

The Fuzzy Evaluation of Urban Road Traffic Noise Impact on Residents

Haiyun Wang, Ting Zhang, Yuting Sun

College of Hydraulic and Environmental Engineering, Three Gorges University, Yichang
Email: wanghaiyun@ctgu.edu.cn

Received: Feb. 24th, 2014; revised: Mar. 7th, 2014; accepted: Mar. 17th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Establishing fuzzy evaluation method, in terms of the actual influence of the city road traffic noise to the residents, using the fuzzy theory based on the actual impact of road traffic noise on residents, taking the road traffic noise level, pollution intensity of Yichang City in China as an example, aiming at the different subjective reactions of residents living under the environment polluted by noise, which were caused by subjective factors such as population, hobbies, education, social economic condition, psychological quality and so on, fuzzy evaluation model was established, comprehensively evaluating the actual impact of traffic noise on residents, which made the evaluation results more scientific and reasonable.

Keywords

Acoustics, Urban Noise Pollution, Traffic Noise, FHWA Model, Fuzzy Clustering

城市道路交通噪声对居民影响的模糊评价

王海云, 张 婷, 孙宇婷

三峡大学水利与环境学院, 宜昌
Email: wanghaiyun@ctgu.edu.cn

收稿日期: 2014年2月24日; 修回日期: 2014年3月7日; 录用日期: 2014年3月17日

摘要

运用模糊理论,依据道路交通噪声对居民的实际影响,采用城市道路交通噪声对居民影响模糊评价的方法,并以中国宜昌城市道路交通噪声的噪声级、污染强度为实例,针对受声污染环境下居住人口的不同性格、爱好、文化程度、社会经济条件、心理素质等诸多主观因素产生引起的不同主观反应,建立模糊数学评判模型,全面地评价道路交通噪声对居民的实际影响程度,使得评价结果更科学、合理。

关键词

声学,城市噪声污染,交通噪声, FHWA模型,模糊聚类

1. 引言

本随着中国城市化的进程,人民生活水平普遍提高,城市中各类机动车辆数量急剧上升,道路交通噪声污染也越来越严重,形势尤为严峻。当前城市环境噪声主要为交通噪声和社会生活噪声,交通噪声所占比重高达 60%,并且有逐年上升的趋势[1][2]。

噪声污染是一种能量污染,属于物理污染的范畴,对居民的影响[3][4],不仅与声波的物理性质,声级的大小、声音的频率等有关,还与人们的年龄、体质、性格、爱好、文化程度、区域、社会经济条件、心理素质等诸多因素有关。

噪声污染具有可感受性、局部性和暂时性的特点[5]。由于噪声污染的这些特点,决定了噪声的评价指标、评价模式和评价方法不同于其它环境污染物质的污染。目前道路交通噪声对居民影响评价方法主要考虑道路交通噪声对环境的客观影响程度,即主要以等效声级 LAeq、昼夜等效声级 Ld 等作为评价指标,而未全面考虑到道路交通噪声对居民的实际影响[6]。本文运用模糊理论,针对道路交通噪声对居民的实际影响,提出城市道路交通噪声对居民影响模糊评价方法。

2. 模糊综合评判

2.1. 模糊评判步骤

本模糊综合评判是在模糊的环境中,考虑了多种因素的影响[7][8],关于某种目的对某事物进行的综合决断或决策。模糊评判一般可以分为如下几个步骤:

确定评价对象的因素集 U

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$$

设定这些因素的评审等级,确定评语集 V

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

求出各单一因素对各评审等级的归属程度,建立模糊矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & & \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： r_{ij} 表示因素 u_i 对评语 v_j 的隶属程度。

确定评价因素的权重向量：

$$A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_m)$$

一般情况下， m 个评价因素对于评判事物并非是同等重要的，因此在进行综合评判前，应确定评价因素的权重向量 $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_m)$ ，并规定：

$$\sum_i^m a_i = 1 \quad (2)$$

综合评价：在确定权重向量 A 和模糊矩阵 R 后， $B = A \circ R$ ，即可得到综合评价结果一向量 B 。式中以“ \circ ”表示，为某种矩阵合成算子，它可以表示为 (\cdot, \otimes) ， (\cdot, \vee) ， (\wedge, \otimes) ， (\wedge, \vee) 等算子之一，在实际应用当中，多采用 (\cdot, \otimes) 算子。

