

应用MSC MARC有限元分析软件优化27.00R49 巨型工程机械子午线轮胎带束层结构

许志展,曾冰冰,郭其焰,陈晶晶,严毅,蔡政雄

(海安橡胶集团股份公司,福建莆田 351254)

摘要:以27.00R49巨型工程机械子午线轮胎为例,应用MSC MARC2021有限元分析软件建立轮胎静态有限元模型,研究A方案带束层结构光面轮胎与带花纹轮胎的静负荷受力情况;B方案为A方案带束层结构的优化方案,对两种方案带束层结构的各层受力和轮胎接地印痕进行有限元分析,并与实测结果进行对比。结果表明,B方案带束层结构比A方案更优,有利于减少轮胎胎肩脱层问题。

关键词:巨型工程机械子午线轮胎;带束层;有限元分析;受力;接地印痕

中图分类号:U463.341⁺.5;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)03-0144-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.03.0144



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

近年来,国内巨型工程机械子午线轮胎(简称巨型工程轮胎)的研发设计和制造水平均取得了一定的成绩,但与国际知名品牌相比,仍有一定的差距。MSC MARC有限元分析软件的应用丰富了研发技术手段,提升了研发能力。人们在对轮胎结构进行优化时,首先提出各种设计方案,然后应用有限元软件进行分析,选取理论上较优的1—3个方案进行实胎试验,从而减少试验次数,提升研发效率^[1]。由于巨型工程轮胎的单胎成本高,减少实胎试验次数有利于降低研发成本^[2-5]。

R49—R63系列巨型工程轮胎的单胎标准负荷为27.25~100 t,负载强度大,轮胎使用条件苛刻,橡胶和帘线所受应力大。巨型工程轮胎的使用客户、气候条件、路面状况、开采条件、使用与维护条件等均不相同,轮胎的表现也各不相同。研究发现,轮胎破坏多发生在胎肩和胎圈部位,其中带束层胎肩层居多,因此有必要对巨型工程轮胎进行结构力学分析。人们在对轮胎结构优化设计时,应用分析软件计算出胎体、带束层帘线各层间及胎圈应力分布是否合理,完成初选方案^[6];以定性

分析结果与实胎测试结果互相验证,选择最优方案,以达到减少胎肩脱层问题的目的^[7-10]。

带束层是轮胎主要的承力部件之一,也是主要分析对象。本工作以27.00R49巨型工程轮胎为例,应用有限元分析模拟方法,研究静负荷下不同带束层结构轮胎以及各层带束层的受力情况;并对实胎进行转鼓试验,有限元分析结果与实胎测试结果互相验证,选择最优方案。

1 技术要求

27.00R49巨型工程轮胎的技术参数如下:标准轮辋 19.5/4.0,轮胎外直径 2 690 mm,轮胎断面宽 740 mm,标准充气压力 650 kPa,标准负荷 27 250 kg。

