

机电设备 噪声控制 工程学

jidianshebeizaoshengkongzhigongchengxue

● 张重超 杨玉致 朱梦周 乔五之 编著

轻工业出版社



机电设备噪声 控制工程学

张重超 杨玉致 编著
朱梦周 乔五之

轻工业出版社

内 容 简 介

本书从低噪声机电设备设计与研究需要出发,汲取了目前国内外这方面的新成就,较系统的阐述了机电设备噪声控制及噪声测量与分析的基础理论,并重点介绍了一些典型的机电设备如风机、金属切削机床、木工机床、冲床、电机、家用电器、内燃机等以及工厂噪声降低实例。

本书可供机电设备设计、研究工作者,声学工作者和大专院校有关专业师生使用和参考。

噪声控制工程学

张重超、杨玉敦、朱罗周、乔五之 编著

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

850×1168毫米1/32印张, 18 字数, 459千字

1989年12月 第一版第一次印刷

印数, 1—3,000 定价, 10.80元

ISBN7-5019-0357-3/TH·015

前 言

对噪声的控制有三个基本措施：对噪声源（以各种机电设备为主要对象）的控制；对噪声传播途径的控制和对噪声接受者所在环境的控制。毫无疑问，在机电设备的辐射噪声尚未有效控制之前，后两种控制措施是不可忽视的，在一定条件下可以取得较好的降噪效果。因此，吸声、隔声、消声、隔振等方面的研究是噪声控制领域中不可缺少的组成部分，至今一直受到国内外噪声研究工作者的重视。然而不能不指出的是，此类控制措施并未涉及到机电设备噪声源的改造，因此只是作为在辐射噪声既成事实之后的某种补救方法；即使措施是有效的，然而从机电设备降噪角度来看不能认为是积极的。在某些情况下，此类措施所花费的代价甚至超过噪声设备本身的造价，这种现象在过去的实践中常有发现；有时甚至还会给机电设备的运转管理、维护保养或工艺流程带来不便，如采用隔声罩后，一般可使机电设备的噪声降低10~20dB，但对人工操作的机电设备就会造成上述的问题。

大量机电设备在运转时辐射出强烈的噪声，使所在环境中的操作工人深受其害，而且还波及近邻，产生令人烦恼的环境污染问题。即使是技术发达的国家，噪声公害仍然是为公众所关注的严重问题。为从根本上解决噪声问题，许多噪声研究人员致力于研究各种降低机电设备噪声的课题。通过二十多年的努力，总结出一些机电设备降噪的成功经验，取得了不少富有实践意义的研究成果。这种研究工作不仅令声学工作者为之神往，而且在设计制造机电设备的部门也开辟了噪声研究的新领域，已研制出为数不少的低噪声产品，赋予其更大的市场竞争力。

机电设备的辐射噪声综合地反映了该设备在运转过程中的各种振动现象。要从理论上弄清机电设备的发声机理，除了需要掌握声学及振动学的基础理论之外，还要深入掌握机电设备的工作

原理、工作性能和具体结构，甚至对组成机电设备零部件的制造工艺、加工精度、采用的材料等具体细节也要有详细的了解。在这个基础上，通过各种有效的声与振动的测量手段、运用近代信号分析仪器，识别出该设备的主要噪声源，由此探寻它的发声机理和确定如何降噪的措施。可见，机电设备的降噪研究是一个综合性的课题，也是一个难度较高的课题。

在1981年的一次国际噪声控制年会上，当届主席丹麦声学家英格斯莱夫认为80年代噪声控制的研究目标应当是“*Noise Reduction By Design*”，其意是在技术设计阶段应当把机电设备的噪声，如同其它的性能参数那样作为一个设计指标，能在此阶段作出预报，并在设计图纸上加以控制。之所以提出这一任务，主要在于计算机应用技术突飞猛进，信号分析理论日益完善，测量手段的发展也很迅速，机电设备的结构振动计算已有多种方法可供选用。更重要的是机电设备的降噪研究已有坚实的基础和丰富的成功经验。经过努力，可以对机电设备的噪声在设计阶段作出预报。事实上，70年代末在欧洲已经发展了预报船舶舱室噪声的实用计算方法及程序。不同的机电设备由于本身噪声源的复杂性使问题的深度和难度有所不同。但是，可以预言，在技术不断进步的今天，上述目标是能够实现的。要达到这一目标，不仅需要专业声学工作者致力于机电设备中有关声学问题的研究，而更重要的还在于从事机电设备设计的工程师和研究人员进行深入的研究。

