



2023

第12期
总第029期

双碳情报动态

本|期|聚|焦

- COP28全球减排行动进展和趋势分析
- 全球甲烷排放热点议题解析
- 国际机构支持气候行动报告解读
- 智库视角下的全球能源转型趋势展望
- 生活碳排放领域现状与发展态势

中国科学院发展规划局
中国科学院文献情报中心

本期聚焦

COP28 全球减排行动进展和趋势分析.....1

《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 第二十八次缔约方大会 (COP28) 完成了首次全球盘点并基于此形成了一份《阿联酋共识》，为各部门减排提出了更为明确的目标和路径。相比 COP27 而言，COP28 进一步强调了能源转型的重要性，并将气候目标通过更加具象化的承诺和行动来实现。本文梳理了在 COP28 达成的具有影响力的减排共识和相关举措，进而分析全球减排行动新趋势。

全球甲烷排放热点议题解析.....8

11 月中旬—12 月中旬，全球多个主要的石油和天然气甲烷排放国宣布了最新政策、法规和国家承诺，旨在削减甲烷排放。此外，还有多个智库就主要国家甲烷排放政策进展、《全球甲烷承诺》主要行动进行分析，旨在制定相关行动实现到 2030 年甲烷减排目标。本文对近期全球甲烷减排相关的政策和行动进行了归纳总结。

国际机构支持气候行动报告解读.....13

11 月以来，多个机构发布报告旨在支持气候行动。如《联合国气候变化框架公约》发布《长期低排放发展战略》报告，国际可再生能源署发布《IRENA 为加强气候行动提供能源转型支持：2023 年影响洞察力分析》报告，并联合世界气象组织发布《2022 年回顾：气候驱动的全球可再生能源潜在的资源需求和能源需求》报告。本文进行了梳理，以供参考。

智库视角下的全球能源转型趋势展望.....18

当前，全球气候行动、地缘政治博弈等因素推动国际秩序重构，全球能源格局在复杂环境中加速嬗变。为准确研判并刻画未来全球能源发展走势，今年以来英国石油公司 (BP)、国际可再生能源署 (IRENA)、国际能源署 (IEA) 等知名能源智库相继发布情景展望报告。本文盘点了上述机构对全球能源转型趋势的最新研判。

生活碳排放领域现状与发展态势.....24

作为温室气体减排的重要领域之一，消费及居民生活碳排放已引起国际社会广泛关注。本文以生活碳排放领域国际和国内发表的论文为数据源，从研究领域总体态势、合作格局、热点主题时序演化情况等角度出发，分析该领域的研究现状。

重要动态

美国能源部资助 1.21 亿美元开发工业减排技术.....	30
瑞士洛桑联邦理工学院开发石灰石煅烧粘土水泥.....	30
英国商业贸易部发布《英国电池战略》.....	30
美国能源部投入 2.75 亿美元强化清洁能源供应链.....	31
韩国政府投入 820 亿韩元开发下一代二次电池技术.....	31
国际智库发布《气候科学 10 大新见解》报告.....	32
美国能源部成立关键和新兴技术办公室.....	32

更多信息详见：

- ◆ “双碳情报” 微信公众号
- ◆ 碳达峰碳中和情报支持平台
<http://scieye.llas.ac.cn/carbon>



COP28 全球减排行动进展和趋势分析

12月13日，《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）第二十八次缔约方大会（COP28）在阿联酋迪拜闭幕。本次大会完成了首次全球盘点并基于此形成了一份《阿联酋共识》（UAE Consensus），为各部门减排提出了更为明确的目标和路径。相比 COP27 而言，COP28 进一步强调了能源转型的重要性，并将气候目标通过更加具象化的承诺和行动来实现，这些都是解决温室气体排放问题的积极举措。会议期间，COP28 主席发起加快能源转型和大幅减少排放的“全球脱碳加速器”计划（Global Decarbonization Accelerator, GDA）¹，这是一个旨在加快能源转型并大幅减少全球排放的里程碑举措。GDA 专注于 3 个关键支柱：①快速扩大未来的能源系统；②当前能源系统脱碳；③针对甲烷和其他非二氧化碳温室气体减排。本文梳理了在 COP28 达成的具有影响力的减排共识和相关举措，进而分析全球减排行动新趋势。

一、首次全球盘点决议承认全球行动在实现《巴黎协定》温控目标方面已经取得了重大进展

首次全球盘点决议²呼吁各缔约方考虑到不同的国情、途径和办法，以国家自主的形式为能源转型的全球努力做出贡献，包括：①到 2030 年，将全球可再生能源装机容量增加两倍，并将全球年均能效提升率提高一倍，由 2022 年的 2% 提高到 4%；②加快煤电淘汰步伐；③在全球范围内加速努力实现净零排放能源系统，在本世纪中叶之前

¹ COP28 Presidency Launches Landmark Initiatives Accelerating the Energy Transition. <https://www.cop28.com/en/news/2023/12/COP28-Presidency-launches-landmark-initiatives-accelerating-the-energy-transition>

² Decision -/CMA. 5 Outcome of the First Global Stocktake. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma5_auv_4_gst.pdf

或左右使用零碳和低碳燃料；④以公正、有序和公平的方式在能源系统中摆脱化石燃料，在这个关键的十年中加快行动，以便在科学的基础上到 2050 年实现净零排放；⑤加速零排放和低排放技术的发展，包括可再生能源、核能、减排和清除技术，例如碳捕集、利用与封存，特别是在难以减排的行业，以及低碳氢生产方面；⑥到 2030 年，加速并大幅减少全球非二氧化碳温室气体排放，特别是甲烷排放；⑦加速减少交通运输排放，包括通过发展基础设施和快速部署零排放和低排放车辆等途径实现；⑧尽快淘汰不能解决能源贫困或公正转型问题的低效化石燃料补贴。总体而言，此次大会标志着化石燃料时代“开始走向终结”，为快速、公正和公平的转型奠定了基础，并以大幅减排和扩大融资规模为基础¹。

决议提出按照 1.5°C 目标，需要在 2019 年的基础上，到 2030 年将全球温室气体排放减少 43%，到 2035 年减少 60%，到 2050 年实现 CO₂ 净零排放。

二、加快清洁能源转型步伐：百余个国家签署提升可再生能源和能效目标，20 余个国家提出大幅增加核能部署，低碳氢国际认证迈出关键一步

可再生能源和能效方面，欧盟与 118 个国家共同发起“全球可再生能源和能效承诺”倡议。行动主要包括：①承诺采取全面的国内行动。在可再生能源和能效方面制定雄心勃勃的国家政策，并在国家自主贡献（NDC）中体现；②承诺注重可再生能源和能源效率方面的国际合作，包括技术开发、弹性供应链以及技术转让和资金支持等；③承诺政策简化和激励以促进投资和新技术部署；④承诺确保各项政策有利于实现公正和环境友好的能源转型。⑤承诺支持现有的国际倡议，推进技术创新和政策实施。

¹ COP28 Agreement Signals “Beginning of the End” of the Fossil Fuel Era. <https://unfccc.int/news/cop28-agreement-signals-beginning-of-the-end-of-the-fossil-fuel-era>

核能方面，来自四大洲的 22 个国家¹发布了《三倍核能宣言》²，提出到 2050 年将核能装机容量增加两倍，承认核能在实现全球温室气体净零排放和 1.5 °C 目标方面发挥的关键作用，并鼓励国际金融机构将核能纳入能源贷款政策。此外，12 月 5 日，经合组织核能署 (NEA) 发起了名为“加速先进小型模块化多用途反应堆 (SMRs)³ 发展以实现净零排放”的倡议⁴，将利用 NEA 的全球专家和领导者网络来制定工作计划，以加快安全、高效和经济的 SMR 开发、部署和运营。12 月 7 日，美国、加拿大、法国、日本和英国宣布计划为全球核能供应链筹集 42 亿美元⁵，将在未来三年内提高铀浓缩和转化能力，并建立一个不受俄罗斯影响的有弹性的全球铀供应市场。

氢能方面，30 多个国家⁶发布了《COP28 关于可再生和低碳氢及氢衍生物认证计划相互认可的意向声明》⁷。声明中的“氢”包括用可再生能源、核能或化石燃料结合碳捕集与封存生产的氢。当前，大部分氢气是在当地生产和使用。但随着工业化国家需求的增长，对氢气运输的需求也在增加。然而，现有的氢认证体系由于设计、标准和标签方面的差距，不适合跨境贸易，导致氢能认证体系不足。意向声明签署方致力于加速和协调技术标准的制定，以实现方法学和认证机构的相互认可。该声明还为参与国采取进一步措施协调方法提供了可

¹ 签署国包括美国、保加利亚、加拿大、捷克、芬兰、法国、加纳、匈牙利、日本、韩国、摩尔多瓦、蒙古、摩洛哥、荷兰、波兰、罗马尼亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、瑞典、乌克兰、阿拉伯联合酋长国和英国

² At COP28, Countries Launch Declaration to Triple Nuclear Energy Capacity by 2050, Recognizing the Key Role of Nuclear Energy in Reaching Net Zero. <https://www.energy.gov/articles/cop28-countries-launch-declaration-triple-nuclear-energy-capacity2050-recognizing-key>

³ SMRs 是指功率和物理尺寸都比传统的千兆瓦级发电厂小的核反应堆，具有部署灵活性强、用途广泛和安全性高的优势。

⁴ “Accelerating SMRs for Net Zero” Initiative Launched at COP28. https://oecd-nea.org/jcms/pl_88887/-accelerating-smrs-for-net-zero-initiative-launched-at-cop28

