

带束层结构对 11R22.5 轮胎滚动阻力影响的有限元分析

张春生^{1,2}, 单绍芝², 王友善³

(1. 青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042; 2. 杭州朝阳橡胶有限公司, 浙江 杭州 310018; 3. 哈尔滨工业大学 复合材料与结构研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:采用轮胎有限元分析软件 TYSYS 和 TYABAS, 针对 11R22.5 轮胎带束层结构对轮胎滚动阻力的影响进行有限元分析。结果表明, 3 层带束层加 2 层 0°带束层结构轮胎的滚动阻力低于 4 层带束层结构轮胎。测试结果验证了有限元分析结果的正确性。

关键词:轮胎; 带束层结构; 滚动阻力; 有限元分析

中图分类号: O241.82; U463.341+.6 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-8171(2013)05-0278-04

低碳生活已成为当今社会的主流思想, 人们对节约资源也十分重视。对于汽车来说, 用于克服轮胎滚动阻力的油耗占汽车总油耗的 14%~17%^[1]。轮胎滚动阻力每降低 10%, 可以使燃油消耗降低 1%~2%。国际标准化组织在 20 世纪 90 年代就制定了轮胎滚动阻力测试的技术标准, 目前此标准已更新为 ISO 28580—2009^[2]。

降低轮胎滚动阻力一方面可以节省燃油, 另一方面也可以减少尾气排放, 保护环境。因此对轮胎滚动阻力的研究成为近年来人们关注的焦点, 研究和开发低滚动阻力轮胎也成为今后轮胎生产企业的重点之一。

影响轮胎滚动阻力的因素很多, 如胎面胶配方、花纹形式和深度、轮胎结构以及使用条件等, 其中某些因素之间还相互影响。轮胎技术工作者研究的目的是在不降低轮胎其他性能的前提下, 降低轮胎的滚动阻力。

目前, 我国轮胎滚动阻力研究大部分还是集中在轮胎胶料特性上, 关于轮胎结构对滚动阻力影响方面的研究不多。在有限元分析技术应用还不是很广泛的情况下, 轮胎滚动阻力测试主要依赖于试验方法, 包括道路测试和室内测试。试

验方法可以得到较为准确的结果, 但需要较长的测试时间和较高的成本。为了更加快速、经济, 有限元方法被引入到轮胎滚动阻力的模拟测试中。

本工作从 11R22.5 轮胎的带束层结构出发, 采用有限元分析方法研究不同带束层结构对轮胎滚动阻力的影响。在使用轮胎有限元分析软件 TYSYS 和 TYABAS 对轮胎滚动阻力进行仿真计算的同时, 用转鼓试验机对轮胎滚动阻力进行实际测试, 以验证仿真计算结果的正确性。

1 轮胎滚动阻力理论计算

1.1 轮胎滚动 1 周的能量损失

轮胎橡胶单元的变形方式和轮胎能量损失不仅取决于变形的应变频率和幅值, 还与具体的应变方式有关。由轮胎变形分析可知, 轮胎橡胶任意一点的应力应变规律为^[3]: 在相对长的时间内应力应变为零, 在相对短的时间内应力应变形式近似为半正弦函数, 周期由轮胎滚动速度决定。

橡胶单元变形半正弦函数周期(τ)和频率(f)分别为

$$\tau = (l_0 / \pi d) T \quad (1)$$

$$f = (\pi d / l_0) \omega \quad (2)$$

式中 l_0 ——轮胎接地区域长度;

作者简介:张春生(1975—), 男, 黑龙江宾县人, 杭州朝阳橡胶有限公司高级工程师, 青岛科技大学在读硕士研究生, 主要从事全钢子午线轮胎技术管理与结构设计工作。

d ——轮胎直径;
 T ——轮胎滚动周期;
 ω ——轮胎滚动角速度。

轮胎滚动 1 周, 每个橡胶单元产生的能量损失为 W_t 。

橡胶单元半正弦函数应变(ϵ)为

$$\epsilon = \epsilon_0 \sin ft \quad (3)$$

式中, ϵ_0 为初始应变, t 为时间。由于橡胶的粘弹特性, 应力滞后于应变损耗角(δ), 根据 Voigt 粘弹性模型, 橡胶线性粘弹行为的应力(σ)-应变本构关系式如下^[4]:

$$\sigma(t) = \epsilon(t)E + \eta \frac{d\epsilon(t)}{dt} \quad (4)$$

式中 E ——橡胶材料弹性系数;
 η ——橡胶材料粘性系数。

可得相应应力公式如下:

$$\sigma = \sigma_0 \sin(ft + \delta) \quad (5)$$

则

$$W_t = \int_0^{\pi/f} \sigma \frac{d\epsilon}{dt} dt = \frac{1}{2} \pi E'' \epsilon_0^2 = \frac{1}{2} \pi E' \epsilon_0^2 \tan \delta \quad (6)$$

