

全钢子午线轮胎胎圈鼓包机理的有限元分析

王志平, 裴权华, 王彩红, 陈 宇

(风神轮胎股份有限公司, 河南 焦作 454001)

摘要:以18.00R33全钢工程机械子午线轮胎为例,利用有限元技术分析负荷状态下高胎体帘布反包全钢子午线轮胎胎圈部位应力/应变分布,重点分析高模量钢丝帘线受力情况。结果表明:轮胎在负荷状态下胎体帘布反包钢丝帘线会出现局部受压缩应力的情况,在轮胎滚动过程中该区域钢丝帘线在拉伸应力和压缩应力之间循环波动,且随着负荷率的增大,波动幅度急剧增大,钢丝帘线易与橡胶剥离而导致脱层;轮胎实际损坏形式验证了有限元分析结果的准确性。

关键词:全钢子午线轮胎;胎圈;鼓包;机理;有限元分析;拉伸应力;压缩应力

中图分类号:U463.341⁺.5/.6;O241.82

文章编号:1006-8171(2019)08-0463-04

文献标志码:A

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2019.08.0463

随着轮胎工业的进步,子午线轮胎已经逐步替代斜交轮胎成为市场主流产品。由于全钢子午线轮胎的结构特性,其下胎侧区域变形大,内部材料分布复杂,存在极大的损坏风险,特别是对于重载轮胎产品,表现尤为突出。其中一个重要的损坏形式是轮缘附近的胎圈鼓包脱层,进而导致该区域钢丝帘线断裂发生爆胎事故。因此,分析胎圈区域产生鼓包的机理,进而指导轮胎设计,降低类似安全事故的发生非常重要。

在对市场上出现的部分鼓包全钢子午线轮胎进行分析后发现,对于高胎体帘布反包轮胎,大部分鼓包发生于胎体帘布反包位置。因此,可以从反包胎体钢丝帘线的受力分析出发,探讨发生胎圈鼓包的深层原因。

随着计算机技术的发展,有限元分析技术正越来越深入而全面地应用于轮胎设计分析中。轮胎设计研究人员利用有限元仿真技术对子午线轮胎的帘线受力进行了分析^[1-2]。

本工作利用有限元仿真技术分析轮胎胎圈部位在负荷状态下的钢丝帘线受力分布,探讨导致胎圈鼓包的深层原因,并期望以此指导轮胎设计,形成设计和控制规范。

作者简介:王志平(1982—),男,河南南阳人,风神轮胎股份有限公司工程师,硕士,主要从事全钢子午线轮胎结构设计与研究工作。

E-mail:wangzhiping01@rubber.chemchina.com

1 分析模型

以18.00R33全钢工程机械子午线轮胎为分析对象,由于重点分析胎圈部位应力/应变及钢丝帘线受力,因此忽略胎面花纹影响,采用光面轮胎模型。

轮胎中帘线-橡胶复合材料采用Rebar模型,以方便提取帘线受力数据;橡胶材料的超弹性本构模型选用不可压缩的Yeoh模型,钢丝帘线采用线弹性模型。在模型中定义了钢丝帘线的角度、间距及截面积等参数。

由于忽略了花纹影响,因此轮胎模型可以简化为轴对称模型。先建立二维平面模型分析轮胎装配和充气工况,二维模型如图1所示,共有1 848个单元、1 945个节点;采用CGAX3H和CGAX4H轴对称单元。

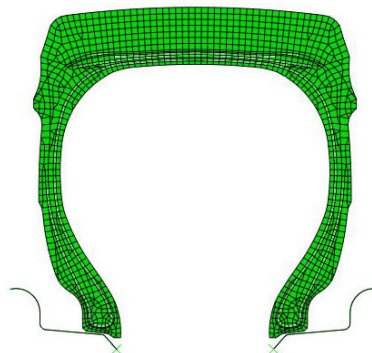


图1 二维平面轴对称模型

轮辋和地面均视为解析刚体,轮胎充气压力为650 kPa,标准负荷为10 900 kg。

利用二维平面轴对称模型绕轮胎的旋转轴旋转360°得到三维轮胎模型,用固定轮辋同时移动路面的方式来模拟加载过程。为提高计算效率并确保接地区域的分析精度,旋转时采用非均匀角度分布,如图2所示,共生成73 689个单元、97 153个节点。

