

高性能白炭黑在炭黑胶料中的应用

Walter H Waddell *et al* 著. 薛广智译 涂学忠校

摘要 详细地研究了在典型的炭黑胎侧胶料中(加有补强性的炭黑和对苯二胺类抗氧剂)使用沉淀法白炭黑来提高胎侧使用寿命和使用性能。同时分别考察了加炭黑之前将白炭黑与各种聚合物及其并用物进行分段混炼的影响,增加促进剂用量的影响,通过使用白炭黑减少抗臭氧剂用量的影响,以及长效性抗臭氧剂的影响。

对白炭黑、炭黑以及填料总用量进行了统计配方设计研究,可以说明在炭黑胎侧胶中使用白炭黑后的物理性能,特别是胶料的耐久性能得到改进,胶料的撕裂强度和抗割口增长性能有大幅度的提高,抗臭氧老化性能及滞后性能也有改善,而硫化性能则无明显变化。使用白炭黑和长效性抗氧剂后既可降低抗臭氧剂的用量,又可以避免因对苯二胺与臭氧的反应而使胎侧棕色表面变色。根据所设计的胶料配方,绘出白炭黑、炭黑以及填料总用量与撕裂、割口增长和 $\text{tg}\delta$ 之间的关系曲线。曲线表明,胎侧的3项耐久性能均有明显的改进,而胶料的硬度或定伸应力只有轻微的降低。

引言

炭黑胶料胎侧处于轮胎外表面,保护胎侧免受天候老化,因此其配方的特点是要耐天候、臭氧、磨损、撕裂、径向和周向龟裂,并具有良好的疲劳性能^[1]。因为不饱和弹性体能与臭氧反应导致聚合物分解和断链,所以防护轮胎和橡胶制品避免臭氧老化是十分令人关注的问题。Layer 等人^[2]对此作过综述。

若将橡胶曝置在臭氧中,并施加应力,则表面会发生龟裂。在胎侧内加入化学抗臭氧剂,以使它不管在静态还是在动态使用条件下均能有效地抵御臭氧老化。但是,由于在化学上通过表面与臭氧的反应^[3-6]以及在物理上被路边石磨损和水洗涤,这些抗臭氧剂均会耗尽。

N,N'-二取代的对苯二胺,特别是烷基、芳基取代的对苯二胺是最有效的抗臭氧剂^[3,7,8]。但实用的抗臭氧剂均是污染性的,所以用量有限。轮胎,特别是轿车轮胎的外观相当重要,表面变色就是使用 N,N'-二取代的对苯二胺产生的一个问题。胎侧抗撕裂和龟裂也很重要,特别是中型载重轮胎、公共汽车轮胎及工程轮胎等大轮胎更是如此。

有关橡胶的抗臭氧理论提出过不少,其

中有清除剂理论、防护膜理论、重交联理论、自愈合膜理论等。清除剂理论模型要求抗臭氧剂扩散到橡胶表面,然后以比臭氧与不饱和橡胶碳-碳双键反应更快的速度与臭氧反应^[3,4]。防护膜理论认为,抗臭氧/臭氧反应产物在橡胶表面形成一层薄膜,从而起到保护橡胶的作用^[9]。重交联理论认为,抗臭氧剂能够防止聚合物断链,或能使键重新结合^[10,11]。自愈合膜理论认为,抗臭氧剂与氧化的橡胶或两性离子反应,从而在橡胶表面生成一种自愈合薄膜^[11]。

为了研究抗臭氧剂的作用机理,Latimer Rhee 及其同事们^[13,14]用液相色谱对臭氧与 N,N'-二(1-甲基-己基)对苯二胺^[13]、臭氧与 N-(1,3-二甲基丁基)-N'-苯基对苯二胺薄膜的反应产物进行了分离,并用场解吸质谱进行了检测。利用高分辨的质谱分析仪能够得到准确的质谱数据,从而进行经验式的计算,并推导出反应产物的结构,进而推断出反应步骤。他们认为,清除剂及防护膜机理在抗氧剂橡胶的防护作用中均起作用。

