

高层住宅阳台降噪量的计算分析

蒋国荣 王季卿 刘少瑜

(同济大学声学研究所 上海 200092) (香港大学建筑系)

1999年7月22日收到

摘要 高层住宅中的阳台不仅具有居住及建筑上的功能,对道路交通噪声也有衰减作用。本文通过建立噪声传播模型计算高层住宅阳台的插入损失,并探讨了影响阳台降噪量的一些因素。同时对阳台内部吸声处理的效果进行了理论预测。

关键词 声传播,声屏障,高层住宅

A study of noise reduction by high-rise balcony

Jiang Guorong¹ Stephen S.Y.Lau² Wang Jiqing¹

¹(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092)

²(Department of Architecture, The University of Hong Kong)

Abstract In a city with high density of traffic flows, balcony can be incorporated in the architectural design of high rise residential buildings, not only as a vital space for the inhabitants, but also as an effective noise abatement element. This paper investigates the mitigation of road traffic noise by balcony in high-rise residential building and predicts the insertion loss of a balcony. Finally, an acoustical treatment is proposed to reduce the impact of road traffic noise.

Key words Sound propagation, Noise barrier, High rise building

1 引言

在道路交通噪声控制中建立声屏障是较常采用的手段,对不同类型屏障的降噪作用已有较为深入的研究并在大量的实际工程中得到了应用。然而对于建筑密度较高的城市中心区,则受到发展用地紧张及其它诸如交通安全、环境、城市景观等因素的制约,建造声屏障的可能性较小。同时这些地区的住宅大多为高层,而声屏障的作用仅能体现在较低的几个楼层,

对于大部分楼层来说,常规的声屏障则不起作用,除非声屏障的高度很高以至与高层住宅的高度相当,这显然是不现实的。随着城市建设的发展及大量高层住宅的出现,如何降低交通噪声对其的影响是住宅设计及噪声控制所面临的问题。而利用住宅的部分结构以遮挡来自道路的直达声,降低到达隔声薄弱环节如门、窗等部位的噪声级,从而提高整个住宅的抗噪声能力,无论从工程建设还是经济上考虑都是有效的途径。研究证明^[1],住宅阳台即为此类结

构之一，它可以降低交通噪声对住宅立面上门窗部位的辐射。然而这些研究仅是在某一特定条件下进行测试比较，没有系统考虑影响降噪量的各个因素，更没有提出具体可行的计算方法。Oldham^[2]通过计算机模拟计算阳台到墙面的噪声衰减量，并利用模型测试得到了房间内和阳台中的声压级关系，但只对住宅最高为四层的情况进行了分析，而且没有考虑住宅到道路的距离等因素。本文将通过建立噪声传播的理论模型，提出计算阳台对道路交通噪声插入损失的方法，系统分析影响阳台降噪作用的因素。同时得到典型条件下的计算结果，为高层住宅降噪处理提供设计依据。

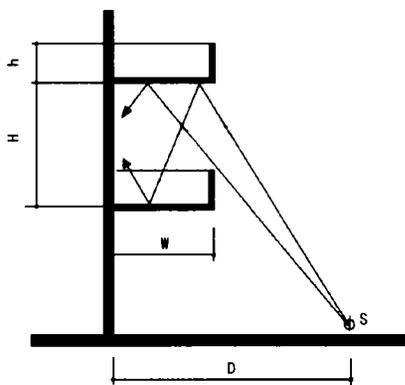


图1 阳台中反射声传播示意

H—层高 W—阳台挑出外墙面的深度
h—阳台栏杆的高度 D—声源到外墙面的距离

2 噪声通过阳台传播的理论模型

本文中所考虑的阳台是指那些三面都有封闭栏杆的挑出式阳台，阳台的上部为敞开式不考虑封闭时的情况。因为当阳台上部也封闭时，其对交通噪声的衰减量主要决定于封闭面的隔声性能，不在本文讨论的范围。本文考虑的阳台形式在我国南方地区，特别是香港的高层住宅中被普遍采用，其剖面见图1。接收点位于阳台内的建筑外墙面上。定性分析可以知道，阳台的栏杆可阻挡直接来自道路的交通噪声，即起到声屏障的作用，对降低阳台内的噪声是有利的；同时阳台的各侧面、地面以及上层阳台的底面对于噪声具有反射作用，这是不利的因素。所以为计算入射到阳台内外墙面上的噪声能量，需分别确定反射声及绕射声的能量。设两者与直达声能的比值分别为反射因子RF及绕射因子DF。由于阳台内建筑外墙面上各部分与声源的相对位置不同，噪声能量的分布也有差别^[3]。对此，把整个接收面（图1中高度为H，宽度为W的阳台内墙面）分成足够小的面积单元，各单元由其中心点表示，则到达接收点面上的声能为各接收点（面积单元中心点）声能之和。由此得到整个接受面上的平均反射因子、绕射因子及阳台的插入损失IL。文中假

