

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.10.022

FTIR 法分析 PC/ABS 共混物中 PC 含量

马哲¹, 陈光岩²

(1. 天津金发新材料有限公司, 天津 300308; 2. 中国石油吉林石化公司研究院, 吉林省吉林 132001)

摘要: 采用傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 法对聚碳酸酯 (PC)/ 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 共混物中 PC 组分含量进行分析。分别以 1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 作为 PC 和 ABS 的特征定量吸收峰, 建立了 1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 吸收峰峰面积比值与 PC 组分含量的关系。结果表明, 在 PC 质量分数低于 80% 时, 两者呈一次线性关系, 相关系数达 0.995。与常规的密度法相比, FTIR 法定量结果的相对偏差和相对标准偏差均在 5% 以内, 可准确应用于 PC/ABS 共混物中 PC 含量的定量分析。

关键词: 傅立叶变换红外光谱法; 聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料共混物; 定量分析; 一元回归; 比值法

中图分类号: TQ325 文献标识码: A 文章编号: 1001-3539(2016)10-0102-04

The Quantification Analysis of Polycarbonate in PC/ABS by FTIR

Ma Zhe¹, Chen Guangyan²

(1. Tianjin Kingfa Advanced Materials Co. Ltd., Tianjin 300308, China;

2. Petro China Jilin Petrochemical Company Research Institute, Jilin 132001, China)

Abstract: The quantification analysis of polycarbonate (PC) in PC/acrylonitrile butadiene styrene (ABS) blend was created by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), 1760 cm^{-1} and 700 cm^{-1} were defined as the absorbance peak of PC and ABS, respectively. The relationship between the ratio of absorbance peak area of 1760 cm^{-1} and 700 cm^{-1} and concentration of PC was established. It is found that when PC is no more than 80%, the relationship is linear with correlation coefficient of 0.995. Compared to the density method, the relative deviation and relative standard deviation of the quantification of PC in PC/ABS by FTIR are both less than 5%. FTIR can be an accurate method for PC/ABS analysis.

Keywords: Fourier transform infrared spectroscopy; polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene blend; quantification analysis; single regression; ratio method

聚碳酸酯 (PC)/ 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 共混物是目前最早实现工业化生产的塑料合金, 由美国 Borg Warner 公司首先于 1963 年研发而成^[1]。因其结合 PC 良好的力学性能和 ABS 优异的加工性能, 被广泛应用于电子电器、家电产品、汽车零部件、通讯设备等行业。对于塑料改性企业来说, 不论在产品质量控制还是未知样品剖析方面, 如何快速准确地对 PC/ABS 共混物进行定量分析已成为一个重要问题。

目前, 已有学者对 PC/ABS 共混物的定量分析进行了研究。萧达辉等^[2] 利用裂解色谱-气质联用仪对 PC/ABS 共混物进行定量分析, 该方法虽然精准, 但仪器运行成本较高和时间较长, 不适用于一般的塑料改性制造企业。吴立军等^[3] 虽利用近红外法对 ABS/PC 材料共混比进行分析, 但所用的

偏最小二乘法 (PLS) 多元校正数学建模过程过于复杂, 收集样本多, 工作量大^[4], 同时对分析人员也有较高的数学建模分析能力要求。笔者利用傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪, 通过对已知比例的 PC/ABS 共混物建立一元回归模型, 简便高效地实现 PC 含量的准确定量分析。

1 实验部分

1.1 原材料

PC: PC A1900, 日本出光兴产株式会社;

ABS: ABS DG 417, 天津大沽化工股份有限公司;

增容剂: 马来酸酐接枝物, 自制;

联系人: 马哲, 硕士, 主要研究高分子材料测试

收稿日期: 2016-07-13

抗氧化剂: THANOX 1010, 天津利安隆新材料股份有限公司。

1.2 主要设备和仪器

天平: SB 8000 型, 瑞士梅特勒托利多公司;

双螺杆挤出机: ZSK-50 型, 科倍隆(南京)机械有限公司;

FTIR 仪: IS10 型, 美国尼高力公司;

