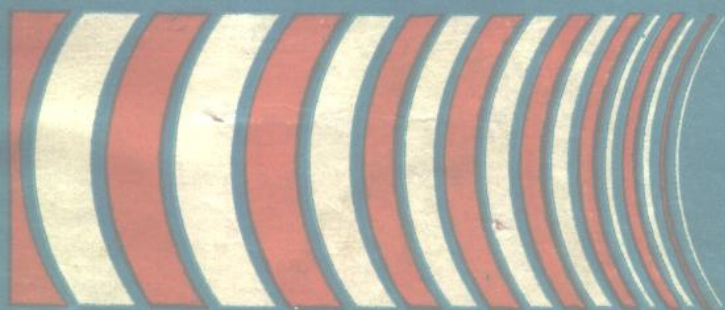


工业噪声和 振动控制

[美] J. D. 欧文 E. R. 格雷夫 著

INDUSTRIAL NOISE AND VIBRATION CONTROL



机械工业出版社

工业噪声和振动控制

[美] J D 欧文 E R 格雷夫 著

佟浚贤 寿士荣 译

秦 严 南 校



机械工业出版社

**INDUSTRIAL NOISE
AND VIBRATION
CONTROL**

**J. D. IRWIN and
E. R. GRAF
PRENTICE-HALL**

* * *

工业噪声和振动控制

[美] J. D. 欧文 E. R. 格雷夫 著

佟浚贤 寿士荣 译

秦严南 校

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可延出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本850×1168 1/32·印张13·字数338千字

1984年3月重庆第一版·1984年3月重庆第一次印刷

印数00,001—11,600·定价 2.00 元

*

统一书号: 15033·5455

译者的话

随着现代工业的不断发展,噪声污染问题越来越突出。为了给人们提供一个健康、安宁、舒适的工作和生活环境,控制噪声已受到人们广泛的关注。国外在这方面开展了大量的工作,目前我国不少部门也正在着手进行噪声控制的基本理论,技术措施及有关标准、条例等方面的工作。为了配合这一工作我们翻译此书。本书共分十章,前八章着重阐述了声波的物理特性,听觉特性,噪声和噪声源的测量与评价,噪声控制技术 & 美国噪声控制的某些标准和条例。后两章重点论述了振动控制技术 & 机器的保护措施和故障诊断。最后有附录。作者通过大量的例题阐述了一些基本理论和分析问题、解决问题的方法。并且在每节之后有练习和答案,每章之后有综合性习题。可供大专院校师生及工程技术人员作参考。

本书前八章由佟浚贤译,后两章及附录由寿士荣译。译者对书中一些不妥之处作了订正。为推行国际单位制将原著中的英制单位换算成米制单位。

全书由秦严南同志校阅,并提出许多宝贵意见。在翻译过程中曾得到张治中、郭涛同志的大力协助,在此表示感谢!

由于译者水平有限,缺点错误在所难免,诚恳地希望读者批评指正。

序

本教科书是作者多年来讲授大学“工业噪声和振动控制”课程所使用的讲稿并补充了该学科许多工业短训班的成果而编写成的。本书各课题均经精心选择，并力图使所表达内容的形式既便于作大学教材又适于从事实际工作的工程师自学。

本书所使用的数学有意地保持在大学二年级学生容易掌握的水平上；然而，在大多数情况下，大学三年级学生有更好的条件，学此课程较合适。为搞清对全书极其重要的关键公式，某些选定公式的推导包括非常详细的细节。但是，对于这些细节，讲授者可酌情删减，而对解决实际问题并无严重损失。

全书自始至终英制和米制单位均使用。在附录中备有换算系数表，以便在需要时进行快速换算。我们并不力图对每一个公式、表格和插图都采用两种单位表示，仅在关键情况下才给出两种单位。其余的情况留作练习。作为单位的简化，重量以“牛顿”表示。

