

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.03.004

咖啡流量计电磁阀外壳用 GF 增强阻燃 PET 的研制

贾义军¹, 毕立^{1,2}

(1. 北京市化学工业研究院有限责任公司, 北京 100084; 2. 北京科方创业科技企业孵化器有限公司, 北京 100084)

摘要: 介绍使用单一或多元复配阻燃剂对 30% 玻璃纤维 (GF) 增强阻燃聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 工程塑料阻燃性能影响的实验, 最终制得一种具备高灼热丝引燃温度的 30% GF 增强阻燃 PET。研究表明, 采用四元复配阻燃剂可大大提高 30% GF 增强阻燃 PET 的阻燃效率和灼热丝引燃温度, 同时对其力学性能的影响较小。阻燃剂和增韧剂的最佳用量分别为: 溴化环氧树脂 (BEO) 为 16 份, 三氧化二锑为 4 份, 三聚氰胺氰尿酸盐 (MCA) 为 10 份, 双酚 A 双(二苯基磷酸酯) (BDP) 为 5 份, 增韧剂 (ST-2000) 为 5 份, 在此条件下制备的 30% GF 增强阻燃 PET 的综合性能最佳, 其灼热丝引燃温度 (GWIT) 为 775℃, 灼热丝可燃性指数 (GWFI) 达到 960℃。研制的 30% GF 增强阻燃 PET 达到 UL94 V-0 级并满足 IEC 60335-1-2012 中 750℃灼热丝接触测试材料 30 s 内不着火的阻燃安全要求, 已成功应用于咖啡流量计电磁阀外壳塑料件的制备。

关键词: 灼热丝; 聚对苯二甲酸乙二酯; 阻燃; 工程塑料; 玻璃纤维; 电磁阀外壳

中图分类号: TQ323 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)03-0020-05

Study on GF Reinforced Flame Retardant PET for Housing of Electromagnetic Valve of Coffee Flowmeter

Jia Yijun¹, Bi Li^{1,2}

(1. Beijing Chemical Industry Research Institute Co., Ltd., Beijing 100084, China;

2. Beijing Co-Found High-Tech Incubator Co., Ltd., Beijing 100084, China)

Abstract : An experiment on the effects of single or multi-component flame retardant on the flame retardant properties of 30% glass fiber (GF) reinforced flame retardant poly(ethylene terephthalate) (PET) engineering plastic was introduced. Finally, High glow wire ignition temperature of 30% GF flame retardant PET was prepared. The results show that the flame retardancy efficiency and the glow wire ignition temperature (GWIT) of 30% GF reinforced flame retardant PET can greatly be improved by adding four-component flame retardant. Meanwhile, its mechanical properties are less affected. The best contents of flame retardants and toughening agent are : brominated epoxy resin (BEO) is 16 phr, Sb₂O₃ is 4 phr, melamine cyanurate (MCA) is 10 phr, bisphenol-A bis(diphenyl phosphate) (BDP) is 5 phr, toughening agent (ST-2000) is 5 phr. Under these conditions, the comprehensive performance of the 30% GF reinforced flame retardant PET is the best. The GWIT of PET is 775℃, and the glow wire flammability index (GWFI) of PET is 960℃. The 30% GF reinforced flame retardant PET can meet the flame retardant safety requirements of UL 94 V-0 and the non ignition at 750℃ glow wire contact test materials within 30 s in IEC 60335-1-2012. has been successfully applied to coffee flow preparation of solenoid valve housing plastic parts. It has been successfully applied to the preparation of the plastic parts of the housing of the solenoid valve of the coffee flowmeter.

Keywords : glow wire ; poly(ethylene terephthalate) ; flame retardant ; engineering plastic ; glass fiber ; solenoid valve housing

玻璃纤维 (GF) 增强阻燃聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 工程塑料由于具有高刚性、高硬度、高尺寸稳定性、高耐热、低吸水率、低线性膨胀系数、低成本等优点, 广泛应用于电子电器, 如连接器、线圈骨

架、变压器外壳和继电器等产品的塑料件^[1-2]。2012年8月14日, 欧洲国际电工标准化委员会颁布了 IEC60335-1-2012《家用和类似用途电器的安全通用要求》标准, 该标准对很多家用电子电器产品的

通讯作者: 贾义军, 硕士, 高级工程师, 主要从事工程塑料的改性等相关工作 E-mail: yijun-jia@163.com

收稿日期: 2018-01-18

引用格式: 贾义军, 毕立. 咖啡流量计电磁阀外壳用 30% GF 增强阻燃 PET 的研制 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(3):20-24, 29.

