

轮胎降噪设计技术

董 芹 常传贤

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所 200072]

关元洪

(上海交通大学 200030)

摘要 根据轮胎噪声机理分析的结论,确定了轮胎降噪设计具体措施是选择低噪声的花纹形状并对花纹组合方式进行优化。介绍了低噪声花纹的设计技巧以及低噪声轮胎的开发步骤。

关键词 轮胎噪声,噪声控制,微机仿真

随着人们对轮胎噪声性能要求的日益提高,目前,降低轮胎噪声已成为国内外重要的研究课题。为了给用户提供噪声低、舒适性好的轮胎,我们在当前轮胎噪声机理研究成果的基础之上,开展了轮胎降噪设计技术的探讨与运用。本文从噪声控制工程的角度分析总结了我们在轮胎降噪设计中取得的点滴经验,供大家参阅。

1 分析主要噪声源

按照噪声控制中的“等声功率原则”,一般来讲,只有对主要噪声源采取控制措施,才能达到有效降低噪声的目的。因此,我们得首先分析轮胎噪声的主要产生机理。

据文献[1]对轮胎噪声机理的分析,按声源的激励性质不同,轮胎噪声主要产生机理可分3大类:

(1) 气流声机理

随着轮胎的滚动,在与路面接触区,花纹沟内空气不断地被吸入与挤出,由此形成“空气泵”噪声,这是横向花纹的一种主要噪声机理。此声源为作起伏变化的气体,属气流噪声。

(2) 机械声机理

由胎面花纹块不断撞击路面、轮胎结构的不均匀性以及路面的粗糙性等因素激发胎面花纹块及胎体的振动,从而辐射出机械噪声,是光面胎及纵向花纹的主要噪声源。

(3) 滤波放大机理

轮胎与路面接触处形成喇叭口几何体,对上述噪声起着滤波放大作用。另外,胎面花纹沟与路面所围管道内的空气共振以及轮胎花纹块离开路面处形成的亥姆霍兹共振器对其它声源也不同程度地起着滤波放大作用。其中,“喇叭口”效应对于所有轮胎均存在,管道内空气共振对于所有胎面含花纹沟的轮胎存在,而亥姆霍兹共振效应主要为“袋状沟”(即两端封闭的死沟)的噪声机理。

2 根据降噪指标,选择适当的降噪设计措施

目前,我国尚无正式的轮胎噪声容许标准,轮胎厂家一般是将汽车配套厂提出的噪声要求作为达标值。事实上,这样确定的降噪指标更具现实意义,而片面认为指标定得越高越好是不对的。因为从微观来看,轮胎使用中实际经历了一系列相当复杂的物理过程,若降噪指标定得过高,有可能导致诸如滚动阻力等其它性能指标的降低。

根据轮胎噪声主要产生机理的分析,在轮胎设计中,可从多个方面减弱或避免噪声激励过程,着手于声源本身来实现降噪。由

作者简介 董芹,女,29岁。硕士,工程师。1992年毕业于武汉工业大学,从事轮胎花纹噪声研究工作。曾发表论文3篇。

实测获知,目前纵横交错花纹轮胎噪声声功率比同规格光面胎,在速度为 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时一般高 $7 \sim 12 \text{ dB(A)}$,在速度为 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时一般高 $8 \sim 14 \text{ dB(A)}$ 。可见,胎面花纹对轮胎噪声影响很大,故花纹的优化设计应作为重点。

2.1 通过对花纹形状特征的优化降低花纹单元的噪声

(1) 花纹沟形状的优化

因为轮胎运行中产生的“空气泵”噪声实质为气流噪声,其声功率与流速 v 的 n 次方成正比(整数 $n \geq 4$)^[2],所以可通过修改花纹沟形状、降低进出沟空气的流速来实现降噪。为此,适当将横向花纹沟近胎肩出口处的截面面积逐渐扩张,则“空气泵”中空气流速降低,“空气泵”噪声将随之降低。如图 1 中,花纹沟 2 比花纹沟 1 好。

