

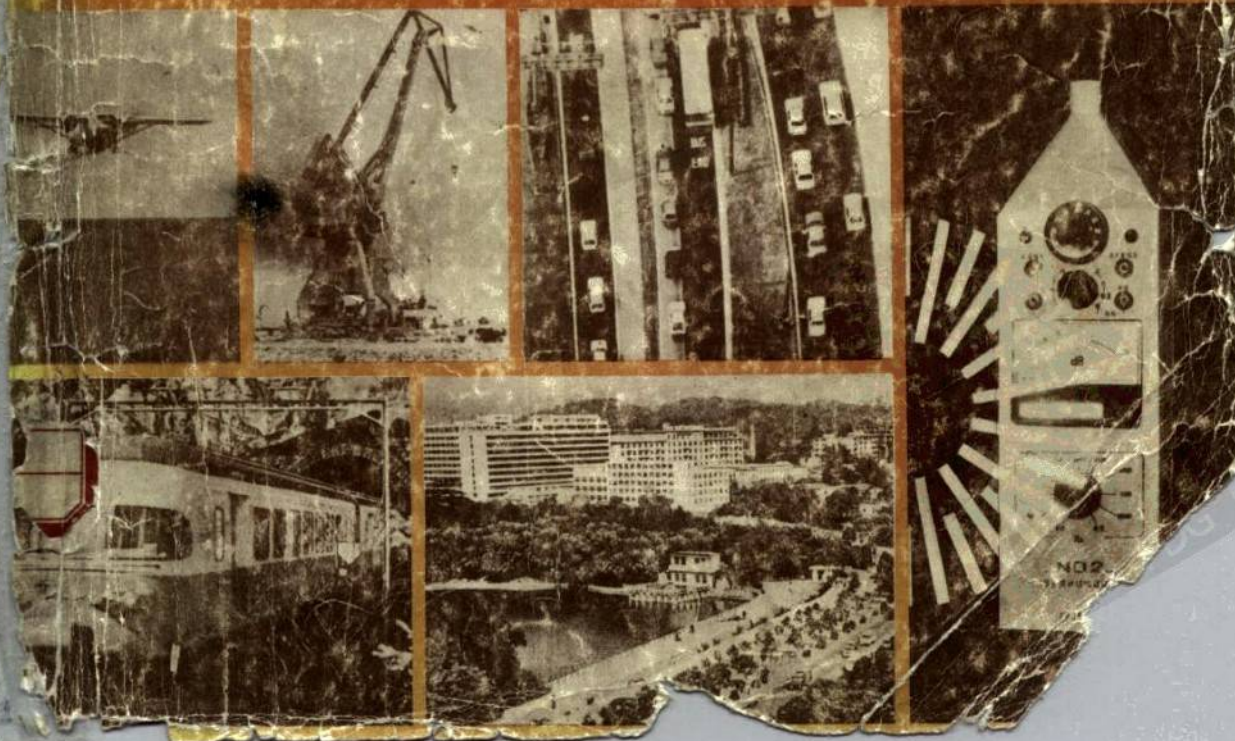
声级计测量噪声与振动技术

电子工业部国营红声器材厂

SHENG JI
CE LIANG ZAO SHENG
YU ZHEN DONG
JI SHU



Guoyinghongshengqicaichang 1984



声级计测量噪声与振动技术

刘万有 编 著

电子工业部 国营红声器材厂

4012977

内 容 简 介

本书从介绍噪声与振动的基本特性和人耳的主观感觉特性开始,引导出对噪声评价的各种方法和标准;又以ND2精密声级计为例,阐述了噪声测量仪器的基本原理以及达到仪器设计指标的正确操作方法和使用注意事项;综合了国际上近年来的研究成果,系统地给出噪声和振动的测量技术;并且具体而详尽地给出测量实例,帮助测量者准确而有效地进行测量。书中还介绍了国际噪声测量仪器的发展趋势和近况,这对于噪声测量仪器的制造、使用者都具有启发与帮助作用。

