

文章编号 :1009 - 038X(2000)05 - 0455 - 03

智能控制在发酵过程中的应用

须文波 , 潘 丰 , 冯 斌

(无锡轻工大学信息与控制工程学院 ,江苏无锡 214036)

摘 要 :提出了一种智能控制系统应用于发酵过程的新方法 . 该系统按功能可分成两层 :底层执行数据采集、实施控制等常规任务 ;上层是一个实时专家系统 ,综合生物工程和工程经验指导发酵过程操作 ,如传感器有效性检查、事故诊断、流加策略优化等 . 基于智能控制策略 ,L-异亮氨酸发酵产率提高 4% ,发酵时间缩短 6% .

关键词 :智能控制 ;集散控制系统 ;L-异亮氨酸发酵

中图分类号 :TQ922 ;TP18

文献标识码 :A

Intelligent Control of the Fermentation Process

XU Wen-bo , PAN Feng , FENG Bin

(School of Information and Control Engineering , Wuxi University of Light Industry ,Wuxi 214036)

Abstract : A distributed control system for L-isoleusine fermentation process is introduced in this paper. The structure of this system is composed of two hierarchical levels providing clear distribution of system functions. The standard sets of control tasks , such as measurement , filtration , data acquisition , control , etc. , are entrusted to the lower level. The higher level represents an artificial intelligence system. The development and application of a real - time knowledge - based system to provide supervisory control of fed - batch bioprocess is presented. The system performs sensor validation , fault detection and diagnosis and incorporates relevant expertise and experience drawn from both bioprocess engineering and control engineering domains. Basing on the intelligence control strategies for the production process of L-isoleusine fermentation , more economical profile is obtained by industrial application. The practical control results indicated : the L - isoleusine product yield was increased by 4% , and fermentation period was shortened 6% .

Key words : intelligent control ; distributed control system ; L-isoleusine fermentation

发酵过程具有高度非线性、时变性和随机性 . 无论是通过某些假设导出的机理模型 ,还是通过实验所得出的控制模型 ,其适用范围都是有限的 ,很难准确有效地描述出整个过程特性 . 而且 ,目前发酵过程中能在线测量的参数只有温度、pH、溶氧

DO、CO₂ 浓度等环境变量 ,比较重要的生物质浓度、产物浓度等还不能在线测量 ,使发酵过程的优化控制相当困难 . 而在长期的实践过程中 ,有关专家和操作人员对于发酵过程控制策略及对于发酵过程中的各种情况的判断和处理都有着相当丰富的知

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

作者简介 :须文波 (1946 -) ,男 ,江苏无锡人 ,工学硕士 ,教授 ,博士生导师 .

万方数据

识和经验.这些知识和经验尚不能用数学语言描述出来,但却对控制发酵过程具有很大的参考和利用价值.因此作者采用基于知识的智能控制方案,对补料生产过程进行控制.利用知识库专家系统指导发酵过程的操作,如确定补料策略、检查各种传感器的有效性、对发酵过程各种事故的检测和诊断,以及多个发酵罐的计划调度等.

1 发酵过程集散控制系统

发酵过程控制包括稳定操作条件和优化产率、得率指标两个方面.前者可通过常规调节回路实现,而系统的优化控制则需根据过程的数学模型,对罐温、pH、溶解氧浓度、进气流量、补料量等进行寻优计算,以确定这些控制变量的最优时间策略.对此,采用常规仪表无法实现此功能.而采用集散

控制系统进行生化过程自动控制具有简单、可靠、高性能的特点,可大大提高产品得率,降低能耗.

发酵过程集散控制系统的硬件实现采用 FC-2 型集散控制系统(DCS),系统结构见图 1.该系统结合国内的实际情况,吸收了各种 DCS 的优点,性价比高,主要用于发酵行业.该系统通过现场总线,最大可接 32 个站,各个站可由 PC 总线或 STD 总线工控机或智能 I/O 模块组成.每台工控机最大可拥有 128 个模拟量输入点、32 个开关量输入点、32 个开关量输出点及 32 个模拟量输出点.该系统可通过 LAN 总线与管理信息系统(含厂长查询及辅助决策子系统、生产调度管理子系统、财务管理子系统、供销仓库管理子系统及发酵车间管理子系统)相联,具有将生产现场控制和生产管理集成的功能.

