

基于气泵的声管实验及分析

史 博

(陆军炮兵防空兵学院物理教研室 安徽 合肥 230031)

孟 昊

(陆军炮兵防空兵学院学员9队 安徽 合肥 230031)

温佳起 张 辉 祁俊力 陈 骁

(陆军炮兵防空兵学院物理教研室 安徽 合肥 230031)

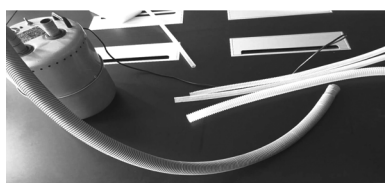
(收稿日期:2021-12-04)

摘 要:为研究声管的发声频率,进行了实验设计和分析.声管转动发声是由于空气在声管中的流动,考虑实际的实验条件,设计了气泵吹气代替声管转动的实验方式,改变吹气速率并测量发声频率.通过对实验结果的分析发现,此时的声管不符合两端开口即两端为波腹的条件,而是一端波节、一端波腹.声管的发声频率取决于其长度,符合驻波特性,发声时吹气速率与波纹长度须满足共振条件.研究结果有助于对驻波的理解和相关内容的实验设计.

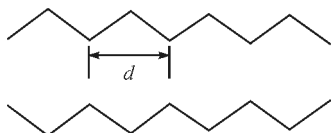
关键词:声管 气泵 发声频率 驻波

1 前言

本文中所涉及的声管,即图1(a)中所示的塑料波纹软管,可有不同的粗细、长度和波纹长度,波纹长度即图1(b)声管模型中所示长度 d .



(a) 微声气泵和声管



(b) 声管模型

图1 声管实验器材

以不同的转速转动声管时,会产生不同频率的声音.声管在转动的过程中,根据伯努利方程,其两

端会产生压强差,引起空气在声管中的流动形成驻波,这就是声管发声的原因.

物理学中的驻波部分内容,一般会介绍两端固定弦和一端固定一端自由的弦的驻波条件,通过弦线上的驻波进行演示,但几乎没有此类声管实验的相关设计.本文设计了可定量研究的声管实验,结合理论分析,研究了声管的发声特性.研究结果有助于对驻波的理解和相关内容的实验设计,同时从听觉角度产生冲击,也可作为教学演示.

2 理论基础

驻波是振幅、频率、振动方向、传播速度均相同的两列相干波,在同一直线上沿相反方向传播时叠加而形成的一种特殊的干涉现象.

设有两列简谐波,分别沿 x 轴正方向和负方向传播,其表达式为

$$y_1 = A \cos 2\pi \left(vt - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (1)$$

$$y_2 = A \cos 2\pi \left(\nu t + \frac{x}{\lambda} \right) \quad (2)$$

其中, A 表示波的振幅, ν 和 λ 分别表示波的频率和波长.

形成的驻波方程为

$$y = 2A \cos \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \cos(2\pi \nu t) \quad (3)$$

经分析可得相邻波节或相邻波腹的间距为^[1,2]

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2}$$

对于两端固定的弦, 要形成驻波, 弦的两端必须为波节, 弦长 l 必须为波长的整数倍, 即

$$l = n \frac{\lambda}{2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

设波速为 V , 则对应的驻波频率为

$$\nu = n \frac{V}{2l} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

对于两端开放的管, 其长度同样满足以上结果.

对于一端固定一端自由的弦, 要形成驻波, 则弦长

$$l = \left(n - \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

对应的驻波频率为^[3]

$$\nu = \left(n - \frac{1}{2} \right) \frac{V}{2l} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (7)$$

3 实验方法

实验室中, 手动旋转声管的方式难以控制转速, 一般很少有连接声管使其转速发生连续变化的设备, 因而不容易定量研究声管发声频率的规律.

通过吹气方式同样可以引起空气在声管中的流动, 且可调节吹气速率获得不同的谐频, 因此选择了图 1 中所示的小型微声气泵, 以及不同长度和不同波纹长度的声管进行了实验. 本文采用的声管内径为 11 mm, 长度有 40 cm 和 60 cm 两种, 波纹长度有 4 mm 和 5 mm 两种.

实验时, 将声管安装于气泵的吹起口, 调节吹气速率, 当听到声管发出声音时, 记录下相应的频率, 改变吹气速率, 进行多次记录. 更换声管后, 重复以

上操作. 发声的频率可应用手机通过 Phyphox 软件进行测量.

4 实验结果及分析

首先研究了波纹长度为 5 mm, 内径为 11 mm, 长度分别为 60 cm 和 40 cm 声管的发声频率. 调节吹气速率, 分别得到了 6 个谐频, 如表 1 所示.