本书适合于环境保护、卫生防疫、工厂、矿山、科研设计和大专院校等部门的噪声研究、控制和测量的技术人员使用,是噪声与振动测量的必备资料。

声级计测量噪声与振动技术

刘万有 编著

* * *

电子工业部国营红声器材厂《红声技术》编辑部出版

通讯地址:江西省吉安市615信箱 吉安市印刷厂印刷

* * * *

787×1092 1/16 印张20 46.2千字

1984年8月第一版 1984年8月第一次印刷

印数: 00,001—10,000册 定价: 2.80元

前 言

自本世纪七十年代以来,噪声污染已成为世界上三大社会公害之一。随着我国工业化水平的提高,噪声污染日益严重地危害着人们的身心健康,妨碍着人们的正常工作和生活。因此,我国对噪声的研究和控制日益重视。要进行研究和控制工作,必须按照国际、国内的有关标准进行噪声测量。在这种形势下,国内声学测量仪器的数量激增。其中主要品种是声级计,约有二万余台。

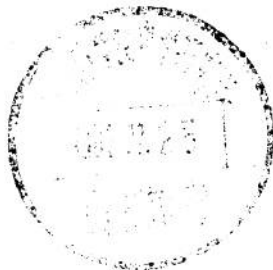
我国对噪声的研究、防护和治理工作起步较晚,而从事此项工作的人员多为非专业人员。因为大多数人才开始接触这方面的工作,所以当前迫切需要仪器使用及测量方面的知识。而现在国内有关噪声和振动测量方面书籍还很少,远远满足不了需要。编著此书,目的在于帮助测量者正确地使用仪器,准确地进行测量,获得有效的测量结果。渴望其对于初学者有启蒙的作用;对于已入门者有提高作用;而对于专业人员也具有参考和帮助作用。

本书所采用的声学量和单位,除个别已注明之外,均执行国家标准(GB3102.7—82)。此标准之外的量,视本书的相应需要而定,但都尽量靠国际上的有关标准。

在此书的编著过程中得到电子工业部质量协会理事、国营红声器材厂厂长王春忠同志和江西省电子协会常务理事、高级工程师王忠毅同志的具体帮助和指导。本书由赵克勤工程师主审,葛庆林同志为责任编辑,此外还得到一些其他有关同志的热情支持和帮助,在此表示衷心感谢!

由于编著时间仓促及编者水平和参考资料的限制,错误和不足之处敬请批评指正。

编 著 者



4012977

目 录

第一章 噪声测量基础知识	1
§1.1 序言	1
§1.2 声的性质	1
1.2.1 声速	1
1.2.2 波长、频率和周期	2
1.2.3 声压	3
1.2.4 球面波	3
1.2.5 声的反射和散射	5
1.2.6 房间中的声特性	5
§1.3 声级与分贝	6
1.3.1 声功率级	6
1.3.2 声压级	7
1.3.3 分贝加法	9
1.3.4 分贝减法	11
1.3.5 分贝平均	12
§1.4 生理声学	14
1.4.1 人耳的听觉机构	14
1.4.2 评价带概念	16
1.4.3 掩蔽效应	16
1.4.4 听力损失	17
§1.5 噪声的评价方法	18
1.5.1 响度级与响度	18
1.5.2 声级	23
1.5.3 感觉噪声级	26
1.5.4 噪声标准曲线	27
1.5.5 语言干扰级	28
§1.6 噪声控制标准	30
1.6.1 基于听力损失危险的噪声控制标准	31
1.6.2 基于烦恼影响的噪声控制标准	32
§1.7 噪声控制技术	34
1.7.1 噪声控制原则	34

