

啤酒发酵过程环境参数链系统控制

陈铁军, 侯改杰

CHEN Tie-jun, HOU Gai-jie

郑州大学 电气工程学院, 郑州 450001

School of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

E-mail: fngfeier@163.com

CHEN Tie-jun, HOU Gai-jie. Chain-control-system to environmental parameter of beer fermentive process. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(6): 214-216.

Abstract: Through analyzing the environmental parameter in the fermented course of beer, improving final getting rate of the result, and guaranteeing that there is a suitable growth supersession environment in the whole process of operating, the chain system control method is proposed. The fermented temperature and hydrogen ion index are found, the systematic model of chain related each other is set up that is made up of temperature and hydrogen ion index main cause and effect chain. The chain estimated method and chain control system of environmental parameter in the beer fermented course are designed. Simulation result shows chain systematic model has strong stability and anti-interference ability. It has good fault tolerant, and has good control result.

Key words: the beer ferments; environmental parameter; chain system; estimate in advance

摘要:通过对啤酒发酵过程中环境参数的分析,为了提高最终产物的得率,保证在整个操作进程中有一个适宜的生长代谢环境为目标,引入链系统控制方法,找到影响发酵温度和PH值等主要因素,建立由温度和PH值两条主要因果链组成的互相关联的链系统模型。设计了啤酒发酵过程环境参数的链预估算法和链控制系统。仿真显示为啤酒发酵系统环境参数建立的链系统模型稳定性和抗干扰能力强,容错性好,控制效果良好。

关键词:啤酒发酵;环境参数;链系统;预估

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.06.062 **文章编号:**1002-8331(2010)06-0214-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391

啤酒生产过程是一个较复杂的生化反应过程,涉及到微生物细胞的生长和代谢,是一个具有时变性、随机性和多输入输出的动态过程。在啤酒发酵过程中,如何有效地控制直接反映发酵品质的重要生化过程变量,如基质浓度、菌丝浓度、产物浓度、发酵转化率等,一直很困难^[1]。这些直接反映发酵过程状态信息的生物过程变量,在发酵过程中主要采用与质量有关的变量,如温度、搅拌速度、PH值、溶氧量(DO)、通气量、泡沫等作为被控变量,各变量之间相互作用的关系非常复杂,建立精确的机理型是非常困难的^[2]。

现有的啤酒发酵控制方案,主要采用基于PID控制率的常规控制^[3]。采用专家控制系统和模糊控制系统,可以利用专家对发酵过程控制的经验知识,总结成知识库,用一些规则来描述,由于专家系统形成的知识库庞大,设计有些困难^[4]。现在已经有人设计并实现了基于遗传算法和神经网络的在线优化软件包,但该软件应用的成功与否仍然是依赖于建立的啤酒发酵过程模型的正确建立和优化算法的合理应用^[5]。由于发酵系统动态特性的复杂性,使得前述控制方法所建立的模型和控制方案在实际应用中存在调节手段弱,过程不太稳定等问题。

从控制啤酒发酵环境参数的角度考虑,确保在啤酒生产过

程中有一个适宜的生长代谢环境,以提高最终产物(乙醇)的得率为目标。采用链系统控制方法,分析发酵过程中影响产量的各环境参数,如温度和PH值等,并找出影响这两个参数变化的主要因素以及各因素之间的关系,建立了各参数影响因素的子链系统,最后建立一种链系统结构模型,该模型对大滞后的啤酒发酵系统有很强的稳定性,抗干扰能力和容错性。对链系统结构建立动态数学模型,经过模型预估算法和控制达到了很好的控制啤酒发酵环境参数,并提高了啤酒的产量。

1 环境参数控制系统的工艺流程简介

啤酒生产工业最主要的就是对发酵过程的控制,由于有些变量(菌体浓度、基质浓度、产物得率等)在线检测很困难,因此在发酵过程中主要采用与质量有关的变量,如发酵温度、PH值、搅拌速度、溶解氧、通气量和压力等作为被控变量。而啤酒发酵过程是厌氧型发酵,在整个发酵过程中无需进行充氧控制。针对啤酒发酵过程中影响微生物代谢的各环境参数的重要性,首先对主酵温度和PH值进行重点控制,控制系统的工艺流程图如图1所示,其中:1、2为温度传感器,3为压力传感器,4为PH值传感器,5为液位传感器。

