

二氧化碳地质封存环境风险评价 的关键参数研究

环境保护部环境规划院
中国科学院武汉岩土力学研究所

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



Contents

- 研究目标
- 研究任务
- 研究进展
- 环境风险评估建议

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



研究目标

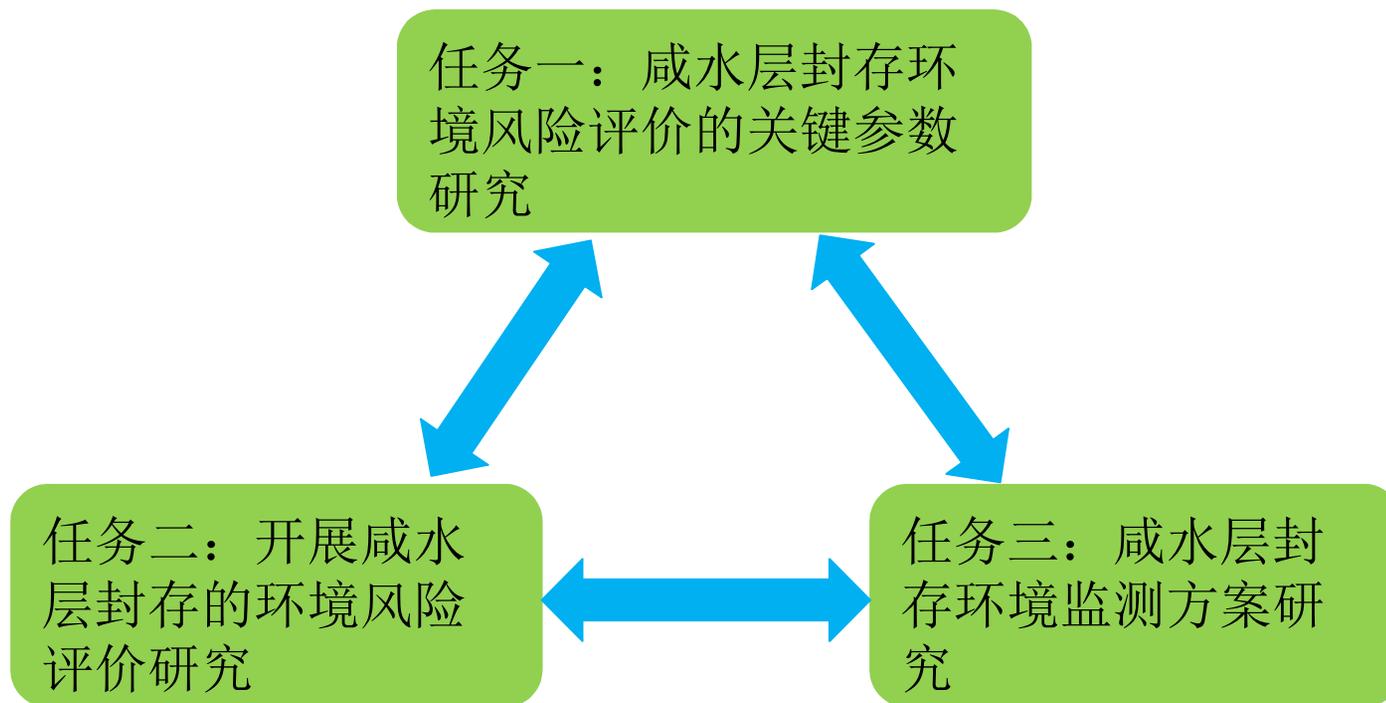
- 本项目在第一期二氧化碳地质封存环境影响评价框架的基础上，针对风险评价的关键参数：风险评价等级、风险评价方法、环境监测方案的监测指标、监测范围、监测数据质量管理、不同时期的监测报告频率开展研究，为形成操作性较强的健康、安全、环境风险评价导则提供科学依据。