粉末热压机: FW-4A 型, 天津安合盟科技公司。

1.3 PC/ABS 共混物制备

用天平称取 PC, ABS, 增容剂、抗氧化剂混合均匀, 经双螺杆挤出造粒制备不同比例的 PC/ABS 共混物。其中, 增容剂质量分数为 1%, 抗氧化剂质量分数 0.1%, PC 质量分数分别为 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%。双螺杆挤出机转速为 450 r/min, 各加热区域温度为 1 区 160 °C, 2 区 250 °C, 3 区 250 °C, 4 区 240 °C, 5 区 240 °C, 6 区 230 °C, 7 区 230 °C, 8 区 240 °C, 9 区 250 °C, 机头 250 °C。

1.4 试样制备

热塑性树脂的 FTIR 制样多采用热压薄膜法。取少量制备的 PC/ABS 共混物颗粒在粉末热压机上进行熔融热压, 热压温度为 260 °C, 热压压力为 0.5 MPa, 保持在该温度和压力下 5 s, 待热压薄膜冷却后进行 FTIR 检测分析。

1.5 性能测试

FTIR 测试: 扫描范围 4000 ~ 400 cm^{-1} , 扫描次数 32 次, 分辨率 4 cm^{-1} , 分束器 KBr, 检测器 DTGS KBr, OMNIC 9.0 软件处理数据。

FTIR 图谱数据处理: 计算 1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 两处吸收峰峰面积, 并记录其比值。

2 结果与讨论

2.1 FTIR 定量分析原理

FTIR 定量分析遵循比尔-朗博定律^[5], 即当可见光通过一均匀介质时, 在一定浓度范围内, 其吸光度与物质的浓度成正比。该定律可用公式 (1) 表示。

$$A=Kbc \quad (1)$$

式中: A ——吸光度;

K ——吸收系数, $\text{L}/(\text{cm} \cdot \text{mol})$;

b ——厚度, cm ;

c ——浓度, mol/L 。

因此, FTIR 可应用于单一组分、二元和多元体系组分定量分析中。尽管 FTIR 的吸收较为复杂有干扰, 在定量分析方面也受一定制约, 但 FTIR 可在

无前处理分离步骤的情况下, 对混合物进行快速定量分析, 尤其适用于有机化合物的混合物^[6-9]。所以笔者利用比尔-朗博定律对 PC/ABS 共混物中 PC 组分进行定量分析。

2.2 PC/ABS 共混物特征定量吸收峰的确定

在 FTIR 定量分析中, 选择合适的分析谱带是非常关键的问题。分析谱带最好遵循以下原则^[5]: (1) 分析谱带应该是某组分物质特征的吸收峰, 吸收较为强烈且有较高的灵敏度, 可以很好地反映该组分的变化。(2) 分析谱带应该较为独立, 避免受其它组分、大气环境和噪音的较大干扰。(3) 分析谱带的吸光度能够准确量取, 受不同基线选择方法的影响较小。

PC/ABS 共混物、PC 和 ABS 的 FTIR 谱图如图 1 所示。PC/ABS 共混物的 FTIR 谱图可近似地认为是 PC 和 ABS 的 FTIR 谱图的叠加^[10-12]。在 PC 的 FTIR 图谱中, 有两处峰吸收较为强烈, 灵敏度较好, 分别是位于 1760 cm^{-1} 处 C=O 的伸缩振动和位于 1220 ~ 1160 cm^{-1} 处的 C—O 伸缩振动。1220 ~ 1160 cm^{-1} 处 3 个连续的 C—O 伸缩振动虽然吸收较强灵敏度高, 但此处 3 个连续的吸收峰并不能完全分离, 导致其吸光度量取不精准, 波动较大, 很容易受不同基线选取方法的影响, 因此不适宜作为 PC 的特征定量吸收峰。同样吸收强烈、灵敏度较高的位于 1760 cm^{-1} 处的 C=O 高频伸缩振动, 谱带独立无干扰, 吸收峰两边基线平整且没有杂峰, 吸光度可准确量取, 适合作为 PC 的特征定量吸收峰。

