

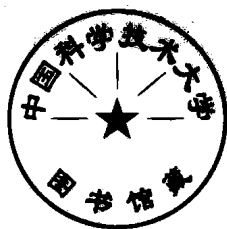
生物 与 声波



吉林人民出版社

生 物 与 声 波

段维生 禾火 编写



吉 林 人 民 出 版 社

生物与声波

段维生 禾 火 编写

*

吉林人民出版社出版 吉林省新华书店发行

长春新华印刷厂印刷

*

787×1092毫米32开本 4 1/2印张 96,000字

1980年10月第1版 1980年10月第1次印刷

印数: 1—8,940册

书号: 13091·57 定价: 0.34元

内 容 提 要

“禽有禽言，兽有兽语。”近年来，一门研究生物声学行为的新兴科学——生物声学，引起了科学界的浓厚兴趣。

生物与声的关系极为密切。请看！茫茫大海中，鲸鱼唱着奇妙的“歌”在遨游；蝙蝠名副其实的用耳朵“看东西”；一只经过训练的大猩猩和训练它的人吵起架来了，……这样例子到处都是。

本书通俗形象、生动有趣地从探索生物声学行为的机理和意义、环境声波对生物的影响以及声学仿生等各个方面阐述了生物声学在工业、农业、国防和日常生活等领域中的重要作用。适于中等文化程度的广大读者阅读。

前 言

“两个黄鹂鸣翠柳，一行白鹭上青天。”诗人笔下的自然景色是多么幽雅秀美呀！柳树丛中，两只黄鹂唱着婉转的歌儿跳来跳去；一行白鹭放开清脆的歌喉，展翅飞上蓝天。目睹田园美景，耳闻百鸟啼鸣，怎能不令人心旷神怡！

自古以来，人们就对莺歌燕语、虎啸猿啼有着种种神话般的传说。相传，孔子的三千弟子里，有个叫公冶长的，是一个能知鸟语的人。公冶长家境贫穷，自己的老母亲病了，想吃点肉也买不起。他正在犯愁，忽然一只鸟儿落在他家门前树枝上吱喳叫道：“公冶长，公冶长，南山死个大绵羊，你吃肉，我吃肠。”公冶长半信半疑，跑到南山一看果然不错，于是高高兴兴地割肉而回。

鸟能给人报信吗？人能通晓鸟“言”兽“语”吗？

随着科学的发展，一门研究生物发声和接声机制、生理、生态特征及其规律，探索声波对生物的影响并为人类造福的科学——生物声学，已经在科学百花园中破土而出，含苞待放。

生物和阳光、水分、空气等环境条件是密不可分的。离开这些环境条件，生物就难以生存。生物与声波的关系以前尚未被人们所重视，但是事实已经证明，这种关系绝不是可有可无的，而是必不可少的。

生物本身是有秩序、有组织的复杂系统，与生存环境不断交换着各种信息。以利于各自的生存和进化。在文字出现以前，高等生物人类和许多动物一样，通过发声来传递信息。即使文字出现以后，人类在书信、报刊、电传、电视等方面虽已掌握了各种高级手段，但声音仍然是交换信息的重要方式*。而各种动物用声波来交换信息，其作用绝不亚于人类的语言。可以毫不夸张的说，倘若没有声波，一些生物将无法生存下去，我们这个世界简直不可想象！

科学技术的进步，电子学、无线电技术、数学、物理学、化学等科学的突飞猛进，有力地促进了人们对生物声学的研究。近二十多年来，精密的声波测量仪器以及录声、放大等技术设备的日臻完善，为我们提供了有利条件。因此，我们对生物声波特性的认识能够由浅入深，由表及里。语言声学、听觉的研究及噪声的控制等方面，已迈入现代科学的行列；海洋生物声学、超声波的应用及次声波的效应等领域，正向纵深发展。现在，我们对生物声波本质的了解已进入了一个新的阶段。

