

◇ 研究报告 ◇

公路交通噪声频率特征及等效频率研究*

丁真真^{1,2} 赵剑强^{1†} 陈莹¹ 胡博¹

(1 长安大学环境科学与工程学院 西安 710064)

(2 西安市环境保护科学研究院 西安 710061)

摘要 为了确定不同车型在不同车速下的噪声频率分布特性及等效频率值,更加准确的对交通噪声的影响进行评估,本文对单车稳态辐射噪声的频率特性进行了现场测定,并对不同类型车辆的频率特性数据进行了分析。结果表明,不同类型车辆车速与频带声压级之间的相关性随频带中心频率的变化而变化。FHWA 模型对公路交通噪声中介于 500 Hz~2000 Hz 频段的噪声有较好的预测效果,而对低于 500 Hz 和高于 2000 Hz 的交通噪声的预测精度较差。车辆类型不同,车辆产生噪声的中心频率、声能量集中分布的频率范围以及等效频率均不相同。

关键词 交通噪声,频率特征,等效频率

中图分类号: X593

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2015)01-0040-05

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2015.01.006

Frequency characteristics and equivalent frequencies of highway traffic noise*

DING Zhenzhen^{1,2} ZHAO Jianqiang^{1†} CHEN Ying¹ HU Bo¹

(1 School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

(2 Xi'an Research Academy of Environmental Sciences, Xi'an 710061, China)

Abstract In order to determine the spectrum characteristics of traffic noise and its equivalent values at different vehicle types and speeds, and then to evaluate the effects of traffic noise accurately, the frequency characteristics of the steady acoustic noise produced by a single vehicle were monitored and analyzed in this study. It was found that the correlation between the vehicle speed and the band sound pressure level varies with the band center frequency. FHWA model has desired prediction results for the highway traffic noise distributed in the range of 500 Hz ~2000 Hz, while for the noise with major frequency less than 500 Hz or above 2000 Hz, its prediction accuracy is relatively low. Meanwhile, the center frequency, major energy distribution range, and the equivalent frequency also vary notably with the vehicle type.

Key words Traffic noise, Frequency characteristics, Equivalent frequency.

2014-02-07 收稿; 2014-10-05 定稿

*中央高校基本科研业务费资助项目 (2013G3292017)

作者简介: 丁真真 (1982-), 女, 河南开封人, 博士研究生, 研究方向: 交通环境工程。

†通讯作者 E-mail: 626710287@qq.com

1 引言

随着我国机动车保有量的增加,公路交通噪声对道路沿线的声环境的影响也日趋严重^[1]。根据环境保护部《2011年中国环境质量公报-声环境》,2011年全国98.1%的城市道路交通噪声总体水平为一级和二级,环境保护重点城市道路交通噪声总体水平为一级和二级的占99.1%。在监测的316个城市中,75.0%的城市道路交通噪声平均为一级,23.1%的城市为二级,1.3%的城市为三级,0.6%的城市为五级。其中,噪声等级为一级的城市与2010年相比增加了7.0个百分点,但对于噪声等级为二级及二级以下的城市并没有明显改善^[2]。同时,现有公路交通噪声的测量、预测和评估主要依据其在不同频率下的能量平均的方法,该方法并不能准确反映交通噪声对道路沿线声环境质量的真实影响^[3-5]。因此,采取有效的评价方法和措施进行公路噪声污染控制已成为改善我国整体环境质量重要内容。

公路交通噪声具有线性分布的特征,若设计或控制不当将对两侧敏感点产生不利影响。研究表明,部分高速公路沿线地区受低频噪声的影响较为严重,高频噪声则更易增加敏感点或敏感区域居民的烦躁感^[4]。龚凯等发现货运列车的类型不同产生的噪声在频谱分布上存在明显差异,且随着火车行驶速度的增加其等效频率有向高频移动的趋势^[6]。因此,考察交通噪声在不同频率下的能量分布,对评价其对周边环境的影响情况以及进行噪声污染控制均有着重要理论意义。汪贇等考察了匀速行驶的小型载客汽车在不同车速下的频谱分布特征,发现车速对小型载客汽车产生的噪声的频率分布有着重要影响^[7],但对不同车辆类型的噪声频率分布状况以及噪声等效频率等内容的关注还较少。本研究通过在西安市周边的高速公路中选择具有代表型的路段,对高速公路上行驶的单车产生的稳态辐射噪声的频率分布特性进行了现场测定,并对不同类型车辆的频率特性数据进行分析,确定了不同车型在不同行驶速度下的噪声频率分布特性及等效频率值,对不同道路(城市道路、高速公路等)声屏障设计具有参考价值。

