

文章编号 :1009 - 038X(2000)05 - 0488 - 03

酵母流加发酵生产中乙醇浓度的在线测量

潘丰¹, 冯品如¹, 李寅²

(1. 无锡轻工大学信息与控制工程学院, 江苏无锡 214036; 2. 无锡轻工大学生物工程学院, 江苏无锡 214036)

摘要: 研制了乙醇浓度在线监测仪, 并对其在酵母流加生产中的应用情况进行了考察. 结果表明, 采用乙醇浓度反馈流加培养方式, 细胞产率和发酵活力可分别达到 0.416 g/g 和 980 ~ 1 100 mL, 显示出良好的应用前景.

关键词: 乙醇浓度测量 酵母 流加培养

中图分类号: TQ926; TP274.5

文献标识码: A

The Ethanol Concentration on-line Monitor in the Production of Yeast

PAN Feng¹, FENG Pin-ru¹, LI Yin²

(1. School of Information and Control Engineering, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036; 2. Lab of Environmental Biotechnology, School of Biotechnology, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Abstract: An ethanol monitoring instrument was manufactured and its application on the production of yeast was investigated. The results show that cell yield and fermentation activity reached 0.416 g/g and 980 ~ 1 100 ml in fed - batch culture with ethanol concentration feed - back control, respectively, which indicates its great potential value for industrial application.

Key words: ethanol monitoring instrument; yeast; fed-batch culture

酵母生产是发酵工业的重要组成部分, 年产量正在逐步增大. 乙醇浓度是酵母生产中的重要控制参数, 培养过程中乙醇浓度的变化, 一方面可以反映出酵母菌生长的进程, 另一方面可以反映出酵母生产中糖液是否流加过量. 实际生产中要求能够快速、准确地对发酵罐中的乙醇浓度进行定量. 传统的乙醇分析方法(如滴定法、蒸馏法、比重法和气相色谱法)能够满足测定要求, 但由于是离线分析, 需定时取样, 操作复杂, 耗时长, 不能准确地反映发酵过程中的真实情况, 且分析人员的工作强度较大. 在分析国内外研究资料并进行了大量实验的基础

上, 作者成功地研制出适用于各种酵母培养过程的乙醇浓度在线监测仪. 可在线监测发酵罐中乙醇浓度的变化, 减轻分析人员的工作强度. 产品具有灵敏度高、响应快、稳定性好、测量范围大、价格低等显著优点. 可与 PC 微机联机, 将采集到的数据传送到中央控制室, 实现数据记录、保存和分析, 并对发酵过程实时控制. 研究结果表明, 该仪器有较好的工业应用前景.

1 乙醇浓度在线监测仪研制

1.1 乙醇浓度在线监测仪的工作原理和硬件构成

收稿日期: 1999 - 12 - 23, 修订日期: 2000 - 05 - 26.

作者简介: 潘丰(1963 -)男, 江苏苏州人, 工学硕士, 副教授.

万方数据

1.1.1 工作原理 本仪器是根据乙醇溶液气液相平衡关系,由N型半导体气敏探头测量乙醇气相浓度,从而间接反映发酵液中乙醇浓度的原理而设计的.半导体气敏元件检测气体的原理是:当探头接触被测气体时,元件的导电性能发生变化,因而电阻值也相应变化,阻值变化的大小和快慢与被测气体的种类、浓度以及气敏元件的工作条件有关.当气体种类和元件的工作条件不变时,元件的电阻值与被测气体浓度有对应关系.

1.1.2 监测仪硬件构成 乙醇浓度监测仪的硬件构成见图1.

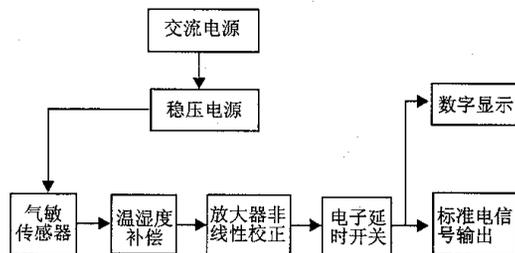


图1 乙醇浓度在线监测仪的硬件构成

Fig.1 Schematics of ethanol concentration on-line monitoring instrument

1.1.3 温湿度补偿 在精度要求较高的检测中,要求对环境温湿度补偿.采用热敏电阻并联在负载电阻上进行温度补偿,所选用的热敏电阻的温度系数与气敏元件温度系数接近.当周围环境温度升高时,气敏元件阻值降低,与此相应热敏电阻阻值也降低,从而实现温度补偿.此方法也可以使气敏传感器对湿度的灵敏度下降.

