

二氧化碳地质封存的监测技术 及方法研究

中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

汇报提纲

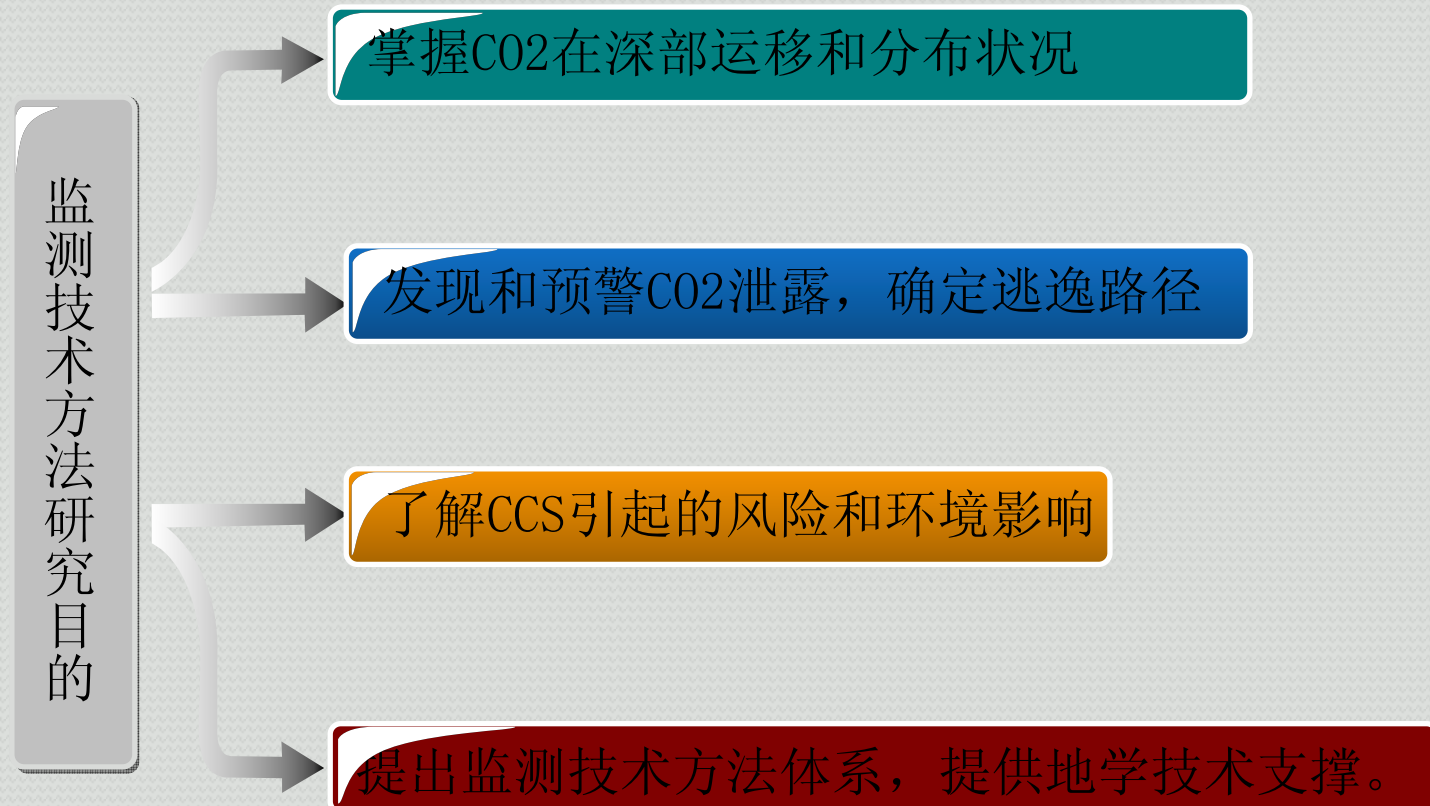
- ◎ 1. 目标任务
- ◎ 2. CO₂的逃逸通道及环境影响和风险
- ◎ 3. CO₂关键监测技术方法研究
- ◎ 4. 监测技术方法体系研究