* 研究声波与人的关系，是语言声学、环境声学等学科的任务，本书不过多的阐述。

目 录

前言	(1)
一、声的世界	(1)
声源和声波(2) 声波的频率(2) 声波的速度(3)	
音色(4) 声压(5) 声强和声功率(6) 声波传播的特性(7) 声波的吸收(7) 乐音和噪声(8) 共鸣(8)	
二、动物的发声本领	(10)
舌簧喇叭(10) 鸟的歌喉(12) 鱼儿不是哑巴(14)	
提琴大师(17) 尾巴的妙用(21) 各种各样的发声器官(22)	
三、动物的接声能力	(25)
头上的花朵(25) 有耳无廓(29) 鱼有耳吗?(31) 没有耳, 但不聋(33)	
四、动物的语言	(37)
大猩猩说话了! (39) 海豚打电话(43) 蜜蜂、蟋蟀的通讯(46)	
五、动物发声的意义	(49)
联系集群, 通报险情(49) 吸引异性, 繁衍子孙(52)	
求饮索食, 诱取猎物(55) 恫吓天敌, 保卫自身(57) 喜怒哀乐, 表达感情(60)	
六、我国古代对动物声波的认识和利用	(64)
百鸟啼鸣的韶乐(64) 孟尝君巧出关卡(67) 义务向导(71) 家畜家禽的由来(74) 兽医诊病的秘诀(76)	
七、近代科学对动物声波的研究和利用	(78)
以声治虫(78) 海洋牧场(82) 飞机的卫士(87) 水	

污报告员(89) 蝙蝠与夜蛾的启示(90) 盲鱼与盲人
(94)

八、环境声波对动物的影响…………… (98)

噪声的危害(99) 次声的威力(102) 超声的过与功(105)
乐声的魅力(107)

九、声波对植物的作用…………… (111)

大槐树能“开口说话”吗?(111) 与超声结缘(114) 增产新
法(117) 噪声的“克星”(119)

十、诱人的前景…………… (122)

蟑螂的“感震仪”(122) 沙蝎的“勘探器”(124) 能听会
说的机器人(126) 给大海治病(128) 让战舰常锐(130)
降服飞蝗(132) 生物大家庭(134)

一、声的世界

我们的世界是有声有色的。在生物所生存的环境里，到处存在着声波。

一阵微风吹来，树叶发出沙沙响声；山间小溪，流水潺潺；雨声哗哗，雷声隆隆，……说不尽的自然声波。

一架飞机掠过，轰鸣的马达声震耳欲聋；车轮滚滚，战舰呼啸；焊枪滋滋，锻锤当当，……人类给大自然增添了数不清的机械声波。

一台收音机打开，悦耳的乐曲传来。这是磁致伸缩或压电晶体引起的电磁声波。

然而，自然界里更大量存在的却是十分复杂的生物声波。

广阔的原野上，狮子张开大口发出怒吼，犹如第一声春雷。深沉的虎啸，回荡山谷。冬天雪夜，饿狼发出凄凉的嚎叫，令人恐怖。

一望无边的大森林里，百鸟啼鸣。有的婉转清扬，有的呢喃私语，有的高吭豪放。

蔚蓝的大海中，碧波万顷的湖面下，奔腾不息的江河里，从来不是平静的。水族有的在纵情“歌唱”，有的在细声“交谈”，有的在“窃窃私语”。

盛夏和仲秋的傍晚，又是各种昆虫“练噪赛歌”的大好时光。夜深人静，一切都停止了喧闹，似乎万籁俱寂了。其

实，自然界并未平静，不少昆虫正背着人们以超声波在偷偷的“谈话”。

那么，声是什么呢？

科学家告诉我们，声是一种机械振动的传播。为了叙述上的方便，有必要先介绍一些声学的基本概念。

声源和声波

发声的物体，称为声源。上面提到的各种各样的发声，都是声源。用力敲鼓，随之用手去摸鼓面，就会觉得鼓面在振动，同时发出鼓声。说话时，用手摸咽喉，也会感觉到它在振动，话声停止，振动也停止。由此告诉我们，声音是由于声源振动而产生的。声源振动使周围气体、液体、固体等物质的分子被压缩或稀疏，造成波动，这种波动连续交替地向四面八方传播开来，就叫声波。声波是我们的主观感受，客观上它只是物体机械振动的传播。

