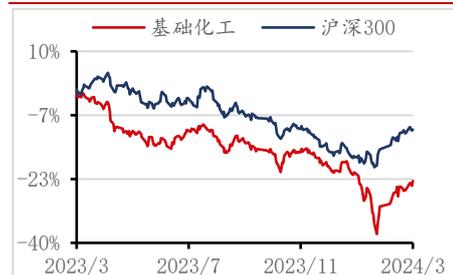


基础化工行业周专题 (3.11-3.17)

投资建议： 强于大市（维持）
上次建议： 强于大市

COFs 专题研究：大有可为的有机多孔材料

相对大盘走势



三大痛点使得 COFs 材料产业化受阻

多孔材料因吸附和催化功能优异，近年来备受关注，其中 COFs 因为稳定性高、密度低等优势，具备大规模商业化应用的价值，而通过单体的调整改变孔径大小，更是赋予了 COFs 材料在设计和应用方面更多的可能。受制于发展时间较短、主流的溶剂热法难以实现大规模制备、结晶度痛点使得核心性能难以同时满足等因素，COFs 材料的产业化进程相对较慢。

规模化制备的突破传递出积极信号

COFs 技术壁垒主要在于：多学科交叉、大规模制备、高结晶度的获取。溶剂热法是 COFs 制备最为成熟的方法，但难以大规模工业化。近年来南开大学张振杰教授开发的熔融聚合法实现了公斤级突破，且成本从 5 万美元/kg 优化至百美元/kg 以下，有望率先实现 COFs 的大规模工业化生产。随着在不可逆反应得到的材料基础上持续优化迭代，高结晶度的痛点亦将被解决。

COFs 可能是最出色的气体吸附材料

COFs 可用于水污染治理及海水脱盐、也可能是最出色的气体吸附材料；可作为锂离子电池的电极材料、隔膜、电解质以及储能材料；可作为无金属催化剂或者催化剂载体；并可在生物医学的多个细分领域发挥作用。

以 MOFs 为鉴，COFs 商业化进程或加速

MOFs 比 COFs 早发现十年，如今 MOFs 的商业化应用已初见端倪，巴斯夫和碳语新材皆宣布已实现 MOFs 商业化规模生产。据不完全统计，2022 年 MOFs 市场规模达 22.24 亿元，预计 2028 年将达到 87.15 亿元，年复合增长速率超 25%。而相比 MOFs，COFs 解决结晶度痛点后有望在工业领域发挥更佳的效果。纵观 MOFs 产业化之路，理论基础的积累、时间的沉淀、业界的推动是必备要素，而 COFs 有望在这些进程上获得加速。

投资建议：关注 COFs 产业化进程

COFs 是一类性能极佳，有望在多个领域发挥较大作用的有机多孔新材料，但目前受制于难以大规模制备、高结晶度获取困难使得性能难以平衡，COFs 的产业化进展缓慢。但近期规模化制备方面已展现出积极信号，科学技术的进步也将解决高结晶度的痛点，我们认为可积极关注 COFs 产业化进程。

相关标的：宝丽迪

宝丽迪是国内纤维母粒龙头，公司联手国内 COFs 领军人物—南开大学张振杰教授，共同推进 COFs 材料的量产与商业化进程。

风险提示：COFs 材料规模化生产遭遇瓶颈、市场拓展不及预期、成果和设备转化风险、知识产权风险

作者

分析师：柴沁虎
执业证书编号：S0590522020004
邮箱：chaiqh@glsc.com.cn

联系人：申起昊
邮箱：shenqh@glsc.com.cn

联系人：李绍程
邮箱：lishch@glsc.com.cn

相关报告

- 《基础化工：中国轮胎加速出海，性价比开启“全球替代”》2024.03.13
- 《基础化工：蛋氨酸景气改善进行中？》2024.03.09

正文目录

1.	积累少/难以规模化/性能平衡困难使得 COFs 产业化受阻	4
1.1	COFs 性能优势明显但产业化尚需时日	4
1.2	拓扑学设计结构决定孔径大小	7
1.3	单体骨架设计功能决定材料性能	8
2.	规模化制备突破后关注高结晶度的获取	10
2.1	合成方法：熔融聚合法有望实现大规模合成	10
2.2	后修饰：赋予材料更多的性能	12
2.3	形貌：薄膜或最有前景	13
2.4	技术壁垒：高结晶度是 COFs 痛点	14
3.	COFs 在多个领域展现了优异的性能	15
3.1	水处理：重金属离子和污染物的去除	15
3.2	气体存储与分离：最出色的气体吸附材料之一	16
3.3	锂电池：具备电极/隔膜/电解质材料应用潜力	18
3.4	催化：无金属催化剂或兼具环保和成本优势	19
3.5	生物医学：拥有 PDT 和基因传递等应用前景	21
4.	从 MOFs 透视 COFs 的产业化之路	22
4.1	MOFs 已实现商业化量产	22
4.2	MOFs 产业化带来的三点借鉴	23
5.	投资建议：关注 COFs 产业化进程	25
6.	风险提示	25

图表目录

图表 1:	多孔材料分类	5
图表 2:	COFs 结构和特点	6
图表 3:	关于 COFs 材料每年的文献数量	7
图表 4:	基于结构和功能对 COFs 进行设计	7
图表 5:	设计二维和三维 COF 的拓扑学原理图	7
图表 6:	不同化学键构筑的 COFs 发展历程	9
图表 7:	不同化学键构筑的 COFs 的性质差别	9
图表 8:	通过对单体的微调实现 COFs 孔径大小的改变	10
图表 9:	COFs 合成方法首次报道时间线	11
图表 10:	COFs 各类合成方法的优缺点	11
图表 11:	张振杰教授的低成本百克级别 COFs 的合成	12
图表 12:	张振杰教授成功实现千克级别 COFs 的合成	12
图表 13:	COFs 材料的修饰及 COFs 衍生材料	13
图表 14:	界面法制备 COFs 薄膜	14
图表 15:	COFs 的技术壁垒	15
图表 16:	COFs 吸附重金属离子机理示意图	16
图表 17:	COFs 膜材料用于海水脱盐	16
图表 18:	COFs 吸附重金属离子机理示意图	17
图表 19:	不同 COFs 对气体的吸附值和其他材料的对比	17
图表 20:	利用 COFs 实现 C2 混合物中乙烯的分离	18
图表 21:	电中性/离子 COFs 与锂离子盐相互作用的示意图	19
图表 22:	与 COFs 催化相关的文献数占比逐年走高	20
图表 23:	COFs 催化的反应类型和催化形式	21
图表 24:	COFs 材料在生物医学领域的应用	21

图表 25: MOFs 商业化之路	23
图表 26: 碳语新材生产的 MOFs 材料	23
图表 27: 巴斯夫生产的 MOFs 材料 (CALF-20)	23
图表 28: 与 MOFs 相关的文献数和其与 COFs 文献增长速度的比较	24

1. 积累少/难以规模化/性能平衡困难使得 COFs 产业化受阻

无论在科研界还是工业界，多孔材料都是近年来备受瞩目的一类新材料，其具备网状结构，具有密度低、表面积大的特点，能够在多领域发挥独特的吸附和催化作用。

有机多孔材料比无机多孔材料可设计性更高，MOFs 和 COFs 是近年来最具代表的两类有机多孔材料，其中 COFs 因为稳定性更高、密度更低等优势，具备大规模商业化应用的价值。但受制于发展时间较短、主流的溶剂热法难以实现大规模制备、结晶度痛点使得核心性能难以同时满足等因素，COFs 材料的产业化进程相对较慢。

COFs 的结构可通过拓扑学进行设计，功能则根据单体骨架进行设计。目前硼基、亚胺基和三嗪基 COFs 是最常见、应用最为广泛的三类键型。

1.1 COFs 性能优势明显但产业化尚需时日

1.1.1 多孔材料是一类具有网络结构的材料，具备催化和吸附等功能

无论在科研界还是工业界，多孔材料都是近年来备受瞩目的一类新材料。顾名思义，多孔材料就是一种由相互贯通或封闭的孔洞构成网络结构的材料，多孔的结构使得这类材料具有密度低、比表面积大（1 克材料可以拥有大约一个足球场大小的表面积）等特点，规整的孔道结构又使得其在催化、吸附分离等领域能够发挥独特的作用。

可以简单将多孔材料分为无机多孔材料和有机多孔材料。天然形成的多孔材料多为无机材料，例如活性炭、硅藻土、天然沸石等，无机材料还包括人工制备的人造沸石；有机材料则包括多孔有机笼（POCs）、金属有机框架（MOFs）、氢键有机框架（HOFs）、多孔有机聚合物（POPs）等。

1.1.2 有机多孔材料可设计性强，MOFs 和 COFs 研究热度最大

天然形成的多孔材料多为无机材料，稳定性较好，成本较低，但密度相对较大，结构多样性有限。其中人造沸石，也即分子筛，是目前产业化程度最为成熟的一类材料。但传统分子筛结构属性不易改变的缺陷，使这种材料的应用范围受到限制。

