

# 高架道路声屏障的降噪效果

俞悟周

(同济大学声学研究所, 上海 200092)

**摘要** 详细介绍了德国 RLS 90 道路交通噪声预测模型, 运用 RLS 90 模型对具有典型道路参数的高架道路试验段在不同距离、不同高度下进行了辐射噪声和声屏障降噪效果特性的预测计算, 并进行了实际测量。结果表明, 高架道路对低于其路面高度的近距离区域有显著的噪声遮蔽作用, 对于高架道路, 声屏障对路面高度附近的区域降噪效果最佳, 4 m 高声屏障的最大降噪效果达 10 dB。结果还表明, 采用 RLS 90 模型得到的高架道路噪声级和声屏障降噪效果计算值和实测数据吻合良好。

**关键词** 道路交通噪声 高架道路 声屏障 噪声降低

中图分类号 X121 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2008)06-0844-04

## Noise reduction effect of sound barrier of elevated road

Yu Wuzhou

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** Based on RLS 90 model, noise and barrier effect of test elevated road section at different distance and different height were calculated and compared with measurement result. For near area lower than its height, elevated road shields noise remarkably. As to elevated road, noise barrier can get best noise reduction near the height of road surface. 10 dB noise reduction can be expected for 4 m high barrier. Comparisons of calculation and on-site measurement results of barrier performance of test elevated section show that results obtained from RLS 90 model are in concord with measurement results.

**Key words** road traffic noise; elevated road; noise barrier; noise reduction

许多城市中心区域为解决交通拥堵问题建设高架道路, 道路两侧居民住宅通常比较密集, 且距离高架道路较近, 高架道路交通噪声严重影响沿线居民。对于高架道路, 其噪声分布特性和地面道路有所不同。声屏障是局部有效降低道路交通噪声污染的措施, 对不同的道路形式和敏感点分布, 降噪效果有所不同。文章采用 RLS 90 道路噪声预测模型, 选择沪青平高速公路七莘段作为试验高架道路段, 对高架道路辐射噪声及其声屏障降噪效果进行了计算, 并和实际测量结果进行比较。

### 1 道路交通噪声的预测方法

目前我国常用的计算模型为 FHWA(美国联邦公路管理局)预测模型和德国 RLS 90(Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen 90 德国道路噪声防护导则 90)中的预测计算方法。

FWAH 预测模型通过对基本参考声级进行一系列因素的修正后得到预测声级<sup>[1]</sup>。将道路上的车流按照大、中、小型车分类, 假定车流以恒定速度在

无限长的平坦公路上行驶, 在计算距离道路中心线 15 m 处等效声级的基础上, 计算预测点和道路之间环境条件的修正, 求出某类车辆的小时等效声级  $L_{eq}(h)_i$ , 再求得总车流等效声级  $L_{eq}(T)$ 。FWAH 模型要求预测点与车道中心线距离大于 15 m, 且未考虑道路坡度和路面粗糙度的修正。

RLS 90 预测模型通过对标准条件下的参考辐射声级进行车速、道路表面、道路坡度、空气吸收、地面衰减等一系列修正后得到预测声级, 包含声源辐射计算模型和声传播模型。文章采用 RLS 90 计算模型进行计算。

#### 1.1 RLS 90 的道路声源辐射声级计算模型

光滑沥青道路表面、限速 100 km/h、坡度 < 5%、距道路表面 2.25 m 高度、声波自由传播时距离道路 25 m 处的声级为  $L_m^{(25)}$ , 进行最高限速修正  $D_v$ 、

