



# 二氧化碳在油藏封存及提高采收率的安全与环境风险评估研究

中国石油安全环保技术研究院

2012.04

**cags**

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>

中澳二氧化碳地质封存



# 课题研究成果

(一) 国内外二氧化碳封存风险评估研究

(二) 二氧化碳在油藏中封存及驱油的环境风险评估

(三) 二氧化碳在油藏中封存及驱油的安全评价



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## (一) 国内外二氧化碳封存风险评估简介

国家	政策及标准	要求	小结
美国	二氧化碳捕集、运输和封存指南	所有封存项目中均需要开展风险评估，制定与实施风险管理及风险交流规划；	①评估具体场地息； ②对危险的描述； ③对人体健康和环境的危害； ④工程自身的安全； ⑤长期监测的必要； ⑥制定规避补救方； ⑦财务责任制度。
	二氧化碳地质封存井的地下灌注控制联邦法案	针对CO <sub>2</sub> 地质封存井建立了一个新的等级，即VI级，以及最低的技术标准；遵守选址、建造、测试、监控和关闭程序。	
欧盟	碳捕获与封存指令	①危险描述；②暴露评估； ③效应评估；④风险评估。	
中国	建设项目环境风险评估技术导则	涉及有毒有害和易燃易爆物质的生产、使用、储运的建设项目可能发生的突发性事故	
	工业废液地下灌注技术示范和环境监督管理的应用和研究	地质选址研究、地质与灌注工程技术研究、环境管理法规建设研究和环境影响评价技术规范研究	
	安全评价通则、安全预评价导则、安全验收评导则、安全现状评价导则、陆上石油天然气开采业安全评价导则		

