

钢丝帘线弹塑性材料模型探讨

赵长松¹, 王伟^{2,3}

(1. 赛轮股份有限公司, 山东 青岛 266042; 2. 青岛科技大学 橡塑材料与工程教育部重点实验室, 山东 青岛 266042; 3. 大连理工大学 工程力学系, 辽宁 大连 116023)

摘要:通过单丝及多股加捻钢丝的拉伸试验,在充分考虑材料非线性、多股加捻钢丝之间复杂接触和拉伸后截面变化的情况下,使用 Abaqus 有限元软件进行钢丝帘线拉伸有限元模拟分析,从而建立了钢丝帘线的弹塑性材料模型。结果表明,模拟数据与试验测试数据相近,证明了该方法的有效性和可行性。

关键词:钢丝帘线;有限元分析;材料模型

中图分类号:TQ330.38⁺9 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-8171(2014)10-0602-03

众所周知,轮胎是汽车安全的关键部件之一,而钢丝帘线又是子午线轮胎结构中的主要受力材料;因此,对其进行受力分析已经成为现代轮胎结构设计和分析的重要工作之一。由于轮胎结构及其材料的复杂性,至今还没有有效的试验手段来直观、定量地分析轮胎内部材料的受力变形情况。随着计算机和数学、力学等自然科学的发展,有限元数值模拟方法已经可以对轮胎进行全方位的力学分析。国内外不少轮胎企业和科研机构已经进行了大量的探索和研究,并取得了很好的效果。

早期的子午线轮胎有限元分析通常用橡胶-帘线复合材料进行建模^[1],运用细观力学混合公式(如 Hermans, Gough-Tangorra 和 Halpin-Tsai 公式),通过组分材料的弹性模量来预测橡胶-帘线复合材料。随着有限元分析软件的进一步发展,越来越多的人采用加强筋模型来模拟钢丝帘线。

为简便计算,钢丝帘线被简化为各向同性线弹性材料;实际上,钢丝帘线是由多股单丝加捻而成的复杂体,单丝呈空间螺旋线状,相互之间存在复杂的接触关系,目前尚无详细的钢丝帘线有限元分析研究报道。本工作以期进行有意义的探索。

1 钢丝帘线材料模型基本原理

多股加捻钢丝帘线为各向异性材料,通常可

简化为横向各向同性;其中,单丝可视为各向同性材料。就单丝而言,不考虑镀层材料,是均匀各向同性弹塑性材料,可通过拉伸/压缩试验获取弹塑性材料参数。

首先,明确真实应变(ϵ)与名义应变(ϵ_n)的关系^[2]。

$$\epsilon_n = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1 \quad (1)$$

式中, l 为当前长度, l_0 为初始长度,两边同时加1并取自然对数,得到 ϵ 与 ϵ_n 的关系如下:

$$\epsilon = \ln(1 + \epsilon_n) \quad (2)$$

考虑塑性变形的不可压缩性,并假设弹性变形也是不可压缩的,建立真实应力(σ)与名义应力(σ_n)之间的关系。

$$\text{由} \quad l_0 A_0 = l A \quad (3)$$

$$\text{得} \quad A = \frac{A_0 l_0}{l} \quad (4)$$

式中, A 和 A_0 分别为当前面积和初始面积。

代入真实应力定义公式,得到:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{Fl}{A_0 l_0} = \sigma_n \left(\frac{l}{l_0} \right) = \sigma_n (1 + \epsilon_n) \quad (5)$$

真实塑性应变(ϵ_p)可以由真实总应变(ϵ_t)和 σ 及杨氏模量(E)得到

$$\epsilon_p = \epsilon_t - \frac{\sigma}{E} \quad (6)$$

2 单根钢丝材料参数的获取

以 GB/T 11181—2003《子午线轮胎用钢帘

线》中 3+9+15×0.22 规格钢丝帘线为例, 钢丝帘线参数如下: 捻向 S/S/Z, 捻距 6.3/12.5/18, 直径 1.35 mm, 破断力 2 700 N, 线密度 8.24 g·m⁻¹。

E 可通过单根钢丝拉伸试验的线弹性段试验数据拟合得到, 在此基础上, 通过公式将 σ_n 和 ϵ_n 转换为 σ, ϵ 和 ϵ_p , 见表 1。将此数据作为材料的塑性数据, 输入 Abaqus 软件, 即可建立单丝材料的弹塑性模型。