Jia Yijun, Bi Li. Study on GF reinforced flame-retardant PET for housing of electromagnetic valve of coffee flowmeter[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(3):20-24, 29.

内部塑料件所用的材料提出了更高、更严格的明火燃烧及电气着火安全性要求。此后,国内家电企业为了使自己的产品与国际接轨,符合国际标准,要求对电器产品内部塑料件使用的阻燃材料进行升级。近年来,随着人民生活水平的提高,咖啡机走进普通老百姓的生活,其中家用咖啡机内控制流量的电磁阀外壳材料(30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料)也需要按照 IEC60335-1-2012 的要求,提高电气着火即灼热丝引燃着火的安全性,电磁阀外壳塑料件所使用的 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料必须满足灼热丝引燃温度(GWIT) $\geq 750^{\circ}\text{C}$ 且 750°C 灼热丝接触被测试材料 30 s 内不着火或者燃烧时间 ≤ 5 s 的要求。对市售的 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料测试后发现,不能满足 IEC60335-1-2012 的要求。因此开发一种可用于该领域的阻燃增强 PET 工程塑料有很好的市场前景^[3-4]。

笔者采用四元复配阻燃剂制得 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料,完全符合 IEC60335-1-2012 阻燃安全要求,开发的产品已成功应用于咖啡机流量计电磁阀外壳等塑料件。

1 实验部分

1.1 主要原料

PET:黏度为 $0.85\text{ Pa}\cdot\text{s}$,上海创海聚酯材料有限公司;

溴化环氧树脂(BEO):CR-225K,苏州博瑞达高分子材料有限公司;

三氧化二锑:99.8%,辰州矿业有限公司;

三聚氰胺氰尿酸盐(MCA):MCA-25,四川精细化工研究设计院;

双酚 A 双(二苯基磷酸酯)(BDP):WSFR-BDP,浙江万盛股份有限公司;

增韧剂:ST-2000,星贝达(北京)有限公司;

抗氧化剂:1010,168,宁波金海雅宝化工有限公司;

成核剂:AX8920,法国阿科玛公司;

GF:988A-1000,巨石集团。

1.2 主要设备及仪器

同向双螺杆挤出机:CTE-40 型,科倍隆南京机械有限公司;

注塑机:MA600/150 型,海天塑机集团有限公司;

高速混合机:5L 型,南京橡塑机械厂有限公司;

万能试验机:AGS-X 型,日本岛津公司;

冲击试验机:XJ-C 型,承德精密试验机有限公

司;

热变形维卡测试仪:XWB-300E 型,承德试验机有限公司;

水平-垂直燃烧测试仪:CZF-2 型,南京市江宁区分析仪器厂;

漏电起痕指数仪:LDQ-JT 型,上海竞田测试设备有限公司;

灼热丝试验机:ZRS-JT 型,上海竞田测试设备有限公司。

1.3 试样制备

(1) 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料粒料的制备。

分别将阻燃剂单一或多元复配阻燃剂、增韧剂、抗氧化剂和成核剂等按一定比例预混合,再将预混物和一定量的 PET 树脂经高速混合机混合后加入双螺杆挤出机中,在加工过程中加入 30% 的 GF,制备阻燃增强 PET 粒料。具体的挤出造粒工艺参数如下:

挤出温度:1 区(下料)为 275°C ,2~6 区为

270°C ,7~10 区为 265°C ;机头为 270°C ;

主机螺杆转速:450 r/min;

喂料机螺杆电流:10 A;

玻纤股数:5 股;

切粒机转速:300 r/min。

(2) 测试样条的制备。

将上述阻燃增强 PET 粒料在鼓风热干燥烘箱中于 120°C 干燥 4 h,用注塑机注塑测试样条。具体的注射成型工艺参数如下:

注塑温度:1 区(下料)为 255°C ,2 区为 265°C ,3 区为 265°C ,4 区为 270°C ,机头为 270°C ;

注塑压力:为最大注塑压力的 65%~85%;

注塑速度:为最大注塑速度的 60%~80%;

注塑时间:2~3 s;

保压压力:为最大注塑压力的 60%~70%;

保压时间:3~5 s;

冷却时间:4~8 s。

1.4 性能测试

拉伸强度按照 ISO 527-2-2012 测试,拉伸速率为 5 mm/min;

弯曲强度按照 ISO 178-2011 测试,测试速率为 2 mm/min;

简支梁冲击强度和简支梁缺口冲击强度按照 ISO 179-1-2011 测试,缺口类型为 A 型;

热变形温度按照 ISO 75-2-2013 测试;

阻燃性能按照 UL 94-2009 中的垂直燃烧法测试;

灼热丝引燃温度按照 IEC 60695-2-12-2013 和 IEC 60335-1-2012 测试;

相对耐漏电起痕指数 (CTI) 按照 IEC 60112-2009 测试。

2 结果与讨论

市场上对阻燃增强改性 PET 工程塑料的研究较多,阻燃剂多选用单一溴系阻燃剂,比如:十溴二苯乙烷、溴化聚苯乙烯和 BEO;同时也有研究人员采用无卤阻燃剂,比如,采用次磷酸盐或红磷^[5-13]。溴系阻燃剂的阻燃效率最高,无卤阻燃剂添加到聚合物中类似于填充物,且无卤阻燃剂的阻燃效率低,达到卤系阻燃剂的阻燃效果需要的添加量大,对材料性能的恶化比较大。笔者通过对市场上常见的溴系和无卤阻燃剂进行筛选,对单一或多元复配阻燃剂进行实验,制得可满足咖啡机流量计电磁阀外壳用的 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料。

2.1 单一或二元复配阻燃剂对 30% GF 增强阻燃 PET 性能的影响

首先考察在相同 GF 含量下,单一或二元复配阻燃剂对 30% GF 增强阻燃 PET 力学和阻燃性能的影响,其配方和实验结果分别列于表 1 和表 2。

从表 2 可以看出,采用 BEO 和三氧化二锑二元复配阻燃剂时,30% GF 增强阻燃 PET 能满足 UL 94 阻燃等级要求,但不能满足 IEC 60335-1-2012 灼热丝阻燃要求。采用无卤阻燃剂 MCA 和 BDP 时阻燃效率低,由于添加量少,材料不具备阻燃性;与 BEO 和三氧化二锑复配阻燃剂相比,在同样添加量条件下,其力学性能,特别是拉伸和弯曲强度低 14% 以上。

2.2 三元或四元复配阻燃剂对 30% GF 增强阻燃 PET 性能的影响

将多种阻燃剂复配,考察三元或四元复配阻燃剂对比对 30% GF 增强阻燃 PET 阻燃和力学等性能的影响,其配方和性能结果分别列于表 3 和表 4。

从表 3、表 4 可以看出,对于采用 BEO、三氧化二锑和 MCA 三元复配阻燃剂的 30% GF 增强阻燃 PET (4[#] 样品),其 750℃ 灼热丝接触测试材料 30 s 内的着火时间由采用 BEO 和三氧化二锑二元阻燃剂时的 30 s 减少为 20 s,阻燃剂的三元复配对灼热丝阻燃有一定效果;继续在三元复配阻燃剂基

表 1 使用单一或二元复配阻燃剂的 30% GF 增强阻燃 PET 的配方

材料名称	配方编号		
	1 [#]	2 [#]	3 [#]
PET	100	100	100
GF	56.55	56.55	56.55
抗氧剂 1010	0.15	0.15	0.15
抗氧剂 168	0.3	0.3	0.3
增韧剂	3	3	3
成核剂	1.5	1.5	1.5
BEO	20	0	0
三氧化二锑	7	0	0
MCA	0	27	0
BDP	0	0	27

