

# 潮湿表面粘贴用压敏胶的制备及性能研究

吴季鸿<sup>1</sup>, 钱军<sup>1\*</sup>, 石一峰<sup>2</sup>

(1. 华东理工大学材料科学与工程学院, 上海 200237;

2. 上海宏顶房科技有限公司, 上海 200237)

**摘要:**为改善压敏胶的防水粘附性能,采用甲基丙烯酸酐(MAC)与左旋多巴(L-DOPA)反应制备含有儿茶酚基团的可聚合单体DMAA,将其与丙烯酸异辛酯和丙烯酸共聚得到丙烯酸酯压敏胶。通过改变压敏胶在水中的浸泡时间和粘贴时间,研究了压敏胶在潮湿表面的粘贴性能,并与市售样品进行对比。结果表明,儿茶酚单体的引入明显提高压敏胶在潮湿表面的粘附力和粘贴稳定性,并且胶膜与基材之间的粘贴时间越长粘附力越强,儿茶酚单体质量分数为2%的压敏胶经过24 h水中浸泡并在水下粘贴24 h后,剥离强度可达30 N/25 mm以上,性能普遍高于市售压敏胶样品。

**关键词:**左旋多巴;儿茶酚;潮湿表面;压敏胶

中图分类号:TQ430

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2025)04-0224-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2025.04.038

## Preparation and properties of pressure sensitive adhesive for wet surface

WU Ji-hong<sup>1</sup>, QIAN Jun<sup>1\*</sup>, SHI Yi-feng<sup>2</sup>

(1.School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2.Shanghai Hongdingfang Technology Co., Ltd., Shanghai 200237, China)

**Abstract:** In order to improve the waterproof adhesion property of pressure-sensitive adhesive, DMAA, a polymerizable monomer containing catechol group, is prepared through the reaction between methacryloyl chloride and levodopa. DMAA is then co-polymerized with 2-ethylhexyl acrylate and acrylic acid to obtain acrylate pressure-sensitive adhesive. Through changing the soaking time and adhesive time of the prepared pressure-sensitive adhesive in water, its adhesive performance on wet surface is studied, and compared with the commercial samples. Study results show that the addition of catechol monomer can significantly improve the adhesive ability and adhesive stability of the pressure-sensitive adhesive on wet surface. The longer the adhesive time between the adhesive film and the substrate, the stronger the adhesive force. The peel strength of the pressure-sensitive adhesive with a catechol monomer content of 2% can reach 30N/25 mm or more after it has been soaked in water for 24 h and stuck in water for 24 h. The performance is generally higher than that of commercial pressure-sensitive adhesive samples.

**Key words:** levodopa; catechol; wet surface; pressure sensitive adhesive

丙烯酸酯压敏胶因其原料丰富与成本低廉而成为压敏胶的主要品种,具有良好的粘接和润湿性能,广泛应用于建筑建材、电子通信、汽车制造、航空航天和医疗卫生等领域<sup>[1]</sup>。目前市售的压敏胶在干燥环境中粘接效果优异,但如果粘接界面有水分子侵入,界面力遭到破坏<sup>[2]</sup>,便会导致粘接力的下降甚至失效。这些缺点限制了丙烯酸酯压敏胶在某些特殊领域的应用,如船舶的防水密封、船底的修补、水管管道的堵漏以及生物组织的粘接等<sup>[3]</sup>。

研究人员在开发用于潮湿环境下的强力胶黏剂时,都受到了“天然胶水”的启发,希望能够从仿生

的角度来解决这一难题。经过数百万年的进化,大自然中已经衍生出许多具有粘附能力的物种。陆地生物如壁虎和昆虫,采用分级的足部结构来增大接触面积,并通过范德华力和细毛实现可逆粘附;海洋生物如藤壶、沙堡蠕虫和贻贝,使用特殊的粘附蛋白在水中完成牢固的粘附<sup>[4]</sup>。其中,贻贝的粘附性能一直是人们关注的热点,因其能够在各种复杂潮湿的环境中固定自身。贻贝分泌的足丝蛋白(mussel foot proteins, mfps)多达20~30种<sup>[5]</sup>,而mfps-3与mfps-5中的一种名为3,4-二羟基苯丙氨酸(DOPA)的氨基酸占30%左右<sup>[6]</sup>。大量研究表明,

