

## 味精生产全过程自动控制\*

姜楠<sup>1</sup> 姜长洪<sup>2</sup>

1( 沈阳化工学院计算机科学与技术学院 沈阳 110142 )

2( 沈阳化工学院信息工程学院 沈阳 110142 )

**摘 要** 阐述了味精生产的工艺过程及其控制要求,对相关工序主要设备参数的控制方法进行了分析,尤其是对发酵过程溶解氧、pH 值及结晶过程过饱和度等参数的控制提出了一些较为完整的控制方案。这些系统在实际生产过程中的应用表明,文中提出的自动控制方法的有效性。

**关键词** 味精 谷氨酸发酵 结晶 溶解氧控制 pH 值控制 过饱和度控制

味精是发酵工业的典型产品之一,生产工序复杂,工艺参数要求严格,虽然国内味精生产采用的流程较为相近,但生产自动化水平却相差很大,产品的产量、质量及成本有较大的差别。味精生产过程控制的实践及研究,对提高发酵、食品酿造、生物制药等相关过程的自动化水平有很现实的意义。目前国内味精生产的规模仍在继续扩大,企业竞争日益加剧,但是味精生产的自动化水平仍然较低,原料能源消耗大、设备利用率低,产品收率不稳定。尤其是发酵过程的总体自动化技术落后,使味精生产的主要工序得不到有效的监控。本文简要阐述了味精生产的工艺流程,对各工序主要参数的控制方法进行了分析,提出了一些较为完整的控制方案。这些方案都是笔者多年来对味精生产过程,尤其是对各种类型发酵罐实施控制的经验和体会,希望能对味精及相关生产过程的自动化监控与操作有一定参考价值。

## 1 味精生产工艺简述

味精又称谷氨酸钠,在化学上称为 L-谷氨酸单钠,是人们生活中重要的调味品之一。味精的生产一般分为制糖、谷氨酸发酵、中和提取及精制等 4 个主要工序,每个工序都要对其中一些关键的过程变量进行监控。

### 1.1 制糖过程

制糖工艺分为淀粉液化与糖化酶糖化 2 个阶段。首先利用  $\alpha$ -淀粉酶将淀粉浆液化,降低淀粉粘度并将其水解成糊精和低聚糖,然后加入糖化酶,在一定温度下将液化后的糊精及低聚糖进一步水解为

葡萄糖。制糖时要先将调配好的淀粉浆通过泵送入管道,在蒸汽流的作用下,经喷射液化器进入层流罐,喷射液化器出口温度控制在 100 ~ 105 °C,层流罐的温度维持在 95 ~ 100 °C,整个液化时间约 1 h,然后进行高温灭酶。淀粉浆液化后,通过冷却器降温至 60 °C 进入糖化罐,加入糖化酶进行糖化。糖化温度控制在 60 °C 左右,pH 值 4.0 ~ 4.4,糖化时间 48 h。糖化结束后,将糖化罐加热至 80 ~ 85 °C,灭酶 30 min。过滤得葡萄糖液,经过换热器、维持罐进行连续消毒后作为培养液进入发酵罐。

### 1.2 谷氨酸发酵过程

消毒后的谷氨酸培养液在流量监控下进入谷氨酸发酵罐,经过罐内冷却蛇管将温度冷却至 32 °C,置入菌种,通入消毒空气,经一段时间适应后,发酵过程即开始缓慢进行。谷氨酸发酵是一个复杂的微生物生长过程,谷氨酸菌摄取原料的营养,并通过体内特定的酶进行复杂的生化反应。培养液中的反应物透过细胞壁和细胞膜进入细胞体内,将反应物转化为谷氨酸产物。整个发酵过程一般要经历 3 个时期,即适应期、对数增长期和衰亡期。每个时期对培养液浓度、温度、pH 值及供风量都有不同的要求。因此,在发酵过程中,必须为菌体的生长代谢提供适宜的生长环境。经过大约 34 h 的培养,当产酸、残糖、光密度等指标均达到一定要求时即可放罐。

### 1.3 谷氨酸提取与谷氨酸钠生产工艺

该过程由等电点中和与 2 次中和过程 2 部分组成。谷氨酸在等电点时,绝大部分分子以偶极离子状态存在,其分子在静电引力的作用下,易于形成较大的聚合体。因此提取即用无机酸将发酵液的 pH

