

子午线轮胎带束层中应力的有限元分析

闫相桥¹, 王友善², 乌大琨², 王衍林²

(1. 哈尔滨工业大学 复合材料研究室, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 桦林集团有限责任公司, 黑龙江 牡丹江 157032)

摘要:利用自己开发的轮胎结构有限元分析软件详细地分析了全钢子午线轮胎带束层中的应力在周向和带束层宽度方向上的变化规律。结果表明, 轮胎与地面的接触对带束层中应力的影响仅限于轮胎与地面的接触区域。在轮胎与地面接触的最低截面上, 带束层端部的应力与胎冠中心处带束层应力的比例随着轮胎下沉量的增大而增大。

关键词:子午线轮胎; 有限元分析; 带束层; 应力

中图分类号: TQ336.1⁺1

文献标识码: B

文章编号: 1006-8171(2000)08-0463-05

轮胎是一个由橡胶材料和橡胶基复合材料构成的复杂结构体。从结构上讲, 轮胎是一个复杂的橡胶复合材料层合壳, 其几何形状为不可伸展的不等厚双曲壳; 从材料上讲, 轮胎是一种非均质结构, 其橡胶材料具有不可压缩性和明显的物理非线性, 而其橡胶基复合材料呈现明显的各向异性。在加载和工作条件下轮胎具有多变性。六七十年代, 通常采用轮胎模型分析^[1]如梁模型、网络模型、薄膜模型及层合模型等对轮胎结构进行研究。进入80年代后, 随着计算机科学技术的飞速发展, 有限元分析技术在复杂工程结构中的应用愈来愈显示出巨大的作用。轮胎结构的分析方法也从简化过甚的理论推算向数值模拟发展^[2,3]。

轮胎对车辆的行驶性和乘坐舒适性影响很大, 就子午线轮胎而言, 对使用性能影响最大的应当说是带束层^[4,5]。本研究利用我们开发的轮胎结构有限元分析软件^[6,7]对全钢子午线轮胎带束层中的应力进行了详细的分析。

1 轮胎结构有限元分析模型的简述

我们开发的轮胎结构有限元分析软件所涉及的一些理论和技术如下。

作者简介: 闫相桥(1959-), 男, 河北东光县人, 哈尔滨工业大学教授, 工学博士, 最近几年来主要从事轮胎结构有限元分析及其应用的研究工作。

(1) 单元模型

采用八节点六面体等参单元和六节点五面体等参单元模型。

(2) 材料模型

对于橡胶材料, 其不可压缩性用 Lagrangian 乘子法^[3]解决, 物理非线性用 Mooney-Rivlin 模型来模拟; 对于橡胶基复合材料, 采用正交各向异性材料模型模拟, 其相应的等效弹性模量由橡胶材料和增强纤维材料的模量及体积分数用 Halpin-Tsai 方程^[8]确定。

(3) 几何模型

对于轮胎的大变形, 采用 Lagrangian 法进行描述, 应变张量和应力张量分别为 Green-Lagrangian 应变张量和第二类 Piola-Kirchhoff 应力张量^[9]。

(4) 轮胎与地面、轮胎与轮辋约束处理

采用可变约束法处理轮胎与地面、轮胎与轮辋之间的约束问题^[10]。

2 带束层中应力的有限元分析

图1示出了所分析轮胎的截面几何形状及材料分布图。图2示出了在一个截面内的有限元网格图(在一个截面内有313个节点)。图3示出了整体有限元网格图。图4为带束层示意图。在分析中考虑到轮胎结构及受力的对称性, 仅分析其1/4。