2 仪器与方法

2.1 监测位置

监测位置选择原则为:道路车流量小,可获得

无其他车辆噪声干扰条件下的单车不同频带下的声压级。根据以上原则,本次研究选择的测试路段为:西安至铜川、西安至安康以及西安至临潼三条高速公路。其中,西安至铜川高速公路为双向6车道,沥青路面,路基宽34.5 m;西安至安康高速为双向4车道,沥青路面,路基宽24.5 m;西安至临潼高速公路也为双向4车道,沥青路面,路基宽24.5 m。

监测点位于高速公路路肩,距地面1.2 m,距被测量行车道中心线7.5 m。此外,为评价不同类型车辆的等效频率,除距被测行车道7.5 m处的测点外,在设有声屏障的路段同时测定声屏障后7.5 m以及控制点处的噪声数据,声屏障高3.0~3.2 m。控制点指在与设有声屏障的路段具有相近地形、地貌和路况特征的开阔路段上,与声屏障后监测点至行车道中心线具有相同距离的测点。由同一机动车辆通过控制点和声屏障路段时产生的噪声值之差可确定设置声屏障后在观测点处产生的噪声衰减量。

监测在2013年5月18日至20日开展。记录的数据包括车型、车速以及车辆经过监测点时产生的噪声值。静风,气温为18°C~22°C。

2.2 监测仪器

车速测量采用博士能101911 CM雷达测速仪;采用AWA6228声级测量仪对不同63 Hz~4000 Hz范围内不同倍频带处的中心频率进行监测。

2.3 监测方法

依据交通噪声的监测方法、监测要求及对车辆的分类方法根据《公路建设项目环境影响评价规范》(JTGB-2006),将车辆分为小型车(3.5 t以下),中型车(3.5~12 t),大型车(12 t以上)3类。监测在上午10:00~11:00进行,记录不同车型下单台匀速行驶时产生的环境噪声。不同车辆间车速的变化范围在40 km/h~120 km/h。

3 结果和讨论

3.1 不同类型车辆车速与频带声压级的关系

目前,我国常用美国联邦公路管理局推荐的FHWA模型对公路交通噪声进行预测^[8-9]。该模型中能量平均辐射声级与同种类型车辆的平均车速的对数成线性关系。为评价不同频率条件下,各类型车辆所产生平均声压级与其行进速度间的关系。本研究监测了各频带声压级与车速间的关系,对西安至铜川以及西安至安康高速公路实测的

75组声压级与车速数据进行对数回归分析,结果如表1。

回归分析结果表明:(1)在63 Hz、125 Hz和250 Hz等频带时,不同类型车辆的车速 v 与频带声压级 L 之间的相关性较小,车辆的低频噪声与车辆运行速度的关系不明显,其变化规律呈随机散点分布,车辆的低频噪声与车辆运行速度之间不存在明显的对数关系;(2)在500 Hz、1000 Hz和2000 Hz等频率时,不同类型车辆的车速 v 与频带声压级

L 之间的相关性较强,相关系数 r 在0.5~0.7之间,小型车所产生的平均声压级与车速间的相关性最高,中型车次之,大型车的相关性最低。车辆产生的介于500 Hz~2000 Hz的噪声与车辆运行速度之间存在对数关系;(3)当频率为4000 Hz时,不同类型车辆的车速 v 与频带声压级 L 之间的相关性较500 Hz~2000 Hz频带呈下降趋势,但小型车产生的频率为4000 Hz的频带声压级 L 与车速 v 之间存在一定的相关性(r 为0.5)。