Waddell Evans 等人^[6,15,16]用激光解吸质谱仪对老化后的橡胶表面和使用中的轮胎断面直接进行了分析。他们测出了完整的 N-

(1,3-二甲基丁基)-N'-苯基对苯二胺分子离子,以及它们与臭氧的反应产物,这种反应产物与抗臭氧剂防护橡胶的清除剂理论和防护膜理论相吻合。

Waddell 等^[18]报道过,在炭黑补强的胎侧胶料中使用补强性的沉淀法白炭黑能够强化抗臭氧剂的防护作用^[1]。

在用星点改变旋转中心复合设计(一种 Box-Wilson 设计^[19])中炭黑、白炭黑和抗臭氧剂用量的统计学设计胶料配方试验表明,白炭黑能够大幅度地提高耐久性能。更具体地说,使用白炭黑后能提高撕裂强度、抗割口增长和抗臭氧老化性能,参见表 1。

表 1 胎侧胶料的物理性能^[18]

项 目	炭黑 50 份	白炭黑/炭黑 9/42
最大转矩, dN·m	16.4	14.8
焦烧时间(t_{90}), min	4.4	4.3
正硫化时间(t_{90}), min	10.7	10.4
邵尔 A 型硬度, 度	56	52
拉伸强度, MPa	23.0	21.9
100%定伸应力, MPa	1.6	1.4
扯断伸长率, %	658	7/4
撕裂强度, N·mm ⁻¹	13.5	16.4
德墨西亚割口增长(100kc), mm	25.0	16.1
抗臭氧等级(至损坏时天数)	14.5	19
G'(应变 0.5%), MPa	5.134	4.832
G''(应变 2%), MPa	0.709	0.613

还进行了详细的回归分析,并建立了复杂的二次方程式,从而得到表面等高图。这些等高图示出了抗臭氧性能(图 1)、撕裂强度(图 2)和抗割口增长(图 3)对白炭黑用量的依赖关系^[18]。最后还根据相关的物理性能试验结果建立了一个评定臭氧龟裂等级的方程式。这些试验结果表明,抗臭氧老化性能与聚合物的交联度(G')、胶料的能耗生热(G'')、撕裂强度以及填料的分散有关。

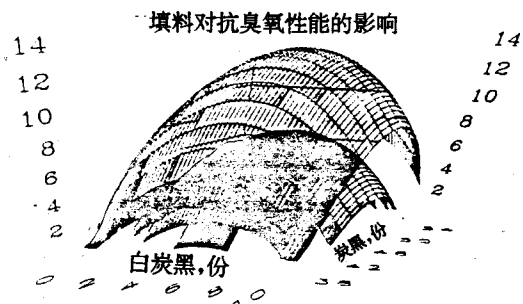


图 1 在抗臭氧剂用量为 3 份(上表面)和 5 份(下表面)时胶料臭氧老化等级与白炭黑和炭黑用量之间关系的表面等高线图



图 2 胶料撕裂强度与白炭黑和炭黑用量之间关系的表面等高线图

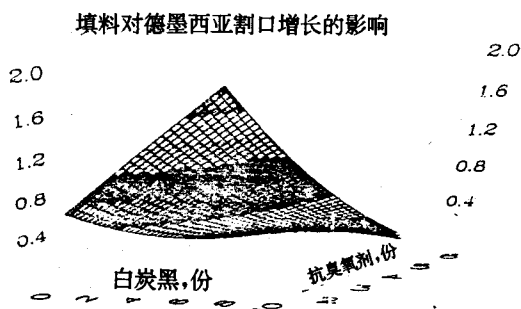


图 3 胶料割口增长与白炭黑和抗臭氧剂用量之间关系的表面等高线图

(* 原文为炭黑, 有误——译注)

为了进一步确定炭黑胎侧胶料中的白炭黑用量,设计了单独进行的试验,以考察白炭黑的分段混炼、促进剂增量、抗臭氧剂减量对胶料性能的影响。最后还对白炭黑、炭黑以及填料总用量作了统计学设计配方研究,以详细说明它们对胶料物理性能的各种影响,特

别是诸如撕裂强度、抗割口增长、臭氧老化稳定性和滞后(生热)等耐久性能的影响。

1 实验

1.1 原材料

试验胶料以 Vanderbilt 橡胶手册^[17]所刊登的午午线轿车轮胎炭黑胎侧配方作为依据,并作了一些修改^[18],参见表 2。

表 2 加有白炭黑的炭黑胎侧胶料配方 份

原材料	添加量
天然橡胶(CV60)	50
聚丁二烯橡胶(BR1220)	50
炭黑(N-330)	42
白炭黑(Hi-Sil 243LD)	9
加工油(Calsol 510)	10
硬脂酸	2
蜡(Sunolite 240)	1
抗臭氧剂(Santoflex 13)4020	4
抗氧剂(Wingstay 100)	1
氧化锌	3
硫黄	1.8
促进剂(Santocure MOR)NOBS	1
合计	174.8

