

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.06.001

## 羟基磷灰石对聚丙烯阻燃性能的影响<sup>\*</sup>

朱英科<sup>1,2</sup>, 李娟<sup>1</sup>, 陈胜交<sup>1</sup>, 郭子斌<sup>1</sup>

(1. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所高分子与复合材料事业部, 浙江宁波 315201; 2. 宁波大学材料科学与化学工程学院, 浙江宁波 315211)

**摘要:**采用羟基磷灰石(HAP)改善聚丙烯(PP)/膨胀阻燃剂(IFR, 聚磷酸铵(APP)/季戊四醇(PER))的质量比为3:1]复合材料的阻燃性能。采用垂直燃烧、极限氧指数、热失重分析等手段研究了其阻燃性能和热性能。采用扫描电子显微镜(SEM)和X射线光电子能谱(XPS)仪对炭层的形貌和结构进行了研究。结果表明, HAP对IFR有一定的协同作用。当添加质量分数为0.5%的HAP和19.5%的IFR时, 阻燃PP复合材料的极限氧指数达到29.9%, 并且垂直燃烧达到了UL94 V-0级别。然而随着HAP含量再继续增加, 复合材料的阻燃性能又开始下降。SEM分析表明, 少量HAP的加入提高了炭层对气体和热量的阻隔效率; XPS分析表明, HAP并未改变炭层的化学结构。此外, 热失重分析表明, HAP增加了复合材料在800℃时的质量残留量。

**关键词:**羟基磷灰石; 膨胀阻燃; 聚丙烯; 炭层; 协同

**中图分类号:** TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)06-0001-06

### Effects of Hydroxyapatite on Flame Retardancy of Polypropylene

Zhu Yingke<sup>1,2</sup>, Li Juan<sup>1</sup>, Chen Shengjiao<sup>1</sup>, Guo Zibin<sup>1</sup>

(1. Polymers and Composites Division, Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo 315201, China;

2. School of Materials Science and Chemical Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** Hydroxyapatite(HAP) was introduced into polypropylene(PP)/intumescent flame retardant(IFR) composites to strengthen their flame retardant properties. The vertical burning test, limiting oxygen index (LOI) and thermogravimetric(TG) analysis were used to investigate their flame retardancy and thermal stability. Scanning electron microscope (SEM) and X ray photoelectron Spectroscopy(XPS) were used to study the morphology and chemical structure of char layer. The results show that good synergistic effect existed between HAP and IFR at a suitable condition. LOI value can be increased to 29.9 % and UL94 V-0 level can be obtained for the composites with the mass fraction of 0.5% HAP and 19.5% IFR. As the content of HAP increases, the flame retardancy of the composites decreases. SEM analysis results show low content of HAP helps char layer to hinder the heat and gas. XPS analysis results show HAP do not change the chemical structure of char layer. In addition, the HAP increases the char layer residues of the composites at 800℃ in TG analysis test.

**Keywords:** hydroxyapatite; intumescent flame retardant; polypropylene; char layer; synergism

聚丙烯(PP)是用途最广的一种通用塑料,具有力学性能优良、易加工成型、密度小、毒性小、价格低廉等优点。但是由于它本身结构的原因使其极易燃烧,限制了它在很多领域的应用。因此,近年来研究如何提高PP的阻燃性能一直是材料领域的一个热点课题<sup>[1-4]</sup>。其中除了兼顾阻燃性能和力学性能的平衡之外,绿色环保也是材料得以安全使用的一个必要指标。

在所有的阻燃剂中,膨胀型阻燃剂(IFR)具有低烟、低毒等优点,被认为是接近理想的绿色阻燃剂之一<sup>[5]</sup>。传统的IFR包括3个组分:酸源,炭源和气源,其中最常采用的IFR为聚磷酸铵(酸源)/季戊四醇(炭源)/三聚氰胺(气源)(APP/PER/

MEL)体系<sup>[6]</sup>。IFR发挥作用的过程通常为,燃烧时在聚合物表面形成膨胀发泡的炭层,炭层作为物理屏障可减少热量、氧气和可燃气体的传递,隔绝气相与凝聚相,从而保护聚合物基体。其中炭层的数量和质量,包括炭层的致密性、连续性、厚度以及炭层的发泡形态决定了IFR的阻燃效率。

