

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.11.011

复合抗静电剂的制备及应用

涂志刚¹,熊立贵¹,张尚先¹,赵素芬²,李新芳²,高军³

[1. 广东开放大学(广东理工职业学院),广州 510091; 2. 中山火炬职业技术学院,广东中山 528436;
3. 广州索润环保科技有限公司,广州 510663]

摘要:研究了多种功效助剂对复合抗静电剂抗静电性能和力学性能的影响及最佳质量配比,以体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度为指标,开发了一种协同且长效一致的多功能复合抗静电剂。分析了复合抗静电剂不同质量分数对低密度聚乙烯(PE-LD)、聚丙烯(PP)和聚酰胺 6(PA6)抗静电性能和力学性能的影响。结果表明,复合抗静电剂各组分即脂肪酸单甘酯、脂肪酸聚氧乙烯醚、聚乙二醇、油酸酰胺、芥酸酰胺、羟乙基乙撑双硬脂酰胺的最佳质量比为 38:38:5:5:10:4。综合平衡抗静电性能和力学性能,最终确定复合抗静电剂在 PE-LD、PP 和 PA6 中的质量分数分别为 2.0%、3.0% 和 1.5%。

关键词:多功能协同;复合抗静电剂;电阻率;力学性能;制备;应用

中图分类号:TK321 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2019)11-0059-05

Preparation and Application of Compound Antistatic Agents

Tu Zhigang¹, Xiong Ligui¹, Zhang Shangxian¹, Zhao Sufen², Li Xinfang², Gao Jun³

[1. The Open University of Guangdong (Guangdong Polytechnic Institute), Guangzhou 510091, China; 2. Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan 528436, China; 3. Guangzhou Surun Environmental Protection Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China]

Abstract: The effects of multiple effective auxiliaries on the antistatic, mechanical properties and the best mass ratio of composite antistatic agents were discussed. Take volume resistivity, surface resistivity, tensile strength and notch impact strength as indicator, a kind of synergistic and long-term uniform multifunctional composite antistatic agent was developed. The effects of different mass fraction of antistatic agent on the antistatic and mechanical performance of the PE-LD, PP, PA6 were analyzed. It is found that the best mass ratio of the composite antistatic agent, fatty acid monoglyceride, fatty amine polyoxyethylene ether, polyethylene glycol, oleic amide, erucic amide, hydroxyethyl ethylene bisstearate amide is 38:38:5:5:10:4. By comprehensively the antistatic and mechanical properties, the mass fraction of the compound antistatic agent in PE-LD, PP and PA6 is 2%, 3% and 1.5% respectively.

Keywords: multifunctional synergy; compound antistatic agent; resistivity; mechanical property; preparation; application

抗静电剂是高分子材料功能助剂的重要组成部分,是能够减少或消除塑料产生静电的一类添加剂。目前国内外抗静电剂的研究得到快速发展^[1-4]。国内对抗静电剂的研制工作起步较晚,与国外相比,我国抗静电剂的品种和质量还存在一定的差距。国内研究方向主要是集中在开发耐高温、耐久性强、低毒或者无毒的抗静电剂,同时新型多功能母料的开发也十分引人关注,主要集中在非离子型抗静电剂、

抗静电剂的复合和浓缩母粒的制造等方面^[5-7]。为此,在不断完善现有抗静电剂品种的基础上,加强不同抗静电剂之间的协同作用的研究,努力开发抗静电剂的新品种,尤其是抗静电剂的复合及具有多种功能的产品,应用技术从使用单一抗静电剂向复配应用方向发展,从而进一步扩大抗静电剂的适用范围,促进我国抗静电研究向更高的水平发展。

笔者研究了多种功效助剂对复合抗静电剂性

基金项目:广东省科技计划项目(2016A010104002),广东省普通高校特色创新类项目(2017GKTSCX076)

通讯作者:熊立贵,教授级高级工程师,主要从事功能高分子材料的改性及应用研究 E-mail:119970291@qq.com

收稿日期:2019-08-16

引用格式:涂志刚,熊立贵,张尚先,等.复合抗静电剂的制备及应用[J].工程塑料应用,2019,47(11):59-63,70.

