

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.07.006

聚酰胺弹性体基永久性抗静电剂改性 EVAC 复合材料制备及性能

龚舜¹, 桂源¹, 邓建平¹, 李玉才², 吴鑫², 冯新星³, 王操², 潘凯¹

(1. 北京化工大学材料科学与工程学院, 北京 100029; 2. 德州市鑫华润科技股份有限公司, 山东德州 253000;

3. 军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所, 北京 100010)

摘要: 通过熔融共混方法, 以聚酰胺弹性体基永久性抗静电剂、乙烯-乙酸乙烯酯塑料 (EVAC)、增容剂乙烯-乙酸乙烯酯塑料接枝马来酸酐 (EVAC-g-MAH) 为原料, 制备 EVAC 抗静电复合材料。采用动态热机械分析仪和扫描电子显微镜分析复合材料的相容性, 使用高阻计、电子万能试验机对复合材料的抗静电性能和力学性能进行表征, 最后通过耐水洗测试表征了复合材料抗静电性能的稳定性。结果表明, EVAC-g-MAH 的引入可以提升复合材料的相容性, 而永久性抗静电剂的加入不仅能够有效降低复合材料的表面电阻率, 而且能提升复合材料的力学性能。当永久性抗静电剂和 EVAC-g-MAH 的添加量分别为 20 份和 5 份时, 复合材料的表面电阻率为 $2.24 \times 10^{10} \Omega$, 拉伸强度和断裂伸长率分别提高了 21.9%, 31.0%。经过 7 d 的耐水洗性能测试, 复合材料的表面电阻率没有明显变化, 表明该材料具有优异的抗静电稳定性。

关键词: 乙烯-乙酸乙烯酯塑料; 永久性抗静电剂; 相容性; 抗静电性能; 力学性能

中图分类号: TQ317.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)07-0034-06

Preparation and Performance of EVAC Composite Modified by Polyamide Elastomer-based Permanent Antistatic Agent

Gong Shun¹, Gui Yuan¹, Deng Jianping¹, Li Yucai², Wu Xin², Feng Xinxing³, Wang Cao², Pan Kai¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;

2. Dezhou Xinhuan Technology Co., Ltd., Dezhou 253000, China; 3. Institute of Quartermaster Engineering and Technology of
System Engineering Research Institute, PLA Academy of Military Sciences, Beijing 100010, China)

Abstract: Ethylene-vinyl acetate plastic (EVAC) antistatic composite were prepared by melt blending of polyamide elastomer-based permanent antistatic agent, EVAC, and compatibilizer EVAC grafted maleic anhydride (EVAC-g-MAH). The compatibility of the composite was analyzed with the help of dynamic thermomechanical analyzer and scanning electron microscope. The antistatic properties and mechanical properties of the composite were characterized by the high resistance meter and the electronic universal testing machine, and the stability of antistatic performance of the composite was characterized by the washing resistance test. The results show that the introduction of EVAC-g-MAH can improve the compatibility. And the addition of permanent antistatic agent can not only effectively reduce the surface resistivity of the composite, but also improve the mechanical properties of composite. The surface resistivity of the composite is $2.24 \times 10^{10} \Omega$ when the addition amount of permanent antistatic agent and EVAC-g-MAH are 20 phr and 5 phr, respectively. Meanwhile, the tensile strength increases by 21.9% and the elongation at break increases by 31.0%. After 7 d of washing-resistance test, the surface resistivity of the composite do not change significantly, indicating that the composite has excellent antistatic stability.

Keywords: ethylene-vinyl acetate plastic; permanent antistatic agent; compatibility; antistatic performance; mechanical property

基金项目: 山东省重大科技创新项目 (2019JZZY020218)

通信作者: 潘凯, 教授, 主要研究方向是新型尼龙树脂及其复合材料

收稿日期: 2021-05-12

引用格式: 龚舜, 桂源, 邓建平, 等. 聚酰胺弹性体基永久性抗静电剂改性 EVAC 复合材料制备及性能 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(7): 34-39.

