

芳纶帘线性能及在轮胎中的应用研究^{*}

王同英 张清水

(北京橡胶工业研究设计院 100039)

摘要 进行了芳纶(Twaron)帘线动态力学性能和疲劳性能的研究及其在轿车子午线轮胎、轻载子午线轮胎、工程机械轮胎缓冲层中的应用试验。结果表明,芳纶帘线具有动态模量高、滞后损失小的优异性能。芳纶增强轮胎具有轻量、高速及使用寿命长等特点。

关键词 芳纶帘线,动态力学性能,子午线轮胎,工程机械轮胎

目前,子午线轮胎日益向高速、安全、低滚动阻力、节省燃料、减少环境污染等高性能方向发展。轮胎骨架材料对轮胎性能的影响至关重要,通过对各种骨架材料性能的综合分析对比,认为芳纶将有可能成为高性能子午线轮胎的最佳骨架材料。

芳纶具有高强度、高模量、低滞后损失、耐高温性能好和密度低等特点,兼备了化纤帘线与钢丝帘线的优异性能,但其价格昂贵,严重阻碍了其扩大应用。在工业发达国家,高性能芳纶子午线轮胎、赛车轮胎、工程机械轮胎等已逐渐商品化,这又促进了芳纶纤维生产的发展。

芳纶是目前高性能纤维中生产和应用能力较大的品种,其生产基本上被美国杜邦公司和荷兰阿克苏公司所垄断。杜邦公司芳纶的年生产能力为2万余吨,阿克苏公司约为1.1万t,预计2000年前后芳纶的生产能力将有较大的发展,届时其成本将大幅度下降,无疑将可在子午线轮胎、输送带、高压胶管等橡胶制品中扩大应用。

近几年来,我们对芳纶帘线的结构、性能及其在轮胎中的应用进行了系统的研究,为了使人们能进一步认识芳纶,本文就芳纶的动态力学性能、疲劳性能及芳纶轮胎性能进行讨论。

1 实验

1.1 主要原材料

芳纶(Twaron)、尼龙及聚酯帘线均为阿克苏诺贝尔公司产品。

1.2 试验仪器及试验条件

采用 Rheovibron DDV-1-EA 动态粘弹谱自动测量仪进行动态力学性能测试,频率为3.5 Hz;温度为常温~200℃;升温速度为3℃·min⁻¹。疲劳试验所用仪器及条件见参考文献[1]。

2 结果与讨论

2.1 动态力学性能

帘线的动态力学性能试验方法较多,本文讨论粘弹谱和循环往复拉伸的试验结果。

(1) 粘弹谱试验

粘弹谱试验帘线应变为小应变,属线性粘弹行为。芳纶帘线的动态模量(E)及损耗因子($\tan\delta$)与温度的关系见图1和2。

从图1和2可以看出,芳纶帘线的动态模量及损耗因子均不随试验温度的升高而变化,基本平行于温度坐标轴。芳纶帘线的动

^{*}参加本课题研究的人员还有:陈振宝、高称意、张燕等。

作者简介 王同英,女,1936年出生。高级工程师。1959年毕业于华东纺织工学院(现中国纺织大学)。主要从事橡胶工业用骨架材料的基础及应用研究。曾获得国家科学大会奖和化学工业部科技进步三等奖。已发表论文十余篇。

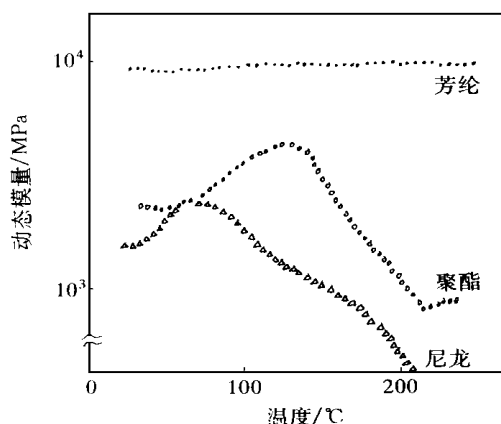


图1 动态模量与温度的关系

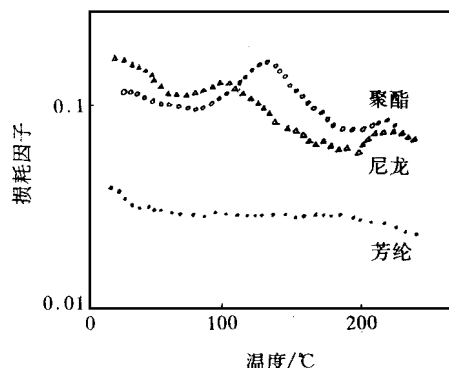


图2 损耗因子与温度的关系

态模量明显高于聚酯和尼龙帘线,而损耗因子则比聚酯和尼龙低得多。这充分表征了芳纶具有高动态模量、低滞后损失的特性,非常适宜用作低滚动阻力高性能轮胎的骨架材料。

帘线的动态模量与损耗因子,由其储存模量(E')和损耗模量(E'')决定。储存模量为材料的弹性贡献,损耗模量则为材料的粘性作用结果。弹性大的材料滞后损失小,即阻尼小,理想的弹性材料是没有阻尼的。

