

# 轮胎结构有限元分析应用于轮胎结构优选 . 带束层宽度的优选

闫相桥<sup>1</sup>, 乌大琨<sup>2</sup>, 王友善<sup>2</sup>, 王衍林<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 桦林集团有限责任公司, 黑龙江 牡丹江 157032)

**摘要:**作为轮胎结构有限元分析应用于轮胎结构优选方面的例子,探讨了轮胎带束层宽度的优选问题。通过对带束层端点、胎体反包端点、胎肩附近单元的应力分析参数及胎圈附近胎体张应力和带束层张力的综合分析,认为386中网格对应的带束层宽度比386窄网格和386宽网格对应的带束层宽度更合适。

**关键词:**轮胎;有限元;带束层;结构优选

**中图分类号:**TQ336.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2000)06-0337-08

带束层结构对于子午线轮胎是非常重要的。日本大津轮胎公司提出的轮胎优化理论<sup>[1]</sup>就涉及到带束层结构,有关带束层结构的专利也时常出现。

关于带束层结构,应该从几何和材料两方面来考虑。从几何上讲,包括带束层宽度、厚度及铺设角度;从材料上讲,主要是带束层帘线,包括钢丝帘线和芳纶帘线等。

本文作为轮胎结构有限元分析应用于轮胎结构优选方面的例子,探讨了载重子午线轮胎的带束层宽度的优选问题,这也可作为带束层结构优选方面的例子。

这里所分析的轮胎的截面几何及材料分布图见图1,在一个截面内的有限元网格见图2(在一个截面内的节点数为386、单元数为355),其整体有限元网格图见图3,其材料分布除由于带束层宽度不同引起的带束层部分有差别之外,其余全部相同。

## 1 带束层端部层间单元应力分析参数的研究

图4为具有不同带束层宽度的带束层的材料分布图及带束层端部层间单元的示意图。表1和2分别示出了充气情况和标准负荷情况下



图1 轮胎截面几何及材料分布图

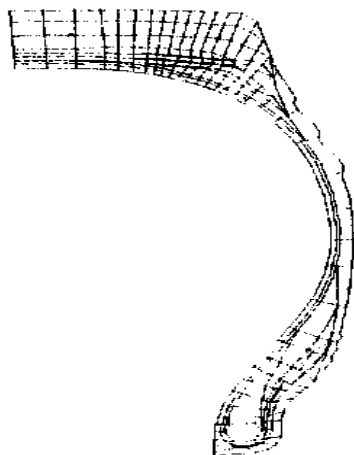


图2 在一个截面内的有限元网格图(有386个节点)

**作者简介:**闫相桥(1959-),男,河北东光县人,哈尔滨工业大学教授,工学博士,最近几年来主要从事轮胎结构有限元分析及其应用的研究工作。

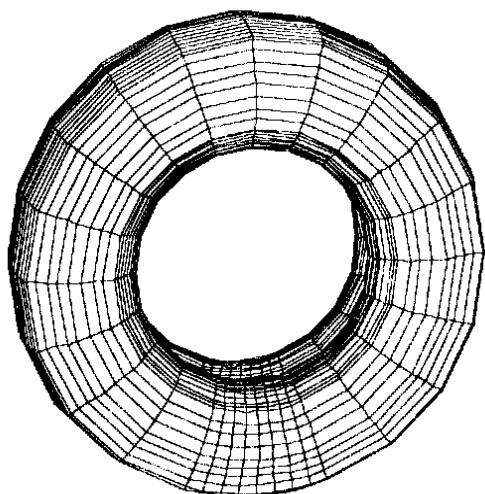


图3 轮胎整体有限元网格图

带束层端部层间单元的应力分析参数。

由表1可以看出,在充气情况下,带束层端部层间单元的应变能密度和 Christensen 应力<sup>[1]</sup>均随着带束层宽度的增大而骤减。这明确地揭示出,如果仅从带束层端部单元在充气情况下的应力分析参数考虑选取带束层宽度,则 386 窄网格对应的带束层宽度应首先舍弃。

由表2可以看出,在标准负荷情况下,带束层端部第1带束层与第2带束层之间的单元(1,1和1')的最大应变能密度和应变能密度幅值均随着带束层宽度的增大而增大,其最大 Christensen 应力和 Christensen 应力幅值亦然。然而,带束层端部第2带束层与第3带束层之间的单元(2,2和2')的应力分析参数则呈现出相反的规律。

## 2 带束层宽度对胎体反包端点附近单元应力分析参数的影响

所研究轮胎胎体反包端点附近单元的示意图见图5。表3和4分别示出了充气情况和标准负荷情况下胎体反包端点附近单元的应力分析参数。

由表3可以看出,在充气情况下,胎体反包端点附近单元的应变能密度和 Christensen 应力均随着带束层宽度的增大而减小,但相对而言,由 386 中网格对应的带束层宽度增加到 386 宽网格对应的带束层宽度时,其胎体反包

