

科学研究动态监测快报

2022 年 9 月 20 日 第 18 期 (总第 348 期)

气候变化科学专辑

- ◇ 美国能源部发布《工业脱碳路线图》
- ◇ 美国 NREL 分析到 2035 年实现 100% 清洁电力的机遇和挑战
- ◇ 国际能源署发布《清洁能源转型的安全性 2022》报告
- ◇ 德国环境署提出通过碳市场促进转型变革
- ◇ 英国资助 330 万英镑开发下一代核技术
- ◇ 国际研究提出中国 CCUS 发展面临的机遇和挑战
- ◇ 季风降水相变加剧了青藏高原东南部的冰川质量损失
- ◇ 欧洲研究指出气候变化使自然碳汇更加脆弱
- ◇ 欧洲环境署提出减少欧洲重型车辆的温室气体排放
- ◇ 多年冻土区的河流碳通量将随着冻土的融化而增加
- ◇ 国际研究提出针对净零排放的土地管理策略
- ◇ 美德研究揭示倒数第二个间冰期早期赤道大西洋变暖反馈机制
- ◇ 南非研究比较分析木本植物对二氧化碳浓度升高的响应

中国科学院兰州文献情报中心
中国科学院资源环境科学信息中心

中国科学院兰州文献情报中心
邮编: 730000 电话: 0931-8270063

地址: 甘肃兰州市天水中路 8 号
网址: <http://www.llas.ac.cn>

目 录

本期热点

美国能源部发布《工业脱碳路线图》 1

气候变化减缓与适应

美国 NREL 分析到 2035 年实现 100% 清洁电力的机遇和挑战 3
国际能源署发布《清洁能源转型的安全性 2022》报告 5
德国环境署提出通过碳市场促进转型变革 6
英国资助 330 万英镑开发下一代核技术 7
国际研究提出中国 CCUS 发展面临的机遇和挑战 8

气候变化事实与影响

季风降水相变加剧了青藏高原东南部的冰川质量损失 9

前沿研究进展

欧洲研究指出气候变化使自然碳汇更加脆弱 10
欧洲环境署提出减少欧洲重型车辆的温室气体排放 11

前沿研究动态

多年冻土区的河流碳通量将随着冻土的融化而增加 12
国际研究提出针对净零排放的土地管理策略 12
美德研究揭示倒数第二个间冰期早期赤道大西洋变暖反馈机制 13
南非研究比较分析木本植物对二氧化碳浓度升高的响应 14

专辑主编：曲建升

本期责编：刘莉娜

执行主编：曾静静

E-mail: liuln@llas.ac.cn

美国能源部发布《工业脱碳路线图》

9月7日,美国能源部(DOE)发布《工业脱碳路线图》(*Industrial Decarbonization Roadmap*),提出了到2050年实现工业净零排放解决方案所需的5个关键子行业(化工制造业、石油精炼、钢铁、食品和饮料、水泥)的脱碳路径要点,确定了减少美国工业排放的4个关键支柱,并为政府及行业行动提出相关建议。

1 关键子行业脱碳路径要点

2020年,美国工业领域能源相关CO₂排放量为13.6亿吨,占能源相关CO₂排放量的30%。路线图重点关注了对工业CO₂排放影响最大的5个子行业,即化工制造业(占工业排放的24%)、石油精炼(占15%)、钢铁(占5%)、食品和饮料(占5%)以及水泥(占1%)行业。这些行业合计占美国工业部门能源相关CO₂排放量的51%,占美国经济范围内CO₂总排放量的15%。关键子行业脱碳路径要点如下:

(1) **化工制造业**。2010年以来,美国化工制造业的多样化得到了快速发展。具体脱碳措施包括:①开发低热预算工艺的加热解决方案并提高热能利用的有效性,以提高整个系统的能源效率;②扩展先进的反映、催化剂与反应器系统,以提高反应性能,同时减少碳排放和提高能源效率;③提高电气化水平并使用氢气、生物质或废物作为制造燃料与原料;④提高材料利用效率,增加材料循环利用。

(2) **石油精炼行业**。大多数美国炼油厂的CO₂排放来自5种大型能源消耗过程,即加氢裂解、常压蒸馏、催化裂化、蒸汽甲烷重整和再生催化重整。这些过程代表了炼油厂减少CO₂排放的最具成本效益的研发方向。具体脱碳措施包括:①提高工艺、现场蒸汽与发电的能源效率;②通过引入核供热、核电力、清洁电力、清洁氢、生物燃料等低碳化石能源或低化石碳源,降低能源与原料的碳足迹;③捕集CO₂以供长期封存或利用。

(3) **钢铁行业**。在近零排放情景下,到2050年美国钢铁行业的温室气体排放量可以降至近零,而钢铁产量将增加12%。具体脱碳措施包括:①扩大工业电气化,向低碳与无碳燃料过渡;②氢钢生产、铁矿石电解以及碳捕集、利用与封存(CCUS)等变革性技术的试点示范;③提高材料利用率,增加材料循环利用。

(4) **食品与饮料行业**。食品与饮料行业是美国经济的重要组成部分,也是美国最大的能源消耗和温室气体排放行业之一。具体脱碳措施包括:①通过推进过程加热、蒸发和杀菌过程的电气化来提高能源效率;②通过生命周期评估中确定的方法和制造商之间的合作,减少整个供应链中的食物浪费;③通过替代包装和减少包装废物来提高再循环和材料利用效率。

(5) **水泥行业**。在美国水泥行业中，煅烧过程中与过程相关的 CO₂ 排放量约占行业 CO₂ 总排放量的 58%，与能源相关的 CO₂ 排放量占行业总排放量的 42%。在近零排放情景下，到 2050 年美国水泥行业的温室气体排放量可以降至近零，而水泥产量将增加 46%。具体脱碳措施包括：①改进现有工艺以减少浪费，包括混凝土建筑的循环利用经济方法；②通过部署突破性技术和创新化学解决方案提高材料和能源效率；③扩大 CCUS 技术的使用；④增加使用低碳粘合材料和天然辅助胶凝材料，以降低用于制造水泥的熟料和固体材料的碳强度。

