

文章编号: 1006-1355(2014)03-0128-04

## 公路噪声源强预测模型研究进展

卢力<sup>1,2</sup>, 周鑫<sup>1,2</sup>, 胡笑洙<sup>1,2</sup>

(1. 环境保护部环境工程评估中心, 北京 100012;

2. 国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室, 北京 100012)

**摘要:** 随着公路建设和城镇化的不断发展, 车辆行驶过程中产生的环境噪声对沿线居民、学校的影响也日益明显。针对目前我国的标准规范中未明确给出公路噪声源强预测模型的问题, 对国外公路环境噪声源强模型进行系统的分析和总结, 并对我国公路噪声源强预测模型的研究提出建议。

**关键词:** 声学; 公路交通噪声; 源强; 预测模型

中图分类号: X827

文献标识码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.03.027

## Research Advances of Models for Highway Noise-source Intensity Prediction in Foreign Environmental Impact Assessment

LU Li<sup>1,2</sup>, ZHOU Xin<sup>1,2</sup>, HU Xiao-hu<sup>1,2</sup>

(1. Appraisal Center for Environment & Engineering Ministry of Environmental Protection,  
100012 Beijing, China;

2. State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for  
Environment Impact Assessment, 100012 Beijing, China)

**Abstract:** With the development of highway construction and urbanization, traffic noise pollution caused by the vehicles is becoming a more and more serious problem. Since the domestic technical guideline has not provided a rigorous and explicit model for highway noise-source intensity prediction, this paper gives a systematic analysis of the foreign prediction models of the highway noise sources, and presents several suggestions for the study of the domestic noise source prediction model.

**Key words:** acoustics; road traffic noise; noise source intensity; prediction model

公路噪声对定量预测影响是公路环境噪声影响评价的重要组成部分, 主要由噪声源预测模型和声传播模型两部分组成, 其中噪声源预测模型是影响噪声预测结果准确性的重要因素之一。车辆行驶过程中产生的噪声主要由轮胎一路面噪声和发动机一排气噪声组成, 交通噪声源强主要取决于车辆类型、车速、车流、路面结构等因素。因此, 如何建立噪声源强预测模型, 如何选择预测模型中的影响因素, 是

公路环境噪声源强预测模型中的重要研究课题。

美国、欧洲、日本等国家和地区的政府部门、科研单位、专业公司等结合本国的实际情况建立了各自的噪声源强预测模型。由于研究角度不同且各国车辆源强特性差异性较大, 各国的预测模型存在较大的差别。本文主要对目前欧、美、日本等国的公路噪声源强预测模型进行分析、对其中主要参数进行了探讨, 并提出我国在建立公路噪声源强预测模型中应关注的问题。

### 1 公路噪声源强基本模型

公路噪声预测中, 噪声源强的辐射噪声级主要取决于车辆车型、发动机类型、路面结构、车速等因素, 公路噪声源强预测模型基本表达形式为

$$L_{w,i} = \hat{L}_{w,i} + \Delta L \quad (1)$$

收稿日期: 2013-08-30

作者简介: 卢力(1976-), 女, 山西偏关县人, 高工, 目前从事环境噪声与振动影响评价研究。

E-mail: luli@acce.org.cn

通讯作者: 周鑫(1977-), 女, 辽宁鞍山人, 工程师, 目前从事环境噪声与振动影响评价研究。

E-mail: zhouxin@acce.org.cn

其中  $L_{w,i}$  为  $i$  类车型的噪声辐射强度;  $\hat{L}_{w,i}$  为基准工况条件下噪声辐射强度;  $\Delta L$  为车速、路面结构、材料等影响噪声源强辐射强度的修正项。

## 2 国外噪声源强预测模型

### 2.1 美国 FHWA TNM 噪声源强预测模型<sup>[1][2]</sup>

1994 和 1995 年,美国国家交通研究中心测试了车辆行驶时的噪声排放数据,在 9 个州对 6 000 辆车不同行驶状态、不同路面的 A 计权和 1/3 倍频程的噪声级、及垂向声源分布强度进行了测试。车辆类型包括小型车、中型车、重型车、公交车、摩托车,利用这些数据建立声压级、车速、频率之间的回归曲线方程。

