

锦纶-聚酯复合帘线的有限元分析

Dogan Sevim, Muge Yenmez

(Kordsa Global, Turkey)

中图分类号: TQ330.38⁺9; O241.82 文献标志码: B 文章编号: 1006-8171(2015)04-0235-04

轮胎制造行业大量使用各种纤维帘线,然而纤维帘线的设计、开发和制造是一个非常复杂的过程,工程技术人员通常要开展一系列严谨而且复杂的工作,如建立模型、数据分析、结构设计、样品试制和产品测试等,采取不同的方法和技术措施解决过程中存在的各种问题,最后才能确定帘线制造的最佳方案。有限元分析是解决这种具有挑战性工程技术问题最有效的方法之一。尤其是近年来计算能力和智能工具技术水平的快速发展,促进了有限元分析技术的推广应用。

1 帘线内部应力分析

针对不同结构类型的帘线,目前的试验方法和测试途径虽然很多,但是仍有一些信息无法通过试验获得,如股线间的负荷分布、帘线局部受力状况等。通过有限元分析方法,单根帘线承载负荷时受到的拉伸应力可以分解到每股股线上,并能计算承担负荷的百分率。锦纶-聚酯复合帘线在负荷作用下应力分布和应力集中现象的有限元分析如图1所示。

有限元分析有助于提高对帘线失效特性和破



图1 锦纶-聚酯复合帘线股线应力分布及局部应力集中

坏机理的认知和理解。帘线在负荷作用下伸长率的变化与帘线结构密切相关,在设计帘线结构时准确预测帘线最终的失效状态,才能够开发出在负荷能力与断裂伸长率之间达到平衡的帘线结构。应用有限元分析方法可以计算得到帘线局部应力分布的结果,据此预判帘线最终失效的起始位置。

股线之间的相互作用对其组成帘线的应力-应变特性和破坏机理也很重要。常规帘线各股线通常由同种材料构成,股线间相互作用力基本一致。而复合帘线是由不同种类的材料构成,股线往往表现出不同的应力-应变行为,股线间不均衡

的相互作用力容易导致在某一部位发生应力集中现象,帘线受到的拉伸达到一定应力值时就会发生损坏,致使帘线早期断裂。

此外,在设计开发新型帘线时,帘线的变形也必须高度关注,尤其是复合帘线。在拉伸状态下,一般无法预知帘线的横断面形状变化情况,通过有限元分析方法可以预测橡胶中帘线形状的改变。

2 复合帘线的特点及有限元模型

与普通锦纶和聚酯帘线相比,复合帘线的各项性能指标都介于锦纶和聚酯帘线之间,包括帘

线的韧性、断裂伸长率、模量、热收缩、耐疲劳性能、静态粘合、疲劳后粘性保持率以及尺寸稳定性等,这些性能都是轮胎设计者所关注的,与轮胎的性能息息相关。锦纶和聚酯帘线都存在某一项或几项性能略显不足,通过适当的结构设计,将两种帘线进行复合,能够使相应的性能得到优化改进。

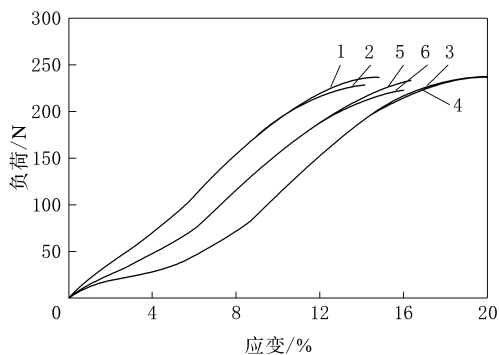
众所周知,锦纶帘线的模量偏低,尺寸稳定性差,制约了其在某些类型轮胎中的广泛应用,通过采用锦纶与聚酯帘线复合,这两项性能得以显著改善。聚酯帘线的耐疲劳性能、动态粘合性能和韧性等方面不足,其高温粘合性能远远逊色于锦纶帘线,致使无法在冠带层中使用,耐疲劳性能差更是聚酯帘线的致命弱点。通过与锦纶帘线复合,粘合性能与锦纶帘线相近,耐疲劳性能和韧性也明显改善。由此可见,锦纶-聚酯复合帘线具有锦纶帘线和聚酯帘线无法比拟的优异性能,将成为橡胶和轮胎行业重要的增强型骨架材料。

