

温室气体（CO₂）控制技术及其关键问题

香山科学会议第279次学术讨论会综述

CO₂是引起全球气候变化的最主要的温室气体之一。温室气体控制已成为一个能够对未来世界格局变化产生影响的重大国际问题；是21世纪战略、能源、环境、化工和生物等学科的一个重要方向，对提高能源利用效率，促进资源循环利用，减少污染物排放有重要意义。控制温室气体排放，减缓气候变化是我国实施可持续发展战略的重要组成部分。国外先进国家已经展开了大量相关研究，我国目前对于CO₂减排的研究仍然处于起步阶段。为了迎头赶上这一新的研究方向，2006年5月30~6月1日在北京召开以“温室气体（CO₂）控制技术及其关键问题”为主题的第279学术讨论会。徐建中院士、费维扬院士、张新时院士和张懿院士担任了本次会议的执行主席。会议就CO₂分离方法、能源系统中CO₂控制技术、CO₂的固定与利用技术和生物固碳与碳贸易等四个中心议题进行了研讨。

一、我国二氧化碳控制技术和急需解决的关键问题

徐建中院士作了“温室气体（CO₂）控制技术及其关键问题”的主题总评述报告，他首先简要介绍了控制CO₂排放问题的背景和我国CO₂减排的难点及挑战。由于人类活动导致的全球气候变化已经受到广泛重视，如果不加以控制将严重威胁人类的生存和发展。作为一个负责任的大国，我国已经正式签署“京都议定书”，虽然2012年之前并没有减排指标，但是，我国感受到的国际压力越来越大；即使我国暂时不承担减排的义务，但CO₂对环境造成的污染也将影响我国的生态环境和可持续发展。我国能源结构以含碳量较高的煤为主，能源利用率低，使得我国CO₂排放量已经居于世界第二位，仅次于美国，研究表明按照我国现在的发展势头，未来几年我国CO₂的排放量将超过美国，居于世界第一位，同时，人均CO₂排放量也将达到国际平均水平，失去了人均排放量少的优势。我国经济处于高速发展阶段，能源需求日益扩大，在满足我国社会发展的能源需求的基础上，有效控制CO₂排放，成为未来我国所要解决的重大难题之一。我国对于CO₂减排的研究还不充分，总体上仍然处于探索研究阶段，目前还没有提出适合我国国情的国家CO₂减排战略和技术路线，因此，制定我国的CO₂减排战略和技术路线，快速展开CO₂减排研究成为我国急需解决的重要问题之一。提出了改变能源结构，能源利用过程CO₂捕获和封存，生物固碳和CO₂资源化利用等适合我国的CO₂减排途径及若干急需解决的关键问题。他强调，控制CO₂排放涉及到战略、能源、化工、环境和生物等多个领域，需要各个学科交叉和协同才能最终找到适合我国国情的CO₂减排技术路线和战略，战略研究和技术路线研究的交叉、能源与化工的交叉、能源与环境的交叉、生物与能源及化工交叉是控制CO₂排放的难点，也是具有极大发展前景的新的学科增长点。

在讨论中，张卫健教授强调发展生物固碳是减少CO₂排放的重要途径，不但能提高农业生产力还能减小大气

中CO₂浓度。金红光研究员认为我国政府和研究人员对CO₂问题的认识还有待深入，需要进一步看到CO₂控制问题的复杂性，对于目前我国以化石能源为主的能源利用现状，CO₂的捕获和封存研究在中短期更加具有意义。张希良教授认为CO₂减排问题涉及到宏观层面和技术层面的多学科交叉，技术路线选择过程要重视宏观层面的影响。钱光人教授提出像我国这样的生产大国，水泥等工业行业中CO₂减排与污染物控制结合在一起具有重要意义。

二、温室气体CO₂的捕获与分离技术

CO₂等温室气体引发的全球气候变暖是人们极为关心的环境问题。由于温室气体量极大、组分极复杂，目前捕集和分离的成本太高，各国都面临着巨大的经济和政治压力。以电厂烟道气捕集分离二氧化碳为例，对吸收法、膜分离法、吸附法等进行系统评述。CO₂捕集分离对于我国及全球环境保护和可持续发展具有重要意义；但由于其高能耗和很高的设备和运行费用问题，迫切需要进行战略性的基础研究，希望以可接受的低代价完成对烟道气的二氧化碳捕集分离。分离剂的分子设计、特大型分离设备和过程优化以及膜吸收等耦合过程等方面的基础研究，对未来我国大量的火力发电厂的CO₂减排有重大意义。

膜技术分离纯化发展方向主要在于：（1）高性能膜材料的合成，要求膜材料耐高温，耐高压，抗污染，化学性能稳定等；（2）在膜材料合成的前提下，开发出合适的有针对性的非对称结构膜制备方法，以提高膜通量，增加其经济可行性；（3）杂化膜过程是膜应用所必须考虑的一个方向，任何分离过程都具备其最适宜的适用条件，但是现实情况下往往需要不同的分离过程结合，如膜吸收过程，以求得经济及分离效果最佳化。

