

聚乙烯无卤阻燃研究进展

杨志骅

(金发科技绵阳东方特种工程塑料有限公司,绵阳 621000)

摘要 介绍了金属氢氧化物、磷系阻燃剂、硅系阻燃剂、膨胀型阻燃剂等无卤阻燃剂在聚乙烯体系中的应用进展,综述了无卤阻燃剂对聚乙烯的阻燃机理、阻燃效果及其发展方向。

关键词 聚乙烯 无卤阻燃剂 应用

聚乙烯(PE)因其低廉的价格、优良的性能而被广泛应用于交通运输、建筑建材、电子电气等诸多领域,是目前产量最大的通用塑料之一。我国的 PE 工业发展速度很快,2010 年,PE 产量达到 986 万 t,同比增长 28.9%。但 PE 耐燃性差的缺点严重影响了其应用,其极限氧指数很低(约 17.3%),属于易燃材料,在燃烧过程中热释放速率大,热值高,火焰传播速度快,分解产生大量可燃气体等,极易造成火灾,对人们的生命和财产安全形成巨大的威胁。因此对 PE 的阻燃研究逐渐成为科研工作的重点之一。过去常采用含卤阻燃剂来提高其阻燃性能,但由于含卤阻燃剂在燃烧时产生大量烟雾及含卤的有毒、有害气体造成二次灾害,为此低烟无卤阻燃 PE 的研究已经引起了普遍的重视。笔者重点介绍了无卤阻燃剂对 PE 的改性研究进展及其未来的发展方向。

1 PE 的燃烧机理及阻燃途径

PE 是由乙烯单体自由基聚合而成的碳氢结构聚合物,着火温度为 340℃,分解温度为 325℃左右,燃烧速度快,而且伴有熔滴和流延起火现象。PE 的燃烧过程是一种复杂的自由基链锁反应过程。研究表明,PE 在空气中燃烧时产生活性很大的 $\text{HO}\cdot$ 、 $\text{H}\cdot$ 自由基,这些自由基有促进燃烧的作用,其受热分解反应如下^[1]:

①链引发: $\text{RH}\rightarrow\text{R}\cdot+\text{H}\cdot$

②链增长: $\text{H}\cdot+\text{O}_2\rightarrow\text{O}\cdot+\text{H}_2\text{O}_2$; $\text{R}\cdot+\text{O}_2\rightarrow\text{ROO}\cdot$;
 $\text{ROO}\cdot+\text{RH}\rightarrow\text{ROOH}+\text{R}\cdot$

③链支化: $\text{ROOH}\rightarrow\text{RO}\cdot+\text{OH}\cdot$; $2\text{ROOH}\rightarrow\text{RO}\cdot+\text{ROO}\cdot+\text{H}_2\text{O}$; $\text{RO}\cdot+\text{RH}\rightarrow\text{ROH}+\text{R}\cdot$; $\text{OH}\cdot+\text{RH}\rightarrow\text{H}_2\text{O}+\text{R}\cdot$

④链终止: $2\text{R}\cdot\rightarrow\text{R}-\text{R}$; $\text{R}\cdot+\text{OH}\cdot\rightarrow\text{ROH}$; $2\text{RO}\cdot\rightarrow\text{ROOH}$; $2\text{ROO}\cdot\rightarrow\text{ROOR}+\text{O}_2$

链锁反应产生大量的燃烧热,这些热量一部分反馈到 PE 基体,促使其发生进一步热解,维持继续燃烧。另外,燃烧的滴落物可使其它可燃物着火,加速火灾的蔓延扩大。

目前,对 PE 的阻燃处理可通过以下途径^[2]:①吸热效应,吸收热分解产生的热量,降低体系温度,如加入 $\text{Al}(\text{OH})_3$;②覆盖效应,通过促进聚合物成炭,减少可燃气体的生产,在材料表面覆盖一层膨松、均质炭层,起到隔热、隔氧、抑烟、防止熔滴的作用,即膨胀阻燃;③捕捉自由基,如溴、氯的有机化合物能与燃烧产生的自由基作用产生水,起到

