

$\text{AlCl}_3\text{-N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3\cdot\text{HCl}$ 离子液体中 2-甲基萘乙酰基化的研究

冯汝明^{*1}, 梁春华¹, 张仁宝¹, 杨宏勋², 凌芳¹

(1. 上海沃凯生物技术有限公司, 上海 201507; 2. 国药集团化学试剂有限公司, 上海 200002)

摘要: 2-甲基-6-乙酰基萘是制备 2,6-萘二甲酸的重要中间体, 以 2-甲基萘与乙酰氯为反应物, 在三氯化铝的催化作用下生成 2-甲基-6-乙酰基萘。在三氯化铝-三乙胺盐酸盐离子液体中, $X(\text{AlCl}_3) = 0.5$ 时, 2-甲基萘与乙酰氯之间几乎不发生反应, 当 $X(\text{AlCl}_3) = 0.50 \sim 0.65$ 时, 随着三氯化铝含量的增加, 2-甲基萘的转化率与 2-甲基-6-乙酰基萘的收率均呈增加趋势。三氯化铝的含量超过 0.70 时, 离子液体中出现固-液两相, 乙酰基化反应时, 反应产物中 2-甲基-6-乙酰基萘的相对选择性下降。对比二氯乙烷、硝基苯、氯化铝-三乙胺盐酸盐 ($X(\text{AlCl}_3) = 0.5$) 与氯化铝-1-丁基-3-甲基咪唑氯盐 ($X(\text{AlCl}_3) = 0.5$) 为反应介质, 相同的 2-甲基萘与乙酰氯、三氯化铝比值下, 在离子液体中均呈现更高的 2-甲基-6-乙酰基萘选择性。

关键词: 乙酰氯; 2-甲基萘; 2-甲基-6-乙酰基萘; 乙酰基化; 离子液体

中图分类号: O65 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-3283(2024)11-0121-05

DOI: 10.13822/j.cnki.hxsj.2024.0327

Acylation of 2-Methylnaphthalene in Ionic-liquid Medium $\text{AlCl}_3\text{-N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3\cdot\text{HCl}$ FENG Ru-ming^{*1}, LIANG Chun-hua¹, ZHANG Ren-bao¹, YANG Hong-xun², LING Fang¹ (1. Shanghai Our ChemBio-Technology Co., Ltd., Shanghai 201507, China; 2. Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd., Shanghai 200002, China)

Abstract: 2-Methyl-6-acylnaphthalene is an important intermediate for the synthesis of 2,6-naphthalene dicarboxylic acid. AlCl_3 is usually used as an effective catalyst for the reaction between 2-methylnaphthalene and acetyl chloride, and 2-methyl-6-acylnaphthalene is obtained. In the ionic liquid system, such as TEA- AlCl_3 , when the content of AlCl_3 was fifty percent molar ratio, there was scarcely detected reaction between the 2-methylnaphthalene and acetyl chloride, when the content of AlCl_3 was located in the range of 0.50~0.65 the conversion of 2-methylnaphthalene and the yield of 2-methyl-6-acylnaphthalene increased dramatically as the result of AlCl_3 content. If the content of AlCl_3 in the ionic liquid was beyond 0.70 there would exist two-phase in the system, however the relative selectivity of 2-methyl-6-acylnaphthalene decreased. At the same molar ratio of 2-methylnaphthalene to acetyl chloride, comparing the effect of different solvents, the selectivity of 2-methyl-6-acylnaphthalene in the ionic liquid system was higher than the others.