2.2. 道路交通噪声影响的模糊综合评价方法

道路交通噪声对居民的实际影响，可从道路交通噪声的客观实测量和由噪声引起的居民主观反应两个方面进行评价[9]。对于客观实测量的评价，可对昼、夜测得的等效连续A噪声级 L_{Aeq} 进行评价；对于居民主观反应的评价，可从交通噪声对居民心理干扰和生理功能干扰两个角度确定其评价因素，其中，对心理干扰程度以主观烦恼度表示，对生理功能的干扰主要从交通噪声对睡眠、思考和语言三个方面的影响程度进行分析[10]。因此，依据模糊数学原理建立综合评价因素集 U ：

$U = \{\text{道路交通噪声的客观实测量}(U_1), \text{噪声引起的居民主观反应}(U_2)\}$ ，其中的每一因素 $U_i (i = 1, 2)$ 又由更加基本的因素所决定。对于 U_1 ，因素集为： $U_1 = \{\text{昼间测得的等效连续A噪声级 } L_{Aeq.d}(u_{11}), \text{夜间测得的等效连续A噪声级 } L_{Aeq.n}(u_{12})\}$ ；对于 U_2 ，因素集为： $U_2 = \{\text{居民主观烦恼度}(u_{21}), \text{对睡眠影响程度}(u_{22}), \text{对思考影响程度}(u_{23}), \text{对语言影响程度}(u_{24})\}$ 。

考虑上述因素的不同层次[11]，对抽样评价的道路沿线居民区的道路交通噪声影响程度采用二级模糊综合评判。其中一级综合评判包括道路交通噪声的客观实测量和噪声引起的居民主观反应的评判，二级综合评判为道路交通环境噪声对居民影响的模糊综合评判。

2.2.1. 确定评语集

英依据国际标准化组织(ISO)于2004年提出的环境噪声标准(ISO 14001:2004)“公众对噪声反应的评价”建议，当环境噪声超过标准值时，可根据超标数值估计公众的反应程度，具体超标值与公众反应估计值之间的对应关系见表1。

由此确定评语集 V_1 为{无影响(v_{11})，轻度(v_{12})，中度(v_{13})，较严重(v_{14})，严重(v_{15})}。

Table 1. Estimates the public reaction to noise
表 1. 公众对噪声反应估计

| 超过噪声标准的 dB 值 | 估计公众的反应 | |
|--------------|---------|----------|
| | 程度 | 反应 |
| 0 | 无 | 无反应 |
| 5 | 很小 | 偶有抱怨 |
| 10 | 一般 | 普遍抱怨 |
| 15 | 强烈 | 引起群众抗议 |
| 20 | 非常强烈 | 引起群众强烈抗议 |

《声环境噪声标准》(GB3096-2008)[12]中规定居民区环境噪声标准:昼间 LAeq 为 55 Bd, 夜间 LAeq 为 45 dB。依据该标准和表 1, 得到道路交通噪声客观实测量评判中各评价等级的标准(表 2)。

2.2.2. 确定隶属函数, 建立模糊矩阵 R_i

参照表 2 的评判标准, 采用线性关系和降半梯形模糊分布, 和 u_{11} 和 u_{12} 从属于 $v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}$ 的隶属度函数, 其表达式如下:

$$\begin{aligned}
 r_{i1} &= \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ (a_2 - x_i)/(a_2 - a_1) & a_1 < x < a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases} \\
 r_{i2} &= \begin{cases} (x_i - a_1)/(a_2 - a_1) & a_1 < x < a_2 \\ (a_3 - x_i)/(a_3 - a_2) & a_2 < x < a_3 \\ 0 & x \leq a_1 \text{ 或 } x \geq a_3 \end{cases} \\
 r_{i3} &= \begin{cases} (x_i - a_2)/(a_3 - a_2) & a_2 < x < a_3 \\ (a_4 - x_i)/(a_4 - a_3) & a_3 < x < a_4 \\ 0 & x \leq a_2 \text{ 或 } x \geq a_4 \end{cases} \\
 r_{i4} &= \begin{cases} (x_i - a_3)/(a_4 - a_3) & a_3 < x < a_4 \\ (a_5 - x_i)/(a_5 - a_4) & a_4 < x < a_5 \\ 0 & x \leq a_3 \text{ 或 } x \geq a_5 \end{cases} \\
 r_{i5} &= \begin{cases} (x_i - a_4)/(a_5 - a_4) & a_4 < x < a_5 \\ (a_6 - x_i)/(a_6 - a_5) & a_5 < x < a_6 \\ 0 & x \leq a_4 \text{ 或 } x \geq a_6 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3}$$

式中, $i=1, 2$, x_1 和 x_2 分别为 u_{11} 和 u_{12} 的实测值; $r_{ij}(i=1, 2, j=1, 2, 3, 4, 5)$ 分别为 u_{11} 和 u_{12} 对 $v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}$ 的隶属度; a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 , 为表 2 中所示 $v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}$ 的分级标准。 u_{11} 和 u_{12} 的隶属度函数的分布曲线分别如图 1 和图 2 所示。

将评价小区昼间道路交通环境噪声级 u_{11} 和 u_{12} 的实测值分别代入其隶属函数, 可得到模糊关系矩阵(评判矩阵) R_1 ,

$$R_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.2.3. 确定权向量

根据环境噪声对人的各种影响比率的调查统计资料表 3, 采用频数统计分析法对 u_{11}, u_{12} 的权重系数进行分析。

令 m 为道路交通噪声白天对居民影响人数的平均概率, 则 $m = (41.5 + 41.0 + 31.7)/3 = 38.07$ 。因此,

Table 2. Equivalent sound level of noise pollution in residential areas of evaluation criteria

表 2. 居民区噪声污染等效声级评价标准

| 时间段 | 无影响 | 轻度 | 中度 | 较严重 | 严重 |
|----------------|-----|----|----|-----|----|
| 昼间 Laeq.d (dB) | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
| 夜间 Laeq.n (dB) | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |

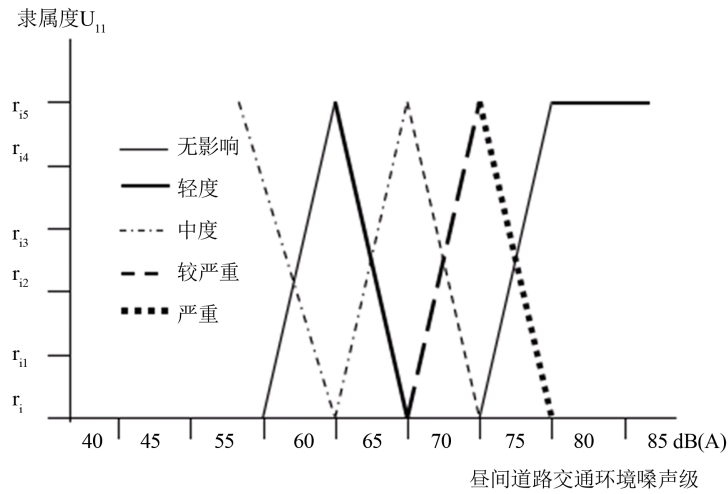


Figure 1. The membership function of the distribution curve of u_{11}
图 1. u_{11} 的隶属度函数的分布曲线