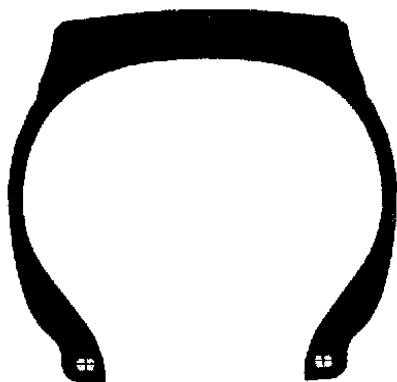


图1 轮胎截面几何形状及材料分布图

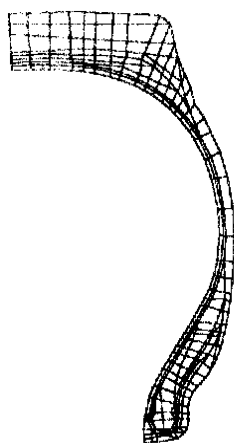


图2 在一个截面内的有限元网格图

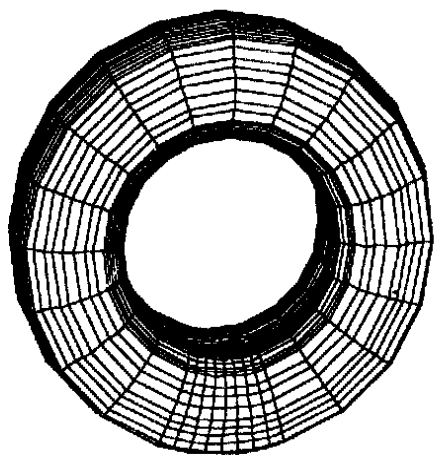


图3 轮胎整体有限元网格图

图5示出了充气加载情况下带束层各层中的周向应力在轮胎周向和带束层宽度方向上的

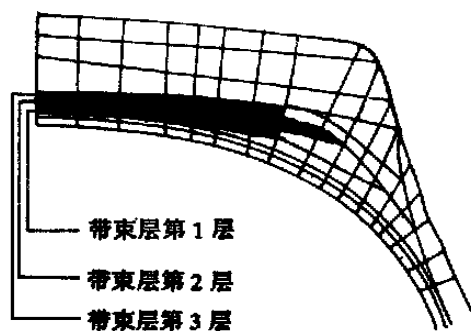
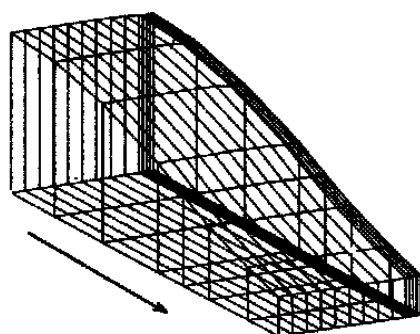
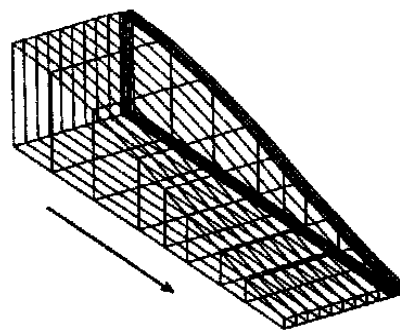


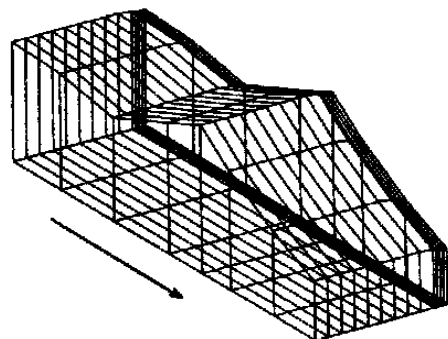
图4 带束层示意图



(a) 带束层第1层(最大值为 30.17 MPa)



(b) 带束层第2层(最大值为 41.59 MPa)



(c) 带束层第3层(最大值为 20.89 MPa)

图5 在充气加载下带束层中周向正应力在周向和带束层宽度方向上的变化
箭头指向带束层边缘

变化规律。图 6 和 7 示出了下沉量不同时,不同带束层中的周向应力在轮胎周向和带层宽度方向上的变化规律。图 8 和 9 示出了下沉量不同时,不同带束层中的剪切应力在轮胎周向和

