

基于遗传算法的控制参数整定及其在温度控制中的应用

宁奎伟, 李明辉

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要:目的 在啤酒生产过程中,通过确定PID参数,以保证准确控制发酵罐温度。方法 针对发酵罐温度控制现场调试过程中PID参数选择的随机性等问题,采用遗传算法对PID参数进行整定,并基于OPC将Matlab与WINCC进行联机调试,实现数据的在线整定与监控。结果 经过遗传算法整定的PID参数,其输出响应曲线上升时间为2.81 s,超调量为9.12%,调整时间为5.22 s。结论 采用遗传算法整定的温度控制的PID参数效果较好,其响应速度快,超调量小,调整时间短,满足现场控制要求。

关键词: 发酵罐; 温度控制; PID参数整定; OPC通讯

中图分类号: TB486; TP273 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)05-0141-05

Control Parameter Tuning Based on Genetic Algorithm and Its Application in Temperature Control

NING Kui-wei, LI Ming-hui

(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to accurately control the temperature of the fermenter during the beer production process through determining the PID parameters. To solve the problems of the randomness in selection of PID parameters in the site commissioning process of temperature control of the fermenter, genetic algorithm was used to set the PID parameters, and the Matlab and WINCC communication based on OPC was used to realize online tuning and monitoring of data. PID parameters set by the genetic algorithm were as following. The rise time of the output response curve was 2.81 s, the overshoot was 9.12%, and the adjusting time was 5.22 s. The PID parameters set by the genetic algorithm were effective, with fast response, low overshoot and short adjusting time, which met the requirements of field control.

KEY WORDS: fermenter; temperature control; PID parameter tuning; OPC communication

在企业生产过程当中,温度控制是一类常见的控制对象,温度控制的准确、稳定与否直接影响产品的质量,而这在对啤酒发酵罐温度控制中表现得尤为突出,温度控制十分关键^[1]。在实际生产中,不同的啤酒生产过程具有不同的特点,但基本工艺大致相同。

目前,由于PID控制具有使用方便、应用成熟、控制结构简单等优点,所以在大多数温度控制的场合被采用^[1],此时,PID参数的设定显得尤为重要。在企业生产中,PID参数的设定直接影响控制效果的好坏,而传统PID参数的设定全凭现场技术人员的经验进行设

定,此方法耗时耗力,并且控制效果不理想。针对生产中的这种问题,这里研究了在Matlab中,通过遗传算法对啤酒发酵罐温度PID控制参数进行整定,并将WINCC所在的PC机作为OPC服务器,Matlab作为OPC的客户端,使整定后PID控制进行联机调试,以便更好地适应工业需要。

1 系统数学模型的建立

啤酒发酵是一个复杂的控制过程,其温度控制具

收稿日期: 2015-09-10

作者简介: 宁奎伟(1989—),男,陕西咸阳人,陕西科技大学硕士,主攻工业自动化。

通讯作者: 李明辉(1972—),男,河南信阳人,陕西科技大学教授、硕导,主要研究方向为智能及高级过程控制。

有非线性、时滞性的特点,啤酒发酵工艺温度曲线见图1。在整个啤酒发酵控制的过程当中,酵母从繁殖到衰减以及麦芽产生的糖度消耗等都需要达到一个最佳的状态^[2],故必须对啤酒各个发酵阶段的温度进行严格的控制。发酵罐内温度是通过控制阀门开度的大小来调节向发酵罐夹套内进入冷水或热水的量。当通入冷水或热水时,发酵罐内的温度变化具有一定的滞后性。另外,用温度变送器测量发酵罐的温度时,温度信号转换电信号的过程具有一定的纯滞后^[3]。最终确定对啤酒发酵罐的温度控制模型可以近似看作带有纯滞后的一阶惯性环节:

$$G(S) = \frac{K}{TS + 1} e^{-\tau s} \quad (1)$$

式中: K 为放大系数; T 为对象时间常数; τ 为对象纯滞后时间。

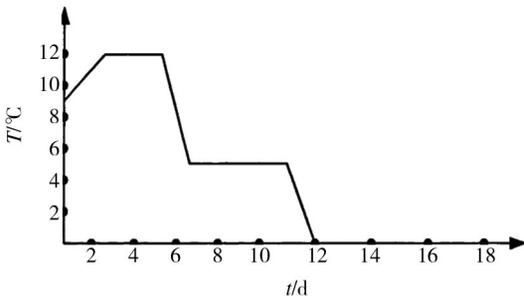


图1 啤酒发酵工艺曲线

Fig.1 Beer fermentation process curve

采用动态飞升曲线法确定系统模型中的未知参数,具体步骤如下所述。

1) 使系统处于平衡状态,突然给系统加一个单位阶跃信号,对应的输出即为飞升曲线。由实验获得该系统飞升曲线见图2。

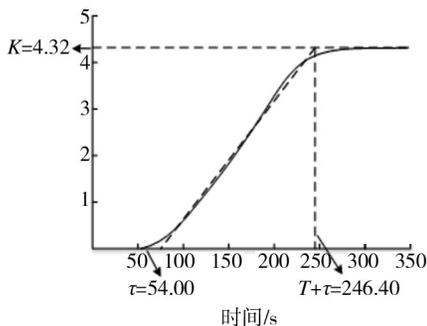


图2 发酵罐温度飞升曲线

Fig.2 Rise curve of fermenter temperature

2) 实测的曲线在起始部分有弯曲,不易找到确切的位置来确定参数,这时可用一阶加上纯滞后的虚线曲线来逼近,使大部分曲线与之重合,起始部分可定

出一个等效的滞后时间 τ ^[3]。如图2所示,在曲线最大斜率处作一条切线,与时间轴的交点即为纯滞后时间 τ ,而切线与稳态值的交点为 $T + \tau$,由图2可以看出 $\tau = 54.00, T = 192.40$ 。

3) 对于一阶放大倍数,由输出稳定值和输入阶跃信号幅值的比值求得,由图2可以得出 $K = 4.32$ 。故根据系统的飞升曲线最终求得一阶对象的3个参数 K, τ, T 。

经上述分析,最终得到发酵罐的数学模型3个参数值为: $K = 4.32, T = 192.40, \tau = 54.00$ 。故模型数学表达式为:

$$G(S) = \frac{4.32}{192.4S + 1} e^{-54s} \quad (2)$$

2 遗传算法在PID参数整定中的应用

2.1 PID控制算法

PID控制是在工业当中技术最成熟、应用最广泛的一种控制方法,由比例作用、积分作用、微分作用三者叠加而成。啤酒发酵罐温度PID控制系统结构见图3^[4]。

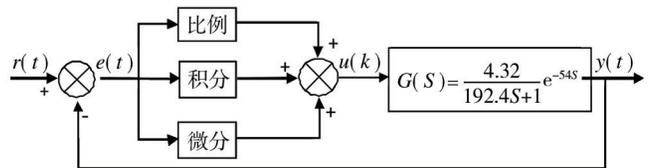


图3 啤酒发酵罐PID控制系统结构

Fig.3 Structure diagram of PID's control system for beer fermenter

在自控系统中,常用的离散的PID表达式为^[5]:

$$u(k) = K_p [e_k + \frac{T}{T_i} \sum_{k=0}^{\infty} e_k + T_d \frac{e_k - e_{k-1}}{T}] \quad (3)$$

或

$$u(k) = K_p e_k + K_i \sum_{k=0}^{\infty} e_k + K_d (e_k - e_{k-1}) \quad (4)$$

式中: k 为采样序号, $k = 0, 1, 2, \dots$; $u(k)$ 为第 k 次采样时刻的计算机输出值; e_k 为第 k 次采样时刻输入的偏差值; e_{k-1} 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值; K_i 为积分系数, $K_i = K_p \cdot T / T_i$; K_d 为微分系数, $K_d = K_p \cdot T_d / T$; K_p 为比例系数; T_i 为积分时间; T_d 为微分时间。

