



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 物理性污染控制工程

## Physical Pollution Control Engineering

刘惠玲 辛言君 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

工业和信息化部“十二五”规划教材

# 物理性污染控制工程

刘惠玲 辛言君 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是根据教育部全国高等学校环境工程专业规范中核心专业课程“物理性污染控制”而编写的本科生教材。

全书系统地阐述了当前的环境物理性污染控制工程的基本理论知识和控制方法。论述了环境噪声与振动污染控制、电磁辐射污染及其防治、放射性污染及其防治、热污染及其防治和环境光污染及其防治的基本概念、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。

本书注重理论与工程实际相结合，可作为高等学校环境工程、环境科学、环保设备工程及其相关专业的本专科生教材，也可作为从事环境保护、城市规划和建筑设计等工作的专业技术人员和科研人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

物理性污染控制工程 / 刘惠玲, 辛颖编著. — 北京: 电子工业出版社, 2015.3

工业和信息化部“十二五”规划教材

ISBN 978-7-121-25510-6

I. ①物… II. ①刘… ②辛… 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(2015)第 096828 号



责任编辑: 竺南直

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 22.5 字数: 576 千字

版 次: 2015 年 3 月第 1 版

印 次: 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 前 言

随着现代化工业生产、交通运输和城市建设的不断发展,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。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、环境放射性辐射污染、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。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。

环境工程是一门综合性和边缘性较强的学科,物理性污染控制作为环境工程专业一门重要的专业课程,其内容既涉及物理学的基本概念、基本理论,又涉及机械、材料、化工等许多学科的理论 and 过程。本书力求物理概念清晰、内容广泛,并注重其工程实用性。通过对本课程的学习,不仅能够使学生扎实地掌握噪声控制的理论知识,具备运用现有知识解决实际问题的能力,而且能够启发学生在该技术领域开拓思想和培养他们的创新能力。

本书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,并引入了近两三年来典型的污染治理案例。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、上篇和下篇三大部分,上篇第1~8章包括环境噪声与振动污染控制两部分,下篇第9~12章包括电磁辐射污染及其防治、放射性污染及其防治、热污染及其防治和环境光污染及其防治。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。该教材既保持了前版的实用性和系统性,同时又在此基础上对其前沿性进行了补充修改,更适用于当前飞速发展所导致的物理性污染领域的环境治理。

根据教育部环境工程专业课程改革要求和近年来的发展变化,该教材在哈尔滨工业大学刘惠玲教授编写的《环境噪声控制》教材基础上,由刘惠玲教授和青岛农业大学辛言君副教授进行了补充修订。上篇主要由刘惠玲教授编写,辛言君参与了修订补充,下篇主要由辛言君编写,刘惠玲进行了审核,其中辛言君编写了第9、10、11、12章。哈尔滨工业大学叶瞰旻老师参与了第7章和第8章的编写工作,青岛农业大学陈翔老师参与了第10章的编写工作,教材中部分案例由上海世静环保科技有限公司提供。全书由刘惠玲统稿、审查。

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,上海世静环保科技有限公司、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。

作 者

2014年12月

## 反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

# 目 录

绪论	1	2.4.4 声波的叠加	23
0.1 物理环境与环境物理学	1	2.5 声级及其运算	24
0.1.1 物理环境	1	2.5.1 声级的定义	24
0.1.2 环境物理学	2	2.5.2 声级的计算	25
0.2 物理性污染及物理性污染控制工程	3	2.5.3 声音的频谱	28
0.2.1 物理性污染	3	2.5.4 响度与响度级	30
0.2.2 环境物理性污染控制工程	4	2.5.5 计权声级	31
第 1 章 环境噪声概述	5	2.6 声波的衰减	31
1.1 噪声的基本概念	5	2.6.1 点声源的声波衰减	32
1.1.1 声音及其物理特性	5	2.6.2 线声源的声波衰减	32
1.1.2 噪声污染	6	2.6.3 圆柱面声源的声波衰减	32
1.1.3 我国噪声的概况	7	2.6.4 长方形声源的声波衰减	33
1.2 噪声的危害	9	习题 2	33
1.2.1 噪声干扰人们的正常生活	9	第 3 章 噪声测量、评价与影响预测	35
1.2.2 噪声可诱发疾病	9	3.1 噪声测量	35
1.2.3 噪声损害设备和建筑物	10	3.1.1 测量仪器	35
1.3 环境噪声控制概述	10	3.1.2 测量方法	41
1.3.1 环境声学研究的内容	10	3.2 噪声评价	51
1.3.2 噪声控制的方法	11	3.2.1 噪声评价方法	52
1.3.3 噪声的利用	12	3.2.2 噪声标准	61
习题 1	13	3.3 环境噪声预测	63
第 2 章 噪声控制中的声学基础	14	3.3.1 道路交通噪声预测	64
2.1 声音的基本性质与声的量度	14	3.3.2 工业企业生产噪声预测	69
2.1.1 声波的产生	14	3.3.3 工程施工噪声预测	70
2.1.2 声波的描述	14	3.3.4 环境噪声影响评价	71
2.2 平面声波	15	习题 3	71
2.3 声波的能量、声功率和声强	18	第 4 章 吸声降噪	73
2.3.1 声能量和声功率	18	4.1 概述	73
2.3.2 声强和声能密度	18	4.1.1 材料的声学分类和吸声结构	73
2.4 声波的传播	19	4.1.2 吸声评价方法	74
2.4.1 声波的反射、折射和透射	19	4.1.3 吸声降噪特性	76
2.4.2 声波的衍射	22	4.2 多孔吸声材料	77
2.4.3 声源的指向性	22	4.2.1 多孔吸声材料的结构特征和吸声机理	77