Tu Zhigang, Xiong Ligui, Zhang Shangxian, et al. Preparation and application of compound antistatic agents[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(11): 59-63, 70.

能的影响,以抗静电功效为关键指标,开发了一种具有协效且长效性能的多功能复合抗静电剂,它克服了单一助剂不能满足生产需要和多种助剂同时存在导致功效相消的弊端,具有较好的抗静电性能和力学性能。该技术可以广泛应用于高分子材料的加工,主要是包装材料、化工行业以及一些电子产品等,极大地推动行业的技术进步。

1 实验部分

1.1 主要原料

脂肪酸单甘酯、脂肪胺聚氧乙烯醚、聚乙二醇、油酸酰胺、芥酸酰胺、羟乙基乙撑双硬脂酰胺(HEEBS):分析纯,江西威科油脂化学有限公司;

低密度聚乙烯(PE-LD):MB9500,工业级,上海超旋化工科技有限公司;

聚丙烯(PP):F300M,工业级,中国石油化工股份有限公司茂名分公司;

聚酰胺6(PA6):6115,工业级,广州晟固化工有限公司。

1.2 主要设备与仪器

高速混合机:SHR-200A型,张家港云帆机械有限公司;

双螺杆挤出机:TE-65型,石家庄市威士达化工设备有限公司;

注塑机:SA1600型,海天注塑机集团有限公司;

电子天平:FA2004N型,上海精密仪器仪表有限公司;

高绝缘电阻测量仪:ZC90型,武汉国电华美电气设备有限公司;

电子万能试验机:CMT4204型,东莞市力控仪器科技有限公司。

1.3 样品制备

(1) 复合抗静电剂的制备。

将各组分原料按一定质量比配好,在高速混合机内于50℃高速混合2 min,混合均匀、成团,然后经冷却碾压破碎制备成颗粒状,即可得到复合抗静电剂。

(2) 抗静电材料的制备。

将一定量的复合抗静电剂分别添加到PE-LD、PP和PA6中,在高速混合机内先常温混合2 min,混合均匀,然后通过双螺杆挤出机挤出造粒,制得抗静电材料。螺杆转速为200 r/min,复合抗静电剂与PE-LD的挤出温度为180~210℃、与PP的挤出温度为180~220℃、与PA6的挤出温度为210~240℃。

(3) 试样的制备。

将PE-LD、PP抗静电材料在105℃干燥1 h、PA6抗静电材料在90℃干燥5 h后,在注塑机上制备标准试样,其注塑工艺参数如下:PE-LD和PP抗静电材料制样料筒温度为1区:200℃,2~3区:220℃,4区:230℃;PA6抗静电材料制样料筒温度为1区:220℃,2~3区:240℃,4区:260℃;注塑压力为120 MPa;模具温度为80℃;保压时间为8 s;冷却时间为10 s。

1.4 性能测试

拉伸强度按照GB/T 1040.2-2006测试,拉伸速度为100 mm/min;

缺口冲击强度按照ASTM D256-2010测试,试样尺寸为63.5 mm×12.7 mm×3.2 mm,曲率半径为0.80 mm,缺口剩余厚度为10.16 mm;

体积电阻率和表面电阻率按照GB/T 1410-2006测试。

2 结果与讨论

2.1 复合抗静电剂各组分最佳用量分析

(1) 复合抗静电剂中基础材料的最佳用量分析。

选用脂肪酸单甘酯作为抗静电剂的基础材料,以PP为应用载体,研究不同质量分数脂肪酸单甘酯对PP抗静电材料体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度的影响,结果列于表1。从表1可以看出,脂肪酸单甘酯的质量分数为1.5%时,材料的体积电阻率和表面电阻率降低较多,特别是表面电阻率下降了4个数量级,抗静电效果较好,且对拉伸强度的影响较小。因此,考察抗静电剂基础材料的性价比,脂肪酸单甘酯的质量分数为1.5%为最佳比例。

