

李锋, 蔡铭, 刘济科, 等. 2011 行人过街信号控制路口交通噪声动态模拟与特性分析 [ J ]. 环境科学学报, 31 ( 2 ): 424-429

Li F, Cai M, Liu J K, et al. 2011. Dynamic simulation and analysis of traffic noise at a signal-controlled pedestrian crossing [ J ]. Acta Scientiae Circumstantiae 31 ( 2 ): 424-429

# 行人过街信号控制路口交通噪声动态模拟与特性分析

李锋, 蔡铭, 刘济科\*, 余志

中山大学应用力学与工程系, 广州 510006

收稿日期: 2010-05-08 修回日期: 2010-06-17 录用日期: 2010-06-22

摘要: 用实验方法测定了 3 种不同车型车辆在参考距离处的噪声排放量及加减速噪声修正值. 然后利用微观交通仿真软件为交通噪声的模拟提供实时的交通流数据, 并结合车辆噪声排放量和传播衰减模型对行人过街信号控制路口交通噪声进行了动态模拟. 最后将模拟结果与实测数据进行了比较分析, 结果表明: 等效声级  $L_{eq}$  的预测误差小于 2 dB, 统计声级  $L_{10}$  和  $L_{90}$  的预测误差小于 3.5 dB; 行人过街路口附近  $L_{eq}$  约下降 2 dB, 路口下游的  $L_{90}$  较上游低 5 dB 左右, 而噪声标准差和交通噪声指数则分别比上游高约 1.5 dB 和 15 dB

关键词: 行人过街路口; 交通噪声; 动态模拟; 交通仿真

文章编号: 0253-2468 (2011) 02-424-06 中图分类号: X 707 文献标识码: A

## Dynamic simulation and analysis of traffic noise at a signal-controlled pedestrian crossing

LI Feng CAI Ming LIU Jie\*, YU Zhi

Department of Mechanics Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006

Received 8 May 2010 received in revised form 17 June 2010 accepted 22 June 2010

**Abstract** The single vehicle noise emission levels and acceleration adjustments for three types of vehicles at a reference distance are determined by measurement. Then by applying a microscopic traffic simulation software program to supply the real-time traffic flow, better integration with the vehicle noise emission levels and the noise propagation model, the dynamic traffic noise at a signal-controlled pedestrian crossing is simulated. Finally, the simulations and the measurements are compared, and the results show that the prediction errors of  $L_{eq}$  are less than 2 dB, and the prediction errors of  $L_{10}$  and  $L_{90}$  are less than 3.5 dB. The  $L_{eq}$  is about 2 dB lower near the pedestrian crossing junction, and the  $L_{90}$  downstream from the junction is about 5 dB lower while the standard deviation of noise and the TN I are about 1.5 dB and 15 dB higher, compared with the ones upstream from the junction.

**Keywords** pedestrian crossing junction traffic noise dynamic simulation traffic simulation

### 1 引言 (Introduction)

目前, 在道路交通噪声预测中应用较多的方法是模型计算法和计算机模拟法. 从 20 世纪 70 年代以来, 国内外学者在道路交通噪声预测方面做了大量的研究工作, 并建立了各种有效的预测模型. 其中较有影响力的有美国的 FHWA 高速公路交通噪声预测模型 (Barry *et al.*, 1978)、英国的 CRTN 模型 (Department of Transport and Welsh Office UK, 1988)、德国的 RLS90 模型 (Road Construction

Section of the Federal Ministry for Transport, 1990)、国内李本纲提出的理论-统计模型 (李本纲等, 2000) 等, 这些模型在车辆速度变化不大的道路上已达到了较高的预测精度. 对于车辆速度变化较大的局部路段, 如各类交叉口、公交车站等, 也有相应的具有针对性的模型被提出, 并取得了较好的应用效果 (Makarewicz *et al.*, 1999, 2007; 王波等, 2001; 常玉林等, 2003; 李锋等, 2009). 但几乎所有模型均有一定的假设条件和适用范围, 存在预测目标单一、无法反映噪声的实时变化和波动特性等缺点.