相比之下，有机多孔材料具备较强的可设计性、孔道尺寸可调节性，以 MOFs 和 POPs 为主。

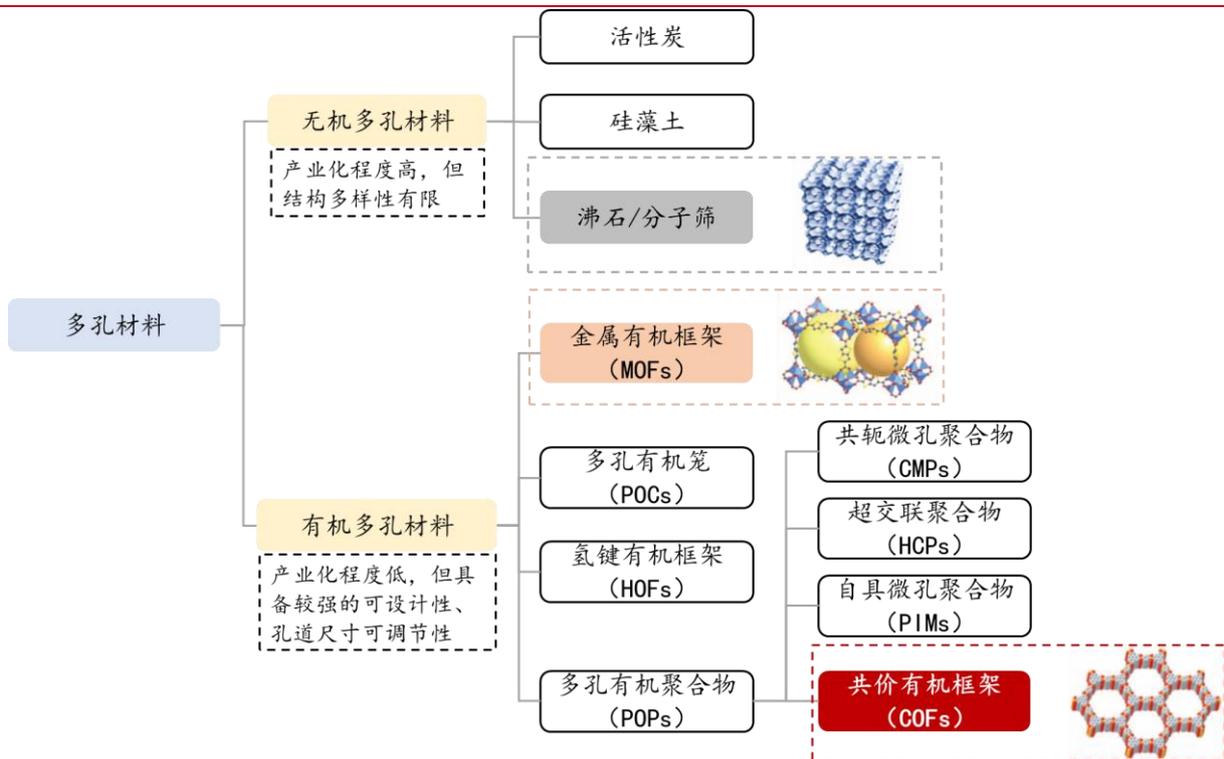
MOFs 一般以金属离子为连接点，有机配位体支撑构成空间 3D 延伸。

POPs 材料主要分为非结晶性和结晶性两类。非结晶性的 POPs 包括共轭微孔聚合物（CMPs）、超交联聚合物（HCPs）、自具微孔聚合物（PIMs）等，而共价有机框架（covalent organic frameworks, COFs）是唯一具有结晶性的 POPs 材料。

MOFs 和 COFs 是近年来最具代表的两类有机多孔材料或者框架材料，MOFs 以金属为中心，靠离子键、配位键连接，制备相对简单，但稳定性较差；COFs 由共价键

连接，结构更稳定，密度更低，但制备相对困难，结晶性略差。

图表1：多孔材料分类



资料来源：《Function-led design of new porous materials》(Science 2015, 348 (6238))，《多级孔 COFs 材料的设计、合成及应用》(边宇)，《共价有机骨架的设计、合成与应用进展》(初楚)，国联证券研究所

1.1.3 COFs 材料具备大规模商业化应用的价值

简言之，COFs 就是由轻质的有机分子基元通过共价键连接而形成二维 (2D) 或三维 (3D) 的周期性网络结构。为了方便理解，2D COFs 和 3D COFs 的结构可以跟石墨和金刚石作类比。

COFs 结构非常规律，这也是其最重要的性质之一，即结晶性。较优异的结晶性使得 COFs 材料拥有规整的一维孔道，能让小分子通过(结晶性不如 MOFs)。由于 COFs 单体的可选择性范围很广，因此 COFs 的结构多样性和可设计性非常高，有利于针对不同的应用目标设计和合成 COFs，赋予了 COFs 材料更多的研究与应用可能。

COFs 相比于其他多孔材料，如分子筛、介孔硅、MOFs、CMPs 等具有以下独特的特点：

- (1) **有序的孔道结构。**COFs 具有周期性高度有序的孔结构，易于调控比表面积、孔径大小、孔道形状以及孔道环境。
- (2) **结构具有可预测性。**COFs 是通过人为设计形成的一种长程结晶有序材料，能够明确每个原子在结构中的位置。
- (3) **结构多样性。**制备 COFs 所采用的有机单体和合成反应具有多样性，易于得到特定结构和特定功能的材料。

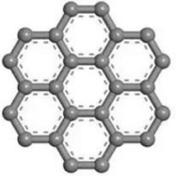
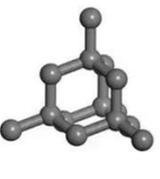
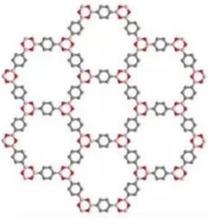
(4) **易于功能化**。通过设计功能化的单体或通过修饰引入官能团达到功能化目的。

(5) **稳定性**。强共价键连接形成的骨架结构,使得 COFs 兼具有化学稳定性和热稳定性,COFs 不溶于常见的任何有机溶剂,通常 COFs 的热分解温度在 300°C 以上。

(6) **低密度**。作为纯有机聚合物,通常由 C, H, N, O, B, Si, S 等轻元素组成,其密度可低至 0.106g/cm³。

这些优点使得 COFs 在气体贮存和分离、催化、传感、储能、光电转换、生物医学等多个领域表现出极具潜力的应用前景。

图表2: COFs 结构和特点

结构		特点	
2D COFs	3D COFs	有序的孔道结构	利用自组装形成具有周期性高度有序的孔结构,易于调控比表面积、孔径大小、孔道形状以及孔道环境
		结构具有可预测性	通过拓扑学结构单元设计和热力学可逆的聚合反应,形成一种长程结晶有序材料,能够明确每个原子在结构中的位置
石墨	金刚石	结构多样性	制备 COFs 所采用的有机构筑单元和合成反应具有多样性,使得易于设计、合成具有特定结构和特定功能的材料
		易于功能化	通过设计功能化的构筑单元或通过修饰引入官能团达到功能化目的
2D COFs	3D COFs	稳定性	强共价键连接形成的骨架结构,使得 COFs 兼具有化学稳定性和热稳定性,COFs 不溶于常见的任何有机溶剂,通常 COFs 的热分解温度在 300°C 以上
		低密度	作为纯有机聚合物,通常由 C, H, N, O, B, Si, S 等轻元素组成,其密度可低至 0.106g/cm ³

资料来源:《共价有机框架材料的设计与制备》(王珊),DT 新材料,《Record Ultralarge-Pores, Low Density Three-Dimensional Covalent Organic Framework for Controlled Drug Delivery》(Angew. Chem. 2023, 135, e202300172), 国联证券研究所

1.1.4 历史短/难以规模化/性能平衡困难使得 COFs 产业化受阻

以“covalent organic framework”为主题词在 web of science 数据库中检索得到的文献数量呈高速式增长,表明关于 COFs 的理论研究已经具备一定基础。但相比商业化程度较高的分子筛,以及正在尝试大规模商业化应用的 MOFs 而言,COFs 的产业化进程相对较慢。我们推测这可能与 COFs 首次发现的时间较晚(2005 年),以及尚未有通用并具备经济性的规模化生产方法有关。此外,材料的稳定性与热性能和机械性能的平衡难以解决,亦是产业化受阻的一大原因。

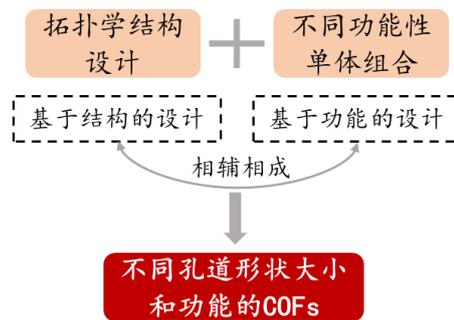
COFs 材料的可设计性主要围绕在两个方面,一是基于结构设计(拓扑学构型),二是基于功能设计(不同功能单体组合)。在 COFs 的发展过程中,两者相辅相成。

图表3: 关于 COFs 材料每年的文献数量



资料来源: web of science, 国联证券研究所

图表4: 基于结构和功能对 COFs 进行设计



资料来源: 《共价有机骨架材料在膜分离领域的应用进展》(程荣), 国联证券研究所

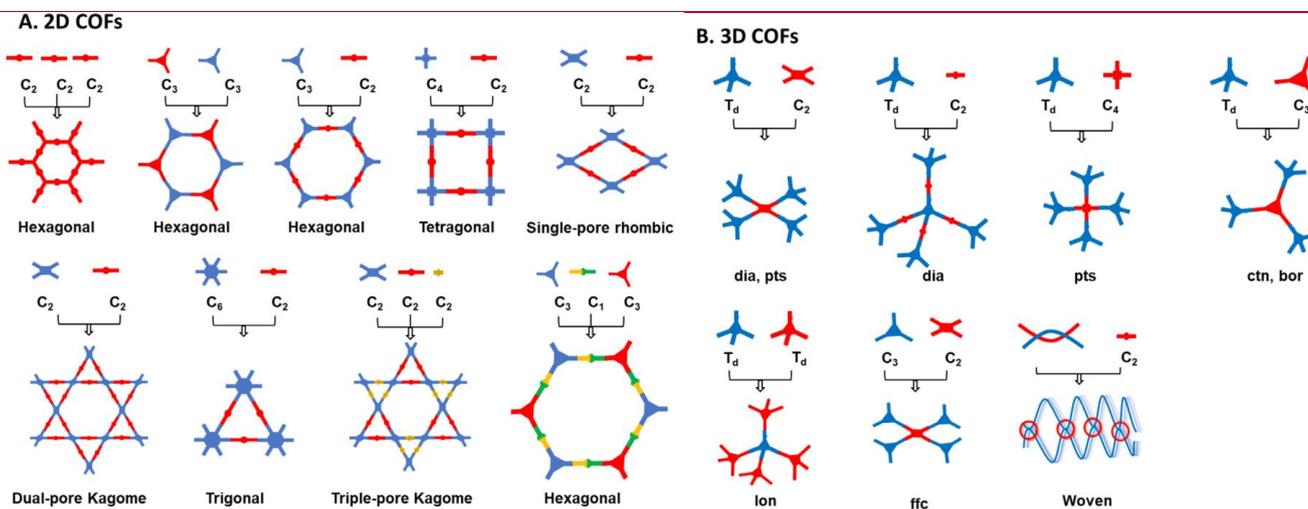
1.2 拓扑学设计结构决定孔径大小

同 MOFs 类似, COFs 的合成是基于网状拓扑学原理。MOFs 是由有机配体和金属离子进行组合从而形成构建单元来得到的, MOFs 的前期研究基础对 COFs 的合成发展起到了一定的推动作用。