1.2 试验方法

胶料均在本伯里密炼机内混炼,按表 2 的顺序加料,硫黄和促进剂在二段密炼中加入。在开炼机上压片,用平板硫化机在 150℃ 下硫化至 $t_{90} + 5 \text{ min}$,相当于 18min。按 ASTM D 2084—92 法用孟山都 MDR X2000 可变口型流变仪测定硫化曲线。按 ASTM D 412—87 法用 Instron 4204 拉力机测定拉伸性能。按 ASTM D 813—87 法用德墨西亚试验机测定割口增长性能。用 Rheometrics RDA II 测定动态性能。

将硫化好的 15.22cm × 1.27cm × 0.32cm 胶料试片置于 0900-664 型臭氧研究环境箱内,按 ASTM D 3395—91 的方法进

行试验,只是对臭氧的进气/出气周期作了改动^[20]:浓度为 50×10^{-8} 的臭氧进气周期为 4h,出气周期为 2h,温度为 40℃,以 0.5Hz 的频率进行 0—25% 的伸长/松弛试验。用 10 倍的放大镜目测臭氧老化后的试样,并通过与一套参比照片进行对比分级^[18]。

所有臭氧老化后的胎侧胶条都可以看到棕色表面变色现象。用洗涤器喷射 10mL 二氯甲烷,洗涤两个破坏试样的表面,用玻璃纤维过滤洗涤液,除去细粒,再用 2mL 二氯甲烷冲洗玻璃纤维,用干燥的氮气吹干滤液,蒸发溶剂。用乙腈定量稀释后,可获得紫外-可见吸收光谱,用 400nm 处的吸收度作为变色的定量测定值,因为抗臭氧剂和溶剂在该可见波长处均无明显的吸收^[6]。

用 PC-SAS 软件的 GLM, REG 和 RSREG 程序进行数据分析。所有数据比较的误差均置于 $\alpha = 0.05, \beta = 0.10$ 。除非可以确定有实际理由剔除有疑问的试样(如机器故障校正、试样模压缺陷等),分析可以囊括试验中产生的所有数据。

2 结果与讨论

2.1 分段混炼的影响

在加炭黑以前,先将白炭黑直接加到橡胶中去的这种分段混炼方法可以进一步改善使用沉淀法白炭黑的炭黑胎侧胶料的撕裂强度、抗割口增长及臭氧老化稳定性等性能。

实验:①先将 18 份白炭黑加到 100 份 BR 中制成母炼胶,然后再向 59 份 BR/白炭黑母炼胶内加入 50 份 NR;②先将 18 份白炭黑加到 100 份 NR 中制成母炼胶,然后再向 59 份 NR/白炭黑母炼胶内加入 50 份 BR;③将 9 份白炭黑加到 100 份 NR/BR (50/50)并用胶中。然后再在每个体系中加 42 份炭黑,再按正规的加药顺序加入所有的其它的配合剂。

试验结果与表 1 的结果相符。撕裂强度大幅度地提高(65%),抗割口增长性能大幅

度地改善(80%),用 $tg\delta$ 表示的滞后生热降低 10%,其原因是炭黑胎侧胶料中使用了白炭黑。但是正硫化时间延长了一些,详细数据参见表 3。

表 3 使用白炭黑分段混炼胎侧胶料的物理性能

性 能	炭黑	加入 9 份白炭黑		
		BR	NR/BR	NR
最小转矩,dN·m	2.5	2.9	2.8	2.7
最大转矩,dN·m	18.2	16.8	16.6	16.2
焦烧时间(t_{2}),min	6.7	8.1	8.2	8.3
t_{50} ,min	10.0	12.2	12.4	12.7
t_{90} ,min	15.2	19.3	19.7	19.9
拉伸强度,MPa	22.1	22.6	22.0	22.7
扯断伸长率,%	651	747	745	755
20%定伸应力,MPa	0.55	0.49	0.48	0.46
100%定伸应力,MPa	1.5	1.2	1.2	1.13
300%定伸应力,MPa	7.9	6.9	7.0	7.30
撕裂强度,N·mm ⁻¹	8.6	14.1	14.3	15.1
100kc 的割口增长,mm	23.5	13.0	12.9	12.4
臭氧老化 8d 的等级	6	5.5	6.5	6
G'(应变 2%),MPa	2.106	1.745	1.827	2.173
G''(应变 2%),MPa	0.323	0.235	0.253	0.307
tgδ(应变 2%)	0.1537	0.1347	0.1386	0.1415

