

全国高等院校环境科学与工程统编教材

环境物理性污染控制工程

HUANJING WULIXING WURAN KONGZHI GONGCHENG

(第二版)

刘宏 张冬梅 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

环境物理性污染控制工程

(第二版)

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 刘 宏 | 张冬梅 | |
| 副主编 | 刘 晖 | 时鹏辉 | 叶招莲 |
| | 胡立嵩 | 廖兴盛 | 陈亚非 |
| 参 编 | 韩 松 | 马帅帅 | 苑丹丹 |
| | 明彩兵 | | |

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书是根据全国高等学校环境工程专业规范专业主干课程“环境物理性污染控制工程”而编写的本科生教材,系统、简明地阐述了环境物理性污染控制工程的基础理论知识和基本控制原理与技术。

本书详细论述了与人类生活密切相关的环境噪声污染控制、环境振动污染控制、环境放射性污染控制、环境电磁辐射污染控制、环境热污染控制、环境光污染控制的基本概念、原理;阐明了环境物理性污染对人体健康和环境的危害与影响;重点介绍了各种环境物理性污染的控制和防范措施,以及人们对环境物理性污染利用的最新科研动态,为改善人类生活环境质量、创建环境友好型和资源节约型和谐社会提供理论基础。

本书可作为高等学校环境工程、环境科学及其相关专业的本科生教材,也可作为从事环境保护工作的专业技术人员和科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

环境物理性污染控制工程/刘宏,张冬梅主编.—2版.—武汉:华中科技大学出版社,2018.8

全国高等院校环境科学与工程统编教材

ISBN 978-7-5680-4283-3

I. ①环… II. ①刘… ②张… III. ①环境物理学-高等学校-教材 IV. ①X12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 164763 号

环境物理性污染控制工程(第二版)

刘 宏 张冬梅 主编

Huanjing Wulixing Wuran Kongzhi Gongcheng

责任编辑:李 佩 王新华

封面设计:潘 群

责任校对:张会军

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武汉市东湖新技术开发区华工科技园

电话:(027)81321913

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉首壹印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:17.75

字 数:461千字

版 次:2018年8月第2版第1次印刷

定 价:39.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国高等院校环境科学与工程统编教材

作者所在院校

(排名不分先后)

| | | | |
|------------|--------|----------|----------|
| 南开大学 | 中山大学 | 中国地质大学 | 东南大学 |
| 湖南大学 | 重庆大学 | 四川大学 | 东华大学 |
| 武汉大学 | 中国矿业大学 | 华东理工大学 | 中国人民大学 |
| 厦门大学 | 华中科技大学 | 中国海洋大学 | 北京交通大学 |
| 北京理工大学 | 大连民族学院 | 成都信息工程大学 | 华北理工大学 |
| 北京科技大学 | 东北大学 | 华东交通大学 | 华北电力大学 |
| 北京建筑大学 | 江苏大学 | 南昌大学 | 广西师范大学 |
| 天津工业大学 | 常州大学 | 景德镇陶瓷大学 | 桂林电子科技大学 |
| 天津科技大学 | 扬州大学 | 长春工业大学 | 桂林理工大学 |
| 天津理工大学 | 中南大学 | 东北农业大学 | 仲恺农业工程学院 |
| 西北工业大学 | 长沙理工大学 | 哈尔滨理工大学 | 华南师范大学 |
| 西北大学 | 南华大学 | 河南大学 | 嘉应学院 |
| 西安理工大学 | 华中师范大学 | 河南工业大学 | 广东石油化工学院 |
| 西安工程大学 | 华中农业大学 | 河南理工大学 | 浙江工商大学 |
| 西安科技大学 | 武汉理工大学 | 河南农业大学 | 浙江农林大学 |
| 长安大学 | 中南民族大学 | 湖南科技大学 | 太原理工大学 |
| 中国石油大学(华东) | 湖北大学 | 洛阳理工学院 | 兰州理工大学 |
| 山东科技大学 | 长江大学 | 河南城建学院 | 石河子大学 |
| 青岛农业大学 | 江汉大学 | 韶关学院 | 内蒙古大学 |
| 山东农业大学 | 福建师范大学 | 郑州大学 | 内蒙古科技大学 |
| 聊城大学 | 西南交通大学 | 郑州轻工业大学 | 内蒙古农业大学 |
| 泰山医学院 | 成都理工大学 | 河北大学 | 中南林业科技大学 |
| 西南林业大学 | 唐山学院 | 江苏理工学院 | 武汉工程大学 |
| 长沙学院 | 上海电力学院 | 东北石油大学 | 广东工业大学 |
| 青岛理工大学 | | | |

第二版前言

本教材是在 2009 年华中科技大学出版社出版的《环境物理性污染控制工程》基础上修订而成。第一版经过近 10 年众多读者的使用,依据多年来使用者的意见与建议,决定修订出版高等学校本科教学用书《环境物理性污染控制工程》。

本教材对第一版图书采用“删旧增新,改错压缩”的原则,简化了各章节物理性污染的基本理论相关阐述,部分章节中增添了新内容,更新了相关标准,对原书中的错误进行了改正。考虑到读者能够使用越来越丰富的网络资源,删除各章后的深度探索和背景资料相关内容。

鉴于原书的编写人员有的已退休或工作变动等,因而调整了修订人员。参加本书修订的人员有江苏大学刘宏、韩松,广东石油化工学院张冬梅,仲恺农业工程学院刘晖、明彩兵,上海电力学院时鹏辉,江苏理工学院叶招莲、马帅帅,武汉工程大学胡立嵩,长沙学院廖兴盛,浙江农林大学陈亚非,东北石油大学苑丹丹。全书由刘宏负责统稿与审校。