表 1 应力和应变的转换

σ_n /MPa	ϵ_n	σ /MPa	ϵ	ϵ_p
3 100	0.016	3 149.3	0.015 775	0.000 028 5
3 200	0.017	3 254.4	0.016 857	0.000 585
3 300	0.018	3 359.4	0.017 840	0.001 04
3 400	0.019	3 464.6	0.018 822	0.001 5
3 500	0.021	3 573.5	0.020 783	0.002 9

需要注意的是, 由于经过特殊的工艺处理, 钢丝得到强化, 抗拉强度增大(约 3 GPa), 弹性阶段延长, 塑性阶段变短。

3 多股加捻钢丝材料参数建立

第 1 种方法: 用多股加捻钢丝帘线的截面面积和单丝模量数据进行多股加捻钢丝材料参数模拟^[3], 仍将其视为各向同性。由于钢丝加捻, 每层存在不同捻距, 截面面积 $A=3A_1+9A_2+15A_3$ (以 3+9+15×0.22 为例), 其中 A_1, A_2 和 A_3 分别为从内到外 3 层单丝椭圆截面的面积。为简化起见, 可将每个椭圆视为直径为 0.22 mm 的圆。整个截面视为半径为 0.572 mm 的圆面。此方法将多股加捻钢丝帘线简化为材料均匀的圆柱体, 类似单丝材料的弹塑性模型。

第 2 种方法: 等效截面法(等效截面为钢丝帘线的外接圆面)。此方法充分考虑帘线的几何形状及相互之间的接触作用。在 Abaqus 软件中建立钢丝帘线三维模型, 采用位移加载的方式, 使用显式算法^[4], 取 20 mm 长度模拟帘线拉伸试验。钢丝帘线截面有限元网格划分如图 1 所示。

将试验结果和模拟结果处理后, 对拉力-应变曲线进行对比, 如图 2 所示。由图 2 可以看出, 两种方法得到的计算结果与试验结果基本吻合, 第 2 种方法的预测结果更接近试验值。帘线横截面

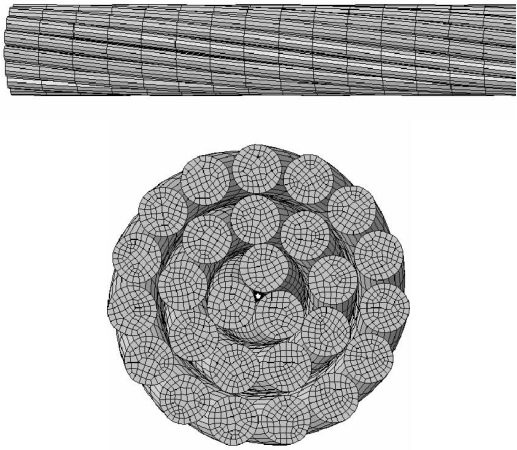


图 1 钢丝帘线截面有限元网格划分示意

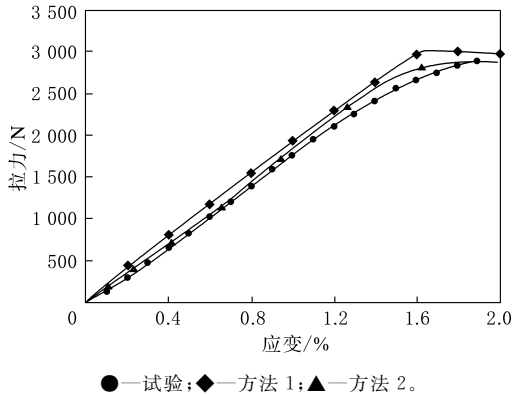


图 2 拉力-应变曲线

上的 Mises 应力分布如图 3 所示。

轴向应变为 1.9%~2.0% 时, 等效截面(名义直径下的圆面)直径由原来的 1.35 mm 减小至 1.31 mm, 等效面积减小约 6%, 如图 4 所示。

在试验数据的处理过程中, 将负荷除以钢丝帘线 A , 得到 σ ; 假设轴向应变为 0~2% 时, 等效截面面积变化率为常数 $k, \epsilon k + \frac{A}{A_0} = 1$, 得到轴向