本书例题很多，在大多数引入重要公式与概念的小节之后，都附有练习题。这些练习大部分都比较简单，题后附有答案。每章末附加的习题一般均比练习题难，它们是用来对该章出现的新概念进行运用与论证的。奇数序号习题的答案编印于书尾。另外备有全部练习题与各章习题的完整题解，可供讲授者参考。

J. D. IRWIN 欧文
E. R. GRAF 格雷夫

目 录

第一章 声级、分贝和指向特性	1
1.1 引言	1
1.2 声波的特征	1
1.2.1 频率、周期和波长	2
1.2.2 声速	2
1.3 声级和分贝	4
1.3.1 声功率级	5
1.3.2 声压级	6
1.3.3 分贝的加、减和求平均值	8
1.3.3.1 分贝加法	8
1.3.3.2 分贝减法	11
1.3.3.3 分贝的平均值	14
1.3.3.4 $\bar{L}_p$ 的近似值	15
1.4 指向特性	16
1.4.1 指向特性因子Q	17
1.4.2 指向特性指数	17
1.4.3 $\bar{L}_p$ 的确定	19
1.4.3.1 在全部消声空间测量	20
1.4.3.2 在消声的半球面空间进行测量	24
习题	28
参考书籍	29
第二章 听觉、听力损伤和噪声的心理效应	30
2.1 引言	30
2.2 人耳	30
2.2.1 构造	30
2.2.2 频率和响度响应	32
2.3 听力损伤	33

2.4 噪声的心理效应.....	34
2.4.1 响度的说明.....	34
2.4.2 觉察噪度级.....	39
2.4.3 噪声标准曲线.....	43
2.4.4 声级.....	45
2.4.5 谈话干扰级.....	49
2.4.6 掩蔽.....	51
习 题	52
参考文献	54
参考书籍	54
第三章 噪声控制的标准和条例	55
3.1 引言.....	55
3.2 1970年颁布的职业安全与健康保护法.....	56
3.3 1972年的噪声控制法.....	58
3.4 环境噪声的特性指数.....	58
3.5 主要噪声源.....	63
3.6 来自工厂的噪声.....	64
3.7 各州和各地方政府在噪声问题上的发展趋势.....	65
习 题	66
参考文献	67
第四章 仪器	68
4.1 引言	68
4.2 测量环境.....	68
4.2.1 室内测量	69
4.2.2 室外测量	73
4.3 传声器	73
4.3.1 传声器的类型	73
4.3.2 灵敏度	74
4.3.3 特殊应用需要考虑的问题	76
4.4 声级计	79

4.5 频谱分析仪	79
4.5.1 倍频程分析仪	86
4.5.2 窄带分析仪	87
4.6 磁带录音机	94
4.7 实时分析仪	98
4.8 环境噪声测量	104
4.9 实验室测试设备	106
习题	106
参考文献	107
参考书籍	107
第五章 噪声源	109
5.1 引言	109
5.2 噪声源声功率的估算	110
5.3 通风机或鼓风机噪声	111
5.4 作为噪声源的电动机	116
5.5 泵噪声	117
5.6 空压机噪声	119
5.7 典型的建筑物设备和建筑机械所产生的噪声	122
5.8 家庭用具噪声	125
习题	125
参考文献	126
第六章 室内声学	128
6.1 引言	128
6.2 声场的命名	128
6.3 能量密度	129
6.3.1 势能	129
6.3.2 动能	131
6.3.3 总能量密度	131
6.3.4 能量密度是房间的函数	134
6.3.4.1 吸声系数和稳态能量密度	137
6.3.4.2 直接的和混响的能量	142

