

道路噪音的预测与对策

1 道路噪音的预测模式

1.1 等间隔模式

如图1所示,此模式系在一无限长的车道上,将保持相等车头间隔 S ,并以常速 V 行驶的车辆视为具有相等音响功率的点音源。假定音在自由空间以球面波传播,则观测点 P 处音的强度 J 可用下式表示:

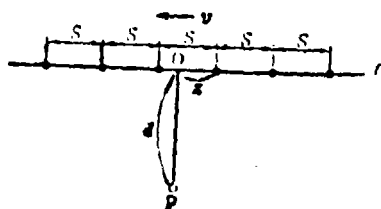


图1 等间隔模式的模式图

$$J = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{W}{4\pi} \cdot \frac{1}{d^2 + (x + ns)^2} \quad (1)$$

式中 W : 各音源的功率(W);

d : 自观测点至车道的距离(m);

s : 车头间隔(m);

x : 从 O 点至第一个车的距离(m).

P 点的声压级为

$$SPL = 10 \log_{10} \frac{J}{I_0} = PWL + 10 \log_{10} \frac{1}{4ds} \frac{\sinh \frac{2\pi d}{s}}{\cosh \frac{2\pi d}{s} - \cos \frac{2\pi x}{s}} \quad (2)$$

此式系以 S 为周期的周期函数, $x=0$ 时

为最大值, $x = \frac{S}{2}$ 时为最小值, 且 SPL_a

(取比 SPL_a 大的值的概率为 $\alpha(\%)$ 时的声压级) 是 $x = \alpha/100 \times s/2$ 时的值, \overline{SPL} (SPL 的平均值)、 $L_{\text{等效}}$ (J 的平均值以 dB 表示) 也可用下列各式求得:

$$SPL_{\max} = PWL + 10 \log_{10} \frac{1}{4ds} \times \frac{\sinh \frac{2\pi d}{s}}{\cosh \frac{2\pi d}{s} - 1} \quad (3)$$

$$SPL_{\min} = PWL + 10 \log_{10} \frac{1}{4ds} \times \frac{\sinh \frac{2\pi d}{s}}{\cosh \frac{2\pi d}{s} + 1} \quad (4)$$

$$SPL_a = PWL + 10 \log_{10} \frac{1}{4ds} \times \frac{\sinh \frac{2\pi d}{s}}{\cosh \frac{2\pi d}{s} - \cos \frac{\alpha}{100} \pi} \quad (5)$$

$$\overline{SPL} = PWL + 10 \log_{10} \frac{1}{2ds} \times \frac{\sinh \frac{2\pi d}{s}}{\cosh \frac{2\pi d}{s} + \sinh \frac{2\pi d}{s}} \quad (6)$$

$$L_{\text{等效}} = PWL + 10 \log_{10} \frac{1}{4ds} \quad (7)$$

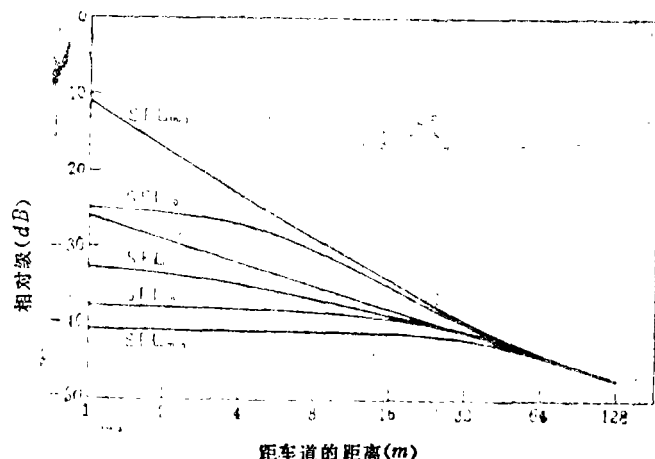


图2 等间隔模式中声压级随距离的衰减

式(5)中如令 $\alpha = 50$, 则得中间值 SPL_{50} , 即

$$SPL_{50} = PWL + 10 \log_{10} \frac{1}{4ds} \times \tanh \frac{2\pi d}{s} \quad (8)$$

