

# 不同炭黑在汽车发动机悬置中的应用研究

田中龙

(上海众力投资发展有限公司, 上海 201506)

**摘要:**研究4种炭黑(N330, N550, N774, N762)在汽车发动机悬置中的应用。结果表明:不同炭黑对悬置的动静刚度、耐疲劳性能和耐蠕变性能均具有较大的影响;炭黑N330的粒径小、结构度高、比表面积大,其填充胶料的硬度、拉伸强度、弹性模量、动静刚度、疲劳后刚度损失和蠕变量均高于其他3种炭黑填充胶料;悬置橡胶应采用结构度低、粒径大、比表面积小的炭黑,以减小悬置的动静刚度比、蠕变量及疲劳后刚度损失,特别适用于低硬度天然橡胶胶料,炭黑用量不大,有利于低刚度悬置的配方设计。

**关键词:**炭黑;发动机悬置;动静刚度比;刚度损失;疲劳;蠕变

**中图分类号:**TQ336.4<sup>+</sup>2

**文章编号:**2095-5448(2023)01-0022-05

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2023.01.0022

发动机是汽车的核心部分,发动机悬置承受汽车行驶过程中作用于动力总成上的所有动态力,稳固和支撑动力总成;隔离由发动机激励而引起的车架或车身的振动及高频噪声以及由车轮受路面冲击而引起的车身振动向动力总成的传递<sup>[1-2]</sup>。当发动机启动/停止、汽车加、减速等瞬态工况以及各种干扰力(如地面颠簸)的情况下,悬置应能有效限制动力总成的最大位移,避免动力总成与周边零部件发生干涉。随着经济的发展和水平的提高,汽车特别是轿车的驾乘舒适性受到关注。当前越来越多的主机厂重视驾乘舒适性,追求更好的噪声、振动与声振粗糙度(NVH)性能及更小的动静刚度比。在悬置结构一定的情况下,一般通过优化配方和降低胶料硬度来达到目标。

炭黑是减震橡胶制品用重要填料,对胶料的弹性模量(刚度)、滞后损失、疲劳和蠕变影响较大。Payne效应主要来自填料网络的变化与破坏。更低的损耗因子和模量损失会降低胶料的动静刚度比,提高动态疲劳后的刚度保持率,抗蠕变

性能更佳。

本工作重点研究常用的高耐磨炉黑(炭黑N330)、快压出炉黑(炭黑N550)、非污染高定伸半补强炉黑(炭黑N774)及非污染低定伸半补强炉黑(炭黑N762)对悬置性能的影响,为悬置胶料的配方设计优化提供参考,以获得更好的性能和使用功效。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

天然橡胶(NR),牌号SVR-3L,越南平富橡胶厂产品;炭黑N330, N550, N774和N762,上海卡博特化工有限公司产品;环烷油,上海金涛润滑油厂产品;活性氧化锌,台翔橡胶(深圳)有限公司产品;硬脂酸,临井化学上海有限公司产品;防老剂Octamine,美国科聚亚公司产品;防老剂4010NA,中国石化南京化学工业有限公司产品;微晶蜡,美国Eatachem公司产品;硫黄,牌号S-80,山东尚舜化工有限公司产品;抗硫化返原剂,牌号SPchem BDH,青岛先步橡塑新材料有限公司产品;促进剂DPTT和NOBS,濮阳蔚林化工股份有限公司产品。

### 1.2 试验配方

试验配方如表1所示。

**作者简介:**田中龙(1980—),男,安徽六安人,上海众力投资发展有限公司工程师,学士,主要负责汽车减震制品配方开发和工艺管理工作。

**E-mail:**tianzhonglong@zlc.com.cn

表1 试验配方 份

| 组 分    | 配方1 | 配方2 | 配方3 | 配方4 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 炭黑N330 | 20  | 0   | 0   | 0   |
| 炭黑N550 | 0   | 20  | 0   | 0   |
| 炭黑N774 | 0   | 0   | 20  | 0   |
| 炭黑N762 | 0   | 0   | 0   | 20  |