1.7.2 具体技术措施	35
第二章 精密声级计和倍频程滤波器的使用技术	38
§ 2.1 序言	38
§ 2.2 电容传声器	39
2.2.1 换能原理	40
2.2.2 性能特点	41
2.2.3 使用技术	44
§ 2.3 放大器与衰减器	45
2.3.1 输入级和放大器的考虑	46
2.3.2 保证高低声级在表头上都有适当的指示和大的动态范围	49
2.3.3 保证声测量过程的最大信噪比	40
2.3.4 使输入放大器的过载失真减少到最低限度	50
2.3.5 使用技术	50
§ 2.4 均方根值检波器	51
2.4.1 工作原理	51
2.4.2 平均时间和所允许的最大峰值因数	54
2.4.3 表头读数技术	54
§ 2.5 倍频程滤波器及频谱分析技术	55
2.5.1 频谱分析	56
2.5.2 倍频程滤波器的概念与原理	57
2.5.3 频谱分析技术	60
§ 2.6 声级计的附件及其作用	62
2.6.1 风罩	63
2.6.2 养维	63
2.6.3 无规入射校正器	65
2.6.4 配合器	67
2.6.5 延伸杆和延伸电缆	67
2.6.6 积分器	68
2.7 声级计的校正	71
2.7.1 电源校正	71
2.7.2 电气校正	71
2.7.3 声学校正	72
第三章 声级和声功率测量技术	76
§ 3.1 引言	76
§ 3.2 声级测量技术	76
3.2.1 声级测量中的一般考虑与步骤	77

3.2.2 声级计的选择	77
3.2.3 传声器的选择	80
3.2.4 声级计的指向性	82
3.2.5 声反射作用	82
3.2.6 背景噪声的影响	83
3.2.7 噪声性质的影响	85
3.2.8 仪器的影响	86
3.2.9 室内声级测量	86
3.2.10 室外测量	88
§ 3.3 声功率测量技术	88
3.3.1 声功率级和声压级的关系	88
3.3.2 声功率测量	94

第四章 振动测量技术 102

§ 4.1 引言	102
§ 4.2 振动特性	102
§ 4.3 振动危害	108
§ 4.4 加速度计	110
4.4.1 加速度计的接能原理	110
4.4.2 加速度计类型	111
4.4.3 加速度计的灵敏度	112
4.4.4 加速度计的频率响应	114
4.4.5 谐振频率	114
4.4.6 加速度计和前置放大器的连接	115
§ 4.5 振动测量技术	118
4.5.1 加速度计的选择	118
4.5.2 加速度计的安装	120
§ 4.6 对测量精度的几种影响	124
4.6.1 加速度计的影响	124
4.6.2 安装加速度计的影响	125
4.6.3 安装试验装置的影响	125
4.6.4 背景振动的的影响	125
4.6.5 对峰值、均方根值、平均值使用上的影响	125
4.6.6 连接电缆引起的干扰噪声	126
4.6.7 地环路引起的噪声影响	126
§ 4.7 振动测量系统的校正	126
§ 4.8 振动测量的一般考虑和方案	126

§4.9 振动测量系统的使用技术	128
4.9.1 ND2声级指示与加速度、速度和位移的换算	128
4.9.2 声源和噪声的关系	130
4.9.3 为机器维修保养目的的测量	130
4.9.4 冲击测量和分析	131
第五章 噪声和振动测量实例	132
§5.1 引言	132
§5.2 测量机器所发出声功率的实例	132
5.2.1 在消声室内或室外半自由场中的测量	132
1、消声室体积的考虑	133
2、机器安装和假设测量球面的考虑	133
3、实际测量考虑	134
4、测量数据的处理	134
5.2.2 在混响室中测量声功率	139
1、混响室体积的考虑	140
2、选择测量点的考虑	140
3、混响室内进行测量的考虑	141
4、混响室中声功率级的计算	142
§5.3 噪声治理测量的实例	144
5.3.1 声级计、传声器和声级计附件的选择	145
5.3.2 治理前诊断性的测量和测量点的选择	145
5.3.3 隔声罩的设计	147
1、对隔声罩设计与施工的几点说明	149
2、隔声罩隔声能力的计算	150
5.3.4 安装后的隔声效果测量	151
§5.4 城市环境噪声测量实例	155
5.4.1 城市交通噪声的测量	157
1、声级计、传声器和声级计附件的选择	158
2、测量时间、地点和气候的选择及其读数方法	159
3、测量的数据处理	159
5.4.2 城市环境噪声的测量	167
1、城市环境噪声测量位置的选定	168
2、环境噪声的数据处理	169
5.4.3 昼夜24小时环境噪声监测	172
5.4.4 结束语	176
1、城市交通噪声测量报告	178
2、市区内环境噪声测量报告	178
3、24小时城市环境噪声监测报告	178

