

文章编号: 1671-1637(2005)03-0111-04

# 道路交通噪声评价及预测新方法

韩善灵, 朱平, 林忠钦

(上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200030)

**摘要:** 在分析既有环境噪声评价方法的基础上, 根据交通噪声非稳态性的特点, 提出了交通噪声综合影响指数的概念。基于概率论和交通流理论, 考虑到影响道路交通噪声的主要因素是车流量、车型和车流速度等, 建立了用交通噪声综合影响指数来评价道路交通噪声的预测理论模型。以某城市道路交通噪声在一天内 24 h 的 A 声级变化为实例, 计算了其交通噪声综合影响指数为 79.7 dB。计算结果表明, 可以用交通噪声综合影响指数合理地评价道路交通噪声污染对人体健康和社会经济发展的影响。

**关键词:** 交通工程; 道路交通噪声; 综合影响指数; 理论模型; 交通流理论

**中图分类号:** U491.91 **文献标识码:** A

## Evaluation and prediction new methods of road traffic noise

Han Shan ling, Zhu Ping, Lin Zhong qin

(School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Based on the old evaluating methods of road traffic noise, the traffic noise integrated impact index was proposed, the unsteady characteristic of road traffic noise was considered. Using probability and traffic flow theory, a theoretical model of road traffic noise prediction was developed, the effect factors of traffic flow, vehicle types and traffic velocities were taken into account. According to the road traffic noise change of sound level A in a city with in 24 h, the calculation value of traffic noise integrated impact index is 79.7 dB. The result indicates that it is feasible to use the traffic noise integrated impact index to evaluate the harm of road traffic noise to people's health and social economy. 1 tab, 2 figs, 8 refs.

**Key words:** traffic engineering; road traffic noise; integrated impact index; theoretical model; traffic flow theory

**Author resume:** Han Shan ling(1972), male, doctoral student, 86 21 62932964, hanshanling@sjtu.edu.cn.

## 0 引言

随着现代工业、交通运输事业和建筑业的飞速发展, 噪声污染已成为当今世界性的问题, 给居民的生活和健康造成很大影响。噪声污染是一种能量污染, 属于物理污染的范畴。噪声污染具有可感受性、局部性和暂时性的特点。由于噪声污染的这些特

点, 决定了噪声与其他环境污染物的评价方法不同。噪声评价, 即如何将噪声的客观物理量与人的主观感受结合起来评价噪声对人的影响程度, 是一个十分复杂的问题。多年来各国学者对噪声的危害和影响程度进行了大量的研究, 提出了各种评价指标和方法。国内学者从分析所在城市交通噪声的污染现状入手, 提出控制城市交通噪声污染的对策<sup>[1]</sup>, 国外

收稿日期: 2005 03 23

作者简介: 韩善灵(1972), 男, 山东嘉祥人, 上海交通大学博士研究生, 从事汽车噪声控制研究。

学者从交通噪声的经济评价和环境容量的角度对其进行了分析<sup>[1]</sup>。已有道路交通环境噪声评价方法主要考虑交通噪声对环境的客观影响程度及范围,即主要以车辆辐射噪声级作为评价指标。而城市道路交通噪声对居民的影响程度不仅与车辆运行辐射噪声级有关,而且还与噪声随机的起伏程度、人口密度及昼夜等因素有关。目前,已提出的道路交通噪声预测模型有美国的 FHWA 高速公路交通噪声预测模型、英国的 CRTN 88、神经网络模型、高架桥交通噪声预测模型和灰色预测模型<sup>[3]</sup>等。在实际工作中国内应用最多的还是美国的 FHWA 模型,但该模型产生于 20 年前,主要用于高速公路匀速车流的交通噪声预测,模型建立时所依据的车型、路况及环境标准与中国的实际情况有较大差异,应用在中国城市道路交通噪声预测中精度难以保证。随着计算机处理数据能力的日益提高,直接进行交通噪声模拟成为可能,中国学者利用模拟采样、神经网络模型等也开展了大量的交通噪声预测研究<sup>[4~6]</sup>。