有限元分析参数根据以上轮胎技术参数进行录入,计量单位需要转换。

2 A方案光面轮胎与带花纹轮胎分析

2.1 光面轮胎

应用MSC APEX 2021软件对A方案带束层结构光面轮胎的2D断面进行网格划分,如图1所示,2D模型旋转拓展为3D模型,如图2所示。

2.2 带花纹轮胎

使用设计软件绘制轮胎3D花纹,如图3所示。

作者简介:许志展(1986—),男,福建莆田人,海安橡胶集团股份公司工程师,学士,主要从事全钢巨型工程机械子午线轮胎的结构设计和生产工艺管理工作。

E-mail:357423936@qq.com

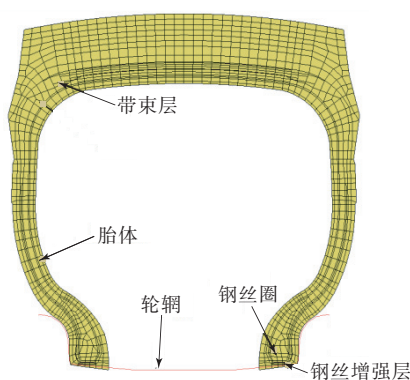


图1 光面轮胎2D模型

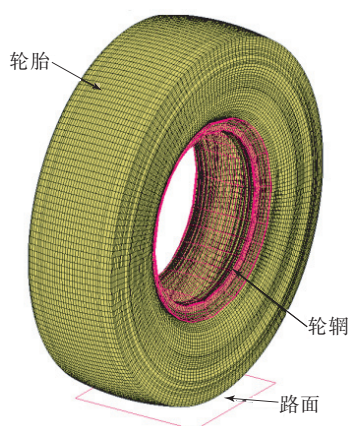


图2 光面轮胎3D模型



图3 带花纹轮胎3D模型

将3D模型导入MSC APEX软件,应用MSC APEX软件对轮胎花纹进行优化,去掉部分细花纹沟,仅保留主花纹沟,并绘制2.5维(六面体)网格,最终网格划分结果如图4所示,导出Nastran(*.bdf)格式,bdf格式文件在MSC MARC软件中导入、复制、旋转、合并。绘制完成的3D轮辋和地面一并导入MSC MARC软件,形成rubber文件。

带束层、胎体和钢丝增强层在软件3D系统中

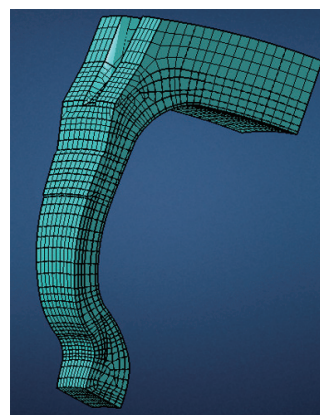


图4 有限元网格划分

绘制,在MSC APEX软件中生成线单元,完成后导出bdf文件,在MSC MARC软件中导入,形成rebar文件。

在MSC MARC软件中,将rubber文件和rebar文件合并,将rebar线单元嵌入rubber单元中,形成27tire文件。

各橡胶材料采用Mooney模型,完成材料录入。

2.3 光面轮胎和带花纹轮胎分析

光面轮胎在全负荷下的剖面如图5所示,带花纹轮胎的X位移如图6所示,带花纹轮胎的接地印痕如图7所示。

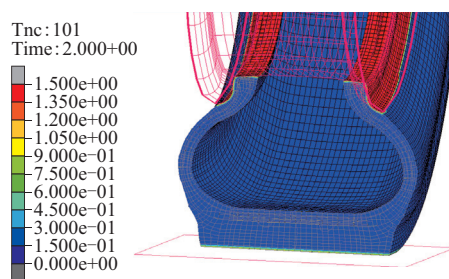


图5 光面轮胎在全负荷下的剖面示意

3 不同方案对比分析

3.1 改进说明

在A方案的基础上对带束层结构进行调整,得到新结构带束层B方案,具体调整如下。

将A方案的1#带束层宽度(含角度)调整至B方案的2#带束层,2#带束层宽度(含角度)调整至3#带束层,3#带束层宽度(含角度)调整至1#带束层,并通过调整胶片厚度、数量和带束层夹胶厚度、贴合位置、分层层数等,修改1#—3#带束层胎肩位置曲线走势;4#—6#带束层保持不变,调整前后的带束层结构如图8所示。

