

微机化的超声液体浓度在线检测仪^{*}

¹江泽涛 ¹俞子荣 ¹万光逵 ²朱士明

¹(南昌航空工业学院 南昌 330034) ²(同济大学 上海 200092)

摘要 本文介绍了一种超声波液体溶液浓度的在线检测方法,并研制了相应的以单片机和计算机为核心的在线检测仪,计算机中的溶液成份数据库中存贮了多种溶液的声时、温度及浓度关系曲线,检测时可根据存贮的曲线反演出浓度;溶液成份数据库为开放系统,用户可自己添加数据库中没有的关系曲线,从而可检测该溶液浓度;仪器采用了声时、声幅衰减及数字处理技术联合排除气泡干扰方法,增加了仪器的稳定性;仪器采用了高精度测声时方法,以提高浓度测量精度;计算机提供了数据查询及图形处理等功能,极大地方便了用户生产管理。

关键词 超声波 溶液浓度 微机化 声时

Microcomputer-based On-line Ultrasonic Instrument for Measurement of the Concentration of Solution

¹ Jiang Zetao ¹ Yu Zirong ¹ Wan Guangkui ² Zhu Shiming

¹(Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034, China) ²(Tongji Univ., Shanghai 200092)

Abstract In this paper a microcomputer-based instrument is introduced, which can measure the concentration of various solution by ultrasound. The principle is based on calculating concentration of solution by measuring ultrasonic wave flying time in the fixed distance. The instrument is made up of SCM and connected with a computer. The relations among wave transit time, temperature and concentration of solution are stored as a database in computer, and used to calculate concentration by computer. The database is a open system, it can be appended by users. The microprocessor in the instrument could deal with ultrasonic wave transit time and attenuation using digital technology to get rid of disturbance of bubbles in liquid. So the instrument can be stably used when bubbles are existed in liquid. With a high accurate measuring method of automatic transit time, measurement error is less than 0.5ns and concentration error is less than 0.20%.

Key words Ultrasonic Concentration of solution Microcomputer-based Transit time of ultrasonic

1 引言

在化工、医药、粮油等生产中,有大量液态的原料、中间产物及最后产品,目前多是间隙取样,以化学滴定法或电解法作浓度分析,使操作者不了解生产的全过程,而有时在生产流程处于非正常状态将造成突发事

故也不得而知,若将所得的信息实时保存及实时反馈,以使生产达最佳状态,对产品质量跟踪,提高产品质量,降低生产成本及劳动强度等有重要作用。

溶液的浓度与其许多物理量都有相互关系,如比重、电导率、折射率、声速等,而超声波具有耐恶劣环境,无污染,可连续遥测等优点,国内外已开始渗入到化工、医药、粮油等在线检测的若干领域^[1],利用超声波在溶液中速度与浓度的相互关系,通过声时测量去推算浓度,具有非接触、实时、快速、精确、易于实现自动控制等优点^[2]。

^{*} 本文于 2000 年 3 月收到。

江西省自然科学基金资助项目, No:961250。

2 检测原理

各种纯液体的声速绝大多数是不同的,当两种液体混合在一起时,混合液浓度变化其声速也往往会随之变化。由文献[3]可知声波在液体中传播的平面波动方程为:(声波沿 x 方向传播)

$$\frac{\partial^2 \mu}{\partial x^2} = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2}$$

(1)

式中 $C^2=1/(k\rho)$

- x——传播距离

$u(x,t)$ ——声压

t——时间

C——声波波速

k——液体的绝热压缩系数

ρ ——液体密度

由文献[4]可知,绝热压缩系数变化为 10^{-6} 数量级,在常大气压下,其值受温度影响甚小,几乎可以忽略,但温度对密度的变化而导致声速的变化则不可忽略,通常每度将引起千分之几的声速变化[5]。实验表明,当温度一定时,声速是浓度的单调函数,当浓度一定时,声速又是温度的单调函数。当声程(L)一定时,超声波在液体中传播的声时为 $S=L/C$,由文献[5][6]数据及实验表明,当浓度一定时密度 $\rho(t)$ 是温度的非线性函数,可表示为:

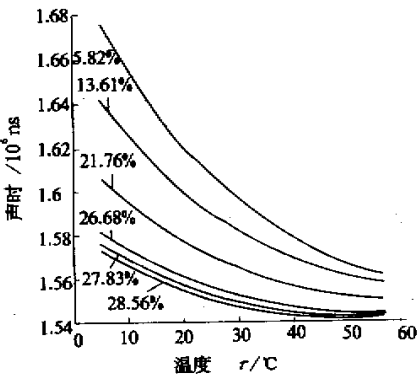


图1 H₂O₂ 不同浓度声时与温度关系曲线

$$\rho(t)=\rho_0(1+\alpha t+\beta t^2+\gamma t^3+\cdots)$$

(2)

将(1)(2)式代入 $S=L/C$ 利用泰勒公式进行多项式展开可得:

$$S=a+bt+ct^2+dt^3+et^4+\cdots$$

(3)

式中 a b c d e 为多项式系数

多项式所取项数越多其声时精度越高,实验表明,当精确到 t^4 项时,已达到实测要求的足够精度,因为事实上由于仪器的测声时精度为 0.5ns,而 et^4 项精度达到 0.5ns,因此多项式中比 t^4 项更高项可略去不记,图 1、2 分别为 H₂O₂ 和 C₂H₅OH 声时与不同浓度下的温度关系曲线。由图可知二元液体声时与温度关系曲线在不同浓度下并不相交,这就为利用声时测浓度提供了可能。同时,不同种溶液其声时(或声速)与温度关

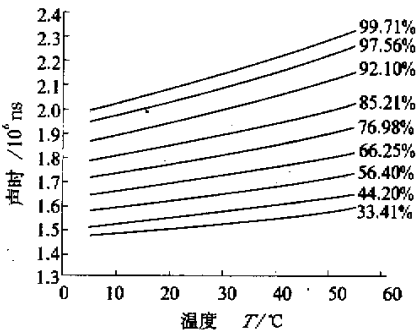


图2 C₂H₅OH 不同浓度下声时与温度关系曲线

系曲线一般都不相同,由于混合溶液的声速与浓度、声速与温度均成非线性关系,普通电路很难进行较好的温度修正,因此宜采用下位机由单片机控制超声波的发射、接收及声时的采集,并将声时传送到上位机计算机进行数据图形处理。利用计算机在实验室对每种液体建立若干条不同浓度溶液的声速与温度关系曲线,然后采用最小二乘法拟合多项式,将多项式系数以文件形式存入计算机代替原始曲线,仪器在实测过程中,将采集到的温度、声时送入计算机,再由计算机同已建立的曲线进行比较,搜寻出最接近的两条曲线,根据这两条曲线的浓度,用内插法计算出即刻浓度。实验表明用二次多项式拟合能十分精确地代表实测液体的声时与温度关系曲线,由式(3)也可得此结论。

3 仪器的组成

原理框图如图 3 所示,仪器是以计算机和单片机控制声波发射接收电路为核心,测试数据先由单片机处理后,通过串行口送 RS485 再送计算机进行数据处理,为了提高测声时及温度精度,在电路上采取了以下措施:(1)选用耐腐蚀的铂电阻为温度传感器,直接接入被测液体的生产管道且可固定在管壁上;超声波探头由不锈钢材料及压电晶片组成,透声窗与反射板均为不锈钢圆板,两板平行,用 3 根不锈钢棒支架支撑,