§5.5 建筑声学测量实例	178
5.5.1 引言	178
1、厅堂的音质	179
2、建筑物的隔声	179
3、噪声控制	179
5.5.2 混响时间测量	180
1、混响时间的概念	180
2、房间和厅堂的声学设计原理及声学处理手段和方法	183
3、测量混响时间的仪器及考虑	190
4、混响时间测量结果举例	192
5.5.3 声场分布的测量	193
1、模型测量方法	194
2、已建完好房间中声场分布的测量	195
5.5.4 声吸收的测量	195
5.5.5 隔声的测量	198
1、空气传播噪声的隔离	199
2、改善建筑构件隔离空气传声的方法	203
3、空气传播声隔离的测量	206
4、撞击声的隔离	207
5、改善撞击隔声的方法	208
6、撞击声隔绝的测量	210
7、隔声评价方法、标准和实测值	211
§5.6 音频测量设备使用举例	214
5.6.1 和IEC 318耳、NBS 9A耳配合使用	215
1、两种仿真耳性能介绍	215
2、测量装置的校准和耳机的测量	215
3、校准听力计	217
5.6.2 和2立方厘米耦合腔配合测量助听器	219
1、2立方厘米耦合腔和助听器测试盒	219
2、测量系统的校准	221
3、助听器测量过程	221
4、听力测量	221
5.6.3 和仿真耳配合使用	222
§5.7 振动控制测量举例	223
5.7.1 振动隔绝原理	223
5.7.2 隔振系统的选择与安装	225
1、在刚性机械的底座四角安装四个弹簧	225
2、隔振安装系统的横向稳定性	226
3、高频波动的影响	226
4、地基部分的影响	226
5、安装过程中的实际考虑	228

5.7.3 振动控制结果的测量	229
第六章 声级计的保养和维修	230
§ 6.1 引言	230
§ 6.2 声级计的正确使用与保养	230
§ 6.3 ND2型精密声级计和倍频程滤波器的典型线路	231
6.3.1 ND 2输入级线路	231
6.3.2 ND 2输入放大器线路特征	235
6.3.3 ND 2输出放大器的线路分析	236
6.3.4 ND 2的电源线路	238
6.3.5 ND 2倍频程滤波器的典型线路分析	239
§ 6.4 声级计故障的寻找	243
6.4.1 操作检查法	243
6.4.2 仪器寻找法	244
§ 6.5 声级计的修理	245
6.5.1 ND 2输入级中场效应晶体管击穿的修理	245
6.5.2 ND 2衰减器的修理	245
6.5.3 ND 2电气性能的修理	246
§ 6.6 声级计的检验和校正	252
第七章 声学测量仪器的发展近况和趋势	255
§ 7.1 概述	255
§ 7.2 积分声级计	256
7.2.1 一些有关概念	256
7.2.2 三个量之间的关系	257
7.2.3 积分声级计在设计方面的考虑	258
7.2.4 噪声级分析仪的工作原理	260
§ 7.3 实时频谱分析仪	262
7.3.1 串联型滤波器分析仪	262
7.3.2 实时分析仪的分类	262
7.3.3 并联型实时分析仪	263
7.3.4 时间压缩型实时分析仪	264
7.3.5 傅里叶变换实时分析仪	265
§ 7.4 声强测量仪	268
7.4.1 声强计的分类	269
7.4.2 使用模拟技术的声强计	270
7.4.3 声强实时分析仪	271

