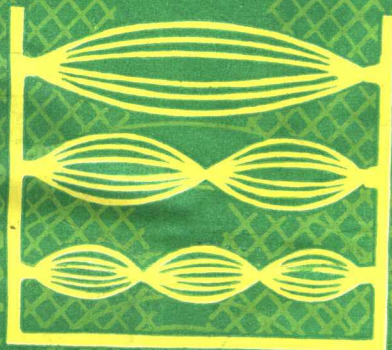


自然常识教学参考丛书



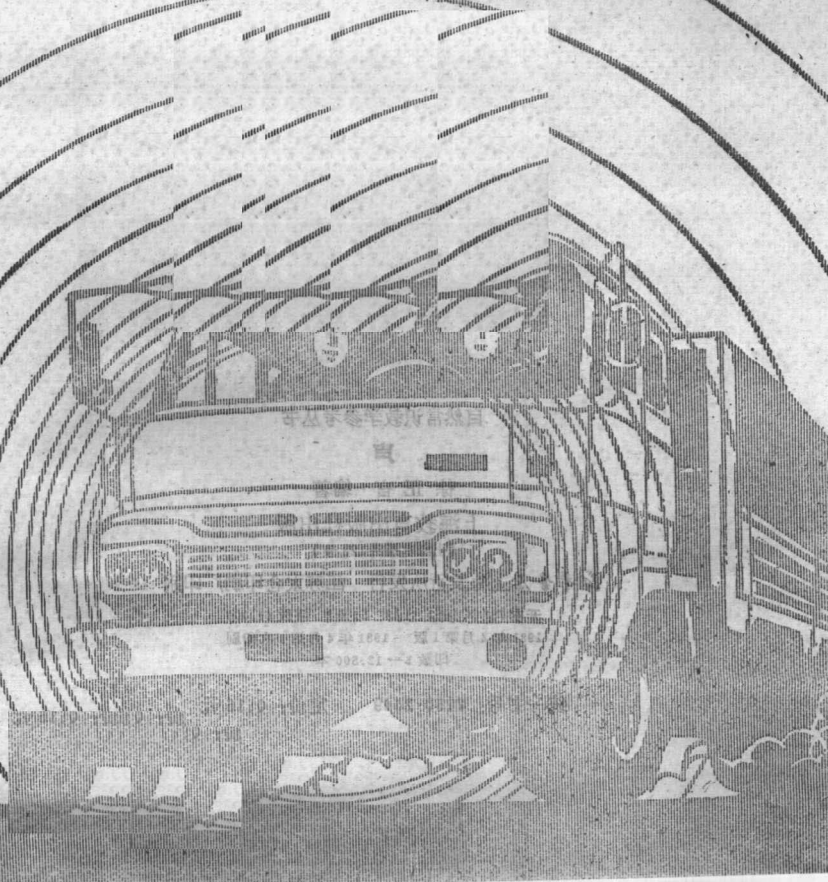
声



上海教育出版社

声

徐正言 编著



自然常识教学参考丛书

声

徐正官 编著

上海教育出版社出版

(上海永嘉路123号)

新华书店上海发行所发行 江苏太仓印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2 字数 41,000

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数 1—12,500本

统一书号: 7150·2449 定价: 0.16元

目 录

一 声的发生	1
(一) 声音是物体振动产生的	1
(二) 机械振动的一般特性	4
(三) 受迫振动和共振	6
(四) 声源分析	9
二 声波和声的传播	15
(一) 声在媒质中的传播	15
(二) 声波的基本性质	20
(三) 波的反射、折射和衍射	26
(四) 多普勒效应	34
三 声音的接收和记录	36
(一) 听觉和人耳的构造	36
(二) 噪声的危害和消声	39
(三) 接收和记录声音的方法	41
四 超声波	47
(一) 对超声波的初步认识	47
(二) 超声波的发生和接收	50
(三) 超声波的应用	52
五 次声波	56
(一) 次声波的特性	56
(二) 次声技术及应用	57

一 声 的 发 生

(一) 声音是物体振动产生的

声音是人们生活中的亲密伴侣。你听，在风声呜呜的草原上传来骏马奔驰的蹄声，在哗哗的河流边，抽水机达达作响，在沙沙作响的密林里鸟儿歌唱祖国的早晨，牧笛声处牛羊欢叫。可是，你知道不知道我们还能利用声音来为人类服务：海军用声音探测敌人潜艇的位置，地质战线的尖兵用声音探知地下蕴藏多少石油，科学工作者用声音确定物质的微粒结构，医务工作者用声音了解人体内有无病变，等等。

