

产品·设计

水平力分散型橡胶支座的胶料配方优化和 极限剪切性能分析

郭勇, 赵雅婷*

(中裕铁信交通科技股份有限公司, 河北 衡水 053000)

摘要: 研究水平力分散型橡胶支座胶料的配方优化、胶粘剂膜厚对胶料与钢板粘合性能的影响以及橡胶支座的水平极限剪切性能。结果表明: 丁苯橡胶(SBR)与天然橡胶(NR)并用和促进剂CBS与DTDM并用可显著提高胶料的抗硫化返原性能和耐热性能, 橡胶支座的胶料优化配方为NR/SBR(并用比为60/40) 100, 炭黑N774 35, 氧化锌 5, 硬脂酸 1.5, 环烷油 15, 防老剂RD 2, 防老剂4010NA 2, 硫黄 1, 促进剂CBS/DTDM(并用比为4/1) 5; 胶粘剂底涂膜厚为10~15 μm 、面涂膜厚为25~30 μm 较适宜; 试制的LNR 600水平力分散型橡胶支座在100%剪切位移、200%剪切位移、300%剪切位移、400%极限剪切位移条件下, 水平刚度分别为0.91、0.85、0.85和0.96 $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$, 水平刚度偏差均在 $\pm 15\%$ 范围内, 满足设计要求。

关键词: 橡胶支座; 水平力分散型; 配方优化; 胶粘剂膜厚; 粘合性能; 抗硫化返原性能; 极限剪切性能

中图分类号: TQ336.4⁺²

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2022)06-0449-06

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2022.06.0449



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

水平力分散型橡胶支座由胶料与钢板叠层硫化而成^[1-6], 其具有以下特点: (1) 竖向刚度大, 以避免建筑物摇摆或垂直共振; (2) 水平刚度小, 可避开地震干扰, 达到隔离建筑物的目的; (3) 水平极限变位能力强, 避免在地震时失效^[7-16]。本工作从胶料的抗硫化返原性能及胶料与钢板粘合强度两方面确定水平力分散型橡胶支座的胶料优化配方以及适宜的胶粘剂胶膜厚, 并对橡胶支座的水平极限剪切性能进行分析。

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR), 牌号SCR WF, 云南农垦集团有限责任公司产品; 丁苯橡胶(SBR), 牌号1502, 中国石化齐鲁分公司产品; 炭黑N774, 上海卡博特

化工有限公司产品。

1.2 试验配方

NR/SBR 100, 炭黑N774 35, 氧化锌 5, 硬脂酸 1.5, 环烷油 15, 防老剂4010NA 2, 防老剂RD 2, 硫黄 1, 促进剂 变品种、变量。

1.3 主要设备和仪器

1.5L Kneader密炼机和KL-6 \times 14型双辊开炼机, 佰弘机械(上海)有限公司产品; XLB-500 \times 500型平板硫化机, 邢台维斯特机械有限公司产品; M-3000A型无转子硫化仪, 高铁检测仪器有限公司产品; WDW-200C型电子拉力机, 上海华龙测试仪器有限公司产品; 401A型热空气老化箱, 江都市精艺试验机械有限公司产品。

1.4 试样制备

将NR和SBR加入密炼机中混炼均匀后, 依次

基金项目: “三三三人才工程”人才培养基金资助项目(A201901117)

作者简介: 郭勇(1976—), 男, 河北衡水人, 中裕铁信交通科技股份有限公司高级工程师, 硕士, 主要从事桥梁和建筑减隔震制品的设计开发工作。

*通信联系人(1253848750@qq.com)

引用本文: 郭勇, 赵雅婷. 水平力分散型橡胶支座的胶料配方优化和极限剪切性能分析[J]. 橡胶工业, 2022, 69(6): 449-454.

Citation: GUO Yong, ZHAO Yating. Compound formula optimization and ultimate shear performance analysis of horizontal force spread type rubber bearing[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(6): 449-454.