链锁反应抑制剂的作用;④稀释效应,受热时产生不燃性气体起到稀释可燃气体的作用,使其达不到可燃浓度,如磷酸铵等。

2 PE 无卤阻燃体系

阻燃剂大体可分为反应型和添加型两类。反应型阻燃剂主要是将带有阻燃元素的单体接枝到聚合物主链或侧链上去,使聚合物本身具有了阻燃性能。添加型阻燃剂,通常是指在成型加工过程中加入后以物理分散状态与聚合物基体混合,但对聚合物及其它组分不起化学反应而增加阻燃性的添加剂,由于其操作方便且阻燃性能良好而得以广泛应用。由于 PE 单体中没有活性基团,反应型阻燃剂对其不适用,所以大多使用添加型阻燃剂对其进行阻燃。

2.1 金属氢氧化物

PE 用金属氢氧化物阻燃剂主要有 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$,这两种是欧美和日本等发达国家用量最多的一类无卤阻燃剂,它们具有热稳定好、无毒、不挥发、不产生腐蚀性气体、发烟量小、不产生二次污染等优点,既可以单独使用,又可以与其它类阻燃剂并用,被称为“无公害阻燃剂”。

(1) $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的阻燃机理

①受热分解吸热,降低聚合物的温度,从而减慢聚合物的分解速度。主要在固体降解区阻燃,可以抑制和减少可燃性气体的产生而发挥抑烟功能。

②分解产生的大量水蒸气可以稀释火焰区里可燃气体和氧气的浓度,阻止燃烧进行。

③有助于燃烧时形成炭层,起到很好的阻隔作用。

④降低可燃聚合物的浓度,提高聚合物的氧指数。

其中 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的起始分解温度较低(约为 205℃),难适用于加工温度高的聚合物,但 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 分解吸热量较大(约为 1960 J/g),对于成型温度不高于 215℃的聚合物,有良好的阻燃效果。 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的起始分解温度较高(约为 320℃),吸热量为 1600 J/g,其受热分解生成的 MgO 又是良好的耐火材料,有助燃烧过程中形成碳化物,起到隔热隔氧作用,更适用于成型加工温度高的聚合物。

(2) $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 阻燃剂的表面改性

为使聚合物达到阻燃要求,金属氢氧化物的添加量相当

大,据统计,用量约为卤系阻燃剂的几十倍。这将会导致阻燃材料的力学性能大大降低,且燃烧时有滴落现象,因此使用时,需要对阻燃剂或 PE 基体进行改性处理。

通过用偶联剂或表面活性剂对阻燃剂进行表面处理来改善阻燃剂与基体材料的相容性,有助于改善复合材料的力学性能,并能提高阻燃剂的添加量,有利于成型加工。目前常用的偶联剂有硅烷和钛酸酯偶联剂,无机粒子表面活性剂有硬脂酸盐以及带极性基团的聚合物(如环氧树脂等)。安晶等^[3]以 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为阻燃剂,硬脂酸钠为改性剂,研究了不同添加量的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 对 PE 的阻燃效果,并对比了改性前后力学性能及阻燃性能的差异。研究表明,高含量的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 可以提高复合材料的氧指数,但其力学性能也逐渐下降。改性后的复合体系比改性前力学性能下降平缓,氧指数上升较明显。孙建忠等^[4]分别以 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和水滑石为阻燃剂,加入到茂金属 PE 基体中,研究了 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的粒径大小对材料力学和阻燃性能的影响以及二者对 PE 阻燃效果的差异。结果表明, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的粒径大小只影响材料的力学性能,几乎与材料的阻燃性能无关;水滑石特有的结构使其具有比 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 更优越的阻燃性能。陈玉坤等^[5]采用气泡液膜法制备了不同表面活性剂包覆的疏松型 $\text{Al}(\text{OH})_3$,研究了其对线性低密度聚乙烯(PE-LLD)力学和阻燃性能的影响。结果表明,不同表面活性剂包覆的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 对 PE-LLD 的拉伸强度、弯曲强度和氧指数影响不大,但会显著影响材料的冲击强度、热释放速率、燃烧质量损失率及热稳定性等,其中以聚乙二醇 6000 包覆的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 对 PE-LLD 的力学性能、阻燃性能及热稳定性保持效果较好。

