

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.02.001

高热稳定性低氯聚苯砜树脂合成及表征

徐显骏^{1,2}, 高红军^{1,2}, 孙学科^{1,2}, 陈锐斌^{1,2}, 姜苏俊^{1,2}, 曹民^{1,2}

(1. 金发科技股份有限公司国家认定企业技术中心, 广东省特种工程塑料重点实验室, 广州 510663;

2. 珠海万通特种工程塑料有限公司, 广东珠海 519000)

摘要: 结合缩聚方法和封端修饰方法合成苯酚封端的聚苯砜(PPSU)树脂, 利用离子色谱方法对PPSU树脂的氯端基含量进行定量测试, 并采用毛细管流变仪和高温注塑等方法对比评估了不同氯端基含量PPSU树脂的热稳定性和颜色。结果表明, 通过苯酚封端, PPSU树脂的氯端基含量可由3 000 mg/kg以上降至700 mg/kg以下, 氯端基含量取代比例可达80.6%, 同时PPSU树脂的力学性能未发生明显变化, 拉伸强度、屈服点伸长率、弯曲强度和缺口冲击强度分别保持在73 MPa, 89%, 114 MPa和50 kJ/m²左右, 并且PPSU树脂的热稳定性得到一定程度提高, 颜色等级有所改善。

关键词: 聚苯砜; 低氯含量; 端基修饰; 热稳定性; 合成

中图分类号: TG324.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)02-0001-06

Synthesis and Characterization of Low Chlorine Poly(phenylene sulfone) Resin with High Thermostability

Xu Xianjun^{1,2}, Gao Hongjun^{1,2}, Sun Xueke^{1,2}, Chen Ruibin^{1,2}, Jiang Sujun^{1,2}, Cao Min^{1,2}

(1. National-certified Enterprise Technology Center, Kingfa Science and Technology Co., Ltd., Guangdong Key Laboratory for Specialty Engineering Plastics, Guangzhou 510663, China; 2. Zhuhai Vantec Specialty Engineering Plastics Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

Abstract: Poly(phenylene sulfone) (PPSU) resins with phenol sealing end were synthesized through polycondensation reaction and terminal chemical modification method. And the chlorine end group content of resultant resins were characterized by ion chromatography. The capillary rheological test and high temperature molding methods were performed to assess the thermostability and color of the resins with different chlorine end group content. The results indicate that the chlorine end group content of the resins can be reduced from more than 3 000 mg/kg to lower than 700 mg/kg, and the content of chlorine end group can be substituted up to 80.6%. At the same time, the mechanical properties including tensile strength, elongation at yield point, flexural strength and notched impact strength were not changed obviously and maintained at about 73 MPa, 89%, 114 MPa and 50 kJ/m² respectively. Meanwhile, the thermal stability and the color grade have improved to some extent.

Keywords: poly(phenylene sulfone); low chlorine content; terminal chemical modification; thermostability; synthesis

聚苯砜(PPSU)树脂是特种工程塑料中聚芳醚砜类树脂的重要组成成员^[1-3], 其玻璃化转变温度为220℃左右, 兼具耐高温、高透明性能, 具有很高的强度以及优异的韧性, 且加工性能良好, 可通过挤出、注塑等加工方式获得模塑制品、纤维、薄膜或泡沫材料等, 广泛应用于医疗、航空航天、食品、电子电气等领域^[4-6]。

在模塑制品制造过程中, 市售的PPSU树脂为

保持较高的热稳定性, 避免制品加工过程变色或力学性能下降, 其端基一般设计为氯苯端基, 氯含量一般在3 000 mg/kg以上, 而对于许多应用, 如电子领域中的开关、断路器、熔断器、集成电路封装支架、外壳等, 氯含量过高存在腐蚀金属的隐患, 通常要求比较低的卤素含量, 如小于900 mg/kg。M·韦伯等^[7]通过氯甲烷封端方式制备了一种低卤素含量的PPSU树脂, 与PPSU树脂链接的卤素含量可低

基金项目: 广州市科技计划项目(201806010042)

通信作者: 高红军, 博士, 高级工程师, 主要从事特种工程塑料研究 E-mail: gaohongjun@kingfa.com.cn

收稿日期: 2020-11-12

引用格式: 徐显骏, 高红军, 孙学科, 等. 高热稳定性低氯聚苯砜树脂合成及表征[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(2): 1-6.

