

· 研究论文 ·

半脂环族透明聚酰胺的合成及性能

王旭龙¹ 马学宽^{2,3} 李显明⁴ 刘可远⁴ 杨进军^{1*} 潘鹏举^{2,3} 刘君峰^{2,3*}

(¹天津理工大学环境科学与安全工程学院 天津 300384)

(²浙江大学化学工程与生物工程学院 化学工程与低碳技术全国重点实验室 杭州 310058)

(³浙江大学衢州研究院 衢州 324000)

(⁴浙江清和新材料科技有限公司 台州 317300)

摘要 采用低温溶液-高温熔融缩聚法,以4,4'-二氨基二环己基甲烷(PACM)和3,3'-二甲基-4,4'-二氨基二环己基甲烷(MACM)等脂环族二胺与不同链长脂肪族二酸为单体,通过“一锅法”制备了透明聚酰胺.核磁氢谱及傅里叶变换红外光谱确认聚酰胺的成功合成,示差扫描量热法只能得到玻璃化转变温度(T_g)而无熔融温度(T_m),X射线衍射分析显示所有样品均为无定形结构.研究表明,材料透光率均高于90%,且兼具良好力学性能.随二酸碳链增长,分子链柔性增加与酰胺键密度下降导致 T_g 降低,MACM基聚酰胺因甲基位阻效应较PACM基聚酰胺呈现更高 T_g .此外,材料平衡吸水率随碳链增长显著下降,有利于提升制品尺寸稳定性.本研究为开发高透明、低吸湿聚酰胺材料提供了理论依据,适用于光学仪器等精密部件领域.

关键词 脂环族;透明聚酰胺;透光率;吸湿性

引用: 王旭龙,马学宽,李显明,刘可远,杨进军,潘鹏举,刘君峰.半脂环族透明聚酰胺的合成及性能.高分子学报, doi: 10.11777/j.issn1000-3304.2026.25319.

Citation: Wang, X. L.; Ma, X. K.; Li, X. M.; Liu, K. Y.; Yang, J. J.; Pan, P. J.; Liu, J. F. Synthesis and properties of semi-alicyclic transparent polyamides. *Acta Polymerica Sinica* (in Chinese), doi: 10.11777/j.issn1000-3304.2026.25319.

聚酰胺(PA, 又称尼龙)是分子链中含有酰胺基团(-CONH-)的一类高性能聚合物^[1].聚酰胺因分子间/分子内的氢键相互作用和结晶性具有优异的机械强度、耐磨、耐化学溶剂等特性^[2,3].透明聚酰胺通常处于无定形态或含有尺寸小于可见光波长的微晶,因此表现出高透明度,被广泛应用于照明、光学仪器、电子设备、汽车工业、航空航天等领域^[4-6].

透明聚酰胺的制备方法主要包括物理法和化学法^[7].物理法包括加入成核剂形成微晶^[8]、共混^[9]或通过热处理得到无定形聚酰胺等方式.Chen等^[10]通过引入成核剂双(6-氨基己基)对苯二

甲酰胺显著提高了材料的光学性能,当添加量为5 mol%时共聚物薄膜在550 nm波长下的透光率达83.0%,雾度为6.5%,表现出优异的透明度.Li等^[11]将聚甲基丙烯酸甲酯与PA6共混,透射率达到74%.Li等^[12]对PA1012进行液氮淬火从熔融态直接冷却至室温得到 γ' 晶型膜,表现出高透明度;慢速冷却得到的 α 晶型膜仅为半透明.Anwar等^[13]通过在真空环境下使溶剂快速蒸发,将PA11的分子链“冻结”在氢键未完全有序化的亚稳态 δ' 晶相,从而有效抑制了大的晶体形成,满足了透明电子器件的要求.采用物理法制备透明聚酰胺虽然操作简单,成本较低,但所制透明

2025-12-25 收稿, 2026-03-09 录用, 网络出版.

基金项目: 国家自然科学基金(基金号 U25B2098, 22503080)和浙江省自然科学基金(基金号 LQZQN25E020001).

* 通信联系人, E-mail: tjyjj_2014@tjut.edu.cn; jfliu@zju.edu.cn

doi: 10.11777/j.issn1000-3304.2026.25319; CSTR: 32057.14.GFZXB.2026.7573

聚酰胺存在透光率不高(一般低于85%),力学性能损失较大等缺点,因此近年来主要通过化学法制备透明聚酰胺。

化学法主要包括引入侧链或含环单体、多元共聚等方法.通过引入空间位阻大、结构不对称的单体,如1,3-环己二甲胺、4,4'-二氨基二环己基甲烷(PACM)、3,3'-二甲基-4,4'-二氨基二环己基甲烷(MACM)、4,4'-异丙基二环己胺、三甲基己二胺等,打乱分子链的规整性和对称性,使分子链难以进行有序、紧密堆积,从而实现高透明度^[14,15].Liu等^[16]以PACM和十四烷二酸为单体合成聚酰胺PACM14,其透光率达91%,相较于PACM12吸水率下降56%.Lou等^[17]通过将1,3-环己二甲胺(1,3-BAC)与己二酸制成的尼龙盐与己内酰胺共聚,所开发透明尼龙的透光率可达90%.Lu等^[18]以MACM和十二烷二酸为单体,先成盐得到MACM12盐,再与PA66盐共聚,制备得到了一系列不同MACM12含量的共聚酰胺,在可见光范围内的最大透光率为80.7%,但拉伸强度随着MACM含量的增加而降低。

本研究选用不同碳链长度脂肪族二酸单体与PACM、MACM等脂环族二胺单体通过低温溶液-高温熔融缩聚“一锅法”合成一系列透明聚酰胺,使用傅里叶变换红外光谱(FTIR)、质子核磁共振波谱(¹H-NMR)和X射线衍射分析(XRD)验证了透明聚酰胺的化学结构.通过示差扫描量