表 2 使用单一或二元复配阻燃剂的 30% GF 增强阻燃 PET 的性能测试结果

项目	配方编号		
	1 [#]	2 [#]	3 [#]
拉伸强度 /MPa	123	105	92
弯曲强度 /MPa	203	165	163
简支梁缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	10	8	7
简支梁冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	46	33	40
热变形温度 /℃ (压力为 1.82 MPa)	225	224	203
UL 94 阻燃等级 (厚度为 0.8 mm)	V-0	HB	HB
GWIT (厚度为 0.8 mm) /℃	< 700	< 700	< 700
750℃ 灼热丝接触测试材料 30 s 内的着火时间 (厚度为 0.8 mm) /s	30	30	30

表 3 使用三元或四元复配阻燃剂的 30% GF 增强阻燃 PET 的配方

材料名称	配方编号				
	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]
PET	100	100	100	100	100
GF	58.7	59.98	62.98	65.1	69.4
抗氧剂 1010	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
抗氧剂 168	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
增韧剂	3	3	3	3	3
成核剂	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
BEO	20	20	20	20	20
三氧化二锑	7	7	7	7	7
MCA	5	5	10	15	20
BDP	0	3	5	5	10

表 4 使用三元或四元复配阻燃剂的 30% GF 增强阻燃 PET 的性能测试结果

项目	配方编号				
	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]
拉伸强度 /MPa	120	115	110	88	70
弯曲强度 /MPa	198	180	173	156	135
简支梁缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	10	6	4	4	4
简支梁冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	42	32	28	20	15
热变形温度 /℃ (压力为 1.82 MPa)	225	225	220	203	190
UL 94 阻燃等级 (厚度为 0.8 mm)	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0
GWIT (厚度为 0.8 mm) /℃	700	750	775	775	775
750℃ 灼热丝接触测试材料 30 s 内的着火时间 (厚度为 0.8 mm) /s	20	15	0	0	0

础上引入 BDP 时,发现阻燃效果改善明显,当四元复配阻燃剂的用量分别为: BEO 为 20 份,三氧化

二锑为 7 份, MCA 为 10 份, BDP 为 5 份时, 制得的 30% GF 增强阻燃 PET (6[#] 样品) 完全符合 IEC 60335-1-2012 的阻燃安全要求, 其 750℃ 灼热丝接触测试材料 30 s 内的着火时间为 0 s, 即不着火。这可能是由于材料在燃烧过程中, 首先有三氧化二锑与 BEO 的协效作用, 能够有效捕捉 PET 树脂在燃烧过程中产生的自由基, 起到延缓或抑制燃烧链的反应, 同时由于释放出的 HBr 和 MCA 分解产生的氮气等属于惰性难燃气体, 可覆盖在 PET 材料周围, 起到阻隔和稀释氧气浓度的作用, 从而起到高效阻燃效果。此外, 由于含磷阻燃剂 BDP 的存在, 在燃烧时形成的 PO 基团可与火焰中的氢原子结合, 起到抑制火焰的作用, 同时其分解也会产生水分降低可燃温度和稀释气相中可燃物的浓度, 使 30% GF 增强阻燃 PET 有很好的阻燃效果^[14-15]。但当四元复配阻燃剂体系中 MCA 和 BDP 用量分别超过 10 份和 5 份时, 对 30% GF 增强阻燃 PET 的力学性能影响较大, 比如, 与 6[#] 样品相比, MCA 和 BDP 用量分别为 20 份和 10 份的 8[#] 样品的拉伸强度从 110 MPa 降到 70 MPa, 弯曲强度从 173 MPa 降到 135 MPa。

在前述实验基础上, 考虑材料的综合性能和配方低成本化, 在固定 MCA 用量为 10 份和 BDP 用量为 5 份条件下, 通过改变 BEO 和三氧化二锑用量, 考察 BEO 和三氧化二锑用量对 30% GF 增强阻燃 PET 性能影响, 测试结果列于表 5。