Xu Xianjun, Gao Hongjun, Sun Xueke, et al. Synthesis and characterization of low chlorine poly(phenylene sulfone) resin with high thermostability[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(2): 1-6.

于 400 mg/kg。笔者所在课题组^[8]也系统研究了氯甲烷封端 PPSU 树脂的热稳定性问题,氯甲烷封端方法可实现端基组分的调整并具有提高树脂热稳定性的作用。然而,氯甲烷毒性大、难以保存、易燃易爆,氯甲烷封端技术对工业化生产来说,会带来较大安全和环保压力,成本较高。为此,笔者所在课题组为避免这一问题,在前期工作基础上研究了苯酚封端技术,利用毛细管流变仪和高温注塑等方法系统对比评估了 PPSU 树脂的耐热性,发现苯酚封端 PPSU 树脂在氯含量降低的同时,其力学性能可得到保持,且热稳定性和颜色等级均得到提高,与氯甲烷封端树脂对比,更易于规模化生产,具有较好的实际应用价值。

1 实验部分

1.1 主要原料

环丁砜(TMS):纯度 99.5%,辽阳光华化工有限公司;

高纯无水碳酸钠:纯度 99.8%,台湾六和集团;

苯酚:纯度 99.5%,上海阿拉丁试剂有限公司;

4,4'-二氯二苯砜:纯度 99.6%,台湾六和集团;

4,4'-联苯二酚:纯度 99.8%,台湾六和集团;

二甲苯:纯度 99.5%,广州化学试剂厂;

N,N-二甲基乙酰胺(DMAc):分析纯,广州化学试剂厂。

1.2 主要仪器及设备

乌氏黏度计:NCY 型,上海思尔达科学仪器有限公司;

毛细管流变仪:Rosand RH2000 型,英国 Malvern 仪器有限公司;

色差仪:ColorEye 7000A 型,美国 Xrite 公司;

离子色谱仪:ICS-90 型,美国 Dionex 公司;

电子万能试验机:BT1-FR020TEW 型,德国 Zwick/Roell 公司;

数显摆锤式冲击试验机:HIT5.5P 型,德国 Zwick/Roell 公司。

1.3 PPSU 树脂合成

按照文献[9-12]合成 PPSU 树脂,合成配方列于表 1,合成路线如图 1 所示。具体合成方法如下:在氮气保护下,在 50 L 聚合釜中依次加入 36 kg 环丁砜和严格定量的单体 4,4'-联苯二酚和 4,4'-二氯二苯砜和封端剂苯酚,搅拌升温至单体溶解,然后加入 3.434 kg 成盐剂高纯无水碳酸钠和 2 L 二甲苯,搅拌升温,维持温度在 180~225℃范围内

进行反应,成盐反应生产的副产物水和二甲苯形成共沸物,共沸后经换热器冷凝至分水器中分层,上层为二甲苯,回流至聚合釜,下层为水,逐渐排出体系。当排出的水量达到 540 g 后,继续回流至无水珠落下为止,之后将分水器中的液体全部排出,停止回流。升温至 235℃开始聚合反应,此时检测到体系黏度开始增大,恒温 3 h 后,黏度恒定,停止反应。将聚合物料缓慢转移至纯水中析出形成条状固体,经破碎机破碎得到粒径 1 mm 左右的粉末固体。将粉末固体转移至纯化釜中,加入纯水,搅拌下煮沸 1 h,过滤,滤饼层用纯水重复煮沸 8~10 遍,直到过滤滤液用硝酸银溶液检测不变浑浊为止。之后,在 120℃真空下干燥至恒重,即得到苯酚封端 PPSU 树脂。在上述聚合反应条件下,不加苯酚获得未封端 PPSU 树脂。