热法(DSC)、热重分析(TGA)和力学性能测试,探究了透明聚酰胺的热性能、力学性能、透光性和吸湿性.本研究有望为脂环族透明聚酰胺的合成及产业化提供理论依据。

1 实验部分

1.1 实验原料与仪器

PACM (99%)、MACM (98%)、十四烷二酸、十六烷二酸 (98%)、次亚磷酸钠(98%)、氘代硫酸 (99.5%),上海麦克林生化科技股份有限公司;十八烷二酸、二十烷二酸 (98%),上海毕得医药科技股份有限公司;浓硫酸 (98%),国药集团化学试剂有限公司;去离子水,实验室自制;500 mL 聚合反应釜,上海莱北科学仪器有限公司;小型热压机,武汉启恩科技发展有限公司。

1.2 透明聚酰胺的合成

在聚合反应釜中加入等摩尔二酸单体、二胺单体、次亚磷酸钠及去离子水,通入氮气置换反应釜内空气,开启搅拌.首先在较低温度反应,随后升温至180℃,在高温高压环境下保持2h;然后打开放气阀缓慢释放反应釜内气体并逐步升高温度,反应一段时间后抽真空1h后出料.合成路线如图1所示,反应温度、压力、搅拌电流随时间的变化曲线如图2所示.通过控制聚合工艺,合成的透明聚酰胺表现出接近的特性黏度(表1)。

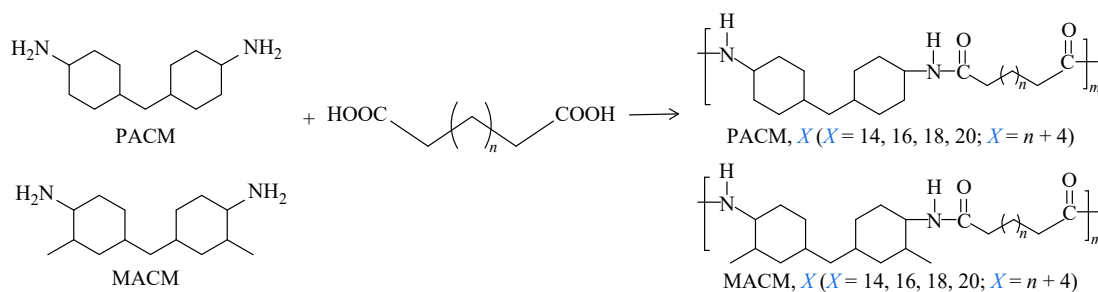


Fig. 1 Synthetic route to transparent polyamides.

1.3 测试与表征

特性黏度分析:采用乌氏黏度计进行分析.将透明聚酰胺溶于98%浓硫酸中,浓度为1.0 g/L,在25℃下反复测量3次计算平均值.**质子核磁共振波谱(¹H-NMR)分析:**采用Bruker Avance NEO 500 MHz NMR于25℃下进行分析,溶剂为氘代硫酸.**傅里叶红外变换光谱(FTIR)表征:**将透明聚酰胺在热压机(230℃、15 MPa)中热压3 min

制成0.4 mm薄膜,采用Bruker INVENIO R红外光谱仪衰减全反射法对透明聚酰胺进行表征.X射线衍射分析(XRD)测试:薄膜样品制备方法同上,使用Nano-inxider型X射线散射仪来分析样品的晶体结构.示差扫描量热法(DSC)测试:在氮气气氛下测试,首先升温至250℃保温3 min消除热历史,降至常温后再升温至250℃,升降温速率10℃/min.热重分析(TGA)测试:在氮气气

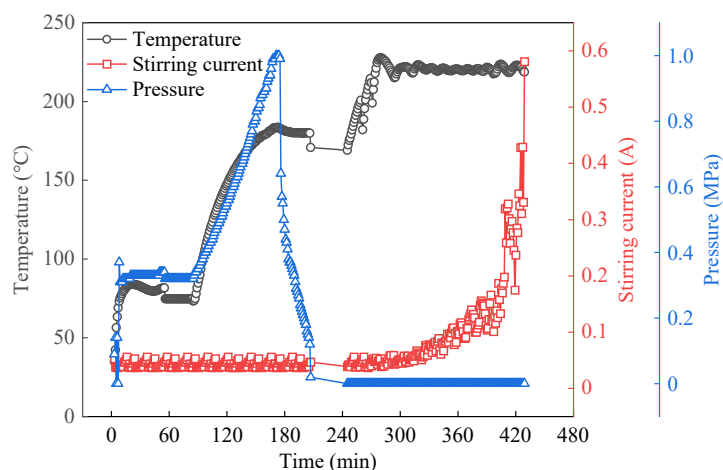


Fig. 2 Time-based profiles of key reactor parameters: temperature, pressure, and stirring current.

Table 1 Viscosity, light transmittance, and haze of transparent polyamides.

Sample	Viscosity (dL/g)	Light transmittance (%)	Haze (%)
PACM14	0.89±0.01	90.9	4.1
PACM16	0.82±0.01	91.1	3.4
PACM18	0.72±0.01	91.4	4.0
PACM20	0.80±0.01	90.6	5.3
MACM14	0.84±0.01	90.9	5.4
MACM16	0.79±0.01	91.7	4.5
MACM18	0.69±0.01	91.6	3.7
MACM20	0.73±0.01	91.1	4.9

氛下测试, 升温速率 10 °C/min. 拉伸性能: 依据 GB/T 1040.3—2006 标准进行测试, 拉伸速率为 5 mm/min. 吸水率: 按标准 GB/T 1034—2008 《塑料吸水性的测定》测试, 将样品在热压机 (230 °C、20 MPa 条件下) 中热压 5 min 制成 1 mm 薄片, 完全干燥后浸泡在 23 °C 水中, 测量吸水率. 透光率测试: 将样品制成 0.4 mm 薄片 (230 °C、15 MPa), 使用紫外-可见-近红外分光光度计在 400~800 nm 波长范围测试.

