《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》

编制说明

目 次

[一、工作简况 1](#_Toc146007007)

[**（一）任务来源** 1](#_Toc146007008)

[**（二）主要工作过程** 2](#_Toc146007009)

[**（三）标准主要起草人及其所做的工作** 3](#_Toc146007010)

[**（四）项目取得的主要成果** 3](#_Toc146007011)

[二、标准编制原则和确定主要内容的论据 4](#_Toc146007012)

[**（一）标准编制原则 4**](#_Toc146007013)

[**（二）确定标准主要内容 5**](#_Toc146007014)

[**（三）确定主要内容的论据 7**](#_Toc146007015)

[三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益 16](#_Toc146007016)

[**（一）主要试验的分析 17**](#_Toc146007017)

[**（二）技术经济论证及预期的经济效果 18**](#_Toc146007018)

[四、采用国际标准的程度及水平的简要说明 18](#_Toc146007019)

[五、重大分歧意见的处理经过和依据 18](#_Toc146007020)

[六、贯彻中国煤炭学会标准的要求和措施建议 18](#_Toc146007021)

[七、其他应予说明的事项 19](#_Toc146007022)

附件1：标准章节内容提要表 20

《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》

（报批稿）编制说明

### 一、工作简况

#### **（一）任务来源**

为贯彻落实《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030年前碳达峰行动方案》有关部署，2022年10月，市场监管总局、国家发展改革委、工业和信息化部、自然资源部等九部门联合发布《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》；2023年4月，国家标准委联合国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部、自然资源部等11部门联合发布《碳达峰碳中和标准体系建设指南》。

二氧化碳地质封存技术被认为是实现我国碳中和目标的兜底技术，根据科技部、中国科学院、中国工程院等预测，2060年，二氧化碳地质封存技术作为碳捕集利用与封存（CCUS）技术体系中的重要技术之一，其碳减排贡献能力在5亿吨/年以上。

目前，我国还没有专门的碳封存潜力评价技术标准，在我国碳达峰碳中和目标背景下，地质行业队伍是碳封存重大示范和产业化推广的先行军，宁夏、河北、江苏、陕西、山东、山西、江西等诸多省份地质队伍均在探索开展咸水层二氧化碳地质封存潜力调查评价工作；同时，华能集团、国家能源投资集团等央企也在探索开展碳捕集与封存（CCS）重大示范，在咸水层封存选址过程中，均苦于无权威的技术标准支撑。

2021年12月31日，《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》中国煤炭学会2021年第二批团体标准立项计划，编号t/ccs2021089。

主编单位：中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

参编单位：中国科学院武汉岩土力学研究所、中国21世纪议程管理中心、北京理工大学、北京师范大学、中国石油大学（北京）、中国科学院南海海洋研究所、怀柔实验室。

#### **（二）主要工作过程**

1. 2022年1月18日，项目组在广泛搜集资料和已有研究成果的基础上，邀请来自中科院武汉岩土力学研究所、中国石油大学（北京）、中科院南海海洋研究所、中国标准化研究院的6名业内知名专家意见对本文件的编写思路和框架提出宝贵意见，并根据专家启动本文件的编写。

2. 2022年8月29日，承担单位牵头编写完成《中国陆域二氧化碳地质封存潜力评估报告》，包括咸水层、枯竭油气藏、不可采煤层、基性-超基性研究、页岩油气层等不同封存资源的潜力评估方法与成果，邀请国内碳封存研究领域的技术专家进行了专家研讨，通过来自南京大学、中国石化、中国地质大学（北京）、中科院武汉岩土力学研究所、中国石油大学（北京）、北京师范大学的6名院士、国务院参事等知名专家成果鉴定。

3. 2022年9月28日，项目组初步编写完成《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》（工作组讨论稿），邀请国内碳封存研究领域的技术专家进行了专家研讨，根据中国21世纪议程管理中心、中国标准化研究院、中科院武汉岩土力学研究所、清华大学、北京师范大学、中国南海海洋研究所、中国华能清洁能源技术研究院、中国石油大学（北京）的8名技术专家意见进行了修改完善。

4. 2023年6月21日，项目组编写完成《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》（工作组讨论稿），邀请国内碳封存研究领域的技术专家进行了专家研讨，根据中国科学院武汉岩土力学研究所、中国石化石油勘探开发研究院、延长石油研究院CCUS中心的5名技术专家意见进行了修改，形成本技术标准（征求意见稿）。