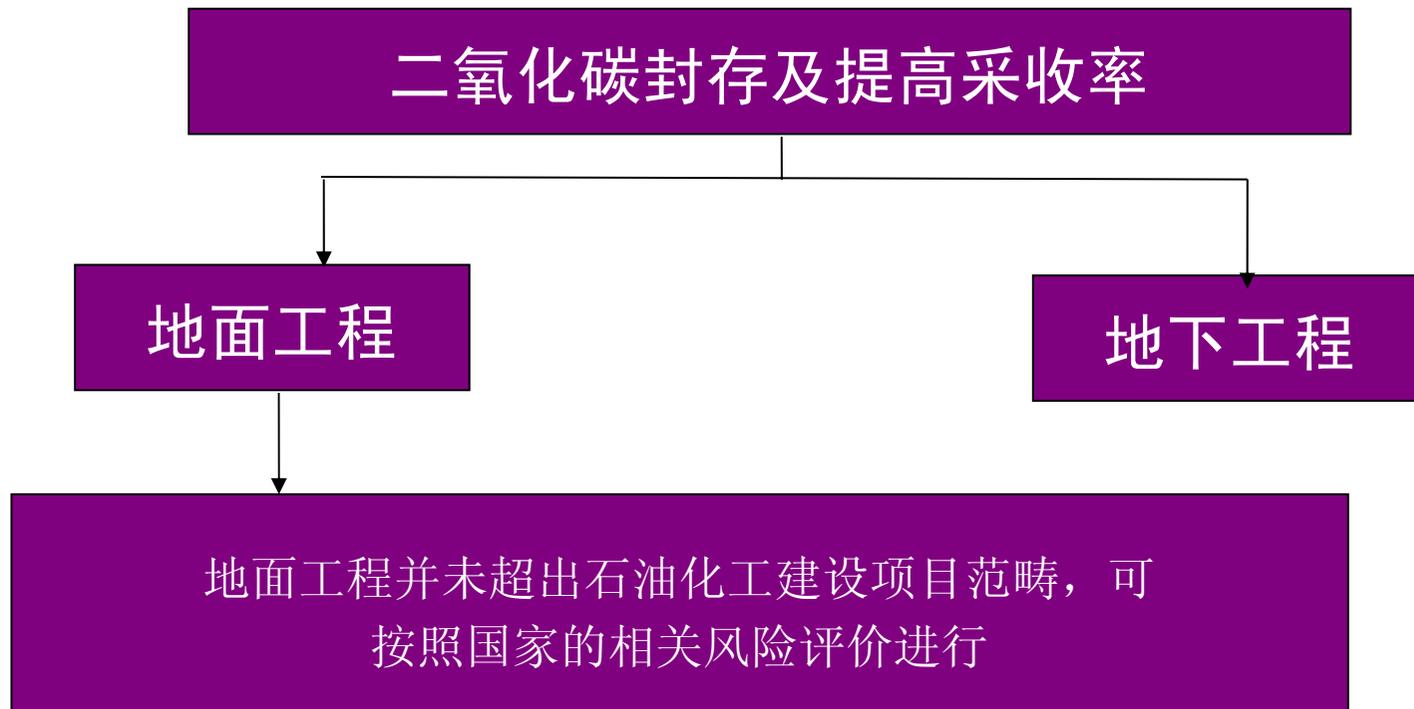


China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>

中澳二氧化碳地质封存



## (二) 二氧化碳封存及提高采收率的环境风险评价



# 地下工程

cags

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



# 1 选址的环境保护要求

- 《危险废物填埋污染控制标准》（GB18598-2001）
- 《中华人民共和国城市规划法》（1989年12月26日中华人民共和国主席令，第23号）
- 《建设项目选址规划管理办法》（建设部、国家计委，1991年8月23日）
- 《建设项目用地预审管理办法》（中华人民共和国国土资源部令，第42号）

- |                 |         |
|-----------------|---------|
| • 所在地区的性质       | 风景名胜区等  |
| • 与饮用水源的关系和安全距离 | 不小于150米 |
| • 与敏感区的关系和安全距离  | 800米以外  |



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## 2 地下封存的危险源辨识

- 危险源辨识应侧重于CO<sub>2</sub>泄漏的主要潜在路径：
  - (1) 封闭单元不充分或覆盖岩层断裂；
  - (2) 人工泄漏（油井）；
  - (3) 通过断层及断裂带传输；
  - (4) 自然发生或诱发型地震事件，可通过新的或扩大的断层面传输并横截所保护的资源或进入表层环境。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



### 3 受体影响评价

- 二氧化碳地质封存的环境风险评价方法主要包括定性法、定量法和半定量法三大类。

- 其中典型的代表是：

特征、事件和过程（FEP）评价法、

事故树分析（ATA）、

脆弱性评价框架（VEF）

通过数字模拟评价风险发生的可能性。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>

中澳二氧化碳地质封存



## FEP

- 可基于可能性（L）和严重程度（S）对多种风险元素（或FEP）进行分类。这些分类依据一组工艺及专家独立调查开展。
- 可通过两种方法对其进行评价。第一，实施一种联合性分类（L\*S）方法，对小组和个人评定等级进行比较。第二，在数轴上绘制FEP，其中纵轴代表严重程度，横轴代表可能性。这两种方法可以促进对具体场地评价的有效实施，同时可通过细致规划及运转削弱此类风险的危害性。需要注意的是，不同阶段可重复开展此类评价，并非静态分析。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