注:配方其余组分及用量为NR 100, 活性氧化锌 6, 硬脂酸 1, 环烷油 4, 防老剂Octamine 2.5, 防老剂4010NA 2, 微晶蜡 2.5, 抗硫化返原剂 1.1, 硫黄 1, 促进剂DPTT 0.5, 促进剂NOBS 1。

1.3 主要设备和仪器

3 L捏炼机和KL-9型开炼机, 佰弘机械(上海)有限公司产品; 80 t平板硫化机和80 t橡胶注压机, 宜兴市精诚橡胶机械有限公司产品; LX-A(C)型硬度计, 无锡市前洲测量仪器厂产品; TCS-2000型电子拉力机, 高特威尔检测仪器有限公司产品; 401B型热空气老化试验箱, 上海实验仪器厂有限公司产品; DMA50型动态热机械分析(DMA)仪, 法国麦特韦伯公司产品; MTS 831型弹性体性能测试系统和MTS 6CH型弹性体疲劳测试系统, 美国MTS系统公司产品; RMT-D1型电子式高温持久蠕变试验机, 珠海市三思泰捷电气设备有限公司产品。

1.4 试样制备

胶料分2段混炼。一段混炼工艺为: 在3 L捏炼机中加入NR, 塑炼40 s后加入氧化锌、硬脂酸、微晶蜡和防老剂, 混炼60 s后加入炭黑和油料, 混炼120 s, 提压砣、压压砣, 混炼140 s, 排胶(温度130~140 ℃), 停放12 h以上。二段混炼工艺为: 在3 L捏炼机中加入一段混炼胶、抗硫化返原剂、硫黄和促进剂, 混炼180 s后排胶, 在开炼机上薄通3次, 下片, 停放备用。

胶料在平板硫化机上硫化, 试片硫化条件为155 ℃×8 min, 柱形试样硫化条件为155 ℃×10 min。

悬置在橡胶注压机上硫化, 硫化条件为155 ℃×12 min。

1.5 性能测试

硬度按照GB/T 531.1—2008进行测试; 拉伸性能按照GB/T 528—2009进行测试; 耐热老化性能按照GB/T 3512—2014进行测试; 动态力学性能按照GB/T 9870.1—2006进行测试, 温度扫描条件: 温度范围 30~100 ℃, 动态振幅 0.25%,

静态应变 2%, 频率 10 Hz; 静刚度按照JIS K 6385:2012进行测试; 动刚度按照JIS K 6394:2007进行测试; 疲劳试验按照JIS K 6385:2012和JIS K 6394:2007进行; 蠕变试验按照长城汽车公司标准Q/CC SY853—2014进行。

2 结果与讨论

2.1 炭黑性能

资料显示: 炭黑N330是一种高补强型炭黑, 能赋予胶料较高的强度和较好的耐磨性能; 炭黑N550, N762和N774都具有中等补强作用; 炭黑N550的补强效果比其他软质炭黑好, 炭黑N550填充胶料的耐磨性能甚至优于槽法炭黑填充胶料; 炭黑N762填充胶料的电阻率比炭黑N774填充胶料高3倍以上, 弹性好, 生热低; 炭黑774填充胶料的工艺性能好, 因此可以高用量使用<sup>[3]</sup>。

4种炭黑的主要性能参数如表2所示。DBP吸收值越大, 说明炭黑结构度越高<sup>[3]</sup>。

表2 4种炭黑的主要性能参数

| 品 种    | 粒径/nm  | 吸碘值/(g·kg <sup>-1</sup> ) | CTAB比表面积/(m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ) | DBP吸收值/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> ) |
|--------|--------|---------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 炭黑N330 | 26~30  | 82                        | 83                                          | 1.02                                       |
| 炭黑N550 | 40~48  | 43                        | 42                                          | 1.21                                       |
| 炭黑N774 | 61~100 | 27                        | 29                                          | 0.70                                       |
| 炭黑N762 | 61~100 | 26                        | 29                                          | 0.62                                       |

由表2可知: 炭黑N330的粒径较小, 吸碘值和比表面积较大; 炭黑N330和N550的DBP吸收值较大, 结构度较高; 炭黑N762和N774的粒径较大, 吸碘值、比表面积和DBP吸收值均较小, 二者比表面积相同, 炭黑N762结构度比炭黑N774略低。

