

特约来稿

轮胎花纹节距噪声研究及其应用

朱振华, 金基典, 田颖, 张敏, 王建中, 陈弘

(中策橡胶集团有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 介绍轮胎花纹节距噪声计算方法, 探讨节距噪声评判标准, 并对不同规格和不同节距设计方案轮胎进行噪声性能趋势预判。结果表明, 以节距噪声频谱一次谐波的能量集中因数和峰值作为节距噪声性能趋势的判据是合理的。在轮胎行驶面宽度和结构设计一致、花纹样式类似的前提下, 可采用节距噪声仿真结果对轮胎噪声性能趋势进行预判。

关键词: 轮胎; 节距噪声; 评判标准; 噪声测试

中图分类号: TQ336.1⁺1; TB533⁺.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2020)10-0579-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2020.10.0579



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

近年来轮胎噪声是轮胎性能研究的热点。根据资料和实测分析, 当车速大于 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 花纹噪声成为轮胎噪声的主体^[1]。花纹噪声发声机理包括花纹块撞击噪声及花纹沟槽泵浦噪声、气柱共鸣噪声等^[2], 轮胎滚动过程中胎体和胎面振动向外辐射的噪声是轮胎噪声的主要来源之一^[3]。轿车子午线轮胎胎面撞击产生的噪声频谱峰值在 $800 \sim 1\,000 \text{ Hz}$ 之间^[4], 该频段处于人耳较为敏感的听觉频率范围内。

降低胎面花纹噪声有两种方法: 一是防止轮胎噪声能量集中在较窄频带内, 该方法可通过多种节距排列实现; 二是降低轮胎在滚动过程中由于花纹块的不连续性产生的自激力^[5]。采用多种花纹节距设计, 通过节距序列优化改善轮胎噪声是目前普遍采用的方法^[6-8]。花纹噪声仿真可以采用节距和花纹样式设计同时进行计算^[6,9], 也可以先对节距噪声进行仿真, 再与花纹样式匹配进行计算^[5]。

本工作从胎面撞击地面的发声机理出发, 探讨花纹节距噪声。



作者简介: 朱振华(1983—), 男, 浙江义乌人, 中策橡胶集团有限公司高级工程师, 硕士, 主要从事轮胎花纹性能仿真模型、轮胎模态特性和力传递特性测试方法以及轮胎与整车NVH特性匹配研究等工作, 发表论文16篇, 获市级科技进步奖1项。

E-mail: zhenhua.zhu@chaoyang.com

1 花纹节距噪声计算方法

1.1 花纹节距噪声计算

将轮胎胎面沿周向用与行驶方向垂直的横向花纹沟分成 N 个节距, 如图1所示。

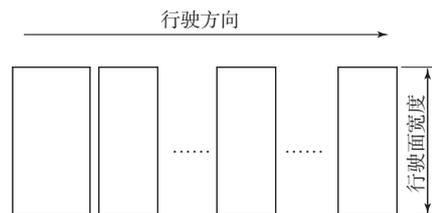


图1 轮胎胎面节距划分示意

当轮胎行驶时, 与地面接触的胎面受到力 F 的作用, 而横向花纹沟与地面不接触, 受力为零, 则可得胎面随时间(t)变化的受力函数 $F(t)$, 如图2所示, 可将其看成节距噪声的时域波^[9-10]。

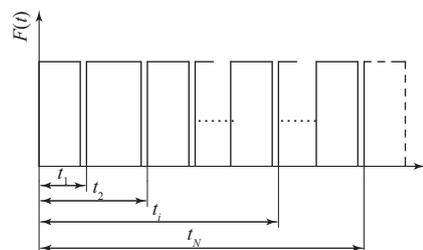


图2 轮胎行驶时胎面随时间变化的受力函数

假设轮胎行驶速度为 v , 第 i 个节距长度为 D_i , 则经过第 i 个节距长度所需时间(t_i)为

$$t_i = \frac{\sum_{N=1}^i D_N}{v}$$

对 $F(t)$ 进行傅里叶级数展开,设轮胎的旋转周期为 T ,则可得轮胎节距噪声频谱函数为

$$F(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

$$= A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega_0 t + \varphi_n)$$

其中

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_i+T} F(t) dt$$

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \quad \varphi_n = \tan^{-1}(\frac{a_n}{b_n})$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos n\omega_0 t dt = \frac{2}{T} \int_{t_i}^{t_i+T} F(t) \cos n\omega_0 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin n\omega_0 t dt = \frac{2}{T} \int_{t_i}^{t_i+T} F(t) \sin n\omega_0 t dt$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

