

平衡内轮廓原理浅析子午线轮胎质量问题

刘伯忠¹, 何晓玫², 李德新³

(1. 赛轮金宇集团股份有限公司, 山东 青岛 266550; 2. 北京橡胶工业研究设计院, 北京 100143; 3. 海南先进天然橡胶复合材料工程研究中心有限公司, 海南 海口 570000)

摘要:根据平衡内轮廓原理探讨传统经验设计在子午线轮胎应用中易出现的早期损坏问题和原因。根据平衡内轮廓理论设计的轮胎充气后受力均匀、变形小; 而凭借传统经验设计的轮胎轮廓如果不是平衡轮廓, 轮胎充气后, 出现高变形、高生热, 导致轮胎早期损坏。因此, 轮胎设计应以平衡轮廓设计理论为依据, 并结合有限元分析优化施工设计。

关键词:子午线轮胎; 结构设计; 平衡内轮廓理论; 内压应力; 早期损坏

中图分类号: TQ336.1⁺1; U463.341⁺.6 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-8171(2015)10-0611-04

我国虽然是世界子午线轮胎生产企业最多的国家, 但拥有核心技术的工厂却很少, 主要是引进技术的延伸并结合传统经验设计, 凭借经验选取设计参数进行外轮廓设计, 产品的问题在市场上逐渐显现, 如市场反馈轮胎出现断面水平轴位置涨大(胎侧位置胀大, 俗称“大肚子”)的现象。“大肚子”轮胎有三高: 高变形、高生热、高损坏率(高理赔率), 三者之间有必然联系。

有人认为“大肚子”现象是为了提高高速性能而减薄轮胎胎面及肩部厚度导致的, 其主要原因之一是成型工艺放大平宽, 但实际这却不是根本原因, 而其往往与轮廓设计有关。

轮胎在使用中肩部生热高会导致早期损坏。以使用最多的 12R22.5 载重子午线轮胎为例, 轮胎生命周期以 20 万 km、车速以 100 km · h⁻¹ 计算, 轮胎要经受 6 280 万次屈挠变形, 其变形频率高达 525 r · min⁻¹。轮胎每转一周均要发生拉伸、压缩、剪切和屈挠形变, 如果轮胎内轮廓不是平衡轮廓, 则充气后形变大, 在高频率的拉伸、压缩和屈挠等形变下往往由于高形变引起高生热, 缩短使用寿命, 导致高理赔率。

1 表象分析

轮胎在使用中有各种质量反馈, 如轮胎升温

明显时往往伴随有“大肚子”现象。温升高需检查配方等方面的原因, 为提高高速性能, 需采用低生热的肩垫胶配方等降低轮胎生热; 结构设计不合理也会导致轮胎变形大、生热高。

1.1 轮胎充气后变形情况

轮胎充气后拉伸变形大, 在负荷下压缩变形加大, 高频率的形变使生热加剧, 导致轮胎提前损坏, 如早期出现沟底裂等现象, 如图 1 所示。轮胎的 4 条主沟均出现了沟底裂病象, 纵向裂纹深 2.0~2.5 mm, 且在沟底部都出现了向横向花纹块蔓延的小裂纹, 横向裂纹深约 0.5 mm, 边沟裂纹严重。

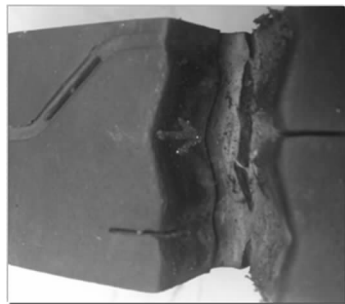


图 1 花纹沟底裂

由于橡胶是几乎不可压缩材料, 因此当承受纵向拉伸载荷时横向将会发生收缩, 而当承受垂直压缩载荷时将会向四周膨胀, 轮胎滚动会使肩部的应力增大, 此时剪切力方向向内, 而滑移位向外^[1]。如果内轮廓不是平衡轮廓, 轮胎充气后