Gong Shun, Gui Yuan, Deng Jianping, et al. Preparation and performance of EVAC composite modified by polyamide elastomer-based permanent antistatic agent[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(7): 34-39.

随着社会发展与科技进步,高分子材料得益于其轻质、比强度高、易于改性的特点,近年来得以迅速发展,不断有新品种及改性材料被开发出来,用以满足不同环境下的使用需求。但高分子材料容易在表面积累电荷并发生放电现象,尤其是在电子工业中,静电会造成电子元器件的损坏并对人身安全造成危害,在一些特定环境下大量的电荷积累甚至容易引发火灾以及爆炸,因此如何对高分子材料进行电荷释放也一直是科研工作者关注的重点^[1-2]。

目前对高分子材料进行抗静电改性的最主要方法还是使用炭黑或者金属基导电填料与高分子材料进行熔融共混制备得到抗静电复合材料^[3-5],但是通过这些方法得到的材料,会因为填料的加入使得材料的力学性能发生变化,特别是材料的韧性容易受到影响,并且其耐久性较差,容易在使用过程中发生填料析出,从而影响材料的抗静电性能和长期使用性^[6]。相比之下,高分子永久性抗静电剂具有许多突出的优势,如抗静电长效性好、不脱落析出、对空气的相对湿度依赖性小、对力学性能和加工性能影响较小等^[7]。因此目前许多研究人员对高分子永久性抗静电剂进行了研究与开发^[8-9],尤其是选用聚醚型聚酰胺弹性体作为基体,通过聚醚与无机盐的配位络合,在聚合物体系中形成导电通路制备得到高分子永久性抗静电剂^[10-11],并将其与不同材料共混制备得到永久性抗静电复合材料^[12-13]。

乙烯-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)及其发泡材料具有良好的缓冲、抗震、隔热、防潮等优点,且无毒、不吸水,被广泛应用于各种鞋材、体育用品和包装材料等^[14-15]。通过对EVAC材料进行抗静电改性能够使其具有更加广泛的应用,特别是在一些高端设备的生产和存储环境中,如武器装备和医疗设施制造、无尘实验室、芯片、高端电子产品与仪器的内包装等,使用抗静电EVAC及其发泡材料制备的各种封装材料和鞋材除具有轻质的优点外,还能有效去除积累的静电,从而保障人员及设备的安全。

国内外涉及到EVAC抗静电材料的研究大体上可以分为两种:一种是只包含少量EVAC的多元基体复合材料,主要的基体材料都是其它高分子材料,如高密度聚乙烯(PE-HD)^[16-17];而另一种是以EVAC为主乃至全部基材的抗静电研究基本上都是采用炭黑、石墨烯或金属基导电填料等来对EVAC进行抗静电改性^[18-19],因此所得材料并不具有永久性抗静电的特性,而且会因为填料的加入而使得材

料的力学性能下降,这也限制了它们的应用。笔者采用聚酰胺弹性体基永久性抗静电剂对EVAC材料进行熔融共混改性,所得材料不仅具有永久性抗静电的特性,而且其力学性能也得到了很大程度的提升。因此该永久性抗静电改性EVAC复合材料具有优良的应用前景。首先考察了增容剂EVAC接枝马来酸酐(EVAC-g-MAH)对复合材料多种性能的影响并确定了最佳的增容剂添加配比,并在此基础上着重探究了引入的聚酰胺弹性体基永久性抗静电剂对复合材料抗静电性能、力学性能以及耐水洗性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

EVAC:7470M,乙酸乙烯酯质量分数为26%,台湾塑料工业股份有限公司;

聚酰胺弹性体基永久性抗静电剂:MH2030,法国阿科玛公司;

EVAC-g-MAH:TRD-200A,扬州市仪征斯瑞达塑业有限公司;

