文章编号：1006-1355(2014)02-0070-05

单车噪声排放模型对比

蒋从双[1,2]，王文江[1,2]，李贤徽[1,2]，张 斌[2]

（1. 环境噪声与振动北京市重点实验室，北京 100054；
2. 北京市劳动保护科学研究所，北京 100054）

摘 要：针对国内外常见的道路交通噪声预测模型中的单车噪声排放模型进行对比研究，详细分析模型的结构与特点：7.5 m处噪声大小、不同类型车辆噪声的差别以及车辆加速状况与匀速状况噪声的差别，并对我国的道路交通噪声预测模型研究提出建议。

关键词：声学；单车噪声排放模型；道路交通噪声预测模型；公交车辆；加速状况

中图分类号：U491. 9+1 **文献标识码**：A DOI编码：10.3969/j.issn.1006-1335.2014.02.016

Comparative Study on Noise Emission Models of an Individual Vehicle

JIANG Cong-shuang[1,2], *WANG Wen-jiang*[1,2],
LI Xian-hui[1,2], *ZHANG Bin*[2]

(1. Beijing Key Laboratory of Environment Noise and Vibration, Beijing 100054, China;
2. Beijing Municipal Institute of Labor Protection, Beijing 100054, China)

Abstract: A comparative study on noise emission models of an individual vehicle, which is a significant part of road traffic noise prediction models at home and abroad, is conducted. Those models are analyzed elaborately in the following aspects: structure and characteristics of these models, noise emission at 7.5 m distance, noise emission difference of various vehicle categories, and noise emission difference between accelerating and steady running conditions. Some suggestions for research of prediction models of road traffic noise in our country are proposed.

Key words: acoustics; noise emission model of an individual vehicle; road traffic noise prediction model; bus vehicles; acceleration running status

国外对交通噪声预测模型的研究起步较早，许多国家都建立了反映本国特色的交通噪声预测模型。这些模型根据有没有提出单车噪声排放模型可以分为两大类：一类是没有提出单车噪声源强模型的，主要有英国的CRTN模型[1]和德国的RLS 90模型[2]。这类模型直接由车流量计算一个噪声基本值，再对车型比例、速度、衰减距离、路面情况和其他环境等因素加以修正得来。另一类是提出了具体的单车噪声排放模型的，主要有美国的FHWA TNM模型[3]、法国的NMPB模型[4]、日本的ASJ RTN 2008模型[5]和欧盟近年来提出的HARMONISE模型[6]等，这类模型都是在单车噪声排放模型的基础上，考虑车流量、加减速、坡度等修正和距离衰减、地面吸收、大气吸收等方面的修正计算而来。

我国的交通噪声预测模型研究起步较晚，在交通噪声预测方面并未形成通用的模型，实际应用中较多采用《环境影响评价技术导则－声环境（HJ2.4－2009）》[7]和《公路建设项目环境影响评价规范（JTG B03－2006）》[8]（简称JTG模型），前者采用改进的FHWA模型[9]，但并未提出具体的单车噪声排放模型，后者给出了不同类型车辆在参考点处的单车噪声排放模型。近年来，国内学者在单车噪

收稿日期：2013-05-13
基金项目：北京市自然科学基金资助项目（8132027）和北京市科学技术研究院创新工程项目。
作者简介：蒋从双（1989- ），男，硕士研究生，主要在研究道路交通噪声。
E-mail: jcs_bmilp@126.com
通讯作者：李贤徽。
E-mail: lixianh@gmail.com

声排放模型方面也做了大量的研究工作，张玉芬等人[10]在高等级公路（包括柔性、刚性两种路面）上，对三种车型共22辆车的行驶噪声作了780多次试验测定，对测试结果进行统计分析，得到在离行车线7.5 m处三种车型的行驶噪声级与车速、路面材料的关系式；李锋、蔡铭等人[11]对上千辆机动车在匀速、加速和减速时的噪声进行了测量，得出匀速行驶状态下车辆在参考点处排放的噪声与速度的关系和加减速状态下的修正值。国家环境保护城市噪声与振动控制工程技术中心[12]对北京市不同区域不同类型车辆进行测试，分别拟合出离行车线7.5 m处不同类型车辆排放噪声与速度的关系。