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



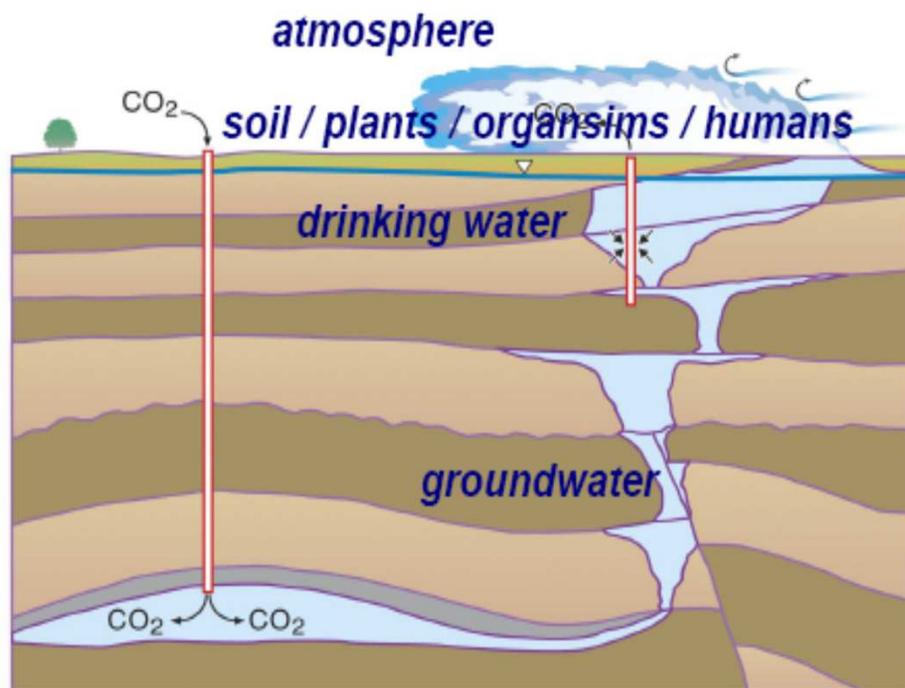
研究任务



cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存





- (1) 对环境介质质量的影响
- (2) 对人群、动植物等生命体的影响；
- (3) 对全球碳排放的影响

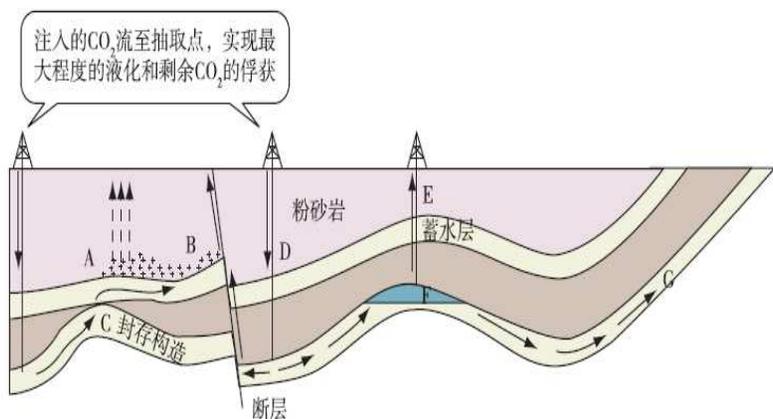
- 澳大利亚《二氧化碳地质封存的环境指南》对环境影响评价和环境监测；
- 欧盟《碳捕获与封存指令》，其目的是使CO₂得到永久封存，使之不可能地，并防止和消除对环境和人体健康产生不利影响和风险；
- 美国EPA制定了《二氧化碳地质封存井的地下灌注控制联邦法案》，目标是保护地下饮用水资源；
- 日本修订了《海洋污染防治法》，针对CO₂海洋封存做出了明确规定；
- 英国《二氧化碳封存许可法令》以法规的形式明确了地质封存许可申请内容，许可签发、修改或审查，撤销的条件。

cags

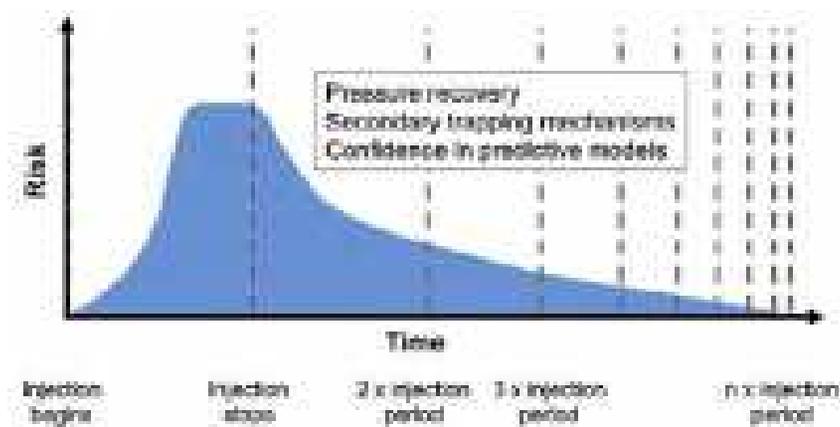
China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



二氧化碳地质封存环境风险特点



- 运移而导致的区域性
- 泄漏的全球性
- 长期性;



cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



CCUS示范项目现场调研



2个项目均强调了可能的泄漏和封存在地质结构的二氧化碳的流动开展环境风险评估的重要性，但是开展风险评估的方法和强调的重点是不同的，由于缺乏适用于CCUS的导则。

Australia Geological Storage of CO₂
澳大利亚二氧化碳地质封存



现有导则对CCUS项目的适用性分析

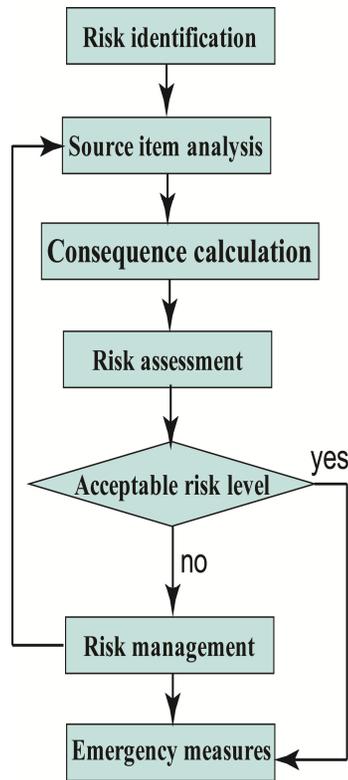
CCUS技术环节	名录项目	技术导则	适用性分析	
封存环节	C-1 地质 勘查 (基础地质勘查)	环境影响评价技术导则：总纲 (HJ 2.1-2011)	适用于所有的示范项目和二氧化碳地质封存项目的建设和运行阶段。环境风险评价参阅《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2004)。	
	F-1石油开采 F-2天然气开采 F-3地下油库 F-4地下气库	环境影响评价技术导则：陆上石油和天然气建设项目 (HJ/T 349-2007)	适用于CO ₂ -EOR项目的建设和运行阶段，环境风险评价参阅《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2004)。	
	捕集环节	E-7 电力 (脱 硫、脱硝等环保工 程)	建设项目环境风险评价技术导则 (HJ/T 169-2004) (HJ/T 169 - 2004)	不适用于二氧化碳地质封存，由于二氧化碳既不属于有毒易燃物质，也不属于易爆物质。
		运输环节	F-5 石油、天 然气 (石油、天然 气管线)	环境影响评价技术导则：生态环 境 (HJ 19-2011) 环境影响评价技术导则：大气环 境 (HJ 2.2-2008) 环境影响评价技术导则：地下水 环境 (HJ 610-2011)



