

# UT钢丝帘线在绿色轮胎中的应用研究

黎宁, 魏静勋

(广州市华南橡胶轮胎有限公司, 广东 广州 511400)

**摘要:** 对比分析 $2 \times 0.25$ UT和 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线的基本性能及其在绿色轮胎中的应用情况。结果表明:  
 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的抗拉强度较 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线提高19%~20%;应用UT钢丝帘线会对轮胎成本、滚动阻力和刚度有一定影响,应用时需综合评价,使各方面取得较好的平衡。

**关键词:** 钢丝帘线; 带束层; 半钢子午线轮胎

**中图分类号:** U463.341<sup>+</sup>.6; TQ330.38<sup>+</sup>9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2016)01-0022-06

轮胎用钢丝帘线强度自低向高发展是轮胎工业、钢丝帘线工业从提高产品质量与性能出发的自然需求与发展方向。汇总钢丝帘线强度的发展路径,已经在轮胎工业实现工业化应用的有普强(NT)、高强(HT)、特强(ST)、超强(UT)钢丝帘线。目前国内半钢子午线轮胎生产中,NT钢丝帘线基本退出市场,普遍应用HT钢丝帘线,少量应用ST钢丝帘线,刚刚开始接触UT钢丝帘线。UT钢丝帘线的高强度恰好适合当前绿色轮胎的发展趋势,通过应用UT钢丝帘线,轮胎企业可以减少钢丝帘线和胶料用量,从而达到轮胎轻量化的目的。

本工作针对半钢子午线轮胎生产中常见的 $1 \times 2$ 结构钢丝帘线,对比分析了 $2 \times 0.30$ HT和 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的基本性能及其在绿色轮胎中的应用情况。

## 1 $2 \times 0.25$ UT和 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线的基本性能对比

钢丝帘线的抗拉强度主要受钢丝盘条材质的影响,同时热处理与拉拔工艺也会有一定的影响。图1示出了不同强度钢丝帘线抗拉强度与单丝直径的关系。

从图1可知,材质决定基础,通过减小单丝直径,还能使抗拉强度进一步提高。因此,与 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线相比, $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线在

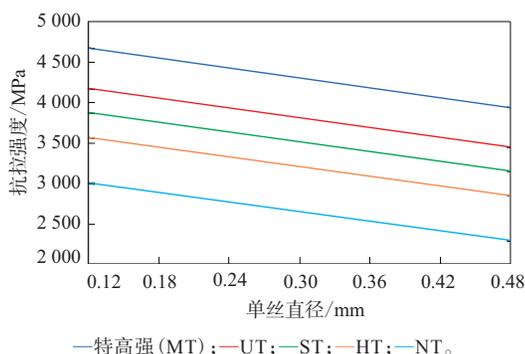


图1 不同强度钢丝帘线抗拉强度与单丝直径的关系  
材质与单丝直径两个方面可使强度提升。

表1示出了 $2 \times 0.25$ UT和 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线的基本性能对比。从表1可以看出, $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的抗拉强度较 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线提高19%~20%。

表1  $2 \times 0.25$ UT和 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线基本性能对比

项 目	$2 \times 0.25$ UT		$2 \times 0.30$ HT	
	目标值	典型值	目标值	典型值
单丝直径/mm	0.25	0.25	0.30	0.30
帘线直径/mm	0.50	0.50	0.60	0.60
最小破断力/N	340	365	405	441
抗拉强度/MPa	3 465	3 720	2 866	3 121
弯曲刚度/( $N \cdot mm^2$ )	—	77	—	159
线密度/( $g \cdot m^{-1}$ )	0.770	0.771	1.120	1.105

综合上述基本数据,按行业内常见的等强度设计,则两种钢丝帘线可参考表2所示应用方案。

从表2可以看出,在保持现有强度不变的情况下,钢丝帘布质量会有一定的下降,约为 $0.30 kg \cdot m^{-2}$ 。但轮胎整体成本并不会因为质量的减小

作者简介:黎宁(1977—),男,江西南城县人,广州市华南橡胶轮胎有限公司工程师,学士,主要从事橡胶配方设计及原材料研究工作。

表2 带束层等强度应用对比方案

项 目	2×0.25UT	2×0.30HT
带束层压延密度/(根·dm <sup>-1</sup> )	120	100
指标强度/(N·dm <sup>-1</sup> )	40 080	40 500
典型强度/(N·dm <sup>-1</sup> )	43 800	44 100
带束层压延厚度变化量/mm	-0.10	0
钢丝帘线密度/(g·m <sup>-1</sup> )	0.77	1.12
钢丝帘线质量/(kg·m <sup>-2</sup> )	0.924	1.12
胶料质量变化量/(kg·m <sup>-2</sup> )	-0.09	0
胶布质量变化量/(kg·m <sup>-2</sup> )	-0.30	0
钢丝成本变化量/(元·m <sup>2</sup> )	+2.6	0
胶料成本变化量/(元·m <sup>2</sup> )	-1.4	0