为了提高炭层的数量和质量,进而提高IFR的阻燃效率,人们尝试了很多方法。如引入几种阻燃剂复合或者在阻燃剂中引入协效剂。常用的具有协

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(21274159, 51103171)

联系人: 李娟, 博士, 研究员, 主要研究领域为环保型阻燃高分子材料、纳米复合材料、多相多组分复合材料和复合材料的绿色回收等

收稿日期: 2014-03-31

效作用的物质包括粘土、分子筛、次磷酸铝以及金属氧化物<sup>[7-10]</sup>,这些物质的引入能够在一定程度上改善炭层的致密性,从而提高材料的阻燃性能。但是,不同的体系产生的效果往往不一样,为了获得更为高效的阻燃效果,寻找更有效的协效剂是解决问题的最好途径之一。

羟基磷灰石(HAP)是动物骨骼和牙齿的主要成分,广泛应用于生物材料、离子交换、催化和药物释放等领域<sup>[11-14]</sup>。由于HAP的催化特性,有望提高炭层的形成速度和成炭量,而含有的羟基有望参与交联反应,其棒状形态有望增强炭层,因而其可改善材料的阻燃性能。目前尚未见将HAP引入到PP/IFR体系的公开报道。

笔者将纳米HAP加入到PP/IFR(APP与PER的质量比为3:1)体系中,主要研究HAP和IFR在PP中的协同作用,采用热失重(TG)、极限氧指数(LOI)和垂直燃烧测试对复合材料的阻燃性能和热性能进行研究,采用扫描电子显微镜(SEM)和X射线光电子能谱(XPS)对材料残炭的形貌和成分进行表征。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

PP:T30S,中国石油化工股份有限公司茂名分公司;

APP:APP-231,聚合度大于1500,广东普赛咪阻燃剂有限公司;

纳米HAP:粒径小于100 nm,阿拉丁化学试剂有限公司;

PER:分析纯,阿拉丁化学试剂有限公司。

上述所有原材料在60℃条件下真空干燥24 h后备用。

### 1.2 主要仪器与设备

转矩流变仪:Brabender型,德国Brabender公司;

平板硫化机:SZT-2型,湖州双力自动化科技装备公司;

LOI仪:5801型,昆山阳屹检测仪器有限公司;

垂直燃烧试验箱:AG5100B型,珠海市安规测试设备有限公司;

TG分析仪:TGA/DSC1型,梅特勒-托利多公司;

SEM:S4800型,日本日立公司;

XPS仪:AXIS UTLTRADLD型,日本岛津公

司。

### 1.3 试样制备

表1为PP复合材料的配方。

| 试样编号 | PP  | APP   | PER  | HAP | % |
|------|-----|-------|------|-----|---|
| PP-0 | 100 |       |      |     |   |
| PP-1 | 80  | 15    | 5    |     |   |
| PP-2 | 80  | 14.62 | 4.88 | 0.5 |   |
| PP-3 | 80  | 14.25 | 4.85 | 1   |   |
| PP-4 | 80  | 13.5  | 4.5  | 2   |   |
| PP-5 | 80  | 12.75 | 4.25 | 3   |   |
| PP-6 | 80  | 11.25 | 3.75 | 5   |   |

按表1配方,首先将原材料在转矩流变仪中于温度为200℃、转速为50 r/min条件下密炼8 min。之后在温度为200℃、压力为10 MPa、时间为3 min条件下热压成型,制备成尺寸为100.0 mm×100.0 mm×3.2 mm的板材,然后将板材切割成测试试样进行LOI和垂直燃烧测试。

### 1.4 性能测试与表征

LOI测试:按ASTM D2863-1997测试,试样尺寸为100.0 mm×6.5 mm×3.2 mm;

垂直燃烧测试:按ASTM D3801-1994测试,试样尺寸为100.0 mm×13.0 mm×3.2 mm;

TG分析:分别在氮气和氧气条件下测试,温度范围为50~800℃,升温速率为10℃/min;

炭层形貌分析:取LOI测试后的试样炭层进行喷铂处理,采用SEM对炭层的形貌进行表征,加速电压为4 kV;

