

起重机用385/95R25无内胎全钢子午线轮胎的轻量化设计

陈宇, 李晓明, 刘涛, 周亚兵, 姜召阳, 崔志武

(风神轮胎股份有限公司, 河南 焦作 454003)

摘要:介绍起重机用385/95R25无内胎全钢子午线轮胎的轻量化设计。轻量化设计如下: 1[#]—3[#]带束层由使用3+9+15×0.225钢丝帘线调整为使用3+9+15×0.22+0.15钢丝帘线, 2[#]—4[#]带束层宽度减小, 钢丝圈钢丝排列形式由9-13-9调整后为7-12-8, 减小防水线位置处的耐磨胶厚度和三角胶整体厚度。与正常轮胎相比, 轻量化轮胎在负荷状态下各部位的应变能密度均有所降低, 在行驶过程中整体生热降低, 总质量减小10.67 kg, 强度性能满足客户要求, 耐久性提高15.7%, 高速性能提高106.4%, 有利于延长轮胎的使用寿命。

关键词:无内胎全钢子午线轮胎; 轻量化; 带束层; 胎圈; 成品轮胎性能; 使用寿命

中图分类号:U463.341⁺.5

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)09-0535-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.09.0535



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

近年来, 随着市场对起重机需求的不断增加, 我国起重机的出口量也日益增大, 但是与国外起重机相比, 国内起重机在质量上仍有一定的差距。此外, 由于碳中和和碳达峰政策的实行以及国家法规的最新要求, 整车轻量化已经成为国内各大主机厂的发展目标。轮胎作为汽车起重机的主要配件之一, 它的轻量化势必成为一种趋势。轮胎的轻量化对于减少胶料使用、降低生产成本、减少碳排放、保护环境、推进绿色制造起到重要作用^[1-4]。

我公司针对起重机用385/95R25无内胎全钢子午线轮胎, 在原结构设计的基础上调整带束层和胎圈结构等, 实现轮胎的轻量化以及产品性能的提高, 现将轮胎的轻量化设计情况介绍如下。

1 技术要求

起重机用385/95R25无内胎全钢子午线轮胎的技术参数如下: 星级 3星, 推荐轮辋 10.00/1.5-25, 充气外直径 1 347~1 392 mm, 充气断面宽 365~414 mm, 标准负荷 6 000

kg, 标准充气压力 900 kPa。

2 轻量化设计

2.1 调整带束层结构

通过进行有限元模拟分析, 调整钢丝帘线类型和带束层宽度, 以期减小胎肩部位的应力和应变, 降低肩部生热, 提高轮胎的耐久性能和高速性能。

(1) 调整钢丝帘线类型。在保证带束层安全倍数满足设计要求的前提下(防止轮胎在使用过程中出现胎冠爆等问题), 通过使用厚度、线密度和单位质量小的钢丝帘线来减小带束层质量, 即1[#]—3[#]带束层由使用3+9+15×0.225钢丝帘线调整为使用3+9+15×0.22+0.15钢丝帘线, 使钢丝帘布质量减小了730 g·m⁻²。利用彼德曼公式计算得到采用3+9+15×0.22+0.15钢丝帘线的带束层的安全倍数为6, 满足设计要求^[5]。

(2) 调整带束层宽度。在保证轮胎接地性能不降低、带束层端部差级满足设计要求的前提下, 根据硫化前后带束层的收缩率, 采取减小带束层宽度的方式来减小带束层质量。调整前后带束层宽度如表1所示。

作者简介:陈宇(1991—), 男, 河南新野县人, 风神轮胎股份有限公司助理工程师, 学士, 主要从事轮胎设计相关工作。

E-mail:chenyu45@sinochem.com

表1 调整前后带束层宽度 mm

带束层	调整后	调整前	变化量
2#带束层	247	260	-13
3#带束层	215	230	-15
4#带束层	157	198	-41

2.2 调整胎圈结构

传统的胎圈设计过于冗余,强度过高,胎圈厚度较大,不仅造成资源浪费,还会给产品本身带来负担,导致胎圈生热高,进而造成胎圈鼓包问题^[6]。依据产品特点,适当减小胎圈厚度,可以提升产品性能。结合有限元模拟分析,采取调整钢丝圈结构和胶部件尺寸等措施来减小胎圈厚度。