2 减少美国工业排放的 4 个关键技术支柱

路线图确定了 4 个关键技术支柱，以显著减少上述 5 个子行业的碳排放。工业脱碳的 4 个关键技术支柱包括提高能效、工业电气化、低碳燃料/原料与能源、CCUS。这些支柱适用于所有工业子行业，并且随着电网温室气体排放强度的降低、技术的发展和难以减排的来源得到解决，能够实现近期和未来的减排。

(1) **提高能效**。提高能效是一项基本的跨领域的脱碳战略，大多数情况下不需要对工业流程进行重大改变，可以带来即时的减排量。具体实施路径包括：①提高系统效率、工艺产量和热能回收；②来自制造过程加热、锅炉和热电联产的热能系统管理和优化；③加强实施旨在减少能源消耗的智能制造战略。

(2) **工业电气化**。利用电网和当地可再生能源在低碳电力方面的进步对于脱碳工作至关重要。脱碳路径包括：①使用辐射加热或先进的热泵对过程热进行电气化；②钢铁、水泥等高温过程热的电气化；③用电化学过程代替热驱动过程。

(3) **低碳燃料、原料与能源 (Low-Carbon Fuels, Feedstocks, and Energy Sources, LCFES)**。替代型的低碳/无碳燃料与原料可减少工业过程的燃烧相关碳排放。脱碳路径包括：①开发灵活的燃料工艺；②将氢燃料和原料整合到工业应用中；③生物质燃料和生物原料的使用。

(4) **CCUS**。碳利用和碳封存对于实现最终的碳减排至关重要，特别是针对通过其他脱碳技术与战略无法实现的碳减排。脱碳路径包括：①CO₂ 的燃烧后化学吸收；②先进 CO₂ 捕集材料的开发和制造优化，可提高效率并降低捕集成本；③开发利用捕集的 CO₂ 制造新材料的工艺。

3 政府及行业的行动建议

要实现工业脱碳目标，需要迅速部署最先进的技术，开发新的低碳/无碳技术解决方案，同时必须克服政策及其他障碍。路线图为政府及行业行动提出如下建议：

(1) **推进早期研发**。需要在整个领域部署技术成熟度高的技术，并同时推进技术成熟度较低的基础科学与技术的相关理论及应用研发。未来几十年，所有脱碳支柱的早期技术都需要取得重大进展，才能在 2050 年实现净零排放。

(2) **投资多种工艺策略**。继续推行电气化、能源效率、低碳燃料、CCUS 和替

代方法的并行路径，以确保工业脱碳路径的可行性。这些投资可以使美国成为工业现代化的全球领导者。

(3) **通过示范加速技术扩张并降低部署风险。**为了加快部署，需要利用测试平台与示范项目来吸引私营部门投资并降低投资风险。应采取低成本方法，最大限度地提高能源、材料与系统的效率，加快先进技术的采用。

(4) **解决子行业共同面临的过程加热效率与减排问题。**在向电气化和低碳燃料与能源过渡的同时，需要最大限度地提高与热能级联相关的效率及资源利用率。

(5) **使电力来源脱碳。**电气化途径在工业部门脱碳方面的有效性及速度将取决于美国电网的脱碳速度。同时，在工业设施附近发展低碳发电能力可以刺激工业活动集群中心附近的电气化。

(6) **整合解决方案。**关注新技术的同时，还需要将其纳入过程系统和供应链。需要开展研究，预测向低碳经济过渡所带来的供应链与价值链的变化，并更好地理解工业基础设施、技术与服务如何共同满足未来需求，同时最大限度地提高供应链的灵活性和韧性。

(7) **进行建模分析和系统分析。**采用先进的综合分析方法，包括扩大使用生命周期评估、技术经济分析和相关的系统级技术开展经济与环境评估，以确保低碳解决方案具有预期的积极影响和商业可行性。

(8) **培养蓬勃的劳动力队伍。**脱碳所需的劳动力需要一系列新技能，以支持成功实施脱碳技术和改善碳核算。促进州、地方、部落社区以及其他利益相关者的参与，特别是关注弱势社区，对于确保公平分工业脱碳的利益与影响至关重要。

(裴惠娟 编译)

参考资料：

[1] Biden-Harris Administration Releases Bold Agenda to Reduce Emissions Across America's Industrial Sector. <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-releases-bold-agenda-reduce-emissions-across-americas>

[2] DOE Industrial Decarbonization Roadmap. <https://www.energy.gov/eere/industrial-decarbonization-roadmap>

气候变化减缓与适应

美国 NREL 分析到 2035 年实现 100% 清洁电力的机遇和挑战

8 月 30 日，美国国家可再生能源实验室（NREL）发布题为《研究到 2035 年实现 100% 清洁电力的供应侧选择》（*Examining Supply-side Options to Achieve 100% Clean Electricity by 2035*）的报告，研究了美国在 2035 年实现 100% 清洁电力或净零电网所需的清洁能源技术类型以及部署规模和速度。报告指出，到 2035 年实现 100% 清洁电力的多种途径都将产生显著效益，但具体的技术组合和成本将取决于未来 10 年的研发、制造和基础设施投资决策。

1 实现 100% 清洁电力所需的技术规模

报告评估了 100% 清洁电力的 4 种主要情景，这些情景主要考虑了 2035 年完全脱碳的时间框架、更高水平的电气化以及相关的电力需求增加、二氧化碳去除技术和清洁燃料生产带来的电力需求增加、对现有商业可再生能源发电技术的更高依赖，以及更加多样化的季节性存储解决方案。对于每种情景，报告都对成本最低的发电、储能和输电投资组合进行了建模，以便在全年的所有时间保持安全可靠的电力。

