

低噪声轮胎设计方法与应用

葛剑敏¹, 范俊岩², 王胜发², 隆有明²

[1. 同济大学 声学研究所, 上海 200092; 2. 上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 轮胎研究所, 上海 200092]

摘要:研究轮胎噪声的测试和评价方法, 分析轮胎噪声的影响因素。结果表明, 横向沟槽形状对轮胎噪声影响很大, 90°横向沟槽的轮胎噪声最大; 随着轮胎沟槽深度的增大和沟槽数目的增加, 轮胎噪声增大; 横向封闭沟槽轮胎噪声高于同样形状大小开放沟槽轮胎噪声; 对于有方向性要求的花纹, 沟槽方向对轮胎噪声的声压级和频谱曲线有较大影响; 改变轮胎的高阶振动模态特性, 可以降低轮胎的噪声。Zwicker 响度与主观评价有较高的一致性, 可以作为轮胎噪声客观评价指标。

关键词: 轮胎; 噪声; 影响因素; 测试方法; 评价指标

中图分类号: TQ336.1; U491.9+1

文献标识码: B

文章编号: 1006-8171(2006)02-0079-06

随着城市交通噪声污染日趋严重, 降低汽车行驶噪声成为改善环境的主要途径之一。当汽车行驶速度超过 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 轮胎噪声就成为行驶车辆噪声的主要成分。当发动机噪声略有下降时, 轮胎噪声成为主要噪声源^[1,2]。

本工作分析轮胎花纹噪声的产生机理, 研究轮胎噪声的测试和评价方法, 讨论轮胎的负荷和速度以及轮胎模态、花纹变形量、接地压力等与轮胎噪声的关系。

1 轮胎噪声产生机理

轮胎与路面相互作用的噪声是车辆主要噪声源之一, 根据试验结果分析, 轮胎与路面噪声主要有以下几种。

(1) 胎面花纹噪声。由于轮胎转动, 在接地时胎面花纹沟部的容积减小, 沟内包含的空气被挤出; 而当胎面离地时沟部的容积恢复, 空气又流入沟内。这样流出、流入所产生的噪声通常称为沟槽空气泵噪声。此外, 胎面花纹接地时还产生连续打击路面的噪声。由于轮胎花纹的种类较多, 因此轮胎花纹噪声的大小和频率特性的差异较大。试验表明, 胎面花纹噪声的频率大约在 $800 \sim 5\,000 \text{ Hz}$ 较宽范围内变化。

(2) 弹性振动噪声。轮胎的弹性振动噪声包

括胎面和胎侧的振动噪声、胎面打击路面发生的振动噪声以及胎面相对于路面滑动所发生的强制振动噪声等。此外, 道路表面的凹凸不平 and 轮胎的均匀性不良等也会引起胎面和胎侧的弹性振动噪声。

(3) 空气乱流噪声。由于轮胎滚动, 在轮胎周围产生空气乱流, 引起声压变化而诱发噪声。如果观察整个轮胎在行进过程中断开空气流的情况会发现, 在轮胎行进方向空气被分开, 而在后方空气被吸入。

图1所示为光面轮胎和有花纹轮胎的噪声曲线。试验条件: 轮胎型号 P215/70R15, 气压 250 kPa , 速度 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 负荷 700 kg 。根据图1, 光面轮胎的 A 声压级 (L_A) 的计算结果为 65.8 dB , 响度为 22.9 sone ; 有花纹轮胎的 L_A

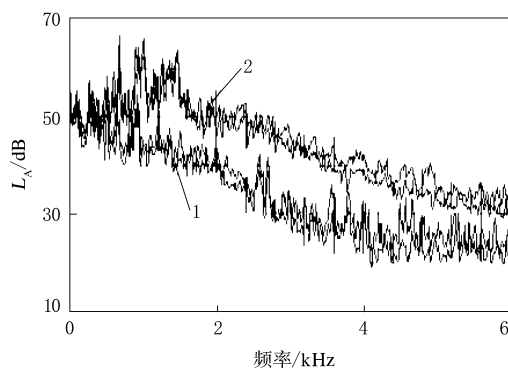


图1 轮胎胎面花纹与噪声的关系

1—光面轮胎; 2—有花纹轮胎。

计算结果为 75.7 dB, 响度为 37.1 sone。对于光面轮胎, 随机沙声是它们的“花纹”噪声; 对于有花纹轮胎, 花纹块打击地面的撞击噪声、沟槽腔体中空气被挤压和膨胀而产生的“泵浦效应”噪声、横沟槽内气柱共鸣的噪声相叠加, 因此有花纹轮胎噪声明显高于光面轮胎噪声。由此说明, 轮胎花纹对轮胎噪声的影响很大。

