《二氧化碳地质封存监测技术指南》

编制说明

目 录

[一、工作简况 4](#_Toc147994205)

[1. 任务来源 4](#_Toc147994206)

[2. 协作单位 4](#_Toc147994207)

[3. 主要工作过程 5](#_Toc147994208)

[4. 主要起草人 6](#_Toc147994209)

[二、标准编制原则和依据 6](#_Toc147994210)

[1. 编制原则 6](#_Toc147994211)

[2. 编制依据 7](#_Toc147994212)

[三、主要内容及确定依据 7](#_Toc147994213)

[1. 范围 7](#_Toc147994214)

[2. 规范性引用文件 8](#_Toc147994215)

[3. 术语定义 8](#_Toc147994216)

[4. 监测工作总则 10](#_Toc147994217)

[5. 监测工作流程与要求 11](#_Toc147994218)

[6. 报告编写与评审 13](#_Toc147994219)

[四、采用国际标准的程度及水平说明 13](#_Toc147994220)

[五、重大分歧意见的处理经过和依据 13](#_Toc147994221)

[六、标准要求和措施建议 14](#_Toc147994222)

[七、其他说明的事项 14](#_Toc147994223)

**《二氧化碳地质封存监测技术指南》（征求意见稿）**

**编制说明**

# 一、工作简况

## 1. 任务来源

二氧化碳捕集、利用与封存（carbon capture, utilization and storages，CCUS）是指将二氧化碳从工业过程、能源利用或大气中分离出来，直接加以利用或注入地层以实现二氧化碳永久减排的过程。在我国能源结构以煤为主的现实情况下，二氧化碳地质利用与封存不仅是一项可规模化减排温室气体潜力的技术，同时，利用地质条件生产或强化能源、资源开采，还可保障我国能源安全和推动经济协同发展，对我国中长期应对气候变化、推进低碳发展具有重要意义。

二氧化碳封存项目的首要前提为确保二氧化碳泄漏概率最小化。在向地层注入二氧化碳之后，二氧化碳会因为浓度梯度等因素向外运移和扩散，同时增加扩散区域的地层压力从而改变储层环境。这种储层环境的改变可能会导致稳定地层出现不稳定的变化，如地层局部压力增加或出现复杂的矿化作用，从而致使部分二氧化碳沿不稳定通道运移最终导致泄漏的发生。因此，为确保注入地层的二氧化碳按预期被长期密封在海底深部地质空间、不发生地层变形和泄漏、以及不对环境和人类生存空间构成威胁，需要对注入海底地层二氧化碳的封存过程和运移空间进行持续性监测，以及时检测到可能的异常，从而启动封存纠正或补救措施。

目前，预期可以应用于CCUS项目的监测技术众多，针对CCUS工程项目的监测技术，缺乏有效的行业规范进行专业指导，因此针对CCUS工程的特点，中国科学院武汉岩土力学研究所，中国地质调查局水文地质环境地质调查中心，国家能源集团国源电力有限公司等单位联合制定二氧化碳地质封存监测的技术规范，用以规范二氧化碳地质封存监测所涉及的各个方面问题，切实解决二氧化碳地质封存监测技术的应用问题，推动行业健康有序发展。

## 2. 协作单位

内蒙古蒙东能源有限公司，西北大学，生态环境部环境规划院，北京师范大学，等。

## 3. 主要工作过程

本次《二氧化碳地质封存监测技术指南》（征求意见稿）编制工作，由中国科学院武汉岩土力学研究所，中国地质调查局水文地质环境地质调查中心，国家能源集团国源电力有限公司，内蒙古蒙东能源有限公司，西北大学，生态环境部环境规划院，北京师范大学等单位共同承担。主要分为以下四个阶段：

