

子午线轮胎的部件和性能

S. W. Hong 著 胡尧生译 涂学忠校

轿车子午线轮胎结构需要有几种不同的部件,每个部件都提供规定的使用性能。然而,轮胎公司一直在努力简化结构、减轻重量并降低加工成本。各轮胎部件都有与使用性能相关的关键特性。轮胎配方人员在不断努力通过采用各种抗降解剂、硫化体系和弹性体来开发提高抗疲劳性能的胶料,以提高轮胎性能。改进的防老化体系和稳定的硫化体系已大幅度延长了轮胎的寿命。

本文仅讨论几种部件的主要功能和使用性能要求以及与轮胎试验结果相关的性能。还讨论各部件专用胶料所要求的关键性能。

轿车子午线轮胎通常含有多种组分各异的胶料,每种胶料都对总体使用性能有特殊的贡献。为特定功能设计的各种胶料有不同的物理性能要求,如硬度、扯断伸长率、定伸应力、滞后性、屈挠性能和老化后物理性能。各轮胎公司生产轮胎的方法不同。通常,所用部件最少的最简单的制造方法是最有利的方法,然而,耐久性、操纵性能、乘坐舒适性和其它使用性能要求迫使轮胎公司采用较为复杂的结构以改进轮胎性能。

附图示出的是复杂的轿车轮胎结构。轮胎主要部件为胎面、黑胎侧、带束层、胎体、胎圈三角胶、胎圈护胶、气密层、缓冲胶片和胎趾卡装带。胎面部分又分为冠部、基部和两侧翼(小胎侧),以降低滚动阻力,提高抗滑性、牵引性和耐磨性。为改进屈挠性,下胎侧采用高硬度胶料、上胎侧采用低硬度胶料。气密层结构包括气密层、胎肩增强胶条和胎趾卡装带。

