

## 新技术 新工艺

# 有限元分析在轮胎-轮辋配合设计中的应用

徐立, 蔡庆, 李福军

(北京橡胶工业研究设计院, 北京 100143)

**摘要:** 探讨有限元分析在轮胎-轮辋配合设计中的应用。采用通用有限元分析程序优化 245/40R20 半钢轿车子午线轮胎胎圈部位设计, 包括建立轮胎有限元分析模型, 进行轮胎二维轴对称有限元分析, 比较轮胎模型轮廓方案并确定优化方案。有限元分析可较直观地预测轮胎-轮辋区域的接触情况。

**关键词:** 轮胎-轮辋配合; 有限元分析; 优化设计

现代子午线轮胎多为无内胎轮胎, 胎圈-轮辋配合设计是无内胎轮胎结构设计重点之一。胎圈-轮辋配合设计一方面要求胎圈与轮辋必须紧密接触, 以保证轮胎行驶中的气密性, 维持轮胎正常使用需要的气压; 另一方面还要避免钢丝圈所受应力过大, 对轮胎安全性能产生不利影响。合理的胎圈-轮辋配合可以减少和避免轮辋错位, 提高车辆行驶安全性。

通常情况下, 轮胎设计时的模型轮廓与轮胎使用状态下的轮廓有所不同。设计者如果主要依据经验进行设计, 普遍的做法是, 在完成轮胎模型轮廓的初步设计以后, 将轮胎模型轮廓与轮辋轮廓进行简单叠加, 考察胎圈与轮辋的过盈配合情况, 判断胎圈与轮辋的配合是否合理。但是, 在轮胎实际充气时, 轮胎形状会发生变化, 胎圈形状也会改变, 并且由于轮胎几何结构和材料物理性能复杂, 胎圈与轮辋接触的最终配合情况很难准确判断。有限元分析作为一种计算机辅助设计手段, 十分适用于轮胎模型轮廓设计, 即通过有限元分析法模拟轮胎在充气状态下的受力特征, 直观地预测胎圈与轮辋的接触情况, 给出定量的优化配合参数, 帮助设计者制定轮胎模型轮廓优化设计方案。

本工作将有限元分析方法用于 245/40R20 半钢轿车子午线轮胎-轮辋配合设计中, 即采用通用有限元分析程序 Marc 优化轮胎胎圈部位的设计, 较直观地预测轮胎-轮辋的接触情况。

## 1 有限元分析模型

245/40R20 轮胎最初的设计轮廓和增强骨架材料分布如图 1 所示(1/2 横截面图)。图 1 中的 A 部分反映了设计时轮胎模型轮廓与标准轮辋轮廓的相对位置。针对图 1 所建立的二维轴对称有限元模型如图 2 所示。

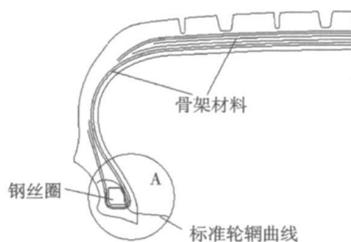


图 1 245/40R20 轮胎最初设计轮廓和增强骨架材料分布

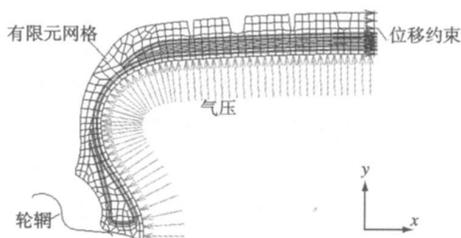


图 2 245/40R20 轮胎二维轴对称有限元模型

图 2 所示模型尽量按照轮胎设计时各部件材料分布区域进行有限元网格离散, 尽量真实地体现不同部位橡胶部件和帘线的几何特征, 并考虑它们的力学特征, 如材料的非线性、结构的几何非

线性、边界条件的持续变化等非线性问题,尤其是对于轮胎与轮辋接触部位。采用处理方法如下:假设材料的物理参数均为常数,在载荷作用下不变,且不受温度影响;胎体帘布层、带束层和冠带层均视为正交各向异性材料,用嵌入式单元处理,橡胶和增强骨架材料的物理性能参数和设计变量独立引入。增强骨架材料均视为线性弹性材料;钢丝圈虽然是复合材料,但也视为各向同性的线性弹性材料处理,其弹性模量取值小于复合材料的理论值。各部件橡胶材料均被模拟为各向同性近似不可压的超弹性材料,用门尼-雷福林(Mooney-Rivlin)超弹性模型表征材料的应力-应变关系,采用改进型拉格朗日公式表征应力和应变张量。忽略轮胎成型和硫化等工艺的影响,从现有材料参数库中选取材料参数。分析中,轮胎充气压力作用在轮胎内表面的法线方向,不考虑胎面横向花纹沟,不计胎体与轮辋接触摩擦,轮胎的充气 and 装配过程满足轴对称假设。同时,图2中的曲线代表了轮辋轮廓,通过控制其 $x$ 轴上的位移来模拟轮胎-轮辋的装配。

