

385/95R25工程机械子午线轮胎的设计

程超,张甲,张鹏,朱仕翻,龙云山,黄勋

(贵州轮胎股份有限公司,贵州 贵阳 550008)

摘要:介绍385/95R25工程机械子午线的设计。结构设计:外直径 1 365 mm,断面宽 385 mm,行驶面宽度 320 mm,行驶面弧度高 10 mm,胎圈着合直径 630 mm,胎圈着合宽度 266.7 mm,断面水平轴位置(H_1/H_2) 0.88,胎面花纹采用等节距设计,花纹周节数 50,花纹深度 23 mm,花纹饱和度 65%。施工设计:胎面采用低生热抗切割配方,热喂料、冷喂料双复合挤出,胎体采用3+9+15×0.22W钢丝帘线,1#—3#带束层采用3+9+15×0.22+0.15HT钢丝帘线,4#带束层采用3×7×0.22HE钢丝帘线,采用一次法成型机成型,单模热板式硫化机硫化。成品轮胎性能试验结果表明,轮胎的充气外缘尺寸、耐久性能均达到设计和相关标准要求。

关键词:工程机械子午线轮胎;高速吊车;结构设计;施工设计;成品轮胎性能

中图分类号:TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)11-0664-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.11.0664



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

当前,随着社会的发展,城市基础设施建设、建筑、铁路及公路建设等领域发展迅速,高速吊车的用途越来越广,高速吊车产业发展突飞猛进,并向智能化、科技化和绿色化发展。终端客户为了满足市场高强度的作业现状,对车辆性能的要求也越来越高。

在车辆轮胎方面,高速吊车用系列轮胎在市場终端使用时面临三方面要求:不断提高轮胎的耐磨性能、进一步提高产品的性价比、降低终端用户的成本投入。此外,客户对轮胎花纹的不规则磨损(偏磨)性能也提出了较高的要求,但偏磨这一使用表象在高速吊车系列产品中普遍存在,与车辆本身的调校、行驶模式等因素有关,所有轮胎品牌都会发生,目前只能改善,不能完全消除。再者,高速吊车作业模式较为特殊,场地经常不固定,随时需要快速机动,所以对轮胎的高速性能要求也非常高,因此对轮胎的整个胎体,特别是胎圈性能,以及冠部性能要求较高,相对而言发生病象的风险也较大,因此对胎圈及胎冠性能设计亦有很高的要求。

本工作对高速吊车用385/95R25工程机械子午

线轮胎进行设计开发,以满足客户对高耐磨、高性价比、高机动性的需求,为终端用户创造更高价值。

1 技术要求

通过查阅国家化学工业标准2018、美国轮胎轮辋标准协会标准(TRA—2018)、欧洲轮胎轮辋技术组织标准手册(ETRTO—2018)等相关资料,确定385/95R25工程机械子午线轮胎的技术参数如下:标准轮辋 10.00/1.5,充气外直径(D') 1 368(1 347~1 391) mm,充气断面宽(B') 385(368~406) mm,速度级别 G级,轮胎最高速度 $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,标准充气压力 900 kPa,单胎标准负荷 6 000 kg,胎面花纹 径向块状、周向线性条状,作业类型 全地形高速机动。

2 结构设计

2.1 外直径(D)和断面宽(B)

结合该车型目前市场实际使用需求,以及结合车型全驱全转功能特点。以平衡轮廓理论作为数学模型,以经典力学原理作为架构,并通过有限元对其进行模拟分析。最终优化得出 D 为1 365 mm、 B 为385 mm,该结果满足工程机械轮胎模具尺寸和轮胎产品的标准要求。

2.2 行驶面宽度(b)和弧度高(h)