4.2.2	影响多孔吸声材料吸声性能的因素	78	6.2	阻性消声器	140
4.2.3	空间吸声体	81	6.2.1	阻性消声器基本原理	140
4.3	共振吸声结构	82	6.2.2	阻性消声器的类型	141
4.3.1	共振吸声原理	82	6.2.3	气流对阻性消声器消声性能的影响	143
4.3.2	常用吸声结构	83	6.2.4	阻性消声器的设计	145
4.4	室内吸声降噪	90	6.3	抗性消声器	147
4.4.1	室内声压级	90	6.3.1	扩张室消声器	147
4.4.2	室内声场的衰减和混响时间	93	6.3.2	共振腔消声器	152
4.4.3	室内吸声降噪计算	94	6.4	阻抗复合式消声器	156
4.4.4	室内吸声设计	95	6.5	微穿孔板消声器	157
4.5	吸声降噪工程应用实例	96	6.6	干涉式消声器	158
习题 4		100	6.7	消声器工程应用实例	159
<b>第 5 章</b>	<b>隔声技术</b>	101	习题 6		165
5.1	隔声原理	101	<b>第 7 章</b>	<b>隔振与阻尼</b>	166
5.1.1	透射系数与隔声量	101	7.1	隔振原理及基本方法	166
5.1.2	单层匀质构件的隔声性能	103	7.1.1	隔振原理	166
5.1.3	双层墙的隔声性能	107	7.1.2	隔振的基本方法	172
5.1.4	多层复合隔声结构	111	7.2	隔振元件与隔振设计	173
5.1.5	孔洞和缝隙对墙体隔声的影响	111	7.2.1	隔振元件	173
5.2	隔声间	115	7.2.2	隔振设计	176
5.2.1	隔声间的降噪量	115	7.3	阻尼减振	179
5.2.2	隔声门和隔声窗	116	7.3.1	阻尼的概念及产生机理	179
5.3	隔声罩	118	7.3.2	阻尼的产生机理	180
5.3.1	隔声罩的降噪量	118	7.3.3	阻尼减振原理	183
5.3.2	隔声罩设计要求	119	7.3.4	阻尼材料	183
5.3.3	隔声罩通风降温设计	119	7.3.5	阻尼的基本结构及其应用	186
5.4	隔声屏障	120	7.4	隔振与降噪工程应用实例	189
5.5	管道隔声	122	习题 7		198
5.6	隔声设计	123	<b>第 8 章</b>	<b>噪声的主动控制</b>	199
5.7	隔声技术工程应用实例	125	8.1	概述	199
习题 5		133	8.1.1	噪声主动控制系统	199
<b>第 6 章</b>	<b>消声器</b>	134	8.1.2	噪声主动控制方法	200
6.1	消声器的分类、性能评价和设计程序	134	8.2	噪声主动控制应用	203
6.1.1	消声器的分类	134	8.2.1	管道噪声的主动控制	203
6.1.2	消声器的基本要求	134	8.2.2	变压器噪声控制	205
6.1.3	消声器性能评价	135	8.2.3	汽车内部噪声	206
6.1.4	消声器的设计程序	139	8.2.4	主动隔振控制	207
			8.2.5	反馈控制在主动隔振中的应用	210