式中, n 为阶次。若轮胎的周长为 L ,则轮胎的基频(f)为

$$f = \frac{v}{L}$$

第 n 阶的频率(f_n)为

$$f_n = \frac{nv}{L}$$

根据以上计算公式,采用编程软件进行编程计算,以阶次或频率为横坐标,噪声的幅值(相对值,无单位)为纵坐标,即可得花纹节距噪声频谱图。

1.2 花纹节距噪声评判标准

得到花纹节距噪声频谱图后,需有优劣评判标准才能进行后续方案优选及对节距设计优化。205/55R16轮胎花纹节距设计方案如表1所示。

表1 205/55R16轮胎的花纹节距设计方案

项 目	节距类型				
	A	B	C	D	E
节距长度/mm	33.23	30.98	28.83	26.46	24.21
节距数量	10	12	16	16	16

注:花纹节距排列顺序为AAAAAABBDDEEEEDDCCBBDDCCBBDDDECCAAACCEEEEEEDDCCCCBBBBBBCCDDDEEEDDCC。

根据上述计算方法,取前300阶的计算结果,可得到节距噪声频谱,如图3所示。阶次越大,分析的频率越高,一般分析到300阶就可以了。

从图3可以看出,在50~100阶之间出现了一个波峰,称为一次谐波,在100~200阶之间又出现一个波峰,称为二次谐波,以此类推,随着阶次的

增大,波峰越来越不明显。

LT245/75R17轻型载重轮胎的花纹节距设计方案如表2所示,其节距噪声频谱如图4所示。

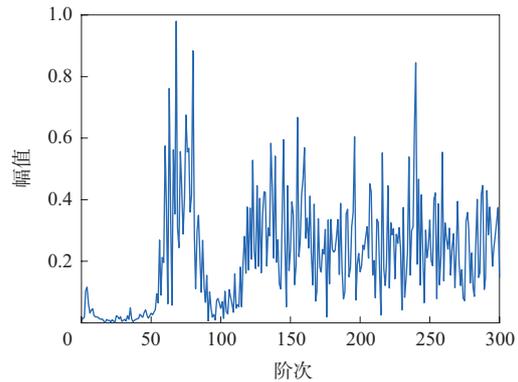


图3 205/55R16轮胎节距噪声频谱

表2 LT245/75R17轮胎的花纹节距设计方案

项 目	节距类型			
	A'	B'	C'	D'
节距长度/mm	76.1	80.23	85.10	89.83
节距数量	5	7	13	5

注:花纹节距排列顺序为A'C'D'B'C'B'C'A'C'D'C'C'C'A'B'B'A'B'C'C'A'B'D'C'C'B'D'C'C'D'。

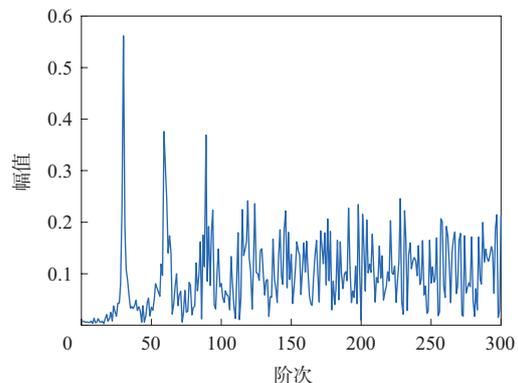


图4 LT245/75R17轮胎节距噪声频谱

从图4可以看出,前三次谐波的波峰很明显。

采用多节距排列的目的是使节距噪声的能量尽量分散在较宽频带上。大部分节距噪声频谱一次谐波能量最集中,峰值最大,也有小部分二次谐波的峰值大于一次谐波峰值。为了使评判快捷高效,一般采用一次谐波对不同方案进行评判。

一次谐波的分散程度可用能量集中因数(T_0)表示,如果一次谐波中的最大幅值为 A_p ,最大幅值对应的阶次为 P ,第 n 阶的幅值为 A_n ,则 T_0 的计算公式为

表4 195/65R15和195/60R14轮胎节距噪声参数

项 目	195/65R15轮胎	195/60R14轮胎
一次谐波 T_0 值	42.92	48.84
一次谐波幅值峰值	1.44	1.97
峰值阶次	69	69

从图6和表4可以看出,195/65R15轮胎一次谐波的 T_0 值和幅值峰值都明显小于195/60R14轮胎,峰值都出现在69阶的位置,从而可以预判前者的噪声低于后者。