2 轮胎噪声测试方法和条件

轮胎噪声测试方法主要包括试验车惯性滑行法、拖车法、拖车惯性滑行法、通过噪声测试法和室内转鼓法^[3,4]。室内转鼓法是在消声室内试验转鼓上测试轮胎噪声, 如图 2 所示。该方法的主要优点是受环境条件的影响较小, 测试结果的重复性和可比性较好, 适于轮胎噪声机理的研究。其缺点是设备昂贵, 所测近声场与实际远声场噪声有差异, 轮胎转鼓的曲率使其噪声与实际平路面有所不同。

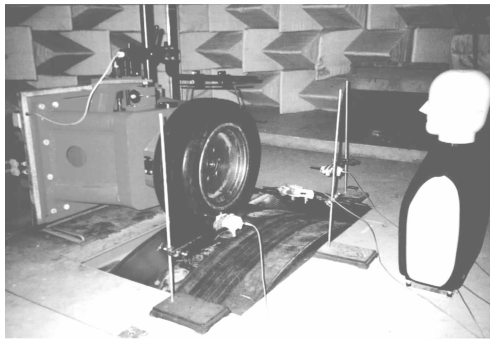


图 2 轮胎主客观噪声测试现场

为了优化胎面花纹设计, 节约模具费用, 将优选出的花纹方案刻在同规格的光面轮胎上, 进行刻花轮胎的噪声测试, 经过主观评价优选出最佳的花纹方案, 最后进行模具设计和实际投产。

试验在上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司新建的室内转鼓上完成。转鼓直径为 3 m, 用传声器测试轮胎的声场, 进行原理性试验研究, 用人工头测试轮胎的噪声, 进行轮胎的主观评价与分析。主要试验仪器包括 B&K 公司的 4165 传声器、人工头、B&K 2825 数据采集及分析仪和 TEAC XR-20C 磁带记录仪等。

为研究轮胎的模式参数与结构参数的关系, 将轮胎的模式分析与结构设计结合起来, 选择不

同结构参数的轮胎, 在不同的气压和激振方式下进行试验。考虑到温度对轮胎特性的影响, 所有试验均在室内 25 °C 左右的温度下进行。当用手锤敲击或激振器随机激振时, 测得轮胎不同方向的固有频率特性曲线; 当用激振器在某一固有频率下以正弦信号激振时, 测得轮胎不同方向的模态振型。

测试轮胎是经过均衡试验、动平衡试验、X 光及外观检查后的合格品。按照国家标准, 轮胎在测试前进行 24 h 充气停放, 使轮胎在测试时处于稳态, 以提高试验结果的稳定性和重复性。轮胎的负荷和充气压力按标准和试验要求确定, 试验速度选择 40, 60 和 80 km · h⁻¹。

3 轮胎噪声的影响因素分析

3.1 轮胎接地区域及沟槽形状

根据汽车前进方向, 轮胎接地区域可划分为前区、中区和后区。前区轮胎花纹触地时, 花纹块拍打地面产生撞击噪声, 花纹沟被挤压产生类似喷射脉冲的噪声, 因其声阻大, 辐射频率高, 声强度较大, 是轮胎噪声能量的主要分量。在轮胎接地中区, 由于接地区域内沟槽形成管状体, 特别是该管状体开口在轮胎接地区域外侧, 只要有声激发或强气流吹过, 就产生气柱共鸣声, 从而辐射噪声。在轮胎接地后区, 轮胎花纹快速离开路面, 无撞击和挤压, 只有花纹沟槽和胎面与路面间空隙快速膨胀恢复, 空气被吸入空腔, 形成“扑”声, 因此声阻小, 辐射频率低, 是轮胎噪声的次要分量。胎面花纹接地处摩擦力和粘滞作用下产生切向变形, 当后沿胎面单元突然失去接触时产生的切向高频振动也辐射出噪声。

图 3 所示为不同花纹形状轮胎在前、中和后区的噪声。由图 3 可以看出, 不同位置轮胎噪声大小各不相同。轮胎花纹噪声从小到大排列顺序为: 光面轮胎、斜槽花纹轮胎、V 形花纹轮胎和横向花纹轮胎。对于光面轮胎, 随机沙声是主要噪声源, 轮胎后区的噪声最高, 中区的噪声最低; 对于 V 形花纹和横向花纹轮胎, 由于气柱共鸣和泵浦效应是主要噪声源, 轮胎中区的噪声最高, 后区的噪声最低; 对于斜槽花纹轮胎, 由于泵浦效应是主要噪声源, 气柱共鸣效应稍低, 因此轮胎前区的

