

# 205/55R16 91V新能源轿车子午线轮胎的设计

李慧敏,刘宝涛,张凯凯,王龙庆,孙绪利

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司,山东 青岛 266229)

**摘要:**介绍205/55R16 91V新能源轿车子午线轮胎的设计。结构设计:外直径 630 mm,断面宽 222 mm,行驶面宽度 170 mm,行驶面弧度高 7.8 mm,胎圈着合直径 404.2 mm,胎圈着合宽度 185 mm,断面水平轴位置( $H_1/H_2$ ) 0.957,胎面主花纹沟深度 7.0 mm。施工设计:使用低滚动阻力胎面胶配方,采用单层胎体高反包结构,带束层采用 $2\times 0.30$ ST钢丝帘线,采用全自动一次法成型机成型,双模热板式硫化机硫化。通过对轮胎接地印痕、侧偏特性和滚动阻力等有限元仿真分析确定了设计方案的可行性。成品性能试验结果表明,轮胎的充气外缘尺寸、强度、脱圈阻力、耐久性能和高速性能均达到相应设计和国家标准要求,实现了降低滚动阻力的目的,操纵稳定性及舒适性主观评价全面提升。

**关键词:**新能源汽车;轿车子午线轮胎;结构设计;施工设计;滚动阻力

**中图分类号:**TQ336.1

**文章编号:**2095-5448(2024)02-0088-06

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2024.02.0088



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

随着全球气候变暖日益严重,低碳化发展已成为全球经济环境下的竞争战略,世界各国政府积极开展节能减排行行动,运用政策手段推进低碳化发展。在众多政策加持下,新能源汽车得以在全球范围内推广,并以燎原之势迅速发展。新能源汽车对轮胎的设计和制造提出了更高要求,包括更低的滚动阻力、更高的耐磨性能和承载能力、更强的抗撕裂性能、更静音舒适等。作为新能源汽车的重要组成部分,新能源汽车专用轮胎的需求量将持续稳步增长,成为全球轮胎企业竞争的新高地。

针对新能源汽车配套市场现状,为满足客户需求,本工作采用有限元仿真与实测相结合的方法,从轮廓参数、结构参数、工艺条件、胎面花纹和胎面配方设计等方面介绍205/55R16 91V新能源轿车子午线轮胎的设计过程,以积累经验,为同类产品开发设计提供参考。

**作者简介:**李慧敏(1989—),女,山东淄博人,青岛森麒麟轮胎股份有限公司工程师,学士,主要从事轮胎结构与力学性能研究工作。

**E-mail:**lihuim@sentyrtire.com

## 1 新能源汽车的性能特点

### 1.1 动力性能

新能源汽车的动力输出形式和表现与燃油汽车不同。输出形式方面,新能源汽车不再依靠内燃机输出,而是以电动机输出为主<sup>[1]</sup>。这就导致两类汽车动力表现不同,以车辆的加速过程为例,传统燃油汽车的加速过程存在挡位切换,挡位越高车轮端的扭矩越小;而新能源汽车从起步到极速的整个加速过程均以电动机的峰值输出,扭矩大,为线性加速,无挡位冲击,加速体验感更佳。但由于汽车必须通过轮胎与路面的接触来获得足够的牵引力以克服行驶阻力,新能源汽车的大扭矩输出对轮胎的力学性能要求很高,同时对轮胎的抗撕裂性能和耐磨性能有较大的挑战。

### 1.2 续航能力

新能源汽车充电时间长,充电便利性差,因此续航里程成为制约新能源汽车发展的重要因素。续航能力与电池技术有关系,与轮胎滚动阻力也密切相关。试验表明,汽车动力输出功率的30%~40%消耗于轮胎滚动阻力,因此,降低轮胎滚动阻力是提升新能源汽车续航能力的有效手段。

### 1.3 承载能力

新能源汽车虽然没有了内燃机,但其使用的电池组质量较大,尽管汽车制造商不断致力于高续航轻质电池组的研发,但短期内并未有很大进展,新能源汽车整体质量比传统燃油汽车大10%~15%,这一方面限制了车辆的承载能力,另一方面对轮胎的承载能力也提出了严苛的要求。

