

# 合成条件对 MCPA6 性能的影响

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2024.01.007

叶玉婷 孔奇胜  
陈宪宏

湖南工业大学  
包装与材料工程学院  
湖南 株洲 412007

**摘要:** 以己内酰胺为单体、氢氧化钠为引发剂、甲苯-2,4-二异氰酸酯为活化剂,采用阴离子聚合法合成 MCPA6,并探讨了引发剂摩尔比、聚合温度对合成 MCPA6 的影响。研究结果显示,随着引发剂摩尔比增加,单体转化率呈先增大后轻微减小的变化趋势,当引发剂摩尔比为 0.0044 时,单体转化率达到最高 91.5%,结晶度为 44.5%,样品的抗拉强度为 83.6 MPa,弯曲强度为 112.4 MPa,冲击强度为 5.3 kJ/m<sup>2</sup>。在所研究的温度范围内,随聚合温度的升高,单体转化率呈轻微增大变化,样品的力学性能呈现先增强后减弱的变化规律,其中抗拉强度和弯曲强度在 160 °C 时达到最大值,冲击强度在 170 °C 时达到最大值。因此,当引发剂摩尔比为 0.0044、聚合温度为 160 °C 时, MCPA6 呈现了较好的工艺稳定性。本合成方法具有一定的应用价值。

**关键词:** MCPA6; 引发剂; 聚合温度

**中图分类号:** TQ323.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2024)01-0007-07

**引文格式:** 叶玉婷,孔奇胜,陈宪宏.合成条件对 MCPA6 性能的影响[J].包装学报,2024,16(1):57-63.

浇铸尼龙 6 (monomer casting polyamide 6, MCPA6) 是将熔融的己内酰胺单体在有强碱与活性剂条件下,进行阴离子开环聚合得到的一种高性能工程塑料<sup>[1]</sup>。MCPA6 聚合过程在 170 °C 左右的温度下,仅需要几分钟反应即可完成。与普通尼龙 6 (polyamide 6, PA6) 相比, MCPA6 具有更高的分子量 (7~10 万左右,普通 PA6 为 3 万左右),更高的结晶度 (超过 50%,普通 PA6 一般不超过 40%)。因此, MCPA6 在强度、刚度、耐磨损性能和耐化学性能方面比 PA6 更优;且其分子链中氢键密度较低,所以 MCPA6 吸水性、尺寸稳定性较 PA6

好<sup>[2-5]</sup>。目前, MCPA6 已广泛用于机械、石油化工、纺织、交通、建筑等行业,以替代铜、铝、钢铁等金属材料,用于制造各种传动结构部件和小型运输车轮等<sup>[6-7]</sup>。此外,常压下 MCPA6 能将聚合过程与制品成型在模具内同时进行,且成型制品的尺寸不受限制。这种工艺设备简单、成本低廉的方法为研发具有高耐磨性、高力学性能复合材料制品提供了新途径。

对 MCPA6 而言,引发剂及活化剂的种类、用量和聚合温度是影响其性能的主要因素<sup>[8-11]</sup>。因此,本研究以己内酰胺 ( $\epsilon$ -caprolactam, CPL) 为单体, NaOH 为引发剂,甲苯-2,4-二异氰酸酯 (toluene

**收稿日期:** 2023-11-16

**基金项目:** 湖南省自然科学基金资助项目 (2022JJ50004); 湖南省教育厅科学研究基金资助项目 (20A149)

**作者简介:** 叶玉婷 (1997-), 女, 福建福州人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为聚合物基复合材料, E-mail: 859727310@qq.com

**通信作者:** 陈宪宏 (1966-), 男, 湖南汨罗人, 湖南工业大学教授, 博士生导师, 主要从事聚合物基复合材料及新能源电极材料研究, E-mail: xianhongchen@hnu.edu.cn

2, 4-diisocyanate, TDI) 为活化剂, 采用阴离子聚合合成 MCPA6, 并探讨 MCPA6 聚合过程中引发剂和活化剂的用量、聚合温度的变化对 MCPA6 性能的影响, 以期为开发具有优异性能的 MCPA6 材料提供理论支撑。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

CPL: 工业级, 中国石油化工股份有限公司石家庄炼化分公司; NaOH: 分析纯, 天津市恒兴化学试剂制造有限公司; TDI: 分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司。