由式(3)可知,输出 $u(k)$ 是通过调节 K_p, T_i, T_d 大小来进行调节的,其中积分时间 T_i 越小, K_p 为比例系数; K_i 为积分时间; T_d 为微分时间,积分作用越强,最终使输出 $y(t)$ 满足系统要求。故系统能否稳定,关键在于

K_p, T_i, T_d 参数的确定。

2.2 基于遗传算法的PID参数整定

1) 确定参数及约束条件。影响PID控制效果的参数为 K_p, T_i, T_d ,故 K_p, T_i, T_d 这三个参数为寻优参数。根据经验,在PID控制中,一般作用的只有比例与积分,取 $K_p \in [0, 50], T_i \in [0, 1]$ 。

2) 确定编码方式。由于实数编码精度高、搜索空间大并且适合处理复杂的决策变量约束条件^[7-8],所以,最终选取实数编码。

3) 确定目标函数。为获取满意的过渡过程动态特性,采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数选择最小目标函数,为防止控制能量过大,在目标函数中加入控制输入的平方项^[8]。式(5)作为参数的最优指标:

$$J = \sum_{k=1}^{\infty} [e^2(k) - \rho u^2(k)] \quad (5)$$

式中: ρ 为常数, $\rho \in [0, 1]$,取 $\rho = 0.5$ 。

4) 确定适应度函数。适应度函数直接影响遗传函数的一些性能,例如收敛速度。一般而言,适应度函数和目标函数存在一定的转换关系,且适应度值是非负的^[8-9],故选下式作为适应度函数:

$$G(S) = \frac{1}{J} \quad (6)$$

5) 确定遗传算法的运行参数。根据实际情况取群体大小 $M=30$,遗传代数 $G=100$,交叉概率 $P_c=0.90$,变异概率 $P_m \in [0.0001, 0.1]$ 。

3 遗传算法整定PID参数的Matlab仿真

由以上分析可知,啤酒发酵罐温控数学模型为(与式2相同):

$$G(S) = \frac{4.32}{192.4S + 1} e^{-54s} \quad (7)$$

遗传算法在对PID参数进行整定中,只对比例系数 K_p 与积分系数 T_i 进行整定^[10]。通过遗传算法整定后的结果为: $K_p=26.88, T_i=0.031$ 。其目标函数进化曲线与整定后的PID控制的单位阶跃响应曲线见图4—5。

由图5可看出基于遗传算法整定的PID单位阶跃响应曲线超调量小,调整时间短,很快达到稳定状态。

4 基于OPC的Matlab与WINCC数据交换的实现

在OPC技术的基础上,实现Matlab与WINCC之间数据的交换和系统的无缝集成,并且可以有效地检

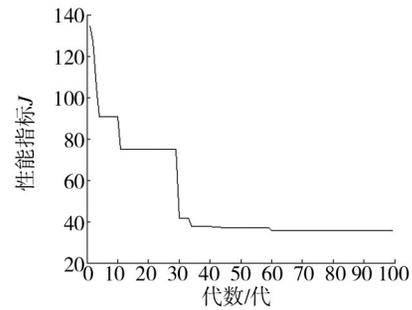


图4 目标函数进化曲线

Fig.4 Evolution curve of objective function

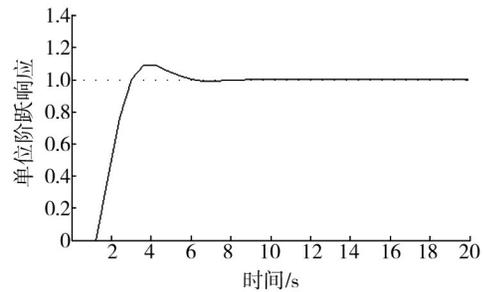


图5 单位阶跃响应曲线

Fig.5 Unit step response curve

验所设计的控制算法是否适合工业现场需要,对发酵罐温度控制及调试具有重要的实用价值。

WINCC支持OPC标准,WINCC所在的PC机既可以作为OPC客户端,同时也可以作为OPC服务器,具有很好的开放性和灵活性,能够稳定地实现与外部程序间的数据交换。其中通过WINCC的OPC-DA服务器,可以获取现场过程控制系统中的实时数据,并实时改变系统中相关过程变量的值,完成对系统参数的有效控制^[11]。