第一作者:硕士研究生。

收稿时间:2003-05-22 改回时间:2003-06-19

值调整到等电点并获得谷氨酸的结晶。

等电点中和(酸中和)首先将谷氨酸发酵液送至中和罐定容,并向中和罐盘管内注入冷冻盐水,将发酵液温度降至 22 ℃,然后加硫酸中和,使其 pH 值从 7.0 降至 3.2,温度从 22 ℃降至 8 ℃。该过程要先以较快的速率加酸,将 pH 先调整至 5.0,停止加酸与搅拌 1.5 h,保证晶体增长。然后继续缓慢加酸调整,直至 pH 降为 3.2,温度冷却至 8 ℃,使之达到等电点,停止中和及搅拌。

二次中和(碱中和)是将上述溶液过滤得到谷氨酸结晶,加入 40~60 ℃的温水溶解,用碳酸钠将谷氨酸溶液的 pH 值调至 5.6。谷氨酸是两性电解质,在不同的 pH 值下有不同的电离方式。pH 值低,溶液中的谷氨酸浓度百分率高;pH 值高,溶液中的谷氨酸二钠的浓度百分率高。谷氨酸及谷氨酸二钠均无味精的鲜味,因此,碱中和时必须控制适宜的 pH 值,以使谷氨酸尽可能生成谷氨酸单钠。碱中和时速度要缓慢,以免中和时产生大量的二氧化碳泡沫,造成液面升高或逸出。加碱的速度过快,搅拌不均匀还会导致局部 pH 值过高,同样影响中和效果。中和温度要控制在 70 ℃以内,温度过高,会使谷氨酸钠脱水,生成焦谷氨酸钠,影响产品质量与收率。

#### 1.4 谷氨酸钠的精制

谷氨酸钠溶液经过活性碳脱色及离子交换柱除去  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  离子,即可得到高纯度的谷氨酸钠溶液。将纯净的谷氨酸钠溶液导入结晶罐,进行减压蒸发,当波美度达到 29.5 时放入晶种,进入育晶阶段。根据结晶罐内溶液的饱和度和结晶情况实时控制谷氨酸钠溶液输入量及进水量。经过十几小

时的蒸发结晶,当结晶形体达到一定要求、物料积累到 80% 高度时,将料液放至助晶槽,结晶长成后分离出味精,送去干燥和筛选。

结晶罐的基本操作条件为罐内真空度 0.075~0.085 MPa,温度为 70 ℃,浓缩液浓度波美度为 33~36,结晶时间 10~14 h,操作原则是争取最大的结晶速度和收率并获得均匀整齐的晶型。

## 2 味精生产过程的自动控制

### 2.1 制糖过程控制

糖化工艺控制流程如图 1 所示,主要控制回路有调浆罐温度及 pH 值控制、一次喷射温度控制、糖化温度控制。为了保证液化均匀、充分及制糖质量,首先要使调浆罐的工艺参数稳定。调浆罐定容可采用流量或液位测量方式,调浆罐温度用进入盘管的蒸汽量控制在 30 ℃; pH 值用纯碱溶液控制在 6.4。这些系统均采用单回路 PID 控制,只要控制器参数调整适宜,都能满足控制要求。淀粉浆在一次喷射液化过程中要设置喷射液化器出口温度控制系统,严格控制蒸汽喷射器出口物料的液化温度,将其最大动态偏差限制在工艺允许的范围内(通常为设定值  $\pm 0.2$  ℃)。由于热力混合对象时间常数较小,系统时间响应快、控制灵敏度较高,为了满足动态偏差与稳态精度的双重指标,需要严格整定控制器参数,否则会引起喷射器出口物料温度的大幅度波动。当蒸汽压力不稳定时,还应该增设蒸汽压力控制系统。制糖过程的另一个重要控制系统是糖化罐的温度控制,要在整个糖化时间内保持稳定的温度,以利于液化淀粉转换成葡萄糖。