注:假定胶料成本为15元·kg<sup>-1</sup>,两种钢丝帘线价格差约为5元·kg<sup>-1</sup>。

而降低,而会因为UT钢丝帘线的价格较高而略有增加。

## 2 轮胎应用实例与讨论

### 2.1 带束层应用方案

表3示出了以215/45R17 91W半钢子午线轮胎为例的实际应用对比方案。

表3 以215/45R17 91W半钢子午线轮胎为例的实际应用对比方案

项 目	方案1	方案2	方案3
钢丝帘线品种	2×0.25UT	2×0.30HT	2×0.30HT
带束层压延密度/(根·dm <sup>-1</sup> )	100	80	90
帘布强度/(N·dm <sup>-1</sup> )	36 500	35 280	39 690
弯曲刚度/(N·mm <sup>2</sup> )	7 670	12 720	14 310
带束层压延厚度变化量/mm	-0.10	0	0
带束层钢丝帘线质量/(kg·m <sup>-2</sup> )	0.77	0.896	1.008
带束层胶料质量变化量/(kg·m <sup>-2</sup> )	0	0.10	0.08
带束层质量变化量/(kg·m <sup>-2</sup> )	0	0.23	0.32

注:本试验方案只是根据现有的工装条件所定。

### 2.2 成品安全性能

#### 2.2.1 强度性能

强度性能采用RJS-70型脱圈/强度试验机按GB/T 4502—2009进行测试。试验结束时,压头触及轮辋但轮胎未损坏(充气压力为220 kPa),方案1~3轮胎的破坏能分别为535.8,448.7和484.8 J,均通过强度性能试验,满足轮胎基本强度要求,测

试合格。

#### 2.2.2 高速/耐久联合性能

高速/耐久联合性能按企业标准进行。试验结束时,方案1轮胎的通过速度为280 km·h<sup>-1</sup>,累计行驶时间为69.40 h,轮胎损坏形式为冠爆;方案2轮胎的通过速度为270 km·h<sup>-1</sup>,累计行驶时间为69.28 h,轮胎损坏形式为冠爆;方案3轮胎的通过速度为290 km·h<sup>-1</sup>,累计行驶时间为69.53 h,轮胎损坏形式为肩空。3种方案轮胎高速/耐久联合性能均能满足企业标准要求,无明显差异。

#### 2.2.3 高速性能

高速性能按企业标准进行测定。试验结束时,方案1轮胎的通过速度为300 km·h<sup>-1</sup>,累计行驶时间为1.65 h,轮胎未损坏;方案2轮胎的通过速度为310 km·h<sup>-1</sup>,累计行驶时间为1.80 h,轮胎损坏形式为肩空;方案3轮胎的通过速度为300 km·h<sup>-1</sup>,累计行驶时间为1.65 h,轮胎冠爆。3种方案轮胎高速性能均满足企业标准要求,无明显差异。

### 2.3 成品应用性能

#### 2.3.1 轮胎五刚性

轮胎的刚性没有通用的标准,应按照配套车型的性能要求,确定合适的值。本工作进行的刚性试验,只是对比采用不同钢丝帘线的带束层对轮胎刚性的影响,从而得出对轮胎性能的影响。

表4示出了轮胎五刚性实测结果与有限元模

表4 轮胎五刚性实测结果与有限元模拟结果对比

项 目	方案1	方案2	方案3
径向刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )			
实测值	244.23	243.78	245.84
有限元模拟值	251.78	252.16	252.40
纵向刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )			
实测值	169.85	173.60	176.04
有限元模拟值	345.15	345.27	345.33
横向刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )			
实测值	117.93	118.22	125.08
有限元模拟值	186.88	186.86	187.09
扭转刚性/[ (N·m)·(°) <sup>-1</sup> ]			
实测值	41.17	40.00	39.33
有限元模拟值	62.81	62.68	62.68
包覆刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )			
实测值	507.01	510.85	505.75
有限元模拟值	494.81	495.29	496.11