2.2 物理性能

胶料的物理性能如表3所示。

表3 胶料的物理性能

| 项 目                  | 配方1    | 配方2    | 配方3    | 配方4    |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| 邵尔A型硬度/度             | 49     | 48     | 47     | 47     |
| 拉伸强度/MPa             | 25.14  | 24.60  | 23.83  | 23.96  |
| 拉断伸长率/%              | 547    | 557    | 574    | 582    |
| 压缩永久变形(100 ℃×24 h)/% | 17.30  | 14.14  | 12.76  | 12.41  |
| 100 ℃×72 h热老化后       |        |        |        |        |
| 邵尔A型硬度变化/度           | 4      | 4      | 4      | 4      |
| 拉伸强度变化率/%            | -10.30 | -9.41  | -10.05 | -9.60  |
| 拉断伸长率变化率/%           | -11.82 | -12.59 | -13.07 | -13.26 |

从表3可以看出:炭黑N330填充胶料的硬度较大,炭黑N774和N762填充胶料的硬度较小;炭黑N330填充胶料的拉伸强度稍高,这主要是因为炭黑N330粒径小、结构度高、比表面积大。NR属于结晶性橡胶,拉伸时可产生结晶而具有自补强性,而且生胶强度较高,因此炭黑对NR的补强作用不明显,特别是在炭黑填充量不大的情况下,不同结构炭黑的补强效果差异不大<sup>[4]</sup>。炭黑N762填充胶料的拉断伸长率较高。炭黑N762和N774填充胶料的压缩永久变形较小,这主要是由于2种炭黑的结构度低、粒径大、滞后损失小。4种炭黑填充胶料的耐热老化性能差异不大。