对于 2D COFs 而言, 其结构拓扑可通过一种单体自缩合, 或者多种单体按照等比例缩合, 以形成交替连接的多边形网络。目前常见的形成一般为“C2+C2”、“C2+C3”、“C3+C3”和“C2+C4”(数字代表该分子具有的对称轴次数), 可得到六边形、四方形或者菱形结构, 不同结构拥有不同的孔径大小。

与 2D COFs 不同, 3D COFs 的合成单体要至少具有一个四面体或正交几何形状的单体, 以 3D 方式形成骨架。常见的设计形式有“C2+Td”、“C3+Td”和“Td+Td”等。由于四面体结构的多样性有限, 因此结构多样的 3D COFs 相比于 2D COFs 更难合成。

图表5: 设计二维和三维 COF 的拓扑学原理图



资料来源: 《Covalent organic frameworks: Design principles, synthetic strategies, and diverse applications》(Giant, 2021, 6, 100054), 国联证券研究所

1.3 单体骨架设计功能决定材料性能

在进行了拓扑学结构设计后，则需要选择合适的单体进行反应来构建材料。

在 COFs 材料未问世前，人们认为合成由强共价键连接的具有晶态结构的有机物是非常困难或难以实现的。发展到目前为止，科研界已经报道了十几种反应类型来构建不同化学键连接的 COFs。

可逆反应形成的材料结晶度高，但化学稳定性较差，不可逆反应则相反。

根据反应类型，可以将单体之间的反应区分为可逆反应和不可逆反应。

一般而言，可逆反应有利于材料制备过程中实现“自我修复”，从而获得高结晶度（微观上而言即是结构的有序程度），赋予材料更佳的热性能和机械性能。但正因为反应具备可逆性，这类材料容易存在化学稳定性差等缺点。

而对于经过不可逆反应形成的 COFs 材料而言，其优点是化学稳定性较高，目前科研界正致力于提升这类材料的结晶度。

硼基、亚胺基和三嗪基 COFs 是最常见、应用最为广泛的三类键型。

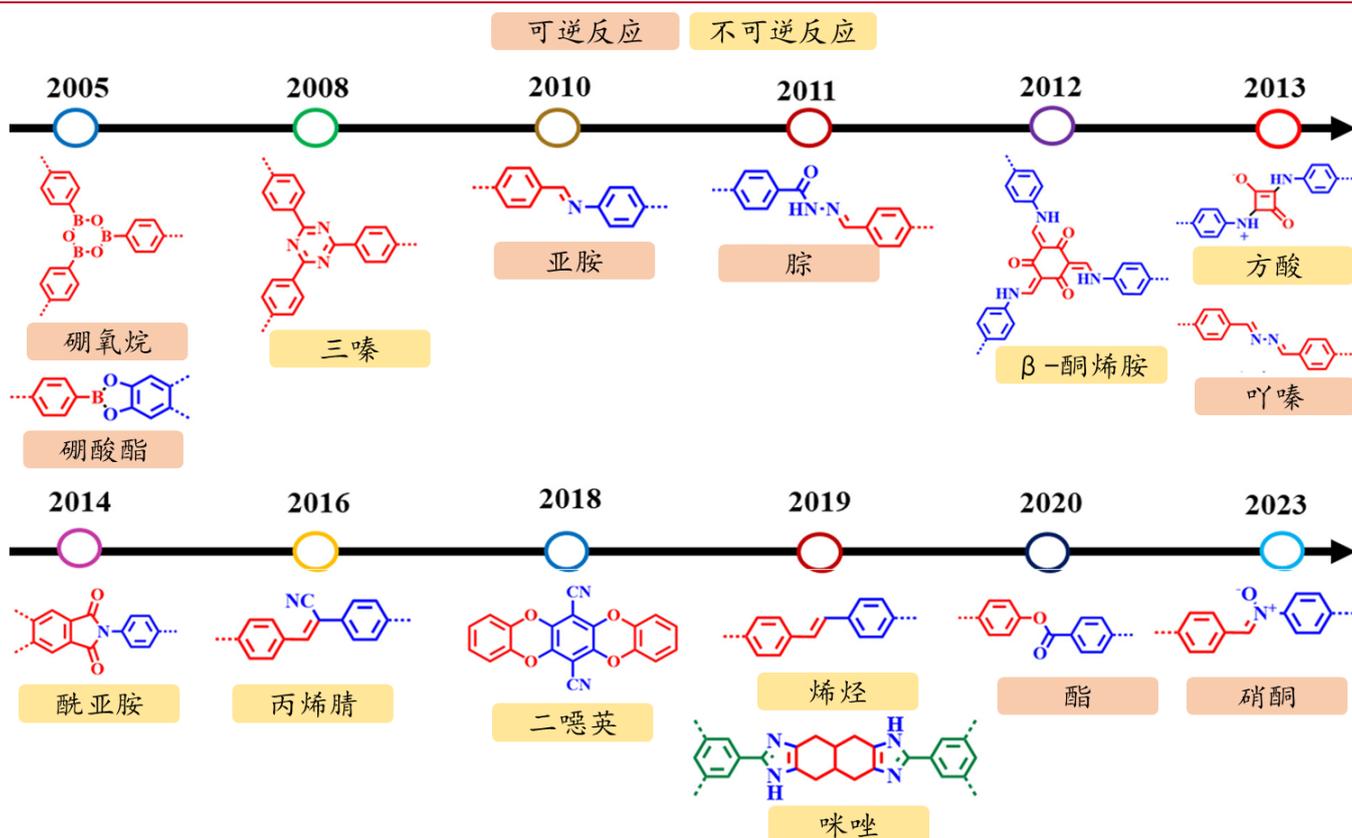
目前已发展的化学键类型包括了硼基、三嗪、亚胺、脘、酰亚胺、烯烃等类型。

2005 年，Yaghi 等人首次合成了第一例 COFs 材料，后续科研界也针对这类硼基 COFs 材料进行了大量研究，但是大多数含硼 COFs 在潮湿的环境下稳定性差。

2008 年，Kuhn 等人首次制备了三嗪基 COFs，这类材料也称 CTFs，因为反应过程属于不可逆类型，因此这类材料的化学稳定性较高，但也存在具有无定形的多孔结构和较低的结晶度等缺陷。

2009 年 Yaghi 等人通过醛和胺缩合反应合成了第一例亚胺基 COFs，相比硼基 COFs，其化学稳定性进一步提升，同时兼具高结晶度等优势，因此亚胺基 COFs 是目前被研究最密集的一类 COFs 材料。

图表6: 不同化学键构筑的 COFs 发展历程



资料来源:《Large-Scale Synthesis of Covalent Organic Frameworks: Challenges and Opportunities》(Membranes 2023, 13, 696),《共价有机框架的设计合成及其碱金属离子存储性能研究》(杨西亚, 国联证券研究所)

图表7: 不同化学键构筑的 COFs 的性质差别

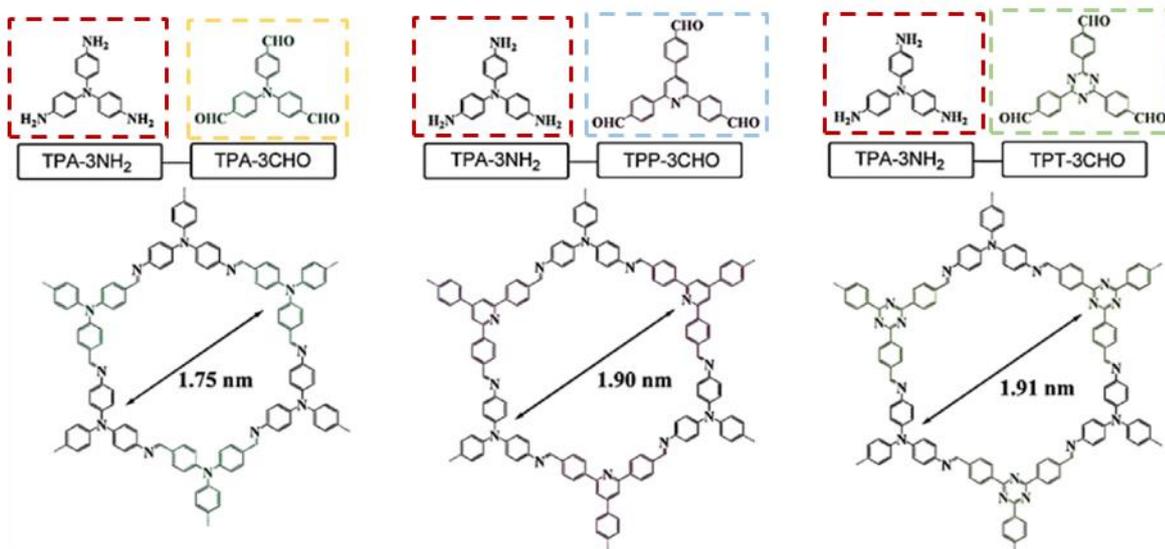
化学键	结构类型	反应类型	性质		
			结晶度	热稳定性	化学稳定性 (在酸、碱、水或有机溶剂中)
B-O	硼氧烷	可逆	高	高/500°C	低
	硼酸酯	可逆	高	高/600°C	低
C-N	亚胺	可逆	较高	高/500°C	较高
	脲	可逆	较高	较高/300°C	高于亚胺
	酰亚胺	不可逆	较高	高/500°C	较高
	β-酮烯胺	不可逆	中等	较高/300°C	高
	吡嗪	可逆	中等	中等/250°C	高
	方酸	不可逆	中等	中等/300°C	高
	三嗪	不可逆	低	较高/400°C	较高
	硝酮	可逆	较高	/	/
	C-C	烯烃	不可逆	中等	较高/350°C
C=O	酯	可逆	较高	/	/
	二噁英	不可逆	较高	较高/400°C	较高

