

摆脱贵金属依赖！百年催化难题有了新解法

■本报记者 孙丹宁

给一个分子同时装上一个碳和一个氧,化学上叫“羰基化”。这道“加法题”听起来轻巧,却能创造出诸多高附加值的化学品。从医药中间体到可降解塑料单体、从溶剂到香料,羰基化反应撑起了现代化学工业的一大片天。

然而,这道“加法题”做起来并不容易。百余年来,工业上主流的方法是依赖铑、铱等贵金属配合物催化,还需卤素助剂参与,体系复杂、配体昂贵、催化剂与产物难分离。有没有可能换一条路,不用金属也能把碳和氧“装”上去?

一个令人振奋的答案出现了。中国科学院院士、中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)研究员刘中民团队等人通过分子筛空间限域调控的催化策略,实现了水参与的分子筛直接催化的乙炔羰基化到丙酸和丙烯羰基化到异丁酸两个反应,异丁酸在 750 小时连续运行中保持约 95%的产物选择性。10 月 21 日,相关成果发表于《自然》。

“这意味着,烯炔羰基化这道‘加法题’,终于有了一条不依赖金属就可以实现的新解法。”刘中民说。

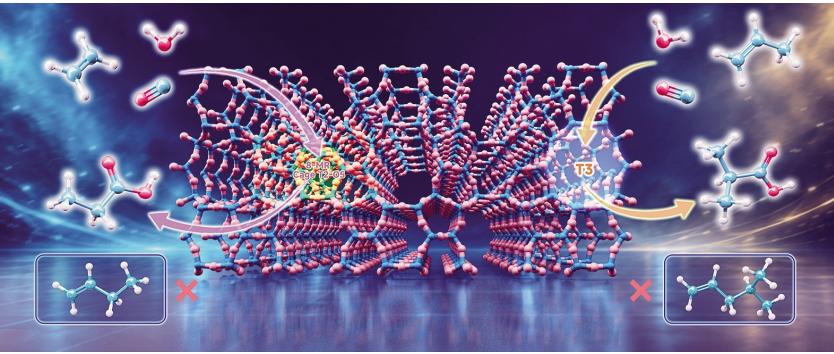
跨越一道看不见的“坎”

分子筛是一类具有规整孔道结构的无机多孔晶体材料,具有精准的孔道筛选能力,在石油炼制、气体分离和化工生产中发挥着不可替代的作用。2017 年,刘中民团队就成功利用分子筛催化的二甲醚羰基化反应,实现无水乙醇的大规模工业化生产,验证了分子筛在羰基化上的巨大潜力。

“然而,分子筛催化的成功案例实在太少,在这一大领域中相对空白。分子筛能否催化其他底物分子的羰基化,如不同类型的烯炔,缺乏系统理论依据作为参考。”刘中民坦言。

为什么要啃烯炔这块“硬骨头”?团队成员、大连化物所研究员朱文良的解释很务实:我国煤基甲醇制烯炔产业布局迅速,烯炔来源丰富、成本可控。“从烯炔切入羰基化,有利于布局煤基高附加值含氧化合物的生产路线,能够把丰富的烯炔变成丙酸、异丁酸这些精细化学品。”朱文良说。与此同时,近几年《自然》连续刊发贵金属催化烯炔羰基化反应的相关成果,说明羰基化正受到越来越多的关注,发展前景广阔。

但烯炔和醚类的羰基化,看似分子



水参与的两个反应示意图。

大连化物所供图

式中只差一个水,实则隔着一条机理层面的“坎”。“在一氧化碳插入底物分子过程中,两者都存在类似的限域效应,但在酰基转化的基元步骤上明显不同。”团队成员、大连化物所副研究员元良说,烯炔羰基化要面对一个棘手问题——烯炔在分子筛的酸性位上容易聚合,副反应会迅速让催化剂失活,因此既要让羰基化容易发生,又要抑制副反应。

在团队感到迷茫时,刘中民的经验给了团队很大信心:他们此前开展过烃类与二氧化碳耦合制芳烃研究,并快速完成工业化实验。这个耦合反应的中间过程同样涉及分子筛限域和含羰基的中间体构筑,与羰基化反应可以类比理解——当分子筛限域到极致,就是高选择性的羰基化反应。

