

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.02.002

新型含氮阻燃剂/PEPA协同阻燃PP的性能*

黄高能¹,刘盛华¹,路风辉²,尹标林¹

(1. 华南理工大学,广东省绿色化工产品技术重点实验室,广州 510640; 2. 顺德职业技术学院,广东顺德 528300)

摘要:以三聚氰氨、对羟基苯甲酸甲酯、水合肼为原料经两步反应合成了一种新型含氮阻燃剂4,4',4''-(1,3,5-三嗪-2,4,6-三取代)三氧三苯甲酰肼(TNTN),并通过核磁共振等对其进行表征。将合成的含氮阻燃剂TNTN与1-氧-4-羟甲基-2,6,7-三氧杂-1-磷杂双环[2.2.2]辛烷(PEPA)以不同配比制备膨胀型阻燃聚丙烯(PP)材料(IFR-PP)。通过极限氧指数(LOI)、垂直燃烧(UL-94)、热重(TG)分析、锥形量热(CCT)法以及扫描电子显微镜(SEM)对阻燃PP燃烧及热稳定性能进行表征。结果表明,IFR-PP同时具有良好的阻燃性及抗熔滴能力,当PEPA:TNTN=2:1时,UL-94达到V-0级,LOI值达到了33.7%,表现出良好的阻燃性能。TG测试表明:阻燃剂的加入使IFR-PP材料提前降解,同时提高了材料的成炭性能,当PEPA:TNTN=5:1时,600℃时IFR-PP材料的残炭量由空白样的0.07%提高到了20.6%。CCT测试表明:相对于纯PP,经阻燃剂改性后的PP热释放率和总热释放量均显著减少。SEM测试表明:不同配比阻燃剂的加入使PP在燃烧过程中形成膨胀、致密的炭层,很好地保护了下层材料,提高了PP材料的阻燃性能。

关键词:含氮阻燃剂;聚丙烯;膨胀型阻燃;热性能;阻燃性能

中图分类号:TQ325.1+4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2017)02-0006-06

Performance of Polypropylene Treated with PEPA and a Novel Nitrogen Containing Flame Retardant

Huang Gaoneng¹, Liu Shenghua¹, Lu Fenghui², Yin BiaoLin¹

(1. Key Laboratory of Green Chemical Technology of Guangdong Province, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Shunde Polytechnic, Shunde 528300, China)

Abstract: A novel nitrogen containing flame retardant, 4,4',4''-(1,3,5-triazine-2,4,6-triyl)tris(oxy) tribenzohydrazide (TNTN) was synthesized from cyanuric chloride, methyl-4-hydroxybenzoate, hydrazine hydrate. The structure of TNTN was characterized by ¹H NMR, ¹³C NMR spectrum analysis. The synthesized compound and 2,6,7-trioxa-1-phosphabicyclo-[2.2.2] octane-4-methanol-1-oxide(PEPA) was incorporated into polypropylene (PP) with different ratio to prepare intumescent flame retardant polypropylene thermosets (IFR-PP). The combustion and thermal properties of PP thermosets were investigated by limiting oxygen index (LOI), vertical burning (UL-94), thermogravimetric (TG) analysis, cone calorimetry (CCT) and scanning electron microscopy (SEM) tests. The results demonstrate that IFR-PP has both excellent flame retardancy and anti-dripping ability. When the ratio of PEPA and TNTN is 2 : 1, PP thermosets pass UL-94 V-0 flammability rating and its LOI value reach 33.7%, which shows a good flame retardant performance. TG test results reveal that the incorporation of IFR-PP into PP stimulate the degradation of thermosets ahead of time and charring formation, when the ratio of PEPA and TNTN is 5 : 1, char yield of thermosets increase from 0.07% to 20.6% at 600℃. CCT parameter show that heat release rate and total heat release is also obviously reduced compared to pure PP. The incorporation of TNTN and PEPA promote PP thermosets forming more homogeneous and compact char layer during combustion by SEM tests, which prevented the underlying matrix from further decomposition and combustion, consequently enhancing the flame retardancy of PP thermosets.

