PLC模糊PID控制系统在培养基发酵温度控制中的应用

李文华,刘江红

辽宁工程技术大学机械工程学院,阜新 123000

摘要　为解决培养基二次发酵存在成品率低、产品同一性差、自动化水平低、能耗高及发酵隧道内温度控制的复杂性等问题,提出了基于PLC的计算机控制系统,应用PLC实现了计算机对发酵过程的数据采集和实时控制。该系统采用模糊PID控制算法,其中模糊控制器和PID调节器都通过PLC实现,保留了PLC控制系统抗干扰能力强、控制灵活、可靠等特点,提高了控制系统的智能化水平和精度。实际应用表明,该系统能有效控制培养基二次发酵隧道内的温度,提高设备自动化水平、产品的品质,减少人力损耗和成本。

关键词　培养基;发酵;PLC;模糊PID

中图分类号　TP273^{+}.4　　**文献标志码**　A　　**doi**　10.3981/j.issn.1000-7857.2014.32.007

Application of PLC Fuzzy PID Control System to Medium Fermentation Temperature Control

LI Wenhua, LIU Jianghong

College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China

Abstract　This paper aims to solve the problems of the existence of secondary fermentation medium low yield, the poor product identity, the low level of automation, the high energy consumption and many other urgent problems, as well as the complexity of the secondary fermentation medium temperature control inside the tunnel by proposing a computer control system based on PLC, with the computer data acquisition and the real-time control of fermentation process. Fuzzy PID control algorithm is adopted in the system, the fuzzy controller and PID adjustor are realized by PLC, which not only has the agile, reliable peculiarity and the ability of anti-jamming of a PLC control system, but also improves considerably the intelligence level and the control precision of the control system. The practice results show that the system can effectively control the secondary fermentation medium temperature inside the tunnel, greatly improve the level of automation, and the quality of the products, reduce the labor intensity and the human losses and costs, reduce the energy consumption, with good economic and social benefits.

Keywords　medium; fermentation; PLC; fuzzy PID

由于发酵过程的复杂性以及天气、季节变化的影响,发酵过程大多以人工控制为主,大大影响了工艺和管理水平的提高,造成发酵系数低、生产不稳定、能耗大、成本高等问题。单就培养基二次发酵而言,就存在成品率低、产品同一性差、能耗高、自动化水平低等诸多急需解决的问题。采用计算机控制技术,对发酵过程进行优化操作、自动控制和管理很有现实意义。

培养基二次发酵是影响食用菌工业产品质量的重要因素,而温度又是影响培养基二次发酵的重要因素[1],因此,本研究以培养基二次发酵的温度为控制对象,采用PLC(可编程逻辑控制器)并结合模糊PID(比例积分微分)控制算法对其进行过程控制设计,以期提高模糊PID控制系统的准确性,使某食

收稿日期:2014-06-05;修回日期:2014-09-15

作者简介:李文华,教授,研究方向为机电液一体化技术、流体机械及工程,电子信箱:305827994@qq.com;刘江红(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为机电系统的总体设计方法和控制系统设计,电子信箱:467642146@qq.com

引用格式:李文华, 刘江红. PLC模糊PID控制系统在培养基发酵温度控制中的应用[J]. 科技导报, 2014, 32(32): 41-45.

用菌生产企业的培养基二次发酵过程的温度得到有效控制。

1 控制系统设计

PLC模糊PID控制系统主要用来对6个发酵隧道内发酵过程的温度进行精准控制,控制过程中系统以西门子S7-200 PLC为核心[2],结合模糊PID控制技术[3,4],对型号为Cu50的温度传感器采集到的温度信号进行智能处理,通过调节风机风量及风门开度,达到控制温度的目的。

1.1 控制系统的构成

培养基二次发酵隧道计算机控制系统由硬件和软件两部分组成,其中硬件部分主要由工业控制计算机、网络交换机、网络中继器、PLC、温度传感器、风机、变频器、控制柜、发酵车间等组成;软件部分主要包括PLC控制程序、PLC采集程序、工控机虚拟显示程序、优化程序等。发酵隧道布置如图1所示。

