

含 1,3,5-三嗪芳香二酸及其可溶性聚芳酰胺的合成^{*}

李 斌¹ 伍绍飞¹ 刘俊灵¹ 熊绍辉¹ 谭海军¹
喻桂朋^{1,2**} 潘春跃^{1**} 蹇锡高²

(¹ 中南大学化学化工学院 长沙 410083) (² 大连理工大学精细化工国家重点实验室 大连 116012)

摘 要 以 2,4-二氯-6-苯基-1,3,5-三嗪为原料,通过傅克和氧化反应制备了一种新型芳香二酸 2,4-二(4-甲氧基苯基)-6-芳基-1,3,5-三嗪(PTDA),并采用¹H-NMR, FTIR, MS 和元素分析等对其结构进行了表征. 利用正交试验,重点考察了氧化反应条件对产率的影响,结果表明反应温度为 25℃、反应时间为 8 h、HAc 与 H₂SO₄ 摩尔比为 10:1、CrO₃ 与 PTDA 配比为 4:1 时,氧化产率最高,达 81.3%. 以 PTDA 和间苯二胺(BD)为原料,制备了新型含 1,3,5-三嗪聚芳酰胺 PPA, 其特性黏数为 0.49 dL/g. 该聚酰胺表现出较好的溶解性能以及优异的热稳定性和机械性能,室温下可溶于 *N*-甲基-2-吡咯烷酮、*N,N*-二甲基乙酰胺等溶剂中,由其溶液可制得透明薄膜;玻璃化转变温度达 315℃,氮气中起始分解温度 $T_{5\%}$ 为 493℃,700℃ 下残炭率高达 59%;薄膜的拉伸强度为 82 MPa, 断裂伸长率在 8.2%, 起始模量为 2.3 GPa.

关键词 1,3,5-三嗪, 聚芳酰胺, 高性能聚合物

聚(芳基-1,3,5-三嗪)作为一类新型芳杂环聚合物,因其具有优异热稳定性、耐化学品性和突出的机械性能,在航空航天、电子电气和机械等领域具有广阔的应用前景^[1-3]. 传统聚(芳基-1,3,5-三嗪)难溶解、难熔融,且通常由芳香二腈化合物在高温高压下反应才能制得高分子量聚合物,导致合成和加工困难,限制了它们的应用^[4-7]. 因此开发既耐高温又可溶解的高分子量 1,3,5-三嗪基聚合物受到广泛关注^[8,9]. 研究表明,在聚(芳基-1,3,5-三嗪)分子主链中引入柔性基团如醚键和酯基等可改善其溶解性,在温和条件下通过溶液缩合制得高分子量产物^[10-14]. 本文通过傅克和氧化反应,设计合成一种新的含 1,3,5-三嗪基芳香二甲酸单体,并与二胺聚合制备新型聚芳酰胺,可溶解于一些非质子极性有机溶剂中,同时保持了优异的耐热性能和良好的机械性能,特别是在先进复合材料、耐高温分离膜、高性能涂料和特种纤维等领域具有应用前景.

1 实验部分

1.1 原料和仪器

2,4-二氯-6-苯基-1,3,5-三嗪(含量 98%,阿

法埃莎有限公司);四氢呋喃和甲苯(99%,西陇化工股份有限公司)在金属钠中回流后蒸馏;镁条(含量 99%,上海蓝源生物科技有限公司)在稀盐酸中浸泡后剪碎,经无水乙醇洗涤和干燥;无水乙醇,乙酸乙酯,冰醋酸,三氧化铬均为分析试剂纯;亚磷酸三苯酯(TPP),*N*-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)均经减压蒸馏、0.4 nm 分子筛干燥后使用;吡啶(Py)经蒸馏后使用.

