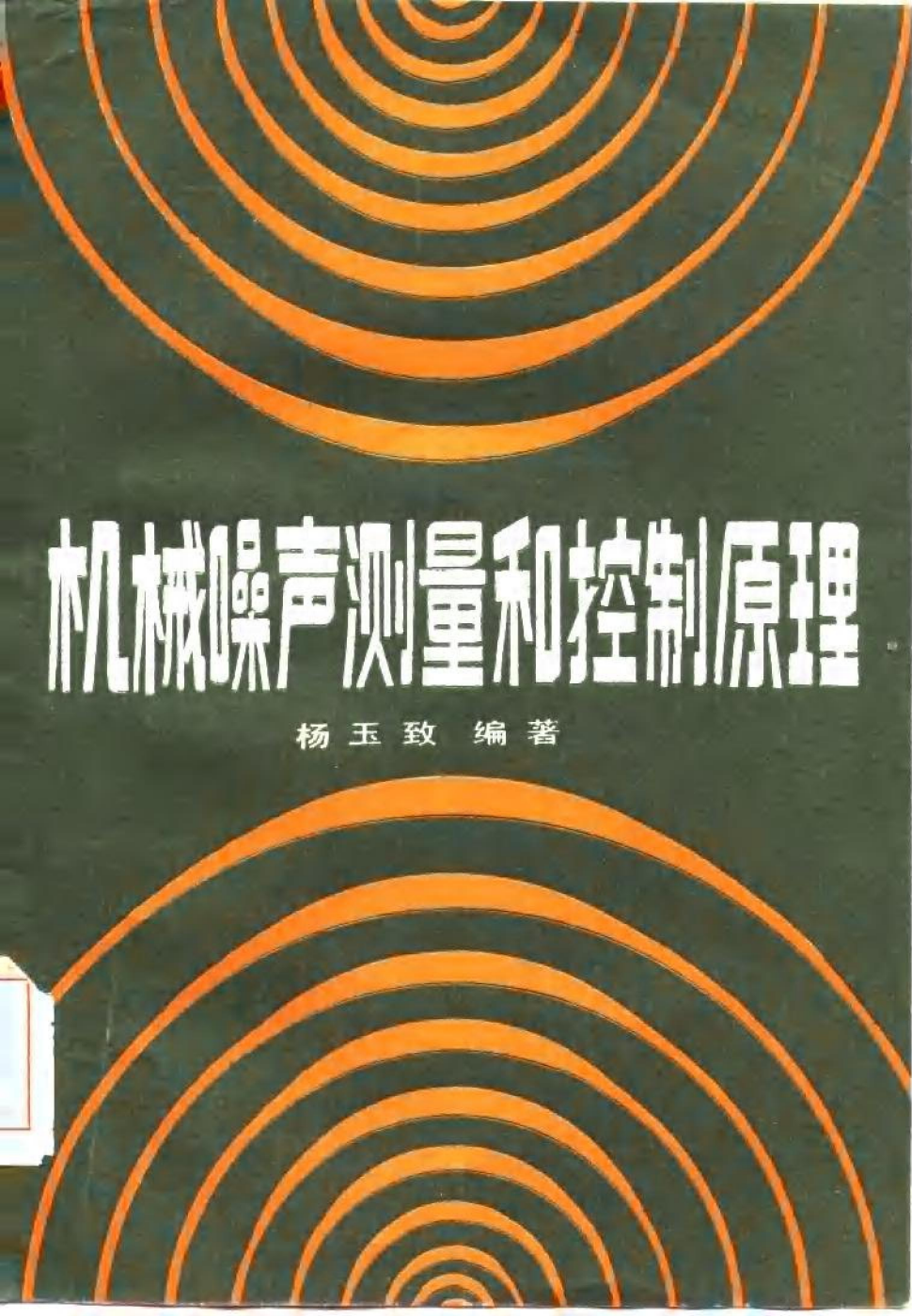




机械噪声测量和控制原理

杨玉致 编著

内 容 简 介

目前各行业的工程技术人员面临着噪声的测量和控制问题。为适应这一迫切需要,本书从实际需要出发,介绍了声学基本知识和机械噪声的测量方法、仪器及其使用;系统的阐述了机械声功率的测量原理和机械噪声源的鉴别方法;重点论述了机械噪声控制的基本原理。

