

城市环境噪声模拟与评估系统

——“中大声图”的研究与应用*

蔡 铭, 邹竞芳, 李 锋, 罗威力, 王大蕾, 陈志斌
(中山大学工学院//广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510275)

摘 要: 在城市环境噪声排放模型及噪声传播模型的基础上, 考虑建筑物群及林带对噪声的衰减影响, 并结合地理信息系统 (GIS) 研发了城市环境噪声模拟与评估系统——“中大声图”。系统搭建了点线面环境噪声的排放模型和传播模型, 特别在线声源道路交通噪声方面, 利用 GIS 获取道路与建筑物信息, 加载车辆排放模型, 计算了城市尺度的道路交通噪声分布, 并利用计算结果在 GIS 上绘制出交通噪声地图。最后将系统应用于城市交通噪声的模拟和减噪效果评估上, 结果表明该系统的算法准确有效。

关键词: 道路交通噪声; 模拟与评估系统; 地理信息系统; 噪声地图

中图分类号: TP391.9, X593 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2012) 01-0039-06

Research and Application of the Urban Environment Noise Simulation and Evaluation System Named “Zhong Da Sheng Tu”

CAI Ming, ZOU Jingfang, LI Feng, LUO Weili, WANG Dalei, CHEN Zhibin

(School of Engineering//Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Using the urban environment noise emission and propagation model, also considering the attenuation impact of buildings and tree belts on noise, an urban environment noise simulation and evaluation system named “Zhong Da Sheng Tu” was developed with the help of geographical information system (GIS). The noise emission, propagation model of point, line and plane source were set up in the system. As for the traffic noise of line source, GIS was used to obtain the information of roads and buildings. The road traffic noise distribution of urban area was calculated with the vehicle noise emission model. The calculation results were imported to GIS to make the traffic noise map. At last, the system was used to simulate the urban traffic noise and evaluate the effect of noise reduction measures, results show that the system's algorithm is accurate and efficient.

Key words: road traffic noise; simulation and evaluation system; geographical information system; noise map

噪声污染是城市环境问题的四大公害之一, 目前已成为制约城市人居环境质量提高的重要因素^[1]。掌握准确的环境噪声信息, 科学评价声环境质量现状、科学预测声环境的变化情况成为噪声管理和治理的重要基础^[2]。国外许多大中城市通过

采用 Cadna/A 和 Soundplan 等环境噪声模拟软件绘制噪声地图, 以掌握噪声的污染程度和分布情况, 例如英国的伯明翰已于 2000 年完成全城噪声地图的绘制并于 2004 年再次更新地图^[3]; 德国已有 500 多个城镇绘制了噪声地图, 并应用于工厂的选

* 收稿日期: 2011-05-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51178476)、中央高校基本科研业务费专项资助项目 (11lgpy03)

作者简介: 蔡铭 (1977 年生), 男, 副教授; E-mail: caiming@mail.sysu.edu.cn

址及噪声的控制^[4]；挪威运用噪声地图和人口统计资料来进行噪声控制^[5]。但这两个软件所采用的噪声计算模型为英国 CRTN 模型和德国的 RLS90 模型^[6-7]，无法反应我国的实际道路交通状况；且软件无法直接从 GIS 地图中获取路网和建筑物的属性信息，对计算的输入信息处理较为繁琐。在国内，除香港开发了基于网络的噪声地图外^[8]，张庆河^[9]、庞伟、周晓丹等^[10]已展开了基于 GIS 的交通噪声评价和预测系统的研究，但大多没有考虑建筑物的衰减，且基本未能在输入信息与噪声地图渲染方面与 GIS 进行直接交互。