合成纤维具有非线性和结构复杂的材料特性,建立材料分析模型时通常基于线性弹性、超弹性和粘弹性3个独立的材料特性参数。材料的弹性是指帘线受到拉伸发生小形变(相对于帘线尺寸)时的响应特性,超弹性是指材料出现相对较大形变时的响应特性,粘弹性是指纤维的松弛和蠕变特性。应用有限元分析技术能够充分显现各项特性对合成纤维材料在负荷作用下总体性能的贡献。

影响材料特性的另一个重要因素是纤维长丝间的相互作用。针对纤维长丝性能分析建立的材料模型,需要进行大量的计算和严谨细致的分析处理,在分析计算不同强度纱线的纤维特性时,以单根长丝为分析处理单元,只需改变纤维的单丝直径即可获得分析结果,因此,纱线的材料结构模型建立在单根长丝的基础之上是最佳方案。纤维帘线由加捻的两股或更多的股线构成,建立帘线的材料模型必须引入股线加捻的概念,股线的捻度与帘线性能密切相关,是改进帘线材料性能的有限元分析模型中引进的最后一项参数。

锦纶66与聚酯材料特性相似,通过有限元分析方法对不同捻度的锦纶66、聚酯及其复合帘线进行模拟分析,分析结果与实际测试结果对比见图2。由图2可以看出,有限元分析结果与测试

结果都非常相近,从而证明了有限元方法建立的锦纶66和聚酯帘线材料模型的正确性和有效性。

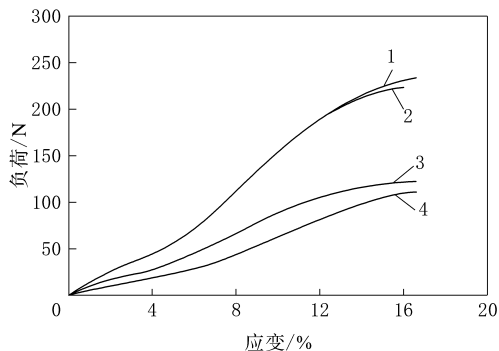


1—2 股聚酯帘线测试;2—2 股聚酯帘线有限元分析;3—2 股锦纶帘线测试;4—2 股锦纶帘线有限元分析;5—锦纶-聚酯复合帘线测试;6—锦纶-聚酯复合帘线有限元分析。

图2 锦纶、聚酯及其复合帘线应力-应变测试与有限元分析结果对比

3 复合帘线的有限元分析

从理论上分析,锦纶-聚酯复合帘线应该具有锦纶和聚酯两种帘线的“混合”性能,这也是我们所期盼的。每种纤维有不同的材料特性,两种不同帘线结合在一起构成的复合帘线,通过材料模型分析得到的性能结果也只有一个,有限元分析结果从另一个方面证明了上述结论的正确性。图3示出了锦纶-聚酯复合帘线以及其中锦纶和聚酯股线的应力-应变曲线。由图3可见,锦纶-聚酯复合帘线的负荷-伸长率响应特性,可以用每股股线的负荷-伸长率响应特性加和来表示,即将每股股线在每个应变条件下承担的负荷进行加和,就可得到总的锦纶-聚酯复合帘线在每个应变条

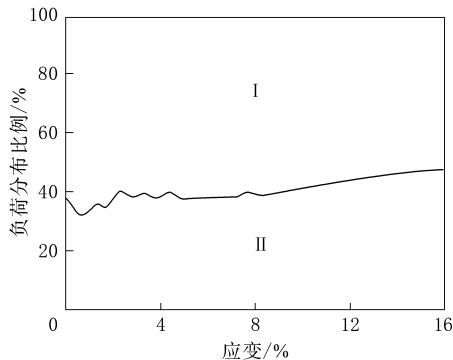


1—锦纶-聚酯帘线有限元分析;2—锦纶-聚酯帘线测试;
3—聚酯股线;4—锦纶股线。

图3 锦纶-聚酯复合帘线及其股线的应力-应变曲线

件下承担的负荷。

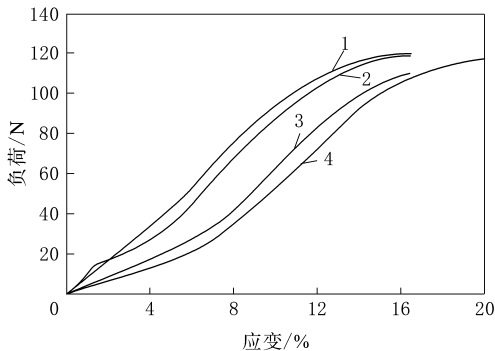
相同股线结构的锦纶-聚酯复合帘线中,锦纶和聚酯股线承担的负荷比例见图 4。由图 4 可见,在低应变条件下,复合帘线中锦纶对负荷的贡献比聚酯低得多,但在帘线断裂的瞬间,两种股线对负荷的贡献基本相同。



