

高等学校环境类教材

环境噪声控制工程

Environmental Noise Control Engineering

贺启环 主编
He Qihuan

清华大学出版社

高等学校环境类教材

环境噪声控制工程

Environmental Noise Control Engineering

贺启环 主编

He Qihuan

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书论述了噪声控制的基本概念、基本理论和系统思路,介绍了噪声控制的技术方法和工程应用。全书共 10 章,内容包括噪声及噪声控制概述、噪声控制的物理基础、吸声技术、隔声技术、消声技术、隔振与阻尼、噪声控制技术应用、噪声和振动测量、声环境影响预测、噪声控制实践等。

本书可作为高等学校环境科学与工程、劳动保护与安全工程专业的教材,也可供从事环境保护、城市规划、建筑设计等工作的科技人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

环境噪声控制工程/贺启环主编.--北京:清华大学出版社,2011.2

(高等学校环境类教材)

ISBN 978-7-302-21576-9

I. ①环… II. ①贺… III. ①环境噪声—噪声控制 IV. ①TB53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 225119 号

责任编辑:柳萍 洪英

责任校对:王淑云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26.75 字 数:643 千字

版 次:2011 年 2 月第 1 版 印 次:2011 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:49.00 元

古人在《声类》一书中,对“噪”字的解释为“群呼烦扰也”,噪声就是一种使人“烦扰”的声音,两千年前古代对噪声的这种记载说明当时只是有人喧哗而成为烦扰人的噪声,传承中文“望字生义”的文字结构传统,“噪”字的构字主体就是由人形框架上的许多个“口”组成。在研究、学习噪声和噪声控制之前,了解以下问题是十分有益的。

1. 声音是什么

“如果森林里有一棵树倒下来,可是当时旁边一个人也没有,没有人听见这棵树倒下来的声音,这是否能说明声音的存在呢?”18世纪时,这还是一个难题(同样的例子也有很多,例如闪电与雷鸣)。对这个问题的回答,肯定的和否定的同样都行。没有唯一答案的原因在于“声音”这个词具有双重的意义。因此,要解开18世纪的这个谜,就得事先说明,究竟该把什么东西看作是声音,是把物理现象(空气中振动的传播)还是把听者的感觉看作是声音。就实质而言,前者是因,后者是果。“声音”概念的第一个定义是客观的,第二个定义是主观的。

然而,不论从什么角度去研究声音,就是说,不论从客观的角度还是从主观的角度,不论是从物理的观点还是从生理的观点去研究,声音都具有能量。在前一种情况下,声音是像河流一样的能流。声音能够改变它所经过的介质,同时本身也为介质所改变。在后一种情况下,把声音理解为由于声波的作用使听者产生的感觉(经过听觉器官到大脑)。这种声音具有能的各种形式(因而也有从室内声能分布的规律来研究室内声场的可能)。人们依靠这种声音可以辨认出周围肉眼所不能觉察的许多崭新的性质。一个人听到声音之后,可以感到高兴或者感到恐惧,比如说,听见孩子的笑声会感到高兴,听见狼嚎则感到恐惧。我们所说的音乐是一种复杂声音的复合体,它能引起我们感情的千变万化。声音又是作为人类社会主要交际工具的言语基础,声音对人的生理、心理干预实在太强烈了,指出这一点是很重要的。此外,还有一种特殊形式的声音,即噪声。很多人聚集在一起时,噪声特别大(“群呼烦扰也”);噪声能引起各种痛苦的感觉,在极端的情况下,甚至能对听觉造成不可挽回的损伤。从主观感觉的观点分析声音要比对声音作客观的评价来得复杂。

一般认为,人类认识声音自语言开始。大约公元前200年,秦朝李斯的《仓颉篇》中声字写作“警”,意为声从言,声是与语言有关的;同时也有写作“聾”的,即声从耳,声是耳朵听到的,并逐渐通行了。这是古人对声音认识最直接的表述。到宋代关于声的知识和分类有了进一步的发展:声是一般声音的总名,有规律的叫作“音”(乐音),音组织起来则成“乐”,扰人的声是“噪”,人耳听到的则叫“响”。温馨的环境离不开声音的柔谐和声调的香韵。在古

