

安全与卫生工程系列教材安全与卫生工程系列教材



噪声控制工程

张沛商 姜 亢 编著

安全与卫生工程系列教材

劳动保护管理学

安全分析与事故预测

工业防毒技术

工业通风与防尘工程学

噪声控制工程

作业环境空气检测技术

电气安全工程

起重与机械安全工程学

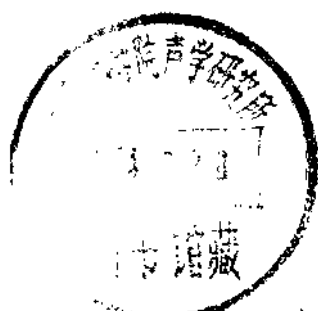
锅炉压力容器安全工程

防火与防爆

安全与卫生工程系列教材

噪声控制工程

张沛商 姜 亢 编著



北京经济学院出版社

148125

冀)新登字211号

内 容 提 要

本书是在大学本科教材和安全技术培训所用教材的基础上改编而成。全书共11章,较详细地介绍了声学的基础知识,较系统地介绍了噪声的危害、噪声的允许标准和噪声的测量方法,还着重地介绍了目前噪声控制技术的主要措施,如吸声、隔声、隔振、消声器和常见工业噪声源控制方法等。

本书可作为大学教材和安全技术培训教材,也适合广大安技人员自学之用。

噪 声 控 制 工 程

Zaoshen Kongzhi Gongcheng

张纪周 姜 亢 编著

北京机械学院出版社出版

(北京市朝阳区红庙)

河北省新移民劳动服务公司印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

×1092毫米 16开本 22 印张 563千字
年7月第1版 1994年5月第1版第2次印刷

印数 6001-11000

ISBN 7-5638-0142-1/TB·1

定价: 8.95元

《安全与卫生工程系列教材》出版说明

安全与卫生工程是受到国内外普遍重视的一门新兴学科。它着重研究工业生产过程中危害劳动者安全和健康的各种因素，并以相应的工程技术措施及现代管理措施保障劳动者的安全和健康。在我国，安全与卫生工程学科的发展与技术措施的广泛应用，对贯彻“安全第一，预防为主”的劳动保护方针，消除事故根源，保障广大职工的安全和健康，促进社会主义建设事业的顺利进行起着重要作用。

我社出版的《安全与卫生工程系列教材》，是北京经济学院安全工程系以富有教学经验的教师组成编写组，在多年教学科研实践的基础上，吸收国内外先进技术和方法编写而成的。本套教材系统地、详尽地介绍了安全与卫生工程技术的原理和方法。力求概念准确，条理清楚，论述深入浅出，做到科学性、先进性和实用性相结合。本套教材注意理论联系实际，附有必要的工程数据和工程图表、资料以利实用。本套教材可作为高等院校、大专院校相应专业的教材或教学参考书，也可作为各产业部门、厂矿企业劳动保护干部、管理干部的培训教材。

《安全与卫生工程系列教材》共计10本：

《劳动保护管理学》

《锅炉压力容器安全工程学》

《防火与防爆》

《电气安全工程》

《起重与机械安全工程学》

《安全分析与事故预测》

《工业通风与防尘工程学》

《噪声控制工程》

《工业防毒技术》

《作业环境空气检测技术》

此外，还有一本《作业环境空气监测方法》可与《作业环境空气检测技术》配合使用。

1990年7月

前 言

近年来,随着工业和交通运输事业的迅速发展,噪声污染日趋严重。噪声危害人体的健康,影响人们的正常生活、工作和休息。特别是在人口密集的大城市里,这种危害和影响尤为严重。现在噪声污染已引起世界各国的广泛注意,它同空气污染、水污染一起,被公认为当今的三大公害。噪声污染面非常广泛,它对人们的危害与影响常常是我们难以估量的,因此探讨噪声的产生与传播机理,进而有效地予以控制是非常必要的。据不完全统计,近年来一些城市居民向环境保护部门写信或控告的各类污染事件中,噪声事件已上升到第一位。如何采取有效的措施,将噪声降低到无害的程度,为人们创造一个安宁、舒适的声学环境,乃是环境保护与劳动保护工作者的一项重大课题。

控制噪声,消除噪声污染,这是一项艰巨而又复杂的任务。目前噪声控制工作已引起社会各界与各产业部门的广泛重视。控制噪声法规(标准、法令、条例)的制订与颁布,以及有关噪声防治的宣传、教育和专职人员的培训工作,近年来有所发展。出于教学上和在职干部培训时对国内实际科研成果的急切需要,我们根据多年从事噪声控制工程的经验和已取得的科研成果,并参阅和引用了国内近年来出版的有关资料汇编成此书,在此向有关单位和作者个人表示感谢。

