

朱正和 黎绍发 编

声 音

——
你时刻离不开的东西



科学普及出版社广州分社

声 音

——你时刻离不开的东西

朱正和 黎绍发 编

科学普及出版社广州分社

声音——你时刻离不开的东西

朱正和 黎绍发 编

科学普及出版社广州分社出版

广东省新华书店发行 惠东县印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张：6 字数：130千字

1983年10月第1版 1983年10月第1次印刷

印数：7,100册

统一书号：13051.60088

定价：0.60元

内 容 简 介

声音是怎么一回事，是怎样产生的？它在我们的日常生活和工作中起着些什么作用？应当如何利用它来为人类造福？诸如此类的问题都可以在阅读本书后得到较为圆满的解答。

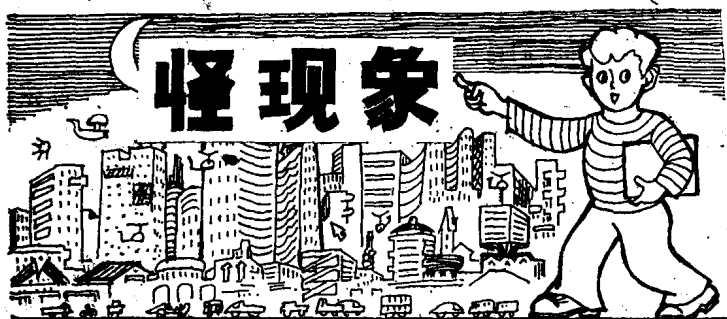
本书内容丰富多彩，趣味性和科学性较强，文笔简练流畅，插图生动精美，不失为一本较好的自然科学普及读物，对青少年读者增长科学知识、钻研科学技术、丰富文化生活都会有所帮助。本书也可供从事声学工作的有关人员参考。

目 录

怪现象·····	(1)
喧闹的地球和寂静的月宫·····	(1)
起跑线上的枪声·····	(3)
水杯琴·····	(5)
是谁在讲话? ·····	(7)
我们的耳朵多么灵敏! ·····	(9)
度量声音的“尺子”·····	(9)
天坛三奇迹·····	(12)
“鬼跟人”的奥秘·····	(15)
音乐·····	(19)
乐音何以悦耳? ·····	(20)
音量多大时最好听? ·····	(22)
笛子、钢琴的声音怎么分辨? ·····	(25)
战国古钟奏出现代音乐·····	(26)
余音绕梁的电子音乐·····	(28)
噪声·····	(33)
五大罪状·····	(33)
我们周围的噪声·····	(36)
设在耳朵上的防线·····	(39)
化、分、吸、消、隔——防治噪声五法·····	(40)
录与放·····	(44)
从口技到留声机·····	(44)

神通广大的电子耳朵·····	(46)
人造喉舌——扬声器·····	(48)
人们的良友——录音机·····	(50)
使人如临其境的立体声·····	(53)
电话·····	(59)
从贝尔的发明谈起·····	(59)
载运声音的电波·····	(63)
微波接力通信与卫星通信·····	(65)
光纤通信与未来的可视电话·····	(67)
现代顺风耳的种种神通·····	(70)
超声·····	(73)
打开超声学的大门·····	(73)
超声的传播·····	(75)
巨大的能量与空化作用·····	(77)
种类繁多的发生器·····	(80)
电子推着超声跑·····	(82)
看透金属内部的“眼睛”·····	(84)
你能在玻璃上钻出方孔吗?·····	(87)
击碎金属氧化膜的无形锤子·····	(89)
水下侦察兵——声纳·····	(90)
促进植物萌发生长·····	(95)
真是多面手!·····	(97)
生物的启示·····	(102)
蝙蝠与声音导航·····	(103)
盲人“眼镜”·····	(107)
夜蛾的战术与驱蚊器·····	(110)

