

普通高等教育“三海一核”系列规划教材

噪声及其控制

张 林 编著



科学出版社

普通高等教育“三海一核”系列规划教材

噪声及其控制

张 林 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书阐述了噪声控制的基本理论、方法及措施。全书共 7 章，主要内容包括：噪声对人类、动物、建筑物及仪器设备的影响，噪声控制基本知识和噪声测量及仪器，室内声学，各类吸声材料和吸声结构，隔声技术，消声器，隔振与阻尼减振。每章还配有一定量的例题和习题。

本书注重以工程实用为主，理论联系实际，吸收国内外有关最新研究结果，阐明噪声控制中的工程技术问题。

本书可作为高等院校声学专业、环境工程专业的教材，亦可供从事噪声控制的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

噪声及其控制/张林编著. —北京：科学出版社，2018.11

普通高等教育“三海一核”系列规划教材

ISBN 978-7-03-054773-6

I. ①噪… II. ①张… III. ①噪声控制-高等学校-教材
IV. ①TB535

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 246728 号

责任编辑：朱晓颖 董素芹 / 责任校对：郭瑞芝

责任印制：吴兆东 / 封面设计：迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 11 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2019 年 1 月第二次印刷 印张：14 3/4

字数：350 000

定价：59.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

随着近代工业、交通运输事业和建筑业的飞速发展，噪声污染已成为世界性的问题。噪声污染是危害人类健康、污染环境的重要因素，它直接干扰人类的正常生活、工作、学习、休息和睡眠。为此，如何治理和控制噪声污染、为人们创造舒适的声学环境，就成为现代环境保护迫切需要解决的问题。

为了提高人们的环境意识、培养环境保护方面的人才，以适应环境保护事业发展的需要，许多高等院校设立了环境工程专业，开设了“噪声控制”课程。哈尔滨工程大学水声工程专业教研组在编写的《噪声及其控制》讲义基础上，经过多年教学和科研工作的经验积累，并吸取近年来国内外取得的最新成就和其他院校教材的优点，在2002年出版了《噪声及其控制》（哈尔滨工程大学出版社出版）一书。此书自出版以来受到广大读者的欢迎，此书至今已经使用了16年。其间噪声控制技术也有了很大的发展，书中虽然只限于基本理论、方法、现象、数据、图表和一些工程实例，但仍受到相当大的影响，特别是电子技术、信息技术等的迅速发展对书中有关技术和工程实例方面的内容影响很大，因此作者对原书进行了修订。本次修订中，增加了一些新内容，如新增了水声和隔振与阻尼减振的内容，同时将近几年典型工程实例充实进来，部分章节名称也因内容的调整而稍有改变。

噪声控制的基础是声学 and 振动理论，噪声控制技术是声学理论的应用，声学上的重大理论成果，在噪声控制上都会产生深刻的影响。噪声控制技术可以说是一门迅速发展的边缘科学，它涉及机械、建筑、材料、电子、环境、仪器乃至医学等领域，是环保产业的组成部分。

目前，噪声控制技术已经发展成为声学学科中一个重要的分支。对噪声的产生、传播及其控制技术的研究受到了人们的普遍重视，无论在理论上还是实验研究上都有了长足的发展，为改善和控制声学环境提供了有利条件保障。

编写本书的目的，在于使学生通过本课程的学习，对环境噪声控制有一个基本了解，懂得噪声控制的目的是要获得适当的声学环境，知道在不同情况或不同场所，对噪声的容许标准是不同的；在噪声控制中，要根据具体情况制定具体的措施，并且在工程中不拘泥于套用公式和图表，而能够视工程实际情况、根据环境控制原则，举一反三，进行思考和设计。

在本书的编写过程中，杨士莪院士、杨德森教授给予了作者极大的帮助，提供了许多宝贵的参考资料。在后期的修订过程中，还得到了深圳中雅机电实业有限公司方庆川高级工程师、北京铁道科学研究院辜小安研究员、重庆大学谢辉教授、中国科学院声学研究所徐欣高级工程师、长沙奥邦环保实业有限公司莫建炎高级工程师等同行的大力支持与帮助，他们无偿提供了自己的研究资料与成果，在此一并致以深深的敬意与谢意！