作者简介:刘伯忠(1972—), 男, 河北滦县人, 赛轮金宇集团股份有限公司工程师, 学士, 主要从事轮胎结构设计工作。

花纹沟的变化较大,增大了肩部横向应力,易导致沟底裂、不规则磨损等早期损坏。

1.2 轮胎花纹沟宽度变化分析

轮胎早期损坏,如沟底裂,往往是花纹沟宽度变化最大之处最易出现问题。沟底裂的成因很多,如纵向裂和横向裂成因不同,这里仅探讨纵向裂问题,花纹沟变化直接反映轮胎胎冠区轮廓的变化。轮胎充气后花纹沟宽度变化分为5种,变化范围分别为0~0.5,0.5~1.0,1.0~1.5,1.5~2.0,2.0~2.5 mm。

轮胎充气后花纹沟宽度的变化从第3种开始比较严重,轮胎损坏病象较多,如早期沟底裂,胎面畸形磨损、快速磨损和胎肩脱层等。

花纹沟宽度的变化与花纹块的形式有关,对于相同结构的轮胎,4条条形花纹沟宽度的变化往往比3条曲折花纹沟大。

轮胎在负荷行驶接地时受到压缩而变形,花纹沟宽度减小,如图2所示,轮胎变形会加速损坏。充气后轮胎花纹呈齿轮状,增大了轮胎沟底裂的发生几率。

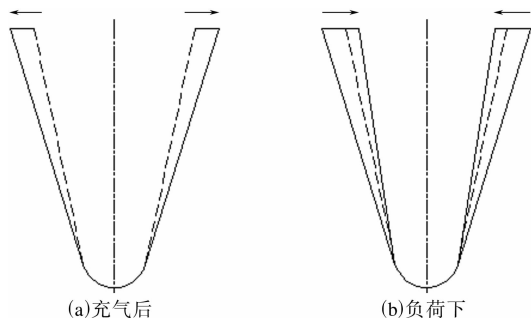


图2 轮胎花纹沟宽度变化示意

市场上出现沟底裂等问题的轮胎往往反映有“大肚子”现象,而“大肚子”轮胎充气后变形较大。

这里所说的“大肚子”轮胎,充气后断面宽往往符合国家标准,但由于充气后轮胎花纹及肩部变形大,轮胎在负荷下滚动时各部位所受应力变化较大。

充气后花纹沟宽度的变化不仅与花纹样式有关,而且与结构设计也有关系,轮胎结构设计不合理,充气后达到的平衡会导致轮廓变形较大。

花纹沟宽度变化与花纹样式、带束层宽度与行驶面宽度之比、着合宽度选取基准点与轮胎充气后的基准点是否匹配、模型轮廓设计基准的选

取、0°带束层帘线的伸张和肩部材料分布等因素有关。其中最主要的是内轮廓的设计,如果设计的内轮廓不是平衡轮廓,则会导致轮胎充气后变形增大,使用中生热高,引起轮胎早期损坏。

近年来由于轮胎进一步向扁平化发展,从轮胎的应力分布和工艺需要考虑,轿车子午线轮胎普遍采用加宽轮辋设计。同样,随着轮胎扁平化,载重子午线轮胎为了增大侧向刚性,也有采用加大着合宽度的设计,有的增大25.4 mm以上,但加大着合宽度设计应结合轮胎系列及目标市场的使用情况而定,否则弊端很多,如果设计不当,则会导致轮胎负荷下变形加剧,造成升温高等问题。

分别把轮胎装在不同尺寸的轮辋上,断面宽的变化规律是普遍熟知的,其断面水平轴也随着变化。轮辋宽度增大25.4或12.7 mm时,轮胎充气状态下轮廓扫描显示,轮胎充气后实际基准点与设计轮廓的基准点有很大差异,导致轮胎充气后各部位承受内压应力变化较大。

2 从平衡内轮廓原理讨论轮胎变形的影响因素

传统的经验设计是先设计外轮廓,再绘制确定内轮廓,而平衡内轮廓理论(已发展到非自然平衡轮廓)是在充气薄膜理论的基础上,利用平衡轮廓的公式计算,针对子午线轮胎结构设计重要参数优化和轮廓设计优化研究发展起来的子午线轮胎实用设计理论,在此基础上进行有针对性的有限元分析。

平衡内轮廓理论计算公式如下^[2]:

$$\rho = \frac{r_k - r_m}{2r} \quad (1)$$

$$z = \int_r^{r_k} \frac{r^2 - r_m^2}{[(r_k^2 - r_m^2)^2 - (r^2 - r_m^2)^2]^{1/2}} dr \quad (2)$$

