

纤维骨架材料在轿车和轻型载重车子午线轮胎中的应用

俞 淇¹,丁剑平¹,林惠音¹,宋贤海²

(1. 华南理工大学,广东 广州 510641;2. 广州市宝力轮胎有限公司,广东 广州 510828)

摘要:回顾了国内、外轿车和轻型载重车轮胎胎体骨架材料从棉纤维到人造丝、尼龙、普通聚酯和 HMLS 聚酯的发展历程。对这些不同性能的纤维骨架材料相应所需在轮胎结构、配方和工艺条件方面的适当调整以及在轮胎成品性能上的改善进行了评述,认为在今后的几十年内 HMLS 或 DSP 聚酯帘线和改性尼龙帘线将共同成为轿车和轻型载重车子午线轮胎的主导骨架材料。

关键词:纤维骨架材料;轿车子午线轮胎;轻型载重车子午线轮胎;胎体

中图分类号:TQ330.38⁺9;U463.341 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2002)08-0451-05

近十几年来,我国子午线轮胎生产发展很快,1982年上海正泰橡胶厂首批轿车子午线轮胎投入生产,目前国内的轿车轮胎已基本实现了子午化,轻型载重车子午线轮胎也逐步替代了斜交轮胎。我国子午线轮胎生产技术既有国外引进的,也有国内自己开发的,因此采用的胎体骨架材料也各不相同,有人造丝、锦纶和聚酯等纤维帘线。对轿车和轻型载重车子午线轮胎的骨架材料使用情况进行回顾总结可便于今后对骨架材料的选择。

1 国外纤维骨架材料的发展历程

历史上每种纤维材料换代的主要动力来自改善轮胎使用性能的要求,另外,还要求不增加每条轮胎的纤维骨架材料费用。例如人造丝以其强度上的优势代替了棉纤维。同样,锦纶因为它明显的强度和韧度优势代替了人造丝^[1]。由于锦纶存在平点问题,因此轿车原配轮胎仍采用人造丝作胎体骨架材料。而锦纶仅应用于载重斜交轮胎和某些轿车替换轮胎中。目前,欧洲轿车子午线轮胎的胎体骨架材料主要采用人造丝,而美国采用聚酯,这是因为早在20世纪50年代轿车子午

线轮胎在欧洲商品化时,人造丝纤维已是主导骨架材料,但美国到70年代轮胎子午化时,已出现了价格较低廉的聚酯纤维。尽管目前欧洲的人造丝价格高于聚酯,而且人造丝在生产加工过程中还存在环境污染问题,但在欧洲市场上聚酯帘线仍然不能占主导地位。其原因有两方面:首先,采用聚酯取代人造丝需要大量投资,用聚酯帘线生产轮胎要增设硫化后充气装置,以减轻胎侧凹痕和改善轮胎的均匀性,而人造丝优良的高温模量保持率和低收缩特性无需后充气;其次,欧洲观点认为高温模量保持率将有利于轿车子午线轮胎高速行驶时的操纵性^[2]。因为普通聚酯帘线的尺寸稳定性明显不如人造丝,其使用性能无法与之抗争,因此这种普通聚酯帘线不会完全取代人造丝。

20世纪80年代美国联信(Allied-Signal)公司和德国Höchst公司分别推出了尺寸稳定型聚酯帘线(DSP)和高模量低收缩(HMLS)聚酯帘线。德国Höchst公司认为纤维或帘线的尺寸稳定性主要体现在模量高和变形小这两个方面。因此该公司开发高模量低收缩纤维和帘线^[3]。历经三代新产品开发,该公司推出了超高模量低收缩聚酯帘线,联信公司则推出超尺寸稳定型纤维(1X40)。这些聚酯纤维与人造丝纤维相比,具备性能/成本比高的优势,具有提高轮胎均匀性、减

作者简介:俞淇(1934-),女,江苏苏州人,华南理工大学教授,主要从事轮胎结构与力学性能方面的研究和教学工作。

轻胎侧接头处的凹痕和提高轮胎质量等优点,已取代了普通聚酯帘线。目前,HMLS 聚酯帘线正在逐渐成为西欧选用的骨架材料。

日本轮胎用的纤维主要是锦纶,但随着轿车和轻型载重车子午线轮胎的发展,HMLS 聚酯帘线的用量也稳步增长。目前,日本轿车轮胎中已有 90% 采用了 HMLS 聚酯。

