

载重子午线轮胎带束层部分的动态模拟

程冬冬, 刘臣才, 束永平

(东华大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要:以 12.00R20 全钢载重子午线轮胎为研究对象, 基于 Abaqus 软件和组合模型技术建立带复杂胎面花纹的轮胎全局模型, 然后基于子模型技术建立带束层部分的三维精细网格模型进行有限元分析。结果表明: 静负荷工况下, 由全局模型与子模型计算得到的应力场比较一致, 且 Mises 应力最大值均出现在胎体帘布层。自由滚动工况下, 两层带束层帘线 Mises 应力分布非常不均匀, 但基本关于中面对称; 第 2 带束层 Mises 应力高于第 1 带束层, 且各带束层在胎冠部位 Mises 应力整体高于胎侧部位; 胎冠部位两层带束层 Mises 应力分布变化不大, 胎肩部位 Mises 应力增大, 胎侧部位 Mises 应力减小; 第 1 和第 2 带束层帘线 Mises 应力分布关于中面对称的情况刚好相反。

关键词:载重子午线轮胎; 带束层; 胎面花纹; 子模型技术; 有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.3; O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-8171(2014)06-0333-06

带束层端部是子午线轮胎使用过程中最容易破坏的位置^[1]; 轮胎泵浦噪声研究需要轮胎网格达到毫米级, 必须进行轮胎精细网格有限元分析。如果要详细分析带束层端部的应力应变情况, 对全局模型都进行网格细化则将大大增加计算量。越来越多的研究者开始利用有限元对轮胎危险区域的应力应变场进行分析, 如李炜^[1]利用组合模型分析技术建立具有精细网格的轮胎轴对称有限元模型, 但没有进行三维有限元模拟, 无法得到轮胎静负荷状态下的结果。对带束层部分进行静负荷下精细网格有限元分析的研究较少, 进行动态下的精细网格有限元分析的文献更少, 而实际使用中轮胎多数情况是在运动状态下, 因此获取轮胎动态下的准确受力状况比静负荷状况更必要。

本工作以 12.00R20 全钢载重子午线轮胎为研究对象, 采用 Abaqus 软件和组合模型技术建立了带复杂胎面花纹的轮胎有限元模型, 然后基于子模型技术建立了带束层部分的三维精细网格有限元模型, 进行静负荷与动态滚动下的三维精细网格有限元分析。

1 全局模型与子模型的建立

完整的轮胎模型称为全局模型, 子模型是从

全局模型上切分下来的一部分。使用子模型技术可以在全局模型的基础上使用细化的网格对局部作进一步分析^[2]。

1.1 全局模型的建立

12.00R20 全钢载重子午线轮胎带束层部分的主要骨架结构在子午面的位置如图 1 所示(子模型)。对表示骨架结构受力分布时的坐标位置约定如下: 坐标原点取在中分面上, 子午面内胎体帘线位置采用自然坐标 s 表示, s 小于零为左, s 大于零为右; 子午面内带束层帘线位置用 y 表示, y 小于零为左, y 大于零为右。

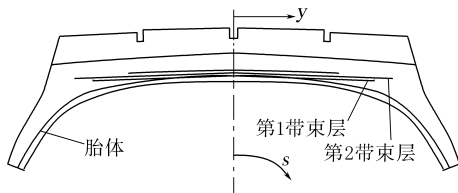


图 1 轮胎子模型子午面内骨架结构分布

全局模型先后在 Abaqus/Standard 和 Abaqus/Explicit 中进行求解, 两者之间通过 * import 导入。采用如下建模方式: 主体先在 AutoCAD 中按 12.00R20 实际结构画好网格节点, 然后导入到 hypermesh 中在一个子午面内建立二维网格, 在 inp 中给每一区域赋予相应的材料属性, 利用 * SYMMETRIC MODEL GENERATION, REVOLVE 命令沿轴线旋转 2 节, 每节

