

全钢载重子午线轮胎钢丝圈受力分析

梁 俐¹, 刘 锐¹, 李 炜², 夏 勇², 夏源明²

[1. 佳通轮胎(中国)研发中心, 安徽 合肥 231202; 2. 中国科学技术大学 力学和机械工程系, 安徽 合肥 230027]

摘要:以 10.00R20 全钢载重子午线轮胎为例进行钢丝圈钢丝受力分析。利用有限元模型计算得到各种充气压力下钢丝圈钢丝的应力分布特征,并进一步得到钢丝圈钢丝的最大应力和平均应力,它们基本上与充气压力成正比;以最大应力和平均应力分别计算得到的钢丝圈安全系数相差 2.3 倍。有限元计算结果还表明,超载情况下钢丝圈的安全性明显下降。

关键词:全钢载重子午线轮胎;胎圈钢丝;应力分布;安全系数

中图分类号:TQ330.38⁺9;U463.341⁺.6

文献标识码:B

文章编号:1006-8171(2004)10-0594-04

轮胎载荷主要由骨架结构承担,李炜^[1]以 10.00R20 全钢载重子午线轮胎为例研究了骨架结构对充气压力分配比例的影响,结果表明,钢丝圈承受 74% 左右的充气压力。

在轮胎结构设计中,钢丝圈强度设计的经典方法仍然是安全系数法,子午线轮胎钢丝圈的安全系数一般取 4~5 倍,在这种设计方法中,钢丝圈钢丝的受力分布被认为是均匀的。而事实上,轮胎中钢丝圈钢丝的受力是不均匀的,用简单的理论模型将钢丝受力视为均匀分布只能给出受力的粗略估算结果。根据有限元计算所得到的最大钢丝应力进行钢丝圈的强度设计更为合理。

本工作以 10.00R20 轮胎为例,研究钢丝圈强度设计的经典方法与有限元方法所得到的安全系数之间的关系。

1 钢丝圈钢丝拉伸性能

对 10.00R20 轮胎的钢丝圈钢丝进行了单向拉伸试验,测试所用钢丝为江苏兴达帘钢线股份有限公司生产的 $\Phi 1.65$ mm 冷拉钢丝;试验仪器为 DCS5000 型岛津材料试验机,并对其数据采集系统进行了改进,使测试结果可直接采集到计算机进行处理。所有试样的加载段长度均为 200 mm 左右;试样的变形利用 G50-50 型引伸仪进行测量,标距为 50 mm,最大量程为 25 mm;采用位

移控制加载,加载速率为 $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

钢丝圈钢丝的应力-应变曲线如图 1 所示。图 1 所示结果表明:①5 个试样的拉伸应力-应变数据的再现性非常好,表明测试结果是可靠的;②钢丝圈钢丝是弹塑性材料,有明显的线弹性变形阶段和塑性变形阶段,但没有明显的屈服流动阶段,其硬化模量很小,塑性应变可超过 6%,卸载时服从线弹性规律;③弹性模量(E)为 206 GPa,屈服强度($\sigma_{0.1}$)为 1.88 GPa,最终强度极限大于 2.0 GPa。因此,在轮胎结构的有限元计算中,钢丝圈钢丝可以采用线弹性材料模型。

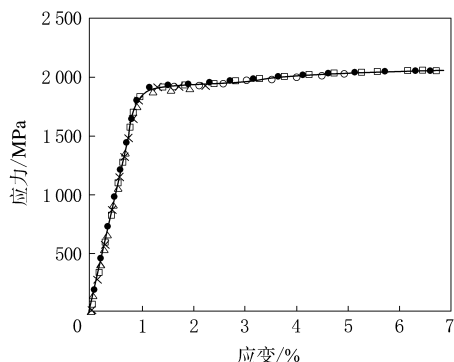


图 1 钢丝圈钢丝的应力-应变曲线

×—1#; □—2#; ●—3#; △—4#; ○—5#。

钢丝的物理性能中最重要的是屈服强度和最终破坏时的塑性应变。轮胎在正常使用时应保证钢丝的应力不超过屈服强度,否则会发生不可恢复的塑性变形,而滚动的轮胎要经历周期性的加