⁵ At COP28, U.S., Canada, France, Japan, and UK Announce Plans to Mobilize \$4.2 Billion for Reliable Global Nuclear Energy Supply Chain. <https://www.energy.gov/articles/cop28-us-canada-france-japan-and-uk-announce-plans-mobilize-42-billion-reliable-global>

⁶ 安提瓜和巴布达、亚美尼亚、澳大利亚、比利时、文莱、巴西、加拿大、智利、埃及、匈牙利、印度、意大利、日本、韩国、马来西亚、毛里塔尼亚、摩尔多瓦、摩洛哥、纳米比亚、荷兰、尼日利亚、挪威、阿曼、巴布亚新几内亚、巴拉圭、葡萄牙、沙特阿拉伯、塞拉利昂、新加坡、南非、阿拉伯联合酋长国、英国、乌克兰、美国、也门

⁷ At COP28, Countries Launch Declaration of Intent on Clean Hydrogen. <https://www.energy.gov/articles/cop28-countries-launch-declaration-intent-clean-hydrogen>

能性。此项举措为释放氢及其衍生物跨境价值链的社会经济效益迈出了“历史性”一步。

三、高排放行业脱碳解决方案合作与博弈并存：国际合作推动工业转型加速，七国集团（G7）倡议的“气候俱乐部”启动

全球工业、建筑和交通等高排放部门的低碳转型是实现《巴黎协定》既定目标的关键。本次会议上，缔约方和非缔约方利益相关者合作，牵头发起了以合作减少排放为重点的举措。

GDA 的第二个支柱是“工业转型加速器”计划（**Industrial Transition Accelerator, ITA**）。该计划将由领先企业和行业倡议推动，并与实体经济、金融部门、技术专家和决策者合作，重点关注占全球排放量三分之一的行业，包括钢铁、铝、水泥、化工、航运、航空和部分能源供应链，专注于解决阻碍现有项目在未来 2~3 年内实现金融投资决策（**FID**）的关键挑战。重点包括：①促进在脱碳技术方面实现规模经济，例如绿氢、**CCUS**、可持续燃料和长时储能；②动员政府、金融机构和企业提高对可持续产品的需求；③识别、跟踪和推广已被证明能够成功加速脱碳工作的政策工具；④制定融资解决方案，帮助将目前的投资与未来几年对绿色产品的需求联系起来；⑤提升和加速现有特定行业项目的进展，推动其跨越临界点，在每个行业大规模部署脱碳解决方案。**ITA** 的进展将通过重点行业实现的减排情况、以及它如何支持各国实现和提高其 2030 年国家自主贡献里程碑来衡量。该计划已获得彭博慈善基金会和 **COP28** 轮值主席国 3000 万美元支持。

发达国家主导的以推进全球工业绿色转型政策框架为目标的“气候俱乐部”在 **COP28** 正式启动¹。2021 年德国在 **G7** 峰会上提出成立“气候俱乐部”，**G7** 同时发布了相关声明。俱乐部首批成员包

¹ 智利、德国、阿根廷、澳大利亚、奥地利、加拿大、哥伦比亚、哥斯达黎加、丹麦、埃及、欧盟、芬兰、法国、印度尼西亚、意大利、爱尔兰、日本、哈萨克斯坦、肯尼亚、韩国、卢森堡、莫桑比克、摩洛哥、荷兰、挪威、秘鲁、新加坡、西班牙、瑞典、瑞士、泰国、乌克兰、英国、美国、乌拉圭、瓦努阿图

括 36 个（包括欧盟）¹，成员国合计占全球经济总量的 55%以上，德国和智利为首届联合主席国，致力于通过释放工业部门的脱碳潜力以支持《巴黎协定》的有效实施。“气候俱乐部”的工作领域将围绕以下三方面展开：①推进雄心勃勃和透明的气候减缓政策，努力就此类政策的有效性和经济影响达成共识，加强排放测量和报告机制，并就碳泄漏和缓解工作面临的其他风险开展对话。②推进工业绿色转型的政策框架，协调全球公认的排放核算方法、可互操作的标准和绿色工业产品标准等，为工业大幅脱碳创造有利条件。③加强国际气候合作与伙伴关系。围绕上述目标，“气候俱乐部”签署了《净零工业伙伴关系》和《全球对接平台》两项全球倡议，德国已承诺为这两项倡议提供 2300 万欧元的种子资金。《净零工业伙伴关系》将通过技术援助支持发展中国家努力使钢铁和水泥等高排放行业脱碳；《全球对接平台》将支持发展中国家推进工业脱碳议程，促进现有国际技术、财政援助提议、私人融资工具与新兴市场和发展中经济体的需求和优先事项的协调和对接。

传统化石能源行业大规模减排行动意向达成。**COP28** 轮值主席国和沙特阿拉伯启动了具有里程碑意义的《石油和天然气行业脱碳宣言》（**OGDC**）²。宣布在 2050 年前实现净零排放，2030 年前实现甲烷零排放，并消除常规燃烧（**Routine flaring**，也称生产燃烧，用于在原油开采过程中处理不需要的伴生石油气）。**OGDC** 是油气行业加强与《巴黎协定》目标一致行动的重要一步。迄今为止，已有 50 家公司（占全球石油产量的 40%以上）签署了 **OGDC**，其中国有石油公司占签署方的 60%以上，这是有史以来承诺脱碳倡议的国有石油公司数量最多的一次。

¹ Germany and UNIDO Drive Decarbonization with New Initiatives as Part of the Climate Club.
<https://www.unido.org/news/germany-and-unido-drive-decarbonization-new-initiatives-part-climate-club>

² Oil & Gas Decarbonization Charter Launched to Accelerate Climate Action.
<https://www.cop28.com/en/news/2023/12/Oil-Gas-Decarbonization-Charter-launched-to--accelerate-climate-action>

此外，在建筑行业，法国和摩洛哥政府与联合国环境规划署（UNEP）一起在 COP28 上发起了“建筑突破”倡议¹，旨在到 2030 年使近零排放和气候适应型建筑成为新常态，已有 27 个国家²承诺实现“建筑突破”目标。“建筑突破”是 COP26 启动的“突破议程”（Breakthrough Agenda）的一部分，该议程旨在加强国际合作，到 2030 年使清洁技术和可持续解决方案成为关键部门和所有地区最经济、最容易获得和最具吸引力的选择。

四、甲烷和非二氧化碳减排行动得到强化：甲烷减排由倡议走向行动，《全球制冷承诺》首次达成

《全球甲烷承诺》（Global Methane Pledge）再次扩大范围。《全球甲烷承诺》在 COP26 上发起，COP27 上得到重申，目前已有 150 多个签署国。甲烷和其他非二氧化碳温室气体及其前体的排放对当今全球变暖负有一半以上的责任，但其受到的全球气候关注远不到一半。到 2030 年将甲烷排放量至少减少 30%——符合《全球甲烷承诺》目标，到 2050 年就可避免超过 0.2 °C 的升温，这将是迄今为止最快的降低全球温度的方式。

全球甲烷减排行动已陆续展开，欧盟走在甲烷减排前沿。12 月 2 日，欧盟及其成员国在 COP28 上宣布投资 1.75 亿欧元以促进甲烷减排，包括通过使用新卫星实现甲烷数据收集。此前半个月，欧盟议会和理事会就减少全球供应链中能源部门的甲烷排放达成临时协议，这是全球首个针对能源部门甲烷排放的法律，要求天然气、石油和煤炭行业根据最高监测标准正确测量、监测、报告和验证其甲烷排放，并采取行动减少甲烷排放。欧盟还将推出甲烷减排政策激励，欧盟将在

¹ The Buildings Breakthrough: Global Push for Near-zero Emission and Resilient Buildings by 2030 Unveiled at COP28. <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/buildings-breakthrough-global-push-near-zero-emission-and-resilient>

² 承诺实现“建筑突破”目标的 27 个国家是：亚美尼亚、奥地利、加拿大、中国、科特迪瓦、埃及、埃塞俄比亚、芬兰、法国、德国、几内亚比绍、日本、约旦、肯尼亚、利比里亚、毛里塔尼亚、蒙古、摩洛哥、荷兰、挪威、塞内加尔、瑞典、突尼斯、土耳其、英国、美国和赞比亚。这些国家合计约占全球人口的 34%，温室气体排放量约占全球的 51%，国内生产总值的贡献率约占全球的 64%。此外，欧盟委员会和 18 个国际组织也已宣布支持。

第二十九届缔约方大会（COP29）前为全球推出针对甲烷减排的“你收集，我们购买”计划制定路线图。该计划鼓励企业捕获那些因排放和燃烧而浪费的天然气，从而促进气候行动和能源安全。11月初，我国生态环境部等11部门发布《甲烷排放控制行动方案》，对未来一段时期甲烷排放控制工作做出顶层设计和系统部署。

《全球制冷承诺》倡议首次达成，这是 COP28 又一项具有里程碑意义的倡议。60多个国家签署了《全球制冷承诺》，承诺到2050年将与制冷相关的CO₂排放至少减少68%，到2030年大幅增加可持续制冷的可及性，并将全球新空调的平均效率提高50%。这一目标将通过各国采取的国内行动以及国际合作来推进。用于制冷的氢氟碳化物造成的升温效应是CO₂的数百到数千倍，采取措施减少氢氟碳化物的使用并提高制冷效率，到2050年可能减少0.1℃的升温，并到2100年可避免全球温度上升0.5℃。与会政府重申了最近达成的有关蒙特利尔多边基金进行有史以来最大规模增资的协议，提供9.65亿美元资金，以支持基加利修正案的实施和能源效率。