2 结果与讨论

2.1 透明聚酰胺的化学结构分析

通过 FTIR、¹H-NMR 和 XRD 分别对 PACM 基、MACM 基透明聚酰胺的化学结构进行表征, 结果如图 3 所示. 图 3(a) 和 3(d) 中, PACM 基、MACM 基试样的红外光谱曲线基本相同, 3284 cm⁻¹ 处是酰胺 A 带中的 N—H 键伸缩振动吸收峰, 2920 和 2850 cm⁻¹ 处是 —CH₂— 的对称

和不对称伸缩振动吸收峰, 1637 cm⁻¹ 处是酰胺 I 带中 C=O 的特征吸收峰, 1541 cm⁻¹ 处是酰胺 II 带中 N—H 面内弯曲振动和 C—N 伸缩振动峰, 1444 cm⁻¹ 处是 —CH₂— 的变形振动峰. MACM 基透明聚酰胺的红外光谱图与 PACM 基的基本一致. 上述结果证明透明聚酰胺的成功合成.

为进一步确认透明聚酰胺的化学结构, 进行了 ¹H-NMR 分析. 以 PACM14、PACM16、MACM14、MACM16 在氘代硫酸中的 ¹H-NMR 谱为代表, 结果如图 3(b) 和 3(e) 所示. 其中环己基上与胺基相连次甲基上的氢对应 a 处的峰 (δ=4.51 和 4.23), 二元酸链段与羧基相连的亚甲基上的氢对应 b 处的峰 (δ=3.01), 环己基上与 a 相邻亚甲基上的氢对应 c 处的峰 (δ=2.36), 环己基上与 c 相邻亚甲基上的氢对应 d 处的峰 (δ=2.05), 二元酸中间部分亚甲基上的氢以及环己基上与 d 相邻次甲基上的氢对应 e 处的峰 (δ=1.65), 连接环己基的亚甲基上的氢对应 f 处的峰 (δ=1.35), MACM 基聚酰胺中环己基上甲基上的氢对应 g 处的峰 (δ=1.14). 谱图上的化学位移峰与聚合物结构一一对应, 故 ¹H-NMR 结果也证实了透明聚酰胺的成功合成.

此外, 将透明聚酰胺热压成薄膜后进行 XRD 测试, 图 3(c) 和 3(f) 为 PACM 基、MACM 基透明聚酰胺对应的 XRD 图谱, 没有观察到尖锐的衍射峰, 这表明所制透明聚酰胺没有结晶, 属于无定形态, 从后续 DSC 测试中也可以得到验证.