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



中国一般建设项目环境风险评价流程



	Acutely toxic hazard substances	Toxic hazard substance	Combustible hazardous substances	Explosive hazard substance
Major hazards sources	I	II	I	I
Non-major hazards sources	II	II	II	II
Environment-sensitive regions	I	I	I	I

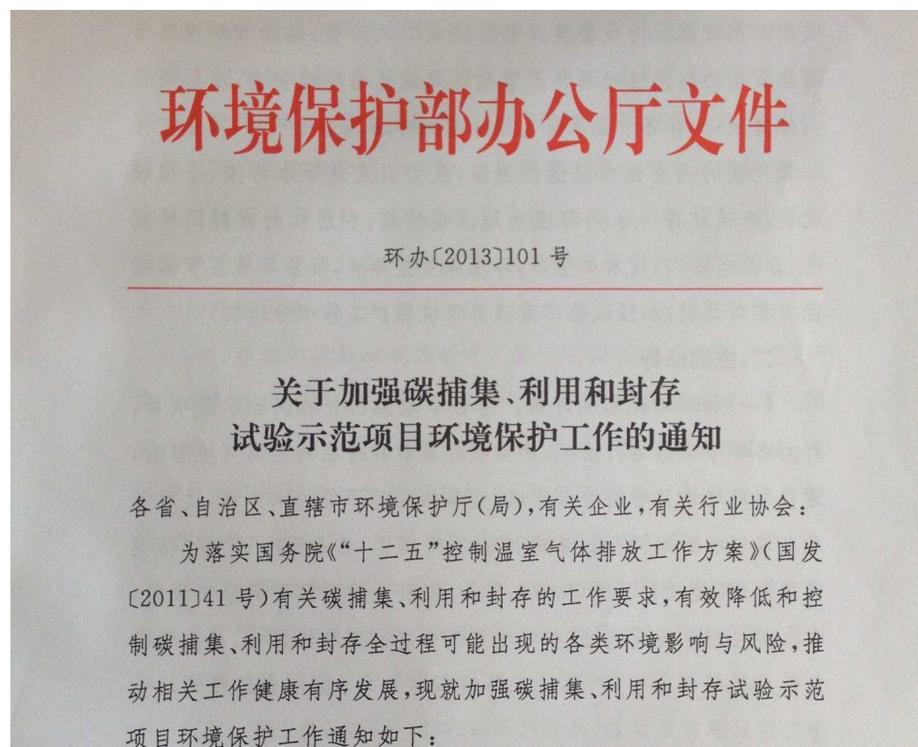
环境风险是指突发性事故对环境（或健康）的危害程度，定义为事故发生的概率与事故造成的环境后果的乘积。



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



- ◆ 配合科技司气候处完成《关于加强碳捕集利用与封存试验示范项目环境保护工作的通知》（环办[2013]101号）
- ◆ 加强碳捕集、利用和封存的环境影响评价。
- ◆ 推进碳捕集、利用和封存环境影响的监测。
- ◆ 探索建立碳捕集、利用和封存环境风险防控体系。
- ◆ 推动碳捕集、利用和封存相关环境标准规范的制定。
- ◆ 加强基础研究和技術示范。



cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



评价时间

- EU Directive note that **permanent** containment of CO₂ (永久封存) in such a way as to prevent and, where this is not possible, eliminate as far as possible negative effects and any risk to the environment and human health.
- Australia also address the permanent storage (永久封存) of a particular amount of a particular greenhouse gas substance injected at a particular point or points into that part over a particular period.

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



- U.S. rules note “this final rule applies to owners or operators of wells that will be used to inject CO₂ into the subsurface for the purpose of long-term storage (长期封存).”
- IPCC more recently indicated elevated atmospheric CO₂ levels over the “long term”, expressed in terms of centuries (IPCC, 2005) (长期).
- For HS&E impacts, the time estimates for the associated risks range from hundreds of years up to 10,000 years (Sternhouse et al., 2009).



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



评价空间

- Gorgon项目：封存许可范围
- 美国：定义了审查区域，即地下饮用水源可能会受到注入活动威胁的、地质封存项目的周边地区。
- 审查区域采用计算模型进行描述，该模型基于可用的现场特性、监测和运行数据，说明注入后各种相态的二氧化碳流体的物理和化学性质。

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



可接受的风险水平

- 可接受的泄漏率：多数研究认为应该低于 0.1%/年 (e. g., Bowden and Rigg 2005).
- 澳大利亚《Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006》提出“可接受的风险水平”，Gorgon项目认为“低的风险水平”属于可接受的风险水平；中等和高风险则需要采取风险管理措施。
- 一些研究表明：可接受的风险水平取决于封存规模，封存区域的人口和敏感受体。

