

295/80R22.5全钢载重子午线轮胎强度的有限元分析

李国瑞, 郑志宽, 贾晓栋, 李圆圆

(风神轮胎股份有限公司, 河南 焦作 454003)

摘要: 利用Abaqus软件对295/80R22.5全钢载重子午线轮胎强度进行仿真分析。建立模型时普通型和高抗冲击型钢丝帘线分别采用线弹性和Marlow超弹性本构模型, 并准确描述和输入钢丝帘线间距。结果表明: 根据强度试验前半段钢丝帘线力的变化趋势, 可预测后半段钢丝帘线力均为线性变化, 结合钢丝帘线最小破断力, 可得到轮胎强度试验的最大行程, 并计算得到探头压力; 轮胎强度仿真计算结果与试验结果误差满足工程要求, 仿真计算可作为轮胎强度设计的验证手段之一。

关键词: 全钢载重子午线轮胎; 钢丝帘线; 强度; 线性; 有限元分析

中图分类号: TQ336.1; U463.341⁺.6; O241.82

文章编号: 1006-8171(2023)05-0305-04

文献标志码: A

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.05.0305



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎设计中需要考虑驱动性、制动性、节油性、操纵稳定性和平顺性等性能, 但是安全性是一切性能的前提, 在轮胎开发中应重点考虑^[1-3]。根据GB/T 4501—2016《载重汽车轮胎性能室内试验方法》和GB/T 4502—2016《轿车轮胎性能室内试验方法》, 强度试验是表征轮胎安全性能的主要指标。根据传统经验, 轮胎强度主要与花纹深度、骨架材料、帘布层角度等有关^[4-6], 但是由于轮胎作为一个整体进行试验, 试验后轮胎冠部整体被压穿, 初始损坏部位不易确定, 无法以最经济的手段对轮胎强度性能进行改进。

21世纪以来, 有限元分析方法在轮胎设计中得到普遍应用, 经过多年迭代, 滚动阻力、刚性、轮胎动力学性能等仿真分析精度有了大幅提升, 我国的轮胎性能与国际巨头企业产品差距越来越小^[7-10]。轮胎强度仿真为大变形分析, 仿真中无法达到实际试验中的量程, 无法判断轮胎何时损坏。

本工作利用Abaqus有限元分析软件, 研究了295/80R22.5全钢载重子午线轮胎(简称

295/80R22.5轮胎)的钢丝帘线在强度试验中帘线力的变化规律, 以期能为轮胎强度的预测提供方法。

1 模型选择和试验条件

根据295/80R22.5轮胎(4条花纹沟)实际断面绘制材料分布图, 网格模型如图1所示。

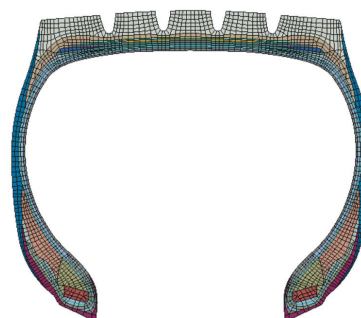


图1 295/80R22.5轮胎二维网格模型

根据GB/T 4501—2016, 强度试验条件为: 充气压力 860 kPa, 轮辋 9.00×22.5, 探头直径 38 mm。

2 材料模型

轮胎强度主要与胎冠(特别是胎冠处的带束层)和胎体部位的骨架材料有关, 胶料承担的负荷相对较小, 因此胶料仍采用Mooney-Rivlin超弹性

作者简介: 李国瑞(1986—), 男, 河南濮阳人, 风神轮胎股份有限公司助理工程师, 学士, 主要从事子午线轮胎的结构设计及仿真分析工作。

E-mail: liguorui0330@126.com

本构模型。

295/80R22.5轮胎胎冠处有两种类型的钢丝帘线,分别是带束工作层和胎体的普通型(NT/HT/ST)钢丝帘线及带束保护层的高抗冲击型钢丝帘线。普通型和高抗冲击型钢丝帘线拉伸曲线如图2所示。