海豚的声纳.....	(113)
海豚的语言.....	(117)
与动物对话.....	(120)
声音与医学.....	(125)
人体器官的“语言”	(125)
听诊今昔.....	(128)
“医用雷达”	(132)
妙“手”回春.....	(136)
聋哑人的福音.....	(139)
声学新领域.....	(142)
次声的本领高强.....	(142)
地声与地震预报.....	(148)
先进的声全息技术.....	(152)
新秀——微波声学.....	(158)
会听会说的机器.....	(163)
从人工喉头说起.....	(163)
话音是怎样形成的?	(167)
让机器也能说话.....	(168)
人的耳朵为什么能听到讲话?	(172)
话音特征的抽取.....	(176)
会听话的机器.....	(179)
话音应答系统.....	(183)



喧闹的地球和寂静的月宫

我们所在的地球是一个充满声音的世界。工厂里，机器隆隆，铁锤丁当；街道上，人声喧闹，汽车喇叭尖叫；山林里，鸟鸣蝉噪；海洋上，波涛怒吼。还有美妙动听的音乐声、震耳欲聋的惊雷声、人们爽朗的欢笑声……。

正是依靠声音，人们才能畅谈和交流思想，老师才能向学生讲解宝贵的知识，我们才能听见电台播送的国家大事、国际新闻，才能欣赏悦耳的音乐和动听的歌曲。如果没有声音，我们的生活怎能这样有声有色，丰富多彩？

你一定听过月亮上住着能歌善舞的嫦娥的传说。如果月亮上真的有这么一位嫦娥仙女，那她一定是非常寂寞的，因为月球是一个没有声音的世界。在那里，唱歌、讲话，甚至拼命喊叫，也听不见任何声音。早在一九六九年美国“阿波罗11号”飞船首次载人登上月球时，便完全证实了这一点。

月亮上为什么会没有声音呢？与我们的生活紧密相关的声音究竟是什么呢？

实践告诉我们：声音是物体机械振动的传播。

所谓振动，就是往复的运动。用手拨一下琴弦，琴弦就会振动，同时也就发出了声音。如果用手指捏住弦，使弦停止振动，声音也就没有了。如果用铁锤砸钢板，会听到很大的声音。如果这时用手去摸钢板，钢板的强烈振动甚至会使你的手发麻。在扬声器播音时用手去摸扬声器的纸盆和当我们讲话时用手摸喉部，同样会感到振动。这些事例都说明发声的根源是物体的振动。通常把发声的物体叫做声源。

只有声源的振动，如果没有传播振动的介质，我们仍然听不到声音。月球上听不见声音正是因为月球上没有传播声音的介质——空气。用图 1 的实验便可证明这一点：把一个钟放在带抽气机的玻璃罩里。当玻璃罩中的空气没有抽出时，钟的滴答声听得很清楚；当空气逐渐被抽气机抽走时，滴答

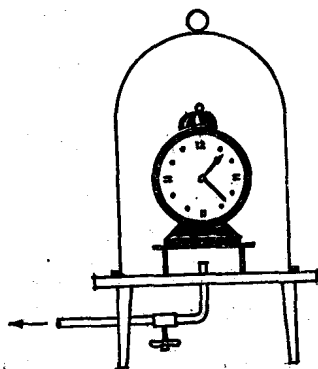
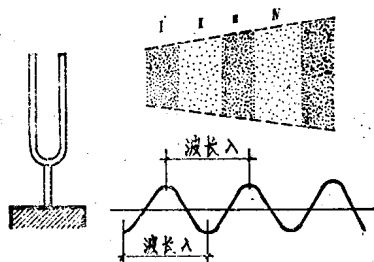


图 1 空气传声的实验

声就逐渐减弱；抽到真空时，也就听不到声音了。如果把空气重新注入玻璃罩，便又能听到滴答声。由此可见，在声源与耳朵间有传播振动的空气时，我们才能听到声音。

为什么空气能传声呢？原来发声体振动时，会使它的邻近处的空气也跟随振动；当发声体压缩空气时，邻近处的空

气就变密；当发声体向相反方向振动时，这部分的空气随之变疏。邻近处的空气这样一疏一密地振动又会带动较远处的空气一疏一密地振动。如图 2 所示，空气里的这种一疏一密的振