声波的频率

声波每秒钟振动的次数叫频率，单位是赫兹，简称赫。每秒钟振动一次是1赫。频率较高时，为计算方便，常以千赫为单位。如15000赫，写做15千赫。

人耳接受声波频率的范围是有限的，频率太高太低的声波都不能引起人对声音的感觉。人耳听到的最低音是20赫，最高音是20千赫。当然，还因人而异，年龄及环境也会对其有所影响。习惯上把这个频率范围的声波叫做声音或声波。频率低于20赫时，人耳就听不见了，称做次声波，或超低声。

次声波由20赫直到 10^{-4} 赫。高于20千赫时，人耳也感受不到，称做超声波。超声波的频率范围由20千赫一直到 5×10^8 （5亿）赫。由 5×10^8 赫延伸到 10^{12} （1万亿）赫，叫特超声波。

各种声源发声的频率千差万别，使得声波丰富多采。例如小鼓的声波是每秒钟振动80~2000次，即频率为80~2000赫。钢琴发声的频率范围是27.5~4096赫，大提琴是40~700赫，小提琴是300~10000赫，笛子是300~16000赫；男低音发声的频率范围是70~3200赫，男高音为80~4500赫，女高音是100~6500赫；人们普通谈话的声波频率在500~2000赫之间。

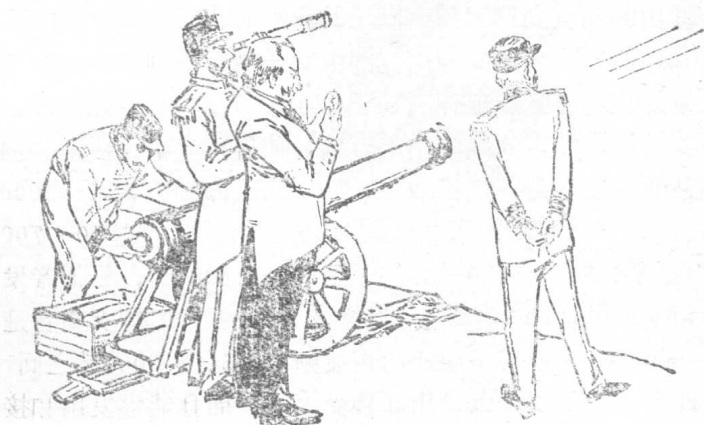
许多动物不仅可以发出和接受声波，而且能够发出和接受超声波，有的还可以感受次声波。

在声波的频率范围内，发声的频率决定着音调的高低。频率高，音调也高，声音尖锐；反之，频率低，音调也低，声音低沉。

声波的速度

声波在不同的介质中传播速度显著不同。1738年法国几名科学家为了测得声音的速度，曾把两门大炮架在相距2万7千米的两个山头上。甲山头放炮时，乙山头上的人便测量看见炮的火光后听到炮声所经过的时间，再由乙山头放炮，甲山头测量时间。这样算出来的声音在空气中的传播速度是每秒337米。由于测量条件的限制，测量的结果是不精确的，现在已经测得的声波速度是（空气中常温常压下）每秒传播344米。淡水中为1430米，海水中1500米，钢中5800米，铝中6400米，石英玻璃中5370米，而在橡胶中仅为30~50米。

把耳朵贴近铁轨，能够早些听到火车驶来的声音，就是



因为声速在金属中比空气中传播的快。据试验，用一口半吨重的大钟在水中敲打，响声在水中可以传播35公里远，说明声波在水中传播要比空气中好得多。

介质的温度、压力变化，声速也随之改变。上面所讲的常温是指 20°C 时的气温，假若气温降到零度，声波在空气中每秒传播的距离就由344米降至331.5米。气温每升高 1°C ，声速增加0.607米。

