

# 微机化超声波氨水浓度计的研制<sup>①</sup>

王寅观 邵良华 田冲

(同济大学声学研究所)

王振华 程波 邢贤

(上海跃龙有色金属有限公司)

## 摘 要

微机化超声波氨水浓度计, 由微机、接口、超高速计时器、窄脉冲发生器、超声波发生器、接收放大器、延时器、闸门触发器、电平转换器、整形器、测温电路、AD转换器、非侵入式超声波换能器及铂热电阻等组成。仪器根据超声波声速与氨水浓度和温度之间的相互关系, 进行大范围的非线性修正, 实现了氨水浓度的在线检测。

**关键词:** 超声波 声速 氨水 浓度 在线检测

在稀土萃取分离过程中, 氨水常用于稀土萃取剂的皂化。稀土分离是一个复杂的过程, 为了保证稀土分离的质量, 提高自动控制程度, 国家将稀土萃取分离过程的在线分析计算机自动控制, 列入“八五”重大攻关项目。氨水浓度的在线检测就是其中一项迫切需要攻关解决的难题。

长期以来, 氨水浓度的检测一直采用人工分析方法, 费工费时, 测量精度差。本文通过超声波测量原理, 仪器配置, 工作方式, 实验结果和温度修正等方面, 介绍了微机化超声波氨水在线浓度计的研制。该仪器具有非侵入式, 实时快速, 稳定可靠等优点, 适合于稀土萃取分离过程中氨水浓度的在线检测, 测量精度优于  $0.02 \text{ mol} / \text{m}^3$ 。

## 1 测量原理

微机化超声波氨水浓度计, 是利用超声波的声速随液体浓度的变化而变化这一物理特性<sup>[1]</sup>来在线检测氨水的浓度。

当超声波沿  $x$  轴方向传播时, 其波动方程为

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} \quad (1)$$

液体的声速  $c$  可表示为<sup>[2]</sup>

$$c^{-2} = -\frac{\rho}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right) \quad (2)$$

式中  $c$ 、 $V$ 、 $\rho$ 、 $P$  分别为液体的声速、摩尔体积、密度和压力。文献[2]给出了多元混合液的声速表达式

$$c = \sum_{i=1}^n x_i c_i \quad (3)$$

式中  $x_i$  和  $c_i$  是第  $i$  种纯液体的摩尔体积分数和声速。对于氨水(3)式简化为

$$c = x_1 c_1 + x_2 c_2 \quad (4)$$

式中  $c_1$  表示纯水的声速;  $c_2$  为纯氨的声速。氨水中纯水的摩尔体积分数字  $x_1$  与纯氨的摩尔体积分数字  $x_2$  之间的关系为

$$x_1 + x_2 = 1 \quad (5)$$

由(4)、(5)两式可以得到氨水浓度  $D$  的超声波测量公式

$$\begin{aligned} D &= x_2 \times 100\% \\ &= (c_1 - c) / (c_1 - c_2) \times 100\% \end{aligned} \quad (6)$$