FHWA TNM 模型同时包括 A 声级和 1/3 倍频程的噪声源强计算公式。其中某类型车辆行驶时辐射的噪声 A 计权声级为

$$L_A(S_i) = 10 \lg \left( (0.612 4 v_i)^{A/10} 10^{B/10} + 10^{C/10} \right) \quad (2)$$

对应的 1/3 倍频程噪声级是车速和频率的二元函数

$$\begin{aligned} L_{\text{emis},i}(v_i, f) = & 10 \times \lg_{10}(E_A) + \\ & (D_1 + 0.6214 D_2 v_i) + \\ & (E_1 + 0.6214 E_2 v_i) [\lg_{10} f] + \\ & (F_1 + 0.6214 F_2 v_i) [\lg_{10} f]^2 + \\ & (G_1 + 0.6214 G_2 v_i) [\lg_{10} f]^3 + \\ & (H_1 + 0.6214 H_2 v_i) [\lg_{10} f]^4 + \\ & (I_1 + 0.6214 I_2 v_i) [\lg_{10} f]^5 + \\ & (J_1 + 0.6214 J_2 v_i) [\lg_{10} f]^6 \end{aligned} \quad (3)$$

式(2)、(3)中各参数根据车辆类型、行驶速度、路面情况等可查表得到,其中

$v_i$ : 第  $i$  类车辆的车速;

$A$ : 回归曲线中轮胎——地面噪声函数曲线的斜率;

$B$ : 回归曲线中轮胎——地面噪声的噪声级;

$C$ : 回归曲线中发动机一排气噪声的噪声级;

$D_1, D_2, E_1, E_2, \dots, J_1, J_2$ : 对应 1/3 倍频程的 6 阶拟合函数的系数。

模型中将每种车型等效为轮胎一路面和发动机一排气两部分声源。除重型车辆外,声源的高度分别设定为 0 m 和 1.5 m,重型车辆为 3.66 m。轮胎-路面和发动机一排气两部分声源声能量贡献比例的计算如式(4)所示,并以表格的形式给出了不同车辆、不同行驶状态、不同路面的  $L, M, N, P, Q$  等 5 个参数的取值,供用户选取。

两部分声源辐射的噪声能量的比为

$$r_i(f) = L + (1 - L - M) \left[ 1 + e^{(N \lg_{10} f + P)} \right]^Q \quad (4)$$

1.5 m 高声源、0 m 高声源辐射的噪声级分别为

$$L_{\text{emis},i,\text{upper}}(S_i, f) = 10 \lg \left( \left( \frac{r_i}{r_i + 1} \right) E_{\text{emis},i} \right) \quad (5)$$

$$L_{\text{emis},i,\text{lower}}(S_i, f) = 10 \lg \left( \left( \frac{1}{r_i + 1} \right) E_{\text{emis},i} \right) \quad (6)$$

此外 FHWA TNM 模型还包括车辆全速上坡、加速离开停车点、收费亭、交通灯等情况时的噪声排放计算模型。

### 2.2 欧盟 CNOSSOS-EU 噪声源强预测模型<sup>[3]</sup>

欧盟最新环境噪声预测模型为 CNOSSOS-EU,该模型于 2012 年发布。源强预测模型中将车辆分为 4 类,并预留一个类别 5 以便根据将来车辆变化的需要进行补充。声功率测定和噪声传播中,将声源简化为一个或多个点声源。每辆车代表一个点源,位置距离路面 0.05 m 高。车辆的噪声主要包括路面-轮胎噪声和发动机一排气系统噪声。当车速介于 20 km/h 至 130 km/h 之间时,其车辆辐射噪声级为

$$L_{w,i,m}(v_m) = A_{i,m} + B_{i,m} \cdot f(v_m)$$

其中  $f(V_m)$  是基于  $V_m$  的轮胎噪声和气动噪声的对数函数,与基于  $V_m$  的动力系统噪声的线性函数之和。

车辆行驶过程中的声功率级为两部分噪声的能量总和

$$L_{w,f,i}(v_i) = 10 \times \lg(10^{L_{wR,f,i}(v_i)/10} + 10^{L_{wP,f,i}(v_i)/10}) \quad (7)$$

