

子午线轮胎耐磨性能影响因素分析

程 钢,赵国群,管延锦

(山东大学 模具工程技术研究中心,山东 济南 250061)

摘要:建立 195/60R14 子午线轮胎三维非线性有限元模型,分析子午线轮胎耐磨性能的影响因素。结果表明,随着载荷的增大,轮胎接地区域摩擦力的分布由内大外小逐渐变为外大内小,最大摩擦力发生在胎肩部位;随着带束层帘线角度的增大,最大摩擦力先减小后增大,静态接地时摩擦力呈对称分布;相同载荷下,充气压力增大,最大摩擦力增大,导致胎冠中心部位提前磨损,充气压力过小,易产生“桥式效应”,造成胎面磨损不均匀。

关键词:子午线轮胎;耐磨性能;有限元模型;垂直载荷;带束层帘线角度;充气压力

中图分类号:TQ330.38⁺9;U463.341⁺.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-890X(2004)04-0201-04

轮胎在使用过程中产生的胎面磨损与轮胎和路面之间摩擦力的大小及分布有直接联系^[1]。胎面磨损是轮胎在周向和侧向切应力作用下与路面相互滑移摩擦,胎面胶表层受到机械应力、热、氧等因素的综合作用,发生分子链与交联键断裂破坏的复杂过程。轮胎的耐磨性能取决于轮胎结构(决定印痕面压强、面积,摩擦力分布和下沉量等因素)、胎面胶性能和使用条件(气压、负荷、温度和车速等)^[2]。胎面耐磨性能优异可有效提高轮胎的使用性能和寿命,同时有利于改善车辆的操纵稳定性和行驶安全性。因此,轮胎的耐磨性能一直是汽车工业和轮胎工业关注的问题,特别是近年来,安全、可靠以及环保等主流设计思想对轮胎的耐磨性能提出了更高的要求。

本工作在现有磨损理论的基础上,通过轮胎结构有限元分析,研究了轮胎与路面之间摩擦力的分布状况及带束层角度、气压和负荷对摩擦力大小及分布的影响。

1 有限元模型的建立

子午线轮胎结构复杂,它包括多种橡胶材料和帘线-橡胶复合材料。根据轮胎的实际结构,在有限元模型中的相应部位定义不同的材料性能。

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20030422069)

作者简介:程钢(1971-),男,山东济南人,山东大学在读博士研究生,主要从事轮胎结构优化及力学性能研究工作。

从轮胎断面图(如图 1 所示)中可以看出,轮胎的轮廓尺寸变化较大。为了保证模型的精确性和可行性,采用三维实体单元模拟轮胎各部件。其中,橡胶材料采用不可压缩 Mooney 材料模型,橡胶-帘线复合材料采用 rebar 材料模型。

根据子午线轮胎 195/60R14 的实际结构,建立了三维有限元模型。在静态接地状态下,轮胎结构按对称性处理。在轮胎受到驱动力矩和各种载荷作用时,仅依靠轮胎与地面的支撑力和摩擦力来限制轮胎的刚体位移。轮胎承受垂直载荷时,考虑到其对称性,只需建立 1/2 轮胎的模型。如图 2 所示,整个模型共有 9 504 个单元,7 392 个节点。考虑轮胎充气下沉情况,内表面加气压 0.25 MPa。按整条轮胎承受标准载荷 5 194 N 计算,1/2 轮胎承受 2 597 N 的垂直载荷。与整个轮胎材料相比,路面可视为刚体,考虑轮胎与