Keywords: nitrogen containing flame retardant; polypropylene; intumescent flame retardant; thermal property; flame retardancy

聚丙烯(PP)作为一种热塑性塑料以其优异的力学性能、良好的电绝缘性、低毒、密度小、质量轻以及易于加工成型、低成本等特点而广泛用于汽车、家电、纺织、建筑等行业^[1-3]。但是,由于PP极限氧指数(LOI)低,只有17.4%,容易燃烧,且燃烧发热量

大,产生大量熔滴,释放烟雾及有毒气体,在一些需

* 国家自然科学基金项目(21272078,21572068),国家重点研发计划项目(2016YFA0602900)

联系人:尹标林,教授,博士生导师,主要从事功能分子合成研究

收稿日期:2016-12-02

要高阻燃性的领域很大程度上限制了其应用^[4]。近年来火灾事故的频频发生,给人们的生命安全和财产造成巨大损害。世界各国对PP及其它合成树脂要求阻燃的呼声越来越强烈。传统上,含卤化合物与三氧化锑作为协效剂用于阻燃PP,但由于燃烧时释放的有毒气体以及腐蚀性烟雾使其应用受到很大限制^[5-8]。现在,无卤化合物因为低毒、低烟作为一种有前景的阻燃剂大量应用于PP。其中像 $Mg(OH)_2$ 和 $Al(OH)_3$ 被普遍使用,但是这类金属氢氧化物需要高载荷(通常质量分数超过60%)才能达到有效阻燃,对阻燃材料的流变性及力学性能造成很大影响^[9-11]。

近年来,以磷、氮为代表的膨胀型阻燃剂(IFR),由于其无卤、低毒、低烟的特点^[12-13],被更多地应用于聚烯烃,尤其是PP^[14-16]。IFR在高温时能够迅速膨胀,形成大量发泡炭层,能够起到很好的隔热、隔氧、抑烟作用,同时能够防止熔滴^[17-19]。IFR由碳源、酸源、气源三部分构成^[20-21]。典型且应用最广的IFR体系是聚磷酸铵/季戊四醇/三聚氰胺^[22-23]。然而,IFR应用于PP时也有耐水性低等缺点,使得阻燃性能大大减弱^[24]。

目前,均三嗪系列IFR是无卤膨胀阻燃剂中一类十分重要的化合物,其合成早在1888年就已见诸报道,这类化合物具有抑烟、低毒、无腐蚀,阻燃效果佳以及对热及紫外线稳定等优点。此外,这类化合物的结构比较特殊,由于富含叔氮既可以充当气源,又兼具碳源作用,这种优异的结构使它容易构建起双源或三源无卤膨胀阻燃体系^[25-30]。

笔者以三聚氯氢、对羟基苯甲酸甲酯、水合肼为原料,经两步反应合成的一种新型含氮阻燃剂4,4',4''-(1,3,5-三嗪-2,4,6-三取代)三氧三苯甲酰肼(TNTN)^[31-32],并通过核磁共振波谱(NMR)等对其表征。TNTN与1-氧-4-羟甲基-2,6,7-三氧杂-1-磷杂双环[2.2.2]辛烷(PEPA)以不同配比制备膨胀型阻燃PP固化物(IFR-PP)。通过极限氧指数(LOI)、垂直燃烧(UL-94)、热重(TG)分析、锥形量热法(CCT)以及扫描电镜(SEM)对IFR-PP固化物的阻燃及热稳定性能进行探讨。

1 实验部分

1.1 主要原材料

三聚氯氢:上海麦克林生物化工有限公司;

对羟基苯甲酸甲酯:上海麦克林生物化工有限公司;

水合肼:天津富宇精细化工有限公司;

三氯氧磷:天津大茂化学试剂厂;

季戊四醇:上海达瑞精细化学品有限公司;

四氢呋喃:上海润捷化学试剂有限公司;

1,4-二氧六环:天津富宇精细化工有限公司;

二甲基亚砜(DMSO):百灵威化学公司;

