

ICS XX. XXX  
Z XX

# 团 体 标 准

T/CSES XXXX—2020  
代替 T/CSES XXXX—201X

---

## 二氧化碳地质利用与封存监测范围确定 技术指南

Technical guidelines for CO<sub>2</sub> geological utilization and  
storage monitoring area determination

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

---

中国环境科学学会 发布

前 言.....	III
1. 适用范围.....	1
2. 规范性引用文件.....	1
3. 术语和定义.....	1
3.1 二氧化碳地质利用与封存 CO <sub>2</sub> geological utilization and storage (CGUS).....	2
3.2 封存体 Storage complex.....	2
3.3 压力前缘 Pressure front.....	2
3.4 二氧化碳羽流 CO <sub>2</sub> plume.....	2
3.5 审查区域 Area of Review, AOR.....	2
3.6 V类地下水 Class V groundwater.....	2
3.7 商业项目 Commercial projects.....	2
3.8 二氧化碳注入 CO <sub>2</sub> injection.....	2
3.9 注入前 Pre-injection.....	2
3.10 场地关闭 Site closure.....	2
4. 监测范围确定一般技术流程.....	2
5. 基本原则.....	3
6. 数据准备.....	4
7. 二氧化碳地质利用与封存监测范围边界确定方法.....	4
7.1 数值模拟法.....	4
7.2 简单函数法.....	5
7.3 案例类比法.....	7
7.4 实验验证.....	7
8. 不同监测要素的范围确定.....	7
9. 监测时间范围确定.....	8
10 范围更新.....	8
11 成果提交.....	8
参考文献.....	9
附 1.....	10

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，规范和指导二氧化碳地质利用与封存，防止生态环境破坏，制定本标准。

本标准规定了二氧化碳地质利用与封存项目环境与安全影响监测范围的一般性原则、工作程序、内容、方法和技术要求。

本标准为首次发布，将根据技术发展情况适时修订。

本文件由中国科学院武汉岩土力学研究所提出。

本标准主要起草单位：中国科学院武汉岩土力学研究所、生态环境部环境规划院、生态环境部环境工程评估中心。

本标准主要起草人：李琦，蔡博峰，陈帆，侯赟璐，李霞颖，刘桂臻，谭永胜，庞凌云，李小春，徐亮，申海萌，方志明，许晓艺，徐成龙。

本标准由中国环境科学学会归口。

本标准由中国环境科学学会解释。



## 二氧化碳地质利用与封存监测范围确定技术指南

### 1. 适用范围

本标准规定了二氧化碳地质利用与封存（CGUS）项目环境与安全影响监测范围的一般性原则、工作程序、内容、方法及技术。本标准适用于二氧化碳咸水层封存和二氧化碳强化驱油(EOR)商业项目中环境与安全影响监测范围的确定。

### 2. 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款，凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准；凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

《二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）》

GB 3095	环境空气质量标准（第1号修改单）
GB/T 7713.3	科技报告编写规则
GB 15618-2018	土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)
GB 17741	工程场地地震安全性评价
GB/T 33583	陆上石油地震勘探资料采集技术规程
GB/T 14848-2017	地下水质量标准
HJ 2.2	环境影响评价技术导则 大气环境
HJ 91.2-2022	地表水环境质量监测技术规范
HJ/T 166	土壤环境监测技术规范
HJ 610	环境影响评价技术导则 地下水环境
ISO 31000	风险管理指南（Risk management - Guidelines）
T/CSES 41-2021	二氧化碳捕集利用与封存术语
T/CSES 71-2022	二氧化碳地质利用与封存项目泄漏风险评估规范
ISO 27914:2017	二氧化碳的捕获、运输和地质封存 - 地质封存（Carbon dioxide capture, transportation and geological storage - Geological storage）

ISO/TR 27923:2022 二氧化碳的捕获、运输和地质封存 - 注入作业、基础设施和监测（Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Injection operations, infrastructure and monitoring）