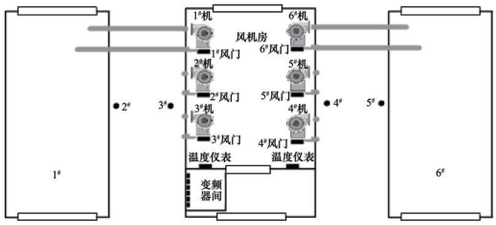


图1 发酵隧道布置

Fig. 1 Layout plot of fermentation tunnel

1.2 系统控制原理

系统由设置在隧道中的6个温度传感器采集温度信号,通过可编程控制器的A/D转换模块,将模拟量转换成数字量,并对6路温度信号进行加权平均,得出隧道温度的平均值,比较温度当前值与理论设定值,得出温度控制变量。判断当前风机风量和风门开度,利用PID控制算法及模糊控制理论,根据温度控制变量,对比当前大气温度,对风机风量、风门开度进行联合调节及控制。控制过程中在尽量降低风机和风门的动作频率的情况下,使实际温度与理论温度的差值控制在±1℃内,在满足要求的情况下,使风机在低功率下运行。

PLC模糊PID控制系统是采用可编程控制技术、模糊控制技术、工业以太网技术、计算机组态技术等先进技术,在综合考虑当地气候条件、基地厂房的布置情况、公司发展运营状况等综合因素的基础上设计出的较为理想的控制方案[5],充分考虑了系统的可扩展性、延伸性和负载能力。总控制室设置在接近生产中心位置,尽可能使到现在和将来出现的控制点距离为最短,降低通信费用。由于生产基地距公司较远,控制系统留有通过Internet进行远程控制的硬件接口和数据接口,能够在公司办公室或其他地方,对现场的控制程序和控制参数进行修改,同时也能轻松观察生产过程参数及温度-时间曲线。系统控制原理如图2所示。

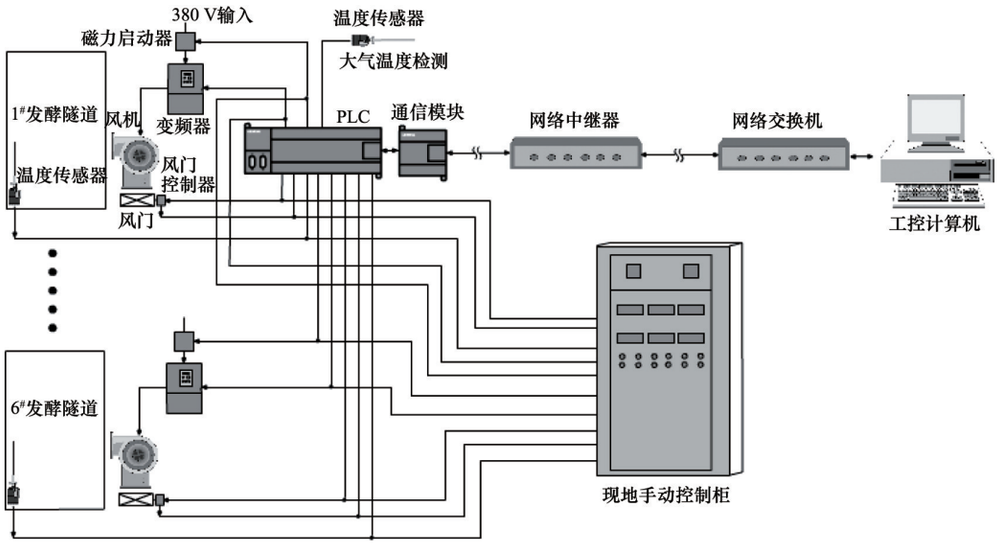


图2 系统控制原理

Fig. 2 Principle of control system

1.3 控制方案

为了保证发酵过程的安全性与可靠性,整个发酵过程控制有3种控制方式,现地手动控制柜控制、计算机手动控制和计算机全自动控制。

1)现地手动控制柜控制。在调试阶段或某种特殊原因,造成可编程控制器、计算机不能正常工作时,将控制柜上的"手动/自动"旋纽调到"手动"位置,就可以采用传统调节方式进行调节控制,保证发酵过程的不间断性,减少因设备故障造成的经济损失。

