

高强度、高纤度高模量低收缩聚酯帘线在轮胎轻量化中的应用

田立勇^{1,2}, 李小明³, 卓坚锐², 伍辉儒², 魏取福^{1*}, 董毛华³

[1. 江南大学生态纺织教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 联新(开平)高性能纤维有限公司, 广东 开平 529300; 3. 陕西延长石油集团橡胶有限公司, 陕西 西安 712044]

摘要: 研究单层1440dtex/2高强度高模量低收缩(HMLS)聚酯帘线替代单层1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线在205/60R16 92H轮胎中的应用(方案1)以及单层3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线替代2层1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线在225/60R17 103V轮胎中的应用(方案2), 并对2种方案试验轮胎进行成品性能测试。结果表明: 2种方案试验轮胎在强度性能、高速性能、耐久性能和六分力方面基本相同; 方案2单层胎体轮胎的噪声比两层胎体轮胎略高1~1.5 dB; 方案1轮胎质量减小了220 g, 滚动阻力降低了2.31%; 方案2轮胎质量减小了360 g, 滚动阻力降低了2.52%。

关键词: 聚酯帘线; 轮胎; 轻量化; 滚动阻力

中图分类号: U463.341⁺.4/.6; TQ330.38⁺9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2018)0- -05

新轮胎标签法的实施, 促使轮胎生产商降低轮胎滚动阻力, 提高燃料的利用率, 减少汽车尾气的排放, 减缓温室效应对全球气候的负面影响。对轿车和轻型载重轮胎而言, 3.4%~3.6%的燃料用于克服轮胎的滚动阻力; 载重子午线轮胎则需要12.4%~14.5%的燃料用于克服滚动阻力。如果轮胎的滚动阻力降低10%, 则轿车和轻型载重汽车大概可以节约1.2%的燃料, 而载重汽车节约燃料可达4%, 降低轮胎的滚动阻力对减少能耗和尾气排放量具有重要的意义^[1]。

通过轮胎结构的优化以及原材料的选择和橡胶配方的改进等措施可以降低轮胎滚动阻力, 其中轮胎轻量化是一个重要的措施^[1-4]。余双玉^[5]和程莉^[6]分别对1400dtex/3锦纶66帘线在载重斜交轮胎和飞机轮胎轻量化中的应用进行了研究, 并通过成品轮胎性能验证了实施方案的有效性。

近年来, 聚酮和芳纶等新型高强度纤维帘线的开发和应用进一步推动了轮胎轻量化的发展^[2,7-10]。本工作通过对聚酯帘线和轮胎结构

进行研究和优化, 采用高强度和高纤度高模量低收缩(HMLS)聚酯帘线替代普通HMLS聚酯帘线应用于轮胎胎体, 减小胎体纤维帘线和压延覆胶的用量, 不仅可以明显降低轮胎的滚动阻力, 减少汽车尾气排放, 促进绿色环保, 同时体现了节约资源和精益生产。

1 实验

1.1 主要原材料

1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线、1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线和3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线, 联新(开平)高性能纤维有限公司提供; 样品轮胎, 陕西延长石油集团橡胶有限公司制备和提供。

1.2 试验方案

方案1: 轮胎规格为205/60R16 92H, 采用1层1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线(压延密度为100根·dm⁻¹)替代1层1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线(压延密度为100根·dm⁻¹)。

方案2: 轮胎规格为205/60R16 92H, 采用1层3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线(压延密度为85根·dm⁻¹)替代2层1670dtex/2普通HMLS聚酯帘

作者简介: 田立勇(1985—), 男, 安徽合肥人, 江南大学在读博士研究生, 主要从事轮胎帘线与橡胶复合材料的研究。

*通信联系人

线(压延密度为100根·dm⁻¹)。

1.3 性能测试

(1) 强力和断裂伸长率采用美国Instron公司3367型强力机按ASTM D 885—2006进行测定,夹距为254 mm,拉伸速率为254 mm·min⁻¹。

