

基于城市路况电动汽车轮胎的开发思路

王君,孙超,刘坤

(青岛双星轮胎工业有限公司,山东 青岛 266555)

摘要:基于城市路况使用环境以及电动汽车性能需求,介绍了电动汽车轮胎性能特殊需求的优先顺序,以及轮胎性能实现的开发途径和影响因素;参照竞品,通过有限元仿真进行分析,设计了可以满足性能要求的外轮廓和花纹样式,并采用DOE试验设计和分析方法,结合精密的高端制造过程和完善的评价体系,确定了具有良好综合性能的产品。

关键词:轮胎;电动汽车;滚动阻力;噪声;平顺性;操纵性能;有限元分析;DOE试验设计

中图分类号:U463.341;TB533⁺.2

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2022)11-0650-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2022.11.0650



OSID 开放科学标识码
(扫码与作者交流)

在全球能源危机和倡导“碳中和”理念的背景下,随着国家政策的积极助力和“三电”技术的成熟,近年来电动汽车市场持续快速发展,2021年电动汽车销量已达到340万辆,预计2030年将突破1 800万辆。在电动汽车市场拥有量逐年提升和汽车向新能源方向转型的同时,轮胎也在该领域进行了针对性革新。国外主流轮胎公司已经针对新能源汽车的特点和地域消费者需求,结合高端制造技术,研发出电动汽车专用的绿色轮胎,代表性的产品有2019年韩泰轮胎有限公司在全球范围内上市的Kinergy AS EV轮胎和2021年米其林集团开发的应用于多款电动车型的e聆悦和竞驰EV花纹配套轮胎^[1-2]。

我公司基于城市路况进行了电动汽车专用绿色轮胎的开发。现将本产品的主线开发流程、开发核心思路以及产品的主要特点介绍如下。

1 新产品目标性能的开发流程

产品性能开发流程如图1所示。

通过产品需求调研,获知该产品主要应用情景为城市道路速度为100 km·h⁻¹以下的中低速行驶路段。轮胎需各方面性能优异,并应注重轮胎的续驶里程,噪声、振动与声振粗糙度(NVH)和平

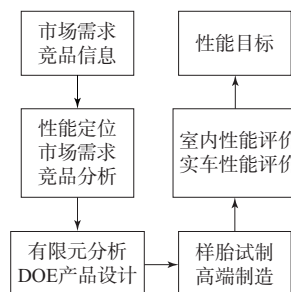


图1 产品性能开发流程

顺性。此外,轮胎还须具有良好的基本性能,如操控安全性和承载性能等。参考电动汽车轮胎性能特点和市场反响较好的同类型基准轮胎,确定轮胎性能定位及优先顺序。

2 产品的设计目标性能

根据在城市路况中电动汽车轮胎的使用特点,对本产品性能需求进行优先级排序如表1所示。

3 目标性能产品的开发及实现途径

3.1 滚动阻力

在开发初期,采用仿真预测技术降低与轮胎结构相关的滚动阻力。外轮廓设计完毕后,利用有限元方法进行分析(见图2),红色越深表示肩部受到的应力越大,进而产生的变形越大。因此增大花纹块刚性或使应力集中部位分散受力,以减小变形和胎面生热。

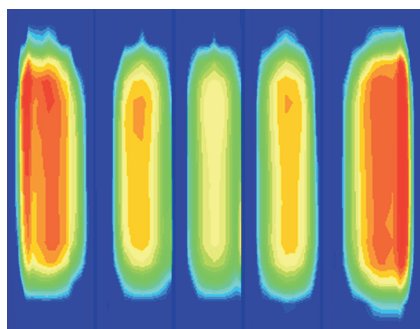
作者简介:王君(1979—),男,天津人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,学士,主要从事轮胎研发和管理工作。