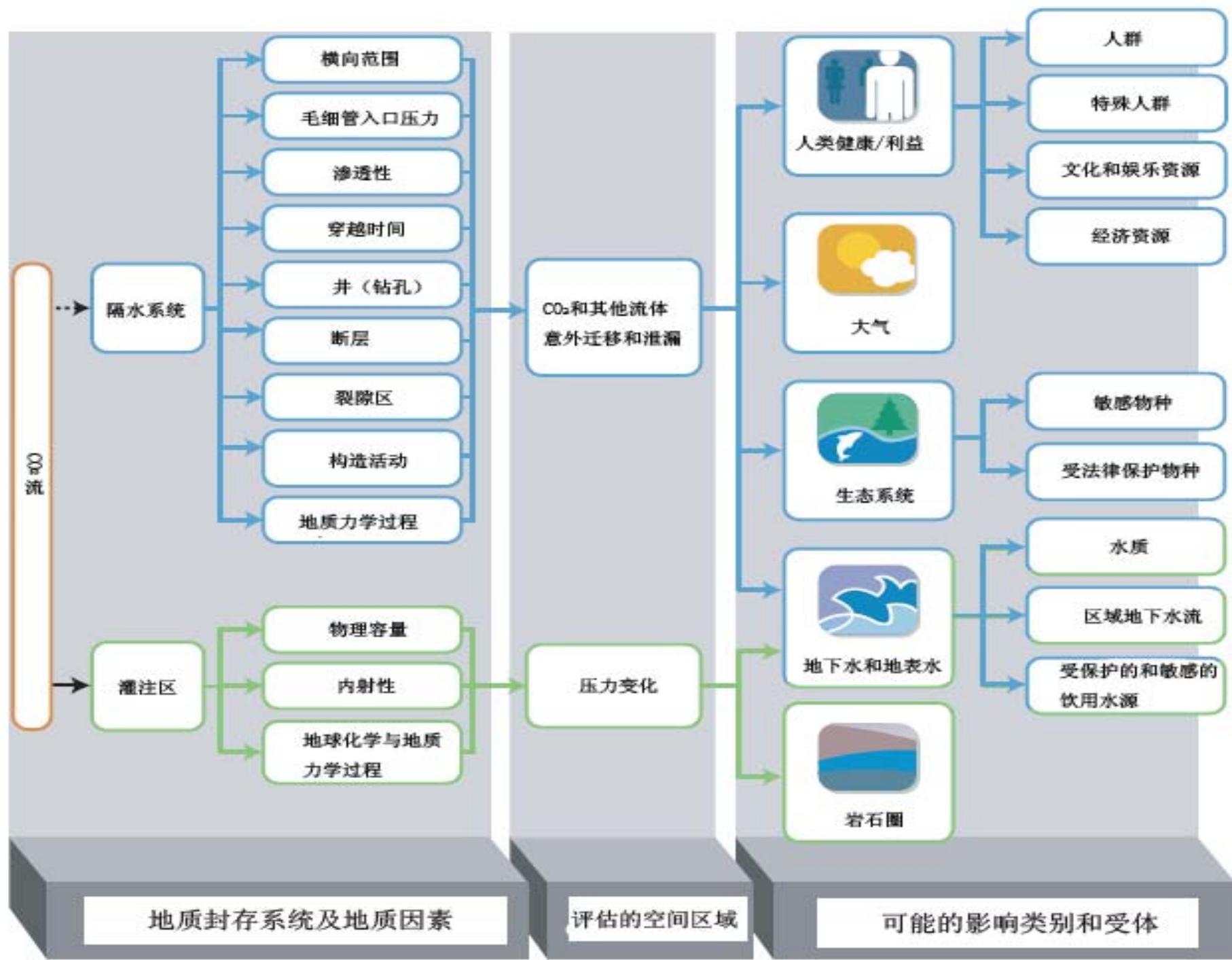
## VEF

- 脆弱性评价（简称为VEF）中的脆弱性评价是从系统的说明可能增加地质封存不利影响的那些条件展开，而不考虑其可能性和广泛的适用性。它不是一个定量的、概率风险的评价工具。
- VEF确定了GS系统中能增加系统的脆弱性而带来不利影响的因子，确定了可能的影响类别，也提供了一系列有组织的决策支持流程图和用来评估特征和影响的系统的方法。这些特征和影响类别作为GS系统脆弱性评估的一个关键因素。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存





## 数值模拟方法——TOUGHZ-MP模型

- TOUGH (Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat) ，非饱和地下水和热量的运移模型，是一套模拟多孔介质和裂隙中多相流体和热量运移过程的计算机系列软件。
- CO<sub>2</sub>地质封存的风险评价是通过采用TOUGHZ-MP模型对CO<sub>2</sub>地下灌注引起的灌注层压力变化及CO<sub>2</sub>运移过程的数值模拟预测评价CO<sub>2</sub>地质封存的可行性，是否存在CO<sub>2</sub>意外迁移、地层压力变化的可能性。在此基础上，根据项目重要风险源，设定风险事件，进行CO<sub>2</sub>泄漏发生的数值模拟，分析发生风险事故的可能性及后果，并对风险可接受水平进行评价。
- 进行模型建立时，主要包括二氧化碳意外迁移的主要风险源和灌注模拟以及二氧化碳地质封存风险事故情景。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## 4 CO<sub>2</sub>监测技术

