

文章编号:1007-2934(2021)02-0030-03

# 超声波声速测量实验的拓展

薛啸天,宋文韬,崔淦维,姚慧敏,朱云霞,高建平,罗锻斌\*

(华东理工大学 物理系,上海 200237)

**摘 要:**对传统的声速测量实验内容进行了拓展,利用发射换能器和接收换能器构成的超声谐振腔形成的稳定驻波,演示了声辐射力与物体自身重力平衡时的声悬浮现象;在此基础上,利用泡沫小球的动态声悬浮过程对超声驻波的波长进行了测量,计算得到的声速结果与参考值的百分误差为2.1%。上述实验内容的拓展,让学生对超声波驻波场的产生、分布、力学效应有了更直观的认识和理解,也让学生在传统实验的基础上了解了声悬浮这一技术,不仅增加了学生的实验兴趣,而且扩大了学生的知识面与实验技能。

**关键词:**超声波;声速;驻波;声悬浮

**中图分类号:** O 433.1 **文献标志码:** A **DOI:**10.14139/j.cnki.cn22-1228.2021.02.008

声波是在弹性介质中传播的一种机械波。对于声波在弹性介质中传播时的声速、声压和声阻抗等物理量的测量是声学应用技术的重要内容,通过对这些声学量的测量可以获得与传播介质特性和状态有关的信息。其中对于声波波速(即声速)测定的应用尤为广泛,它涉及物理、化学、工程技术、医学等领域<sup>[1-5]</sup>。通过声速的测量可以研究固体介质的弹性模量,流体的密度<sup>[5]</sup>、成分,可以测量介质的温度<sup>[4]</sup>、压强、流速、比热容<sup>[2]</sup>,可以研究介质中能量的吸收和转移过程,可以进行声波定位、探伤<sup>[1]</sup>、显示、测距等。这些应用的关键都在于如何精确地测量声速。

由于超声波(频率高于20 kHz)具有波长短,易于定向发射、易被反射等优点,同时为了避免周围音频信号对实验的干扰,因此对声速的测量常在超声波段进行。目前,在理工科大学物理实验课程中,超声波声速的测量实验是必做的一个实验内容<sup>[6-8]</sup>。通过声速测量实验,学生可以了解到超声波的产生与检测方法,同时掌握超声波声速测量的实验方法<sup>[9-11]</sup>。

目前常用的声速测量方法有两种<sup>[12-14]</sup>,一种是通过测量声波在弹性介质中传播特定距离 $L$ 所需要的时间 $t$ ,由 $v=L/t$ 来计算声速;另一种是测量声波的频率 $f$ 和波长的 $\lambda$ 来计算声速,即 $v=\lambda f$ 。

大学物理实验中,常采用后者进行声速测量<sup>[6-8]</sup>。而利用声波的频率 $f$ 和波长的 $\lambda$ 来计算声速的方法中,核心操作在于超声波波长的 $\lambda$ 的测量,其实验方法可以分为共振干涉法和相位比较法。

实验装置如图1所示,图中 $S_1$ 和 $S_2$ 为压电晶体换能器, $S_1$ 作为声波源,它被低频信号发生器输出的交流电信号激励后,由于逆压电效应发生受迫振动,并向空气中定向发出一近似的平面声波; $S_2$ 为超声波接收器,声波传至它的接收面上时,再被反射。当 $S_1$ 和 $S_2$ 的表面互相平行时,声波就在两个平面间来回反射,当两个平面间距 $L$ 为半波长的整数倍时,即

$$L=n\frac{\lambda}{2}, n=0,1,2, \quad (1)$$

发射换能器 $S_1$ 和接收换能器 $S_2$ 构成的超声谐振腔形成稳定驻波。

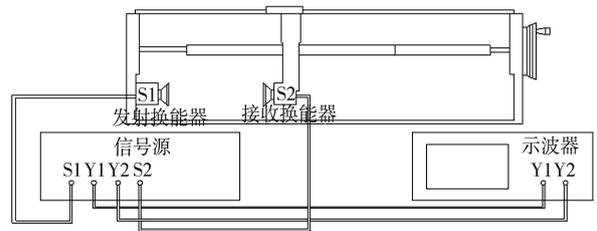


图1 实验装置示意图

因此,在实验过程中,移动反射端 $S_2$ ,可以在

收稿日期:2021-01-11

基金项目:华东理工大学2019年本科教育教学方法改革研究项目;2019年度上海市重点课程课程建设项目(YK0126154)

