

物理学

基于 SV—DH 声速测试仪研究液体的压缩系数

刘艳峰 刘竹琴

(延安大学物理与电子信息学院,延安 716000)

摘要 利用 SV—DH 声速测试仪测量超声波在不同液体介质中传播纵波的传播速度,进一步测量出这些液体压缩系数。测量结果与标准值相比,利用该方法测量液体压缩系数具有原理简单、相对误差较小的特点。为测定液体的压缩系数提供了一种新方法。

关键词 超声波 时差法 压缩系数

中图法分类号 O493.9; **文献标志码** B

液体压缩系数是描述当压强变化时,体积如何变化的力学响应函数。液体压缩系数是许多工业中的重要参数,尤其是在石油、化工、食品、医药等工业领域,它可以直接参与生产过程中的控制和决策。因此对液体压缩系数进行快速而准确的检测有着重要的意义。压缩系数就是考虑到液体的可压缩性,通常液体周围的压强改变后,液体的体积的也要发生改变,即液体压缩系数是描述液体体积随周围压强改变程度的物理量,它的大小随物质的种类的不同而不同,而体积的改变量很难用仪器测量出来,所以有关液体压缩系数实验的测量报道很少。

1 测量原理

1.1 液体压缩系数

液体周围受到的压强发生改变时,其体积也要相应地发生改变,以 ΔP 表示压强的改变,以 $\Delta V/V$ 表示相应的体积的相对变化即体应变^[1—5]。根据胡克定律

$$\Delta P = -K \frac{\Delta V}{V} \quad (1)$$

式(1)中 K 叫体积模量,总取正值,它的大小随液体种类的不同而不同。体积模量的倒数叫压缩系数,以 κ 表示压缩系数,则有

$$\kappa = \frac{1}{K} = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (2)$$

再由波动理论可知^[6—8] 机械波在介质中传播纵波时,其速率为

$$v_{\text{纵}} = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (3)$$

式(3)中, K 为液体的体变模量, ρ 为液体的密度。由式(3)和式(2)得

$$\kappa = \frac{1}{K} = \frac{1}{v_{\text{纵}}^2 \rho} \quad (4)$$

由式(4)可见,只要测出超声波在液体中的传播速度 $v_{\text{纵}}$ 和液体介质的密度 ρ ,就可计算出液体的 $v_{\text{纵}}^2$ 和压缩系数 κ ,从而实现对液体压缩系数的间接测量。

1.2 测量液体介质中的声速

采用时差法^[9]让连续波经脉冲调制后由发射换能器发射至被测液体介质中,超声波在该液体介质中传播,经过 Δt 时间后,由发射换能器 L_1 的位置到达接收换能器 L_2 的(即经过 ΔL 的距离后)。由运

动学知识可知,声波在液体介质中传播的速度可由式(5)求出。

$$v_{\text{纵}} = \Delta L / \Delta t \quad (5)$$

将式(5)代入式(4),得

$$\kappa = \frac{1}{K} = \frac{\Delta t^2}{\Delta L^2 \rho} \quad (6)$$

距离 ΔL 、和时间 Δt 、可分别用 SV—DH 声速测试仪自带游标卡尺和信号源计时器精确测出;液体的密度可由密度计测得;这样就可以通过测量距离 ΔL 、和时间 Δt 来得到液体压缩系数。

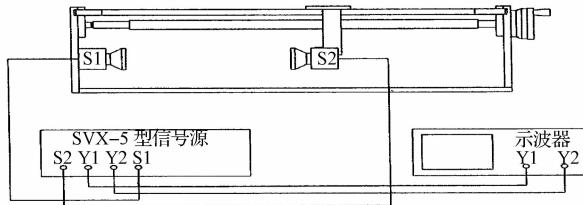


图 1 时差法测量声速的线路图

2 实验装置

实验装置如图 1 所示,所用仪器有示波器, HZDH 杭州大华仪器制造有限公司生产的综合声速测试仪信号源 SVX25,接受换能器,发射换能器。综合声速测定仪信号源 SVX25 的发射端换能器与发射换能器接口相连接,综合声速测定仪信号源 SVX25 的接收端换能器接口与接收换能器相连接。接受换能器,发射换能器置于待测样品的玻璃槽中。声速测试仪信号源 SVX25 是一种带数字显示时间和位置的高精度教学仪器,通过测定超声波在该液体介质中传播,可以通过测量距离 ΔL 、和时间 Δt 来得到液体压缩系数。

3 实验内容

(1) 按图 1 所示连线 (2) 将待测液体装入水槽中,将发射端与接收端换能器进入水中,换能器的 S2 该接在信号源的 S2 的距离调到一定距离(≥ 50 mm),调节接收增益,使显示的时间差值读数稳定,此时仪器内置的计时器工作在最佳状态。(3) 自动工作选择在连续波方式,选择“传播介质”按钮为液体。(4) 然后记录此时的距离值 $\Delta L = L_2 - L_1$

(用游标卡尺测发射换能器发射端的位置 L_1 和超声波在该液体介质中传播经过 $t_2 - t_1$ 时间后,到达接收换能器的位置 L_2 ,那么超声波通过待测液体的距离 $\Delta L = L_2 - L_1$) 和显示的时间值 $\Delta t = t_1 - t_2$,移动 S2,同时调节接收增益使接收信号幅度始终保持一致并记录,测量 6 次计算出 $v_{\text{纵}}$ 值。(5) 将上面测得的距离 ΔL 和时间 Δt 数据代入式(8)中算出待测液体的压缩系数。