收稿日期: 2008-02-26; 修订日期: 2008-04-18

作者简介: 俞悟周(1972-), 女, 博士, 副研究员, 主要研究领域: 环境声学、噪声控制。E-mail: ywzh@mail.tongji.edu.cn

道路表面修正  $D_{surf}$ 、道路坡度修正  $D_{slope}$  后可得到道路声源辐射声级  $L_{m,E}$ 。

$$L_{m,E} = L_m^{(25)} + D_v + D_{surf} + D_{slope} \quad (1)$$

$$L_m^{(25)} = 37.3 + 10\lg[M(1 + 0.082p)] \quad (2)$$

$$D_v = L_{car} - 37.3 + 10\lg\left[100 + \frac{10^{0.1(L_{truck} - L_{car})} - 1}{(100 + 8.23p)^p}\right] \quad (3)$$

$$L_{car} = 27.7 + 10\lg[1 + (0.02V_{car})^3] \quad (4)$$

$$L_{truck} = 23.1 + 12.5\lg(V_{truck}) \quad (5)$$

式中:  $M$  为单车道小时平均车流量;

$p$  为载重量大于 2.8 t 的大型车所占比例;

$V_{car}$ 、 $V_{truck}$  为小型车、大型车的限速, km/h。

当坡度  $G \leq 5\%$  时  $D_{slope}$  为 0, 当  $G > 5\%$  时  $D_{slope} = 60G - 3$ 。

道路表面修正  $D_{surf}$  按表 1 进行。

表 1 不同限速下的  $D_{surf}$  值  
Table 1  $D_{surf}$  at different velocities

道路表面类型	在不同限速下的 $D_{surf}$ 修正值		
	限速 30 km/h	限速 40 km/h	限速 $\geq 50$ km/h
光滑沥青, 混凝土沥青	0	0	0
混凝土	1.0	1.5	2.0
光滑表面公路	3.0	2.5	3.0
其他	3.0	4.5	6.0

### 1.2 RLS 90 中预测点噪声级的计算

将车道沿车道方向划分为  $i$  个小段, 声源发射点为每段中心上方 0.5 m, 每段长度  $l_i$  不超过声源发射点和预测点间距离的一半, 预测点处的总噪声级  $L_m$  为每一小段的平均声压级  $L_{m,i}$  的叠加,  $L_{m,i}$  由道路辐射声级  $L_{m,E}$  经过道路长度修正  $D_{l,i}$ 、空气吸收和距离衰减修正  $D_{s,i}$ 、地面吸收和气候影响的修正  $D_{Bm,i}$ 、道路两侧平行面而引起的多次反射的修正  $D_{refl,i}$ 、屏障的降噪量修正  $D_{bar,i}$  后计算得到。

$$L_m = 10\lg \sum_i 10^{0.1(L_{m,E} + D_{l,i} + D_{s,i} + D_{Bm,i} + D_{refl,i} - D_{bar,i})} \quad (6)$$

$$D_{l,i} = 10\lg(l_i) \quad (7)$$

$$D_{s,i} = 11.2 - 20\lg(S_i) - S_i/200 \quad (8)$$

$$D_{Bm,i} = (h/S_i)(34 + 600/S_i) - 4.8 \leq 0 \quad (9)$$

$$D_{refl,i} = \begin{cases} 4h_{build,i}/w_i \leq 3.2 & \text{两侧为反射面} \\ 2h_{build,i}/w_i \leq 1.6 & \text{两侧为吸声面} \end{cases} \quad (10)$$

$$D_{bar,i} = 10\lg(3 + 80\delta_i e^{-\frac{1}{2000} \frac{A_i \beta_i S_i}{2\delta_i}}) \quad (11)$$

式中:  $S_i$  为第  $i$  段车道声源点到预测点的距离;

$h$  为预测点高度;

$h_{build,i}$  为第  $i$  段车道两侧反射面的高度;

$w_i$  为第  $i$  段车道两侧反射面间距;

$A_i$  为第  $i$  段车道声源发射点到声屏障顶端的距离;

$B_i$  为预测点到声屏障顶端的距离;