2.2 透明聚酰胺的热性能

对于非晶态高分子材料, T_g 是决定材料使用温度范围与力学性能的核心参数. 这一转变温度

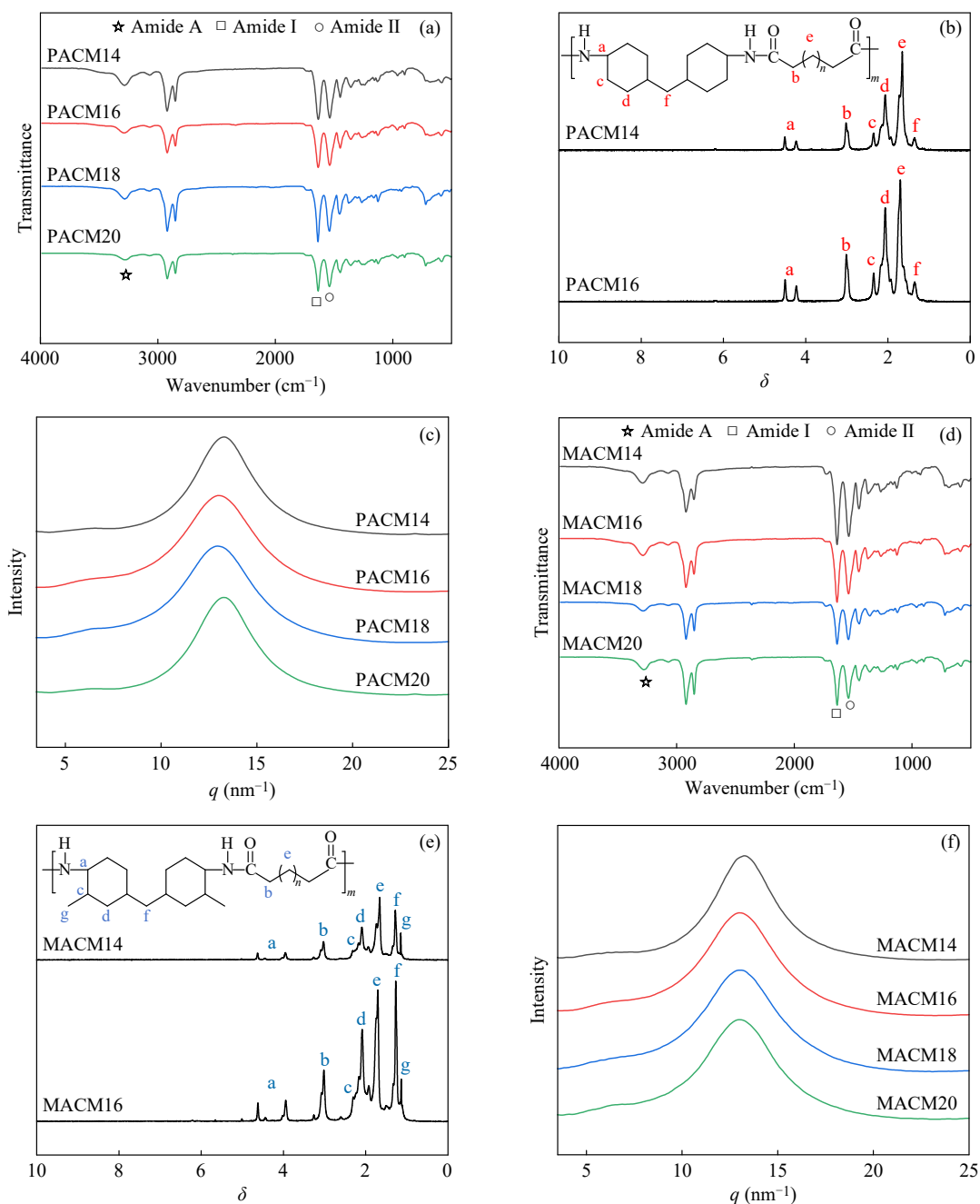


Fig. 3 Structural characterization of the synthesized transparent polyamides: (a) FTIR spectra, (b) $^1\text{H-NMR}$ spectra, and (c) XRD patterns of PACM-based polyamides; (d) FTIR spectra, (e) $^1\text{H-NMR}$ spectra, and (f) XRD patterns of MACM-based polyamides.

受多重结构因素调控，例如主链的刚性、侧基的位阻与极性以及分子间作用力等。使用干燥后的透明聚酰胺进行 DSC 测试，图 4(a) 和 4(d) 为 PACM 基、MACM 基透明聚酰胺第一次降温曲线、图 4(b) 和 4(e) 为 PACM 基、MACM 基透明聚酰胺第二次升温曲线、图 4(c) 和 4(f) 为 PACM 基、MACM 基透明聚酰胺玻璃化转变温度随二酸链长的变化规律。在降温过程中，2 类透明聚酰胺都没有明显的结晶峰出现，表明在非等温结晶过

程中透明聚酰胺的分子链很难有序排列，结晶行为受到脂肪环结构的抑制难以结晶。在第二次升温过程中，PACM 基和 MACM 基透明聚酰胺均只出现了玻璃化转变，而且随着脂肪族二酸单体亚甲基数量的增加， T_g 呈现出逐渐降低的趋势。主要是由于分子链中柔性单元的长度与比例增大，增强了链段运动能力；同时可形成氢键的酰胺键密度下降，分子间作用力减弱。二者共同作用导致玻璃化转变所需能量降低，从而使 T_g 呈