王勇等^[6]研究发现,偶联剂对阻燃复合材料的性能有很大的改善,且大分子偶联剂比小分子的效果更好。陈一等^[7]通过油酸钠湿法表面处理纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 共混改性阻燃高密度聚乙烯(PE-HD),研究了油酸钠表面改性机理及其用量对体系阻燃性能、力学性能及流变性能的影响。结果表明,油酸钠可以在 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 表面形成包覆层,且改性后的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 仍保持了纳米级粒径,可以有效地提高体系的阻燃性能和力学性能。当 PE-HD/ $\text{Mg}(\text{OH})_2 = 100/60$ 时,使用 5% 的油酸钠,体系的拉伸强度、断裂伸长率和冲击强度分别提高了约 12%、10.5% 和 8%,而氧指数提高了 12.5%,达到 29.9%,垂直燃烧等级达 FV-1 级。同时可以一定程度上改善复合材料的流变性。

将 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 纳米粒子化,向超细化方向发展,可在一定程度上提高材料的阻燃性。普通 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 多为六方晶型或无定形,粒径、比表面积大,在树脂中的分散性很差,使得复合材料的力学性能尤其是冲击强度下降严重,而且由于相容性差使得材料的加工性能急剧恶化。C. Henrist 等^[8]认为高分散的纳米级六方片状 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 较传统型能明显改善无机填料添加到聚合物中时的“性能障碍”。陈一等^[9]研究了 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 粒径和表面改性剂硅烷偶联剂用

量对 PE-HD 阻燃性能和力学性能的影响。结果表明,纳米级 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 对 PE-HD 的阻燃性能及力学性能影响均好于微米级 $\text{Mg}(\text{OH})_2$,当 PE-HD/纳米 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的质量比为 100/60 时,其垂直燃烧等级达 FV-2 级,但力学性能降低了 30%,经硅烷偶联剂改性后,其氧指数可提高 9.8%,冲击强度和拉伸强度提高 20%。刘丽君等^[10]对纳米 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 进行表面改性研究,发现改性后的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 有较好的阻燃效果,且材料的力学性能有所提高。

(3) 添加阻燃增效剂

阻燃增效剂可与阻燃剂产生协同效应,能大大提高阻燃能力,减少阻燃剂的用量。现已发现,硼化物、磷化物、硬脂酸钡、金属氧化物和有机硅化物等是 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 阻燃 PE 的有效阻燃增效剂。高岩等^[11]研究了 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复配体系对 PE 阻燃性能的影响,同时研究了 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与助阻燃剂如红磷、聚磷酸铵和季戊四醇复配时的阻燃协同效应。结果表明, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 质量比为 1/1 时,体系有较好的阻燃性; $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与助阻燃剂有较好的协同效应,可以适当降低 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的用量。陈一等^[9]通过 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 与二苯基磷酸酯/热塑性酚醛树脂(RDP-NP)复配使用,研究其对 PE-HD 阻燃性能的影响。结果表明,RDP-NP 可以与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 达到协同效应,有效地降低阻燃剂的用量。当体系中分别添加 30% 的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和 10% 的 RDP-NP 时,复合体系的垂直燃烧等级达到 FV-2 级,极限氧指数为 25.8%,阻燃性能比只添加 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 时有显著提高,同时体系的力学性能下降较小。王秀芬^[12]研究了硼酸锌在 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 阻燃 PE 体系中的增效作用,发现虽然体系的氧指数变化不大,但却有很好的抑烟作用。邬素华等^[13]研究了有机硅、红磷等与阻燃剂之间的阻燃协同效应。结果表明,有机硅化合物是 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的有效阻燃增效剂,有机硅能赋予 PE 阻燃复合材料优异的阻燃、抑烟性能,同时能改善复合体系的流变性能及提高力学强度(主要是冲击强度)。