炭层结构测试:取LOI测试后的试样炭层,采用XPS仪测试试样炭层的元素和化学键,碳的结合能设定为284.6 eV。

## 2 结果与讨论

### 2.1 阻燃性能

表2为PP复合材料的阻燃性能测试结果。

| 试样编号 | (t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> )/s | 滴落情况 | LOI/% | UL 94 等级 |
|------|-------------------------------------|------|-------|----------|
| PP-0 |                                     | 有    | 18.1  | 无等级      |
| PP-1 | 0+1                                 | 无    | 26.2  | V-0      |
| PP-2 | 0.5+0.5                             | 无    | 29.9  | V-0      |
| PP-3 | >30                                 | 有    | 29.6  | 无等级      |
| PP-4 | >30                                 | 有    | 31.5  | 无等级      |
| PP-5 | >30                                 | 有    | 26.8  | 无等级      |
| PP-6 | >30                                 | 有    | 20.3  | 无等级      |

注:t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>分别代表UL94测试时第1次施燃和第2次施燃后的余焰时间。

从表2可以看出,纯PP的LOI仅为18.1%;加入质量分数为20%的IFR后,PP-1的LOI提高到了26.2%;引入HAP后,随着HAP质量分数的增

加, PP 复合材料的 LOI 总体上呈现先增加后降低的趋势,当 HAP 质量分数为 2%, IFR 质量分数为 18% 时, PP-4 的 LOI 达到最大值 (31.5%)。表明 HAP 和 IFR 对 LOI 的提高具有协同作用。然而随着 HAP 质量分数的继续增加,复合材料的 LOI 开始下降。当 HAP 质量分数为 5%, IFR 质量分数为 15% 时, PP-6 的 LOI 为 20.3%, 仅比纯 PP 高 2.2%。然而,加入 HAP 之后,只有 HAP 质量分数为 0.5% 的 PP-2 能通过 V-0 级,其它试样均不能达到 V-0 级别。说明 HAP 的存在对于 PP 复合材料的垂直燃烧性能有一定的负作用。由以上结果可知, HAP 和 IFR 之间虽然在改善 LOI 方面存在一定的协同作用,但是对垂直燃烧的提高有抵消效应。

这种现象可能是由于 HAP 的弱碱性造成的。一般认为,燃烧过程中产生的磷酸被认为加速了炭层的形成,有利于增强聚合物复合材料的阻燃性能。由于 HAP 是碱性的,部分磷酸会被 HAP 中和,减缓了炭层的形成,从而使形成的炭层不够致密,数量有限,不足以有效地阻隔热量和可燃气体的传递,从而降低了 PP 复合材料的阻燃级别。

PP 复合材料经过 LOI 测试后的照片如图 1 所示。

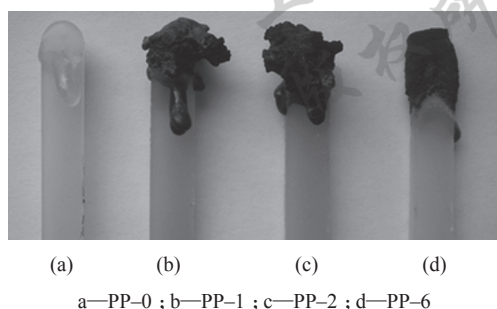


图 1 PP 复合材料经过 LOI 测试后的照片

由图 1 可以看出,纯 PP 燃烧后没有炭层产生,只有一些熔融物质覆盖在聚合物表面 (见图 1a)。PP-1 表面形成了一定的炭层,但是仍有明显的熔融流动痕迹。这些炭层在燃烧过程中起到了一定的隔绝热量和可燃气体的作用。与 PP-1 相比, PP-2 形成的炭层更大并且强度更高,能够覆盖在聚合物表面,更有效地阻止热量和可燃气体的传递,因此 PP-2 的 LOI 更高。说明 HAP 可以促进 PP/IFR 复合材料的炭层形成,提高炭层的质量。然而 PP-6 虽然含有质量分数为 5% 的 HAP,却仅能形成很薄的炭层。表明 HAP 在低含量时与 IFR 之间能够产生较好的协同作用,但是在高含量下 HAP 不能促进