7.4.4 声强测量探头系统的设计	272
§ 7.5 近期声学仪器发展上体现出的特点和趋势	274
7.5.1 结果显示数字化	274
7.5.2 一机多用化	274
7.5.3 微处理化	275
§ 7.6 测量系统自动化	276
7.6.1 系统接口	276
7.6.2 程序编制	277
7.6.3 电子计算机的选择	277
7.6.4 测量系统自动化的简单举例	278
第八章 附录	279
附录A 声学单位、基准量、常数及换算关系	279
§ 8.1 声学单位	279
§ 8.2 主要声学量的级和基准量	279
§ 8.3 声学常数	280
§ 8.4 分贝和比值的换算	281
8.4.1 给出分贝求功率和声压比	281
8.4.2 给出声压比求分贝	282
8.4.3 用于振动读数的变换	293
8.4.4 加速度和速度级	295
§ 8.5 声级组合图	295
8.5.1 声级相加	295
8.5.2 声级相减	296
§ 8.6 噪声评价参数	296
附录B 有关国际标准	297
§ 8.7 国际标准化组织(简称ISO)标准	297
§ 8.8 国际电工委员会(IEC)标准	298
附录C 传声器的互易校准方法	300
§ 8.9 概述	300
§ 8.10 耦合腔互易校准	302
§ 8.11 用静电激励器校准频率响应	306
§ 8.12 自由场灵敏度频率响应的修正	308
附录D 频率、加速度、速度、位移列线图	308
主要国外参考文献	310

第一章 噪声测量基础知识

§ 1.1 序 言

人耳能听到的从空气中传播来的声音,基本上分为噪声、音乐和语言三大类,而且以噪声的数量为最多。

要研究、利用和控制这些声音,必须对它们进行客观测量和主观评价。要对噪声进行准确而有效地测量,就必须对噪声的基本性质有所掌握和了解。如果对它们的基本性质不认识,就不会考虑到声特性的影响,而使测量产生较大的误差,甚至使测量结果变得完全没有意义。

声音是人们的朋友,也是人们的敌人。语音使人交流思想,音乐给人以美的享受,但是噪声却使人烦恼,干扰人们的工作和休息,强噪声还会引起人的听力损失甚至造成耳聋。

在研究和测量噪声的时候,既要研究和测量它的物理特性,又要研究人的主观感觉特性。为此,必须对作为声接受器官的人耳及其特性有一定的了解和认识。在对噪声进行诊断性和控制性的测量中,必须了解和掌握噪声的评价方法与噪声的控制标准。

本章主要介绍噪声测量中有关的声的性质、分贝计算、生理声学、噪声评价方法、噪声控制标准及噪声控制技术等基本知识。

§ 1.2 声的性质

物体的振动是产生大多数声波的缘由。通常人们都把产生声波的振动物体称为声源。物体的振动使得周围的空气分子随之振动,由于空气分子间的弹性联结,振动物体向前运动时就压缩它前面的空气;振动物体向后运动时空气就迅速地给予填充。这样往复运动就使得振动得以传播出去。声振动的传播,就象水波一样是由近及远的。满足一定条件的这种振动传播到人们的耳朵里,这就是所听到的声音。除空气之外,凡具有惯性和弹性介质,诸如气体、液体和固体都能传播振动。

1.2.1 声 速

空气在传播振动时,空气的分子不是从某一位置传播到很远的另一个位置,而是在它静态平衡点附近来回运动。介质在传播振动时是将物体振动的动能和位能传到远方,这种能量的传播是以一定的速度进行的,这种能量传播的速度叫做声速。此外要特别指出,声速既不是空气分子传播的速度,也不是空气分子在它平衡位置附近的振动速度。

声是借助可传播它的介质的原子或分子间互相作用的弹力传播的,因此声速是决定于介质分子的质量和它们之间相互作用的弹力,即介质的密度和压力。在空气中的声速

为:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho}} \quad \dots\dots\dots 1-1$$

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

P_0 是空气的静压力;

ρ 是空气的密度。

在一般空气条件下, γ 为 1.4, 因此式 1-1 可改写为 $c = \sqrt{\frac{1.4 P_0}{\rho}} \quad \dots\dots\dots 1-2$