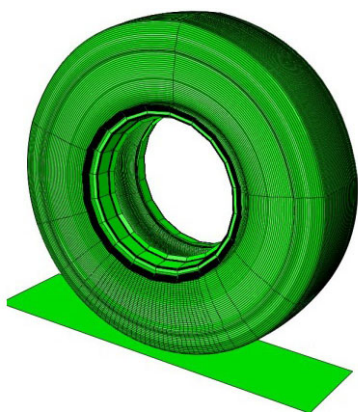


图2 三维旋转轮胎模型

2 仿真结果

二维轮胎充气后模型形状如图3所示。三维轮胎模型负荷变形后形状如图4所示。根据前面的分析,重点研究胎体钢丝帘线的受力,特别是胎圈部位胎体帘布反包处钢丝帘线的受力情况。

2.1 标准负荷下胎体钢丝帘线受力在圆周不同角度的分布

标准负荷下胎体钢丝帘线受力在圆周不同角度的分布如图5(a)所示,特征点位置如图5(b)所示

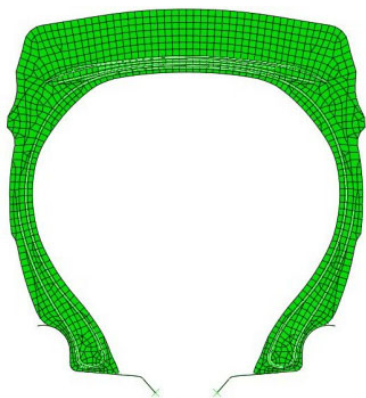


图3 二维轮胎充气模型形状

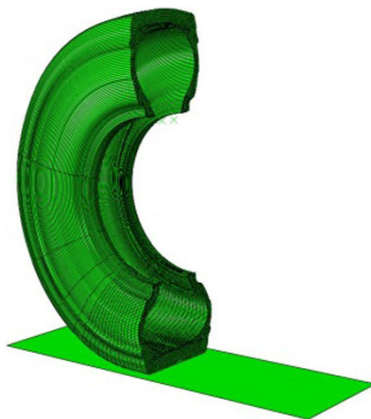
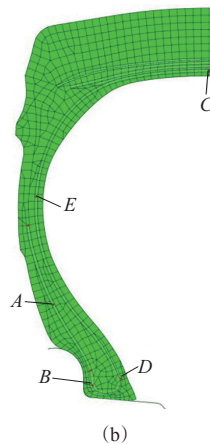
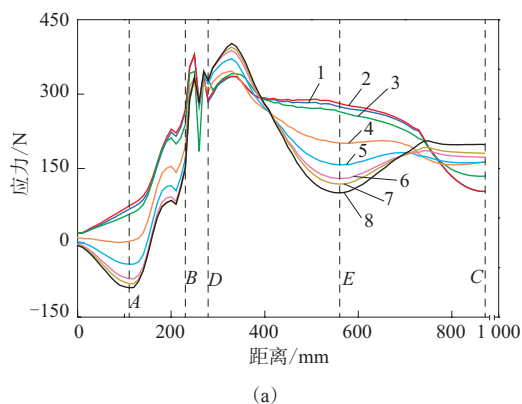


