

# 关于水瓶接水发声现象的探究

课题组成员：周文涛、陈宫煜、刘伟、

许子轩、王嘉宇、陈昊楠

## 一、背景及探究对象

生活中我们使用水瓶接水时会注意到，随着我们不断地接水，瓶中发出的声音在不断地变化。下面，我们通过实验对发声现象的原理进行分析，并对其中影响声音变化的因素做出合理解释，同时定性给出这些因素与变化之间的关系。

## 二、课题研究准备

1、提供稳定水流的水龙头

2、无收口塑料材质的圆柱形水杯（半径约 5cm、高约 16cm）（简称杯 1）、无收口玻璃材质的圆柱形水杯（半径约 5.5cm、高约 12cm）（简称杯 2）、有收口玻璃材质的圆柱形水杯（收口处半径约 3cm、高约 5cm；非收口处半径约 5cm，高 15cm）（简称杯 3）、暖水瓶

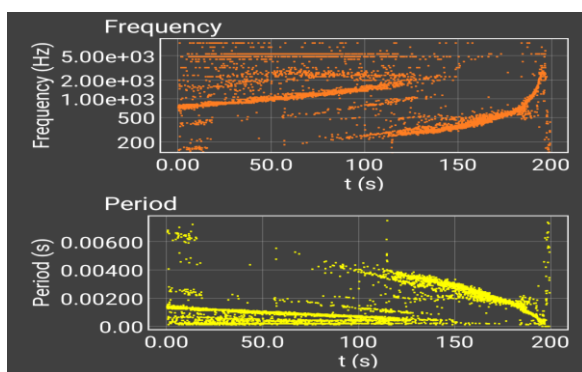


（从左至右依次为杯 1、杯 2、杯 3）

3、频率测量软件：phyphox——可以将收集到的不同频率的声音中响度（与声音的振幅、能量相关）相对较大的成分作散点图

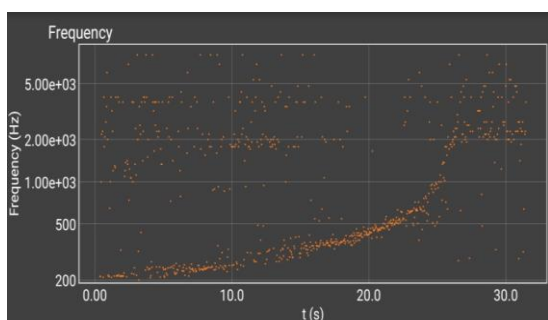
## 三、实验过程及结果分析

首先我们使用暖水瓶接水，用测量软件接收声音后得到如下实验结果：

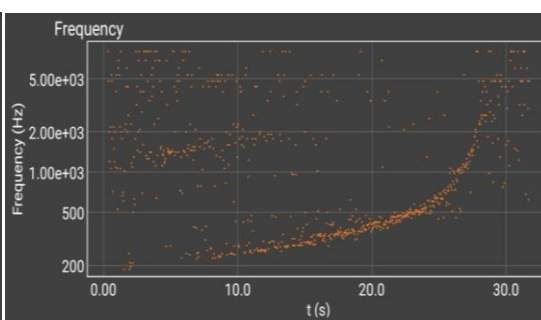


由于图中散点近似构成的曲线较多、且可能存在杂音干扰，故我们使用引流装置（即排除水流影响）进行测试，发现初始时刻频率 5kHz 左右的部分为杂音（经测试其来源为水龙头），因此在后续实验中我们将不对这部分声音进行研究。

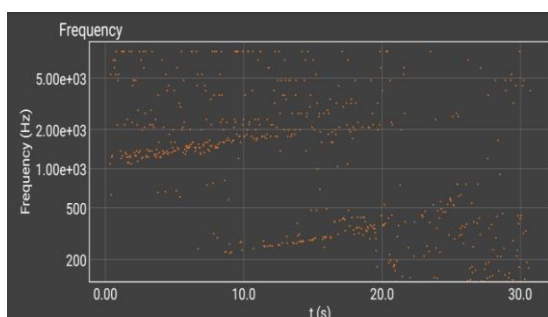
因杯 3 结构与暖水瓶相似，且可能存在的干扰较少（如无中间空气夹层）。故我们使用杯 3，通过控制水龙头与杯中液面的距离（约 30cm、15cm、5cm）来控制水流到达液面时的速度，同时改变水的流量，测得如下实验结果：