式中 P_0 / ρ 比值与空气的温度有关, 在把空气作为近似理想气体时, 可将式 1-1 进一步简化为:

$$c = 20.05 \sqrt{T} \quad \dots\dots\dots 1-3$$

$$T = 273.2 + \text{空气摄氏温度} \quad \dots\dots\dots 1-4$$

从上述可以看出不同介质中的声速是不同的, 这一点在噪声的测量和研究中都是很有用的。

1.2.2 波长、频率和周期

在空气介质中, 声是以纵波的方式传播的。在传播方向上空气密度产生疏密变化, 如图 1.1 所示。图中, 相同的分子形状和分子组间的距离叫波长, 用符号 λ 表示; 从一种分子形状和分子组传播到相邻的相同的分子形状和分子组间所需要的时间, 叫做声波周期, 用符号 T 表示; 声波的频率就是每秒空气分子所实现周期的次数, 用符号 f 表示。从

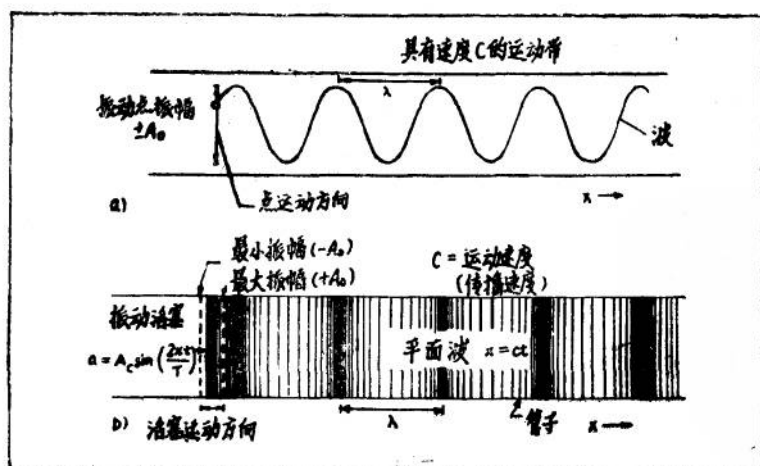


图 1.1 振动波的形成

定义可知:

$$T = \frac{1}{f} \quad \dots\dots\dots 1-5$$

因声速只取决于介质的物理性质,当声波的频率改变时,只改变了声波的波长,所以与频率变化无关。依据上述的定义有等式:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad \dots\dots\dots 1-6$$

式 1-6 对于一般的声学测量非常重要,为了方便记忆和直观明了,我们将 20℃ 时空气中波长与频率的关系示于图 1-2。

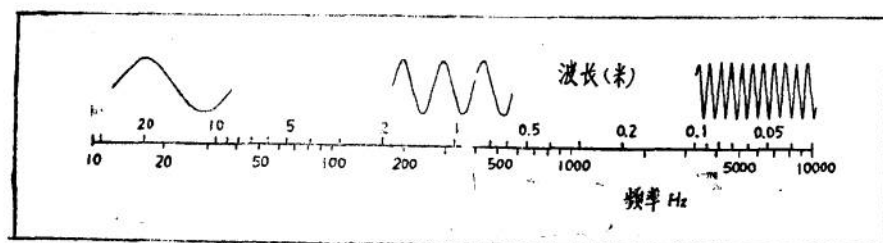


图 1-2 20℃ 时空气中的波长与频率变换图

1-2-3 声 压

声速、频率和声压是声测量中最基本的三个量。而声压是有效地表示声波幅度的一个客观量,一些其它的量,如声功率等可以由声压这个量来计算。

如图 1-1 所示,声在空气中传播时,空气分子的密度就有增减的变化,测量这些密度变化的最一般的方法是测量空气压力变化。人耳听到的声音是以压力波叠加在静大气压力上的,因此声压就是大气压力上的增量变化。声压与大气压力比较是非常小的,人耳不能忍受的响声也仅为大气压力的千分之一。

