

◇ 研究报告 ◇

纵坡道路噪声分布规律研究*

蒋从双^{1,2†} 吴瑞¹ 秦勤^{1,2} 姚琨^{1,2}

(1 北京市劳动保护科学研究所 北京 100054)

(2 国家环境保护城市噪声与振动控制工程技术中心 北京 100054)

摘要 为了摸清纵坡道路单车噪声排放规律和两侧声场分布状况,借鉴国内外单车噪声排放模型研究方法,对水平路面单车和坡度路面单车噪声源强测试数据进行分析,提出水平路面单车噪声排放模型和坡度路面单车噪声排放修正模型。实测某纵坡道路两侧噪声分布情况验证模型的适用性,并应用模型仿真研究纵坡道路噪声分布规律,得出与道路较近的观测点处,上坡一侧噪声比下坡一侧和水平道路两侧偏高;与道路较远的观测点处,坡度产生的影响可以忽略不计。论文研究成果对道路环境影响评价和噪声地图绘制及其误差分析具有很好的参考作用。

关键词 纵坡道路,坡度修正,噪声分布

中图分类号: TB533+.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2016)06-0533-06

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2016.06.009

Noise distribution of the longitudinal slope

JIANG Congshuang^{1,2} WU Rui¹ QIN Qin^{1,2} YAO Kun^{1,2}

(1 Beijing Municipal Institute of Labor Protection, Beijing 100054, China)

(2 State Environmental Protection Engineering Center for City Noise & Vibration Control, Beijing 100054, China)

Abstract The paper is to figure out the noise emission of vehicles running on longitudinal slope and noise distribution on both sides of the slope. Referencing to existing research methods of noise emission models, new noise emission model and gradient correction model are proposed based on the analysis of noise source emission data of the level roads and longitudinal roads. Verification is conducted to test the applicability of those models by measuring the noise of both sides of a longitudinal slope. The noise distribution of longitudinal slope is obtained using simulation tools based on those verified models. It can be drawn that the noise at the ascending side is larger than those at the descending side and both sides of the level road when the evaluating points is near the road. The effects of gradient can be neglected for those points far away from the road. It provides a reference for road environmental impact assessment and noise mapping and its error analysis.

Key words Longitudinal slope, Gradient correction, Noise distribution

2016-03-02 收稿; 2016-04-25 定稿

*环保公益性行业专项,北京市自然科学基金和北京市科学技术研究院萌芽计划

作者简介:蒋从双(1989-),男,安徽人,硕士,研究方向:环境噪声。

†通讯作者 E-mail: jcs_bmilp@126.com

1 引言

目前,道路交通噪声仍是最主要的噪声源。在道路环境影响评价中,道路交通噪声预测及评价是重要的环节。道路交通噪声也是近几年国内外兴起的城市噪声地图的主要研究对象。纵坡道路作为常见的一种道路形式,目前在道路环境影响评价和噪声地图绘制中较少考虑纵坡道路坡度引起的影响,更多地把它直接当作水平道路对待。

国内外针对纵坡道路的研究主要集中在坡度路面单车排放噪声的修正上。德国RLS90模型^[1]将坡度划分为 $\leq 5\%$ 和 $> 5\%$,并分别提出了坡度修正项;英国CRTN模型^[2]提出坡度修正项与坡度大小的关系式;日本ASJ模型^[3]提出重型车上坡修正量与坡度大小关系式;法国NMPB模型^[4]将道路纵坡分为 $0\sim 2\%$ 、上坡 $2\%\sim 6\%$ 、下坡 $2\%\sim 6\%$ 三种坡度区间,并分别提出重型车在不同坡度区间和不同加减速状况下单车发动机噪声的修正值。欧盟CNOSSOS-EU^[5]分不同坡度区间提出不同类型车辆的坡度修正值。《环境影响评价技术导则》^[6](后简称《导则》)提出了大、中、小三种类型车辆噪声排放纵坡修正量与纵坡坡度的关系式;《公路建设项目环境影响评价规范》^[7](后简称《规范》)将道路纵坡分为 $\leq 3\%$ 、 $4\%\sim 5\%$ 、 $6\%\sim 7\%$ 、 $> 7\%$ 四种坡度区间,并分别给出了大型车和中型车在不同纵坡区间下的噪声修正值;《规范》中噪声修正值比较简单且缺乏小型车的修正值;《导则》和《规范》中均没有考虑下坡的修正项。