加入小料(氧化锌、硬脂酸、防老剂4010NA、防老剂RD)、炭黑N774、环烷油、硫黄、促进剂,混合均匀后胶料排至开炼机上,倒胶3遍后下片。胶料停放12 h后在平板硫化机上硫化,硫化条件为145 °C×20 min。

1.5 性能测试

胶料各项性能均按照相应国家标准测试。

2 结果与讨论

2.1 胶料配方优化

水平力分散型橡胶支座属于厚橡胶制品,其长时间高温硫化会使胶料的交联键断裂而发生硫化返原现象,导致产品性能下降,在橡胶支座承受剪切力时会产生胶料与钢板剥离或胶料开裂现象。

2.1.1 NR/SBR并用比对胶料性能的影响

不同胶种胶料的抗硫化返原性能和耐热性能不同,在相同硫化条件下,SBR、顺丁橡胶(BR)和NR胶料的抗硫化返原性能依次降低,因此在厚橡胶制品长时间硫化过程中,不同胶种胶料的性能变化不同。NR胶料具有优异的力学性能以及与钢板粘合性能,是橡胶支座生产中使用最为广泛的胶料,NR与SBR的并用胶的抗返原性能和耐热性能显著提高。

NR/SBR并用比对胶料硫化特性的影响如表1所示。

表1 SBR/NR并用比对胶料硫化特性的影响
Tab.1 Effect of SBR/NR blending ratios on vulcanization characteristics of compounds

项 目	NR/SBR并用比				
	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60
$F_{\max}/(\text{dN} \cdot \text{m})$	10.48	10.25	10.02	9.86	9.25
$F_{30}^{1)}/(\text{dN} \cdot \text{m})$	8.56	9.15	9.18	9.04	8.56
$R^{2)}/\%$	18.32	10.73	8.38	8.32	7.46
t_{10}/min	0.86	1.06	1.34	1.56	1.75
t_{90}/min	2.56	3.12	3.35	3.69	4.01

注:配方中促进剂CBS用量为5份,测试条件为180 °C×30 min。1)试验结束时转矩;2)转矩降低率(R)= $(F_{\max}-F_{30})/F_{\max}$ 。

胶料的 R 越小,表征胶料的抗硫化返原能力越高。由表1可以看出,随着SBR用量的增大,胶料的 R 减小,表明胶料的抗硫化返原性能提高,在硫化过程中能够更好地保持原有性能,胶料的物理性能不会因长时间的高温硫化而降低。

SBR/NR并用比对胶料物理性能的影响如表2所示。

表2 NR/SBR并用比对胶料物理性能的影响
Tab.2 Effect of NR/SBR blending ratios on physical properties of compounds

项 目	NR/SBR并用比				
	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60
邵尔A型硬度/度	42	43	43	44	43
拉伸强度/MPa	17.6	16.3	14.6	13.6	12.9
拉伸伸长率/%	754	732	716	685	682
压缩永久变形 ¹⁾ /%	14.8	17.6	18.5	20.5	23.8
热空气老化后 ²⁾					
邵尔A型硬度变化/度	+5	+3	+3	+3	+2
拉伸强度变化率/%	-10.3	-9.4	-8.4	-8.1	-7.5
拉伸伸长率变化率/%	-15.6	-13.1	-9.2	-10.4	-8.6

注:配方中促进剂CBS用量为5份。1)70 °C×24 h;2)70 °C×168 h。

从表2可以看出,随着SBR用量的增大,胶料的拉伸强度和拉伸伸长率降低,老化后的拉伸强度变化率和拉伸伸长率变化率减小,表明SBR的加入提高了胶料的抗硫化返原性能和耐热性能。

综合考虑胶料的硫化特性和物理性能,后续试验选用NR/SBR并用比为60/40。

2.1.2 促进剂对胶料性能的影响

硫化体系是影响胶料抗硫化返原性能的重要因素。虽然有效硫化体系可以降低NR胶料的硫化返原趋势,但是减小硫黄用量会降低胶料与钢板的粘合强度及胶料的耐疲劳性能,因此本研究在半有效硫化体系的基础上将硫黄用量减至1份,调整促进剂品种和用量。促进剂对胶料硫化特性的影响如表3所示。

