

非小块状轮胎花纹噪声仿真试验模型

陈理君¹, 魏波涛¹, 曹平¹, 王华¹, 杨光大²

(1. 武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430070; 2. 上海米其林回力轮胎股份有限公司, 上海 200082)

摘要:研究非小块状轮胎花纹噪声的仿真试验模型。根据光面轮胎、条状花纹和大块状花纹的发声特点,对原来的发声模型进行修正,提出了适用于非小块状花纹的发声试验物理模型,并编制相关程序 BPTNS 和 BPODS,仿真试验验证了模型的准确性。

关键词:轮胎; 花纹噪声; 非小块状花纹; 发声模型

中图分类号: TQ336.1; U467.4⁺93 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2006)12-0718-05

非小块状花纹轮胎包括光面轮胎、条状花纹和大块状花纹轮胎,如单导向性大羊角花纹轮胎等。鉴于发声机理的差异,TNS/ODS 轮胎花纹噪声仿真分析优化软件对非小块状花纹轮胎噪声分析的结果误差较大或根本无法运行程序。

为此,提出大块状花纹的概念,花纹长度大于或接近胎痕纵向长度 1/2 时,认为该花纹块为大块状花纹。试验表明,大块状花纹触地时,先是前沿部分击地^[1],产生的噪声最大,块的“后面”部分产生的噪声小得多。其产生的上大下小的 N 形波基波^[2]波长不会随块长增大而增大,槽发声模型也需修正。因此对原有的轮胎花纹发声三条准则^[3~6]进行修正,得到新三准则:①大“块”发声与其前沿面积[长为(1/3~1/2)胎痕长度,宽为常数]有关,与其后面部分的面积关系很小,与形状基本无关;②“槽”发声只与其(1/3~1/2)胎痕的长度和宽度有关,与其走向有关,而与深度基本无关;③“块、槽”构成的花纹组合排列优劣与其噪声大小有很大关系。

1 光面轮胎噪声

1.1 发声机理与模型

光面轮胎噪声小,用 TNS/ODS 系统进行仿真分析优化,根本无法运行程序。分析发现,光面轮胎胎面与地面之间存在着大小不等的隙腔,轮胎在道路上滚动时,隙腔中空气的压缩和膨胀产

生不规则的随机沙声,可视为光面轮胎上分布着不规则的大小不等的麻点。无论光面轮胎胎面还是有花纹轮胎胎面均会产生随机沙声。有花纹胎面的随机沙声比花纹噪声小得多,可酌情处理^[3]。分析光面轮胎胎面随机沙声时引入 3 个随机数 $R_x(n)$, $R_y(n)$ 和 $R_d(n)$, 其中 $R(n)$ 取值范围为 0~1, 单位为 cm。

定义

$$d_m = \alpha R_d(n)$$

$$x_m = \beta R_x(n)$$

$$y_m = \gamma R_y(n)$$

x 和 y 为坐标, d 为圆直径, α , β 和 γ 为因数, 取值大小由路面粗糙度决定, 粗糙度大, α 取大些, β 和 γ 取小些; 反之 α 取小些, β 和 γ 取大些。 α , β 和 γ 具体值由仿真结果与实测结果比较来调整拟合。

$$(\alpha R_d)_{\max} \leq (1/3 \sim 1/2)l$$

式中, l 为胎痕长度, 当 $R_d = 1$ 时, $\alpha \leq (1/3 \sim 1/2)l$ 。对光面轮胎进行等间距分割后, 根据轮胎花纹噪声发声新三准则, 不规则点上下稍微移动对轮胎噪声影响很小, 因此可以将用 3 个随机点描述的点简化成 2 个随机数: x 坐标为 x_m , 点圆直径为 d_m 。 y 坐标取定值。