表1 添加不同质量分数脂肪酸单甘酯的PP抗静电材料的性能

项目	脂肪酸单甘酯的质量分数/%					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.26×10^{16}	1.00×10^{16}	1.58×10^{15}	2.51×10^{13}	3.16×10^{13}	1.58×10^{13}
表面电阻率/ Ω	1.58×10^{17}	2.00×10^{16}	1.00×10^{15}	1.26×10^{13}	6.31×10^{13}	2.00×10^{14}
拉伸强度/MPa	35.1	34.0	32.2	32.8	32.2	29.1
缺口冲击强度/($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	30.3	29.1	30.5	32.6	32.8	33.0

(2) 复合抗静电剂中主抗静电功能组分的最佳用量分析。

选用脂肪胺聚氧乙烯醚作为主抗静电功能组分,发挥抗静电作用。以 PP 为应用载体,将不同质量比的脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚 (总质量分数为 2.0%) 与其共混,研究脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比对 PP 抗静电材料体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度的影响,结果列于表 2。从表 2 可知,脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比为 1 : 1 时,材料的抗静电性能和力学性能最好。

表 2 添加不同质量比脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的 PP 抗静电材料的性能

项目	脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比		
	1 : 4	1 : 1	4 : 1
体积电阻率 / ($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.26×10^{12}	7.94×10^{11}	1.00×10^{12}
表面电阻率 / Ω	3.16×10^{12}	1.26×10^{12}	1.58×10^{14}
拉伸强度 / MPa	27.3	31.5	30.2
缺口冲击强度 / ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	31.2	31.8	30.9

(3) 复合抗静电剂中润滑功能组分的最佳用量分析。

选用聚乙二醇作为抗静电剂中的润滑功能组分。在上述优选出的脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚配方基础上,研究聚乙二醇 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比对 PP 抗静电材料体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度的影响。以 PP 为应用载体,将不同质量比的聚乙二醇 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚 (总质量分数为 2.0%) 与其共混,结果列于表 3。从表 3 可以看出,聚乙二醇 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比为 1 : 2 : 2 时,材料的力学性能和抗静电性能最好。

表 3 添加不同质量比聚乙二醇 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的 PP 抗静电材料的性能

项目	聚乙二醇 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比		
	1 : 2 : 2	1 : 0.5 : 0.5	4 : 0.5 : 0.5
体积电阻率 / ($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.58×10^{12}	2.00×10^{14}	1.26×10^{13}
表面电阻率 / Ω	2.00×10^{12}	6.31×10^{14}	5.01×10^{12}
拉伸强度 / MPa	32.3	31.6	27.9
缺口冲击强度 / ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	33.4	32.0	30.2

(4) 复合抗静电剂中脱模功能组分的最佳用量分析。

选用油酸酰胺作为复合抗静电剂中脱模功能组分。在上述优选出的脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚配方基础上,研究油酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 /

脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比对 PP 抗静电材料体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度的影响。以 PP 为应用载体,将不同质量比的油酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚 (总质量分数为 2.0%) 与其共混,结果列于表 4。从表 4 可以看出,油酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比为 4 : 0.5 : 0.5 时,材料的力学性能最佳,但抗静电性能最差;而质量比为 1 : 0.5 : 0.5 时,抗静电性能最好,但是拉伸强度最差;当质量比为 1 : 2 : 2 时,在满足材料力学性能的同时,其抗静电性能也好。

表 4 添加不同质量比油酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的 PP 抗静电材料的性能

项目	油酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比		
	1 : 2 : 2	1 : 0.5 : 0.5	4 : 0.5 : 0.5
体积电阻率 / ($\Omega \cdot \text{cm}$)	3.16×10^{12}	2.00×10^{12}	2.00×10^{16}
表面电阻率 / Ω	1.26×10^{13}	7.94×10^{12}	6.31×10^{16}
拉伸强度 / MPa	29.6	27.2	30.5
缺口冲击强度 / ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	31.5	30.8	32.1