代,我国另一个受到重视的问题是共振现象,在欧洲却讨论不多。原因可能是共振和我国古代“天人相应”的哲学思想符合,共振称为“应”声。

2. 声学理论的研究方法

声学是研究声波的产生、传播、接收和效应的科学。声学理论问题的来源主要是自然现象或实验结果。只有深入探讨其物理因素和机理,进行物理分析,寻求最佳措施,经过数学处理,才能完成理论。物理措施和理论本身越简单越容易掌握,也越容易运用和推广。不仅如此,只有这样的理论才真实反映事物的本质和核心。因此,中间物理分析步骤非常重要,最后结果决定于此,须特别注意。结果必须正确,但不可避免存在些许误差。一般声学计算和测量多准确到 1dB(10%),所以理论有些小误差并不碍事,只是在特殊情况下,才要求更为严格。可容许的误差范围必须明确。声学是应用学科,理论要用以预计实验结果,所以必须定量,只说明其存在是不够的,这是与纯粹学科的不同之处。在只知道声波可传播到远方时,牛顿用物理分析方法于 1687 年推导出声波的传播速度,求出声波的传播速度等于压力与密度之比的二次方根,方法非常巧妙,当时的大科学家没有一人看得懂他的推导,但都认为结果是有误的,因为算出的声速 288m/s 与当时的测量值 332m/s(与现在的准确值差不多)有显著差别。到 1749 年欧拉看懂了牛顿的推导,并用更简单明了的推论导出牛顿公式,这时已经过了 60 年。又过了 60 年,拉普拉斯推论声波的变化应是绝热过程,压力应乘以比热比 γ ,声速公式 $c=(\gamma p_0/\rho_0)^{1/2}$ 才完全符合实际。这说明物理分析与推论是理论发展所必需的,也说明数值正确的重要性。事实上,数值正确也需要物理分析。

3. 声学中的数学方法

在理论的推导和表达以及实验数据的处理中,数学是必需的。但是声学研究是把数学作为工具,而不是研究数学本身。声学理论要求其中数学简单、正确,数学不甚严格,无伤大雅。一般物理学家相信,自然规律都像引力、电磁力等那样是一次方、二次方等的幂数关系,而且幂数都是整数,有人说“上帝只创造了整数”,声学当然也不例外。但实际上,复杂关系不可避免,即使理论结果是复杂函数,声学家也常设法将其近似为简单解析式,虽然稍有误差(5%左右),但便于理解、掌握和运用。穿孔板声阻抗理论的发展即是如此。在实验数据处理中,取得简单规律也需要物理分析。

赛宾混响时间公式是 20 世纪第一个应用声学公式,哈佛大学的赛宾(W. C. Sabine)经过物理分析得知混响时间与吸声材料的面积(吸声量)有关,为得到这个公式竟花了他 5 年的时间(白天教书,晚上实验、计算)!事实上,他工作 3 年后已获得非常丰富的实验数据,可是整理这些数据,总也得不到规律。直到后来,他发现要把房间原有的吸声量计算在内,这才得到混响时间与吸声量成反比的关系,欢喜得大叫“Eureka”(希腊文:我找到了),和古希腊时代阿基米德发现王冠内的含金量一样高兴!现在国际声学界的最高奖“赛宾奖”就是以赛宾的姓氏命名的。

在这里,赛宾对室内声场运用了开创性的统计声学的分析方法。在一定条件(大空间或频率较高)下,统计声学以室内声能分布关系的统计性为基础,而可以不再考虑声的波动性,从而避免了去解复杂的由大量室内简正弦组合的波动方程。室内声场的统计声学分析方法虽然不如基于波动理论的物理声学方法严格,也不如它能充分揭示室内声场的本质,但在解

决室内声场的实际问题中既简单又有效,而这正符合声学研究方法的理念。

声学常数在定量和数学处理中是重要因素,在一般使用时,比较简单的近似值更为有用,哲学家言“与其忘掉准确值,不如牢记近似值”。许多论著中使用的是 ICAO (International Civil Aviation Organization, 国际民用航空组织) 标准大气的近似值,基础是大气压 $1\text{atm}=10^5\text{Pa}$, 重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$, 温度 15°C ; 声速通常取 340m/s , 而空气中的特性阻抗常取 $400\text{Pa}\cdot\text{s/m}$ 等。这些值与标准值相差有限,但容易记、容易使用。

