



趣味的声学

余元键 编著

上海教育出版社

趣 味 的 声 学

余元鎮編著

*

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

上海市書刊出版业营业許可証出090号

大众文化印刷厂印刷 新华书店上海发行所总經售

开本：787×1092 1/32 印張：2 3/16 字數：49,000

1959年7月第1版 1959年7月第1次印刷

印數：1—17,000本

統一書号：7150·538

定 价：(九)0.20元

目 录

引言.....	1
1. 声音的产生.....	2
2. 声音在空气中的传播.....	4
3. 声音在固体和液体中的传播.....	8
4. 声音的速度.....	10
5. 回声.....	12
6. 北京天坛的回音壁、三音石和圆丘.....	13
7. 声音的焦聚现象.....	17
8. 在剧院和音乐厅内的声音.....	19
9. 海里的回声.....	20
10. 空气里的回声.....	22
11. 声波的折射现象.....	23
12. 声波的干涉.....	27
13. 乐音和噪音.....	29
14. 音调.....	31
15. 人类嗓音和听觉的限度.....	33
16. 声强和响度.....	35
17. 基音和泛音.....	36
18. 共鸣.....	39
19. 音阶.....	43
20. 弦乐器.....	45
21. 管乐器.....	47

22. 簧乐器	49
23. 多普勒效应	50
24. 我国祖先在音乐上的辉煌成就	52
25. 人耳的构造	55
26. 声音的记录	56
27. 超声波	62

引 言

我們生活在“声音”的世界里，每天都要听到許許多多的声音；不管我們在什么地方或者做什么工作，总有各种不同的声音伴随着我們；人在步行时的脚步声，交談时的說話声，风的呼啸声，树叶的沙沙声，流水的潺潺声，自然界很少有沉靜的时候，时时刻刻都不断的有声音从各个角落里发出来，在空气中向着各方向傳播，使世界显得熱鬧而生动。

我們很少想到声音給了我們多大的好处。在日常生活中，我們借听觉很容易熟悉周圍的环境；在室內靜听，就可以分辨室外的各种声音：北风的狂号，小孩在游戏时的叫喊声，狗的吠声，汽車的喇叭声。在戰場，从敌方的枪炮声，就可以判断敌人藏在什么位置。

工人听一听机器各部分的声音，就知道机器是否有故障。同样，医生用听診器听了肺部和心脏的声音，就能对健康状况作出正确的判断来。

我們很少去想象，沒有声音的世界会給我們带来多少困难，人們将无法用語言交換意見，只有用文字，或者象哑吧那样打手势交談。

音乐声会使人精神愉快，我們大家都爱好音乐，有的甚至把它当做日常生活中不可缺少的精神粮食，在工作余閑，开开留声机或收音机，听听戏曲、歌曲，一天的疲劳便会消失。

我們祖先也是非常重視音乐的。从殷墟发掘出土的甲骨文和許多实物中，知道三千年前的音乐已相当发达。在音乐的理論方面，我国是世界上发展最早的国家。

88224

1. 声音的产生

用力敲鑼，我們便听到鑼聲。这时如果用手去摸鑼面，便会感覺到鑼面在迅速地振動着；如果用力按住鑼面使它停止振動，鑼聲便立刻停止。当敲击鐘和鼓时，鐘和鼓面也在迅速地振動着，同时发出鐘聲和鼓聲。

要使胡琴发声，必須用弓拉弦，弓与弦相摩擦后，弦綫振動，发出声音。用手指去撥动琵琶或月琴的弦綫，也一样可以使弦振動发声。

弦在发声时，如果我們把小紙条去跟它接触，紙条被弦推动，就跳动起来，等到紙条停止跳动时，也就听不見声音了。由此可見，物体在发声的时候，总是在振動着。我們說話时，如果用手去摸咽喉，就会感覺到它在振動，話聲停止，振動也停止。是什么东西在咽喉內振動呢？原来在咽喉內，气管的上部有两条彈性的肌膜叫做声带，分布在咽喉的两边，当我們要发声时，特殊的肌肉便把声带并攏，中間只有一条狹窄的細縫(图1)，气管內的空气由細縫中迸出来，引起声带的振動，便发出声音。当我們呼吸时，声带展开，形成一个寬暢的三角形的孔，空气通过时，就不致引起声带的振動，所以在呼吸时是沒有声音的。