式中 E'' ——损耗模量;
 E' ——弹性储能模量;
 $\tan \delta$ ——损耗因子。

轮胎在 1 周内总能量损失(W)为

$$W = \int W_t dV \quad (7)$$

式中, V 为轮胎体积。

1.2 轮胎滚动阻力数学模型

由上述分析可知, 轮胎橡胶压缩变形引起的能量损失是滚动阻力的主要形式, 其关系式为^[3]

$$W = 2\pi rkF \quad (8)$$

式中 r ——轮胎半径;
 k ——滚动阻力中压缩变形能量损失所占比例;
 F ——滚动阻力。

将式(6)和(7)带入式(8)得轮胎滚动阻力的数学公式为

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2\pi rk} \int_V W_t dV = \frac{1}{2rk} \int_V E'' \epsilon_0^2 dV \\ &= \frac{1}{4rk} \int_V E' \epsilon_0^2 \tan \delta dV \end{aligned} \quad (9)$$

2 11R22.5 轮胎带束层结构对滚动阻力影响的有限元分析

对无内胎全钢载重子午线轮胎 11R22.5 的 2 种带束层结构——3 层带束层加 2 层 0° 带束层结构和 4 层带束层结构, 采用轮胎有限元分析软件 TYSYS 和 TYABAS 进行轮胎滚动阻力的仿真计算。

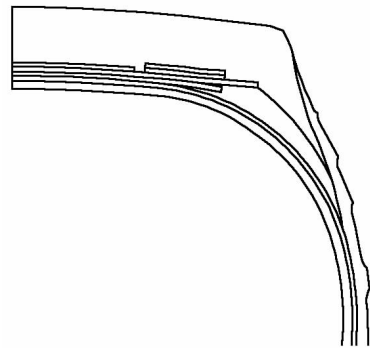
对这 2 种带束层结构的轮胎进行滚动阻力有限元分析时, 有如下假设:

- (1) 轮胎所用的胶料是不可压缩的;
- (2) 不考虑温度引起的体积效应(体积膨胀);
- (3) 不考虑热力耦合。

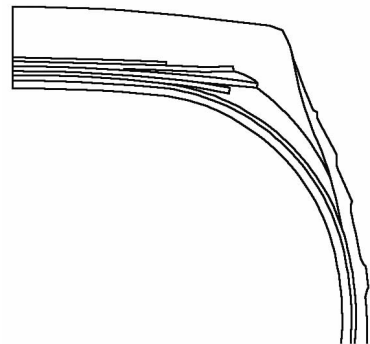
图 1 所示为 11R22.5 轮胎不同带束层结构轮胎胎冠部位的材料分布。除了带束层结构不同外, 2 种结构轮胎的其他部分都相同。

图 2 所示为 11R22.5 轮胎不同带束层结构二维半断面轮胎的网格划分, 节点数与单元数对比见表 1。

在对 11R22.5 不同带束层结构轮胎进行有限元分析计算时, 分别采用了 2 种胎面胶料, 共 4

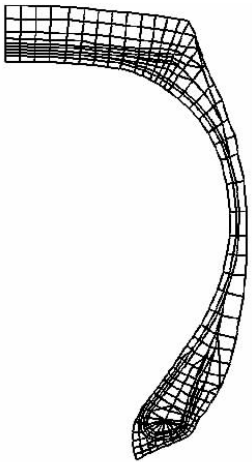


(a) 3 层带束层加 2 层 0° 带束层结构

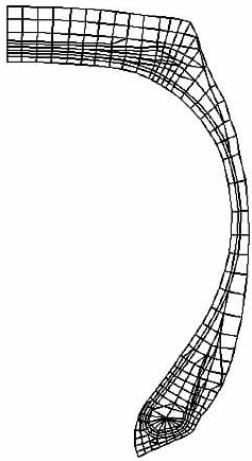


(b) 4 层带束层结构

图 1 不同带束层结构轮胎胎冠部位的材料分布



(a)3 层带束层加 2 层 0°带束层结构



(b)4 层带束层结构

图 2 不同带束层结构二维半断面轮胎的网格划分

表 1 2 种带束层结构轮胎的节点数与单元数对比

方 案	节点数	单元数
3 层带束层加 2 层 0°带束层结构	415	383
4 层带束层结构	416	385

种计算方案,方案及滚动阻力系数计算结果见表 2。从表 2 可以看出,在胎面胶料相同的情况下,3 层带束层加 2 层 0°带束层结构轮胎的滚动阻力系数都低于 4 层带束层结构轮胎。

3 试验测试

为验证上述仿真计算结果的正确性,按照

表 2 4 种方案及计算结果对比

方 案	带束层结构	胎面胶料	滚动阻力系数计算
			结果×10³
1	4 层带束层结构	A	6.75
2	4 层带束层结构	B	6.59
3	3 层带束层加 2 层 0°带束层结构	B	6.37
4	3 层带束层加 2 层 0°带束层结构	A	6.54