本教材第一版作者付出了辛勤的劳动,为本教材奠定了良好的基础,在此表示衷心的感谢。同时也向众多兄弟院校的第一版教材使用人员表示诚挚的谢意。

本教材引用了从事教学、科研、生产工作的同行撰写的论文、专著、教材、手册等,均列在书后参考文献中,在此亦表示深切的谢意。

尽管我们力求做得更好,但囿于编者的水平与经验,不足之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

编者

2018 年 5 月

第一版前言

人类在漫长的历史长河中,通过对自然环境的改造以及自然环境对人的反作用,形成了一种相互制约、相互作用的统一关系,使人与环境成为不可分割的对立统一体。人类环境的好坏对人的工作与生活、对社会的进步影响极大。人类在与环境做斗争的过程中,对环境问题的认识逐步深入,积累了丰富的经验和知识,促进了环境科学各学科对环境问题的研究。随着人类改造自然的能力与手段的日益提升和人类生活环境的日益改善,人类所暴露的环境也发生了很大变化。环境污染日益严重,环境污染防治问题越来越受到人们的高度重视,人们开始采用各种技术手段控制污染以拯救自己。继大气污染、水污染、固体废物污染之后,环境噪声污染、环境振动污染、环境电磁辐射污染、环境放射性污染、环境热污染、环境光污染等这类环境物理性污染也越来越突出,已引起人们的高度关注。

人类的健康,需要适宜的物理环境,但长期以来人们对环境物理性污染却缺乏了解。物理性污染和化学性、生物性污染相比有两个特点:第一,物理性污染是局部性的,区域性和全球性污染较少见;第二,物理性污染在环境中不会有残余的物质存在,一旦污染源消除,物理性污染即会消失。物理性污染严重地危害着人类的身体健康和生存环境,必须对其进行控制和治理。环境物理性污染控制工程是环境科学与工程学科在自然科学领域内的又一个研究方向,主要是通过研究环境物理性污染同人类之间的相互作用,探寻为人类创造一个适宜的物理环境的途径。

本书较系统地介绍了当今前沿的环境物理性污染的基本概念、原理、控制理论及方法,力求全面、细致地阐述目前已开展研究的声、振动、电磁场、热、光和射线等对人类的影响及其评价,以及消除这些影响的技术途径和控制措施。本书分绪论、环境噪声污染控制、环境振动污染控制、环境放射性污染控制、环境电磁辐射污染控制、环境热污染控制、环境光污染控制等7章进行介绍,并将物理性污染的危害和防治的最新信息与发展动态呈现给大家。通过对本书的阅读和学习,引起人们对环境物理性污染的重视,指导在实践中采取措施改善生存物理环境,从而获得更好的生活质量,为创建资源节约型、环境友好型和谐社会提供必要的理论基础和技术方法。

本书由河南城建学院李连山教授和广东石油化工学院杨建设教授主编。参加本书编写的有:河南城建学院李连山、马春莲、胡红伟、时鹏辉,广东石油化工学院杨建设,江苏大学刘宏,浙江农林大学陈亚非,仲恺农业工程学院刘晖,大连民族学院王芳,武汉工程大学胡立嵩,内蒙古科技大学孙鹏,江苏技术师范学院叶招莲,上海理工大学周海东,长沙学院廖兴盛,洛阳理工学院李西良,东北石油大学苑丹丹。全书由李连山统稿。

本书在编写过程中得到许多兄弟院校老师和同事的大力支持、华中科技大学出版社领导和编辑的大力帮助,同时参阅并引用了国内外的有关文献资料。在此,一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者学识水平所限,书中错误与不足之处在所难免,热诚欢迎读者批评指正。

编者

2009年12月

目 录

| | | |
|-------|-------------------|-------|
| 第 0 章 | 绪论 | (1) |
| 第 1 章 | 环境噪声污染控制 | (4) |
| 1.1 | 环境噪声污染概述 | (4) |
| 1.2 | 环境噪声污染控制的声学基础 | (7) |
| 1.3 | 噪声的度量、评价和控制标准 | (22) |
| 1.4 | 噪声的测量 | (34) |
| 1.5 | 噪声控制技术概述 | (48) |
| 1.6 | 吸声技术 | (52) |
| 1.7 | 隔声技术 | (73) |
| 1.8 | 消声技术 | (90) |
| 1.9 | 个体防护技术 | (109) |
| 1.10 | 环境工程常用设备噪声控制 | (110) |
| 第 2 章 | 环境振动污染控制 | (117) |
| 2.1 | 环境振动污染概述 | (117) |
| 2.2 | 环境振动基本理论 | (119) |
| 2.3 | 环境振动评价标准 | (123) |
| 2.4 | 环境振动测量技术 | (130) |
| 2.5 | 环境振动污染控制技术 | (134) |
| 2.6 | 隔振设计与计算 | (143) |
| 第 3 章 | 环境放射性污染控制 | (151) |
| 3.1 | 环境放射性污染概述 | (151) |
| 3.2 | 放射性污染的基本量 | (161) |
| 3.3 | 辐射对人体的总剂量及环境放射性标准 | (164) |
| 3.4 | 放射性监测与评价 | (170) |
| 3.5 | 放射性污染的防治 | (176) |
| 第 4 章 | 环境电磁辐射污染控制 | (183) |
| 4.1 | 环境电磁辐射污染概述 | (183) |
| 4.2 | 环境电磁辐射污染的影响和危害 | (189) |
| 4.3 | 电磁辐射的测量及标准 | (192) |
| 4.4 | 环境电磁辐射污染的防治 | (197) |
| 4.5 | 环境电磁辐射污染控制应用实例 | (208) |
| 第 5 章 | 环境热污染控制 | (212) |
| 5.1 | 热环境 | (212) |

| | | |
|-------------------|----------------------|--------------|
| 5.2 | 温室效应 | (218) |
| 5.3 | 热岛效应 | (223) |
| 5.4 | 环境热污染防治 | (226) |
| 第 6 章 | 环境光污染控制 | (237) |
| 6.1 | 环境光污染概述 | (237) |
| 6.2 | 照明单位和度量 | (247) |
| 6.3 | 光环境评价与质量标准 | (254) |
| 6.4 | 环境光污染的防治 | (263) |
| 参考文献 | | (272) |