### 2.3 动态力学性能

4种炭黑填充胶料的动态力学性能分别如图1—4所示,动态力学性能参数如表4所示。其中, $E'$ 为弹性模量, $\tan\delta$ 为损耗因子。

从图1—4和表4可以看出:按胶料初始模量从大到小排列的炭黑依次为炭黑N330、炭黑N550、

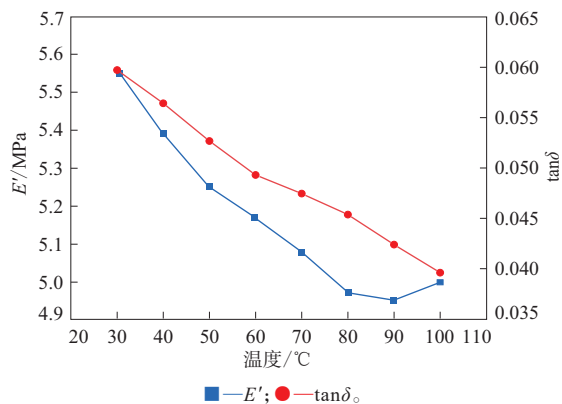


图1 炭黑N330填充胶料的动态力学性能

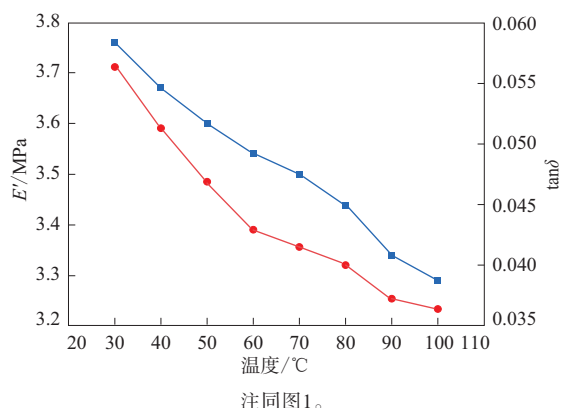


图2 炭黑N550填充胶料的动态力学性能

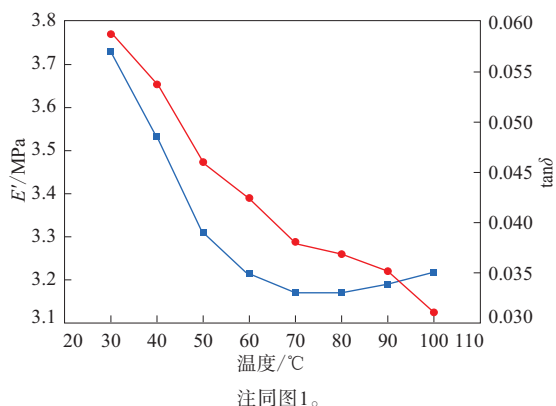


图3 炭黑N774填充胶料的动态力学性能

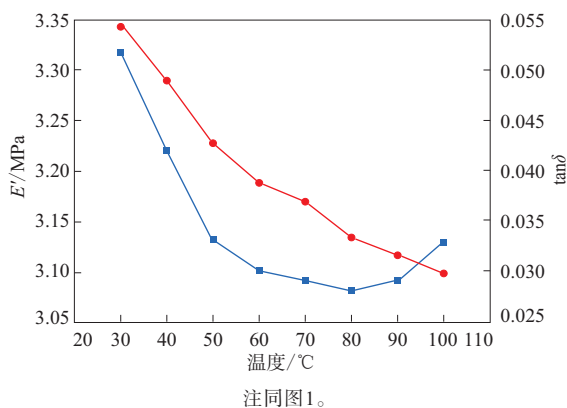


图4 炭黑N762填充胶料的动态力学性能

表4 不同炭黑填充胶料的动态力学性能参数

| 项 目                            | 配方1      | 配方2      | 配方3      | 配方4      |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| $E'$ (30 °C)/MPa               | 5.56     | 3.76     | 3.73     | 3.32     |
| $E'$ (100 °C)/MPa              | 5.00     | 3.29     | 3.22     | 3.13     |
| $\Delta E'$ <sup>1)</sup> /MPa | 0.56     | 0.47     | 0.51     | 0.19     |
| 100 °C时的 $\tan\delta$          | 0.039 88 | 0.036 36 | 0.030 97 | 0.029 74 |

注:1)  $\Delta E' = E' (30\text{ °C}) - E' (100\text{ °C})$ 。

炭黑N774、炭黑N762;按胶料模量损失从小到大排列的炭黑依次为炭黑N762、炭黑N550、炭黑N774、炭黑N330;按胶料100 °C时的 $\tan\delta$ 从小到大排列的炭黑依次为炭黑N762、炭黑N774、炭黑N550、炭黑N330;炭黑N762填充胶料的初始模量、模量损失及 $\tan\delta$ 最小;炭黑N330填充胶料的初始模量、模量损失及 $\tan\delta$ 最大。在炭黑用量相同的情况下,炭黑的粒径越小,胶料的 $E'$ 越大;炭黑粒径大、比表面积小、结构度低,胶料的生热越低、 $\tan\delta$ 越小<sup>[5-6]</sup>。

### 2.4 悬置动静刚度

选择长城汽车某发动机右悬置(见图5)进行

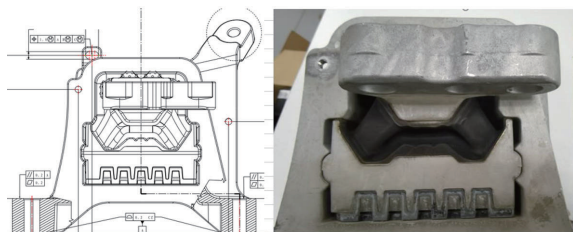


图5 发动机右悬置

动静刚度试验。动静刚度指标要求为:动刚度(Z向)  $\leq 289.5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ,静刚度(Z向)  $(\pm 15\%)$  193 (164.05~221.95)  $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ,动静刚度比  $\leq 1.5$ 。悬置动静刚度试验结果如表5所示。

表5 悬置动静刚度试验结果

| 项 目                                             | 配方1   | 配方2   | 配方3   | 配方4   |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 动刚度(Z向)/<br>( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) | 306.9 | 282.3 | 248.8 | 241.6 |
| 静刚度(Z向)/<br>( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) | 201.7 | 196.5 | 185.0 | 184.2 |
| 动静刚度比                                           | 1.52  | 1.44  | 1.34  | 1.31  |