本文在既有评价方法的基础上,提出了交通噪声综合影响指数的概念。道路交通噪声的大小主要由车流量、车辆组成、车流速度和观测点位置等因素所决定。本文建立了交通噪声与这些因素之间的关系,并从理论上给出了适应于该噪声评价方法的交通噪声预测理论模型,为今后的计算机模拟奠定了基础。

## 1 常用道路交通噪声评价指标

道路交通噪声在一天 24 h 内,完全是无规则随机变化的。交通噪声对人们的影响程度不仅与声级、频谱有关,而且与它的持续时间、起伏变化幅度有关。采用一个声级数值可以评价机器的稳态噪声,如果用其评价交通噪声,就会产生很大的困难。但是人们仍然希望用几个数值来表示一条街道的噪声大小,这样就要用统计和计权的方法。所谓统计方法就是从一段时间测量的大量变化的数据中,按统计学方法,求出几个统计参数来表示这段时间的噪声。计权的方法是指对几个统计参数,按照它们和人们主观烦恼度的关系,适当组合后来描述这段时间的噪声大小。下面介绍几种经常采用的评价量。

### 1.1 等效连续声级( $L_{eq}$ )

当评价噪声对人体的影响时,不但要考虑噪声的强度,而且要考虑它的作用时间。交通噪声的强度是随时间变化的,于是提出了用噪声能量按时间平均的方法来评价噪声对人的影响,即等效连续声

级,用公式表示为

$$L_{eq} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 L_A} dt \right] \quad (1)$$

式中:  $T$  为总时间;  $L_A$  为随时间  $t$  变化的 A 声级。

### 1.2 累积百分声级( $L_x$ )

交通噪声是属于非稳态的,可用等效连续声级  $L_{eq}$  表达其大小,但是对噪声随机的起伏程度却没有表达出来,因而可以用概率统计的方法来处理。为了测量一段时间内起伏变化的噪声,可每隔一定时间测量一次,这样就得到了很多的数据,把这些数据按大小顺序排列后,可以找出 10% 的所测数据超过的声级,这个声级就称为  $L_{10}$ , 50% 所测数据超过的声级为  $L_{50}$ , 90% 的所测数据超过的声级为  $L_{90}$ 。

试验证明,对于车辆流量较大的街道,  $L_{50}$  数值和人们的主观吵闹感觉程度有较好的相关性,有些国家直接采用  $L_{50}$  来评价交通噪声。但是也应该指出,当车辆流量较少时,噪声随时间起伏变化较大,同样  $L_{50}$  数值的街道,噪声起伏变化数值越大,人们的主观烦恼度也越高,因此,在评价这种类型街道的噪声时,除了考虑  $L_{50}$  之外,也要兼顾  $L_{10}$  和  $L_{90}$  之间的差值。

### 1.3 噪声污染级( $L_{NP}$ )

噪声污染级是在能量平均声级(也称等效声级)的基础上,再考虑噪声起伏变化的因素,其表达式为

$$L_{NP} = L_{eq} + 2.56\sigma \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (3)$$

式中:第 1 项是等效连续声级的量度;第 2 项是由于声级的起伏而带来增加的烦扰;  $\sigma$  为统计标准偏差;  $L_i$  为第  $i$  个声级值;  $\bar{L}$  为所测  $n$  个声级的算术平均值;  $n$  为取样总数。

### 1.4 昼夜等效噪声级( $L_{DN}$ )

考虑到噪声在夜间比昼间更吵人,因此在研究昼夜 24 h 环境噪声水平时,引入昼夜等效声级评价量。美国环境保护局已引用昼夜等效声级( $L_{DN}$ )来评价交通噪声。为了考虑噪声出现在夜间对人们烦恼的增加,规定夜间测得的值加上 10 dB 作为修正值。 $L_{DN}$  主要用于预计人们昼夜长时间暴露在环境噪声中所受的影响。根据上述规定,它的定义为

$$L_{DN} = 10 \lg \left[ \frac{15}{24} \times 10^{0.1 L_d} + \frac{9}{24} \times 10^{0.1 (L_n + 10)} \right] \quad (4)$$

