

# 基于滑行法的乘用车轮胎通过噪声试验研究

郭瑞玲,施 鉴,苑 林,梁荣亮

(中国汽车技术研究中心,天津 300300)

**摘要:**为研究轿车轮胎噪声的影响因素,在同一辆试验车上换装不同品牌/规格的轮胎进行滑行噪声试验,测量不同车速、轮胎花纹、轮胎尺寸的轮胎滚动噪声,有针对性地对不同花纹/规格的轮胎进行比较分析。结果表明:轮胎噪声声压级不是受单方面参数影响产生变化的,不同尺寸和花纹的轮胎都具有独特的轮胎噪声特性,轮胎滚动噪声与车速成正比趋势增大,但某种特定情况下会出现噪声奇点;轮胎花纹对轮胎滚动噪声的影响比较复杂,不同类型的轮胎花纹对噪声影响的权重也不尽相同;轮胎断面宽度几乎与轮胎滚动噪声成正比,在保证花纹、材质相同的前提下,更宽的轮胎断面会引起更大的轮胎撞击噪声和发声机理更为复杂的轮胎花纹噪声。

**关键词:**乘用车轮胎;通过噪声;滑行法

**中图分类号:**TQ336.1;TB533<sup>+</sup>.2

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2019)01-0052-06

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2019.01.0052

随着绿色、环保概念逐渐深入人心,车辆噪声问题越来越受到大众和汽车厂商的重视,车辆噪声会对驾乘人员和外部环境中的人员造成严重影响,直接危害人们的身心健康<sup>[1-2]</sup>。发达国家自20世纪60年代起就对车辆的噪声污染问题高度关注<sup>[3]</sup>,投入了大量的科研力量,对车辆噪声的测试方法和减小噪声的途径进行了深入研究,同时制定出相应的法律法规,对行驶车辆的噪声声压级进行限制。我国近年来也开展了车辆噪声方面的试验研究,发布了多部与车辆噪声相关的法律法规,对车辆噪声的关注程度也逐年提高。

车辆行驶过程中的噪声主要有两个来源,一是车辆本身噪声,如发动机噪声、排气噪声等;二是车辆与接触物体之间的摩擦噪声,主要为轮胎摩擦噪声和风噪声<sup>[4]</sup>。近年来汽车自身噪声不断降低,汽车速度不断提高,轮胎与路面的摩擦噪声对通过噪声的贡献比例越来越大。对于乘用车而言,车速在 $60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以下时,发动机噪声占主导地位;车速在 $60\sim 100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,轮胎与路面之间的摩擦噪声成为贡献最大的声源<sup>[3]</sup>;车速超过 $100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,随着车速的提高,风噪声的影响越来越大。本研究将在 $60\sim 100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 速度区间内选择

适当的试验车速进行轮胎滚动噪声试验,分析试验数据,研究轮胎噪声的影响因素,并通过数据拟合建立车速、轮胎花纹、断面宽度等参数与噪声声压级之间的相关性,结合轮胎的结构特性分析轮胎噪声的变化规律与发生机理。

## 1 轮胎通过噪声试验

轮胎通过噪声试验方法大致分为两大类:一类是转鼓法,另一类是道路试验法<sup>[4-5]</sup>。姚忠杰<sup>[6]</sup>采用转鼓法通过在消音室转鼓上对轮胎附近及车内的噪声进行了测试,分析了不同型号轮胎的噪声等级。张辉等<sup>[7]</sup>对轮胎与道路之间噪声的产生机理进行了理论分析,为轮胎道路试验法提供了理论基础。道路试验法还可分为试验车法和拖车法,乘用车轮胎一般采用试验车法,即在同一辆试验车上换装不同轮胎,分别进行通过噪声试验。道路试验车法具有试验结果真实可靠、试验方法简便易行的优点,尤其适用于数据量大、对比性强的试验数据分析。

