

变节距花纹轮胎噪声特性研究

刘海潮, 葛剑敏

(同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要: 采用主流的室内实验室转鼓方法对变节距花纹轮胎噪声进行了测试。对具有复杂花纹的乘用车轮胎和载重轮胎的噪声频谱特性进行对比分析。对于乘用车轮胎, 轮胎花纹噪声随着速度的增加呈现一个偏于线性的增长趋势; 对于载重轮胎, 轮胎花纹噪声反而没有明显的增长趋势, 曲线较为平缓; 不同品牌乘用车轮胎与不同品牌载重轮胎在标准速度下的 1/3 倍频程频谱曲线变化趋势有较大差异; 与手工刻制的等节距轮胎噪声相比, 成品轮胎所采用的变节距花纹结构设计有效地降低了各频段噪声峰值; 对于变节距花纹成品轮胎, 波浪形态横沟设计优于锐角形态, 更优于正交形态; 连通组花纹结构优于半连通组, 更优于不连通组。文章为低噪声轮胎花纹结构优化提供了有意义的参考结论。

关键词: 变节距; 轮胎花纹分类; 实验室转鼓法; 低噪声

中图分类号: TQ336.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-06-0540-05

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.06.014

Noise features of tires with variable pitch tread

LIU Hai-chao, GE Jian-min

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The noise of tires with variable pitch tread is tested by the unique indoor laboratory drum method. The spectral characteristics of the noise for passenger car tires and truck tires with complex patterns are analyzed. For passenger tires, tire tread noise presents a somewhat linear growth trend as the speed increases. For truck tires, tire tread noise has no clear growth trend but more like a gentle curve. The presented spectrum curve trends of 1/3 octave band are very different between the two kinds of tires in standard speed. Compared to the equal pitch designing, the finished tire using variable pitch tread reduces the noise peak of SPL(A) in each band. In these finished tires with variable pitch tread, the wavelike cross groove design is better than that of the lateral grooves with an acute angle, and the orthogonal formation is the worst in noise; The connected structure between lateral and longitudinal grooves is better than the half connected one, and the disconnected one is worst. This paper provides some meaningful conclusions for the design of the low-noise tread structure.

Key words: variable pitch; tread classification; laboratory drum method; low-noise

0 引言

轮胎噪声理论研究的起步较晚, 从上世纪 70 年代初人们才逐渐重视对轮胎噪声发声机理的研究, 国内也是从上世纪 80 年代陆续开始了对轮胎噪声的研究。R. E. Hayden 首先认识到空气泵吸 (Air Pumping) 机理并得到花纹沟声压级的半经验公式^[1]。后来 Lawrence 等研究得出气柱共鸣噪声与气泵噪声是横向花纹沟槽噪声的两大机理^[2]。轮胎噪声的产生机理极其复杂, 既与轮胎本身的刚度^[3]、轮胎花纹的结构有关, 又与路面状况、车辆行驶速度有关^[4]。近年来, 人们对于噪声污染的问题愈发

重视, 各个国家轮胎标签法中对轮胎噪声的要求越来越严格, 轮胎/道路噪声^[5]的研究势在必行^[6]。本文通过对市场上主流的具有变节距^[7]花纹轮胎进行大量实验, 并结合理论分析对比现有国内外成品轮胎的噪声频谱特性, 为以后的低噪声轮胎花纹结构优化设计提供了重要的参考意见。

1 轮胎噪声的实验室转鼓法测量

1.1 试验条件及方法

实验室转鼓法^[8]是现在轮胎测试的唯一室内测试方法, 转股设备带动轮胎以不同的速度转动, 根据不同的需要利用液压系统施加不同的载荷, 以鼓面模拟路面。传声器根据需求放置在相应的位置来采集轮胎噪声数据。试验地点为上海同济大学轮胎转鼓实验室; 试验轮胎为规格是 205/55R16、

收稿日期: 2015-05-28; 修回日期: 2015-08-29

作者简介: 刘海潮(1990—), 男, 山东人, 硕士研究生, 研究方向为噪声与振动控制。

通讯作者: 刘海潮, E-mail: haichao1199009@126.com

385/65R22.5 子午线复杂花纹结构合格成品轮胎, 测试采用轮胎噪声实验室转鼓试验方法中的标准载荷与标准胎压。数据采集使用丹麦 B&K 公司的 Pulse 数据采集前端。试验中采集记录 1/3 倍频程的 A 声级, 并对某些具体速度区间中的轮胎噪声总的 A 声级进行详细的对比分析^[9]。

