

超声波啤酒酵母浓度在线检测仪

高月华¹, 吕霞付²

(1. 重庆科技学院 机械工程学院, 重庆 400042; 2. 重庆邮电大学 自动化学院, 重庆 400065)

摘 要:基于超声原理的啤酒发酵过程酵母浓度在线检测仪是由超声波发生器、发射和接收超声换能器、温度传感器、放大器、鉴相器、A/D转换器和微机系统等组成。仪器根据超声波在发酵液中的传播速度与酵母浓度、温度间的相互关系,实现酵母浓度的在线检测,所用超声波换能器的中心频率为 5.6 MHz,并给出了传感器的温度补偿经验算式。为了提高测量精度和消除温度等影响,实际测量时使用两个测量传感器,并采用了相位差测量技术,测量精度优于 0.2%。

关键词: 超声波; 酵母浓度; 在线测量

中图分类号: O426 **文献标识码:** A

On-line Measuring Instrument of Beer Yeast Concentration

Gao Yue-hua¹, Lü Xia-fu²

(1. Mechanical Engineering College of Chongqing Science and Technology University, Chongqing 400042, China;

2. Automation Institute of Chongqing University of Post and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: There are many factors working on the beer ferment process, such as: microbial cell component and density, dissolved oxygen concentration, temperature, pH, agitating rate, yeast kinds and concentration and so on. Among them, the yeast concentration is one of the foremost techniques parameters. At some conditions, the beer yield and quality depends on the yeast concentration closely. Therefore on-line measuring yeast concentration plays an important role in controlling beer ferment process and improving the beer quality. Based on the relations among wave transit velocity, temperature and concentration of the beer yeast, a kind of on-line measuring beer yeast concentration instrument was presented. The instrument is consisted of ultrasonic generator, ultrasonic transducers, temperature sensor, amplifier, phase detector, A/D converter, personal computer and etc. The central frequency of the ultrasonic transducer is 5.6 MHz. In order to improve the precision and reduce the temperature influence, the twin ultrasonic transducers and the phase detector were used. The accuracy of the instrument is better than 0.2%.

Key words: ultrasonic; yeast concentration; on-line measuring

酒类生产必须经过发酵过程。发酵液的成分和浓度、溶解氧含量、温度、pH值、搅拌速度、酵母的种类、活性和浓度等都是影响发酵过程的因素。这些因素中,酵母浓度是最重要的工艺参数,因为在一定条件下,发酵的得率与酵母浓度密切相关。因此,酵母浓度的实时在线检测,对了解和控制发酵进程,提高产品质量具有重要意义^[1]。但迄今由于缺乏可用于在线测量的传感器,酵母浓度的在线测量一直是一个技术难点,其传统测量方法是离线的,主要有干重法和光密度法等。离线测量存在取样过程易染菌及发酵过程自动控制难两方面问题。本文提出了一种实时在线检测发酵过程酵母浓度的新方法,实现了发酵过程酵母浓度的在线检测。

1 测量的基本原理

本检测仪采用超声波测量原理,众所周知,超声

波在溶液中的传播速度 v 是溶液中介质浓度 C 和温度 T 的函数,即

$$v = F(C, T) \quad (1)$$

测量不同 T 下声波在溶液中的传播速度,再根据被测介质声速与浓度间对应的函数关系可求得溶液中相应介质的浓度^[2]。实际测量时,对应于不同介质浓度的声速测量一般转化为对声传播时间(t)的测量,在发射换能器和接收换能器间的距离即声程 L 一定时, v 和 t 的关系为

$$v = \frac{L}{t} \quad (2)$$

为得到较高的测量精度,一般采用较高工作频率的超声换能器并尽量加大 L ,同时,也可使用相位测量替代声时测量。

被测介质声速与浓度间对应的函数关系是在设计本检测仪之前经大量实验和分析得到的。实验表

明,介质浓度是声速和溶液温度的非线性二元函数,通过对特定 T 下不同 C 的 t 的精确测量,利用计算机对测量数据采用最小二乘法统计处理,并进行曲线拟合,得到多项式回归方程为

$$C(v, T) = a_0(T) + a_1(T)v + a_2(T)v^2 \quad (3)$$

在酵母浓度变化不大时,可得线性关系为

$$C(v, T) = a_0(T) + a_1(T)v \quad (4)$$

式中 系数 $a_i(T)$ 为温度的函数,且

$$a_i(T) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 T^2 + \beta_3 T^3 \quad (5)$$