上述各量中就声压级而言, 若把式中的 PWL 视为根据 A 特性进行修正的功率级, 则各式均可按照噪音等级值的表示式来处理(SPL_{50} 可视为 L_{50} , 等等), 图2示出 $PWL = 0dB$, $S = 100m$ 时, SPL_{max} , SPL_{min} , SPL_{10} , SPL_{50} , \overline{SPL} , L 等效的值随距离衰减的情况。 d 在较小的范围时, SPL_{max} , SPL_{10} , L 等效随观测点离开道路距离的增大衰减很大, 而其他各量则衰减不大, 但当距离变大时, 则可知任何各量均渐近于 L 等效。

1.2 指数分布模式

在现实的交通流中, 车头间隔并非固定的, 而一般是指数分布。此模式如图3所示, 把被认为功率相等的点音源的车辆, 假定在无限长的一个车道上, 按照车头间隔平均为 $S(m)$ 的指数分布的状态行驶的模式, 对 P 点处音的强度 J 为:

$$J = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{W}{4\pi} \frac{1}{d^2 + x_i^2} \quad (9)$$

声压级为:

$$SPL = PWL + 10 \log_{10} \times$$

$$\sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{4\pi} \frac{1}{d^2 + x_i^2} \quad (10)$$

J 的值不可能像等间隔模式那样用确定的式子表示, 因为 x_i 为概率变数, 所以 J 也成为概率变数。因此, 有必要导出作为 J 的概率变数的性质, 例如 J 的密度函数等。再根据(10)式的关系, 得知与 SPL 有关的各特性。高木等人对这一模式进行过一系列的研究, 对 $PWL = 0dB$ 时的 SPL , 可导出以下各式。即设

SPL 的密度函数为 $f(x)$, SPL 的平均值为 \overline{X} , 方差为 σx^2 时, 可分别得出如下各式

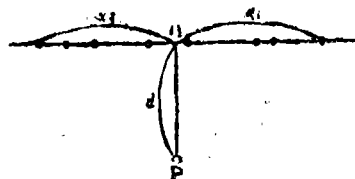


图3 指数分布模式的模式图

($d \rightarrow 0, d \rightarrow \infty$ 时均与严密解一致)。

$$f(x) = \frac{\ln 10}{20\pi^{\frac{1-\beta}{2}} S} 10^{-\frac{x}{20}} \times \exp \left[\pi^{\beta} \left(2 \frac{d}{s} - 4d^2 10^{-\frac{x}{10}} - \frac{1}{4s^2} 10^{-\frac{x}{10}} \right) \right] \quad (11)$$

$$\text{但 } \beta = \frac{(d\pi/s)^2}{1 + (d\pi/s)^2} \quad (12)$$

$$\overline{X} = 10 \log_{10} \frac{1}{4ds} + \frac{10}{\ln 10} \exp \times \left(\frac{4d\pi^{\beta}}{s} \right) E_i \left(-\frac{4d\pi^{\beta}}{s} \right) \quad (13)$$

$$\sigma x^2 = \left(\frac{10}{\ln 10} \right)^2 \left[\frac{\pi^2}{2} - \left(\ln \frac{4d\pi^{\beta}}{s} + r \right)^2 + 2 \left(\ln \frac{4d\pi^{\beta}}{s} + r \right) E_i \left(\frac{4d\pi^{\beta}}{s} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
& - \left\{ \exp\left(\frac{4d\pi^\beta}{s}\right) E_i\left(-\frac{4d\pi^\beta}{s}\right) \right\}^2 \\
& + \exp\left(\frac{4d\pi^\beta}{s}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(\sum_{r=1}^n \frac{1}{r}\right)^2 + 3 \sum_{r=1}^n \frac{1}{r^2}}{n!} \\
& \times \left(-\frac{4d\pi^\beta}{s}\right)^n \Big] \quad (14)
\end{aligned}$$

上式中, $E_i(-4d\pi^\beta/s)$, $\bar{E}_i(4d\pi^\beta/s)$ 为积分指数函数, r 为欧拉常数. 且 $L_{\text{等效}}$ 与等间隔模式时相同, 示如式(7).