抗氧剂:Irganox 1010,德国巴斯夫公司。

1.2 主要仪器与设备

双螺杆挤出机:SHJ-36型,配备水下切粒装置,南京杰亚挤出装备有限公司;

微型注塑机:WZS10型,上海新硕精密机械有限公司;

鼓风干燥箱:DHG9053A型,上海精宏实验设备有限公司;

动态热机械分析(DMA)仪:Q800型,美国TA仪器公司;

场发射扫描电子显微镜(SEM):S-4800型,日本日立公司;

高阻计:6517B型,美国吉时利公司;

电子万能试验机:CMT-4104型,深圳三思纵横科技股份有限公司。

1.3 试样制备

首先将聚酰胺弹性体基永久性抗静电剂(简称永久性抗静电剂)、EVAC和EVAC-g-MAH放入50℃鼓风干燥箱中干燥8h,以去除原料中的水分,之后按照表1配方称量样品并放入高速混合机中混合均匀,随后将混合均匀的物料使用双螺杆挤出机进行共混挤出,并经水下切粒装置造粒。双螺杆挤出机8区温度分别为140,140,150,150,150,155,160℃和165℃,主机转速为150 r/min。

表1 EVAC 抗静电复合材料配方 份

试样编号	EVAC	EVAC-g-MAH	永久性抗静电剂	抗氧剂
1 [#]	100	0	0	0
2 [#]	100	0	25	0.1
3 [#]	97.5	2.5	25	0.1
4 [#]	95	5	25	0.1
5 [#]	92.5	7.5	25	0.1
6 [#]	90	10	25	0.1
7 [#]	99	1	5	0.1
8 [#]	98	2	10	0.1
9 [#]	97	3	15	0.1
10 [#]	96	4	20	0.1
11 [#]	0	0	100	0

将得到的塑料粒子在 50℃鼓风干燥箱中干燥 8 h,烘干后使用微型注塑机进行注塑,注塑温度为 170℃,模具温度为 40℃,保压时间为 8 s,制备得到长为 75 mm、宽为 6 mm、厚为 2.2 mm 的哑铃状样条以及直径为 57 mm、厚度为 4 mm 的圆片样品。

1.4 性能测试与表征

DMA 测试: 利用 DMA 仪对样品进行动态力学性能表征,使用单悬臂夹具,扫描温度为 -100 ~ 150℃,升温速率为 3℃/min,频率为 1 Hz。

SEM 分析: 将添加不同含量增容剂的样品用液氮淬断后,对断面进行喷金处理,使用 SEM 分析其断面形貌,测试电压为 15 kV。

表面电阻率 (R_s) 测试: 通过高阻计对圆片样品进行表面电阻率测试,测试温度为 15℃,相对湿度为 25%。

拉伸性能测试: 用电子万能试验机对试样进行拉伸性能测试,拉伸速率为 250 mm/min,测试温度为 15℃,相对湿度为 25%。

耐水洗性能测试: 将 7 个圆片试样放入去离子水进行漂洗,水温为 25℃,每 24 h 进行一次换水并取样,用 50℃鼓风干燥箱中干燥 8 h 后,测试其表面电阻率。

2 结果与讨论

2.1 增容剂 EVAC-g-MAH 含量对 EVAC 抗静电复合材料性能的影响

为了探究增容剂 EVAC-g-MAH 含量对 EVAC 抗静电复合材料的影响,首先选用添加 100 份 EVAC 及 25 份永久性抗静电剂制备的样品进行实验。通过改变 EVAC-g-MAH 添加量,表征复合材料的相容性,并分析其对复合材料抗静电性能及力学性能的影响,确定最优的 EVAC-g-MAH 用量。