本书较详细地介绍了声学的基础知识,较系统地介绍了噪声的危害、噪声的允许标准和噪声的测量方法,还着重地介绍了目前噪声控制技术的主要措施。

由于编写时间仓促和编著者水平有限,错误之处在所难免,敬希读者批评指正。

张沛商 姜亢

于北京经济学院安全工程系

1989年2月

目 录

第一章 噪声的基础知识	(1)
第一节 噪声及其污染.....	(1)
第二节 声波的产生 声压 声压级.....	(6)
第三节 声音的频率.....	(16)
第四节 声波的波动方程.....	(21)
第五节 平面声波的基本性质.....	(26)
第六节 声波的能量及其衰减.....	(32)
第七节 声波的传播特性.....	(42)
习题.....	(50)
第二章 噪声的心理效应与噪声的评价	(51)
第一节 人耳的构造与听觉.....	(51)
第二节 响度与噪度.....	(52)
第三节 A声级.....	(70)
第四节 噪声的主要评价量.....	(78)
习题.....	(83)
第三章 噪声的危害与噪声的允许标准	(86)
第一节 噪声的危害.....	(86)
第二节 噪声的允许标准.....	(92)
习题.....	(95)
第四章 噪声与振动的测量技术	(96)
第一节 噪声与振动测量的概述.....	(96)
第二节 噪声的测量.....	(97)
第三节 振动的测量.....	(109)
习题.....	(114)
第五章 室内声场	(115)
第一节 室内声音的增长与衰减.....	(116)
第二节 稳态声场.....	(125)
习题.....	(131)
第六章 噪声控制的一般方法与步骤	(133)
第七章 吸声降噪	(139)
第一节 吸声系数.....	(139)
第二节 多孔性吸声材料.....	(142)
第三节 吸声结构.....	(153)
第四节 吸声降噪的设计.....	(165)

习题	(175)
第八章 隔声技术	(177)
第一节 隔声结构的特性	(177)
第二节 隔声墙板的设计	(189)
第三节 隔声门和隔声窗	(193)
第四节 隔声罩	(198)
第五节 隔声屏	(214)
习题	(218)
第九章 隔振技术	(219)
第一节 振动对人体的危害与评价	(220)
第二节 隔振设计	(223)
第三节 隔振器与隔振垫	(231)
第四节 阻尼材料	(245)
习题	(249)
第十章 消声器	(250)
第一节 概述	(250)
第二节 阻性消声器	(251)
第三节 抗性消声器	(265)
第四节 宽频带型消声器	(269)
第五节 排气喷流消声器	(273)
习题	(278)
第十一章 常见工业噪声源控制	(279)
第一节 风机噪声的控制	(279)
第二节 气流放空噪声的控制	(287)
第三节 压缩机噪声的控制	(290)
第四节 机动车辆噪声的控制	(294)
第五节 隔振设计与隔振降噪实例	(299)
附条 I 中华人民共和国《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)	(313)
附条 II 中华人民共和国《工业噪声检测规范》(草案)	(314)
附条 III 中华人民共和国国家标准《工业企业噪声控制设计规范》(GB37—85)	(315)
附录 IV 中华人民共和国《噪声性耳聋调查方法》	(317)
附录 V 中华人民共和国国家标准《城市环境噪声测量方法》(GB3222—82)	(318)
附录 VI 中华人民共和国国家标准《机动车辆噪声测量方法》(GB1496—79)	(325)
附录 VII 中华人民共和国环境噪声污染防治条例	(329)
附录 VIII 中华人民共和国标准《作业场所局部振动卫生标准》(GB10434—89)	(333)
附录 IX 中华人民共和国标准《城市区域环境振动标准》(GB10070—88)	(336)
附录 X 中华人民共和国标准《城市区域环境振动测量方法》(GB10071—88)	(338)
参考文献	(343)

第一章 噪声的基础知识

第一节 噪声及其污染

一、噪声

人们的生活离不开声音，各种声音在人们的生活和工作中起着非常重要的作用。声音是帮助人们沟通信息的重要媒介，是人们传情达意的重要手段。因为有了声音，人们才能用语言交流思想，进行工作，开展一切社会活动。但是另一方面，有些声音却影响人们的学习、工作、休息，甚至危及人们的健康。比如，震耳欲聋的大型鼓风机噪声，尖叫刺耳的电锯声，以及高压排气放空噪声等，则使人心烦意乱，损害听力，并能诱发出多种疾病。又比如，尽管是悦耳动听的乐声，但对于要入睡的人们来说，可能是一种干扰，是不需要的声音。判断一个声音是否属于噪声，主观上的因素往往起着决定性的作用，同一个人对同一种声音，在不同的时间、地点和条件下，往往会产生不同的主观判断。比如，在心情舒畅或休息时，人们喜欢收听音乐；而当心绪烦躁或集中精力思考问题时，往往会主动去关闭各种音响设备。因此，从生理学的观点讲，凡是对人体有害的和人们不需要的声音统称为噪声。

从物理学的观点讲，和谐的声音叫做乐音，不和谐的声音则叫做噪声。噪声就是各种不同频率和强度的声音无规则的杂乱组合，它给人以烦躁的感觉，与乐音相比，它的波形曲线是无规则的。

