

355/50R22.5电动公交车专用无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎的设计

张颖,徐钦,王泽君

(中策橡胶集团股份有限公司,浙江 杭州 310018)

摘要:介绍355/50R22.5电动公交车专用无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎的设计。结构设计:外直径 932 mm,断面宽 365 mm,行驶面宽度 310 mm,行驶面弧度高 13 mm,胎圈着合直径 571.5 mm,胎圈着合宽度 311 mm,断面水平轴位置(H_1/H_2) 0.85,胎面花纹采用4条曲折主花纹沟,变节距设计,花纹深度 18 mm,花纹饱和度 80%,花纹周节数 54。施工设计:胎面和胎侧均采用三复合结构;胎体采用3+9+15×0.22+0.15钢丝帘线,带束层采用3层带束层+0°冠带层设计,1°和2°带束层采用3+8×0.33ST钢丝帘线,3°带束层采用5×0.35HI钢丝帘线,0°冠带层采用3×7×0.20HE钢丝帘线;采用三鼓一次法缠绕成型机成型,热板式硫化机低温硫化。成品轮胎性能试验结果表明,轮胎充气外缘尺寸、强度性能和耐久性能均符合国家标准要求,高速性能、滚动阻力和接地印痕符合企业标准要求。

关键词:电动公交车;无内胎;低断面;全钢载重子午线轮胎;结构设计;配方设计;施工设计;成品轮胎性能

中图分类号:U463.341⁺.6/.59

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)06-0342-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.06.0342



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着我国城市化的快速发展,燃油家用车辆保有量急剧增长,交通拥堵对城市发展影响日益显著,燃油汽车尾气的排放不仅影响空气质量,更是直接危害人类健康,良好的出行方式已经成为人们的迫切需求。2020年9月我国明确提出2030年碳达峰与2060年碳中和目标,为了实现这一目标,发展电动汽车成为实现节能减排的重要举措之一。

随着国家充电基础设施的不断完善,电动公交车凭借在环保、节能、减少交通拥堵方面的优势,成为国家主推公交车型。电动公交车由于电池续航里程的限制,基本在城市中短途循环运行,由于人群密集加之红绿灯较多,车辆行驶中刹车频繁,对轮胎的耐磨性能、承载性、制动和驱动性、低噪声、舒适性等多方面均提出更高的要求。

为满足电动公交车市场的需求,扩大市场份额,我公司设计开发了355/50R22.5电动公交车专用无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎。现将其设计情况介绍如下。

作者简介:张颖(1989—),女,浙江杭州人,中策橡胶集团股份有限公司工程师,学士,主要从事全钢子午线轮胎结构设计工作。

E-mail:hzzy320@163.com

1 技术要求

根据《中国轮胎轮辋气门嘴标准年鉴2020》及《欧洲轮胎轮辋技术组织标准手册(2020)》,确定355/50R22.5电动公交车专用无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎的技术参数如下:标准轮辋 298.5 mm×571.5 mm(11.75英寸×22.5英寸),充气外直径(D') 928(922~943) mm,充气断面宽(B') 361(347~375) mm,20PR轮胎标准充气压力 900 kPa,标准负荷 4 000 kg。

2 结构设计

2.1 外直径(D)和断面宽(B)

无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎冠部有周向交叉叠层排列的带束层帘线束缚胎体,限制胎体帘线的径向伸张^[1-3],因此轮胎在标准充气压力下的外直径膨胀率(D'/D)很小,通常 D' 比 D 大1~3 mm。根据国内外轮胎的相关技术要求,结合电动公交车的实际车型情况,确定 D'/D 为1.002, D 取932 mm。

由于355/50R22.5无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎为50系列,在设计 B 时,需要考虑胎体帘线的伸张、轮胎断面水平轴位置、轮廓半径等

影响因素。根据国内外轮胎相关技术要求,结合电动公交车的实际车型情况,确定充气断面宽膨胀率(B'/B)为0.997, B 取365 mm。

2.2 行驶面宽度(b)和弧度高(h)

b 和 h 是轮胎冠部形状的重要参数。 b 取值影响着轮胎冠部与地面的接触面积,接触面积越大,轮胎抓着力和操纵稳定性越好。 h 取值影响着轮胎肩部变形和接地压力分布,接地压力分布越均匀,接地印痕矩形率越大,锥度系数越小,则耐磨性能越好。本次设计 b 与 B 的比值为0.849, b 取310 mm; h 与断面高(H)的比值为0.072, h 取13 mm。

