

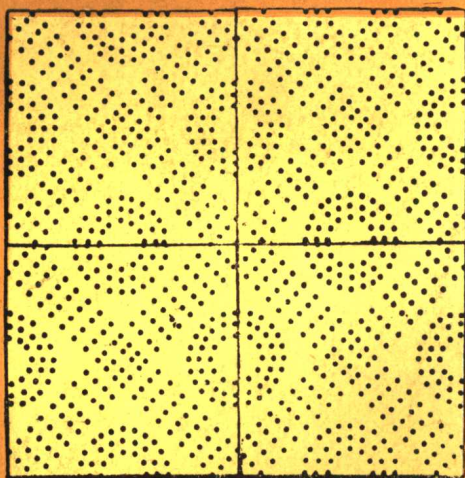
中学生课外读物

现代科学技术丛书



现代生活中的声音

吕如榆 著
高彦良



人民教育出版社

中学生课外读物
现代科学技术丛书

现代生活中的声音

吕如榆 高彦良 著

人民教育出版社

本书简要地叙述了现代生活中与可听声有关的各种有趣而又有用的现象和规律。内容包括声音的物理性质，人耳的听觉机制和对声音的感觉特性，人的发声器官和语音的特色，通信工程和音质设计等。本书将涉及到音乐、艺术、电视广播、医学诊断、电声器件和具有听说智能的机器人等方面。本书叙述虽然通俗易懂，但并没失去科学性。本书适用于在校中学生、社会知识青年以及已参加与声学有关的工作人员参考。对中学教师充实现代科学知识也有所裨益。

中学生课外读物
现代科学技术丛书
现代生活中的声音

吕如榆 著
高彦良

人民教育出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
人民教育出版社印刷厂印装

开本 787×1092 1/32 印张 6.375 字数 195,000

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数 1—1,400

ISBN 7-107-10391-1
G·1485 定价 2.15元

序

根据邓小平同志关于三个面向的指示，人民教育出版社与中国物理学会组织了一个现代科学技术丛书物理学编委会。本人受编委会委托负责组织丛书的声学部分，并由我作内容校核和文字修改。有关专业术语和声波的基本性质，统一归在这本《现代生活中的声音》中叙述。

本书初稿由高彦良同志根据我多年来的一些讲演稿和收集的资料编成，后经过我修改、校正，有些内容作了重写，又补充了很多新的内容后定稿的。本书在叙述上尽量通俗易懂、生动活泼，希望能引起读者对声学的兴趣，进而立志于从事声音这门有趣的科学；而在选材和讲解上又十分注意科学性和对初从事声学工作的人员有实用价值。书中所列图表，都经过我们仔细核实并绘制成图。在引用国内外其他人的研究成果时，我们都一一注明了出处。

本书得到马大猷教授的指导和关怀。在内容和选材上曾多次与程明昆、李昌立、俞铁成、齐世铃等同志商讨，这对本书颇有助益，特此致谢。由于我们文学修养不高，叙述尚有些枯燥，行文缺少趣味，也可能还有不当或错误之处，希望读者和有关专家多加指正。

吕如榆

85.5.30

目 录

序.....	4
第一章 绪论.....	1
第 1 节 社会生活与声音.....	1
1.1 声音是社会信息交换的媒介.....	1
1.2 现代社会的信息与通信.....	2
1.3 声音与艺术.....	3
1.4 声音与环境.....	5
第 2 节 声音的物理性质和客观量.....	6
2.1 声音的产生和传播.....	6
2.2 声的反射、衍射和散射.....	10
2.3 表述声音的客观量.....	13
2.4 声压级、声强级和声功率级.....	16
2.5 分贝值的运算.....	21
2.6 频带宽度、频带级与谱级.....	25
第二章 听觉与声音的主观量.....	27
第 1 节 引言.....	27
第 2 节 听觉器官及其功能.....	31
2.1 外耳.....	32
2.2 中耳.....	33
2.3 内耳.....	35
2.4 骨传导.....	37
2.5 听觉机制.....	38
第 3 节 声音的主观量.....	40