### 1.4 静音舒适性

传统燃油汽车的三大噪声为发动机噪声、胎噪和风噪。相比于传统燃油汽车,新能源汽车没有发动机噪声掩盖,因此胎噪更明显,需要对轮胎进行改进设计才能保证车内静音感受。

## 2 新能源轮胎的设计开发

### 2.1 技术要求

根据《中国轮胎轮辋气门嘴标准年鉴(2018)》,并结合《欧洲轮胎轮辋技术组织标准手册(2018)》,确定205/55R16 91V新能源轿车子午线轮胎的技术参数为:充气外直径( $D'$ ) 625~639 mm,充气断面宽( $B'$ ) 205~221 mm,标准充气压力 250 kPa,标准负荷 615 kg,标准轮辋 6.5J。

轮胎室内性能目标要求:高速性能试验通过速度 $\geq 240 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,耐久性试验累计行驶时间 $\geq 34 \text{ h}$ ,强度性能试验最小破坏能 $\geq 295 \text{ J}$ ,脱圈阻力 $\geq 11\ 120 \text{ N}$ ,滚动阻力系数 $\leq 6.5 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$ 。

轮胎室外实车性能要求使用新能源汽车进行测试,舒适性及操纵稳定性相比于现有普通轮胎明显提升。

### 2.2 轮胎力学性能

轮胎力学性能对整车性能表现有很大影响,轮胎的侧偏特性是指轮胎侧向力、回正力矩与侧偏角之间复杂的相关性,是轮胎重要的力学特性。轮胎侧偏刚度越大,侧偏角越小,转向响应越好。侧偏刚度还直接对车辆的不足转向度产生影响。可以通过调整侧偏刚度,调整轮胎的转向响应;通过调整前后轴负荷下侧向力随侧偏角的变化调整轮胎对车辆不足转向的贡献度<sup>[2]</sup>。通过考虑负荷转移过程的侧向力变化调整轮胎转向稳定性。

轮胎侧偏特性的设计主要从胎面配方、轮廓

设计、花纹侧向刚度设计以及胎冠、胎侧、胎圈部位刚性的平衡设计等方面综合考虑。结合新能源汽车的动力学特点,扭矩输出快速且直接,需要轮胎与地面迅速建立抓着力,故侧偏刚度需要比普通轮胎有大幅提升。

### 2.3 低滚动阻力设计

马改陵等<sup>[3]</sup>通过有限元仿真对滚动轮胎各部件的能量分布进行了分析,结果表明,胎面、胎圈、三角胶、带束层、内衬层、胎侧、胎体和基部胶对轮胎滚动阻力的贡献率分别为39%,14%,13%,8%,8%,7%,6%和5%,其中胎面对滚动阻力贡献率最大,因此降低轮胎滚动阻力主要是针对胎面部位。本工作涉及的新能源汽车轮胎滚动阻力降低主要从低滚动阻力胎面胶配方考虑,配合其他减小质量及降低滚动阻力结构设计。

### 2.4 设计参数

#### 2.4.1 结构设计

轮廓设计对轮胎整体性能起到关键性作用,其设计参数的选取直接影响到硫化后轮胎的外缘尺寸、滚动阻力、操纵性能和耐磨性能等。因独特的性能要求,新能源汽车轮胎的轮廓设计与普通轮胎的轮廓设计存在差异。

轿车子午线轮胎充气后轮胎的外直径膨胀较小,一般为2~4 mm,外直径( $D$ )取值一般与标准值相等或稍小。本设计 $D$ 取630 mm,比标准值小2 mm。

断面宽( $B$ )的变化受较多因素的影响,包括轮辋着合宽度、带束层角度、冠带层设计以及扁平比等,因此 $B$ 的取值要综合考虑<sup>[4]</sup>。本设计 $B$ 取222 mm,断面宽膨胀率为96.4%。

行驶面宽度( $b$ )和弧度高( $h$ )是决定轮胎胎冠形状的主要参数,而胎冠形状对胎面的耐磨性能、牵引性、转向性及生热等性能有直接影响。 $b$ 的选取应考虑轮胎的性能目标,只考虑滚动阻力时,一般采用较小的 $b$ ,本设计降低滚动阻力目标主要从配方考虑,故选取相对较大的 $b$ 以兼顾耐磨性能和操纵性能; $h/b$ 的取值一般为0.04~0.06,其通过影响轮胎接地印痕进而影响轮胎的操纵性能、安全性能和使用寿命,本设计 $b$ 取170 mm, $h$ 取7.8 mm,故 $h/b$ 为0.046, $b/B$ 为0.766。

轮胎与轮辋过盈配合,同时胎圈着合直径( $d$ )