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 10972241, 50808181); 高等学校博士学科点专项科研基金 (No. 20090171110042); 广东省自然科学基金 (No. 9151027501000014)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 10972241, 50808181), the Doctoral Program Foundation of Ministry of Education of China (No. 20090171110042) and the Natural Science Foundation of Guangdong Province, China (No. 9151027501000014)

作者简介: 李锋 (1983-), 男, 博士研究生, E-mail: lifeng@yahoo.cn \* 通讯作者 (责任作者), E-mail: lijie@mail.sysu.edu.cn

**Biography:** Li Feng (1983-), male, Ph.D. candidate, E-mail: lifeng@yahoo.cn \* **Corresponding author:** E-mail: lijie@mail.sysu.edu.cn

随着计算机技术的不断发展, 计算机模拟在交通噪声预测中的应用越来越广泛. 利用计算机能很好地对复杂的交通流现象进行模拟, 以便对道路交通噪声做出全面的预测和对其特性进行深入研究. 国外从 20 世纪 70 年代起便开始利用计算机方法研究交通噪声并取得了一定的成果 (Favre, 1978; Jacobs *et al.*, 1980; Zhang *et al.*, 2004; Chevallier *et al.*, 2009). 在国内, 吴硕贤、王永泉、刘浩等也对这一问题进行了富有成效的研究 (吴硕贤等, 1985; 王永泉等, 2003; 刘浩等, 2001). 行人过街信号控制路口是城市道路中常见的路口之一, 路口附近车辆噪声的变化较为复杂. 本文应用微观交通仿真的方法, 结合实验测得的单辆车噪声排放量对行人过街信号控制路口交通噪声进行动态模拟, 并与实测数据进行比较分析, 探讨该类路口附近交通噪声的特性.

## 2 原理与方法 (Theories and methods)

### 2.1 交通噪声计算机动态模拟方法

交通噪声计算机动态模拟方法是利用计算机对交通流进行模拟的同时, 提取出路网中各车的实时状态信息, 并实时计算出交通噪声的一种方法. 根据交通流相关理论利用计算机可以对道路状况进行微观仿真, 每隔一段时间对仿真的交通状态数据进行采样, 得到车辆位置、速度、加速度等信息, 并根据这些信息实时地计算出接收点处的噪声, 从而实现对交通噪声的动态模拟. 模拟一段时间后, 可对得到的一系列交通噪声瞬时值进行处理, 计算出连续等效声级  $L_{eq}$ 、统计声级  $L_{10}$ 、 $L_{90}$ 、交通噪声指数 TNI 等.

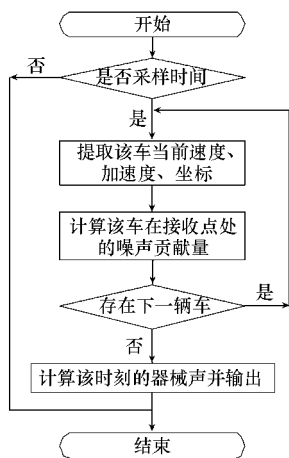


图 1 交通噪声计算流程图

Fig 1 Process of traffic noise calculation

本文采用 Param ics 软件对交通流进行模拟, 并采用 C 语言编写 Param ics 软件的插件程序, 以实现在交通仿真过程中对交通流数据的定时采样和对交通噪声的实时计算. 该插件程序中关于交通噪声计算的流程图如图 1 所示, Param ics 软件在进行交通仿真的过程中, 每一时间步长的开始都将调用该函数.

### 2.2 噪声计算模型

在交通噪声的动态模拟计算过程中, 单辆车在周围无遮挡的道路上行驶时视为半自由声场中的点声源, 在不考虑空气及地面吸收的情况下, 道路上第  $i$  秒钟第  $j$  辆车在观测点处的声级可表示为:

$$L_{ij} = L_0 + \Delta A_{ij} + 10 \times \lg \frac{d_0^2}{d_{ij}^2} \quad (1)$$

式中,  $L_0$  为单辆车匀速行驶时在参考距离处的噪声排放量 (dB);  $\Delta A_{ij}$  为第  $i$  秒钟第  $j$  辆车的变速噪声修正值 (dB);  $d_0$  为参考距离 (m);  $d_{ij}$  为第  $i$  秒钟第  $j$  辆车到观测点的距离 (m).