3.1 听觉区域(听野).....	41
3.2 响度级和响度.....	43
3.3 音调.....	48
3.4 音色.....	50
3.5 A声级.....	50
第4节 听觉的几个效应.....	54
4.1 双耳效应与声音的立体感.....	54
4.2 掩蔽效应与临界带宽.....	56
4.3 人耳的自卫功能和听觉疲劳.....	61
4.4 回声感觉——哈斯效应(Haas Effect).....	62
第5节 听力测试和外耳道声阻抗测量及其在耳病 诊断中的应用.....	64
5.1 听力测试和听力图.....	64
5.2 外耳道的声阻抗.....	67
第三章 语言与通信.....	72
第1节 人的发声器官及其功能.....	73
1.1 声门以下部分——气流供应库.....	74
1.2 声门对气流的调制.....	75
1.3 声道的共振和清辅音的发声机制.....	78
1.4 声道的共振模型.....	81
第2节 语言特性和语音分析.....	83
2.1 语言的构成.....	83
2.2 语谱仪和语谱图.....	84
2.3 语音的特性和共振峰的识别.....	88
2.4 声调.....	90
2.5 语言的平均频谱和起伏特性.....	92
第3节 清晰度试验和清晰度估算.....	94
3.1 清晰度和可懂度.....	94
3.2 单字清晰度和单词可懂度测试.....	97

3.3	单字清晰度估算——20 频带法	99
3.4	普及型通信系统清晰度的估算——语言干扰级法	104
3.5	讲演厅中清晰度的估算	107
第 4 节	几种新型的语言信息机器	112
4.1	语言识别机	113
4.2	语声信息编码传送器——声码器	116
4.3	听、说智能机——机器人的展望	120
第四章	音质与艺术	124
第 1 节	电声机件的音质	124
1.1	传声器的选择	125
1.2	扬声器的音质	132
1.3	扬声器匣的设计	135
1.4	从爱迪生的留声机到近代的立体声收录机	139
第 2 节	乐器的音质	142
2.1	引言	142
2.2	弦乐器	147
2.3	管乐器	151
2.4	打击乐器	154
2.5	电乐器	162
第 3 节	音乐厅和剧场的音质	166
3.1	最佳混响时间的选择	166
3.2	厅堂体积和形状的考虑	173
3.3	增加有利反射, 避免回声干扰	178
3.4	谈谈厅堂中的扩散问题	182
3.5	厅堂中的扩声系统	183
第 4 节	控制音质用的吸声材料	187
4.1	多孔性吸声材料	187
4.2	共振性吸声材料	192
4.3	新型吸声结构	196

第一章 绪 论

第1节 社会生活与声音

1.1 声音是社会信息交换的媒介

地球上充满着声音。人们无时无刻不处在声音的环境中。人们往往通过各种各样的声音作为媒介来交换信息和表达感情。

其实，用声音交换信息和传达感情，并不局限于人类。我们从电视“动物世界”节目里，就能看到各种动物用各自特有的声信号来表示危险将到，警告同伴及时御敌。许多鸟类发出婉转悦耳的声信号来表达欢乐的情绪。有些动物还用奇异的音响来寻求配偶，传达爱慕之情……等等。

在原始社会，人类虽然也用简单的声音来交换信息，不过由于人类有较大的肺活量，喉头和口腔形成了完善的发声器官，他们发出的声音就其发声的灵活性和变化的多样性来说，比动物发出的单调声音要好得多。

在人类社会相当长的时间中，可能经历了几万年，才从单靠发出各种声音传递信息和表达感情的阶段慢慢发展成固定的语言。语言的形成乃是人类社会区别于所有动物的一个重要标志。语言的产生和发展有一个由低级到高级、由简单到

复杂的逐渐完善的过程。文字的形成要比语言迟得多。有些民族至今还只有语言没有文字。中国的汉字传说是仓颉创造的，但据历史学家考证，文字是人类同自然斗争的产物，有一个从结绳记事，经过金文、甲骨文等等逐渐完善的过程。

1.2 现代社会的信息和通信

有人说现代社会是信息社会，这是很有道理的。工农业新技术的应用、科学新发明的出现、社会新关系的形成和发展，都是通过各种信息交换来实现的，而且现代社会各领域的进展也用新的信息表达出来。所以现代社会归结为信息社会，正是从这一侧面反映了现代社会的特点。特别在计算机技术发展和推广以后，有了信息存贮、处理和提取手段的现代社会，更能够说是信息社会了。

当然，信息的表达方式有很多种：声、光、电、磁等等都可以作为表达信息的媒介。但语言是最重要、最自然、也是最容易被理解的一种社会信息表达方式。

语言信息的交换，我们就称为**语言通信**。语言通信有很多方式：轻声耳语、促膝谈心、小组发言、大会报告、电话联系以及电视讲演等等。所有这些语言通信都会受到干扰，对语声的干扰可能来自环境，也可能来自传输工具。例如，大会报告要受会堂音质的影响。大家知道，在一个混响时间太长或音质很差的厅堂内，报告是无法听清的，只能听到一片模糊的轰轰之声。电话受传输系统的影响很大，用电信工程的术语讲是电话通信的存真度受到系统的影响。不用说，用通信卫星传送电视讲演会受许多方面的制约。即使轻声耳语也