式中 ρ ——内轮廓曲率半径;

r_k ——胎里半径;

r_m ——零点半径;

z, r ——内轮廓任意点的纵坐标、半径。

充气状态下骨架材料所受力为带束层周向力(T_b)、胎体帘线张力(T_c)和钢丝圈周向力(T_B),子午线轮胎内压应力计算公式如下^[3]:

$$T_b = \frac{S_0 - r_k^2 + r_m^2}{1 - \frac{r_k^2 - R_D^2}{2b_D r_k}} P \quad (3)$$

$$T_B = \frac{S_0 P - T_b}{2} \tag{4}$$

$$T_C = \frac{2\pi}{N} T_B \tag{5}$$

其中 $S_0 = 2r_m b + \frac{\pi}{2} ab$

式中 P ——轮胎充气压力；
 R_D ——带束层支撑宽度边缘点半径；
 b_D ——带束层支撑宽度之半；
 N ——胎体帘线总根数；
 a, b ——椭圆内轮廓曲线的径向半径、轴向半径。

2.1 充气后内压应力与结构设计参数的关系

充气后内轮廓不同, 轮胎各部位骨架材料受力也不同。根据式(3)~(5)计算的 12R22.5 轮胎充气后带束层承担应力比例如表 1 所示。

表 1 12R22.5 轮胎结构设计参数与充气后带束层承担应力比例

项 目	经验设计	平衡轮廓设计
结构设计参数/mm		
轮辋点半径	331.65	340.00
断面半宽	152.50	149.00
轮辋半径	284.75	285.00
r_m	397.50	400.00
带束层承担应力比例/%	69.80	71.49

从表 1 可以看出: 平衡轮廓设计轮胎的箍紧系数和支撑宽度大, 充气后带束层承担总内压应力较大, 轮胎充气后变形系数相对小; 而经验设计轮胎的带束层承担总内压应力较小, 相应地胎体和胎圈部位所受的内压应力就会较大, 导致胎圈、胎肩及胎冠部位变形增大, 易出现早期损坏问题。

2.2 经验设计与平衡内轮廓设计对比

12R22.5 轮胎经验设计与平衡内廓设计对比如图 3 所示。设计轮廓不是平衡内轮廓, 重载下断面宽增大, 双胎并装时, 间距小, 散热慢, 容易导致轮胎早期损坏。

内轮廓如果不是平衡轮廓设计, 轮胎充气后变形达到新的平衡, 则在使用中有的部位拉伸及压缩变形增大, 导致生热加剧。

2.3 根据平衡内轮廓计算公式及模型尺寸确定产品的设计合理性

平衡轮廓与非平衡轮廓对比如图 4 所示。从

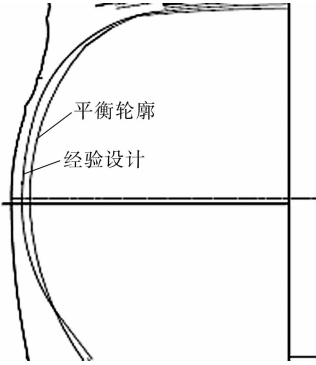


图 3 12R22.5 轮胎设计轮廓对比

图 4 可以看出, 经过计算平衡轮廓设计出的轮胎具有明显的优点, 其断面水平轴设计合理, 而非平衡轮廓设计的轮胎胎体所受周向应力增大, 充气后胎冠部位变形增大, 容易导致花纹沟宽度变化。

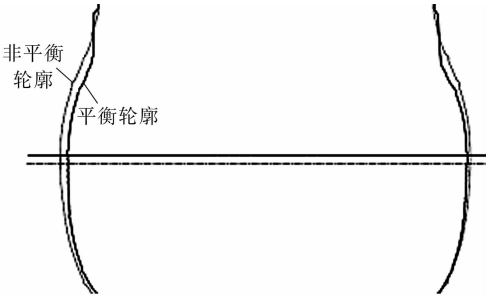


图 4 平衡轮廓与非平衡轮廓对比

2.4 轮胎充气后内轮廓的技术参数变化

平衡轮廓与非平衡轮廓设计的轮胎充气前后的轮廓对比如图 5 所示。从图 5 可以看出, 平衡轮廓轮胎充气前后基准变化很小, 充气后轮胎各部位变形小, 轮胎在使用中的生热小, 而非平衡轮廓轮胎充气后基准点变化大, 为了达到新的平衡, 其变形较大, 胎圈部位受力大, 肩部变形由于胎体所受周向应力增大而加剧, 导致胎冠部位变形加大、生热高, 易造成轮胎早期损坏。