7.2°;花纹部分采用基于类保角映射簇的胎面花纹建模方法^[3],形成完全的高质量六面体网格。最后将两者用“tie”组合起来,再采用* SYMMETRIC MODEL GENERATION, PERIODIC 命令沿轴向旋转 25 节,最终形成轮胎全局模型。建模过程及子午面位置如图 2 所示。

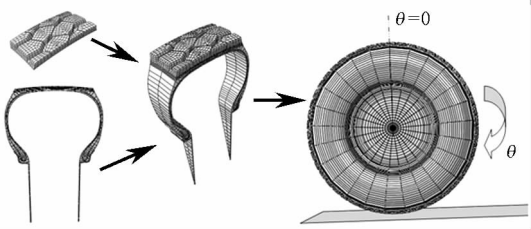


图 2 全局模型建模过程及子午面位置

在轴对称模型和三维模型中,轮胎橡胶材料分别选用 4 节点实体单元 CGAX4R 和 8 节点实体单元 C3D8R,骨架材料(带束层、胎体、加强层帘线)选用 Rebar 单元来定义。Rebar 模型将橡胶作为基体部分,按照帘线层中面的几何形状在其中定义 1 层或多层 mem 单元,再通过输入各层 Rebar 的材料性质、方向角和间距,单根 Rebar 的横截面积及膜单元在基体单元中的相对位置 5 个参数来定义,帘线角直接在轴对称模型中设置,mem 单元采用的类型分别为 SFMGAX1 和 SFM3D4R。采用增强型沙漏控制方式。整个模型共含 67 450 个单元,轮辋与路面简化为刚体。

1.2 子模型的建立

对于模型建模采用如下策略:主体部分在一个子午面内建立有限元网格,然后旋转生成空间三维有限元网格,取出其中的单元节点信息,放入 inp 中;花纹部分建模方法与全局模型相同,最后将两者用“tie”组合起来,子模型如图 3 所示[子



图 3 胎冠部位子模型

午面旋转角(θ)从-14.4°至+14.4°的区域],子模型共含 81 066 个单元,而全局模型对应区域共含 4 420 个单元。其中帘线角在空间设置,不采用默认的局部坐标系,默认的正方向是整体坐标 x 轴向该面单元投影得到的,在 Abaqus/CAE 中自定义所有的局部坐标系正方向都采用圆周方向,胎体帘线自定义局部坐标系如图 4 所示。

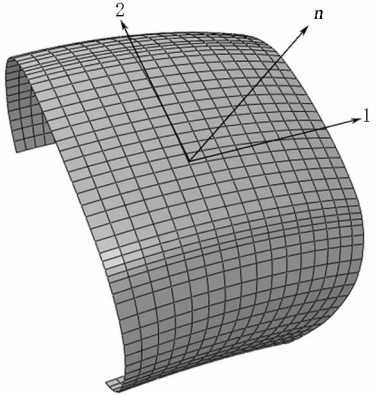


图 4 胎体帘线自定义局部坐标系

2 有限元分析

2.1 三维精细网格子模型静态分析

2.1.1 全局模型的有效性验证

为验证有限元模型的准确性,进行轮胎负荷与下沉量关系的试验。试验条件如下:充气压力 840 kPa,静负荷 30 kN。试验结果和仿真结果如图 5 所示。

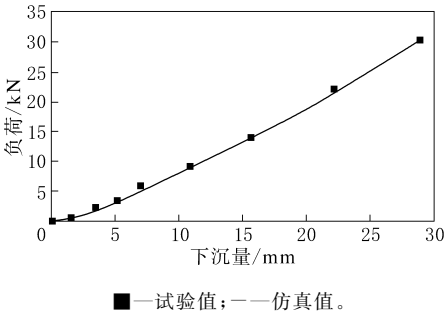


图 5 轮胎负荷-下沉量曲线

从图 5 可以看出,试验结果与有限元仿真结果相差很小,由此可见有限元模型是合理的。

2.1.2 全局模型与子模型静态分析对比

在 Abaqus/Standard 中对全局模型静负荷工况下轮胎变形和受力进行分析。将轮辋固定,建立刚体路面,初始时路面距离充气轮胎最近距离

为 2.5 mm。采取两步进行,第 1 步,将路面压向轮胎 4 mm,让接触关系平稳建立起来;第 2 步,对路面施加朝向轮胎的力(30 kN)。轮胎变形情况如图 6 所示,轮胎下沉量为 28.837 1 mm。

