

居住区地下车库噪声在建筑群间的传播和影响模拟计算

桑绮^{1,2}, 翟国庆¹, 张邦俊^{1*}

(1. 浙江大学环境科学系, 杭州 310028; 2. 浙江省电力试验研究院, 杭州 310014)

摘要: 针对城市居住区 2 种典型的建筑布局, 结合随机点声源模型, 对居住区内地下车库噪声影响进行了分析计算. 通过实测值和预测值的比较, 该预测模型精度较好. 运用该模型预测规划与新建的居住区地下车库的噪声的影响, 可为城市小区建设规划中有效控制噪声污染提供科学依据.

关键词: 建筑布局; 地下车库; 噪声预测; 随机点声源模型; 计算机模拟

中图分类号: X966 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)04-0815-05

Computer Simulation Model of Propagation and Impact of Underground Garage Noise Between Buildings in Urban Residential Region

SANG Qi^{1,2}, DI Guo-qing¹, ZHANG Bang-jun¹

(1. Department of Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China; 2. Zhejiang Electric Power Test and Research Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aimed at certain types of building dispositions in urban residential region, the noise impacts of the underground garage is analyzed and calculated with the simulation model of random point sound source. The comparison between the predicted results and measured value of noise level shows that the predicted model presents an acceptable degree of accuracy. Adopting this model to predict noise impacts of the underground garage in designed and newly-built residential region will provide scientific basis for effective noise control.

Key words: building disposition; underground garage; noise prediction; model of random point sound source; computer simulation

针对城市居住区几种典型的建筑布局, 采用文献[1]提出的随机点声源模型, 对进出城市居住区地下车库的车辆所辐射的噪声在建筑群间的传播和影响进行分析计算.

1 物理模型

1.1 随机点声源模型

在车库出入口处设一观察点, 则依次通过该点的 2 辆车的的时间间距可以用式(1)表示^[1]

$$t_i = -\frac{1}{\mu} \ln R_i \quad (1)$$

式中, t_i 为第 i 辆车与第 $i+1$ 辆车之间的时距; μ 为单位时间进出车库的车辆数 (辆/s); R_i 为 $[0, 1]$ 中均匀分布的随机数. 只要在计算机上产生随机数 R_i 并经(1)式转换, 就可得出车辆依次经过观察点的时间. μ 根据车库规模大小及各时间段车辆进出车库的分布情况确定.

设第一辆车驶出车库的时间为 $t=0$, 则第 j 辆车驶出车库的时间:

$$t_j = \sum_{i=1}^{j-1} t_i \quad (j \geq 2) \quad (2)$$

车辆驶出车库后, 一般要在小区道路上行驶一段距离后驶离小区, 若知道车辆的行驶速度, 即可求得在假设的采样时刻该车辆在小区道路上的位置, 当受声点的位置确定后, 即可根据车辆和受声点的相对位置预测该车噪声对受声点的影响.

1.2 噪声在居住区建筑物间传播模型

居住区建筑物分布较为密集, 车辆噪声在建筑群间形成混响声^[2~7], 因此, 计算建筑物附近任一受声点所受噪声影响时, 除考虑直达声外, 还必须考虑反射声. 为此, 对噪声在建筑物间传播作如下假设:

①车辆噪声低频成分丰富, 预测时通常需要考虑衍射影响. 但考虑到我国城市居住区建筑物的尺度及建筑物间距的尺度一般在 10m 至数十 10m, 而车辆噪声的主要频率在 250~500Hz 或更高, 其波长相应为 1.38~0.69m 或更短. 建筑物的几何尺度

收稿日期: 2005-05-18; 修订日期: 2005-08-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(10474084); 浙江省科技计划重点项目(2005C23078)