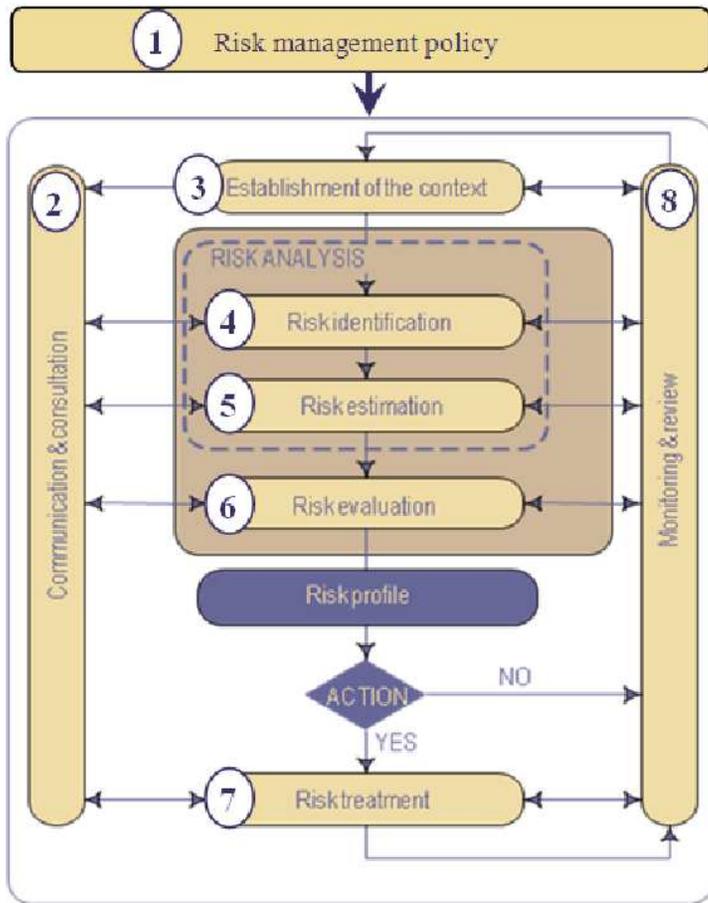


China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存

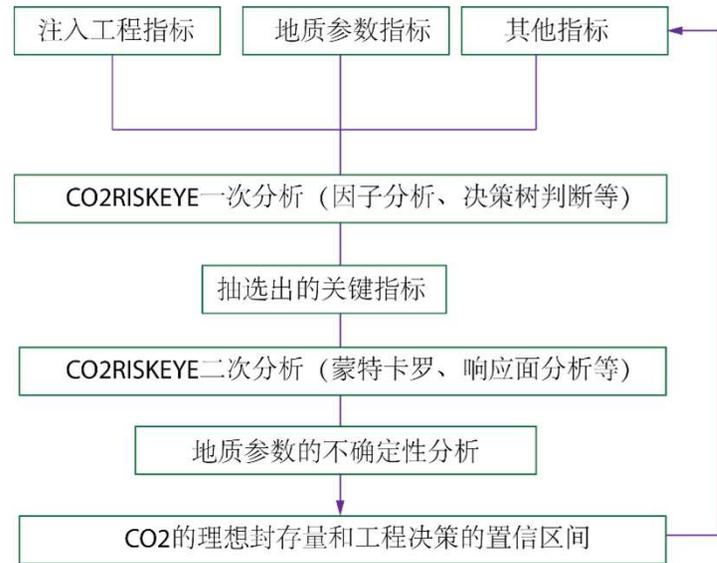


风险分析方法及其特点

ISO/FDIS 31000 (2008)



CO2RISKEYE



- 特点之一：适用于复合盖层的多级方法评价技术
- 特点之二：基于后验概率的风险预测技术

ical Storage of CO₂

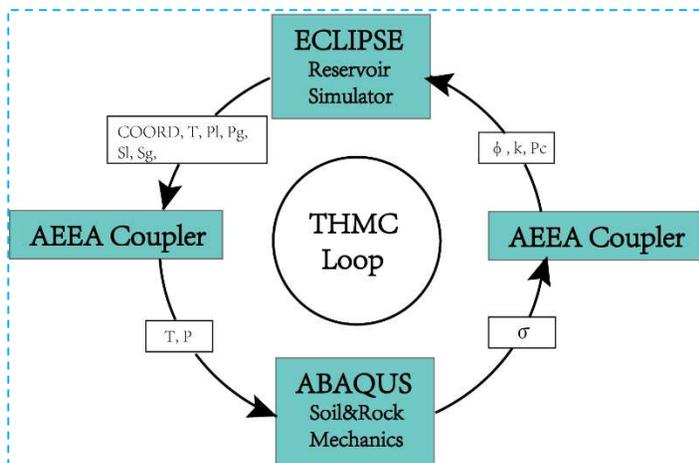
中澳二氧化碳地质封存



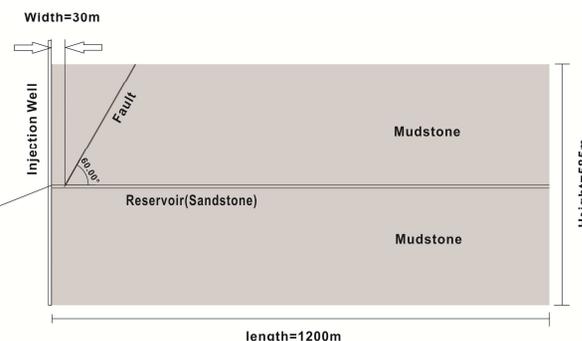
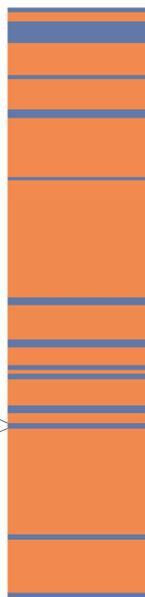
鄂尔多斯盆地地质封存风险