6.3.4.2.1 房间形状需要考虑的问题	142
6.3.4.2.2 球面波传播中的能量密度	144
6.3.4.2.3 直接和混响声场中的能量密度之和	146
6.4 声压级和声功率级	149
6.4.1 大气吸收引起声能的衰减	156
6.4.2 声级	157
6.4.3 声功率级	158
6.4.3.1 用参考声源确定声功率级	161
6.5 混响	162
6.5.1 混响时间	165
6.5.2 由混响时间确定房间常数	169
习题	170
参考文献	172
 第七章 隔墙、隔声罩和隔声板的声学	174
7.1 引言	174
7.2 透射损失和透射系数	174
7.2.1 透射损失与频率的关系	175
7.2.2 声音透射等级	178
7.3 隔墙的噪声降低	179
7.3.1 远离墙处的声压级	186
7.4 墙的构成和多层结构	188
7.5 间接的声音通道	191
7.6 隔声罩	192
7.6.1 影响隔声罩性能的各种因素	193
7.6.2 全机隔声罩或机罩	193
7.6.2.1 机罩的噪声降低	193
7.6.2.2 机罩的插入损失	196
7.6.3 小型隔声罩	200
7.6.4 局部隔声罩	201
7.7 隔声板	201
7.7.1 没有隔声板的声压级	202
7.7.2 有隔声板的声压级	202

7.7.3 隔声板插入损失	204
7.7.3.1 有隔声板的混响声场	204
7.7.3.2 隔声板绕射声场	205
7.7.3.3 隔声板插入损失公式	207
7.7.3.4 插入损失的特殊情况	208
7.7.3.5 隔声板插入损失的近似求法	214
习题	216
参考文献	220
参考书籍	221
 第八章 声学材料和结构	 222
8.1 引言	222
8.2 吸声材料	222
8.2.1 多孔材料	222
8.2.2 噪声降低系数	225
8.2.3 平板吸声器	232
8.3 管道噪声	233
8.3.1 管道中的流动噪声	233
8.3.2 管道设计需要考虑的事项	233
8.4 消声器	234
8.4.1 吸收式消声器	234
8.4.1.1 加衬的管道	235
8.4.1.2 平行式和交叉式隔声板	235
8.4.1.3 加衬的弯管	236
8.4.1.4 压气室	237
8.4.2 反作用式消声器	239
8.4.2.1 膨胀室	239
8.4.2.2 空腔谐振器	242
8.4.3 预制的消声器	245
8.5 管子包裹材料	246
习题	247
参考文献	249

参考书籍	249
第九章 工业应用中的振动控制系统	250
9.1 引言	250
9.2 振动系统	250
9.2.1 模型	250
9.2.2 自由振动	251
9.2.3 强迫振动	261
9.2.3.1 谐和激振	261
9.2.3.2 脉冲激振	265
9.2.3.3 静态位移	266
9.3 振动控制	267
9.3.1 传递率	267
9.3.1.1 力激振	267
9.3.1.2 运动激振	268
9.3.2 设计曲线	269
9.3.2.1 传递率和阻尼比的关系	269
9.3.2.2 隔振效率与 ω 和 ω_n 的关系	271
9.3.2.3 静态位移与固有频率的关系	272
9.3.3 控制技术	275
9.3.3.1 改造振源	275
9.3.3.2 隔振	275
9.3.3.2.1 金属弹簧	276
9.3.3.2.2 弹塑性支承	279
9.3.3.2.3 隔振垫	283
9.3.3.3 惯性块	285
9.3.3.4 吸振	286
9.3.3.5 主动隔振系统	288
9.3.3.6 阻尼	289
9.3.3.6.1 阻尼的度量	290
9.3.3.6.2 阻尼机构	292
9.4 结构支承的考虑	296
9.5 轴的临界转速	299

9.6 管道中的振动	300
9.7 振动测量	303
9.7.1 测量的量	303
9.7.2 测量系统	307
9.7.2.1 传感器	307
9.7.2.1.1 速度拾振器	307
9.7.2.1.2 加速度计	308
9.7.2.2 前置放大器	310
9.7.2.3 数据处理和显示设备	311
9.7.2.4 整个测量系统的性能	311
9.7.2.5 机械阻抗和导纳	314
9.8 结构动态特性的测量	317
习题	333
参考文献	335
参考书籍	336
 第十章 机器的保护措施和故障诊断	337
10.1 引言	337
10.2 振动的起因	337
10.2.1 不平衡性	338
10.2.2 旋转机械中的摩擦	338
10.2.3 不同心性	339
10.2.4 松动	341
10.2.5 由于欠阻尼引起的共振激励	341
10.2.6 油膜涡动和油膜起 泡	341
10.3 基本的转子动力学	342
10.3.1 模拟	343
10.3.2 临界转速	345
10.3.3 系统响应	346
10.3.4 稳定性	351
10.4 测试设备	355
10.4.1 传感器	355
10.4.2 数据处理和显示设备	356