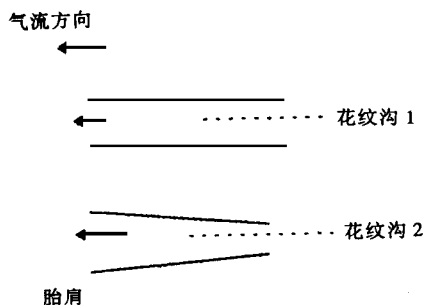


图 1 优化横向花纹沟示意图

(2) 花纹沟角度的优化

如图 2 所示,将相对周向角度小于 90° 的花纹沟 1 与等于 90° 的花纹沟 2 相比,前者相对印痕前缘或后缘有一较大角度,这种沟在进入或离开接地地区时沟中空气压缩或膨胀速度较慢,是逐渐挤出或吸进沟开口端的,而 90° 沟两边的花纹块是突然进入或离开接地地区,沟中空气压缩或膨胀速度快,因此, 90° 沟产生的空气泵噪声会很大。对于低噪声设计, α 愈小愈好。但若考虑到花纹的抓着力等其它因素,则把花纹沟角度 α 设计成 45° 较好。

(3) 花纹沟深度的考虑

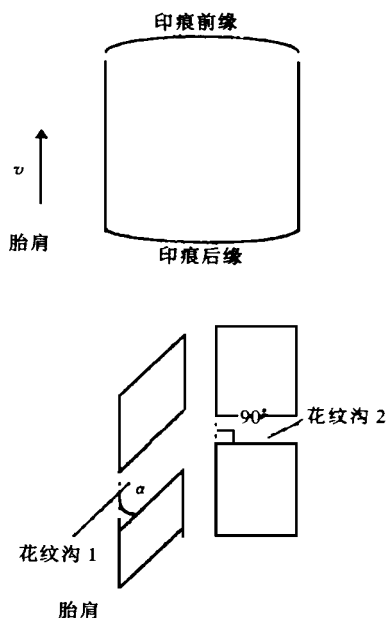


图 2 优化花纹沟角度示意图

一般来讲,花纹沟变浅,“空气泵”中一进一出的空气流量减小,噪声将降低。因此,若仅考虑低噪声,则花纹沟取浅为好。

(4) 花纹沟长度的考虑

因为胎面花纹沟及路面所围管道共振频率 f 与花纹沟长度 l 成反比($f \propto 1/l$)^[1],为了让各种共振频率错开,最好让各种花纹沟取不等长。又由于轮胎与路面间的喇叭口放大效应主要在高频区(高于 1 kHz)有效,因此,将花纹沟长度适当取长,花纹沟管道共振频率尽可能往低频方向移动,可避免喇叭口放大效应的充分发挥。

(5) 花纹沟封闭性的考虑

由于两端封闭的横向沟(即袋状沟或死沟)会发生强烈的亥姆霍兹谐振效应,故花纹沟设计中应尽量避免出现两端封闭的横向沟。

(6) 避免胎肩或胎侧处类似“孔”的花纹沟出现

因为当气流中存在振动系统时,在适当的条件下,气流的激发会使振动系统的振动加强而辐射较强声波。因此,轮胎在高速转

动时,胎肩或胎侧若有类似“孔”的花纹沟出现,当气流掠过孔口边缘时,在孔内气柱的固有频率处,孔内气柱有可能强烈振动而发出类似吹哨的“啸叫声”。因此胎肩或胎侧应尽量避免类似“孔”形花纹沟出现。

(7) 花纹块的优化

在负荷一定的条件下,花纹块尺寸减小,在花纹块与路面的撞击瞬间,花纹块与路面间的高速流动空气减少,碰撞面上产生变形所激发的压力脉冲噪声降低,受撞部分结构共振也降低,即花纹块与路面的撞击噪声得以降低。因此,对于同一种形状的花纹,在不影响轮胎其它性能(如花纹耐磨性及高速不掉块等)的前提下,应适当增大花纹节距数目,减小花纹块尺寸。

2.2 通过花纹组合方式的优化降低整周胎面产生的噪声

以上介绍了对单个节距中花纹形状的优化,而将不同节距花纹组合成整周胎面花纹的组合方式与轮胎噪声也密切相关。如果不同节距的尺寸比例(简称节距比)及节距排列设计不当,则轮胎行驶时会产生类似单频声这样极令人烦躁的噪声。针对这一问题,我们开发了《TPNSA》(轮胎花纹噪声仿真评价及优化)微机软件^[3]。运用该软件可不断调整花纹的节距个数、节距比例、节距排列、花纹的对称性及错位大小,实现将噪声分布在较宽的频带、改善其音质的目的。当然,在调整花纹设计参数时,应同时兼顾轮胎的其它性能。目前,轮胎花纹一般为3~8种形状相同、节距不同的花纹组合而成,但若在同一胎面上设计成不同形状的花纹,其噪声有可能得以改善。由于不同形状花纹节距之间的衔接较为复杂,目前尚未进行这方面的尝试。

