

产品结构对轨道车辆橡胶弹性元件防火性能的影响

宋红光, 曹江勇*, 王付胜, 王术栋

(中车青岛四方车辆研究所有限公司 减振事业部, 山东 青岛 266031)

摘要: 研究产品结构对轨道车辆橡胶弹性元件防火性能的影响。通过模拟橡胶弹性元件结构, 对不同类型的橡胶-金属结构试样的防火性能试验得出: 当橡胶面积占比相同时, 橡胶中有金属隔板的试样的防火性能明显改善, 金属隔板越多, 防火性能越好; 随着橡胶面积占比的减小, 不同结构试样的最大烟密度和最大平均热释放速率均减小, 防火性能均提高; 橡胶中无金属隔离的试样在橡胶面积占比小于60%时, 其防火性能可达到EN 45545-2的HL2等级要求, 橡胶中有两块金属隔板或橡胶中心有金属柱体的试样在橡胶面积占比达到80%时, 其防火性能仍可达到EN 45545-2的HL2等级要求。

关键词: 轨道车辆; 橡胶弹性元件; 产品结构; 橡胶面积占比; 金属隔板; 防火性能

中图分类号: TQ336.4⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2020)06-0443-06

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2020.06.0443



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轨道车辆作为一种公共交通工具, 其防火性能一直受到人们的重视。为保证轨道车辆的防火安全性, 世界许多国家制定了轨道车辆的防火安全性能标准, 其中主要有NF F16-10, BS 6853, DIN 5510和EN 45545-2等。欧盟在2013年颁布的EN 45545-2《轨道应用 轨道车辆防火 第2部分: 材料和元件的防火性能要求》是目前应用最多的防火标准。标准对轨道车辆各部件包括轨道车辆橡胶弹性元件提出了对应的防火性能要求。

橡胶弹性元件具有多向刚度、一定的阻尼性能和结构空间较小的优点, 在轨道车辆中被大量采用, 以达到减振降噪的目的, 为确保轨道车辆的正常运行发挥了重要作用^[1]。橡胶弹性元件由橡胶与金属材料复合而成, 其中橡胶一般为天然橡胶(NR)或其并用胶。由于橡胶大多可燃, 大量使用会存在火灾隐患。因此, 橡胶弹性元件的防火性能也受到广泛关注^[2]。

为使轨道车辆橡胶弹性元件达到相关的防火标准要求, 国内外学者和产品制造商均对其所用橡胶的阻燃性能进行了改进研究。例如张国文

等^[3]针对复合阻燃剂FR105在NR中的应用进行了研究, 结果发现, 橡胶弹性元件对橡胶的强度、耐疲劳性能以及抗永久变形性能等物理性能均有很高的要求, 通过添加阻燃剂FR105使NR阻燃性能达到要求后, NR的物理性能又无法满足产品的应用要求。因此, 目前对如何使橡胶弹性元件达到防火标准要求仍是一个难题^[4]。

EN45545-2虽然规定了橡胶弹性元件的性能要求和测试方法, 但对试样制备的规定不是非常明确。在实际测试中, 一般按最危险的情况考虑, 也就是直接测试橡胶的防火性能。而橡胶弹性元件的橡胶实际会被金属包裹或限制, 金属构件也会对其防火性能产生一定影响。另一方面, 在防火测试中实际制取试样的橡胶面积可能小于要求测试产品的橡胶面积。因此, 如果仅评估橡胶的防火性能无法反映橡胶弹性元件的实际防火性能。目前, 对产品结构对橡胶弹性元件防火性能的影响并没有深入研究。本工作针对产品结构的试样, 对橡胶弹性元件的防火性能进行试验对比, 研究金属构件对防火性能的影响规律, 从而为合理评估橡胶弹性元件的防火性能提供参考。

