

经济型钢丝帘线结构的开发

Oger Arkens 著 薛广智编译 杨金华校

钢丝帘线是由许多细钢丝一起并捻或并股而成,然后才用来增强汽车轮胎、输送带和胶管的。第二次世界大战后,随着钢丝子午线轮胎的崛起和发展,钢丝帘线的耗用量不仅在欧洲大幅度增加,而且在美国、日本也不例外。由于道路质量的改善,子午线轮胎变得更为普遍,因此钢丝帘线的应用,在那些新兴的工业化国家中也就暴热起来。

图1显示了20年来轮胎子午线化的过程。

图2显示了美国各种帘线产量的变化。

综合起来,钢丝子午线轮胎有如下的优点:

- 能够提高耐磨性能;
- 在高速行驶下,能够降低生热;
- 可以减小帘布胶的厚度。

由于钢丝帘线的强度/相对密度的比值较尼龙、聚酯和芳香聚酰胺(芳纶)小,因此制造的轮胎也就较重。虽然钢丝较重是它的不利因素,但可以被它较高的强度/体积比值弥补过来。换句话说,可用较少的帘布层和较小的帘布层厚度使轮胎的重量减轻,同时可提高帘布压延和轮胎成型的效率。这样制造的轮胎与用其它骨架材料制造的轮胎具有相同的强度、刚度等增强效果。

表1的数据表明,即使对高性能的摩托车轮胎来说,所设计的用钢丝帘线增强的轮胎,其重量也可以比用芳纶增强的轮胎轻。

表1 钢丝与芳纶增强轮胎的对比

项 目	0°子午线轮胎	子午线轮胎
胎面	Dragon(越野)	MP7-Sport(赛车)
带束层	同捻向钢丝帘线 3×4×0.22	2层芳纶 1680/2,20°
胎体	一层尼龙 1400/2,90°	一层尼龙 1400/2,90°
重量/kg	6.4	7.0

注:轮胎规格:185/55ZR17。

因此,钢丝帘线制造厂对轮胎的重要贡献是可以减轻轮胎的重量,提高轮胎的强度,同时又保持轮胎良好的疲劳性能。

钢丝帘线制造厂与制钢厂共同合作努力,已经开发出高碳、高净度的钢盘条。经过一系列的热处理和冷拉作业,再经并捻、并股便可制得钢丝帘线。对每一步的制造工艺进行认真的研究和开发后,已经制造出具有独特强度性能的钢丝,以0.2mm的单丝为例,其断裂强度可达到3900MPa(见图3,略),

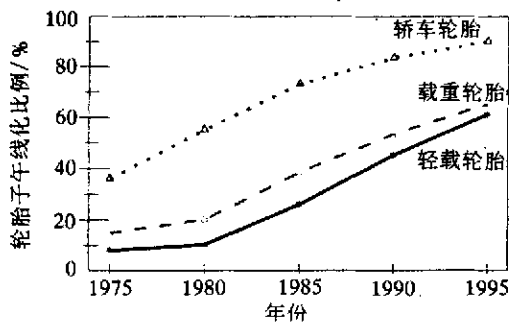


图1 世界范围内轮胎钢丝子午线化的百分数

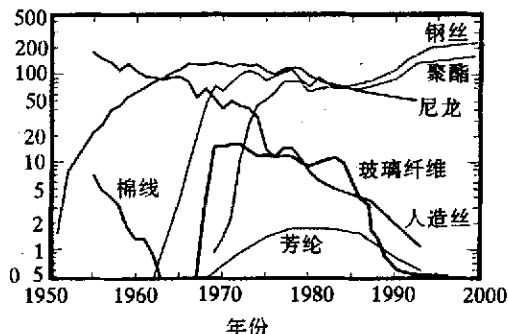


图2 美国近50年来各种帘线产量的变化
纵坐标为对数坐标

而且其疲劳水平可以达到单丝强度的 1/3 (根据经验)。盘条制造厂和钢丝帘线制造厂的共同研究还表明,钢丝尚未达到其极限强度,即断裂强度尚有可能超过 3 900MPa。