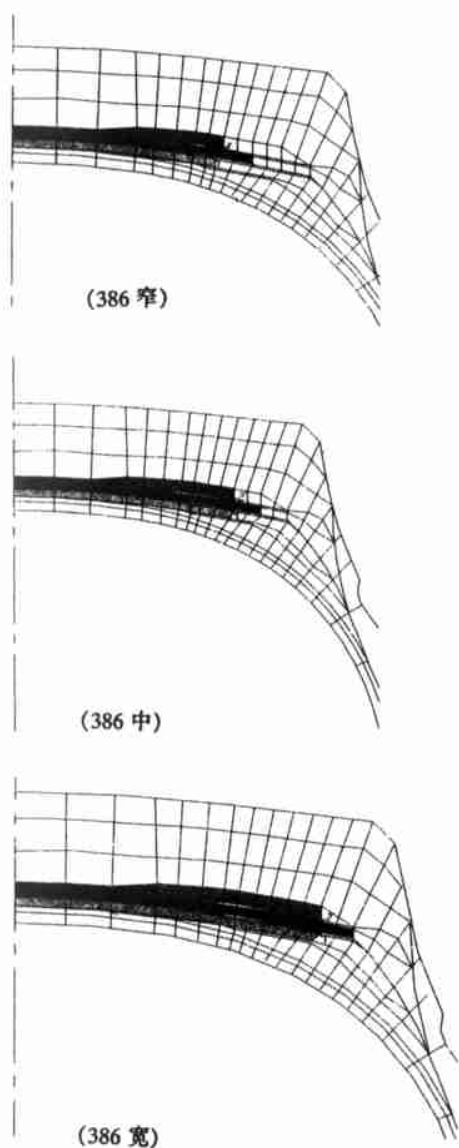


图4 具有不同带束层宽度的带束层材料分布图及带束层端部层间单元示意图

表1 充气情况下带束层端部层间单元的应力分析参数

| 带束层宽度方案 | 单元  | 应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | Christensen<br>应力/MPa |
|---------|-----|--------------------------------|-----------------------|
| 386 窄   | 1   | 3.878 4E+03                    | 0.113 75              |
|         | 2   | 8.702 6E+02                    | 0.045 06              |
| 386 中   | 1'  | 1.259 7E+03                    | 0.054 19              |
|         | 2'  | 3.835 0E+02                    | 0.032 15              |
| 386 宽   | 1'' | 2.114 2E+02                    | 0.027 04              |
|         | 2'' | 1.505 8E+02                    | 0.030 53              |

表 2 标准负荷情况下带束层端部层间单元的应力分析参数

| 带束层宽度方案 | 单元  | 最大应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | 应变能密度幅值/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | 最大 Christensen 应力/<br>MPa | Christensen 应力幅值/<br>MPa |
|---------|-----|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 386 窄   | 1   | 1.719 6E+05                      | 1.687 8E+05                      | 1.247 8                   | 1.153 5                  |
|         | 2   | 1.763 7E+05                      | 1.754 1E+05                      | 1.318 7                   | 1.264 2                  |
| 386 中   | 1'  | 1.905 8E+05                      | 1.896 4E+05                      | 1.348 5                   | 1.299 8                  |
|         | 2'  | 1.720 2E+05                      | 1.715 3E+05                      | 1.278 1                   | 1.227 9                  |
| 386 宽   | 1'' | 2.050 7E+05                      | 2.046 8E+05                      | 1.441 8                   | 1.382 9                  |
|         | 2'' | 1.571 0E+05                      | 1.568 0E+05                      | 1.243 6                   | 1.192 4                  |

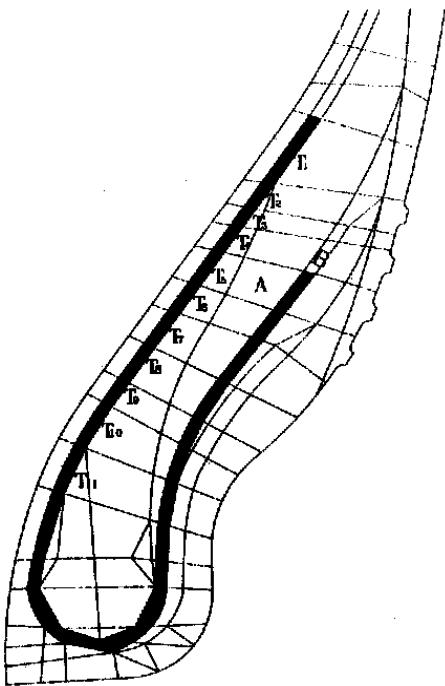


图 5 胎圈附近胎体单元及胎体反包端点附近单元的示意图

端点附近单元的应力分析参数减幅小得多。这明确地揭示出,如果仅从胎体反包端点附近单元在充气情况下的应力分析参数考虑选取带束层宽度,则 386 窄网格对应的带束层宽度应首先舍弃。