“最初接手这个课题时压力不小,毕竟这个领域多年没有突破性进展。刘中民是我的博士生导师,他鼓励我勇敢地承担这项研究。正是团队此前积累的工业化经验,加上刘老师独到的科研视角,启发我们继续开展烯炔羰基化方向的研究。”元良告诉《中国科学报》。

从“能不能发生”到“能跑多久”

方向确定了,真正的考验才刚刚开始。元良坦言,实验初期最大的困难是缺乏理论指导。“我们不确定乙烯、丙烯的羰基化反应能否在分子筛酸性位上发生,能不能把目标反应从复杂的反应网络中‘抽提’出来。”

转机出现在对分子筛催化反应规律的探索和思考中。在查阅大量文献后,团队提出利用分子筛的限域效应有望实现这个过程,并完成了初步的实验设计。随后,团队发现,分子筛限域可以

在促进烯炔羰基化的同时,完美抑制烯炔聚合副反应——孔道的空间约束如同一双“巧手”,将反应物摆放在合适的位置,让一氧化碳能够精准插入,而不给聚合反应留出空间。

“有了大的指导方针后,我们继续尝试了大量可能的分子筛结构,最终发现镁簇沸石(FER)在当前探索的体系中最为适宜。”元良说。

这一发现令人兴奋,但真正起催化作用的高活性位点的识别绝非易事,仅依靠单一表征手段远远不够。团队通过合作,将固体核磁和红外光谱表征、两个反应的实验动力学以及密度泛函理论计算相结合,形成了一条完整的“证据链”,明确了 FER 的十元环孔口附近酸性位点,是丙烯羰基化最可能的活性位点;而乙烯羰基化的活性位点则导向 T2-O5。这也体现出,不同孔道限域位点能够催化出完全不同的反应过程。

最终,团队在 FER 上实现了乙烯与一氧化碳、水反应生成丙酸,丙烯与一氧化碳、水反应生成异丁酸。“烯炔到丙酸和异丁酸,是工业上很难实现的过程,因此这两个反应的成功运行意义重大。”元良说。

随后,团队进行了小试实验,确认了两个反应在高压条件下可连续运行 750 小时,丙酸选择性约 80%,异丁酸选择性高达 95%。“这是一项高压长周期实验,既要保证进料稳定,又要保证背压系统稳定,整个反应系统的稳定性都要盯住。”朱文良说,“最终拿到这组运行数据相当不易,因为该反应属于首次报道,领域内没有类似的工作可供参照。从工业化角度看,性能仍有待进一步提升和优化,但 750 小时的稳定性已经展现出很好的应用潜力。”



幅红外载荷等多源高精度探测设备,融合星上数据加密、星上智能处理、高速星地通信能力,实现遥感数据即感、即传、即用,推动行业从“可视遥感”迈向“精准靠谱遥感”。

未来,五羊星座组网后将覆盖我国南部 15 省市,辐射东南亚、非洲、南美等广大低纬度区域,提供高频次遥感数据供给,支撑城市治理、防灾减灾、生态保护、精细农业、河湖监测等多元场景,并助力区域灾害预警、资源普查、跨境生态协同治理。

图为五羊星座先导 A 星发射升空。
本报记者朱汉斌 沈春雷报道
广州大学供图

AI“垃圾稿”泛滥,arXiv 实施投稿限额



本报讯 据《自然》报道,为应对稿件数量激增的挑战,预印本平台 arXiv 自 10 月 1 日起正式实施投稿限额规定——每位作者每月最多提交两篇论文。

arXiv 科学主管、美国宾夕法尼亚州立大学的 Steinn Sigurðsson 表示,投稿量暴涨主要源于人工智能(AI)工具产出的大量“垃圾稿”。9 月,作者们在 arXiv 平台上传的预印本论文达到 4 万篇,而 3 月至 7 月每月约为 3 万篇。