#### **（三）标准主要起草人及其所做的工作**

主要起草人刁玉杰，国家标准委碳捕集利用与封存（CCUS）标准化工作组成员，中国地质调查局“大型能源化工基地二氧化碳地质封存综合地质调查”三级项目负责人。主要负责牵头汇编、通稿本技术标准，主要编写了第一章范围、第二章规范性引用文件、第五章封存体地质资源及技术类型、第六章深部咸水层及技术类型，组织召开3次标准研讨会。

编写成员中，李小春、李琦、张贤等主要负责编写了第三章术语与定义、第四章目标和原则，以及部分潜力计算公式；刘琦、彭勃等主要负责编写了油气藏及技术类型；魏宁、李鹏春等协助编写了第八章特殊地质资源及技术类型。

另外，李小春、彭勃作为国际标准委ISO/TC 265碳捕集利用与封存标准化工作组主席，也负责标准编制过程的总体指导，解决标准编制难点问题。编制过程中，国家碳达峰碳中和标准化总体组成员、国家CCUS标准化工作组成员及业内知名专家，参与或指导了本技术标准的编写。

#### **（四）项目取得的主要成果**

1. 归纳总结了二氧化碳地质封存重点与探索2大类地质资源，共10种地质资源类型、14种技术类型，分析评估了不同技术的成熟度。

2. 重点提出了深部咸水层、油气藏不同二氧化碳地质封存技术类型的潜力计算原则、基本要求、计算公式及关键参数取值等，探索性提出了特殊地质资源及二氧化碳地质封存技术的潜力计算公式及参数取值建议。

3. 本标准作为CCUS封存领域的一项团体标准，在当前我国CCUS重大示范阶段，适用于二氧化碳地质封存选址初期阶段的封存潜力计算，有利于地质行业或能源化工企业掌握某个区域的碳封存潜力，为CCUS战略规划与重大示范提供地学基础。

4. 标准转化应用了国内外咸水层二氧化碳地质封存潜力计算、选址调查、工程示范中的实践经验和技术方法，融合前期全国主要沉积盆地二氧化碳地质封存潜力评价、国内第一个咸水层示范工程及诸多勘查评价实践经验和不足，具有一定的先进性。

### 二、标准编制原则和确定主要内容的论据

#### **（一）标准编制原则**

《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》能够指导我国某个区域评估掌握二氧化碳地质封存潜力的重要依据，也是科学推动碳封存技术支撑我国“双碳”目标的指导性文件。

编制原则：

（1）系统性、完整性原则。内容全面、翔实，涵盖潜力级别划分、评价流程及计算方法全流程。

（2）符合法规、标准要求，吸收、采纳碳封存领域现有标准成果。

（3）先进性原则。吸收国内外咸水层二氧化碳地质封存潜力评价相关的新技术、新方法、新成果，体现先进性。

（4）实用性、可操作性原则。吸收国内外技术知名专家、科研院校、地勘单位的意见和建议，充分体现标准的代表性和广泛基础，使标准更具可操作性。

为使本技术标准内容全面、翔实、合理实用，达到先进性、权威性，项目组成员在充分调研、论证的基础上，采用资料收集与分析、国内研究团队调研、专家咨询等方式，为本技术标准编写提供基础。

引用《GB 18306 中国地震动参数区划图》规范性文件，并参考了《GB/T 17766 固体矿产资源储量分类》《GB/T 19492 油气矿产资源储量分类》《GB/T 25283 矿产资源综合勘查评价规范》等有关技术标准和国内外权威报告及论文。

召开专家咨询会，聘请国内本行业知名专家、学者，就《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》编写框架和基本内容等进行讨论确定。

标准在文字表达上力求准确简明、通俗易懂、逻辑严谨。按国家GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定作为本技术标准的编写制式和印制格式。

#### **（二）确定标准主要内容**

《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》除前言、引言、范围、规范性引用文件和术语与定义外，主体技术内容包括：第四章目标和原则、第五章封存地质资源及技术类型、第六章深部咸水层及技术类型、第七章油气藏及技术类型、第八章特殊地质资源及技术类型。

本标准正文共计8章，全文近7千字。标准的技术内容力求全面、合理、实用，《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》各章节内容提要见附件。

##### 1. 第四章目标和原则

提出了区域二氧化碳地质封存潜力计算的目的是预测掌握某个区域地质资源的二氧化碳封存潜力，进而筛选重点地质资源及二氧化碳地质利用与封存技术类型，为碳捕集与封存战略规划及后续选址勘探提供支撑。