1 橡胶弹性元件的产品结构

轨道车辆橡胶弹性元件包括应用于各种轨道

作者简介: 宋红光(1979—), 男, 山东潍坊人, 中车青岛四方车辆研究所有限公司教授级高级工程师, 硕士, 主要从事轨道车辆减振悬挂系统技术的研究与产品开发工作。

*通信联系人(jiangyong_27@163.com)

车辆悬挂系统、设备安装系统、连接部位、限位部位等起减振、缓冲、柔性连接、限位作用的橡胶部件^[5]。橡胶弹性元件常见的种类有锥形弹簧、V形弹簧、叠层弹簧、叠层弹簧、沙漏弹簧、弹性节点和止挡等，

其结构如图1所示。橡胶弹性元件结构复杂，且大部分是由橡胶与金属复合而成，因此对其进行防火性能测试时应充分考虑产品结构对防火性能的影响。

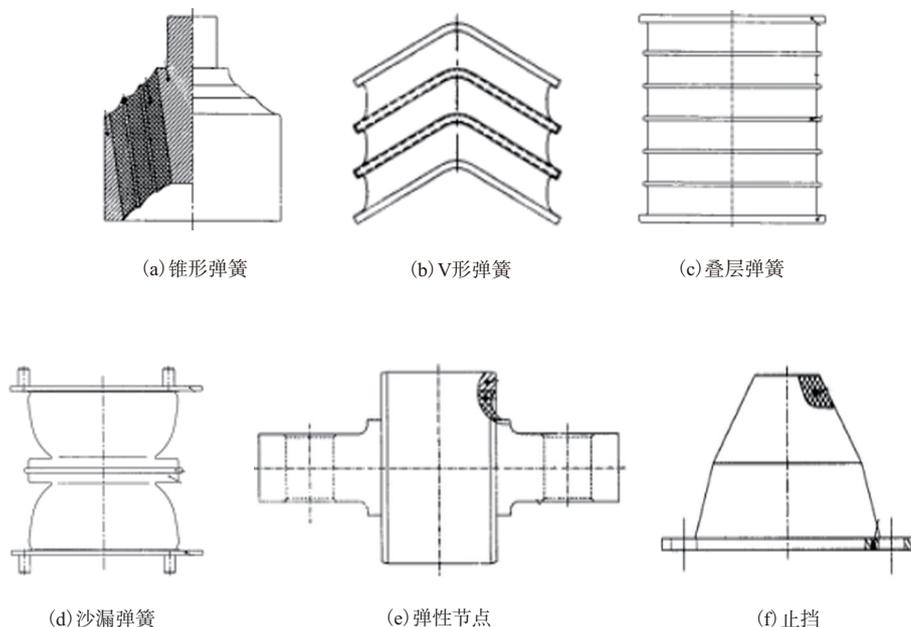


图1 橡胶弹性元件的产品结构示意图

2 EN 45545-2对橡胶弹性元件的试样制备和防火性能要求

2.1 试样制备

EN 45545-2对橡胶弹性元件试样制备的要求总体是尽量反映产品最终使用条件。

EN 45545-2中关于试样制备的主要描述如下。

(1) 4.2条关于防火试样的描述中提及“应在最终使用条件下对多层产品进行测试”。

(2) 5.3条规定“应在实际厚度状态下进行试验；如果实际厚度超过适用标准中规定的试样最大厚度，则从试样背面切除多余部分来减小厚度；试样暴露面应处于最终使用环境状况”。

(3) 在附录D中描述“试样应代表测试产品，试样制备应采用产品制备相同的材料和工艺，同时只要可能，试样应在使用过程中保持相同的厚度和密度”。

(4) 最大平均热释放速率(MARHE)规定“如材料或复合材料在使用时与特定的基材相接触，

试验时也应将基材加上”。

综上所述，进行防火性能测试的试样应是用产品直接制取或在实验室制备时模拟产品结构和实际应用状态。只有对这样的试样进行防火测试，才能真实地反映橡胶弹性元件的实际防火性能。