2.2 磷系阻燃剂

磷系阻燃剂主要有磷酸酯类、多磷酸盐、红磷等。磷系阻燃剂在材料中燃烧生成磷酸、偏磷酸、聚偏磷酸等,它们可以使聚合物碳化,在材料表面形成炭层,而且磷大部分残留在炭层中。而炭层的氧指数高达 60%,难燃、隔热、隔氧,且导热性差。另外生成的聚偏磷酸呈粘稠状液态膜,覆于材料表面,既可以阻止自由基逸出,又能降低炭层的透气性,隔绝空气,从而实现阻燃作用。另外,近年来还发现有机磷系阻燃剂热解形成的气态产物中含有 $\text{PO} \cdot$ 游离基,可以捕捉 $\text{H} \cdot$ 和 $\text{OH} \cdot$ 游离基,使火焰中的 $\text{H} \cdot$ 和 $\text{OH} \cdot$ 浓度下降以抑制燃烧的链式反应。

与普通阻燃剂相比,红磷阻燃剂发烟量小,低毒,应用广泛,既能单独使用,又能与其它阻燃剂协同使用。E. N. Peters 等^[14]对红磷阻燃 PE 进行了研究,发现红磷含量 8% 可使 PE-HD 的阻燃级别达到 UL94 V-0 级。但红磷自身的易

燃、易爆、有颜色、易吸水以及与聚合物相容性差等缺点在一定程度上限制了它的应用。目前,红磷阻燃剂的发展趋势是对其进行包覆处理。熊联明等^[15]研究了不同微胶囊红磷对低密度聚乙烯(PE-LD)的阻燃性能,发现密胺树脂囊材包覆与密胺树脂/硼酸锌双层囊材包覆微胶囊红磷在 PE-LD 中的阻燃性最好,添加 8 份微胶囊红磷即可使材料达到 UL94 V-0 级。

磷酸酯类阻燃剂不仅能够实现 PE 的无卤阻燃,还能够改善其加工流动性能,阻燃效率较高。但大多数磷酸酯类阻燃剂存在一些缺点,比如耐热性差、挥发性大、与聚合物材料相容性差,燃烧时有滴落现象等,所以磷酸酯类阻燃剂有向高分子缩聚型发展的趋势。双酚 A 双(二苯基磷酸酯)(BDP)和间苯二酚双(二苯基磷酸酯)(RDP)是近年来开发出的新型无卤环保有机磷系阻燃剂,与传统有机磷阻燃剂相比,它们具有分子量大、热稳定性高、挥发性低以及阻燃效率高等特点,主要应用于 PE 类热塑性塑料中,具有十分优异的阻燃效果^[16-17]。

磷系阻燃剂与其它类阻燃剂的复配及协效作用可以有效提高对 PE 的阻燃效率。另外,含氮的磷酸酯由于同时含有氮和磷两种元素,阻燃效果比只含磷的化合物效果要好。这也是未来磷酸酯系阻燃剂的发展方向之一。丁慧晶等^[18]以聚磷酸三聚氰胺(MPP)/有机蒙脱土(OMMT)为阻燃体系对 PE-LD 进行阻燃改性。结果表明,当 PE-LD、MPP、OMMT 三者的质量比为 100/25/5 时,复合体系的阻燃级别可达到 UL94 V-1 级,氧指数达 28.2%,其阻燃性能要优于分别添加 MPP、OMMT 的复合体系。胡树等^[19]研究了多单体原位增容改性 $Mg(OH)_2$ /红磷复配阻燃剂对天然橡胶/PE-LLD 动态硫化热塑性弹性体的阻燃效果。结果表明,当 $Mg(OH)_2$ 与红磷的质量比为 80/8 时,复合体系的极限氧指数可达 25.6%,燃烧时无黑烟和熔滴现象,且力学性能保持率较高。