### 1.1 试验场地及试验方法

轿车车速在 $60\sim 100\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 速度范围内轮胎噪声贡献最大,在此速度区间测量出的轮胎噪声最具试验意义。参考ECER117,试验车速设定为 $70\sim 90\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (C1级轮胎)。试验场地选择交通部公路交通试验场噪声场地,场地符合ISO

**作者简介:**郭瑞玲(1987—),男,天津人,中国汽车技术研究中心工程师,硕士,主要从事轮胎性能测试研究。

**E-mail:**guoruiling@catarc.ac.cn

10844—2014《用于测量道路车辆及其轮胎发射噪声的试验车道技术规范》规定。场地情况如图1和2所示。

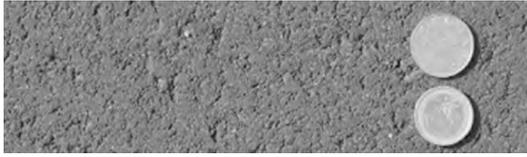


图1 噪声试验场地路面

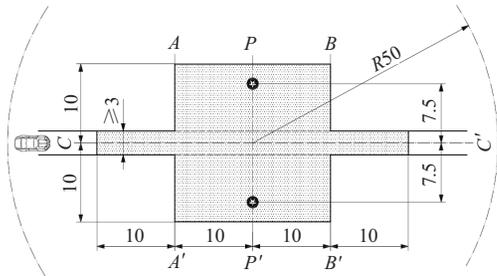


图2 轮胎通过噪声试验场地示意

乘用车轮胎通过噪声的具体试验方法如下<sup>[8]</sup>：

(1) 如图2所示,轮胎通过噪声试验场地符合ISO 10844—2014的规定,试验车辆状态和气象条件符合欧盟ECER117法规要求;

(2) 车辆在进入测试区前发动机熄火,空档滑行通过AA'线,控制车辆速度,保证车辆以指定的试验车速通过声压测试计所在的中心线(PP')处;

(3) 为了绘制车速-声压级曲线,需要进行8次试验,保证测试点在通过PP'线处的车速在70~90 km·h<sup>-1</sup>之间均匀分布,记录下左右侧最大A计权声压级;

(4) 绘制车速-声压级曲线,进行数据线性回归,计算出80 km·h<sup>-1</sup>时的轮胎通过噪声值,通过温度修正之后得最终试验结果。

### 1.2 试验样本

从市场采购国内外主流品牌共计31组条成品轮胎(见表1),按照轮胎品牌、花纹和尺寸分为若干样品组,分别进行噪声试验。

## 2 噪声数据处理方法

用于计算最终结果的参考速度( $v_r$ )是80 km·h<sup>-1</sup>,试验数据通过回归分析和温度校正计算

表1 试验轮胎参数

组号	规格	花纹	负荷指数	轮胎类别
标准轮胎				
1	225/60R16	Uniroyal	97	普通
品牌A				
2	175/70R14	Optima K715	94	普通
3	185/55R15	R29	82	M+S
4	205/55R16	WR200	91	雪地
5	205/65R15	R30	94	M+S
6	215/70R15	R29	98	M+S
7	215/70R16	SR1	100	M+S
8	225/50R17	R32	94	M+S
品牌B				
9	175/70R14	CNNT GLS	84	M+S
10	185/60R15	KR32	84	M+S
11	195/65R15	CNNT GLS	91	普通
12	205/55R16	SJHTT	91	M+S
13	225/45R17	TR967	91	普通
品牌C				
14	205/55R16	Winterlander	91	雪地
15	205/55R16	Winterlander-S	91	雪地
16	205/55R16	SW 608E	91	雪地
品牌D				
17	225/45R17	Ice-control	94	雪地
18	225/45R17	X-ice	94	雪地
19	225/45R17	Winter Craft	91	雪地
品牌E				
20	205/55R16	Efficientgrip	91	普通
21	215/60R16	Efficientgrip	99	普通
22	225/45R17	Eagle F1	94	普通
品牌F				
23	185/60R15	Giticomfort 228	84	普通
24	195/65R15	Conticonfortcontact	91	普通
25	205/55R16	Giticomfort 228	91	M+S
26	215/60R16	Giticomfort 228	95	M+S
27	225/45R17	Giticontrol 280	94	M+S
品牌G				
28	175/70R14	SP Touring T1	84	普通
29	185/60R15	Energy XM1	84	普通
30	195/65R15	Ecopia EP150	91	普通
31	215/60R16	Ecopia EP200	95	普通