提出了区域二氧化碳地质封存潜力计算应遵循的综合性、客观性、动态性三个原则。

##### 2. 第五章封存地质资源及技术类型

归纳总结二氧化碳封存地质资源及相应的技术类型。

表2-1 封存地质资源及技术类型

| 分类 | 地质资源类型 | 技术类型 | 国内技术成熟度 |
| --- | --- | --- | --- |
| 重点地质资源 | 深部咸水层 | 咸水层封存 | 工业示范 |
| 强化深部咸水开采（地下部分） | 基础研究-中试阶段 |
| 油藏 | 枯竭油藏封存 | 工业示范 |
| 驱油（正在开发的油藏） | 工业示范-商业应用 |
| 气藏 | 枯竭气藏封存 | 工业示范 |
| 探索地质资源 | 驱天然气（正在开发的气藏） | 基础研究 |
| 煤层 | 驱煤层气 | 中试阶段 |
| 页岩油层 | 驱页岩油 | 基础研究 |
| 页岩气层 | 驱页岩气 | 概念阶段 |
| 基性-超基性岩 | 基性-超基性岩原位矿化 | 基础研究 |
| 砂岩型铀矿 | 铀矿浸出增采技术 | 商业应用 |
| 干热岩 | 增强型地热系统 | 概念阶段-基础研究 |
| 洞穴型特殊空间 | 洞穴封存 | 工业示范 |

##### 3. 第六章深部咸水层及技术类型

提出深部咸水层封存计算原理是假设咸水层为侧向开放水文地质边界，且注入的二氧化碳可以将原有地层水最大限度地驱替出评价区域。

提出需重点考虑储集条件、盖层封闭性、封存体地质稳定条件要求，充分利用地震、钻井、测井和测试等资料筛选适宜性的咸水层储层。

提出深部咸水层二氧化碳地质封存潜力的计算公式和关键参数取值。

##### 4. 第七章油气藏及技术类型

提出了枯竭油气藏封存技术是在不应用二氧化碳驱油技术的前提下，不考虑现有阶段油气田的开发程度及“边底水”因素，假设所有油气田在充分开发衰竭或接近衰竭后，将二氧化碳注入到油层中直到储层压力恢复到原始储层压力，石油采出所让出的空间都用于二氧化碳的封存。

提出了枯竭油气藏和适宜二氧化碳驱提高石油采收率的油藏筛选基本要求，其中后者需要重点考虑原油特性、储层特性及油层特性条件，筛选适宜性的原油储层。

##### 5. 第八章特殊地质资源及技术类型

探索性提出8类特殊地质资源及技术类型的潜力计算公式，主要包括：

二氧化碳驱提高天然气采收率；

二氧化碳驱提高煤层气采收率；

二氧化碳驱页岩油；

二氧化碳提高页岩气采收率；

基性-超基性岩二氧化碳原位矿化；

二氧化碳铀矿浸出增采；

二氧化碳增强地热系统；

洞穴型特殊地下空间封存。

#### **（三）确定主要内容的论据**

本技术标准是在广泛收集国内外二氧化碳地质封存潜力评价成果基础上，结合我国目前工作现状和需求编制完成。内容力求做到标准的系统性、完整性、实用性。为使本技术标准既简明扼要、适用，预留未来潜力评价方法的进步空间，又避免规程内容冗长，部分计算参数的获取方式或计算公式没有编入，可查阅相关标准、文献等计算确定。

##### 1. 确定方法

**（1）文献参考**

对于标准中的能够查到参考资料的条款内容，按照文献资料中的内容编写，或者在参考资料的基础上进行有针对性的改写，并经过专家会议讨论最终确定条款内容。做到标准中重要数据、章节的内容都有出处、有理由、有根据。

在编写过程中，引用《GB 18306 中国地震动参数区划图》《GB/T 19492 油气矿产资源储量分类》《GB/T 25283 矿产资源综合勘查评价规范》等标准文献，以及碳封存领导人论坛（CSLF）和美国能源部（USDOE）等国内外权威研究成果。

**（2）专家会议确定**

对于没有参考资料的标准内容条款，由项目组提出条款内容草案，再通过专家会议研讨确定条款最终内容。

《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》在编制过程中，共召开专家咨询会4次，确定了标准的主要技术内容，解决了标准编制过程中很多关键问题。