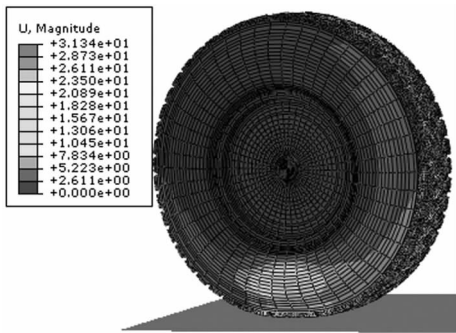


图 6 静负荷工况下轮胎的变形

子模型的位移边界条件是由整体模型的计算结果通过插值法提供。静态子模型有限元计算的流程如图 7 所示。

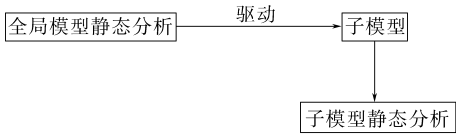


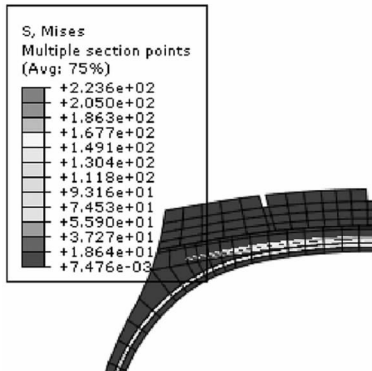
图 7 静态子模型计算流程

图 8 给出了利用前面建立的全局模型和子模型计算得到的 θ 为零时子午面静负荷状态下的 Mises 应力分布对比。从图 8 可以看出,由全局模型与子模型计算得到的应力场比较一致,且 Mises 应力最大值部分均出现在胎体帘布层。从图 8 还可以看出,子模型的计算结果比全局模型小,这可能是由于整体模型网格过少引起的计算误差。

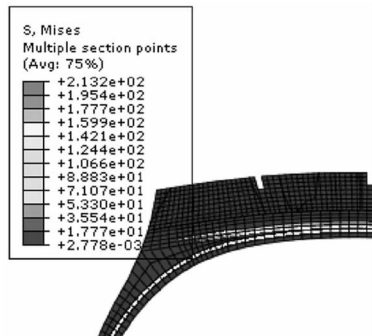
2.2 三维精细网格子模型动态分析

在对子模型静态分析后,利用 C 语言取出子模型边界上的节点位移,并赋值给子模型,利用 Abaqus/Explicit 中准静态技术进行求解,然后将准静态分析后的计算结果当作动态子模型的初始条件,继续在 Abaqus/Explicit 中进行分析。

全局模型在 Abaqus/Standard 进行静态分析以后,导入到 Abaqus/Explicit 中进行 0.325 3 s 的动态分析,固定路面,给轮辋施加 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的平动速度,同时 30 kN 的负荷也施加在轮胎中



(a) 全局模型



(b) 子模型

图 8 静负荷工况下全局模型与子模型的 Mises 应力分布对比

心的参考点轮辋上,然后在轮胎与路面之间定义摩擦因数为 0.8,随着轮胎的移动,在摩擦力作用下,轮胎逐渐滚动起来,直至达到自由滚动速度。

Abaqus/Explicit 程序在时间积分时采用中心差分法。显式时间积分算法为有条件稳定,显式积分法临界稳定时间步长限制了时间步长的大小,因此在求解过程中,显式算法中时间步长一般比隐式算法要小^[4]。

子模型可以用于动力学程序,采用显式积分法。将全局模型在每个小的增量步边界上的位移通过插值的方式添加给子模型。为了保证计算结果的有效性,需要采用足够大的增量步数。

2.2.1 动态子模型的考评

将全局模型中与精细子模型所占区域相同的部分分割出来,以此部分作为一个网格较粗的子模型(以下记为粗子模型)进行计算。如果采用的动态子模型方法是有效的,则可以预期粗子模型计算得到的物理量应该与全局模型得到的结果基本一致(这是因为粗子模型的网格与全局模型完