表 5 使用不同用量的 BEO 和三氧化二锑时 30% GF 增强阻燃 PET 的性能测试结果

项目	BEO / 三氧化二锑			
	20 / 7	16 / 4	15 / 5	12 / 4
拉伸强度 / MPa	110	123	125	128
弯曲强度 / MPa	173	210	215	220
简支梁缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	4	8	8	8
简支梁冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	28	42	43	44
热变形温度 (压力为 1.82 MPa) / °C	220	220	220	220
UL 94 阻燃等级 (厚度为 0.8 mm)	V-0	V-0	V-1	V-2
GWIT (厚度为 0.8 mm) / °C	775	775	725	700
750℃灼热丝接触测试材料 30 s 内的着火时间 (厚度为 0.8 mm) / s	0	0	5	10

从表 5 可知, 适当地减少 BEO 和三氧化二锑用量, 即 BEO 为 16 份、三氧化二锑为 4 份时, 对 30% GF 增强阻燃 PET 的 UL 94 阻燃等级和 750℃灼热丝接触测试材料 30 s 内的着火时间没有影响, 但当 BEO 用量低于 16 份或三氧化二锑用量不小于 4 份时, 30% GF 增强阻燃 PET 的阻燃效率下降明显, UL 94 阻燃等级和灼热丝阻燃都无法满足要求。

说明在四元复配阻燃剂体系中起高效阻燃作用的主体系是 BEO 和三氧化二锑, 在此基础上, 引入其它二元阻燃剂 MCA 和 BDP 才能起到高效阻燃效果。使用该四元复配阻燃剂制备 30% GF 增强阻燃 PET 时, BEO 用量为 16 份、三氧化二锑的用量为 4 份时, 其综合性能最佳, 成本较低。

2.3 增韧剂用量对 30% GF 增强阻燃 PET 性能的影响

电子电器的塑料件多为壳体, 在装配过程中或跌落到地面上时受到外力冲击时, 壳体不同位置开裂现象比较明显, 因此需对材料进行增韧处理, 以提高材料的韧性满足装配要求。采用表 5 中综合性能最好的配比 (BEO / 三氧化二锑 = 16 / 4), 考察增韧剂用量对 30% GF 增强阻燃 PET 性能的影响, 结果列于表 6。

表 6 不同增韧剂用量下 30% GF 增强阻燃 PET 的性能测试结果

项目	增韧剂用量 / 份				
	0	3	5	8	10
简支梁缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	4	4	8	10	12
UL 94 阻燃等级 (厚度为 0.8 mm)	V-0	V-0	V-0	V-1	HB
GWIT (厚度为 0.8 mm) / °C	775	775	750	725	700
750℃灼热丝接触测试材料 30 s 内的着火时间 (厚度为 0.8 mm) / s	0	0	0	5	8

由表 6 可以看出, 当增韧剂用量超过 3 份时, 随着增韧剂用量的增加, 30% GF 增强阻燃 PET 的简支梁缺口冲击强度逐步提高, 增韧剂用量为 5 份时, 简支梁缺口冲击强度达到 8 kJ/m²; 增韧剂用量为 10 份时, 简支梁缺口冲击强度可达 12 kJ/m²。但增韧剂用量的增加严重影响了 UL 94 阻燃等级和灼热丝阻燃的效果, 随着增韧剂用量的增加, 阻燃效果逐渐变差, 当增韧剂用量为 10 份时, 材料完全不具备阻燃性。考虑到材料需满足 UL 94 阻燃等级和 IEC 60335-1-2012 阻燃安全性的要求, 增韧剂的最佳用量为 5 份。

2.4 30% GF 增强阻燃 PET 的综合阻燃性能指标

开发的 30% GF 增强阻燃 PET 的阻燃剂和增韧剂最佳用量分别为: BEO 为 16 份, 三氧化二锑为 4 份, MCA 为 10 份, BDP 为 5 份, 增韧剂为 5 份。在此条件下制备的 30% GF 增强阻燃 PET 的各项阻燃安全性能指标列于表 7。

通常常见的市售 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料的阻燃安全性指标为: UL 94 阻燃等级 (厚度为 0.8 mm) 为 V-0 级别, GWIT (厚度为 1.6 mm) ≤ 725 °C, GWFI (厚度为 1.6 mm) ≥ 850 °C, 750 °C 灼热丝接触测试材料 30 s 内持续着火 (厚度为