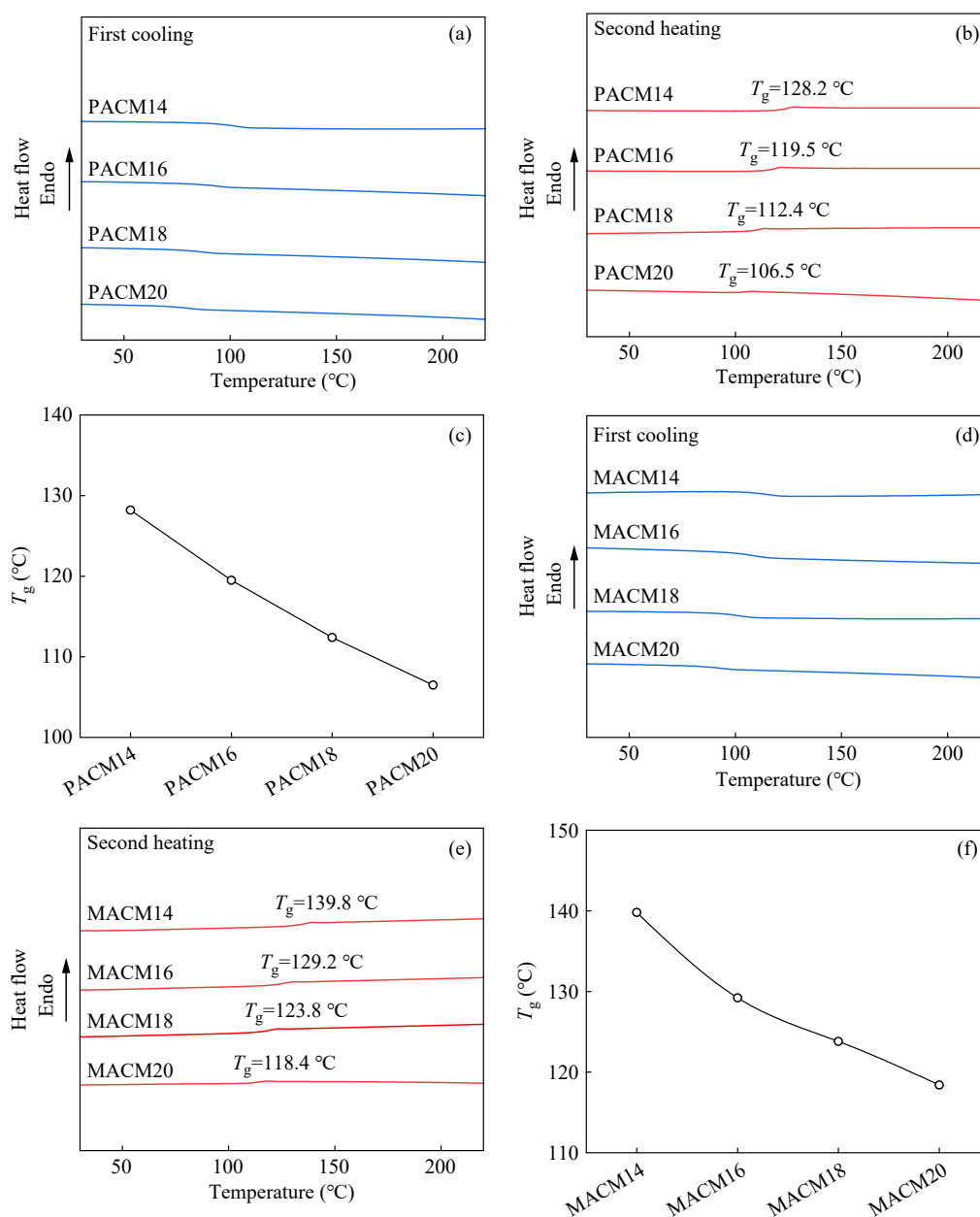


Fig. 4 DSC analysis of the synthesized transparent polyamides. (a) First cooling curves, (b) second heating curves, and (c) T_g values of PACM-based polyamides; (d) First cooling curves, (e) second heating curves, and (f) T_g values of MACM-based polyamides.

现逐步下降的趋势^[19]. 对于 MACM 基聚酰胺而言, 甲基侧基的存在会进一步限制脂肪环结构的运动, 从而出现 T_g 比 PACM 基聚酰胺高出 10 °C 左右的现象.

高分子材料的热稳定性主要通过热重分析来评价. 图 5(a)和 5(b)是 PACM 基与 MACM 基透明聚酰胺的热重曲线图. 从图 5 中可以看出, PACM 基与 MACM 基透明聚酰胺的 TG 曲线非常接近, 但 MACM 基透明聚酰胺相比于同等碳链长度 PACM 基透明聚酰胺的热分解温度略微提高, 主

要是因为甲基侧基的存在会限制脂肪环结构的运动; MACM14 (热稳定性最好)和 PACM20 (热稳定性最差)失重 5% 对应的温度分别为 413 和 402 °C. 随着碳链长度增加, 材料中热稳定性较差的 C—C 键与亚甲基单元比例增加, 而热稳定性更高的刚性酰胺键与脂肪环的比例相应下降, 从而降低了材料整体的平均键能, 导致分解温度有所降低^[20]. 综合看来, PACM 基与 MACM 基透明聚酰胺的热分解过程十分相似, 初始热分解温度远高于其加工温度, 具有良好的热稳定性.

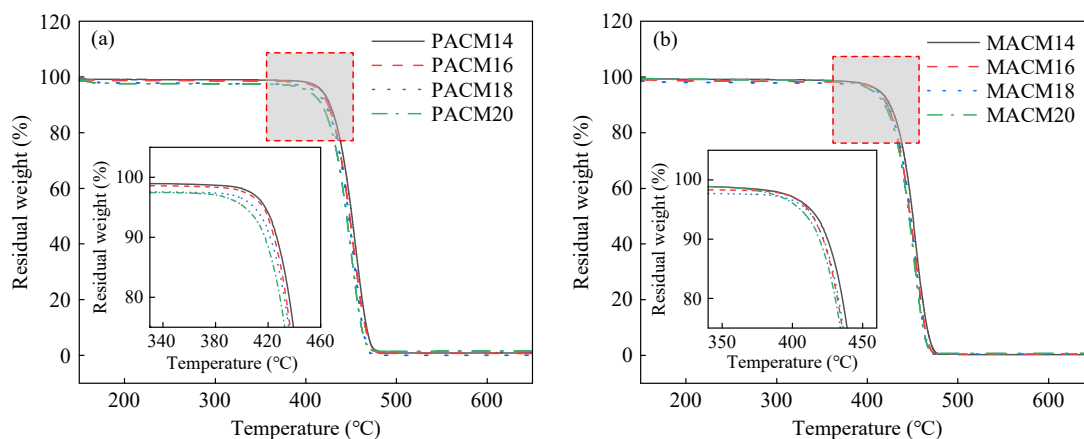


Fig. 5 Thermal decomposition curves of (a) PACM-based and (b) MACM-based transparent polyamides.

2.3 透明聚酰胺的力学性能

为了评估透明聚酰胺的力学性能,将透明聚酰胺制成薄膜样条进行拉伸测试, PACM基、MACM基透明聚酰胺的拉伸曲线如图6(a)和6(b)所示,是典型的非结晶聚合物的拉伸曲线.在特性黏度接近的前提下,链段更长的透明聚酰胺会更柔顺,表现出强度低,韧性高的特点,主要是由于链长越短,酰胺基团密度较大,形成的氢键更多,分子链堆砌更紧密,从而强度相对较高. MACM基比PACM基透明聚酰胺拉伸强度有所提升,主要是由于MACM分子链刚性更强,需要吸收更多的能量才能发生运动,从而表现出更

高的拉伸强度.

2.4 透明聚酰胺的透光性

为了评估聚酰胺透明度,使用紫外-可见-近红外分光光度计对这些厚度为 (0.40 ± 0.02) mm的热压薄膜进行研究.在400~800 nm的可见光窗口中,透明聚酰胺的透射率范围为87%~92% (图7).此外,还对透明聚酰胺的透光率和雾度进行了定量表征,几种透明聚酰胺的透光率均约91%,雾度均低于5.5% (表1).这主要是因为刚性脂环的存在导致分子链的规整性降低,抑制了聚酰胺的结晶,从而提高了透明度,为其在柔性保护膜、光学器件、医疗器械等领域的应用奠定了基础.

