

一般科学技术

车辆噪声法规与通过噪声模拟方法现状与进展

左言言 唐明亮 倪明明

(江苏大学振动噪声研究所, 镇江 212013)

摘要 通过对比现有国内外车外噪声测量方法与标准限值, 指出国外在通过噪声测量中的最新进展和我国噪声标准法规中有待改进的方向。归纳了目前运动车辆车外噪声源的常用识别方法, 为更高效、快捷地识别车辆主要振动噪声源理念提供借鉴作用。总结了国内外对于不同工况下车外通过噪声数值模拟方法, 为创建更深入全面的通过噪声预测模型提供一种全局性的思路。

关键词 车辆 通过噪声 标准限值 数值模拟

中图法分类号 TB53 X827; **文献标志码** A

车辆保有量的增长在促进现代物质文明的同时, 也带来了严重的噪声污染。为满足人们对低噪声生活环境的需求, 各国的汽车噪声法规和标准得到不断修订, 与此相应, 汽车降噪技术的研究也更加广泛和深入。为合理预测车外噪声与车辆主要振动噪声源, 国内外学者作了大量的研究工作。对比国外发达国家, 我国的汽车噪声研究起步较晚, 发展较缓慢, 无论是汽车噪声法规, 还是振动噪声控制技术的研究都同国外有一定的差距。快速判别运行车辆主要噪声源并有效预测车外通过噪声, 可以为改进车辆总成匹配, 优化结构设计提供借鉴作用。

1 车辆噪声法规

自 20 世纪 70 年代开始, 汽车噪声法规开始被世界各国广泛认可, 相应的测量标准与限值逐步取得一致, 其中形成了三个代表性的法规体系: 欧盟、美国和日本。而我国现行车辆噪声法规主要是参考欧洲经济委员会(ECE) 法规与国际标准化组织(ISO) 标准, 这里对其进行简要介绍与对比, 为新形势下我国车辆噪声法规的修订提供参照思路。

1.1 ECE 法规与 ISO 法规

ECE 法规是当前国际范围内最具影响力的汽车技术法规与认证制度, 现行的版本为 ECE R51. 02《关于在噪声方面汽车(至少有四个车轮)型式认证的统一规定》^[1], 分为 A、B 两部分, 包含了汽车加速行驶车外噪声及定置噪声与匀速噪声的测量。其中

附录 3 即方法 A 于 1995 年生效实施, 其试验方法与 ISO 362:1998《声学 道路车辆加速行驶噪声测量方法 工程法》^[2] 基本相同, 同时公布了限值要求。2007 年 6 月 ECE 新增附录 10 即方法 B, 其基本等效采用了 ISO 362—1:2007《道路车辆加速行驶噪声测量方法 工程法 第一部分: M、N 类车辆》^[3] 的内容。相比于方法 A, 方法 B 在测量方法、测试项目与仪器等多方面作了较大改动, 如起始加速位置、进线速度和试验挡位的选取等; 对于 M1 类、N1 类及质量小于 3.5 t 的 M2 类且测试比功率大于等于 25 kW/t 的车辆, 增设匀速噪声试验, 同时在定置噪声测量中对发动机转速也作了更为详细的规定。综合考虑, 方法 B 的测试条件更为符合现代车型实际行驶工况, 对测量场地和测试系统等提出了更高要求。

1.2 我国汽车噪声法规

与国外相比, 我国汽车噪声控制起步较晚。1979 年我国首次颁布了两项标准 GB1495—1979《机动车辆允许噪声》^[4] 和 GB 1496—1979《机动车噪声测量方法》^[5], 1993 年时推出 GB/T 14365—1993《声学 机动车辆定置噪声测量方法》^[6], 到了 1996 年, 国家环境保护局和国家技术监督局联合发布了 GB 16170—1996《汽车定置噪声限值》^[7], 至此, 我国对汽车加速、定置状态下的噪声有了全面的测量方法及限值标准。2002 年, 为了适应现代车型的噪声测量以及与国际标准保持一致, 国家环境保护总局和国家质量监督检验检疫总局联合发布了 GB 1495—2002《汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法》^[8]。GB 1495—2002 主要参考了联合国欧洲经济委员会法规 ECE R51. 02 和 ISO362 噪声测量标准。它代替了 GB 1495—1979, 并部分代替 GB

2014 年 2 月 21 日收到

第一作者简介: 左言言(1958—), 男, 江苏涟水人, 教授, 博士生导师。研究方向: 车辆振动噪声控制和结构动态特性。Email: yzuo@ujs.edu.cn

1496—1979,自2002年10月1日起分两个阶段实施,目前执行的是第二阶段的标准。

1.3 国内外汽车噪声法规比较

ECE R51.02 加速行驶车辆噪声试验方法 B 于 2007 年开始实施认证,其标准限值仍在制定中,而我国已启动了对 GB 16170—1996 和 GB 1495—2002 的修订工作^[9]。选取 M1、N3 两类典型车型为代表,GB 1495—1979 与 GB 1495—2002 中相应的车外通过噪声限值对比如图 1 所示