表3 促进剂对胶料硫化特性的影响
Tab.3 Effect of accelerators on vulcanization characteristics of compounds

项 目	促进剂		
	CBS ¹⁾	CBS/DM并用 ²⁾	CBS/DTDM并用 ³⁾
$F_{\max}/(\text{dN} \cdot \text{m})$	10.02	10.35	10.89
$F_{30}/(\text{dN} \cdot \text{m})$	9.18	9.46	10.33
$R/\%$	8.4	7.3	4.6
t_{10}/min	1.34	1.25	1.28
t_{90}/min	3.35	10.00	10.24

注:测试条件为180 °C×30 min。1)促进剂CBS用量为5份;2)促进剂CBS/DM并用比为5/3;3)促进剂CBS/DTDM并用比为4/1。

由表3可以看出:促进剂CBS与DM并用减小了胶料的 R ,提高了胶料的抗硫化返原性能;促进剂CBS与含硫促进剂DTDM并用,使得胶料中单硫键、双硫键、多硫键的构成更加合理,促进剂DTDM的噻唑基对氧化的阻断作用可赋予胶料更优异的抗硫化返原性能,从而胶料可以在高温下长时间硫化。

促进剂对胶料物理性能的影响如表4所示。

表4 促进剂对硫化胶物理性能的影响
Tab. 4 Effect of accelerators on physical properties of compounds

项 目	促进剂		
	CBS ¹⁾	CBS/DM 并用 ²⁾	CBS/DTDM 并用 ³⁾
邵尔A型硬度/度	43	44	46
拉伸强度/MPa	14.6	15.9	17.1
拉伸伸长率/%	716	705	691
压缩永久变形 ⁴⁾ /%	18.5	17.2	17.1
热空气老化后 ⁵⁾			
邵尔A型硬度变化/度	+3	+2	+2
拉伸强度变化率/%	-8.4	-7.9	-3.5
拉伸伸长率变化率/%	-9.2	-8.6	-5.5

注:1)、2)和3)分别同表3的1)、2)和3);4)和5)分别同表2的1)和2)。

由表4可以看出,促进剂CBS与DTDM并用可以赋予胶料良好的物理性能和耐热老化性能。

综合考虑胶料的硫化特性和物理性能,后续试验选用促进剂CBS/DTDM并用比为4/1。

橡胶支座的优化配方为:NR/SBR 100(NR/SBR并用比为60/40),炭黑N774 35,氧化锌 5,硬脂酸 1.5,环烷油 15,防老剂RD 2,防老剂4010NA 2,硫黄 1,促进剂CBS/DTDM 5(促进剂CBS/DTDM并用比为4/1)。

优化配方胶料的硫化曲线(140 °C)如图1所示。

由图1可以看出,优化配方胶料的硫化曲线比较平坦,720 min硫化结束时,优化配方胶料的 R 为5.4%,能够满足橡胶支座长时间高温硫化的工艺需求。

2.2 胶料与钢板的粘合性能分析

2.2.1 胶粘剂膜厚对胶料与钢板剥离强度的影响

胶粘剂选用底涂和面涂结合的双层胶粘剂,

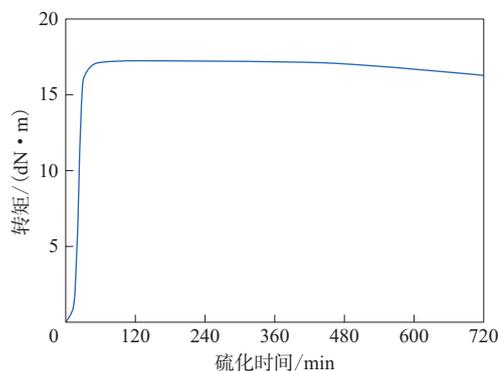


图1 优化配方胶料的硫化曲线

Fig. 1 Vulcanization curve of optimum formula compound
钢板表面经过抛丸处理后涂刷胶粘剂。胶粘剂膜厚对胶料与钢板剥离强度的影响见表5。

