

设计轮胎增强材料适应未来市场需求

G. S. Rogowski 等著 宋凤珠摘译 萧 仪校

自20多年前发明聚酯帘线以来,对尺寸稳定性要求的不断提高,极大地推动了轮胎用聚酯增强材料的开发。例如,70年代初为减轻轿车斜交轮胎的平点,开发了替代尼龙的普通聚酯。随着子午线轮胎,特别是单层胎体轮胎的开发,胎侧凹陷、轮胎均匀性、胎体膨胀等问题相应提出,最新一代尺寸稳定的聚酯以其减轻胎侧凹陷和胎体膨胀,同时提供优异的轮胎均匀性等特点为轮胎生产厂广泛接受。通过与轮胎行业的密切合作,美国工业帘线生产厂已能够确定并提供具有良好的加工性能和轮胎性能的产品。在目前形势下,轮胎生产厂希望获得更好的轮胎均匀性和行驶性以及更高的增强材料强度从而降低轮胎生产成本。其它方面,如降低轮胎重量、扩大用途、可回收利用性和材料通用性(以简化生产管理)等也变得重要起来。

通过研究全世界范围的轮胎工业发展趋势,便可十分明了目前对轮胎增强材料的要求。最明显的发展趋势是,大轮胎公司的合并和全球化导致了在许多地区生产同样的轮胎,促进了增强材料在世界范围内的标准化。在西欧,由于聚酯的经济性以及人造丝生产中的环保问题,聚酯不断替代人造丝用于轿车轮胎中。降低成本是欧洲轮胎生产厂能与世界范围内的制造商竞争中要考虑的首要因素。

在北美,要求原配胎减轻重量、降低滚动阻力、提高均匀性。发展中国家,包括中国和东南亚的一些国家,将继续迅速完成轿车轮胎和载重轮胎的子午化进程,因而会导致聚酯替代尼龙。跨国大轮胎公司在这些地区扩大势力范围,迫使当地轮胎公司满足他们的

高质量和性能标准的要求。

1 轮胎发展趋势

与其它行业产品相比,轮胎历来是一种低利润产品。提高利润率的要求驱使轮胎厂家一直强调要提高轮胎(包括原配胎和替换胎)的产品价值。这导致了高性能和高湿牵引性轮胎的成功开发。在美国,高性能轮胎的比例增长显著,所占市场份额从1980年的10%增加到1992年的40%。最近,提高湿操纵性的要求以及紧跟着的一大批具有此特点的新产品的涌现,很好地说明了轮胎公司在这样一个传统的艰难市场上提高产品价值获得了多么大的成功。

在提高利润率的努力中,除了提高产品价值以外,轮胎厂家还十分关注成本的降低。旨在提高生产自动化程度(如复合挤出预贴合装置)和提高质量(减少边角余料及浪费)的项目正在进行中。出于降低成本和考虑环保问题(减少燃油耗量)的双重需要,轮胎有通过减少部件和给定部件材料用量来降低重量的趋势。这些节约大部分传递到轮胎用户头上,近15年来轮胎单位里程成本不断下降,如图1(略)所示。

未来的轮胎发展趋势将由汽车公司和用户共同决定,特别是因为汽车行业在加快制造“世界”汽车,即在不同国家制造同样的基本车型。原配胎和替换胎市场的差别将继续减小,因为用户要求这两种轮胎都具有下列共同的特征:耐磨、跑气保用、低断面、低噪声、全天候性能、利于环保(可翻新或回收)、舒适、美观。

轮胎工程师必须在整个价值链的每个环

节上不断考虑性能/成本关系。成功的帘线供应者将清醒地认识到这一本质关系并把它们充分地结合到优化的总体系中。

2 商品聚酯轮胎帘线

近年来,最成功的轮胎帘线供应者研究了帘线与轮胎性能指标的关系,这对新产品开发具有指导意义。最重要的帘线性能包括强度、尺寸稳定性、韧性和耐疲劳性。表 1 说明了尺寸稳定性在 7 项轮胎重要性能的 4 项中起着重要的作用。因此,提高聚酯的尺寸稳定性(即高模量、低收缩率)成为近 15 年来,帘线供应者研究和开发工作的重点。