基金项目:河南省杰出人才创新基金(No.521000100)。

作者简介:陈铁军(1954-),男,博士,教授,博导,研究领域为复杂工业过程控制技术及应用;侯改杰(1982-),女,硕士生,研究领域为复杂检测技术。

收稿日期:2008-09-02 修回日期:2008-10-31

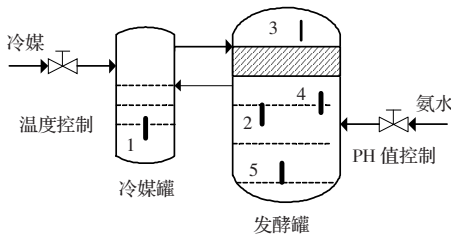


图1 发酵控制过程工艺流程图

啤酒发酵过程中影响发酵过程的因素主要有发酵温度和PH值。因为发酵过程是一个菌体放热的过程,由于在发酵不同时段微生物的代谢产物的不同,则把发酵过程可分为主酵和后酵阶段,该文只针对主酵阶段的温度和PH值进行控制。在主酵阶段包括自然升温过程和保温过程,自然升温过程不需要外界控制,只需对保温过程进行温度控制即可。在温度控制环节,冷媒罐和发酵罐中的温度分别用温度传感器来检测,在发酵过程中,通过控制冷媒阀门的开度来控制冷媒罐的温度,进而直接控制发酵罐的主酵温度。在PH值控制环节中,PH值高低通过发酵罐内的PH传感器来检测,直接通过控制氨水阀门开度来控制氨水的流加量,从而控制发酵罐内的PH值的高低。

2 啤酒发酵过程参数控制和建模

为使发酵生产过程安全、平稳的进行,以达到优化生产的目的,必须了解影响发酵过程的因素,以及各因素之间的逻辑关系,才可以对发酵生产进行自动控制。在啤酒发酵过程中,影响发酵性能的因素很多,如:物理和化学参数通常有发酵罐温度、PH值、溶解氧浓度(DO)、发酵罐压力、发酵液位、空气流量、冷媒流量、冷媒进出口温度、搅拌转速、泡沫高度等;生物参数主要包括生物质呼吸代谢参数、生物质浓度、代谢产物浓度、底物浓度以及生物比生长速率、底物消耗速率和产物形成速率等。因为发酵温度和液酸碱度的高低不仅直接影响啤酒的风味和稳定性,而且直接影响啤酒的质量的好坏和产量的高低,所以该文主要研究温度和PH值对发酵过程的影响。

(1)主发酵温度控制:对于待定的微生物,都有一个最适宜的生长温度。如果从生物酶动力学方面考虑,酶的最佳活力对应着某一最好温度。因此,罐温是一个重要的环境参数,而影响罐温外部参数主要是冷媒罐内冷媒温度的高低,其次还有发酵过程随着菌体对培养基的作用,发酵罐内部的压力大小,同时因罐壁散热以及水分蒸发等带走的部分热量等都会影响发酵温度。冷媒罐内冷媒温度的高低主要由冷媒阀门开度的大小与用于发酵罐降温的冷媒的回流来决定。随着发酵的进行,大量的CO₂的增加使罐内温度迅速上升,要保证发酵在适宜的温度下,则需要温度控制。

(2)PH值控制:PH值是菌体生长的重要环境参数,必须加以严格控制,否则会严重影响代谢的进行和代谢产物的生成。随着发酵的进行,产生大量酸使PH值下降,如不加控制PH值会持续下降;PH值过低会影响发酵的进行,则需要加入碱液中和部分酸,从而保证发酵罐内PH值的适度。通过流加氨水的方法,直接控制碱液阀门开度来控制氨水的流加量进而控制PH值的大小。

在温度和PH值量个参数中,彼此之间又相互影响,温度变化会影响PH值高低。

在啤酒发酵过程的环境影响因素中,分析主要因素间的影响关系得到两条主要的因果关系链,第一条链是主酵温度控制链L₁,第二条链是PH值控制链L₂。在此基础上作以下假设:

假设冷媒阀门开度为z₁₀,冷媒罐温度为z₁₁,发酵温度为z₁₂,回流冷媒为v₁₁,菌体吸(放)热量为v₁₃,且k₁=2,发酵温度控制链L₁:L₁={<z₁₀,z₁₁>,<z₁₁,z₁₂>},k₁=2。

假设氨水量的阀门开度为z₂₀,发酵罐内PH值为z₂₁,补料量为v₂₁,且k₂=1,PH值控制链为L₂:L₂={<z₂₀,z₂₁>},k₂=1。酒精发酵环境参数控制链系统模型框图如图2所示。