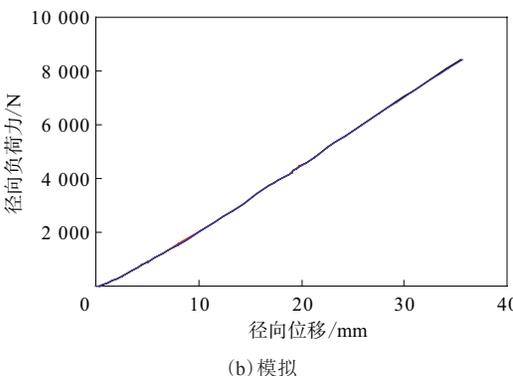
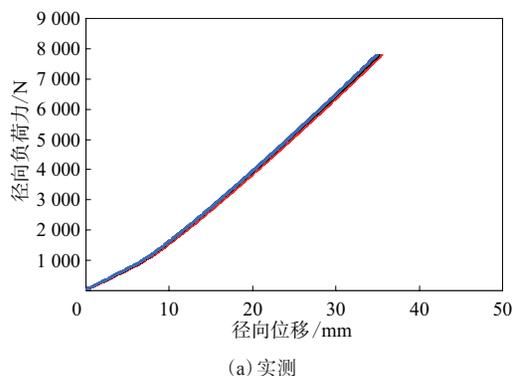
拟结果对比。

图2~6分别示出了轮胎径向刚性、纵向刚性、横向刚性、扭转刚性以及包覆刚性的实测和模拟曲线。

从上述测试数据可以判断,虽然2×0.25UT钢丝帘线的弯曲刚性下降较多,但对轮胎的影响则比较复杂,很明显在相同的测试条件下,带束层厚度同样起了作用,从中可以得出以下结论。

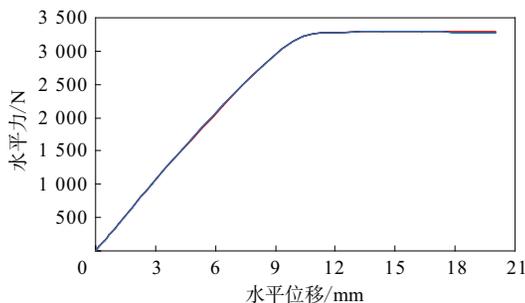
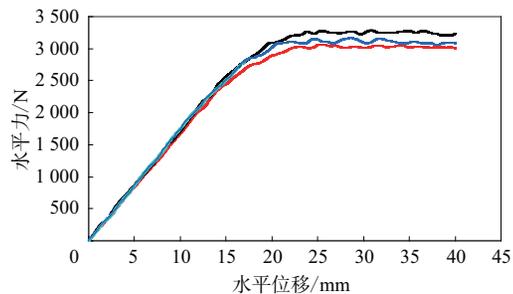
(1) 除扭转刚性和包覆刚性外,采用2×0.25UT钢丝帘线的轮胎整体刚性比采用2×0.30HT钢丝帘线的轮胎都有所减弱,轮胎操控性较差,但舒适性提高。轮胎实测结果趋势基本与有限元模拟分析结果一致,但模拟分析更明显。计算机模拟的3种方案轮胎各刚度曲线基本重合,差异很小。

(2) 在带束层厚度有相应调整的情况下,采用2×0.25UT钢丝帘线的轮胎扭转刚性高于采用2×0.30HT钢丝帘线的2种方案轮胎。原因在于较



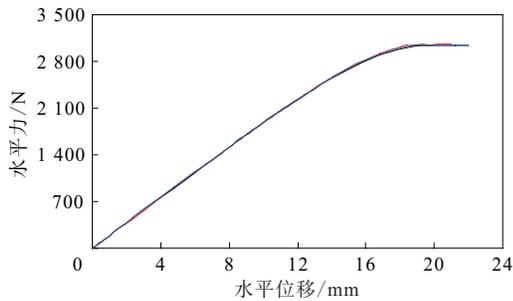
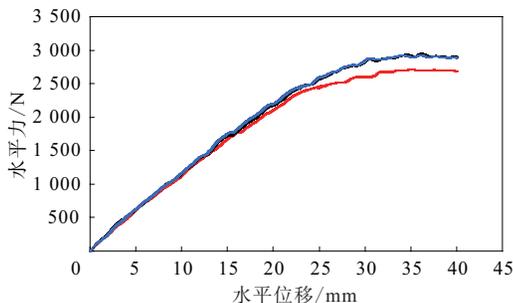
—方案1; —方案2; —方案3。