本文自主研发了一个城市环境噪声模拟与评估系统——“中大声图”，系统可以综合模拟点声源、线声源、面声源对城市声场环境的影响；系统能直接从 GIS 上自动获取道路、建筑物、林带等信息，结合车辆噪声辐射和传播模型并考虑建筑物群及林带对交通噪声的遮挡衰减，能够计算出城市区域的交通噪声并将模拟结果直接渲染在 GIS 地图上，直观清晰地展示城市区域交通噪声的污染程度和分布情况。利用“中大声图”，本文绘制出了广州市内环路交通噪声地图及珠江新城的区域交通噪声地图，并对内环路采取单双号限行及安装声屏障等降噪措施进行了评估，为城市交通噪声污染控制提供科学决策依据。

1 系统的结构、功能与特色

1.1 系统的结构

系统采用 Microsoft Access 数据库存储各种声源及障碍物的属性信息，结合 GIS 平台，并加入交通噪声评价和预测模型，实现对点源、面源、交通源噪声的综合计算及对大区域、高架路和公交车站等不同情况下的交通噪声分布计算，并直接输出噪声渲染地图，为城市交通噪声污染控制提供科学决策依据，系统的结构如图 1 所示。

1.2 系统的功能与特色

系统采用主界面与 GIS 界面交互运行的工作方式，通过从 GIS 界面选取交通源和建筑物的属性信息返回到主界面相应的响应选项卡上，作为噪声计算的基础数据；并将在主界面计算所得的噪声结果返回 GIS 界面进行渲染，得到直观的交通噪声分布地图，系统的具体功能与特色如下所示。

1.2.1 主界面的功能与特色 系统的主界面除具有基本的工程文件读入和保存等功能外，还包括七个选项卡页面，如图 2 所示。在这七个界面完成交通噪声分布的计算过程，各选项卡的功能如下所示：