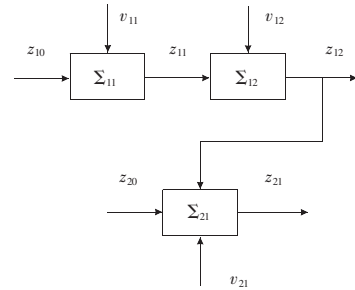


图2 发酵环境参数控制链系统模型框图

假设啤酒发酵系统各子系统Σ_y的动态模型取为:

$$z_{ij}(t+1) = F_{ij}(X_{ij}(t))z_{ij-1}(t-d_{ij-1}^{ij}) + v_{ij}$$

其中X_y是和输出有关的变量串集合,它由两部分组成:一部分是对Σ_y有直接作用的控制输入,另一部分是对Σ_y有关联作用的其他单元的测量输出;z_{ij},z_{ij-1} ∈ Z,z_{ij-1}是对单元Σ_y输出z_{ij}有直接影响作用的输入;d_{ij-1}^{ij}是z_{ij-1}相对于z_{ij}的滞后步数。F_{ij}是待辨识的参数集合,v_{ij}是扰动。因此可以得出各单元模型:

$$z_{12}(t+1) = a_1 z_{12}(t) + a_2 z_{11}(t-d_{11}^{12}) + v_{12} \quad (1)$$

$$z_{11}(t+1) = b_1 z_{11}(t) + b_2 z_{10}(t-d_{10}^{11}) + v_{11} \quad (2)$$

$$z_{21}(t+1) = c_1 z_{21}(t) + c_2 z_{20}(t-d_{20}^{21}) + c_3 z_{12}(t-d_{12}^{21}) + v_{21} \quad (3)$$

其中:a₁、a₂、b₁、b₂、c₁、c₂、c₃分别通过最小二乘法进行参数辨识。

3 模型预估与控制

由于啤酒发酵系统存在大滞后性,而克服时滞,提高控制品质的有效方法是预估。在单采样周期链系统中,因变量z_{ij-1}相对于果变量z_{ij}的滞后步数为d_{ij-1}^{ij}-1,而z₁₀相对于z_{ij}的滞后为D_{ij} = ∑_{m=1}^j(d_{im-1}^{im}+1),则发酵温度链预估模型为:

$$\hat{z}_{11}(t+D_{11}|t) = b_1 \hat{z}_{11}(t+D_{11}-1|t) + b_2 z_{10}(t) + v_{11} \quad (4)$$

$$\hat{z}_{21}(t+D_{21}|t) = c_1 \hat{z}_{21}(t+D_{21}-1|t) + c_2 z_{20}(t) + c_3 z_{12}(t+D_{21}-d_{12}^{21}-1) + v_{21} \quad (5)$$

可以类似写出PH值控制链的预估模型:

$$\hat{z}_{21}(t+D_{21}|t) = c_1 \hat{z}_{21}(t+D_{21}-1|t) + c_2 z_{20}(t) + c_3 z_{12}(t+D_{21}-d_{12}^{21}-1) + v_{21} \quad (6)$$

由文献[6]和文献[7]可以得到温度链的控制算法。

$$Pz_{21}^*(t+D_{12}|t)=Hz_{12}^*(t+D_{12}) \quad (7)$$

其中: $P=1-p_1z^{-1}$, $H=1-p_1$, $z_{12}^*(t)$ 是 $z_{12}(t)$ 的期望值。

$$\hat{z}_{12}(t+D_{12}|t)=p_1\hat{z}_{12}(t+D_{12}-1|t)+(1-p_1)z_{12}^*(t+D_{12}) \quad (8)$$

用同样方法也可以得到

$$\hat{z}_{11}(t+D_{11}|t)=p_2\hat{z}_{11}(t+D_{11}-1|t)+(1-p_2)z_{11}^*(t+D_{11}) \quad (9)$$

其中: p_1 、 p_2 为设计参数。

由式(7),(8)再结合式(4),(5)可得到温度链如下控制算法:

$$z_{10}^{**}(t)=[(1-p_2)z_{11}^*(t+D_{11})+(p_2-b_1)\hat{z}_{11}(t+D_{11}-1|t)-v_{11}]/b_2 \quad (10)$$

$$z_{11}^{**}(t+D_{11}|t)=[(1-p_1)z_{12}^*(t+D_{12})+p_1\hat{z}_{12}(t+D_{12}-1|t)-a_1z_{12}(t+D_{12}-1|t)-v_{12}]/a_2 \quad (11)$$

同样,PH值链的预估控制也可以通过上面的方法得到:

$$z_{20}^{**}(t)=[(1-p_3)z_{21}^*(t+D_{21})+(p_3-c_1)\hat{z}_{21}(t+D_{21}-1|t)-c_3z_{21}(t+D_{21}-d_{12}^{21}-1)-v_{21}]/c_2 \quad (12)$$

