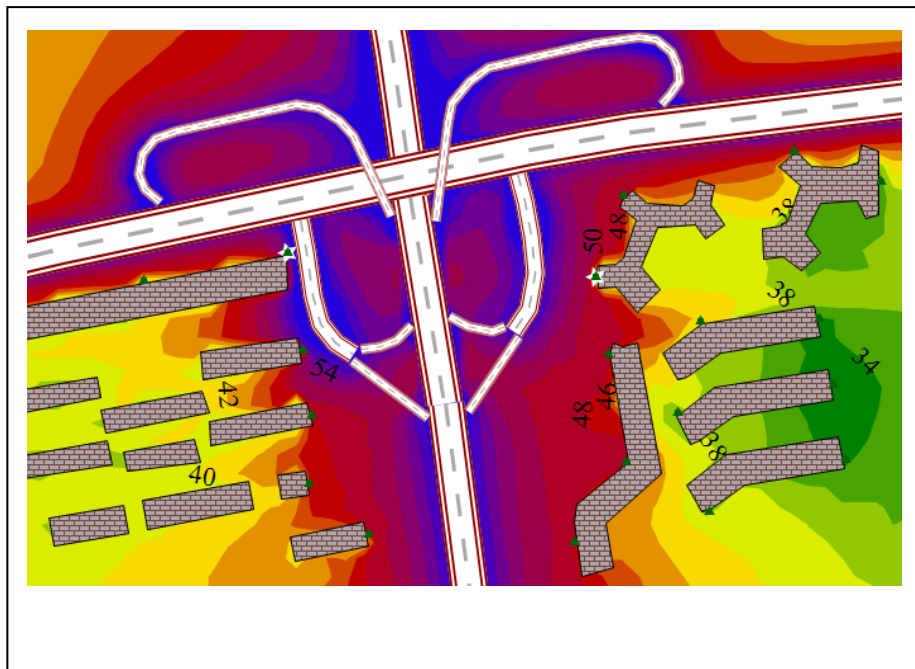


噪声环境影响评价系统基本算法理论简介

工业声源



石家庄环安科技有限公司

网址: www.ihamodel.com

电话/传真: 0311-85031326

1 工业声源

1.1 基本公式

1.1.1 点声源

根据导则，我们主要解决已知声源声功率级和已知靠近声源处某点的声压级两种不同源强类型时，预测点声压级的计算。

已知声源声功率级

在此，考虑倍频带声功率级和 A 声功率级两种情况

1. 已知声源倍频带声功率级（63Hz 到 8KHz 标称频带中心频率的 8 个倍频带），预测点位置的倍频带声压级 $L_p(r)$ ，可用下式计算

$$L_p(r) = L_w - A$$
$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

式中：

L_w — 倍频带声功率级，dB；

A — 倍频带衰减，dB；

A_{div} — 几何发散引起的倍频带衰减，dB；

A_{atm} — 大气吸收引起的倍频带衰减，dB；

A_{gr} — 地面效应引起的倍频带衰减，dB；

A_{bar} — 声屏障引起的倍频带衰减，dB；

A_{misc} — 其他多方面效应引起的倍频带衰减，dB。

预测点的 A 声级 $L_A(r)$ ，可利用 8 个倍频带的声压级按如下公式计算：

$$L_A(r) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^8 10^{0.1 L_p(r) + \Delta L_i} \right\}$$

式中：

$L_{p(r)}$ —预测点 r 处，第 i 倍频带声压级，dB；

ΔL_i — i 倍频带 A 计权网络修正值，dB（见表 1-1）。

63Hz~16000Hz 范围内的 A 计权网络修正值如下表：

表 1-1 A 计权网络修正值

频率 (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
ΔL_i (dB)	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1.0	-1.1	-6.6

2. 已知声源 A 声功率级，则预测点的 $L_A(r)$ ，按下式计算

$$L_A(r) = L_{AW} - A$$

A 可选择对 A 声级影响最大的倍频带进行计算，一般可选中心频率为 500Hz 的倍频带作估算。

已知靠近声源处某点的声压级

我们根据参考点的声压级，利用公式反推计算出声源的声功率级，然后再进行计算。

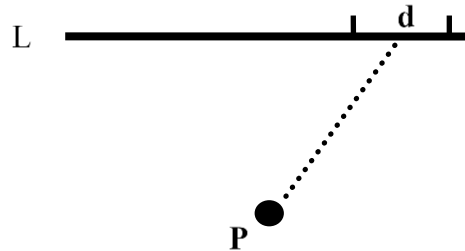
1.1.2 线声源

在本版软件中，主要考虑有限长线声源的计算。

计算预测点声级时，将线源分割成若干个的线分区；对于每个线分区可用中心位置处于该分区中心的点声源来表示。

我们首先计算各个点声源在预测点产生的声压级；然后将各个点声源在预测点产生的声压级叠加起来，最终求得线声源在预测点产生的声压级。

1. 已知声源声功率级 (倍频带声功率级或 A 声功率级)



如图所示，设线状声源 L，单位长度线声源辐射的功率为 W（瓦/米），相应声功率级为 L_w （dB/m）；P 是线声源外的一点，相应的声压级为 L_p 。

我们可以通过以下五个步骤来求得 P 点的声压级，

(1)分段：将线声源分割成若干线分区，并将各分区看作中心位置位于该分区中心的点声源。

(2)确定各模拟点源的源强：如图所示，某段分区的长度为 d，则模拟点声源的声功率级 $L_w' = L_w + 10\lg d$ ；根据分区的长度，求出所有模拟点声源的声功率级。