动的传播叫做声波。声波传到我们的耳朵里，带动鼓膜发生振动。鼓膜的振动经耳朵里的耳小骨和耳蜗的传导，使听觉神经末梢受到刺激，我们便听到了声音。

声音不仅能在空气中传播，在其他物体中也能传播。游泳时，潜在水里能清晰地听到在远处的水中撞击石头的声音。此外，我们把耳朵贴到铁轨上，可以听到远得看不见的火车声；哨兵有时把耳朵伏在地上，探听周围有无脚步声及其它声音。这些事例说明声音在其它物体中的传播甚至比在空气中的传播还要快。

起跑线上的枪声

运动会正在举行。百米赛起跑处的司令裁判高举信号枪，发出起跑号令：“各就位——，预备——，”“啪！”信号枪一响，运动健儿们即象离弦之箭，奔向终点。在终点处的你，如果细心点就会发现：当你听到信号枪声时，运动

员们早已离开起跑线，计时裁判也已经按动秒表约0.3秒钟了。为什么会这样呢？原来，声音在介质中传播是需要时间的。测量表明：在常温（20℃）和标准大气压下，空气中的声音每秒钟可传344米远。声波在单位时间里传播的距离称为声速。即是说，空气中的声速为344米/秒。信号枪声从起跑处传到终点处，须经过100米的距离，因此大约要0.3秒的时间。显然，计时裁判不能根据枪声来启动秒表。因此在起跑处旁竖有一小黑牌。当司令裁判把信号枪高举在黑牌前，并击发信号枪时，枪声命令运动员起跑，而信号枪迸发出的白烟在小黑牌的反衬下，立即被终点处的计时裁判清楚地看到，并据此来启动秒表。当然，白烟的光传到计时裁判的眼中也需要时间。但是光传播的速度为每秒钟30万公里，传经100米所需的时间就完全可忽略了。

如果细心观察军乐队引导的运动员的长队伍，你会发现运动员们的步伐并不整齐：紧接军乐队的运动员在迈左脚时，大约170米后的运动员却正在迈右脚。是运动员们没有操练好吗？不，这同样是“声速”在“捣鬼”。因为军乐声传170米远已大约需0.5秒时间，行进一步的时间也约为0.5秒，自然170米后的运动员步伐就迟一步了。

如果在广州用收音机听北京“首都剧场”的音乐会实况转播，试问是首都剧场的听众先听到音乐？还是广州的听众先听到？粗看起来似乎肯定是剧场的观众先听到。但是计算表明完全是另一回事。无线电波传播的速度是30万公里/秒，北京到广州的距离假设按3000公里来估算，则无线电波从北京传到广州仅需 $1/100$ 秒的时间。在 $1/100$ 秒的时间里声音只能传3.4米远。首都剧场的观众离舞台的距离一般都在十

米以上。因此，首都剧场的听众反而比广州的收音机听众晚听到音乐声。

声速并不是固定不变的。当温度变化时，声速会略有变化。在空气中，温度每升高 1°C ，声速增加 0.607 米。不同介质中的声速也不一样。水中的声速是 1450 米/秒，钢铁中是 5000 米/秒，玻璃中是 $5000\sim 6000$ 米/秒，而橡胶中只有 $30\sim 50$ 米/秒。

测得各种介质中的声速数据后，可派上很多用场。例如：可用来测量两点间的距离，可用来测量钢板的厚度，可用来判断输油管中输送的是什么油，可用来测量海水的深度，等等。

水 杯 琴

声音有高低的不同。例如儿童的声音比成年人高，女声音比男高。声音的高低程度叫做音调。

胡琴有两根弦，外弦细，发音的音调高；内弦粗，发音的音调低。钢琴中则有很多根粗细和长短不同的弦，按不同的琴键时，钢琴内的小锤就会敲打不同的弦，奏出的声音的音调也不同。而木琴则不同，主要由十多片大小不等的长方形硬木片组成，敲小木片时音调高，敲大木片时音调低。你可能还未见过“水杯琴”吧？它做起来很容易：取一套喝水用的玻璃杯，在各杯里装入深浅不同的水，并按装水多少的顺序排成一行，便构成了一部“水杯琴”。这时，可拿一枝筷子试试音。你会听到：敲打装水较少的杯子时，发音的音