全一致)。下面选取胎体帘线在 θ 为 180° 子午面内的若干点作为节点集合(见图9),对比整体模型与粗子模型中该节点集合的计算结果。

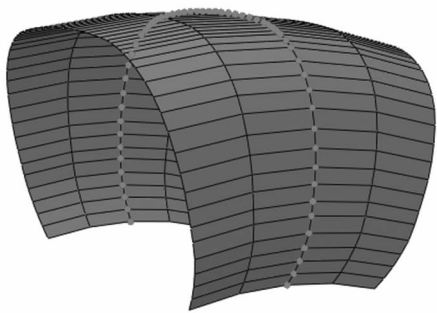


图9 胎体帘线在 180° 子午面内的节点集合

图10所示为0.3253 s(轮辋平动6325.3 mm)时图9所示节点集合的Mises应力分布。从图10可知,子模型与全局模型在图9所示集合中的计算结果吻合良好,这也验证了动态子模型分析计算方案是有效的。

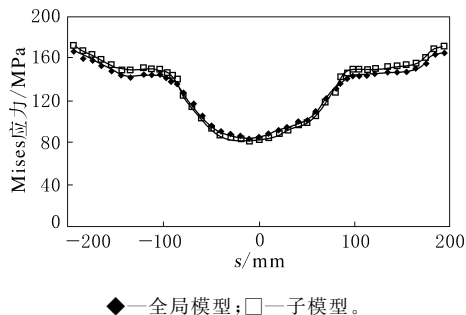


图10 胎体帘布层节点集合的Mises应力分布

2.2.2 带束层帘线受力

0.3141 s(轮辋平动6107.5 mm)时,动态细子模型正处于自由滚动状态,且处于接地状态。由动态细子模型计算得到的自由滚动工况下,第1和第2带束层帘线Mises应力总体分布情况如图11和12所示。从图11和12可以看出,两层带束层的Mises应力分布关于 θ 为 180° 子午面和轮胎中分面均基本是反对称的;第1和第2带束层的Mises应力分布在中分面两侧及 θ 为 180° 子午面前后的分布规律刚好相反,这是由于这两层帘线交错排列造成的。