声波的各种量可用复数表示法。复数用于声学使其计算和测试大为简化,使声学网络分析成为可能,特别是对于以平面声波为基础的声学现象。

听觉特性和以听觉为基础的声学量表达方法和测量方法与其他物理领域有所不同。因为人对声音的感受有很大的主观性,使主观感觉可以用客观方法计算、测量,这是声学工作的一大创造,在与听觉有关的声学问题(语言、噪声、音乐等)中都很重要。

类比法是声学研究的一个便捷有效的方法,动态类比是声学系统和力学系统、电学系统统一的问题。三者本质不同,但其微分方程完全相同,因而比较成熟的电学网络中的概念、处理方法和理论完全可以移植于声学网络和力学网络,可以直接类比到微分方程的解。在某种意义上,动态类比是物理世界甚至是整个世界统一的表现。同时,电学中的阻抗概念和对电能传播的影响在声学中同样类比有效,为解释声传播控制提供了理论依据。

电声的关系不仅仅是类同,许多电声仪器是可逆的,声场是互易的,因而电声系统也是互易的。根据互易原理,电声仪器的校准是绝对校准,无须与一个“基准”去比较,这也是声学的一大特点,其他学科是没有的。所以电子学的进步也会带动声学的发展。

4. 学习本课程的建议

(1) 培养声学兴趣

本课程作为环境工程的一门专业课,与“三废”污染治理课程相比,往往容易被轻视,因此如何使师生都来重视这门课程是本课程教学的基础。

爱因斯坦有句名言:兴趣是最好的老师。环境中的声音几乎无处不在,它们包含了诸如音、乐、噪、响等丰富多彩的音质,声音的感觉器官——耳朵——天天挂靠在我们的脑袋(中央处理器)上,人耳对声音的感知频率和感受比其他感觉器官更为强烈,不同的声音可以引发人们喜、怒、哀、乐、惊、躁等不同的心理感觉。在各种各样的声音和声学现象的背后,声学原理的探究自然会引起人们的兴趣,这种兴趣正是学习本课程的强大动力。激发起学生对声音和声学现象探究的浓厚兴趣,可以说是学好本课程的关键一步。

(2) 明确学习要求

对于环境工程或劳动保护专业的学生,声学并不一定是必修的课程,他们仅在《大学物理》这类基础课中接触到有限的声学基础知识。要学生在本课程中全面深入地研究声学理论是不可能的,这在课时上根本不允许;要学生大量地运用物理分析的数学方法,也是不现实的,毕竟讲授的是噪声控制学而不是数学。数学推导和分析在本课程中要简洁明了,重在数学结论和物理意义解析及实际应用上,最终要求学生能正确地运用这些结论来分析、解决环境噪声污染的实际问题。

(3) 培养思维能力

本课程属于物理学范畴,所以也具有逻辑推理严密、推导思路清晰、理论与实际联系紧

密等特点,它在分析、归纳和解决问题时的思维模式与途径具有普遍意义和类比性。在学习本课程的过程中,培养学生这种思维能力是本课程教学的根本目标,它是培养学生开拓、创新能力的基础,也是让学生终生受用的财富。

5. 关于本书

环境噪声控制工程是环境工程专业和劳动保护专业一门重要的专业课程,是物理声学的一个重要分支,也是一门涉及物理学、生理学、心理学、材料学、电子学、建筑学、机械及化工等多学科交叉的综合性、边缘性工程类学科。

本书在介绍声学物理基础知识的基础上,系统而又概括地阐述了噪声控制的原理、方法和有关工程设计计算问题。以常用的、成熟的控制技术为支撑,不拘泥于繁杂的数学过程,但注重物理分析、对物理数学结果的清晰解析与正确运用,尤其注重学习思维的完整性和对声学理论与结果的分析解读,重点在于培养学生分析问题、解决问题、工程设计以及思维与自我获取知识的能力,从而在有限的学时数内获得最大的教学效果。

本书的解题方法中,引入了关键参数的概念。所谓**关键参数**是指一些联系声学参数和几何参数的物理量,这些物理量在解题过程中处于关键性的环节,关键参数的把握有利于建立正确的解题思路。