收稿日期:2024-06-11;修回日期:2025-02-05

作者简介:吴季鸿(1999-),男,硕士生,研究方向为丙烯酸酯类压敏胶,wujihong90125@126.com;钱军(1965-),男,博士,教授,研究方向为高分子材料,通讯联系人,qianjun@ecust.edu.cn。

DOPA 是其能够在海水环境中粘附的重要原因, DOPA 中具有的邻苯二酚基团又称儿茶酚基团, 可以通过形成氢键<sup>[7]</sup>、 $\pi$ - $\pi$  相互作用<sup>[8]</sup>、金属配位作用<sup>[9]</sup> 和共价交联<sup>[10]</sup> 等与基材表面相互作用, 形成稳定的水下粘接。

将含有儿茶酚基团结构的单体引入到聚合物中, 在表面修饰领域具有广阔的应用前景, 如防污涂层<sup>[11]</sup>、自修复弹性体<sup>[12]</sup>、抗菌水凝胶<sup>[13]</sup>、电池粘结剂<sup>[14]</sup> 等。然而, 这个过程中存在两方面问题: 其一, 含儿茶酚结构聚合物的制备方法较为复杂, 在聚合之前需对儿茶酚单体功能化, 引入可以参与聚合的双键官能团或其他可反应的官能团等; 其二, 功能化过程的成本较高。此外, 科研人员对多巴胺(DA)的功能化方法研究较多, 但对左旋多巴(L-DOPA)的研究较少, 二者均含有儿茶酚结构, 并且 L-DOPA 的价格相对低廉。

因此, 笔者通过酰胺化反应将 L-DOPA 单体功能化, 然后经自由基溶液聚合制备出性能优异的可在潮湿表面进行粘贴的丙烯酸酯压敏胶。

## 1 试剂与仪器

### 1.1 试剂

甲基丙烯酰氯(MAC)、左旋多巴(L-DOPA)、十水合四硼酸钠、氢氧化钠、碳酸氢钠, 分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司生产; 浓硫酸, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司生产; 四氢呋喃、无水硫酸镁, 分析纯, 上海阿拉丁生化科技有限公司生产; 丙烯酸异辛酯、乙酸乙酯、丙烯酸、偶氮二异丁腈(AIBN)、交联剂 X-1, 化学纯, 上海宏顶房科技有限公司生产; 可聚合单体 DMAA, 实验室自制。因为是工业项目研究, 所用单体均不进行提纯处理而直接使用。

### 1.2 仪器及设备

RW20 型机械搅拌器, 德国 IKA 公司生产; JA2102 型电子天平, 上海豪晟科学仪器有限公司生产; PHSJ-5 型 pH 计, 上海雷磁有限公司生产; ASCEND 600 型核磁共振仪, 德国 BRUKER 公司生产; B-260 型恒温水浴锅, 上海易友仪器有限公司生产; RE-3000B 型旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂生产; Nicolet iS10 型傅里叶变换红外光谱仪; DZF-6020 型真空干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司生产; KJ-6107B 型自动涂膜器、KJ-1065A 型拉力试验机、KJ-6031 型环形初粘试验机、KJ-6012A 型烘箱型保持力试验机, 广东科建仪器有限公司生产。