为了对声音有一定的认识，让我们从最简单的发声现象



图 1

谈起吧。拨动一根两端张紧的弦，能听到“do”的一声。用锣敲击铜锣，就会听到“铛”的一声。能发出声音的物体叫做声源，例如上述两例中的弦和锣。

观察这种发声现象，可以揭示“声”发生的原因。用手指拨动张紧的弦的中点，发现弦在发声时剧烈振动，弦的中间部分线条模糊，似乎胖了起来(图1)。直到发声終了，弦才恢复原来的状态。用锣锤击锣面发声后，再把通草球或小纸团放在

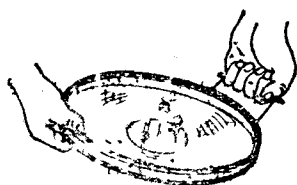


图 2

锣面上，小球就在锣面上跳跃(图2)，说明锣面在振动。用手按住锣面，锣面停止振动，锣声随之消失，小球也停止跳跃。

因此，声是由振动物体产生的，也就是说，声源一定是振动着的物体。

固体、气体、液体都可能发生振动，所以声源可以是固体、气体或液体。

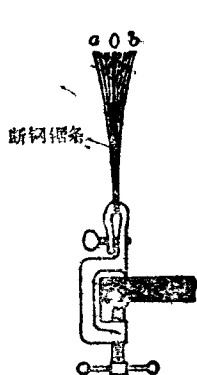


图 3

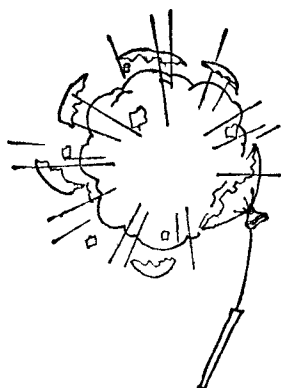


图 4

把10厘米长的断钢锯条一端固定在台虎钳上,拨动锯条,它就来回振动,发出声音(图3)。

气球吹得太大时会破裂,发出“叭”的一声。这是因为被压缩的空气一下子膨胀,气体分子很快地飞出去,开始破裂的地方形成低气压区,周围的空气回过来填补这块低气压区,于是开始破裂的地方重新形成高压区,如此反复造成了空气的振动。空气的这种振动使破裂的气球发出“叭”的一声(图4)。

下面实验可以帮助理解空气压缩与膨胀交替的振动形式。

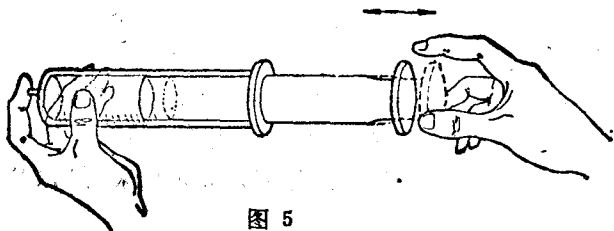


图 5

用手指堵住注射器针头的一端,并在注射器内留一部分空气,然后向外拉推筒,接着立即放开推筒,可以看到推筒会前后振动一下(图5)。推筒的运动就是由于空气柱压缩、膨胀交替而引起的。(注意,做实验时注射器内所留的空气不要太少,推筒也不可拉出太多,不然会使注射器炸裂。)

用树枝拍打一下水面,可以清楚地听到拍击所产生的声音,并看到由拍击而引起的水波。这些水波的形成证明了水在振动。

我们用脚跺一下水泥地面,会产生沉浊的声音,为什么我们感觉不到地面的振动呢?这是因为人感觉不到幅度较小的振动,例如

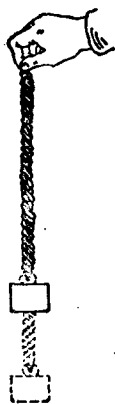


图 6

人们感觉不出轻微的地震,事实上地面确实是在振动的,利用仪器就可以测出这种振动。

手提着弹簧的一端,另一端挂一只砝码,把砝码往下拉一下,砝码就上下振动(图6)。这个砝码也是声源,只是人们听不见它所发出的声音。这个问题将在后面再作介绍。

(二) 机械振动的一般特性

为了对机械振动有一个感性认识,先研究一下弹簧振子的实验。

在水平的铁丝上串一根弹簧,弹簧的一端固定,另一端系一个小球,小球也串在铁丝上,并可在铁丝上灵活移动[图7(1)]。捏住小球,拉长弹簧,然后放开小球[图7(2)]。弹簧

