

## 21 世纪轮胎钢丝骨架材料的展望

Raemdonck W V 等著 王小琼 周平摘译 涂学忠校

**摘要** 新型钢丝帘线及其技术为轮胎厂商提供了韧性大、强度高的增强材料。在胎体中使用的紧密型钢丝帘线,由于避免了内芯与外缠丝的磨蚀,从而提高了胎体的耐久性能;而用于带束层和保护层中,可改善渗胶性,提高抗锈蚀能力,因而使轮胎以最小的质量和最低的成本发挥最佳的性能。

汽车行业正发生着一系列令人瞩目的变化:轮胎总成直接提供给汽车厂家,跑气保用轮胎(PAV 和 EMT 等)的逐渐推广,以及政府颁布了关于废胎回收利用、减小轮胎质量和汽车废气排放量等的新规定。同时,轮胎的子午化也悄悄地得到了进一步的发展。一方面,在亚洲、拉丁美洲和东欧,子午化程度逐渐提高;另一方面,子午线轮胎在西欧和北美得到了新的应用,工程机械轮胎、农业轮胎和摩托车轮胎已实现子午化。

正在发生的这些变化主要取决于子午线轮胎本身所具有的优势:与斜交轮胎相比,子午线轮胎更安全、更经济、更有利于环保。子午线轮胎的安全性是指良好的抓着性能、不同路面上的高牵引力、良好的操纵性和耐刺扎能力;经济性是指良好的耐久性能(胎面寿命更长)、结构轻量化、低滚动阻力(低 40%)以及易翻新。生热低(仅为斜交轮胎的 10%)可以提高行驶速度,降低滚动阻力,并能提高行驶里程。此外,上述特性也减少了对物资的消耗,即耗油量低,废气的排放量就少;耐久性能好,降低了轮胎的更换频率。

从子午线轮胎的潜力可以看出轮胎发展的方向是:

节能——降低滚动阻力,减小轮胎质量,取消轿车备用胎;

降低成本——减少材料用量(如质量份),降低材料成本,改进加工性能,提高生产效率和自动化程度,减少废次品;

延长使用寿命——提高轮胎结构的刚性(监控轮胎内压非常重要),提高翻新率。

贝卡尔特公司参与了轮胎的上述开发活动。在深入探讨轮胎帘线的开发活动之前,先来看一下其总的发展趋势。第一,使用高强度

材料,简化帘线结构,使轮胎厂能够减少骨架材料用量,从而减小轮胎质量,降低成本;第二,不断努力稳定帘线质量(帘线纵向均匀性、残余扭转、平直度和弹性),以保证钢丝帘线具有良好的均匀性,提高加工自动化程度;第三,为满足客户对胶料性能的要求,而对钢丝帘线表面的特性不断改进(有时需要特别的黄铜镀层),以提高附着力和防锈蚀能力,进而延长轮胎的使用寿命。

有关轮胎使用过程中发生问题的信息,对于研究开发工作具有指导作用。与翻胎商的联络以及对损坏胎的分析,揭示了载重轮胎的损坏方式,包括带束层上层保护层的破坏和磨蚀、带束层边部脱层以及胎肩和胎圈部位胎体的损伤等。这些活动为我们提出了产品开发的目标:改进带束层钢丝的渗胶性,以防止锈蚀,避免粘合力降低和带束层边部脱开,并提高翻新率;开发无外缠丝的紧密型钢丝帘线,以防止胎体损伤。

本文对现有的钢丝帘线结构,或开发中的作为轮胎未来增强材料的钢丝帘线结构的改进进行了讨论,重点是用于胎体、带束层和保护层的钢丝帘线结构,并介绍了由此而产生的新试验方法。