同时，标准编写也受到了国际标准化组织ISO/TC265工作组、国家碳达峰碳中和标准化总体组，以及国家CCUS标准化工作组专家的悉心指导，技术标准水平力求与国际标准、国家标准保持一致。

**（3）实验研究**

依托岩土力学与工程国家重点实验室、中国地质调查局二氧化碳地质储存重点实验室等科研平台，对不同地质资源的二氧化碳地质封存机理开展深入或探索性研究，重点对咸水层封存、二氧化碳驱油、二氧化碳驱煤层气、基性-超基性岩原位矿化等各类技术机理开展了实验研究，取得了一批重要计算公式模型和关键参数；采用类比或室内实验，探索性开展了其他二氧化碳地质封存技术机理。

**（4）潜力评价与示范工程**

2010年起，标准编制团队与神华煤制油化工有限公司合作共建神华CCS示范工程，2011-2015年完成了30.2万吨的二氧化碳注入，并至今持续开展储层井下压力、二氧化碳运移的监测，验证工程场地潜力及注入能力评价方法，为本行业标准编写奠定了良好的实践基础。

2018年7月，在新疆准东选择枯竭油藏，完成千吨级二氧化碳驱水与封存先导性试验，在技术可行性验证及二氧化碳封存潜力计算方面取得实践性认识。

此外，标准编写团队同时直接或间接参与了吉林油田、胜利油田、江苏油田、新疆油田等二氧化碳驱油示范项目，以及中联煤山西沁水二氧化碳驱煤层气示范项目等，为本标准的编写提供了较为丰富的工程实践案例支撑。

##### 2. 主要内容的确定

**1）范围**

经过多次专家会议讨论及广泛征求意见，确定《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》按团体标准制定，本技术标准二氧化碳地质封存选址初期阶段的封存潜力计算，可作为碳封存潜力评价、调查选址、审批管理等各项工作的依据。

**2）术语和定义**

经过多次专家会议讨论及广泛征求意见，基于本技术标准范围及定位，参考国际标准委ISO/TC 265二氧化碳捕集、运输与地质封存技术委员会WG5共性问题小组及其他相关标准规范，列出11条术语定义。

**3）标准框架确定**

针对《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》框架，参考国内外相关文献及以往工作经验，结合专家会议讨论意见，将标准主体内容章节定为：范围、规范性引用文件、术语和定义、第四章目标和原则、第五章封存地质资源及技术类型、第六章深部咸水层及技术类型、第七章油气藏及技术类型、第八章特殊地质资源及技术类型。

**4）目标和原则**

根据国外内已有研究和编写组实践经验，将区域二氧化碳地质封存潜力计算的目的定位为预测掌握某个区域地质资源的二氧化碳封存潜力，进而筛选重点地质资源及二氧化碳地质利用与封存技术类型，为碳捕集与封存战略规划及后续选址勘探提供支撑。

同时，提出综合性、客观性和动态性原则。

**5）封存地质资源及技术类型**

参考《中国碳捕集利用与封存技术发展路线图(2019版)》《中国碳捕集利用与封存技术评估报告》,将二氧化碳地质封存地质资源划分为重点地质资源和探索地质资源两大类。其中，重点地质资源包括深部咸水层、油藏、气藏；探索地质资源包括煤层、页岩油层、页岩气层、基性-超基性岩、砂岩型铀矿、干热岩和洞穴型特殊空间。

重点地质资源二氧化碳地质封存技术类型主要包括：咸水层封存、强化深部咸水开采（地下部分）、枯竭油藏封存、驱油（正在开发的油藏）、枯竭气藏封存；探索地质资源二氧化碳地质封存技术类型主要包括：驱天然气（正在开发的气藏）、驱煤层气、驱页岩油、驱页岩气、基性-超基性岩原位矿化、铀矿浸出增采技术、增强型地热系统、洞穴封存。

同时，对不同技术类型的国内技术成熟度进行了判断。

**6）深部咸水层及技术类型**

（1）储层筛选

其中，咸水层储层的筛选在过去研究过程中未引起足够重视。过去许多研究，往往以大面积的沉积盆地或其构造单元整体开展评价，未对储层的适宜性开展系统地学研究，实际适宜储层边界往往小于或远小于沉积盆地的面积。咸水层封存工程应满足可注入、安全风险低等要求，需要建立满足注入条件的储层筛选推荐标准。