PP:S1003,中国石化北京燕山石化公司;

以上原材料除PP外,均为分析纯试剂。

1.2 主要设备及仪器

NMR仪:Bruker 400MHZ Advance型,瑞士Bruker公司;

水平垂直燃烧测定仪:CZF-3型,江苏省江宁县分析仪器厂;

FTIR仪:PE-400型,美国PE公司;

LOI测定仪:JF-3型,南京市江宁区分析仪器厂;

TG分析仪:SDT Q600型,美国TA仪器公司;

SEM:SEM Merlin型,德国ZEISS公司;

CCT仪:FTT0007型,英国West Sussex公司;

双螺杆挤出机:SHJ型,南京杰恩特机电有限公司。

1.3 试样制备

(1)三甲基4,4',4''-(1,3,5-三嗪-2,4,6-三取代)三氧三苯甲酸甲酯(化合物A)的合成。

在装有搅拌器、温度计、回流冷凝管的250 mL三口烧瓶中^[31],依次加入120 mL四氢呋喃和3.65 g (20 mmol)三聚氯氢、8.4 g (60 mmol) K_2CO_3 ,得混合悬浮液,冰浴下加入9.2 g (60 mmol)对羟基苯甲酸甲酯,混合悬浮液加热至60℃反应12 h,反应体系过滤,滤液经减压蒸馏得粗产物,用四氢呋喃重结晶,于70℃下真空干燥箱中干燥12 h,得白色粉末产物,产率93.7%,熔点163.7~164.8℃。

(2)TNTN的合成。

TNTN合成路线图1所示。具体操作步骤为:在装有搅拌器、温度计、回流冷凝管的50 mL圆底烧瓶中依次加入11.6 mL 85%的水合肼、2.655 g (5 mmol)三甲基4,4',4''-(1,3,5-三嗪-2,4,6-三取代)三氧三苯甲酸甲酯,回流反应12 h,多余溶剂减压蒸馏,混合物降温至4~5℃,得固体结晶体,用冷却水洗涤、乙醇重结晶,于70℃下真空干燥箱中干燥12 h,得白色粉末产物,产率92.5%,熔点259.6~261.2℃,¹H-NMR和¹³C-NMR谱图如图2所示。

(3)PEPA的合成。

PEPA按文献[32]方法合成,合成路线如图1

所示。具体操作步骤为:在装有搅拌器、温度计、恒压滴液漏斗、回流冷凝管及干燥管(与氯化氢吸收装置相连)的1000 mL三口烧瓶中,加入105 g (0.77 mol)季戊四醇和525 mL 二氧六环,搅拌升温至95℃时,加入50% (35 mL) 三氯氧磷,另一半也以此速度加入,反应6~7 h,停止加热,混合物过滤,得白色固体。用75 mL 二氧六环洗一次,150 mL 正己烷洗两次,于70℃真空干燥箱中干燥至质量恒重,得白色固体产物,产率88%以上,熔点209~213℃。