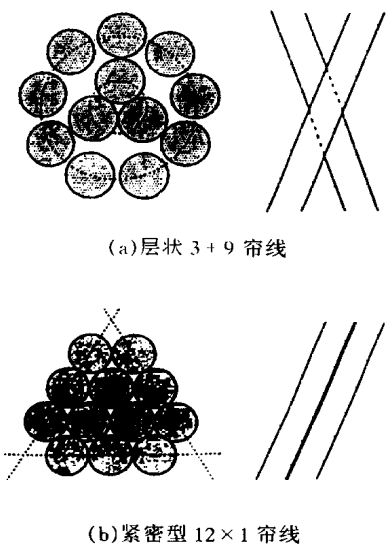
### 1 胎体帘线

胎体用钢丝帘线要求具有较高的强度、柔韧性、结构均匀性、附着力和粘合强度保持率,以及良好的耐久性(高电阻率和良好的抗吸湿性可以减轻锈蚀,故胶料的选择也不可忽视)。

良好的耐久性能表现为较高的抗屈挠、抗磨蚀和抗冲击性能,无外缠丝的紧密型钢丝帘线即可满足这些要求。紧密型钢丝帘线是由一些捻向和捻距均相同的单丝构成,具有代表性

的结构是 12 ×1 和 19 ×1;层状钢丝帘线为单丝分层排布,且捻向和捻距均不等,典型结构是 3+9 和 3+9+15。

图 1 对层状 3+9 帘线和紧密型 12 ×1 帘线进行了对比。由图 1 可见,二者之间的区别非常明显。层状帘线是按圆周方向分层排列而形成一个圆形的帘线结构,不同层次单丝的接触为非常典型的点接触,这就是易产生磨蚀的主要原因。紧密型帘线则无明显的层次——单丝被紧紧地捻在一起,帘线直径较小,且各点直径不等,单丝之间只有线接触,增大了接触面积,减小了接触压力,减轻了磨蚀。



但是,紧密型帘线对股芯滑移非常敏感,例如,当帘线被剪断或经受动态弯曲(或/和压缩)时,股芯单丝会滑移到外层。在胎体中,帘线包绕钢丝圈固定,当轮胎设计较好时,可能不会发生上述滑移现象。而在带束层中股芯滑移则是一个实实在在的危险,但这可以通过增大股芯单丝直径,提高渗胶性,以确保股芯单丝的力学锚定。这种方法比较受欢迎,因为紧密型钢丝帘线既可以用作胎体骨架材料,也可以用作带束层增强材料。

此外,贝卡尔特公司还开发出一种可以模拟股芯滑移的试验方法,以及生产避免滑移的紧密型钢丝帘线的工艺条件。试验设备为一台“四点弯曲仪”,在此设备上,双层结构的复合物试样在动态作用力下经受递增幅度变形。

紧密型 19 ×1 帘线比常用的层状 3+9 +

15 帘线具有优越的抗屈挠性能——在受控拉伸弯曲方式下(见图 2),紧密型帘线至疲劳破坏的周期比层状帘线高出 7~8 倍,这从表 1 可以看出,表中数值为至疲劳破坏的周期数。

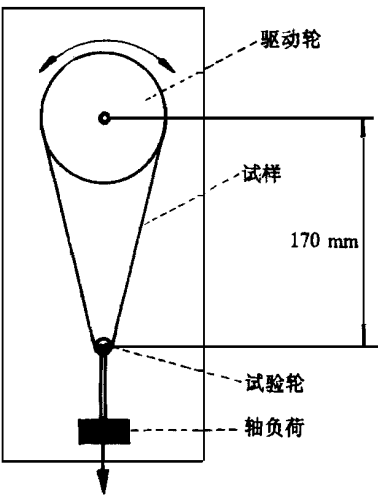


图 2 低周疲劳试验示意图

表 1 层状帘线与紧密型帘线的低周疲劳试验数据

| 帘线结构            | 平均值     | 标准偏差   |
|-----------------|---------|--------|
| 3+9+15 ×0.175+1 | 24 371  | 4 530  |
| 0.20+18 ×0.175  | 167 270 | 26 478 |

通过进行实验室模拟磨蚀试验(如 40 ×10<sup>6</sup> 周环带试验),可以评估材料性能的下降趋势,并预测轮胎的使用寿命。这种对比试验得出的数据包括几何尺寸的变化、断裂负荷的变化(整根钢丝帘线或拆散的单丝)、韧性或抗疲劳破坏性能。在相同强度下帘布疲劳试验数据的变化如表 2 所示。

表 2 层状帘线与紧密型帘线的抗疲劳性能对比 %

| 帘线结构              | 三辊反向弯曲疲劳 | 低周疲劳 |
|-------------------|----------|------|
| 0.22+18 ×0.20 HT  | 无变化      | - 9  |
| 3+9+15 ×0.22+1 NT | - 28     | - 64 |

