



视觉中国供图

二氧化碳是最主要的温室气体，在二氧化碳分离、捕集技术中，吸附技术是相对成熟且应用最多的一种技术。随着我国“双碳”目标的提出，与吸附技术相配套的二氧化碳吸附剂材料也广受关注，低成本、高效率的二氧化碳吸附剂材料成为当前研究和产业化的热点之一。

二氧化碳吸附剂材料：为碳中和助力，需进一步扩大应用

◎本报记者 李禾

二氧化碳是最主要的温室气体，随着我国“双碳”目标的提出，二氧化碳捕集、封存和利用(CCS)技术的发展以及应用场景的扩大，基于吸附技术实现二氧化碳捕集也广受关注。其中，研发低成本、高效率的二氧化碳吸附剂材料成为当前研究和产业化的热点之一。

固体吸附剂材料对环境友好

在二氧化碳分离、捕集技术中，吸附技术是相对成熟并且应用最多的一种技术。吸附技术具有能耗低、操作简单、吸附量大、循环性能好等优点，与吸附技术相配套的二氧化碳吸附剂材料种类较多，总体而言，可分为固体吸附剂材料与液体吸附剂材料。

东南大学材料科学与工程学院教授张友法介绍，固体吸附剂材料具有较弱的腐蚀性，而且吸附能耗低，具有安全性和环境友好性等优势，将其应用到二氧化碳捕集中具有很好的效果。固体吸附剂材料还包括了高温吸附剂材料和低温吸附剂材料。其中，高温吸附剂材料以氧化钙吸附剂材料为代表，能够在高达600℃的温度下对二氧化碳进行吸附。由于氧化钙吸附剂材料属于碱性物质，二氧化碳属于酸性气体，因此其能较为容易地吸附二氧化碳，这两种物质通过化学反应生成碳酸钙。

低温吸附剂材料包括活性炭、沸石等，除了不能在较高温度下吸附二氧化碳外，具有较好的二氧化碳吸附效率和再生性能等优点。以沸石为例，它是自然界中存在的一种天然硅铝酸盐，具有纳米级的均匀孔径，形成相互连接的通道和网状结构，具有筛分分子、吸附、离子交换和催化作用，人工合成的沸石又被称为分子筛。分子筛的吸附是一种物理过程，通过分子引力作用在固体表面产生一种“表面力”，当二氧化碳气体流过时，其中的分子会碰撞到吸附剂材料表面，并聚集于此，从而使气体中的分子数目减少，达到分离、清除的目的。由于吸附不发生化学变化，因此只要设法将聚集在表面的分子“赶跑”，“再生”的分子筛就又具有吸附能力了。

液体吸附剂材料成本较低

作为二氧化碳吸附剂材料生产企业之一，西安蓝晓科技新材料股份有限公司(以下简称蓝晓科技)董事长高月静说，目前全球范围内，工业化的二氧化碳捕集技术以

溶剂吸附法为主，核心吸附材料为液体有机胺化合物。液体胺吸附效果好、成本低，但是再生能耗高，对设备腐蚀较大。

不过，随着科技的进步，液体吸附剂材料也在不断改进和优化。郑州大学化工学院、中国科学院过程工程研究所等单位的科研人员发表的文章《负载型离子液体吸附分离二氧化碳的研究现状及展望》显示，因具有极低挥发性、强气态亲和性、可调的结构性质等特点，离子液体在二氧化碳捕集分离领域逐渐显示出独特的优势。但离子液体通常黏度较高，或在室温下呈固态，导致吸附效果差或者无法直接应用于吸附分离过程。

而负载型离子液体是将离子液体与有机或无机多孔材料，通过物理或化学方法结合而形成。作为二氧化碳吸附剂材料，负载型离子液体兼具离子液体和多孔材料的共同优势，不仅能提升选择性分离效果，还能有效避免采用离子液体直接吸收二氧化碳的高黏度问题，提高了二氧化碳吸附效率。通过离子液体和载体的不同结合方式，负载型离子液体可分为物理负载型、化学负载型离子液体，其合成方法通常为浸渍法、键合法、溶胶-凝胶法等。与离子液体结合的多孔材料，主要包括硅基、聚合物、活性炭、沸石与金属有机骨架等。