(3)确定各模拟点源衰减距离：衰减距离为预测点 P 到该模拟点源的距离，即预测点 P 到线分区中心的距离；在上图中，r 为衰减距离。

(4)计算各分区在预测点的声压级：可以利用点源的计算公式求得 P 点的声压级 $L_p(r)$ 。

$$L_p(r) = L_w' - 20\lg(r) - 11$$

(5)将所有分段在 P 点产生的声压级叠加起来，求得线声源在 P 点产生的声压级。

若已知线声源的 A 声功率级 L_{Aw} ，同样可以用上述公式来求得线声源在 P 点产生的声压级。

2. 已知靠近声源处某点声压级

对于已知靠近声源处某点的声压级的情况，我们可以根据线声源的计算公式

反推出线声源的声功率级，再计算出线声源在预测点产生的声压级。

由线声源外某预测点的求解过程可知，在预测点与线声源之间距离已定的情况下，可以将预测点的声压级 L_p 看作是线声源声功率级 L_w 的函数，记作：

$$L_p = F(L_w)$$

现已知参考点的声压级 L_p ，我们可以利用二分法来求得线声源的声功率级 L_w ，具体求解过程如下：

①确定初始区间 $[(L_w)_{,1}, (L_w)_{,2}]$ ，使得 $F[(L_w)_{,1}] < L_p < F[(L_w)_{,2}]$ ；根据介值定理，可以确定在区间 $[(L_w)_{,1}, (L_w)_{,2}]$ 内存在一个值 $(L_w)'$ ，使得 $F(L_w) = L_p$ 。

②求该区间点的中点 $(L_w)' = \frac{(L_w)_{,1} + (L_w)_{,2}}{2}$ ，计算出 $F(L_w)$ 。

③若 $F[(L_w)'] < L_p$ ，则取 $[(L_w)', (L_w)_{,2}]$ 为新区间；若 $F[(L_w)'] > L_p$ ，则取 $[(L_w)_{,1}, (L_w)']$ 为新区间。

④重复②到③，直至找到 L_w 为止。

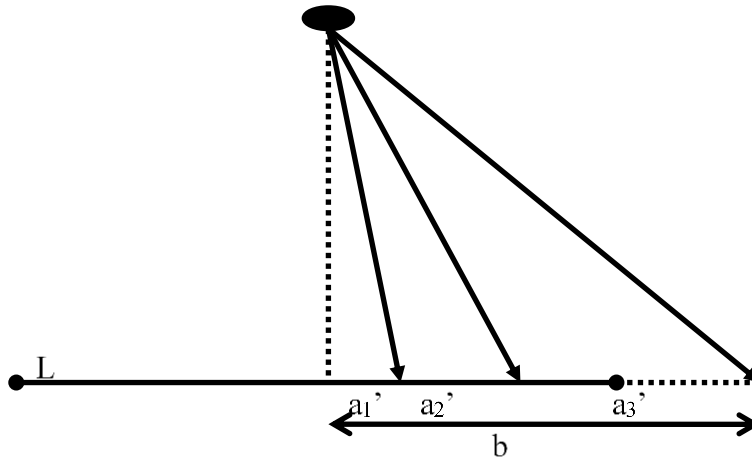
求得线声源声功率级后，我就可以计算线声源在预测点产生的声压级。

1.1.2.1 线声源分段算法

根据接受点到线声源的垂线距离，利用函数以垂足为中心向两侧进行分段（垂足两侧对称）；距离越近，分段越多。

一般考虑以下三种情况：

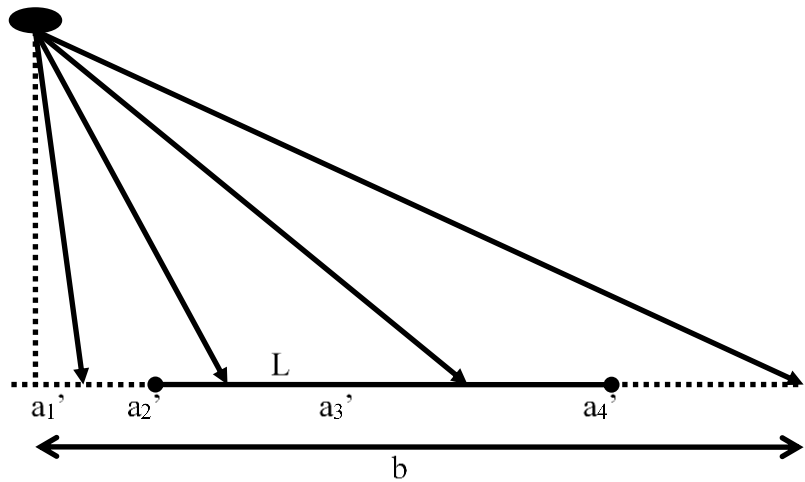
1. 垂足在线声源上



如上图所示，现有一长 L 的线声源；预测点在线声源的中点，从预测点向线声源引一条垂线，垂线与线声源相交，计算出垂线的长度；以线声源的右半侧为例，利用比例函数根据垂线的长度计算出距离垂足最近的分段的长度（ a_1' ）；再向两侧方向以恒定比例（1.1 倍）增加分段长度，即 $a_2' = a_1' \times 1.1$ 、 $a_3' = a_2' \times 1.1$ 。

由上图可以看出， $a_1' + a_2' + a_3' = b$ 且 $b > L/2$ ，则线声源右半侧的各分段实际长度为： $a_1 = a_1' \times \left(\frac{L}{2b}\right)$ 、 $a_2 = a_2' \times \left(\frac{L}{2b}\right)$ 、 $a_3 = a_3' \times \left(\frac{L}{2b}\right)$ 。按照上述步骤将线声源的左半侧分段。