考虑到噪声控制工程设计、声环境影响评价、环境监测与管理人员的需要,书中编列了噪声的标准和测量以及环境噪声影响预测评价等章节和一些常用的数据、图表曲线等资料。

本书中前后章节虽相互联系,但又具有相对独立性,可以根据教学层次和时数安排适当取舍。有条件的教学单位还可以开展一些声学实验和课程设计等实践活动。

本书每章编写时都首先有一个导读性质的**本章提要**(第2章每节还有**本节提要**),主要介绍本章(节)的教学目标、讲授思路、重点难点等。本书正文中关于噪声控制技术章节内容的表达是讲义式的:根据讲授思路,对重要知识点进行排列,这种排列是按电影语言蒙太奇的方式进行链接的,以非文字式的语言来表达教学思路,不仅简洁明了,又是一种潜在的引导,也有利于教师制作多媒体课件。正文后视章(节)内容和需要有**本章小结**或**本节小结**,归纳总结该章(节)中重要的概念、结论与对它们的解读、分析及由此而延伸出的其他要点,是该章(节)的精华与浓缩及某种程度的延伸,也便于记忆与应用。每章(节)中的例题、思考题和实例围绕重点内容展开,具有一定的**实用性和示范性**。每章(节)之后的作业、习题,又可分为思考型、习题练习型及实践作业型,可以分层次帮助和考查学生对该章(节)内容的掌握程度。本书提供的习题数量较多,主要是对同类型问题给出了不同难度的习题,可根据教学需要适当选用,也可从中选择测验题、考试题,能够满足从大专到一本各层次教学的需要。一些思考题及课堂练习题直接附在相应的正文之后,以加深和检验对相关知识的理解程度。

书中引用了许多作者与声学前辈的论著、手册等,详细的引用情况在参考文献中列出,在此,向他们表示敬意和感谢。

参与本书编写的人员有:贺启环(第1~7章),赵仁兴和廉静(第9章),乔维川(第8、10章)。全书由贺启环统稿。

由于编者水平和时间有限,书中难免存在错误和不足之处,切望专家、读者及广大师生批评指正。

编者

2010年11月

第 1 章 绪论	1
1.1 声音与噪声	1
1.2 噪声污染的特点	3
1.3 噪声污染源	3
1.4 噪声污染的危害	6
1.4.1 噪声对听力的损伤	6
1.4.2 噪声的生理效应	7
1.4.3 噪声对人们生活和工作的影响	8
1.4.4 噪声对动物、建筑物和仪器设备的影响	9
1.5 环境噪声控制	11
1.5.1 噪声控制	11
1.5.2 环境噪声控制的方法	11
1.5.3 噪声控制的程序与方案选择	13
1.6 噪声控制技术的进展	13
1.7 降噪技术在工业产品和军事工程中的应用	14
习题	15
第 2 章 噪声控制的物理基础	16
2.1 振动和声波	16
2.1.1 振动的概念	16
2.1.2 声波与声场	17
2.2 描述声波的基本物理量	18
2.2.1 声波的物理参数	18
2.2.2 质点振动的物理量	20
2.3 声波的基本类型	21
2.3.1 声波的几何表达和函数表达	21
2.3.2 平面声波	24
2.3.3 球面声波	26

2.3.4	柱面声波	27
2.4	噪声的物理量度和声级的计算	28
2.4.1	能量系统的物理量	28
2.4.2	声压级 L_p	29
2.4.3	声强级 L_I	31
2.4.4	声功率级 L_W	31
2.4.5	声级的计算	32
2.5	噪声的频谱与频段	35
2.5.1	频谱和频谱分析	35
2.5.2	频段	37
2.5.3	噪声的时间特性	40
2.6	噪声的主观评价量	41
2.6.1	等响曲线、响度及响度级	42
2.6.2	计权声级和计权网络	47
2.6.3	等效连续 A 声级和昼夜等效声级	50
2.6.4	累计百分声级 L_N	51
2.6.5	噪声评价曲线(NRC)和噪声评价数 NR	52
2.6.6	噪度 N_a 和感觉噪声级 L_{PN}	56
2.6.7	噪声掩蔽	58
2.6.8	语言清晰度指数和语言干扰级	58
2.6.9	评价量的评估	60
2.7	噪声控制标准	62
2.7.1	噪声标准制定的准则	62
2.7.2	声环境质量标准	63
2.7.3	噪声排放标准	67
2.7.4	产品噪声标准	70
2.8	声电类比与阻抗	73
2.8.1	类比法和声电类比	73
2.8.2	波动方程和微分方程	76
2.8.3	复数的应用	79
2.8.4	阻抗和阻抗匹配	80
2.9	声波的传播特性	82
2.9.1	声场	83
2.9.2	声源辐射的指向性	84
2.9.3	噪声在传播中的衰减	85
2.9.4	声波的干涉	88
2.9.5	声波的反射、透射和折射	89
2.9.6	声波的衍射(绕射)和散射	93
2.9.7	声波在变截面管道中的传播	95