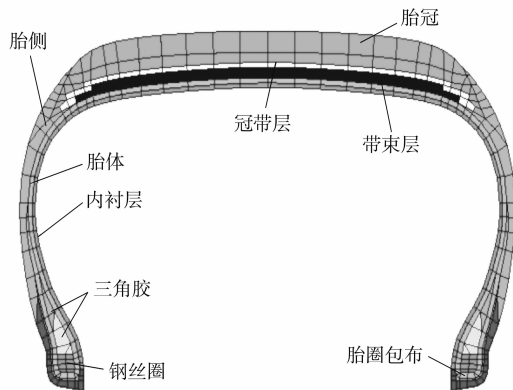


图 1 子午线轮胎 195/60R14 的断面材料单元划分

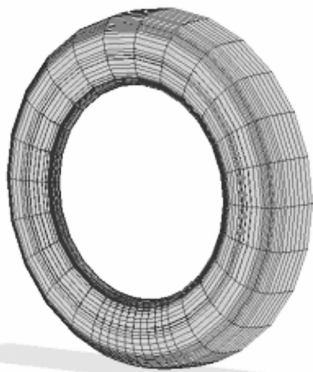


图2 接地状态轮胎有限元模型

路面的摩擦作用,以长方形平面表示。在带束层端部、胎体反包处和胎圈等结构复杂、易损坏的部位,节点布置相对密集。在轮胎的接地模型中,周向角度为 $240^{\circ}\sim 300^{\circ}$,有可能发生接触的区域单元划分密集,而其它区域单元布置相对稀疏。

2 结果分析

轮胎垂直载荷与下沉量的关系曲线如图3所示。其中,下沉量计算数据为每种垂直载荷作用下轮胎的最大下沉量。由图3可以看出,随着帘线角度的增大,在相同垂直载荷作用下,轮胎的下沉量增大,表明轮胎的垂直刚度相应减小。在垂直载荷作用下,轮胎发生了较大变形,胎侧向外膨胀,接触区轮胎轮廓变为扁平状,如图4所示。在垂直载荷逐渐增大的过程中,轮胎的变形及与地面的接触面积也逐渐增大。

2.1 不同垂直载荷下的接触摩擦力分布

静态接地状态下,不同垂直载荷时的接地区接触摩擦力分布如图5所示。由图5可以看出,当垂直载荷为854 N时,最大摩擦力在接触区的中心部位。随着垂直载荷的增大,轮胎接地区域变形增大,区域中心的摩擦力与边缘相比增幅减小,接地区域的形状由近似圆形变为椭圆形,轮胎在整个宽度上与地面接触,接地印痕中间部分变为矩形,两端为弧形,最大接地摩擦力点移向两侧,范围沿周向扩展,载荷变化对胎肩区域的摩擦力影响变大,接地区摩擦力基本呈对称分布,摩擦力最大值在胎肩处,这里成为轮胎的易损部位。

2.2 带束层帘线角度对摩擦力分布的影响

额定载荷作用下,轮胎接地区域最大接触摩擦力随带束层帘线角度的变化如图6所示。由图

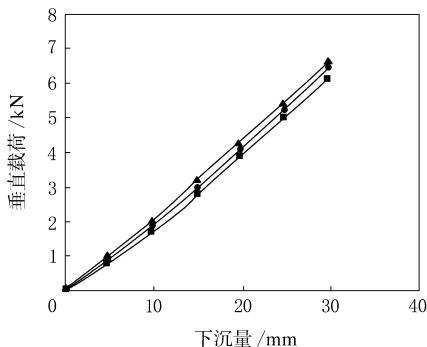


图3 轮胎垂直载荷与下沉量的关系曲线

帘线角度:▲— 14° ;●— 18° ;■— 22° 。

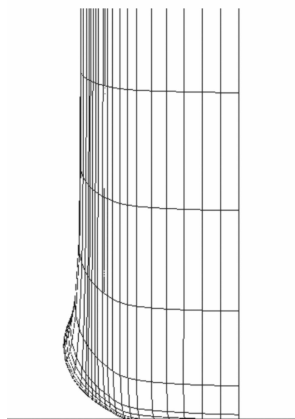


图4 垂直载荷作用下轮胎的变形示意

6可见,带束层帘线角度在 10° 左右时,接触区最大摩擦力基本平稳,带束层帘线角度增大到 13° 后接触区最大摩擦力迅速减小,在 16° 左右达到最小值,之后随着带束层帘线角度的增大,最大摩擦力迅速增大。带束层帘线角度变化时,接地区域内摩擦力分布趋势相同,都是载荷较小时中间大,周围小;载荷增大时,变为中间小,周围大,胎肩部位摩擦力最大。

静态下接地区域内的横向摩擦力与纵向摩擦力都呈左右对称分布。在充气压力为0.25 MPa时,额定载荷作用下,横向和纵向摩擦力分布如图7所示。由图7可见,摩擦力在接地面内出现翘曲现象,此结果与俞洪等^[3]的试验测试规律相符。

