

物理学基础知识丛书

环境声学

马大猷 著

科学出版社

环境声学

马大猷 著

科学出版社

1984

内 容 简 介

本书主要介绍声音的特性、厅堂音质问题、噪声的规律以及噪声对城市、工业、人身的影响。书中还着重介绍了噪声的控制和环保措施。本书可供具有中等文化程度的学生、工人、干部和科技人员阅读。

环 境 声 学

马 大 猷 著

责任编辑 姜淑华

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984年7月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1984年7月第一次印刷 印张: 5 1/2

印数: 0001—6,400 字数: 121,000

统一书号: 13031.2600

本社书号: 3578.13—3

定 价: 0.70 元

00000000

代 序

1978年8月，中国物理学会在庐山召开年会，不少物理学工作者有感于物理学在提高全民族科学文化水平和实现“四化”中的伟大作用，建议中国物理学会与科学出版社合作，编辑出版一套《物理学基础知识丛书》，有计划有系统地普及物理学的基础知识和物理学的新发展。这一倡议当即得到了广泛的响应。为此，中国物理学会理事会进行了认真讨论，积极热情地支持了这一建议，于是，就在风景绮丽的庐山，在中国物理学会和科学出版社的共同主持下，正式成立了本丛书的编委会，讨论和制定了丛书的编辑方针和选题计划。正式开始了丛书的编辑出版工作。

物理学研究物质的运动规律，物质的结构及其相互作用，它是许多科学技术的基础。从本世纪开始，物理学经历了极其深刻的革命，从宏观发展到微观，从低速发展到高速，由此诞生了量子物理学和相对论，并在许多科学技术领域引起了深刻的变革。本世纪以来，物理学在认识和改造物质世界方面不断取得伟大成就，不断揭开物质世界的奥秘。原子能的利用，使人类掌握了新的能源；半导体科学技术的发展，导致了计算技术和自动控制系统的革命；激光的出现焕发了经典光学的青春；凝聚态物理学的发展，使人们不断创造出许多性能大大提高的材料……；因此，向广大读者宣传物理学的基础知识以及物理学的新发展，乃是提高全民族科学文化水平和实现“四化”的需要。我们编辑出版本丛书的目的，就是试图在这方面贡献一份力量。

本丛书将着重介绍现代物理学的基础知识，介绍物理学的最新发展，要求注重科学性。我们希望作者发扬创新精神，力求做到题材新颖，风格多样；勇于发表独创性、探索性的见解，以活跃读者思路。在文风上则要求做到准确、鲜明、生动，深入浅出、引人入胜，以说透物理意义为主，尽量少用数学公式。

在编辑出版丛书工作中，我们得到了广大物理学工作者的热情支持和鼓励，还得到老一辈物理学家严济慈、钱临照、陆学善等同志的热情赞助和关怀。美国加州大学热斐尔学院院长吴家玮教授应邀积极参加编委会工作，并约请了美籍学者为丛书撰稿。我们一并在内致以谢意。

《物理学基础知识丛书》编委会

《物理学基础知识丛书》编委会

主 编: 褚圣麟

副主编: 马大猷 王治梁 周世勋 吴家玮 (美 籍)
汪 容

编 委: 王殖东 陆 埏 陈佳圭 李国栋 汪世清
赵凯华 赵静安 俞文海 钱 玄 潘楦镛
薛丕友

目 录

代序.....	(v)
第一章 声学与环境	(1)
1.1 声学的范围	(1)
1.2 声学环境	(1)
1.3 声学系统	(2)
1.4 环境声学中的辩证法	(3)
1.5 从次声到超声	(4)
第二章 声波	(6)
2.1 古代对“声音”的理解	(6)
2.2 声波	(7)
2.3 球面波和平面波, 声源功率, 功率级	(10)
2.4 声强级和声压级	(12)
2.5 分贝的计算	(14)
2.6 频谱和频带	(18)
2.7 声波的反射、折射、衍射、散射和驻波	(20)
第三章 听觉	(25)
3.1 人耳的解剖学	(25)
3.2 人耳的功能	(26)
3.3 声音的主观量度	(32)
3.4 音调	(32)
3.5 响度和响度级	(34)
3.6 声级计	(38)
第四章 室内音质	(42)
4.1 音质问题	(42)
4.2 室内声场	(44)