炭层的形成反而会降低材料的阻燃性能。

## 2.2 TG 分析

图 2 为 PP 复合材料在空气和氮气中的 TG 分析曲线。

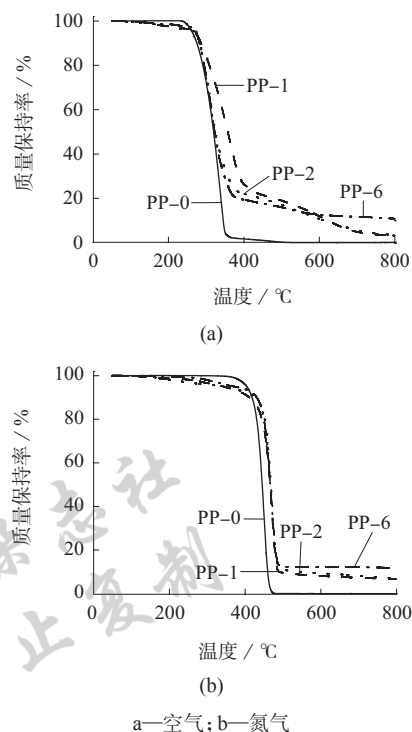


图 2 不同气氛下 PP 复合材料的 TG 分析曲线

由图 2a 可以看出,在空气中所有试样均有 2 个失重台阶。纯 PP 在 250℃ 左右开始降解,500℃ 时几乎没有残留,第 2 个降解台阶非常弱。加入质量分数为 20% 的 IFR 后, PP-1 的热分解提前,而且在 400℃ 左右出现了第 2 个降解台阶,相应应有 20% 左右的残留量,同样温度下纯 PP 的残留量很小。当将质量分数 0.5% 的 IFR 替换为 HAP 后, PP-2 在 250~400℃ 时的降解速度加快,说明 HAP 加速了 PP 复合材料在这一阶段的降解,相应的残留量也降低。当 HAP 质量分数增加到 5% 时, PP-6 在 250~400℃ 时的降解与 PP-2 持平,但在 800℃ 时的残留量明显提高,达到 10.9%,是 PP-1 和 PP-2 的 3 倍。这可能是因为 HAP 提高了残炭的热稳定性,另外也加快了 PP/IFR 复合材料的降解速度和炭层的生成速度。

由图 2b 可以看出,所有的试样只有 1 个失重台阶。所有 PP 复合材料都先于纯 PP 开始分解,这一行为与空气中类似,并且在 500℃ 之前表现出相似的曲线,分解速率虽然略有波动,但是差别不大,基本保持在同一水平。但是温度大于 500℃ 后, HAP

含量较大的 PP-6 具有更好的热稳定性和更高的残留量。这可能是因为是在氮气氛围中, HAP 对 IFR 的成炭反应影响较小, 并且 HAP 的存在增加了残炭的

稳定性, 能够阻止一部分热量向聚合物传递。

表 2 为 PP 复合材料在空气和氮气中的 TG 分析数据。

表 2 PP 复合材料在空气和氮气中的 TG 分析数据

| 试样编号 | 空气                         |                            |                             |                             |              | 氮气                         |                            |                             |                             |              |
|------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
|      | $T_{3\%}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{10\%}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{50\%}/^{\circ}\text{C}$ | 800℃时质量保持率/% | $T_{3\%}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{10\%}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{50\%}/^{\circ}\text{C}$ | 800℃时质量保持率/% |
| PP-0 | 256                        | 263                        | 276                         | 220                         | 0            | 395                        | 406                        | 420                         | 447                         | 0            |
| PP-1 | 229                        | 271                        | 287                         | 358                         | 3.2          | 290                        | 345                        | 413                         | 467                         | 6.6          |
| PP-2 | 220                        | 270                        | 282                         | 323                         | 3.4          | 246                        | 343                        | 428                         | 470                         | 7.7          |
| PP-6 | 266                        | 274                        | 283                         | 323                         | 10.9         | 324                        | 372                        | 432                         | 468                         | 11.7         |

注:  $T_{3\%}$ ,  $T_{5\%}$ ,  $T_{10\%}$ ,  $T_{50\%}$  分别为质量损失 3%, 5%, 10%, 50% 时的温度。

