

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.06.006

纳米 MMT 对 APP/MCA 复合阻燃 EP 性能的影响

洪晓东¹, 秦昌强¹, 赵爽¹, 梁兵²

(1. 辽宁工程技术大学材料科学与工程学院, 辽宁阜新 123000; 2. 沈阳化工大学材料科学与工程学院, 沈阳 110142)

摘要:采用 X 射线衍射仪研究了纳米蒙脱土 (MMT) 和 EP/纳米 MMT 复合材料中纳米 MMT 的层间距变化。结果表明, 纳米 MMT 与 EP/纳米 MMT 复合材料中纳米 MMT 的层间距相差不大, 说明纳米 MMT 在 EP 中只是物理混合, 没有发生插层反应。研究了纳米 MMT 用量对 EP/纳米 MMT 以及 EP/聚磷酸铵 (APP)/三聚氰胺氰尿酸盐 (MCA) 复合材料性能的影响。结果表明, 纳米 MMT 的加入不能提高 EP/纳米 MMT 的极限氧指数 (LOI), 可以提高 EP/纳米 MMT 复合材料的拉伸强度。纳米 MMT 与 APP 和 MCA 复配作为复合阻燃剂, 可以产生明显的阻燃协同效应, 当 APP 和 MCA 质量比为 3:1, 纳米 MMT 在复合阻燃剂中的质量分数为 20% 且复合阻燃剂在复合材料中的质量分数为 20% 时, EP/APP/MCA/纳米 MMT 复合材料的综合性能最佳, LOI 为 29.6%, 垂直燃烧等级达到 UL94 V-0 级, 拉伸强度和冲击强度分别为 45.9 MPa 和 8.6 kJ/m²。

关键词: 纳米蒙脱土; 协同效应; 阻燃; 环氧树脂

中图分类号: TQ637.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)06-0026-05

Influence of Nano MMT on Properties of APP/MCA Composite Flame Retardant EP

Hong Xiaodong¹, Qin Changqiang¹, Zhao Shuang¹, Liang Bing²

(1. College of Materials Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. College of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)

Abstract: The distances between layers of nano montmorillonite (MMT) and epoxy resin (EP) / nano MMT composites were studied by X ray diffraction, the results show that nano MMT and nano MMT in EP / nano MMT composites have no difference in the layer distance, which show that nano MMT is just physically mixed with the EP, there are no intercalative polymerization reaction. The influence of nano MMT contents on EP / nano MMT and EP / ammonium polyphosphate (APP) / melamine cyanurate (MCA) composites were also studied, the results show that the addition of nano MMT can not improve the limited oxygen index (LOI) of EP / nano MMT composites, while it can improve the tensile strength of the composites. Nano MMT play prominent synergetic flame retardant effect when used together with flame retardant APP and MCA, EP / APP / MCA / nano MMT composite has a best combination performance when the mass ratio of APP and MCA is 3:1, the mass fraction of nano MMT in composite flame retardants is 20% and the mass fraction of the composite flame retardants is 20% in the composite, the LOI is 29.6%, the vertical burning rating reach UL94 V-0 level, the tensile and impact strength is 45.9 MPa and 8.6 kJ/m² respectively.

Keywords: nano montmorillonite; synergetic effect; flame retardant; epoxy resin

蒙脱土 (MMT) 是一种层状硅酸盐矿物材料, 具有高比表面积和高强度等优点。MMT 的来源广泛, 价格低廉, 在聚合物中加入质量分数为 1%~5% 的 MMT 可以使复合材料的性能得到不同程度的改善^[1-2]。环氧树脂 (EP) 的化学稳定性好, 加入 MMT 能够显著增强 EP 的力学性能和耐热性能^[3]。在无卤阻燃材料领域, 纳米 MMT 具有很好的阻燃协同效应。孟圆圆等^[4]研究了自制纳米有机蒙脱土 (OMMT) 与膨胀型阻燃剂 (IFR) 复合阻燃线型低密度聚乙烯 (PE-LLD) 的性能。结果表明, OMMT 的加入提高了 PE-LLD/IFR 体系的阻燃性能和力