在 Thermo Nicolet Nexus 470 Fourier transform infrared 光谱仪上进行 FTIR 测试;MALDI-TOF/MS 在 GC-TOF CA 156 MALDI-TOF/MS 上进行. 元素分析用 Vario EL III CHNOS Elementaranalysator 进行测试.¹H-NMR 在 Bruker spectrometer 400 上进行,TMS 为内标. DSC 测定在 Mettler DSC822 上进行,氮气气氛,升温速率 10 K/min,测定范围为 50~450℃. TGA 和 DTG 均在 Mettler TGA/SDTA851 上进行,氮气保护,升温速率 20 K/min,测试范围 150~700℃. WAXRD 在 Shimadzu XRD-6000 上进行,以 Cu K α 为辐射源,测试速度 4 (°)/min. 准确称量 0.125 g 聚合物样品溶解于 NMP 中配制 25 mL 溶液,在 (25 ± 0.1)℃ 恒温水浴中乌氏黏度计四点法测定特性

^{*} 2011-12-05 收稿,2012-02-21 修稿;中南大学科学研究基金(基金号 2010ZR2013)、中南大学自由探索计划(项目号 201012200186)和精细化工国家重点实验室开放课题(项目号 KF1015)资助项目.

^{**} 通讯联系人, E-mail: gilbertyu@csu.edu.cn; panchunyue@sina.com

doi:10.3724/SP.J.1105.2012.11379

黏数. 力学性能在岛津 AG-2000 型万能电子试验机上,采用 GB/T1040-2006 标准进行. 称取 0.04 g 样品,溶解于 1 mL 待测溶剂中,室温下或加热情况下测定溶解性能测试.

1.2 2,4-二(4-甲基苯基)-6-苯基-1,3,5-三嗪(PDTT)的合成

称取 4.51 g 无水三氯化铝,于冰浴下分批加入到 10.22 g 2,4-二氯-6-苯基-1,3,5-三嗪和 50.0 mL 甲苯的混合溶液中,历时 2 h. 逐步加热至 50℃,反应 1 h,再升温至 90℃下反应过夜. 停止反应,冷却后有大量固体析出. 加入适量稀盐酸洗涤过滤,再在甲苯中重结晶 2 次,经 100℃真空干燥后得白色粉末 4.53 g,产率 54.3%. mp 223 ~ 224℃.

1.3 2,4-二(4-羧基苯基)-6-苯基-1,3,5-三嗪(PTDA)的合成

称取 1.68 g PDTT,加入置于冰浴中的 10 mL 浓硫酸和 100 mL 冰醋酸的混合溶液中,搅拌 0.5 h. 分批加入 7.99 g CrO_3 ,升至室温,继续搅拌反应 8 h. 粗产物经蒸馏水析出和洗涤后抽滤,并用氢氧化钠溶解后过滤,加入盐酸调节 pH 至 3 时,冷却再抽滤. 用 DMF 和水混合液 ($V:V=3:1$) 对粗产物重结晶. 100℃真空干燥过夜后,得白色粉末状产物 1.40 g. 产率 79.3%. mp >300℃.

1.4 聚芳酰胺(PPA)的制备

在装有机机械搅拌、回流冷凝管和干燥管的 100 mL 三口瓶中,依次加入 1.59 g PTDA, 0.43 g 间苯二胺, 0.23 g CaCl_2 , 0.11 g LiCl , 5.0 mL NMP, 3.0 mL TPP 和 1.0 mL Py. 充氮气保护,搅拌下升温至 110℃下反应. 约 3 h 后出现明显爬杆现象,分批补加 3.0 mL NMP (0.5 mL/次). 待反应液黏度不再有明显增长后,停止反应,历时 6 h. 将反应液沉降于乙醇和水混合液 ($V/V=2:1$) 中,过滤,用去离子水反复洗涤,索氏提取过夜. 经 120℃真空干燥后,得白色絮状聚合物 PPA 1.78 g. 产率 96.1%. 元素分析, PPA ($\text{C}_{29}\text{H}_{19}\text{N}_5\text{O}_2$)_n

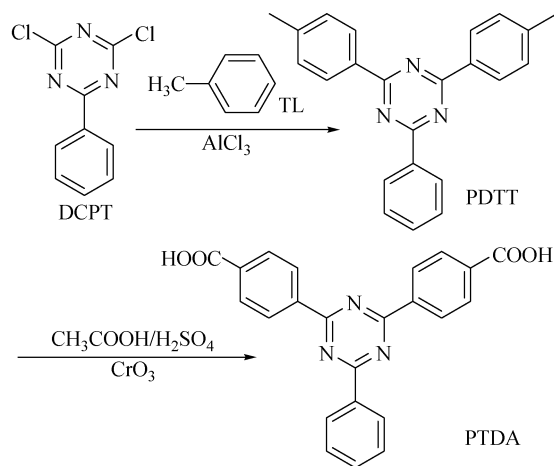
理论值: C 74.19, H 4.08, N 14.92%. 测试值: C 74.87, H 4.05, N 14.81%.

