

# 丹佛斯变频调速器在制药发酵罐搅拌器上的应用

何晓东 天津市伟利达科技发展有限公司



## 前言:

发酵过程控制是为了保证微生物正常的生长代谢,使之在低消耗下获得较高的产量。由于质量指标(转化率、比生长速率、比基浓度、产物浓度等)难以在线检测,通常选择间接参数“温度”作为关键的被控变量。除温度控制外,发酵罐内压力、pH值、搅拌速度和泡沫液位等也对发酵过程有一定的影响,有时其影响也是至关重要的。按发酵过程中是否对氧气有需求,可分为好氧发酵和厌氧发酵,抗生素属于好氧发酵。好氧发酵罐典型控制系统见图1。

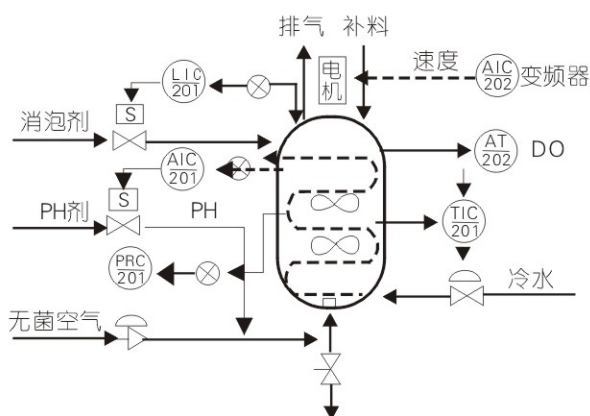


图1 发酵罐典型控制系统

目前,大多数发酵罐搅拌器采用工频额定转速运转,该方法虽然能够保证正常生产,但不仅耗电量大,同时搅拌器在额定转速下运转,不能根据整个发酵过程的不同时期的工艺特性进行实时调节,最终很难进一步提高产品的质量和品质。

## 1、搅拌器速度控制对发酵工艺的影响

### 1.1 搅拌器转速控制对发酵过程的影响

在发酵过程中,当通气量一定时,搅拌器转速对发酵液的混合状态、溶氧速率等检测指标有重要影响。搅拌器转速的增加可提高发酵罐内温度和营养物质质量浓度的均匀度,提高氧传递系数,提高氧的转移速率等,这均有利于细胞的生长、产物的生成。但搅拌速度过快,会使剪切速度增大,导致菌丝体受到损伤,影响菌丝体的正常代谢,产生大量泡沫和浪费能源。

### 1.2 搅拌速度控制在发酵过程中模态

当发酵液达到完全湍流(即雷诺数 $Re > 10^4$ )时,搅拌功率 $P = K \rho d^5 n^3$ , 式中 $P$ 为搅拌功率kW;  $K$ 为常数,与搅拌器形状有关;  $\rho$ 为发酵液的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $d$ 为搅拌器的直径,mm;  $n$ 为搅拌器的转速, r/min。

当搅拌器的尺寸和形状确定后,  $Kd^5$  为常数(令 $a = Kd^5$ ), 则搅拌器的功率 $P = a \rho n^3$ 。由此可见,搅拌转速的调整对搅拌器的功率影响显著。另外,试验测得搅拌功率对抗生素产率的影响远大于空气流速的影响。我们由此可见在青霉素的发酵过程中对于搅拌器的转速控制意义重大。

## 2、变频器控制方案设计

### 2.1 发酵变罐搅拌器系统概述

因为搅拌速度与溶氧系数密切相关: 溶氧系数与单位搅拌功耗成正比, 而搅拌功率与搅拌转速的3次方成正比。搅拌速度在发酵中直接影响溶氧量,适当增加搅拌速度, 氧气与发酵液充分接触, 使得溶氧量增加, 而有助于发酵, 但速度过

转速(按搅拌机转速刻度);端子45 定义为AM,输出电流值为4-20MA,表示电机负载电流。485通讯接口直接连接计算机,通过组态软件实时在线记录变频器的运行状况。

| 名称  | 型号      | 额定电路流<br>I/A/Hz | 额定频率<br>P/kW | 额定功率 | 额定电压<br>U/V | 制造厂家   |
|-----|---------|-----------------|--------------|------|-------------|--------|
| 变频器 | VLT5302 | 395             | 50           | 200  | 380~500     | 丹佛斯    |
| 电机  |         | 310             | 50           | 160  | 380         | 石家庄电机厂 |

表1 变频器和电机技术指标

## 2.2 变频器控制系统设计

丹佛斯生产的VLT变频器系列中，VLT5000是高性能通用变频器。变频器VLT5302提供多种控制模式：开环矢量控制、闭环矢量控制、开环V/F控制和闭环V/F控制。矢量控制精度高，其速度控制精度达 $\pm 0.1\%$ ，调速比为1：1000。本系统采用VVC<sup>PULS</sup>矢量控制模式。变频器VLT5302具有2个多功能模拟量输入，可由指令设置其量程、控制规律、工作方式等；3个多功能模拟量输出；8个运转数字量输入（其中8个为多功能）；2个多功能数字量输出。

