

799881

朱晓新华 编著
唐 华

3820

2560

在声学世界里

● 科学新世界丛书 ●

声一无处不在；声一到处都有。喧闹的地球是声的海洋。声学不仅走进了普通人们的家庭，而且还遨游至深海，回荡在太空，用“声显微镜”可以观察到许多物质的“庐山真面目”。

现代声学已涉足科学技术的各个领域，它已经超出了人们已往对声学仅限于声音的简单认识，使现代声学成为科学新世界的的一个重要领域。

辽宁科学技术出版社

在声学世界里

朱晓新 唐 华 编著

辽宁科学技术出版社

1986年·沈阳

在声学世界里

Zai Shengxue Shijie Ti

朱晓新 唐 华编著

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)
辽宁省新华书店发行 建平县印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 10.75 字数: 114,000
1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷

特邀编辑: 李殿奎
责任编辑: 董 平
封面设计: 秀 中

插图: 赵 明
责任校对: 朱晓新
唐 华

印数 1—3,765

统一书号: 13288·33 定价: 0.89元

序

声学是研究物质中机械波产生、传播和接收的科学。它是一门既古老而又年轻的科学。所谓古老，是因为在国外可追溯到古希腊的毕达哥拉斯发明音阶，在我国则可追溯到黄帝、伏羲时代。《吕氏春秋》载：“黄帝令伶伦取竹作律，增损长短成十二律。”又流传伏羲作琴，“三分损益成十三音”。所谓年轻，是因为现代声学发展了众多与现代先进科技戚戚相关的分支学科，这些分支学科都是边缘学科，它们有着强大的生命力。

现今的声学已不是过去物理教科书中所讲述的古典的科学了。现代声学包含：电声学、水声学、超声学、生理声学、心理声学、音乐声学、语言声学、建筑声学、大气声学、地声学等等，它已经渗透到国民经济和人民生活的各个领域，从文化、教育、建筑、医疗、生活环境控制、工业生产，到探测海洋、地壳、宇宙空间和物质的微观结构，这些部门和方面都离不开声学。可以说，现代声学内容丰富多采，发展迅猛，已经深刻地影响到我们居住的这个地球上每一个人的生活和工作。

还有，从声学的振动频段的扩展来看，也可看出这种深刻的变化和发展。古典声学只研究人们可听闻的声频频段，也就是大家所熟知的20赫到20千赫。之后，向上发展了20千

赫到 5×10^8 赫的超声频段，又展拓了 5×10^8 赫到 1×10^{12} 赫的特超声频段。至此，再往上已和 10^{12} 赫到 10^{14} 赫的分子热振动频段相接了。从声频频段往下，发展了20赫到 1×10^{-4} 赫的次声频段。请看，声学研究已经跨越 1×10^{16} 赫这样宽的频率范围！

再说，传统声学研究的传播媒质主要是空气，而今已经扩展到一切气体、液体、固体和等离子体。研究的传播环境也已经从常温、常压扩展到相当极端的高、低温和高、低压。今天，只要翻阅一下国际上公认为很权威的美国声学学会会刊（JASA）中的论文，便会充分体会到现代声学研究的已经扩展到多么宽阔的领域，几乎牵涉到世界上所有的科学技术和经济部门。

声学既然如此重要，当然急迫需要许多科学普及书籍，特别是需要专门适合青少年阅读的书籍。要让青少年从小了解声学，热爱声学，将来可以献身于祖国的声学科事业。在这方面，朱晓新、唐华同志做了很有价值的尝试。他们是朝气蓬勃、有强烈事业心的青年广播工作者。近年来，他们收集了大量资料，虚心向有关同志求教，经过了几年的努力，写成了这本颇有趣味性的《在声学世界里》，以飨广大读者。

这是对声学科园地的一个贡献，这件工作是很有意义的。我相信，它一定会受到广大读者，特别是青少年读者的欢迎。

李宝善

1985年6月1日

目 录

序

一、人类生活中的声学.....	1
二、悦耳的旋律.....	15
三、声学 and 语言.....	34
四、声学的生理、心理作用.....	51
五、声音与建筑.....	67
六、声学与环境.....	85
七、神奇的超声波.....	100
八、大有用途的水声学.....	115
九、给声音插上翅膀.....	132
十、次声与声波.....	150
后 记.....	166