学性能, 一定程度上解决了熔滴和浓烟现象; 当 IFR 用量为 30 份、纳米 OMMT 质量分数为 2% 时, 体系的极限氧指数 (LOI) 达到 25.2%, 燃烧残余物形成致密的炭层。刘国胜等^[5]研究了纳米 MMT 与聚磷酸铵 (APP)/双季戊四醇 (DPER) 复合阻燃 PP 的性能, 结果表明, 添加的纳米 MMT 与 APP 发生成炭化学反应, 生成 Si—O—P 键, 增加了 APP 的高温稳定性。

联系人: 洪晓东, 博士, 副教授, 从事高分子材料无卤阻燃及改性技术研究

收稿日期: 2014-03-18

将纳米 MMT 添加到 EP 中多研究纳米 MMT 的层间距变化及耐热性能,而采用纳米 MMT 与聚磷酸铵 (APP)/三聚氰胺氰尿酸盐 (MCA) 复合阻燃 EP 的文献未见报道。笔者以纳米 MMT 作为阻燃协效剂,研究了纳米 MMT 对 APP/MCA 复合阻燃 EP 性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

EP:E-51,工业级,星辰化工无锡树脂厂;

固化剂:2125B,工业级,无锡惠隆电子材料有限公司;

APP:聚合度为 2000,杭州捷尔斯阻燃化工有限公司;

MCA:济南晨旭化工有限公司;

纳米 MMT:浙江丰虹新材料股份有限公司。

1.2 主要仪器与设备

LOI 仪:JF-3 型,南京江宁分析仪器有限公司;

垂直燃烧测试仪:CF-3 型,南京江宁分析仪器有限公司;

万能试验机:XWW20A 型,承德精密试验机有限公司;

冲击试验机:HY(BC)5J 型,承德精密试验机有限公司;

X 射线衍射 (XRD) 仪:XRD-6100 型,日本岛津公司。

1.3 试样制备

试样配方见表 1。将 EP 放入 60℃ 的烘箱中加热 30 min,当黏度降低后,按表 1 配方称量加入 EP,再分别加入纳米 MMT,APP 和 MCA,搅拌,使固体粉末均匀分散在 EP 中,然后加入固化剂,搅拌均匀,放置 5 min,以减少气泡,将混合好的粘稠液体倒入聚四氟乙烯模具中,室温固化得到测试试样。

表 1 试样配方

试样编号	EP	固化剂	纳米 MMT	APP	MCA
1 [#]	60	30			
2 [#]	58.8	29.4	2		
3 [#]	57.3	28.7	4		
4 [#]	56	28	6		
5 [#]	55	27	8		
6 [#]	48	24	0	13.5	4.5
7 [#]	48	24	1.8	12.15	4.05
8 [#]	48	24	3.6	10.8	3.6
9 [#]	48	24	5.4	9.45	3.15
10 [#]	48	24	7.2	8.1	2.7

1.4 性能测试

XRD 测试实验条件为:Cu 靶 K_{α} 射线,Ni 滤波,

辐射管电压为 50 kV,管电流为 150 mA,扫描速度为 0.5°/min,扫描范围为 1°~20°;

拉伸强度按 GB/T 1040-2006 测试;

冲击强度按 GB/T 6579-2007 测试;

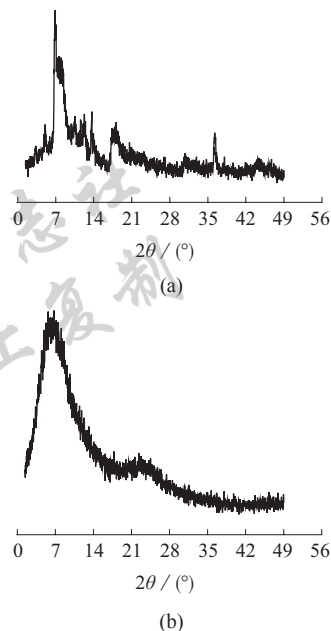
LOI 按 GB/T 10707-2008 测试;