在过去的十年中，我国的噪声问题在城市中的主要表现是交通噪声和工业噪声。而治理噪声污染和控制噪声已成为人民群众的迫切要求。为此，许多声学工作者和声学研究机构在吸声、隔声、消声与隔振等方面开展了大量的研究，其深度与广度已接近国际水平，并且研制了不少控制工业噪声的设备，其生产厂迄今已达一百余家，生产的产品能基本满足需要。这些成就为缓和我国严重的工业噪声污染作出了积极的贡献。

当前，我国噪声控制的研究领域正处于发展的新阶段。随着实践的深入和国际学术交流的增加，人们认识到只进行上述几方面的研究尚不能从根本上解决噪声污染，必须大力开展以机电设备为主要对象的噪声源辐射噪声控制的研究工作。目前，低噪声机电设备的研究工作已取得了可喜的成果，有不少低噪声机电产品问世，如风机、电机、金属切削机床、木工机床、空气压缩机、制钉机等，其噪声指标已接近或达到国际先进水平。为使我国的机电产品跻身于国际市场，为使机电产品能在国际市场上赢得声誉，广泛地开展机电设备低噪化的研究是很重要的一方面。

为适应形势的需要，我们编写了这本《机电设备噪声控制工程学》奉献给读者，目的是从机电设备降噪的角度为读者提供必要的入门知识。本书的前半部分阐述了噪声控制的理论基础和必要的专门知识；后半部分选择了若干典型的机电设备降噪研究实例供读者参考，其内容散见在一些专业文献和参考书中，编者作了较系统的整理。为篇幅所限，本书仅综合了机电设备噪声控制和必要的振动基础知识等方面的有关材料；一些比较深入的振动理论及其计算方法、测量仪器及信号分析装置已有不少参考书可供读者查阅，本书就没有列为专门的章节。本书可供机电设备设计研究人员作参考书；经过一定的筛选，其内容也可供大学工科专业作为教学用书。本书的编写属初次尝试，必然存在不少问题，敬请读者指正。

参加本书编著工作的有：上海交通大学张重超（前言，第四、八、十四、十五章），北方交通大学杨玉致（第一、五、六、七章），天津大学朱梦周（第二、三、十、十一、十二章），北京轻工业学院乔五之（第九章）。

编者

目 录

第一章 噪音控制概论	(1)
第一节 噪声.....	(1)
第二节 城市噪声的构成和机电设备噪声状况.....	(2)
第三节 噪声控制基本内容.....	(6)
第二章 声学基础	(10)
第一节 声波的产生和声波的类型.....	(10)
第二节 理想流体中声波的基本方程.....	(13)
第三节 声波的基本性质.....	(23)
第三章 噪声的评价和标准	(47)
第一节 听觉器官和基本物理评价量.....	(47)
第二节 噪声评价.....	(59)
第三节 噪声标准.....	(73)
第四章 噪声的测量与分析	(83)
第一节 基本要求.....	(83)
第二节 噪声信号分析基础.....	(87)
第三节 声压级测量.....	(109)
第四节 声强测量.....	(114)
第五节 声功率测量.....	(130)
第六节 噪声频谱测量.....	(137)
第七节 噪声源识别.....	(143)
第五章 噪声源控制原理	(176)
第一节 机电设备噪声的发生和激励流程图.....	(176)
第二节 机电设备噪声源类型.....	(193)
第三节 机电设备噪声控制原理.....	(209)
第四节 机电设备低噪声设计过程.....	(229)
第六章 噪声传播途径控制	(235)