2)计算机手动控制。在试运行阶段或在某种特殊情况

下,将控制柜“手动/自动”旋纽,调到“自动”位置,在计算机屏幕上按“手动控制”按钮,计算机进入手动控制状态。该状态下,可以手工开/停6个隧道的风机、输入风机的转速值、输入风门的开度值,可同时观察远端设备动作情况、隧道内温度变化情况、记录温度-时间变化曲线。

3)计算机全自动控制。在计算机屏幕上按“自动控制”按钮,计算机进入完全自动控制状态。经过3~4个生产循环,对计算机进行模糊控制训练后,就可实现发酵过程完全脱离人工参与的全自动化控制过程。在全自动控制过程中,计算机收集天气变化、季节变化、隧道内温度变化等多种信息,利用PID算法和模糊控制理论,对发酵过程进行精准控制[6]。使实际温度-时间曲线与理论温度-时间曲线在各个点的误差不超过±1℃。同时通过训练过程,在满足工艺要求的情况下,使能耗大大降低,从而取得产品质量和节能降耗双赢的效果。

2　发酵温度控制方式的选取

PID控制[7]是工业上应用最广泛的一种控制方法,具有稳定性好、可靠性高、结构简单等优点,但适应性较差。对发酵温度而言,PID控制具有时变性、时滞性和模型不确定性等缺点,PID不能很好地控制系统温度;而模糊控制技术作为一种新的控制技术可以模仿人的思维方法,运用模糊信息来完成控制。用模糊逻辑实现控制,重点是研究控制器本身,无需建立被控对象的数学模型,对时变、时滞和非线性的系统有良好的控制能力,但因控制规则粗糙容易产生稳态误差[8]。因此,在发酵过程温度控制中把PID控制和模糊控制结合起来,不仅具有抗参数变化的鲁棒性和较快的响应速度,而且还可以对系统实现高精度控制[9]。该方式的主要设计思想为:以发酵隧道中培养基二次发酵的最佳温度48℃为温度设定值,当温度偏差较大时采用模糊控制,以加快响应速度;当温度偏差较小(±1℃)时,采用PID控制,提高控制精度;两者的切换由事先程序给定的偏差范围自动实现[10]。

3　发酵温度的模糊PID控制系统

模糊PID控制系统的结构如图3所示。其中,r为输入量,y为输出量,e为偏差,FLC为模糊控制器,PID为常规比例积分微分调节器[11],K为控制开关,u为控制量,d代表干扰。在该系统的控制方式中,模糊控制器和PID调节器均通过西门子S7-200 PLC实现,由此可明显提高系统的可靠性,获得良好的控制效果[12]。

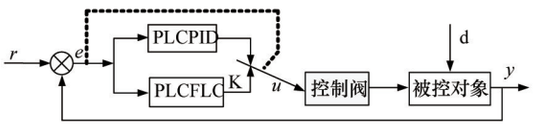


图3　模糊PID控制系统结构

Fig. 3　Principle of fuzzy PID control system

3.1　PLC模糊控制器的设计

PLC模糊控制器[13]的结构如图4所示。其中,Δe为偏差变化率,k_e、$k_{\Delta e}$分别为偏差和偏差变化率的量化因子,E、ΔE为量化后的输入值,U为模糊控制输出量,k_u为输出量化因子。