一、人类生活中的声学

漫长的道路

声学是物理学中最古老的分支学科之一，它是研究声波与相关振动的产生、传播和接收效应的科学。在日常生活中，人们时刻都在同声音打交道。人们相互交往的语言需要有声音，作为众多艺术门类之一的音乐需要有声音。船只在海上航行、火车在轨道上飞奔、飞机在天空中翱翔、汽车和摩托车在公路上行驶都会产生声音。潺潺流水声，沙沙树叶响，牧童短笛歌，林中鸟儿鸣，人类生存的自然界里到处都有声音。

很早很早以前，声音现象就引起了人们的广泛注意。在国外，大约是公元前492—432年，古希腊的恩柏多克利曾经把声音的传播和感受解释为由于非常细致的物质运动的结果，这些细微的物质由发声的物体出发而传至人耳。公元前384—322年，亚理士多德曾认为发声物体会使空气产生压缩和稀疏，并利用反射的道理来解释回声现象。后来，亚理士多德又提出声音的特征应以音调、强度、音色三者来表示。这样，就把声音的三个特征，音调、强度和音色明显地区别开来了。他还认为，这三个特征之所以不同，与空气振动的频率、被激发的空气量以及发声器官的构造有密切关系。

在我国，古代就曾有许多人对声学做了大量研究。东汉

时期，出身“孤门细族”的哲学家王充，就对声音的波动性质提出了明确的解释。宋朝的张载曾提出了“声者形气相轧而成”的论断，说明了物体振动产生声和气流冲动物体发声的道理。在《诗席》上还有过“声成文谓之音，音和乃成乐”。声、音、乐三者不同，但有时又相通，因此，通常用“声音”这种字样来描述之。

在我国古代民间，曾流传着一些关于声学 and 用声学原理解释声共振现象的故事。明代《稗史汇编·审音类》中有这样一段记载：

唐代开元年间，有一位宫廷的乐令曹绍夔。他是西域曹国人，出身于音乐世家。他不仅能弹一手好琵琶，而且还精通音律，通晓声学理论和共振知识。

洛阳有一个姓刘的和尚，是曹绍夔的好朋友。他在房间里挂一副磬，烦闷时，常常敲敲它以舒心境。可是，有一天和尚发现了一件怪事：他没有敲磬，磬却自己响起来了。和尚非常奇怪，因此惊扰成疾。曹绍夔听说了这件事，特意去看望自己的朋友。他是个善于观察、处处留心的人。他发现，当听到寺院里的钟响起来的时候，和尚房里的磬也就共振起来。秘密被揭开了。他对和尚说：你明天设宴好好招待我一顿，我就替你除去心头之病。和尚有些半信半疑。

第二天，曹绍夔吃饱喝足以后，不慌不忙地拿出锉刀，把磬磨了几处。从此以后，磬就不再自鸣了。他告诉和尚说，这个磬原来的音律和寺院里的钟的音律是一样的，所以，敲钟时磬也就响了。和尚恍然大悟，病也就好了。这个钟响磬鸣的故事，说明我国古代人民在声共振现象的研究方面达到了相当完善的地步。

我国古代在音乐声学方面的研究则更是当时世界上开展最早的国家之一。相传在黄帝时，就有了宫商角徵羽的五声音阶。在公元六世纪的《管子》中，阐述了十二平均律。北宋的科学家沈括，曾在他的《梦溪笔谈》中对声音振动、响度、乐器等做了多方面的论述。

然而，在中世纪的一段期间里，由于科学技术发展缓慢，声学也曾一度处于停滞状态，直到十六世纪，声学才重新发展起来。

在十六世纪至十七世纪之间，伽利略比较深入地研究了弦振动的规律，解释了共振现象。梅尔新曾测定了声音在空气中的传播速度。加孙提曾证明，声音的速度与音调无关。世界著名物理学家牛顿，在1687年从理论上导出了计算声速的公式。但是，他没有料到，声波通过介质时，由于介质的膨胀与压缩过程会有温度增加，因而得到的声速数值过小。因此，用他的公式所得出的计算值与实验值并不相符。这一误差，在1816年由拉普拉斯进行了校正。

从十八世纪到十九世纪，电磁学、数学、流体力学、弹性力学等科学的发展，对声学理论的发展产生了很大影响。十八世纪初叶，理论声学也开始创建起来。在此期间，一些科学家太勒、欧拉、达朗伯等人，都为理论声学的研究作出了重大贡献。他们不但解决了乐器的发声问题，而且对研究声波传播也作了许多有益的工作。