$\delta_i$  为声程差,  $\delta_i = A_i + B_i - S_i$ 。

对于多车道道路, 预测点的总噪声级  $L_m$  由距离最近和最远的车道在预测点的声级  $L_{m,n}$ 、 $L_{m,t}$  进行叠加计算得到。

## 2 高架道路声屏障降噪效果计算

高架道路通常距离地面有 5 ~ 10 m 高, 且两侧有 1 m 左右的防撞墙, 因此高架道路路面及防撞墙可看成声屏障, 高架道路本身对低于其高度的空间形成噪声遮蔽, 其遮蔽作用为  $\Delta L_m$ 。对于不含地面道路的高架道路, 应用 RLS 90 模式时高架道路噪声  $L'_m$  为:

$$L'_m = 10\lg(10^{0.1(L_{m,n} - \Delta L_{m,n})} + 10^{0.1(L_{m,t} - \Delta L_{m,t})}) \quad (12)$$

式中:  $\Delta L_{m,n}$  和  $\Delta L_{m,t}$  为高架路面 (含防撞墙) 对最近车道和最远车道形成的遮蔽效果值, 根据式 (11) 进行计算。

对于高架道路防撞墙上安装的声屏障, 其降噪效果  $\Delta L''_m$  为安装声屏障前的噪声级  $L'_m$  与安装声屏障后的噪声级  $L''_m$  之差。

$$\Delta L''_m = L''_m - L'_m = 10\lg \frac{10^{0.1(L_{m,n} - \Delta L_{m,n})} + 10^{0.1(L_{m,t} - \Delta L_{m,t})}}{10^{0.1(L_{m,n} - \Delta L'_{m,n})} + 10^{0.1(L_{m,t} - \Delta L'_{m,t})}} \quad (13)$$

式中:  $\Delta L'_{m,n}$ 、 $\Delta L'_{m,t}$  分别为高架道路安装声屏障后高架道路路面、防撞墙及其上的声屏障对最近车道和最远车道形成的遮蔽效果值, 根据式 (11) 进行计算。

## 3 试验段高架道路声屏障的降噪

### 3.1 计算结果

根据以上各式对具有典型道路参数的高架道路试验段进行了距离 100 m 内、15 层楼高度 (43.5 m 高度) 以内噪声级的预测计算, 计算中 1 层预测点高度按 1.5 m 计, 层高按 3 m 计。试验高架道路为沪青平高速公路七莘路段, 该道路为双向四车道, 路宽 26 m, 设计车流量为昼间 3 800 辆/h, 大型车比例为 26%, 大车限速为 80 km/h、小车限速为 100 km/h, 高架道路防撞墙高 0.85 m, 路面高 8 m。同时计算了高架道路声屏障的降噪效果。对于高架

道路,声屏障的设置高度受到结构因素的限制,通常声屏障和防撞墙的总高度不超过4 m,文章试验段采用的声屏障总高度为4 m。图1为不同距离、不同高度下高架道路试验段的噪声级的计算值,图2为高架道路试验段的遮蔽效果计算值,图3为4 m高声屏障安装到高架道路试验段的降噪效果计算值。

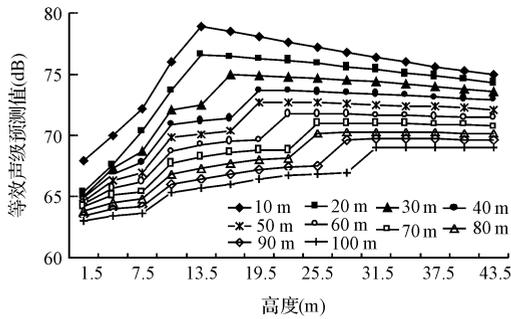


图1 不同高度、不同距离高架道路噪声级预测值  
Fig. 1 Prediction of elevated road noise at different height and distances