（1）调研准备阶段

2021.8~2021.11，由中国科学院武汉岩土力学研究所对CCUS的发展现状、用户需求、监测技术清单、相关标准等进行调研，明确项目任务。

2021.12~2022.1，中国科学院武汉岩土力学研究所向中国煤炭学会申请标准制订立项，经CCUS领域内专家函审后同意立项。中国科学院武汉岩土力学研究所，中国地质调查局水文地质环境地质调查中心，国家能源集团国源电力有限公司，内蒙古蒙东能源有限公司，西北大学，生态环境部环境规划院，北京师范大学等单位，成立《二氧化碳地质封存监测技术标准》编制工作组成立标准工作组，落实人员组成。

（2）编制实施阶段

标准在编制过程中开展的主要工作内容：

2022.6~2022.8，二氧化碳封存监测相关法规、政策和标准调研与收集（包括国家有关政策法规、现有国家标准、行业标准和地方标准等）。

2022.9~2022.12，形成标准草案。

2023.1~2023.5，标准起草组多次组织召开专家讨论会，讨论标准草案，根据专家意见对讨论稿作了多次修改。

2023.6~2023.7，标准起草组根据专家讨论会意见，形成《二氧化碳地质封存监测技术指南》征求意见稿。

## 4. 主要起草人

本标准主要起草人：李琦、李霞颖、李小春、刁玉杰、李永恩、宋金海、许晓艺、蔡博峰、谭永胜、温建忠、刘桂臻、方志明、侯赟璐、马鑫、刘兰翠、欧阳涛、胡海翔，张成龙，等。

# 二、标准编制原则和依据

## 1. 编制原则

本标准规定了陆上二氧化碳地质封存监测流程、监测方法、监测指标、阶段监测方案、数据处理、资料解释、报告编写、成果提交等方面的技术要求。标准的主要内容有范围、规范性引用文件、术语和定义、监测工作总则、监测工作流程与要求以及报告编写与评审。涵盖的二氧化碳地质封存监测内容包括：①监测阶段及目标、监测类别、监测技术以及监测指标；②监测工作一般流程、监测方案设计要求、监测布点原则与要求、阶段监测工作要求、监测资料解释要求以及监测仪器管理要求；③报告编写与评审，包括成果报告编写要求、报告评审以及资料归档。

标准的主要来源依据有：

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价规范》

T/CECS 1024—2022 混凝土快速修复技术规程

GB 3095 环境空气质量标准

GB 17741 工程场地地震安全性评价

HJ 2.2 环境影响评价技术导则 大气环境

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

HJ 75-2017 固定污染源烟气（SO2、NOX、颗粒物）排放连续监测技术规范

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）

ISO 27914《二氧化碳捕集、运输与地质封存-地质封存》

DD 2006 岩矿石物性调查技术规程

SY/T 6276 石油天然气工业健康、安全与环境管理体系

SY/T 7070 微地震井中监测技术规程

SY/T 7372 微地震地面监测技术规程

SY/T 6687 井中-地面电磁法勘探技术规程

SY/T 5819-2010 陆上重力勘探技术规范

ASTM D5314-92(2001) 渗流区土壤气体监测的标准指南

DD2014-11 地面沉降InSAR监测规范

ISO/TR 27912:2016 Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage

ISO/TR 27914:2017 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage - Geological storage.

GB/T 7713.3 科技报告编写规则

本标准中不涉及专利，当上述标准和文件被修订时，使用其最新版本。

## 2. 编制依据

（1）按照GB/T 7713.3 《科技报告编写规则》的要求和规定编写本文件内容。

（2）依据《大气污染防治法》、《大气污染防治法实施细则》及《火电厂大气污染物排放标准》、《安全生产法》、《危险化学品安全管理条例》、《矿产资源法》、《实施细则》、《矿产资源开采登记管理办法》、《矿产资源勘察区块登记管理办法》、《探矿权采矿权转让管理办法》等相关法律、法规、标准编写本文件内容。