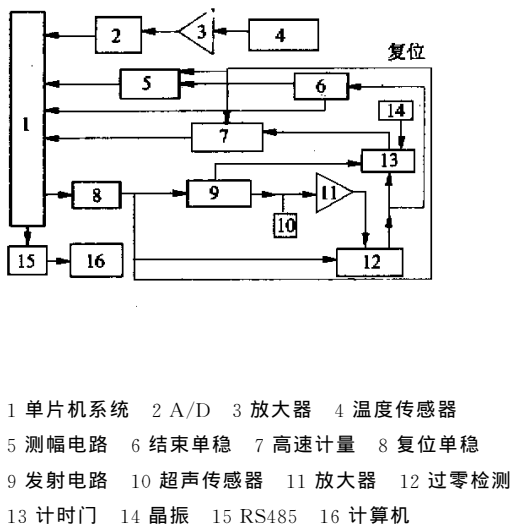


图 3 仪器结构图

固定透声窗安装在管壁上,超声波压电晶片用环氧树脂粘贴在透声窗的外侧,晶片中心频率约 2MHz,它产生的脉冲超声波通过透声窗后经管道中的液体到反射板反射回来,反射的回波信号由同一晶片接收。(2)采用过零电平检测技术^[7],接收波形一般呈正弦波形,在过零处陡度最大,接收幅度变化对声时测量影响最小,为实现过零电平检测,接收信号通过两个电平检测器,第一个鉴别幅度较高,基本上接近饱和电压,这样噪声信号都不起作用,第二个鉴别器电平尽可能接近零,第一个鉴别器起到判断接收信号的作用,信号到达启动第二个鉴别器在最近的电平到达时刻检测出“接收回波到达的时刻”。(3)采用 25MHz 测时时标,时标周期为 40ns,使量化误差尽可能小。(4)计算机通过 RS485 接单片电路,使信息传送到 1500m 远。(5)增加幅度信号检测。在线检测时,生产液中时而出现在大大小小的气泡严重干扰超声波的传播,当液体中存在密集的小气泡时,声速与声衰减都将发生变化,尤其是衰减将明显增大,使回波幅度减小^[8]。当液体中存在大气泡时,气泡则相当于声散射与声反射体,它将减小反射板的反射回波幅度,同时其自身也可能出现反射回波,因此通过检测回波幅度有助于了解溶液中有无气泡经过。实践证明这一方法十分有效。

4 软件设计

软件分上位机软件和下位机软件,下位机软件采用 MS51 汇编语言,下位机的功能是负责超声波的发射接收以及声时、幅度、温度数据的采集,为提高测时精度采用了“随机多次测量后平均”的测声时方法^[9],

对幅度衰减异常的数据进行数据重新采集,连续多次数据异常报警,最后将数据送上位机处理。下位机软件流程图如图 4 所示。

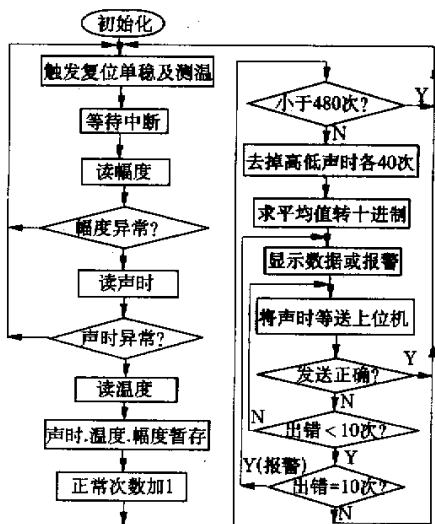


图 4 下位机软件流程图

上位机软件采用 Windows98 下 C++ Builder 4.0 编程,在广泛征求用户意见后,考虑到用户方便和显示直观以及质量跟踪等要求,其程序流程如图 5。值得说明的是 Windows 下面面向对象编程是采用事件驱动方式,其程序流程不同于以前的 DOS 下的程序流程。计算机根据下位机传送的声时、温度等以及设定的被测溶液,从溶液成份数据库中查找被测溶液的曲线系数,然后进行比较计算出实测浓度并实时数字显示,为提高查找曲线速度,按温度优先原则查找,这样可以对由于温度突变而引起的声时突变响应速度;软件每一分钟内将采集到的原始温度、声时、幅度数据及计算出的浓度、时间存贮一次到数据库中,并以图形实时显示,对声时、温度、幅度、浓度与时间的曲线用不同的颜色区分。对报警记录实时地写入数据库,以便对质量事故进行分析查询,为了使操作员能在屏幕上固定区域看到最新采集的数据,采用图形似在坐标原点冒出而整个图形后移。此外软件还提供了用原始数据方式和图形方式查询数据打印及报表功能。

软件具备密码进入功能,可进行声时、温度数据曲线拟合功能,将拟合后多项式系数加入到成份数据库中,仪器可测成份数据库中没有的液体浓度,使仪器构

表 1 H₂O₂ 对比实验结果

化学法测浓度(%)	超声法测浓度(%)	温度(℃)	浓度差(%)
19.70	19.71	28.3	+0.01
23.55	23.43	26.6	-0.12
26.74	26.79	48.6	+0.05
28.56	28.45	53.2	-0.11
32.67	32.75	41.7	+0.08
34.38	34.32	35.5	-0.06
36.24	36.39	50.6	+0.15
39.73	39.59	34.6	-0.14
41.78	41.62	24.3	-0.16
43.14	43.21	37.2	+0.07