新型吸附剂材料不断出现

当前，我国在二氧化碳吸附剂材料研发方面不断取得新突破。如南京工业大学化工学院刘晓勤教授、孙林兵教授课题组研发出一种智能光响应吸附剂材料，实现了对二氧化碳的低能耗、可控式捕集。相关研究成果发表在《德国应用化学》上。

在工业上的吸附分离操作中，传统吸附剂材料通常需要在变温或变压条件下实现其循环使用，也就是在常温下吸附、升温时脱附或在加压下吸附、减压后脱附。“但问题是，这个吸附—脱附的过程能耗较高。”孙林兵说，材料能吸附二氧化碳，材料本身就必须具备吸附活性位点，否则就无法实现选择性吸附。

为了减小吸附—脱附过程的能耗，课题组在吸附剂材料中引入诸如偶氮苯等光响应成分，使其和活性位点发生作用，在不同光照条件下，响应分子的构型发生改变，进而对活性位点的性质进行了调节，实现二氧化碳的吸附和脱附。

“我们在不同光照条件下，对活性位点进行调试，最终实现了对二氧化碳的可控性捕集。”孙林兵说，这种新的吸附—脱附调控机制相较于传统的变温、变压吸附大大降低了能耗。

负两个电极间的往复穿梭来存储和释放电能。

田华军介绍，与碱性电解液体系电池相比，基于中性或近中性水系电解液的锌离子电池技术，具有理论上更长的锌负极循环寿命。而且锌离子电池的原材料锌储量丰富，电池装配、储存、运输和维护又相对简单，因此被认为在大规模储能领域具有更加广阔的应用前景。与锂电池采用高度可燃性的有机电解液不同，水系锌离子电池主要用水作为电解液溶剂，因此不存在锂电池的可燃、易爆等问题，具有安全性高、环保性好、成本低等优势，具有在电子设备和储能系统中广受关注。但是作为负极的金属锌，在水系电解液存在着严重的枝晶、析氢、金属腐蚀等有害副反应，从而阻碍了水系锌离子电池的大规模应用。

田华军解释，枝晶是指充放电过程中，锌离子会在锌负极上发生不均匀沉积，从而使电池负极上出现树枝状金属锌晶体。在电池充放电过程中，枝晶还会不断长大，最终刺穿隔膜与正极接触，导致电池因内部短路而失效。析氢是指作为

电解液溶剂的水，在电池充放电过程中会分解、释放氢气，导致电池胀气，甚至爆炸。腐蚀主要是由于金属锌较为活泼，会自发地与水发生化学反应，从而持续消耗锌负极材料和电解液，导致电池使用寿命大幅缩短。

新材料解决水系锌离子电池面临的问题

“我们团队研发的三维纳米结构锌合金界面材料，用作水系锌离子电池负极材料，以解决枝晶等问题。”田华军说，新的负极材料的三维结构类似于一个个“小房子”，锌离子会自动进入“小房子”中，即优先沉积在锌合金界面材料的三维结构内而不是聚集在表面，从而阻止了枝晶生长。同时，电解液里增加了含锌、铜等离子的溶剂，以减少水的活性，抑制析氢反应，从而解决了锌负极界面不稳定等问题，延长了锌负极的寿命。该锌合金界面材料表面还自然形成了一层铜合金层，使负极电极表面强度增加、电化学稳定性增强，明显提高抗腐蚀性。