第一节	概述	(235)
第二节	吸声原理	(240)
第三节	隔声原理	(250)
第四节	振动的隔离	(265)
第七章	消声器	(281)
第一节	消声器评价指标和类型	(281)
第二节	消声器基本原理和计算	(285)
第八章	风机噪声控制	(300)
第一节	风机噪声概述	(300)
第二节	轴流风机的噪声控制	(304)
第三节	离心风机的噪声控制	(323)
第九章	内燃机噪声	(352)
第一节	进气噪声	(352)
第二节	排气噪声	(361)
第三节	燃烧噪声	(365)
第四节	曲柄连杆机构的工作噪声	(367)
第五节	配气机构的工作噪声	(373)
第六节	定时齿轮室的工作噪声	(376)
第七节	不平衡惯性力引起的机体振动及噪声	(378)
第八节	内燃机的声辐射与数学模型	(390)
第十章	木工机床噪声	(403)
第一节	概述	(403)
第二节	平刨床的噪声与控制	(403)
第三节	木工圆锯机与带锯机的噪声及控制	(413)
第十一章	机床噪声控制	(419)
第一节	概述	(419)
第二节	机床传动元件的噪声	(422)
第三节	机床传动系统的噪声	(449)
第四节	机床的切削噪声	(458)

第十二章	家用电器噪声	(465)
第一节	概述.....	(465)
第二节	家用洗衣机噪声.....	(468)
第三节	家用电冰箱噪声.....	(472)
第四节	其他家用电器噪声.....	(478)
第十三章	电机噪声控制	(480)
第一节	概述.....	(480)
第二节	电机噪声的控制.....	(489)
第十四章	冲击噪声控制	(494)
第一节	概述.....	(494)
第二节	冲击噪声的机理分析.....	(499)
第三节	冲击噪声的控制.....	(519)
第十五章	工厂噪声控制	(531)
第一节	概述.....	(531)
第二节	车间噪声控制的实施步骤.....	(533)
第三节	车间噪声控制的实施要点.....	(539)
参考文献		(561)

第一章 噪声控制概论

第一节 噪 声

人们每时每刻都生活在充满着声音的环境里，有的声音是我们必需的，有的声音则是我们不需要的，甚至是厌恶的，它影响我们的生活、工作、学习、休息和健康。我们把不需要的声音统称为噪声。

噪声是一种污染，和大气、水污染一起成为当代世界三个主要污染源。我国古代就有噪声的记载，“噪”的解释在《说文》中为扰也，《玉篇》中写到“群呼烦扰也”，这都是两千年以前的记载，那时也只有人声喧哗成为烦扰人的噪声。而近代噪声污染则是工业化的后果。机电产品种类越来越多，规模越来越大，噪声也就越来越严重。但另一方面，噪声的严重发展就促进了研究治理，而解决了噪声问题，机电设备就向更完善的方向发展。这就是噪声和工业发展的辩证关系。

噪声污染是一种物理污染，它并不能致命；声源不存在，污染也就消失了。噪声污染面积大，到处都有，高低不等，有时低到不易被觉察。噪声没有污染物，又不会累积，它的能量最后完全转化为热能，影响的距离一般不太远。此外，与其它污染相比，噪声再利用的问题也很难解决。噪声污染是当今受到抱怨或控告最多的污染源。

伴随着机电设备运转产生的噪声，其噪声水平和频谱，有时可作为机电设备结构完善程度和制造质量的指标之一。根据噪声能够诊断设备的运转是否正定和那些零件出了毛病，噪声可作为设备内部发生故障的信号，如由于零件磨损过多或转动零部件的不平衡，引起零件碰撞，振动增加，就产生了噪声。因此某些零

部件，如齿轮或轴承等，由于对其在运转时所产生噪声的声压级和频谱作出规定，所以要在加工精度上加以控制。

第二节 城市噪声的构成和机电设备噪声状况

城市噪声主要由交通运输噪声、工厂噪声、建筑施工噪声和社会噪声组成。

1. 交通运输噪声

在城市，无论天上、地下，还是水面都运行着各种交通运输工具。这些运输工具越来越多，运行速度越来越快，使用功率越来越大，运行区域越来越广。因此交通运输是城市噪声最主要的来源，主要包括机动车辆噪声、铁路运输车辆噪声、船舶噪声和飞机噪声等，其中机动车辆噪声的影响面最广。

