产品·设计

建筑隔震支座用高阻尼胶料配方的研究

罗明明
（青岛农业大学 建筑工程学院，山东 青岛 266109）

摘要：以天然橡胶（NR）/溴化丁基橡胶（BIIR）并用胶为主体材料制备建筑隔震支座用高阻尼胶料，考察NR/BIIR并用比、炭黑品种和用量以及增粘剂种类对胶料性能的影响。结果表明：减小NR/BIIR并用比，即增大BIIR用量可以有效增大胶料的等效阻尼比，但会降低胶料的强度和形变能力；选用高比表面积的炭黑N220及增大其用量，能够有效增大胶料的等效阻尼比，但炭黑用量增大到一定程度后胶料的强度和形变能力会迅速下降；树脂类增粘剂种类对胶料性能的影响不大，但苯酚乙炔树脂会减小胶料的等效阻尼比。

关键词：高阻尼胶料；建筑隔震支座；胶料配方；天然橡胶；溴化丁基橡胶；等效阻尼比
中图分类号：TQ336.4+2；TQ332.1；TQ333.6 **文章编号：**1000-890X（2021）11-0843-04
文献标志码：A **DOI：**10.12136/j.issn.1000-890X.2021.11.0843
OSID开放科学标识码（扫码与作者交流）

橡胶材料因其特有的粘弹性而被制作成各种具有特定滞后性能的产品，阻尼材料是橡胶粘弹性应用的一个重要方向，被广泛应用于建筑隔震支座中[1-3]。高阻尼隔震支座是高阻尼胶料与基材通过粘接或/和硫化等方式复合而成的叠层制品[4]。在地震发生时，高阻尼隔震支座通过形变耗散能量的方式，将地震产生的动能转换成内能消耗掉。近年来，高阻尼隔震支座在桥梁领域中的应用日益广泛，而在建筑减震和隔震领域的应用需要进一步拓展，这主要是因为建筑减震和隔震对高阻尼隔震支座的形变和阻尼性能有更高要求。

建筑减震和隔震用高阻尼隔震支座主要起到延长振动周期和抑制振动的作用，这就要求高阻尼胶料具有足够的强度和形变能力以及较高的阻尼性能。本工作以天然橡胶（NR）和溴化丁基橡胶（BIIR）并用胶为主体材料制备建筑隔震支座用高阻尼胶料，考察NR/BIIR并用比、炭黑品种和用量以及增粘剂种类对胶料物理性能和阻尼性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

NR，3#烟胶片，泰国进品产品；BIIR，牌号为2255，阿朗新科高性能弹性体（常州）有限公司产品；炭黑，牌号为N110，N220，N330，N550，N660，N774，上海卡博特化工有限公司产品。

1.2 基本配方

NR/BIIR（变并用比） 100，炭黑（变品种） 50，硬脂酸 2，氧化锌 5，软化剂 15，防老剂 2，增粘剂（变种类） 2，硫黄 2，促进剂CBS 1.5，促进剂TMTD 0.2。

1.3 主要设备和仪器

Φ660 mm开炼机，上海橡胶机械一厂有限公司产品；XQLB-380×350型平板硫化机，青岛橡胶机械有限公司产品；MDR2000型硫化仪、MV2000E型门尼粘度仪、RPA2000橡胶加工分析仪，美国阿尔法科技有限公司产品；6800型电子拉

作者简介：罗明明（1981—），男，山东青岛人，青岛农业大学讲师，硕士，主要从事建筑材料及建筑设计研究工作。
E-mail：57075404@qq.com
引用本文：罗明明. 建筑隔震支座用高阻尼胶料配方的研究[J]. 橡胶工业，2021，68（11）：843-846.
Citation：LUO Mingming. Study on high damping compound formulation for building isolation bearing[J]. China Rubber Industry，2021，68（11）：843-846.