是会受环境噪声干扰的。在吵闹地区，连大声呼喊都听不清，哪能进行轻声耳语呢？

由此可见，语言通信涉及到很多方面，而其中非常重要的基本因素是代表语言信息的声音本身的质量。只有包含着信息的声音能确保有很高的存真度，能把在信息传输过程中受到的各种噪声的干扰减到最低限度，语言通信才能顺利进行。这就是说，在现代社会，对声音质量的要求和控制乃是语言通信中非常重要的一个环节。

1.3 声音与艺术

从广义上讲，艺术也是一种信息，只是它交换的并不是某个具体事件和消息，而是一种思想和感情，或者是引起人们思索的某些启迪。艺术信息可以通过舞台上人物的对白、演唱、或音乐演奏等各种不同特色的声音来表现。

关于艺术信息，不象科研或市场信息那样容易理解，所以要多说几句。比如，就音乐来说吧，柴可夫斯基的〈天鹅湖〉舞曲中〈小天鹅〉的插曲，能非常生动地传达给你一种轻松愉快、活泼可爱的信息。贝多芬的〈田园交响乐〉又会给你带来乡村恬静、幽雅的一派田园山水的信息。又比如，从我国民族戏曲来看，京剧梅派清脆、悦耳的歌喉，会给你带来美的享受，而程派委婉曲折、余音绕耳的唱腔，又别具一番风味。麒派大师周信芳在“追韩信”中用苍劲老练又带点嘶哑、局促、喘急的唱腔，表现了萧何急于求贤的那种紧张迫切的感情信息。而越剧名师袁雪芬在“梁祝”哭灵中感人肺腑的唱段，把祝英台由悲伤到对封建社会迫害的控诉的感情信息，真实感人地传

达给了听众。这些艺术家们的精采演唱，把角色内心世界中蕴含的感情信息表现得非常真切细微。艺术确实是包括着感情和思想信息的。包含在音乐和演唱中的那些感情信息，很难用语言、文字来代替。

唐代著名诗人白居易和李贺，曾以诗的形式把音乐中美妙的旋律和蕴含的信息表达出来，白居易在“琵琶行”中，用“大弦嘈嘈如急雨，小弦切切如私语。嘈嘈切切错杂弹，大珠小珠落玉盘。”形象地描绘出琵琶演奏的声音。又用“花底莺语、流水泉咽”描绘出低沉的音律。李贺在“李凭箜篌引”中则用“啼竹、泣露；石破、玉碎”来模拟箜篌（一种弹弦乐器）弹奏的声响，这些诗篇读来固然使人赞叹不已，确系脍炙人口的名篇，但它们却无法把琵琶、箜篌演奏出的、包含在声音里的那些信息传达给读者。

由此可见，艺术是密切同声音有关的。音质好的声音，才能表达出感人的艺术效果。

怎样的音质才能收到良好的艺术效果呢？这是个非常复杂的问题，涉及到声音的很多物理性质，也涉及到人们收听、欣赏、鉴别和品味的主观因素。这个问题，现在正处在研究阶段，尚无定论。但有两点看来是起码的。首先，要求人们对语言、音乐能够听懂，也就是说，要求有一定的可懂度。而且对话、音乐要听得清，模糊一片的声音，一定毫无艺术效果。其次，音乐和演唱要有一定的韵味，要使人感到是美的享受。干瘪的音乐，枯燥无味的歌声，虽听得清楚，但淡而无味，也是收不到良好的艺术效果的。（这个问题我们将在第四章讲“音质与艺术”时再详细讨论。）

近十几年来，人们对电声机件的音质要求，不断地在提高。根据电声产品的市场信息，十年前有一股要求低频音响丰富的风：喇叭要大的、功率要大的，很长时间市场上大功率大口径的喇叭是紧俏货。最近几年来，又有一股立体声的需求风，不仅收音机、录音机要求立体声的，连电视机也要求有立体声感的，等等。这些风并不坏，它正说明人们对声音与艺术的关系理解得更深入了。更可喜的是近几年来富裕起来了的农民对电声机件的要求也提高了。这些都是对电声机件工业的促进。