在换能器材料的温度系数较小和对测量精度要求不是很高时, a_i 可简化为 T 的二次函数。

2 测量系统的组成

本检测仪由测量传感器、超声信号发生器、检测电路、微机系统及系统软件等几部分组成。

2.1 测量传感器

测量传感器包括酵母浓度测量的超声波传感器及测量溶液温度的温度传感器。其结构如图 1 所示。发射和接收超声换能器为温度系数较小的石英晶体制成,中心频率为 5.6 MHz; 两个换能器分别位于传感器两端,中间为测量腔,长度为 20 mm; 传感器置于发酵液中时测量腔内充满发酵液,由发射换能器产生的超声波会在测量腔中的发酵液中传播,因测量腔尺寸是确定不变的,故声程 $L=20$ mm 是一定的。 v 或 t 的变化主要由酵母浓度和发酵液温度变化引起。测量传感器的壳体为 18-8 不锈钢制成,其一端可以和罐体或管线的法兰连接。为了使声波在换能器间只进行一次传播,避免多次传播对测量结果的影响,将接收换能器的接收面做成一定的斜度,其反射声波就会发生散射而不会到达发射换能器。温度传感器采用 Pt100 铂电阻,其端部可直接和测量腔中的发酵液接触,温度传感器和超声换能器与传感器壳体使用硅胶密封。使用两根同轴屏蔽电缆连接超声信号,另用 1 根三芯电缆连接温度信号。

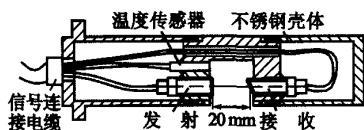


图 1 测量传感器结构

实际测量时,因测量声波在测量腔中的绝对传播时间较难,一般使用一种不含菌体的发酵清液作为参考或标准液,测量声波在发酵清液和不同酵母浓度的发酵液中的传播时间差(Δt),以此计算酵母浓度。因此,通常测量时使用两个传感器,其性能指标及测量腔尺寸均同,但其中一个传感器的测量腔

外装有孔径 $< \varnothing 0.2 \mu\text{m}$ 的透膜,用以过滤菌体而形成所要测量的标准液。

2.2 测量系统硬件组成

图 2 为系统硬件结构框图。

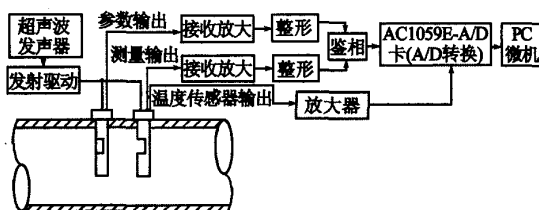
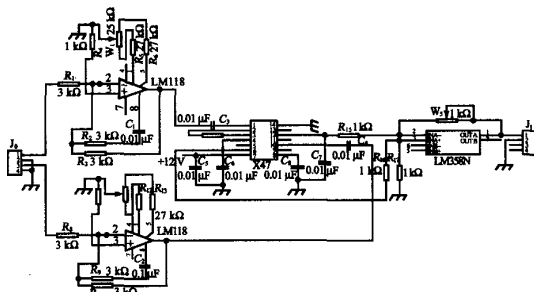


图 2 系统硬件结构框图

由超声波发生器产生的 5.6 MHz 的电信号经驱动器进行功率放大后加在发射换能器上,将电信号变为超声波;超声波分别在发酵液和发酵清液中传播后到达接收换能器,接收换能器将超声波转换为电信号,经放大和整形后分别加到鉴相器的两个输入端。本检测仪使用 X47 集成鉴相器,其输出的是与两个输入信号相位差成正比的电压信号,鉴相灵敏度大于 $2 \text{ V/rad}^{[3]}$,鉴相输出信号与温度检测信号一起经 A/D 转换后进入微机系统。接收信号放大和鉴相部分电路原理如图 3 所示。