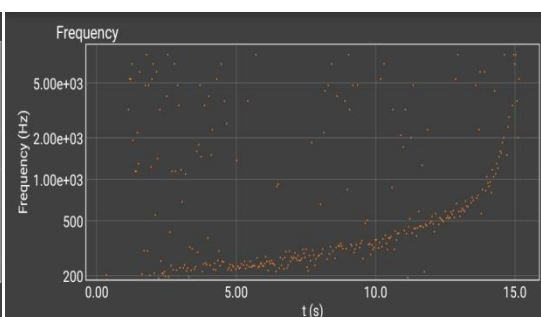
（杯 3 细水流，相对距离约 30cm）



（杯 3 细水流，相对距离约 15cm）



（杯 3 细水流，相对距离约 5cm）



（杯 3 中水流，相对距离约 5cm）

从实验结果可以看出，大致存在两条声音频率变化曲线（后文中对出现两条曲线的实验数据以“高频”与“低频”加以区分）经讨论，我们由实验结果得出如下现象：

1. 随着水流到达液面时的速度升高，低频段与高频段的响度之比不断变大
2. 随着液面不断升高，低频段与高频段的响度之比不断变大
3. 随着液面不断升高，两段的频率均变大，高频为线性变化，低频为曲线变化

通过对上述实验数据的分析，我们对该现象做出如下解释：

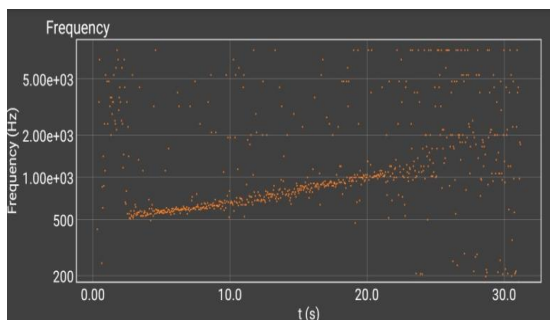
1. 水瓶接水时产生两种声音，一种由水面振动产生，一种由空气柱振动形

成的驻波产生（需瓶口处较瓶身有收束趋势），且水面振动频率较高。

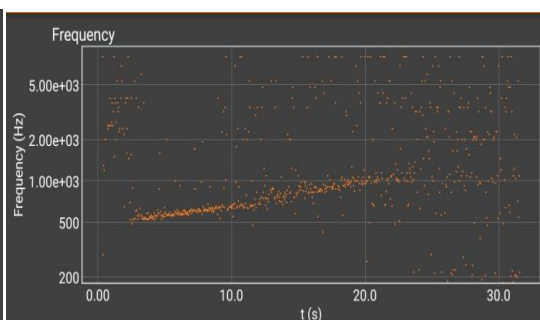
2. 两部分声源能量均由水柱击打水面提供，且初始时水面分配大于空气柱振动，随着实验进行，水面升高，水柱体积增大，击打的相对影响变小，而空气柱变短，相对振幅变大，图像中因而会出现两条图线的变换。

3. 水流较粗时形成较稳定的水柱，湍流减少，使得水柱击打水面提供的能量降低

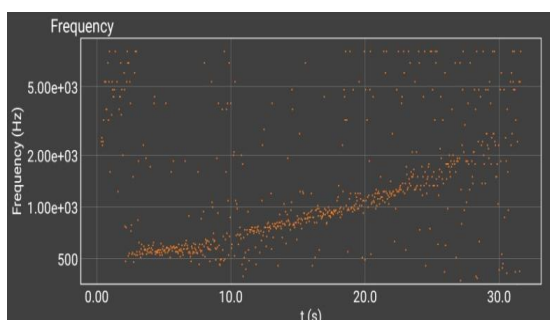
为验证上述解释的合理性，我们通过控制水的流量不变（细水流）、改变水流到达液面时的速度，分别使用杯1、杯2进行注水，以及对杯3进行吹气得到如下实验结果：