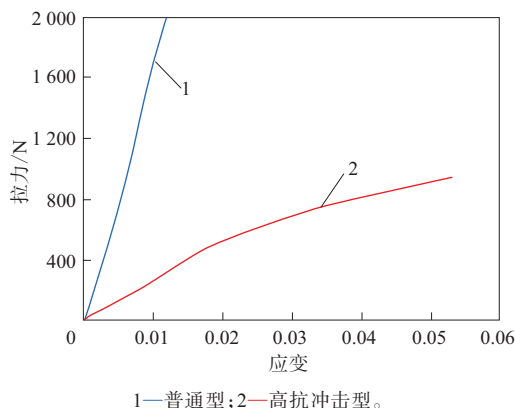


图2 两种钢丝帘线拉伸曲线对比

从图2可以看出,普通型钢丝帘线拉伸曲线线性较好,高抗冲击型钢丝帘线初始拉伸曲线与后端拉伸曲线差别较大。为提高模型的收敛性和计算精度,对普通型钢丝帘线直接采用线弹性模型,对高抗冲击型钢丝帘线采用Marlow超弹性本构模型。

3 模型建立

有限元分析过程中用Rebar单元模拟钢丝帘线,定义Rebar单元时需输入钢丝帘线间距。轮胎生产中有两次膨胀,分别是成型时的胎体鼓膨胀和硫化时轮胎的整体膨胀,两次膨胀均会影响钢丝帘线间距。对于轮胎接地印痕、胶料应力应变,甚至是刚性分析,钢丝帘线间距影响不明显,但是轮胎强度主要受钢丝帘线力的影响,必须对钢丝帘线间距特别关注。不同间距下胎体钢丝帘线力对比如图3所示。

从图3可以看出,由于间距不同,胎冠处和胎圈处胎体钢丝帘线力的差距可达50%。

在强度分析中为了准确模拟胎体钢丝帘线力的变化,钢丝帘线间距必须准确定义。采用Abaqus软件定义Rebar单元时有3种方式,第1种为constant

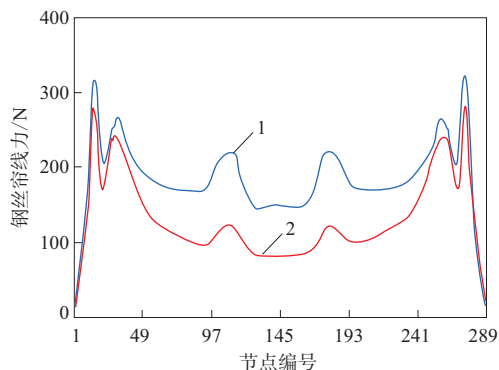


图3 不同间距下胎体钢丝帘线力对比

(恒定单元)、第2种为angular(角度单元)、第3种为lift equation-based(上升方程单元)。角度单元如图4所示,需要使用角度间距定义不同半径处的钢丝帘线间距。上升方程单元如图5所示,可准确描述轮胎硫化前后带束层钢丝帘线间距和角度的变化。图中, α_0 为硫化前带束层角度, α 为硫化后带束层角度, r_0 为硫化前胎冠上点的半径, r 为硫化后胎冠上点的半径, r_d 为胎圈半径。

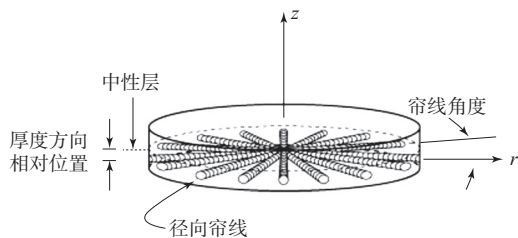


图4 角度单元示意

4 结果与讨论

4.1 钢丝帘线力的分析

由于强度分析过程中轮胎变形较大,特别是胎面处单元畸变严重,通常情况下探头行程无法达到100 mm,而实际强度试验过程中行程通常超过100 mm,甚至达到150 mm以上。强度试验模拟各层钢丝帘线力的变化如图6所示。