1.1.4 信号处理单元 气敏元件输出信号随气体浓度呈非线性变化规律,因此经补偿的信号经放大再被线性化处理后送数显单元显示,同时转换为标准的4~20 mA信号输出,供其它控制仪表或计算机采用.

1.1.5 避免气敏元件初期稳定特性和初期恢复特性的不利影响 气敏元件长时间不通电存放,无论在清洁空气中,还是在其它气体里,都将出现高阻值化的现象,即元件电阻比初始稳定值要高,一般高20%左右.通电一定时间后,元件阻值才恢复到初始时的电阻值并稳定下来.这种特性称为气敏元件初期稳定特性.此外,气敏元件在短期不通电后再次通电时,其元件阻值会迅速下降,然后向着对应于接触气体中的阻值变化,最后达到稳定值.解决这一问题的办法是在测量电路中加入电子延时开关,使气敏元件在通电初期输出信号不送输出电路,以避免初期特性的不利影响.

1.2 仪器安装

工业生产中乙醇浓度监测仪与发酵罐的连接方式如图2所示.探头的进气处最好能安装滤网,以防杂质进入.使用时注意保持通过探头的气流量恒定.

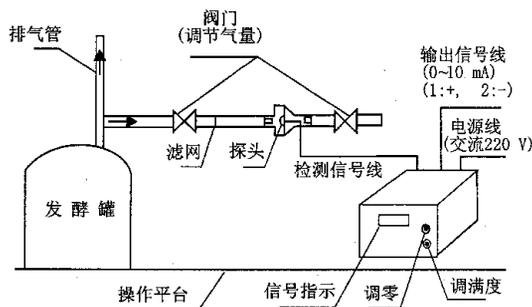


图2 乙醇监测仪与发酵罐连接示意

Fig.2 Linking schematics of fermentor with ethanol monitoring in instrument

1.3 仪器标定

本监测仪的标定可采用实际生产标定或实验室标定两种方法.

1.3.1 实际生产标定 在实际生产过程中,定时采样并精确分析发酵液中乙醇浓度,同时记录乙醇监测仪显示值,从而建立仪器相对指示值与发酵罐中实际乙醇浓度的对应关系曲线.若因实际生产中需要改变发酵工艺或改变通过探头的气流量,则必须对仪器重新标定,以保证测量的精确性.

1.3.2 实验室标定 将仪器与实验室小型发酵罐相连后,可采用两种不同的方法对仪器进行标定.

1)采用实际生产中使用的发酵工艺,在小型发酵罐中培养面包酵母,取样分析乙醇浓度的同时记录仪器显示值,建立相对指示值与实际乙醇浓度的对应关系曲线;

2)在小型发酵罐中加入不同质量浓度的乙醇溶液(预先配制好,质量浓度为100~5000 mg/L),记录所对应的仪器显示值,建立对应关系曲线.

1.3.3 测量范围及干扰影响 发酵液中乙醇质量浓度不能超过5 g/L,否则输出呈饱和特性.该气敏探头对CO₂和NH₃不太敏感,但醇类气体对其有干扰.

2 乙醇浓度监测仪在酵母生产中的应用

2.1 酵母流加培养过程中各参数的变化

酵母生产过程包括前期短暂的分批培养和后期流加培养两部分.为了考察所研制的乙醇浓度监

测仪是否能灵敏、高效地反映出培养过程中乙醇质量浓度的变化,作者对酵母流加培养中的各项参数的变化进行了分析.图 3 为初糖质量浓度 10 g/L、培养进行至 9 h 后开始递增流加糖液(质量浓度 200 g/L)的酵母培养过程曲线.