2.3 充气压力对摩擦力分布的影响

不同充气压力下,垂直载荷与轮胎下沉量的关系曲线如图8所示。由图8可以看出,相同载荷下,充气压力越大,轮胎的屈挠变形越小,即下沉量越小。随着垂直载荷的增大,不同充气压力下接地区域内的应力分布大致与标准气压0.25

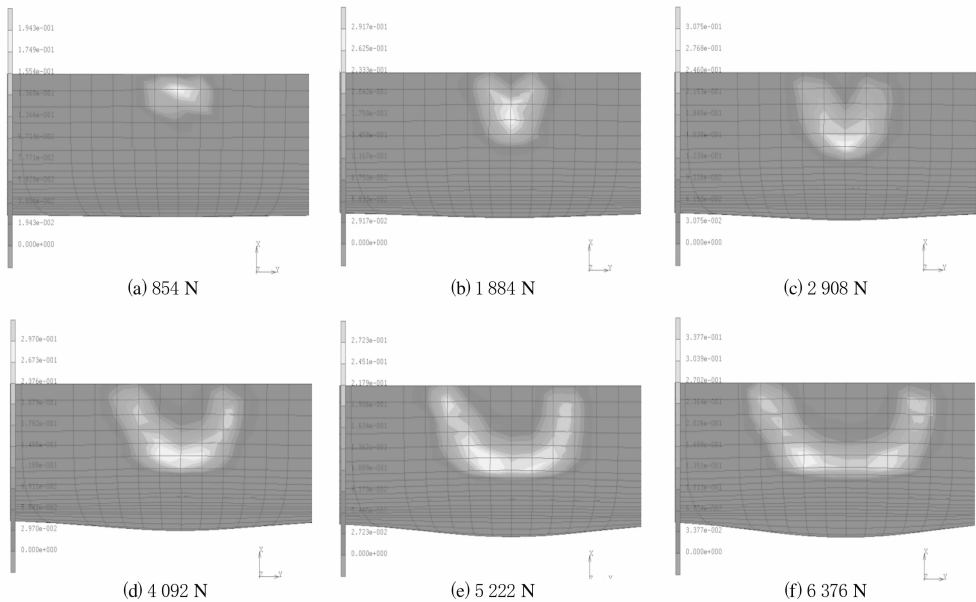


图 5 不同垂直载荷时的接触摩擦力分布示意

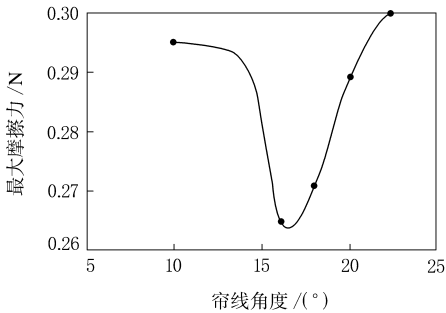


图 6 最大摩擦力随带束层帘线角度的变化曲线

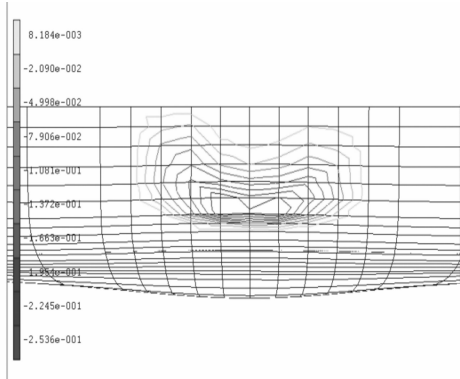
MPa 时相同。因此,过高的充气压力将导致轮胎接地性能下降。

载荷为 5 194 N 时,轮胎接地区域最大摩擦力随充气压力的变化曲线如图 9 所示。由图 9 可

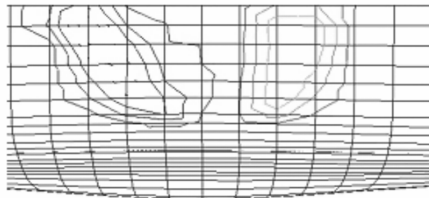
以看出,最大摩擦力的变化与轮胎实际使用中出现的损坏现象相符。在相同载荷作用下,当轮胎的充气压力过高时,最大摩擦力增大,导致胎冠中心部位提前磨损;如果气压偏低,由于轮胎向里弯曲,胎面中部的负荷减小,而胎面边缘的负荷急剧增大,使材料所受的应力增大,这种现象称为“桥式效应”。产生“桥式效应”时,胎面磨损不均匀,边缘严重磨损,而胎面中部磨损很小,这种不均匀磨损使轮胎的使用寿命和安全性降低。

