

ZAOSHENG KONGZHI JISHU

噪声控制技术

王文奇 江珍泉 编著



化学工业出版社

噪声控制技术

王文奇 江珍泉 编著

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是实用的噪声控制技术书。较详细地介绍了噪声的危害、评价标准和测量技术,全面而深入地讲述了各种控制噪声技术(包括防噪规划设计、吸声、隔声、隔振、减振和消声器)的原理和具体实施方法。并列举了一些设计实例和降低排气放空、鼓风机、压缩机、工业泵电机、电锯电刨及机动车辆等噪声的应用实例。

本书可供化工、石油、冶金、电力、机械、轻工等部门的技术人员和环境保护、安全工程及工业卫生人员从事噪声防治之用,同时也可供城市规划、建筑设计人员及大专院校有关师生参考。

ny 61 / 21

噪 声 控 制 技 术

王文奇 江珍泉 编著

责任编辑:林晨虹

封面设计:许 立

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092^{1/32}印张18^{1/2}字数426千字印数1—5,470

1987年10月北京第1版1987年10月北京第1次印刷

统一书号15063·3929定价3.80元

序 言

噪声污染已成为重要的公害，它严重地影响人们的工作、学习与生活，更高的噪声还将危害人们的健康。随着社会生产水平和人民物质文化生活水平的不断提高，噪声的危害越来越引起国家和人们的重视，对从各方面控制和消除噪声的要求也越来越强烈。因此，必须在城市规划、建筑设计与工业生产中重视对噪声的控制并加以认真的解决，已经建成的并对人们产生危害的工程也要解决，这是对人民负责的大事。

为了控制噪声，我国“声学标准化技术委员会”正在制定各种有关的声学标准，并且有的标准已正式颁布实施。这无疑是必要的。但如何达到“标准”的要求，则控制技术和各项治理措施必须跟上。因此，推广普及控制噪声的机理、方法及技术措施是非常重要的。本书的出版目的就在于此。本书较全面地叙述了噪声声源的产生机理、噪声危害、噪声测量技术及有关噪声控制技术。本书作者根据自己从事噪声控制研究和工程设计的实践，从上述几个方面进行了总结，并举出了大量的噪声控制实例，全书内容资料丰富，实用性较强。书中最后一章和附录还介绍了有关声学设计资料数据和一些声学标准，使读者可以理论联系实际地了解噪声控制技术，并可能在从事这方面工作时直接采用。本书也可以看作一本实用的工具书，对专业工作者也有一定的参考价值。

控制噪声，使劳动者在允许的噪声条件下工作和为人们创造舒适的声学环境，是实现四化的重要任务。我祝贺本书的出

版，并预祝同志们在噪声控制工作中不断取得新的成果和做出更大的成绩！

车世光

前 言

噪声污染同空气污染、水污染一样，也是一种公害。随着工业和交通运输业的发展，噪声污染及其对人体健康的危害，已日益引起人们广泛的关注。据全国十几个大中城市的不完全统计，噪声诉讼件数约占全部环境污染诉讼件数的百分之四十以上。噪声影响人们正常的工作和休息，可以引起听觉器官、心血管系统、神经系统等方面的疾病。噪声还可以掩蔽安全警报信号，所以它又常常是导致一些工伤事故的根源。因此，如何控制噪声，将噪声降低到无害的程度，乃是现代化建设中不可缺少的一个方面，是环境保护和劳动保护的一项重要课题。

控制噪声，使劳动者在允许的噪声下工作，为人们提供一个健康、安宁、舒适的声学环境，是生活在现代文明社会的共同责任。有鉴于此，我们根据自己多年从事噪声控制的研究和设计所取得的成果、经验，以及收集到的部分国内外资料，编著成此书。本书的取材着重在解决噪声控制的实际问题，避免过多地作公式数学推导和理论介绍，而较多地介绍一些设计实例和控制噪声卓有成效的应用实例，以供从事噪声治理工作的人员参考。全书共分九章，第一、二、三章分别介绍噪声控制基础知识、噪声测量技术和我国工业噪声的污染危害情况；第四章阐述工业区总体防噪设计；第五、六、七章讲述吸声、隔声、隔振、减振和消声器等降低噪声的原理与实施方法；第八章介绍工业上常见噪声源如排气放空、鼓风机、压缩机、工业泵电机、电锯电刨及机动车辆等噪声控制方法；第九章汇集了