得到 $v_r$ 的通过噪声值<sup>[9]</sup>。

### 2.1 回归分析

轮胎与路面之间的滚动噪声A计权声压级 $L_R$ [dB(A)]根据回归分析按照下式得到:

$$L_R = \bar{L} - a\bar{v}$$

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg\left(\frac{v_i}{v_r}\right)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(L_i - \bar{L})}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

式中  $L_i$ ——轮胎滚动噪声试验测量的A计权声压级, dB(A);

$\bar{L}$ —— $L_i$ 的平均值;

$n$ ——测量次数,  $n \geq 16$ ;

$v_i$ ——车辆纵向速度;

$\bar{v}$ —— $v_i$ 对数的平均值;

$a$ ——回归斜率, dB(A)。

## 2.2 温度校正

对于C1级轮胎, 最终结果将统一归一化到同一个路面参考温度 $\theta_r$ 下, 用下式进行校正:

$$L_R(\theta_r) = L_R(\theta) + K(\theta_r - \theta)$$

$$K = \begin{cases} 0.03 & \theta > \theta_r \\ 0.06 & \theta < \theta_r \end{cases}$$

式中  $\theta$ ——测试路面温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_r$ ——路面参考温度,  $20^{\circ}\text{C}$ ;

$K$ ——系数,  $\text{dB(A)} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

## 3 轮胎通过噪声试验数据分析

轮胎通过噪声的试验数据汇总见图3, 进行验证试验的轮胎总计31组, 均选取乘用车最常用的轮胎规格和花纹种类, 其中雪地+泥地轮胎11组, 普通轮胎13组, 雪地轮胎7组; 其断面宽度最小为175 mm, 最大为225 mm; 轮辋直径最小为355.6 mm(14英寸), 最大为431.8 mm(17英寸); 负荷指

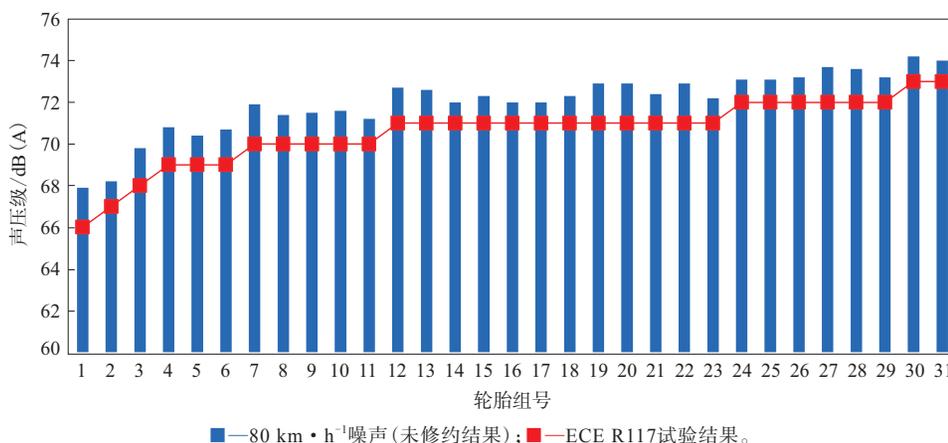


图3 轮胎噪声试验数据

数最小为82, 最大为100。

### 3.1 车速对轮胎滚动噪声的影响

轮胎滚动噪声与车速成正比增大<sup>[10]</sup>, 通过对试验轮胎进行大量道路试验, 发现这种正比关系是一种总体趋势, 很多轮胎在特定速度点会出现噪声奇点, 图4—7示出了不同规格和花纹的轮胎具有的独特声压级-滑行车速特性曲线。