表1 各频带声压级与车速间的回归关系式

Table 1 Regression relationships between the speeds and the sound pressure levels of spectrums

$f(\text{Hz})$	大型车		中型车		小型车	
	关系式	r	关系式	r	关系式	r
63	$L = 4.8599 \ln(v) + 65.39$	0.1	$L = -2.1272 \ln(v) + 87.732$	0.1	$L = 0.3993 \ln(v) + 68.237$	0.1
125	$L = 10.616 \ln(v) + 37.523$	0.4	$L = 2.0085 \ln(v) + 67.58$	0.1	$L = 3.6101 \ln(v) + 54.677$	0.2
250	$L = -1.3401 \ln(v) + 86.664$	0.1	$L = 2.202 \ln(v) + 64.856$	0.1	$L = 7.2174 \ln(v) + 39.051$	0.5
500	$L = 7.2606 \ln(v) + 49.596$	0.3	$L = 10.033 \ln(v) + 37.35$	0.4	$L = 6.9399 \ln(v) + 41.405$	0.5
1000	$L = 7.8315 \ln(v) + 45.343$	0.5	$L = 12.015 \ln(v) + 27.758$	0.7	$L = 10.486 \ln(v) + 29.384$	0.7
2000	$L = 5.5417 \ln(v) + 50.393$	0.4	$L = 13.787 \ln(v) + 17.715$	0.6	$L = 13.1 \ln(v) + 14.483$	0.7
4000	$L = 3.7036 \ln(v) + 53.642$	0.2	$L = 11.905 \ln(v) + 19.681$	0.3	$L = 9.5717 \ln(v) + 19.798$	0.5

注: L 为特定倍频带中心频率处的声压级; f 为倍频带中心频率; r 为相关系数; v 为平均行驶速度。

根据本研究, FHWA模型对公路交通噪声中介于500 Hz~2000 Hz频段的噪声有较好的预测效果,而对低于500 Hz和高于2000 Hz的交通噪声的预测精度较差。产生这种现象的原因可能与噪声产生源的不同有关。

3.2 不同类型车辆产生噪声的频率特征

依据各频带声压级与车辆行驶速度间的定量关系,可以计算不同类型车辆在不同行驶速度下噪声的频带声压级分布,结果如图1所示。

由图1可知,小型车和中型车噪声总体呈中、高频特性;大型车总体呈中、低频特性。车辆类型不同,其噪声峰值中心频率也存在一定的差异。小型车噪声的峰值中心频率为1000 Hz,与汪贇等的研究结果基本一致^[7]。中型车噪声的峰值中心频率为500 Hz;大型车的峰值中心频率为63 Hz。田新浩等分别考察了由客运列车和货运列车所产生的铁路噪声的频谱特性^[10],但各类列车噪声的峰值中心频率均在500 Hz左右,与本研究中中型车有着类

似的研究结论。

车辆类型不同,声能量集中分布的频率范围也不同。对于小型车来说,当行驶速度大于40 km/h时,能量主要集中在1000 Hz~2000 Hz。对于中型车,当行驶速度大于40 km/h时,500 Hz以下频带对平均声能量的贡献相对较小,能量主要集中在500 Hz~2000 Hz。对于大型车,当行驶速度在60 km/h以下时,能量主要分布在250 Hz以下的频率范围内;当行驶速率大于60 km/h时,能量主要分布在1000 Hz以下的频率范围内。在相同车速条件下,小型车的声压级低于中型车和大型车。

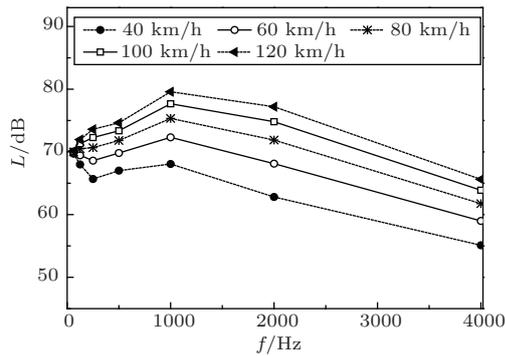
3.3 交通噪声的等效频率确定

声屏障是减少高速公路噪声对周围敏感点噪声影响的最常用的防治措施。对于一定结构的声屏障而言,可以用等效频率的声波的衰减量来取代复音声波的声绕射衰减量^[10]。若能确定不同类型车辆在不同速度下的等效频率,对声屏障的设计将有重要意义。声屏障的绕射衰减量可由式(1)计算:

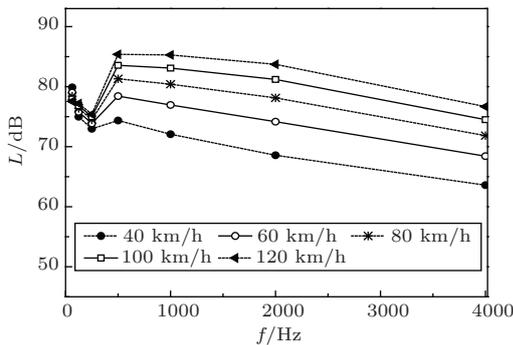
$$\Delta L = \begin{cases} 10 \lg \left[\frac{3\pi\bar{1} - t^2}{4th[(1-t)/(1+t)]} \right], & t = \frac{40f_i\delta}{3c} < 1, \\ 10 \lg \left[\frac{3\pi\bar{1} - t^2}{2 \ln(t + t^2 - 1)} \right], & t = \frac{40f_i\delta}{3c} \geq 1, \end{cases} \quad (1)$$

式中, δ ——声程差, m; f_i ——声波频谱中第 i 个中心频率值; c ——声波在空气中的传播速度, m/s。

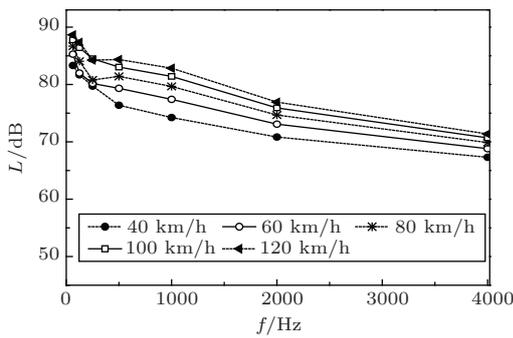
2.5、5 和 10 m, 由式 (1) 计算不同类型车辆在 40、60、80、100 和 120 km/h 下的倍频带声压级。根据计算结果, 选取与 A 声级衰减量最接近的特定倍频带处的计算衰减量所对应的中心频率为其等效频率。依据中心频率不同, 特定倍频带处的噪声计算衰减量的变化范围在 4.0~40.0 dB, 不同类型车辆在不同车速下的等效频率见表 2。



(a) 小型车



(b) 中型车



(c) 大型车

图1 不同类型车辆在不同车速时频谱声压级分布
Fig. 1 Spectrum distribution of sound pressure level of different type vehicles under different speeds

依据西安至铜川以及西安至安康高速公路噪声监测数据, 分别选取声程差 $\delta = 0.01、0.1、0.5、1、$

表2 不同车速条件下高速公路交通噪声的等效频率值
Table 2 Equivalent frequency values of highway traffic noise under different speed conditions

大型车	车速 (km/h)	40	60	80	100	120
等效频率 (Hz)		63	63	63	63	125
中型车	车速 (km/h)	40	60	80	100	120
等效频率 (Hz)		63	250	500	500	500
小型车	车速 (km/h)	40	60	80	100	120
等效频率 (Hz)		63	250	500	500	1000

当车速为 40 km/h、60 km/h、80 km/h、100 km/h 和 120 km/h 时, 大型车的等效频率分别为 63 Hz、63 Hz、63 Hz、63 Hz、63 Hz 和 125 Hz; 中型车的等效频率分别为 63 Hz、63 Hz、250 Hz、500 Hz、500 Hz 和 500 Hz; 小型车的等效频率分别为 63 Hz、63 Hz、250 Hz、500 Hz、500 Hz 和 1000 Hz。随着车速的增加, 大、中、小型车的等效频率呈上升趋势, 中型车和小型车上升趋势较大型车明显。