作者简介:梁俐(1962-),男,安徽舒城人,佳通轮胎(中国)研发中心高级工程师,学士,主要从事全钢载重子午线轮胎研究工作。

卸载过程,从而造成累积的塑性变形,这个过程会大量生热,并导致钢丝圈局部尺寸的变化。破坏时的塑性应变如果太小,钢丝就容易发生脆性破坏。因此,要求钢丝具有较大的破坏塑性应变以保证轮胎受到意外载荷时钢丝圈的抗冲击能力。

2 钢丝圈钢丝受力的有限元计算

2.1 钢丝圈结构和有限元计算模型

10.00R20 轮胎的主要骨架结构如图 2 所示。胎体由一层钢丝帘布层组成,带束层采用 3 层斜角铺设的钢丝帘布层和 2 层 0° 钢丝帘布层组成;钢丝圈结构为 5-6-7-8-7-6-5,即每个钢丝圈由 7 层共 44 根钢丝绕成(钢丝圈钢丝排列如图 3 所示)。

轮胎结构的有限元计算中,充气状态可采用平面轴对称模型(平面模型的有限元网格划分如图 4 所示);轮胎承受载荷时需采用空间计算模型。本工作利用 rebar 单元模拟骨架结构对橡胶单元的加强作用。在有限元模型中,模拟带束层、

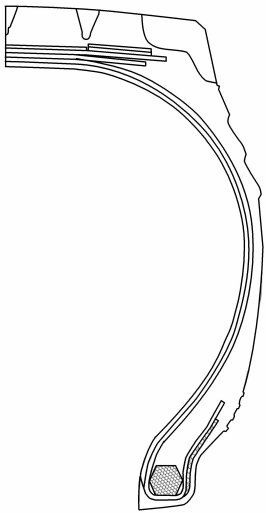


图 2 10.00R20 轮胎骨架结构示意

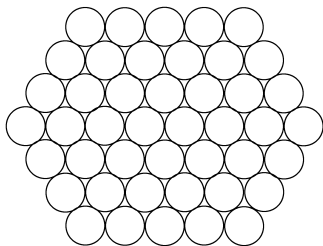


图 3 钢丝圈钢丝排列示意

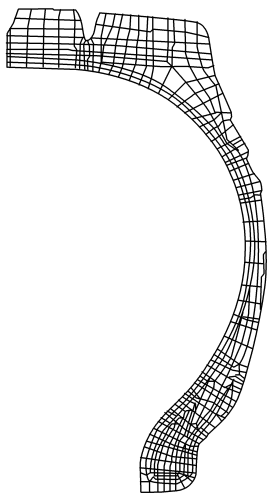


图 4 轮胎的平面模型有限元网格

胎体层和胎圈钢丝包布中的钢丝帘线的 rebar 均直接定义在相应位置的橡胶实体单元中;而模拟图 3 所示钢丝圈结构的 rebar 则定义在膜单元中(如图 5 所示),再将膜单元镶嵌到对应位置的橡胶实体单元中。图 4 所示 1/2 轮胎断面的实体单元为 537 个,图 5 所示的膜单元为 88 个。

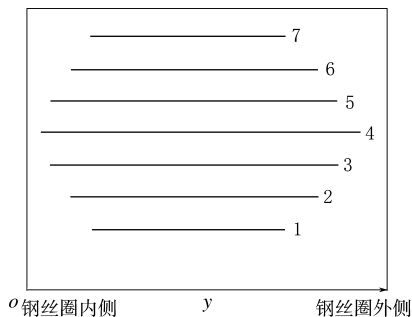


图 5 有限元模型中钢丝圈膜单元位置示意

横坐标 y 表示钢丝圈中钢丝的横向位置;1~7 为钢丝圈编号。

2.2 钢丝圈受力的计算

图 6 所示是轮胎充气状态下[充气压力(p)为 0.8 MPa]钢丝圈应力(σ)分布的有限元计算结果。图 6 表明,在 0.8 MPa 的充气压力下,钢丝圈的最大应力可达到 1.4 GPa,而最小应力却不到 200 MPa,表明钢丝圈的应力分布很不均匀。