报告指出，为实现 100% 的清洁电力，需要以前所未有的规模和速度部署新的清洁能源技术：①到 2035 年，在成本最低的电力组合中，太阳能和风能需要提供 60%~80% 的发电量，实现这一目标需要到 2030 年每年新增 40~90 GW（吉瓦）的太阳发电能力和 70~150 GW 的风能发电能力；②如果在部署太阳能和风能新发电能力及相关输电系统方面存在选址和土地使用等挑战，那么核电装机容量将有助于弥补这一差距，到 2035 年，核电装机容量将比目前增加 1 倍以上；③到 2035 年，需要新增 5~8 GW 的水力发电能力和 3~5 GW 的地热发电能力；④昼夜储能（2~12 小时容量）也将增加，到 2035 年，需要部署 120~350 GW 储能容量，以确保全年所有时间都能满足电力需求；⑤到 2035 年，需要部署 100~680 GW 的季节性储能，实现该规模的季节性储能需要大量发展基础设施，包括燃料储存、运输和管道网络，以及生产清洁燃料所需的额外发电能力；⑥直接空气捕集（DAC）等新兴碳去除技术如果能够确保成本竞争力，也可能在 2035 年发挥重要作用。

2 实现 100% 清洁电力的效益和成本

在所有情景下，与减少排放相关的健康和气候效益超过了实现 100% 清洁电力的电力系统成本。为了到 2035 年实现电网脱碳，2023—2035 年的电力系统额外总成本为 3300~7400 亿美元。在成本最高情景中，新的输电和其他基础设施的发展受到限制，可以输送到人口中心的风力发电量受到限制，但更多的储能和核能发电被部署。

在所有情景下，用于发电的化石燃料都将大幅减少。由于空气质量的改善，未来几十年将避免多达 13 万人的过早死亡，这可以节省 3900~4000 亿美元，足以超过电网脱碳的成本。如果将避免造成的气候损害考虑在内，净零电网可以额外节省 1.2 万亿美元，为社会带来了 0.92~1.2 万亿美元的总体净效益。

3 电力部门脱碳的关键挑战

为实现电力部门的全部脱碳，报告确定了未来 10 年需要通过进一步研究解决的 4 项关键挑战：

（1）**大幅加速电气化和提高需求部门的效率。**建筑、交通和工业部门的终端用

能电气化是其脱碳的关键。反过来，电气化程度的提高会增加整体电力需求和需要脱碳的电力系统规模。在建筑、交通和工业部门更有效地使用电力可以实现具有成本效益的转型。

(2) **在全国快速建成新的能源基础设施。**这包括以比目前水平高出 3~6 倍的速度建立新的可再生能源和储能工厂，这将为增加 1~3 倍的输电系统容量、升级配电系统、建造新管道、储存氢气和二氧化碳以及部署核能和碳管理技术奠定基础。《通胀削减法案 2022》(*Inflation Reduction Act of 2022*) 可以通过提高成本效益来启动所需的部署。

(3) **扩大清洁能源技术制造和供应链。**前所未有的部署速度需要原材料、制造设施和训练有素的劳动力在整个清洁能源供应链中相应地增长，需要进一步分析了解如何快速扩大生产规模。

(4) **加快研发、示范和应用，将新兴技术推向市场。**目前广泛应用的技术可以在 2035 年前实现 90% 的清洁电网。然而，由于清洁氢和其他低碳燃料、先进核能、碳捕集与封存 (CCS) 和 DAC 等脱碳技术尚未达规模部署，因此从 90% 到完全脱碳的路径并不明确。若要以最低成本实现电力部门的净零排放，则需要推进新兴技术的研发，特别是要克服最后 10% 的完全脱碳。

(廖琴 编译)

原文题目: Examining Supply-side Options to Achieve 100% Clean Electricity by 2035

来源: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/81644.pdf>

国际能源署发布《清洁能源转型的安全性 2022》报告

9 月，国际能源署 (IEA) 发布《清洁能源转型的安全性 2022》(*Security of Clean Energy Transitions 2022*) 报告，强调加强能源安全是二十国集团 (G20) 清洁能源转型的核心，重点论述了 G20 新兴能源安全问题及清洁能源安全转型的 6 项关键原则及政策建议，具体内容如下所示：

(1) 优先考虑新兴经济体的能源效率。**必要性：**①提高能效可降低家庭和企业的能源支出，并创造就业机会；②有助于保障能源安全和获取可负担的能源；③大幅降低对化石燃料的依赖；④确保能源供应服务的可靠性和质量。**建议：**①迅速扩大现有的优秀实践案例和商业模式；②设计制定全面的一揽子政策；③定期调整标准和法规防止低能效电器、设备等在社会面流通；④利用有针对性的财政激励措施或政策措施提高能效；⑤确保政策和方案落地实施；⑥加强能效方面的国际合作，获取国际组织和金融机构的技术和财政支持。

(2) 促进获得负担得起和可靠的电力。**必要性：**①减少能源系统的碳足迹；②减小对石油产品、天然气和煤炭的依赖；③有助于构建安全的电力系统。**建议：**①保证影响电力部门政策的长期可见性；②建立稳健和包容的规划方法；③以人为本，

确保成本和利益的公平再分配；④了解电力部门现在和未来的所有依赖关系，评估相关风险，部署风险防范计划，定期监测和审查；⑤保障电力系统的恢复能力，推广适应当地情况的多样化、清洁的电力解决方案；⑥同时关注气候变化和网络安全等日益增长的威胁。

