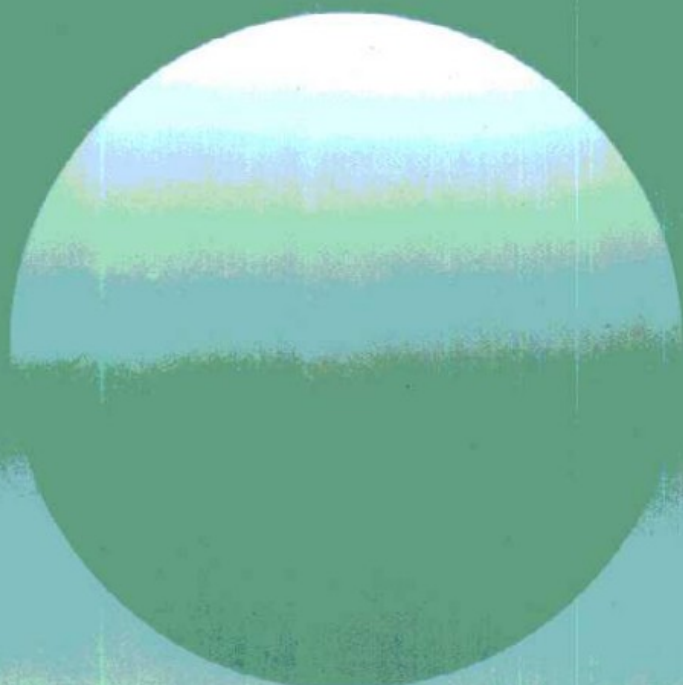


● 研 究 生 用 书 ●

NOISE CONTROL IN
ENGINEERING

华中理工大学出版社



黄其柏

工程噪声控制学

ISBN 7-5609-1964-2



9 787560 919645 >

定价：9.50元

TB53-43
H76

工程噪声控制学

黄其柏

华中理工大学出版社



A0914039

图书在版编目(CIP)数据

工程噪声控制学/黄其柏
武汉:华中理工大学出版社, 1999.8
ISBN 7-5609-1964-2

I. 工…

II. 黄…

III. 声学工程-控制学

N. TB5

工程噪声控制学

黄其柏

责任编辑:李丛晖
责任校对:郭有林

封面设计:刘 卉
监 印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87542624

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室
印刷:华中理工大学出版社沔阳印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:6.75 插页:2

字数:156 000

版次:1999年8月第1版

印次:1999年8月第1次印刷

印数:1—1 200

ISBN 7-5609-1964-2/TB·44

定价:9.50元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

前 言

众所周知,除了空气污染和水污染之外,工业文明危害环境的第三大污染源就是噪声。随着工业的发展,噪声污染越来越严重,并已成为一个世界性的问题。噪声不仅影响人们的身心健康,影响人们正常的工作与休息,而且也是降低工作人员的劳动效率,导致各种事故的重要原因。同时,噪声也是产品质量的综合体现,反映了产品的设计制造水平,并直接影响其经济价值。因此,研究和控制噪声,既是环境保护的迫切需要,也是提高工业产品质量,增强产品竞争力所必须解决的问题。

噪声的产生多种多样,其中既有结构振动噪声,也有气动(或液动)噪声,此外,爆破、摩擦、裂变及冲击等也可产生高强度的噪声。不同的机器设备,其噪声源的种类、频率特性及声能量大小都相差很大。例如,球磨机噪声主要是由钢球碰撞、冲击并引起壳体结构振动而产生的,声源种类和特性相对来讲比较单一;而汽车发动机噪声则是由结构噪声、气动噪声及燃烧噪声等综合而成的,声源数量多达近 10 个。对于由多个声源组成的复杂声学系统,如何准确地识别出其主要噪声源,直接关系到噪声控制的成败。本书第四章系统地介绍了各种噪声源诊断的原理和方法,其中大多数方法都已在实践中得到了成功的应用。

噪声控制实际上是降噪的总称,它包括低噪声设计、降低噪声和控制噪声等内容。对于已有的机器、设备来讲,噪声控制的主要手段是吸声、隔声、隔振及消声等;而对于新设计的机器来讲,噪声控制的空间更大,其中既可以根据噪声源的发生机理,在低噪声材料、结构型式等方面进行优化设计,以达到从声源降噪的目的;同时也可以采用吸声、隔声、隔振及消声等办法在传播途径上进行降