Key words: acetyl chloride; 2-methylnaphthalene; 2-methyl-6-acetyl naphthalene; acylation; ionic liquid

聚萘二甲酸乙二醇酯 (PEN) 是一种高性能聚酯材料。相较于聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET), PEN 有更优越的气体阻隔性能、耐热以及耐辐射等性能, 具有更广阔的应用领域^[1-4]。在英国 BP Amoco 公司首次工业化生产聚合级的 PEN 单体 2,6-萘二甲酸 (2,6-NDA) 之后^[5], 多年来以较低成本合成 2,6-NDA 的前驱体 (2,6-二烷基萘或 2-甲基-6-乙酰基萘) 吸引着研究人员的关注^[6-9]。Jens 等^[10] 与 Dan 等^[11] 开展了早期的分子筛催化合成二甲基萘的研究工作, Roberto 等^[12] 在分子力学基础上建模, 分别选择以 MTW、MFI、MOR、BEA 等不同结构和孔道尺寸的分子筛为研究对象, 计算得到萘、甲基萘和二甲基萘各异构体从不同分子筛孔道中扩散出的最小能量路径。以 2-甲基萘或萘烷基化制备 2,6-二甲基萘时, 催化剂的失活速度较快, 目标产物的选择性

低, 且 2,6-二甲基萘/2,7-二甲基萘的比值不高; 虽然可以高选择性的催化合成 2,6-二异丙基萘或叔丁基萘, 以及较高的 2,6-二甲基萘/2,7-二甲基萘比值, 但是在后续的氧化反应过程中, 取代基团被氧化时, 这将导致更高的 CO_2 排放^[13]。2-甲基萘的烷基化反应, 因选择性与催化剂稳定性的问题, 并未有进一步的工业化研究。国内大连理工大学、北京石油化工学院的研究人员开展了 2-

收稿日期: 2024-06-12; 网络首发日期: 2024-09-13

作者简介: 冯汝明 (1980-), 男, 山东泰安人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为工业催化, E-mail: fengruming@sinopharm.com。

引用本文: 冯汝明, 梁春华, 张仁宝, 等. $\text{AlCl}_3\text{-N}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3\cdot\text{HCl}$ 离子液体中 2-甲基萘乙酰基化的研究 [J]. 化学试剂, 2024, 46(11): 121-125。

甲基萘的酰基化反应及下游产品的应用研究,选择 2-甲基萘为反应物,以三氯化铝为催化剂,在硝基苯溶剂中,分别选择了酰氯与酸酐做酰化试剂,通过工艺的调整优化^[14-19],实现 2-甲基-6-酰基萘的单程收率超过 90%。相对于烷基化工艺,在以 2-甲基萘为反应物时,酰基化工艺展现出更高的时空收率,特别是 2-甲基-6-酰基萘的选择性高,引起了工业研究人员的关注。2-甲基萘的酰基化工艺在反应过程中大都选择硝基苯做溶剂,由于硝基苯对环境与操作人员不友好,该工艺的研究还是限于工业中试行的规模,并未有进一步应用的报道。刘亮^[20]开展了以离子液体为反应介质的研究,2-甲基-6-丙酰基萘的收率达到 93%,但在反应过程中仍然选择硝基苯做助溶剂。有研究表明,当溶剂为二氯甲烷、二氯苯、硝基甲烷/硝基苯时,溶剂的极性将影响萘环上 α 、 β 位取代产物的相对含量,选择硝基苯或硝基甲烷等极性较强的溶剂时,有利于 β 位酰化产物的生成^[21-24]。图 1 为 2-甲基萘与乙酰氯在 AlCl_3 作用下生成乙酰基化产物的机理。通过图 1 可以看出,极性较强的反应介质可以促进该反应的进行。离子液体在常温下为液体,且具有较强的极性与较低的蒸气压,本文以三氯化铝-三乙胺盐酸盐离子液为反应介质^[25],研究影响 2-甲基萘酰化反应的因素,对比不同反应介质对 2-甲基-6-乙酰基萘选择性与收率的影响。

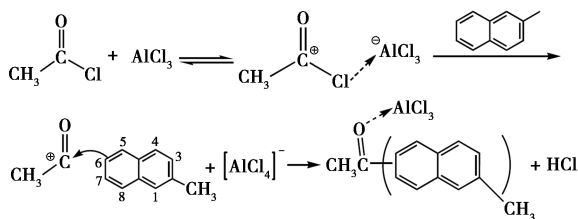


图 1 2-甲基萘与乙酰氯的可能反应机理

Fig.1 Possible mechanism of the reaction between 2-methylnaphthalene and acetyl chloride

