

# 无内胎全钢载重子午线轮胎不同排列钢丝圈结构的有限元分析

王泽君<sup>1</sup>,王红彦<sup>1</sup>,王友善<sup>2</sup>

(1. 中策橡胶集团有限公司,浙江 杭州 310018;2 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:**使用轮胎专用有限元分析软件TYSYS, TYABAS和TYABAS-POST,针对无内胎全钢载重子午线轮胎不同排列结构的钢丝圈进行有限元分析对比。结果表明,左斜七边形钢丝圈受力性能优于六边形钢丝圈和右斜七边形钢丝圈。室内试验结果验证了有限元分析结果的正确性。

**关键词:**无内胎;全钢载重子午线轮胎;钢丝圈结构;有限元分析

**中图分类号:**TQ336.1<sup>+</sup>1;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-8171(2018)04-0200-05

全钢载重子午线轮胎的胎圈由多种部件组成,是非常关键的部位。与斜交轮胎的径向扩张型胎圈结构相比,全钢载重子午线轮胎的胎圈结构属于L扭转扩张型胎圈结构,所承受的内压应力及负荷下的附加应力比同等规格的斜交轮胎高30%~50%,需要很高的支撑刚度。全钢载重子午线轮胎的胎圈组成部件比斜交轮胎多,结构设计也复杂得多<sup>[1-2]</sup>。

充气轮胎的钢丝圈对胎体帘布起径向约束作用。轮胎充气后胎体帘线产生与内压作用相平衡的张力,胎圈部位中此张力的径向分力则由钢丝圈所产生的径向约束力平衡。而径向约束力的产生与钢丝圈周向受到一定张力是分不开的<sup>[1]</sup>。因此,钢丝圈是全钢载重子午线轮胎胎圈部位中的重要部件。

本工作采用有限元分析方法,使用轮胎专用有限元分析的前处理软件TYSYS, TYABAS和后处理软件TYABAS-POST,以大型三维非线性有限元通用软件ABAQUS的隐式求解器STANDARD作为计算工具,从无内胎全钢载重子午线轮胎的不同排列钢丝圈结构出发,进行多种排列结构的钢丝圈受力分析,并利用室内试验验证仿真计算结果的正确性。

**作者简介:**王泽君(1971—),男,黑龙江林口县人,中策橡胶集团有限公司高级工程师,硕士,主要从事全钢子午线轮胎的技术管理、结构设计与有限元分析工作。

## 1 方案设计

全钢载重子午线轮胎的钢丝圈既有圆形断面,也有矩形断面和多边形断面。而制造钢丝圈的胎圈钢丝本身也是既有圆形断面,也有矩形断面。本工作仅探讨无内胎全钢载重子午线轮胎的圆形胎圈钢丝单根缠绕形式的钢丝圈性能的有限元分析和结构优化。钢丝圈制造采用英国-美国国家标准公司生产的钢丝圈缠绕机,将1.42, 1.55, 1.65和1.83 mm等不同直径的镀青铜高延伸的单根胎圈钢丝经过挤出机覆胶,通过计算机程序控制在钢丝圈卷成盘上缠绕成具有特定断面形状的钢丝圈。

为了研究无内胎全钢载重子午线轮胎不同排列钢丝圈结构的受力情况,本工作对4种排列方式进行分析对比,如图1所示。

方案A是引进技术中的一种类似排列方式(右斜七边形),方案B是现生产的设计方式(规则六边形),方案C和D为改进设计方案(左斜七边形)。方案A—D钢丝圈总根数分别为65, 65, 65和63。

## 2 有限元模型的建立

### 2.1 前处理及计算条件

为了便于结果比较,在前处理工作中,无内胎全钢载重子午线轮胎的二维全断面具有相同的节点数和单元数,即有2 065个节点,1 952个单元,如图2所示。轮胎周向划分为74个断面,如图3所