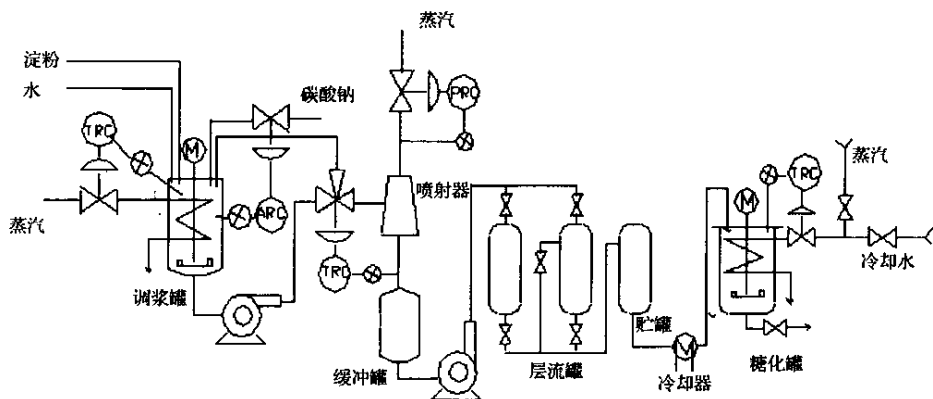


图 1 制糖过程控制

### 2.2 谷氨酸发酵过程控制

谷氨酸发酵是一个复杂的生化过程,要使菌体生长迅速、代谢正常、多出产物,必须为其提供良好

的生长环境。一般主要控制参数有通风量或溶解氧、发酵液 pH 值、发酵温度、罐压等。图 2 给出了谷氨酸发酵罐控制系统原理。

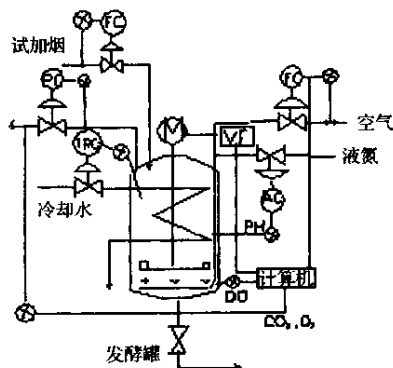


图 2 谷氨酸发酵过程控制

### (1) 溶解氧(通风量)控制

谷氨酸菌的生长必须在有氧的环境下进行,根据不同的生长时期改变通风量,其中在对数增长期,菌体生长代谢最活跃,需要的氧量最多。由于菌体生存于发酵液中,发酵液中的溶解氧(DO 值)对菌体极为重要。空气经过分配器的小孔进入发酵罐底部,鼓泡而上,再经过充分的搅拌,对  $O_2$  向液相扩散起到重要的作用。因此,生物供氧不能简单停留在按发酵阶段调整通风量的设定值上,我们采用溶解氧在线分析器、排气  $CO_2$  和  $O_2$  浓度分析器组成了多变量的先进控制系统,计算机根据发酵液中实际氧含量及菌体生长代谢情况调节通风量控制系统的设定值和搅拌电机转速,对改善溶解氧的浓度起到了良好的作用。

### (2) pH 值控制

发酵过程的 pH 值变化比较缓慢,并且受温度、通风量、菌体的生长代谢情况影响,比一般的酸碱中和过程复杂得多。在整个发酵过程中, pH 设定值是时间的函数,每时每刻对 pH 值的动态精度要求都很高,发酵全程 pH 值不能低于 6.4,否则产酸率、产酸速率将明显下降。在发酵的初始阶段,因为其产酸能力较低,不能过快的增加液氨流量,应对控制器输出适当限幅。在实际工作中,我们采用了具有多种约束的非线性 PID 控制方法,获得优良的控制效果。

### (3) 温度控制

根据发酵进行的时间和工艺要求设计一个最优发酵温度设定函数。通常是从发酵开始,温度设定在  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,每经过 12h 升温  $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,当发酵时间接近 34h 时,温度升至  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### (4) 罐压控制

罐压通常控制在  $0.05\sim 0.1\text{ MPa}$ ,以防止外界的不洁空气进入造成染菌,罐压过高将增大阻力与能耗。罐压可以采用单回路 PID 控制,但因其与通风量控制系统耦合密切,控制器参数整定要注意解耦。

### (5) 自动补料及消沫控制

随着发酵过程的进行,糖液浓度降低,为了保证菌体正常生长,需适时补糖。通常采用在一定的时间内,将一定量的糖液均匀流加到罐内的批量控制方法。消沫可以采用带缓冲区的位式控制。

谷氨酸发酵过程滞后大、变量多、相关性强、非线性严重,由于在不同的发酵阶段谷氨酸菌对温度、pH 值及氧的需求量有不同的要求,一般要根据工艺操作要求和实际经验设计出最优的参考轨迹。在 pH 值控制算法上采用具有约束的非线性补偿 PID 控制。为了满足微生物的氧化代谢,采用了根据溶解氧、排气残氧量及  $CO_2$  含量在线分析结果计算最佳供风量的协调控制方案。上述系统的投运获得了满意的控制指标,每罐次运行参数平稳,糖酸转化率和产酸率都得到了不同程度的提高。

### 2.3 提取过程控制

提取过程要最大限度的获得发酵液中的谷氨酸,按照等电点分离的原理,设计了温度程序设定控制及 pH 程序设定控制。

在等电点中和控制过程中, pH 控制精度要求较高、难度较大,这是由于中和过程开始时系统具有较大的灵敏度,使得初始加酸量难以控制适当, pH 值极易出现超调,进而引起中和初期 pH 值的大幅度波动。而在中和后期,随着 pH 值的降低,系统反应灵敏度减弱,若控制器仍按原来的规律和强度调节,达到中和终点的时间就会延长,因此,有必要引入控制器参数的自调整或非线性的控制策略。在中和过程中,温度和 pH 值必须同时按设定的参考轨迹同步变化,对温度和 pH 的变化速率也有严格的要求, pH 与温度两个控制回路之间具有一定相关性。