从表 2 可以看出, 在空气氛围下, PP-1 的  $T_{3\%}$  比纯 PP 约低 27℃, 这是由于 IFR 的提前降解引起的。PP-2 的  $T_{3\%}$  比 PP-1 低 9℃, 说明 HAP 促进了 IFR 的降解速度。而 PP-6 的  $T_{3\%}$  比纯 PP 约高 10℃, 说明过量的 HAP 提高了材料在分解早期的热稳定性。PP 复合材料的  $T_{5\%}$  和  $T_{10\%}$  均高于纯 PP。PP-2 和 PP-6 的  $T_{50\%}$  比 PP-1 低, 说明 PP-2 和 PP-6 的炭层没有 PP-1 的炭层对材料的保护好, 也表明高含量的 HAP 对 PP/IFR 复合材料高温时的热稳定性不利, 因此造成阻燃性能降低。

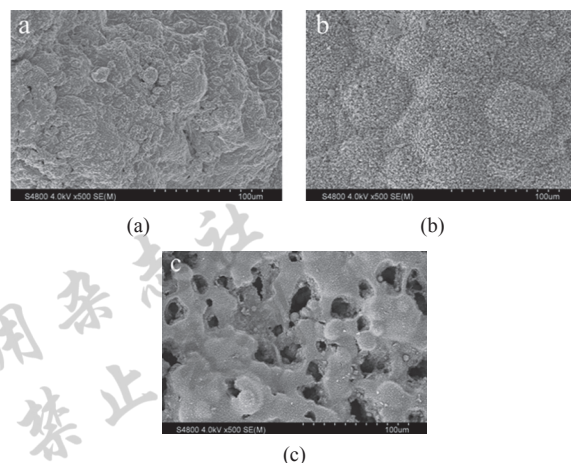
在氮气氛围中, PP-6 的  $T_{3\%}$ ,  $T_{5\%}$ ,  $T_{10\%}$  和  $T_{50\%}$  均比 PP-1 高, 此外, PP-6 在 800℃ 的残留量也比 PP-1 高。说明 PP-6 在氮气氛围降解过程中形成的炭层比较稳定, 能够有效地保护聚合物基体。

从表 2 的 TG 分析数据可以看出, 低含量的 HAP 促进了 IFR 的分解, 形成较多的惰性保护气体, 提高了 LOI, 但高含量的 HAP 却阻碍成炭反应, 因而对垂直燃烧性能起到了反作用。

### 2.3 炭层的形貌

图 3 为 PP 复合材料经过 LOI 测试后炭层的 SEM 照片。

由图 3a 可以看出, PP-1 有相对完整的炭层, 但是炭层中有许多小孔, 这些小孔有可能成为热量、氧气和可燃气体传播的通道。由图 3b 可以看出, PP-2 的炭层形貌与 PP-1 相比表面变得粗糙, 出现了许多更小的孔。由图 3c 可以看出, PP-6 的炭层不连续而且有很大的孔洞。由于加入的 HAP 加速了 IFR 的分解, 因此初期产生气体的速度加快, 同时成炭反应也加快, 故气孔变小变密, 气体阻隔性变好, 有助于 LOI 的提高。但是当加入的 HAP 过量时, 其分散不均匀, 导致生成的炭层韧性不好, 易生成大的孔洞, 影响致密炭层的形成, 无法很好地保护基体, 导致阻燃性能降低。



a—PP-1; b—PP-2; c—PP-6

图 3 PP 复合材料经过 LOI 测试后炭层的 SEM 照片

### 2.4 炭层结构

表 3 是 PP 复合材料经 LOI 测试后炭层中各原子含量的 XPS 测试结果。由表 3 可以看出, 随着 HAP 含量的增加, PP-1, PP-2, PP-6 炭层中 C 的含量增加, 而 O 和 P 的含量降低。表明 HAP 的加入使得燃烧过程中产生的含磷化合物 (聚磷酸或焦磷酸) 更多地被挥发掉而没有参与促进炭层的形成。可能是因为 HAP 呈弱碱性, 与之前讨论的现象一致。