习题 8	213	10.3 放射性污染的测量及评价	271
<b>第 9 章 电磁辐射污染及其防治</b>	214	10.3.1 放射性污染的监测方法	271
9.1 电磁环境概述	214	10.3.2 放射性污染测量仪器	274
9.1.1 电磁环境与电磁辐射污染	214	10.3.3 放射性评价标准	275
9.1.2 电磁辐射污染的来源	214	10.3.4 放射性评价方法	276
9.1.3 电磁辐射污染的途径	216	10.4 放射性污染防治	277
9.1.4 电磁辐射污染的危害	217	10.4.1 环境放射性污染特点	277
9.1.5 电磁辐射污染的特点及 现状	222	10.4.2 放射性废物的分类	278
9.2 电磁辐射基础	223	10.4.3 放射性污染防治的基本 原则	279
9.2.1 电磁场	223	10.4.4 放射性的防护措施	279
9.2.2 电磁辐射	225	10.5 放射性废物处理技术	280
9.2.3 射频电磁场	226	10.5.1 放射性废物的处理原则	280
9.2.4 电磁波的传播特性	229	10.5.2 放射性废物处理技术	280
9.3 电磁辐射污染的监测及评价	231	10.5.3 某核电厂放射性污染的 防治实例	288
9.3.1 电磁辐射监测技术	231	习题 10	290
9.3.2 电磁辐射评价标准及方法	233	<b>第 11 章 热污染及其防治</b>	291
9.4 电磁辐射的预测	238	11.1 概述	291
9.4.1 电磁波的传播	238	11.1.1 热环境	291
9.4.2 环境电磁场预测方法	240	11.1.2 热环境对人的影响	291
9.4.3 电磁辐射场强的预测	241	11.2 热污染及其影响	293
9.5 电磁辐射污染防治技术	247	11.2.1 热污染	293
9.5.1 电磁辐射污染防治的基本 原则	247	11.2.2 热污染对水体的影响	295
9.5.2 电磁辐射污染的防治措施	248	11.2.3 热污染对大气的影响	296
9.5.3 电磁辐射防治技术	252	11.2.4 热岛效应	300
9.5.4 高频感应加热设备的屏蔽 防护应用实例	256	11.3 热污染评价与标准	302
习题 9	258	11.3.1 水体热环境评价与标准	302
<b>第 10 章 放射性污染及其防治</b>	259	11.3.2 大气热环境评价与标准	303
10.1 概述	259	11.4 热污染防治	306
10.1.1 放射性污染	259	11.4.1 水体热污染防治	306
10.1.2 放射性污染的来源	259	11.4.2 大气热污染防治	308
10.1.3 辐射的生物效应	263	11.4.3 热岛效应的防治	309
10.1.4 放射性污染的危害	265	11.4.4 余热利用	310
10.2 放射性基础	267	11.4.5 新型热污染控制技术	312
10.2.1 放射性辐射的基本知识	267	习题 11	317
10.2.2 放射性环境保护的相关 概念	270	<b>第 12 章 光污染及其防治</b>	318
10.2.3 辐射效应的有关概念	270	12.1 光环境	318
		12.1.1 概述	318
		12.1.2 光环境的影响因素	319



12.1.3	光源及其类型 .....	320	12.4.2	红外线、紫外线污染 防治 .....	344
12.1.4	光污染 .....	325	12.4.3	激光污染的预防 .....	344
12.2	光学基础及测量仪器 .....	330	12.5	光污染的防治管理 .....	345
12.2.1	照明单位及度量 .....	330	12.5.1	光污染防治相关政策 和法律法规 .....	345
12.2.2	光环境测量仪器 .....	333	12.5.2	光污染防治对策与管理 .....	345
12.3	光环境的质量评价 .....	334	习题 12 .....		347
12.3.1	天然光环境质量评价 .....	334	参考文献 .....		348
12.3.2	人工光环境质量评价 .....	336			
12.4	光污染防治技术 .....	340			
12.4.1	可见光污染防治 .....	340			

# 绪 论

## 0.1 物理环境与环境物理学

### 0.1.1 物理环境

人类生存的环境中，存在着各种各样的客观事物。对人类而言，环境是指人类生存的环境，是与之有关的各种事物的总和。人类生存的环境包括自然环境和人为环境。自然环境中包含重力场、电场、电磁场和辐射场等物理因素。各种物质在这些因素的作用下，不停地运转着，进行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。人类生存于物理环境中，参与的各种各样活动会对物理环境产生影响。因此，物理环境又可以分为天然物理环境和人工物理环境。