作者诚恳地欢迎使用本书的师生及其他读者对书中不妥或不足之处提出宝贵意见。

作 者

2018年7月

目 录

第 1 章 引言	1	2.2.2 分贝的相加与“相减”	36
1.1 噪声对人类的影响	2	2.2.3 声音的频谱	39
1.1.1 噪声对听力机构的影响(噪声 性耳聋)	2	2.3 听觉、听力损伤和噪声的评价 方法	42
1.1.2 噪声对神经系统的影响	3	2.3.1 人耳听觉特性	42
1.1.3 噪声对心血管和消化系统的 影响	4	2.3.2 响度级与等响曲线	43
1.1.4 噪声对其他系统的影响	5	2.3.3 计权声级	45
1.1.5 噪声对生活和工作影响	6	2.3.4 噪声评价方法	46
1.2 噪声对动物及建筑物的影响	6	2.4 噪声控制标准	54
1.2.1 噪声对动物的影响	6	2.4.1 噪声容许标准	55
1.2.2 噪声对物质结构的危害	7	2.4.2 工业企业噪声卫生标准	55
1.3 水下噪声对仪器设备的影响	7	2.4.3 环境噪声标准	57
1.4 噪声控制技术	8	2.4.4 机器、产品噪声允许标准	59
1.4.1 噪声控制	8	2.5 噪声测量及仪器	62
1.4.2 噪声的传输	9	2.5.1 概述	62
1.4.3 噪声控制的基本原则及方法	10	2.5.2 噪声测量环境	63
1.4.4 噪声控制评价标准和法规	16	2.5.3 噪声测量常用仪器	67
1.5 城市环境噪声	17	2.5.4 噪声测量方法	75
1.5.1 交通噪声	18	习题 2	79
1.5.2 工业噪声	20	第 3 章 室内声学	82
1.5.3 建筑施工噪声	20	3.1 室内声场特点	82
1.5.4 社会噪声	21	3.1.1 室内稳态声场	83
习题 1	22	3.1.2 直达声场	83
第 2 章 噪声控制基本知识	23	3.1.3 混响声场	84
2.1 声音的基本性质	23	3.1.4 室内总声场	85
2.1.1 声波的波长、频率和声速	23	3.2 室内声场的衰减及混响时间	87
2.1.2 平面声波	24	3.2.1 声场并非完全扩散所产生的 影响	88
2.1.3 声能量、声功率和声强	27	3.2.2 吸声对室内降噪的作用	89
2.1.4 声波的反射、折射和透射	28	3.3 声功率的测量方法及声强测量	90
2.1.5 球面声波	29	3.3.1 声源声功率测量	90
2.1.6 声波的叠加和驻波	31	3.3.2 声强测量	93
2.1.7 声线和声像	32	3.4 简正波	97
2.2 级和分贝	34	习题 3	100
2.2.1 声压级、声强级和声功率级	34		

第4章 吸声材料和结构	102	5.2 单层匀质薄板的隔声性能	144
4.1 吸声材料(材料的声学分类和 吸声特性)	102	5.3 单层隔墙的降噪作用	150
4.1.1 多孔吸声材料	103	5.3.1 分隔墙噪声降低量的计算	150
4.1.2 材料层厚度的影响	104	5.3.2 构件尺寸对隔声量的影响	152
4.1.3 材料体积质量的影响	106	5.4 双层墙和复合墙的隔声性能	153
4.1.4 背后空腔的影响	106	5.4.1 理想双层墙的隔声量	154
4.1.5 护面层的影响	107	5.4.2 双层墙隔声量的实际估算	156
4.1.6 温度和吸水、吸湿的影响	107	5.4.3 声桥对隔声性能的影响	156
4.1.7 空间吸声体	107	5.4.4 复合墙的隔声性能	157
4.1.8 吸声尖劈及吸声圆锥	108	5.5 门和窗的隔声性能	160
4.2 共振吸声结构	110	5.5.1 组合墙有效隔声量计算方法	160
4.2.1 薄板共振吸声结构	110	5.5.2 门的隔声	161
4.2.2 单个共振器	111	5.5.3 窗的隔声	162
4.2.3 穿孔薄板共振吸声结构	113	5.6 声屏障	164
4.2.4 微穿孔板共振吸声结构	116	5.6.1 室外声屏障计算方法	164
4.2.5 水中共振吸声结构	117	5.6.2 室内隔声屏计算方法	167
4.3 几种新型吸声结构和材料	118	5.7 壳体的隔声	169
4.3.1 槽木吸声板	118	5.7.1 壳体隔声结构的特殊性	169
4.3.2 聚酯纤维吸声板	119	5.7.2 管道的隔声	170
4.3.3 木丝吸声板	120	5.7.3 隔声罩	173
4.3.4 DIY 吸声画	121	5.8 结构声的隔离	175
4.3.5 发泡铝吸声板	122	5.8.1 楼板撞击声的特性	176
4.3.6 微晶砂环保吸声板	123	5.8.2 标准撞击机产生的声压级	176
4.3.7 ECO 防水吸声板	124	5.8.3 楼板撞击声的控制	177
4.3.8 T8 无机纤维喷涂	124	习题5	179
4.4 吸声测量	125	第6章 消声器	181
4.4.1 混响室法测量吸声材料	125	6.1 消声器的分类及形式	181
4.4.2 驻波管法测量吸声材料	127	6.2 消声器的性能指标	183
4.4.3 阻抗管法测量吸声材料	130	6.3 消声器的原理与特性	185
4.4.4 水声用吸声材料的测量	131	6.3.1 阻性消声器	185
4.5 吸声降噪	135	6.3.2 抗性消声器	195
4.5.1 吸声降噪适用条件分析	136	6.3.3 共振式消声器	200
4.5.2 降噪量计算公式	136	6.3.4 其他类型消声器	204
4.5.3 空间平均降噪量	138	习题6	210
4.5.4 水中消声瓦的降噪	140	第7章 隔振与阻尼减振	212
4.5.5 噪声源频谱对降噪量的影响	140	7.1 振动对人体的影响	212
习题4	142	7.2 振动评价和标准	213
第5章 隔声技术	143	7.2.1 局部振动标准	213
5.1 隔声的定义	143	7.2.2 整体振动标准	213
		7.2.3 环境振动标准	214

7.3 振动控制的基本方法·····	215	7.5.3 橡胶隔振垫·····	223
7.3.1 振动的传播规律·····	215	7.5.4 其他隔振元件·····	224
7.3.2 振动控制的基本方法·····	215	7.6 阻尼减振·····	224
7.4 隔振原理·····	216	7.6.1 阻尼减振原理·····	225
7.4.1 振动的传递和隔离·····	216	7.6.2 阻尼材料·····	225
7.4.2 隔振的力传递率·····	218	7.6.3 阻尼减振措施·····	226
7.5 隔振元件·····	220	习题 7·····	227
7.5.1 金属弹簧减振器·····	221	参考文献·····	228
7.5.2 橡胶减振器·····	222		

