

文章编号:1005-4642(2022)03-0028-04

可视声速变化演示实验

赵西梅,李向亭,潘 葳

(上海交通大学 物理与天文学院,上海 200240)

摘 要:使用改装的双排换能器声速测量仪,根据时差法原理,利用示波器上的光标键测时间,不但能定性观察到声速在颗粒物质中相对于在空气中变小的现象,而且通过同步移动接收端换能器,还能测量出颗粒物质中与空气中的声速大小,定量比较得出颗粒物质中的声速比空气中的小.

关键词:声速;时差法;颗粒物质

中图分类号:O422.1

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.03.005

颗粒物质是指粒径在 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上的离散体系,又称为颗粒介质^[1-2]. 不同于普通的固体物质,颗粒物质的间隙是宏观可见的,因此可以形成一定的堆积结构,而且会随着外界压强的变化而变化;其次,颗粒物质的间隙也能由不同物质填充(例如空气、水等),从而导致其声速的变化. 上海交通大学物理实验中心将颗粒物质这一前沿科学研究内容引入普通物理声速测量实验中,作为探究性实验内容的一部分. 但由于学生的物理知识储备不够,在面对复杂的颗粒物质声学理论知识和高深的颗粒物质相关研究模型时会出现迷茫或者不知所措. 针对该情况,在实验过程中发现,对于理解前沿的未知科学内容,最有效的方法是让学生先观察到实验现象,进行预测判断,然后测量相关实验数据来验证,这种探究式的学习方式符合低年级学生学习的认知规律. 因此,本文将传统的声速仪器改装成可视声速演示仪器,该仪器可将颗粒物质的声速与空气中声速进行比较,实现了既能定性观察颗粒物质中声速变化,也能定量测量颗粒物质中声速大小.

1 演示实验仪器与参量设置

实验室原来的声速测定仪(SV-DH-8)采用游标卡尺读数,利用双杆定位丝杆传动系统,是单排换能器,每次只能测量一种媒质中的声速. 为

了在相同条件下比较颗粒物质中与空气中的声速大小,改装了原有声速测定仪,将固定换能器的竖杆加长,安装了 2 排换能器,将下面一排换能器置于颗粒物质中,上面一排换能器置于空气中,实现输入相同信号在示波器上观察到 2 路输出信号,即实现了在同等条件下 2 种媒质中声速的比较. 改装后的演示实验仪器装置如图 1 所示,其中双排换能器由压电陶瓷换能器构成,采用纵向换能器的方式. 另外,仪器还配备任意波形发生器信号源和双通道数字示波器,以产生实验需要的信号,并同时接收 2 路信号的变化情况. 利用示波器的 EXIT 通道作为信号输入和信号触发.

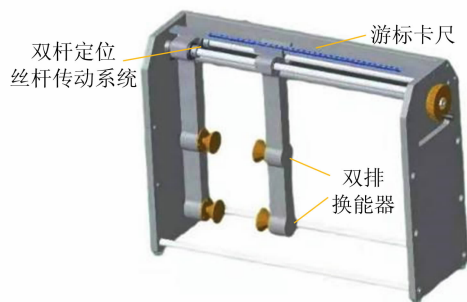


图 1 可视声速大小变化演示实验仪器

设置脉冲信号为方波脉冲,在信号源上使用 burst 按钮设置方波脉冲为脉冲串. 实验设置 6 个方波为 1 组脉冲串,方波频率为 37.7 kHz ,幅

“第 11 届全国高等学校物理实验教学研讨会”论文

收稿日期:2021-07-09;修改日期:2021-08-10

作者简介:赵西梅(1974—),女,山东临沂人,上海交通大学物理与天文学院实验师,硕士,主要从事物理实验教学. E-mail:ximei_zhao@sjtu.edu.cn

值为 $10V_{pp}$, 每组脉冲串周期为 60 ms , 如图 2 所示. 该设置条件下, 示波器接收到的信号最强, 更容易进行数据测量.