2.2 防火性能

EN 45545-2将橡胶弹性元件分为机械设备中的M1，要求按照R9的规定进行测试和分级。R9对橡胶弹性元件的MARHE和最大烟密度做出了规定，防火等级从HL1到HL3逐渐提高，具体要求如表1所示。

表1 EN 45545-2对轨道车辆橡胶弹性元件防火性能的要求

项 目	防火等级			试验方法
	HL1	HL2	HL3	
MARHE/ (kW·m ⁻²)	90	90	60	EN ISO 5660-1:25
最大烟密度		600	300	EN ISO 5659-2:25

3 结果与讨论

橡胶弹性元件的结构一般比较复杂,往往无法用产品直接制取符合标准测试要求的平整试样。因此,需要在实验室制备试样以对实际产品的防火性能进行表征。由于绝大多数橡胶弹性元件的橡胶厚度均超过 50 mm,因此本研究中所有 MARHE 测试试样的厚度均为 50 mm,最大烟密度测试试样的厚度均为 25 mm。

3.1 橡胶在试样中间时橡胶面积占比和橡胶形状对试样防火性能的影响

3.1.1 试样描述

用实际产品制取试样时,不同截面试样的面

积占比不同,橡胶形状也不同。这种情况可能在较薄的叠层弹簧和 V 形弹簧、较大的弹性节点以及橡胶部分较薄的锥形弹簧上出现。

在本组试验中研究相同橡胶形状试样的橡胶面积占比对其防火性能的影响,同时对比相同橡胶面积占比试样的橡胶形状对其防火性能的影响。

这两种类型试样的橡胶分别被金属板包围和夹在两块金属板中间,橡胶的形状有正方形和长方形两种,对应的试样分别标记为类型 1 和类型 2,试样中橡胶面积占比分别为 20%, 40%, 60%, 70%, 80% 和 100%, 如图 2 和 3 所示。