1.2 轮胎噪声试验方案

在轮胎花纹噪声转鼓试验中, 国外转鼓材质各不相同, 考虑到新近起草的关于轮胎噪声转鼓法测量国家标准的要求, 国内转鼓均为钢质表面, 主要布置一个标准远场测点。标准远场测点布置在轮胎外侧面距离轮胎中心面 1.5 m、刚性反射面(地面)1.5 m、轮胎转动方向前方 0.25 m 处, 布点布置示意图如图 1 所示。

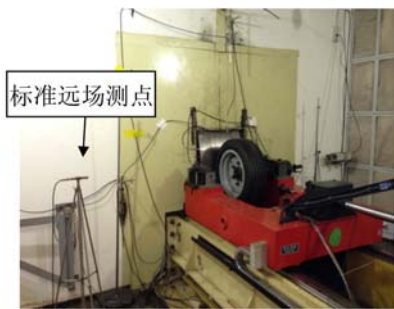


图 1 转鼓实验室设备及测点布置示意图

Fig.1 Equipment in drum laboratory and measuring points setting

2 轮胎噪声声学机理

轮胎噪声的机理包括两个方面, 一是与轮胎花纹相关的, 包括空气泵吸机理、沟槽内的气柱共鸣声以及空气紊流噪声。二是振动辐射噪声, 包括轮胎结构振动噪声、路面不平振动噪声、不均匀性振动噪声、局部自激振动噪声等。轮胎空腔共鸣音^[10]对车内噪声^[11]的影响已经有国外相关人员进行了研究。本文利用实验室转鼓法则可以有效测出与轮胎花纹相关的噪声部分。

2.1 泵浦噪声

泵浦噪声原理示意图如图 2 所示。

由 R. E. Hayden 提出单极子声源花纹沟的声压级半经验公式为^[1]

$$SPL(r) = 68.5 + 20 \log \left(\frac{gw}{s} \right) + 10 \log n + 20 \log (f_c) + 40 \log v - 20 \log r$$

式中: $SPL(r)$ 为声源至观测点的声压; g 、 w 、 s 、 n 分别为胎面沟槽的深度、长度、宽度和沟数; f_c 为由变形引起的沟槽体积的变化; v 为轮胎的滚动速度。

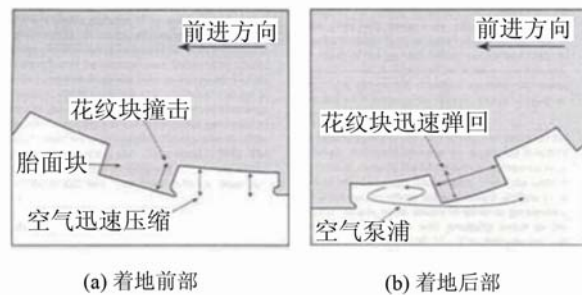


图 2 空气泵浦噪声原理示意图

Fig.2 Sketch map of air pumping noise

2.2 亥姆霍兹共鸣器噪声

两端封闭的轮胎横向沟在接地区被完全封闭, 袋状沟中空气被过分挤压, 当接地后缘处被打开时, 原来接地区被压缩的空气从花纹沟与路面形成的喷口处喷出, 形成赫姆霍兹共鸣器, 其谐振频率为

$$f = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S_0}{VL}}$$

式中: c_0 为声速; S_0 为喷口的面积; V 为空腔容积; L 为腔口的近似长度。

2.3 空气柱共鸣噪声

横向沟槽与路面接触时形成不同的两端开放情况。由物理学基本理论得知: 如果管子一端开口而另一端封闭, 其共振频率 f_n 为

$$f_n = \frac{(2n-1)c}{4m}$$

如果两端开放, 共振频率为

$$f_n = \frac{nc}{2m}$$

式中: c 为声速; m 为管长; $n=1, 2, 3, 4, 5$ 。

如果花纹按照一个特定不变的顺序排列即等节距, 随着速度的变化, 当花纹间距频率及花纹沟固有频率等频率吻合时, 气柱共鸣噪声就会被极大的强化, 而变节距花纹设计则可有效改善这类情况。

3 变节距花纹轮胎在标准测试条件下的 1/3 倍频程 A 声级对比分析

成品轮胎花纹属于复杂变节距轮胎花纹。不同品牌的成品轮胎具有不同的横向沟槽几何尺寸、花纹块参数和节距等。通过对比研究标准条件下的 1/3 倍频程噪声频谱曲线, 结合声学理论对结果进行分析, 可得出低噪声花纹结构优化设计的基本原则。