2 结果与讨论

2.1 单体的合成与表征

含 1,3,5-三嗪芳香二酸单体 2,4-二(4-甲基苯基)-6-芳基-1,3,5-三嗪(PTDA),可通过两步法方便地制得,反应式如示意图 1 所示. 2,4-二氯-6-苯基-1,3,5-三嗪在三氯化铝的催化作用下与甲苯发生傅克反应生成含 1,3,5-三嗪结构的二甲基化合物(PDTT). PDTT 在氧化铬等氧化剂存在下,以浓硫酸和冰醋酸为混合溶剂,可由甲基的氧化反应获得二酸单体.

采用正交实验法,考察了氧化反应中各反应条件如反应温度、反应时间、氧化剂用量以及溶剂配比对反应产率的影响. 表 1 为所设计的正交实验表 $L_9(3^4)$,具体实验条件见表 2. 单指标试验分析结果表明,对产率而言,较佳的反应条件是 A2B3C2D1,即反应温度为 25℃,反应时间 8 h,氧化剂和二甲基化合物配比为 4:1,冰醋酸与浓硫酸的用量比为 10:1. 附加试验验证了上述结果,优化后的反应条件下体系氧化产率最高达 81.3%.



Scheme 1 Synthesis of PDTT and PTDA

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

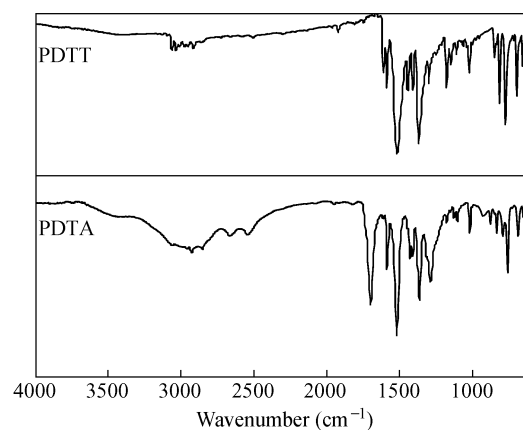
	A	B	C	D
	Reaction temperature (°C)	Reaction time (h)	CrO_3 : PTDA (mol/mol)	HAc: H_2SO_4 (V/V)
1	20	4	3:1	10:1
2	25	6	4:1	10:2
3	30	8	5:1	10:3

Table 2 Detail of orthogonal arrays

No.	A	B	C	D	Yield (%)
1	20	4	3:1	10:1	65.5
2	20	6	4:1	10:2	35.3
3	20	8	5:1	10:3	8.4
4	25	4	4:1	10:3	71.1
5	25	6	5:1	10:1	79.3
6	25	8	3:1	10:2	78.9
7	30	4	5:1	10:2	21.7
8	30	6	3:1	10:3	16.1
9	30	8	4:1	10:1	79.1
k1	36.39	54.11	53.47	74.16	
k2	77.77	43.55	63.23	45.30	
k3	39.03	55.53	36.35	33.22	
R	41.38	11.98	26.88	41.45	
The order of importance			D > A > C > B		
Optimal combination			A2B3C2D1		