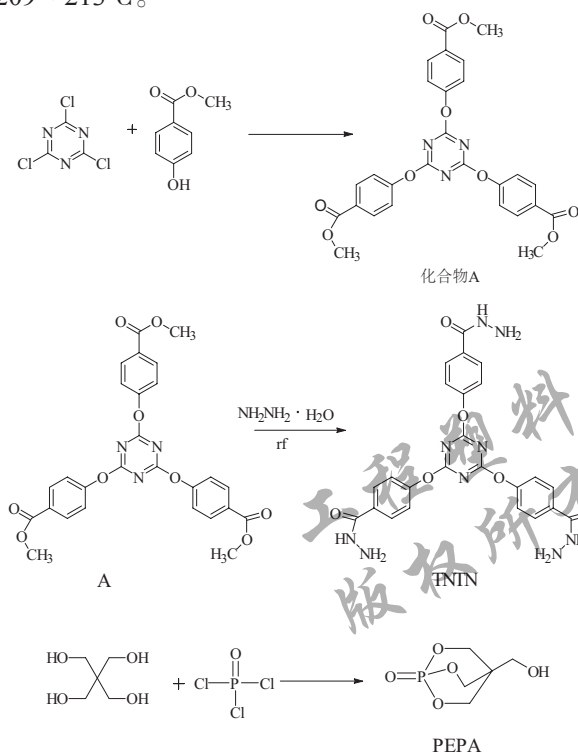


图1 TNTN和PEPA的合成路线

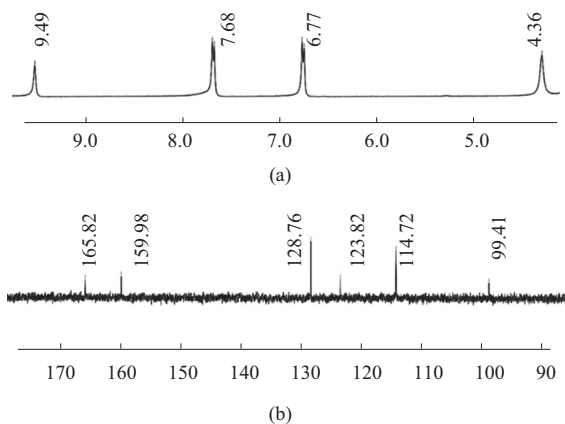
(4) IFR-PP 固化物的制备。

将阻燃剂 PEPA/TNTN 与 PP 分别按表1组成在170~180℃下用双螺杆挤出机以速度50.0 r/min充分混合10 min,然后将所得熔融混合物用平板硫化机热压固化2 min得 IFR-PP 固化物。表1为阻

表1 IFR-PP 固化物的组成和阻燃性能

样品	组成/%			LOI/%	UL-94				
	PP	PEPA	TNTN		t_1 /s	t_2 /s	t_{1+2} /s	熔滴	UL-94 等级
0 [#]	100	0	0	22.0	>60	—	—	有	不合格
1 [#]	70	30	0	24.6	30.3	9.5	39.8	有	V-2
2 [#]	70	25	5	28.5	0.8	3.4	4.2	无	V-0
3 [#]	70	20	10	33.7	0.5	2.1	2.6	无	V-0
4 [#]	70	15	15	31.5	0	1.3	1.3	无	V-0
5 [#]	70	10	20	28.9	1.2	3.4	4.6	无	V-0
6 [#]	70	5	25	26.7	2.8	5.2	8.0	无	V-0
7 [#]	70	0	30	23.3	>60	—	—	有	不合格

注: t_1 为初次点燃后燃烧时间; t_2 为二次点燃后燃烧时间; t_{1+2} 为初次点燃和二次点燃后燃烧时间的总和。



a—¹H-NMR 谱图; b—¹³C-NMR 谱图

图2 TNTN的¹H-NMR, ¹³C-NMR 谱图

燃PP的不同组成及材料的LOI与UL-94测试结果。

1.4 性能测试

(1) NMR 测试。

用DMSO做溶剂,400 MHz条件下对TNTN做NMR测试。

(2) 阻燃性能。

采用LOI测定仪测LOI值,IFR-PP样品尺寸为130 mm×6.5 mm×3.2 mm,按ASTM D 2863-13标准测试;采用水平垂直燃烧测定仪进行垂直燃烧测试,样品尺寸为125 mm×12.7 mm×3.2 mm,按ASTM D 3801-10标准测试。

(3) TG 分析。

采用TG分析仪对IFR-PP样品进行TG分析,氮气氛围,流速100 mL/min,升温范围50~600℃,升温速率10℃/min,样品量4~6 mg。

(4) CCT 测试。

对IFR-PP固化物的燃烧行为通过锥形量热仪研究,按ISO 5660-1标准测试,所有样品(尺寸为100 mm×100 mm×3 mm)水平暴露于50 kW/m²的外部热流中,测试信号通过计算机记录和分析。