3.1 不同花纹形态轮胎噪声 1/3 倍频程频谱特性

本文对国内市场上主流的 11 款规格为 205/55R16 成品轮胎进行变速下的噪声测试, 并且根据

轮胎花纹横向沟槽与轮胎纵沟的相对位置关系将轮胎划分为正交组、锐角组和波浪组；同时也根据轮胎花纹横向沟槽与轮胎纵沟的相对位置关系分为连通、半连通与不连通三种类型。

图 3 给出的是三条特定的轮胎 80 km/h 时 1/3 倍频程频谱曲线,而在图 4 中则运用统计平均的方法得出每种形态的轮胎噪声 1/3 倍频程频谱曲线。图 4 所选为分属于正交组、锐角组、波浪组花纹形态的三种规格均为 205/55R16 的成品乘用车轮胎,在速度工况为 80 km/h 时,三种轮胎声能均集中在几个特定的频带,且均在 800~1250 Hz 频段内出现峰值。虽然图 4 中并未排除每个轮胎特定花纹结构参数差异所带来的轮胎噪声的差异性,但是对低噪声花纹结构设计仍然具有较好的参考意义。正交组轮胎噪声 1/3 倍频程曲线峰值明显高于其他两种形态。波浪形态轮胎无论是在总的 A 声级还是噪声频谱的均匀性上均优于其他两种类型。

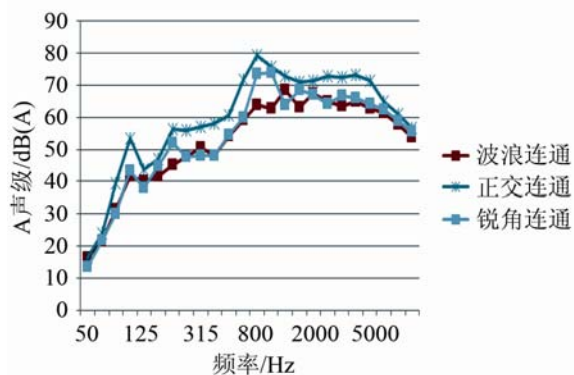


图 3 规格为 205/55R16 的三种不同花纹形态轮胎 80 km/h 时 1/3 倍频程频谱曲线

Fig.3 One third oct spectrum curves for three 205/55R16 tires of different tread patterns at 80 km/h

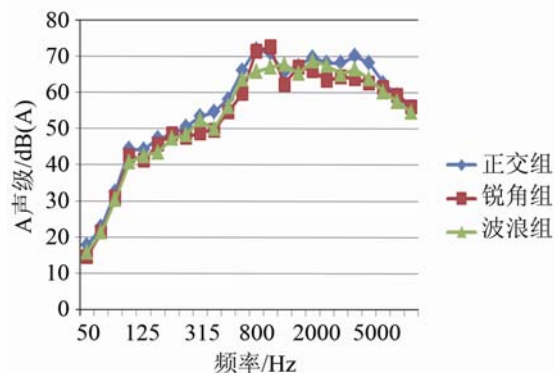


图 4 规格为 205/55R16 的三类不同花纹形态轮胎 80 km/h 时统计平均 1/3 倍频程频谱曲线

Fig.4 Statistical average 1/3 oct spectrum curves for three 205/55R16 tires with different tread patterns at 80 km/h

3.2 变节距花纹不同种类成品轮胎 1/3 倍频程频谱噪声特性

图 5 为成品乘用车轮胎 1/3 倍频程噪声频谱曲线,

而图 6 则为成品载重轮胎 1/3 倍频程噪声频谱曲线,对于乘用车轮胎而言,不同品牌轮胎之间噪声频段峰值虽然各有差异,但是频谱曲线特征相似,而载重轮胎在噪声频段峰值和频谱特性上均有较大差异。

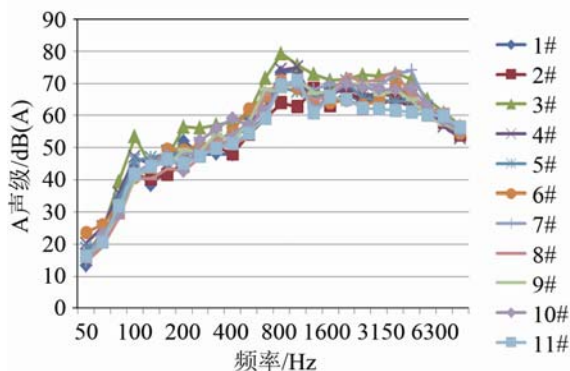


图 5 规格为 205/55R16 的不同品牌轮胎 80 km/h 时 1/3 倍频程频谱曲线

Fig.5 One third oct spectrum curves for 205/55R16 tires of different brands at 80 km/h