分别对所合成的二甲基化合物 PDTT 和二酸化合物 PTDA 进行了波谱表征. 从 IR 谱图(图 1)可以看出, PDTT 在 2982 cm^{-1} 有弱的针状吸收峰, 表明有甲基的存在. 而在 PTDA 的 IR 谱中, 此针状吸收峰已经完全消失, 同时在 3438 和 1702 cm^{-1} 处分别出现了羧基中羟基和羰基的特征吸收峰, 表明二甲基已完全被氧化成羧酸基团. 从表 3、图 2 的 $^1\text{H-NMR}$ 可见, 1,3,5-三嗪的存在使苯环的电子云密度降低, 从而 ^1H 的化学位移向低场位移, 因此二甲基化合物 PDTT 中与 1,3,5-三嗪相邻苯环的氢质子化学位移(δ) 出现在 $8.74 \sim 8.80$ (2H) 和 $8.60 \sim 8.71$ (4H). 在二酸单体中由于羧基的作用, 相应氢质子移向低场位移 $\delta = 8.67 \sim 8.70$ (2H) 和 $8.77 \sim 8.90$ (4H), 其它的化学位移基本不变. 在 $\delta = 13.39$ 处出现的共振峰是羧基($-\text{COOH}$)基团活泼氢的特征化学位移,

积分曲线中氢的个数之比与设计化合物完全一致. 红外和核磁谱图数据表明所合成二甲基化合物和二酸化合物的结构与设计相符.

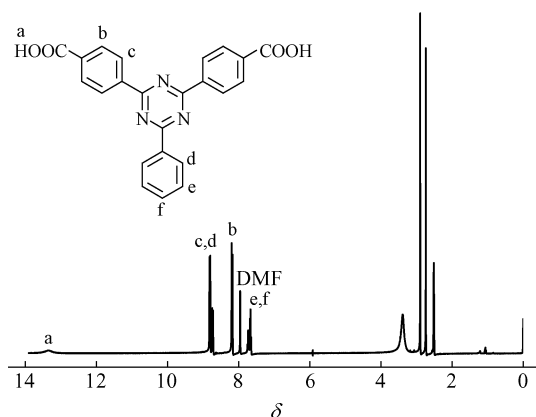
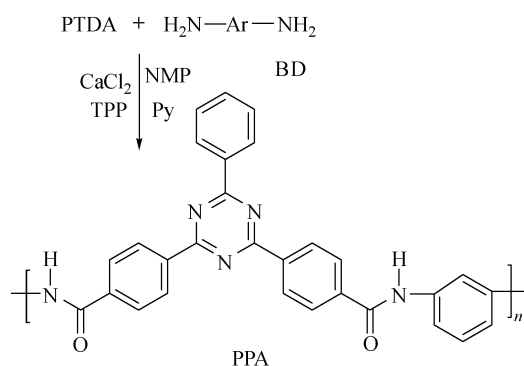
**Fig. 1** The FTIR spectra of PDTT and PTDA**Table 3** Characterization of PDTT, PTDA and PPA

Sample	FTIR (cm^{-1})	$^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, δ)
PDTT	3066 (w, $=\text{C-H}$), 2982 (w, $-\text{CH}_3$), 1614, 1582,	2.47 (6H, s, C-H), 7.32 ~ 7.37 (4H, d, Ar-H), 7.52 ~ 7.64 (3H, m, Ar-H), 8.60 ~ 8.71 (2H, d, Ar-H), 8.74 ~ 8.80 (2H, d, Ar-H)
	1516 (s, $\text{C}=\text{C}/\text{C}=\text{N}$), 1370 (m, C-N), 803 (w, Ar-H)	
PTDA	3438 (m, COOH), 1702 (s, C=O), 1591, 1517 (s, $\text{C}=\text{C}/\text{C}=\text{N}$), 1368 (m, C-N), 1286 (m, C-O), 754 (w, Ar-H)	7.55 ~ 7.80 (1H, m, Ar-H), 7.88 ~ 7.99 (2H, d, Ar-H), 8.16 ~ 8.20 (4H, d, Ar-H), 8.67 ~ 8.70 (2H, d, Ar-H), 8.75 ~ 8.86 (4H, d, Ar-H), 13.39 (2H, s, O-H)
PPA	3342 (w, N-H), 1684 (s, C=O), 1605, 1580, 1517 (m, $\text{C}=\text{C}/\text{C}=\text{N}$), 1360 (m, C-N), 753 (w, Ar-H)	7.61 ~ 8.34 (7H, m, Ar-H), 8.41 ~ 9.30 (10H, m, Ar-H), 10.45 ~ 10.50 (2H, s, N-H)

2.2 聚合物的合成与表征

采用 Higashi-Yamazaki 磷酰化法聚合体系^[10], 二酸化合物 PTDA 与间苯二胺可在 NMP 溶剂中直接进行缩合聚合反应, 制备出高分子量

的新型可溶性聚芳酰胺. 该体系只需除水和脱氧, 可避免使用腐蚀性极强、极易吸潮的二酰氯, 反应条件较温和, 且聚合物产率高. 干燥氯化钙的加入有利于提高分子量, 聚合反应式如示意图 2 所示.

