

文章编号: 1006-1355(2014)01-0140-06

道路交通噪声源强快速建模方法

杨洁, 李贤徽, 蒋从双, 王文江

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

摘要: 道路交通噪声源强的预测是道路交通噪声预测的关键。由于车辆状况、道路状况等在我国具有不同的特点; 因而在采用国外道路交通噪声源强模型时将导致准确性降低。建立源强模型通常采用的实验方法对场地要求严格, 样本数量需求巨大, 不易获得本地模型。基于标准实验情况建立的模型不一定适用于复杂的城市交通流。为此, 提出一种简单快速建立符合本地城市交通特点模型的方法, 该方法以实测交通流数据计算观测点噪声, 通过优化算法求解最优参数, 确定本地化源强模型。该方法利用多辆车共同作用得到的等效声级, 反演得到单车模型, 既包含了丰富的样本, 又节省测量时间。以北京选取道路的实践为例, 建立模型并验证, 结果表明本方法快速易行, 准确性高。

关键词: 声学; 道路交通噪声; 源强模型; 本地模型; 噪声监测

中图分类号: TB5; TB535

文献标识码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.01.032

Fast Modeling Method for Analyzing the Intensity of Road Traffic Noise Sources

YANG Jie, LI Xian-hui, JIANG Cong-shuang, WANG Wen-jiang

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

Abstract: Prediction of intensity of road traffic noise sources is the key for road traffic noise prediction. Because the vehicle conditions and road conditions in China are different from those in foreign countries, direct application of the foreign models will reduce the prediction accuracy. However, it is difficult to establish a local model for the prediction because it needs a testing field with very high quality and the huge amount of samples. Besides, the model based on standard experiment may not be suitable to the complex urban traffic flow. This paper proposes a simple and rapid method to establish a model in accordance with the characteristics of the local urban transport. In this method, the noise at the observation points is calculated according to the measured traffic data, and then the optimal model parameters are determined by optimizing algorithm. Inversing the equivalent sound level resulted from the multi-vehicles co-action, a single-car sound-power-level model is obtained. This model can not only contain a wealth of samples, but also save the measurement time. Finally, a model is established and validated based on actually measured traffic data in Beijing, and the results show that this method is fast, easy for use and very accurate.

Key words: acoustics; road traffic noise; source model; local model; noise monitoring

随着社会经济不断发展, 城市机动车保有量不断增加, 交通噪声污染也随之愈加严重。城市生活噪声中有超过 70% 的噪声来自交通噪声^[1]。噪声污

染已经成为仅次于空气污染和水污染的世界第三大污染^[2]。噪声不仅会使人烦躁和失眠, 甚至会导致心脏病、学习障碍和耳鸣, 据世界卫生组织欧洲区统计表明, 在西方国家每年有超过 100 万人因交通噪声而早逝、致残或生病^[3]。

作为噪声污染研究的重要课题, 道路交通噪声预测研究已经在世界范围内广泛开展。许多国家都已建立反映本国特色的预测模型, 常见的有英国 CRTN 模型, 美国的 FHWA 模型, 日本的 ASJ 模型等^[4]。但是由于各国国情存在差异, 直接套用外国

收稿日期: 2013-03-06

项目基金: 北京市科学技术研究院科技创新工程项目

(PXM2001_178304_112770;

PXM2012_178304_000008);

北京市自然科学基金资助项目(8132027)

作者简介: 杨洁(1987-), 女, 河北承德人, 在读硕士生, 目前从事噪声与振动控制方向研究。

E-mail: JY_121@163.com

模型会存在偏差。FHWA模型在贝鲁特应用预测结果比实际值低5 dB^[5];CRTN模型在柏林应用预测误差为-1.8 dB~3 dB^[6],在香港应用有90%的预测数据误差达到3 dB^[7]。近年来,欧盟相继开展IMAGINE和HARMONOISE计划,其目的是提出欧盟各国统一的交通噪声预测模型,以解决相同情况利用不同国家模型预测结果不同的问题^[8]。我国尚未推出标准的通用预测模型,噪声预测工作中经常使用FHWA模型,其适用速度范围是50~100 km/h,主要用于高速公路的噪声预测,而我国城市道路一般限速为40 km/h或60 km/h,并且该模型建立时依据的车辆状况、路面状况等与我国存在较大的差异,直接套用难以保证预测精度。因此,建立符合我国车辆、道路以及交通情况的噪声预测模型是十分必要的。

