

# 填充体系对橡胶悬置元件性能的影响

庞松<sup>1</sup>, 田安伟<sup>1</sup>, 杨灵斌<sup>1</sup>, 何琪<sup>1</sup>, 李恒荣<sup>1</sup>, 刘佳丽<sup>2</sup>

(1. 建新赵氏科技股份有限公司, 浙江 宁波 315000; 2. 北京橡胶工业研究设计院有限公司, 北京 100143)

**摘要:** 研究填料种类、用量及并用比对橡胶悬置元件性能的影响。随着炭黑粒径的增大, 胶料的门尼粘度和交联密度减小, 硫化胶的耐老化性能提高, 动静刚度比减小; 随着炭黑N550用量的增大, 硫化胶的硬度、定伸应力和撕裂强度提高, 动静刚度比增大; 随着白炭黑用量的增大, 炭黑N774与白炭黑并用填充硫化胶的拉伸强度无明显变化, 动静刚度比显著增大; 在相同硬度下, 纯白炭黑填充硫化胶的动静刚度比小于炭黑N774与白炭黑并用填充硫化胶。

**关键词:** 炭黑; 白炭黑; 悬置元件; 动静刚度比; 耐老化性能

**中图分类号:** TQ336.4<sup>+</sup>2

**文章编号:** 2095-5448(2023)11-0541-05

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.12137/j.issn.2095-5448.2023.11.0541



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

发动机作为汽车主要的振动和噪声源之一<sup>[1-2]</sup>, 在为汽车提供动力的同时, 也伴随着强烈的振动。振动一方面会通过车架传递到车厢内, 使乘客产生疲劳感; 另一方面也会影响汽车的操纵性能、行车安全性和零部件的使用寿命<sup>[3-5]</sup>。因此, 降低汽车的振动和噪声水平, 提高车辆的乘坐舒适性已成为车辆设计的方向之一。

动力总成悬置系统是指动力总成与车架之间的软连接系统<sup>[6-7]</sup>, 其性能好坏直接关系到发动机及路面振动向车体的传递。汽车悬置件的性能在很大程度上取决于所用减振橡胶材料的性能<sup>[8]</sup>。一方面, 橡胶材料的动静刚度比<sup>[9-11]</sup>对悬置件的振动传递和减振效果有很大影响<sup>[12]</sup>; 另一方面, 减振橡胶材料在使用过程中会受到发动机传来的高温和振动影响而发生动态形变, 因此橡胶材料的耐老化性能与悬置件的使用寿命密切相关。

填充体系<sup>[13-15]</sup>作为减振橡胶材料的重要组成部分, 对胶料的物理性能、动静刚度比和耐老化性都具有显著影响, 且填料种类和用量的影响程度

存在很大差异。本工作以天然橡胶(NR)作为主体材料, 研究填料种类、用量和并用比对NR胶料性能的影响, 旨在为研发低动静刚度比和耐老化性能优良的高性能橡胶悬置元件提供参考。

## 1 实验

### 1.1 原材料

NR, 牌号CV60, 华君橡胶科技(上海)有限公司产品; 炭黑N550, N774和N990, 欧励隆工程炭(青岛)有限公司产品; 白炭黑, 牌号VN3, 青岛德固赛化学有限公司产品; 硬脂酸、偶联剂、氧化锌、防老剂、促进剂和硫黄等, 市售品。

### 1.2 试验配方

单一填料填充体系和并用填料填充体系配方分别如表1和2所示。

### 1.3 主要设备和仪器

Farrel K1型3.5 L密炼机, 美国法雷尔公司产品; XLB-30型平板硫化机, 余姚华泰橡塑机械有限公司产品; MFR100+型无转子硫化仪, 上海诺甲仪器仪表有限公司产品; MV-2000型智能门尼粘度仪, 无锡蠡园电子化工设备有限公司产品; E42.503E型电子拉力机和MTS 831型弹性体

**作者简介:** 庞松(1994—), 男, 浙江衢州人, 建新赵氏科技股份有限公司高级工程师, 博士, 主要从事橡胶原材料与配方研究工作。

**E-mail:** 857419257@qq.com

表1 单一填料填充体系配方 份

组 分	配方编号						
	A-30	B	C	D	A-20	A-40	A-60
NR	100	100	100	100	100	100	100
炭黑N550	30	0	0	0	20	40	60
炭黑N774	0	38	0	0	0	0	0
炭黑N990	0	0	51	0	0	0	0
白炭黑	0	0	0	38	0	0	0