二氧化碳地质封存地下注入控制六类井项目审查区评估和纠正措施指南（Geologic Sequestration of Carbon Dioxide Underground Injection Control (UIC) Program Class VI Well Area of Review Evaluation and Corrective Action Guidance）

### 3. 术语和定义

## T/CSES XXX—202X

下列术语和定义适用于本标准。

T/CSES 41—2021 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 T/CSES 41—2021 中的某些术语和定义。

### 3.1 二氧化碳地质利用与封存 CO<sub>2</sub> geological utilization and storage (CGUS)

将二氧化碳注入地层，利用其驱替、置换、传热或化学反应等作用生产具有商业价值的产品，同时实现其与大气长期隔绝的工业过程。

### 3.2 封存体 Storage complex

二氧化碳地质封存场地及周边可能对整体封存的完整性和安全性产生影响的二次封闭构造。

### 3.3 压力前缘 Pressure front

二氧化碳注入地下储层造成的压力上升区域。

### 3.4 二氧化碳羽流 CO<sub>2</sub> plume

二氧化碳以气、液或超临界的自由相形式在地质构造中的分布。

### 3.5 审查区域 Area of Review, AOR

为评估 CGUS 项目或其一部分对生命和人类健康、环境、其他资源的竞争性开发或基础设施的影响程度而指定的地理区域。审查区域的划定界定了陆面或海床和水面的水平外边界以及纵向地下深度，将根据监管机构的要求在这些范围内进行评估。

### 3.6 V类地下水 Class V groundwater

地下水化学组分含量高，不宜作生活饮用水，其他用水可根据使用目的选用，该类水的溶解性总固体 > 2 000 mg/L。

[来源：GB/T 14848-2017, 4.1]

### 3.7 商业项目 Commercial projects

一般项目设计寿命与捕集二氧化碳的主体设施相似，以获得商业回报为目的并满足监管要求。

### 3.8 二氧化碳注入 CO<sub>2</sub> injection

商业项目中将二氧化碳注入地下的长期过程。

### 3.9 注入前 Pre-injection

在二氧化碳开始持续注入之前，与选址、特征描述、设计和开发阶段相对应。

### 3.10 场地关闭 Site closure

停止注入后，作业场所（如注入设施）证明符合场地关闭验收标准，从而可将长期责任和义务移交给指定机构。如果责任和义务没有转移，该项目将不会进入关闭后期，并将保持在注入后和关闭期，直到责任转移。

## 4. 监测范围确定一般技术流程

二氧化碳地质利用与封存的监测范围确定技术流程主要包括五个步骤（图 1），实施过程中可按照实际情况进行调整和完善。

- （1）数据准备。收集工区及其周边区域相关地理、地质、水文、钻探等资料。
- （2）根据项目具体情况选择确定监测空间范围方法。监测范围确定方法可根据资料丰富度，选择合适的方法，必要时可进行交叉验证。
- （3）确定监测要素范围。依据有关监测技术方法和标准结合监测空间范围确定。
- （4）确定监测时间范围。根据项目阶段（注入前、注入中、场地关闭及关闭）确定监测时间范围。
- （5）编写监测范围确定报告并提交成果。

