

文章编号 1000-5013(2002)01-028-04

木糖醇发酵过程中溶解氧的模糊控制

方 千 山

(华侨大学信息科学与工程学院, 泉州 362011)

摘要 针对木糖醇发酵过程中溶解氧浓度控制难现状,应用模糊控制技术对其进行控制.通过发酵过程中空气流量、罐内压力及搅拌速度的模糊优化,结合用专家知识建立的模糊控制库,采用合成推理运算、最小隶属模糊决策等设计方法,实现FUZZY-PID控制.实验表明,该控制方法行之有效,并取得较好的控制效果,能适应工业过程控制.

关键词 木糖醇, 发酵过程, 溶解氧, 模糊控制

中图分类号 TQ 923 TP 237+.4

文献标识码 A

生物反应过程是一个非常复杂的非线性过程,因而有关过程操作条件优化方面的报道不多.实际操作多为恒定过程的条件或凭经验予以调控.对于一定的发酵装置、菌体及其相应的发酵培养基而言,影响发酵过程的操作条件是pH、温度及溶解氧等要素.对于象木糖醇这类依靠氧化还原酶实现生物转化过程来说,pH和溶解氧的因素尤为重要^[1].本文着重探讨溶解氧的模糊控制技术.

1 发酵过程溶解氧的控制

在木糖醇发酵过程中,为保证菌体生长阶段和产物生成阶段所需的耗氧量和溶解量,必须不断地提供氧气,使菌体的生长和产物形成能顺利地进行.增加发酵液中氧溶解,一般有两种途径.(1)增大空气流量.随着空气流量的增大,发酵液中气泡数也增多,并形成大气泡,使发酵液更大的湍动.这样会减少氧传递过程中的气膜阻力,有利于氧的传递和吸收.但过大的空气流量会使大量的发酵液蒸发,引起浓度和糖度的上升、泡沫增加等不良影响.因而,空气流量应控制在适当值.(2)加速机械搅拌.通过搅拌能把通入发酵罐的空气打碎成小气泡,增加气液接触的有效面积,同时减小气泡周围的液膜厚度,有利于氧的传递.但过分的搅拌会使发酵液泡沫过多,且搅拌叶的剪切作用也会造成菌丝损伤.所以,必须控制搅拌的转速.

由此可见,空气流量及机械搅拌就存在严重的耦合现象.罐压、温度及发酵液的pH等关联系数的波动,都影响着溶解氧的控制.所以,发酵过程的溶解氧对象特性很难通过系统辨识方法获得,传统的控制方法难以得到理想控制效果^[1].因此,在控制中引入模糊控制技术.

收稿日期 2001-11-09

作者简介 方千山(1962-),男,副教授

基金项目 福建省自然科学基金资助项目

2 溶解氧的模糊控制系统

图 1 所示为木糖醇发酵过程的串级模糊控制系统图,它是在 PID 控制的基础上改造而成

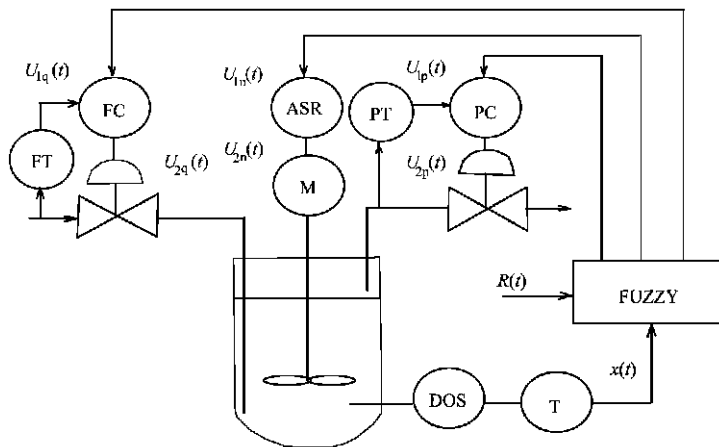


图 1 木糖醇发酵过程的串级模糊控制系统图

的。图中, DOS 为溶解氧传感器, $x(t)$ 为过程状态, $U_{1p}(t)$, $U_{1n}(t)$ 和 $U_{1q}(t)$ 分别为压力、搅拌转速和通气量的初级控制信号(即输入变量), $U_{2p}(t)$, $U_{2n}(t)$ 和 $U_{2q}(t)$ 分别为压力、搅拌转速和通气量的次级控制信号(即输出变量)。经 DOS 测出的溶解氧浓度与设定值比较, 所得误差 E 及误差变化率 EC 输入到模糊控制器, 经模糊推理量化后输出 U 。输出 U 作为 PID 控制器的输入信号, 然后控制执行器动作。压力、搅拌转速和通气量作为控制的副对象, 与 PID、变送器形成内环, 溶解氧作为控制的主对象与 FUZZY, DOS 形成外环。