针对纵坡道路本身的噪声分布规律研究较少,现有的研究很难直接应用于噪声地图绘制。本文将结合国内外单车噪声排放模型研究方法,对大量水平路面单车和坡度路面单车噪声源强测试数据进行统计回归分析,提出水平路面单车噪声排放模型和坡度路面单车噪声排放修正模型。实测某纵坡道路噪声分布情况验证模型的适用性,并应用模型仿真研究纵坡道路噪声分布规律。

2 单车噪声排放模型

2.1 数据采集

选取车辆运行稳定、背景噪声较小、路况良好的市郊道路,参考标准《汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法》^[8],采用INV3062多通道采集仪测量观测点在单车经过前后接收的最大A计权声压

级 $L_{Aeq,1s}$,同时利用高速摄像机记录车辆经过观测点前后的平均速度和车辆类型等参数,如图1所示。将车辆划分为中小型车和大型车^[9],分别在哈尔滨、长春、北京、苏州、杭州、南昌、重庆、西宁、昆明和广州等地选取不同速度区间的水平路面累计测试1694组数据,选取不同坡度的纵坡道路累计测试1299组数据,如图2所示,所有测试路面均为沥青混凝土路面。

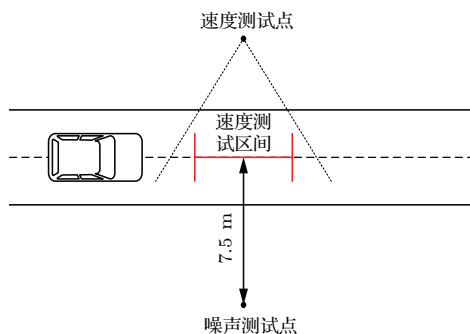


图1 车辆噪声和速度测试示意图

Fig. 1 Sketch of measuring noise and velocity of a vehicle

2.2 水平路面单车噪声排放模型

单车排放噪声在 $r_0 = 7.5\text{ m}$ 处的A声压级为^[3-7]

$$L_{r_0} = a + b \cdot \lg V + \Delta L_{\text{src}}, \quad (1)$$

其中, L_{r_0} 为单车排放噪声在 7.5 m 处的A声压级,dB(A); V 为单车运行速度,km/h; ΔL_{src} 为声源修正项; a 、 b 为模型参数。

单车排放噪声不仅取决于车辆类型、车辆运行速度,路面类型、路面坡度等因素对单车排放噪声均有较大的影响,这些因素由 ΔL_{src} 给出,如(2)式所示。

$$\Delta L_{\text{src}} = \Delta L_{\text{surf}} + \Delta L_{\text{grad}} + \Delta L_{\text{dir}} + \Delta L_{\text{etc}}, \quad (2)$$

其中, ΔL_{surf} 为路面类型修正量; ΔL_{grad} 为路面坡度修正量; ΔL_{dir} 为指向性修正量; ΔL_{etc} 为其他因素修正量。

对图2(a)中的水平单车排放噪声数据运用最小二乘法拟合,得出水平路面单车噪声排放模型参数,如表1所示。当车辆行驶速度小于适用速度范围时,认为车辆处于频繁加减速状态^[3],其辐射声功率级不变,全速度区间的水平路面单车噪声排放曲线如图3所示。本模型适用速度范围较广,后文的分析均建立在本模型之上。