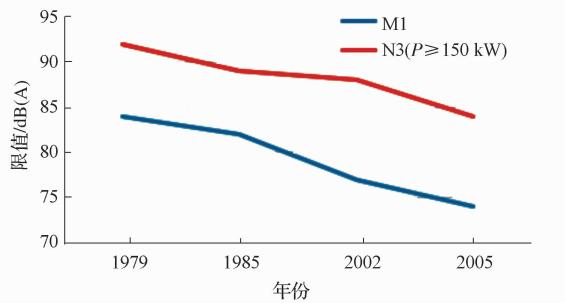


图 1 我国车外通过噪声限值变化

Fig. 1 Variation on vehicle pass-by noise limits in China

从图 1 中可见,M1 类车型的车外通过噪声限值由 1985 年前的 84 dB(A) 到 2005 年后的 74 dB(A),降低了 10 dB(A),N3 类车外噪声在这二十年来则共降低了 8 dB(A),表明我国汽车制造业水平已取得了一定的进步,相应的噪声治理工作也卓有成效。

然而,通过与 ECE R51.02 同类车型噪声限值的比较发现,目前我国车辆中 M1 类、M2 类($\text{GVM} \leq 3.5 \text{ t}$),或 N1 类($\text{GVM} \leq 3.5 \text{ t}$)汽车的噪声限值与欧洲经济委员会的限值相当,而 M2 类($3.5 \text{ t} < \text{GVM} \leq 5 \text{ t}$),或 M3 ($\text{GVM} > 5 \text{ t}$),N2、N3 类车与欧洲汽车发达国家还有较大差距。以 M1、N3 类车型为代表,相应的噪声限值对比如图 2 所示。

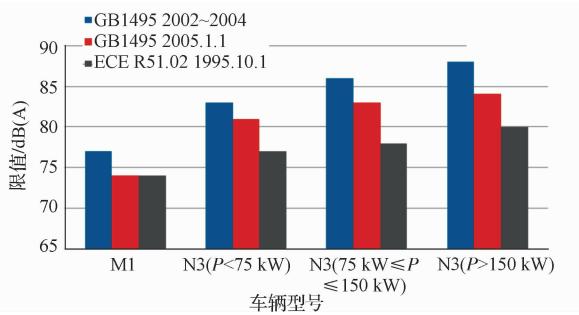


图 2 GB 1495 与 ECE 车外通过噪声限值对比

Fig. 2 Comparison on pass-by noise limits between GB 1495 and ECE R51

可以看出,2005 年后我国 M1 类车辆通过噪声限值与 ECE 标准相同,但在执行期上落后约 10 年,

而 N3 类车型其限值相差最高达 5 dB(A),差距明显。而且到目前为止,我国还没有具体的匀速行驶车外噪声限值标准^[10]。

2 车辆噪声源常用识别方法

文献[11—32]显示汽车运行过程中各组成部件均产生不同程度的振动噪声;同时各振动噪声源的形成机理,辐射特性及频率特征又存在差异,且互相影响。随着车辆通过噪声法规的日益严格和降噪技术的不断进步,各振动噪声源所占比例已突破传统格局而呈现多元特性。通过声源识别可以确定各激励源所占比例,为降噪与模拟分析提供参照依据。目前车外噪声源识别方法主要包括:消去法、声强法、频谱分析法、相干分析法、声全息法和阵列信号分析法^[33—46]。

基于能量叠加原理的消去法,可在车辆动态条件下和整车声学环境中进行振动噪声源识别,并且随着吸隔声材料的快速发展,该方法可显著降低实验难度,同时提高可操作性与测试精度。贾继德等^[47]利用消去法成功实现对某款客车进行噪声源识别与排序。

声强法主要利用声强的矢量特性对车外噪声进行分析测试,对声学环境要求低。通常先同主观判断法、近场声压测量法或消去法等结合使用以提高试验效率。重庆大学的余文国等^[48]先采用消去法确定了发动机燃烧噪声占主导地位,后采用声强测量技术完成对发动机表面的声源识别。

频谱分析则是根据激励源各自不同的频率特性,从总噪声频谱中解析对应于各峰值频带来源的声源识别方法。西南交通大学的龚志刚等^[49]通过对某城市客车的车外总噪声频率成分与各动力总成频谱相比较,分析得出冷却风扇噪声和排气噪声为该车主要通过噪声源。

相干分析法是利用频域内的相干函数来描述各激励源贡献率的大小。其中,常相干函数和多重相干函数主要用于不相干的各噪声源的识别,而偏相干函数可用于相干噪声源的分析。何天明等^[50]等利用偏相干分析法对某轻型车辆进行振动噪声源分析,结果显示主要噪声源为发动机油底壳和气缸体的振动辐射噪声。

除消去法外,其余各方法均只适用于定置工况的噪声测量,对运动声源的精确识别与定位上则显得无能为力。声全息方法是借助于声场空间变换,对所需目标点的声场信息进行重建,从而准确获得运动物体表面的声场分布及激励源位置,但对高频噪声的识别精度有限。清华大学的罗禹贡等^[51]采