图4 三维轮胎模型负荷变形轮廓



角度/(°): 1—0; 2—100; 3—150; 4—160; 5—166;
6—170; 7—172; 8—180。

图5 标准负荷下胎体钢丝帘线受力分布

示,其中0°为轮胎离地端所在圆周角度,180°为轮胎接地端所在圆周角度(以下相同)。

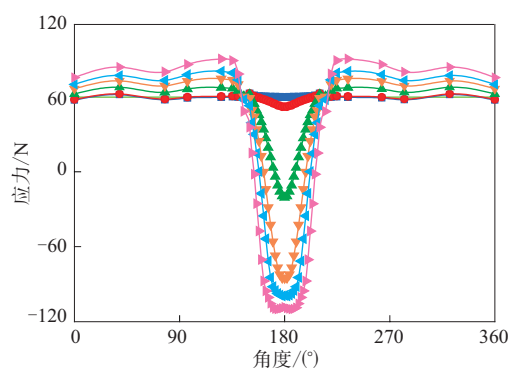
从图5可以看出,在反包胎体帘布轮缘点向外的区域,钢丝帘线受力急剧下降,特别是在轮胎接

地端,在A点位置出现极小点,在该区域钢丝帘线受压缩力。钢丝帘线的捻制结构决定了在轴向压缩工况下各层钢丝之间应变不同步,造成钢丝之间的磨损。这种微动磨损是造成钢丝绳(类似钢丝帘线)失效的一个主要原因^[3]。因此,在压缩力作用下的钢丝帘线易成为轮胎的破坏点。

2.2 A点钢丝帘线受力的圆周周期变化

不同负荷情况下A点钢丝帘线受力在圆周方向的周期变化如图6所示。

从图6可以看出,在A点区域钢丝帘线受力沿圆周方向在拉伸应力和压缩应力之间大幅波动。这也意味着在轮胎负荷滚动过程中,A点区域钢丝帘线所受力会在拉伸应力与压缩应力之间往复变化。舒凉^[4]详细分析了帘线-橡胶复合材料在受压缩力情况下的损坏模式,认为帘线-橡胶复合材料在较小的循环压缩负荷下即可发生破坏。



负荷率/%: ■—0; ●—5; ▲—50; ▼—100; ▲—140; ▲—200。

图6 不同负荷下A点钢丝帘线受力的圆周分布

从图6还可以看出,在轮胎滚动过程中,随着负荷率的增大,A点区域钢丝帘线受力波动的幅度明显增大,离地时所受拉伸应力和接地时所受压缩应力均增大,这显然会加剧该区域的破坏。

2.3 A点压缩应力与负荷率的关系

图7示出了接地端A点钢丝帘线受力和下沉量与负荷率的关系曲线。

从图7可以看出,随着负荷率的增大,A点钢丝帘线所受压缩应力和下沉量均大幅增大。

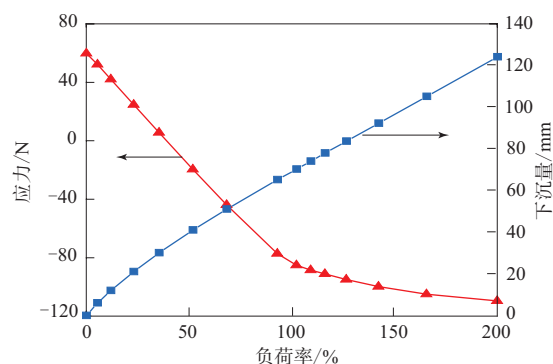


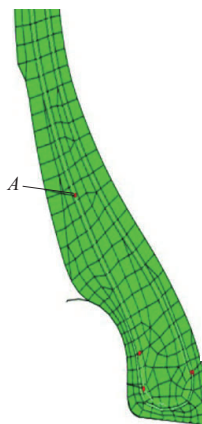
图7 接地端A点钢丝帘线受力和下沉量与负荷率的关系曲线

丝帘线在受拉伸与受压缩之间循环波动,会导致钢丝帘线/橡胶复合材料的破坏,进而导致轮胎在该区域脱层、鼓包甚至钢丝帘线断裂爆胎。

为了与实际情况进行对比,对该规格市场损坏轮胎进行了相应解剖分析^[5-8],发现轮胎的损坏形式及破坏点与上述分析中的A点受力情况存在很强的对应关系。图8示出了实际损坏轮胎的损