(5) SEM 分析。

经过 CCT 测试后的炭层通过 SEM 观察 IFR-PP 固化物的表面形貌。

2 结果与讨论

2.1 LOI 和 UL-94 等级

LOI 和 UL-94 测试被广泛用来评估材料的阻燃性能。从表 1 可以看出,纯 PP 固化物的 LOI 值仅为 22.0%,UL-94 测试无级别,表明 PP 材料易燃。当加入阻燃剂 30% 的 PEPA 时,材料的 LOI 仅提高到 24.6%,UL-94 为 V-2 级,表明 PP 材料仍易燃。当同时加入 PEPA 和 TNTN 后(质量比为 5 : 1),LOI 值由 22.0% 提高到 28.5%,UL-94 达到了 V-0 级,表明加入由 PEPA 和 TNTN 组成的氮磷发泡阻燃剂后,PP 材料的阻燃性能得到明显提升。当加入的 PEPA 与 TNTN 的配比为 2 : 1 时,材料的 LOI 值达到了最高的 33.7%,UL-94 达到 V-0 级,表明 PEPA 与 TNTN 之间具有协同效应,该混合发泡阻燃剂对 PP 材料具有很好的阻燃效率。主要是因为含磷阻燃剂 PEPA 在燃烧过程中分解产生了磷酸及多聚磷酸等物质催化 PP 成炭,而含氮阻燃剂 TNTN 受热分解为 NH_3 , N_2 等不燃性气体,这些气体不仅能够稀释燃烧区的氧气,同时使形成的炭层膨胀起来,起到隔热、隔氧的作用,能很好地保护内部材料,从而提高了材料的阻燃性能。

2.2 TG 分析

TG 分析作为一种有用指标常用来分析聚合物的降解以及燃烧行为,尤其是用来评估不同聚合物的热稳定性。IFR-PP 固化物的 TG 分析曲线及微商热重 (DTG) 曲线分别如图 3、图 4 所示。

从 TG 和 DTG 曲线可以看出,纯 PP 固化物只有一个热降解过程,最大热降解温度 ($T_{\max}$) 为 449.6℃,几乎没有炭残留,而添加有不同配比的阻燃剂固化物具有更低的最大降解温度和初始分解温度,说明阻燃剂的添加降低了初始分解温度以及加快了 IFR-PP 固化物的初始降解。同时,阻燃剂的添加使得残炭量(质量保持率)大幅增加,最大残炭量达到 20.6%。原因是磷酸盐及 TNTN 中的三嗪结构具有更低分解温度,首先 PEPA 分解产生的磷酸酯,促使 PP 材料脱水形成炭层,TNTN 分解产生的 N_2 , NH_3 等不燃性气体使所形成炭层迅速膨胀起来,起到隔热、隔氧作用,阻止 PP 材料进一步降解。表 2 为 IFR-PP 固化物的热性能。

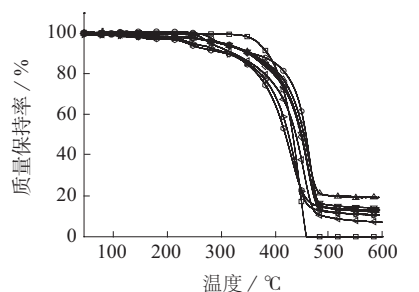


图 3 不同配比 IFR-PP 固化物的 TG 曲线

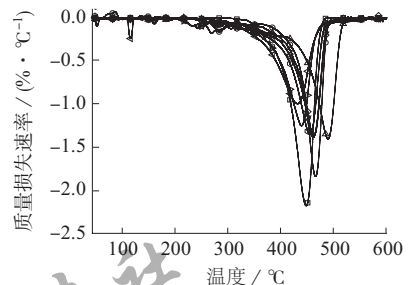


图 4 不同配比 IFR-PP 固化物的 DTG 曲线

在表 2 中, $T_{5\%}$, $T_{50\%}$, $T_{\max}$ 分别表示 IFR-PP 固化物失重 5%, 50% 和最大降解速率时的温度, $T_{5\%}$ 可以用来表示化合物最初的质量损失温度。