表 1 长度为 60 cm 和 40 cm 声管的发声频率

l/cm	ν_1/Hz	ν_2/Hz	ν_3/Hz	ν_4/Hz	ν_5/Hz	ν_6/Hz
60	1 304	1 563	1 828	2 121	2 389	2 687
40	1 940	2 358	2 742	3 185	3 643	4 039

将测量得到的频率和声管的长度代入两端开放管对应的频率式(5), 取声速为 340 m/s, 得到的 n 并不是整数, 而是半数. 分析发现, 由于采用的是吹气方式, 此时的声管不能看做两端开放, 而是一端固定、一端开放. 将频率代入一端固定一端自由的弦或管对应的频率式(7), 计算得到的 n 非常接近整数, 如表 2 所示.

表 2 长度为 60 cm 和 40 cm 声管频率对应的 n 值

长度/cm	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6
60	5.102	6.016	6.952	7.986	8.932	9.984
40	5.065	6.048	6.952	7.994	9.072	10.004

图 2 为发声频率与 n 的线性对应图. 根据式(7), 相同的 n 值对应的 40 cm 声管的频率是 60 cm 声管频率的 1.5 倍. 图 2 拟合的 40 cm 声管图线斜率为 424.98, 60 cm 声管图线斜率为 283.28, 其比值非常接近 1.5, 很好地符合频率公式.

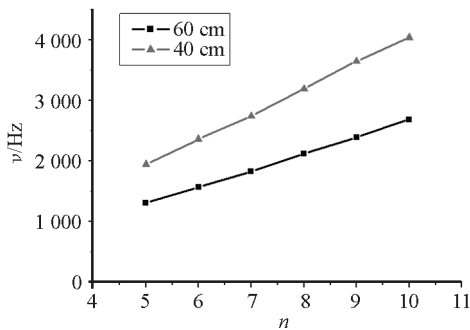


图 2 频率与 n 的线性对应图

接下来研究了长度为 60 cm, 内径为 11 mm, 波纹长度分别为 4 mm 和 5 mm 声管的发声频率. 图 3

给出了测量得到的这两种波纹长度声管的谐频. 从实验结果可以看到, 2条线的斜率基本是相同的, 即波纹长度并不影响声管的发声频率.

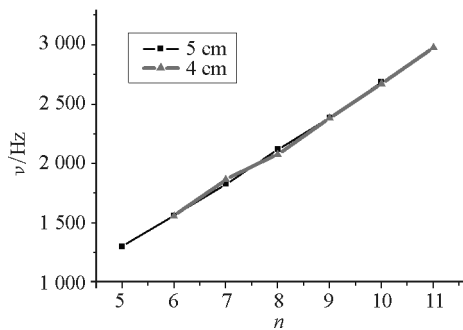


图3 相同长度不同波纹长度声管的谐频

但实验中还发现, 对于长度相同、波纹长度不同的声管, 要获得同一频率, 所需的吹气速率是不同的. 这说明吹气速率与波纹长度间必须满足共振关系, 即

$$v = \frac{d}{T} = d\nu$$

其中, v 为吹气速率, d 为波纹长度, T 和 ν 分别为波

的周期和频率.

5 结论

本文中设计的实验, 用吹气的方式代替了声管的转动, 便于定量研究、理解驻波特性和规律. 通过研究, 得到了以下结论:

(1) 此时的声管满足一端波节、一端波腹的频率条件, 即吹气一端为波节, 另一端为波腹.

(2) 声管的发声频率取决于其长度, 符合驻波特性.

(3) 波纹长度不影响声管的发声频率, 但吹气速率与波纹长度须满足共振条件.

参考文献

- 1 张三慧. 大学基础物理学(下册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. 570 ~ 573
- 2 吴王杰. 大学物理学(下册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019. 52 ~ 56
- 3 郑永令, 贾起民. 力学(下册)[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2000. 276 ~ 281

Experiment and Analysis on Acoustic Tube Based on Air Pump

Shi Bo

(Department of Physics, PLA Arm Academy of Artillery and Air Defense, Hefei, Anhui 230031)

Meng Hao

(Student Team 9, PLA Arm Academy of Artillery and Air Defense, Hefei, Anhui 230031)

Wen Jiaqi Zhang Hui Qi Junli Chen Xiao

(Department of Physics, PLA Arm Academy of Artillery and Air Defense, Anhui, Hefei 230031)

Abstract: In order to study the sound frequency of the acoustic tube, the experimental design and analysis were carried out. The rotating acoustic tube produces sound is due to the flow of air. Considering the actual experimental conditions, the method of air pump blowing instead of acoustic tube rotation was designed, and the sound frequencies were measured. The results show that the acoustic tube at this time did not meet the condition of opening at both ends, that is, the two ends are antinodes, but one node and one antinode. The harmonic frequency of the acoustic tube depended on its length, meeting the standing wave condition. The blowing rate and the corrugated length must meet the resonance conditions. The results of this paper are helpful to the understanding of standing wave and the teaching design of related contents.

Key words: Acoustic tube; air pump; sound frequency; standing wave