源强模型作为建立噪声预测模型的关键,一般用声压级或声功率级关于速度的函数来表示,通常采用实验方法确定。《机动车辆噪声测量方法》^[9]、《汽车加速行驶车外噪声的测量方法》^[10]等对我国单车噪声排放测量的实验方法做出了规定,对于实验场地的地面条件、车辆条件、背景噪声以及测试样本数量都有严格要求。由于建立模型需要大量样本,标准实验场测试成本较高。选取郊区车流量较小的道路测试成本相对较低,但车速不可控制且相对集中,所建立的模型适用速度范围具有局限性。

为了解决上述问题,本文提出了一种简单快速建立本地预测模型的方法,该方法以实际测量的交通流数据计算观测点噪声,通过优化算法使观测点噪声的计算值更接近于该点的实测值,从而确定最优的模型参数。该方法利用多辆车共同作用得到的等效声级,反演得到单车模型,既包含了丰富的样本,又节省了测量时间。以实际城市道路作为建模数据基础,更能反映本地道路交通噪声源强的特点。

1 源强建模方法研究

1.1 虚拟实验场的建立

所谓虚拟实验场是针对标准实验场而言的。本研究中的标准实验场是指我国《机动车辆噪声测量方法》^[9]中描述的实验场地,该方法对于测量条件、测量场地、测点位置以及加速和匀速车辆噪声的测量方法都做出了明确的规定。

实际城市道路情况比标准情况复杂的多,日本ASJ模型^[11]对于城市道路的运行情况做出了规定。该模型将道路运行状态分为两类:稳定运行状态与非稳定运行状态。稳定运行状态是指高速路段或者

距离交叉口足够远的普通道路,车辆可以以最高档位运行,速度一般为40~140 km/h;非稳定运行状态是指包含信号交叉口的普通道路,车辆加减速频繁,速度一般为10~60 km/h。我国城市道路交叉口繁多,两交叉口间距离通常在1 000 m以内,车辆在运行过程中受到交叉口以及信号灯的影响,加减速频繁,符合日本ASJ模型描述的不稳定状态。在这种情况下,利用标准实验场建立的车辆噪声预测模型用于实际道路会导致预测准确性下降。针对城市道路交通非稳定运行状态,我国学者李锋等通过在标准实验场条件采集数据并统计分析得到了不同类型车辆匀速行驶时距离行车线7.5 m处的噪声排放量公式以及加减速的修正量^[12]。但由于交叉口、信号灯、换道、转弯等因素,车辆总是处在加减速、匀速等行驶状态的不断交替变化中,难以修正。因此,本文参考日本ASJ模型,将一般城市道路交通流看作是非稳定流,并在此基础上展开研究。

本文中提出的虚拟实验场是指车流量、车速、车辆类型以及路况等都能代表本地实际情况的一般城市道路。现有成熟道路交通预测模型虽然形式各异,但是基本可以写成“预测声级=源强+修正”的形式。源强可以用参考位置的声压级代替,也可用单车声功率级表示。修正包括声源本身的修正,如道路坡度、路面情况等;还包括传播过程中的修正,如地面效应、空气吸收衰减等^[13]。本研究建立的虚拟实验场针对一般城市道路采集噪声及交通数据,对道路和周围环境影响进行修正,使之基本达到在标准实验场测量的效果,从而直接建立道路交通噪声声源与接收点之间的关系,反推单车声功率级,即源强。图1为虚拟试验场建立原理的示意图。

首先,选取包含不同车流量、车速、车辆类型以及加减速运行状态等丰富交通信息的一般城市道路,路旁设监测点,采集一段时间内的等效连续A声级,同时监测对应时间段内不同类型车的流量和速度,记录路面、坡度、绿化、建筑物、天气等环境信息。然后对数据进行标准化处理,修正环境影响,处理后的数据可以近似看作是在标准实验场获得的数据,用来推导参考声压级模型。虚拟实验场方法针对一般城市道路测量,包含了丰富的车辆状况以及运行状态,同时能够反映城市的交通特点,由此得到的车辆预测模型更具有本地化特征。

1.2 模型参数的反演

如图2所示,假设单个流动声源的声功率为 w 瓦,其移动速度为 v m/s,声源从A移动到B,C点距AB垂直距离为 r ,假设车辆行驶到距C点最近的O

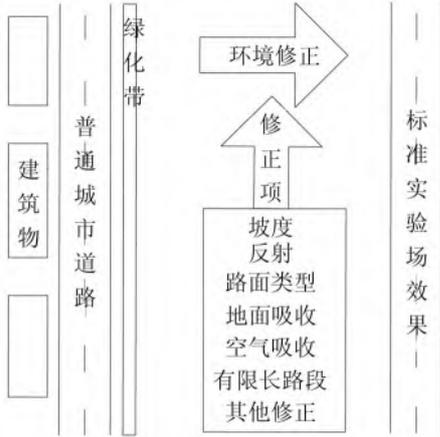


图1. 虚拟实验场建立原理图

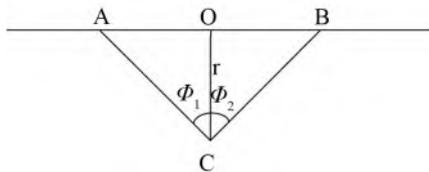


图2. 道路交通噪声建模原理示意图

点时刻为0, 则在某时刻 t , C点的声强为^[14]