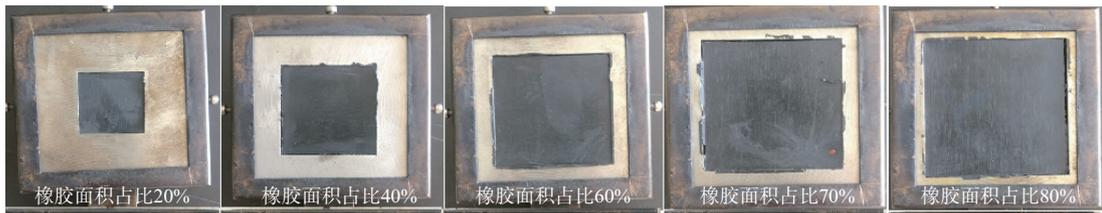


图 2 类型 1 试样

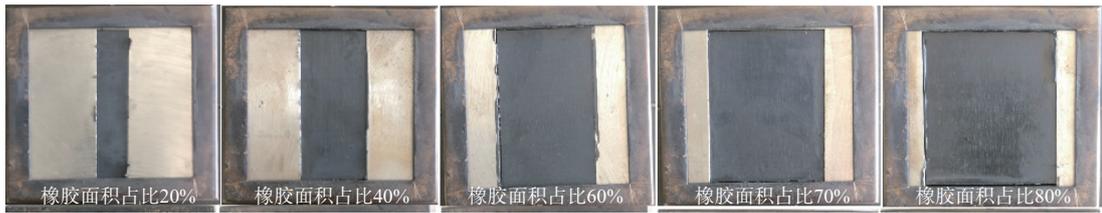


图 3 类型 2 试样

3.1.2 测试结果

橡胶面积占比对类型 1 和 2 试样最大烟密度和 MARHE 的影响分别如图 4 和 5 所示。

从图 4 和 5 可以看出,两种试样的防火性能基

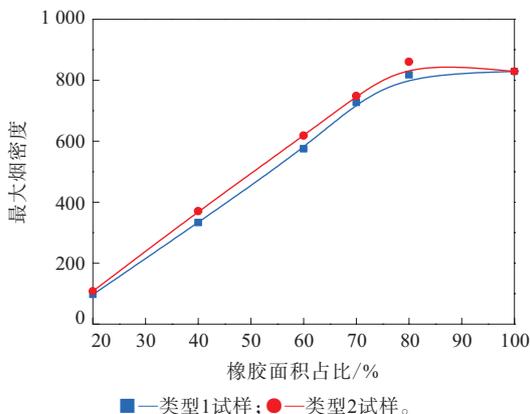


图 4 橡胶面积占比对类型 1 和 2 试样最大烟密度的影响

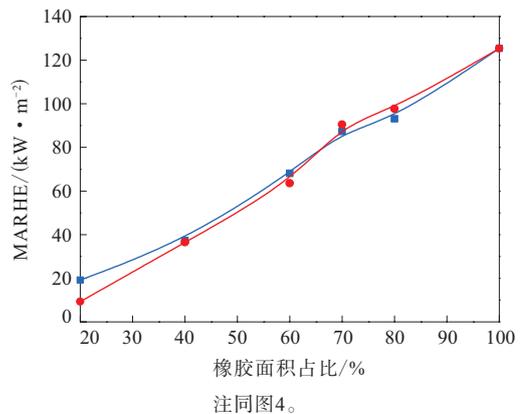


图 5 橡胶面积占比对类型 1 和 2 试样 MARHE 的影响

本一致,说明试样中橡胶形状对其防火性能影响很小。随着橡胶面积占比的减小,试样的最大烟密度和 MARHE 均近似呈线性减小;当橡胶面积占比达到 80% 以上时,试样的最大烟密度达到设备的

测试能力极限,测试值不再变化;当橡胶面积占比为60%时,试样的最大烟密度约为600, MARHE约为 $70 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$,可达到EN 45545-2的HL2等级要求。也就是说,针对测试配方,橡胶面积占比小于60%的试样的防火性能可达到EN 45545-2的HL2等级要求。