10.4.2.1 振动检测器	356
10.4.2.2 偏心度检测器	356
10.4.2.3 轴向位置检测器	357
10.4.2.4 转速表	357
10.4.2.5 示波器	358
10.4.2.6 磁带记录仪	359
10.4.2.7 滤波器和相位计	359
10.4.2.8 实时分析仪	359
10.4.2.9 计算机系统	360
10.5 诊断分析	360
10.5.1 转子平衡	361
10.5.1.1 测试设备	361
10.5.1.2 轨迹	362
10.5.1.3 平衡过程	364
10.5.2 旋转机械的摩擦	376
10.5.3 不同心性	376
10.5.4 松动和油膜涡动	378
10.5.5 结束语	379
习题	380
参考文献	380
参考书籍	381
附 录	382
附录 A	382
附录 B	384
附录 C	395
奇数习题的答案	401

第一章 声级、分贝和指向特性

1.1 引言

声音可认为是通过物理介质传播的扰动。人耳听到的声音是叠加在听者周围大气压力上的一种压力波。因此，声压是周围大气压力的附加变化量。这里，我们将阐明人们称做“声音”的这些压力波的数学描述。

1.2 声波的特征

一个纯音可以很容易地来说明声波的特征。纯音是具有一定频率和振幅的正弦压力波，其传播的速度由空气的温度和压力确定。图1.1是一个理想的声音发生器，这个声源可看作是以频率 f 作正弦式膨胀和收缩的弹性球。当球膨胀时空气分子被压缩，而当球收缩时空气分子扩散，即气体稀疏了。因此，所产生的声波

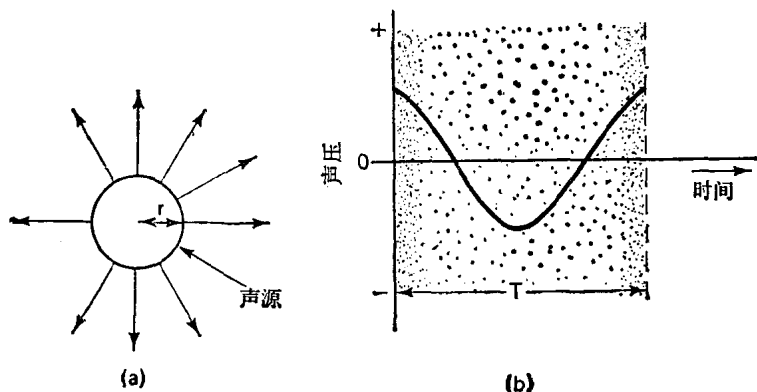


图 1-1

(a)以频率 f 振荡的球面声源产生一个球面声波 (b)由所述气体的压缩和稀疏作用而产生的正弦波压力对时间的关系曲线

频率值等于球每秒钟胀缩的次数，压力振幅峰值则是该球最大振幅的函数。

1.2.1 频率、周期和波长

“频率”这个概念在电和机械振荡中是相同的。振荡频率 f 等于每秒钟往复振动的次数，而每秒钟循环的次数就称为赫芝(Hz)。例如，美国实用电力系统提供60Hz的电源，它意味着电压的传送是以每秒60周的正弦波变化的。音调是单一纯音声波的频率。人耳感觉到的频率范围约为20~16000Hz，其最高灵敏度约在3000Hz左右。

在降低工业噪声的领域内，人们主要关注的频率范围约为63Hz~16000Hz。这是因为人耳的灵敏度在低于63Hz和大于16000Hz时，与它的最高灵敏度相比已经大大地减弱了。