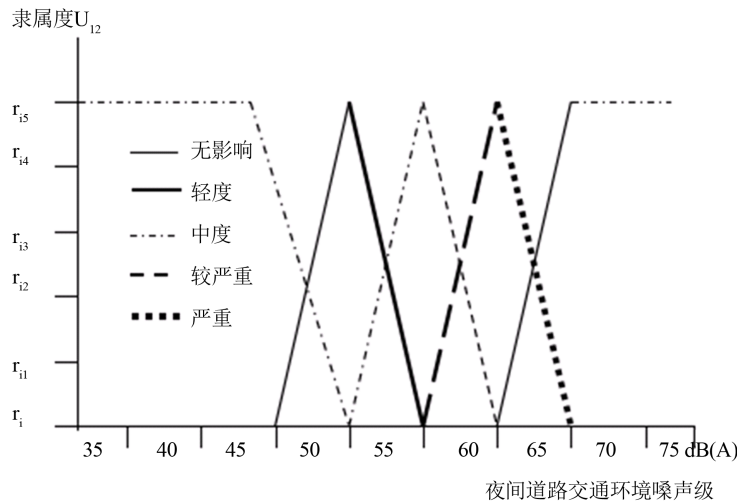


Figure 2. The membership function of the distribution curve of u_{12}
图 2. u_{12} 的隶属度函数的分布曲线

Table 3. Relative weight analysis
表 3. 相对权重分析

| 项目 | 夜间 | | 白天 | |
|---------|------|------|------|------|
| 影响内容 | 睡眠 | 工作 | 学习 | 会话 |
| 影响人数概率% | 63.8 | 41.0 | 41.5 | 31.7 |

u_{11} 的权重系数为 $38.07 / (63.8 + 38.07) = 0.374$ ； u_{12} 的权重系数为 $63.8 / (63.8 + 38.07) = 0.626$ 。从而得到对于 u_{11} 各因素的权重分配为 $A_1 = (0.374, 0.626)$ 。

故道路交通环境噪声的客观实测量的综合评判为：

$$B_1 = A_1 \circ R_1 \tag{5}$$

式中：“ \circ ”取 $M(\cdot, \otimes)$ 。

2.3. 噪声引起的居民主观反应的评判

2.3.1. 确定评语集

对居民的不同性格、爱好、文化程度、社会经济条件、心理素质等诸多主观因素产生引起的不同主观反应的评判[13]，从噪声对居民心理的干扰和对生理功能的干扰两个角度确定其评价因素。其中，对心理干扰程度以主观烦恼度[14]进行表示，对生理功能的干扰以睡眠、思考和语言三个方面的影响程度进行刻画，主观烦恼度的度量有5级、7级至13级等[15] [16]。根据实际调查表明，评价等级不宜过细，将烦恼度分为“安静”、“比较安静”、“闹”、“很闹”和“不能容忍”等5级。噪声对睡眠、思考和语言的干扰由轻至重分为5个等级。考虑到上述原因并结合各因素度量等级的语言表述，确定评语集 V_2 为{无干扰(v_{21}), 轻度干扰(v_{22}), 中度干扰(v_{23}), 较严重干扰(v_{24}), 严重干扰(v_{25})}。

2.3.2. 确定隶属函数，建立模糊矩阵 R_2

因素 u_{21} 、 u_{22} 、 u_{23} 和 u_{24} 对于评语集 V_2 的隶属函数的确定是以对评价小区进行抽样调查的结果作为依据，调查对象为小区居住人群的典型抽样，即在小区居民中随机抽取若干人口进行调查，为确保样本包含具有不同的年龄、体质、性格、爱好、文化程度、区域、社会经济条件、心理素质等的人口，调查人数不宜少于总人口的15%。采用多相模糊统计法对调查数据分析得出，具体方法如下：

设 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 为被调查者集合，是被评价小区受噪声影响人群的典型抽样[15]，当考虑 u_{2i} ($i = 1, 2, 3, 4$) 是否属于 u_{2j} ($j = 1, 2, 3, 4, 5$)，即求隶属函数 $\mu_{v_{2j}}(u_{2i})$ ($i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3, 4, 5$)，有如下性质：
 $\forall p_m \in p$,

$$u_{v_{2i}}(u_{2i}, p_m) = \begin{cases} 1, & p_m \text{ 认为 } u_{2i} \text{ 属于 } V_{2j} \\ 0, & p_m \text{ 认为 } u_{2i} \text{ 属于 } V_{2j} \end{cases} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^5 u_{v_{2i}}(u_{2i}, p_m) = 1$$

即 u_{2i} 一定属于 $V_{21}, V_{22}, \dots, V_{25}$ 中之一。则由统计数据确定隶属函数为：

$$u_{v_{2j}}(u_{2i}) = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n u_{v_{2i}}(u_{2i}, p_m) \quad (7)$$