空气和液体也会振動发声，例如，吹哨子时，吹入的气流在哨子內振動，发出声

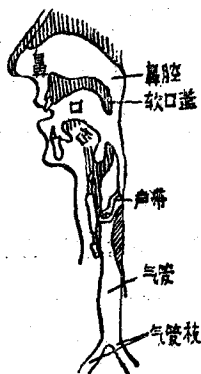


图 1

音；火車到站時發出的汽笛聲，是蒸汽通過汽笛時振動的結果。其他象簫或笛等都是利用空氣振動發聲的樂器。海水的波浪聲，下雨時的淅瀝聲，溪水流動時的潺潺聲，都是液體振動發聲的現象。由此可以知道，聲音是由于物體的振動而產生的。

要了解物體在振動時的情形，我們可以拿鐘擺（圖 2）的振動來說明。鐘擺總是一來一往地擺動着。當它向中心位置運動時，速度是逐漸增加的；經過中心位置後，又向另一邊擺動，速度是逐漸減小的，到達最高點時速度為零，又回頭向另一邊運動。這樣，忽兒在這邊，忽兒在那邊，來往不息。鐘擺的一來一往算做一次振動，每秒振動的次數，叫做頻率。鐘擺通常每秒振動 2 次，它的頻率便是 2。

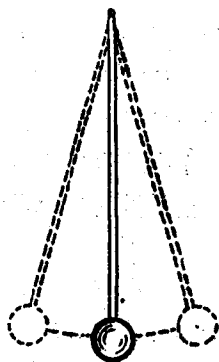


圖 2

振動的現象在自然界是常見的，風吹動田里的麥子，麥穗便一起一伏的振動着；小鳥從枝頭跳開，樹枝便發生振動；我們在用竹扁担挑東西走路時，扁担也是一上一下的振動着。

鑼在發聲時，鑼面便一前一後地迅速振動着，因為振動很快，範圍很小，我們不容易看出來。鑼面發聲振動的頻率，約每秒數百次；鐘、鼓、胡琴的弦在發聲時，每秒振動的次數由數十次到數千次。振動過於緩慢的物體，我們是感覺不到它的聲音的，如鐘擺的振動，每秒振動 2 次，便聽不到聲音。關於這方面的問題，在後面“音調”一節中再作介紹。

2. 声音在空气中的传播

十七世纪的德国科学家葛利克做了一个有趣的实验，他把钟放在接有抽气机的玻璃罩内，然后把罩内的空气逐渐抽出，钟摆的嘀嗒声就逐渐减弱，最后几乎听不到。这时如果把空气从底下放入玻璃罩内，钟摆的嘀嗒声又加强起来。这个实验告诉我们，声音的传播是需要旁的物质的帮助，它不能在真空中传播。

但空气是怎样把声音传播到各处去呢？

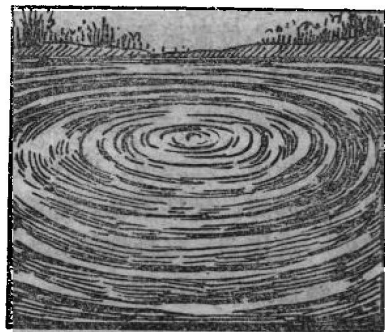


图 3

声音的传播可以与水面上波浪的传播相比，如果把石块投入水中，水面上立即出现一圈一圈的圆形波纹，从石块投入的地方为中心，越来越远地向外扩散着（如图 3），初看好像是水随着波浪向外运动着，但是从浮在水面上的木片或树叶看来，并不是那么回事，树叶在原位置的上下振动着，并不随着波浪移动到别的地方去。