(组合盖层稳定性影响指标体系的显著性研究)

核心的模拟器

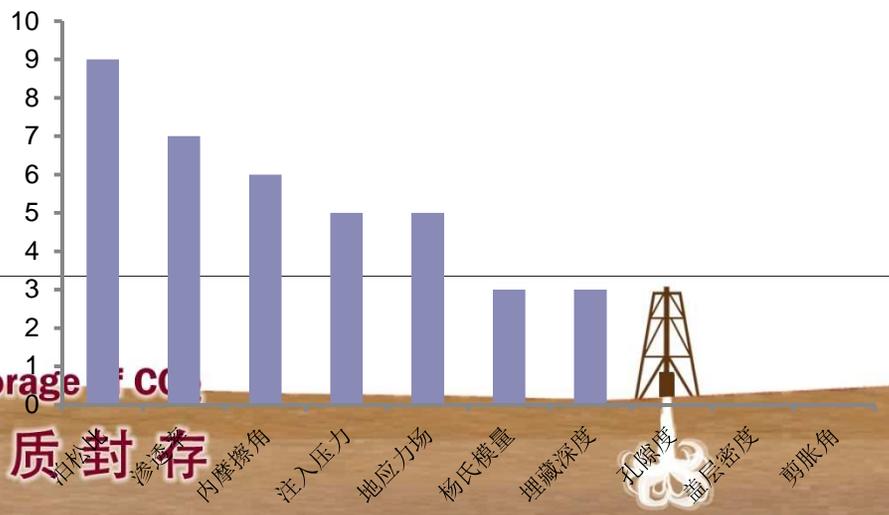


Top depth=1690m



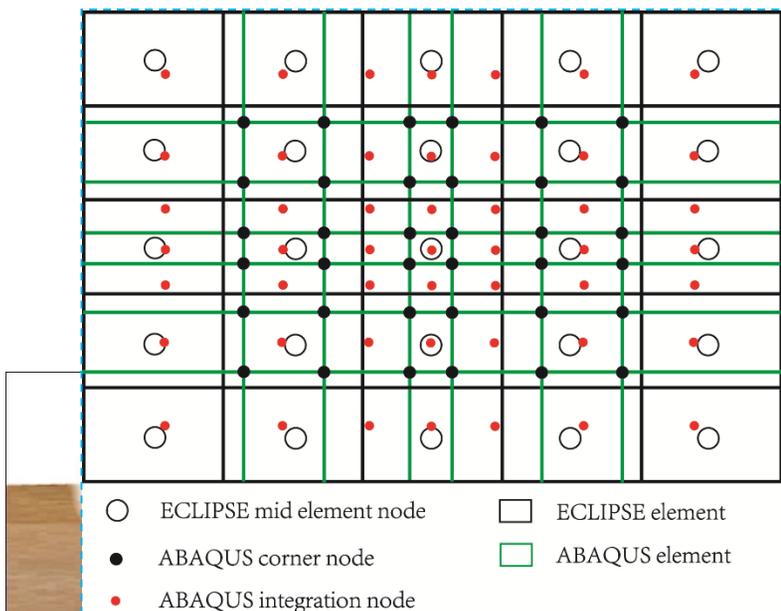
参数显著性

Bottom depth=2275m



Geological Storage Capacity

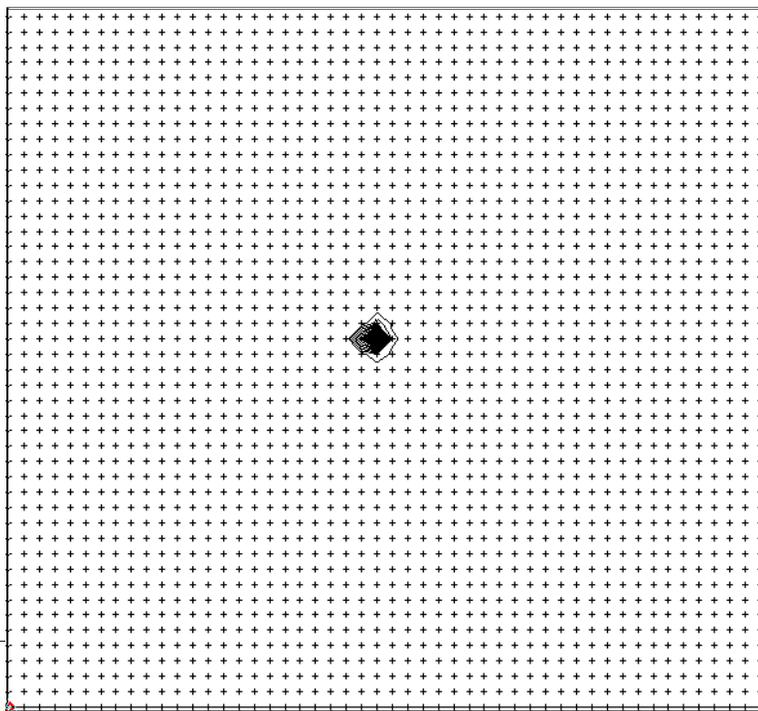
化碳地质封存



鄂尔多斯盆地地质封存风险

(整个源的泄漏过程模拟与预警-- 地面部分)