## 2 基本配置

超声波氨水浓度计(图1), 主要由一台286或386微机进行控制和测量, 微机内部插有一块双向计算机接口通道板。其它附属设备

包括：超高速计时器、窄脉冲发生器、延时器、闸门触发器、超声波发射器、接收放大器、电平转换器、整形器、测温电路、AD转换器、超声波压电换能器和铂热电阻等组成。

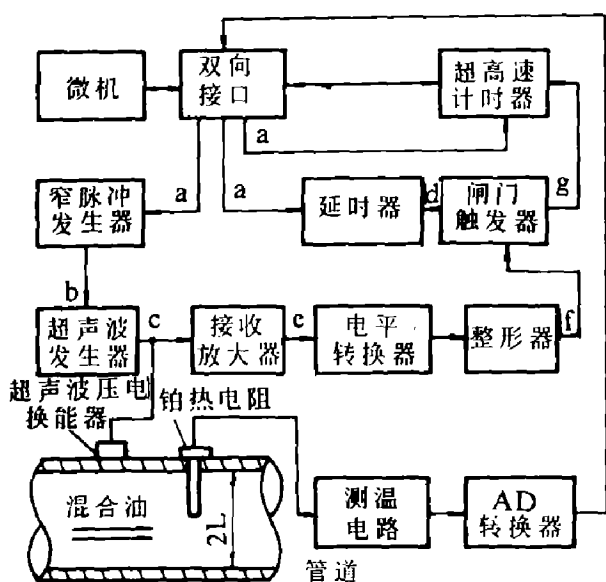


图1 超声波氨水浓度计的方框原理图

该系统测量超声波传播声时的灵敏度达 0.1ns, 测温灵敏度达 0.01℃。

### 3 工作方式

超声波氨水浓度计的工作波形如图 2 所示。微机通过 IBM-PC 总线方式的双向计算机接口，输出周期为 1 000 μs，宽度为 0.2 μs 的初始化信号(图 2a)。初始化信号分别送往窄脉冲发生器，延时器和超高速计时器，进行浓度计的初始化操作。初始化信号首先被送往窄脉冲发生器，该信号的脉冲上升沿使窄脉冲发生器产生一个宽度为 0.2 μs 的发射触发信号(图 2b)，经过超声波发射器后，向安装在氨水管道上的超声波换能器发出一个超声激励脉冲(图 2c)。初始化信号然后被送往延时器，该信号的脉冲上升沿使延时器产生一个 100 μs 的延时脉冲(图 2d)，这个延时脉冲被送往闸门触发器的置 1 端。在延时脉冲出现的瞬间，闸门触发器的 Q 端跳变为高电平(图 2g)。最

后，初始化信号被送往超高速计时器，该信号的脉冲上升沿使超高速计时器清零，并同时开始计时。与此同时，超声波在氨水管道中进行传播，往返一周后，其反射波又回到超声波换能器，转变为电信号。接收放大器将超声波反射波信号放大后(图 2e)，送往电平转换器，再经过整形器的倒相整形后(图 2f)，送往闸门触发器的置 0 端。闸门触发器的 Q 端状态，在超声波反射回波信号出现的瞬间，立即由高电平突变为低电平(图 2g)。由于全部采用高速 TTL 元件，故闸门触发器输出的高电平脉冲宽度(图 2g)就代表了超声波在氨水中往返一周的传播时间  $t$ 。超高速计时器在这一闸门脉冲的作用下进行精密计时，并将计时结果通过计算机双向接口送往微机。

超声波的传播声时  $t$ ，声速  $c$  和声程  $2l$  的关系为：

$$c = 2l / t \tag{11}$$

微机根据公式(11)将超声波的传播声时  $t$  转化为声速  $c$ 。在氨水管道中装有铂热电阻，温度引起的电阻变化经过温度测量电路和 AD 转

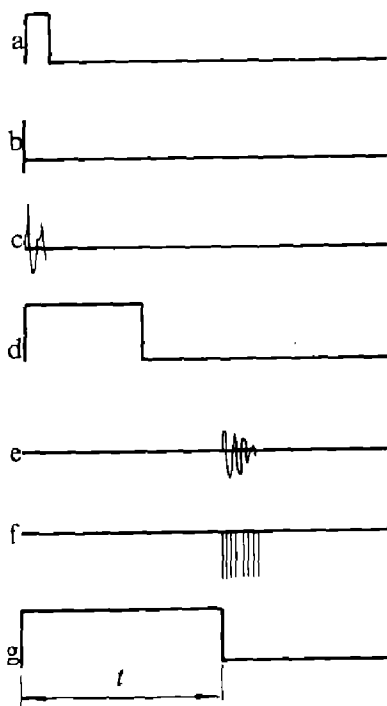


图2 超声波氨水浓度计的波形时序图

换器后，变成数字量，再通过双向接口送往微机。微机将声速和温度的测量结果进行综合运算后，直接显示和打印出氨水浓度的瞬时值，同时在屏幕上显示8h内的浓度化曲线。仪器还能报警和输出4~20 mA的模拟信号，用于生产过程的自动控制。

## 4 实验结果

### 4.1 恒温下声速与浓度的关系

仪器测定了温度恒定在4、13、22、31和40℃，浓度从0~14.19 mol/m<sup>3</sup>时的声速变化，如图3所示。图中声速随氨水浓度的增加而单调增加，浓度每增加1 mol/m<sup>3</sup>，声速分别增加24.30、20.56、17.12、14.05和11.40 m/s。当温度偏低时，浓度引起的声速变化大，反之变化小。图中还有一个非常特殊的现象，即在浓度为8 mol/m<sup>3</sup>时，各温度下的声速值几乎重合，这说明此时声速的温度系数最小。