E-mail:wangjuncy@doublestar.com.cn

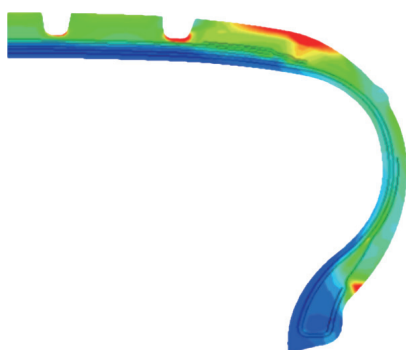
表1 轮胎目标性能优先级排序

排序	目标性能	性能说明
1	滚动阻力	提升整车的续航里程,采用低滚动阻力轮胎
2	NVH	对标C-ECAP ¹⁾ 金牌及以上标准;由于缺少发动机噪声的掩盖,电动汽车的胎噪和路噪较为明显,但适当的车外噪声能对城市道路上的行人起到安全警示的作用。因此,此款轮胎重点解决路面激励的结构噪声导致的车内噪声
3	平顺性	与驾乘主观舒适度密切相关,轮胎衰减冲击力要迅速
4	操控性	电动汽车扭矩输出大,需要较强的抓着力,由于电动汽车一般在城市公路上中低速行驶,对侧滑和转向刚度要求较低
5	耐磨性能	电动汽车扭矩输出大,加速度高,胎面极易撕裂
6	支撑性	电池质量较普通汽车大20%,需要更好的承载性能,需通过较高的胎压保证
7	安全性	关系乘客切身安全,需抗撞击

注:1) C-ECAP为中国汽车生态评价,评价类别主要包括车内空气质量、车内噪声、有害物质、综合油耗和尾气排放等5个基本评价指标。



(a) 接地印痕



(b) 温度场

图2 轮胎有限元分析

根据有限元分析结果,结合以下经验公式:

$$F = \sum \alpha \times \tan \delta \times dV$$

式中, F 为应力, α 为变形量, $\tan \delta$ 为损耗因子(表

征生热), V 为体积。

滚动阻力的影响因素及影响因子有利变化趋势分析如下^[3-4]。

(1) 模具外轮廓。减小断面宽、行驶面宽度和肩部下沉量以及增大胎面半径和外直径。

(2) 生热。采用高分散性改性白炭黑配合硅烷偶联剂。

(3) 体积/质量。减小胎侧、胎面等半成品的尺寸(宽度/厚度)。

(4) 变形量。减小花纹沟深度和胎侧厚度。

(5) 密炼。保证胎面胶料的动态热机械分析(DMA)和60℃下的 $\tan \delta$ 数值稳定性。

(6) 挤出/成型。控制挤出半成品质量和成型胎坯质量稳定性。

产品试制完成后,在室内滚动阻力试验机上按照ISO 28580:2018中的测试方法进行滚动阻力测试。在需要改善滚动阻力时,综合其他性能进行适当调整。

3.2 NVH性能

电动汽车在城市道路的行驶环境如图3所示。从利于行人和乘车者的角度出发,车外噪声过大容易引起行人的反感。由于相对内燃机汽车而言,电动汽车产生的噪声已经相对较小,适度的轮胎车外噪声可引起行人对车辆的警觉,有助于保护行人的安全,因此本产品设计之初对花纹产生的噪声没有设置过于苛刻的要求。

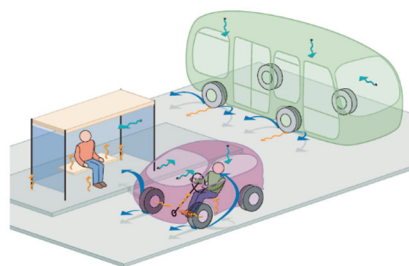


图3 电动汽车在城市道路的行驶环境

在设计前期,利用仿真手段,对节距排列进行仿真分析,使噪声能量合理分散在不同的频率区间,避免产生过高的峰值噪声。轮胎的花纹节距排列及其噪声仿真结果分别如图4和5所示。产品开发后期通过室内噪声重点考察车内乘客对车内噪声的感受。