表 2 IFR-PP 固化物的热性能

样品	$T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{50\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	质量保持率 (600℃)/%
0 [#]	327.5	458.9	449.6	0.07
1 [#]	312.3	454.6	465.8	15.1
2 [#]	294.7	436.1	483.1	20.6
3 [#]	300.2	447.3	461.7	16.1
4 [#]	305.6	451.7	463.1	12.8
5 [#]	241.5	421.5	432.9	10.4
6 [#]	251.8	424.1	439.7	12.8
7 [#]	268.4	432.5	443.8	14.9

2.3 CCT 分析

表 3 为经锥形热量测试后 0[#], 1[#], 3[#], 4[#] 样品的相关测试数据。由表 3 可以看出,它们的峰值热释放率 (pHRR) 及其它燃烧因子均发生下降。热释放率 (HRR) 是用来指示燃烧强度的一个非常重要的参数,一种高效的阻燃剂通常表现出更低的 HRR 值。纯 PP(0[#]) 的 pHRR 达到了 1245.3 kW/m²,总热释放 (THR) 达 129.4 MJ/m²,而添加有阻燃剂的 PP,具有更低的 pHRR 和更小的 THR 值。其中,3[#] 固化物的 pHRR 值降低到 157.5 kW/m²,THR 值降低到 57.1 MJ/m²。原因可能是 PEPA 与 TNTN 的协同作用使得燃烧时产生了非常致密的炭层,因此能够更有效阻止放热和氧气到达基质内部。同

时,烟释放量是另一个材料阻燃性能的重要参数,从表3可以看出,相对于纯PP固化物,添加有阻燃剂的IFR-PP固化物的最大生烟速率(pSPR)均有减小,其中3[#]固化物的pSPR值从0.09 m²/s减小到0.03 m²/s。

表3 IFR-PP固化物的CCT数据

项目	0 [#]	1 [#]	3 [#]	4 [#]
pHRR/(kW·m ⁻²)	1245.3	294.6	157.5	213.8
THR/(MJ·m ⁻²)	129.4	101.2	57.1	83.2
pSPR/(m ² ·s ⁻¹)	0.09	0.05	0.01	0.03

2.4 SEM分析

为进一步探究PEPA与TNTN对PP的阻燃影响,通过对垂直燃烧后的样品残炭层表面的形态特征进行SEM分析,如图5所示。

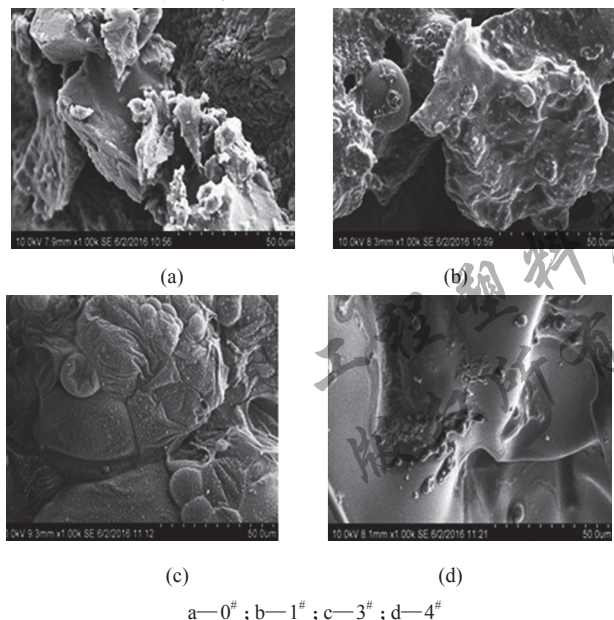


图5 垂直燃烧后0[#],1[#],3[#],4[#]样品的残炭层外部SEM图

由图5可以清楚地看出,纯PP固化物(0[#])垂直燃烧后几乎没有发泡炭层产生,且残炭层表面疏松粗糙。对于1[#]固化物,垂直燃烧后有少量的炭层形成,3[#]和4[#]固化物垂直燃烧后有大量致密光滑发泡炭层产生并覆盖在材料表面,其中3[#]产生了更多且致密的发泡炭层。这些炭层能够有效阻止热量的传递以及外部氧气进入燃烧区,从而阻止材料的进一步降解。说明PEPA与TNTN的协同作用能够产生很好的阻燃效果。