一般强度(NT)	2 800MPa
高强度(HT)	3 200MPa
超高强度(SHT)	3 600MPa
极高强度(VHT)	3 900MPa

钢丝帘线的进一步最佳化和开发工作是 与轮胎工业的开发和需要直接相关的,而轮胎工业又必须满足现代运输行业所提出的基本要求。钢丝帘线有如下独特的性能:

- 强度;
- 刚度;
- 杨氏模量;
- 耐用性能;
- 尺寸稳定性;
- 弹性;
- 均匀性;
- 经济性。

可以确信未来的明天,钢丝帘线仍将以重要的强度成员面貌出现在轮胎家族中。

就钢丝帘线而言,除了对诸如高强度、有关疲劳性能等基础的开发性研究工作外,还要考虑如下的内容:

(1)研究理想型的帘线构型:简化结构;一次成型制成帘线;减少单丝根数,加大单丝直径;把帘线的磨损疲劳降到最低程度。

(2)新型 BETRU 帘线的概念:它在下述两方面有新的突破。

①保证耐腐蚀疲劳性能

胶料可以充分渗透。这对带束层部位的钢丝帘线来说是必需的,这样可以防止由于轮胎损坏(腐蚀)而引起的氧化作用和湿气传播作用。

由于抑制了湿气的扩散和潜在的腐蚀作用,使得胎体帘线的防护作用达到了最佳化,这一点可以由特殊的表面处理来承担。

②使粘合达到最佳状态,且提高粘合保

持率。为达到此目的,可以:使用专用的黄铜镀层;作进一步的表面处理,在一些专用胶料中,达到尽可能高的粘合水平。

下面将进一步对这些轮胎用钢丝帘线的开发工作做些说明。

1 理想的帘线结构

1.1 简化带束层用的帘线构型

目前,大部分钢丝帘线市场都采用高强度帘线 (HT, SHT, VHT), 将含碳量为 0.80% 的盘条拉到真正应变程度,约为 3.6 (面积减小到 98%)。

研究开发工作围绕着减轻重量和降低成本而进行。

市场上,带束层已用惯 $2 \times 0.30\text{HT}$ 或 $3 \times 0.30\text{HT}$ 结构的帘线,它们已逐步取代了结构较为复杂的 $2 + 7 \times 0.22$ 和 5×0.25 结构帘线。

1.2 胎体用紧密型帘线

紧密型钢丝帘线是由一些单丝按相同捻向同时加捻而成。

图 4 把层型结构 $3 + 9$ 帘线(左)与紧密型结构 12×1 帘线(右)作了对比。

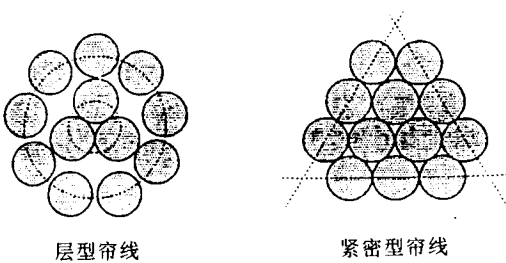


图 4 层型帘线和紧密型帘线的结构对比

表 2a 和 2b 示出了单丝强度所起的作用以及帘线的性能。

紧密型帘线有许多突出的优点,可以用一步或相同的工序制得,制造成本低。此外,该帘线的单丝之间是线接触,由于有较大的接触面积,因此疲劳性能和耐腐蚀疲劳性能也随之提高,而且与那些层与层之间发生点接触的钢丝帘线结构相比,线接触的接触压

表 2a 0.30mm 单丝性能

性 能	NT	HT	SHT
断裂强度/MPa	2 850	3 217	3 544
屈服强度*/MPa	2 630	3 000	3 314
面积减少百分数/%	45.6	39.1	40.5
扭转(200×Φ)	87	72	59
弯曲(R=0.75mm)	21	20	18
疲劳强度/MPa	1 033	1 133	1 250