### 4.2 浓度恒定时声速与温度的关系

仪器测定了0~40℃的温度范围内，不同氨水浓度的声速温度曲线(图4)。在低浓度时，声速随温度的增加而单调增加。当浓度为0 mol/m<sup>3</sup>即纯水时，声速随温度的增加速率

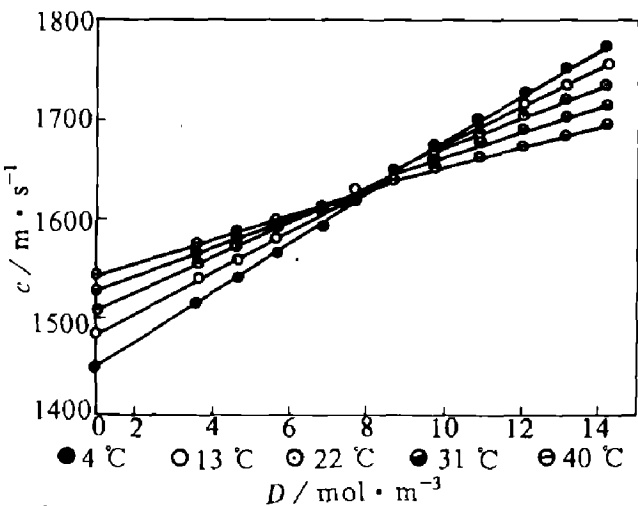


图3 不同温度和氨水浓度条件下的超声波声速浓度曲线

为每度3.02 m/s。在高浓度时，声速随温度的增加而单调减小。当浓度为14.19 mol/m<sup>3</sup>时，声速随温度的增加速率为每度-2.20 m/s。在中浓度时，声速温度曲线不再是单调曲线。

### 4.3 温度补偿

实验结果表明，在氨水浓度的在线检测过程中，超声波声速与浓度和温度的关系是非线性的。利用微机进行氨水浓度的在线检测，必须在生产过程中对测量结果进行全范围的温度和浓度的非线性修正。

将图3和图4中每一浓度的曲线，都作为以温度为变量的声速函数

$$c_i = f_i(T) \quad (12)$$

式中  $c_i$  为第  $i$  种浓度氨水的声速； $T$  为温度。这一函数的非线性特征可以用一个具有若干参数的多项式表示如

$$c_i = \sum a_m T^m \quad (m=0,1,2,\dots) \quad (13)$$

式中系数  $a_m$  可通过求下列方程组得出

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n (c_{ij} - a_{i0} - a_{i1} T_j - a_{i2} T_j^2 - \dots - a_{im} T_j^m) &= 0 \\ \sum_{j=1}^n (c_{ij} - a_{i0} - a_{i1} T_j - a_{i2} T_j^2 - \dots - a_{im} T_j^m) \cdot T_j &= 0 \\ \sum_{j=1}^n (c_{ij} - a_{i0} - a_{i1} T_j - a_{i2} T_j^2 - \dots - a_{im} T_j^m) \cdot T_j^4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中  $c_{ij}$  和  $T_j$  是第  $i$  条浓度曲线的第  $j$  个声速与温度的测试值。对实验结果进行数值运算后，得到各个不同浓度氨水的声速温度系数  $a_0$ 、 $a_1$  和  $a_2$  如表1所示，其与声速  $c$  的关系可用方程式表示如