式中:  $L_d$  为从早 7:00 到晚 10:00 的等效声级;  $L_n$  为从晚 10:00 到次日早 7:00 的等效声级。

## 2 交通噪声综合影响指数( $L_{TN}$ )

虽然很多国家和学者提出了不少交通噪声的评价参数,但是,目前国际上仍没有一个统一的评价方法。许多试验都发现,交通噪声的主观烦恼度既与等效连续声级有关,也与噪声起伏变化程度有关,还与人在不同时间段的感觉有很大关系。考虑到主要影响交通噪声的这三大因素,结合中国的实际情况,借鉴美国的昼夜等效声级,考虑噪声出现在夜间对人们影响较大,规定夜间测得的值加上 10 dB 作为修正值,提出了**交通噪声综合影响指数,其定义为**

$$L_{TN}=10\lg\left[\frac{16}{24}\times10^{0.1L_{DNP}}+\frac{8}{24}\times10^{0.1(L_{NNP}+10)}\right] \quad (5)$$

式中: $L_{DNP}$ 为从早 6:00 到晚 10:00 的噪声污染级; $L_{NNP}$ 为从晚 10:00 到次日 6:00 的噪声污染级。

式(5)在形式上与昼夜等效声级相似,但是有本质的区别:首先在时间段的选择上,与昼夜等效声级不同,规定夜间为晚 10:00 到次日 6:00,因为在中国的一些有关声环境法规的条文中,一般都是这样选取的;其次,考虑了噪声起伏变化的大小,选取噪声污染级  $L_{NP}$ ,而昼夜等效声级是用等效声级,这种计算更合理,与人的主观感受更接近。

对于**车流量较大的街道(600veh/h 以上)**,噪

声统计曲线一般都较好地符合高斯分布规律,因此,也可以利用统计声级  $L_{10}$ 、 $L_{50}$ 、 $L_{90}$  来表示**噪声污染级,即**

$$L_{NP}=L_{50}+d+\frac{d^2}{6} \quad (6)$$

$$d=L_{10}-L_{90}$$

$$L_{50}=L_{eq}-\frac{d^2}{60}$$

由于美国环境保护局已引用昼夜等效声级( $L_{DN}$ )来评价交通噪声,如果中国采用交通噪声综合影响指数( $L_{TN}$ )作为评价道路交通噪声的标准,将与国际标准接轨,与人们的主观感受更加一致。

表 1 为某城市道路交通噪声在一天 24 h 内的 A 声级,以此数据为例,按不同的评价量来计算。计算结果见图 1。从图 1 可以看出,等效连续声级、累积百分声级、昼夜等效声级基本相同,这说明累积百分声级  $L_{50}$  和昼夜等效声级没有充分体现出噪声的起伏变化。而噪声污染级比等效连续声级高出 23 dB 之多,说明噪声的起伏变化被夸大,这是人们不易接受的。若采用交通噪声综合影响指数,其值为 79.7 dB,介于等效连续声级和噪声污染级之间,与大部分人的主观感受一致,相对更严格的标准有利于人们生活水平的提高。

表 1 某城市道路交通噪声声级水平

Tab. 1 Noise levels of road traffic noise in a city

Time	1: 00	2: 00	3: 00	4: 00	5: 00	6: 00	7: 00	8: 00	9: 00	10: 00	11: 00	12: 00	13: 00	14: 00	15: 00	16: 00	17: 00	18: 00	19: 00	20: 00	21: 00	22: 00	23: 00	24: 00
$L_A$	54	52	48	51	55	65	71	75	73	73	71	74	74	71	70	72	74	73	71	65	63	60	55	54