(3) 防范和应对全球能源危机。**必要性：**确保能源转型期间的石油供应安全问题。**建议：**①制定石油储存制度，并考虑加强天然气储存系统；②对能源基础设施进行充分投资；③鼓励在 G20 广泛实施 IEA 发布的《旨在减少欧盟对俄罗斯天然气依赖的十点计划》中提到的供需端措施，例如：最大限度地利用现有可调度的低碳能源发电、加快推进热泵供暖替代燃气锅炉等。

(4) 重视低排放燃料的作用。**必要性：**①低排放氢能生产可以带动就业，同时有助于水运、航空和重型公路运输减排；②生物能源可以利用现有的能源基础设施，减少空气污染，帮助可持续的废物管理。**建议：**①增加对进出口基础设施的投资；②巩固和增加国际合作与伙伴关系，发展具有弹性的全球氢-氨供应链；③以可持续的方式扩大生物能源的使用；④增加对技术创新的投资，并扩大生物甲烷等现有技术的使用；⑤将生物质气化或综合生物精炼厂等新技术商业化。

(5) 重新利用现有的化石燃料基础设施。**必要性：**①现有基础设施的重新利用可加速能源转型前景；②大幅度节省成本，并提高能源系统的复原力。**建议：**①评估石油、天然气和煤炭等基础设施在退役前重新利用的潜力；②评估使用废弃的水库和相关的陆地基础设施进行二氧化碳储存的可能性；③评估将海上生产平台改造为海上风力发电场的可能性；④考虑将多余的油气储存设施改造为低碳燃料储存设施，并利用天然气管道基础设施运输低碳气体和氢气；⑤评估将过剩炼油能力转化为生物燃料生产设施的可能性；⑥充分考虑新建设的油气项目在未来重复利用的潜力；⑦考虑如何实现现有油气基础设施的脱碳。

(6) 建立安全多样的关键矿产供应链。**必要性：**关键矿物供应推动能源转型和净零目标的进程。**建议：**①向市场发出明确信号，表明清洁能源转型势在必行，确保以关键矿物为基础的清洁技术得到最优发展和最快部署；②创造有利于关键矿物项目大规模投资的环境，以增加其供应；③采用新的系统方法储存关键矿物；④确保 G20 国家参与国际合作。

(秦冰雪 编译)

原文题目：Security of Clean Energy Transitions 2022

来源：<https://www.iea.org/reports/security-of-clean-energy-transitions-2022>

德国环境署提出通过碳市场促进转型变革

9月，德国环境署（Umwelt Bundesamt）发布题为《通过碳市场促进转型变革》（*Promoting Transformational Change through Carbon Markets*）的报告，探索了如何

通过《巴黎协定》（Paris Agreement）第六条下的碳市场促进全球协定（global agreement）所要求的转型变革。

《巴黎协定》第六条中将转型变革拟议定义为：这是一个根本性的持续的系统变革，旨在结束高碳实践和促进零碳社会，符合《巴黎协定》将全球变暖限制在1.5~2 °C目标及联合国可持续发展目标。转型变革的特征包括：①全系统影响，由大规模结果或大量小规模变化驱动；②持续、长期的结果，加强零碳实践，同时避免碳锁定和对化石燃料的依赖；③一个动态的适应性的过程，利用新机遇进一步加强各国气候雄心和可持续发展目标；④在促进技术和经济系统更加健全或更有弹性方面具有明确的长期愿景，并为脱碳/低碳发展和气候中立设定明确的目标和激励措施；⑤政府加大对低碳技术和绿色基础设施（包括 R&D）的直接投资，作为转型的推动者/驱动力；⑥数字化可以成为转型的一个促进因素。

在《巴黎协定》第六条活动的背景下，通过碳市场促进转型变革的建议包括：①需要重新考虑碳市场核心原则，如附加性和基线设置的严谨性。《巴黎协定》第六条的活动不仅需要对“基准情景”（business as usual, BAU）进行补充，还需要对现有政策亦或是各国国家自主贡献（Nationally Determined Contribution, NDC）和长期温室气体低排放发展战略（Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies, LT-LEDS）中的政策和措施进行补充，尽管这些政策和措施被定义为以国际支持为条件。②一项重要的鼓励措施是提倡由东道国或购买实体制定保守的确定的积极政策清单。这些清单应该有一个明确的有效期，并定期审查。这为活动倡议者关于他们正在考虑向哪些活动授权或从哪些活动中获得国际转移减缓成果（internationally transferred mitigation outcomes, ITMOs）提供了指导。③在《巴黎协定》背景下，严格设定基线是确保环境完整性和为东道国实现 NDC 做出贡献的重要原则。为了激励实现 NDC 的雄心随着时间的推移而提高，报告建议采用转型变革的方法来设定基线，提高基线动态性。根据共同但有区别的责任和各自能力原则，应用这种动态基线方法时需要考虑不同国家的情况从而区别对待，还要统筹考虑可预测性与严格性之间的平衡。

（刘莉娜 编译）

原文题目：Promoting Transformational Change through Carbon Markets

来源：<https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/promoting-transformational-change-through-carbon>

英国资助 330 万英镑开发下一代核技术

9月2日，英国商业、能源和产业战略部（BEIS）宣布通过“先进模块化反应堆研究、开发和示范”（AMR RD&D）计划提供 330 万英镑的资金支持，以推动先进模块化反应堆（Advanced Modular Reactor）的研发。这笔资金将支持 6 个获奖项目的早期创新，帮助吸引私人投资，并支持创造新的高技能的绿色就业岗位。这 6

个获奖项目分别是：

(1) 位于英国斯劳 (Slough) 的蓄电池组有限发展公司 (U-Battery Developments Ltd) 将获得 49.98 万英镑，用于研究确定适合在英国示范的蓄电池先进模块反应堆 (U-Battery AMR) 的最佳尺寸、类型、成本和交付方法。