随着亚洲地区汽车工业的发展,子午线轮胎成为更多汽车选用的轮胎。锦纶和聚酯用量都在增加,锦纶主要用于中型和重型载重斜交轮胎,而聚酯,特别是 HMLS 聚酯已迅速成为轿车和轻型载重车子午线轮胎的骨架材料。

2 国内应用纤维骨架材料的发展过程

我国子午线轮胎的研发工作始于 20 世纪 60 年代初,由于种种原因到 70 年代末还停留在试制和小批量生产阶段。一直到实行改革开放以后,1982 年上海正泰橡胶厂从前西德密茨勒公司引进了轿车子午线轮胎的成套生产装备与制造技术,我国子午线轮胎生产才正式开始。由于采用西欧国家的技术,再加上产品结构也是早期的,因此胎体骨架材料是用人造丝帘线,该帘线全部依靠进口(在我国轮胎工艺发展过程中,很长一段时期帘线是依靠国外进口的,如斜交轮胎用的锦纶帘线和聚酯帘线等)。

为满足汽车工业的需要,必须加速我国子午线轮胎的发展,扩大生产能力,到 80 年代末 90 年代初又相继引进了美国费尔斯通、意大利倍耐力公司的生产技术,产品结构为普通系列的子午线轮胎。这两家公司推出的轿车和轻型载重车子午线轮胎,其胎体骨架材料均为锦纶帘线(该帘线为改性锦纶,与斜交轮胎的普通锦纶帘线不同,硫化后无需后充气)。

在引进技术的同时,国内对轿车和轻型载重车子午线轮胎生产技术也进行了开发,早期生产的产品其胎体骨架材料多采用人造丝。这是因为人造丝具有良好的尺寸稳定性,硫化后无需后充气。另外,它不像锦纶有平点现象。

到了 90 年代,国内帘布厂试制出浸胶聚酯帘布。平顶山帘布厂用进口聚酯长丝生产聚酯帘布,无锡三力工业用布厂采用国产聚酯长丝生产

浸胶聚酯帘布^[4]。经过多次改进,后来试制出带有弹力纬线(锦纶或涤纶)的聚酯帘布,更好地满足了子午线轮胎生产工艺的要求。国产人造丝由于生产过程中的环境、资源以及价格等问题,逐步停止了生产。到 90 年代初,我国自己开发的轿车和轻型载重车子午线轮胎由使用人造丝帘线转向使用聚酯帘线。此时的帘线为普通聚酯帘线,其收缩率较大,硫化后必须进行后充气。

随着国外开发的新型聚酯帘线——高模量低收缩(或称尺寸稳定型)聚酯帘线的推广应用,我国在高速低断面 55 和 50 系列轿车子午线轮胎和高速轻型载重车子午线轮胎的研制中也采用了这种新型聚酯帘线。90 年代后期山东潍坊大龙化纤公司和广东开平涤纶厂从国外进口 DSP 工业丝进行帘布加工和浸渍处理;无锡太极实业股份有限公司自行开发了 DSP 工业丝并生产 DSP 帘布^[5]。目前正逐步在一般系列的轿车和轻型载重车子午线轮胎中推广应用 DSP 聚酯帘线代替普通聚酯帘线。这将大大简化生产工艺(无需后充气),减小投资并可实现减层,从而降低成本。

根据目前国内的生产情况,在轿车和轻型载重车子午线轮胎中纤维骨架材料的应用可分为两类:①国内自行开发的技术主要采用聚酯帘线,开始是普通聚酯帘线,进一步改用新型 HMLS 或 DSP 聚酯帘线;②国外引进的技术会继续采用改性锦纶帘线作胎体骨架材料。

3 纤维帘线的基本性能

人造丝、聚酯和锦纶纤维帘线一直都是轿车和轻型载重车子午线轮胎胎体骨架材料的主要品种,这三大类纤维帘线各具有自己的性能特点。

人造丝具有优良的高温模量保持率和低收缩特性,使其尺寸稳定性远远高于聚酯和锦纶帘线。人造丝虽有较高的干强度,但它对水很敏感,含水率对其性能影响很大,因而存在湿强度较低的缺点。

聚酯帘线具有模量高、强力高和伸长率小的优点,另外,它的含水率低,干湿强度大致相等,受水分的影响小。其缺点是热收缩率大,尺寸稳定性比人造丝差,使用时生热大,高温下产生胺解。目前推出的 HMLS 或 DSP 帘线大大提高了尺寸

