

应用有限元分析优化轮胎设计一例

徐 立, 阙元元, 陈敏玲

(北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039)

摘要: 本文介绍了一个应用有限元分析优化轮胎设计的实际例子。文中利用有限元分析软件, 对载重全钢子午线轮胎进行了变形和应力分析, 重点研究了胎圈钢丝包布角度对胎体的影响。利用得到的结果, 优化了胎圈子口部位的设计, 提供了轮胎的耐久性能。

关键词: 轮胎设计; 子口优化; 有限元分析

轮胎是地面车辆的重要组成部分, 直接影响车辆的使用性能。当前在高品质轮胎产品的开发中, 解析和经验的轮胎模型公式已经不能满足设计者的实际需求, 工程师开始使用先进的数值模拟技术考察实际的轮胎模型。有限元分析技术在轮胎力学研究中应用已有 20 30 年的时间, 许多大型有限元程序都提供了分析轮胎力学的模块。北京橡胶工业研究设计院是国内较早将有限元分析应用于轮胎设计的单位, 曾经先后开发和引进各大型有限元软件用于轮胎产品研发, 在应用有限元分析优化轮胎设计方面有丰富的实践经验, 本文将介绍具体应用 MSC /Marc 改善载重全钢子午线轮胎设计的实施过程。

1 问题提出

轮胎安装在各种机动和非机动车辆上, 直接与路面接触, 必须完成的基本功能包括: 承受汽车负荷的能力; 和汽车悬架共同缓冲来自路面的冲击, 并衰减由此产生的振动; 传递驱动力和制动力, 提供足够的附着力; 提供足够的转向操纵与方向稳定性。合格的轮胎不仅要有效地承担停车状态下的静负荷, 而且还要安全地承受车辆在不同速度行驶时远远高于静负荷的动负荷。轮胎的使用性能取决于轮胎的结构强度和刚度。在轮胎结构设计和分析中主要关心结构的应力分析、结构的动力学性能分析和轮胎的接地分析这三个方面。

轮胎在工作状态下会出现各种复杂力学变化, 橡胶和帘线/橡胶复合材料性能的非线性问

题, 结构大变形引起的几何非线性问题以及轮胎与轮辋、轮胎与路面接触边界条件非线性问题等使轮胎有限元分析非常复杂。轮胎的有限元分析是轮胎设计过程的难点, 为了得到有价值的模拟结果指导轮胎设计, 合理简化分析模型和分析方法是必要的。

全钢载重子午线轮胎由于自身结构特点和承受较大载荷的实际使用条件, 对结构设计有较高要求, 如预防在轮胎使用前期出现子口爆裂现象, 就是这类轮胎产品设计中面临的一个实际问题。长期以来, 提高轮胎子口部位的强度来有效解决这个问题, 改变子口钢丝包布角度是其中的一项措施。因为子口包布的角度不同, 与胎体形成的双层复合材料力学性能不一样, 对胎体反包端点的影响也不同。但是这些关键的局部力学变化很难在试验室测量得到。采用有限元对胎圈子口部位进行力学分析和研究, 可以定性得到更多的力学信息, 然后根据胎体反包端点处等效应力和应变能密度变化, 优选子口钢丝包布角度, 从而改善轮胎设计, 提高轮胎的性能。

2 轮胎有限元模型

全钢载重子午线轮胎的材料主要有两种: 一种是纯胶料材料, 包括胎面胶、肩垫胶、胎侧胶、子口胶、三角胶和内衬层胶等。第二种是钢丝帘线-橡胶复合材料, 包括带束层、子口加强层和钢丝圈等。根据轮胎使用条件的要求, 各种材料和部件的物理性能有极大区别, 力学性质不完全相同。图 1 是全钢载重子午线轮胎 11. 00R20 规格的 1/

2 断面图,是轮胎成型时的轮廓。本文以此规格作为分析对象。

在 FEA 中,我们首先假设轮胎的模型为轴对称模型,对图 1 中的轮胎断面进行网格离散,离散网格如图 2。图中 A 是网格离散后的轮胎,B 代表路面,C 表示与轮胎子口部位基础的轮辋曲线。用 C 的运动表示轮胎轮辋部位的边界条件。当 C 运动到真实的轮辋位置,停止运动,开始对轮胎充气。充气过程采用逐步加载,载荷作用在轮胎最里层单元边上,在 D 处施加边界条件: X 方向固定,其他方向自由移动。充气完成后,轮辋 C 固定,路面 B 开始向轮胎轴向运动,模拟对轮胎施加载荷的过程。这里分 10 个步骤模拟 B 的运动。