3 结论

合成了一种新型含氮阻燃剂TNTN,当TNTN与PEPA结合使用制备不同配比的膨胀型阻燃PP材料时,表现出良好的阻燃性及抗熔滴能力。当PEPA与TNTN的配比为2:1时,UL-94达到

V-0级,LOI值达到了33.7%,600℃时的质量保持率达到了20.6%。同时,在最佳配比条件下,IFR-PP材料具有更低pHRR,THR,pSPR值。通过SEM对垂直燃烧后残炭层形貌进行表征,最佳配比下产生的残炭量更多且更加致密,能够起到很好的阻燃及防熔滴效果。综上,TNTN作为一种含氮阻燃剂,当与PEPA混合使用应用于PP时,展现出良好的协同阻燃效应,具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] Arvidson S A, Wong K C, Gorga R E, et al. Structure, molecular orientation, and resultant mechanical properties in core / sheath poly(lactic acid) / polypropylene composites[J]. Polymer, 2012, 53(3):791-800.
- [2] Palza H, Vergara R, Zapata P. Composites of polypropylene melt blended with synthesized silica nanoparticles[J]. Composites Science & Technology, 2011, 71(4):535-540.
- [3] Chen Xuecheng, Ding Yaping, Tang Tao. Synergistic effect of nickel formate on the thermal and flame-retardant properties of polypropylene[J]. Polymer International, 2005, 54(6):904-908.
- [4] Song Pingan, Zhao Liping, Cao Zhenhu, et al. Polypropylene nanocomposites based on C60-decorated carbon nano-tubes: thermal properties, flammability, and mechanical properties[J]. Journal of Materials Chemistry, 2011(21):7782-7788.
- [5] Gale P J. Mass spectrometric studies of the reactivity of antimony trioxide with halogenated flame retardants in the pyrolysis of plastics[J]. International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes, 1990, 100, (31):313-322.
- [6] Ou Yuxiang, Chen Yu, Wang Xiaomei. Flame retardant polymer materials[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003.
- [7] Wang Yongqiang. Flame retardant materials and application technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [8] Lu Shuiyu, Hamerton I. Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers[J]. Progress in Polymer Science, 2002, 27(8):1661-1712.
- [9] Wang Zhangyu, Liu Yuan, Wang Qi. Flame retardant polyoxymethylene with aluminium hydroxide / melamine / novolac resin synergistic system[J]. Polymer Degradation and Stability, 2010, 95(6):945-954.
- [10] Sener A A, Demirhan E. The investigation of using magnesium hydroxide as a flame retardant in the cable insulation material by cross-linked polyethylene[J]. Materials & Design, 2008, 29(7):1376-1379.
- [11] 李学峰,陈绪煌,周密. 氢氧化铝阻燃剂在聚合物材料中的应用[J]. 中国塑料, 1999, 13(6):80-84.
Li Xuefeng, Chen Xuhuang, Zhou Mi. Applications of Al(OH)₃ flame retardant in polymers[J]. China Plastics, 1999, 13(6):80-84.
- [12] Li Bin, Xu Miaojun. Effect of a novel charring-foaming agent on