有关专家就“CO₂捕集分离中的分子模拟和分子热力学研究”、“膜吸收法在碳捕集中的应用”做专题发言。与会专家一致认为，CO₂捕获与分离研究领域主要需要解决的科学问题有：高效分离溶剂及材料的分子结构和性能；特大型分离设备强化和过程优化；膜分离和膜吸收的传质机理和传质强化；分离过程和能源系统等多学科交叉研究。

三、新型能源转换利用方法与能源战略

对于能源动力系统控制CO₂排放的方法及系统集成创新，归纳发达国家实现现代化的链式思路，即先将化石资源转换成能源，然后再将能源以热和功的形式加以利用，最后治理所产生的环境污染问题；提出以资源、能源与环境的一体化特征的新型发展模式，寻求能源利用方式的突破，尝试解决能源利用与环境相容协调的难题。应关注的几个问题：（1）能源与环境交叉领域的本质特征，包括能源转换系统中CO₂的形成、反应、迁移、转化机理和能源转化与温室气体控制协调机制；（2）复杂系统环境化学热力学分析方法，燃料化学能释放与CO₂生成过程不可逆性相互作用机理、能量转换与CO₂分离一体化原理；（3）控制温室气体的多功能系统集成原则，包括基于一体化原理的物质定向转化和能量梯级利用耦合规律，CO₂分离过程关键参数与能源利用系统结构的协调优化等。

讨论中与会专家总结了如下需要解决的科学问题：CO₂控制相关的能源战略与能源技术路线研究领域交叉；

CO₂控制相关的能源与环境(化工)领域交叉;控制温室气体的多功能系统能量分析方法,与系统集成一体化原理。

四、CO₂的固定与利用技术

会议评述、展望了CO₂固定与利用技术的进展,指出在CO₂的地质封存、海洋封存、碳酸化固定和CO₂转化利用等技术途径中,以CO₂的强化采油、煤层气采出、固体废弃物碳酸化固定、CO₂化学转化利用对我国有近期的技术经济可行性,国际上已进入示范工程和应用阶段,CO₂的资源化利用由于在资源替代和减排的双重贡献而受到国内外广泛关注。我国迫切需要在CO₂长久安全的大规模地质封存、CO₂的固定与资源利用紧密结合等方面取得关键技术的突破,应尽快启动CO₂减排技术的科学研究,并进入工程示范。CO₂的碳酸化固定可以实现原位CO₂固定利用,环境风险性小,可与工业固体废弃物资源化利用与环境治理相结合;CO₂的化学转化利用可以替代化石资源的使用,减少污染排放,实现资源循环利用,是国际研究热点,我国已有较好的研究基础。结合已开展的研究工作,提出了能源-冶金-化工-建材多过程集成耦合的CO₂资源化利用新模式,并指出针对我国现阶段国情,CO₂减排控制应与提高过程能源、资源利用效率紧密结合,作为清洁生产与循环经济技术实施的重要组成部分。

专家们介绍了CO₂地质封存的潜力及其动态监测技术的进展,指出开展CO₂的地质封存,由于储存能力大、处置成本相对合理和它的可操作性较强,特别是在提高油气采收率(CO₂-EOR)以及强化煤层气采出(CO₂-ECBM)的成功实践,已经受到广泛的关注,成为实施CO₂减排极具潜力的有效途径和方法。与会专家认为CO₂封存与资源化利用研究应该重点解决以下关键科学问题:CO₂强化采油的技术工程和科学基础;CO₂深层煤层气储存的技术工程和科学基础;CO₂海洋储存的技术与生态效应基础研究;CO₂碳酸化固定的过程强化、环境净化效应与介质再生循环;CO₂资源化利用的分子活化机理和绿色反应新路径设计;CO₂化学转化的过程优化、反应-分离耦合与过程强化;多系统共生耦合的CO₂资源循环利用系统集成与固碳效应;重化工CO₂大点源的CO₂工业利用的循环经济共性技术。

五、生物固碳与碳贸易

生物固碳是目前安全有效、经济的固碳工程之一,其中森林生态系统具有强大的碳吸收能力,草地与农田土壤有机碳库在固碳方面的作用也十分显著。同时碳贸易正在成为发展中国家进行森林再造、限制森林砍伐、恢复退化草地等来恢复生态环境的大好契机。可以用来进行碳贸易的生物固碳工程包括生物质燃料、农田和草原土壤、种植速生林、减少甲烷排放、海洋施肥及减少伐林等。在我国适用于碳贸易的生物固碳工程包括大规模发展速生丰产人工林;保育天然草地、建设人工草地;建立规模化沼气产业链;利用边际土地发展生物质能源;发展固碳农业,增加农田土壤固碳等。经初步估算,在我国建设 2.67×10^7 公顷速生丰产林,每年的固碳量可以达到3亿吨;建设 4×10^7 公顷优质高产的人工草地,天然草地经过二十年的生态恢复,人工草地与天然草地总固碳量可达到7亿吨;农田土壤固碳的潜力巨大,通过综合措施在30年内可使全国耕地增加固碳近10亿吨;我国在减少甲烷气体的排放与利用甲烷生产清洁能源等领域中具有很大的潜力,年产沼气可达 1656.5×10^8 立方米,相当于 1.5×10^8 吨煤。中国北方边际土地种植生物质能源植物 1.0×10^8 公顷,结合现有资源,每年可稳定提供生物质原料