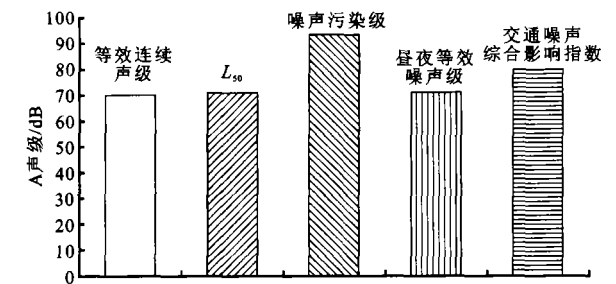


图 1 交通噪声计算结果

Fig. 1 Calculation result of road traffic noise

## 3 交通噪声预测模型

### 3.1 单车道单车型交通噪声

假定车辆是一个无指向性的点声源,其声功率级为  $L_w$ ,那么,距车辆  $l$  米处的声级为<sup>[7]</sup>

$$L=L_w-20\lg l-8 \quad (7)$$

如图 2 所示,当一辆车以恒定车速  $v$ (m/s)行驶在线  $AB$  上,假定车辆在时间  $t$ (s)内,由  $C$  点移动到

$P$  点,则点  $O$  到点  $P$  的距离为

$$OP=\sqrt{l^2+(vt)^2} \quad (8)$$

此时车辆在  $O$  点所产生的声级为

$$L_o=L_w-20\lg l-8-10\lg[1+(vt/l)^2] \quad (9)$$

取  $t$  足够大,则该辆车在通过测点附近时造成的总的等效声级为

$$L_{eq} = 10\lg\left\{\frac{1}{T}\int_0^T 10^{0.1L_o} dt\right\} = L_w - 8 + 10\lg\left\{\frac{1}{vT}\arctan\frac{vT}{l}\right\} \quad (10)$$

设从 0 到  $T$  时间段,共经过测点附近  $m$  辆同一类型的车辆,由噪声的能量叠加原理,得到在这一段时间内该类型车流在测点产生的等效声级为

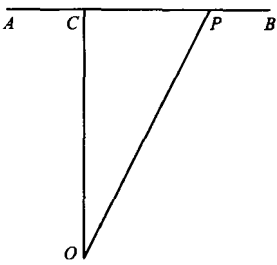


图 2 车辆行驶线路及观测点

Fig. 2 Locations of observation and vehicle running curve

$$L_{eq} = 10\lg\left(\sum_{j=1}^m 10^{0.1L_{eqj}}\right) = L_w - 8 + 10\lg\left(\frac{m}{v l T} \arctan \frac{v T}{l}\right) \quad (11)$$

当  $T \rightarrow \infty$  时,  $m/T$  为该类型车的车流量, 将之记为  $\lambda$ ,  $\arctan(vT/l) \rightarrow \pi/2$ , 代入式(11), 得

$$L_{eq} = L_w - 8 + 10\lg\left(\frac{\pi\lambda}{2vl}\right) = L_w - 6 + 10\lg\left(\frac{\lambda}{vl}\right) \quad (12)$$

式(12)即为单车道、单车型、车流量为  $\lambda$ 、行驶速度为  $v$ 、测点离车道行驶中心线距离为  $l$  处的等效交通噪声值计算公式。

道路交通系统是一个复杂的随机系统, 对它的研究多采用概率统计的方法进行。交通工程学的观测表明<sup>[8]</sup>, 在单车道车流量小于 600 veh/h 时, 这一随机过程可视为 Poisson 过程, 即在给定的观测时间  $t$  内, 到达某目标或出现在一定距离内的车辆数服从 Poisson 分布, 于是, 在  $t$  时间内有  $k$  辆车到达的概率为

$$p(k) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \quad (13)$$

式中:  $\lambda$  为 Poisson 流的强度, 此处表示单位时间的车流量, 亦称车流率。

累积百分声级噪声  $L_x$  是表示  $x\%$  的时间内所超过的噪声级, 相当于车流分布函数  $F_x(k)$  小于  $1 - x/100$  时所对应的等效声级

$$F_x(k) = P(x \leq k) = \sum_{i=0}^k p(i) = 1 - x/100 \quad (14)$$

由式(14)可以求出  $k$ 。令式(11)中  $m=k$ , 即可得到相应的累积百分声级为

$$L_x = L_{eq}(k) = L_w - 8 + 10\lg\left(\frac{\pi k}{2vl T}\right) \quad (15)$$

泊松分布适用于车流密度不大, 车辆间相互影响微弱, 其他外界干扰因素基本上不存在, 即车流是随机的情况。当车流比较拥挤, 自由行驶机会不多时用二项分布拟合较好; 当到达的车流波动性很大或计算间隔长度一直延续到高峰期间与非高峰期间 2 个时段时, 所得数据可能有较大的方差。如果选择信号灯的下流观测, 这时就应该采用负二项分布。不论是二项分布, 还是负二项分布时的车流情况, 都可以用相同的方法来计算累积声级。

