

模糊 PID 控制算法在啤酒发酵监控系统中的应用

任宝栋, 彭继慎, 王 强

(辽宁工程技术大学电气工程系, 辽宁 阜新 123000)

摘 要: 采用偏差 e 和偏差变化率 ec 的变化规律为依据的模糊 PID 控制算法, 对啤酒发酵过程中难以整定的温度参数进行在线修改, 建立模糊控制规则的监控系统表。模糊 PID 控制算法应用于啤酒发酵监控实践, 对发酵罐的温度变化和工作状态进行监控检测。结果表明, 测量精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 控制精度为 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$; 与传统发酵监控系统比, 具有灵活性好, 控制适应性强, 动态、静态性能好等优点。(孙悟)

关键字: 模糊 PID 控制算法; 啤酒发酵; 监控系统; 应用

中图分类号: TS262.5; TP273 文献标识码: B 文章编号: 1001-9286(2005)11-0070-03

Application of Fuzzy PID Control Algorithm in Beer Fermentation Monitoring System

REN Bao-dong, PENG Ji-shen and WANG Qiang

(Department of Electrical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: Fuzzy PID control algorithm which based on the change rules of deviation e and deviation change rate ec was applied to establish a fuzzy control monitoring system tablet to achieve on-line coordination of the temperature parameters in beer fermentation. Such monitoring system could monitor the temperature change and the working state in fermenting pots. And the practical results indicated that the measurement accuracy was $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the control precision was $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Compared with traditional fermentation monitoring system, the new one had the advantages of good adaptability, convenient control, and good dynamic and static performance etc. (Tran. by YUE Yang)

Key words: fuzzy PID control algorithm; beer fermentation; monitoring system; application

啤酒发酵过程的温度控制是啤酒生产工艺流程中关键环节之一,也是确保啤酒质量、口感等特性的关键,其控制过程必须要可靠性高、控制适应性强、灵活性好。发酵过程存在纯时间滞后,且标准生产工艺存在高泡、还原、回收保温、冷储等多稳定状态,若要建立其精确的数学模型较困难。因此,采用常规 PID 控制算法难以达到满意的效果。另一方面,模糊 PID 控制原理的本质特征决定了其在复杂控制系统中的地位,它可以运用模糊数学的基本原理和方法,把规则的条件、操作用模糊集表示,并把这些模糊控制规则以及有关信息(如评价指标,初始 PID 参数等)作为知识存入计算机知识库中,然后计算机根据控制系统的实际相应情况,运用模糊推理,即可自动实现对 PID 参数的最佳调整^[1]。本文将模糊 PID 自整定控制算法应用到啤酒发酵监控系统,系统实际运行效果达到了预期的设计目的。

1 模糊控制原理分析

1.1 模糊控制器结构

模糊控制器目前有多种结构形式,但其工作原理基本一致^[2]。模糊控制器以偏差 e 和偏差变化率 ec 作为输入,可以满足不同时刻的 e 和 ec 对 PID 参数自整定的要求。利用模糊控制规则对参数进行在线修改,便构成了自适应模糊 PID 控制器^[3]。其结构图见图 1。

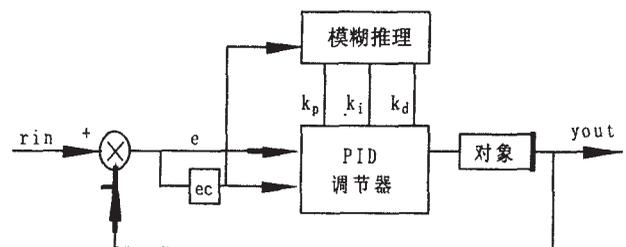


图 1 模糊 PID 控制器结构

收稿日期: 2005-07-07

作者简介: 任宝栋 (1982-), 男, 山西文水人, 硕士研究生, 研究方向为计算机在工业自动化中的应用。

1.2 模糊PID控制原理

模糊PID控制是找出PID 3个参数与 e 和 ec 之间的模糊关系,在系统运行中通过不断检测 e 和 ec ,根据模糊控制原理对3个参数进行在线修改,以满足不同阶段 e 和 ec 对控制参数的不同要求,从而使被控对象有良好的动、静态特性^[4]。

从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等各方面来考虑,P、I、D的作用如下:

①比例系数P的作用是加快系统的响应速度,提高系统的调节精度。P越大,系统的响应速度越快,调节精度越高,但易产生超调,甚至会导致系统不稳定。P取值过小,则会降低调节精度,使响应速度缓慢,从而延长调节时间,使系统静态、动态特性变坏。

②积分作用系数I的作用是消除系统的稳态误差。I越大,系统的静态误差消除越快,但I过大,在响应过程的初期会产生饱和现象,从而引起响应过程的较大超调;若I过小,将使系统静态误差难以消除,影响系统的调节精度。

③微分作用系数D的作用是改善系统的动态特性,其作用主要是在响应过程中抑制偏差向任何方向的变化,对偏差变化进行提前预报。但D过大,会使响应过程提前制动,从而延长调节时间,而且会降低系统的抗干扰性能。

所以,模糊PID控制的实现必须考虑,不同时刻3个参数 k_p 、 k_i 、 k_d 的作用以及相互之间的互连关系。

1.3 模糊控制表

模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验,建立合适的模糊控制规则表,得到针对P、I、D 3个参数分别整定的模糊控制表^[5]。

① k_p 的模糊控制规则表(见表1)

表1 k_p 的模糊规则表

Δk_p	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

② k_i 的模糊控制规则表(见表2)

③ k_d 的模糊控制规则表(见表3)

P、I、D的模糊控制规则表建立好后,可根据如下方法进行P、I、D的自适应校正。

将系统偏差 e 和偏差变化率 ec 的变化范围定义为模糊集上的领域 $e, ec = [-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5]$,

表2 k_i 的模糊规则表

Δk_i	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表3 k_d 的模糊规则表

Δk_d	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO						
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

其模糊子集为 $e, ec = [NB, NM, NS, O, PS, PM, PB]$,子集中元素分别用语言变量描述为:“NB”(负大)取-5附近原值;“NM”(负中)取-3附近原值;“NS”(负小)取比零稍小的负值;“PS”(正小)取比零稍大的正值;“PM”(正中)取+3附近原值;“PB”(正大)取+5附近原值^[2]。

设 e, ec 和P、I、D均服从正态分布,因此可得到各模糊子集的隶属度复制表和各参数模糊控制模型,应用模糊合成推理设计PID参数的模糊矩阵表,查出修正参数代入下式计算:

$$k_p = k'_p + \{e_i, ec_i\}_p$$

$$k_i = k'_i + \{e_i, ec_i\}_i$$

$$k_d = k'_d + \{e_i, ec_i\}_d$$

其中 k'_p, k'_i, k'_d 均表示上一时刻控制参数的采样值。

在线运行过程中,控制系统通过对模糊逻辑规则的结果处理、查表和运算,完成了对PID参数的在线自校正^[6],其工作流程图见图2。

入口 \rightarrow 取当前采样值 $\rightarrow e(k) = r(k) - y(k) \rightarrow ec(k) = e(k) - e(k-1) \rightarrow e(k-1) = e(k) \rightarrow e(k), ec(k)$ 模糊化 \rightarrow 模糊整定 $\Delta k_p, \Delta k_i, \Delta k_d \rightarrow$ 计算当前 $k_p, k_i, k_d \rightarrow$ PID控制器输出 \rightarrow 返回

图2 在线自校正工作流程

2 系统实时运行结果

啤酒发酵标准工艺是一个多阶段连续的工艺过程,每一段过程对罐内温度要求不一,大致分为进料、高泡、还原、降温回收、回收保温、降温冷储、冷储7个阶段^[7]。要求各特定阶段的温度严格遵循工艺曲线,其误差限制在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。其标准工艺曲线见图3。

将模糊PID控制算法应用到啤酒发酵监控系统中,并对发酵罐的工作状态进行了实时记录,图4是某一发

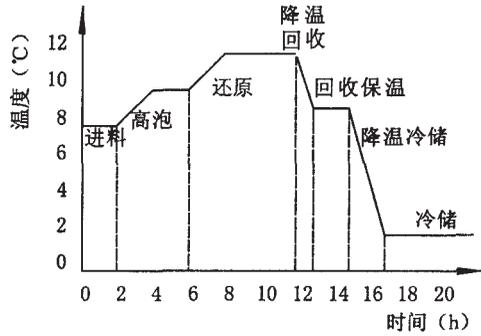


图 3 啤酒发酵标准工艺曲线

酵罐温度实际运行曲线。整个系统温度实测指标 测量精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,控制精度为 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,远远小于标准工艺曲线所要求的 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