GB/T 18861—2002《汽车轮胎滚动阻力试验方法》,用转鼓试验机实际测试上述 4 种方案轮胎的滚动阻力值并换算成滚动阻力系数。为了便于比较计算结果与测试结果,仿真计算条件与试验测试工况基本相同。方案 1~4 滚动阻力系数测试值(×10³)分别为 6.94,6.52,6.36 和 6.82。由测试结果可见,在胎面胶料相同的情况下,3 层带束层加 2 层 0°带束层结构轮胎的滚动阻力系数都低于 4 层带束层结构轮胎,与仿真计算结果吻合。

4 结语

轮胎的滚动阻力受材料特性、使用工况和轮胎结构等各种因素的影响,有限元分析技术是研究轮胎滚动阻力的有效手段。本工作从仿真计算入手,结合实际测试,研究了带束层结构对轮胎滚动阻力的影响。结果表明,在胎面胶料相同的情况下,3 层带束层加 2 层 0°带束层结构轮胎的滚动阻力低于 4 层带束层结构轮胎的滚动阻力。

参考文献:

[1] Cachet P,Petit D,Barriquand L,et al. Interest of Highly Dispersible Precipitated Silica in Tire Application[A]. Rubber Division 156th Technical Meeting, Orlando,Florida,1999;76.
[2] 许晓晶.低滚动阻力载重子午线轮胎的开发[J].轮胎工业,2012,32(1):22-25.
[3] 崔玉福,郑慕侨.负重轮胎滚动阻力数学模型及分析[J].兵工学报,1998,19(4):289-292.
[4] P.K.弗雷克利.橡胶在工程应用中的理论与实践[M].杜承泽,等译.北京:化学工业出版社,1985.

Finite Element Analysis for the Effect of Belt Structure on the Rolling Resistance of 11R22.5 Tire

ZHANG Chun-sheng^{1,2}, SHAN Shao-zhi², WANG You-shan³

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China; 2. Hangzhou Chaoyang Rubber Co., Ltd, Hangzhou 310018, China; 3. Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: The effect of belt structure on the rolling resistance of 11R22.5 tire was investigated by using finite element analysis (FEA) software TYSYS and TYABAS. The results showed that, compared with the tire with 4 layers of belt, the rolling resistance of tire with 3 layers of original belt and additional 2 layers of 0° belt was lower. The FEA results were confirmed by the experimental test.

Key words: tire; belt structure; rolling resistance; finite element analysis

乘用车轮胎气压监测系统有望近期立项

中图分类号: TQ336.1; TP216 文献标志码: D

2013 年 3 月 1 日, 国家标准化管理委员会对拟立项的《乘用车轮胎气压监测系统 (TPMS) 的性能要求和试验方法》国家标准项目公开征求意见。征求意见截止时间为 2013 年 3 月 31 日。

汽车在高速行驶过程中, 轮胎故障是突发性交通事故发生的重要原因。据统计, 高速公路上发生的交通事故有 70%~80% 由爆胎引起。研究显示, 子午线轮胎缺气不大于 25% 时难以靠人为观察判断, 85% 的轮胎存在胎压不正常的问题。TPMS 主要可在汽车行驶时实时监测轮胎气压, 并能对轮胎漏气和高低气压报警, 是驾车者、乘车人的生命安全保障预警系统。

近年来, 我国 TPMS 产业发展迅速, 自主研发的 TPMS 产品已达到国际先进水平, 具有静态和高速可靠接收、即时反应、低功耗、长寿命等特点。制定技术指标先进、性能要求合理、试验方法严密的 TPMS 强制性国家标准, 将对规范和引导 TPMS 产业健康发展起促进作用, 消费者不仅能享受到高性能和高品质产品, 还可杜绝过时技术和低水平产品充斥市场。

据悉, 该项标准将规定 TPMS 的性能要求、试验方法以及系统的整车安全性能。

(北京橡胶工业研究设计院 李红伟)

横滨预测轮胎需求增长

中图分类号: TQ336.1; F27 文献标志码: D

美国《橡胶和塑料新闻》(www.rubbernews.com) 2013 年 1 月 4 日报道:

横滨轮胎公司执行官表示, 为了与经济复苏步调保持一致, 工业需要实现供需更平衡, 2012 年美国商用轮胎需求略有增长。

据美国橡胶制造商协会 (RMA) 预测, 2013 年载重替换胎出货量将比 2012 年增长约 2%, 达到 1 630 万条。横滨是 RMA 成员之一, 其对市场预测与 RMA 的预测相似。

RMA 表示, 由于运输车队选择对其全部车辆进行升级换代, 2012 年载重替换胎出货量下降了 5%。这种趋势导致 2012 年载重原配胎出货量上升了 5% 以上, 达到 520 万条。

横滨商用轮胎销售经理 Rick Phillips 声称, 对于 2014 年及以后, 横滨预测替换胎市场对载重轮胎的需求将重新引起关注。Phillips 表示, 运输车队的发展和国内生产总值 (GDP) 的增长与替换胎市场对载重轮胎的需求关系虽然不很大, 但足够引起需求量发生变化。

Phillips 还表示, 住宅供给正呈现改善迹象, 同时东海岸桑迪飓风过后的重建, 都将有助于货物运输业的恢复。

(赵敏摘译 吴秀兰校)