表 1 纤维性能和轮胎性能的关系

轮胎性能	帘线性能				
	强度	韧性	尺寸稳定性	耐疲劳性	生热
抗机械损伤	✓	✓			
耐久性				✓	✓
转向性/操纵性			✓		
滚动阻力					✓
外观			✓		
均匀性			✓		
成本			✓		

与普通聚酯相比,不断提高尺寸稳定性的改进聚酯可提供下列益处:

(1)由于低滞后和低生热使轮胎寿命延长、燃油经济性提高;

(2)由于省去了子午线轮胎生产中的硫化后充气工序使轮胎生产成本下降;

(3)提高轮胎的均匀性;

(4)由于帘线中间模量较高,使汽车操纵性提高;

(5)胎体接头处的胎侧凹陷减轻,满足了汽车行业要求的轮胎质量标准。

聚酯帘线的尺寸稳定性变化的幅度可以从表 2 的 Allied Signal 尺寸稳定性聚酯(DSP™)产品系列中清楚地看出。将最新的材料与第 1 代 DSP 纤维和普通聚酯纤维进行了对比。与第 1 代 DSP 纤维相比,商品 1X30 和 1X40 DSP 纤维的中间模量分别高 20%和 50%,但 1X40 的强度稍差些。1X40 是专为在减轻帘线重量的轮胎中替代人造丝而设计的具有尺寸稳定性且具有适宜强度的经济替代品。刚刚出现的 1X50 则具有较高的强度和尺寸稳定性,因而是一种通用的轿车轮胎增强材料。

3 设计轮胎增强材料

对新的轮胎胎体增强材料的评估,包括对胎侧凹陷、操纵性、乘坐舒适性、均匀性、压穿力、高速性能和耐久性能等轮胎成品测试,历来都是一项既费钱又费时的工作。有些成品性能检测项目,如胎侧凹陷和均匀性,需要用相当数量的轮胎在实际工厂条件下精确确

表 2 聚酯帘线产品性能

性 能	标准聚酯纤维 处理帘线*	DSP 纤维 处理帘线	改进 DSP 处理帘线		
			实际		目标
			1X30	1X40	A350
强力	100	98	103	90	100
模量	100	105	125	155	155
收缩率	100	50	50	50	50
商品化时间	1972	1988	1991	1992	1994
主要优点	胎面无平点	适于单层胎体	高强度尺寸稳定性	替代人造丝	通用轿车轮胎帘线

注: * 表示以此为基准,其它纱线与之相比。

定很小,但有意义的差异。由于实验室评估不可能免去成品性能测试的必要性,最好能够对候选帘线进行筛选,包括对轮胎性能的提高作出模拟估计。

曾有文献^[1-3]报道过在典型的轮胎工业条件下,从纱线到处理帘线的转变以及轮胎硫化、充气和使用有关的帘线变化的诱因。为了便于参考,当讨论处于此类模拟轮胎中的帘线时,将使用“在轮胎中”、“硫化后”等词语。同样,当提及文献中的模拟试验时,将使用硫化后/使用后轮胎(C/RT)试验。本质

上,C/RT 试验包括给悬挂在一个管式炉中的处理帘线施加额定的负荷,然后将负荷和温度变化到接近所模拟阶段轮胎的负荷和温度。图 2 描述了关键反包部位的帘线,该处帘线与刚刚硫化后胎侧部位的帘线非常类似。表 3 示出了 C/RT 试验预测的改进聚酯轮胎帘线从新轮胎到使用后胎侧的相对变化以及估计的胎体膨胀的相对值。很容易看出,最新的材料可为提高轮胎性能提供重要的机会,特别是因为“在轮胎中”测量值显示出 C/RT 试验低估了实际的轮胎胎侧凹陷性能。