#### 1. 天然物理环境

天然物理环境即原生物理环境，如火山爆发、地震、台风以及雷电等自然现象会产生振动和噪声，在局部区域内形成自然声环境和振动环境。火山爆发、太阳黑子活动引起的磁暴以及雷电等现象会产生严重的电磁干扰。地震会引起地磁场的快速变化，影响生物体的磁场。地壳中的许多天然放射性核素在衰变中释放出 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线，形成自然放射性辐射环境。太阳光的热辐射会影响到地球上的热环境。太阳直射日光和天空扩散光会形成自然光环境。这些自然声环境、振动环境、电磁辐射、放射性辐射、热环境和光环境构成了天然物理环境。

#### 2. 人工物理环境

伴随着人类的出现，人类的各项活动不断地对天然物理环境产生干扰，形成人工物理环境。人工物理环境包括人工声环境、人工振动环境、人工电磁环境、人工放射性环境、人工热环境和人工光环境。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。

人类生活在有声世界里，声音伴随着人类的生活和生产，声环境中要求需要的声音能高度保真，不需要的声音不致干扰人们工作、学习和休息，这就构成了人类需要的和谐的人工声环境。然而，近年来，城市的工业噪声、交通噪声、建筑施工噪声和社会生活噪声等人为噪声，影响人们的工作和休息，甚至危害人体的健康，形成了不和谐的人工噪声环境。

人类生活中，振动是不可避免的，是一种普遍的运动形式。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。工业生产、施工现场、交通运输等方面均会产生振动。如地下核试验和矿山开发会引起地面的振动；地铁运行会使地面上的居民感觉到振动；重型卡车驶过楼房前、建筑工地上汽锤打桩、工厂设备运转等都会产生振动。人类活动中的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。

在电气化高度发展的今天，各式各样的电磁波充满人类生活的空间。无线电广播、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、高压和超高压输电网、变电站、微波炉、手机……的广泛应用，促进了社会进步，给人们的学习、生活带来极大的

便利。但是，由于无线电广播、电视、微波技术以及计算机手机等技术的发展，形成了过度的人工电磁场，危害人体健康，产生多方面的负面效应，给环境带来污染和危害。

放射性核同位素被人类应用于医学、核工业、农业育种和生物保鲜等科学研究中，给人们生活带来了巨大的便利；核武器试验和核电站等核工业的发展在各国经济发展中所起的作用也越来越大。尤其是近几年核电站的建造，给社会发展和人们生活带来了巨大的福利。核能的开发利用改变了环境中的天然放射辐射场，形成了次生的人工放射性环境。过度的放射剂量或突发事故会产生放射性环境污染事件。

适合于人类生活的温度范围很窄。但是由于人体的热调节系统有很高的效能，所以人体适应环境冷热变化的范围相当宽。但是，人体感觉舒适的范围却窄得多。由于人体不能完全适应天然环境剧烈的寒暑变化，人类创造了房屋、火炉以及现代的空调系统等设施，以防御和缓和外界气候变化的影响，形成了人工热环境。但是现代工业生产和人类生活排放废热造成的环境热化，达到损害环境质量的程度，形成了热污染。

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。电光源的迅速发展和普及，形成了人工光环境。人工光环境较天然光环境更容易满足人类活动的需要，但光亮过度时，会对人们的生活、工作环境以及人体健康产生不利影响，形成光污染。

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。

## 0.1.2 环境物理学

### 1. 环境物理学的定义

环境物理学是在物理学的基础上发展起来的一门新兴学科，是环境科学的重要组成部分，是研究物理环境同人类相互作用的科学。环境物理学不仅研究污染发生的机理与防治方法，更重要的是研究适宜于人类生活和工作的声、电、热、光等物理条件，同时注重物理现象的定量研究，从物理学角度探讨环境质量的变化规律，寻求保护和改善环境的措施。环境物理学是正在形成中的学科，尚处于创立时期，需要更多的物理学家和物理工作者加入这一行列，从事环境物理学的基础理论和应用技术的研究，促进环境物理学的进一步发展。

### 2. 环境物理学的产生与发展

环境物理学的形成同其他学科一样，都是人类社会生产力发展到一定程度的产物，是与人类认识水平相适应的。

20世纪初期，人们开始研究声、振动、电磁辐射、射线、热、光等对人类生活和工作的影响，并逐渐形成了在建筑物内部为人类创造适宜物理环境的学科——建筑物理学。20世纪50年代后，物理性污染日益严重，不仅在建筑物内部，而且在建筑物外部，对人类造成了越来越严重的危害，促使物理学的各分支学科开展对物理环境的研究，逐渐形成一个新兴的边缘学科——环境物理学。