由表 4 可以看出,在标准负荷情况下,最大

应变能密度和最大 Christensen 应力均随着带束层宽度的增大而减小,但相对而言,由 386 中网格对应的带束层宽度增加到 386 宽网格对应的带束层宽度时,胎体反包端点附近单元的最大应变能密度和最大 Christensen 应力减幅小得多。这明确地揭示出,如果仅从胎体反包端点附近单元的最大应变能密度和最大 Christensen 应力考虑选取带束层宽度,则 386 窄网格对应的带束层宽度应首先舍弃。

这里值得注意的是(见表 4,这一点是非常重要的),一方面对应于 386 窄网格的胎体反包端点附近单元的应变能密度幅值和 Christensen 应力幅值与其它两种情况相比小得多,而另一方面对应于 386 窄网格的胎体反包端点附近单元的最大应变能密度和最大 Christensen 应力

表 3 充气情况下胎体反包端点附近单元的应力分析参数

| 带束层宽度方案 | 单元 | 应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | Christensen 应力/<br>MPa |
|---------|----|--------------------------------|------------------------|
| 386 窄   | A  | 1.400 9E+04                    | 0.594 4                |
|         | B  | 3.917 3E+04                    | 1.889 1                |
| 386 中   | A  | 1.337 8E+04                    | 0.582 5                |
|         | B  | 3.833 6E+04                    | 1.860 6                |
| 386 宽   | A  | 1.315 2E+04                    | 0.578 2                |
|         | B  | 3.803 9E+04                    | 1.850 6                |

表 4 标准负荷情况下胎体反包端点附近单元的应力分析参数

| 带束层宽度方案 | 单元 | 最大应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | 应变能密度幅值/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | 最大 Christensen 应力/<br>MPa | Christensen 应力幅值/<br>MPa |
|---------|----|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 386 窄   | A  | 4.298 6E+04                      | 1.495 2E+04                      | 1.113 7                   | 0.327 1                  |
|         | B  | 1.005 5E+05                      | 3.344 0E+04                      | 3.120 8                   | 0.520 6                  |
| 386 中   | A  | 2.742 5E+04                      | 2.039 1E+04                      | 0.717 3                   | 0.377 1                  |
|         | B  | 7.162 4E+04                      | 5.218 5E+04                      | 2.581 4                   | 1.596 0                  |
| 386 宽   | A  | 2.731 7E+04                      | 2.041 5E+04                      | 0.715 9                   | 0.366 2                  |
|         | B  | 7.138 6E+04                      | 5.215 6E+04                      | 2.578 5                   | 1.576 7                  |

与其它两种情况相比则大得多。前者对于抵抗材料的破坏(尤其是疲劳破坏)是有利的,而后者对于抵抗材料的破坏则是不利的。两者在一起结果如何是一个很复杂的问题,笔者在这里不进行讨论。

### 3 带束层宽度对胎圈附近胎体张应力的影响

所研究轮胎胎圈附近胎体单元的示意图见图 5。表 5 示出了充气情况下胎圈附近胎体单元张应力的变化规律,表 6 示出了标准负荷情况下胎圈附近胎体单元的最大张应力和胎体张应力幅值的变化规律。由表 5 可以看出,在充气情况下,胎体张应力受带束层宽度的影响很小,其均值随带束层宽度的增大而稍微增大。由表 6 可以看出,在标准负荷情况下,胎圈附近胎体单元的最大张应力受带束层宽度的影响随与胎圈距离的减小而显著增大;胎圈附近胎体单元的最大张应力随带束层宽度的增大而增大,但相对而言,由 386 中网格对应的带束层宽