图13示出了自由滚动工况下轮胎接地端子午面(θ 为 180°)内的第1和第2带束层帘线Mises应力分布情况。

从图13可以看出,两层带束层帘线Mises应

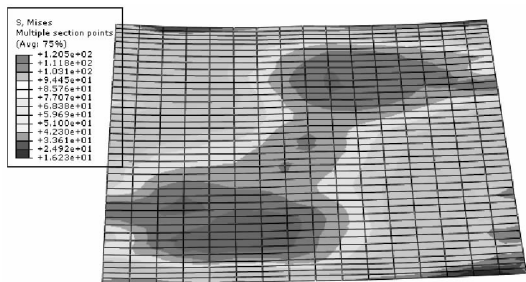


图11 自由滚动工况下第1带束层Mises应力分布

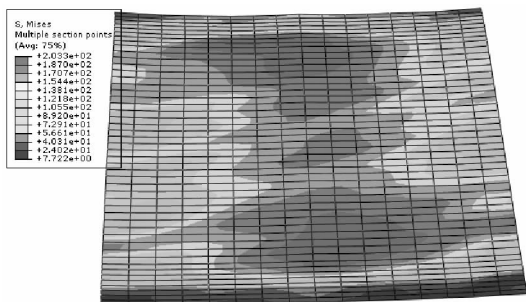


图12 自由滚动工况下第2带束层Mises应力分布

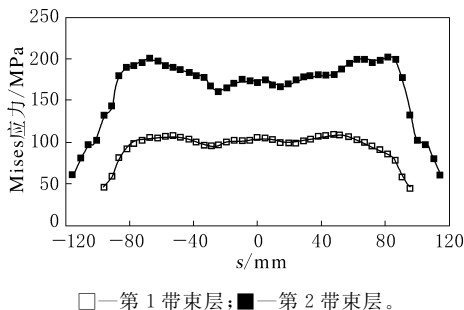


图13 180° 子午面内第1和第2带束层帘线Mises应力分布

力分布非常不均匀,但基本关于中分面对称;第2带束层Mises应力高于第1带束层,且各个带束层在胎冠部位Mises应力整体要高于胎侧部分;在胎冠部位两层带束层Mises应力分布变化不大,胎肩部位Mises应力增大,胎侧部位Mises应力减小。

图14和15示出了自由滚动工况下不同子午面(θ 分别为 176.4° , 180° 和 183.6°)内的Mises应力分布。

从图14和15可以看出:整体上, θ 为 176.4° 和 183.6° 子午面的帘线Mises应力分布与 θ 为 180° 子午面的帘线Mises应力分布有明显差异,关于中分面明显不对称; θ 为 180° 子午面内帘线Mises应力在胎冠部位分布比较均匀,而 θ 为

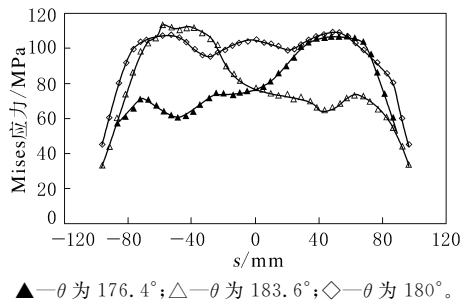
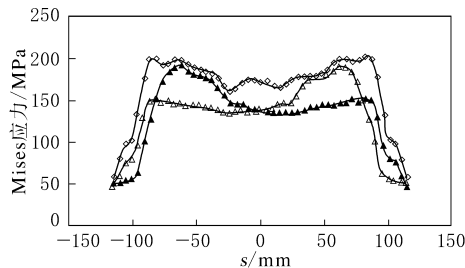


图 14 自由滚动工况下第 1 带束层帘线在不同子午面内的 Mises 应力分布



注同图 14。

图 15 自由滚动工况下第 2 带束层帘线在不同子午面内的 Mises 应力分布

176.4°和 183.6°子午面帘线 Mises 应力变化较大; θ 为 176.4°和 183.6°子午面帘线 Mises 应力分布关于 θ 为 180°子午面和中分面基本呈反对称。

通过对比 θ 为 176.4°和 183.6°子午面内的帘线 Mises 应力分布,可知第 1 和第 2 带束层帘线 Mises 应力分布关于中分面的对称情况刚好

相反。

3 结论

(1)对于 12.00R20 全钢载重子午线轮胎,静负荷工况下,由全局模型与子模型计算得到的应力场比较一致,且 Mises 应力最大值部分均出现在胎体帘布层。

(2)自由滚动工况下,12.00R20 全钢载重子午线轮胎两层带束层帘线 Mises 应力分布非常不均匀,但基本关于中分面对称;第 2 带束层 Mises 应力高于第 1 带束层,且各带束层在胎冠部位 Mises 应力整体高于胎侧部位;在胎冠部位两层带束层 Mises 应力分布变化不大,胎肩部位 Mises 应力增大,胎侧部位 Mises 应力减小;第 1 和第 2 带束层帘线 Mises 应力分布关于中分面的对称情况刚好相反。

参考文献:

- [1] 李炜. 子午线轮胎结构有限元分析和设计原理的若干问题研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2008.
- [2] 石亦平,周玉蓉. Abaqus 有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社,2009:198-200.
- [3] 李兵. 计及复杂胎面花纹的子午线轮胎结构有限元分析[D]. 合肥:中国科学技术大学,2008.
- [4] 张文元. Abaqus 动力学有限元分析指南[M]. 哈尔滨:中国图书出版社,2005:130.