### 1.2 仪器及设备

电子万能试验机, ETM1048 型, 深圳三思纵横科技股份有限公司; 悬臂梁摆锤冲击试验机, PIT-501J 型, 深圳万测试验设备有限公司; 差式扫描热仪 (differential scanning calorimetry, DSC), Q20 型, 美国 TA 仪器公司。

### 1.3 试样制备

为了获得高分子量的 MCPA6 产物, 提高其力学性能, 引发剂与活化剂的用量通常是按等摩尔比配制, 且每摩尔 CPL, 引发剂的用量以 0.001~0.01 mol 为宜<sup>[12]</sup>。为此, 本研究每摩尔 CPL 中引发剂分别按 0.0028, 0.0036, 0.0044, 0.0052, 0.006 mol 进行配制。许多文献报道将 140 °C 作为 CPL 阴离子开环聚合的临界温度<sup>[12-15]</sup>, 高于此温度可保持较高的单体转化率, 同时有助于保持 MCPA6 的性能。为此, 本研究中将聚合温度设置为 140, 150, 160, 170, 180 °C。反应时间设置为 30 min。

样品的制备过程如下: 称取适量 CPL 置于洁净的三口烧瓶中, 加热至 130 °C, 减压脱水 10 min; 向烧瓶中添加适量的引发剂 NaOH, 继续减压脱水 15 min, 解除真空; 立即往烧瓶中滴加定量的 TDI, 保温并搅拌均匀, 然后快速将物料浇注到预热好的模具中, 适当温度下保温反应一定时间, 待完全反应后冷却脱模, 取出样品。

### 1.4 测试与表征

#### 1) 单体转化率

从样品中任意切下约为 10 mm × 10 mm × 4 mm 的块状, 将其放入 50 °C 的真空烘箱中干燥 4 h 后称重 (标记为  $m_{\text{tot}}$ ); 接着将其投入蒸馏水中回流 8 h, 取出置于培养皿中, 于 150 °C 的真空烘箱中干燥 6 h,

冷却后称重 (标记为  $m_{\text{pol}}$ )。单体转化率计算公式如式 (1), 每组样品做 5 个平行试样, 结果取平均值。

$$DOC = \frac{m_{\text{pol}}}{m_{\text{tot}}} \times 100\% \quad (1)$$

#### 2) DSC

首先, 将样品在 80 °C 条件下, 真空干燥 24 h; 然后, 取适量样品, 进行 DSC 测试。具体操作方法为: 在氮气保护条件下, 以 10 °C/min 的升温速率从室温升温至 250 °C, 恒温 3 min 后消除热历史; 再以 -10 °C/min 的速率降温, 降温至室温时恒温 3 min; 再以 10 °C/min 的升温速率进行二次升温至 250 °C。结晶度计算公式为:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{100}} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $\Delta H_m$  为样品的熔融焓;

$\Delta H_{100}$  为完全结晶 MCPA6 的熔融焓,  $\Delta H_{100} = 190 \text{ J/g}^{[16]}$ 。

#### 3) 力学性能

拉伸性能: 按 GB/T 1040—2022《塑料 拉伸性能的测定》对样品进行拉伸性能测定, 每组样品做 5 个平行试样, 结果取平均值。

弯曲性能: 按 GB/T 9341—2008《塑料 弯曲性能的测定》对样品进行弯曲性能测定, 每组样品做 5 个平行试样, 结果取平均值。

冲击性能: 按 GB/T 1843—2008《塑料 悬臂梁冲击强度的测定》对样品进行冲击性能测定, 每组样品做 5 个平行试样, 结果取平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 引发剂摩尔比对 MCPA6 性能的影响

#### 2.1.1 对单体转化率的影响

单体的转化率是衡量合成反应效率的一个重要指标<sup>[17]</sup>。图 1 为不同含量引发剂 (NaOH) 对合成 MCPA6 过程中单体转化率的影响。

由图 1 可知, 随着引发剂摩尔比的增加, 单体转化率呈现先增大后轻微减小的变化趋势。在摩尔比低于 0.0044 的范围内, 随引发剂摩尔比的增加, 单体转化率从 85.3% 增大到 91.5% (最高临界点); 此后再增大引发剂的含量, 转化率呈现轻微减小的变化, 说明进一步增加引发剂含量对单体转化率的提高无益。这是因为当引发剂摩尔比偏低 (低于 0.0044) 时,