### 3.2 单车道多车型交通噪声

设有  $n$  种类型的车辆在同一条长直道路上匀速行驶, 第  $j$  种车辆的行驶速度为  $v_j$ , 车辆声功率级为  $L_{wj}$ , 车流量为  $\lambda_j$ , 噪声测量点离车辆行驶中心线的垂直距离为  $l$ 。则由式(12)可知, 第  $j$  种车辆在测点

造成的等效声级为

$$L_{eqj} = L_{wj} - 8 + 10\lg\left(\frac{\pi\lambda_j}{2v_j l}\right) \quad (16)$$

$n$  种车辆在测点造成的总的等效声级为

$$L_{eq} = 10\lg\left(\sum_{j=1}^n 10^{0.1L_{eqj}}\right) = 10\lg\left(\sum_{j=1}^n \frac{\pi\lambda_j}{2v_j l} 10^{0.1L_{wj}}\right) - 8 \quad (17)$$

设第  $j$  种车辆的累积百分声级为  $L_{xj}$ ,  $n$  种车辆在测点造成的总的累积百分声级为

$$L_x = 10\lg\left(\sum_{j=1}^n 10^{0.1L_{xj}}\right) = 10\lg\left(\sum_{j=1}^n \frac{\pi k_j}{2v_j l T} 10^{0.1L_{wj}}\right) - 8 \quad (18)$$

### 3.3 多车道多车型交通噪声

设实际上的道路有  $m$  条车道、 $n$  种车型, 第  $i$  条车道离噪声观测点的距离为  $l_i$ , 在上面行驶的第  $j$  种车辆的速度为  $v_{ij}$ , 声功率级为  $L_{wij}$ , 车流量为  $\lambda_{ij}$ , 则由式(17)知, 第  $i$  条车道在测点造成的等效声级为

$$L_{eqi} = 10\lg\left(\sum_{j=1}^n \frac{\pi\lambda_{ij}}{2v_{ij} l_i} 10^{0.1L_{wij}}\right) - 8 \quad (19)$$

整条道路在测点造成的等效声级为

$$L_{eq} = 10\lg\left(10^{0.1L_{eq}}\right) = 10\lg\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\pi\lambda_{ij}}{2v_{ij} l_i} 10^{0.1L_{wij}}\right) - 8 \quad (20)$$

设第  $i$  条车道的累积百分声级为  $L_{xi}$ , 则整条道路在测点造成的累积百分声级为

$$L_x = 10\lg\left(10^{0.1L_x}\right) = 10\lg\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\pi k_{ij}}{2v_{ij} l_i T} 10^{0.1L_{wij}}\right) - 8 \quad (21)$$

式(20)即为道路交通噪声等效声级的计算公式。从式(20)中看出, 多车道多车型等效交通噪声  $L_{eq}$  主要和道路上车流量  $\lambda_{ij}$ 、车流速度  $v_{ij}$ 、行驶声功率级  $L_{wij}$ 、车道离噪声测量点的距离  $l_i$  等有关。

由式(20)、(2)和式(5)联合就可得到交通噪声综合影响指数。由于车流量较大的街道(600 veh/h 以上)车流符合高斯分布规律, 可以利用统计声级式(21), 用式(6)来表示噪声污染级。

## 4 结 语

由于道路交通噪声不同于其他类型噪声的主要特征在于它的非稳态性。将交通噪声的客观物理量与人的主观感受结合起来评价噪声对人的影响程度

(下转第 121 页)



是因为功能相互类似才放在一族之中。这里得到的只是数据库设计的架构,其中的字段以及表族中的表还要在程序设计的过程中进行进一步的调整,如设计一些冗余字段支持逆向物流和方便查询。

## 4 结 语

分析和设计了第三方物流信息系统运输子系统的系统设计架构、业务流程着色 Petri 网、返单 Petri 网、数据库设计过程、运输子系统顶层和第 1 层数据流图、E R 图,并将根据物理数据模型建立的 125 张表分成了 14 个族。这些方法降低了系统设计的复杂性,提高了项目工程质量。

## 参考文献:

## References :

- [1] 王战权. 现代物流中的第三方物流分析[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(2): 54—58.  
Wang Zhan quan. Analysis of the third party logistics in the modern logistics[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2002, 22(2): 54—58. (in Chinese)
- [2] 刘恒江, 施欣. 基于 Petri 网的集装箱空箱调运仿真分析[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(3): 97—102.