第0章 绪论

1. 物理环境

众所周知,在人类生存的环境中,各种物质都在不停地运动着,运动的形式有机械运动、分子热运动、电磁运动等,在这些运动中都进行着物质能量的交换和转化。这种物质能量的交换和转化构成了物理环境。物理环境是自然环境的一部分,人类生存于它所适应的物理环境,也影响着这种物理环境。物理环境可分为天然物理环境和人工物理环境。

(1) 天然物理环境。

天然物理环境从地球诞生之日起就存在,即原生物理环境。天然物理环境由天然声环境、振动环境、放射性辐射环境、电磁辐射环境、热环境、光环境构成。

① 天然声环境。

天然声环境是由于自然现象而产生的,如火山爆发、地震、雪崩和滑坡等自然现象会产生空气声、地声(在地内传播)和水声(在水中传播)。此外,自然界还有海啸声、狂风暴雨声、雷鸣电闪声、潮汐声、瀑布声、陨石进入大气的轰鸣声,以及动物发出的各种声音等,这些非人为活动产生的声音,在局部区域内形成了天然声环境。

② 天然振动环境。

地震是自然界振动的表现形式之一,构成了天然振动环境。地震通常分为三大类,即火山地震、陷落地震和构造地震。前两类震级小、破坏轻,而引起灾难性破坏的地震主要是构造地震。据美国地质学调查结果显示,地球每年共有300万次地震。2008年5月12日发生在四川汶川的里氏8级地震,晃动半个亚洲,震惊全球。据史料记载,1883年,印尼克拉卡托火山爆发,产生的次声波绕地球3圈之多,历时108小时,强烈地震造成房屋倒塌、人员伤亡、工农业生产中断等危害。

③ 天然放射性辐射环境。

自然界存在着一些能自发放射出 α 、 β 和 γ 特殊射线的物质,这些天然辐射源构成了天然放射性辐射环境。地球上的天然辐射源主要有铀(^{235}U)、钍(^{232}Th)核素以及钾(^{40}K)、碳(^{14}C)和氚(^3H)等;宇宙间高能粒子构成宇宙射线,这些粒子进入大气层后与大气中的氧、氮原子核碰撞产生次级宇宙射线。人类从诞生之日起就生活在这种自然放射性辐射环境中。

④ 天然电磁环境。

地球自身是一个大磁体,形成地磁场。自然界雷电、台风以及太阳黑子活动等现象会严重干扰自然电磁环境;沉睡地下的许多矿藏也在长年累月地向地面发射电波,这些现象构成了不同范围的天然电磁环境。

⑤ 天然热环境。

太阳给人们以光明和温暖,它带来了昼夜和季节的轮回,左右着地球冷暖的变化,为地球生命提供了各种形式的能源。太阳的光辐射构成了天然热环境。

⑥ 天然光环境。

天然光环境的光源是太阳。直射日光的光强度为 2.838×10^{27} cd。在大气层外,日光法线平面上的平均照度为 125.4×10^3 lx。日光穿过大气层时被大气中的气体分子、云和尘埃扩

散,使天空具有一定的亮度。地球上接收的天然光就是由直射日光和天空扩散光形成的。通常以地平面照度、天空亮度和天然光的色度值来定量描述天然光环境。在世界不同的地区,由于气象因素(日照率、云、雾等)和大气污染程度的差异,光环境特性也不相同。

(2) 人工物理环境。

人工物理环境是人类为了生存和发展在利用自然和改造自然的过程中所形成的次生物理环境。由于人为因素作用形成的人工声环境、振动环境、电磁环境、光环境、热环境、放射性辐射环境构成了人工物理环境。各种人工物理环境与天然物理环境在地球表面层交替共存,相互作用。

① 人工声环境。

人类生活在有声世界里。但是城市工业噪声、交通噪声、建筑施工噪声和社会生活噪声等人为噪声构成了人工噪声环境,日益严重的城市噪声影响人们的工作和休息,危害人体健康,已经成为公害。

② 人工振动环境。

人类生活的世界好比一个振动的王国。随着经济的发展、现代生活的改善,人为活动引起的振动也日益增多:如地下核试验和矿山开采都可能引起地面的震动,地铁运行、重型卡车行驶、建筑工地汽锤打桩、工厂设备运转等都会产生振动,形成了干扰人们生活和工作以及危害人体健康的人工振动环境。

③ 人工放射性辐射环境。

人类利用放射性核同位素在医疗、核工业、农业育种、生物保鲜等对人类造福方面取得了可喜的进步,然而核武器的试验成功也为人类的将来战争埋下了祸根,后患无穷。核电站数量日益增多,核能的利用改变了环境中天然本底放射辐射场,形成了次生的人工放射性辐射环境。逾量的放射剂、突发的核电站事故等会导致严重的放射性环境污染。

④ 人工电磁环境。

人类生活的空间里充满了各式各样的电磁波。无线电播、电视、无线通信、卫星通信、无线电导航、雷达、微波中继站、电子计算机、高频淬火、焊接、熔炼、塑料热合、微波加热与干燥、短波与微波治疗、高压、超高压输电网、变电站等的广泛应用,给人类物质文化生活带来了极大的便利,并促进了社会进步,但随之产生的电磁污染也日趋严重,不仅危害人体健康,同时还会阻碍与影响正常发射功能设施的应用。

⑤ 人工热环境。

适合于人类生活的温度范围是很狭窄的。对于人体不适应的剧烈寒暑变化的天然热环境,人类创造了房屋、火炉以及现代空调系统等设施以防御并缓和外界气候变化的影响,获得人类生存所必需的人工热环境。

⑥ 人工光环境。

没有光线就没有色彩,世界上的一切都将是漆黑的。对于人类来说,光和空气、水、食物一样,是不可缺少的。眼睛是人体最重要的感觉器官,人眼对光的适应能力较强,瞳孔可随环境的明暗进行调节。但如果长期在弱光下看东西,视力就会受到损伤。相反,强光可使人眼瞬时失明,重则造成永久伤害。人们必须在适宜的光环境下工作、学习和生活。