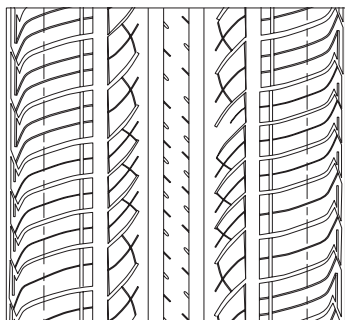


图4 轮胎的花纹特征及节距排列

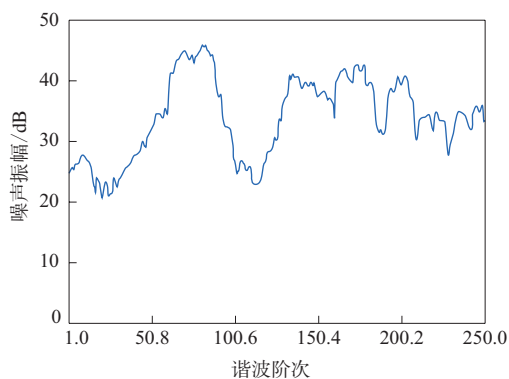


图5 轮胎花纹节距噪声仿真结果

产品设计完毕,通过粗糙转鼓面上Coastdown测试方法获取行驶速度由 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 匀减速至 $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 过程中的Colormap图形,如图6所示。

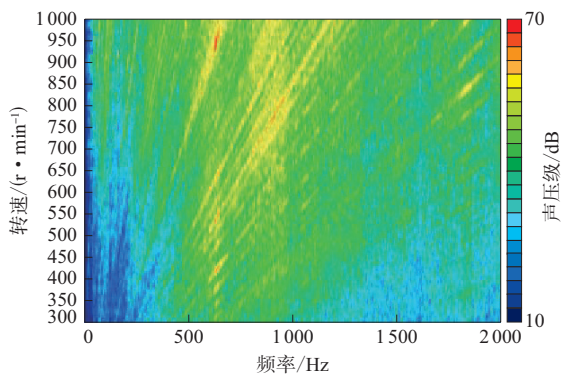


图6 轮胎结构噪声Colormap图形

因此,调整轮胎材料结构和改善轮胎整体刚度成为现有车内噪声改善的主要方向。

从设计角度分析,强度较大的冠带材料和较小的带束层角度对结构噪声十分重要。厚度较大的胎面沟底胶和内衬层胶容易产生较大的阻尼减震效应,阻碍声音传入车内。强度较小的胎体帘

布层和带束层材料,其厚度较小,胎面胶较软,腔型设计体积较小,对于车内NVH性能均可起到一定程度的改善作用^[3-6]。从工艺角度分析,较小的径向力八次谐波对控制高速状态下的车内噪声较有利。在胎体膨胀安全系数范围内,适当减小胎坯周长;保持成型加持块和活络模块中心重叠,控制硫化二次定型压力,可有效降低径向力八次谐波;降低车辆行驶过程中轮胎在较高车速下的峰值结构噪声,满足乘客对车内静音的要求。

3.3 平顺性

整车平顺性一般受悬架和轮胎性能影响,轮胎能够传递和过滤不平路面对车辆的冲击,径向刚性与轮胎的振动和冲击有关。室内高速均匀性试验机Cleat冲击试验结果可表征轮胎通过凸块时对轮胎冲击力的影响,也可表征力随时间的衰减的快慢。同时,也能测试在某一速度下,轮胎一阶固有频率对应的力的幅值,便于设计时偏离车架一阶固有频率,防止共振的产生。

针对平顺性问题的改善,从设计角度分析:轮胎的舒适性主要与胎侧和胎冠的刚性相关;通过调整三角胶的高度或硬度、胎体层数和胎体反包高度等措施可以改善胎侧的刚性;通过改变带束层的角度或宽度等措施可以调整胎冠刚性。从工艺角度分析:均匀性参数中的径向力一次谐波对车辆的抖动有影响,因此控制产品的质量/刚性/真圆度至关重要;控制成型帘线接头搭接量,并保证胎面等半成品厚度的均一性,可降低径向力,有效避免出现方向盘抖动的现象。

3.4 操控性能

对于城市道路专用电动汽车轮胎,较强的抓着力是保证车辆安全行驶的基础,可通过调整行驶面宽等外轮廓参数和胎面配方来提高抓着力。

一般来说,侧偏刚度是决定车辆操纵稳定性的重要参数,回正力矩可表征车辆恢复直线行驶的能力。在产品设计过程中,通过前期有限元仿真或后期的六分力测试技术作为判定手段,从而保证轮胎的侧偏刚度、回正力矩和径向刚性符合车型客观性能指标分解的需求以及轮胎的松弛长度符合车型瞬态客观性能指标分解的需求。