## 2 实验方法

### 2.1 可聚合儿茶酚单体 DMAA 的制备

选用左旋多巴与甲基丙烯酰氯反应合成可聚合儿茶酚单体 DMAA, 如图 1 所示。

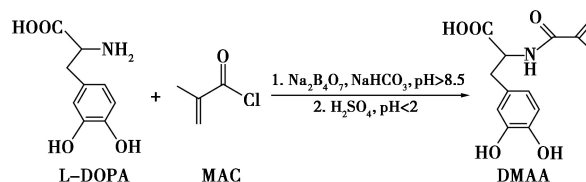


图 1 可聚合儿茶酚单体 DMAA 的合成路线

具体实验方法如下:

(1) 将 20 g 十水合四硼酸钠和 10 g 碳酸氢钠溶解在 200 mL 去离子水中; 通入  $N_2$  搅拌 30 min 后, 加入 10 g L-DOPA, 并持续搅拌至澄清透明后, 在氮气保护下, 将 6.5 g 甲基丙烯酰氯和 50 mL THF 的混合溶液加入反应溶液中, 并滴加 1.5 mol/L NaOH 溶液控制 pH 在 8.5 以上。滴加完毕后, 在 30℃ 通氮气条件下, 持续搅拌反应 12 h。

(2) 反应完成后, 过滤并用乙酸乙酯洗涤, 用 2 mol/L 硫酸将滤液调节至 pH 小于 2, 并用乙酸乙酯萃取收集上层有机相, 然后用 50 mL 去离子水洗涤, 再用 5 g 无水硫酸镁干燥除水后低温旋蒸至 50 mL 左右, 最后在 70℃ 下真空干燥, 得到产物 DMAA。

### 2.2 含儿茶酚结构丙烯酸酯压敏胶的合成

以 2-EHA、AA 和可聚合儿茶酚单体 DMAA 为原料, 以 AIBN 为引发剂, 在 EAC 中反应, 合成出 3 种不同儿茶酚单体质量分数(2%、4%和6%)的压敏胶。方法如下:

(1) 称取 3 份 90 g 2-EHA 和 10 g AA, 按照表 1 所示的样品具体配方准确称取不同质量的 DMAA、占总单体质量 0.12% 的 AIBN 和质量分数 60% 的 EAC。

表 1 压敏胶样品的具体配方

样品编号	$m(2-EHA)/g$	$m(AA)/g$	$m(DMAA)/g$	$m(AIBN)/g$	$m(EAC)/g$
P2	90	10	2	0.1224	153
P4	90	10	4	0.1248	156
P6	90	10	6	0.1272	159

(2) 设定恒温水浴为 75℃, 将称量好的 2-EHA、AA、EAC 和可聚合儿茶酚单体 DMAA 充分搅

拌至 DMAA 完全溶解后, 分步加入引发剂, 在 75℃ 条件下持续搅拌反应 6 h。反应结束后停止加热, 待聚合物冷却至室温后取出, 并转移到密封容器中保存。

### 2.3 含儿茶酚结构丙烯酸酯压敏胶的交联

调整交联剂 X-1 的用量来控制压敏胶的交联度。具体的交联配方如表 2 所示。

表 2 压敏胶的交联配方

样品 编号	儿茶酚质量分数/ %	m(干胶)/ g	m(交联剂 X-1)/ g
P6-1	6	100	0.0976
P6-2	6	100	0.1220
P6-3	6	100	0.1464
P6-4	6	100	0.1708
P4-1	4	100	0.1008
P4-2	4	100	0.1260
P4-3	4	100	0.1512
P4-4	4	100	0.1764
P2-1	2	100	0.1040
P2-2	2	100	0.1300
P2-3	2	100	0.1560
P2-4	2	100	0.1820