注:配方其余组分和用量为氧化锌 6,硬脂酸 1.5,防老剂 5,促进剂和硫黄 3.6。

表2 并用填料填充体系配方 份

组 分	配方编号				
	C0S38	C10S20	C10S30	C10S40	C10S50
NR	100	100	100	100	100
炭黑N774	0	10	10	10	10
白炭黑	38	20	30	40	50
偶联剂Si50	7.8	6	7	8	9

注:同表1。

试验机,美斯特工业系统(中国)有限公司产品;PH301T型老化烘箱,广州五所环境仪器有限公司产品。

#### 1.4 试样制备

采用两段工艺制备混炼胶。一段混炼在密炼机中进行,初始混炼温度为100℃,转子转速为45 r·min<sup>-1</sup>,依次加入生胶、填料、偶联剂、活性剂、防老剂,在150℃下混炼5 min后排胶;二段混炼在开炼机上进行,一段混炼胶薄通后包辊,加入促进剂,割胶并打三角包,混炼均匀后加入硫黄,薄通5—6遍,调整合适的辊距,出片,室温下停放24 h。

混炼胶采用平板硫化机进行硫化,硫化温度为160℃,物理性能试样硫化时间为 $t_{90}+2$  min,动静刚度比试样硫化时间为 $3t_{90}$ 。

#### 1.5 性能测试

(1) 硫化特性。采用无转子硫化仪进行测试,测试条件为160℃×30 min,确定试样的硫化时间及硫化速率。

(2) 物理性能。硬度采用硬度计按照GB/T 531.1—2008进行测试;拉伸强度和拉伸伸长率采用电子拉力试验机按照GB/T 528—2009进行测试,拉伸速率为500 mm·min<sup>-1</sup>;撕裂强度按照GB/T 529—2008进行测试,拉伸速率为100 mm·min<sup>-1</sup>。

(3) 耐热空气老化性能。采用老化烘箱按照GB/T 3512—2014进行测试,老化条件为100℃×72 h。

(4) 动静刚度比。采用MTS系统公司的MTS 831型弹性体试验机进行测试,试样尺寸为 $\Phi 50$  mm×25 mm,试验环境温度为(23±2)℃。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硫化特性

不同填料填充混炼胶的硫化特性如表3所示。

表3 不同填料填充混炼胶的硫化特性

项 目	配方编号			
	A-30	B	C	D
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	36	35	35	44
$F_L/(dN \cdot m)$	0.89	0.82	0.85	1.14
$F_{max}/(dN \cdot m)$	9.29	8.26	8.59	8.14
$F_{max}-F_L/(dN \cdot m)$	8.40	7.44	7.74	7.00
$t_{10}/min$	1.35	1.45	1.63	1.70
$t_{90}/min$	7.58	8.15	8.85	6.12

从表3可以看出,炭黑N990胶料的门尼粘度较小,说明其加工性能较好,这是由于炭黑N990具有3种炭黑中最大的粒径。炭黑N550胶料的 $F_{max}-F_L$ 最大,反映其交联密度最高,这可归因于炭黑N550粒径较小,补强效果好。白炭黑的补强性能低于炭黑,因此白炭黑胶料的交联密度最小。

不同用量炭黑N550填充混炼胶的硫化特性如表4所示。

表4 不同用量炭黑N550填充混炼胶的硫化特性

项 目	配方编号			
	A-20	A-30	A-40	A-60
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	34	36	42	48
$F_L/(dN \cdot m)$	0.77	0.89	1.08	1.24
$F_{max}/(dN \cdot m)$	7.73	9.29	11.32	13.27
$F_{max}-F_L/(dN \cdot m)$	6.96	8.40	10.24	12.03
$t_{10}/min$	1.48	1.35	1.30	1.26
$t_{90}/min$	8.03	7.58	7.97	7.75

从表4可以看出,随着炭黑N550用量增大,胶料的门尼粘度增大, $F_{max}-F_L$ 也增大,这是因为更多的炭黑倾向于团聚,同时也会形成更多的物理交联点。

炭黑N774与白炭黑并用填充混炼胶的硫化特性如表5所示。

表5 炭黑N774与白炭黑并用填充混炼胶的硫化特性

项 目	配方编号				
	C0S38	C10S20	C10S30	C10S40	C10S50
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	45	39	45	51	56
$F_L/(dN \cdot m)$	1.22	0.97	1.18	1.39	1.56
$F_{max}/(dN \cdot m)$	11.35	9.64	11.45	13.39	15.99
$F_{max}-F_L/(dN \cdot m)$	10.13	8.67	10.27	12.00	14.43
$t_{10}/min$	1.47	1.42	1.42	1.42	1.42
$t_{90}/min$	6.45	7.03	7.15	7.03	7.08