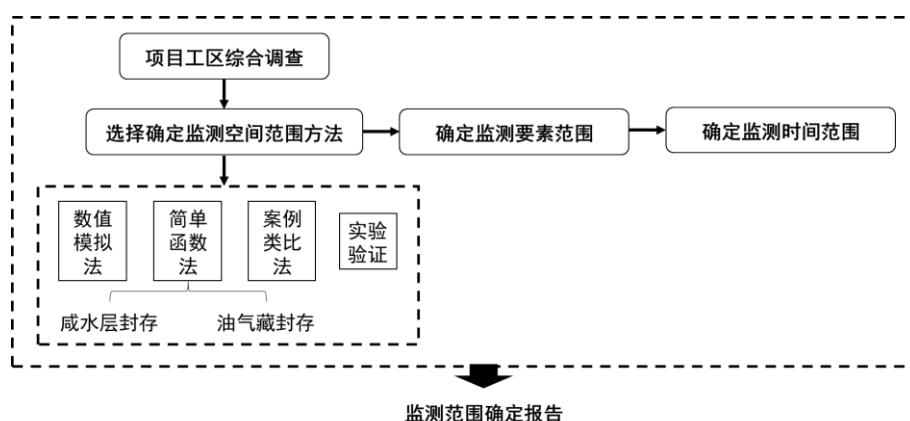


图 1 技术流程图

## 5. 基本原则

CO<sub>2</sub> 地质利用与封存的监测时间范围应包括注入前、注入中、场地关闭及关闭后。监测时间需要考虑到所使用的方法和技术，以及被采样介质的性质和测量的类型。依据有关监测技术方法和标准（HJ 2.2、HJ 610、HJ/T 166），确定监测频率。

监测的空间范围通常包括因二氧化碳封存可能产生影响的区域，即审查区域。其主要确定原则为：

- （1）监测范围应该通过二氧化碳在地下的运移行为来确定；
- （2）监测范围应该覆盖海底和地下的所有注入场所、相关工业设备、考虑周边的井、断裂等可能通道的存在（图 2）。

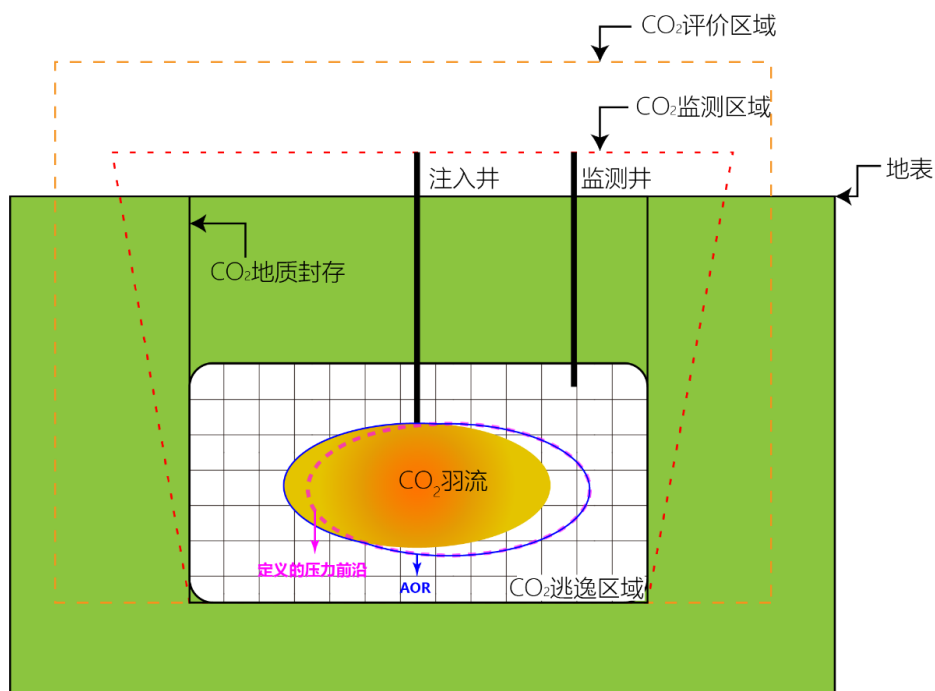


图 2 监测与环境影响评估范围示意图

## 6. 数据准备

监测范围确定工作正式开展前，应先收集工区及其周边区域如下资料：

- a) 地形、河流、湖泊等自然地理资料；
- b) 居民点、道路、管线、水利设施等人文地理资料；
- c) 发生时间、频次、深度等地震活动资料；
- d) 地下水类型、补、径、排特征等水文地质资料；
- e) 井位、井深、测井、录井等钻探资料；
- f) 构造、地层、岩性、火成岩分布等区域地质资料；
- g) 储层孔隙度、渗透率等资料；
- h) 注入量、注入速率等工程资料；
- i) 工区布置等资料。

