

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.07.023

# 叔丁基化芳基磷酸酯和碳微球对 PC/ABS 性能的影响

刘小忠, 徐娟, 李湘

(湖南化工职业技术学院化学工程学院, 湖南株洲 412000)

**摘要:** 为研究叔丁基化芳基磷酸酯(TBP)和碳微球(CMS)对聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(PC/ABS)塑料性能的影响,通过熔融挤出法制备了PC/ABS/TBP/CMS复合材料,利用水平垂直燃烧试验仪、锥形量热仪、热重分析仪和万能材料试验机等分析了复合材料的阻燃性能、热性能和物理性能。结果表明,TBP可以提高PC/ABS的阻燃性能,但会降低力学性能和尺寸稳定性,在PC/ABS中加入质量分数12%的TBP,PC/ABS/TBP复合材料的极限氧指数(LOI)为28.1%,垂直燃烧测试(UL 94)等级达到V-0级(3 mm),相比于PC/ABS,PC/ABS/TBP的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和缺口冲击强度分别下降19.5%,16.6%,17.5%和56.1%,水平方向模后收缩率( $PMS_H$ )、垂直方向模后收缩率( $PMS_V$ )和熔体流动速率(MFR)提升68.9%,58.1%和196.1%;随着CMS加入量的增加,PC/ABS/TBP/CMS复合材料的阻燃性能先升高后下降,拉伸强度、弯曲强度和缺口冲击强度先上升后下降,热性能、刚性和尺寸稳定性逐渐提高;PC/ABS/TBP/5CMS的LOI为33.2%,UL 94等级达到V-0级(2 mm),相比于PC/ABS/TBP,其最大失重温度、拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和缺口冲击强度分别提高7.5 °C,11.7%,12.2%,14.1%和26.3%, $PMS_p$ , $PMS_H$ 和MFR分别降低32.0%,26.5%和19.1%。

**关键词:** 聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物;叔丁基化芳基磷酸酯;碳微球;阻燃性能;尺寸稳定性

**中图分类号:** TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)07-0162-05

## Effect of tert-butylated aryl phosphate and carbon microspheres on performance of PC/ABS

LIU Xiaozhong, XU Juan, LI Xiang

(School of Chemical Engineering, Hunan Chemical Vocational Technology College, Zhuzhou 412000, China)

**Abstract :** To study the effects of tert-butylated aryl phosphate (TBP) and carbon microspheres (CMS) on the performance of polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene plastics (PC/ABS). PC/ABS/TBP/CMS composites were prepared by melting extrusion. The flame retardants, thermal properties and physical properties of the composites were analyzed by means of horizontal and vertical combustion tester, cone calorimeter, thermogravimetric analyzer and universal material tester. The results show that TBP can improve the flame retardancy of PC/ABS, but reduce the mechanical properties and dimensional stability. When the 12% mass fraction of TBP is added to PC/ABS, the limiting oxygen index (LOI) of PC/ABS/TBP composite is 28.1%, and the flame retardant reaches V-0 level (3.0 mm), the tensile strength, bending strength, bending modulus and notch impact strength decrease by 19.5%, 16.6%, 17.5% and 56.1%, respectively, while horizontal post-mold shrinkage ( $PMS_H$ ), vertical post-mold shrinkage ( $PMS_V$ ) and melt flow rate (MFR) increase by 68.9%, 58.1% and 196.1%. With the increase of CMS addition, the flame retardant properties of PC/ABS/TBP/CMS composites first improve and then deteriorate, the tensile strength, flexural strength and impact strength first increase and then decrease, and the thermal properties, rigidity and dimensional stability gradually increase. The LOI of PC/ABS/TBP/5CMS is 33.2%, and the flame retardant reaches V-0 level (2.0 mm). Compared with PC/ABS/TBP, the maximum weight loss temperature ( $T_{max}$ ), tensile strength, flexural strength, flexural modulus and notch impact strength increase by 7.5 °C, 11.7%, 12.2%, 14.1% and 26.3%, respectively. While  $PMS_p$ ,  $PMS_H$  and  $MF_R$  decrease by 32.0%, 26.5% and 19.1%, respectively.