(1) DMA 分析。

不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合

材料的动态力学性能如图 1 所示。由图 1 可以看出,永久性抗静电剂仅在 5.9℃附近有一个较弱的峰,而 EVAC 在 -48.6℃有一个由玻璃化转变引起的强峰。通过比较复合材料的玻璃化转变温度 (T_g),能够表征两种不同组分的相容性,从图 1 中未添加 EVAC-g-MAH 的曲线 (2[#] 样品) 可以发现,当 EVAC 与永久性抗静电剂两个组分共混之后只有一个关于 EVAC 的玻璃化转变峰,这是由于永久性抗静电剂的含量较低,且本身的阻尼性能较差,它的峰不易被观察到。众所周知,相容性不好的复合材料中会表现出两个 T_g ,其数值各自近似于相应的均聚物的 T_g ; 而随着复合材料相容性的不断提高,这两个 T_g 会向它们的中间值移动 (较低的 T_g 会升高,较高的 T_g 会降低),并最终只显示出一个 T_g 。因此通过观察复合材料中 EVAC 的 T_g 变化,同样能够在一定程度上表征复合材料的相容性。

添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料中 EVAC 的 T_g 见表 2。

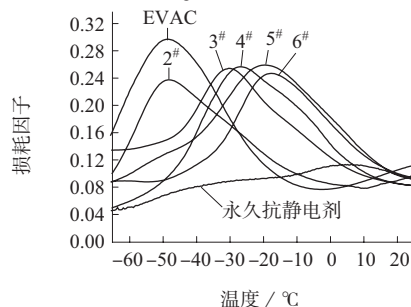


图1 添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料的动态力学性能

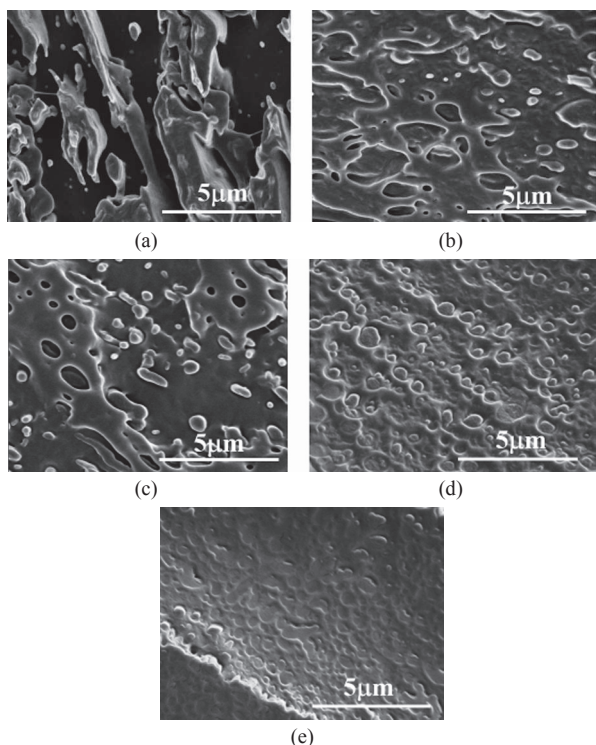
表2 添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料中 EVAC 的 T_g /℃

项目	试样编号				
	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
T_g	-48.4	-30.5	-26.8	-19.6	-17.8

由表 2 可以看出,随着复合材料中 EVAC-g-MAH 含量的增加,EVAC 的 T_g 逐渐升高,从无 EVAC-g-MAH 的 2[#] 样品的 -48.4℃ 逐渐升高至 EVAC-g-MAH 含量为 10 份的 6[#] 样品的 -17.8℃,这也间接地说明随着 EVAC-g-MAH 的加入,复合材料的相容性逐渐得到改善,且 EVAC-g-MAH 的添加量越高,对复合材料的相容性改善效果越好。

(2) SEM 分析。

通过 SEM 测试进一步分析增容剂 EVAC-g-MAH 对复合材料相容性的影响。添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料断面形貌的 SEM 照片如图 2 所示。



EVAC-g-MAH 含量: a—0 份; b—2.5 份; c—5 份; d—7.5 份; e—10 份
图 2 添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料断面的 SEM 照片