表5 胶粘剂膜厚对胶料与钢板剥离强度的影响
Tab. 5 Effect of adhesive film thicknesses on peel strengths between compound and steel plate $N \cdot mm^{-1}$

双层胶粘剂膜厚	硫化条件	
	140 °C × 30 min	140 °C × 300 min
底涂膜厚5~10 μm、面涂膜厚15~20 μm	10.5	8.3
底涂膜厚10~15 μm、面涂膜厚25~30 μm	11.6	9.9
底涂膜厚15~20 μm、面涂膜厚35~40 μm	10.9	8.7

由表5可以看出,在底涂膜厚为10~15 μm、面涂膜厚为25~30 μm的条件下,胶料与钢板的剥离强度最高,且长时间硫化后胶料与钢板的剥离强度下降率最小。分析认为:底涂胶粘剂属于高模量胶粘剂,面涂胶粘剂属于低模量胶粘剂,高模量胶粘剂膜厚较小时,胶膜具有较高的抗张强度,因此底涂膜厚不宜过大;低模量胶粘剂膜厚增大会产生较高的剥离强度,但当膜厚超过一定范围时,胶粘剂本身会发生开裂破坏,从而影响橡胶支座的整体粘合性能。因此,胶粘剂膜厚需要根据工艺条件调试。

2.2.2 胶粘剂膜厚对胶料与钢板剪切模量的影响

胶粘剂膜厚对胶料与钢板剪切模量的影响见表6。

由表6可以看出:随着底涂和面涂膜厚的增大,硫化时间较短时胶料与钢板的剪切模量基本没有变化;当硫化时间延长后,胶料与钢板的剪切

表6 胶粘剂膜厚对胶料与钢板剪切模量的影响

Tab.6 Effect of adhesive film thicknesses on shear modulus of compound and steel plate $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$

双层胶粘剂膜厚	硫化条件	
	140 °C × 30 min	140 °C × 300 min
底涂膜厚5~10 μm、面涂膜厚15~20 μm	0.45	0.36
底涂膜厚10~15 μm、面涂膜厚25~30 μm	0.44	0.42
底涂膜厚15~20 μm、面涂膜厚35~40 μm	0.43	0.38

模量先提高后降低,因此胶粘剂膜厚需要控制在合理范围内,底涂膜厚为10~15 μm、面涂膜厚为25~30 μm较适宜。

2.3 支座性能分析

采用优化配方试制LNR400, LNR600和LNR800水平力分散型橡胶支座,橡胶支座的竖向刚度和水平刚度见表7(剪切位移为100%)。

从表7可以看出,不同规格型号的橡胶支座的

表7 橡胶支座的竖向刚度和水平刚度

Tab.7 Vertical stiffness and horizontal stiffnesses of rubber bearings $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$

项目	LNR 400	LNR 600	LNR 800
竖向刚度	1 350	2 310	3 510
水平刚度	0.65	0.91	1.30

竖向刚度和水平刚度满足设计指标要求。

将LNR 600水平力分散型橡胶支座进行100%剪切位移、200%剪切位移、300%剪切位移和400%极限剪切位移测试,橡胶支座的滞回曲线见图2。

进一步试验得出,LNR 600橡胶支座在100%剪切位移、200%剪切位移、300%剪切位移和400%极限剪切位移下的水平刚度分别为0.91, 0.85, 0.85和0.96 $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。可以看出,随着剪切位移增大,橡胶支座的水平刚度先下降,但当达到极限剪切位移400%时,橡胶支座的水平刚度提高。在不同剪切位移下,橡胶支座的水平刚度偏差在±15%内,满足设计要求。