用声全息方法对运动轿车在不同车速下的辐射噪声场进行了分析,结果显示随车速的提高,排气噪声比重逐渐上升。

阵列信号处理同样可以在线完成对运动声源的声场分析与定位。该方法通过一定方式排列的传声器阵列来接收空间信息,并进行信号处理,从而获取整个辐射表面的信号源个数和位置等信息。它具有较强的干扰抑制能力及较高的分辨能力等优点,然而其对于低频带的识别效果不是很理想。清华大学的毛晓群等^[52]采用传声器十字接收阵列与波束形成算法对某高速行驶轿车的车外噪声源进行识别,结果显示主要噪声源位置位于排气管、前后轮触地点处,且随车速的提高,轮胎噪声将成为最大噪声源。

3 车外通过噪声模拟方法

车外加速行驶噪声试验仍是目前通用的检测车辆运行时最大辐射噪声的方法,随着车外通过噪声法规的日益严格,建立合理有效的车外通过噪声预测模型可以在产品开发设计阶段对车辆各组成部件进行实时检测,为实现车辆噪声的控制提供理论指导。

基于车辆主要振动噪声源的特性以及外场传播模型的建立,国内外学者在对车外噪声的预测方法上取得了一定的成果,主要有有限元法、边界元法和统计能量法等^[53-66],然而这些处理方法均建立在静止稳态声源的情况下,对于车辆这一运动声源的车外辐射噪声随车位置变化的实时特征难以进行描述。综合目前有关车辆通过噪声预测模型,主要是基于两种方法:点声源辐射法与传递路径分析法。

3.1 点声源辐射法

采用点声源辐射模型,即是在判定车辆各主要振动噪声源贡献率的基础上,将各振动噪声源假想为一等效位置处具有相等辐射声功率的点源,按自由场或半自由场空间点声源辐射特性,在综合考虑地面反射、运动声源多普勒效应与声源辐射指向性的基础上,求出各点源辐射到车外指定噪声测点处的噪声情况,并可按能量叠加原理,求出车辆运行时总辐射噪声的大小^[67]。

1985年,菲亚特公司的 Luigi Pilo 等^[68]将某车型主要噪声源(发动机、进气系统、排气系统与轮胎)等效为点源模型,并综合考虑进、排气系统辐射噪声,通过试验数据对仿真结果进行验证,证明了该方法的有效性。1987年,日本的 KFujita 等^[69]通过对某四轮驱动轿车的发动机噪声、排气噪声、排气系统表面辐射噪声与轮胎噪声进行点声源等效处理,

结果显示该模拟方法与实测结果具有较高的一致性。

国内,在1989年,长春汽车研究所的周昌林等^[70]在对解放CA151K和解放CA141汽车进行降噪研究过程中,引进点声源辐射预测模型,减轻了繁重的劳动作业,使降噪工作高效快捷,富有成效。1997年,湖南大学的黎苏等^[71]以解放牌CA141汽车为参考车型,通过运用点声源辐射模型确定排气噪声源占主导因素,通过设计新型消声器及改进后的声源预测模型,合理降低了车外噪声大小。2009年,重庆建设技术中心的李晓灵等^[72]以点声源辐射模型为理论基础,对某厂生产的ATV400型摩托车在不同频段下的主要噪声源进行了贡献率排序,并研究了不同频率下多普勒效应对通过噪声测量结果的影响。

应用点声源辐射模型进行车外通过噪声的模拟,操作简单,直观性强,各振动噪声源在车外总噪声中的贡献一目了然。然而,由于车辆运行过程中各振动噪声源存在交叉干扰,即某一部件的近场声压并非是由该部件单独引起,另外考虑到运动声源辐射过程中存在多普勒频移、声传播过程中的反射衍射、地面吸收等影响,使得仿真结果不可避免地存在误差。为此,在应用该方法时,必须综合考虑是否满足工程精度的要求。

3.2 传递路径分析法

车辆作为一个由多种振动噪声源组成的复杂系统,其通过噪声是由各激励源通过相应的传递路径在车外某一位置的响应叠加的结果。传递路径分析法即是通过分析车辆各振动噪声源与相应的传递函数来判断各激励源对车外总噪声贡献大小的方法^[73-75]。然而,由于车辆在行驶过程中,激励源与响应点之间的传递函数随车辆位置不同而时刻变化,使得该方法在车外通过噪声预测中的应用受到限制。

1997年,日产研发中心的 Shinichi Maruyama等^[76]对互易法测量传递函数的原理进行了详细阐述,并将其成功应用于某前置发动机后轮驱动轿车的结构改进中。2000年,荷兰的 De Beer F G 等^[77]采用互易法测量火车静止状态时各振动源与车外不同位置测点的传递函数,进而通过插值来模拟合成整个运动过程中各振动源与响应点的传递函数,解决了传统传递路径分析无法应用于运动状态的困扰。2006年,第十三次国际声与振动学术会议上^[78],对运用互易法测量运动车辆各振动噪声源与响应点间的传递函数给予了肯定,实车试验证明该结果具有较高的一致性。