设，到达各接收点上的交通噪声是不相干的且阳台栏杆的透射声可以忽略。阳台的插入损失以A计权表示，即IL(A)。以下分析中，噪声仅来自相邻的交通道路，本文为探讨阳台各部分尺寸对隔离交通噪声的影响，不失普遍性，设声源为点声源。

2.1 反射因子

接受面上第*i*个接收点表示为： R_i ，其反射因子 RF_i 可表示为：到达该面积单元的各反射声能之和与直达声能的比值：

$$RF_i = \frac{\sum_{k=1}^K p_k^2 (1 - \alpha_k)}{p_{dir}^2}$$

其中 p_{dir} 为直达声声压； p_k 为第*k*个反射声声压； α_k 为第*k*个反射声所经反射面的能量吸声系数。对于点声源S，直到声与反射声声压可由接收点到声源及各虚声源的距离来表示，同时考虑到各频率的不同吸声系数有：

$$RF_{ij} = \frac{SR_i^2 (1 - \alpha_{jk})}{\sum_{k=1}^K SR'_{ik}{}^2}$$

式中， SR_i 为声源到第*i*个接收点的距离， SR'_{ik} 为第*i*个接收点到声源相对于各反射面镜像（虚声源）的距离， α_{jk} 为相应于第*j*个频带中心频率的吸声系数。则整个接收面上的平

均反射因子为:

$$RF_j = \frac{\sum_{i=1}^M RF_{ij}}{M}$$

M 为整个接收面分割成的接收单元个数。

2.2 绕射因子

阳台栏杆可看成是声屏障, 则接受面中第 i 个接收点上对于第 j 个频带的绕射因子 DF_{ij} 为:

$$DF_{ij} = 10^{-Att_{ij}/10}$$

Att_{ij} 为屏障的插入损失, 根据 Kurze 和 Anderson^[4] 的计算理论到:

$$Att_{ij} = 5 + 20\lg\{(2\pi N_{ii})^{1/2}/\tanh(2\pi N_{ii})^{1/2}\} \quad (dB), N_{ii} > 0$$

$$Att_{ij} = 5 + 20\lg\{(2\pi N_{ij})^{1/2}/\tan(2\pi N_{ij})^{1/2}\} \quad (dB), 0 > N_{ij} > -0.2$$

其中 Fresnel 数 $N_{ij} = \cos\theta_i \times \delta_i/\lambda_j$, δ_i 是声程差; λ_j 是第 j 个频带中心频率的波长, $\cos\theta_i$ 为声源 S 到接收点 R_i 连线与反射面法线的夹角。整个接收面上的平均绕射因子 DF_j 为:

$$DF_j = \sum_{i=1}^M DF_{ij}/M$$

2.3 A 计权插入损失

无阳台时, 接收面上平均 A 计权声压级为 $L(A)$, 有阳台时的平均声压级为 $L'(A)$, 可分别表示为:

$$L(A) = 10\lg\left(\sum_{j=1}^J 10^{(L_j+a_j)/10}\right) \quad (dBA)$$

$$L'(A) = 10\lg\left(\sum_{j=1}^J (DF_j + RF_j) \cdot 10^{(L_j+a_j)/10}\right)$$

其中, a_j 为第 j 个频带的 A 计权因子, L_j 为 j 频带的声压级, J 为所考虑频带

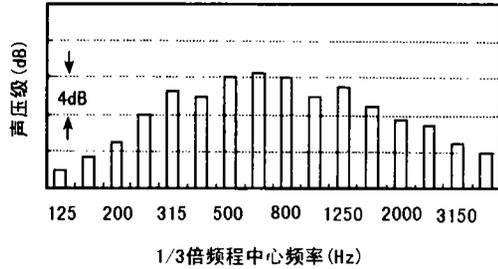


图 2 交通噪声的频谱

的总数。文中考虑的交通噪声各频带的中心频率从 100Hz 到 4kHz(1/3 倍频程), 所以 $J = 16$ 。阳台的 A 计权插入损失 $IL(A)$:

$$IL(A) = L(A) - L'(A) = 10\lg\frac{\sum_{j=1}^J 10^{(L_j+a_j)/10}}{\sum_{i=1}^J (DF_j + RF_j) \times 10^{(L_j+a_j)/10}} \quad (dBA)$$