将交联后的胶液用四面涂膜器涂布成 25 μm 的干胶膜, 并裁剪成 150 mm×25 mm 和 125 mm×25 mm 的标准样条用于后续测试。

## 3 测试与表征

### 3.1 pH 测试

利用 E-201F 型 pH 复合电极监测溶液的 pH。

### 3.2 电导率测试

利用 FE30 型电导率仪测试电导率时, 将探头完全浸没在液面以下再测试溶液的电导率。

### 3.3 核磁共振(<sup>1</sup>H-NMR)分析

利用 Ascend 600(600 MHz) 型核磁共振波谱仪对单体的结构进行表征, 选用氘代 DMSO 为溶剂进行核磁测试。

### 3.4 傅里叶变换红外光谱(FT-IR)分析

利用 Thermo Scientific Nicolet iS10 傅里叶变换红外光谱仪对单体的结构进行表征, 将 DMAA 固体与溴化钾(KBr)固体研磨均匀, 压制成标准压片进行红外测试, 扫描范围为 4 000~500 cm<sup>-1</sup>。

### 3.5 固含量测试

参照国家标准 GB/T6751 中所述方法进行固含量测试。

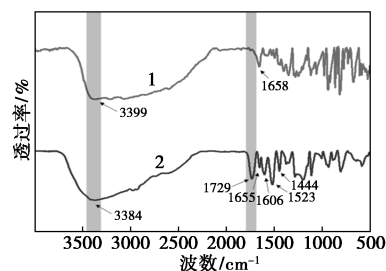
### 3.6 180°湿贴剥离强度测试

将涂布后的胶膜裁剪成标准胶条, 然后将离型纸与 PET 膜分离, 将胶条完全浸没在水中不同程度的水中浸泡, 水中浸泡时间分别为 0、20 min 和 24 h; 之后在水下将胶条按压到标准钢板上, 把贴有胶条的钢板继续在水下进行不同程度的浸泡, 水下粘贴时间分别为 20 min 和 24 h; 最后从水下取出, 并用 2 kg 的手动压辊来回滚压 3 次, 放置 20 min 并擦干后, 参照国家标准 GB/T 2792—2014 中所述的方法对含儿茶酚结构压敏胶进行 180°剥离强度测试。重复试验 3 次并计算其平均值。

## 4 结果与分析

### 4.1 可聚合儿茶酚单体 DMAA 的 FT-IR 表征

L-DOPA 和可聚合儿茶酚单体 DMAA 的红外光谱如图 2 所示。



1—L-DOPA; 2—DMAA

图 2 L-DOPA 和 DMAA 的红外光谱图

从图 2 中可以看出, 1 606、1 523 cm<sup>-1</sup> 和 1 444 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰对应于 DMAA 中苯环的伸缩振动。由于碳碳双键 C=C 的伸缩振动和酰胺基团中 N—H 的弯曲振动重叠, 在 1 655 cm<sup>-1</sup> 处仅出现 1 个吸收峰, 对应于 DMAA 的酰胺基团中 N—H 的弯曲振动。此外, 与 L-DOPA 的红外光谱相比, DMAA 的谱图中出现了羰基 C=O 的伸缩振动, 表现为 1 729 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰, 说明 L-DOPA 与甲基丙烯酸酰氯之间发生反应形成了酰胺共价键。除此之外, DMAA 在 3 384 cm<sup>-1</sup> 处还出现了一 OH 的吸收峰。以上分析表明, L-DOPA 与 MAC 之间成功发生了酰胺化反应。

### 4.2 DMAA 的 <sup>1</sup>H-NMR 表征

DMAA 的 <sup>1</sup>H-NMR 谱图如图 3 所示。

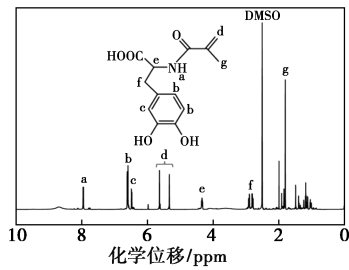
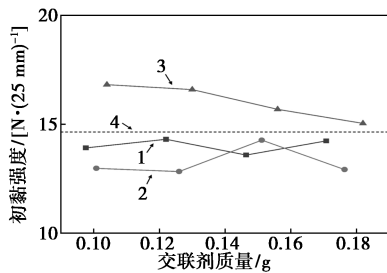