国产声学材料和典型消声元件的性能试验数据资料。其中第二、三、四章由江珍泉同志编写，其余各章及全书整理由王文奇同志执笔。

本书承清华大学建筑系车世光教授细心审阅，提出许多宝贵意见。作者在编著过程中，曾得到北京市劳动保护科学研究所和化学工业部第四设计院的领导及有关同志的大力支持和帮助，在此谨致谢忱。

王文奇 江珍泉

一九八五年元月于北京

目 录

第一章 噪声控制概论	1
第一节 噪声的产生、传播与接受	1
第二节 噪声的物理参量	11
第三节 噪声的心理效应	21
第四节 声波传播的一些特性	37
第五节 噪声的危害与允许标准	62
第六节 噪声防治途径及控制方法	66
第二章 噪声测量技术	80
第一节 噪声测量概要	80
第二节 噪声评价量与测试量	91
第三节 噪声测量常用仪器	100
第四节 工业噪声测量	113
第五节 工业城镇噪声测量	124
第六节 测量提示	131
第三章 工业噪声	138
第一节 我国工业噪声概况	138
第二节 化工厂常见噪声源	146
第三节 工厂环境噪声	164
第四节 工厂噪声图	171
第四章 工业区总体防噪设计	179
第一节 工业区的防噪规划	179
第二节 工厂总平面防噪布置	204
第三节 工厂防噪竖向布置	228
第四节 工厂防噪绿化设计	236

第五章 吸声与隔声	264
第一节 吸声与隔声的区别与联系	264
第二节 吸声减噪	268
第三节 隔声技术	293
第六章 隔振与减振	331
第一节 振动的危害与评价	332
第二节 隔振技术	339
第三节 阻尼减振与阻尼材料	365
第七章 消声器的设计与应用	377
第一节 阻性消声器	378
第二节 抗性消声器	389
第三节 阻抗复合式消声器及微穿孔板消声器	404
第四节 喷注耗散型消声器	411
第五节 消声器的设制及安装使用	419
第八章 工业中常见噪声源的控制方法	427
第一节 排气放空噪声控制	427
第二节 鼓(引)风机噪声控制	439
第三节 压缩机噪声控制	454
第四节 工业泵类和电动机的噪声控制	465
第五节 电锯、电刨噪声控制	479
第六节 冷却塔、蒸汽加热鼓泡和火炬的噪声控制	486
第七节 机动车辆噪声控制	495
第九章 噪声控制资料	504
第一节 声学材料	504
第二节 消声元件试验数据	526
附录 I 中华人民共和国《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)	548
附录 II 中华人民共和国《工业噪声检测规范》(草案)	550
附录 III 中华人民共和国《噪声性耳聋调查方法》	553

附录 IV	中华人民共和国国家标准《城市区域环境噪声标准》	
	GB3096-82	556
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	558
附录 VI	中华人民共和国国家标准《机动车辆允许噪声》	
	GB1495-79	572
附录 VII	中华人民共和国国家标准《机动车辆噪声测量方法》	
	GB1496-79	574
附录 VIII	中华人民共和国国家标准《工业企业噪声控制设计规范》	
	GBJ87-85	580

第一章 噪声控制概论

我们的周围是充满声音的世界。在日常生活中，无论在什么地方，每时每刻都会有各种各样的声音传入我们的耳内。例如人的说话声，收音机发出的广播节目声，工厂里机械运转声，街道上车辆行驶声，田野里风吹禾苗簌簌声……。我们周围存在的这些声音，有的正被我们利用，如生活中人们利用语言声交流思想，利用乐声开展娱乐等，但有的则需要加以消除或控制，例如工厂中嘈杂的机器声，轻者干扰人们工作、学习和休息，重者危害人的身体健康和妨碍安全生产。平时我们所说的噪声，就是指那些不需要的、令人厌烦的、对人体健康有害的声音。所谓噪声控制就是把那些对人有害的噪声予以消除或降低，为人们创造一个安静的工作和生活环境。