表 3 PP 复合材料经 LOI 测试后炭层中各原子含量的 XPS 测试结果

| 试样编号 | 质量分数/% |      |      |
|------|--------|------|------|
|      | O      | C    | P    |
| PP-1 | 50.9   | 20.9 | 28.2 |
| PP-2 | 45.9   | 32.0 | 22.1 |
| PP-6 | 35.6   | 49.4 | 15.0 |

图 4 是经 LOI 测试后 PP 复合材料试样炭层中  $\text{C}_{1s}$ ,  $\text{O}_{1s}$ ,  $\text{P}_{2p}$  的 XPS 谱图。由图 4a 可以看出, 在 284.6 eV 附近的峰是芳族或脂环族中的 C—C 键和 C—H 键。286.0 eV 左右的峰是环状化合物的 C—O 键和 / 或 C—H 键<sup>[1]</sup>。此外, 288 eV 左右的峰是 C=O<sup>[15]</sup>。因为—O—键是无结构的, 没有

办法区分有机氧和无机氧<sup>[16]</sup>。由图 4b 可以看出,在 531.5 eV 左右的峰是磷酸盐或羰基中的 =O, 533 eV 附近的峰是 P—O—P, C—O—P 和 / 或 C—OH 基团中的—O—。对于 P<sub>2p</sub> 谱图,134.2 eV 附近的峰是磷酸化合物中的 P—O—C 键和 / 或 PO<sub>3</sub>—基团<sup>[16]</sup>。说明加入 HAP 并未改变残炭中主要化学键的种类,只是增加了残炭中 C 的含量,降低了残炭中 O 和 P 的含量。炭层的这些变化是 PP/IFR /HAP 复合材料的阻燃性能发生变化的主要原因。

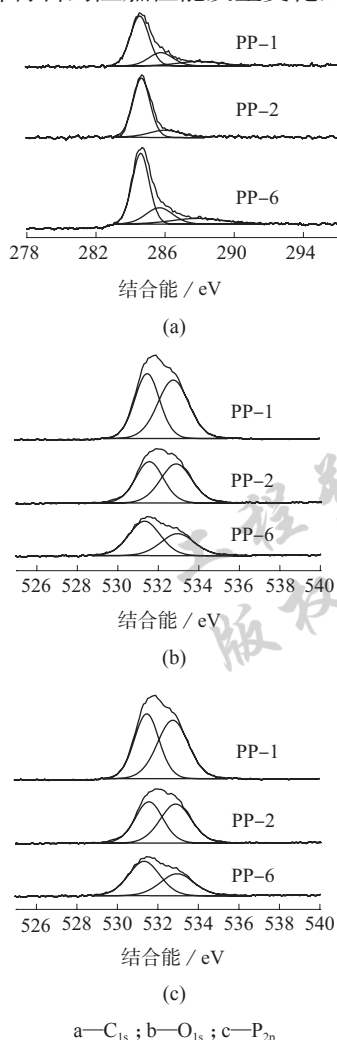


图 4 经 LOI 测试后 PP 复合材料试样炭层中 C<sub>1s</sub>, O<sub>1s</sub>, P<sub>2p</sub> 的 XPS 谱图

### 3 结论

(1) 采用 HAP 改善 PP/IFR 复合材料的阻燃性能,当添加 HAP 质量分数为 0.5%, IFR 质量分数为 19.5% 时,二者的协同效果最佳,阻燃 PP 复合材料的阻燃性能最好, LOI 达到 29.9%,垂直燃烧通过 UL94 V-0 级别;然而随着 HAP 含量继续增加,复合材料的阻燃性能又开始下降。