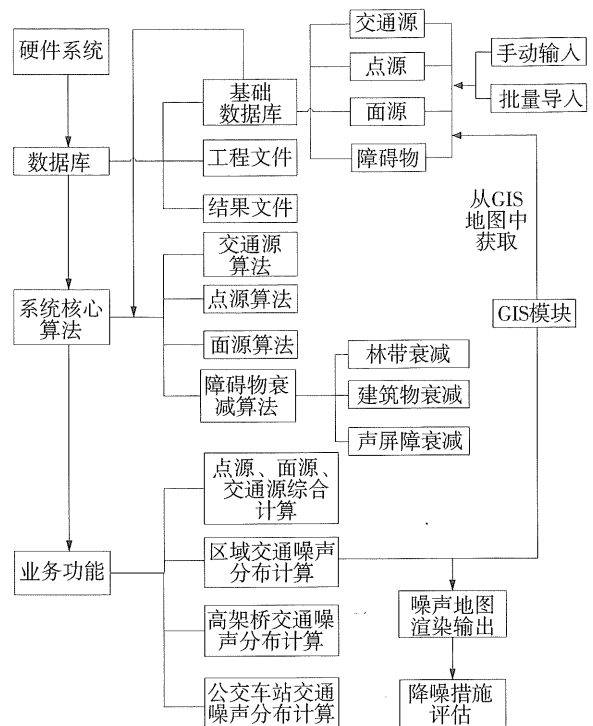


图 1 系统结构

Fig. 1 Structure of the system

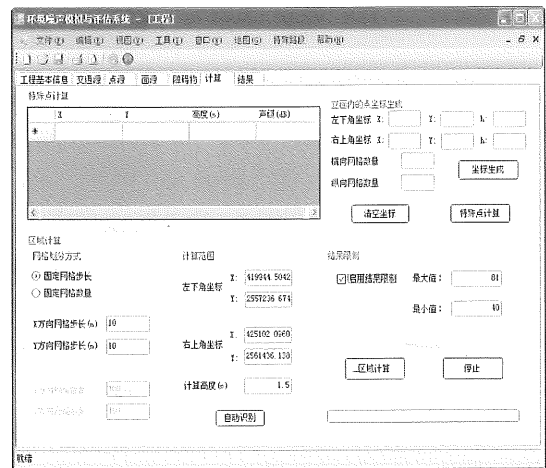


图 2 系统工作界面图

Fig. 2 Work form of the system

工程基本信息界面：设置工程名称和场地名称等信息。

交通源、点源及面源界面：分别输入、修改和删除交通源、点源、面源的基本信息，有手动输入和 GIS 载入两种方式。

障碍物界面：输入、修改、删除障碍物信息，支持手动输入和 GIS 载入两种方式。

计算界面：设置计算网格步长或数量、设置计算范围、计算交通噪声的分布。

结果界面：显示计算结果信息。

1.2.2 GIS 界面的功能与特色 系统的 GIS 界面 (如图 3 所示) 除具备基本的 GIS 视图操作功能, 如地图的打开、保存、放大、缩小、漫游、图层管理、鹰眼等功能外, 主要完成三大部分的功能, 具体如下所示:

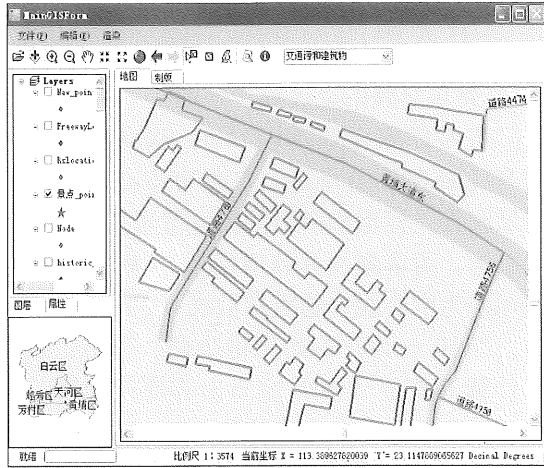


图 3 GIS 界面
Fig. 3 GIS work form

基础数据的获取: 在 GIS 界面, 系统为用户提供框选、界面全选和查找选择等三种方式, 可以将用户选择的交通源和建筑物的属性信息返回到主界面相应的响应选项卡上, 作为噪声计算的基础数据。

噪声地图的渲染: 在主界面计算之后, 结果可以返回 GIS 界面进行渲染, 得到直观的交通噪声分布地图, 以不同的颜色表示交通噪声的分布和级别。系统提供 Krige 和 IDW 两种渲染方式, 并且经渲染之后的噪声地图能以 mxd 的地图格式保存, 方便用户日后的使用。

交通视频与噪声监测的同步显示: 视频检测是获取交通流基础信息的一个重要手段^[11], 在此基础上, 通过软硬件的结合, 系统在 GIS 模块中设置了一个特殊的图层, 这个图层中包含不同视频点, 用户只需要点击, 即可查看相应地区的交通视频和同步显示的噪声值, 如图 4 所示。应用这个功能能够对交通噪声进行监控, 可以作为日后积累的基础数据, 同时也为采取相应的降噪措施提供了依据和检验手段。

2 系统的核心算法

系统将噪声污染源分为交通源、点源和面源三

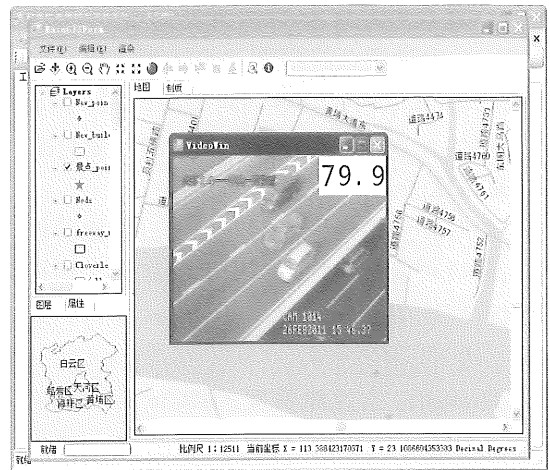


图 4 视频与噪声的同步显示
Fig. 4 Synchronous display of video and traffic noise

种。交通源用于计算城市内道路等线性噪声源对噪声的贡献量, 点源用于各个噪声特殊地点的噪声计算, 面源则适用于区域噪声污染源的计算, 三种因素共同考虑, 计算时进行能量叠加可得出预测地点的噪声值。在噪声的传播过程中, 计算模型考虑了建筑物、植被对于噪声传播的衰减作用, 具体的算法如下所示。