(2) 位于格洛斯特 (Gloucester) 和哈特尔普尔 (Hartlepool) 的 EDF 能源核能发电有限公司 (EDF Energy Nuclear Generation Ltd) 获得 49.97 万英镑，主要用于满足终端用户的要求，确定 21 世纪 30 年代最适合于高温气体反应堆 (HTGR) 示范的设计特征。

(3) 位于默西塞德郡圣海伦斯 (St Helens, Merseyside) 的英国超安全核能公司 (Ultra Safe Nuclear Corporation UK Ltd, USNC) 获得 49.83 万英镑，将以 USNC 现有的微模块反应堆 (MMR) 设计为基础，开发并示范最适合英国工业当前和未来工艺热需求的 MMR+ 设计，其中包括氢气和可持续航空燃料 (SAF) 生产的示范。

(4) 位于柴郡 (Cheshire) 的国家核实验室有限公司 (National Nuclear Laboratory Ltd, NNL) 获得 49.75 万英镑，用于协调由 NNL、日本原子能机构 (JAEA) 和英国核能企业雅各布 (Jacobs) 组建的合作团队，利用日本已验证的 HTGR 基线，在其设计、建造、建设和运营中采用创新的方法。

(5) 位于英国兰开夏郡萨尔维克 (Salwick, Lancashire) 的斯普林菲尔德燃料有限公司 (Springfields Fuels Ltd) 与铀浓缩公司 (Urenco Limited) 共计获得了 24.33 万英镑，以支持可能在英国出现的一系列潜在的 HTGR 技术。

(6) 位于柴郡的国家核实验室有限公司获得了 25 万英镑的第二批 A 阶段融资，该项目旨在从 HTGR 示范的首次燃料装载开始，提供国内商业燃料供应。

此外，政府将向核管理办公室 (Office for Nuclear Regulation) 和环境局提供 83 万英镑资金，用于其能力建设和 HTGR 创新监管方法，支持英国政府在 21 世纪 30 年代早期建立 HTGR 计划。

(迪里努尔 刘燕飞 编译)

原文题目：£3.3 Million Boost for Next Generation Nuclear Technology

来源：<https://www.gov.uk/government/news/33-million-boost-for-next-generation-nuclear-technology>

国际研究提出中国 CCUS 发展面临的机遇和挑战

9 月 5 日，全球碳捕集与封存研究院 (GCCSI) 发布题为《为中国的净零未来重新定位 CCUS》(*Repositioning CCUS for China's Net-Zero Future*) 的报告，概述了中国碳捕集、利用与封存 (CCUS) 发展现状，分析了 CCUS 发展面临的机遇与挑战。由于需要通过改化石燃料使用方式调整能源结构，CCUS 技术在中国的应用具有巨大的潜在市场，但大规模部署和商业化运营仍面临挑战。

报告指出，中国政府在已发布的约 55 份政策文件中提及 CCUS，另有 29 个省

级政府机构发布了 CCUS 相关的发展战略。多个部委文件均表示，CCUS 是一种高效、清洁的煤炭利用技术，需要积极推广 CCUS 技术攻关和示范项目，研究建立 CCUS 标准。由于省情实际，地方 CCUS 相关项目的侧重不同，例如：东北地区主要是天然气加工，华北地区注重煤炭清洁利用和开发等。中国仍积极布局 CCUS 的商业化部署，探索中国最可行的模式。

目前，中国 CCUS 技术正处于商业化示范阶段，大规模部署和商业化运营仍面临如下 4 方面挑战：①目前的政策环境无法支持企业继续可持续的商业案例，一是没有明确的企业减排目标和合规机制，二是金融机构支持 CCUS 发展方面缺乏实际的指导意见；②运营项目大多处于试点或示范阶段，少有综合性项目，基础设施建设也不发达；③开发综合 CCUS 项目较为复杂，需要多部门合作；④对 CCUS 的错误叙述和负面看法较多。

此外，国际合作在加速中国的 CCUS 商业化部署方面发挥着重要作用。从政府的角度，CCUS 是国际合作中最具前景的低碳技术之一；从工业部门和其他非政府组织的角度，知识共享和项目合作可以刺激中国的 CCUS 产业发展。同时，不同参与者与支持者之间的合作有助于分担风险和降低成本。

（秦冰雪 编译）

原文题目：Repositioning CCUS for China's Net-Zero Future

来源：<https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2022/09/CCUS-for-China-Net-Zero-Future-0922.pdf>

气候变化事实与影响

季风降水相变加剧了青藏高原东南部的冰川质量损失

9月6日，由苏黎世联邦理工学院（ETH Zurich）领衔的研究团队在《美国国家科学院院刊》（PNAS）发表题为《变暖引起的季风降水相变加剧了青藏高原东南部冰川质量的损失》（Warming-induced Monsoon Precipitation Phase Change Intensifies Glacier Mass Loss in the Southeastern Tibetan Plateau）的文章，指出2000年以来的青藏高原东南部的冰川质量损失，主要受季风期间变暖引起的降雪向降雨转变的影响，且季风期降水的减少加剧了这一影响。

亚洲高山地区（HMA）通常被称为“第三极”，拥有除极地地区以外最大的冰雪水库。HMA 冰冻圈对气候变化高度敏感，其变化将对生活在下游流域的 8 亿多人产生负面影响，其中很大一部分人的生计依赖于冰雪融化。实地测量和遥感得到的冰川质量平衡（GMB）显示，青藏高原东南部的冰川质量损失最为严重。研究人员在基准冰川帕隆 4 号冰川（Parlung No.4）上重建了 1975 年以来的冰川质量变化和流域径流，以揭示青藏高原季风性春季堆积冰川近期质量损失的驱动因素。模式展示了温度的升高如何改变冰川的消融和堆积状态，从而加速冰川质量的损耗率。