(2) 热收缩性能采用英国Testrite公司热收缩仪按照ASTM D 4974—2004进行测定,试验条件为温度 177 ℃,时间 2 min,负荷 0.045 g·dtex⁻¹。

(3) 动态性能(DMA)采用BOSE公司3200型DMA仪对帘线在频率10 Hz、负荷0.45 g·dtex⁻¹、温度范围为30~200 ℃内进行温度扫描测试。

(4) 成品轮胎强度、高速、耐久性能由陕西延长石油集团橡胶有限公司依照相关内控标准进行测定。

(5) 成品轮胎噪声性能委托同济大学噪声实验室依据GB/T 32789—2016进行测定。

(6) 六分力测试和滚动阻力委托史密斯瑞华苏州实验室分别依据SAEJ 1987和ECE-R 117进行测定。

2 结果与讨论

2.1 帘线力学性能

在不同温度下对1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线、1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线和高纤度HMLS聚酯帘线进行物理性能测试,结果如表1所示。

从表1可以看出:25 ℃时1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线单位纤度的断裂强力为0.071 5

N·dtex⁻¹,比普通HMLS聚酯帘线1670dtex/2单位纤度的断裂强力(0.062 5 N·dtex⁻¹)提高了14.4%;25 ℃时1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线断裂伸长率比1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线高30.5%,定负荷伸长率高14.8%,说明1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线负荷下的变形更小;3种聚酯帘线的热收缩率在1.6%~1.8%,属于低收缩型,有利于轮胎尺寸的稳定,为保证最终轮胎的安全性能和操控性能提供了理论可行性。

2.2 动态性能

图1示出了1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线、1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线和高纤度HMLS聚酯帘线的动态性能。聚酯帘线具有高分子材料典型的粘弹性特征,即粘性和弹性材料的特点,表现为在交变应力作用下,应变与应力不同步,具有滞后现象,这是由高分子材料各运动单元的特征决定的^[11-13]。为了便于比较单根帘线的复合模量,根据模量与帘线直径的关系,可以把模量的单位转化为N。

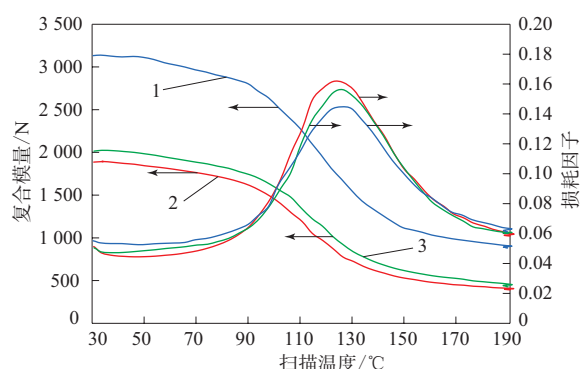
从图1可以看出:3种聚酯材料的玻璃化温度和损耗因子基本一致,这是由聚酯帘线材料的性质决定的;在轮胎工作温度范围内,高强度HMLS聚酯帘线和高纤度HMLS聚酯帘线的复合模量分别比普通HMLS聚酯帘线提高了6.9%和66%。在轮胎实际运行状态中,承受着周期性的交变应力,轮胎帘线在不同温度下的动态模量为轮胎设计提供了重要的参考依据。

2.3 成品轮胎室内性能

陕西延长石油集团橡胶有限公司在可控的生

表1 浸胶聚酯帘线的物理性能

项 目	1440dtex/2		3340dtex/2		1670dtex/2		测试方法
	25 ℃	100 ℃	25 ℃	100 ℃	25 ℃	100 ℃	
断裂强力/N	206.0	167.8	411.0	349.6	208.8	166.2	ASTM D 885
断裂伸长率/%	11.8	11.1	13.1	12.8	15.4	13.8	ASTM D 885
韧性/J	5.59	4.44	11.50	9.66	7.84	5.64	ASTM D 885
定伸长负荷/N							
1%	23.5	21.7	35.7	33.6	21.9	20.0	ASTM D 885
2%	40.2	35.1	69.7	57.4	37.9	31.9	ASTM D 885
3%	55.3	49.3	95.1	79.8	50.5	43.5	ASTM D 885
4%	71.3	64.9	120.0	103.2	63.1	55.8	ASTM D 885
66.6 N定负荷伸长率/%	3.72	4.10	1.89	2.41	4.27	4.84	ASTM D 885
热收缩率/%	1.80		1.63		1.60		ASTM D 4974