综上所述,各种人工物理环境具有不同的特点和影响,是环境物理学的主要研究对象。

2. 环境物理性污染及特点

(1) 环境物理性污染的定义。

随着科学技术的发展,人们的生活水平越来越高,可人们的生活环境越来越不利于人体的健康。机器振动要发出声波,电器设备要发射电磁波,各种热源释放着热。诸如此类的物理运动充满着空间,包围着人群,构成了人类生存的物理环境,一旦这些物理运动的强度超过人的忍耐限度,就形成了物理性污染。

物理性污染是指由物理因素引起的环境污染,如放射性辐射、电磁辐射、噪声、光、热污染等。物理性污染程度是由声、光、热、电等在环境中的量所决定的。

物理环境质量(PEQ)是指周围物理环境条件的好坏。自然界气候、水文、地质、地貌等条件的变化,人为的热污染、噪声污染、微波辐射、地面下沉、自然灾害及地震等都能影响物理环境质量(PEQ)。

(2) 环境物理性污染的特点。

环境污染从污染源的属性可分为三大类:物理性污染、化学性污染、生物性污染。

物理性污染不同于化学性污染和生物性污染,不同于水污染、大气污染、土壤污染,物理性污染往往看不见、摸不着,因为它既没有形状又没有实体,所以人们又把物理性污染称为无形污染。物理性污染涉及面广,从工厂到矿山,从城市到农村,从陆地到海洋,从生产场所到生活环境,无处不在。

不同于化学性污染和生物性污染,引起物理性污染的声、光、热、电磁场等在环境中是永远存在的,它们本身对人体无害,只是在环境中的量过高或过低时,才造成污染或异常。例如,声音是人所必需的,但是声音过强,又会妨碍或危害人的正常活动。反之,环境中长久没有任何声音,人就会感到恐惧,甚至会疯狂。

物理性污染同化学性污染和生物性污染相比有两个特点。一是物理性污染是局部性的,不会迁移、扩散,区域性或全球性污染现象比较少见;二是物理性污染在环境中不会有残余物质存在,一旦污染源消除以后,物理性污染也就立即消失。

3. 环境物理性污染研究的对象与内容

物理环境和物理性污染的特征决定了环境物理性污染控制工程的研究特点。物理环境的声、光、热、电等要素都是人类所必需的,这决定了环境物理性污染控制工程不仅要研究消除污染,而且要研究适宜于人类生活和工作的声、光、热、电等物理条件;物理性污染程度是由声、光、热、电等在环境中的量决定的,这就使环境物理性污染控制工程的研究同其他物理学科一样,注重物理现象的定量研究。

环境物理性污染控制工程包括环境噪声污染控制工程、环境振动污染控制工程、环境放射性污染控制工程、环境电磁辐射污染控制工程、环境热污染控制工程、环境光污染控制工程等分支学科,主要研究声、光、热、加速度、振动、电磁场和放射线对人类的影响及其评价,以及消除这些影响的技术途径和控制措施,为人类创造适宜的物理环境。

第 1 章 环境噪声污染控制

1.1 环境噪声污染概述

人们的生活、工作都离不开声音。人们从日常的生活中可以体会到的声音有 3 个表征量,即音量、音调与音色,这些都是与声音的物理特性密切相关的。其中,有些声音是人们需要的、想听的,如语言上的相互交谈或是音乐欣赏;而有些声音则是工作中、生活环境中不想听的,这些声音就称为“噪声”;有些声音与人们工作、生活环境中的声音不协调或不一致,则称为“杂音”。心理学的观点认为,噪声和乐声是很难区分的,它们会随着人们主观判别的差异而改变,因此噪声与好听的声音是没有绝对界限的。《中华人民共和国环境噪声污染防治法》指出,环境噪声是指在工业生产、建筑施工、交通运输和社会生活中所产生的干扰周围生活环境的声音。当声音超过人们生活和社会活动所允许的程度时就成为噪声污染。

随着社会经济的快速发展,各种机械设备、交通工具的急剧增加,噪声污染问题也越来越严重,已经成为当今社会的四大公害之一。

1.1.1 来源与分类

噪声是一类难听的、容易引起人们烦躁或音量过强而危害人体健康的声音。从环保角度看,凡是影响人们正常学习、工作、生活和休息的或在某些场合不需要、不和谐的声音,都属于噪声。

1. 来源

噪声具有声波的一切特性,主要来源于物体(固体、液体、气体)的振动。通常把能够发声的物体称为声源,产生噪声的物体或机械设备称为噪声源。能够传播声音的物质称为传声介质。人对噪声是否有吵闹的感觉同噪声的强度和频率大小有关。频率低于 20 Hz 的声波称为次声,超过 20 kHz 的则称为超声,次声和超声都是人耳听不到的声波。人耳能够感觉到的声音(可听声)频率范围是 20~20 000 Hz。物理学上通常用频率、波长、声速、声压、声强、声功率级及声压级等概念和量值来描述声的一般特性。

2. 分类

噪声因其产生的条件不同而分为很多种类,既有来源于自然界的(如火山爆发、地震、潮汐和刮风等自然现象所产生的空气声、地声、水声和风声等),又有来源于人类活动的(如交通运输、工业生产、建筑施工、社会活动等所产生的声音)。生活中噪声主要有过响声、妨碍声、不愉快声、无影响声等。过响声是指很响的声音,如喷气发动机排气声、大炮轰鸣声等;妨碍声是指一些虽不太响,但妨碍人们的交谈、思考、学习和睡眠的声音;摩擦声、刹车声、吵闹声等称不愉快声;人们生活中习以为常的室外风声、雨声、虫鸣声等称无影响声。