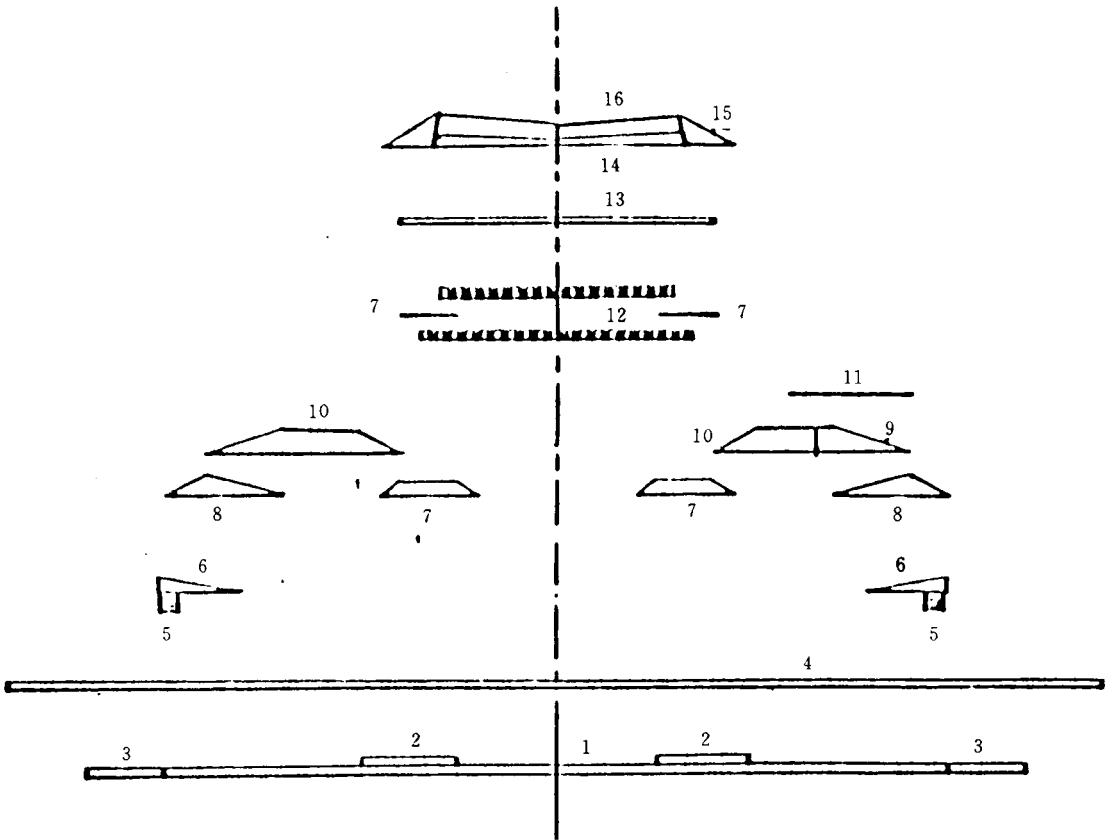
1 胎面

1.1 胎面基部胶

对胎面基部胶的要求是能降低轮胎滚动阻力,从而减少油耗。胎面基部胶料含有NR/BR和导致低 $\text{tg}\delta$ 和滞后而且用量较低的炭黑。胎面力学滞后性低是有利的,因为轮胎行驶温度低有利于降低滚动阻力。因此,现在的低滚动阻力轮胎或高速载重轮胎胎面基部胶滞后性都较低。表1示出了一种典型胎面基部胶料及其物理性能。

表1 胎面基部胶料^[1,2]

配方	
NR	60
顺式 BR	40
炭黑 N660	45
氧化锌	5
硬脂酸	1.50
防老剂 6PPD	1.00
环烷油	6.00
石蜡	0.50
促进剂 TBBS	1.00
促进剂 DTDM	1.00
80%充油不溶性硫黄	3.25
性能	
门尼粘度 $ML(1+4)100^\circ\text{C}$	52
门尼焦烧 $t_3(132^\circ\text{C}), \text{min}$	25
拉伸强度, MPa	15.4
扯断伸长率, %	370
300%定伸应力, MPa	11.1
邵尔 A 型硬度, 度	55
撕裂强度(C型), $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	30.3
$\text{tg}\delta$	
27 $^\circ\text{C}$	0.07
75 $^\circ\text{C}$	0.05



附图 子午线轮胎部件

1—气密层;2—胎肩增强胶条;3—胎趾卡装带;4—胎体;5—胎圈;6—胎圈三角胶;7—带束层
隔离胶;8—胎圈护胶;9—白胎侧;10—黑胎侧;11—覆盖胶条(胎侧薄片);12—钢丝
带束层;13—冠带层;14—胎面基部;15—小胎侧;16—胎面冠部

1.2 胎面冠部

轮胎结构中的主要部件之一是胎面冠部。胎面胶有 4 种重要性能:抗切割或抗撕裂性能、良好的耐磨性、良好的牵引性和低滚动阻力。当然,在设计胎面时,考虑所有行驶条件下的良好牵引性是很重要的。为防止花纹沟龟裂,胎面胶还必须抗降解。适量抗臭氧剂和石蜡对抵抗各种环境条件下臭氧的侵袭或花纹沟龟裂是必不可少的。设计胎面冠部最重要的一点是聚合物的选择。大部分轿车轮胎胎面胶采用溶聚丁苯橡胶(S-SBR)与高乙烯基聚丁二烯橡胶(HVBR)并用或高乙烯基的 S-SBR 或乳聚 SBR(E-SBR)与顺式聚丁

二烯橡胶(顺式 BR)并用。因此,选择适当的 SBR 和炭黑对获得良好的胎面总体性能是很重要的。表 2 列出了具有低滚动阻力和低成本的两种胎面冠部胶料配方。低滚动阻力胎面胶料含 55 份炭黑,低成本胎面胶料含 85 份炭黑。物理性能见表 3。

1.3 结果与讨论

(1)滚动阻力

为找到轮胎滚动阻力与 75℃下 $\text{tg}\delta$ 值的关系,用不同 $\text{tg}\delta$ 值的胎面胶制造了 P195/75R14 试验轮胎。为评价不同 $\text{tg}\delta$ 值的胎面,试验轮胎采用相同的结构和硫化条件。我们发现 75℃下的 $\text{tg}\delta$ 值与滚动阻力成正