力机，美国Instron公司产品。

1.4 试样制备

先将NR塑炼，NR塑炼胶停放8 h使用。胶料混炼在Φ660 mm开炼机上进行，设定前后辊温分别为65和55 ℃，辊速比为1∶1.115，先调节辊距至1 mm，加入NR塑炼胶和BIIR混炼均匀，再调节辊距至2 mm，依次加入防老剂、硬脂酸、氧化锌、炭黑、软化剂和增粘剂混炼均匀，最后加入硫黄和促进剂，吃粉完结后打三角包3—5次，调节辊距，出片。

混炼胶采用平板硫化机硫化，硫化条件为150 ℃×30 min。

1.5 性能测试

胶料的性能均按相应国家标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 NR/BIIR并用比

BIIR因具有优异的阻尼性能而被广泛应用于各种减震橡胶制品中[5-10]。NR/BIIR并用比对胶料性能的影响如表1所示。从表1可以看出，随着NR/BIIR并用比的减小，胶料的邵尔A型硬度、拉伸强度、拉断伸长率和剪切模量呈降低趋势，等效阻尼比呈增大趋势，说明增大BIIR用量可以有效提高胶料的阻尼性能，但同时会降低胶料的强度和形变能力。

2.2 炭黑品种和用量

2.2.1 炭黑品种

炭黑品种对胶料性能的影响如表2所示。从表2可以看出，从炭黑N220，N330，N550，N660到炭黑N774，随着炭黑氮吸附比表面积的减小，胶料的拉伸性能呈下降趋势，但炭黑N550胶料表现出拉伸强度高、拉断伸长率低的现象，这可能是因为炭黑N550的结构度较高，胶料形成了大量的包容胶，总体上表现为结合胶含量较高[11-14]，导致胶料的强度高，同时因包容胶的限制，使得橡胶可变形部分的比例减小的缘故。

从表2还可以看出：随着炭黑氮吸附比表面积的减小，胶料的等效阻尼比呈减小趋势；剪切模量则与炭黑品种无明显关系。由于添加炭黑N220的胶料等效阻尼比最大，剪切模量适宜，因此需要进一步探讨炭黑N220用量对胶料性能的影响。

2.2.2 炭黑N220用量

炭黑N220用量对胶料性能的影响如表3所示。从表3可以看出，随炭黑N220用量的增大，胶料的硬度和剪切模量大幅提高，等效阻尼比逐渐增大，拉伸强度和拉断伸长率则呈现先提高后降

表1 NR/BIIR并用比对胶料性能的影响

Tab. 1 Effect of NR/BIIR blending ratios on properties of compounds

项 目	NR/BIIR并用比						
	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80
邵尔A型硬度/度	54	53	52	51	50	49	48
拉伸强度/MPa	18.0	17.2	16.7	16.2	15.9	15.6	10.2
拉断伸长率/%	748	733	719	699	682	671	654
剪切模量/MPa	0.410 5	0.401 2	0.396 3	0.381 7	0.369 9	0.354 4	0.343 6
等效阻尼比/%	14.78	15.26	16.01	16.97	18.10	19.21	20.15

注：炭黑采用炭黑N220，增粘剂为C_5树脂。

表2 炭黑品种对胶料性能的影响

Tab. 2 Effect of carbon black types on properties of compounds

项 目	炭黑品种				
	N220	N330	N550	N660	N774
邵尔A型硬度/度	54	54	53	53	53
拉伸强度/MPa	18.0	17.5	17.9	16.2	15.6
拉断伸长率/%	748	736	690	725	702
剪切模量/MPa	0.410 5	0.422 7	0.420 5	0.401 6	0.398 5
等效阻尼比/%	14.78	13.22	12.95	11.52	11.45

注：NR/BIIR并用比为80/20，增粘剂为C_5树脂，炭黑N220，N330，N550，N660和N774的氮吸附比表面积分别为114，78，40，35和30 $m^2 \cdot g^{-1}$。

表3　炭黑N220用量对胶料性能的影响

Tab. 3　Effect of carbon black N220 dosages on properties of compounds

项　目	炭黑用量/份					
	40	50	60	70	80	90
邵尔A型硬度/度	49	54	58	62	66	70
拉伸强度/MPa	16.2	18.0	20.1	19.4	17.3	12.5
拉断伸长率/%	745	748	752	747	650	598
剪切模量/MPa	0.352 6	0.410 5	0.561 7	0.714 2	1.205 6	1.452 6
等效阻尼比/%	12.15	14.78	15.66	18.75	20.17	22.68