从图 2a 可以看出,当未添加 EVAC-g-MAH 时,复合材料的断面非常粗糙,材料的两相界面非常清晰,永久性抗静电剂分散相的分布也不均匀,呈现大小不一的形状,表明复合材料的相容性较差。从图 2b~图 2e 可以看出,随着 EVAC-g-MAH 添加量的增加,其海岛结构变得越来越不明显,永久性抗静电剂分散相的分布也更加均匀,表明复合材料的相容性越来越好,这与 DMA 分析结果一致。

(3) R_s 分析。

增容剂 EVAC-g-MAH 的引入不可避免地会影响复合材料的抗静电性能,因此又进一步分析了 EVAC-g-MAH 添加量对复合材料抗静电性能的影响。添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料的表面电阻率 R_s 如图 3 所示。

从图 3 可以看出, EVAC-g-MAH 添加量对复合材料的抗静电性能也有着明显的影响。当未添加 EVAC-g-MAH 时, EVAC 抗静电复合材料的 R_s 为 $1.45 \times 10^{10} \Omega$,且测试得到的误差范围较大。当 EVAC-g-MAH 的添加量增加至 5 份时,复合材料的 R_s 最低,为 $6.61 \times 10^9 \Omega$,并且此时的测试误差也较小。当 EVAC-g-MAH 添加量增至 7.5 份时,复合材料的 R_s 有轻微的上升,说明进一步增加 EVAC-g-

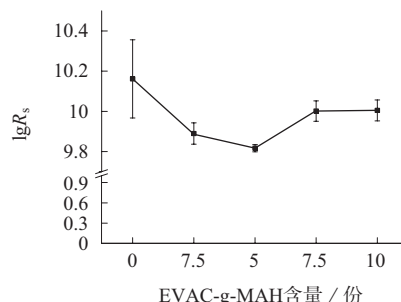


图 3 添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料的 R_s
MAH 含量,复合材料的 R_s 没有明显变化。

(4) 拉伸性能分析。

在复合材料综合性能评价体系中,力学性能始终是一个重要指标。添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料的拉伸性能如图 4 所示。

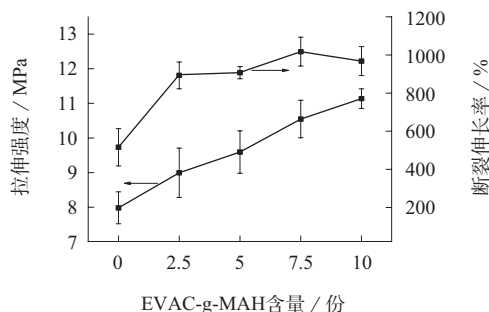


图 4 添加不同 EVAC-g-MAH 含量的 EVAC 抗静电复合材料的拉伸性能

从图 4 可以看出,随着 EVAC-g-MAH 含量的增加, EVAC 抗静电复合材料的拉伸性能得到明显改善。EVAC-g-MAH 的加入与复合材料拉伸强度的提升呈现明显的正相关关系,复合材料的拉伸强度从未添加 EVAC-g-MAH 的 7.98 MPa 逐渐升高到添加 10 份 EVAC-g-MAH 时的 11.13 MPa。在断裂伸长率方面,未添加 EVAC-g-MAH 时,复合材料的断裂伸长率为 516%,而仅添加 2.5 份 EVAC-g-MAH 时,复合材料的断裂伸长率就增加到 893%。之后随着 EVAC-g-MAH 含量的继续升高,断裂伸长率没有明显的提升效果。综上所述, EVAC-g-MAH 的加入明显提高了复合材料的拉伸强度和断裂伸长率。由于本实验的重点是对 EVAC 材料进行抗静电改性,因此综合考虑,选择 EVAC-g-MAH 的添加量为 5 份作为最优添加量。