全书共七章,每章都结合轻工机械和产品列举一定数量实例。

本书可供有关工程技术人员、环保工作者和大专院校有关专业的师生阅读。

机械噪声测量和控制原理

杨玉致 编著

轻工业出版社出版

(北京阜成路8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

787×1092毫米1/32印张:11 $\frac{20}{32}$ 字数:254千字

1984年8月 第一版第一次印刷

印数:1—10,200 定价:1.96元

统一书号:15042·1830 1.95元

前 言

随着科学技术的发展和人民生活水平的不断提高,噪声公害越来越引起人们的关注。1979年我国颁布试行的“环境保护法”规定,公害必须限期治理。因此,噪声公害的治理事在必行。

环境噪声主要来自各种机械设备和运输工具,噪声控制应首先从降低它们的发声着手,其次是限制噪声的传播以及在接收处采取措施。

机械噪声控制一般包括测量调查、采取措施和效果评定三个阶段。其中噪声测量工作几乎贯穿噪声控制的全过程,它是噪声控制中不可缺少的重要组成部分。几年来,我国已制定了环境噪声限值标准和测量标准,并正在陆续制定各类机械的噪声限值标准和测量标准。标准规定从采用声(压)级逐步过渡到采用声功率级作为机械和产品的噪声限制标准。

这样,无论从实际需要和长远发展来看,各行业的技术人员都面临着机械噪声的测量和控制问题。对于轻工机械,品种繁多,噪声状况复杂,影响面广,污染严重。有些轻工产品的噪声影响千家万户。因此,对从事轻工机械、轻工产品设计制造和实验研究、环境保护工作者来说,掌握和运用噪声测量技术和机械噪声控制的基本原理就更必须了。

为了适应这一新的情况,从我国机械制造和使用中所遇到的噪声测量和控制问题出发,在吸收和总结了国内外这方面先进经验的基础上,写成本书。本书简要介绍有关噪声控

制的声学基础知识。并从实际需要出发，较系统的介绍机械噪声测量仪器的工作原理、构造和使用方法；系统的阐述了机械声功率的测量原理和机械噪声源的鉴别方法；重点结合轻工机械和产品，论述了噪声控制的基本原理。书中例举许多机械噪声测量和控制的实例。

本书可供从事机械设计制造、实验研究的工程技术人员和环保工作者阅读，也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

全书承蒙中国科学院声学研究所徐唯义同志审阅，给予了热情帮助，提出许多宝贵意见，深表谢意。

在编写过程中，国营红声器材厂赵克勤、上海交通大学张重超、声学所噪声室和机械工业部机械科学研究院环保室、北京家用电器研究所等单位提供资料给予帮助，在此一并表示感谢。

限于水平，错误在所难免，请批评指正。

作者

1983.5.

目 录

第一章 噪声的物理性质及其量度	1
第一节 声波和噪声	1
一、声波的产生.....	1
二、频率、波长和声速.....	2
三、几个定义.....	6
四、噪声.....	7
五、计算例.....	8
第二节 噪声的物理量度	9
一、声压、声强和声功率.....	9
二、声学测量单位.....	14
三、噪声级的合成.....	20
四、计算例.....	22
第三节 噪声的频谱	24
一、频程.....	24
二、频谱.....	27
第四节 噪声的传播特性	31
一、声波的反射和折射.....	31
二、声波的绕射和指向特性.....	33
三、声波的衰减.....	35
四、计算例.....	39
第五节 噪声的主观量度和计权声级	40
一、响度和响度级.....	41
二、计权声级.....	44

三、等效声级·····	50
四、计算例·····	51
第二章 噪声标准 ·····	54
第一节 概述·····	54
第二节 环境噪声标准·····	55
一、听力保护标准·····	55
二、环境噪声标准·····	56
三、机动车辆噪声标准·····	57
四、噪声评价曲线·····	60
第三节 机械设备和产品的噪声标准·····	64
第三章 噪声测量与仪器 ·····	68
第一节 概述·····	68
第二节 噪声测量系统·····	71
一、噪声的模拟测量系统和数字测量系统·····	71
二、噪声测量仪器配套测试系统实例·····	73
第三节 传声器·····	80
一、传声器的参数·····	80
二、传声器的类型及特性·····	84
第四节 声级计·····	94
一、概述·····	94
二、声级计工作原理及性能·····	96
三、声级计的校准与试验·····	100
四、几种声级计介绍·····	113
第五节 滤波器及频率分析仪·····	127
一、概述·····	127
二、滤波器·····	131
三、频率分析仪·····	136