注：NR/BIIR并用比为80/20，增粘剂为C_5树脂。

低的趋势，即炭黑用量增加到一定程度后胶料的强度和形变能力会迅速下降。

2.3　增粘剂品种

增粘剂种类[15-21]对胶料性能的影响如表4所示。从表4可以看出，树脂类增粘剂种类对胶料的性能影响不大，添加古马隆树脂的胶料硬度稍低，添加C_9树脂的胶料硬度稍高，添加苯酚乙炔树脂的胶料等效阻尼比稍小。

表4　增粘剂种类对胶料性能的影响

Tab. 4　Effect of tackifier types on properties of compounds

项　目	增粘剂种类					
	C_5树脂	C_9树脂	古马隆树脂	叔丁基酚醛树脂	辛基酚醛树脂	苯酚乙炔树脂
邵尔A型硬度/度	54	55	53	54	54	54
拉伸强度/MPa	18.0	18.1	18.4	17.8	17.9	18.2
拉断伸长率/%	748	736	751	742	737	749
剪切模量/MPa	0.410 5	0.410 7	0.409 2	0.420 5	0.417 7	0.400 9
等效阻尼比/%	14.78	14.72	14.65	14.78	14.82	13.76

注：NR/BIIR并用比为80/20，炭黑采用炭黑N220。

3　结论

（1）减小NR/BIIR并用比，即增大BIIR用量可以有效增大胶料的等效阻尼比，但会降低胶料的强度和形变能力。

（2）从炭黑N220，N330，N660到炭黑N774，随着炭黑比表面积的减小，胶料的拉伸性能呈下降趋势，炭黑N550胶料表现出拉伸强度高、拉断伸长率低的现象。选用高比表面积的炭黑N220及增大其用量，能够有效增大胶料的等效阻尼比，但炭黑用量增大到一定程度后胶料的强度和形变能力会迅速下降。

（3）树脂类增粘剂种类对胶料性能的影响不大，但苯酚乙炔树脂会减小胶料的等效阻尼比。

参考文献：

[1] 袁涌，朱昆，熊世树，等. 高阻尼橡胶隔震支座的力学性能及隔震效果研究[J]. 工程抗震与加固改造，2008，30（3）：15-20.
YUAN Y，ZHU K，XIONG S S，et al. Experimental study on characteristics and isolator effect of high-damping rubber bearing[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting，2008，30（3）：15-20.

[2] 赵贵英. 高阻尼橡胶支座阻尼性能提高的途径[J]. 科技风，2013，2（3）：8.
ZHAO G Y. Ways to improve the damping performance of high damping rubber bearing[J]. Technology Wind，2013，2（3）：8.

[3] 田敏，共混型宽温域高阻尼橡胶材料的制备和性能研究[D]. 广州：华南理工大学，2012.

[4] 王作龄. 日本减震橡胶制品专利锦集[J]. 世界橡胶工业，2001，128（1）：27-32.
WANG Z L. Japanese patent collection of shock absorbing rubber products[J]. World Rubber Industry，2001，128（1）：27-32.

[5] 黄山市尚义橡塑制品有限公司. 改性高阻尼复合材料橡胶支座[P]. 中国：CN 111945553A，2020-11-17.

[6] 牟晓娟，李强，高波，等. NR/BIIR并用胶高阻尼性能的研究[J]. 特种橡胶制品，2021，42（1）：22-25.
MU X J，LI Q，GAO B，et al. Study on high damping properties of NR/BIIR blend[J]. Special Purpose Rubber Products，2021，42（1）：22-25.

[7] 周美慧. 丁基橡胶/杜仲橡胶高阻尼材料的制备与性能研究[D]. 沈阳：沈阳化工大学，2020.

[8] 张永旺.新型高阻尼隔震橡胶支座的研发与性能研究[D].西安：长安大学，2018.

[9] 刘凯，周波，马猛，等. 宽温域高阻尼丁基橡胶的制备[C]. 2017创新驱动加快发展丽水生态工业——新材料学术论坛学术论文集. 杭

州:浙江省复合材料学会、浙江省科学技术协会,2017:6.