在对上述模型计算时,轮胎-轮辋的接触问题采用拉格朗日乘子(Lagrangian multiplier)法处理。出于计算需要,将装配过程、充气压力和负荷定义为时间的函数,采用牛顿-拉斐逊(Newton-Raphson)迭代方法离散方程进行隐式求解。然后依据计算结果,部分修改轮胎胎圈部位轮廓和单元网格,再分析,再修改,直到模拟结果满足设计要求为止。

## 2 分析过程和优化结果

对图2所示模型进行有限元分析,得到轮胎胎圈部位与轮辋的接触情况,如图3所示。图中接触区颜色变化反映了接触作用的程度,采用在0~1之间变化的权值来定义。显然这样的接触状况不是设计者所期望的,于是修改图1所示轮胎胎圈部位模型轮廓,并据此相应调整图2所示单元网格,对应的模拟结果如图4所示。经过多次修改,模拟分析,再修改,再模拟,最后获得如图5所示的数值结果。

比较图3~5,可以发现方案3中轮胎-轮辋的接触分布在较大区域,基本达到了预期的优化效

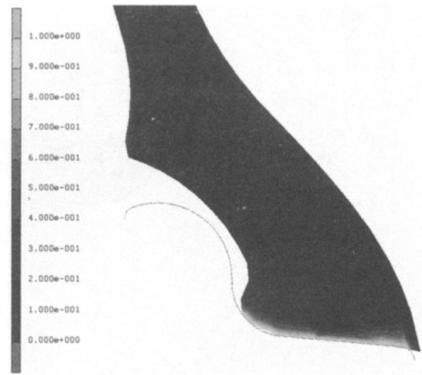


图3 方案1轮胎-轮辋的接触状况

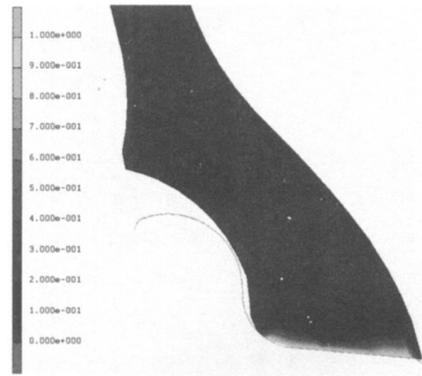


图4 方案2轮胎-轮辋的接触状况

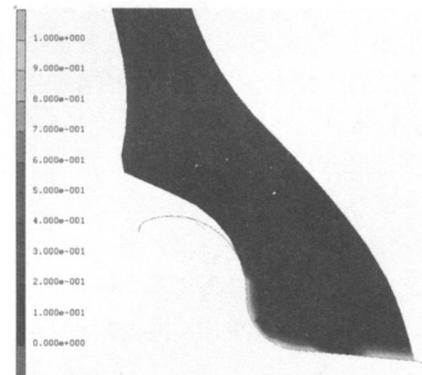


图5 方案3轮胎-轮辋的接触状况

果。方案2和方案3的轮胎设计轮廓和标准使用轮辋的位置如图6所示,其轮胎胎圈部位的设计轮廓与方案1有明显区别,而方案3与方案2比较,胎圈部位的轮廓改动较微小,但对轮胎-轮辋接触状态影响很大。对于方案2和方案3的轮胎-轮辋接触区域所产生的不同效果,有限元分析给出了较为直观的预测。从轮胎-轮辋接触状态的角度来讲,显然方案3的设计较为理想。