(5) 复合抗静电剂中爽滑开口功能组分的最佳用量分析。

选用芥酸酰胺作为抗静电剂中爽滑开口功能组分。在上述优选出的脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚配方基础上,研究芥酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比对 PP 抗静电材料体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度的影响。以 PP 为应用载体,将不同质量比的芥酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚 (总质量分数为 2.0%) 与其共混,结果列于表 5。从表 5 可以看出,芥酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比为 1 : 2 : 2 时,材料的力学性能和抗静电性能最好。

表 5 添加不同质量比芥酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的 PP 抗静电材料的性能

项目	芥酸酰胺 / 脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比		
	1 : 2 : 2	1 : 0.5 : 0.5	4 : 0.5 : 0.5
体积电阻率 / ($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.26×10^{12}	1.58×10^{14}	1.26×10^{15}
表面电阻率 / Ω	1.58×10^{13}	5.01×10^{14}	3.98×10^{16}
拉伸强度 / MPa	31.3	29.2	30.6
缺口冲击强度 / ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	32.1	31.0	32.3

(6) 复合抗静电剂中分散功能组分的最佳用量分析。

选用 HEEBS 作为抗静电剂中分散功能组分,能够显著提高抗静电剂的分散性和制品表面的光泽度。在上述优选出的脂肪酸单甘酯 / 脂肪胺聚氧乙

烯醚配方基础上,研究 HEEBS/脂肪酸单甘酯/脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比对 PP 抗静电材料体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度的影响。以 PP 为应用载体,将不同质量比的 HEEBS/脂肪酸单甘酯/脂肪胺聚氧乙烯醚(总质量分数为 2.0%) 与其共混,结果列于表 6。从表 6 可以看出, HEEBS/脂肪酸单甘酯/脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比为 1:2:2 时,材料的力学性能和抗静电性能最好。

表 6 添加不同质量比 HEEBS/脂肪酸单甘酯/脂肪胺聚氧乙烯醚的 PP 抗静电材料的性能

项目	HEEBS/脂肪酸单甘酯/脂肪胺聚氧乙烯醚的质量比		
	1:2:2	1:0.5:0.5	4:0.5:0.5
体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.26×10^{13}	2.00×10^{14}	1.26×10^{15}
表面电阻率/ Ω	1.00×10^{14}	1.58×10^{16}	2.51×10^{16}
拉伸强度/MPa	30.8	29.3	29.2
缺口冲击强度/($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	32.1	33.2	30.3

表 8 添加不同配方复合抗静电剂的 PE-LD 的抗静电性能和力学性能(储存时间为 20 d)

项目	无抗静电剂	抗静电剂 1	抗静电剂 2	抗静电剂 3	抗静电剂 4	抗静电剂 5
体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.00×10^{14}	7.94×10^9	1.00×10^{13}	1.58×10^{11}	1.00×10^{12}	1.58×10^{12}
表面电阻率/ Ω	1.26×10^{15}	3.16×10^{10}	7.94×10^{13}	1.26×10^{12}	1.26×10^{13}	1.00×10^{12}
拉伸强度/MPa	17.6	18.6	17.9	16.9	18.1	17.9
缺口冲击强度/($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	41.2	43.6	43.0	41.6	42.3	41.9

从表 8 可以看出,在 PE-LD 中添加不同配方的复合抗静电剂时,以添加复合抗静电剂 1 的 PE-LD 的体积电阻率和表面电阻率最低,比未添加复合抗静电剂的 PE-LD 下降了 5 个数量级,而添加不同配方的复合抗静电剂对 PE-LD 的拉伸强度和缺口冲击强度影响不是太大,以添加复合抗静电剂 1 的 PE-LD 的拉伸强度和缺口冲击强度最好,因此,综合添加不同配方复合抗静电剂的 PE-LD 的抗静电性能和力学性能,最终选择复合抗静电剂 1 的配方,即复合抗静电剂各组分脂肪酸单甘酯:脂肪胺聚氧乙烯醚:聚乙二醇:油酸酰胺:芥酸酰胺:羟乙基乙撑双硬脂酰胺的最佳质量比为 38:38:5:5:10:4。