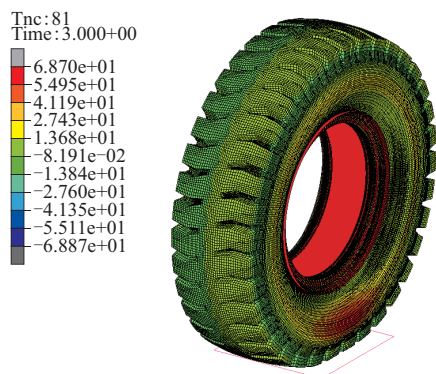


图6 带花纹轮胎的X位移

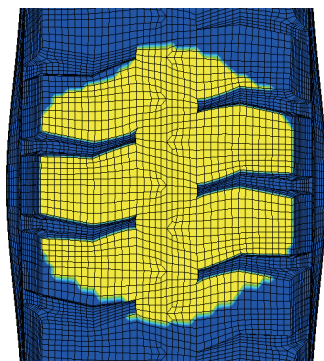


图7 带花纹轮胎的接地印痕示意

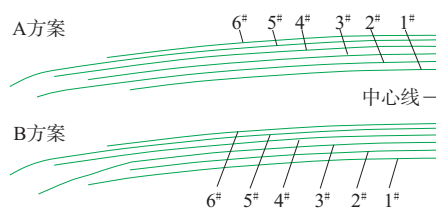


图8 A和B方案带束层结构示意

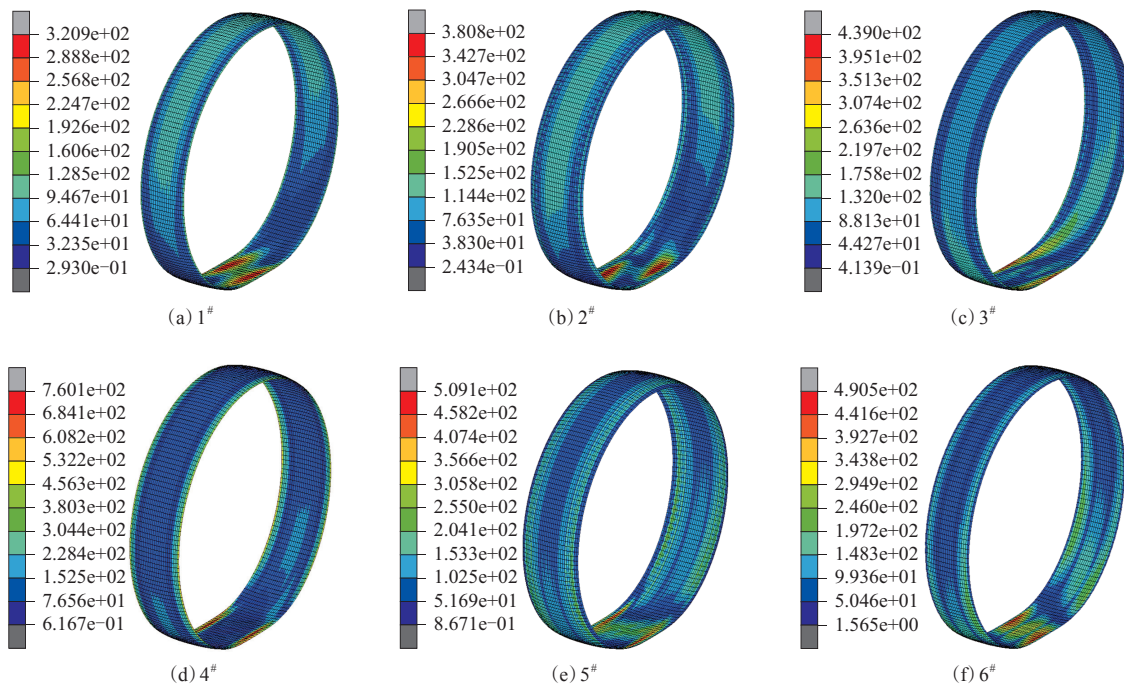
A和B方案成型1[#]—6[#]贴料角度方向:/\ /\ /\ /\。整体轮胎材料分布不变。