图2 轮胎径向刚性实测和模拟曲线



注同图2。

图3 轮胎纵向刚性实测和模拟曲线



注同图2。

图4 轮胎横向刚性实测和模拟曲线

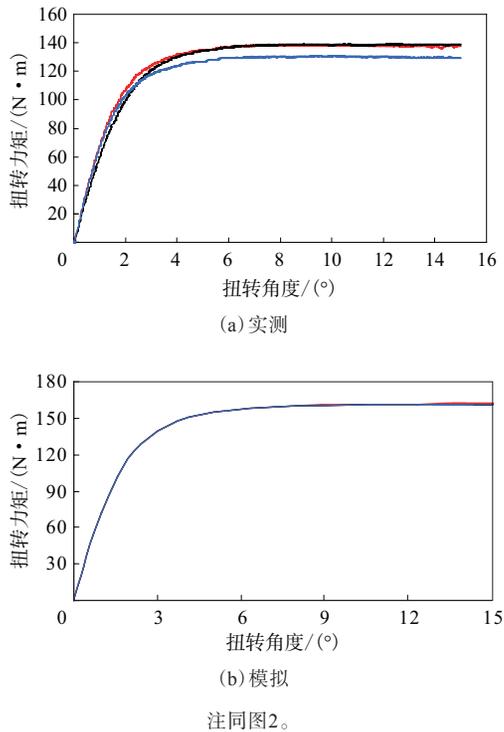


图5 轮胎扭转刚性实测和模拟曲线

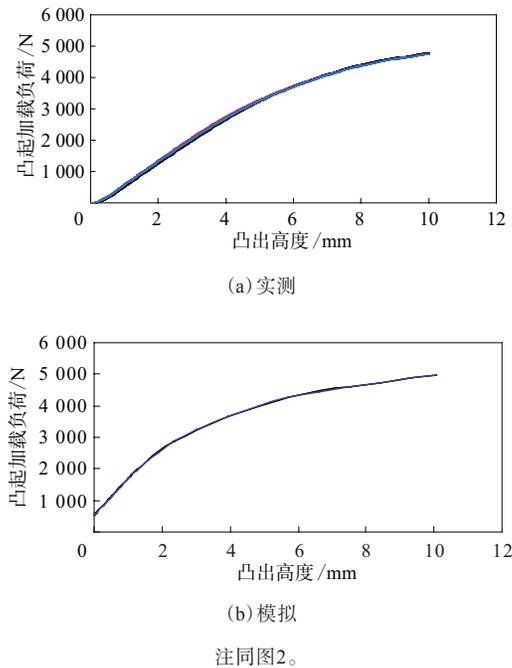


图6 轮胎包覆刚性实测和模拟曲线

厚的带束层胶料使轮胎更柔软和更易变形,更易弯曲的 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线不能抵消胶料的影响,此时采用 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的轮胎的转向特性

较好。

(3) 采用 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的轮胎径向刚性介于采用 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线的2种方案轮胎中间,但更接近于低密度方案轮胎。实际总体上3种方案轮胎的径向刚性相差不大。

(4) 采用 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的轮胎纵向刚性与采用2种密度的 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线的轮胎相比有所下降。钢丝变细、钢丝帘线密度变小,均会降低钢丝帘线的纵向刚性。

(5) 在带束层厚度有相应调整的情况下,采用 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的轮胎横向刚性低于采用 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线的轮胎。轮胎受钢丝帘线变稀、变细的影响,横向刚性下降,与有限元模拟分析结果相比,实际测试中表现较为明显。显然,使用UT钢丝帘线后,轮胎在转弯时所能提供的横向力有所下降。

(6) 采用 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线的轮胎包覆刚性实测结果较高,处于采用 $2 \times 0.30$ HT钢丝帘线的2种方案轮胎中间,与有限元模拟分析结果相比存在一定的偏差。后续可继续进行测试验证,特别是方案3可能会是轮胎刚性最低的方案。