- 模拟井喷事故后二氧化碳的扩散状况；
- 绘制24小时内浓度等高线图；
- 目的：
- 建立突发灾害预警机制：如有关部门直接通讯；人员撤离方向和程度等；
- 规避风险：通过建立监测网络，限定阈值，及早报告风险



cags

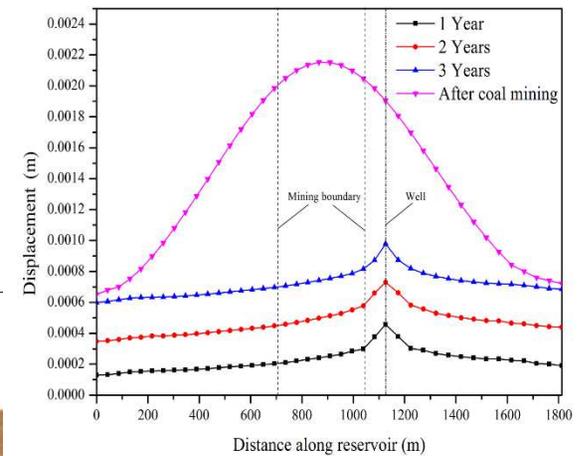
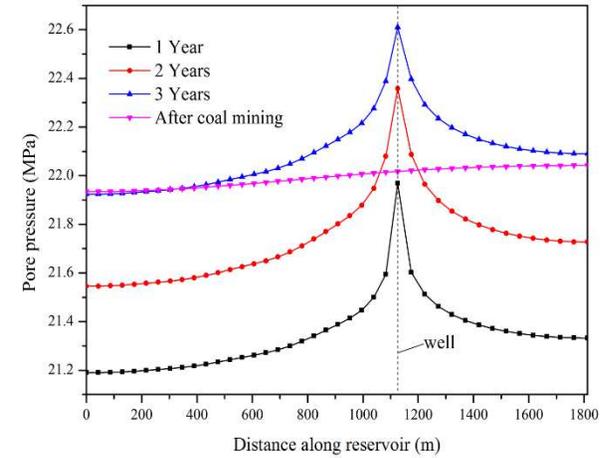
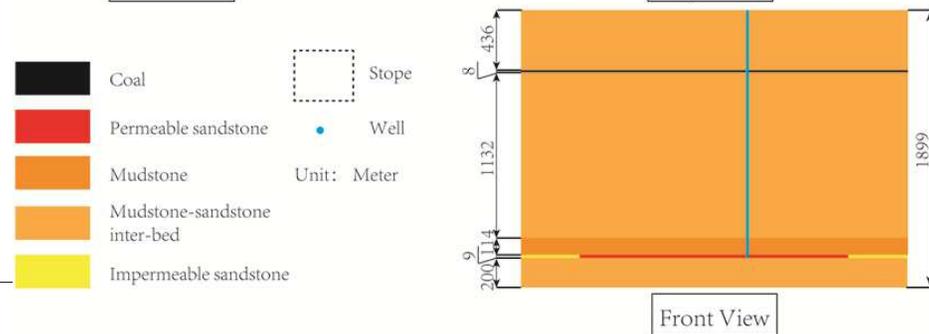
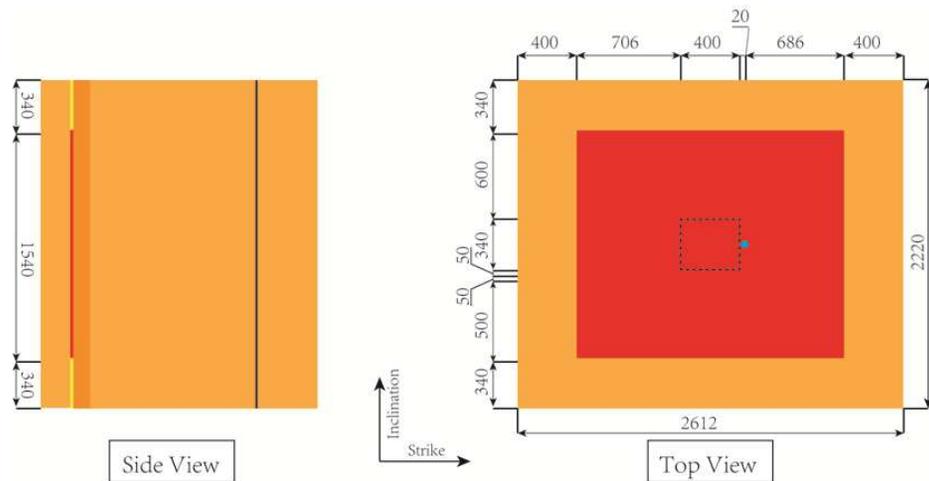
每15分钟计算一次浓度分布图

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



鄂尔多斯盆地地质封存风险 (地质封存与上覆煤矿开采的耦合效应分析)