3.2 橡胶中有金属隔板时橡胶面积占比对试样防火性能的影响

3.2.1 试样描述

为达到特定的性能要求,橡胶弹性元件,例如锥形弹簧、叠层弹簧和弹性节点等常常会在橡胶中加入金属板。本组试验对有金属隔板的橡胶弹

性元件进行模拟,研究橡胶中有金属隔板时不同橡胶面积占比试样的防火性能,并与未加金属隔板的试样(类型2试样)进行对比,研究金属隔板对防火性能的影响。

该类型试样是在类型3试样的基础上在橡胶中加两块金属隔板,标记为类型3试样。试样中橡胶面积占比分别为20%,40%,60%,70%和80%,如图6所示。

3.2.2 测试结果

橡胶面积占比对类型3试样最大烟密度和MARHE的影响分别如图7和8所示。

从图7和8可以看出,与橡胶中无金属隔板的

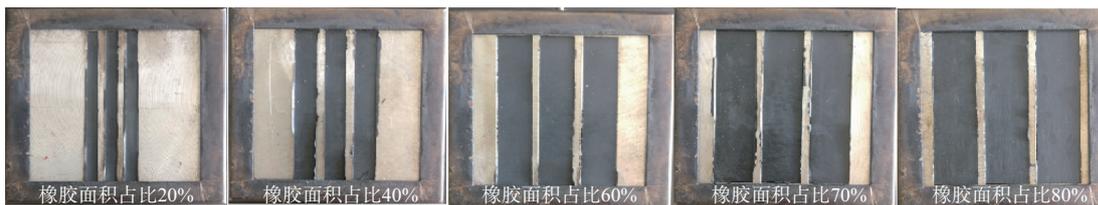


图6 类型3试样

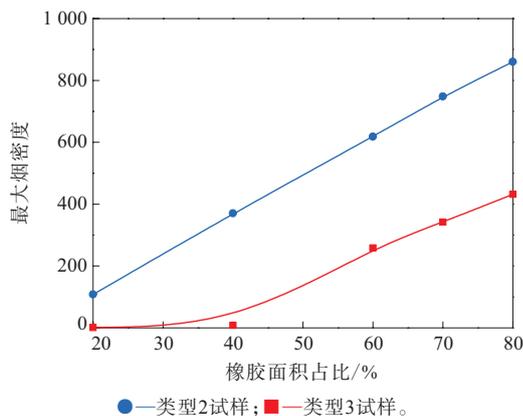


图7 橡胶面积占比对类型3试样最大烟密度的影响

试样相比,橡胶中有金属隔板的试样的最大烟密度和MARHE均减小,橡胶中有金属隔板试样的防火性能优于橡胶中无金属隔板的试样,防火性能明显提高。当橡胶面积占比小于40%时,橡胶中有金属隔板的试样未燃;当橡胶面积占比小于60%时,试样的防火性能满足EN 45545-2的HL3等级要求;当橡胶面积占比为40%~80%时,随着橡胶面积占比的减小,试样的最大烟密度和MARHE均呈线性减小趋势;当橡胶面积占比达到80%时,试样的防火性能仍可满足EN 45545-2的HL2等级要求。也就是说,橡胶中有金属隔板的橡胶弹性元件的防火

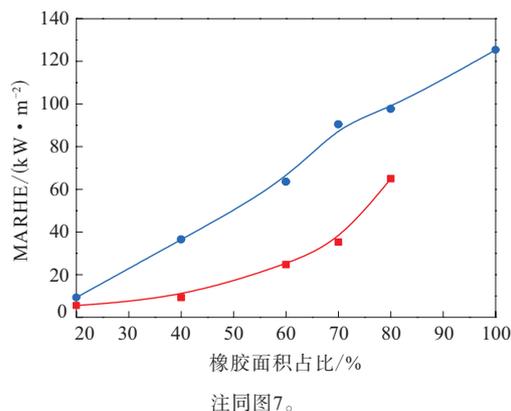


图8 橡胶面积占比对类型3试样MARHE的影响

性能明显优于橡胶中无金属隔板的橡胶弹性元件,体现出金属隔板对橡胶燃烧的限制作用。

3.3 橡胶中心有金属柱体时橡胶面积占比对试样防火性能的影响

3.3.1 试样描述

有些橡胶弹性元件的橡胶中心放置金属柱体。本组试验研究橡胶中心有方形金属柱体的试样的防火性能以及不同橡胶面积占比试样的防火性能变化规律,试样标记为类型4。该类型试样的橡胶呈环形分布,橡胶面积占比分别为20%,40%,60%,70%和80%,如图9所示。