1 实验部分

1.1 主要仪器与试剂

RV8 型旋转蒸发器 (IKA)、2XZ-2 型旋片真空泵 (临海市谭氏真空设备有限公司);DFY-10L/30 型低温恒温反应浴 (巩义市予华仪器有限责任公司);KQ-500DE 型数控超声波清洗器 (昆山超声仪器有限公司);H1-16K 型台式高速离心机 (苏州威尔实验用品有限公司);ME204/02 型电

子天平 (梅特勒-托利多仪器上海有限公司);GC-2014C 型气相色谱仪 (日本岛津公司);Agilent 1100 高效液相色谱仪 (安捷伦科技 (中国) 有限公司)。

2-甲基萘、乙酰氯、三乙胺盐酸盐、三氯化铝 (含量 $\geq 99.0\%$)、环己烷 (含量 $\geq 99.0\%$) (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 离子液体的制备

在氮气氛围下,称取 10.0 g 白色片状的三氯化铝晶体置于防爆玻璃试管内,将白色三乙胺盐酸盐粉末缓慢加入试管内,在 25 °C 下以频率 120 Hz 振荡玻璃试管,得到褐色粘稠透明液体。调整三乙胺盐酸盐的加入量与温度,可以获得不同三氯化铝含量的离子液体 (IL-X-AlCl_3),X 为加入三氯化铝在离子液体中的物质的量含量。

1.2.2 酰基化试剂的制备

在氮气氛围下,将 0 °C 的乙酰氯缓慢滴加到 0~5 °C 的三氯化铝-三乙胺盐酸盐离子液体中 (IL-X-AlCl_3),配制含有不同浓度乙酰氯的酰基化试剂。

1.2.3 乙酰基化反应

称取 2-甲基萘,溶于环己烷中,配制 30 wt% 含量的 2-甲基萘溶液,取 1.0 g 2-甲基萘溶液,置于反应管中,浸泡在 0 °C 的乙醇恒温液中。在氮气氛围下,将酰基化试剂滴加到 2-甲基萘溶液中,在滴加过程中,开启搅拌,转速在 360 r/min,滴加结束后,继续搅拌 0.5 h,取出反应产物分析。

1.2.4 分析方法

将反应产物先用 5.0 mol/L 稀盐酸溶液进行淬灭,然后用等体积的环己烷萃取 3 次,将收集到的萃取液中和,干燥后将产物分别进行液相色谱与气相色谱分析。

HPLC 分析:Agilent 1100 型高效液相色谱仪;C18 分离柱;流速 0.2 mL/min;流动相配比为 $V(\text{乙腈}):V(\text{水}) = 50:50$;检测器波长 245 nm。

GC 分析:GC-2014C 型气相色谱仪;KB-5 毛细管柱;分流比 60;气化室温度 280 °C;初始柱温 140 °C,保持 2 min,按照 20 °C/min 升温到 320 °C 保持 5 min,降温;FID 检测器。