音 色

大自然中，各种物体发出的声音都有不同的特点。蛙鸣不同于鸡啼，狼嚎不同于狗叫。就是同一种类，发出的声音也各不相同。圈里的猪在叫食，饲养员会很容易地判断出哪头猪在叫。院子里几只狗吠，主人一听也就会知道哪条是自家的狗。

动物发声都有各自的基本波形，称为基波。但是由于个体之间的差异，它的基波的谐波有多有少，导致声音变化多

端。假如某一动物发声的基波是100赫，那么就会有成倍数的谐波（或称倍频）混入，如200赫、300赫、400赫……。混入的谐波数量不同，音质各异。我们把这一特性叫做音色。同一种乐器，之所以具有各自独特的音品，就是因为音色不同的关系。混入的谐波越多，也就是泛音越多，听起来就更悦耳。高频率的泛音多，声音则变得沉重、庄严、厚实。

声 压

羊的叫声轻软，而驴的叫声则洪亮，很远都能听见。什么道理呢？

声波是具有弹性的疏密波。当声波使空气分子变密，压强就升高；空气分子变稀，压强就降低。就是说，声音的大小与声源的振动强弱有关。声波的连续振动，使空气分子不断交替的压缩和松弛，使大气压迅速产生起伏。这个起伏的部分，引用物理学压力的概念，称为声压。声压大，声音就强；声压小，声音则弱。表示声压的单位是牛顿/米²。在某些情况下，用声压做尺子来衡量声音的大小。正常人耳刚能听到声音的声压是 2×10^{-5} 牛顿/米²，普通说话声的声压是 $2 \times 10^{-2} \sim 7 \times 10^{-2}$ 牛顿/米²。这样小的声压是微不足道的，全国人民一起高声谈话所产生的声压，加到一起也只相当于每平方厘米受到1000公斤左右的压力；而某些机械振动产生的声压是很大的，如凿岩机、球磨机的声压为20牛顿/米²，此声压可使人耳产生疼痛的感觉，而声压高达数百牛顿/米²的喷气飞机的强烈噪声，则可引起鼓膜损伤及耳内出血。从人耳刚能听到声音的声压到人耳产生痛感的声压，其绝对值相差约100万倍。为计算方便，人们便引出一个成倍比关系的对数

量——级，就是以声压级来表示声音的大小，单位是分贝（db）。普通谈话声的声压级为60~70分贝，凿岩机、球磨机的声压级为120分贝。

声强和声功率

声波作为一种波动形式，必然具有一定的能量。为表征声波能量的大小，引出了声强和声功率这两个物理量。

声强是在声波传播的方向上，单位时间内通过单位面积的声能量，单位是瓦/米²或瓦/厘米²。

声功率是声源在单位时间内辐射出来的总能量，单位也是瓦/米²或瓦/厘米²。

人耳能听到最弱的声强是 10^{-16} 瓦/厘米²，听到最强的声强为 10^{-4} 瓦/厘米²，后者为前者的1万亿倍。应用起来很不方便，因此和声压一样，也用级来表示，单位是分贝。如刚能听见声音的声强（听觉阈）是0分贝，使人耳产生疼痛感觉的声强（痛觉阈）为120分贝。

人们普通说话的声功率约为 10^{-5} 瓦，能量是很微小的，用这样的能量来烧开一壶水，要动员全北京人连续大声叫喊10小时才行。人在发声时所花费的能量，仅有百分之一转换成声音的能量，绝大部分能量都变成其它形式的能量了，主要是热能。巨大火箭发射时产生的声功率可达25~40兆瓦。绝对值相差悬殊，因此也和声压、声强一样，以声功率级来表示。小电钟的声功率级是40分贝，声功率为 10^{-8} 瓦，普通说话的声功率级是70分贝，声功率为 10^{-5} 瓦，气锤声的声功率级是120分贝，声功率为1瓦，喷气飞机声的声功率级是160分贝，声功率为10000瓦。

