

# 汽车轮胎用骨架材料的性能及发展趋势

张云秀, 邓玉霞, 刘爱烈

(青岛黄海橡胶集团有限责任公司, 山东 青岛 266041)

汽车工业的发展离不开与之相关的橡胶部件——轮胎, 而汽车轮胎虽是一种典型的橡胶制品, 然而将它描述成一种用帘线增强的橡胶—帘线复合物却更准确。汽车轮胎中, 增强材料通常起承受载荷和保持制品尺寸稳定的作用, 它对橡胶制品的性能和使用寿命起着决定性的作用。轮胎作为汽车的装配部件, 一般必须满足 4 个基本的特性要求, 即汽车的运载性能、牵引—制动性能——将牵引力和制动力传送到路面、乘坐舒适性——缓冲来自路面的冲击、以及可操纵性—方向稳定性——改变和保持汽车的方向, 而轮胎帘线直接或间接地影响到以上 4 个功能的确定。尤其是承载性能, 由于橡胶是一种高弹性和低模量的材料, 在外力作用下极易产生形变, 轮胎帘线几乎承受着所施加的全部负载, 它对轮胎的耐久性能有着非常重要的影响, 因此可以无可非议的称之为轮胎的骨架材料; 其它三个性能要求都与轮胎的功能有关, 所以我们将汽车轮胎帘线作为一种功能材料来研究, 以期达到最佳的使用状态。

## 1 帘线的性能要求及用途

通常要求帘线应该具有大的强度和刚度, 要有一定的弹性模量和耐热性, 与橡胶间应有好的粘合性以及一定的尺寸稳定性。此外, 在轮胎损坏之前, 轮胎帘线必须能够维持这些性能, 因此要求轮胎帘线还必须具有优良的疲劳耐久性。

汽车轮胎中, 一般在三个部位使用轮胎帘线: 胎体层、带束层和胎圈。在斜交结构的轮胎中, 带束层又称为缓冲层。另外, 在带束保护层、胎体层边缘保护层和胎侧增强层中也可以使用帘线。一般来说, 帘线在这些部位的使用与否取决于轮胎的用途; 另一方面, 不同增强层的帘线种类随轮胎类型的不同而不同。

## 2 帘线材料的历史变迁

纵览汽车帘线材料的历史, 我们知道纤维帘线依次经历了从棉帆布到人造丝、尼龙和聚酯帘线的历史变迁。从棉线到人造丝和尼龙的目的是为了强度和耐久性, 因为轮胎在行驶过程中, 帘线会受到拉伸应力、压缩应力及层间剪切应力的作用。在帘布层间剪切应力以及轮胎重力的共同作用下, 轮胎帘线受到周期性的碾压, 导致帘线强度大大降低。另一方面, 轮胎帘线从尼龙变化到聚酯帘线与乘用车子午线轮胎的出现和发展密切相关。尽管聚酯比尼龙的强度低 20%~30%, 但因其弹性模量比尼龙高 30%~50%, 能赋予车辆更好的方向稳定性, 而且聚酯的玻璃转化温度高, 可以使轮胎的平点现象减轻, 降低轮胎胎侧外观上的不均匀性, 另外在强度相同时, 聚酯的价格比尼龙便宜, 所有这些使得聚酯帘线能够广泛地使用在子午线乘用车胎中。“轮胎平点”是由于轮胎周向变形过大而产生的, 主要是轮胎在高速滚动时产生热量, 使轮胎变热, 当车辆停驶冷却时, 由其自身和货物的重力作用, 轮胎接地部位逐渐形成暂时的失圆(局部变平)现象, 当轮胎再次驱动时可以感觉到轻微的振动, 影响了轮胎的行驶稳定性。

另外, 钢丝帘线的出现也直接与子午线轮胎的出现和发展有关。因此, 钢丝帘线代替尼龙帘线的趋势也逐渐增强。钢丝帘线常用作乘用车子午线轮胎的带束层材料和商务及工程车子午线轮胎的胎体层和带束层材料。

## 3 轮胎帘线材料的种类和特性

### 3.1 尼龙纤维

用于汽车轮胎帘线的尼龙材料是尼龙 6 和尼龙 66, 这两种尼龙纤维的强度和伸长率相近, 所以在轮胎性能方面可以等同的用作斜交结构的胎

体层和缓冲层材料。从轮胎制品的功效来看,尼龙 66 的熔点比尼龙 6 高  $40^{\circ}\text{C}$ , 可设置较高的硫化温度, 缩短硫化时间。单丝强度为  $79\text{mN} \cdot \text{dtex}^{-1}$  的尼龙 6 和尼龙 66 出现在 20 世纪 60 年代, 强度为  $84\text{mN} \cdot \text{dtex}^{-1}$  的普通丝发展于 70 年代, 而 80 年代则出现了强度为  $93\text{mN} \cdot \text{dtex}^{-1}$  的高抗断强度的丝线。目前标准丝和高抗断强度的尼龙丝均用于轮胎帘线。此外还出现了强度为  $115\text{mN} \cdot \text{dtex}^{-1}$  的超高抗断强度的尼龙丝。