二、噪声污染

噪声污染已成为当代世界性的问题。由于人类的文明以及与人类文明相协调的工业技术的发展，增加了和增强了人类生存的自然界里的声音，在二次大战以后，世界局势相对和平，工农业生产和科学技术得到迅速发展，随之而来的噪声污染越来越严重。在此期间，尽管我国经历了十年浩劫，工农业生产和科学技术遭受严重破坏，发展不尽如人意，但国民经济仍然增长了20倍，钢产量增加了200倍，人口也翻了一番。工业企业、交通运输、航空事业、城市建设等部门都取得了一定的进展，这些部门大部分集中在城镇及其附近，其结果使得人们的物质生活得到日新月异的改观，但同时，也伴随着越来越严重的噪声污染。

噪声污染与空气污染、水污染一起构成当代三大主要污染源。但是它与另外两个污染源相比有其特殊性。首先，噪声是一种物理污染，一般情况下不致命，它直接作用于人的感官，但几乎是没有后效的，即噪声源发出噪声时一定范围内的人们立即会感到噪声污染，而噪声源停止发声时噪声污染立即消失。正是由于噪声污染具有这种特殊性，它的危害性常常不为一般人所理解，因而也容易被忽视，而空气污染和水污染则不然。其次，噪声对人起干扰作用，人不能生活在无声无息的环境中。人是需要生活在适度的声环境中，而不是希望把客观环境中的声音完全消除掉，而空气污染和水污染则不然，例如对人体有害的物质，则是最

好完全彻底地清除掉。

我国工业化水平还很低,但是噪声污染已达到相当严重的程度。城市噪声扰民引起的诉讼事件越来越多。据北京、上海、天津、广州等十几个大城市的统计,噪声扰民诉讼事件占环境污染事件总数的百分比逐年增高:1979年是29.7%,1980年是34.6%,1981年增加到44.8%。

城市环境噪声的主要来源,大体上有交通噪声、工业噪声、建筑噪声和社会噪声四个方面,其中以交通噪声最为严重。近年来对北京、上海、天津、武汉等大城市的噪声源污染状况进行了调查统计,其结果见表1—1。

表 1—1 北京等四大城市噪声源分类统计表

城 市	百分率 %	交通噪声	工业噪声	建筑噪声	社会噪声	其 它
北 京		32	8	23	37	
上 海		35	17	22	26	
天 津		44	17	6	33	
武 汉		37	22	6	25	10

1. 交通噪声

交通噪声主要指的是机动车辆、火车、飞机和船舶噪声。

机动车辆噪声主要与车速有关,车速增加一倍,噪声级大约增加9分贝。噪声级的高低还与车型、车流量、路面条件、路旁设施等多种因素有关。经测量统计,城市机动车辆噪声大多数集中在70~75分贝(A)的范围内,例如,北京71~75分贝(A)范围内的噪声占46.2%,75分贝(A)以上的占21.1%,70分贝(A)以下的占32.7%。天津71~75分贝(A)范围内的占42.3%,75分贝(A)以上的占52.1%,70分贝(A)以下的占5.6%。

火车噪声主要由信号噪声、机车噪声和轮轨噪声组成。信号噪声又有汽笛噪声和风笛噪声之分。汽笛噪声一般在130分贝(A)左右,而风笛噪声较之汽笛噪声约低30~40分贝(A)。轮轨噪声是连续性的,当车厢及轮轴数目较多时尤为突出,实测表明,当运行速度为60公里/小时,距离轨道5米的轮轨噪声约为102分贝(A),若速度加倍,噪声级提高6~10分贝(A)。

城市地下铁道噪声是非常严重的,以北京地下铁道为例,列车进站时距安全线半米处测量的A声级为:前门站98分贝(A),军博站98.5分贝(A),五棵松站90分贝(A),八宝山站102分贝(A),古城站95.5分贝(A)。

飞机噪声主要指的是飞机起飞、航行和着陆时产生的噪声。它随飞机的机种和载重量变化很大。例如B—727、B—737、DC—9短程飞机着陆时噪声级为85~90分贝(A),起飞时为94~100分贝(A),机舱内为77~92分贝(A)。对于B—707、B—720、DC—3等中程飞机,上述三种噪声级依次为94~100分贝(A)、100~105分贝(A)和75~85分贝(A)。对于远程飞机B—747,上述三种噪声级依次为92分贝(A),103分贝(A)和72~84分贝

(A)。地面的飞机噪声,当飞机在300米以上高空飞过,地面噪声大约为85分贝(A)。当飞机以超声速飞行时,飞机头部在空气中形成船首波,同时在飞机尾部形成船尾波,当这种波传到地面时,由于其波阵面很陡,形成形如拉丁文字N的空气压力波,这种波常称为轰声。由于具有突然性,常使人受到震惊。

船舶通常都存在噪声与振动问题。主要来源于发动机、传动系统、螺旋桨、锅炉、通风及空调设备和货物装卸设备。持续的振动与噪声常使乘客和船员感到烦恼和疲劳。还会影响船舶设备和仪表的正常工作,降低使用精度,缩短使用寿命。对于军用船只将大大限制声呐、雷达并导致它们向水中辐射的噪声级增加,从而暴露目标而招致敌方的攻击。