国内对于传递路径方法应用于车外通过噪声的研究相对较迟。2007年,吉林大学的赵彤航等^[79]提出了基于传递函数的车外噪声分析预测思想,引进互易法测量白噪声信号源至各振动噪声源位置处的传递函数,并通过定置试验与台架试验对各传递函数进行合理修正,取得了预期效果。2009年,吉林大学的侯健等^[80,81]基于汽车各总成台架试验及其在整车上的布置,创建点源与线源两类等效声源模型,以锤击法测量各总成至车外响应点的传递函数,建立了运动状态下车外加速通过噪声预测模型。互易法和基于台架试验的传递路径分析是由定置状态的测量结果通过插值计算来模拟合成运动状态下的传递函数方法,与此不同的是,2010年,清华大学的郑四发等^[82,83]基于运动车辆上主要振动噪声源信号与静止响应点之间的传递特性,通过在频域上求解传递函数的方法成功建立了加速行驶车外噪声响应与车上激励源的关系,并有效抑制了各振动源与噪声源之间的交叉干扰。然而,在进行该行驶工况下传递特性分析时,需将加速路段分解成若干个满足线性系统理论的区间以确保各传递函数近似不变,则求解精度必然受到采样点数的限制。为此,2012年清华大学的郝鹏等^[84,85]在此基础上改变了做法,利用脉冲响应函数在时域上对各振动噪声源的传播特性进行分析,相同工况下的计算结果表明,相比于频域分析,时域下的传递路径分析方法计算快捷,精度更高。

为合理预测车外通过噪声,点声源辐射模型需首先判断不同车辆主要振动噪声源,而传递路径分析法可以在试验过程中同步采集各潜在激励源信号,具有更为简便的操作流程和更高的仿真预测精度。

4 总结

通过上述分析,可以得到以下结论:

(1) 车辆噪声法规的修订以有效限制道路交通噪声为目标,其车外噪声限值将有望进一步降低。我国噪声标准的修订应紧跟ECE与ISO法规进展,结合国内车辆实际运行工况与噪声防治水平,制定切实合理的新标准。

(2) 车辆噪声源识别方法众多,各有其特性,应根据实际情况进行合理选择,也可同时组合运用多种方法,制定快速有效的声源识别方案。

(3) 受多种因素影响,点声源辐射模型在满足高精度条件下的应用受到限制,基于传递路径的分析方法具有实时高效的特性,为新形势下车外通过噪声模拟提供了广阔的应用空间。

参 考 文 献

- 1 ECE Reg No. 51. Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles having at least four wheels with regard to their noise emission, 1995
- 2 ISO 362. 1998 Acoustics measurement to noise emitted by accelerating road vehicles – engineering method, 1998
- 3 ISO 362-1:2007 Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles —engineering method — part 1: M and N categories. 2007
- 4 GB 1495—1979, 机动车辆允许噪声. 北京:中国标准出版社, 1979
GB 1495—1979, Permissible noise limit emitted by power-driven vehicles. Beijing: China Zhijian Publishing House, 1979
- 5 GB/T 1496—1979. 机动车辆噪声测量方法. 北京:中国标准出版社, 1979
GB/T 1496—1979. Measuring method for noise of power-driven vehicles. Beijing: China Zhijian Publishing House, 1979
- 6 GB/T 14365—1993. 声学 机动车辆定置噪声测量方法. 北京:中国标准出版社, 1993
GB/T 14365—1993. Acoustics-measurement of noise emitted by stationary road vehicles. Beijing: China Zhijian Publishing House, 1993
- 7 GB 16170—1996. 汽车定置噪声限值. 北京:中国标准出版社, 1996
GB 16170—1996. Limits of noise emitted by stationary road vehicles. Beijing: China Zhijian Publishing House, 1996
- 8 GB 1495—2002. 汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法. 北京:中国标准出版社, 2002
GB 1495—2002. Limits and measurement methods for noise emitted by accelerating motor vehicles. Beijing: China Zhijian Publishing House, 2002
- 9 袁骥轩,周世琼,唐俊. 汽车噪声控制方法及我国试验法规综述. 深圳信息职业技术学院学报, 2013; 11(1):5—10
Yuan Jixuan, Zhou Shiqiong, Tang Jun. Control of automobile noise and automobile test regulations. Journal of Shenzhen Institute of Information Technology, 2013;11(1):5—10
- 10 杨安杰. 汽车噪声标准与测试探讨. 噪声与振动控制, 2010; 30(4):110—113
Yang Anjie. Research on noise standards and measurement for motor vehicles. Noise and Vibration Control, 2010;30(4):110—113
- 11 胡伊贤,李舜酩,张袁元,等. 车辆噪声源识别方法综述. 噪声与振动控制, 2012; (05):11—15, 20
Hu Yixian, Li Shunming, Zhang Yuanyuan, et al. Reviews of vehicle noise source identification methods. Noise and Vibration Control, 2012; (05): 11—15, 20
- 12 Fang Danqun, Liu Ke, Chen Qian. Prediction and evaluation of pollution of urban traffic noise in China. Science in China(Series A), 1989; (01):93—100
- 13 吴志明. 车辆噪声与振动测试系统研究. 秦皇岛:燕山大学, 2011
Wu Zhiming. Study on vehicle noise and vibration test system. Qinhuangdao: Yanshan University, 2011
- 14 Zhang Baocheng, Li Peng, Deng Xiaoxiao, et al. Investigation on major noise sources of vehicle diesel engine based on sound intensity measurement. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2011; (03):213—216
- 15 刘勇强,左承基,黎幸荣. 发动机排气噪声测量方法的实验研究. 噪声与振动控制, 2011; (01):179—183