目前，环境物理学的发展还落后于工业生产，亟待完善，需要在实践基础上不断拓宽研究领域，增强自身体系结构与学科建设的发展。随着人们对环境认识的逐步深化和科学技术的快速发展，环境物理学将适应经济与社会发展的需要。在对物理环境全面深入研究的基础上，进一步拓宽研究领域，促进自身基本理论、研究方法及防治技术向微观和宏观、广度和

深度的方向深入扩展，在实践中逐渐完善成为一门系统而成熟的学科体系，为实现经济与环境的可持续发展做出贡献。

### 3. 环境物理学的研究内容

环境物理学的研究领域非常广泛，是正在形成中的交叉学科领域，其目标是为人类创造一个舒适的物理环境，通过研究声、振动、电磁辐射、放射性、热和光等物理因素对人类的影响，探索消除其影响的技术途径和控制措施。根据环境物理学研究对象可分为环境声学、环境振动学、环境电磁学、环境放射学、环境热学、环境光学和环境空气动力学等分支学科。各个分支学科中较成熟的是环境声学。

环境声学研究在人类生存环境中声音的产生、传播、接收，噪声的心理、生理、病理效应，噪声污染的成因，监测、评价和预测噪声对人体的影响，制定合适的噪声标准，以及行之有效的噪声控制技术，如吸声、隔声、消声器、隔振、阻尼、有源消声等。环境电磁学探讨天然的和各种人为的电磁波辐射和传播的规律，电磁辐射污染对人类生存环境包括对人类本身和电子仪器设备的影响，拟制电磁辐射标准，探讨电磁污染控制技术和方法，如屏蔽、吸收、反射、滤波等。环境放射学，亦称环境辐射学，主要研究天然的和人为的放射性物质污染在人类生存环境中的分布、转化、迁移、弥散规律，对人类和自然生态环境的影响和危害，风险估计，以及防护措施、体系、标准和方法。环境热学研究热物理环境对人类和生态的影响，以及人类活动与热环境的相互作用，热污染的成因、监测，发展趋势和预测，探讨热污染控制的规划、战略、方法和措施。环境热学中全球暖化、热岛现象、温室效应已经成为当代人类关注的焦点。环境光学研究天然光环境和人工光环境与人类生存环境的关系，光环境对人类的生理和心理影响，如何利用天然光环境，如何防治光污染。太阳是光环境中最为重要的光源，如何充分有效地利用太阳光不仅是环境光学，而且成为当代人类社会最为重要的课题之一。

## 0.2 物理性污染及物理性污染控制工程

### 0.2.1 物理性污染

在人们的常规思维中，每谈到环境污染自然会想到水污染、大气污染这种化学性、生物性的污染。实际上，还有另一种形式的污染围绕在我们身边，而且危害正日趋严重，这就是物理性污染。

随着科学技术的发展，人们的生活水平越来越高，各种物理性污染不断出现。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，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。物理性污染是由于物理因子（声、振动、电、热、光、射线等）的原因产生的物理方面的作用，它是属于物理范畴的一类新型污染，如噪声、电磁辐射、放射性辐射、光线等。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。

物理性污染和化学性污染、生物性污染有相同点，就是这些污染都危害人们的身体健康，这种危害有长期的遗留性，主要表现在这些污染引起的慢性疾病、器质性病变和神经系统的损害。

物理性污染也不同于化学性污染和生物性污染。化学性污染和生物性污染是环境中有了

有害的物质和生物，或者环境中的某些物质超过正常含量。而引起物理性污染的声、电磁、射线、热、光等往往是人的眼睛看不见的，手摸不到的，因为它没有形状和实体，因此，人们又把物理性污染称为无形污染。但它们在环境中是永远存在的，它们本身对人无害，只是在环境中的量过高或过低时，才造成污染或异常。例如，声音对人是必需的，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，人就会感到恐怖，甚至会疯狂。

与化学性污染和生物性污染相比，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；物理性污染在环境中不会有残余物质存在，在污染源停止运转后，污染也就立即消失。

物理性污染的主要研究内容包括物理性污染机理及规律、物理性污染评价方法和标准、物理性污染监测和环境影响评价、物理性污染控制基本方法和技术等。

## 0.2.2 环境物理性污染控制工程

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、电、热、光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如何消除污染，而且要研究适宜于人类生活和工作的声、电、热、光等物理条件；物理性污染程度是由声、电、热、光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、环境电磁辐射污染控制工程、环境放射性污染防治工程、环境热污染控制工程和环境光污染控制工程等分支学科。