度增加到 386 宽网格对应的带束层宽度时,其胎圈附近胎体单元的最大张应力增幅小得多。其实,最大胎体张应力的均值、张应力幅值及张应力幅值的均值亦然。

由表 6 还可以看出,386 窄网格对应的胎圈附近胎体单元与其它两种情况相比,其最

表 5 充气情况下胎圈附近胎体单元的张应力

| 单元              | MPa      |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|
|                 | 386 窄    | 386 中    | 386 宽    |
| T <sub>1</sub>  | 50.450 7 | 50.315 4 | 50.267 7 |
| T <sub>2</sub>  | 47.375 0 | 47.270 5 | 47.231 7 |
| T <sub>3</sub>  | 44.453 7 | 44.373 6 | 44.345 3 |
| T <sub>4</sub>  | 47.163 2 | 47.101 4 | 47.079 9 |
| T <sub>5</sub>  | 48.556 2 | 48.531 3 | 48.523 2 |
| T <sub>6</sub>  | 47.721 7 | 47.737 9 | 47.744 3 |
| T <sub>7</sub>  | 49.256 5 | 49.311 4 | 49.333 3 |
| T <sub>8</sub>  | 50.322 6 | 50.414 4 | 50.450 1 |
| T <sub>9</sub>  | 48.481 8 | 48.586 7 | 48.627 6 |
| T <sub>10</sub> | 56.116 6 | 56.243 3 | 56.292 0 |
| T <sub>11</sub> | 64.410 3 | 64.542 1 | 64.595 0 |
| 均值              | 50.400 8 | 50.402 5 | 50.408 2 |

表 6 标准负荷情况下胎圈附近胎体单元的张应力

| 单元              | 386 窄    |          | 386 中     |          | 386 宽     |          |
|-----------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
|                 | 最大值      | 幅值       | 最大值       | 幅值       | 最大值       | 幅值       |
| T <sub>1</sub>  | 74.531 0 | 36.982 7 | 75.770 6  | 33.880 9 | 75.895 7  | 34.556 8 |
| T <sub>2</sub>  | 68.553 4 | 31.002 2 | 69.241 4  | 28.229 7 | 69.381 8  | 28.765 1 |
| T <sub>3</sub>  | 63.366 0 | 26.875 5 | 63.972 2  | 24.036 3 | 64.115 8  | 24.475 7 |
| T <sub>4</sub>  | 66.008 0 | 26.201 4 | 66.741 8  | 22.869 5 | 66.901 1  | 23.277 2 |
| T <sub>5</sub>  | 66.251 6 | 24.269 3 | 67.320 5  | 20.261 0 | 67.495 1  | 20.613 2 |
| T <sub>6</sub>  | 63.297 0 | 21.965 5 | 64.817 3  | 16.454 1 | 64.999 8  | 16.728 4 |
| T <sub>7</sub>  | 63.466 9 | 20.685 5 | 65.637 8  | 13.429 9 | 65.833 2  | 13.647 1 |
| T <sub>8</sub>  | 62.618 9 | 18.597 8 | 69.217 7  | 14.511 5 | 69.427 7  | 14.751 1 |
| T <sub>9</sub>  | 58.775 0 | 16.060 9 | 71.504 9  | 17.741 2 | 71.790 5  | 18.043 7 |
| T <sub>10</sub> | 66.399 3 | 16.567 1 | 87.930 2  | 23.859 4 | 88.335 1  | 24.275 7 |
| T <sub>11</sub> | 73.274 1 | 20.809 3 | 104.772 5 | 29.172 5 | 105.300 5 | 29.607 8 |
| 均值              | 66.049 2 | 23.637 9 | 73.357 0  | 22.222 4 | 73.588 8  | 22.612 9 |

大胎体张应力最小,而胎圈附近的大多数胎体单元的张应力幅值较大。这明确地揭示出,如果仅从胎圈附近胎体单元的张应力考虑选取带束层宽度,则 386 窄网格对应的带束层宽度应首先舍弃。

### 4 带束层宽度对胎肩应力分析参数的影响

图 6 是所研究轮胎胎肩附近单元的示意图。表 7 和 8 分别示出了充气情况和标准负荷情况下胎肩附近单元的应力分析参数。

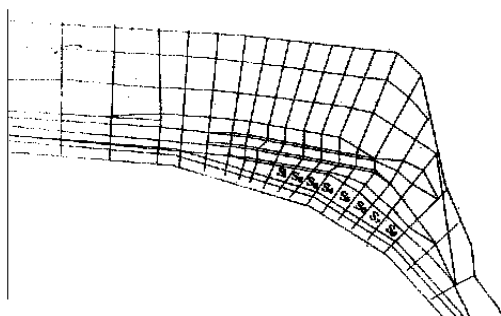


图 6 轮胎胎肩附近单元的示意图

由表 7 可以看出,在充气情况下,胎肩附近单元的应变能密度均值和 Christensen 应力均值均随着带束层宽度的增大而增大。如果仅从胎肩附近单元的应变能密度和 Christensen 应力考虑选取带束层宽度,则 386 窄网格对应的带束层宽度应首先选取。

