

# 一种测定液体媒质声衰减的简易装置

沈保罗 谭金星 孙国华

(同济大学声学研究室)

本文叙述一种装置用超声脉冲法测量液体媒质中的声衰减系数时, 具有线路简单和使用方便等优点。在装置的工作频率范围为4—12兆赫下, 测量了酒精中的声衰减系数。

## 一、概 述

测量液体在各种不同频率下的声衰减系数, 对于研究各类液体媒质的分子结构具有极其重要的意义。此外, 通过测量悬浮液(例如矿浆、油煤混合物、含泥砂的河水等)的声衰减, 可以确定悬浮液中悬浮粒子的浓度和粒径。因此, 液体媒质中声衰减的测量, 在分子声学 and 工业检测方面有着广泛的用途。

通常采用脉冲法测量声衰减系数时, 具有较高的测量精度。常用的方法有: 使用可变衰减器比较脉冲回波的方法<sup>[1]</sup>, 用定标指数曲线比较回波列的方法<sup>[2]</sup>, 以及用比值电路比较回波的方法<sup>[3]</sup>。而其中以使用可变衰减器比较接收脉冲幅度来测量声衰减的方法所使用的装置比较简单, 容易获得较高的精度<sup>[4]</sup>。本文根据其测试原理设计了一种液体媒质声衰减系数测量装置。该装置的电子线路简单, 易于安装调试, 包括电源在内的整个仪器可安装于400×300×100立方毫米的机箱内。

本测量装置主要由发射、接收和水槽三部分组成, 再外配可变衰减器和示波器, 就可测量液体中的声衰减系数。测量系统方框图如图1所示。射频脉冲发生器通过发射换能器, 发射矩形调制的射频脉冲, 令 $f_0$ 为发射的超声射频频率, 本装置 $f_0$ 为4~12兆赫,

$\tau$ 为脉冲宽度,  $T$ 为重复周期。为使发射波中的 $f_0$ 能代表连续波的频率,  $\tau$ 时间中至少要包括十个以上的射频周期, 我们取 $\tau$ 为10微秒左右。换能器的直径应远大于被测液体中的声波波长。接收换能器除接收到直达脉冲外, 还将接收到一串振幅依次减小的反射回波信号。图2是测量酒精的声衰减时观察到的接收波形, 实测时, 重复周期 $T$ 应足够大, 以避免下一个发射脉冲对接收信号的干扰。通常希望在时间 $T$ 内回波信号比直达脉冲衰减40分贝以上。本机取 $T$ 为1毫秒左右。

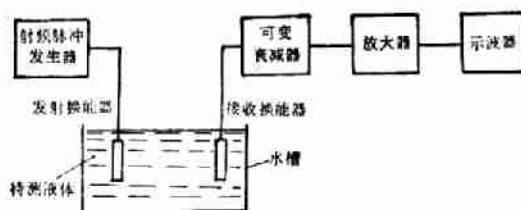


图1. 测量液体中声衰减系数的方框图

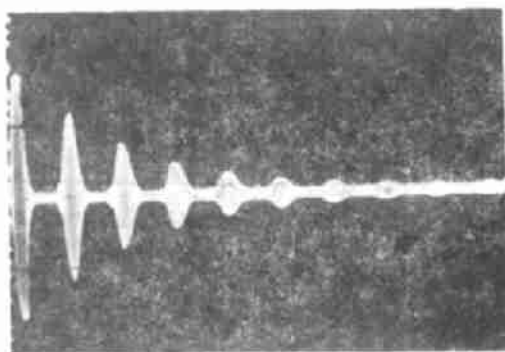


图2. 测量酒精声衰减时的接收波形

测量装置的发射、接收换能器可采用压电陶瓷或石英晶片，后者除基频外还可工作于各奇次谐频上\*。采用双换能器一发一收，可减小发射脉冲对接收电路的干扰，且有利于测量高衰减系数的液体样品。

可变衰减器接在接收换能器与放大器之间，可使输入到放大器的信号保持恒定。为了不失真地放大接收信号，放大器的频带宽度必须大于 $2/\tau$ 。用示波器观察和比较接收脉冲信号的幅度。