第六节 记录设备	139
一、声级记录仪	139
二、磁带记录器	144
第四章 机械噪声的测量方法	156
第一节 引言	156
一、噪声问题的分类	156
二、噪声按其特征分类	156
三、噪声的测量方法	157
第二节 噪声测试环境	159
一、引言	159
二、消声室	161
三、混响室	172
第三节 声级计的应用	175
一、声级计操作不当	176
二、环境影响引起的误差	177
第四节 噪声源声功率级的测量	180
一、概述	180
二、声功率级的确定方法	183
三、声功率级现场测量误差分析	187
四、标准噪声源	191
第五节 家用电器噪声的测量方法	195
一、引言	195
二、家用电器噪声测量的特点	196
三、家用电器声功率级测量举例	207
第六节 木工机床噪声测量方法	211
一、测量项目	211
二、测量环境及修正值	212

三、测量表面与测点位置·····	213
四、平均A声级 $\bar{L}_{PA}$ 、频带平均声压级 L_{pf} 、A声功率级 L_{WA} 等·····	215
第七节 声强测量·····	215
一、声强测量原理·····	216
二、声强互谱表达式·····	217
三、声强测量系统·····	218
四、声源声功率级的测量·····	223
第五章 机械噪声源鉴别方法·····	225
第一节 概述·····	225
第二节 主观鉴别·····	226
第三节 客观鉴别的一般方法·····	227
一、测量与计算·····	227
二、查找噪声峰值·····	228
三、查找噪声峰值产生的根源·····	228
第四节 信号分析处理在机械噪声源鉴别中的应用·····	232
一、引言·····	232
二、自相关函数和互相关函数·····	233
三、功率谱密度函数·····	238
四、相干函数·····	243
第六章 机械噪声控制原理·····	246
第一节 概述·····	246
第二节 降低声源发声·····	250
一、机械发声的讨论·····	250
二、降低机械发声的方法·····	264
第三节 噪声传播途径的控制·····	269

一、空气声传播途径的控制·····	270
二、固体声传播途径的控制·····	293
第七章 噪声控制例·····	306
第一节 噪声控制过程·····	306
第二节 齿轮噪声·····	306
一、齿轮噪声分析·····	306
二、渐开线齿轮噪声的计算·····	311
三、降低齿轮噪声的途径·····	315
第三节 气流噪声·····	320
第四节 电风扇噪声·····	324
一、风叶的空气动力性噪声·····	324
二、电机噪声·····	328
第五节 鼓风机噪声·····	334
第六节 圆锯机噪声·····	336
一、圆锯机噪声源分析·····	336
二、噪声控制途径·····	339
第七节 磨玉机加工噪声·····	342
一、磨玉机加工噪声的特点·····	342
二、磨玉机加工噪声控制措施·····	344
第八节 洗衣机噪声·····	345
一、噪声的产生·····	345
二、噪声控制分析·····	345
第九节 车间噪声控制·····	347
一、车间噪声控制的内容·····	347
二、鞋钉车间噪声控制·····	348
附录	
一、工业企业噪声卫生标准·····	352

二、工业企业噪声检测规范.....	354
三、噪声测量仪器外形图.....	357
参考文献.....	360

第一章 噪声的物理性质及其量度

第一节 声波和噪声

一、声波的产生

机械振动在弹性媒质中传播过程称为声波，或称声。声波的产生是由于发声体的振动，其次单有发声体的振动，而没有弹性物质作为传播媒质，也不会形成声波。此外，要有作为接收器的耳朵的感觉。当然，即使没有人感受这种机械振动的传播过程，声波仍然存在。通常把可以引起听觉的声波，称为可听声。

弹性媒质可以是气体、液体和固体。声波在不同形态媒质中传播，相应地被称为空气声、液体声和固体声。例如，在空气中，撞击或摩擦一下金属管的一端，在管子另一端就会先后听到两个声音，即在空气媒质中传播的空气声和在固体（金属）中传播的固体声。

声波传播时，有两种既有联系又有区别的运动，即媒质中质点的振动和波本身的运动。如果媒质质点振动方向和波的传播方向相平行，此种波称为纵波。如果方向垂直，则称为横波。当媒质由于某种扰动而发生某种形变时，媒质就会发生相对应的弹性力，使媒质恢复原状，才能传播和这种形变相对应的波。例如，横波传播时，媒质发生切变，因而只有能够产生切力的媒质才能传播横波。纵波传播时，媒质发生体积应变，因而只有能够产生压力和拉力的媒质才能传播