资料来源:《Large-Scale Synthesis of Covalent Organic Frameworks: Challenges and Opportunities》(Membranes 2023, 13, 696),《共价有机框架的设计合成及其碱金属离子存储性能研究》(杨西亚, 国联证券研究所)

在相同的拓扑结构设计下,只需略微改变单体的结构,便可对 COFs 材料的孔径

大小进行调整。由于有机单体的类型极多，不同的单体和不同的组合赋予了 COFs 材料在设计 and 应用方面更多的可能。

图表8：通过对单体的微调实现 COFs 孔径大小的改变



资料来源：《Covalent organic frameworks: Design principles, synthetic strategies, and diverse applications》(Giant, 2021, 6, 100054), 国联证券研究所

2. 规模化制备突破后关注高结晶度的获取

溶剂热法是 COFs 制备最为成熟的方法，但难以大规模工业化。近年来南开大学张振杰教授开发的熔融聚合法，有望实现大规模工业化的突破。

在制备得到 COFs 后，还可对其进行修饰，赋予材料更多的性能，以实现更多的应用。

通常合成得到的 COFs 是粉状，在各种加工成型的形貌中，薄膜应用前景或更好。

COFs 材料技术壁垒主要在于三方面：多学科交叉、大规模制备、高结晶度的获取，其中大规模制备有望突破，而高结晶度的获取仍是其痛点。

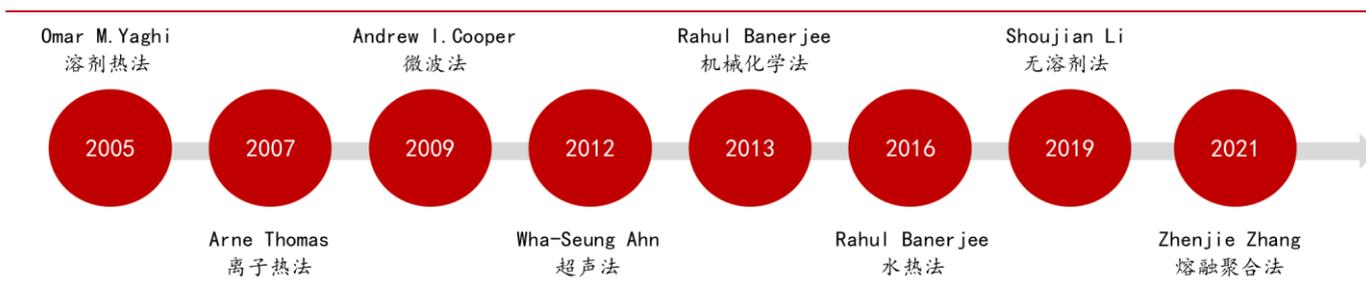
2.1 合成方法：熔融聚合法有望实现大规模合成

形成结构高度有序并结晶的 COFs 的关键是调节共价键形成过程中的热力平衡，而合适的反应条件对于 COFs 至关重要。

溶剂热法是 COFs 制备最为成熟的方法，但难以大规模工业化。

目前常见的 COFs 合成方法有溶剂热法、离子热法、微波法、超声法、机械化学法等，大多制备方法仍停留在毫克级。

图表9: COFs 合成方法首次报道时间线



资料来源:《Industry-compatible covalent organic frameworks for green chemical engineering》(Sci China Chem, 2022, 65, 2144), 国联证券研究所

溶剂热法: 将反应物与溶剂加入体系后高温高压下进行反应, 溶剂的选择和配比是关键。溶剂热法是制备 COFs 最广泛的方法, 但由于需要高温高压的条件, 且需要在封闭的环境中反应以实现较高的结晶度, 该方法难以大规模工业化。

离子热法: 在高温条件下, 通过采用离子液体或低共熔混合物作为介质反应合成 COFs, 反应要求苛刻, 需要极高温度的金属盐熔体为溶剂。

微波法: 指使用微波加热的溶剂热法, 反应速度快, 但不具备广谱性。

超声法: 以超声形式合成, 但该法仅能制备孔径较小的材料。

机械化学法: 在无溶剂条件下通过机械研磨的方式合成, 但制备的材料性能一般。

图表10: COFs 各类合成方法的优缺点

方法	优点	缺点
溶剂热法	为体系提供适应的反应环境, 更容易形成晶体	需要高温高压, 反应时间较长 (3-7 天), 无法兼容不溶单体, 难以工业化生产
离子热法	熔融盐作为溶剂和催化剂, 反应时间较短	反应温度高, 对材料热稳定性要求高
微波法	反应时间短	不具备广谱性
超声法	反应迅速, 具备经济性	仅能制备孔径较小的材料
机械化学法	无需溶剂、环境友好	制备的材料结晶度和比表面积一般

资料来源:《Covalent organic frameworks: Design principles, synthetic strategies, and diverse applications》(Giant, 2021, 6, 100054), 《共价有机骨架的设计、合成与应用进展》(初楚), 《Large-Scale Synthesis of Covalent Organic Frameworks: Challenges and Opportunities》(Membranes 2023, 13, 696), 国联证券研究所

南开大学张振杰教授开发的熔融聚合法, 有望在实现大规模工业化的突破。

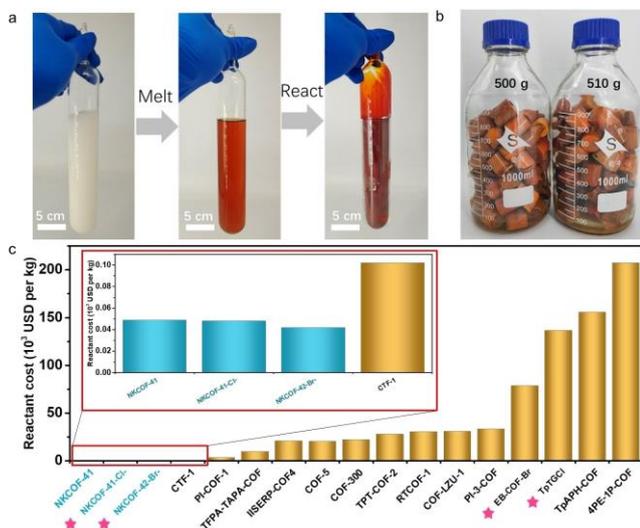
2021 年, 南开大学的张振杰教授创造性的开发了熔融聚合法, 即在没有溶剂的情况下, 将单体在熔融状态下进行反应, 得到熔融状态的 COFs。该方法制备的 COFs 材料性能优越, 且有较好的工业化前景 (张振杰课题组制备的材料以 NKCOFs 命名)。

根据张振杰教授 2022 年发表的 Sci 文章, 传统烯烃键合的 COFs 制备成本高达 5 万美元/kg, 而利用该课题组开发的方法和单体制备的材料, 可以做到百克级放大, 成本低于 50 美元/kg, 远低于已报道的其他 COFs 材料。

2023 年, 张振杰教授在之前的基础上, 采用廉价的单体通过熔融聚合法, 首次

实现了 COFs 的公斤级制备，成本低至 69 美元/kg，且该类材料能够从乙炔/乙烯/乙烷中高效分离纯化乙烯，为 COFs 材料在工业气体分离上的应用打下了基础。

图表11：张振杰教授的低成本百克级别 COFs 的合成



资料来源：《Fabricating Industry-Compatible Olefin-Linked COF Resins for Oxoanion Pollutant Scavenging》(Angew. Chem. Int. Ed. 2022, 61, e202213247)，国联证券研究所

图表12：张振杰教授成功实现千克级别 COFs 的合成



资料来源：《Kilogram-Scale Fabrication of a Robust Olefin-Linked Covalent Organic Framework for Separating Ethylene from a Ternary C2 Hydrocarbon Mixture》(J. Am. Chem. Soc. 2023, 145, 21483)，国联证券研究所

2.2 后修饰：赋予材料更多的性能

在制备得到 COFs 后，还可对其进行修饰，以实现更多的应用。COFs 材料的修饰主要包括金属化、功能化和化学转化等，并可以通过复合和高温热解形成 COFs 材料的衍生材料。

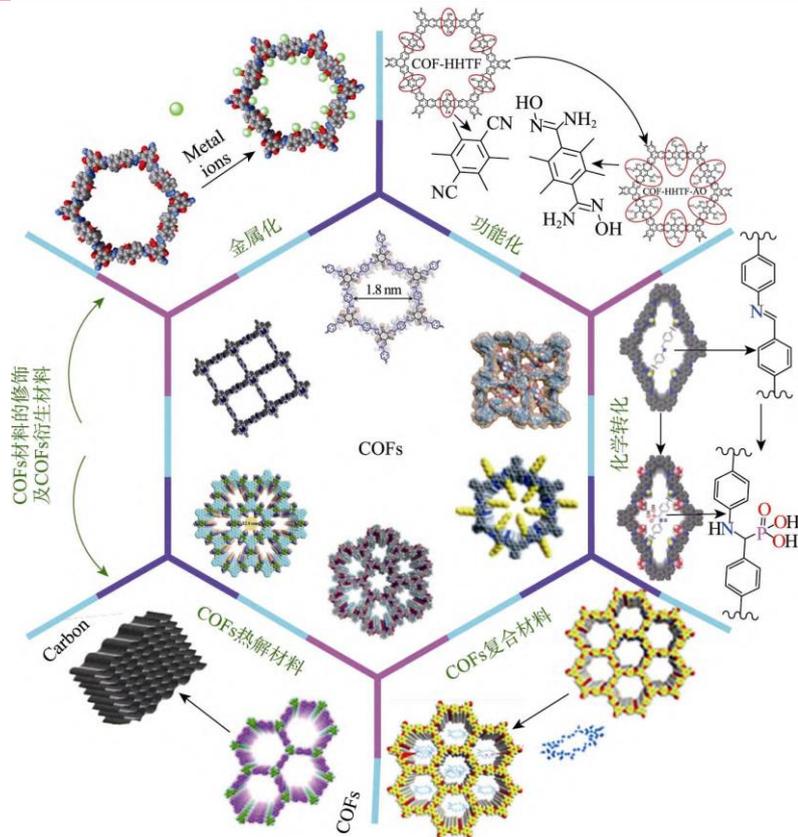
金属化：将金属与 COFs 上的配体进行配位，相当于以 COFs 材料作为载体，实现活性中心金属的固定化，以制备一类新的非均相催化剂。

