

CO₂捕获和封存(CCS)技术创新集锦

王欢

(中国地质调查局地质文献中心,北京 100083)

Innovation collection of carbon capture and storage(CCS)technology

WANG Huan

(Geoscience Documentation Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

1 斯坦福大学开发“芯片上的实验室” 用于分析岩石中 CO₂封存状况

斯坦福大学的科学家们开发出一个微小的新装置,能够使科学家直接观察和量化岩石在酸存在下的变化,从而能够更准确地评估地下 CO₂封存场地,确保当 CO₂注入地下时,它实际上保持在原地。科学家通常称该装置为“芯片上的实验室”,由于该技术涉及将一小块页岩嵌入微流体细胞中,研究人员也称之为芯片上的岩石。

为了演示该设备,研究人员使用了从西弗吉尼亚州的马塞勒斯页岩和得克萨斯州的沃尔夫坎普页岩中采取的 8 块岩石样本。他们将岩石标本切割并打磨成不超过几粒沙子的碎片,每一粒都含有不同数量和排列的活性碳酸盐矿物。研究人员将样品放入一个玻璃密封的聚合物室中,留下两个微小的入口,用于注入酸溶液。高速摄像机和显微镜协助他们一步一步地观察样品的单个矿物颗粒溶解和重新排列的化学反应。注入酸时,矿物溶解在 3 mm²的马塞勒斯页岩样品中。使用荧光显微镜技术进行动态流动和反应传输实验,该技术允许每 100 μs 捕获清晰图像。

鉴于碳清除在应对气候变化中的作用,以及投资者目前向这项新兴技术投入的数亿美元,改善反应性运输模式已成为一个日益紧迫的问题。直接从大气中去除 CO₂的现有项目基本为中试规模。那些从源头捕获排放的项目更为常见,全世界有 100 多个项目正在实施,那些确实涉及地质碳封存的项目可以通过该新技术得到帮助,并可能使其更加稳定和安全。

2 伯克利的研究人员发明一种简单、 廉价的 CO₂捕获材料

伯克利的化学家们利用一种叫做三聚氰胺(福米卡的主要成分)的廉价聚合物创造了一种廉价、简单且节能的 CO₂

捕获方法。合成三聚氰胺材料的工艺可能会被扩大规模,用来捕获汽车尾气或其他可移动 CO₂源的排放。

这种新材料制作简单,主要需要现成的三聚氰胺粉(目前每吨约 40 美元),以及甲醛和三聚氰酸。

在这项研究中,研究员们专注于更便宜的捕获和封存材料设计,并阐明了 CO₂与材料之间的相互作用机制。这项工作创造了一种利用多孔网络实现 CO₂可持续捕获的通用工业化方法。

测试证实,甲醛处理过的三聚氰胺在一定程度上吸附了 CO₂,但通过添加另一种含胺化学物质 DETA 结合 CO₂,可以大大改善吸附效果。研究表明,三聚氰酸与三聚氰胺分子形成强大的氢键,有助于稳定 DETA,防止其在碳捕获和再生的重复循环中从三聚氰胺孔中浸出。

在这种开孔三聚氰酸的存在下,能够以非常好的能力多次循环 CO₂。与其他一些材料相比,CO₂的吸附速度实际上相当快。因此,在实验室规模上,这种用于捕获 CO₂材料,能够满足实际应用方面的所有要求,而且制造起来非常便宜和容易。

有研究团队正在继续调整孔径和胺基,提高三聚氰胺多孔网络的碳捕获效率,同时保持能源效率。这涉及使用一种称为动态组合化学的技术来改变成分的比例,实现有效、可扩展、可回收和高容量的 CO₂捕获。

3 诺森比亚大学研究人员利用细菌将 阳光、水和 CO₂转化为高价值化学品

诺森比亚大学的研究人员使用一种化学工艺,将阳光、水和 CO₂转化为乙酸盐和氧气,生产由可再生能源提供动力的高价值燃料和化学品。作为该工艺的一部分,细菌生长在一种被称为光催化剂片的合成半导体器件上。该项目的目的是遏制大气中 CO₂浓度的上升,确保急需的绿色能源供应,缓解全球对化石燃料的依赖。