交通噪声一般随其运行速度和车流量而变化。城市里交通干

表 1-1 国产机动车辆噪声的统计值 [dBA]

车 种	加 速 噪 声			匀 速 噪 声 ^①		
	L_{10} ^②	L_{50} ^②	算术平均 $\bar{L}$	L_{10}	L_{50}	算术平均 $\bar{L}$
重型卡车	92.3	88.2	88.75	89.3	86.5	87.11
中型卡车	90.1	86.7	87.11	84.6	81.8	82.31
轻型卡车	89.8	85.8	86.40	84.3	80.1	80.53
公共汽车	87.9	85.2	85.73	84.1	81.7	82.17
中 客 车	86.9	84.1	84.48	80.8	76.5	77.02
小 轿 车	83.4	80.8	81.15	73.8	71.5	72.02
摩 托 车	89.7	85.4	85.90	82.6	78.8	79.33
拖 拉 机	90.8	86.8	87.19	86.5	82.7	83.22

① 速度为50km/h。

② L_{10} 、 L_{50} 分别表示各测量值中，有10%、50%超过列表数字。

线两侧噪声可高达 $80\sim 88\text{dB}$ 。表1-1为国产机动车辆噪声状况统计值。

2. 工厂噪声

工厂噪声不仅直接给生产工人带来危害，而且对附近居民的影响也很大。特别是分散在居民区的一些街道工厂更为严重。一般工厂车间生产噪声大多在 $75\sim 105\text{dB}$ 之间，也有在 75dB 以下，还有少量的车间或设备高达 $110\sim 120\text{dB}$ 。图1-1为十类工厂车间噪声级范围，工厂常用设备噪声级见表1-2。

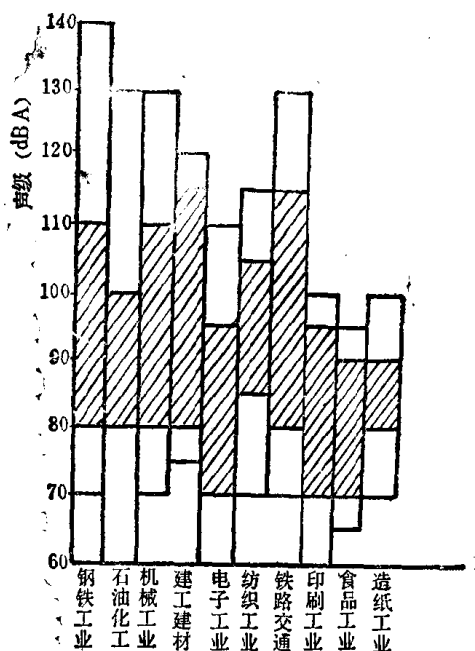


图 1-1 十类工厂车间噪声状况

（有断面线为噪声集中范围，无断面线为噪声波动范围）

3. 建筑施工噪声

建筑施工噪声虽然是局部的，暂时性的，但随着城市建设的发展，新建和维修工程对整个城市来说其工程量和范围还是很广的，而且是经常的。邻近建筑施工的居民受到的噪声干扰，有时

表 1-2

工厂设备噪声状况

声级(dBA)	设 备 名 称
130	风铲、风锄、大型鼓风机、锅炉排气放空
125	轧材热锯(峰值)、锻锤(峰值)、818-N8鼓风机
120	有齿锯锯钢材、大型球磨机、加压制砖机(炉砖)
115	柴油机试车、双水内冷发电机试车、振捣台热风炉鼓风机、震动筛、桥梁生产线
110	罗茨鼓风机、电锯、无齿锯
105	织布机、电刨、大螺杆压缩机、破碎机
100	麻毛化纤织机、柴油发电机、大型鼓风机站电焊机
95	织带机、棉纺厂细纱车间、轮转印刷机
90	经纺机、纬纺机、梳纺机、空压机站、泵房、冷冻机房、轧钢车间、汽水封盖、柴油机加工流水线
85	车床、铣床、刨床、凹印、铅印、平台印刷机、折页机、装订联动机、酥糖包装机、制砖机、切草机
80	纺织机、漆包线机、挤塑机
75	上胶机、过板机、蒸发器
75以下	拷贝机、放大机、电子刻板、真空镀膜