通过大量仿真分析与实验对比,我们发现:

(1) 各列周向花纹之间应有适当错位(如图3所示)。若将单个花纹沟及单个花纹块均视为发声单元,胎面各列周向花纹单元中

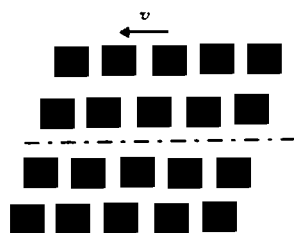


图3 花纹块的错位

心若有一定错位,则可避免各列单元噪声同相叠加后而出现更大波幅。

(2) 花纹节距比为无理数比优于整数比^[4]。这主要为了使各花纹块的啮合频率错开,避免共振发生。

(3) 节距随机性排列比周期性排列好。整周花纹节距随机排列,轮胎噪声基频减小,噪声能量将分布在较宽的频带上,A声级得以降低,则人耳主观感觉会得以改善。

此外,在《TPNSA》仿真分析运用与实测结论的大量对比中发现,严格来讲,目前《TPNSA》对同种形状花纹单元进行整周组合优化具有较大的可靠性,而对不同形状花纹的仿真结果来进行方案选优,可靠性相对较差。这是因为,轮胎在负荷下实际滚动中,一组花纹发声单元的声阻抗将因另一组花纹单元的存在而增加一个附加的辐射阻抗,与单独发声时有所不同。对于不同形状的花纹,这种发声单元之间的相互影响有可能不同,且这种相互影响较为复杂,目前尚未找到其规律。目前《TPNSA》的计算模型是以相邻花纹单元间发声过程互不影响作为假设前提的,因此,目前采用《TPNSA》对各种不同形状花纹节距的组合方式分别进行优化后,最后还应通过刻花胎噪声的实测比较来确定花纹最终的整体方案。

2.3 低噪声花纹设计开发步骤

如上分析,低噪声花纹设计开发可分以下4步进行:

(1) 按上面介绍的设计原则,同时兼顾轮胎其它性能,设计出若干种具商业意义(即用

户可能接受的)和实际应用价值的不同形状的单节距花纹。

(2)实测刻花胎噪声的时域信号,初步筛选出若干候选花纹的形状。

在同一光胎面上,分别连续刻出不同形状的等节距花纹(如每种花纹按等节距排列连续刻 60 胎面,则一条光胎面上可刻 6 种不同形状的花纹),然后在带转鼓的消声室内采用可存储数字化仪器显示并采集其噪声时域波,将噪声幅值明显较高者淘汰掉,剩下的作为候选的花纹形状方案。

(3)通过仿真软件优化,确定各种候选单节距花纹组合成多节距胎面花纹的组合方式。

先假定整周胎面花纹组合的节距个数(整数 n)及节距比例 $a_1:a_2:\cdots:a_i:a_{i+1}:\cdots:a_n$ (整数 $i=1\sim n$),分别将第(2)步候选的花纹形状方案按假定的节距比缩放成 n 个形状相同的节距,然后通过《TPNSA》不断调节节距数及节距比例,优化确定各种形状的多节距整周组合方式(如节距个数、节距比例、节距排列、花纹的对称性及错位大小等具体设计参数)。

(4)将筛选之后的若干候选花纹形状分别按第(3)步中确定的相应组合方案刻在光面胎上。然后实测比较这几种刻花胎的噪声大小,选出噪声相对较低者,同时综合考虑轮胎其它性能,确定最后方案。

除以上对轮胎花纹的优化外,还可对轮胎结构、配方等进行优化。例如,在不影响轮胎操作性能、滚动阻力等其它性能时,轮胎材料硬度应取低。胎面胶较软或带束层材料硬度较小(如尼龙带束层)的软胎,其噪声较低。这是因为软胎与地面撞击减弱,撞击作用时间延长,作用力减小,激励的频带变窄,激发的振动方式减少,噪声可降低 2~3 dB(A)。再如,轮胎材料的阻尼特性取高,可使振动减弱,胎体表面辐射的空气噪声随之降低。