实测的交通噪声频率特性如图 2 所示, 各频带内的声压级可表示为:

$$L_j = L_0 + b_j \quad (dB)$$

L_0 是 1000Hz 的声压级, b_j 为各频带的相对声压级。设 $c_j = a_j + L_j$, 则:

$$IL(A) = 10\lg\frac{\sum_{j=1}^J 10^{c_j/10}}{\sum_{i=1}^J (DF_j + RF_j) \times 10^{c_j/10}}$$

c_j 是由噪声频谱及 A 计权因子所决定的常数。

3 计算结果与分析

设高层住宅的层高 $H=3.0m$, 阳台的挑出深度 $W=1.5m$ 。阳台内表面高次反射声能相对较小, 可忽略^[5]。计算中主要考虑经上层阳台底面的反射声及通过阳台栏杆的绕射声。不

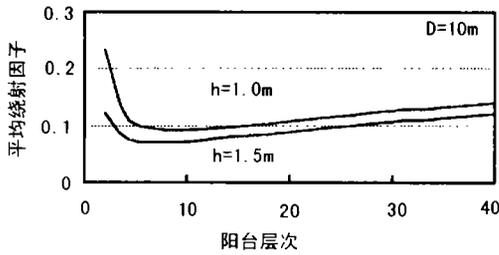


图3 平均绕射系数随楼层的分布
阳台栏板高度分别为 $h=1.0\text{m}$, 1.5m
声源到建筑外墙的距离 $D=10\text{m}$

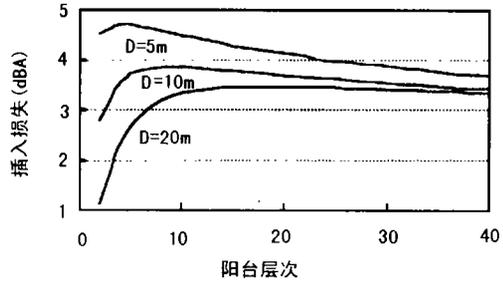


图6 不同的道路与建筑外墙下阳台插入损失
随楼层的分布
 D —道路到高层住宅的距离
阳台栏板高度 $h=1.5\text{m}$

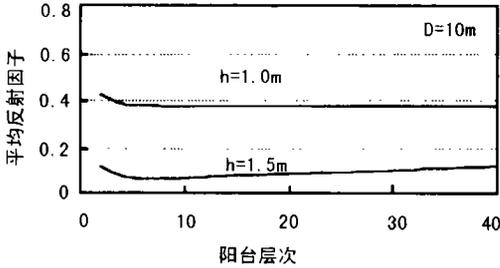


图4 平均反射系数随楼层的分布
阳台栏板高度分别为 $h=1.0\text{m}$, 1.5m
声源到建筑外墙的距离 $D=10$

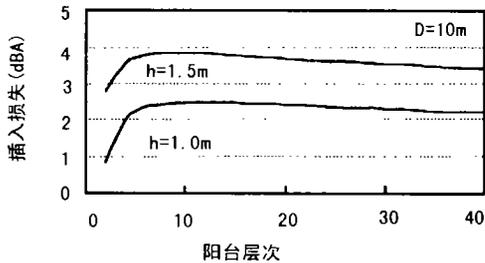


图5 阳台的插入损失随楼层的分布
阳台栏板高度分别为 $h=1.0\text{m}$, 1.5m
声源到建筑外墙的距离 $D=10$

也较小。相反,图4中阳台栏板高度对反射系数 RF 的影响较明显,但随楼层的变化较小。结合图5中插入损失的分布可以看出:较低楼层阳台内噪声的能量由反射声和绕射声共同决定,随着楼层的增加,绕射声能迅速减小,这时主要由经上层阳台的反射声能决定。计算中还发现,阳台的插入损失与道路到建筑外墙的距离 D 有关,图6是不同距离下插入损失在各楼层的分布。

图6中,当声源到住宅的距离 D 增加时,阳台的插入损失减小,尤其对于较低楼层的阳台,因绕射声的作用比较明显,插入损失的变化较大。随着楼层的提高,反射声起决定作用,所以插入损失趋于接近。这也就是说不同楼层的阳台,其插入损失随声源到住宅距离的变化是不同的,图7中是高层住宅的第2、8、30层阳台的插入损失随距离的变化。总的趋势为:声源到住宅距离增加,插入损失减小,但楼层低的阳台其插入损失随距离的衰减较快,而楼层较高的阳台其衰减较慢。