垂直燃烧等级按 GB/T 2408-2008 测试。

2 结果与讨论

2.1 纳米 MMT 和 EP/纳米 MMT 复合材料的 XRD 分析

图 1 为纳米 MMT 和纳米 MMT 质量分数为 2% 的 EP/纳米 MMT 复合材料的 XRD 曲线。



a—纳米 MMT ; b—EP/纳米 MMT 复合材料

图 1 纳米 MMT 和 EP/纳米 MMT 复合材料的 XRD 曲线

根据 Bragg 衍射方程 $2d\sin\theta=n\lambda$,其中, d 为纳米 MMT 片层的晶面间距, θ 为入射角, λ 为入射 X 射线的波长, n 为衍射级数,由曲线中衍射峰的 θ 可以计算出纳米 MMT 的晶面间距。由图 1a 可以看出,纳米 MMT 的 d_{001} 衍射峰对应的 $2\theta=7.154^\circ$,计算其平均层间距为 1.240 nm;由图 1b 可以看出,EP/纳米 MMT 复合材料中纳米 MMT 的 d_{001} 衍射峰的 $2\theta=7.138^\circ$,计算其层间距为 1.238 nm,与纳米 MMT 的层间距 1.240 nm 相差不大,说明纳米 MMT 加入到 EP 中没有导致纳米 MMT 的晶层结构发生变化,可以判断 EP 与纳米 MMT 之间只是物理混合,并没有发生插层反应导致纳米 MMT 的层间距增大,其主要原因是实验中采用的 EP 固化剂为室温型固化剂,固化反应持续时间为 20 h,放热量缓慢,没有足够的能量导致 EP 与纳米 MMT 间发生插层反应。

2.2 纳米 MMT 用量对 EP/ 纳米 MMT 复合材料性能的影响

图2、图3分别为纳米 MMT 用量对 EP/ 纳米 MMT 复合材料 LOI 和力学性能的影响。

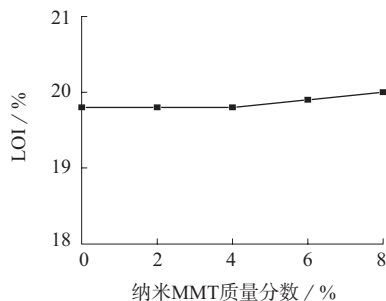


图2 纳米 MMT 用量对 EP/ 纳米 MMT 复合材料 LOI 的影响

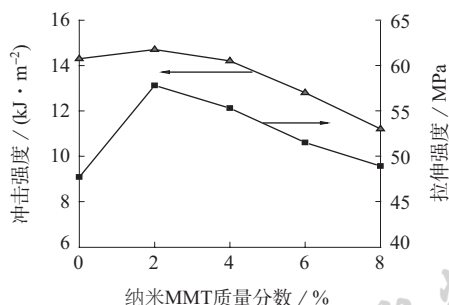


图3 纳米 MMT 用量对 EP/ 纳米 MMT 复合材料力学性能的影响

由图2可以看出, EP/ 纳米 MMT 复合材料的 LOI 随着纳米 MMT 用量的增加稍微有所提高,但提高幅度很小, LOI 在 19.8%~20% 之间。因此,可以断定 EP 中单独加入纳米 MMT 后,复合材料的 LOI 基本无变化,说明纳米 MMT 单独使用时不能提高材料的阻燃性能。由图3可以看出, EP/ 纳米 MMT 复合材料冲击强度和拉伸强度均随着纳米 MMT 用量的增加而呈先增大后减小的变化趋势,当纳米 MMT 质量分数为 2% 时,力学性能均出现极大值,其中拉伸强度为 57.8 MPa,比纯 EP 提高 21.2%;冲击强度为 14.7 kJ/m²,比纯 EP 提高 2.1%。当纳米 MMT 的质量分数超过 2% 时,复合材料的冲击强度和拉伸强度均逐渐下降,但是其拉伸强度仍高于纯 EP;当纳米 MMT 的质量分数大于 4% 后,复合材料的冲击强度均小于纯 EP。上述结果表明,纳米 MMT 加入量较少时能够提高复合材料的力学性能,拉伸强度提高显著,对冲击强度的提高幅度不大。主要原因是少量的纳米 MMT 可以更好地分散在 EP 基体中,起到一定的增强作用,纳米 MMT 的片层结构还会阻止银纹发展成宏观裂纹,当复合材料受到外力作用时,片层结构的纳米