表7 30% GF 增强阻燃 PET 的阻燃性能指标

测试项目	测试结果
UL 94 阻燃等级 (厚度为 0.8~3.2 mm)	V-0
750℃灼热丝接触测试材料材料 30 s 内的着火时间 (厚度为 0.8~3.2 mm)/s	0
GWIT (厚度为 0.8~3.2 mm)/℃	775
灼热丝可燃性指数 (GWFI)(厚度为 0.8~3.2 mm)/℃	960
CTI/V	350 (2 级)

1.6 mm), CTI ≤ 200 V (3 级)。从表 7 测试结果可以看出,所制得的 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料的 UL 94 阻燃等级 (厚度为 0.8~0.32 mm) 为 V-0 级别, GWIT (厚度为 0.8~0.32 mm) 为 775℃, GWFI (厚度为 0.8~0.32 mm) 为 960℃, 750℃灼热丝接触测试材料 30 s 内不着火 (厚度为 0.8~0.32 mm), CTI 为 350 V (2 级), 其阻燃安全性能指标优于常规产品, 具备良好的阻燃安全性。

2.5 30% GF 增强阻燃 PET 的环保指标

将研制的 30% GF 增强阻燃 PET 委托第三方权威机构瑞士通用公证行 (SGS) 进行欧盟环保 RoHS 法规要求测试, 具体结果列于表 8。

表8 30% GF 增强阻燃 PET 的 SGS 测试结果

限量物质名称	欧盟 RoHS 法规要求	检测值
铅 (Pb)/(mg·g ⁻¹)	$< 10^{-3}$	Nd
镉 (Cd)/(mg·g ⁻¹)	$< 10^{-3}$	Nd
汞 (Hg)/(mg·g ⁻¹)	$< 10^{-3}$	Nd
六价铬 (Cr ⁶⁺)/(mg·g ⁻¹)	$< 10^{-3}$	Nd
多溴二苯醚 (PBDE)/(mg·g ⁻¹)	$< 10^{-3}$	Nd
多溴联苯 (PBB)/(mg·g ⁻¹)	$< 10^{-3}$	Nd

注: Nd 表示未检出。

由表 8 可以看出, 研制的 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑料完全符合欧盟 RoHS 法规的环保要求。

3 结论

(1) 在 BEO 和三氧化二锑基础上, 引入 MCA 和 BDP, 采用四元复配阻燃剂可明显提高 30% GF 增强阻燃 PET 的阻燃效果。最终确定的四元复配阻燃剂的最佳用量分别为: BEO 为 16 份, 三氧化锑为 4 份, MCA 为 10 份, BDP 为 5 份。在该条件下, 制备的材料阻燃性能满足 UL 94 V-0 (0.8~3.2 mm) 和 IEC 60335-1-2012 的 750℃灼热丝接触测试材料 30 s 内不起火的安全标准要求。

(2) 在 30% GF 增强阻燃 PET 中引入 ST-2000 作为增韧剂, 能有效改善材料的相容性和韧性。ST-2000 用量为 5 份时, 材料的综合性能最佳, 材料的简支梁缺口冲击强度达到 8 kJ/m², 其它性能保持良好。

(3) 开发成功的 30% GF 增强阻燃 PET 工程塑

料由于具有良好的力学性能、阻燃安全性、电气安全性和环保性, 已被几家家用电器配套公司应用在咖啡机流量计控制电磁阀外壳和其它类似用途的塑料件上, 比如线圈骨架、继电器和电器壳体等。