比一般工厂还要严重。施工机械噪声状况列于表1-3。

表 1-3

建筑施工机械噪声状况

(dBA)

机械名称	距离声源10m		距离声源30m	
	范 围	平 均	范 围	平 均
打桩机	93~112	105	84~103	91
地螺钻	68~82	75	57~70	63
柳 枪	88~94	91	74~88	86
压缩机	82~98	88	78~80	78
破路机	80~92	85	74~80	76

4. 社会噪声

社会噪声主要指在社会上人群活动出现的噪声。例如，社会上宣传使用的扩音喇叭，家庭用电器和工具（见图1-2），以及人们喧闹的声音等。随着城市人口密度的增加，这类噪声越来越严重。据我国城市噪声调查，多数城市这类噪声的户外平均A声级是55~60dB。

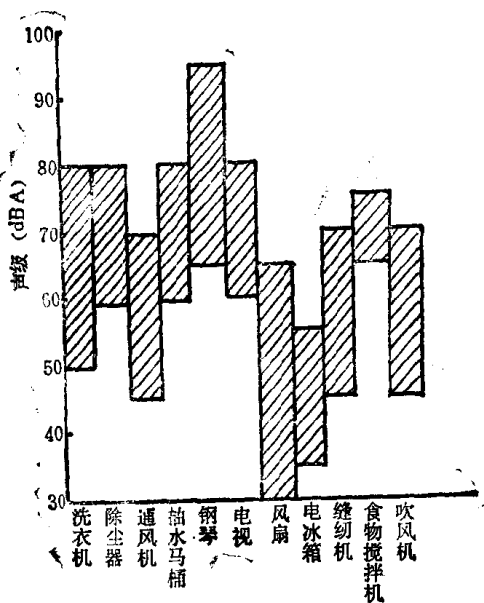


图 1-2 家庭用具噪声状况

以上四个方面噪声，对城市环境的影响是与城市中的生产和人群生活活动规律有关，不同功能的区域噪声级，在24h中变化规律是不同的。

综观城市噪声状况，我们发现，城市噪声的根源主要来自各种机电设备和运输工具。因此，降低各种机电设备和运输工具的噪声是城市噪声控制的根本途径。这就提出了机电设备的低噪声设计问题。

第三节 噪声控制基本内容

一、声源、传播途径、接受者的统计性

任何声学系统的主要环节是声源、传播途径和接受者。噪声可以经由任何一个可能途径到达接受者。为了方便，在工程问题中，将声音自声源到接受者的传输，可以利用具有统计性的示意图表示（图1-3）。图中标以声源的框格，可以代表一个或很多个数量变化的振动能源。其噪声输出也可能随时改变。标以接受者的框格，可以代表一个人、一群人、全体居民，或者某种设备中对噪声敏感的精密部件。如果接受者代表一群人，则这群人中实际人数可以随时改变，其各人的听阈也不同，而每个人的听阈也是可能随着时间变化的。

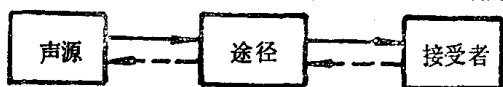


图 1-3 噪声传输示意图

（实线箭头代表声源到接受者的声传播，虚线箭头代表各单元间的相互关系）

声源、传播途径和接受者在示意图中分别用单元表示，但它们之间并不是彼此独立的，而是有明显的相互作用。噪声源的输出并不是恒定的，视传播途径和接受者而定。传播途径特性也会经常受到声源和接受者的影响。例如，消声器和滤波所提供的衰减，很大程度上取决于声源和接受者的特性，这就是说，传播途径的衰减不是与声源和接受者无关的常数。同样，接受者的反应，也取决于传播途径和声源的特性。