2.3 胎圈着合直径(d)和着合宽度(C)

d 和 C 是轮胎装配于轮辋的主要参数,同时也影响着无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎胎里的气密性,虽然无内胎轮胎与轮辋之间适度的过盈配合气密性更好,但是装胎和卸胎时存在一定的难度。355/50R22.5轮胎的标准轮辋直径为571.5 mm,标准轮辋宽度为298.5 mm,本次设计 d 取571.5 mm, C 取311 mm(采用“大半寸”的方法)。

2.4 断面水平轴位置(H_1/H_2)

断面水平轴位于断面最宽处,是轮胎胎体最薄、变形最大的部位。本次设计 H_1/H_2 取0.85。

轮胎断面轮廓如图1所示。

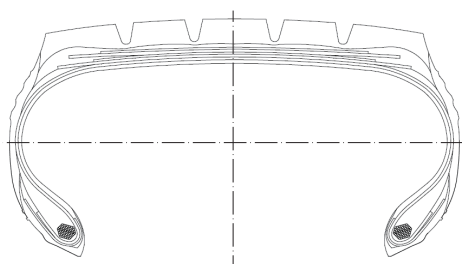


图1 轮胎断面轮廓示意

2.5 胎面花纹

根据客户实际使用要求,该轮胎用于城市电动公交车驱动轮位,胎面花纹采用4条曲折形纵向主花纹沟,并在胎肩部位增加开槽式浅沟,以降低轮胎肩部生热,减少肩空现象。横向钢片设计可提高轮胎的抗湿滑性能和操纵稳定性,花纹采用变节距排列,结合清华大学的节距优化噪声分析软件,为降低行驶噪声,确定花纹周节数为54,花纹深度为18 mm,花纹饱和度为80%。胎面花纹展开如图2所示。

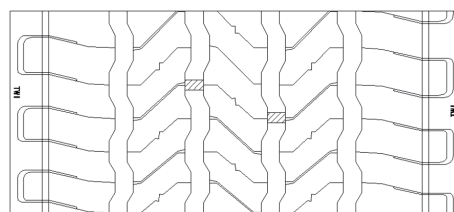


图2 胎面花纹展开示意

2.6 有限元分析

基于PCST轮胎非自然平衡轮廓设计理论,运用接地压力分布优化技术、抗偏磨技术等开发优化的轮胎轮廓,以优化接地压力分布和减小肩部变形,解决偏磨、沟底裂等问题。使用哈尔滨工业大学开发的仿真分析软件(TSYSYS 4.0)对轮胎轮廓进行有限元分析,有限元分析结果满足设计要求。

3 施工设计

3.1 胎面

胎面采用胎面胶、基部胶和缓冲胶三复合结构。胎面冠部宽度为280 mm,冠部厚度为21 mm,胎肩厚度为25 mm,胎面胶总宽度为360 mm,胎面总质量为19.962 kg。胎面结构如图3所示。

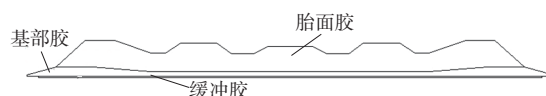


图3 胎面结构示意图

胎面胶采用公交车轮胎专用高耐磨、低滚动阻力配方,具体组分(用量/份)如下:天然橡胶 60,顺丁橡胶 40,炭黑 40,白炭黑 10,偶联剂Si69 3,纳米氧化锌 2,硬脂酸 3,防老剂 4,硫黄 1,促进剂 2。采用该配方胎面胶提高了轮胎的耐磨性能。胎面胶耐磨性能及滞后损失性能测试结果如下:DIN磨耗指数 347.4%,阿克隆磨耗量 0.13 cm^3 ,60℃时的损耗因子($\tan\delta$) 0.19。

基部胶采用低生热配方,具体组分(用量/份)如下:天然橡胶 90,顺丁橡胶 10,炭黑 35,白炭黑 15,偶联剂Si69 2,纳米氧化锌 3,硬脂酸 1,防老剂 3,硫黄 1,促进剂 2。采用该配方基部胶减少了以降低轮胎肩空病疵,延长了轮胎使用寿命。

缓冲胶采用粘合性能优异的配方。

3.2 胎侧

由于电动公交车一般在城市中心使用,马路牙

多,对轮胎胎侧的刮伤较多,因此胎侧采用加厚设计,能够有效保护胎侧,延长轮胎使用寿命。本次设计胎侧厚度为9 mm,采用胎侧胶、耐磨胶、填充胶三复合结构。胎侧结构如图4所示。