2. 垂足不在线声源上



如图所示，从预测点向线声源（长 L ）引一条垂线，垂线没有与线声源相交，即垂足位于线声源的延长线上。延长线声源，按照第一种情况对延长后的线声源进行分段；由上图可以看出：分段完毕后，只有三个分段位于线声源上；因此，将线声源分割成三段，分段长度分别为 a_1 、 a_2 、 a_3 。

a_1 、 a_2 、 a_3 可按下列关系： $a_2 = a_1 \times 1.1$ 、 $a_3 = a_2 \times 1.1$ 、 $a_1 + a_2 + a_3 = L$ ，通过上述关系式即可求出 a_1 、 a_2 、 a_3 。

3. 非直线的线声源

对于非直线型线声源，先将其分割成若干段直线型线声源后，再按照上述两种情况分别进行分段。

1.1.3 面声源

面声源的计算过程和线声源相类似；将面声源划分成若干面分区，然后再通过模拟点源来完成预测点声压级的计算。

1. 已知声源声功率级(倍频带声功率级或 A 声功率级)

现有单位面积声源辐射的功率为 W （瓦/米²），声功率级为 L_W （dB/m²）的面声源。首先，我们可以将面声源分割成若干具有一定面积 s 的面分区，并将这些面分区看作是中心位置位于面分区中心的点源，声功率级为 $L'_W = L_W + 10 \lg s$ 。

然后，将预测点到面分区中心的距离作为预测点到模拟点源的距离，从而求得该面分区在预测点产生的声压级。

最后，将所有面分区在预测点产生的声压级叠加起来，即求得面声源在预测点产生的声压级。

2. 已知靠近声源处某点的声压级

对于已知靠近声源处某点声压级的情况，也可以用二分法求得面声源的声功率级，再计算出面声源在预测点产生的声压级。

1.1.3.1 面声源分段算法

1.2 室内声源

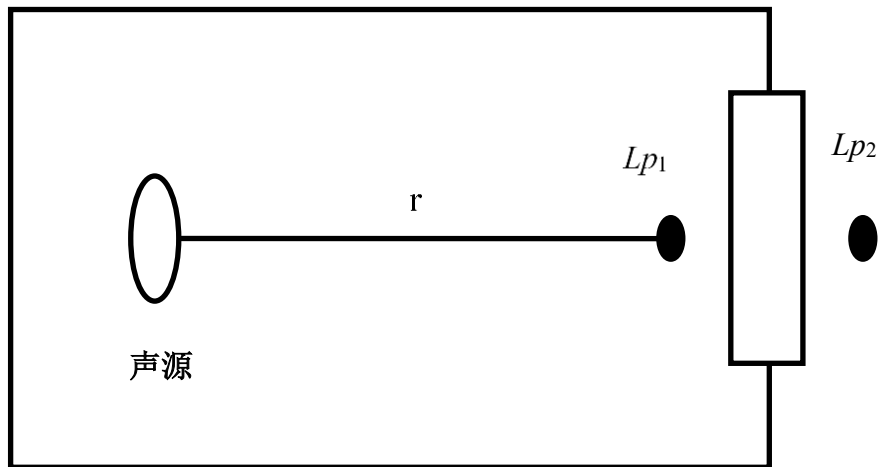
在本版本软件中，只考虑室内存在点声源的情况。

如图所示，声源位于室内，设靠近开口处（或窗户）室内、室外某倍频带的声压级分别为 L_{p1} 和 L_{p2} 。若声源所在室内声场为近似扩散声场，则室外的倍频带声压级可按式近似求出：

$$L_{p2} = L_{p1} - (TL + 6)$$

式中：

TL —隔墙（或窗户）倍频带的隔声量，dB。



计算室内声源对预测点的影响时，应先将室内声源等效为室外声源，再按室外声源的预测方法计算预测点的A声级。主要通过以下四个步骤来实现。

1.计算出某个室内声源在围护结构处 i 倍频带的声压级，将所有声源 i 倍频带的声压级叠加起来。

(1)室内某声源靠近围护结构处 i 倍频带的声压级：

$$L_{p1} = L_w + 10 \lg \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right]$$

式中：

Q —指向性因数；通常对无指向性声源，当声源放在房间中心时， $Q=1$ ；当放在一面墙的中心时， $Q=2$ ；当放在两面墙夹角处时， $Q=4$ ；当放在三面墙夹角处时， $Q=8$ 。

R —房间常数； $R=S\alpha/(1-\alpha)$ ， S 为房间内表面面积， m^2 ； α 为平均吸声系数。

r —声源到靠近围护结构某点处的距离， m 。

(2)所有室内声源在围护结构处产生的 i 倍频带的声压级：

$$L_{p1i}(T) = 10 \lg \left(\sum_{j=1}^N 10^{0.1L_{p1ij}} \right)$$

式中：

$L_{p1i}(T)$ —靠近围护结构处室内 N 个声源 i 倍频带的叠加声压级， dB ；

$L_{p_{ij}}$ —室内 j 声源 i 倍频带的声压级, dB;

N —室内声源总数。

2.在室内近似为扩散声场时,计算出靠近室外围护结构处所有声源 i 倍频带的声压级。

基本计算公式:

$$L_{p_{2i}}(T) = L_{p_{1i}}(T) - (TL_i + 6)$$

式中:

$L_{p_{2i}}(T)$ —靠近围护结构处室外 N 个声源 i 倍频带的叠加声压级, dB;