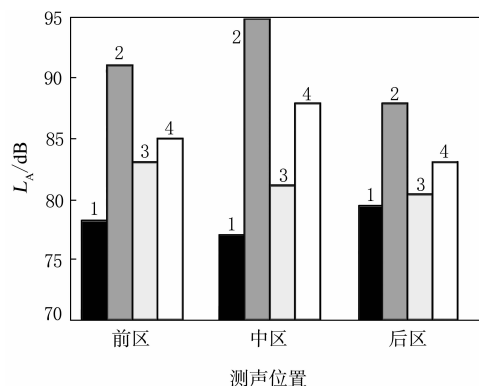


图3 轮胎花纹形状对轮胎噪声的影响

1—光面;2—横向花纹;3—斜槽花纹;4—V形花纹。

噪声最高,后区的噪声最低。

3.2 单沟槽深度

图4所示为轮胎横向单沟槽深度对轮胎噪声的影响。轮胎型号为195/60R14,横向沟槽,速度为 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,气压为250 kPa,负荷为530 kg。由图4可以看出,随着轮胎沟槽深度的增大,轮胎花纹噪声急剧增加。变化最大的是轮胎接地中区,前区次之,后区最小。这主要是由于泵浦噪声和空气柱共鸣引起的。

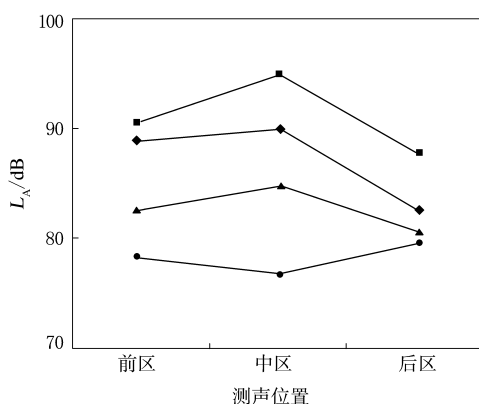


图4 单沟槽深度对轮胎噪声的影响

单沟槽深度(mm):●—0;▲—4;◆—8;■—12。

3.3 横向沟槽数量

图5所示为横向单沟槽与双沟槽轮胎噪声曲线。由图5可以看出,随着沟槽数目的增加,轮胎噪声在原有噪声频谱峰值对应的频率上进行叠加,总体噪声增大。当横向沟槽增大1倍时,轮胎噪声也相应增大,低频部分峰值变化不大,高频部分峰值对应的频率变化较大,如图6所示。

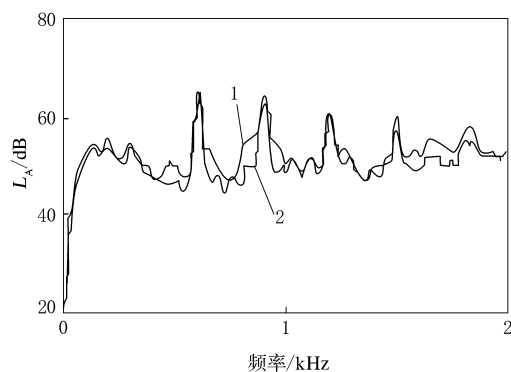


图5 横向单沟槽与双沟槽轮胎噪声曲线

1—双沟槽;2—单沟槽。

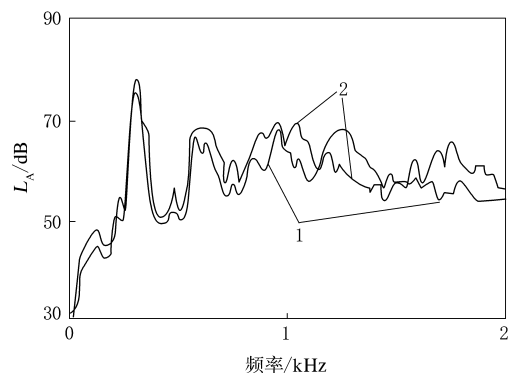


图6 横向沟槽增大1倍对轮胎噪声的影响

1—小沟槽;2—大沟槽。

3.4 横向封闭式沟槽与开放式沟槽

图7所示为横向封闭式沟槽与开放式沟槽噪声曲线。横向沟槽情况下,花纹沟与路面接触时形成的结构类似于管子。管内空气柱振动发声的频率取决于管长和端口的开放情况。当花纹沟的谐振频率与其它花纹噪声一致、空气流急速吹过槽口时,会产生气柱管的共鸣,导致轮胎噪声在此