从表5可以看出:采用4种炭黑的悬置的静刚度均在公差范围内;采用炭黑N330的悬置的动刚度和动静刚度比不符合指标要求;按悬置的动刚度和动静刚度比从大到小排列的炭黑依次为炭黑N330、炭黑N550、炭黑N774、炭黑N762,与DMA分析的初始模量趋势相同。在一定振幅和频率条件下DMA分析得到的模量为动态模量,其也可以直观地反映动刚度。

悬置的刚度(胶料的 $E'$ )主要用炭黑等填料进行调节,加入炭黑通常会增大低阻尼橡胶的 $E'$ 和 $\tan\delta$ <sup>[7]</sup>,而且胶料的 $E'$ 和 $\tan\delta$ 随着炭黑用量的增大而增大,随振幅的增大而增大。在炭黑用量相同的条件下,炭黑粒径越小,补强效果越好,胶料的 $E'$ 越大,炭黑粒径对悬置刚度的影响也更明显。炭黑N762的粒径大、比表面积小、结构度低,悬置的动静刚度比小。

## 2.5 悬置耐疲劳性能

悬置动态疲劳试验至疲劳100万次时停止,检查悬置外观是否有损坏,悬置停放24 h后测试静刚度,结果如表6所示。

从表6可以看出,按悬置疲劳后静刚度变化率绝对值从小到大排列的炭黑顺序为炭黑N762、炭黑N774、炭黑N550、炭黑N330。疲劳是一种力

表6 悬置疲劳试验结果

| 项 目                                                | 配方1    | 配方2   | 配方3   | 配方4   |
|----------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| 疲劳前静刚度(Z向)/<br>( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) | 201.7  | 196.5 | 185.0 | 184.2 |
| 疲劳后静刚度(Z向)/<br>( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) | 176.4  | 178.6 | 172.3 | 172.5 |
| 疲劳后静刚度变化率/<br>%                                    | -12.54 | -9.11 | -6.86 | -6.35 |

学过程,橡胶在往复形变下产生应力松弛,往往在形变周期内来不及完成,从而产生模量损失,损失的模量转化为热能,对胶料的耐疲劳性能产生影响。炭黑粒径越小,对胶料的耐疲劳性能越不利,因为炭黑粒径越小,更容易在橡胶中形成局部应力集中,在往复形变下造成橡胶分子链断裂,硫化胶的初始结构被破坏,物理性能降低<sup>[6]</sup>。炭黑N762粒径大、比表面积小、结构度低,其填充胶料的拉断伸长率高,生热低,动态疲劳后刚度损失小。

## 2.6 悬置耐蠕变性能

蠕变是指在恒定作用力和一定温度下,材料形变随时间延长而逐渐增大的过程,这种形变难以恢复。炭黑对橡胶的蠕变有一定影响,通常增大炭黑用量会增大损耗角。在炭黑用量一定的条件下,随着炭黑粒径增大,胶料的蠕变量减小,因此要获得小蠕变量时需使用大粒径炭黑<sup>[8]</sup>。

悬置蠕变试验温度为100  $^{\circ}\text{C}$ ,时间为500 h,预载荷为1 080 N(与悬置静刚度试验预载荷相同)。试验结果表明,采用炭黑N330、N550、N774、N762的悬置的蠕变量分别为2.23, 1.70, 1.45, 1.42 mm,按蠕变量从小到大排列的炭黑顺序为炭黑N762、炭黑N774、炭黑N550、炭黑N330。炭黑N330结构度高,粒径小,胶料的 $\tan\delta$ 大,耐蠕变性能较差。炭黑N762和N774由于粒径大、结构度低,胶料的 $\tan\delta$ 小,蠕变量较小。

## 3 结论

通过4种炭黑在汽车发动机悬置中的试验对比,可得出以下结论。

(1) 炭黑的粒径、结构度和比表面积影响胶料的硬度、拉伸强度、动态力学性能和刚度。炭黑N330粒径小、结构度高、比表面积大,其填充胶料的硬度、拉伸强度、 $E'$ 及动静刚度均高于其他3种