作者简介: 桑绮(1978~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境声学

和噪声控制.
* 通讯联系人

约比声波波长 1~2 个数量级, 因此忽略衍射影响, 用几何声学预测^[8~14], 其精度仍能满足一般要求。

②车辆看作点声源, 其辐射的噪声除直接到达受声点外, 还可经建筑物立面多次反射到达受声点, 受声点的声级, 由直达声和各级反射声叠加而成。

③建筑物立面看成连续的光滑平面, 且具有一定的反射系数。

④由于声源和预测受声点及各建筑物立面的位置关系不同, 声源到受声点之间的各次反射声的声路长度各不相同, 采用几何方法计算其声路长度。

2 车辆噪声在建筑群间的传播

2.1 受声点位于车库出入口附近第一排建筑物前

建筑布局及受声点位置如图 1 所示, 建立 2 个坐标系, X 轴和 Y 轴同向平行, 2 轴的原点 O_X , O_Y 均与车库出入口对齐, Y 轴沿车库出入口道路中心线, y 坐标表示车辆所在位置, 选择 l 作为采样的有效区间(一般取 $l = 10h^{[15]}$), 当随机车辆与 O_Y 的距离大于 l 时, 其噪声对受声点的影响已衰减到不致影响叠加结果的程度; X 轴沿第一排建筑物受声点一侧, x 坐标表示受声点 P 位置, x 在 $[0, s]$ 区间, s 为 O_X 到建筑物边缘 D 的距离, h 为出入口附近道路的宽度。

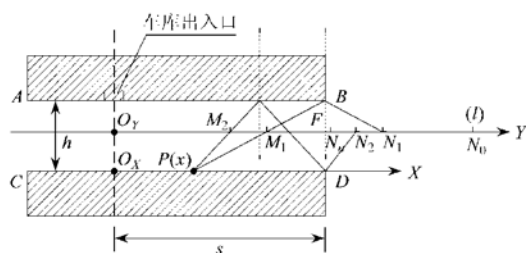


图 1 车库出入口位置和建筑物间声传播示意图(1)

Fig. 1 The position of the entrance/exit and schematic noise propagation between buildings (1)

2.1.1 模拟采样时车辆的位置

第 j 辆车在第 k 次采样时的 y 坐标为

$$y_{jk} = (k\Delta t - t_j)v_j \quad (k = 1, 2, \dots, T/\Delta t) \quad (3)$$

式中, Δt 为 2 次采样的时间间隔, v_j 为第 j 辆车的车速, T 为预测时间段。

2.1.2 直达声和反射声对受声点的贡献

参见图 1, 车辆行驶在 N_1-N_0 区间时, 只有直达声能到达 P 点; 在 N_2-N_1 区间, 直达声和一次反射声能到达 P 点; 在 N_3-N_2 区间, 直达声, 一次反

射声和二次反射声能到达 P 点; 依次类推, 车辆行驶在 N_n-N_{n-1} 区间时, 直达声, 一次反射声直到 $(n-1)$ 次反射声能到达 P 点; 当车辆行驶在 O_Y-N_n 区间, 直达声, 一次反射声直到 n 次反射声能到达 P 点。

(1) 直达声对受声点有贡献的区间. 显然 $n=0$ 时, $O_Y-N_n = l$. 即车辆位于 $[0, l]$ 区间时, 其辐射的噪声能直接到达受声点。

(2) n 次反射声对受声点有贡献的区间. 设点声源位于区间 O_Y-N_n 时, 其声能经建筑立面 AB , CD 的 n 次反射后影响到受声点 P , P 的坐标为 x 。

$$O_Y - N_n = \frac{s-x}{2n} + s \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (4)$$

(3) 声路长度. 第 k 次采样时, 第 j 辆车距受声点 P 的距离为:

$$r_{jk} = \sqrt{(y_{jk} - x)^2 + (h/2)^2} \quad (5)$$

由几何关系易得第 k 次采样时第 j 辆车的 n 次反射声抵达受声点所经过的声路长度为

$$h_{jk}^{(n)} = \sqrt{(y_{jk} - x)^2 + [(2n+1)h/2]^2} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (6)$$

(4) 车辆噪声对受声点贡献的声级. 直达声 ($n=0$):

$$L_{jk}^{(0)} = L_{Wj} - 20 \lg r_{jk} - 8 \quad (7)$$

式中, L_{Wj} 为 j 辆车的声功率级; r_{jk} 为第 k 次采样时第 j 辆车距受声点的距离。

n 次反射声:

$$L_{jk}^{(n)} = L_{Wj} - 20 \lg h_{jk}^{(n)} - n \Delta L_p - 8 \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (8)$$