此外,在轮胎使用中,若在轮胎内胎内或轮胎与轮辋间空腔内填充聚氨酯泡沫,可阻碍内胎内或轮胎与轮辋间空腔内气流的波动,减弱轮胎空腔共振,噪声会降低。

以上若干措施可不同程度地降低轮胎噪声,在实际运用中,应根据具体的噪声及其它综合指标,选择其中合适的降噪方案。

3 轮胎花纹降噪设计实例分析

3.1 对花纹形状的优化

改进前花纹形式如图 4 所示(其中有 3 种不同尺寸的节距);改进后花纹形式如图 5 所示(其中有 5 种不同尺寸的节距)。

从噪声发生机理来分析:

(1)改进后整周胎面节距数增多(由 3 节距增为 5 节距),花纹块变小,花纹块撞击噪声减小。

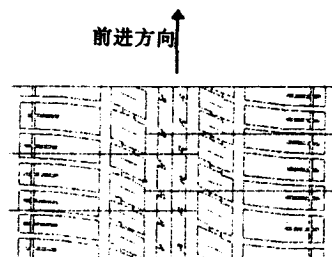


图 4 改进前花纹形式

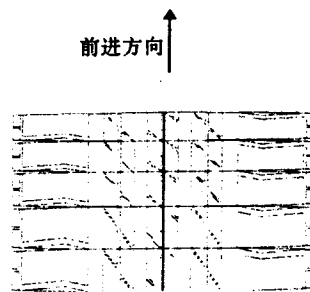


图 5 改进后花纹形式

(2)改进后中央接地地区的花纹沟相对纵向的角度由原来约 67° 改为约 45° ,更接近纵向槽的噪声特性,气流噪声被降低。

基于以上两个主要原因,可推测改进后花纹单元所发噪声会降低。

3.2 通过《TPNSA》噪声仿真软件,对花纹形状改进后的花纹节距进行优化组合

对某一形状的花纹,若要穷尽其花纹的节距个数、节距比例、节距排列及错位大小等设计参数的各种组合方式,并分别进行仿真,其工作量太大,也没有必要。实际运用中,我们是根据前面所述的降噪措施,并兼顾轮胎其它性能,选取理论上认为噪声有可能较低的组合方式进行仿真,然后反复比较仿真所得的噪声“相对”声压级及其线性频谱分布情况,选出相对最优者。此处“相对”声压的含义,是指对同规格轮胎,将轮胎材料、负荷、气压等除花纹外的其它参量均取为某假设量(不一定是实际值)而计算得到的声压值。

经大量仿真比较,确定了改进后花纹节距的组合方式,其仿真频谱图如图6所示,其“相对”声压级为66.5 dB(A)。在大量优化过程中发现,其它组合方式噪声较高,例如其中一种组合方式所对应的频谱图如图7所示,“相对”声压级为74.0 dB(A)。

3.3 实测验证

利用室内转鼓试验机,采用扫描法实测获得花纹改进前后同一规格两条轮胎的噪声声功率。经比较可以看出,改进后声功率降低4~5 dB(A),改进后频谱图得以改善,噪声能量频谱分布加宽,更接近白噪声。改进