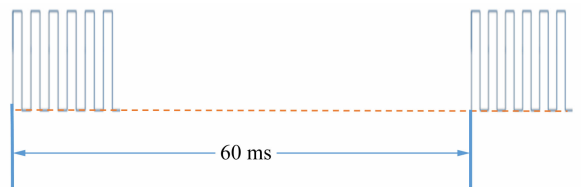


图 2 脉冲串示意图

2 演示实验原理

按图 3 所示的原理图连接实验仪器, 其中任意波形发生器可提供各种脉冲信号. 根据时差法

原理^[3-4], 如果连续波经脉冲调制后由发射换能器发射至被测介质中, 经过距离 L 传播后, 该脉冲信号被接收换能器接收, 可以在示波器上获得该脉冲信号从发射换能器传播到接收换能器接所需的时间 t , 而 2 个换能器之间的距离 L 则可以通过游标卡尺读出. 声波在介质中传播的速度 v 可表示为

$$v = \frac{L}{t}. \quad (1)$$

从式(1)可知, 如果将双排声速仪的 2 组换能器都置于同一介质中, 调节示波器的扫描速度, 使得接收到的波形较清楚地展示在示波器上, 理论上在示波器上显示的 2 组波形应基本重合, 即脉冲信号达到接收换能器的时间 t 应相同.

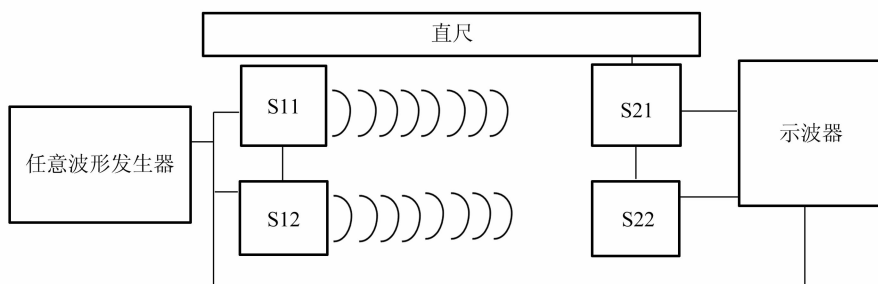


图 3 实验原理图

2.1 定性观察预判声速变化趋势

调节示波器上的光标键, 其中 1 个光标键作为时间原点, 放在示波器最左边, 另 1 个光标键定位波峰, 在其中 1 组换能器之间放入装有颗粒物质的测试袋(颗粒直径约 1 mm), 此时可以看到放置颗粒物质的换能器接收到的波峰相对于光标键发生了移动, 即此时 2 组波形发生了错位. 因为 2 组波形的颜色不同, 很容易观察和识别出哪种颜色的波形发生了位移. 两换能器之间的距离 L 不变, 而相对光标键的波包发生了移动, 即示波器上水平方向显示的时间发生了变化, 因此可以判断放入颗粒物质后声速发生了变化. 根据光标键左移或者右移, 可以判断声速变大或者变小. 拿开测试袋或者盒子, 波形又回到原处, 波峰与光标键重合.

2.2 定量测量比较声速

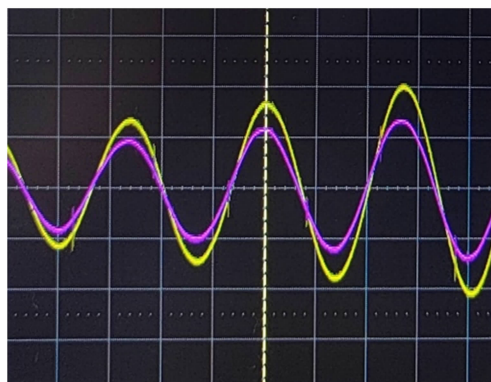
判断放入测试颗粒物质后声速的变化趋势后, 将其中一组换能器放入待测介质中, 另一组换能器置于原介质中, 同步移动 2 组换能器. 换能

器同步运动, 直尺上移动相同距离, 利用示波器上光标键分别定位, 读出移动的时间差值 Δt , 由 Δt 判断出声速大小. 为了得到更精确的声速值, 可多次移动换能器, 测量 $8\sim 10$ 个数据, 再由 Origin 进行线性拟合.