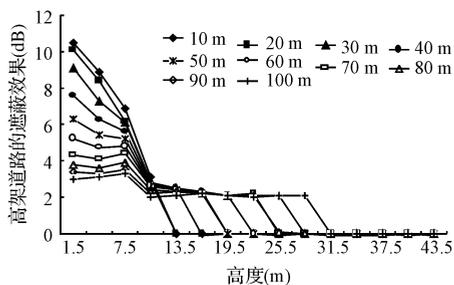


图2 高架道路的遮蔽效果计算值  
Fig. 2 Prediction of noise shielding effect of elevated road test section

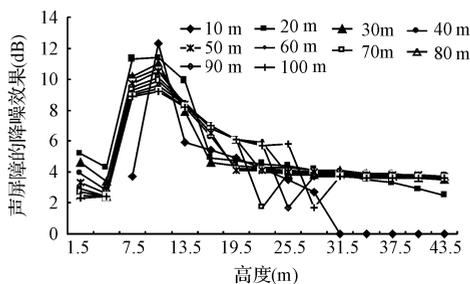


图3 高架道路4 m高声屏障的降噪效果计算值  
Fig. 3 Evaluation of noise reduction performance of 4 m high noise barrier at elevated road test section

图1表明对于高架道路,由于高架道路的遮蔽作用,在50 m的距离内,较低楼层的噪声级较低,随着楼层高度的增加,噪声级上升显著,并在较高楼层达到峰值,峰值相对于底层噪声级增加10 dB左右。在50 m以上的距离处,噪声级随楼层高度的增加而缓慢增加,并达到稳定值。

图2表明高架道路在70 m距离内、7.5 m高度内有3 dB以上的显著的噪声遮蔽作用,尤其对近距离的底层,最大遮蔽效果达11 dB。超过高架道路高度后,遮蔽效果很快下降为0。

图3表明4 m高的声屏障对于高架道路,声屏障的降噪效果在4.5 m(2层楼高)高以下低于5 dB,在7.5~13.5 m高处较大,对应4层楼高的10.5 m高处声屏障的降噪效果最大,对于50 m以内的较近距离,4层楼高处的声屏障降噪效果达10 dB。而后随着距离和楼层高度的增加,声屏障降噪量显著降低;不同距离下在19.5 m高度内的声屏障降噪量随高度变化的规律基本一致。

### 3.2 实测结果

试验段为沪青平高速公路七莘路段,建成时无地面道路,路边住宅建筑物共4幢,均为6层高,总长度约为150 m。住宅建筑物与沪青平高速公路成约7°夹角,与试验路段相距12~38 m。试验段对临近住宅采用吸声型声屏障进行降噪,并安装圆柱形吸声顶端,声屏障和防撞墙总高度为4 m。图4为试验段道路和临近住宅的平面布置图。

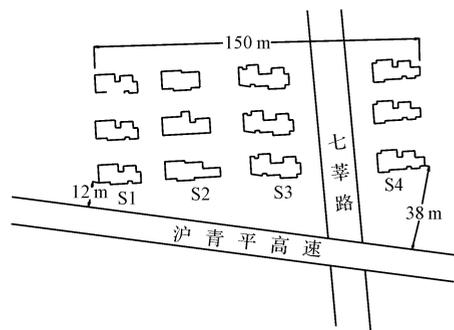


图4 试验段高架道路和临近住宅楼的平面布局图  
Fig. 4 Layout of elevated road test section and resident buildings nearby

由于声屏障安装前,试验段尚未通车,无法在同一点测量声屏障安装前后的插入损失,参照《声屏障声学设计和测量规范》,选择与沪青平高速公路距离相等的有声屏障段和无声屏障段进行测量。