国内外交通噪声预测模型中，传播模型部分差异较小且与ISO 9613-2比较接近[13]；而源强模型部分影响因素众多，包括：车速、车辆类型、车龄、路面类型、加减速以及路面坡度等，这些影响因素又随着国家和地区的不同而不同，因而噪声源强模型差异较大。本文针对有单车噪声排放的FHWA TNM模型、NMPB模型、ASJ模型、HARMONOISE模型、JTG模型等进行对比研究，研究内容主要包括：模型的结构和特点，7.5 m处噪声排放大小，不同类型车辆噪声排放的差值以及车辆加速状况与匀速状况排放噪声差值等。

1 单车噪声排放模型构成及其特点

1.1 模型构成

单车噪声排放强度的影响因素主要有行驶速度、车辆类型、行驶加速度以及道路的坡度等，各单车噪声排放模型都具有类似的表达形式，均是由车辆行驶速度的函数关系式加上源强修正项所构成的，如下式所示

$$L = a + b \cdot f(v) + \Delta L \tag{1}$$

式中 L 为单车排放的声级；v 为车辆行驶速度；$f(v)$ 为单车排放噪声与速度的关系函数；b 为速度决定系数；a 为模型参数；ΔL 为源强修正项，包括加减速修正和道路坡度修正等。

1.2 模型特点

不同单车噪声排放模型具有不同的特点，主要表现在以下几个方面：

（1）不同模型中车辆划分类型不一致，FHWA TNM模型将车辆划分为小型车、中型卡车、重型卡车、公交车和摩托车五类；JTG模型将车辆划分为大型车、中型车和小型车三类；NMPB模型和ASJ模型将车辆划分为轻型车和重型车两类；HARMONOISE模型主要将车辆划分为轻型车、中型重型车和重型车三类。各模型均对不同类型车辆提出了不同的模型参数。

（2）FHWA TNM模型提出的是车辆在15 m处的声压级，NMPB模型、JTG模型提出的是车辆在7.5 m处的声压级；ASJ模型和HARMONOISE模型提出的是车辆排放的声功率级。

（3）ASJ模型和JTG模型将车辆简化为一个点声源；而FHWA TNM模型、NMPB模型和HARMONOISE模型均将车辆简化为两个点声源，一个主要由发动机噪声决定，另一个主要由轮胎噪声决定。

（4）FHWA TNM模型中发动机噪声是恒定不变的，与速度无关；HARMONOISE模型中发动机噪声与速度的关系函数是线性的，两个模型的轮胎噪声和其他模型排放的噪声与速度的关系均是对数函数。

（5）ASJ模型将车辆运行状态分为稳定运行状态（40～140 km/h）和非稳定运行状态（10～60 km/h），JTG模型把车辆运行速度限定在48 km/h以上，NMPB模型对不同速度段分别提出模型参数。

（6）除JTG模型外，其他模型均考虑了车辆在加速或减速情况下的噪声排放情况。详见第4节。

（7）FHWA TNM模型和HARMONOISE模型考虑了车辆排放噪声的频谱特性。

2 7.5 m处噪声排放大小

各模型中车辆划分类型不一致，FHWA TNM模型将车辆划分为小型车、中型卡车、重型卡车、公交车和摩托车五种类型，NMPB模型、ASJ模型和HARMONOISE模型将车辆划分为轻型车和重型车，JTG模型将车辆划分为小型车、中型车和大型车。本文选择小汽车作为轻型车或小型车的代表，选择常见的公交车（空载总重量在10 t左右）作为重型车或中型车的代表来对不同单车噪声排放模型作对比分析。

FHWA TNM模型提出的是15 m处的声压级，NMPB模型和JTG模型直接给出了单车在7.5 m处声压级与速度的关系，而HARMONOISE模型和ASJ模型给出了单车的声功率级，只考虑半自由场中距离的衰减将FHWA TNM模型、ASJ模型和HARMONOISE模型转变为7.5 m处的声压级，如图1和图2所示。图中分别给出了不同模型中小汽车和公交车在7.5 m处的噪声排放大小，其中ASJ模型中速度在20～60 km/h范围内对应的曲线为非稳定运行阶段，速度为40-100 km/h范围内对应的曲线为

稳定运行阶段。

从图1中可以看出，ASJ模型中稳定运行阶段与其他各模型对应曲线的趋势基本一致，FHWA TNM模型在小于55 km/h的速度段排放的噪声比其他模型小；HARMONOISE模型在大于55 km/h的速度段排放的噪声比其他模型小；ASJ模型中非稳定运行阶段比同一速度下其他模型偏高。从图2中可以看出，各模型对应曲线的趋势基本一致，JTG模型排放噪声在高速段（>60 km/h）与其他模型比较接近，在低速段（<60 km/h）比其他模型偏低，且JTG模型中排放噪声随着速度变化的波动大小比其他模型显著偏大。