此外, 因为熔点较高, 尼龙 66 常用于航空轮胎和乘用车轮胎的带束保护层。这是因为飞机在跑道上高速行驶中, 以及在起飞、降落期间均会产生大量热, 使轮胎内部温度升高, 另一方面据测算乘用车轮胎每旋转一周, 其带束层的伸长率约变化 2%, 这种变化会引起帘线生热, 所以人们更喜欢采用熔点较高的材料作轮胎的增强层, 以确保使用安全。

### 3.2 人造丝

人造丝属于热固性材料, 弹性模量高, 热收缩率低, 拉伸形变率也很低, 因此以人造丝为胎体层的子午线轮胎的尺寸稳定性、外观特性和方向稳

定性极佳。还可采用高温硫化工艺进行生产, 尤其适用于高速度级别的汽车轮胎。然而人造丝在制造阶段产生的废水污染严重, 为降低污染必须进行废水处理, 这使得人造丝的生产复杂而且价格昂贵, 加之其耗用天然木材资源, 结果使目前轮胎生产中人造丝的使用量大大降低, 加上人们环保意识的增强, 因此出现了新的替代产品——聚酯纤维。

### 3.3 聚酯纤维

聚酯纤维通常指聚对苯二甲酸乙二醇 (PET) 纤维, 属于热塑性材料, 其性能虽不如人造丝, 但弹性模量比尼龙高, 且热收缩性低, 加之聚酯纤维的强度比尼龙的强度高, 受潮时性能变化小, 而且制造时性能容易控制, 尤其是在强度相当时价格比人造丝便宜的多, 因此极大地促进了聚酯纤维的广泛使用。如今聚酯纤维的研究方向主要有两个: 高模量—低热收缩和高强度。由于聚酯的耐热性不如人造丝, 因此轮胎不宜采用高温硫化, 且硫化后轮胎仍需要后充气。目前汽车轮胎中常用的有机纤维单丝的性能如表 1 所示。

表 1 目前汽车轮胎中使用的有机纤维单丝的性能

丝线	尼龙 6	尼龙 66	普通 PET	低热收缩 PET	人造丝	芳香族聚酯胺
强度/ $(\text{mN} \cdot \text{dtex}^{-1})$	93	93	81	75	51	195
定负荷下的伸长 $(20\text{mN} \cdot \text{dtex}^{-1})/\%$	12.0	12.0	9.0	5.5	2.2	1.0
扯断伸长率/ $\%$	19.0	19.0	15.6	11.0	9.0	3.6
热收缩 $177^{\circ}\text{C}/\%$	7.5	5.5	6.5	6.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$
比重	1.14	1.14	1.38	1.38	1.52	1.44
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	223	265	260	260	$260^{\circ}\text{C}$ 以上分解	$500^{\circ}\text{C}$ 以上分解

注: 单丝性能随牌号变化, 表中所列数据仅视为举例。

聚酯纤维用作汽车轮胎帘线, 存在一个橡胶的热粘合中品质降低的问题。这是由于轮胎橡胶中有用作硫化促进剂的胺类化合物, 在汽车行驶过程中这些胺类化合物逐渐迁移到纤维表面, 引起酯键水解(氨解), 导致帘线性能下降。这个问题可以从三个方面着手解决, 即聚酯纤维、浸渍溶液和橡胶配方。另一个原因是轮胎行驶过程中, 聚酯帘线自身会产生较大的热量, 使轮胎温度升高, 降低了轮胎的热粘合性, 因此在高速度级别和高性能的汽车轮胎中仍采用人造丝作为增强材料。

### 3.4 芳纶纤维

目前用作汽车轮胎帘线的芳族聚酰胺纤维是聚-p-亚苯基对苯二甲酸酰胺 (poly-p-phenylene terephthalamide), 以杜邦公司的 Kevlar 和阿克苏公司的 Twaron 为代表。芳纶纤维具有强度高、变形小、模量高(尺寸稳定性好)、耐化学腐蚀性和耐高温性能好( $550^{\circ}\text{C}$ 以上才分解炭化, 可长时间在  $300^{\circ}\text{C}$  的高温环境下工作)、密度低 ( $1.44\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 仅为钢密度的 1/5) 等优点。从技术的角度考虑, 芳纶纤维可用作轮胎任何部件的骨架材料, 与树脂配合甚至可以制成胎圈代替钢丝, 制造不含钢丝的轮胎, 减轻轮胎的重量, 既有利于节能, 废胎又易于处理, 利于环保。但在过去的 10