2.10 噪声控制工作程序	97
2.10.1 噪声控制的一般原则	97
2.10.2 噪声控制的基本工作程序	97
习题	98
第3章 吸声技术	106
3.1 吸声材料和吸声结构	106
3.1.1 吸声材料和结构的声学分类	107
3.1.2 吸声机理	108
3.1.3 吸声材料(结构)的作用及其性能要求	108
3.2 吸声系数、吸声量及声阻抗	109
3.3 多孔吸声材料	113
3.3.1 多孔吸声材料的结构特征和吸声特性	113
3.3.2 影响多孔吸声材料吸声性能的因素	114
3.4 多孔吸声材料的使用方式和空间吸声体	119
3.4.1 使用方式	119
3.4.2 空间吸声体	120
3.5 吸声结构	123
3.5.1 薄板(膜)共振吸声结构	123
3.5.2 穿孔板共振吸声结构	126
3.5.3 微穿孔板共振吸声结构	133
3.6 吸声设计	135
3.6.1 室内声场	135
3.6.2 吸声降噪量的计算	141
3.6.3 吸声降噪设计	143
习题	149
第4章 隔声技术	152
4.1 隔声评价量	152
4.1.1 隔声构件的传声损失	152
4.1.2 组合构件的隔声量	153
4.1.3 插入损失	155
4.1.4 分隔墙的噪声降低量	156
4.2 隔声构件的隔声性能	158
4.2.1 单层均质隔声墙	158
4.2.2 双层隔声墙	163
4.2.3 复合墙与多层轻质复合隔声结构	167
4.3 隔声装置	170
4.3.1 隔声屏	170

4.3.2	隔声罩	179
4.3.3	隔声间	188
4.4	隔声设计步骤和实例	193
4.4.1	隔声设计计算步骤	193
4.4.2	设计实例	194
	习题	195
第5章	消声技术	199
5.1	消声器和分类	199
5.2	消声器性能评价	200
5.2.1	消声器综合性能评价	200
5.2.2	消声器的声学性能评价量	201
5.3	阻性消声器	202
5.3.1	一维理论的消声量计算式	202
5.3.2	高频失效	204
5.3.3	气流对阻性消声器性能的影响	205
5.3.4	阻性消声器的种类	205
5.3.5	阻性消声器的设计	208
5.4	抗性消声器	209
5.4.1	扩张式消声器	210
5.4.2	共振(腔)式消声器	216
5.5	阻抗复合式消声器	220
5.5.1	阻性-扩张室复合式消声器	221
5.5.2	阻性-共振腔复合式消声器	221
5.5.3	微穿孔板消声器	222
5.6	喷注耗散(扩散)型消声器	225
5.6.1	小孔喷注消声器	225
5.6.2	多孔扩散消声器	227
5.6.3	节流减压消声器	229
5.6.4	其他类型排气放空消声器	230
5.6.5	喷注耗散型消声器设计的技术要点	231
5.7	消声器的选用与安装	232
5.7.1	各类消声器消声性能比较	232
5.7.2	消声器的选用	233
5.7.3	消声器的安装	234
	习题	238

