

# 一种基于嵌入式系统的生物量浓度在线检测系统设计\*

## A Design of Online Biomass Concentration Monitor System based on Embed System

宋春胜, 梁建平, 姚辉璐\*\*

SONG Chun-sheng, LIANG Jian-ping, YAO Hui-lu

(广西科学院生物物理实验室, 广西南宁 530007)

(Lab of Biophysics, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

**摘要:** 利用嵌入式系统设计一套生物量浓度在线检测系统。系统利用 MSP430F149 做为控制和测试 MCU, 利用光纤把光能量传导到发酵液中, 通过光密度测量的方法来取得发酵过程中的生物量浓度。本系统具有原位测量, 速度快, 可耐高温消毒和成本低等特点, 具有广泛的应用前景。

**关键词:** 生物量 浓度 测量

中图分类号: TH744 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2013)02-0092-03

**Abstract:** The online biomass concentration monitor system based on MSP430 single chip is introduced in this paper. The light energy is introduced into fermentation broth and the biomass concentration is estimated by measuring the variation of optical density. The advantages of this system are direct measurements, high measuring speed, resistant to the high temperature sterilization and low cost, which can be widely used in bio-fermentation.

**Key words:** biomass, concentration, measurement

目前, 生物化学领域的研究正在由实验科学逐渐向精确量化的科学发展, 因此对生化反应过程的控制、监测、标准化的计量检测要求越来越高。在生化反应过程中, 对生物和物理参数的过程控制将直接影响生化反应过程的稳定性和效率。而在所有的生化反应的过程中, 生物量浓度是一个极其重要的参数, 在生物化工、制药、石化监测、食品饮料等工业生产过程中都要求对其进行实时的在线测量。目前, 国内外现有的生物量浓度测量方法总结概括为两类: 一是离线测量, 如干重法、光密度法<sup>[1]</sup>, 使用这些方法测量生物量浓度既费时又费力, 而且面对的

对象可能是易受感染、具有毒性的样本、测量环境复杂等。因此传统的离线测量方法在微生物发酵过程的监控中难以应用, 而且获得的反馈信息相对滞后, 不能及时地进行过程控制。另一类为在线测量技术, 如电容率分布法<sup>[1]</sup>、折射率检测法<sup>[2,3]</sup>, 这些方法为生物量浓度的测量提供了理论基础, 但是国内尚未见商业化的测量产品, 而国外的产品都极其昂贵。本文介绍我们开发的一种基于光密度检测的生物量浓度在线检测系统, 本检测系统利用 MSP430F149 做为控制和测试 MCU, 利用光纤把光能量通过探头导入到发酵液中, 检测透过的光强度, 从而推导出到发酵液中的生物量浓度。

## 1 系统总体结构

### 1.1 光路结构

光密度法在线测量生物量浓度已经得到广泛应用, 在实验室利用分光光度计测量生物量浓度, 并做出吸光率(OD)曲线来表示在发酵过程中的菌体生

收稿日期: 2013-03-06

修回日期: 2013-03-20

作者简介: 宋春胜(1986-), 男, 助理工程师, 主要从事自动化控制方面的研究。

\* 广西科技攻关项目(桂科合 10100019-22), 广西科学院基本业务费项目(11YJ24WL02)资助。

\*\* 通讯作者: 姚辉璐, 研究员。

长曲线,以便更好地判断菌体的生长情况,特别是判断拐点对发酵控制来说至关重要。其原理是检测发酵液对光强吸收程度的多少,一般说来,随着菌体的生长越来越多,对光的散射和吸收就越来越大,那么只要测得其变化曲线就可以反映生物量浓度的变化。

系统光路结构如图 1 所示,利用一个 650nm 的发光二极管发出稳定的光源,通过光纤将光源引到探头,探头浸入到发酵液中,探头中间有窗口,发酵液可以在窗口通过,光经过窗口之间的发酵液后被收集,通过检测光的强度从而反映发酵液中的生物量浓度。为了避免了高温对发光器件和检测器件的影响,系统使用了光纤探头,所以仪器能在高温(120℃)灭菌下进行测量。