参考文献

- [1] 李杰. 高性能增强阻燃聚酯工程塑料: 中国, 1789329A[P]. 2006-06-21.
Li Jie. Flame-retardent reinforced polyester engineering plastics with high property: CN, 1789329A[P]. 2006-06-21.
- [2] 宁培森, 王红梅, 丁著明. 阻燃 PET 的研究进展 [J]. 聚合物与助剂, 2010(1):1-9.
Ning Peisen, Wang Hongmei, Ding Zhuming. Research progress of flame retardant PET[J]. Polymer & Additives, 2010(1):1-9.
- [3] 蒋红丽, 姚强, 曹琳, 等. 塑料灼热丝耐受改性技术进展 [J]. 科技创新导报, 2014, 11(5):40-42.
Jiang Hongli, Yao Qiang, Cao Lin, et al. Progress in modification of high glow wire flame retardant of plastic[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2014, 11(5):40-42.
- [4] 蒋红丽, 曹琳, 姚强, 等. 耐灼热丝高温引燃的塑料改性技术研究进展 [J]. 科技传播, 2014(8):114-116.
Jiang Hongli, Cao Lin, Yao Qiang, et al. Progress in research of the technology about plastic modification of high glow wire flame retardant[J]. Public Communication of Science & Technology, 2014, 000(008):114-116.
- [5] 杨慧, 丁鹏, 施利毅, 等. PET 用无卤阻燃剂研究进展 [J]. 上海塑料, 2008, 141(1):1-4.
Yang Hui, Ding Peng, Shi Liyi, et al. Progress in research of halogen-free flame retardant for PETs[J]. Shanghai Plastics, 2008, 141(1):1-4.
- [6] 郭建鹏, 项军, 范潇潇, 等. 高灼热丝环保型阻燃增强 PBT 的研制 [J]. 塑料工业, 2010, 38(2):82-84.
Guo Jianpeng, Xiang Jun, Fan Xiaoxiao, et al. Development of environmental flame-retardant reinforced PBT with high glow-wire property[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(2):82-84.
- [7] 郭建鹏, 孟成铭, 杨涛, 等. 高灼热丝温度环保型阻燃增强 PA66 的研制 [J]. 工程塑料应用, 2010, 38(1):46-48.
Guo Jianpeng, Meng Chengming, Yang Tao, et al. Development of environmental flame-retardant reinforced PA66 with high glow-wire property[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(1):46-48.
- [8] 杨永兵, 苗立成, 姚洁璐, 等. 高灼热丝阻燃增强回收 PA6 的制备 [J]. 塑料工业, 2011, 39(10):96-108.
Yang Yongbing, Miao Licheng, Yao Jieli, et al. Preparation of high glow-wire reinforced flame-retardant recycling PA6[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(10):96-108.
- [9] 兰浩, 尹云山, 薛刚, 等. 高灼热丝 PET/PA6 合金材料开发及应

(下转第 29 页)

