

# 人工碳汇技术：“沸腾时代”的“降温贴”

## ——香山科学会议第Y9次学术讨论会观察

◎实习记者 骆香茹

“人工碳汇减碳效果的数据是怎样核算出来的？”在近日召开的香山科学会议自由讨论环节，参会专家提出了一个看似简单但却复杂的“小”问题。

这个“小”问题后来被反复提及，最终演变成贯穿会议始终的重要议题。

进一步说，这个问题可以衍生出许多更具体的问题——

在碳汇研究“遍地开花”的今天，谁来为人工碳汇的贡献“打分”“算账”？

在这一领域，是否有用于量化减碳效果、评估减碳效益的“中国标准”？

面向“双碳”目标，在并不遥远的2030年和2060年，减没减碳，谁说了算？

……

在回答之前，需要先弄清楚这些问题从何而来。

### 遏制全球变暖 消纳超量二氧化碳势在必行

“2024年或成为有史以来最热的一年”“热浪来袭，多地发布极端高温警报”……越来越多的气候变化新闻告诉我们：升温纪录每年都在被刷新。

“全球变暖的时代已经结束，全球‘沸腾’的时代已然到来。”2023年，联合国秘书长古特雷斯提出“沸腾时代”这一新名词，对全球气候变暖发出了新的警告。

全球变暖引发了冰川融化、极端天气频发等种种后果。而温室气体中的二氧化碳在其中扮演了十分重要的角色。

根据2023年发布的政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告（AR6）第三工作组报告，如果到本世纪末，要实现全球平均气温较工业化前水平增幅控制在2摄氏度内这一目标，当前全球二氧化碳排放预算仅剩约11500亿吨。而2010—2019年，全球二氧化碳排放量约占这一预算的三分之一。

如何为“沸腾时代”降温、降温？在这场以“人工碳汇关键科学问题研究：机遇与挑战”为主题的科学会议上，与会专家表示，要充分发挥人工碳汇的协同作用，共同应对气候变化的挑战。

会议执行主席、中国科学院武汉岩土力学研究所研究员张力为介绍，当前，即使在最理想的低二氧化碳排放情境下，陆地和海洋天然碳汇只能吸收全部人为碳排放量的70%，而在最极端的高二氧化碳排放情境下，陆地和海洋天然碳汇只能吸收全部人为碳排放量的38%。因此陆地和海洋的天然碳汇难以抵消大气中迅速增长的二氧化碳，为了实现碳中和，让人工碳汇介入以消纳超量二氧化碳势在必行。

中国21世纪议程管理中心全球环境处处长张贤在专题报告中表示，相比自然碳汇，人工碳汇具有作用过程迅速、储存时间较长、安全稳定性强等诸多优势。人工碳汇技术是碳管理技术体系的重要组成部分，其中，以二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS），直接空气碳捕获和封存（DACCS），生物质能碳捕集与封存（BECCS）为代表的地质封存类碳管理技术正在迅速发展。三类技术可协同实现二氧化碳规模化地下封存，全球二氧化碳理论封存容量潜力巨大。当前，全球正加速部署地下封存类碳管理技术示范项目。

## 呼和浩特：碧水绕城入画来

◎本报记者 张景阳 通讯员 武子喧

夏日的内蒙古呼和浩特市大黑河畔，草木苍翠，碧波清流，令人心旷神怡。附近的居民闲庭信步，尽情享受优美环境带来的轻松惬意。

大黑河畔的美景是呼和浩特生态宜居、人与自然和谐共生的写照。近年来，呼和浩特统筹水资源、水环境、水生态治理，成效显著。2023年，呼和浩特市城区污水日处理能力由每天52万吨增加到每天64万吨，建成污水管网800公里、雨水管网1298公里，国考地表水断面水质全部消灭，并入选首批国家典型地区再生水利用配置试点城市。