MMT 可以在应力周围引发银纹,从而吸收一部分能量,进而提高复合材料的冲击强度。纳米 MMT 的加入量增大会使其在 EP 中的分散效果变差,导致复合材料的力学性能下降。

综上所述,在 EP 中加入纳米 MMT 时,纳米 MMT 对 EP/ 纳米 MMT 复合材料的 LOI 提高起不到任何作用;当纳米 MMT 的质量分数为 2% 时,能够改善复合材料的力学性能,尤其是拉伸强度的提高幅度较大。

2.3 纳米 MMT 用量对 EP/ APP/ MCA 复合材料性能的影响

本课题组前期研究表明^[6],当 APP 与 MCA 的质量比为 3:1,且总质量分数为 20% 时,获得的 EP/ APP/ MCA 复合材料的综合性能最佳,拉伸强度为 44.5 MPa,冲击强度为 8.3 kJ/m², LOI 为 27.2%,垂直燃烧熄灭时间为 4.2 s,达到 UL94 V-0 级。本实验将固定 APP 与 MCA 的质量比为 3:1,复合阻燃剂 (APP, MCA 和纳米 MMT) 的质量分数为 20%,改变纳米 MMT 的用量,研究纳米 MMT 用量对 EP/ APP/ MCA 复合材料性能的影响。

纳米 MMT 用量对 EP/ APP/ MCA 复合材料阻燃性能的影响如图4和表2所示。

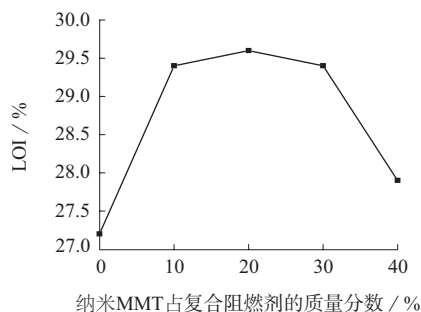


图4 纳米 MMT 用量对 EP/ APP/ MCA 复合材料 LOI 的影响

表2 纳米 MMT 用量对 EP/ APP/ MCA 复合材料垂直燃烧性能的影响

纳米 MMT 占复合阻燃剂质量分数 / %	垂直燃烧熄灭时间 / s	UL94 级别
0	4.4	V-0
10	3.8	V-0
20	3.0	V-0
30	4.3	V-0
40	11.8	V-1

由图4可以看出,纳米 MMT 的加入能够明显提高 EP/ APP/ MCA 复合材料的阻燃性能。随着纳米 MMT 用量的增加,复合材料的 LOI 先增大后减小,当阻燃剂中纳米 MMT 的质量分数为 20% 时, LOI 达到最大值 (29.6%),比未加入纳米 MMT 时提