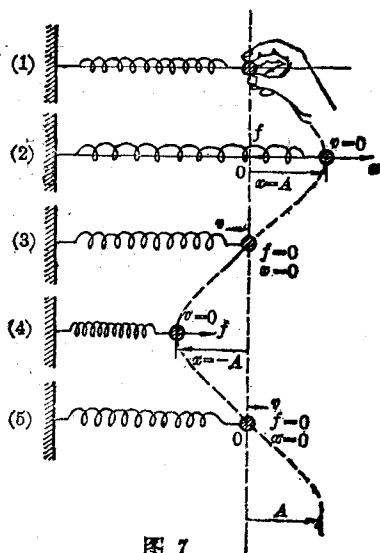


图 7

的作用力使小球向平衡位置运动,速度越来越大,弹簧的拉力越来越小。当达到平衡位置时[图7(3)],小球的速度最大,弹簧对小球没有作用力。小球因为有惯性而继续运动,压缩弹簧,速度逐渐减小到零[图7(4)]。被压缩的弹簧又推小球向平衡位置运动[图7(5)],小球又因惯性回到了原来出发的位置。于是小球在铁丝上作周期性的往复运动。小球在铁丝上离平衡位置最大的距离叫做振幅,往复一周的时间叫做周期,每秒钟振动的周数叫做频率,单位是赫兹(Hz)。这个实验证明,小球振动的频率与振幅的大小无关。

声音的音调由声源的振动频率决定。所以改变锤击锣面的力大小,锣发声的音调不变。

在乐理中 C 调的 1(do) 的频率是 256Hz, 2(re) 的频率是 288Hz, 依次频率分别是 320Hz、 $341\frac{1}{3}$ Hz、384Hz、 $426\frac{2}{3}$ Hz、480Hz。高八度的 C 调 $\dot{1}(\dot{d}\acute{o})$ 的频率比 C 调 1(do) 的频率增加 1 倍是 512Hz, $\dot{2}(\dot{r}\acute{e})$ 频率是 576Hz, 等等。低八度的 C 调 $\underset{.}{1}$ 频率是原来的一半, 即 128Hz, $\underset{.}{2}$ 是 144Hz。

弹簧振子在不受外力作用时的振动频率,叫做固有频率。振动物体的固有频率由系统本身的形状、质地等决定。例如,改变弹簧振子的小球质量或调换强度不同的弹簧,可以改变振子的固有频率。长度或拉紧程度不同的弦,能发出不同的音调。直径大小或厚薄不同的锣,能发出不同的音调。

振动物体受到阻力等的作用,振幅逐渐减小,这种现象叫阻尼振动(图8)。弦和锣在发声时作阻尼振动,声音

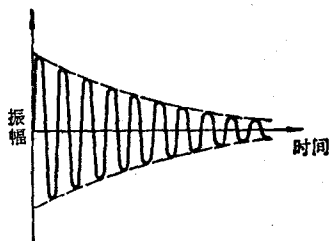


图 8

逐渐减小。造成阻尼振动的原因主要是空气阻力。一般声源是放在气体或液体中的，总要受到气体或液体的阻力，如果不从外界补充能量，声源的振动必然是阻尼振动*。

在阻尼振动中，振动的频率基本不变。严格说来，作阻尼振动时，除振幅逐渐减小外，频率也略有降低，只是人们感觉不到这种变化。所以说，声源发出的音调并不因作阻尼振动而改变。

振动所具有的机械能 W 是

$$W = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2$$

式中 W 的单位是焦耳； m 表示振动着的质点的质量，单位是千克； A 表示振幅，单位是米； ω 表示圆频率，即在 2π 秒内振动的次数，单位是赫兹。

这个式子告诉我们振动的能量与振幅平方成正比，与频率平方成正比。所以声源发出的音调越高，音响越大，它的能量也越大。

(三) 受迫振动和共振

用手捏住图 7 的小球，在小球平衡位置作往复移动，小球就跟随手在平衡位置往复运动。这时小球的振动频率、振幅等都由手的运动状态决定，也就是由外力决定。在周期性外力（称策动力）的作用下发生的振动叫做受迫振动。