图 3 DMAA 的化学结构和 <sup>1</sup>H-NMR 谱图

从图 3 中可以看出,7.96 ppm 处的峰(峰 a)为酰胺基团(—NHCO—)中质子氢的特征峰;6.60 ppm 和 6.46 ppm 处的峰(峰 b、c)为苯环上质子氢的特征峰;5.63 ppm 和 5.33 ppm 处的峰(峰 d)为甲基丙烯酰氯中碳碳双键(C=C)结构中质子氢的特征峰;4.34 ppm 处的峰(峰 e)为左旋多巴中次甲基(—CH)氢的特征峰;2.75~2.96 ppm 处的峰(峰 f)为左旋多巴中亚甲基(—CH<sub>2</sub>)氢的特征峰;1.80 ppm 处的峰(峰 g)为甲基丙烯酰氯中甲基(—CH<sub>3</sub>)氢的特征峰。以上分析表明,成功制备出可聚合儿茶酚单体 DMAA。

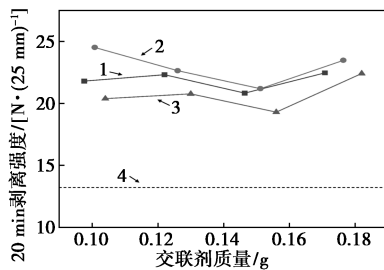
### 4.3 压敏胶的力学性能

儿茶酚单体的引入对胶黏剂影响可通过传统干态下的初黏、剥离强度和持黏进行评估,结果如图 4~图 7 所示。



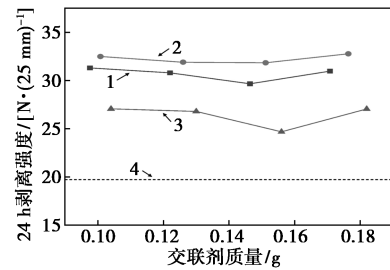
1—DMAA 6%;2—DMAA 4%;3—DMAA 2%;4—市售样品

图 4 儿茶酚单体引入对压敏胶初黏强度的影响



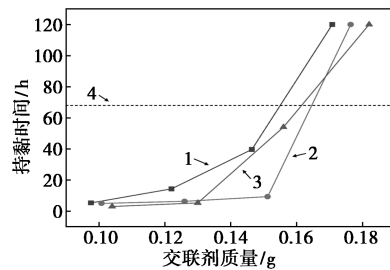
1—DMAA 6%;2—DMAA 4%;3—DMAA 2%;4—市售样品

图 5 儿茶酚单体引入对压敏胶 20 min 剥离强度的影响



1—DMAA 6%;2—DMAA 4%;3—DMAA 2%;4—市售样品

图 6 儿茶酚单体引入对压敏胶 24 h 剥离强度的影响



1—DMAA 6%;2—DMAA 4%;3—DMAA 2%;4—市售样品

图 7 儿茶酚单体引入对压敏胶持黏时间的影响

从图 4~图 7 中可以看出,相比于市售产品,儿茶酚单体的引入能明显提高产品的初黏和剥离强度,在高交联剂质量分数下,持黏也高于市售产品,但儿茶酚单体的添加量并不带来胶黏剂性能的单调变化,即存在添加极值现象,在高添加量下,初黏还下降,这与压敏胶的润湿与内聚平衡相关。