最令人信服的应该是分析车队试验胎所得的数据。表 3 即为新胎跑至 21 万 km 时帘线单丝弯曲及断裂负荷随它们在帘线中的位置变化率。

假设胎体强度一样,用紧密型 19 ×1 帘线生产轮胎肯定可以减小压延胶厚度,减小轮胎质量。同时,由于帘线直径减小,同样的卷轴可以绕更多的帘线,缩短了卷轴的搬运和更换时

表 3 车队试验胎\*帘线单丝的残余性能 %

| 帘线结构             | 层   | 断裂负荷 | 动态弯曲(交替弯曲)** |
|------------------|-----|------|--------------|
| 3+9+15 ×0.175+1  | +3  | —    | —            |
|                  | +9  | -18  | -58          |
|                  | +15 | -10  | -52          |
| 0.22+18 ×0.20 HT | 股芯  | -4   | -11          |
|                  | +18 | -3   | -5           |

注：\*轮胎规格为 315/80R22.5；\*\*检测单丝弯曲性能的试样不得小于 20 cm,静态弯曲试验只检测钢丝的某一特定

点。间。此外,抗屈挠性的提高为轮胎设计者提供了另一个有吸引力的前景:当用紧密型钢丝帘线替代层状钢丝帘线进行轮胎设计时,甚至有可能减小安全因数。

基于上述研究,建议胎体增强材料采用以下结构的钢丝帘线:3 ×0.20/9 ×0.175 HT(轻型载重轮胎);3 ×0.22/9 ×0.20 HT,0.20+18 ×0.175 和 0.22+18 ×0.20 HT(中型载重轮胎);0.22+18 ×0.20 HT,0.25+18 ×0.22(重型载重轮胎)。

2 带束层帘线

带束层钢丝帘线要求具有良好的渗胶性、附着力及粘合强度保持率、低结构伸长和无股芯滑移。采用高定伸、直径小的帘线可以减薄胎体。帘线和结构的刚性应使用得当。

传统上使用的帘线结构为 3 ×0.20+6 ×0.35,这种两层结构的帘线被广泛应用,但其存在一个缺点,即渗胶性差。

贝卡尔特公司开发出一种特殊预成型工艺使橡胶可以通过微小的缝隙渗透(贝卡尔特公司的新型 Betru 帘线即为全渗胶帘线)。这一思路始于单层帘线(如 3 ×1 和 4 ×1)的开发,后来应用到 1+6 帘线。此外,外层单丝的多角形预成型工艺可以促使橡胶渗透到股芯钢丝。

对渗胶性的检测可以通过切断面测定单丝的覆胶率来进行,或者将帘线当作一个阀门,测量空气流过嵌埋在钢丝中的胶时的压力下降情况。

另一种检测渗胶性的方法是将生产中抽取的试样与预先调节好的试样进行(低周)弯曲疲劳性能对比。预调节试样是将试样预先放置在湿度较高的环境中,然后再放回至正常环境下,待胶料完全渗透,钢丝就不会受湿度影响,从而

其抗疲劳破坏性能也不会受到影响。为举例说明,对传统型 3+6 帘线与新型 1+6 Betru 帘线的使用性能进行了对比,结果见表 4。

表 4 传统型 3+6 帘线与新型 1+6 Betru 帘线的使用性能对比

| 项 目                        | 3 ×0.20+6 ×0.35 | 3 ×0.20+6 ×0.35 | 0.365+6 ×0.35 HT |
|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                            | NT              | HT              | Betru            |
| 渗胶性                        |                 |                 |                  |
| 压力损失/ %                    | 5~20            | 5~20            | 0                |
| 股芯钢丝覆胶量/ %                 | 70              | 70              | 78               |
| 低周疲劳下预调节与干态周期的比例/ %        | 50~60           | 50~60           | 100              |
| 股芯锚定力/ N                   | 175~225         | 175~225         | 305              |
| 股芯滑移                       | 无               | 无               | 无                |
| 断裂负荷/ N                    |                 |                 |                  |
| 帘线                         | 1 662           | 2 006           | 1 995            |
| 挂胶帘线                       | 1 796           | 2 146           | 2 122            |
| 帘线直径/ mm                   | 1.120           | 1.110           | 1.007            |
| 线密度/( g ·m <sup>-1</sup> ) | 5.23            | 5.30            | 5.34             |
| 压缩试验                       |                 |                 |                  |
| 皱缩应力/ MPa                  | 345             | 357             | 283              |
| 皱缩应变/ %                    | 0.43            | 0.46            | 0.36             |
| 压缩模量/ MPa                  | 123 000         | 117 000         | 124 000          |
| Taber 刚性(TSU)              | 128             | 133             | 151              |