当车速低于 40 km/h 时, 在同一车速下, 不同类型车辆的等效频率相同, 均为 63 Hz。当车速介于 60 km/h~100 km/h 时, 在同一车速下, 中型车和小型车的等效频率相同, 均高于大型车的等效频率。当车速为 120 km/h 时, 在同一车速下, 大、中、小型车的等效频率分别为 125 Hz、500 Hz 和 1000 Hz。

为验证不同类型车辆等效频率变化规律的普适性, 随机监测了西安至临潼高速公路 60 km/h 和 100 km/h 两种车速下, 大、中、小型车噪声的频率分布特征。所选气象条件、噪声监测方法和等效频率的计算方法与西安至铜川及西安至安康两条高速公路相同。结果表明, 车速在 60 km/h 时, 大、中、小

型车的等效频率分别为63 Hz、250 Hz和250 Hz;车速在100 km/h时,大、中、小型车的等效频率分别为63 Hz、500 Hz和500 Hz,与西安至铜川以及西安至安康两条高速公路条件下所得结论一致。

4 结论

(1) 不同类型车辆车速与频带声压级之间的相关性随频带中心频率的变化而变化。FHWA模型对公路交通噪声中介于500 Hz~2000 Hz频段的噪声有较好的预测效果,而对低于500 Hz和高于2000Hz的交通噪声的预测精度较差。

(2) 车辆类型不同,车辆产生的噪声的中心频率不同。小型车的峰值中心频率为1000 Hz;中型车的峰值中心频率为500 Hz;大型车的峰值中心频率为63 Hz。

(3) 车辆类型不同,声能量集中分布的频率范围不同。随着车速的增加,大、中、小型车的等效频率呈上升趋势。

参 考 文 献

- [1] 赵剑强. 公路交通与环境保护[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 《2011年中国环境质量公报-声环境》[R]. <http://www.mep.gov.cn/gzfw/xzzx/wdxz/201206/P020120613514213036579.pdf>.
- [3] OTTERSTORM T. Pricing of environmental impacts of emissions from road traffic-recent and present research in Finland[J]. *Sci Total Environ.*, 1995, 169(1/2/3): 311-319.
- [4] STEELE C. A critical review of some traffic noise prediction models[J]. *Appl. Acoust.*, 2001, 62(3): 271-287.
- [5] ZHAO Jianqiang. An engineering method to determine the attenuation due to ground effects in traffic noise prediction for long straight roads based on the ISO method[J]. *Noise Control Engr. J.*, 2012, 60(4): 1-5.
- [6] 龚凯, 刘林芽. 货物列车声屏障等效频率的确定及其验证和分析[J]. *噪声与振动控制*, 2011, 31(4): 124-127.
GONG Kai, LIU Linya. Testing study on the sound barrier equivalent frequency of freight trains[J]. *Noise and Vibration Control*, 2011, 31(4): 124-127.
- [7] 汪贇, 魏峻山, 张守斌, 等. 匀速行驶小型载客汽车噪声频谱研究[J]. *中国环境监测*, 2013, 29(5): 173-175.
WANG Yun, WEI Junshan, ZHANG Shoubin, et al. Study on the noise spectrum emitted by constant-velocity small passenger vehicles[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2013, 29(5): 173-175.
- [8] 赵剑强. 公路交通噪声等效车道距离的确定方法探讨[J]. *应用声学*, 2010, 29(5): 382-386.
ZHAO Jianqiang. Optimum determination of equivalent lane distance in highway traffic noise prediction[J]. *Appl. Acoust.*, 2010, 29(5): 382-386.
- [9] ZHAO Jianqiang. A novel traffic-noise prediction method for non-straight roads[J]. *Appl. Acoust.*, 2012, 73(3): 276-280.
- [10] 田新浩. 列车运行噪声频率特性及等效频率试验研究[J]. *铁道车辆*, 2001, 39(1): 11-14.
TIAN Xinhao. Test and research on frequency features and equivalent frequencies of noise in operation of train[J]. *Roll Stock*, 2001, 39(1): 11-14.