\* 通讯联系人

示波器上观察到信号强度增大减小周期性的变化,而利用两次振幅极大值所对应的  $S_2$  的位置即可计算出超声波的波长  $\lambda$ 。

在流体介质中传播的声波是一种压力波。声波比较强时,在介质中除了静压外还存在一个由声波引起的附加压强,称为声辐射压<sup>[15]</sup>。当发射换能器  $S_1$  和接收换能器  $S_2$  构成的超声谐振腔形成稳定驻波时,能否在实验中把这种声辐射压直观表征出来并加以相关利用?基于这个问题,对声速测量实验进行了两方面的拓展。

### (1) 基于声辐射压力的声悬浮演示。

把图1实验装置图中的换能器部分竖直放置,如图2所示。超声发射器输出连接到功率放大器,信号经功放放大之后输出到一个超声振子,输出的超声波再经过另一个振子反射,在两个振子之间形成驻波场,将反射端振子连接到示波器上以观测波形,如图2所示。

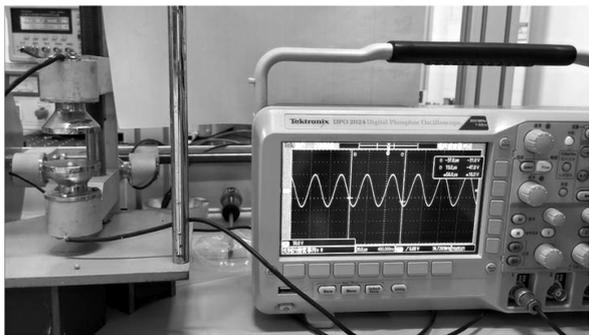


图2 实验装置实物图

先调试信号发生器频率,当超声发射频率为 36.72 kHz 时输出的示波器显示波形较为稳定。接着将两个振子靠近,并将一个待悬浮物体(如小纸片或者小的泡沫圆球)放在振子上,这时物体掉落在振子表面上。调节到某个位置,使物体的悬浮效果最好,并且从示波器上得出的波形最为稳定,幅度最大。选择不同小物体的悬浮效果如图3所示。

### (2) 基于声悬浮的声速测量。

利用声波的频率  $f$  和波长的  $\lambda$  来计算声速的方法中,对于超声波波长的  $\lambda$  的测量,不论是共振干涉法还是相位比较法,都是利用示波器中信号的振幅变化或者李萨如图像的周期性变化来监测发射换能器  $S_1$  和接收换能器  $S_2$  距离的变化,能否利用悬浮物体的运动状态来表征  $S_1$  和  $S_2$  的距离变化情况呢?在实验中尝试直接利用悬浮颗粒的运动状态变化来实现对波长的测量。



(a) 悬浮纸片;



(b) 悬浮发泡材料小球



(c) 悬浮小水滴

图3 声悬浮介质演示

信号发生器选用 36.72 kHz 的正弦信号进行实验。先将两个振子靠近,并将一个小的泡沫圆球(直径约 1 mm)放在振子上,由于重力作用小球掉落在振子表面上。调节到  $S_1$  至某个位置,使小球的悬浮效果最好,并且从示波器上得出的波形

最为稳定,幅度最大,记录此时对应的  $S_1$  振子位置。继续增大两振子之间的距离,小球会掉落,继续增大使小球再一次悬浮效果最好,并且从示波器上得出的波形最为稳定,幅度最大,再读出振子位置。重复上述操作,最终测出 8 个数据。

表 1 超声驻波悬浮泡沫小球数据(室温 25 °C)