则第  $i$  秒钟道路上所有车在观测点处的噪声为:

$$L_i = 10 \times \lg \sum_{j=1}^{m_i} 10^{0.1 L_{ij}} \quad (2)$$

式中,  $m_i$  为第  $i$  秒钟道路上的车辆数量.

那么, 一段时间在观测点上接收到的等效声级为:

$$L_{eq} = 10 \times \lg \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T 10^{0.1 L_i} \quad (3)$$

式中,  $T$  为计算时间 (s).

## 3 单辆车噪声排放测定 (Noise emission determination of a single vehicle)

采用实验方法对车辆在参考距离处的匀速噪声  $L$  和变速噪声修正值  $\Delta A_{ij}$  进行测定. 实验场景依照 GB 1495-2002 (汽车加速行驶车外噪声极限值及测量方法) 进行设置 (国家环境保护总局, 2002). 声级计离地面高 1.2m, 距车行线 7.5m. 共对 1176 辆机动车在匀速、加速、或减速时的噪声进行了测量, 包括小型车 591 辆, 中型车 217 辆, 大型车 368 辆. 实验结果如图 2 所示. 匀速噪声用  $L_0 = a + b \lg(v)$  的形式表示, 采用最小二乘法确定系数  $a$ 、 $b$ , 得到

$$L_0 = \begin{cases} 27.96 + 24.92 \lg(v) & \text{小型车} \\ 16.44 + 36.73 \lg(v) & \text{中型车} \\ 31.77 + 29.71 \lg(v) & \text{大型车} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $L_0$  为单辆车匀速行驶时在参考距离 7.5m 处的噪声 (dBA);  $v$  为车速 ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ). 对车辆在加速或减速行驶时的噪声排放与相同速度下的匀速噪声的差值进行统计, 得到

$$\Delta A = \begin{cases} 3.55 & (\text{小型车加速}) \\ -2.80 & (\text{小型车减速}) \\ 4.32 & (\text{中型车加速}) \\ 1.51 & (\text{中型车减速}) \\ 7.25 & (\text{大型车加速}) \\ 3.20 & (\text{大型车减速}) \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $\Delta A$  为车辆加速或减速时的噪声修正值 (dBA). 值得注意的是, 所有车型在加速时噪声都有所增加, 但减速时除小型车的噪声减小外, 中型车与大型车的噪声也略有增加. 这是由于部分车辆减速时刹车系统发出“尖叫”声所致, 实际道路上行驶的车辆也符合这一情况.