(上接第 114 页)

是非常困难的一个问题。本文考虑等效连续声级、噪声起伏变化程度、人在不同时间段的感觉三大因素,提出了更加科学、全面反映人的主观感受的交通噪声综合影响指数。计算实例表明交通噪声综合影响指数与人的主观感受相一致。道路交通噪声的大小主要由车流量、车辆组成、车流速度和观测点位置等因素所决定。本文建立了交通噪声与这些因素之间的关系,提出了基于概率论和交通流理论的噪声预测理论模型。它是一种具有重要实用价值的模拟模型,能够快捷有效地进行交通噪声的数值预估。虽然该模型属于初步的理论探讨,但却是进一步深入研究的基础。在处理一些更为复杂的情况时,本文的模型和方法同样可以适用。

## 参考文献:

## References :

- [1] 张开冉, 李国芳. 城市道路交通噪声影响模糊评价[J]. 中国公路学报, 2003, 16(4): 91—93.  
Zhang Kai ran, Li Guo fang. Assessment of urban road traffic noise based on multi level fuzzy[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(4): 91—93. (in Chinese)
- [2] Quentin R. Economic evaluation of noise[J]. Road and Transport Research, 1992, 1(2): 36—47.

Liu Heng jiang, Shi Xin. Simulation of collection and allocation of empty containers based on Petri net[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(3): 97—102. (in Chinese)

- [3] 孙同江, 黄圣国. 运输网络最大流的 Petri 网图仿真算法[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(3): 76—80.  
Sun Tong jiang, Huang Sheng guo. Petri net simulation algorithm of maximum flow in transportation network[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(3): 76—80. (in Chinese)
- [4] 孙宏波. 3PL 运输管理系统研发及关键技术研究[D]. 北京: 清华大学, 2004.
- [5] 王琳. 集装箱信息跟踪系统[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(1): 76—79.  
Wang Lin. Container information tracing system[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1): 75—79. (in Chinese)
- [6] 李晔, 姚祖康. 基于地理信息系统的公路设施空间数据库概念模型[J]. 中国公路学报, 2000, 13(3): 9—11.  
Li Ye, Yao Zu kang. GIS based highway facilities spatial data base conceptual model[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(3): 9—11. (in Chinese)
- [7] 符嘉洋. 第三方物流信息管理系统运输子系统数据库设计和实现[D]. 北京: 清华大学, 2004.

- [3] 李本纲, 陶澍, 曹军等. 城市道路交通噪声预测理论统计模型[J]. 环境科学, 2000, 21(11): 1—5.  
Li Ben gang, Tao Shu, Cao Jun, et al. A theoretical statistical model for urban road traffic noise prediction[J]. Environmental Science, 2000, 21(11): 1—5. (in Chinese)
- [4] 王波, 王炜. 利用模拟采样系统进行混合车流的噪声预报[J]. 中国公路学报, 2001, 14(2): 86—89.  
Wang Bo, Wang Wei. Mixed traffic noise forecast with sampling simulation system[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(2): 86—89. (in Chinese)
- [5] 袁玲. 交通噪声预测的神经网络模型[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(2): 84—87.  
Yuan Ling. Neural network for predicting traffic noise[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(2): 84—87. (in Chinese)
- [6] 郭玉红, 郭志云, 杨伟荣等. 公路交通噪声预测值的分析研究[J]. 公路, 2004, 49(8): 138—144.  
Guo Yu hong, Guo Zhi yun, Yang Wei rong, et al. Analysis and research on estimating value of highway transportation noise[J]. Highway, 2004, 49(8): 138—144. (in Chinese)
- [7] 常玉林, 王炜. 城市道路交通噪声分析和预测方法研究[J]. 公路交通科技, 2003, 20(2): 169—171.  
Chang Yu lin, Wang Wei. Analyzing and forecasting urban road traffic noise[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(2): 169—171. (in Chinese)
- [8] 任福田. 交通工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.