噪。不同的噪声源,其控制的手段和方法相差很大,只有根据噪声源的发生机理及其声辐射特性,采取科学合理的降噪措施,才能取得最优的降噪效果。

全书共分八章,第一章介绍了噪声的基本概念、噪声的危害及噪声的设计和控制程序;第二章介绍了噪声控制所需的一些基本知识;第三章讲述了各种噪声辐射的基本理论,为从声源降噪提供了理论基础;第四章给出了多种有效实用的噪声源诊断方法;第五章介绍了阻尼减振降噪的理论与方法,该方法在结构振动噪声的控制中起着重要的作用;第六、七、八章全面系统地讲述了吸声、隔声及消声等常用的降噪方法。

本书是作者在长期从事噪声与振动控制教学及研究工作的基础上撰写而成,该书在章节的布局上遵循了噪声控制的实际操作过程,即声学理论基础—噪声源诊断—噪声控制。在内容上涵盖了噪声控制的基本原理与方法,其中包含了作者本人及同事的研究工作。

本书得到了华中理工大学杨叔子院士、师汉民教授、廖道训教授、卢文祥教授的热情支持和鼓励,在此表示衷心的感谢。

限于作者的水平,书中可能存在不恰当或错误之处,切望读者批评指正。

作 者

1998 年 11 月 于华工园

第一章 噪声控制概论

1.1 噪声的基本知识

1.1.1 声音及其物理特性

声音是由物体的振动而产生的,振动的物体是声音的声源。振动在弹性介质(气体、固体和液体)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。

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,所产生的声音的频率也不一样。振动速度越快,声音的频率越高,反之,就低。根据声音频率的不同,人们将声音分为三个区域,即次声、可听声和超声。如图 1.1-1 所示。

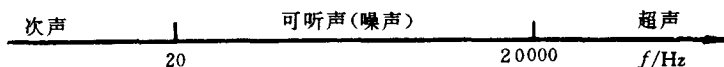


图 1.1-1 声音的分类

频率低于 20Hz 的声波称为次声,频率在 20~20 000Hz 之间的声波称为可听声,频率高于 20 000Hz 的声波称为超声。一般来讲,人的听觉器官只能感受到可听声,次声和超声人耳都听不见。上述听觉范围是根据一般人的情况而选定的。动物具有不同于人类的听觉范围,如狗可以听到 38 000Hz 的声音。生物学试验表明

老鼠可以听到 16Hz 以下的声音。地震之前可见到老鼠搬家的现象,可能是因老鼠已听到了低频的预震声音,引起了鼠群的惊恐而相继逃离。

2. 声音的波长及声速

在介质中,声波振荡一个周期所传播的距离即为波长。其波长与频率的关系为

$$\lambda = c_0 / f \tag{1.1-1}$$

式中, λ 为声波波长; c_0 为声速; f 为声波频率。

在不同密度的介质中,声波传播的速度不同,因而波长也就随之成比例地改变。

表 1.1-1 给出了常温下几种介质中的声速。

表 1.1-1 常温下几种介质中的声速

介质名称	空气	水	钢	松木	砖
声速/ ms^{-1}	343	1 500	5 000	2 500~3 500	3 600

声速不是固定不变的,它随着介质温度的变化而改变,如在空气中 0℃时的声速为 331.5m/s,当温度为 20℃时,声速则变为 343m/s。

3. 声音的强度

声音有大小即强弱之分,物体振动的幅度越大,发出的声音就越强,反之则弱。声音的强弱常用声压级或“响度”来表示。声压级越高,表示声音强度越大,对于可听声来讲,响度越大,声音的强度就越大。

4. 声音的传播

声音需要通过传播媒质才能使声能向外传递,我们日常所听到的声音通常是通过空气介质来传递的。如果把一只钟放在玻璃罩里,当把罩内的空气逐渐抽出,这时钟的滴嗒声就逐渐减弱,空气接近抽完时,钟声也就听不见了。这说明声音不能在真空中传

播。除空气外,固体和液体也能传播声音。

声波在传播过程中遇到障碍物时,会发生反射、透射、折射和衍射现象。声波波长是影响声波传播的一个重要参数。例如声波遇到障碍物时,若波长比障碍物的尺寸大得多,声音便不受障碍物的影响而绕过它继续传播。另外,障碍物对声波的隔声效果也与波长密切相关,频率越低,波长越长,其声透射能力越强。

1.1.2 噪声及噪声污染

在我们生活的空间里,可以说无处不充满着声音。那么,什么样的声音是噪声,什么样的声音才是乐声,如何区分它们呢?