2. 工业噪声

工业噪声直接给生产工人带来危害,同时也给附近居民带来严重干扰。工业噪声调查结果表明,目前我国工业企业车间噪声级多数在75~105分贝(A)范围内,也有一部分在75分贝(A)以下,还有少量车间和机器的噪声级高达110~120分贝(A),甚至超过120分贝(A)。

工业噪声,特别是地处居民区没有声学防护设施或防护设施不好的工厂辐射的噪声,对居民的干扰十分严重,如机械厂的鼓风机、空气锤、冲床,建筑材料厂的球磨机,发电厂的燃汽轮机,纺织厂的织布机、空调轴流风机等,常常在居民区产生60~80分贝(A)的噪声,甚至高达90分贝(A)。机器连续不停,噪声严重地影响着居民的休息。如果遇到发电厂高压锅炉、大型鼓风机、空压机排气放空,排气口附近的噪声级可高达110~150分贝(A),传到居民区常常超过90分贝(A)。

3. 建筑噪声

随着城市现代化的建设,城市建筑施工噪声越来越严重。尽管建筑施工噪声具有暂时性,但是由于城市人口激增,建筑任务繁重,施工面广,且工期又长,因此噪声污染相当严重。据有关部门测定统计,距离建筑施工机械设备10米处,打桩机为105分贝(A),铆枪为91分贝(A),风镐机为93分贝(A),铺路机为88分贝(A),推土机、刮土机为91分贝(A)等等,这些噪声不但会给操作工人带来危害,而且严重地影响了居民的生活和休息。

4. 社会噪声

社会噪声主要指社会人群活动出现的噪声。例如人们的喧闹声、沿街的叫喊声,以及家用洗衣机、收音机、电视机、缝纫机发出的声音都属于社会噪声。干扰更为严重的是附近工厂、学校、机关的吵闹声以及沿街安装的用做宣传的高音喇叭广播声等。根据测定,家用洗衣机噪声一般为50~80分贝(A),电视机为60~82分贝(A),缝纫机为45~70分贝(A),高音喇叭声则可高达140分贝(A)。

三 噪声的种类

如上所述城市噪声有交通噪声、工业噪声、建筑噪声和社会噪声之分,这是从行业特征把噪声加以区分的。其中交通噪声,又有机动车噪声、火车噪声、飞机噪声和船舶噪声之分,这是按照交通工具的特征及其运行区域加以区分的。在噪声控制学的范畴里,噪声还可以从其产生的原因、物理特征以及发声的介质等多方面加以区别,这就是所谓噪声的种类问题。

1. 客观环境里的噪声, 如果按其总的来源可大体划分为自然噪声和人为噪声两大类。自然噪声是大自然里人为因素之外的所有噪声, 比如风声、雨声、雷鸣声、江河大海里波涛声, 以及山谷里野兽的嚎叫声等。而人为噪声主要指的是随着工业和科学技术的发展, 各种机械、电器和交通噪声等。

2. 相对于某一中心事物而言的场所称为环境, 因为从噪声源影响的地域范围, 通常有场区噪声与环境噪声之分。工厂厂界之内的噪声是场区噪声, 属劳动保护的范畴; 厂界之外的噪声是环境噪声, 属环境保护的范畴。两者分别有各自的允许标准和测量规范。环境噪声包括近场噪声和远场噪声, 主要是来源于“活动性”噪声和“非活动性”噪声两个方面, 前者主要指的是交通噪声, 即道路上行驶的车辆噪声及其喇叭噪声、火车噪声、飞机噪声及船舶噪声。后者主要包括工厂噪声、建筑噪声和社会噪声带来的干扰。许多国家调查统计结果表明, 城市环境噪声中约70%来自于交通噪声。

3. 按声学测量的意义划分, 客观的噪声又有被测对象噪声和背景噪声之分。背景噪声, 又称本底噪声, 是被测对象之外噪声的总称。在噪声测量中, 一般要求背景噪声低于被测噪声10分贝(A)以上, 若不足10分贝(A)必须对测量结果进行修正, 若不足3分贝(A), 测量结果无效。

4. 声音起源于发声体的振动, 根据发声体以及声波传播介质的物态, 可将噪声粗略划分为空气动力性噪声和机械噪声两大类。

(1) 空气动力性噪声很普遍, 通风机、鼓风机、空气压缩机运转时, 进排气口的噪声等是空气动力性噪声。按其发声的机理, 又可分为喷射噪声、涡流噪声、旋转噪声、燃烧噪声等。

(2) 机械噪声很普遍, 机械噪声是机械设备运转时, 各零部件之间相互撞击、摩擦产生的交变机械作用力使设备金属板、轴承、齿轮或其它运动部件发生振动而辐射出来的噪声。机械噪声又可分为撞击噪声、激发噪声、摩擦噪声、结构噪声、轴承噪声和齿轮噪声等等。

(3) 另外, 一些利用电磁工作的元件, 由于磁场脉动、磁致伸缩、电磁涡流等因素发生振动而辐射的噪声属于电磁噪声。发电机、变压器等电器设备开动时的噪声就属于这一类。