1. 目标任务

目标任务：针对二氧化碳地质封存全过程可能的逃逸通道及潜在的环境影响和风险，系统分析和研究与之对应的二氧化碳地质封存的**监测技术及方法**，为二氧化碳地质储存的环境监测提供地学技术支持。

中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

CENTER FOR HYDROGEOLOGY AND ENVIROMENTAL GEOLOGY,CGS



2. CO₂封存后逃逸通道分析

- 收集相关文献，研究确定二氧化碳地质封存中二氧化碳的运移和逃逸机制：

二氧化碳气体压力超过毛细管压力并穿越盖层的突破压力；游离的二氧化碳沿断层进入目标储集层上部的含水层；通过废弃井逃逸；二氧化碳流体沿CO₂/Water界面从圈闭中逃逸。



CO₂可能的逃逸通道分为人为泄露通道、地质构造泄露通道以及跨越盖层和水力圈闭泄露通道三类。

人为逃逸通道

CO₂灌注井、监测井和场地原有注入井和废弃井是CO₂地质储存废弃井。废弃井多数缺乏封堵处理，将成为CO₂人为泄露通道。主要的泄露途径之一。

断裂构造逃逸通道

断裂破坏了岩层的连续性，尤其破坏盖层的横向完整性和连续性，使区域封闭性能整体降低，形成可能的逃逸通道。受压扭力作用的断层，有利于对CO₂的封堵；而张性断层则更有利于CO₂的注入或渗漏。因此，重点是判断断层的性质和产状。

地质构造泄露通道

盖层扩散裂隙构造逃逸通道

应力使盖层发生变形，在局部会产生裂缝甚至破裂，破坏盖层的宏观连续性，并会在盖层中产生裂缝或断裂，从而降低盖层的封闭性。不同岩性的盖层具有不同的力学性质，盖层的力学性质直接决定了其封闭性能的稳定性。

构造成因地裂缝通道

地质构造成因的，特别是活动断裂蠕动产生的地裂缝成为CO₂可能逃逸的近地表通道。地震带和与其对应存在的地裂缝带，均反映了与地震直接有关的构造破裂带的存在，它们本同出一源，是构造破裂带活动的不同构造现象。

地震成因CO₂泄漏通道

地震、火山喷发等突发事件可导致大量地质储存的CO₂释放到大气中，并可能引发全球显著的气候和环境变化，形成灾难性后果。地震成因的各类通道将会导致CO₂储集体原有的完整性全面崩溃，从而引发CO₂泄露。

CO₂泄露可能产生的环境影响及危害

1) 对健康的影响

CO₂泄漏对在此活动的人或动物，产生危险。

2) 对土壤或植被的影响

影响植被生长，甚至导致死亡。

3) 对地下水体的影响

导致地下水pH值的降低,酸性增强;使许多微量元素在地下水中的富集程度增加而影响水质;二氧化碳的泄漏可能引起重金属污染物由矿体进入附近的饮用地下水补给层中,从而造成地下水水质的破坏;高含盐量的卤水进入蓄水层,破坏水质。

4) 其他可能的影响

诱发地质灾害 通常情况下,深井注入能削弱断层强度,成为断层位移的驱动力,从而导致地震发生。

监测指标确定

梳理CO₂泄漏造成的环境影响问题

分析监测目标和对象

确定需监测指标

监测指标确定方法：通过梳理CO₂泄漏造成的环境影响问题，分析可监测的目标和对象，从而确定与之对应的详细监测指标。

泄漏产生的环境
影响问题

监测目标和对象

需监测指标

大气环境

- 1.空气CO₂浓度
- 2.气温、湿度、风速、风向、大气稳定度

对人或动物健康的影响

植被生长状况

植被光谱特征

对植被影响

土壤质量

- 1.土壤空气CO₂通量、土壤空气CO₂浓度
- 2.土壤空气¹³C稳定同位素比例
- 3.气温、湿度

对地下水造成污染

→ 地下水

→ 水温、Ph值、电导率、总矿化度（TDS）、碳酸氢根离子（HCO₃⁻）、钙离子（Ca²⁺）、镁离子（Mg²⁺）、氯离子（Cl⁻）、铅（Pb）、砷（As）、稳定同位素¹³C等