从图6可以看出,1#和2#带束层钢丝帘线力先稍减小后持续增大,3#带束层和胎体钢丝帘线力无减小过程。

从图6还可以看出,行程超过50 mm以后,胎体和带束层钢丝帘线力呈线性变化趋势,各层钢丝帘线力可按照此趋势继续延伸至相应规格钢丝帘

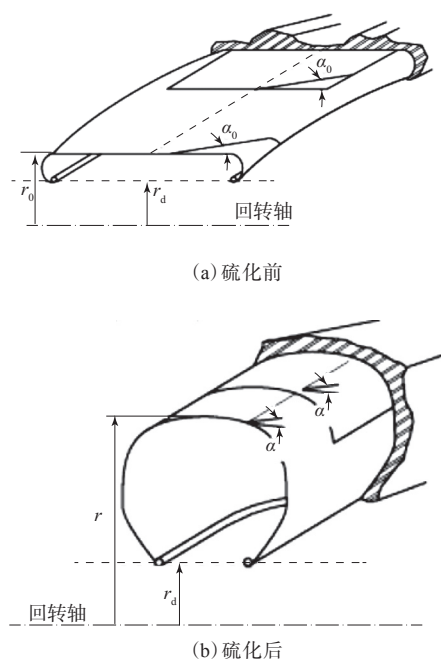
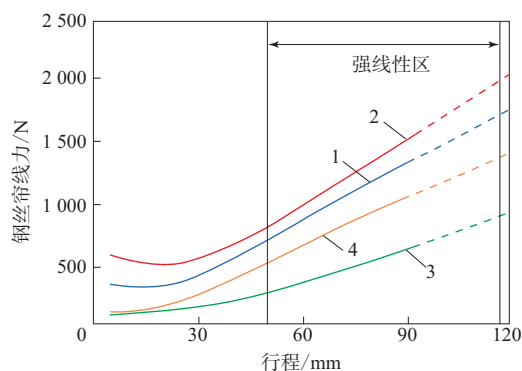


图5 上升方单元示意



1—1#带束层; 2—2#带束层; 3—3#带束层; 4—胎体。

图6 各层钢丝帘线力的变化历程

线破断力处,最先达到破断力的钢丝帘线最先损坏。本研究的295/80R22.5轮胎胎体钢丝帘线最先达到损坏点,此时行程约为116 mm,3#带束层钢丝帘线损坏点与胎体钢丝帘线极为接近,行程约为120 mm,虽然同等行程下1#和2#带束层钢丝帘线力更大,但是由于其破断力远大于3#带束层和胎体钢丝帘线,因此,1#和2#带束层钢丝帘线破坏点行程远大于胎体和3#带束层钢丝帘线。

4.2 强度分析

强度分析中,探头压力-行程曲线如图7所示。

从图7可以看出,与钢丝帘线力变化趋势相

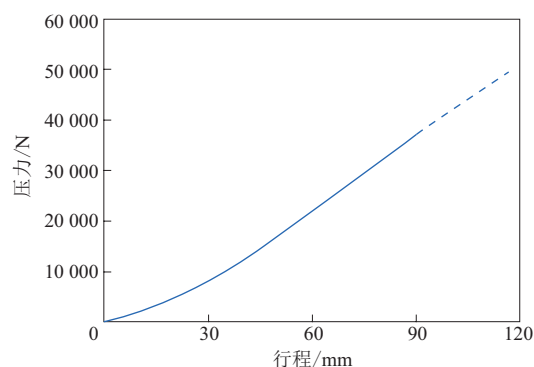


图7 探头压力-行程曲线

同,当行程达到50 mm以上时,探头压力呈线性变化。胎体钢丝帘线最先达到破坏的行程为116 mm,由此可推算此时的探头压力。

轮胎强度仿真分析与试验结果对比见表1。

表1 轮胎强度仿真分析与试验结果对比

项 目	仿真分析	试验结果
行程/mm	116	121
压力/N	49 560	50 441
破坏能/J	2 874	3 052

从表1可见,轮胎强度仿真结果与试验结果吻合度高,压力和破坏能的仿真误差分别为1.7%和5.8%,仿真结果可作为轮胎强度设计的一种验证手段。

5 结语

根据轮胎强度试验前半段钢丝帘线力的变化趋势,可预测后半段钢丝帘线力均为线性变化,结合钢丝帘线最小破断力,可得到轮胎强度试验的最大行程,并计算得到探头压力。对比轮胎仿真计算与试验结果,轮胎破坏能仿真结果误差满足工程要求,可作为轮胎强度设计的验证手段之一,有效保证轮胎的安全性能。

参考文献:

- [1] 马良清,李红伟,林汉京. 汽车轮胎安全管理制度的改革与探索[J]. 化工管理,2017(4):54-56.
- [2] 李长宇. 超临界发泡聚氨酯安全轮胎的设计与仿真分析[D]. 青岛: 青岛科技大学,2020.
- [3] 徐成伟. 轮胎侧偏侧倾工况滑水性能分析[D]. 淄博: 山东理工大学,2022.
- [4] 马忠,华瑶. 轮胎强度问题和评价方法的初步探讨[J]. 中国橡胶,2021,37(8):15-22.

