

帘线假定伸张值及其在轮胎性能仿真中的模拟方法

刘勇, 杨卫民

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 介绍了帘线假定伸张值(δ_l)的传统选取依据, 提出一种通过结构分析与热分析的耦合作用并应用材料热胀冷缩特性模拟帘线假定伸张值对轮胎性能影响的方法。模拟结果分析表明, 帘线假定伸张值增大, 轮胎的外直径呈近似线性递增趋势, 轮胎断面宽呈近似线性递减趋势, 且对应力集中的影响不大。

关键词: 轮胎; 结构设计; 帘线; 假定伸张值; 仿真

中图分类号: T Q330.38⁺9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-890X(2001)11-0670-04

随着计算机技术的飞速发展, 利用计算机进行轮胎设计和轮胎性能仿真成为 20 世纪 80 年代以来轮胎研究的重要主题。在这方面所取得的进展, 使人们能够在轮胎生产前更加有效地把握其力学和热学特性, 从而较好地预测成品轮胎的各种使用性能, 为轮胎设计开发提供理论依据, 并缩短开发周期, 节省开发费用^[1]。

轮胎仿真的核心是有限元分析技术。早在 20 世纪 70 年代, 美国与日本的各大轮胎公司已开始采用有限元法分析轮胎结构的力学问题, 采用的是三角形常应变单元和薄壳单元等, 这些单元存在着精度不高等缺点。

20 世纪 80 年代, 日本普利司通公司等大轮胎公司应用有限元分析技术开发出了多种优化轮胎结构设计的方法, 设计出的轮胎在操纵性能、滚动阻力及制动性能等方面有较大的改善。前苏联莫斯科轮胎工业研究院用三维有限元模型对轮胎的应力-应变周期进行了计算, 设计的轮胎大幅度提高了耐久性^[2]。

20 世纪 90 年代以来, 轮胎三维有限元分析逐渐成为主流, 其模拟的结果更接近实际, 设计的轮胎性能有了大幅度提高, 这方面的研究论文也比较多^[3~6]。

目前, 轮胎仿真主要集中在轮胎接地状态、动态生热与温度分布、驻波与临界转速等方面。例如, 刘文宁等^[7]对轮胎应力-应变和温度场进行了模拟; 陈振艺^[8]利用有限元法进行了轮胎稳态温度场的计算; 唐萌^[9]、张翼^[10]对下沉和接触问题的研究; 赵丽娟^[11]、程忠贤^[12]、黄文龙^[13]等人围绕子午线轮胎的有限元分析这一核心问题, 相继进行了研究, 并取得了一定的成果。

虽然帘线假定伸张值是一个十分重要的参数, 但有关其研究报道却很少。主要原因是对于帘布层这一高度非线性复合材料, 人们一直未能找到合适的办法有效地模拟帘线的假定伸张值对轮胎所造成的复杂载荷状况。本文利用材料热胀冷缩原理, 借助 ANSYS 有限元程序结构分析与热分析的耦合作用模拟帘线假定伸张值对轮胎性能的影响。

1 帘线假定伸张值的定义及选取

帘线假定伸张值是帘线在轮胎定型和硫化过程中所发生的伸张值, 常用 δ_l 表示。换句话说, 帘线在模型中伸张后的长度与机头上帘线长度的比值即为帘线的假定伸张值。

在轮胎外胎胎坯定型及硫化时, 一方面帘线承受机头张力和胶囊(水胎)压力而产生伸张, 另一方面帘线随着受热时间的延长又有收

基金项目: 北京市科技新星计划资助项目(954811600)

作者简介: 刘勇(1973-), 男, 山东阳谷人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事轮胎性能仿真方面的研究。

缩的趋势, 其结果是使帘线得到了一定程度的伸张。伸张后的帘线能保持一定强度, 同时又不至于发生弯曲。

帘线在模型中的伸张是不均匀的: 胎冠部位帘线较稀, 所受应力大, 伸张也大; 胎圈部位帘线较密, 单根帘线所受应力较小, 伸张也较小。从胎冠到胎圈, 随着帘线密度变化, 帘线应力相应变化, 因此 δ 值是轮胎断面各点帘线伸张值的平均值^[14]。