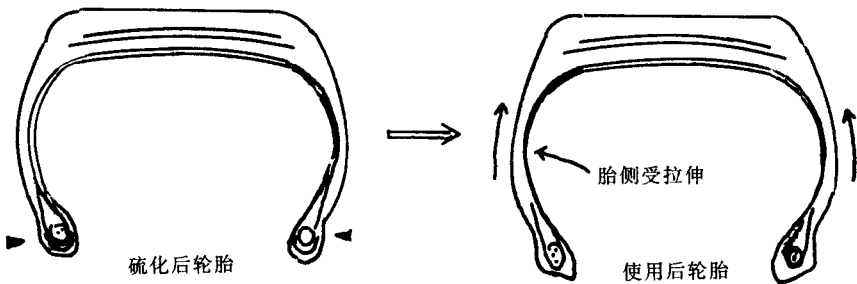


图 2 硫化后和使用后轮胎胎里帘线长度的变化

表 3 胎侧凹陷和断面宽度胀大的预测

帘线类型	胎侧凹陷		断面膨胀 (从新胎到使用后)
	新轮胎	使用后	
1W70	100	100	100
1X90	85*	88	88
1X30	76*	80	73
1X40	63	64	59

注: * 实测表明分别改进 32%(1X90)和 50%(1X30)。

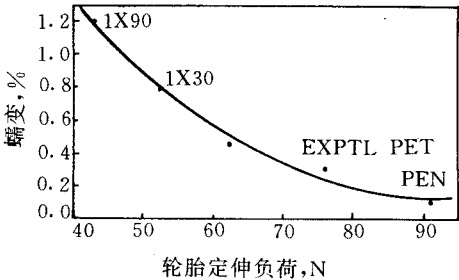


图 3 改进轮胎帘线“硫化后”的蠕变力电动轿车轮胎中的扩大应用提供了机会。

3.2 轮胎均匀性

3.1 高温性能

以前已知道高温时的定伸应力保持能力与聚酯轮胎纱线的类型相对无关。因此,高温蠕变似乎主要与硫化后轮胎的帘线模量和使用中轮胎达到的温度有关。

图 3 示出了“硫化后”轮胎帘线的蠕变与轮胎定伸负荷的关系。改进的尺寸稳定性聚酯产品系列中 PEN 的性能最好,这一中间模量和蠕变性能的改善为其在单层高性能轿车轮胎和轻型载重轮胎以及高压、超低滚动阻

轮胎均匀性是通过旋转的轮胎在与试验转鼓接触时沿周向径向力的变化等来量度的。本质上,这是测量在与试验转鼓接触中轮胎断面的模量。胎体帘线会因以下几个方面对轮胎均匀性有不利影响:

- (1)帘线性能不稳定;
- (2)帘线间距不稳定;

- (3)接头宽度过大;
- (4)帘线尺寸稳定性差;
- (5)轮胎成型和硫化时的均匀性。

因为轮胎均匀性试验测的是包含许多帘线的轮胎断面的平均力,帘线之间随机变化的影响比较小,而不同轮胎断面变形产生的力的变化会显著地引起轮胎的不均匀。如果不同轮胎断面的胎体帘线由于温度或约束力差别收缩不均,则会产生较严重的不均匀性。图 4 比较了普通帘线和尺寸稳定的帘线在相同定伸负荷时的自然收缩率与不同温度下的收缩。较低和较平的曲线对应的尺寸最稳定帘线将得到较好的轮胎均匀性。