有声屏障段测点选择在声屏障的中部(亦即住宅楼 S2 中部),距离高架道路试验段边侧 20 m,分别在 1 楼(1.5 m 高)、3 楼(7.5 m 高)、6 楼(16.5 m 高)布置测点 P1、P2、P3,参考点 F 位于声屏障上方 1.5 m 处,各测点对应的噪声级为  $L_{P1}$ 、 $L_{P2}$ 、 $L_{P3}$ 、 $L_F$ 。无声屏障段选择在与有声屏障段同一路段上,且该路段没有车流分岔口。无声屏障段测点的高度、参考点高度、与道路的距离和有声屏障段一致,测点和参考点分别为 P1'、P2'、P3'、F',各测点的噪声级为  $L_{P1'}$ 、 $L_{P2'}$ 、 $L_{P3'}$ 、 $L_{F'}$ 。测试时排除周边交通噪声的影响。试验段声屏障实际降噪效果的测试如图 5 所示。

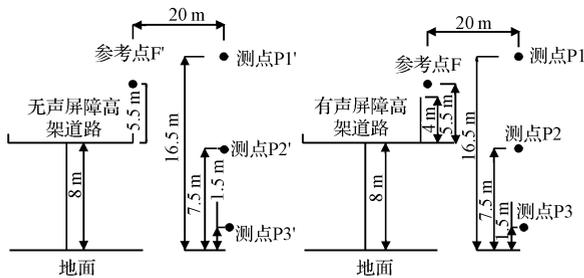


图 5 试验段声屏障实际降噪效果的测试示意图

Fig.5 Measurement of insulation loss of sound barrier at elevated test section

1、3、6 楼层测点对应的插入损失为:

$$\begin{aligned} IL_1 &= (L_{P1'} - L_{P1}) - (L_{F'} - L_F) \\ IL_2 &= (L_{P2'} - L_{P2}) - (L_{F'} - L_F) \\ IL_3 &= (L_{P3'} - L_{P3}) - (L_{F'} - L_F) \end{aligned} \quad (14)$$

测试时,实际车流量为 2 160 辆/h,大车比为 24%,1、3、6 楼层无声屏障时高架道路噪声级的预测值和实测值、声屏障插入损失的计算值和实测值如表 2 所示。

表 2 表明,声屏障对各楼层均具有较好的降噪效果,3 楼的降噪效果较 1 楼明显,达 10.3 dB。声屏障的降噪效果和测点处无屏障时的高架道路噪声级与预测计算值基本相吻合。6 楼的实际降噪效果

比预测值高的原因是圆柱吸声体对减小绕射声的效果明显,相当于提高了声屏障的有效高度,使 6 楼的降噪效果有一定的提高。

表 2 试验段噪声级和声屏障插入损失计算结果

Table 2 Noise of test section and noise reduction of barrier of test section

楼层	高度 (m)	无声屏障时的噪声级 (dB)		声屏障的插入损失 (dB)	
		计算值	实测值	计算值	实测值
1	1.5	63.0	62.2	5.2	6.1
3	7.5	67.9	65.4	11.3	10.3
6	16.5	73.8	73.2	4.9	6.5

## 4 结 论

文章采用 RLS 90 道路噪声预测模型对高架道路的辐射噪声及其声屏障效果进行计算。试验高架路段的计算结果表明,高架道路路面对低于其路面高度、距离 50 m 内的近距离区域有显著的噪声遮蔽作用,尤其对底层,最大遮蔽效果超过 10 dB。近距离较低楼层的噪声级较低,随着楼层高度的增加,噪声级上升显著,峰值相对于底层噪声级增加 10 dB 左右。

对于高架道路,4 m 高声屏障的降噪效果在 4.5 m(2 层楼高)高以下低于 5 dB,在 7.5 ~ 13.5 m 高处较大,对应 4 层楼高的 10.5 m 高处声屏障的降噪效果最大,而后随着距离和楼层高度的增加,声屏障降噪量急剧降低;不同距离下在 19.5 m 高度内的声屏障降噪量随高度变化的规律基本一致。

数据比较表明,采用 RLS 90 模型计算得到的试验段高架道路噪声级和声屏障降噪效果和实测数据吻合良好。

## 参 考 文 献

[1] 郑长聚主编. 环境工程手册(环境噪声控制卷). 北京: 高等教育出版社, 2000. 381 ~ 382