

二氧化碳的地下储存

背景

自 20 世纪中叶以来，人类活动造成了全球变暖，极大地影响了地球气候系统，这主要是由于二氧化碳 (CO₂) 等温室气体的排放。碳减排和碳封存技术可以有效减少碳排放，从而减少碳排放对环境的负面影响。2020 年 9 月，中国政府宣布中国力争在 2030 年之前实现“碳达峰”，在 2060 年之前实现“碳中和”。碳中和是指国家在一定时间内直接或间接产生的 CO₂ 或温室气体排放总量，通过使用低碳能源取代化石燃料、植树造林、节能减排等形式，以抵消自身产生的 CO₂ 或温室气体排放量，实现正负抵消，达到相对“零排放”。为了实现碳减排，开发和应用清洁能源十分重要，如天然气水合物、地热、热干岩、核能、水电、风能、太阳能和氢能等；同时，碳封存技术也同等重要。

碳的地下封存是将 CO₂ 储存在枯竭的油气层、深部盐水层或不可开采的煤层中（图 1）。盐水层的水通常不能用作饮用水或农业用水，但是可以用于固碳。而且深部盐水层被认为具有世界范围内最大的储存潜力，适合储碳的盐水层在全世界也很常见（图 2）。

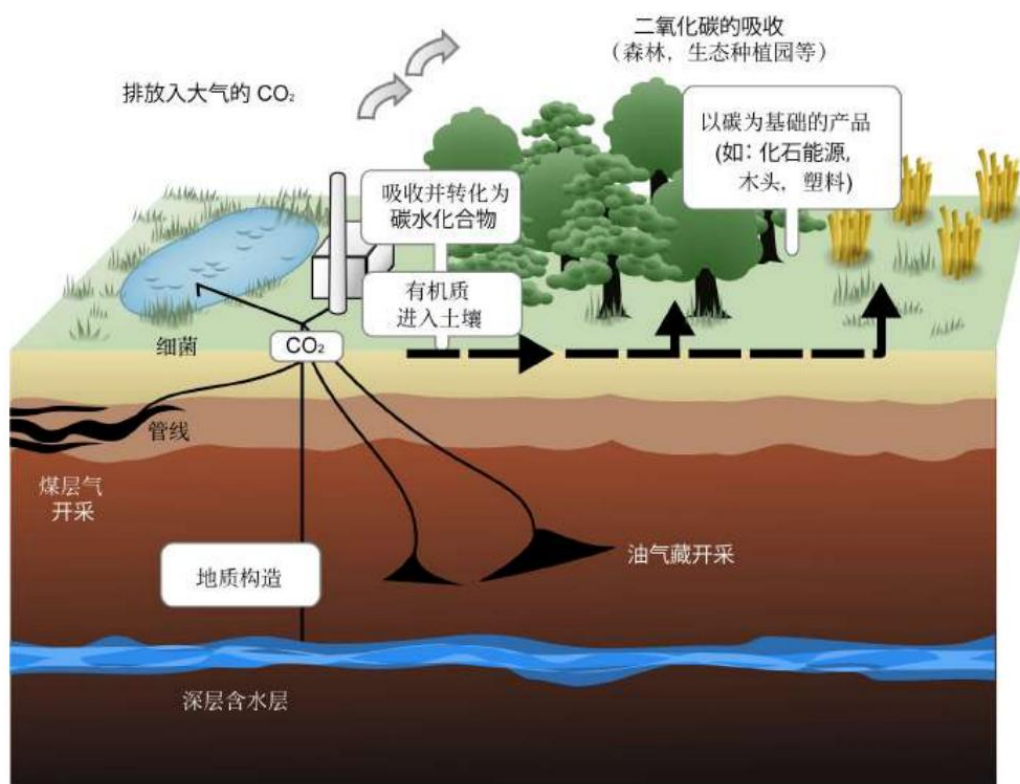


图 1. 二氧化碳的地下封存示意图（取自 https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_sequestration）