根据各隙腔的发声与沟的泵浦噪声发声机理相同, 可以得出各隙腔的发声波形, 在此基础上叠加各隙腔的发声波形, 可以得到光面轮胎噪声^[1,2], 以 $P_0(t)$ 表示。轮胎胎面振动和轮胎胎侧扭振为低频, 有花纹轮胎同样存在, 可不计入。

1.2 实测与仿真分析比较

图1和2所示分别为光面轮胎的实测噪声曲

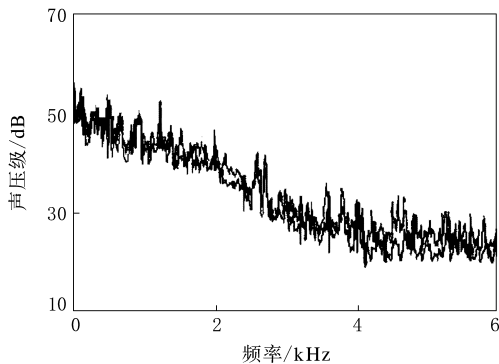


图 1 光面轮胎实测噪声曲线

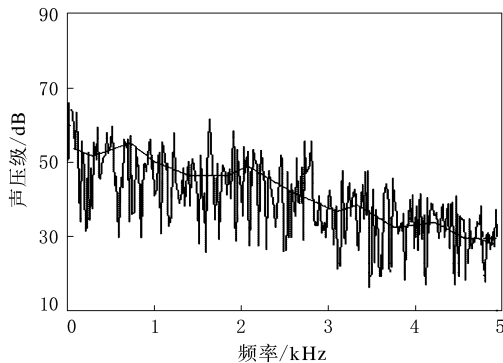


图 2 光面轮胎微机仿真噪声曲线

线^[7]和微机仿真噪声曲线。由图 1 和 2 可见,仿真噪声曲线基本接近实测曲线。

2 条状花纹轮胎噪声

2.1 发声机理与模型

对于条状轮胎花纹,用 TNS/ODS 系统进行仿真分析同样无法得到正确的结果。下面以一个分成 4 条花纹的条状花纹为例进行分析(如图 3 所示)。

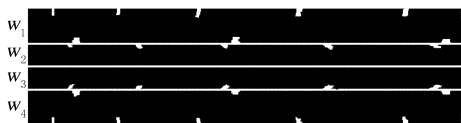


图 3 条状花纹示意

由轮胎花纹的对称性可知, $w_1 = w_4, w_2 = w_3$ (w_1, w_2, w_3 和 w_4 分别为 4 条花纹的宽度)。根据轮胎花纹发声原则,条状花纹的纵向槽只发高频涡流噪声和“直流声”,可不计,故条状花纹的噪声主要来自随机沙声,对每条花纹可以类同光面轮胎处理。按照光面轮胎发声模型,引入 4 个随机量 $R_{1S}(n), R_{2S}(n), R_{3S}$

(n) 和 $R_{4S}(n)$ 。

定义 $d_{1S} = \alpha_{1S}R_{1S}(n)$

$$d_{2S} = \alpha_{2S}R_{3S}(n)$$

$$w_{1S} = \beta_{1S}R_{2S}(n)$$

$$w_{2S} = \beta_{2S}R_{4S}(n)$$

由于 $d_S \leq (1/3 \sim 1/2)w$

因此 $[\alpha_{1S}R_{1S}(n)]_{\max} \leq (1/3 \sim 1/2)w_1$

当 $R_{1S}(n) = 1$ 时, $\alpha_{1S} \leq (1/3 \sim 1/2)w_1$ 。 β 值根据路面粗糙度或参照实测结果调整拟合得到。

按光面轮胎发声机理可得第 1 条花纹噪声 $[P_{01}(t)]$, 依此类推, 可得条状花纹轮胎噪声, m 条花纹声压叠加, 以 $P_s(t)$ 表示:

$$P_s(t) = \sum_{i=1}^m P_{0i}(t) \quad (1)$$

2.2 实测与仿真分析比较

图 4 和 5 所示分别为条状花纹轮胎实测噪声曲线^[8]和微机仿真噪声曲线。由图 4 和 5 可见, 仿真噪声曲线与实测曲线在 100~3 000 Hz 范围内的噪声曲线态势十分接近。