功能化：COFs 材料走向实际应用的必要途径就是对其进行功能化设计，把目标性官能团接枝到 COFs 材料上，可以赋予 COFs 材料特定的物理和化学性质。

化学转化：上文提到，经可逆反应形成的 COFs 结晶度高，但面临化学稳定性差的问题。因此，可以在此类 COFs 合成后进行进一步的化学转化，以提高其稳定性。

此外，COFs 可作为尺寸极小的纳米颗粒的支撑或支架材料，形成 COFs 复合材料；也可以通过高温热解转化为多孔的含碳材料，亦称为 COFs 热解材料。

图表13: COFs 材料的修饰及 COFs 衍生材料



资料来源:《共价有机骨架材料的制备及在环境领域的应用》(张慧芳), 国联证券研究所

2.3 形貌: 薄膜或最有前景

对于任何材料, 将其加工成型是使其商业化的必要条件。许多 COFs 在宏观上是粉末状, 通过精确的设计和对反应热力学和动力学进行控制, 可以合成出球形、薄膜、管状、纤维、带状、辊状、棒状、笼状等不同形貌 COFs 材料。

球形: 可采取不同办法制取实心球和空心球, 并调节球的大小和空心球壁的厚度。球形 COFs 可制备成胶囊作为吸附材料。

膜: 传统的以非晶态聚合物如聚偏氟乙烯 (PVDF)、聚丙烯腈 (PAN)、聚酰亚胺 (PI) 和聚酰胺 (PA) 等制备孔径从几微米到亚纳米不等的各种膜, 皆缺乏有序和可调控的孔隙通道, 导致膜孔隙率有限及膜孔分布不均, 从而影响膜的分离性能。COFs 膜已经被认为是用于气体分离大有前景的材料。

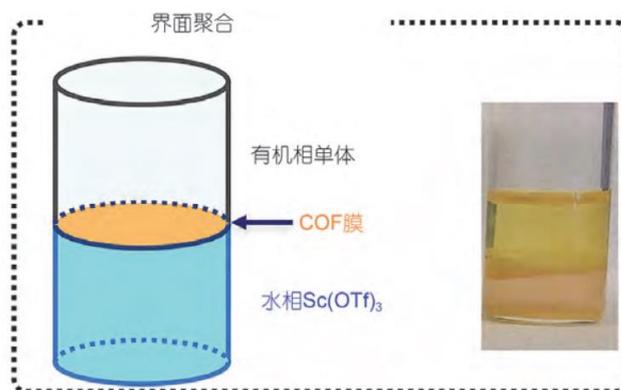
COFs 薄膜制备方法主要有两种: “自上而下” 和 “自下而上” 法。“自上而下” 法是将合成的 COFs 粉末剥离成单独的 COFs 膜; “自下而上” 则是在合成过程中控制薄膜的生长方向, 以避免随机延伸。利用“自下而上”的策略, 通过界面法制备 COFs 薄膜是当下的研究热点。

管状: 合成方法主要包括模板去除和自组装两种方法, 管状 COFs 具有较高的稳定性和较大的比表面积, 其中空结构可以形成胶囊, 作为药物、蛋白质和酶的传递材

料，具有较大的应用潜力。

其他形貌不一概述。总之，合成方法的选择对 COFs 的结构产生决定性影响，延长反应时间可以改变 COFs 的形貌，从球形到薄膜，从片状到管状等。不同形貌的 COFs 材料可以更广泛地满足不同的需求。

图表14：界面法制备 COFs 薄膜



资料来源：《共价有机框架材料的设计与制备》（王珊），国联证券研究所

2.4 技术壁垒：高结晶度是 COFs 痛点

COFs 材料技术壁垒主要在于三方面：多学科交叉、大规模制备、高结晶度的获取。

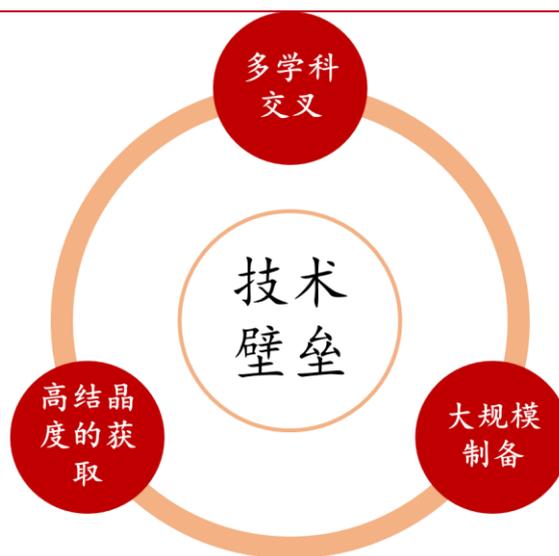
1) **多学科交叉**：与传统聚合物相比，COFs 的合成较为复杂，因为它们具有特定的几何形状、孔隙大小和组成等。因此，合成一种设计合理且具有特定性能的 COFs，需要有机化学、拓扑化学聚合、动态/可逆键合、网状组装等不同研究领域的结合。

2) **大规模制备**：目前 COFs 最常用的溶剂热法难以做到大规模制备，不过张振杰教授新发现的熔融聚合法有望实现突破，此点已在 2.1 章节有所阐述。

3) **高结晶度的获取**：这里涉及到反应可逆性与结晶度的关系，在 1.3 章节有所阐述。简言之，首先，仅对于 COFs 而言，反应可逆性越高，越容易获得高结晶度，但化学稳定性较差；其次，与 MOFs 的配位键对比，COFs 的共价键可逆性较弱，结晶度也难以达到 MOFs 的水准。这就导致两个问题：一是 COFs 需要解决结晶度与化学稳定性之间的矛盾，二是 COFs 结晶度也很难提升到较高水平。从目前的文献来看，科研工作者更倾向于去研究如何提升化学稳定性较好的 COFs 材料（如三嗪基 COFs）的结晶度。

此外，探索新方法防止结构交叉错乱，增加孔隙率对于 3D COFs 的功能设计至关重要。

图表15: COFs 的技术壁垒



资料来源:《共价有机骨架的设计、合成与应用进展》(初楚), 国联证券研究所

3. COFs 在多个领域展现了优异的性能

自从 COFs 材料被开发以来, 因其高度可控的结构、丰富且易接近的活性位点、高比表面积、低密度等优势, 在多个领域展现出了优异的性能。

COFs 可用于水污染治理及海水脱盐、也可能是最出色的气体吸附材料; 可作为锂离子电池的电极材料、隔膜、电解质以及储能材料; 可作为无金属催化剂或者催化剂载体; 并可在生物医学的多个细分领域发挥作用。

3.1 水处理: 重金属离子和污染物的去除

COFs 通常以粉末形式获得, 通常可与聚合物基质组合以制备膜材料。

COFs 膜材料可用于水污染的治理, 以及海水脱盐领域。

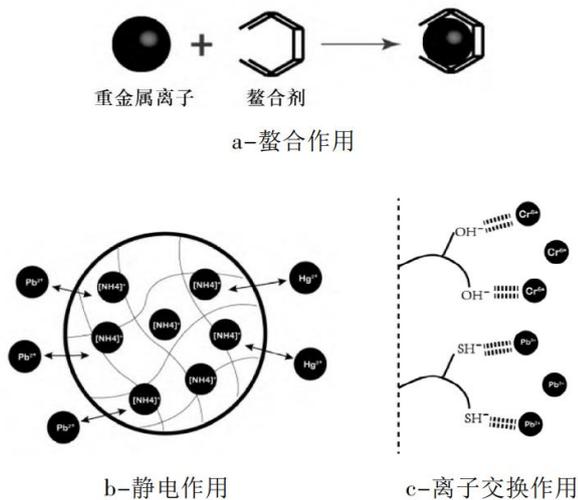
水污染治理: 基于 COFs 的膜材料具有良好的吸附动力学、较高的最大吸附容量和对水中不同离子的选择性, 通过 COFs 表面存在的配体位点进行离子交换和配位吸附, 以及螯合效应及静电吸引作用, 可以有效去除水中重金属离子、有机污染物和放射性核素。

例如, 2019 年发现利用含羟基的 COFs (COF-BTA-DHBZ) 吸附水中的 Cr(VI), 表现出非常快速的吸附动力学 (10min 内吸附达到 272mg/g), 并且最大吸附容量高达 384mg/g, 这是迄今为止报道的铬吸附容量最高的多孔材料之一。

海水脱盐领域: 目前, 针对脱盐设计的 COFs 纳滤膜材料都具有超过 90% 的脱盐率, 一般来说, COFs 的孔径大于常见的无机盐离子, 控制 COFs 膜的孔径大小是提高其脱盐效率的重要方法。

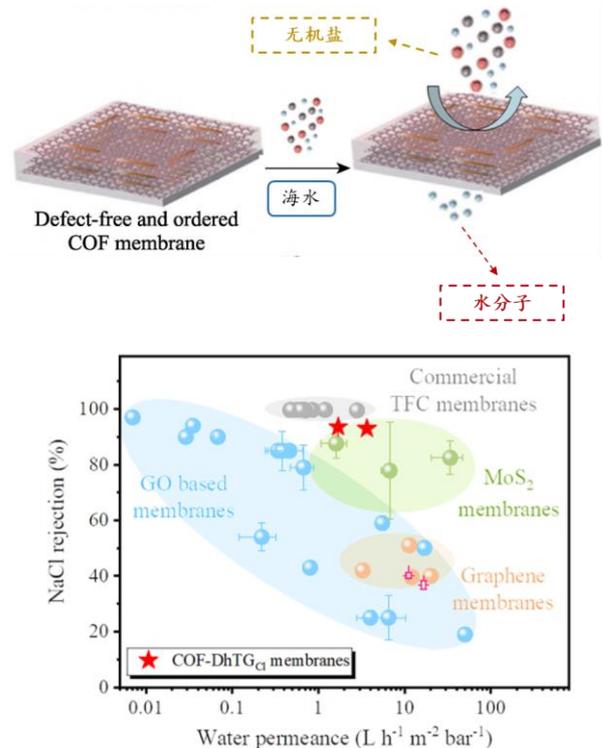
例如，氯化钠截留率和水分子透过率是两大重要指标，已研究成功的一类 COF-DhTG_{Cl} 材料在指标图的右上方，表明其与目前常用的反渗透/纳滤膜相比，具备更佳的海水淡化性能。