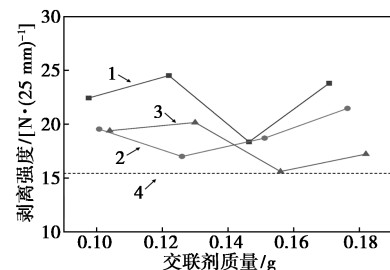
### 4.4 压敏胶在潮湿表面的粘贴性能

表征的水下粘贴性能方案如表 3 所示。

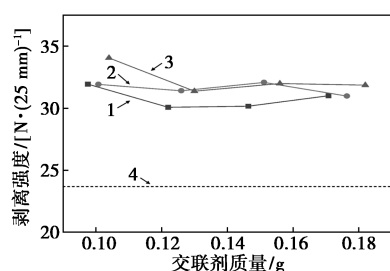
表 3 水下粘贴性能方案

胶膜贴钢板后 浸水时间	胶膜贴钢板前浸水时间		
	0 min	20 min	24 h
20 min	A	C	E
24 h	B	D	F

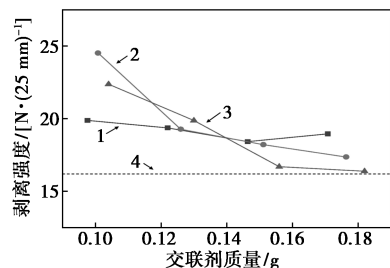
6 种情况(A~F)对压敏胶剥离强度的影响如图 8 所示。



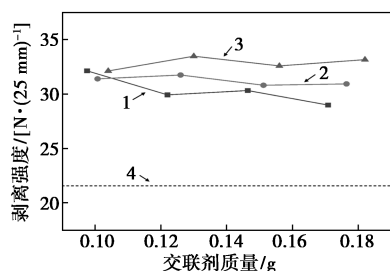
(a) A 儿茶酚单体和交联剂质量分数



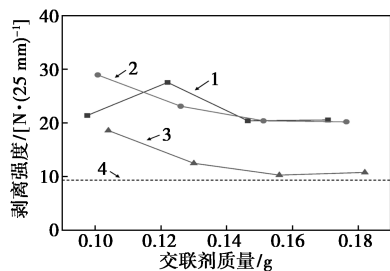
(b) B 儿茶酚单体和交联剂质量分数



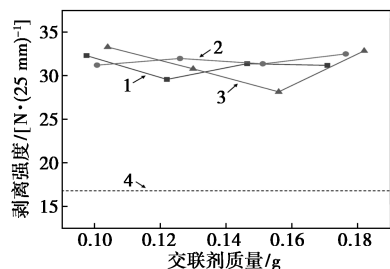
(c) C 儿茶酚单体和交联剂质量分数



(d) D 儿茶酚单体和交联剂质量分数



(e) E 儿茶酚单体和交联剂质量分数



(f) F 儿茶酚单体和交联剂质量分数

1—DMAA 6%; 2—DMAA 4%; 3—DMAA 2%; 4—市售样品

图 8 6 种儿茶酚单体和交联剂质量分数对压敏胶剥离强度的影响

由图 8 可见,市售产品的长时间水下浸泡对性能下降比较明显,而儿茶酚单体的引入,使压敏胶样

品在各种浸泡组合条件下都能保持较高的水下剥离强度,同样,儿茶酚单体的添加量并不带来胶黏剂性能的单调变化,依然存在添加极值现象,水下浸泡条件并未改变压敏胶的润湿与内聚平衡。

## 5 结论

利用儿茶酚结构的 L-DOPA 与甲基丙烯酰氯 (MAC) 并通过酰胺化反应制备出含有儿茶酚结构的可聚合单体 DMAA, 并选用软单体 2-EHA、功能单体 AA 和实验自制的可聚合儿茶酚单体 DMAA, 在 AIBN 的引发下, 通过自由基溶液聚合制备出溶剂型压敏胶, 对该压敏胶进行了各种水下条件的测试, 并与市售样品进行对比, 验证合成的压敏胶在潮湿表面的粘附性能, 结果如下:

(1) 红外与核磁测试结果表明, 可聚合儿茶酚单体合成有效。

(2) 可聚合儿茶酚单体的引入能明显提高产品的干态初黏和剥离强度, 在高交联剂质量分数下, 持黏也高于市售产品, 但儿茶酚单体的添加量并不带来胶黏剂性能的单调变化, 在高添加量下, 初黏还下降。