**Keywords :** polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene plastics ; tert-butylated aryl phosphate ; carbon microsphere ; flame retardant property ; dimensional stability

**基金项目:** 湖南省教育厅资助科研项目(23B0965)

**通信作者:** 李湘, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为阻燃高分子材料、废塑料的循环利用、木塑复合材料

**收稿日期:** 2024-05-14

**引用格式:** 刘小忠, 徐娟, 李湘. 叔丁基化芳基磷酸酯和碳微球对 PC/ABS 性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(7): 162-166.

LIU Xiaozhong, XU Juan, LI Xiang. Effect of tert-butylated aryl phosphate and carbon microspheres on performance of PC/ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(7): 162-166.

聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(PC/ABS)塑料既具有PC的高刚、高韧、高透明度和高光泽度,又具有ABS易染色、加工性好等特点,在汽车工业、玩具、家电和电子电器等领域得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>。但PC/ABS阻燃性能较差,而各领域对材料的阻燃要求越来越高,为扩大PC/ABS的应用,如何提高PC/ABS的阻燃性能一直是研究的热点<sup>[3-4]</sup>。

有机磷系阻燃剂是常用的PC/ABS无卤阻燃剂<sup>[5-6]</sup>,以磷系阻燃剂为主的复配阻燃体系可以有效提高PC/ABS的阻燃性能,如李湘等<sup>[7]</sup>将磷酸三苯酯(TPP)和倍半硅氧烷添加到PC/ABS中,发现TPP和倍半硅氧烷在PC/ABS中有协同阻燃作用;高顺等<sup>[8]</sup>将TPP和间苯二酚-双(二苯基磷酸酯)(RDP)添加到PC/ABS中,发现TPP和RDP在PC/ABS中有协同阻燃作用,可以有效提高PC/ABS的阻燃性。叔丁基化芳基磷酸酯(TBP)是一种含磷量较高的液态磷系阻燃剂,其黏度为65~75 MPa·s,远低于RDP和双酚A-双(二苯基磷酸酯)(BDP),其易于加工,可用于PC/ABS阻燃。碳微球(CMS)是一种耐高温的无机材料,可作为阻燃剂<sup>[9-10]</sup>,其作为辅助阻燃剂与阻燃剂复配使用时,可以提高聚合物的力学性能<sup>[11-12]</sup>。刘小忠等<sup>[13]</sup>将CMS和二乙基次磷酸铝(ADP)添加到废聚对苯二甲酸乙二酯(PET)瓶再生粒子(R-PET)中,发现在CMS分散良好的情况下,可以有效提高ADP/R-PET的阻燃性能和力学性能。笔者通过熔融挤出将TBP和CMS添加到PC/ABS中,制备PC/ABS/TBP/CMS复合材料,分析TBP,CMS对复合材料的阻燃性能、热性能和物理性能的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

PC:210-10,美国陶氏化学公司;

ABS:HI-121H,韩国LG化学有限公司;

聚苯乙烯微球:0.1~1 μm,济南化道新材料科技有限公司;

增韧剂:S-2001,日本三菱丽阳株式会社;

TBP:FR-71B,浙江万盛股份有限公司;

抗滴落剂:SN3300,广州熵能聚合物技术有限公司;

抗氧剂:168,德国巴斯夫股份公司;

抗氧剂:1010,德国巴斯夫股份公司;

季戊四醇硬脂酸酯(PETS):PETS-AP,意大利发基有限公司。

### 1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机:Brabender KETSE0,德国布拉本德公司;

注塑机:UN90SK,广东伊之密机械股份有限公司;

水平垂直燃烧试验仪:HVR-4,广州市新纳电子设备有限公司;

氧指数测定仪:HC-2C,南京上元分析仪器有限公司;

热重(TG)分析仪:TAQ50,美国TA仪器公司;

双柜型锥形量热仪:4100,英国Testing Technology Limited公司;

万能材料试验机:CT-TCS-2000,台湾高铁科技股份有限公司;