第 6 章 隔振与阻尼	242
6.1 振动及其危害与控制	242
6.1.1 振动的概念.....	242
6.1.2 振动的危害.....	243
6.1.3 振动的控制.....	245
6.2 隔振原理	247
6.2.1 传振系数(力传递率) T_f	247
6.2.2 单向自由振动系统的固有频率 f_0	248
6.2.3 单向阻尼振动与阻尼系数 R_m	249
6.2.4 单向强迫阻尼振动的位移振幅 Y_0 和力传递率 T_f	250
6.3 隔振元件	255
6.3.1 金属弹簧隔振器.....	256
6.3.2 橡胶隔振器.....	264
6.3.3 隔振垫.....	271
6.3.4 管道隔振.....	273
6.3.5 隔振设计要点.....	277
6.4 阻尼减振	285
6.4.1 阻尼的基本原理.....	285
6.4.2 阻尼材料.....	287
6.4.3 阻尼结构.....	291
6.4.4 阻尼实施要点.....	292
6.4.5 阻尼的应用.....	292
6.4.6 管道噪声的隔绝.....	294
习题.....	296
第 7 章 噪声控制技术应用	298
7.1 噪声控制方案设计	298
7.1.1 噪声控制方案设计的意义与要求.....	298
7.1.2 噪声控制方案设计编写提纲.....	299
7.2 噪声控制工程设计规范	302
7.2.1 噪声控制的工作程序.....	302
7.2.2 工业企业噪声控制设计的一般规定.....	303
7.2.3 民用建筑噪声控制设计的一般规定.....	306
7.2.4 噪声治理工程设计中要注意的一些问题.....	306
7.3 噪声污染治理工程实例	307
7.3.1 鼓风机噪声及其控制.....	307
7.3.2 冷却塔噪声的综合控制.....	320
习题.....	328

第 8 章 噪声和振动测量	329
8.1 噪声测量仪器	329
8.1.1 声级计.....	330
8.1.2 积分平均声级计和积分声级计(噪声暴露计).....	336
8.1.3 噪声统计分析仪.....	337
8.1.4 频谱分析仪和滤波器.....	337
8.1.5 实时分析仪和数字信号处理.....	337
8.1.6 电平记录仪.....	338
8.2 声学实验室	339
8.2.1 消声室和半消声室.....	339
8.2.2 混响室.....	339
8.3 声功率级的测量	340
8.3.1 混响室法.....	340
8.3.2 消声室法.....	341
8.3.3 现场测量法.....	342
8.4 声强的测量	344
8.4.1 声强测量的原理.....	344
8.4.2 声强测量仪器.....	345
8.5 环境噪声测量	345
8.5.1 城市声环境监测.....	346
8.5.2 城市交通噪声测量.....	347
8.6 工业企业噪声测量	348
8.6.1 生产车间的噪声测量.....	348
8.6.2 工业企业现场机器噪声测量.....	350
8.6.3 厂界噪声测量.....	351
8.7 振动测量	351
8.7.1 测振仪.....	351
8.7.2 振动测量方法.....	352
习题.....	355
第 9 章 声环境影响预测	357
9.1 声环境影响评价分类和工作程序	358
9.1.1 分类.....	358
9.1.2 工作内容和程序.....	358
9.2 噪声预测基本模式	359
9.2.1 声源描述.....	359
9.2.2 室外点声源预测基本模式.....	360
9.2.3 点声源衰减项计算.....	361
9.2.4 线声源、面声源的衰减计算	365

9.3	固定声源(工业、企业)噪声预测	367
9.4	公路交通噪声预测	370
9.4.1	不同类型车辆行驶声级计算	371
9.4.2	公路交通噪声预测模式的推导	372
9.4.3	公路交通噪声预测基本模式	373
9.4.4	修正量计算	373
9.5	铁路噪声预测	375
9.5.1	基本计算公式	375
9.5.2	参数选择	376
9.6	机场飞机噪声预测	377
9.6.1	飞机噪声预测需要的资料	377
9.6.2	飞机噪声预测的评价量	378
9.6.3	单架飞机噪声及其修正	378
9.6.4	单个飞行事件引起的地面噪声的计算	379
9.6.5	飞机噪声等值线图的绘制	379
9.7	噪声防治对策	380
9.7.1	固定声源防治对策	380
9.7.2	流动声源防治对策	380
	习题	382
第 10 章	噪声控制实践	384
10.1	噪声测量的准备工作	384
10.2	校园噪声现状监测与评价	385
10.3	校园道路交通噪声的测量与评价	388
10.4	风机噪声的测量与控制	389
	习题	393
附录 1	噪声标准目录	394
附录 2	《声环境质量标准》(GB 3096—2008)(摘录)	397
附录 3	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)(摘录)	404
附录 4	《社会生活环境噪声排放标准》(GB 22337—2008)(摘录)	408
	参考文献	410

第 1 章

绪 论

本章提要

1. 声音与人类的关系
2. 噪声与噪声控制的概念与内涵
3. 噪声污染的特点和主要危害
4. 噪声污染源的分类与特征
5. 噪声的生理效应和心理效应
6. 噪声的物理学分类和心理学分类
7. 噪声控制的基本方法和程序