## 二、测量装置

### 1. 射频脉冲发生器

本发生器由同步脉冲发生器、调制脉冲形成器和射频脉冲振荡器组成，图3是其原理图。由双基极三极管BG1组成同步脉冲发生器，重复周期 $T$ 由WR2调节，可在0.5—5毫秒间变化。BG1的输出脉冲经BG2放大

整形后触发由BG3和BG4组成的单稳态触发器，从而取得波形良好的调制脉冲，且脉冲宽度可由WR9在2—20微秒内连续调节。单稳输出一路经BG5整形后作为同步信号输出，以便接至示波器外触发输入端，使在示波器上得到稳定的测试波形。另一路则经由BG6、BG7、BG8和BG9放大，得到峰值高达300伏的正调制脉冲。该脉冲经电位器 $W_1$ 输出而加到射频脉冲振荡管BG10的帘栅极，用以控制射频脉冲的幅度。射频脉冲振荡器为双束射电子管FU19接成的帘栅极控制的推挽式正弦波振荡器。无调制脉冲时，帘栅压为 $V-100$ 伏，电子管FU19呈截止状态。当调制脉冲达到一定幅度时，FU19开始振荡，发射方波调制的射频脉冲。射频振荡频率 $f_0$ 则由 $L_1$ 和 $C_{18}$ 确定。本发生器的 $f_0$ 为4—12兆赫，输出射频脉冲峰值达200伏。脉冲前后沿小于0.5微秒，截止期间的漏信号极小。

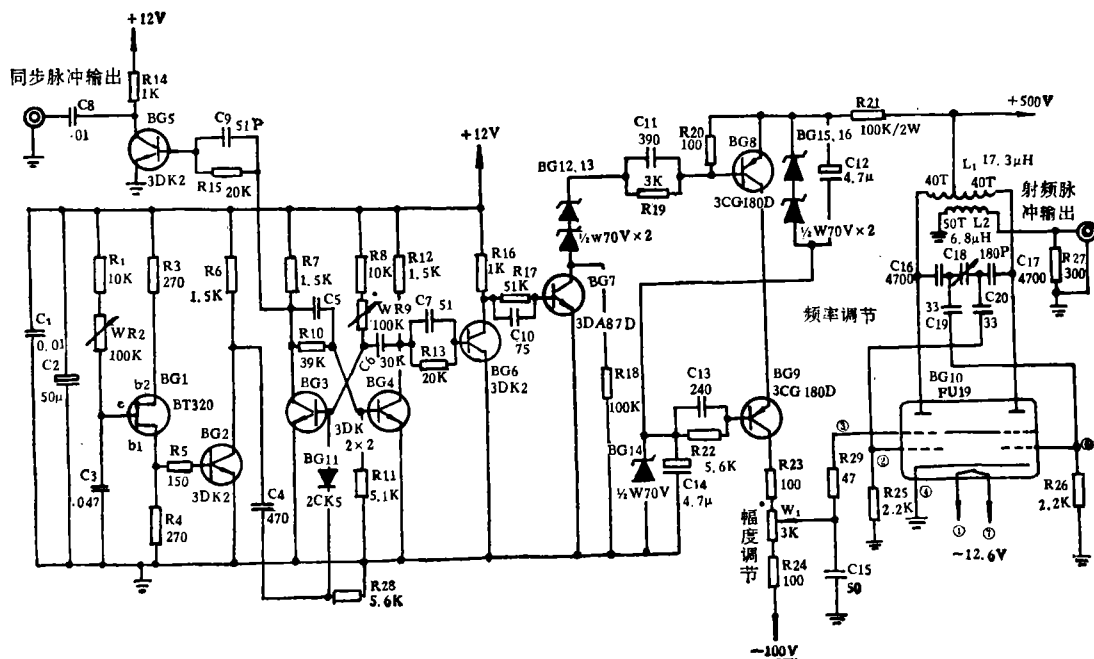


图3. 射频脉冲发生器电路原理图

\* 压电陶瓷片可工作于基频，实验工作频率达10兆赫。

## 2. 放大器

放大器部分的原理图见图4，包括宽带放大器和检波器。其中BG1和BG2构成一级共射-共基调谐放大器，开关K选择高、低两路选通频率，使该级放大器覆盖4—12兆赫的频率范围。限幅保护两极管D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>用于