第1章 引言

噪声污染、空气污染、固体废弃物污染和水污染堪称目前世界上四种主要污染。与空气污染、固体废弃物污染和水污染不同的是，噪声污染是一种物理污染。一方面，它并不致命，声源停止发声的同时，污染也就没有了；另一方面，噪声虽然对人有干扰，但人也不能生活在毫无声息的环境中，人并不希望把声音完全消除，而是需要适当的声学环境。噪声污染与化学污染不同，在化学污染中，对人有害的化合物最好完全不存在，而且化学污染只有在产生后果后才引起人们的注意。噪声污染则不然，随着现代工业生产、交通运输和建筑事业的不断发展，它几乎影响到城乡全体居民，每一个人都直接感受到它的干扰。噪声对人类的危害日益严重，已经成为国内外影响最大的公害之一。由此也反映出开展噪声控制工作的必要性和紧迫性。

噪声污染和噪声控制已成为世界性的问题，这不仅由于高速发展的工业化带来物质文明的同时，必然使噪声污染更加严重，给人类带来更多危害，也反映了人们追求更加美满的生活、健康的生理和心理的趋势。

那么，什么是噪声呢？首先，噪声也是一种声音，声音的特征它都具备。但它又有自己的特殊性。在两千多年前的中国古代《说文》和《玉篇》中就有关于噪声的解释：“扰也”，“群呼烦扰也”。也就是说，那时只有人声喧哗成为烦扰人的噪声，也可以说，这是人类最早关于噪声的定义了。

随着科学的发展，人们逐步认识到，噪声是一类引起人烦躁或音量过强而危害人体健康的声音。噪声的本质是一种机械波，是振动形式及其能量的传播。噪声是各种不同频率和强度的声音的无规组合，如汽车的轰鸣、机器的鸣叫等。它们的波形表现为无规律的、非周期的杂乱曲线。与此相对应的是乐音，乐音是有规律的声音。

随着噪声控制技术的发展，人们对噪声的定义又进行了新的探讨，越来越多的人认为，噪声实质上就是一种干扰，是指在特定情况下不需要的声音。这种定义似乎缺乏科学性，但又十分贴切地反映了噪声与各种有用声的区别。例如，音响中播放出洪亮而优美的音乐，对住所中收听的人来说，是非常悦耳动听的，但是对于要入睡的邻居，它却是一种干扰；由此可知，噪声是因地、因时、因人而异的，它表明了噪声控制工程的复杂性。

可惜的是，为工业生产、交通运输或者为改善人们生活和工作条件、提高工作效率、保证更多的业余时间以增加人们的生活乐趣等而制作的多数机器，都会产生噪声。因为噪声对人的影响是多方面的，如听觉、交谈能力以及行为举止，所以无论从经济学的观点还是从医学的观点来看，噪声控制都极其重要。此外，噪声控制之所以有意义，还在于它能为人们提供更加舒适的生活环境。

世界上大多数国家都有为从业人员的安全和健康所制定的法律法规，其目的是创造一个合适的工作环境、消除不安全的行为和过程；从环保和安全的角度考虑，将工作区域设计和布置成从业人员满意的状态。就这方面来说，安全性也就意味着噪声水平需要保持在不能造成人们听力损伤的情况下。

如果这个要求放在建立新厂和工厂规划阶段,以及更换现有的设备阶段,那么完全可以考虑从机械和设备方面降低噪声。而在现有的工厂和工作区域,显著降低噪声往往可以通过相对简单的方法实现。

另外,环保机构应参与对工厂、企业的噪声测量和控制问题的解决,以及参与新建厂房的规划或改变工作方法和流程的规划。

噪声控制过程应包括以下几方面。

- (1) 对所有区域进行测量后的噪声地图的编制。
- (2) 对所有地区进行目标噪声水平的设定。
- (3) 对所有的措施计划、成本分析与预期衰减的描述。

1.1 噪声对人类的影响

声音是人类日常生活中如此寻常的组成部分,以至于人们很少认识其全部作用。它使人们能够享受到美妙的音乐、鸟类的歌唱,与家人、朋友愉快的交谈,能提醒或告诉人们电话声、敲门声、呼叫声,还使人们能根据机械运转声的不同对其作出质量评价,以及对心跳的杂音作出身体情况的诊断。

但是,在当今社会,还有一些声音常常令人们感到厌烦。许多声音是不受欢迎的,故称为噪声。随着社会的发展,越来越多的噪声源产生了,随之而来的是噪声水平越来越高。现在,噪声问题是生产者在工业生产环境中最广泛和最经常碰到的问题。它不仅在生理上,而且在心理上和社会整体效益上对人类产生了巨大影响。

最糟的是声音具有破坏性和摧毁性。有实验结果显示,超声速飞机的声振可以打碎窗玻璃、震落墙皮,动物在 160dB 以上的噪声中能昏迷或死亡,然而最不幸的莫过于在 140dB 以上的噪声中,或在 115dB 以上的连续噪声环境中可能使听力或健康受到损伤。长期在较强噪声环境中生活或工作会对人体产生许多不良的影响。

噪声对人类的影响和危害概括起来可以划分为以下两大方面。

- (1) 强噪声可以引起耳聋和诱发各种疾病。
- (2) 一般强度的噪声可以使人烦躁、干扰通信和语言交谈、降低效率、导致疲劳,以致对人们的工作、学习和生活带来较大的不利影响。