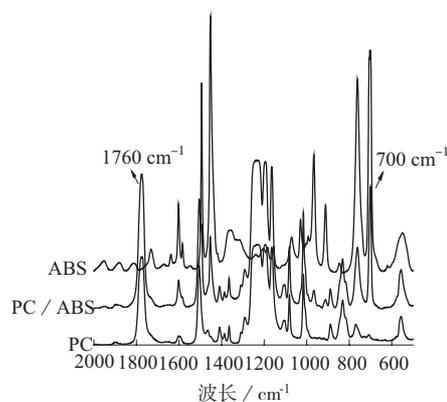


图 1 PC, ABS, PC/ABS 共混物的 FTIR 谱图

在 ABS 的 FTIR 图谱中, 有 4 处吸收峰较为典型强烈, 分别是 1493, 1452, 757, 700 cm^{-1} , 其中代表苯环骨架振动的 1493, 1452 cm^{-1} 和代表苯环面外振动的 757 cm^{-1} 分别与 PC 的 FTIR 图谱中

1504 cm^{-1} 对位苯环吸收和 768 cm^{-1} 的苯环面外振动吸收有部分谱带重叠的现象,干扰较为严重^[13]。因此 1493,1452,757 cm^{-1} 这 3 处吸收峰不适合作为 ABS 的特征定量吸收峰。而同样吸收较为强烈的代表苯环氢原子面外弯曲振动的 700 cm^{-1} 处吸收峰^[4-5],与 PC 吸收峰不重叠无干扰,吸光度可准确量取,适宜作为 ABS 的特征吸收峰。

综上所述,1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 为不重叠干扰的独立吸收谱带,峰形好,吸收较强,灵敏度高,可以分别作为 PC 和 ABS 的特征定量吸收峰。

2.3 外标定量工作曲线的建立

在 FTIR 定量分析中有许多分析方法,如直接计算法、联立方程求解法、工作曲线法、内标法、差示法等^[5,12],每一种方法都有各自的优势和适用范围。当样品浓度在较大范围内变化时,宜用工作曲线法,鉴于本文中 PC/ABS 共混物 PC 的质量分数在 5%~95% 范围内,浓度跨度较大,因此分析采用外标工作曲线法。前期大量 FTIR 实验表明,在该 PC/ABS 混合物中,因薄膜厚度、光散射等因素不同程度地影响 FTIR 特征吸收峰的吸收造成定量误差,采用直接计算法引入误差非常大,因此采用吸收峰谱带比值法以减少实验误差^[7,14]。

在该 PC/ABS 混合物中,谱带比值法是指建立两个特征吸收谱带的吸光度之比与某组分含量的关系,其中吸光度之比有峰面积比值和峰高比值两种表示方式。经过大量重复实验发现,峰面积比值的重复稳定性优于峰高比值,所以用特征吸收峰峰面积比值方法来表示吸光度之比。最终确定以分别代表 PC 和 ABS 吸收的 1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 两处吸收峰峰面积比值为纵坐标,以 PC/ABS 共混物中 PC 质量分数为横坐标,建立外标定量工作曲线。不同 PC 质量分数的 PC/ABS 共混物中,1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 两处吸收峰峰面积数值 (A_{1760} , A_{700}) 及其比值 (A_{1760}/A_{700}) 如表 1 所示,每组数据测 3 次,结果取其平均值。实际拟合方程和拟合趋势如图 2 所示。

由图 2 可看出,当 PC 质量分数低于 80% 时, A_{1760}/A_{700} 与 PC 组分含量呈良好的一次线性拟合关系,拟合方程为 $Y=0.083X-0.094$,线性相关系数 $R^2=0.995$ 。然而当 PC 质量分数高于 80% 时, A_{1760}/A_{700} 明显偏大,过多偏离原拟合方程,且上拐趋势明显,多次重复实验均有此现象。这可能与 PC 本身的结构与加工性能有关^[15]。PC 结构中含有苯环,

导致其分子链刚性大、熔体黏度高、流动性差,一般的加工温度在 240℃ 以上。尽管 FTIR 制样的热压温度在 260℃ 以上,但高 PC 含量会对薄膜厚度产生一定影响。当 PC 含量越高时,样品在压片磨具中不容易向四周流动,故薄膜相对较厚,且厚度均匀不一。由比尔-朗博定律可知,组分浓度一定时,薄膜越厚吸光度越大。在高 PC 含量的 PC/ABS 共混物中,占主导作用的 A_{1760} 增加较多, A_{1760}/A_{700} 相对增加较多,较大程度地偏离原拟合方程。