其他影响
（地表形变、
诱发地震等）

地形变

地表形变量
地层压力、温度、PH值等

CO₂地下运移情况

储、盖层的厚度、空间分布范围、储盖层物性参数、灌注后二氧化碳地下运移情况，

3. 监测技术及方法

- ◆ 根据CO₂地质封存工程特点，分析监测技术及方法，总结出各监测技术方法的特点和优势。

涉及的监测技术及方法包括：

二氧化碳植被光谱特征变化遥感监测

大气监测

地表形变监测

土壤气体监测

地下水水质监测

监测井监测

时移地震监测

各监测技术方法分类对比1

名称	环境影响与安全判据	监测原则
二氧化碳植被光谱特征变化监测	通过获取指定谱段红外影像数据探测CO ₂ 的泄漏情况，利用光谱差异识别长势异常的植被以判断CO ₂ 泄露地点。	监测频率建议为一个季度。
大气监测	通过分析空气CO ₂ 浓度的变化，判断二氧化碳封存泄露对大气的影晌	选择不利于气体扩散和稀释的时段进行监测。背景值及注入期为每月，注入后为每季，闭场后为半年。
地表形变监测	可判断CO ₂ 二氧化碳封存是否造成地表形变。	在背景值获取阶段，监测频率加密为一个月到一个半月，在查明工作区地表形变背景状况并且CO ₂ 灌注开始后，监测频率改为一个季度到半年，以后每年监测频率的设计应视CO ₂ 注入量和注入速率及地表形变情况综合分析而定。测量精度0.001米。
土壤气体监测	通过对比灌注前后土壤CO ₂ 浓度影响，可分析判断二氧化碳是否泄露到土壤中。	监测周期建议：背景值及注入期为每月，注入后及闭场后为半年。

各监测技术方法分类对比2

4. 监测技术方法体系

◎ 监测原则

CO₂地质封存工程相关环境影响问题监测的原则是：

因地制宜、取长补短、重点突出，即充分考虑二氧化碳地质存储工程场地特点，评估环境和安全风险问题，面向问题优选监测方法，做到方法优势互补，监测要侧重重点区域，不应面面俱到。

监测方案的选择

CO₂地质封存工程相关环境影响和风险问题监测的方案设计涉及四方面问题，分述如下。

1) 环境影响和风险问题评估

充分剖析二氧化碳地质储存场地的地质条件，识别二氧化碳地质储存相关阶段（场地筛选、描述、灌注、封闭、封闭后）可能面临的相关环境影响和风险问题，利用概率风险评估和专家讨论等方法对这些问题进行评估，对风险评估结果进行排序，以比较风险的相对重要性，据此确定监测方案的侧重点。

2) 监测技术优选

根据CO₂地质封存相关环境影响和风险问题的评估结果，选择相关监测技术。坚持可靠性优先、经济性次之的原则选择适用的监测技术，并根据各种方法的优势进行方法组合。

3) 监测方案设计

监测方案设计需要考虑CO₂地质封存的规模、监测持续时间，并对工程运行中可能出现的风险评估之外的风险问题提出风险处理效果监测预案。

监测技术方法体系

◎ 监测原则

CO₂地质封存工程相关环境影响问题监测的原则是：

因地制宜、取长补短、重点突出，即充分考虑二氧化碳地质存储工程场地特点，评估环境和安全风险问题，面向问题优选监测方法，做到方法优势互补，监测要侧重重点区域，不应面面俱到。

监测技术方法体系

目标与任务

二氧化碳逃逸通道

基础

封存区地质资料

环境影响和风险问题评估

主要方面

对人或动物健康影响
植被影响
地下水水质污染
其他影响。。。

监测对象和目标

需监测指标

监测技术方案确定

基础

了解各技术方法优缺点

把握监测原则

技术方法筛选

技术方法组合

技术方案优化

监测的实施

实现环境监测目的，提供地学支撑。

* 谢谢各位！