到十九世纪末，古典声学发展到了最高峰。英国物理学家瑞利在总结了前人工作的基础上，根据自己多年工作所得到的丰富的实践资料，写了一本《声学理论》。这本书系统地陈述了当时声学的全部知识，至今仍然是研究声学的重要

参考书之一。在这一时期，实验声学研究也有了较大进展。十九世纪初，克拉德尼用实验的方法，详细地研究了各种弹性物体的振动（如弦、棒、板等），为实验声学的发展开辟了一条道路。十九世纪，韦伯兄弟等人研究了声音在液体与固体中的传播，证明声音在液体与固体中的传播同在空气中的传播规律是相同的。十九世纪中叶，欧姆提出了人的听觉只与组成声音的各谐波有关，而与它们之间的相位无关，这就开创了用频谱分析来研究声音的重要方法。赫姆霍兹曾在十九世纪写出了声学界的一部巨著——《听觉研究》，用他的名字命名的赫姆霍兹共振器，阐明了音乐与语言的物理本质。这本书同瑞利的《声学理论》一样，至今仍然是研究声学极有价值的经典著作。

从二十世纪二十年代开始，电子管的出现和放大器的应用，使声学又开始进入一个新的发展阶段。由于电子管的发明，使所有的声学实验方法完全改观了。这种新技术的应用，使人们对声波的研究不再局限于可听范围之内，而可能获得十分微弱的更高频率或更低频率的声波。由于电子技术的不断发展，使得现代声学已经超出了声学基本性质的范围，而渗透到现代科学与国民经济以及日常生活的各个领域中去，为声学的发展开辟了一个广阔的天地。

目前，声学在生产和生活中的应用范围不断扩大。今天我们所能看到和听到的电影、电视、广播、唱片、磁带、曲艺、戏曲等都离不开声学，而声学又与其它科学技术如生理学、心理学、海洋学、建筑学等保持着密切联系。在声学这门科学中，也发展出许多个分支，在后面的章节中，我们将陆续向您介绍音乐声学、语言声学、心理声学、生理声学、

环境声学、大气声学、建筑声学、超声学、水声学、电声学以及次声学等一些分支学科（见图 1—1）。

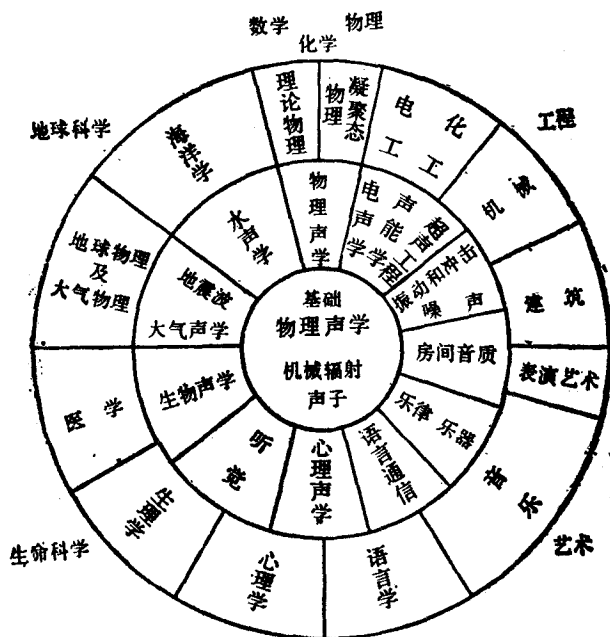


图 1—1 声学分支及其与科学艺术的关系

当你能有幸走进这个奇异的声学世界里，你一定会被那壮观的景色迷住，你会感到这个世界简直就象一座迷宫，许多错综复杂的声学现象呈现在你眼前，它们互相联系、相互交叉，编织成一个网络。这个网络的外延又紧紧连着其它的科学技术。声学为新的科学技术开道，新的科学技术也为声学的不断发展铺平道路。

声音是什么

声学是研究声音的学问。那么，什么是声音呢？准确点说，声——凡是弹性媒质（如空气、水等）质点的振动以波的形式传播时，这种质点运动就称作“声”。由于波的作用，在听觉器官上所引起的具体感受就是声音。

