

交通噪声及其控制

任文堂 鄯维周 编著

人民交通出版社

71.54
216

DG62/01

Jiaotong Zaosheng Ji Qi Kongzhi

交通噪声及其控制

任文堂 郗维周 编著



人民交通出版社

401.542.25

内 容 简 介

本书是介绍道路交通噪声控制的中级技术读物，重点阐述了道路交通、汽车和发动机噪声及其控制措施，对噪声控制的基本原理和方法也作了一定介绍。

本书可供交通运输、环境保护、劳动保护、汽车和发动机制造与修理、城市建设以及其他工业部门的技术人员、工人、干部参考。

交通噪声及其控制

任文堂 郝维周 编著

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：11.375 字数：243千

1984年9月 第1版

1984年9月 第1版 第1次印刷

印数：0001—12,060册 定价：1.75元

1002102

前 言

随着城市工业和交通运输的发展，交通噪声日趋严重。噪声会影响人们的正常工作、学习和休息，强噪声还会危害人们的身体健康。噪声已经成为一种城市公害，噪声控制已成为环境科学中一门重要学科。

由各种机动车辆所产生的交通噪声，无论从它们所产生的噪声能量还是影响的范围来说，都是现代城市中最主要的噪声源。本书是介绍道路交通噪声及其控制的中级读物，重点阐述了道路交通、汽车、发动机噪声及其控制技术，对于噪声控制基本原理和方法也作了一定介绍。本书第一至三章介绍了声波和噪声的基础知识，第四章概述了噪声控制的基本原理和方法，第五章介绍了交通和车辆噪声的试验方法，第六章较详细地介绍了汽车、发动机各种噪声的产生机理以及降低这些噪声的途径，第七章介绍了道路整体噪声及其控制。

本书承清华大学张昌龄教授审阅了原稿，特此致谢。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

作 者

4012984

目 录

前 言

第一章 声波的产生和传播..... 1

一、声波的性质..... 1

二、声在大气中的传播..... 9

三、均方根声压.....12

四、声功率和声强.....14

五、声波的干涉和共振.....15

第二章 噪声及其量度.....19

一、噪声和噪声源.....19

二、声压级和声功率级.....24

三、级的计算.....28

四、频谱.....31

五、响度和响度级.....33

六、噪声的评价和标准.....38

第三章 噪声的测量和分析.....45

一、声音信号的分析.....45

二、话筒、滤波器和放大器.....48

三、声级计、频谱仪和记录仪.....60

四、噪声的记录和贮存.....71

五、噪声剂量仪和统计分布分析仪.....76

第四章 噪声控制原理和方法.....81

一、噪声控制基本原理.....81

二、吸声·····	84
三、消声器·····	101
四、噪声隔离·····	122
五、振动的隔离和阻尼·····	138
六、个人防噪声措施·····	155
第五章 车辆交通噪声测量和评价·····	157
一、车辆噪声测量和评价·····	157
二、发动机噪声测量·····	162
三、汽车随机模拟试验·····	167
四、道路交通噪声测量和评价·····	173
第六章 汽车噪声及其控制·····	179
一、汽车噪声总论·····	179
二、发动机噪声·····	188
三、进气噪声·····	249
四、排气噪声·····	257
五、风扇噪声·····	270
六、齿轮噪声·····	276
七、轮胎噪声·····	286
八、制动噪声·····	297
九、车体振动噪声·····	309
第七章 道路交通噪声·····	316
一、车辆声功率级·····	316
二、道路交通噪声特性·····	319
三、道路交通噪声的理论模型·····	325
四、用诺模图法估算交通噪声·····	330
五、道路交通噪声的传播·····	334
第八章 道路交通噪声控制·····	340

一、低噪声车辆的研究	340
二、公路设计	344
三、城市规划和建设	349
四、标准和法规	355
参考文献	357

第一章 声波的产生和传播

一、声波的性质

1. 声波的运动

声音是我们在日常生活中经常遇到的一种自然现象。喇叭的膜片往复运动时，产生了声音；水在管道中高速流动时，产生了声音；火车的汽笛排放高压蒸气时，也可以产生声音。在任何弹性介质中（包括固体、液体和气体），某一点的稳定状态，由于物体的运动而受到扰动，在该点就会产生波，并向周围传播。如果这种波的频率是处于20~20000赫，就称为声波。人们平时所听到的声音，就是由于某一物体的振动，空气同样也被激发振动传到入耳，引起人们对声音的感觉。低于20赫的波，称为次声，高于20000赫的波，称为超声，这些波都是人耳感觉不到的。噪声控制就是研究可听频率范围的声波（20~20000赫）产生、传播和控制技术的一门学科。