[10] 王进,张保生,王三孟,等. 高阻尼橡胶材料研究进展及其在隔振橡胶支座中的应用[J]. 特种橡胶制品,2017,38(3):69-72.
WANG J, ZHANG B S, WANG S M, et al. Research progress of high damping rubber material and the application in vibration isolation rubber bearings[J].Special Purpose Rubber Products,2017,38(3):69-72.

[11] DANNENBERG E M. Bound Rubber and Carbon Black Reinforcement[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1986, 59(3):512–524.

[12] 曾令子,吴力立,熊经雄. 不同粒径炭黑对宽温域高阻尼橡胶材料阻尼和力学性能的影响[J]. 合成橡胶工业,2014,37(2):135-138.
ZENG L Z,WU L L,XIONG J X. Effect of different sizes of carbon black on damping and mechanical properties of high damping rubber blend with wide temperature range[J]. China Synthetic Rubber Industry,2014,37(2):135-138.

[13] BOONSTRA B B, DANNENBERG E M, HECKMAN F A. The effect of structure breakdown of carbon black on rubber properties[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1974, 47(5): 1082–1093.

[14] MEDALIA A I. Elastic modulus of vulcanizates as related to carbon black structure[J]. Rubber Chemistry and Technology,1973,4(4): 877–896.

[15] 杨维建,胡录伟,张苗,等. 均匀增粘剂RH-100在无内胎全钢载重子午线轮胎内衬层胶中的应用[J]. 橡胶科技,2016,14(7):22-25.
YANG W J,HU L W,ZHANG M,et al. Application of homogenizer and tackifier RH-100 in the innerliner compound of tubeless TBR tire[J]. Rubber Science and Technology,2016,14(7):22-25.

[16] 刘杰胜,吴少鹏,李东来,等. 增粘剂对道路嵌缝硅橡胶密封材料性能影响研究[J]. 新型建筑材料,2012,39(3):70-72,85.
LIU J S,WU S P,LI D L,et al. Effect of adhesion promoter on the properties of silicone rubber sealant for pavement expansion joint[J]. New Building Materials,2012,39(3):70-72,85.

[17] 黄红海,张北龙,邓维用,等. 增粘剂对天然橡胶硫化特性及力学性能的影响[J]. 特种橡胶制品,2011,32(6):5-8.
HUANG H H,ZHANG B L,DENG W Y,et al. Effect of viscosity increaser on cure characteristics and mechanical property of natural rubber[J]. Special Purpose Rubber Products,2011,32(6):5-8.

[18] POH B T, KAI W S, AZAHARI B. Adhesion property of crosslinked epoxidized(natural rubber)/(acrylonitrile-butadiene) rubber blend adhesives in the presence of petro resin tackifier[J]. Journal of Vinyl and Additive Technology,2018,24(1):93-98.

[19] LEONG Y C, LEE L M S, GAN S N. The viscoelastic properties of natural rubber pressure-sensitive adhesive using acrylic resin as a tackifier[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2003, 88(8): 2118-2123.

[20] PRICE R B, HARRISON R. Use of a modified rubber dam technique when bonding resin-retained fixed partial dentures[J]. Journal of Prosthetic Dentistry,1989,62(5):616.

[21] 刘桂龙. 均匀增粘剂在BIIR和CIIR/NR中的应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.

收稿日期:2021-05-22

Study on High Damping Compound Formulation for Building Isolation Bearing

LUO Mingming

(Qingdao Agricultural University,Qingdao 266109,China)

Abstract: The high damping compound for building isolation bearings was prepared with natural rubber (NR)/brominated butyl rubber (BIIR) blend as the main material, and the effects of NR/BIIR blending ratio, the type and dosage of carbon black and tackifier type on the properties of the compounds were investigated. The results showed that, the equivalent damping ratio of the compound was improved with the decrease of the NR/BIIR blending ratio, for example, by increasing the dosage of BIIR, but the strength and deformation ability of the compound were reduced. Selecting carbon black N220 which had high specific surface area and increasing its dosage could effectively improve the equivalent damping ratio of the compound. However, when the dosage of the carbon black increased to a certain extent, the strength and deformation ability of the compound would decrease rapidly. The type of resin tackifier had little effect on the properties of the compound, but phenol acetylene resin would reduce the equivalent damping ratio of the compound.

Key words: high damping compound; building isolation bearing; compound formulation; NR; BIIR; equivalent damping ratio