表 1 PC/ABS 共混物中 A_{1760}/A_{700}

PC 质量分数 / %	A_{1760}	A_{700}	A_{1760}/A_{700}
5	16.005	32.011	0.50
10	21.882	28.227	0.77
20	34.411	22.058	1.56
30	37.436	17.119	2.18
40	44.384	15.002	3.10
50	32.538	8.006	4.06
60	35.582	7.102	5.01
70	35.990	6.051	5.95
80	30.840	4.738	6.51
90	51.012	5.671	9.14
95	72.201	6.542	11.04

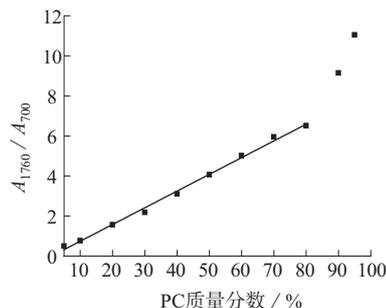


图 2 A_{1760}/A_{700} 与 PC 组分含量的拟合关系

因此, $Y=0.083X-0.094$ 的拟合方程仅适用于 PC 含量不超过 80% 的 PC/ABS 共混物。当 PC 质量分数高于 80% 时,因数据偏离较大,故无法对 PC 准确定量。

2.4 准确性验证

为验证 FTIR 定量方法的准确性,分别采用 FTIR 法和塑料改性企业常用的密度法对制备的 PC/ABS 共混物标准样品和实际生产样品进行测定,测定结果见表 2。每组样品测量 3 次,结果取其平均值。密度法是根据样品的实际密度等于各树脂密度质量权重加和的原理来逆向推测 PC 的含量,其中 PC 和 ABS 的密度分别为 1.2 g/cm^3 和 1.045 g/cm^3 。因常用的 PC/ABS 改性共混物中 PC 质量分数不超过 70%,所以验证样品的 PC 含量范围均选择 PC 含量不超过 70% 的 PC/ABS 共混物。

表 2 准确性试验 %

样品名称	真实含量	红外法		密度法	
		测定含量	相对偏差	测定含量	相对偏差
标准样品 1	40	38.7	3.2	36.4	9.0
标准样品 2	50	48.3	3.4	44.6	10.8
标准样品 3	60	59.0	1.6	54.2	9.6
生产样品 1	20	20.3	1.5	17.3	13.5
生产样品 2	45	43.6	3.1	40.6	9.7
生产样品 3	60	59.2	1.3	53.5	10.8

从表 2 可以看出,在密度法中,不论是标准样品还是实际生产样品,虽然测量结果的绝对值与真实值相差并不是很大,但测量相对偏差平均在 10% 左右,这与一般定量相对偏差控制在 10% 以内的要求相差甚多。密度法准确度不高可能与密度本身测试方法有关。密度法是将样品压制成一定厚度的圆片,测量其在水中的相对密度。若圆片内含气泡不密实或有飞边,所测密度就会有偏差,导致推测含量不准确。FTIR 法测量相对偏差在 5% 以内,远低于密度法,这说明 FTIR 法测定准确度更高一些。笔者实际工作中还发现,在 PC/ABS 共混物中添加玻璃纤维或粉体的体系中,密度法则无法准确推算组分含量,准确度更低;而在 FTIR 法中,1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 两处吸收峰则不会受玻璃纤维、粉体的 FTIR 特征峰影响。

因 FTIR 定量方法相对偏差小于密度法,故 FTIR 法可用于准确定量 PC/ABS 共混物中 PC 组分的含量,密度法只能用来粗略推算纯 PC/ABS 共混物中 PC 组分的含量。

2.5 精密度验证

为验证 FTIR 定量方法的重复性,对已经过准确性验证的 6 个样品进行精密度实验,每组样品测量 3 次。结果表明,样品测定的相对标准偏差均在 5% 以内,表明该定量方法有良好的重复性。

表 3 精密度实验 %

样品名称	真实含量	测定含量			平均含量	相对标准偏差
		1	2	3		
标准样品 1	40	38.2	38.5	39.1	38.7	1.2
标准样品 2	50	47.5	48.4	49.0	48.3	1.6
标准样品 3	60	57.6	59.2	60.2	59.0	2.2
生产样品 1	20	19.8	20.5	20.7	20.3	2.3
生产样品 2	45	44.7	43.3	42.8	43.6	2.3
生产样品 3	60	62.6	57.3	57.8	59.2	4.9