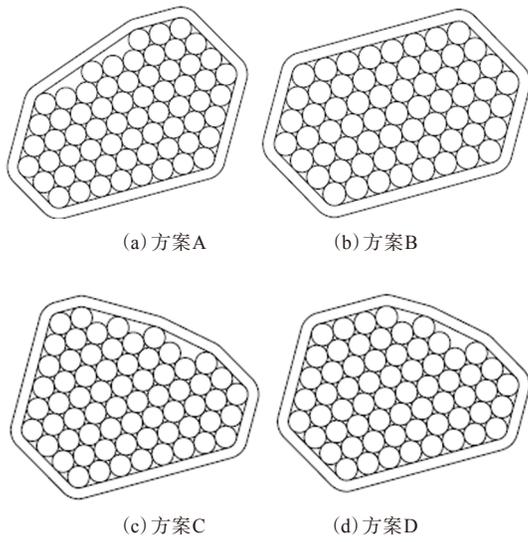


图1 4种结构钢丝圈的排列方式

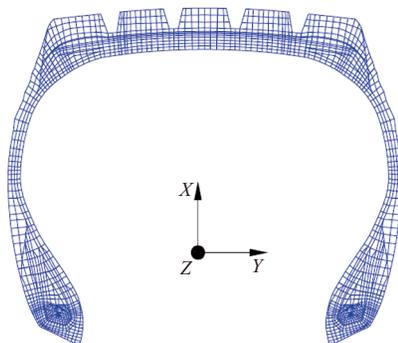


图2 轮胎二维全断面网格模型

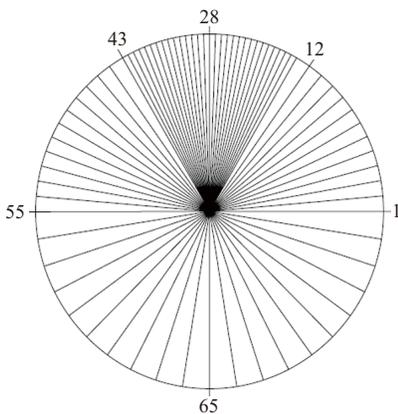


图3 轮胎周向断面划分

示,其中第28断面为接地中心断面。

计算步骤及计算条件如下。

第1步:进行充气状态的二维计算,充气压力为900 kPa。

第2步:进行静载状态的三维计算,载荷为

3 550 kg,充气压力为900 kPa。

在以下的钢丝圈受力结果中,S11表示X方向受到的正应力,S22表示Y方向受到的正应力,S33表示Z方向受到的正应力。

### 2.2 胎圈部位网格划分及钢丝圈形状

胎圈部位的网格划分及钢丝圈的节点编号和单元编号分别如图4和5所示。4种方案轮胎右轮辋钢丝圈形状如图6所示。

## 3 结果与分析

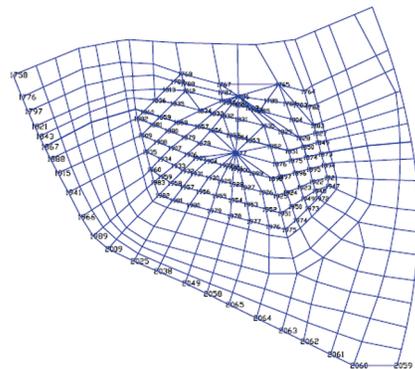
### 3.1 二维计算的应力最大值

4种方案轮胎二维计算的胎圈部位应力分布分别如图7—10所示。

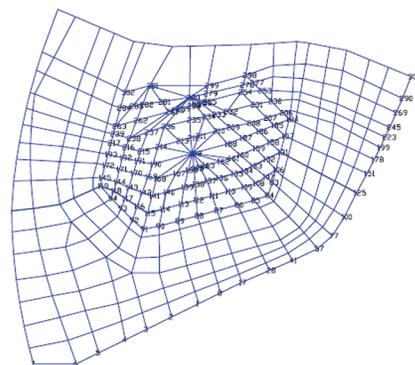
从二维计算的应力最大值可以看出:

(1)在钢丝圈的钢丝根数相同时(65根),S33的最大值按照方案A,B,C的顺序降低;

(2)方案D轮胎钢丝圈的钢丝根数比其他3个方案少2根(63根),其S33的最大值高于方案C,但仍低于方案A和B;