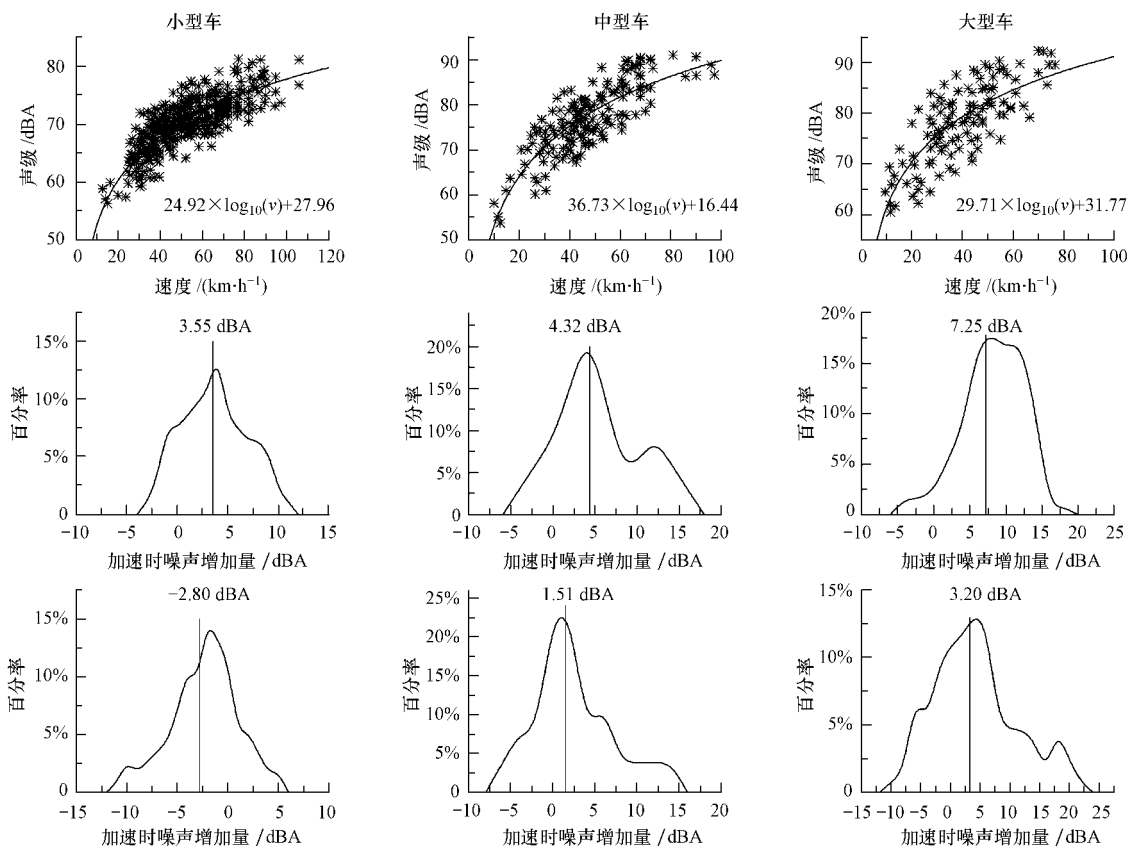


图 2 噪声排放实验测量结果

Fig. 2 Results of noise emission measurement

#### 4 模拟与实测结果的比较分析 (Comparison between simulation and measurement)

对广州市新港东路某路口的交通噪声进行实地测量, 测量时间为 14:00~17:00. 监测点平行于道路分布, 位置如图 3 所示. 该道路为双向八车道, 车道宽度约 3.5m. 交通流受两相位的交通信号控制, 绿灯时间为 50s, 红灯时间为 40s. 用测速计测得该道路的平均车速为  $61.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . 交通噪声采用声级计进行测量, 每隔 1s 记录 1 次 A 计权声级. 交通

量采用人工计数的方法进行统计, 结果如表 1 所示.

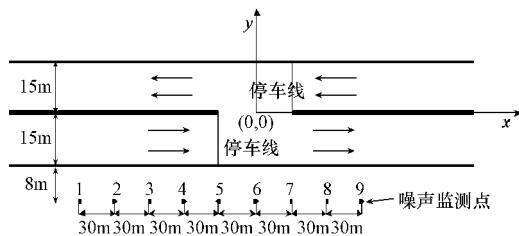


图 3 现场测量简图

Fig. 3 Sketch of field measurement

表 1 交通量统计表

Table 1 Statistical table of traffic flow

方向	时间	小型车	中型车	大型车	合计
西-东	14 00~ 15: 00	780	84	90	954
	15 00~ 16: 00	850	88	105	1043
	16 00~ 17: 00	696	54	68	818
东-西	14 00~ 15: 00	876	132	102	1110
	15 00~ 16: 00	816	108	72	996
	16 00~ 17: 00	882	120	96	1098

按照实际的几何参数对该路段进行交通仿真建模, 坐标原点设在两停车线的中点位置, 如图 3所示. 用实测的车流量、车流速度、信号周期等参数对交通流进行仿真, 同时对交通噪声进行实时计算, 得到各测点逐秒变化的交通噪声模拟数据. 将 9个测点的模拟结果与实测值进行对比, 如图 4所示. 容易看出, 停车线上游的  $L_{eq}$  和  $L_{10}$  与下游相比没有明显的差别, 上游的  $L_{90}$  则明显高于下游; 由于车速降