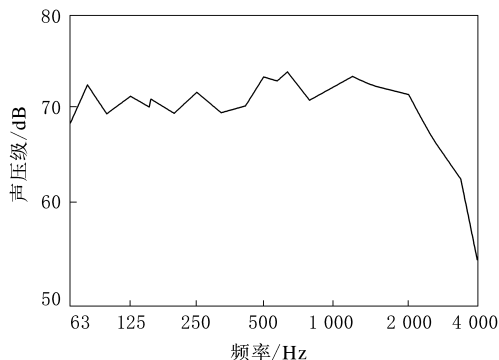


图 4 条状花纹轮胎实测噪声曲线

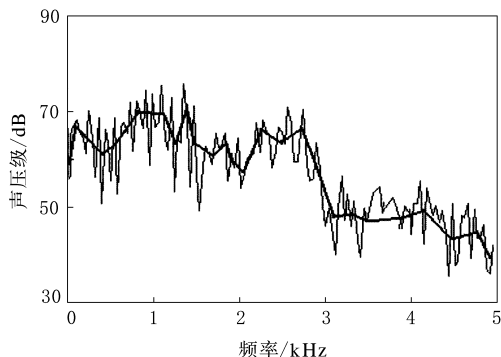


图 5 条状花纹轮胎微机仿真噪声曲线

3 大块状花纹轮胎噪声

3.1 大块状花纹块“40线型”仿真

建立大块状轮胎花纹仿真模型,为提高分析精度和处理方便,将花纹划分成40条,取其中某邻近3条花纹加以分析(如图6所示)。将图6(a)所示花纹块分成3块,进行三线扫描,等价成图6(b)。图6(b)花纹块的发声可看作3个矩形块发声的合成,根据花纹块的发声波形分析,它的发声状况如图6(c)所示。由此可见,采用多线扫描可很好地反映花纹块形状和大小对噪声的影响^[2]。

40线采样能够满足轮胎花纹噪声采样精度^[2],因此对大块状轮胎花纹采用40线型仿真分析。大块状花纹的40线切割如图7所示。图7中的 a, b, c 和 d 分别为各线切割花纹块所得花纹

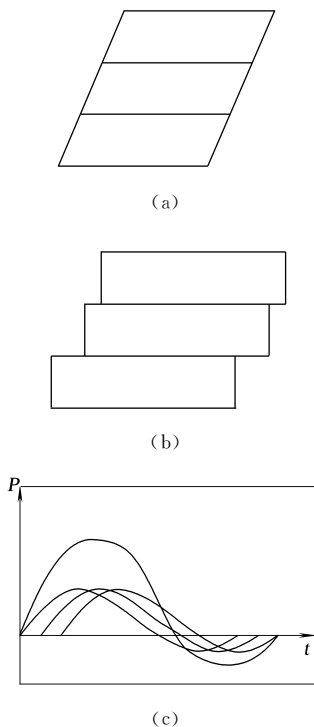


图6 大块状花纹块的多线采样

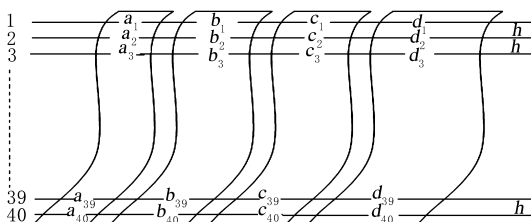


图7 大块状花纹的40线切割模型示意

块的长度,由于采用40线等分切割,因此分得的每小块高度均为 h 。根据梯形面积计算公式: $S=1/2(X_i+X_{i+1})h$,其中 X_i 和 X_{i+1} 分别为上、下底长,可近似等于每小块中切线宽,因此可以将大块变成40行长条进行分析。