无独有偶，张友法团队发明了一种用于潮湿条件下高效捕集二氧化碳的改性活性炭材料。由于价格低廉、丰富和可定制的物理、化学特性，活性炭成为工业化应用中最具潜力的吸附剂材料之一。但工业烟气中往往含有大量的水蒸气，当烟气中水蒸气浓度过高，水分子会通过竞争吸附、孔隙堵塞等显著降低吸附剂材料的二氧化碳捕集效率，因此人们迫切需要开发新技术以减少水蒸气对活性炭吸附性能的影响。张友法团队让疏水性有机框架材料，原位“生长”在功能性碳材料中，制备出复合材料。这种复合材料具有耐久性、高比表面积和疏水性能，可以在高温工况下实现高效二氧化碳捕集。这项技术还广泛适用于其他遭受水蒸气竞争吸附影响的吸附材料生产中。

有些吸附剂材料已有小范围应用

“目前，对二氧化碳吸附剂材料的研究很多，但绝大多数还处于基础研究阶段。”孙林兵说，有些吸附剂材料在小范围的某些特殊场景下已有应用，但大范围应用吸附剂材料还是相对少见。在产业化方面，吸附剂材料的使用还需要跟生产所采用的工艺耦合，并需要进一步综合评估其成本和经济效益情况。

开发兼具高吸附容量、低成本的二氧化碳吸附剂材料被认为是CCUS技术未来商业应用的关键。高月静说，创新研发二氧化碳吸附剂材料是企业工作的重点方向之一。蓝晓科技通过与欧洲大型化学品公司的合作，已经实现了向欧洲市场提供二氧化碳吸附剂材料，并形成了商业化应用案例。

不过，《负载型离子液体吸附分离二氧化碳的研究现状及展望》也指出，尽管目前报道的负载型离子液体用于二氧化碳吸附分离的研究较多，但主要还局限于实验室研究，要实现大规模应用，还需要解决多方面的问题。比如工业生产环境复杂多样，尽管目前设计、研究出用于吸附的材料种类很多，但还需要在现有基础上进一步开发出更多种类的吸附剂材料，以满足使用要求；吸附剂材料在各类环境中吸附、脱除二氧化碳时，往往还存在其他杂质气体的干扰，如工业烟气中常含有二氧化硫、二氧化氮等酸性气体，密闭空间和空气中常含有大量的水蒸气等；复杂组分下二氧化碳与吸附剂材料的作用关系、选择性和长周期循环稳定性等还需要更多的实验数据进行验证，为其实际应用提供支撑。

孙林兵说，随着技术的发展，二氧化碳吸附剂材料生产和使用的成本也会再进一步降低，使用的范围和场景也可能随之扩大和增加。

寻材问料

具高选择性和高传导率 新型离子膜“鱼与熊掌”可兼得

◎本报记者 陆成宽

膜材料在生活中随处可见，如蔬菜大棚薄膜、汽车玻璃防爆膜、手机面板保护膜等。

5月22日，科技日报记者获悉，中国科学技术大学徐铜文教授、杨正金教授团队与合作者研发了一类新型膜材料——微孔框架聚合物离子膜，首次实现膜内近似无摩擦的离子传导，解决了离子膜材料“传导性—选择性”相互制约的难题。相关研究成果近日发表于《自然》杂志。

离子膜是指由对离子具有选择透过性的高分子材料制成的薄膜。它既需要筛分出特定的物质，防止它通过，又要保证某些物质能高效通过。“传统离子膜普遍存在‘传导性—选择性’相互制约、不可兼得的难题。”徐铜文介绍。

更关键的是，离子膜是液流电池、燃料电池等电化学器件或装备的关键部件，传统离子膜普遍存在吸水后容易出现溶胀变形、结构疏松等问题；同时，长时间使用会导致膜材料结构老化、性能下降。

为解决这些问题，研究团队创新性地研发了一种具有贯通亚纳米离子通道的微孔框架离子膜材料，同时在通道表面进行了化学修饰，不仅解决了传统离子膜材料中离子通道老化和吸水溶胀问题，还兼具高选择性和高传导率，离子传输更加迅速，在膜内实现了近似无摩擦传导。使用该膜组装的液流电池，充放电电流密度可以达到500毫安/平方厘米，是当前普遍报道值的5倍以上。

