

填料种类及粒径对轨道减振橡胶垫板动静刚度比的影响

吴结义

(四川宏亿复合材料工程技术有限公司, 四川 成都 610100)

摘要: 以不同粒径的炭黑、白炭黑、陶土及碳酸钙为填料加到乙丙橡胶中制备轨道减振橡胶垫板, 研究了不同填料及粒径对垫板动静刚度比的影响。结果表明, 使用炭黑时动静刚度比随粒径增大而减小, 使用白炭黑时动静刚度比随粒径增大而增大, 而使用陶土和碳酸钙时动静刚度比随粒径变化无规律且变化较小。同时, 使用补强型填料炭黑和白炭黑时, 垫板动静刚度比比使用填充型填料时的动静刚度比较高。

关键词: 填料; 粒径; 动静刚度比; 乙丙橡胶; 轨道减振

中图分类号: TQ330.7

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)12-0051-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.12.010

填料是橡胶工业的主要原料之一, 属粉体材料, 能赋予橡胶许多宝贵的性能。例如, 大幅提高橡胶的力学性能, 使橡胶具有磁性、导电性、阻燃性、彩色等特殊功能^[1]。橡胶用填料包含补强剂和填充剂, 补强填料能使橡胶的拉伸强度、撕裂强度及耐磨耗性同时获得明显提高, 橡胶工业主要用的补强剂有炭黑、白炭黑和有机树脂。填充填料可起到增大体积、降低成本、改善加工工艺性能的材料, 如陶土、碳酸钙、滑石粉等。填料性质对于填充聚合物体系的加工性能和成品性能具有决定性的影响。

为了降低铁路给环境造成的噪声污染及提高轨道弹性, 地铁和高铁线路的扣件系统中多采用减振橡胶制品, 如橡胶垫板、微孔橡胶垫和聚氨酯微孔垫板等^[2]。动静刚度及动静刚度比是减振橡胶制品的主要性能指标。动静刚度比对振动传递和减振效果有较大影响。动静刚度比越小, 橡胶材料的回弹性越好, 振动传递效果越好。金属弹簧等理想弹性体的动静刚度比为1。橡胶材料具有黏弹性, 对动载荷表现出灵敏的黏弹滞后现象, 产生力学损耗, 动静刚度比必然大于1, 黏弹滞后越强, 损耗越大, 动静刚度比就越大。轨道减振橡胶制品通常要求具有较低的动静刚度比, 一般要求在1.8以内。

动静刚度比的控制一直是减振橡胶制品开发的难点。王巧玲^[3]等研究了炭黑品种和用量对乙丙橡胶发

泡减振制品动静刚度比的影响。张宪清^[4]等测试了几种无机填料与无机补强填料萨博菲并用比例对客运专线橡胶垫板动静刚度的影响。鲜有研究人员将不同填料及其粒径对减振橡胶制品动静刚度比的影响进行横向对比, 本试验依托高速铁路轨道用减振橡胶垫板, 对比了四种常用补强型和填充型材料及其粒径对垫板动静刚度比的影响规律, 期望为后续研究人员在开发低动静刚度比减振橡胶制品时提供思路, 尤其是当制品物理机械性能受限时可通过变换或混合填料来实现低动静刚度比设计。

1 试验

1.1 主要原材料

EPDM J-3080, 中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司; 炭黑, 河北龙星化工股份有限公司; 白炭黑, 株洲兴隆新材料股份有限公司; 陶土, 山西中埃科技有限公司; 碳酸钙, 都江堰市云艺钙业有限责任公司; 氧化锌 (ZnO)、硬脂酸 (SA)、硫磺 (S)、防老剂 MB、促进剂 TAIC、硫化剂 DCP 等均为市售产品。

作者简介: 吴结义 (1991-), 男, 工程师, 研发负责人, 硕士研究生, 主要研究方向为橡胶工程、橡胶制品配方和工艺设计。

收稿日期: 2023-08-19

1.2 主要设备和仪器

160 型试验用密炼机, 东莞市桥联机械有限公司; 1.5L 试验用开炼机, 东莞市桥联机械有限公司; P-50-2-PCD 平板硫化机, 磐石油压工业(安徽)有限公司; M-3000FA 硫化仪, 高铁检测仪器(东莞)有限公司; CDT305 微机控制电子压力试验机, 深圳市新三思材料检测有限公司; MTS830 力学测试与模拟仪, 美特斯工业系统(中国)有限公司。