液晶式塑料摆锤冲击试验机:ZBC1400B,美特斯工业系统(中国)有限公司;

熔体流动速率试验机:ZRZ1452,美特斯工业系统(中国)有限公司。

### 1.3 试样制备

#### 1.3.1 CMS的制备

将聚苯乙烯微球放入温度为320℃的马弗炉中进行预处理,再把预处理后的样品放在温度为700℃的管式炉中炭化2h,冷却、过孔径1 μm的筛,得到CMS<sup>[11,14]</sup>。

#### 1.3.2 测试试样的制备

先按表1中的质量比称量物料(TBP除外),再把称量好的物料置于高速混合机中混合3min,然后用双螺杆挤出机(TBP通过液体泵按质量比注入)对混合好的物料进行挤出造粒,挤出温度为220~240℃。最后用注塑机将粒子注塑成测试样条,注塑温度为230~250℃。

表1 不同试样的组成

Tab. 1 Composition of different sample

Sample	PC	ABS	TBP	CMS	S-2001	Others	%
PC/ABS	86.5	10	0	0	2	1.5	
PC/ABS/TBP	74.5	10	12	0	2	1.5	
PC/ABS/TBP/1CMS	73.5	10	12	1	2	1.5	
PC/ABS/TBP/3CMS	71.5	10	12	3	2	1.5	
PC/ABS/TBP/5CMS	69.5	10	12	5	2	1.5	
PC/ABS/TBP/7CMS	67.5	10	12	7	2	1.5	

### 1.4 测试与表征

极限氧指数(LOI)测试:按GB/T2406-1993测定LOI,样品尺寸为150 mm×12.8 mm×3.0 mm;

垂直燃烧测试 (UL 94): 样品尺寸为 128 mm×12.8 mm×3.0 mm 和 128 mm×12.8 mm×2.0 mm;

TG 分析: 使用 TG 分析材料的热失重情况, 升温速率 10 °C/min, 温度区间 25~780 °C, N<sub>2</sub> 气氛;

锥形量热测试: 按 ISO 5660-1:2015 进行锥形量热仪测试, 热辐射功率为 50 kW/m<sup>2</sup>, 样品尺寸为 100 mm×100 mm×3.0 mm;

拉伸性能测试: 按 GB/T 1040.1-2018 测试复合材料的拉伸性能, 试样类型为 1A 型;

弯曲性能测试: 按 GB/T 9341-2008 测试复合材料的弯曲性能, 试样尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm;

缺口冲击强度测试: 按 GB/T 1843-2008 测试复合材料的缺口冲击强度, 缺口类型为 A 型;

熔体流动速率 (MFR) 测试: 按 GB/T 3682.1-2018 测试复合材料的 MFR, 测试条件为 260 °C, 2.16 kg;

参照 ISO 294-4:2018 测试复合材料的模后收缩率 (PMS), 包括水平方向模后收缩率 (PMS<sub>H</sub>) 和垂直方向模后收缩率 (PMS<sub>V</sub>)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PC/ABS/TBP/CMS 复合材料阻燃性能分析

表 2 为 UL 94 和 LOI 测试数据, 由表 2 可见, TBP 可有效阻燃 PC/ABS, 在 PC/ABS 中加入质量分数 12% 的 TBP, PC/ABS/TBP 的阻燃等级达到 V-0 级 (3.0 mm), LOI 为 28.1%, 相比于 PC/ABS (23.7%) 上升了 4.4%, 这是因为 TBP 受热可分解产生黏稠状聚偏磷酸液态膜, 该液态膜耐高温且可燃, 覆盖在材料表面可隔离氧气、热量和可燃物, 另外聚偏磷酸可促使聚合物脱水成炭, 提高复合材料阻燃性能<sup>[8,15]</sup>。在 PC/ABS/TBP 加入 CMS, 复合材料阻燃性能随着 CMS 加入量的增大先提升后下降, 这可能是因为 CMS 是耐热、不燃的圆珠状无机材料, 分散在复合材料中, 可提高聚偏磷酸液态膜的坚硬度, 减少液态膜被气压 (聚合物分解产生的气体被液态膜