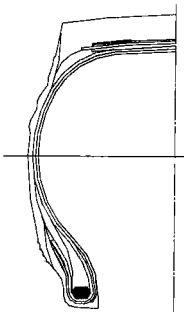


图 1 11.00R20 轮胎 1/2 断面图

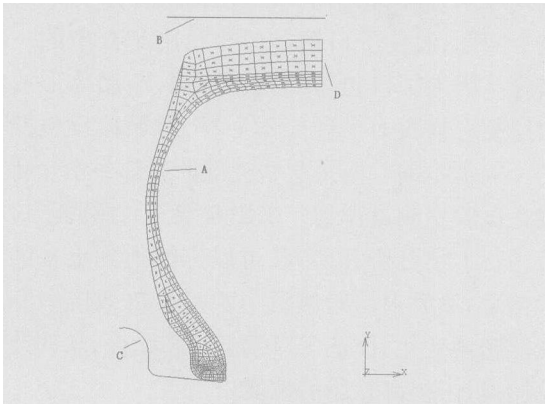


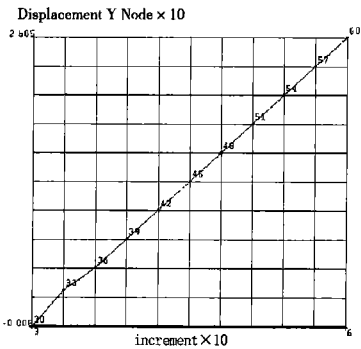
图 2 轮胎的有限元离散

A 1/2 轮胎截面; B 代表地面; C 部分轮辋曲线

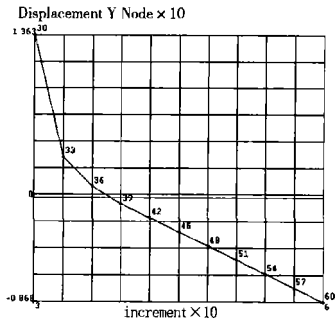
这里采用的软件分析为 MSC. MARC。模拟中,单元类型为四边形号单元,总单元数为 343,总节点数为 295。路面 B 和轮辋曲线 C 是刚性的。轮胎的离散单元赋予相应的材料属性,参数由实验测得,并根据模拟情况适当修正,钢丝圈被当作各向同性材料处理。

3 计算结果

有限元离散后的轮胎模型与实际模型不可避免地存在一定差别,且做了适当简化,所以需要首先考核这个离散模型。为此,我们模拟轮胎的静负荷实验,重点比较轮胎充气负荷下的断面宽,确定模型方案。图 3 是数值计算结果,图 4 是轮胎在实验室测试得到的变形轮廓。



(a) 外直径



(b) 断面宽

图 3 轮胎轮廓随充气压力的变化

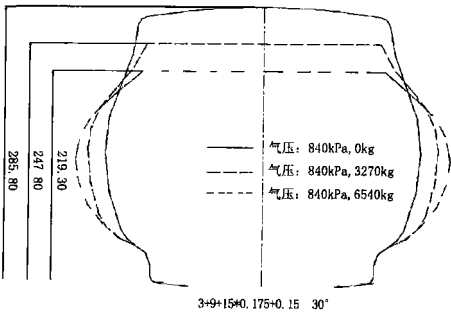


图 4 轮胎充气负荷下的轮廓变形样膏图

基于已确定的离散单元和材料参数,针对胎圈钢丝包布角度为 0°、15°、24°、30°和 40°等情况,分别分析胎体反包端点的等效应力和应变能密度。由计算结果得出,胎体反包端点的最大等效