当波浪升起来的时候，树叶就上升到浪头上，当浪头过去的时候，树叶又在原位置降落，就这样时起时伏，并不随着波形的前进而去。

这样，我们想象到水也是和树叶一样，在原位置的上下振动着，并不是随着波浪向外运动的。

当水向上升起时，就形成象山峰似的浪头，这浪头，叫做波峰（如图 4），在水下降时形成的回谷，叫做波谷，波峰和邻近的

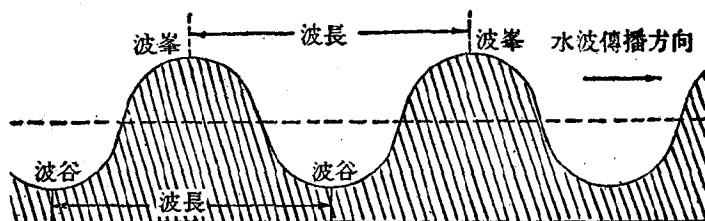


图 4

波峰间的距离是一定的，并且等于二个邻近的波谷和波谷间的距离，这距离叫做波长。

声波的传播在某些方面可以跟水面上波浪的传播相比拟，不过在声波的传播中振动的不是水而是空气，引起空气振动的物体不是石块而是发声的物体。

当我们敲锣时，除锣面在迅速地振动外，还引起周围的空气发生振动，就象石块落入水面时，引起了周围水的振动一样，把锣声传播到四面八方去。

当锣面振动时，引起附近空气振动的过程是怎样的呢？

在锣面被敲打后的刹那間，它就弯向一边，假如先向左边弯，左边邻近A处的空气受到锣面的压挤，使这部分空间内的空气挤得很紧，就形成了一个密部(图5)。但是空气是在不停地振动着，密部A处的空气就会去压挤左边邻近的B处的空气，使B处的空气有变密的趋势。

当锣面向右弯时，留给左边一个很大的空隙，A处的空气占满了这空隙，便突然变得稀疏了，形成了疏部。这时B处的空气正在挤压着，成为密部。并且B处的空气会继续向左挤压，使左方C处的空气形成密部的趋势。

当锣面又向左振动时，A处的空气突然受锣面的挤压，又形成了密部，B处的空气在挤压C处的空气的过程中，它自己便成

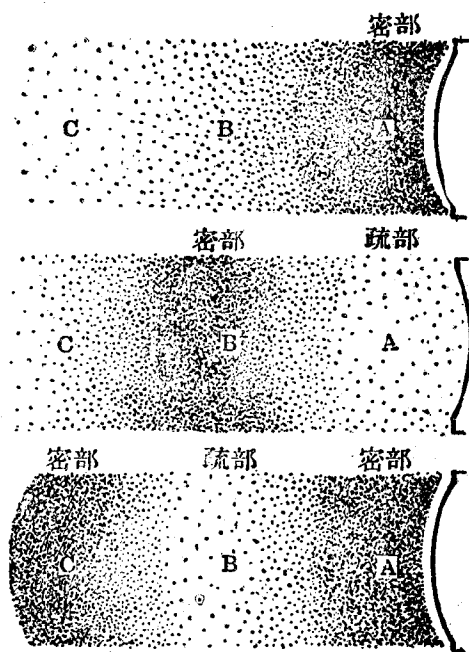


图 5

功了一个疏部，把 C 处分子挤压成密部了。

就这样，鑼面在向左作往复的振动时，密部或疏部便很快的由一个气层传到另一个气层，但空气在原地振动而不向外跑去。空气的振动状态向四面八方传播而成声波。声波在空气中传播时的振动方向和波的传播方向是相同的，按以上方式传播的声波叫做纵波。相邻

密部和密部间的距离叫做波长。

当鑼面往复振动一次的时候，声波就向外前进了一个波长，鑼面振动了两次，声波就前进两个波长；振动了多少次，声波就前进多少波长，也就送出去了多少个密部。

声波到达人的耳朵内，使耳朵内的鼓膜也发生振动，我们就听到了声音。

为了对声波有更具体的了解，我们还可以做这样一个实验。用一个很长的螺旋形弹簧(图 6)，一端固定在墙上，一端用手拉着。用手推一下，这一端立即形成一个密部，这密波便沿着整个