表 9 添加不同质量分数复合抗静电剂 1 的 PE-LD 的抗静电性能和力学性能(储存时间为 20 d)

项目	复合抗静电剂 1 质量分数/%					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.00×10^{14}	7.94×10^{13}	1.00×10^{13}	6.31×10^{10}	7.94×10^9	6.31×10^9
表面电阻率/ Ω	1.26×10^{15}	1.26×10^{14}	7.94×10^{13}	2.00×10^{12}	3.16×10^{10}	1.58×10^{10}
拉伸强度/MPa	17.6	16.9	17.5	18.0	18.6	18.8
缺口冲击强度/($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	41.2	41.6	42.0	42.6	43.6	43.7

2.4 复合抗静电剂在 PP 中的应用

选用最佳质量比的复合抗静电剂 1 添加到 PP 中,添加复合抗静电剂 1 的质量分数分别为 0.5%,

2.2 复合抗静电剂各组分的最优质量比分析

复合抗静电剂各组分分别为:脂肪酸单甘酯(A)、脂肪胺聚氧乙烯醚(B)、聚乙二醇(C)、油酸酰胺(D)、芥酸酰胺(E)、羟乙基乙撑双硬脂酰胺(F)。不同配方的复合抗静电剂列于表 7。将不同配方的复合抗静电剂(总质量分数为 2.0%)添加到 PE-LD 中,研究不同配方复合抗静电剂对 PE-LD 抗静电性能和力学性能的影响,得到复合抗静电剂各组分的最优质量比^[8]。添加不同配方复合抗静电剂的 PE-LD 的抗静电性能和力学性能列于表 8。

表 7 复合抗静电剂配方

复合抗静电剂编号	各组分质量分数/%					
	A	B	C	D	E	F
抗静电剂 1	38	38	5	5	10	4
抗静电剂 2	38	38	5	10	5	4
抗静电剂 3	38	38	10	5	5	4
抗静电剂 4	40	40	4	4	8	4
抗静电剂 5	36	36	6	6	12	4

2.3 复合抗静电剂在 PE-LD 中的应用

选用最佳质量比的复合抗静电剂 1^[8] 添加到 PE-LD 中,添加复合抗静电剂 1 的质量分数分别为 0.5%,1.0%,1.5%,2.0% 和 3.0%,添加不同质量分数复合抗静电剂 1 的 PE-LD 的抗静电性能和力学性能(储存时间为 20 d)列于表 9。由表 9 可知,当复合抗静电剂 1 质量分数为 2.0% 时,PE-LD 的抗静电性能和力学性能较好,并且随着复合抗静电剂 1 质量分数的增加,PE-LD 的抗静电性能和力学性能变化不大。考虑到复合抗静电剂 1 的质量分数过高可能会影响 PE-LD 的其它性能,因此,综合平衡 PE-LD 的抗静电性能^[9-11] 和力学性能,最终确定在 PE-LD 中添加复合抗静电剂 1 的质量分数为 2.0%。

1.0%,1.5%,2.0% 和 3.0%,添加不同质量分数复合抗静电剂 1 的 PP 的抗静电性能和力学性能(储存时间为 20 d)列于表 10。由表 10 可知,当复合抗

静电剂 1 质量分数很小 (0.5%) 时, PP 的体积电阻率和表面电阻率均较高, 抗静电效果不佳。随着添加复合抗静电剂 1 质量分数的增加, PP 的体积电阻率和表面电阻率均有较为明显的下降, 拉伸强度逐渐降低, 而缺口冲击强度呈现增大的趋势。当复合抗静电剂 1 达到质量分数为 3.0% 时, PP 的体积电