其中 n 为抽样调查的总人数， $i = 1, 2, 3, 4$ ， $j = 1, 2, 3, 4, 5$ 。

这里，令 $r_{ij} \triangleq u_{v_{2j}}(u_{2i})$ ，通过对评价小区居民主观反应的调查统计，将调查数据代入隶属函数，便可得到模糊关系矩阵(评判矩阵) R_2 ：

$$R_2 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.3.3. 确定权向量

噪声引起的居民的不同性格、爱好、文化程度、社会经济条件、心理素质等诸多主观因素产生引起的不同主观反应评判因素是从交通噪声对居民心理干扰和生理功能干扰两个角度考虑[17]，其中，对心理干扰程度是以主观烦恼度进行表示；对生理功能的干扰是从噪声对睡眠[18] [19]、思考和语言的干扰三个方面进行描述的，其中又以睡眠反应最为重要。根据以上各因素的层次性和重要性的分析，确定其权重分配为 $A_2 = (0.5, 0.2, 0.15, 0.15)$ 。故道路交通环境噪声引起的居民主观反应的综合评判为：

$$B_2 = A_2 \circ R_2 \quad (9)$$

式中：“ \circ ”取 $M(\cdot, \otimes)$ 。

2.4. 噪声对居民影响的模糊综合评判

确定评语集。评价因素集 $U = \{B_1, B_2\}$ ，设定评语集 V_0 为{无影响(v_{01})，轻度(v_{02})，中度(v_{03})，重度(v_{04})，严重(v_{05})}。

确定权重分配。根据专家估测法，确定道路交通环境噪声的客观实测量的综合评判(B_1)和道路交通环境噪声引起的居民主观反应的综合评判(B_2)的权重系数为： $A_0 = (0.50 \quad 0.50)$ 。

故道路交通环境噪声对居民影响的模糊综合评判为：

$$B = A_0 \circ \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中：“ \circ ”取 $M(\cdot, \otimes)$ 。

模糊综合评判结果。对矩阵 B 依据最大隶属度原则，确定被评价小区居民受道路噪声影响的程度。

3. 应用实例

选择坐落于宜昌市中心城区东山大道与夷陵大道之间的“南北天城”住宅小区为研究对象。该区依地势形成人与城市、自然共生，城市生活空间的共生形成相互依存、相互助益的居住、餐饮等相互组合的综合区域。东山大道为模贯城区主干道，位于小区南侧，夷陵大道为城区次干道，位于小区北侧。

3.1. 道路交通噪声监测量的评判

除对小区昼间、夜间道路交通环境噪声级进行监测[20]，监测方法执行中国《声环境质量标准》(GB3096-2008)[3] [21]，监测时段 2011 年 4 月 13 日 7:30 至 15 日 7:30 分，共获取 120 组道路交通环境噪声监测数据。经计算得出昼间等效连续 A 噪声级 $LA_{eq,d}(u_{11})$ 和夜间等效连续 A 噪声级 $LA_{eq,n}(u_{12})$ 分别为 62.8 dB 和 52.6 dB，将 u_{11} 、 u_{12} 代入公式(3)计算 v_{11} ， v_{12} ， v_{13} ， v_{14} ， v_{15} 的隶属函数，将计算结果代入公式(4)便得到模糊评判矩阵：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.46 & 0.53 & 0 & 0 \\ 0 & 0.49 & 0.50 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

依据公式(5)，计算得出评价小区道路交通噪声客观实测量值的评判结果：

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = [0.380 \quad 0.641] \circ \begin{bmatrix} 0 & 0.46 & 0.53 & 0 & 0 \\ 0 & 0.49 & 0.50 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0 \quad 0.481 \quad 0.512 \quad 0 \quad 0].$$

3.2. 噪声引起的居民主观反应的评判

对“南北天城”小区居住人群进行抽样调查[22] [23]，选取 95 位合适人选，调查统计结果如表 4[24]。

将调查结果代入公式(5)计算因素 u_{21} 、 u_{22} 、 u_{23} 、 u_{24} 对于评语集 V_2 的隶属函数，并将计算结果代入公式(6)得到其模糊评判矩阵 R_2 ：

