

有限元分析带束层骨架材料对轮胎力学性能的影响

潮 阳,祖文强

(安徽开元轮胎股份有限公司,安徽 合肥 230011)

摘要:采用有限元分析法分析了带束层用 $3+9+15 \times 0.175+0.15$, $3+9+15 \times 0.22+0.15$ 和 $3 \times 0.20+6 \times 0.35$ HT 型钢丝帘线对轮胎力学性能的影响。认为在保证帘线与胶料粘合性能的前提下,采用高强度钢丝帘线有利于提高产品性能;有限元分析结果可以作为骨架材料选型的一个依据。

关键词:有限元分析法;全钢载重子午线轮胎;带束层;帘线

中图分类号: TQ330.38⁺9; TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2002)02-0075-04

随着我国轮胎生产技术的提高,全钢载重子午线轮胎带束层骨架材料已由最初采用 7×4 股状结构(如 $7 \times 4 \times 0.175+0.15$ 和 $7 \times 4 \times 0.22+0.15$)过渡到采用 $3+9+15$ 层状结构(如 $3+9+15 \times 0.175+0.15$ 和 $3+9+15 \times 0.22+0.15$),目前也有部分生产厂家开始采用高强度钢丝帘线(如 $3 \times 0.20+6 \times 0.35$ HT 和 $3+8 \times 0.33$ HT)。

带束层是子午线轮胎的关键部件,骨架材料的选择依据主要是断裂强度、粘合性能以及生产成本,最后通过室内、外试验进行验证。采用现有的这些手段只能反映出骨架材料影响的部分结果,并不能解释产生的原因,而且研究的成本高、周期长,而采用有限元分析法可以揭示不同带束层骨架材料对轮胎力学性能的影响。现以全钢载重子午线轮胎 10.00R20 16PR 为实例,分析带束层分别采用 $3+9+15 \times 0.175+0.15$, $3+9+15 \times 0.22+0.15$ 和 $3 \times 0.20+6 \times 0.35$ HT 对轮胎力学性能的影响。

1 实验

1.1 材料分布图

以现有的 10.00R20 16PR 轮胎标准材料分

布图为基准,带束层分别采用 $3+9+15 \times 0.175+0.15$, $3+9+15 \times 0.22+0.15$ 和 $3 \times 0.20+6 \times 0.35$ HT 时无需改变材料分布,只需调整带束层的压延施工工艺。3 种方案所共用的材料分布见图 1,压延施工工艺比较见表 1。

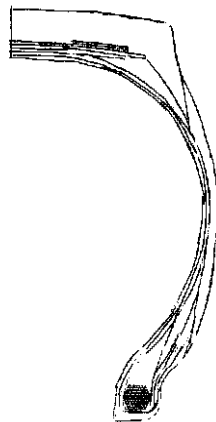


图 1 断面材料分布

1.2 有限元网格划分

由于轮胎为对称结构,只需对 $1/2$ 材料分布图的横断面进行网格划分,考虑到骨架材料性能对胎肩和胎圈部位应力与应变的影响较大(主要体现在下沉量上),因此对这两个区域网格的划分较细,以便于比较。

二维断面有限元信息包括:48 个横断线、367 个节点、332 个单元,见图 2。

三维的轮胎可视为二维断面的回转,分为 30

作者简介:潮阳(1967-),男,安徽安庆人,安徽开元轮胎股份有限公司高级工程师,学士,主要从事轮胎结构设计和质量改进工作。

表 1 3 种方案压延施工工艺比较

方案	帘线结构	压延密度/[根·(100 mm) ⁻¹]	带束层强度/[kN·(100 mm) ⁻¹]	压延厚度/mm
A	3+9+15×0.175+0.15	60	100.2	2.4
B	3+9+15×0.22+0.15	40	104.0	2.4
C	3×0.20+6×0.35HT	55	101.8	2.4

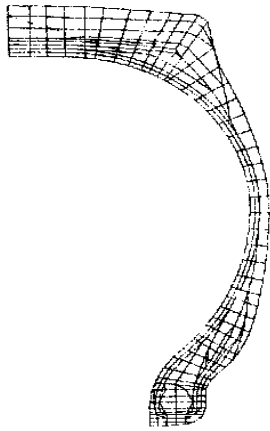


图 2 断面有限元网格划分

个断面,因此三维有限元信息包括 11 010 个节点、9 960 个单元。

1.3 材料模型

有限元材料模型含有 15 种材料,3 种方案中有 13 种材料共用,只有第 1 和 2 带束层材料性能不同,其性能比较见表 2。

3+9+15×0.175+0.15,3+9+15×0.22+0.15 和 3×0.20+6×0.35HT 型钢丝帘线的拉伸曲线见图 3。

1.4 计算工况

按国标规定的使用工况定义,同时由于本计算软件是依据位移法求解,因此定义计算工况

表 2 3 种方案第 1 和 2 带束层材料性能比较

方案	杨氏模量/MPa			泊松比			帘线排列角 度/(°)	帘布密度/ (kg·m ⁻²)
	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向		
A 方案								
第 1 带束层	49 240	53	53	0.4	0.000 424	0.4	66	2 253
第 2 带束层	49 240	53	53	0.4	0.000 424	0.4	105	2 253
B 方案								
第 1 带束层	41 650	51	51	0.4	0.000 424	0.4	66	2 130
第 2 带束层	41 650	51	51	0.4	0.000 424	0.4	105	2 130
C 方案								
第 1 带束层	28 305	37	37	0.4	0.000 424	0.4	66	2 185
第 2 带束层	28 305	37	37	0.4	0.000 424	0.4	105	2 185