阻率和表面电阻率最低, 体积电阻率和表面电阻率分别下降了 7 个数量级和 6 个数量级, 抗静电效果最好; PP 的缺口冲击强度最大, 增加幅度为 8.9%。因此, 综合平衡 PP 的抗静电性能^[12-15]和力学性能, 最终确定在 PP 中添加复合抗静电剂 1 的质量分数为 3.0%。

表 10 添加不同质量分数复合抗静电剂 1 的 PP 的抗静电性能和力学性能 (储存时间为 20 d)

项目	复合抗静电剂 1 质量分数 / %					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
体积电阻率 / ($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.00×10^{16}	7.94×10^{15}	1.58×10^{12}	1.26×10^{13}	1.58×10^{12}	7.94×10^9
表面电阻率 / Ω	1.26×10^{16}	1.00×10^{16}	1.58×10^{12}	1.00×10^{12}	1.26×10^{11}	1.00×10^{10}
拉伸强度 / MPa	35.0	34.6	34.0	33.1	32.9	32.6
缺口冲击强度 / ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	30.2	29.9	31.2	30.6	31.5	32.9

2.5 复合抗静电剂在 PA6 中的应用

选用最佳质量比的复合抗静电剂 1 添加到 PA6 中, 添加复合抗静电剂 1 的质量分数分别为 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% 和 3.0%。添加不同质量分数复合抗静电剂 1 的 PA6 的抗静电性能和力学性能 (储存时间为 20 d) 列于表 11。由表 11 可以看出, 随着添加复合抗静电剂 1 质量分数的增加, PA6 的体积电

阻率和表面电阻率均有较为明显的下降, 当添加复合抗静电剂 1 的质量分数为 1.5% 时, PA6 的体积电阻率和表面电阻率分别下降了 3 个数量级和 4 个数量级, 抗静电效果较好, 力学性能最佳。因此, 综合平衡 PA6 的抗静电性能^[16-18]和力学性能, 最终确定在 PA6 中添加复合抗静电剂 1 的质量分数为 1.5%。

表 11 添加不同质量分数复合抗静电剂 1 的 PA6 的抗静电性能和力学性能 (储存时间为 20 d)

项目	复合抗静电剂 1 的质量分数 / %					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
体积电阻率 / ($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.58×10^{14}	7.94×10^{13}	6.31×10^{12}	1.26×10^{11}	1.00×10^{11}	7.94×10^{10}
表面电阻率 / Ω	2.00×10^{14}	3.98×10^{12}	2.51×10^{11}	1.58×10^{10}	1.26×10^{10}	1.26×10^{10}
拉伸强度 / MPa	52.4	52.0	52.1	53.2	52.9	52.3
缺口冲击强度 / ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$)	48.3	48.6	49.6	52.3	52.0	50.9

3 结论

(1) 以体积电阻率、表面电阻率、拉伸强度和缺口冲击强度为指标, 研究了多种功效助剂对多功能复合抗静电剂性能和力学性能的影响, 开发了一种协效且长效一致的多功能复合抗静电剂。

(2) 当复合抗静电剂组分即脂肪酸单甘酯、脂肪胺聚氧乙烯醚、聚乙二醇、油酸酰胺、芥酸酰胺和 HEEBS 的质量比为 38 : 38 : 5 : 5 : 10 : 4 时, 抗静电性能最佳, 综合性能最好。

(3) 选用最佳质量比的复合抗静电剂分别添加到 PE-LD, PP 和 PA6 中, 研究了复合抗静电剂不同质量分数对 PE-LD, PP 和 PA6 抗静电性能和力学性能的影响。综合考察其抗静电性能和力学性能, 最终确定复合抗静电剂在 PE-LD, PP 和 PA6 中的质量分数分别为 2.0%, 3.0% 和 1.5%。

参考文献

[1] Gu Senlin, Liu Huanhuan, Li Xuan, et al. Interfacial designing of PP / GF composites by binary incorporation of MAH-g-PP and lithium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide: Towards high strength composites with excellent antistatic performance[J]. Composites

Science and Technology, 2018, 156:247-253.