轮胎的胎面配方、三角胶硬度和高度、带束层

角度以及胎体反包高度均会影响轮胎的六分力特性参数(侧向力侧偏系数、回正力矩系数、径向刚度和瞬态松弛长度)。

4 设计思路与试验设计

4.1 设计思路

(1) 确认外轮廓。通过滚动阻力、侧偏刚度和接地压力分布等项目的有限元仿真分析,获得合适外轮廓,并保证轮胎接地变形和生热小,滚动阻力性能优异。若轮胎的接地面积大,可获得较强的抓着力;若接地印痕压力分布均匀,则可保证散热快,减小磨损。

(2) 确定胎面对称花纹。细小的花纹横沟、较浅的周向花纹沟和较窄的横向花纹沟槽,既可以增强花纹沟的抗压缩性,利于降低滚动阻力,又可以降低由较大的花纹沟带来的泵浦噪声,并通过节距排列仿真分析确定节距排列方式。

(3) 确定胎面配方。采用分子链末端改性的溶聚丁苯橡胶,并添加高比例的高分散性沉淀法白炭黑和硅烷偶联剂,获得滚动阻力、湿地抓着力和耐磨性能的平衡^[7]。

(4) 确定DOE (Design of Experiment) 方法对轮胎半成品进行组合和搭配。轮胎性能与设计参数之间的关系如图7所示。设定轮胎目标性能并利用轮胎结构部位的刚性分布情况(见图8),结合有限元分析和DOE试验的设计方法,通过性能评价的手段,对性能需求进行优先级排序并进行优化,确保各种性能达到最优化。

4.2 试验设计

DOE试验设计可以用较少的试验方案和较短的试验周期获得较为理想的试验结果,可对各个性能结果进行排序,也可以通过均值分析,进行

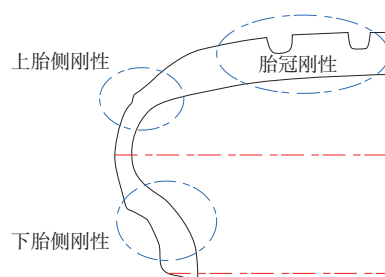


图8 轮胎刚性分布

局部细节的调整。

本产品开发采用六因子两种水平的方案制定正交试验方案。

对性能影响的常用影响因子为胎面配方、带束层角度、带束层宽度、三角胶高度、三角胶硬度、冠带条缠绕方式、冠带条密度和胎面沟底胶厚度等。通过试验设计并综合滚动阻力、噪声等性能的参数结果,确定优选方案;通过均值分析法,得出影响因子对轮胎性能的影响。该方法有助于方案的改善和调整。通过滚动阻力、噪声、六分力和高速均匀性等室内测试,对比竞品轮胎的相关性能指标,最终在方案中选择出最优产品方案进行实车评价的确认。

4.3 试验设计最优方案产品的主要特点

(1) 外轮廓。通过有限元仿真分析确定的外轮廓,在保证滚动阻力性能的同时,有利于抓着力和耐磨性能的实现。

(2) 花纹样式。细小的花纹沟槽可以保证花纹沟具有足够的抗压缩性,减小变形,保证滚动阻力性能的同时,有利于防止产生过大的泵浦噪声。

(3) 材料分布(见图9)。上胎侧部位采用薄胎侧和高反包帘布组合,满足低滚动阻力、舒适性和抗撞击性能;下胎侧部位采用小三角胶和大外护胶的合理搭配,保证较高的下胎侧刚性,均衡了舒适性、操控性和低滚动阻力;胎冠部位采用1层平铺(1JF, 1260dtex/2)高强度锦纶帘布代替1层平铺与肩部缠绕(1JF+1JE, 840dtex/2)冠带条、27°带束层和较厚的花纹沟底胶,缓冲了带束层的振动,有利于舒适性和降低结构噪声;胎肩部位的1°带束层宽度比行驶面宽度大4~6 mm,既减小了胎肩部位变形,又增大了接地面积。