$h_{jk}^{(n)}$ 为第 k 次采样时第 j 辆车的 n 阶反射声抵达受声点所经过的声路长度, ΔL_p 为经建筑面一次反射后损失的声级, 可根据下式进行计算:

$$\Delta L_p \approx \Delta L_I = 10 \lg(I_i/I_r) = 10 \lg(1/\gamma) \quad (9)$$

式中, γ 为建筑面的反射系数, $\gamma = I_r/I_i$, I_r , I_i 分别为反射波和入射波强度。

第 k 次采样时第 j 辆车对受声点贡献的声级:

$$L_{jk} = 10 \lg \sum_n 10^{0.1 L_{jk}^{(n)}} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (10)$$

根据第 j 辆车到达 O_Y 点的时间, 采样间隔, 有效区间 l 的大小和车速, 可确定第 j 辆车在区间内所经历的采样次数(从第 n_j 次到 m_j 次):

$$n_j = [t_j/\Delta t] + 1 \quad (11)$$

$$m_j = n_j + l/(v_j \cdot \Delta t) \quad (12)$$

第 k 次采样时受声点的声级:

$$L_k = 10 \lg \sum_j 10^{0.1L_{jk}} \quad (13)$$

在预测时间段 T 内, 车辆噪声对受声点贡献的声级:

$$L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{\Delta t}{T} \sum_{k=1}^{T/\Delta t} 10^{0.1L_k} \right] \quad (14)$$

2.2 受声点位于车库出入口附近第二排建筑物前

建筑布局及受声点位置见图 2, 建立 2 个坐标系, X 轴和 Y 轴反向平行, 两轴的原点 O_X , O_Y 均与建筑立面 DG 对齐. Y 轴沿车库出入口前道路中心线, y 坐标为车辆所在位置, y 在 $[-y_0, l-y_0]$ 区间; X 轴沿第 2 排建筑受声点一侧, x 坐标为受声点 P 位置, x 在 $[0, s]$ 区间. 道路宽度, 建筑物尺度等有关参数在图 2 中标出.

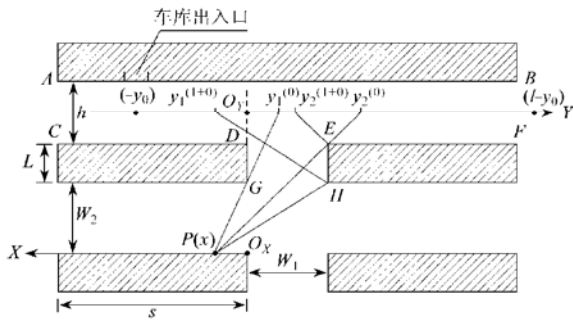


图 2 车库出入口位置和建筑物间声传播示意图(2)

Fig. 2 The position of the entrance/exit and schematic noise propagation between buildings (2)

n 为奇数时:

$$y_1^{(n+m)} = \begin{cases} nW_1 - \frac{[(2m+1)h+L](x+W_1)}{W_2} \\ - \frac{(2m+1)[x+(n+1)W_1]h}{2(L+W_2)} \end{cases}$$

$$y_2^{(n+m)} = \begin{cases} W_1 - \frac{(2m+1)(x+nW_1)h}{2(L+W_2)} \\ (n+1)W_1 - \frac{[(2m+1)h/2+L]x}{W_2} \end{cases}$$

n 为偶数时:

$$y_1^{(n+m)} = \begin{cases} \frac{(2m+1)(x+nW_1)h}{2(L+W_2)} \\ \frac{[(2m+1)h/2+L]x}{W_2} - nW_1 \end{cases}$$

$$y_2^{(n+m)} = \begin{cases} \frac{[(2m+1)h/2+L](x+W_1)}{W_2} - (n-1)W_1 \\ \frac{(2m+1)[x+(n+1)W_1]h}{2(L+W_2)} + W_1 \end{cases}$$

2.2.1 模拟采样时车辆的位置

第 j 辆车在第 k 次采样时的 y 坐标为:

$$y_{jk} = (k\Delta t - t_j)v_j - y_0 \quad (k = 1, 2, \dots, T/\Delta t) \quad (15)$$