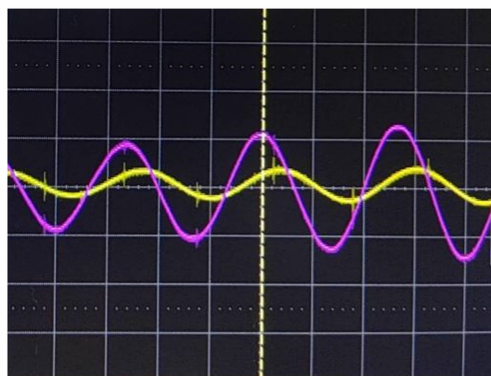
3 实验现象与结果

3.1 演示实验观察现象和预判

实验比较颗粒物质中与空气中的声速大小. 按照实验原理图接好仪器, 根据实验参量要求设置好信号, 调整合适的波形展示在示波器上, 如图 4(a)所示, 用黄颜色光标键定标某个波峰. 保证其他参量不变, 在空气加入待测颗粒(玻璃珠), 观察到示波器上黄颜色波形被定位的波峰相对光标键位置发生了右移, 即两换能器距离不变的情况下, 接收端接收到的被定位的波峰时间变长了, 而且波峰的幅值发生了衰减, 如图 4(b)所示. 所以预测玻璃珠与空气组成的复合介质中的声速比均匀媒质空气中的小.



(a)放玻璃珠前



(b)放玻璃珠后

图 4 定标的黄颜色波峰变化图

3.2 定量测量实验

根据演示实验原理,按步长 5.00 mm 移动换能器,分别计算出在空气中和颗粒物质中移动时间差值 Δt 。颗粒为小玻璃球(直径约 1 mm),温度为 27.7 °C,湿度为 72%,实验数据如表 1 所示。从表 1 可以看出:每移动 5.00 mm 的距离,颗粒物质中的时间差值都大于空气中的时间差值,可以得出声速在颗粒物质中比在空气中小的结论,与演示实验中观察的现象一致。

根据表 1 中数据,得到空气与颗粒物中的 t 与 L 的线性拟合直线,如图 5 所示。从图 5 中可以看到颗粒物质的斜率大于空气中的斜率,将式(1)进行拟合,得到颗粒物质中的声速为 284.1 m/s,空气中的声速为 350.1 m/s,因此颗粒物质中的声速小于空气中的声速,与文献[5]的结论一致。

表 1 空气、颗粒物质中的测量数据

L/mm	$t/\mu\text{s}$		$\Delta t/\mu\text{s}$	
	颗粒物质	空气	颗粒物质	空气
100.00	150.4	142.4	—	—
105.00	167.6	156.4	17.2	14.0
110.00	184.8	170.2	17.2	13.8
115.00	203.2	184.4	18.4	14.2
120.00	220.4	198.8	17.2	14.4
125.00	237.6	213.2	17.2	14.4
130.00	256.0	227.6	18.4	14.4
135.00	273.4	242.4	17.4	14.8

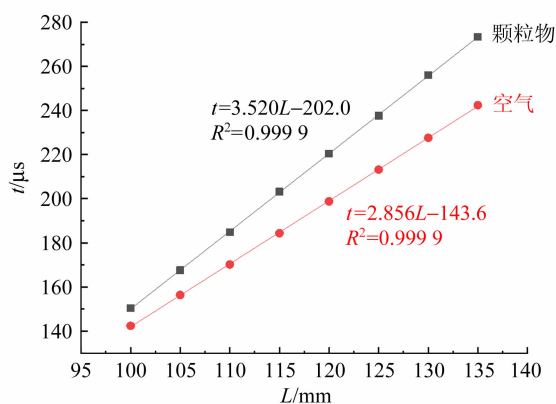


图 5 颗粒物质、空气中时间与距离的关系

4 分析与讨论

1)颗粒物质中声速小的原因是声波在颗粒物质中沿着力链传播^[5],即声波在颗粒物质中传播的有效路径 L 变长,因此在相同的直线距离内,示波器上显示出声波在颗粒物质中传播的时间 t 变长。