Fig. 2 The ^1H -NMR spectrum of PTDA in $\text{DMSO}-d_6$ 

Scheme 2 Synthesis of 1,3,5-triazine-containing polyamide (PPA)

聚合反应结果列于表 4, 可见较高的反应物初始浓度有利于提高聚合产物的黏数. 聚合物特性黏数增长较快, 适当补加溶剂可降低缩聚体系浓度, 可使聚合体系始终保持均相, 从而有利于平稳搅拌并提高聚合物分子量. 随着反应时间的延长, 反应体系的表观黏数逐渐增加. PPA 的特性黏数可达 0.49 dL/g , 证明二酸 PTDA 有足够的反应活性, 在该聚合体系下能和商品二胺缩合聚合并获得高分子量的聚芳酰胺. 但当 PTDA 与对苯二胺或 1,4-萘二胺缩聚反应时, 得到聚合物黏度均低于 0.30 dL/g . 这可能是因为大分子链对称性强、刚性太大, 聚合产物易从反应溶剂中析出, 难以得到高分子量化合物.

以 FTIR, NMR 和元素分析对所合成的聚芳酰胺进行波谱表征. 聚合物在 3342 cm^{-1} 附近出现了波形不同的宽峰, 是酰胺基团 ($-\text{NHCO}-$) 中氨基的特征吸收, 在 1684 cm^{-1} 出现了是酰胺基团中羰基的特征吸收. 由表 3 的 ^1H -NMR 数据可见, PTDA 的 $\delta = 13.39$ 处的羧基 ($-\text{COOH}$) 活泼氢的特征化学位移在聚合物中完全消失, 而聚合物 PPA 在 $\delta = 10.45 \sim 10.50$ 处是酰胺基团 ($-\text{NHCO}-$) 的特征化学位移, 说明 PTDA 已完全发生聚合生成了相应的聚芳酰胺. 元素分析结果表明聚合物 CHN 各元素测试值与理论值非常接近, 进一步验证了其结构.

Table 4 Synthetic data of PPA

Groups	Time (h)	c (g/mL)	M_i^a (mL)	M_a^b (mL)	η_{inh}^c (dL/g)
1	6	40%	5.0	3.0	0.49
2	9	26%	7.5	6.0	0.37
3	37	20%	10.0	0	0.25
4	38	10%	20.0	0	0.23

^a M_i : initial amount of NMP in the reaction mixture; ^b M_a : additional amount of NMP into the reaction mixture; ^c Determined at a concentration of 0.5 g/dL in NMP at 25°C

2.3 聚合物性能

室温下, PPA 可溶于 NMP 和 DMAc 等极性有机溶剂中, 并能部分溶解于吡啶和间甲酚. 其中, PPA 在 NMP 和 DMAc 中的溶解度分别达 28.6 和 5.1 g/L (25°C). PPA 不溶于 CHCl_3 、 CH_2Cl_2 和丙酮等溶剂中, 但与传统聚(芳基-1,3,5-三嗪)或全芳聚酰胺相比, 聚合物溶解性得到改善. PPA 良好的溶解性起因于聚合物链中大体积 1,3,5-三嗪结构的引入, 破坏了大分子链的紧密堆砌, 使自由体积增加, 易使溶剂分子进入. 用 WAXRD 测试了聚合物的结晶性, PPA 在测试区间内未能检测到明

显的尖锐衍射峰, 表明它们呈现无定型态.