声音像其他自然现象一样，也是物质的一种运动形式。当声波在弹性介质中运动时，使介质中的压力在稳定压力 p_0 附近增加或者减少，产生了压力的起伏变化，这个压力变化量，称其为声压。在标准大气压中，稳定大气压为 10^5 帕。声压要比大气压小得多，一般处于 $2 \times 10^{-5} \sim 20$ 帕范围。

物体振动所以能把声波辐射出去，其必不可少的条件是振动物体周围的弹性介质。任何弹性介质（如空气），都具

有一定的质量密度和弹性。质量密度使流体体积元受到声波作用后，产生一个离开平衡位置的位移（也称位移），并把运动能量传递给相邻的体积元。介质的弹性则使流体受到声波作用后，又能回到它的平衡位置。它们的作用，类似于一个带有一个质量的弹簧。这样，物体的振动就被周围的介质以声波的形式向周围传播出去。因此，振动是声波产生的根源，而声波则是振动传播的过程。

声源辐射出来的声音，按照传播介质的不同，可以分为空气声、水声和固体声。在噪声控制中，主要研究的对象是空气声。当然，由于各种介质的密度、弹性系数不同，声波传播的速度和运动的特征也不同。声源辐射出的声波在某一时刻到达各点所形成的面，叫作波前。按照波前的形状，也可以把声波分为平面波、球面波、柱面波等各种类型。

2. 平面波

当把石头投入水中时，我们会看到水波的波前呈现圆形。当波传到足够远的距离时，波前近似可以看作是平面。类似的情况也可以发生在空气中声波的传播。当一个点声源在无反射物的自由空间中辐射声波时，在比较近的距离是球面波，在距离足够大时，同样可以近似认为是平面波。

所谓平面波，是指在垂直于声波传播方向的任何平面上，具有相同声学性质的波。最简单的平面波是在很长的直管道中传播的声波。

在一个直的管道中，如果一个活塞做频率为 f 的简谐振动时（见图1-1），活塞在时间 t 时的位移为：

$$X = A \sin 2 \pi f t \quad (1-1)$$

式中 A ——活塞最大振动位移。

假定活塞是完全刚性的，并且管道无限长，当活塞离开平衡

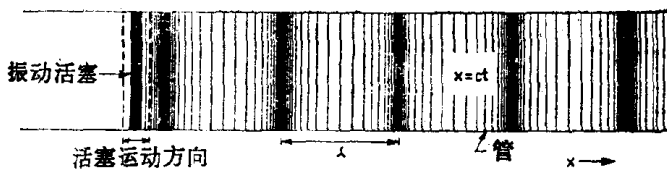


图1-1 运动活塞在管中产生的声波传播

位置向前运动时，活塞前面的空气被压缩，这部分的压力比大气压要大一些。活塞离开平衡位置向后运动时，空气变得更稀疏些，压力也比大气压小一些。每经过时间 T 之后，活塞运动完成一个循环，声压变化也完成一个循环。时间 T 称为周期。相应地在管道中产生的声波频率：

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{赫}) \quad (1-2)$$

圆频率：

$$\omega = 2\pi f \quad (\text{弧度/秒}) \quad (1-3)$$

由于活塞的运动，空气被压缩和稀疏而产生的波，以一定的速度 c 传播， c 称为声速。声波在一个周期所传播的距离是 λ ，它们之间具有下列关系：

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT = \frac{2\pi c}{\omega} = \frac{2\pi}{k} \quad (\text{米}) \quad (1-4)$$

式中 k ——圆波数。

当考虑平面波的运动时，流体某一体积元所受的净力，等于体积元的质量和加速度的乘积。在绝热条件下，可获得一维平面波运动方程：

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (1-5)$$

式中 p ——声压；

c ——声速。

从方程(1-5)中可以看出,声压的空间变化率和声压的时间变化率之间,在一定介质和环境条件下,具有确定关系。即知道某一点、某一时刻的声压 $p(x_1, t_1)$, 可求出另一点某一时刻的声压 $p(x_2, t_2)$, 这就是声波运动过程所遵循的规律。