覆盖产生的气压) 冲破的范围, 增强其隔热、氧和可燃气体的能力, 复合材料的阻燃性能进一步提高, 但 CMS 粒径小、比表面积大, 添加量较大时, 其在聚合物中易于团聚, 覆盖面降低, 对聚偏磷酸液态膜坚硬度的提高效果变差, 复合材料阻燃性能相对降低<sup>[12-13]</sup>。当 CMS 加入质量分数为 5% 时, PC/ABS/TBP/5CMS 的 UL 94 达到 V-0 级 (2.0 mm), LOI 为 33.2%, 相比于 PC/ABS/TBP 提高了 5.1%。

图 1 和图 2 是复合材料的热释放速率曲线和总热释放量曲线, 复合材料的点燃时间 (TTI)、总烟释放量 (TSR)、热释放速率峰值 (PHRR)、总热释放量 (THR) 和火灾性能指数 (FPI) 见表 3, FPI 是 TTI 与

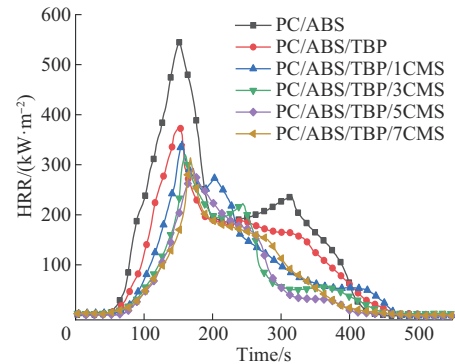


图 1 PC/ABS/TBP/CMS 复合材料的热释放速率曲线

Fig. 1 Heat release rate curves of PC/ABS/TBP/CMS composite

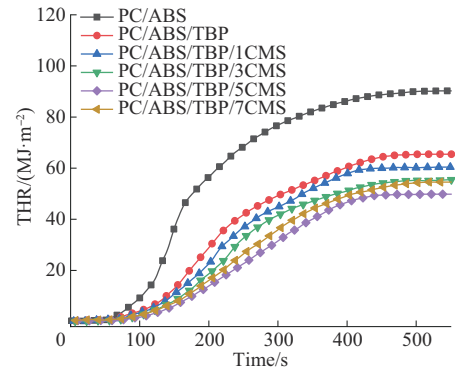


图 2 PC/ABS/TBP/CMS 复合材料的总热释放量曲线

Fig. 2 Total heat rate curves of PC/ABS/TBP/CMS composite

表 2 PC/ABS/TBP/CMS 复合材料的 LOI 和 UL 94 测试结果

Tab. 2 LOI and UL 94 test results of PC/ABS/TBP/CMS composite

Sample	3.0 mm				2.0 mm				LOI/%
	$t_1/s$	$t_2/s$	Melt dripping	UL 94	$t_1/s$	$t_2/s$	Melt dripping	UL 94	
PC/ABS	—	—	Yes		—	—	Yes		23.7
PC/ABS/TBP	4.5	5.2	No	V-0	20.5	—	Yes		28.1
PC/ABS/TBP/1CMS	3.5	4.6	No	V-0	12.8	15.6	Yes	V-2	29.2
PC/ABS/TBP/3CMS	3.6	2.7	No	V-0	9.8	15.3	No	V-1	30.7
PC/ABS/TBP/5CMS	2.4	2.1	No	V-0	3.7	5.5	No	V-0	33.2
PC/ABS/TBP/7CMS	3.0	2.7	No	V-0	5.7	14.5	No	V-1	31.4

Notes:  $t_1$  represents the average time of the first combustion;  $t_2$  represents the average time for the second combustion.