3 模糊控制器的设计

图 2 为木糖醇发酵过程溶解氧的 FUZZY-PID 串级控制框图。FUZZY 控制器有如下设计

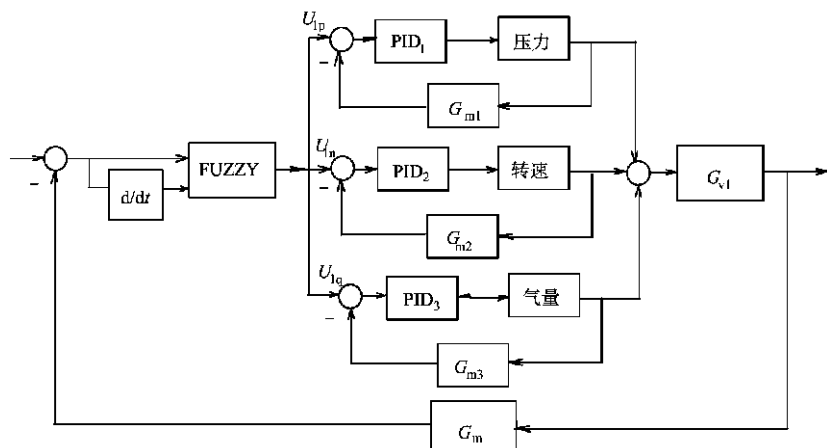


图 2 FUZZY-PID 串级控制框图

步骤。(1) 确定模糊控制器的输入输出变量。取溶解氧浓度偏差为输入变量, 其偏差语言变

量为 E , 相应的模糊子集为 $\underline{A}_i (i=1, 2, \dots, 7)$. 论域为 X , 划分为 7 个等级, 即 $X = \{-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\}$, 模糊子集 \underline{A}_i 的 7 个语言取值为 $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$, 其相应的隶属度值 $\underline{u}_A(x)$, 如表 1 所示. 取偏差变化为输入变量, 其偏差变化语言变量为 EC , 相应的模糊子集为 $\underline{B}_j (j=1, 2, \dots, 7)$, 论域为 Y , 划分为 7 个等级. 即 $B = \{-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\}$. 模糊子集 \underline{B}_j 的 5 个语言取值为 $\{PB, PS, ZO, NS, NB\}$, 其相应的隶属度值 $\underline{u}_B(y)$, 如表 2 所示. 取输出控制量语言变量为 U , 相应的模糊子集为 $\underline{C}_k (k=1, 2, \dots, 7)$. 论域为 Z , 划分为

表 1 隶属度值 $\underline{u}_B(x)$

等级	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
-3	0	0	0	0	0.3	0.5	1.0
-2	0	0	0	0.2	0.5	1.0	0.5
-1	0	0	0.2	0.5	1.0	0.5	0.3
0	0.1	0.3	0.5	1.0	0.5	0.3	0.1
+1	0.3	0.5	1.0	0.5	0.2	0	0
+2	0.5	1.0	0.5	0.2	0	0	0
+3	1.0	0.5	0.2	0	0	0	0

表 2 隶属度值 $\underline{u}_B(y)$

等级	PB	PS	ZO	NS	NB
-3	0	0	0	0.3	1.0
-2	0	0	0.3	0.5	0.4
-1	0	0.1	0.5	1.0	0.2
0	0.1	0.5	1.0	0.5	0.1
+1	0.2	1.0	0.5	0.1	0
+2	0.4	0.5	0.3	0	0
+3	1.0	0.3	0	0	0

7 个等级, 即 $Z = \{-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\}$, 模糊子集 \underline{C}_k 的 7 个语言取值为 $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$, 其相应的隶属度值 $\underline{u}_C(z)$, 如表 3 所示. (2) 模糊规则的选择^[8]. 根据操作员的经验并结合专家知识, 经优化生成模糊语言控制规则, 如表 4 所示. 相应的模糊关系通式为

$$\underline{R}_l = \underline{R}_{Al} \quad \underline{R}_{Bl},$$

$$\text{即 } \underline{R}_1 = \underline{A}_1 \times \underline{C}_1 \quad (j=1 \overset{5}{\underline{B}_j} \times \underline{C}_1), \underline{R}_2 = \underline{A}_2 \times \underline{C}_2 \quad (j=1 \overset{5}{\underline{B}_j} \times \underline{C}_2, \dots, \underline{R}_{15} = \underline{A}_7 \times \underline{C}_7 \quad (j=1 \overset{5}{\underline{B}_j} \times \underline{C}_7). \quad (3) \text{ 模}$$