- Liu Yongqiang, Zuo Chenji, Li Xingrong. Experimental study on measuring methods of the engine's exhaust noise. *Noise and Vibration Control*, 2011; (01) : 179—183
- 16 黎幸荣.发动机排气噪声模拟及测试方法的研究.合肥:合肥工业大学,2010
- Li Xingrong. Study on the simulation and testing method of engine's exhaust noise. Hefei: Hefei University of Technology, 2010
- 17 Li Keqiang, Yang Diange, Zhen Sifa, et al. Active noise control for vehicle exhaust noise reduction. *Tsinghua Science and Technology*, 2003; (05) : 577 —581
- 18 Zhao Shengdun, Shang Chunyang, Zhao Zhigang, et al. Radiation characteristics of intermittence exhaust noise. *Chinese Journal of Acoustics*, 2000; (04) : 309—316
- 19 杨诚,邓兆祥,阮登芳,等.进气噪声产生机理分析及其降噪.《汽车工程》,2005;(01):68—71
- Yang Chen, Deng Zhaoxiang, Ruan Dengfang, et al. The generation mechanism and reduction measures of engine induction noise. *Automotive Engineering*, 2005; (01) : 68—71
- 20 赵伟丰,赵骞.进气系统设计参数对进气噪声及车内车外噪声影响研究.《内燃机》,2011;(02): 50—52,56
- Zhao Weifeng, Zhao Qian. The study on effect of intake system design parameter on intake noise, vehicle pass-by and interior noise. *Internal Combusting Engines*, 2011; (02) : 50—52,56
- 21 Hao Zhiyong, Jia Weixin, Fang Fang. Virtual design and performance prediction of a silencing air cleaner used in an I. C. engine intake system. *Journal of Zhejiang University Science A (Science in Engineering)*, 2005; 10: 1107—1114
- 22 王奎洋,唐金花,袁传义.车辆驾驶室减振降噪分析与结构设计.《科学技术与工程》,2012; 35: 9596—9601
- Wang Kuiyang, Tang Jinhua, Yuan Chuanyi. Structure design and NVH analysis on vehicle cab. *Science Technology and Engineering*, 2012; 35: 9596—9601
- 23 左万里,苏小平,田海兰.汽车振动系统的分析研究.《机械设计与制造》,2011; (02) : 112—113
- Zuo Wanli, Su Xiaoping, Tian Hailan. Research of the vehicle vibration system. *Machinery Design & Manufacture*, 2011; (02) : 112—113
- 24 张子庆,倪计民,石秀勇,等.基于路面激励的动力总成受振特性分析及评价.《沈阳工业大学学报》,2011; (02) : 159—165
- Zhang Ziqing, Ni Jimin, Shi Xiuyong, et al. Vibration characteristic analysis and evaluation of powertrain based on road excitation. *Journal of Shenyang University of Technology*, 2011; (02) : 159—165
- 25 李江龙,李岩,盛洪飞,等.基于车桥耦合振动分析的斜拉桥行车舒适性评价分析.《科学技术与工程》,2009; 9 (7) : 1792—1796,1801
- Li Jianglong, Li Yan, Sheng Hongfei, et al. Evaluation and analysis on ride comfort for a cable-stayed bridge based on vehicle-bridge vibration. *Science Technology and Engineering*, 2009; 9 (7) : 1792—1796,1801
- 26 陈义成,孙平宽,肖良,等.汽车发动机冷却风扇电动机的研制.《沈阳工业大学学报》,1992; 14(2) : 13—19
- Chen Yichen, Sun Pingkuan, Xiao Liang, et al. The development of cooling fan motor for automobile engine. *Journal of Shenyang Polytechnic University*, 1992; 14(2) : 13—19