I—聚酯; II—锦纶。

图 4 复合帘线中锦纶和聚酯股线的负荷分布

图 5 所示为锦纶-聚酯复合帘线有限元分析结果。由图 5 可见,普通聚酯帘线中聚酯股线承担的负荷大于复合帘线中聚酯股线的负荷,1 股聚酯股线对普通聚酯帘线刚性的贡献远大于其在复合帘线中的表现,这是因为锦纶帘线的刚性小于聚酯帘线,而锦纶-聚酯复合帘线中锦纶股线承担的负荷远大于普通锦纶帘线中锦纶股线的负荷。即相同捻度的 1 股或 2 股锦纶股线,在复合帘线中要比在普通锦纶帘线中承担更大的负荷和吸收更多的能量,而聚酯股线恰好与之相反。锦纶和聚酯帘线的横向刚度和模量的分析结果与此类似,这两项指标用于表征帘线在拉伸状态下抵

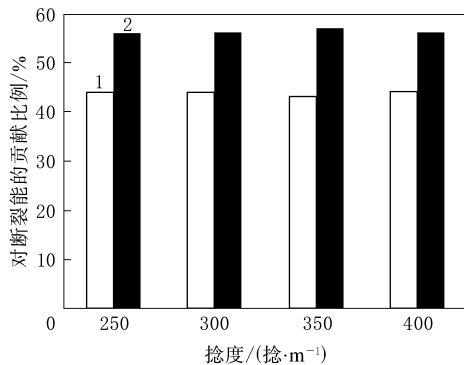


1—2 股聚酯帘线的股线; 2—复合帘线中的聚酯股线; 3—复合帘线中的锦纶股线; 4—2 股锦纶帘线的股线。

图 5 复合帘线中锦纶和聚酯的负荷-应变曲线

抗横向形变的能力。

复合帘线中股线捻度对断裂能影响的有限元分析结果见图 6。由图 6 可见,即使复合帘线中股线的捻度发生改变,锦纶和聚酯股线对帘线总断裂能的贡献却没有明显变化。由此看来,要改变每股股线承担负荷能力的比例,只有两种方法:一是改变股线的强度,二是采用不同捻度的股线,即不平衡的捻度。如果采用不同强度的股线,帘线的横断面将会发生改变,帘线的负荷-应变响应特性将会明显不同;如果改变股线的捻度,即采用不平衡捻度,复合帘线的负荷-应变响应特性仍将介于锦纶和聚酯的普通帘线之间。如果复合帘线中股线的材料种类改变,帘线的负荷-应变响应特性将随着新材料的特性而发生变化,即复合帘线的特性行为将会完全不同。

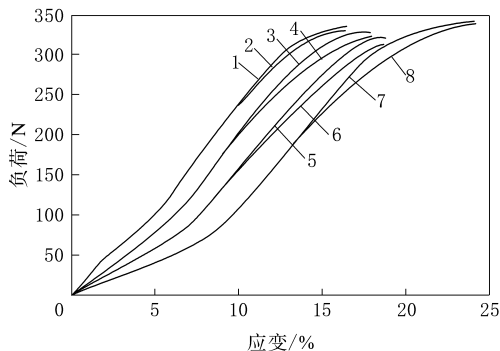


1—锦纶股线; 2—聚酯股线。

图 6 复合帘线中锦纶和聚酯股线对断裂能的贡献

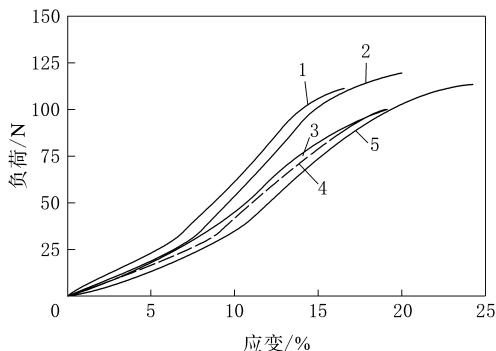
采用有限元方法分析了 3 股锦纶-聚酯复合帘线,股线的捻度与 2 股复合帘线相同。3 股锦纶和聚酯普通帘线及其复合帘线的负荷-应变曲线如图 7 所示。由图 7 可以看出,每种帘线的实际测试结果与有限元分析结果基本一致。对于 3 股复合帘线中的每股股线,即使股线的捻度与两股复合帘线相同,其负荷-应变特性还是有明显变化。主要原因是 3 股帘线的直径大,每股股线捻制成帘线时螺旋半径增大,导致其刚性下降,从而使其性能发生改变。