2.2 永久性抗静电剂对复合材料性能的影响

为了探究不同永久性抗静电剂含量对 EVAC 抗静电复合材料性能的影响,固定增容剂 EVAC-g-MAH 的添加量为 5 份,通过改变永久性抗静电剂的添加量分析其对复合材料抗静电性能以及力学性

能的影响,从而确定最优的永久性抗静电剂添加量。

(1) R_s 分析。

添加不同永久性抗静电剂含量的 EVAC 抗静电复合材料的 R_s 如图 5 所示。

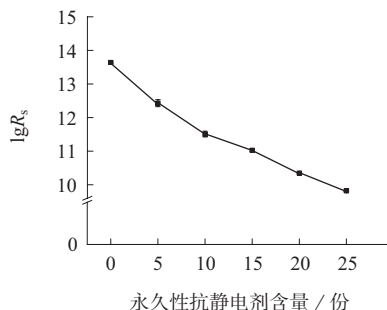


图5 添加不同永久性抗静电剂含量的 EVAC 抗静电复合材料的 R_s

通过高阻计测试永久性抗静电剂的 R_s 为 $8.51 \times 10^7 \Omega$, EVAC 的 R_s 为 $4.37 \times 10^{13} \Omega$ 。由图 5 可以看出,随着永久性抗静电剂含量的增加, EVAC 抗静电复合材料的 R_s 逐渐下降。当永久性抗静电剂添加量为 20 份时,复合材料的 R_s 为 $2.24 \times 10^{10} \Omega$,已经达到静电消散的级别。

(2) 拉伸性能分析。

永久性抗静电剂的引入毫无疑问会提高复合材料的抗静电性能,但是也有可能对复合材料的力学性能产生影响。添加不同永久性抗静电剂含量的 EVAC 抗静电复合材料的拉伸性能如图 6 所示。

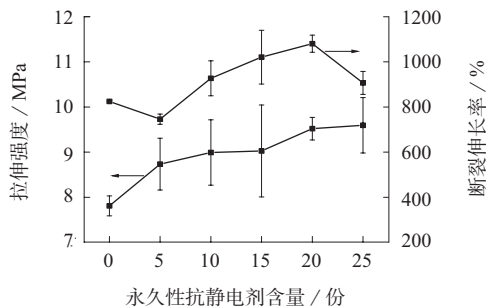


图6 添加不同永久性抗静电剂含量的 EVAC 抗静电复合材料的拉伸性能

EVAC 的拉伸强度为 7.81 MPa。由图 6 可以看出,随着永久性抗静电剂含量的增加, EVAC 抗静电复合材料的拉伸强度逐渐增大。这是由于聚酰胺弹性体本身就具有较高的拉伸强度 (12.63 MPa), 在 EVAC-g-MAH 的作用下,使其较为均匀地分布于 EVAC 中,因此起到了一定的补强作用,从而增强了复合材料的拉伸强度。复合材料的断裂伸长率与永久性抗静电剂的关系则相对复杂。随着永久性抗静电剂含量的增加,复合材料的断裂伸长率呈现先下降,再增加,最后又下降的趋势。当添加

20 份永久性抗静电剂时,复合材料的拉伸强度为 9.52 MPa,断裂伸长率为 1080.5%,与 EVAC 的拉伸强度 (7.81 MPa) 和断裂伸长率 (825%) 相比,分别提高了 21.9% 和 31.0%。因此,综合考虑复合材料的抗静电性能和拉伸性能,选择永久性抗静电剂添加量为 20 份作为最佳添加量。

2.3 EVAC 抗静电复合材料的耐水洗性能

耐水洗性能是表征材料抗静电稳定性的一个极为重要的指标。当添加 20 份永久性抗静电剂和 5 份 EVAC-g-MAH 时,在 7 d 时间内的不同漂洗时间下 EVAC 抗静电复合材料的 R_s 如图 7 所示。