据测定,与其它混炼顺序相比,先将白炭黑加到 NR 中制成 NR/白炭黑母炼胶,然后再依次加 BR、炭黑和其它配合剂的工艺,整体性能最好。这在撕裂强度和抗割口增长性能上有所反映。与另外两种含白炭黑胶料的混炼工艺比,该混炼方法可以使胶料的撕裂强度进一步提高 5.6%,抗割口增长性能提高 4%。硫化时间只延长了几秒钟,抗臭氧性能等级相仿。但是,该胶料的滞后生热($tg\delta$)要比其它两种混炼工艺高 2%—5%,但仍比炭黑胶料低,表 3 概括了这些试验结果。

2.2 促进剂的影响

对白炭黑-炭黑胎侧胶料中抗臭氧剂和

促进剂的用量进行了统计学设计配方研究,以确定促进剂增量对胶料物理性能变化的影响。Santoflex 13 抗臭氧剂的用量范围为 3.0—4.0 份,Santocure MOR 促进剂用量范围为 1.0—1.25 份,表 4 概括了试验结果。

表 4 调整硫化体系后胎侧胶料的物理性能

项 目	炭黑 50 份	白炭黑/ 炭黑 9/42	白炭黑/炭黑 调整硫 化体系
最小转矩,dN·m	3.1	3.0	3.3
最大转矩,dN·m	16.8	16.0	16.4
焦烧时间(t_{2}),min	4.7	6.2	4.9
t_{50} ,min	6.0	8.4	6.7
t_{90} ,min	10.2	12.7	10.4
拉伸强度,MPa	21.0	21.9	21.4
扯断伸长率,%	651	745	755
20%定伸应力,MPa	0.61	0.62	0.62
100%定伸应力,MPa	1.5	1.5	1.5
300%定伸应力,MPa	8.0	7.3	8.0
撕裂强度,N·mm ⁻¹	8.6	14.3	13.0
100kc 割口增长,mm	23.5	12.9	16.9
臭氧老化 8d 等级	6.5	5.5	7
G'(应变 2%),MPa	1.821	1.437	1.746
G''(应变 2%),MPa	0.315	0.217	0.337
tgδ(应变 2%)	0.173	0.151	0.193

随着抗臭氧剂用量的加大,臭氧老化的等级降低,这就提高了胶料的抗臭氧性能。但是,提高促进剂的用量会使硫化时间 t_{90} 缩短,不管抗臭氧剂用量如何,臭氧老化的等级都会提高,参见图 4。

与炭黑对比胶料(图 5,曲线 B)相比,炭黑胎侧胶料中加有 9 份白炭黑后(图 5,曲线 S),其滞后(G'')较低,不过为调整硫化时间稍稍增加促进剂和硫黄的用量(图 5,曲线 CC)后,其滞后(G'')又会提高。因此,使用高用量的白炭黑后,不希望提高硫化剂用量。