1.1.1 噪声对听力机构的影响(噪声性耳聋)

噪声对人体健康的影响是多方面的,表现最明显的是对听觉器官的损伤。在噪声环境下,强烈的噪声或长期的噪声停留,可以引起人的内耳感觉器官损伤,从而引起听觉灵敏度的永久性降低。这种类型的听力损伤无法修复。

听力损伤增加的风险与噪声声级的大小以及暴露在嘈杂环境中时间的长短有关,并且此风险还取决于声音的特性。此外,人体对噪声的敏感性还非常依赖于个体。有些人可能在非常嘈杂的环境中停留很短的时间后,听力就会受到损伤;而有些人可以长时间工作、生活在非常嘈杂的环境中,而没有任何明显的听力损伤。我们平时都会有这样的感受,当置身于一个较强的噪声环境中,常常感到声音刺耳难受,甚至感到耳朵疼痛。当我们离开这种环境后,在一定时间内,耳朵还会嗡嗡作响,听觉器官的敏感性下降,但这种情况在几分钟内即可消

除,这种现象在医学上称为听觉适应,或称为暂时性听力损失,这是人体对外界环境作用的一种自我保护性反应。

但是听觉器官的适应性是有一定限度的,如果长期无防护地在较强噪声环境中工作,离开噪声环境后,听觉敏感性的恢复就会由几分钟延长到几小时甚至十几个小时。我们把这种可以恢复的听力损失称为听觉疲劳。听觉恢复的快慢与听阈值的提高程度有关,通常阈值提高越多,需要恢复的时间越长。例如,听阈提高到 50dB (4kHz),需要离开噪声环境休息 16 小时左右就可恢复听力;如果听阈提高到 60dB (4kHz),则听力恢复要长达几天。听觉疲劳是听觉器官的功能性变化,它与神经末梢的急性疲劳有关,基本上是无逆的变化。若用听力计检查,轻度患者的听力下降 15~30dB,严重者可下降 50~60dB,往往有说话声音提高、耳鸣现象,已明显影响工作、学习与生活。听觉疲劳是噪声性耳聋的前兆,随着听觉疲劳的加重,可导致听觉功能恢复不完全。发生听觉疲劳后,如果仍然长期无防护地在强烈噪声环境中工作,听力损失会逐渐加重,直至不可恢复。此时,听觉器官已不仅仅是功能改变,而是发展到内耳听觉器官发生器质性病变,形成永久性听阈偏移,即通常所称的噪声性耳聋。

早期噪声性耳聋的听力损失为 15~40dB 时,属轻度耳聋,此时由于对语言交流的影响不明显,本人可能不会感觉到耳聋;但随着噪声作用加强或工作时间的加长,听力损失达到 40~60dB 时,称中度耳聋;听力损失达 60~85dB 时,即重度耳聋;损失大于 85dB 的为全聋。噪声性耳聋的发病因素与噪声强度和频率有关,噪声强度越大,频率越高,噪声性耳聋的发病率越高。同时与噪声作用的时间长短也有关系,在同样强度的噪声环境中,每天工作八小时就比每天工作半小时发病率高得多。

国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 确定听力损失 25dBA 为耳聋标准; 25~40dBA 为轻度聋; 40~55dBA 为中度聋; 55~70dBA 为显著聋; 70~90dBA 为重度聋; 90dBA 以上为极端聋。

当人们突然暴露于极强烈的噪声之下时,如爆破、放炮等,由于其声压很大,常伴有冲击波,可造成听觉器官的急性损伤,称为爆震性耳聋或声外伤。此时,耳朵的鼓膜破裂、流血,双耳完全失听。这种耳聋应及时治疗,治疗的时间越早,效果越好。

对兵器工业试验靶场的射手和其他工作人员的调查与体检显示,5 年以上的射手,语频听力损伤占 60.8%,高频听力损伤占 69.8%,其他工作人员语频听力损伤占 52.8%,高频听力损伤占 59.7%,听力损伤都很严重。另外,随着工龄的增加,听力损失逐渐加重,且在前 10 年内听力损失的上升率较快。

有时在爆震情况下,患者的听觉器官并没有发生器质性病变,但双耳也突然聋了,这是由高度紧张、恐惧等精神因素引起的功能性耳聋。这些患者的听力大多数可以恢复。

近年来,日常生活环境中噪声对听力的影响已经越来越引起人们的重视。以前,人们常常把耳聋看作人体衰老的一种自然规律,不可避免。现在,积极的看法是人老了耳朵不一定聋。有调查发现,居住在偏僻寂静的农村、山林里的老人,比居住在喧闹城市的老人,不仅寿命更长,耳聋的也更少。

1.1.2 噪声对神经系统的影响

噪声具有强烈的刺激性,如果长期作用于中枢神经系统,可以使大脑皮层的兴奋与抑制过程平衡失调,结果引起条件反射混乱。人体实验证明,噪声影响可以使人的脑电波发生变

化。中枢神经系统受到损害，引起全身其他器官的变化。如果长期在噪声的不良刺激下，将形成牢固的兴奋灶，累及自主神经系统，导致病理性改变，从而产生神经衰弱，出现头痛、失眠、多梦、乏力、易疲劳、易激动、记忆力减退、恶心等症状，并伴有耳鸣和听力衰退现象。严重时全身虚弱，体质下降，容易并发或引起其他疾病。