用 DSC, TGA 和 DTG 测试聚合物热性能, 结果列于表 5 中. DSC 测试表明, PPA 玻璃化温度 T_g 为 315°C , 稍低于商品聚对苯二甲酰对苯二胺 ($T_g = 345^\circ\text{C}$). 这是由于与苯环相比, 具有庞大体积的苯基-1,3,5-三嗪结构的引入, 增加了聚合物自由体积, 从而导致 T_g 下降. 另一方面, 聚合物 T_g 值比传统聚(芳基-1,3,5-三嗪)材料如芳基-1,3,5-三嗪基聚芳醚 ($T_g = 240 \sim 260^\circ\text{C}$) 要高很多, 这是由于酰胺结构中氢键的存在增加了大分子链间的作用力.

Table 5 Thermal and oxidative properties of PPA

Polymer	T_g^a (°C)	$T_{5\%}^b$ (°C)	$T_{10\%}^b$ (°C)	$T_{5\%}^c$ (°C)	$T_{10\%}^c$ (°C)	T_{max}^d (°C)	C_y^e (%)
PPA	315	493	519	479	507	506	59

^a Glass transition temperature tested by DSC in nitrogen, 10 K/min; ^b Temperature for 5% and 10% weight loss tested by TGA in nitrogen, 20 K/min; ^c Temperature for 5% and 10% weight loss tested by TGA in air, 20 K/min; ^d Temperature for the maximum tested by DTG in nitrogen, 20 K/min; ^e Calculated as the solid residue percentage after heating from 150 to 700°C by TGA in a nitrogen atmosphere, 20 K/min

由图3聚合物的TG和DTG曲线可见,PPA在氮气气氛下350°C前均未出现明显的热失重现象.在氮气气氛下,PPA的5%热失重温度($T_{5\%}$)为493°C,10%热失重温度($T_{10\%}$)为519°C;700°C残碳量达到了59%;空气中 $T_{5\%}$ 为479°C, $T_{10\%}$ 为507°C,说明聚合物均具有优异的耐热性和热氧化稳定性.DTG测试结果表明,PPA在热失重过程中只在506°C附近出现了一个台阶,应该是由离

解能较低的酰胺键(343.3 kJ/mol)的断键引起的.各气氛下聚合物热失重温度均比传统聚芳酰胺要高,这主要是由于苯基-1,3,5-三嗪的热降解活化能比苯环等要高.此外,苯基-1,3,5-三嗪的引入还能增强聚合物分子链的共轭效应,从而提高聚合物热稳定性.

3 结论

本文从分子设计角度出发,以2,4-二氯-6-苯基-1,3,5-三嗪为原料采用傅克反应和催化氧化反应两步法合成了一种芳香二酸单体.重点考察了氧化反应工艺对二酸产率的影响,结果表明反应温度为25°C、反应时间为8 h,HAcl与H₂SO₄摩尔比为10:1,CrO₃与PTDA配比为4:1时,氧化产率最高.二酸通过其温和条件下的Yamazaki溶液缩合聚合获得了高分子量产物聚芳酰胺,可溶解于非质子型极性有机溶剂中,并具有优异的耐热性能和良好机械性能,因而在复合材料、绝缘漆和耐高温分离膜等领域具有良好的应用前景.

