

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.02.023

PP/甘蔗皮纤维复合材料的拉伸性能

张括, 计宏伟

(天津商业大学机械工程学院, 天津 300134)

摘要: 采用热压工艺制造聚丙烯(PP)/甘蔗皮纤维复合材料,并研究其拉伸性能。研究热压温度为175℃、压力为2 MPa、时间15 min工艺条件下纤维粒径大小和质量分数对复合材料拉伸强度和拉伸弹性模量的影响。结果表明:在甘蔗皮纤维质量分数为40%条件下,复合材料拉伸性能随着粒径减小呈现先增加后减少的趋势,当纤维粒径为40~60目(0.45~0.3 mm)时材料拉伸强度最大,为8.58 MPa,此时弹性模量为2.44 GPa;在相同纤维粒径40~60目条件下,纤维质量分数为40%时PP复合材料拉伸强度最大,纤维质量分数为50%时PP复合材料拉伸弹性模量最大,达到2.65 GPa。根据实验结果,甘蔗皮纤维增强PP复合材料在纤维粒径为40~60目、质量分数在40%时综合拉伸性能最佳。

关键词: 甘蔗皮纤维;聚丙烯;拉伸性能;复合材料;纤维粒径

中图分类号: TQ325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)02-0103-05

Tensile Properties of Polypropylene/Sugarcane Bark Fiber Composite

Zhang Kuo, Ji Hongwei

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: The sugarcane bark fiber reinforced polypropylene(PP) composites were fabricated by a hot-pressing technology. The influence of fiber particle size and its mass fraction on tensile strength and elastic modulus of PP composite under process condition by hot-press temperature with 175℃, press with 2 MPa, time with 15 min was studied. The results show that the tensile properties of PP composite increase after decreased by decreasing the size of particles under fiber content condition with 40% and achieve highest at 8.58 MPa with fiber particle size 40 to 60 mesh (0.45–0.3 mm), and the elastic modulus of PP composite is 2.44 GPa. Under conditions of the same fiber particle size 40–60 mesh, tensile strength of PP composite is the largest when fiber mass fraction of 40%. When fiber content is 50%, elastic modulus of PP composite achieve maximum, reaching 2.65 GPa. According to experimental results that sugarcane bark fiber reinforced polypropylene composites material in fiber diameter of 40–60 mesh and fiber mass fraction of 40% reach the best tensile properties.

Keywords: sugarcane bark fiber; polypropylene; tensile property; composite; fiber particle size

甘蔗渣是压榨制糖的副产物,每压榨1 t甘蔗汁,大约可获得270 kg的湿蔗渣^[1],我国每年产生大量的甘蔗渣,处理甘蔗渣的方式有燃烧、造纸、发电、制作木塑复合材料等,其中木塑复合材料是一类以木质废弃物和聚合物新料或回收料为原料加工而成的具有巨大发展前景的材料^[2],而甘蔗渣是木塑复合材料农业纤维的重要原料之一,是工业纤维素基废弃物,具有可再生、可存储与替代、巨大的存储量、碳平衡等典型的特征^[3],以甘蔗纤维为增强相的复合材料由于具有良好的机械加工性能和装饰性能,在越来越多的行业得到应用,如家具、建筑、汽车、包装等^[4]。

目前,越来越多的学者开始探究甘蔗纤维相关的材料性能:郑玉涛等^[5]研究了两种不同偶联剂对

甘蔗渣增强聚氯乙烯复合材料力学性能、界面形态、耐水性能和加工性能的影响;D. R. Mulinari等^[6]用氯化铝对甘蔗纤维进行改性处理并与高密度聚乙烯通过挤出工艺制备复合材料,比较了改性纤维和非改性纤维复合材料的拉伸强度;李晓媛等^[7]研究了不同相容剂对甘蔗渣增强聚丙烯(PP)复合材料的力学性能;J. O. Agunsoye等^[8]研究了甘蔗渣质量分数对聚乙烯/甘蔗渣生物质复合材料力学性能的影响;李学峰等^[9]研究了用硅烷偶联剂处理的无规共聚PP/甘蔗渣复合材料的拉伸强度与冲击强度;张丽等^[10]研究了PP/甘蔗渣复合材料的力学