(1) 调整钢丝圈结构。在保证钢丝圈安全倍数满足设计要求的前提下(防止轮胎在使用过程中出现胎圈抽丝爆等问题),使用“瘦高”式钢丝排列替代“扁平”式钢丝排列,达到减小胎圈厚度和胶料用量的目的。调整前钢丝圈钢丝排列形式为9-13-9,调整后为7-12-8,钢丝圈结构如图1所示。调整后钢丝圈安全倍数为2.5,满足设计要求。

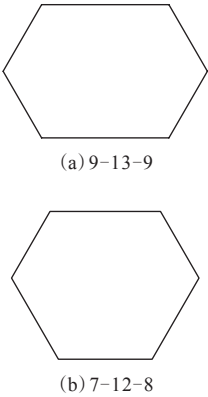


图1 调整前后的钢丝圈结构

(2) 减小耐磨胶尺寸。胎圈厚度减小后,对应胎趾和胎踵部位的胶料需要适当减少,使得胎圈部位的内轮廓可以平滑过渡。此外,减小防水线位置处的耐磨胶厚度,从而减小胎圈部位的生热。调整前后的耐磨胶尺寸如图2所示。

(3) 调整三角胶尺寸。钢丝圈结构调整后,对应的三角胶底宽也需要进行相应调整,此外,通过减小三角胶整体厚度的方式调整胎体走势,可以避免负荷状态下胎体承受压缩力,避免胎圈鼓包。调整前后的三角胶尺寸如图3所示。

调整胎圈结构前后轮胎材料分布见图4。

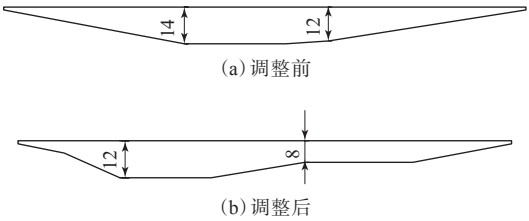


图2 调整前后的耐磨胶尺寸

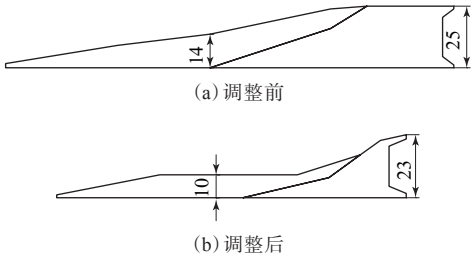


图3 调整前后的三角胶尺寸

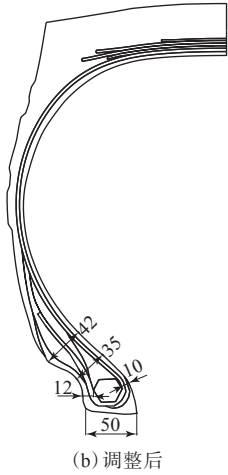
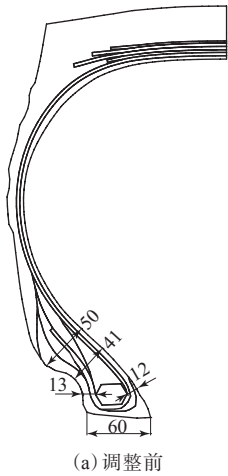


图4 调整胎圈结构前后轮胎材料分布

3 成品轮胎性能

3.1 有限元分析结果

3.1.1 力学性能

利用有限元分析技术分别对轻量化轮胎和正常轮胎进行了稳态动力学分析,分析模型采用轴对称模型,模拟充气压力为900 kPa,负荷为6 000 kg,速度为35 km·h⁻¹,部分模拟结果如表2所示。