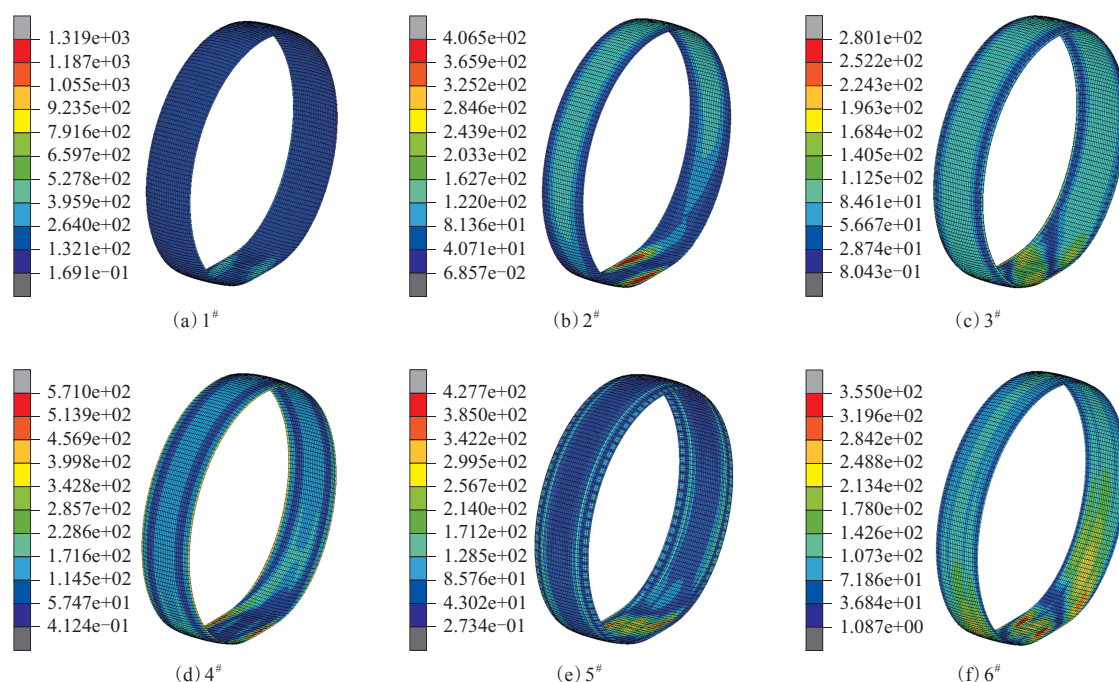
有限元材料属性保持一致,橡胶单元网格保持一致。

3.2 带束层受力分析

对A和B方案带束层结构的Equivalent of global cauchy rebar stress进行分析,A方案的1[#]—6[#]带束层受力情况如图9所示;B方案的1[#]—6[#]带束层受力情况如图10所示。

巨型工程轮胎1[#]—4[#]带束层的应力变化是主要研究对象,特别是最宽的带束层受力大小,以及带束层端点靠近轮胎胎肩部位,对轮胎胎肩质量影响较大。由图9和10可见,在1[#]—4[#]带束层中A方案的最宽带束层在2[#],B方案中将最宽带束层调整至3[#],最大受力减小了23.44%,从而减小了最宽

图9 A方案的1[#]—6[#]带束层受力情况

图10 B方案的1[#]—6[#]带束层受力情况

带束层的受力。B方案中1[#]—4[#]带束层受力由大至小依次为1[#], 4[#], 2[#], 3[#], 但4[#]和1[#]带束层的宽度相对较小, 端点距轮胎胎肩较远, 对轮胎质量的影响较小。另外, B方案的4[#]带束层受力明显小于A方案。综合来看, B方案带束层结构的整体受力小于A方案带束层。

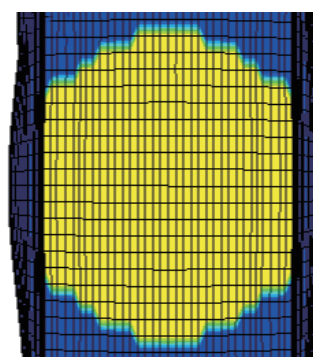
3.3 接地印痕对比

A和B方案的轮胎接地印痕分析结果如图11所示。在全负荷下, 两个方案成品轮胎的转鼓实测接地印痕与有限元分析结果对比如表1所示, a 为接地印痕长轴长度, b 为接地印痕短轴长度。

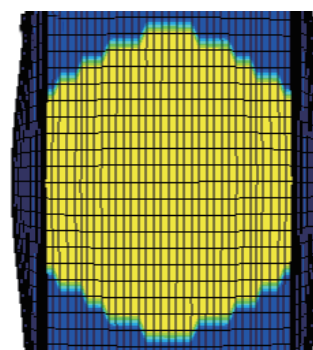
3.4 转鼓试验

A和B方案轮胎的胎面胶和基部胶用量、配方、生产批次都一样, 其他部位的胶料要求同一批次生产, 采用同一家企业同生产批次钢丝帘线, 轮胎成型、硫化工艺一致, 使用同台成型机、同一班次人员生产。

A和B方案轮胎首先按照GB/T 30197—2018《工程机械轮胎作业能力测试方法 转鼓法》进行试验, 在完成试验后将轮胎冷却至室温, 再进行厂内测试。第1阶段的负荷率为85%, 速度为 $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 连续运行50 h, 第2阶段的负荷率为100%, 速度为 $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 连续运行70 h, 全程合计