将 3+6 帘线与类似的 Betru 帘线进行环带磨蚀对比试验,结果见表 5。

表 5 环带磨蚀对比试验结果

| 项 目       | 3+6 NT | 3+6 HT | 1+6 HT Betru |
|-----------|--------|--------|--------------|
| 磨蚀        |        |        |              |
| 内部        | 明显     | 明显     | 中度           |
| 外部        | 无      | 无      | 无            |
| 强度损失/ %   |        |        |              |
| 股芯单丝      | 4      | 2      | 1            |
| 外层单丝      | 0      | 1      | 1            |
| 弯曲韧性损失/ % |        |        |              |
| 股芯单丝      | 27     | 21     | 1            |
| 外层单丝      | 14     | 9      | 12           |

1+6 结构与 3+6 结构帘线的最终对比结果如下:渗胶性:1+6>3+6;断裂负荷:1+6=3+6;成本:1+6<3+6;刚性:1+6>3+6;股芯滑移:1+6=3+6;磨蚀损伤:1+6<3+6。

为了测量单芯单丝对压缩破坏的敏感度,利用“四点弯曲法”进行动态压缩试验。每隔 100 000 周加大一次负荷,同时进行声传播扫描,检测第 1 根单丝的断裂情况。对几种 Betru

型钢丝帘线进行对比试验,结果得到了与 3 + 6 帘线同样的数据。

当然,1 + 6 Betru 型帘线并不是唯一可得到的带束层增强材料,另外一种用于大型载重轮胎的是紧密型 12 ×1 帘线,有无外缠丝均可,其典型结构是:3 ×0.32/9 ×0.30 + 1 HT 18/5 SZ 和 3 ×0.32/9 ×0.30 HT 18 S。

由于股芯单丝较粗,因而不会发生股芯滑移现象,但存在股芯单丝间中心孔渗胶性欠佳的问题。当采用超高强度帘线时(将拉伸强度为 3 500 MPa 与 3 250 MPa 的 0.30 HT 单丝进行比较),尺寸较小单丝的断裂负荷几乎与尺寸较大的单丝相同。此外,使用尺寸较小的单丝还可以减少用胶量。这样,3 ×0.30/9 ×0.28 + 1 ST 16/5 SZ 帘线和 3 ×0.30/9 ×0.28 ST16 S 帘线即可替代 0.32/0.30 HT 帘线。

3 保护层帘线

中型/重型载重轮胎保护层要求具有较高的抗磨蚀性能和耐折强度(冲击力和伸长),这就要求帘线具有:全渗胶性、嵌埋在胶中的充分伸长性能、良好的抗冲击性能和抗压缩性能。此外,尺寸较大的单丝还应具有较强的抗割伤性能。

到目前为止,传统上使用的是高伸长(HE)或一般伸长(E)的帘线,它们具有捻距小的特点,因而导致在生产条件下断裂伸长高,但当嵌埋在胶中时,其伸长性能就下降了。经过对特殊性能帘线研究开发的不懈努力,新型帘线终于诞生了,这种帘线即使嵌埋在胶中仍具有高伸长和良好的抗冲击性能。

表 6 为典型新型帘线 5 ×0.38 与现有的 3 ×7 ×0.22 HE 和 4 ×2 ×0.35 E 帘线进行比较所得的物性数据。

5 ×0.38 帘线的优势在于渗胶性、断裂伸长率、抗冲击性能和能量吸收能力等方面均较强。直径较大的单丝具有良好的抗割伤性能,同时,结构简单也使价格具有强大的吸引力。

