

215/75R16LT 12PR全钢子午线轮胎结构设计要点

王时豪, 秦艳分, 宋立, 杨和涛, 蔡习舟, 刘凤丽

(中策橡胶集团股份有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要:介绍215/75R16LT 12PR全钢子午线轮胎的结构设计要点。从强度、耐疲劳性能、耐磨性能和弯曲刚度等方面综合考虑选择胎体钢丝帘线;通过理论计算确定成型鼓宽度和钢丝圈绕盘直径;对内衬层厚度和帘布反包高度等结构参数进行调整,最终确定设计方案。成品轮胎性能试验结果表明,轮胎的充气外缘尺寸、强度、脱圈阻力、高速性能、耐久性能及低气压耐久性能均满足国家标准要求,自定义耐久性能和滚动阻力性能比同规格聚酯半钢子午线轮胎有一定优势。

关键词:全钢子午线轮胎;结构设计;钢丝胎体;耐久性能;滚动阻力

中图分类号:TQ336.1;U463.341⁺.6

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)07-0399-03

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.07.0399



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着近些年短途物流运输的快速发展,轻型载重汽车的市场需求急剧增大。同时轻型载重汽车的承载能力也在不断提高。零售市场上不少低承载能力的半钢子午线轮胎无法满足市场的需求,用户转而青睐全钢子午线轮胎;不少车辆生产企业对小规格轻型载重子午线轮胎提出了12层级的开发需求,传统的半钢子午线轮胎的承载能力难以达到要求。

钢丝帘线具有优异的抗冲击能力和强力指数,用作胎体骨架材料可以大幅度提升轮胎承载能力,减少轮胎过坎撞击损坏风险,且全钢子午线轮胎在降低滚动阻力方面也有一定的优势^[1-4]。

本文着重介绍215/75R16LT 12PR全钢子午线轮胎的结构设计要点。

1 胎体钢丝帘线的选择

全钢子午线轮胎的胎体无疑是最重要的部件,因此选择合适的胎体钢丝帘线尤为重要,这在很大程度上决定了轮胎的性能。

1.1 强度

由于层级提升为12PR,轮胎使用的最大充气压力也提升为650 kPa,根据薄膜-网络理论计算胎体安全倍数(k):

$$k = \frac{nt_n i_0 D_0}{p(r_k^2 - r_m^2)}$$

式中: n 为胎体帘布层层数, $n=1$; t_n 为单根帘线破断力,N; i_0 为帘线密度,根 \cdot dm⁻¹; D_0 为成型鼓直径, $D_0=465$ mm; p 为充气压力,kPa; r_k 为胎冠点半径,mm; r_m 为断面最宽点半径,mm。

设定 $k=8.0$ 时,轮胎胎体所需的强力系数为:

$$t_n \times i_0 = 42\ 400 \text{ (N} \cdot \text{dm}^{-1}\text{)}.$$

1.2 耐疲劳性能

与纤维帘线一样,钢丝帘线用于胎体时必须重点考虑耐疲劳性能。如果钢丝帘线耐疲劳能力不足,胎体反复变形后钢丝帘线会出现早期疲劳损坏,通常会在胎侧屈挠部位出现周向平整爆破。低断面小规格轮胎由于胎肩曲率大、行驶相同距离形变次数多,对耐疲劳性能的要求更严苛。

1.3 耐磨性能

出于钢丝帘线间剪切磨损考虑,全钢轮胎一般都是单层胎体设计。同时钢丝帘线单丝的排列结构对耐磨性能影响也很大,不宜使用普通型和带外缠丝结构的钢丝帘线。

普通型钢丝帘线的特点是单丝之间为点接触,接触紧密,胶料渗透性差;外缠丝可以使钢丝帘线排列紧密不松散,但会增加与外层钢丝帘线间的点接触剪切摩擦。这两种结构钢丝帘线在轮胎负荷运动时应力集中于单丝间点接触处,剪切应力造成摩擦,易导致钢丝帘线早期磨损断裂。

作者简介:王时豪(1992—),男,江西抚州人,中策橡胶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。