2.2.2 直达声和反射声对受声点的贡献

(1) 直达声对受声点有贡献的区间. 当车辆位于 $[y_1^{(0)}, y_2^{(0)}]$ 区间时, 其辐射的噪声能直接到达受声点:

$$y_1^{(0)} = \frac{L+h/2}{W_2}x \quad (16)$$

$$y_2^{(0)} = \frac{(x+W_1)h}{2(W_2+L)} + W_1 \quad (17)$$

当受声点位于 $[x_1^{(0)}, x_2^{(0)}]$ 区间时, 直达声能直接作用于受声点:

$$x_1^{(0)} = 0 \quad (18)$$

$$x_2^{(0)} = W_1W_2/L \quad (19)$$

受声点位于该区间之外时, 直达声不能作用到, 而需要考虑各次反射声.

(2) $(n+m)$ 次反射声对受声点有贡献的区间. 位于 Y 轴上的点声源辐射的噪声, 经各建筑立面反射后到达受声点. 设点声源位于区间 $[y_1^{(n+m)}, y_2^{(n+m)}]$ 时, 其噪声经建筑立面 AB , CD (EF) 反射 m 次并经 DG , EH 反射 n 次后能到达受声点, 则由几何关系可确定区间端点, $y_1^{(n+m)}, y_2^{(n+m)}$.

$$\begin{aligned} & \text{当 } \frac{(n-1)W_1W_2}{L} - W_1 \leq x \leq \frac{nW_1W_2}{L} - W_1 \\ & \text{当 } \frac{nW_1W_2}{L} - W_1 \leq x \leq \frac{(n+1)W_1W_2}{L} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & \text{当 } \frac{(n-1)W_1W_2}{L} - W_1 \leq x \leq \frac{nW_1W_2}{L} \\ & \text{当 } \frac{nW_1W_2}{L} \leq x \leq \frac{(n+1)W_1W_2}{L} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & \text{当 } \frac{(n-1)W_1W_2}{L} - W_1 \leq x \leq \frac{nW_1W_2}{L} \\ & \text{当 } \frac{nW_1W_2}{L} \leq x \leq \frac{(n+1)W_1W_2}{L} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} & \text{当 } \frac{(n-1)W_1W_2}{L} - W_1 \leq x \leq \frac{nW_1W_2}{L} - W_1 \\ & \text{当 } \frac{nW_1W_2}{L} - W_1 \leq x \leq \frac{(n+1)W_1W_2}{L} \end{aligned} \quad (23)$$

当车辆辐射的噪声经过 DG 和 EH 面的反射向受声点传播时,其能够作用到的区间与在这 2 个墙面的反射次数 n 有关. 设经 n 次反射后,位于 $[x_1^{(n)}, x_2^{(n)}]$ 区间的受声点能接受到车辆噪声,则:

$$x_1^{(n)} = (n-1)W_1W_2/L - W_1 \quad (24)$$

$$x_2^{(n)} = (n+1)W_1W_2/L \quad (25)$$

当 $x < x_1^{(n)}$ 时, n 次反射声不能到达受声点, 只须考虑 $(n-1)$ 及以下各次反射声对受声点的影响. 当 $x > x_2^{(n)}$ 时, n 次反射声已不能到达受声点, 必须考虑 $(n+1)$ 及以上各次反射声对受声点的影响.

(3) 声路长度

n 为奇数时:

$$h^{(n+m)} = \left[\left[(2m+1)h/2 + L + W_2 \right]^2 + \left[x - y_{ik} + (n+1)W_1 \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

n 为偶数时:

$$h^{(n+m)} = \left[\left[(2m+1)h/2 + L + W_2 \right]^2 + \left[x + y_{jk} + nW_1 \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

式(27)对直达声亦适用, $r_{jk} = h^{(0+0)}$.

(4) 车辆噪声对受声点贡献仍按式(7)~(14)计算.

3 模拟实例

3.1 车辆声功率级的确定

不同车辆的声功率级也不相同, 居住区地下车库一般不停放大型车辆, 故把车辆按声功率大小分为 2 类, 一类是噪声较小的轿车, 另一类是噪声相对稍大的面包车和吉普车等. 依照《机动车辆噪声测量方法》(GB1496-77) 测量上述车辆低速行驶时 7.5m 处的噪声, 测得声压级分别为 63.0~65.8dB 和 66.5~69.9dB, 按(7)式计算, 2 类车的模拟声功率级分别取 90dB 和 94dB. 模拟时采用按随机数取值的方法判断车辆类型, 因文献[1]已有详述, 本文不再重复.