TL_i —围护结构 i 倍频带的隔声量, dB。

3.再计算出中心位置位于透声面积 (S) 处的等效声源的 i 倍频带声功率级

基本计算公式:

$$L_{wi} = L_{p_{2i}}(T) + 10 \lg S$$

重复 1—3 将室外等效声源 8 个倍频带 (63Hz 到 8KHz 标称频带中心频率的 8 个倍频带) 声功率级计算出来

4.最后按照室外声源的预测方法计算出预测点的 A 声级

1.3 几何衰减

在噪声预测中,不可避免的要使线声源或面声源划分为若干线分区或面分区;而每个线分区或面分区可用中心位置处于分区中心的点声源表示。因此,软件中声源的几何发散衰减的计算都是基于点声源的几何衰减实现的;在该版本的软件中主要解决无指向性点声源的几何发散衰减。

点声源无指向性的几何发散衰减。

对已知倍频带声功率级 L_w 或 A 声功率级 L_{Aw} 的声源在自由声场的几何发散衰减。

$$L_p(r) = L_w - 20 \lg(r) - 11$$

$$L_p(r) = L_{Aw} - 20 \lg(r) - 11$$

对于非自由声场采用地面效应来实现，其计算结果与导则的一致。

1.4 衰减项的计算

1.4.1 空气吸收

声波在空气中传播中，因空气的粘滞性和热传导，在压缩和膨胀过程中，使一部分声能转换为热能而损耗；此外，由于空气分子产生弛豫吸收。

空气对声波的吸收性能与温度、湿度、气压及声波频率有关；空气对声能的吸收与声波长波的距离有关，传播距离越远，空气对声能的吸收越大。我们只要获得空气对声波的吸收性能及声波的传播距离就可以计算出空气对声能的吸收量，即声能的衰减量。

1.大气吸收衰减系数 α 的计算

空气的吸收性能以大气吸收衰减系数 α 来表示，其可通过一下三个公式来计算：

氧弛豫频率：

$$f_{ro} = \frac{P_a}{P_r} \left(24 + 4.04 \times 10^4 h \frac{0.02+h}{0.0391+h} \right)$$

式中：

P_a —环境大气压，KPa

P_r —基准环境大气压，KPa

h —水蒸气克分子浓度，%

氮弛豫频率：

$$f_{rN} = \frac{P_a}{P_r} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{1}{2}} \times \left(9 + 280h \exp \left\{ -4.170 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right)^{-1/3} - 1 \right] \right\} \right)$$

式中：

T —环境大气温度，K

T_0 —基准大气温度，K

大气吸收衰减系数：

$$\alpha = 8.686 f^2 \left(\left[1.84 \times 10^{-11} \left(\frac{P_a}{P_r} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1/2} \right] + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-5/2} \times \left\{ 0.01275 \left[\exp \left(\frac{-2239.1}{T} \right) \right] \left[f_{r0} + \left(\frac{f^2}{f_{r0}} \right)^{-1} \right]^{-1} + 0.1068 \left[\exp \left(\frac{-3352.0}{T} \right) \right] \left[f_{rN} + \left(\frac{f^2}{f_{rN}} \right)^{-1} \right] \right\} \right)$$

式中： α —大气吸收衰减系数，dB/m

将以上三个公式联合起来就可以求得 α ，其中 $P_a=101.325$ =KPa， $T_0=293.15$ K。

2.空气吸收量 A_{atm} 的计算

空气吸收量的计算可用下式计算：

$$A_{atm} = \frac{\alpha(r-r_0)}{1000}$$

式中：

α —大气吸收衰减系数，dB/Km

r —预测点距离声源的距离，m

r_0 —参考点位置的距离，m

3.空气变量之间的转换

(1)相对湿度与水蒸气克分子浓度之间的换算

对已知温度和压力，给定相对湿度 h_r （以百分数表示）时的水蒸气克分子浓度 h （以百分数表示）式：

$$h = h_r \left(\frac{P_{sat}}{P_r} \right) \left(\frac{P_a}{P_r} \right)$$

式中：

P_a —环境大气压，

P_r —基准环境大气压

P_{sat} —是饱和蒸汽压，取决于温度。我们可以用下面两个公式计算：

$$c = -6.8346 \left(\frac{T_{01}}{T} \right)^{1.261} + 4.6151$$

式中： T_{01} 是三相点等温温度， $T_{01}=273.16\text{K}$ (即 0.01°C)； T 是绝对温度。

(2) 摄氏度与绝对温度的换算

绝对温度(K)=摄氏度($^{\circ}\text{C}$)+273.15，即 $T=t+273.15$ ，单位为 K。

1.4.2 屏障

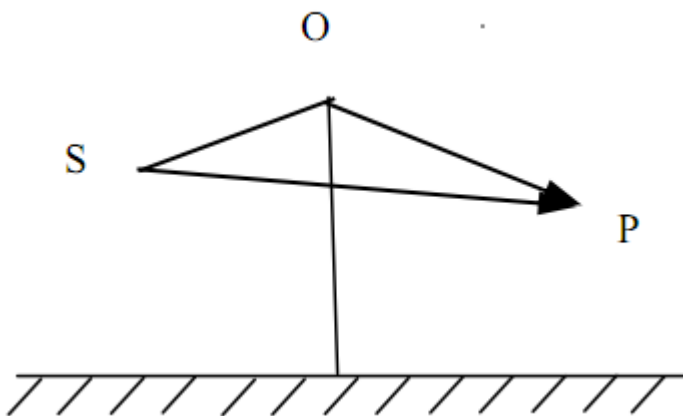
位于声源和预测点之间的实体障碍物，如围墙、建筑物、土坡或地堑等起声屏障作用，从而引起声能量的较大衰减。在环境影响评价中，可将各种形式的屏障简化为具有一定高度的薄屏障。

在屏障衰减的计算过程中，应首先根据屏障的数量及位置关系确定声波绕射的类型，计算出相应的声程差；利用公式计算出屏障衰减量。对于建筑物、多屏障而言，按最小声程差的方法处理。