研究发现：①自 2005 年以来，年平均冰川质量损失加剧，与 1975—1999 年相比，流域径流量增加了 12%。这主要是由冰融物增加驱动，其对径流量的贡献从 23% 上升到 28%。总体而言，自 2005 年以来，每年流域流量的 85% 来自融水，随着季风的推进，冰融化的贡献增加。②气候变化导致冰川质量输入减少和质量损失增加，即固体降水减少和融化增加。青藏高原东南部冰川所特有的高质量周转率加剧了这一现象。春季降雪量的增加 (+18%) 部分补偿了季风降雪量的减少 (-26%)，春季降雪量对年总降雪量的贡献率从前期的 32% 上升到近期的 41%。③偏暖的季风温度是冰川质量损失加剧的主要驱动力，也是最近流域流量增加的主要驱动力。由于季风温度控制了雪的积累和融化，因此，与春季或季风降水相比，季风温度对积雪的存在和冰融的影响更大。

(王田宇 刘燕飞 编译)

原文题目：Warming-induced Monsoon Precipitation Phase Change Intensifies Glacier Mass Loss in the Southeastern Tibetan Plateau

来源：<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2109796119>

前沿研究进展

欧洲研究指出气候变化使自然碳汇更加脆弱

9 月 1 日，欧洲综合碳观测系统 (Integrated Carbon Observation System, ICOS) 研究团队发布题为《欧洲温室气体公报：通量》(*FLUXES - The European Greenhouse Gas Bulletin*) 的报告，向决策者和政策顾问等受众提供欧洲温室气体收支的关键科学认识。通过对欧洲碳汇的区域和逐年变化的分析，凸显了进一步减少碳排放以实现碳中和目标的必要性。报告指出，海洋和森林等自然碳汇并不稳定。气候变化使自然碳汇变得更加脆弱，在某些情况下甚至将其变成碳源，这将损害当前的气候目标和行动计划。报告的关键结论包括：

(1) 自然碳汇已经变得更加脆弱，陆地和海洋碳汇受到气候变化的影响。自然和人为因素会导致森林、农田或部分海洋等天然碳汇变成碳源，砍伐森林或改变农业实践会使生态系统的碳吸收能力发生改变。因此，需要从根本上减少化石燃料排放，而不是依赖自然碳汇。

(2) 大气中二氧化碳浓度取决于多年的气候变化以及自然碳汇对气候变化的响应。长期地面观测数据显示，碳浓度的自然变化与多年的天气变化有关：湿季和旱季、高温与低温以及极端事件，如干旱、森林火灾或洪水。由于全球变暖，预计未来极端事件将更频繁地发生。

(3) 海洋是天然碳汇，每年吸收约 1/4 的人为二氧化碳排放。但随着气候变暖，海洋的这种碳吸收能力持续多久仍不清楚。海洋生态系统将对河流径流、养分供应和温度变化做出不同的响应。气温上升和气候变化也对海洋溶解二氧化碳的能力产

生挑战。要了解海洋碳循环即将发生的变化，需要一个更强大、能涵盖海洋生态系统的观测系统。

(4) 一些人为排放源，例如居民使用燃料或电力产生的排放，可能受到每年天气变化的影响。寒冷和温暖年份之间的差异可能很大，在某些冬季寒冷的年份，欧洲的排放量要比常规年份高出 10%~20%。

(5) 化石燃料排放量在不同年份和不同季节都会发生变化。气候条件、经济活动等信息对于正确解释二氧化碳浓度的上升与下降非常必要，尤其是在位于城市和工业区的观测站。

(6) 迫切需要全面的全球温室气体观测系统，欧洲 ICOS 基础设施可以作为这一系统的蓝本。

(刘燕飞 编译)

原文题目：FLUXES - The European Greenhouse Gas Bulletin

来源：<https://www.icos-cp.eu/fluxes>

欧洲环境署提出减少欧洲重型车辆的温室气体排放

9月7日，欧洲环境署（European Environment Agency, EEA）发布题为《减少欧洲重型车辆的温室气体排放》（*Reducing Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Vehicles in Europe*）的报告提出，2014年以来欧盟交通产生的碳排放呈现增加趋势，为实现欧盟气候中和，需要进行多种变革，包括更快地提升能源效率、转向排放较低的车辆和/或更有效的运输方式。

道路交通是欧盟交通运输碳排放的最大贡献者，而重型车辆（Heavy-Duty Vehicles, HDV）产生的碳排放约占欧盟交通碳排放的 1/4。因此，评估 HDV 碳排放趋势对促进实现欧盟绿色协议目标具有重要意义。通过对欧洲 HDV 碳排放进行评估，研究发现：①尽管欧盟温室气体排放量在过去 10 年（2011—2020 年）持续下降，但自 2014 年以来，HDV 产生的碳排放量每年都在增加，仅在 2020 年因 COVID-19（新型冠状病毒肺炎疫情）有所下降。②虽然 HDV 效率有所提高，但温室气体排放总量并未减少，这是因为货物运输需求的增长超过了效率的提高。③提升车辆和燃料技术的效率是减少整体排放的关键。欧盟出台了大型卡车的排放性能标准。EEA 的车辆性能数据对于跟踪欧盟 HDV 的燃料效率和碳强度至关重要。④将运输活动转向更高效的模式，比如，从卡车到铁路货运，从汽车到公共汽车、铁路、有轨电车和地铁，会对碳排放总量产生影响。⑤碳排放量上升最根本的因素是运输需求。虽然运输效率有所提高，但这并不足以抵消需求的增加。减少出行次数或者长度是减少碳排放的另一种方式。在未来，重要的是需求管理措施补充其他解决方案。

(刘莉娜 编译)

原文题目：Reducing Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Vehicles in Europe