1—3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线;2—1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线;3—1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线。

图1 聚酯帘线的动态性能

产条件下,采用两种试验方案制作了若干条试验轮胎,进行外缘尺寸测量以及强度性能、耐久性能 and 高速性能测试,结果如表2所示。

从表2可以看出:采用2种试验方案制作的轮胎都通过了测试,达到了相应标准的要求;除了方

表2 成品轮胎室内性能测试结果

项 目	205/60R16 92H		225/60R17 103V	
	1440dtex/2	1670dtex/2	3340dtex/2	1670dtex/2
外缘尺寸 ¹⁾ /mm				
充气外直径	651.46	650.82	700.36	698.42
充气断面宽	203.79	205.46	226.40	225.82
通过	是	是	是	是
耐久性试验 ²⁾				
累计行驶时间/h	126	126	115	115
累计行驶里程/km	15 112	15 112	13 877	13 877
通过	是	是	是	是
强度性能 ³⁾				
破坏能实测值/J	298	328	720	651
通过	是	是	是	是
高速试验 ⁴⁾				
累计行驶时间/min	92	88	115	118
最高速度/ (km·h ⁻¹)	240	230	290	290
通过	是	是	是	是

注:1)按FMVSS 139测试,205/60R16 92H轮胎的充气外直径标准为645~659 mm,充气断面宽标准为201~215 mm;225/60R17 103V轮胎的充气外直径标准为694~710 mm,充气断面宽标准为219~235 mm。2)按FMVSS 139测试,标准要求205/60R16 92H和225/60 R17 103V轮胎的累计行驶时间大于35.5 h。3)按FMVSS 109测试,标准要求205/60R16 92H轮胎的破坏能大于295 J,225/60R17 103V轮胎的破坏能大于585 J。4)按ECE-R30测试,标准要求205/60R16 92H和225/60R17 103V轮胎的累计行驶时间大于60 min。

案1采用1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线制作的轮胎强度性能略低于对比1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线轮胎外,试验轮胎的其他室内测试性能都等同或优于对应参照轮胎。

2.4 噪声性能

轮胎室内噪声试验结果如表3所示。

表3 高纤度HMLS聚酯帘线轮胎(225/60R17 103V)及其对应参照轮胎噪声性能 dB(A)

项 目	车外噪声		车内噪声
	顺时针	逆时针	
3340dtex/2			
60 km · h ⁻¹	75.7	74.8	93.7
80 km · h ⁻¹	79.4	80.2	97.6
100 km · h ⁻¹	81.2	81.3	101.1
120 km · h ⁻¹	84.8	84.6	103.5
1670dtex/2			
60 km · h ⁻¹	74.5	74.1	92.9
80 km · h ⁻¹	78.1	79.6	97.0
100 km · h ⁻¹	80.5	81.3	100.6
120 km · h ⁻¹	84.6	84.7	103.7

从表3可以看出:在相同测试条件下,高纤度HMLS聚酯帘线轮胎的噪声比参照轮胎略高,在低速条件下这种差别更明显,在高速条件下噪声方面的差别逐渐减小,总体上高1~1.5 dB。分析认为,这是由单根3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线的复合模量远高于单根1670dtex/2普通帘线引起的。