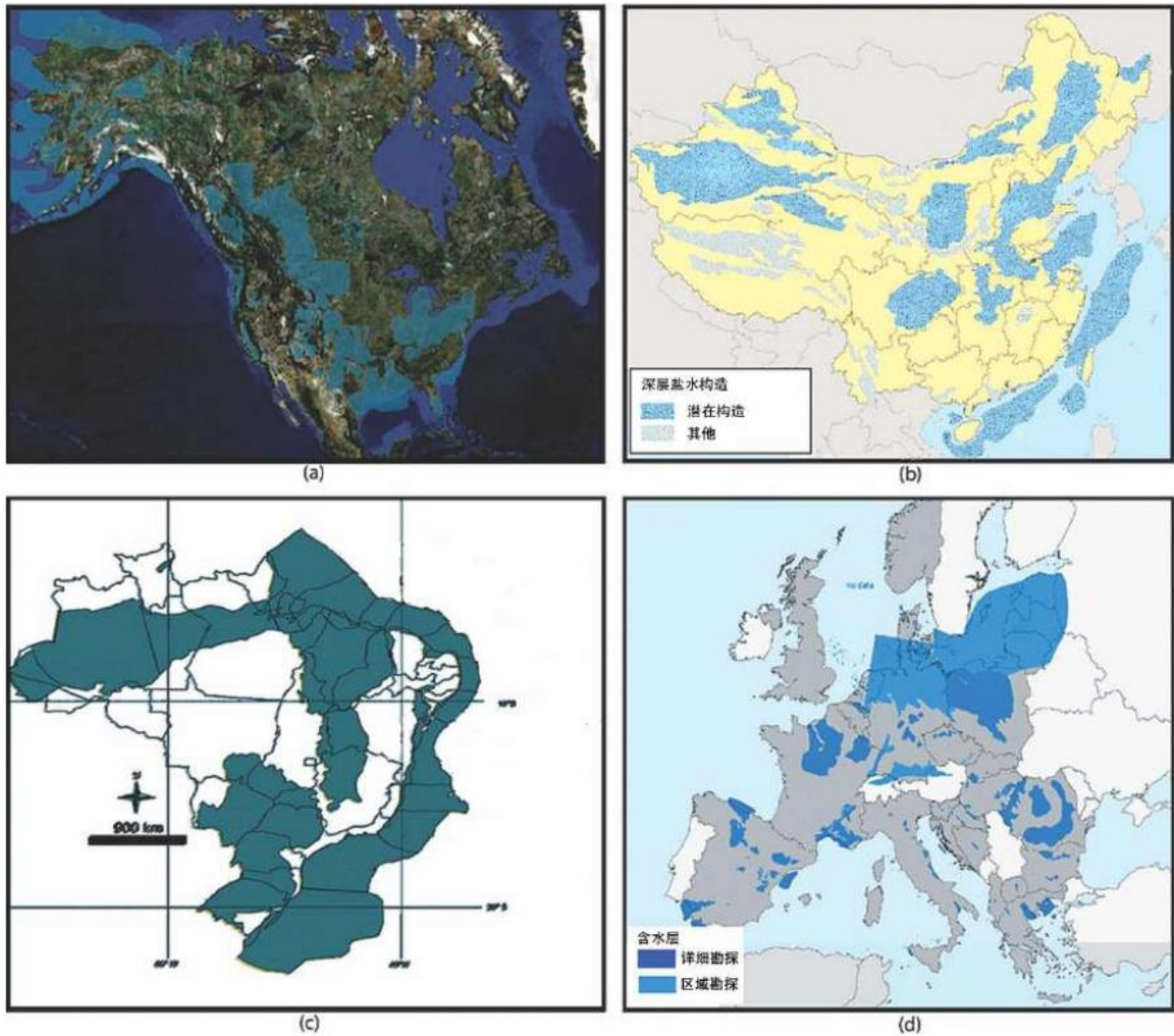


图 2：世界各地的含水层分布：(a) 美国和加拿大，(b) 中国，(c) 巴西，(d) 欧盟

（取自 A. Firoozabadi 和 P. C. Myint 的论文“Prospects for Subsurface CO₂ Sequestration”，AIChE Journal，2010 年）