表 2 胎面冠部胶料^[1,2]

配方与性能	低滚动阻力胶料	低成本胶料
S-SBR	70	0
E-SBR	0	80
顺式 BR	0	20
HVBR	30	0
炭黑 N234	55	85
芳烃油	20	50
氧化锌	3.0	3.0
硬脂酸	1.0	1.5
防老剂 6PPD	1.0	1.0
石蜡	0.5	0.5
促进剂 CBS	0	1.3
促进剂 TBBS	1.0	0
促进剂 DPG	0.4	0
硫黄	1.8	2.0
加工性能		
门尼粘度 $ML(1+4)100^{\circ}\text{C}$	70	50
门尼焦烧 $t_3(132^{\circ}\text{C}), \text{min}$	21.0	26.0

表 3 胎面冠部胶料物理性能

性 能	低滚动阻力胶料	低成本胶料
拉伸强度, MPa	21.4	18.9
扯断伸长率, %	550	590
300%定伸应力, MPa	8.8	8.2
邵尔 A 型硬度, 度	64	64
撕裂强度(C 型), $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	64.8	39.0
tg δ		
0 $^{\circ}\text{C}$	0.20	0.29
27 $^{\circ}\text{C}$	0.17	0.27
75 $^{\circ}\text{C}$	0.14	0.25
相对滚动阻力	100	123
牵引性能		
干, $40\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 最高	98	112
湿, $60\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 最高	83	103
磨损性能		
预定里程(根据 38616km		
车队试验), km	79484.6	79967.3

比。目前的胎面胶 75℃下的 tg δ 值为 0.12—0.25。胎面基部胶 75℃下的 tg δ 值小于 0.08^[1]。因此,冠部/基部胎面结构可降低滚动阻力 10%以上。还计算了 75℃下所测 tg δ 值为 0.18 的 E-SBR/顺式 BR 胎面轮胎的相对滚动阻力^[1]。根据这一情况,相对滚动阻力可用 75℃下的 tg δ 测量值进行预测。

(2)抗滑性能

已有许多文献阐述抗滑性。众所周知, 0℃下具有高 tg δ 值的聚合物可提供良好的湿滑/牵引性。这可能直接与聚合物的高玻璃化温度或胶料的低 Bashore 回弹值有关。0℃下的高 tg δ 值意味着高损耗模量。如果损耗模量高, Bashore 回弹值将会由于弹性损失和能量耗散而降低。0℃下的回弹值与湿滑/牵引性和 tg δ 成反比^[2]。例如,含较高苯乙烯或较高乙烯基的 SBR 或 BR 胶料的 0℃下 tg δ 值高得多。干牵引性能可能与室温或室温以上温度下的 tg δ 值相关。

(3)耐磨性能

如果胶料中炭黑用量相同,则聚合物对耐磨性能影响最大。通常,较高分子量 S-SBR 或 E-SBR 的耐磨性能优于中、低分子量 SBR。然而极高分子量 SBR 由于 100℃下门尼粘度高会引起混炼和加工问题,因此,需要将高、中分子量 SBR 适当并用才能兼顾加工性能和耐磨性能。聚合物的玻璃化温度也与耐磨性能直接相关(见参考文献^[3])。最近,科学家们开发了一种高乙烯基 S-SBR,尽管它的玻璃化温度较高,但仍可提供高湿牵引性和较好的耐磨性。耐磨性可用较低温度下聚合物的拉伸强度预测。

2 黑胎侧

2.1 胎侧结构和胶料

典型的黑胎侧胶料包括 3 部分:①带束层隔离胶,保护钢丝与磨损带束层下的胶料的粘合;②胎侧,提供良好的抗屈挠和割口增长性能;③胎圈护胶,向子午线轮胎提供稳定

性,向胎圈提供耐磨性。胎圈护胶位于下胎侧,它和与气密层相连的胎趾卡装带可以用相同的胶料。胎圈护胶应具有低压缩永久变形、良好的耐磨性、高定伸应力、高硬度和良好的耐候性。胎侧和胎圈护胶都暴露于外部环境中,两种部件都必须抗臭氧龟裂或氧化龟裂。通常用 2—4 份对苯二胺类抗臭氧剂与石蜡并用保护胎侧和胎圈护胶。一种典型的胎圈护胶和胎侧胶列于表 4。带束层隔离胶用于覆盖胎面和胎肩部下面的钢丝带束层。破坏往往始于下胎侧接头处的脱开。因此,带束层隔离胶应具有良好的强度、抗撕裂性、屈挠性能,优异的抗割口增长性能以及与钢丝带束层的粘合性能。一种典型的钢丝带束层隔离胶示于表 4。