1.4.2.1 单屏障

导则算法

如图所示， S 、 O 、 P 三点在同一平面内且垂直于地面。

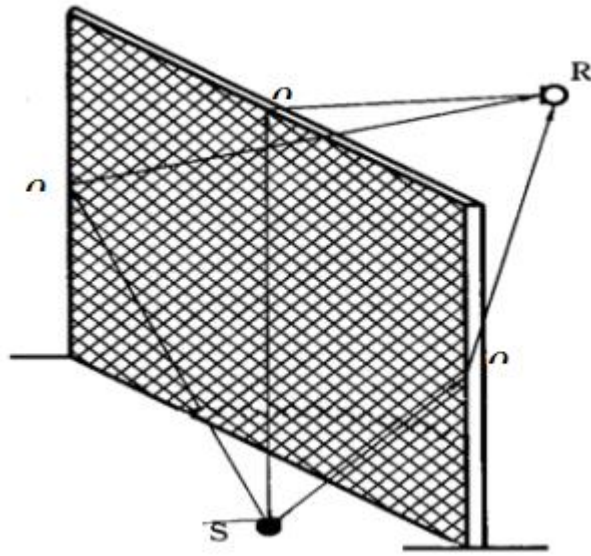


定义 $\delta = SO + OP - SP$ 为声程差， $N = 2\delta/\lambda$ 为菲涅尔数，其中 λ 为声波波长。在噪声预测中，声屏障插入损失的计算方法应根据实际情况作简化处理。

在该版本软件中，只考虑有限长薄屏障在声场中引起的衰减计算。

①首先计算由下图所示三个传播途径的声程差 δ_1 ， δ_2 ， δ_3 和相应的菲涅尔

数 N_1 、 N_2 、 N_3 。



②声屏障引起的衰减可按下式计算：

$$A_{bar} = -10 \lg \left[\frac{1}{3 + 20N_1} + \frac{1}{3 + 20N_2} + \frac{1}{3 + 20N_3} \right]$$

国标算法

为了计算屏蔽衰减 D_s ，假定从声源至接收点只有一条有效的声传播路线。如果这个假设不符合实际，则应分开计算其他传播路线(如上图示)，且各条路线对平方声压的贡献在接收处相加。

对该路线的衰减 D_s ，用下式计算：

$$D_s = 10 \lg \left[3 + \left(\frac{C_2}{\lambda} \right) C_3 z K_{met} \right]$$

式中：

C_2 等于 20 包括地面反射的影响；在特殊情况下，可将地面反射作为虚声源单独地考虑，则取 $C_2=40$

$C_3=1$ （单绕射）；

z —声程差

λ —标称频带中心频率的声波波长，m

K_{met} —气象条件修正因子。

声程差 z 可由下式计算：

$$Z = \left[(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2 \right]^{\frac{1}{2}} - d$$

式中：

d_{ss} ：声源到绕射边的距离，m

d_{sr} ：绕射边到接收点的距离，m

a ：声源和接收点之间的距离在平行于屏障上边界的分量，m

d ：声源和接收点之间的距离，m

气象条件修正因子

$$K_{met} = \exp \left[- (1 / 2000) \sqrt{d_{ss} d_{sr} d / (2z)} \right] \quad \text{当 } z > 0$$