年里,芳纶的用量并没有很大的增加,主要是因为芳纶的价格太高,如果在强度相同的情况下价格接近钢丝的价格,预计用量会有很大的增长。

### 3.5 钢丝帘线

钢丝帘线的使用应追溯到 20 世纪 70 年代后期。钢丝帘线的刚性较大,有利于提高轮胎的方向稳定性;其次,轮胎滚动时的应变变形较小,改善了耐磨性,降低了滚动阻力,即降低了燃油消耗;同时,采用钢丝帘线还提高了轮胎对铁钉等物的耐刺扎性;而且钢丝帘线强度高,有助于提高轮胎的耐久性能;其价格/强度比远远胜过尼龙或 PET 帘线。然而,钢丝帘线有两个缺点:比重高达 7.85,是有机纤维的近 6 倍;对腐蚀比较敏感。自 70 年代以来,这个方面的技术已经有了很大的发展,通过采用热扩散的方法对钢丝进行黄铜电镀(Cu/Zn,一般 Cu 为 60%~65%),不仅提高了钢丝帘线的抗腐蚀性,而且还大大促进了钢丝与橡胶的粘合。

### 4 帘线在轮胎中的性能要求

在轮胎中,不同部位所用的帘线增强材料不同,即使在同一轮胎中使用同一种增强帘线,轮胎设计人员也会根据此部位的性能要求选择帘线的牌号。通常轮胎帘线的选择不仅要考虑轮胎的种类、增强的部位,而且要考虑轮胎的使用条件,同时还要兼顾其它诸如经济、环境等因素。目前汽车轮胎中常用的纤维帘线的性能如表 2 和表 3 所示。

钢丝帘线的制造是采用直径为 5.5mm 的钢丝线棒材,经过金属拉丝、电镀和绞合三个工序完成的。因为能影响粘合,所以电镀是一个尤为重要的工序。钢丝帘线的绞合结构大致分成单捻线、股线和多芯绞线;单捻线帘线一般用于乘用车轮胎,股线帘线用于卡车/客车轮胎,多芯绞线帘线用于大型结构的机动车轮胎。目前汽车轮胎中常用的钢丝帘线及胎圈钢丝性能如表 4 和表 5 所示。

表 2 汽车轮胎中常用纤维原坯帘线的性能

	尼龙 6	尼龙 66	普通 PET	低热收缩 PET	人造丝	芳香族聚酰胺
线密度/ dtex	1865	1865	2200	2200	3700	4995
直径 / mm	0.53	0.53	0.58	0.58	0.71	0.889
捻度(丝线 Z 向)/(t°·dm <sup>-1</sup> )	45.28	45.28	39.4	39.4	47.20	42.59
捻度(帘线 S 向)/(t°·dm <sup>-1</sup> )	45.28	45.28	39.4	39.4	47.20	34.6
拉伸强度/N	149	149	156.0	149	169.00	779
扯断伸长率/%	24.5	24.5	18.0	14.4	16.00	很小

注:帘线性能随牌号变化,表中所列数据仅视为举例

表 3 汽车轮胎中常用纤维帘线浸渍和压延后的性能

	尼龙 6	尼龙 66	普通 PET	低热收缩 PET	人造丝	芳香族聚酰胺
拉伸强度/N	> 138	> 147	149	142	> 142	779
扯断伸长率/%	20.5	20.5	15.2	13.9	—	—
线密度/ dtex	1865	1865	2220	2220	3700	4995
直径/ mm	0.53	0.53	0.54	0.56	0.71	0.89
含水量/%	< 1.0	< 1.0	< 0.5	< 0.5	< 2.0	< 0.5
粘合强度/(N°·cm <sup>-1</sup> )	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70

表 4 汽车轮胎中常用的钢丝帘线性能

	1×3×0.30HT	3×4×0.22HE	3×0.20+6×0.35	3+9+15×0.175+0.15
帘线捻度/ m m	14.0S	6.35S	芯股: 9.7S; 帘线: 18.0Z	一层芯股: 5S; 二层芯股: 10S 帘线: 15.0Z
线密度/ tex	1140	3950	5350	5210
拉伸强度/N	445	> 883	1580	> 1680
扯断伸长率/%	2.5	> 4	2.5	> 1.5
粘合强度/(N°·cm <sup>-1</sup> )	433	> 850	1275	> 1100
帘线直径/ m m	0.6	1.18	1.13	1.3
黄铜含量/%	64.0	67.5	64.0	67.5
黄铜覆盖层重量/(g°·kg <sup>-1</sup> )	3.4	4.83	芯股: 5.22; 外层: 2.75	6.08