1.1 声音与噪声

声音是人类与许多其他生物感知外界环境的主要媒介,声音与水 and 空气一样也是人类生存和发展的一个环境要素。人类的生活、生产活动离不开声音,一个和谐的声环境是保障人类生存质量的一个基本条件。人类通过声音传达信息以交流思想与情感,进行生产研究和社会实践活动及文化娱乐活动。人类对声音的这种依赖性是在人类漫长的生存进化过程中逐步形成的,在这个过程中人类发育生长了完善的听觉系统和与之对应的发声系统,成为人类自身和外部环境交流信息的主要感知系统之一。不同声音对人的情感感染力也是无与伦比的,一首悲伤的歌曲会让人泪流满面,而一曲高昂的交响乐则可使人胸涌澎湃。有趣的是,当音量达到 130dB 时会让人耳感到疼痛并造成损伤,而目前世界上嗓门最大的人刚好能喊到 129dB; 这也是啊,人总不能用自己的嗓门来把自己的耳朵刺痛吧! 正是由于人类这种适配良好的感知器官,天然地形成了人类这种对声音的依赖性。近代社会的发展和科技的进步开发出了无数以电声技术为基础的设备、产品和手段,现代文明的生活与生产方式使人类对声音的依赖程度愈加强烈。如果人类突然陷入一个无声世界里,人类的生活质量和生存能力将是难以想象的。人类婴儿进入世界的第一反应是发声,啼哭声宣告了一个新生命的诞生。从声科学的观点看,人类的一生就是在发声和受声中度过的,声音陪伴人们走过了他一生的生命历程。科学研究显示,凭借听觉也能判断一个人的健康状况,如果一个人的声音听上去性感而富有磁性,那么他的体质可能更好,也许身材也匀称。因为怀孕的头 3 个月,是胎儿声带和喉咙发育的关键时期,而此时营养充足的话,身体、大脑发育会更好,将来健康状况也更好。

但是并不是一切声音都是人们所需要的,由于人类听觉系统的天然无筛选性和对声音

反应的生理与心理因素作用,在人类的生活环境中有时还存在一些干扰人们休息、学习和工作的声音,这些声音是人们所不需要的,甚至是厌恶的,这类声音统称为噪声,噪声属于感觉公害。从物理学的观点看,振幅和频率杂乱、断续或统计上无规的声振动,也称为噪声(反之为乐音)。从生理学和心理学的观点看,令人不愉快的、使人讨厌和烦躁的、过响的、干扰妨碍人们生活工作学习的以致对人们健康有影响或危害的声音都是噪声。由于个体差异,各人对声音的心理感受和主观愿望等会有所不同,各人各自的主观感觉(因环境、时间而异)也会有不同,因此人们对噪声的判别更多的是心理学上的,而不完全取决于它的物理特性(强度、频率、时间),对噪声强度和干扰程度的衡量是在相同环境、正常条件下对受声人群测试结果用统计学方法来确定。

噪声从心理学上大致可分为:

- (1) **过响声**——超过一定强度标准的声音,可危及人体健康;
- (2) **妨碍声**——妨碍人们工作、生活、学习、生产等活动;
- (3) **不愉快声**——使人产生厌恶感。

另外,还有可忽视噪声,又称**无影响声**,人们可以容忍和习惯适应,甚至融合到人类生活中的噪声,一般在 15~45dB。

一个噪声判别的典型例子是被困在塌方隧道或矿井中的工人并不愿意去听节奏和谐的音乐声(乐音),此时他们最想听到的是钻孔机或挖掘机工作发出的“噪声”,因为这种声音虽然杂乱无章,但给他们带来了获救生存的希望。在这里,人的心理意愿对声音的接受占了绝对的地位。