表 4 胎侧胶与带束层隔离胶

配方与性能	胎侧胶	带束层隔离胶
NR	50	75
顺式 BR	50	25
炭黑 N351	0	45
炭黑 N660	50	0
氧化锌	3.00	3.00
环烷油	15.00	7.00
防老剂 6PPD	4.00	1.00
防老剂 BLE	0	1.50
石蜡	1.50	0
增粘树脂	2.00	4.00
硬脂酸	1.00	1.00
促进剂 TBBS	1.00	0.85
促进剂 DTDM	0	0.50
80% 充油不溶性硫黄	2.00	3.40
门尼粘度 $ML(1+4)100\text{ }^{\circ}\text{C}$	40	48
门尼焦烧 $t_3(132\text{ }^{\circ}\text{C}),\text{min}$	15	14
拉伸强度(室温),MPa	17.2	19.7
扯断伸长率,%	600	460
300%定伸应力,MPa	5.5	11.0
邵尔 A 型硬度,度	45	57
撕裂强度(C 型), $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	43.8	45.1

2.2 结果与讨论

(1)黑胎侧

典型的轮胎黑胎侧胶料采用 NR 和顺式 BR,以改善抗割口增长性、屈挠性能并降低滞后。用 N-1,3-二甲基丁基-N'-苯基-对苯二胺(6PPD)或 N-异丙基-N'-对苯二胺及约 1—3 份石蜡可获得良好的抗疲劳性能、耐候性及抗臭氧龟裂性。典型胎侧胶的物理性能见表 5。从表 5 可见,6PPD/石蜡(4/1.5)并用可提供优异的抗臭氧龟裂性,室外动态屈挠性能、动态臭氧带试验性能、臭氧转鼓试验性能及有所改善的老化后物理性能。

表 5 胎侧胶的物理性能

配方		
NR		50
顺式 BR		50
防老剂 6PPD		4.0
石蜡		1.5
性能		
静态试验		
环形老化试样至龟裂时间		
臭氧浓度 $5\times 10^{-7}(40\text{ }^{\circ}\text{C}),\text{h}$		1128(好)
室外老化,d		259(好)
动态试验		
室外动态连续屈挠至龟裂的次数,kc		31252(好)
动态臭氧带试验(臭氧浓度		
$5\times 10^{-7},40\text{ }^{\circ}\text{C}$,连续试验 72h)		WS
臭氧转鼓试验(轮胎,充气压力 137.8kPa,		
臭氧浓度 5×10^{-7} ,试验 72h)		WS
在洛杉矶 3 年车队试验		WS

(2)胎圈护胶

通常胎圈护胶采用 NR、顺式 BR 或 SBR。NR 和高苯乙烯 SBR 可提高胎圈护胶的刚性。然而,NR 和顺式 BR 并用要求添加,用亚甲基给予体,如 1-氮杂-5-羟甲基-3,7-二噁双环(3,3,0)辛烷固化的增硬树脂。另外,胎圈护胶因暴露于环境中,还要求添加适

量抗臭氧剂/石蜡。

(3)带束层隔离胶

隔离胶是改善轮胎耐久性最重要的胶料。这些高强度、低滞后胶料充油量低、炭黑用量少。其定伸应力应相当高,而且屈挠性能也较好。为改进与镀黄铜钢丝的粘合,要求高硫黄用量。与钢丝带束层贴胶和胎侧胶的粘合对消除部件脱层很重要。这些材料因暴露于轮胎行驶产生的高温环境中,所以必须有良好的抗热老化性能。适量抗臭氧剂可提供这种保护。