因此，编写组基于已有实践认识，考虑储集条件、盖层封闭性、封存体地质稳定条件，以及煤炭、石油和天然气等深部资源开发互馈等因素，提出有效储层筛选的一般推荐标准。

① 储集条件的推荐标准（表2-2）：借鉴了石油天然气、水文地质等已有技术标准，以及咸水层封存室内物理模拟实验、神华CCS示范工程实践等认识，主要考虑了咸水层的深度、岩性、厚度、孔隙度、渗透率、地下水矿化度及水动力条件等推荐建议。

② 盖层封闭性的推荐标准（表2-3）：借鉴了石油天然气、天然二氧化碳气藏等地质实践，以及室内实验测试和数值模拟等研究认识，主要考虑了盖层岩性、分布连续性、盖层厚度及断裂情况等推荐建议。

表2-2 储集条件推荐指标及标准

| **指标** | **建议** | **论据** |
| --- | --- | --- |
| 深度 | 储层深度宜大于800 m，或通过钻探测量实际地层压力和温度能够满足二氧化碳注入后达到超临界态。 | 根据政府间气候变化专门委员会权威报告推算 |
| 岩性 | 储层岩石类型宜选择碎屑岩、碳酸盐岩及岩浆岩。 | 文献分析、室内实验，以及神华CCS示范工程实践 |
| 厚度 | 按照地层层序以组、段或砂层组为单位统计分析时，储层单层厚度应大于1 m，叠加厚度应大于5 m。 | 基于神华CCS示范工程场地的地球物理勘探精度，以及测井、钻探综合分析认识 |
| 孔隙度 | 大于5% | 室内二氧化碳驱替物理模拟实验测试，以及神华CCS示范工程场地的可注入性 |
| 渗透率 | 大于1×10-3 μm2 | 室内二氧化碳的突破压力测试，以及神华CCS示范工程场地的可注入性 |
| 地下水总矿化度 | 大于8 g/L | 参考GB/T 14157-1993，以及美国、加拿大等咸水层封存地下水矿化度要求，并跟踪了国际标准委ISO WG5工作组进展 |
| 水动力条件 | 半封闭、封闭型水文地质结构，地下水交替缓慢或十分缓慢 | 参考沉积盆地水文地质分析，以及国内外工程经验 |

表2-3 盖层封闭性条件推荐指标及标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **指标** | **建议** | **论据** |
| 岩性 | 包括膏岩、泥岩、粉砂岩、页岩等岩层 | 文献分析、室内实验，以及神华CCS示范工程实践 |
| 分布连续性 | 连续、稳定的区域性地层 | 基于神华CCS示范工程场地实践，以及已有DZ/T 0217-2005《石油天然气储量计算规范》 |
| 断裂发育 | 无张性贯穿性断裂发育 | 参考阿尔及利亚In Salah示范工程地面变形风险，以及油气成藏机理 |
| 矿物成分 | 黏土矿物含量低于30%或富含长石、碳酸盐岩等矿物时，易发生CO2-水-岩反应溶蚀作用，该类岩石不宜作为盖层。 | 基于已有CO2-水-岩反应实验研究认识 |

③ 封存体地质稳定条件的推荐标准：主要基于前人及编写组已有对咸水层二氧化碳地质封存安全风险研究成果，参照GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》、GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》及中国地震局《中国地震构造环境探查规划》，提出活动断裂、地震动峰值加速度高值区规避建议。

④ 深部资源开发互馈的推荐标准：主要基于各类深部矿产资源开发保障及咸水层地质封存体的安全性考虑，以及神华CCS示范工程实践过程中遇到的封存库上部煤炭资源开发互馈影响认识，提出科学配置建议。

神华CCS示范工程场地咸水层注入深度1690～2450 m，浅部约300 m深度为煤层开发层位，两者存在一定的冲突，需要科学配置。

（2）计算公式

参考美国能源部（USDOE）权威报告提出的咸水层封存潜力容积法计算公式及参数取值，优化了咸水层二氧化碳地质封存潜力计算公式。

**7）油气藏及技术类型**

（1）储层筛选

对于枯竭油气藏封存技术，需要在原有围绕油气勘探和开发的研究工作基础上，重新对储层的沉积类型（碎屑岩或碳酸盐岩）、储层的埋深、厚度和三维几何形态和完整性以及储层的物性和非均质性进行评价，储层筛选标准深部咸水层封存技术基本相似。忽略油气藏开发过程中对储盖层的破坏或假定能够人为修复其密封性，枯竭油气藏均可以用来实施二氧化碳地质封存。相较而言，并非所有的油藏都适合二氧化碳驱油技术，其选址应秉承“地下与地表相结合，技术与经济相结合”研究思路，综合考虑可注入性、安全性和经济性的统一。