联系人:计宏伟,教授,博士生导师,主要从事运输包装研究、复合材料力学行为研究

收稿日期:2016-12-04

性能、热性能、流动性能;江海道等^[11]通过机械活化处理甘蔗渣,并加入发泡剂制成缓冲包装材料,提高了甘蔗渣与粘合剂、填料的相容性。

以上研究多从改善复合材料界面性能、成型工艺、纤维改性等方面研究甘蔗复合材料。笔者从甘蔗皮纤维本身的角度出发,研究纤维粒径大小以及质量分数对PP复合材料拉伸强度及其弹性模量的影响,探讨复合材料模压成型的最佳粒径大小和最佳质量分数。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: H1500,熔体流动速率 12 g/10 min,韩国LG公司;

甘蔗皮:市售,甘蔗皮纤维化学组分为脂蜡质 0.85%、果胶 1.80%、半纤维素 39.30%、纤维素 22.50%、木质素 35.6%^[12];

硅烷偶联剂: KH550,广州泰瑞新材料有限公司;

氢氧化钠:分析纯,天津元立化工有限公司;

无水乙醇:分析纯,天津化学试剂供销公司。

1.2 主要设备及仪器

标准分样筛:市售;

电子引伸计: YYU-5/50 型,北京纳克分析仪器有限公司;

平板硫化机: XLB 型,青岛亚东机械集团有限公司;

多功能粉碎机: QE-10 型,浙江杭州屹立工具有限公司;

电子万能试验机: AG-IC50KN 型,日本岛津公司。

1.3 实验方法

(1) 纤维处理改性。

将甘蔗皮粉碎并用标准分样筛筛选足量,用 1% 浓度的氢氧化钠溶液处理 3 h,物液比为 1 g : 8 mL,然后冲洗至中性并置于 105℃ 烘箱中干燥至恒重(约 8 h);将硅烷偶联剂溶于无水乙醇制成 4% 浓度的溶液喷淋到经过碱处理的甘蔗纤维表面并使其充分润湿^[13],之后放在通风处晾干至恒重。

(2) 复合材料制备。

将经过处理的甘蔗皮纤维与 PP 按一定比例混合。要实现均匀地混合,必须保证 PP 粒径大小与纤维一致,故先将 PP 打碎成小粒径,再过与纤维同等目数的分样筛。

采用一段式加压方式进行制样。手工铺装混合料到模具中形成疏松板坯,在平板硫化机上热压成型,预压压力为 1 MPa,当温度从室温加热到 160℃ 时,调整压力到 2 MPa,待温度升高到 175℃ 时热压 15 min,保压 1 h,冷却脱模,最后切割制样。

(3) 试验工艺。

在 40% 相同纤维质量分数条件下,复合材料按照标准分样筛筛选出的纤维粒径不同分为 5 组,分别为 14~20 目(1.43~1.00 mm),20~40 目(1.00~0.45 mm),40~60 目(0.45~0.30 mm),60~80 目(0.30~0.20 mm),80~100 目(0.20~0.15 mm),按照分样筛目数对应的纤维粒径尺寸范围,分别将复合材料标记为组 1,组 2,组 3,组 4,组 5。在 40~60 目相同纤维粒径条件下,按照纤维质量含量分别为 0%,20%,30%,40%,50%,60% 时制备了 PP 复合材料,其中纤维质量分数为 0% 时为纯 PP。40% 纤维质量分数、40~60 目纤维粒径条件下制备出的 PP 复合材料为交叉组。PP/甘蔗皮纤维复合材料制备及测试流程如图 1 所示。

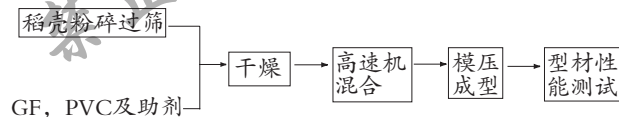


图 1 PP/甘蔗皮纤维复合材料的制备流程

1.4 性能测试

拉伸性能测试按照 GB/T 1446-2005 纤维增强塑料性能试验方法总则和 GB/T 1447-2005 纤维增强塑料拉伸性能测试方法规定,复合材料试样尺寸为长×宽×厚=250 mm×25 mm×4 mm,为了保证试样断裂尽可能集中在中部,在试样端部粘接了加强片,加强片选用长×厚=50 mm×4 mm 的相同材料制作,在两侧加强片粘接中应对称形成哑铃形,试样示意图如下:

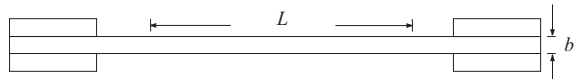


图 2 拉伸试样形状示意图

将制作好的试样放到标准实验室环境下处理 24 h;

每组试样测试三次,取数据的平均值;

根据国标 GB/T 1447-2005 中的规定:拉伸强度测量速度为 5 mm/min,弹性模量测量速度为 2 mm/min。测量材料弹性模量时,将电子引伸计夹持到试样的正中央,引伸计标距为 50 mm,试验机夹具之间的标距为 150 mm。

2 结果与讨论

2.1 不同纤维粒径对 PP 复合材料拉伸性能的影响

研究不同粒径大小对复合材料力学性能的影响,选用 40% 质量分数的甘蔗皮纤维。图 3 和图 4 分别为当甘蔗皮纤维含量为 40% 时,不同甘蔗皮纤维粒径时 PP 复合材料的拉伸性能和应力应变曲线。由于取三组有效试样,得到的拉伸强度及其弹性模量具有一定离散性,但是这并不影响数据的整体趋势。拉伸强度、弹性模量以及标准差大小如图 3、图 4 和表 1 所示。从图 3 和表 1 中可以看到,随着纤维粒径的逐渐减小,复合材料的拉伸强度和弹性模量均出现先增加后减少的趋势,在 40~60 目拉伸强度最高,最高值达到 8.58 MPa,14~20 目拉伸强度最小,最小值为 7.02 MPa,20~40 目拉伸强度好于 60~80 目,但是相差不大,约为 4%;弹性模量的变化如图 4 所示,40~60 目弹性模量相对较高,而 14~20 目弹性模量最低,40~60 目粒径复合材料的弹性模量较 14~20 目粒径弹性模量增长了 35.6%,20~40 目的弹性模量与 40~60 目相比相差很小,只有 0.7%,随着粒径的持续减少,弹性模量逐渐下降,下降幅度分别为 7% 和 17%。

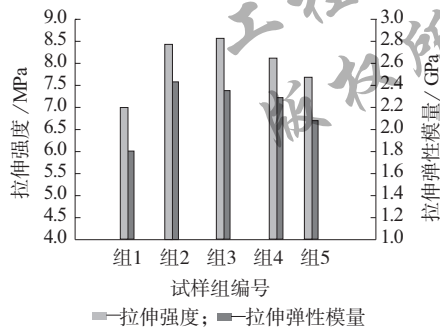


图3 不同甘蔗皮纤维粒径时 PP 复合材料的拉伸性能

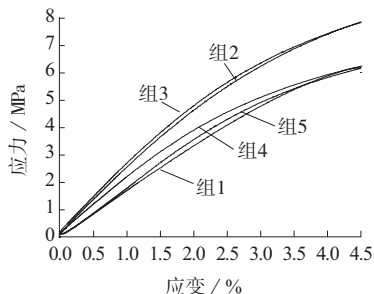


图4 不同甘蔗皮纤维粒径时 PP 复合材料的应力-应变曲线

上述拉伸强度变化及弹性模量变化趋势的出现,可能是由于小粒径和大粒径相比数量更多,具有更大的比表面积,在树脂基体中拥有较好的分散性,能够更好地与基体融合,并且在材料受力过程中能够更加均匀地传递应力。但当甘蔗渣粒径小到一定

程度时,其分散程度则会更不均匀,其团聚现象也会越加严重,所产生的部分应力集中对材料的性能反而会有有一定的削弱;另一方面从理论上讲,根据应力传递理论,当短纤维增强复合材料时,纤维末端的应力传递变得不能忽略,复合材料的性能与纤维长度密切相关。B. W. Rosen^[14-16]1956 年提出剪滞模型,其认为临界纤维长径比是复合材料的一个重要参数,当长径比大于临界长径比时能充分发挥纤维的增强作用。文献 [17] 中指出,纤维有一个临界长度 L_c ,当纤维长度小于 L_c 时,应力则无法传递到纤维上,纤维起不到增强的作用。40~60 目甘蔗纤维与 PP 混合均匀,且纤维长径比较为合适,因此甘蔗纤维粒径大小在 40~60 目的复合材料力学性能优于其他组分复合材料。