3.2 计算流程

按图 3 计算流程用 C++ 语言编程, 在计算机中输入有关参数, 即能输出需要的预测结果.

需要输入的参数包括: 预测时间段, 采样时间间隔, 单位时间进出车库的车辆数, 车速, 车型比, 道路及建筑物尺度, 建筑物反射系数和本底噪声等. 单位时间车辆数是一个重要参数, 可按车库泊位数以及高峰, 平均和低谷时段的车辆数分布规律来确定.

假设第 1 辆车通过原点 O_Y 的时间为 $t=0$, 产

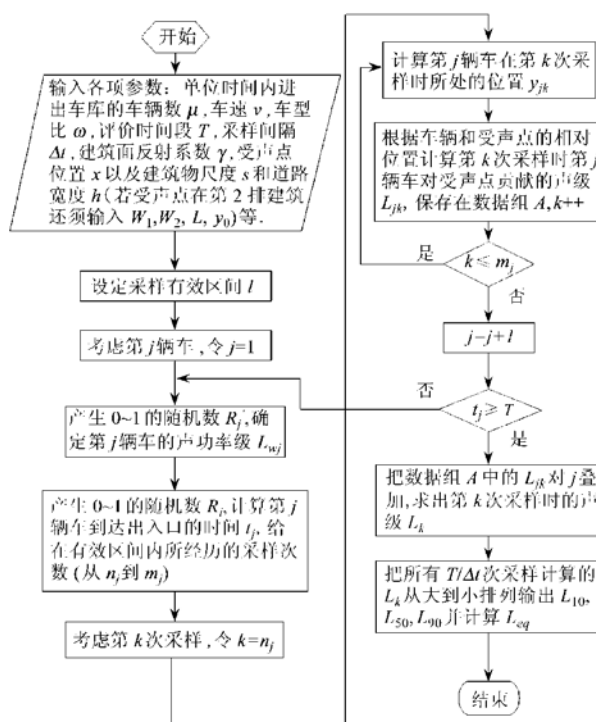


图 3 计算程序流程

Fig. 3 The flow of the calculation program

生随机数 R'_j , 确定第 1 辆车的声功率级. $t = \Delta t$ 开始第一次采样, 此时按(3)式计算第 1 辆车的位置, 再按(7)式和(8)式对受声点处的直达声和反射声进行计算; 若 $t_j(j=2) > \Delta t$, 则第 2 辆车尚未驶出车库, 不必计算其贡献, 若 $t_j(j=2) < \Delta t$, 则第 2 辆车已驶出车库, 则第 1 次采样时第 2 辆车的位置也按(3)式计算, 再按(7)式和(8)式计算第 1 次采样时第 2 辆车的直达声和反射声对受声点的贡献. 然后用同样的方法依次计算第 k 次采样时间 $t = k\Delta t(k=1, 2, \dots, T/\Delta t)$ 时, 各车辆的位置以及其对模拟受声点贡献的声级. 最后把对第 k 次采样有贡献的声压级全部叠加, 即得第 k 次采样的模拟声压级.

采用循环的方法继续计算模拟受声点在各次采样时间的噪声值, 然后将这些噪声值从大到小排列, 计算 L_{10} , L_{50} , L_{90} 以及 L_{eq} , 再考虑本底的叠加, 即得该预测时间段在模拟受声点的最终预测声级.