表 1 PPSU 树脂聚合单体用量和聚合结束溶液的比浓对数黏度

样品编号	4,4'-二氯二苯砜 用量/mol	4,4'-联苯二酚 用量/mol	苯酚 用量/mol	比浓对数 黏度/ (dL·g ⁻¹)
1-0 [#]	30.6	30	0	0.412
1-1 [#]	30.6	30	1.2	0.415
2-0 [#]	30.75	30	0	0.395
2-1 [#]	30.75	30	1.5	0.390
3-0 [#]	30.9	30	0	0.378
3-1 [#]	30.9	30	1.8	0.375

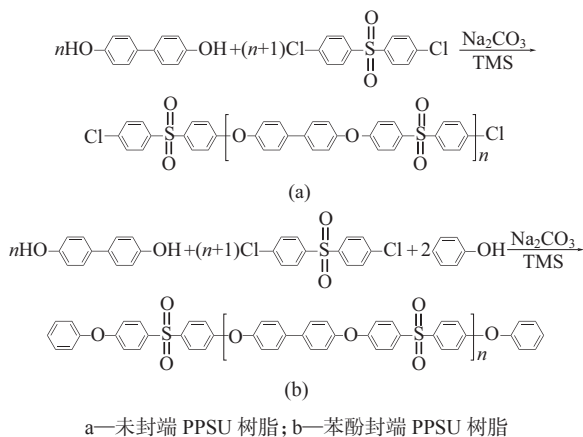


图 1 未封端 PPSU 树脂和苯酚封端 PPSU 树脂的合成路线示意图

1.4 性能测试

(1) 比浓对数黏度测试。

利用毛细管内径为 0.7 mm 的乌氏黏度计测试比浓对数黏度。将 PPSU 树脂溶解在 DMAc 中,配制质量浓度为 0.01 g/mL 的溶液,测试温度为 25℃,比浓对数黏度由式(1)计算得到:

$$\text{比浓对数黏度} = \ln(\eta_r / C) \quad (1)$$

式中: η_r ——溶液的相对黏度;

C——溶液的质量浓度。

(2) 离子色谱测试。

用外标法测试。色谱柱: IonPac AS12A 分析柱 (4 mm×200 mm); 检测器: 电导率检测器; 洗脱液: 2.7 mmol/L 碳酸钠溶液, 0.3 mmol/L 碳酸氢钠溶液; 洗脱液流速: 1 mL/min。

(3) 氯端基含量测试。

首先利用离子色谱测试 PPSU 树脂的总氯含量 (N_0), 之后, 称量 5 g 样品, 加入 1 L 甲醇/水 (体积比 1/1) 混合溶剂, 加热回流萃取树脂中残留的微量副产物 NaCl 中的氯离子, 过滤后通过离子色谱测试滤液中的氯含量, 反推树脂中的游离氯含量 (N_1)。PPSU 树脂的氯端基含量 $N=N_0-N_1$ 。氯端基含量取代比例表示同一组实验中封端 PPSU 树脂的氯端基含量与未封端 PPSU 树脂的氯端基含量的差值占未封端 PPSU 树脂的氯端基含量的比例。

(4) 毛细管流变性能测试。

首先将 PPSU 树脂在 130℃ 下烘干 5 h, 之后采用毛细管流变仪进行测试, 测试条件为: 温度 380℃, 剪切速率 1000 s⁻¹, 口模内径 1 mm, 口模长度 40 mm, 测试 10, 30, 60, 120 min 四个不同时间点的熔体黏度, 其中熔体黏度变化率为 120 min 熔体黏度与 10 min 熔体黏度的差值与 10 min 熔体黏度的比例。

(5) 力学性能测试。

拉伸强度、屈服点伸长率按照 ISO 527-2 : 2012 测试, 拉伸速率 10 mm/min。

弯曲强度按照 ISO 178 : 2010 测试, 弯曲速率 2 mm/min, 跨度 64 mm。

缺口冲击强度按照 ISO 180 : 2000 测试, A 型缺口, 摆锤能量 2 J。

(6) 颜色等级测试。

将 PPSU 树脂粉末用双螺杆挤出机挤出得到颗粒, 挤出温度 290~320℃。树脂颗粒经注塑得到厚度为 1 mm 的色板, 注塑温度 380℃, 依据 ASTM E1164-2017, 用色差仪测定色板的 b 值 (b 代表黄蓝, + 为黄, - 为蓝, 正值越大颜色越黄), 以测得 7 块色板的平均 b 值评估树脂黄色的深浅程度。