第一节 噪声的产生、传播与接受

形成噪声，首先要有产生声振动的物体，也就是噪声源，其次要有能够传播声音的媒质，此外，还要有声的接受器，如人耳、传声器等。这就是说，构成一个声系统需要有声源、传播媒质和接受器这三要素。

一、噪声的产生

声音是由物体振动产生的。我们把振动发声的物体叫做声源。根据声源通常把噪声分为机械性噪声和空气动力性噪声两大类。

（一）机械性噪声

机械噪声是由于固体振动产生的。如冲床冲压声、锻锤的锻打声、车床的切削声、齿轮啮合声等都属于机械性噪声。当固体受到撞击、摩擦和交变机械应力或电磁应力等作用时，这些固体便会振动并向空间辐射噪声。机械部件之间力的作用是多种多样的，按力的特性大致可分为三大类：撞击力、摩擦力、周期作用力。例如锻锤是以撞击力为主，砂轮是以摩擦力为主，偏心轮以周期作用力为主，而齿轮啮合则同时兼有这三种力的作用。下面简单讨论一下机械部件分别在三种力作用下振动发声的特点。

1. 撞击噪声

利用冲击力作功的机械（如冲床、锻锤和凿岩机等）在工作时，会产生由撞击引起的脉冲噪声，我们称之为撞击噪声。分析撞击噪声的特点，可以找出如下两种发声机械：

（1）加速度噪声 当一个锤子打到非弹性体上时，锤子受到阻力突然停止所产生的噪声称为加速度噪声。这种加速度噪声能量等于锤子运动时所带动的等体积的空气所具有的动能的一半。

很明显，如果锤子运动停止的时间长（即缓慢碰撞），则产生的加速度噪声就小。例如两个较硬的光滑的物体相撞，作用时间短，作用力大，产生的撞击噪声就大；而两个较软的不光滑物体相撞，则作用时间长，作用力小，撞击噪声也小。日常我们见到的冷锻较热锻产生的撞击噪声大，其道理就在于此。

（2）结构噪声 撞击后引起锤头、工件、锤模和锤架等部分结构共振而激发的噪声。结构噪声与很多因素有关，定性地可用下式表示：

$$L = 10\lg N + 20\lg F + 20\lg T f + 10\lg \frac{A\sigma}{f} + 10\lg \eta + C \quad (1-1)$$

式中 N ——每秒钟撞击次数；
 F ——撞击所用的力；
 Tf ——转移率，即单位力使物体产生的振动的大小；
 A ——代表声级的计权因子；
 σ ——物理辐射效率；
 f ——频率；
 η ——被撞击物体的阻尼损耗因数；
 C ——常数。

结构噪声在整个撞击噪声中占有重要地位。机械性撞击，如冲床的冲压声，凿岩机中活塞与杆杆的撞击声，两个金属物体互碰声等均是以结构在撞击后鸣响为主。乐器中的鼓、锣、镲等也是撞击后产生的结构鸣响。所以，降低结构噪声是控制撞击噪声的主要途径，而具体措施是增加结构的阻尼（提高损耗因数 η ）。

2. 摩擦噪声

物体在一定压力下相互接触并作相对运动时，则物体之间产生摩擦，摩擦力沿运动方向作用于物体的接触面上。摩擦可以激发物体振动并发出噪声。如二胡与提琴，就是弓丝在琴弦上摩擦引起琴弦振动并激发琴体共振而发声的。但是，工业生产和日常生活中所产生的摩擦声多是令人生厌的噪声。我们称之为摩擦噪声。