表3 PC/ABS/TBP/CMS复合材料的锥形量热特征数据

Tab. 3 Cone calorimeter characteristic data of PC/ABS/TBP/CMS

Sample	TTI/s	PHRR/ (kW·m <sup>-2</sup> )	TSR/ (m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> )	THR/ (MJ·m <sup>-2</sup> )	FPI/ [(s·m <sup>2</sup> )·kW <sup>-1</sup> ]
PC/ABS	49	544.6	1 734.6	90.2	0.09
PC/ABS/ TBP	51	376.3	1 322.4	65.4	0.14
PC/ABS/ TBP/ 1CMS	51	347.6	1 256.7	60.4	0.15
PC/ABS/ TBP/ 3CMS	52	320.0	1 123.5	55.5	0.16
PC/ABS/ TBP/ 5CMS	55	293.1	978.6	49.8	0.19
PC/ABS/ TBP/ 7CMS	51	313.9	1 076.3	54.5	0.16

PHRR的比值,FPI越大,材料燃烧和火势蔓延越慢。由图1、图2和表3可以看出,TBP可以有效降低PC/ABS的燃烧放热量和生烟量、延长点燃时间、降低火灾风险,这是因为TBP分解生成的聚偏磷酸所形成的液态膜隔离了热、氧气和可燃物,同时促使PC/ABS脱水成炭,提高了复合材料的阻燃性能。

由表3可以看出,在PC/ABS/TBP中加入CMS,随着CMS加入量的增大,复合材料的FPI先增大后减小,PHRR,THR和TSR先减小后增大,这说明CMS加入量较小时,其可以有效抑制PC/ABS/TBP的燃烧放热和生烟、降低火灾风险,这是因为CMS加入量较小时,其可以很好地分散在复合材料中,覆盖面大,对聚偏磷酸液态膜的坚硬度提高效果好,对应复合材料的阻燃性能提高,而过多的CMS会在复合材料中团聚,对应复合材料阻燃性能相对下降。PC/ABS/TBP/5CMS的TTI和FPI相比于PC/ABS/TBP分别提高了7.8%和35.7%,PHRR,THR和TSR分别降低22.1%,23.9%和26.0%。

## 2.2 PC/ABS/TBP/CMS复合材料TG分析

图3和表4是复合材料的TG曲线和特征数据,可以看出,在PC/ABS中加入质量分数12%的TBP,PC/ABS/TBP的起始失重温度( $T_{5\%}$ )下降,最大失重温度( $T_{max}$ )和高温残炭率升高,这是因为TBP先于PC/ABS分解,产生的聚偏磷酸液态膜可以隔离热和促进聚合物成炭。在PC/ABS/TBP中加入CMS,随着CMS加入量的增大,复合材料的 $T_{5\%}$ 变化不大, $T_{max}$ 和高温残炭率逐渐升高,这说明CMS可以有效提高聚偏磷酸液态膜的隔热能力。另外,PC/ABS/

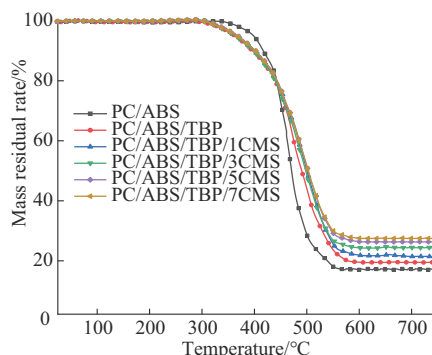


图3 PC/ABS/TBP/CMS复合材料的TG曲线

Fig. 3 TG curves of PC/ABS/TBP/CMS composite

表4 PC/ABS/TBP/CMS复合材料TG特征数据

Tab. 4 TG characteristic data of PC/ABS/TBP/CMS composite

Sample	$T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{max}/^{\circ}\text{C}$	700 °C carbon residue/%
PC/ABS	397.1	443.7	17.3
PC/ABS/TBP	362.5	447.1	19.5
PC/ABS/TBP/1CMS	362.8	449.5	21.4
PC/ABS/TBP/3CMS	363.5	452.2	24.4
PC/ABS/TBP/5CMS	363.1	454.6	26.4
PC/ABS/TBP/7CMS	363.8	454.8	27.3