注：* 泊松比 $\sigma=0.2$ 。

表 2b 2×0.30 帘线性能

性 能	NT	HT	SHT
弯曲负荷/N	392	444	494
冲击力/N	112	132	144
疲劳强度*/MPa	850	1 050	1 200

注：* 钢丝帘线嵌埋在橡胶中用旋转弯曲疲劳试验法测定。

力也较小。紧密型钢丝帘线具有紧密的构型,也就是说,在有限的截面积中,钢丝占据的比例大,帘线的直径可以减小,而同时又能保持相等的增强作用。但是,紧密型帘线有一主要的缺点,特别是在所有的单丝都是同一直径时更突出,因为它们对股芯的移动十分敏感。这意味着帘线被切断和经受交替弯曲时股芯单丝会滑移到外层。

通过优化轮胎成型工艺和改进帘线构型能够避免股芯移动。改进帘线构型是指增大股芯的圆周线,即增加股芯单丝的粗度或在外层中减少单丝数目。上述两种改进方法都能使渗胶更好,从而确保了股芯单丝的力学锚接,并能抑制股芯移动的趋势(参见图 5)。

耐久的载重轮胎胎体用钢丝帘线开发趋势表明,紧密型帘线无需外缠(它具有潜在的提高渗胶能力)。

由于提高了抗腐蚀疲劳性能和具有优越的抗冲击性能,因此紧密型结构的帘线比层型结构的帘线好。

对钢丝帘线进行 40×10^6 (原文为 106——译者注)周(相当于实际行驶 12 万 km)实验室试验(环形带),测定单丝的断裂负荷损失,数据列于表 3。

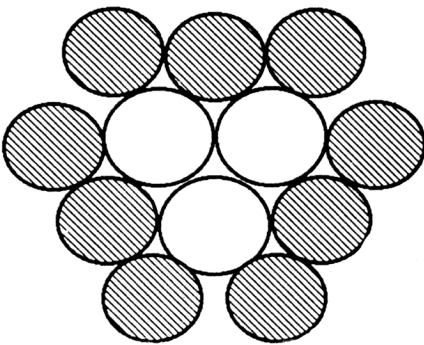


图 5 股芯单丝加粗后紧密型帘线结构图

表 3 断裂负荷损失试验结果

帘线类型	断裂负荷损失/%			
	股芯	内层	外层	总计
3+9+15×0.175	1.95	2.14	7.80	5.30
12×0.22CC(紧密型)	—	—	—	0.50

注：鼓轮直径：143mm；预应力：400N/mm；试验周数： 40×10^6 。

紧密型帘线具有超强度保持率的特性,这为轮胎设计者带来了新的机会。在计算胎体强度的安全倍数时,当然要涉及到轮胎的总使用寿命和帘线的剩余强度。因此,层型结构的帘线改为紧密型结构的帘线时(例如 3+9+15×0.175+1 改为 19×0.175CC),谨慎地减小安全因子是十分合适的。在实际使用中(参见表 4),帘线改用后会使得胎体帘线的重量减轻 10%。

表 4 层型结构与紧密型结构帘线性能对比

帘线性能	帘 线 类 型	
	3+9+15×0.175+1	19×0.175CC
断裂力/N	1 700	1 300
线密度/g·m ⁻¹	5.2	3.7
根数(EPD)	57	72
胎体强度/ N·dm ⁻¹	96 900	93 600
胎体强度指数	100	96.5
帘线重量指数	100	90

1.3 具有裁剪工艺性能的钢丝帘线

若将一拉力施于钢丝,则其应力-应变曲线便能分成弹性和塑性两个部分,弹性部分的斜率称为弹性模量,钢的弹性模量为 2.1

$\times 10^5$ (原文为 105——译者注) MPa。各种结构的钢丝帘线虽然有类似的应力-应变曲线,但在弹性部分却有不同斜率。这与帘线的结构、潜在的伸长率有关,虽然这些帘线都由钢丝组成,而且单丝具有固定的材料性能(参见图 6,略),但是不同结构的钢丝帘线则具有不同的弹性模量。