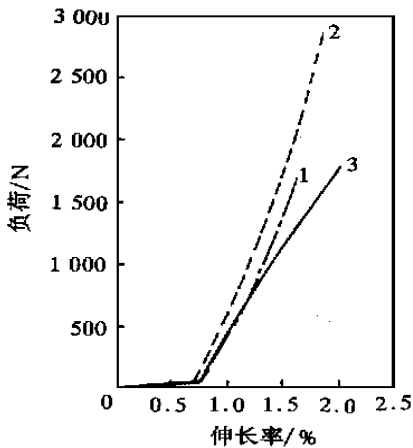


图 3 钢丝帘线的拉伸曲线
1—A 方案;2—B 方案;3—C 方案

为:充气压力 840 kPa,下沉量 30 mm,轮辋规格 7.5。

1.5 计算

利用哈尔滨工业大学开发的轮胎专用有限元分析软件 HIFEA3.0 进行计算,各方案运算均获得收敛结果,利用配套的后处理软件将数据处理为局部坐标系下的六方向应力、应变,6 种应力分别为: S_{11} ,表示沿材料坐标系 X 方向应力(沿帘线方向); S_{22} ,表示沿材料坐标系 Y 方向应力(沿帘线排列方向); S_{33} ,表示沿材料坐标系 Z 方向应力(垂直于帘布方向); S_{12} ,表示沿材料坐标系 X-Y 方向应力; S_{13} ,表示沿材料坐标系 X-Z 方向应力; S_{23} ,表示沿材料坐标系 Y-Z 方向应力。

2 数据分析

2.1 静负荷性能

以 A 方案的计算值为 100 作为基准 ,B 和 C 方案静负荷性能比较见表 3。

从表 3 可以看出 ,3 种方案的静负荷性能基本相同。

2.2 带束层应力分析

3 种方案第 1 和 2 带束层整周应力对比分别见表 4 和 5。

表 3 3 种方案静负荷性能对比

项 目	A 方案	B 方案	C 方案
负荷	100	99.837 7	99.365 1
负荷下断面宽	100	99.996 7	99.976 8
负荷下静半径	100	100.000 0	100.000 0
印痕短轴	100	100.014 9	100.049 8
印痕长轴	100	99.986 0	99.958 1
印痕面积	100	100.004 6	100.006 9
接地因数	100	100.000 0	100.000 0
硬度因数	100	100.000 0	99.019 6
单位面积平均压力	100	99.833 8	99.357 5

表 4 第 1 带束层整周应力对比MPa

应 力	最大值			最小值		
	A 方案	B 方案	C 方案	A 方案	B 方案	C 方案
S ₁₁	15.038 7	13.449 5	10.164 2	- 3.516 0	- 3.404 7	- 2.866 3
S ₂₂	41.619 3	37.514 9	28.799 9	- 0.868 3	- 0.867 2	- 0.832 4
S ₃₃	44.247 4	42.792 5	39.037 4	- 18.250 6	- 16.672 5	- 13.908 4
S ₂₃	1.989 5	2.187 3	2.155 1	- 6.008 8	- 5.455 2	- 4.191 2
S ₁₃	8.911 3	7.386 1	6.156 0	- 19.738 3	- 19.084 8	- 17.424 9
S ₁₂	10.289 3	9.366 8	7.859 2	- 16.392 9	- 14.783 8	- 11.383 3

表 5 第 2 带束层整周应力对比MPa

应 力	最大值			最小值		
	A 方案	B 方案	C 方案	A 方案	B 方案	C 方案
S ₁₁	4.922 2	4.837 9	4.540 9	- 1.887 4	- 1.613 7	- 1.229 0
S ₂₂	19.905 5	18.641 4	17.979 0	- 14.006 0	- 11.832 3	- 8.044 1
S ₃₃	70.662 4	69.364 9	65.105 0	- 15.278 1	- 14.260 0	- 12.669 6
S ₂₃	4.847 3	4.194 1	3.029 4	- 4.271 5	- 3.905 4	- 3.166 5
S ₁₃	18.920 0	18.572 5	17.440 0	- 8.971 5	- 7.821 0	- 5.669 3
S ₁₂	5.890 0	5.989 2	5.752 7	- 3.103 3	- 2.582 2	- 1.490 4