- styrene thermoplastics and foams[J]. Polym Int, 2008, 57:431-448.
- [2] 王保正. 聚丙烯用阻燃剂及阻燃聚丙烯[J]. 塑料, 2004, 33(1):54-59.
- Wang Baozheng. Flame retardant used in pp and fire retardant PP[J]. Plastics, 2004, 33(1):54-59.
- [3] 陈浩然, 李晓丹. 阻燃剂的研究发展现状[J]. 纤维复合材料, 2012(1):18-21.
- Chen Haoran, Li Xiaodan. The recent progress of flame-retardants[J]. Fiber Composites, 2012(1):18-21.
- [4] 王雅珍, 孟爽, 王凤超. 聚苯乙烯用阻燃剂研究进展[J]. 广州化工, 2016, 44(22):1-2, 11.
- Wang Yazhen, Meng Shuang, Wang Fengchao. Research progress on flame retardant for polystyrene[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2016, 44(22):1-2, 11.
- [5] Wang Zhengzhou, Li Xiaoyan. Mechanical properties and flame retardancy of rigid polyurethane foams containing a SiO₂ nanospheres / graphene oxide hybrid and dimethyl methylphosphonate[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2017, doi:10.1080/03602559.2017.1354251.
- [6] Edenharter A, Feicht P, Diar-Bakerly B, et al. Superior flame retardant by combining high aspect ratio layered double hydroxide and graphene oxide[J]. Polymer, 2016, 91:41-49.
- [7] 王雅珍, 孟爽, 肖添远, 等. 苯乙烯在改性氧化石墨烯表面的接枝聚合[J]. 中国塑料, 2017, 31(9):81-85.
- Wang Yazhen, Meng Shuang, Xiao Tianyuan, et al. Grafting polymerization of styrene on surface of modified graphene oxide[J]. China Plastics, 2017, 31(9):81-85.
- [8] Han Yongqin, Wu Ying, Shen Mingxia, et al. Preparation and properties of polystyrene nanocomposites with graphite oxide and graphene as flame retardants[J]. Journal of Materials Science, 2013, 48(12):4 214-4 222.
- [9] Feng Caimin, Zhang Yi, Liu Siwei, et al. Synthesis of novel triazine charring agent and its effect in intumescent flame-retardant polypropylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 123(6):3 208-3 216.
- [10] 马林泉. 低压电器用电工模塑料的现状与发展趋势[J]. 电器工业, 2015(11):12-14.
- Ma Linquan. Current situation and development trend of electrical mould plastics for low voltage electrical appliances[J]. China Electrical Equipment Industry, 2015(11):12-14.
- [11] 梁亚东, 吕建. 电工用热固性模塑料的应用与发展[J]. 绝缘材料, 2000(4):25-29.
- Liang Yadong, Lyu Jian. Application and development of thermosetting moulded plastics for electricians[J]. Insulating Materials, 2000(4):25-29.
- [12] Geim A K, Novoselov K S. The rise of graphene[J]. Nature Materials, 2007, 6:183-191.
- [13] Yuan Bihe, Fan Ao, Man Yang, et al. The effects of graphene on the flammability and fire behavior of intumescent flame retardant polypropylene composites at different flame scenarios[J]. Polymer Degradation & Stability, 2017, 143:42-56.
- [14] Wang Xin, Song Lei, Yang Hongyu, et al. Synergistic effect of graphene on antidripping and fire resistance of intumescent flame retardant poly(butylene succinate)composites[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50(9):5 376-5 383.
- [15] Li Bin, Zhong Weihong. Review on polymer / graphite nanoplatelet nanocomposites[J]. Journal of Materials Science, 2011, 46(17):5 595-5 614.
-
- (上接第 24 页)
- 用[J]. 中国塑料, 2014, 28(10):52-55.
- Lan Hao, Yin Yunshan, Xue Gang, et al. Research and application of high glow wire flame retardent enhance PET / PA6 alloy material[J]. China Plastics, 2014, 28(10):52-55.
- [10] 陈哲, 张志丹, 费建新, 等. 高灼热丝引燃温度高漏电起痕指数的阻燃 PA6 / GF[J]. 合成树脂及塑料, 2014(5):62-64.
- Chen Zhe, Zhang Zhidan, Fei Jianxin, et al. Flame-retardent glass fiber PA6 with high glow wire ignition temperature and comparative tracking index[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2014(5):62-64.
- [11] 陈超, 郭建鹏, 孟成铭, 等. 耐刮擦高灼热丝温度 HIPS 研究[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(10):37-40.
- Chen Chao, Guo Jianpeng, Meng Chengming, et al. Study on anti-scratch high glow wire temperature HIPS[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(10):37-40.
- [12] 王保续, 兰浩, 李娜, 等. 高灼热丝阻燃增强 PA / PBT 合金材料[J]. 塑料工业, 2012, 40(11):99-102.
- Wang Baoxu, Lan Hao, Li Na, et al. High glow wire flame retardent reinforced PA / PBT alloy[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(11):99-102.
- [13] 贾义军, 唐帅, 郭争光, 等. 满足苛刻阻燃要求的环保阻燃增强 PBT 的研究[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(3):21-25.
- Jia Yijun, Tang Shuai, Guo Zhengguang, et al. Study on environment friendly flame-retardent glass fiber reinforced polybutylene terephthalate (PBT) meeting the strict requirements of flame-retardant[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(3):21-25.
- [14] 陈力, 杨荣, 王玉忠, 等. 同时实现阻燃与增强的高分子材料的阻燃方法[J]. 高分子通报, 2013(9):134-139.
- Chen Li, Yang Rong, Wang Yuzhong, et al. An efficient method for flame retardation of polymeric materials with improved mechanical properties[J]. Polymer Bulletin, 2013(9):134-139.
- [15] 欧育湘. 阻燃剂—制造、性能及应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.
- Ou Yuxiang. Flam Retardent—manufacturing, performance and application[M]. Beijing: Weapons Industry Press, 1997.