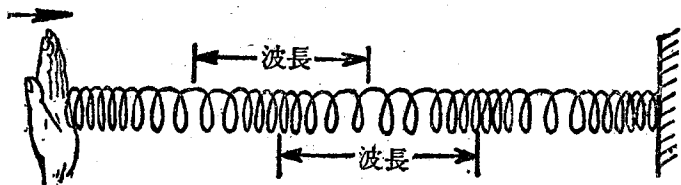


图 6

彈簧一个螺旋傳給另外一个螺旋；用手拉一下彈簧的这一端，就成了彈簧圈較稀的疏部，密部和疏部就沿着彈簧向另一端前进。如果不断地推拉彈簧，就可以看到一系列的密部和疏部向另一端前进。如果你仔細注意一下，就会发现每个螺旋都在一定的位置前后振动着。在傳声时，空气也就是这样沿着声波前进的方向前后振动着的。

离发声物体很远的地方，空气振动微弱，振幅很小，耳朵听到的声音也是很微弱的。

在高山，因为空气稀薄，声波在傳播中便很快地减弱。所以在高山我們說話的声音，听起来比在平地上小得多，甚至听不清楚。

我們已經知道，声音是不能在真空中傳播的，因为沒有物質帮助声波傳播。月亮里就象是个真空，是个死寂的世界，那里沒有云的飄浮，沒有可以翻起波濤的水，始終是靜悄悄的，沒有一絲声音。为什么月亮上沒有声音呢？答案很簡單，月亮上沒有空气。沒有空气，物体的振动就不能从空間傳播出去；振动傳不出去，周圍就不存在声音。所以月亮是个沒有声音的世界。

3. 声音在固体和液体中的傳播

声音不仅在空气中可以傳播，在固体和液体中也可以傳播。

把表放在桌子的一端，将耳朵貼在桌子的另一端，就可以很清楚地听到表的嘀嗒嘀嗒的声音，这声音是通过桌子傳播过来的。

古代的人就知道地面是会傳播声音的。在两軍作战时，士兵們为了察听远方敵軍的动静，往往把耳朵貼在地上，就可以听到敵軍的馬蹄声。

二千年前的我国哲学家墨子，在他所著的“墨經”一書中，曾談到防御城池的战术，利用土地傳声来探听敵軍掘城。他說：“令陶者为罍，容四十斗以上，……置井中，使聪耳者伏罍而听之，审知穴之所在，凿內迎之。”陶者是指做陶器的工人，罍是一种大腹小口的坛子，聪者指听觉灵敏的人。

小朋友爱玩的“玩具电话”也可以用来說明固体傳声的情形。用两个粗的竹筒(用挖去底的香烟罐也行)，筒的一端蒙着油紙或薄皮，紙或皮的中心穿一根长綫，綫的两端各打一个結，以免綫滑出。两人各拿一筒，把綫拉紧，一人在筒口說話，一人在另一端的筒口就听得非常清楚。这种电话机的綫可长达三丈，打电话时必须把綫拉紧(图7)，因为声音是由这根綫上从一

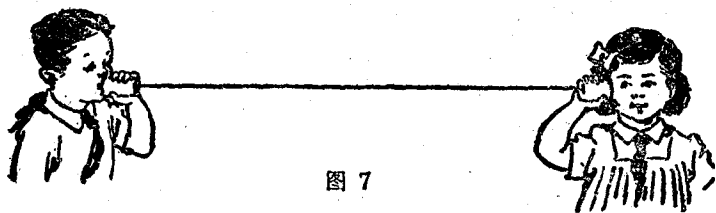


图 7

个筒傳到另一个筒的。

十八世紀的德国音乐家貝多芬，据说在他耳聾以后，就是用一根棒来听取鋼琴演奏的。他把棒的一端触在鋼琴上，另一端咬在牙齒中間，就这样鋼弦发声时的振動傳到棒上，再由齒骨傳到內耳。許多因耳朵鼓膜破坏，但內部听觉器官还完好的聾子，他們能够依着音乐的拍子跳舞，这是因为音乐的声音經過地板和他們的骨骼傳到听觉器官。