来源：<https://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-of-new-heavy>

前沿研究动态

多年冻土区的河流碳通量将随着冻土的融化而增加

多年冻土融化将大量的陆地基质带到水生生态系统中，进而影响水生生态系统碳循环。8月29日，加拿大阿尔伯塔大学（University of Alberta）、美国哈佛大学（Harvard University）等机构在《全球生物地球化学循环》（*Global Biogeochemical Cycles*）发表题为《多年冻土地貌演化塑造了河流化学、生态系统碳平衡及其未来变化的可能轨迹》（Permafrost Landscape History Shapes Fluvial Chemistry, Ecosystem Carbon Balance, and Potential Trajectories of Future Change）的文章表示，多年冻土区的河流碳通量将随着冻土的融化而增加，将使得热融地形成成为北极生态系统碳平衡和全球气候反馈的重要组成部分。

研究人员通过测量位于加拿大西部的北极连续多年冻土区内无冰川覆盖的高地、含冰冰碛以及富含有机物的低地和平原等生态区中33个流域的河流水化学特征和碳通量，描述了河流水化学特征和冻土地貌过程对河流碳循环的影响，评估了河流对流域生态系统碳平衡的贡献。结果表明：①没有冰川覆盖的山区流域中碳酸氢盐是碳迁移的主要介质；②冰碛中的冰碛石侵蚀增强了化学风化作用，使得颗粒碳通量增加两个量级；③富含有机物的低地、平原流域中的碳迁移主要依靠溶解有机碳和生物生命活动；④未受冻融影响的河流碳通量相当于生态系统净交换（Net Ecosystem Exchange, NEE）的6%~16%，受冻融影响的流域，碳通量接近NEE的60%，表明河流碳通量将随着冻土融化而增加。

（秦冰雪 编译）

原文题目：Permafrost Landscape History Shapes Fluvial Chemistry, Ecosystem Carbon Balance, and Potential Trajectories of Future Change

来源：<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2022GB007403>

国际研究提出针对净零排放的土地管理策略

9月5日，《自然·可持续发展》（*Nature Sustainability*）发表题为《净零排放的随机国家土地管理策略》（*Randomized National Land Management Strategies for Net-zero Emissions*）的文章，分析了爱尔兰农业、林业和其他土地利用部门（AFOLU）到2050年国家层面实现净零温室气体排放的过渡路径，强调了国家土地管理策略的重要意义。

爱尔兰 AFOLU 每年产生 2050 万吨 CO₂eq（二氧化碳排放当量），约占本国温室气体排放总量的 34%，AFOLU 在减排和二氧化碳去除（CDR）方面发挥重要作用。基于此，来自爱尔兰利莫瑞克大学（University of Limerick）、英国赫顿研究所（James Hutton Institute）等机构的研究人员利用国家生物物理的（national

biophysical) AFOLU 模型等方法对爱尔兰 2050 年 AFOLU 活动随机产生的 850 个碳排放情景进行分析，并提出了实现净零排放的土地管理战略。

研究发现：①根据全球增温潜势（100 yr global warming potential, GWP₁₀₀）的净零温室气体排放内涵，到 2050 年，有 146 种情景可实现农业和林业气候中和，有 38 种情景有助于国家气候中和。②只有一种情况有助于到 2100 年实现国家气候中和，反映了未来新森林 CDR 体量的下降（不包括潜在的下流减缓）。③在缺乏大幅降低牛生产排放强度的技术解决方案的情况下，牛奶和牛肉产量需要大幅削减以实现净零排放。在此基础上，研究人员提出以下 3 方面土地管理策略，主要包括：①植树造林是实现净零排放的最主要驱动力，是 CDR 的长期和近期选择；②爱尔兰草原土壤是大型碳库，提议将草原管理作为抵消牲畜排放的 CDR 选项；③需要考虑跨部门决策，在粮食生产权衡方面，需要积极利用闲置区域进行 CDR。

（陈竹君 刘莉娜 编译）

原文题目：Randomized National Land Management Strategies for Net-zero Emissions

来源：<https://www.nature.com/articles/s41893-022-00946-0>

美德研究揭示倒数第二个间冰期早期赤道大西洋变暖反馈机制

深海沉积物中的甲烷水合物是古老的大型碳汇，随着海洋温度的升高，这些沉积物可能会被破坏，释放出的甲烷将产生气候反馈，放大和加速全球变暖。8 月 22 日，美国加利福尼亚大学圣巴巴拉分校（University of California, Santa Barbara）、德国基尔大学（Kiel University）等机构的研究团队在《美国国家科学院院刊》（PNAS）发表题为《倒数第二个间冰期变暖期间大量甲烷水合物不稳定的证据》（Evidence for Massive Methane Hydrate Destabilization During the Penultimate Interglacial Warming）的文章指出，倒数第二个间冰期早期（约 126~125 千年前）赤道大西洋中间层升温至 14 °C，显著超过沉积物中甲烷水合物的稳定范围，造成大规模甲烷释放和氧化，进一步放大和加速全球变暖。

研究人员基于赤道大西洋东部（几内亚湾）的沉积物序列，重建长达 1300 m 的水柱以研究其温度结构和甲烷氧化印迹。结果显示，在倒数第二个间冰期早期，由于全球变暖、融水增加导致大西洋经向翻转环流（Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC）减弱，致使高纬度冷水平流减少、海洋向下热扩散增强，引起赤道大西洋中间层温度升高（+6.8 °C），破坏了浅层地下沉积物中甲烷水合物的稳定性，造成大规模甲烷释放和氧化，进一步加速当时的变暖程度。研究人员表示，上述气候反馈过程可以作为现代持续变暖的分析依据，但尚不清楚同样的气候反馈过程是否会在本轮全球变暖中重现。

（秦冰雪 编译）

原文题目：Evidence for Massive Methane Hydrate Destabilization During the Penultimate Interglacial Warming