五、未来展望

制定减排方案、摆脱石油及煤炭等化石燃料生产等议题，成为本次大会讨论重点。显然，能源转型是未来各国应对气候变化都需要面对的重要问题，迫切需要探索适合国情的最优转型路径。总体来看，虽然是否淘汰化石燃料发电的国际争论依旧存在，但大力发展可再生能源以及氢能和核能等新能源已是各国共识。可再生能源发电量和装机容量将持续快速增长，太阳能和风能等零碳技术已相对成熟，其成本将持续走低，核电也将占据一席之地。电力行业的碳排放有望从平稳状态开始逐步下降，零碳电力的目标将首先实现。还需要看到，全球共识的达成需要考虑各个国家资源禀赋和发展现状，更具包容性和合理性的公平转型应是缔约方共同的诉求。

重工业领域温室气体排放依旧很高，COP28后这一趋势有望得

到扭转。一方面，电气化将提高工业流程的能效；另一方面，全球已达成共识将推动氢能在工业领域的应用，基于氢能的新型产品解决方案有望进一步推进工业脱碳进程。此外，本届会议正式启动了一个发达国家发起、注重工业转型的“气候俱乐部”，它涵盖贸易、发展和技术等多个方面，最关键的是贸易政策。此前，欧盟出台了关于碳边境调整机制立法行动，美国也有议员多次提出类似法案，本次气候俱乐部的启动，代表全球减排的一个国际新秩序已在酝酿，但后续如何实施有待观察，对全球减排行动能产生多大影响尚不确定。此外，快速和持续减少甲烷排放是限制近期全球变暖和实现全球气候目标的关键。随着越来越多的国家签署《全球甲烷承诺》倡议，加上各国在政策、财政方面的支持，全球人为甲烷排放量将有望显著减少。

（赵佳敏 孙玉玲 汤匀）

全球甲烷排放热点议题解析

11月7日，我国生态环境部等11部门联合发布《甲烷排放控制行动方案》，这是我国开展甲烷排放管理控制的顶层设计文件¹。12月1日，联合国环境规划署（UNEP）发布《关注甲烷：国际甲烷排放观测站2023年报告》，是国际甲烷排放观测站（IMEO）第三次年度报告，旨在为决策者提供一个跟踪和监测甲烷排放的行动框架，以规划有针对性和雄心的减排行动²。12月5日，在COP28《全球甲烷承诺》部长级会议上，合作伙伴分析了2023年以来甲烷行动计划方面的进展，并讨论了如何实现2030年甲烷减排30%目标的转型行动³。11月中旬—12月中旬，国内外多个智库就主要国家甲烷排放政策进展、《全球甲烷承诺》主要行动进行分析，旨在制定相关行动实现到2030年甲烷减排目标。本文对近期全球甲烷减排相关的政策和行动进行了归纳总结。

¹ 生态环境部联合有关部门发布《甲烷排放控制行动方案》. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtzk/202311/t20231107_1055439.shtml

² An Eye on Methane: International Methane Emissions Observatory 2023 Report. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44129/eye_on_methane.pdf?sequence=3

³ Highlights from 2023 Global Methane Pledge Ministerial. <https://www.globalmethanepledge.org/news/highlights-2023-global-methane-pledge-ministerial>

一、近期主要国家的甲烷减排政策进展

近期，多个主要的石油和天然气甲烷排放国宣布了最新政策、法规和国家承诺，旨在削减甲烷排放。本部分首先对 COP28《全球甲烷承诺》部长级会议上提及的 9 个国家和地区甲烷减排相关政策进行汇总，然后分别对欧盟、中国甲烷减排政策，以及美国和哈萨克斯坦的联合声明进行阐述。

(1) 主要国家和地区甲烷减排相关政策进展¹。主要包括：①美国宣布了大幅减少石油和天然气作业中甲烷排放量的最终标准，这将减少超过 15 亿吨二氧化碳当量，并比预期的未来甲烷排放量减少近 80%；②欧盟通过首部甲烷减排法规；③加拿大公布了法规草案，到 2030 年实现上游石油和天然气部门甲烷排放量比 2012 年至少减少 75%；④巴西宣布，到 2024 年底之前制定石油和天然气行业减少甲烷排放的指导方针；⑤埃及宣布，到 2024 年底之前制定石油和天然气行业的甲烷减排法规，作为甲烷减排路线图的一部分；⑥尼日利亚提出将进一步加快“尼日利亚天然气火炬商业计划”（NGFCP）的项目实施，并确保其在 COP27 发布的石油和天然气行业甲烷减排指南得到有力执行；⑦哈萨克斯坦加入《全球甲烷承诺》，并宣布与美国合作制定国家标准；⑧土库曼斯坦和安哥拉加入《全球甲烷承诺》。

(2) 欧洲议会和理事会就限制欧洲和全球甲烷排放的首部法规达成临时协议²。11 月 15 日，欧洲议会和理事会就甲烷排放新规达成协议，重点要求天然气、石油和煤炭等化石能源按照最高监测标准进行测量、监测、报告与核实，并采取行动减少相关甲烷排放。一是对减少甲烷排放提出 5 点要求：①要求经营者定期向主管部门报告甲烷排放测量和监测情况，包括非经营性资产；②要求石油和天然气公司对其设备进行定期监测，以便在特定期限内检查和修复欧盟领土上的

¹ Highlights from 2023 Global Methane Pledge Ministerial. <https://www.globalmethanepledge.org/news/highlights-2023-global-methane-pledge-ministerial>

² Commission Welcomes Deal on First-Ever EU Law to Curb Methane Emissions in The EU And Globally. https://www.mec.gov.cn/ywyz/ydqhbh/wsqtz/202311/t20231107_1055439.shtml

甲烷泄漏；③禁止石油和天然气行业进行常规排放和燃烧，并将非常规排放和燃烧限制在不可避免的情况下，例如出于安全检查或设备维修；④在 2027 年开始限制火力发电矿井燃烧，并在 2031 年以后实施更严格条件；⑤要求石油、天然气和煤炭行业对关闭的、不活跃的、堵塞的或废弃的资产（如油井和矿山）进行盘点，以监测其排放量，并尽快制定减少这些排放的计划。二是提高透明度，对石油、天然气和煤炭行业的甲烷减排行动出台 4 项规定：①建立一个甲烷透明度数据库，以便将进口商和欧盟运营商报告的甲烷排放数据提供给公众；②建立国家和行业甲烷绩效概况，便于进口商对其能源进口做出明智选择；③建立全球甲烷排放源监测工具和超级排放事件快速预警机制，并提供欧盟内外主要甲烷排放源规模、复发和位置信息；④规定石油、天然气和煤炭新合同的甲烷浓度应达到最新方法与最高水平的要求。

(3) 我国制定《甲烷排放控制行动方案》，旨在加快形成甲烷排放监测体系，推进减污降碳协同增效，有力有序有效控制甲烷排放¹。我国《甲烷排放控制行动方案》的重点任务包括：①加强甲烷排放监测、核算、报告和核查体系建设；②推进能源领域甲烷排放控制；③推进农业领域甲烷排放控制；④加强垃圾和污水处理甲烷排放控制；⑤加强污染物与甲烷协同控制；⑥加强技术创新和甲烷排放控制监管；⑦加快构建法规标准政策体系；⑧加强全球甲烷治理与合作。

(4) 美国和哈萨克斯坦发布关于减少甲烷排放以实现《全球甲烷承诺》的联合声明²。2024—2025 年，美国和哈萨克斯坦将开展合作，通过以下 5 个优先事项支持后者甲烷减排行动：①实施减缓煤矿甲烷排放的最佳做法，包括煤层脱气、控制通风空气中甲烷排放、捕集与利用煤矿甲烷排放；②实施定期全面检测和维修，排除整个石油和天然气行业的甲烷泄漏；③支持跨部门改进国家甲烷清单，例如，

¹ 生态环境部联合有关部门发布《甲烷排放控制行动方案》。 <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202311/W020231107750707766959.pdf>

² U.S.-Kazakhstan Joint Statement on Accelerating Methane Mitigation to Achieve the Global Methane Pledge. <https://www.state.gov/u-s-kazakhstan-joint-statement-on-accelerating-methane-mitigation-to-achieve-the-global-methane-pledge/>

得到气候与清洁空气联盟支持；④鼓励私营部门开发和投资甲烷减排项目；⑤考虑和支持甲烷利用与减排项目的资金来源，包括美国进出口银行、国际金融公司、世界银行和其他金融机构。

二、近期主要国家《全球甲烷承诺》行动进展

本部分主要根据 COP28《全球甲烷承诺》部长级会议纪要，对 2023 年以来《全球甲烷承诺》合作伙伴甲烷行动计划方面的进展进行归纳总结。

(1) COP27 以来已为甲烷减排行动筹集资金超过 10 亿美元¹。自 COP27 宣布《全球甲烷承诺》以来，各国政府、欧盟委员会、慈善机构和私营部门等相关机构为甲烷减排行动提供了超过 10 亿美元的投融资，大大超过预期目标。这些资金主要用于支持全球所有部门的甲烷减排，重点放在低收入和中等收入国家。其中，2.55 亿美元用于重新启动世界银行全球火炬和甲烷减排伙伴关系，2 亿美元用于开发加速器旨在减少肠道发酵甲烷排放，以及为气候与清洁空气联盟、国际甲烷排放观测站提供的其他项目。

(2) 国际甲烷排放观测站成果推动了数据转化为行动的进展²。
①全面启动甲烷警报和响应系统 (MARS)。MARS 是识别全球甲烷排放的新型监测系统，该系统是第一个将卫星探测到的甲烷排放与促进地面减排工作的透明通知程序联系起来的全球系统。主要通过四个组成部分将数据与行动联系起来。在 2023 年 1 月—12 月试用阶段，MARS 在全球范围探测到 1000 多个能源领域相关的甲烷羽流，将其中 400 多个羽流与能源基础设施联系起来，并向 6 个国家政府和“石油和天然气甲烷伙伴关系 2.0” (Oil and Gas Methane Partnership 2.0, OGMP 2.0) 相关成员通报了 127 起事件。
②启动数据转化甲烷行动。全球甲烷中心与 IMEO 及其他伙伴合作，发起了一项全面增加资金的