$$I = w/2\pi(r^2 + (vt)^2) \quad (1)$$

C点在单位面积上, dt 时间内接收到的声能为 $I dt$, 移动声源从 T_1 时刻开始由A点驶向上接收到的总声能 E 为:

$$E = \int_{T_1}^{T_2} I dt = \frac{w}{2\pi rv} \arctg\left(\frac{vt}{r}\right) (T_2 - T_1) = \frac{w}{2\pi rv} (\Phi_1 + \Phi_2) \quad (2)$$

其中 $\Phi_1 = \arctg(vT_1/r)$, $\Phi_2 = \arctg(vT_2/r)$, 单位为弧度。

在 T 时段内具有相同声功率的 n 个流动声源, 以相同的速度通过路段 AB , 则C点接收到的平均声强可按如下公式求出

$$\bar{I} = \frac{nE}{T} = \frac{nw}{T} \left(\frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2\pi rv} \right) \quad (3)$$

依据等效连续A声级的定义, 并假设 $L_p = L_i$, 则

$$L_{Aeq,i} = 101g \frac{\bar{I}}{I_0} = 101g \frac{nw}{w_0 T} \left(\frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2\pi rv} \right) \quad (4)$$

考虑环境修正, 公式(4)可以表示为

$$L_{Aeq,i} = L_{weq,i} + 101g \frac{n(\Phi_1 + \Phi_2)}{2\pi rv T} + \Delta L \quad (5)$$

其中 ΔL 为环境因素的修正, 可以根据《环境影响评价技术导则 声环境》HJ 2.4-2009^[15]中提供的方法计算, 也可以选用国外成熟模型中提到的方法计算, 还可以自行设计实验, 达到修正的目的。

单车的噪声源强依赖于车辆的类型和车辆的行驶速度。日本ASJ模型^[11]给出了在非稳定运行状态

下, 单车声功率级的表达式

$$L_{WA,i} = a + b \cdot \lg(V) \quad (6)$$

其中 a 、 b 为模型参数, 取值见表1。建立符合我国国情的源强模型, 首先要确定符合我国国情的模型参数 a 和 b 。

表1 日本ASJ模型不同交通状态下不同车辆类型 a 、 b 的取值

	稳定状态		非稳定状态	
	轻型车	重型车	轻型车	重型车
a	46.7	53.2	82.3	88.8
b	30	30	10	10

不同类型车辆(车辆类型划分见表2)在接收点总的等效连续A声级可以表示为:

表2 日本ASJ模型不同类型车辆的划分

两类	四类	划分标准
轻型车	轿车	载客量在10人以内
	小型车	总长不超过4.7 m
重型车	中型车	总长超过4.7 m, 或者载客在11~29人之间
	大型车	载重超过8 t, 或者载客超过30人

$$L_{Aeq} = 101g \sum 10^{0.1L_{Aeq,i}} \quad (7)$$

能够使测量值与预测值的误差平方和最小的模型参数确定为最优参数, 则目标函数为

$$F = \sum_i^M \sum_j^{N_i} (L_{Aeq,cal,i} - L_{Aeq,mea,i})^2 \cdot q_i \quad (8)$$

其中 M 为不同速度范围内的实测道路数目, N_i 为第 i 条道路实测数据的组数, $L_{Aeq,cal,i}$ 为第 i 条道路第 j 组计算的观测点噪声, $L_{Aeq,mea,i}$ 为第 i 条道路第 j 组实测的观测点噪声, q_i 为第 i 条道路所代表的速度范围的权重。

最后利用优化函数, 确定最优参数值。

2 实例验证

2.1 监测数据与修正

本研究选取北京市兴业大街、西南四环、宣武门大街三种等级道路作为研究对象, 测点距地面1.2 m, 距最外侧道路中心线7.5 m, 监测5 min内等效连

表3 研究路段情况

道路名称	兴业大街	西南四环	宣武门大街
道路等级	次干路	快速路	主干路
车速	20~60 km/h	50~80 km/h	20~60 km/h
车流量	1 370 veh/h	12 800 veh/h	4 000 veh/h
重车比例	4.5 %	1.8 %	8.8 %
环境	平坦沥青路面;硬地面	平坦沥青路面	平坦沥青路面;多为硬地面
修正	建筑物间距>30 %	多为硬地面	建筑物间距>30 %
情况	温度 13 °C	建物间距>30 %	温度 12 °C
(参照 HJ 2.4-2009)	湿度 40 %	温度 13 °C, 湿度 45 %	湿度 30 %