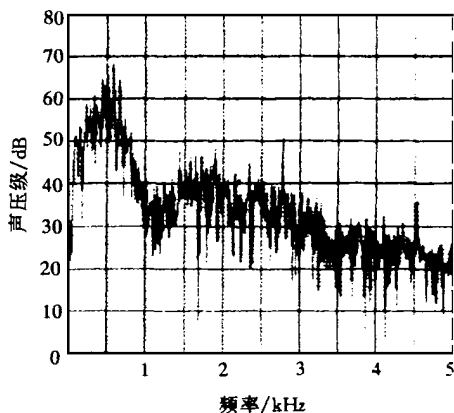


图7 非优化组合的噪声频谱图例子

速度 $v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

前后声功率1/3倍频程频谱图分别如图8和9所示。

仿真与实测结果对比中,仿真值为轮胎前胎附近某点的声压线性频谱图,而实测为声功率1/3倍频程频谱图,故两图(图6及图

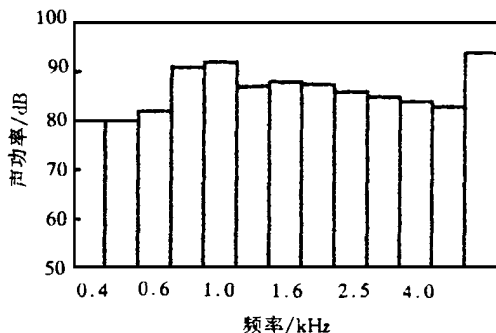


图8 改进前声功率频谱图

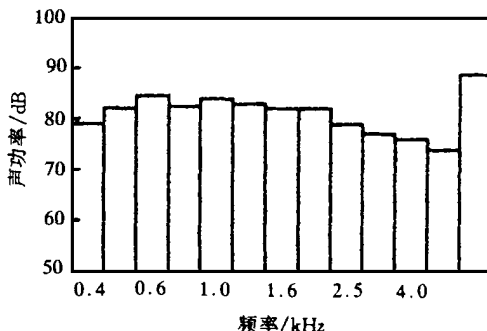


图9 改进后声功率频谱图

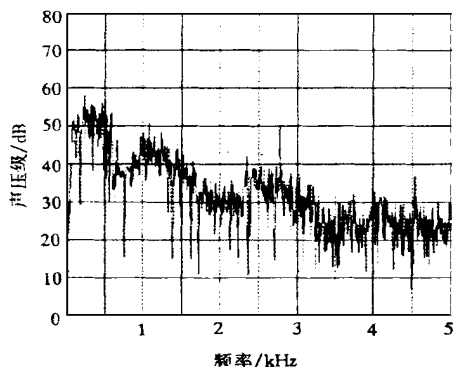


图6 改进后优化组合的噪声频谱图

速度 $v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

9) 直接表示的物理量不一样; 另外, 目前仿真软件中未考虑轮胎与路面形成的喇叭口高频(1 kHz 以上) 放大效应, 故仿真图中高频区应比实测值低。

因此, 经实测验证, 改进后噪声有较大改善, 实测结论与前面分析推断一致。

4 结论

综上所述, 基于轮胎噪声机理分析的结论所采取的降噪措施是切实可行的, 其中, 轮胎花纹设计技巧最为重要。设计人员应根据用户需求因地制宜地运用降噪技术, 并兼顾轮胎其它性能, 设计出高性能、低成本轮胎。当然, 轮胎降噪设计技术将在具体实施运用中, 随着轮胎噪声机理研究的成熟而不断完善。

善。

致谢 感谢研究工作中给予帮助与支持的所有同志, 特别向给此稿提供花纹图的陈弘、陈建珍、黄巍昕等工程师致谢!

参考文献

- 1 关元洪, 董 芹. 轮胎恒速行驶噪声机理. 见:《橡胶工业》《轮胎工业》编辑部. 第十届全国轮胎技术研讨会论文集. 北京:《橡胶工业》《轮胎工业》编辑部, 1998. 201~208
- 2 赵松龄. 噪声的降低与隔离(下册). 上海: 同济大学出版社, 1985. 92~97
- 3 董 芹, 杨光大, 陈理君. 轿车轮胎花纹噪声微机仿真及评价(TPNSA)软件包介绍. 轮胎工业, 1997, 17(9): 527~530
- 4 陈理君, 杨光大, 董 芹. 低噪声轮胎花纹设计原则. 橡胶工业, 1997, 46(3): 150~155

第十届全国轮胎技术研讨会论文(二等奖)

Design Technology of Noise-reduced Tire

Dong Qin and Chang Chuanxian

[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd. 200072]

Guan Yuanhong

[Shanghai Jiaotong University 200030]

Abstract It is proposed from the analysis of the tire noise generating mechanism that the specific measures to reduce the noise in tire design are the selection of the tread patterns with low noise and the optimization of their combination. The know-how in noise-reduced tire design and the development procedure of such tire are introduced.

Keywords tire noise, noise control, computer simulation

天津橡塑机轿车/载重车轮胎高速/耐久性能试验机通过技术鉴定

日前, 由天津橡塑机械联合有限公司开发的 XIL-TTM-T/P01 型轮胎高速/耐久性能试验机通过了中国化工装备总公司组织的技术鉴定。该试验机适于直径为 530~1 250 mm 的轿车轮胎和载重轮胎及部分工程机械轮胎的高速/耐久性能检测。该机在开发过程中, 对各种先进的进口试验机进行了研究,

除吸收其优点外, 还根据国内用户的需要, 大胆改进了关键部件的结构设计, 自行开发了多功能中文显示技术软件, 配套件、控制元件的选用力求先进可靠, 不低于进口试验机的水平。整机各系统连续工作性能良好, 稳定可靠, 试验数据准确, 主要性能指标达到国外同类试验机 90 年代初先进水平。其价格仅为进口试验机的 1/2。

(本刊讯)