- 27 Zhang Junhong, Liu Hai, Bi Fengrong, et al. Psychoacoustic study on contribution of fan noise to engine noise. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2012; (04) : 809—815
- 28 Masuko K, Abe T. On factors of noise emitted by a small vehicle and noise level simulation of pass-by test. *Society of Automotive Engineering*, 1977
- 29 Liu Y H, Hao Z Y, Bi F R, et al. Engine noise source identification with different methods. *Transactions of Tianjin University*, 2002; 3 (8) : 174 —177
- 30 Zhang J H, Han B. Analysis of engine front noise using sound intensity techniques. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2005 ; 19 : 213—221
- 31 Ih J G, Kim H J, Lee S H, et al. Prediction of intake noise of an automotive engine in run-up condition. *Applied Acoustics*, 2009; 70 : 347—355
- 32 Maik B, Udo N, Steffen P, et al. A finite element approach for the simulation of tire rolling noise. *Journal of Sound and Vibration*, 2008; 309 : 20—39
- 33 杨诚.车外加速噪声识别与控制的研究.重庆:重庆大学,2004
- Yang Cheng. Study on pass-by accelerating noise identification and control of automobiles. Chongqing: Chongqing University, 2004
- 34 李伟.汽车车外加速噪声控制技术研究.重庆:重庆大学,2006
- Li Wei. The study on pass-by acceleration noise control of vehicle. Chongqing: Chongqing University, 2006
- 35 吴丹.轻型载货汽车车外噪声的分析与控制.长春:吉林大学,2005
- Wu Dan. Analysis and control of light duty truck exterior noise. Changchun: Jilin University, 2005
- 36 周道奎.轿车车外加速噪声控制试验研究.天津:天津大学,2008
- Zhou Daokui. Experimental research on pass-by noise control of the car. Tianjin: Tianjin University, 2008
- 37 王忠,严雪文,王林,等.SUV整车噪声源识别与降低噪声的试验研究.《汽车技术》,2007; (03) : 36—40
- Wang Zhong, Yan Xuewen, Wang Lin, et al. Experimental study on identification of noise resources and noise reduction of SUV vehicle. *Automobile Technology*, 2007; (03) : 36—40
- 38 朱玉刚.新型轿车车外加速噪声的分析与控制研究.合肥:安徽农业大学,2009
- Zhu Yugang. Study on pass-by acceleration noise analysis and control of new car. Hefei: Anhui Agricultural University, 2009
- 39 陈茉莉,李舜酩.信号源识别的相干函数法.《中国机械工程》,2007; (01) : 95—100
- Chen Moli, Li Shunming. Coherence functions method for signal source identification. *China Mechanical Engineering*, 2007; (01) : 95—100
- 40 宋晶.利用偏相干函数法识别汽车整车噪声源的研究.成都:西华大学,2006
- Song Jing. Study of identifying vehicle noise source with partial coherence function. Chengdu: Xihua University, 2006
- 41 陈梦英,商德江,李琪,等.运动声源的边界元声全息识别方法研究.《声学学报》,2011; (05) : 489—495
- Chen Mengying, Shang Dejiang, Li Qi, et al. Near-field acoustic holography based on inverse boundary element method for moving sound source identification. *Acta Acustica*, 2011; (05) : 489—495
- 42 周晓华.运动噪声源识别技术的研究.长春:吉林大学,2008
- Zhou Xiaohua. Study on moving noise source identification. Chang-