因此，编写组基于已有实践认识，考虑储集条件、盖层封闭性条件、安全条件，以及经济条件等因素，提出了适宜二氧化碳驱油油藏筛选的一般推荐标准。

①储集条件的推荐标准（表2-4）：借鉴了石油天然气、水文地质等已有技术标准，以及二氧化碳驱油室内物理模拟实验、我国CO2-EOR应用进展和工程实践等认识，主要考虑了油藏深度、储层厚度、温度、压力、孔隙度、渗透率、非均质性、原油黏度、原油密度和含油饱和度等推荐建议。

表2-4 储集条件推荐指标及标准

| **指标** | **建议** | **论据** |
| --- | --- | --- |
| 油藏深度 | 宜介于800至2000 m之间 | 根据政府间气候变化专门委员会权威报告推算 |
| 储层厚度 | 需要一定厚度，但不宜过大，厚度小于40 m为宜 | 基于国内CO2-EOR示范工程场地的地球物理勘探精度，以及测井、钻探综合分析认识 |
| 温度 | 油藏温度宜小于120℃ | 文献分析、室内实验，以及国内CO2-EOR示范工程实践 |
| 压力 | 原始地层压力宜大于8.5 MPa | 文献分析、室内实验，以及国内CO2-EOR示范工程实践 |
| 孔隙度 | 介于10%至25% | 室内二氧化碳驱替物理模拟实验测试，以及国内CO2-EOR示范工程场地的可注入性 |
| 渗透率 | 储层平均渗透率宜大于0.6×10-3 μm2 | 室内二氧化碳的突破压力测试，以及国内CO2- EOR示范工程场地的可注入性 |
| 非均质性 | 变异系数宜小于0.65 | 文献分析、室内实验，以及国内CO2-EOR示范工程实践 |
| 原油黏度 | 小于10 mPa•s | 基于室内二氧化碳驱替物理模拟实验测试，以及国内CO2-EOR示范工程实践 |
| 原油密度 | 小于0.89 g/cm3 | 基于室内二氧化碳驱替物理模拟实验测试，以及国内CO2-EOR示范工程实践 |
| 含油饱和度 | 大于35% | 文献分析、室内实验，以及国内CO2-EOR示范工程实践 |

② 盖层封闭性条件的推荐标准（表2-5）：借鉴了石油天然气、天然二氧化碳气藏等地质实践，以及室内实验测试和数值模拟等研究认识，主要考虑了盖层岩性、分布连续性、盖层厚度及断裂情况等推荐建议。

表2-5 盖层封闭性条件推荐指标及标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **指标** | **建议** | **论据** |
| 岩性 | 包括膏岩、泥岩、粉砂岩、砂质泥岩等岩层 | 文献分析、室内实验，以及国内CO2-EOR示范工程实践 |
| 分布连续性 | 连续、稳定的区域性地层 | 基于国内CO2-EOR示范工程场地实践，以及已有DZ/T 0217-2005《石油天然气储量计算规范》 |
| 断裂发育 | 无张性贯穿性断裂发育 | 参考阿尔及利亚In Salah示范工程地面变形风险，以及油气成藏机理 |
| 矿物成分 | 黏土矿物含量低于30%或富含长石、碳酸盐岩等矿物时，易发生CO2-水-岩反应溶蚀作用，该类岩石不宜作为盖层。 | 基于已有CO2-水-岩反应实验研究认识 |

③ 安全条件的推荐标准：不同于咸水层封存，CO2-EOR工程选址阶段更多考虑人为因素泄漏风险。主要基于前人及编写组已有对二氧化碳驱油封存安全风险研究成果，参照GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》、GB 18306-2015《中国地震动参数区划图》、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》及中国地震局《中国地震构造环境探查规划》，提出活动断裂、地震动峰值加速度高值区规避建议。

④ 经济条件的推荐标准：经济性是保证油藏规模化CO2地质封存与长期实施的前提，主要基于国内CO2-EOR示范工程实践过程中遇到的经济环境和监测成本认识，提出科学建议。

重点考虑源汇距离（运输方式）、原油（潜在碳交易）价格与补贴政策，以及监测成本。一般而言，碳源丰富、距离近、源汇匹配程度好时选址优越；碳交易、原油价格与补贴激励政策超越临界线时选址优越；项目规模越大，监测系统越复杂，监测成本越高。