单换能器自发自收工作时保护放大器在发射脉冲到来时不受损害。BG3、BG4、BG5和BG6为两级共射-共集的宽带放大器。D<sub>4</sub>是检波二极管，BG7和BG8构成复合射极输出器进行输出阻抗变换。D<sub>3</sub>和D<sub>5</sub>用于补偿检波的非线性。BG9是一级射极输出器，直接

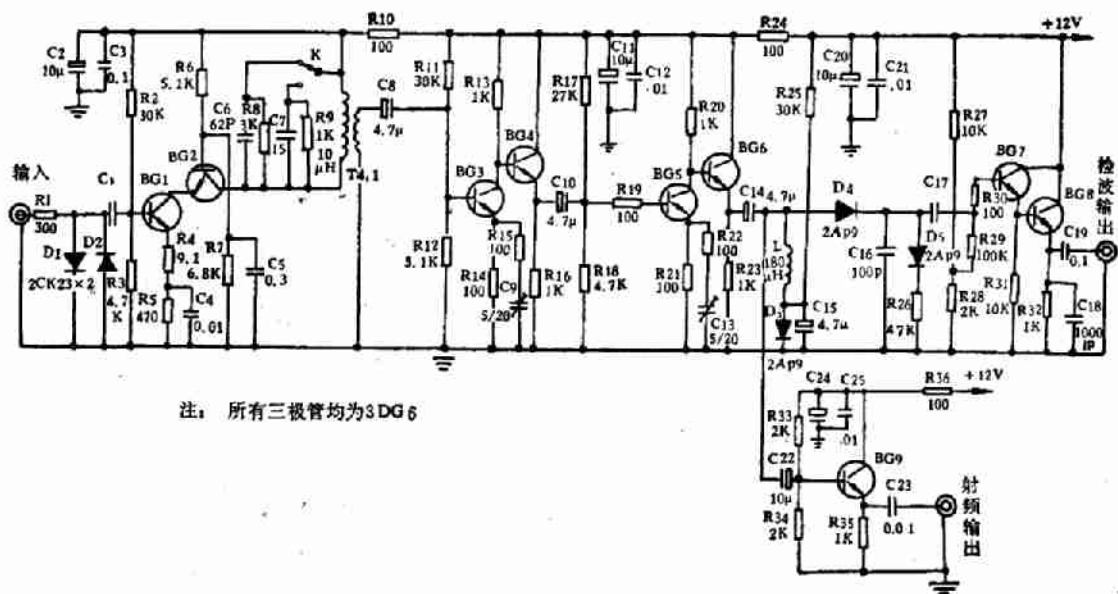


图4. 放大器电路原理图

输出未经检波的射频信号。

## 3. 电源

电源部分包括直流+500伏，+12伏和-100伏，交流12.6伏和6.3伏。直流电源都属于一般整流稳压电源。

## 4. 测试水槽

水槽的外形见图5。水槽分内、外两槽，

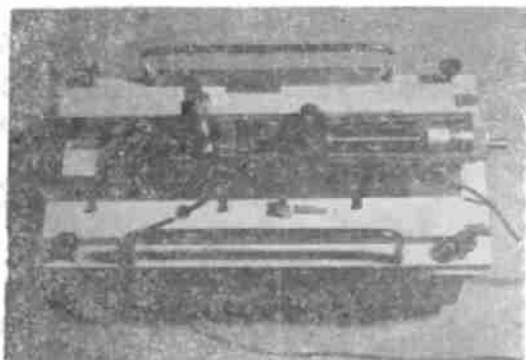


图5. 测试水槽外形图

外槽尺寸385×180×110毫米，内槽尺寸300×64×90毫米。外槽接有进、出水孔，可对内槽中的样品进行水浴恒温。装置发射换能器的支架可以上下左右灵活转动，便于测试时调整到与接收换能器。(自发自收时为刚性反射板)严格平行。两只换能器支架可一起移动，也可单独移动接收换能器，以供不同的测试需要。移动距离由水槽上的螺旋测微计读出，能够读到0.01毫米。