CAGS

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



鄂尔多斯盆地地质封存风险分析结果（综合评价、主要风险）

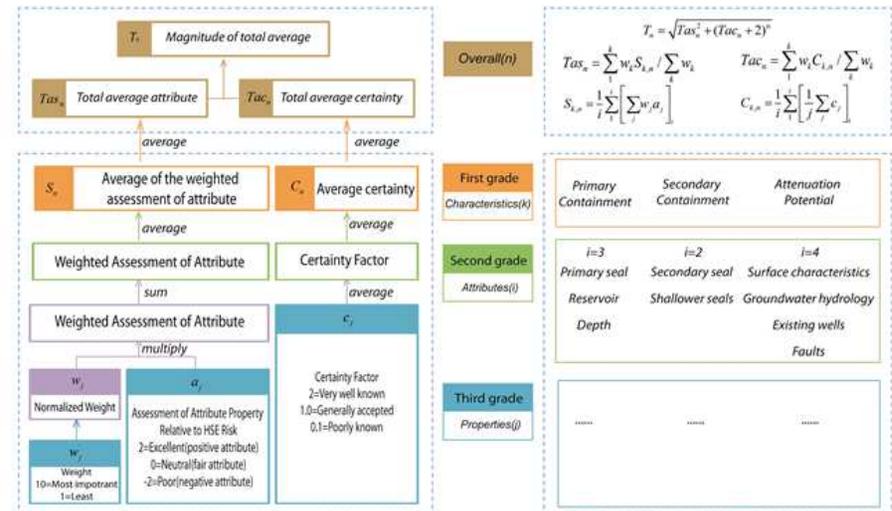
- 综合评价（Integrated assessment）：

良好（Good）

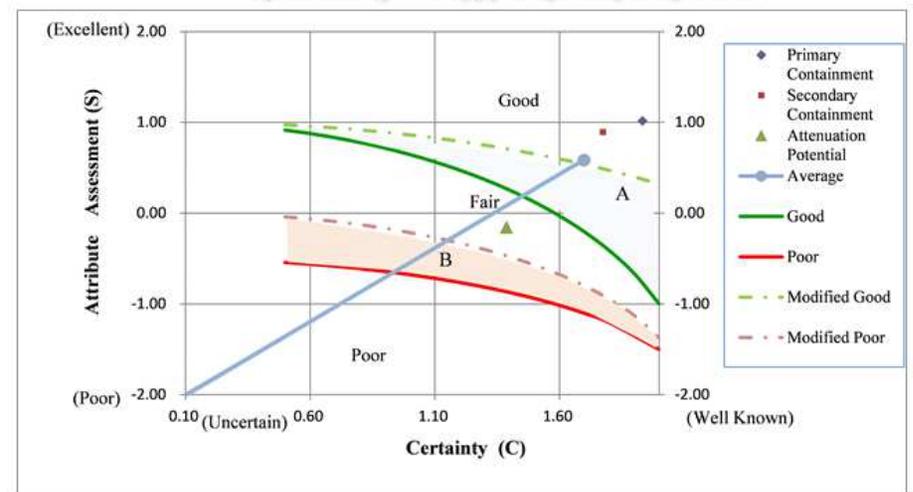
- 主要风险（Major risks）：

井筒和盖层

（Wellbores and caprocks）



published by IJGGC, (c) Qi Li, IRSM, CAS, Wuhan



China Australia Geological
中澳二氧化碳地质封存

神华CCS项目的咸水层封存环境监测方案

监测类别	监测对象/技术	监测仪器/方法	监测频率
大 气	气象：气温、湿度、风速、大气稳定度	涡度相关法	实时
	CO ₂ 通量	涡度相关法	
	CO ₂ 浓度	红外二极管激光仪	每月
	空气 13C 稳定同位素	同位素分析仪	
CO ₂ 排放源调查	建立生态系统 CO ₂ 及已有的工业、农业 CO ₂ 源模型	一次	
土 壤 气	土壤温度、基质势、含水量	地下传感器	每月
	土壤表面 CO ₂ 通量	土壤呼吸测量系统	
	一定深度下土壤气 CO ₂ 浓度	土壤呼吸测量系统	
	其它土壤气体组分：N ₂ 、CH ₄ 、O ₂	便携式气象色谱仪	
植被生态	土壤空气 13C 稳定同位素比例	同位素分析仪	一次
	植物群和动物群调查	样方调查	
地表变形	植被指数	机载光谱成像	每季
	垂直方向	电子数字水准仪	每季
水 质	水平方向	高精度全站仪	每季
	地表水	(1) 温度、pH 值、电导率、总矿化度 (TDS)、总有机碳 (TOC)、总无机碳 (TIC)、碱度	每月
	浅层地下水	(2) 主要阴、阳离子；	
		(3) 气体组分	
注入层地下水	(4) 碳 13 稳定同位素		
CO ₂ 运 移	(1) 玻璃电极法、滴定法、燃烧氧化-非分散红外吸收法	每月	
	(2) 离子色谱法		
	(3) 气象色谱法		
	(4) 质谱法		
	水位变化、流速、流向		钢绳、数据记录器
	流体示踪		U 型管系统，可用的示踪剂：SF ₆ 、SF ₅ 、Kr、PFTs、PFCs、YCD4
时移 VSP	一次		
3D 地震勘探	一次		
重力调查	一次		
水-岩-CO ₂ 相互作用实验	一次		

中澳二氧化碳地质封存



二氧化碳地质封存环境风险评价建议

- 空间范围：评价范围宜依据二氧化碳的分布范围和储层压力变化的范围进行确定。
- 时间范围：评价时间包括注入前、注入中、场地关闭及关闭后。

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



二氧化碳地质封存环境风险评估建议

◆ 主要风险源

与封存相关的工程施工、注入、场地关闭及关闭后的废弃井、灌注井、监测井等既有井或新增井的井筒完整性，井口装置等相关工程单元机械失效及可能的泄漏通道，及其导致的二氧化碳或其它物质泄漏。