其中  $f$  为频率,  $i$  为车辆类型,  $L_{wR,f,i}$  和  $L_{wP,f,i}$  分别为路面—轮胎噪声、发动机—排气系统的声功率级

$$L_{wR,f,i} = A_{R,f,i} + B_{R,f,i} \times \lg \left( \frac{v_i}{v_{\text{ref}}} \right) + \Delta L_{wR,f,i}(v_i) \quad (8)$$

$$L_{wP,f,i} = A_{P,f,i} + B_{P,f,i} \times \lg \left( \frac{v_i - v_{\text{ref}}}{v_{\text{ref}}} \right) + \Delta L_{wP,f,i}(v_i) \quad (9)$$

其中  $v_{\text{ref}}$  为参考车速,  $\Delta L_{wR,f,i}(v_i)$  和  $\Delta L_{wP,f,i}(v_i)$  为路面结构、车速变化等的修正项。

对于两轮车,由于车辆类型不同、排气系统和驾驶行为不同,其噪声值也存在显著的差异,因此欧盟允许各国提供不同噪声排放数据,并记录于 CNOSSOS-EU 的数据库中。同时, CNOSSOS-EU 模型中通过理论推导,并以表格的形式给出了车辆噪声辐射源强预测模型中涉及到  $A_{R,f,i}, B_{R,f,i}, A_{P,f,i}, B_{P,f,i}$  等参数的取值,供用户选取。

### 2.3 英国 Co RTN 公路噪声源强预测模型

Co RTN 模型是英国环境总署于 1975 年提出的交通噪声预测模型,并于 1988 年对其进行了改进。

噪声源强计算模型是根据许多实测值的拟合曲线推导出来的。

模型中的噪声评价量为  $L_{10}$ , 其噪声源声功率级的计算公式为

$$L_{10} = 10 \lg q + 33 \lg(v + 40 + 500/v) + 10 \lg(1 + 5p/v) + 0.3G - 27.6 \quad (10)$$

其中  $q$  为交通流动速率;  $v$  为车速;  $p$  为重型车辆的比重;  $G$  为路面的坡度。

## 2.4 德国 RLS 噪声源强预测模型<sup>[14]</sup>

德国 1990 年发布了 RLS90 模型, 该模型以等效连续 A 计权声级  $L_{Aeq}$  为评价指标, 将道路分为长直线道路和非长直线道路来分别建模, 但噪声源强预测模型相同。

车道上车辆行驶时产生的噪声级

$$L_{m,E} = L_m^{(25)} + D_v + D_{S_{tro}} + D_{s_{lg}} + D_E \quad (11)$$

其中

$$L_m^{(25)} = 37.3 + 10 \lg(M(1 + 0.082p)) \quad (12)$$

式中  $M$  是标准交通流量, 根据不同道路查表可得其具体取值;  $p$  是重 2.5 t 车的百分数;  $D_v$  为车速修正值;  $D_{S_{tro}}$  为路面类型修正值;  $D_{s_{lg}}$  为纵坡修正值;  $D_E$  为建筑物表面吸声特性的修正值。

## 2.5 日本 ASJ 噪声源强预测模型<sup>[6-9]</sup>

1975 年由日本声学学会建立了以  $L_{A50}$  为评价指标的预测模型; 1988 年起, 日本开始研究以  $L_{Aeq}$  为评价指标的预测模型, 并于 1994 年提出 ASJ Model 1993 模型<sup>[6]</sup>, 选用  $L_{Aeq}$  为评价指标, 并同时承认  $L_{A50}$ ; 在此基础上, 1999 年日本声学学会建立了评价

指数只支持  $L_{Aeq}$  的预测模型—ASJ Model 1998<sup>[7]</sup>; ASJ RNT-Model 2003 于 2004 年 4 月发布, 改进了声波传播建模及计算方法<sup>[8]</sup>; 最新模型 ASJ RNT-Model 2008<sup>[9]</sup> 于 2009 年发布, 不仅用于噪声预测, 而且对噪声现状评估及噪声治理有指导作用。