单体 CPL 进行开环聚合时引发剂的数量不足, 难以形成足够的活性中心, 链增长过程中消耗的单体数量有限, 致使单体转化率不高, 在此范围内随引发剂摩尔比的增加, 转化率整体呈现增大的变化<sup>[18]</sup>; 当引发剂摩尔比高于 0.0044 时, 反应体系中形成过多的活性中心, 使引发效率提高, 但随着链增长的不进行, 体系黏度也在不断增大, 单体分子接近活性增长链变得愈发困难, 一方面导致低聚物的数量增加, 另一方面也使单体转化率出现下降。

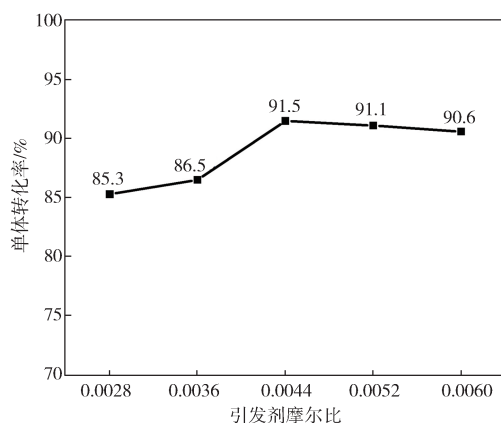


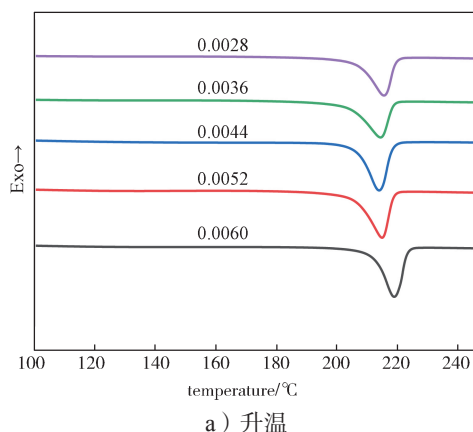
图 1 引发剂摩尔比对单体转化率的影响

Fig. 1 Effect of initiator molar ratio on monomer conversion

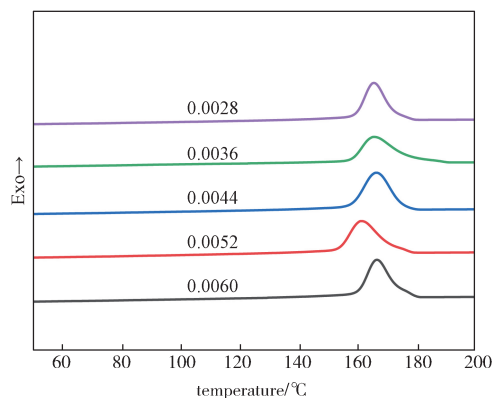
### 2.1.2 对熔融与结晶行为的影响

图 2 为聚合温度 160 °C 下, 不同摩尔比引发剂所制备 MCPA6 的 DSC 曲线, 其对应的熔融与结晶性能参数如表 1 所示, 其中  $T_m$  为熔点,  $T_c$  为结晶温度,  $X_c$  为结晶度。

由图 2a 和表 1 可知, 随着引发剂摩尔比的增加, 熔点呈现先降低后升高的变化趋势, 但整体变化幅度不大, 最大为 218.9 °C, 最小为 213.9 °C, 这说明引发剂摩尔比对熔点的影响不大。



a) 升温



b) 降温

图 2 不同摩尔比引发剂所制备 MCPA6 的 DSC 曲线  
Fig. 2 DSC curves of MCPA6 prepared with different molar ratio of initiator