工作人员在内蒙古呼和浩特市清水河县城关镇清水河河道巡查。

新华社记者 贝赫摄

选首批国家典型地区再生水利用配置试点城市。

### 治好黑灰水 用好再生水

“以前我们村附近有一条臭水沟，黑乎乎的水面上漂浮着各种杂物，每次路过都很闹心。经过这些年的整治，臭水沟变成清水沟，村里污水排放也有了专门的处理设施，现在我们的日子很舒心。”呼和浩特市玉泉区辛辛板村村民李秀秀说。

村民从闹心到舒心的转变，离不开呼和浩特市多年来的努力。2021年，呼和浩特市制定了9个旗县区农村生活污水治理

规划。2023年，当地生态环境局启动全市农村生活污水治理规划编制工作，以“户改造、村收集、乡处理、县保障”为基本原则，因地制宜选择污水处理与资源化利用方式。呼和浩特市生态环境局监督管理科科长刘文君说：“污水处理厂覆盖一部分，铺设管网或拉运集中处理一部分，结合户改厕资源化消纳一部分，黑灰水并治，严禁污水直排外环境。”

目前，呼和浩特市已累计完成农村改厕16万余个，农村生活污水治理设施覆盖率达到58%。截至2023年底，呼和浩特市农村环境整治示范村的生活污水治理率达到60%，黑臭水体治理率100%，生活饮用水源地建设规范率达到80%以上。

做好“水文章”，不仅要有效治理污水，还要用好再生水。

记者从呼和浩特市春华再生水发展有限责任公司了解到，2023年，呼和浩特市城区再生水日均产量为46.22万吨，日均利用量15.32万吨，利用率为33.16%。

“污水首先通过市政管道被收集至污水处理厂，经过除砂沉渣后到达生物反应池，反应池里的活性污泥菌会吸附污水杂质。接下来，污水会经历净滤、化学除磷、深度处理等阶段，在达到标准后进行排放和再利用。”呼和浩特市辛辛板污水处理厂厂长许飞介绍。

记者了解到，2024年，呼和浩特市将继续完善城区内再生水管线工程建设，重点打造再生水进工业园区、进公园绿地、进市政杂用、进景观河道和再生水管网互联互通等五项系统工程，不断增加取水点



在首届上海国际碳中和博览会，观众参观“中国石化百万吨级CCUS示范工程”展示沙盘。

范剑磊/视觉中国

### 上天入地下海 多种人工碳汇技术应形成合力

在给“沸腾时代”降温这件事上，科研人员使出浑身解数，上天、入地、下海，通过人工干预完成碳元素的流动、转移、循环，并利用碳捕集技术将大气中逐渐增多的二氧化碳转移到地表、地下、海底进行固定，最终实现二氧化碳的永久封存。

张力为介绍，人工碳汇主要包括陆地生态人工碳汇、陆地地质人工碳汇、工业人工碳汇、海洋人工碳汇四大途径。其中，陆地生态人工碳汇是指采用植树造林、草地恢复、施用人工腐殖质等人工干预手段，使陆地生态系统加速从大气中吸收二氧化碳的过程。会议执行主席、东北农业大学教授杨帆呼吁，人们应该关注土壤这一陆地生态系统中的重要碳库，开发新型人工碳汇技术，进一步促进土壤固碳。

而陆地地质人工碳汇则指通过深部咸水层封存、地下玄武岩矿化封存等工程技术手段，将二氧化碳注入深部地质储层，使二氧化碳与大气长期隔绝。

工业人工碳汇主要关注工业生产过程中的碳减排技术，如二氧化碳人工合成淀粉、二氧化碳人工合成甲醇、混凝土碳化养护等技术，其核心是把二氧化碳当作一种资源并加以利用。

海洋人工碳汇则涉及海岸带生态增汇、渔业碳汇、海洋地质封存等五类蓝碳技术，碳汇潜力巨大。

会议中，来自环境学、地质学、海洋科学、土木工程、化工等领域的专家分别围绕四大途径介绍了最新研究成果及相关科学问题。杨帆说，这几种途径各具特色、优势互补。发展和应用多途径人工碳汇技术可形成强大合力，有效降低大气中二氧化碳的浓度。