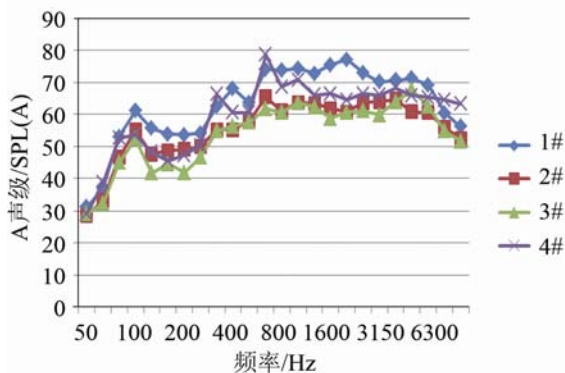


图 6 规格为 385/65R22.5 的不同品牌轮胎 70 km/h 时 1/3 倍频程频谱曲线

Fig.6 One third oct spectrum curves for 385/65R22.5 tires of different brands at 70 km/h

4 变节距花纹成品轮胎速度变化下的 A 声级对比

4.1 速度变化下不同花纹形态轮胎的 A 声级

图 7、8 为速度变化下,不同花纹形态轮胎的声级。图 7 不难看出,成品乘用车轮胎在连通、半连通与不连通三种不同的花纹设计中,噪声有着明显的差异,连通组的噪声最小,其次是半连通组,最后是不连通组。分析这三种不同组别轮胎的噪声,当轮胎与路面接触时不连通组轮胎的横向沟槽与路面形成相对比较封闭的带有一端很小的开口的管子,极易形成类似于亥姆霍兹共振器的结构,泵浦效应比较突出。而对于连通组与半连通组的轮胎,由于轮胎横向沟槽两端是开放的,泵浦效应相对弱一些。

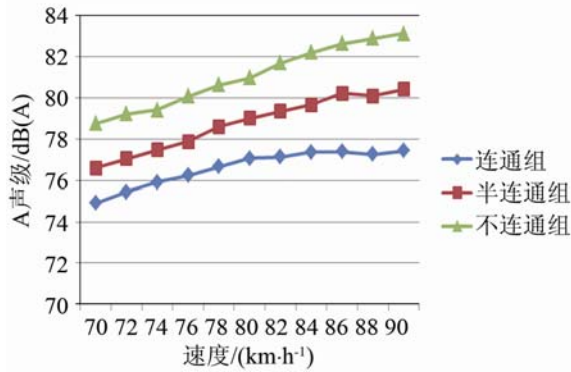


图 7 花纹横沟与纵沟不同连通情况下随速度变化的 A 声级曲线
Fig.7 The SPL(A) variation curves of tires under different connections between cross and longitudinal grooves at different speeds

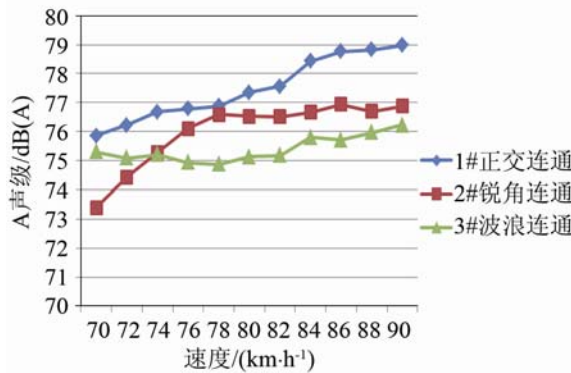


图 8 花纹横沟不同形态下随速度变化的 A 声级曲线
Fig.8 The SPL(A) variation curves of tires with different cross groove patterns at different speeds

为了使轮胎噪声具有良好的可比性，图 8 中的轮胎均选择对称花纹结构，且花纹横沟与纵沟均连通的规格同为 205/55R16 的成品乘用车轮胎。通过图 8 中曲线可以直观地得出波浪形态花纹噪声优于锐角形态，正交形态花纹噪声最高。而目前市场上正交形态花纹的轮胎占有很大比例，低噪声轮胎有很大的发展空间。