地球物理化学监测

井下CO<sub>2</sub>监测

高空CO<sub>2</sub>红外摄像监测

CO<sub>2</sub>红外线地面监测

地下水CO<sub>2</sub>监测

土壤CO<sub>2</sub>监测

大气CO<sub>2</sub>监测

**cags**

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>

中澳二氧化碳地质封存



## 5 风险防范措施和应急预案的制定

- 环境风险防范措施:

地质勘查、监测、检查、诱发地震机制的研究

- 应急预案的制定:

断层泄漏、井泄漏、土壤中聚集、室内环境下聚集、表层水聚集、大规模排放到大气中



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



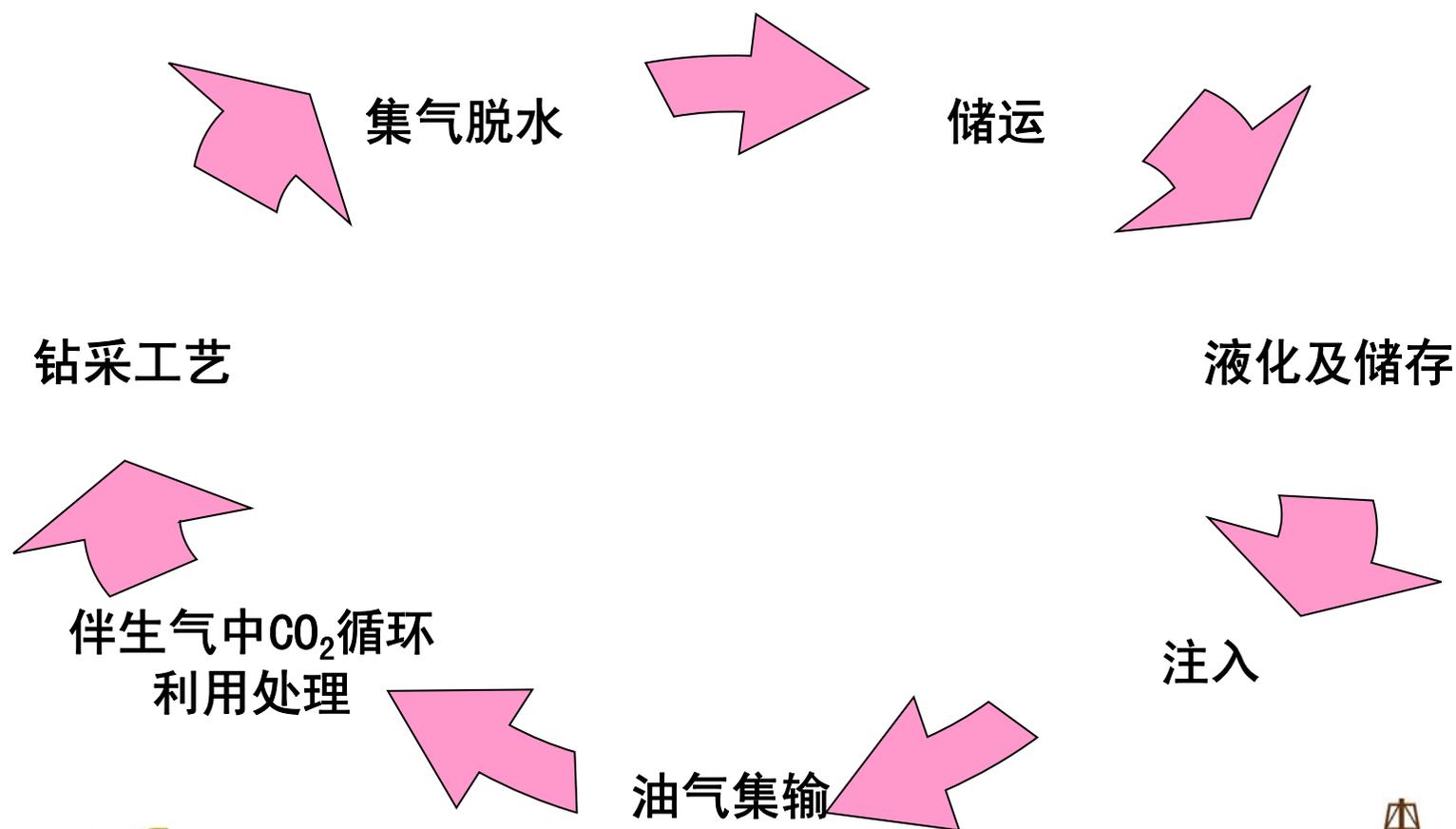
# 地面工程

cags

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