环境物理性污染控制工程是环境物理学的重要内容，主要侧重环境物理性污染的控制。如物质在作机械运动时，匀速运动对人体没有影响，而加速运动则有影响。当人体受到的加速度与重力加速度相当时，人就会感到不舒适。物理性污染虽然能够利用技术手段进行控制，但是采用各种控制技术要涉及经济、管理和立法等问题，所以要对防治技术进行综合研究，获得最佳方案，为人类创造一个适宜的物理环境。

“十五”以来，我国在噪声与振动污染控制技术和设备的研究开发方面已取得了多项科研成果。传统、经典的噪声与振动污染控制技术，包括吸声、隔声、消声、隔振、阻尼减振技术等，在国内已发展得比较成熟，基本上能够较好解决环境保护和劳动保护中遇到的噪声与振动污染控制问题，与发达国家相比没有多大差距。很多新技术、新材料的研发、应用也基本与国际接轨，有些技术甚至走在了国际前列，处于领先地位。但在一些特殊产品如有源消声器、大型振动控制技术产品的研究开发方面，我国还比较落后。进入 21 世纪以来，随着电子产业及通信业、核工业和现代城市的迅猛发展，电磁辐射污染、放射性污染、热污染和光污染等所造成的环境问题越来越突出，引起了人们的广泛关注，但是这些物理性污染控制技术尚处于起步阶段。

环境物理性污染也是比大气污染、水污染、固体废物污染更为敏感的话题，由于环境噪声污染、环境电磁辐射污染和环境光污染等环境投诉的案件逐年增加，除加大环境物理性污染控制工程的研究力度外，还要加大环境规划和管理措施的力度，使环境物理性污染得到基本的控制，还人类一个舒适、安静、健康的生存环境。

# 第 1 章 环境噪声概述

## 1.1 噪声的基本概念

众所周知，随着现代工业生产、交通运输和城市建设的发展，噪声已经成为现代化派生出来的“现代病”。我国把它定为继水污染、空气污染、固体废物污染后的第四大环境公害，被称为“看不见的杀手”。调查显示，80%的住户反映受到了噪声的干扰，噪声污染治理成为住户强烈的要求。

噪声属于感觉公害，从物理学的观点看，噪声就是各种频率和声强杂乱无序组合的声音。从生理学和心理学的观点看，令人不愉快、讨厌以及对人们健康有影响或危害的声音都是噪声，即对噪声的判断与个人所处的环境和主观愿望有关。简单地说，凡是使人不喜欢或不需要的声音通称为噪声。

世界卫生组织认为，噪声不同程度地影响人的精神状态，严重影响人们的生活质量，在一定意义上是一个影响健康的问题。它干扰人们的工作学习、日常生活，影响人的精神状态。长期受其干扰，休息和睡眠不好，可以引起各种疾病，危害人的身心健康。噪声给人类带来的是嘈杂、喧沸和不宁。噪声除了引起听觉器官损伤外，对中枢神经系统、心血管系统、消化系统和内分泌系统也有不同程度的影响。其中，患者和病人对噪声尤为敏感。因此，噪声所引起的问题，在世界范围内也越来越突出。

在通常情况下，噪声固然令人厌烦，但有时，噪声也能成为有用的声音或被有效利用。例如，工人可以根据机械噪音的大小来判断设备是否处于正常运行状态；美国科学家则利用高能量的噪声可以使尘埃相聚的原理，研制出一种大功率的除尘器，利用噪声能量吸收尘埃，减少大气烟尘污染。要控制和利用噪声，必须首先认识声音的特性以及声音与人的听觉之间的关系。

### 1.1.1 声音及其物理特性

声音是由物体振动引起的。物体振动通过在介质中传播所引起人耳或其他接受者的反应，就是声。振动的物体是声音的声源，产生噪声的物体或机械设备称为噪声源。声源可以是固体的，也可以是气体或液体的。

振动在弹性介质中以波的形式进行传播，这种弹性波叫声波。人们日常听到的声音，通常来自空气所传播的声波。除了空气以外，其他气体、液体和固体也能传播声音，所以，噪声传播又可以分为空气噪声、固体噪声和水噪声。

#### 1. 声音的频率

声源在每秒内振动的次数称为声音的频率，通常用“ $f$ ”表示，其单位为赫兹（Hz）。完成一次振动的时间称为周期，用“ $T$ ”表示，声源质点振动的速度不同，所产生的声音频率也不同。声音的频率取决于声源振动的快慢，振动速度越快，声音的频率越高。声音的频率反映的是音调的高低。