$$K_{met} = 1 \quad \text{当 } z \leq 0$$

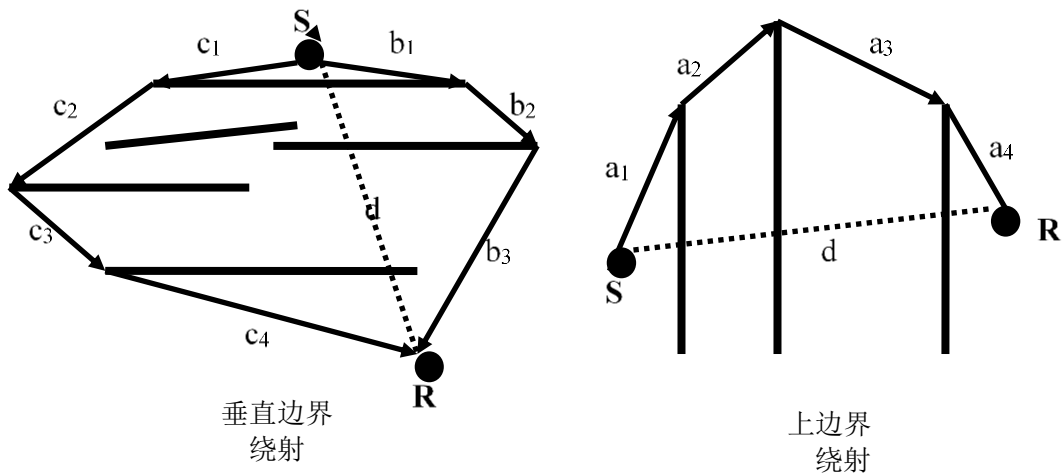
对环绕屏障的横向绕射则取 $K_{met}=1$

在任何频带上，屏障衰减 A_{bar} 在单绕射情况，衰减最大取 20dB。

1.4.2.2 多屏障

导则算法

多屏障绕射传播路线，如下图：



多屏障绕射声程差的计算与单屏障类似。声程差=声源到第一绕射边界的距离+各绕射边界之间的距离+最后一个绕射边界到接受点的距离-声源与接受点之间的距离。

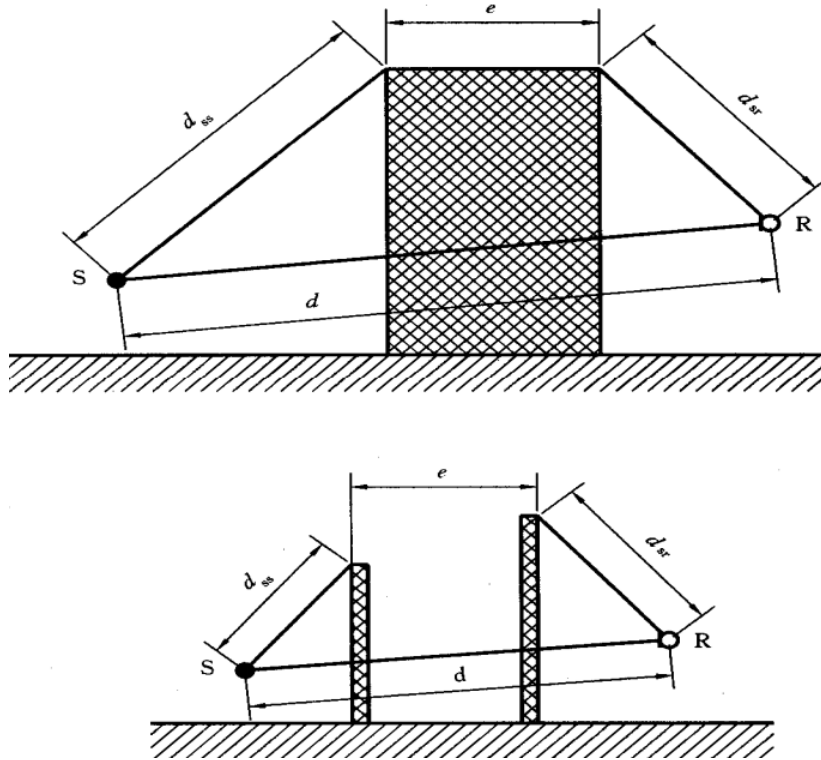
$$\delta = d_{s,1} + d_{1,2} + d_{2,3} + \dots + d_{n-1,n} + d_{n,r} - d$$

根据声程差计算出相应的菲涅耳数 N_1 、 N_2 、 N_3 ，按下式计算屏障的衰减：

$$A_{bar} = -10 \lg \left[\frac{1}{3 + 20N_1} + \frac{1}{3 + 20N_2} + \frac{1}{3 + 20N_3} \right]$$

国标算法

对于两个屏障引起的衰减，如下图下部所示，我们可以用双绕射的理论来计算；而对多于两个屏障引起的衰减，可选择影响最大的两个屏障而忽略其它屏障的影响，按双绕射理论作近似计算；对厚屏障（建筑物）也可以用双绕射理论来计算，如下图上部所示情况。



屏障的双绕射按下式计算：

$$Ds = 10 \lg \left[3 + (C_2 / \lambda) C_3 z K_{met} \right]$$

式中：

C_2 等于 20 包括地面反射的影响；在特殊情况下，可将地面反射作为虚声源单独地考虑，则取 $C_2=40$

$$C_3 = \left[1 + (5\lambda / e)^2 \right] / \left[(1/3) + (5\lambda / e)^2 \right]$$

z —声程差

λ —标称频带中心频率的声波波长，m

e —在双绕射情况下两个绕射边界之间的距离，m

K_{met} —气象条件修正因子。

声程差 z 可由下式计算：

$$z = \left[(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2 \right]^{1/2} - d$$

式中：

d_{ss} ：声源到第一绕射边的距离，m

d_{sr} : 第二绕射边到接收点的距离, m

a : 声源和接收点之间的距离在平行于屏障上边界的分量, m

d : 声源和接收点之间的距离, m

气象条件修正因子

$$K_{met} = \exp \left[- (1 / 2000) \sqrt{d_{ss} d_{sr} d} / (2z) \right] \quad \text{当 } z > 0$$

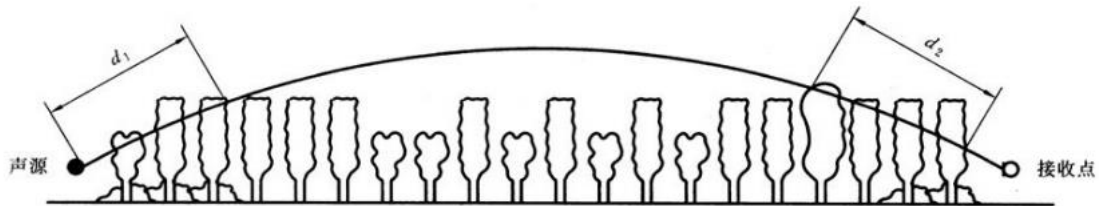
$$K_{met} = 1 \quad \text{当 } z \leq 0$$

对环绕屏障的横向绕射则取 $K_{met} = 1$

在任何频带上屏障衰减 A_{bar} 在双绕射情况, 衰减最大取 25dB。

1.4.3 绿化带

绿化林带的附加衰减与树种、林带结构和密度等因素有关。在声源附近的绿化林带, 或在预测点附近的绿化林带, 或两者均有的情况都可以使声波衰减, 见下图:



通过树叶传播造成的噪声衰减随通过树叶传播距离 d_f 的增长而增加, 其中 $d_f = d_1 + d_2$, 为了计算 d_1 和 d_2 , 可假设弯曲路径的半径为 5km。

下表中第一行给出了通过总长度为 10m 到 20m 之间的密叶时, 由密叶引起的衰减; 第二行为通过总长度 20m 到 200m 之间密叶时的衰减系数; 当通过密叶的路径长度大于 200m 时可使用 200m 的衰减值。