同样, 我们可以得到在三维空间中的波动方程为:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (1-6)$$

方程1-5最简单的解是单一频率的简谐声波为:

$$p = A_1 \sin(\omega t - kx + \phi_1) + A_2 \sin(\omega t + kx + \phi_2)$$

上式的物理意义是, 在无限长的管中, 如点 x 有一简谐力的运动, 则向管两端辐射同样频率的简谐波。 A_1 、 ϕ_1 表示沿 x 正方向前进的声波振幅和相位; A_2 、 ϕ_2 是沿 x 负方向前进的声波振幅和相位。波动方程中的声速 c , 决定于弹性介质的性质, 可表示为下式:

$$c = (\gamma RT)^{\frac{1}{2}} \quad (1-7)$$

式中 γ ——定压比热 (c_p) 与定容比热 (c_v) 之比, 对于空气来说 $\gamma = 1.4$;

R ——气体常数;

T ——绝对温度。

表 1-1 列出在几种弹性介质中的声速。声速不仅与介质种类有关, 也与绝对温度的平方根成正比。在空气中, 气体常数 R 和比热比 c_p/c_v 是已知数, 因此可写出空气中声速和温度的关系为:

$$c = c_0 + 0.61t \quad (\text{米/秒}) \quad (1-8)$$

式中 c_0 —— 0°C 时的声速, 等于 331.5 米/秒;

不同介质的声速

表1-1

材 料	声速(米/秒)	材 料	声速(米/秒)
铝	5820	锡	4900
砖	3600	水	1410
混 凝 土	3700	木 材	3300
钢	4905	锌	3750
铜	4500	二氧化碳	258
玻 璃	5000	氢 气	1270
铁	4800	蒸气(100°C)	405
铅	1260		

t ——摄氏温度。

声速在大气压改变时几乎不改变，而空气湿度改变时略有变化。表1-2列出空气温度为21°C时的一些常用频率、圆频率、波长、波数数值。

3. 球面波

一个点声源在自由空间中辐射的声波是球面波。最理想的简单情况是对称性脉动球的辐射，如图1-2所示。

球面波的波动方程为：

$$\frac{\partial^2(rp)}{\partial r^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2(rp)}{\partial t^2} = 0 \quad (1-9)$$

式中 r ——距源点距离；

p —— r 处声压。

球面波方程(1-9)和平面波方程(1-5)形式相似，唯一的区别

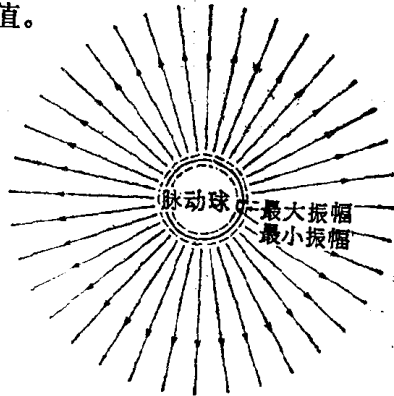


图1-2 理想脉动球的声辐射

某些常用频率*、圆频率、波长和波数($c = 344$ 米/秒) 表1-2

频 率 (赫兹)	圆频率(弧度/秒)	波 长 (米)	波数(米 ⁻¹)
25	157	13.76	0.456
31.5	197	10.92	0.575
40	251	8.60	0.730
50	314	6.88	0.912
63	395	5.46	1.150
80	502	4.30	1.460
100	628	3.44	1.825
125	785	2.75	2.283
160	1004	2.15	2.920
200	1256	1.72	3.651
250	1570	1.37	4.56
315	1970	1.09	5.75
400	2510	0.86	7.30
500	3140	0.69	9.12
630	3950	0.55	11.50
800	5020	0.43	14.60
1000	6280	0.34	18.25
1250	7850	0.27	22.83
1600	10040	0.22	29.20
2000	12560	0.17	36.51
2500	15700	0.14	45.6
3150	19700	0.11	57.5
4000	25100	0.08	73.0
5000	31400	0.07	91.2
6300	39500	0.06	115.0
8000	50200	0.04	146.0
10000	62800	0.03	182.5
12500	78500	0.03	228.3
16000	100400	0.02	292.0
20000	125600	0.02	365.1

• 这些频率是1/3倍频带中心频率。

是 rp 代替了 p , r 代替了 x 。用同样的方法,可以得到其解为:

$$p = -\frac{A_1}{r} \sin(\omega t - kr + \phi_1) + \frac{A_2}{r} \sin(\omega t + kr + \phi_2)$$