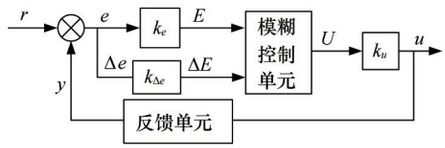


图4　PLC模糊控制器的结构

Fig. 4　Structure of fuzzy control

根据控制目标及经验,设定E、ΔE、U的模糊论域和模糊子集,并可得出控制规则:if E is x and ΔE is y then U is z。其中x、y、z分别为输入、输出量模糊子集中的元素。将输入、输出模糊控制论域都量化设定为7档:{-3,-2,-1,0,1,2,3},设它们的模糊子集都为{NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB},选用三角形隶属函数,可方便地求出输入语言变量的赋值表。利用模糊控制规则和输入语言变量的赋值表,通过合成推理,可得到一个模糊控制查询表[14]。

本研究采用西门子S7-200型PLC实现模糊控制功能。系统中输入数据的采集通过模拟量输入模块(EM231)进行,其输出通过模拟量输出模块(EM232)对执行单元进行控制。在该模糊控制算法中,采用PLC间接寻址方式完成模糊控制输出量U的查询功能。基于PLC的模糊控制算法流程如图5所示。

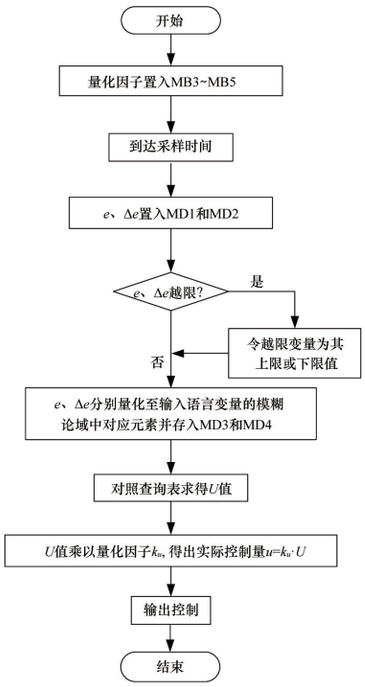


图5　基于PLC的模糊控制算法流程

Fig. 5　Flow chart of fuzzy control algorithm based on PLC

首先将量化因子存入PLC的保持继电器(MB3~MB5)中,然后将模拟输入量存入PLC的数据存储器(M)中,通过运算可得模糊控制输出U的地址,并存放在MD15中,数据块DB1的首地址存在MD0中,利用PLC间接寻址得到U的具体数据,将其存放在MD8中,再乘以输出量化因子即可得到实际输出值u[15]。

3.2 PLC中PID调节器的设计

当培养基二次发酵温度的偏差的绝对值小于1℃时,选用PLC中的PID功能指令,对温度这一闭环控制系统进行控制。利用西门子S7-200 PLC中的PID控制指令,通过对其PID指令循环表的设置可以方便地实现PID运算。通过模拟量输入模块采集培养基二次发酵的温度数据,由模拟量输出模块控制执行机构(风门控制器)。

运用PID回路指令,对回路表中的组态信息和输入进行PID运算,PID回路指令(包含比例积分微分回路)是用来进行PID运算的,但进行PID运算的前提条件是逻辑堆栈栈顶(TOS)值为1。当EN端口执行条件存在时,就可进行PID运算。使ENO=0的错误条件是:SM1.1(溢出),SM4.3(运行时间),0006(间接寻址)。该指令影响SM1.1(溢出)特殊存储器标志位。该指令有2个操作数:LOOP和TABLE。其中,LOOP是回路号,可以是0~7的整数;TABLE是回路表的起始地址。PID回路指令见表1。

表1 PID回路指令

Table 1 Loop instruction of PID

名称	指令格式	指令表格式	梯形图
PID运算	PID	PID TBL, LOOP	PID EN ENO TBL LOOP

在程序中最多可以用8条PID指令。如果2个或2个以上的PID指令用了同一个回路号,那么即使这些指令的回路表不同,这些PID运算之间也会相互干涉,产生无法预料的结果。P回路表包含9个参数,用来控制和监视PID运算。这些参数分别是过程变量前值PV_{n-1},过程变量当前值PV_n,给定值SP_n,输出值M_n,采样时间T_s,增益K_c,微分时间T_D,积分时间T_I和积分项前值MX。