在对靶场射手和工作人员的调查中，发现其头痛、头昏、耳鸣、失眠、记忆力减退等神经衰弱病症和高血压的发生率相当高。靶场射手和工作人员的临床症状见表 1-1。

表 1-1 靶场射手和工作人员的临床症状

症状	靶场射手(428 人)		靶场工作人员(336 人)	
	阳性数	阳性率/%	阳性数	阳性率/%
头痛	165	38.0	131	39.0
眩晕	24	5.6	39	11.6
头昏	180	42.1	121	86.0
失眠	185	43.2	145	43.2
多梦	193	45.1	128	38.1
耳鸣	120	28.1	64	19.1
恶心	40	9.4	12	3.6
心悸	95	22.2	68	20.2
乏力	63	14.7	70	20.8
记忆力减退	211	49.3	145	43.2
烦躁	9	2.1	27	8.0
神经衰弱	236	55.1	125	37.2
心动过速	23	5.4	11	3.3
心动过缓	33	7.7	30	8.9
心律不齐	70	16.4	20	5.9

注：神经衰弱一项的评定标准是把神经衰弱症候群分成 3 项：①头痛、头昏、眩晕；②耳鸣、失眠、多梦；③乏力、心悸、恶心。3 项中各有一症状者，即为神经衰弱。另外，具有烦躁、记忆力减退和第①项或第②项或第③项中之一症状者，也为神经衰弱。

1.1.3 噪声对心血管和消化系统的影响

噪声对交感神经有兴奋作用，可以导致心动过速、心律不齐、代谢或微循环失调。在长期暴露于噪声环境的人中间，有部分人的心电图出现缺血型改变，常见的有窦性心动过速或过缓、窦性心律不齐等。噪声还可以使心肌受损，引起血液中胆固醇增高。在噪声污染日趋严重的工业大城市中，冠心病与动脉硬化症的发病率也逐渐提高。

早在 1977 年，对荷兰的阿姆斯特丹国际机场(图 1-1)的调查显示，机场周围居民高血压和心脏病的发病率明显高于普通居民。近年来的研究表明，机场噪声对周围人群的健康状态、心血管疾病及高血压患者用药量、催眠剂使用量等产生影响，而人体疲劳和头痛等也与机场噪声暴露密切相关。日本研究人员通过对某军用机场周围居民的调查，得出机场噪声暴露与人体血压、胆固醇和血清尿酸等生理指标存在剂量一效应关系。

此外，噪声还可以引起自主神经紊乱，使血压波动增大。一些原来血压不稳定的人接触噪声后，血压变化尤其明显。年轻人接触噪声后，大多数表现为血压降低，而老年人则以血压升高为多见。

长期在 80dB 噪声环境中工作的人,肠胃的消化功能可能受到影响,有些人胃的收缩能力只有正常人的 70%,胃酸减少,食欲不振,胃炎、胃溃疡和十二指肠溃疡发病率增高。据统计,在噪声行业工作的工人中,溃疡病的发病率比安静环境的高 5 倍。

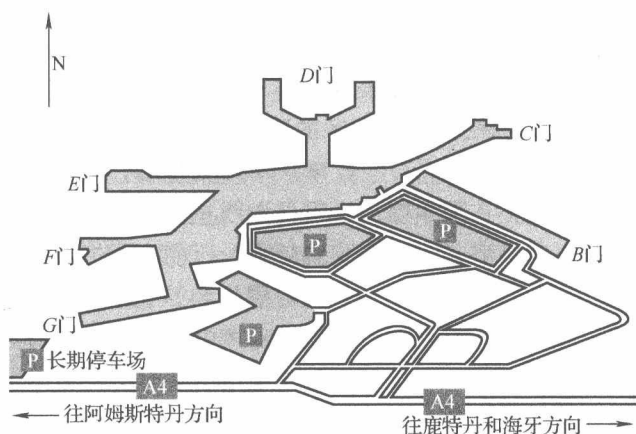


图 1-1 阿姆斯特丹国际机场

1.1.4 噪声对其他系统的影响

噪声对视觉功能也有一定的影响,当噪声作用于听觉器官时,也会通过神经系统的作用而波及视觉器官,使人的视力减弱。噪声能使人眼对光亮度的敏感性降低。当噪声强度在 90dB 时,视网膜中的视杆细胞区别光亮度的敏感性开始下降,识别弱光反应的时间也会延长;当噪声在 95dB 时,瞳孔会放大;当噪声达到 115dB 时,眼睛对光亮度的适应性降低。噪声还可使色觉、色视野发生异常,视力的清晰度与稳定性降低。

噪声对血液成分的影响表现为血细胞数增多,嗜酸性白细胞也有增高的趋势。噪声还会影响儿童的智力发育。越来越多的研究表明,噪声会严重影响人类优生,导致畸形胎儿增多。在加拿大进行的研究也证明,那些曾经接受过 85dB 以上(重型卡车音响 90dB)强噪声的胎儿,在出生前就已丧失了听觉的敏锐度。加拿大蒙特利尔大学的尼科尔·拉兰特研究组对 131 名 4~10 岁男女儿童(他们的母亲怀孕时曾在声音极为嘈杂的工厂里工作)进行了检查,结果表明,那些出生前在母体内接受最大噪声量的儿童对 400Hz 声音的感觉是没有接受过噪声儿童的 1/3。美国有一位儿科医生对万余名新生儿进行了研究,结果证实,在机场附近地区,新生儿畸形率从 0.8%增加到 1.2%,主要出现脊椎畸形、腹部畸形和脑畸形。日本调查资料表明,在噪声污染区的新生儿体重在 2000g 以下(正常新生儿体重为 2500g 以上),相当于早产儿体重。我国学者对怀孕期间接触强烈噪声(95dB 以上)的女工所生子女进行测试,并把结果与其他条件相似的小儿进行比较,发现前者的智商水平比后者低。因此,专家发出警告,噪声对胎儿危害非常大,呼吁怀孕的妈妈要警惕身边的噪声。