TBP/5CMS的 $T_{max}$ (454.6 °C)和高温残炭率(26.4%)相比于PC/ABS/TBP/3CMS提高了2.4 °C和2.0%,而PC/ABS/TBP/7CMS相比于PC/ABS/TBP/5CMS只提高了0.2 °C和0.9%,上升幅度不明显,这是因为CMS的加入质量分数为7%时,其在复合材料中分散性差,覆盖面减小,对聚偏磷酸液态膜坚硬度的提高效果差,隔热能力降低。

## 2.3 PC/ABS/TBP/CMS复合材料物理性能分析

图4和图5为CMS含量对PC/ABS/TBP/CMS力学性能和模后收缩率影响的曲线图,表5为复合材料的物料性能测试数据,可以看出,相比于PC/ABS,PC/ABS/TBP的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和缺口冲击强度分别下降了19.5%,16.6%,

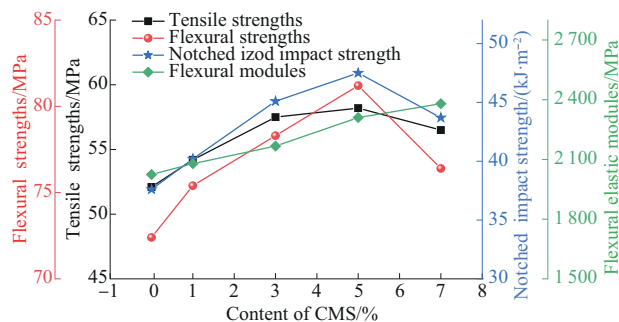


图4 CMS含量对PC/ABS/TBP/CMS复合材料力学性能的影响

Fig. 4 Effect of CMS content on mechanical properties of PC/ABS/TBP/CMS composite

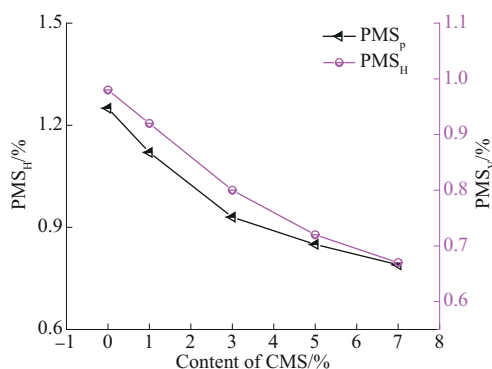


图5 CMS含量对PC/ABS/TBP/CMS模后收缩率的影响

Fig. 5 Effect of CMS content on PMS of PC/ABS/TBP/CMS composite

17.5%和56.1%, PMS<sub>H</sub>, PMS<sub>V</sub>和MFR分别上升了68.9%, 58.1%和196.1%,这是因为TBP是低分子液

态聚合物,加入后提高了PC/ABS的塑性,复合材料的加工性提高,力学强度、刚性和尺寸稳定性下降<sup>[16]</sup>。随着CMS含量的增大,PC/ABS/TBP/CMS的弯曲强度、拉伸强度和缺口冲击强度先增大后减小, PMS<sub>H</sub>, PMS<sub>V</sub>和MFR逐渐降低,这是因为CMS可以抑制PC/ABS分子链的移动<sup>[11-12]</sup>,复合材料的尺寸稳定性和刚性提高,同时CMS分散在复合材料中可以传递应力,复合材料的力学强度和韧性提高,而当CMS在复合材料中团聚时,对应性能下降。相比PC/ABS/TBP, PC/ABS/TBP/5CMS的拉伸强度、弯曲弹性模量、弯曲强度和缺口冲击强度分别上升了11.7%, 14.1%, 12.2%和26.3%, PMS<sub>H</sub>, PMS<sub>V</sub>和MFR分别降低32.0%, 26.5%和19.1%。