低的原因, 路口附近的噪声有所下降, 下降幅度约为 2dB.  $L_{eq}$  的模拟结果与实测值非常接近, 误差在 2dB 范围内. 停车线上游  $L_{90}$  的模拟值较实测值低, 最大误差约 3.5dB, 而停车线下游  $L_{10}$  的模拟值较实测值高, 最大误差约 3dB. 这种误差可能由实测环境中存在无法预测的背景噪声和交通流仿真时车辆的速度、加速度与实际道路的差别引起, 因此该方法在实际应用中应注意交通流仿真时各项参数的校准. 另外, 由于模拟计算中没有考虑车辆对噪声相互遮挡的影响, 可能导致预测结果略有高估, 但在车辆流量不大的情况下, 这种高估可以忽略. 目前主流的交通噪声预测模型主要针对  $L_{eq}$  进行预测, 而图 4 中各噪声评价量的比较结果表明, 该方法除了可以准确预测  $L_{eq}$  外, 其对噪声变化范围的预测也具有较高的准确性.

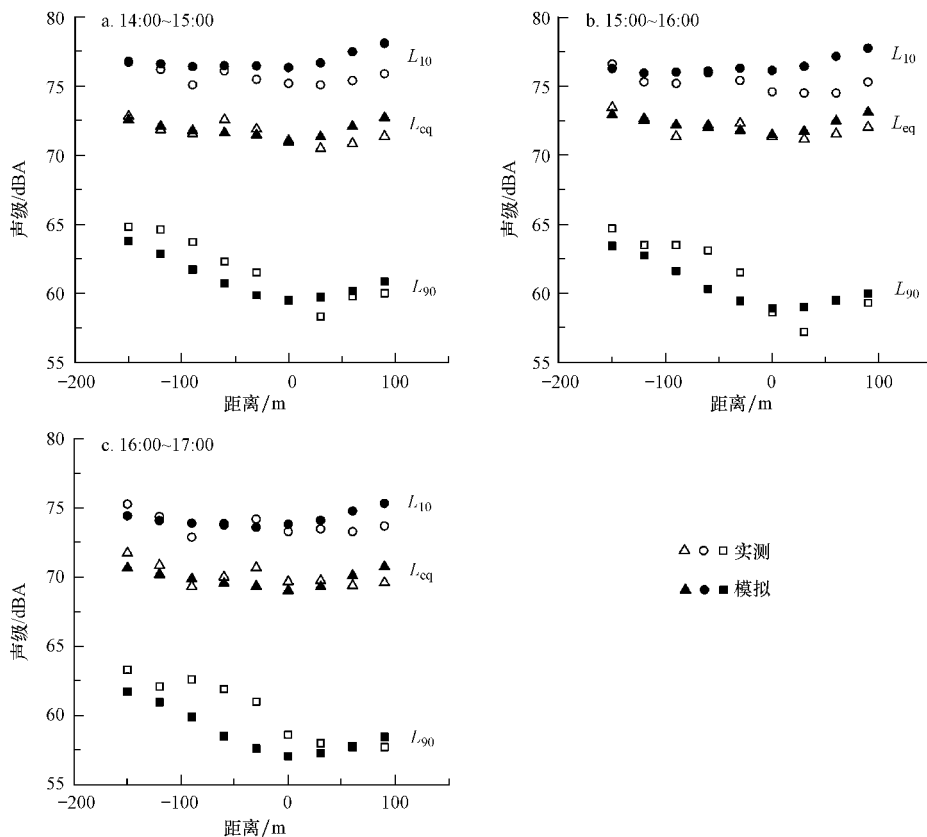


图 4 各噪声评价量模拟与实测结果比较图

Fig. 4 Comparison of simulated and measured results of  $L_{eq}$ ,  $L_{10}$  and  $L_{90}$ 

对整个时段内各监测点测得噪声值的标准差与模拟结果进行比较, 如图 5 所示. 模拟结果与实测结果相接近, 误差在 1dB 范围内, 路口下游交通噪

声的标准差与上游相比明显增大, 增大幅度约为 1.5dB. 这说明噪声的标准差与测点位置有关, 由于信号控制的影响, 路口下游的交通流不连续, 导致

路口下游的交通噪声波动幅度较大,因此标准差也相应较大.标准差最大值出现在测点7的位置,即停车线下游约60m处.