说到声音，首先应该从振动讲起。振动学是研究声学的基础，因为从广义上讲，声学现象实际上就是传声介质如气体、液体、固体等所产生的一系列机械振动，而且声源的发声也是来源于物体的振动。例如，用锤敲打金属，金属振动就会产生声音；用弓子拉琴，琴弦振动，通过共鸣器就会发出优美动听的琴声；当一阵风吹来时，树叶就会不断摇动，因而发出“沙沙沙”的响声；工厂里的机器响声，那就更是机械振动的结果了。

振动，一般有这样几种情况：自由振动，阻尼振动，强迫振动，共振和自持振动等。

用一个简单的实验，就比较容易理解振动这种情况（见图1—2）。用一个弹簧吊挂一个钢球，用手拉开弹簧，到一定距离后放开，小钢球就会上下自由振动起来。如果整个振动过程没有摩擦力，那么，小钢球就会和弹簧一起不停地振动，这就是自由振动。实际上，这种情况是不存在的，在我们这个世界里，到处存在着摩擦力，如果地球上没有摩擦力，人类恐怕也就无法在这个世界上生存了。所以，它们的振动一定会受到摩擦阻力的。

由于摩擦力的存在，如果自由振动得不到能量补充，振动就会从大变小，随着时间的推移而振动逐渐减弱，以至停

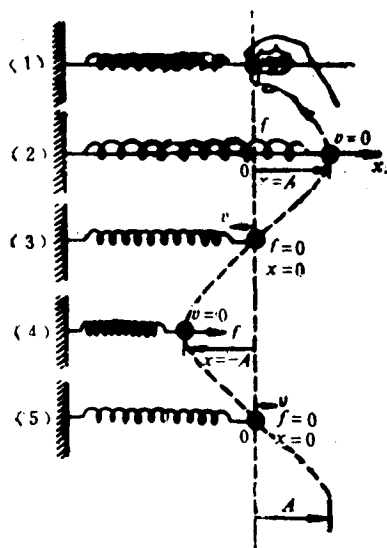


图 1—2 钢球实验

止(如图 1—3 所示)。这种逐渐减弱的振动，是由于受到阻力的结果，因而称为阻尼振动。

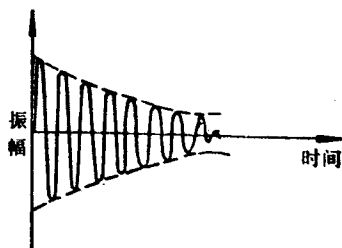


图 1—3 阻尼振动

如果给振动着的小钢球不断地补充能量，例如，不断地拉动它，就会使小钢球继续振动下去。给振动补充以能量，迫使它持续振动，这种振动便称为强迫振动。

能量补充还有另一种形式，例如，吹笛子时，刚开始吹响比较费力，但吹响以后，只要把气流不断地送进笛腔，笛子就会自然而然地响下去，当笛子连续吹响时，实际上就是笛腔内的空气柱在不断地振动。在振动已经形成以后，只需要补充很小的能量就可以维持下去。因此，这种振动称为自持振动。人的发声器官，就是一个复杂的自持振动系统，人的语言，就是自持振动的结果。

物体振动是一种往复运动，往复一周的时间叫做周数。物体每秒钟振动的周数叫做频率。频率记作“ f ”，频率的单位是赫兹（Hz）。某特定物体振动起来以后，由于它本身的物理特性所决定，振动就会固定在某一频率上。人们在从外界给振动补充能量时，一般也要以一定的频率不断加以补充。当外界补充能量的策动力频率与振动频率正好相同时，振动物体就能从外界取得最大的能量，同时，它振动的幅度也就会最大。这种现象被称作共振。

由于这个原因，物体产生共振时，往往会引出一些意想不到的后果。十八世纪中叶，法国昂热市有一座102米长的桥梁，当一列士兵正步通过这里时，桥梁突然断裂，造成226人丧生。类似的事件在其它国家也有发生，这种破坏事件就是由“共振”造成的。当大队人马迈着整齐的步伐过桥时，由于士兵步伐的频率正好与桥的固有频率一致，桥的振动就急剧加强，以至超过了桥梁的抗压力而造成桥梁断裂。

然而，共振也会给人类带来一些好处，例如乐器，就是靠共振使声音加强，变得动听悦耳的。

物体发声同上面所介绍的振动一样，是由物体振动而发出声音来的。当然，发声的方法很多，有弦振动发音、管内空气柱振动发音、电声器件发声以及机械振动产生的各种噪声等等。我们把一切由振动发声的物体都叫做声源。