表5 PC/ABS/TBP/CMS复合材料的物理性能数据

Tab. 5 Physical performance data of PC/ABS/TBP/CMS composite

Sample	Tensile strength/MPa	Flexural elastic modules/MPa	Flexural strength/MPa	Notched impact strength/(kJ·m <sup>-2</sup> )	PMS <sub>H</sub> /%	PMS <sub>V</sub> /%	MFR/(g·10 min <sup>-1</sup> )
PC/ABS	64.7	2 454.7	86.8	85.6	0.74	0.62	7.6
PC/ABS/TBP	52.1	2 024.3	72.4	37.6	1.25	0.98	22.5
PC/ABS/TBP/1CMS	54.2	2 078.5	75.4	40.2	1.12	0.92	21.3
PC/ABS/TBP/3CMS	57.5	2 166.8	78.3	45.1	0.93	0.80	19.5
PC/ABS/TBP/5CMS	58.2	2 310.4	81.2	47.5	0.85	0.72	18.2
PC/ABS/TBP/7CMS	56.5	2 379.7	76.4	43.7	0.79	0.67	17.5

### 3 结论

(1)在PC/ABS中加入质量分数12%的TBP, PC/ABS/TBP的LOI为28.1%, UL 94等级达到V-0级(3.0 mm),初始热分解温度、力学性能和尺寸稳定性相对PC/ABS有所下降。

(2)随着CMS含量的增大, PC/ABS/TBP/CMS的阻燃性能先升高后将下降,拉伸强度、弯曲强度先提高后下降,刚性和尺寸稳定性逐渐升高。相比于PC/ABS/TBP, PC/ABS/TBP/5CMS的拉伸强度、弯曲弹性模量、弯曲强度和缺口冲击强度分别上升了11.7%, 14.1%, 12.2%和26.3%, PMS<sub>H</sub>, PMS<sub>V</sub>和MFR分别降低32.0%, 26.5%和19.1%。

#### 参考文献

- [1] 汪克风,吕振亚,刘珍元,等.高耐热无卤阻燃PC/ABS合金的研究[J].塑料工业,2016,44(2):58-60.  
WANG Kefeng, LV Zhenya, LIU Zhenyuan, et al. Research of high heat-resistant halogen-free flame retardant PC/ABS alloy[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(2):58-60.
- [2] 艾军伟,赵体鹏,岑茵,等.抗静电PC/ABS合金研究[J].塑料工业,2019,47(11):19-22.  
AI Junwei, ZHAO Tipeng, CEN Yin, et al. Study on antistatic PC/ABS blends[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(11):19-22.
- [3] 刘霞,黄艳,范凤艳.无卤阻燃PC/ABS二元合金的研发[J].山东

化工,2019,48(23):67-68.

- LIU Xia, HUANG Yan, FAN Fengyan. Development of halogen-free flame retardant PC/ABS alloy[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(23):67-68.
- [4] 漆刚,姜会平,巩阳,等.聚碳酸酯用有机硅阻燃剂的开发及应用研究[J].塑料工业,2019,47(3):108-110.  
QI Gang, JIANG Huiping, GONG Yang, et al. Development and application study on organic silicon flame retardants of polycarbonate[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(3):108-110.
- [5] 李子骞,漆飞,陈谢仁,等.磷系阻燃剂对PC/ABS共混物燃烧性能的影响[J].塑料工业,2017,45(6):93-97.  
LI Ziqian, QI Fei, CHEN Xieren, et al. Effect of phosphorus flame retardant on combustion behaviors of PC/ABS blends[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(6):93-97.
- [6] 徐洪军,肖刚,杨莹,等.阻燃PC/ABS合金用磷系阻燃剂的研究进展[J].材料导报,2013,27(13):81-86.  
XU Hongjun, XIAO Gang, YANG Ying, et al. Research progress on phosphorus-containing flame retardant system for PC/ABS alloy[J]. Materials Reports, 2013, 27(13):81-86.
- [7] 李湘,方松刚,殷洁,等.TPP与倍半硅氧烷阻燃剂对PC/ABS的性能影响[J].高分子通报,2021(11):30-34.  
LI Xiang, FANG Songgang, YIN Jie, et al. Effects of TPP and sesquioxane flame retardants on PC/ABS performances[J]. Chinese Polymer Bulletin, 2021(11):30-34.

(下转第185页)