3.3 模拟结果及验证

为验证上述模型, 笔者选择了杭州市一处已建成的住宅区地下车库进行模拟计算和现场调查测量, 测点位置和建筑分布分别和图 1 和图 2 的情况类似, 各时间段监测时间为 20min, 同时记录进出车库的车辆数. 实测值, 模拟预测值和差值见表 1. 由

表 1 噪声预测值与实测值比较

Table 1 Comparison between prediction results and practice value of noise

测点位置	时间段	车辆数 / 辆	项目	噪声值/ dB			
				L_{90}	L_{eq}	L_{10}	L_{50}
第 1 排建筑前	高峰时段	63	实测值	63.1	65.9	60.2	57.9
			预测值	62.4	65.1	59.8	57.2
			差值	- 0.7	- 0.8	- 0.4	- 0.7
	平峰时段	32	实测值	59.1	61.2	58.0	57.2
			预测值	60.0	62.2	58.8	57.9
			差值	0.9	1.0	0.8	0.7
第 2 排建筑前	高峰时段	161	实测值	62.2	64.4	60.1	57.4
			预测值	61.9	64.0	59.6	56.8
			差值	- 0.3	- 0.4	- 0.5	- 0.6
	平峰时段	23	实测值	58.6	60.7	57.3	55.8
			预测值	59.3	61.6	57.9	56.4
			差值	0.7	0.9	0.6	0.6

表看出, 利用本文提出的方法能较好地预测城市居住区地下车库车辆噪声在居住区建筑物间的传播和影响.

4 结论

在分析居住区地下车库出入口及小区道路上车辆分布与交通道路的不同特点的基础上, 建立噪声在小区内典型建筑布局条件下的传播与影响模型, 给出了应用实例, 预测值和实测值相当接近. 由于居住小区建筑物和道路布局非常复杂, 无法一一列举, 本文以最常见的建筑布局为例, 也为其它复杂建筑布局中地下车库噪声的预测提供了思路.

参考文献:

[1] 张邦俊, 施丽莉, 翟国庆. 城市居住区地下车库噪声影响的计算机模拟预测[J]. 环境科学, 2003, **24**(4): 154~ 157.

[2] 张邦俊, 潘仲麟. 临街建筑群中交通噪声的计算机模拟[J]. 环境科学学报, 1993, **13**(4): 450~ 459.

[3] Kuttruff H. A mathematical model for noise propagation between buildings[J]. Sound Vib., 1982, **85**: 115~ 128.

[4] Godinho L, António J, Tadeu A. Sound propagation around rigid barriers laterally confined by tall buildings[J]. Applied Acoustics, 2002, **63**: 595~ 609.

[5] Makarewicz R. Traffic noise in a built-up area[J]. Applied Acoustics, 1991, **34**(1): 37~ 50.

[6] 吴硕贤, Kittinger E. 考虑声散射的街道交通噪声预报模型[J]. 环境科学学报, 1996, **16**(3): 364~ 371.

[7] Salomons E. Sound propagation in complex outdoor situations with a non-refracting atmosphere: model based on analytical solutions for diffraction and reflection[J]. Acust Acta Acust, 1997, **83**: 436~ 454.

[8] Steele C. A critical review of some traffic noise prediction models[J]. Applied Acoustics, 2001, **62**(3): 271~ 287.

[9] Cammarata G, Fichera A, Graziani S, et al. Fuzzy logic for urban traffic noise prediction[J]. J. Acoust. Soc. Am., 1995, **98**(5): 2607.

[10] Donato S R de, Morri B. Technical Note: A Statistical Model for Predicting Road Traffic Noise Based on Poisson Type Traffic Flow[J]. Noise control Eng. J, 2001, **49**(3): 137~ 143.

[11] Pamanikabud P, Tharasawatpipat C. Modelling of urban area stop-and-go traffic noise [J]. Transport Eng. ASCE, 1999, **125**(2): 152~ 159.

[12] Gündoğdu Ö, Gökdağ M, Yüksel F. A traffic noise prediction method based on vehicle composition using genetic algorithms [J]. Applied Acoustics, 2005, **66**(2): 809~ 799.

[13] Thorsson P J, Ögren M. Macroscopic modeling of urban traffic noise: influence of absorption and vehicle flow distribution Pontus [J]. Applied Acoustics, 2005, **66**(2): 195~ 209.

[14] Ögren M, Kropp W. Road traffic noise propagation between two dimensional city canyons using an equivalent sources approach[J]. Acust Acta Acust, 2003, **90**(2): 293~ 300.

[15] Wu Shuoxian. Computer Simulation of Road Traffic Noise in an Urban Built-up Area[J]. Applied Acoustics, 1987, **22**(1): 71~ 78.