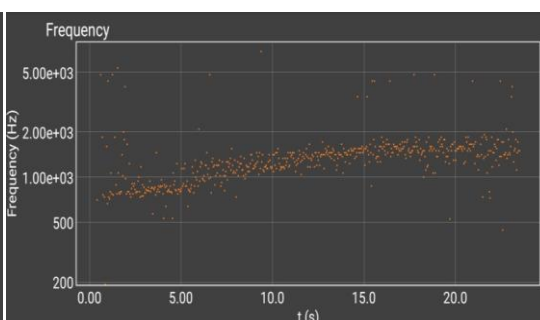
（杯 1，相对距离约 30cm）



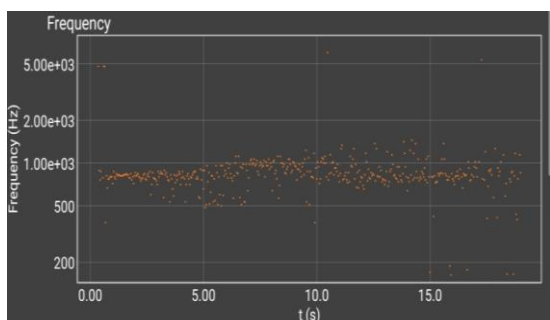
（杯 1，相对距离约 15cm）



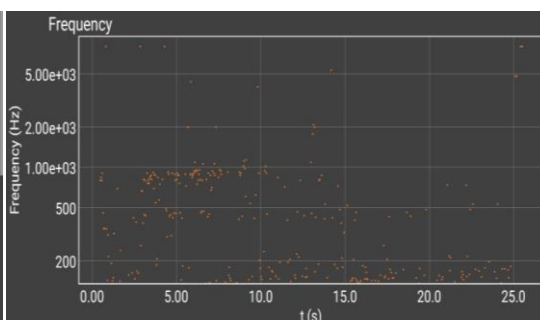
（杯 1，相对距离约 5cm）



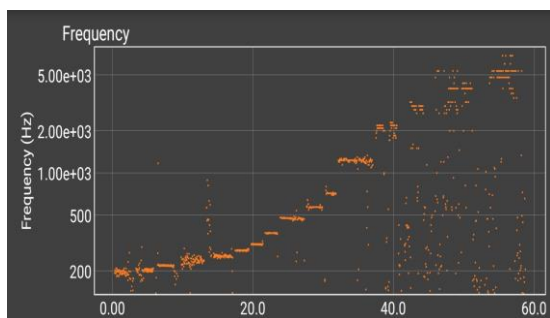
（杯 2，相对距离约 30cm）



（杯 2，相对距离约 15cm）



（杯 2，相对距离约 5cm）



（杯 3 调节水面高度 用嘴在瓶口吹气）

杯1与杯2的频率散点图中,都只有一条图线,起始频率分别为500Hz和800Hz,可以合理地推断,这条线对应的声源应为杯1实验图中的高频线,因为这条线的起始频率比较接近杯1高频线起始频率(这在杯2尤为明显),(杯1,杯2的起始频率的下降可以归因于杯1,杯2与杯3在形状和材质上的差异导致的)。同时,杯1,杯2都无收口形状,空气柱振动形成驻波的能量远小于水面振动发声的能量,由phyphox收音原理可知显示的图像应为水面振动发声的图线,由此可以判断,水面振动发声对应的就是高频的图线。

对杯3吹气的实验结果也验证了这一解释,通过调节水面高度对杯3吹气,此时只有空气柱振动而无水面振动,我们得到了一条与低频图线吻合度很高的图像,同时未得到高频图线,因此,空气柱振动形成驻波的发声对应就是低频的图像。

上述实验证明了解释1中对两条频率图线的声源的分析是合理的。而确定了声源,解释2也是较合理的定性分析。同时结合所有数据,我们定性给出频率与空气柱长度之间的关系:

由水、空气柱振动产生的声音,频率 $f$ 与空气柱长度 $l$ 近似存在关系 $f=f_0(1+a_1e^{-k_1l})$ ( $f_0$ 、 $a_1$ 、 $k_1$ 为与声源有关的参数,水与空气的参数不同)且应有 $k_1l \ll 1$

#### 四、实验总结及反思

就水瓶接水过程中产生的声音,我们进行了如下的解释:

1. 水瓶接水时产生两种声音,一种由水面振动产生,一种由空气柱振动形成的驻波产生(需瓶口处较瓶身有收束趋势,如没有则无法形成),且水面振动频率较高

2. 两部分声源能量均由水柱击打水面提供,且初始时水面分配大于空气柱振动,随着实验进行,水面升高,水柱体积增大,击打的相对影响变小,而空气柱变短,相对振幅变大,图像中因而会出现两条图线的变换。

3. 水流较粗时形成较稳定的水柱,湍流减少,使得水柱击打水面提供的能量降低

4. 不同材质的瓶身对能量的吸收效果不同,导致高频段初始的频率不同(其中塑料杯的吸收效果更好)

5. 振动频率 $f$ 与空气柱长度 $l$ 近似存在关系 $f=f_0(1+a_1e^{-k_1l})$ ( $k_1l \ll 1$ )而对于实验结果的解释,我们有如下思考:

1. 认为水流到达液面时的速度对初始两种声音能量的影响可能是由于空气柱的振动是某种受迫振动,初始能量越大,传递给空气柱使空气柱振动产生驻波的能量越大,故而导致上述实验结果。但该解释的合理性存疑。

2. 频率显然与横截面积(截面半径)的大小存在关系,但并不在本次研究的讨论范围内

3. 受知识水平限制,无法对随着空气柱长度变短,两种声音的频率均增大的本质进行解释

4. 虽不同材质初始的频率不同,但最终的频率近似相同,其中隐含的信息尚不明确