表 7 充气情况下胎肩附近单元的应力分析参数

| 单元             | 386 窄                          |                        | 386 中                          |                        | 386 宽                          |                        |
|----------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
|                | 应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | Christensen 应<br>力/MPa | 应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | Christensen 应<br>力/MPa | 应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | Christensen 应<br>力/MPa |
| S <sub>1</sub> | 3.657 2E+02                    | 4.495 8E-02            | 1.132 5E+03                    | 5.408 9E-02            | 1.029 7E+03                    | 4.996 7E-02            |
| S <sub>2</sub> | 1.591 7E+02                    | 3.610 3E-02            | 4.382 5E+02                    | 5.358 6E-02            | 6.130 1E+02                    | 5.533 2E-02            |
| S <sub>3</sub> | 1.460 8E+02                    | 3.563 1E-02            | 1.746 0E+02                    | 3.814 6E-02            | 3.739 0E+02                    | 4.958 3E-02            |
| S <sub>4</sub> | 2.011 3E+02                    | 3.798 9E-02            | 1.776 5E+02                    | 3.591 3E-02            | 2.019 5E+02                    | 3.826 5E-02            |
| S <sub>5</sub> | 1.761 7E+02                    | 3.108 3E-02            | 1.482 0E+02                    | 2.769 2E-02            | 1.574 5E+02                    | 2.680 2E-02            |
| S <sub>6</sub> | 1.594 5E+02                    | 2.750 7E-02            | 1.350 1E+02                    | 2.444 4E-02            | 1.500 1E+02                    | 2.452 4E-02            |
| S <sub>7</sub> | 1.671 2E+02                    | 2.074 7E-02            | 1.379 7E+02                    | 1.782 0E-02            | 1.505 4E+02                    | 1.782 3E-02            |
| S <sub>8</sub> | 1.575 3E+02                    | 1.961 8E-02            | 1.248 3E+02                    | 1.615 4E-02            | 1.295 2E+02                    | 1.579 8E-02            |
| 均值             | 1.915 5E+02                    | 3.170 0E-02            | 3.086 3E+02                    | 3.350 0E-02            | 3.507 6E+02                    | 3.480 0E-02            |

表 8 标准负荷情况下胎肩附近单元的应力分析参数

| 带束层宽度方案 | 单元             | 最大应变能密度/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | 应变能密度幅值/<br>(J·m <sup>-3</sup> ) | 最大 Christensen<br>应力/MPa | Christensen 应力<br>幅值/MPa |
|---------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 386 窄   | S <sub>1</sub> | 2.409 8E+04                      | 2.349 2E+04                      | 0.495 7                  | 0.445 8                  |
|         | S <sub>2</sub> | 3.647 6E+04                      | 3.617 1E+04                      | 0.466 0                  | 0.416 0                  |
|         | S <sub>3</sub> | 3.440 0E+04                      | 3.406 6E+04                      | 0.466 7                  | 0.416 8                  |
|         | S <sub>4</sub> | 3.497 4E+04                      | 3.458 0E+04                      | 0.473 2                  | 0.423 1                  |
|         | S <sub>5</sub> | 3.777 6E+04                      | 3.745 3E+04                      | 0.475 3                  | 0.435 5                  |
|         | S <sub>6</sub> | 3.831 5E+04                      | 3.805 1E+04                      | 0.474 9                  | 0.440 5                  |
|         | S <sub>7</sub> | 3.905 2E+04                      | 3.880 6E+04                      | 0.470 9                  | 0.445 9                  |
|         | S <sub>8</sub> | 3.331 0E+04                      | 3.310 8E+04                      | 0.474 7                  | 0.451 5                  |
|         | 均值             | 3.480 0E+04                      | 3.446 6E+04                      | 0.474 7                  | 0.434 4                  |
| 386 中   | S <sub>1</sub> | 2.129 3E+04                      | 1.961 5E+04                      | 0.449 1                  | 0.386 3                  |
|         | S <sub>2</sub> | 3.354 9E+04                      | 3.285 9E+04                      | 0.467 4                  | 0.398 7                  |
|         | S <sub>3</sub> | 2.845 5E+04                      | 2.797 3E+04                      | 0.438 4                  | 0.381 3                  |
|         | S <sub>4</sub> | 3.375 6E+04                      | 3.326 5E+04                      | 0.459 2                  | 0.405 8                  |
|         | S <sub>5</sub> | 3.623 0E+04                      | 3.583 7E+04                      | 0.459 6                  | 0.418 6                  |
|         | S <sub>6</sub> | 3.856 0E+04                      | 3.824 8E+04                      | 0.462 2                  | 0.427 1                  |
|         | S <sub>7</sub> | 4.071 3E+04                      | 4.043 7E+04                      | 0.462 0                  | 0.437 6                  |
|         | S <sub>8</sub> | 3.615 2E+04                      | 3.594 5E+04                      | 0.472 8                  | 0.450 5                  |
|         | 均值             | 3.358 9E+04                      | 3.302 2E+04                      | 0.458 8                  | 0.413 3                  |
| 386 宽   | S <sub>1</sub> | 1.927 5E+04                      | 1.764 9E+04                      | 0.424 4                  | 0.363 3                  |
|         | S <sub>2</sub> | 1.957 8E+04                      | 1.863 7E+04                      | 0.409 2                  | 0.337 8                  |
|         | S <sub>3</sub> | 2.219 3E+04                      | 2.155 5E+04                      | 0.433 8                  | 0.369 1                  |
|         | S <sub>4</sub> | 3.017 4E+04                      | 2.964 3E+04                      | 0.473 4                  | 0.419 2                  |
|         | S <sub>5</sub> | 3.010 2E+04                      | 2.960 1E+04                      | 0.450 7                  | 0.408 8                  |
|         | S <sub>6</sub> | 3.680 0E+04                      | 3.635 8E+04                      | 0.454 2                  | 0.415 5                  |
|         | S <sub>7</sub> | 3.860 6E+04                      | 3.821 1E+04                      | 0.450 4                  | 0.422 2                  |
|         | S <sub>8</sub> | 3.432 9E+04                      | 3.404 6E+04                      | 0.460 9                  | 0.435 4                  |
|         | 均值             | 2.888 2E+04                      | 2.821 3E+04                      | 0.444 6                  | 0.396 4                  |