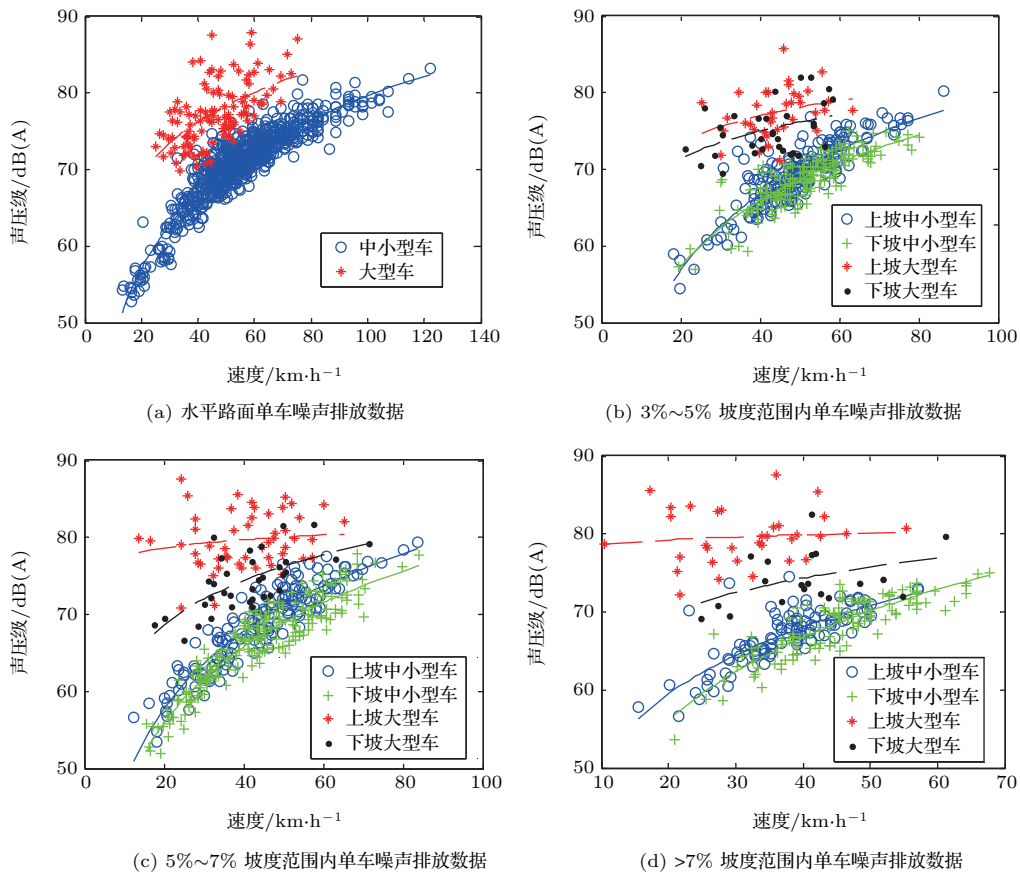


图2 单车排放噪声实测数据

Fig. 2 Noise emission data of level road and longitudinal slope

表1 水平路面单车噪声排放模型参数

Table 1 Parameters of noise emission model of the level roads

车辆类型	适用速度范围 (km/h)	模型参数		相关系数
		<i>a</i>	<i>b</i>	
中小型车	15~120	15.0	32.3	0.93
大型车	20~100	41.0	22.0	0.58