2.3 硅系阻燃剂

硅系阻燃剂可分为无机硅系阻燃剂和有机硅系阻燃剂。无机硅系阻燃剂具有无毒少烟、燃烧值低、火焰传播速度慢等特点,但一般要与其它添加剂配合使用。目前常用的无机硅系阻燃系统有 SiO_2 、玻璃纤维、微孔玻璃和低熔点玻璃、硅酸盐/聚磷酸铵、硅氧烷/硼等。其阻燃机理是生成的 SiO_2 在体系表面形成无定型硅保护层,降低材料的释热率和失重率,并且对材料具有增强的作用。Y. Lei 等^[20]研究了 PE/层状硅酸盐纳米复合材料的阻燃性能,制备了新型硅酸盐阻燃 PE 纳米复合材料。

无机硅系阻燃剂与基体的相容性差是其最大缺陷,从而导致复合体系的力学性能、加工性能下降严重。因此如何提高阻燃剂与基体间相容性成为阻燃改性的关键。周铁成等^[21]选择了 3 种不同表面改性的纳米 SiO_2 对 PE 进行无卤阻燃改性,对复合体系的力学性能和阻燃性能进行了分析。结果表明,改性处理后的 SiO_2 有利于提高复合材料的热稳

定性性能,延缓 PE 的热氧化降解;改性纳米 SiO_2 显著提高了无卤阻燃 PE 的阻燃性能,可获得力学性能和阻燃性能较佳的材料。

有机硅阻燃剂,包括硅油、硅树脂、硅橡胶及有机硅烷醇酰胺等,是一类高效无毒、生态友好、防滴落抑烟的非卤成炭型阻燃剂。能有效地改善基材的加工性能、力学性能及耐热性。其阻燃机理为^[22],当基材燃烧时,有机硅分子中的一 $Si-O$ —键形成 $-Si-C$ —键,生成的白色燃烧残渣与碳化物构成复合无机层,阻止燃烧生成的挥发物外逸,阻隔氧气与基质接触,达到阻燃的目的。

何继辉等^[23]采用多单体缩聚法合成了一种聚烯烃用新型含硅阻燃剂,该阻燃剂具有较高的热稳定性,对 PE-LLD 有较高的阻燃性能,添加量为 6% 时,可使极限氧指数达到 28%;添加量为 2% 时可使 PE-LLD 的点燃时间延长,热释放速率峰值下降 50%。

有机硅单独作为聚烯烃的阻燃剂,其效果并不明显,需要加入一些阻燃剂或化合物以提高其阻燃性能。孔祥建等^[24]将有机硅阻燃剂(org-Si)与金属氢氧化物(MAH)复配用于 PE-LLD 阻燃。研究表明,使用 org-Si 预处理 MAH 得 MMAH,在 org-Si 及 MAH 相同用量的条件下,PE-LLD/MMAH 共混物比 PE-LLD/MAH/org-Si 共混物具有更好的阻燃性能。当阻燃剂总质量分数为 50% 时,org-Si 质量分数为 0.5% 的 PE-LLD/MMAH 共混物的极限氧指数、平均热释放速率分别为 30.2%、70.6 kW/m²,相对于 PE-LLD/MAH 共混物的下降幅度分别为 12%、55%。吴洁等^[25]为了提高碳酸镁/ $Al(OH)_3$ 复配阻燃 PE 体系的性能,在体系中添加有机硅和乙烯-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)。结果表明,有机硅是该体系很好的阻燃协效剂,而 EVAC 不但可以提高体系的阻燃性能,还可以提高体系的断裂伸长率。