与等间隔模式时相同, 当 d 大时, \bar{X} 也渐近于 $L_{\text{等效}}$, 但当 d 小时, 则指数分布模式时较等间隔模式时的值小 2~3 dB. 声压级的方差则相反, 指数分布模式时的值大. 如使用式(11)的密度函数, 则可能求得 SPL_a 的数值(以下设定为噪音级, 使用符号 L_a), 但一般由密度函数用简单的式子表示百分数的值是困难的. 高木等人根据设想指数分布模式只为单音源的等效模式, 导出式子比较简单而精度相当高的 L_a 表达式(15).

$$\begin{aligned}
L_a = PWL + 10 \log_{10} & \left[\frac{1}{4\pi B} e^{-\frac{\pi B^2 d^2}{s^2}} \right. \\
& \cdot \frac{1}{\operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{\pi} B d}{s}\right)} \cdot \frac{1}{d^2 + \left(\frac{s}{\sqrt{2\pi} B}\right)^2 C_a^2} \Big] \quad (15)
\end{aligned}$$

式中 B 及 C_a 由下式得出:

$$\begin{aligned}
B &= \frac{\frac{s}{\sqrt{2\pi} d} \sqrt{1 + 2\sqrt{\frac{\pi d}{s}}}}{1 + \frac{s}{\sqrt{2\pi} d} \sqrt{1 + 2\sqrt{\frac{\pi d}{s}}}} \quad (16) \\
\int_0^C \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt &= \frac{0.01}{2} \times \alpha \quad (17)
\end{aligned}$$

C_a 的值由正态分布表求得, 例如 $\alpha = 50$ 时, $C_a = 0.67449$.

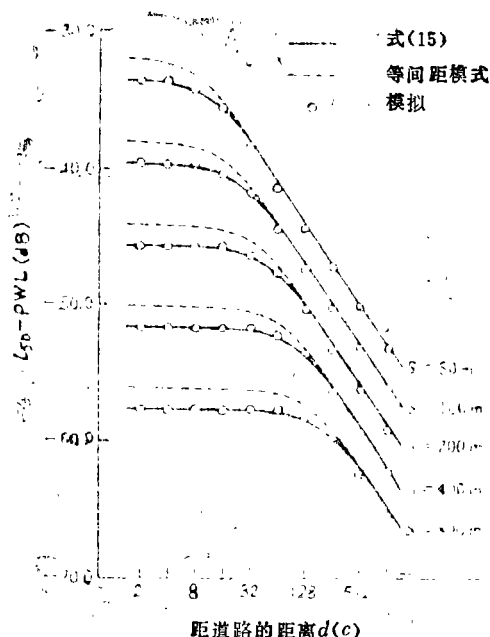


图4 指数分布模式时的 L_{50}

作为一个例子, 图4示出了用上式计算得出的 L_{50} 、等间隔模式时的 L_{50} 及模拟计算的结果. 由图可知, 当 d 小时, 指数分布模式时的 L_{50} 小 2~3 dB, 而且, 关于指数分布模式, 还有从每个车辆发出的音响功率为变动的模式、两种车辆混有情况的模式, 或者考虑空气吸收音、折射衰减的模式等等也都在研究之中, 这里从略.

2 道路噪音的预测计算方法

1975年日本音响学会提出有关道路噪音的预测计算方法的报告, 现在广泛使用于道路噪音的预测计算, 其概要如下:

预测的为噪音级的中值, 基本式是按照等间隔模式的理论式, 如式(18).

$$\begin{aligned}
L_{50} &= L_a - 8 - 20 \log_{10} d + \\
& 10 \log_{10} \left(\pi \frac{d}{s} t \operatorname{anh} \frac{2\pi d}{s} \right) + \alpha \quad (18)
\end{aligned}$$

式中 L_{50} : 噪音级的中值(dB(A))

L_a : 根据1台车辆发生的噪音的A特性

得出的平均功率级 ($dB(A)$) ;

d : 从车道至受音点的距离(m);