图表16: COFs 吸附重金属离子机理示意图



资料来源:《共价有机框架(COF)对重金属离子吸附去除研究进展》(蔡劭), 国联证券研究所

图表17: COFs 膜材料用于海水脱盐



资料来源:《Ultrafast seawater desalination with covalent organic framework membranes》(Nat Sustain 5, 518 (2022)), 《Aqueous Two-Phase Interfacial Assembly of COF Membranes for Water Desalination》(Nano-Micro Lett. 2022, 14, 216), 国联证券研究所

3.2 气体存储与分离：最出色的气体吸附材料之一

科学家发现，活性炭内部具有复杂的孔隙结构，具有吸附功能。其中，孔径大小决定了能进入孔隙内部的分子大小，就像不同身材的人只能通过不同尺寸的门一样。COFs 对气体的吸附原理同活性炭类似。

COFs 材料是目前最出色的气体吸附材料之一，性能几乎超越了已报道的所有吸附材料。到目前为止，三嗪基、硼基和亚胺基 COFs 皆已被发现可用于气体吸附。

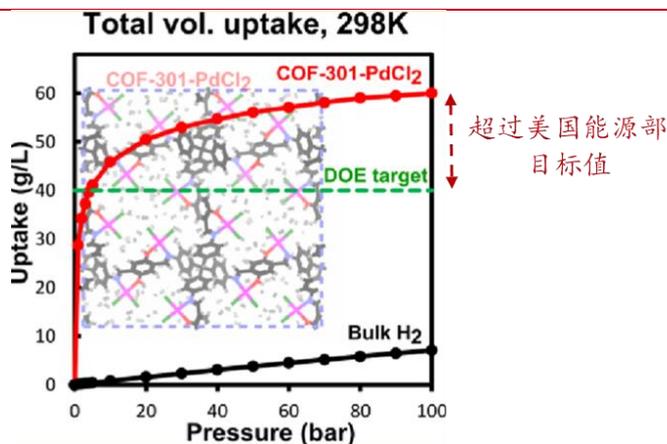
影响 COFs 气体吸附和存储能力的主要因素有比表面积、孔体积、孔径及孔道的化学环境。它的优异性能不仅体现在改善 MOFs 在室温和中等压力环境下吸附性能下降的弊端，而且还体现在氢能源储存方面。

COFs 对气体的吸附主要可以实现能源存储，和对杂质气体的吸附实现气体分离。

能源存储：在工业上，压缩和储存各种气体要消耗全球能源的 10%。COFs 对氢气的吸附能够实现氢能源的存储，对甲烷的吸附能够实现天然气的存储，对二氧化碳的存储可降低温室效应。

例如，对 COFs 进行金属掺杂，由于掺杂在 COFs 中的金属离子与分子具有较强的亲和作用使其显著增强对气体的吸附能力，提高材料的气体存储容量。已报道的 COF-301-PdCl₂ 的结构中，与亚胺键相邻的羟基会生成与金属的键合位点，其可存储高达 60g/L 的 H₂，超过了美国能源部的目标值。

图表18: COFs 吸附重金属离子机理示意图



资料来源:《A Covalent Organic Framework that Exceeds the DOE 2015 Volumetric Target for H₂ Uptake at 298K》(J. Phys. Chem. Lett. 2012, 3, 2671), 国联证券研究所

从已有的文献来看，与分子筛和 MOFs 相比，COFs 的气体吸附性能都具备一定优势。

图表19: 不同 COFs 对气体的吸附值和其他材料的对比

材料	比表面积 /(m ² ·g ⁻¹)	孔径 /nm	孔体积 /(cm ³ ·g ⁻¹)	吸附热/(kJ ·mol ⁻¹)	氢气吸附值 /(mg·g ⁻¹)	甲烷吸附值 /(mg·g ⁻¹)	二氧化碳吸附 值/(mg·g ⁻¹)
COF-1	750	0.9	0.3	6.2	14.8	40 (44)	230
COF-5	1670 (2050)	1.7	1.07	6	35.8	89 (127)	870
COF-6	750	0.9	0.32	7	22.6	65 (68)	310
COF-8	1350 (1710)	1.6	0.69	6.3	35	87 (114)	630
COF-10	1760 (1980)	3.2	1.44	6.6	39.2	80 (124)	1010
COF-102	2497	1.2	1.55	3.9	72.4	187 (243)	1200
COF-103	3620	1.2	1.54	4.4	70.5	175 (229)	1190
COF-Dha Tab	1480	3.7			120		78
GTV-COF-1	1245	1.48	0.91		10	12	177
COF-JLU2	415	0.96	0.56	31	16	38	217
MOF-177	4750	1.1		4.4	4.4	75.2	870 (40bar)
IRMOF-6	2800	1				160	160
一款分子筛吸 附剂							50.6

资料来源:《共价有机骨架的设计、合成与应用进展》(初楚), 国联证券研究所

气体分离: 混合 C2 中乙烯分离难度大耗能高, COFs 有望解决这一痛点。

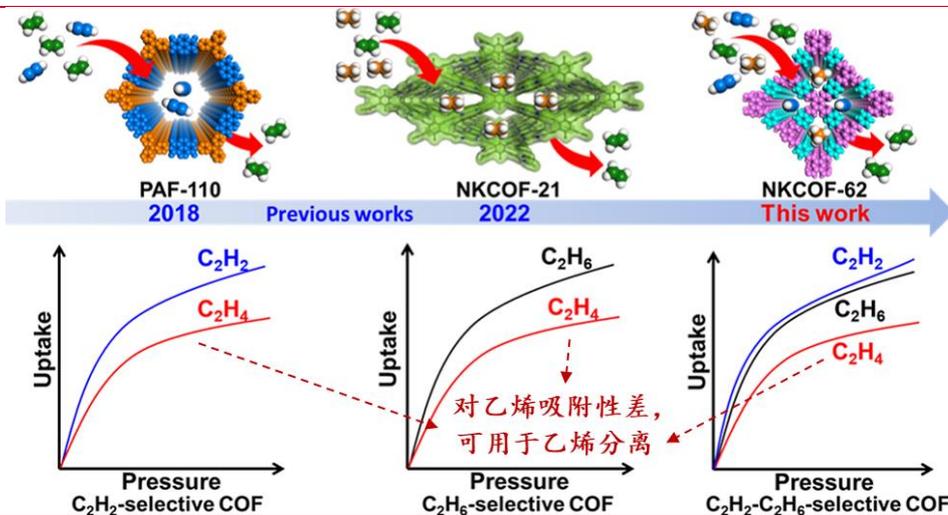
乙烯的生产过程中, 不可避免地会混入乙烷和乙炔杂质, 由于三者沸点相近, 难

以依靠常见的分馏法进行分离，并得到纯度较高的乙烯。而在乙烯聚合过程中，微量的乙炔会使催化剂中毒，乙烷会影响聚乙烯的质量和效率，因此从 C2 混合物中纯化乙烯变得非常必要。

目前，乙烯纯化主要通过催化加氢消除乙炔，并通过低温蒸馏将乙烷与乙烯分离。然而，这种分离过程消耗大量能源，约占全球能源消耗的 0.3%。

近年来 COFs 在分离纯化乙烯领域的研究有所突破。最新的研究显示，由于 NKCOF-62 独特的孔环境和合适的孔径，其对乙炔和乙烷的选择性吸附优于乙烯，可用于从乙炔/乙烯/丙烯（1/1/1）的三元混合物中一次分离获得聚合级别的乙烯，其分离性能可与性能最好的 MOFs 媲美，但成本要低得多。

图表20：利用 COFs 实现 C2 混合物中乙烯的分离



资料来源：《Kilogram-Scale Fabrication of a Robust Olefin-Linked Covalent Organic Framework for Separating Ethylene from a Ternary C2 Hydrocarbon Mixture》(J. Am. Chem. Soc. 2023, 145, 21483)，国联证券研究所

3.3 锂电池：具备电极/隔膜/电解质材料应用潜力

COFs 是一类通过共价键连接的结晶多孔材料，能够降低能量转换/存储设备中应用的质量密度。同时，丰富的刚性纳米通道和易于修饰的官能团赋予 COFs 快速的离子传输性能和优异的电解质润湿性。此外，COFs 由于其长链分子结构而表现出优异的溶剂稳定性。因此，COFs 是促进电化学能源存储与转换技术的理想材料，有望作为锂离子电池的电极材料、隔膜、电解质。

电极材料-正极材料：除了常见的含锂过渡金属或磷酸盐，有机正极材料也是研究热点。有机正极材料由于合成多样性、合成原料丰富、环境友好、具有电池工作所依靠的丰富氧化还原活性等优点，对提高电池性能有极大帮助。

研究较早的主要是聚乙炔、聚噻吩、聚苯胺、聚对苯，但也存在结构不稳定，电化学反应受限等诸多缺点。COFs 用于电池正极材料对提高电池性能发挥着较大作用，且能弥补上述大部分缺点，应用前景较好。

电极材料-负极材料：锂离子电池通常使用石墨做为负极材料，但其比容量较低逐渐不能适用于储能应用的需求。

由于氮原子比碳原子电负性更高，可提供多个供锂离子脱嵌的活性位点参与充放电过程中的储存和释放，利用含氮量较高的亚胺基 COFs 材料作为锂电池负极材料被认为是一种可靠路径。