## 7. 二氧化碳地质利用与封存监测范围边界确定方法

监测范围的边界可根据资料丰富度、封存体的地质情况和周围环境，可通过数值模拟法、简单函数法、案例类比法或实验验证法获得。

### 7.1 数值模拟法

数值模拟法是利用数值模拟手段，根据二氧化碳羽流的分布和压力分布（7.1.4），确定封存体边界范围。监测范围的边界应覆盖潜在二氧化碳羽流面积/垂向分布信息。



7.1.1 二氧化碳压力分布由二氧化碳压力前缘限制。压力前缘是指由二氧化碳注入地下造成的压力上升区域。二氧化碳压力前缘的压力值 ( $P_{i,f}$ ) 可由最低可探测压力 (7.1.2) 或压力差 (7.1.3) 两种方法确定。

7.1.2 最低可探测压力, 约为 0.02MPa。

7.1.3 压力差方法, 导致注入流体或地层流体运移至 V 类地下水的压力差。

$$P_{i,f} = P_u + \rho_i g(Z_u - Z_i) \quad (\text{式 1})$$

$P_u$  为 V 类地下水含水层的初始压力;  $\rho_i$  是注入层流体密度;  $g$  为重力加速度;  $Z_u$  为 V 类地下饮用水源含水层的代表性高程 (representative elevation);  $Z_i$  为注入层的代表性高程。