从表5可以看出,当固定炭黑N774用量为10份时,随着白炭黑用量逐渐增大,胶料的门尼粘度和交联密度增大。

## 2.2 物理性能

不同填料填充硫化胶的物理性能如表6所示。

表6 不同填料填充硫化胶的物理性能

项 目	配方编号			
	A-30	B	C	D
邵尔A型硬度/度	56	51	50	49
100%定伸应力/MPa	1.7	1.8	1.5	1.6
拉伸强度/MPa	28.4	28.6	21.4	28.4
拉断伸长率/%	621	599	574	595
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	8	13	4	12

从表6可以看出,最小填料用量的炭黑N550胶料反而表现出最高的硬度和拉断伸长率,这可归因于炭黑N550的粒径小,补强效果好。此外,炭黑N990胶料的拉伸强度、撕裂强度与拉断伸长率均显著小于其余胶料,这与炭黑N990粒径大、比表面积小、胶料交联密度低有关。

不同用量炭黑N550填充硫化胶的物理性能如表7所示。

表7 不同用量炭黑N550填充硫化胶的物理性能

项 目	配方编号			
	A-20	A-30	A-40	A-60
邵尔A型硬度/度	47	56	63	68
100%定伸应力/MPa	1.4	1.7	2.4	3.2
拉伸强度/MPa	27.8	28.4	25.6	24.9
拉断伸长率/%	625	621	562	527
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	7	8	18	26

从表7可以看出,随着炭黑N550用量增大,胶料的硬度、定伸应力和撕裂强度增大,拉断伸长率减小,这是由于炭黑N550与橡胶分子链之间形成了更多的物理交联点。当炭黑N550用量为30份时,硫化胶的拉伸强度最大,继续增大炭黑N550用量,拉伸强度减小,这可归因于高用量时炭黑粒子

间距离更近,更易发生团聚而形成缺陷。

炭黑N774与白炭黑并用填充硫化胶的物理性能如表8所示。

表8 炭黑N774与白炭黑并用填充硫化胶的物理性能

项 目	配方编号				
	C0S38	C10S20	C10S30	C10S40	C10S50
邵尔A型硬度/度	56	52	56	60	64
100%定伸应力/MPa	2.6	2.0	2.5	2.8	3.8
拉伸强度/MPa	26.0	23.0	22.5	22.9	22.6
拉断伸长率/%	496	469	469	442	420
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	10	6	13	11	15

从表8可以看出,当炭黑N774用量为10份时,随着白炭黑用量增大,硫化胶的拉伸强度无明显变化,撕裂强度总体呈增大趋势。由于白炭黑与橡胶分子链间形成更多的物理交联点,因此硫化胶的硬度与定伸应力增大,拉断伸长率减小。对比C0S38与C10S30配方硫化胶的物理性能发现,在总填料用量接近的情况下,两者具有相近的硬度与定伸应力,但纯白炭黑填充硫化胶的拉伸强度明显高于白炭黑与炭黑N774并用填充硫化胶。

## 2.3 耐老化性能

单一填料填充硫化胶的耐老化性能如表9所示。

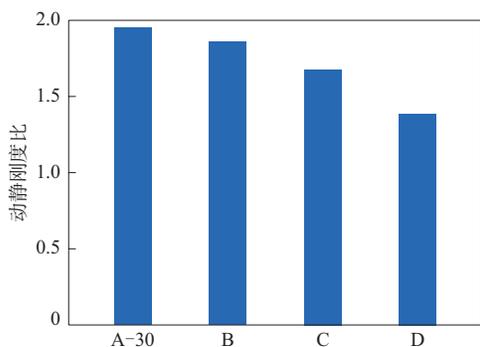
表9 单一填料填充硫化胶的耐老化性能 %

配方编号	拉伸强度保持率	拉断伸长率保持率
A-30	89.4	77.3
B	90.2	86.0
C	101.9	88.2
D	93.0	90.1
A-20	94.2	85.6
A-40	96.1	86.1
A-60	90.0	81.2