1.4 声音与环境

声音受环境的影响，在1.2节讲到语言通信时已提到，环境噪声会相当严重地干扰语言信息的传递。其实，随着工业的发展，机器运转速度的提高，功率的加大，特别是喷气式飞机和宇航飞行器的出现，声音的功率越来越大，大到不仅影响了语言信息的交换，还严重地危害了人们的身心健康。

讲到这里，有必要对现代生活中的声音分一分类。从对人们需要与否可分成两大类：一类是需要的声音，它包括着信息，是社会各种信息交换的媒介，这一类包括语言、音乐和歌唱的声音，以及含有各种有用信息的声音。另一类是不需要的声音，它干扰通信，使人产生烦恼，甚至危害到人们的健康。这后一类声音我们就称为噪声。按定义，噪声是不需要的声音。

根据环境污染的调查，证明目前有三大主要污染源，即废气、污水和噪声。在城市内影响最直接，涉及面最广的要数

噪声。从我国各大城市环保局收到人民控告书的统计来看，噪声占 80% 以上。这说明噪声与环境污染有着非常重要的关系。

噪声对环境的污染是多方面的。除了噪声影响通信外，噪声对听力的损伤最甚，严重的会造成噪声性耳聋。其次是强噪声导致人们的内科疾病，主要是心血管系统疾病。噪声对环境再一个污染是所谓“噪声引起人们的烦恼”；或者人们对噪声感到“讨厌”，在一定程度上影响了工人的工作效率干扰了人们的睡眠、导致人们注意力的转移等等。

近几十年来噪声引起了声学家、机械工程师、工业管理人员、医科专家以及企业领导等各方面人士的重视。“噪声控制”已形成一门独立的学科，有它自己完整的体系，内容非常丰富。

第 2 节 声音的物理性质和客观量

本节要从空气中的机械波的角度来谈声音的物理性质和表述声音的客观量。我们将以目前高中物理课本上已有的内容为起点，再进一步讨论描述声音性质的概念和物理量。这些概念和物理量对本书下面要讨论的各个课题是非常有用的。

2.1 声音的产生和传播

大家知道，在固体、液体和气体媒质中传播的机械波，都

称为**声波**。与听觉有关的声音，主要是指在空气媒质中传播的纵波。

声波是由于振动着的物体(音叉臂、扬声器膜片等)同周围空气相互作用而产生的。这点我国宋代学者张载已有论述：“声者形气相轧而成也”。他说的“形”就是振动着的物体，“气”就是空气媒质，“相轧”就是两者相互作用，这同现代对声辐射的理解是一致的。

物体的振动，会带动着紧靠物体的一些空气质点振动。这些空气质点的振动是与物体的振动一致的。现在我们只讨论振动体右边的空气。当振动体向右运动时，紧贴振动体右边的空气受到压缩，密度增大。当振动体向左运动时，紧贴振动体右边的空气就扩张，密度减小。因此，当振动体左右振动时，紧靠振动体右边的空气层就会有疏密相间的变化。

现在要问：靠近振动体右边空气层疏密相间的变化，怎么会以疏密波的形式向右传播呢？现在以压缩层为例来说明。我们知道，空气是有“弹性”的，当它被振动体压缩时必然要产生向外恢复的弹性力，其中向右的弹性力将推动离振动体较远并与压缩层相邻的静止空气向右运动。当静止的空气层受弹性力作用向右运动以后，由于“惯性”，空气就要继续向右运动，直到更右边的空气层受压缩而产生向左的弹性恢复力使运动着的空气层减速到静止时为止。这最后讲到的压缩层的向右的弹性恢复力又推动离振动体更远的、新的静止空气层向右运动……依此类推，所以压缩层就会一直向着右方传播。同样道理，稀疏层也会一直向着右方传播，所不同的只是稀疏层的弹性恢复力与压缩层的方向相反，疏密相间的波（即

声波)就是这样在空气中传播的。声波传播的速度称为声速 c , 它只取决于空气媒质本身的弹性(空气的压缩系数 k)和惯性(空气的密度 ρ), 与声波强度、声波形式等无关。声速 c 与空气压缩系数 k 和密度 ρ 的关系是

$$c = \sqrt{\frac{1}{k\rho}} \text{ (米/秒)}. \quad (1.1)$$

在大气压为 1.013×10^5 帕(即 1 标准大气压) 和室温条件下, $k = 7.14 \times 10^{-6}$ 米²/牛, $\rho = 1.2$ 千克/米³. 所以声速 c 在正常室温情况下是 340 米/秒.