将 5 ×0.38,3 ×7 ×0.22 HE 和 4 ×2 ×0.35 E 帘线在生产中的以及嵌埋在胶中的拉伸力-应变曲线进行对比,见图 3~6。

显然,值得注意的是 5 ×0.38 帘线的拉伸

| 表 6 新型帘线与现有 HE 和 E 帘线的比较 |         |               |               |
|--------------------------|---------|---------------|---------------|
| 项 目                      | 5 ×0.38 | 4 ×2 × 0.35 E | 3 ×7 ×0.22 HE |
| 直径/mm                    | 1.3     | 1.59          | 1.52          |
| 捻距/mm                    | 14      | 3.9/10        | 4.5/8         |
|                          | S       | S/S           | S/S           |
| 线密度/(g·m <sup>-1</sup> ) | 4.54    | 6.50          | 6.95          |
| 拉伸试验                     |         |               |               |
| 断裂负荷/N                   | 1 308   | 1 512         | 1 813         |
| 弹性模量/MPa                 | 71 000  | 123 000       | 101 000       |
| 断裂伸长率/%                  | 7.38    | 4.40          | 5.98          |
| 断裂负荷曲线下                  |         |               |               |
| 的能量(l = 200 mm)          | 12.95   | 9.30          | 12.10         |
| 与 5 ×0.38 帘线相比           | 100     | 72            | 93            |
| 埋入胶中帘线的拉伸试验              |         |               |               |
| 断裂负荷/N                   | 1 399   | 1 634         | 1 939         |
| 弹性模量/MPa                 | 78 000  | 130 000       | 113 000       |
| 断裂伸长率/%                  | 6.39    | 2.16          | 2.68          |
| 断裂负荷曲线下                  |         |               |               |
| 的能量(l = 200 mm)          | 12.55   | 4.30          | 6.30          |
| 与 5 ×0.38 帘线相比           | 100     | 34            | 50            |
| 压缩试验                     |         |               |               |
| 皱缩应力/MPa                 | 248     | 196           | 104           |
| 皱缩应变/%                   | 1.6     | 5.0           | 5.0           |
| 皱缩弹性模量/MPa               | 26 000  | 13 000        | 5 000         |
| 部分负荷伸长                   |         |               |               |
| (2.5 ~ 50 N)/%           | 0.26    | 0.44          | 1.50          |
| 冲击试验                     |         |               |               |
| 冲击力/N                    | 635     | 647           | 763           |
| 挂胶帘线冲击断裂                 |         |               |               |
| 负荷/%                     | 45      | 39            | 39            |
| 冲击能量/J                   | 3.90    | 3.10          | 4.20          |