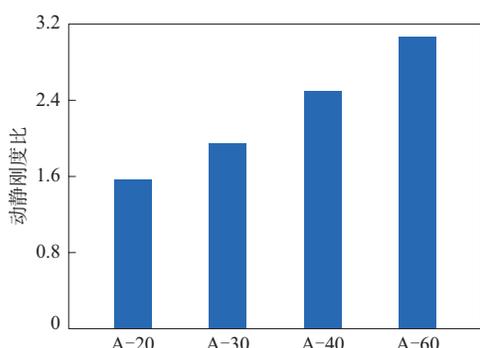
从表9可以看出,炭黑N990胶料的拉伸强度保持率最大、拉断伸长率保持率较大,耐老化性能优于炭黑N774和N550胶料,这可能是由于填料粒径小,更容易在高温老化过程中发生再聚集,导致胶料性能下降。白炭黑胶料的耐老化性能优异,拉伸强度保持率仅次于炭黑N990胶料。炭黑N550用量对胶料耐老化性能的影响无明显规律,当炭黑N550用量为20或40份时,胶料的耐老化性能较好。

## 2.4 动静刚度比

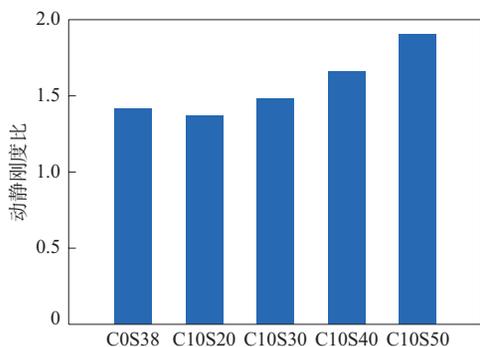
不同硫化胶的动静刚度比如图1所示。



(a) 不同填料



(b) 不同炭黑N550用量



(c) 炭黑N774与白炭黑并用

图1 不同硫化胶的动静刚度比

从图1(a)可以看出,对于单一填料填充体系,硫化胶的动静刚度比从大到小依次为A-30,B,C,D。研究表明,胶料的动静刚度比本质上是源于其滞后损失。胶料的滞后损失主要归因于橡胶分子链间的摩擦、橡胶分子链与填料间的摩擦、填料间的摩擦。炭黑粒径越大,填料间相互作用越小,不易形成填料网络,滞后损失也越小。白炭黑填

充胶料的滞后损失小,动静刚度比也较小。从图1(b)可以看出,随着炭黑N550用量的增大,硫化胶的动静刚度比增大,这可归因于填料间摩擦的增大,粘弹滞后现象明显。从图1(c)可以看出,随着白炭黑用量的增大,硫化胶的动静刚度比增大。

不同硫化胶的动静刚度比-硬度曲线如图2所示。

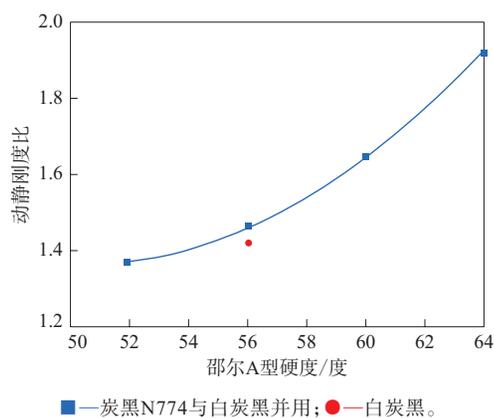


图2 不同硫化胶的动静刚度比-硬度曲线

从图2可以看出,炭黑N774与白炭黑并用硫化胶的动静刚度比随着硬度增大而增大。在相同硬度下,纯白炭黑填充硫化胶的动静刚度比小于炭黑N774与白炭黑并用填充硫化胶,这与白炭黑的补强作用弱于炭黑有关。

## 3 结论

(1) 随着炭黑粒径的增大,填料补强效果降低,胶料的门尼粘度和交联密度减小,硫化胶的耐老化性能提高,动静刚度比减小。

(2) 随着炭黑N550用量的增大,硫化胶的硬度、定伸应力和撕裂强度提高,动静刚度比增大,当炭黑N550用量为30份时,硫化胶的拉伸强度最大,但耐老化性能较差。

(3) 对于炭黑N774与白炭黑并用填充体系,随着白炭黑用量增大,胶料的门尼粘度和交联密度增大;硫化胶的拉伸强度无明显变化,撕裂强度总体提高,动静刚度比显著增大。