有调查显示,在噪声环境下,儿童的智力发育比在安静环境中低 20%。另外有测试分析表明,儿童的阅读、记忆和识别能力与机场噪声暴露相关,但机场噪声对儿童的主观注意力和精神健康影响较小。

1.1.5 噪声对生活和工作影响

噪声妨碍人们休息、睡眠，干扰语言交谈和日常社交活动，使人烦躁异常。睡眠对人是极其重要的，它能够使人的新陈代谢得到调节，使人的大脑得到休息，从而消除体力和脑力疲劳。所以保证睡眠是关系到人体健康的重要因素，但是噪声会影响人的睡眠质量和数量，老年人和患者对噪声干扰比较敏感，当睡眠受到噪声干扰后，工作效率和健康都会受到影响。研究表明，连续噪声可以加快熟睡到轻睡的回转，使人多梦，熟睡的时间缩短，突然的



图 1-2 声音对人体各部位影响示意图

噪声可使人惊醒。一般来说，40dB 的连续噪声可使 10%的人睡眠受到影响，到 70dB 时可影响 50%的人；而突发的噪声在 40dB 时可使 10%的人惊醒，到 60dB 时可使 70%的人惊醒。

噪声引起的心理影响主要是烦恼，引起烦恼首先是由于其对交谈和休息的干扰。例如，一个人正站在放水的水龙头旁，其背景噪声大约是 74dBA。当另一个人离他 6m 远时，即使放大声音，对话也很困难。如果两人相距 1.5m，环境噪声如超过 66dBA，就很难保证正常交谈了。

有研究表明，长期暴露在棉纺厂织布车间噪声下的作业工人认知能力下降，表现为知觉清晰度、知觉精细度、逻辑推理能力降低。

噪声容易使人疲劳，往往会影响精力集中和工作效率，尤其对一些非重复性的劳动影响更为明显。在嘈杂的环境中人们心情烦躁，工作容易疲劳，反应迟钝，工作效率降低，工作质量下降，而且易造成工伤事故。图 1-2 给出了声音对人体各部位影响的示意图。

1.2 噪声对动物及建筑物的影响

1.2.1 噪声对动物的影响

噪声能使动物的听觉器官、视觉器官、内脏器官及中枢神经系统产生病理性变化。有研究表明，95dB 白噪声急性刺激 1 小时后，大鼠的运动行为增强，粪便量减少。白噪声连续或间歇暴露对大鼠行为的影响存在显著差异。连续噪声暴露下，噪声强度增加，大鼠活跃性增强；间歇性噪声暴露下，大鼠活跃性降低，且噪声强度越高，大鼠活跃性越低。噪声暴露对大鼠进食行为也会产生影响，研究表明大鼠暴露于 95dB 白噪声下进食量明显降低，进食行为持续时间缩短，进食速度和排便量相对增加。另外，研究表明中等强度噪声暴露(80dB，8h/d，14d)可导致听力发育期(幼年期)大鼠听觉目标探测行为受阻。

研究还表明,豚鼠暴露在 150~160dB 的强噪声场中,它的耳郭对声音的反射能力便会下降甚至消失,强噪声场中反射能力的衰减值约为 50dB。在噪声暴露时间不变的情况下,随着噪声声压级增高,耳郭反射能力明显减小或消失,而听力损失程度也更严重。对在强噪声场中暴露后的豚鼠的中耳的解剖表明,豚鼠的中耳和前庭窗膜^①都有不同程度的损伤,严重的可以观察到鼓膜轻度出血和裂缝状损伤。在更强噪声的作用下,豚鼠鼓膜甚至会穿孔和出现槌骨柄损伤。噪声还可使动物失去行为控制能力,出现烦躁不安、失去常态等现象,强噪声会引起动物死亡。如在 165dB 噪声场中,大白鼠会疯狂蹿跳、互相撕咬和抽搐,然后就僵直地躺倒。动物暴露在 150dB 以上的低频噪声场中,会引起眼部振动,视觉模糊。豚鼠在强噪声场中体温会升高,心电图和脑电图明显异常,心电图有类似心力衰竭现象。在强噪声场中脏器严重损伤的豚鼠,在死亡前记录的脑电图表现为波律变慢、波幅趋于低平。鸟类在噪声中会出现羽毛脱落、产卵率降低等现象。

1.2.2 噪声对物质结构的危害

一般的噪声对建筑物几乎没有什么影响,但是噪声级超过 140dB 时,开始对轻型建筑物有破坏作用。例如,当超声速飞机在低空掠过时,在飞机头部和尾部会产生压力与密度突变,经地面反射后形成 N 形冲击波,传到地面时听起来像爆炸声,这种特殊的噪声称为轰声。在轰声的作用下,建筑物会受到不同程度的破坏,如出现门窗损伤、玻璃破碎、墙壁开裂、抹灰震落、烟囱倒塌等现象。轰声衰减较慢,因此传播较远,影响范围较广。曾经美国三架军用飞机以超声速低空飞行时,经过日本藤泽市,使该市许多民房玻璃震碎、烟囱倒塌、日光灯掉落,商店货架上的商品震落满地。美国统计了 3000 件喷气式飞机使建筑物受损的事件,其中,抹灰开裂的占 43%,门窗损坏的占 32%,墙体开裂的占 15%,房瓦损坏的占 6%,其他损害的占 4%。