4.3	音质设计	(48)
4.4	露天剧院和音乐壳	(54)
4.5	放大系统	(56)
第五章	噪声控制	(61)
5.1	噪声污染	(61)
5.2	噪声对人的影响和噪声标准	(63)
5.3	主要噪声源	(67)
5.4	控制措施	(67)
第六章	声源控制	(71)
6.1	低噪声设备	(71)
6.2	气流噪声	(73)
6.3	撞击性噪声	(80)
6.4	阻尼	(82)
6.5	隔振	(83)
6.6	噪声源测量	(85)
第七章	传声途径	(88)
7.1	途径的控制	(88)
7.2	吸声材料	(89)
7.3	隔声	(93)
7.4	隔声屏障	(97)
7.5	隔声罩、隔声间	(99)
7.6	有源吸声	(101)
7.7	吸声和隔声的测量	(106)
第八章	听力保护	(107)
8.1	概论	(107)
8.2	听力测量	(108)
8.3	护听器	(109)
8.4	助听器	(113)
第九章	交通噪声	(114)
9.1	城市噪声	(114)

9.2	汽车	(119)
9.3	铁路系统	(123)
9.4	飞机	(125)
第十章	工业噪声	(129)
10.1	工厂噪声控制计划	(129)
10.2	建筑施工噪声	(130)
10.3	制造业噪声	(132)
10.4	工业产品	(134)
10.5	日用机电产品	(139)
10.6	炼油厂噪声	(141)
10.7	发电厂噪声	(142)
第十一章	城市规划	(145)
11.1	影响居民对噪声反应的因素	(145)
11.2	城市分区	(147)
11.3	公路规划	(148)
11.4	建筑规划	(151)
11.5	标准和规范	(156)
第十二章	展望	(158)
12.1	环境保护	(158)
12.2	理论研究	(159)
12.3	实验和测量技术	(161)

第一章 声学与环境

1.1 声学的范围

声学是研究声波的产生、传播，接收和效应的科学。狭义的“声音”指的是人耳能听到的可听声。但是，一般讲，声波则是在任何弹性媒质（固体、液体、气体）中传播的扰动（压力、应力、质点速度、质点位移等的变化或其中几种的同时变化）。从这个角度看，声学的范围是非常广的；声波是人类研究周围世界的主要工具之一（其它还有电磁波包括光波和高速粒子轰击），从这个意义来说整个声学就是环境声学，图1.1说明此点。声学几乎触及人类活动的每一方面。平常讲环境声学，主要指建筑音质问题与振动和噪声控制问题，研究人类的声学环境，当然也触及其它方面。

1.2 声学环境

理想的声学环境要求需要的声音（讲话、音乐等）能高度保真，不失本来面目，而不需要的声音（噪声）不致干扰人的工作、学习、思考、休息。研究声音质量（音质）问题的建筑声学是现代声学最早发展的一个分支，而研究减少噪声干扰的振动和噪声控制则是五十年代以来由于工业交通运输业的发展而建立起来的最新分支。环境声学的基本内容是这两个方面，但由于噪声问题越来越严重，而影响面非常广，几乎没有一个城市居民不受到噪声干扰或危害的，所以主要的问题是在振动和噪声控制。

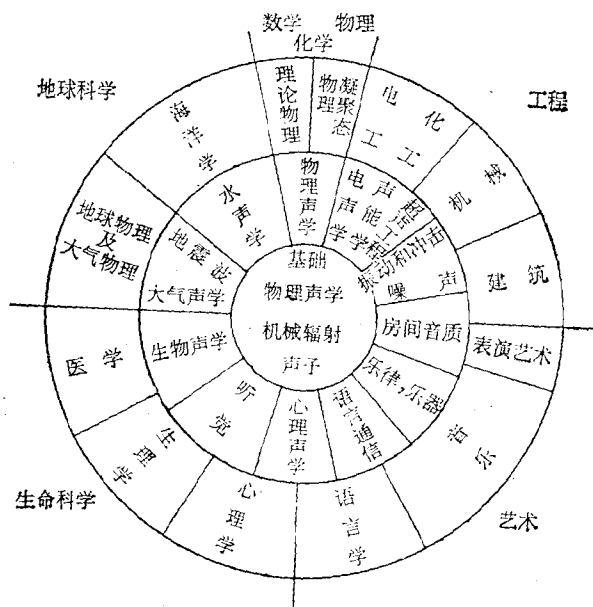


图1.1 声学分支及其与科学艺术的关系

1.3 声学系统

在音质问题中，在振动和噪声控制中，以及在任何声学问题中，都必须考虑声源、传声途径和受主三个基本环节所形成的声学系统。解决任何声学问题也必须从分析这个系统

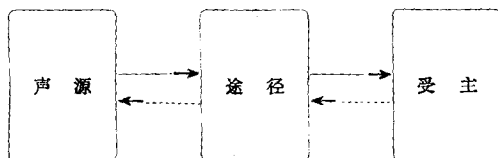


图1.2 声学系统

出发。事实上，图上的声源可能是单个声源，也可能是很多声源，例如马路上的汽车，车间中的机器等，传声途径也可能很多，受主可能是单个人，一组人，整个区域中的人或是灵敏的精密仪器。图上的实线箭头表示正常的传声过程，虚线箭头则表示相互作用。