的取值应满足轮胎装卸方便和着合紧密的要求,如果 $d$ 取值不合适不但通过影响轮胎的阻尼衰减直接影响舒适性,而且容易造成径向力及动平衡问题,进而影响乘坐舒适性及滚动阻力。综合以上考虑,本设计 $d$ 取404.2 mm,胎圈着合宽度( $C$ )取185 mm。

断面水平轴位置( $H_1/H_2$ )位于断面最宽处,是轮胎充气后法向负荷下变形最大的位置。断面水平轴位置对轮胎的应力分布影响很大,水平轴偏上,应力分布更集中于胎肩,水平轴偏下,应力分布更集中于胎圈部位, $H_1/H_2$ 一般取0.8~1.1,本设计 $H_1/H_2$ 取0.957,根据经验可以更好地平衡55系列轮胎胎肩与胎圈的应力分布。

为了进一步降低滚动阻力,优化花纹噪声,提升花纹块刚度,花纹沟深度相比普通轮胎减小0.5 mm,主沟花纹深度为7.0 mm。轮胎断面轮廓如图1所示。

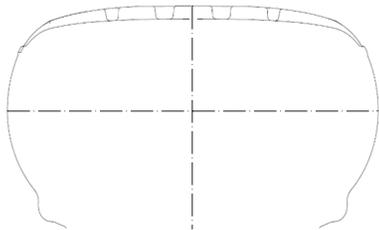


图1 轮胎断面轮廓示意

#### 2.4.2 施工设计

(1)胎面胶配方。由于轮胎的轮廓设计中 $h/b$ 比值相对较小,从轮廓方面降低滚动阻力的空间不足;轮胎花纹深度减小,不利于排水,对湿地性能的考虑不足;因此,胎面胶配方需要综合考虑滚动阻力与湿地性能。采用白炭黑与硅烷偶联剂并用,增大溶聚丁苯橡胶乙烯基含量,调整白炭黑填充比例,实现轮胎性能的平衡<sup>[5]</sup>。

(2)考虑到新能源汽车轮胎的使用条件,负荷和充气压力都较普通轮胎大,为保证轮胎的承载能力及抗鼓包性能,采用单层胎体高反包结构,反包端点在带束层下15 mm,保证胎侧部位双层胎体抗鼓包,且最大限度地轻量化设计,保证轮胎滚动阻力性能。

(3)冠带条缠绕方式为冠部单层、肩部双层结构,肩部双层缠绕宽度为20 mm,承接胎侧部位双层胎体结构的较高刚度;胎侧和胎肩刚度高,胎冠

部位单层冠带层,单层胎体,保证有一定的抗压缩变形能力,可保证冲击柔和度,并兼顾了舒适性。

(4)带束层采用 $2 \times 0.30$ ST钢丝帘线,带束层角度为 $27^\circ$ ,带束层角度设计对轮胎的舒适性和操纵性能都有很大影响,增大带束层角度可减小对胎体的箍紧作用,减小胎冠总应力,有利于轮胎的包容性和隔绝性,但对轮胎侧偏刚度和回正刚度影响较大<sup>[6]</sup>,会降低轮胎的转向响应和直线行驶稳定性。

(5)三角胶高度相比于普通轮胎设计减小5 mm,有利于降低轮胎滚动阻力<sup>[7]</sup>。

(7)钢丝圈采用 $\Phi 1.295$ HT低锡回火胎圈钢丝,排列方式为4-5-4,单根缠绕法生产,胎圈安全倍数为5.8,可以有效地支撑车辆的载荷。

#### 2.4.3 工艺参数

(1)成型采用全自动半钢一次法成型机,冠包侧生产工艺。成型鼓宽度为400 mm,成型鼓周长为1 215 mm,满足设计要求。

(2)硫化采用1 219.2 mm(48英寸)双模热板式硫化机、氮气定型硫化,硫化条件为:高压蒸汽温度 $199 \sim 205^\circ\text{C}$ ,热板和外壳温度 $170 \sim 175^\circ\text{C}$ ,高压氮气压力 $2.10 \sim 2.30\text{ MPa}$ ,高压蒸汽压力 $1.5 \sim 1.7\text{ MPa}$ ,总硫化时间12 min。硫化成品轮胎的外观整洁,无质量缺陷。