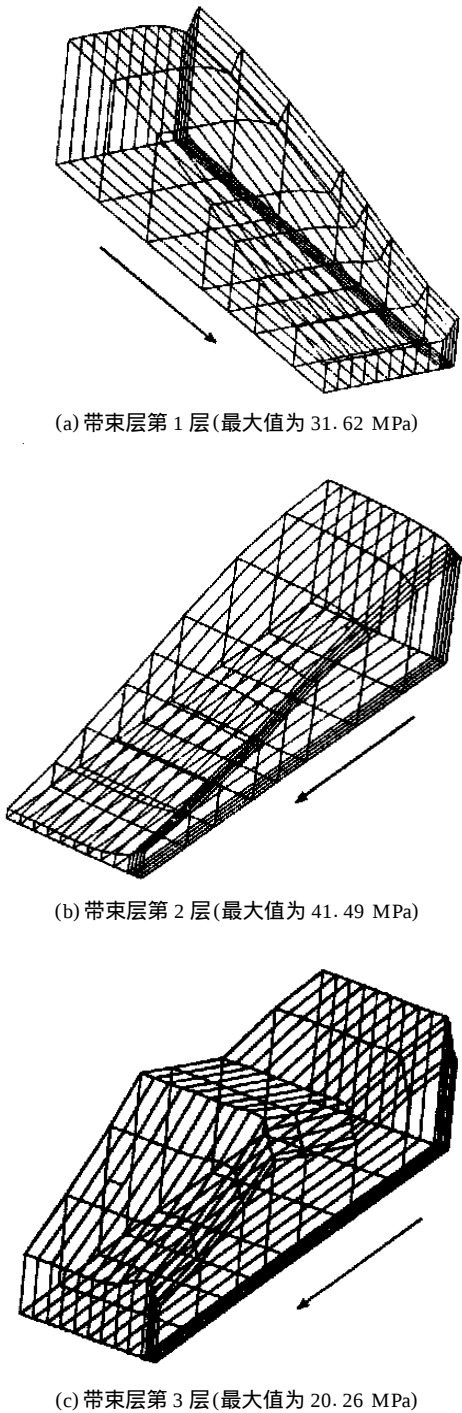


图 6 下沉量为 10 mm 时带束层中周向正应力在周向和带束层宽度方向上的变化
箭头指向带束层边缘

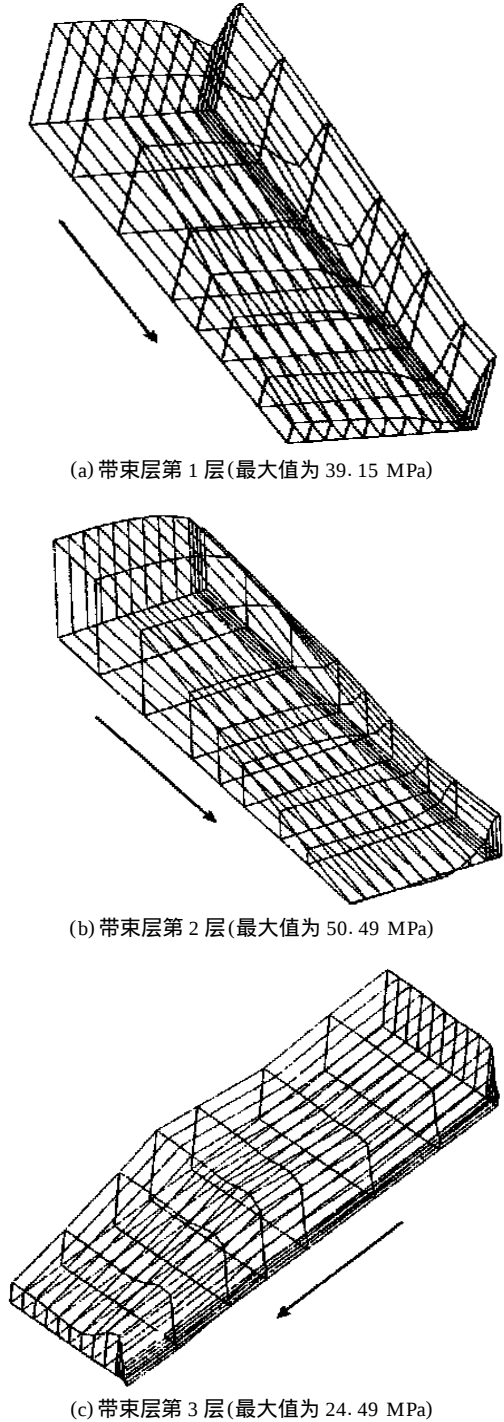
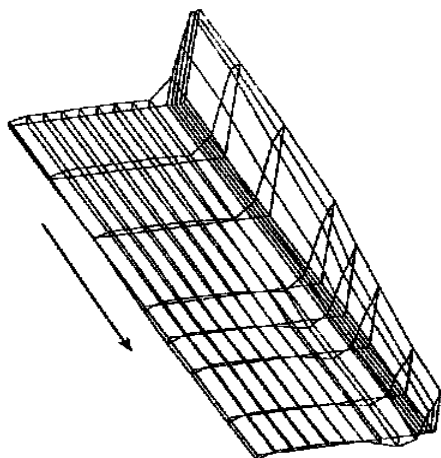


