



谢和平, 湖南省双峰县人, 中国工程院院士, 现任四川大学校长, 国务院学科评议组成员, 国家奖学金评审委员会主任委员, 四川省科协主席, 中国岩石力学与工程学会副理事长, 中国煤炭学会副理事长, 中国煤炭工业协会副会长等职。

卷首语 Foreword

CO₂ 封存与气候变化

CO₂ Storage and Climate Change

为了回应当前对气候变化问题的一些质疑, 2010年5月7日, 255名美国科学院院士以个人名义在 *Science* 杂志发表了关于“气候变化与科学完整性”的公开信(<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/328/5979/689>)。公开信强调了大量确凿、全面、一致的客观证据得出的有关气候变化的根本结论是不争的事实, 即: 尽管自然因素一直在改变着地球的气候, 但是现在人类导致的变化影响更大; 在过去的一个世纪, 温室气体浓度的增加大多是由于人类活动引起的, 特别是由于燃烧化石燃料和砍伐森林; 温室气体引起的地球变暖将会导致许多其他气候模式的变化, 其变化速度是空前的; 这些复杂的气候变化的组合将威胁海岸和城市、食物和水供应、海洋和淡水生态系统、森林、高山环境等等。

因此, 缓解气候变化的重要途径就要减少人类活动产生的温室气体, 特别是 CO₂, 目前主要的 CO₂ 减排方案有: 提高能源有效利用率、使用低碳能源、使用可再生能源或核能、CO₂ 生物汇、CO₂ 捕获与封存 (CO₂ Capture and Storage, CCS) 等等。政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 的特别报告指出: 现在还没有任何单一的技术方案能够全面满足实现温室气体稳定性的减排需求, 而是需要一种减排措施的组合。在众多的温室气体减排方案中, 有效实施 CCS 技术可降低大型 CO₂ 排放源的排放量, 在相对短的时间内较大程度上实现 CO₂ 减排。CCS 一般包括三个主要组成部分: 捕获、运输和地质封存, 而广义的封存概念具有将 CO₂ 永久封存和固化的含义, 因此还包含海洋封存以及 CO₂ 的碳化和工业利用。目前全球有三个工业规模级 (1 兆吨 CO₂/年) 的 CCS 项目在进行中, 另有十余个小型示范项目在规划或进行中。

CCS 从提出到现在还不足 20 年, 其中的 CO₂ 封存问题是涉及岩石力学与工程、地球化学、水文地质等多学科的新型交叉领域, 许多的相关科学问题还处于探索阶段, 目前迫切需要进行以下五个方面的基础研究。

1) CO₂ 封存的场地或介质选址。目前正研究的可以进行 CO₂ 封存的介质主要有: ① 高孔隙度和高渗透性的含水层; ② 废弃或仍在使用的油气田 (EOR/EGR); ③ 深部含瓦斯煤层, 提高煤层中天然气的采集率 (ECMB); ④ 天然或人造的地下洞穴; ⑤ 以固体 CO₂ 水合物的形式储存在海洋底部; ⑥ 利用碱性和碱土氧化物与 CO₂ 化学反应生成硅酸类等化合物以固化 CO₂。结合 CO₂ 排放源选择封存场地或介质将大量减少 CO₂ 的运输成本。

2) 封存的机制和技术研究。不同的封存介质利用不同的物理化学机制封存 CO₂, 通过研究这些机制, 可以分析计算 CO₂ 的封存迁移规律、CO₂ 固化的物理化学条件, 从而更准确地评估封存场地或介质的封存容量。而通过发展石油天然气工程中的钻井勘探技术, 可以将现有的技术运用到 CCS 工程中 CO₂ 的注入和监测中。

3) 封存容量评估。各种封存的候选场地或介质的封存能力是研究 CCS 战略和开发路线的主要依据, 并将为 CCS 封存场地或介质的选择提供最基本的参考和依据。

4) 主要风险和环境影响评估。地质封存中 CO₂ 渗漏可能发生的风险包括: CO₂ 注入井破裂或渗漏将使得 CO₂ 短期内快速大量释放, 从而导致地面 CO₂ 浓度急剧升高, 使人和动物产生窒息; CO₂ 沿地质断层或油气井发生渗漏污染饮用蓄水层和生态系统。如何有效监测 CO₂ 的渗漏、出现渗漏后采取何种人员、环境的保护措施和应急方案, 渗漏后的风险和环境影响评估, 这些研究成果将影响公众对 CCS 的反应以及 CCS 相关法律法规框架的长期前景。

5) 封存的经济性研究。由于 CO₂ 封存的场地和介质不同, 不同封存方案的经济性将存在显著差异。IPCC 关于 CCS 的特别报告中指出, 地质封存成本在 0.5~8 美元/吨, 而海洋封存和矿石固化成本则相对较高。准确合理地评价各种 CO₂ 封存方案的经济性对于 CCS 技术路线的选择极其重要。

由以上研究内容可以看出, CO₂ 封存的核心科学技术问题有两个: 一是 CO₂ 在封存介质中, 在力学、化学、流场和温度场共同作用下, 吸附、溶解、化学反应、流动迁移的机理和规律; 第二是 CO₂ 封存后对周围封存环境的影响规律, 如 CO₂ 封存后的岩层稳定性, 封存介质的物质变化规律等等。这两个核心科学问题的研究需要力学、地质、化学等各领域专家的共同努力, 问题的解决将为我国 CCS 的前期基础理论研究和小型示范项目提供科学理论支撑, 推进我国低碳减排技术的发展与变革, 为我国经济的可持续发展提供技术保障。

谢和平

(四川省成都市一环路南一段 24 号四川大学校长办公室, 成都 610065)