从物理学的观点来看,各种不同频率、不同强度的声音无规律的杂乱组合,称噪声。如汽车的轰隆声,工厂里机器的尖叫声,它们的波形图是无规律的非周期的曲线。乐音是包含许多频率的声音,而这些频率都具有一定的周期性和节奏性,它的波形图是有规律的周期性的曲线。噪声和乐音的波形图如图 1.1-2 所示。

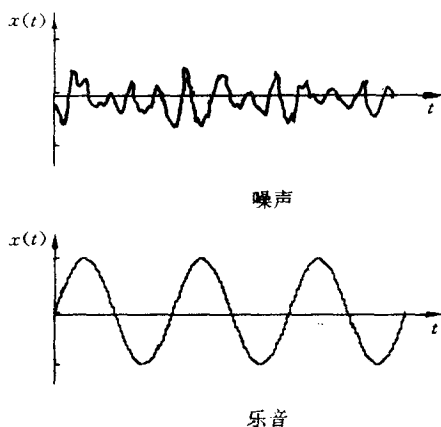


图 1.1-2 噪声和乐音

从生理学的观点来看,凡是使人烦恼的、讨厌的、不需要的声

音都叫噪声。因此,从这个意义上说,噪声和乐音就很难区分了。例如从收录机里传出来的广播节目对正在学习和思考的人来说,是一种干扰,就成了讨厌的噪声。因此,广义地讲,凡是人们不需要的声音都是噪声。

几乎在任何地方总存在噪声,噪声可来自于远近的很多声源。经过许多物体反射后,可使部分噪声成为无定向性。某一环境中所有这些噪声的组合,统称为环境噪声。

随着工业的发展,噪声污染已经成为一个世界性的问题。它与空气污染及水污染一起被列为当今世界三大主要污染源。噪声污染是一种物理污染,它具有以下特点:(1)污染面积大,到处都有,高低不等;(2)噪声没有污染物,不会积累,它的能量最后完全转变为热能;(3)噪声声源停止,噪声污染就没有了。噪声污染的程度常用分贝(dB)来表示,噪声强度越高,对人体的影响就越大。

1.2 噪声的危害

1.2.1 噪声对人们生活的干扰

噪声是一种声学污染源,它不仅影响人们的身心健康,影响人们正常的工作与休息,而且也是降低工作人员的劳动效率,导致各种事故的重要根源。

噪声源的特性不同,其对人体的影响程度是不一样的。比如噪声对人们睡眠的干扰,在相同声级的情况下,冲击性噪声的影响要比连续性噪声的影响大得多。如表 1.2-1 所示。

表 1.2-1 噪声对人们睡眠的干扰程度

噪声强度	连续性噪声	冲击性噪声
40dB(A)	有 10%的人感觉到噪声影响	有 10%的人突然惊醒
65dB(A)	有 40%的人感觉到噪声影响	有 80%的人突然惊醒

由表 1.2-1 可知,从睡眠的角度来看,大约是 40dB(A)以下的噪声对人体影响较小,噪声越大,对睡眠的干扰程度越大。通常情况下,在人们休息的场所,噪声低于 50dB(A)较为适宜。另外,噪声对人们工作效率也有影响,当噪声低于 60dB(A)时,其对工作效率的影响较小,随着噪声的增大,对工作效率的影响程度逐步加大。正因为如此,办公室、控制室、计算机房等场所的噪声一般要求在 60dB(A)以下。

1.2.2 噪声对听觉系统的影响

长期暴露在高噪声环境下(如 90dB(A)以上)的人们,由于持续不断地受到噪声的刺激,耳感受器易发生器质性病变,导致人耳听力下降。噪声性听力损失一般最先出现在 4 000Hz 处,而后逐渐扩展到 6 000Hz 和 3 000Hz,然后再扩展到 2 000Hz 和 8 000Hz,最后涉及 2 000Hz 以下的频率。

不同强度噪声对听力的影响是有差别的。噪声强度越高,危害也越大;很弱的噪声一般不会对听力产生不利的影响。通常认为足以引起听力损失的噪声强度必须在 85dB(A)以上,所以目前国际上大都以 85dB(A)作为制定工业噪声标准的依据。尽管如此,这并不意味着低于 85dB(A)的噪声就不会引起永久性听力损伤,只不过是这种听力损伤未必达到语频听力损伤的程度而已。另外,在同样噪声强度的情况下,噪声的频率不同,其对听力的影响也是不一样的,高频噪声较之低频噪声危害严重。如低频噪声只有在 100dB(A)时才出现听力损伤,而中频噪声则在 80~96dB(A),高频噪声在 75dB(A)的情况下即可产生听力损伤。