图1-1描述了正弦波的周期 T 。周期与频率 f 的关系是

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

应该注意的是周期为一个完整循环所需要的时间。

波长 λ 是两个相邻波对应点之间的距离。波长、频率和传播速度之间的关系是

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

这里，传播速度 c 又是介质特性的函数。

1.2.2 声速

空气中的声速可用下式计算

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p_0}{\rho}} \text{ m/s} \quad (1-3)$$

式中

$$\gamma = \frac{\text{定压比热}}{\text{定容比热}}$$

p_0 ——环境或平衡状态下的压强；

ρ ——环境或平衡状态下的密度。

在所研究的范围内，就空气来说 γ 取作1.4；则(1-3)式即成为

$$c = \sqrt{\frac{1.4 p_0}{\rho}} \quad \text{m/s} \quad (1-4)$$

根据比值 $\frac{p_0}{\rho}$ 与气体温度有关这一事实, 上式可进一步简化。又假设空气实际上性能象理想气体一样, 则声速 c 与绝对温度的关系是

$$c = 20.05 \sqrt{T} \quad \text{m/s} \quad (1-5)$$

式中开氏(Kelvin)温度 T 是

$$T = [273.2^\circ + \text{℃ (摄氏温度)}] \text{deg} \quad (1-6)$$

例1-1 当温度为 21.1°C 时, 试计算空气中的声速。求在该温度下 1000Hz 纯音的波长。

解 $T = (273.2^\circ + 21.1^\circ)$

$$= 294.3^\circ\text{K}$$

$$c = 20.05 \sqrt{294.3} = 344 \quad \text{m/s}$$

$$\text{在 } 1\text{kHz} \text{ 时 } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{344}{1000} = 0.344 \quad \text{m}$$

值得注意的是, 一般建筑材料中的声速与空气中的声速大不相同, 这就意味着这些材料中的波长相应地不同于空气中的波长。这在隔绝低频声音时尤为重要。表 1-1 列出了某些常用建筑材料中声速的近似值。为了便于比较也列出了空气和水中的声速近似值。所有这些数值都是在室温下选取的。

表1-1 在室温下(21.1°C)某些常用介质的声速近似值

材 料	声 速	材 料	声 速
	m/s		m/s
空气	344	铅	1219
水	1372	钢	5182
混凝土	3048	硬木	4267
玻璃	3658	软木	3353
铁	5182		

例1-2 计算和比较 1000Hz 纯音在钢和空气中的波长。

解 在钢中, $c=5182 \text{ m/s}$

则在钢中,

$$\lambda = \frac{5182}{1000} = 5.182 \text{ m}$$

在空气中, $c=344 \text{ m/s}$

则在空气中,

$$\lambda = \frac{344}{1000} = 0.344 \text{ m}$$

比较两个波长

$$\frac{\lambda(\text{钢})}{\lambda(\text{空气})} = \frac{5.182}{0.344} = 15.1$$

即钢材中的波长比空气中的波长长15.1倍。

练习1-1 0°C 时, 空气中一声波的波长为 0.025m , 求其频率。

答: $f=13.26 \text{ kHz}$

练习1-2 室温下, 在(a)水、(b)玻璃、(c)铅中传播的声波频率为 5.5kHz 。分别求其波长近似值。

答: (a) 0.249 m (b) 0.665 m (c) 0.222 m

1.3 声级和分贝

通常, 声压和声功率是以分贝表示的。这就允许我们使用对数而不用线性比例尺。采用分贝比例尺的明显优点是: 使我们的计算在小数字内进行而不用作大数字计算。

分贝原是电气工程师开始用于电讯领域, 但在声学方面它也是适用的, 即简单地用声压和声功率分别代替电压和电功率。此外, 由于分贝是所研究数量与一个任选参考量的比值取以10为底的对数, 对数值是无量纲的。因此, 以分贝表示的量是与选定的参考量有关的数量级。其数学表达式是

$$\text{声功率级} = 10 \lg \left(\frac{W}{W_0} \right) \text{ dB} \quad (1-7)$$