根据图 6 所示的钢丝圈应力可以求出整个钢丝圈所受的合力,再除以整个钢丝圈净截面积即可得到钢丝圈所受的平均应力(σ_a)。钢丝圈的最大应力(σ_m)和 σ_a 随 p 的变化关系如图 7 所示。

利用空间有限元模型进一步求解其它工况

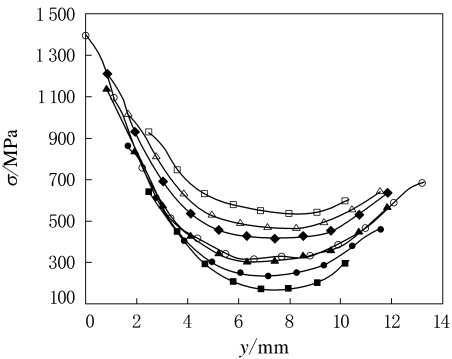


图6 钢丝圈的应力分布

钢丝圈编号: ■—1; ●—2; ▲—3; ○—4; ◆—5; △—6; □—7。
其化注同图5。

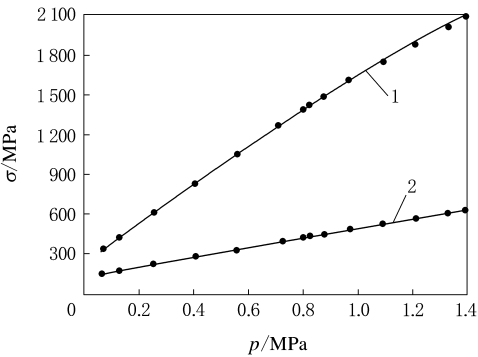


图7 钢丝圈的σ-p关系曲线

1—σ_m; 2—σ_a。

(如静负荷状态、驱动状态等)下钢丝圈的应力分布发现,轮胎接地、驱动等因素几乎不影响钢丝圈应力的分布大小和分布^[1]。进行钢丝圈的强度设计时,所要考虑的载荷因素主要是充气压力,轮胎负荷和驱动等因素的影响可以忽略不计。因此本工作依据充气状态下轮胎钢丝圈应力的有限元计算结果讨论钢丝圈的强度设计。

3 钢丝圈强度设计

3.1 额定充气压力时钢丝圈的安全系数

由图7可以得到,充气压力为0.8 MPa时,

σ_m 为 1 392 MPa,σ_a 为 421 MPa,而钢丝圈钢丝的屈服强度 σ_{0.1} 测试结果为 1.88 GPa。

依据平均应力计算钢丝圈的平均安全系数 n_a 如下:

$$n_a = \sigma_{0.1} / \sigma_a = 4.47 \tag{1}$$

依据最大应力计算钢丝圈的最大安全系数 n_m 如下:

$$n_m = \sigma_{0.1} / \sigma_m = 1.35 \tag{2}$$

两者的比值 k 为

$$k = n_a / n_m = 3.3 \tag{3}$$

式(3)表明,依据平均应力和最大应力计算得到的钢丝圈安全系数相差 2.3 倍,说明改进钢丝圈结构应力分析的手段以便更精确地得到钢丝圈的应力分布和最大应力是非常重要的。

3.2 超压时钢丝圈的安全系数

表 1 示出了超压情况下 10.00R20 轮胎钢丝圈的安全系数。由表 1 可以看出,充气压力大于 1.2 MPa 时,n_m 小于 1,此时钢丝圈中的高应力区域已经进入塑性变形阶段,说明轮胎超载使用时钢丝圈的安全性能也明显下降。

4 结论

(1)轮胎断面内钢丝圈应力分布很不均匀,两侧应力大于中部,且内侧比外侧应力高,整个断面内的应力分布近似锅底状;最大应力比最小应力高几倍,且远大于整个钢丝圈的平均应力,因此在计算安全系数时应考虑单根胎圈钢丝所受到的最大应力。