从图4—7可以看出: 4种不同规格和花纹的子午线轮胎滚动噪声声压级随着车速的变化均呈现上升趋势, 品牌A轮胎声压级-车速关系曲线正比线性最好, 左右侧声压级随车速提高平稳上升, 且未出现车速升高声压级降低的现象; 其他3种轮胎, 包括标准轮胎在内都在多个速度点出现车速升高噪声声压级降低的现象。这种情况主要与轮

胎花纹的形式和轮胎的材质特性有关, 胎面花纹对轮胎噪声的产生和传播有着复杂的影响, 由于花纹槽的泵浦效应和空气柱的共鸣效应等因素在

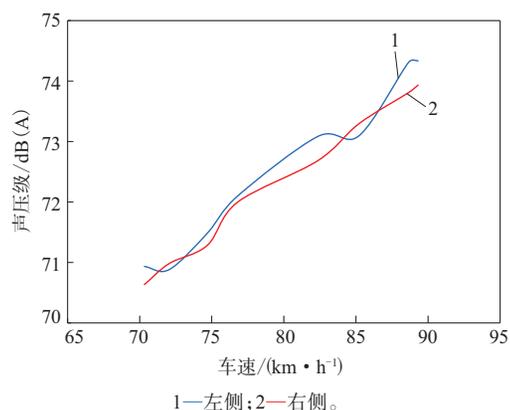


图4 品牌A 175/70R14轮胎声压级-车速关系曲线

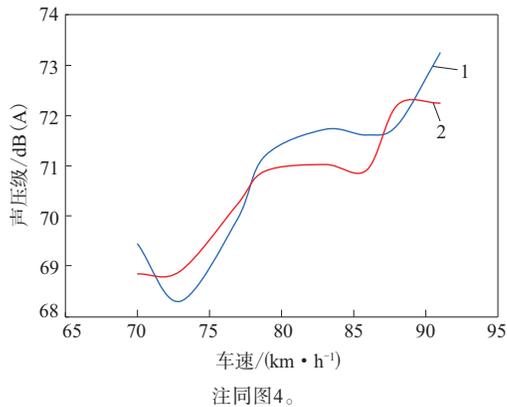


图5 品牌A 215/70R15轮胎声压级-车速关系曲线

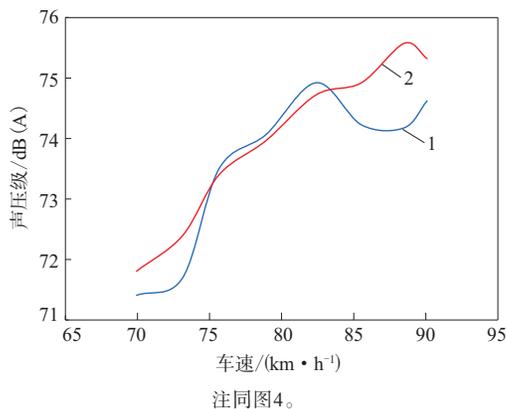


图6 225/60R16标准轮胎声压级-车速关系曲线

不同车速下的影响权重有所区别,因此不同规格和花纹的轮胎在某些较高车速会呈现出噪声降低的趋势,轮胎的速度-声压级变化规律与花纹块、花纹沟槽、花纹条的设计以及花纹节距排列、节距比例和错位的调整等密切相关<sup>[11]</sup>。