- [2] Zhang Min, Zhang Chen, Du Zhongjie, et al. Preparation of antistatic polystyrene superfine powder with polystyrene modified carbon nanotubes as antistatic agent[J]. Composites Science and Technology, 2017, 138:1-7.
- [3] Tsurumaki A, Tajima S, Iwata T, et al. Evaluation of ionic liquids as novel antistatic agents for polymethacrylates[J]. Electrochimica Acta, 2017, 248:556-561.
- [4] Zheng Anna, Xu Xiang, Xiao Huining, et al. Antistatic modification of polypropylene by incorporating tween / modified Tween[J]. Applied Surface Science, 2012, 258(22):8861-8866.
- [5] 师亚宁, 赵永红, 张广良, 等. 十二烷基磷酸单酯抗静电性能研究[J]. 日用化学工业, 2018, 48(1):23-26.
Shi Yaning, Zhao Yonghong, Zhang Guangliang, et al. Study on antistatic properties of dodecyl phosphate monoester[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2018, 48(1):23-26.
- [6] 李雪莲, 薛叙明, 付永胜. 新型抗静电 PET 纤维的制备[J]. 合成树脂及塑料, 2017, 34(3):49-52.
Li Xuelian, Xue Xuming, Fu Yongsheng. Preparation and properties of antistatic PET fiber[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2017, 34(3):49-52.