### 3 仿真分析

#### 3.1 轮胎性能

方案确定之前对普通轮胎及新能源汽车轮胎设计方案分别进行了有限元仿真,结果见表1。

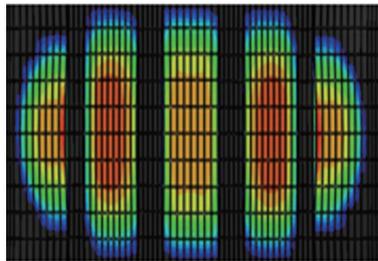
表1 两设计方案轮胎仿真结果对比

项 目	新能源汽车轮胎	普通轮胎
$D'/\text{mm}$	631.27	632.81
$B'/\text{mm}$	213.35	215.84
接地印痕形状因数	1.14	1.17
接地压力分布幅值/MPa	0.496	0.423
带束层层间剪应变/ $^\circ$	11.34	12.64
胎体应变能密度 $\times 10^3/(\text{J} \cdot \text{mm}^{-3})$	1.500	1.428
胎肩部最大应力/MPa	1.991	2.608
胎圈部位最大应力/MPa	1.500	1.428
径向刚度/ $(\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$	226.71	218.12
滚动阻力系数/ $(\text{N} \cdot \text{kN}^{-1})$	6.17	7.15
侧偏刚度/ $[\text{N} \cdot (^\circ)^{-1}]$	1 457.66	1 247.82
回正刚度/ $[\text{N} \cdot \text{m} \cdot (^\circ)^{-1}]$	57.78	49.92

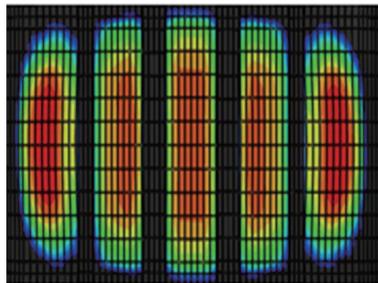
由表1可见:与普通轮胎相比,新能源汽车轮胎的滚动阻力明显下降,保证了滚动阻力的仿真精度;在轮胎工作充气压力和负荷下,轮胎的侧偏刚度提升17%,同时回正力矩也明显提升,这对轮胎的转向响应及方向盘力的反馈非常有利。

### 3.2 接地印痕

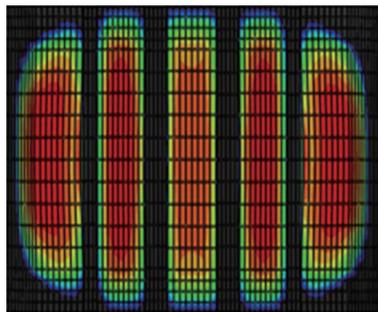
新能源汽车轮胎在不同负荷下的接地印痕形状及压力分布仿真结果如图2所示。



(a) 307.5 kg负荷



(b) 461.25 kg负荷



(c) 615 kg负荷

图2 新能源汽车轮胎接地印痕仿真结果

由图2可见:新能源汽车轮胎接地压力分布均匀,接地印痕形状近似椭圆形;随负荷增大,接地印痕形状更趋向于矩形,单位接地压力增大,但压力分布均衡,在轮胎多数使用环境下,无局部受力及变形过大的情况,可以有效地避免轮胎偏磨。

### 3.3 滚动阻力

轮胎滚动阻力仿真示意及仿真结果分别见图

3和表2。由表2可见,新能源汽车轮胎与普通轮胎的滚动阻力分布情况相似。

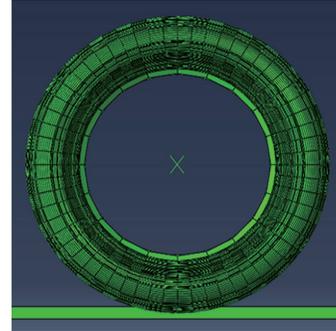


图3 轮胎滚动阻力仿真示意

表2 两设计方案轮胎各部位滚动阻力占比仿真结果对比

部 位	新能源汽车轮胎	普通轮胎	%
胎面	60.24	57.35	
基部胶	2.46	2.35	
胎侧	4.55	3.75	
冠带条	4.30	4.10	
带束层	10.47	9.90	
胎体	7.59	8.77	
内衬层	4.91	5.63	
三角胶	0.90	1.77	
胎圈胶	4.57	6.38	
钢丝圈	0	0	

## 4 新能源汽车轮胎成品性能

### 4.1 外缘尺寸

安装在标准轮辋上的成品轮胎在标准充气压力下的充气外缘尺寸按照GB/T 521—2012进行测试,轮胎的 $D'$ 和 $B'$ 分别为632和212 mm,符合设计要求。

### 4.2 强度性能

轮胎强度性能按照GB/T 4502—2016进行测试,最小破坏能为329.4 J,满足国家标准要求( $\geq 295$  J)。

### 4.3 脱圈性能

轮胎脱圈阻力按照GB/T 4502—2016进行测试,脱圈阻力为13 696.5 N,未脱圈,满足国家标准要求( $\geq 11 120$  N),达到设计目标。