（3）本文件的制定要与现场生产实际相结合，充分体现其科学性、先进性和合理性，同时应考虑到现阶段我国二氧化碳地质封存项目的技术水平及发展前景。

（4）本文件选取的量化指标具有可操作性，且易于获取，保证标准的可操作性。

# 三、主要内容及确定依据

## 1. 范围

本标准规定了陆上二氧化碳地质封存监测流程、监测方法、监测指标、阶段监测方案、数据处理、资料解释、报告编写、成果提交等方面的技术要求。

本标准适用于陆上二氧化碳地质封存的监测。

## 2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

## 3. 术语定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 二氧化碳地质封存 CO2 geological storage

通过工程技术手段将从大气、工业或能源相关排放源分离出来的二氧化碳直接注入至地质储层中，实现其与大气长期隔绝的过程。

3.2 储层 reservoir

能够存储和渗透注入二氧化碳的地层。

3.3 盖层 caprock

是覆盖于储层上方对CO2起封闭作用的低渗透或不渗透地层。

3.4 井筒 well

钻孔中由套管、水泥环、井眼构成的筒状结构，是沟通地面和储层的通道，可用于流体采出、注入或监测。

（来源：T/CSES 1024—2022, 3.2）

3.5 环空 tubing-casing annular

悬于井内的套管柱四周的空间，是二氧化碳和咸水通过井筒泄漏的重要通道。

3.6 套管 casing

放置在钻孔内防止周围岩石坍塌到孔内的管道材料。

（来源：ISO TR/27914, 3.6）

3.7 水泥环 cement ring

指水泥浆在环形空间中形成的水泥石，作用是裹住套管箍成环形，固井作业后套管和地层通过水泥环（即水泥石）胶结在一起。

（来源：ISO TR/27914, 3.8）

3.8 注入井 injection well

用于将二氧化碳注入项目储层的井。

3.9 监测井 monitoring well

为观察、研究和测量注入流体在地层中的行为或性质而设的井。

3.10 废弃井 abandoned well

是指因无法继续利用或无利用价值，并按程序履行了报废审批手续或批准核销为永久性终止操作的井。

3.11 泄漏 leakage

注入二氧化碳因上覆盖层失效、井筒完整性失效、断层封闭性失效等原因出现的二氧化碳、咸水、有机物等运移到盖层上方地层、浅层地下水、土壤、大气中的现象。

（来源：T/CSES 1024—2022, 3.2）

3.12 诱发地震 induced seismicity

由于大规模超临界二氧化碳注入封存场地诱发地层内部断层活化和破坏性地震风险。

3.13 风险 risk

指泄漏发生的概率和泄漏造成的环境影响两者综合作用对二氧化碳地质封存项目安全性的影响。

3.14 地表变形 earth surface deformation

注入影响范围内因二氧化碳注入而引起的地表标高变化。

3.15 断层fault

岩体受力作用断裂后，两侧岩块沿断裂面发生显著位移的断裂构造称为断层。

3.16 二氧化碳通量 CO2 flux

单位时间内流经单位面积的二氧化碳的量。

3.17 二氧化碳羽流 CO2 Plume

注入储层中的二氧化碳形成的羽状流体团。

3.18 采样 sampling

为验证、监测二氧化碳地质封存项目情况，在特定区域采集具有代表性样品的过程。

（来源：ISO 27915:2017, 3.32）

3.19 封存监测 monitoring

连续或反复监测、监督、测量或确定二氧化碳地质封存系统状态，以识别与预期性能水平的差异。

3.20 基线 baseline

对项目状态或性能进行监控或测量的比较基准。

3.21 环境本底environmental background

自然环境在未受污染的情况下，各种环境要素中化学元素或化学物质的基线含量。

3.22 示踪剂 tracer

为观察、研究和测量注入流体在地层中的行为或性质而加入的一种标记物。

## 4. 监测工作总则

4.1 概述

二氧化碳地质封存监测依据项目生命周期的不同时期分阶段计划和实施活动，每个阶段都有不同的监测目标，对应一种或多种合适的监测技术。监测计划应灵活调整并适应储存或注入条件的变化以及项目的不同阶段对应的监测目标，并匹配合适的监测技术。