表 1 MCPA6 样品 DSC 图谱数据

Table 1 DSC curve data of MCPA6 sample

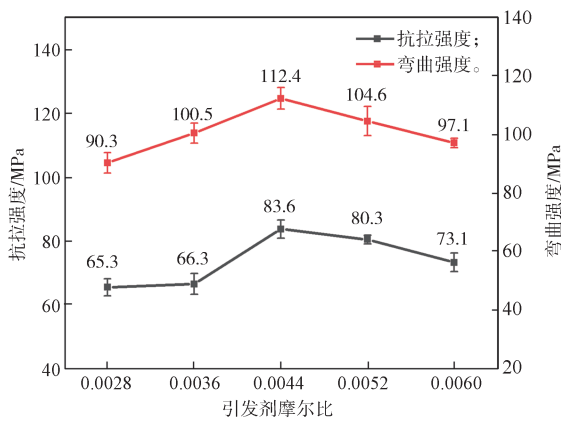
$n(\text{NaOH})/\text{mol}$	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta H_m/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$T_c/^\circ\text{C}$	$X_c/\%$
0.0028	215.5	67.5	165.3	35.5
0.0036	214.3	70.5	165.3	37.1
0.0044	213.9	84.6	166.4	44.5
0.0052	214.9	83.0	161.0	43.7
0.0060	218.9	81.6	166.1	42.8

结晶度的高低对力学性能有重要的影响, 一般情况下, 结晶度越高对力学性能的提高越有利<sup>[19]</sup>。由图 2b 和表 1 可知, 随着引发剂摩尔比的增加, 结晶度呈现先增大再轻微减小的变化趋势, 在引发剂摩尔比为 0.0044 时结晶度为最高的, 此时的结晶度为 44.5%; 而结晶温度在 161~166 °C 附近, 影响比较小。这是由于引发剂摩尔比过小时, 单体转化率偏低, 形成的 MCPA6 分子数量相对有限, 在结晶过程中产生相对规整的 PA6, 分子链数目也相对较少, 因此结晶度相对偏低; 当引发剂摩尔比进一步增大时, 异相成核的分子数量进一步增加, 体系反应速率将进一步加速, 所形成的 PA6 分子数量增多, 因此结晶度获得提高; 另一方面, 当引发剂的含量过高时, 从图 2b 中可以发现, 结晶温区变宽, 表明产物中存在聚合度不同的分子, 结构规整性较差。

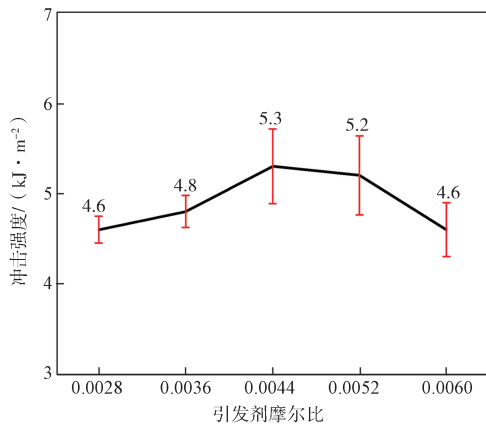
### 2.1.3 对力学性能的影响

力学性能是材料及其制品力学强度的核心指标。图 3 为不同含量引发剂对所制备的 MCPA6 力学性能的影响。由图 3 可以看出, 当引发剂摩尔比从 0.0028

增加到 0.0044 时, MCPA6 的抗拉强度从 65.3 MPa 增加到 83.6 MPa, 弯曲强度从 90.3 MPa 增加到 112.4 MPa, 冲击强度从 4.6 kJ/m<sup>2</sup> 增加到 5.3 kJ/m<sup>2</sup>, 分别提高了 28.0%, 24.5% 和 15.2%; 当引发剂摩尔比继续增加时, 抗拉强度、弯曲强度和冲击强度均有所下降, 这与单体转化率、结晶度的变化规律一致。这是因为继续增加引发剂的含量, 不仅加快聚合反应速度, 也使 MCPA6 分子量和结晶度降低, 从而影响材料的力学强度<sup>[20]</sup>。材料在受力过程中, 其分子排列会发生很大的变化, 分子链在与受力方向平行的方向开始取向, 微晶进行重排, 大的球晶分裂成更小的单位, 结晶度越大, 球晶的发育越完善, 则聚合物的力学性能越好<sup>[21]</sup>。



a) 抗拉强度及弯曲强度



b) 冲击强度

图3 引发剂摩尔比对 MCPA6 力学性能的影响

Fig. 3 Effect of initiator molar ratio on mechanical properties of MCPA6

## 2.2 聚合温度对 MCPA6 性能的影响

### 2.2.1 对单体转化率的影响

图4为聚合温度对合成 MCPA6 的单体转化率影

响。由图4可知, 随着聚合温度的升高, 单体转化率呈现逐渐增大的变化趋势, 当聚合温度高于 160 °C 时, 单体转化率增速变缓。这是因为随聚合温度的提高, 反应体系的能量随之增加, 使反应活性中心的活性增加, 同时也使分子之间碰撞的几率增大, 因而使聚合反应速率加快, 反应达到平衡的时间缩短, 单体转化率提高<sup>[9]</sup>; 当聚合温度进一步提高时, 反应活性中心的数量已趋于类似饱和状态, 活性链的数量接近极限值, 同时反应后期体系的黏度显著增大, 单体分子与活性分子碰撞的几率下降, 最终导致单体转化率增大幅度有限。综合考虑, 聚合温度控制在 160 °C 较佳。