S : 平均车头间隔(m), $S = 1000v/Q$,

[Q : 交通量(台/h), v : 速度(=km/h)];

α : 修正值, $\alpha = \alpha_d + \alpha_i$, (α_d : 因折射的修正值, α_i : 因沿线地表条件等的修正值)。

上式用于推定在汽车专用道路或与其相当的道路上, 每小时约1000台以上的汽车, 以30~100km/h左右的速度正常行驶时, 距道路约100m的地点(地上1.2m)的噪音级的中值。平均功率等级 L_{50} , 根据车种构成及速度确定, 车种分大型车与小型车两类时, L_{50} 用下式求得:

$$L_{50} = 87 + 0.2v + 10\log_{10}(a_1 + 10a_2) \quad (19)$$

式中 v : 速度(km/h), a_1 : 小型车类行驶百分率;

a : 大型车类行驶百分率($a_1 + a_2 = 1$)

当分三类时:

$$L_{50} = 85 + 0.2v + 10\log_{10}(b_1 + 3.2b_2 + 16b_3) \quad (20)$$

式中 b_1 : 小轿车类行驶百分率;

b_2 : 小型货车类行驶百分率;

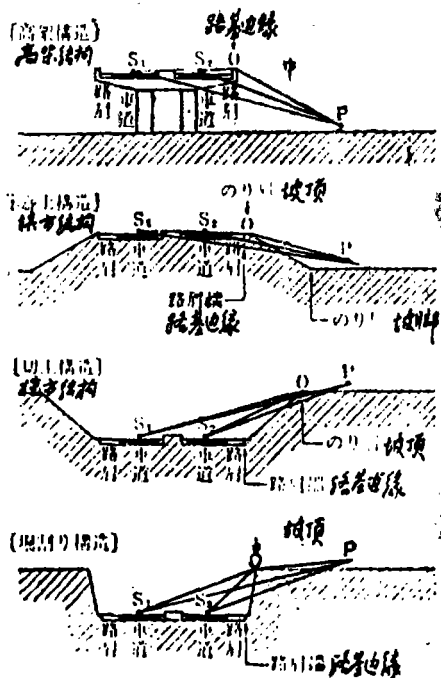
b_3 : 大型车类行驶百分率

$$(b_1 + b_2 + b_3 = 1).$$

分为二类或三类均可。

折射的衰减量可用图5、图6求得。即由图5求得 δ_i , 再由图6读出对应于 δ_i 的衰减量。

其次是多车道的处理方法, 当为双向双车道的道路时, 则假定为1车道在道路中央。对于一般的单侧双车道或3车道道路, 可假定在上下行车道的中央各为1车道(共2车道), 求各车道含 α_d 的 L_{50} , 将2个 L_{50} (令为 L_a 、 L_b)按能量合成变换为级的值 $[10\log_{10}(10^{L_a/10} + 10^{L_b/10})]$, 给出含有 α_d 的 L_{50} 。研究含有 α_d 及 L_{50} 的计算值与实测数据的对应关系, 由实测值减去计算值后的差值的平均值, 即图7所示的修正值 α_i 。