表2 轻量化轮胎与正常轮胎的应变能密度指数对比

部 位	正常轮胎	轻量化轮胎	变化量
带束层端点	38.20	29.60	-8.60
胎体帘布反包端点	27.80	13.40	-14.40
胎圈包布内端点	3.48	1.47	-2.01

从表2可以看出,与正常轮胎相比,轻量化轮胎在负荷状态下各部位的应变能密度均有所降低,即带束层端点、胎体帘布反包端点和胎圈包布内端点的应变能密度指数分别下降了8.60,14.40和2.01,由此推断轮胎在行驶过程中因变形导致的生热相应有所降低^[7-9]。

3.1.2 生热性能

在上述稳态动力学分析的基础上,结合生热技术模块,对轻量化轮胎和正常轮胎在行驶过程中的温度场进行模拟分析,结果如表3所示。

表3 轻量化轮胎与正常轮胎的温度对比 °C

部 位	正常轮胎	轻量化轮胎	变化量
胎冠	66.57	62.37	-4.20
胎肩	58.89	52.62	-6.27
胎圈	62.10	52.30	-9.80

从表3可以看出,与正常轮胎相比,轻量化轮胎在行驶过程中整体生热降低,即胎冠、胎肩和胎圈的温度分别下降了4.20,6.27和9.80 °C,此模拟结果与稳态动力学分析的推论一致。轮胎内部生热降低有利于提高其耐久性能和高速性能^[9-12]。

3.2 室内测试结果

3.2.1 质量

表4示出了轻量化轮胎与正常轮胎的半成品部件质量对比。从表4可以看出,与正常轮胎相比,轻量化轮胎的半成品部件质量均有所降低,即带束层、胎圈、耐磨胶和三角胶的质量分别减小了

表4 轻量化轮胎与正常轮胎的半成品部件质量对比 kg

半部件	正常轮胎	轻量化轮胎	变化量
带束层	25.30	21.40	-3.90
胎圈	12.02	10.06	-1.96
耐磨胶	8.52	5.37	-3.15
三角胶	9.20	7.54	-1.66

注:正常轮胎和轻量化轮胎的总质量分别为163.02和152.35 kg。

3.90,1.96,3.15和1.66 kg,轮胎总质量减小了10.67 kg。

3.2.2 强度性能

抽取1条外观质量和X光检测合格的轻量化轮胎,按照GB/T 4501—2016《载重汽车轮胎性能室内试验方法》进行强度性能测试。结果表明,轮胎的破坏能为3 976~4 987 J,满足客户要求(最小破坏能不小于3 970 J)。

3.2.3 耐久性能

分别抽取1条质量合格的轻量化轮胎和正常轮胎进行耐久性能试验,试验条件如表5所示。试验结果表明:正常轮胎的耐久性能试验达到了第11阶段,累计行驶时间为127 h,试验结束时轮胎胎肩鼓包,失效模式为热损坏;轻量化轮胎的耐久性能试验同样达到了第11阶段,累计行驶时间为147 h,试验结束时轮胎同样出现胎肩鼓包,失效模式为热损坏,轻量化轮胎的耐久性能比正常轮胎提升了15.7%。

表5 轮胎的耐久性能试验条件

阶段	负荷率/%	试验时间/h
1	65	7
2	85	16
3	100	24
4	110	10
5	120	10
6	130	10
7	140	10
8	150	10
9	160	10
10	170	10
11	180	至损坏

注:初始充气压力 900 kPa,标准负荷 6 000 kg,试验速度 35 km·h⁻¹。

3.2.4 高速性能

分别抽取1条质量合格的轻量化轮胎和正常

轮胎进行高速性能试验,试验条件如表6所示。试验结果表明:正常轮胎的高速性能试验达到了第4阶段,累计行驶时间为295 min,试验结束时轮胎胎冠鼓包,失效模式为热损坏;轻量化轮胎的高速性能试验同样达到了第4阶段,累计行驶时间为609 min,试验结束时轮胎同样出现胎冠鼓包,失效模式为热损坏,轻量化轮胎的高速性能比正常轮胎提高了106.4%。