受迫振动的现象很普遍。以二胡为例，琴弦的振动迫使琴马随着振动，琴马又迫使琴皮振动，琴皮又迫使琴筒里的空气

* 声源克服阻力所作的功中有一部分形成了声波，即通常所说的声音。

柱振动。当二胡的琴弦振动时，琴马、琴皮、空气柱都在作受迫振动(图9)，这些振动的策动力来源于弦的振动。收音机的扬声器(图10)是靠纸盆振动来发声的。通过音圈的电流引起的磁力是纸盆作受迫振动的策动力。

所以，受迫振动的策动力可以由其它物体的振动获得，也可以由别种周期性的力获得。

从上节知道，振动系统都有自己的固有频率。当策动力的频率与系统的固有频率一致时，作受迫振动的系统能从策动力取得最大的能量，在同样幅度的策动力作用下，该系统可以获得最大的振幅，这种现象叫做共振，它可以用下面的实验来证明。在一根拉紧的线上挂A、B、C、D四个小球，A与C一样长，B短一些，

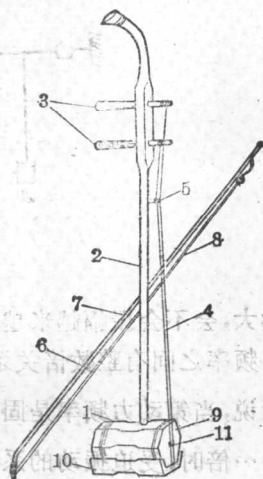


图 9

- | | | |
|--------|--------|-------|
| 1. 琴筒 | 2. 琴柱 | 3. 琴轴 |
| 4. 琴弦 | 5. 千金 | 6. 弓 |
| 7. 弓杆 | 8. 马尾 | 9. 琴皮 |
| 10. 琴托 | 11. 琴马 | |

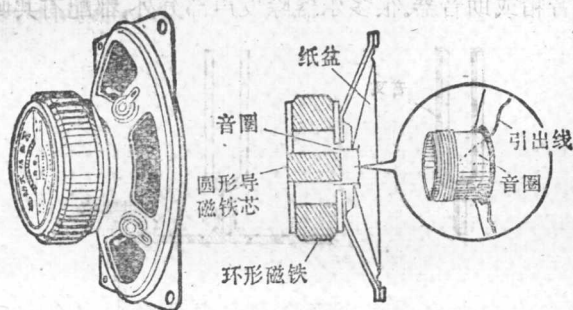


图 10

D 长一些。当使 A 摆动时， C 球摆动得最厉害， B 和 D 只作很小的摆动(图11)。反过来，当策动力频率与系统的固有频率相差

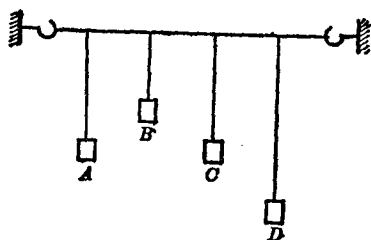


图 11

越大，会不会振幅越来越小呢？不是的，只要固有频率和策动力频率之间有整数倍关系时，就可以获得较大的振幅。换句话说，当策动力频率是固有频率的…… $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 1 、 2 、 3 、 4 ……倍时，受迫振动的系统可以获得较大的振幅，这种现象叫做谐振。

共振是谐振的特殊情况。在声学中把谐振现象叫做共鸣。

利用共鸣现象可增强音响效果。把振动着的音叉插在共鸣箱上，发出的声音就响了(图12)。因此，人们把共鸣箱又叫做助音箱或助音器。很多乐器除发声部分外，都配有共鸣箱，如

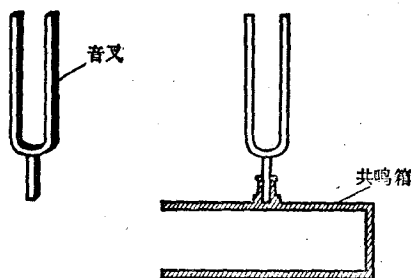


图 12

琵琶、二胡、钢琴、鼓等。

把耳朵贴近热水瓶口，可以听到“嗡嗡”声，这是因为热水瓶对空气的某些频率的振动发生了共鸣，增大了音响，使我们能够听见原来听不见的微弱声音。

图 13 的装置可以帮助我们认识共鸣现象。将振动的音叉放在玻璃管口上，慢慢下降水瓶，使玻璃管水面也跟着下降。当水面下降到某些位置时，玻璃管内空气柱发出响度不同的共鸣声。利用这种装置，还能测定音叉的振动频率。