为了让PID运算以预设的采样频率工作,采样时间必须输入到回路表中,且PID指令必须编入产生定时的中断程序中,或者在主程序中由定时器控制PID指令的执行频率[16]。

4 实际应用

将此PLC模糊PID控制系统应用于某食用菌生产企业的培养基二次发酵隧道的温度控制中,在培养基二次发酵过程中,隧道内的温度是变化的,因此通过程序设定来控制温度。通过调整风门开度和风机风量,使温度控制在最佳温度48℃。系统利用西门子S7-200 PLC模拟量输入模块对温度进行采集,通过S7-200 PLC模拟量输出模块输出风门控制器的控制信号。由PLC控制温度,通过通信口PLC与上位机进行信息交换,上位机作为人机界面并记录历史数据。

采用模块化结构编制上位机,其中的输入/输出、定时、中断、RS485通信、被测数据处理等功能由各子程序实现,通过PLC实现模糊控制和PID调节,并由上位机程序根据事先给定的偏差范围自动实现两者的切换:在大偏差范围采用模糊控制,在小偏差范围采用PID控制。模糊PID控制算法框图如图6所示。根据记录数据绘制的结果曲线如图7所示。结果表明此PLC模糊PID控制系统使该食用菌生产企业培养基二次发酵过程的温度得到了有效的控制。

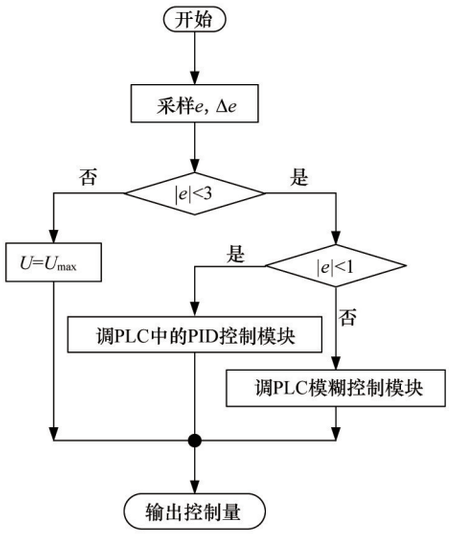


图6 模糊PID控制算法

Fig. 6 Fuzzy-PID control algorithm

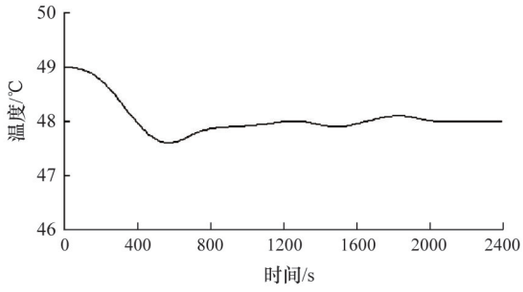


图7 实际运行结果

Fig. 7 Graph practical result

5 结论

本研究的培养基二次发酵隧道计算机控制系统,采用基于PLC的模糊PID控制算法控制发酵过程中的工作温度,利

用PLC和工业控制计算机对发酵过程进行自动化控制,可以完全取代原来的手工操作方式。该计算机控制系统在某食用菌生产企业的实际运行证明,基于该系统控制的培养基二次发酵过程能较好地保证产品的成品率和同一性,提高了设备自动化水平。

参考文献(References)

[1] 刘北平. 食品与发酵工业中的计算机应用技术[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1999: 14-44.
Liu Beiping. Computer application technology in food and fermentation industry[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1999: 14-44.