表1 不同纤维粒径复合材料拉伸强度及其弹性模量

组别编号	拉伸强度 / MPa	拉伸强度平均值 / MPa	拉伸强度标准差 / MPa	弹性模量 / GPa	弹性模量平均值 / GPa	弹性模量标准差 / GPa
组1	6.83	7.02	0.25	1.68	1.80	0.14
	6.94			1.77		
	7.31			1.95		
组2	8.56	8.43	0.13	2.35	2.43	0.12
	8.43			2.37		
	8.30			2.56		
组3	8.61	8.58	0.02	2.48	2.44	0.04
	8.59			2.44		
	8.56			2.39		
组4	7.85	8.10	0.22	2.30	2.28	0.23
	8.18			2.50		
	8.26			2.04		
组5	7.45	7.67	0.31	2.13	2.07	0.08
	7.54			2.50		
	8.03			1.96		

2.2 不同纤维含量对 PP 复合材料拉伸性能的影响

选用 40~60 目粒径大小的甘蔗皮纤维,研究不同纤维质量分数对 PP 复合材料力学性能的影响,其中纤维质量分数为 0% 时为纯 PP, PP 复合材料拉伸性能和应力-应变曲线分别如图 5 和图 6 所示。表 2 为不同纤维质量分数时复合材料的拉伸强度及其弹性模量。

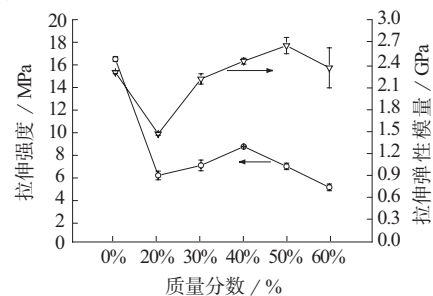


图5 甘蔗皮纤维不同含量时 PP 复合材料的拉伸性能

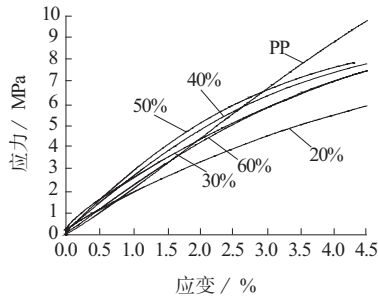


图6 甘蔗皮纤维不同含量时PP复合材料的应力-应变曲线

表2 不同纤维质量分数时PP复合材料的拉伸强度及其弹性模量

纤维含量 / %	拉伸强度 / MPa	拉伸强度平均值 / MPa	拉伸强度标准差 / MPa	弹性模量 / GPa	弹性模量平均值 / GPa	弹性模量标准差 / GPa
0	16.39	16.45	0.22	2.26	2.29	0.02
	16.70			2.30		
	16.28			2.30		
20	5.73	5.98	0.39	1.48	1.46	0.02
	5.79			1.44		
	6.43			1.45		
30	6.33	6.88	0.48	2.15	2.20	0.07
	7.14			2.18		
	7.18			2.28		
40	8.61	8.58	0.02	2.48	2.44	0.04
	8.59			2.44		
	8.56			2.39		
50	7.11	6.8	0.29	2.52	2.65	0.11
	6.53			2.74		
	6.76			2.70		
60	4.63	4.92	0.3	2.21	2.35	0.27
	5.24			2.18		
				2.66		

如图5、图6和表2所示,与纯PP相比,PP/甘蔗皮纤维复合材料的拉伸强度明显下降,纤维质量分数为40%时PP复合材料拉伸强度最好,为8.58 MPa,纤维质量分数为60%时PP复合材料拉伸强度最低,为4.92 MPa;纯PP的拉伸弹性模量与纤维含量为30%,40%和60%时相差不大,随着纤维质量分数的增加,PP复合材料的拉伸弹性模量呈逐渐上升的趋势,在纤维质量分数为50%时达到最高,为2.65 GPa。

随着纤维含量增加,复合材料拉伸强度增加,纤维起到了增强作用,但是当含量增加到一定程度时,甘蔗纤维局部团聚现象加重,所以拉伸强度下降,纤维含量在60%时拉伸强度最低,这可能是由于PP含量少,熔融后的PP不能充分浸润甘蔗纤维,纤维与纤维之间的粘结力比较薄弱,导致拉伸强度下降;纤维质量分数为50%时材料弹性模量最高,由于材料的弹性模量体现了材料的刚性,随着纤维的加入,材料的刚性提高,故弹性模量增加;纤维质