[注] O: 音响障碍物的顶点

P: 受音点的位置

S_1 、 S_2 音源位置

在各行车道(上行、下行)的中心线上
距路面0.3m高度处。

$$\delta_i = S_iO + OP - S_iP \quad (i=1,2)$$

图5 遮蔽物产生折射距离的计算

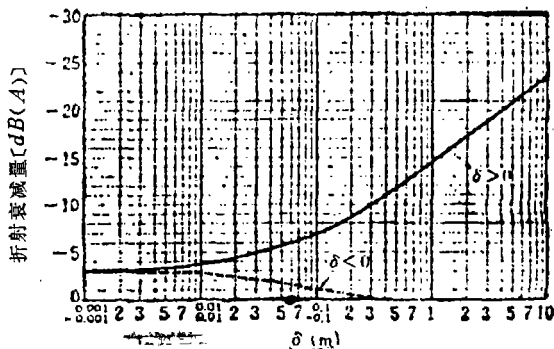


图6 折射修正值 α_d 的计算图表

3 道路噪音的防止对策

作为道路噪音的对策, 必须从汽车本身

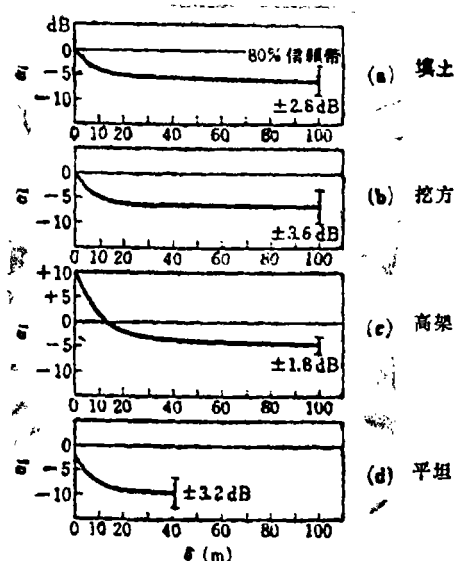


图7 修正值 α_i (受音点的高度在地面上1.2m时)

的音源、交通流的抑制、道路结构的改善、沿线措施等各方面的对策综合考虑。

3.1 音源对策

汽车加速行驶时,对发动机噪音的影响程度情况是,包括小轿车在内的小型车约为50%,大中型车为60~70%,由此可知对发动机声音有必要采取对策。因大型车的道路噪音较大,所以应特别重视大型车发动机噪音对策。对发动机声音的对策中,有发动机的改善和对发动机进行遮蔽两方面,目前这两方面都还停留在研究阶段。

正常行驶时,轮胎噪音成为主要噪音源。轮胎花纹基本上分两种:一是与车的行进方向直交划沟的横槽纹型,一是与行进方向一致划沟的肋条型。横槽纹型的一种称为 *pocket retread* 轮胎的噪音最大,其次是交叉花纹轮胎的噪音,而肋条型轮胎噪音最小。*pocket retread* 轮胎与交叉花纹轮胎比较,在混凝土道路上的噪音高4~11dB(A),在沥青道路上的噪音高2~6dB(A)。交叉花纹轮胎较肋条型轮胎,在混凝土道路上约高4~8dB(A),在沥青道路上约高4~5dB(A)。

大型车的噪音,就发动机及轮胎方面,都必须尽先采取减轻对策。

3.2 交通流对策

在交通量大的道路上,如交通量减少1/2,则噪音级的中值将减少约3昉(注:响度单位)。在交通量较少的道路上,观测点靠近道路的情况下,如交通量减半,中值将减少约6dB(A),但无论在何种情况下, L_{eq} 等只能减少3dB(A)。大型车的功率级比小型车的功率级大10dB(A),相当于10台小型车,所以降低大型车的行驶率是重要的,定量的计算可按2节的方法进行。

关于速度限制,因功率级与 $0.2v$ 成比例,所以限制车速10km/h可减少2dB(A)。

3.3 传播途径对策

现在最广泛使用的虽然是隔音墙,但对道路结构采用挖沟、挖方、填方等也是同样的一种对策。在道路两侧设置绿地等缓冲空间,可期望从加大了距离及种植树草这两方面使噪音得到衰减。但由图2可看出,由加大距离产生的衰减,如不是采取相当宽的宽度,则 L_{eq} 等就不会有太大的衰减,而因树草的衰减,每100m也只得几昉到十几昉,不可能期望有很大的效果。

3.4 沿线措施

作为受音方面的措施,可考虑对沿线民房、学校、医院等做隔音工程,或根据情况考虑迁移等。也可考虑用缓冲建筑物诱导,使该建筑物的里侧保持安静。此方法是与沿线土地利用相关联的传播途径对策,即期望通过折射得到衰减。将仓库、近于无人的工厂等迁设在道路沿线,今后也有研究的必要。

译自末石富太郎著新体系土木工学1980年1月

译:周庆桐(交通部第二公路勘察设计院)

校:卓知学(湖南大学土木系)