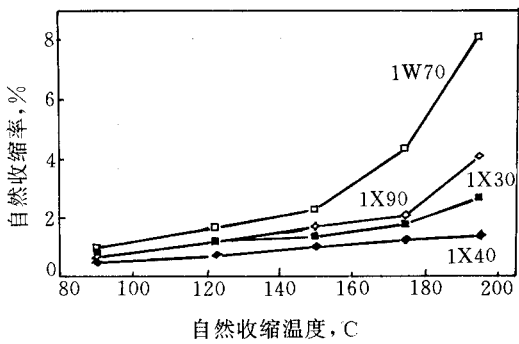


图 4 自然收缩率与温度的关系

3.3 操纵性、生热和耐久性

预测操纵性、生热、抗冲击能力和耐久性的轮胎中帘线性能的测量需要用使用后轮胎的帘线完成。胎面或轮胎的抗冲击能力依赖于应力-应变性能,具体的是最大拉伸强度、扯断伸长率和刚度的某种组合。精确的依赖关系尚不清楚,但似乎轮胎工业过分强调拉伸强度,在目前使用高模量帘线时尤为如此。

轮胎耐久性较难评价,因为它在很大程度上既依赖于帘线固有的疲劳性能,又与轮胎的胎圈设计有关。圆盘式、管式和动态屈挠试验可用于评价帘线固有的疲劳性能。过去的几年间,试验方法的改进目标主要在于试验条件^[4]而不是开发全新的测试仪器。如今更多的注意力放在胎圈设计方面,因为这是

提高耐久性和增加应用低成本材料可能性的关键。将来的工作重点将放在预测胎圈耐久性和刚度(轮胎操纵性)的试验方面。

帘线对生热和操纵性的影响需要像在轮胎中那样在预加载状态的动态负荷条件下评价。Prevorsek 等^[5]研制了一套进行这种测量的仪器。这套仪器不仅能测量帘线,还能测量帘线增强橡胶复合材料^[6]。轮胎的温度取决于复合结构的轮胎在行驶条件下热量的生成和散逸。文献 7 讨论了用有限元方法进行的轮胎热力学分析。帘线尺寸越稳定,弹性就越好^[8,9],因而固有生热越低。同时,较高的“轮胎中”帘线模量限制了胎侧橡胶的形变,可进一步降低行驶温度。

4 未来轮胎帘线的发展

设计新的轮胎帘线时,不仅要考虑纱线本身的基本性质,还应考虑从纱线到用于轮胎之间一步步转变的过程中下列 4 项主要特性的影响:(1)帘线捻度;(2)高温处理;(3)轮胎硫化;(4)轮胎使用。

对每一步所产生变化的评价不是直接了当的。因为这些变化的程度受到基本纤维形态学的影响。例如:图 5 说明纱线到处理帘线的强度变化随着从普通轮胎纱线到最新一代的尺寸稳定纱线的转变大大地增加了。为使开发工作更有成效,必须充分考虑每一步中产生的变化,尽管这些关系基本上是经验性的。

历史上,新的帘线材料是由新的加工技

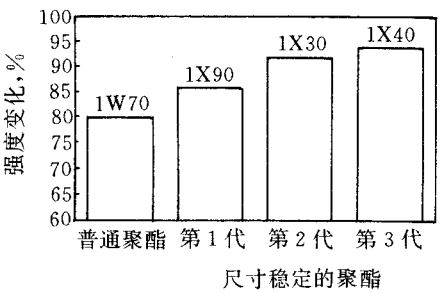


图 5 纱线到处理帘线强度变化

术和新的聚合物出现带来的。这些新加工技术和新聚合物的出现导致进行一系列系统的试生产,以确定可获得的性能范围。随后将鉴定其可能的用途,然后仅仅把这种新的帘线投入到现有加工工艺和产品中去。轮胎使用要求的复杂性和以同时优选材料和复合设计方式优化性能的可能性使这种传统方法显出了不足。

今天,市场驱动的发明确首先要确定所期

望的轮胎性能,然后进行逆向工作,“发明”适宜的基本纱线。在开发过程的初期已经确定了轮胎性能的定量改进指标,以突出开发工作的重点。获得极大成功的尺寸稳定聚酯产品系列就是这一新方法的例证。

参考文献(略)

译自英国“Tire Technology International
1995”,P126—130