摩擦噪声产生的过程大致如下：每当一个物体滑过另一个物体时，这个物体受到使其运动的拉力与阻碍运动的摩擦力的两种作用，使物体变形。当作用力继续增加，形变相应增大，形变弹力最终克服静摩擦力，于是产生“跳脱”。所谓跳脱就是物体以跳跃形式位移到新的位置上，弹性变形也就消失了，以后整个过程又照原样重复。物体连续跳脱而产生张弛振动，便

发出噪声。汽车的刹车声，从木板上拔钉子产生的刺耳声，均是摩擦物体产生张弛振动并激发物体固有振动而发声的结果。车刀切削金属时，也会产生类似的轧轧声，这是车刀受到加工件横向摩擦力与车屑纵向摩擦力作用而引起振动的结果。降低摩擦噪声的基本方法是减小摩擦力，一般使用润滑剂可以减小摩擦声，如齿轮、轴承等在缺油状态下工作，噪声就高。

3. 周期作用力激发噪声

在旋转机械中常常存在着周期性作用力，最简单的周期作用力是由于转动轴、飞轮等转动系统静态和动态不平衡引起的偏心力。这种作用力正比于转动系统的质量和偏心距，也正比于转动角速度的平方。当转动系统的转速与转动系统的弯曲共振频率相同时，则转动系统自身产生极大振动，并将振动力传递到与其相连的其他机械部分，激起强烈的机械振动和噪声。

在转速不高的情况下，周期作用力的变动频率并不高，如300r/min的转速相应60Hz的周期变化。但是，这种低频的周期作用力可以激发较高频率的振动，当零件的一些固有频率等于周期作用力频率的整数倍时，也能使零件产生强烈的共振。这种与作用力的基频成整数倍的共振发声现象在机械噪声中是常遇到的。

（二）空气动力性噪声

空气动力性噪声亦称气流噪声，它是由于气流的起伏运动或气动力而产生的。常见的气流噪声有喷注噪声、卡门涡旋声、螺旋桨噪声等。

1. 喷注噪声

喷注噪声是由喷注气流的起伏运动而产生的。气流由喷嘴（或排气管）喷出形成喷注，高速气流冲击和剪切周围静止空气，引起剧烈的气体扰动而辐射噪声。喷嘴形状不同，气流在

喷口处流动特性不同，产生的喷注噪声强度和特性也有所不同。对于一般排气管或收缩喷嘴，当气流的驻压小于临界压力时，喷口处的气流速度小于声速，这种喷注叫亚声速喷注，其噪声是湍流噪声。辐射噪声的强度与气流速度的八次方成正比。当气流的驻压等于或大于临界压力时，喷口处气流速度等于声速，这种喷注叫做声速喷注，产生的噪声强度与驻压的平方成正比。对于渐缩渐扩形喷管（拉伐尔管）形成的喷注，喷口处流速可以超过声速，称为超声速喷注。超声速喷注噪声，在马赫数（气流速度与声速之比）小于2的范围内，辐射噪声强度与流速八次方成正比的规律依然成立。随着马赫的继续增加，喷注噪声功率便与气流速度的3次方成正比了。此外，对于超声速喷注，还会产生一种冲击波噪声，这是一种单频的啸叫声，比湍流噪声可以高出10dB以上。

2. 卡门涡旋噪声

卡门涡旋噪声亦称风吹声。当气流遇到障碍物，在障碍物后产生卡门涡旋时便辐射噪声。如日常遇到的风吹电线、树枝及桅索等产生的噪声就是卡门涡旋噪声。气流流经障碍物时，在障碍物后方的附面层便产生脱体涡旋，从障碍物的上方和下方交替脱下。由于脱体涡旋带走了动量，并且上方与下方的涡旋带走的动量方向正好相反，这相当于障碍物对流体施加一个横向的交变动力，因此辐射噪声。卡门涡旋噪声有一峰值频率，当雷诺数增加时，卡门涡旋噪声的带宽也增加。直到雷诺数 $R > 10^5$ ，卡门涡旋声便转变为湍流噪声。