2.1 交通源算法

道路交通噪声的计算按线声源模型, 同时考虑噪声传播途中的地面吸收和障碍物的附加衰减量, 距行车线 r 处的等效声级为^[12]:

$$L_{eqi} = L_{oi} + 10 \lg \frac{N_i}{TV_i} + 10 \lg \left(\frac{r_0}{r} \right)^{1+a} + 10 \lg \pi r_0 + \Delta L \quad (1)$$

式中: L_{oi} 为第 i 种车型在参考距离处的平均辐射噪声级, dB, 采用的是对本地共 1 176 辆机动车的噪声及车速的实测结果所拟合出来的模型, 其值与车型及车速有关^[13]; N_i 为第 i 种车型的车流量, veh/h; V_i 为第 i 种车型的车速, km/h; r_0 为参考距离, $r_0 = 7.5$ m; r 为接受点距行车线的距离, m。

行车道上实际车流为大、中、小三种车型的组合车流, 道路交通噪声的等效声级为三种车流的等效声级的叠加, 即:

$$L_{eq} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{eqi}} \quad (2)$$

2.2 点源算法

综合考虑点声源距离衰减、声屏障的绕射衰减、建筑物和林带的衰减作用后, 点声源对接受点 R 的噪声值为:

$$L_R = L_o + 20 \lg \left(\frac{r_0}{r} \right) + \Delta L_b + \Delta L_s + \Delta L_g \quad (3)$$

式中, L_0 为点声源在参考距离处的平均辐射噪声级, dB; r_0 为参考点的距离, m; r 为点源至接收点的距离, m; ΔL_b 为建筑物的附加衰减量; ΔL_s 为声屏障的附加衰减量^[14]; ΔL_g 为林带的附加衰减量。

2.3 面源算法

面源对一点的噪声辐射能量可近似地看作面源的各轮廓线对该点的噪声辐射能量之和, 即把面源的源强近似地集中到轮廓线上, 使计算得到简化:

$$10^{0.1 \cdot \text{Strength}_A} \times A_A = 10^{0.1 \cdot \text{Strength}_L} \times C_L \quad (4)$$

式中: Strength_A 为面源强度, dB/m²; Strength_L 为等效线源强度, dB/m; A_A 为面源面积, m²; C_L 为面源轮廓线周长, m。

而等效线源对任意一个接收点的噪声为:

$$L_L = \text{Strength}_L + 10 \lg \frac{\theta}{2\pi d} \quad (5)$$

式中: θ 为接收点到线源两端点的夹角, rad; d 为接收点到线源的距离, m。

将各轮廓线对接收点的噪声进行能量叠加, 可得到整个面源对接收点的噪声辐射, 即:

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1 \cdot L_{Li}} \quad (6)$$

2.4 林带衰减的计算方法

林带的平均衰减量采用《公路建设项目环境影响评价规范》中的式子来进行估算^[15], 即:

$$\Delta L_g = -0.1l \quad (7)$$

式中, l 为声波穿过林带的宽度, m。

2.5 建筑物衰减的计算方法

根据《声学 室外声传播衰减 第 2 部分》标准所规定的方法^[16], 由建筑物群的屏蔽及反射两种作用所引起的噪声衰减量为:

$$\Delta b = A_{\text{house},1} + A_{\text{house},2} \quad (8)$$

其中, $A_{\text{house},1}$ 的平均值为

$$A_{\text{house},1} = 0.1Bd_b \quad (9)$$

式中, B 为沿声传播线上的建筑物的密度, 等于以总的地面面积 (包括建筑物所占面积) 去除建筑物的总的平面面积所得的商; d_b 为通过建筑物群区的声路线长度, m。

$$A_{\text{house},2} = -10 \lg \left[1 - \left(\frac{p}{100} \right) \right] \quad (10)$$