3.0×10^8 吨。过去20年间中国陆地植被的碳汇为19.2-21.2亿吨碳，约为我国工业源CO₂排放量的14.6-16.1%。我国的人工林地带、华北及东北平原的农业地带、新疆山地等是较大的碳汇，而长江三角洲和珠江三角洲等快速城市化地区则起着碳源的作用。

大家都认同生物固碳是在减缓气候变化中的一个重要措施。与会专家认为以下问题应该给予重视：生物固碳减排的多系统、多学科交叉研究；准确计算和评价各种生物固碳过程的固碳量及其持续性；建立适应碳贸易需要的生物固碳评价方法体系；自然和人文学科交叉，进行生物固碳的基于自然、经济、政策的风险评估研究；我国生物固碳的区域格局，方式、关键措施与技术，管理与市场经济行为的规划；从提高生产力和固碳能力的角度出发，加强草种、树种和藻类品种的选育与产业链的优化设置。

六、共识与建议

在与会专家学者围绕4个中心议题进行学术交流和自由讨论的基础上，执行主席徐建中院士进行了学术性小结，概括了会议取得的共识，归纳如下：

(1) 我国是CO₂的排放大国，在国际上承受的压力日益增大，迅速开展CO₂减排问题研究意义重大，符合国家重大需求。

(2) CO₂减排问题是21世纪科学研究的前沿，是一个前所未有的多领域的交叉（战略、能源、化工、生态、资源环境、材料和地质等），其发展将会对人类进步和社会发展产生重大作用。

(3) 针对我国国情，我国的CO₂减排战略要分阶段规划，近期以大力发展节能技术与资源化利用为主线，中期以控制CO₂排放的一体化系统为主线，远期以可再生能源等替代能源为主线。

(4) 基于我国化石能源分布特点，提出适合我国国情的CO₂控制技术路线：在西部能源产地发展一体化系统，生产清洁替代能源同时实现CO₂的捕获与就地封存，再将清洁替代燃料输送到东部地区高效利用。

(5) 近期CO₂减排研究必须与CO₂利用紧密结合，主要方法有：强化采油（EOR），土壤修复和资源化利用等。

参会人员名单：

徐建中 院士 中科院工程热物理所

费维扬 院士 清华大学

张新时 院士 中科院植物所

张 懿 院士 中科院过程工程所

李 政 教授 清华大学

曾荣树 研究员 中科院地质与地球物理所

江 源 教授 北京师范大学

黄永梅 讲师 北京师范大学

骆仲泱 特聘教授 浙江大学

韩 巍 助研 中科院工程热物理所

朱 兵 副研 清华大学

李会泉 研究员 中科院过程工程所

金红光 研究员 中科院工程热物理所

郑楚光 教授 华中科技大学

郑丹星 教授 北京化工大学

徐华清 研究员 国家发展改革委员会

杨晓西 教授 东莞理工学院

张锁江 研究员 中科院过程工程所

刘昌俊 教授 天津大学

孙子罕 研究员 中科院山西煤炭化学所

沈平平 教授 中国石油勘探开发研究院

张卫东 教授 北京化工大学

邹 骥 教授 人民大学

陈初升 教授 中国科技大学

张希良 教授 清华大学

刘洪来 教授 华东理工大学

魏 伟 研究员 中科院山西煤炭化学所

胡徐腾 高工 中国石油炼化技术研究中心

介兴明 博士 中科院大连化学物理所

方精云 院士 北京大学

陈 健 教授 清华大学

滕 藤 教授 中国社科院

潘家华 研究员 中国社科院

潘根兴 教授 南京农业大学

何雅玲 教授 西安交通大学

李怒云 教授级高工 国家林业局

于立军 副教授 上海交通大学

张卫建 教授 南京农业大学

钱光人 教授 上海大学

吕功煊 研究员 中科院兰州化学物理所

刘舒生 处长 国家环保总局

王 磊 处长 21世纪中心

庄绪亮 处长 中科院资环局

纪 军 处长 国家自然科学基金委

彭 辉 处长 中科院高技术研究与发展局

赵生才 研究员 香山科学会议

杨炳忻 教授 香山科学会议

[会议申请书](#)

[会议图片](#)

[关闭](#)