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.031 & 0.202 & 0.327 & 0.385 & 0.074 \\ 0.073 & 0.349 & 0.223 & 0.186 & 0.160 \\ 0.036 & 0.461 & 0.223 & 0.250 & 0.024 \\ 0.161 & 0.337 & 0.099 & 0.327 & 0.073 \end{bmatrix},$$

再根据公式(9)，计算得到评价小区由于道路交通噪声引起的居民主观反应的评价结果为：

Table 4. Road traffic noise impact on residential communities subjective survey chart (unit: person)
表 4. 道路交通环境噪声对小区居民影响的主观调查统计表(单位: 人)

| 内容 | 无干扰 v_{21} | 轻度干扰 v_{22} | 中度干扰 v_{23} | 较严重干扰 v_{24} | 严重干扰 v_{25} |
|--------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| 烦恼度 | 1 | 16 | 26 | 31 | 6 |
| 对睡眠的干扰 | 6 | 28 | 18 | 15 | 13 |
| 对思考的干扰 | 3 | 37 | 18 | 20 | 2 |
| 对语言的干扰 | 13 | 27 | 8 | 26 | 6 |

$$\begin{aligned}
 B_2 = A_2 \circ R_2 &= [0.47 \quad 0.19 \quad 0.16 \quad 0.16] \circ \begin{bmatrix} 0.013 & 0.202 & 0.327 & 0.385 & 0.074 \\ 0.076 & 0.349 & 0.223 & 0.186 & 0.160 \\ 0.036 & 0.461 & 0.223 & 0.250 & 0.024 \\ 0.161 & 0.337 & 0.099 & 0.327 & 0.073 \end{bmatrix} \\
 &= [0.049 \quad 0.292 \quad 0.253 \quad 0.319 \quad 0.082].
 \end{aligned}$$

3.3. 居民受道路噪声影响的模糊综合评判

对将 B_1 、 B_2 、 A_0 代入公式(10), 得到模糊综合评判结果为:

$$\begin{aligned}
 B = A_0 \circ \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} &= [0.49 \quad 0.49] \circ \begin{bmatrix} 0 & 0.467 & 0.537 & 0 & 0 \\ 0.050 & 0.291 & 0.257 & 0.316 & 0.084 \end{bmatrix} \\
 &= [0.025 \quad 0.374 \quad 0.393 \quad 0.160 \quad 0.042].
 \end{aligned}$$

最后, 对矩阵 B 依据最大隶属度原则, 得出评判结果: “南北天城”小区居民受道路噪声影响程度为中度。单独分析小区道路交通环境噪声的客观实测量的综合评判 B_1 , 评判结果是受道路噪声影响程度为中度, 但是轻度和中度所占比重非常接近; 单独分析道路交通环境噪声引起的居民主观反应的综合评判 B_2 , 评价结果为受道路噪声影响程度为较严重干扰。对 B_1 和 B_2 分析结果表明, 受道路噪声污染环境下的居住人口, 其不同性格、爱好、文化程度、社会经济条件、心理素质等诸多主观因素将产生不同的主观反应, 而这些不同的主观反应导致了交通噪声污染的实际影响程度的差异性。

依据对小区道路交通噪声污染的评价结果, 采取相应的措施, 以改善其声环境, 如、修建低噪声路面、在道路与现有居民小区之间修建声屏障、种植绿化带等。

4. 小结

按照中国《声环境质量标准》(GB3096-2008)对小区昼间、夜间道路交通环境噪声级进行监测, 调查获取噪声引起的居民主观反应程度, 经计算得出交通噪声实测声强量值和模糊综合评判结果, 小区受中度噪声污染影响。

模糊综合评判方法来评价城市道路交通环境噪声的污染, 不仅包含了对道路交通噪声级的评判, 而且还包括了道路噪声引起的居民主观反应的评判, 这样能够反映由于不同的居住人口的性格、爱好、文化程度、社会经济条件、心理素质等诸多主观因素的差异而产生的对交通噪声不同的主观反应, 采用该方法能够更全面地评价道路交通噪声对居民的实际影响程度, 使得评价结果更科学、合理。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国环境保护部 (2010) 关于加强环境噪声污染防治工作改善城乡声环境质量的指导意见. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201101/t20110124_200176.htm