位置	1	2	3	4	5	6	7	8
距离/mm	16.000	20.800	25.600	30.500	35.100	40.100	45.000	49.700

用逐差法得出平均值为 0.481 25 cm。这里的平均值为驻波的两个节点之间的距离,所以空气中的波长应该为  $2 \times 0.481\ 25 = 0.962\ 5$  cm。由声速  $v = \lambda f$  计算出  $v = 0.962\ 5 \times 10^{-2} \times 36.72 \times 10^3 = 353.43$  m/s。查阅资料,当温度为 25 °C 时声速约为 346 m/s,误差为 2.1%。

对传统的声速测量实验内容进行了拓展,利用发射换能器  $S_1$  和接收换能器  $S_2$  构成的超声谐振腔形成的稳定驻波,演示了声辐射力与物体自身重力平衡时的声悬浮现象;在此基础上,利用泡沫小球的动态声悬浮过程对超声驻波的波长进行了测量,计算得到的声速结果与参考值比较接近。上述实验内容的拓展,让学生对声波驻波场的产生、分布、力学效应有了更直观的认识和理解,也让学生在传统实验的基础上了解了声悬浮这一技术<sup>[15]</sup>,不仅增加了学生的实验兴趣,而且扩大了学生的知识面与实验技能。

#### 参考文献:

[1] 罗雄彪,陈铁群.超声无损检测的发展趋势[J].无损检测,2005,17(3):148-152.

- [2] 唐亚陆,胡光,张俊.空气比热容比之声速测量法[J].大学物理实验,2010,23(5):59-61.
- [3] 陈玉田,张颖,郑雄,等.癸酸甲酯、月桂酸甲酯和肉豆蔻酸甲酯的液相声速测量[J].化工学报,2017,68(11):4054-4060.
- [4] 陈佳琪,李文政,张亚萍,等.固体声速温变特性实验室探究[J].大学物理实验,2013,26(4):18-20.
- [5] 邢键,孙晶华.水中声速的测量[J].物理实验,2011,31(1):34-35.
- [6] 张兆奎,缪连元,张立.大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2011:232-236.
- [7] 白忠,李延标,林上金.大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2012:220-226.
- [8] 王植恒,何原,朱俊.大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2008:147-154.
- [9] 郑志远,王亚芳,高华.在物理实验中引入超声波系列实验的探索[J].实验技术与管理,2008,25(11):39-41.
- [10] 沈飞,刘雪芳.声速测量实验[J].物理实验,2012,32(10):17-19.
- [11] 孙航宾,黄笃之,张禹涛.声速测量实验假象的探讨[J].大学物理实验,2011,24(4):50-52.
- [12] 陈殿伟,盖啸尘,王严东.驻波法测定超声波声速实验的探究[J].大学物理实验,2006,19(3):36-39.
- [13] 刘兴俊,王昆林.超声波声速测定的三种实验方法比较研究[J].实验科学与技术,2011,9(2):184-187.
- [14] 朱道云,吴肖,庞玮,等.超声波声速测量实验的拓展[J].实验科学与技术,2015,13(1):15-16.
- [15] 高三星,孙磊,马聪,等.一维单轴式超声悬浮的实验研究[J].物理与工程,2013,23(2):57-59.

## The Expansion of Ultrasonic Sound Velocity Measurement Experiment

XUE Xiaotian, SONG Wentao, CUI Ganwei, YAO Huimin,  
ZHU Yunxia, GAO Jianpin, LUO Duanbin\*

(Department of Physics, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** We extend the traditional experiment of sound velocity measurement. We use the stable standing wave formed by the ultrasonic cavity to demonstrate the acoustic levitation phenomenon when the acoustic radiation force is in balance with the gravity of the object. Basing on the above experiment, the wavelength of the standing wave is measured by the dynamic acoustic levitation process of the bubble ball, and the percentage error between the calculated sound velocity and the reference value is 2.1%. The expansion of the above experiment content enables students to have a more intuitive understanding of the generation, distribution and mechanical effect of ultrasonic standing wave field, and also enables students to understand the technology of acoustic suspension on the basis of traditional experiments, which not only increases students' interest in experiments, but also expands students' knowledge and experimental skills.

**Key words:** ultrasonic; velocity; standing wave; acoustic levitation