# 1 工艺过程分析



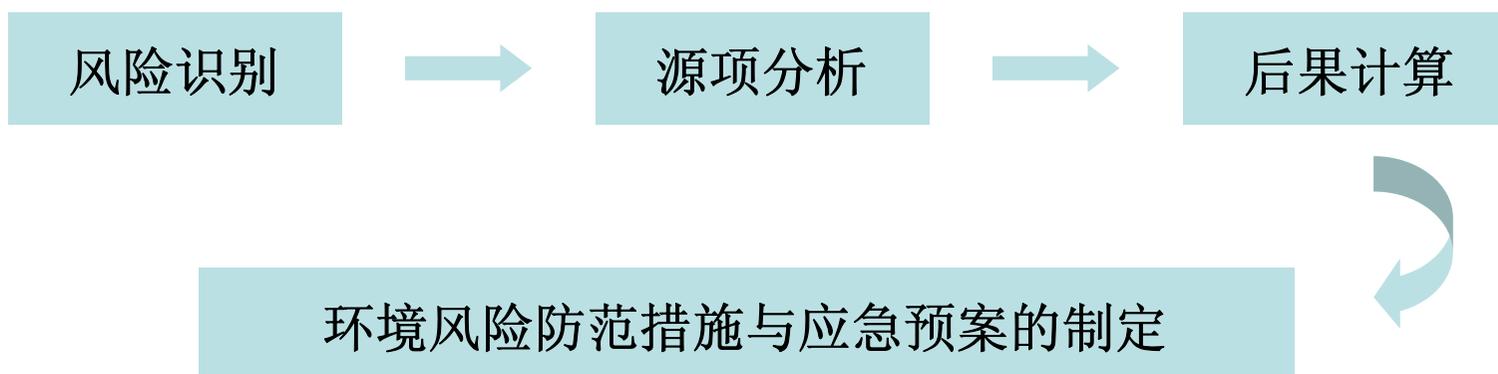
**cags**

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## 2 环境风险评价

- 按照《中华人民共和国环境影响评价法》等法律法规的要求，对于CO<sub>2</sub>-EOR项目应当开展环境风险评价。



**cags**

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## 风险识别

### 危险物质分析

物质风险分析主要包括对气井成分、制冷剂的选择及生产过程中涉及的原辅材料和产品等进行识别。

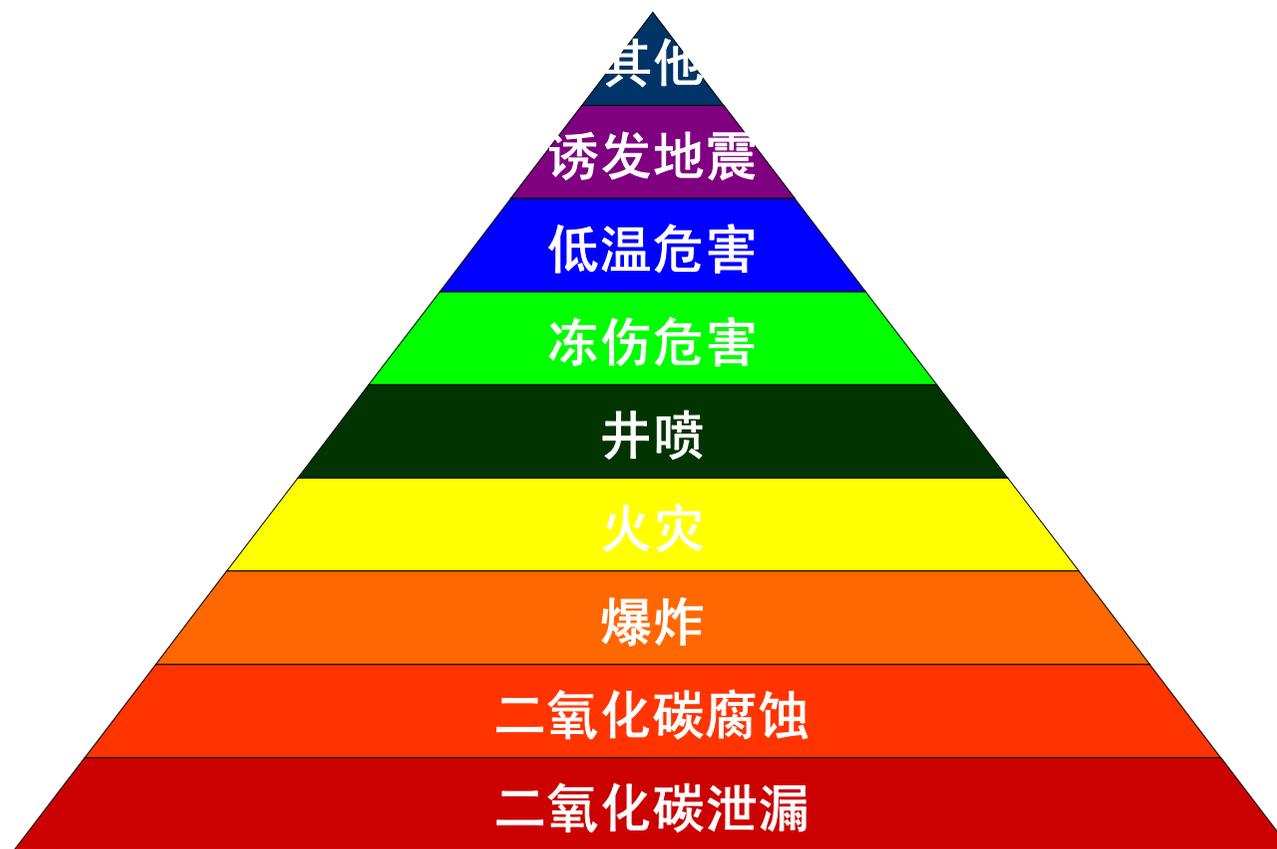
所涉及的主要危险物质包括二氧化碳、液氨、原油等，列表给出各种危险物质的特性及火灾、爆炸危险类别。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



# 生产过程中潜在的危险性识别



**cags**

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>

中澳二氧化碳地质封存



## 源项分析

封存二氧化碳泄漏、液氨泄漏

- 贮氨器为重大危险源
- 二氧化碳的酸性作用对地下水、土壤和植被的影响

根据《饮用水水质标准》，地下水的PH值应在6-9之间；

根据《土壤环境质量标准》，土壤PH值6.5-7.5之间；

- 二氧化碳的窒息作用对人体健康的影响

IDLH浓度 ppm	1ppm换算mg/m <sup>3</sup> 系数 (20℃)	IDLH浓度mg/m <sup>3</sup> (20℃)
50000	1.83	92000



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



原油、氨、二氧化碳泄漏速率，原油和氨泄漏后蒸发速率，以及原油燃烧次生二氧化硫和一氧化碳数量的计算，可采用《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169）推荐的方法。