3.2 发声机理与模型

大块状花纹也遵循声点阵原理^[9]和轮胎花纹发声新三准则,但通过TNS系统仿真所得花纹块噪声声压值与实测值有较大误差。试验分析发现,块产生上天下小N波形的声压 $[P(t)]$,在原模型中N形波基波^[2]波长随块长的增大而增大,而实测结果是块长增大到胎痕长的 $1/3\sim 1/2$ (取值取决于车速)时,其基波波长增大随块长的增大越来越小。

将大块状花纹划分为40线,取线条 j 进行分析。

对于花纹块长 (ρ) :

①当 $\rho \leq q (q = \frac{l}{3})$ 时,可以按小块花纹分析;

②当 $\rho > q$ 时,根据试验数据,大块状花纹块产生上天下小N形波的第 j 个花纹槽噪声的声压 $[P_j(t)]$ 表达式修正为

$$P_j(t) = \{ \alpha \sqrt{[0.33l + p] \lg(\rho - 0.33l) + 1} h + h' \sin(q\omega_j t) \} \sin(\omega_j t + \theta) \quad (2)$$

式中, $\alpha = \beta \sqrt{S}$; $h' = \frac{h}{3}$; p 和 q 取决于车速, p 为 $10\sim 20$, $q > 9$; ω_j 为圆频率, $\omega_j = f(c, \rho)$,取决于声速 (c) 和花纹块的长度^[1,4]; θ 为相位角, $\theta = g(\omega_j, z)$,与圆频率 (ω_j) 和 z 有关, z 与记时起点和花纹块在圆周上的位置有关; $h' \sin(q\omega_j t)$ 为毛刺波。

3.3 花纹块40条波形合成

大块状花纹经40线切割分析后,每个花纹块可得40个波形,花纹块的噪声波形声压用 $[P_g(t)]$ 表示:

$$P_g(t) = \sum_{j=1}^{40} P_{sj}(t) \quad (3)$$

通过波形的叠加合成,即可得时域波形,调用FFT分析可得频域线状谱。

3.4 大块花纹槽的发声

单个横向花纹槽的噪声 (P_b) 实测波形如图8所示。它是一个含有较长毛刺的上天下小的N

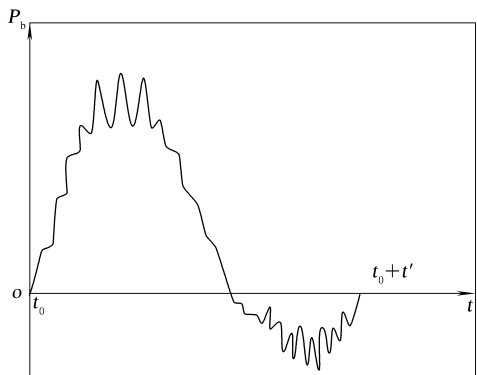


图 8 槽发声波形示意

形波,也可以用准正弦波形描述。设槽的宽度为 W ,则其声压脉冲宽度(δ)可表示为:

$$\delta = k(N\cos\gamma + W)/v$$

式中, k 为常数, N 为花纹槽的长度。当车速为 v 时,面积为 S_c 、体积压缩量为 ΔV 、走向与汽车行驶方向的夹角为 ϕ 的花纹槽声压峰值(P_m)可表示为^[9]:

$$P_m = g(S_c, \phi, v, \Delta V)$$

可以用下式近似表示第 j 个花纹槽噪声的时域波形:

$$P_{sj}(t) \approx P_{mj}g_{sj} \sin(\omega_{sj}t + \theta_{sj}) [B_s \sin(\omega_{sj}t) + A_s] \quad (4)$$