2 结果与讨论

2.1 不同三氯化铝含量的离子液体中乙酰化反应

三氯化铝是典型的 Lewis 酸催化剂,既可以

作为 2-甲基萘酰基化反应的催化剂,也可以用于制备氯铝型离子液体。本文以三氯化铝-三乙胺盐酸盐型离子液体为反应介质,研究不同氯化铝含量下 2-甲基萘的乙酰化反应情况。表 1 列出了在不同三氯化铝加入量下,2-甲基萘与乙酰氯的反应数据。由表 1 可以看出,当离子液体中三氯化铝物质的量浓度为 0.5 时,在无外加三氯化铝的情况下,2-甲基萘与乙酰氯几乎没有反应,表明离子液体对该反应是没有催化效果的,这与 Christopher 等^[25]的研究结论是相符的。当 AlCl_3 在反应物中物质的量比由 0.2 增加到 1.2 时,2-甲基萘的转化率由 16.5% 增加到 91.5%;2-甲基-6-乙酰基萘的收率从 13.4% 上升到 78.6%,其选择性由 81.2% 增加到 86.8%,在相同的反应温度与时间下,增加三氯化铝的物质的量比可以显著提高 2-甲基萘的转化率与 2-甲基-6-乙酰基萘的收率,2-甲基-6-乙酰基萘的选择性略有提高。当三氯化铝在离子液中的含量由 0.5 增加到 0.6、0.65 时,反应物中均不含有三氯化铝,2-甲基萘的转化率由不足 0.5% 增加到 91.5%、94.6%;由此可以看出,2-甲基萘的转化率同离子液体中三氯化铝的含量正相关性,在 25℃ 继续增加离子液体中三氯化铝的加入量,当三氯化铝的重量含量超过 70% 时,出现固-液两相。在相同的反应物物质的量比值、温度、时间条件下,2-甲基萘的转化率无显著增加,但 2-甲基-6-乙酰基萘的收率低于 90.0%,这表明非均一的反应体系对目标产物 2-甲基-6-乙酰基的选择性不利的。

表 1 加入不同量三氯化铝离子液体
2-甲基萘的乙酰化^注

Tab.1 Influence of different content of AlCl_3 in the IL							
序号	$X(\text{AlCl}_3)$	$n(2\text{-甲基萘}):$ $n(\text{乙酰氯}):$ $n(\text{三氯化铝})$	温度/ ℃	时间/ h	2-甲基 萘转化 率/%	2-甲基-6- 乙酰基萘的 收率/%	
1	0.50	1:1.0:—	15	2.0	<0.5		
2	0.50	1:1.2:0.2	15	2.0	16.5	13.4	
3	0.50	1:1.2:0.6	15	2.0	47.6	40.2	
4	0.50	1:1.2:1.2	15	2.0	90.5	78.6	
5	0.60	1:1.2:—	15	2.0	91.5	84.8	
6	0.60	1:1.2:0.6	15	1.0	92.2	86.2	
7	0.65	1:1.2:—	25	0.5	94.6	90.8	

注:实验条件为 10.0 g 离子液体,1.0 g 30 wt% 甲基萘溶液。

2.2 温度、时间与反应物比对产物分布的影响

由 2.1 可以看出, $X(\text{AlCl}_3) = 0.65$ 的离子液

体表现出更优的反应性能。而从图 1 的反应机理看出,三氯化铝将以等当量的方式参与到反应中,在反应产物中与乙酰基萘形成配合物。随着酰基化反应的进行,离子液体中的三氯化铝将被消耗,离子液体的组成发生变化。在酸性离子液体中($X(\text{AlCl}_3) > 0.5$),不加入三氯化铝,酰化反应仍能够进行,但转化率并未随 X 的增加而线性增加,这主要是由于离子液体中“游离态”的三氯化铝物质的量高于理论消耗值的情况下进行乙酰基化反应。表 2 中列出 $X(\text{AlCl}_3) = 0.65$ 的三氯化铝-三乙胺盐酸盐中,反应温度、时间以及原料配比对反应及产物分布的影响,其中三氯化铝与乙酰氯的物质的量比值保持在 1.0。David 等^[21]的研究工作主要是研究浓度、温度、时间以及溶剂对 α 位与 β 位反应速率常数的影响,提供了反应动力学研究数据,并指出有利于 β 位取代产物的因素。2-甲基萘的乙酰基化反应在三氯化铝的催化作用下,由于在 0℃ 以下时,离子液体的粘度迅速增加,流动性变差;乙酰氯的沸点在 52℃,试验温度区间选择 0~40℃。通过表 2 可以看出,在此温度区间内,2-甲基萘的转化率随着温度升高而增加,2-甲基-6-乙酰基萘的选择性为 87%~89%,没有明显变化,表明升温对反应是有利的;当反应时间由 0.25 h 增加到 0.5 h 时,转化率与收率增加,而 2-甲基-6-乙酰基萘的选择性为 87%~90%,同温度参数的影响接近。反应物配比中, $n(\text{乙酰氯}):n(\text{三氯化铝}) = 1:1$ 的情况下, $n(\text{乙酰氯}):n(2\text{-甲基萘})$ 比例由 1.0:1 增加到 1.2:1 时,2-甲基萘的转化率增加 3%,收率由 63.4% 增加到 66.2%。由表 2 的实验数据可以看出,延长反应