7.1.4 封存体边界是二氧化碳羽流与压力前缘的外轮廓 (图 3)。

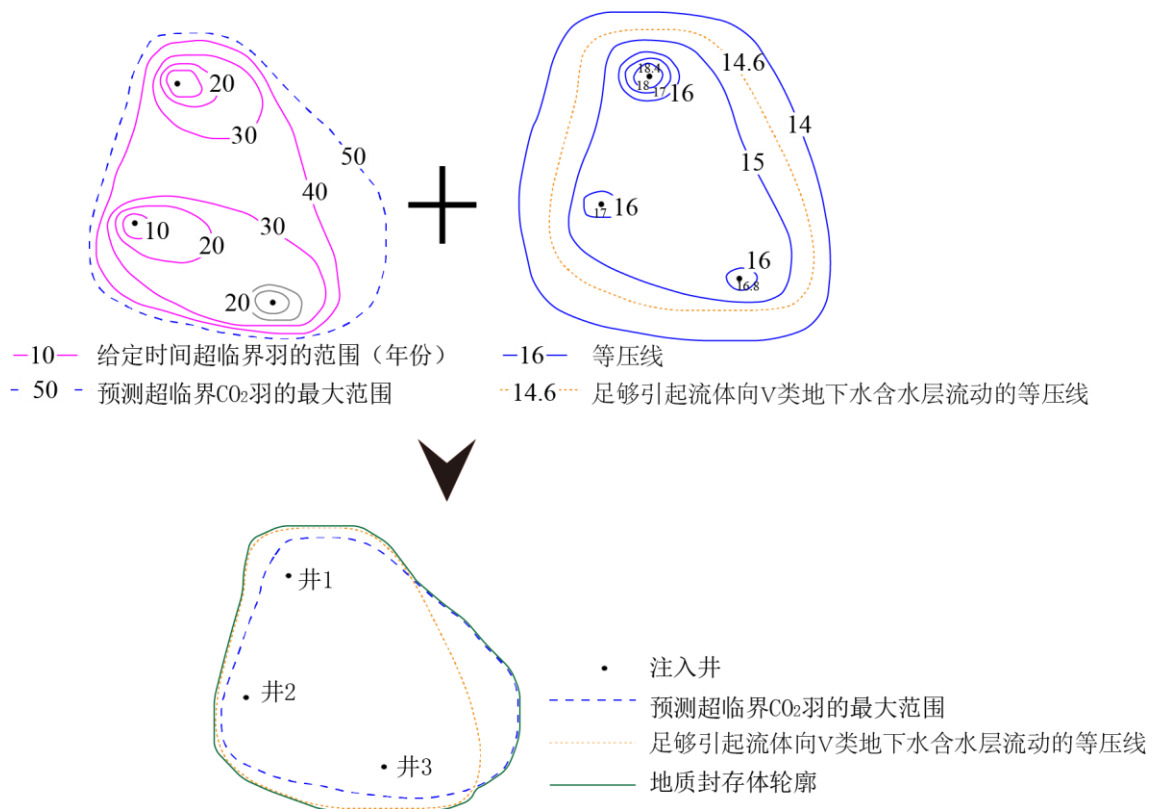


图 3 利用数值模拟法确定评估范围示意案例

7.1.5 数值模型应包含多相流, 反应运移与岩土力学过程, 可根据需要酌情考虑。

7.1.6 模型应进行敏感性分析以及模型校准。

7.1.7 监测的平面范围可在 7.1.4 确定的边界适当外扩一定距离, 外扩距离可根据项目规模、场地条件等确定, 并说明理由, 无法确定时, 可外扩 800 米。

## 7.2 简单函数法

根据有效封存容量计算公式推导二氧化碳羽流半径在储层的分布半径。

## 7.2.1 咸水层封存二氧化碳羽流分布半径

(1) 咸水层单井注入羽流分布面积：

$$A_p = \frac{G_{CO_2}}{h_g \cdot \varphi_{tot} \cdot \rho_{CO_2} \cdot E_{saline}} \quad (\text{式 } 2)$$

(2) 咸水层封存二氧化碳羽流分布半径：

$$r = \sqrt{\frac{G_{CO_2}}{h_g \cdot \varphi_{tot} \cdot \rho_{CO_2} \cdot E_{saline} \cdot \pi}} \quad (\text{式 } 3)$$

$G_{CO_2}$  为单井注入量； $h_g$  为咸水层的厚度； $\varphi_{tot}$  为咸水层的平均孔隙率； $\rho_{CO_2}$  为二氧化碳密度； $E_{saline}$  为咸水层内二氧化碳置换系数。

7.2.1.1  $E_{saline}$  取值可根据实验或模拟手段获得，或者采用以下推荐值：表 1 咸水层置换系数  $E_{saline}$  推荐值

岩性	P10	P50	P90
碎屑岩	0.074	0.14	0.24
白云岩	0.16	0.21	0.26
石灰岩	0.1	0.15	0.21
砂岩	0.15		

7.2.1.2 单井注入评估半径 R 可根据下式计算：

$$R = nr \quad (\text{式 } 3)$$

其中，n 为考虑项目规模和场地条件的系数， $n > 1$ 。

## 7.2.2 二氧化碳强化驱油羽流分布半径

$$r = \sqrt{\frac{G_{CO_2}}{h_n \cdot \varphi_e \cdot (1 - S_w) B \cdot \rho_{CO_2} \cdot E_{oil/gas} \pi}} \quad (\text{式 } 4)$$

$G_{CO_2}$  为单井二氧化碳封存容量； $h_n$  为油气柱净高度； $\varphi_e$  为净厚度的平均有效孔隙度； $S_w$  为平均初始水饱和度；B 为流体地层体积系数，将标准油气体积转换为地下体积（在储层压力和温度条件下）； $\rho_{CO_2}$  为二氧化碳标准密度； $E_{oil/gas}$  为二氧化碳地质储存有效系数。