(7) 仿真分析由于采用简化花纹,因此结果差异较小。

### 2.3.2 滚动阻力

滚动阻力按ISO 28580—2009进行测定。轮胎滚动阻力测试结果表明,采用方案1~3的轮胎的质量分别为8.7、8.9和9.0 kg,滚动阻力因数分别为8.19、8.26和8.05。

从滚动阻力测试结果可知,方案1轮胎滚动阻力低于方案2轮胎,但高于质量最大的方案3轮胎。说明 $2 \times 0.25$ UT钢丝帘线应用于轮胎中时,在特定情况下轮胎质量减小,有利于降低滚动阻力。比较方案2与3轮胎的质量变化,发现实际上2种方案轮胎胶料质量变化不大,主要是钢丝帘线质量变化,钢丝帘线质量变化对减少因变形产生的损耗帮助不大。

结合轮胎刚性的测试结果可以判断,轮胎的刚性变化对轮胎滚动阻力产生影响,其中径向、纵向和横向刚性变强对减少轮胎变形、降低滚动阻力有正面作用。

## 2.4 压力毯及静负荷测试

压力毯测试按Q/GHL 51—2013进行。表5示出了压力毯试验结果。图7~9示出了3种方案轮胎实测接地印痕。

表5 压力毯试验结果

项 目	方案1	方案2	方案3
印痕纵轴/mm	137.5	137	138
印痕横轴/mm	168	167.5	169
接地系数	0.82	0.815	0.815
接地面积/mm <sup>2</sup>	13 092	12 868	13 141
花纹总面积/mm <sup>2</sup>	21 622	21 371	21 552
花纹饱和度/%	60.55	60.22	60.98
接地长度/mm	127	128	130
接地宽度/mm	167	166	166

静负荷试验按HG/T 2443—2012进行。表6示出了静负荷试验结果。

表7示出了轮胎接地印痕和下沉量有限元模拟结果。

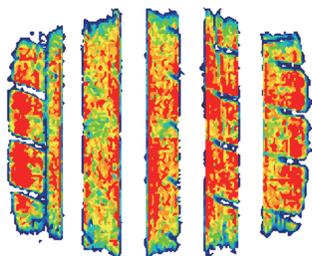


图7 方案1轮胎实测接地印痕

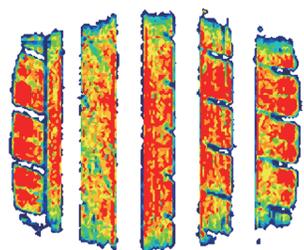


图8 方案2轮胎实测接地印痕

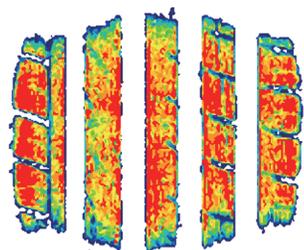


图9 方案3轮胎实测接地印痕

表6 静负荷试验结果

项 目	方案1	方案2	方案3
下沉量/mm	22.3	21.9	21.7
下沉率/%	23.6	23.0	22.8
初始断面高/mm	94.6	95.1	95.1
初始断面宽/mm	209	209	209
负荷下断面高/mm	72.3	73.2	73.4
负荷下断面宽/mm	216	215	221
接地系数	0.76	0.77	0.78

表7 轮胎接地印痕和下沉量有限元模拟结果

项 目	方案1	方案2	方案3
光面轮胎			
印痕纵轴/mm	144.2	146.1	145.9
印痕横轴/mm	167.6	166.7	166.7
接地面积/mm <sup>2</sup>	18 591.3	18 355.7	18 349.9
下沉量/mm	21.8	21.76	21.72
考虑主沟影响的轮胎			
印痕纵轴/mm	148.5	148.4	148.7
印痕横轴/mm	167.9	166.8	167.0
接地面积/mm <sup>2</sup>	14 858	14 661	14 732
下沉量/mm	22.01	21.96	21.91