应力随钢丝包布角度变化如图 5, 胎体反包端点的应变能密度变化如图 6。以上模拟中轮胎的充气压力均为 1.2MPa, 静负荷半径均为 507mm。

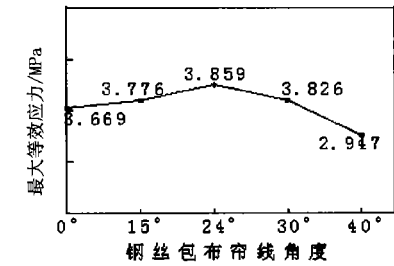


图 5 胎体反包端点的最大等效应力随钢丝包布角度变化

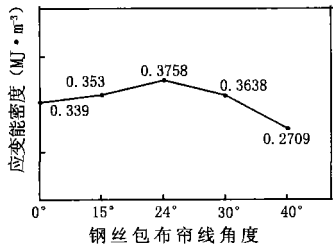


图 6 胎体反包端点的应变能密度随钢丝包布角度变化

从结算结果可以看出, 钢丝包布角度为 40° 时, 胎体反包端点的最大等效应力和应变能密度最小, 轮胎的性能可能会更好。结合其他模拟的结果, 我们在某轮胎公司制造了一批钢丝包布角度分别为 30°和 40°的成品轮胎, 并在国家轮胎检测中心进行了胎圈耐久性试验。钢丝包布角度为 40°的轮胎与角度为 30°的轮胎在同样标准实验条件下, 前者实验时间为 46h, 最后的破坏表现为肩空; 而后者实验时间仅为 28h, 最后的破坏表现则为胎体端点撕裂和肩空。显然前者有较好的性能, 设计达到预期的效果。

4 总结

这里介绍应用 FEA 优化全钢载重子午线轮胎子口设计的过程, 设计达到预期的效果。模型相对简单, 计算量相对较小, 在当前程序中也比较容易实现。二维分析的结果可以为轮胎局部优化设计提供一定程度的理论参考, 还可以作为指导展开深层次轮胎三维模拟的基础。不过需要指出, 有限元分析的具体应用过程还是相当复杂的, 尤其有些具体技术问题只能在应用实践中掌握。

山东玲珑成功鉴定新产品

2005 年 10 月 4 日, 烟台市经贸委受山东省经贸委的委托, 主持了由山东玲珑橡胶有限公司研制的具有自主知识产权的“LE B1220×1920×2、LE B1050×1370×2 双模子午线轮胎定型硫化机, LCY(E)1216 型二次法子午线轮胎成型机”的新产品鉴定会。

经专家组评定认为: 山东玲珑橡胶有限公司提供的技术资料完整、数据准确可靠, 符合鉴定要求, 可以用于指导生产; 该产品生产设备、工装先进可靠, 检测手段完善, 能够满足批量生产的要求; 该产品的开发研制是成功的, 达到了国内同类产品的先进水平, 填补了省内空白。

LE B1220×1920×2、LE B1050×1370×2 双模子午线轮胎定型硫化机, 依据 GB/T13579-92《轮胎定型硫化机》标准, 机械部分采用曲柄连杆机构, 电气控制系统采用欧姆龙的 200HGPLC, 除常规的 I/O 模板外, 另配备 AD003/DA004 模拟量模板, 上位机采用研华公司的 TPC1260 触摸屏; 控制系统能够完成自动装模、硫化等工艺过程, 用 VB6.0 开发的监控软件能够记录硫化的工艺曲线, 并能监控 I/O, 修改硫化的工艺参数, 配备 CONTROLINK 单元可以实现硫化机得到群控功能。

LCY(E)1216 型二次法子午线轮胎成型机依据 HG/T3685 2000 与 HG/T3686 2000 国家化工行业标准设计, 1. 主机为整体框架结构, 刚性好, 采用滚动直线导轨和滚珠丝杠传递, 运动定位精度高; 2. 胶囊自动翻包, 胎侧自动定长裁断; 3. 定位等光线采用自动定位激光标线仪, 可随成型步序自动调距; 4. 自动控制方面采用伺服控制, 设有密码保护, 人机操作界面, 可以监控显示每一个步序环节, 并能存储多达 44 种规格工艺数据, 并可随时调整, 具备设备故障诊断与提示功能。

具有自主知识产权的“LE B1220×1920×2、LE B1050×1370×2 双模子午线轮胎定型硫化机, LCY(E)1216 型二次法子午线轮胎成型机”新产品通过省级鉴定, 标志着山东玲珑子午线轮胎生产机械的生产技术消化吸收和应用达到了较高的水平, 并且进入了技术创新的新阶段。

王洪涛