3 胎体

3.1 胎体胶料

胎体胶料必须与浸渍粘合剂[间苯二酚-甲醛树脂胶乳(RFL)浸渍]织物结合紧密。通常用人造丝、聚酯或尼龙做胎体帘线。胎体胶料强度和耐久性应适于充分隔离各层帘线并使其定位,然而胎体胶料又必须足够软以使轮胎屈挠时帘线角度可以有轻微的变化。胎体胶料用于隔离各层织物,为承受周期性变形,要有优异的抗疲劳性。它们必须在高温下保持适当的物理性能和耐久性,这可通过添加聚合 1,2-二氢化-2,2,4-三甲基喹啉(TMQ)或二苯胺/丙酮反应产物(BLE)来获得。对胎体胶料的基本要求是与用 RFL 处理帘线有良好的粘合性、屈挠性、热老化性和抗疲劳性。一种典型的胎体胶料示于表 6。

3.2 结果与讨论

(1)物理性能

用两种防老剂评价热老化和屈挠性能。TMQ 胎体胶料的热老化性能优于 BLE 胶料。然而,BLE 可改进耐屈挠疲劳性。TMQ 和 BLE 并用提供良好的热老化和屈挠性能。胎体胶料物理性能见表 6。

(2)改进粘合性的 RFL 处理帘线

通常,轿车和载重车轮胎胎体帘布层都使用高强度尼龙、人造丝或聚酯帘线,而单层钢丝载重轮胎等特种轮胎用钢丝帘线作胎体

表 6 胎体胶料的配方与性能

配方	
NR	60
顺式 BR	20
SBR	20
炭黑 N660	50
环烷油	14.50
氧化锌	3.00
硬脂酸	1.00
防老剂 TMQ	1.00
增粘树脂	2.00
间苯二酚树脂	1.50
亚甲基给予体	1.50
促进剂 MBTS	1.00
促进剂 DPG	0.25
80% 充油不溶性硫黄	3.00
性能	
门尼粘度 $ML(1+4)100^{\circ}C$	40
门尼焦烧 $t_3(132^{\circ}C),min$	12.0
拉伸强度(室温),MPa	21.0
扯断伸长率,%	510
300% 定伸应力,MPa	9.2
邵尔 A 型硬度,度	58
100℃×70h 屈挠至破坏次数,kc	28.7
德墨西亚屈挠至破坏次数,kc	688

帘布层。胎体帘线与胎体覆胶胶料老化前后的粘合性能都应极佳。为增进帘线与覆胶的粘合,常使用将间苯二酚-甲醛树脂缩合物加入胶乳中制得的 RFL。RFL 对尼龙、人造丝和聚酯帘布均有效。尼龙和人造丝粘合用的典型树脂溶液及配方如表 7 所示。

目前聚酯帘线采用 3 种基本粘合增进体系。它们包括:异氰酸酯(封闭异氰酸酯)、聚环氧化物和特殊酚醛树脂体系。

4 钢丝带束层

4.1 目前的钢丝带束层胶料

钢丝带束层胶料是轿车轮胎、载重轮胎最重要的胶料之一。轮胎早期损坏往往归因

表 7 尼龙和人造丝粘合用
树脂溶液及配方

配方	树脂溶液(RF)	
水,%	89.65	
间苯二酚,%	4.14	
甲醛水(37%),%	6.09	
氢氧化钠,%	0.12	
织物	人造丝	尼龙
乙烯基吡啶/SBR 胶乳(41%)	5.15	42.8
SBR 胶乳(40%)	21.09	—
RF 溶液	27.85	46.5
水	45.90	10.7