该项目由 Kalathil 博士与剑桥大学能源与可持续发展专业教授 Erwin Reisner、日本名古屋大学副教授王倩以及纽卡斯尔大学合作研究。Kalathil 博士说：“英国的天然气价格飙升等事件表明了全球能源供应的脆弱性，寻找替代能源具有重大的全球意义。我们需要开发新技术来应对这些重大挑战，同时又不会进一步污染我们生活的地球。风能和太阳能等可再生能源的发电量有所增加，但在自然界中这些都是间歇性的。为了填补不刮风或没有太阳光时的缺口，需要创造可封存燃料和可持续化学品的技术。研究正面应对了这一挑战。除了确保额外急需的能源供应，可持续技术还可以减少温室气体排放，并在全球实现净零排放的努力中发挥关键作用。”

4 纳米壳催化剂将温室气体转化为有用的化学品

甲烷是填埋、畜牧业、煤矿和其他人类活动的副产品，是气候变化的主要驱动因素之一。然而几十年来，科学家们一直在努力开发廉价的方法来利用甲烷，这是天然气的主要成分，同时又不产生 CO₂，这是地球大气中含量最丰富的温室气体。

可能的解决方案包括干重整，这一过程有可能将甲烷和 CO₂ 转化为化学原料，这些原料可用于制造或加工其他产品。然而，为了使干重整在商业上可行，需要新的和改进的催化剂。在 6 月份由布法罗大学领导的两项研究中，一项发表在《Chem Catalystation》，另一项发表于《Angewandte Chemie》，研究人员报告了一种新的镍基催化剂生产方法，该方法可以克服长期存在的挑战。

研究团队开发了一种一步气溶胶工艺，制造低成本、高性能的催化剂。该工艺基于斯威哈特实验室开发的独特火焰反应器。研究团队利用该反应器制造出一种称为纳米壳的微小球形颗粒，这种颗粒可以抵抗结焦和烧结。

在化学催化研究中，该团队报告说，在 500 h 的过程中，催化剂仍然有效，可将 98% 的甲烷转化为合成气，这是氢和一氧化碳的混合物，随后可用于生产各种化学产品。

在第二项研究中，研究小组使用该反应器生产了一种新的介孔 SiO₂ 材料，其表面积超过每克 1000 m²。该团队还创建了一种在介孔 SiO₂ 过程中沉积镍或其他纳米颗粒的方法，称为原位沉积。介孔 SiO₂ 催化剂在 200 多小时内转化了 97% 的甲烷。

这一进展不仅为改进甲烷干重整催化剂提供了途径，而且为许多其他环境和经济上有益的反应提供了路径。

5 创意地球(EarthCrete)牌无水泥混凝土通过负碳验证

由 CarbonMeta 技术公司开发的 EarthCrete 无水泥混凝土在生产过程中可捕获高达 10% (按重量计) 的 CO₂。在牛津大学进行实验室测试后，被确认是一种不再需要水泥的、负碳的新型混凝土。

混凝土制造业约占全球 CO₂ 排放量的 8%，属于难以减排行业，随着负碳混凝土的创新，其碳足迹可能会显著减少。

据 CarbonMeta 公司称，一个使用 1200 t 混凝土与水混合的工程项目，可吸收多达 132 t 大气中的 CO₂，这相当于每年行驶 12000 km 的 66 辆柴油车的排放量。

6 LOOP 技术：将甲烷转化为绿色石墨烯

英国清洁能源专业公司 Levidian 公司使用其专有技术将甲烷分解为其组成分子：碳和氢。Levidian 公司将其称之为快速脱碳装置，可以安装到任何生产甲烷或使用天然气的场所。这将使企业能够在不产生过量 CO₂ 的情况下去除甲烷——甲烷的全球变暖潜力是 CO₂ 的 86 倍。

通过与现有基础设施对接，这项被称为 LOOP 的技术可以从气流中去除碳，如果用氢气替代，则天然气中的 CO₂ 潜力可减少 40%。除了脱碳气流外，LOOP 还可以生产石墨烯，这是一种高性能的纳米材料，基本上可以锁住碳。

石墨烯可以帮助水泥生产脱碳，这个行业的 CO₂ 排放量占世界的 7%。该行业可以利用绿色石墨烯在世界上取得的进步，使其制造过程和施工期间释放的排放物脱碳。随着能源成本的上升导致钢材价格急剧上涨，石墨烯增强混凝土可能会减少建筑中对钢筋的需求。它的耐水性是现有混凝土的 4 倍，还可以减少维护和重建的频率。