式中的第一项,表示了由声源向外辐射的声波,第二项表示了指向声源的反射波。在实际问题中,我们感兴趣的是向外辐射的声波。从球面波的解可以看出,对于球面波来说,声压和距离成反比。以后还将看到,距离增加一倍,声压级减少 6 分贝。这是点声源辐射球面波声场的特点。

在实际的噪声控制问题中,许多声源我们可以简化看作点声源来进行处理,但要满足下列两个条件:(1)离声源的距离 r ,要远远大于声源辐射面尺寸 b ;(2)声源辐射面尺寸和波长之比 b/λ ,要远远小于声源距离和声源辐射面尺寸之比 r/b 。例如,汽车排气管辐射的噪声,在 0.5 米处和主要频率范围内,可近似认为是点声源。

4. 柱面波

上面已经讨论了与点声源有关的平面波和球面波。但是,在实际噪声控制中,还经常遇到一种所谓“线声源”。如公路车辆,则可近似认为是线声源。线声源辐射的声波,称为柱面声波。利用图 1-3,

可以求出线状声源周围任何一点的声压。如果点①和点②作用于 P 点的声压分别是 P_1 和 P_2 ,则点 P 的声压的平方为 $p_1^2 + p_2^2$ (p_1 和 p_2 为时间平均值)。假定线状声源单位长度所产生的声功率为 W ,从图 1-3 中可以得出长度:

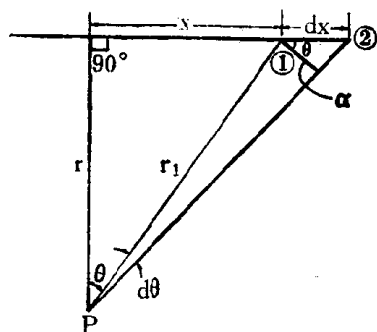


图1-3 线状声源

$$a = d \times \cos \theta = r_1 d\theta = (r / \cos \theta) d\theta$$

$$dx = (rd\theta) / \cos^2 \theta$$

在半球面辐射时, dx 线每供给 P 点的声压平方为:

$$dp^2 = \rho c \Delta W d\theta / 2\pi r$$

如果线状声源是无限长的话, 对 $d\theta$ 进行积分, 可得:

$$p^2 = \frac{\rho c W}{2r} \quad (1-10)$$

从方程(1-10)可看出, 线状声源周围某一点的声压的平方, 与 r 成反比。距离增加一倍, 声压级减少 3 分贝。这是线状声源的特点。

以上对点声源和线声源的讨论, 都是假定离声源较远的距离时进行的。如果声源面积较大(如大型车辆发动机), 或者离声源较近时, 这时还要考虑声源面积对声压衰减的影响。图1-4是考虑声源面积时, 声压级和距离的关系。

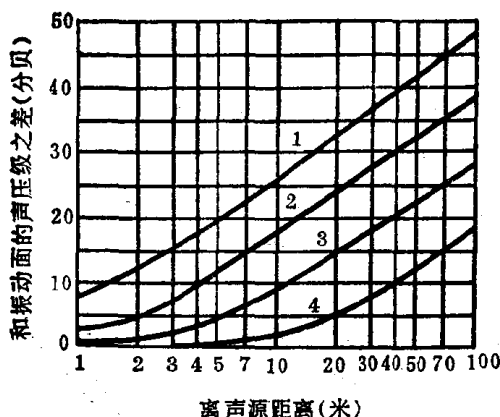


图1-4 考虑声源面积时, 声压级随距离的变化

1-声源面积为 1 平方米; 2-声源面积为 10 平方米; 3-声源面积为 100 平方米; 4-声源面积为 1000 平方米

二、声在大气中的传播

在前面讨论了由声波运动规律所决定的声压随距离的增加而衰减的关系。但是，实际上噪声在大气中传播时，还要受到各种气象条件的影响。其主要因素有：空气对声能的吸收、温度梯度和风。

声波在大气中传播时，由于空气的吸收，也要损失一定的能量。空气对声的吸收，主要有两个过程。首先，由于空气具有一定的热传导和粘滞性，当声波在空气中传播时，要损失一部分能量。在温度非常低时，这一过程比较明显。其次，空气中氧分子在进行旋转和张弛振动时，也要使声能受到损失。这种能量损失称为分子吸收。分子吸收的能量大小，主要取决于温度。理论上和实验都证明了，空气对声的