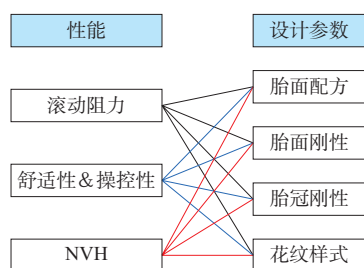


图7 轮胎性能与设计参数之间的关系

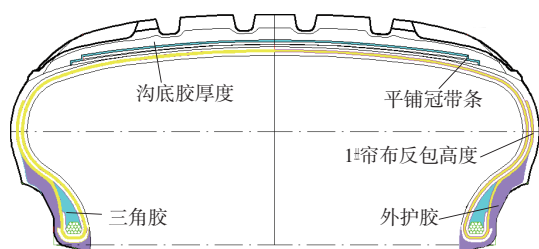


图9 轮胎材料分布

5 结论

(1) 本工作基于城市道路行驶路况及电动汽车的市场需求开发了一款电动汽车专用轮胎,结合车辆的续航里程、车内噪声、抓着力等方面的要求,确定了性能开发的优先顺序,即滚动阻力、舒适性、车内NVH性能、操控性、抗撞击、耐磨性能。

(2) 列举了滚动阻力、舒适性、车内NVH性能和操控性能等的实现方式,并进行了影响因素分析,以应用于产品开发过程中,得到符合技术指标的产品。

(3) 外轮廓设计和胎面配方设计优先考虑了滚动阻力,其次是抓着力和耐磨性能的综合实现。

(4) 本产品考虑轮胎对行人安全的保护,对花纹噪声没有设置苛刻的要求;花纹设计重点

考虑滚动阻力和抓着力综合需求。

(5) 在轮胎半成品的组合和搭配方面,从轮胎不同部位的刚性分布角度进行分析,采用DOE试验设计的思路进行优选方案的选择,对不满意的性能进行细微调整,最后经过实车评价最终确认。

参考文献:

- [1] 殷瑞婧,雍占福,冯启章,等.电动汽车轮胎滚动阻力与噪声协调设计及产品开发[J].轮胎工业,2017,37(2):67-74.
- [2] 徐立,储民.国外电动汽车轮胎发展现状[J].橡胶工业,2019,66(8):630-637.
- [3] 陈建国,黄焱强,周涛,等.205/55R16低滚动阻力轿车子午线轮胎的设计开发[J].橡胶科技,2020,18(12):706-709.
- [4] 殷瑞婧,雍占福,冯启章,等.电动汽车轮胎滚动阻力与噪声协调设计及产品开发[J].轮胎工业,2017,37(2):67-74.
- [5] TANG L M, XING X Y. Tire NVH attributes on vehicle interior noise[C]. 2020年中国汽车工程学会年会论文集.上海:中国汽车工程学会,2020.
- [6] THOMAS J, KIRTANE K, CHERIAN T, et al. Study of tire contribution to vehicle noise, ride and handling performance using DOE (Design of Experiments) techniques[C]. WCX SAE World Congress Experience. Detroit:FCA,2020.
- [7] 曾季,阙元元,蔡尚脉,等.电动汽车轮胎的发展现状与设计思路[J].橡胶工业,2019,66(12):883-894.

收稿日期:2022-08-12

Development of Electric Vehicle Tire Based on Urban Road Condition

WANG Jun, SUN Chao, LIU Kun

(Qingdao Doublestar Tire Industry Co., Ltd, Qingdao 266555, China)

Abstract: Based on the use environment of urban road conditions and the performance requirements of electric vehicles, the priority order of the special requirements of electric vehicle tire performance, as well as the development methods and influencing factors of tire performance realization were introduced. The outer profile and pattern style that could meet the performance requirements were designed by using the finite element simulation analysis with reference to the competing products. Then, the products with good overall performance were developed by using the DOE experimental design and analysis method, combined with the high-end precise manufacturing process and extensive evaluation system.

Key words: tire; electric vehicle; rolling resistance; noise; ride comfort; handling performance; finite element analysis; DOE experimental design