环境中出现的噪声,按辐射噪声能量随时间的变化可分为稳定噪声、非稳定噪声和脉冲噪声。按噪声的频率特性可分为高频噪声、低频噪声、宽带噪声、窄带噪声等。

环境噪声是影响城市声环境质量的噪声源,按人类的活动方式分为交通噪声、工业噪声、

建筑施工噪声、社会生活噪声。按其产生的机理可分为气体动力性噪声、机械噪声、电磁噪声。

1.1.2 危害

1. 危害表现

噪声对人体的影响和危害是多方面的。概括起来,强烈的噪声可引起耳聋、诱发各种疾病、影响人们的休息和工作、干扰语言交流和通信、掩蔽安全信号、造成生产事故、降低生产效率、影响设备的正常工作甚至破坏设备构件等。其主要危害有以下五个方面。

(1) 噪声对听力的损伤。

噪声对人体最直接的危害是听力损伤。对听觉的影响,是以人耳暴露在噪声环境前、后的听觉灵敏度来衡量的,这种变化称为听力损失,指人耳在各频率的听阈升移,简称阈移,以 dB 为单位。例如,当你从较安静的环境进入较强烈的噪声环境中,立即感到刺耳难受,甚至出现头痛和不舒服的感觉。停一段时间,离开这里后,仍感觉耳鸣,马上(一般在 2 min 内)做听力测试,发现听力在某一频率下降为 20 dB 阈移,即听阈提高了 20 dB。由于噪声作用的时间不长,只要你到安静的地方休息一段时间,再进行测试,该频率的听阈减小到零,这一噪声对听力只有 20 dB 暂时性阈移的影响。这种现象称为暂时听阈偏移,亦称听觉疲劳。听觉疲劳时,听觉器官并未受到器质性损害。如果人们长期在强烈的噪声环境中工作,日积月累,内耳器官不断受到噪声刺激,便可发生器质性病变,称为永久性听阈偏移,这就是噪声性耳聋。

国际标准化组织(ISO)于 1964 年规定以在 500 Hz、1 000 Hz 和 2 000 Hz 三个频段内听力损失的平均值来表示听力损伤程度。听力损失在 15 dB 以下属正常,15~25 dB 为接近正常,25~40 dB 属轻度耳聋,40~65 dB 属中度耳聋,65 dB 以上属重度耳聋。一般来说,听力损失在 20 dB 以内,对生活和工作不会有什么影响。而噪声性耳聋是指平均听力损失超过 25 dB 的永久性阈移影响。

有研究表明,听力的损伤与生活的环境及从事的职业有关,如农村老年性耳聋发病率较城市为低,纺织厂工人、锻工及铁匠与同龄人相比听力损伤更多。若人突然暴露于极其强烈的噪声环境(如 150 dB 以上的爆炸声)中,听觉器官会发生急剧外伤,引起鼓膜破裂出血、迷路出血,螺旋器从基底膜急性剥离等,使人耳完全失去听力,即出现爆震性耳聋。

噪声性耳聋与噪声的强度、频率及噪声的作用时间有关。噪声性耳聋有两个特点:一是除了高强度噪声(大于 80 dB 声级)外,一般噪声性耳聋都需要一个持续的累积过程,发病率与持续作业时间有关,这也是人们对噪声污染忽视的原因之一;二是噪声性耳聋是不能治愈的。因此,有人把噪声污染比喻成慢性毒药,这是有一定道理的。

(2) 噪声对睡眠的干扰。

睡眠是人们生存必不可少的条件。人们在安静的环境下睡眠,人的大脑得到休息,代谢得到调节,从而消除疲劳和恢复体力。而噪声会影响人们的睡眠质量,强烈的噪声甚至使人心烦意乱,无法入睡。实验研究表明,人的睡眠一般分四个阶段:第一阶段是入睡阶段(朦胧期);第二阶段是浅睡阶段(半睡期);第三阶段是熟睡阶段(熟睡期);第四阶段是沉睡阶段(沉睡期)。睡眠质量的好坏,取决于熟睡阶段的时间长短,时间越长,睡眠就越好。一些研究结果表明,噪声促使人们由熟睡向入睡阶段转化,缩短熟睡时间。有时刚要进入熟睡便被噪声惊醒,使人不能进入熟睡阶段,从而造成人们多梦,睡眠质量不好,不能很好休息。

噪声级在 35 dB(A)以下,是理想的睡眠环境。当噪声级超过 50 dB(A)时,约有 15% 的人

的正常睡眠受到影响;城市街道的交通噪声为 70~90 dB(A),可使 50%以上的人受影响;一些突发性噪声在 60 dB(A)时,可使 70%的人惊醒。噪声除了对人们的休息和睡眠有影响外,还干扰人们的谈话、开会、打电话、学习和工作。通常,人们谈话的声音是 60 dB(A)左右,当噪声在 65 dB(A)以上时,就干扰人们的正常谈话;如果噪声高达 90 dB(A),就是大喊大叫,对方也很难听清楚,需贴近耳朵或借助手势来表达语意。

(3) 噪声对生理健康的影响。

噪声作用于人的大脑中枢神经系统,以致影响到全身各个器官,给人体消化、神经、免疫以及其他系统带来危害。由于噪声的作用,可引起头痛、头昏脑涨、耳鸣、多梦、失眠、全身疲乏无力以及记忆力减退等神经衰弱症状。噪声作用于内耳腔的前庭,使人眩晕、恶心、呕吐。噪声对心血管系统危害也很大。噪声使交感神经紧张,从而使心跳加快、心律不齐、血压升高等。长期在高噪声环境下工作的人们与在一般环境下工作的人们相比,高血压、动脉硬化和冠心病的患病率要高 2~3 倍。噪声还会引起消化系统方面的疾病,噪声能使人们消化机能减退、胃功能紊乱、消化系统分泌异常、胃酸度降低,以致造成消化不良、食欲不振、患胃炎及胃溃疡等疾病,致使身体虚弱。此外,噪声对视觉器官、内分泌机能及胎儿的正常发育等方面也会产生一定影响。在高噪声环境中工作和生活的人们,一般健康水平逐年下降,对疾病的抵抗力减弱,甚至诱发一些疾病。