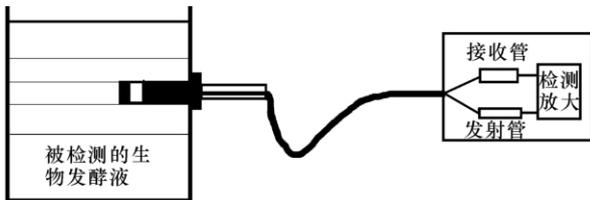


图 1 系统光路原理

### 1.2 电路结构

系统单片机对经过发酵液之后的光强度进行测量,以及对发酵液的温度测量,单片机内部进行相应的计算与处理,最终得到生物量浓度值,利用显示模块对浓度、温度值进行显示,同时利用串口模块将相应数据进行发送到 PC 机,PC 机接收到数据。如图 2 所示。

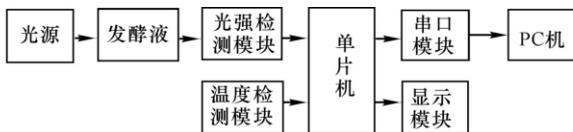


图 2 系统电路结构

## 2 系统硬件设计

### 2.1 单片机介绍

根据整个系统的功能要求,系统采用 TI 公司的高性能超低功耗的 16 位微处理器 MSP430F149,该处理器有 60KB+256 字节 FLASH,2KBRAM,包括基本时钟模块、看门狗定时器、带 3 个捕获/比较寄存器和 PWM 输出的 16 位定时器、带 7 个捕获/比较寄存器和 PWM 输出的 16 位定时器、2 个具有中断功能的 8 位并行端口、4 个 8 位并行端口、模拟比较器、12 位 A/D 转换器、2 个串行通信接口等模块<sup>[4]</sup>。由于 MSP430F149 的内部资源较丰富,

能较好满足整个系统的 AD 采集、数据处理、数据通信等要求。

### 2.2 温度采集电路设计

根据系统温度指标,在系统中选用 DS18B20 型集成数字温度传感器。DS18B20 是一款单总线温度传感器,只需要 1 条口线通信多点能力,简化了分布式温度传感应用,无需外部元件可用数据总线供电,电压范围为 3.0~5.5 V 无需备用电源,测量温度范围为-55~+125℃。范围内精度为±0.5℃。

### 2.3 A/D 转换电路设计

本系统采用检测光强的传感器为光电二极管,光电二极管是将光信号转化成电流信号,在系统前端,前置放大器将光电二极管的电流信号转换为电压信号进行 AD 采集。由于测量样品发酵过程中,样品的 OD 值会逐渐增加,为了保证测量的精度和准确度,本系统采用继电器 K1、K2 进行两档测量切换。图 3 显示的是该系统的前端电路,称为跨阻放大电路,其由 1 个光电二极管、1 个运算放大器以及反馈网络组成。该电路的传输函数为:电压=电流×电阻。

光电二极管经过跨阻放大器转换之后变成可采集的电压信号,将该信号送至 MSP430F149 的 P6.0 口进行 AD 采集。MSP430F149 单片机自带 12 位 AD 转换,当参考电压选取 3.3V 时,可以采集 0~3.3V 之间的任意电压,精度为(3.3-0)/4095=0.0008V。单片机再根据采集到的电压信号进行相应计算,从而得出浓度值,使用 LCD12864 进行显示,同时通过串口向 PC 机发送数据。为了确保数据准确与实时性,系统数据采集速度 1 次/秒。

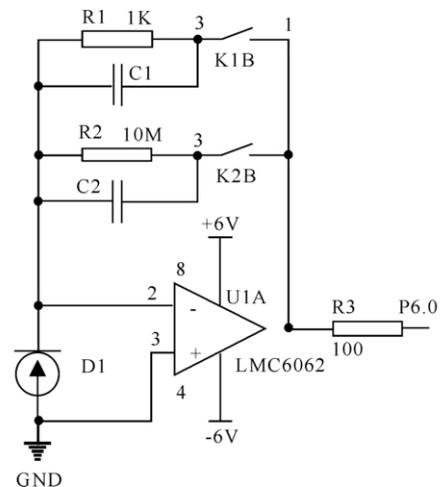


图 3 AD 转换电路

### 2.4 串口通信电路设计

本生物量浓度检测系统应用于实验室或者发酵

罐中,需要将检测到的数据远程传输到控制室,所以本系统设计时采用 RS-485 总线,通信距离为几十米到上千米,RS-485 采用平衡发送和差分接收,具有抑制共模干扰的能力。加上总线收发器具有高灵敏度,能检测低至 200mV 的电压,故传输信号能在千米以外得到恢复。此外,系统采用带隔离的 RS-485 通信芯片 ADM2483,以避免生产上的电气设备干扰单片机。