(2) TG 分析表明, HAP 的加入能够提高炭层对

热量的屏蔽作用,提高阻燃 PP 复合材料的热稳定性和最终残炭量。

(3) SEM 分析表明,少量的 HAP 提高了炭层对气体和热量的阻隔效率;XPS 分析表明, HAP 并未改变炭层的化学结构。

### 参考文献

- [1] Zhou Shun, Song Lei, Wang Zhengzhou, et al. Flame retardation and char formation mechanism of intumescent flame retarded polypropylene composites containing melamine phosphate and pentaerythritol phosphate[J]. Polymer Degradation and Stability, 2008, 93(10):1 799-1 806.
- [2] Qian Yong, Wei Ping, Jiang Pingkai, et al. Synthesis of a novel hybrid synergistic flame retardant and its application in PP/IFR[J]. Polymer Degradation and Stability, 2011, 96(6):1 134-1 140.
- [3] Enescu D, Frache A, Lavaselli M, et al. Novel phosphorous-nitrogen intumescent flame retardant system. Its effects on flame retardancy and thermal properties of polypropylene[J]. Polymer Degradation and Stability, 2013, 98(1):297-305.
- [4] Yang Kun, Xu Miaojun, Li Bin. Synthesis of N-ethyl triazine-piperazine copolymer and flame retardancy and water resistance of intumescent flame retardant polypropylene[J]. Polymer Degradation and Stability, 2013, 98(7):1 397-1 406.
- [5] Jiang Weizhong, Hao Jianwei, Han Zhidong. Study on the thermal degradation of mixtures of ammonium polyphosphate and a novel caged bicyclic phosphate and their flame retardant effect in polypropylene[J]. Polymer Degradation and Stability, 2012, 97(4):632-637.
- [6] Li Guoxin, Liang Guozheng, He Tingshu, et al. Effects of EG and MoSi<sub>2</sub> on thermal degradation of intumescent coating[J]. Polymer Degradation and Stability, 2007, 92(4):569-579.
- [7] Chen Yajun, Guo Zhenghong, Fang Zhengping. Relationship between the distribution of organo-montmorillonite and the flammability of flame retardant polypropylene[J]. Polymer Engineering & Science, 2012, 52(2):390-398.
- [8] Feng Caimin, Zhang Yi, Liu Siwei, et al. Synergistic effects of 4A zeolite on the flame retardant properties and thermal stability of a novel halogen-free PP/IFR composite[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2013, 24(5):478-486.
- [9] Yi Jiangsong, Yin Haiqing, Cai Xufu. Effects of common synergistic agents on intumescent flame retardant polypropylene with a novel charring agent[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2013, 111(1):725-734.
- [10] Ma Zhiling, Fan Congran, Lu Guangyu, et al. Synergy of magnesium and calcium oxides in intumescent flame-retarded polypropylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 125(5):3 567-3 574.
- [11] Jungbauer A, Hahn R, Deinhofer K, et al. Performance and characterization of a nanophased porous hydroxyapatite for protein

- chromatography[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2004, 87(3):364-375.
- [12] Mostafa N Y, Hassan H M, Mohamed F H. Sintering behavior and thermal stability of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$  and  $\text{CO}_3^{2-}$ -co-substituted hydroxyapatites[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2009, 479(1-2):692-698.
- [13] Dorozhkin S V. Nanosized and nanocrystalline calcium orthophosphates [J]. *Acta biomaterialia*, 2010, 6(3):715-734.
- [14] Fujii S, Miyanari Y, Nishimura T, et al. In vitro degradation of hydroxyapatite nanoparticle-coated biodegradable microspheres[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, 98(1):377-386.
- [15] Bourbigot S, Le Bras M, Gengembre L, et al. XPS study of an intumescent coating application to the ammonium polyphosphate pentaerythritol fire-retardant system[J]. *Applied Surface Science*, 1994, 81(3):299-307.
- [16] Delpeux S, Beguin F, Benoit R, et al. Fullerene core star-like polymers-1: Preparation from fullerenes and monoazidopolyethers [J]. *European Polymer Journal*, 1998, 34(7):905-915.

### 特种高品质 PTFE 实现系列化

不久前,中昊晨光公司承担的 5000 t/a 特种高品质聚四氟乙烯 (PTFE) 分散树脂项目通过竣工验收。该项目实现了 PTFE 树脂产品品种系列化,拓展了 PTFE 分散树脂加工应用领域,将有助于缓解国内对高端 PTFE 分散树脂的供求矛盾。该项目的建成投运,也使中昊晨光公司主导产品 PTFE 产能达到亚洲第二位。

该项目是中昊晨光公司自主研发、自行实施的大规模产业化项目,产品定位于高端市场。项目由中昊晨光公司承担主体设计,应用了四氟乙烯单体裂解新工艺、替代溶剂回收四氟乙烯尾气技术、四氟乙烯阻聚技术、等离子高危害废弃物处理技术、全氟辛酸(PFOA)替代技术等多项拥有自主知识产权的新技术、新工艺。应用该技术生产的 PTFE 树脂系列化产品,满足了高端领域对高性能关键材料的需求。