倍频带噪声通过密叶传播时产生的衰减

项目	传播距离 d_f (m)	倍频带中心频率 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
衰减 (dB)	$10 \leq d_f < 20$	0	0	1	1	1	1	2	3
衰减系数	$20 \leq d_f < 200$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12

(dB/m)									
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

由假设弯曲路径的半径 5km、绿化林带的高度、声源与接收点间的直线距离可计算出 d_1 和 d_2 , 最后求出 d_f , 利用上表中衰减参数计算出绿化林带的衰减量。

声源与接收点间的直线距离的计算: 对于点声源, 按接收点到点源之间的水平直线距离计算; 线、面声源按各个分区到接受点的距离计算。

1.4.4 地面效应

在考虑地面吸收的情况下, 软件直接采用国标或导则中地面吸收的计算公式, 而不是利用模拟虚声源的叠加效果。

1.4.4.1 导则算法

导则中提供的算法是在特定条件下的地面吸收量。

特定条件:

——声波越过疏松地面传播时, 或大部分为疏松地面的混合地面

——在预测点仅计算 A 声级

地面效应引起的衰减公式如下:

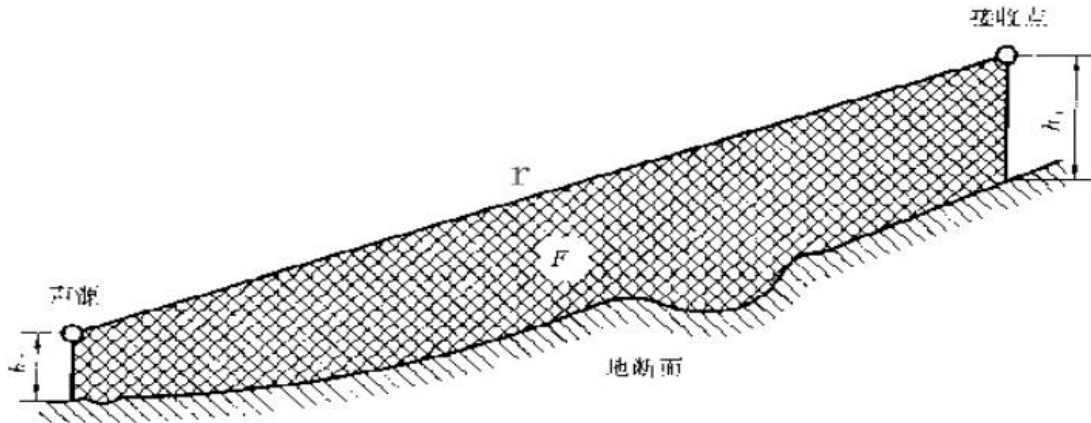
$$A_{gr} = 4.8 - \left(\frac{2h_m}{r} \right) \left[17 + \left(\frac{300}{r} \right) \right]$$

式中:

r —声源到预测点的距离, m;

h_m —传播路径的平均离地高度, m; 可按下图进行计算, $h_m = F/r$; F : 面积, m^2 ; r , m; (点源的计算可根据点源和接受点之间的地断面来计算得到 F ; 线源、面源则按虚拟成多个点源来求得地段面。)

若 A_{gr} 计算出负值, 则 A_{gr} 可用“0”代替。



由于声源附近的地面反射引起声源声功率级的明显增加，所以用导则算法计算地面衰减时，计入一项校正量 D_{Ω} 。

$$D_{\Omega} = 10 \lg \left\{ 1 + \left[d_p^2 + (h_s - h_r)^2 \right] / \left[d_p^2 + (h_s + h_r)^2 \right]^2 \right\}$$

式中：

h_s —声源离地高度，m

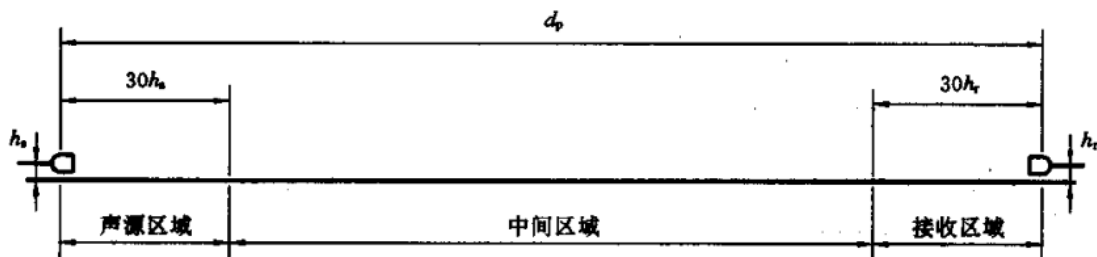
h_r —接受点离地高度，m

d_p —投影到地平面上的声源至接收点之间的距离，m

1.4.4.2 国标算法

地面衰减，主要是由于从声源到接收点之间直达声和地面反射声的干涉引起的，向下弯曲传播的路线(顺风)保证衰减主要由接近于声源和接近接收点的地面决定。

对地面衰减规定了三种不同的区域（如下图示）：声源区域、中间区域、接收区域。



- a)声源区域：从声源向接收点延伸 $30h_s$ 的距离，最大值为 $d_p(h_s)$ ，是声源高度， d 是投影到地平面上的声源至接收点之间的距离)
- b)接收区域：从接收点向声源延伸 $30h_r$ 的距离，最大值为 $d_p(h_r)$ ，是接收点高度)
- c)中间区域：声源区域至接收区域中间的距离，当 $d_p < (30h_s + 30h_r)$ 时，声源区域和接收区域重叠，没有中间区域