对两个轮胎进行滑行法噪声测试^[12],测试车辆相同,测试结果如表5所示。

表5 195/65R15和195/60R14轮胎

项 目	滑行法噪声测试结果		dB(A)
	195/65R15轮胎	195/60R14轮胎	
测试结果	73.379	74.583	
修约值	72	73	

从表5可以看出,195/65R15轮胎滑行法噪声的实测结果比195/60R14轮胎低,仿真与实测结果的趋势一致。

2.2 不同花纹节距方案轮胎的对比

2.2.1 节距设计方案

205/55R16轮胎的节距设计方案如表6所示,其中方案一有4种节距,方案二有3种节距。

表6 205/55R16轮胎的花纹节距设计方案

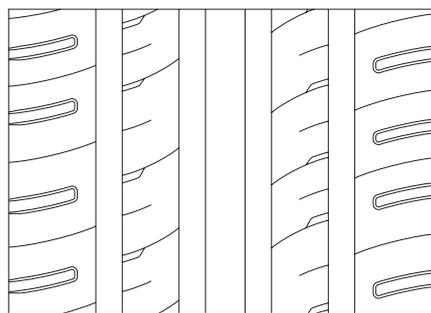
项 目	节距类型			
	F	G	H	I
节距长度/mm				
方案一	23.95	27.54	30.45	33.99
方案二	27.46	32.12	37.03	
节距数量				
方案一	17	21	28	6
方案二	24	20	20	

注:205/55R16轮胎方案一花纹节距排列顺序为FGFGFHHHGIHHHGHIGHGFFFGFHHHFGHHHGGHGGIGHHGHGFGHGFHFFFHHHHIHGGFFHFGIGH,方案二花纹节距排列顺序为GFGHHHFFGHHGFFFGHGGFFHHHGGFHHHGGFFFGHHHGGFFFGHHHGGFFFGHGGFHHH。

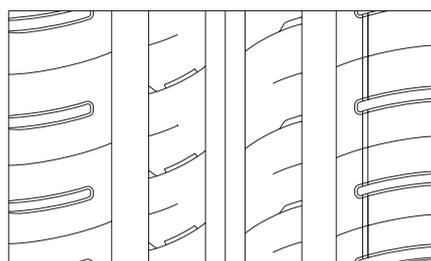
两方案轮胎共用胎坯,花纹设计样式相似,行驶面宽度都是164 mm,两方案轮胎行驶面宽度部分的花纹展开如图7所示。

2.2.2 节距噪声仿真和实测

两个方案的节距噪声仿真频谱如图8所示。进行滑行法噪声测试时采用同一测试车辆,节距噪声仿真频谱一次谐波的 T_0 值、幅值峰值及噪声测

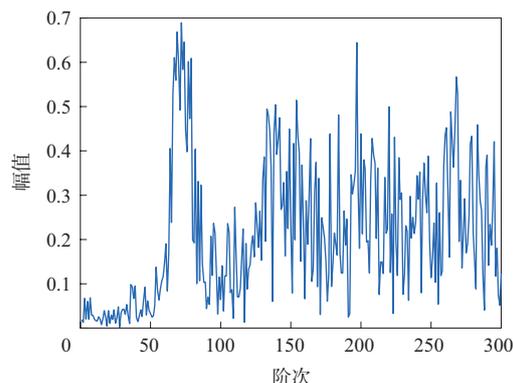


(a) 方案一

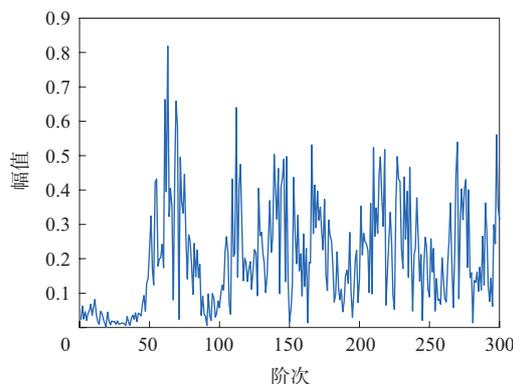


(b) 方案二

图7 205/55R16轮胎两方案花纹展开示意



(a) 方案一



(b) 方案二

图8 205/55R16轮胎两方案节距噪声频谱测试结果如表7所示。

表7 205/55R16轮胎两方案节距噪声参数的
计算结果和噪声测试结果

项 目	方案一	方案二
一次谐波 T_0 值	17.00	31.64
一次谐波幅值峰值	0.69	0.82
峰值阶次	71	62
噪声测试结果/dB(A)	70	71