### 3 系统软件设计

#### 3.1 单片机软件设计

单片机软件由激光控制模块、温度采集模块、数据采集模块、远程通信模块构成,在单片机的统一控制下实现对生物量浓度的在线检测。单片机程序主要完成各个模块的具体实现和它们之间的协调工作,流程图如图 4 所示。

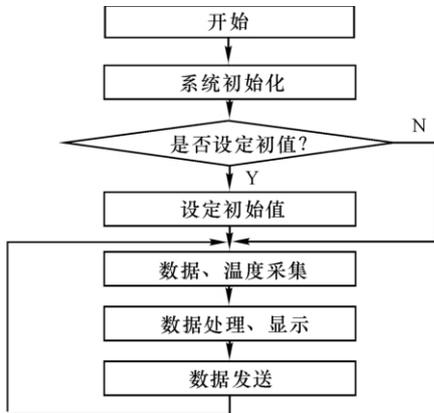


图 4 单片机工作流程

#### 3.2 上位机软件设计

上位机系统在 VB6.0 环境下开发,它主要完成数据采集控制与设置,串口设置,采集时间显示,实时绘图,数据保存与查询。上位机显示界面如图 5 所示。

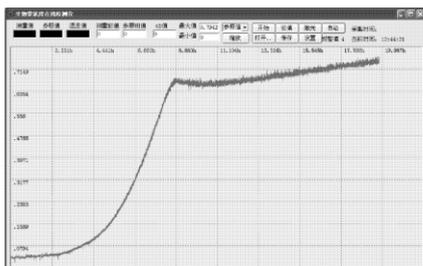


图 5 上位机显示界面

### 4 系统测试

为了更好的比较本系统与传统的手工取样测量的结果,我们做了离线测量  $OD_{600}$  和在线测量的数

据对比测试。从图 6 可以观察到在拐点以前的数据基本重叠,拐点后两条曲线都走平,具有很好的相关性,而且可以通过校正方程进行校正。校正结果(图 7)显示,仪器测量数据与手工测试数据可以用对数曲线拟合,而且相关度可以达到 0.99 以上。这表明了仪器的可靠性,完全可以替代人工测量。

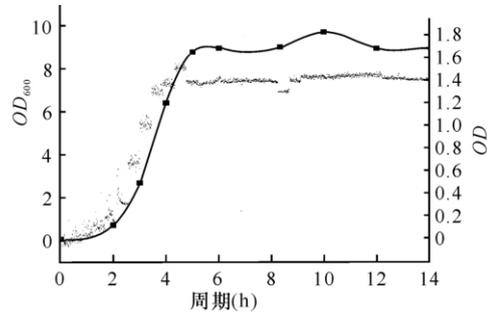


图 6 本系统测量数据与离线测量  $OD_{600}$  比较

■: 离线  $OD_{600}$ ; ○: 在线生物量浓度 (OD)。

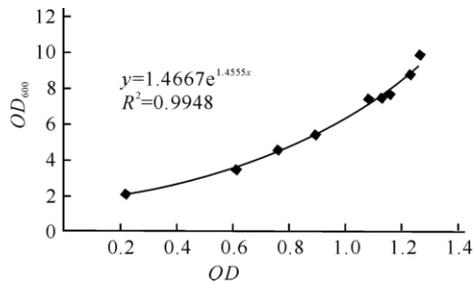


图 7 本系统测量数据与离线测量  $OD_{600}$  的校准结果

### 5 结束语

本研究利用嵌入式系统开发了一套生物量浓度在线检测系统。由于本系统的采样周期较密(1 次/秒),  $OD$  所代表的生物量浓度曲线很光滑(图 5),可以更准确地判断细胞生长时出现的拐点,这对控制发酵过程更精细,更有利。另外,系统利用光纤探头对发酵液中的发酵液生物量浓度进行原位的实时检测,并可以高温灭菌,不但解决了人工取样、检测所带来的繁重劳动还可以避免潜在污染,具有积极的现实意义。

#### 参考文献:

[1] 王怡, 俊樊, L OLSSON, 等. 生物量浓度实时在线检测方法的研究[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(4): 387-390.  
 [2] 赵明富, 廖强, 陈艳, 等. 光纤生物量浓度在线检测传感器[J]. 光学精密工程, 2007, 15(4): 479-485.  
 [3] 张季熊, 蒋明刚. 一种测量浓度的光纤传感系统[J]. 仪器仪表学报, 2000, 25(10): 9-11.  
 [4] 秦龙. MSP430 单片机应用系统开发典型实例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

(责任编辑: 邓大玉)