(2) 循环往复拉伸试验

循环往复拉伸试验方法更为直观,帘线在大变形下进行循环往复拉伸-回缩试验,属非线性粘弹行为,线性与非线性粘弹行为对

轮胎生热速率的影响是不同的。帘线大变形条件下的动态力学性能对其在轮胎中的实际应用更有意义。循环往复拉伸试验测定的帘线滞后损失率见图3。

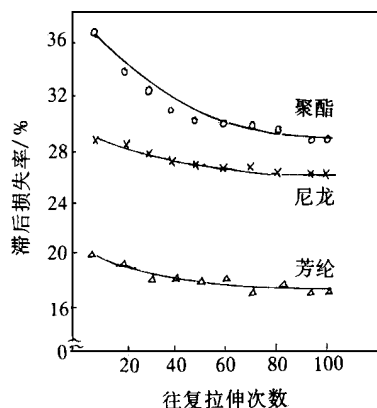


图3 滞后损失率与往复拉伸次数的关系

从图3可以看出,芳纶帘线的滞后损失率最低,而聚酯帘线最高。滞后损失率与帘线循环往复拉伸过程中的塑性变形有关,塑性变形大,则滞后损失率高,这也可以从图4滞后圈分析,帘线在拉伸时为外力对帘线做机械功,回缩时帘线对外做功,这部分功系帘线释放出拉伸时储存的能量。图4中 oab 面积为滞后圈,这部分功为外力对帘线做的净功,使材料产生局部破坏,生热等,通常称为损耗功。 ob 为塑性变形,塑性变形越大,滞后圈面积越大,则损耗功越大。

试验证明了芳纶帘线的塑性变形最小,

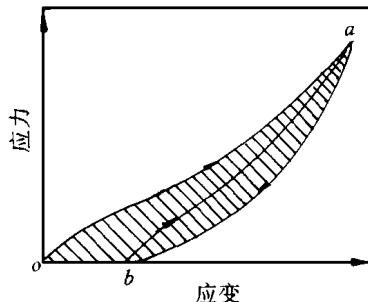


图4 循环往复拉伸滞后圈

滞后损失率也最小,聚酯帘线塑性变形最大,滞后损失率最大。塑性变形实质就是高分子粘弹行为中粘性部分的宏观反应。

两种试验得到同样的结论,即芳纶帘线的动态模量高,弹性好,滞后损失率小。滞后损失率与循环拉伸速度关系见图5。

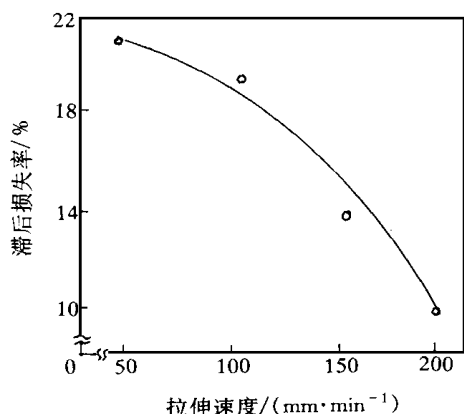


图5 滞后损失率与拉伸速度的关系

从图5可以看出,滞后损失率随循环拉伸速度的提高而降低,这一规律可用温度-时间等效关系分析。拉伸速度或频率增加与降低温度的效应相似,也就是说,拉伸速度高,外力对高聚物作用时间短,纤维大分子形变来不及响应,相当于作用温度低,大分子得到的能量小,使高分子在同一应力作用下应变小,因此,滞后损失率小。这一特性对轮胎实际使用非常有意义。

2.2 疲劳试验

帘线疲劳试验方法很多,到目前为止尚未形成标准试验方法。根据芳纶不耐压缩、弯曲、剪切疲劳的最大弱点和帘线在轮胎行驶过程中承受反复拉伸、压缩、剪切及弯曲疲劳作用的受力特点,选用芳纶帘线与橡胶粘合为一体的试样,进行弯曲、压缩、剪切疲劳试验,然后测定帘线的强力保持率。试验结果表明^[1],芳纶帘线的强力保持率为70%~78%,而尼龙帘线为100%。显然,芳纶帘线的耐疲劳性能较差,其原因被公认为是芳纶

刚性分子链结构所致。

为了进一步探索芳纶帘线疲劳破坏机理,进行了纤维疲劳破坏断裂形态分析。选用扫描电子显微镜(SEM)观察芳纶和尼龙帘线拉伸破坏和疲劳破坏的形态。发现尼龙帘线拉伸和疲劳破坏的形态均为横向裂纹,且随着外力的增大,形成了V形槽的破坏,属于韧性破坏。芳纶帘线由于大分子取向度高,分子链本身强度也高,故在受到外力作用,纤维破坏发生在分子链间横向强度薄弱处,导致纤维纵向裂开而破坏,另外疲劳后的纤维表面还出现许多小球状凸起物,被称为缠结带。缠结带的形成被认为是大分子构象变化和分子弯曲所致。这仅为初步试验分析,有待今后深入研究。