应对气候变化，既要减排，也要固碳。CCUS、DACCS和BECCS等技术承担着不同功能。中国科学院上海高等研究院研究员孙楠楠表示，一方面应加快推广已有一定成熟度的CCUS技术，使其实现大规模应用，同时应加强可再生能源驱动二氧化碳转化利用、二氧化碳捕集转化一体

化等新兴技术的研发验证。另一方面，需要提早布局DACCS、BECCS等前沿技术攻关，探索实现碳中和不可或缺的负碳技术路径。

### 进一步减碳降碳 技术政策市场需协同发力

“按照图片所示连接装置……用玻璃片盖住已收集满二氧化碳的集气瓶，备用。”请制定二氧化碳—空气混合气体的初步分离方案。”

以上是初中化学课本里“二氧化碳的实验室制取与性质”实验活动的部分步骤及相关试题。

二氧化碳的课题同样存在于科研院所的实验室，它是人工碳汇领域科学家钻研的重要问题。只不过，科学家面对的二氧化碳题目更为复杂，是带有许多限制条件的高难度附加题，难寻标准答案。例如“如何找到更高效、成本更低的碳捕集方法？”“利用二氧化碳生产的化学品在使用过程中仍然产生碳排放，这是否算完成减排？”“土壤既是碳源，又是碳汇，如何核算其固碳贡献？”“在海洋中进行碳封存，如何确保生态安全？”……

这些问题与“减没减碳，谁说了算”等问题一样，不完全是科学问题，因此也不可能全部由科学家解决。从某种意义上说，人工碳汇技术要想从实验室走上生产线，还要迈过很多坎。

例如，孙楠楠表示，CCUS技术仍然存在捕集成本过高、缺乏适宜处置方式等问题，其推广应用还有极大的潜力待开发。

张力为直言，在人工碳汇领域，需要技术、政策、市场不断融合、协同发力。三者“交集”越大，科技的作用越显著，变不可能为可能的概率就越大。

张贤认为，核算人工碳汇贡献需要建立相应的方法论。而达成国际共识则是科学核算人工碳汇全生命周期固碳量的根本。

持续两天的讨论显然不能完全解决开篇提到的问题。这些问题的答案，还需要由科研人员、政府相关部门、碳汇市场通过实践共同给出。

## 环保时空

### 水泥工业向“绿”而行

◎本报记者 孙瑜

“绿色是水泥工业高质量发展的底色。未来水泥工业要结合自身打造成绿色产业，为实现‘双碳’目标、建设美丽中国作出更大贡献。”近日，中国建材股份有限公司党委副书记刘燕在中材国际第二届水泥绿色智能发展大会上说。

科技创新是水泥工业低碳转型发展的关键引擎。大会上，来自全球34个国家的400余名嘉宾，聚焦绿色低碳技术应用等领域，共同探讨水泥工业绿色智能发展未来。

“碳捕集、利用与封存技术（CCUS）是高碳行业实现碳中和的‘托底’技术，国内外研究人员普遍认为，发展CCUS技术是水泥工业实现碳中和的必要途径。”中国建材装备集团有限公司热化学反应实验室主任陈昌华说。

陈昌华介绍，水泥工业目前可行的碳捕集提纯技术主要分为两类，第一类是针对低浓度二氧化碳烟气的捕集提纯技术，第二类是通过燃烧过程实现二氧化碳富集再进行捕集的技术，例如全氧燃烧耦合碳捕集技术。青州中联20万吨/年全氧燃烧耦合碳捕集工程的全氧燃烧富集系统于今年1月26日正式投料运行，可使烟气中二氧化碳浓度从常规的20%—30%提高至75%以上，有效降低碳捕集提纯系统的运行成本。