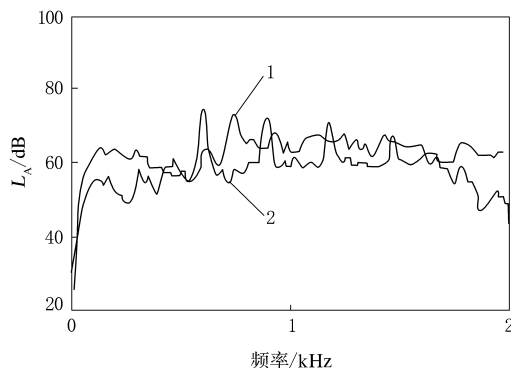


图7 横向封闭式沟槽与开放式沟槽噪声曲线

1—封闭式沟槽;2—单边开放式沟槽。

频率出现峰值。由图7可以看出,花纹沟端部开放使其沟槽的气柱共鸣减弱,且出现明显的共振谐波;封闭式沟槽的气柱共鸣和泵浦效应都较大,使得横向封闭式沟槽噪声大于开放式沟槽。因此,设计花纹沟时,可通过开放花纹沟的两端和合理选择花纹沟的长度及间距来降低轮胎噪声。

3.5 沟槽方向

图8所示为沟槽方向对轮胎噪声的影响。由图8可以看出,对于有方向性的V形花纹轮胎,调换方向后轮胎的噪声有很大变化。因此,在使用有方向性的轮胎时,应注意轮胎的安装方向,否则会影响轮胎的噪声和行驶性能。

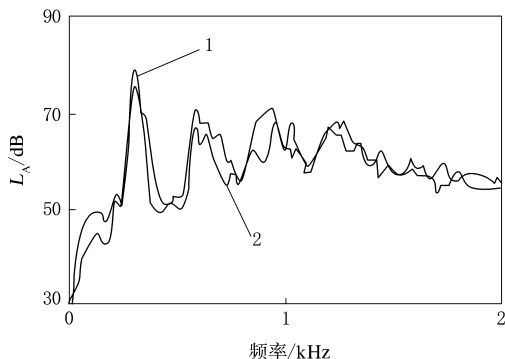


图8 沟槽方向对轮胎噪声的影响

1—斜沟槽外边缘先接地;2—斜沟槽内边缘先接地。

3.6 轮胎模态

图9所示为轮胎模态与噪声的关系。轮胎气压为250 kPa。随着轮胎噪声的增大,轮胎低阶模态振动幅值变化不大,高阶模态振幅增大。因此,降低轮胎噪声可以改善轮胎的高阶振动模态特性;改变胎体刚度可以降低轮胎的低频噪声。

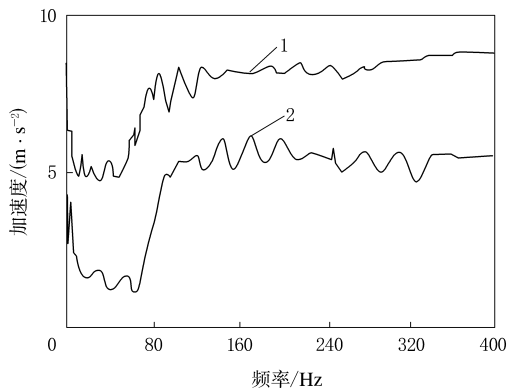


图9 轮胎模态与噪声的关系

1—低噪声轮胎;2—高噪声轮胎。

3.7 行驶速度

轮胎的噪声与行驶速度的关系虽因轮胎的种类、车辆等而不同,但一般来说,噪声与行驶速度成正比。图10所示为行驶速度对轮胎噪声的影响。由图10可以看出,随着行驶速度的提高,轮胎噪声明显增大,而且频谱也有很大变化。