2.3 表面变色

众所周知,橡胶的表面变色现象是由于

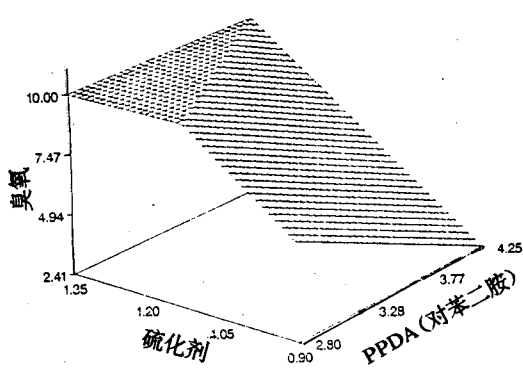


图 4 胶料臭氧老化等级与抗臭氧剂和促进剂用量之间关系的表面等高线图

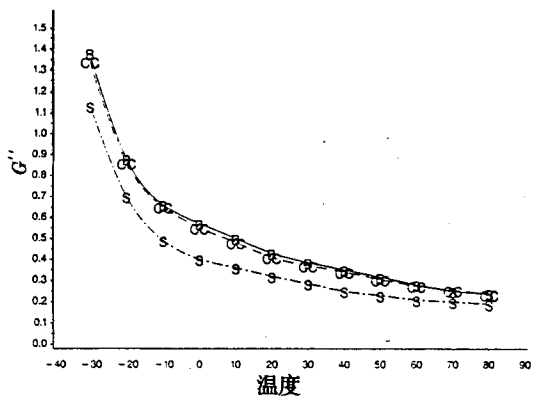


图 5 炭黑胶料(B)、加白炭黑胶料(S)、加白炭黑且提高硫化剂用量胶料(CC)的滞后 G'' 与温度之间的关系

在橡胶表面上对苯二胺/臭氧反应所生成的产物造成的^[6]。同样,橡胶试样臭氧老化后表面清洗液所测得的 400nm 处电子吸收强度统计上亦随对苯二胺抗臭氧剂用量的增加而增强^[18]。据此可以进行降低橡胶表面变色的试验。用 2 份长效性抗氧剂 1,2-二氢-2,2,4-三甲基喹啉聚合物(Flectol H)来代替 1 份抗臭氧剂可进一步改善。为此研究了 3 种炭黑胎侧胶料:①对比胶料,仅有 50 份 N-330 炭黑,不加白炭黑,且有 4 份抗臭氧剂;②含白炭黑的胎侧胶料,加有 42 份 N-330 炭黑、9 份白炭黑 Hi-SiL 243LD 以及 4 份抗臭氧剂(表 2);③试验胶料,加有 42 份 N-330 炭黑,9 份 Hi-sil 243 LD,3 份抗臭氧剂以及 2 份的抗氧剂 Flectol H。

表 5 的胶料物理性能数据说明,使用白炭黑和长效性抗臭氧剂可以提高胎侧胶料的撕裂强度和抗臭氧老化性能,表面变色现象明显地减轻。这与 400nm 处测得的吸收度减弱的结果相吻合。最后值得一提的是,在现行原材料价格基础上,只要稍稍提高胶料成本,这些胶料的耐久性能便能获得改善^[21]。

表 5 使用白炭黑和长效性抗氧剂胎侧胶料的物理性能

项 目	炭黑 50 份	白炭黑/ 炭黑 9/42	白炭黑/炭黑/ 抗氧剂 9/42/2
最小转矩,dN·m	2.7	3.1	3.1
最大转矩,dN·m	17.2	15.7	15.9
焦烧时间(t_{92}),min	6.1	6.2	6.9
t_{50} ,min	8.0	8.2	8.8
t_{90} ,min	11.7	12.6	12.9
拉伸强度,MPa	23.2	23.1	23.2
扯断伸长率,%	638	691	737
20%定伸应力,MPa	0.62	0.63	0.62
100%定伸应力,MPa	1.5	1.3	1.3
300%定伸应力,MPa	8.1	6.2	5.7
撕裂强度,N·mm ⁻¹	19.6	22.6	23.0
臭氧老化 12d 等级	8.7	7.7	7.3
老化 7d,400nm 处的吸 收度	0.55	0.42	0.38
成本,美元·磅 ⁻¹	0.577	0.587	0.582

2.4 填料总用量的影响

为了提供详尽的胎侧胶料性能与白炭黑、炭黑和/或填料总用量之间的关系和表面等高线图,用混合设计法^[22]作了配方胶料的统计研究。图 6 示出的是所探索的表面。共研究了 25 个胶料配方:沿着表面的周边画出了 13 种胶料的点,周边内画出了 7 种胶料的点,中心点胶料含有 51 份炭黑和 4.5 份白炭黑。中心点胶料一式做 3 份,3 个周边极端点各做 2 份。填料的总用量为:42 份炭黑+0 份白炭黑至 55 份填料总用量(白炭黑用量在