5. 噪声的基本特性主要由噪声强度和频率成分两因素决定。就其频率成分的分布而论, 噪声可分为低频噪声、中频噪声、高频噪声、宽频带噪声和窄频带噪声, 以及有调噪声等。

(1) 低频噪声是指噪声的主要成分在500赫以下的噪声, 如空气压缩机、轴流风机、汽车发出的噪声就属于低频噪声。若主要成分在500~1000赫范围内属于中频噪声, 如中、高压风机的噪声等。如果主要成分在1000赫以上就属于高频噪声, 如电锯噪声、铆钉轮噪声等。

(2) 宽频带噪声指的是从低频到高频较为均匀的噪声, 如纺织机噪声、离心鼓风机噪声等。此外, 还有主要成分集中分布在狭窄的频率范围内的窄频带噪声, 以及既有连续噪声也有离散频率成分存在的所谓有调噪声, 这种有调噪声听起来有明显的音调。

6. 按照噪声的频谱图象来划分, 噪声又有连续噪声和脉冲噪声之分。

(1) 连续噪声又称为稳态噪声, 它是频率和强度随机变化成分杂乱无章并且没有突出频率成分的噪声。

(2) 脉冲噪声是在时域中表现为瞬间产生的激振作用, 但在频域中则常表现为连续噪

声。其特点是持续时间短, 激振强度高, 如手枪声、爆炸声、大炮声, 以及铆接声、撞击声等均属于脉冲噪声。脉冲噪声对人体的危害远比连续噪声严重。

7. 除以上噪声分类外, 出于研究与测量上的需要, 还有白噪声和粉红噪声等类型。

(1) 白噪声是用固定频带宽度测量时, 频谱连续且均匀的噪声, 即在各等带宽的频带中所含噪声能量相等。由于各频率成分的能量分布均匀, 类似于光学中的白光形成原理, 为此引用“白”字定名为白噪声。

(2) 粉红噪声是用正比于频率的频带宽度测量时, 频谱连续且均匀的噪声, 即在各等比带宽的频带中所含噪声的能量相等。由于低频成分的能量分布较多, 类似于光学中的粉红色, 为此引用“粉红”一词定名为粉红噪声。

四、加强噪声的防治工作

由于工业迅速发展和城市人口高速增长, 噪声污染越来越严重。消除噪声污染, 解决噪声公害, 已成为全社会共同的呼声。解决噪声公害, 必须坚持“预防为主”和“防治结合”的方针。一方面要依靠科学技术来“治”, 另一方面必须依靠法律来“防”, 而且首先要抓好“防”的工作。依靠科学技术和依靠法律, 两者是相辅相成的。在我国国情的具体条件下, 后者所能发挥的作用是巨大的, 往往是别的国家所不能比拟的。贯彻执行“预防为主”的方针, 就必须把控制噪声的要求, 贯彻、渗透到各有关技术领域和管理部门中去, 不能仅仅停留在对既成的噪声污染做消极治理, 而是应该把噪声污染问题与厂房车间的设计、建筑、布局以及辐射强烈噪声的机械设备的设计制造同时考虑, 坚持新的工业企业建设的“三同时”(噪声控制设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产)原则, 才有可能使新的工业企业不致产生新的噪声污染。同时也应把城市建设布局和长远规划从噪声控制的角度加以审查, 并采取适当的政策加以保证。

为了在全国范围内有效地控制噪声污染, 使广大人民群众能够生活、工作、学习在比较理想的声学环境中, 加强我国噪声立法是非常重要的。宪法中明确规定: “国家保护和改善生活环境和生态环境, 防治污染和其它公害。”1979年公布的《环境保护法》(试行)中, 对噪声公害需要防治也有明文规定。从1979年起, 我国陆续制订并颁发了《工业企业噪声卫生标准》、《城市区域环境噪声标准》、《住宅隔声标准》、《机动车辆噪声标准》、《工业企业噪声控制设计规范》和《民用建筑声学设计规范》, 以及《中华人民共和国环境噪声污染防治条例》等。我国的噪声立法工作正在加紧进行中, 这对于消除噪声公害, 改善声学环境是至关重要的。

在噪声污染的控制技术中, 控制声源噪声是最直接、最有效和最经济的措施。应当把机电产品的噪声标准作为评价产品质量的综合指标。这样做的结果必将逐步提高产品的质量, 不断降低产品的噪声级, 淘汰落后产品, 促进产品更新换代。特别是电机、风机等基本机电产品噪声级的降低, 对于整个噪声污染的控制具有决定性的意义。

近年来, 噪声的防治工作已普遍受到重视, 噪声控制技术已有很大进展。不但在研究声源的发声机理, 采用新材料、新工艺、新设计来降低声源噪声辐射取得丰硕成果, 而且在控制噪声的传播上不断有所创新。目前, 在吸声结构、隔声结构以及消声器设计等方面已经相当成熟, 在吸声、噪声传播以及声场分析方面, 在理论上比过去更加完善, 在个人防护措施方面不断研制出新的产品。在分析方法和技术手段上, 由于电子技术的飞跃发展, 特别是微机处理