2 结果与讨论

2.1 氯端基含量分析

在特定的升温工艺条件下, 利用亲核取代溶液缩聚原理, 通过单体 4,4'-二氯二苯砜和 4,4'-联苯二酚及封端剂苯酚与成盐剂高纯无水碳酸钠制备得到 PPSU 树脂。

由表 1 可知, 比浓对数黏度与单体 4,4'-二氯二苯砜和 4,4'-联苯二酚的物质的量之比呈现规律性变化, 二者之比越大比浓对数黏度越小, 符合聚芳醚砜溶液缩聚的基本原理。对于封端反应来说, 苯酚在成盐反应过程中与高纯无水碳酸钠反应即可转化为苯酚钠盐, 作为单酚钠盐, 可在聚合反应过程发挥封端作用, 与氯端基发生亲核取代反应, 将氯端基转化为苯氧端基。同时, 封端剂苯酚的用量是 4,4'-二氯二苯砜对 4,4'-联苯二酚的物质的量过量部分的两倍, 即理论上可以实现氯端基的完全取代。通过苯氧基对氯端基的取代, 实现氯端基含量的大幅降低。由表 1 还可以发现, 三组实验中苯酚封端 PPSU 树脂的比浓对数黏度均与未封端 PPSU 树脂的比浓对数黏度接近, 说明封端剂的使用并未对 PPSU 树脂的比浓对数黏度产生明显影响。

通过离子色谱分别测试苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的氯端基含量, 结果列于表 2。

表 2 PPSU 树脂的氯端基含量

样品编号	氯端基含量/(mg·kg ⁻¹)	氯端基含量取代比例/%
1-0 [#]	3 500	--
1-1 [#]	680	80.6
2-0 [#]	3 650	--
2-1 [#]	855	76.6
3-0 [#]	3 845	--
3-1 [#]	905	76.5

由表 2 可看出, 未封端 PPSU 树脂 1-0[#], 2-0[#], 3-0[#] 的氯端基含量分别为 3 500, 3 650, 3 845 mg/kg, 封端 PPSU 树脂 1-1[#], 2-1[#], 3-1[#] 的氯端基含量分别为 680, 855, 905 mg/kg。可以看出, 在现有聚合工艺下, 苯氧基取代氯端基的取代比例在 76%~81% 之间。同时, 还可以发现, 随着比浓对数黏度的增加, 封端 PPSU 树脂的氯端基含量取代比例呈现增大趋势, 氯端基含量降低, 当比浓对数黏度达到 0.390 dL/g 时, 氯端基含量可降至 855 mg/kg。在现有聚合反应条件下, 三组对比实验中氯端基取代比例最高可达到 80.6%, 对应的氯端基含量最低, 为 680 mg/kg。取代比例与封端聚合物的氯含量有直接关系, 提高氯端基含量取代比例可以降低氯含量, 后续研究可通过聚合工艺如温度和反应时间的调整来提高氯端基含量取代比例, 以获得更低氯含量的 PPSU 树脂。

2.2 力学性能分析

苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的拉伸强度、屈服点伸长率、弯曲强度和缺口冲击强度如图 2~图 5 所示。