3 不同类型车辆噪声排放的差值

Ramírez等人[14]研究结果表明：在不同的速度下，德国模型中，重型车排放的噪声是轻型车的20倍，英国模型中，重型车排放的噪声是轻型车的4.5～14倍，在北欧模型中，重型车排放的噪声是轻型车的6～10倍。张继萍等人[15]应用美国的FHWA模型，研究分析了公交车与小型车在单纯车辆数量关系下和相同运力关系下的噪声当量等效关系，得出公交车的噪声影响平均是小汽车的10～40倍，在相同运力情况下，完全用小汽车完成运输比用公交车完成运输产生的噪声要大4 dB以上；李本纲等人对大量实测数据统计分析得到1辆重型车产生的噪声相当于9.12辆轻型车产生的噪声[16]；魏峻山等人[17]得出相同速度下，大型车的噪声排放量比小型车的高8.1～11.0 dB；北京市劳动保护科学研究所[18]调查了北京市城区40余条典型道路上的公交车，得出其在20～60 km/h的不同运行工况下，单车声能排放水平分别达到小型车辆的19～40倍。

分析各单车噪声排放模型中公交车与小汽车噪声排放的差别，如表1所示。可以看出，日本ASJ模

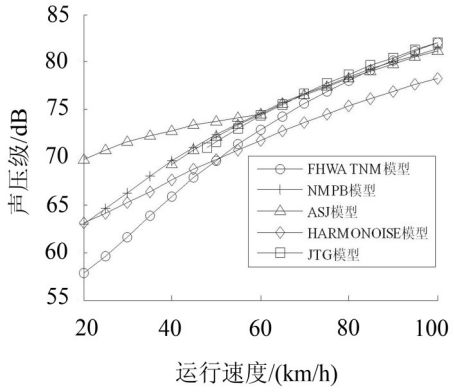


图1 小汽车在7.5 m处噪声排放大小

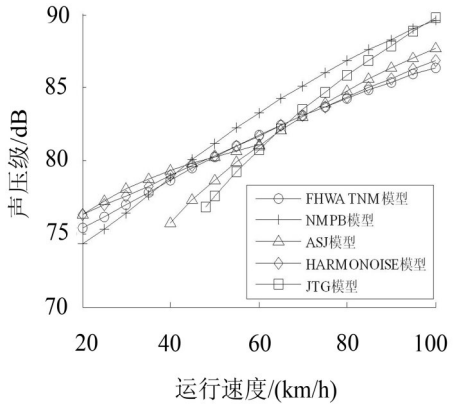


图2 公交车在7.5 m处噪声排放大小

差值的波动范围较小；FHWA TNM模型的这个差值的最大值和波动范围均最大。各模型中公交车与小汽车排放噪声的差值有较大差别，主要是因为不同模型中车辆划分标准不同。其中FHWA TNM模型把总重量小于4.5 t的车辆划分为小型车，大于4.5 t而小于12 t的车辆划分为中型卡车，大于12 t的车辆划分为重型卡车，轴数为2或3且载客量大于9人的车辆划分为公交车；NMPB模型把总重量小于3.5 t的车辆划分为轻型车，大于3.5 t的车辆划分为重型车；JTG模型的划分标准分别对应FHWA TNM模型

表1 公交车与小汽车噪声排放的差别

模型	公交车与小汽车排放噪声差别		备注
	声压级的差值 /dB	声能量的比值	
FHWA TNM模型	4.4~17.6	2.7~57.3	—
NMPB模型	8.3~11.3	6.8~13.5	路面为普通混凝土路面
ASJ模型	6.5	4.5	—
HARMONOISE模型	8.6~13.3	7.2~21.4	—
JTG模型	12.1~12.6	16.2~18.2	适用速度范围>48 km/h

中的小型车、中型卡车和大型卡车。

图3给出了公交车与小汽车噪声排放的差值随速度的变化曲线，图中可以看出，ASJ模型中公交车与小汽车排放噪声的差值随着速度的变化恒定不变；FHWA TNM模型、NMPB模型和HARMONOISE模型中这个差值随着速度的增加而呈下降的趋势；而JTG模型中这个差值随着速度的增加呈上升的趋势，与其他模型的变化趋势差异较大。