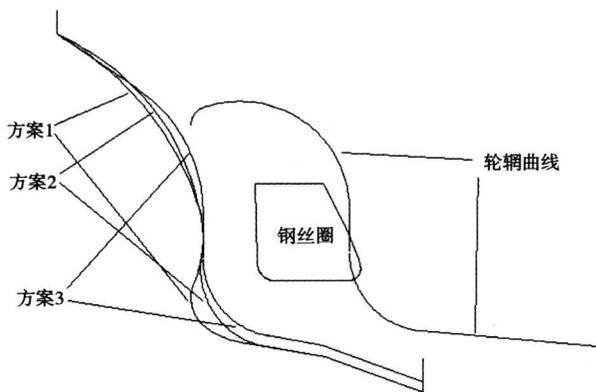


图6 245/40R20 轮胎横截面设计轮廓与标准使用轮相对位置

### 3 结语

胎圈-轮辋配合设计是无内胎子午线胎轮胎设计上关键技术之一。采用有限元分析优化轮胎胎圈部位设计的过程包括建立轮胎有限元分析模型、进行轮胎二维轴对称有限元分析、比较轮胎模型轮廓方案并确定优化方案。有限元分析在轮胎-轮辋配合设计中的应用可较直观地预测轮胎-轮辋区域的接触情况。此工作还可以与轮胎其他部位及部件的优化设计结合,进一步提高轮胎设计优化结果。

参考文献:略

## GARIT G5 无钉防滑轮胎采用莱茵化学高性能橡胶助剂 Micromorph<sup>?</sup>

日前,德国特殊化学品集团朗盛全资子公司——莱茵化学莱脑有限公司宣布其高性能橡胶助剂 Micromorph<sup>?</sup> 将用于东洋橡胶工业株式会社的 GARIT G5 无钉防滑轮胎。该产品计划于近日推出。采用 Micromorph<sup>?</sup> 的无钉防滑轮胎即使在零度以下仍能保持其柔韧性和弹性,从而使轮胎在冬季路面(包括冰雪路面)上行驶具有卓越的抓着性能。高性能橡胶助剂 Micromorph<sup>?</sup> 可用于东洋橡胶专为 GARIT G5 轮胎开发的新型吸水凝胶橡胶。采用 Micromorph<sup>?</sup> 的无钉防滑轮胎在潮湿和干燥的公路上具有适宜的刚度,同时防止在冰雪表面上出现橡胶硬化,使轮胎既能保持弹性,又能吸收路面撞击。此外,吸水凝胶橡胶的其它成分具有更好的作用:日本“胡桃壳片”可帮助轮胎实现更加卓越的路面抓着性能,而竹炭可以更加轻松地吸收水分,从而实现轮胎在冰面上的高性能。由于制作时采用了一种特殊的制造工艺,莱茵化学所开发的 Micromorph<sup>?</sup> 可为各种橡胶、塑料和润滑剂产品提供前所未有的性能。Micromorph<sup>?</sup> 由 40~200 nm 的橡胶粒子组成,可增加橡胶的特殊接触面。添加 Micromorph<sup>?</sup> 的橡胶的玻璃化温度为 -75°C,可使轮胎胎面即使在极低的温度下仍保持其柔韧性和弹性,同时在正常温度下保持其刚度。添加 Micromorph<sup>?</sup> 可改善并平衡轮胎的湿滑抓着性能、滚动阻力和

耐磨性能三大特性。Micromorph<sup>?</sup> 还可提供卓越的分散性能,以在更短的时间内实现均匀混合的效果。莱茵化学莱脑有限公司 CEO 兼总裁 Anno Borkowsky 博士表示:“东洋橡胶开始在全球范围内首次尝试在轮胎中使用创新的 Micromorph<sup>?</sup> 产品,为在结冰地面和湿滑地面行驶的轮胎设定了全新的标杆,同时进一步降低了对环境的影响,对此莱茵化学倍感自豪。”

金 徽

## 北京化工大学开发出改性溶聚丁苯橡胶

北京化工大学研究人员以正丁基锂(n-BuLi)为引发剂、四氢呋喃为调节剂、环己烷为溶剂,通过负离子聚合法合成溶聚丁苯橡胶(SSBR),在聚合后期加入六甲基环三硅氧烷(D3)和促进剂 N,N-二甲基甲酰胺(DMF),合成了 SSBR-聚二甲基硅氧烷共聚物,考察了 DMF 用量、反应温度、反应时间对 D3 转化率的影响,研究了丁苯大分子链末端基种类对共聚反应的影响。研究结果表明,在 DMF/n-BuLi(摩尔比)为 80、反应温度为 60°C、反应时间为 6 h 的条件下, D3 转化率达到 73%;当丁苯大分子活性链末端为丁二烯端基时,能更有效地引发 D3 共聚。 崔小明

现有少量 2009 年《第五届全国橡胶助剂生产和应用技术研讨会论文集》,欲购从速。每本 150 元。联系电话:010-51338150 联系人:杨 静