于钢丝带束层区的破坏。带束层钢丝结构很复杂,它要求高强度钢丝和适当的几何形状以使其与橡胶粘合良好。为增进钢丝粘合需向 NR 添加高用量(4—6 份)硫黄,从而可与镀黄铜钢丝形成大量硫键。钢丝带束层覆胶的定伸应力通常比织物帘布覆胶高。高定伸应力胶料有助于使钢丝带束层中的橡胶/钢丝帘线复合体得到理想的刚性。高拉伸强度、剪切强度和优良的抗疲劳性也是重要的性能。为改善粘合,胶料中添加诸如环烷酸钴或硬脂酸钴等粘合增进剂。老化后粘合性能和物理性能的保持率对带束层胶料很重要。因此,必须添加抗氧/抗臭氧体系,以保持在长时间高温下的物理性能。一种典型的钢丝带束层胶料列于表 8。

4.2 结果与讨论

(1)物理性能

研究了含 TMQ,BLE,6PPD/TMQ 和 6PPD/BLE 的钢丝带束层胶料。作为对比,评价了未添加任何抗降解剂的钢丝带束层胶料。使用抗降解剂可大大提高热老化后物理性能和屈挠性能保持率。使用 6PPD/BLE 或 6PPD/TMQ 抗降解体系的结果最好。然而,为保持成型粘性,要求使用最少量的抗降解剂。结果列于表 9。

(2)钢丝粘合

表 8 钢丝带束层胶料

配方	
NR	100
炭黑 N330	58
氧化锌	7.0
松焦油	4.0
增粘树脂	4.0
硬脂酸	1.0
间苯二酚树脂	1.5
环烷酸钴	1.0
防老剂 6PPD	1.0
防老剂 BLE	1.5
交联剂	1.5
促进剂 MBS 或 DCBS	0.6
80% 充油不溶性硫黄	5.0
性能	
门尼粘度 ML(1+4)100℃	65
门尼焦烧 t ₃ (132℃),min	13.0
拉伸强度(室温),MPa	19.2
扯断伸长率,%	490
300%定伸应力,MPa	12.9
撕裂强度(C 型),kN·m ⁻¹	45.5
邵尔 A 型硬度,度	70

表 9 钢丝带束层胶料的物理性能

德墨西亚屈挠试验	
老化前屈挠至破坏的次数,kc	445
100℃×70h 老化后屈挠至破坏的次数,kc	43.3
钢丝粘合试验(121℃)	
老化前	
粘合强度,kN·m ⁻¹	15.8
覆胶率,%	95
70℃×2w 老化后	
粘合强度,kN·m ⁻¹	15.0
覆胶率,%	90
100℃×3d 蒸汽老化后	
粘合强度,kN·m ⁻¹	10.5
覆胶率,%	60

钢丝带束层胶料不仅应有良好的热老化和屈挠性能,而且还应有优良的老化前后粘合性能。诸如钴盐和其它添加剂等粘合增进体系对改善老化前后与钢丝粘合性能很重要。目前的钢丝带束层胶料具有优异的耐久性。然而,橡胶助剂供应者仍在继续努力开发如含氯有机助剂等更好的粘合增进剂。

5 其它轮胎部件

5.1 气密层/胎趾卡装带

斜交载重车和轿车轮胎需要丁基橡胶内胎以保持气压。丁基橡胶内胎不仅用于保持气压,而且还通过限制空气迁移防止轮胎内部部件氧化。胎体和带束层胶料特别容易受这种氧化降解。气密层是为代替轿车和载重车轮胎内胎而研制的。像内胎一样,气密层胶料对保持气压和最大限度减少空气向胎体和钢丝带束层渗透很关键。通常将卤化丁基橡

胶胶料与NR和SBR并用以改进加工性。气密层往往带有与轮辋装配的胎趾卡装带。胎趾卡装带胶应具有优良的耐磨性、低压缩永久变形和较好的耐天候和耐热性能。胎趾卡装带胶采用较高用量顺式BR与NR并用。

5.2 胎圈三角胶

轿车和载重车子午线轮胎的高硬度胎侧结构很重要。这种高硬度可控制轮胎高速行驶时的移动变形,以改进操纵性。轮胎生产者不断为子午线轮胎开发更高硬度的胎圈三角胶。在NR胶料中采用以亚甲基给予体为基础的增硬树脂和硫化树脂以提高硬度。速度级轮胎要求三角胶的邵尔A型硬度达到90度以上。

参考文献(略)

译自“1994年国际橡胶会议论文集”,第4册,P34—47