过去一年,arXiv 已经出台多项举措管控投稿乱象。Sigurðsson 介绍,去年 10 月,平台收紧计算机领域的投稿,因为该板块已成为造假重灾区。今年 1 月,平台更新作者准入要求:想上传预印本论文的作者,需要拥有过往发表记录或获得资深 arXiv 用户推荐,并提供所在机构邮箱。5 月,平台封禁了一批存在参考文献幻觉问题的论文作者。

Sigurðsson 介绍,arXiv 推出这项新举措,目的是保护平台近 300 名志愿审核人员,避免其被海量稿件压垮。审核团队如今日均处理稿件约 1000 篇。但他坦言,投稿限额也使得不少合规优质论文的发布进度减缓。目前,平台尚有近 4000 篇稿件排队等待公开发布。

对于这项限制措施,一部分学者认为完全合理。美国哥伦比亚大学的 Siddhesh Zaidéy 表示,该举措“并不会抑制科研产出”,因为每月产出两篇预印本论文本身就需要相当大的工作量。同时也有学者认为 arXiv 新规仍不够严格。美国马里兰大学帕克分校的 Victor Galitski 提醒,共同作者可以轮流投稿,以此绕开限额。

另一个预印本平台 SocArXiv 已规定每位作者每周最多投稿一篇。SocArXiv 负责人、美国马里兰大学的 Philip Cohen 表示:“确实也有在合理情况下一次性上传 3 篇论文的时候。但大多数情况下,短时间内连续投递多篇论文,往往是 AI‘垃圾稿’的信号。”

2025 年 6 月,团队首次将“分子筛催化烯炔羰基化新反应”成果投稿至《自然》,很快便有了回音,这也是团队难忘的时刻。“最初反应成功时,我们是非常高兴的,因为在分子筛催化领域,想要探索新反应难度很高,需要对分子筛材料和化学反应理论都有很深的理解,所以近些年分子筛催化的新反应报道并不多见。第一轮审稿意见返回,打开邮件看到编辑和审稿人都给出正面评价,说明分子筛催化新羰基化反应的重要性及我们工作的创新性都得到了认可,这也进一步增强了我们的信心。”元良说。

16 个月后,稿件正式被《自然》接收。

一个更大的问题

团队深知,这项工作的意义远不止于两个新反应。

“我们还在努力回答一个更大的问题——能否建立通用框架,反过来预测并设计更多分子筛催化的羰基化新过程。”刘中民说。

“前期我们只有少数醚类羰基化案例,仅凭这些例子,无法预测分子筛能否催化别的分子羰基化,更说不清系统性的机理。”元良说,烯炔羰基化的成功,为搭建该通用框架补上了关键拼图。

从产业视角看,丙酸和异丁酸都是重要精细化学品,也都是甲基丙烯酸甲酯的潜在前驱体,而甲基丙烯酸甲酯是生产有机玻璃的大宗单体。“如果技术后续放大落地,可能带来丙酸和异丁酸的新生产工艺,下游衍生物具备更高价值。”朱文良说,相较于传统液体酸催化,分子筛非均相体系可实现连续、高效生产,而且不用处理含酸废水,环保优势明显。

当然,挑战依然存在。“面向未来产业化应用,性能还需进一步优化。”刘中民透露,团队将继续优化当前实验性能,拓展更多新催化反应,并结合对多种新过程和传统过程的理解,争取建立完善的分子筛催化羰基化理论体系。

“可以预见,一旦这套通用框架成功建立,分子筛催化羰基化反应就不再依赖经验试错,而是走向理性设计与精准预测,为含氧化合物的高效、绿色制备打开更广阔的空间。”刘中民说。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-11183-2>

中办、国办《关于推动科技创新和产业创新深度融合的意见》对外发布

据新华社电 10 月 21 日,中共中央办公厅、国务院办公厅《关于推动科技创新和产业创新深度融合的意见》对外发布。

意见要求,深入实施创新驱动发展战略,以发展新质生产力、建设现代化产业体系为目标,以构建企业主导、各主体协同的产学研融通创新体系为重点,推动全链条贯通、全领域覆盖、全要素融通、全方位保障,形成科技创新和产业创新互融共促新格局,打通