(工程塑料网)

### SGL 联手宝马进一步扩大碳纤维塑料产能

近年来,碳纤维塑料在各个领域中的应用范围不断扩大,汽车零部件生产对该种塑料的需求力度也逐年加大。鉴于此,全球大型碳纤维塑料生产商德国西格里集团 (SGL) 不久前宣布,公司拟将联手汽车生产巨头宝马 (BMW) 公司共同扩大其在美国工厂的产能。

此前,两家公司投资 1 亿美元,在美国华盛顿州摩斯湖地区兴建了一座碳纤维生产工厂,旨在为宝马新款电动汽车提供高强度轻型零部件。如今,为进一步扩大产能,从而更好地迎合市场需求,合作双方再次斥资 2 亿美元,将其打造成全球最大的碳纤维塑料生产工厂。该工厂扩能项目已于近期破土动工,预计将于 2015 年年初正式完成。

据当地媒体报道,扩能之后的摩斯湖工厂将为宝马提供更多性能优异的车用塑料,确保各种汽车零部件能以最低的成本造价进行大规模商业化生产。

当前,该工厂设有两条碳纤维塑料生产线,为宝马 i 品牌汽车零部件提供专用原料。其产能为 3000 t/a。自今年年初以来,宝马德国 Leipzig 工厂已成功生产出 5000 辆 BMWi3 电动混合汽车,并正在以每天 100 辆的速度不断加快步伐。因此,为更好地配合该汽车生产工厂的节奏,摩斯湖碳纤维工厂扩能势在必行。

SGL 方面表示,摩斯湖工厂第 3,4 条碳纤维塑料生产线

正在如火如荼建设当中,预计将于今年夏天正式完工。届时,工厂产能将提升至 6000 t/a。而近期着手动工的第 5,6 条生产线则为工厂 9000 t/a 的产能目标迈出了关键性一步。

在奠基仪式上,宝马高层 Klaus Draeger 说道,纤维复合材料是 21 世纪重要的车用塑料。在汽车轻量化设计和燃油降耗方面,该种材料一直发挥不可替代的作用。未来数年,公司将会把这种材料应用到除宝马 i3 和 i8 以外的车型中去。

(中国聚合物网)

### 特种添加剂公司 Addivant 扩大亚洲业务

美国特种添加剂生产商 Addivant 公司正在加快扩大其亚洲和中东的产能。

Addivant 公司副总裁兼全球高性能材料总经理 Rogasik 和亚太区商业总监吴志鹏在 4 月份中国国际橡塑展上的问答环节中谈论了公司的发展计划。

该公司的前身是科聚亚公司的抗氧化剂、聚合物改性剂和光稳定剂业务。

今年 2 月, Addivant 公司宣布计划在山东烟台龙彩新材料有限公司投资新建一座配制中心。山东中心将在 8 月投产。

Rogasik 说,在隶属于科聚亚公司时,我们在中国的投资不足。总体来说,亚太市场增势强劲,我们希望积极扩大亚洲市场,销售特种材料。我们已有混合能力,但不在亚洲。实际上我们在中国采用了一项新工艺带来了创新,让我们得以生产出完美的混合料和无尘混合料,而且性价比非常高。这是一个新事物。我们相信它是我们与中国客户加强开发的第一个平台。

烟台龙彩新材料有限公司是 Addivant 公司的合作伙伴,提供了 3150 m<sup>2</sup> 的厂房。Addivant 公司投资 100 万美元购置了生产线。该公司非常看好全球经济前景。

Rogasik 说,他们看到了很大的增长空间。虽然中国的增速有所放慢,但相比世界其它任何地区,仍保持着非常快的速度,市场生机勃勃。Addivant 公司希望在三年内将公司业务规模翻番。在过去三年里,他们的研发投资额翻了 3 倍,过去 9 个月内员工人数增长了 10%。

该公司还宣布韩国工厂已完成一期扩建。亚磷酸盐抗氧化剂 Alkonox240 的产能增加了 40%。扩能还在继续,定于 2015 年初完工。

(中国聚合物网)