4 测量数据和结果

表 1 甘油压缩系数
测量数据(20.0°C)

$[\rho = 1.260$ $(\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}] =$	$[\rho = 0.998$ $(\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}] =$
$0.219 \kappa / \times 10^{-9}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$	$4.608 \kappa / \times 10^{-9}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$
$\Delta L/\text{mm}$	$\Delta L/\text{mm}$
57.66	31.12
57.75	30.24
57.64	32.00
57.74	31.34
57.72	30.44
57.68	32.06
$\Delta t/\mu\text{s}$	$\Delta t/\mu\text{s}$
3	20
3	20
3	20
3	20
3	20
3	20

表 2 蒸馏水压缩系数
测量数据(20.0°C)

$[\rho = 0.998$ $(\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}] =$	$[\rho = 0.98$ $(\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}] =$
$4.608 \kappa / \times 10^{-9}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$	$1.433 \kappa / \times 10^{-9}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$
$\Delta L/\text{mm}$	$\Delta L/\text{mm}$
50.48	31.12
51.02	30.24
50.06	32.00
50.36	31.34
51.32	30.44
50.28	32.06
$\Delta t/\mu\text{s}$	$\Delta t/\mu\text{s}$
50	20
50	20
50	20
50	20
50	20
50	20

表 3 汽油压系数
测量数据(20.0°C)

$[\rho = 0.98$ $(\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}] =$	$[\rho = 0.98$ $(\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}] =$
$1.433 \kappa / \times 10^{-9}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$	$1.433 \kappa / \times 10^{-9}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$
$\Delta L/\text{mm}$	$\Delta L/\text{mm}$
50.48	31.12
51.02	30.24
50.06	32.00
50.36	31.34
51.32	30.44
50.28	32.06
$\Delta t/\mu\text{s}$	$\Delta t/\mu\text{s}$
50	20
50	20
50	20
50	20
50	20

可以看出,被测样品无水甘油的压缩系数 $0.219 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$ 。无水甘油在 20.0°C 时压缩系数的标准值^[10]为 $0.215 \times 10^{-9} (\text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$ 测量结果与标准值相比,其相对误差为 0.7%;测量结果比较满意;由此可以看出,测量值与理论值相比较,吻合得比较好。蒸馏水和汽油的压缩系数的理论算法和实验方法均与甘油的压缩系数的方法一致,说明方案确实可行,具有一定的应用价值。

5 结束语

经过多次严密地实验,科学地数据采集,精心地数据处理,与标准值相比相对误差较小,测量结果较为满意。充分表明,这种测量液体材料的压缩系数的方法确实可行,在大学物理实验学习和工程应用中具有一定的应用和参考价值。

参 考 文 献

- 1 漆安慎,杜婵英. 力学. 北京:高等教育出版社,1997;321—326
- 2 张三慧. 大学物理学(波动与光学). 北京:清华大学出版社,

- 1999;61—62
 3 程守洙. 普通物理学(第六版,下册). 北京:高等教育出版社, 2006;82—85
 4 白少民. 基础物理学教程(下册). 西安:交通大学出版社, 2010; 122—125
 5 刘克哲. 物理学(第二版). 北京:高等教育出版社, 1999;74—77
 6 杨述武. 普通物理实验(一、力学及热学部分). 北京:高等教育出
 版社, 2000;79—82
 7 周益盛. 用超声干涉仪测不同温度下液体内的声速. 物理实验, 1984;4(5):205—207
 8 白泽生. 大学物理学实验(第二版). 西安:陕西人民出版社, 2008;85—86,158
 9 童建平. 时差法测量仪的研制. 传感器技术, 2004;23(1). 23—26
 10 本社编委会. 物理学大辞典. 太中:人文出版社, 1979;10

Based on SV—DH Test Instrument to Calculate and Measure of Liquid Compressibility

LIU Yan-feng, LIU Zhu-qin

(College of physics and Electronic Information, Yan'an University, Yan'an 716000, P. R. China)

[Abstract] Using SV—DH Ultrasonic Velocity Testers liquid medium in different propagation velocity of longitudinal wave propagation, Further measuring the liquid compressibility, principle is simple, method is reliable compared with the standard value measurement. The relative error is small. The method is feasible and value. A kind of new measuring method of liquid compressibility is obtained.

[Key words] ultrasonic wave time difference method compressibility

(上接第 3940 页)

A Partition of Unity Triangle Finite Element Free from the Linear Dependence Problem

JIA Cheng, CHEN Hui-hui

(School of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, P. R. China)

[Abstract] In order to construct efficient finite element formulation based on partition of unity free from the linear dependence problem, a new triangle element is developed by combining the shape functions of finite element and meshfree methods. The polynomial basis functions are used for the local approximation and the shape functions for classical linear triangle element are used as partition of unity functions. The present element has Kronecker delta property so as to could implement displacement conditions directly. Numerical results show that the present triangle element is free from the linear dependence problem, and possesses higher precision, which is superior to classical linear triangle element and classical isoparametric quadrilateral element.

[Key words] partition of unity local approximation linear dependence meshfree