但是，如果只有声源而没有传播声音的介质，人们还是不能听到声音的。这就好象我们用玻璃罩子罩上一个响着铃的闹钟，刚罩上时还可以听到响声；如果玻璃罩内的空气被抽去，没有了传播声音的介质，那么，就不可能听到闹钟铃声了（图1—4）。

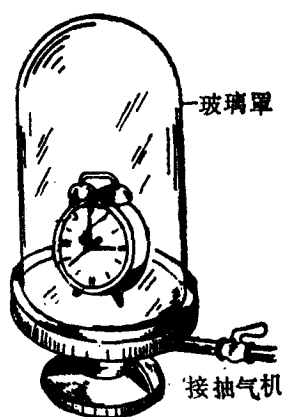


图1—4 玻璃罩里的闹钟

由此可见，除了有物体振动发声之外，还需要有介质将声音传播出去，人的耳朵才能听到声音。这样看来，要想产生声，必须具备两个条件：一是物体振动，二是传播振动的介质。当然，要想听到声音，还必须具有接收声音的工具——耳朵。

声音在本质上讲是一种波动，它同我们通常知道的无线电波、光波一样，只是它的振动频率范围相对电磁波、光波低得多。声振动的频率大约是从千分之几赫到几万赫的范围。当然，其中包括有低于人耳可闻范围的次声波、人耳可

以听到的可闻声波和高于人耳可闻范围的超声波。

声音的传播

人们的耳朵听到的声音，是由传播介质的分子运动进行传播的。当声源振动时，会把邻近的空气分子推到一起，并且压缩这些分子，使得这些分子变得稠密；而当声源向反方向振动时，又会使邻近的空气分子变得稀疏起来，因此，这时而稠密、时而稀疏的波动传播开来，就成为声波。

这种情况就好象在一个平静的水面上投下一块石子引出一层层水的波纹一样，水的波纹是以石子的落水点为中心向四周传播开去（见图 1—5）。

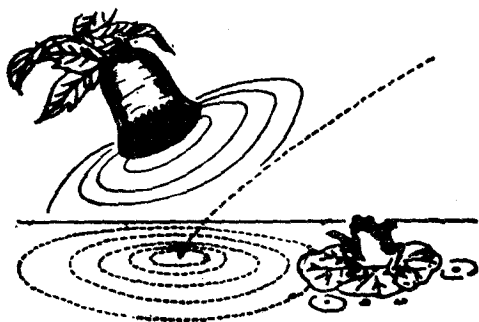


图 1—5 水波纹图

声波的传播速度取决于构成介质的分子的结构状况。由于介质分子的情况不一样，因此，声音在不同的介质中的传播速度也就不一样。

在空气中，由于分子彼此相隔很远，几乎互不干扰，它

们之间的被压缩或被稀疏是通过间接周期的运动而完成，但分子之间彼此分开。因此，声音在空气中传播的速度就比较慢。在 20°C 和标准大气压下，声音每秒钟可传播344米。

在液体中，分子是互相接触的。因此，压缩与稀疏的周期变化传播较快。这就使声波在液体中传播的速度要高于在空气中的传播速度。声波在水中的传播速度大约是每秒钟1450米。

在固体中，分子都是比较稳固地保持在各自的位置上，它们保持得越稳固，被挤压到一起时弹回的速度就越快。因此，声波在液体中传播的速度比在空气中要快，而声音在固体中传播则比在液体中传播还要快。声音在固体中传播，尤其是在刚性固体中传播的速度最快。例如，声波在钢铁中每秒中传播约5000米。

在空气中，空气分子在较高温度下比在较低温度下运动速度要快，所以声音在暖空气中要比在冷空气中传播得快。在空气中，温度每升高 1°C ，声速每秒钟就会增加0.607米。在 0°C 时，声音以每小时1193公里的速度传播，温度升高 1°C ，声速每小时就提高2.2公里。

过去，曾有人认为声音的传播速度取决于物质的密度，声音在高密度的物质中传播，要比在低密度的物质中传播得快，如水和钢铁比空气密度高，因此声音在水中或钢铁中传播要比在空气中传播得快。其实，这是不对的。如果是那样，暖空气的密度要比冷空气的密度低，而实际上声音在暖空气中传播却要比在冷空气中传播速度快，这岂不是无法解释了？因此说，声音传播的速度不是取决于物质的密度，而是取决于构成物质的分子固有的状态。