此外,城市设施与机械设备的噪声和振动对建筑物也有一定的破坏作用,使用空气锤、打桩或爆破时,附近的建筑物都有不同程度的损伤。

实验研究表明,特强噪声会损伤仪器设备,甚至使仪器设备失效。噪声对仪器设备的影响与噪声强度、频率以及仪器设备本身的结构与安装方式等因素有关。当噪声级超过 150dB 时,会严重损坏电阻、电容、晶体管等元件。当特强噪声作用于火箭、宇航器等机械结构时,由于受声频交变负载的反复作用,材料会产生疲劳现象而断裂,这种现象称为声疲劳。由于声疲劳造成飞机或导弹失事的严重事故也有发生。有试验表明,一块 0.6mm 厚的铝板,在 168dBA 的无规噪声作用下,15min 就会断裂。

1.3 水下噪声对仪器设备的影响

水下噪声也是一种干扰声,与空气噪声不同的是,它会干扰系统的正常功能、限制海军装备及民用设备性能。水下噪声主要是指海洋环境噪声,舰船、潜艇、鱼雷等水中目标的辐射噪声,以及舰船自噪声。这三种噪声对声呐系统有不同的影响:海洋环境噪声和舰船自噪声是声呐系统的主要干扰背景之一,它干扰系统的正常工作,限制装备性能的发挥;而目标

^① 声波由外耳道经鼓膜、中耳听骨链和卵圆窗膜传至耳蜗的通路,称为骨传导,是声音传导的主要途径。

辐射噪声是被动声呐系统的声源，系统接收这种噪声实现对目标的检测。虽然这三种噪声对声呐系统的影响不尽相同，但都与声呐系统的工作密切相关。为了提高声呐设备的性能，人们对水下噪声做了大量的研究工作，旨在对水下噪声的规律、特性建立深刻的认识，以期在使用、设计、研制声呐设备时可以根据这些规律、特性或采用最佳时空处理，以提高设备的性能，或在最佳状态下使用已有的声呐设备。同时，人们还可以根据辐射噪声的特性，采取适当的降噪措施，以提高自身的隐蔽性，这在反潜战中尤为重要。

1.4 噪声控制技术

研究发现，噪声危害具有两个明显的特征。第一，噪声危害是局限性公害，往往有明显的噪声源存在(物理污染)；第二，噪声污染是由声波刺激引起的感觉公害。与大气污染和水质污染(化学污染)等公害不同，噪声引起的烦恼是直观的，感情色彩浓厚，精神上的反应极大，它不仅产生长期的危害积累，即使在短期内也会产生大气污染所不及的危害。因此，在了解了噪声的基本特性后再采取有效的措施，是噪声控制的基础。

1.4.1 噪声控制

噪声控制是一门研究如何获得适当声学环境以满足人类心理、生活、工作需要的技术学科。噪声控制要采取技术措施，需要投资，因此必须在经济上、技术上和要求上进行综合考虑，最终达到适当的声学环境。

例如，考虑听力保护时，使噪声级降到 70dB 以下最为理想，这在轻工业工厂有时是不难达到的，可以采用。但是在重工业工厂有时在技术上还达不到，或经济上不合理，或虽然达到要求，但在操作上将引起很大不便，使生产力大为降低，这时就只能采取折中的标准，但也不能超过 90dB，否则达不到保护的目的。在严重情况下，达到 90dB 也有困难，这时可以在个人防护上或工作安排上采取措施，所以在要求上要合理。经济上的合理也很重要，费用不可过高，但也不能说不花任何费用。

噪声控制是相当难的，而且没有两个噪声控制的问题可以用同一答案解决，只能要求费用合理，而不能不作投资。在当前，汽车制造虽已在生产过程中采取了减振降噪措施，将噪声降低了很多，但它仍是城市的主要噪声源，人们还是希望能将噪声降得更低一些。如果能在造价上增加 5%而使噪声降低 5dB，那将是很大的成功。

同时，人们应了解，噪声控制并不等同于噪声降低。有时，适当地增加噪声也可以减少干扰。例如，在一个面积达 1000m² 的开敞式大办公室里，上百人在里面工作，效率虽然提高了，但互相干扰却是一个严重问题。有人来接洽工作或某个小组讨论问题都会干扰相邻各组，各组间用半截屏障隔离虽可降低干扰，但仍互相影响。这时最好的解决办法就是在室内发出白噪声，建立起比较均匀的声级在 50dBA 左右的噪声场。如此，邻近组谈话的声音就被白噪声所淹没而听不到了。但本组谈话因距离近，则不受影响。这就有效地建立起各组间的隔离，从而不互相干扰。这个方法可在很多其他情况下使用，在医学的候诊室、保密的谈话室或会议室等，都可以发出白噪声，将室内的谈话声淹没，从而达到声隔离的目的。表 1-2 是三种语音的声功率和声功率级示例。

表 1-2 声功率和声功率级示例 ($W_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W}$)

讲话者声音的大小	声功率/W	声功率级/dB
轻声耳语	10^{-9}	30
普通谈话	10^{-5}	70
高声喊叫	$> 10^{-3}$	> 90

在房间中，邻近组的谈话功率级在 70dB 左右，而传到本组时降低约 20dB，而 50dB 的噪声对人谈话而言影响就很小了。有关这方面的计算、设计和各种环境的数量级与允许值，本书中均有详尽的介绍。