由表 8 可以看出,在标准负荷情况下,胎肩附近单元的最大应变能密度的均值、应变能密度幅值的均值、最大 Christensen 应力的均值及 Christensen 应力幅值的均值均随着带束层宽度的增大而减小,这就明确地揭示出,如果仅从胎肩附近单元的应力分析参数考虑选取带束层宽度,则 386 窄网格对应的带束层宽度应首先舍弃。在本节,根据充气情况和标准负荷情况下的胎肩附近单元的应力分析参数来选取带束层宽度,得到 2 种相反的结果。笔者认为根据标准负荷情况下的胎肩附近单元的应力分析参数所确定的选取带束层宽度的方案是正确的,其理由为轮胎在标准负荷情况下的受力比其在充气情况下的受力更逼近实际受力情况。

### 5 带束层宽度对带束层张力的影响

图 7 示出了对应于 386 窄网格的带束层宽度的带束层张力在不同截面上的变化;图 8 示出了对应于 386 窄网格的带束层宽度的带束层张力在不同截面沿带束层宽度的变化;图 9 示出了对应于 386 窄网格的带束层宽度的单位长度张力在不同截面沿带束层宽度的变化;图 10 示出了对应于 386 中网格的带束层宽度的带束层张力在不同截面上的变化;图 11 示出了对应于 386 中网格的带束层宽度的带束层张力在不同截面沿带束层宽度的变化;图 12 示出了对应于 386 中网格的带束层宽度的单位长度张力在不同截面沿带束层宽度的变化;图 13 示出了对应于 386 宽网格的带束层宽度的带束层张力在不同截面上的变化;图 14 示出了对应于 386 宽网格的带束层宽度的带束层张力在不同截面沿带束层宽度的变化;图 15 示出了对应于 386 宽网格的带束层宽度的单位长度张力在不同截面沿带束层宽度的变化。表 9 示出了不同带束层宽度的最大张力。

由图 7~15 和表 9 可以看出,随着带束层宽度的增大,最大带束层张力稍微增大,而不同截面沿带束层宽度最大张力和不同截面沿带束层宽度最大单位宽度张力稍微减小。而带束层端部的张力随着带束层宽度的增大而减小。

在这里尤其引起我们注意的是对应于 386

宽网格的带束层宽度的张力在带束层端部出现压缩现象(见图 15),这样的带束层宽度是不适宜的。



图 7 带束层张力在不同截面上的变化(386 窄)

最大值为 12.994 kN

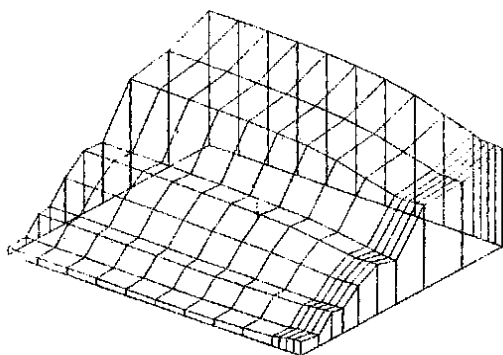


图 8 带束层张力在不同截面沿带束层宽度的变化(386 窄)

最大值为 2.945 0 kN

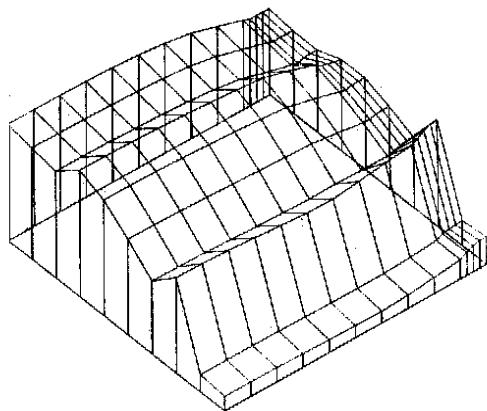


图 9 单位长度张力在不同截面沿带束层宽度的变化(386 窄)