在不同噪声强度的作用下,除听力减退外,尚有耳鸣和耳痛的症状。图 1.2-1 给出了噪声强度与听力障碍阳性率之间的关系。

由图 1.2-1 可见,在不同噪声强度作用下,耳鸣发病率较高,当噪声强度为 100dB(A)时,耳鸣出现率已达接触者的 50%。但当

噪声继续增大至 105dB(A)时,耳鸣和耳聋发病率均大幅度增加。

实际上,耳聋症状出现率一般比耳鸣少,原因有两个方面,其一是大多数人长期接触的噪声强度大都在 105dB(A)以下;其二是工业噪声对听力的影响主要表现为 2 000Hz 以上的高频听力损失。尽管人耳出现高频听力损伤,但多无明显症状。随着噪声暴露时间的延长,听力损伤不断加重,只有当听力受损的频率范围逐渐扩展至 500、1 000、2 000Hz 等语言频率范围时,才出现明显的耳聋症状。

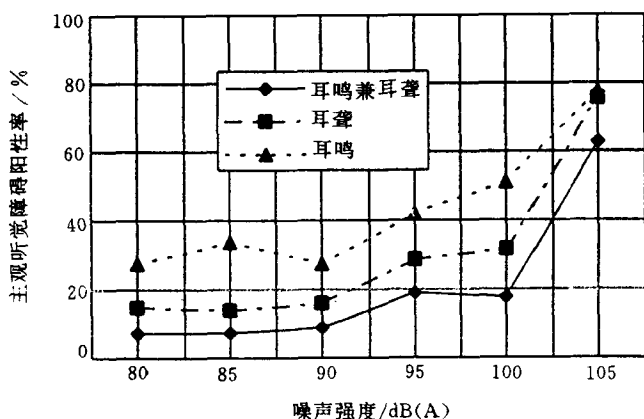


图 1.2-1 在不同强度 A 声级作用下主观听觉障碍阳性率

1.2.3 噪声的生理效应

噪声所引起的人体生理变化称为噪声的生理效应,噪声对人体的影响是多方面的,除引起耳聋以外,对大脑神经系统、心血管系统及消化系统等均有影响。噪声声级越高,对人体的影响越大,其影响情况如表 1.2-1 所示。

表 1.2-1 噪声对人体的影响

影响部位	主要症状	作用机制
神经系统	头疼、脑胀、昏晕、耳鸣、多梦、失眠、心慌、记忆力减退及全身无力等	噪声使大脑皮层的兴奋和抑制平衡失调,导致反射条件异常、脑血管受损,严重者还会使脑电位改变
心血管系统	心跳加快、心律不齐、心电图 T 波升高或缺血型改变、传导阻滞、血管痉挛、血压变化等	噪声使交感神经紧张,导致代谢或微循环失调,以及引起心室组织缺氧所致
视觉系统	视力清晰度变差,视野也有所变化,如对蓝色和绿色光线视野增大,对金红色光线视野缩小	噪声作用于听觉器官后,由于神经传入系统的相互作用,使视觉器官功能发生变化所致
消化系统	食欲不振、恶心、肌无力、消瘦、体质减弱等	噪声使胃功能紊乱
内分泌系统	血液中油脂及胆固醇升高,甲状腺活动增强并有轻度肿大	噪声使内分泌失调

1.2.4 噪声对工业产品质量的影响

噪声不仅对人体身心健康具有重要影响,而且也是工业产品质量的综合反映。一般来讲,产品的噪声越大,产品的质量就越低劣,因而其在市场上的占有率就越低。特别是由于产品的噪声能够直接被用户所感觉到,因而其噪声状况往往成为影响产品生产和销售的关键因素。一般来讲,设计优良,加工精度高的产品,噪声就低,反之则高。

1.3 噪声控制的一般步骤和方法

噪声的形成,首先是要有声源,其次是传播途径,此外,还要有声的接收器,即听者或声传感器。噪声控制通常也是从这三个方面来进行考虑的,即从声源上根治噪声、从传播途径上采取降噪措施和在接收点进行防护。

1.3.1 噪声控制的一般方法

1. 从声源上降低噪声

所谓从声源上降噪,就是通过采取改进机器或设备的结构、改变操作工艺方法、提高加工精度或装配精度等措施,将发声的机器或设备的噪声控制在所允许的范围内。可采取以下措施:

1) 选用内阻尼大、内摩擦大的低噪声材料

一般的金属材料,如钢、铜、铝等,它们的内阻尼、内摩擦较小,消耗振动能量的本领弱,因此,凡是用这些材料做成的机械零件,在振动力的作用下,机件表面会辐射较强的噪声。而当采用内摩擦大的高分子材料或高阻尼合金时,由于内摩擦将引起振动滞后损耗效应,使振动能转化为热能而耗损。因而,在同样振动激励力作用下,内阻尼大、内摩擦大的合金或高分子材料要比一般的金属材料所辐射的噪声小得多。