调较高；装水较多的杯子，则音调较低。适当调整各杯中的水的多少，便可敲出1、2、3、……、7、i”等各种音调的音。这时就可用这部“水杯琴”来演奏你所喜欢的乐曲了。

为什么杯子里盛水的多少不同时，发音的音调就不同呢？

原来，音调的高低由声源振动的快慢来决定。定量地讲，也就是由声源每秒钟振动的次数来决定。每秒钟振动的次数简称为振动的频率，单位叫赫兹。每秒钟振动一次，频率为1赫兹，每秒钟振动二次，则为2赫兹，依此类推。频率越大，音调越高；频率越小，音调越低。

各种发声体振动时，有这么一条规律：质量越大的物体振动起来越慢。例如胡琴的内弦较粗，质量较大；外弦较细，质量较小。其两根弦装得大致一样紧，用手指按每根弦，会感到弹力也差不多大。拨动琴弦时，弦在每次振动中都是靠此弹力把弦弹回平衡位置，然后依靠惯性冲向另一方。较粗的内弦质量较大，即惯性也较大。因此，每次回复到平衡位置所需的时间和靠惯性“冲到”另一边所需的时间都比较长，即振动得较慢，频率较小，所以发音的音调就比质量小的外弦低。

水杯能发出声音是因为杯子被敲击后杯壁在振动。杯壁必然会带动杯中的水一起振动。杯里装的水越多，振动的总质量越大，自然振动得慢，振动频率低，发音的音调也就越低。如果是选用大小不同的杯子，则杯子越大，质量越大，同理，发音的音调越低。因此，用不同大小的杯子也能得到各种音调的音。但是，这里用水帮忙有个突出的好处，就是

盛水的多少很易改变，便于按音乐的音阶调准音。如果选用大小不同的杯子，同时又借助水帮忙，则可组成音程很宽的水杯琴，音调变化范围很大的乐谱也能演奏了。

是谁在讲话？

大家知道，收音机上都有一个用来选电台的刻度盘或玻璃标尺。它可以用频率来刻度，也可以用波长来刻度。不少无线电爱好者和广播听众较喜欢用波长。在短波段更是如此。例如，波长42米和24米，就比对应的频率7.145兆赫和12.5兆赫更好记一些。对于声波则习惯上常用频率来区分。波长为2米的声波是低音还是高音？这样波长的声音是听得见，还是听不见？这样的问题可能会立刻把你难住。

实际上，无线电波和声波都是振荡的传播，只不过无线电波传播的是电磁场的振荡，声波传播的是机械振荡。所谓波长，就是在完成一次全振荡的时间里，波所传播的距离。因此：

$$\text{波长} = \frac{\text{速度（每秒钟传播的距离）}}{\text{频率（每秒钟的全振荡次数）}}$$

无线电波在空气中的传播速度约为 3×10^8 米/秒。声波在空气中的传播速度约为340米/秒。

如果已知无线电波或声音的频率，我们便很容易用这个公式求出相应的波长。例如：声音的频率为170赫，因为 $340 \div 170 = 2$ ，所以170赫的声音的波长就是2米。这个声音是相当低的，大致是女声能发出的最低音。

人的嗓子所能发出的声音的波长，就其基音来说，大约是从4米到0.28米。实验表明，当声波通过一个孔时，如果声波波长小于孔的直径时，则声波会象光线通过孔一样，聚为一束，向前传播。在这一“声束”之外，就听不见声音。好在人的嗓子发出的声音的波长为0.28米以上，比人的嘴巴的尺寸大得多，因此，不会聚为一束，而是向四面八方传播。否则，我们讲话的时候，就只有正对我们嘴巴的人才能听到了。