高 2.4%。

由表 1 中的垂直燃烧熄灭时间变化可以看出,垂直燃烧熄灭时间(即有焰燃烧时间总和)随着纳米 MMT 用量的增加先减小后增大,当纳米 MMT 的质量分数为 20% 时,垂直燃烧熄灭时间最短,为 3.0 s,垂直燃烧达到 UL94 V-0 级。综上得出,当复合阻燃剂中纳米 MMT 的质量分数为 20% 时,产生的阻燃协同效果最佳。其原因是由于纳米 MMT 与复合阻燃剂中的 APP 和 MCA 发生协同作用,APP 分解产生磷酸,可以促进形成炭层,而纳米 MMT 的片层状结构可以提高炭化层的热稳定性,可以形成隔热层阻隔基体材料与燃烧区间的热传递;同时,纳米 MMT 受热产生的铝-硅物质可以作为成炭促进剂,降低聚合物的降解速率,对协同阻燃起到重要作用。文献[5]表明,在加热过程的持续中,由于纳米 MMT 片层逐渐向材料表面迁移,从而在炭质结构的表面沉降,形成褶皱的形貌,这种褶皱形状的炭层可以更有效地阻隔热量的传递作用,进而提高材料的阻燃性能。

纳米 MMT 用量对 EP/APP/MCA 复合材料力学性能的影响如图 5 所示。

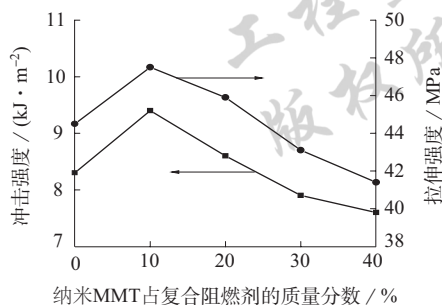


图 5 纳米 MMT 用量对 EP/APP/MCA 复合材料力学性能的影响

由图 5 可以看出,随着复合阻燃剂中纳米 MMT 用量的增加,复合材料的拉伸强度和冲击强度均呈先上升后下降的变化趋势,当纳米 MMT 在复合阻燃剂中的质量分数为 10% 时,拉伸强度和冲击强度均达到最大值,其中,拉伸强度为 47.5 MPa,冲击强度为 9.4 kJ/m²。当纳米 MMT 在复合阻燃剂中的质量分数小于 20% 时,复合材料的力学性能与未添加纳米 MMT 相比均有所提高,继续增大复合阻燃剂中纳米 MMT 的比例后,复合材料的力学性能逐渐下降。分析纳米 MMT 对复合材料力学性能的影响原因,可能是复合阻燃剂中少量的纳米 MMT 均匀分散会对材料产生一定的增强作用,而当纳米 MMT 在复合阻燃剂中的质量分数超

过 20% 时,纳米片层结构的纳米 MMT 不能均匀分散,因此,会影响复合材料的力学性能。考虑到材料的阻燃性能优先,当纳米 MMT 的质量分数为 20% 时,复合材料的拉伸强度为 45.9 MPa,冲击强度为 8.6 kJ/m²。

综上可知,纳米 MMT 与 APP 和 MCA 复配可以产生明显的协同作用,当 APP 和 MCA 的质量比为 3 : 1,纳米 MMT 在复合阻燃剂中的质量分数为 20% 且复合阻燃剂在复合材料中的质量分数为 20% 时,复合材料的综合性能最佳,LOI 为 29.6%,垂直燃烧时间为 3.0 s,达到 UL94 V-0 级,拉伸强度和冲击强度分别为 45.9 MPa 和 8.6 kJ/m²。

3 结论

(1) XRD 研究表明,纳米 MMT 与 EP/ 纳米 MMT 复合材料中纳米 MMT 的层间距分别为 1.240 nm 和 1.238 nm,两者相差不大,说明纳米 MMT 在 EP 中只是物理混合,没有发生插层反应,导致纳米 MMT 层间距增大。

(2) 纳米 MMT 对 EP/ 纳米 MMT 复合材料 LOI 的提高不起作用;当纳米 MMT 质量分数为 2% 时,EP/ 纳米 MMT 复合材料的拉伸强度和冲击强度比 EP 分别提高 21.2% 和 2.1%。