4.1 Matlab,PLC和WINCC数据交换过程

该系统采用西门子300PLC作为控制层的核心,上位机软件WINCC作为数据监控中心和OPC服务器,Matlab作为客户端并进行数据分析,OPC服务器与OPC客户端之间关系见图6^[12],PLC与WINCC采用以太网进行通信。

温度变送器作为现场层设备,将发酵罐的温度实时传送给PLC,PLC作为控制层采集并分析温度数据,最后通过PID算法调节调节阀的开度,来实现温度的恒定控制,而发酵罐温度控制效果的关键在PID算法3个参数(比例系数,积分时间,微分时间)的选定,Matlab的主要任务就是实现PID参数的整定,在Matlab中通过遗传算法对PID参数进行整定,并基于OPC将整定的参数传送给PID控制器,并将仿真效果通过WINCC自带

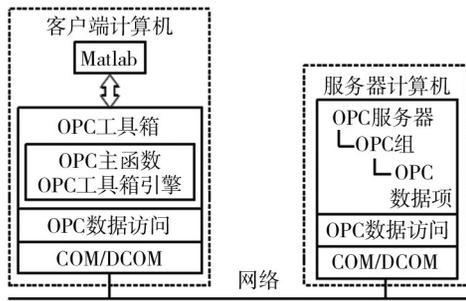


图6 OPC服务器与OPC客户端之间关系

Fig.6 Relationship between OPC server and OPC client

控件 WINCC ONLINE TREND CONTROL 展现出来, Matlab与WINCC 过程控制示意图7。

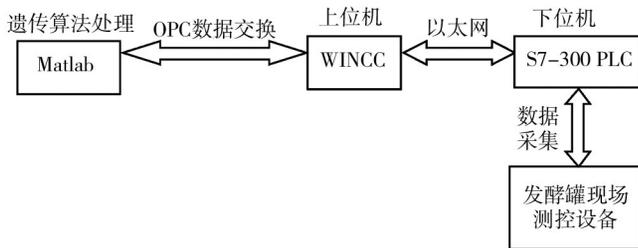


图7 Matlab与WINCC 过程控制

Fig.7 Schematic diagram of Matlab and WINCC process control

4.2 WINCC与Matlab数据通信的实现

Matlab通过其自身的PID算法对发酵罐温度进行控制,而要实现这一功能,就需对发酵罐的温度数据和控制数据进行实时传输,即Matlab与WINCC进行实时数据交换。WINCC本身在运行状态下就是OPC通讯的服务器,在Matlab R2011a中,提供了OPC toolbox工具,可以在Simulink下直接调用,故只需对Matlab的OPC客户端进行设置即可,从而实现Matlab与WINCC之间的通讯。系统控制模型见图8,SP为发酵罐温度设定值,PV为发酵罐温度检测值,MAN为输出,用来调节调节阀的开度。此系统控制模型实为闭环控制,Matlab的OPC客户端与WINCC的OPC服务器链接成功后的图见图9。在OPC客户端与服务器链接之前,一定要使WINCC处于运行状态^[13-14]。

运行WINCC与运行Simulink后数据交换后曲线见图10,即遗传算法整定PID参数后调节曲线,可以看到,在某一瞬时,给系统一个阶跃干扰信号后,经过整定参数的PID进行调节,系统大概经过3s左右达到稳定状态,响应速度快。实际生产过程中发酵罐温度控制曲线见图11,黑色曲线为输出,用来调节调节阀