技术的发展,出现了巨大的变化,过去不可能进行或很难进行的实验分析,现在可在很短的时间内完成。快速傅里叶变换、振动方式分析以及声强测量等都已有了现成的设备。在具体工程设计上,趋向于采用精确理论的科研成果,通过数值计算或模拟计算进行预测,各种方案的设计和比较主要借助电子计算机来完成。此外,一些新的噪声控制技术,如有源吸声器、有源吸振器等方面的研究也取得了可喜的进展。

由上述可知,噪声的防治是个综合性很强的研究领域。控制噪声,解决噪声污染,必须在行政机构、专业技术部门和监察部门的组织配合下,通过多种途径,动员几乎与噪声污染有关的所有单位和部门,采取行之有效的措施,长期坚持下去,才能控制名目繁多的噪声源,乃至消除全社会的噪声污染。

第二节 声波的产生 声压 声压级

一、声波的产生

声音产生于物体的振动,并通过气体、液体或固体等介质以波的形式进行传播。

关于声音产生于物体振动这一概念,早在我国宋朝时,就已经有了正确的理解,如张载说:“声者形气相轧而成”,即声音产生于固体、液体或气体之间的互相碰撞。如果我们仔细观察日常生活所接触到的各种发声物体,就会发现声音来源于物体的振动。为了说明这个道理,我们做如下试验:当你用鼓槌去敲鼓,就会听到鼓声,这时你用手去摸鼓面,就会感到鼓面在迅速地振动着。如果用手掌紧压鼓面使它停止振动,鼓声就会立即消失。这个事实告诉我们,由于鼓面的振动而产生了声音。当然声源不一定非固体振动不可,液体、气体振动同样会发声,“化工厂中输液管道阀门的噪声就是液体振动发声,高压容器排气放空时的排气吼声,就是高速气流与周围静止空气相互作用引起的空气振动的结果。

既然声音是由物体振动而产生的,那末就有必要来剖析一下这一振动的传播过程。

当振源被激发产生扰动时,其周围的弹性介质就离开其平衡位置而开始运动,从而压缩其相邻的介质。被压缩的相邻介质就产生一种反抗压缩的力,使原来的介质反向运动以恢复其原来的平衡位置。由于介质是具有质惯的,所以原来的介质在恢复其平衡位置之后,又将因惯性作用而继续运动,从而又压缩另一侧的相邻介质,这另一侧的相邻介质又因弹性作用使原来的介质改变运动方向。因此,由于介质的惯性作用和弹性作用,受到干扰的介质就在其平衡位置附近振动起来。基于同样的原因,相邻的介质也会在其平衡位置附近振动起来,从而由近及远地导致其它部分的介质陆续引起振动,只是依次地滞后了一些时间。图1—1所示

是一块刚性板振动时引起气体介质产生声波的情况。(图中仅仅画出刚性板右侧声波的传播情况)

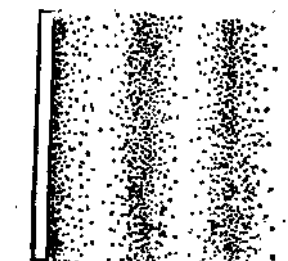


图1—1 声波的产生

在这里需要强调的是,声波在介质中传向四面八方时,介质质点并不跟随声波一起传播出去,它只是在其平衡位置附近做往复振动。可见所谓声音的传播指的是物体的振动传播即传播出去的是介质的运动能量而不是介质的本身。这说明声音是物质的一种运动形式,这种形式叫波动,振动和波动是互相密切联系的运动形式,振动是波动的产生根源,波动是振动的传播过程,声音在本质上是一种波动,因此声

音也叫做声波。

当声波在介质中传播时,存在着介质质点振动和波动这两类既有联系又有区别的运动。当介质质点的振动和波动的传播方向相垂直,这种波称为横波。当介质质点的振动和波动的传播方向相一致,这种波就是纵波。当介质由于某种扰动而发生某种形变时,介质中就会发生相对应的弹性力,使介质恢复原状,才能传播和这种形变相对应的机械波。所以这种机械波的传播和介质的弹性有着密切的关系。例如,横波传播时,介质发生切变,因而只有能够产生切力的介质才能传播横波。传播纵波时,介质发生容变或纵长变,因而只有能够产生压力和拉力的介质才能传播纵波。在气体和液体介质中,由于只有体积弹性,所以声波只能以纵波的形式传播。在固体介质中,除体积弹性外,还有伸长弹性、弯曲弹性、扭转弹性等等,所以声波既可以纵波形式传播,也可以横波形式传播。由以上介绍可知,弹性介质的存在乃是声波传播的必要条件。由于本书着重讨论的介质是空气,而空气具有体积弹性,不会出现扭转、弯曲等切向弹性,所以本书重点讨论的是纵声波。