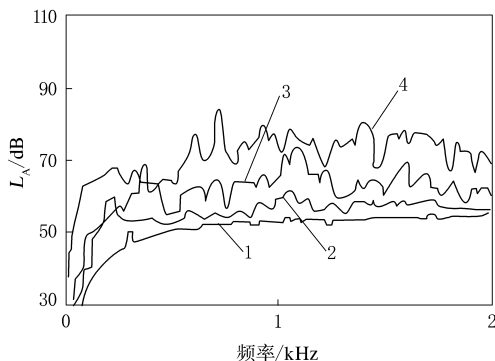


图10 行驶速度对轮胎噪声的影响

1—底噪声。行驶速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$):2—20;3—40;4—80。

3.8 胎面花纹变形

图11所示为轮胎切向力对轮胎纵切面胎面花纹变形的影响。由图11可以看出,轮胎切向力改变了轮胎的接地印迹和应力分布,不同部位沟槽的变化各不相同,而且沟槽体积的变化量在不同接地部位处变化很大,这是产生轮胎噪声的主要原因。随着垂直载荷(汽车载质量)的增大,驱动力(即切向力)增大,轮胎花纹块和沟槽的变形量增大,这是载重汽车噪声大的原因之一。图12所示为在径向力和切向力作用下的轮胎接地印迹。根据轮胎接地印迹和变形,可进行轮胎噪声的定量分析。根据切向力与轮胎花纹块和沟槽变形量的关系,可以研究汽车驱动轮噪声的产生机理。

3.9 轮胎花纹结构

为降低实际路面上行驶车辆轮胎的噪声,最



图11 切向力对胎面花纹变形的影响

切向力(kg):1—0;2—100。

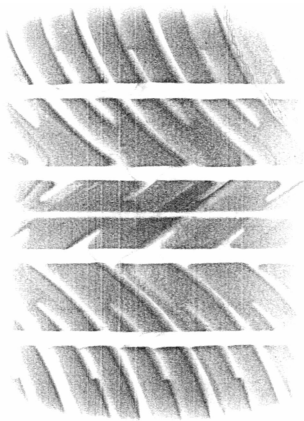


图 12 径向力和切向力作用下的轮胎接地印迹

有效的方法是降低由轮胎振动和花纹沟槽气流产生的 800~2 000 Hz 噪声频谱声压级。由于轮胎有一定的滚动阻力(阻尼),降低滚动阻力后将改变轮胎的振动特性和噪声。增大轮胎胎体或花纹块质量,可以降低轮胎的振动幅值,改善行驶平顺性。通过对轮胎胎体和胎面花纹结构(包括花纹块排列顺序)的合理改进,可以大大降低轮胎噪声。为了评价轮胎噪声,对图 13 所示原始轮胎噪声频谱曲线进行分析,噪声频谱最大声压级 81 dB(A)对应频率为 1 000 Hz;通过改变轮胎花纹结构,噪声频谱最大声压级由 81 dB(A)降低到 75 dB(A)。因此,通过改变轮胎花纹结构可以有效地降低轮胎噪声。

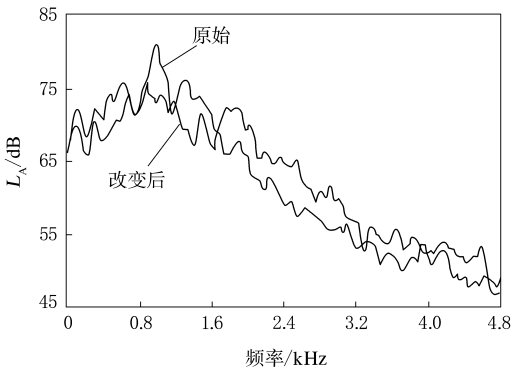


图 13 轮胎结构改变前后轮胎噪声频谱曲线

4 轮胎噪声的主观评价

经常使用的声学评价参量有声压级(L_p)、声功率级(L_w)和 L_A 。 L_A 指标只适于对稳态的纯音信号进行接近主观的客观评价。Zwicker 响度计算则充分考虑了人的感觉系统的非线性灵敏度以及时域掩盖和频域掩盖效应的影响,更适合作为轮胎噪声信号的评价指标。

为了对比不同评价指标对评价结果的影响,我们利用室内转鼓法,在轮胎速度为 80 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、负荷为 735 kg、气压为 250 kPa 的条件下,对 7 条不同花纹轮胎进行了测试,主客观测试及评价结果见表 1。其中,响度值为根据 Zwicker 响度计算理论得到的客观响度。

表 1 轮胎噪声的主观评价结果与客观量比较

项 目	轮胎花纹排列号码						
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
响度/Sone	27.0	26.2	24.3	28.0	24.4	25.1	27.5
L_A /dB	70.9	71.2	69.2	71.4	69.6	70.0	71.0
主观评价 ¹⁾	5	4	1	7	2	3	6