量分数在20%时弹性模量最低,拉伸强度也只有5.98 MPa,比40%质量分数降低约43.5%,这可能是由于PP所占比例最高,在加热过程中流动性增大,导致纤维与基体界面处空洞缺陷机率增加,力学性能下降。

3 结论

(1) 随着粒径的减小,复合材料的拉伸性能呈现先增加后减小的趋势,在40~60目(纤维长度大约为0.45~0.3 mm)取得最好的拉伸性能,拉伸强度为8.58 MPa,拉伸弹性模量为2.44 GPa。

(2) PP/甘蔗皮纤维复合材料在纤维含量40%时拉伸强度较好,50%时拉伸弹性模量最优;与纯PP相比,甘蔗皮纤维的加入使复合材料拉伸强度下降明显,而弹性模量相差不大。

(3) PP/甘蔗皮纤维复合材料在40~60目、纤维含量在40%时其综合拉伸性能最好。

参考文献

- [1] 李坚. 生物质复合材料学[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Li Jian. Biomass composite materials science[M]. Beijing: China Science Publishing, 2008.
- [2] 李闻芝. 木塑产业: 十年成就新天地[N]. 中国化工报, 2008-04-04007.
Li Wenzhi. Wood Industry: New achievements in ten years[N]. China Chemical Industry News, 2008-04-04007.
- [3] 李坚. 木质功能材料: 明天的创新发展[N]. 中国建材报, 2015-05-14002.
Li Jian. Wood functional materials: tomorrow's innovation and development[N]. China Building Material News, 2015-05-14002.
- [4] 聂艳丽, 刘永国, 李娅, 等. 甘蔗渣资源利用现状及开发前景[J]. 林业经济, 2007(5): 61-63.
Nie Yanli, Liu Yongguo, Li Ya, et al. Report on utilization and prospect of sugar cane bagasse resources[J]. Forestry Economics, 2007(5): 61-63.
- [5] 郑玉涛, 陈就记, 王东山, 等. 偶联剂与甘蔗渣/PVC复合材料性能的研究[J]. 中国塑料, 2005(6): 94-98.
Zheng Yutao, Chen Jiujie, Wang Dongshan, et al. Effects of coupling agents on properties of bagasse fiber / PVC composite[J]. China Plastics, 2005(6): 94-98.
- [6] Mulinari D R, Voorwald H J C, Cioffi M O H, et al. Sugarcane bagasse cellulose / HDPE composites obtained by extrusion[J]. Composites Science and Technology, 2009, 69(2): 214-219.
- [7] 李晓媛, 温变英, 闫建森. 不同相容剂对聚丙烯/甘蔗渣复合材料力学性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2012(12): 51-54.
Li Xiaoyuan, Wen Bianying, Yan Jianmiao. Effects of compatibilizers on mechanical properties of polypropylene / bagasse composite[J]. Polymer Materials Science and Engineering,

- 2012(12):51-54.
- [8] Agunsoye J O, Aigbodion V S. Bagasse filled recycled polyethylene bio-composites: Morphological and mechanical properties study[J]. Results in Physics, 2013(3):187-194.
- [9] 李学锋, 闫晗, 彭少贤, 等. PPR/甘蔗渣复合材料的力学性能[J]. 合成树脂及塑料, 2007(2):58-60.
- Li Xuefeng, Yan Han, Peng Shaoxian, et al. Mechanical properties of PPR/bagasse composites[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2007(2):58-60.
- [10] 张丽, 冯绍华, 王超, 等. 甘蔗渣聚丙烯复合材料的研究[J]. 塑料, 2007(4):18-21, 58.
- Zhang Li, Feng Shaohua, Wang Chao, et al. Bagasse / polypropylene composites[J]. Plastic, 2007(4):18-21, 58.
- [11] 江道海, 黄祖强, 胡华宇, 等. 机械活化甘蔗渣制备缓冲包装材料的研究[J]. 包装工程, 2011(3):1-4, 38.
- Jiang Haidao, Huang Zuqiang, Hu Huayu, et al. Research on cushion packing material prepared by mechanically activated bagasse[J]. Packing Engineering, 2011(3):1-4, 38.
- [12] 宗闪闪, 杨旭红. 甘蔗皮纤维的提取工艺初探[J]. 南通大学学报: 自然科学版, 2010(2):54-58.
- Zong Shanshan, Yang Xuhong. A preliminary research on the extraction process of sugarcane rind fiber[J]. Journal of Nantong University: Natural Science Edition, 2010(2):54-58.
- [13] 盛雨峰, 温变英, 胡笑千. 硅烷偶联剂对聚乳酸/甘蔗渣复合材料力学性能的影响[J]. 中国塑料, 2012(1):87-92.
- Sheng Yufeng, Wen Bianying, Hu Xiaoqian. Effect of silane coupling agent on mechanical properties of PLA / bagasse composite[J]. China Plastics, 2012(1):87-92.
- [14] 张志成, 郑元锁. 短纤维复合材料应力传递理论研究进展[J]. 橡胶工业, 2003(2):116-122.
- Zhang Zhicheng, Zheng Yuansuo. Research progress on stress transfer theory of short fiber composite[J]. China Rubber Industry, 2003(2):116-122.
- [15] 王兴业, 唐羽章. 复合材料力学性能[M]. 北京: 国防科技大学出版社, 1988.
- Wang Xingye, Tang Yuzhang. Mechanical properties of composite[M]. Beijing: National University of Defence Technology Press, 1988.
- [16] Rosen B W. Mechanics of composite strengthening in fiber composite materials[M]. Metals Park, Ohio: ASM Publication, 1965:37-86.
- [17] 徐定宇. 聚合物加工与形态学[M]. 北京: 中国石化出版社, 1992.
- Xu Dingyu. Polymer processing and morphology[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 1992.