1.3 试验配方

基本配方: EPDM, 100 份(质量, 下同); ZnO, 5 份; SA, 2 份; MB, 2 份; DCP, 5 份; 促进剂 TAIC, 2 份; S, 0.5; 其他助剂, 6 份; 填料, 60 份。四种填料及不同粒径分别为炭黑, 粒径 29/42/62 nm; 白炭黑, 粒径 15/30/60 nm, 陶土, 粒径 0.02/2/10 μm; 碳酸钙, 粒径 0.05/1/5 μm。

1.4 试样制备

将密炼机初始设定温度为 60 °C, 转速 60 r/min; 将生胶、活化剂、填料和石蜡油按顺序加料, 总密炼时间为 6 min, 排胶温度约 140 °C, 排出的胶料在开炼机上薄通下片, 冷却, 然后在开炼机上加硫化剂和促进剂, 混炼均匀后打三角包 5~7 次, 薄通 3 次下片。停放 8 h 后, 用硫化仪测定在 170 °C 的硫化曲线, 确定 t_{90} , 用平板硫化机对试样进行硫化成型, 硫化条件为 170 °C × 10 MPa × ($t_{90} + 6$ min)

1.5 试样测试

1.5.1 物理性能

各项性能均按照最新国家标准进行测试。

1.5.2 静刚度测试方法

试验环境温度为 (23±2) °C。试验前, 所有部件和设备在 (23±2) °C 环境中至少静置 24 h。试验开始时, 将两位移测试仪器置零, 以 1~2 kN/s 速度均匀加载。分别记录载荷加至 F_1 (20 kN) 和 F_2 (70 kN) 时加载钢板的位移 D_1 、 D_2 , 静刚度 K_{sta} 用式 (1) 计算:

$$K_{STA} = \frac{F_2 - F_1}{D_2 - D_1} \quad (1)$$

重复上述试验两次, 每次卸载后停留 1 min。以第三次试验值作为垫板静刚度。

1.5.3 动刚度测试方法

试验环境温度为 (23±2) °C。试验前, 所有部件和设备在 (23±2) °C 环境中至少静置 24 h。试验开始时, 将两位移测试仪器置零, 而后施加周期载荷 70~20 kN 的循环载荷, 加载频率 4 Hz, 载荷循环 1 000 次。记录最后 100 次载荷循环并选取 10 个连续循环中实际施加的载荷 F_{1a} 、 F_{2a} 和加载钢板位移 D_{1a} 、 D_{2a} 。计算 10 个循环的 F_{1a} 、 F_{2a} 、 D_{1a} 、 D_{2a} 的平均值, 分别记为 F_1 、 F_2 、 D_1 、 D_2 , 动刚度用式 (2) 计算:

$$K_{DYN} = \frac{F_2 - F_1}{D_2 - D_1} \quad (2)$$

1.5.4 动静刚度比

动静刚度比 ζ 是指动刚度与静刚度之比, 见式 (3):

$$\zeta = \frac{K_{DYN}}{K_{STA}} \quad (3)$$

2 结果与讨论

2.1 填料种类及粒径对物理性能的影响

由表 1 可以明显看出, 使用补强填料炭黑和白炭黑时, 垫板硬度、拉伸强度、拉伸伸长率、压缩永久变形等力学性能远远高于填充填料陶土和碳酸钙。

表 1 不同填料垫板物理性能

项目	炭黑粒径/nm			白炭黑粒径/nm			陶土粒径/μm			碳酸钙粒径/μm		
	29	42	62	15	30	60	0.03	2.0	10.0	0.05	1.0	5.0
门尼黏度/MV	56	52	49	48	49	53	44	43	43	43	44	44
硬度/邵尔 A	67	65	61	58	58	59	45	43	43	42	45	43
拉伸强度/MPa	17.5	17.0	15.5	13.3	13.0	15.4	9.7	9.1	9.2	8.9	9.5	9.1
断裂伸长率/%	340	327	332	411	396	321	256	248	241	234	247	229
压缩永久变形/%	15.1	15.5	16.8	18.4	18.6	16.2	31.5	33.4	33.0	31.6	33.7	32.4