ASJ RNT-Model 2008 主要包括声源特性、声音传播方法计算、在特殊路段的噪声计算(如立交桥、十字路口、公路隧道等)、单一建筑物后或建筑物群后的噪声计算等内容。噪声源声功率级计算公式是根据大量实测数据建立的速度与声功率级的回归曲线方程。模型规定车型既可以划分为客车、小型车、中型车和大型车 4 类, 也可以划分为轻型车和重型车 2 类, 公路噪声源强声功率级计算公式为

$$L_{WA} = a + b \lg v + \Delta L_{WA} \quad (13)$$

其中系数  $a$ 、 $b$  根据不同车型分类方法查表可得;  $v$  为车速, 单位为 km/h;  $\Delta L_{WA}$  为修正项, 包括排水沥青修正、纵坡修正、声波辐射指向性修正以及其他因素修正

$$\Delta L_{WA} = \Delta L_{surf} + \Delta L_{grad} + \Delta L_{dir} + \Delta L_{etc} \quad (14)$$

## 3 各国噪声源强预测模型影响因素选取对比

影响公路噪声源强的大小的因素主要有车辆类型、源强位置、源强的频谱特性、速度以及路面结构等, 不同国家的噪声源强预测模型选取的影响因素对比分析见表 1。

从表中可以看出, 除英国外, 其他国家均采取了  $L_{Aeq}$  作为噪声源强的评价量; 针对本国公路交通特

表 1 各国噪声源强预测模型影响因素选取对比分析表

模型	评价量	车辆分类	频率相关	噪声源分离	速度修正	路面修正
美国 FHWA TNM	$L_{Aeq}$	是	是	是	是	是
欧盟 CNOSSOS-EU	$L_{Aeq}$	是	是	是	是	是
英国 Co RTN	$L_{10}$	是	是	是	是	是
德国 RLS	$L_{Aeq}$	是	是	是	是	是
日本 ASJ	$L_{Aeq}$	是	是	是	是	是

点, 各国对各类型车辆进行了分类, 分别给出了噪声源强计算公式; 定量给出了噪声源强和速度的关系以及噪声源强与路面结构的关系。值得注意的是, 美国 FHWA TNM、欧盟 CNOSSOS-EU 的噪声预测模型将车辆噪声源分成地面—轮胎和发动机—排气系统两部分噪声源分别进行计算以及给出各频带的噪声源计算公式, 从理论上讲, 大大提高了公路噪声源强预测模型的精度。

## 4 结 语

(1) 目前各国的噪声源强的预测模型大多利用实测数据建立声功率级(或声压级)与车速、频率之间的回归曲线方程式, 规定了公式中所需要的参数值;

(2) 美国、欧盟、日本等通过大量实测数据不仅建立了 A 声级的噪声源强的预测模型, 同时建立了



基于1/3倍频程的不同频带噪声源强预测模型,在声传播计算以及其他因素引起的衰减计算中提高了计算精度;

(3) 相比于美国、欧洲等国公路噪声源强计算模型,我国公路噪声源强预测模型还存在一些不足。首先,该预测模型仅适用于高速公路的噪声预测,对于行驶速度较低的城市道路的噪声源强未建立计算模型;其次,该预测模型未进行声源识别定位,各部分噪声源的等效高度未给出明确规定;再次,该预测模型未考虑声源的频谱特性;

(4) 目前我国声环境影响评价导则中未给出源强预测模型,给环境影响评价工作带来一定的困难,今后应在研究国外噪声源强预测模型的基础上,结合我国公路噪声的特点,进一步开展公路噪声源强模型的研究工作。

#### 参考文献:

- [1] .Campbell Steele. A critical review of some traffic noise prediction models [J]. **Applied Acoustics**, 2001, 62 (3): 271-287.
- [2] Federal Highway Administration, FHWA traffic noise

model technical manual [R]. 1998.