4.2 速度变化下不同节距状态轮胎噪声的 A 声级

对光面胎而言，轮胎噪声 A 声级随着速度的增加呈现出比较明显的线性增大趋势。经过线性拟合，得出光面胎噪声 A 声级随速度变化的拟合公式为

$$L_{pA} = 0.16v + 46.54 \quad (1)$$

通过计算可以得到其相关指数 $R^2 = 0.9933$ ，充分说明其线性相关性非常好，如图 9 所示。

图 10 所示为自刻等节距花纹轮胎，属于正交连通组。经过线性拟合，得出自刻花纹轮胎噪声 A 声级随速度变化的拟合公式为

$$L_{pA} = 0.333v + 59.22 \quad (2)$$

通过计算可以得到其相关指数 $R^2 = 0.9124$ ，充分说明其线性相关性也非常好(见图 11)，仅次于光

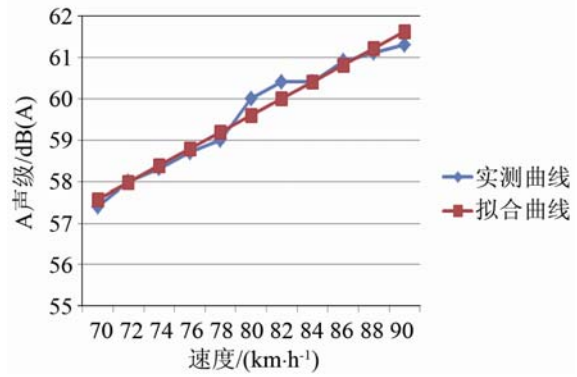


图 9 规格为 205/55R16 的光面轮胎在不同速度下 A 声级的变化曲线
Fig.9 The SPL(A) variation curves of 205/55R16 smooth tires at different speeds



图 10 等节距花纹轮胎
Fig.10 Equal pitch tires

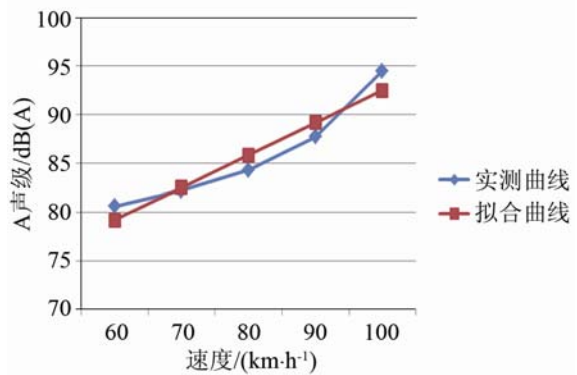


图 11 规格为 205/55R16 的自刻等节距花纹轮胎在不同速度下 A 声级的变化曲线
Fig.11 The SPL(A) variation curves of 205/55R16 equal pitch tires at different speeds

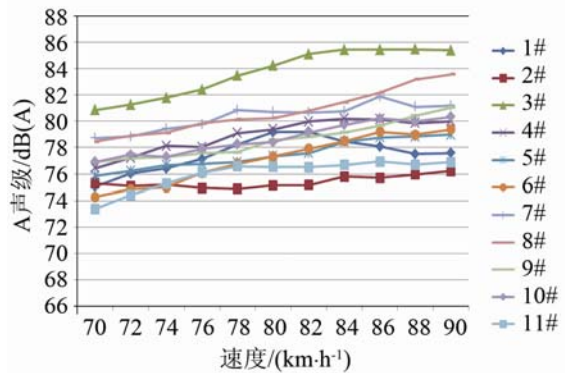


图 12 规格为 205/55R16 的不同品牌轮胎在不同速度下 A 声级的变化曲线
Fig.12 The SPL(A) variation curves of different 205/55R16 tires at different speeds

面胎。而对于成品轮胎而言, 轮胎噪声 A 声级随着速度的变化则呈现出复杂的变化趋势(见图 12)。

对于规格为 385/65R22.5 的载重轮胎胎面花纹主要均为纵向沟槽, 仅仅刻有少量的横向刻痕无明显横向沟槽。该种载重轮胎噪声产生机理明显不同于乘用车胎, 载重轮胎噪声主要是由轮胎振动噪声和花纹块撞击噪声组成。仅对 385/65R22.5 的轮胎而言, 轮胎噪声随速度变化不明显(见图 13)。