2.4 膨胀型阻燃剂

膨胀型阻燃剂(IFR)是以 N、P 为主要成分的无卤阻燃剂,一般由酸源(脱水剂)、气源(发泡剂)、碳源(成炭剂)三部分组成^[26]。酸源可以是无机酸或受热能生成无机酸的化合物,如磷酸、硫酸、聚磷酸铵(APP)等;碳源主要是一些含碳量高的多羟基化合物,如季戊四醇(PER)及其二聚体、三聚体等;气源,一般为含氮的多碳化合物,如尿素、三聚氰胺、聚酰胺等。当 IFR 受热时,在材料表面形成均匀的膨胀炭层,在凝聚相起到隔热、隔氧、抑烟、防滴落作用,从而达到阻燃效果,所以 IFR 被誉为阻燃技术的一次革命^[27]。目前商品化的 IFR 有 Mentedison 公司的 MF-80、MF-82;Hochest 公司的 Exolit;Monsoto 公司的 Spinflam;Great Lake 公司的 CN-1197 等。

在国内,膨胀型阻燃剂还处于开发和研究阶段,目前比较成熟的是以 APP、PER 为主要原料的 IFR。20 世纪 90 年代,瞿保钧等^[28]在研究 IFR 改性 PP 的基础上,开始致力于 IFR 改性 PE 的阻燃研究,并取得了一些好的效果。近年来在新型 IFR 研究方面也取得了一定的成果。张志龙等^[29]在

膨胀型无卤阻燃 PE 材料的研究中,发现 APP/PER 体系对 PE-LD 树脂具有阻燃作用,并研究了成炭促进剂 Zeolite (ZEO) 对 PE-LD/APP/PER 体系的阻燃效果。当 PE-LD/APP/PER/ZEO = 70/21.4/7.1/1.5 (质量比) 时,其氧指数为 29.3%。胡小平等^[30]将两种新型阻燃剂 (SPS 和 PTEN) 与 APP 及碳纳米管 (MWNT) 复配,应用于 PE-LD 的阻燃。结果表明,在该膨胀型阻燃体系中,IFR 与 MWNT 之间存在明显的协效阻燃作用,大大降低了 PE-LD 的可燃性和热释放速率,并且燃烧后的残炭量大大增加。

目前,IFR 的研究重点主要是新型成炭剂的研制。X. P. Hu 等^[31]利用三聚氰胺、氨水和三亚乙基三胺反应得到一种三嗪衍生物,将其作为成炭剂与 APP 复配用于改善 PE 的阻燃性能。结果表明,成炭剂的加入可以有效促进体系成炭,当 IFR 的添加量为 30%,APP 与成炭剂的质量比为 11/4 时,体系可以达到最好的阻燃性能,其氧指数达 31.2%,阻燃等级达到 UL94 V-0 级。

杨雅琦等^[32]以蜜胺包覆聚磷酸铵 (MAPP)、PER 和大分子成炭剂 PA6 组成的 IFR 体系阻燃 PE-LLD。研究表明,成炭剂具有较好的协效阻燃作用,少量添加时可使氧指数达 29.5%,且生成的炭层封闭性较好。樊晓娜等^[33]以三聚氰氨、甲胺和二胺水溶液制备了 2,4,6-三甲胺基-1,3,5-均三嗪 (TMM) 和 2,4,6-三二甲胺基-1,3,5-均三嗪 (HMM) 两种不同的气源物质,并分别与 APP 和 PER 复配组成膨胀型阻燃剂。结果表明,TMM 复配阻燃体系改性 PE-HD 的阻燃性能和力学性能最好,氧指数达 23.6%。

IFR 与其它类型阻燃剂复配组成的混合阻燃体系可以达到优异的阻燃效果,同时具有很强的适应性,是一类应用前景十分广阔的阻燃剂^[34]。郭玉花等^[35]利用 APP 与 Sb_2O_3 组成无卤膨胀型阻燃体系,用于 PE-LD 和 PE-LLD 组成的二元共混体系阻燃。研究表明,当 APP/ Sb_2O_3 阻燃剂用量不低于 40 份时,体系的阻燃等级可达到 FV-0 级,较单独加入 APP 体系的成型性能变好,柔韧性有所增加。

3 结语

随着人们环保意识的增强,含卤阻燃剂的使用范围已经被极大地限制,为此低烟无卤阻燃材料的研究引起了世界各国的普遍关注,并有逐渐取代含卤阻燃材料的趋势。目前,无卤阻燃剂还有着诸多缺陷,比如阻燃效率不高,易使聚合物材料的性能下降严重等,这都亟待我们去努力发展,勇于创新,才能真正开发出集无毒、高效于一体的新型环保阻燃剂。