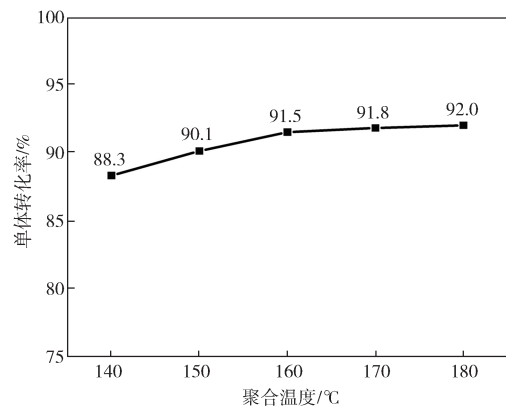


图4 聚合温度对单体转化率的影响

Fig. 4 Effect of polymerization temperature on monomer conversion

### 2.2.2 对熔融与结晶行为的影响

图5为不同聚合温度下所制备 MCPA6 样品的 DSC 曲线, 其对应的熔融与结晶性能参数如表2所示。

由图5和表2可知, 随着聚合温度的增加, 熔点和结晶温度大体呈现先降低后升高的趋势, 均在 160 °C 达到最低值, 但整体变化幅度不大, 说明聚合温度对熔点和结晶温度的影响不明显。此外, 结晶度随着聚合温度的升高而逐渐降低, 聚合温度为 140 °C 时, 结晶度达到最高 54.4%; 当聚合温度为 180 °C 时, 结晶度仅为 36.7%, 下降了 32.5%。这是由于一方面聚合温度越高时, 合成得到的 PA6 分子链的热运动越强, 使其在冷却过程中需要更多的时间才能达到结晶平衡, 因此结晶平衡度较低; 另一方面随着聚合温度的升高, 反应速率增加, 同时支化副反应随之增加, 这些支化分子如同空间位阻, 在冷却过程中阻碍了 MCPA6 分子链的折叠和有序排列, 导致结晶缺陷增多<sup>[20]</sup>。

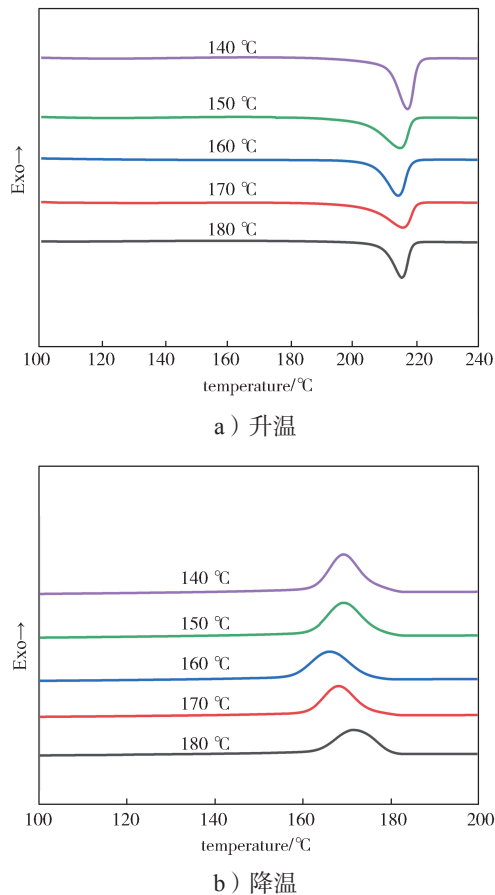


图5 不同聚合温度所制备 MCPA6 的 DSC 曲线  
Fig. 5 DSC curves of MCPA6 prepared with different polymerization temperature