其中
$$g_{sj} = \begin{cases} 1 & \sin(\omega_{sj}t + \theta_{sj}) \geq 0 \\ \xi_s & \sin(\omega_{sj}t + \theta_{sj}) < 0 \end{cases}$$

式中, $0 < \xi_s < 10$,可以由试验确定; ω_{sj} 为振动频率, θ_{sj} 和 θ 为相位角; $B_s \sin(\omega_{sj}t)$ 用来模拟毛刺波, $\omega \ll \omega_{sj}$ 。 A_s 为调节常数, $A_s > B_s$, s 代表花纹槽。

综上所述,可得试验模型数学表达式如下:

$$P_c(t) = \eta(v)P_g(t) + \xi(v)P_s(t) + \mu(v)P_r(t) + \zeta(v,p)P_0(t) + \varphi(v)P_e(t) \quad (5)$$

式中, η, ξ, μ, ζ 和 φ 均为固有频率(f)和车速(v)的函数; p 为胎面有无花纹及条状花纹数的标识符^[9],由于大块状花纹槽的发声声能远小于块发声的声能,故 $\xi \ll \eta$; $P_g(t)$ 为块声压值, $P_s(t)$ 为摩擦声声压值, $P_r(t)$ 为随机沙沙声声压值, $P_0(t)$ 为花纹沟的泵浦噪声声压值, $P_e(t)$ 为花纹沟内气柱共鸣声声压值。

以上为胎痕前沿区轮胎花纹触地时的生成噪声,在后沿区,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,该声波相位与前沿波相差 180° ,且滞后一段时间(走过轮胎接地长度所需的时间),但其强度较微弱,可以不考虑。

3.5 仿真分析

对如图 9 所示的大块状花纹进行仿真。取 3 个节距单元 D, E 和 F ,节距总数为 10,车速为 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, D 为 27.185 mm , E 为 71.750 mm , F 为 90.154 mm ,节距排列: $DEEFDDFEDD$ 。原 TNS 系统和 BPTNS 系统仿真分析频域 II 型噪声频谱分别如图 10 和 11 所示。

分析结果表明,BPTNS 系统对大块状花纹的仿真结果更接近实测结果。



图 9 大块状花纹示意

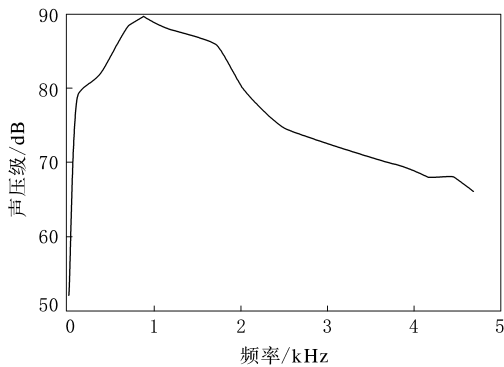


图 10 大块状花纹 TNS 系统分析频域 II 型噪声

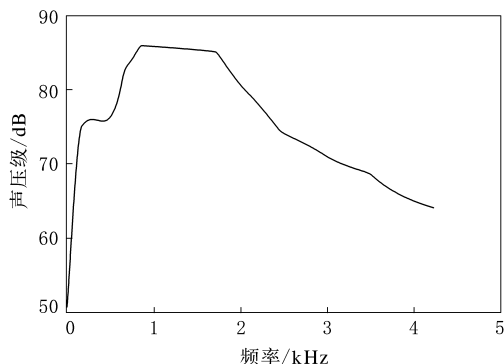


图 11 大块状花纹 BPTNS 系统分析频域 II 型噪声

4 结语

建立非小块状花纹发声模型,采用40线切割分析,有效反映了光面轮胎、条状花纹和大块状花纹轮胎的发声情况。BPTNS分析系统能对大块状花纹噪声进行仿真分析,克服了TNS系统对大块状花纹仿真误差较大的问题,试验表明了其分析结果的准确性。BPTNS系统不仅适用于大块状花纹轮胎(如单导向性大羊角花纹等)、光面轮胎和条状花纹轮胎,且适用于轻型载重轮胎噪声分析,有很大推广应用价值。

参考文献:

- [1] 陈理君,杨立,钱业青,等. 轮胎花纹噪声的发声机理[J]. 轮胎工业,1999,19(9):515-518.
- [2] 陈理君,李晓辉. 轮胎花纹噪声及其降噪方法[J]. 噪声与振动控制,2004,1(1):11-13.

