

谷氨酸发酵调优操作模型*

方柏山 林金清

(华侨大学化工与生化工程系, 泉州 362011)

摘要 以谷氨酸发酵的产酸率, 转化率及生产能力为优化目标, 对谷氨酸工业生产过程中所涉及的工艺条件进行回归, 建立了一套好的调优操作模型. 计算表明, 运用调优操作于谷氨酸发酵具有很大的潜力.

关键词 谷氨酸, 发酵, 调优操作, 模型

分类号 TQ 922.1

发酵是个相当复杂的生化反应过程, 支撑微生物生命活动所涉及的酶不下千余种. 对于如此复杂的反应体系, 在装置设计时难以使装置的结构参数和操作参数在工艺技术和经济上取得系统的最优值, 加上由于农副产品等原料品种及质量等变化, 菌种变异、改良甚至更新. 可能严重地导致工艺条件偏离系统优化的状态. 为此, 适时地调整工艺参数很有必要. 谷氨酸是发酵工业中较为典型及生产量很大的发酵产品. 谷氨酸发酵工艺条件优化方法对于其它发酵产品生产调优具有通用性或重要参考价值. 据此, 以福建泉州味精厂现行的谷氨酸发酵工艺条件为对象进行调优研究. 以期建立一套适于谷氨酸生产的调优模型.

1 调优方法

从1969年Box教授提出生产调优的概念^[1], 至今, 这方面的研究已有20多年的历史. 所建立的调优方法见于期刊的有三类^[2]: (1) 以数理统计为依据的统计调优方法(EVOP); (2) 以模糊数学为基础的模式识别法(PR); (3) 以过程模拟为主体的操作模拟分析法(OSA)及其改进方法——装置模拟优化法(PSO). 这些方法在化工过程生产调优中已得到应用且效果显著^[3~5]. 但应用于发酵过程的报道在国内寥寥无几.

由于发酵产品生产机理比起化工产品生产的机理复杂得多, 而统计调优方法是应用数理统计和最优化方法在计算机辅助下以调优策略实施装置改进或最佳操作工艺条件, 从而实现操作目标的科学方法. 为此, 我们采用该法进行研究.

2 变量的选择

为减少在调优时由于增加中间计算步骤而带来的额外误差, 因变量的选择直接选用生产

* 本文1993-11-16收到, 福建省自然科学基金资助项目

厂家生产上所追求的目标,即:(1)谷氨酸的浓度;(2)以初糖浓度计的转化率;(3)生产能力(即单位时间单位初糖所获得的谷氨酸含量).指标(1)适用于原材料富裕的场合;指标(2)利于原材料紧张的情形;而指标(3)则较适于产品走俏或操作费用上涨的情况.由此,可根据实际情况选用合适的目标函数作为实现优化操作的指标.

自变量的选择是较好地描述一个系统的关键.一方面不必把所有的因素都选出,因为那样会给数据处理带来很大不便,甚至连计算机也无法容纳;另一方面不应该只选少数几个较明显的主要因素,那样可能会有所遗漏或主观片面,造成对目标函数的描述不佳而达不到较高的精度.由于我国的谷氨酸发酵工业还缺乏实用的传感器,因而自变量的选择只好从生产批报中考虑.就福建泉州味精厂所提供的生产批报而言,其数据多为时间的函数,经综合考虑,我们选用其中 27 个作为自变量进行回归分析..

3 回归分析及结果

收集 70 多批谷氨酸发酵原始记录数据(发酵罐容积为 20 t),从中选出生产稳定、时间集中的 30 批数据,分别就前述的 3 个目标函数进行了不同自变量个数的多元线性或非线性回归.结果表明,用 27 个自变量进行多元线性回归所得到的结果较好,部分结果见附表.

附表 回归分析的部分结果^①

代 号	y_1		显著性	y_2		显著性	y_3		显著性
	系数符号			系数符号			系数符号		
x_1	+	+	**	+			-		
x_3	+			-	-	**	-		**
x_5	+	+	*	+			-		
x_7	-			-			+	+	**
x_8	-			-	-	**	-		
x_{10}	+	+		+			+		
x_{11}	-	-		-			+		
x_{13}	-			-			-	-	
x_{14}	-	-		-	-	**	-	-	
x_{15}	-	-	*	-	-		-	-	**
x_{17}	-			-	+	*	-	-	**
x_{18}	+			+			+	+	
x_{21}	-	-	*	-			-	-	
x_{22}	-	-	**	-			+	+	*
x_{24}	+	+	**	+	+	**	+	+	**
x_{25}	+	+	*	+	+		+	+	
x_{26}	+	-	*	+	-	*	+		
x_{27}	+		*	-			+	+	

①表中 ** 为非常显著, * 为显著

4 调优模型及预测

基于上述分析所得的 27 个自变量多元线性逐步回归结果,考虑线性相关系数和在现有工

艺条件范围内取值以避免因工艺条件大幅度变化所可能产生的意外风险,可得到如下几个针对不同目标函数的调优模型及其可能达到的优值域。

(1)以产酸浓度 y_1 最高为目标的调优模型:

$$\begin{aligned} y_1 = & -9.094\ 0 + 1.100\ 2x_1 + 0.145\ 1x_5 \\ & + 124.849x_{10} - 98.816x_{11} - 0.632\ 5x_{14} \\ & - 0.596\ 1x_{15} - 0.049\ 5x_{21} - 0.151\ 5x_{22} \\ & + 0.336\ 0x_{24} + 0.165\ 8x_{25} - 0.077\ 4x_{26}. \end{aligned}$$