（2）计算公式

基于体积置换原理，枯竭油田地质封存潜力可利用石油资源储量的权威数据开展计算；

基于体积置换原理，枯竭气田地质封存潜力可利用天然气资源储量的权威数据开展计算；

基于体积置换原理，CO2驱油封存潜力可利用基于计算原始石油资源储量（OOIP）的标准行业方法开展计算。

**8）特殊地质资源及技术类型**

二氧化碳驱提高天然气采收率计算公式改进于二氧化碳驱油计算公式；

二氧化碳驱提高煤层气采收率技术机理是通过CO2分子置换煤层中CH4分子实现二氧化碳封存，其计算公式即为体积置换方法；

二氧化碳驱页岩油计算公式改进于二氧化碳驱油计算公式；

二氧化碳提高页岩气采收率计算公式借鉴二氧化碳提高煤层气采收率公式；

基性-超基性岩二氧化碳原位矿化计算公式是依据CO2—H2O—岩石相互作用过程中形成固碳矿物的成岩反应，假设基性-超基性岩中镁、铁质等碱性矿物完全与CO2发生反应，即矿物置换法；

砂岩型铀矿浸出增采技术机理主要为二氧化碳的水溶液注入砂岩型铀矿层促进含铀矿物的溶解开采，因此二氧化碳铀矿浸出增采计算公式改进于咸水层二氧化碳封存潜力计算公式；

二氧化碳增强地热系统和洞穴型特殊地下空间封存计算公式一致，即裂隙或洞穴空间均能够被二氧化碳充填，即体积法。

### 三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

本标准属于技术标准，主要以操作层面为主。自编写团队2010年启动全国主要沉积盆地区域尺度的咸水层二氧化碳地质封存潜力评价，以及与中国神华煤制油化工有限公司合作共建国内第一个咸水层封存示范工程，本技术标准编写研究经历了较长的研究历程。

#### **（一）主要试验的分析**

我国咸水层二氧化碳地质封存潜力评价应形成精度由低到高的多尺度多级别动态机制，本标准提出的潜力评价级别及方法建议，可操作性较强，能够科学地对比不同区域、不同阶段的潜力评价数据，也能够为未来管理部门对咸水层封存工程审批和深部地下空间管理提供参考。

基于中国地质调查局工作项目“准噶尔等盆地二氧化碳地质储存综合地质调查”前期成果基础，应用本技术标准地质潜力评价方法，针对23层潜在区域性咸水层储层，更新评价了准噶尔盆地的预测地质潜力，筛选圈定出一批远景区，为CCS产业集群区划提供了重要支撑。

依托中国地质调查局二级项目“大型能源化工基地二氧化碳地质封存综合地质调查”，开展了鄂尔多斯盆地咸水层二氧化碳地质封存系统地学研究，筛选识别出13层潜在区域性咸水层储层，评价掌握了咸水层封存预测地质潜力，筛选圈定出一批远景区，为CCS产业集群区划提供了重要支撑。

依托中国地质调查局“全国二氧化碳地质储存潜力评价与示范工程”计划项目前期成果，以及神华CCS示范项目场地选址勘探、注入及储层中二氧化碳运移长期监测成果，进一步验证了工程设计封存量和工程实际封存量的评价方法；同时基于中国地质调查局在新疆准东主导实施的千吨级二氧化碳驱水与封存先导性试验场地，进一步开展了工程设计封存量的评价方法验证。

#### **（二）技术经济论证及预期的经济效果**

在当前全国地质行业开展碳封存潜力评价工作、能源化工企业开展碳封存重大示范科学规划与选址工作背景下，本技术标准的制定能够科学推动相关工作，为后期的二氧化碳地质封存靶区筛选、场地勘查等提供较好的数据基础，有效降低选址勘查成本，预期经济效果较好，同时也能够为管理部门对咸水层封存工程审批和深部地下空间用途管制政策制定提供重要参考。

### 四、采用国际标准的程度及水平的简要说明

目前，国际标准委碳捕集利用与封存ISO/TC 265尚未制定咸水层二氧化碳地质封存潜力评价标准，但国际碳封存领导人论坛、美国能源部等机构先后发表了一批有关二氧化碳地质封存潜力评价方法重要报告，为国内外学者大量引用。本技术标准的核心潜力计算原理与方法与国际碳封存领导人论坛、美国能源部相关权威报告中的方法类似。