¹ Highlights from 2023 Global Methane Pledge Ministerial. <https://www.globalmethanepledge.org/news/highlights-2023-global-methane-pledge-ministerial>

² An Eye on Methane: International Methane Emissions Observatory 2023 Report. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44129/eye_on_methane.pdf?sequence=3

行动，旨在促进政府、企业和其他行为主体能够从根本上减少甲烷排放，并通过前所未有的杠杆数据推动有效政策实施。全球甲烷中心在 COP28 上宣布为该行动提供 1000 万美元资助，并承诺在 COP29 上提供 3 亿美元的资助目标。③在收集和传播可采取行动的甲烷数据方面取得进展。包括 IMEO 甲烷数据平台的测试版，该平台集成了数十颗公共地球观测卫星的数据，启动了新的美国温室气体中心等补充工作，并公布了 2024 年甲烷卫星发射和碳地图计划。④甲烷数据科学取得新进展。①IMEO 目标是通过在同行评审的文献中发表相关评估研究，并基于排放数据来减少甲烷排放位置和规模的不确定性。②石油和天然气甲烷科学研究不断收集政策相关数据，以提高对石油和天然气供应链关键排放区域和环节的认知，旨在减少关键地区石油和天然气排放的不确定性。③IMEO 发起了一个煤炭甲烷科学研究计划，旨在加深对煤炭行业甲烷排放的理解。

(3) 《全球甲烷承诺》加入新成员并扩大了领导力¹。土库曼斯坦、哈萨克斯坦、肯尼亚、罗马尼亚、安哥拉等国家加入《全球甲烷承诺》，截至 2023 年 12 月 2 日，共有 155 个国家/地区参与《全球甲烷承诺》。

三、国际甲烷排放观测站未来发展的几点启示²

(1) 集成多种甲烷数据源是核心。IMEO 的核心任务是整合和关联来自多个来源的数据，包括独立的卫星测量、各种甲烷科学研究和数据来源、OGMP 2.0 报告和国家清单。每个数据源在不同时间和空间尺度进行评估，具有不同程度的不确定性。IMEO 的国家基线研究将推动实证测量到五个部门。IMEO 在其 2022 年年度报告中提出了“1 种气体，5 个部门”的方法框架，即甲烷排放来源于石油、天然气、煤炭、废弃物、水稻和畜牧五个部门，针对每个部门的甲烷排

¹ Highlights from 2023 Global Methane Pledge Ministerial. <https://www.globalmethanepledge.org/news/highlights-2023-global-methane-pledge-ministerial>

² An Eye on Methane: International Methane Emissions Observatory 2023 Report. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44129/eye_on_methane.pdf?sequence=3

放制定具体的减缓战略。

(2) 甲烷排放量透明化指日可待。 科学界开发了基于测量稳健性的甲烷排放评估方法，OGMP 2.0 率先实现了石油和天然气行业基于测量报告实践的重大转变。有几种方法可以减少钢铁供应链的甲烷排放。考虑几种技术选择的情况下，比如氢，可以通过闭环碳循环或直接还原，在中长期实现高度脱碳。选择最适合的方法、缩小规模和降低成本都是优先选择。

(3) 相关机构需要采取行动和问责制以减少排放。 根据 IMEO 2023 年最新数据，全球石油和天然气行业甲烷排放量至少增加 3%，工业覆盖率将达到 37%。甲烷观测结果与 OGMP 2.0 报告的排放量在所有区域之间的差异始终很大。数据需要以测量为基础，准确并公开，以确保问责制。基于全球测量的评估与行业报告的排放量之间存在很大差异。

(4) 政府应加强对甲烷排放的能力建设。 ①与政府利益相关方的关系不断加强，推动 IMEO 工作进展。②IMEO 与国际能源署、气候与清洁空气联盟、世界银行等组织密切合作。IMEO 提供的甲烷减缓系列培训为甲烷行动奠定基础。③IMEO 正在推动科学与国家清单之间的重要对话。IMEO 作为基于卫星和其他测量数据的甲烷排放数据提供者，旨在促进将这些数据纳入国家清单，以提高报告排放量的准确性。IMEO 提供的卫星数据推动了利比亚甲烷减缓行动。

(刘莉娜)

国际机构支持气候行动报告解读

近期，多个国际机构发布报告旨在支持气候行动。比如，11 月 14 日，《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 发布《长期低排放发展战略》报告，分析了长期低排放发展战略综合信息¹。12 月 2 日，国际可再生能源署 (IRENA) 发布《IRENA 为加强气候行动提供能源转型支持：2023 年影响洞察力分析》报告，分析了国家自主贡献

¹ Long-Term Low-Emission Development Strategies. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_10.pdf

(NDC)、长期低排放发展战略(LT-LEDS)和全球盘点(Global Stocktake)中有关可再生能源目标的发展趋势,并重点介绍了IRENA支持气候行动的一揽子措施¹。12月3日,IRENA和世界气象组织(WMO)联合发布《2022年回顾:气候驱动的全球可再生能源潜在的资源 and 能源需求》报告,提供了关于可再生能源与气候条件之间关系的见解²。本文将从《长期低排放发展战略》信息解析和IRENA加强气候行动提供能源转型支持两方面进行梳理。

一、《长期低排放发展战略》信息解析

1、战略背景

UNFCCC发布的《长期低排放发展战略》³,是根据第四次千年生态系统评估(CMA4)要求编写的。该报告综合分析了截至2023年9月15日,《巴黎协定》75个缔约方的68份最新的LT-LEDS信息,其中包括7个缔约方的7个更新LT-LEDS,涵盖了2019年全球碳排放总量的76%,在不包括土地利用、土地利用变化与林业(LULUCF)情况下,温室气体排放量为526亿吨二氧化碳当量。

2、LT-LEDS 缔约方情况

已通报LT-LEDS的缔约方在2019年约占全球国内生产总值的87%、全球人口的68%和全球能源消费的77%,其中,煤炭消费约占91%,天然气消费约占80%,石油消费约占71%。19个尚未通报LT-LEDS的缔约方,其NDC提供了关于2050年之前及以后长期减缓愿景、战略和目标的可量化信息。

3、LT-LEDS 发展视角

所有LT-LEDS都提供了明确的发展视角,并将气候变化相关的

¹ IRENA's Energy Transition Support to Strengthen Climate Action: Insight to Impact 2023. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Dec/IRENA_transition_support_climate_action_2023.pdf?rev=77c7bd7c6eb44721a9a810985df699bf

² 2022 Year in Review: Climate-driven Global Renewable Energy Potential Resources and Energy Demand. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Dec/IRENA_WMO_2022_year_in_review_2023.pdf?rev=8a839b7d9b4d431981c990a91b34be85

³ Long-Term Low-Emission Development Strategies. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_10.pdf

各个方面和目标与发展愿景、优先事项、原则或经济、社会和环境目标相结合。在这种情况下，49%的 LT-LEDs 显示，LT-LEDs 与缔约方提交的 NDC 之间存在密切关系；63%的 LT-LEDs 提出与可持续发展目标之间密切相连。几乎所有 LT-LEDs 都考虑了可持续发展、减排与适应气候变化之间的多重协同和权衡。同时，几乎所有已通报 LT-LEDs 的缔约方均强调了实现《巴黎协定》长期温升目标的承诺，因为气候变化已经并将继续带来与国家发展相关的挑战。

4、LT-LEDs 与 NDC 叠加比较

截至 2023 年 9 月 25 日，根据最新的 NDC 信息，到 2030 年已通报 LT-LEDs 缔约方的温室气体排放总量估计为 359 亿吨二氧化碳当量，比 2010 年高 5% (-3%~7%)，比 2019 年低 6% (2%~11%)。同时考虑到尚未更新 NDC 相关长期减缓愿景、战略和目标的缔约方，到 2030 年其温室气体排放总量估计为 388 亿吨二氧化碳当量，比 2010 年高 5% (-1%~10%)，比 2019 年低 5% (0%~10%)。已通报 LT-LEDs 缔约方的温室气体排放总量估计到 2050 年为 142 亿吨二氧化碳当量 (126~158 亿吨)，比 2010 年高 60% (55%~64%)，比 2019 年低 63% (59%~67%)。然而，已通报 LT-LEDs 的缔约方在长期减缓目标范围与覆盖面以及排放和清除的量化水平方面不够明确，因此难以量化排放量。如果还考虑尚未通报 LT-LEDs 的缔约方，但其在 NDC 提供了关于长期减缓愿景、战略和目标的可量化信息，这些缔约方的温室气体排放总量估计到 2050 年为 147 亿吨二氧化碳当量，比 2010 年高 60% (56%~65%)，比 2019 年低 64% (60%~68%)，前提是缔约方提出的所有承诺能够全面和及时落实。

5、LT-LEDs 与经济增长

所有 LT-LEDs 都强调了技术和创新在应对气候变化和加速各国经济增长方面的重要性。强调国际合作对于清洁技术大规模发展至关重要，因为获得这些技术往往涉及全球范围内的国际合作与技术转让。