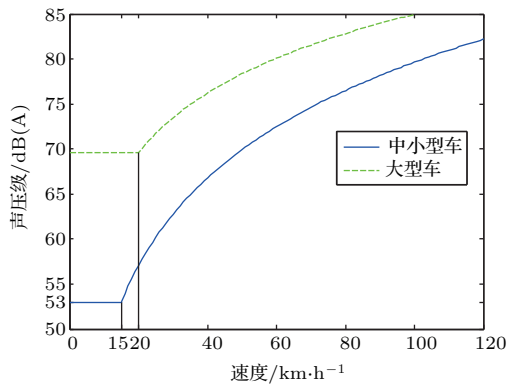


图3 不同类型车辆的单车噪声排放曲线

Fig. 3 Noise emission curves of different categories of vehicles

2.3 纵坡路面单车噪声排放修正模型

2.3.1 上坡修正模型

车辆上坡时, 单车整体排放的噪声偏高, 假定上坡单车排放噪声按 (3) 式进行修正^[4-5,7]。

$$\Delta L_{\text{grad}} = k_u \beta, \quad (3)$$

其中, k_u 为上坡修正系数; β 为纵坡道路坡度, %。

对图2(b)~2(d) 中上坡道路单车排放噪声数据进行统计分析, 得出上坡道路每组坡度下中小型车和大型车单车排放噪声相对于水平道路的差值, 如图4所示, 基于误差平方和SSE最小的原则拟合得到上坡修正模型参数, 拟合模型相对于实测值的平均绝对误差如表2所示。对于中小型车, 模型适用

速度范围为20~80 km/h,对于大型车,模型适用速度范围为20~60 km/h。

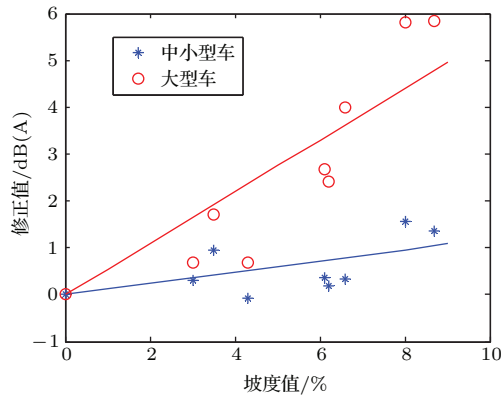


图4 上坡修正项与坡度关系曲线

Fig. 4 Relation curves between correction of ascending bound and gradient

表2 上坡修正系数表

Table 2 Correction factors of ascending bound

车辆类型	k_u	适用速度范围/(km/h)	平均绝对误差 MAE/dB(A)
中小型车	0.12	20~80	0.4
大型车	0.55	20~60	1.1

2.3.2 下坡修正模型

车辆下坡时,发动机负荷减轻,发动机噪声降低,而当坡度较大时,由于刹车的影响,轮胎噪声有所增加^[10],假定下坡单车排放噪声按(4)式进行修正^[4-5], (4)式等号右边前半部分表示的是轮胎噪声,后半部分表示的是发动机噪声。

$$\Delta L_{grad} = k_{d1}\beta + k_{d2} \lg(\beta), \quad (4)$$

其中, k_{d1} 、 k_{d2} 为下坡修正系数; β 为纵坡道路坡度, %。

对图2(b)~2(d)中下坡单车排放噪声数据进行统计分析,得出下坡道路每组坡度下中小型车和大型车单车排放噪声相对于水平道路的差值,如图5所示,运用同样的方法拟合得到下坡修正模型参数,如表3所示。模型适用于坡度值大于3%的纵坡道路。对于中小型车,模型适用速度范围为20~75 km/h,对于大型车,模型适用速度范围为20~55 km/h,在此速度段下,车辆发动机噪声占有较大比重,单车排放的噪声随着坡度的增加先降低再增加。

对于坡度值小于3%的纵坡道路,修正值取坡度值0和3%对应修正值的线性插值,如图5所示。

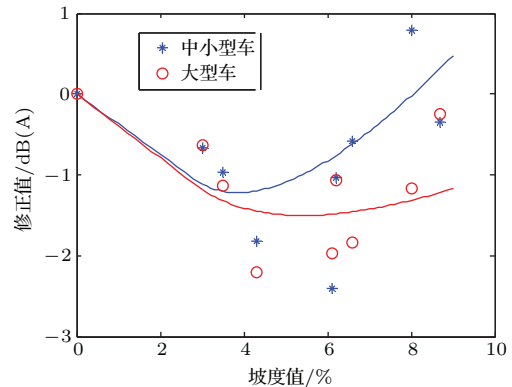


图5 下坡修正与坡度关系曲线

Fig. 5 Relation curves between correction of descending bound and gradient

表3 下坡修正系数

Table 3 Correction factors of descending bound

车辆类型	k_{d1}	k_{d2}	适用速度范围/(km/h)	平均绝对误差 MAE/dB(A)
中小型车	0.9	-8	20~75	0.6
大型车	0.4	-5	20~55	0.7