(3) 各种水中环境的粘贴测试表明, 可聚合儿茶酚单体的引入可以明显提高压敏胶在潮湿表面的粘附能力和粘贴稳定性, 胶膜在水下的浸泡时间越长, 越有利于可聚合儿茶酚结构与基材表面形成相互作用, 维持粘接性能。

## 参考文献

- [1] Li X, Deng Y, Lai J, *et al.* Tough, long-term, water-resistant, and underwater adhesion of low-molecular-weight supramolecular adhesives [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2020, 142 (11): 5371-5379.
- [2] Heinzmann C, Weder C, de Espinosa L M. Supramolecular polymer adhesives: Advanced materials inspired by nature [J]. *Chemical Society Reviews*, 2016, 45 (2): 342-358.
- [3] Brubaker C E, Messersmith P B. The present and future of biologically inspired adhesive interfaces and materials [J]. *Langmuir*, 2012, 28 (4): 2200-2205.
- [4] Moulay S. Dopa/Catechol-tethered polymers: Bioadhesives and biomimetic adhesive materials [J]. *Polymer Reviews*, 2014, 54 (3): 436-513.
- [5] Waite J H. Mussel adhesion-essential footwork [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2017, 220 (Pt 4): 517-530.
- [6] Lu Q, Danner E, Waite J H, *et al.* Adhesion of mussel foot proteins to different substrate surfaces [J]. *Journal of the Royal Society Interface*, 2013, 10 (79): 20120759.

(下转第 233 页)

釜内配体浓度的增加, 反应活性逐渐上升, 同时其 1-己烯的选择性逐渐上升, 1-辛烯的选择性逐渐下降。该变化趋势与反应温度有关, 当反应釜内催化剂浓度上升时, 反应放热增加, 实际反应温度更高。

### 3 结论

合成了一类含间位取代苯基的不对称 PNP 配体, 并测试了其在铬催化的乙烯齐聚反应中的应用。结果表明, 在 60°C 和 4 MPa 的乙烯压力下, 经助催化剂 MMAO-3A 活化后, 该类配体都能和  $\text{Cr}(\text{acac})_3$  原位结合催化乙烯选择性齐聚反应。其中, N-异丙基-P-二间甲基苯基取代的不对称 PNP 配体  $\text{L}^1$  活性高达 1 370 kg/(gCr·h), 1-己烯和 1-辛烯的总选择性为 85.0%, 均高于已报道的配体  $(\text{Ph}_2\text{P})_2\text{N}-i\text{Pr}$  (配体 A)。初步探究取代基的电子效应对此类 PNP 配体催化性能的影响发现, 在 PNP 配体一侧的苯基间位引入给电子基对催化性能改善的效果要优于吸电子基。