7.2.2.1  $E_{oil/gas}$  可以通过当地工程经验或者模拟获得，对于油藏来说，二氧化碳强化驱油采收率系数和二氧化碳净利用率等于储存效率系数。

7.2.2.2 对于井群注入项目（二氧化碳驱油封存项目），可通过单井注入量计算单井的范围，评估范围应该覆盖所有井的子范围。

- (1) 井群内井间距大于单井评估半径的 2 倍时，可以分别对每口井进行评估范围划定；  
 (2) 井群内井间距小于等于评估半径的 2 倍时，则以外围井评估半径的外接圆或外接矩形为边界（图 4），可以建议外接圆优先。

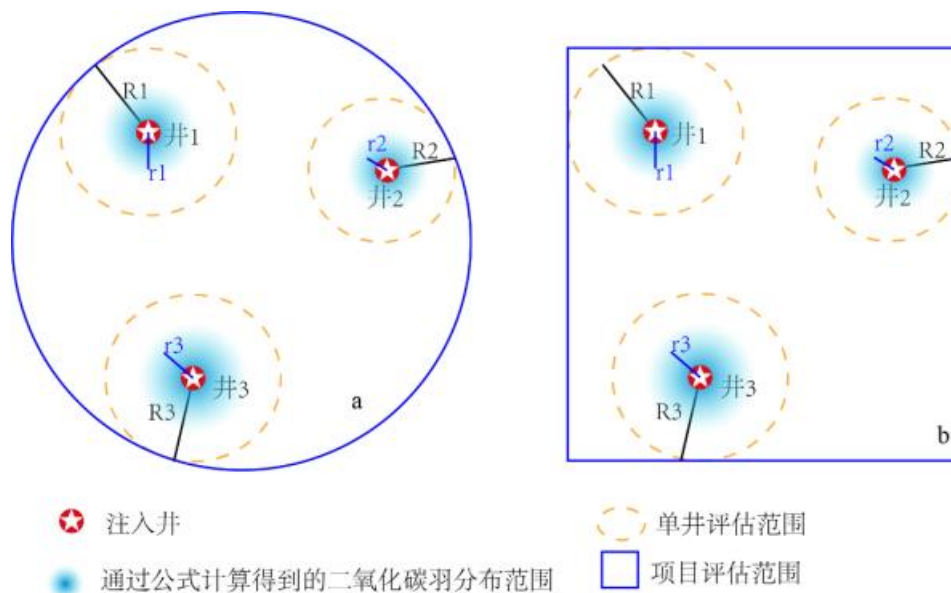


图 4 井群监测范围

### 7.3 案例类比法

案例类比法是综合当前已有 CGUS 项目的监测、模拟成果，参考已有 CGUS 项目的环境影响评估范围来确定。建议通过注入量、储层类型等要素进行对比。在项目的初期阶段，相关场地资料较为缺乏的时候，可以采用该方法进行范围的初步划定。

### 7.4 实验验证

7.1，7.2 中涉及的参数可通过室内实验和场地试验进行确定。建议根据实验结果对数值模拟法（7.1）进行验证和校正，使监测范围评估更准确。

## 8. 不同监测要素的范围确定

8.1 二氧化碳地质利用与封存过程中，环境监测范围主要包括土壤、地表水、浅层地下水、环境空气等环境质量变化。二氧化碳注入期间及注入后，受注入压力的驱动在注入井附近向四周运移扩散，随着时间和运移距离的推移，二氧化碳的迁移主要受深部地层结构和状况影响。综合考虑以上因素，将监测点区域分为以注入井为中心的注入中心区和注入外延区，中心区和外延区的范围主要依据二氧化碳地质利用与封存监测范围边界确定方法（7）确定。

8.2 土壤监测范围根据 GB 15618《土壤环境质量标准》和 HJ/T 166《土壤环境监测技术规范》与二氧化碳地质利用与封存监测范围边界确定方法（7）确定。外延区除考虑 8.1 原则以外，还应考虑周边自然保护区、二氧化碳敏感植被分布等。建议特别保护区的外延区距离应大于 3000m。

- (1) 地表水监测范围根据 HJ 91.2-2022《地表水环境质量监测技术规范》与二氧化碳地质利用与封存监测范围边界确定方法（7）确定。监测地表水重点污染区及可能产生污染的地区。