纵波。在气体和液体媒质中，由于只有体积弹性，所以声波只能以纵波的形式传播。在固体媒质中，除体积弹性外，还有伸长弹性、弯曲弹性、扭转弹性等，所以声波既可以纵波形式传播，也可以横波形式传播。传播声波的媒质的质点沿着波本身传播的方向振动着。由此可知，声波也是疏密波。纵波可以在很大的频率范围内发生，声波则被局限在能够引起我们听觉的频率范围之内。这个频率范围就是可听声频率范围，即20~20,000赫。低于（20赫以下）和高于（20,000赫以上）可听声频率范围的纵波称为次声波和超声波。

二、频率、波长和声速

空气中的大多数声音是由固体物质的振动引起的。例如，与振动着的鼓膜相接触的空气也同样地在作往复振动，并且，单位时间鼓膜和空气的这种运动次数是相同的。把声源在1秒时间完成的振动次数称为频率，用 f 表示，单位为赫（Hz）。声源振动每往复一次的时间间隔，称为周期，用 T 表示，单位为秒（s）。频率是周期的倒数，即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

有时使用角频率，用 ω 表示，则 $\omega = 2\pi f$ 。

声源振动的一定周相在一振动周期内传播的距离称为波长。也就是，振动周相相同而且相距最近两点间的距离，用 λ 表示，单位为米。

声波在媒质中的传播速度称为声速，用 c 表示，单位为米/秒。

声速、频率和波长之间的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-2)$$

式中 λ ——波长, 米;

c ——声速, 米/秒;

f ——频率, 赫。

图1-1为一传播的平面正弦波, 在 t_1 和 $t_1 + \Delta t$ 两个时刻的波形曲线。图中 ξ 为媒质质点振动位移, X 为声波传播的距离, t 为时间。沿 x 正向传播时, 两个时刻的波动方程分别为

$$\xi = A \sin \left(\omega \left(t_1 - \frac{x}{c} \right) \right) \quad (1-3)$$

$$\xi = A \sin \left[\omega \left(t_1 + \Delta t - \frac{x + c \Delta t}{c} \right) \right] \quad (1-4)$$

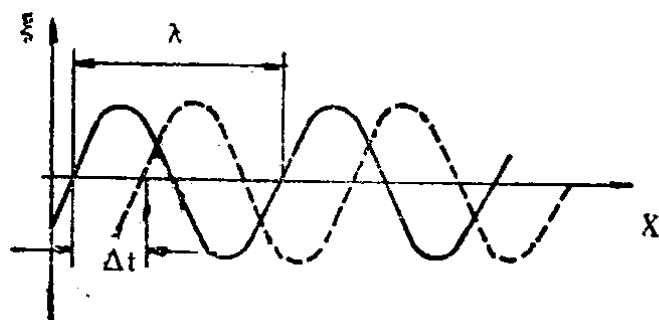


图 1-1 正弦声波的传播

在声速与振动无关的小讯号情况下, 气体的声速为

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p_0}{\rho_0}} \quad (\text{米/秒}) \quad (1-5)$$

或
$$c = \sqrt{\frac{\gamma}{M} R T} \quad (\text{米/秒}) \quad (1-6)$$

式中 ρ_0 ——密度, 公斤/米³;

p_0 ——大气压强, 牛/米²;

γ ——比热比;

M——分子量;

T——绝对温度, K;

R=8315焦/千摩·度——普适气体常数。

空气的声速为

$$c = 331.5 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \approx 331.5 + 0.6 t \quad (1-7)$$

或 $c \approx 20.05 \sqrt{T} \quad (1-8)$

式中 c —— 声速, 米/秒;

t —— 摄氏温度, °C;

T —— 绝对温度, K。

在空气中, 温度0°C时, 声速为 331.5 米/秒; 30°C时, 为349.5米/秒。

液体的声速比气体的声速大。在小讯号的情况下, 液体的声速为

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho k_j}} \quad (1-9)$$

或 $C = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho k_d}} \quad (1-10)$

式中 k_j —— 绝热压缩系数, 米·秒²/公斤 (帕⁻¹);