从科技强到产业强、经济强、国家强的通道,为加快高水平科技自立自强、实现高质量发展、建设社会主义现代化强国提供支撑。

意见从促进创新链产业链无缝对接、以高质量科技供给支撑现代化产业体系建设、加强企业主导的产学研融通创新、提高创新资源统筹配置效能、营造深度融合的良好生态、拓展深度融合的发展空间以及加强组织实施等方面作出具体部署。

2026 年世界科技与发展论坛在重庆开幕

本报讯(记者高雅丽)10 月 21 日,由中国科协、重庆市人民政府主办的 2026 年世界科技与发展论坛在重庆开幕。论坛以“协同演化:塑造未来产业的新生态”为主题,发布了年度“十大科技前瞻”,覆盖数智生态、生命健康、物质制造、能源、空间深海五大领域,旨在为前沿科学研究和产业创新发展提供参考。

“十大科技前瞻”分别是面向原创科学发现的自主科研智能体、强人工智能安全与价值对齐、双向脑机接口与闭环神经调控、可编程基因编辑实现体内精准治疗、受控原子级制造与跨尺度器件构筑、量子材料器件与装备的可控规模化制造、可控核聚变的堆级实现、深部能源勘探开发与跨季节规模储能、深海生态系统探测与未知生命资源发掘、太空原位资源开发与在轨制造。

论坛还举行了“开放合作·国际科技人文交流丛书”启动仪式,同时发布

了智能传感领域产业图谱、国际智能制造联盟国际标准、《2026 年度 CCUS 十大问题》等成果。《中国科学技术协会与世界工程组织联合会谅解备忘录》也在会上成功签署。

本届论坛持续至 10 月 23 日,共设置“使能未来:前沿感知与数字基石”“定义未来:智能产品与先进制造”“重塑未来:绿色能源与低碳系统”“守望未来:全球挑战与协同治理”四大议题,组织开展 12 场平行论坛,涵盖智能感知、仿真技术等领域。

论坛还安排 4 条科技参访线路,包括“智行天下·能源革命与未来产业探索”“硬核智造·具身智能与超级工厂巡礼”“生命密码·种质创制与生物科技展望”“城市脉动·交通枢纽与城市规划探访”,直观展示重庆加快建设西部科创高地、聚力打造制造业重镇的创新生态与开放合作潜力。

蚊子通过气味识别宿主的分子机制获揭示

本报讯(记者刁雯雯)深圳医学科学院特聘研究员潘孝敬团队联合深圳湾实验室特聘研究员柳峰、黄恺团队,以传播疟疾的媒介——斯氏按蚊为研究对象,成功解析了负责感知人体皮肤上羧酸类气味的离子型受体 IR8a-IR75k 复合物在多个功能状态下的高分辨率结构,并首次从原子尺度系统揭示昆虫离子型受体复合物如何识别宿主皮肤上的羧酸类气味分子,以及如何将这一化学信号转化为神经电信号的完整机制。近日,相关研究成果发表于《自然》。

蚊虫寻找宿主主要依靠嗅觉。此前,科学家已证实,离子型受体在蚊子嗅觉系统中不可或缺。其中,IR8a 受体是许多离子型受体的“共受体”,它本身不识别气体,必须与 IR75k 这样的“调谐受体”配对,才能组成有功能的离子通道。“IR8a-IR75k 让蚊子把羧酸这类化学分子信号转化成神经信号,且耀发光变曲线相似,暗示它们具有同一物理起源。第五次耀发于 2025 年 4 月如期而至,研究团队随即启动了涵盖光学/紫外-X 射线和射电波段的多波段后随观测,并在第五次耀发期间获取了多台望远镜的光谱数据。WFST 对光学光变曲线的下降阶段给出了最优观测约束。这些多波段观测及光谱数据表明,第五次耀发具有与典型潮汐瓦解事件相似的观测特征,很可能源于黑洞潮汐瓦解恒星过程,支持该周期性事件为黑洞重复潮汐瓦解恒星事件。