火車或汽車的司机，也往往咬住棒的一端，讓棒的另一端放在发动机的各部上，探听机器內部机件的个别运动声，来判断机器的工作是否正常。

医生所用的听診器，也是应用这原理制成的，讓肺部呼吸时的声音，心脏跳动的声音，經過胸骨和听診器，直达內耳。

把耳朵貼近鉄軌，可以早些听到远处駛来的火車声。但在空气中这时还听不到。可見金属傳声比空气快。

水的傳声也比空气好得多。

潜入海底的潜水員可以听到海面波濤起伏的呼嘯声，沙砾在海底滚动时的噝噝声。

科学家的实验表明，半吨重的一口大鐘在水里响着的时候，可以在 35 公里远处听到鐘声，鐘声在水里傳播的距离差不多是空气中的四倍。

河里的魚类听到了岸上人的脚步声，便急速的逃开。

船上装置特殊的听音器，可以听到潜水艇发动机的声音，也可以在有大霧的时候听到灯塔的鐘在海水里发出的声音信号。

各种固体傳声的程度是不同的。柔軟的、多孔的物质是难于傳声的。例如我們把表放在衣袋里，因为表隔着一层柔軟的布料，所以我們就听不到表的声音了。

要使在房間里的人避免受到外面声音的侵扰，可以在房間

的牆壁、天花板和地板上鋪上一層難於傳聲的物質，如毛氈、絨氈、壓縮軟木、多孔的石料、鉛等，聲音傳到這層物質後就會很快被這些物質吸收掉。

4. 聲音的速度

在黑黝黝的雲層里，電光迅速地閃動，隔了好幾秒鐘才聽到一陣轟隆隆的雷聲。在火車進站時，先看見汽笛冒出灰白色的蒸汽，然後才聽到汽笛的一聲長嘯。遠處看樵夫砍柴，在他砍一下柴把斧頭再舉起的時候，我們才聽到砍柴的聲音。

這些現象說明光的速度比聲音的速度大得多，所以我們總是先看見光，然後才聽到聲音。光的速度是每秒 30 萬千米。光在一秒鐘內可以繞地球七周，而聲音在空氣(0°C)中的速度僅每秒 332 米，就是說光的速度比聲音的速度大 90 萬倍。

1738 年法國有幾個科學家為了探測聲音的速度，曾把二門大炮架在相距 27 千米的兩個山頭上。甲山頭放炮時，乙山頭上的人便測量看見炮的火光後聽到炮聲所經過的時間；再由乙山頭放炮，甲山頭的人測量炮聲所經過的時間。這樣計算出來的聲音的速度是每秒 337 米。

聲音的速度與溫度有關，溫度每升降 1°C ，聲速每秒就增減約 0.6 米。

古語云：若見電光，即默數一、二、三，始聞雷聲，便知危險甚遠。數一、二、三後，聲音已在空氣中經過了好幾秒鐘，响雷的地方必定離我們在一千米以上，的確是沒有“觸雷”的危險。

假如現在有兩個人在不同的地方听音乐，一個在北京的音乐厅內听，另一個在广州的收音机旁收听。这两个人是誰先听到音乐呢？假如知道坐在音乐厅的人离演奏者 20 米和北京到

广州的距离是 2331 千米。如果你計算一下，就会感到惊奇，在广州收音机旁的那个人竟比北京音乐厅內的人早 8 倍的时间听到音乐。

这是怎么一回事呢？原来音乐声是经过电台用无线电波广播出去的。无线电波传播的速度和光的传播速度一样，也是每秒 30 万千米，从北京到广州只需要 0.008 秒钟，而声音在空气中传播 20 米便需要 0.06 秒钟，差不多慢了 8 倍。

在战场上，一个新兵往往在听到炮弹或枪弹的呼啸声后，立即蜷伏下来，逃避射来的枪弹。实际上他用不着这样做，因为子弹出枪口的速度超过声速 2 倍以上。子弹走在声音的前面，等他听到枪声时，子弹早已掠过他的头顶，落到后面去了。所以他听见枪声，正表示他还安全无恙，危险已经过去。

榴弹炮和迫击炮的炮弹的速度较小，并且榴弹炮和迫击炮都是在空中绕行一个很大的弧线才落下，但还是比声音先到达目的地。

声音虽然走得很慢，但在非洲和澳洲的许多民族中，都流行用“声音电报”来传播消息，声音在那些地方还不愧为方便而迅速的通讯工具。他们用一种特殊形式的大鼓，隔一定的距离安置一个大鼓和专管通讯的鼓手，每得到信号后，便一个一个的传出去，在几小时之内便可以传到很远的地方。