注:1)1~7 为主观评价噪声烦扰度由小到大的顺序。

由表 1 可见, L_A 的排序结果与响度的排序结果基本一致,但 T_1 、 T_2 和 T_7 号轮胎的排序出现了分歧, T_2 号轮胎的 L_A 大于 T_7 号轮胎,而其响度明显小于 T_7 号轮胎。利用现场录音进行的主观评价结果与采用 Zwicker 响度的评价结果一致, T_2 号轮胎的噪声烦扰度明显低于 T_7 号轮胎。试验结果表明, L_A 评价与主观烦扰度评价有较大分歧,而响度评价结果与主观评价结果能较好吻合。由此可见,用响度进行噪声的客观评价比较

接近人的主观感觉,且相对于主观评价简单有效。

5 低噪声轮胎花纹的设计方法

图 14 所示为胎面花纹设计流程。即先按所选定花纹结构手工刻制轮胎花纹,并进行噪声测试和评价,达到要求后再进行批量生产。

6 结论

(1)花纹沟槽的泵浦噪声、花纹块的振动和撞

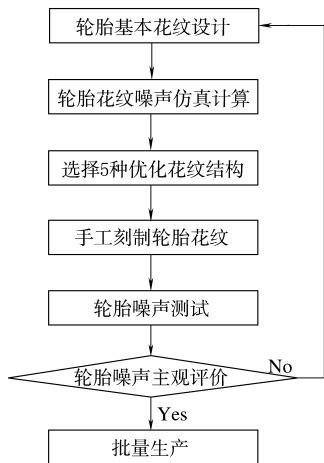


图 14 低噪声轮胎花纹设计流程

击声、光面轮胎的沙声和沟槽空气柱共鸣声是轮胎噪声的主要来源。

(2) 横向沟槽形状对轮胎噪声影响很大, 90° 横向沟槽的轮胎噪声最大。随着轮胎沟槽深度的增大和沟槽数目的增加, 轮胎噪声增大。

(3) 横向封闭沟槽轮胎噪声高于同样形状大小开放沟槽轮胎噪声。对于有方向性要求的花纹, 沟槽方向对轮胎噪声的声压级和频谱曲线有

较大影响。

(4) 改变轮胎的高阶振动模态特性, 可以降低轮胎噪声。

(5) Zwicker 响度与主观评价有较高的一致性, 可以作为轮胎噪声客观评价指标。

(6) 低噪声轮胎设计方法的应用缩短了新产品的开发周期, 为轮胎结构的动态优化设计、降低城市车辆和环境噪声提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 葛剑敏. 轮胎振动和噪声机理及试验研究[D]. 上海: 同济大学, 2001.
- [2] Paul R D. Tire-pavement interaction noise measurement under vehicle operating conditions of cruise and acceleration[Z]. SAE 931276, 1993.
- [3] James K T. The development of a new SAE truck tire-pavement interaction noise measurement procedure [Z]. SAE 931277, 1993.
- [4] Gijs J, Van B, Alex V M. Reducing tire/road noise with porous road surfaces and the effect of tire choice [Z]. SAE 931279, 1993.

收稿日期: 2005-08-25

Design and application of low-noise tire

GE Jian-min¹, FAN Jun-yan², WANG Sheng-fa², LONG You-ming²

[1. Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Tire (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The methods for measuring and evaluating tire noise were investigated and the affecting factors on tire noise were analyzed. The results showed that the shape of transverse groove had significant effect on the tire noise and the 90° transverse groove generated the highest noise; the tire noise increased as the groove depth and number increased; the noise of tire with closed transverse groove was higher than that with similar open groove; for the directional tread patterns, the direction of groove had greater effect on the noise level and frequency curve; and the tire noise could be decreased by changing tire modality at high frequent vibration. The Zwicker loudness was well in accordance with the subjective judgment, so it could be used as an index of tire noise in objective evaluation.

Keywords: tire; noise; affecting factor; measuring method; evaluating index

万达集团 36 亿元投资全钢载重子午线轮胎

中图分类号: TQ336.1; U463.341⁺.3 文献标识码: D

山东万达集团计划投资 36 亿元分三期建成年生产能力为 360 万套的全钢载重子午线轮胎项

目。一期投资 12 亿元, 年生产能力达 120 万套, 已于 2004 年 12 月投产; 二期投资 12 亿元, 目前正在建设中; 三期将于 2006 年建设完成。工程完成后, 全钢载重子午线轮胎将成为该公司的支柱产品。

[十拿化工(上海)有限公司 沈 彰供稿]