### 4.4 耐久性能

轮胎耐久性能按照GB/T 4502—2016进行测试,采用标准充气压力,试验速度为120 km·h<sup>-1</sup>,

第1—3阶段试验负荷分别为标准负荷的85%,90%和100%,行驶34 h后停止试验,试验结束时轮胎未损坏,符合国家标准要求。

#### 4.5 高速性能

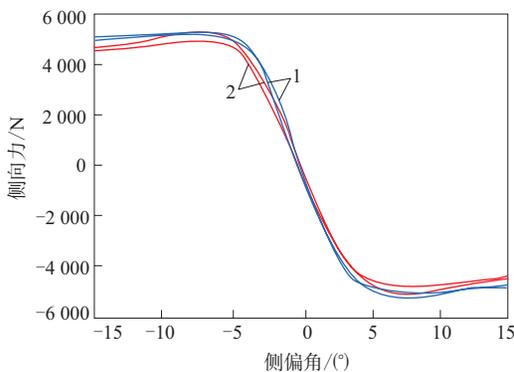
轮胎高速性能按照GB/T 4502—2016进行测试,采用标准充气压力,按照V速度级别对应的试验负荷率73%进行测试,最高试验速度为240 km·h<sup>-1</sup>,在最高试验速度下行驶10 min后试验结束,轮胎未损坏,满足国家标准要求(≥240 km·h<sup>-1</sup>)。

#### 4.6 滚动阻力

采用标准充气压力和负荷,测试新能源汽车轮胎的滚动阻力系数为6.12 N·kN<sup>-1</sup>,相比普通轮胎的7.23 N·kN<sup>-1</sup>减小1.11 N·kN<sup>-1</sup>,与有限元仿真结果一致。

#### 4.7 侧偏性能

轮胎侧偏特性采用美国MTS动态六分力试验机测试。侧向力和回正力矩与侧偏角的关系曲线分别如图4和5所示。



1—新能源汽车轮胎;2—普通轮胎。

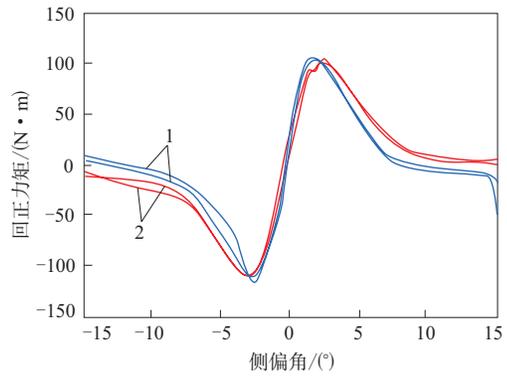
图4 侧向力与侧偏角的关系曲线

由图4和5可见,新能源汽车轮胎和普通轮胎的侧偏刚度分别为1 480.82和1 252.63 N·(°)<sup>-1</sup>,回正刚度分别为55.61和47.84 N·m·(°)<sup>-1</sup>,与有限元仿真结果接近,且变化趋势相同,新能源汽车轮胎的侧偏刚度和回正刚度相比于普通轮胎均有大幅提升,符合设计目标。

#### 4.8 实车测试评价

将两个设计方案轮胎分别安装在同一台某品牌适配新能源汽车上,进行实车主观测试,结果如表3所示。

由表3可以得出如下结论。



注同图4。

图5 回正力矩与侧偏角的关系曲线

表3 实车主观测试评分对比

项 目	新能源汽车轮胎	普通轮胎
转向		
转向响应	7.25	7.00
线性度	7.25	7.00
转向力矩	7.25	6.75
转向反馈	7.25	6.75
综合评分	7.25	6.75
操纵稳定性		
前后轴平衡	7.50	7.25
移线	7.50	6.75
弯中松油门反应	7.25	7.25
极限过弯性能	7.50	7.25
侧倾控制	7.00	7.00
综合评分	7.25	6.75
舒适性		
振动衰减	7.25	6.75
单个冲击	7.25	6.75
综合评分	7.25	6.75
噪声		
花纹噪声	7.50	7.25
低频噪声	7.50	7.25
综合评分	7.50	7.25