声波传播的特性

声波和光一样，在传播的过程中具有反射、折射、绕射和干涉的特性。声波遇到障碍物会反射回来，在山谷里大喊一声，会有相应的回声，就是声波反射的结果。当声波从空气中入射到水中或金属物体内部，除反射外，还将发生折射现象。同一介质，不同层次的温度、压力不同时，声波也将发生折射，白天接近地表的空气温度高于上层，所以地表面声波传播的快，而上层传播的慢，声波向上折射；夜间相反，地表面的温度低于上层，声波向下折射，所以能听到较远的声音。顺风时，声波在上层传播的快，向下折射，所以顺风说话传的远；逆风说话则传的近。

声波在传播途中，遇到障碍物或孔洞时，若声波的波长大于障碍物，会很容易绕过去，如果墙上有孔洞，也很容易产生“漏声”，这是声波的绕射现象。

两个声源的声波在传播途中还可以互相叠加，发生干涉现象。

声波的吸收

声波随传播距离的增加，声强会逐渐减弱，能量被逐渐吸收。实际测试表明，空气对频率低的声波吸收弱，而对频率高的声波吸收强。频率越高，吸收越强，频率很高的超声波，离开声源不远就几乎被吸收完了。观看节日游行时，如果十分留意，便会发现一个有趣的现象：当一个乐队从很远的地方慢慢走来，起初什么声音也听不见，后来各种声音依

次出现了，首先是听到频率低的鼓声，渐渐的喇叭声、笛声、铃声依次听到了；而当乐队继续向前走去时，随着距离逐渐远了，先听不见的却是频率高的铃声，然后笛声、喇叭声依次消失，而低沉的鼓声要等队伍离开很远才听不见。这种现象就是空气对不同频率的声波吸收程度不相等所造成的。在对人体进行超声波诊断和治疗时，要将患者被测部位先涂些甘油之类的接触剂，目的就是使仪器的探头与人体的皮肤接触紧密，防止超声波被空气吸收，从而有利于诊断和治疗。

相同频率的声波，在不同介质中被吸收的程度也有显著的差异。一般在空气中声波被吸收得最多，液体中吸收的差些，固体中吸收最少。

乐音和噪声

很多鸟类是善于鸣叫的，黄莺、八哥、云雀等整天地唱个不停，婉转动听；而乌鸦只会发出“呱、呱、呱”的叫声，十分单调。黄莺、八哥、云雀的鸣声是声带有规则的振动发出来的，使人听起来感到轻松愉快，精神振奋，或引起沉思和怀念。这种声音叫做乐音。乌鸦的叫声是声带不规则振动发出来的，使人听起来感到厌烦、难受、精神不振，甚至引起神经症状。这种声音叫做噪声。

从物理学角度来讲，乐音有一定的频率和周期性的波形，噪声是各种不同频率和声强的声波无规律的杂乱组合。

共 鸣

我国唐代发生过这样一件事，洛阳一座庙里，放在桌上

的磬半夜里没人敲竟自己响起来，信神疑鬼的老和尚被吓出病来了。有一位叫曹绍夔的人，前来探望老和尚的病，问明原委后，就动手降鬼。他拿铎把磬铎动几处，从此磬就再也不自己响了。原来，是共鸣现象作的“鬼”。庙内钟楼的大钟和这个磬音调相同，当夜里有人在钟楼上敲钟，就引起屋里的磬也跟着响起来。用铎改变一下磬的音调，也就不再闹“鬼”了。这种此响彼应的现象，就叫声波的共鸣。



共鸣现象对声波的传播有很重要的意义。敲响一支音叉，声音并不响亮，当把它放到共鸣箱里，声音忽然增大了许多倍。一些动物发声之所以特别响亮，是因为它们有一个良好的共鸣箱——鼻腔、咽腔或口腔——的原故。