噪声对动物的听觉器官、视觉器官、内脏器官及中枢神经系统会造成一些病理性变化。噪声对动物的行为也有一定的影响,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,强噪声还会引起动物死亡。鸟类在噪声中会出现羽毛脱落、产卵率降低等。

(4) 噪声对各种效率的影响。

在噪声较高的环境下工作,人会感觉到烦恼、疲劳和不安等,从而使人们注意力分散,容易出现差错,工作效率降低,这对脑力劳动者尤为明显。实验表明,当人受到突然而至的噪声一次干扰,就要丧失 4 s 的思想集中。噪声对打字、排字、校对、通信人员的差错率及工作效率影响尤为严重,随着噪声的增加,差错率不断上升。据统计,噪声会使劳动生产率降低 10%~50%。

噪声还能掩蔽安全信号,如报警信号和车辆行驶信号。在噪声的混杂干扰下,人们不易觉察安全信号,从而容易造成工伤事故,严重影响着交通运输和社会经济效率的提高。

(5) 特强噪声对仪器设备和建筑结构的危害。

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。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。当噪声级超过 150 dB(A)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,会使材料产生疲劳而断裂(声疲劳现象)。

一般的噪声对建筑物几乎没有什么影响。但是当噪声级超过 140 dB(A)时,对轻型建筑开始有破坏作用。例如,当超声速飞机在低空掠过时,飞机头部和尾部会产生压力和密度突变,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,这种特殊的噪声叫做轰击声。在轰击声的作用下,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。由于轰击声衰减较慢,因此传播较远,影响范围较广。此外,在建筑物附近使用空气锤、打桩或爆破,也会导致建筑物的损伤。

2. 污染特点

噪声污染与水、气、固体等物质的污染相比,具有以下显著特点。

(1) 环境噪声是感觉公害。

噪声对环境的污染与工业“三废”一样,是一种危害人类的公害,但就公害性质来说,噪声

属于感觉公害。通常,噪声是由不同振幅和不同频率组成的无调嘈杂声。但有调或好听的音乐声,在它影响人们的工作和休息,并使人感到厌烦时,也被认为是噪声。所以,对噪声的判断也与个人所处的环境和主观愿望有关。因此,对噪声评价的显著特点是与受害人的生理与心理因素有关的。环境噪声标准也要根据不同的时间、不同的地区和人所处的不同行为状态来制定。

(2) 环境噪声是局限性和分散性的公害。

所谓局限性是指一般的噪声源只能影响它周围的一定区域,而不会像大气污染能飘散到很远的地方。环境噪声扩散影响的范围具有局限性。分散性主要是指环境噪声源具有分布的分散性。

(3) 环境噪声具有能量性。

环境噪声是能量的污染,噪声是由发声物体的振动向外界辐射的一种声能。若声源停止振动发声,声能就失去补充,噪声污染随之终止,危害即消除。不像其他污染源排放的污染物,即使停止排放,污染物在长时间内还是残留着,污染是持久的。噪声的能量转化系数很低,约为 10^{-6} 。换句话说,1 kW 的动力机械,大约只有 1 mW 变为噪声能量。

(4) 环境噪声具有波动性和难避性。

声能是以波动的形式传播的,因此噪声特别是低频噪声具有很强的绕射能力,可以说是“无孔不入”。突发的噪声是难以逃避的,人耳不会像眼睛那样迅速闭合来防止光污染,也不会像鼻子遇到异味时能屏气以待,即使在睡眠中,人耳也会受到噪声的污染。由于噪声以 340 m/s 的速度传播,因此即使闻声而逃,也避之不及。

(5) 噪声具有危害潜伏性。

有人认为,噪声污染不会死人,因而不重视噪声的防治。大多数暴露在 90 dB(A) 左右噪声条件下的职工,也认为能够忍受,实际上这种“忍受”是以听力偏移为代价的。因此,对噪声的污染危害不可低估。

1.2 环境噪声污染控制的声学基础

声学是研究介质中机械波的产生、传播、接收和效应的物理学分支学科。介质包括各种状态的物质,可以是弹性介质,也可以是非弹性介质;机械波是指质点运动变化的传播现象。

(1) 现代声学的内容。

现代声学主要涉及声子的运动、声子和物质的相互作用,以及一些准粒子和电子等微观粒子的特性。所以声学既有经典性质,也有量子性质。

声学的中心是基础物理声学,它是声学各分支的基础。声可以说是在物质介质中的机械辐射,机械辐射是指机械扰动在物质中的传播。人类的活动几乎都与声学有关,从海洋学到语言音乐,从地球到人的大脑,从机械工程到医学,从微观到宏观,都是声学家活动的场所。声学的边缘科学性质十分明显,边缘科学是科学的生长点,因此有人主张声学是物理学的一个最好的发展方向。

声波在气体和液体中只有纵波。在固体中除了纵波以外,还有横波(质点振动的方向与声波传播的方向垂直),有时还有纵横波。

声波场中质点每秒振动的周数称为频率,单位为赫兹(Hz)。现代声学研究的频率范围为 $10^{-4} \sim 10^9$ Hz,在空气中可听到声音的声波波长为 0.017~17 m,在固体中,声波波长的范围

更大,比电磁波的波长范围至少大1 000倍。

声波的传播与介质的弹性模量、密度、内耗及形状大小(产生折射、反射、衍射等)有关。测量声波传播的特性可以研究介质的力学性质和几何性质,声学之所以发展成拥有众多分支并且与许多科学、技术和文化艺术有密切关系的学科,原因就在于此。

声波强度用单位面积内传播的功率(以 W/m^2 为单位)表示,但是在声学测量中功率不易直接测得,所以常用易于测量的声压表示。在声学中,常见的声压或声强范围非常大,所以一般用对数表示,称为声强级或声压级,单位是分贝(dB)。