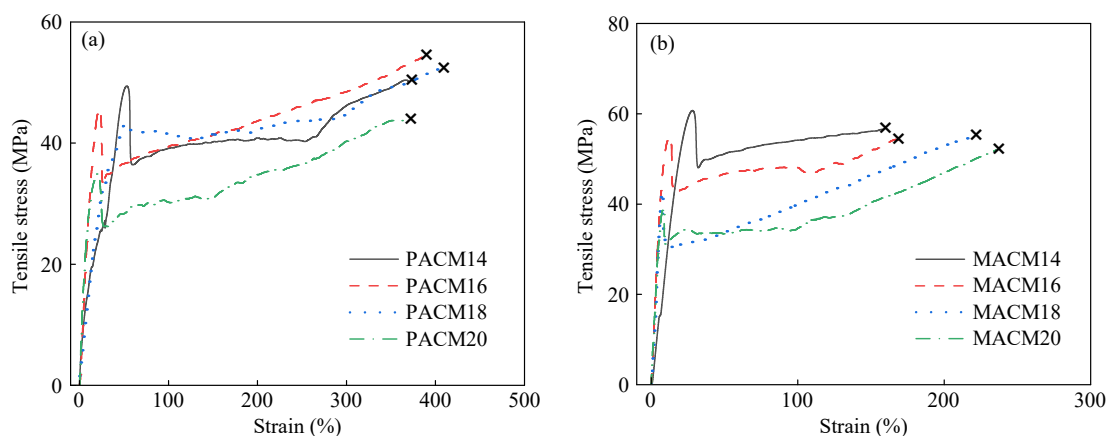


Fig. 6 Tensile stress-strain curves of (a) PACM-based and (b) MACM-based transparent polyamides.

2.5 透明聚酰胺的吸湿性

吸水率是影响聚酰胺制品加工和使用的重要参数,对许多材料特性有显著影响,如 T_g 、杨氏模量和屈服应力降低.聚酰胺吸水的本质源于其分子链中大量极性酰胺基团,这些基团作为强氢键位点能有效结合水分子,同时材料内部的无定

形区域为水分子提供了扩散与滞留的物理空间,共同导致其表现出显著的吸湿性^[21].本文对这些透明聚酰胺样品进行了吸水率研究,将其压制成1 mm厚的薄膜完全浸入23 °C的去离子水中以测试其吸水率.如图8所示,随着聚酰胺脂肪族二酸亚甲基数量的增加,吸水率呈现逐渐降低的趋

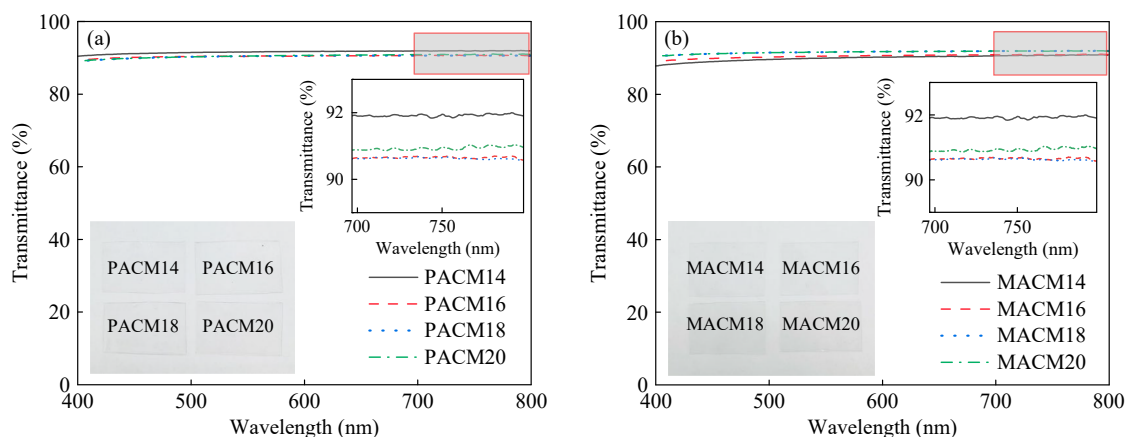


Fig. 7 Transmittance of transparent polyamides.

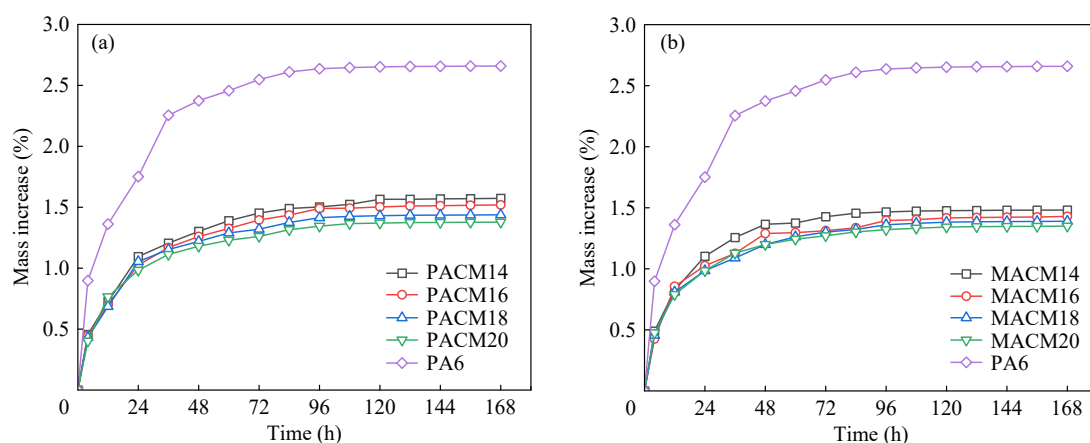


Fig. 8 Water uptake of the prepared transparent polyamides compared with PA6.

势. 这主要是由于聚酰胺内部疏水组分的比例提高, 同时单位体积内极性酰胺基团的密度降低, 其与水分子形成氢键的能力减弱, 平衡吸水率下降^[16]. 此外, 半脂环族透明聚酰胺的吸水率远低于PA6的吸水率, 其低吸湿性进一步提升了材料的适用性和长期耐用性.