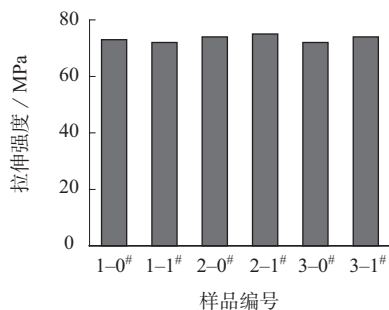


图2 苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的拉伸强度

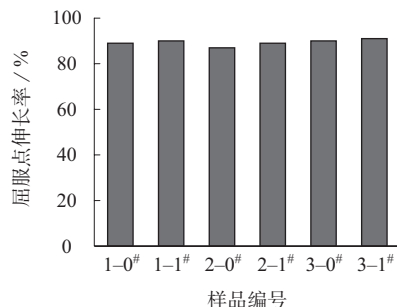


图3 苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的屈服点伸长率

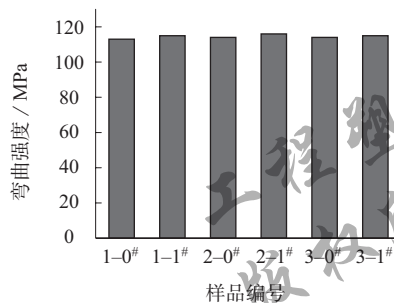


图4 苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的弯曲强度

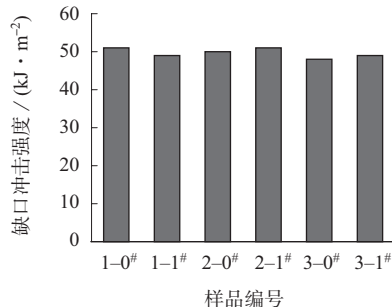


图5 苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的缺口冲击强度

由图2~图5可以看出,苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的拉伸强度、屈服点伸长率、弯曲强度和缺口冲击强度分别在 73 MPa, 89%, 114 MPa 和 50 kJ/m² 左右,端基组分的差异并不影响树脂的拉伸、弯曲和冲击性能。同时,尽管 PPSU 树脂的比浓对数黏度有一定差别,但在测得 PPSU 树脂的比浓对数黏度范围内,比浓对数黏度差别并未造成其力学性能的明显差异。树脂端基的变化并未改变 PPSU 树脂的柔顺性和刚性,树脂主链结构是其力

学性能的决定性因素^[13-14]。

2.3 热稳定性分析

为了研究 PPSU 树脂的热稳定性,利用毛细管流变仪研究不同时间下苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的熔体黏度变化情况,并采用高温注塑方法研究 PPSU 树脂的颜色等级,系统对比评估不同氯端基含量的 PPSU 树脂的热稳定性和颜色等级,以确定端基的差异对 PPSU 树脂热稳定性和颜色等级的影响^[15-16]。

以毛细管测试的熔体黏度变化率来反映 PPSU 树脂的热稳定性,变化率绝对值越小则说明热稳定性越高,不同时间下苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的熔体黏度如图6所示。经过计算,六种 PPSU 树脂 1-0[#], 1-1[#], 2-0[#], 2-1[#], 3-0[#] 和 3-1[#] 的熔体黏度变化率分别为 -3.6%, -1.8%, -3.9%, -1.6%, -4.5% 和 -2.0%, 变化率绝对值由大到小依次为 3-0[#] > 2-0[#] > 1-0[#] > 3-1[#] > 1-1[#] > 2-1[#], 并且相同条件下封端 PPSU 树脂的熔体黏度变化率均小于未封端 PPSU 树脂。可以看出,苯酚封端的 PPSU 树脂的耐热性高于未封端的 PPSU 树脂。

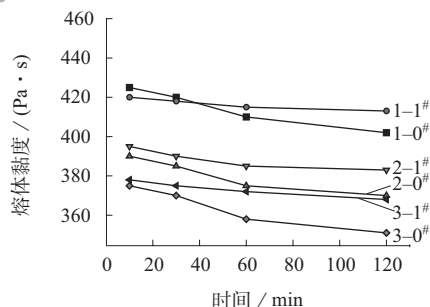


图6 不同时间下苯酚封端和未封端 PPSU 树脂的熔体黏度变化曲线

鉴于 PPSU 树脂的颜色等级是其关键性能,聚合工艺配方的变动对其颜色等级会有不同程度的影响,尤其是端基组分的变化往往会对颜色产生不利的影响,为此,模拟实际加工温度及加工过程中树脂难以避免的高温热滞留,对三组 PPSU 树脂进行高温注塑评估,其中注塑温度 380℃、热滞留时间 10 min,研究其 *b* 值变化情况,以此进一步评估树脂的耐热性能并检验其热加工性能。PPSU 树脂注塑色板测试结果列于表3。