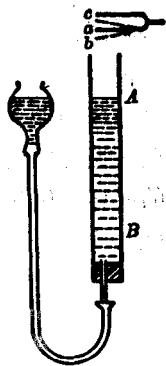


图 13

我国古代早已研究过共鸣现象，明代《稗史汇编·审音类》中《曹绍夔》一文有如下记载：“洛阳有僧房中磬子（和尚敲的铜铁铸的钵状乐器）日夜辄自鸣，僧以为怪，惧而成疾。求术士百方禁之，终不能已。曹绍夔素与僧善，夔来问疾，僧具以告。俄击斋钟（吃饭时敲的钟），磬复作声。绍夔笑曰：‘明日设盛饌，余当为除之。’僧虽不信绍夔言，冀或有效，乃力置饌以待绍夔。食讫，出怀中锯（锉刀），鏹（锉去）磬数处而去，其声遂绝。僧问其所以，绍夔曰：‘此磬与钟律合（固有频率一致），故击彼应此（发生共鸣）。’僧大喜，其疾便愈。”*

（四）声源分析

声源中常见的是乐器。以弦乐器中最简单的弦发声为例，

* 见《文史》第四辑第 102 页，中华书局出版，1965 年 6 月。

前面提到,改变弦长或张紧程度,可以改变弦的固有频率,发出不同的音调。不更改弦的固有频率,而只改变弹拨的位置,音调也会改变。

声源的振动情况很复杂,振动中振幅是时间的正弦函数的,所发出的声音叫做纯音。任何复杂振动所发的声音都可以看成是若干纯音的迭加,其中频率最低的纯音叫做基音。是基音整数倍频率的纯音叫做谐音,频率是基音 n 倍的谐音叫第 n 谐音,谐音也叫做泛音。在弹奏弦乐器时,弦既作基音振动,也作各种谐音的振动。图 14 是单根弦作几种不同振动的情况。振动中谐音的强度和谐音的多少决定了音色(也称音品)的好坏,例如,钢琴音有 16 个谐音,黑管音有 10 个谐音(图 15)。

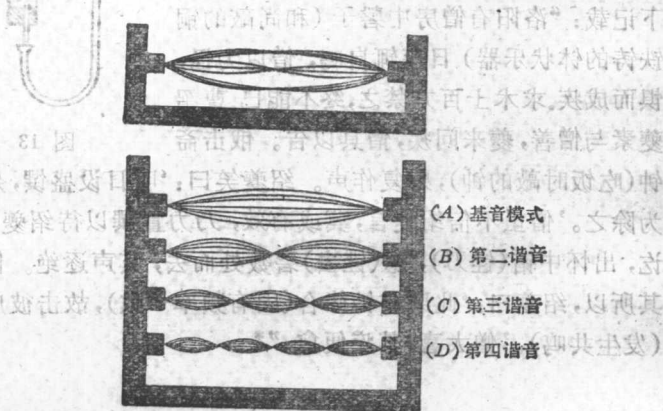


图 14 (四)

对于声源来说,除了振动部分外,其它构成声源的部分对音调、音色均有影响。例如琵琶有四根弦,演奏者用手按住不同部位(改变弦的长度),弹拨弦的不同位置(产生各种谐音),固然是确定音调和音色的主要方面,但是乐器的共鸣箱对某

些频率也起着增强或衰减音响的作用，其实共鸣箱的材料质地对音色也有影响(因为共鸣箱的外壳，也在作受迫振动)。所以琵琶、提琴、吉他各有自己的特色。即使同种乐器也因质地不同而有不同音色，所以一个熟练的演奏者，可以根据音色挑出自己使用的乐器来。