表2 MCPA6 样品 DSC 图谱数据  
Table 2 DSC curve datas of MCPA6 samples

聚合温度 / $^{\circ}\text{C}$	$T_m / ^{\circ}\text{C}$	$\Delta H_m / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$T_g / ^{\circ}\text{C}$	$X_c / \%$
140	218.2	103.4	169.3	54.4
150	214.5	94.9	169.3	49.9
160	213.9	84.6	166.1	44.5
170	215.8	81.8	168.1	43.0
180	215.0	69.7	171.6	36.7

### 2.2.3 对力学性能的影响

图6为聚合温度对所制备的 MCPA6 力学性能的影响。由图6可知, 随聚合温度的升高, 力学性能整体呈现先增大后减小的趋势, 其中抗拉强度、弯曲强度在 160  $^{\circ}\text{C}$  时均为最大值, 相较于 140  $^{\circ}\text{C}$ , 分别提高了 23.4% 和 21.7%。冲击强度在聚合温度 170  $^{\circ}\text{C}$  时到达最高临界点, 相较于 140  $^{\circ}\text{C}$  时的提高了 20%。此后再增大聚合温度, 力学性能呈现轻微减小的变化,

说明进一步增加聚合温度对力学性能的提高无益, 聚合温度对力学性能的变化规律与其对结晶性能的影响规律基本吻合。其主要原因是力学性能与树脂的结晶度、分子量和单体转化率有关<sup>[21]</sup>。当聚合温度较低时, MCPA6 的结晶度较小, 球晶的晶粒较小, 对高分子链的限制和束缚作用也越小, 冲击强度较低, 脆性增加; 升温适度, 有利于加速高分子链的松弛过程, 提高 MCPA6 的冲击强度; 但温度过高时, 虽然会加快聚合反应速度, 但高分子链的热降解会导致制品老化发黄, 力学性能反而降低。

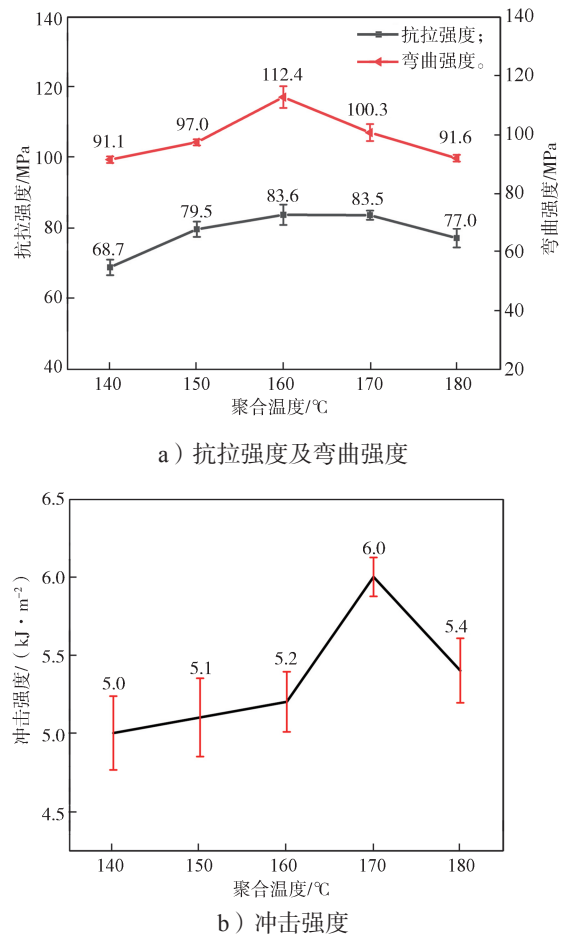


图6 聚合温度对 MCPA6 力学性能的影响  
Fig. 6 Effect of polymerization temperature on mechanical properties of MCPA6

## 3 结论

本研究以己内酰胺为单体, NaOH 为引发剂, TDI 为活化剂, 采用阴离子聚合法合成 MCPA6, 并研究了引发剂摩尔比、聚合温度对 MCPA6 性能的影响。所得结论如下。

1) 随着引发剂摩尔比增加, 单体转化率呈先增大后轻微减小的变化趋势, 当引发剂摩尔比为 0.0044 时, 单体转化率达到最高为 91.5%, 其结晶度为 44.5%, 样品的抗拉强度为 83.6 MPa, 弯曲强度为 112.4 MPa, 冲击强度为 5.3 kJ/m<sup>2</sup>。