帘线的 δ 值对轮胎质量有显著的影响。如果 δ 选取过大, 外胎硫化时帘线伸张亦过大, 轻则造成帘线上抽、钢丝圈移位、钢丝圈底部余胶多、胎侧或肩部缺胶、胎里帘线裂缝等缺陷, 重则造成胎圈变形、帘线断裂、钢丝圈拉断等严重质量问题。即使钢丝圈未拉断, 由于帘线强度下降, 在实际使用中也会发生胎圈帘线断裂, 导致胎圈爆破; 如果 δ 取值过小, 外胎硫化时帘线伸张不足或出现负伸张, 从而发生弯曲, 在使用过程中易发生脱层等缺陷。因此, 在轮胎结构设计过程中, 应高度重视 δ 值的选取。

长期以来, 主要通过计算充气后胎体帘线的受力, 再依据帘线的应力-应变曲线确定 δ 值^[15], 但由于轮胎结构的复杂性, 这种理论计算的结果不够精确, 因此, 目前轮胎设计者仍是根据生产工艺凭经验取值。

帘线假定伸张值 δ 的选取与所用帘线种类、工艺方法、工艺条件(特别是浸渍、压延工艺的张力情况)、轮胎规格、成型机头直径及其对胎里直径的伸张值 δ 和胎体帘布层数有关。一般, 大型轮胎从内到外帘布层的 δ 值逐渐减小, 但并非呈线性关系^[16]。

不同帘线 δ 值范围^[14~17] 如下:

帘线种类和工艺方法	δ 值范围
棉帘线	
压力贴胶	1. 08 ~ 1. 095
浸渍贴胶	1. 09 ~ 1. 105
人造丝帘线	1. 03 ~ 1. 05
尼龙帘线	
硫化罐和非定型硫化机	1. 03 ~ 1. 05
定型硫化机	1. 015 ~ 1. 025

聚酯帘线	1. 02 ~ 1. 04
钢丝帘线	1. 006 ~ 1. 010

2 轮胎帘线 δ 值的模拟

在本研究中, 我们利用 ANSYS 程序中热分析与结构分析的耦合作用功能来模拟 δ 值的变化。基本思路如下: 帘线在成型、硫化过程中受拉力而产生的伸张会因自动收缩而对轮胎主体产生预应力^[2], 这种预应力要直接作为一种初始条件施加到轮胎有限元模型上去是十分困难的。根据材料热胀冷缩的性质, 利用温度降低产生的冷缩效应来等效地代替等温条件下由机械力造成的帘线预应力。

为表现对帘线 δ 值的模拟过程, 建立如图 1 所示的有限元模型, 并施加对称约束、充气压力面载荷和垂直载荷。为使帘线发生冷缩效应, 在程序中给定帘线的假定冷缩因数, 并将胎体帘布层所在单元冷冻至 -100 °C(图中深颜色表示)以施加温度载荷使帘线收缩, 其余各处温度为 0 °C(图中浅颜色表示)。如要模拟 δ 为 5% 的情况, 可以假设帘线材料的热膨胀因数为 0. 000 5, 并降温到 -100 °C 即可。

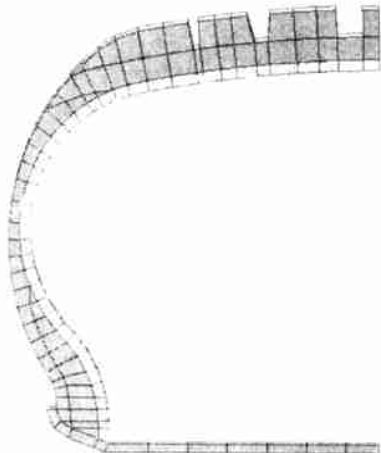


图 1 205/60R15 对称状况有限元模型

我们采用上述模型模拟帘线 δ 值对轮胎充气平衡轮廓形状和垂直载荷下轮胎应力的影响。模拟工艺条件为: 充气压力 0. 22 MPa; 轮辋安装后胎圈位移量 22 mm; 带束层帘线角度 21°; 帘线 δ 值 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%; 轮胎转速 0。