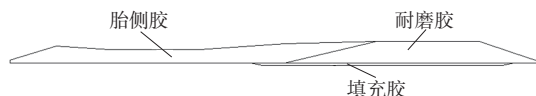


图4 胎侧结构示意图

胎侧胶采用公交车轮胎专用耐屈挠龟裂防刮擦配方,具体组分如下(用量/份):天然橡胶 40,丁苯橡胶 35,顺丁橡胶 25,炭黑 50,白炭黑 7,活化胶粉 10,氧化锌 5,硬脂酸 2,防老剂 4,橡胶油 7,增粘树脂 2,硫黄 1,促进剂 1。胎侧胶耐磨性能及滞后损失性能测试结果如下:DIN磨耗指数 290.8%,阿克隆磨耗量 0.16 cm^3 , 60°C 时的 $\tan\delta$ 0.18。

3.3 胎体

胎体是轮胎的主要受力部件,其钢丝帘线平行排列方向与外胎圆周方向正交。胎体被几乎不能伸张的环形带束层箍紧,使轮胎保持原有设计的尺寸形状,因此其消耗能量小,生热低,同时承受轮胎的部分应力,耐疲劳性能和缓冲性能优异。根据电动公交车对轮胎安全性能的较高要求,胎体采用 $3+9+15\times 0.22+0.15$ 钢丝帘线,胎体帘布压延厚度为3.0 mm。通常胎体设计要求安全倍数大于6,本次设计胎体总安全倍数为9.1,满足电动公交车轮胎设计要求。

3.4 带束层

带束层是轮胎冠部最直接受力的部件,带束层一般由3或4层钢丝帘布交叉叠层排列,束缚着胎体的径向伸张,因此带束层要求有足够的刚性,从而保证轮胎行驶平稳,同时也影响着轮胎的耐磨性能^[4]。本次设计采用3层带束层+ 0° 冠带层设计, 0° 冠带层采用多根钢丝并排平行缠绕,其中1[#]和2[#]带束层采用 $3+8\times 0.33\text{ST}$ 钢丝帘线,3[#]带束层采用 $5\times 0.35\text{HI}$ 钢丝帘线, 0° 冠带层采用 $3\times 7\times 0.20\text{HE}$ 钢丝帘线,1[#],2[#]和3[#]带束层帘线角度分别为 18° , 15° 和 15° 。

通常带束层设计要求总安全倍数大于5,根据电动公交车对于轮胎安全性能的较高要求,本次设计带束层总安全倍数为7.9,满足电动公交车轮

胎设计要求。本设计的 0° 缠绕冠带层设计技术已经获得了国家实用新型专利。

3.5 钢丝圈

钢丝圈采用 $\Phi 1.55\text{HT}$ 镀铜回火胎圈钢丝, 15° 规则六边形排列结构,排列方式为6-7-8-9-10-9-8-7,共64根,钢丝圈内径为573.6 mm。

3.6 成型

成型是子午线轮胎制造过程中的重要工序,直接影响成品轮胎使用性能。本次设计轮胎采用天津赛象科技股份有限公司生产的三鼓一次法缠绕成型机成型。成型设备技术稳定,成型部件贴合准确。

3.7 硫化

轮胎采用热板式硫化机和508 mm(20英寸)硫化胶囊进行硫化,采用高压蒸汽+氮气二次定型硫化工艺。低温长时间硫化条件为:外部蒸汽压力 $(1.7\pm 0.1) \text{ MPa}$,温度 $(145\pm 10)^\circ\text{C}$,氮气压力 $(2.5\pm 0.1) \text{ MPa}$,总硫化时间 50 min。

4 成品轮胎性能

4.1 充气外缘尺寸

在室温 $18\sim 36^\circ\text{C}$ 的实验室内,轮胎安装于标准轮辋上进行测试,轮胎充气压力为900 kPa,充气轮胎静置24 h以上后测量外缘尺寸,轮胎 D' 为934 mm, B' 为364 mm,均符合轮胎标准和设计要求。

4.2 强度性能

按照GB/T 4501—2016进行轮胎强度性能测试,轮胎充气压力为900 kPa,压头直径为 $(38.0\pm 0.5) \text{ mm}$ 。轮胎破坏能为3 304.5 J,为国家标准规定值(2 203 J)的150%,试验结束时第5点未压穿,满足设计要求。