4.2 监测阶段及目标

二氧化碳地质封存项目的全生命周期包括注入前（Ⅰ）的环境本底监测、注入中（Ⅱ）的运营期监测、注入后（Ⅲ）和闭场（Ⅳ）4个不同阶段。

（1）注入前（Ⅰ）阶段进行本底监测，包括场地表征与评估、环境风险评价、开发地质预测模型以及建立基线数据，持续时间约为2-5年。

（2）注入中（Ⅱ）阶段监测二氧化碳羽流迁移情况、确保封存场地的安全稳定性以及验证预测模型的准确性，持续时间约为5-20年。

（3）注入后（Ⅲ）阶段保留必要监测设备，目标同阶段Ⅱ。

（4）闭场（Ⅳ）阶段一般不继续监测。

4.3 监测类别

根据监测实施的位置，将监测方式类别分为大气监测、近地表监测以及地下监测。

（1）大气监测，是指对地上空间的大气二氧化碳浓度与通量进行监测。

（2）近地表监测，是指植被、土壤、动植物的生态系统监测、浅层地下水监测以及地表形变监测。

（3）地下监测，是指对二氧化碳运移情况监测、二氧化碳注入井周边温度压力监测以及地下水环境监测。

（4）井筒监测，是指对井内套管柱腐蚀破坏情况、环空带压情况以及固井质量监测。

4.4 监测技术

二氧化碳地质封存监测技术包括地球物理监测、地球化学监测、井筒监测、遥感监测、土壤碳通量监测以及地表大气监测技术等方面。

（1）地球物理监测技术，包括时移地震监测、垂直地质剖面地震（VSP）监测、微地震监测、分布式声波传感（DAS）监测、分布式温度传感（DTS）监测、电法/电磁法监测、电阻率层析成像法（ERT）以及时移重力测量等。

（2）地球化学监测技术，包括pH传感器监测、地层水和气体样品保真取样以及化学示踪剂等。

（3）井筒监测技术，包括声波测井、变密度测井、磁脉冲探伤、环空压力监测装置以及声波水泥测井技术等。

（4）遥感监测技术，包括合成孔径雷达干涉测量技术（InSAR）、卫星监测以及光谱遥感等。

（5）土壤碳通量监测技术，包括二氧化碳土壤呼吸测量系统。

（6）地表大气监测技术，包括红外气体分析仪、涡度相关通量监测、大气二氧化碳示踪监测。

4.4 监测指标

（1）大气监测中，关键监测指标有大气二氧化碳浓度、碳氧同位素以及大气二氧化碳通量。

（2）近地表监测中，关键监测指标有土壤pH值，碳氧同位素，地层水pH值、碱度、电导率、矿化度、钙离子、镁离子、氯离子、碳酸氢根离子，土壤、植被、微生物取样丰度及多样性简化学分析，地表倾斜、垂直及水平变化。

（3）地下监测中，关键监测指标有p波和s波传播速度，地震振幅衰减，地层温度、压力、电导率以及电阻率。

（4）井筒监测中，关键监测指标有井壁温度、压力，声波，密度，套管及水泥环完整性，环空压力，流体成分以及水泥环固井质量。

## 5. 监测工作流程与要求

5.1 监测工作一般流程

首先对灌注区进行资料收集，包含各种比例尺、各种方法的地质、地球物理勘查以及钻井资料（包括原始数据采集方法及其测量精度、资料处理解释采用的方法、处理解释中间结果及最终成果图、物性资料等），了解并掌握已有工作程度、存在的问题；然后根据二氧化碳地质封存项目不同阶段的任务目标，以及工区地质特点、地球物理资料情况，确定项目实施的具体技术路线及选用的监测方法技术，明确监测方法技术工作内容、监测指标、工作量，说明预期的工作成果及经费预算等；进而开始注入前、中、后监测工作；最终编制灌注试验监测报告。