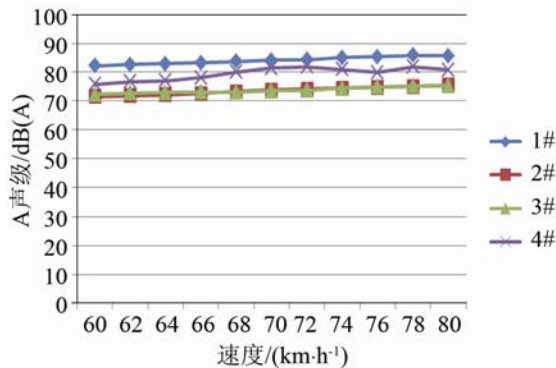


图 13 规格为 385/65R22.5 的不同品牌轮胎不同速度下 A 声级的变化曲线

Fig.13 The SPL(A) variation curves of different 385/ 65R22.5 tires at different speeds

5 结 论

本文着重从实验数据入手对于不同花纹形态, 不同类别的复杂变节距花纹轮胎噪声进行对比分析, 得出一些对低噪声轮胎花纹结构设计具有重要参考意义的结论: (1) 在轮胎花纹结构设计上, 某些国产轮胎花纹噪声要优于国外知名品牌; (2) 对于乘用车胎, 轮胎花纹噪声随着速度的增加呈现一个偏于线性的增长趋势; 对于载重轮胎, 轮胎花纹噪声反而没有明显的增长趋势, 曲线较为平缓; (3) 不同品牌乘用车胎在标准速度 80 km/h 时, 1/3 倍频段各频段 A 声级大小各有不同, 但是频谱曲线变化趋势较为一致; 不同品牌载重轮胎在标准速度 70

km/h 时 1/3 倍频段各频段 A 声级大小与频谱曲线变化趋势均有较大差异; (4) 与手工刻制的等节距轮胎噪声相比, 成品轮胎所采用的变节距花纹结构设计有效地降低了各频段的噪声峰值。(5) 对于这些变节距花纹成品轮胎而言, 波浪形态横沟设计优于锐角形态, 更优于正交形态; 横向沟槽与纵向沟槽连通组优于半连通组, 更优于不连通组。

参 考 文 献

- [1] Hayden R E. Roadside noise from the interaction of a rolling tyre with the road surface[C]. J. Acoust. Soc. Am, 1971, **50**(1A): 113-113.
- [2] Lawrence J O, Artemis A. The noise of cross groove tire tread pattern elements[C]// SAE Technical Paper 850988, 1985, 884-908.
- [3] Ka-Yee Ho, Wing-Tat Hung, Chung-Fai Ng, et al. The effects of road surface and tyre deterioration on tyre/road noise emission[J]. Applied Acoustics, 2013, **74**(7): 921-925.
- [4] 俞悟周, 毛东兴, 王佐民. 轮胎/道路噪声及测量[J]. 声学技术, 2000, **19**(2): 90-94.
YU Wuzhou, MAO Dongxing, WANG Zuomin. Tire/road Noise and Its Measurement[J]. Technical Acoustics, 2000, **19**(2): 90-94.
- [5] Sandberg U, Ejsmont J A. Tyre/Road Noise Reference Book[M]. Informex, SE-59040, Kisa, Sweden, 2002.
- [6] 毛东兴, 洪宗辉. 环境噪声控制工程[M]. 北京: 高等教育出版社 2009.
MAO Dongxing, HONG Zonghui. Environment noise control engineering[M]. Beijing: High Education Press, 2009.
- [7] Yukio Nakajima. Theory on pitch noise and its application [J]. Journal of Vibration and Acoustics, 2003, **125**(3): 252-256.
- [8] Sandburg U, Jerzy A E. Development of three methods for measurement of tire/road noise emission: coast-By, trailer and laboratory drum noise[J]. Control Engineering Journal, 1986, **27**(3): 68-88.
- [9] 杜功焕, 朱哲民, 龚秀芬. 声学基础[M]. 南京: 南京大学出版社, 2001.
DU Gonghuan, ZHU Zhemin, GONG Xiufen. Basis of acoustics[M]. Nanjing: Press of Nanjing University Press, 2001.
- [10] Scavuzzo R W, Charek L T, Sandy P M, Shteinhaus G G. Influence of wheel resonance on tire acoustic cavity noise. Society of Automotive Engineers[C]// SAE 940533, Detroit, MI, 1994.
- [11] Sakata T, Morimura H, Idle H. Effects of tire cavity resonance on vehicle road noise[J]. Tire Science and Technology, 1992, **65**(2): 457-462.