- [5] 魏晓辰,张新峰,张一尘.汽车轮胎强度性能比分析[J].科技资讯,2017,15(31):109-111.
- [6] 周奎武,刘宇晨,曹铁坚.轮胎强度试验不确定度评定[J].橡胶科技,2017,15(9):49-51.
- [7] 危银涛,缪一鸣,柴德龙,等.复杂轮胎钢丝帘线有限元分析与试验研究[J].橡胶工业,2013,60(11):645-657.
- [8] 徐立,李福军,李景前.残余应力对子午线轮胎有限元模拟结果影响的分析[J].轮胎工业,2008,28(4):195-197.
- [9] 杨丽,马庆丰,李炜,等.435/50R19.5全钢载重子午线轮胎钢丝帘线受力分析[J].轮胎工业,2009,29(3):149-153.
- [10] 庄继德.汽车轮胎学[M].北京:北京理工大学出版社,1996.

收稿日期:2022-12-11

Finite Element Analysis on Strength of 295/80R22.5 Truck and Bus Radial Tire

LI Guorui, ZHENG Zhikuan, JIA Xiaodong, LI Yuanyuan

(Aeolus Tyre Co., Ltd, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: The strength of 295/80R22.5 truck and bus radial tires was simulated and analyzed by using Abaqus software. The linear elastic and Marlow hyperelastic constitutive models were used to establish the models for the ordinary and high-impact steel cord, respectively, and the steel cord spacing was accurately described and input. The results showed that, according to the change trend of the steel cord force in the first half of the strength test, it could be predicted that the steel cord force in the second half of the strength test was linear. Therefore, the maximum range of the strength test was obtained and the probe pressure could be calculated by using the minimum breaking force of the steel cord. The error of the tire strength between the simulation calculation and test results met the engineering requirements. The simulation calculation could be used as one of the verification means of tire strength design.

Key words: truck and bus radial tire; steel cord; strength; linear; finite element analysis

神马帘子布公司新品新增销量5 100 t

2022年以来,中国平煤神马集团帘子布(简称神马帘子布)公司开发客户需求型特制产品130余种,研发帘布新产品50个规格,新产品新增销量5 100 t,创造了可观的经济效益。

2022年以来,神马帘子布公司以“揭榜挂帅”和项目研发为抓手,在细旦丝、高端差异化工业丝、新能源汽车骨架材料、连续聚合高强度工业丝、空气弹簧用布等重点项目的技术上取得新突破,产品品质得到进一步提升。

与国际知名企业产品相比,国内聚酰胺66工业丝存在纤维强度小、单线产能低和生产能耗高等问题,难以满足高端应用领域的迫切需求。为攻克这些技术难题,神马帘子布公司充分发挥产学研优势,协同攻关,开发出具有自主知识产权的

万吨级高强度聚酰胺66工业丝连续聚合多头直纺技术、高强度聚酰胺66帘布产业化成套技术,成功应用于航空航天和特种轮胎制造等高端领域;研发的锦纶66原液着色地毯丝、芳纶胎圈和再生纤维等新产品填补了国内空白。

此外,神马帘子布公司还以科技创新为支点,不断优化产品结构,增加高利润产品占比。该公司研发的锦纶66细旦丝广泛应用于绿色能源风力发电、航空航天、汽车安全气囊生产等领域。为确保细旦纤维利润最大化,该公司对现有设备进行调整,通过技术改造,将12个工业丝的纺丝位改为生产细旦纤维。2022年4月投产后,产品质量稳定,各项指标均控制在优等品水平,产销率达100%。

(摘自《中国化工报》,2023-03-07)