3. 螺旋桨噪声

螺旋桨（包括风扇）旋转时，叶片相对于气流运动，例如叶片每通过某一定点，便使空气在该点受到一次冲击，给气流以力的作用而辐射噪声。螺旋桨的运动是周期的旋转运动，噪

声场也绕螺旋桨轴线旋转。辐射的噪声具有明显的离散频谱，基频等于叶片数目与旋转频率的乘积。

二、噪声的传播

只有声源振动，没有介质传播，也不能构成声音。例如，把钟放在抽成真空的玻璃罩内，你是听不到钟摆的滴嗒声的。如果罩内放入空气，钟摆的滴嗒声便清晰可闻了。这说明声音只有在媒质中才能传播，这里传声的媒质就是空气。除了气体外，液体和固体也能传播声音。比如，我们把耳朵贴近铁轨，可以听到远方驶来的火车声，河里的鱼听到岸边人的脚步声，会急速逃走。我们把能够传播声音的物质，叫做传声媒质。

声音在媒质中是怎样传播的呢？是以波动形式传播开来的。我们把机械振动在弹性媒质中的传播形式称为声波。需要指出，声波传播时，传声媒质仅在它们各自的平衡位置附近振动，并没有在声波传播的方向上流动或前进。也就是说，传播的只是质点振动而不是物质的本身。

声波是机械波。根据传声媒质质点的振动与波本身运动这两者的关系可以区分各种机械波。如果媒质质点振动方向与波动传播方向相垂直，这种波称为横波。如果媒质质点的振动方向与波的传播方向一致，则称为纵波。气体和液体，由于只有体积弹性，所以声波在气体和液体中只能以纵波的形式传播。固体除具有体积弹性外，还有伸长弹性、弯曲弹性、扭转弹性等，所以，声波在固体中传播，可以是纵波，也可以是横波。

频率、波长和声速，是描述声波的三个重要物理量。传声媒质质点每秒钟振动的次数称为频率，用 f 表示，频率的单位是赫兹（简称为赫），用 Hz 表示，每秒钟振动一次为 1 赫，即 $1 \text{ 次/秒} = 1 \text{ Hz}$ 。人的听觉所能感受到的振动频率范围在 $20 \sim 20,000 \text{ Hz}$ 这称为声频范围。低于 20 Hz 的称为“次声”，高于

20,000Hz 的称为“超声”。次声和超声，人耳都听不到。通常，在噪声控制这门学科中，把声波频率分为三个频段：500Hz 以下的称为低频；500~2000Hz 的称为中频；2000Hz 以上的叫做高频。噪声的频率不同，其传播特性和控制方法也有所不同，这在以后我们将要讲到。

声波振动一次（即 1Hz）传播的距离，叫做波长，通常用符号 λ 表示，单位是米。横波上相邻的两个波峰或波谷之间的距离为一个波长；纵波上相邻的两个密部或疏部对应点之间的距离就是一个波长。

声波每秒钟传播的距离叫声速，以 c 表示，它的单位是米/秒（m/s）。在任何一种媒质中，声速随着媒质的弹性和密度的不同而改变。

如果在固体中传播的是纵波，它的声速可用下式计算：

$$c = \sqrt{E/\rho} \quad (\text{m/s}) \quad (1-2)$$

式中 E ——固体媒质的弹性模量；

ρ ——固体媒质的密度。

对于空气中的声速，则可用下式表示：

$$c = \sqrt{\gamma P/\rho} \quad (\text{m/s}) \quad (1-3)$$

式中 P ——大气压；

γ ——定压比热与定容比热之比，对于空气 $\gamma = 1.4$ 。

根据比值 P/ρ 与气体温度有关这一事实，上式还可进一步简化。假设空气的性能象理想气体一样，则声速可以表示仅与绝对温度有关：

$$c = 20.05\sqrt{T} \quad (\text{m/s}) \quad (1-4)$$

式中， T 为开氏温度，单位为 K， $T = 273^\circ\text{C} + t(^{\circ}\text{C})$ ， t 为摄氏温度。

常见气体在常温下的声速见表 1-1。一些液体的声速和固