原油和二氧化碳管道运输事故按管道截面100%断裂估算泄漏量。应考虑截断阀启动前、后的泄漏量，截断阀启动前，泄漏量按实际工况确定；截断阀启动后，泄漏量以管道泄压至与环境压力平衡所需要时间计。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## 后果计算

大气中的扩散	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 有毒有害物质在大气中的扩散，采用多烟团模式。对于重质气体、复杂地形条件下污染物的扩散，应进行相应的修正。</li><li>2. 计算参数的选取。<ol style="list-style-type: none"><li>a) 不利气象条件的选取；</li><li>b) 混合层参数、地形参数、污染物衰减沉降等参数根据具体情况选取；</li><li>c) 事故泄漏释放时间不超过30分钟，时间步长不超过5分钟，网格间距一般不大于250米。</li></ol></li><li>3. 预测结果表述<ol style="list-style-type: none"><li>a) 有毒有害物质的最大浓度、出现时间和浓度分布图；</li><li>b) 达到和超过LC50及IDLH值的包络线范围，说明该范围内的环境保护目标分布情况。</li></ol></li></ol>
地下水中的扩散	<p>采用HJ610推荐的模式。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>a) 给出有毒有害物质在关心点处浓度随时间变化过程，给出影响范围内特征时段的浓度空间分布；</li><li>b) 对于开敞水域，应分析有毒有害物质在该水域的输移路径。</li></ol>



## 风险防范措施的制定 应急预案的编制原则

项目选址的合理性和可行性:避开饮用水源保护区和自然保护区等敏感区域;

明确环境风险防范体系,分析主要措施的可行性,重点给出防止事故危险物质进入环境及进入环境后的控制、消解、监测等措施;给出风险应急响应程序、环境风险防范区内人员的应急疏散方式、路线及安置要求等;提出优化调整环境风险防范措施和应急预案的建议。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



### (三) 安全评价

- 《安全评价通则》、《安全预评价导则》、《安全验收评价导则》、《安全现状评价导则》、《陆上石油天然气开采业安全评价导则》。

危险、有害因素识别与分析

评价方法

提出安全对策措施及建议



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## 1 危险、有害因素识别与分析

- 识别和分析危险、有害因素，确定其存在的部位、方式，以及发生作用的途径、变化规律。CCS-EOR项目危险和有害因素包括：
  - (1) 二氧化碳泄漏对人员造成冻伤和窒息的伤害；
  - (2) 氨泄漏造成人员伤害及可能引起火灾爆炸；
  - (3) 生产过程中的危险有害因素，包括二氧化碳注入系统可能的压力失控或气窜，油气集输系统、压力容器的危险性，二氧化碳对设备的腐蚀性危害；
  - (4) 地质封存安全性因素，包括盖层、地层断裂通道、地质灾害等。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



## 2 评价方法

- 预评价单元的划分一般以系统的生产工艺、工艺装置、物料特点、危险和有害因素的类别与分布等结合起来进行。

编号	预评价单元名称	评价方法选用
P1	站址选择和总平面布置	检查表
P2	二氧化碳注入系统	危险度、事故树、PHA
P3	油气集输系统	危险度、PHA、道化学（DOW）
P4	公用工程	事故树



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



### 3 提出安全对策措施及建议

- 依据危险、有害因素辨识，以及定性、定量评价结果，提出消除或减弱危险、危害的技术和管理对策措施。
- 应针对上述各类安全事故、事故发生的原因、事故的危险程度和破坏程度以及事故发生时的状态，制订出相应的《二氧化碳泄漏事故应急预案》、《二氧化碳井喷事故应急预案》、《二氧化碳中毒窒息事故应急预案》、《氨泄漏事故应急预案》、《气窜事故应急预案》《低温脆断事故应急预案》《压力管道爆裂事故应急预案》《储罐泄漏爆裂事故应急预案》、《人员冻伤事故应急预案》等应急预案。



China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存



敬请批评指导

谢谢

cags

China Australia Geological Storage of CO<sub>2</sub>  
中澳二氧化碳地质封存