2)文献[6]指出若相同材质的颗粒物质的直径不同,随着颗粒直径的增加颗粒物质中声速逐渐增大。原因是颗粒越小,接触点越多,声音传播变慢;颗粒越大,接触点越少,声波传播变快,但是颗粒与颗粒之间有空气,所以颗粒中的声速不超过均匀媒质空气的声速。

3)建议做实验演示时尽量选用小颗粒物质。本实验采用颗粒直径约为 1 mm 的小玻璃球,演示效果较好。这是因为与空气中的超声波波长(约 9 mm)相比,小玻璃球(直径约 1 mm)的尺寸小很多,衍射效应明显,换能器接收到的波包图像比较明显,易于观察波形和测量数据。

4)实验中,由于颗粒物质是非均匀介质,在移动接收换能器时,尽量缓慢并稳定地移动,以保证测量数据的稳定性,并且定标用来观测的波峰在测量数据的过程中不变形、不消失。

5)实验中,在改变2个换能器距离时,应该采用两换能器相互远离的方式。主要原因是,如果采用2个换能器相互靠近的方式,换能器与颗粒物质的相互挤压,会使波包发生变形,从而影响测量效果^[7]。

5 结束语

在可视声速变化演示实验中,可以看到在颗粒物质中,除了声速变小以外,声波振幅衰减较多,而且会随着传播距离的增加而快速减小,此现象可以用来解释隔音设施通常采用在空隙中填充颗粒物质来实现;也可以解释在火车轨道下铺垫很碎的石块以有效减缓轨道的剧烈震动。该实验装置也可以用来预判或准确测量颗粒物质与水组成的复合介质中的声速^[8]。另外,演示仪器中的

双排换能器声速仪可以替代原来实验室单排换能器声速仪来完成声速测量实验。

参考文献:

- [1] de Gennes P G. Superconductivity of metals and alloys [M]. New York: Benjamin, 1966:83-85.
- [2] 陆坤权. 颗粒物质(上)[J]. 物理, 2004, 33(9):629-635.
- [3] 杨述武,赵立竹,沈国土. 普通物理实验[M]. 4版. 北京:高等教育出版社, 2007:132-138.
- [4] 童建平,隋成华,魏高尧,等. 时差法声速测量仪的研制[J]. 传感技术, 2004, 23(1):28-29.
- [5] 李向亭,朱连根,黄学东. 声音在物质颗粒中的传播特性[J]. 物理实验, 2012, 32(11):36-37.
- [6] 赵西梅,李向亭,周红,等. 超声波声速测量的拓展实验[J]. 物理实验, 2014, 24(12):33-35.
- [7] 郑文. 颗粒物质体系复杂动力学行为研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2013.
- [8] 赵西梅,王锦辉,沈学浩,等. 声速测量拓展实验的教学研究[J]. 大学物理实验, 2020, 33(3):44-47.

Demonstration experiment of visual sound velocity change

ZHAO Xi-mei, LI Xiang-ting, PAN Wei

(School of Physics and Astronomy, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The modified double-row transducer sound velocity measuring instrument could use the cursor keys on the oscilloscope to measure the time based on the principle of the time difference method. The phenomenon that the velocity of sound in the particulate matter becomes smaller than that in the air could be qualitatively observed by this device, and the velocity of sound in the particulate matter and in the air could be measured by synchronous moving receiver transducer. The sound velocity in the particulate matter less than that in the air was obtained by quantitative comparison.

Key words: sound velocity; time difference method; particulate matter

[责任编辑:郭 伟]