1-2-4 球面波

对声波特性的理解可归结为对简单波特性的认识。在实际中较常遇到的一种简单的声波叫做球面波。可以想象这样的波是从一个脉动球的点声源发出来的声波,如图 1-3 所示。

这个脉动球以某一频率正弦地扩张和收缩。当扩张时,其周围的空气分子被压缩变密;而当收缩时,其周围的空气分子被扩张变稀。这样,在没有任何障碍物时,它就辐射出以脉动球球心为圆点的球面波来。

假设脉动球所辐射的声功率为 W ,那么在距声源 r 处的 (r 距声源要足够的远) 平均声强为:

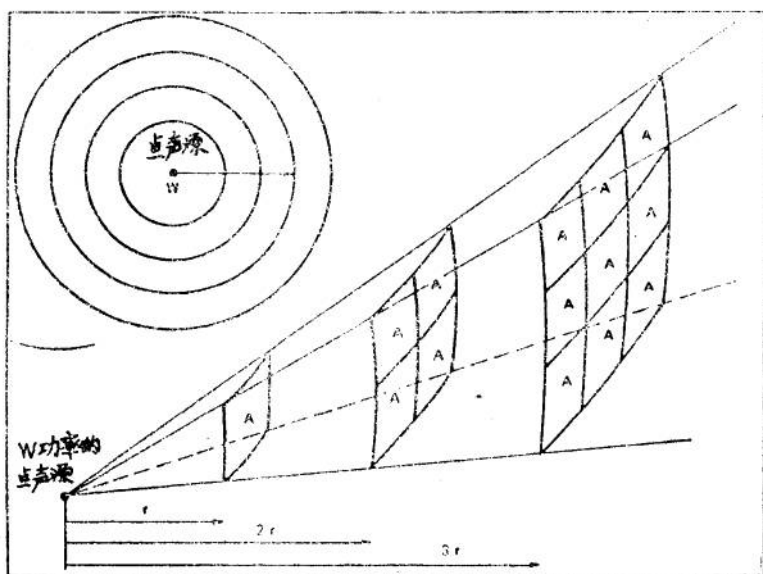


图1-3 脉动球点声源的声辐射

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{P^2}{\rho c} \quad \dots\dots\dots 1-7$$

这个平均声强也比例于 r 处的声压平方，因此可以得到公式：

$$P = \sqrt{\frac{W\rho c}{4\pi}} \cdot \frac{1}{r} \quad \dots\dots\dots 1-8$$

式中 c 为声速；
 ρ 为空气密度；
 P 为声压。

如果用声级表示 r_0 处与 r 处之间的声级，则：

$$L_r = L_{r_0} - 20 \log_{10} \frac{r}{r_0} \quad \dots\dots\dots 1-9$$

式中 L_r 为 r 处的声级；

L_{r_0} 为 r_0 处的声级。

这个公式叫做反比距离定律（有时也叫反比平方律），它表达了声源向声远场自由辐射的规律，**即每**当距离增加一倍时声压降低6分贝，此定律在声学研究和测量中经常使用。

1.2.5 声的反射和散射

当声在传播途中遇到障碍物时,就会产生绕射、反射、透射和散射。对于声测量影响较大的是反射和散射。产生反射和散射的大小,主要决定于障碍物物理尺寸和声波波长的关系。如果障碍物的物理尺寸小于声波波长时,声波在所有方向上散射,散射波的幅度比例于障碍物的体积和反比于声的波长;当声波波长,可以和障碍物的物理尺寸相比较时,声扩张到障碍物的周围产生绕射;当障碍物的物理尺寸比声波波长大许多时,反射、散射现象就会同时产生,并在障碍物后造成“声影区”。由于障碍物的反射与散射作用改变了声场特性,因此在声学测量和研究时应特别注意。