- chun;Jilin University,2008
- 43 Yang Diange,Zheng Sifa,Li Yukang,*et al.* Research on acoustic holography method for identification of sound sources. Chinese Journal of Acoustics,2002;(04):365—371
- 44 司春棣,陈恩利,杨绍普,等.基于声阵列技术的汽车噪声源识别试验研究.振动与冲击,2009;(06):171—174,190,203
Si Chundi, Chen Enli, Yang Shaopu, *et al.* Experimental study on noise sources identification of vehicle based on microphone array technology. Journal of Vibration and Shock, 2009;(06):171—174, 190,203
- 45 杜亮.基于声阵列与声全息的噪声源识别方法研究.杭州:浙江理工大学,2011
Du Liang. The research of noise source identification method based on sound array and acoustic holography harmonic. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2011
- 46 Qiao Weiyang,ULF M. Landing noise of aircraft based on the fly-over measurements with a planar microphone array. Chinese Journal of Acoustics, 2002;(01):9—22
- 47 贾继德,王元龙,李金学.客车车外噪声源识别及整车降噪研究.振动与冲击,2008;27(3):161—164
Jia Jide,Wang Yuanlong,Li Jinxue. Noise source identification and noise control of the bus. Journal of Vibration and Shock, 2008;27 (3):161—164
- 48 余文国.微型客车车外加速噪声控制研究.重庆:重庆大学,2005
Yu Wenguo. A study on pass-by accelerating noise control of mini vehicle. Chongqing: Chongqing University,2005
- 49 龚志刚.CDK6120CAR 车外行驶噪声控制.成都:西南交通大学,2008
Gong Zhigang. Method of reducing the external noise for CDK6120CAR city bus. Chengdu: Southwest Jiaotong University,2008
- 50 何天明,蒋维铭.NJD131 汽车噪声源识别.武汉工学院学报,1988;4:39—46
He Tianming, Jiang Weiming. Identifying noise sources of the NJD131 truck. Journal of Wuhan Institute of Technology, 1988;4: 39—46
- 51 罗禹贡,杨殿阁,郑四发,等.应用动态声全息方法识别轿车的行驶噪声源.汽车工程,2003; 25 (6): 595—598
Luo Yugong, Yang Diange, Zheng Sifa, *et al.* Noise source identification for a moving car by using dynamic acoustic holography. Automotive Engineering, 2003;25 (6): 595—598
- 52 毛晓群,罗禹贡,杨殿阁,等.使用阵列技术识别高速行驶轿车的辐射声源.汽车技术,2003;9:6—9
Mao Xiaoqun,Luo Yugong, Yang Diange, *et al.* Application of the array technology in identification of radiated noise sources of passenger car running at high speed. Automobile Technology, 2003; 9: 6—9
- 53 Wu S W,Lian S H,Hsu L H. A finite element model for acoustic radiation. Journal of Sound and Vibration. 1998; 215(3):378—387
- 54 王文平,项昌乐,刘 辉.基于 FEM/BEM 变速器通箱体辐射噪声的研究.噪声与振动控制,2005;5: 107—111
Wang Wenping, Xiang Changle, Liu Hui. Study on the radiation noise of gearbox housing based on FEM/BEM. Noise and Vibration Control,2005;5: 107—111
- 55 Zhang S Y,Chen X Z. The boundary point method for the calcula-tion of exterior acoustic radiation problem. Journal of Sound and Vi-bration. 1999;228 (4): 761—772
- 56 夏 恒,宫 镇,陆森林.用边界元法计算高速车辆内部气流噪声.江苏大学学报(自然科学版),2003;24 (1): 47—50
Xia Heng,Gong Zhen,LU Senlin. Calculations about interior aerodynamic noise for high-speed automobile by BEM. Journal of Jiangsu University, 2003; 24(1):47—50
- 57 Steel J A. The prediction of structural vibration transmission through a motor vehicle using statistical energy analysis. Journal of Sound and Vibration, 1996; 193(3): 691—703
- 58 陈书明,王登峰,刘 波,等.汽车车外噪声预测的统计能量分析方法.机械工程学报,2010;46(10): 88—94
Chen Shuming, Wang Dengfeng, Liu Bo, *et al.* Statistical energy analysis method for car exterior noise prediction. Journal of Mechanical Engineering, 2010;46(10): 88—94
- 59 Liu Wen,Lin Tengjiao,Li Runfang, *et al.* Finite element analysis of dynamic response and structure borne noise of gearbox. Journal of Chongqing University(English Edition) ,2007; (02):119—124
- 60 Zhang Baocheng,Shi Yuanyuan,Zhang Ziying. Research on simulation and prediction of internal combustion engine structural acoustic radiation. Journal of Beijing Institute of Technology, 2010;(03): 293—297
- 61 Feng Huihua,Zhang Zhiyuan,Lu Shouwei, *et al.* Prediction of a V-8 diesel engine's structural radiated noise and research of important parameters' effects on the engine's acoustic behaviors. Journal of Beijing Institute of Technology,2011;(03):365—371
- 62 Chen Xin,Wang Dengfeng,Ma Zhengdong. Simulation on a car interior aerodynamic noise control based on statistical energy analysis. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012; (05): 1016—1021
- 63 Zhang Jian,KU C H. Statistical energy analysis of rotating cylindrical shell's cutting noise. Chinese Journal of Acoustics, 1991; (01): 29—36
- 64 Qin Youguo. Using statistical energy analysis in study of sound insulation of partitions. Chinese Journal of Acoustics, 1982; (02): 198—209
- 65 Ji Zhenlin,Wang Xueren. Application of dual reciprocity boundary element method to predict acoustic attenuation characteristics of marine engine exhaust silencers. Journal of Marine Science and Application,2008;(02):102—110
- 66 Yan Xiangqiao. An effective boundary element method for analysis of crack problems in a plane elastic plate. Applied Mathematics and Mechanics (English Edition) ,2005;(06):814—822
- 67 贺启环.环境噪声控制工程.北京:清华大学出版社,2011: 16—95
He Qihuan. Environmental Noise Control Engineering. Beijing: Tsinghua University Press, 2011:16—95
- 68 Luigi P,Francesco G, Bernard J C. Prediction of vehicle radiated noise. SAE,1985;905—913
- 69 Fujita K,唐预尧.车身声辐射特性与加速行驶噪声.国外汽车,1987;(04):6—9
Fujita K,Tang Yuyao. Vehicle body radiation characteristics and acceleration pass-by noise. World Automobile, 1987;(04):6—9
- 70 周昌林,何若天.汽车加速行驶车外噪声的研究.噪声与振动控制,1989;1;13—17