(a) 轮胎的损坏形式和初始鼓包位置



(b) 帘线受压缩区域仿真结果

图8 轮胎实际损坏情况及仿真结果

3 实际对比

通过上述理论分析得出,A点钢丝帘线在接地时受压缩应力的状态以及随着轮胎滚动该区域钢

坏形式、初始鼓包位置以及计算机仿真得到的钢丝帘线受压缩区域(即A点)。

从图8可以看出,初始鼓包位置与仿真得到的帘线受压缩区域完全相符。该区域的最终损坏形式与之前得到的帘线/橡胶复合材料在循环压缩负荷下的损坏形式一致^[4]。因此可以认为钢丝帘线受压缩应力状态是导致轮胎胎圈部位损坏的主要原因。

4 结语

借助有限元分析技术,以18.00R33全钢工程机械子午线轮胎为例详细分析了高胎体帘布反包全钢子午线轮胎在负荷状态下的钢丝帘线受力分布,发现胎体帘布反包局部区域在轮胎接地时存在受压缩应力的情况,并且该区域在轮胎滚动过程中钢丝帘线会在拉伸应力和压缩应力之间循环波动,随着负荷率的增大,波动幅度急剧增大。实际轮胎的损坏形式和损坏部位验证了有限元分析结果的准确性,即钢丝帘线受循环压缩应力的状态是导致该区域损坏的主要原因。在轮胎设计时

应通过轮胎结构优化,减小钢丝帘线所受压缩应力,从而达到提升轮胎使用性能的目的。

参考文献:

- [1] 陈芳,王国林,高先进,等.载重子午线轮胎帘线受力有限元分析[J].橡胶工业,2008,55(2):80-84.
- [2] 李炜,夏勇,夏源明.载重子午线轮胎帘线受力的有限元分析[J].力学季刊,2002,23(3):323-340.
- [3] 崔影,蒋雪江.钢丝绳失效过程及延长其使用寿命原理分析[J].金属制品,2014,40(6):13-17.
- [4] 舒凉.帘线-橡胶复合材料的压缩失效模式研究[J].轮胎工业,2008,28(9):515-518.
- [5] 韩成勇,李鹏,高云鹏.有限元在优化全钢巨型工程机械子午线轮胎胎体帘布反包高度中的应用[J].轮胎工业,2018,38(5):270-274.
- [6] 王国林,周浩,梁晨,等.外轮廓和结构参数对载重子午线轮胎疲劳寿命的影响[J].橡胶工业,2017,65(5):290-294.
- [7] 何跃,王彩红,裴权华,等.600/55R26.5全钢农业子午线轮胎的设计[J].轮胎工业,2018,38(3):152-154.
- [8] 贺惠英,李彤.浸胶帘线带式屈挠疲劳试验方法研究[J].轮胎工业,2018,38(6):375-377.

收稿日期:2019-04-19

FEA of Bead Bulging of All-steel Radial Tire

WANG Zhiping, PEI Quanhua, WANG Caihong, CHEN Yu

(Aeolus Tyre Co., Ltd., Jiaozuo 454001, China)

Abstract: Taking 18.00R33 all steel off-the-road radial tire as an example, the stress/strain distribution at the bead position of all steel radial tire with turn-up high carcass cord under load was analyzed by using finite element analysis (FEA) technology, with emphasis on the stress distribution of high modulus steel cord. The results showed that the local compression stress would appear on the turn-up steel cord of the carcass cord under the loading condition. During the rolling process of the tire, the stress of the steel cord in this area fluctuated between tension mode and compression mode, and with the increase of the loading ratio, the fluctuation magnitude increased sharply, which easily caused delamination of cord fabric from rubber. The FEA results were then verified by the actual damage form of the tire experimentally.

Key words: all steel radial tire; bead; bulging; mechanism; FEA; tension stress; compression stress

欢迎订阅《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》杂志