3 结论

通过低温溶液-高温熔融缩聚“一锅法”成功合成了一系列以脂环族二胺(PACM和MACM)与不同碳链长度脂肪族二酸为单体的透明聚酰胺. 结构表征(FIR、¹H-NMR)证实了聚酰胺的成功合成, XRD图谱显示所有样品均呈无定形态, 表明脂环结构的引入有效破坏了分子

链的规整性, 抑制了结晶, 这是材料获得高透明度的根本原因. 性能测试表明, 所有透明聚酰胺透光率均在90%以上, 同时保持了良好的力学强度与刚性, 实现了透明度与机械性能的平衡.

研究揭示了透明聚酰胺性能与结构的内在关联: 随着二酸碳链长度的增加, 分子链中柔性单元比例增加, 酰胺键密度降低, 导致 T_g 降低, 且MACM基聚酰胺因甲基侧基的位阻效应导致其 T_g 高于PACM基聚酰胺. 此外, 碳链长度增加显著降低了材料的平衡吸水率, 有利于改善其尺寸稳定性. 本研究为开发用于光学仪器、精密设备等高端领域的高性能、低吸湿透明聚酰胺提供了重要的理论依据.

REFERENCES

- 董侠, 王笃金. 长碳链聚酰胺制备、改性及应用关键技术. 北京: 科学出版社, 2019.

- 2 Tang, X. T.; Zhou, J. A. Q.; Tu, Y. M.; Fan, H. Z.; Wang, M. Y.; Cao, Q.; Cai, Z. Z.; Zhu, J. B. Ring-opening polymerization enables access to high-performance aliphatic-aromatic polyamides with chemical recyclability. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2025**, 64(25), e202505310.
- 3 Shen, T.; Zhang, B.; Wang, Y. Y.; Yang, P. P.; Li, M.; Hu, R. J.; Guo, K.; Chen, K. Q.; Zhu, N.; Wang, L.; Zhu, C. J.; Ying, H. J. Production of 100% bio-based semi-aromatic nylon by aerobic oxidation of 5-hydroxymethylfurfural to 2,5-furandicarboxylic acid with bio aliphatic diamine. *Chem. Eng. J.*, **2022**, 437, 135361.
- 4 Zou, G. J.; Wang, P. L.; Feng, W. T.; Ren, Z. L.; Ji, J. H. Bio-based transparent polyamide 10T/10I/10I2 with high performance. *J. Appl. Polym. Sci.*, **2019**, 136(13), 47305.
- 5 Cao, L. D.; Wen, Y. Q.; Fang, X. Z.; Chen, G. F. Synthesis of highly thermoplastic polyamide-imides with high transparency and low coefficient of thermal expansion. *Polymer*, **2023**, 282, 126093.
- 6 Ranganathan, P.; Chen, Y. H.; Rwei, S. P.; Lee, Y. H. Optically transparent bio-based polyamides with microcellular foaming properties derived from renewable difunctional aminoamides. *J. Appl. Polym. Sci.*, **2022**, 139(2), 51461.
- 7 罗隆毅, 李建林, 王文志. 透明尼龙的研究进展. *合成纤维工业*, **2025**, 48(5), 79–84.
- 8 肖国文. 成核剂对尼龙6注塑成型及性能的影响. *合成纤维工业*, **2020**, 43(6), 44–47.
- 9 Chen, Z. X.; Zhao, Z. Y.; Lu, P.; Xiao, X. X.; He, S.; Deng, C.; Wang, Y. Z. Sulfonate-group-containing polymeric polyamide for simultaneous transparency and flame retardancy of polycarbonate. *ACS Appl. Polym. Mater.*, **2023**, 5(7), 4889–4900.
- 10 Chen, Y. H.; Chang, Y. C.; Rwei, S. P. High-value copolyamide 6 materials with colorless transparent and low water absorption upgraded from upcycled and biomass comonomers. *Polymer*, **2022**, 257, 125269.
- 11 Li, B. Y.; Wei, S.; Xuan, H. Y.; Xue, Y.; Yuan, H. H. Tailoring fineness and content of nylon-6 nanofibers for reinforcing optically transparent poly(methyl methacrylate) composites. *Polym. Compos.*, **2021**, 42(7), 3243–3252.
- 12 Li, X.; Wang, Y.; Yuan, L. H.; Yang, Y. H.; Wang, D. J.; Müller, A. J.; Dong, X. Robust and transparent polyamide 1012 membranes for biogas purification controlled by the degree of hydrogen bonding order. *Macromolecules*, **2023**, 56(17), 7142–7152.
- 13 Anwar, S.; Pinkal, D.; Zajaczkowski, W.; von Tiedemann, P.; Sharifi Dehsari, H.; Kumar, M.; Lenz, T.; Kemmer-Jonas, U.; Pisula, W.; Wagner, M.; Graf, R.; Frey, H.; Asadi, K. Solution-processed transparent ferroelectric nylon thin films. *Sci. Adv.*, **2019**, 5(8), eaav3489.
- 14 刘欢. 主链含六元脂环的脂肪族透明尼龙的制备与表征. 郑州大学博士学位论文, **2014**.
- 15 姚臻, 周亚单, 曹莹. 透明聚酰胺的研究进展. *化工进展*, **2014**, 33(12), 3276–3282.
- 16 刘含茂, 伍威, 曹凯凯, 刘玉峰, 曹卓, 袁峰, 宋志成, 李忠良, 杨佑. 尼龙PACM14的制备及表征. *塑料工业*, **2021**, 49(8), 128–131.
- 17 姜益波, 王书媚, 刘亚丽, 易勇, 李建林, 王文志. PA6/1,3-BAC-6透明共聚尼龙的制备及性能. *塑料工业*, **2022**, 50(12), 16–20.
- 18 逯维健, 王春花, 王文志, 易勇, 廖名熹, 李建林. 共聚酰胺66/MACM12的制备及性能. *工程塑料应用*, **2025**(2), 134–140.
- 19 Xie, S.; Yu, D. W.; Yao, J. H.; Wei, Z. M.; Wang, X. J.; Yang, J. Synthesis of biobased furan polyamides with excellent mechanical properties: effect of diamine chain length. *J. Polym. Environ.*, **2024**, 32(7), 3195–3207.
- 20 Zhu, R. S.; Hu, H. M.; Sun, L. N.; Zhao, R. D.; Ma, B. M.; Li, N. Q.; Yu, J. Y.; Wang, X. L.; Cheng, L. D. Tunable crystallization behavior, memory effect, and thermo-mechanical properties of biobased polyamides PA5X. *Polymer*, **2024**, 313, 127687.
- 21 Li, J. L.; Yi, Y.; Ji, Z. M.; Pei, Y.; Wang, W. Z.; Jing, X.; Yang, J. Tuning the hydrogen bond density of polyamide toward high barrier performance and great transparency. *ACS Appl. Polym. Mater.*, **2026**, 8(2), 878–888.