(4) 在相同硬度下,纯白炭黑填充硫化胶的动静刚度比小于炭黑N774与白炭黑并用填充硫化胶。

## 参考文献:

- [1] 沈彤. 汽车发动机液置悬置特性分析和建模方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [2] 吴志平. 汽车动力总成典型橡胶悬置结构三向静刚度比的计算与实测[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [3] HOLEHOUSE R, SHAHAJ A, MICHON M, et al. Integrated approach to NVH analysis in electric vehicle drivetrains[J]. *The Journal of Engineering*, 2019 (17): 3842-3847.
- [4] YU Y H, NAGANATHAN NAGI G, DUKKIPATI RAO V. A literature review of automotive vehicle engine mounting systems[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 2001, 36 (1): 123-142.
- [5] 陈建军, 黄轶, 苏建中. 汽车变速箱速度传感器扫频振动性能分析与结构优化[J]. *塑料科技*, 2021, 49 (7): 124-128.
- [6] 高娜. 橡胶悬置特性研究及其对整机振动的影响分析[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [7] 潘孝勇. 橡胶隔振器动态特性计算与建模方法的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009.
- [8] 王宝金, 周宏斌, 丁元强, 等. 炭黑混炼胶和白炭黑混炼胶的结合橡胶及Payne效应研究[J]. *橡胶科技*, 2017, 15 (7): 17-23.
- [9] FAN R L, ZHANG Y, HUANG C, et al. Effect of crosslink structures on dynamic mechanical properties of natural rubber vulcanizates under different aging conditions[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2001, 81 (3): 710-718.
- [10] 李国洪, 向忠益, 郭森. 低动静刚度比天然橡胶减振功能配方技术研究和应用[J]. *汽车工艺与材料*, 2022 (4): 39-45.
- [11] 张剑平, 张新萍, 蔡磊, 等. 高疲劳寿命减振橡胶的结构与性能研究[J]. *高分子通报*, 2019 (2): 44-51.
- [12] 朱万超, 贺春江, 陈传志, 等. 铁路减振橡胶制品动静刚度比研究进展[J]. *合成材料老化与应用*, 2021, 50 (6): 117-120.
- [13] 向万坤, 孙崇志, 孙泉, 等. 天然橡胶/杜仲胶并用胶的性能研究[J]. *橡胶工业*, 2022, 69 (12): 899-909.
- [14] 王建军, 白鹏翔, 董杰, 等. 基于硅烷偶联剂改性的炭黑-石墨烯在天然胶中的性能研究[J]. *橡塑技术与装备*, 2023, 49 (4): 16-20.
- [15] 樊艳艳, 李志辉, 魏浩. 湿热盐雾环境对硅橡胶老化性能的影响[J]. *橡胶工业*, 2022, 69 (10): 785-789.

收稿日期: 2023-07-10

## Effect of Filling System on Performance of Rubber Suspension Components

PANG Song<sup>1</sup>, TIAN Anwei<sup>1</sup>, YANG Lingbin<sup>1</sup>, HE Qi<sup>1</sup>, LI Hengrong<sup>1</sup>, LIU Jiali<sup>2</sup>

(1. Jianxin Zhao Technology Co., Ltd, Ningbo 315000, China; 2. Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry Co., Ltd, Beijing 100143, China)

**Abstract:** Effects of filler type, amount and blending ratio on the performance of rubber suspension components were studied. As the particle size of carbon black increased, the Mooney viscosity and crosslinking density of the compound decreased, the aging resistance of the vulcanizate was improved, and the dynamic and static stiffness ratio decreased. With the increase of the amount of carbon black N550, the hardness, modulus and tear strength of the vulcanizate were improved, and the dynamic and static stiffness ratio increased. With the increase of the amount of silica, there was no significant change in the tensile strength of the vulcanizate filled with carbon black N774 and silica, but the dynamic and static stiffness ratio significantly increased. At the same hardness, the dynamic and static stiffness ratio of the vulcanizate filled with silica was smaller than that of the vulcanizate filled with carbon black N774 and silica.

**Key words:** carbon black; silica; suspension component; dynamic and static stiffness ratio; aging resistance

## 声 明

《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》均不收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告, 勿信诈骗信息。作者投稿请直接登录官网(www.rubbertyre.com.cn), 在投稿系统中可查询稿件录用结果。有任何疑问请及时与编辑部联系。