提高公众对可获得和负担得起的气候技术的认识，是促进气候技术在供需双方实施的有效工具。75%的 LT-LEDs 报告了水泥、钢铁和化工等难以减排部门进行改造的努力，并明确侧重通过采用先进技术实现低碳经济，或者通过能源密集型工艺电气化；在经济可行的情况下，用绿氢替代化石燃料，或者部署碳捕集利用与封存（CCUS）、直接空气碳捕集与封存（DACCS）或生物质能碳捕集与封存（BECCS）解决方案。81%的 LT-LEDs 强调了可再生能源的关键作用，包括电网容量、灵活性和弹性的电网改进信息，以期以可靠方式和耐受成本提供能源。94%的 LT-LEDs 认为电动交通工具，从陆地电动自行车到海上电动船舶（包括增加充电设施），是到 2050 年实现交通碳中和的一个重要方面。

6、LT-LEDs 执行进展

74%的 LT-LEDs 提供了关于监测和报告 LT-LEDs 执行进展情况的正式安排信息。其中，12%要求每年报告各项措施进展情况，9%要求每两年报告一次。74%的已通报 LT-LEDs 缔约方提出定期更新计划，51%提出了更新的频率。

二、IRENA 为加强气候行动提供能源转型支持

1、当前可再生能源的发展趋势

(1)目前可再生能源增长速度仍落后于实现 2050 气候目标所需的水平。到 2050 年实现净零温室气体排放，这将需要到 2030 年采取更具雄心的气候行动。可再生能源是减缓气候变化影响的一种经济可行的选择，发展可再生能源是 2030 年能源转型的关键举措。2022 年，全球可再生能源发电装机容量新增约 300 吉瓦，能源转型技术投资总额为 1.3 万亿美元。尽管能源转型取得了进展，但可再生能源增速仍落后于实现 2050 年气候目标所需水平。

(2) 将能源转型与国家长期气候规划相结合，有助于实施符合《巴黎协定》所需的能源转型举措。在国家层面，各国通过制定 NDC

和 LT-LEDs，承诺实现雄心勃勃的中长期气候目标。根据 IRENA 分析表明，LT-LEDs 为能源转型提供机遇，强调了以可再生能源和新能源为动力、以最佳的现有科学为基础。

(3) IRENA 将继续与其他成员国合作，旨在实现减缓和适应气候变化的雄心目标。同时，IRENA 与各国在 NDC 和 LT-LEDs 中承诺的国家优先事项相协调。IRENA 支持其他成员国向可持续能源未来转型，旨在提供最先进知识、机构能力建设基础、技术援助、政策咨询和投资活动。

2、IRENA 支持气候行动的一揽子措施

(1) IRENA 与 96 个成员国合作，这些国家均是签署了《巴黎协定》的 UNFCCC 缔约方。相关合作旨在通过可再生能源实现能源转型，并支持成员国实施其气候目标和行动计划。主要包括制定 NDC 和 LT-LEDs 相关长期战略和国家计划。2022 年，与 IRENA 合作的成员国覆盖的人口总量约为 52 亿人，温室气体排放量约为 302.5 亿吨二氧化碳当量。IRENA 致力于能源转型支持计划，为各国和利益相关方参与实施减缓和适应气候变化行动提供独特的机遇。

(2) IRENA 计划支持全球可再生能源发电装机容量新增 1000 吉瓦，这意味着到 2030 年其装机容量将增加 3 倍。IRENA 主要通过加快能源转型的三大支柱来实现这一目标：现代化基础设施体系、配套的政策和法规、提高人力和体制能力。到 2030 年前的这几年对于实现全球 1.5°C 温控目标和长期气候目标至关重要。随着全球加速实现 1.5°C 温控目标，包括第二十八届联合国气候大会（COP28）、全球盘点以及 2025 年即将更新的 NDC，都在重申与全球长期气候变化和能源转型相关的雄心目标。

3、加强可再生能源与气候条件之间关系的理解

(1) 可再生能源在很大程度上受到自然气候变化影响。由于气候异常和气候变化影响，报告中所有评估指标都显示出明显的变化，

尽管因技术和国家而异。比如，太阳能光伏发电除了年均变化率不到10%以外，其整体年际和年内变化率都很明显。许多国家的风能季节性和年际波动可能高达15%。

(2) 提高人们对气候驱动因素及其与全球可再生能源之间关系的理解，对于能源转型、系统韧性和能源效率至关重要。如厄尔尼诺—南方涛动（ENSO），因为这些因素通常可以解释观测到的大部分气候异常现象；与不清楚气候驱动因素是什么情况相比，准确预测它们可以更有效地管理能源。全面系统的能源数据收集与分析对于提高气候异常和气候变化的能源供需影响认知至关重要。

(3) 将气候问题纳入能源资源运营、管理和规划是优先事项之一。这将有助于早期建立预警系统，以帮助更好地管理能源负荷、资源和维护。同时，这可以为能源基础设施现代化提供信息，并促进跨技术、市场和政策方面的必要创新。

(4) 从集中到分布式电力系统转型，调整市场结构是提供必要灵活性的关键。“双重采购”制度可以成为解决该问题的有效措施。

(5) 发展中国家可以利用气候变化方面的知识调整系统，进而利用可再生能源潜力。例如，非洲仅占全球可再生能源发电装机容量的2%，尽管其可再生能源潜力和社会经济发展效益巨大。可再生能源对于非洲大陆发展以及工业化发展非常重要。为了有效实施和利用可再生能源，必须要结合上述讨论的气候变化影响，以及潜在资源和现有基础设施的理解。

（刘莉娜）

智库视角下的全球能源转型趋势展望

当前，全球气候行动、地缘政治博弈等因素推动国际秩序重构，全球能源格局在复杂环境中加速嬗变。为准确研判并刻画未来全球能源发展走势，今年以来国际知名能源智库相继发布情景展望报告，英国石

油公司（BP）发布《能源展望 2023》¹报告提出能源发展四大趋势，国际可再生能源署（IRENA）发布《2023 年世界能源转型展望：1.5 °C 路径》²报告将电气化和能效确定为推动能源转型的关键因素，国际能源署（IEA）发布《世界能源展望 2023》³报告深入分析地缘政治和脆弱能源市场背景下的能源系统变化趋势，美国能源部能源信息署（EIA）发布《国际能源展望 2023》⁴探讨迈向 2050 年的全球能源长期趋势。本文盘点了上述机构对全球能源转型趋势的最新研判，以供参考。

一、世界能源系统清洁转型进程受挫，但处于可知可控阶段

近年来，世界碳密集型经济复苏和俄乌冲突等地缘政治事件引发并加深了全球能源危机。长期来看，未来资源约束、需求降低和技术成本变化等因素将推动能源系统从化石能源向非化石能源的转变，但当前政策措施还不足以降低全球能源部门的排放量，近两年能源部门碳排放量持续上升且再创纪录。从 IEA 既定政策情景来看，能源转型技术部署速度离实现净零排放目标还存在显著差距。在 IEA《清洁能源进展 2023》⁵评估报告中，53 项能源转型技术中仅有太阳能光伏、电动汽车和照明 3 项技术完全“步入正轨”，其他清洁能源技术转型偏离正确轨道较多。

另一方面，全球性能源危机也将成为加速能源清洁安全转型的转折点。能源安全问题已引起各国高度重视，并将加快太阳能和风能等部署，以减少对进口化石能源的依赖，从而全面推进可再生能源空前发展。近年来，各国加大对清洁能源政策支持力度，例如美国《通胀削减法案》、欧盟 REPowerEU 计划、印度“可再生氢能计划”等，巴西、中东、北非、东盟等地区也在加速可再生能源部署，COP28 会

¹ BP Energy Outlook 2023 edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>

² World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway. <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>

³ World Energy Outlook 2023. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

⁴ International Energy Outlook 2023. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

⁵ Tracking Clean Energy Progress 2023. <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>

上欧盟联合 118 个国家共同发起“全球可再生能源和能效承诺”倡议，为动荡的能源市场注入强劲动力。

尽管实现《巴黎协定》1.5°C 路径较为困难，但清洁能源产业发展前景良好。目前，能源转型技术的部署与实现《巴黎协定》目标所需水平之间仍存在较大差距。根据 EIA 分析，资源、需求和技术成本将推动从化石能源向非化石能源转变，但随着印度等新兴市场国家的快速发展，人口和收入的增长将抵消了能源强度和碳强度下降对排放的影响，当前政策尚不足以降低全球能源部门的排放量。2020 年以来，全球清洁能源投资增长 40%，清洁能源关键部件制造能力正迅速扩大。在各国能源安全战略部署的大力推动下，清洁能源技术投资较化石能源的领先优势越来越大，2023 年全球清洁能源与化石能源投资比达到 1.8，且投资正流向清洁能源制造领域¹，预计将达到创纪录的 1.8 万亿美元（增长超过 24%），包括可再生能源电力、核能、电网、储能、低排放燃料、能效提升及终端可再生能源和电气化²。其中，低排放电力投资占比将接近 90%，太阳能投资将首次超过石油。

二、清洁能源转型依然是长期趋势，可再生能源将逐步成为主体能源

化石能源需求有望 2030 年前达峰。IEA 既定政策情景预测，清洁能源转型强劲势头将使全球煤炭、石油和天然气需求在 2030 年前达到峰值，预计 2030 年化石能源占比将从 80% 左右降至 73%。根据 BP 预测，世界能源低碳转型将逐步削弱化石能源作用，未来 10 年左右全球石油需求将进入平稳期，天然气需求前景仍不明朗。此外，清洁能源转型过程中确保油气安全仍至关重要，IEA 既定政策情景显示，从中东到亚洲的海运原油贸易份额将从目前的 40% 上升到 2050 年的 50%，亚洲几乎是中东所有新增 LNG 供应的需求方。

¹ Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach: 2030 Update. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>

² World Energy Investment 2023. <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2023>