其中: a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 c_1 、 c_2 、 c_3 为辨识参数; p_1 、 p_2 和 p_3 为设计参数; z_{11}^* 、 z_{12}^* 和 z_{21}^* 分别为 z_{11} 、 z_{12} 和 z_{21} 的期望值; \hat{z}_{11} 、 \hat{z}_{12} 和 \hat{z}_{21} 分别为 z_{11} 、 z_{12} 和 z_{21} 的预估值。

4 仿真实验

针对低温发酵的主发酵过程进行控制,控制目标:主发酵温度为 $8\pm 0.3^\circ\text{C}$,PH值为 $4.1\pm 0.2\text{mol/l}$ 。

仿真方法:每隔1分钟采集一次系统数据,共采集100组数据,根据现场采集到的数据应用最小二乘法对系统模型进行辨识,然后经过预估方法得出控制算法。另外在第48~51采样点间对冷媒阀开度和氨水流量控制阀开度加一扰动。下面用matlab软件对主发酵温度链和PH值链进行仿真。仿真结果如图3和图4所示。

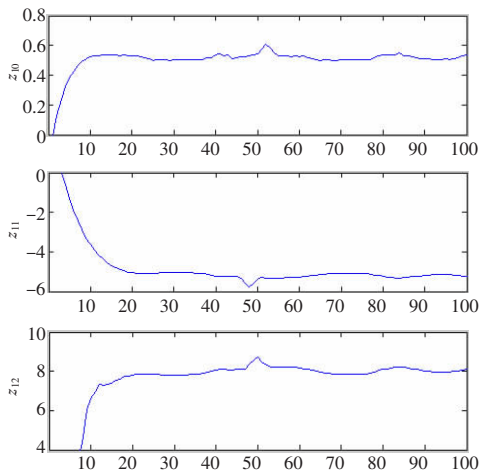


图3 主酵温度链控制仿真

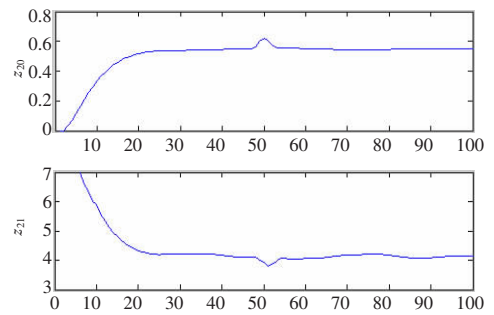


图4 PH链控制仿真

冷媒阀开度调整范围为0~0.8,氨水控制阀开度调整范围为0~0.8。

仿真结果表明采用链系统控制方法可以在输入量有扰动的情況下于要求的时间内克服扰动,使系统回到正常的运行曲线上,增强了系统的抗干扰能力。并且可以把主发酵温度控制在 0.3°C ,PH值控制在 0.2mol/L 的范围内。

5 结束语

在啤酒发酵过程中采用链系统来控制环境参数还是比较少的,采用链系统控制方法,对啤酒主发酵过程进行环境控制。通过对发酵环境的控制,使整个发酵系统的模型系统更加具有适应性和稳定性。进而提高了啤酒的产量和口感,极大地促进了啤酒生产的发展。

参考文献:

- [1] 朱学峰.发酵过程中状态变量的在线估计技术[J].无锡轻工大学学报,1996,15(2):50-53.
- [2] 南忠良,严新忠,王秀清,等.微生物发酵过程环境控制系统的研究[J].天津轻工业学报,2002,9(3):4-6.
- [3] 张光新.啤酒生产过程的全自动化控制及其应用研究[D].杭州:浙江大学,2002.
- [4] 刘杰.啤酒发酵过程模糊控制系统的研究[D].大连:大连理工大学,2003:2-4.
- [5] 陈霖威,乐慧丰.基于神经网络和遗传算法的在线优化软件设计与实现[J].华东理工大学学报,2002(4):419-422.
- [6] 陈铁军.链系统方法及其运用[M].郑州:河南科学技术出版社,1993.
- [7] 陈铁军,邱祖廉.结构分散模型及其应用[J].自动化学报,1992,18(6).
- [8] 陈铁军,邱祖廉.链控制器及其应用[J].自动化学报,1994(3).
- [9] 杜锋,雷鸣.啤酒发酵过程温度控制策略[J].酿酒,2002,29(6):50-52.
- [10] 董晓津.啤酒发酵过程监控系统的研究[D].西安:西北工业大学,2003:12-23.
- [11] 徐光宪,刘建辉,冀常鹏.啤酒发酵过程监控系统研究[J].控制工程,2003,10(5):450-452.
- [12] 方勤.啤酒发酵过程温度控制系统建模及其应用研究[D].武汉:华中科技大学,2006.