按照此示意图，地面衰减不随中间区域尺寸而增大，主要与声源区域和接收区域的性质有关。每一种地面区域的声学性质由地面因子 G 计算。三种反射表面规定如下：

- a)坚实地面 包括铺筑过的路面、水、冰、混凝土以及其他低疏松的地面，例如在工业城市各处经常出现的夯实地面，可以认为是坚实的。坚实地面 $G=0$
- b)疏松地面 包括被草、树或其他植物覆盖的地面，以及其他适合于植物生长的地面，例如农田。疏松地面 $G=1$
- c)混合地面 如果地面由坚实地面和疏松地面组成，则 G 取到 1 之间的值，该值是疏松范围的分数的。

为了计算规定倍频带的地面衰减，首先用公式分别计算由该区域地面因子 G_s 决定的声源区域的分衰减 A_s ，由地面因子 G_r 决定的接收区域的分衰减 A_r ，以及由地面因子 G_m 决定的中间区域的分衰减 A_m ；再按照公式 $A_{gr} = A_s + A_r + A_m$ 计算出总得地面衰减。

各分区的衰减量利用下表中的公式分别计算。

标称频带中心频率 Hz	A_s 或 A_r (dB)	A_m (dB)
63	-1.5	$-3q^2$
125	$-1.5 + G \times a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1.5 + G \times b'(h)$	

500	$-1.5 + G \times c'(h)$	
1000	$-1.5 + G \times d'(h)$	
2000	$-1.5(1-G)$	
4000	$-1.5(1-G)$	
8000	$-1.5(1-G)$	

注:

$$a'(h) = 1.5 + 3.0 \times e^{-0.12(h-5)^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right) + 5.7 \times e^{-0.09h^2} \left(1 - e^{-2.8 \times 10^{-6} \times d_p^2}\right)$$

$$b'(h) = 1.5 + 8.6 \times e^{-0.09h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$c'(h) = 1.5 + 14.0 \times e^{-0.46h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$d'(h) = 1.5 + 5.0 \times e^{-0.9h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

1)、为计算 A_s , 取 $G=G_s$ 和 $h=h_s$; 为计算 A_r , 取 $G=G_r$ 和 $h=h_r$

2)、 $q = 0$ 当 $d_p \leq (30h_s + 30h_r)$

$$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \quad \text{当 } d_p \geq (30h_s + 30h_r)$$

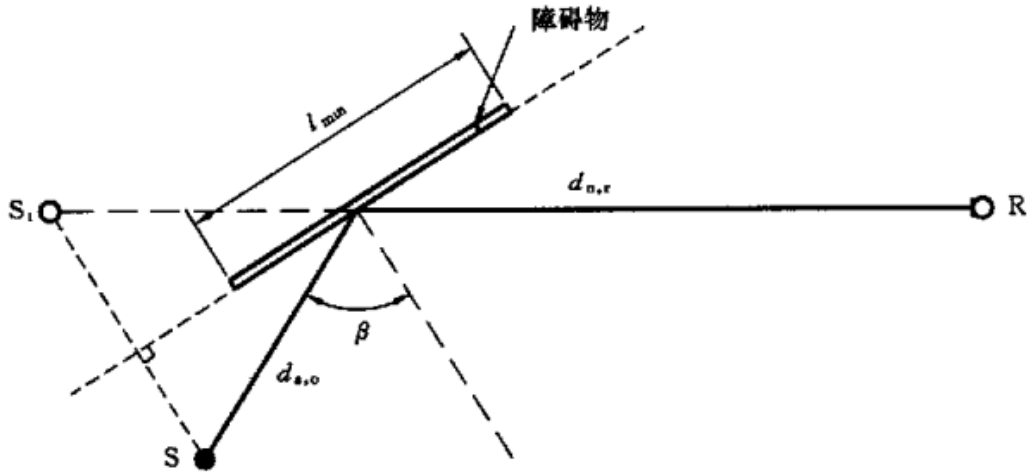
式中 d_p 为投影到地平面上的声源至接收点之间的距离

1.5 障碍物反射

此处借助虚声源研究反射。从户外顶篷以及或多或少从垂直平面, 诸如建筑物的外表面来的反射波, 会增加在接收点的声压级。此处不包括地面反射波的影响, 因为已计算在 A_{gr} 里面。

障碍物的反射应在满足下面条件时, 在所有倍频带计算:

- 可以建立如下图所示的镜面反射;
- 障碍物表面的声反射系数的值在该倍频带大于 0.2;



注：连接声源 S 和接收点 R(从障碍物处反射)的路程为 $d_{s,o}+d_{o,r}$ ，此处入射角等于反射角，反射声好像来自虚声 S_i 。

一对研究的倍频带，与其标称频带中心频率声波波长 $\lambda(m)$ 相比此表面足够大，以满足如下关系式：

$$\frac{1}{\lambda} > \left[2 / (l_{\min} \cos \beta)^2 \right] \left[d_{s,o} d_{o,r} / (d_{s,o} + d_{o,r}) \right]$$

式中：

λ —在该倍频带标称中心频率 $f(\text{Hz})$ 的声波波长(m)， $\lambda=c/f$

$d_{s,o}$ —声源和障碍物上反射点之间的距离，m

$d_{o,r}$ —障碍物上反射点和接收点之间的距离，m

B —入射角，rad

l_{\min} —反射表面的最小尺寸(长或高),m

c —声速，此处取 340m/s

如果对已知的倍频带这些条件的任何一个不满足时，则可以忽略反射。

在 R 点的声能，实际上是声源 S 和虚声源 S_i 共同作用的结果。虚声源的声功率级 Lw' 可由下式计算：

$$Lw' = Lw + 10\lg(\rho)$$

式中： ρ —障碍物表面的声反射系数 ($\rho \geq 0.2$)

按 $d_{s,o}+d_{o,r}$ 传播距离计算虚声源在 R 点的声能。