3 纵坡道路噪声分布规律

3.1 预测模式

假设某纵坡道路,如图6所示,道路上坡一侧和下坡一侧中小型车、大型车交通流量分别为 N_{L1} 、 N_{H1} 、 N_{L2} 、 N_{H2} ,道路上坡一侧和下坡一侧中小型车、大型车平均速度分别为 V_{L1} 、 V_{H1} 、 V_{L2} 、 V_{H2} 。中小型车、大型车上坡时在参考距离 r_0 处的声压级分别为 L_{L1,r_0} 、 L_{H1,r_0} ,中小型车、大型车下坡时在参考距离处的声压级分别为 L_{L2,r_0} 、 L_{H2,r_0} ,它们均可由(1)式~(4)式计算得出。

上坡一侧观测点1的总声压级为

$$L_1 = L_{11} \oplus L_{21}, \quad (5)$$

其中, L_{11} 为上坡一侧车辆对观测点1的噪声贡献量; L_{21} 为下坡一侧车辆对观测点1的噪声贡献量; $L_{11} \oplus L_{12} = 10 \lg(10^{L_{11}/10} + 10^{L_{12}/10})$ 。

$$L_{11} = L_{L11} \oplus L_{H11}, \quad L_{21} = L_{L21} \oplus L_{H21}, \quad (6)$$

其中, L_{L11} 、 L_{H11} 为上坡一侧中小型车、大型车对观测点1的噪声贡献量; L_{L21} 、 L_{H21} 为下坡一侧中小型车、大型车对观测点1的噪声贡献量。

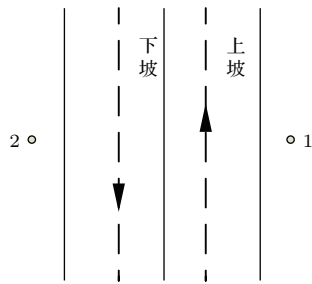


图6 纵坡道路及受声点示意图

Fig. 6 Sketch of longitudinal slope and corresponding receivers

参考道路交通噪声预测模式^[6], 可以得出

$$\begin{aligned}
 L_{L11} &= L_{L1,r_0} + 10 \lg \frac{N_{L1}}{V_{L1}} + 10 \lg \frac{r_0}{r_{11}} - A_{L11}, \\
 L_{H11} &= L_{H1,r_0} + 10 \lg \frac{N_{H1}}{V_{H1}} + 10 \lg \frac{r_0}{r_{11}} - A_{H11}, \\
 L_{L21} &= L_{L2,r_0} + 10 \lg \frac{N_{L2}}{V_{L2}} + 10 \lg \frac{r_0}{r_{21}} - A_{L21}, \\
 L_{H21} &= L_{H2,r_0} + 10 \lg \frac{N_{H2}}{V_{H2}} + 10 \lg \frac{r_0}{r_{21}} - A_{H21},
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

其中, r_0 为参考距离; r_{11} 为观测点1与上坡一侧道路中心线的距离; r_{21} 为观测点1与下坡一侧道路中心线的距离; A (包括不同的下标) 为由于空气吸收、地面效应等各项因素引起的衰减量。