$$c_D = a_i (T-20) \quad i=0,1,2 \quad (15)$$

式中  $c$  为声速； $D$  为氨水浓度； $i$  为系数序号； $T$  为温度

## 6 结论

超声波的声速与氨水的浓度和温度具有一

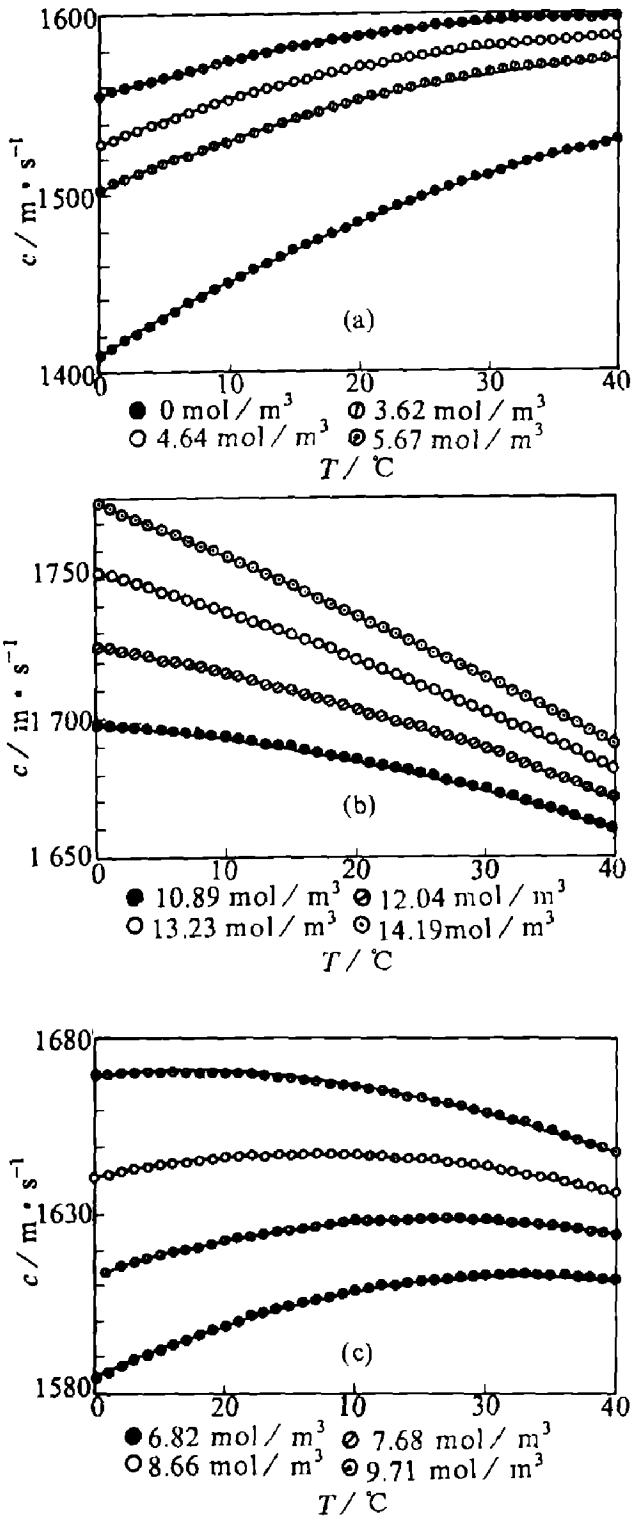


图4 不同温度和氨水浓度条件下的超声波声速温度曲线

一对应的关系。微机化超声波氨水浓度计，将探头安装在氨水管道外侧，具有非侵入式，实时快速，稳定可靠，防腐蚀等优点，为稀土萃取分离过程中氨水浓度的在线检测提供了手段，克服了氨水浓度长期依赖人工化学分析，费工费时，测量精度差的难题。

表1 不同浓度氨水的声速温度系数

浓度 / mol · m <sup>-3</sup>	超声波声速的温度系数		
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
0	1482.953	3.018	-0.0353
3.62	1550.869	1.794	-0.0315
4.64	1569.440	1.438	-0.0299
5.76	1588.426	1.063	-0.0281
6.82	1607.695	0.673	-0.0259
7.68	1627.101	0.269	-0.0235
8.66	1646.480	0.145	-0.0208
9.71	1665.657	-0.565	-0.0179
10.89	1684.440	-0.986	-0.0147
12.04	1702.625	-1.404	-0.0114
13.12	1719.988	-1.813	-0.0079
14.19	1736.294	-2.203	-0.0044

仪器实现全范围的声速和温度的非线性修正，直接显示和打印浓度的瞬时值，屏幕上还显示8h内浓度的变化曲线，具有报警功能和输出4~20mA的模拟信号，用于生产过程的自动控制。仪器在上海跃龙有色金属有限公司生产流程中的在线检测结果表明，整机的浓度测量精度优于0.02 mol/m<sup>3</sup>。该仪器已申请国家专利。

参考文献

- 1 Povey M J W. J Food Eng. 1989, 9(1): 1-20.
- 2 Wang Zhijin. J Acoust Soc Am. 1991, 89(6): 2725-2730.
- 3 Agnihotri P K. Ultrasonics, 1989; 27(2): 248-251.
- 4 Tandon S P. J Acoust Soc Am. 1990, 88(4): 1837-1841.