4.3 静态接地压力分布

轮胎接地压力分布与轮胎耐磨性能息息相关,按照GB/T 22038—2008进行轮胎静态接地压力分布测试,使用美国Tekscan软件进行测试和分析,测试结果见图5。轮胎接地因数达到1.14,接地面积大,受力分布合理,满足设计要求。

4.4 耐久性能

先按照GB/T 4501—2016进行轮胎耐久性试验,再按照企业标准继续进行试验,轮胎充气压力为

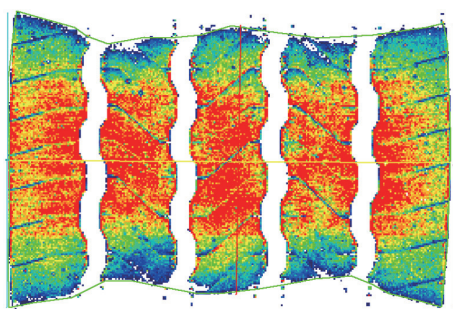


图5 轮胎接地压力分布测试结果

900 kPa,额定负荷为4 000 kg。成品轮胎耐久性试验在 $56 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 速度下累计行驶87.48 h(肩部裂开),达到企业标准要求($\geq 77 \text{ h}$),耐久性能优异。

4.5 高速性能

轮胎高速性能试验根据企业标准进行,轮胎充气压力为900 kPa,额定负荷为4 000 kg。成品轮胎最高行驶速度达到 $140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,在此速度下行驶10 min(冠部起鼓),达到K级速度级别设计要求($110 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 速度下行驶时间不短于30 min)。

4.6 滚动阻力

按照ISO 28580进行轮胎滚动阻力测试。结果表明,轮胎滚动阻力系数为 $5.5 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$,满足设

计要求。

4.7 装车路试

355/50R22.5电动公交车专用无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎2021年在浙江金华地区进行路试,客户反馈良好。

5 结语

355/50R22.5电动公交车专用无内胎宽基低断面全钢载重子午线轮胎的充气外缘尺寸、强度性能、耐久性能、高速性能和滚动阻力均达到相应设计和国家标准要求,产品性能优异,可提高公司产品竞争力和市场份额。

参考文献:

- [1] 俞洪,丁剑平. 子午线轮胎结构设计与制造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 张士齐. 轮胎力学与热学[M]. 北京:化学工业出版社,1988.
- [3] 李明珊,张超,齐林,等. 295/60R22.5 BY707宽基低断面全钢载重子午线轮胎的设计[J]. 轮胎工业,2021,41(5):287-291.
- [4] 崔志博,侯丹丹,苏召乾,等. 带束层膨胀对轮胎接地印痕的影响研究[J]. 橡胶工业,2021,68(1):10-16.

收稿日期:2023-01-09

Design on 355/50R22.5 Tubeless Wide Base Low Profile Truck and Bus Radial Tire for Electric Bus

ZHANG Ying, XU Qin, WANG Zejun

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

Abstract: The design on 355/50R22.5 tubeless wide base low profile truck and bus radial tire for electric bus was introduced. In the structure design, the following parameters were taken: overall diameter 932 mm, cross-sectional width 365 mm, width of running surface 310 mm, arc height of running surface 13 mm, bead diameter at rim seat 571.5 mm, bead width at rim seat 311 mm, and maximum width position of cross-section (H_1/H_2) 0.85. Four zigzag main groove patterns were adopted for the tread with a pattern depth of 18 mm, a block total ratio of 80%, and a number of pattern pitches of 54. In the construction design, the following processes were taken: the tread and sidewall adopted a three-component composite structure, the carcass adopted $3+9+15 \times 0.22+0.15$ steel cord, the belt adopted the design of 3 layers of belt with a layer of 0° cap ply with $3+8 \times 0.33$ ST steel cord for 1[#] and 2[#] belt, 5×0.35 HI steel cord for 3[#] belt, and $3 \times 7 \times 0.20$ HE steel cord for 0° cap ply. A three-drum single-stage winding building machine was used to build tires and a hot plate vulcanizing press was used to cure tires under low temperatures. The test results of the finished tire showed that, the inflated peripheral dimension, strength and durability met the requirements of national standards, and the high-speed performance, rolling resistance and footprint met the requirements of enterprise standards.

Key words: electric bus; tubeless; low profile; truck and bus radial tire; structure design; formula design; construction design; finished tire performance