- [2] Chang, T.-Y., et al. (2011) Characterization of road traffic noise exposure and prevalence of hypertension in central Taiwan. *Science of the Total Environment*, **409**, 1053-1057.
- [3] Haneda, M., et al. (2008) Subjective experiment for the effect of road traffic noise on productivity. *Journal of Environmental Engineering*, **73**, 355-362.
- [4] Michaud, D.S., et al. (2008) Annoyance and disturbance of daily activities from road traffic noise in Canada. *Journal of the Acoustical Society of America*, **123**, 784-792.
- [5] Makarewicz, R. (2011) Estimation of day-evening-night sound level of road traffic noise in urban area. *Acta Acustica united with Acustica*, **97**, 228-236.
- [6] Agarwal, S. and Swami, B.L. (2011) Comprehensive approach for the development of traffic noise prediction model for Jaipur city. *Environmental Monitoring and Assessment*, **172**, 113-120.
- [7] Salomons, E.M., et al. (2010) Efficient numerical modeling of traffic noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, **127**, 796-803.
- [8] Zhang, M., Yang, G.Q. and Xu, T. (2012) Airport noise environmental impact assessment based on the multi-level fuzzy comprehensive evaluation. *Advanced Materials Research*, **610-613**, 2578-2582.
- [9] Miao, X.K. (2011) Grey clustering evaluation for urban road traffic environment quality. 2011 *International Conference on E-Business and E-Government (ICEE)*, Shanghai, 6-8 May 2011, 1-4.
- [10] Rodríguez-Molares, A., et al. (2011) Noise variability due to traffic spatial distribution. *Applied Acoustics*, **72**, 278-286.
- [11] Agarwal, S. and Swami, B.L. (2011) Comprehensive approach for the development of traffic noise prediction model for Jaipur city. *Environmental Monitoring and Assessment*, **172**, 113-120.
- [12] State Department of Environmental Protection (2008) Sound environmental quality standards. China Environmental Science Press, Beijing.
- [13] Mato-Méndez, F.J. and Sobreira-Seoane, M.A. (2011) Blind separation to improve classification of traffic noise. *Applied Acoustics*, **72**, 590-598.
- [14] He, L.-J. (2013) Affective reaction and emotion identification induced by different sound stimuli. Master Thesis, Zhejiang University, Hangzhou.
- [15] Jamrah, A., Al-Omari, A. and Sharabi, R. (2006) Evaluation of traffic noise pollution in Amman, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*, **120**, 499-525.
- [16] Griefahn, B. (2006) Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. *Journal of Sound and Vibration*, **295**, 129-140.
- [17] Rajendra, C.V. and Purushottan, K. (2010) Road traffic estimation using *in-situ* acoustic sensing. *Proceeding of the ACM SIGCOMM 2010 Conference*, New Delhi, 30 August-3 September 2010, 431-432.
- [18] Brink, M. (2011) Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure—A representative evaluation in Switzerland. *Environment International*, **37**, 723-733.
- [19] Pirrera, S., et al. (2011) Nocturnal road traffic noise assessment and sleep research: The usefulness of different time-frames and in- and outdoor noise measurements. *Applied Acoustics*, **72**, 677-683.
- [20] Brink, M. (2011) Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure—A representative evaluation in Switzerland. *Environment International*, **37**, 723-733.
- [21] Ausejo, M., et al. (2011) Design of a noise action plan based on a road traffic noise map. *Acta Acustica United with Acustica*, **97**, 492-502.
- [22] 赵利民, 李雅丹, 王铮, 王双维 (2011) 区域噪声监测点位的噪声岛地形布点法应用初探. *噪声与振动控制*, **2**, 142-145.
- [23] 沈红霞, 胡俐帆, 陶岩英 (2011) 嘉兴市秀洲区环境噪声预测及评价. *噪声与振动控制*, **2**, 138-141.
- [24] Oyedepo, O.S. and Saadu, A.A. (2010) Evaluation and analysis of noise levels in Ilorin metropolis, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, **160**, 563-577.