式中, p 为相对于在建筑物邻近的公路的总长度的建筑物正面的长度的百分数, 其值小于或等于 90%。

城市路网密度大, 建筑物群数量多, 在进行大区域计算时计算速度十分缓慢, 针对这个问题, 系统采取了自动划分网格和筛选交通源的优化算法。

在区域不大的时候, 计算程序按照用户自定义的固定步长或固定数量的网格进行计算; 当区域增大的时候, 程序先将区域分块, 然后针对每一块区域进行判断, 若区域内无交通源则可进行网格的稀疏, 若区域内有交通源, 则先按用户需求来划分网格, 然后再筛选有影响的交通源进行计算, 进而达到简化计算的效果。

3 “中大声图”的应用

3.1 广州内环路的交通噪声地图

广州内环路全长 26.7 km, 双向六车道, 自 2000 年 1 月建成通车后, 广州市中心区的交通得到明显改善, 但也给沿线的环境带来了较大的交通噪声影响。为掌握内环路对沿线环境的噪声影响, 以内环路为中心线, 选取其沿线 100 m 范围内的建筑物, 以 10 m 为计算的网格步长, 利用“中大声图”计算其交通噪声并渲染出其噪声地图, 计算时, 交通源为 431 个, 建筑物 1 845 栋, 区域面积为 68.8 km², 计算结果共 166 808 条, 渲染图如图 5 所示。

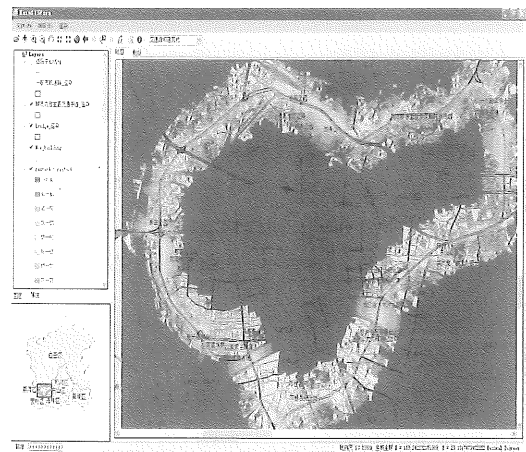


图 5 广州内环路的交通噪声地图

Fig. 5 Traffic noise map of Inner Ring road

由图 5 可见, “中大声图”能够计算大区域的交通噪声并渲染出交通噪声地图, 直观地展示城市交通噪声的分布情况, 为交通噪声的管理与控制提供了一个良好的可视化平台。

经分析发现, 广州内环路的南岸路路段交通噪声污染较为严重, 其交通噪声地图如图 6 所示。由图 6 可以看出, 南岸路的最大噪声值在 75 ~ 80 dB 之间, 沿线附近范围内的噪声大多在 65 ~ 70 dB 之间, 噪声污染较为严重。

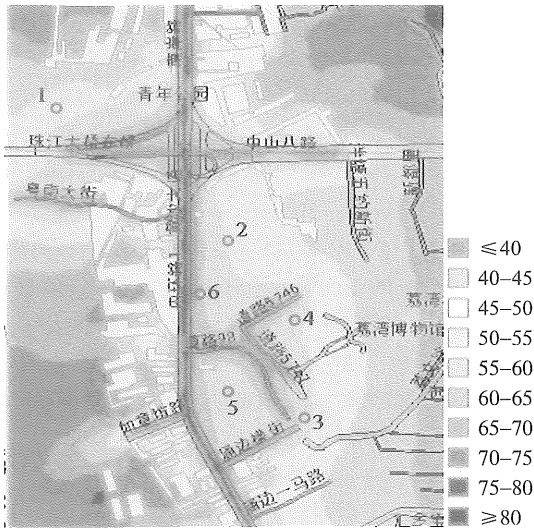


图 6 南岸路噪声地图 (dB)