表 2 温度、时间与反应物比值对产物分布的影响^注

Tab.2 Influence of temperature, time and molar ratio on the product distribution					
序号	温度/ ℃	时间/ h	$n(2\text{-甲基萘}):$ $n(\text{乙酰氯}):$ $n(\text{三氯化铝})$	2-甲基萘 转化率/%	2-甲基-6- 乙酰基萘的 收率/%
1	0	0.5	1:1.0:1.0	58.3	51.2
2	10	0.5	1:1.0:1.0	62.5	56.4
3	20	0.5	1:1.0:1.0	64.5	57.4
4	30	0.5	1:1.0:1.0	65.3	58.7
5	40	0.5	1:1.0:1.0	70.5	63.4
6	30	0.25	1:1.2:1.2	62.9	55.7
7	40	0.25	1:1.2:1.2	64.5	57.4
8	40	0.5	1:1.2:1.2	73.5	66.2

注:实验条件为 10.0 g 离子液体,1.0 g 30 wt% 甲基萘溶液。

时间与增加反应温度有利于提高 2-甲基-6-乙酰基萘的收率,当乙酰氯与 2-甲基萘的比值增加 20%时,2-甲基-6-乙酰基萘的选择性并未降低,表明适当的提高乙酰氯与 2-甲基萘的比值有利于获得更高的收率。

2.3 滴加工工艺的影响

25 °C 下三氯化铝-三乙胺盐酸盐的粘度较大,流动性差,当 $X(\text{AlCl}_3) > 0.6$ 时,该现象更为明显。三氯化铝与乙酰氯在室温下与空气中的水蒸气反应而失效,因此乙酰化反应需要在干燥的惰性气体氛围中进行;在 99.99% 氮气氛围下,考察了 3 种间歇加料的工艺方式,并对比分析加料方式对反应的影响:A) 按照 $n(\text{三氯化铝}) : n(\text{乙酰氯}) = 1:1$ 混合,加到 2-甲基萘溶液与离子液体 ($X(\text{AlCl}_3) = 0.65$) 的混合液体中;B) 按照 $n(\text{乙酰氯}) : n(2\text{-甲基萘溶液}) = 1.2:1$ 混合,加到三氯化铝与离子液 ($X(\text{AlCl}_3) = 0.65$) 体中;C) 按照 $n(\text{三氯化铝}) : n(\text{乙酰氯}) = 1:1$ 混合,再与离子液体 ($X(\text{AlCl}_3) = 0.65$) 混合,加到 2-甲基萘溶液中。

图 2 为 3 种不同加料方式下,2-甲基萘转化率与 2-甲基-6-乙酰基萘收率的数据,为了获得较高选择性的 2-甲基-6-乙酰基萘,3 组对比实验均避开将 2-甲基萘溶液加到乙酰氯体系中的混合方式,在反应体系中保持较高的 2-甲基萘与乙酰氯摩尔比,避免乙酰氯与酰基化产物深度反应。由图 2 可以看出,2-甲基萘的转化率顺序由大到小, $A > C > B$; 2-甲基-6-乙酰基萘的收率由高到低的顺序为 $C > A > B$ 。由此看出,加料方式 C 可以获得更高 2-甲基-6-乙酰基萘的收率,虽然加料方式 A 中 2-甲基萘的转化率高,但是 2-甲基-6-乙酰基萘的选择性较低,表明该种混合方式存在较多的副反应;可能的原因就是 2-甲基萘溶液与离子液体的相溶性较低,而离子液体与三氯化铝乙酰氯混合时,其相溶性较高。