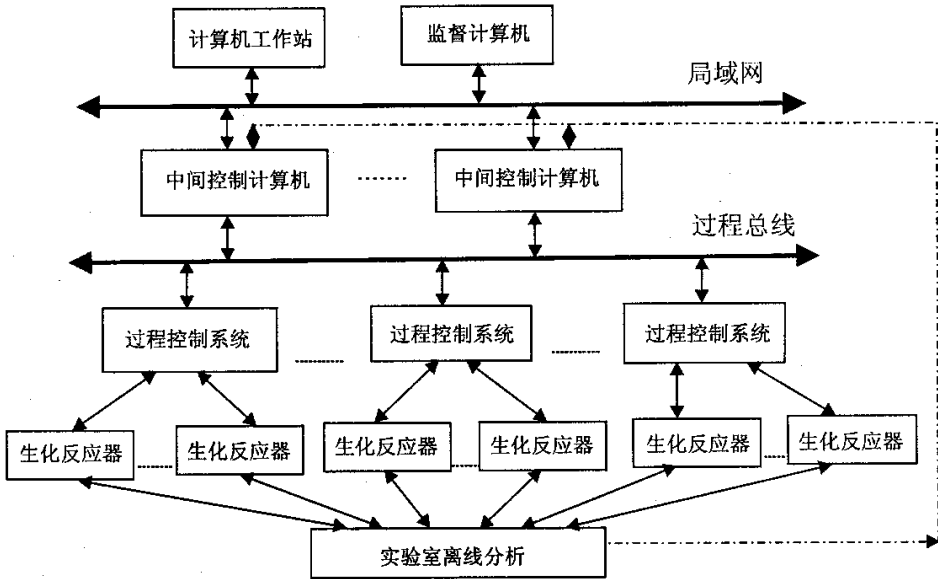


图 1 FC-2 型集散控制系统结构

Fig.1 General configuration of FC-2 distributed control system

下位机实现过程模拟量、开关量的输入和输出,常规 PID 调节,下位机监控,掉电后的自启动及随机故障的自动恢复等.下位机定时将数据传到上位机.上位机实行监测、数据处理、专家系统推理,确定发酵阶段和故障情况、补料控制策略等.上位机通过对环境状态及菌体生长状况判断推理后得出补料控制值,通过总线定时传送到下位机,实现对发酵罐的实时控制.

2 发酵过程智能控制系统

发酵过程是一个复杂的化学变化和生理变化

的综合过程,提高发酵产量的传统途径有:筛选出优良的菌株,改进培养基配方等.随着发酵工业的发展,人们在结合改进发酵工艺和设备的同时越来越注意发酵过程的监督和控制.L-异亮氨酸发酵作为半连续的发酵过程,基本上可分为两个阶段:1)菌体快速生长阶段,以得到具有生物活力的高浓度的菌体;2)产物生成阶段,即 L-异亮氨酸产生期.这种发酵过程,要求培养液中营养物质浓度按一定的轨迹变化,需要确定优化的流加补料策略.太多的补料,会抑制产物的形成.而不足的补料,会使菌体合成产物的能力减退,甚至导致细胞死亡,而活力的减退是不可逆的.

由于发酵过程的重要变量都无法在线测量,因此建立基于知识的专家系统,全面利用发酵过程的各种信息,如报批数据、实验室分析数据、配方数据、在线测量数据,通过综合分析,了解真实的发酵反应过程,从而指导操作和控制发酵过程。如确定补料策略、控制参数校正、传感器有效性检查、发酵事故诊断等。

发酵过程智能控制系统结构如图 2 所示。

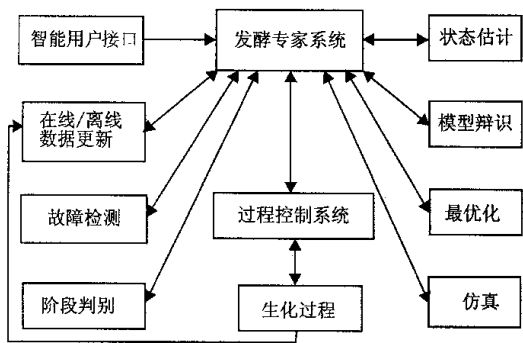


图 2 发酵过程智能控制系统结构

Fig.2 General configuration of the fermentation process intelligent control

专家系统的核心由规则库、推理机、数据库组成,规则库中存放产生式规则,产生式规则接近于人类的自然语言,易于理解,每一条规则象一条独立的知识块,增删方便,规则库由领域专家的知识、操作人员的操作经验归纳总结而得,主要包括 3 个方面的规则:发酵阶段的判断规则;基质补料控制规则;传感器失效、发酵故障诊断规则等。

数据库存放发酵阶段有关过程的数据、操作的界限、报警阈值等和各种基质补料控制的参数。主要有:各控制参数的控制点及相应时间;过程参数的界限;发酵阶段判断的参量水平和时间界限;发酵各阶段变换的时间界限;发酵故障特征等。

系统开始运行时,数据库中存放系统的设定值,在运行期间,系统会随时将过程性结论存放数

据库。

推理机主要控制规则库中的规则的选择和使用。本系统规则库规模较小,采用数据驱动的正向推理,规则的匹配顺序根据领域专家考虑问题的顺序确定。由规则的优先级承担冲突规则的消解,优先级隐含于规则的执行程序中。

专家控制系统的其它组成部分有:

- 1) 输入数据处理:此模块对输入数据去除噪音,进行有效性检验,然后对数据统一安排和存储。
- 2) 状态变量估计(软测量):利用各种形式的信息对一些重要的状态变量进行在线估计。
- 3) 过程优化:根据实际情况提出相应控制策略,进行控制参数校正。
- 4) 知识刷新:根据在线和离线数据,去除过时知识,增加新知识,或对知识进行修正。
- 5) 流加发酵过程流加策略在线计算。方法见图 3。

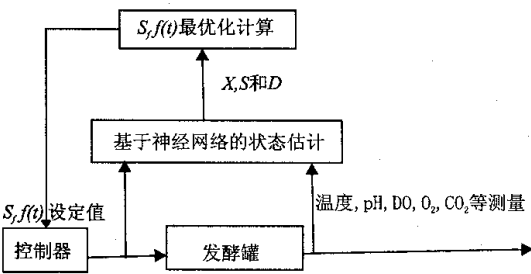


图 3 流加发酵过程流加策略在线计算

Fig.3 The On-line calculation of fed-batch strategy in fed-batch culture

3 结 语

发酵过程智能控制系统应用于江西氨基酸厂,对产量 20 t 的 L-异亮氨酸发酵生产过程进行了控制。根据生产数据统计,与原发酵生产水平相比,产率提高 4%,发酵时间缩短 6%,有明显的经济效益。

参考文献

[1] 潘丰. 发酵过程集散控制系统[J]. 自动化与仪表, 1996, 11(4): 28~30
[2] PAN FENG. Intelligent Control of the Production Process for L-Isoleucine Fermentation[M]. Biochemical Engineering: Marching Toward The Century of Biotechnology, 1997. 1279~1282.

(责任编辑:秦和平)