这是因为补强填料的粒径为纳米级, 粒子具有更高的比表面积, 与橡胶大分子链能形成更多的结合胶, 力学性能优异。当然, 使用填充填料时门尼较低, 且原材价格更便宜, 因此在加工流动性和成本上比补强填料有较大优势。

2.2 炭黑和白炭黑粒径对垫板动静刚度比的影响

由表 2 可以看出, 补强型填料炭黑和白炭黑的粒径对垫板动静刚度的影响有明显差别。随着炭黑粒径增大, 动静刚度均呈现明显的下降趋势, 动静刚度比也有所降低; 而随着白炭黑粒径增大, 动静刚度升高, 动静刚度比增大。这是因为: 炭黑粒径越小、比表面积越大, 炭黑粒子对橡胶分子链有更强的吸附力而形成更多的结合胶, 在外力作用下橡胶摩擦内耗现象越

明显,黏弹滞后效应增强,力学损耗增大,所以动静刚度比也增大。

表2 炭黑和白炭黑垫板动静刚度比

项目	炭黑			白炭黑		
平均粒径/nm	29	42	62	15	30	60
静刚度/ $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$	78	71	65	83	88	98
动刚度/ $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$	143	122	103	176	194	252
动静刚度比	1.83	1.72	1.58	2.12	2.20	2.57

有研究表明^[5],白炭黑粒径越小,越容易在橡胶中形成填料网络团聚体,而团聚体与橡胶基体的结合较差,在外力作用下橡胶摩擦内耗现象越弱,滞后损耗小,内耗损耗减小,动静刚度比低。当白炭黑粒径增大至60 nm时,填料网络结构减少,与橡胶结合作用增大,黏弹滞后效应增强,动静刚度比也增大。

2.3 陶土和碳酸钙粒径对垫板动静刚度比的影响

由表3可以看出,使用填充型填料陶土和碳酸钙的垫板动静刚度比,没有随粒径的变化呈现明显变化规律,粒径增大,动静刚度比有升有降,这是因为:

陶土和碳酸钙属无机填料,本身粒径较大,与橡胶分子链之间相互作用较小,主要起填充剂起增容、增硬的作用,粒径变化对填料与橡胶的相互作用的影响不明显,此时影响填料粒子与橡胶的结合主要因素为粒子结构、表面活性及粒子形状,不同粒径的无机填料粒子性质不同,所以动静刚度比变化呈现不规律变化,总体变化幅度较小。

表3 陶土和碳酸钙垫板动静刚度比

项目	陶土			碳酸钙		
平均粒径/ μm	0.03	2.0	10.0	0.05	1.0	5.0
静刚度/ $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$	56	53	53	45	48	46
动刚度/ $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$	84	77	78	61	69	61
动静刚度比	1.50	1.45	1.47	1.36	1.44	1.33

2.4 不同种类填料及粒径对动静刚度比影响横向对比

由图1可以看出,使用白炭黑补强时垫板动静刚度比最高,使用碳酸钙填充时动静刚度比最低,且明显使用炭黑和白炭黑时动静刚度比整体要高出很多。分析认为,由于白炭黑表面使用硅烷偶联剂处理,提高了白炭黑同橡胶的亲合力、湿润性和相容性,与橡胶大分子的界面作用增强,结合胶增多,也就越易形成网状结构,这些因素将导致更为强烈的黏弹滞后效应,增大滞后损失,最终导致垫板的动静刚度比较大。炭黑因可以与橡胶分子链产生化学吸附和物理吸附而生成结合胶,所以黏弹滞后效应也比较强烈,故动静

刚度比也较大。陶土和碳酸钙一方面作为填充型填料本身具有亲水性,与橡胶亲和性不好,另一方面填料粒径较大比表面积小,同橡胶分子链之间相互作用较小,当受外力作用时黏弹滞后效应弱,滞后损失少,从而动静刚度比相对补强型填料更低。