### 3.2 轮胎花纹对滚动噪声的影响

轮胎的花纹噪声可以归结为以下几种:花纹

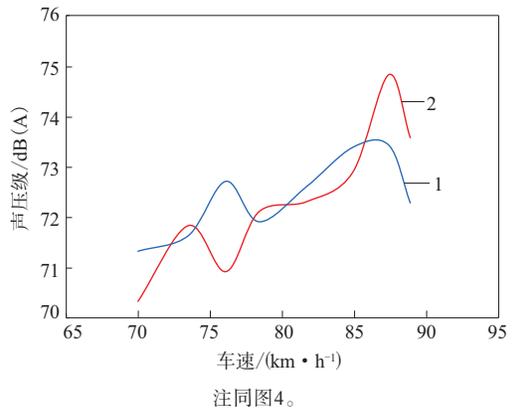


图7 品牌D 225/45R17轮胎声压级-车速关系曲线

块撞击地面产生的撞击噪声、花纹沟槽腔体中空气被挤压和膨胀产生的泵浦噪声、花纹横向沟槽空气柱共鸣噪声、轮胎表面与地面不规则空隙产生的随机噪声、道路不平和轮胎制造误差产生的轮胎振动噪声、轮胎滚动时切割空气产生的切割噪声、轮胎与地面的摩擦噪声以及车身对轮胎激振产生的低频噪声等<sup>[12]</sup>。所有这些噪声中,花纹块的撞击噪声、花纹沟的泵浦噪声、横沟槽的气柱共鸣噪声和轮胎弹性振动噪声是四大主要噪声源<sup>[13]</sup>。

以6款不同花纹的225/45R17轮胎为研究对象,其中包括2款普通子午线轮胎、3款雪地轮胎和1款雪地+泥地轮胎,2款普通轮胎为对称花纹,雪地及雪地+泥地轮胎为块状花纹,花纹块的排列如图8所示。

将6款花纹轮胎在不同车速下的滚动噪声声压级进行分析,结果如图9所示。

从图9可以看出,随着车速上升,轮胎滚动噪



图8 6款225/45R17轮胎花纹排布

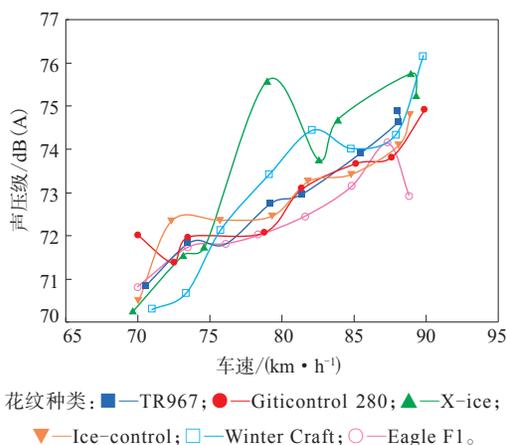


图9 225/45R17轮胎声压级-车速关系曲线

声声压级呈上升趋势,花纹TR967和GitiControl 280是子午线全天候轮胎,对称花纹,噪声声压级变化比较平稳,花纹TR967和GitiControl 280的空气柱共鸣噪声权重较大,这两种花纹都存在很明显的纵向花纹沟,轮胎与路面接触时,胎面花纹沟槽与路面之间构成了管状结构。管状结构内空气柱振动频率与沟槽固有频率相同,引起共振现象,由花纹引起的轮胎噪声会在这一特定频率出现奇点<sup>[14]</sup>。

花纹X-ice和Winter Craft是典型的独立岛式块状花纹,两侧花纹块排布不对称,花纹块上设计有波浪状细纹以增强抓着力,并布有储水孔,花纹X-ice轮胎在车速为79 km·h<sup>-1</sup>左右声压级变化发生突变,达到75.9 dB(A),花纹Winter Craft在车速82 km·h<sup>-1</sup>左右达到74.4 dB(A)。这种花纹轮胎的噪声主要来源是花纹块的撞击噪声和花纹槽的泵浦噪声。因为在轮胎滚动过程中,轮胎会分开前方空气,空气同时从轮胎后方被吸入,造成空气紊流,轮胎周围的声压发生改变,花纹沟槽不断被压缩、释放,沟槽内空气在前沿区被高速挤压、在后沿区不断膨胀,前后沿产生的压差形成空气涡流<sup>[15]</sup>。这种现象主要与花纹块的发声机理有关,分析花纹块的发声原理可以得到:

$$P_1(t) = g_b A_b \sin(\omega_b + \alpha) |B \sin \omega_s t|$$

$$g_b = \begin{cases} 1 & \sin(\omega_b + \alpha) \geq 0 \\ 0.3 \sim 0.5 & \sin(\omega_b + \alpha) < 0 \end{cases}$$

$$B = (1/9 \sim 1/5) A_b$$

式中, $P_1(t)$ 为花纹块产生的声压值, $t$ 为时间; $A_b = \alpha \sqrt{S}$ 为声压振幅,与花纹块面积 $S$ 的平方根成

正比; $\omega_b$ 是车速和块参数的函数; $\alpha$ 为相位角。

独立岛式块状花纹在车速上升过程中会出现噪声声压级奇点,大小与花纹块面积和分布、车速有关,在轮胎的降噪设计中应充分考虑此因素。

### 3.3 轮胎断面宽度对轮胎通过噪声的影响

为尽量保证单一变量对比原则,选取花纹相同、断面宽度不同的轮胎作为研究对象,分别对4组轮胎的试验数据进行分析,由于轮胎花纹形式、轮胎尺寸等参数的关联性,要对断面宽度与轮胎通过噪声的关系进行研究,必须保证轮胎断面宽度为单一连续变化的参数。轮胎声压级-断面宽度曲线如图10所示。

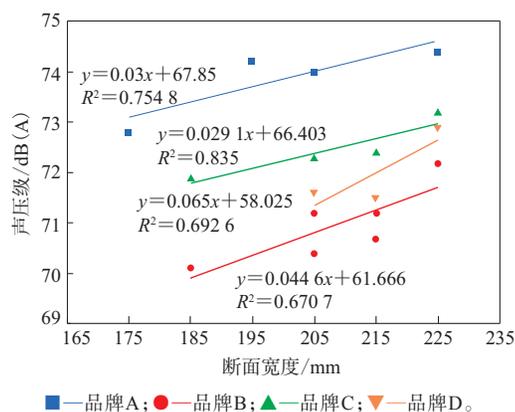


图10 轮胎声压级-断面宽度关系曲线

从图10可以看出,轮胎噪声与断面宽度几乎成比例增大,这与参考文献[16]中的论述基本一致。

## 4 结论

(1) 轮胎滚动噪声与车速成正比趋势增大,但很多轮胎在特定速度点会出现噪声奇点,不同规格和花纹的轮胎都具有独特的轮胎噪声特性。

(2) 轮胎花纹对轮胎滚动噪声的影响比较复杂,不同类型的轮胎花纹对噪声的影响权重也不尽相同,纵向花纹沟引起的空气柱共鸣噪声权重较大,独立岛式块状花纹的撞击噪声和花纹槽的泵浦噪声权重较大,同时轮胎花纹独特的特征会影响轮胎滚动噪声变化,出现奇点,在一定程度上影响轮胎的噪声水平。