从图8和表7可以看出,205/55R16轮胎方案一的噪声仿真结果明显优于方案二,测试结果与仿真结果趋势一致。

从以上两方案来看,噪声仿真与测试结果趋势一致,说明以节距噪声频谱的一次谐波参数 T_0 值和幅值峰值作为轮胎噪声优劣判据是合理的,因此该判据也可作为后续节距噪声优化的依据。

3 结论

本工作基于花纹节距噪声仿真原理,在除了节距设计外其他条件尽量一致的情况下,研究了不同规格和不同节距设计方案轮胎的噪声差异,说明节距设计对于轮胎降噪有一定的贡献度和重要性。由于节距噪声仿真比花纹噪声仿真快捷很多,因此轮胎花纹噪声仿真可先对节距进行设计和优化,再与花纹样式进行匹配,这样可以提高仿真和优化效率,缩短新花纹开发周期。

通过以上分析,可以认为以节距噪声频谱一次谐波的能量集中因数和峰值作为节距噪声性能趋势的判据是合理的。在行驶面宽度和结构设计一致、花纹样式类似的前提下,不同规格或不同节距设计方案轮胎的节距噪声仿真结果与滑行法噪声测试结果趋势一致,因此在特定情况下可采用节

距噪声仿真结果对轮胎噪声性能趋势进行预判。

由于轮胎花纹噪声的发声机理较为复杂,还需要通过花纹其他的结构设计进行降噪,而且还涉及到水滑、磨损等其他花纹性能,因此轮胎花纹设计是一个复杂而庞大的工程。

参考文献:

- [1] 苏梅,冷传刚,张宪忠. 汽车轮胎噪声及其欧洲认证标准[J]. 汽车工程师,2009(1):43-46.
- [2] 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.
- [3] 周海超,王国林,梁晨. 不同花纹轮胎噪声辐射特性[J]. 噪声与振动控制,2012,12(6):175-178,183.
- [4] Sandberg U, Ejsmont J A. Tyre/Road Noise Reference Book[M]. Harg:Informex,2002:104-107.
- [5] Kim G J, Cho S W, Kim N J. Prediction of the Tread Pattern Noise of the Quasi-static State Rolling Tyre[R]. France:Nice,2000:1-5.
- [6] 阮新异. 现代低噪轮胎花纹仿真优化设计[D]. 武汉:武汉理工大学,2008:31-34.
- [7] 赵书凯,邓世涛,丁海峰,等. 轮胎噪声影响因素及低噪声轮胎设计方法[J]. 轮胎工业,2014,34(2):76-80.
- [8] 王国林,乔磊,周海超,等. 基于有限元仿真的载重子午线轮胎降噪方法研究[J]. 橡胶工业,2019,66(4):243-248.
- [9] Jinn-Tong Chiu, Fu-Yuan Tu. Application of a Pattern Recognition Technique to the Prediction of Tire Noise [J]. Journal of Sound and Vibration,2015(350):30-40.
- [10] 王吉忠,顾善发,庄继德. 遗传算法在改进轮胎花纹噪声特性中的应用[J]. 农业机械学报,1999,30(5):1-9.
- [11] 陈燕,朱振华,陈弘,等. 轮胎室内转鼓法与室外滑行法测试结果之间的相关性研究[J]. 轮胎工业,2017,37(6):374-377.
- [12] 全国轮胎轮胎标准化技术委员会. 轮胎惯性滑行通过噪声测试方法:GB/T 22036—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

收稿日期:2020-04-25

Research and Application of Tire Pattern Pitch Noise

ZHU Zhenhua, JIN Jidian, TIAN Ying, ZHANG Min, WANG Jianzhong, CHEN Hong

(Zhongce Rubber Group Co., Ltd, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The calculation method of tire pattern pitch noise was introduced, the evaluation standard of pitch noise was discussed, and the noise performance trend of tires with different specifications and different pitch designs was predicted. The results showed that it was reasonable to use the first harmonic energy concentration factor and the peak value of the pitch noise spectrum as the criterion of the pitch noise performance trend. Under the premise that the width of the tire running surface was consistent with the structural design, and the pattern was similar, the pitch noise simulation results could be used to predict the tire noise performance.

Key words: tire; pitch noise; criterion; noise test