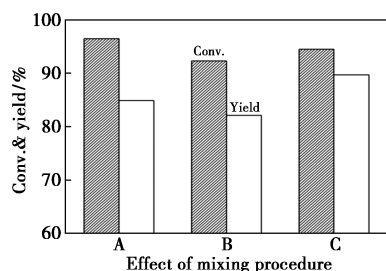


图 2 不同加料方式对反应的影响

Fig.2 Influence of mixing method on the reaction

2.4 不同介质下 2-甲基-6-乙酰基的选择性分析

David 等^[21]前期的研究工作表明,在 2-甲基萘的乙酰基化反应过程中,溶剂的极性对产物的分布有着明显的影响,当溶剂的极性增加时, β 位产物的选择性增加,在以硝基苯为溶剂时, β 位取代产物的选择性高于 α 位取代产物,但是研究人员并未进一步阐明,并未尝试其它高极性的介质的影响。表 3 列举了分别以二氯乙烷、硝基苯与离子液为反应介质的实验数据,并对比 2-甲基-6-乙酰基萘的选择性。在相同的反应物配比情况下,三氯化铝在二氯乙烷中的溶解度小于硝基苯与离子液体,存在微量未完全溶解的三氯化铝。氯化铝-三乙胺盐酸盐与氯化铝-1-丁基-3-甲基咪唑氯盐均选择了中性离子液体, $X(\text{AlCl}_3) = 0.5$ 时,按照 2.3 加料方式 C 进行混合。由表 3 可以看出,在氯化铝-1-丁基-3-甲基咪唑氯盐离子液体中,2-甲基-6-乙酰基萘的选择性是 92.0%,同三氯化铝-三乙胺盐酸盐离子液体,其选择性都高于二氯乙烷。表明在以离子液体为反应介质时,可以获得更高的 2-甲基-6-乙酰基萘选择性。

表 3 不同介质下,2-甲基-6-乙酰基萘的选择性^注

Tab.3 Selectivity of 2-methyl-6-acetyl naphthalene in the different medium

介质	温度/ °C	时间/ h	2-甲基-6-乙酰 基萘的选择性/%
二氯乙烷	20	0.5	40.5
硝基苯	20	0.5	90.2
氯化铝-三乙胺盐酸盐	40	0.5	91.8
氯化铝-1-丁基-3- 甲基咪唑氯盐	40	0.5	92.0

注:实验条件为 10.0 g 反应介质,1.0 g 30 wt% 甲基萘溶液, $n(2\text{-甲基萘}) : n(\text{乙酰氯}) : n(\text{三氯化铝}) = 1:1.2:1.2$ 。

3 结论

氯化铝-三乙胺盐酸盐离子液体是一种强极性的介质,挥发性小,对三氯化铝的溶解性能优于二氯乙烷与硝基苯,在应用于 2-甲基萘与乙酰氯的乙酰基化反应时,中性 ($X(\text{AlCl}_3) = 0.5$) 的氯化铝-三乙胺盐酸盐表现出极低的活性,需要额外的三氯化铝。而酸性 ($X(\text{AlCl}_3) = 0.5 \sim 0.65$) 的氯化铝-三乙胺盐酸盐表现出较高的催化活性与选择性,在氯化铝-1-丁基-3-甲基咪唑氯盐离子液体中乙酰化时,2-甲基-6-乙酰基萘的选择性达到 90% 以上。

参考文献:

- [1] 任笑荷, 杨化浩, 者东梅, 等. 聚萘二甲酸乙二醇酯的应用现状和前景展望[J]. 石油化工, 2021, **50**(6): 616-621.
- [2] 刘万治, 谢刚. PEN 及其中间体 2,6-萘二甲酸简介[J]. 聚酯工业, 2006, **19**(4): 7-10.
- [3] 贾振福, 席祯珂. 聚萘二甲酸乙二酯的生产和应用[J]. 合成树脂及塑料, 2015, **32**(3): 82-86.
- [4] RICCARDO P, ERNESTO O, GIORGIO G, et al. New polymeric materials for containers manufacture based on PET/PEN copolyesters and blends [J]. *Polym. Advan. Technol.*, 1995, **7**(5): 365-373.
- [5] LILLWITZ L D. Production of dimethyl-2, 6-naphthalenedicarboxylate: Precursor to polyethylene naphthalate [J]. *Appl. Catal. A-Gen.*, 2001, **221**(1): 337-358.
- [6] FANG L, JIHONG S, QUANSHENG L, et al. Naphthalene alkylation with i-PrOH over bimodal mesoporous catalysts containing alumina [J]. *Stud. Surf. Sci. Catal.*, 2007, **165**: 651-654.
- [7] KOZO T, WOLFGANG F H. Industrial application of solid acid-base catalysts [J]. *Appl. Catal. A-Gen.*, 1999, **181**(2): 399-434.
- [8] GIUSEPPE B, ROBERTO M, PAOLO P, et al. Zeolite science and technology at Eni [J]. *New J. Chem.*, 2016, **40**(5): 4 061-4 077.
- [9] KEITH S, GAMAL A E. Use of zeolites for greener and more para-selective electrophilic aromatic substitution reactions [J]. *Green Chem.*, 2011, **13**(7): 1 579-1 608.
- [10] JENS W, MARITA N. Shape selective reactions of alkyl-naphthalenes in zeolite catalysts [J]. *Stud. Surf. Sci. Catal.*, 1991, **60**: 291-301.
- [11] DAN F, MARGARET C, BARUCH I, et al. Shape-selective alkylation of naphthalene and methylnaphthalene with methanol over H-ZSM-5 zeolite catalysts [J]. *J. Catal.*, 1986, **101**(2): 273-283.
- [12] ROBERTO M, FRANCESCO F, GIUSEPPE B. A priori selection of shape-selective zeolite catalysts for the synthesis of 2, 6-dimethylnaphthalene [J]. *J. Catal.*, 2003, **217**(2): 298-309.
- [13] KEITH S, GAMAL A E. Use of zeolites for greener and more para-selective electrophilic aromatic substitution reactions [J]. *Green Chem.*, 2011, **13**(7): 1 579-1 608.
- [14] 王沛. 2,6-萘二甲酸的合成及含二氮杂萘酮结构新型聚芳酰胺的制备[D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [15] 王沛, 蹇锡高. 2-甲基-6-酰基萘的合成[J]. 大连海事大学学报, 2008, **34**(1): 1-5.
- [16] 刘建东. 2,6-萘二甲酸的制备及含二氮杂萘联苯结构聚芳酰胺的合成[D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [17] 徐静文, 王远, 石支尧, 等. 2-甲基-6-乙酰基萘的合成及分子结构解析[J]. 洁净煤技术, 2023, **29**(1): 39-47.
- [18] 李文鹏. 微通道反应器中 2-甲基萘酰基化反应制备 2-甲基-6-酰基萘的研究[D]. 北京: 北京石油化工学院, 2018.
- [19] 李书利. 2-甲基-6-酰基萘的合成[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [20] 刘亮. 2-甲基萘酰化氧化反应合成 2,6-萘二甲酸的研究[D]. 上海: 东华理工大学, 2012.
- [21] DAVID D, PETER H G, DAVID N W. The friedel-crafts acetylation of naphthalene in 1, 2-dichloroethane solution. kinetics and mechanism [J]. *J. Chem. Soc. Perkin Trans.*, 1991, **8**: 1 149-1 159.
- [22] GARY W K. The acetylation of naphthalene and the formation of (chlorovinyl) naphthalenes therein [D]. Still Water: Oklahoma State University, 1976.
- [23] HUBERT E S. Friedel-crafts acetylation of 1- and 2-methylnaphthalene [D]. Still Water: Oklahoma State University, 1978.
- [24] GORE P H, SIDDIQUEI A S, THORBURN S. Friedel-crafts acylations of aromatic hydrocarbons. part XV acetylation of 2-methylnaphthalene [J]. *J. C. S. Perkin I*, 1972: 1 781-1 788.
- [25] CHRISTOPHER J A, MARTYN J E, GLYN R, et al. Friedel-Crafts reactions in room temperature ionic liquids [J]. *Chem. Commun.*, 1998, (19): 2 097-2 098.