(2)钢丝圈应力(包括最大应力和平均应力)基本上与充气压力成正比,说明轮胎超载时钢丝圈受力会显著增大,并且可能超出钢丝圈强度安全限度。

(3)影响钢丝圈受力的载荷因素主要是充气

表 1 超压时钢丝圈的安全系数

项 目	充气压力/MPa							
	0.800	0.824	0.875	0.969	1.089	1.209	1.329	1.400
σ _m /MPa	1 392	1 424	1 482	1 614	1 752	1 883	2 024	2 108
σ _a /MPa	421	430	446	482	521	561	606	631
n _m	1.35	1.32	1.27	1.16	1.07	1.00	0.93	0.89
n _a	4.47	4.37	4.21	3.90	3.60	3.35	3.10	2.98

压力,轮胎负荷等其它因素影响很小。

(4)根据有限元计算得到的钢丝圈最大应力计算所得的安全系数远远小于按平均应力计算得到的安全系数,可见随着轮胎结构分析手段的提高,钢丝圈强度设计的安全系数应适当减小。

(5)本工作所做的分析仅是以一个特定规格和结构的轮胎进行的,分析结论可以定性推广到其它结构和规格的轮胎,但定量结果的推广还需要进一步的研究。

参考文献:

[1] 李 炜. 子午线轮胎结构有限元分析和设计原理的若干问题研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2003.

收稿日期:2004-04-19

Analysis for stress-strain in bead wire of BTR tire

LIANG Li¹, LIU Kun¹, LI Wei², XIA Yong², XIA Yuan-ming²

[1. Chinese Development Centre of Grandtour Tire, Hefei 231202, China; 2. China University of Science and Technology, Hefei 230027, China]

Abstract: The stress-strain in the bead wire was analyzed taking 10. 00R20 BTR tire as example. A FE model was used to obtain the stress distribution in bead wire of BTR tire under different inflation pressures as well as the maxium stress and the average stress in bead wire. It was found that both the maximum stress and average stress in bead wire were basically proportional to the inflation pressure; the safty factor calculated from the maximum stress was greater than that from the average stress by a factor of 2. 3; and the safty of bead wire decreased significantly under overload of tire.

Keywords: BTR tire; bead wire; stress distribution; safety factor

米其林 F1 匈牙利站成绩喜人

中图分类号:F270 文献标识码:D

匈牙利站是阿隆索的福地。2003 年,他在此地取得了自己首个分站冠军。12 个月后,米其林和阿隆索再次登上匈牙利站领奖台。

匈格罗宁赛道号称是世界上最慢也是要求最高的赛道。这里交错着慢弯和连续弯。赛车手在这里享受不到高速带来的乐趣。而对于轮胎来说,在最热的时候进行比赛,考验可想而知。这里的赛道温度高,加上慢弯导致轮胎磨损加剧,赛车后轮很有可能会起包而破裂。这就要求轮胎商在没有测试的情况下为车队提供最适合比赛的轮胎。

阿隆索从第 5 位起步,在第 1 弯后抢到了第 3 并把这个名次保持到了最后。他的比赛完成得相当不错,整场比赛都没有出现过任何失误。而他使用的米其林轮胎的良好发挥帮助他在前几圈里奠定了自己的位置。他说:“起步有点危险,佐藤想阻挡我,而我也不得不刹车,这让我失去了在第 1 弯上升到第 2 的机会。我很高兴能连续两次站上颁奖台。”

蒙托亚在第 1 弯上升了 3 个位置并在下午最终获得第 4 名。巴顿获得第 5 名。他的队友佐藤琢磨从第 3 位起步,但起步非常糟糕,在第 1 圈结束的时候已经落到了第 8 位。这位日本车手在比赛结束前上升了 2 个位置,最后在巴顿之后冲线。皮佐尼亚是第 5 位获得积分的米其林车手。他在糟糕的起步后获得第 7,仍旧保持了在代替受伤的拉尔夫-舒马赫比赛中 100%获得积分的成绩。

米其林赛事总监皮埃尔-迪帕基耶说:“阿隆索起步的表现非常英勇,他去年就在这里获得了胜利,一开始的几个单圈成绩显示出,我们两套轮胎表现很稳定。”

下一站比赛将于两周后在比利时的斯帕赛道举行。

(本刊编辑部 吴秀兰供稿)