图10~12示出了有限元模拟的3种方案光面轮胎接地印痕。图13~15示出了有限元模拟的3种方案有花纹轮胎(考虑主沟影响)接地印痕。

上述试验结果表明,轮胎在负荷条件下,使用2×0.25UT钢丝帘线后,轮胎的下沉量最大,接地面积也较大。轮胎的这种表现与刚度测试结果

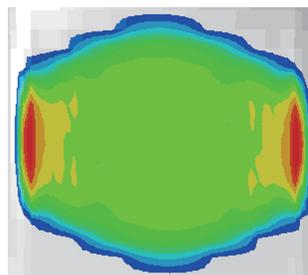


图10 方案1轮胎(光面)有限元模拟接地印痕

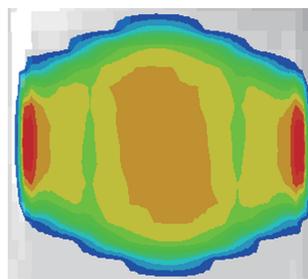


图11 方案2轮胎(光面)有限元模拟接地印痕

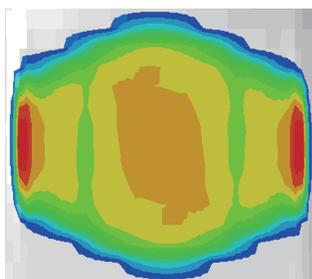


图12 方案3轮胎(光面)有限元模拟接地印痕

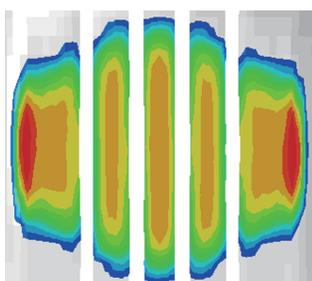


图13 方案1轮胎(考虑主沟影响)有限元模拟接地印痕

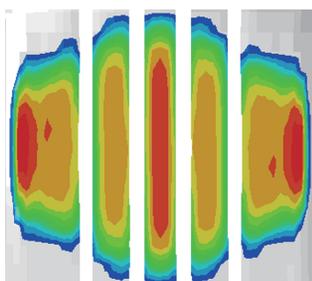


图14 方案2轮胎(考虑主沟影响)有限元模拟接地印痕是一致的,与模拟计算结果也一致。同时,使用 $2 \times 0.30\text{HT}$ 钢丝帘线,采用压延密度为 $90 \text{根} \cdot \text{dm}^{-1}$ 的带束层的轮胎在接地面积、横向长度、纵向长度

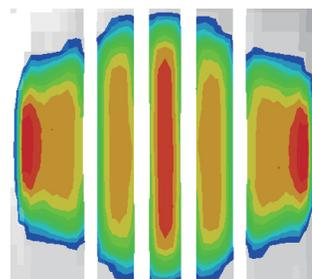


图15 方案3轮胎(考虑主沟影响)有限元模拟接地印痕方面大于压延密度为 $80 \text{根} \cdot \text{dm}^{-1}$ 的轮胎。这种情况可能主要是花纹沟的存在影响了轮胎应力分布而造成的。光面轮胎的模拟计算情况则正好相反。

### 3 结语

UT钢丝帘线具有更高的单丝强度,使轮胎生产中选用更细的钢丝帘线成为可能。应用UT钢丝帘线可以实现一定量的轮胎钢丝帘线质量和胶料质量减小;但质量减小的同时,目前暂还不能实现整体成本的降低。更细更软的UT钢丝帘线会降低轮胎的刚性,增大下沉量,改善轮胎的舒适性。但同时胶料厚度的减小会有在一定程度上增大轮胎刚性的可能性,特别是扭转刚性。合理选用UT钢丝帘线密度和带束层厚度在某些范围内能够降低轮胎滚动阻力,但是由于轮胎刚性变化会影响到轮胎的滚动阻力,因此,选择不当可能会出现牺牲轮胎操控性能的同时反而增大了滚动阻力的结果。在轮胎工业中应用UT钢丝帘线时需综合评价,使各方面取得较好的平衡。

第8届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文(三等奖)

## Application of UT Steel Cord in Green Tire

LI Ning, WEI Jingxun

(Guangzhou South China Rubber & Tire Co., Ltd., Guangzhou 511400, China)

**Abstract:** The basic properties of  $2 \times 0.25\text{UT}$  and  $2 \times 0.30\text{HT}$  steel cords and their application in green tire were compared and analyzed. The results showed that, compared with  $2 \times 0.30\text{HT}$  steel cord, the tensile strength of  $2 \times 0.25\text{UT}$  steel cord was higher by  $19\% \sim 20\%$ . However, it was found that the application of UT steel cord also influenced the cost, rolling resistance and rigidity of the tire. It was necessary to make a comprehensive evaluation in order to balance the properties and cost.

**Key words:** steel cord; belt; steel-belted radial tire