表 5 汽车轮胎中常用的胎圈钢丝性能

	直径/mm	拉伸强度/N	扯断伸长率/%	扭矩/圈	青铜覆盖层重量/(g·kg <sup>-1</sup> )
Φ1 钢丝	0.965	> 1270	> 5.0	> 48	0.475
Φ1.65 钢丝	1.65	> 3825	> 4.0	> 16	0.2

总之,汽车轮胎骨架材料市场受两个因素的影响:一是消费者需求的多样化和迫切性,二是环境的制约。消费者一方面要求提高乘用车轮胎的操作性能,强调安全性(改善湿操纵性、雪地耐受性、防侧滑性),另一方面希望降低轮胎的维护保养费用,即提高抗不均匀磨损,还希望通过提高轮胎的耐磨性来延长轮胎的寿命,采用较小而宽的轮胎降低汽车底盘来提高经济效益。

从 20 世纪 90 年代开始,人们开始加强了同

CO<sub>2</sub> 造成的大气污染和全球变暖的斗争,加强了对机动车超载的控制,并详细修订了有关汽车废气排放方面的法律。此外,出于保护资源的需要,要求加强降低燃料消耗、减轻轮胎重量和对轮胎进行翻新。因此,需要考虑的轮胎帘线技术将集中在如何用有机纤维替代钢丝帘线方面,其目的还是为了减轻子午线轮胎的重量和节省燃油,同时用有机纤维替代钢丝帘线还可以很容易切碎废轮胎,使汽车轮胎能够更有效地得到重复利用。

## 美国抵制汽车配件冒牌货

据世界海关组织和国际刑警组织提供的数字,大量涌入的冒牌货已使美国减少了 75 万个就业机会,其中 20 万个就业机会与汽车产业有关。汽车配件冒牌货的数量已足以造成毁灭性的打击——每年损失 120 亿美元的销售收入,这相当于 20 万个就业机会。此外,还引发交通事故、法律纠纷以及数不清的企业声誉损失。

据媒体报道,一辆校车因安装冒牌刹车片,导致 7 名学生死亡。此外,在 2003 年 11 月的 Las Vegas 汽车维修市场产品展览会上, Tenneco 汽车配件有限公司发现有贴着 Clevite 和 Harris 商标的假衬套,并当场抓住了 4 名来自亚太地区的参展商。上述例子还有许多。

美国汽车设备工业协会已组建一个有 55 名团体会员参加的组织——商标保护委员会,准备为通过更严厉的反工业品造假法案而游说拉票。盖茨公司、Tenneco 汽车配件有限公司等汽车配件生产商已经参加了该委员会。

现行的反工业品造假法规定,罚没有罪的制假商销售冒牌货或无照商品的所有收入。新制订的制止工业品造假法案将上述条款扩大,规定除罚没所有收入外,还要销毁用于制假的全部机器和设备。上述新法案于 5 月 23 日在美国众议院得到通过,目前正等待参议院批准实施。据汽车设备工业协会副主席 Neal Zipser 先生介绍,每年

汽车维修市场产品展览会的组织者都会向参展商发放多种语言的传单,向他们提出“一旦发现冒牌产品将被罚款”的忠告。此外在展览期间,有保安人员四处巡查,搜寻嫌疑冒牌产品。

据 Zipse 先生说,尽管如此,仍然不可避免地有冒牌货混进汽车维修市场产品展览会,这些冒牌货也并非一定来自海外。“去年的汽车维修市场产品展览会发现了 25 个独立的专利侵权产品,其中有 11 个为美国企业所为”。 艾 虎

## 三菱重工研发多模具技术

在德国科隆举办的 2005 轮胎技术博览会上,日本三菱重工业公司透露,该公司很有希望在日本研发出新型多模具硫化系统。

该全自动系统目前仅采用了一个机架配 8 个模腔,已经用于卡车和公共汽车的生产,并因此缩短了制造周期。

三菱重工的研究与开发部门仍致力于改进这套系统,包括探究其与上道工序的轮胎成型机与下道工序的轮胎试验机相连接的可能性。

与此同时,三菱重工在欧洲的第二家机械总装厂已开张,这家罗马尼亚工厂目前正集中生产硫化机。

2004 年三菱重工业公司在全球范围内共售出 430 台硫化机,其轮胎机械的销售额保持稳定,约为 1.33 亿美元。

谢 立