变频器 VLT5302 控制端子可分为模拟量输入(端子 60-53, 54); 模拟量输出(端子 42-45); 运转数字量输入(端子 17-18, 27) 和运转数字量输出(端子 01-02, 04-05, 25-27)。其中大部分为多功能端子, 可根据需要设置并选择其功能。本系统变频器的端子功能定义见图 2

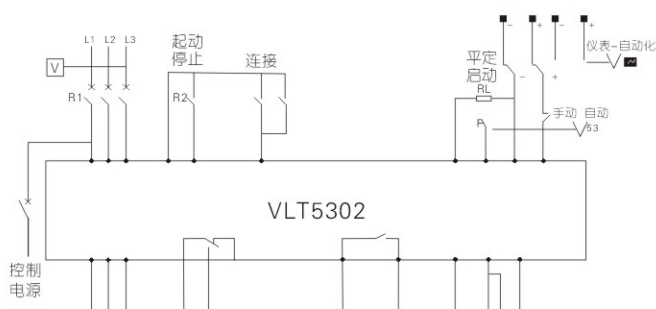


图2 VLT5302变频器控制图

当“自/手”(闭合)时为自动控制方式,否则为手动控制方式。在手动控制方式下,人工调节 $V_{IN1}$  (53) 的电压,来实现电机转速的变化。在自动控制方式下,根据端子53“DCS/仪表”状态又分2种工作模式:模式一,“DCS”时,IIN (53) 有效,DO 自动控制在给定值附近;模式二,“仪表”时, $V_{IN2}$  (53) 有效,用作仪表自动调节,各种方式可以在线选择。端子42定义为FM,输出电流值为4-20MA,表示电机

### 2.3 变频器节电分析测试报告

我们为国内某大型抗生素制药厂发酵车间进行了发酵大罐搅拌器的设备改造,通过5个月连续运行,对青霉素发酵罐搅拌电机(功率为160 kW)进行在线实时连续测试。测试记录包括电网电压,变频器输出频率、电流、功率、内部温度、运行时间等等,累计运行时间为150天。

### 搅拌器变频试验用电量对比

| 序号    | 电机功率  | 第1罐   | 第2罐   | 第3罐   | 第4罐   | 第5罐   | 第6罐   | 第7罐   | 第8罐   | 平均电量    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 工频用电量 | 160KW | 24588 | 24610 | 25048 | 24512 | 24816 | 24942 | 24914 | 25262 | 24836.5 |
| 变频用电量 | 160KW | 17796 | 18462 | 16812 | 17902 | 20358 | 21832 | 17164 | 20568 | 18861.8 |

根据测试数据可求得测量平均每罐节电量为:

$$24836.5 - 18861.8 = 5974.7 \text{ KWh}$$

节电率:  $5947.7/24836.5=23.95\%$

每罐平均生产周期为200小时，每年生产42罐。年节电237908KWh，若 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 按0.50元计算则1台电机每年节省电费约11.8万元，运行一年多就可收回全部改造投资。

### 3、前景与展望

青霉素发酵大罐搅拌器的变频改造通过实际运行证明该系统具有强大的控制功能、完善的保护措施、灵活通讯接口、友善的人机界面、丹佛斯VLT5000系列变频器在青霉素发酵车间长期高温高湿的工况条件下稳定运行，环境温度长期在40~500C,变频器内部温度在75~800C，变频器投入运行后从未出现任何故障。青霉素发酵大罐搅拌机变频控制系统主要控制功能：

- 1) 控制功能强大：手自动切换、DCS/仪表控制、PID 控制、参数自整定、加速时间选择等。
- 2) 安全措施有力：电机保护，连锁保护，允许瞬时断电，瞬时过流、过载、过电压、欠电压，防止失速等。
- 3) 灵活的通讯功能：人机交互灵活，485通讯，无线GPRS远传通讯。监控中心可以实时监控和记录青霉素发酵大罐搅拌器的运行状况，根据青霉素发酵状况进行调节，有效的提高了青霉素的产品的品质。

#### 青霉素发酵大罐搅拌器变频控制系统主要优点:

- 1) 节能高效: 通过运行检测表明, 一般发酵大罐变频改造可节电达20%, 具有很高的经济效益。
- 2) 明显提高产品品质: 发酵大罐搅拌器转速调节对发酵过程其他指标也有明显的改善, 如青霉素菌丝的长度控制、不同生长期的温湿度调控等等。
- 3) 发展前景良好: 伴随着人们对发酵过程的逐步深入了解, 发酵工艺的不断改进, 搅拌器变频改造前景远大。