在空气中被振动源激发产生的扰动,使其周围的空气质点在它们各自的平衡位置附近振动起来。由于空气的体积弹性,使这种振动以疏密相间的纵声波形式由近及远地传播出去,被听觉器官所接收就成为声音。

声波在介质中传播时,其相位相同的各点连成的面称为波阵面。波的传播方向称为声线或射线。在各向同性的均匀介质中声波的声线垂直波阵面。设想声源是一个脉动着的微小球体,在无限介质中传播出声波。显然,在这里波阵面是一个球面,这个球面的半径就等于离开声源的距离,这样的波称为球面波。当传播距离很大时,波阵面上的个别部分可视为平面。这样的波称为平面波,假如在汽笛管子的一端设一个振动着的活塞,则声波在管内的传播局限于管壁,在此情况下,无论离开声源近或远,都会得到平面波。此外,波阵面是同轴柱面的波称为柱面波,飞行的子弹、炮弹、飞机或行驶的车辆所发出的噪声可近似为柱面波。

声波在介质中传播时,若介质的各质点均作连续不断地振动,这种声波称为连续波。例如,始终按同一频率振动的简谐波就是一种最简单的连续波。若声波在介质中传播时,各质点均作单个的或间歇的脉冲运动,则这种声波是脉冲波。这种脉冲波振动的时间极短,间歇的时间相对则很长,在某一瞬间波形常常出现很高的峰值。由于任何周期函数均可用傅里叶级数展开为简谐波函数叠加的形式,所以对于脉冲波或非简谐的连续波,均可看作是许多不同频率的简谐波的合成。因此简谐波是各种波中最基本的波形。

对于非周期性的波形,不能用严格的数学表达式予以确切的描绘,只能采用统计的方法加以研究。

声波中两个相邻的压缩区或膨胀区之间的距离称为波长,换句话说,振动经过一个周期声波传播的距离叫做波长。通常用希腊字母 λ 表示。声波通过一个波长的距离所用的时间称为周期,一般用 T 来表示。

物体在1秒钟内振动的次数称为频率。通常用 f 来表示,单位是赫或记为Hz。频率1赫等于1秒钟内作1次振动。每秒钟振动的次数愈多,其频率就愈高,人耳听到的声音就愈尖,或者说音调就愈高;反之,每秒钟振动的次数愈少,听到的声音就愈低沉,或者说音调就愈低。

声波的波长 λ 、频率 f 或周期 T 与声速 C 之间存在着 $C = \lambda f$ 或 $C = \frac{\lambda}{T}$ 的关系,这两个基本

关系式对任何波都是适用的。例如，在常温下，空气中的声速 $C = 344$ 米/秒，水中的声速 $C = 1483$ 米/秒，因此频率为 500 赫的声波在空气中和水中的波长分别为：

在空气中的波长 $\lambda = 344 / 500 = 0.688$ 米

在水中的波长 $\lambda = 1483 / 500 = 2.966$ 米

可见，同一频率的声波，在水中的波长比在空气的波长要长得多，在同一介质中，频率高的声波比频率低的声波的波长要短得多，

二、声 压

当空气未被扰动时，空气质点处于无规运动的状态，没有固定方向的单向运动，此时认为质点的位移为零，全部介质的压强可以认为是恒定的，等于周围的压强。当空气被扰动后，空气压强就在大气压强 P_0 附近迅速地起伏变化改变为 P ，这样，由声扰动产生的增量压强

$$p = P - P_0$$

就称为声压。因为声传播过程中，在同一时刻，不同体积元内的压强 P 都不同；对于同一体积元，其压强 P 又随时间而变化，所以声压 p 一般地是空间和时间的函数，即 $p = p(x, y, z, t)$ ，同样地由声扰动引起的密度的变化量 $\rho' = \rho - \rho_0$ 也是空间和时间的函数，即 $\rho' = \rho'(x, y, z, t)$ 。

声波是介质质点振动的传播，介质质点的振动速度自然是描述声波的重要物理量，通过声压可以间接求得质点速度等其他物理量，而声压的测量又比较容易实现，因此声压已成为普遍用来描述声波性质的物理量。

存在声压的空间称为声场。声场中某一瞬时的声压值称为瞬时声压。在一定时间间隔内最大的瞬时声压值称为峰值声压，当声波传到入耳时，由于鼓膜的惯性作用，无法辨别声压的起伏，起作用的不是瞬时声压值，而是一个稳定的有效声压在起作用。有效声压是在一定的时间间隔内瞬时声压对时间的均方根值。有效声压的数学表达式为

$$p_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

式中 $p(t)$ 为瞬时声压； T 为平均的时间间隔，它可以是一个周期或比周期大得多的时间间隔。一般的声学测量仪器测量到的声压就是有效声压。人们习惯上指的声压，也往往是指有效声压，因此今后在实际使用中，如没有另加说明，声压就是有效声压的简称。