(3) 纳米 MMT 与 APP 和 MCA 复配可以产生明显的阻燃协同作用。当 APP 和 MCA 质量比为 3 : 1,纳米 MMT 在复合阻燃剂中的质量分数为 20% 且复合阻燃剂在复合材料中的质量分数为 20% 时,EP/APP/MCA/ 纳米 MMT 复合材料的综合性能最佳,LOI 为 29.6%,垂直燃烧时间为 3.0 s,达到 UL94 V-0 级,拉伸强度和冲击强度分别为 45.9 MPa 和 8.6 kJ/m²。

参考文献

- [1] 孙佩佩,白卯娟,张军.PP/ 纳米蒙脱土复合材料炭层结构对阻燃性能的影响[J]. 合成树脂及塑料,2011,28(4):58-61.
Sun Peipei, Bai Maojuan, Zhang Jun. Effect of char layer structure on flame retardancy of polypropylene nano-montmorillonite composites[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2011, 28(4):58-61.
- [2] 王士财,张晓东,楼涛,等. 纳米蒙脱土增强聚氨酯-异氰酸酯材料研究[J]. 聚氨酯工业,2009,24(5):26-29.
Wang Shicai, Zhang Xiaodong, Lou Tao, et al. Study on polyurethane-isocyanate material reinforced by nanometer montmorillonite[J]. Polyurethane Industry, 2009, 24(5):26-29.
- [3] 周时洋,王坤燕,夏鹏飞,等. 环氧树脂/蒙脱土纳米复合材料的性能研究进展[J]. 塑料工业,2012,40(4):6-9.

- Zhou Shiyang, Wang Kunyan, Xia Pengfei, et al. Research progress of properties of epoxy / montmorillonite nanocomposites[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(4):6-9.
- [4] 孟圆圆, 公维光, 郑柏存, 等. 纳米蒙脱土 / 膨胀型阻燃剂协同阻燃线性低密度聚乙烯 [J]. 高分子材料科学与工程, 2012, 28(12):142-146.
- Meng Yuanyuan, Gong Weiguang, Zheng Baicun, et al. Linear low density polyethylene retarded by synergistic flame retardant of OMMT / IFR[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2012, 28(12):142-146.
- [5] 刘国胜, 郝建薇, 周友. 蒙脱土协同膨胀阻燃聚丙烯的热降解机理 [J]. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(9):68-72.
- Liu Guosheng, Hao Jianwei, Zhou You. Thermal degradation mechanism of montmorillonite synergistic intumescent flame retardant polypropylenes[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2013, 29(9):68-72.
- [6] 赵爽. 无卤复合阻燃环氧树脂的研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2013.
- Zhao Shuang. The research of halogen-free composites retardant epoxy resin[D]. Fuxin:Liaoning Technical University, 2013.

茂名石化与金发科技共同开发汽车保险杠专用料

近日, 高熔体流动速率高抗冲聚丙烯汽车保险杠专用料 PPB-MM30-S 在茂名石化 1 号聚丙烯装置实现首次工业化生产。该产品是茂名石化与金发科技公司合作开发的新一代汽车保险杠专用料, 产品技术含量处于国内领先水平。

该产品采用新一代催化剂外给电子体氢调法技术生产, 无任何气味, 符合福特等多个汽车品牌对车用环保材料的要求, 同时能完全避免同类产品因添加过氧化物而导致装置料仓发生闪爆的风险, 另外, 通过调节分子量, 使得该新产品的冲击强度较上一代产品提高了近 20%, 产品技术含量处于国内领先水平。据悉, 仅金发科技对此牌号的月需求量就达到 1 000 t 以上, 市场前景较好。 (工程塑料网)

溴系阻燃剂受质疑, 有机磷系阻燃剂将取代

从地区分布来看, 美国、欧洲、日本以及亚洲其它地区 (包括中国、印度、韩国) 为全球最主要的四个阻燃剂消费市场。美国和欧洲地区作为阻燃剂的发源地, 行业发展较早, 亚洲地区阻燃剂行业起步较晚。