2) 在所研究的温度范围内, 随着聚合温度的升高, 单体转化率呈逐渐增大的趋势, 但高于 160 °C 后, 增大幅度较小。聚合温度对样品的力学性能呈现为先增强后减弱的变化规律, 其中, 抗拉强度、弯曲强度均在 160 °C 时达到最大值; 冲击强度在 170 °C 时达到最大值。

综合考虑, 合成综合性能较优的 MCPA6 最佳条件为引发剂与活化剂按等摩尔比进行, 引发剂对己内酰胺的摩尔比为 0.0044, 聚合温度为 160 °C。

#### 参考文献:

- [1] 陈宝林, 朱洪立, 赵云鹏, 等. 铸型尼龙改性研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2014, 42(8): 125-128.  
CHEN Baolin, ZHU Hongli, ZHAO Yunpeng, et al. Research Progress in Modification of MC Nylon[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(8): 125-128.
- [2] 赖登旺, 李世杰, 闫晓航, 等. 阴离子表面活性剂发泡 MCPA6 的制备与性能表征 [J]. 包装学报, 2019, 11(6): 1-6.  
LAI Dengwang, LI Shijie, YAN Xiaohang, et al. Preparation and Characterization of Foamed MCPA6 by Anionic Surfactants[J]. Packaging Journal, 2019, 11(6): 1-6.
- [3] 郑梯和, 谭玉宝, 刘爱学, 等. 固体润滑 MC 尼龙的制备与性能研究 [J]. 塑料工业, 2016, 44(6): 26-29.  
ZHENG Tihe, TAN Yubao, LIU Aixue, et al. Preparation and Properties of Solid Lubricating MC Nylon[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(6): 26-29.
- [4] 邵蒙, 刘晓飞, 李海柱, 等. MC 尼龙聚合过程热效应研究 [J]. 化工新型材料, 2021, 49(5): 162-165.  
SHAO Meng, LIU Xiaofei, LI Haizhu, et al. Research on Thermal Effect of MC Nylon Polymerization[J]. New Chemical Materials, 2021, 49(5): 162-165.
- [5] 李泉, 李术, 李万里, 等. 浇铸尼龙 6/超细滑石粉复合材料的性能研究 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2022, 20(3): 56-59.  
LI Xiao, LI Shu, LI Wanli, et al. Study on Performance of Cast Nylon 6/Ultrafine Talc Powder Composite[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2022, 20(3): 56-59.
- [6] 张电子, 史豪, 张晓潭, 等. MC 尼龙 6/纤维素纳米晶复合材料原位制备及性能 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(7): 1-7.  
ZHANG Dianzi, SHI Hao, ZHANG Xiaotan, et al. In-Situ Preparation and Performance of MC Nylon 6/Cellulose Nanocrystalline Composites[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(7): 1-7.
- [7] 李世杰, 赖登旺, 刘跃军, 等. Zr(HPO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>/浇铸尼龙 6 复合材料的制备及结晶性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2019, 35(5): 150-156.  
LI Shijie, LAI Dengwang, LIU Yuejun, et al. Preparation and Crystallization Properties of Zr(HPO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>/MCPA6 Composites[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2019, 35(5): 150-156.
- [8] VAN RIJSWIJK K, BERSEE H E N, JAGER W F, et al. Optimisation of Anionic Polyamide-6 for Vacuum Infusion of Thermoplastic Composites: Choice of Activator and Initiator[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2006, 37(6): 949-956.
- [9] VAN RIJSWIJK K, BERSEE H E N, BEUKERS A, et al. Optimisation of Anionic Polyamide-6 for Vacuum Infusion of Thermoplastic Composites: Influence of Polymerisation Temperature on Matrix Properties[J]. Polymer Testing, 2006, 25(3): 392-404.
- [10] VAN RIJSWIJK K, TEUWEN J J E, BERSEE H E N, et al. Textile Fiber-Reinforced Anionic Polyamide-6 Composites. Part I: The Vacuum Infusion Process[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2009, 40(1): 1-10.
- [11] 颜春, 范欣愉, 于丽萍, 等. 原位阴离子开环聚合法制连续玻璃纤维增强阴离子聚酰胺-6 复合材料及其性能 [J]. 复合材料学报, 2014, 31(5): 1134-1141.  
YAN Chun, FAN Xinyu, YU Liping, et al. Preparation and Properties of Continuous Glass Fiber Reinforced Anionic Polyamide-6 Composites via in Situ Anionic Ring-Opening Polymerization[J]. Acta Materialiae Compositae Sinica, 2014, 31(5): 1134-1141.
- [12] 王有槐, 王新华, 朱培. 铸型尼龙实用技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 1994: 30-31.  
WANG Youhuai, WANG Xinhua, ZHU Pei. Practical Technology of Casting Nylon[M]. Beijing: China Petrochemical Publishing House, 1994: 30-31.
- [13] HÖHNE C C, WENDEL R, KÄBISCH B, et al. Hexaphenoxycyclotriphosphazene as FR for CFR Anionic PA6 via T-RTM: A Study of Mechanical and Thermal Properties[J]. Fire and Materials, 2017, 41(4): 291-306.