除了应用先进技术降低二氧化碳排放，水泥工业还通过资源化利用固体废弃物实现绿色发展。中国中材国际工程股份有限公司教授级高级工程师汤升亮介绍，磷石膏是磷酸生产中排放的大宗固废，目前的处理方式仍以堆存为主，我国磷石膏堆存量已超过7亿吨。

“磷石膏制酸联产水泥是解决磷石膏堆存的有效途径。”汤升亮以贵州磷化集团瓮福化工项目为例向记者介绍，项目年处理磷石膏约140万吨，年产硫酸65万吨，联产水泥熟料60万吨，每年可节约石灰石资源80万吨，减少约30万吨因石灰石分解而排放的二氧化碳。

水泥等建材是国民经济的重要基础产业。据介绍，我国目前有1000多家水泥企业、1500条水泥生产线，但是产能利用率不到60%。中国水泥协会执行会长孔祥忠坦言，水泥工业除了进行绿色智能转型，还需要进行产能结构调整，包括压缩和退出部分产能。

“在工业领域大规模设备更新和消费品以旧换新政策的指导下，水泥工业对新技术、新装备的需求将持续释放，低碳工艺改进、新一代节能装备、余热回收装置、智能化控制系统等都得到进一步发展。”中国中材国际工程股份有限公司党委书记、董事长印志松说。

中国建材集团有限公司副总工程师魏如山表示，未来中国建材集团将把水泥工业先进技术带到更多国家，建设“花园式工厂”，促进全球碳减排。



近年来，我国水泥行业绿色发展、转型升级步伐加快，持续对工业废弃物等进行无害化处理。图为一家水泥企业综合固废及余热发电循环产业项目现场图。

新华社记者 牟宇摄

## 新疆和田沙漠边缘阻击战 锁边固沙工程开工

科技日报讯（王博成 记者朱彤）记者6月11日获悉，新疆和田地区沙漠边缘阻击战锁边固沙工程近日在新疆民丰县启动。这标志着由中国铁建承担的新疆和田民丰、于田固沙锁边项目正式开工。

新疆和田地区沙漠边缘阻击战锁边固沙工程是落实国家林草局与中国铁建2023年12月签订的《战略合作框架协议》的重要举措。双方将共同加强荒漠化综合防治和“三北”等重点生态工程建设，围绕国土绿化、自然保护地发展等展开深入合作。

1978年，我国开始实施“三北”防护林生态工程。经过40多年的治理，塔克拉玛干沙漠周边已形成了长达2761公里的绿色阻沙防护带。只要补齐最后285公里，整个环塔克拉玛干沙漠的阻沙防护带就能完成闭合，将塔克拉玛干沙漠牢牢“锁住”。

据悉，环塔克拉玛干沙漠固沙锁边最后285公里的缺口，超75%集中在和田地区。为尽快锁住最后的缺口，中国铁建发展集团选派业务骨干，组建荒漠化治理工作专班常驻新疆，实施工程固沙、生物治沙、光伏治沙等任务。

中国铁建是最早投身荒漠化防治的央企，曾牵头设计、实施青藏铁路、兰新铁路、和若铁路及沿线防风固沙工程。

2023年11月，中国铁建同新疆维吾尔自治区林草局、巴音郭楞蒙古自治州人民政府、和田地区行署共同签订《塔克拉玛干沙漠边缘阻击战锁边固沙合作协议》。此后，中国铁建发展集团联合和田地区林草局、中国科学院新疆生态地理研究所、新疆林业规划院等，探索实施治沙新模式和商业合作模式，将荒漠化治理同资源、能源开发相结合，在沙漠戈壁、荒漠区域建设光伏风电基地，实现光伏产业与防沙治沙的融合发展。



非洲和中亚学员在塔克拉玛干沙漠机械防沙示范区参观固沙新技术。

新华社记者 周生斌摄