同理, 可以得到下坡一侧观测点的总声压级。

3.2 实测验证

在北京市未来科技城大桥 (大桥两端均为上下坡段, 两端坡度均为3.5%) 两端纵坡道路中段同时测试上下坡两侧的噪声分布情况, 距离道路中心线7.5 m、15 m、22.5 m分别布置3个测点, 如图7所示。利用INV3062多通道采集仪同步测试3个测点20 min的等效连续A声级 L_{Aeq} , 共测试4组, 同时记录对应的双方向交通流信息 (包括中小型车和大型车的流量和速度) 和道路信息 (包括道路坡度、车道数、车道宽度、道路宽度等信息)。对4组交通流信息和道路信息运用(5)~(7)式计算观测点的噪声预测值, 并与实测值对比如图8所示。图8(a)为北向南方向道路的上坡和下坡噪声分布情况; 图8(b)为南向北方向道路的上坡和下坡噪声分布情况。图8中右上角8个点分别为距离道路中心线7.5 m处观测点的实测值和预测值; 中间8个点分别为距离道路中心线15 m处观测点的实测值和预测值; 左下角8个点分别为距离道路中心线22.5 m处观测点的实测值和预测值。

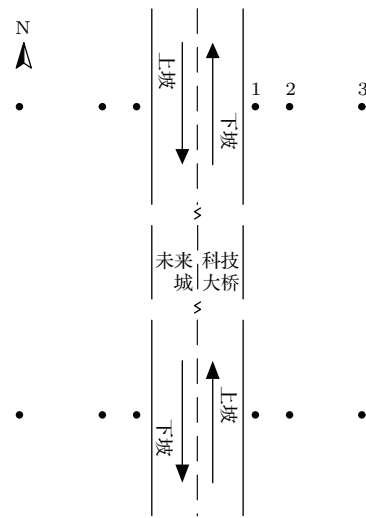


图7 验证现场测点布置

Fig. 7 Sketch of receiver points at validation site

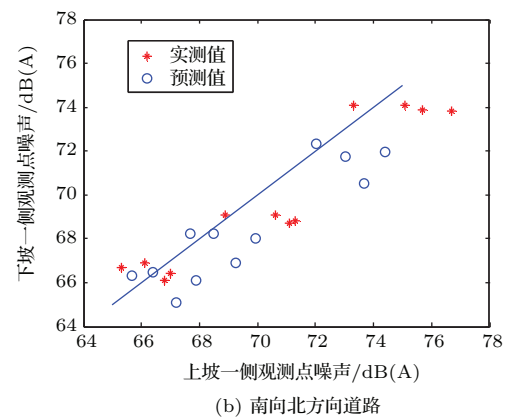
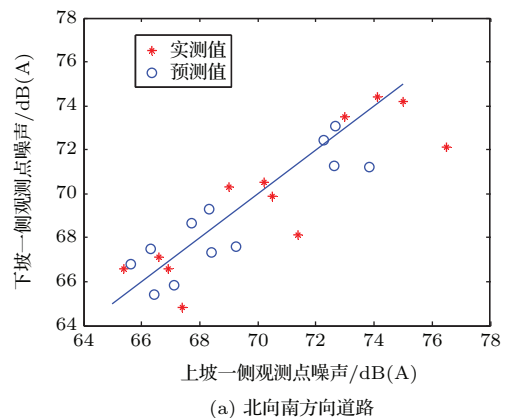


图8 上坡和下坡的噪声实测值和预测值

Fig. 8 The measured data and calculated data of ascending bound and descending bound

从图8中可以看出, 噪声预测值与实测值的平均误差均在2.0 dB(A)以内, 预测值与实测值具有较好的一致性; 上坡对应的观测点噪声平均值比下坡高。不同观测点处的噪声统计信息如表4所示。

表4 不同观测点的噪声统计信息

Table 4 Statistical information of different receivers

统计项目	7.5 m处测点	15 m处测点	22.5 m处测点
预测值误差平均值/dB(A)	-1.9	-1.5	-0.1
上坡与下坡实测值差值的平均值/dB(A)	1.2	1.1	0.1