续A声级以及相应的车流量车速车辆类型等,并同时记录相应的环境状况作为修正的依据,监测道路的具体情况见表3。

由于环境修正是本方法十分重要的一环,因此在选取道路时,为了保证修正的准确性,并没有选择环境十分复杂的情况,而是选择行人和商业等影响较小的路段进行。对于环境与本研究中选取路段有较大差异的情况,只要保证环境修正值能准确获取,本方法依然适用。

2.2 模型参数确定

利用兴业大街和西南四环数据反推模型参数,宣武门大街数据作为验证数据。只考虑观测点两侧100 m范围内的路段对观测点的噪声影响,范围之外的路段影响忽略不计。将正反两个方向的车流看作是距观测点距离不等的两个线源,分别计算每个线源在观测点总的声压级再叠加得到道路在观测点的总声压级。

调用 fmincon 函数,确定初始值和约束条件,求解目标函数的最小值。

$$\text{约束条件} \begin{cases} 10 < a_L < 100 \\ 5 < b_L < 50 \\ 10 < a_H < 100 \\ 5 < b_H < 50 \end{cases}$$

取各条道路权重 q_i 相同,采用多组初始值(包括日本 ASJ 模型设定的参数)进行优化,目标函数均收敛,得到稳定的本地化模型参数:

$$a_L = 80.9, b_L = 11.4;$$

$$a_H = 77.6, b_H = 16.4.$$

a_L 、 b_L 、 a_H 、 b_H 分别为轻型车和重型车单车声功率级模型对应的参数。

根据日本 ASJ 模型提供的非稳定状态下单车声功率级模型以及利用本方法推导的本地化单车声功率级模型绘制曲线,如图3—4所示。

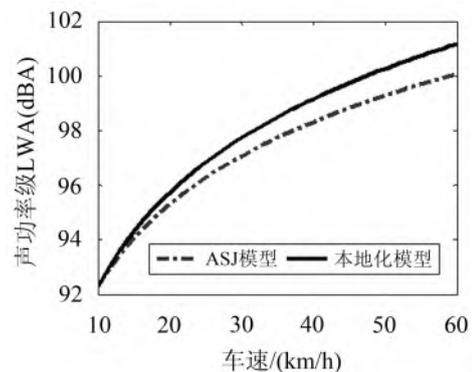


图3 轻型车声功率级曲线

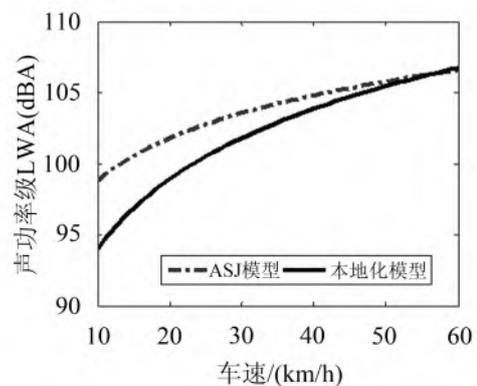


图4 重型车声功率级曲线

从图中可以看出:对于轻型车,本地化的单车声功率级比日本 ASJ 模型单车声功率级略高;对于重型车,本地化的单车声功率级比日本 ASJ 模型单车声功率级略低,随着速度的不断增大,两者差别逐渐减小,超过 55 km/h 时 ASJ 模型单车声功率级超过本地化的单车声功率级。由此可见,我国车辆在单车声功率级方面与日本车辆有所不同,直接引用 ASJ 模型提供的单车声功率级模型进行预测会造成误差。

2.3 结果对比

确定模型参数之后,分别用实际推导的本地化

参数、日本 ASJ 模型提供的参数对兴业大街、西南四环和宣武门大街测点声压级的进行预测,预测结果与实测结果对比如图 5—7 所示,横坐标为参与对比的数据的编号,纵坐标为各组数据实测和利用两种方法预测的等效连续 A 声级。