- [3] Common noise assessment method in Europe[S]. Conssos-EU, 2012.
- [4] 俞悟周. 高架道路声屏障的降噪效果[J]. **环境工程学报**, 2008, 2 (6): 844-847.
- [5] 邓 佳, 赵剑强, 张晓宁, 等. 公路交通噪声预测模型 FHWA 与 RLS90 的比较[J]. **环境工程学报**, 2012, 6 (2): 687-691.
- [6] Ishii K. Prediction of road traffic noise (part 1, method of practical calculation) [J] **J. Acoustic Soc. Jpn.**, 1975, 31: 507-517.
- [7] Tachibana H. Energy- base prediction method of road traffic noise from general types of roads (Report from Rearch Committee of Road Traffic Noise in Acoustical Society of Japan)[J]. **J. Acoustic Soc. Jpn.**, 1994, 50:227-252.
- [8] Research Committee of Road Traffic Noise in the Acoustical Society of Japan . Road traffic noise prediction medel 'ASJ RTN- Model 2003' proposed by the Acoustical Society of Japan[J]. **J. Acoustc Soc. Jpn.**, 2004, 60: 192-241.
- [9] Kohei Yamamoto. Road traffic noise prediction medel "ASJ RTN-Model 2008" report of the research committee on road traffic noise[J]. **Acoust. Sci. Tech.**, 2010, 31 (1): 2-55.

(上接第127页)

从图 a 我们可以看出,经过声学处理后,站点声压级整体趋势有所下降,图 b 中噪声数据经过1/3倍频程处理后趋势更加明显,各频带声压级降低了4~8 dB,总声压级降低了6 dB左右。图 c 为20 Hz 站点声场处理前和处理后的云图,左侧为未经声学处理的站点声压级分布,右侧为经过声学处理后的声压级分布,可以很直观的看出,经过声学处理后,隧道及站点内声压级明显下降。仿真结果表明选用的吸声材料对低频噪声有较好的降噪效果。

## 4 结 语

本文以上海地铁九号线星中路段为例,利用有限元仿真软件 Actran 对地铁进、出站点这两种工况的地铁轮轨噪声所引起的的站点声场分布特点进行了仿真分析,并与实验数据进行对比验证了模型的正确性,同时提出了一种在端墙处喷涂吸声材料的优化解决方案,在 Actran 中进行了仿真分析,实现了将站点噪声降低6 dB 的良好效果,对改善地体地下站点的声学环境,减少噪声对乘客及工作人员危害具有较大的理论意义和实际应用价值。

#### 参考文献:

- [1] Bhattachaya S K. Assessment of noise environment in a

major railway station in India[J]. **Ind. Health**, 1994, 32: 187-92.

- [2] Endoh H, Suzuki H, Izumi Y, Hio Y, Appropriate sound level of broadcasting on station platforms under noisy environment[J]. **RTRI Report.**, 2007, 21: 41-46.
- [3] Isumi Y, Fujii K, I wase T. An investigation into the actual condition and subjective evaluation test of acoustical environment in railway station[J]. **Environ Eng.**, 2011,76: 115-124.
- [4] 蒋伟康, 闫肖杰. 城市轨道交通噪声的声源特性研究进展[J]. **环境污染与防治**, 2009, 31(12): 64-69.
- [5] Soeta Y, Shimokura R, Sound field characteristics of underground railway stations- effect of interior materials and noise source positions[J]. **Applied Acoustics**, 2012 (73): 1150-1158.
- [6] 程建春, 田 静. 中国声学进展[M]. 北京: 科学出版社, 2008. 539-627.
- [7] 马 欢, 刘 岩, 杨 冰, 钟志方. 地铁站台噪声特性分析[J]. **噪声与振动控制**, 2012 (05): 141-143.
- [8] GB 50157-2003 地铁设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [9] 王治国. 工程声学有限元分析理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007. 78-79.
- [10] 贺建良, 万 泉, 蒋伟康. 高架城市轨道交通的噪声特性分析[J]. **城市轨道交通研究**, 2007(8): 57-60.
- [11] 高 攀. 海淀黄庄站噪声分析与综合控制方法的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.