表6 轮胎的高速性能试验条件

阶段	试验速度/(km·h ⁻¹)	试验时间/min
1	0~60	10
2	60	10
3	70	10
4	80	至损坏

注:初始充气压力 900 kPa,标准负荷 6 000 kg。

4 结论

轮胎产品轻量化在实现结构自身质量最小化的同时,更需要考虑产品自身的可靠性和使用寿命。起重机用385/95R25无内胎全钢子午线轮胎轻量化设计过程中,在安全性能满足设计要求的前提下,结合有限元分析技术,对带束层和胎圈结构等进行了优化,在减小轮胎质量的同时,轮胎的强度、耐久和高速性能均有一定程度的提升,使用

寿命延长,提高了产品的市场竞争力。

参考文献:

- [1] 袁明敏. 起重机轻量化设计技术研究[J]. 科技创新与应用, 2015(25): 173.
- [2] 隋斌. 轻量化12R22.5全钢载重子午线轮胎的设计[J]. 轮胎工业, 2019, 39(11): 660-662.
- [3] 任乔伟, 谭苗, 杜凡, 等. 电子束辐照预硫化技术在轮胎轻量化中的应用[J]. 橡胶科技, 2021, 19(6): 283-285.
- [4] 王传志, 刘连波, 王天石, 等. 新型钢丝帘线在全钢轻型载重子午线轮胎轻量化设计中的应用[J]. 轮胎工业, 2022, 42(6): 361-365.
- [5] 俞洪. 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.
- [6] 张正伟, 张绍鹏, 刘晓芳, 等. 12.00R20载重轮胎用圆形钢丝圈的研究[J]. 橡胶工业, 2022, 69(7): 499-505.
- [7] 王友善, 吴健, 刘连波. 载重轮胎的稳态分析[C]. 第十五届中国轮胎技术研讨会论文集. 青岛: 中国化工学会, 2008: 207-210.
- [8] 蒋丰璘. 子午线轮胎稳态滚动的有限元分析[J]. 轮胎工业, 2015, 35(10): 586-591.
- [9] 风神轮胎股份有限公司. 一种降低子午工程机械轮胎生热的胎踵结构[P]. 中国: CN 205202618U, 2016-05-04.
- [10] 王学瑞, 王泽君, 王友善. 无内胎全钢轻型载重子午线轮胎稳态滚动温度场有限元分析[J]. 橡胶工业, 2012, 59(3): 173-176.
- [11] 周梦雨, 李凡珠, 杨海波, 等. 基于非线性黏弹性本构模型的轮胎滚动和生热[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(3): 73-78.
- [12] 李再琴, 李安庆, 丁祥, 等. 不同种类炭黑在全钢载重子午线轮胎胎面胶中的应用研究[J]. 橡胶科技, 2023, 21(2): 69-73.

收稿日期: 2023-05-08

Lightweight Design on 385/95R25 Tubeless All-steel Radial Tire for Crane

CHEN Yu, LI Xiaoming, LIU Tao, ZHOU Yabing, LOU Zhaoyang, CUI Zhiwu

(Aeolus Tyre Co., Ltd, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: The lightweight design on 385/95R25 tubeless all-steel radial tire for crane was introduced. The lightweight design was as follows: 3 + 9 + 15×0.22 steel cord was used to replace 3 + 9 + 15×0.22 + 0.15 steel cord in the 1[#]—3[#] belt layers, the width of 2[#]—4[#] belt layers was reduced, the steel-wire arrangement form of the bead wire was adjusted from 9-13-9 to 7-12-8, and the thickness of wear-resistant compound at the waterproof line position and the overall thickness of apex were reduced. Compared with the normal tire, the strain energy density of each part of the lightweight tire was reduced under load, the overall heat generation was reduced under the driving condition, the total weight was reduced by 10.67 kg, the strength performance of the tire met the customer requirements, the durability was improved by 15.7%, and the high-speed performance was improved by 106.4%, which was conducive to extend the service life of the tire.

Key words: tubeless all-steel radial tire; lightweight; belt; bead; finished tire performance; service life