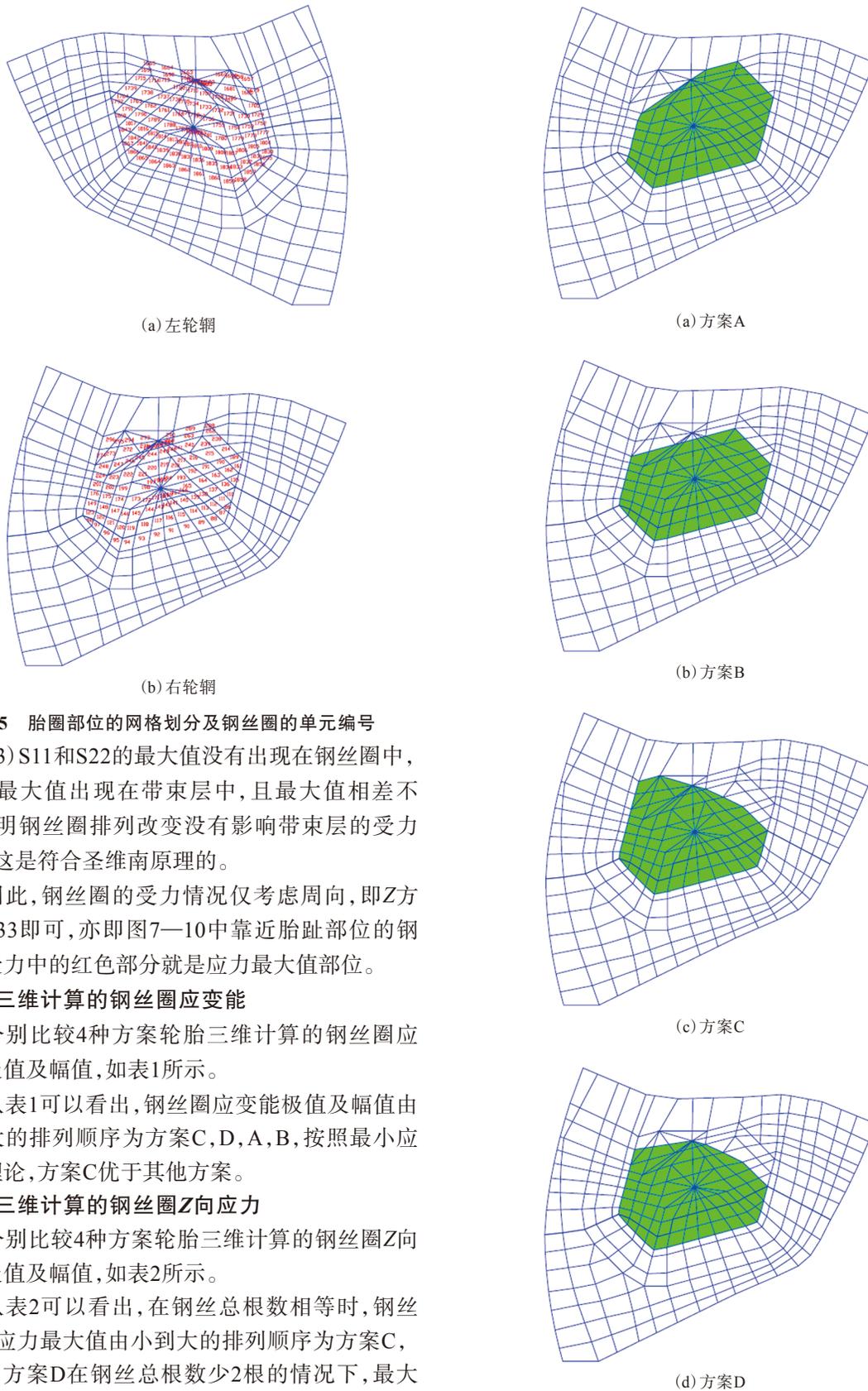


(a) 左轮辋



(b) 右轮辋

图4 胎圈部位网格划分及钢丝圈的节点编号



(a) 左轮辋

(a) 方案A

(b) 右轮辋

(b) 方案B

(c) 方案C

(d) 方案D

图5 胎圈部位的网格划分及钢丝圈的单元编号

(3) S11和S22的最大值没有出现在钢丝圈中, S11的最大值出现在带束层中, 且最大值相差不大, 说明钢丝圈排列改变没有影响带束层的受力情况, 这是符合圣维南原理的。

因此, 钢丝圈的受力情况仅考虑周向, 即Z方向的S33即可, 亦即图7—10中靠近胎趾部位的钢丝圈受力中的红色部分就是应力最大值部位。

### 3.2 三维计算的钢丝圈应变能

分别比较4种方案轮胎三维计算的钢丝圈应变能极值及幅值, 如表1所示。

从表1可以看出, 钢丝圈应变能极值及幅值由小到大的排列顺序为方案C, D, A, B, 按照最小应变能理论, 方案C优于其他方案。

### 3.3 三维计算的钢丝圈Z向应力

分别比较4种方案轮胎三维计算的钢丝圈Z向应力极值及幅值, 如表2所示。

从表2可以看出, 在钢丝总根数相等时, 钢丝圈Z向应力最大值由小到大的排列顺序为方案C, A, B。方案D在钢丝总根数少2根的情况下, 最大值略大, 但幅值却最小。