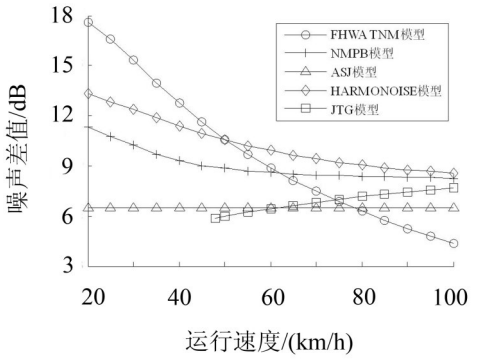


图3 公交车与小汽车噪声排放的差值随速度的变化

4 车辆加速状况与匀速状况噪声排放的差值

这些模型中除JTG模型外，其他模型均考虑了车辆加减速对噪声排放的影响。FHWA TNM模型给出了车辆在匀速和加速下排放的发动机噪声，模型认为车辆的轮胎噪声与车辆的加减速无关；NMPB模型中，轮胎噪声与车辆加减速没有关系，而发动机噪声在不同的加减速状态排放不同的噪声，模型分别给出了轻型车和重型车在加减速状况下的发动机噪声排放模型。ASJ模型认为车辆驶离交道口或交叉口时处于加速阶段，适用速度范围为1～60 km/h，并给出了不同类型车辆加速运行时噪声排放模型。HARMONOISE模型认为轮胎噪声与车辆加减速没有关系，发动机噪声的加减速修正值与加速度大小呈线性关系。本文针对各模型中车辆加速状况与匀速状况排放的噪声进行研究，表2给出了车辆速度在20～60 km/h时不同模型中车辆在加速状况与匀速状况排放噪声的差值。

从表2可以看出，FHWA TNM模型和NMPB模型中，小汽车在加速与匀速状况排放噪声差值的最大值和波动范围均比公交车大；ASJ模型中公交车和小汽车的这个差值变化范围相同；HARMONOISE模型中公交车的这个差值的最大值和波动范围均比小汽车大；不同模型中小汽车和公交车的这个差值随着速度的变化趋势分别由图4和图5给出，其中，在计算HARMONOISE模型中这个差值时假定车辆加速度为1 m/s^2。图中可以看出，4个模型中公交车和小汽车的这个差值随着速度的增加而减小，研究结果均表明车辆加速状况排放的噪声比匀速状况高出很多，尤其在低速运行阶段。

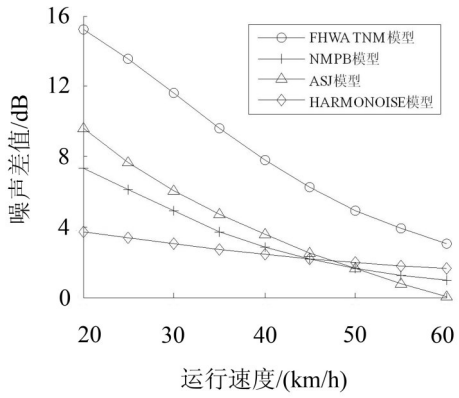


图4 小汽车的加速与匀速状况的噪声差值变化

表2 不同模型中车辆在加速与匀速状况排放噪声的差值

模型	加速状态与匀速状态的噪声差值 /dB		备注
	小汽车	公交车	
FHWA TNM模型	3.0~15.2	1.8~5.0	—
NMPB模型	1.0~7.3	0.8~4.1	路面为普通的混凝土路面
ASJ模型	0~9.6	0~9.6	车辆驶离交道口或交叉口的情况
HARMONOISE模型	0~8.8	0~11.2	取决于加速度a，a的取值0~2 m/s^2

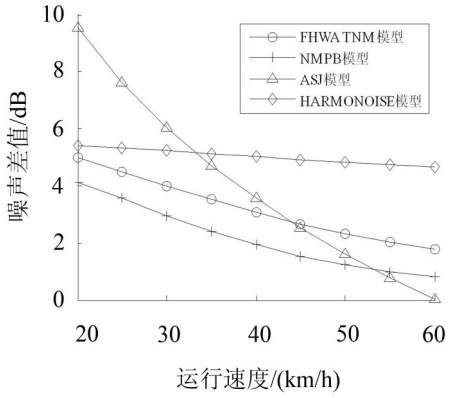


图 5 公交车的加速与匀速状况的噪声差值变化

5 结论与建议

本文从模型的结构与特点、7.5 m处噪声排放大小、不同类型车辆噪声排放的差别以及车辆加速状况与匀速状况排放噪声的差别等方面对比分析了各单车噪声排放模型的差异。与其他模型相比，JTG模型在单车噪声排放上分析的还不够透彻和全面。在很多方面，其他模型的研究方法值得借鉴。