- 国塑料, 2016, 30(3):109-112.
- Guo Chenguang, Peng Cheng, Li Yuan, et al. Injection mold design of motor canteen rear covers with threads[J]. China Plastics, 2016, 30(3):109-112.
- [9] 曹争. 自动抽液瓶盖抽芯机构及模具设计[J]. 模具工业, 2017, 43(5):47-51.
- Cao Zheng. The core-pulling mechanism of automatic pumping cap and the mould design[J]. Die & Mould Industry, 2017, 43(5):47-51.
- [10] 何延辉. 仪表外壳自动脱螺纹机构及注射模设计[J]. 模具技术, 2018(6):11-14.
- He Yanhui. Automatic unscrewing mechanism and injection mould design of a gauge shell[J]. Die & Mould Manufacture, 2018(6):11-14.
- [11] 赵利平, 张宁, 王树勋, 等. 基于自动旋转脱螺纹的红酒瓶盖注塑模具设计[J]. 现代塑料加工应用, 2018, 30(1):60-63.
- Zhao Liping, Zhang Ning, Wang Shuxun, et al. Red wine bottle cap injection mold design based on the automatic rotating thread technology[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2018, 30(1):60-63.
-
- (上接第 63 页)
- [7] 彭博, 李聪, 池航, 等. PEDOT/石墨烯复合材料的制备及其抗静电性能研究[J]. 涂料工业, 2017, 47(5):17-23.
- Peng Bo, Li Cong, Chi Hang, et al. Preparation and antistatic property of PEDOT/graphene composites[J]. Paint & Coatings Industry, 2017, 47(5):17-23.
- [8] 李新芳, 高军, 赵素芬, 等. 多功能抗静电母粒对 LDPE 性能的影响[J]. 现代塑料加工应用, 2019, 31(1):44-46.
- Li Xinfang, Gao Jun, Zhao Sufen, et al. Influence of multifunctional antistatic masterbatch on the performance of LDPE[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2019, 31(1):44-46.
- [9] 秦小梅, 彭晓翊, 李白千, 等. 燃气管用抗静电聚乙烯复合材料的制备及性能研究[J]. 合成材料老化与应用, 2015, 44(6):42-45.
- Qin Xiaomei, Peng Xiaoyi, Li Baiqian, et al. Preparation and properties of antistatic polyethylene composite material for gas pipe[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2015, 44(6):42-45.
- [10] 刘煜, 王浩江, 王飞, 等. 聚乙烯抗静电母粒的制备及抗静电性能研究[J]. 合成材料老化与应用, 2017, 46(3):24-28.
- Liu Yu, Wang Haojiang, Wang Fei, et al. Preparation and antistatic properties of antistatic masterbatch for polyethylene[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2017, 46(3):24-28.
- [11] 夏雪梅, 龚维, 何颖, 等. 聚烯烃抗静电/导电复合材料的研究进展[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(7):127-131.
- Xia Xuemei, Gong Wei, He Ying, et al. Research progress of antistatic/conductive polyolefine composite[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(7):127-131.
- [12] 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.
- [12] 刘勇. 水流量计壳体自动脱螺纹注射模设计[J]. 模具制造, 2018(6):52-55.
- Liu Yong. Design of automatic dethread injection mold for the flow meter shell[J]. Die & Mould Manufacture, 2018(6):52-55.
- [13] 聂艳平, 贺柳操. 洗发液喷嘴瓶盖弯管与螺纹脱模机构及其注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(2):76-81.
- Nie Yanping, He Liucuo. Design of injection mould and demoulding mechanism with bend pipe and thread for a shampoo nozzle cap[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(2):76-81.
- [14] 黄力, 许傲. 自动抽液瓶盖脱模机构与注塑模具设计[J]. 塑料科技, 2016, 44(8):80-84.
- Huang Li, Xu Ao. Design of injection mould and demoulding mechanism of automatic liquid suction bottle cap[J]. Plastics Science and Technology, 2016, 44(8):80-84.
- [15] 贾林玲. 一种内外螺纹同步脱模的抽芯机构及模具设计[J]. 塑料科技, 2016, 44(8):75-79.
- Jia Linling. Core pulling mechanism and die design of internal and external thread synchronization stripping[J]. Plastics Science and Technology, 2016, 44(8):75-79.
-
- [13] 李晟, 雷亮, 李振华, 等. 聚丙烯材料抗静电性能研究[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(7):31-34, 40.
- Li Sheng, Lei Liang, Li Zhenhua, et al. Research on antistatic property of polypropylene materials[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(7):31-34, 40.
- [14] 王雅珍, 李栋, 朱清梅, 等. 聚丙烯抗静电剂的研究现状及发展趋势[J]. 塑料工业, 2008, 36(7):11-15.
- Wang Yazhen, Li Dong, Zhu Qingmei, et al. Current situation of study and development trend of pp antistatic agent[J]. China Plastics Industry, 2008, 36(7):11-15.
- [15] 刘晓艳, 张莉琼, 赵素芬, 等. BOPP 薄膜抗静电性能的研究[J]. 合成树脂及塑料, 2016, 33(1):29-31.
- Liu Xiaoyan, Zhang Liqiong, Zhao Sufen, et al. Development of antistatic properties of BOPP Film[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2016, 33(1):29-31.
- [16] 游一兰, 李笃信, 刘士军, 等. 玻璃微珠/固体润滑剂改性 PA6 的力学和摩擦学性能[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(5):113-116.
- You Yilan, Li Duxin, Liu Shijun, et al. The mechanical and tribological properties of polyamide6 modified by glass bead and solid lubricants[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(5):113-116.
- [17] 季媛. 涤纶用抗静电剂 PEEJ 的试制及其应用性能的研究[D]. 上海: 东华大学, 2006.
- Ji Yuan. Preparation and application of the antistatic finishing agent PEEJ for polyester fabrics[D]. Shanghai: Donghua University, 2006.
- [18] 余进娟, 王承刚, 张学锋, 等. 增强增韧抗静电尼龙 612 材料的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(6):52-55.
- She Jinjuan, Wang Chenggang, Zhang Xuefeng, et al. Preparation and properties of reinforced and toughened antistatic nylon 612 materials[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(6):52-55.