2.1 胎体帘线 δ_1 值对轮胎充气平衡轮廓的影响

根据模拟结果, 胎体帘线 δ_1 值对充气轮胎外直径和断面宽度的影响分别见图 2 和 3。

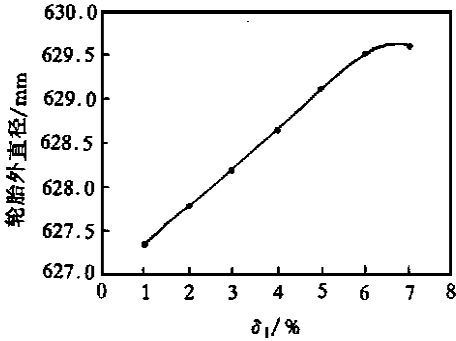


图 2 帘线 δ_1 值对轮胎外直径的影响

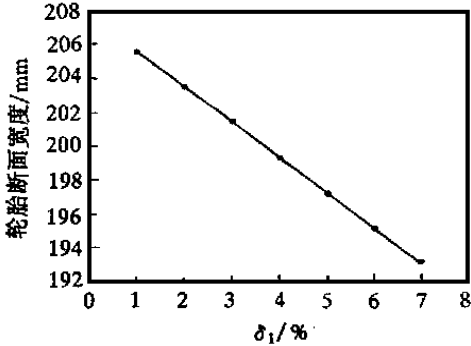


图 3 帘线 δ_1 值对轮胎断面宽度的影响

从图 2 和 3 可以看出, 胎体帘线 δ_1 值增大, 轮胎外直径呈近似线性递增趋势, 轮胎断面宽度呈近似线性递减趋势。 δ_1 值每增大 1%, 轮胎外直径约增大 0.4 mm; 轮胎断面宽度减小 2 mm。

2.2 帘线 δ_1 值对垂直载荷下轮胎应力的影响

此处仅以胎体帘线 δ_1 值对第一主应力的影响为例予以说明, 见图 4。

从图 4 可以看出, 第一主应力最大值随着胎体帘线 δ_1 值的增大而增大, 但增大的幅度并不显著。由此可见, 在调整胎体帘线 δ_1 值的过程中, 对应力集中的影响并不大。

3 结语

利用材料热胀冷缩原理, 借助 ANSYS 有限元程序结构分析与热分析的耦合作用功能可

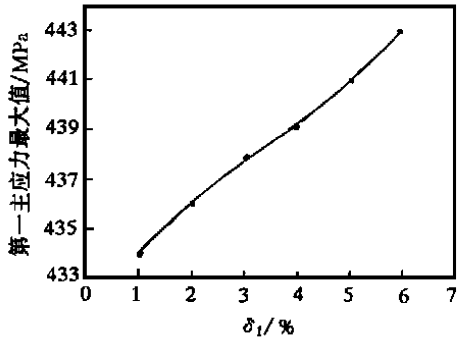


图 4 帘线 δ_1 值对第一主应力最大值的影响

模拟帘线 δ_1 值对轮胎充气平衡轮廓形状和垂直载荷下轮胎应力的影响。胎体帘线 δ_1 值增大, 轮胎外直径呈近似线性递增趋势, 轮胎断面宽度呈近似线性递减趋势; 且对垂直载荷下轮胎应力的影响不大。

参考文献:

- [1] Clark S K. Mechanics of pneumatic tires[C]. Washington D C: Department of Transportation, 1981. 197.
- [2] 杨卫民. 子午线轮胎的三维非线性有限元分析和性能仿真的研究[D]. 北京: 北京化工大学机电工程学院, 1998.
- [3] 刘文宁, 蒋文革, 吴保国, 等. 汽车轮胎的三维有限元结构分析[J]. 复合材料学报, 1993, 10(1): 77-84.
- [4] 吴桂忠, 何晓玫, 梁守智. 轿车子午线轮胎的三维有限元分析[J]. 橡胶工业, 1993, 40(12): 720-723.
- [5] 丁剑平, 俞 淇. 在微机上进行轮胎三维非线性有限元分析的几个问题[J]. 轮胎工业, 1997, 17(1): 13-16.
- [6] Danielson K T, Noor A K. Finite elements developed in cylindrical coordinates for three dimensional tire analysis[J]. Tire Science and Technology, 1997, 25(1): 2-28.
- [7] 刘文宁, 蒋文革. 轮胎温度场的有限元分析[J]. 复合材料学报, 1994, 11(2): 7-13.
- [8] 陈振艺. 轮胎稳态温度场的计算[J]. 轮胎工业, 1997, 17(5): 273-276.
- [9] 唐 萌, 张 翼. 子午线轮胎静态下沉问题的三维有限元分析[J]. 轮胎工业, 1999, 19(1): 3-6.
- [10] 张 翼, 唐 萌, 余美娟. 胎圈 轮辋接触问题的三维有限元分析[J]. 轮胎工业, 1999, 19(2): 83-85.
- [11] 赵丽娟. 子午线轮胎的三维有限元分析[D]. 北京: 北京化工大学机电工程学院, 1997.
- [12] 程忠贤. 接触状态下子午线轮胎特性的三维有限元分析[D]. 北京: 北京化工大学机电工程学院, 1998.
- [13] 黄文龙. 子午线轮胎 CAD 研究[D]. 北京: 北京化工大学机电工程学院, 2000.