可再生能源将迅速扩张，并抵消化石能源需求减弱的影响。得益于成本竞争力的提高及低碳能源政策的普遍支持，可再生能源将以前所未有的速度融入能源系统。根据 IEA 的既定政策情景，到 2030 年全球可再生能源将提供 80% 的电力装机增量。根据 BP 预测，到 2050 年可再生能源在一次能源中占比将从 2019 年的 10% 左右增加至 35%~65%。而根据 IRENA 的 1.5 °C 情景，可再生能源在全球能源结构中占比将从 2020 年的 16% 增加到 2050 年的 77%。根据 EIA 预测，2050 年全球发电量将较 2022 年增长 30%~76%，新增装机容量中将有 81%~95% 采用零碳技术，而化石能源装机容量将下降至 27%~38%。

太阳能和风能发电将主导可再生能源扩张。根据 IEA 《可再生能源 2022》¹ 报告，理想情况下到 2025 年可再生能源发电量将超过煤炭，到 2027 年风光将占全球可再生能源新增容量的近 95%。未来五年光伏将创纪录增长，并占可再生能源装机增量的 60% 以上，到 2027 年光伏装机容量将超过煤电占据全球最大份额，风电迅速扩张也将超过水电，成为仅次于光伏的第二大可再生能源电力来源。

能源系统电气化水平将持续提升。根据 BP 预测，到 2050 年电力在终端能源消费中的占比将由 2019 年的约 20% 增加至 30%~50%。而根据 IRENA 预测，到 2050 年电力将成为主要的能源载体，超过终端能源消费总量的 50%，可再生能源部署、能效提高以及终端用能部门电气化将是主要驱动力。几乎所有终端用能部门都将提高电气化水平，电动汽车、电池、储能、可再生能源供热、大型热泵以及数字化等技术应用，将推动建筑、交通、工业部门深度节能减排。

低碳氢能将在能源转型中发挥重要作用。氢能将在终端用能部门脱碳和电力系统灵活性方面发挥关键作用。根据 IRENA 预测，到 2050 年氢能占终端能源消费总量的比例将从当前的忽略不计增至 14%，且全球 94% 的氢气将通过可再生能源制取。根据 BP 预测，从 2030 年代开始低碳氢的发展速度将加快，2030—2050 年间低碳氢需求量将

¹ Renewables 2022. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>

增长 10 倍，到 2050 年低碳氢及氢基燃料在工业部门终端能源消费占比为 5%~10%、在交通部门终端能源消费占比为 10%~20%。

能源转型还将带来良好的社会经济综合效益。根据 IRENA 能源计划情景，2023—2050 年期间全球实际 GDP 年均复合增长率将达到 2.8%，在 1.5℃情景下 GDP 年均增长率还可增加 1.5%达到 4.3%、就业率将增加 2.1%，其中公共投资将发挥积极的作用¹。

中国深刻影响了全球能源格局。目前，中国是最大的煤炭生产国和消费国及主要油气消费国。同时，中国大力推进绿色发展，为全球气候治理作出重要贡献，2022 年二氧化碳排放强度比 2005 年下降超过 51%，非化石能源装机占比提高至 50.9%；中国也是许多清洁能源技术的全球领先者和主导者，新能源汽车产销量稳居全球第一，保有量超过 1800 万辆、占世界一半以上，供应了全球 50%的风电和 80%的光伏设备²。据 IEA 预测，中国有望提前五年完成 2030 年国家自主贡献（NDC）目标，太阳能和风能装机容量达到 1200 吉瓦。

随着中国经济结构调整以及清洁能源部署增长，其影响正在演变。当前中国经济总体保持回升向好态势，基础设施进一步扩展的空间正在缩小甚至饱和，水泥和钢铁等能源密集型行业的能源需求将下降。IEA 认为，中国经济增长动力正在减弱，如果进一步放缓，化石能源需求下行潜力将更大，燃煤发电量有望在 2025 年左右达到峰值且在 2030 年前下降，煤炭相关碳排放量将从 2022 年 86 亿吨降至 2050 年 11 亿吨，燃煤发电占比可从当前的 63%左右最低降至 2050 年的 25%，而零碳电力占比将增至 60%以上。

三、实现碳中和目标较为严峻，能源转型进程需加快速度和广度

要保持全球能源转型步入正轨，全球能源体系必须在 30 年内发

¹ World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 2.

<https://www.irena.org/Publications/2023/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2023-vol2>

² 丁薛祥在联合国气候变化迪拜大会世界气候行动峰会上的发言。

https://www.gov.cn/govweb/yaowen/liebiao/202312/content_6918159.htm

生系统性深刻变革，重点由供应部门脱碳转向以可再生能源为主体的新型能源体系。关键路径如下：

(1) 继续加快可再生能源扩张。根据 IRENA 1.5 °C 情景、IEA 净零排放情景预测，到 2030 年全球可再生能源装机容量需要增加两倍，达到约 12000 吉瓦，太阳能光伏和风能约占新增容量的 90%。终端可再生能源消费水平继续提升，交通和建筑等部门的高电气化率将使得到 2050 年可再生能源发电装机容量比 2020 年增加 12 倍，年均新增装机容量达到 1066 吉瓦。

(2) 提升能效和推动深度电气化。能源转型需采用一系列节能技术，降低全经济的能源强度。根据 IRENA 1.5 °C 情景、IEA 净零排放情景，到 2030 年全球能效提升率必须提高一倍，达到每年 4%，这需要终端用能部门的高效技术和广泛电气化技术相结合。

(3) 采用多元化技术组合。多样化和创新是解决清洁能源技术和关键矿产供应链依赖性的最佳战略。随着新型电力系统快速发展和能源系统变革，未来每种清洁技术将发挥关键作用，包括电动汽车、光伏、电网、新型储能、绿氢、热泵、现代生物质及耦合技术等。此外，能源安全也至关重要，需要发挥储能电池和灵活响应技术以及针对季节性变化的低排放技术保障作用，包括水电、核能、化石能源+CCUS、生物能源、氢/氨等。

(4) 加大能源投资力度。能源转型需在广泛价值链上进行大量投资，并从化石能源转向清洁能源技术和基础设施。根据 IEA 分析，全球能源投资在 2030 年代需提高至每年 4.5 万亿美元左右，才能与实现净零目标保持一致。IRENA 分析，能源年均投资必须增加四倍以上，到 2030 年累计达到 44 万亿美元(清洁能源技术投资占 80%)，到 2050 年需较已承诺投资额外再增加 47 万亿美元，达到 150 万亿美元。

(5) 调整优化政策工具以实现能源转型的经济社会效益。单靠能源转型不能解决长期存在的深层次问题，因此需重塑一个综合经济、

社会和环境等因素的整体政策框架，这包括物理基础设施、政策和监管互促、劳动力资源等方面。

(李岚春)

生活碳排放领域现状与发展态势

作为温室气体减排的重要领域之一，消费及居民生活碳排放已引起国际社会广泛关注。在 COP28 “低碳消费与绿色供应链减碳” 中国主题边会上，国内多家机构共同完成的《中国公众低碳意识与低碳行为网络调查报告》发布¹。报告显示，随着低碳意识水平的提升，公众在餐食、居住、办公、出行和购物等 5 大领域践行低碳行为的概率均有不同程度提高。除此之外，IPCC《气候变化 2023》报告强调，落实正确的政策、基础设施和技术，改变人们的生活方式和行为，到 2050 年可使温室气体排放减少 40%~70%²。由此可见，推动消费端减碳正成为全球认可的应对气候变化的有效策略。本文以生活碳排放领域³国际和国内发表的论文为数据源，从研究领域总体态势、合作格局、热点主题时序演化情况等角度进行文献梳理，系统全面地揭示生活碳排放领域的研究现状及发展态势，以期为我国消费端碳减排领域相关研究和部署提供参考。

一、生活碳排放研究总体态势及合作格局

1、生活碳排放研究总体态势

基于国际论文检索结果⁴，可将近二十年研究态势分为三大阶段：

①萌芽期（2000—2007 年）：每年全球发文量均低于 100 篇；②缓慢发展期（2008—2015 年）：有稳定增长的趋势，此阶段生活碳排放的

¹ 中国新闻网. 报告显示，公众“光盘行动”“绿色出行”等低碳行为践行程度较高.
<https://www.chinanews.com.cn/sh/2023/12-11/10126153.shtml>

² IPCC. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

³ 生活碳排放是指居民为了满足生存、生活与发展需求而开展的生活或消费活动直接或间接产生的各类温室气体排放。

⁴ 以 SCI-E (Science Citation Index Expanded)、SSCI (Social Sciences Citation Index) 数据库为数据源，限定发文时间为 2000 年 01 月—2023 年 06 月，检索式为“TS=((carbon emission*) AND (resident* OR household OR living consumpt* OR travel OR food consumpt* OR residential building*))”，得到近二十余年的 9932 条记录数据，数据采集时间为 2023 年 10 月。

相关科学问题逐步发展与完善；③快速发展期（2016—2023 年）：2022 年全球发文量达到峰值，呈现快速增长态势。全球共有 140 余个国家/地区开展了生活碳排放领域的研究，其中排名前 10 位的国家依次是中国、美国、英国、澳大利亚、德国、加拿大、意大利、印度、瑞典、西班牙（图 1a）。从 2017 年开始，中国在生活碳排放领域每年的发文量都超过美国，达到全球第一，可见中国在此领域发展势头迅猛。

从国内论文检索结果来看¹，也可以将近二十年来的研究态势分为三大阶段：①低位期（2000—2009 年）：年发文量均低于 100 篇，此阶段研究尚未得到发展；②稳定期（2010—2020 年）：发文数量突破 400 篇以后，相关研究一直保持稳定；③突破期（2020—2023 年）：随着双碳战略目标的提出，相关发文量迅速增长，2022 年发文量已增长至 500 篇以上（图 1b）。