第 7 届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文

Dynamic Simulation on Belt of Bus and Truck Radial Tire

CHENG Dong-dong, LIU Chen-cai, SHU Yong-ping

(Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Taking 12.00R20 bus and truck radial tire as the study object, and based on Abaqus software and composite pattern technology, the global model with complex pattern was established, and then based on submodel technology, the three dimensional fine grid model of the belt was established for finite element analysis. Under static load condition, the stress field calculated by global model and submodel was consistent and the maximum Mises stress appeared in the carcass ply. Under free rolling condition, the Mises stress of two belts was distributed very unevenly, but was basically symmetrical about neutral plane. The Mises stress of the second belt was higher than that of the first belt, and the Mises stress of the belt ply in tire crown was higher than that in sidewall. Under free rolling condition, the distribution of Mises stress of two belts in crown changed little comparing with that

under static load condition, but the Mises stress increased in tire shoulder and decreased in sidewall, and the symmetrical distributions of Mises stress of two belts were opposite to each other.

Key words: bus and truck radial tire; belt; tread pattern; submodel technology; finite element analysis

桂林橡胶机多措施确保供货发货

中图分类号:F27;TQ330.4 文献标志码:D

2014年第1季度,桂林橡胶机械厂上下合力,实现了新签订单大幅增长。承接的大量新订单交货期短、产前周期紧张,该厂通过实施生产系统平衡管理、引进新设备等措施,实现保质保量供货发货。

该厂生产系统开展生产线平衡脱瓶颈改善活动,大大提升了生产组织协调管理水平。生产线平衡是针对产前设计计划进行细化,明确时间节点,量化考核指标;针对生产瓶颈进行梳理,调整关键机台生产模式,采用高效刀具优化部分工序工艺,提高了瓶颈工序的生产效率;对外协件回厂及时率进行细化考核,每个产号均有专人跟踪落实进度。

随着新签订单的增多,该厂着力解决了个别关键设备加工效率低的问题。4月中旬该厂新添5台线切割机,不仅降低了制造成本,缩短生产周期,提高了工作效率,更打破了传统的加工方法,采用了电蚀法,在一定程度上解决了常规加工过程中普通刀具加工难的问题。线切割机运用数字化自动控制技术,驱动机床按照加工前工件几何形状参数预先编制的数控加工程序自动完成加工,可实现一人操作多台设备,大大减轻了工人的劳动强度。

(桂林橡胶机械厂 李丽 王百战)



图1 倍耐力 Cinturato P1 Plus 轮胎

运动型汽车设计,车型包括讴歌TSX、别克君威Regal及雪佛兰科鲁兹和沃蓝达。

源于原配胎开发的Cinturato P1 Plus轮胎被投放于替换市场。该轮胎包括胎面花纹在内的许多性能特点与Cinturato P1原配胎相同。此外,该轮胎可在保持胎面磨耗性能的情况下使操纵舒适性最佳化。

该替换胎拥有24个规格,范围从215/55R17 94V到275/30R20 97Y,并具有以下特点。

- 高里程:部分得益于新的模具轮廓,其具有5.63万km限定胎面磨耗保证(以及30d试用期)。
- 低滚动阻力:与同等轮胎相比,该轮胎胎面胶采用了创新材料,降低了燃油消耗和二氧化碳排放,并可在干、湿路面条件下兼顾性能和安全。
- 不对称的、优化的胎面花纹:该轮胎设计旨在减小路面噪声。

公司称:“Cinturato轮胎完美地演绎了倍耐力在性能、安全、耐用和燃油效率方面的品牌价值。Cinturato P1 Plus轮胎实现了倍耐力将其产品组合投放到北美市场的承诺,还实现了交互式开发过程以进一步缩短新产品的响应时间。”

Cinturato P1 Plus轮胎是倍耐力推出的第3款类似于原配胎副本的替换胎,以迎合替换胎买家。

(马晓摘译 许炳才校)

倍耐力推出 Cinturato P1 Plus 轮胎

中图分类号:TQ336.1;U463.341 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014年4月18日报道:

倍耐力轮胎有限公司于2014纽约国际汽车展上推出其最新的Cinturato P1 Plus轮胎(见图1)。该超高性能夏季轮胎专为豪华、中型、普通及