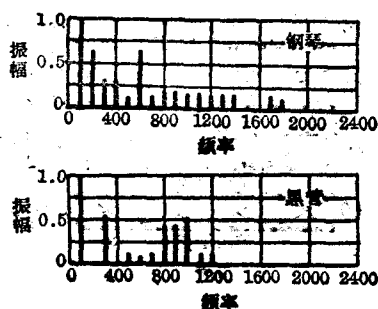


图 15

人说话时，除了声带因张紧程度不同发出不同声音外，鼻腔、胸腔、腹腔对音色都有影响。对每个人来说，这些构造不可能完全一致，因此每个人讲话声就各不相同了。

笛子是以空气柱振动来发声的，笛子旁边的开孔等于把空气柱截断，用手启闭各笛孔，就可调节空气柱的长度(空气柱的长度从吹气孔算起)。从吹气孔吹入气流后，在孔边缘气流发生冲突，引起笛子内部空气柱的振动(所以一定要以某一方向吹气，笛子才会发声)。空气柱越长，音调越低。原来发“do”音的笛子，如采用“超吹”的方法可以发出高八度的“do”音来(乐理上的高八度，是指振动频率高一倍)。跟弦振动类似，在“超吹”时空气柱发生了二次谐音的振动。

利用空气柱振动的声源可分为闭管形式(如排箫)和开管

形式(如笛子)。开管形式可发生奇、偶两种谐音(图 16); 闭管形式只能发生奇次谐音(图 17)。

空气振动有时是十分激烈的。例如爆炸引起的空气振动(气浪)可以使人死亡; 高速飞行的飞机引起的空气振动(冲击波)足以摧毁建筑物。很明显, 它们也是声源。

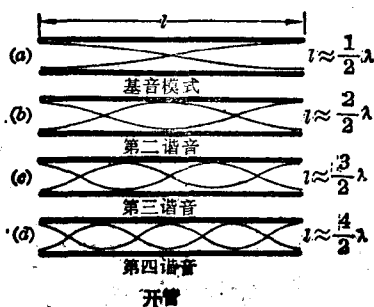


图 16

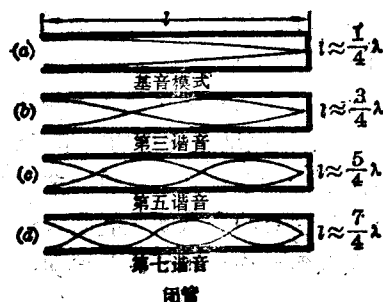


图 17

落入湖面的细雨, 广阔洋面的巨浪, 是由液体振动发声的。同一形状, 同一质地的小瓷杯, 里面放入不同量的水, 敲击这组小瓷杯, 就可奏出乐曲来。这是液体作为声源的一部分

而引起固有频率改变的结果。

下面，我们分析一下常见的几种发声现象。铜哨为什么比塑料哨响而清脆？

这两种哨的形状相仿，都是以空气振动发声为主。软木球随气流滚动，不断堵住出气口，使空气振动按一定周期发生变化，同时哨的外壳也作受迫振动。由于塑料的形状比较容易发生变化，消耗了一部分能量，增大了空气振动的阻尼，塑料哨发声就轻；而黄铜壳的固有频率比较高，对空气振动的阻尼较小，音色也比较好，这样铜哨发声就比塑料哨清脆响亮。

为了使收音机发出的低音丰富些，宜采用大口径的喇叭，并要把喇叭放在喇叭箱里，这是什么道理？

喇叭(扬声器)发声属于受迫振动。口径较大时，纸盆的固有频率较低，在低音频电流驱使下可获得较大的振幅(如采用橡皮边的纸盆，可适当减小纸盆的口径)。再通过喇叭箱(共鸣箱)提高低音音响效果，这样听起来，低音就丰富了。但是在收音机质量不好时，没有足够的低音频电流驱动纸盆振动，低音仍然不会丰富。

风声也是空气振动发声引起的，其中有气流与墙壁摩擦产生涡流引起的空气振动；有气流吹过门缝产生的开管模式的发声；有吹过裂隙而产生的闭管模式的发声等。综合这些有时会产生奇妙的音响。1960年秋天，作者在上海师范学院攻读时曾经碰到过这种现象。有一天，黄昏时途经校内风雨操场，忽然听到类似箫音的声音，其乐似泣似诉，悲怆感人，仿佛来自远方。惊而抬头，找不到发声的声源，只听到似断似续的声音，呜咽不绝。偶然换了一个位置，听不到此种声音；再换一个位置，又听到这种声音。作者感到很奇怪，复寻其源，发现是风吹旧竹造成的，这根旧竹四寸粗，节长一尺多，有一条约