E-mail:1185060686@qq.com

1.4 弯曲刚度

钢丝帘线的弯曲刚度决定了胎体帘布的裁断工艺和成型反包工艺,弯曲刚度过低,裁断拼接困难,弯曲刚度过高,成型反包困难,应选择合适的胎体钢丝帘线弯曲刚度。

钢丝帘线的弯曲刚度与钢丝帘线结构、单丝直径、单丝强度、有无外缠丝有关。钢丝帘线的弯曲刚度越低,胎体帘布越容易反包,钢丝圈下端反包也更紧密,反包后的回弹力也较低,胎坯可存放周期更长,胎坯质量也更稳定。

综合考虑,选用贝卡尔特公司生产的1+5×0.18UT钢丝帘线,压延钢丝帘布的主要参数为:捻距(11±0.05)mm,捻向S,单丝直径

0.18mm,帘线直径0.54mm,线密度80根·dm⁻¹,破断力≥540N,镀层铜质量分数63.50%,镀层质量4.7g·kg⁻¹,弯曲刚度62N·mm²,压延厚度1.3mm。

2 相关结构设计

2.1 成型鼓宽度(B_s)

本轮胎开发采用二次法成型,一段为半鼓式成型鼓,B_s计算公式为

$$B_s = \frac{2L}{\delta_1} - 2(l - c) + U$$

式中,L为胎里内轮廓帘线长度,δ₁为帘线伸长系数,l为成型鼓鼓肩曲线长度,c为成型鼓鼓肩宽度,U为调整系数。

δ₁取决于胎体材料的性能和生产工艺,GB/T 19390—2014《轮胎用聚酯浸胶帘子布》中大部分聚酯材料的定负荷伸长率为4.5%,再考虑干热收缩和生产工艺的影响,通常半钢子午线轮胎δ₁取1.03左右。

而钢丝帘线的定负荷伸长率相对较小,故胎体钢丝帘线的δ₁取值需调小,本设计δ₁取1.02。

2.2 内衬层厚度

轮胎高速运转时,胎肩部位反复屈挠形变,不同于纤维骨架材料,较硬的钢丝帘线与较软的胶料刚度差异大,弯曲的幅度和频率会有协调差异,如果没有较厚较高模量的过渡层加气密层组合,肩部非常容易跳线,导致轮胎早期失效损坏。

本设计轮胎内衬层采用四辊压延法,过渡层

厚度为1.5mm,气密层厚度为1.5mm,复合后内衬层总厚度为3.0mm。

2.3 钢丝圈绕盘直径

在胎圈部位,为减缓钢丝圈与胎体钢丝帘线间的刚性挤压磨损,在钢丝圈外缠绕1层厚度为0.88mm的护布。增加了护布后钢丝圈的绕盘直径必须重新考虑,不合理的绕盘直径影响轮胎外观,会造成胎圈少料不平或料多出边等病疵;装配后还会造成轮辋滑移、保气性差或者胎圈磨破、损伤轮辋等问题。计算装配后钢丝圈底部轮辋到胎体的距离(T)与轮胎钢丝圈底部边界到胎体的距离(C)的比值(K),即嵌合压缩比,以考量绕盘直径的合理性。计算参数如图1所示,计算式如下。

$$K = \frac{T}{C}$$

$$T = \frac{d_c - d_b}{2} + A \tan \alpha - B$$

$$C = T - \left[\frac{d_r - d_b}{2} + A(\tan \alpha - \tan \beta) \right]$$

式中:d_c为绕盘直径,为414.5mm;d_b为胎圈着合直径,为404.8mm;A为钢丝圈底部中点到轮胎外侧的材料厚度,为10.93mm;α为令模一段角度,为10°;β为轮辋装配角度,为5°;B为钢丝圈底部中点刚性材料厚度,为0.54mm;d_r为轮辋直径,为406.4mm。

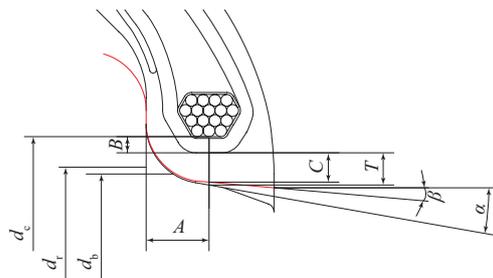


图1 嵌合压缩比公式计算相关参数示意

通过计算,k=1.40时钢丝圈底部材料的压缩较为合理。

2.4 胎体帘布反包高度

全钢子午线轮胎胎坯趾口空是常见问题,成品轮胎机床测试后也通常在帘布反包端点位置破坏,因此,成型时胎体帘布的反包至关重要。

胎体帘布反包端点设定过高时,胎圈刚性过大,刚性难以平缓过渡;过低时胎体帘布反包后容易回弹;同时端点也需避开轮辋接触点位置。因

此本轮胎胎体帘布反包端点设计在轮辋接触点与三角胶端点之间。其次,在胎体帘布反包后的外侧贴合了1层锦纶66增强层,在平缓过渡刚性的同时束缚反包帘布的回弹。此外,为了增强胎体帘布反包粘合力,在帘布内侧与三角胶之间贴合了1层胶片,并提高了三角胶的粘性。