从表 4 和 5 可以看出 ,方案 C 的拉伸应力、压缩应力及层间剪切力均小于其它方案 (而在接地位置时 3 种方案区别不大)。

2.3 胎肩部位应力分析

胎肩部位脱空是全钢载重子午线轮胎容易出现的损坏形式。优选带束层骨架材料可减小层间剪切力 ,因此我们对胎肩垫胶的应力进行了对比

分析。3 种方案轮胎胎肩部位整周应力对比见表 6。胎肩部位单元示意图 4。

从表 6 可以看出 ,方案 C 的拉伸应力、压缩应力以及层间剪切力均小于其它方案。

2.4 胎圈部位应力分析

胎圈脱空和胎圈裂是全钢载重子午线轮胎容易出现的另一种损坏形式。由于胎圈脱空出现在

表 6 3 种方案轮胎胎肩部位整周应力对比MPa

应 力	最大值			最小值		
	A 方案	B 方案	C 方案	A 方案	B 方案	C 方案
S ₁₁	16.938 2	16.883 7	16.646 6	- 2.322 2	- 1.866 5	- 0.939 1
S ₂₂	8.371 5	7.603 0	6.136 2	- 9.664 2	- 8.205 3	- 4.122 9
S ₃₃	66.037 5	64.750 0	60.907 5	- 7.532 0	- 5.960 5	- 2.816 8
S ₂₃	1.443 5	1.391 4	1.165 9	- 1.911 3	- 1.787 8	- 1.457 9
S ₁₃	17.624 2	17.277 2	16.268 7	- 9.462 6	- 9.165 8	- 8.274 9
S ₁₂	4.048 2	3.834 0	3.286 1	- 3.103 3	- 2.582 2	- 1.490 4

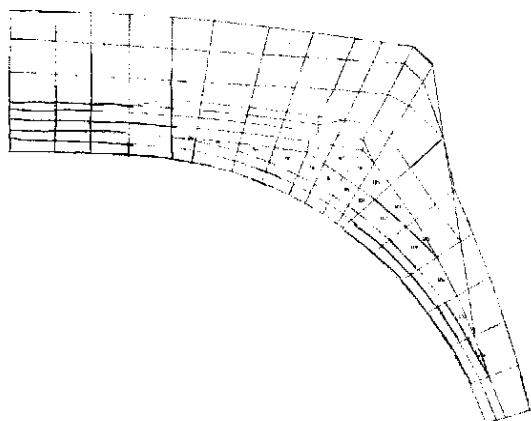


图 4 胎肩部位单元示意

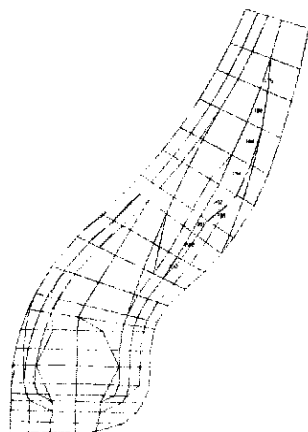


图 5 胎圈部位单元示意

胎圈部位的胎侧胶片、胎圈包布胶片和填充胶之间,因此对胎圈部位的胶片进行了应力分析。胎圈部位单元示意图 5,3 种方案轮胎胎圈部位胶片整周应力比较见表 7。

从表 7 可以看出,方案 C 的层间剪切力(S_{12} 和 S_{13})均小于其它方案。

4 结论

有限元分析法可以作为全钢载重子午线轮胎骨架材料选型的依据。带束层骨架材料采用 C 方案(即使用高强度钢丝帘线)可以降低轮胎胎肩及胎圈部位的应力。

表 7 胎圈部位胶片整周应力对比

MPa

应力	最大值			最小值		
	A 方案	B 方案	C 方案	A 方案	B 方案	C 方案
S_{11}	32.787 4	32.825 0	32.924 9	- 1.225 0	- 1.079 1	- 0.879 0
S_{22}	11.972 9	11.785 8	10.932 5	- 0.835 6	- 0.829 4	- 0.814 3
S_{33}	22.225 0	21.448 9	19.089 7	- 8.511 4	- 7.124 1	- 4.246 0
S_{23}	1.484 7	1.541 0	1.444 6	- 1.274 1	- 1.243 0	- 1.083 7
S_{13}	8.044 0	8.053 0	8.042 8	- 9.899 3	- 9.541 0	- 8.767 8
S_{12}	5.646 6	5.563 3	5.174 4	- 1.601 0	- 1.480 7	- 1.194 7

收稿日期:2001-08-15

Analysis for influence of belt reinforcing materials on mechanical properties of tire with FEA

CHAO Yang, ZU Wen-qiang

(Anhui Kaiyuan Tire Co., Ltd., Hefei 230011, China)

Abstract : The influence of steel cords $3 + 9 + 15 \times 0.175 + 0.15$, $3 + 9 + 15 \times 0.22 + 0.15$ and $3 \times 0.20 + 6 \times 0.35$ HT for belt on the mechanical properties of radial tire was analysed with FEA. It was found that the application of high tensile steel cord was beneficial to improve the performance of finished tire premising the good adhesion between steel cord and rubber compound; and the results from FEA could be used as the criteria for choosing the reinforcing materials of belt.

Keywords : FEA; all-steel radial truck tire; belt; cord