2.3 芳纶在轮胎中的应用^[2]

2.3.1 芳纶轿车子午线轮胎

选用国产芳纶和进口芳纶(Twaron)试制了175/80SR13单层胎体轿车子午线轮胎,耐久性试验时间均达到120h,胎体完整无损。高速性能均超过国家标准,国产芳纶轮胎达到220 km·h⁻¹,进口芳纶轮胎达到240 km·h⁻¹。芳纶增强轮胎质量比同规格轮胎小,国产芳纶轮胎小10.9%,进口芳纶轮胎小11.36%。

2.3.2 芳纶轻载子午线轮胎

(1) 芳纶带束层轻载子午线轮胎

用芳纶替代钢丝作带束层试制6.50R16 10PR子午线轮胎。结果表明,芳纶带束层子午线轮胎的质量比钢丝带束层轮胎小14.3%。为了考核芳纶帘线的耐疲劳性能,分别取耐久试验行驶120h的轮胎和实际里程试验行驶7.6万km的轮胎中的芳纶帘线,测定其强力保持率。结果表明,耐久试验行驶120h后的轮胎中帘线强力保持率为98.3%,实际里程试验行驶7.6万km的轮胎中帘线强力保持率为90.7%,各层帘布间的粘合强力均较高。这表明了芳纶帘线的耐疲劳性能虽比其它帘线差,但还是能满足轮

胎使用要求的。

(2) 芳纶单层胎体轻载子午线轮胎

我们选用进口浸胶芳纶(Twaron)帘布替代3层聚酯帘布胎体制制6.50R16 10PR单层胎体子午线轮胎。芳纶胎体轮胎的质量比同规格聚酯胎体轮胎小14.4%,滚动阻力比聚酯胎体轮胎小4.3%。芳纶轮胎滚动阻力低,这主要是芳纶帘线的滞后损失率较小的缘故。

芳纶单层胎体轮胎的帘布用量少,耗胶量低,生产效率高,使芳纶胎体轮胎的成本明显降低。但由于芳纶帘线价格昂贵、进口关税及聚酯帘布价格下调等因素的影响,目前,芳纶轮胎商品化仍有一定的难度。

2.3.3 芳纶缓冲层巨型工程机械轮胎

目前,国产巨型工程机械轮胎的质量及使用寿命有大幅度提高,但与世界名牌产品相比,仍有耐刺扎性能差等不足。芳纶帘线具有耐切割的特性,在轮胎中应用可提高轮胎耐刺扎性能,因此我们按两种方案试制了18.00-33 32PR芳纶工程机械轮胎:1号方案为4层芳纶缓冲层;2号方案为2层芳纶与2层尼龙帘布并用缓冲层。试制的轮胎在国家指定巨型工程机械轮胎里程试验点——本溪钢铁公司南芬露天铁矿进行实际使用试验,结果表明,芳纶缓冲层工程机械轮胎具有

很好的耐刺扎性能:1号方案轮胎的行驶里程比同规格轮胎提高65%,2号方案轮胎的行驶里程提高18%。轮胎在行驶过程中未发现肩空和脱层等缺陷,这不仅可减少换胎次数,节省人力,且可降低成本,提高生产效率。

3 结论

(1) 芳纶帘线具有动态模量高、弹性好、滞后损失率小及耐疲劳性能较差等特性。

(2) 芳纶帘线子午线轮胎具有质量轻、速度高、滚动阻力小等性能。

(3) 芳纶缓冲层工程机械轮胎具有突出的耐刺扎性能,而且行驶里程高,社会和经济效益显著。

致谢 芳纶子午线轮胎、工程机械轮胎试制及试验在山东荣成橡胶厂、河南轮胎厂及北京橡胶工业研究设计院轮胎研究室合作下完成,特此致谢。

参考文献

- 1 杨宗芳,王同英,陈振宝. 芳纶复合帘线耐疲劳性能研究. 轮胎工业,1996,16(7):393
- 2 陈振宝,王同英,张清水. 芳纶轮胎及同步齿形带的研究. 产业用纺织品,1997,15(1):8

第十届全国轮胎技术研讨会论文

Properties of Aramid Cord and Its Application to Tire

Wang Tongying and Zhang Qingshui

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry 100039)

Abstract The dynamic and fatigue properties of aramid(Twaron) cord were investigated and a study was made on the application of aramid cord to radial passenger car tire, radial light truck tire and OTR tire. The results showed that the aramid cord possessed high dynamic modulus and low hysteresis; and the aramid reinforced tire featured reduced weight, good high speed performance and long tread life.

Keywords aramid cord, dynamic properties, radial tire, ORT tire