3 结论

(1) 采用 FTIR 法对 PC/ABS 共混物中 PC 含量进行了测定。当 PC 含量低于 80% 时,1760 cm^{-1} 和 700 cm^{-1} 吸收峰峰面积比值与 PC 组分含量呈一

次线性关系。与密度法相比,FTIR 测定结果的相对偏差和相对标准偏差均在 5% 以内。

(2) 当 PC 含量高于 80% 时,无法准确测定对 PC/ABS 共混物中的 PC 含量,需要借助其它方法。

参考文献

- [1] 闫华,刘吉平. PC/ABS 合金研究进展 [J]. 塑料,2004,33(1):41-42.
Yan Hua, Liu Jiping. Research situation of PC / ABS Alloy[J]. Plastic, 2004, 33(1):41-42.
- [2] 萧达辉,刘莹峰,岳大磊,等. PC/ABS 共混物的 PGC-MS 定量分析 [J]. 分析测试学报,2010,29(5):515-518.
Xiao Dahui, Liu Yingfeng, Yue Dalei, et al. Quantitative analysis of PC / ABS by pyrolysis / GCMS[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2010, 29(5):515-518.
- [3] 吴立军,尤瑜生,冯典英,等. 近红外光谱法测定 ABS/PC 材料的共混比 [J]. 工程塑料应用,2006,34(10):52-53.
Wu Lijun, Yu Yousheng, Feng Dianying, et al. Quantitative analysis of ABS / PC blends nir spectrometry[J]. Engineering Plastics Application, 2006, 34(10):52-53.
- [4] 王坚,张英堂,薛红朝. 红外光谱定量分析模型及方法研究 [J]. 润滑与密封,2000(4):8-9.
Wang Jian, Zhang Yingtang, Xue Hongchao. Study on the methods and models of infrared spectrum quantitative analysis[J]. Lubrication Engineering, 2000(4):8-9.
- [5] 沈德言. 红外光谱法在聚合物研究中的应用 [M]. 北京:科学出版社,1982.
Shen Deyan. The application of FTIR in polymer[M]. Beijing:Science Press, 1982.
- [6] 张秀萍,何淑美. 红外光谱定量分析的应用 [J]. 分析科学学报,2007,23(4):486-487.
Zhang Xiuping, He Shumei. Application of infrared spectrometry in quantitative analysis[J]. Journal of Analytical Science, 2007, 23(4):486-487.
- [7] 张淑娟,张之皖. 红外光谱法定量分析异龙脑 / 樟脑二元体系 [J]. 广州化学,1999(3):45-47.
Zhang Shuxian, Zhang Zhiwan. A quantitative analysis method for determination of isoborneol / camphor two-component system by infrared spectrometry[J]. Guangzhou Chemistry, 1999(3):45-47.
- [8] 钱浩,祝亚非,许家瑞. 用衰减全反射傅里叶变换红外光谱定量测定 PEG/PE 共混物的表面组成 [J]. 光谱学与光谱分析,2003,23(4):709-710.
Qian Hao, Zhu Yafei, Xu Jiarui. Quantitative analysis of surface composition of PEG / PE blends using attenuated total reflectance FTIR spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2003, 23(4):709-710.

(下转第 133 页)