最大值为 246.90 kN·m<sup>-1</sup>

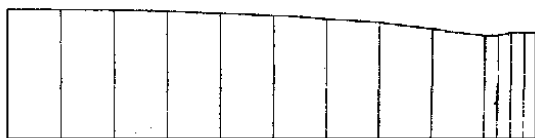


图 10 带束层张力在不同截面上的变化(386 中)

最大值为 13.088 kN

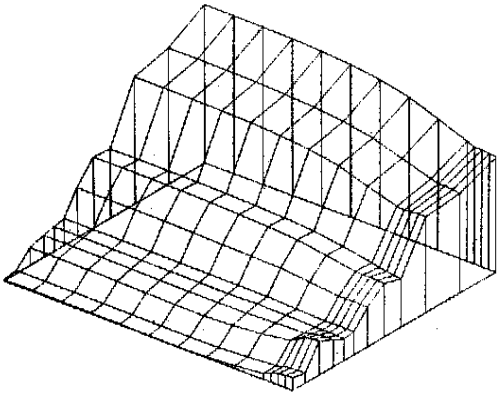


图 11 带束层张力在不同截面沿带束层宽度的变化(386 中)  
最大值为 2.941 0 kN

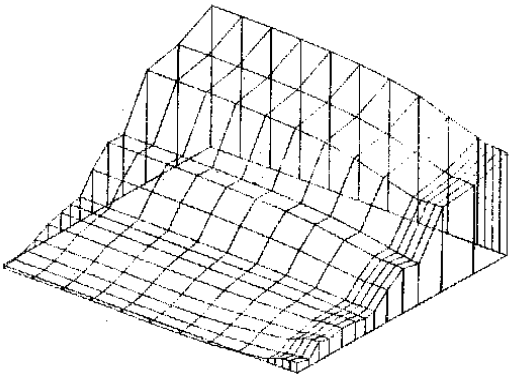


图 14 带束层张力在不同截面沿带束层宽度的变化(386 宽)  
最大值为 2.940 7 kN

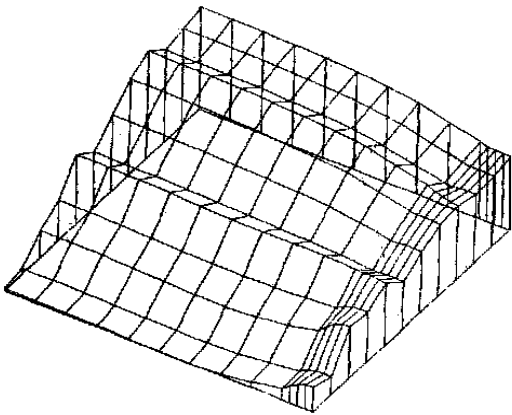


图 12 单位长度张力在不同截面沿带束层宽度的变化(386 中)  
最大值为  $239.10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

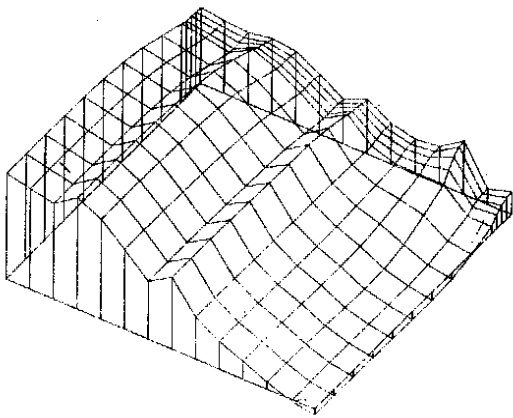


图 15 单位长度张力在不同截面沿带束层宽度的变化(386 宽)  
最大值为  $238.50 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$



图 13 带束层张力在不同截面上的变化(386 宽)  
最大值为 13.091 kN

表 9 不同宽度带束层的最大张力

| 项 目                                                         | 386 窄   | 386 中   | 386 宽   |
|-------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| 带束层最大张力/ kN                                                 | 12.994  | 13.088  | 13.091  |
| 不同截面沿带束层宽度<br>最大张力/ kN                                      | 2.945 0 | 2.941 0 | 2.940 7 |
| 不同截面沿带束层宽度最大<br>单位长度张力/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ) | 246.90  | 239.10  | 238.50  |

应的带束层宽度更合适。

## 6 结语

应用我们研制的轮胎结构有限元分析软件探讨了载重子午线轮胎带束层宽度的优选问题。通过对带束层端点、胎体反包端点、胎肩附近单元的应力分析参数及胎圈附近胎体张应力和带束层张力的综合分析,认为386中网格对应的带束层宽度比 386 窄网格和 386 宽网格对

## 参考文献:

- [1] Christensen R M. The numbers of elastic properties and failure parameters for fiber composites[J]. Transactions of the ASME Journal of Engineering Materials and Technology. 1998,120(1):110.