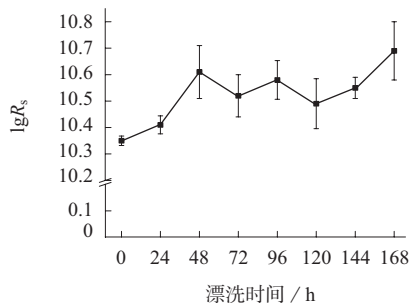


图7 不同漂洗时间下 EVAC 抗静电复合材料的 R_s

从图 7 可以看出,在 7 d 时间内,随着漂洗时间的增加, EVAC 抗静电复合材料的 R_s 变化不大,都稳定地维持在 $10^{10} \Omega$ 数量级,表明制备的 EVAC 抗静电复合材料具有优异的抗静电稳定性。

3 结论

通过熔融共混成功制备了 EVAC 抗静电复合材料,并对 EVAC-g-MAH、永久性抗静电剂对 EVAC 抗静电复合材料性能的影响进行了分析,得出如下结论:

(1) 增容剂 EVAC-g-MAH 的存在能够明显改善永久性抗静电剂与 EVAC 两种材料的相容性,随着 EVAC-g-MAH 含量的增加,复合材料的拉伸性能明显提高,但 R_s 呈现先下降后上升的趋势。综合考虑,选择 EVAC-g-MAH 的最佳添加量为 5 份。

(2) 永久性抗静电剂不仅能够提高复合材料的抗静电性能,还能提升复合材料的力学性能。随着永久性抗静电剂含量的增加,复合材料的 R_s 不断下降,拉伸强度不断上升,而断裂伸长率呈现先下降、再增加,最后又下降的趋势。综合考虑,永久性抗静电剂的最佳添加量为 20 份,此时材料的 R_s 为 $2.24 \times 10^{10} \Omega$,已达到静电消散的水平。而且其拉伸性能得到很大提升,拉伸强度和断裂伸长率分别提高了 21.9% 和 31.0%。