《自然》杂志审稿人认为，这种离子膜在液流电池中展示出了非凡的性能，与迄今所用的最好的膜相比，此类离子膜的性能显著提高，对基于分子型活性物质的水系液流电池研究体系也具有重要的借鉴意义。

徐铜文表示，该离子膜有望广泛应用于能源转化、大规模储能以及分布式发电等领域，为实现“双碳”目标和可持续发展提供技术支撑。基于该成果孵化的特种离子膜产品已申请中国发明专利，研究人员正加紧实现该型离子膜量产。

环保特种橡胶成功试生产

科技日报讯(通讯员谢文艳 记者李丽云)5月23日，科技日报记者从大庆石化公司塑料厂获悉，该厂首次实现氯化聚乙烯B型料QL545P工业试生产，成功生产合格产品500吨。

氯化聚乙烯B型料也称为橡胶型氯化聚乙烯，是一种新型、环保的特种橡胶。与其他橡胶相比，氯化聚乙烯B型料具有更为优良的耐寒、耐老化、耐臭氧、耐油、阻燃性，主要用于电线电缆、胶管、输送带、橡胶水坝、特种轮胎、电梯扶手等的制造。氯化聚乙烯B型料是橡胶的理想替代品，是一种具有广泛应用前景的弹性体。

目前，国内市场所需的氯化聚乙烯B型料以进口产品为主。为了抢抓机遇，开辟更高端市场，大庆石化公司通过技术创新，致力于开发氯化聚乙烯B型料QL545P新产品。此次，氯化聚乙烯B型料QL545P工业试生产，为企业提升产品市场竞争力作出了贡献。

“中国速度”推动

中巴新材料技术合作实现双赢

◎新华社记者 罗婧娟

全球的电气化、城镇化、可持续化和数字化发展为环保、高效的新材料技术应用提供更广阔市场空间，能够将商业理念更快转化为商业实践的“中国速度”正助力中国与巴西在新型锂电池材料领域的合作实现双赢。

“如今，中国拥有全球顶级的技术研发实验室和数不胜数的高素质人才，因此我们能够将商业理念快速转化为产品并提供给终端客户。”全球最大铌产品生产企业巴西矿业公司电池产品项目主管罗热里奥·里巴斯日前在公司位于圣保罗州阿拉沙市的总部接受记者专访时说。

铌是一种具有延展性、可塑性和高度耐腐蚀性的软金属，能够增强材料性能和功能，被广泛应用于合金钢和氧化物中，是基础设施建设、交通、航天、医疗和能源领域的重要材料。

长期以来，铌产品主要应用于钢铁产业，铌的加入可以使钢铁产品更具韧性且耐腐蚀。

近年来，巴西矿业公司涉足新能源电池领域，通过将氧化铌产品加入锂电池，从而增加电池传导性、提高使用效率、加强化学稳定性、降低使用温度、提高能量密度、加强安全性、加快充电速度。

2019年，巴西矿业公司决定启动基于电池技术的产品研发项目，自2021年开始与中方合作研究将铌用于制造电池正、负极和其他相关产品技术。

“我们与中国的电池材料生产商、电池制造商、高校、研究机构等建立了合作关系，共同研究新型铌技术在锂电池中的应用。”里巴斯说。

他表示，中国对巴西矿业公司的核心业务非常重要。2022年，中国市场的铌原料销量占巴西矿业公司全球销量约40%，较2021年实现近10%的增长。

巴西矿业公司环境与技术支持部门经理蒂亚戈·阿马尔认为，中国是全球钢铁生产和消费大国，铌相关技术的发展应用有广阔前景。与此同时，中国正大力推动电动车发展，为巴西矿业公司发展新型锂电池材料创造了巨大的市场空间。