γ —— 比热比;

k_d —— 等温压缩系数, 米·秒²/公斤 (帕⁻¹)。

蒸馏水实验声速公式为

$$C = 1557 - 0.0245(74 - t)^2 \quad (\text{米/秒}) \quad (1-11)$$

温度20°C的水, 声速为1483米/秒; 海水 (含3.3%盐) 的声速约为1510米/秒。

固体的声速与传播的波形、物质的特性、形状等有关。
对各向同性、均匀固体的声速可由下式求得：

对在无限固体媒质中传播的纵波为

$$C_L = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1-12)$$

或
$$C_L = \sqrt{\frac{\delta + 2G}{\rho}} \quad (1-13)$$

对在无限固体媒质中传播的横波为

$$C_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} \quad (1-14)$$

或
$$C_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-15)$$

对在板中传播的纵波（低频极限值）为

$$C_p = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}} \quad (1-16)$$

或
$$C_p = 2 \sqrt{\frac{G(\delta + G)}{\rho(\delta + 2G)}} \quad (1-17)$$

对在棒中传播的纵波（低频极限值）为

$$C_B = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1-18)$$

或
$$C_B = \sqrt{\frac{(3\delta + 2G)G}{\rho(\delta + G)}} \quad (1-19)$$

式中 δ ——拉曼常数，公斤/米·秒²（帕）；
 G ——切变模量，公斤/米·秒²（帕）；
 E ——弹性模量，公斤/米·秒²（帕）；
 μ ——泊松比；

ρ ——密度, 公斤/米³。

例如, 铁, 密度 $\rho = 7.7 \times 10^3$ 公斤/米³, 其声速 $C_L = 5850$ 米/秒; $C_T = 3230$ 米/秒; $C_p = 5390$ 米/秒; $C_B = 5180$ 米/秒。

石英玻璃, 密度 $\rho = 2.7 \times 10^3$ 公斤/米³, $C_L = 5570$ 米/秒; $C_T = 3515$ 米/秒; $C_p = 5450$ 米/秒; $C_B = 5370$ 米/秒。

铅, 密度 $\rho = 11.4 \times 10^3$ 公斤/米³, $C_L = 2170$ 米/秒; $C_T = 700$ 米/秒。橡胶密度 $\rho = 0.95 \times 10^3$ 公斤/米³, $C_L = 1570$ 米/秒。

三、几个定义

下面介绍声波中常用的几个定义。辐射声波的振动体称为声源。有声波存在的空间称为声场。均匀的、各向同性的、无边界影响的媒质中的声场称为自由场。在实际中, 只要边界的影响小到可以忽略不计, 就可认为是自由场。自由场中声源附近声压和质点速度不同相的场称为近场; 离声源远处, 瞬时声压与瞬时质点速度同相的声场称为远场。在远场中的声波离声源呈球面发散波, 即声源在某点产生的声压与该点至声源中心的距离成反比。把能量密度均匀, 在各个传播方向作无规分布的声场称为扩散声场。

声波从声源发出, 在媒质中向各方向传播, 在某一瞬间, 相位相同各点的轨迹曲面称为波阵面或波前。波的传播方向称为波线或射线。在各向同性的均匀媒质中, 波线与波阵面垂直。

波阵面的形状决定波的类型。如果波阵面平行于与传播方向垂直的平面的波, 称为平面声波。即在给定时刻, 垂直于平面声波传播方向的任一平面上, 波的扰动情况处处相同。平面声波的波阵面是平面, 其波线是垂直于波阵面的平

行线。

波阵面为同心球面的波，称为球面声波。从点声源向各个方向传播的声波就是球面声波。在远离点声源的地方，球面声波的波阵面只有很小的曲率，因而在很小的区域内波阵面可以看作是平面。球面波是无方向性的。波阵面是同轴柱面的波称为柱面波。正在行驶的列车所发出的噪声可近似为柱面波。

四、噪声

任何不需要的声音称为噪声。从物理意义上来说，噪声是紊乱、断续或统计上随机的声振荡。

噪声对人的影响不仅与噪声的性质有关，而且还与每个人的心理、生理状态以及社会生活等多方面因素有关。噪声使人烦躁、厌恶、心神不安；噪声破坏安宁，干扰和影响人们的正常生活、工作和学习；噪声会使人耳聋，引起多种疾病。高强度噪声还能影响仪器设备正常工作等。例如，大约在40分贝(A)以下的噪声，对睡眠影响很小，55分贝(A)噪声的影响就比较严重。所以家用电器如电冰箱等发出的噪声就不应高于这个数值。再如，超过90分贝(A)的噪声连续作用于人耳，就会引起暂时性的听阈迁移。声强增加或暴露时间过长，还会引起永久性听阈迁移，造成听力损失和耳聋。

噪声污染已经成为城市环境中的三大公害之一。噪声没有污染物，又不会积累，其能量消失为空气的热能，传播距离一般不太远，噪声的再利用问题也不易解决。所以过去不大引起人们的重视。

在任何地方，总存在噪声。噪声常由多个不同位置的声源产生，经过反射形成无方向性。在某一环境中所有这些组