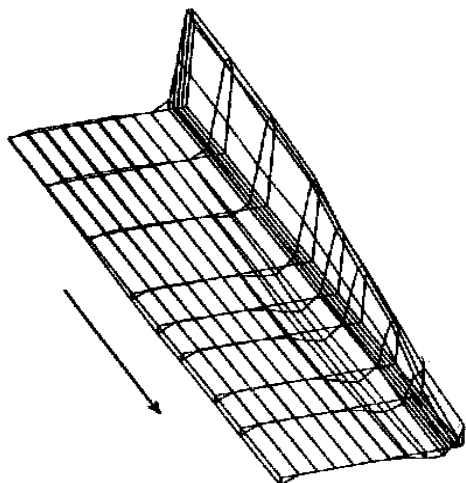
图 7 下沉量为 32 mm 时带束层中周向正应力在周向和带束层宽度方向上的变化
箭头指向带束层边缘

带束层宽度方向上的变化规律。

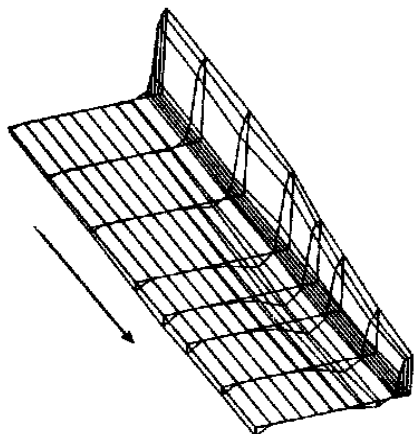
由图 6 和 7 可以看出,轮胎与地面的接触对带束层中的周向应力的影响仅限于轮胎与地面的接触区域;随着轮胎下沉量(即轮胎载荷)



(a) 带束层第1层(最大值为 0.20 MPa)



(b) 带束层第2层(最大值为 0.21 MPa)



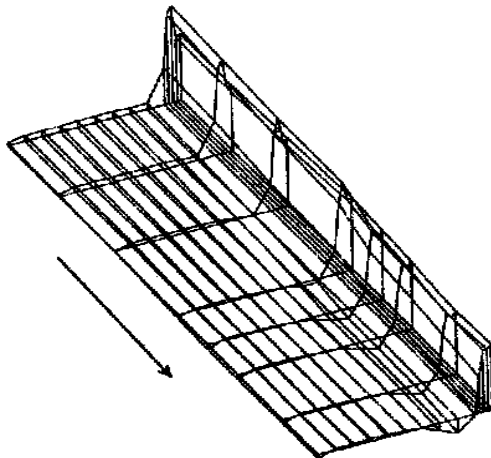
(c) 带束层第3层(最大值为 0.15 MPa)

图8 下沉量为 10 mm 时带束层中剪切应力

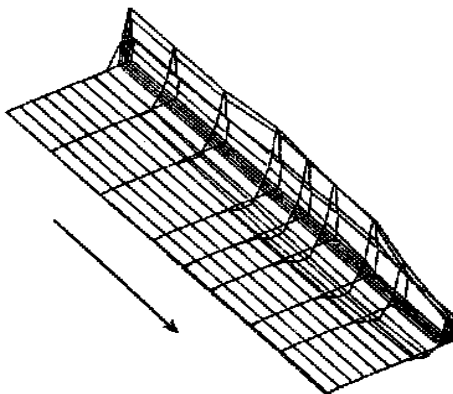
在周向和带束层宽度方向上的变化

箭头指向带束层边缘

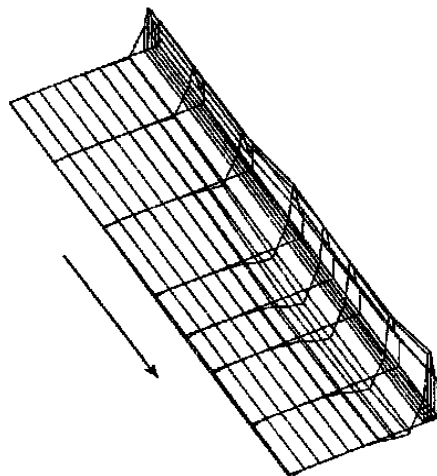
的增大(相当于轮胎与地面的接触区域增大), 其影响区域也增大;最低截面上的周向应力在



(a) 带束层第1层(最大值为 0.34 MPa)