国际标准委碳捕集利用与封存ISO/TC 265工作组尚未制定咸水层二氧化碳地质封存潜力评价标准。

本技术标准编写组中有ISO/TC 265工作组、国标委CCUS标准化工作组专家成员，保证了本技术标准的科学水平，以及与国际相关研究的动态跟踪。

### 五、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧。

### 六、贯彻中国煤炭学会标准的要求和措施建议

标准在纳入中国煤炭学会标准体系后，可作为地质行业队伍开展区域二氧化碳地质封存潜力计算工作的重要参考依据和准则，为科学掌握我国咸水层二氧化碳地质封存潜力数据、推动封存工程规划与工程实施提供重要参考。

### 七、其他应予说明的事项

无。

附件1：

《区域二氧化碳地质封存潜力计算指南》章节内容提要表

| **章条** | **目次** | **内容摘要** |
| --- | --- | --- |
| 1 | 范围 | 指出了本标准的适用范围。 |
| 2 | 规范性引用文件 | 列出本标准中规范性引用文件。 |
| 3 | 术语与定义 | 对标准中出现的专用术语加以定义。 |
| 4 | 目标和原则 | 解释规定了咸水层二氧化碳地质封存潜力评价的目标和总体原则、潜力评价流程，以及储层筛选和潜力评价原则。 |
| 4.1 | 目标 | 解释规定了区域二氧化碳地质封存潜力计算的目标定位。 |
| 4.2 | 原则 | 解释规定了区域二氧化碳地质封存潜力计算的原则。 |
| 5 | 封存地质资源及技术类型 | 解释规定了二氧化碳封存地质资源及相应的技术类型。 |
| 6 | 深部咸水层及技术类型 | 解释规定了深部咸水层及技术类型封存潜力的计算原则、储层筛选基本要求、计算公式和关键参数取值。 |
| 6.1 | 计算原则 | 解释规定了深部咸水层及技术类型封存潜力的计算原则。 |
| 6.2 | 咸水层储层筛选基本要求 | 解释规定了咸水层储层储集条件、盖层封闭性、封存体地质稳定条件要求。 |
| 6.3 | 计算公式 | 解释规定了深部咸水层封存和二氧化碳强化咸水开采的封存潜力计算公式。 |
| 6.4 | 关键参数取值 | 解释规定了咸水层储层中二氧化碳的密度、地质系数、驱替系数等关键参数取值建议。 |
| 7 | 油气藏及技术类型 | 解释规定了油气藏及技术类型封存潜力的计算原则、适宜油藏筛选要求、封存潜力计算公式。 |
| 7.1 | 计算原则 | 解释规定了油气藏及技术类型封存潜力的计算原则。 |
| 7.2 | 油气藏筛选基本要求 | 解释规定了枯竭油气藏封存和二氧化碳驱油技术对适宜油（气）藏筛选的基本要求。 |
| 7.3 | 计算公式 | 解释规定了枯竭油气藏封存或二氧化碳驱油技术的封存潜力计算公式。 |
| 8 | 特殊地质资源及技术类型 | 解释规定了其他特殊地质资源及其相应的技术类型的二氧化碳地质封存潜力计算公式。 |
| 8.1 | 二氧化碳驱提高天然气采收率 | 解释规定了二氧化碳驱提高天然气采收率的封存潜力计算公式。 |
| 8.2 | 二氧化碳驱提高煤层气采收率 | 解释规定了二氧化碳驱提高煤层气采收率的封存潜力计算公式。 |
| 8.3 | 二氧化碳驱页岩油 | 解释规定了二氧化碳驱提页岩油的封存潜力计算公式。 |
| 8.4 | 二氧化碳提高页岩气采收率 | 解释规定了二氧化碳提高页岩气采收率封存潜力计算公式。 |
| 8.5 | 基性-超基性岩二氧化碳原位矿化 | 解释规定了基性-超基性岩二氧化碳原位矿化的封存潜力计算公式。 |
| 8.6 | 二氧化碳铀矿浸出增采 | 解释规定了二氧化碳铀矿浸出增采技术的封存潜力计算公式。 |
| 8.7 | 二氧化碳增强地热系统 | 解释规定了二氧化碳增强地热系统技术的封存潜力计算公式。 |
| 8.8 | 洞穴型特殊地下空间封存 | 解释规定了洞穴型特殊地下空间封存潜力计算公式。 |