- [14] KASHANI RAHIMI S, OTAIGBE J U. Natural Cellulose Fiber-Reinforced Polyamide 6 Thermoplastic Composites Prepared via in Situ Anionic Ring-Opening Polymerization[J]. *Polymer Composites*, 2019, 40(3): 1104–1116.
- [15] DUBOIS P, COULEMBIER O, RAQUEZ J M. *Handbook of Ring-Opening Polymerization*[M]. Weinheim: Wiley-VCH, 2009: 197–225.
- [16] CARTLEDGE H C Y, BAILLIE C A. Studies of Microstructural and Mechanical Properties of Nylon/Glass Composite Part I the Effect of Thermal Processing on Crystallinity, Transcrystallinity and Crystal Phases[J]. *Journal of Materials Science*, 1999, 34(20): 5099–5111.
- [17] ZHANG C L, FENG L F, HU G H. Anionic Polymerization of Lactams: A Comparative Study on Various Methods of Measuring the Conversion of  $\epsilon$ -Caprolactam to Polyamide 6[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 101(3): 1972–1981.
- [18] YIN X T, ZHAO X W, YE L. In Situ Reinforcing of Monomer Casting Nylon-6 with Nylon Fiber and the Interface Failure Mechanism[J]. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2022, 61(1): 79–92.
- [19] ESMIZADEH E, VAHIDIFAR A, SHOJAIE S, et al. Tailoring the Properties of PA6 into High-Performance Thermoplastic Elastomer: Simultaneous Reinforcement and Impact Property Modification[J]. *Materials Today Communications*, 2021, 26: 102027.
- [20] 周莉, 臧树良, 张建中, 等. 催化剂和活化剂对 MC 尼龙聚合时间及结晶度的影响 [J]. *辽宁石油化工大学学报*, 2009, 29(2): 1–2.  
ZHOU Li, ZANG Shuliang, ZHANG Jianzhong, et al. Influence of Catalyst and Activator on the Polymerization Time and Crystallinity of MC Nylon[J]. *Journal of Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology*, 2009, 29(2): 1–2.
- [21] 孙向东. MC 尼龙的合成、改性研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2006.  
SUN Xiangdong. Study on Synthesis and Modification of MC Nylon[D]. Shenyang: Northeastern University, 2006.

(责任编辑: 李玉华)

## Effects of Synthesis Conditions on Properties of MCPA6

YE Yuting, KONG Qisheng, CHEN Xianhong

(College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** MCPA6 was synthesized by anion polymerization with  $\epsilon$ -caprolactam as monomer, NaOH as initiator and toluene 2,4-diisocyanate as activator. The effects of initiator molar ratio and polymerization temperature on the synthesis of MCPA6 were discussed. The research results showed that as the initiator content increased, the monomer conversion rate showed a trend of first increasing and then slightly decreasing. When the molar ratio of initiator was 0.0044, the monomer conversion rate reached the highest value of 91.5%, with a crystallinity of 44.5%. The tensile strength of the sample was 83.6 MPa, the flexural strength was 112.4 MPa, and the impact strength was 5.3 kJ/m<sup>2</sup>. Within the studied temperature range, with the increase of polymerization temperature, the monomer conversion rate slightly increased, and the mechanical properties of the sample showed a trend of first increasing and then decreasing. The tensile strength and flexural strength reached their maximum values at 160 °C, and the impact strength reached their maximum values at 170 °C. Therefore, when the molar ratio of initiator was 0.0044 and the polymerization temperature was 160 °C, MC nylon 6 showed good process stability. This synthesis method had certain application value.

**Keywords:** MCPA6; initiator; polymerization temperature