我们的嗓音除含有基音外，还含有许多高音成分，不同的人的高音成分不同，这使各人的嗓子具有不同的音色，因此，我们能根据嗓音判断出是谁在讲话。

下表列出了人的嗓音的频率和波长

噪 音	最 低 音		最 高 基 音		最 高 泛 音	
	频率(赫)	波长(米)	频率(赫)	波长(米)	频率(赫)	波长(厘米)
男 噪 音	80	4.25	500	0.68	8000	4.2
女 噪 音	170	2.00	1200	0.28	10000	3.4

人的耳朵只能听到波长21米到1.7厘米的声音，这相当于16赫~20000赫的频率。

不同的人听觉的波长范围是不相同的，特别是波长的下限，各人的差别很大。蚊子、蝙蝠和蝉的叫声的波长，常接近1.7厘米的下限。因此，有的人在南方的公园里感到寂静无声，而有的人却感到处处是蝉叫声和蚊子的嗡嗡声。

我们的耳朵多么灵敏！

如前所述，声音实质上是振动在空气中的传播：发声体振动时带动邻近空气的粒子振动，邻近空气粒子振动又带动较远处的空气粒子振动……，于是声音像投石下水时激起的波浪一样，后浪推前浪，不断向远方传去。当声音传到我们的耳朵时，振动着的空气粒子把它们的能量传递给耳朵的鼓膜，于是鼓膜就以与空气粒子差不多同样大小的幅度振动起来，我们便听到了声音。振动的幅度越大，声音越大。

但是，你知道空气粒子振动的幅度是多大吗？

测量和计算表明，就从我们耳朵能忍受的最强的声音来说，空气的粒子的振动幅度也不到五十分之一毫米。

如果以我们耳朵能听到的最弱的声音为例，则振动的幅度仅有一亿分之一（即 10^{-8} ）毫米。要知道，分子的直径都大约有一千万分之一（ 10^{-7} ）毫米，也就是说，空气粒子的振动幅度比分子的直径还小得多的声音我们也能听到。可见，我们的耳朵是多么的灵敏！

度量声音的“尺子”

度量布有多长，我们可以量它有多少尺；度量一个西瓜有多重，我们可秤它有多少斤。声音的强弱又是怎样度量的呢？显然，我们不能用尺子去量空气粒子振动的幅度，因为

我们根本看不见空气，空气粒子振动的幅度又是那么微小。好在实验和理论分析都表明：空气粒子振动时，空气的气压也时而高于大气压，时而低于大气压。而且，气压的变化值是与空气粒子振动的幅度成正比例的——即振动幅度大了多少倍，气压变化部分的数值也大多少倍。气压的微弱变化则可用压电转换器——即扩音机的话筒，把它变为电信号，再经电子放大器放大后进行测量。因此，我们把声音引起的气压变化称为声压，并用声压作为度量声音强弱的“尺子”，通常用符号P表示。

声压既然是大气压的波动部分，能否用气压表来测声压呢？回答是否定的。因为气压表只能用来测固定的或缓慢变化的气压，而声压变化却极为迅速。它时而正，时而负，变化的频率也就是声源振动的频率，每秒钟可达成千上万次，最少也有几十次。这与直流电表不能用来测交流电的情况极为相似：测量直流电的仪表来不及跟随交流电流的大小和方向的变化，因此把它用来测交流电时，指针仅在零位作少许颤动，甚至完全不动。

声压的单位是牛顿*/米²。声压的单位也可以用微巴表示，1微巴=0.1牛顿/米²（大气压力约为10⁵牛顿/米²）。

正常人的耳朵刚刚能听到的声音的声压（称听阈声压）只有 2×10^{-5} 牛顿/米²，普通谈话声在1米远处的声压约为 2×10^{-2} 牛顿/米²，载重汽车、摩托车产生的声压为0.2~1牛顿/米²，交响乐团演奏时10米远处约为0.2牛顿/米²。而凿岩机、球磨机附近的声压可达20牛顿/米²，这样大的声压的声音会使耳朵发痛，因此称为痛阈声压。当声压达几百牛顿/米²时，可使鼓膜振破，耳朵出血。