- [3] 陈理君,杨光大,董芹. 低噪声轮胎花纹设计原则[J]. 橡胶工业,1997,44(3):150-155.
- [4] 陈理君,杨立,钱业青,等. 轮胎花纹噪声的控制[J]. 轮胎工业,1999,19(11):643-647.
- [5] Heckl M. Tire noise generating mechanisms state-of-the art report[A]. Proceedings of the Styrelsen for Teknisk Utveckling International Tire Noise Conference[C]. Stockholm: American Society for Testing,1979. 411-455.
- [6] Lee J J, Ni A E. Structure-borne tire noise statistical energy analysis model[J]. Tire Science and Technology,1997,25(3):176-186.
- [7] 葛剑敏,范俊岩,王胜发,等. 低噪声轮胎设计方法与应用[J]. 轮胎工业,2006,26(2):79-84.
- [8] 任文堂. 交通噪声及其控制[M]. 北京:人民交通出版社,2000. 292-293.
- [9] 陈理君,杨立,钱业青,等. 轮胎花纹噪声的发声模型[J]. 轮胎工业,1999,19(10):599-602.

第14届中国轮胎技术研讨会论文(三等奖)

Test model for noise simulation of tire with non-small block tread patterns

CHEN Li-jun¹, WEI Bo-tao¹, CAO Ping¹, WANG Hua¹, YANG Guang-da²

(1. Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China; 2. Shanghai Michelin Warrior Tire Co., Ltd, Shanghai 200082, China)

Abstract: The test model for noise simulation of tire with non-small block tread patterns was investigated. Based on the sound-generating characteristics of smooth tread, ribbed patterns and block patterns of tires, the original sound-generating model was revised, a physical model suitable for sound-generating test of tire with non-small block patterns was proposed, the relative programmes BPTNS and BPODS were worked out, and the accuracy of the model was confirmed by the simulation test.

Keywords: tire; patterns noise; non-small block patterns; sound-generating model

风神公司 385/55R19.5 全钢载重子午线 轮胎研制成功

中图分类号:TQ336.1 文献标识码:D

2006年8月,风神轮胎股份有限公司成功研制出385/55R19.5全钢载重子午线轮胎。该轮胎依据ETRTO—2004设计,所配轮辋宽度为311mm,新胎充气断面宽度为386mm,充气外直径为919mm,属55系列低断面无内胎轮胎,用在中型载重汽车上取代双胎,非常适合国外市场的发展趋势,产品将全部出口欧洲。它的研制成功扩大了该公司出口轮胎的规格品种,增强了该公司在国际轮胎市场的竞争力。

应客户要求,该轮胎采用HN809花纹,非常

适用于高速公路行驶的长途运输拖车;采用宽行驶面、高胎冠弧设计,可减小接地压强,延长轮胎行驶里程;根据胎面受力情况,合理分布花纹沟位置,采用直线形花纹沟以及细小的全深花纹槽设计,滚动阻力小,防侧滑性能好;胎肩采用封肩形式,具有良好的防不规则磨损性能;采用具有高弹性、高耐磨、耐疲劳、低生热的高性能胎面胶,特别适用于高速行驶。该轮胎与地面抓着性能良好,安全性及运营效率较高。

经检验,该产品全部达到或超过相关标准,并于2006年9月通过ECE认证,为产品出口欧洲市场做好准备。

(风神轮胎股份有限公司 任利利供稿)