图6 4种方案右轮辋钢丝圈形状

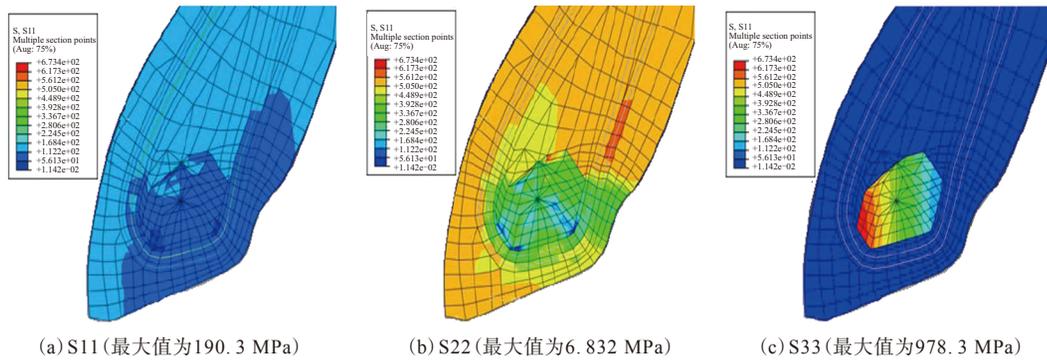


图7 方案A轮胎胎圈部位应力分布

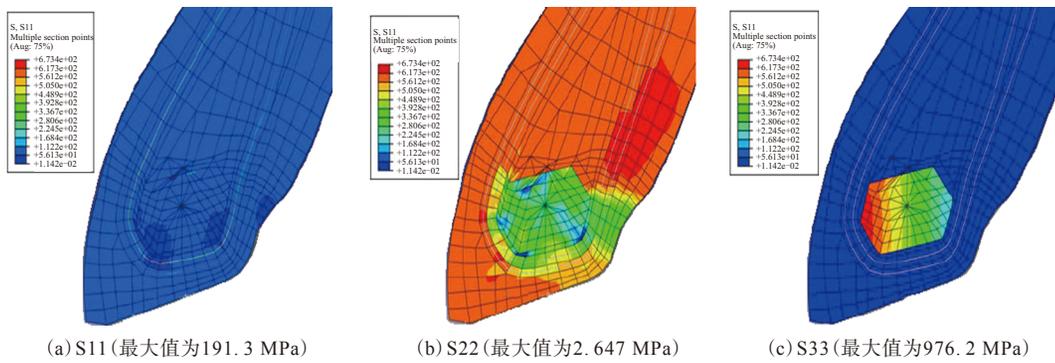


图8 方案B轮胎胎圈部位应力分布

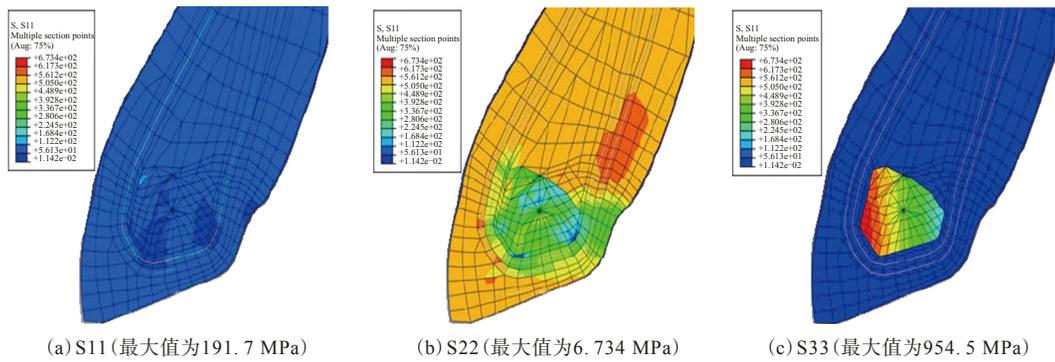


图9 方案C轮胎胎圈部位应力分布

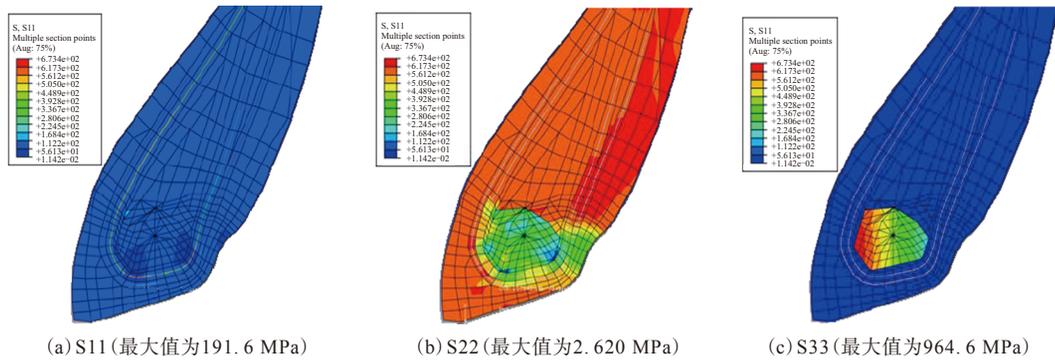


图10 方案D轮胎胎圈部位应力分布

表1 4种方案钢丝圈应变能极值及幅值对比 J

项 目	方案A	方案B	方案C	方案D
最大值	3.323	3.327	3.229	3.266
最小值	0.003	0.003	0.004	0.004
幅值	3.320	3.324	3.225	3.262

表2 4种方案钢丝圈Z向应力极值及幅值对比 MPa

项 目	方案A	方案B	方案C	方案D
最大值	987.3	996.0	983.8	988.4
最小值	-113.4	-90.02	-120.6	-91.31
幅值	1 100.7	1 086.02	1 104.4	1 079.71

#### 4 成品试验

使用方案C的65根左斜七边形钢丝圈进行无内胎全钢载重子午线轮胎试制。与方案B的65根规则六边形钢丝圈轮胎胎圈耐久性能试验结果(188 h,胎圈上端裂)相比,方案C轮胎(264 h,未损坏)提高较多。在水压爆破试验中,方案B轮胎的钢丝圈断裂,而方案C的钢丝圈没有断裂。

#### 5 结语

经过有限元分析,并经成品轮胎室内试验验证,可以得到如下结论。

(1)从钢丝圈受力及应变能结果来看,方案

A,B,C的钢丝圈总根数虽然相同,但由于排列方式不同,导致方案C的钢丝圈安全倍数最大(应力极值和应变能最小),这说明对引进技术(方案A)需要进行批判地吸收,对不合理之处应进行适当调整。

(2)从方案B和D的钢丝圈受力及应变能结果来看,在保持钢丝圈安全倍数基本不变的情况下,可以适当减小钢丝圈总根数,降低设计及生产成本(至少3%)。

方案C的改进钢丝圈结构在中策橡胶集团有限公司的无内胎全钢载重子午线轮胎中进行了多年的实际使用,2016年达到最高年产量近400万条,尚未反映出由钢丝圈本身引起的不良现象。新钢丝圈结构已申请并获得了国家发明专利和实用新型专利(专利号分别为CN 102107590A和CN 201922863U)。

#### 参考文献:

- [1] 隆有明. 充气轮胎中钢丝圈的强力利用率[J]. 轮胎工业,1988,8(6):1-11.
- [2] 王泽君,刘锡斌,朱圣雄. 全钢载重子午线轮胎的钢丝圈生产工艺[J]. 轮胎工业,2001,21(8):490-493.

收稿日期:2017-10-20

## Finite Element Analysis on Different Bead Structure of Tubeless All-steel Truck and Bus Radial Tire

WANG Zejun<sup>1</sup>, WANG Hongyan<sup>1</sup>, WANG Youshan<sup>2</sup>

(1. Zhongce Rubber Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China; 2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** By using finite element analysis (FEA) software for tire, TYSYS, TYABAS and TYABAS-POST, the FEA comparison was made on the different bead structures of tubeless all-steel truck and bus radial tire. The results showed that, the mechanical property of left-hand heptagonal bead was better than that of hexagonal bead or right-hand heptagonal bead. The results of FEA were verified by laboratory experiments.

**Key words:** tubeless; all-steel truck and bus radial tire; bead structure; finite element analysis

欢迎订阅《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》杂志

欢迎刊登广告