对被选用的帘线来说,钢丝帘线制造厂采用合适的热力学处理还能改变其应力-应变曲线的塑性部分。

正是凭借了钢丝帘线的高模量性能,才能制造出单层胎体的载重轮胎,把轮胎的驱动力和制动力传递到路面。同样,在带束层部位,模量也起着重要的作用,因为弯曲刚度与模量有直接关系。弯曲刚度正比于弹性模量(E),正比于帘线中的单丝数目(n),正比于单丝直径的四次方(D^4),钢的模量值高,一旦与较大的单丝直径相配合,就能提供所需的带束面积刚度,且有合理的带束层数以及较少的根数。对良好的胎面耐磨性、车辆操纵性和低滚动阻力等特性而言,高带束面积刚度是至关重要的。

众所周知,胎体的胎冠部位以及带束层的边缘部位接地时要承受压缩负荷,转弯时尤为严重。视硫化模具的形状、带束层的数目以及裁断角度、帘线根数、橡胶的模量等轮胎设计因素而定,每根帘线都会受到一部分上述的压缩负荷。

轮胎设计者选用的帘线,其纵向弯曲应力值 σ_k 应高于所有可能在行驶中所遇到的压缩应力。

在相同的断裂负荷范围内,钢丝帘线和纤维帘线的压缩模量及纵向弯曲应力值是处于不同数量级的。与其它增强材料相比,钢丝帘线具有明显的优势(参见图 7)。对带束增强帘线来说,压缩模量指标同样是十分重要的,因为胎面磨损大部分发生在转弯时(转弯时带束层部分地处于压缩状态)。高压压缩模量的带束层能够减轻胎面花纹的蠕变,从

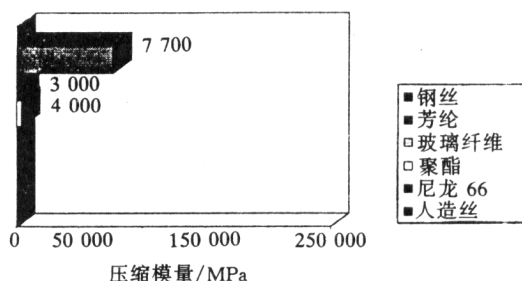


图 7 钢的杨氏模量遥遥领先

而减少磨损。加大单丝直径和捻距,外缠单丝能够进一步提高压缩模量。

对胎体的应用来说,柔性越大越好,磨损越小越好。因此采用无外缠结构的钢丝帘线较为合适。无外缠结构钢丝帘线还有一个优点,即可以减薄胎体。无论如何,在胎体中都应该避免压缩和弯折现象的出现,因此在轮胎设计时要求使用无外缠的胎体帘线。

2 BETRU(贝卡尔特全渗胶)概念

为了提高行驶里程、安全性及翻新率,工业上强烈地需要提高轿车轮胎、载重轮胎胎体的质量和使用寿命。具体地,对胎体钢丝帘线而言,要求具有良好的粘合保持率和耐腐蚀性能,从而提高使用寿命。使用开放型钢丝帘线可以说是第一个里程碑,它可以使胶料渗透到帘线的内部,从而避免因进入帘线内部的湿气而引起的腐蚀或局部腐蚀。

并捻时通过单层帘线的“适当的预变形”或在多层帘线中让一些单丝摆脱一层,就能制造出“开放型帘线”的几何形状,举例来说,3+8+13 为开放型,3+9+15 为非开放型。