3 加工工艺对轮胎变形的影响

经验设计的内轮廓是由外轮廓决定的。内轮廓形状与施工设计有关, 如垫胶过渡不好、胎体帘线上抽等会导致肩部过渡不好, 胎里容易出现不平现象, 充气后花纹沟变化较大, 这是轮胎内轮廓不平衡的表象之一。即使平衡内轮廓设计也需根据实际工艺调整施工方案, 使之达到设计要求。由于工艺原因造成的胎里不平等轮胎在重载下,

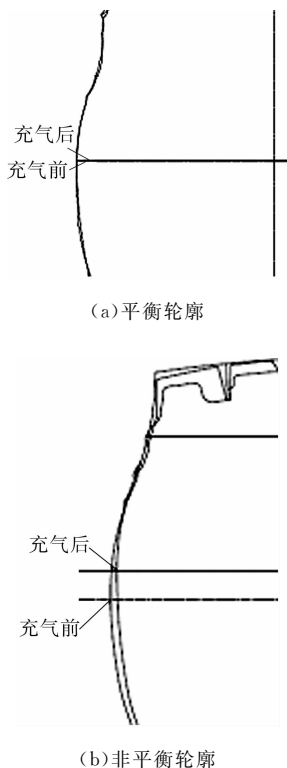


图5 平衡轮廓与非平衡轮廓设计轮胎
充气前后的轮廓对比

花纹沟由于肩部受力不均而被频繁压缩、拉伸,导

致生热高,易引发中后期胎肩脱层等问题。

4 结语

传统经验设计的产品可能会产生变形大、生热高的现象,容易出现胎肩脱层、沟底裂等问题,缩短轮胎的使用寿命。依据平衡内轮廓理论进行设计可有效地克服这种不确定性因素,保证产品设计的精确性。

通过实践经验的总结和文献研究认为,应采用以平衡轮廓设计理论为依托的设计思想和理念,根据平衡轮廓设计理论对各参数进行优化选取,建立以理论为依托并优化的实施方案,并结合有限元分析优化施工设计。

参考文献:

- [1] Pottinger M G. The Three-dimensional Contact Patch Stress Field of Solid and Pneumatic Tires[J]. Tire Science and Technology, 1992, 20(1): 3-32.
- [2] 俞洪, 丁剑平, 张安强, 等. 子午线轮胎结构设计与制造技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 105.
- [3] 隆有明. 子午胎内应力计算方法探讨[J]. 橡胶工业, 1986, 33(4): 1-6.

收稿日期: 2015-05-10

BFGoodrich KO2 轮胎 8 个月内 销量上百万

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) 2015 年 7 月 27 日报道:

不到 8 个月的时间, 米其林北美公司已在北美地区售出 100 万条 BFGoodrich 品牌全地形 T/A KO2 轮胎(见图 1)。

公司称, 自从这款轻型载重轮胎于 2014 年 11 月首次推出 12 个规格之后, 至今 KO2 轮胎已经扩大至 40 个规格, 在未来数月内该系列产品完成扩张, 还将有另外 21 个规格交付给 2 万多家权威经销商。新增规格于 8 月开始逐渐滚动推出, 该过程将持续至 10 月。

KO2 轮胎基于 BFGoodrich 的越野赛车技术设计, 韧性强劲, 苛刻条件(包括砂砾、泥土、石子、泥泞和雪地)下的胎面寿命和牵引性能提高。新的 KO2 轮胎增强了消费者在艰苦环境下工作和



图1 新的全地形 T/A KO2 轮胎

比赛的信心。

与上一代产品 KO 轮胎相比, 新的全地形 KO2 轮胎拥有轻型载重汽车车主所要求的轮胎应具有的所有性能。KO2 轮胎适合用于福特、雪弗莱、GMC、道奇、吉普、丰田和日产小型载货车和 SUV 以及其他多种类型的车辆。

KO2 轮胎是一款全天候轮胎, 拥有三峰雪花标记, 标志着该轮胎满足橡胶制造商协会严格的雪地牵引性能要求。

(马 晓摘译 许炳才校)