- Zhou Changlin, He Ruotian. Study on vehicle acceleration pass-by noise. *Noise and Vibration Control*, 1989;1:13—17
- 71 黎 苏,黄跃欣,朱亚娜,等. 汽车车外加速噪声的模拟研究. *湖南大学学报*,1997;24(1):61—66
- Li Su, Huang Yuexin, Zhu Yana, et al. A study of simulation with accelerated vehicle exterior noise. *Journal of Hunan University*, 1997;24 (1): 61—66
- 72 李晓灵,杨 诚,时 超. 摩托车道路通过噪声声学模型及其应用. *小型内燃机与摩托车*,2009;38(6): 70—75
- Li Xiaoling, Yang Cheng, Shi Chao. Acoustic model for motorcycle pass-by noise and its application. *Small Internal Combustion Engine and Motorcycle*, 2009;38(6):70—75
- 73 柳瑞锋,周 璞,王 强. 传递路径分析在结构设计中的应用. *噪声与振动控制*,2012;(04):16—19
- Liu Rui Feng, Zhou Pu, Wang Qiang. Application of transfer path analysis in structure design. *Noise and Vibration Control*, 2012; (04):16—19
- 74 郭荣,万 钢,赵艳男,等. 车内噪声传递路径分析方法探讨. *振动、测试与诊断*,2007;(03): 199—203,256—257
- Guo Rong, Wan Gang, Zhao Yannan, et al. Study on transfer path analysis method of automobile interior noise. *Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis*, 2007;(03):199—203,256—257
- 75 刘东明,项 党,罗 清,等. 传递路径分析技术在车内噪声与振动研究与分析中的应用. *噪声与振动控制*,2007;(04):73—77
- Liu Dongming, Xiang Dang, Luo Qing, et al. Applying transfer path analysis to automotive interior noise and vibration refinement and development. *Noise and Vibration Control*,2007;(04):73—77
- 76 Shinichi M, Junichi A, Masanori F. Application of a reciprocity technique for measurement of acoustic transfer functions to the prediction of road vehicle pass-by noise. *JSAE Review*, 1997; 18: 277—282
- 77 Debeer F G, Verheij J W. Experimental determination of passby noise contributions from the bogies and superstructure of a freight wagon. *Journal of Sound and Vibration*,2000;213(3): 639—652
- 78 Eisele G, Alt N, Pichot F. Vehicle exterior noise simulation. *The Thirteenth International Congress on Sound and Vibration*, Vienna, Austria,2006
- 79 赵彤航,宋传学,卢炳武. 基于传递路径分析的车外噪声源识别. 2007 年 APC 联合学术年会论文集,天津,2007;9:107—110
- Zhao Tonghang, Song Chuanxue, Lu Bingwu. Vehicle pass-by noise source identification based on transfer path analysis. *SAE- C2007P* 131, Tianjin, 2007; 9:107 —110
- 80 侯 健,吕伟国,储昭坦,等. 加速行驶汽车噪声源分解理论与试验研究. *声学技术*,2008;27(5):328 —329
- Hou Jian, Lü Weiguo, Chu Zhaotan, et al. Decomposing theory and experimental study of noise source for accelerating vehicle. *Technical Acoustics*, 2008; 27 (5): 328—329
- 81 侯 健. 加速行驶汽车噪声源分解理论与试验研究. 长春:吉林大学,2009
- Hou Jian. Decomposing theory and experimental study of noise source for accelerating vehicle. *Changchun:Jinlin University*,2009
- 82 郑四发,郝 鹏,李西朝,等. 车外加速噪声的传递特性模型及声源识别. *汽车工程*,2010;32(5):439 —442
- Zheng Sifa, Hao Peng, Li Xizhao, et al. Transfer characteristics model and noise sources identification for accelerated vehicle exterior noise. *Automotive Engineering*, 2010;32(5): 439—442
- 83 Zheng S F, Hao P, Lu C, et al. Vehicle pass-by noise sources identification based on transfer path analysis. *Inter-noise 2008 Congress*, Shanghai, 2008;08—0234
- 84 郝 鹏,郑四发,连小珉. 运动噪声源的时域传递路径模型及贡献率分析. *机械工程学报*, 2012;48 (8): 104—109
- Hao Peng, Zheng Sifa, Lian Xiaomin. Time-domain transfer path modal and contribution analysis of moving noise souces. *Journal of Mechanical Engineering*, 2012;48(8): 104—109
- 85 郝 鹏. 行驶车辆主要噪声源的车外声场识别. 北京:清华大学,2012
- Hao Peng. Identification of the main noise sources sound field of moving vehicle. *Beijing:Tsinghua University*, 2012

Review of Automobile Noise Regulations and Pass-by Noise Simulation Methods

ZUO Yan-yan, TANG Ming-liang, NI Ming-ming

(Institute of Noise and Vibration, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, P. R. China)

[Abstract] Comparing with the existing test methods and limits on vehicle exterior noise in China and abroad, the latest progress in pass-by noise measurement in foreign countries was exhibited, and the direction of improvements to be achieved in China was presented. To provide a reference for identification of main noise sources of automobile in an efficient and accurate way, common analysis methods adopted for discrimination on a moving vehicle were discussed. To supply a comprehensive frame for more profound and focused model in exterior noise prediction, numerical simulation methods applied in different moving conditions are systemized.

[Key words] automobile pass-by noise standard limits numerical simulation