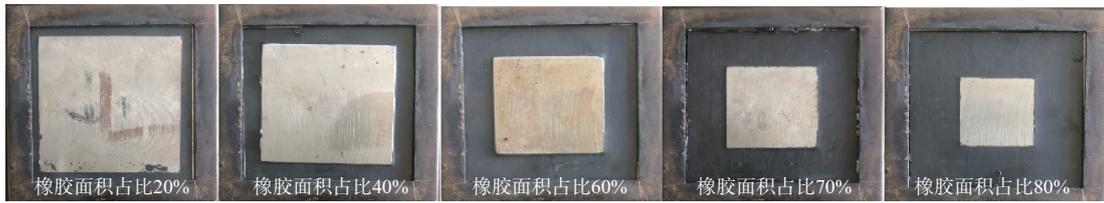


图9 类型4试样

3.3.2 测试结果

橡胶面积占比对类型4试样最大烟密度和MARHE的影响分别如图10和11所示。

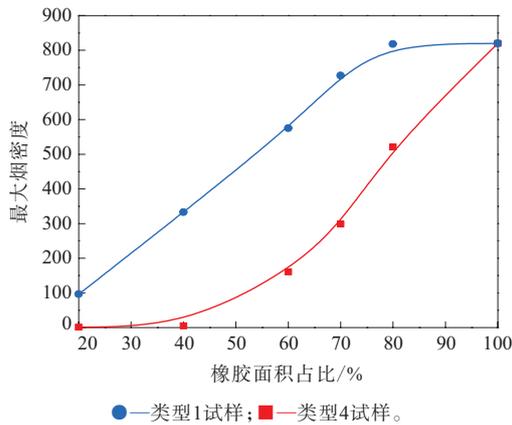


图10 橡胶面积占比对类型4试样最大烟密度的影响

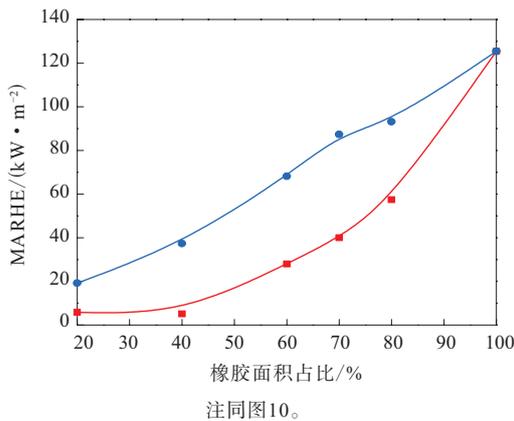


图11 橡胶面积占比对类型4试样MARHE的影响

从图10和11可以看出,当橡胶中心放置方形金属柱体后,试样的最大烟密度和MARHE均减小,防火性能明显提高。当橡胶面积占比小于40%时,试样未燃;当橡胶面积占比小于70%时,试样的防火性能满足EN 45545-2的HL3等级要求;当橡胶面积占比为40%~80%时,随着橡胶面积占比的增大,试样的最大烟密度和MARHE均呈线性增大;当橡胶面积占比达到80%时,试样的防火性能

仍可满足EN 45545-2的HL2等级要求。

橡胶中心放置金属柱体对试样的燃烧也起到了限制作用,提高了试样的阻燃性能。对于橡胶中心有金属柱体的弹性节点类产品,其防火性能明显优于纯橡胶类产品的防火性能。

3.4 试样中金属隔板数量对试样防火性能的影响

3.4.1 试样描述

橡胶弹性元件经常采用金属隔板调整产品的性能,因此各类产品的金属隔板数量不同,需要研究金属隔板数量对橡胶弹性元件防火性能的影响。

本组试验中设定试样的橡胶面积占比为80%,在类型2试样的基础上橡胶中分别设置0,1,2和3块金属隔板,标记为类型5试样,如图12所示。

3.4.2 测试结果

当橡胶中金属隔板数量分别为0,1,2和3块时,试样的最大烟密度分别为860,634,432和293; MARHE分别为97.7,74.7,65.0和34.9 $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 。可以看出,随着橡胶中金属隔板数量的增加,试样的最大烟密度和MARHE呈线性减小趋势。当橡胶中金属隔板为1块时,试样的防火性能已经接近EN 45545-2的HL2等级要求上限;当橡胶中金属隔板为2块时,试样的防火性能可以满足EN 45545-2的HL2等级要求;当橡胶中金属隔板为3块时,试样的防火性能达到EN 45545-2的HL3等级要求。

本试验说明橡胶中金属隔板对橡胶弹性元件的防火性能的改善效果非常明显,在发生火灾时,橡胶中金属隔板较多的橡胶弹性元件的防火性能显著提高,可降低火灾风险。因此,在橡胶弹性元件设计时,可在橡胶中增加金属隔板或其他金属隔离的方法以提高其防火性能。