声压的大小反映着声波的强弱，声压的单位是帕 (P)：

$$1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛顿} / \text{米}^2$$

有时也用微巴作声压的单位， $1 \text{ 微巴} = 1 \text{ 达因} / \text{厘米}^2 = 0.1 \text{ 帕}$ 。

人耳对 1000 赫声音的可听阈（即人耳刚刚能觉察到声音的存在）约为 2×10^{-5} 帕；微风轻轻吹动树叶的声音约为 2×10^{-4} 帕；普通谈话声约为 2×10^{-2} 帕；织布机声音约为 2 帕；大型球磨机约为 20 帕；一个大气压约等于 10^5 帕，即 10^6 微巴。

三、声压级

上面讲到人耳对1000赫声音，正常人的听阈声压约为 2×10^{-5} 帕，痛阈声压约为20帕。从听阈到痛阈，声压相差一百万倍。由此可见，声的强弱变化和人耳的听觉范围是非常宽广的，用声压的绝对值来衡量声音的强弱是很不方便的，并且在整个范围内都能以一定绝对精度量度的仪器也是很难实现的。另外，人耳听觉对声信号强弱刺激的反应不是成线性关系，而是主观感觉到的声音强度与客观物理刺激量的对数成正比关系。

这样在噪声控制中，通常采用声压级来衡量声音的强弱。一个声音的声压级等于这个声音的声压与基准声压的比值取常用对数后再乘以20。它的数学表达式为

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-1)$$

式中 p_0 ——基准声压，在噪声测量中通常取 $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ 帕；

p ——声压有效值。

声压级的单位是分贝，记为dB。分贝是采用对数标度时的一种无量纲单位。采用对数标度可以使数值相差悬殊的变化缩小到适当的范围内。例如从人耳的听阈到痛阈，声压变化达一百万倍，若把听阈声压和痛阈声压分别代入式(1-1)，求得的声压级分别为0分贝和120分贝。有了声压级的概念，就可以把声压绝对值表示的一百万倍的变化范围，改变为120分贝的变化范围。

从式(1-1)可知，声压级和声压有这样的关系，当声压级变化20分贝，就相当于声压值变化10倍；变化40分贝，就相当于声压值变化100倍；变化60分贝，就相当于声压值变化1000倍。可见噪声增加20或40分贝，是相当大的变化。

一些典型噪声源或噪声环境的声压和声压级列入表1-2。

四、声压级计算

1. 声压级相同的声音的叠加

在一个车间里假若有两台车床，站在这两台车床中间分别单独测量它们的声压级都是100分贝。现在我们要问，假若两台车床同时开动声压级应该是多少分贝？是200分贝吗？显然没那么高。我们不能把两个声压级进行简单的代数相加，能进行相加运算的只能是声音的能量。声音能量的相加可以反映为声压平方的相加。

现在已知两台车床的声压级分别为100分贝，即 $L_{p1} = L_{p2} = 100$ 分贝，由式(1-1)可得 $p_1 = p_2$ ，因此两声压级叠加后总的声压级 L_p 可以表示为：

$$\begin{aligned} L_p &= 20 \lg \frac{p}{p_0} = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 10 \lg \frac{p_1^2 + p_2^2}{p_0^2} = 10 \lg \frac{2p_1^2}{p_0^2} \\ &= 10 \lg \frac{p_1^2}{p_0^2} + 10 \lg 2 = L_{p1} + 3 \end{aligned}$$

表1—2

一些噪声源或噪声环境的声压和声压级

噪声源和噪声环境	声压 (帕)	声压级 (分贝)
核爆炸试验场	20000	180
导弹发射场	2000	160
锅炉排气放空, 离喷口1米	200	140
大型柴油机增压器, 离进气口0.3米	63	130
汽车喇叭, 距离1米	20	120
大型风机房, 离风机1米	6.3	110
织布机车间, 织机间走道	3.17	104
冲床车间, 离冲床1米	2	100
发电机车间, 离电机1米	1.125	95
大型卡车, 车厢内	0.63	90
大声讲话, 距离1米	0.2	80
繁华街道	0.063	70
住宅内的厨房	0.02	60
微电机, 距离0.3米	0.0063	50
安静房间	0.002	40
轻声耳语, 离离0.3米	0.00063	30
树叶沙沙声, 树下	0.0002	20
农村静夜	0.000063	10

可见, 声压级相同的两个声音叠加, 其总的声压级比单个声源的声压级增加 3 分贝。所以两台 100 分贝的车床的总声压级不是 200 分贝, 而是 103 分贝。

如果声压级相同的 N 个声音叠加在一起, 那么总的声压级可以表示为

$$L_P = L_{P_1} + 10 \lg N \quad (1-2)$$

当 $N=4$, 即声压级相同的 4 个声音叠加, 总声压级 $L_P = L_{P_1} + 10 \lg 4 = L_{P_1} + 6$ (分贝), 即声压级相同的 4 个声音叠加, 总声压级比单个声音的声压级增大 6 分贝。如果是 10 个的话, 将增大 10 分贝; 如果是 20 个的话, 将增大 13 分贝。相同声压级的声音叠加后分贝数的增值可见表 1—3。

表1—3

相同声压级叠加时分贝增值

声源个数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
分贝增值	0	3	4.8	6	7	7.8	8.5	9	9.5	10	10.8	11.5	12	12.6	13