1.2.6 房间中的声特性

在房间中的声源,例如机器所发出的声音,在房间中所形成的声场与测量点到声源距离的关系示于图1.4。

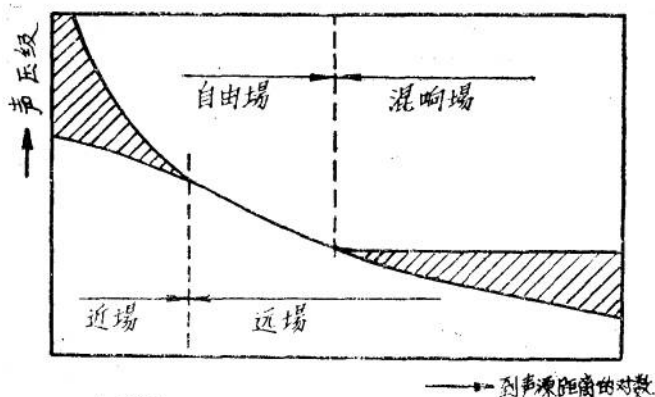


图1.4 房间中声场随着声源距离变化

第一个区域接近声源,是近场。声压依赖于测量点到声源的距离,这个区域的声压可以保持不变或者可以降低。第二个区域中声压符合反比平方律的性质。在这个区域内,从声源来的直达声远比从墙上或其他房间表面反射的声大。在第三个区域内,反射声占统治地位,并且各处声压比较一致。我们生活中所遇到的声源多数不是点声源,因此声压随距声源距离的增加而降低并不是规律的。

转折距离 r_c 是二区和三区的连接处,在这个距离 r_c 上声压由反比平方律变到声压相对的一致。

如果有很多机器挤在一个层高很低的房间里,房间里则有平均吸声系数 $\bar{\alpha}$,并有 N 个相同的安装机器的地板,所有机器向各个方向发出相同的噪声,这个转折的距离是:

$$r_c = 0.20 \sqrt{\frac{S_a}{N}} \quad \dots\dots\dots 1-10$$

式中的S是房内六个面的总面积。

若增加房间平均吸声系数，应注意这仅能降低三区的声压。在对室内声的研究、测量和控制中，图1·4是很有帮助的。

§ 1·3 声级与分贝

在研究声的过程中，一般都测量声压的均方根值。在表示声压的大小时使用两种单位制，在研究工作中和以前习惯使用的是厘米·克·秒制，即CGS制。声压单位 = 达因/厘米² = 微巴。在工程上和近来较普遍地采用的是米·千克·秒制，即MKS制。声压单位 = 牛顿/米² = 帕。这两种单位制的换算为：1微巴 = 0.1帕。

人能听到的最小声压是非常小的，但是人所能感觉到的声压范围却非常大。在1000赫，一般人平均所能感觉到的最小声压是 2×10^{-4} 微巴 (2×10^{-5} 帕)。另一方面，除痛域外人所感觉到的最大声压是1000微巴，这就是说声压刻度所复盖的范围是1000000倍级的，所以在声测量中直接用微巴表示声压的刻度极为不方便。从韦伯—费柯那 (Weber—Fechner) 定理，即人对一定刺激变化的响应反比于变化之前的绝对刺激，数学表达为：

$$\frac{dR}{dE} = \text{常数} \times \frac{1}{E} \quad \dots\dots\dots 1-11$$

可知人耳听觉机构是以相对的方式，而不是以绝对的方式响应于声压。根据人们的听觉特性，以及为了计算和指示的方便，通常人们都将声压表示为相对的对数刻度声压级。

相对的对数刻度是一个无量纲的量，单位是分贝，符号为英文分贝的缩写 dB。这种表示起源于电气工程的通讯方面，只要简单地分别将声压代替电压，将声功率代替电功率就可以应用于声学方面来。

1·3·1 声功率级

分贝表示为以10为底的所求量与参考量之比的对数乘以10。声功率级表示给定声源所发射的声功率。声功率级定义为：

$$L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \text{ dB} \quad \dots\dots\dots 1-12$$

式中 W 为所求的声功率，

W_0 是参考声功率。

参考声功率现已国际标准化了。即以 10^{-12} 瓦作为参考 (个别老文献中，也有使 10^{-13} 瓦为参考的)。因此，式 1-12 可简化为：

$$L_w = (10 \log_{10} W + 120) \text{ dB} \quad \dots\dots\dots 1-13$$

181