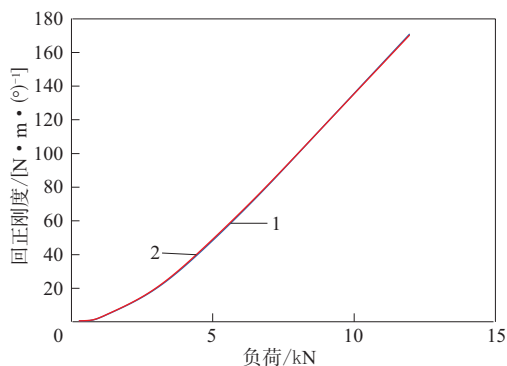
2.5 六分力

试验轮胎(225/60R17 103V)六分力测试结果如图2—5所示。

从图2—5可以看出,采用3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线制备的轮胎与参照轮胎在回正刚度、侧偏刚度、侧向力以及回正力矩性能方面基本相同,不会对轮胎操控性能带来额外的负面影响。

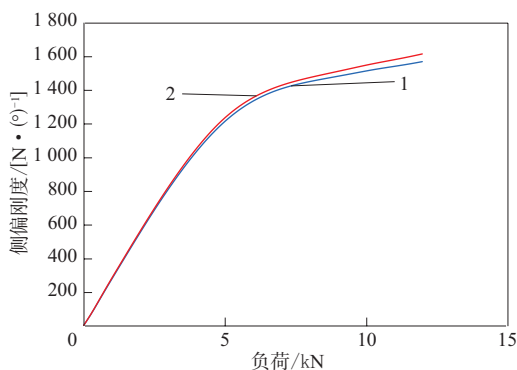
2.6 滚动阻力

试验轮胎滚动阻力测试结果如表4所示。从表4可以看出:方案1高强度HMLS聚酯帘线试验轮胎质量比对应参照轮胎减小了220 g,滚动阻力降低了2.31%;方案2高纤度HMLS聚酯帘线试验轮胎质量比对应参照轮胎减小了360 g,滚动阻力降低了2.52%。



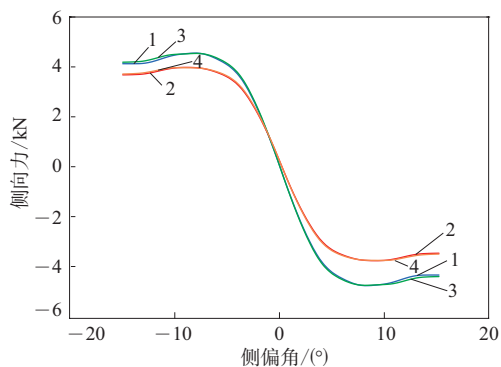
1—3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线;
2—1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线。

图2 回正刚度与负荷的关系



注同图2。

图3 侧偏刚度与负荷的关系

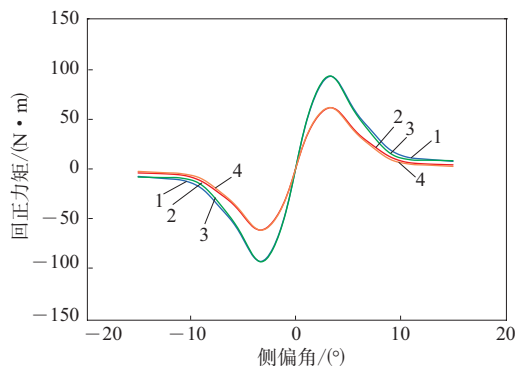


1—3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线(500 kg) 2—
3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线(400 kg); 3—
1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线(500 kg); 4—
1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线(400 kg)。

图4 侧向力与侧偏角的关系

3 结论

通过采用1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线



注同图4。

图5 回正力矩与侧偏角的关系

表4 试验轮胎滚动阻力测试结果

轮胎类型	质量/ kg	滚动阻力系数/ (N·kN ⁻¹)
方案1(205/60R16 92H)		
1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线	9.50	8.731
1440dtex/2高强度HMLS聚酯帘线	9.28	8.529
差值	0.22	0.202(2.31%)
方案2(225/60R17 103V)		
1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线	12.70	7.961
3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线	12.34	7.760
差值	0.36	0.201(2.52%)