由以上分析可知,要提高阳台的降噪能力可提高阳台栏板的高度,但这往往受高层住宅功能和建筑设计要求的限制。另一途径是:对阳台的内表面,主要是上层阳台的底面进行吸声处理以降低反射声的能量。特别是对于较高楼层的阳台则作用更明显。图8为阳台反射面的平均吸声系数不同时,插入损失在各楼层上的分布。图中当阳台楼层高于10层时,增加

同阳台栏板高度下计算所得的平均反射因子、绕射因子及插入损失在各楼层的分布分别如图3-5所示。从图3-5中可以看出,增加阳台栏板高度,反射系数 RF 和绕射系数 DF 减小,因而插入损失增加,阳台的降噪作用提高。这与定性分析结果是相一致的。图3中绕射系数随阳台所处的楼层变化较大,5层以下 DF 随楼层的增加快速减小,10层以上则变化较小。而且即使阳台栏板高度 h 提高, DF 的数值变化

表 1 不同距离、楼层、吸声系数条件下阳台插入损失的计算值

距离 (m)	吸声系数	楼层						
		2	4	8	15	20	30	40
D=5	0.1	4.5	4.7	4.6	4.3	4.1	3.9	3.7
	0.3	5.5	5.7	5.5	5.2	5.0	4.7	4.4
	0.5	6.7	6.9	6.7	6.3	6.0	5.6	5.4
	0.7	8.4	8.7	8.3	7.7	7.4	6.9	6.5
d=10	0.1	2.8	3.6	3.8	3.8	3.7	3.5	3.4
	0.3	3.7	4.5	4.8	4.7	4.6	4.4	4.3
	0.5	4.7	5.8	6.1	6.0	5.8	5.6	5.4
	0.7	6.2	7.5	7.9	7.7	7.5	7.2	6.9
d=20	0.1	1.2	2.3	3.2	3.4	3.5	3.4	3.3
	0.3	1.8	3.1	4.1	4.4	4.4	4.4	4.3
	0.5	2.5	4.1	5.4	5.7	5.7	5.6	5.5
	0.7	2.4	5.4	7.0	7.5	7.5	7.4	7.2

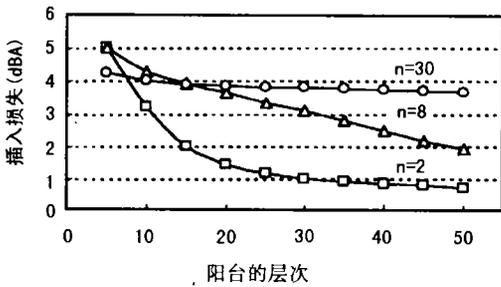


图 7 不同楼层阳台的插入损失随声源到住宅距离的变化

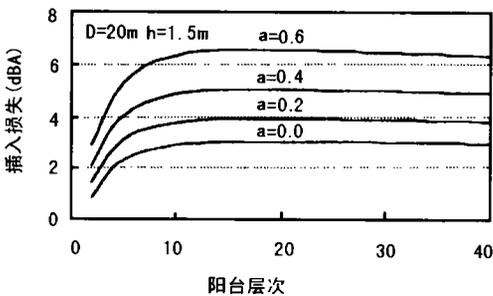


图 8 阳台内表面不同吸声系数条件下插入损失随楼层的分布

a— 阳台反射面的平均吸声系数
D— 道路到住宅的距离
h— 阳台栏杆高度

吸声系数使插入损失得到稳定提高。为便于设计时参考,表 1 给出了典型条件下阳台插入损失的计算值。

4 小结

以上对阳台插入损失的分析,表明高层住宅阳台的插入损失由反射系数和绕射系数决定。具体与阳台栏杆的高度、阳台所处的楼层、住宅到道路的距离等因素有关。当阳台的楼层较低时,阳台栏杆高度的影响比较明显。阳台的降噪作用随道路到住宅的距离增加而降低。当阳台的楼层较高时,插入损失主要受来自上层阳台底面的反射声影响,在各楼层上的分布较为均匀。而且随距离的增加阳台插入损失的变化不明显,主要可通过对阳台内部反射面进行吸声处理来提高阳台的降噪效果。

参 考 文 献

- 1 Fricke F R. *Noise Control Engineering*, 1977, 8: 27-32.
- 2 Oldham D J. *Journal of Sound and Vibration*, 1979, 65(4): 557-581.
- 3 刘少瑜, 蒋国荣. 噪声与振动控制, 1999, (3): 7-11.
- 4 Kurze U K, Anderson G S. *Applied Acoustics* 1971, (4): 35-53.
- 5 Cheung A, Chan K O, Ng K K. Road traffic noise on balcony. The Sixth West Pacific Regional Acoustics Conference, Vol.1, 32-38.