7 使用含镍催化剂生产多碳产品的可能性得到验证

苏黎世理工大学、新加坡国立大学和加泰罗尼亚化学研究所的一组研究人员发现，使用含镍催化剂生产多碳产品是可能的。他们在《Nature Catalysis》杂志上发表的论文中描述了他们测试使用含镍催化剂从 CO₂ 中生产碳氢化合物的设想和方法。

在这项新的研究中，研究人员使用了 30 年前的研究结果，该研究涉及在制造可用作清洁燃料的碳氢化合物时使用

金属镍来减少CO₂。

为了找出这个理论在现实世界中是否可行,研究人员设计了一系列实验来测试它们。第一种是使用金属镍盘,产生的碳氢化合物物质很少。另一个使用电化学钝化来改变圆盘以产生NiO₃,这样做会使产生的碳氢化合物量增加一倍;这是一个很好的结果,但不足以表明它可以用于实际应用。研究人员随后测试了无机含镍氧化物催化剂,发现所有这些催化剂都可以用于生产碳氢化合物,效率最高可达6.5%。

通过测试,研究人员认为,使用镍制成的催化剂应被视为更可能的候选材料,用于制造碳氢化合物,寻找制造更绿色燃料的新方法。

8 太阳能发电通过化学反应利用CO₂和水制造燃料和化学品的原料

密歇根大学电气与计算机工程教授Zetian Mi牵头一项研究在《Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America》发表,这项研究仅利用太阳能从CO₂中生成合成气,可以将其用作甲醇和其他化学品及燃料的前体,可以显著减少CO₂的总排放量。

合成气主要由氢和一氧化碳以及少量甲烷组成,通常借助电力从化石燃料中提取。此外,通常会添加有毒化学品,以提高工艺效率。

为了创造一种只使用太阳能的过程,研究团队在半导体纳米线的森林中加入了纳米颗粒。这些纳米颗粒由涂有氧化铬的金制成,吸引CO₂分子并使其弯曲,削弱碳和氧之间的键。

氮化镓纳米线利用光能释放电子和它们留下的正电荷空间,即空穴。这些孔分裂水分子,将质子(氢)与氧分离。然后,在金属催化剂上,电子分裂CO₂,产生一氧化碳,有时吸入游离氢生成甲烷。

下一个目标是提高设备的效率,目前的效率为0.89%。当

10%的光能转化为化学能时,研究团队希望这项技术可以应用于可再生能源,类似于太阳能电池。

9 将CO₂转化为蛋白质用于创新型动物饲料

《Horizon: The EU Research & Innovation Magazine》的一篇文章介绍了将CO₂转化为蛋白质用于创新动物饲料的工艺。可持续且可扩展的气体发酵技术将工业排放的CO₂转化为单细胞蛋白质,用于动物营养。

众所周知,蛋白质是人类营养的关键成分,也是制作动物饲料的关键。不太为人所知的是欧洲饲养动物的许多蛋白质导致了全球范围内的森林砍伐和过度捕捞。

生物技术初创公司Deep Branch公司设计了一种生化转化过程,将CO₂转化为富含蛋白质的粉末,供动物食用。

Deep Branch公司的工艺将CO₂转化为一种称为宝腾(Proton)的粉末,其蛋白质含量约为70%。这比天然大豆要高得多,天然大豆的蛋白质含量约为40%。Deep Branch是英国诺丁汉大学分子生物学博士彼得·罗(Peter Rowe)的创意。

一是鱼粉。饲养牲畜和养鱼需要高蛋白质密度的食物。世界上大约80%的大豆作物用于饲养牛肉和奶制品,随着人口的增长,对这些产品的需求也在增加。水产养殖依赖于鱼粉生产,部分依赖于从野外采集鱼类。大豆农业导致森林砍伐、全球变暖和栖息地丧失,而过度捕捞则危及生态系统,影响海洋生物平衡。总的来说,粮食生产在气候和生物多样性危机中发挥着巨大作用。

二是宝腾粉末。CO₂可以来自多种来源。在试验中,Deep Branch使用了来自燃烧废木材的生物能源工厂的气体。在生物反应器中培养这些微生物,CO₂作为气体放入发酵罐中,添加氢气作为能源。细胞过程完成后,将蛋白质干燥成粉末,用作可持续动物饲料的成分。