稳定性,满足了轮胎性能的要求。

锦纶的优点是强度高、单位质量强度比人造丝高 1.5~1.8 倍;吸湿率低,湿强度高;弹性好,耐屈挠性能比人造丝高 10 倍;耐磨性优于其它纤维。主要缺点是热稳定性差,热收缩率大导致尺寸稳定性差,使用过程中还会产生“平点”。经过研究改进,现有的改性锦纶降低了热收缩率,提高了尺寸稳定性。

轿车和轻型载重车子午线轮胎中常用规格帘线的基本性能见表 1。

表 1 不同类型纤维帘线的基本性能

项 目	人造丝			普通聚酯		DSP 聚酯 ^[5]		锦纶 66	
断裂强力/ N	≥147	≥216	≥138	≥265	≥213	139.2	218.5	≥215.6	≥213
44 N 定负荷 伸长率/ %	3.0 ±0.5	1.6 ±0.5	4.5 ±0.5	—	—	4.1	—	—	—
66 N 定负荷 伸长率/ %	—	—	—	—	5.5 ±1	—	5.1	8.5 ±0.4	8.5 ±0.4
88 N 定负荷 伸长率/ %	—	—	—	5.0 ±0.5	—	—	—	—	—
断裂伸长率/ %	13 ±1.0	11.5 ±2	15 ±2	20 ±2	20 ±2	13.8	16.3	21.5 ±2	—
断裂强力不匀率/ %	≤4	≤5	≤4	≤4	≤4	1.3	2.3	≤2.5	≤2.5
断裂伸长不匀率/ %	≤6	≤7	≤6	≤5	≤6	2.9	3.7	≤6	≤6
干热收缩率/ %	—	—	≤5	≤5	≤5	3.1	2.4	≤5	4 ±1.5
H 抽出力/ N	> 98	> 98	> 118	> 137	> 118	135.2	178.4	> 137.2	> 137.2
初捻度/ (捻·m ⁻¹)	470 ±20	290 ±20	472 ±20	320 ±15	400 ±15	—	—	390 ±15	370 ±15
复捻度/ (捻·m ⁻¹)	450 ±15	290 ±20	472 ±20	320 ±15	400 ±15	—	—	370 ±15	370 ±15
粗度/ mm	0.68 ±0.03	0.87 ±0.04	0.55 ±0.03	0.74 ±0.03	0.66 ±0.03	—	—	0.64 ±0.03	0.64 ±0.03

注:人造丝 2 种规格为:1840dtex/ 2,1840dtex/ 3;普通聚酯 3 种规格为:1110dtex/ 2,1440dtex/ 3,1670dtex/ 2;DSP 聚酯 2 种规格为:1100dtex/ 2,1670dtex/ 2;锦纶 66 为普通和改性两种,规格都为 1400dtex/ 2。

4 不同纤维帘线在子午线轮胎中的应用

由于纤维帘线的化学结构特性和基本性能不同,作为轿车与轻型载重车子午线轮胎的胎体材料在应用时要求也不同。需要在配方、结构设计和工艺条件方面进行适当的调整。

4.1 配方设计

由于聚酯和锦纶纤维的化学结构特殊且分子结构密集,纤维帘线的表面光滑,与橡胶的粘合性能差,因此一般人造丝胎体帘线胶料配方不能达到粘合强度要求,必须作适当的调整。特别是聚酯帘线遇胺类物质易产生降解,使帘线强度下降,可在胶料配方中并用一定比例的合成橡胶(例如 90 份 NR 和 10 份 SBR 并用),这还有利于减轻聚酯帘线的降解作用。同时在配方中选用适当的粘合剂体系(例如间苯二酚-甲醛粘合体系)来提高胎体帘线与胶料的粘合力^[4,6],以满足子午线轮胎性能的要求。另外,还应注意促进剂对聚酯帘线降解作用的影响,试验结果表明,秋兰姆类的影响最大,次磺酰胺类次之,噻唑类最小。促进剂

TMTD 用量小于 0.5 份时,对聚酯帘线的降解作用不明显。为了得到良好的物理性能,可在配方中使用噻唑类和少量秋兰姆类促进剂。为了避免聚酯帘线的胺解,在配方中还需注意防老剂体系的选择,不宜采用胺类防老剂。