### 参考文献

- [1] 李彦. 国内线性  $\alpha$ -烯烃市场竞争性及应对分析[J]. 化学工业与工程技术, 2020, 041(1): 22-27.
- [2] 谭捷. 世界线性  $\alpha$ -烯烃的供需现状及发展前景[J]. 精细与专用化学品, 2020, 28(12): 16-19.
- [3] 曲梅. 线性  $\alpha$ -烯烃的生产与发展趋势[J]. 石化技术, 2020, 27(2): 349-350.
- [4] Jaseer E A, Garcia N, Barman S, *et al.* Highly efficient ethylene tetramerization using cr catalysts constructed with trifluoromethyl-substituted N-Aryl PNP ligands [J]. ACS Omega, 2022, 7: 16333-16340.
- [5] Barman S, Jaseer E A, Garcia N, *et al.* A rational approach towards selective ethylene oligomerization via PNP-ligand design with an N-triptycene functionality [J]. Chem Commun, 2022, 58: 10044-10047.
- [6] Zhang J, Alam F, Fan H, *et al.* Chromium catalysts based on PNP  $(\text{NR}_2)_2$  ligands for selective ethylene oligomerization [J]. Appl Organomet Chem, 2022, 36: e6454.
- [7] Lo Q, Pye D, Gesslbauer S, Sim Y, *et al.* Single- and double-bridged PNP ligands in chromium-catalysed ethylene oligomerisation [J]. Catal Sci Technol, 2022, 12: 4544-4551.
- [8] Liu R, Yang W, Li X, *et al.* Chromium-based complexes bearing N-substituted diphosphinoamine ligands for ethylene oligomerization [J]. ACS Omega, 2022, 7: 35933-35941.
- [9] Bollmann A, Blann K, Dixon J T, *et al.* Ethylene tetramerization: A new route to produce 1-octene in exceptionally high selectivities [J]. Journal of the American Chemical Society, 2004, 126(45): 14712-14713.
- [10] Blann K, Bollmann A, Dixon J T, *et al.* Highly selective chromium-based ethylene trimerisation catalysts with bulky diphosphinoamine ligands [J]. Chemical Communications, 2005, 5: 620-621.
- [11] Kim T H, Lee H M, Park H S, *et al.* MAO-free and extremely active catalytic system for ethylene tetramerization [J]. Applied Organometallic Chemistry, 2019, 33(4): e4829.
- [12] Alam F, Fan H, Dong C, *et al.* Chromium catalysts stabilized by alkylphosphanyl PNP ligands for selective ethylene tri-/tetramerization [J]. J Catal, 2021, 404: 163-173.
- [13] Blann K, Bollmann A, Brown G M, *et al.* Ethylene oligomerisation chromium catalysts with unsymmetrical PCNP ligands [J]. Dalton Trans, 2021, 50: 4345-4354.
- [14] Kuhlmann S, Dixon J T, Haumann M, *et al.* Influence of elevated temperature and pressure on the chromium-catalysed tetramerisation of ethylene [J]. Adv Synth Catal, 2006, 348: 1200-1206. ■

(上接第 228 页)

- [7] Mian S A, Yang L M, Saha L C, *et al.* A fundamental understanding of catechol and water adsorption on a hydrophilic silica surface: Exploring the underwater adhesion mechanism of mussels on an atomic scale [J]. Langmuir, 2014, 30(23): 6906-6914.
- [8] Lin D, Xing B. Adsorption of phenolic compounds by carbon nanotubes: Role of aromaticity and substitution of hydroxyl groups [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(19): 7254-7259.
- [9] Sever M J, Wilker J J. Absorption spectroscopy and binding constants for first-row transition metal complexes of a dopa-containing peptide [J]. Dalton Transactions, 2006, (6): 813-822.
- [10] Yang J, Cohen Stuart M A, Kamperman M. Jack of all trades: Versatile catechol crosslinking mechanisms [J]. Chemical Society Reviews, 2014, 43(24): 8271-8298.
- [11] 冯晓峰, 夏秀峰, 何春菊. 贻贝启发的两性离子纳米二氧化硅防污涂层的制备 [J]. 材料开发与应用, 2018, 33(2): 33-37.
- [12] Jin B, Liu M, Zhang Q, *et al.* Silicone oil swelling slippery surfaces based on mussel-inspired magnetic nanoparticles with multiple self-healing mechanisms [J]. Langmuir, 2017, 33(39): 10340-10350.
- [13] Han L, Liu K, Wang M, *et al.* Mussel-inspired adhesive and conductive hydrogel with long-lasting moisture and extreme temperature tolerance [J]. Advanced Functional Materials, 2017, 28(3): 1704195.
- [14] Jin B, Yang L, Zhang J, *et al.* Bioinspired binders actively controlling ion migration and accommodating volume change in high sulfur loading lithium-sulfur batteries [J]. Advanced Energy Materials, 2019, 9(48): 1902938. ■