从7.5 m处噪声排放大小的对比分析中可以看出，JTG模型中公交车排放的噪声在高速段（>60 km/h）与其他模型比较接近，在低速段（<60 km/h）比其他模型偏低，且JTG模型中排放噪声随着速度变化的波动大小比其他模型显著偏大；从不同类型车辆噪声排放差别的分析中可以看出，其他模型中公交车排放噪声与小汽车的差值随着速度的增加基本呈下降的趋势，而JTG模型中这个差值随着速度的增加呈上升的趋势，与其他模型的变化趋势差异较大。

JTG模型在上述两方面分析中与其他模型偏差较大，主要因为低速段与高速段排放的噪声差异较大，把整个车辆看作一个点声源并且不对速度分段来考察车辆排放的噪声会引起较大误差。ASJ模型将车辆行驶状态划分为稳定运行状态和非稳定运行状态，FHWA TNM模型、NMPB模型和HARMONOISE模型将车辆分为两个点声源来考虑，这种将车辆排放噪声按不同速度段来考察或将车辆分为两个点声源的方法值得借鉴。

此外，研究表明单车在加速状况排放的噪声与匀速状况差别较大。除JTG模型外，其他模型均考虑了车辆加减速的影响。因而，今后针对单车噪声排放模型的研究应该考虑车辆加减速的影响。

参考文献：

[1] CRTN. Calculation of road traffic noise[R]. Department of Transport Welsh Office, London, 1988.

[2] Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen- guidelines for noise protection on streets[R], Berlin, 1990.

[3] Menge C W, Christopher J, Rossano G S, Anderson C J. FHWA Traffic noise model ®, Version 1.0: Technical Manual[R]. Cambridge, MA: U.S., 1998.

[4] Besnard F, Hamet J F, Lelong J, Le D E, Fürst N, Doisy S, Dutilleux G. Road noise prediction 1- Calculating sound emission from road traffic[R]. Sétra Service d'études sur les transports les routes et leurs aménagements, 2009.

[5] Kohei Y. Road traffic noise prediction model "ASJ RTN-Model 2008": Report of the Research Committee on Road Traffic Noise[R]. Acoustical Science and Technology, 2010, 31(1): 2-55.

[6] Hans J, Ulf S, Gijsjan V B, Jurek E, Greg W, Marcello L. Work package 1.1- source modeling of road vehicles deliverable 9 of the Harmonoise project[R]. 2004.

[7] 国家环境保护部. 环境影响评价技术导则－声环境(HJ2.4-2009)[S]. 北京，中国环境科学出版社，2009.

[8] 中国人民共和国交通部. 公路建设项目环境影响评价规范(JTG B03-2006)[S]. 北京：人民交通出版社，2006.

[9] Barry T M, Reagan J A. FHWA highway traffic noise prediction model[R]. Washington DC, US. Department of Transportation, Federal Highway Administration National Technical Information Service, 1978.

[10] 张玉芬. 公路路线设计与交通噪声防治[J]. **中国公路学报**. 1997，10(6)：39-43.

[11] 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**，2010，30(6)：109-113.

[12] 户文成，徐少辉. 城市区域噪声地图技术的研究[J]. **噪声与振动控制**，2009，S2：30-34.

[13] Dae S C, Jin H K, Tae M C, Byung H K, Douglas M. Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements[J]. **Applied Acoustics**, 2004, 65: 883-892.

[14] Alberto R, Efraín D. Modeling urban traffic noise with stochastic and deterministic traffic models[J]. **Applied Acoustics**, 2013, 74: 614-621.

[15] 张继萍，刘 健，邵晴生，李 超，唐晓东，周希鲁，朱晶文，金 鑫. 公交优先的城市道路噪声环境影响理论研究[J]. **噪声与振动控制**，2009，S2：85-89.

[16] Bengang L, Shu T R W, Dawson Jun C, Kinche L. A GIS based road traffic noise prediction model[J]. **Applied Acoustics**, 2002, 63: 679-691.

[17] 魏峻山，张守斌，刘砚华. 机动车不同速度下外噪声变化与衰减关系[J]. **中国环境监测**，2012，28(1)：93-96.

[18] 北京市劳动保护科学研究所. 北京道路交通噪声综合防治研究技术研究报告—公交车噪声排放控制研究报告[R]. 2011.