估算 CO₂ 的储集能力可以帮助我们评估未来可以存储多少 CO₂，也可以帮助我们决定 CO₂ 的储存是否可以为减少大气中的 CO₂ 水平提供一个可行的方法。

体积法是估算 CO₂ 储存容量自然而直接的方法。在这种方法中，首先需要计算含水层的总孔隙体积，CO₂ 在孔隙体积中所占的比例以及 CO₂ 的密度（或 CO₂-水的密度，或 CO₂-盐水的密度，该密度取决于所使用的模型）。总孔隙体积可以由含水层的面积、平均厚度和平均孔隙度的乘积计算得出。CO₂ 密度取决于温度和压力，可以通过检索含水层特定压力和温度条件下的相应数据得到，或使用状态方程来估算。孔隙空间比例的估计比较棘手和主观，受多个因素影响；但有一点很明显，CO₂ 是无法占据全部的孔隙空间的，因此孔隙中 CO₂ 的比例为正数，且小于 1。

在大部分深部咸水层注入 CO_2 时，内部压力没有明显的增加；在这种情况下，上面提到的体积法是合理的。但是在另外一些（相对较小的）含水层中，内部压力也可能会升高；在这种情况下，孔隙和盐水会被进一步压缩， CO_2 储量会受到其压缩性和最大平均压力增加的影响。

任务

- 1、请构建一个中国 CO_2 封存量的估算模型，并且估算中国所有深层盐水层的 CO_2 总储量。模型的相关数据可以通过检索互联网和相关文献获得。
- 2、对于任务 1 中的估算（即对中国所有深部盐水层 CO_2 总储量的估计），分析 CO_2 密度（或 CO_2 -水的密度，或 CO_2 -盐水的密度，该密度取决于所使用的模型）的敏感性。
- 3、请根据你的模型及估算，阐述你的 CO_2 封存模型对于实现“碳达峰”和“碳中和”目标的意义及公共政策建议。

提交要求

1、提交方式

1) 参 赛 同 学 在 5 月 10 日 20:00 前 将 参 赛 论 文 提 交 到 邮 箱：
gdutxueyefazhanbu@163.com（收到回复为论文成功提交证明）。如发现重复提交的邮件，仅以最新邮件内的附件为准，请务必发完整；

2) 邮件以参赛编号作为标题（报名截止后每队会在群内获得相应的参赛号）。

2、文档要求

1) 参赛成果的电子文档包括“参赛论文”和“支撑材料”两个文件，参赛论文必须是 PDF 格式，支撑材料必须是 RAR 格式，**论文不要和支撑材料打包在一起**，论文和支撑材料均以参赛号命名；

2) 论文必须采用常用简体中文字体（限宋体，楷体，隶书，黑体），论文主体部分采用“五号”或“小四”字号，字体颜色为黑色；

3) 排版应符合科技论文常用规范，不得出现下划线、波浪线，页眉、页脚不得出现除页码外的其它字符，如线条等；

4) 所用到的源程序都应作为附录放入参赛论文中，并放入支撑材料中，违反者取消评奖资格。如果确实没有源程序，也应在论文附录中明确说明“本论文没有源程序”，并给出简单说明，此时可以不提交支撑材料。

5) 您的论文应包括 1 页的摘要，正文不能超过 20 页，含摘要最多 21 页。附录和参考资料在正文之后，不计入 21 页限制之内。

3、竞赛期间不允许与队伍外任何人交流题目，如发现抄袭等违规行为，将报送教务处严肃处理。

4、设立一、二、三等奖，其中一、二、三等奖获奖比例上限分别是参赛队数的 5%、10%和 25%，所有获奖同学将获得奖状以及校内双创实训类时长。