声源、途径、受主都是统计性的，意思是说它们都不只是一个，而且随着时间不同都可能有所变化。以交通噪声为例，马路上的车辆多少、大小、快慢是不断变化的；噪声经过门、窗传入室内，门窗有时开、有时关，途径就有改变；室内人有多有少，各人的听力也有很大不同。声源、途径和受主都应从统计特性来分析。

声源、途径和受主的相互作用也不可忽略。一个人作报告时比对面谈话时声音就大得多。机器在不同环境条件下运转时，声功率也有所不同。途径的特性要受声源和受主的影响，对这一点也许一般想不到。但是我们知道，汽车消声器装到不同的汽车上，效果就不一样。同样，受主的特性也受声源和途径的影响。

在研究声源、途径和受主组成的声学系统时，要注意其统计特性，既要注意平均情况，也注意变化规律。例如，在吵闹的车间中工作的工人，听力要受到损伤。平均说起来，也许损伤并不严重，但如果其中百分之三十或五十可能达到耳聋的程度，就不能不注意了。

1.4 环境声学中的辩证法

上节所述统计性是问题的一个方面，环境声学涉及人，因而需要考虑的问题常是多方面的，答案也常常不只一个。仍以噪声问题为例，若噪声很严重，百分之三十或五十工人

要耳聋，如何办？降低噪声使它不致使任何人受到损伤，在技术上是完全可以达到的，但是在经济上可能是不合理的。目前，任何国家都没有足够经济力量把全国工厂的噪声都降低到完全不损伤人的程度。一般的规定就是把噪声降低到“可接受”的程度，这时仍会有10%或20%的工人有耳聋的危险，因此再规定对在较高噪声下工作的工人每年进行听力测量，对耳朵比较灵敏而听力已开始受影响的工人要调整工作，这样就使全体工人受到保护了。改善声学环境一定要考虑经济问题，但是前提是改善到“可接受”的程度，否则就失去意义了。特别是在噪声控制工作中，经济问题是一个重要问题，其它还有环境问题，工人操作要求等等。一个好的方案要求指标合理，经济上合理，符合操作或使用要求。问题必须全面考虑。

还有一个事前考虑和事后补救问题。不管是音质还是噪声问题，在设计时采取措施，都不需要增加投资或者增加投资很少。而在完成以后有缺点再加以补救（例如会堂内听不清报告，工厂噪声影响四邻，或设备吵闹不能使用，等等），投资就很可观了。掌握环境噪声规律，完全可能避免事后的浪费。

总之，环境声学的核心是声学，但又不纯粹是声学问题，它涉及心理学、社会学、经济学、管理学等方面，研究环境声学问题既要求高度科学性、也要求高度艺术性。

1.5 从次声到超声

平常讲声音指的是可听声，本书中所讨论的也将限于此。可听声的频率范围是20—20 000赫（频率的概念见第二章）。20赫以下的声波称为次声，20 000赫以上的声波称为

超声，这些虽然人耳听不到，但也不是与人无关。次声的频率可以达到很低，1961年智利大地震时，曾收到每一小时振动一次的声音（在地壳里），1908年6月30日西伯利亚流星大爆炸产生的次声绕地球转了几圈，周期也是几十分钟。人听不到而能感到的主要频率是在2赫至20赫之间，一般晕船晕车就是在这个范围。现在已证明在汽车内，巨大桥梁和建筑旁都有次声，次声对人的影响和评价方法也正在研究中。现在可产生的超声已达到1兆（ 10^{12} ）赫以上，一般说来超声对人无影响。而且超声是非常有用的，超声可以在任何物体中传播，所以它比X射线更有用而且无害，可以用超声检测金属和非金属构件，而用超声检查和诊断人体内器官的病变，在有些情况用超声进行治疗，则已成为蓬勃发展中的医学电子学了。超声在空气中和水中的应用也很重要。