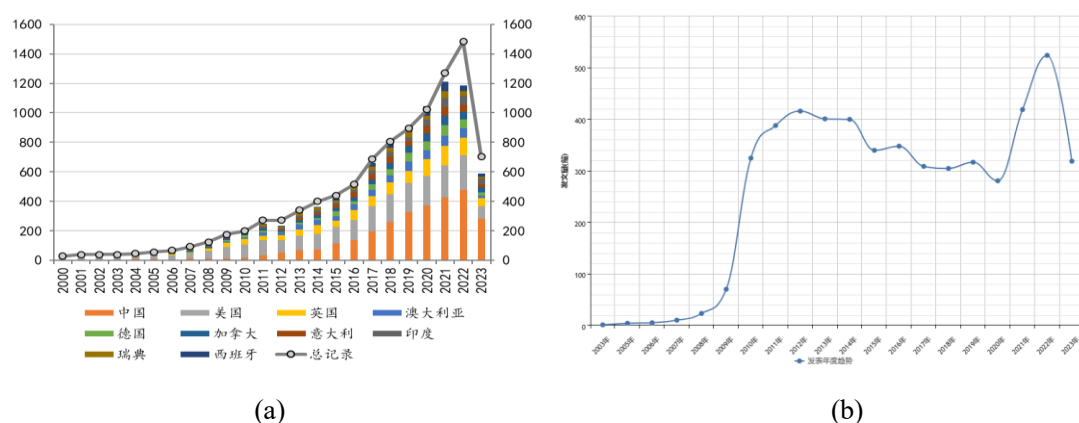


图 1 基于国际论文数据 (a) 和国内论文数据 (b) 的生活碳排放研究发文总体态势

2、生活碳排放研究国家和机构合作格局

从国际论文检索结果来看，在生活碳排放领域发文量超过 100 篇的国家（地区）共 31 个，合作网络如图 2a 所示。总体来看，中国、美国、英国等国家比较活跃。其中美国与中国的合作关系最为紧密，其次是英国、加拿大及德国。中国除与美国合作外，与英国、澳大利亚及加拿大的合作较为紧密。

¹ 以中国知网数据库（CNKI）数据库为数据源，限定发文时间为 2000 年 01 月—2023 年 06 月，以“居民碳排放”或“生活碳排放”或“家庭碳排放”为主题词进行检索，检索式为 SU%=(‘居民’+‘生活’+‘家庭’)*‘碳排放’，得到近二十余年的 5192 条记录数据，数据采集时间为 2023 年 10 月。

生活碳排放领域发文量排名前 50 位研究机构的合作网络如图 2b 所示，总体来看各研究机构相互建立了较广泛的合作关系。合作网络可以分为三大科研社团，分别以中国科学院、美国加利福尼亚大学伯克利分校、英国利兹大学为合作网络中心。我国共有 14 家研究机构进入前 50 位，分别是中国科学院、清华大学、北京大学、中国科学院大学等。其中中国科学院与西安交通大学（46 次）合作较多。

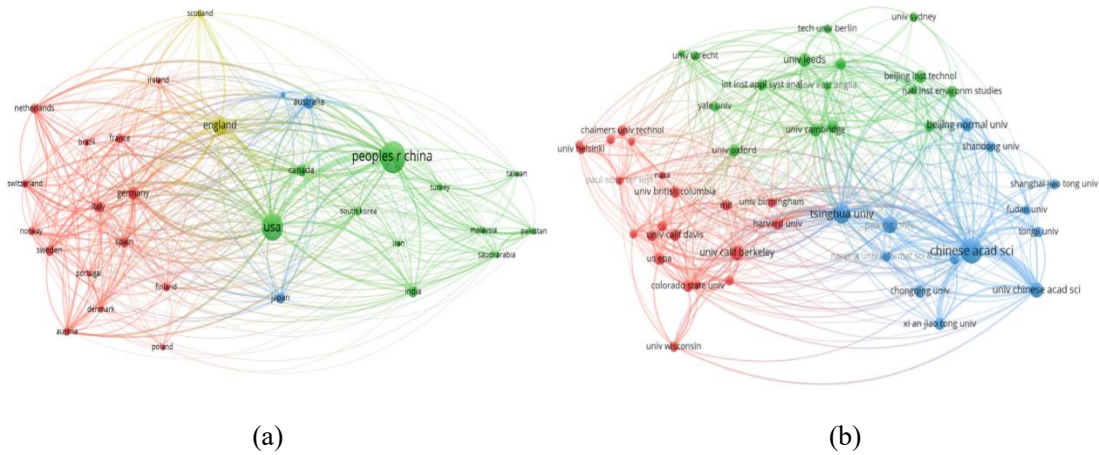


图 2 基于国际论文数据的国家 (a) 和机构 (b) 合作网络

二、生活碳排放研究热点时序演化与现状

将国际论文数据合并同义词后绘制词云图（图 3a），除碳排放（carbon emissions）外，气候变化（climate change）、生命周期评估（life cycle assessment）、碳足迹（carbon footprint）等关键词是该领域的热点关键词。生活碳排放领域的研究在不同时期表现出不同特征（图 3b），在第一阶段（2000—2007 年）以 emissions、greenhouse gas、air pollution 等关键词为热点，但此阶段该领域的各个主题总体热度不高；第二阶段（2008—2015 年）生活碳排放相关概念与科学问题不断发展完善，出现了新的研究主题与方法，climate change 主题热度跃升至第二位，其次是 life cycle assessment、carbon footprint，其热度持续发展至第三阶段；第三阶段（2016—2022 年）关键词 sustainability、energy consumption 的热度有明显增长，black carbon 也成为生活碳排放领域的新兴主题。



图3 基于国际论文数据的研究主题词云图 (a) 与研究热点主题演化 (b) 情况

将国内论文数据合并同义词后绘制词云图 (图 4a)，除碳排放等检索词以外，低碳经济、影响因素、低碳城市等关键词是该领域的热点关键词。生活碳排放领域的研究在不同时期也表现出不同特征 (图 4b)，第一阶段 (2000—2009 年)：低碳城市、低碳经济、碳税、国际气候制度、清洁发展机制等关键词为热点，与此期间的政策热点保持一致。第二阶段 (2010—2020 年)：随着政策热点的兴起，相关研究迅速增长，同时理论研究、方法模型开始增多，影响因素、Stirpat 模型、碳足迹等关键词成为此阶段该领域的新热点，同时能源消费相关研究也开始兴起。第三阶段 (2021—2023 年)：关键词碳达峰、碳中和、绿色发展的热度增长，系统动力学、CGE 模型等也成为生活碳排放领域的新兴主题。



图4 基于国内论文数据的研究主题词云图 (a) 和研究热点主题演化 (b) 情况

由关键词共现图谱 (图 5a、图 5b) 可知，国际论文中生活碳排

放领域的研究主题主要包括 black carbon、carbon tax、carbon footprint、energy efficiency 及 sustainable consumption，国内论文中生活碳排放领域的研究主题主要包括低碳经济、低碳城市、能源消费、影响因素、可持续发展、CGE 模型等。

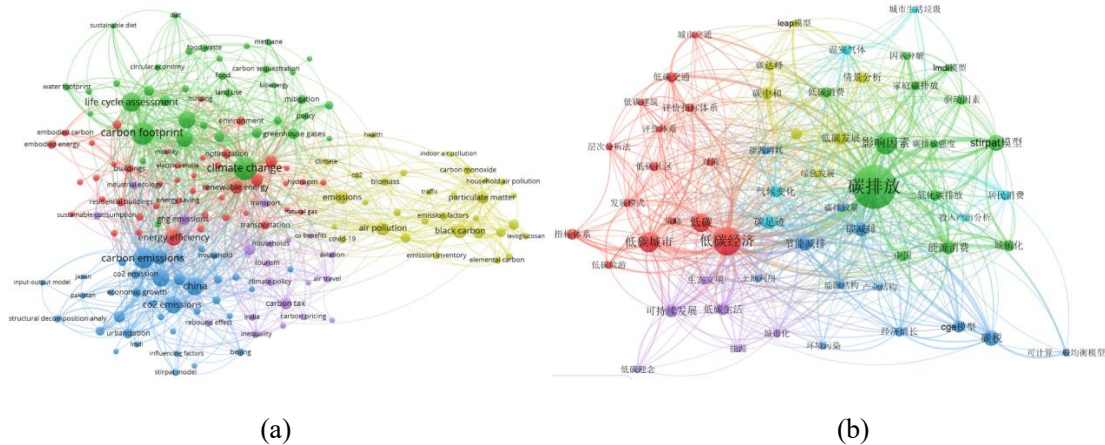


图 5 基于国际论文数据 (a) 和国内论文数据 (b) 生活碳排放领域研究主题共现图谱

三、生活碳排放研究现状评述

从上述分析来看，生活碳排放领域的研究主题可归纳为黑碳、碳税、碳足迹、能源消耗和消费需求 5 个方向：

(1) 是家庭部门是中国黑碳排放最主要的来源之一，农村煤炭、生物质能的燃烧均会产生大量黑碳排放。然而黑碳来源具有复杂性与多源性，全球数据难获取，监测难度大，在生活碳排放领域很难呈现地区差异和黑碳研究的粒子特性差异。

(2) 是碳税研究主要集中于仿真模拟，对消费者行为、社会公平问题、就业和经济结构等复杂社会因素考量稍显不足。今年 10 月 1 日正式实施的欧盟碳关税也将对我国碳税制度产生深远影响。目前来看碳税制度在居民生活碳排放领域的应用仍处于起步阶段，政策支撑能力稍弱。