隔膜：COFs 的诸多特性使得其可作为锂电池的隔膜改性材料，例如：

高稳定性—有助于防止隔膜在充放电过程中与电解质反应造成分解；

高而均匀的孔隙率—使离子的传输、电解质的充分保留和实现均匀的电流密度成为可能；

优异的机械性能—防止电池组装和操作期间的破损

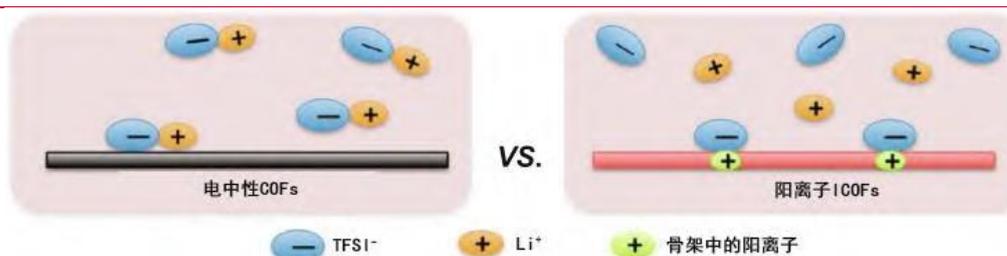
结构可调谐性—确保电解质的润湿性和锂离子的有效传输。

易官能化—可实现对锂离子和锂盐阴离子的传输具有选择透过性。

固态电解质：传统液态电解质电池工作过程中可能产生漏液甚至是易燃的安全隐患，且有机电解质会使电极分解，因此研究开发固态电解质具备较大意义。

COFs 也是一类具备发展前景的锂离子固态电解质材料。在固态电解质中，锂离子易与阴离子配位，致使其扩散动力学较低，电导率受到影响。利用阳离子 COFs 做固态电解质材料，可以降低锂离子的配位效果，提高电导率。

图表21：电中性/离子 COFs 与锂离子盐相互作用的示意图



资料来源：《Cationic Covalent Organic Framework Nanosheets for Fast Li-Ion Conduction》(J. Am. Chem. Soc. 2018, 140, 896-899)，国联证券研究所

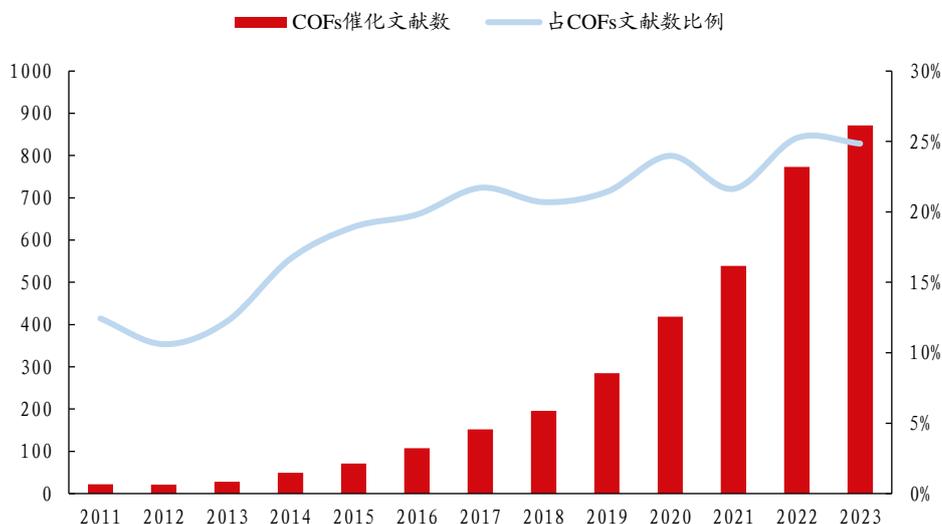
此外，除了锂离子电池，COFs 在钠离子电池、钾离子电池及超级电容器等电极材料上的应用也多有报道，展示了其独特优异的性能和在储能上良好的应用前景。

3.4 催化：无金属催化剂或兼具环保和成本优势

近年来，由于金属催化剂会对环境造成二次污染，因此无金属催化剂受到了广泛的关注。与其他框架材料，如 MOFs 和沸石有所不同，COFs 可以在没有金属的情况下制备，并发挥催化作用，或具备环保和成本优势。且由于 COFs 的孔隙大小、形状、功能性、手性可在原子水平上精准调控，因此可获得最佳的催化性能。

近年来 COFs 在催化领域的研究热度较高，与 COFs 的催化作用相关的文献数占 COFs 总数的比例逐年走高。

图表22：与 COFs 催化相关的文献数占比逐年走高



资料来源：web of science，国联证券研究所

按照反应类型，COFs 可用于热催化、光催化和电催化；按照起催化作用的具体形式，可划分为 COFs 自身催化、COFs 作为骨架载体催化、基于 COFs 的杂化体系催化、COF 热解炭化催化。

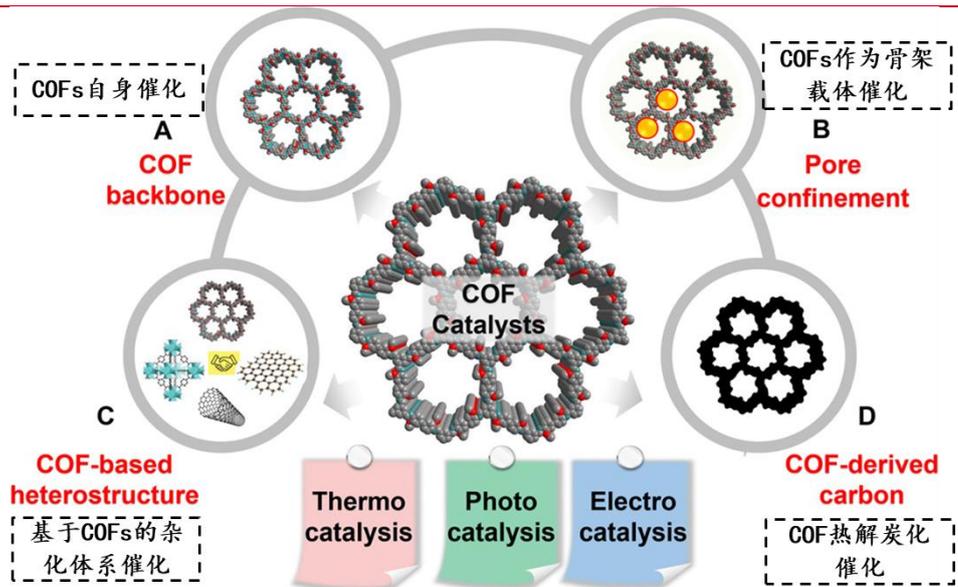
COFs 自身催化：即 COFs 本身作为催化剂，其结构中功能基团上的杂原子（如 S、P 和 N）以及 COFs 结构中的掺杂剂使其可用于热催化；其 π 共轭结构使其可用于光电催化。

COFs 作为骨架载体催化：与无机沸石类似，COFs 作为金属或者酶的载体，发挥协同催化的作用。

基于 COFs 的杂化体系催化：例如 MOF/COF，石墨烯/COF 等杂化体系，通过它们之间的协同作用提高催化活性。

COF 热解炭化催化：通过热解形成 COFs 热解材料，其电导率进一步提升，有望在电催化领域发挥重要的作用。

图表23: COFs 催化的反应类型和催化形式



资料来源:《Covalent organic frameworks in heterogeneous catalysis: recent advances and future perspective》(Mater. Chem. Front. 2023, 7, 3298), 国联证券研究所

3.5 生物医学: 拥有 PDT 和基因传递等应用前景

目前已有许多材料应用于生物医学领域,但是大多面临着生物相容性差、稳定性差、负载能力差等缺陷,而 COFs 自身固有的性能使其可以一定程度避免此类问题。

尽管 COFs 目前应用于生物医学的研究还处于初级阶段,但它作为一种创新的来源,为应对未来人类医疗和疾病治疗领域的挑战开辟了道路。

目前 COFs 已被证明在光动力疗法 (PDT)、基因传递、光热治疗、药物传递、生物成像、生物传感以及联合疗法等领域拥有不错的应用前景。

图表24: COFs 材料在生物医学领域的应用



资料来源:《Covalent Organic Frameworks: Recent Progress in Biomedical Applications》(ACS Nano 2023, 17, 1879), 国联证券研究所

4. 从 MOFs 透视 COFs 的产业化之路

MOFs 比 COFs 早发现十年，如今 MOFs 的商业化应用已初见端倪，巴斯夫和碳语新材皆宣布已实现 MOFs 商业化规模生产。据 DT 新材料不完全统计，2022 年 MOFs 市场规模达 22.24 亿元，预计 2028 年将达到 87.15 亿元，年复合增长速率超 25%。

相比 MOFs，COFs 解决结晶度痛点后有望在工业领域发挥更佳的效果。纵观 MOFs 产业化之路，理论基础的积累、时间的沉淀、业界的推动是必备要素，而 COFs 有望在这些进程上获得加速。

4.1 MOFs 已实现商业化量产

MOFs 商业化应用已初见端倪，巴斯夫有望成为领军者。

MOFs 与 COFs 是二十一世纪以来研究热点最高的两类有机多孔材料。相较于 COFs 而言，MOFs 研究时间更早，深度和广度更加充分，目前商业化应用已初显端倪。

1995 年，加州大学伯克利分校 Omar Yaghi 教授在《Nature》杂志上发表了首个 MOFs 材料。值得一提的是，Yaghi 教授也是 COFs 材料的开拓者和奠基人（2005 年）。

1999 年，《Science》和《Nature》上各发表的一篇有关 MOFs 材料的文章，将人们对此类材料的认知拓展到实际应用中（气体吸附）。在这之后，化工巨头巴斯夫便对它表现出了相当大的兴趣，于是便有了和 Yaghi 教授的合作。

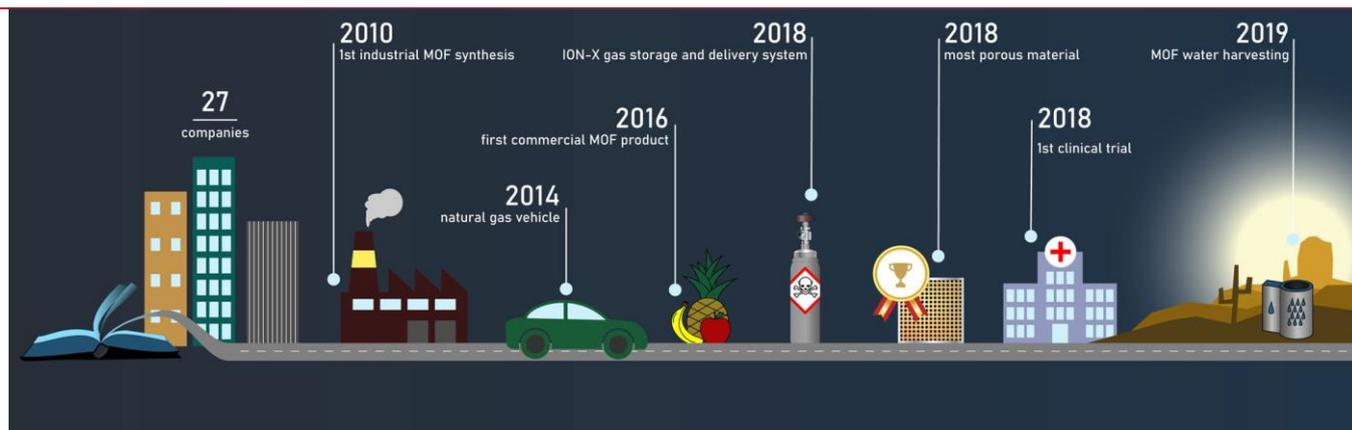
2013 年，巴斯夫的一批利用 MOFs 材料进行天然气燃料储存的重型卡车面世。