该模型的复相关系数 $R=0.90$, 用于显著性检验的 F 值为 $F=7.29 > 3.44 = F_{(11,18)}^{0.01}$, 这意味着所得到的模型具有 99% 以上的可信度, 其剩余方差 $S^2=0.16$. 据此, 若以现有工艺条件中出现的相应自变量的上下限取值(回归项系数为正号的取上限, 反之取下限), 即 x_1, x_5, x_{10}, x_{24} 及 x_{25} 取上限值, 而 $x_{11}, x_{14}, x_{15}, x_{22}$ 及 x_{26} 取下限值, 产酸浓度将以 99% 的概率达到 $(9.2 \pm 1.2)\%$.

(2)以转化率 y_2 最高为目标的调优模型:

$$\begin{aligned} y_2 = & 10.654 - 3.608x_3 - 35.391x_8 - 2.574x_{14} \\ & - 3.443x_{15} + 4.112x_{17} - 1.271x_{22} \\ & + 2.511x_{24} + 1.463x_{25} - 0.795x_{26}. \end{aligned}$$

该模型 $R=0.91$; $F=10.9 > 3.46 = F_{(9,20)}^{0.01}$; $S^2=1.71$. 据此若 x_{17}, x_{24} 及 x_{25} 取上限值; $x_3, x_8, x_{14}, x_{15}, x_{22}$ 及 x_{26} 取下限值, 其它变量按常规取值, 转化率将以 99% 的概率达到 $(68.7 \pm 4.0)\%$.

(3)以生产能力 y_3 最高为目标的调优模型:

$$\begin{aligned} y_3 = & 360.591 - 20.747x_3 + 119.412x_7 - 247.015x_{13} \\ & - 32.402x_{14} - 27.184x_{15} - 24.574x_{17} \\ & + 14.206x_{18} - 2.140x_{21} + 5.252x_{22} \\ & + 10.331x_{24} + 7.399x_{25} + 5.629x_{27}. \end{aligned}$$

该模型 $R=0.96$; $F=16.1 > 3.46 = F_{(12,17)}^{0.01}$; $S^2=6.90$. 据此若 $x_7, x_8, x_{22}, x_{24}, x_{25}$ 及 x_{27} 取上限值; $x_3, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{17}$ 及 x_{21} 取下限值, 其它变量按常规取值, 生产能力将以 99% 的概率达到 $(280.7 \pm 8.0) \times 10^{-4} \text{ h}^{-1}$.

上述三个模型的自变量中: $x_1, x_{14} \sim x_{18}$ 分别为发酵时间 $t=0, 4, 8, 16, 20, 26$ 时发酵液的 pH 值; $x_6, x_{23} \sim x_{27}$ 分别为 $t=0, 4, 8, 16, 20$ 和 26 时发酵液的温度; $x_5, x_{19} \sim x_{22}$ 分别代表 $t=0, 4, 8, 14$ 及 20 时通风量; x_3 为初糖浓度; x_7, x_8, x_{10} 和 x_{11} 分别为发酵培养基中麸皮、玉米浆、氯化钾和硫酸镁; x_{13} 为初始消泡剂量。

5 讨论

本文研究表明所建立的调优模型能够很好地描述特定的谷氨酸工业发酵优化目标与工艺条件的函数关系, 并能直观地指明谷氨酸发酵工艺条件优化的方向。

由优化模型预测的产酸率 9% 和转化率 68% 比所考察的平均产酸率 5% 和平均转化率 45% 均有大幅度的提高。可以预见原生产的工艺条件严重地偏离了优化状态, 调优操作具有

很大的潜力。

参 考 文 献

- 1 Box G E P, Draper N R. Evolutionary operation. New York: John Wiley and Sons Inc., 1969. 5~10
- 2 王春久, 魏寿彭. 利用 PSO 法进行 DMT 装置生产调优. 化工进展, 1989, (1): 32~37
- 3 黄自兴, 堵盘兴, 陈勤学. 计算机辅助统计调优操作法及其应用. 江苏化工, 1985, (3): 49~55
- 4 吴锡军. 调优运算在化工生产中的应用(上). 化工进展, 1982, (1): 12~13
- 5 程乃毅, 冯世烽, 陈淑珍等. 计算机辅助现有化工过程操作最佳化. 化工学报, 1986, (4): 421~428

Model of Evolutionary Operation for Glutamic Acid Fermentation

Fang Baishan

Lin Jinqing

(Dept. of Chem. & Biochem. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract A set of models of evolutionary operation are constructed for the glutamic acid fermentation in industry. They are constructed by means of the regression of technological conditions concerned in the productive processes of glutamic acid, with acid yield, conversion rate and productivity of glutamic acid fermentation as the goals of optimization. It is indicated by model calculation that evolutionary operation has a great prospect in its application to glutamic acid fermentation.

Keywords glutamic acid, fermentation, evolutionary operation, model