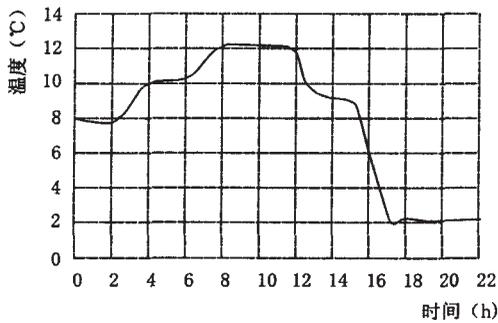


图 4 发酵罐实测温度曲线

3 结论

(上接第 69 页)

3.1 感官质量

安排人员对试验所获得的成品酒进行品评,公认试验酒色泽清亮透明、口感更纯正、杀口力更强,口味比较柔和,但色度比一般全麦汁啤酒稍浅,泡沫丰富但泡持性和挂杯时间稍逊。

3.2 理化质量指标分析 (表 2)

表 2 成品酒与对照普通啤酒理化质量指标

项目	麦汁浓 度(%)	总酸 (mL/100mL)	CO ₂ (%)	色度 (EBC)	酒精度 (%, v/v)	pH	双乙酰 (mg/L)
结果	10.94	1.68	0.51	7.4	3.66	4.5	0.07
对照	11.04	1.69	0.49	7.6	3.67	4.3	0.08

4 结论与讨论

4.1 本次试验采用过滤后稀释工艺,操作简便易行,大大提高了设备利用率,有效降低了水电汽等各项消耗,产品质量稳定可靠。证明利用高浓度稀释法改造中小型啤酒厂是切实可行的。

4.2 由于成品啤酒中的 CO₂ 需要人工充入,极易在灌酒过程中损失,容易出现啤酒中 CO₂ 含量不稳定现象。试验中发现,在稀释后于清酒罐中静置 4~6 h,品温控制

3.1 模糊 PID 控制算法是该发酵监控系统的核心,理论分析和实验结果均表明该算法的正确性和可行性。

3.2 该系统采用的模糊 PID 控制算法,更好地总结现场控制人员的丰富经验,增强了计算机分析和处理信息的能力。

3.3 该系统所建立实施的模糊控制规则表对具有相似被控对象属性的系统设计有一定的借鉴作用。

3.4 与传统的发酵监控系统比,该监控系统具有灵活性好,控制适应性强,动态、静态性能好等优点。

参考文献:

- [1] 陶永华,尹芦生.新型 PID 控制系统及其应用[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [2] Astrom KJ Tagglund. T.PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, 2nd Edion.Research Triangle Park[M]. North Carolina: Instrument Society of America, 1998.
- [3] Kim J H,Kim K C,Chong K P.Fuzzy PID controllers[J]. IEEE Transaction on Control Systems Technology. 1995.
- [4] 刘金琨.先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [5] 吴兆智.参数自寻优 Fuzzy-PID 控制器[J].电子与自动化. 1996,(1).
- [6] 诸静.模糊控制原理与应用[M].北京:机械工业出版社,1999.
- [7] 王文甫.啤酒生产工艺[M].北京:中国轻工业出版社,1997.

在 0~1 $^{\circ}\text{C}$ 能有效地提高成品酒中 CO₂ 的稳定性。

4.3 试验中由于条件限制,酿造及稀释用水采用自来水,使得啤酒中的各种离子及游离氯超标,溶解氧控制不严,从而造成啤酒产生老化味以及非生物稳定性降低问题。所以,在试验中尽量不采用自来水,若要采用的话,则必须去除游离氯及用活性炭过滤装置处理。

4.4 在试验中也出现了糖化过滤时间较长、糖化收得率降低等问题,需要在以后的试验中进一步解决。

参考文献:

- [1] 柴小高.高浓啤酒稀释工艺效益分析[J].酿酒科技,2002,(4):64-65.
- [2] 康明官.特种啤酒酿造技术(第 1 版)[M].北京:中国轻工业出版社,1999.
- [3] 王文甫.啤酒生产工艺(第 1 版)[M].北京:中国轻工业出版社,1997.
- [4] 徐斌.啤酒生产问答(第 1 版)[M].北京:中国轻工业出版社,1995.
- [5] 张志强.啤酒酿造技术概要(第 1 版)[M].北京:中国轻工业出版社,1996.