3 结论

本工作通过分析垂直载荷、带束层帘线角度和充气压力对接触摩擦力分布的影响,得出各因素对轮胎耐磨性能的影响规律。



(a) 横向摩擦力分布



(b) 纵向摩擦力分布

图 7 额定载荷下接地区横向和纵向摩擦力分布示意

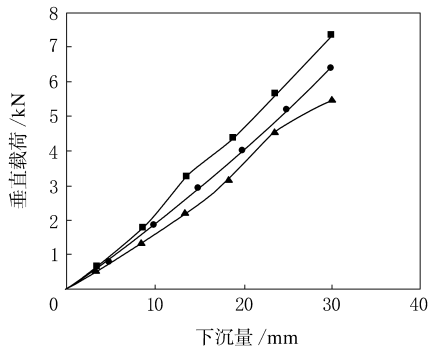


图8 不同充气压力下垂直载荷与轮胎下沉量的关系曲线

充气压力: ■—0.30 MPa; ●—0.25 MPa; ▲—0.20 MPa。

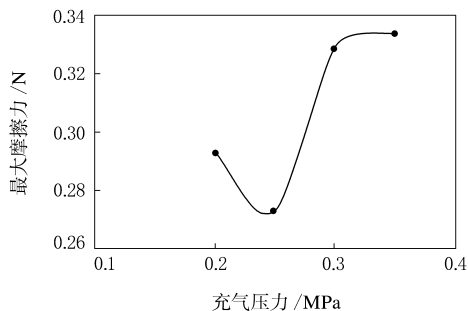


图9 充气压力对最大摩擦力的影响示意

(1)随着垂直载荷的增大,轮胎接地区域摩擦

力的分布由内大外小逐渐变为外大内小,最大摩擦力发生在胎肩部位;

(2)随着带束层帘线角度的增大,最大摩擦力先减小后增大,静态接地状态下,摩擦力呈对称分布;

(3)在相同载荷作用下,充气压力增大,最大摩擦力增大,导致胎冠中心部位提前磨损;充气压力过小时,易产生“桥式效应”,使胎面磨损不均匀。

除此以外,影响轮胎耐磨性能的因素还有带束层结构、胎面轮廓形状、花纹形状等,这些将在以后的研究中进一步探讨。

参考文献:

- [1] Persson B N J. Theory of rubber friction and contact mechanics[J]. Journal of Chemical Physics, 2001, 115(8): 3 840-3 861.
- [2] Gunaratne M, Bandara N, Medzorian J, *et al.* Correlation of tire wear and friction to texture of concrete pavements[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2000, 12(1): 46-54.
- [3] 俞 洪,戴元坎,张 凯. 静负荷下轮胎接地压力分布测试的研究[J]. 轮胎工业, 1999, 19(4): 203-207.

第二届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文

Effective factors on wear resistance of radial tire

CHENG Gang, ZHAO Guo-qun, GUAN Yan-jin

(Mould and Die Engineering Research Center, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: A 3D nonlinear FE model has been established to analyze the effective factors on the wear resistance of 195/60R14 tire. The results show that the distribution of the friction force in the ground-contact area will gradually change from greater inside and smaller outside to greater outside and smaller inside as the load of tire increases, and the maximum friction force occurs in the shoulder area; the maximum friction force decreases at first and increases later as the angle of belt cord increases, and the static friction force in ground-contact area is symmetrically distributed; and with the same load, the overinflation pressure leads to the increase of the maximum friction force resulting in the premature wear in the middle of crown, and the underinflation pressure leads to the “bridge effect” resulting in the uneven wear in the tread.

Keywords: radial tire; wear resistance; FE model; normal load; belt angle; inflation pressure