第二章 声 波

2.1 古代对“声音”的理解

我国古代是对声学有突出贡献的国家之一。不但乐律、乐器等发展很早，对声学的理解也是先人一筹。早在六千年前仰韶文化的陶器上已有水纹图案，到了汉朝王充《论衡》中更明确地把声和水波类比，对声音的波动性质提出正确的概念。对于声音的产生，宋朝张载说：“声者形气相轧而成”，这包括气体互相作用的雷电，固体互相撞击、固体高速穿过气体、高速气体喷注及其与固体相遇时产生声音的过程，几乎和今日的了解完全相同。在用字上也很讲究，“声成文谓之音”（音是好听的声，现在称为律音），“音和乃成乐”（音乐），声音是一般的词，代表客观的声波。“响之附声如影之著形”，所以响是声的作用，也就是人的听觉。现在我们用“声音”一词有两个意思：客观的声振动和主观的声感觉（后者也叫响声），从古时就是这样。噪则是“群呼烦扰”，令人烦扰的声音是噪声。用字的严格正说明对客观现象的深入观察和理解。

另一方面，希腊哲学家也已知道声音是从物体运动产生的，可以在空气中通过某种运动传达到人耳，而引起听觉。这种理解基本是正确的，只是空气中的未知运动，还待以后阐明罢了。后来有人把声音和水波类比，到了牛顿以后才提出了严格的波动理论。

一个有趣的事实是，人们从一开始对声的本质就有基本

正确的认识。但对其它物理现象却不都是这样。例如，光和热也是人类很早就利用和研究的自然现象，但直到牛顿时代（十八世纪初）占上风的还是光的微粒说，认为光是微小的粒子组成的。钻木取火可能是人类征服自然的第一步，但人类对热的本质一直没有正确认识。热质说（认为热是一种特殊物质）仅在一百多年前恩格斯才加以批判，直到二十世纪六十年代国际上才正式采用能量单位表示热量。相比之下人类对声的认识却是很突出的。

2.2 声 波

声波的基本物理特性是它的强度、频率和波形。声音在空气中传播时，空气的质点并不传到远处去，只是振动的能量传出罢了。设声源是一振动着的音叉。如图2.1，当音叉

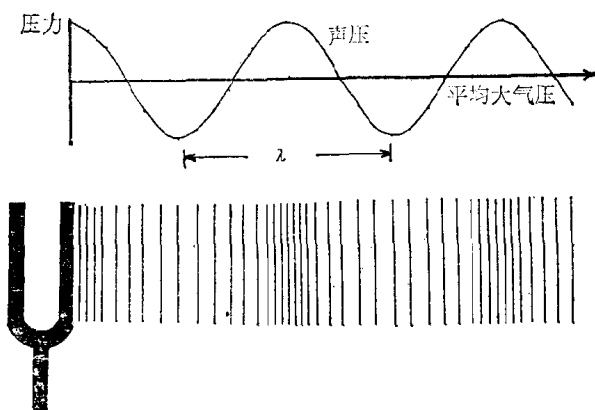


图2.1 音叉产生的声波

向前推动时，它把附近一层空气压紧，但空气是有弹性的，体积变小了的空气层压力增加，大于平均大气压力。这超过

大气压力的部分（声压，与强度有关）就要推动更远一层向前流动，流动的快慢与它的惯性（决定于每单位体积中的质量，即密度）成反比，这一层空气受压后压力也增加，又推动更远一层，如此类推，空气的运动和声压就传出去了。空气的弹性（与大气压力成正比）越大，传播的速度也越大，它的惯性（与密度成正比）越大，传播的速度就越小。音叉向回振动时，它前面的空气就变稀薄，这就使它的局部压力小于大气压力（声压是负值），使更前面的空气流向音叉，反方向的运动和负声压也就这样传播出去。这样，在音叉振动时，疏密相间的声波就不断传播出去。图2.1上面是压力的变化。声波是纵波，空气质点只在原地振动，振动方向与传播方向相同。在这一点上，声波与水波不同，水波传播时，水的质点基本是上下振动，与传播方向垂直，称为横波。在流体（气体和液体）中只能有纵波，在流体表面只有横波；在固体内可以有纵波，也可以有横波，但在固体表面上也只有横波。从广义说来，以上都是声波。在任何媒质中，声波传播都是弹性与惯性的矛盾产物。

声波速度（传播速度）只和物质的性质有关，在空气中声速在 15°C 时为340米每秒（340m/s），温度每升高一度，速度增加0.6米每秒。在很多情况，可以用测量声速的方法，测量温度。但变化范围大时，二者的关系更复杂些。这个方法是非常重要的，有些情况温度不易甚至不可能直接测量时（例如几十公里高空大气的温度，核反应堆内的温度等），测声速是唯一的方法。在海水中，声速约为1500米每秒，在钢铁中约为5000米每秒，温度影响较小。

声音每秒钟振动的次数称为频率，单位是赫（每秒振动一次为1赫，符号Hz）。声波中相邻的同相点（声压最大点，最小点等）相隔的距离称为波长，单位是米（m）。很