假如在北京发出一个“声音电报”到广州，如果沿途不耽搁的话，在二小时内便可以到达目的地。可见这种“原始电报”也是异常敏捷的。

第一次测定声音在水里的传播速度是 1827 年在瑞士的日内瓦湖进行的。在一只船上用绳子将钟挂在水里，另一只船停在 13847 米远的地方。在第一只船用槌子敲击钟的同时，船上的火药便同时发出闪光，另一只船上的人测量从看见火药的闪

光到鐘聲所經過的時間，便可算出聲音在水里的傳播速度是每秒 1450 米。

如果用很長的自來水管做實驗，只要一人把一只耳朵貼在自來水管上，另一人在遠處敲擊自來水管，那麼你便會聽到三次聲音。第一次聽到的聲音是沿着鐵管本身傳播來的，第二次聲音是從水中傳播來的，第三次是在空氣中傳播來的。聲音在鐵里的傳播速度是空氣里傳播速度的 14 倍，約每秒 5000 米左右。

5. 回 聲

樵夫在山上砍柴，野獸在山谷中嚎叫，兒童在廣場上呼喊，都容易聽到回聲。

跟皮球投擲于牆上時，便會反跳回來一樣，聲音在傳播中，遇到了障礙物便反射回來，形成回聲。我們把這種情形叫做聲音的反射。

如障礙物離我們較遠，聲音旅行了一段長的路程，經過了較長的時間，再回到耳畔，我們便很容易分辨出回聲和原聲。如果障礙物離我們太近，回聲和原聲差不多合在一起，便聽不出回聲，例如我們在室內說話時是聽不到回聲的。正是這個緣故，所以我們在室內說話比在曠野里說話聽起來聲音要响亮得多。因為在室內說話回聲与原聲合而為一，增強了聲音的响度。

當回聲和原聲間隔的時間不小於十五分之一秒的時候，我們還是可以分辨出回聲和原聲來的。根據聲音的速度，我們可以算出障礙物離發聲地點的距離。如果聲速用每秒 340 米計算的話，那麼 $\frac{1}{15}$ 秒內便經過了 $\frac{1}{15} \times 340 \text{ 米} = 23 \text{ 米}$ 的路程；因為聲音往返多走了一倍的時間，所以實際上障礙物離發聲地點只有

$23 \text{ 米} \div 2 = 11.5 \text{ 米}$ 远。

如果障碍物离我們的距离超过 11.5 米,那就更容易分辨出回声和原声了。

瞎子的这种感觉更为灵敏,当他第一次进入一个房間时,經過几次談話,他就能用听觉来辨别房子的大小。

在雷雨来临之前,电光一閃即逝,但轟隆隆的雷声却經過了較长的時間才消失。因为声音經過地面、山岳和云层的几次反射,我們听到的不只是原声,大部都是經過許多次反射的回声,因此造成隆隆不絕的感觉。

能够产生多次回声的地方是的确存在的,在英国牛津郡的一个地方,放一次枪可以在一个山谷內連續反射二十次之多,在沉寂的晚間,可以很清楚的听到;在捷克斯洛伐克的亚德尔士巴哈附近,有一个圓的断岩,在一定的地方講一句簡短的話,断岩会将原話复述三次。

断續的高音調的尖音所引起的回声,比低音調所引起的回声要清楚得多。有些地方,女子和小孩說話可以得到清晰的回声,但男子虽竭力高呼,仍听不見回声,就是这个緣故。

6. 北京天坛的回音壁、 三音石和圓丘

北京天坛是我国著名的建筑物之一,建于十六世紀的明朝时代。这是我国古代人民所遺留下来的寶貴的历史遗产。它不仅具有宏偉庄严的风格,并且还有几个奇妙的声学现象,那就是有名的回音壁、三音石和圓丘。

回音壁是一个圓形的圍墙,高約 6 米,半徑 32.5 米。靠北边的圍墙有一个圓形的建筑物,叫做“皇穹宇”,是封建皇帝祭祀