(b) 带束层第2层(最大值为 0.64 MPa)



(c) 带束层第3层(最大值为 0.52 MPa)

图9 下沉量为 32 mm 时带束层中剪切应力

在周向和带束层宽度方向上的变化

箭头指向带束层边缘

带束层宽度方向上的变化也最大;在最低截面上,带束层端部的周向应力与胎冠中心的带束层的周向应力的比例随着轮胎下沉量的增大而

增大。

由图 8 和 9 可见,剪切应力仅存在于轮胎的接地区域,而且受轮胎下沉量的影响很大。

3 结语

利用我们所研制的轮胎有限元分析软件对全钢丝子午线轮胎带束层中的应力进行详细分析。数据分析结果表明,轮胎与地面的接触对带束层中的应力的影响仅限于轮胎与地面的接触区域。在轮胎与地面接触的最低截面上,带束层端部的应力与胎冠中心的带束层应力的比率随着轮胎下沉量的增大而增大。

参考文献:

- [1] Noor A K, Tanner A. Advances and trends in the development of computational model for tires[J]. Computers and Structures, 1988, 20(3): 517-533.
- [2] Eskinazi J D, Ishihara K, Volk H, et al. Towards predicting relative belt edge endurance with the finite element method[J]. Tire Science and Technology, TSTCA, 1990, 18(4): 216-235.
- [3] Tseng N T, Satyamurthy K, Chang J P. Nonlinear finite element analysis of rubber based products[A]. The 131st meeting of the rubber division[C]. Quebec, Canada: ACS Montreal, 1987. No. 24.
- [4] 山井健雄. 日本大津轮胎公司提出载重子午线轮胎综合轮胎技术理论[J]. 刘蕴琰译. 轮胎工业, 1990, 37(7): 29-31.
- [5] 美国固特异轮胎橡胶公司. 防止端部脱层的轮胎带束层结构[J]. 蔡蕙才译. 轮胎工业, 1990, (2): 45-52.
- [6] 闫相桥, 王友善, 乌大琨, 等. 轮胎结构有限元分析应用于轮胎结构优选. . 胎体反包高度的优选[J]. 轮胎工业, 2000, 20(5): 270-275.
- [7] 闫相桥, 乌大琨, 王友善, 等. 轮胎结构有限元分析应用于轮胎结构优选. . 带束层宽度的优选[J]. 轮胎工业, 2000, 20(6): 337-344.
- [8] Halpin J C, Kardos J L. The Halpin Tsai equations: a review[J]. Polymer Engineering and Science, 1976, 16(5): 344-352.
- [9] 殷有泉. 固体力学非线性有限元引论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1987. 122-149.
- [10] Wu Baiguo, Du Xingwen. Finite element formulation of radial tires with variable constraint conditions[J]. Computers and Structures, 1995, 55(5): 871-875.

收稿日期: 2000-03-17

FEA of stresses in radial tire belt

YAN Xiang-qiao¹, WANG Your-shan², WU Da-kun², WANG Yan-lin²

(1. Haerbin University of Technology, Haerbin 150001, China; 2. Hualin Group Co., Ltd., Mudanjiang 157032, China)

Abstract: A software for the finite element analysis of tire structure was developed. The regular pattern of the stress change in the circumferential and lateral directions of all-steel radial tire belt was analysed using the software. The results showed that the effect of the tire-ground contact on the stress in the belt was within the limits of tire-ground contact area; in the lowest cross-section of tire-ground contact area, the ratio of the stress in the belt ends/ the stress in the belt centre increased as the tire deflection increased.

Keywords: radial tire; FEA; belt; stress

徐州海鹏扩产工程机械轮胎

中图分类号: U463.341⁺.5 文献标识码: D

徐州海鹏轮胎有限公司年产 10 万套工程机械轮胎一期技术改造项目——年产 5 万套项目正在加快建设步伐, 炼胶和压延生产线已进入安装阶段。

近年来, 该公司通过挖潜改造和技术开发,

生产出 23.5 - 25, 20.5 - 25, 17.5 - 25, 19.5 - 24, 14.00 - 24, 13.00 - 24 等多种规格的有内胎和无内胎工程机械轮胎, 并在轮胎结构和花纹上进行了新的探索, 使产品品种、质量和性能方面形成了自身的优势, 并已形成年产 3 万套的生产能力。

(摘自《中国化工报》, 2000-06-19)