(3) 经过耐水洗测试,制备的 EVAC 抗静电复合

材料在 7 d 时间内表现出优异的抗静电稳定性。

参考文献

- [1] 黄章元. 电气设备的静电防护及防腐蚀分析[J]. 石油和化工设备, 2018, 21(1):73-75.
Huang Zhangyuan. Electrostatic protection and anti-corrosion analysis of electrical equipment[J]. Petro & Chemical Equipment, 2018, 21(1):73-75.
- [2] 张学锋, 高斌, 任业伟, 等. 石墨烯改性抗静电塑料的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(4):37-42.
Zhang Xuefeng, Gao Bin, Ren Yewei, et al. Preparation and properties of graphene modified antistatic plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(4):37-42.
- [3] 曹沛森, 刘芳, 王海奇. 具有疏水性能的 PVC 抗静电复合塑料管材的制备与表征[J]. 塑料科技, 2021, 49(1):23-25.
Cao Peisen, Liu Fang, Wang Haiqi. Preparation and characterization of hydrophobic / antistatic PVC composite plastic[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(1):23-25.
- [4] 韩永强, 秦刚, 刘晓. 煤矿用抗静电 UHMWPE 复合材料的制备与性能研究[J]. 塑料科技, 2019, 47(9):1-4.
Han Yongqiang, Qin Gang, Liu Xiao. Study on preparation and properties of antistatic UHMWPE composites for coal mines[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(9):1-4.
- [5] Zhang Xin, Yin Shanshan, Meng Yang, et al. Modified carbon black / nylon 6 fibers with excellent antistatic and mechanical properties[J]. Micro & Nano Letters, 2019, 14(14):1 376-1 380.
- [6] Xue Boqiong, Li Yuchun, Guo Jia, et al. Enhancing flame retardant and antistatic properties of polyamide 6 by a grafted multiwall carbon nanotube[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2021, 138(11).doi:10.1002/app.50015.
- [7] 王雷, 吴掇, 任东方, 等. ABS / 改性 PVA 永久抗静电复合材料的结构和性能研究[J]. 广东化工, 2021, 48(1):20-21, 29.
Wang Lei, Wu Luo, Ren Dongfang, et al. Preparation a ABS / PVA alloy with permanent antistatic[J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(1):20-21, 29.
- [8] Tao Yulun, Feng Weitao, Ding Guoxin, et al. Polyaniline nanorods / PVC composites with antistatic properties[J]. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2015, 89(8):1 445-1 448.
- [9] 张珂珂, 李彩利, 杜程, 等. 离聚体型永久性抗静电剂的制备及性能测试[J]. 现代塑料加工应用, 2018, 30(6):1-4.
Zhang Yake, Li Caili, Du Cheng, et al. Preparation and characterization of ionomer permanent antistatic agent[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2018, 30(6):1-4.
- [10] 倪清兰, 李进, 董玉娇, 等. 高分子永久型抗静电剂研究进展[J]. 辽宁化工, 2020, 49(11):1 418-1 420, 1 423.
Ni Qinglan, Li Jin, Dong Yujiao, et al. Research progress of polymer permanent antistatic agents[J]. Liaoning Chemical Industry, 2020, 49(11):1 418-1 420, 1 423.
- [11] Kong Weibo, Lei Yuan, Yuan Ye, et al. Preparation and investigation of solid polymer electrolyte based on novel polyamide elastomer / metal salt[J]. Macromolecular Research, 2017, 25:864-870.
- [12] 许冬峰, 陈向阳, 桂源, 等. 长碳链聚醚酰胺永久型抗静电剂的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(8):36-41.
Xu Dongfeng, Chen Xiangyang, Gui Yuan, et al. Preparation and properties of long carbon chain polyether-amide permanent antistatic agent[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(8):36-41.
- [13] 赵振伦, 姜立忠, 潘宇, 等. 永久型抗静电 PA6 制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(12):36-40, 57.
Zhao Zhenlun, Jiang Lizhong, Pan Yu, et al. Preparation and properties of permanent antistatic polyamide 6[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12):36-40, 57.
- [14] 朱志国, 胡旭, 冀峰, 等. 不同 VA 含量对 EVA 鞋材性能的影响[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2020, 18(1):42-46.
Zhu Zhiguo, Hu Xu, Ji Feng, et al. Influence of different VA content on performance of EVA shoe materials[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2020, 18(1):42-46.
- [15] 李超, 王继琼. EVA 树脂生产技术与市场现状[J]. 天津化工, 2017, 31(3):29-32.
Li chao, Wang Jiqiong. EVA resin production technology and market status[J]. Tianjin Chemical Industry, 2017, 31(3):29-32.
- [16] 戴舒天, 陶国良, 夏艳平, 等. 双交联体系互穿聚合物网络对石墨烯 / 乙烯 - 醋酸乙烯酯共聚物 / 高密度聚乙烯复合材料抗静电性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2017, 33(6):82-87.
Dai Shutian, Tao Guoliang, Xia Yanping, et al. Effect of interpenetrating polymer network with double crosslinking system on the antistatic properties of graphene / EVA / HDPE composites[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2017, 33(6):82-87.
- [17] Wang Quan, Meng Qingguo, Wang Tinglan, et al. High-performance antistatic ethylene-vinyl acetate copolymer / high-density polyethylene composites with graphene nanoplatelets coated by polyaniline[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2017, 134(37). doi:10.1002/app.45303.
- [18] 郑玉婴, 丘永兴. 一种抗静电 EVA 泡沫复合材料及其制备方法: CN108752722B[P]. 2020-11-24.
Zheng Yuying, Qiu Yongxing. An antistatic EVA foam composite material and its preparation method: CN108752722B[P]. 2020-11-24.
- [19] 刘艺. 抗菌、抗静电 EVA / 淀粉复合发泡材料的制备及其性能表征[D]. 福州: 福州大学, 2014.
Liu Yi. Preparation and performance characterization of antibacterial and antistatic EVA / starch composite foaming materials[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2014.