4.2 结构设计

由于人造丝、聚酯和锦纶帘线的伸张性能不同,从轮胎模型尺寸到充气轮胎外缘尺寸的变化有较大的差异。由于带束层的箍紧作用,一般子午线轮胎充气外直径变形较小,但充气后断面宽的变化较大。根据经验确定 70 和 80 系列轿车和轻型载重车子午线轮胎采用不同纤维帘线胎体的充气断面宽和模型断面宽膨胀比的取值范围:人造丝帘线约 1.02;普通聚酯帘线约 1.04;普通锦纶帘线为 1.05 以上。轮胎模型尺寸的选择不仅受骨架材料性能的影响,而且还与轮胎断面形状(例如 H/ B 的大小)和子午线轮胎带束层的箍紧程度有关。

不同纤维帘线的性能会直接影响结构设计中的另一个重要参数——帘线假定伸张值 δ_1 。 δ_1

的取值还受生产厂的工艺条件,特别是帘线的压延工艺如帘线的张力及辊筒的温度等影响,与成型方法也有关系。根据经验,帘线的假定伸张值 δ_1 的取值范围为:人造丝帘线为 1.03~1.05;普通聚酯帘线为 1.03~1.045;普通锦纶帘线约 1.08;改性锦纶帘线约 1.03。 δ_1 值取得过小容易引起轮胎成品胎体帘线打弯;反之又容易出现胎里露线、胎圈耐磨胶流失和胎圈加强层露线等现象。总之,应根据生产厂家的工艺条件和纤维帘线的性能合理选取 δ_1 。

4.3 主要工艺条件

4.3.1 压延工艺

压延工艺是轮胎生产的关键工序,根据不同纤维帘线的性能合理选定压延工艺参数极为重要。因为参数合理与否直接关系到裁断、成型和硫化等工序的质量和成品轮胎的使用性能。压延工艺的主要参数包括干燥辊温度、压延辊温度和帘线的压延张力。

(1) 干燥辊温度

人造丝帘线的吸水性很强,而且含水率对其性能的影响很大,一般控制含水率不大于 1%,干燥辊温度为 120~130 °C,甚至高达 150 °C 才能达到含水率指标要求。与人造丝不同,聚酯和锦纶纤维的分子结构中没有亲水基,吸湿的能力很小,一般情况下含水率低于 1%,因此聚酯和锦纶帘线的干燥温度不宜太高。温度越高,帘线越易收缩,随着温度增高,热收缩率增大。一般聚酯帘线的干燥辊温度低限为 60~70 °C,高限为 80~90 °C。改性锦纶帘线的干燥温度可控制在 83~93 °C,而普通锦纶帘线为 90~100 °C。

(2) 压延辊温度

人造丝帘线对水分很敏感,压延辊温度应较高,上辊和中辊为 95~100 °C,侧辊和下辊为 90~95 °C。由于普通聚酯帘线有热收缩现象及在胶料配方中含有不溶性硫黄,压延胶料温度不能超过 105 °C。一般压延辊温度为:上辊和中辊 85~95 °C,侧辊和下辊 80~90 °C。普通锦纶帘线的压延辊温度与聚酯帘线相似。改性锦纶帘线的压延辊温度为:上辊和中辊 87~97 °C,侧辊和下辊 84~94 °C。

(3) 帘布的压延张力

帘布的压延张力随纤维帘线的性能、规格以及压延装置的功能不同而有较大的差异。一般认为锦纶帘布的单根帘线张力约为 10 N,聚酯帘线的张力可低些,人造丝帘线的张力无一定要求。聚酯和锦纶帘布在压延主机区的张力控制(kN):规格为 1440dtex/3 和 1440dtex/2 的普通聚酯帘布分别为 20.5 和 7.5;规格为 1400dtex/2 的普通锦纶 66 为 10.0 (V1) 和 7.5 (V2);规格为 1400dtex/2 的改性锦纶 66 为 10.15。

4.3.2 成型和硫化工艺

聚酯和锦纶帘线与人造丝帘线相比具有挺性大、手感硬的特点,因此在一段成型时必须增大反包压力,保证反包质量,以免产生脱层现象。另外,在结构设计中不宜采用多层帘布全部反包形式,而应采用反包和正包并存的形式。

普通聚酯和普通锦纶胎体的子午线轮胎与人造丝胎体的子午线轮胎硫化工艺条件基本相同,不同之处是普通聚酯和普通锦纶胎体的子午线轮胎必须进行后充气,否则胎体帘线会产生收缩。后充气压力为轮胎标准气压的 120%,后充气时间为 1~2 个硫化周期。DSP 聚酯帘线和改性锦纶帘线胎体子午线轮胎硫化后无需进行后充气。