(3) 是居民生活碳足迹计算需要准确个体数据，包括能源消耗、交通方式、食品消费等。由于隐私数据通常难以获取，居民生活碳足迹的研究缺乏长期变化趋势跟踪。同时，政策和激励措施对个体和家

庭生活碳足迹的实际影响研究不足。

(4) 是随着可再生能源和新技术的不断发展，如何量化可再生能源对居民生活碳排放的减排作用成为难题，目前这些技术进步因素对居民生活能耗的影响，人们对新技术的接纳程度等问题都是研究相对欠缺的领域。

(5) 是在消费需求预测方面，受各国、各地区数据来源的差异性的影响，公众对不同国家、地区、文化的居民消费产品与服务，以及与之相关的碳排放差异的研究仍有不足。

四、生活碳排放研究展望

未来需从以下 3 个方面加强生活碳排放领域的研究。**首先**，完善生活碳排放数据监测与核算方法，建立跟踪数据库，细化完善个体数据，探索不同排放来源对居民生活碳排放造成的影响差异。**第二**，将社会经济因素特别是将政策、消费者行为、全球碳交易市场等驱动力因素纳入模型来，为居民生活碳排放预测及碳税模拟等重要主体提供分析框架基础。**第三**，可再生能源技术等能源技术进步的因素如何影响居民生活碳排放的研究需要不断深入，量化可再生能源等节能减排技术对居民生活碳排放的减排作用，有助于提高居民生活碳排放核算与驱动因素研究领域的准确性。

(韩金雨 张辰 吴丁页 黄珂敏)

● 11月17日，美国能源部（DOE）工业效率与碳减排办公室（IEDO）宣布向两类项目领域投入 1.21 亿美元以减少工业部门碳排放¹。其中 3800 万美元将资助跨行业技术（CST）类项目，包括工业热电气化、工业系统中高效能源利用、脱碳化处理有机废水和湿垃圾的技术等；8300 万美元资助能源和排放密集型行业（EEII）类项目，包括化学品和燃料、钢铁、食品、建筑和基础设施材料（包括水泥和混凝土、沥青和玻璃生产）和林业产品脱碳技术以及工业脱碳前沿技术前端工程设计（pre-FEED）研究。

● 11月20日，瑞士洛桑联邦理工学院宣布开发出一种新型水泥——石灰石煅烧粘土水泥（LC3）²。LC3 解决了熟料制造过程中的两种碳排放源。首先，LC3 使用煅烧粘土和磨碎的石灰石代替了一半的熟料，这两种材料在加热时都不会释放 CO₂。其次，粘土被加热到更低的温度，从而减少了所需的燃料量和由此产生的排放。在较低的温度下，改用更清洁的能源（如电力）也比制造熟料更可行。与传统水泥相比，LC3 通过替代一半的熟料，可以减少约 40% 的 CO₂ 排放量。据测算，如果水泥行业广泛使用 LC3，到 2030 年可有助于减少 5 亿吨 CO₂ 排放。

● 11月26日，英国商业贸易部发布《英国电池战略》，旨在到 2030 年实现具有全球竞争力的电池供应链的目标³。英国政府将采取的一系列政策措施包括：①投资支持：例如在 2026—2030 年，为零排放车辆、电池及其供应链提供超过 20 亿英镑（约合人民币 180.4 亿元）的新投资等。②机会与合作：例如探索推动领先电池和电动汽车制造商在英国建立研发中心等。③金融机制与投资评估：例如探索新

¹ U.S. Department of Energy Announces \$121 Million to Reduce Emissions across America's Industrial Sector. <https://www.energy.gov/eere/iedo/articles/us-department-energy-announces-121-million-reduce-emissions-across-americas>

² The Future of Construction with more Sustainable Cement. https://news.epfl.ch/news/the-future-of-construction-with-more-sustainable-c/?utm_source=miragenews&utm_medium=miragenews&utm_campaign=news

³ UK Battery Strategy. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-battery-strategy>

的金融机制，以支持电池行业的初创企业，包括通过政府种子基金进行公共/私募股权投资等。④国际标准：例如探索电池领域国际合作的各种方案，确保制定电池行业切实可行、集体采用的国际标准，并确保现有标准与技术发展保持同步等。⑤后续支持：例如确保制造业技能培训和教育得到有力支持，与学术界和产业界密切合作，确定需求最大的领域，推广最佳实践，以建立包容性的人才储备等。

● 11月27日，美国能源部（DOE）宣布启动7个预算总额为2.75亿美元的新项目，以解决清洁能源供应链的脆弱性问题，并加速国内清洁能源制造业¹。这些项目预计将带动超过6亿美元的私营资金投入于中小型制造商，支持并解决清洁能源供应链中涉及的关键材料及其组件开发，包括超薄中空隔热玻璃、超纯铬金属和高温合金、中型风力涡轮机、熔炼和铸造用于栅极组件的先进磁性非晶合金、用于电网储能的磷酸铁锂电池电极、真空隔热玻璃、锂离子电池隔膜等。

● 11月29日，韩国贸易、工业和能源部（MOTIE）宣布将在未来5年（2024—2028年）投入820.6亿韩元（公私总投入1172.3亿韩元，约合8892万美元）开发下一代二次电池技术，包括全固态电池、锂硫电池和锂金属电池等²。①开发用于电动汽车的900瓦时/升高安全性硫化物全固态二次电池，包括硫化物基固态电解质制造工艺、高容量可堆叠电池制造工艺技术等；②开发用于电动汽车的900瓦时/升高性能锂金属二次电池，包括用于锂金属电池的长寿命电解质材料、锂金属超薄电极，以及900瓦时/升、容量超过20安时的锂金属电池电芯制造工艺等；③用于城市航空的400瓦时/千克超轻量级锂硫二次电池，包括高功率、长寿命锂硫电池负极、电解液和正极保护层制造技术，以及锂硫二次电池电芯制造等。

¹ Biden-Harris Administration Announces Actions to Strengthen Clean Energy Supply Chains and Accelerate Manufacturing in Energy and Industrial Communities. <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-actions-strengthen-clean-energy-supply-chains-and>

² 친환경 이동수단용 고성능 차세대 이차전지 기술개발 사업 예비타당성조사 통과.

https://www.motie.go.kr/motie/nc/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=168226&bbs_cd_n=81¤tPage=1&search_key_n=&cate_n=&dept_v=&search_val_v=

● 12月4日，第二十八届联合国气候变化大会（COP28）上，未来地球（Future Earth）、地球联盟（Earth League）和世界气候研究计划（World Climate Research Programme）等组织联合发布年度《气候科学 10 大新见解》报告¹，主要结论如下：①超出 1.5 °C 目标几乎不可避免，将气候过冲的幅度和持续时间最小化至关重要；②为了符合《巴黎协定》的目标范围，需要迅速而有序淘汰化石燃料；③强有力政策对于实现有效的二氧化碳去除（CDR）至关重要；④过度依赖自然碳汇是一种风险策略：它们未来贡献具有不确定性；⑤联合治理对于应对相互关联的气候和生物多样性突发事件十分重要；⑥复合事件加剧了气候风险并增加了其不确定性；⑦山地冰川的消失正在加速；⑧在面临气候风险的地区，人类的流动性正在减弱；⑨实施正义的司法新工具可以更有效地适应气候变化；⑩改革粮食系统有助于采取公正的气候行动。

● 12月12日，美国能源部（DOE）宣布成立关键和新兴技术办公室（Office of Critical and Emerging Technology, CET）²。办公室将充分利用美国在人工智能、生物技术、量子计算和半导体等关键和新兴技术领域的投资和专业基础，加速这些领域的科学新发现、新突破，加强国家安全风险的应对能力，实现清洁、可靠、可负担的能源供应。CET 主要职责包括：①扩大 DOE 在关键和新兴技术方面的专业知识，以解决国家面临的科学、能源和安全关键挑战；②协调 DOE（包括国家实验室）各类项目中的关键和新兴技术部署，支持政策制定和宣传；③与工业界、学术界建立合作关系，推动技术突破，并加速技术与商业应用的融合，确保处于研发、示范和创新最前沿。

¹ Top 10 Climate Science Insights Unveiled: Rapid Fossil Fuels Phase-out Crucial for Minimizing 1.5°C Overshoot. <https://futureearth.org/2023/12/04/top-10-climate-science-insights-unveiled-rapid-fossil-fuels-phase-out-crucial-for-minimizing-1-5c-overshoot/>

² DOE Launches New Office to Coordinate Critical and Emerging Technology. <https://www.energy.gov/articles/doe-launches-new-office-coordinate-critical-and-emerging-technology>

双碳情报动态

主办：中国科学院发展规划局
中国科学院文献情报中心

出版：“双碳行动情报支撑与战略研究”任务组

编委会主任：翟立新

编委会副主任：刘细文 陶宗宝 曲建升

编委会成员：蔡睿 蔡翔舟 柴麒敏 陈方 陈伟 冯志纲

(姓氏拼音排序) 甘泉 郭剑锋 江会锋 李扬 刘晓东 刘艳丽

陆颖 马廷灿 牛振恒 任珩 孙玉玲 唐川

王金平 王小伟 王学昭 王征 岳芳 曾静静

张贤 张娴 张香平 赵亚娟 赵晏强 郑军卫

朱庆山

主 编：曲建升

副 主 编：甘泉 刘晓东 王小伟

陈伟 曾静静 孙玉玲 陈方

本期责编：陈伟

电子信箱：chenw@whlib.ac.cn

联 系 人：刘燕飞

电子信箱：liuyf@llas.ac.cn