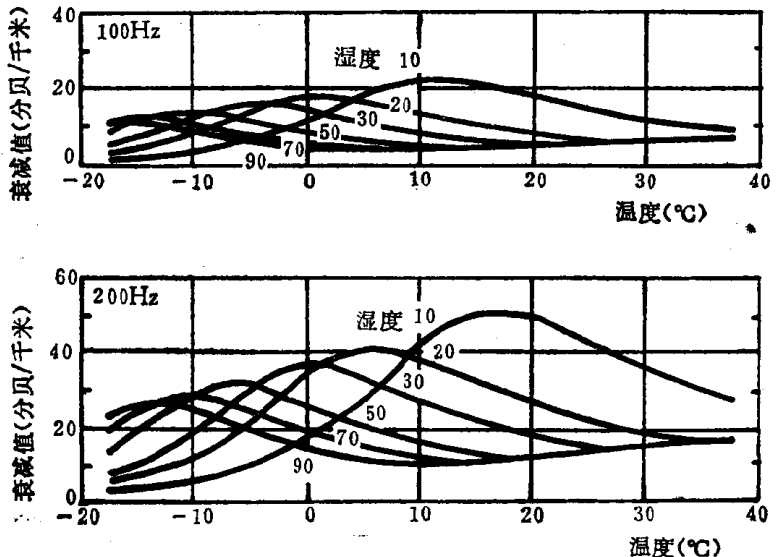


图1-5 中心频率为1000赫、2000赫的倍频带声波，
在大气-地面传播时的衰减

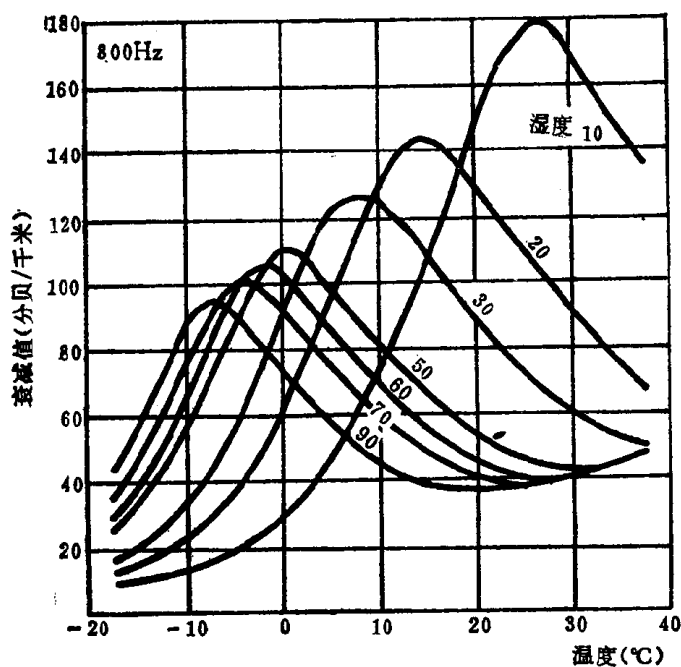
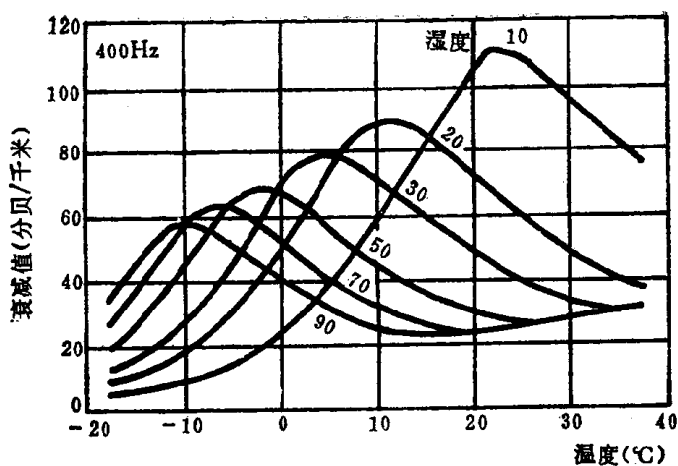


图1-6 中心频率为4000赫、8000赫倍频带声波，
在大气-地面中传播时的衰减