声波传入人耳时，引起鼓膜振动，刺激听觉神经，产生听觉，使人听到声音。并不是所有的振动通过传声介质都能被人耳接收，人耳可听到声音（可听声）的频率范围是 20~20000Hz，频率低于 20Hz 的声波叫次声，超过 20kHz 的叫超声，次声和超声都是人耳听不到的声波。一般认为，噪声不包括次声和超声，而是可听声范围内的声波。

## 2. 声音的波长与声速

在介质中，声波振荡一个周期所传播的距离即为波长。波长与频率的关系为：

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

式中， $\lambda$  为声波波长，单位为 m； $c$  为声速，单位为 m/s； $f$  为声波频率，单位为 Hz。

在不同密度的介质中，声波的传播速度不同，如在钢中为 6300m/s，在 20℃ 的水中为 1481m/s，而其波长也随之发生变化。声音传播的速度还与温度有关，随大气温度的升高而增大。声波在空气中的传播速度  $c$  与温度  $t$  的关系如下：

$$c = 331.4 + 0.6t \quad (1-2)$$

式中， $t$  为介质温度，单位为摄氏度（℃）。

0℃ 时的声速是 331.4m/s，在一般室温 25℃ 时，根据式（1-2）可计算出声波在空气中的传播速度为 346m/s。表 1-1 给出了 20℃ 时几种介质中的声速。

表 1-1 20℃ 时几种介质中的声速

介质名称	空气	水	钢	松木	砖
声速/ (m/s)	343	1500	5000	2500~3500	3600

## 3. 声音的传播

声源发出的声音必须通过中间介质才能传播，例如在空气中人们可以听到声音，在真空中却听不到。声音在介质中向各个方向的传播，只是介质振动的传播，介质本身并没有向前运动，它只是在其平衡位置附近来回地振动，而所传播出去的是物质的运动，该运动形式即为波动。声音是机械振动的传播，所以声波属于机械波。声波波及的空间称为声场，声场既可能无限大，也可能仅限于某个局部空间。

### 1.1.2 噪声污染

#### 1. 噪声的来源

噪声对环境的污染与工业“三废”一样，是一种危害人类健康的公害。噪声的种类很多，如火山爆发、地震、潮汐、降雨和刮风等自然现象所引起的地声、雷声、水声和风声等，都属于自然噪声。人为活动所产生的噪声主要包括工业噪声、交通噪声、施工噪声和社会噪声等。

##### (1) 工业噪声

随着现代工业的发展，工业噪声影响的范围越来越大，工业噪声的控制也越来越受到人们重视。工业噪声不仅直接危害工人健康，而且对附近居民也会造成很大影响。工业噪声主要包括空气动力噪声、机械噪声和电磁噪声三种。

空气动力噪声是由气体振动产生的。如风机内叶片高速旋转或高速气流通过叶片，会使叶片两侧的空气发生压力突变，激发声波。空压机、发动机、燃气轮机和高炉排气等都可以产生空气动力噪声。风铲、大型鼓风机的噪声可达 130dB(A) 以上。

机械噪声是由固体振动产生的。机械设备在运行过程中，其金属板、轴承、齿轮等通过撞击、摩擦、交变机械应力等作用而产生机械噪声。如磨机、织机、机床、机车等产生的噪声即属此类，其分贝值一般在 80~120dB(A)。

电磁噪声是由电动机、发电机和变压器的交变磁场中交变力相互作用而产生的。

#### (2) 交通噪声

随着城市化和交通事业的发展，交通噪声在整个噪声污染中所占比重越来越大。如飞机、火车、汽车等交通工具作为活动污染源，不仅污染面广，而且噪声级高，尤其是航空噪声和汽车的喇叭声。

#### (3) 建筑噪声

建筑噪声主要来源于建筑机械发出的噪声。建筑施工噪声虽然是一种临时性污染，但其声音强度很高，又属于露天作业，因此污染也十分严重。有检测结果表明，建筑工地的打桩声能传到数千米以外，因此严重影响居民的休息与生活。