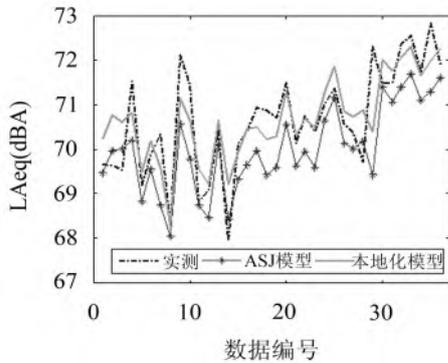


图 5 兴业大街预测声压级与实测声压级对比

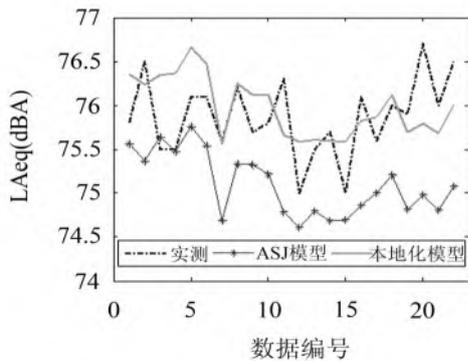


图 6 西南四环预测声压级与实测声压级对比

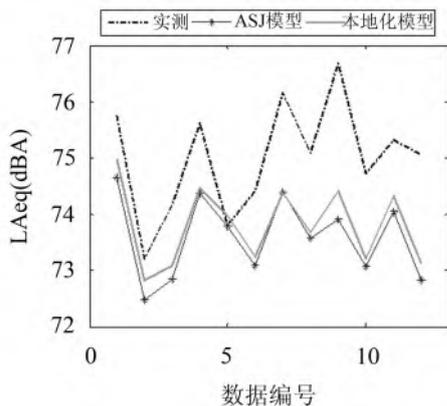


图 7 宣武门大街预测声压级与实测声压级对比

为了更好的衡量预测的精度,本文计算了利用不同模型参数预测结果的平均误差^[16]

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |L_{Aeq,mea,i} - L_{Aeq,cal,i}|$$

从图 8 中可以看出:对于三个研究路段,本地化模型预测的平均误差均小于 ASJ 模型预测的平均误差;兴业大街、西南四环、宣武门内大街利用 ASJ 模型预测的平均相对误差分别为:0.75 dB、1.32 dB、

1.41 dB。利用实际推导的本地化模型预测的平均误差分别为:0.51 dB、0.68 dB、1.22 dB。以上 3 种情况,本地化模型预测结果均优于 ASJ 模型预测结果,可见利用实际道路测量的数据推导的预测模型参数,更适用于本地道路交通噪声的预测。

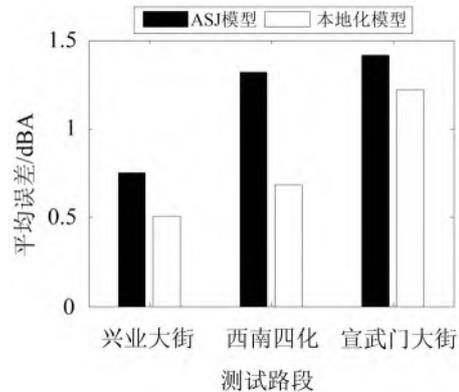


图 8 本地化模型与 ASJ 模型预测平均误差对比

3 结语

本研究提出了虚拟实验场的概念,选取实际城市道路进行测试,以实际测试数据为基础,利用优化算法,反推出本地化道路交通噪声源强模型。测试数据包含了不同车流量、车速、车辆类型以及加减速运行状态等交通流信息,充分反映出该城市的交通流特点;并且弥补了标准实验场或者郊区测试车况单一,车速集中等缺陷,能在短时间能获得丰富的样本;通过修正降低对环境的要求,便于操作,能够快速建立具有本地化特征的源强模型。通过实例,证明了该方法推导得到的本地化模型在相应城市道路交通噪声预测中准确性更高。

本文选取有限的城市道路进行实验,涉及车速范围以及运行状态不够广泛,数据量尚不充足,尤其是在重型车比例较小的情况下推导重型车单车声功率级准确性有所欠缺,在以后的工作中还需进一步的研究,逐步提高本方法的精度。

致谢:

感谢北京市科学技术研究院科技创新工程项目 PXM2001_178304_112770、PXM2012_178304_000008 和北京市自然科学基金资助项目 8132027 提供资金支持。

参考文献:

- [1] Kranti Kumar, Manoranjan Parida, Vinod K Katiyar. Road traffic noise prediction with neural networks-a review[J]. *Theories & Applications*, 2012, 2(1): 29-37.
- [2] Oyedepo Sunday Olayinka. Noise pollution in urban areas: the neglected dimensions[J]. *Environmental Research Journal*, 2012, 6(4): 259-271.
- [3] WHO Regional Office for Europe. Burden of disease from