轮胎行驶面直接接触作业路面, b 以及 h 会影

作者简介:程超(1980—),男,仡佬族,贵州遵义人,贵州轮胎股份有限公司工程师,学士,主要从事全钢工程机械子午线轮胎的结构设计及技术管理工作。

E-mail:chengchao@gtc.com.cn

响轮胎在运动状态下的稳定性和耐磨性能,特别是不规则磨损及偏磨表象。该类型轮胎本身作用工况复杂,全地形全路面作业,轮胎的抓着稳定性、耐磨性能、高速性能等均为关键性能指标。在设计中,本着增大轮胎接地面积以及提升抓着性能的原则, b 取 320 mm, h 取 10 mm。通过优化设计,可以使轮胎运动状态下的接地面积增大,使得轮胎花纹单位接地压力分布更加均匀、合理,耐磨性能得到优化提升^[2],同时高速性能也得到提高。

2.3 胎圈着合直径(d)和着合宽度(C)

该系列轮胎主要采用无内胎装配方式, d 设计主要根据轮辋的尺寸确认。为确保轮胎与轮辋配合紧密,以获得良好的保气性能,并能够提高胎圈部位的刚性支撑,同时能够很好地装卸轮胎,轮胎与轮辋采用过盈配合,即 d 取 630 mm; C 采用加宽 12.7 mm (0.5 英寸) 设计(C 通常要大于轮辋宽度 0.5~1 英寸),即 C 取 266.7 mm。

2.4 断面水平轴位置(H_1/H_2)

轮胎设计中, H_1/H_2 的取值关系到胎圈、胎肩耐久疲劳失效模式,并且断面水平轴位置均需要与轮胎断面的最宽点相匹配,该部位是轮胎断面中最薄、屈挠变形最大的区域,对于轮胎性能起到关键作用。该工程机械子午线轮胎的负荷较高、速度较快, H_1/H_2 一般取 0.80~0.95。本次设计中, H_1/H_2 取 0.88^[3],可以避免传统轮胎 H_1/H_2 取值不合理问题,即 H_1/H_2 取值过大,会导致轮胎胎肩受力集中,使胎肩出现早期失效; H_1/H_2 取值过小,会导致胎圈受力集中,使胎圈出现早期失效。两种表现均会造成轮胎的胎肩、胎圈出现因应力集中而过度疲劳,最终导致轮胎性能失效。

轮胎有限元模拟接地印痕及轮胎轮廓分别如图 1 和 2 所示。

2.5 轮胎花纹

该类轮胎匹配车型为高速吊车,作业路况是全地形、综合工况。一般车辆在作业时,都处于非铺装恶劣工况环境中;但在转场机动时,则会在公路上快速机动。轮胎的抓着性能、散热性、高速性能、自洁能力以及磨损寿命必须首要考虑,既要保证轮胎在恶劣工况下具有较高的抗切割、抗刺扎

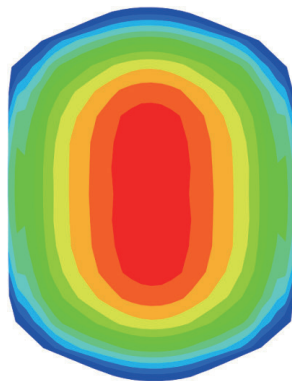


图1 轮胎有限元模拟接地印痕

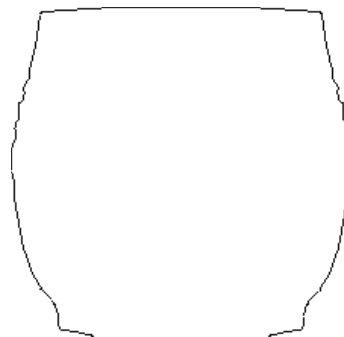


图2 轮胎轮廓示意

性能以及良好的驱动、操控性能,又要满足在高速机动下的高速性能、耐磨性能以及不规则磨耗等,最终提高轮胎的综合使用寿命。鉴于该轮胎在特定的环境下作业,通常应满足以下条件:(1)具有良好的抓着性能;(2)具有较好的高速性能;(3)抗湿滑和耐磨性能好;(4)花纹沟不夹带泥沙和石子,有较好的自洁性;(5)具有较强的抗切割和抗崩花掉块能力,不裂口^[2-3]。设计当中,以传统斜交轮胎花纹为设计基础,花纹采用中间径向块状、边块周向线性条状形式,花纹深度设计为 23 mm,采用等节距设计,花纹周节数为 50,花纹饱和度为 65%。

