ICS 07.060
CCS D 01

团　　体　　标　　准

T/GSC 006—2024

二氧化碳陆地封存工程选址指南

Guide for site screening of carbon dioxide terrestrial storage engineering

2024-01-02 发布　　2024-01-02 实施

中国地质学会　　发 布

中国地质学会（GSC）是组织开展国内、国际标准化活动的全国性社会团体。制定中国地质学会团体标准，满足市场需要，增加标准的有效供给，促进科技创新，是中国地质学会的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国地质学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国地质学会团体标准按《中国地质学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国地质学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国地质学会团体标准予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国地质学会团体标准秘书处，以便修订时参考。

本文件版权为中国地质学会所有，除了用于国家法律或事先得到中国地质学会的许可外，不得以任何形式或任何手段复制、再版或使用本文件及其章节，包括电子版、影印件，或发布在互联网及内部网络等。

中国地质学会地址：北京市西城区百万庄大街 26 号

邮政编码：100037　电话：010-68999018　　传真：010-68995305

网址：www.geosociety.org.cn　电子信箱：zgdzxh@geosociety.org.cn

目　　次

前言 III
引言 IV
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 2
4　基本规定 4
4.1　目标 4
4.2　任务 4
4.3　选址尺度 5
4.4　选址阶段 5
4.5　选址流程 5
5　基础数据 5
5.1　一般规定 5
5.2　资料搜集 5
5.3　调查、勘察及测试 6
6　选址指标体系 6
6.1　一般规定 6
6.2　选址指标 7
7　选址方法 10
7.1　一般规定 10
7.2　选址要素评价 10
7.3　场址适宜性评价 11
8　选址成果 11
附录 A（资料性附录）灌注试验监测 12
附录 B（资料性附录）盆地级二氧化碳封存选址指标分级表 16
附录 C（资料性附录）目标区级/靶区级二氧化碳封存选址指标分级表 20
附录 D（资料性附录）场地级二氧化碳封存选址指标分级表 26
附录 E（资料性附录）二氧化碳封存潜力值评价方法 32

附录 F（规范性附录）二氧化碳陆地封存工程选址指南 38
条文说明 39
参考文献 42

表 A.1 灌注试验监测内容和监测技术类型表 12
表 A.2 地球物理监测技术表 13
表 A.3 地球化学监测技术表 14
表 A.4 井孔监测技术表 14
表 A.5 土壤二氧化碳通量监测技术表 14
表 A.6 大气二氧化碳监测技术表 15
表 B.1 盆地级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级表 16
表 B.2 盆地级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 16
表 B.3 盆地级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 17
表 B.4 盆地级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级表 17
表 B.5 盆地级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 18
表 B.6 盆地级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 18
表 B.7 盆地级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 18
表 B.8 盆地级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级表 18
表 C.1 目标区级/靶区级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级表 20
表 C.2 目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 21
表 C.3 目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 22
表 C.4 目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 22
表 C.5 目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 . 22
表 C.6 目标区级/靶区级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级表 22
表 C.7 目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 23
表 C.8 目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 24
表 C.9 目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 24
表 C.10 目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 24
表 C.11 目标区级/靶区级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级表 24
表 C.12 目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表 25
表 C.13 目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表 25
表 C.14 目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表 25
表 C.15 目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表 25

表 D.1 场地级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级表 26
表 D.2 场地级咸水层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 27
表 D.3 场地级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 27
表 D.4 场地级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 27
表 D.5 场地级基性-超基性岩二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表 28
表 D.6 场地级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级表 28
表 D.7 场地级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 29
表 D.8 场地级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 29
表 D.9 场地级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 29
表 D.10 场地级基性-超基性岩二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表 30
表 D.11 场地级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级表 30
表 D.12 场地级咸水层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表 30
表 D.13 场地级煤层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表 30
表 E.1 咸水层二氧化碳封存潜力值评价方法 32
表 E.2 油气藏二氧化碳封存潜力值方法 33
表 E.3 煤层二氧化碳封存潜力值评价方法 36
表 E.4 基性-超基性岩二氧化碳封存潜力值评价方法 37
表 1 环境易损性赋值表 41