Synthesis and Properties of Semi-alicyclic Transparent Polyamides

Xu-long Wang¹, Xue-kuan Ma^{2,3}, Xian-ming Li⁴, Ke-yuan Liu⁴, Jin-jun Yang^{1*}, Peng-ju Pan^{2,3}, Jun-feng Liu^{2,3*}

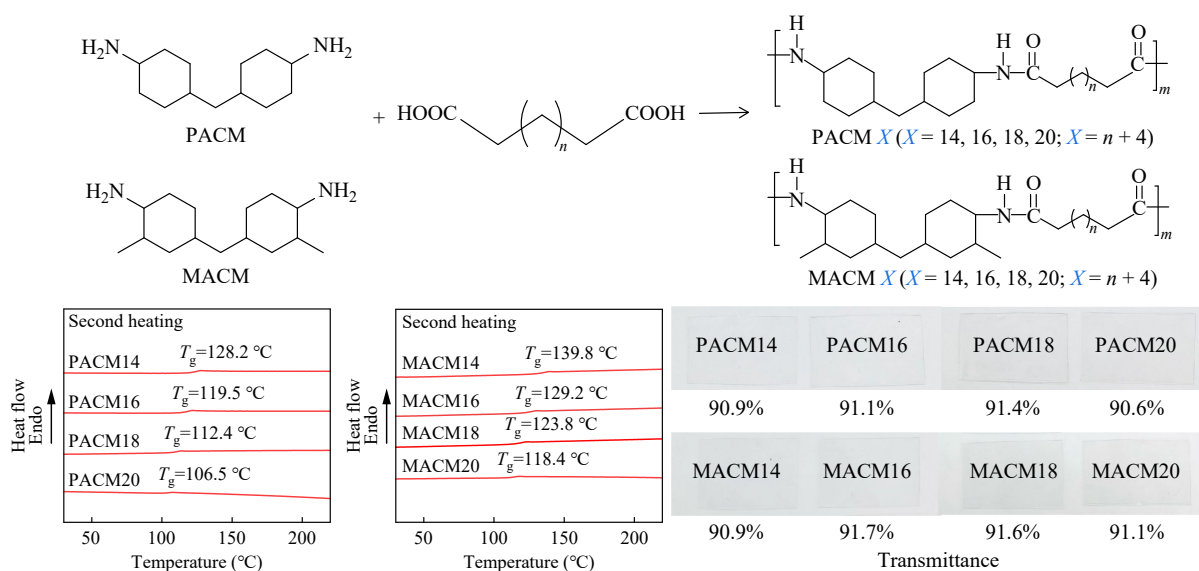
(¹School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384)

(²College of Chemical and Biological Engineering, State Key Laboratory of Chemical Engineering and Low-Carbon Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310058)

(³Zhejiang University-Quzhou Research Institute, Quzhou 324000)

(⁴Zhejiang Qinghe Advanced Material Technology Co., Ltd., Taizhou 317300)

Abstract This study employed a low-temperature solution and high-temperature melt polycondensation method to prepare transparent polyamides *via* a one-pot process, using alicyclic diamines such as 4,4'-diaminodicyclohexylmethane (PACM) and 3,3'-dimethyl-4,4'-diaminodicyclohexylmethane (MACM), along with aliphatic dicarboxylic acids of varying chain lengths as monomers. The successful synthesis of the polyamides was confirmed by ¹H nuclear magnetic resonance (¹H-NMR) and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. Differential scanning calorimetry (DSC) analysis revealed only glass transition temperatures (T_g) without detectable melting temperatures (T_m), and X-ray diffraction (XRD) patterns indicated that all samples possessed an amorphous structure. The research demonstrated that the material has a light transmittance above 90%, coupled with good mechanical properties. As the carbon chain length of the diacids increased, the enhanced flexibility of the molecular chains and the reduced density of amide linkages led to a decrease in the glass transition temperature. MACM-based polyamides showed higher T_g compared to PACM-based ones due to the steric hindrance effect of the methyl groups. Furthermore, the equilibrium water absorption of the materials decreased significantly with increasing carbon chain length, which is beneficial for improving the dimensional stability of the products. This study provides a theoretical foundation for developing polyamide materials with high transparency and low moisture absorption, suitable for applications in optical instruments and other precision components.



Keywords Alicyclic; Transparent polyamides; Light transmittance; Moisture absorption

* Corresponding authors: Jin-jun Yang, E-mail: tjyjj_2014@tjut.edu.cn

Jun-feng Liu, E-mail: jfliu@zju.edu.cn