(2) 声学与环境。

当代重大环境问题之一是噪声污染,社会上对环境污染的意见(包括控告)有一半是噪声问题。除了长期在较强的噪声(90 dB(A)以上)中工作要造成耳聋外,不太强的噪声对人也会形成干扰。例如噪声到70 dB(A),对面谈话就有困难;50 dB(A)环境下睡眠休息已受到严重影响。近年来,对声源发声机理的研究受到关注,也取得了不少成绩。

如何判断一个声音是否为噪声,从物理学角度来说,振幅和频率杂乱断续或统计上无规则的声振动称为噪声。从环境保护的角度来说,判断一个声音是否为噪声,要根据时间、地点、环境以及人们的心理和生理等因素确定。所以,噪声不能完全根据声音的物理特性来定义。一般认为,凡是干扰人们休息、学习和工作的不需要的声音统称为噪声。当噪声超过人们的生活和生产活动所能容许的程度时,就形成噪声污染。

噪声控制中常遇到的声源功率范围非常大,这也增加了噪声控制工作的复杂性。例如一个大型火箭发动机的噪声功率可开动一架大型客机,而大型客机的噪声功率可开动一辆卡车。噪声污染是工业化的后果,而降低噪声又是改善环境、提高人的工作效率、延长机器寿命的重要措施。

环境科学不但要克服环境污染,还要进一步研究适宜于人们生活和活动的环境。在厅堂中听到清晰的讲话、优美的音乐环境是建筑声学的任务。厅堂音质的主要问题是室内的混响,混响必须合适,有时还需要混响可变。实验证明,由声源到听者的直达声及其后50 ms或100 ms内到达的反射声对音质都有重要影响,反射声的方向分布也是很重要的因素,两侧传来的反射声似乎很重要,全面研究各种因素才能获得良好的音质。

1.2.1 声波的产生

1. 声源

各种各样的声音都起始于物体的振动。凡能产生声音的振动物体统称为声源。从物体的形态来分,声源可分成固体声源、液体声源和气体声源等。例如,锣鼓(敲击声)、大海(波涛声)和汽车(排气声)都是常见的声源。如果你用手指轻轻触及被敲击的鼓面,就能感觉到鼓膜的振动。所谓声源的振动就是物体(或质点)在其平衡位置附近进行的往复运动。

2. 声波的形成

当声源振动时,就会引起声源周围弹性介质——空气分子的振动。这些振动的分子又会使其周围的空气分子产生振动。这样,声源产生的振动就以声波的形式向外传播。声波不仅可以在空气中传播,也可以在液体和固体中传播。但是,声波不能在真空中传播,因为在真空中不存在能够产生振动的弹性介质。根据传播介质的不同,可以将声分成空气声、水声和固体(结构)声等类型。在噪声控制工程中主要涉及空气介质中的空气声。

在空气中,声波是一种纵波,这时介质质点的振动方向是与声波的传播方向相一致的。反

之,将质点振动方向与声波传播方向相互垂直的波称为横波。在固体和液体中既可能存在声波的纵波,也可能存在横波。

需要注意的是,纵波或横波都是通过相邻质点间的动量传递来传播能量的,而不是由物质的迁移来传播能量的。例如,若向水池中投掷小石块,就会引起水面的起伏变化,一圈一圈地向外传播,但是水质点(或水中的漂浮物)只是在原位置处上、下运动,并不向外移动。

3. 描述声波的基本物理量

当声源振动时,其邻近的空气分子受到交替的压缩和扩张,形成疏密相间的空气分子,时疏时密,依次向外传播,如图 1-1 所示。

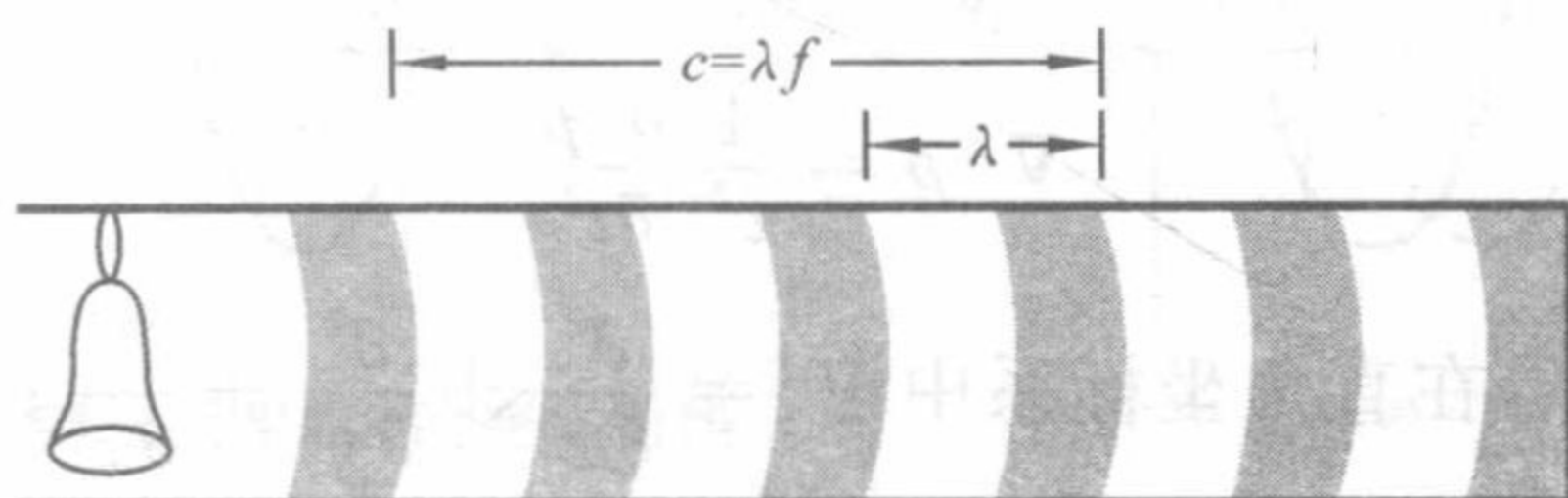


图 1-1 空气中的声波

当某一部分空气变密时,这部分空气的压强 p' 变得比平衡状态下的大气压强(静态压强) p_s 大;当某一部分的空气变疏时,这部分空气的压强 p' 变得比静态压强 p_s 小。这样,在声波传播过程中空间各处的空气压强产生起伏变化。通常用 p 来表示压强的起伏变化量,即 $p = p' - p_s$,称为声压。声压的单位是帕斯卡(Pa),简称帕, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。