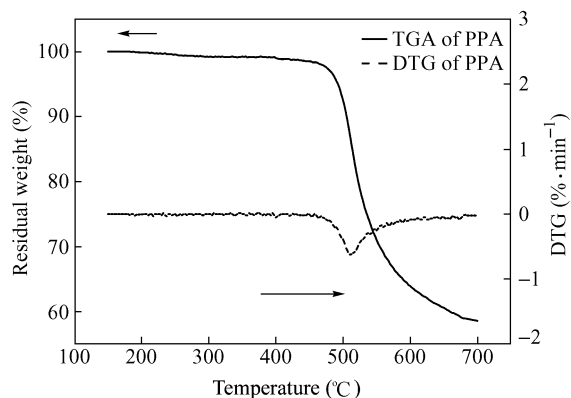


Fig. 3 TGA and DTG thermograms of PPA

REFERENCES

- He Tianbai(何天白),Hu Hanjie(胡汉杰). Advance of Overseas Polymer Science(海外高分子科学新进展). Beijing(北京):Chemical Industry Press(化工出版社),1997. 19~38
- Chan-Thaw C E, Villa A, Katekomol P, Su D S, Thomas A, Prati L. Nano Lett, 2009, 10: 537~541
- Ren S J, Fang Q, Lei Y, Fu H T, Chen X Y, Du J P, Cao A M. Macromol Rapid Commun 2005, 26: 998~1001
- Hergenrother P M. High Perform Polym, 2003, 15: 3~45
- Huang Zhitang(黄志镗), Ou Yuchun(欧玉春). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 1978, (1): 168~174
- Liu Cheng(刘程), Lin Encheng(蔺恩成), Wang Jinyan(王锦艳), Zong Lishuai(宗立率), Jian Xigao(蹇锡高). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2011, (5): 560~566
- Hsu L C. ACS Symp Ser, 1974, 4: 145~155
- Fink R, Heischkel Y, Thelakkat M, Schmidt H W. Chem Mater, 1998, 10: 3620~3625
- Yu G P, Liu C, Zhou H X, Wang J Y, Jian X G. Polymer, 2009, 50: 4520~4528
- Tigelaar D M, Palkera A E, Jackson C M, Anderson K M, Wainright J S, Savinell R F. Macromolecules, 2009, 42: 1888~1896
- Yu G P, Liu C, Wang J Y, Zhu C B, Jian X G. Polym Degrad Stabil, 2009, 94: 2065~2071
- Fink R, Frenz C, Thelakkat M, Schmidt H W. Macromolecules, 1997, 30: 8177~8181
- Ren S J, Fang Q, Yu F, Bu D. J Polym Sci Part A, Polym Chem, 2005, 43: 6554~6561
- Matsuo S. JP patent 07003000. 1995-01-06
- Yamazaki N, Matsumoto M, Higashi F. J Polm Sci Polym Chem Ed, 1975, 13: 1373~1380
- Li Yuzen(李余增). Thermal analysis(热分析). Beijing(北京):Tsinghua University Press(清华大学出版社). 1987. 74~108

SYNTHESIS OF A 1,3,5-TRIAZINE-CONTAINING AROMATIC DIACID MONOMER AND ITS SOLUBLE AROMATIC POLYAMIDES

Bin Li¹, Shao-fei Wu¹, Jun-ling Liu¹, Shao-hui Xiong¹, Hai-jun Tan¹,
Gui-peng Yu^{1,2}, Chun-yue Pan¹, Xi-gao Jian²

(¹ College of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha 410083)

(² State Key Laboratory of Fine Chemicals, Dalian University of Technology, Dalian 116012)

Abstract The synthesis, characterization and properties of phenyl-1,3,5-triazine functional monomers and aromatic polyamides are described. A novel aromatic diacid, namely 4,4'-(6-phenyl-1,3,5-triazine-2,4-diyl) dibenzoic acid (PTDA) was successfully prepared by a two-step reaction including Friedel-Crafts reaction and oxidation starting from 2,4-dichloro-6-phenyl-1,3,5-triazine (DCPT). Its chemical structure was characterized by ¹H-NMR, FTIR, MS and Elemental analysis. Optimal conditions of the oxidation were chosen on the basis of the yield by using orthogonal experiments with respect to oxidizer content, solvent ratio, heating temperature and reaction time. The reaction, which was achieved at the temperature of 25°C for 8 h with a CH₃COOH/H₂SO₄ ratio of 10 and a CrO₃/PTDA ratio of 4, gave the targeted product with a highest yield of 81.3%. A new aromatic polyamide (PPA) with an inherent viscosity of 0.49 dL/g was obtained by direct phosphorylation polycondensation of PTDA with benzene-1,4-diamine. The obtained polymer possesses good solubility. It is readily soluble in *N*-methylpyrrolidone, *N,N*-dimethyl acetamide (DMAc) and sulfolane, and can be easily cast into transparent thin films. Such polymer exhibits glass transition temperature (T_g) up to 315°C, and possesses excellent thermal and thermo-oxidative stability without significant weight loss up to temperatures of approximately 500°C. Its decomposition temperature for 5% mass-loss is in excess of 493°C in nitrogen and it retains 90% weight at round 520°C. The obtained films exhibits attractable mechanical properties with tensile strengths of 82 MPa, elongation at break of 8.2% and initial moduli of 2.3 GPa.

Keywords 1,3,5-Triazine, Aromatic polyamide, High performance polymer