- for epoxy resin encapsulating material[J]. *Plastic Additives*, 2011(7):780-782.
- [4] 陈志军. 阻燃改性苧麻/环氧树脂复合材料的制备及性能研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2013.
Chen Zhijun. Study on flame retardant modified ramie/epoxy resin composites[D]. Wuhan: Wuhan Textile University, 2013.
- [5] Zhang Jusheng, Wang Yuting, Wang Xiaoshan, et al. Effects of amino-functionalized carbon nanotubes on the properties of amine-terminated butadiene-acrylonitrile rubber-toughened epoxy resins[J]. *J Appl Polym Sci*, 2014, 131(13):378-387.
- [6] 谭惠月, 刘国侠, 刘奥, 等. 退火温度对氧化铝薄膜性质的影响[J]. *青岛大学学报: 自然科学版*, 2015, 28(1):3-5.
Tan Huiyue, Liu Guoxia, Liu Ao, et al. Effect of annealing temperature on physical properties of solution-processed aluminum oxide thin films[J]. *Journal of Qingdao University: Natural Science Edition*, 2015, 28(1):3-5.
- [7] 闵玉勤, 华正江, 张兴宏. 无卤阻燃环氧树脂固化物及其结构与性能[J]. *粘接*, 2014(6):38-42.
Min Yuqin, Hua Zhengjiang, Zhang Xinghong. Synthesis and thermal properties of cured materials of halogen-free flame-retardant epoxy resin[J]. *Adhesion*, 2014(6):38-42.
- [8] Bing Liang, Jun Cao, Hong Xiaodong, et al. Synthesis and properties of a novel phosphorous-containing flame-retardant hardener for epoxy resin[J]. *J Appl Polym Sci*, 2013, 128(5):2759-2765.
- [9] Shan Liu, Yan Hongqiang, Fang Zhengping, et al. Effect of graphene nanosheets on morphology, thermal stability and flame retardancy of epoxy resin[J]. *Composites Science and Technology*, 2014, 90(90):40-47.
- [10] Misra N, Kumar V, Bahadur J, et al. Layered silicate-polymer nanocomposite coatings via radiation curing process for flame retardant applications[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2014, 77(9):1443-1451.
- [11] Yan Haiyan, Tang Yanxia, Long Wei, et al. Enhanced thermal conductivity in polymer composites with aligned graphene nanosheets[J]. *Journal of Materials Science*, 2014, 49(15):5256-5264.
- [12] Yuan Fangyuan, Zhang Haobin, Li Xiaofeng, et al. Synergistic effect of boron nitride flakes and tetrapod-shaped ZnO whiskers on the thermal conductivity of electrically insulating phenol formaldehyde composites[J]. *Composites Part A: Applied Science & Manufacturing*, 2013, 53(19):137-144.
- [13] Wei P. Effect of flame retardant containing phosphorus and silicone on thermal performance of PC/ABS[J]. *Journal of Wuhan University of Technology: Materials Science Edition*, 2009, 24(2):235-240.
- [14] Xiong Yuanqin, Jiang Zhuojuan, Xie Yanyan, et al. Development of a DOPO-containing melamine epoxy hardeners and its thermal and flame-retardant properties of cured products[J]. *J Appl Polym Sci*, 2013, 127(127):4352-4358.
- [15] 潘淼. 含硅-磷环氧树脂复合材料的制备及阻燃性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
Pan Miao. Preparation and flame retardancy of epoxy resin composites containing silicon or phosphorus[D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- (上接第 105 页)
- [9] 刘玉飞, 王方方, 黄彩娟, 等. 红外光谱定量分析的研究进展[J]. *上海塑料*, 2014(1):9-13.
Liu Yufei, Wang Fangfang, Huang Caijuan, et al. Research situation of quantitative analysis of IR[J]. *Shanghai Plastics*, 2014(1):9-13.
- [10] 冯计民. 红外光谱在微量物证上的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
Feng Jimin. The application of FTIR analysis in trace material evidence[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [11] 王正熙, 孙道桐. 红外光谱标准加入法测定 PC/ABS 合金和 ABS 微结构组成[J]. *塑料工业*, 1994(6):44-46.
Wang Zhengxi, Sun Daotong. Determination of PC/ABS alloy and micro structure of ABS by infrared spectroscopy with standard addition method[J]. *China Plastics Industry*, 1994(6):44-46.
- [12] 胡皆汉. 实用红外光谱学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
Hu Jiehan. Practical infrared spectroscopy[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [13] 华正江, 俞雄飞, 袁丽凤, 等. 傅立叶变换红外光谱法测定聚苯醚-聚苯乙烯共混物中的组分含量[J]. *化学计量分析*, 2009, 18(6):16-18.
Hua Zhengjiang, Yu Xiongfei, Yuan Lifeng, et al. Determination of the content of each component in PPO/PS blends by FTIR[J]. *Chemical Analysis and Meterage*, 2009, 18(6):16-18.
- [14] 何涌, 张保民. 独居石微晶玻璃种玻璃相含量的红外光谱定量测定[J]. *光谱学与光谱分析*, 2003, 23(2):263-264.
He Yong, Zhang Baomin. Quantitative determination of glass content in monazite glass-ceramics by IR technique[J]. *Spectroscopy and spectral analysis*, 2003, 23(2):263-264.
- [15] 黄锐. 塑料工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
Huang Rui. Plastic Engineering Handbook[M]. Beijing: China Machine Press, 2000.

本刊唯一合法投稿网址: WWW.epa1973.com