5.2 监测方案设计要求

监测方案应专门针对二氧化碳地质封存不同时期而制定，监测方案应当描述：工区位置、范围、场地风险评估；确定监测装置部署位置、参数和检测阀值；设计大气、近地表和地下的监测方案，确定监测方案的假设条件和预期条件；设计各监测阶段、各监测指标和监测位置的监测活动频率、空间分辨率和持续时间；设计各监测阶段数据处理、资料解释的流程、内容，采用的方法，预期成果；设备、组织保障措施、经费预算、施工期限与进度安排、HSE管理等。

5.2 监测布点原则与要求

监测点布设的基本原则是尽量以最少的监测点获取代表性好的监测数据。包括大气监测点布设原则与要求、土壤监测点布设原则与要求、水文环境监测点布设原则与要求、管线监测点布设原则与要求、地表形变监测点布设原则与要求、植被监测点布设原则与要求以及地震监测点布设原则与要求。

5.3 阶段监测工作要求

注入前（Ⅰ）、注入中（Ⅱ）、注入后（Ⅲ）以及闭场（Ⅳ）四个工作阶段对应不同的监测工作要求。

5.4 监测资料解释要求

根据项目任务和工区地质特征、地球物理资料情况，应使用相应的处理方法及软件，对监测数据进行处理，压制或消除干扰、噪声，突出或提取出有关信息，形成易于识别和解译的异常信号。

对监测的数据进行包括如下方面解释：地层边界信息，包括盖层的连续性和厚度、岩性、完整性以及裂缝；废弃井的完整性；综合封存体内的压力分布；高压区的应力分布；储层主密封上方最深层渗透性地层的压力变化，以及储层下方的渗透性地层的压力变化；储层或相邻地层中地层水的流动情况；诱发地震活动或微地震活动；区域内地表变形(隆起、下沉)；大气、近地表和次地表条件的特征和变率；注入二氧化碳过程中储层地球化学变化。

对监测数据解释应遵循以下要求：遵循“点—线—面相结合，从已知推断未知”的原则，对重点泄漏风险区进行现场踏勘验证；根据定性、定量和综合解释推断结果编制综合解释成果剖面、平面图；同时，对解释成果的可靠性进行评估，说明可能存在的问题与不足。可靠性分级为：可靠、较可靠、可供参考和不可靠。

5.5 监测仪器管理要求

监测仪器管理监测仪器管理应规范化。计量器具应按计量法规定，定期送法定计量检定机构检定，检定合格后方可使用;非强制性检定的计量器具，可依法自行检定，或送有授权对社会开展量值传递工作资质的计量检定机构检定，检定合格后方可使用;仪器在使用前必须进行标定，如使用两台或两台以上仪器进行调查，最好所用仪器同时进行标定，以保证仪器量值的一致性；量器具在日常使用过程中，应参照有关计量检定规程定期校验和维护。

5.6 监测项目应急处置要求

监测方案应描述如何对项目正常预期系统性能以外的条件观察做出反应；监测方案应该描述最可能需要的设计变更，以及进行这些变更的风险准备。

## 6. 报告编写与评审

主要给出了《二氧化碳地质封存监测技术指南》报告编写要求，监测人员应根据该要求整理监测结果。

# 四、采用国际标准的程度及水平说明

本标准在监测目标、监测时间、工作准备、工作内容与要求，引用了ISO 27914:2017 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage - Geological storage和ISO/TR 27912:2016 Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage的相关内容。

# 五、重大分歧意见的处理经过和依据

标准编制过程无重大分歧意见。

# 六、标准要求和措施建议

本标准，适用于煤化工、火电厂、钢铁厂等温室气体高排放行业的二氧化碳地质封存相关领域的科研、管理、教学和生产活动。对于规范二氧化碳地质封存监测所涉及的各个方面问题，切实解决二氧化碳地质封存监测技术的应用问题，推动行业健康有序发展提供基础。

# 七、其他说明的事项

本标准无其他应说明事项。