如果在机器设计或工程设计开始时就认真地考虑采取噪声控制措施，并结合到设计中，则噪声控制的附加费用就很有限了，甚至不需要附加费用。例如，选用低噪声设备、低噪声工艺，厂房预加吸声处理等；水声技术重点实验室的重力式低噪声水洞，在设计时便考虑到管道内的流激噪声和结构振动噪声会对工作段的本底噪声有影响，所以为了降低振动和噪声，在工作段前后各增加一段消声管道，并在整个横管支撑点处用砂箱替代刚性支撑，很好地降低了振动幅度，减少了噪声。

若噪声问题已经形成，再采取措施，费用就很可观了。2003 年国家电网建设有限公司由于对高压直流输变电中换流站设备辐射噪声缺乏足够的认识，致使已经投入运行的龙泉一政平换流站、荆州一惠州换流站噪声问题成为困扰国家电网建设有限公司的难题。换流站内大量噪声源（如换流变压器、平波电抗器等）工作时，其周围环境噪声远超出国家规定的噪声标准，严重影响了换流站周围的居民生活及环境，并对换流站工作人员职业健康造成危害。

国家电网建设有限公司对此事非常重视，特别邀请哈尔滨工程大学的有关人员成立了一个科研小组，正式签定了《换流站设备辐射噪声治理方法研究》课题，并投入资金对已建成的龙泉一政平换流站进行噪声治理。通过两年多的努力，针对龙泉一政平换流站的治理取得了非常明显的效果。其治理方案同时也应用到了当时即将建设的宜都一华新换流站工程中，使得该换流站在建成并投入运行时，其辐射噪声的声级满足环评报告规定的《城市区域环境噪声标准》要求。

上面的事例充分证明了在设计时就考虑噪声控制比事后补救要经济得多，这也正是噪声控制中应特别注意的问题。

1.4.2 噪声的传输

噪声可以经由任何一个可能的途径到达听者。为方便起见，工程问题中，声音自声源到听者的传输，可以利用图 1-3 表示。

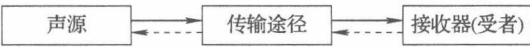


图 1-3 声学系统的主要环节

声源可以是单个声源，也可以是多个声源同时作用，各个声源性质不同，变化不同，传输途径也不同，而且不是固定不变的。接收器可能是若干灵敏设备，也可能是一个人或一群

人，对噪声的反应和要求也有所不同。所以考虑噪声问题时，要注意这种统计性质，即考虑平均情况，也不能忽略出入变化。

图 1-3 中虚线表示反作用。一个机器安装在屋角，声功率输出就要加大；一位报告者面对的听者增多时会自动提高嗓门，但在传声器前面时，发声或能恢复正常。由此可以说明声源受传输途径和受者的反作用是很明显的。同样传输途径也受声源和受者的影响。一个汽车消声器，由于使用车辆不同、使用场所不同，其消声效果也会不同。某人在通常的环境噪声中可以入睡，但有开门的声音时即会惊醒；当周围的环境噪声较低时，蚊子在耳边飞动的声音也会使人不能入睡。这也说明人们对不同的声源也会有不同的反应。

1.4.3 噪声控制的基本原则及方法

噪声控制应坚持科学性、先进性和经济性的原则。科学性是指应首先正确分析发声机理和声源特性，然后采取有针对性的控制措施。先进性是设计追求的重要目标，但也应建立在有可能实施的基础上。有的技术单从噪声控制来看很先进，但影响了原有设备的技术性能，这样的方案就不可取。经济上的合理性也是设计追求的目标之一，噪声污染属于能量性污染，不是越低越好，而是只要达到控制标准的允许值就可以了。

通常情况下，噪声控制从声源控制、传输途径控制和接收器(受者)的防护三个方面进行，具体采用哪一种或哪几种，则应从经济、技术、满足要求上来考虑决定。

1. 声源控制

从治理噪声角度来讲，从声源上控制噪声是噪声控制中最根本和最有效的手段，也是近年来最受重视的问题。研究发声机理、限制噪声的发生是根本性措施。例如，选择低噪声的设备，改进机器设备的结构，改变操作工艺，减少振动、摩擦、碰撞，提高加工精度或装配精度等措施，都能达到从噪声源处控制噪声的目的。减少作用力也是一个方法，如改进机器的动平衡、隔离声源的振动部分等；使振动部分的振动减小也很重要，如使用阻尼材料、润滑剂，或改变共振频率、破坏共振等。调整设备操作程序也是控制声源的一个方面，如建筑施工机械或其他在居住区附近使用的设备要在夜间停止操作，不准汽车鸣笛，噪声大的设备用远距离操作等。

2. 传播途径控制

目前由于技术水平、经济条件等方面的限制，人们无法将噪声源的噪声降低到满意的程度，或是因为机器或工程完成后，再从声源上控制噪声就会有局限。但从传输途径处理却大有可为，因此传输途径中的噪声控制是最常用的办法，有下列几种。

1) 地址的选择

露天中，应尽量增加声源和接收器之间的距离，以使声衰减最大。因为很多噪声源不是均匀地向各方向辐射的，所以改变声源和接收器之间的相对取向，接收器所处的噪声级可能会显著减少。例如，航空港跑道取向的考虑对减少邻近城市的噪声有重要的作用。只要有可能，选择地址时应该尽量利用天然地形的有利条件，以增加接收器与噪声源之间的屏蔽作用。

2) 建筑物的布局

考虑到噪声源和需要安静的场所的相对位置，慎重地设计建筑物中的房间布置，可以减