(3) 轮胎断面宽度几乎与轮胎滚动噪声成正比,在保证花纹、材质相同的前提下,更宽的轮胎

断面会引起更大的轮胎撞击噪声和发声机理更为复杂的轮胎花纹噪声。

#### 参考文献:

- [1] 王琦, 翟辉辉, 周海超, 等. 带束层结构参数对轮胎振动噪声的影响分析[J]. 橡胶工业, 2018, 65(5): 490-494.
- [2] 王国林, 童鑫, 董自龙, 等. 子午线轮胎接地特性与胎冠温度场关系的研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63(5): 276-280.
- [3] 赵冬梅. ECER117法规对轮胎噪声和湿路面附着性能要求的分析[J]. 轮胎工业, 2009, 29(9): 522-528.
- [4] 陈理君, 周玲, 肖旺新, 等. 道路/轮胎噪声分析及其降噪路径[J]. 轮胎工业, 2009, 29(11): 654-658.
- [5] 许志超, 周福强, 危银涛, 等. 商用车轮胎通过噪声与温度、速度和花纹关系的实验研究[J]. 橡胶工业, 2017, 64(10): 655-659.
- [6] 姚忠杰. 道路与轮胎花纹噪声优化系统[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [7] 张辉, 邱彬. 加速行驶车外噪声试验研究及我国载客汽车噪声水平分析[J]. 汽车工程, 2007, 29(6): 515-519.
- [8] 谢东明, 邱彬, 许晟杰, 等. 轿车轮胎道路试验客观评价指标及方法概述[J]. 汽车工程, 2014, 36(3): 356-361.
- [9] 陈亚龙. C3轮胎通过噪声的室内外对比研究[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- [10] 危银涛, 冯希金, 郑小刚, 等. 乘用车子午线轮胎泵浦噪声机理的实验-数值混合分析方法[J]. 振动与冲击, 2015, 34(11): 166-172.
- [11] 谢东明, 邱彬, 刘建军, 等. ISO 362—1:2007在M1类车辆试验中的应用[J]. 汽车技术, 2009(11): 52-57.
- [12] 陈理君, 张艳, 杨立, 等. 低噪声轮胎花纹设计原理与方法[J]. 轮胎工业, 2001, 21(5): 270-276.
- [13] 邱彬, 谢东明, 张志波, 等. 轮胎径向尺寸对加速行驶车外噪声的影响[J]. 汽车工程师, 2012(9): 41-42, 58.
- [14] 陈理君, 林海军, 陈敏伟, 等. 轮胎花纹噪声的综合评判方法[J]. 轮胎工业, 2000, 20(2): 140-144.
- [15] 于淼, 周洁. 花纹沟设计对轮胎花纹噪声的影响[J]. 轮胎工业, 2012, 32(4): 206-210.
- [16] 杨永宝, 危银涛, 王昊, 等. 轮胎噪声和滚动阻力标签数据的综述及分析[J]. 轮胎工业, 2014, 34(11): 707-715.

收稿日期: 2018-07-24

## Pass-by Noise Test of Passenger Car Tire Based on Sliding Method

GUO Ruiling, SHI Jian, YUAN Lin, LIANG Rongliang

(China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** In order to study the influencing factors of passenger car tire noise, the sliding noise test was carried out on the tires with different brands and specifications using the same testing vehicle, and the rolling noise of tires with different speeds, tread patterns and tire sizes was measured and compared. The results showed that tire noise level was determined by the joint action of multiple parameters, and the tires with different sizes and patterns had unique tire noise characteristics. Tire rolling noise increased in direct proportion to vehicle speed, but singularities appeared under certain conditions. Tire patterns had complex effects on tire rolling noise. Different types of tread patterns had different weights on the influence. The rolling noise of the tire was almost proportional to the width of the tread section. With the same tread pattern and material, wider tread section would cause greater impact noise and more complex mechanism of tread pattern noise.

**Key words:** passenger car tire; pass-by noise; sliding method

### 一种快速实现轮胎花纹节距 噪声预测的方法

中图分类号: TQ336.1 文献标志码: D

由哈尔滨工大泰铭科技有限公司申请的专利(公开号 CN 108614935A, 公开日期 2018-10-02)“一种快速实现轮胎花纹节距噪声预测的方法”, 涉及一种可快速实现轮胎花纹节距噪声预测

的方法, 通过设置轮胎基本参数, 确定花纹节距排列顺序, 提取激励, 生成激励分布图, 对提取出来的激励作傅里叶转换, 对傅里叶转换结果生成花纹节距噪声频谱图。本发明在满足轮胎花纹设计要求的基础上, 可以快速实现在花纹节距噪声相对较低的情况下完成轮胎花纹节距排列。

(本刊编辑部 马 晓)