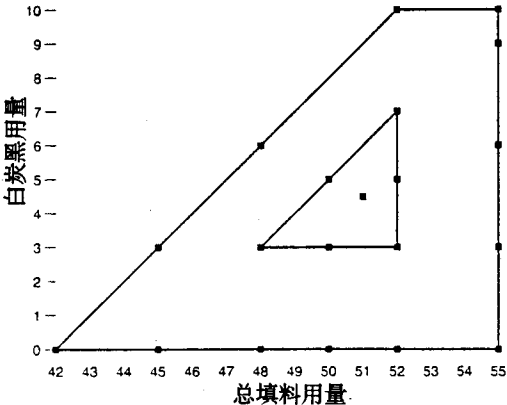


表 6 胎侧胶料物理性能比较

项 目	炭黑 50 份	白炭黑/炭黑 7/43 份
最小转矩, dN·m	2.13	2.44
最大转矩, dN·m	15.01	12.58
焦烧时间 (t_{90}), min	4.83	4.84
t_{50} , min	6.70	6.49
t_{90} , min	10.30	10.27
23℃ 回弹值	57.6	55.4
100℃ 回弹值	66.4	63.2
23℃ 硬度, 度	56	52
100℃ 硬度, 度	54	49
拉伸强度, MPa	21.43	21.01
扯断伸长率, %	573.4	676.0
20% 定伸应力, MPa	0.596	0.509
100% 定伸应力, MPa	1.57	1.24
300% 定伸应力, MPa	7.61	6.23
断裂能, N·mm ⁻¹	12.24	16.61
100kc 割口增长, mm	12.2	5.0
皮克磨损减量, mg	0.026	0.031
G' (应变 2%), MPa	1.912	1.724
G'' (应变 2%), MPa	0.3164	0.2574
tgδ (应变 2%)	0.165	0.151

图 6 在研究胶料中利用炭黑、白炭黑、填料总用量的混合设计法探索的表面图

0—10 份范围内)。为此考察了 55 份炭黑+0 份白炭黑的胶料和 45 份炭黑+10 份白炭黑的胶料。用这种方法也可考察单加炭黑、用白炭黑取代炭黑以及各种掺合比炭黑/白炭黑的影响。

在填料总用量为 42 份配方中,用白炭黑代替等量的 N-330 炭黑,不仅可提高撕裂强度(用断裂能测定)、改善抗割口增长性能,而且可在任何填料总用量下降低滞后损失(用 $\text{tg}\delta$ 测定)。以表 6 试验结果为例,与炭黑对比胶料相比,加有 43 份 N-330 炭黑和 7 份 Hi-Sil 243LD 白炭黑的胎侧胶料有如下优点:①在不影响拉伸强度的前提下,扯断伸长率可以提高 18%;②断裂能提高 35%;③抗割口增长性能提高 140%,所测得的龟裂扩展现象大幅度地减少(60%);④用 G' 或 $\text{tg}\delta$ 测得的滞后损失分别降低 20%和 9%;⑤定伸应力、硬度和磨损减量等均仅下降 10%。

图 7 示出了断裂能与炭黑和白炭黑用量关系的表面等高线图。它表明,在所研究的任何炭黑用量下,撕裂强度均随着白炭黑用量的增加而提高。如用图 8 的数字图来描绘断裂能与填料总用量(白炭黑和炭黑)的依赖关系,则这一趋势更为明显。应注意到,所有的计算结果都是根据真实数据用插入法得到的,图中并未画出外推的结果。图 9 和 10 分别示出了用德墨西亚屈挠疲劳机 100kc 后的

龟裂长度和用 Rheometrics RDA II 在 2%应变下测得的 $\text{tg}\delta$ 的类似表面等高线图。

综合利用图 8,9 和 10 便可得到最佳耐久性能的炭黑胎侧胶料配方。例如,为获得一种比 50 份炭黑的对比胎侧胶料的撕裂强度高 50%、滞后相当或稍低的配方,则可以从含 4—10 份白炭黑和填料总用量 46—55 份的各种配方中去选择可达到所需撕裂强度的配方,参见图 11。从图 12 可以看到,这些胶料还能使割口增长降低 50%—80%。从图 13 可以看到,为了同时得到降低滞后的效果,可供选用的配方数量就减少了。图 14 则示出了预计能满足 2 项指标要求的综合配方。