由表3可以看出,380℃高温下注塑所得 1-0[#], 1-1[#], 2-0[#], 2-1[#], 3-0[#] 和 3-1[#] 六种 PPSU 树脂色板的 *b* 值分别为 10.5, 9.8, 11.5, 10.6, 12.1 和 11.3; 在注塑机中热滞留 10 min 之后,注塑所得色板的 *b* 值均有一定程度的增加,分别为 13.8, 11.2, 15.7,

表3 高温注塑 PPSU 树脂 b 值

样品编号	b 值		Δb
	正常	滞留 10 min	
1-0 [#]	10.5	13.8	3.3
1-1 [#]	9.8	11.2	1.4
2-0 [#]	11.5	15.7	4.2
2-1 [#]	10.6	12.2	1.6
3-0 [#]	12.1	16.8	4.7
3-1 [#]	11.3	12.8	1.5

注: 1) “正常”表示 380℃注塑不进行热滞留;“滞留 10 min”表示 380℃热滞留 10 min;“ Δb ”表示“滞留 10 min”的 b 值与“正常”的 b 值的差值。

12.2, 16.8 和 12.8, 颜色均有所变深。同时, 苯酚封端 PPSU 树脂 1-1[#], 2-1[#] 和 3-1[#] 的 b 值与同配方下未封端 PPSU 树脂 1-0[#], 2-0[#] 和 3-0[#] 的 b 值相比均有所降低, 并且热滞留后封端 PPSU 树脂的 Δb 均小于未封端 PPSU 树脂的 Δb , 封端 PPSU 树脂颜色相对较浅, 表明树脂经苯酚封端修饰后其耐热性得到提高, 呈现出较为优异的加工热稳定性和浅色外观。这一结果与毛细管流变测试相一致, 说明其热稳定性与颜色具有一致性。

3 结论

采用苯酚封端技术设计合成了一系列不同比浓对数黏度和氯端基含量的 PPSU 树脂, 研究了树脂的力学性能、流变性能、380℃高温注塑滞留行为等, 得出如下结论:

(1) 封端和未封端 PPSU 树脂的拉伸强度、屈服点伸长率、弯曲强度和缺口冲击强度分别在 73 MPa, 89%, 114 MPa 和 50 kJ/m² 左右; 苯酚封端后, PPSU 树脂的力学性能未发生明显变化。

(2) 封端 PPSU 树脂的耐热性能得到有效提高, 树脂熔体黏度的稳定性提高、颜色变浅。

(3) 封端 PPSU 树脂的氯端基含量可降至 700 mg/kg 以下, 提高氯端基含量取代比例, 氯端基含量可进一步降低。

(4) 通过引入苯酚封端技术制备得到高热稳定性低氯端基含量的 PPSU 树脂, 可满足电子电气行业的无卤需求, 有较大的实际应用意义。同时, 与氯甲烷封端相比, 苯酚封端工艺可避免规模化生产防爆问题, 安全环保, 对树脂产业化放大有良好的指导意义。