(2) 浅层地下水。监测范围根据 HJ 610《环境影响评价技术导则 地下水环境》与二氧化碳地质利用与封存监测范围边界确定方法(7)确定。建议地下水监测贯穿在整个项目过程中进行。监测地下水重点污染区及可能产生污染的地区。

8.3 环境空气。监测范围根据 HJ 2.2《环境影响评价技术导则 大气环境》与二氧化碳地质利用与封存监测范围边界确定方法(7)确定。地上空气监测范围建议距地表 2m 高度范围内大气二氧化碳浓度或距离地表 5 m 和 10 m 的大气二氧化碳通量监测。

## 9. 监测时间范围确定

二氧化碳地质利用与封存的监测时间范围应包括注入前、注入中、场地关闭及关闭后共 4 个阶段。注入前的监测确定了封存系统的二氧化碳注入前条件，以及与封存系统各关键参数测量相关的固有不确定性。

不同阶段监测时间范围见表 2。

表 2 推荐监测阶段涉及的监测时间

监测阶段	注入前	注入中	场地关闭	关闭后
监测时间范围	1-5 年	5-50 年	-	20-50 年

注 1：场地关闭时需要监测并将监测结果与预测结果对照确认预测模型无误，判定场址的安全性后，场地可关闭与移交。

注 2：场地关闭后，除特殊情况无需特别监测，可维持基本安全监测。

注 3：商业项目开始前的试注不属于注入阶段。

## 10 范围更新

监测范围应该随着资料的补充，更新频率依据 CGUS 注入方案和项目场地实施情况确定。

## 11 成果提交

完成数据表格填写(附 1)；

项目成果报告，格式要求执行 GB/T 7713.3 的规定；

图件编制应符合 SY/T 6055 的要求。

## 参考文献

- [1] 《二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）》
- [2] GB 3095 环境空气质量标准（第1号修改单）
- [3] GB/T 7713.3 科技报告编写规则
- [4] GB 15618-2018 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)
- [5] GB 17741 工程场地地震安全性评价
- [6] GB/T 33583 陆上石油地震勘探资料采集技术规程
- [7] GB/T 14848-2017 地下水质量标准
- [8] HJ 2.2 环境影响评价技术导则 大气环境
- [9] HJ 91.2-2022 地表水环境质量监测技术规范
- [10] HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- [11] HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境
- [12] ISO 31000 风险管理指南（Risk management - Guidelines）
- [13] T/CSES 41—2021 二氧化碳捕集利用与封存术语
- [14] T/CSES 71-2022 二氧化碳地质利用与封存项目泄漏风险评价规范
- [15] ISO 27914:2017 二氧化碳的捕获、运输和地质封存-地质封存（Carbon dioxide capture, transportation and geological storage - Geological storage）
- [16] ISO/TR 27923:2022 二氧化碳的捕获、运输和地质封存 - 注入作业、基础设施和监测（Carbon dioxide capture, transportation and geological storage - Injection operations, infrastructure and monitoring）
- [17] 二氧化碳地质封存地下注入控制六类井项目审查区评估和纠正措施指南（Geologic Sequestration of Carbon Dioxide Underground Injection Control (UIC) Program Class VI Well Area of Review Evaluation and Corrective Action Guidance

## 附 1

## 二氧化碳地质利用与封存监测范围确定

项目名称			
项目编号			
项目负责单位			
项目负责人		联系电话	
电子邮箱			
项目监测范围评估时间			
监测范围边界			
监测范围边界确定方法			
CO <sub>2</sub> 羽流分布半径			
环境监测范围			
土壤		地表水	
浅层地下水		环境空气	
监测时间范围			
项目执行阶段	<input type="checkbox"/> 注入前 <input type="checkbox"/> 注入中 <input type="checkbox"/> 场地关闭后		
监测时间范围			