因此，噪声控制所研究的任何问题，实质上是研究由声源、传播途径和接受者三个方面组成的系统。

二、机电设备噪声控制 的基本内容

机电设备的噪声控制是在满足其技术、经济性能要求的前提下，把噪声用最合理的措施，在接受者处获得允许程度的科学。

“在接受者处获得允许程度”，这是噪声控制的标准问题。也就是，对一具体的接受者，在什么条件下，用什么样的评价标准，来确定什么噪声级是允许的。一般把在现有的或者预计的条件下所确定的接受者处的噪声级，与允许噪声级（标准噪声级）之差作为达到允许条件所必须的减噪量。通常减噪量是频率的函数，要对各频率分别求定。减噪量是噪声控制任务的主要依据。

降低噪声是噪声控制的主要内容，但不是全部内容。有时某些噪声控制问题甚至要增加噪声，“以噪治噪”，而不是降低噪声。从广义上讲，噪声控制除可以通过降低噪声强度的办法外，还可以通过改变噪声的频率，缩短噪声的持续作用时间，减少噪声的重复出现次数及合理的规划设计等措施达到。所以“降低噪声”和“噪声控制”含义不同。但习惯上往往把两者等同看待，但要注意其区别。

噪声控制的基本方法，总的来说，可分三个方面：

1. 降低声源发声：即改革声源结构，进行低噪声结构设计，使之声源减少和降低发声，这是从根本上抑制噪声的发生。一般采取降低机电设备的激振力和降低系统中噪声辐射部件对激振力的响应，以及机电设备总体的合理设计等措施来实现。

2. 噪声传播途径的控制：即是限制和改变噪声的传播途径，使噪声在传播路途中衰减，从而使得传递到接受者处的能量减少。

3. 接受者的防护措施：当降低噪声的技术措施不能满足要求，而人们长期在90~100dBA环境中工作或在115dBA强噪声中从事短期工作时，为了保护工人听觉，有两种办法。一种是

限制工作时间，就是在噪声下工作的时间随噪声的增大而缩短。有些国家在劳动保护法规中已有考虑。另一种就是戴防护装置，常用的有耳塞、耳罩、帽盔等。有的防护器具对高频噪声可隔去约15dB，甚至30~40dB。有的耳塞耳罩除对高频噪声可隔去35~45dB外，还有能听到语言的功能。有的耳罩还附有通讯装置，因此工作人员在戴耳罩时还可以互相讲话。

另外，还有使用于特别场合的一些措施，如根据声波干涉原理，利用电子线路产生一个与噪声相位相反的声音，使在一定范围内两种声音相抵消，以达到降低噪声的目的。这种方法可用于变压器的噪声控制上。

三、低噪声设计的重要性

这里着重指出的是，噪声控制的方法中最直接、最有效、最经济的措施是降低声源发声。因此，噪声控制的一切努力和措施，首先必须应用在声源上，力图设计低噪声结构。只有当把技术上和经济上一些有代表性的初步措施用于声源而没有起到足够的降低噪声的作用时，才能采取其它噪声控制措施，如隔声、吸声、消声等。

实践表明，附加的或后加的隔声措施大多数需要一笔可观的费用，并往往由于空间条件的限制甚至不可能实现。所以一台设计得噪声低的机电设备，无论在技术上及经济上，都优于一台本来噪声高而后加隔声措施的设备。

例如，精密机床的噪声控制主要依靠降低齿轮传动噪声、液压系统噪声和轴承噪声，这三方面的措施均属于降低声源噪声。

为了取得良好的噪声控制效果，仅仅采用一种措施往往是不够的，而必须根据机电设备的特点，综合采用几种措施。在所有这些措施中，主要应掌握低噪声设计原则。从噪声控制角度来说，如果机电设备在设计上合理，那末只要适当配合一些工艺措施，就可能将噪声控制在较低的水平。反之，如果在设计阶段遗留下