表 3 隶属度值 $\underline{u}_C(z)$

等级	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
-3	0	0	0	0	0.3	0.5	1.0
-2	0	0	0	0.3	0.5	1.0	0.4
-1	0	0	0.1	0.5	1.0	0.5	0.1
0	0.1	0.3	0.5	1.0	0.5	0.3	0.1
+1	0.1	0.5	1.0	0.5	0.1	0	0
+2	0.4	1.0	0.5	0.3	0	0	0
+3	1.0	0.5	0.1	0	0	0	0

表 4 控制规则

等级	PB	PS	ZO	NS	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PB
MP	PM	PM	PM	PM	PS
PS	PM	PS	PS	ZO	ZO
ZO	PM	ZO	ZO	ZO	NS
NS	XO	ZO	NS	NS	NM
NM	NS	NM	NM	NM	NM
NB	NB	NB	NB	NB	NB

糊化与解模糊. 设某一时刻的偏差与偏差变化的模糊值分别为 e^* , ec^* . 可根据各条规则, 给出的模糊关系进行合成推理运算. 得出响应的输出控制量模糊值为

$$\underline{R}_l = e^* \cdot \underline{R}_{Al} \quad ec^* \cdot \underline{R}_{Bl}, \quad l = 1, 2, \dots, 15.$$

模糊控制器总的输出控制量为 $\underline{U} = \bigcup_{l=1}^{15} \underline{U}_l$. 采用最小隶属度作模糊决策, 有 $u = u_{\max}$. 采用 FUZZY-PID 及 PID 控制时, 发酵罐溶解氧浓度(C)变化曲线图, 如图 3 所示.

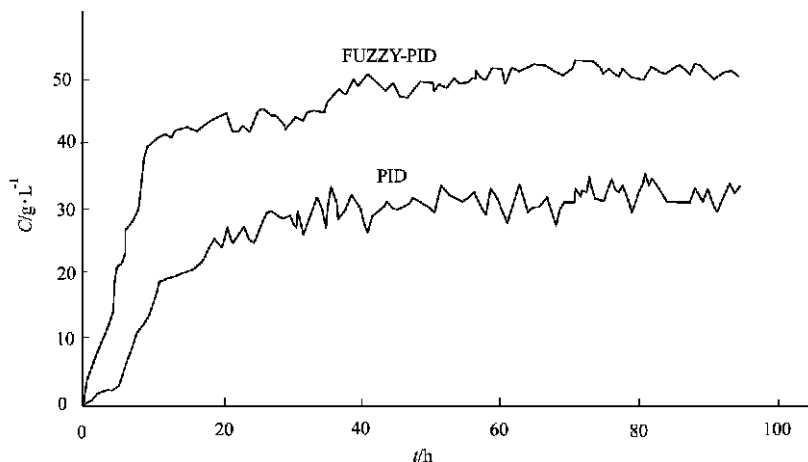


图 3 发酵罐溶解氧浓度变化曲线图

4 结束语

本文提出溶解氧的 FUZZY-PID 控制方法,并在 BIOSTAT B 5 L 发酵装置中得以应用. 木糖醇采用分批补料发酵方法(木糖醇系美国 SIGMA 公司产品,培养基用福建漳州糖厂提供的 D-木糖),发酵液为 3 L、温度为 30℃、pH 值为 5.0. 实验表明,该方法能很好地控制溶解氧的浓度,有效地提高发酵过程中产物的产出. 系统具有较好的动、静态特性,对发酵过程的控制能取的较好的控制效果.

参 考 文 献

- 1 方柏山. 木糖醇发酵与提纯过程模型化与优化[D]:[学位论文]. 天津:天津大学化工系, 2000. 11~40
- 2 张嗣良. 发酵过程中 pH 及溶解氧的测量与控制[M]. 上海:华东化工学院出版社, 1992. 51~128
- 3 诸 静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1995. 361~456
- 4 方千山,王永初. 立窑水泥煅烧过程的控制策略[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2000, 21(4): 357~360

Fuzzy Control of Dissolved Oxygen in Fermentation Process of Xylitol Fang Qianshan

(College of Info. Sci. & Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract Directioning against the present state of difficult to control the concentration of dissolved oxygen in fermentation process of xylitol, the technique of fuzzy control is introduced. By fuzzy optimization of its air-flow rate and intratank pressure and mixing speed, Fuzzy-PID control is realized. As shown by experiment, this control method is effectual, it has got fairly good effect of control.

Keywords xylitol, fermentation process, dissolved oxygen, fuzzy control