如果声源的振动是按一定的时间间隔有周期性的,那么,就会在声源周围介质中产生周期性的疏密变化。在同一时刻,从某一个最稠密(或最稀疏)的地点到相邻的另一个最稠密(或最稀疏)的地点之间的距离称为声波的波长,记为 λ ,单位为米(m)。振动重复一次的最短时间间隔称为周期,记为 T ,单位为秒(s)。周期的倒数,即单位时间内的振动次数,称为频率,记为 f ,单位为赫兹(Hz), $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ 。

如前所述,介质中的振动状态由声源向外传播。这种传播是需要时间的,即传播的速度是有限的。这种振动状态在介质中的传播速度称为声速,记为 c ,单位为米每秒(m/s)。声速受温度影响的经验式为

$$c = 331.45 + 0.61t \quad (1-1)$$

式中: t ——空气的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

可见,声速 c 随温度会有一些变化,但一般情况下变化不大,实际计算时常取 c 为 340 m/s 。

显然,在这些物理量之间存在着如下的相互关系:

$$\lambda = c/f \quad (1-2)$$

$$f = 1/T \quad (1-3)$$

声波传播时,介质中各点的振动频率都是相同的。但是,在同一时刻各点的相位不一定相同。同一质点在不同时刻也会具有不同的相位。所谓相位是指在时刻 t 某一质点的振

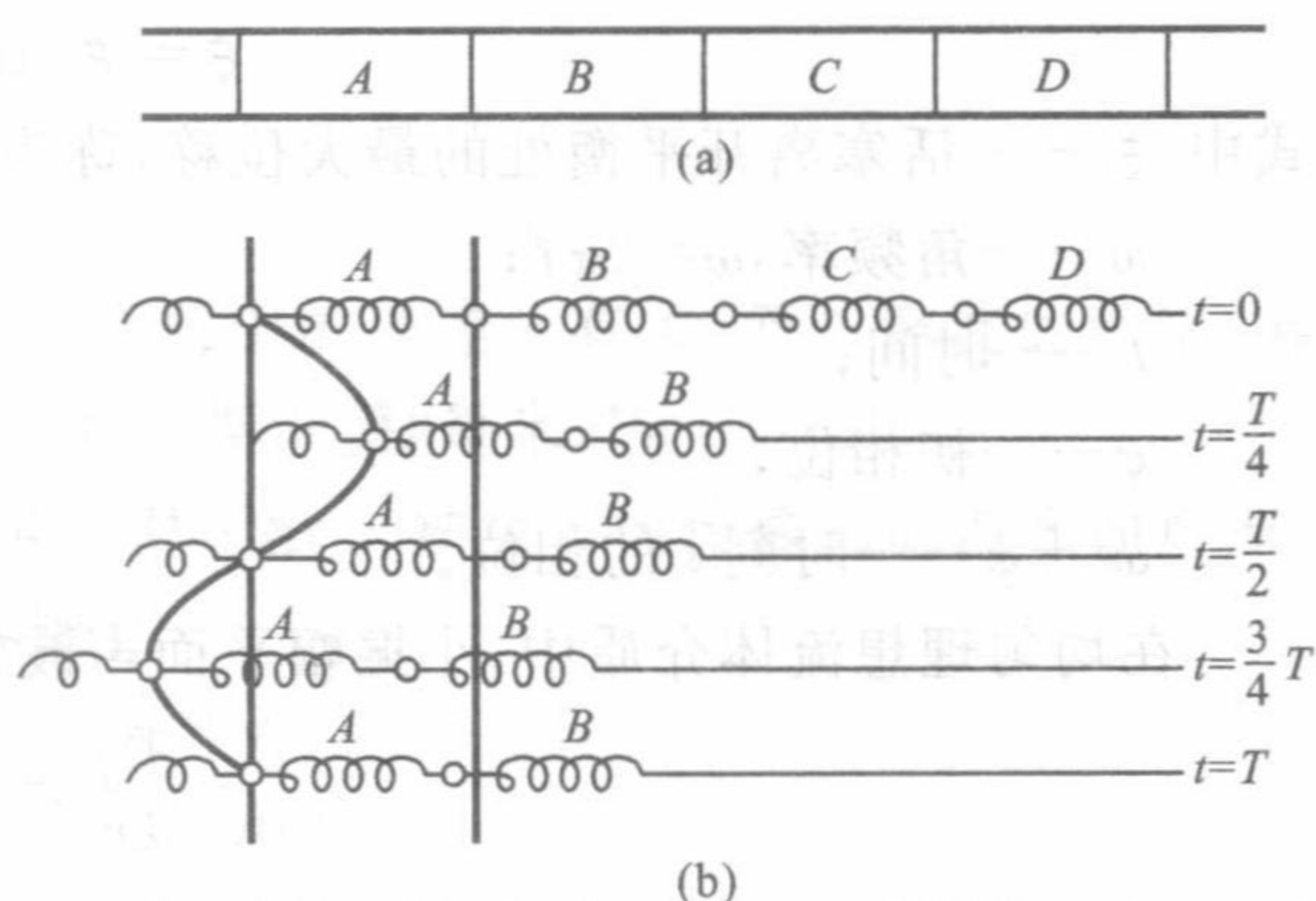


图 1-2 声波传播的物理过程