0$;
- (4) 如果 $e_k > -H$ 且 $e_k \leq -L, \Delta e_k < 0$, 则 $U_1=-1, U_2=0$;
- (5) 其他情况, $U_1=0, U_2=0$.

其中, $U_1=-1, U_2=1$ 分别表示酸、碱泵打开; $U_1=0, U_2=0$ 分别表示酸、碱泵关闭.

在实际应用中,为了避免可能出现补酸过量而立即补碱或补碱过量而立即补酸,从而引起控制作用的振荡的现象,需要对上述仿人智能控制算法加以改进.先把根据上面规则得到的 U_1 和 U_2 归一化为 U , 即

$$(1) \text{ 如果 } U_1=-1, \text{ 则 } U = \lambda_1 \cdot U + (1-\lambda_1) \cdot U_1, \lambda_1 \in (0, 1);$$

$$(2) \text{ 如果 } U_1=1, \text{ 则 } U = \lambda_2 \cdot U + (1-\lambda_2) \cdot U_2, \lambda_2 \in (0, 1);$$

$$(3) \text{ 其他情况: } U=0.$$

其中, λ_1, λ_2 分别为补酸控制作用和补碱控制作用的滤波系数.根据实际调试好 λ_1, λ_2 后,控制效果很好,微生物培养液的被控制量 pH 值的变化范围达到 ± 0.2 以内,并且控制量没有出现振荡.

3 结束语

由于发酵过程的复杂性、时变性和关联性,使得常规的控制方法难以完成;另一方面,发酵过程

是一个慢过程,其调节条件和过程都具有模糊性,需要体现出一定的智能性.因此黄原胶发酵过程采用模糊控制、智能PID与仿人智能控制思想是恰当的.系统投入运行后,综合效果令人满意.

参考文献:

[1] 周少奇.反应器生态系统的模型化[J].无锡轻工业大学学报,2000,19(5):461~463.

[2] 杨雄,柳琳,赵九军,等.发酵自动控制技术[J].计算机应用研究,2001,(2):56~58.
 [3] 王畅.模糊控制算法在计算机对发酵过程罐温控制中的应用[J].长沙电力学院学报(自然科学版),1999,14(4):321~324.
 [4] 冯冬青,谢宋和.模糊智能控制[M].北京:化学工业出版社,1998.
 [5] 李士勇.模糊控制·神经控制和智能控制论[M].北京:哈尔滨工业大学出版社,1996.

Intelligent Control of the Xanthan Gum Fermentation Process

SHANG Hai-tao, CHEN Tie-jun

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Based on the analysis of a control system of a fermentation process, the temperature and the pH value of the process are discussed. The key problems to be solved are the nonlinearity and the time variability of the system. In the paper, fuzzy control method, combined with a logic judgment-making unity with intelligent PID, is used to control the temperature, and through analyzing the error curve, with the method of anthropomorphic intelligence, to control the pH value. Simulations and the running result of the intelligence control are satisfactory.

Key words: xanthan gum fermentation process; fuzzy control; intelligent PID; anthropomorphic intelligence

(上接第54页)

参考文献:

[1] CHEN L. Robust behavior of subvariable control of pseudo derivative feedback algorithm[J]. ASME Paper, 1989, A/DSC-16, 90.

[2] 侯远龙.二自由度大功率机械手臂计算机控制系统[J].机床与液压,2001,(3):85-86.
 [3] 申铁龙.机器人鲁棒控制基础[M].北京:清华大学出版社,2001.
 [4] 蔡自兴.机器人学[M].北京:清华大学出版社,2000.

A Robust Control Algorithm for Robot

BAI Guo-chang, HOU Bo-jie

(College of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this paper, by means of theory analysis and simulation, a control scheme called subvariable control of Pseudo-Derivative-Feedback is introduced to the manipulator control. PID and PDFSV control methods are applied to a three dimensional mechanical manipulator and the response curves analysis by means of differing parameter of controlled plant and under step load and sinusoidal for mload indicates this control method is simple in design with high speed response and no overshoot. Its control style is particularly suitable to the robot control. Its excellent robust behavior is particularly satisfactory to the performance requirements of robots in industry, where nonlinear elements and joint-coupling exist. It is convenient for industrial use since it is free of tedious calculations position and velocity feedback, we can achieve the full control over position, velocity and acceleration, and meanwhile it has not big computational burden is benefit to practical use.

Key words: robot; robust control; PDFSV control