轮胎花纹展开图和三维图分别见图 3 和 4。

3 施工设计

3.1 胎面

鉴于该类轮胎作业工况的特殊性,以及结合国内外市场的该车型轮胎使用案例。胎面采用热喂料、冷喂料双复合挤出工艺,上层胶选用抗刺扎、抗切割、高耐磨及相对低生热的配方,从而保证轮胎在该类工况下的综合使用性能;下层胶着

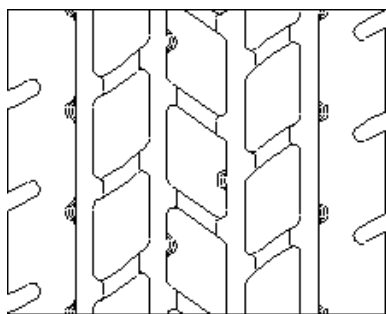


图3 轮胎花纹展开图



图4 轮胎花纹三维图

重考虑在高速情况下的生热及热聚问题,以及与带束层之间的刚度匹配过渡等要素,优先考虑低生热配方,以有效抑制轮胎在作业状态下的生热及热聚现象,同时使胎面与带束层间形成良好的过渡。

3.2 带束层

带束层的设计决定轮胎性能及使用质量。带束层设计应保证其与胎体进行合理的应力分配,以提高轮胎的高速性能、耐磨性能、抗刺扎以及操纵稳定性等。本次设计选择了4层带束层结构,其中1[#]—3[#]带束层采用3+9+15×0.22+0.15HT钢丝帘线,4[#]带束层采用高延伸的3×7×0.22HE钢丝帘线。带束层安全倍数为6.0,满足标准要求。

3.3 胎体

全钢子午线轮胎的胎体主要由各类钢丝骨架材料组成,在轮胎应用时起承载负荷的关键作用,同时直接关联轮胎的刚度性能、扭转性能以及舒适性等,对轮胎的综合功能性、安全性、体验舒适性产生直接的影响。本次设计考虑到轮胎本身

的功能性、安全性和使用体验性要求,经综合分析和参数确认,胎体采用3+9+15×0.22W钢丝帘线。胎体安全倍数为6.2,满足标准要求。

3.4 胎圈

对胎圈部位进行力学分析可知,胎圈既要承受轮胎行驶中的制动力矩、离心力,又要承受轮辋的过盈力。此外,该系列轮胎在实际使用时出现气压维护不当的风险较高,在低气压情况下运行,胎圈部位会存在应力集中而疲劳破坏风险;气压过高又会使安全倍数降低。再者,特别是该轮胎在G级速度下行驶时,高频率转动下的胎圈应力疲劳失效需要充分分析。综上所述,本次胎圈设计保留了传统工程机械轮胎的六角形钢丝圈结构,但对其中钢丝、覆胶钢丝的直径以及钢丝根数进行了调整,即钢丝直径、覆胶钢丝直径分别为1.83和2.1 mm,钢丝根数为95。胎圈安全倍数为6.3,满足标准要求。

3.5 成型

成型是产品制造过程中的关键工序,成型精度直接决定产品性能的稳定性,因此成型工序是轮胎制造过程中需要关键控制的环节。首先,必须考虑施工方案的可行性、有效性、便捷性,施工方案必须结合实际现场过程能力情况,尽可能考虑步序防差错,并尽可能实现自动化控制,减少人员主观干预引起的产品质量波动。另外,在保证产品制造过程质量的情况下提高生产效率,尽可能减少生产过程中的浪费,降低操作人员的劳动强度。本次设计采用一次法成型机成型^[3],可以一次性完成单个轮胎的生产流程,具有较高的生产效率。此外一次法成型机的应用可以避免人工模式下的一些质量问题,如人工不规范操作导致胎坯质量受损等。