## 三、测试方法、结果和讨论

在发射换能器向媒质发射声平面行波的情况下，可采用变程法或定程法测量液体媒质中的声衰减系数 $\alpha^{[4]}$ 。

用变程法时，两换能器的间距分别为 $l_1$ 和 $l_2$ 厘米，调整好平行，并调节可变衰减器，

使示波器上显示的第一个接收脉冲的幅度相等。此时，可变衰减器上的读数分别为 $N_1$ 和 $N_2$ 分贝，则：

$$\alpha = \frac{N_1 - N_2}{8.686(l_2 - l_1)} \text{ (奈培/厘米)} \quad (1)$$

采用变程法的优点是消除了换能器表面的反射损失对测量结果的影响。

用定程法时，固定两换能器间距 $l$ 厘米，调整好平行，要求换能器表面的反射损失可忽略不计。调节可变衰减器，使相隔 $m$ 次的二个接收脉冲幅度相等，这时衰减器的读数分别为 $N_1$ 和 $N_{m+1}$ 分贝，则：

$$\alpha = \frac{N_1 - N_{m+1}}{8.686 \cdot 2ml} \text{ (奈培/厘米)} \quad (2)$$

我们用双换能器变程法测量了酒精的声衰减系数。实验时使用厚度共振的圆形石英晶片，直径20毫米，厚0.72毫米，基频约为3.96兆赫，工作于三次谐频，实际发射超声频率 $f_0 = 11.89$ 兆赫。将待测液体注入内水槽，使换能器全部浸入。调整装置的 $C_{1a}$ （频率调节）和 $W_1$ （幅度调节），得到接收脉冲信号。再仔细调节发射换能器的上下、左右两个方位，使其与接收换能器严格平行，这时接收到的直达脉冲和各次回波幅度最大，且呈指数衰减。

在酒精(19°C)中测得的声衰减系数 $\alpha = 0.0868$ 奈培/厘米，相对均方误差 $\sigma < 6\%$ 。由于工作频率为11.89兆赫，故 $\alpha/f_0^2 = 61.4 \times 10^{-17}$ 奈培·秒<sup>2</sup>/厘米。

本装置的接收部分有两个输出端：射频输出和检波输出。实验发现由于检波器的非线性，两者的输出是有差异的。图6为两种输出信号同时加到双踪示波器上时的波形，

调节到两种输出信号的第一个接收脉冲幅度相等。由图可见，如果利用各相继脉冲的振幅直接计算 $\alpha$ 值的话，那么用检波输出波形计算的衰减值 $\alpha$ 要比用射频输出波形的大。这时必须用射频输出波形来计算衰减值 $\alpha$ 。但若使用可变衰减器使被测脉冲振幅相等，则无论用射频输出还是用检波输出来计算 $\alpha$ 都是一样的。

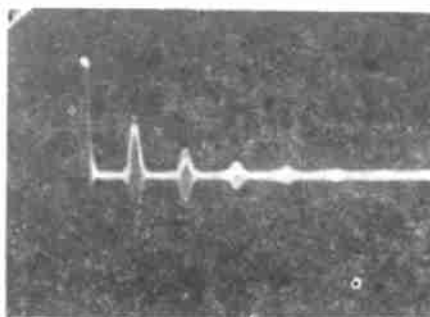


图6. 射频输出与检波输出波形比较  
(图中波形上下对称的是射频输出。只有包络线的是检波输出波形)

本实验所用酒精为分析纯，实测衰减系数 $\alpha$ 比文献(4)所引值 $55.1 \times 10^{-17}$ 奈培·秒<sup>2</sup>/厘米(20°C)偏大一些，如果考虑幅度衍射修正<sup>[5]</sup>，本实验结果修正为 $56.9 \times 10^{-17}$ 奈培·秒<sup>2</sup>/厘米(19°C)。

### 参 考 文 献

- [1] Roderick, R. L. and Truell, R. (1952), J. Appl. phys. 23, 267.
- [2] Chick, B. et al. (1960), J. Acoust. Soc. Am. 32, 186.
- [3] Papadakis, E. P. (1973), Crit. Rev. Solid State. Sci. 3, 373.
- [4] 同济大学声学研究室(1977), 《超声工业测量技术》, P 110和P 250, 上海人民出版社
- [5] Khimunin, A. S. (1972), Acustica 27, 173.