- flame retardancy and thermal degradation of intumescent flame retardant polypropylene[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2006,91(6):1380-1386.
- [13] Li Yantao, Li Bin, Dai Jinfeng, et al. Synergistic effects of lanthanum oxide on a novel intumescent flame retardant polypropylene system[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2008,93(1):9-16.
- [14] Chen Lijuan, Song Lei, Lv Pin, et al. A new intumescent flame retardant containing phosphorus and nitrogen: Preparation, thermal properties and application to UV curable coating[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2011,70(1):59-66.
- [15] Chou Chuenshi, Lin Sheauhorng, Wang Chini. Preparation and characterization of the intumescent fire retardant coating with a new flame retardant[J]. *Advanced Powder Technology*, 2009,20(2):169-176.
- [16] Gu Junwei, Zhang Guangcheng, Dong Shanlai, et al. Study on preparation and fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant coatings[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2007,201(18):7835-7841.
- [17] 欧育湘. 新型磷-氮系膨胀型阻燃剂的性能、合成与应用[J]. *江苏化工*, 1998,26(3):6-11.
- Ou Yuxiang. Properties, syntheses and applications of some novel intumescent flame retardants containing phosphorus and nitrogen[J]. *Jiangsu Chemical Industry*, 1998,26(3):6-11.
- [18] 欧育湘,陈宇,王筱梅. 阻燃高分子材料[M]. 北京: 国防工业出版社,2001.
- Ou Yuxiang, Chen Yu, Wang Youmei. Retardant polymer materials[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001.
- [19] 欧育湘. 实用阻燃技术[M]. 北京: 化学工业出版社,2002.
- Ou Yuxiang. Practical flame retardant technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [20] 陈柳丫,李星,罗康碧,等. 膨胀型阻燃剂的研究进展[J]. *化工新型材料*, 2013(8):22-23.
- Chen Liuya, Li Xing, Luo Kangbi, et al. Study process of intumescent flame retardant[J]. *New Chemical Materials*, 2013(8):22-23.
- [21] 张帆,张翔. 膨胀型阻燃剂的研究进展[J]. *广州化工*, 2010,38(11):44-46.
- Zhang Fan, Zhang Xiang. Research progress on intumescent flame retardant[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2010,38(11):44-46.
- [22] 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*, 2008,93:1799.
- [23] Chen Haoke, Li Juan, Fang Keyi, et al. Synergistic effect between a novel hyperbranched charring agent and ammonium polyphosphate on the flame retardant and anti-dripping properties of polylactide[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2010,95(5):763-770.
- [24] Ou Yuxiang. Flame retardant[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009.
- [25] Yu Guipeng, Liu Cheng, Wang Jinyan, et al. Synthesis of phenyltriazine-based copoly (aryl ether)s derived from hydroquinone and resorcinol[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2009,94(11):2065-2071.
- [26] 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):1397-1406.
- [27] Chen Li, Wang Yuzhong. A review on flame retardant technology in China. Part I: development of flame retardants[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2010,21(1):1-26.
- [28] Liang Hongbo, Shi Wenfang, Gong Ming. Expansion behavior and thermal degradation of tri(acryloyloxyethyl)phosphate / methacrylated phenolic melamine intumescent flame retardant system[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2005,90(1):1-8.
- [29] Jin Yujuan, Gao Pengxiang, Qian Lijun, et al. Synthesis of hyperbranched aromatic amine triazine polymer and its flame retardation performance on polypropylene[J]. *China Plastics*, 2013,27(5):77-81.
- [30] Mahapatra S S, Krak N. S-Triazine containing flame retardant hyperbranched polyamines: Synthesis, characterization and properties evaluation[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2007,92(6):947-955.
- [31] Zhu Yimin, Miao Tifang, Yang Yangyi, et al. Directionality and site selectivity of NCI halogen bonding in two azaromatic chloride crystals[J]. *Journal of Molecular Structure*, 2010,975:274-279.
- [32] Halpern Y, Mott D M, Niswander R H. Fire retardancy of thermoplastic materials by intumescence[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 1984,23:233-238.

索尔维集团出售塑料着色剂业务

索尔维集团特殊化学品事业部已就出售 Neolor® 塑料着色剂业务一事与中国包头宏博科技有限责任公司达成协议,交易相关工作也于日前全部结束。此举旨在将集团业务重心转移至其它高附加值行业,以迎合如今蓬勃发展的汽

车与电子产品市场。交易对象还包括所有 Neolor® 塑料着色剂专用生产装置及其独占使用许可。

此外, Neolor® 塑料着色剂的知识产权与包括各市场营销渠道在内的销售网络也纳入了宏博特的麾下。

(慧聪塑料网)