2 股和 3 股复合帘线中锦纶股线的负荷-应变性能有限元分析结果如图 8 所示。由图 8 可见,在应变相同的条件下,3 股锦纶-聚酯复合帘线中的锦纶股线要比 3 股锦纶普通帘线中的股线承担更大的负荷,与在 2 股帘线中的规律相同。



1—3股1670聚酯帘线测试;2—3股1670聚酯帘线有限元分析;
3—1股锦纶+2股聚酯复合帘线测试;4—1股锦纶+2股聚酯
复合帘线有限元分析;5—2股锦纶+1股聚酯复合帘线测试;
6—2股锦纶+1股聚酯复合帘线有限元分析;7—3股1400
锦纶帘线测试;8—3股1400锦纶帘线有限元分析。

图7 3股轮胎帘线有限元分析和测试结果



1—1股锦纶+1股聚酯复合帘线;2—2股锦纶帘线;3—1股
锦纶+2股聚酯复合帘线;4—2股锦纶+1股
聚酯复合帘线;5—3股锦纶帘线。

图8 不同帘线结构中锦纶股线的负荷-应变
有限元分析结果

另外,如果将3股复合帘线中聚酯股线成分增加,即由1股增加到2股,锦纶股线所承担的负荷将会进一步增大,因为聚酯纤维的模量比锦纶纤维

高,在相同应变下,帘线承担的总负荷提高,锦纶股线分担的负荷也相应增大。通过检测不同结构复合帘线中聚酯和锦纶股线的能量吸收,更有助于理解这个问题。例如,与2股锦纶与1股聚酯构成的3股复合帘线和3股锦纶普通帘线相比,1股锦纶与2股聚酯构成的3股复合帘线中锦纶股线吸收的能量比前两者分别提高5%和10%。

与此类似,2股锦纶-聚酯复合帘线中的锦纶股线吸收的能量比在普通2股锦纶帘线中的锦纶股线提高12%。除此之外,由于锦纶和聚酯帘线材料性能存在差异,2股和3股锦纶-聚酯复合帘线的断裂伸长率比相应的2股和3股锦纶普通帘线低,而复合帘线的断裂伸长率比相同股数的聚酯普通帘线高。

4 结语

通过试验手段很难测得的试验数据,往往通过有限元分析方法很容易获取。因此,有限元分析方法是深入分析轮胎帘线,从而取得更有价值数据的最有效分析手段之一。与相对复杂而且条件苛刻的试验检测方法相比,在解决先进的工程技术问题方面,有限元分析方法更简单易行。

与普通锦纶和聚酯帘线相比,锦纶-聚酯复合帘线显示出与众不同的特性,可以通过调整和优化帘线设计方案,使帘线达到所期望的性能指标,如帘线的强力、模量、粘合性能和耐疲劳性能等。

(北京首创轮胎有限责任公司 赵冬梅摘译
李 明校)

译自美国“Tire Technology International”,
68~70(2010)

东洋召回138条轻型载重轮胎

中图分类号:TQ336.1;U463.341 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2015年2月19日报道:

日本东洋轮胎美洲公司正在召回138条Open Country M/T轮胎,原因是这些轮胎带束层偏离中心,可能导致胎面脱层和/或充气压力损失。

该轻型载重轮胎仅销售于替换轮胎市场,用于全规格敞蓬货车。驾驶者可能会经历拉动、振

动和/或在胎面脱层初期的不规则磨损。

涉及轮胎的规格为40×15.5R22 127Q,生产日期为2014年10月26日至11月1日(星期代码为4314)。根据美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)的通知,星期代码4314前或后生产的轮胎均不受影响。

东洋将通知消费者,经销商将免费为消费者更换新轮胎。

(肖大玲摘译 吴淑华校)