噪声也不全是有害的,令人厌烦的。噪声有时也能成为有用的声音或被有效利用。例如,工人常常根据机械噪声的大小和特征来判断设备是否运行正常;科学家还利用高能量噪声可使尘埃相聚的原理研制除尘器;利用声共振现象将其作用在压电晶体上,将机械能转换成电能。还有的研究人员设计了一套实验装置,利用波段为 8~80kHz 的水下自然噪声,在监控器屏幕上显示出水下实验物的图像、进行噪声海底透视来观察水下的大型动物、潜艇及沉船等。科学家们还用噪声刺激加快植物的光合作用,使农作物增产。实验表明,西红柿生长期中经过 30 次 100dB 的尖锐声音处理,产量提高了 2 倍。军事上,噪声弹(声炸弹)则是一种非杀伤性的防暴武器,它发出的强烈噪声虽然短暂,却足以使室内的暴徒震晕、失聪和暂时失去知觉或思维,为擒拿暴徒赢得宝贵的时间。在人类生活环境中也普遍存在一些人们习惯了的、又融洽于环境的可忽视噪声。又据报道,车迷们对一种新型环保混合动力车唯一不满之处竟是认为车内噪声太小。究其原因可能是不习惯,但可能更重要的是驾车者不能据此来正确判断车辆的运行状况,减少了驾车安全感。在目前盛行的开放式办公室中,正是利用这种噪声的掩蔽作用来保障谈话的私密性和减少相互干扰。但是当声音超过人们生活和生产活动所能容许的程度时就形成了噪声污染。噪声有自然现象引起的,也有人为活动造成的,通常所说的噪声污染是指人为活动造成的声音感觉公害。环境中所有远近不同、方向不同、自身或周围反射的噪声的组合,统称为**环境噪声**。2001 年江苏省对全省 13 个省辖市区域环境噪声进行了调查统计,其中有 7 个城市平均等效声级超过 55dB,属轻度污染,占 53.8%。据统计,京、津、沪等 47 个城市白天的平均等效声级为 60dB(A)左右,其中上海、天津、南京、成都、兰州、西安、福州、长沙等城市达到了 60dB(A)以上,相当于市民都生活在一个混杂的工业和商业区中。城市声环境质量的改善依然有许多工作要做。

1.2 噪声污染的特点

噪声污染是一种物理性污染,这与水体和空气的化学污染不同,其基本特点是:

(1) 物理性

声源发出的声能以波动的形式传播,看不见、摸不着、闻不到,直接作用于人的听觉器官,一般不致命,是一种感觉、精神公害。

(2) 难避性

由于噪声以 340m/s 的速度传播,因而即使闻声而跑,也避之不及;突发的噪声更是难以逃避的,“迅雷不及掩耳”就是这个意思。很小的孔洞缝隙就能透过大量的噪声,低频声还具有很强的绕射能力,可以说噪声是无孔不入的。人耳这个器官,不会像眼睛那样迅速闭合来防止光污染,也不会像鼻子遇有异味屏气以待。即使在睡眠中,人耳也会受到噪声的污染。

(3) 局限性

噪声源分布面广,具有社会性,交通噪声又随污染源流动而转移,但一般的噪声源只能影响它周围的一定区域,它不会像大风中的颗粒物质,能飘散到很远的地方,其扩散和危害具有局限性。

(4) 能量性

噪声污染是能量的污染,只造成空气物理性质的暂时变化,它不具有物质的累积性;噪声源停止发声后声能很快转换成热能散失掉,污染立刻消失,没有后效和残留。噪声的能量转化系数很低,约为 10^{-6} ,即百万分之一。换言之,1kW 的动力机械,大约只有 1mW 变为噪声能量辐射。可以作一个形象的比喻,1500 个人坐在一起谈话,谈了一个半小时,积累起来的能量只能把一杯水烧开。虽然声能量很小,但它引起空气介质的波动和由此产生的声污染却很大。

(5) 危害潜伏性

噪声污染在环境中不存在累积现象,但心理承受上有一定的延续效应,长期接触或短期高强度接触有损健康,具有危害潜伏性。

归纳起来噪声污染具有能量物理性、污染难避性、范围局限性、非致命性、实时感官性、社会普遍性及危害潜伏性。

噪声污染的这些特点以及声源和暴露人群的广泛存在和交错分布,使噪声污染一直被人们认为是最厌恶、最直接的环境污染之一,在我国城市中平均占到各种公害投诉案件的 60%~70%。在北京,反映噪声污染问题的数目占所有反映污染事件总数的比例 1977 年为 40%,1978 年为 41%,而 2005 年则上升到 46%。即使在日本,噪声干扰控告事件也占到了 30%以上。

1.3 噪声污染源

按照产生噪声源头的类型,城市噪声污染源可分为工业(厂)噪声污染源、交通(运输)噪声污染源、建筑施工噪声污染源和社会生活噪声污染源。