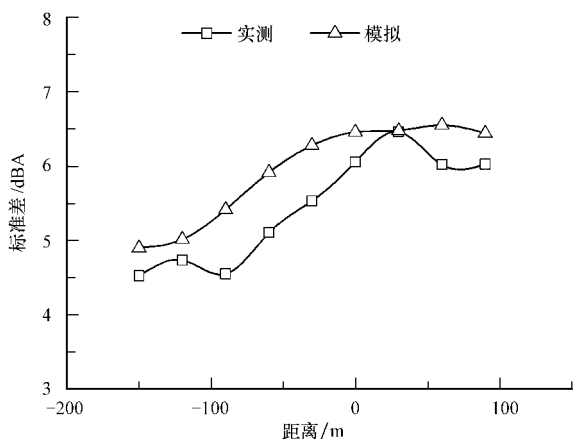


图5 标准差比较图

Fig. 5 Comparison of standard deviations

交通噪声指数是英国建筑研究局提出的一种交通噪声评价参数,适用于评价起伏变化的交通噪声.它的定义为:  $TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$  (dB).如图6所示,模拟与实测结果均表明了路口下游的交通噪声指数比上游高的规律,升高幅度为15dB左右.虽然等效声级非常接近,但由于路口下游的交通噪声波动幅度较大,因而下游的交通噪声指数

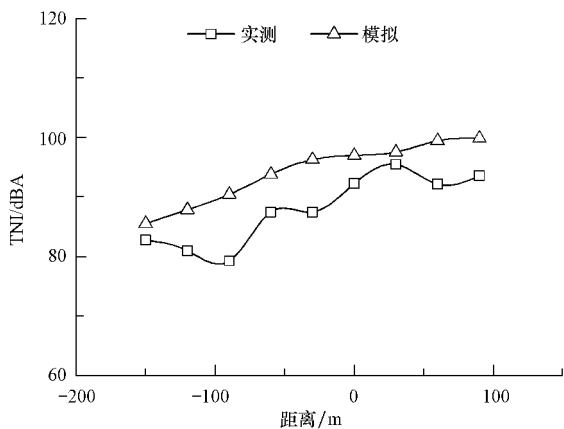


图6 交通噪声指数比较图

Fig. 6 Comparison of traffic noise index

明显高于上游,这一结果与图5中的标准差规律一致.

## 5 结论 (Conclusions)

1)在信号控制的影响下,行人过街路口附近的等效声级  $L_{eq}$  约有2dB的下降.与上游相比,路口下

游的  $L_{90}$  明显降低,降低幅度约5dB;交通噪声波动幅度较大,主要表现为标准差增大约1.5dB,交通噪声指数也相应升高15dB左右.

2)交通噪声动态模拟方法可根据模拟的交通流状况计算出交通噪声的实时变化,对等效声级  $L_{eq}$ 、统计声级  $L_{10}$  和  $L_{90}$  的预测具有较高的准确性.与实测数据的比较说明,该方法对  $L_{eq}$  的预测最大误差约为2dB,而对  $L_{10}$  和  $L_{90}$  的预测最大误差约为3.5dB.采用该方法还可进一步研究不同位置的噪声波动幅度、交通噪声指数等参数,在道路设计和交通噪声控制中具有较高的应用价值,在一定程度上弥补了模型计算法的不足.