来源：<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2201871119>

南非研究比较分析木本植物对二氧化碳浓度升高的响应

8月26日,《生态过程》(*Ecological Processes*)发表题为《木本植物对二氧化碳浓度升高响应的全球元分析:对生物量、生长、叶片氮含量、光合作用和水分关系的影响》(A Global Meta-Analysis of Woody Plant Responses to Elevated CO₂: Implications on Biomass, Growth, Leaf N Content, Photosynthesis and Water Relations)的文章指出,木本植物将通过提高光合速率、生产力和改善水分状况而受益于CO₂浓度升高,但响应会因木本植物性状和暴露于升高的CO₂环境的时间长短而异。

到2100年,大气中的CO₂可能会翻倍,从而改变植物生长、光合作用、叶片养分含量和水分关系。具体而言,目前大气中的CO₂比工业化前水平高出50%,预计在最极端情景下,到2100年CO₂浓度将高达936 μmol mol⁻¹(微摩尔每摩尔)。由南非大学(University of South Africa)的科研人员领导的研究小组,对1985—2021年发表的100篇同行评议文章的611条观察结果进行了元分析,调查了CO₂浓度升高对木本植物生长、产量、光合特性、叶片氮和水分关系的影响。研究选择的文章中升高的CO₂浓度和环境CO₂浓度范围分别为600~1000 μmol mol⁻¹和300~400 μmol mol⁻¹,分析时将升高的CO₂浓度归为<700、700和>700 μmol mol⁻¹3种类型。。

研究表明:①在3种类型的CO₂浓度升高情景下,木本植物的总生物量都表现出增加,豆科树木将更多的生物量用于地上部生长,而非豆科树木则用于根系生长。②叶面积指数、株高和光饱和光合作用在<700 μmol mol⁻¹时无响应,但在700和>700 μmol mol⁻¹时显著增加。随着木本植物暴露于高浓度CO₂的持续时间增加,地上部生物量和光饱和光合作用会逐渐适应环境。③CO₂浓度升高时,光合核酮糖-1,5-双磷酸羧化酶/加氧酶羧化的最大速率和光合电子传递的表观最大速率被下调。④对于CO₂浓度<700、700和>700 μmol mol⁻¹,升高的CO₂浓度使气孔导度平均降低32%,用水效率分别提高34%、43%和63%。⑤在高浓度CO₂下,非豆科树木中叶片氮含量下降的幅度是豆科树木的2倍。

(裴惠娟 编译)

原文题目: A Global Meta-Analysis of Woody Plant Responses to Elevated CO₂: Implications on Biomass, Growth, Leaf N Content, Photosynthesis and Water Relations

来源: <https://ecologicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s13717-022-00397-7>

《科学研究动态监测快报》

《科学研究动态监测快报》（以下简称《监测快报》）是由中国科学院文献情报中心、中国科学院兰州文献情报中心、中国科学院成都文献情报中心、中国科学院武汉文献情报中心以及中国科学院上海生命科学信息中心分别编辑的主要科学创新研究领域的科学前沿研究进展动态监测报道类信息快报。按照“统筹规划、系统布局、分工负责、整体集成、长期积累、深度分析、协同服务、支撑决策”的发展思路，《监测快报》的不同专门学科领域专辑，分别聚焦特定的专门科学创新研究领域，介绍特定专门科学创新研究领域的前沿研究进展动态。《监测快报》的内容主要聚焦于报道各相应专门科学研究领域的科学前沿研究进展、科学研究热点方向、科学研究重大发现与突破等，以及相应专门科学领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、重大研发布局、重要科技政策与管理等方面的最新进展与发展动态。《监测快报》的重点服务对象，一是相应专门科学创新研究领域的科学家；二是相应专门科学创新研究领域的主要学科战略研究专家；三是关注相关科学创新研究领域前沿进展动态的科研管理与决策者。

《监测快报》主要有以下专门性科学领域专辑，分别为由中国科学院文献情报中心编辑的《空间光电科技专辑》等；由中国科学院兰州文献情报中心编辑的《资源环境科学专辑》、《地球科学专辑》、《气候变化科学专辑》；由中国科学院成都文献情报中心编辑的《信息技术专辑》、《先进工业生物科技专辑》；由中科院武汉文献情报中心编辑的《先进能源科技专辑》、《先进制造与新材料科技专辑》、《生物安全专辑》；由中国科学院上海生命科学信息中心编辑的《BioInsight》等。

《监测快报》是内部资料，不公开出版发行；除了其所报道的专题分析报告代表相应署名作者的观点外，其所刊载报道的中文翻译信息并不代表译者及其所在单位的观点。

版权及合理使用声明

《科学研究动态监测快报》（以下简称《监测快报》）是由中国科学院文献情报中心、中国科学院兰州文献情报中心、中国科学院成都文献情报中心、中国科学院武汉文献情报中心以及中国科学院上海生命科学信息中心按照主要科学研究领域分工编辑的科学研究进展动态监测报道类信息快报。

《监测快报》遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法权益，并要求参阅人员及研究人员遵守中国版权法的有关规定，严禁将《监测快报》用于任何商业或其他营利性用途。读者在个人学习、研究目的中使用信息报道稿件，应注明版权信息和信息来源。未经编辑单位允许，有关单位和用户不能以任何方式全辑转载、链接或发布相关科学领域专辑《监测快报》内容。有关用户单位要链接、整期发布或转载相关学科领域专辑《监测快报》内容，应向具体编辑单位发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并与具体编辑单位签订服务协议。

欢迎对《科学研究动态监测快报》提出意见与建议。

气候变化科学专辑：

编辑出版：中国科学院兰州文献情报中心（中国科学院资源环境科学信息中心）

联系地址：兰州市天水中路8号（730000）

联系人：曾静静 董利苹 裴惠娟 廖琴 刘燕飞 刘莉娜

电 话：（0931）8270057；8270063

电子邮件：zengjj@llas.ac.cn; donglp@llas.ac.cn; peihj@llas.ac.cn;

liaoqin@llas.ac.cn; liuyf@llas.ac.cn; liuln@llas.ac.cn