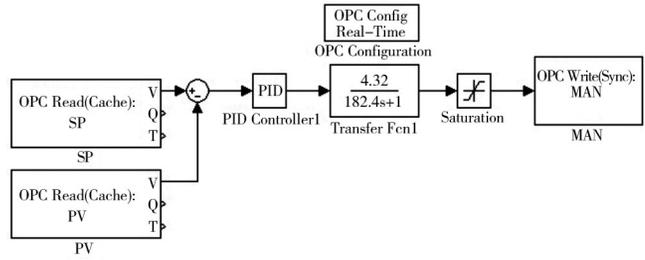


图8 系统控制模型

Fig.8 System control model

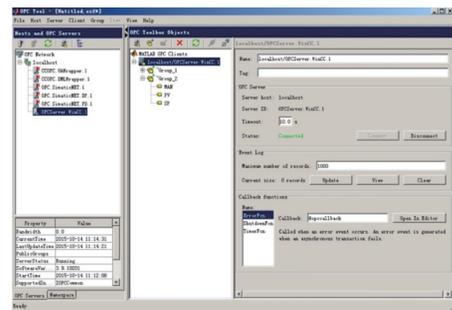


图9 Matlab的OPC客户端与WINCC的OPC服务器链接

Fig.9 Link diagram of OPC Matlab client and OPC WINCC server

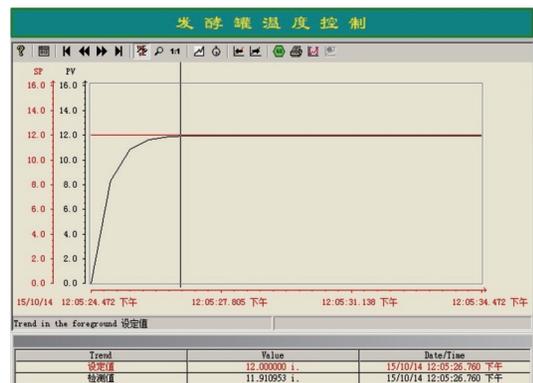


图10 阶跃信号干扰调节曲线

Fig.10 Step signal interference adjustment curve

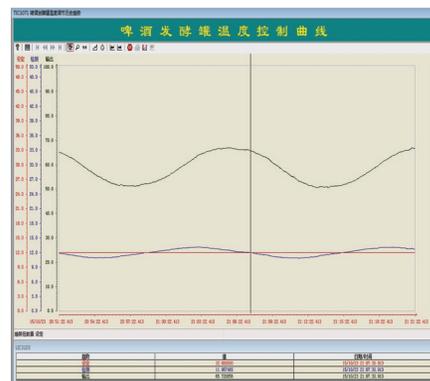


图11 发酵罐温度调节曲线

Fig.11 Temperature regulation curve of the fermenter

的开度,红色曲线为温度设定值,为12℃,蓝色曲线为检测值,是实际检测的温度值,可以看出通过遗传算法整定的PID参数控制效果稳定,满足实际生产要求。

5 结语

这里对啤酒发酵罐温度控制进行了数学模型的建立,采用遗传算法对其进行温度控制的PID参数进行整定,并基于OPC将Matlab与WINCC进行通讯,实现数据的交换,很好地将控制算法与工业实际生产相结合。结果表明遗传算法在PID参数整定方面效果明显,为现场调试带来方便,实用价值好,避免盲目选择PID参数,省时省力。

参考文献:

- [1] 王靓,宁奎伟,李明辉. 基于遗传算法的贮液缸液位PID控制参数整定[J]. 包装工程,2014,35(23):89—93.
WANG Liang, NING Kui-wei, LI Ming-hui. PID Control Parameters Setting[J]. Packaging Engineering, 2014, 35 (23) : 89—93.
- [2] 高艳丽. 基于嵌入式啤酒发酵控制器的研究[D]. 济南:山东轻工业学,2010.
GAO Yan-li. Research on the Embedded Beer Fermentation Controller[D]. Jinan:Shandong Light Industry, 2010.
- [3] 梁云峰,谷凤民,虎恩典,等. 基于嵌入式啤酒发酵控制器的研究[J]. 制造业自动化,2011(9):60—63.
LIANG Yun-feng, GU Feng-min, HU En-dian, et al. Research Beer Fermentation Controller Based on Embedded[J]. Manufacturing Automation, 2011(9):60—63.
- [4] 杜汉强,张广文. 基于模糊自适应PID控制器的张力控制系统[J]. 包装工程,2008,29(1):90—91.
DU Han-qiang, ZHANG Guang-wen. Tension Control System Based on Fuzzy Self-adaptive PID[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1):90—91.
- [5] 汤中科,景群,张林海. 基于遗传算法的PID整定在液位控制中的应用[J]. 包装工程,2009,28(9):126—128.
TANG Zhong-ke, JING Qun, ZHANG Lin-han. Application of PID Tuning in Liquid Level Control Based on Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2009, 28(9):126—128.
- [6] 韩瑞峰,张永奎. 一种改进的实数编码遗传算法[J]. 计算机工程与应用,2002(13):78—80.
HAN Rui-feng, ZHANG Yong-kui. An Improved Genetic Algorithm Coded with Real Number[J]. Computer Engineering and Application, 2002(13):78—80.
- [7] 李文钊,高敏,刘俊涛. 基于自适应遗传算法的弹药单元包装的优化设计[J]. 包装工程,2008,29(2):67—69.
LI Wen-zhao, GAO Min, LIU Jun-tao. Optimized Design of Ammunition Unit Packaging Based on Self-adaptive Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2008, 29 (2):67—69.
- [8] 陈敏,谭思云,黄玉清. 遗传算法在PID参数整定中的应用[J]. 仪表技术,2010(5):49—50.
CHEN Min, TAN Si-yun, HUANG Yu-qing. Application of Genetic Algorithm in the PID Parameter Optimization[J]. Instrument Technology, 2010(5):49—50.
- [9] 黄颖为,李燕培,孙德强. 改进遗传算法在包装件物流调度中应用的研究[J]. 包装工程,2008,29(1):105—107.
HUANG Ying-wei, LI Yan-pei, SUN De-qiang. Study of Improved Genetic Algorithms for Packages Vehicle Routing Problem[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1):105—107.
- [10] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计——Matlab语言及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2012.
XUE Ding-yu. Control System Computer Aided Design: Matlab Language and Application[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2012.
- [11] 李安伏,崔亚量. 基于OPC的Matlab与组态王的数据通信[J]. 电力自动化设备,2007(7):113—115.
LI An-fu, CUI Ya-liang. The Data Communication between Matlab and Kingviewdata Based on OPC[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007(7):113—115.
- [12] 吴明永,王国伟. 基于OPC和MATLAB的锅炉汽包水位智能控制系统[J]. 计算机测量与控制,2010(10):96—98.
WU Ming-yong, WANG Guo-wei. Intelligent Control System of Boiler Drum Water Level of MATLAB Based on OPC[J]. Computer Measurement and Control, 2010(10):96—98.
- [13] 王素青,姜维福. 基于Matlab/Simulink的PID参数整定[J]. 工业控制与应用,2009,28(3):24—26.
WANG Su-qing, JIANG Wei-fu. PID Tuning Based on Matlab/Simulink[J]. Industry Control and Application, 2009, 28 (3):24—26.
- [14] 杨梅,续明进. 基于Matlab的卷筒纸印刷机张力控制系统的建模与仿真[J]. 包装工程,2011,32(7):22—25.
YANG Mei, XU Ming-jin. Modeling and Simulation of Tension Roll Paper Printing Machine Control System Based on Matlab[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):22—25.