责任作者简介:刘济科(1967—),男,博士,中山大学工学院教授,博士生导师. E-mail: liujike@mail.sysu.edu.cn

## 参考文献 (References):

- Barry T M, Reagan J A. 1978 FHWA highway traffic noise prediction model[R]. FHWA-RD-77-108. Washington DC: U. S. Department of Transportation
- 常玉林, 王伟, 王春燕. 2003. 道路交叉口交通噪声预测模型研究[J]. 土木工程学报, 36(1): 75-79
- Chang Y L, Wang W, Wang C Y. 2003. Research of the equivalent traffic noise at road intersection [J]. China Civil Engineering Journal 36(1): 75-79 (in Chinese)
- Chevallier E, Can A, Nadjim, et al. 2009. Improving noise assessment at intersections by modeling traffic dynamics [J]. Transportation Research Part D-Transport and Environment 14(2): 100-110
- Chevallier E, Ledereq L, Leong J et al. 2009. Dynamic noise modeling at roundabouts [J]. Applied Acoustics 70(5): 761-770
- Department of Transport and Welsh Office UK. 1988. Calculation of road traffic noise[M]. London: HMSO
- Favre B. 1978. Noise at the approach to traffic lights. Results of a simulation program [J]. Journal of Sound and Vibration 58(4): 563-578
- GB 1495-2002. 汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法[S]. 北京: 中国环境科学出版社
- GB 1495-2002. Limits and measurement methods for noise emitted by accelerating motor vehicles [S]. Beijing: China Environmental Science Press (in Chinese)
- Jacobs L JM, Nijls L, van Willigenburg J J. 1980. A computer model to predict traffic noise in urban situations under free flow and traffic light conditions [J]. Journal of Sound and Vibration 72(4): 523-537
- 李本纲, 陶澍, 曹军, 等. 2000. 城市道路交通噪声预测理论——统计模型[J]. 环境科学, 21(6): 1-5
- Li B G, Tao S, Cao J et al. 2000. A theoretical-statistical model for urban road traffic noise prediction [J]. Environmental Science 21(6): 1-5 (in Chinese)

- 李锋, 蔡铭, 刘济科. 2009 公交车站对交通噪声的影响分析 [J]. 中国环境监测, 25(1): 105-108
- Li F, Cai M, Liu J K. 2009. Analysis of the effects of a bus stop on traffic noise [J]. Environmental Monitoring in China, 25(1): 105-108 (in Chinese)
- 刘浩, 王伟, 王波. 2001 利用模拟方法进行信号灯控制交叉口道路交通噪声特性分析 [J]. 公路交通科技, 18(2): 101-104
- Liu H, Wang W, Wang B. 2001. Traffic noise analysis of signalized intersection with simulation method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 18(2): 101-104 (in Chinese)
- Makarewicz R, Fujimoto M, Kokowski P. 1999. A model of interrupted road traffic noise [J]. Applied Acoustics, 57: 129-137
- Makarewicz R, Kokowski P. 2007. Prediction of noise changes due to traffic speed control [J]. Journal of the Acoustical Society of America, 122(4): 2074-2081
- Road Construction Section of the Federal Ministry for Transport (RCSFMT). 1990. Directives for anti-noise protections along roads [R]. Berlin Ministry for Transport
- 王波, 王伟. 2001 环形交叉口车辆噪声经验计算公式的推导 [J]. 重庆交通学院学报, 20(1): 37-41
- Wang B, Wang W. 2001. Vehicle noise calculating formula inference at a roundabout [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 20(1): 37-41 (in Chinese)
- 王永泉, 陈花玲. 2003 城市道路交通噪声预估的计算机模拟方法研究 [J]. 噪声振动控制, 23(1): 15-19
- Wang Y Q, Chen H L. 2003. An investigation on the method of computer simulation for predicting urban traffic noise [J]. Noise and Vibration Control, 23(1): 15-19 (in Chinese)
- 吴硕贤. 1985. 部分车辆组成的多车道混合车流噪声的计算机模拟 [J]. 声学学报, 10(1): 30-40
- Wu S X. 1985. A computer simulation model for predicting noise levels from a complex vehicle stream on a multi-lane street with some vehicle bunches [J]. Acta Acustica, 10(1): 30-40 (in Chinese)
- Zhang B J, Guo C Y, Di G Q. 2004. Computer simulation model of underground garage noise in urban residential areas [J]. Noise Control Engineering Journal, 52(1): 13-19