研究团队通过分析长期光变曲线发现,AT2023uqm 的耀发周期约为 527 天,且每次耀发的能量约为上一次的 1.7 倍。这一持续增强的趋势在观测

识别的功能,它不仅能识别“羧酸”这一化学类别,还会读取烷基链长度和羧基的空间几何,从而区分气味分子。

那么,蚊子是如何把识别到的气味转化成“叮咬”行为的?研究团队发现,壬酸分子进入 IR75k 的配体结合口袋后,IR75k 的双叶状配体的结合结构域发生闭合,其中一个叶状结构像刚体一样旋转。这个过程中,连接配体结合结构域和跨膜区之间有一段由 4 个氨基酸炼成的短连接结构。它如同一个“分子开关”,使整体结构螺旋向外移和转动,最终让中央离子孔道扩张并进入开放状态。而正是这个分子开关让蚊子从闻到气味转变为识别出气味分子,并将相关的气味分子转化为神经信号,从而驱动寻找宿主并实施叮咬行为。

潘孝敬表示,该研究为后续开展基于结构的驱避剂、引诱剂或受体调控结构设计提供了潜在靶点。未来,若能针对这些关键结构精准干预蚊虫嗅觉信号,有望实现更加绿色、精准的蚊媒防控策略,为疟疾等蚊媒传染病防控提供新思路。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-11239-3>

科学家发现首例确凿的黑洞重复潮汐瓦解恒星事件

本报讯(记者王敏)近日,中国科学技术大学天文学系墨子巡天望远镜(WFST)科学团队发现了一例具有至少 5 次周期性光学耀发的核区暂现源 AT2023uqm,其是目前发现的首例具有说服力的重复部分潮汐瓦解事件候选体。并且,AT2023uqm 每次耀发的能量呈现近乎指数级的增长,这种前所未有的“失控”行为意味着研究人员正在目睹一颗恒星被超大质量黑洞逐步瓦解、走向终结的过程。相关成果发表于《科学通报》。

AT2023uqm 最初由小行星陆地撞击持续报警系统于 2023 年 10 月发现。随后,研究团队在茨威基暂现源设施的历史数据中追溯到 3 次此前未被注意到的较弱耀发。这些耀发呈现出较好的周期性,且耀发光变曲线相似,暗示它们具有同一物理起源。第五次耀发于 2025 年 4 月如期而至,研究团队随即启动了涵盖光学/紫外-X 射线和射电波段的多波段后随观测,并在第五次耀发期间获取了多台望远镜的光谱数据。WFST 对光学光变曲线的下降阶段给出了最优观测约束。这些多波段观测及光谱数据表明,第五次耀发具有与典型潮汐瓦解事件相似的观测特征,很可能源于黑洞潮汐瓦解恒星过程,支持该周期性事件为黑洞重复潮汐瓦解恒星事件。

研究团队通过分析长期光变曲线发现,AT2023uqm 的耀发周期约为 527 天,且每次耀发的能量约为上一次的 1.7 倍。这一持续增强的趋势在观测

上属首次发现,与黑洞重复潮汐瓦解小质量对流恒星或巨星包层的数值模拟结果一致。研究团队介绍,这是因为对流主导的恒星在损失物质时,其半径会变得更大,使得黑洞在下一次瓦解过程中更容易撕裂出更多的物质。此外,AT2023uqm 的每次耀发都呈现出相似的双峰结构,两个峰之间的间隔约为 17 至 20 天。研究团队提出两种可能的解释:一是部分潮汐瓦解情形下天然存在的双峰质量回落率,被剥离的恒星物质在靠近黑洞时形成内外两条碎片流,先后落回黑洞周围,从而产生两个辐射峰;二是恒星每绕黑洞一周发生两次碎片与吸积盘的碰撞。在第一种情形下,观测到的双峰间隔要求被瓦解的恒星为演化后的巨星。研究团队指出,未来耀发强度的演化将帮助区分两种情形。

研究团队曾预测,如果被瓦解的是小质量恒星,最多还会有 1 到 2 次耀发;而下一次耀发如果存在,按周期推算应发生在 2026 年 9 月左右,团队已经提前部署并开展了观测。

研究人员介绍,AT2023uqm 是目前最有说服力的重复部分潮汐瓦解事件候选体,为研究恒星如何在黑洞的反复“啃噬”下逐步走向瓦解提供了一个天然的实验室。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1016/j.scib.2026.08.025>