产要求(其误差规定小于±0.35%)。由于该仪器采用了计算机测试与管理,极大方便了用户的操作与生产管理,为实行质量跟踪,提高产品质量提供了方便;此外该仪器可由用户自己添加液体成份数据库溶液,可测量超声波能测的各种液体浓度,构成了一开放系统,深信具有广泛的应用前景。

参考文献

1 B. J Hulley, A. Challoner. The Selection of Online Process Analysers. Measurement and Control, 1987, 20: 9~18.

2 Gillespie A B, Deighton M O, Pike R B, Watkins R D. A New Ultrasonic Technique for the Measurement of Liquid Level. Ultrasonic, 20: 1982, 8~13.

3 [美] P. M. 莫尔斯, K. U. 英格特著. 理论声学(上册), 北京: 北京科学出版社, 1984, 269~320.

4 J. A 迪安编. 兰氏化学手册, 北京: 北京科学出版社, 1991, 10~122.

5 George S. K. Wong, Shi-ming Zhu. Speed of Sound in Seawater as a Function of Salinity, Temperature and Pressure. J. Acoust. Soc. Am. 1997, (3): 1732~1736.

6 江泽涛, 俞子荣, 万光逵. 温度对液体中超声速度的影响. 南昌航空工业学院学报, 1998, (2): 47~51.

7 朱士明, 刘镇清, 魏墨庵, 等. 提高测量声时精度的“过零检测增均法”. 声学技术, 1990, 18(2): 21~25.

8 钱祖文. 水中气泡之间的声相相互作用. 物理学报, 1981, 30(4): 432~441.

9 江泽涛, 朱士明, 梁军汀, 等. 微机化的超声气体流量在线检测仪. 仪器仪表学报, 1996, 17(6): 594~599.

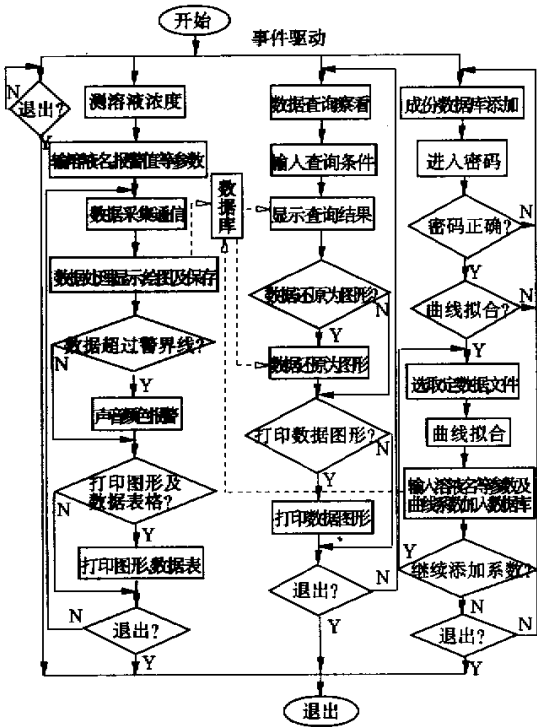


图 5 上位机软件流程图

成了一个开放系统。

5 实验结果

仪器在实验室对硝酸、酒精、氨水、双氧水、二甲胺、硫酸等液体进行了测定,将测定数据进行曲线拟合并将其系数加入到液体成份数据库中,采用高锰酸钾(KMnO₄)化学滴定方法与仪器测定结果对比,表 1 为对 H₂O₂ 的对比测定结果,结果表明浓度测量误差小于±0.20%,浓度显示灵敏度为 0.01%,温度测量误差小于±0.1°,温度显示灵敏度为 0.1°,声时测量误差小于 0.5ns,声时测量灵敏度为 0.1ns,能进行大范围的温度自动补偿。

6 结束语

现场实验证明仪器性能稳定可靠,能满足化工生