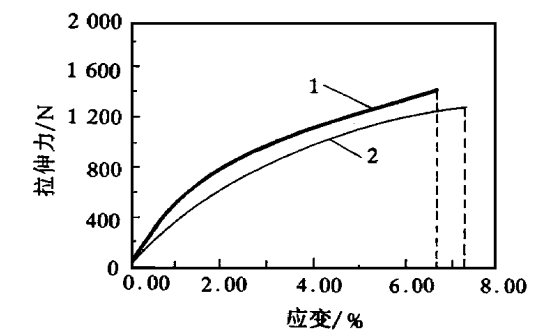


图 3 未包埋及包埋在胶中的 5 ×0.38 帘线拉伸力-应变图  
1—包埋;2—未包埋

力-应变曲线下的大面积能量吸收区,特别是当其嵌埋在胶中时尤为令人瞩目。

4 高强度胎圈钢丝

为满足减小轮胎质量的要求,提高胎圈钢

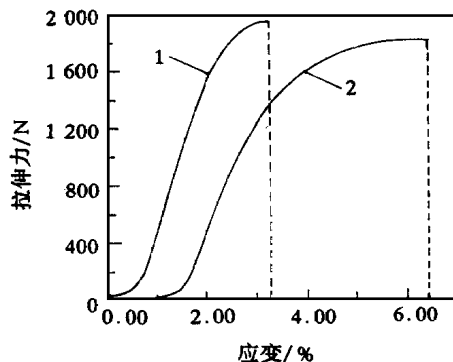


图4 未包埋及包埋在胶中的  $3 \times 7 \times 0.22$  HE 帘线拉伸力-应变图  
注同图3

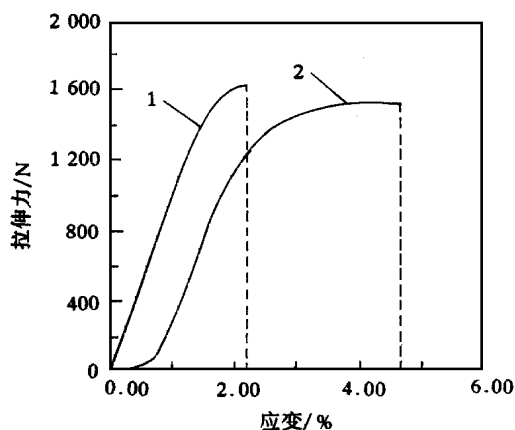


图5 未包埋及包埋在胶中的  $4 \times 2 \times 0.35$  E 帘线拉伸力-应变图  
注同图3

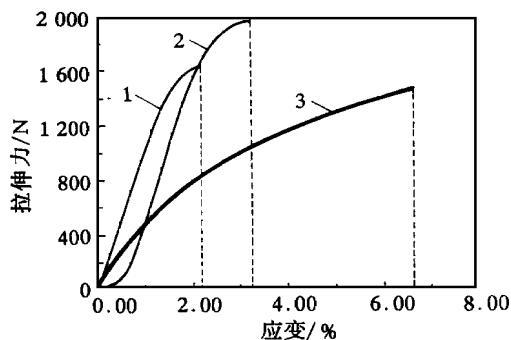


图6  $4 \times 2 \times 0.35$  E,  $5 \times 0.38$  和  $3 \times 7 \times 0.22$  HE 帘线拉伸力-应变图

1— $4 \times 2 \times 0.35$  E; 2— $3 \times 7 \times 0.22$  HE; 3— $5 \times 0.38$ ;

丝的强度等级迫在眉睫。图7显示了目前冷拉钢丝抗扭韧性的极限。随着强度的提高,抗扭性极有可能变得不稳定。

1 mm 胎圈钢丝应力消除后的安全强度为 2 600 MPa, 1.2 mm 胎圈钢丝为 2 350 MPa。

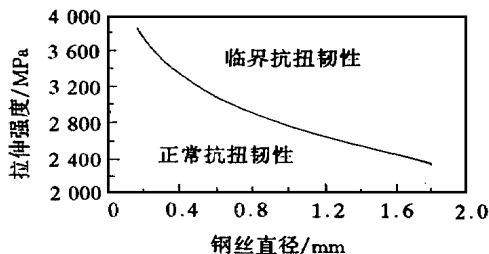


图7 冷拉钢丝抗扭韧性

通过以下不同途径可以研制出达到上述要求的胎圈钢丝:

- (1) 直径相同, 强度高, 捻度低;
- (2) 直径较小, 强度高, 捻度相同;
- (3) 直径较大, 强度高, 钢丝根数少, 捻度小, 甚至是单根钢丝。

以 0.965 mm NT (2 000 MPa) 为基准, 1 根  $4 \times 4$  方钢丝圈可用 2 650 MPa 钢丝制成的  $4 \times 3$  钢丝圈替代, 质量减小了 25%。同样, 用  $3 \times 3 \times 1.20$  HT 钢丝圈替代  $4 \times 4 \times 0.965$  NT 方钢丝圈, 质量可减小 15%, 并且, 使用直径较大的钢丝可提高生产率。特别是生产单钢丝钢丝圈时, 直径较大的钢丝在提高钢丝圈强度效率上更具吸引力。

## 5 结论

轮胎行业由于市场对其在节能、降低成本、安全及延长使用寿命等方面的要求不断增高, 变化越来越迅速。在复杂的复合子午线轮胎中, 各部件都有其特有的特性及功能。

本文阐述了贝卡尔特公司为响应市场上胎体、带束层及胎圈部位的特殊要求所作出的一些努力, 其准则即是采用韧性大、强度高的材料。讨论了紧密型帘线在胎体中应用的性能, 由于避免了内层及外缠丝的磨蚀, 因而对提高耐久性有很大的潜力; 当用作带束层和保护层的增强材料时, 对其最基本的要求就是通过改善渗胶性来提高抗锈蚀能力。1+6 Betru 帘线和 5×1 高伸长帘线是这类帘线的佼佼者。

显然, 对钢丝帘线结构的研究开发工作尚未结束, 作为主要的钢丝帘线供应商, 贝卡尔特公司将继续努力以满足客户的需求。

译自英国 "Tire Technology International 1998", P93~98