虽然阻燃剂的历史最早可以追溯到 1820 年, 但从 20 世纪 60 年代开始, 阻燃剂才逐渐被大量生产和使用。据预测, 全球阻燃剂需求量将以年均约 5% 的速度增长。2012 年全球阻燃剂消费量约为 197 万 t。预计到 2018 年, 全球阻燃剂消费量可达 260 万 t。

(1) 发达国家对阻燃材料的立法日趋健全, 环保要求逐渐提高。

从 20 世纪后半叶开始, 塑料、合成橡胶及合成纤维三大合成材料被广泛应用于国民经济和人民生活各个方面, 但是这些合成材料是易燃物质, 从而导致火灾的发生日益频繁。所以自 20 世纪 60 年代起, 一些发达国家开始通过一些制造商的自愿行为及国家专门的立法, 逐渐改善这些材料的阻燃性能, 使其在受到外界火源攻击时, 能延缓或终止火焰的传播, 从而降低火灾发生的危险性。

近几年来, 社会各界对阻燃剂在安全、环保方面的要求日益提高, 对阻燃剂研发往低毒、高效方向的发展产生了很大的推动作用。代表性的环保法案主要包括《RoHS》和《斯德哥尔摩公约》, 这些法案的主要内容就是限制和禁用一些对环境和人体有害的物质。一些有机卤系阻燃剂就因为成

分或反应后的排放物达不到环保要求而被禁止或限制使用。

(2) 溴系阻燃剂仍占据重要地位, 但其环保性日益受到质疑。

有机卤系阻燃剂仍然是目前最主要的阻燃剂产品之一, 共有近百个品种, 主要是溴系阻燃剂和氯系阻燃剂。其中溴系阻燃剂有 70 多个品种, 目前全球使用量较大的三种有机阻燃剂产品十溴二苯乙烷、四溴双酚 A 及六溴环十二烷均属于溴系阻燃剂。由于溴系阻燃剂具有阻燃效率高、用量少、对材料性能影响小、应用领域广泛、价格适中等优点, 在许多应用领域, 溴系阻燃剂仍然占据重要地位。

但是, 溴系阻燃剂在环保及安全方面的问题日益显现。1986 年, 瑞士和德国科学家相继通过的试验证明, 多溴二苯醚及其阻燃的材料在热解和燃烧时会生成有毒致癌物质多溴代二苯并二恶英和多溴代二苯并呋喃 (PBDF), 并且, 溴系阻燃剂阻燃的高聚物在热解及燃烧时会生成大量的烟尘及腐蚀性气体, 对环境和生物具有危害性。出于环保及安全方面的考量, 越来越多的人, 特别是电子电气行业的生产商和用户对溴系阻燃剂持审慎态度。伴随着《RoHS》、《斯德哥尔摩公约》等指令的出台和实施, 阻燃剂无溴化的进程将越走越快。目前, 苹果、三星、惠普、戴尔等公司均承诺将逐渐停用溴系阻燃剂。

(3) 有机磷系阻燃剂逐渐替代含溴阻燃剂。

有机卤系阻燃剂在品种、性能及销量方面仍然占有举足轻重的地位。但从长远发展的角度看, 阻燃剂向低毒、低烟及“无卤化”方向发展是不可避免的。无机阻燃剂虽没有环保方面的问题, 但因其阻燃效率低、添加量大、容易降低材料本身的力学性能, 用于对力学性能要求不高的材料, 且需要添加溴系阻燃剂以提高协同阻燃效率, 其应用领域与有机卤系阻燃剂和有机磷系阻燃剂有较为明显的差异。

而使用有机磷系阻燃剂替代有机卤系阻燃剂就不存在类似的问题, 除了应用领域方面的近似性, 在阻燃效率方面两者的差异也不大, 有机磷系阻燃剂比有机卤系阻燃剂更具有环保方面的优势, 因此行业内将有机磷系阻燃剂作为替代有机卤系阻燃剂的优先选择之一。近几年来, 全球阻燃剂行业中, 有机磷系阻燃剂消费量正逐渐赶上卤系阻燃剂。

(工程塑料网)