3 成品轮胎性能

(1) 轮胎外缘尺寸按照GB/T 521—2012进行测量;强度、脱圈阻力、高速性能、耐久性能及低气压耐久性能按照GB/4501—2016进行测试,均满足国家标准要求。

(2) 自定义耐久性测试方法:参照GB/4501—2016运行34 h后,测试速度减至 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 并保持恒定,之后每4 h增大10%的负荷,负荷增大到200%时不再增大,直到轮胎损坏。全钢子午线轮胎和半钢子午线轮胎(同规格同层级双层聚酯1670dtex/2DSP胎体)的耐久性试验累计行驶时间分别为82.33和60.57 h,试验结束时轮胎状态分别为趾口端裂口和胎冠爆破。

半钢子午线轮胎行驶60.57 h结束测试时,测试负荷未达到200%已提前损坏;而全钢子午线轮胎测试负荷达到200%后仍持续测试了16 h。由于所选胎体钢丝帘线合适,设计合理,全钢子午线轮胎的承载能力和耐久性能优于半钢子午线轮胎。

(3) 滚动阻力按照ISO 28580:2009进行测试。全钢子午线轮胎和半钢子午线轮胎的滚动阻力系数分别为8.1和 $8.6 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$ 。

虽然两种轮胎质量相当,但由于全钢子午线轮胎胎侧弯曲变形较小,加之单层胎体帘布的原因,材料间的磨擦生热也较低,全钢子午线轮胎的滚动阻力系数略小于半钢子午线轮胎。

4 结语

215/75R16LT 12PR全钢子午线轮胎的开发,虽然主体部分只有胎体骨架材料发生变更,但会连锁造成其他一系列结构、材料、工艺参数等变化,本文对结构设计方面的变化要点作了阐述。成品轮胎性能测试结果表明,全钢子午线轮胎相对半钢子午线轮胎在耐久性能和滚动阻力性能方面具有明显优势。

参考文献:

- [1] 俞洪. 子午线轮胎结构与制造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:136-140,173.
- [2] 吕龙,李宁,荣英飞,等. 轮胎胎圈压力仿真方法研究[J]. 轮胎工业,2016,36(12):716-719.
- [3] 孙庆红,冯勇,王君,等. 全钢载重子午线轮胎装配线裂口和胎圈脱空原因分析及解决措施[J]. 轮胎工业,2007,27(2):106-108.
- [4] 陶森望,宋健,徐丹丹,等. 基于自定义特征的子午线轮胎结构参数化系统的设计[J]. 橡胶工业,2021,68(7):483-490.

收稿日期:2023-03-12

Key Points of Structure Design on 215/75R16LT 12PR All-steel Radial Tire

WANG Shihao, QIN Yanfen, SONG Li, YANG Hetao, CAI Xizhou, LIU Fengli

(Zhongce Rubber Group Co., Ltd, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The key points of structure design on 215/75R16LT 12PR all-steel radial tire were introduced. The steel cord of carcass was selected from the aspects of strength, fatigue resistance, wear resistance, and bending stiffness. The width of the building drum and the diameter of the steel wire coil were determined through theoretical calculation. The structural parameters such as the thickness of the inner liner and turn-up height of the cord fabric were then adjusted to give the final design of the tire. The test results of the finished tire showed that, the inflated peripheral dimension, strength, bead unseating resistance, high-speed performance, durability, and low air pressure durability of the tire all met the requirements of national standards. Moreover, compared with the steel-belted radial tire of the same specification but with polyester cords, the tire durability obtained in a customized test and rolling resistance of the 215/75R16LT 12PR all-steel radial tire with steel cords had certain advantages.

Key words: all-steel radial tire; structure design; steel cord carcass; durability; rolling resistance