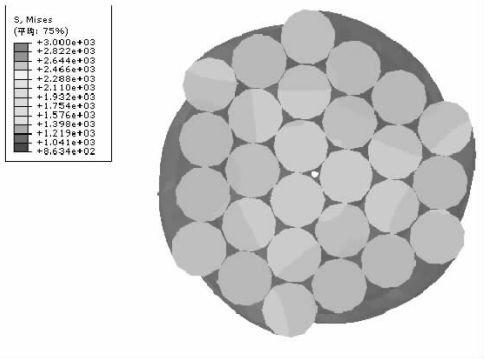


图 3 帘线截面 Mises 应力分布

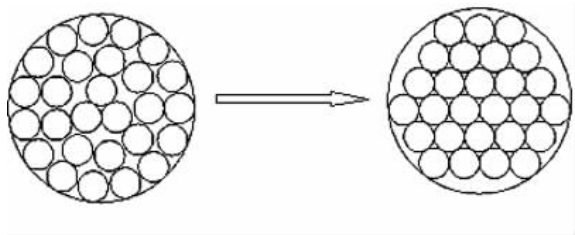
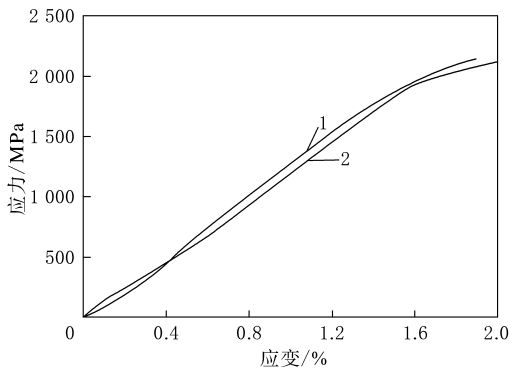


图4 截面变化示意

拉伸应力-应变曲线,如图5所示。

将轴向应变1.7%以下阶段作为线弹性阶段,数据拟合后得到 E ,其后视为塑性应变阶段。至此得到等效截面法材料参数。



1—试验;2—拟合。

图5 等效应力-应变曲线

两种方法的初始面积之比约为0.7,得到的杨氏模量之比约为1.25。等效截面法结果更接近试验测试数据,方法可行。

4 结论

采用试验与Abaqus软件模拟相结合的方式,在充分考虑材料非线性、多股加捻钢丝之间复杂接触和拉伸后截面变化的情况下,较直观、简便地获得了钢丝帘线弹塑性材料模型参数。结果表明,采用等效截面法建立多股钢丝弹塑性材料模型可行、有效。钢丝帘线压缩以及渗胶性能尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] 洪宗跃,吴桂忠.子午线轮胎有限元分析[J].轮胎工业,2006,26(3):187-191.
- [2] 庄茁,廖剑晖.基于ABAQUS的有限元分析和应用[M].北京:清华大学出版社,2009:219-224.
- [3] 刘永,罗奕文.轮胎有限元分析中的帘线模拟[A].ABAQUS中国区2007年会.桂林:2007.7.
- [4] 张士恒,危银涛.多股钢丝帘线拉伸受力有限元分析[A].ABAQUS中国区2008年会.北京:2008.11.

收稿日期:2014-04-12

固特异 Eagle 轮胎成为挑战者 SRT 392 原配胎

中图分类号:TQ336.1;U463.341 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014年6月5日报道:

固特异轮胎和橡胶公司宣布其Eagle RS-A2轮胎近期将投放市场并被预定为2014年秋季即将生产的2015款道奇挑战者SRT 392的原配胎。

Dodge and SRT工程师称,245/45ZR20规格的固特异Eagle RS-A2轮胎将成为标配,固特异Eagle F1 Supercar轮胎将作为需要“更好抓着力和操纵性能”时的备选。

2015款SRT 392车的外部性能设计保持了挑战者最初的大功率高速中型汽车传统,其全新的、驾驶员聚焦的驾驶位将展示给真正的性能热衷者以绝佳风格、优质材料、世界级技术以及艺术级工艺。

固特异Eagle RS-A2具有独特的全天候、高牵引非对称胎面设计。备选的Eagle F1 Supercar轮胎为赛车轮胎模式,采用大花纹块和独特的胎面胶料,能够帮助提高车辆的干路面牵引性能和转弯抓着性能。

“固特异努力提高每一款Eagle轮胎的性能,使得高性能汽车的强大动力以最佳方式作用到路面上。”固特异品牌经理Tara Foote称。“关键原配胎,如这次作为挑战者SRT 392的原配胎,有助于进一步提高固特异的地位,使之成为希望获得高性能轮胎的人士的一种可选择品牌。”

固特异称,与别的品牌轮胎相比,固特异轮胎在北美地区已经开始装配至更多新车辆,包括讴歌、奥迪、宝马、别克、凯迪拉克、雪佛兰、克莱斯勒、道奇、福特、通用、本田、英菲尼迪、吉普、路虎、林肯、奔驰、三菱、日产、保时捷、赛恩、斯巴鲁、丰田和大众汽车。

(马 晓摘译 许炳才校)