在二次中和过程中,要将 pH 值从 3.2 调整到 5.6,随着中和点的接近,系统静态放大系数逐渐增大,导致系统稳定性下降。因此,二次中和过程与等电点中和具有相反的控制特性,这一工序必须设计 2 套不同的中和控制系统。中和提取工序的控制系统如图 3 所示。

### 2.4 精制过程控制

味精结晶过程要经过形成饱和溶液、晶核形成及晶体成长 3 个阶段。在投入晶种起晶前,结晶控制应该以较大的蒸发速率浓缩料液,适当增加热蒸汽量,提高温度。当波美度达到 29.5 时加入晶种,进入育成阶段。这时必须严格控制结晶罐内的过饱和度,使之在增加晶种后,不产生新晶核,也不溶化晶种,即令结晶操作工作在介稳区,有利于晶核的稳定增长。结晶操作的原则是要争取最大的结晶速度与收率,并获得均匀整齐的晶型。为了满足上

述要求,结晶过程可以采取图 4 所示的控制方案。

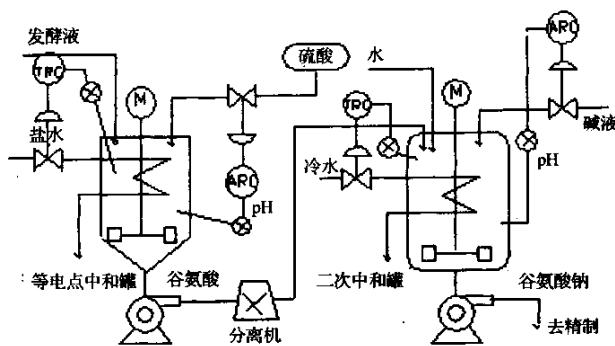


图 3 提取及谷氨酸钠中和过程控制

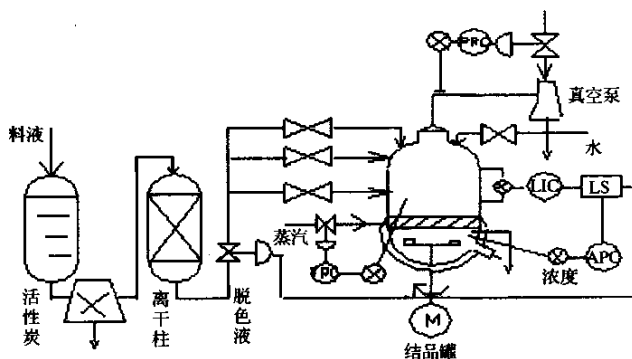


图 4 精制过程控制

(1)真空度控制。通过控制喷射水流量来调节抽出气体的量实现真空度控制。

(2)料液浓度(过饱和度)控制。适时调整进料速度,保持相对稳定的过饱和度,以利于晶体成长;当饱和度变化至有可能出现新晶核时,加水溶解。

(3)结晶罐的温度控制。罐的温度与浓度有直接关系,为了保证蒸发结晶的正常进行,工艺要求在一定真空度下,结晶罐的物料温度必须按一定的程序曲线升温,使物料浓度达到预定的过饱和度。控制手段是调节进入结晶罐换热器的蒸汽流量。

(4)液位控制。液位参数既可以作为过饱和度控制系统的约束条件,也可以由这两个变量共同构成开关超驰控制。正常情况下,由浓度控制器控制进罐料液流量,当液位到达某一限制值时,则由液位控制器控制入罐料液流量。

### 3 结 束

味精生产是一个具有代表性的复杂工业过程,

其制糖、提取、发酵及精制工艺与控制是食品酿造、生物制药、抗菌素生产、发酵等工业经常面对的典型课题。本文从工程应用的角度为溶解氧、温度、pH 值、过饱和液浓度等被控变量设计的自动控制系统主要用计算机实现,硬件采用了工业 PC 机与 SIEMENS PLC S7300 系列功能模块,构成二级分散控制,系统操作灵活,可靠性强,为提高产品产量、质量和经济效益发挥了积极作用。随着工业自动化技术的进步,更高层次的先进控制逐步进入过程控制领域,这将有利于本文所述控制系统的进一步完善。

### 参 考 文 献

- 1 于信令主编,味精工业手册,北京:中国轻工业出版社,1995
- 2 姜长洪,李健,袁德成.化工自动化及仪表,1996,23:2
- 3 姜长洪等.沈阳化工学院学报,1997,11:4