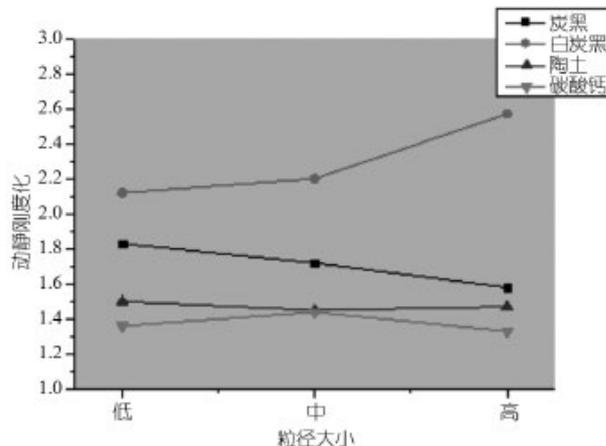


图1 不同填料和粒径的垫板动静刚度比对比

3 结论

(1) 使用补强填料能赋予垫板更高的物理力学性能,使用填充填料时物理性能较差,仅仅起到填充的作用。

(2) 使用补强填料时垫板动静刚度比整体高于填充填料。且随着炭黑粒径增大,减振垫板动静刚度比降低;而随着白炭黑粒径增大,减振垫板动静刚度比升高。针对填充型填料,填料粒径对减振垫板动静刚度比的影响无明显规律。

(3) 在设计低动静刚度比减振橡胶制品配方时,可选择合适的填料及粒径或搭配使用,以满足制品物理性能和使用要求。

参考文献:

- [1] 王强. 橡塑填料市场分析[J]. 化工管理, 2017,(14):135-136,139.
- [2] 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.
- [3] 王巧玲, 季承远, 于世长, 等. 炭黑及硫化体系对三元乙丙橡胶发泡减振制品硬度与动静刚度比的影响[J]. 橡胶工业, 2018(65):678-680.
- [4] 张宪清, 贺春江, 维坚. 填料对客运专线橡胶垫板性能的影响研究[J]. 铁道建筑, 2012(10):117-119.
- [5] 张鹏宇, 王娜, 戴采云, 等. 纳米二氧化硅粒径对橡胶复合材料力学性能的影响[J]. 功能材料, 2014,23(45):23 086-23 089.

Influence of filler type and particle size on the dynamic and static stiffness ratio of track damping rubber pad

Wu Jieyi

(Sichuan Hongyi Composite Materials Engineering Technology Co. LTD., Chengdu 610100, Sichuan, China)

Abstract: A track vibration damping rubber pad was prepared by adding carbon black, white carbon black, clay, and calcium carbonate with different particle sizes as fillers to ethylene propylene rubber. The influence of different fillers and particle sizes on the dynamic and static stiffness ratio of the pad was studied. The results showed that the dynamic to static stiffness ratio decreased with increasing particle size when using carbon black, increased with increasing particle size when using white carbon black, and varied irregularly and minimally with increasing particle size when using clay and calcium carbonate. Meanwhile, when using reinforcing fillers such as carbon black and white carbon black, the dynamic and static stiffness of the pad is higher than when using filling fillers.

Key words: fillers; particle size; dynamic static stiffness ratio; ethylene propylene rubber; track vibration reduction

(R-03)



27 亿元轮胎项目，正式公示！

The 2.7 billion yuan tire project has been officially announced!

2024 年 11 月 13 日，高性能绿色摩托车子午线轮胎智能制造项目，进行公示。据了解，该项目由腾森橡胶轮胎（威海）有限公司建设，总投资 27 亿元。建设地点位于威海市经济技术开发区，占地面积 22.44 万 m²。

建成后，可年产高性能绿色摩托车子午线轮胎 1 200 万套。腾森橡胶成立于 2006 年，是一家集摩托车轮胎和丁基内胎研发、制造、销售为一体的标准化、专业化、现代化轮胎制造商。该公司目前产品包括丁基内胎、摩托车外胎，2023 年丁基内胎产量 700 万条，摩托车外胎产量 750 万条。

该公司提到，目前，高性能绿色摩托车子午线轮胎在国内内资企业中还处于起步阶段，与世界先进水平差距较大，国际高性能绿色摩托车子午线轮胎市场被国外巨头垄断。

调整摩托车轮胎的产品结构，提升产品档次和水平，提高国际市场的竞争能力，是我国摩托车轮胎行业的当务之急。该项目投产后，将实现高性能绿色摩托车子午线轮胎的国产化替代，弥补行业的技术空白，产品综合性能达到国际先进，有利于促进我国摩托车胎行业产品结构调整和技术进步，推动我国高性能绿色摩托车子午线轮胎技术与国际接轨，为我国摩托车产业和摩托车轮胎产业高质量发展提供有力支撑。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)