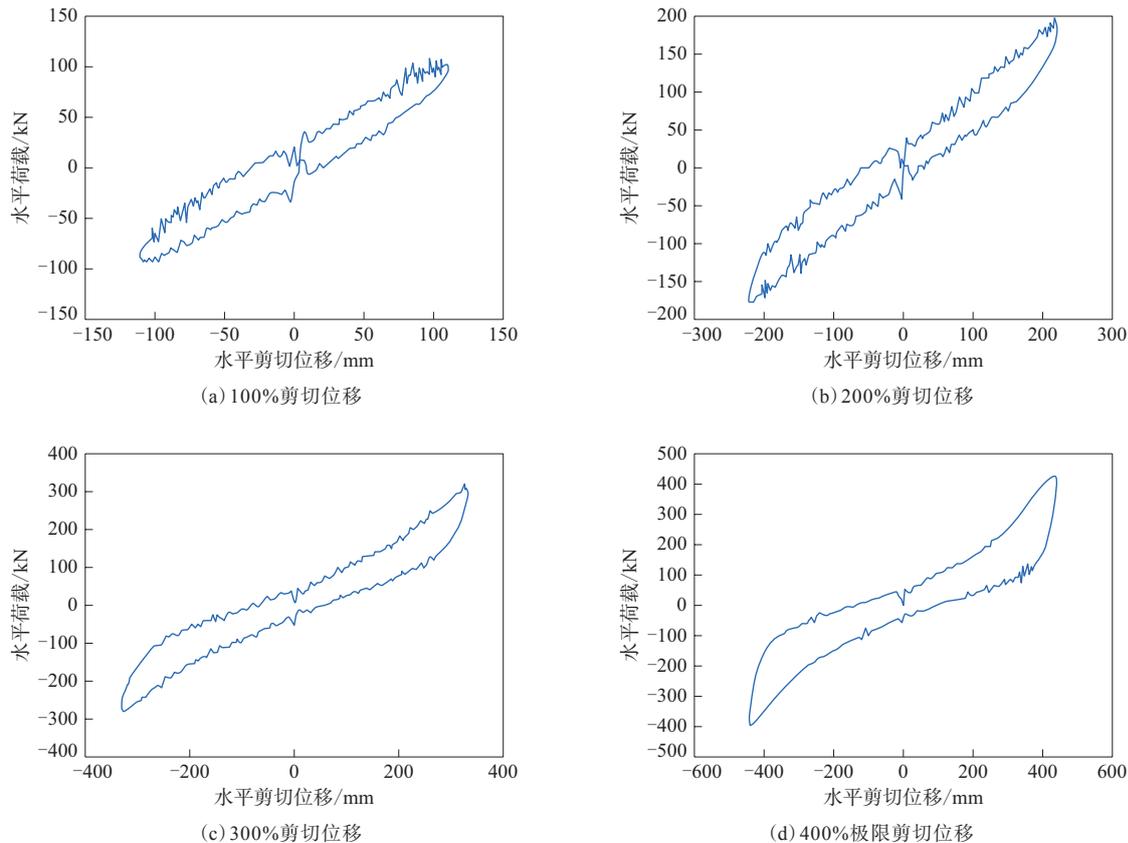


图2 LNR 600橡胶支座在不同剪切位移下的滞回曲线

Fig. 2 Hysteretic curves of LNR 600 rubber bearing under different shear displacements

3 结论

(1) NR与SBR并用和促进剂CBS与DTDM并用,可显著提高水平力分散型橡胶支座胶料的抗硫化返原性能和耐热性能,综合考虑胶料的硫化特性和物理性能,确定橡胶支座胶料优化配方的NR/SBR并用比为60/40,促进剂CBS/DTDM并用比为4/1。

(2) 胶粘剂膜厚影响胶料与钢板的剥离强度和剪切模量,适宜的胶粘剂底涂膜厚为10~15 μm 、面涂膜厚为25~30 μm 。

(3) 试制的LNR 600水平力分散型橡胶支座在100%剪切位移、200%剪切位移、300%剪切位移、400%极限剪切位移条件下,水平刚度分别为0.91, 0.85, 0.85和0.96 $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$,水平刚度偏差均在 $\pm 15\%$ 范围内,满足设计要求。

参考文献:

- [1] 全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会橡胶杂品分技术委员会. 橡胶支座 第2部分: 桥梁隔震橡胶支座: GB/T 20688.2—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [2] International Organization for Standardization. Elastomeric seismic-protection isolators—part 2: Application for bridges specifications: ISO 22762-2—2018[S]. Switzerland: 2018.
- [3] 杜修力, 刘迪, 许成顺, 等. 橡胶支座在浅埋地下框架结构中的减震效果研究[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(10): 1761–1770.
DU X L, LIU D, XU C S, et al. Seismic mitigation effect of shallow-covered underground frame station with rubber bearings[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2021, 43(10): 1761–1770.
- [4] 郭若瑾, 韩新民, 赵永庆, 等. 橡胶隔震支座建筑结构脉动观测与减震性能分析[J]. 地震研究, 2003, 26(2): 201–207.
GUO R J, HAN X M, ZHAO Y Q, et al. Pulsation observation for architectural structure with earthquake-resisting rubber supports and performance analysis of mitigation earthquake for the rubber supports[J]. Journal of Seismological Research, 2003, 26(2): 201–207.
- [5] 高健峰, 李建中, 方志伟. 不同减隔震支座对跨断层桥梁地震响应的影响[J]. 地震工程与工程振动, 2021, 41(4): 48–59.
GAO J F, LI J Z, FANG Z W. Effects of different seismic mitigation or isolation bearings on seismic responses of bridges crossing fault-rupture zones[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2021, 41(4): 48–59.
- [6] 金建敏, 肖骥, 刘彦辉, 等. 不同剪切变形下橡胶隔震支座竖向压缩刚度试验研究[J]. 振动与冲击, 2021, 40(6): 93–99.
JIN J M, XIAO J, LIU Y H, et al. Experimental study on the vertical compressive stiffness of rubber isolation bearings under different shear deformation[J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(6): 93–99.
- [7] 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.
LUO M M. Study on High Damping compound formulation for building isolation bearing[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(11): 843–846.
- [8] 杨静娜, 赵秀英, 卢咏来, 等. 隔震支座用橡胶材料的研究进展[J]. 橡胶工业, 2014, 61(8): 502–506.
YANG J N, ZHAO X Y, LU Y L, et al. Research progress of rubber materials for seismic isolation bearings[J]. China Rubber Industry, 2014, 61(8): 502–506.
- [9] NISHI T, MUROTA N. Elastomeric seismic-protection isolators for buildings and bridges[J]. Chinese Journal of Polymer Science, 2013, 31(1): 50–57.
- [10] 李浩东. 桥梁结构中减隔震橡胶支座的应用分析[J]. 山西建筑, 2019, 45(18): 135–136.
LI H D. Analysis on the application of isolation rubber bearings in bridge structures[J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(18): 135–136.
- [11] 蒲长宇. 铅芯橡胶支座减隔震效果分析[J]. 公路交通技术, 2014(1): 57–62.
PU C Y. Analysis for shock damping and isolating effects of lead core rubber bearing[J]. Technology of Highway and Transport, 2014(1): 57–62.
- [12] 谢文辉, 李礼, 周先林. 高阻尼橡胶材料支座对曲线梁桥的减隔震研究[J]. 中国建材科技, 2016(6): 41–43.
XIE W H, LI L, ZHOU X L. Study on seismic isolation of curved girder bridge with high damping rubber bearing[J]. China Building Materials Science & Technology, 2016(6): 41–43.
- [13] 彭刚辉, 骆鹏. 铅芯橡胶支座在高烈度山区简支梁桥中的减隔震研究[J]. 广东公路交通, 2013(6): 25–28.
PENG G H, LUO P. Study on seismic isolation of lead rubber bearing for simply-supported beam bridge in high seismic intensity mountainous area[J]. Guangdong Highway Communications, 2013(6): 25–28.
- [14] 张骏, 阎贵平. 减隔震支座对梁式桥抗震性能的影响[J]. 中国公路学报, 2002, 15(1): 38–43.
ZHANG J, YAN G P. Effects of isolation bearing on anti-seismic performance of RC beam bridge[J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(1): 38–43.
- [15] 周亚栋, 胡兆同, 邵旭东, 等. 桥梁铅芯橡胶支座减震效果的影响因素研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2008, 35(5): 16–20.
ZHOU Y D, HU Z T, SHAO X D, et al. Research on the influential factors of the aseismic effect of lead rubber bearing used in bridge[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences Edition), 2008, 35(5): 16–20.
- [16] 喻隽雅. 摩擦芯减震橡胶支座桥梁的减震性能研究[D]. 上海: 同济大学, 2019.