最后,表 7 概括了向 42 份炭黑胎侧胶料中加 1 份填料(白炭黑或炭黑),用混合设计

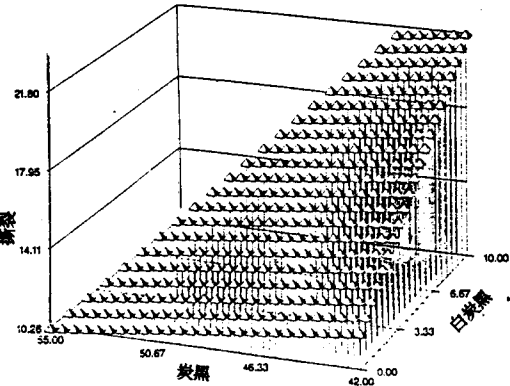


图7 断裂能(撕裂强度)与白炭黑和炭黑之间关系的表面等高线图

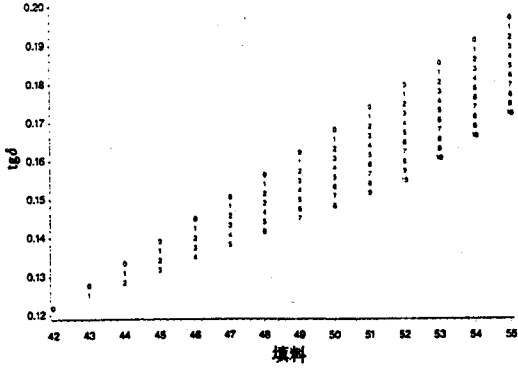


图10 2%应变下 $\text{tg}\delta$ 与填料总用量之间关系(白炭黑用量用数字表示)的表面等高线图

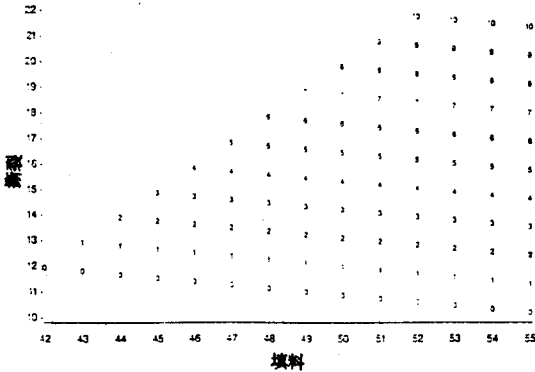


图8 断裂能(撕裂强度)与填料总用量之间关系(白炭黑用量用数字表示)的表面等高线图

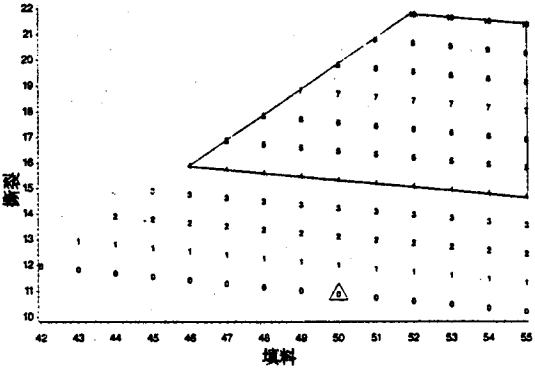


图11 断裂能与填料总用量(白炭黑用量用数字表示)以及能使撕裂强度提高50%的各填料用量之间关系的表面等高线图

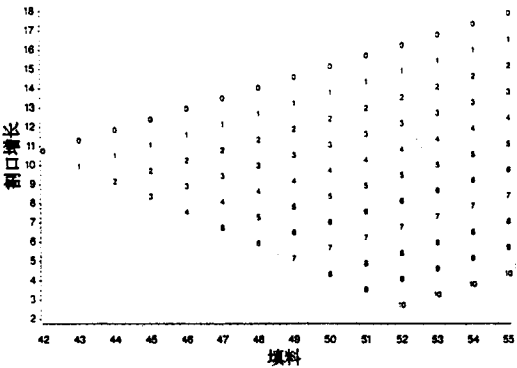


图9 龟裂长度与填料总用量之间关系(白炭黑用量用数字表示)的表面等高线图

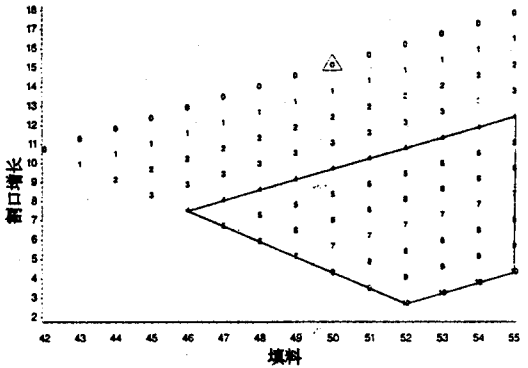


图12 龟裂长度与填料总用量(白炭黑用量用数字表示)以及能满足撕裂强度要求的各种填料总用量之间关系的表面等高线图

法所得到的数据。例如,向 N-330 炭黑胎侧胶料中加1份N-330炭黑,可以提高最大转

表 7 置信度为 95 % 的显著模式

项 目	炭黑	白炭黑	r^2
最大转矩	+0.06	-0.32	0.96
焦烧时间 t_{92}	-0.01	+0.01	0.95
t_{90}^a	(-0.02)	(+0.02)	(0.37)
硫化速率($t_{90}/d_{\text{转矩}}$)	-0.24	+4.35	0.96
扯断伸长率	-2.68	+5.65	0.95
20%定伸应力	+0.008	-0.002	0.96
100%定伸应力	+0.02	-0.03	0.98
300%定伸应力	+0.14	-0.16	0.95
23℃回弹值	-0.83	-1.13	0.97
100℃回弹值	-0.57	-1.02	0.96
23℃硬度	+0.25	-0.36	0.96
100℃硬度	+0.22	-0.42	0.98
100kc 裂口增长	+0.55	-0.80	0.95
G' (应变 2%)	+0.041	-0.015	0.95