和3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线替代1670dtex/2普通HMLS聚酯帘线分别应用于205/60R16 92H和225/60R17 103V轮胎胎体,可以在保持轮胎安全性能和操控性能基本不变的情况下,明显减小轮胎的质量,降低轮胎滚动阻力,提高燃料的利用率,减少汽车尾气的排放,实现轮胎向绿色环保方向发展。但采用单层3340dtex/2高纤度HMLS聚酯帘线代替2层1670dtex普通HMLS聚酯帘线的225/60R17 103V轮胎噪声略有增大。

参考文献:

- [1] 何燕,张忠富. 轮胎滚动阻力影响因素及测试方法[J]. 轮胎工业, 2004, 24(4): 238-241.
- [2] 李汉堂. 轮胎骨架材料研究新进展[J]. 轮胎工业, 2011, 31(2): 82-88.
- [3] 蔡子舟. 轮胎轻量化设计对轮胎滚动阻力的影响[J]. 轮胎工业, 2013, 33(2): 82-85.
- [4] 刘琦,孙学红,李文东,等. 低滚动阻力胎面胶配方优化设计[J]. 轮胎工业, 2017, 37(8): 471-476.
- [5] 余双玉. 用1400dtex/3尼龙帘线减轻轮胎重量[J]. 轮胎工业, 1995, 15(5): 279-288.

- [6] 程莉. 1400dtex/3锦纶66浸胶帘布在1030×350航空轮胎中的应用[J]. 轮胎工业, 2004, 24(12): 732-733.
- [7] 王同英, 陈振宝, 张清水. 轮胎用芳纶帘线的性能研究[J]. 轮胎工业, 2002, 22(8): 476-480.
- [8] 许美华, 朱立新, 宋继美, 等. 芳纶帘线——轻型载重子午线轮胎理想的胎体骨架材料[J]. 轮胎工业, 2002, 22(12): 733-736.
- [9] 左乐平. 芳纶/聚酯复合帘布在6.50R16子午线轮胎中的应用[J]. 橡胶科技市场, 2009, 6(9): 13-15.
- [10] 顾勤. 芳纶帘线在载重子午线轮胎中的研发和应用[J]. 中国橡胶, 2011, 27(21): 14-17.
- [11] 过梅丽. 高聚物与复合材料的动态力学热分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [12] 王若云, 贺建芸, 胡永康, 等. 轮胎胶料的动态力学性能研究[J]. 橡胶工业, 2017, 64(1): 14-18.
- [13] 侯晓倩, 苏近, 杨文真. 橡胶加工分析仪与动态热力学分析仪测试胶料滞后损失的相关性研究[J]. 轮胎工业, 2017, 37(11): 695-699.

收稿日期: 2017-?-?-?

Application of High Tenacity/Denier High Modulus and Low Shrinkage Polyester cord in Reducing Tire Weight

TIAN Liyong^{1,2}, LI Xiaoming³, ZHUO Jianrui², WU Huiru², WEI Qufu^{1*}, DONG Maohua³

[1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Performance Fibers (Kaiping) Co., Ltd, Kaiping 529300, China; 3. Shanxi Yanchang Petroleum(Group) Co., Ltd, Xi'an 712044, China]

Abstract: The applications of single layer of 1440dtex/2 high tenacity high modulus and low shrinkage (HMLS) polyester cord instead of single layer of 1670dtex/2 ordinary HMLS polyester cord in 205/60R16 92H tires (scheme 1), and single layer of 3340dtex/2 high denier HMLS polyester cord instead of 2 layers of 1670dtex/2 ordinary HMLS polyester cord in 225/60R17 103V tire (scheme 2) were studied. The results showed that, tires of two schemes had similar properties in terms of strength, high speed performance, endurance and six axis wheel force transducer. The noise of scheme 2 monolayer tire was slightly higher than that of two layers of tire by 1~1.5 dB; the quality of scheme 1 tire was reduced by 220 g, the rolling resistance was reduced by 2.31%; the quality of the scheme 2 tire was reduced by 360 g, and the rolling resistance was reduced by 2.52%.

Key words: polyester cord; tire; light weight; rolling resistance