[2] 戴星, 谢守勇, 何炳辉, 等. 基于PLC的温室控制系统的研究[J]. 农机化研究, 2007(1): 129-132.
Dai Xing, Xie Shouyong, He Binghui, et al. Study of the greenhouse control system based on PLC[J]. Agricultural Mechanization Research, 2007(1): 129-132.

[3] 陈水生, 孟庆建. 基于PLC的温度PID-模糊控制系统设计与仿真[J]. 农机化研究, 2011, 33(6): 49-53.
Chen Shuisheng, Meng Qingjian. Based on PLC temperature PID-fuzzy control system design and simulation[J]. Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(6): 49-53.

[4] 狄轶娟, 陈照章, 朱湘临, 等. 基于模糊PID控制的生物发酵温度过程控制系统[J]. 自动化仪表, 2006, 27(8): 43-44, 47.
Di Yijuan, Chen Zhaozhang, Zhu Xianglin, et al. Biology fermentation temperature control system based on fuzzy-PID control[J]. Process Automation Instrumentation, 2006, 27(8): 43-44, 47.

[5] 王秀清, 李淑清, 严新忠, 等. 发酵过程PLC控制系统的研究[J]. 天津科技大学学报, 2004, 19(1): 32-35.
Wang Xiuqing, Li Shuqing, Yan Xinzhong, et al. Study of PLC control system for fermentation process[J]. Journal of Tianjin University of Science and Technology, 2004, 19(1): 32-35.

[6] Shen J, Chen L J. Automatic tuning of PID controllers in the thermal power unit load control system[J]. Journal of Southeast University, 1993, 9(2): 79-86.

[7] Astrom K J. Towards intelligent PID control[J]. Automatica, 1992, 28 (1): 1-9.

[8] 孙增圻. 模糊自适应控制理论及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 103-109.
Sun Zengqi. Theory and application of fuzzy self-adaptation control[M]. Beijing: Beihang University Press, 2002: 103-109.

[9] 王吉龙. 基于模糊PID的温度控制系统[J]. 电子工程师, 2008, 34(5): 77-80.
Wang Jilong. Temperature control system based on fuzzy-PID[J]. Electronic Engineer, 2008, 34(5): 77-80.

[10] 王庆祝, 陈攀峰, 马玉泉, 等. 新型高精度温湿度检测箱及其测控系统研制[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 203-207.
Wang Qingzhu, Chen Panfeng, Ma Yuquan, et al. Development of high-precision temperature and humidity testing cabinet and its measure and control system[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 203-207.

[11] Zhuang M, Atherton D P. Automatic tuning of optimum PID controllers [J]. IEE Proceedings-Part D: Control Theory and Applications, 1993, 140(3): 14-20.

[12] 肖应旺, 徐保国. PLC在发酵温度复合模糊控制系统中的应用[J]. 电气自动化, 2005, 27(5): 67-69.
Xiao Yingwang, Xu Baoguo. Application of PLC in compound fuzzy control system of fermentation temperature[J]. Electrical Automation, 2005, 27(5): 67-69.

[13] Tanaka K, Sugeno M. Stability analysis and design of fuzz control systems [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992(45): 135-136.

[14] Ordonez R, Passino K M. Stable multi-input multi-output adaptive fuzzy/neural control[J]. IEEE Transactions on Fuzz Systems, 1999(7): 345-353.

[15] 王志凯, 郭宗仁, 李琰. 用PLC实现模糊控制的两种设计方法[J]. 中国仪器仪表, 2002, 17(1): 4-6.
Wang Zhikai, Guo Zongren, Li Yan. Two PLC design way of realizing fuzzy control[J]. China Instrument, 2002, 17(1): 4-6.

[16] 王泳, 赵春晖. PID算法在S7系列PLC控制中的实现[J]. 黑龙江科技信息, 2013(31): 121-122.
Wang Yong, Zhao Chunhui. Implementation of PID algorithm in the S7 series PLC control[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2013(31): 121-122.

(责任编辑　王媛媛)

科技导报 SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》征集"封面文章"

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研结果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。