(上接第 93 页)

- [8] Couture G, Alaaeddine A, Boschet F, et al. Polymeric materials as anion-exchange membranes for alkaline fuel cells[J]. Progress in Polymer Science, 2011, 36(11):1 521-1 557.
- [9] Ngo H L, LeCompte K, Hargens L, et al. Thermal properties of imidazolium ionic liquids[J]. Thermochimica Acta, 2000, 357-358(1):97-102.
- [10] Awad W H, Gilman J W, Nyden M, et al. Thermal degradation studies of alkyl-imidazolium salts and their application in nanocomposites[J]. Thermochimica Acta, 2004, 409(1):3-11.
- [11] Chu Fuqiang, Lin Bencai, Si Zhihong, et al. Polybenzimidazole / zwitterion-coated silica nanoparticle hybrid proton conducting membranes for anhydrous proton exchange membrane application[J]. Journal of Materials Chemistry, 2012, 22:18 411-18 417.
- [12] 赵晶, 盛丽, 徐宏杰, 等. 新型磺化聚苯并咪唑的合成及性能[J]. 高等学校化学学报, 2012, 33(3):645-648.
- Zhao Jing, Sheng Li, Xu Hongjie, et al. Synthesis and characterization of novel sulfonated polybenzimidazoles[J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2012, 33(3):645-648.
- [13] Chu Fuqiang, Lin Bencai, Feng Tianying, et al. Zwitterion-coated grapheme-oxide-doped composite membranes for proton exchange membrane applications[J]. Journal of Membrane Science, 2015, 496(15):31-38.
- [14] Chu Fuqiang, Lin Bencai, Yan Feng, et al. Macromolecular protic ionic liquid-based proton-conducting membranes for anhydrous proton exchange membrane application[J]. Chemistry of Materials, 2010, 22(5):1 807-1 813.
- [15] Lin Ben Cai, Qiu Lihua, Yan Feng, et al. Cross-linked alkaline ionic liquid-based polymer electrolytes for alkaline fuel cell applications[J]. Chemistry of Materials, 2010, 22(24):6 718-6 725.
- [16] Lin Bencai, Dong Huilong, Si Zhihong, et al. Alkaline Stable C2-Substituted imidazolium-based anion-exchange membranes[J]. Chemistry of Materials, 2013, 25(9):1 858-1 867.
- [17] 浦鸿汀, 叶盛. 聚苯并咪唑的合成、性能及在燃料电池膜材料中的应用[J]. 高分子通报, 2006(2):8-10.
- Pu Hongting, Ye Sheng. Progress in synthesis, properties, and application in fuel cells of polybenzimidazole[J]. Polymer Bulletin, 2006(2):8-10.
- [18] Chuang S W, Hsu S L C. Synthesis and properties of a new fluorine-containing polybenzimidazole for high-temperature fuel-cell applications[J]. Journal of Polymer Science, 2006, 44(15):4 508-4 513.