参考文献

- [1] Titelman G I, et al. Polymer Degradation and Stability, 2002, 77: 345-352.
- [2] 严惠明. 阻燃材料与技术, 1998 (3): 9-12.
- [3] 安晶, 等. 化工技术与开发, 2010, 39 (4): 12-14.
- [4] 孙建忠, 等. 塑料, 2009, 38 (3): 75-78.
- [5] 陈玉坤, 等. 合成树脂及塑料, 2008, 25 (2): 31-34.
- [6] 王勇等. 中国塑料, 2004, 18 (1): 67-70.
- [7] 陈一, 等. 塑料, 2010, 39 (1): 80-83.
- [8] Henrist C, et al. J Crystal Growth, 2003, 249 (1-2): 321-330.
- [9] 陈一, 等. 湖南工业大学学报, 2009, 23 (4): 33-36.
- [10] 刘丽君, 等. 中国塑料, 2004, 18 (2): 74-77.
- [11] 高岩, 等. 材料研究与应用, 2008, 2 (2): 129-132.
- [12] 王秀芬. 阻燃材料与技术, 1994 (3): 4-10.
- [13] 郭素华, 等. 天津轻工业学院学报, 2003, 12 (4): 30-33.
- [14] Peters E N. Journal of Applied Polymer Science, 1979, 24: 1457-1460.
- [15] 熊联明, 等. 塑料工业, 2004, 32 (10): 50-53.
- [16] 卢林刚, 等. 精细化工中间体, 2007, 37 (4): 59-62.
- [17] He Q L, et al. J Mater Sci, 2009, 44: 1308-1316.
- [18] 丁慧晶, 等. 现代塑料加工应用, 2010, 22 (5): 19-21.
- [19] 胡树, 等. 弹性体, 2010, 20 (4): 13-17.
- [20] Lei Y, et al. Energy Conversion and Management, 2007, 48: 462-469.
- [21] 周铁成, 等. 化学工程师, 2008 (7): 14-17.
- [22] 张利利, 等. 塑料工业, 2005, 33 (增刊): 203-205, 209.
- [23] 何继辉, 等. 高分子科学与工程, 2008, 24 (8): 63-69.
- [24] 孔祥建, 等. 合成材料老化与应用, 2008, 37 (3): 1-5.
- [25] 吴洁, 等. 消防科学与技术, 2011, 30 (2): 149-151.
- [26] Le Bras M, et al. Fire retardancy of polymers—The use of intumescent [M]. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1998: 64.
- [27] Gilman J W, et al. Chem Mater, 2000, 12: 1866-1881.
- [28] Wu Q, et al. Polymer International, 2003, 52: 1326-1331.
- [29] 张志龙, 等. 塑料, 2000, 29 (3): 15-21.
- [30] 胡小平, 等. 阻燃材料与技术, 2006 (3): 6-9.
- [31] Hu X P, et al. Macromolecular Material and Engineering, 2004, 289: 208-212.
- [32] 杨雅琦, 等. 西华大学学报: 自然科学版, 2010, 29 (1): 100-102.
- [33] 樊晓娜, 等. 塑料科技, 2009, 37 (1): 39-42.
- [34] 鲍治宇, 等. 化学世界, 2006 (5): 311-315.
- [35] 郭玉花, 等. 现代塑料加工应用, 2009, 21 (5): 48-51.

ADVANCE IN RESEARCH OF HALOGEN-FREE FLAME RETARDANT POLYETHYLENE

Yang Zhihua

(Kingfa Science and Technical Mianyang Dongfang Special Engineering Plastics Co. Ltd., Mianyang 621000, China)

ABSTRACT Various halogen-free flame retardants in polyethylene system were introduced, and the flame retardant mechanism, flame retardant effect and development direction were summarized.

KEYWORDS polythene, halogen-free flame retardant, application