[14] 张宗富. 浅谈帘线假定伸张值[J] . 轮胎工业, 1997, 17 (2): 69-72.

[15] 胡立平, 张 薇. 从平衡轮廓出发进行子午线轮胎的模型设计[J] . 轮胎工业, 1997, 17(10): 583-586.

[16] 彭 迈, 林惠音, 俞 淇. 轮胎结构设计[M] . 广州: 华南理工大学出版社, 1992. 90.

[17] 霍玉云. 橡胶制品设计与制造[M] . 青岛: 青岛化工学院, 1985. 59.

收稿日期: 2001-05-12

Presumed stretch ratio of cord and its emulation in tire simulation

LIU Yong, YANG Wei-min

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The criteria for setting the presumed stretch ratio of cord $\hat{q}$ in the traditional method were described. A method for emulating the presumed stretch ratio of cord based on the coupling of structural analysis and thermal analysis and the thermal swell and cold shrink characteristics of material was proposed and the influence of $\hat{q}$ on the tire performance was investigated. The results showed that the O. D of tire tended to increase and the sectional width tended to decrease nearly linearly with little affect on the stress centralization.

Keywords: tire; structure design; cord; presumed stretch ratio; simulation

欢迎加入“工程建设项目信息服务网”

“工程建设项目信息服务网”是由全国化工设计情报中心站和中国勘察设计协会建设项目总承包工作委员会联合主办的全国性信息服务机构。本网面向全国与工程建设有关的厂家、施工企业、工程公司和销售公司,开展工程建设项目信息服务。

服务内容:

(1)提供《工程建设项目信息》(月刊),每期内容包括:由中心站在化工、石化、轻工、医药等行业的 80 余个成员设计单位和总承包工作委员会的 140 余个委员设计单位所提供的建设项目信息约 50 余项;国内各行业的招商、在建和拟建项目信息约 60 余项;国际金融机构贷款项目信息约 4 项;招标项目预告信息约 15 项。16 开本,约 30 页/期。另有与印刷版内容相同的电子网络版,其传递方式有两种:可在中心站网站上授权(用密码)下载、浏览,也可由本网用电子邮件定期发送至网员的电子信箱中。

(2)提供《工程设计情报简讯》(周刊),每年 50 期。辟有“发展规划与计划”、“工程项目信息”、“设计动态”及“招标信息”栏目。主要刊登

由各成员单位和由本站收集的项目规划、前期、设计和工程承包等项目信息。刊物特点:信息快、简明扼要。16 开,4 页/期。

(3)为网员单位免费提供《全国化工设计情报中心站成员单位联络员通讯录》和《建设项目总承包工作委员会委员单位联络员通讯录》。网员单位可持本网核发的“网员证”走访各设计院的联络员。

(4)在中心站合办的《化工开发与设计》刊物上免费刊登网员单位的产品价格信息。可享受免费热线电话咨询。

入网办法:凡订阅《工程建设项目信息》和(或)《工程设计情报简讯》网刊的订户,即可成为本网网员。随时可订阅、入网,时间以一年为期。样刊函索即寄。

全国化工设计情报中心站地址:天津市北辰区京津公路 521 号;邮编:300400;电话:(022)86810322;传真:(022)86810321;联系人:庞明艳、郭健敏;网址:www.cceic.net.cn;E-mail:nceic@public.tpt.tj.cn;开户行:天津工商银行北辰支行;户名:全国化工设计情报中心站;帐号:35109005113076。