3.3 仿真分析

以双向4车道的水平道路和坡度为5.0%的纵坡道路为例,道路车流量均为1000 veh/h,大型车比例为15%,中小型车和大型车平均速度分别为50 km/h和45 km/h。利用前述的单车噪声排放模型,仅考虑几何衰减仿真道路两侧噪声分布情况,如图9所示,图9中上半部分为水平道路的噪声分布,下半部分为纵坡道路的噪声分布。

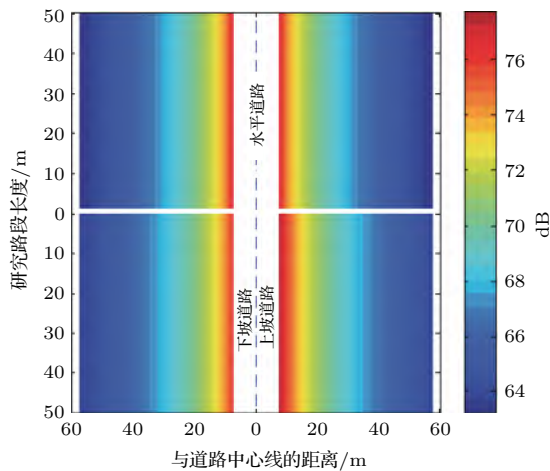


图9 纵坡道路噪声分布

Fig. 9 The noise distributions of longitudinal road

可以看出,与道路较近的观测点处,上坡一侧噪声比下坡一侧和水平道路两侧偏高;与道路较远的观测点处,纵坡道路两侧噪声相当并且与水平道路两侧噪声基本一致,坡度产生的影响较小;对不同道路参数、交通流参数的场景进行仿真,可以得出类似的噪声分布规律。

4 结论

(1) 文章提出的水平路面单车噪声排放模型和纵坡道路单车噪声排放修正模型是在大量测试数据和理论分析下得出的,可以为道路交通噪声预测提供参考。

(2) 与道路较近的观测点处,上坡一侧噪声比下坡一侧和水平道路两侧偏高,在噪声预测和噪声地图绘制中应考虑纵坡道路的影响,提高预测精度。

(3) 纵坡道路的上下坡单车噪声源强有别于水平道路,纵坡道路不宜简化为1个线声源,否则在与道路较近的观测点处会产生较大的误差,可以将纵坡道路等效为2个不同的线声源,等效线声源位置分别位于道路两侧中心线^[11]。

参考文献

- [1] Richtlinie für den lärmschutz an straßen (RLS-90)—Guidelines for noise protection on streets[M]. Berlin: Springer, 1990.
- [2] Department of Transport Welsh Office. CRTN: Calculation of road traffic noise[M]. London: HER Majesty's Stationery Office, 1988.
- [3] YAMAMOTO K. Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2008": Report of the research committee on road traffic noise[J]. Acoustical Science and Technology, 2010, 31(1): 2-55.
- [4] BESNARD F, HAMET J F, LELONG J, et al. Road noise prediction 1 — Calculating sound emission from road traffic[M]. France: Sétra, 2011.
- [5] KEPHALOPOULOS S, PAVIOTTI M, ANFOSSO-LÉDÉE F. Common noise assessment methods in Europe (CNOSOS-EU)[C]. EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.
- [6] HJ2.4-2009. 环境影响评价技术导则—声环境 [S].
- [7] JTG B03-2006. 公路建设项目环境影响评价规范 [S].
- [8] GB 1495-2002. 汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法 [S].
- [9] HJ 640 2012. 环境噪声监测技术规范—城市声环境常规监测 [S].
- [10] LINDBERG E, HÖRLIN N E, GÖRANSSON P. An experimental study of interior vehicle roughness noise from disc brake systems[J]. Applied Acoustics, 2013, 74(3): 396-406.
- [11] 蒋从双, 吴瑞, 杨洁. 等效道路线声源位置优化研究 [J]. 应用声学, 2015, 34(3): 255-259.
JIANG Congshuang, WU Rui, YANG Jie. Optimization of the equivalent position of road line-source[J]. Journal of Applied Acoustics, 2015, 34(3): 255-259.