(a) A方案



(b) B方案

图11 A和B方案的接地印痕分析结果

120 h。完成测试后, 待轮胎冷却至室温再进行解剖, 周向对角切4个切割断面。

A和B方案轮胎的转鼓试验结果如下: A方案

表1 成品轮胎转鼓实测接地印痕与有限元分析

对比结果					mm
项 目	A方案		B方案		
	有限元分析	转鼓实测	有限元分析	转鼓实测	
<i>a</i>	779	750	776	755	
<i>b</i>	688	685	688	684	

轮胎的断面尺寸符合设计要求,但2[#]带束层端点有轻微开裂;B方案轮胎的断面尺寸符合设计要求,未发现异常。

3.5 矿山实测

将采用B方案生产的轮胎发往各矿山使用后未发现胎肩空问题,轮胎使用寿命延长,轮胎质量稳定性较好。

4 结语

通过对A和B两种方案带束层结构的各层受力和接地印痕进行有限元分析,并与实测结果进行对比表明,B方案带束层结构比A方案更优,有利于减少轮胎胎肩脱层问题。

有限元分析与实测结果还有一定的差距。今后还要不断测试材料参数,优化轮胎模型,缩小分析结果与实测结果的误差。随着分析、测试数据的不断积累,未来预测的结果必然更加丰富和准确。

矿山轮胎负荷强度大,受力分析是一个研究方向,而巨型工程轮胎又是超厚橡胶制品,在运行

过程中生热高,且不易散热。负荷大、生热高是引起巨型工程轮胎损坏的主要原因。因此在下一步工作中,将对轮胎生热进行分析,综合轮胎受力分析结果,进一步提升巨型工程轮胎质量。

参考文献:

- [1] 向宗义,沈光洁,石汉臣,等. 14. 00R20重型载重汽车子午线轮胎的有限元分析[J]. 研究创新,2011(11):25-29.
- [2] 黄曦翔,黄振华,朱建祥,等. 矿用卡车巨型工程机械子午线轮胎的正确选型及使用维护[J]. 轮胎工业,2021,41(11):667-673.
- [3] 李万岭. 新型无机硅填料在矿用巨型工程机械轮胎基部胶中的应用[J]. 橡塑资源利用,2021(2):5-8,30.
- [4] 梁守智,钟延堃,张丹秋. 橡胶工业手册(修订版) 第四分册 轮胎[M]. 北京:化学工业出版社,1989.
- [5] 郑仙群. 全球大型矿用工程轮胎需求与供给分析及中国巨型工程轮胎制造商的对策[J]. 中国橡胶,2008,24(8):25-29.
- [6] 李利,王瑞,党栋,等. 轮胎骨架材料带束层的有限元分析[J]. 弹性体,2014,24(4):19-23.
- [7] 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.
- [8] 陈海荣,王国林. 带复杂花纹的子午线轮胎有限元建模方法[J]. 橡胶工业,2012,59(5):296-299.
- [9] 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.
- [10] 冯琳阁,辛振祥. 不对称带束层11. 00R20全钢载重子午线轮胎有限元分析[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版),2012,33(2):177-182.

收稿日期:2022-10-16

Optimization of Belt Structure of 27. 00R49 Giant Off-The-Road Radial Tire by MSC MARC Finite Element Analysis Software

XU Zhizhan, ZENG Bingbing, GUO Qiyan, CHEN Jingjing, YAN Yi, CAI Zhengxiong

(Hai'an Rubber Group Co., Ltd, Putian 351254, China)

Abstract: Taking 27. 00R49 giant off-the-road radial tire as an example, the static finite element model of the tire was established by using MSC MARC2021 finite element analysis software, and the static load force of a smooth tire and a tread-patterned tire which both had the scheme A belt structure was studied. Scheme B belt structure was then obtained through the optimization of the scheme A. The force on each belt layer and the tire footprint of the two schemes were analyzed by finite element analysis, and compared with the measured results. The results showed that the belt structure of scheme B was better than that of scheme A, and the problem of tire shoulder delamination could be reduced with the scheme B belt structure.

Key words: giant off-the-road radial tire; belt; finite element analysis; force; footprint