振动物体来回振动一周的时间称为周期 T (秒), T 的倒数称为频率 f (赫). 声波在一个周期的时间内传播的距离称为波长 λ (米). 波长 λ 与频率 f (或周期 T) 和声速 c 的关系是

$$\lambda = c/f = cT \text{ (米)}. \quad (1.2)$$

图 1.1 形象地表明了声波产生和传播的过程. 其中的(A) 显示出振动体向右振动四分之一周期时, 振动体右边四分之一波长距离内, 越靠近振动体表面的空气受到的压缩越大, 密度越大, 而四分之一波长以外的空气仍处于静止(或平衡) 状态. 其中的(B) 显示出振动体振动了二分之一周期时, 空气的压缩区已扩展到二分之一波长的范围, 而且紧靠振动面的空气已趋于平衡态. 受到压缩最大(空气最密) 的区域在二分之一波长的中间区. 其中的(C) 显示出四分之三周期的情形, 这时波已扩展到四分之三波长的范围上, 在靠近振动面的四分之一波长区域内, 形成了稀疏层. 越靠近振动体稀疏的程度越大, 即密度越小. 其中的(D) 显示出振动体作了完整一

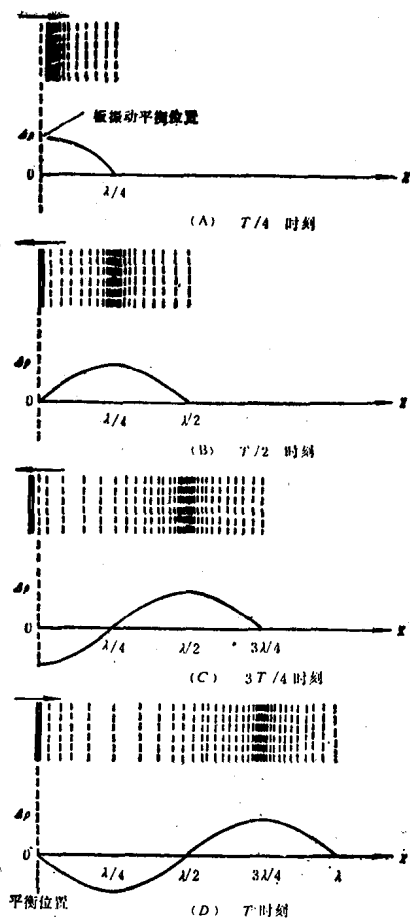


图 1.1 振动板产生声音的过程

周振动的情况。这时波的前峰已达到一个波长的距离。靠近振动体的空气层又恢复到平衡态。在振动体的右方形成了一个完整的压缩层和一个完整的稀疏层。各个图下方的曲

线，表示的是密度偏离平衡值的差值 $\Delta\rho$ 与距离 x 的关系。这个差值 $\Delta\rho$ 为正时，对应于压缩；为负时，对应于稀疏。声波就以这种疏密波的形式疏密交替地向右一直传播。

要注意的是，不要把空气质点的振动速度 u 同波传播的速度 c 混淆起来。质点总是在平衡位置左右来回振动的，不会由于声波向右传播而把空气质点也带着向右传去；传出的只是声音的波动形式，或者说只是机械波中所包含着的能量和动量，不是空气媒质本身。另外，从数量级上来看，声速 c 也要比质点的振动速度 u 大得多。举例说，离人 1 米距离高声喊叫，可以使人震耳欲聋，此时空气质点振动速度充其量只不过 3 毫米/秒，跟 340 米/秒的声速相比实在是小得无法比拟。

由此可见，想像吹灰尘那样，用高速气流把噪声吹走，显然是办不到的。这点我国西汉著名文学家司马迁在《史记·游侠列传》中说过：“顺风而呼，声非加疾。”意思就是风是不会把声音加速的。一般的风速不会对声的传播产生多大的影响（除非大到接近于声速！）。

2.2 声的反射、衍射和散射

声音在传播的过程中，如果碰到障碍物，它就会出现反射、衍射和散射的现象。这同光波是相似的，是波所共有的性质，差别只是可听声的波长比光的波长要长得多。可见光的波长约在 0.4 到 0.7 微米的数量级，而可听声的波长约在十几米到几厘米之间。对我们日常生活中的器具来说，光的波长总是小得多，可把光看成几何射线；但声的波长可以比日常器物的尺寸大得多，也可以比日常器物的尺寸小得多，也可以