注:轮胎实车性能测试结果评分采用10分制,分值越大,性能越好,分值标准为:8~10分,非常好;7~8分,好;6~7分,容许可接受;6分以下,不可接受。

(1)转向性。新能源汽车轮胎中心区的转向横摆增益稍弱但中位转向刚度较高,非中心区的响应度较好,整体转向反馈优于普通轮胎。

(2)操纵稳定性。新能源汽车轮胎抓着力峰值高,前后轴的平衡稳定性很好,极限反馈清晰,高速变道稳定性很好,操纵稳定性优于普通轮胎。

(3)舒适性。新能源汽车轮胎触感适中,隔绝感很好,光滑路面及粗糙路面的振动都较少,冲击不突兀,能量较大但衰减很快,舒适性体验优于普

通轮胎。

(4) 噪声。新能源汽车轮胎的花纹噪声、低频噪声以及噪声综合评分均略优于普通轮胎。

## 5 结论

(1) 新能源汽车的高扭矩要求轮胎侧偏刚度高,且耐磨、抗撕裂;新能源汽车的续航能力提升依赖于轮胎的低滚动阻力;新能源汽车较大的车质量要求轮胎更强的承载能力;新能源汽车无内燃机噪声要求轮胎更静音;普通轮胎很难满足新能源汽车的使用需求。

(2) 从轮胎的轮廓参数、结构参数、工艺条件和胎面配方设计等方面介绍了205/55R16 91V新能源汽车轮胎的设计过程,通过有限元仿真,对轮胎接地印痕、侧偏回正性能、滚动阻力等进行分析预测,确定设计方案可行。

(3) 经成品轮胎性能测试,205/55R16 91 V新能源汽车轿车子午线轮胎的充气外缘尺寸、强度性能、高速性能和耐久性能均达到相关设计标准要求,滚

动阻力明显降低,侧偏刚度增大,实车测试舒适性、操纵稳定性等均得到大幅提升,达到设计目标。

## 参考文献:

- [1] 吴长辉,李红卫,田健,等. 新能源汽车配套轮胎综述[J]. 轮胎工业,2019,39(7):387-389.
- [2] FU H X,ZHAO Y Q,LIN F, et al. Steady-state cornering properties of a non-pneumatic tire with mechanical elastic structure[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2017,34(5):586-592.
- [3] 马改陵,徐鸿,崔文勇,等. 子午线轮胎滚动阻力的研究进展[J]. 橡胶工业,2005,52(8):501-511.
- [4] 王宝凯. 205/55R16子午线轮胎的结构设计、带束层优化与性能研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2020.
- [5] 郑涛,邵红琪,吴晓辉,等. 硅烷偶联剂原位改性白炭黑/溶聚丁苯橡胶复合材料的流变性能和力学性能研究[J]. 橡胶工业,2022,69(9):652-658.
- [6] 孙晓峰,张凯凯,王龙庆,等. 轮胎结构参数对侧偏性能的影响[J]. 橡胶科技,2020,18(12):683-684.
- [7] 孙绪利,刘平娟,张凯凯,等. 结构参数对轿车子午线轮胎滚动阻力的影响[J]. 橡胶科技,2020,18(11):623-625.

收稿日期:2023-10-09

## Design of 205/55R16 91V New Energy Passenger Car Radial Tire

LI Huimin, LIU Baotao, ZHANG Kaikai, WANG Longqing, SUN Xuli

(Qingdao Century Tire Co., Ltd. Qingdao 266229, China)

**Abstract:** The design of 205/55R16 91V new energy passenger car radial tire was introduced. In the structure design, the following parameters were taken: overall diameter 630 mm, cross-sectional width 222 mm, width of running surface 170 mm, arc height of running surface 7.8 mm, bead diameter at rim seat 404.2 mm, bead width at rim seat 185 mm, maximum width position of cross-section ( $H_1/H_2$ ) 0.957, and groove depth of main tread pattern 7.0 mm. In the construction design, the following processes were taken: low rolling resistance formula for the tread compound, using monolayer high turn-up carcass,  $2 \times 0.30$ ST steel cord for belt, and using fully automatic one-stage building machine to build tires and double mold hot plate vulcanizing press to cure tires. The feasibility of the design scheme was confirmed by finite element simulation analysis of tire footprint, cornering characteristics and rolling resistance. The test results of the finished tire showed that, the inflated peripheral dimension, strength, bead unseating resistance, durability and high-speed performance of the tire met the requirements of the corresponding design and national standards, the goal of reducing rolling resistance was achieved, and the handling stability and driving comfort evaluated subjectively were improved.

**Key words:** new energy vehicle; passenger car radial tire; structure design; construction design; rolling resistance