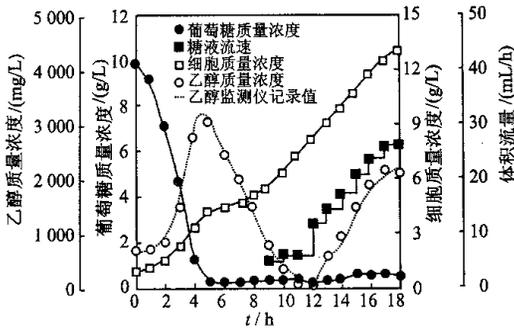


图 3 一般流加培养过程曲线

Fig.3 General fed-batch culture curve

可见,培养刚开始时就监测出有乙醇存在,这部分乙醇主要是种子培养带来的.随着糖耗速度加快,大量乙醇产生,至 5 h,还原糖基本耗尽时,乙醇质量浓度达到最高峰.之后酵母细胞生长开始减缓,而乙醇质量浓度持续下降,表明这一过程中酵母胞内正在诱导可同化乙醇的酶,利用乙醇作为底物继续维持生长.到 9~12 h 虽然糖液流加已经开始,但由于流速较低,酵母同时利用还原糖和乙醇作为底物,细胞增长速度开始加快.12 h 后,随着糖液流速的突然提高,酵母又开始合成大量乙醇,还原糖在培养基中略有积累.整个过程中乙醇监测仪记录值和实测浓度虽有

偏差,但总体上吻合较好,说明该仪器可有效、迅速地反映出乙醇质量浓度的变化趋势.

2.2 利用乙醇质量浓度反馈控制酵母流加培养

酵母生产的目标是实现高产品质量和低生产成本的统一.如图 3 所示,若采用递增流加方式并且流速过快,会产生大量乙醇并导致细胞产率下降,这在生产上显然是不可取的.因此作者根据乙醇浓度监测仪的显示值反馈调节糖液流加速度,培养过程曲线如图 4 所示(实验过程的其它培养条件均与图 3 相同).图 4 中 9 h 前各项参数的变化趋势类似于图 3,至 13 h,鉴于乙醇监测仪显示乙醇质量浓度上升,因此将流加速度降低.采用这种根据乙醇监测仪显示值人工反馈控制流加速度的方案,培养后期乙醇质量浓度可一直维持在较低的水平.

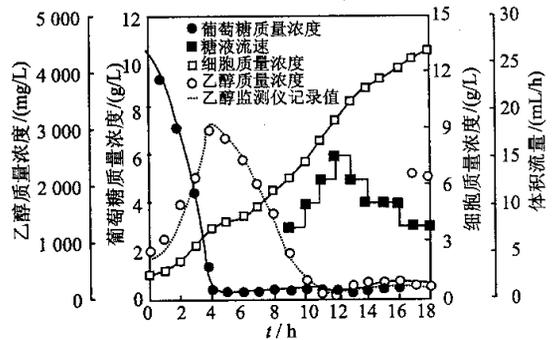


图 4 乙醇质量浓度反馈控制流加培养过程曲线

Fig.4 Fed-batch culture curve with ethanol concentration feedback control

比较图 3 和图 4 中各项重要生产指标,见表 1.

表 1 一般流加培养和乙醇质量浓度反馈控制流加培养的比较

Tab.1 Comparison of ethanol concentration feed-back control with general fed-batch culture

培养方式	初糖质量浓度(g/L)	流加量/mL	细胞量(g/L)	产率(g/g)	发酵活力/mL
一般流加培养	10	157.5	13	0.289	950~1050
反馈流加培养	10.5	102.5	13.2	0.416	980~1100

注:流加糖液的质量浓度均为 200 g/L.

由表 1 可知,乙醇质量浓度反馈流加培养在提高产率方面具有比较明显的优势,而两种培养模式下获得酵母发酵活力的差异则不太明显.而造成图 3 所示产率偏低的主要原因是流加速率过快,比生长速率过高,导致生成乙醇.

此外,乙醇质量浓度反馈流加培养中酵母的发

酵活力距作者报道^[1]的最好结果尚有差距,应用乙醇监测仪是否可以改进已获得的高发酵活力面包酵母高产率流加培养模式,还有待于进一步研究探讨.

乙醇浓度在线监测仪已在多家酵母厂推广应用.

参考文献

[1] 李寅,陈坚,宋祺等.高发酵活力面包酵母的高产率流加培养模式研究[J].生物工程学报,1997,13(2):160~167.

[2] 无锡轻工业学院,天津轻工业学院,大连轻工业学院等编.工业发酵分析[M].北京:轻工业出版社,1989.342~346.