2) 采用低噪声结构形式

在保证机器功能不变的情况下,通过改变设备的结构形式,可以有效地降低噪声。如对于窗式空调器来讲,其室内侧噪声大都在54~60dB(A),若将其室内侧通风系统的离心叶轮改用惯流式叶轮,则其噪声可降低10dB(A)左右。

对于旋转的机械设备来讲,其动力的传递方式不同,所辐射的噪声也相差很大,如皮带传动所辐射的噪声要比齿轮传动小得多,而在齿轮传动装置中,斜齿轮或螺旋齿轮又比直齿轮所辐射的噪

声小。

3) 提高加工精度和装配精度

机械设备在运行时,由于机件间的冲击和摩擦,或者由于动平衡不好而产生偏心振动,都会导致机器设备噪声增大。提高机器设备的加工精度,使机件间的撞击和摩擦尽量减少,或提高机器的装配精度,调整好运行部件的动平衡,减小偏心振动等,就会使机器设备的噪声减小。因此,提高加工精度和装配精度也是从声源上降噪的有效方法。

4) 调整机器的结构参数,抑制共振

共振使结构振动加剧,噪声辐射增大。在机器的设计过程中,应尽可能地将机器的运转频率(或激励频率)与结构的固有频率错开,以避免结构共振。

2. 从传播途径上降低噪声(见表 1.3-1)

表 1.3-1 几种从传播途径上降低噪声的措施

降噪措施	降噪机理与处理方法	降噪量 /dB(A)
隔声	采用隔声屏、隔声罩等装置,将噪声源与接收者分离开来	20~50
吸声	通过在噪声的传播通道上,如墙壁、隔声罩内表面等安装吸声材料,使一部分声能在传播过程中被吸声材料吸收并转化为热能	3~10
阻尼	在机器表面或壳体上涂抹阻尼涂料或采用高阻尼材料来抑制振动,从而降低噪声	5~10
隔振	采用减振器、橡胶垫等将振源与机器隔离开来,减弱外界激励力对机器的影响,降低噪声辐射	5~25
消声器	在声源和接收者之间通过管道安装消声器,使声能量在通过消声器时被耗损,从而达到降噪的目的	15~30

3. 在接受点进行防护

在上述方法无法实现而噪声又很强,或者在某些只需要少数人在机器旁操作的情况下,可以对接受噪声的个人进行防护,最简单的办法就是带个人防护耳具。由于噪声一方面影响人耳听力,另一方面通过人耳将信息传递给神经中枢系统并对人体全身产生影响。因而,在耳朵上带防声用具,不仅保护了听力,也保护了人体的各个器官免受噪声危害。常用的有耳塞、防声棉、耳罩及防声头盔等。这些防护用具,主要是利用隔声原理,使强烈的噪声传不进耳内,从而达到保护人体不受噪声危害的目的。

1.3.2 噪声控制、设计的程序

噪声控制实际上包含两层含义,其一是对已有的设备实施降噪;其二是对新设计的产品进行低噪声设计。对于已有的设备来讲,其噪声控制的步骤如下:

(1) 对噪声源进行测试、分析及诊断,确定主要噪声源。

(2) 根据设备噪声现状和噪声标准,确定所需降噪量及其降噪频谱特性。

(3) 根据降噪要求及噪声源情况,初选降噪方案,并进行结构及参数的优化设计。

(4) 实施降噪措施,并进行测试、分析。如果未达到预期效果,则应及时查找原因,并补加一些新的措施,直到达到降噪要求为止。

如果产品还在设计阶段,产品的噪声不能直接做现场测量,此时降噪工作一方面可针对产品的工作特点进行噪声源的分析与预测,另一方面,可参考现有同类产品(设备)的噪声现状,在产品的设计、制造及安装等方面统筹兼顾,全面考虑,以达到降低噪声的目的。降噪设计通常可按以下步骤进行:

(1) 调查同类产品(设备)的噪声现状,初步了解所设计产品

的噪声源类型、声源的分布及噪声源的强度等情况。

(2) 根据噪声标准,提出产品总体降噪要求,在此基础上确定产品各部件的噪声指标。

(3) 从产品的结构、材料、加工精度及装配精度等方面进行低噪声设计与优化。

(4) 产品的试制、噪声试验。

(5) 产品修改、完善并定型。

噪声控制是一项系统而复杂的工作,只有根据噪声源的具体情况,采取科学合理的降噪措施,才能取得理想的降噪效果。