收稿日期:1999-12-15

# Application of FEA to tire structure optimization

## Optimization of belt width

YAN Xiang-qiao<sup>1</sup>, WU Da-kun<sup>2</sup>, WANG You-shan<sup>2</sup>, WANG Yan-lin<sup>2</sup>

(1. Haerbin University of Technology, Haerbin 150001; 2. Hualin Group Co., Ltd., Mudanjiang 157032)

**Abstract:** Taking the optimization for the belt width of radial truck tire as example, the application of FEA to the optimization of tire structure was discussed. Through a comprehensive analysis of the stress analytical parameters in elements near belt ends, turn-up ends and shoulders and the tension in carcass near beads and in belt, it was considered that the belt width corresponding to 386 middle net was more suitable than those corresponding to 386 narrow net and 386 wide net respectively.

**Keywords:** tire; finite element; belt; structure optimization

### 半钢子午线轮胎胎侧起鼓的

#### 原因分析及解决措施

中图分类号: TQ336.1<sup>+</sup>1 文献标识码: C

在半钢子午线轮胎使用中, 最常见的早期损坏是胎侧起鼓。胎侧起鼓是指轮胎在充气 and 承载的情况下, 帘线伸张不均匀而导致的轮胎胎侧局部凸起或不平。胎体帘布局部帘线排列密度过大, 该部位帘线伸张较小, 使用时易凸凹不平; 胎体帘布局部帘线排列密度过小、帘线受损伤断裂, 该部位帘线伸张较大, 使用时起鼓。

根据统计, 由于胎侧起鼓造成理赔的轮胎占理赔轮胎的 30% ~ 40%。从市场调研也可知, 对于各种品牌的半钢子午线轮胎, 胎侧起鼓是主要理赔项目。本文对轮胎胎侧起鼓的原因进行分析并提出了预防和解决措施。

#### 1 帘线受损

造成帘线受损的原因是: 在装卸运输环节中, 因外力作用导致胎体帘线被垫伤或撞伤; 在轮胎装拆过程中, 损伤了胎圈处的胎体帘线; 车辆在行驶时, 轮胎被路面上的尖锐物体撞伤或扎伤, 导致帘线受损。这 3 种损伤均可从轮胎外表找出外力损伤的痕迹。

**预防和解决措施:** 在运输装卸环节中, 避免轮胎接触坚硬锐利物体; 在装拆轮胎时, 应使用装胎机, 同时在轮胎胎圈处涂抹肥皂液类的润滑剂, 不可涂抹可使橡胶溶解的润滑油。

#### 2 帘线排列密度不均匀

造成帘线排列密度不均匀的原因是: (1) 原线密度不均, 纬线弹性较低, 成型时易出现劈缝现象。(2) 压延时, 由于压力不均匀, 压力小的一侧胶料渗透不好, 压力大的一侧易将原线压碎而损伤帘线; 供胶温度偏低、热炼不均匀, 使胶料粘合力降低; 供胶速度不稳定; 划泡装置故障, 以上均可导致压延帘布稀线、露白或劈缝现象发生。(3) 裁断和卷取时, 帘布的堆积和拉伸, 使帘线排列密度不均匀; 帘布接头偏小、接头不牢, 在成型时接头易脱开, 使用时接头部位易凸起, 而接头偏大, 则接头部位帘线伸张偏小, 使用时接头部位易凹陷。(4) 成型时, 胎体帘布定长偏短, 使帘布因局部拉伸而变稀; 接头压线根数过多或过少; 供料时出现帘布堆积和拉伸; 压合时帘线打褶, 以上均对帘线排列密度有不利的影响。

**预防和解决措施:** 加强原材料的进厂检验, 保证设备运转正常, 严格执行工艺条件, 满足无张力卷取, 无张力供料, 避免帘布堆积和拉伸, 帘布定长后不可拉伸帘布, 不可连续使用小块帘布 (200 mm 以下), 控制接头压线根数, 保证接头接牢, 做到勤查勤测, 各岗位配合默契。

总之, 控制好装卸、使用和制造环节, 可大大降低半钢子午线轮胎胎侧起鼓现象发生, 提高轮胎的使用寿命, 降低轮胎理赔率。

(三角集团有限公司 杜永杰 朱胜齐供稿)