炭黑填充胶料。但对于结晶型、自补强性较好的NR,炭黑品种对胶料拉伸强度的影响差异不大。

(2) 不同炭黑对于胶料的耐热老化性能影响不大,对压缩永久变形和蠕变量有一定影响。采用粒径大、结构度低的炭黑有利于减小胶料的 $\tan\delta$ 、压缩永久变形及蠕变量。

(3) 采用粒径小、比表面积大、结构度高的炭黑,悬置的动静刚度和 $\tan\delta$ 增大,动刚度增幅更大导致动静刚度比增大,不利于车辆的NVH特性。

(4) 炭黑的粒径和结构度对悬置的耐疲劳性能有较大影响,采用粒径大、结构度低的炭黑有利于提高悬置的耐疲劳性能。

综上所述,汽车发动机悬置橡胶中应使用粒径大、比表面积小、结构度低的炭黑,其能赋予悬置更小的动静刚度比和蠕变量以及较低的动态疲劳后刚度损失,特别适用于低硬度的NR胶料,炭黑

用量不大,有利于低刚度悬置的配方设计。

#### 参考文献:

- [1] 夏彰阳,丁行武,卜继玲,等. 汽车动力总成悬置结构设计方法的研究[J]. 橡胶工业,2021,68(6):444-449.
- [2] 徐建珂,张贺广. 基于ADAMS软件的发动机悬置系统优化设计[J]. 橡胶科技,2020,18(10):586-588.
- [3] 王梦蛟,龚怀耀,薛广智. 橡胶工业手册(修订版) 第二分册[M]. 北京:化学工业出版社,1989:283-300.
- [4] 张殿荣,辛振祥. 现代橡胶配方设计(第二版)[M]. 北京:化学工业出版社,2001:49.
- [5] 杨清芝. 现代橡胶工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,1997:212.
- [6] 林孔勇,金晨娟,梁兴宇. 橡胶工业手册(修订版) 第六分册[M]. 北京:化学工业出版社,1993:224,404.
- [7] 王贵一. 橡胶减震器的设计原理和性能测试[J]. 特种橡胶制品,1998,19(6):44.
- [8] 王付胜,高新文,曹江勇,等. 轨道车辆用耐低温橡胶减振元件的研究[J]. 铁道车辆,2012,50(11):22-24.

收稿日期:2022-09-07

## Application of Different Carbon Black in Automobile Engine Mount

TIAN Zhonglong

(Shanghai Zhongli Investment Development Co., Ltd, Shanghai 201506, China)

**Abstract:** The application of four kinds of carbon black (N330, N550, N774, N762) in automobile engine mount was studied. The results showed that the type of carbon black had a great influence on the dynamic and static stiffness, fatigue resistance and creep resistance of the mount. Due to the small particle size, high structure and large specific surface area of carbon black N330, the hardness, tensile strength, elastic modulus, dynamic and static stiffness, stiffness loss after fatigue and creep of the compound filled with carbon black N330 were higher than those of the compounds filled with other three kinds of carbon black. The mount compound should adopt carbon black with low structure, large particle size and small specific surface area to reduce the dynamic and static stiffness ratio, creep and stiffness loss after fatigue. It was especially suitable to use the natural rubber compound with low hardness and small amount of carbon black, which was conducive to the formulation design of low stiffness mount.

**Key words:** carbon black; engine mount; dynamic and static stiffness ratio; stiffness loss; fatigue; creep

### 两家橡企被认定为国家技术创新示范企业

日前,工业和信息化部正式发布《关于公布2022年国家技术创新示范企业名单的通知》,认定65家企业为2022年国家技术创新示范企业。橡胶行业中有两家企业入选,分别是中国化工集团曙光橡胶工业研究设计院有限公司和株洲时代新材

料科技股份有限公司。

国家技术创新示范企业认定是对企业整体技术创新能力和成果的高度肯定,也是对企业核心竞争力及行业领先地位、创新研发能力、行业带动作用、创新发展战略与模式等方面的综合评价。

(本刊编辑部)