2016 年，Decco 公司的第一款基于 MOFs 吸附剂的商业产品 TruPick 上市并投放市场，该 MOFs 吸附剂可储存并释放 1-甲基环丙烯以使水果和蔬菜成熟。

2018 年，NuMat Technologies 公司研制出的 ION-X 气体存储和输送系统，用于电子工业中使用的有毒气体（如砷化氢、磷化氢和三氟化硼）。

之后，MOFs 材料在医学和集水领域的应用也得到了一定体现。

图表25: MOFs 商业化之路



资料来源:《The Current Status of MOF and COF Applications》(Angew. Chem. Int. Ed. 2021, 60, 23975), 国联证券研究所

2023年,巴斯夫宣布成为首家成功实现商业化规模生产MOFs的公司,年产量可达数百吨,并具备定制化生产能力,可根据客户需求和规格定制MOFs用于各种应用和行业。

据巴斯夫信息,MOFs材料首个项目已成功完成,合作方是加拿大碳捕获和减排企业Svante。

同样在2023年,我国企业碳语新材也宣布成为国内唯一可实现MOFs吨级生产的企业。目前已形成10吨/年的量产规模,2024年将建成百吨级产能,同时产品的比表面积和成本优势也有望超过国外。

图表26: 碳语新材生产的MOFs材料



资料来源:碳语新材公众号,国联证券研究所

图表27: 巴斯夫生产的MOFs材料(CALF-20)



资料来源:DT新材料,国联证券研究所

4.2 MOFs 产业化带来的三点借鉴

COFs 解决结晶度痛点后有望在工业领域发挥更佳的效果。

MOFs 和 COFs 两者的区别和特点在前文已有阐述,简言之,MOFs 由金属离子和有机配体合成,COFs 则仅由有机单体合成;MOFs 制备相对容易,结晶度高,但稳定

性相对较差，COFs 制备相对复杂，结晶度的提升是其痛点，但其密度更低，稳定性更高，有望在工业领域发挥更佳的效果。

MOFs 的产业化之路可以为 COFs 提供借鉴，我们认为主要总结为三个方面：

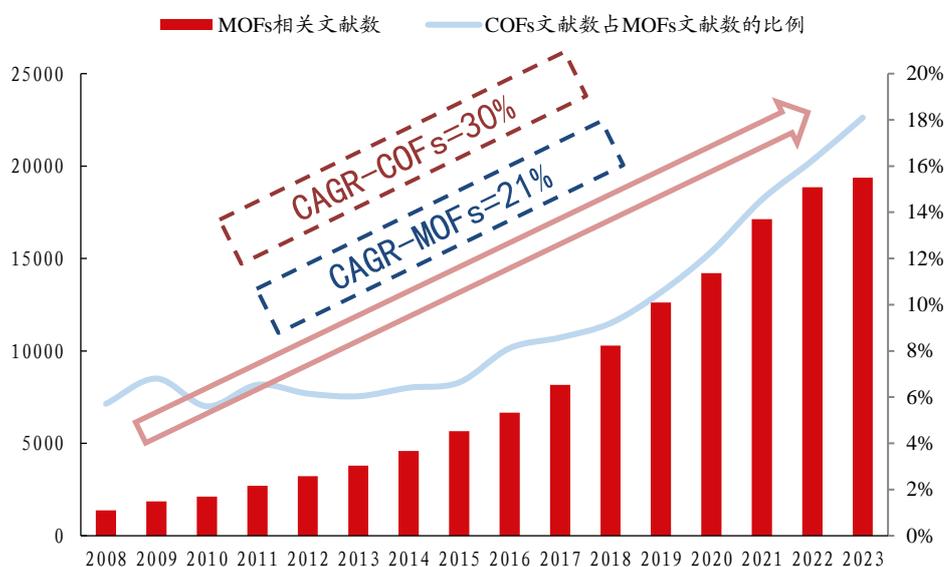
1) 理论基础的积累

MOFs 正式被研究的时间早于 COFs 10 年，科研界已发现超过 10 万种结构的 MOFs，而 COFs 种类还未超过 1000 种（数据截止 2021 年）。

从文献数来看，2023 年与 MOFs 相关的文献数已接近 2 万，而 COFs 则是 3500 篇。但从发展的速度而言，近年来关于 COFs 的研究热度持续攀升，相关文献量的增长速度也快于 MOFs。

虽然 COFs 的基础理论研究还有较大空间，但在科学技术逐步发达的今天，全球致力于科研领域的研究者也愈发增多，整体的科研效率相较以往有了大幅提升。由于 MOFs 和 COFs 存在一定相通性，部分 MOFs 课题组也在尝试向 COFs 领域转向，关于 COFs 的基础理论有望呈现快速积累的趋势。

图表28：与 MOFs 相关的文献数和其与 COFs 文献增长速度的比较



资料来源：web of science，国联证券研究所

2) 时间的沉淀

从 1995 年首次被正式研究以来，2010 年之后 MOFs 才实现了工业化合成，并在随后的十几年中尝试商业化应用，直到 2023 年才实现了大规模的生产。

由此可见，新材料的大规模生产和在下游应用的推广需要比较长的时间维度。考虑到 COFs 在密度和稳定性上的优势，并且不需要金属的参与，其在成本和下游市场拓展速度上可能会优于 MOFs。

3) 业界公司的推动

巴斯夫 MOFs 的技术主要源于加拿大纪念大学化学研究中心 G-CART 的林健斌博士实验室，该技术此前发表在 2021 年 12 月的《Science》上。

碳语新材的技术开发源自华中科技大学龚江教授团队。龚江教授曾师从美国德克萨斯州大学圣安东尼奥分校陈邦林院士，长期从事废弃塑料转化为 MOFs 材料等技术，为高性能、低成本的纳米材料提供新的制备策略。

同样地，COFs 从实验室走向工业化也需要业界公司与科研院所合作来进行推动。

宝丽迪联手国内 COFs 领军人物，共同推进 COFs 材料量产与商业化进程。

宝丽迪是国内纤维母粒龙头，近年来，公司纤维母粒产量持续在国内排名第 1。

2023 年 6 月，公司发布公告，与南开大学张振杰教授合资设立耀科新材料（苏州）有限公司，双方持股比例分别为 51% 和 49%。合资公司致力于 COFs 新材料的研发、销售和推广。

张振杰教授是南佛罗里达大学化学系博士，加州大学圣地亚哥分校化学与生物化学系博士后，南开大学化学学院研究员、教授，国家“四青”人才，共发表论文超过 130 篇，研究领域集中在多孔材料和晶态智能材料，是目前国内 COFs 领域的领军人物。公司与张振杰教授的合作已具备理论基础，有望加速推动 COFs 材料的商业化应用。

考虑到成本和规模化制备问题，我们认为 COFs 有望在高价值量领域率先实现突破，例如 VOCs 吸附、药物萃取和核废水处理等。

5. 投资建议：关注 COFs 产业化进程

COFs 是一类性能极佳，有望在多个领域发挥较大作用的有机多孔新材料，但目前受制于难以大规模制备、高结晶度获取困难使得性能难以平衡，COFs 的产业化进展缓慢。但是近期规模化制备方面已展现出积极信号，科学技术的进步也将解决高结晶度的痛点，我们认为可积极关注 COFs 产业化进程。

6. 风险提示

1) COFs 材料规模化生产遭遇瓶颈

虽然已有利用熔融聚合实现千克级生产 COFs 的方法被报道，但是否能运用到工业化的吨级甚至百吨级生产还存疑，这有可能成为阻碍 COFs 材料推广的一大阻力。

2) 市场拓展不及预期

COFs 材料适用于多种领域，但在进行市场推广时，下游企业不仅要考虑材料的

性能因素，还包括材料的使用成本，以及对已有材料进行替代带来的连锁风险，多维度的因素有可能导致 COFs 材料市场拓展缓慢。

3) 成果和设备转化风险

我国新材料领域的成果转化能力仍然不足，尤其是缺少成果转化领域的产业化转化机制、产业化支持类机构和产业转化技能型人才。此外，设备是新材料研发的基础和载体，我国新材料相关设备的自主研发有较大欠缺。

4) 知识产权风险

近年来 COFs 全球研究热度较高，如果企业与高校和科研院所之间的合作没有做好专利布局，将有可能面对知识产权风险。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准；韩国市场以柯斯达克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表指数涨幅20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~5%之间
	行业评级	卖出	相对同期相关证券市场代表指数跌幅10%以上
		强于大市	相对同期相关证券市场代表指数涨幅10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表指数跌幅10%以上

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属国联证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“国联证券”）。未经国联证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为国联证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，国联证券不因收件人收到本报告而视其为国联证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但国联证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，国联证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，国联证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

国联证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。国联证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。国联证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，国联证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到国联证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

版权声明

未经国联证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、转载、刊登和引用。否则由此造成的一切不良后果及法律责任有私自翻版、复制、转载、刊登和引用者承担。

联系我们

北京：北京市东城区安定门外大街208号中粮置地广场A塔4楼
无锡：江苏省无锡市金融一街8号国联金融大厦12楼
 电话：0510-85187583

上海：上海浦东新区世纪大道1198号世纪汇一座37楼
深圳：广东省深圳市福田区益田路4068号卓越时代广场1期13楼