◆ 环境污染事故的主要原因和形式

地质利用与封存的环境风险以二氧化碳泄漏事故，二氧化碳和/或其他物质泄漏，及对人类健康、动植物、水环境、土壤环境、大气环境等的影响为主。

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



主要评价指标

- 工程施工。如果工程施工严格按照相关标准，则发生事故的概率较低，环境风险较小。
- 机械单元材质。如果利用和封存环节利用的各种材料设备，包括水泥，密闭设施均符合二氧化碳长期封存的性能，二氧化碳泄漏的环境风险较小。
- 地质结构特性。地质结构越稳定，断层、局部缺陷、裂隙等越少，发生泄漏的风险越低。
- 注入压力、注入温度、注入速率和注入量。注入压力过高、注入量过大和注入速度较快，引发二氧化碳泄漏等的环境风险较高。

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



主要评价指标

- 封存区域内新增和既有各类井的数量和深度。封存区域内如果存在废弃井或其他用途的井，发生泄漏的环境风险相对较高。
- 示范项目所在区域是否存在潜在的资源开采区。如果一定范围内的地质结构中存在具有可开采价值的资源，资源开采可能引发泄漏的环境风险较高。
- 二氧化碳的运移。如果二氧化碳的运移在监测范围内，则环境风险相对较小。

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



环境风险受体

- 二氧化碳捕集利用与封存项目的环境风险受体主要为人群、动植物及其与之密切相关的水、土壤、大气等环境介质。
- 环境风险受体被影响的表现形式
 - 1) 环境介质。评价范围内大气、土壤、地表水、地下水等环境质量发生变化。
 - 2) 人群。评价范围内出现生理性不适、意识丧失等人体健康问题。
 - 3) 动植物。评价范围内动植物分布、丰度和生理生态行为发生变化。
 - 4) 微生物。评价范围内微生物数量和种类发生变化。



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



环境风险受体

- 主要评价指标：

1) 区域特征。环境敏感、人口密集、地质结构不稳定等区域的环境风险受体被影响的可能性和程度均较大。

2) 污染排放。如果二氧化碳捕集利用与封存造成额外的大气、水、废弃物等污染排放，则环境风险受体被影响的可能性和程度均较大



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



推荐方法-风险矩阵法

		影响				
		轻微	轻度	中度	重度	严重
可能性分类	几乎确定	低风险	中等风险	高风险	高风险	高风险
	很可能	低风险	中等风险	高风险	高风险	高风险
	可能	低风险	中等风险	中等风险	高风险	高风险
	不太可能	低风险	低风险	中等风险	中等风险	中等风险
	几乎不可能	低风险	低风险	中等风险	中等风险	中等风险

图例

低风险
 中等风险
 高风险

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



对环境风险受体影响的考虑

- 根据项目的吸收剂使用情况、捕集规模、管道选址以及利用封存选址的地质因素、环境因素（是否具有敏感生态系统）、资源分布、地下水和饮用水资源情况、项目周围的人群分布等相关指标；
- 结合有关的潜在影响发生的空间范围；
- 以对现有土壤、地下水、地表水和大气环境质量标准的影响为基础

cags

China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



			描述
影响	环节	空间范围	影响程度
轻微	捕集	厂界安全距离范围内	项目对所在地土壤环境质量有轻微不利影响，主要指标未超过环境质量标准，且变化在20%以内。
	运输 地质利用与封存	安全距离范围内 场地范围内	项目对所在地土壤环境质量有轻微不利影响，主要指标未超过环境质量标准，且变化在20%以内。 二氧化碳浓度变化超过背景值，但不超过最敏感受体的下限阈值。
轻度	捕集	厂界安全距离范围内	项目对所在地土壤环境质量有一定的不利影响，主要指标未超过环境质量标准，且变化在100%以内。
	运输 地质利用与封存	安全距离范围内 场地范围内	项目对所在地土壤环境质量有一定的不利影响，主要指标未超过环境质量标准，且变化在100%以内。 二氧化碳浓度变化超过背景值，但不超过最敏感受体的下限阈值。
中度	捕集	厂界安全距离范围外	项目对所在地土壤环境质量有显著的不利影响，主要指标超过环境质量标准，或者其变化在100%以上。
	运输 地质利用与封存	安全距离范围外 场地范围内	项目对所在地土壤环境质量有显著的不利影响，主要超过环境质量标准，或者其变化在100%以上。 二氧化碳浓度变化超过最敏感受体的上限阈值。
重度	捕集	厂界安全距离范围外	项目对所在地土壤环境质量有较大的不利影响，主要指标超过环境质量标准一倍以上，或者其变化在200%以上。
	运输 地质利用与封存	安全距离范围外 场地范围外但在预测的 运移范围内	项目对所在地土壤环境质量有较大的不利影响，主要指标超过环境质量标准一倍以上，或者其变化在200%以上。 二氧化碳浓度变化超过最敏感受体的上限阈值。
严重	捕集	厂界安全距离范围外	项目对所在地土壤环境质量有严重的不利影响，对土壤生态系统造成不可逆的损害。
	运输	安全距离范围外	项目对所在地土壤环境质量有严重的不利影响，对土壤生态系统造成不可逆的损害。 二氧化碳浓度变化超过最敏感受体的上限阈值。

Thanks for your
attention

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存