图 8 画出了 4×1 结构的横截面。常规封闭型帘线的中心是一个通道,它可以作为湿气沿着帘线通行的“快速道”。而在开放型帘线中,单丝的周围全部都渗进了胶料。

假如在某特定的张力负荷下(例如压延锭子架中的导开张力失去控制时),开放型帘线发生了封闭或伸长,这样就不能再保证胶料渗进钢丝,开放型帘线的特有优点也就不

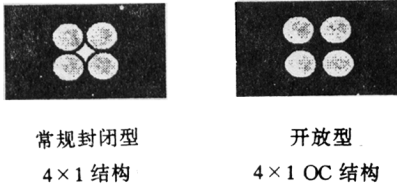


图 8 4×1 与 4×1 OC 帘线渗胶情况

能再呈现出来。开放型帘线还有其它的缺点,如直径较大且相当不规整,结构伸长率(即 PLE——部分伸长率,在 2.5~50N 的轴向负荷下测定)大,它可能会妨碍轮胎的驾驶响应。因此,一种新的名为 BETRU(Bekaert Total Rubber Penetration)“开放”帘线已开发成功,它具有直径小、部分负荷伸长率小、硫化时在预张力下能全部渗胶的综合优点。BETRU 工艺的基础是使帘线中的一根或多根单丝在并股时进行多边形的预成型。

在横向投影图中,传统的帘线中的单丝是圆形的,而在多边形的预成型帘线中,可以有各种的形状,这要视所用的预成型器类型而定。图 9~11 描绘了 BETRU 的概念。

并股成成品帘线时,发生了多边形形变的单丝将产生微空隙,需要相当大的力才能将该空隙封闭。

经过性能对单丝强度和直径以及性能对橡胶粘度的最佳匹配后,这样制得的供轮胎制造厂使用的帘线,将有最大的渗胶能力。用测定压力降的方法可以定量地测出渗胶程度。在受压情况下将试验胶垫硫化,硫化时要施以 30N 的张力,将试验胶垫切成 1/10 捻距的长度,在气压为 0.1MPa 的条件下,测出 1min 内流经帘线的空气量。完全渗胶的帘线则无压力降。表 5 用事实及数据对典型带束层所用的常规(封闭型)帘线、开放型帘线和 BETRU 帘线作了对比。

从表 5 可以看到,3 种类型的帘线在直径、部分负荷伸长率和渗胶率上的差异是十分显著的。经过深入的研究,预变形的开发以及对钢丝帘线性能、全面质量的不断提高,

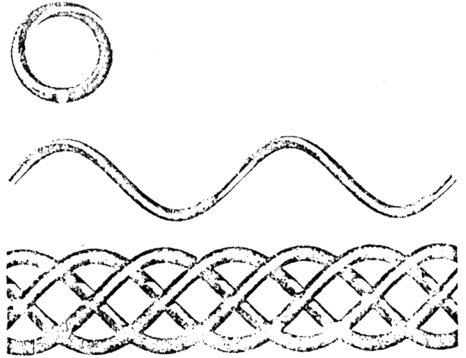


图 9 开放型帘线:圆周长

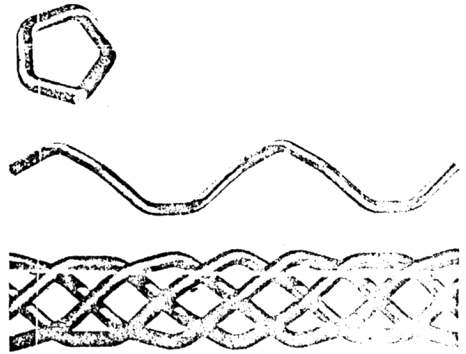


图 10 BETRU 帘线:多边形

为了阐明 BETRU 的原理,本图的几何形状颇有夸大之意

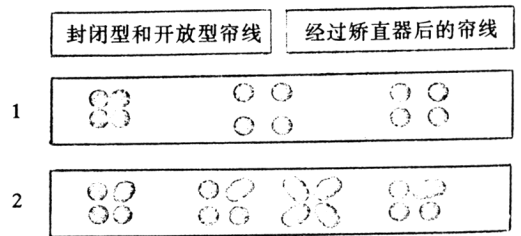


图 11 常规帘线和 BETRU 帘线的形状对比

1—常规帘线;2—BETRU

使得 BETRU 帘线不仅能全部渗胶,而且还具有出色的疲劳性能,参见图 12。

根据上述的研究考察,以及弯曲和拉伸疲劳的数据,我们确信 BETRU 帘线在增强带束层上有很大潜力。

BETRU 帘线的综合优点(业已被证实的)是:

(1)完全渗胶,即使在高张力负荷下硫化亦不例外;

表 5 3 种类型帘线的性能对比 *

性 能	常规型	开放型	BETRU
压力降/ %	100	22	0
帘线最大直径/ mm	0.75	1.09	0.91
线密度/ g·m ⁻¹	1.68	1.68	1.68
帘线断裂负荷/ N	660	660	660
部分负荷伸长率/ %	0.150	0.310	0.185
Hunter 疲劳强度(埋入胶中,干态下)/ MPa	1 000	1 050	1 000
Hunter 疲劳强度(埋入胶中,预控制下)/ MPa	<300	<400	400
低周疲劳寿命(预控制与干态周期的百分比)/ %	11	33	100

注: * 钢丝为 3×0.30/16HT,捻距为 16mm。

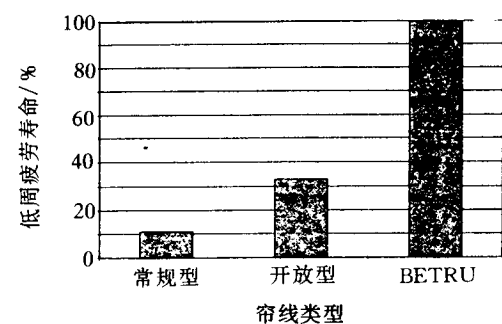


图 12 3 种类型帘线的疲劳性能对比

低周疲劳寿命:预控制与干态
疲劳周期的百分比

(2)帘线直径小,可以将钢丝帘布层的厚度减小(意味着可以节省胶料的用量);

(3)与开放型帘线相比,外观更规整;

(4)能够提高粘合保持率。

预期会有的优点是:

(1)与开放型帘线相比,在制造轮胎时加工性能更好;

(2)由于把各单丝之间的接触点降到了最小程度,提高了耐腐蚀性能;

(3)与开放型帘线相比,有更好的耐腐蚀和耐腐蚀疲劳性能。

3 结 论

3.1 目前和未来轿车轮胎用钢丝帘线及单丝的演变情况
帘线演变过程

2+7(+1)→5×1,4×1→5×1 OC,4×1 OC
→2+2,3×1 OC→2+2 HT,3×1 HT BE-
TRU→3×1 ST BETRU

单丝演变过程

0.22→0.22,0.25→0.25,0.28→0.25,0.30
→0.25 HT,0.28 HT,0.30 HT→0.25 ST,
0.28 ST

3.2 不同类型轮胎对钢丝帘线的要求

关于钢丝帘线结构的发展趋势,作者认为各应用领域应有如下不同的要求:

(1)轿车轮胎用钢丝帘线

①加粗单丝,减少单丝根数;

②减小帘线直径,从而节省钢丝帘布层的用胶量;

③全渗胶——不受导开张力的影响;

④提高帘线的刚度;

⑤为了获取最佳的操纵性能,需要低的部分负荷伸长率;

⑥具有最佳的粘合水平。

(2)载重轮胎用钢丝帘线

胎体增强用:

①良好的抗磨损疲劳性能:层型结构→紧密型结构→无外缠紧密型结构;

②较高的耐腐蚀疲劳性能:表面控制→基材→胶料;

③良好的抗冲击性能:用线接触来代替点接触结构的帘线;

④出色的粘合保持率。

(3)长寿命轮胎用钢丝帘线

带束层增强用:

①加粗单丝,减少单丝根数;

②减小帘线的直径,从而减少胶料的用量;

③要求能全部渗胶;

④要有好的耐冲击能力;