3.6 硫化

鉴于以往蒸锅硫化模式下模腔内易积水,以及热效率相对低的情况。本次设计采用单模热板式硫化机,硫化条件为:内温 (170±3) °C,二次水压力 (2.7±0.1) MPa,一次水压力 (0.6±0.02) MPa,热板温度 (150±3) °C,模套温度 (160±3) °C,总硫化时间 85 min。硫化过程中无过硫和缺胶等问题。

4 成品性能

4.1 外缘尺寸

成品轮胎外缘尺寸按照GB/T 521—2012《轮胎 外缘尺寸测量方法》测量。安装在标准轮辋上的轮胎在标准充气压力下的 D' 和 B' 分别为1 368和388 mm,均符合国家标准要求。

4.2 耐久性能

按照GB/T 30193—2013《工程机械轮胎耐久性试验方法》并结合企业测试标准进行耐久性能试验,试验条件如表1所示。

表1 成品轮胎耐久性能试验条件

项 目	试验阶段						
	1	2	3	4	5	6	7
负荷率/%	65	85	100	110	120	130	140
行驶时间/h	7	16	24	10	10	10	10

注:充气压力 900 kPa,标准负荷 6 000 kg,试验速度 45 km·h⁻¹,环境温度 (38±3)℃。

试验按照国家标准要求完成前3个阶段测试后,达到47 h轮胎无损坏失效,再按照企业标准要求继续测试至第7阶段结束,累计行驶时间87 h轮胎无损坏失效。经测试,轮胎的耐久性能达到企

业标准要求,远超国家标准要求。

5 结语

本设计385/95R25工程机械子午线轮胎的充气外缘尺寸达到国家标准要求,耐久性能满足企业标准要求,并远高于国家标准要求,轮胎性能得到重大突破,性能指标上了一个新台阶。该轮胎投入市场后,使用效果较好,大大降低了轮胎早期胎圈及胎冠失效损坏的风险。该轮胎为高速吊车市场提供了优异的轮胎解决方案,性价比较高,得到终端客户一致的高度认可,主机配套及市场占有率不断增大,主机厂还提出专供要求,为终端用户创造了更高价值,为公司带来了较高的经济效益。

参考文献:

- [1] 李福香,张春颖,邢正涛. 445/45R19.5超低断面宽基无内胎全钢载重子午线轮胎的设计[J]. 橡胶工业,2017,64(3):170-173.
- [2] 陈刚,杨文利,潘岱,等. 29.5R25全钢工程机械子午线轮胎的研究与开发[J]. 轮胎工业,2010,30(5):268-273.
- [3] 程超,张鹏,龙云山,等. 14.00R25工程机械子午线轮胎的设计[J]. 轮胎工业,2020,40(12):722-725.

收稿日期:2023-05-23

Design on 385/95R25 Off-The-Road Radial Tire

CHENG Chao,ZHANG Jia,ZHANG Peng,ZHU Shifan,LONG Yunshan,HUANG Xun

(Guizhou Tyre Co.,Ltd,Guiyang 550008,China)

Abstract: The design on 385/95R25 off-the-road radial tire was introduced. In the structure design, the following parameters were taken: overall diameter 1 365 mm, cross-sectional width 385 mm, width of running surface 320 mm, arc height of running surface 10 mm, bead diameter at rim seat 630 mm, bead width at rim seat 266.7 mm, maximum width position of cross-section (H_1/H_2) 0.88, using an equal pitch pattern for tread design, number of pattern pitches 50, pattern depth 23 mm, and block/total ratio 65%. In the construction design, the following processes were taken: low heat build-up and cutting resistance formula for tread compound, with hot feeding and cold feeding dual compound extrusion, 3+9+15×0.22W steel cord for carcass, 3+9+15×0.22+0.15HT steel cord for 1[#]—3[#] belt, 3×7×0.22HE steel cord for 4[#] belt, using one-stage building machine to build tire, and single mode hot plate curing press to cure tire. It was confirmed by the finished tire test that, the inflated peripheral dimension and durability performance met the requirements of the design and relevant standards.

Key words: off-the-road radial tire; high-speed crane; structure design; construction design; finished tire performance