G'' (应变 2%)	+0.0152	+0.005	0.95
$\text{tg}\delta$ (应变 2%)	+0.006	+0.003	0.95
断裂能	+0.11	+0.47	0.95

a—硫化时间(t_{25} , t_{50} 和 t_{90})不是统计意义上的相关变量。

后降低。与 50 份 N-330 炭黑对比胶料相比, 在 PPG 轮胎炭黑胎侧胶料中使用中等用量(约 7 份)的 Hi-Sil 243 LD 白炭黑和 43 份 N-330 炭黑, 可以按要求提高胶料的撕裂强度(35%)、抗割口增长性能(140%)、抗臭氧老化性能(17%), 并降低 $\text{tg}\delta$ (滞后)9%, 而不影响硫化性能(t_{90} 和 t_{92})、定伸应力和硬度值。

采用分段混炼把白炭黑混入单一橡胶中 可以进一步提高撕裂强度和改善抗割口增长性能: ①将白炭黑加到 BR 中得到最低的滞后损失和最佳的抗臭氧老化性能; ②将白炭黑加到 NR 中能赋予最高的撕裂强度和最佳的抗割口增长性能。

增大促进剂的用量反而会降低胶料的抗臭氧性能, 还会使 $\text{tg}\delta$ 值增高, 为此不主张提高促进剂的用量。

参考文献(略)

译自英国“Tire Technology International 1993”, 64—71

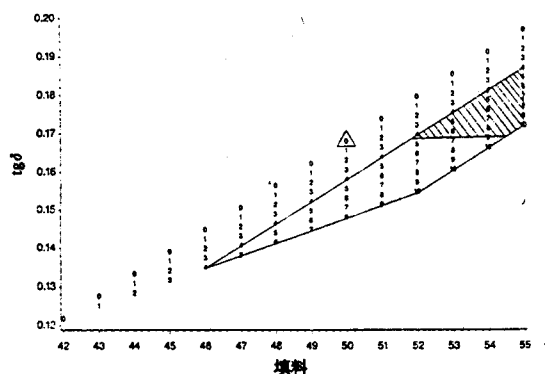


图 13 $\text{tg}\delta$ 与填料总用量(白炭黑用量用数字表示)能满足撕裂强度要求的各填料用量以及高滞后胶料的填料用量(用阴影标出)之间关系的表面等高线图

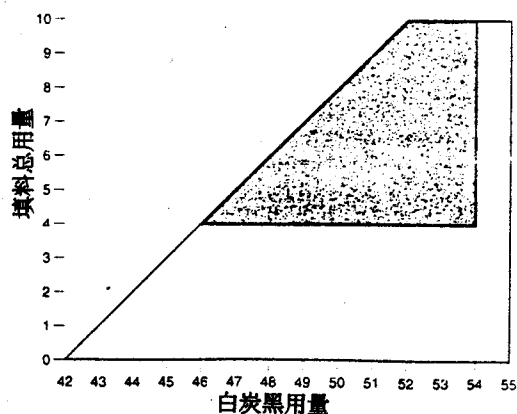


图 14 能满足: (1)撕裂强度提高 50 % 以上; (2)抗割口增长性能提高 30 % 以上; (3)与炭黑胎侧胶料滞后损失相当或有所降低这 3 个条件的白炭黑和填料总用量范围的表面等高线图

矩, 增量为 0.06; 如向该胶料加入 1 份白炭黑, 则可以降低最大转矩, 减量为 0.32。应该注意到这些结果的置信度很高: r^2 值大于 0.95, $\alpha=0.01$ 时所有项都有显著的 F 值。

3 结论

在轮胎炭黑胎侧胶中用白炭黑代替炭黑可大幅度提高胶料耐久性能。逐步加大白炭黑用量至 10 份, 可以线性地影响物理性能: 撕裂强度提高, 割口增长下降, 胶料的滞