Compound Formula Optimization and Ultimate Shear Performance Analysis of Horizontal Force Spread Type Rubber Bearing

GUO Yong, ZHAO Yating

(Zhongyu Tiexin Transportation Technology Co., Ltd., Hengshui 053000, China)

Abstract: The compound formula of the horizontal force spread type rubber bearing was optimized, and the effects of the adhesive film thickness on the adhesion between the compound and steel plate and the ultimate horizontal shear performance of the rubber bearing were studied. The results showed that the vulcanizing reversion resistance and heat resistance of the compound could be significantly improved by blending of styrene butadiene rubber (SBR) / natural rubber (NR) and combination of accelerator CBS and DTDM. The optimized formula of the rubber bearing compound was NR/SBR (blending ratio was 60/40)

100, carbon black N774 35, zinc oxide 5, stearic acid 1.5, naphthenic oil 15, antioxidant RD 2, antioxidant 4010NA 2, sulfur 1, and accelerator CBS/DTDM (blending ratio was 4/1) 5. It was suitable that the primer coating adhesive film thickness was 10~15 μm , and surface coating adhesive film thickness was 25~30 μm . Under the conditions of 100% shear displacement, 200% shear displacement, 300% shear displacement and 400% ultimate shear displacement, the horizontal stiffness of the trial LNR 600 horizontal force spread type rubber bearing was 0.91, 0.85, 0.85 and 0.96 $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ respectively, and all horizontal stiffness deviations were within $\pm 15\%$, which met the design requirements.

Key words: rubber bearing; horizontal force spread type; formula optimization; adhesive film thickness; adhesion; vulcanizing reversion resistance; ultimate shear performance

专利2则

由上海仓铄实业有限公司申请的专利(公布号 CN 113861924A, 公布日期 2021-12-31)“一种电子元件用耐热耐水解型橡胶高分子复合型胶粘剂”, 涉及的胶粘剂配方为: 氯丁橡胶 10~20, 聚酯多元醇 50~75, 固化剂 10~15, 抗氧剂 1~3, 成膜助剂 1~3, 增稠剂 1~3, 消泡剂 1~3。其中, 聚酯多元醇采用多元醇、芳香多元酸以及催化剂经过酯化、缩聚反应制得, 多元醇包括二甘醇、新戊二醇、1,6-己二醇、乙二醇, 芳香多元酸包括间苯二甲酸、对苯二甲酸、癸二酸、己二酸, 固化剂采用三羟甲基丙烷-甲苯二异氰酸酯加成物。该发明通过聚酯多元醇有效提高了橡胶大分子的耐高温性能和耐水渗透性能, 其与固化剂相结合赋予胶粘剂高耐热性能和耐水渗透性能。

由赛轮集团股份有限公司申请的专利(公布号 CN 113817237A, 公布日期 2021-12-21)

“羟甲基化木质素改性新癸酸钴/天然橡胶共沉胶的制备方法及应用”, 提供了一种羟甲基化木质素改性新癸酸钴/天然橡胶共沉胶的制备方法, 包括: 在超声处理和第一溶剂的条件下, 将羟甲基木质素与新癸酸钴混合均匀, 得到羟甲基木质素改性新癸酸钴; 在第二溶剂中, 将羟甲基木质素改性新癸酸钴与天然橡胶发生凝聚反应, 然后进行开炼, 得到羟甲基木质素改性新癸酸钴/天然橡胶共沉胶。采用该羟甲基木质素改性新癸酸钴/天然橡胶共沉胶能够大幅提高橡胶制品的耐湿热老化性能和粘合力, 同时可减小钴盐用量, 降低橡胶制品的生产成本。

(本刊编辑部 赵敏)