⑤应有最佳的粘合性能。

3.3 当今和未来的载重轮胎帘线结构

(1)轻型载重轮胎

胎体:

$$3+9 \times 0.175+0.15 \rightarrow 3 \times 0.20/9 \times 0.175 \text{ CC} \rightarrow$$

$$2+7 \times 0.22 (0.15) \rightarrow 2+7 \times 0.20 \text{ HT} \rightarrow 0.22+6 \times 0.20 \text{ HT BETRU}$$

带束层:

$$3 \times 0.15+6 \times 0.27 \rightarrow 0.30+6 \times 0.27 \text{ BETRU} \rightarrow 2+2 \times 0.30 \text{ HT}$$

$$4 \times 0.38 \text{ OC} \rightarrow 2+2 \times 0.35 \rightarrow 2+2 \times 0.32 \text{ HT}$$

$$\rightarrow 2+2 \times 0.38 \rightarrow 4 \times 0.30 \text{ SHT BETRU}$$

$$\rightarrow 4 \times 0.32 \text{ HT BETRU}$$

(2) 中型载重轮胎

胎体:

$$3+9 \times 0.22+0.15 \rightarrow 3 \times 0.22/9 \times 0.20 \text{ CC HT } (+0.15)$$

$$\rightarrow 0.20+18 \times 0.175 \text{ CC}$$

带束层:

$$3 \times 0.15+6 \times 0.27 \rightarrow 0.30+6 \times 0.27 \text{ BETRU} \rightarrow 0.28+6 \times 0.25 \text{ HT BETRU}$$

$$3 \times 0.20+6 \times 0.35 \rightarrow 0.38+6 \times 0.35 \text{ BETRU} \rightarrow 0.35+6 \times 0.32 \text{ HT BETRU}$$

(3) 重型载重轮胎

胎体:

$$3+9+15 \times 0.175+0.15 \rightarrow 0.20+18 \times 0.175 \text{ CC}$$

$$\rightarrow 0.20+18 \times 0.175 \text{ CC HT}$$

$$\rightarrow 0.25+18 \times 0.22 \text{ CC}$$

$$\rightarrow 0.22+18 \times 0.20 \text{ CC HT}$$

带束层:

$$3 \times 0.20+6 \times 0.35 \rightarrow 3 \times 0.20+6 \times 0.35 \text{ HT} \rightarrow 0.38+6 \times 0.32 \text{ HT BETRU}$$

$$3+9 \times 0.22+0.15 \rightarrow 3 \times 0.22/9 \times 0.20 \text{ CC}+0.15 \text{ HT} \rightarrow 2/8 \times 0.30 \text{ HT CC BETRU}$$

$$3+9+15 \times 0.22+0.15 \rightarrow 3 \times 0.35/9 \times 0.32 \text{ CC HT} \rightarrow 2/8 \times 0.32 \text{ HT CC BETRU}$$

保护层:

$$3 \times 7 \times 0.22 \text{ HE} \rightarrow 4 \times 4 \times 0.22 \text{ HT} \rightarrow 4 \times 2 \times 0.35 \text{ E}$$

$$\rightarrow 5 \times 0.35 \text{ HT BETRU}$$

$$\rightarrow 5 \times 0.38 \text{ HT BETRU}$$

$$\rightarrow 4 \times 0.35 \text{ HT BETRU}$$

译自“Tyre Tech. Asia '96”, No. 19

“30 万套全钢载重子午线轮胎工程”

荣获全国优秀工程设计金奖

根据建设(1996)623 号文通知,由化学工业部北京橡胶工业研究设计院负责设计的“30 万套全钢载重子午线轮胎工程”荣获全国第七届优秀工程设计金质奖,这是建国以

来橡胶行业工程设计领域首次获得的最高奖励。该工程原署名上海大中华橡胶厂闵行分厂,现改为上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司上海载重轮胎厂。

(化工部北京橡胶工业研究设计院
顾灵庆供稿)