3 结论

(1) 通过模拟橡胶弹性元件结构,对不同类型橡胶-金属结构试样的防火性能进行试验发现,试

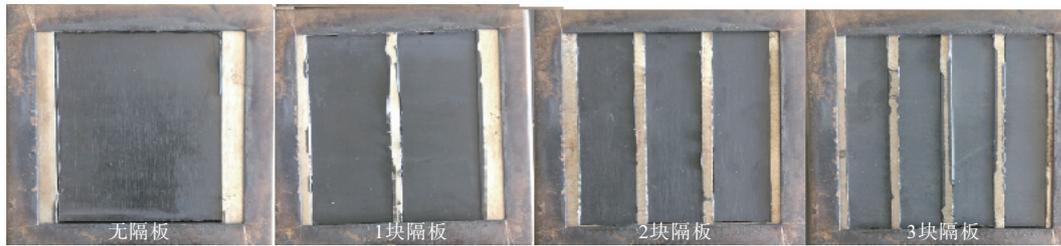


图12 类型5试样

样结构对其防火性能的影响很大。当橡胶面积占比相同时,橡胶中无金属隔板的试样的防火性能基本一致。在橡胶中有金属隔板或橡胶中心有金属柱体时,试样的防火性能明显提高,且随着橡胶中金属隔板数量的增加,试样的防火性能提高。当橡胶中有2块金属隔板时,试样的防火性能满足EN 45545-2的HL2等级要求。

(2)随着橡胶面积占比的减小,不同结构试样的最大烟密度和MARHE均减小,防火性能均提高。橡胶中无金属隔离的试样在橡胶面积占比小于60%时防火性能可达到EN 45545-2的HL2等级要求,橡胶中有两块金属隔板或橡胶中心有金属柱体的试样在橡胶面积占比达到80%时防火性能仍可达到EN 45545-2的HL2等级要求。

(3)试验表明,不能仅从橡胶的阻燃性能考量橡胶弹性元件的防火性能,橡胶弹性元件的金属构件可以显著影响其防火性能。

参考文献:

- [1] 荣继刚,黄友剑,程海涛,等.轨道交通橡胶减振元件未来技术发展的探讨[J].机电传动,2013(1):14-16.
- [2] 梁君梅,张洁,林建辉,等.高速列车性能化防火设计方法研究[J].铁路节能环保与安全卫生,2012,2(3):151-155.
- [3] 张国文,贺春江,赵云行,等.复合阻燃剂FR105在天然橡胶中的应用研究[J].橡胶工业,2018,65(10):1129-1132.
- [4] 颜渊巍,黄自华,秦伟,等.轨道车辆减振橡胶材料阻燃改性研究进展[J].橡胶科技,2017,15(10):9-13.
- [5] 中国铁道科学院标准计量研究所.机车车辆用弹性元件通用技术条件:TB/T 2843—2015[S].北京:中国铁道出版社,2016.

收稿日期:2020-02-24

Influence of Product Structure on Fire Resistance of Elastic Rubber Components of Rail Vehicles

SONG Hongguang, CAO Jiangyong, WANG Fusheng, WANG Shudong
(CRRC Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd, Qingdao 266031, China)

Abstract: The influence of product structure on the fire resistance of elastic rubber components of rail vehicles was studied. By simulating the structure of elastic rubber components, the fire resistance tests of the samples with different types of rubber-metal structure showed that when the proportion of rubber area was the same, the fire resistance of the samples with metal partition in rubber was obviously improved, and the more metal partition was, the better the fire resistance was. As the proportion of rubber area decreased, the maximum smoke density and the maximum average heat release rate of the samples with different structures decreased, and the fire resistance was improved. When the proportion of rubber area of the sample without metal isolation was less than 60%, the fire resistance of the sample could meet the HL2 requirements of EN 45545-2. When the proportion of rubber area of the sample with two metal partitions in rubber or metal cylinder in rubber center reached 80%, the fire resistance of the sample could still meet the HL2 requirements of EN 45545-2.

Key words: railway vehicle; elastic rubber component; product structure; proportion of rubber area; metal partition; fire resistance