#### (4) 社会噪声

社会噪声主要是指社会活动和家庭生活所引起的噪声。如电视声、录音机声、乐器的练习声、走步声、门窗关闭的撞击声等，这类噪声虽然声级不高，但却往往给居民生活造成干扰。

### 2. 噪声的分类

噪声污染按声源的机械特点可分为：气体扰动产生的噪声、固体振动产生的噪声、液体撞击产生的噪声以及电磁作用产生的电磁噪声。

噪声按声音的频率可分为：小于 400Hz 的低频噪声、400~1000Hz 的中频噪声，以及大于 1000Hz 的高频噪声。

噪声按时间变化的属性可分为：稳态噪声、非稳态噪声、起伏噪声、间歇噪声，以及脉冲噪声等。

噪声有自然现象引起的（见自然界噪声），有人为造成的。故也分为自然噪声和人造噪声。

### 3. 噪声污染的特点

简单地说，噪声就是声音，它具有一切声学的特性和规律。但是噪声对环境的影响和它的强弱有关，噪声越强，影响越大。衡量噪声强弱的物理量是噪声级。由于噪声属于感觉公害，所以它与其他有害有毒物质引起的公害不同。

噪声污染是一种物理污染，与水、气和固体废物的污染相比，它具有以下特点：①污染面大，噪声源分布广，污染轻重不一；②就某一单一污染源来讲，其污染具有局限性，一般的噪声源只能影响其周围的一定区域，它不会像大气中的飘尘，能扩散到很远的地方；③噪声在空中传播时并未给周围环境留下什么有毒性的物质，噪声源停止，污染随即消失；④噪声污染在环境中不会造成积累，声能量最后完全转变成热能散失掉。因此，噪声不能集中处理，需用特殊的方法进行控制。

#### 1.1.3 我国噪声的概况

##### 1. 工业噪声概况

工业噪声是指工厂在生产过程中由于机械震动、摩擦撞击及气流扰动产生的噪声。由于



工业噪声声源多而分散，噪声类型比较复杂，且生产的连续性声源也较难识别，因此治理起来相当困难。

工业噪声一般分为以下几类：

(1) 机械性噪声

由于机械的撞击、摩擦、固体的振动和转动而产生的噪声，如纺织机、球磨机、粉碎机、织布机、电锯、机床、碎石机等所发出的声音，是由于固体零件机械振动或摩擦撞击产生的机械噪声。

(2) 空气动力性噪声

由于空气振动而产生的噪声，如通风机、化工厂的空气压缩机、鼓风机、喷射器、汽笛、锅炉排气放空等产生的声音，都是由于空气振动而产生的气流噪声。

(3) 电磁性噪声

由于电机中交变力相互作用而产生的噪声。如发电机、变压器和高压电线等发出的声音。有关部门曾对北京地区的钢铁、石油化工、机械、建工建材、电子、纺织、印刷、食品、造纸等行业 100 多个工矿企业的车间噪声和典型机器噪声进行过测试，其结果如表 1-2 所示。

表 1-2 各类工业企业噪声的声级范围

工业部门	声级范围/dB	个别情况的声级/dB
钢铁	80~130	达到 140
机械	80~120	达到 130
石油化工	80~100	超过 120
建工建材	80~120	
电子	65~100	超过 110
纺织	80~105	
铁路交通	80~120	
印刷	70~95	超过 95
食品、造纸及其他轻工业	70~90	

## 2. 生活噪声概况

住宅的声环境是指住宅内外各种噪声源，在住户心理上产生影响的声音环境，是评判住宅质量与性能水平的一项重要指标。由于相对于热环境和光环境等而言，其影响更是长期的，且居民本身也是难以改变的。

根据资料反映与调查结果，居民对城市各种环境污染的投诉，噪声污染占首位。欧美发达国家约半数以上人口在噪声的侵扰下生活，从日本与噪声相关的诉讼案每年平均所占比例来看，噪声居首位。我国有 40% 的城市居民生活在超过噪声标准的环境中。绝大多数是对其住宅受噪声干扰的不满，要求改善的呼声也最高。近年来，我国有关噪声干扰和商品房隔声不好的民事诉讼案件也越来越多。在全国范围内进行的《改善城市住宅功能与质量》的综合调查结果中，做了住宅应改善的部分的居民意愿调查，其中改善意愿最强烈的是在声环境方面，占 35%，亦居首位。清华大学近来对北京、上海、广州等地 200 多户住宅进行了声环境方面的调查，80% 的住户反映受到了噪声的干扰，在住户改善意愿的要求中最为强烈的是隔声。可以说，在我国住宅建设质量不断提高的今天，努力改善与提高住宅的声环境质量已成为我们大家必须要正视并需解决的当务之急。

影响住宅声环境的噪声通常可分为室外噪声和住宅内部噪声。室外噪声包括交通噪声、