4.4 轮胎制品性能

分别应用人造丝、普通聚酯和普通锦纶帘线作 185R15 轻型载重车子午线轮胎的胎体骨架材料的成品性能试验结果见表 2。表 2 中数据表明,对于高速性能和耐久性能,普通聚酯和普通锦纶帘线高于人造丝帘线;从压穿强度来看,普通锦纶帘线最高,人造丝帘线次之,普通聚酯帘线最低(由于帘线规格不同引起的)。

另外,对国产聚酯和人造丝帘线胎体的 185/70SR13 轿车子午线轮胎成品性能进行了对比测

表 2 3 种帘线胎体 185R15 轻型载重车子午线轮胎的成品性能

项 目	普通锦纶 66	普通聚酯	人造丝
	1400dtex/2	1440dtex/2	1840dtex/3
充气外直径/mm	676	674	675
充气断面宽/mm	184	185	184
高速性能/(km·h ⁻¹)	170	180	160
耐久性能/h	80	90	74
相对压穿强度/%	196	180	190

试,结果见表 3。从表 3 中数据可以看出,水压爆破、耐久性能和高速性能三方面,聚酯帘线胎体均高于人造丝帘线胎体。

选用无锡太极实业股份有限公司的 1670dtex/2 规格 DSP 帘线试制了 205/55VR15 高性能轿车子午线轮胎,并进行了轮胎成品性能测试,其测试结果见表 4。表 4 中数据表明,应用 DSP 帘线作高性能子午线轮胎的骨架材料,其成品性能完全能达到或超过国家标准。

表 3 聚酯和人造丝胎体 185/70SR13 轿车子午线轮胎的成品性能

项 目	聚酯胎体	人造丝胎体	国标或规定
	1110dtex/2	1840dtex/2	
充气外直径/mm	596.83	600.65	596 ±5.96
负荷下静半径/mm	272.16	273.4	272 ±5.44
充气断面宽/mm	185.5	187	186 ±6.51
水压爆破/倍	9	7.9	≥7
耐久性能/ (km·h ⁻¹ ×h)	80×140	80×120	80×100
高速性能/ (km·h ⁻¹ ×min)	190×9	170×20	170×20

表 4 采用 DSP 帘线的高性能子午线轮胎 205/55VR15 的成品性能

项 目	实测值	国家标准
充气断面宽/mm	210.5	214 ±7.49
充气外直径/mm	610.2	607 ±6.07
负荷下静半径/mm	277.7	279
耐久性能/h	120(未坏)	≥34
高速性能/(km·h ⁻¹)	240(未坏)	≥240
水压爆破/倍	11.4	≥7
轮胎压穿强度/J	427(未坏)	≥95

5 结论

人造丝、聚酯和锦纶三大纤维帘线一直是轿车和轻型载重车子午线轮胎的优良骨架材料。人造丝具有良好的尺寸稳定性,是锦纶和聚酯纤维无法与之抗争的,但自 80 年代以来开发的新型 HMLS 或 DSP 聚酯帘线大大提高了轮胎的尺寸稳定性、高速性能和耐久性能,将逐步替代人造丝帘线。与此同时,开发出的改性锦纶帘线也解决了轮胎的尺寸稳定性和平点问题。根据轮胎成品性能测试结果和我国子午线轮胎发展的历史,预计在今后的几十年内 HMLS 或 DSP 聚酯帘线和改性锦纶帘线将共同成为轿车和轻型载重车子午线轮胎的主导骨架材料,各自发挥在轮胎使用性能中的优越性。

参考文献：

[1] Corallo G C. 轻型载重胎体骨架材料的历史回顾和现状及新一代技术[J]. 涂学忠编译. 轮胎工业,1997,17(6):327.
[2] Rim P B. 聚酯帘线在欧洲轿车子午线轮胎中取代人造丝[J]. 戴近禹编译. 轮胎工业,1997,17(5):264.
[3] 叶春葆. 国外橡胶用化学纤维的新进展[J]. 轮胎工业,1996,16(4):199.
[4] 刘昌波,于喜涛,孙永贵,等. 国产聚酯帘布在半钢丝子午线轮胎中的应用[J]. 轮胎工业,1994,14(4):3.
[5] 张清水,张金德,黄 凯,等. 高模量低收缩聚酯帘线的开发与应用[J]. 轮胎工业,2001,21(3):153.
[6] 杨文利. 聚酯帘线在 185/70R13 轿车子午线轮胎中的应用[J]. 轮胎工业,1997,17(3):160.