Fig. 6 Traffic noise map of Nan an road (dB)

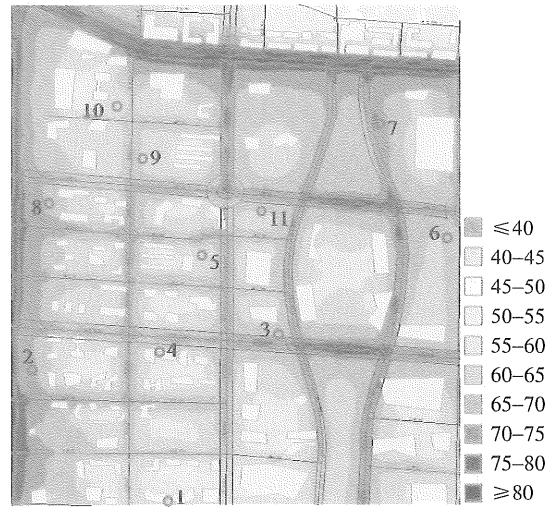


图 7 珠江新城交通噪声地图 (dB)

Fig. 7 Traffic noise map of Zhujiang New Town (dB)

为降低南岸路的交通噪声污染，采取单双号限行和安装声屏障（3.0 m 高）两种控制措施从声源和声传播过程中降低噪声污染，降噪前后南岸路的交通噪声如表 1 所示（各点的位置见图 6）：

表 1 降噪前后的交通噪声

Table 1 Traffic noise before and after taking noise reduction measures dB

接收点	降噪前	有声屏障	声屏障降噪量	限行后	限行降噪量
1	50.77	40.00	-10.77	47.32	-3.45
2	57.36	52.91	-4.45	54.66	-2.70
3	60.49	53.80	-6.69	60.10	-0.39
4	61.42	51.68	-9.74	59.06	-2.36
5	62.50	49.62	-12.88	58.67	-3.83
6	64.74	49.57	-15.17	60.81	-3.93

由表 1 可以看出，在道路两侧安装声屏障后，交通噪声明显降低，声屏障的降噪量约为 4 ~ 15 dB，降噪效果非常明显；限行后，由于交通量减半，噪声值也有所降低，限行的降噪量约为 0 ~ 4 dB 左右，其降噪效果没有声屏障的显著。

3.2 珠江新城的交通噪声地图

珠江新城位于广州北二环与东二环的交汇处，是广州重要的城市中心商务区，了解其交通噪声的污染程度分布情况可为采取有效的防治措施提供科学依据。本研究选取的珠江新城区域北侧紧临黄埔大道西，西侧邻接广州大道中，面积约为 1.3 × 1.7 km²，其区域交通噪声地图如图 7 所示。

由图 7 可以看出，区域内主干路的噪声值均在

70 dB 之上，尤其是广州大道中和黄埔大道西的噪声值已接近 75 dB，小区内道路的噪声值也在 65 dB 之上，居住区的噪声大部分处于 60 - 65 dB 之间，噪声污染较为严重。因此，可考虑在在广州大道中和黄埔大道西的道路两侧加装声屏障，贯穿区内的道路可以适当采取限速、限制大型车通行等措施来达到降低噪声的目的。

为检验计算结果的准确性，对珠江新城展开交通流和噪声实地调查，调查时间为 2011 年 3 月 15 日 17:00 - 17:30，共 11 个监测点，每个点位监测 30 min，各点位的位置见图 7。噪声的实测值与系统计算值的比较如图 8 所示。