参考文献

- [1] 刘朝艳. 2018~2019 年世界塑料工业进展 (II) [J]. 塑料工业, 2020(4):1-14.
Liu Chaoyan. Progress of the world's plastics industry from 2018 to 2019 (II) [J]. China Plastics Industry, 2020(4):1-14.
- [2] 冯刚. 我国特种工程塑料产业化发展的问题与对策 [J]. 现代化工, 2019(8):11-15.
Feng Gang. Problems in industrialization of special engineering plastics in China and countermeasures [J]. Modern Chemical Industry, 2019(8):11-15.
- [3] 肖周杰, 赵建青, 刘述梅, 等. 砜聚合物及其复合材料的研究进展 [J]. 广东化工, 2018(1):75-78.
Xiao Zhoujie, Zhao Jianqing, Liu Shumei, et al. Research development of polyarylsulfone and its composites [J]. Guangdong Chemical Industry, 2018(1):75-78.
- [4] Zheng Xiaoyi, Pu Zejun, Hu Linqing, et al. Synthesis and properties of high performance polysulfone resin with low dielectric constant and dielectric loss [J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2019, 30:18 168-18 176.
- [5] Zhao Nan, Liu Tao, Liu Zhongzhu, et al. Synthesis and properties of sulfonated biphenyl poly(ether sulfone) and its mixed-matrix membranes containing carbon nanotubes for gas separation [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2017, 134(29). doi:10.1002/app.44995.
- [6] Zhang Yunhe, Geng Zhi, Niu Sen, et al. Preparation and applications of low-dielectric constant poly aryl ether [J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2020. doi:10.1016/j.aiepr.2020.10.006.
- [7] 韦伯 M, 马勒茨寇 C, 朗格 G, 等. 制备具有低卤素含量的聚二苯基砜聚合物的方法: CN102498158B [P]. 2012-04-30.
Weber M, Maletzko C, Lange G, et al. Method for producing low-halogen polybiphenylsulfone polymers: CN102498158B [P]. 2012-04-30.
- [8] 陈锐斌, 高红军, 孙学科, 等. 高热稳定性封端聚苯砜树脂的合成及表征 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(11):25-29.
Chen Ruibin, Gao Hongjun, Sun Xueke, et al. Synthesis and characterization of end group modified poly(phenylene sulfone) with high thermostability [J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(11):25-29.
- [9] 石婉玲, 张守海, 步肖曼, 等. 含二侧苯基杂萘联苯聚芳砜醚的合成与性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2019, 35(3):32-36.
Shi Wanling, Zhang Shouhai, Bu Xiaoman, et al. Synthesis and properties of poly(phthalazinone ether sulfone)s containing pendant diphenyl groups [J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2019, 35(3):32-36.
- [10] 张梦晗, 杜垠龙, 栾加双, 等. 侧链含卟啉的聚芳砜醚共聚合物的制备及表征 [J]. 中国科技论文, 2016(18):2 087-2 090.
Zhang Menghan, Du Yinlong, Luan Jiashuang, et al. Preparation and characterization of poly(arylene ether sulfone)s bearing porphyrin pendants [J]. China Sciencepaper, 2016(18):2 087-2 090.
- [11] Nagane S S, Kuhire S S, Mane S R, et al. Partially bio-based aromatic poly(ether sulfone)s bearing pendant furyl groups: Synthesis, characterization and thermo-reversible cross-linking with a

- bismaleimide[J]. Polymer Chemistry, 2019, 10:1 089–1 098.
- [12] Kawaguchi Y, Matsumoto K, Jikei M. Synthesis and healing properties of poly(arylene ether sulfone)-poly(alkyl disulfide) multiblock copolymers[J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2018, 56(13):1 358–1 365.
- [13] Wei Yanfeng, Jiang Qiyang, Hao Jinmeng, et al. Comparative synthesis and properties of POSS-based fluorinated poly(ether sulfone) random terpolymers[J]. RSC Adv, 2017, 7:3 914–3 920.
- [14] 高红军, 章明秋, 曹民, 等. 新型聚芳醚砜共聚物的制备及其性能[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(10):1–5.
- Gao Hongjun, Zhang Mingqiu, Cao Min, et al. Synthesis and property of novel poly(aryl ether sulfone) copolymers[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(10):1–5.
- [15] Yan Guangming, Hu Quan, Zhang Gang, et al. Copolymers of poly(arylene sulfide sulfone) / poly(ether sulfone): Synthesis, structure, and rheology properties[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2018, 135(29):46 534–46 539.
- [16] Feng Yingnan, Han Gang, Zhang Liling, et al. Rheology and phase inversion behavior of polyphenylenesulfone (PPSU) and sulfonated PPSU for membrane formation[J]. Polymer, 2016, 99(2):72–82.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名、学历或职称、主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,纵横坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 16 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆杂志社网站 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。