电压信号转换为数字信号,包括转换通道和工作方式选择等。数据处理是对测量结果进行数字滤波和拟合、标度,并换算出相应的介质浓度。

软件编程采用 Visual Basic 高级程序设计语言,VB 是基于 Windows 环境下的支持完全可视化的面向对象的结构化编程语言,其编程迅速且容易;但 VB 没有提供直接读写 I/O 端口的办法,不能对计算机的底层硬件进行直接访问。为此双诺公司提供了用于 I/O 操作的动态链接库(DLL)函数 aciont.dll 和模块文件 aciont.bas,编程时可直接在 VB 程序中添加模块文件 aciont.bas,在程序内部使用模块文件定义的函数调用,如:AC_inp_VB(address,date)等。同时,也可根据需要在 VB 程序的全局模块中对 DLL 进行正确的声明,这样也可以象使用 VB 本身函数一样使用 DLL 中的函数,如在 VB 的全局模块(*.BAS)中加入说明:Public Declare Function input Lib "aciont.dll" (ByVal HANDLE As Long, ByVal Address As Long) As Long。

可以在 VB 中直接使用 input(address)语句读出地址为 address 端口中的数据。请注意,在使用模块文件 aciont.bas 或在声明 DLL 前,应将库函数 aciont.dll 存放在正确的路径下,对于 Windows95/98 系统,存放路径为 c:\windows\system\,对于 Windows NT/W2K 系统,存放路径为 c:\winnt\system32\。否则应在声明时指明库函数存放的路径。

3 实验与讨论

为得到 C-t 关系及研究温度对传感器性能的影响,对测量传感器进行了离线测试实验。实验分别以葡萄糖和麦汁为底物,配置不同浓度的葡萄糖-酵母溶液和麦汁-酵母溶液,利用单个测量传感器测量在不同温度下声传播时间的变化,经拟合得如表 1、2 所示的结果。

表 1 麦汁为底物时,C 和 Δt 的拟合关系

温度/℃	Δt 与 C 拟合关系	回归系数
26	Δt=-3.6C+277.27	0.963 7
28	Δt=-5.11C+235.07	0.951 9
30	Δt=-4.29C+209.67	0.904 6
32	Δt=-3.89C+159.27	0.966 7
34	Δt=-4.51C+117.13	0.992 5
36	Δt=-3.2C+72.87	0.968 2
38	Δt=-3.26C+56.4	0.967 5
40	Δt=-2.71C+28.67	0.985 4

表 2 葡萄糖为底物时,C 和 Δt 的拟合关系

温度/℃	Δt 与 C 拟合关系	回归系数
26	Δt=-2.71C+288.8	0.986 1
28	Δt=-2.81C+232.13	0.997 5
30	Δt=-2.88C+208.11	0.968 1
32	Δt=-2.54C+150.56	0.974 8
34	Δt=-3.43C+129.63	0.967 1
36	Δt=-2.464C+83.78	0.993 5
38	Δt=-2.455C+57.64	0.987 8
40	Δt=-2.46C+46.2	0.963 5

实验结果表明,在温度一定时,超声波的相对传播时间在不同底物的低浓度酵母溶液中与酵母浓度间保持了较好的线性关系,因此,实际测量时,可利用这些拟合算式计算相应的酵母浓度。同时实验结果还表明,温度变化对测量结果的影响很大,分析可知,温度变化只会改变换能器的性能,不会造成浓度变化,为此,对一定浓度的麦汁-酵母溶液测量了 t 随 T 的变化,经多项式拟合得到温度变化 ΔT 和 Δt 间关系为

$$\Delta t = 40.280\,4 - 0.060\,67\Delta T + 2.483\,348 \times 10^{-5}\Delta T^2$$

式中回归系数为 0.994 1。

综上所述,实际测量时使用了两个测量传感器,分别用作参比和测量。用作参比的传感器在提供浓度测量基准的同时也可用于温度修正,因为两个传感器的材料和结构等完全相同,可以认为温度的影响是一致的,因温度影响造成 t 的变化也是一样的,这样可抵消 T 的影响。当然也可利用上述经验算式进行温度补偿。

4 结束语

本检测仪可实现啤酒酵母浓度的在线实时检测,传感器可在工作现场高温灭菌,且不感染和污染发酵物。使用时需注意发酵液中气泡的存在对超声波传播的影响,故应选择气泡较少的合适测量点放置传感器。同时,发酵液中颗粒状悬浮物和死酵母细胞对测量结果也有一定的影响,这方面工作还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 王贻俊,樊育. 酵母浓度(生物量浓度)实时在线检测方法的研究[J]. 食品科学,1999,10:27-32.
[2] 杨海麟,吕霞付. 在线测量啤酒生产中酵母浓度的超声波传感器的研究[J]. 酿酒,2002,29(5):99-100.
[3] 徐世六. 集成电路产品手册[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2000.