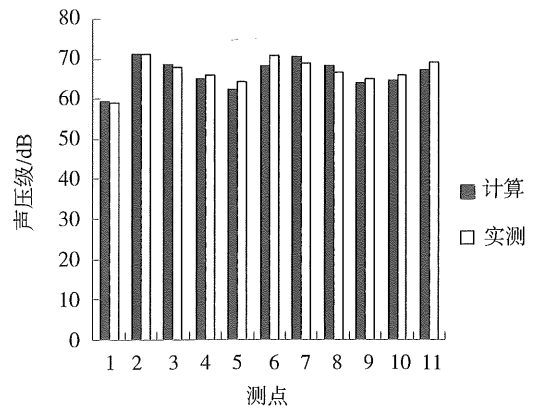


图 8 实测值与计算值的比较

Fig. 8 Comparison between measured values and calculated values

实测值与系统计算值之间的最大误差为 2.09 dB，最小误差为 0.55 dB，平均误差为 1.31 dB，平

均相对误差为 1.956%，系统计算值的准确性较高。

5 结 论

结合城市环境噪声排放模型及噪声传播扩散的基本原理，自主研发了一个城市环境噪声模拟与评估系统——“中大声图”。该系统具有与地理信息系统交互运行、大区域噪声模拟计算和考虑城市复杂障碍物等特点。从应用和验证的实例来看，系统能够绘制大区域交通噪声地图，能够对各种降噪措施进行评估，且计算的平均误差为 1.31 dB。因此，系统对城市环境噪声，特别是城市交通噪声的控制和管理有很好的应用前景。

参考文献：

- [1] 李红星, 王雪平. GIS 技术在城市环境噪声中的应用研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(3):42-44.
- [2] 郭红连. Cadna/A 和 GIS 在城市道路交通环评中的应用[J]. 山西建筑, 2010, 36(16):352-353.
- [3] JOHN H, ANDREW J, KEVIN H. BUMP -The Birmingham updated noise mapping[J]. Acta Acustica united with Acustica, 2005(1):66-68.
- [4] POPP C. Noise abatement planning in German-experiences and consequence of the EU directive on the assessment of environmental noise[J]. Acta Acustica united with Acustica, 2003(1):65-67.
- [5] KLAEBOE R, ENGELIEN E, STEINNES M. Context sensitive noise impact mapping[J]. Applied Acoustics, 2006(67):620-642.
- [6] Department of Transportation and Welsh Office UK. Calculation of road traffic noise[R]. London: HMSO, 1988.
- [7] Road Construction Section of the Federal Ministry for Transport. Directives for anti-noise protections along roads[R]. Berlin: Ministry for Transport, 1990.
- [8] LUO Z Y, LI Z K, WU Y W, DAI M G. Using 3D visualization technologies to enhance the understanding of environmental noise[J]. Noise and vibration control, 2005(1):56-58.
- [9] 张庆河, 邹峥嵘. 基于 GIS 的交通噪声评价和预测系统[J]. 测绘科学, 2008, 33(5):116-110.
- [10] 周晓丹. 基于 GIS 的城市道路交通噪声预测系统的研制[D]. 大连理工大学, 2005:26-50.
- [11] 肖敬文, 余志, 聂佩林, 等. 基于几何与颜色特征的公交车辆视频检测算法[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2005, 44(2):152-155.
- [12] 张玉芬. 道路交通环境工程[M]. 北京:人民交通出版社, 2001:48-49.
- [13] 李锋, 刘济科, 蔡铭, 等. 信号控制对交通噪声的影响分析[J]. 噪声与振动控制, 2010(6):109-113.
- [14] 盛晔, 潘仲麟. 高架复合道路噪声声场分布研究[J]. 环境污染与防治, 2002, 24(6):368-369.
- [15] 交通部公路科学研究院, 长安大学. JTG B03—2006 公路建设项目环境影响评价规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2006:47.
- [16] 全国声学标准化技术委员会. GB/T 17247.2-1998 声学室外声传播衰减[S]. 北京:中国标准出版社: 2006:17.