前　言

本文件按照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》、T/CAS1.1－2017《团体标准的结构和编写指南》给出的规则起草。

本文件由中国地质学会提出并归口。

本文件主要起草单位：中国科学院地质与地球物理研究所、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、中国石油大学（北京）、河北工程大学、中国21世纪议程管理中心、中国科学院武汉岩土力学研究所。

本文件主要起草人：祁生文、黄天明、郑博文、张贤、李琦、王赞、崔振东、赵海军、刁玉杰、付雷、马丽娜、郭松峰、董平川、田宝卿、金超、万博、姚悦、侯晓坤、余昕、李国梁、李义曼、张毓然、张卉、张旺、曹长乾、邹宇、路伟、魏涛、李永超、郭忻怡、李吉喆、吴昊东、单小彩、唐凤娇、鲁晓、赵雅静、丛佳宁、朱梓方

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件为 2023 年首次发布。

引　言

二氧化碳陆地封存是将捕集的二氧化碳注入陆地深处具有适当封闭条件的地层中进行长期安全封存和隔离的过程。为科学有效地开展二氧化碳陆地封存工作，确保封存工程长期安全，应首先开展二氧化碳陆地封存工程选址工作。

为规范和指导二氧化碳陆地封存工程选址工作，基于国内外已开展的二氧化碳地质封存潜力评价、区域级和盆地级二氧化碳地质封存适宜性评价、不同类型储层包括（咸水层、油气藏、煤层和基性-超基性岩）二氧化碳地质封存工程试验和先导示范等成果，结合二氧化碳陆地封存工程选址的规划、设计等阶段特点，编制本文件。

二氧化碳陆地封存工程选址指南

1 范围

本文件规定了盆地级、目标区级/靶区级、场地级二氧化碳陆地封存工程选址的基本规定、选址指标、选址方法及成果等方面的技术要求。

本文件适用于不同类型储层，包括咸水层、油气藏、煤层和基性-超基性岩的二氧化碳陆地封存工程选址工作，其他类似地质封存工程选址可参照使用。

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（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50391 油田注水工程设计规范

GB 55017 工程勘察通用规范

GB/T 958 区域地质图图例

GB/T 14499 地球物理勘查技术符号

GB/T 29172 岩心分析方法

GB/T 33583 陆上石油地震勘探资料采集技术规程

GB/T 33683 陆上石油物探测量与定位技术规范

GB/T 33684 地震勘探资料解释技术规程

GB/T 33685 地震勘探数据处理技术规程

DZ/T 0069 地球物理勘查图式图例及用色标准

DZ/T 0072 电阻率测深法技术规程

DZ/T 0073 电阻率剖面技术规程

DZ/T 0153 物化探工程测量规范

DZ/T 0179 地质图用色标准及用色原则（1:50 000）

DZ/T 0187 地面磁性源瞬变电磁法技术规程

DZ/T 0257 区域地质调查规范（1:250 000）

DZ/T 0280 可控源音频大地电磁法技术规程

DZ/T 0441 岩心数字化技术规程

DZ 47 石油地震勘探技术规范

HJ 75 固定污染源烟气（SO_2、NOx、颗粒物）排放连续监测技术规范

NB/T 11043 页岩气藏地质模型建立技术规范

NB/T 11278 页岩油测井资料解释技术规范

NB/T 35099 水电工程三维地质建模技术规程
SY/T 5819 陆上重力勘探技术规范
SY/T 6688 时频电磁法勘探技术规程
SY/T 6994 页岩气测井资料处理与解释规范
SY/T 7072 大地电磁探测法资料处理解释技术规程
SY/T 7378 油气藏三维定量地质模型建立技术规范
SY/T 7620 随钻测井资料处理与解释规范
T/CAGHP 013 地质灾害 InSAR 监测技术指南
T/CSES 71 二氧化碳地质利用与封存项目泄漏风险评价标准
DB37/T 4336 1:250 000 水文地质调查规范
DB37/T 4514 1:50 000 水文地质调查规范
DD 2014-11 地面沉降 InSAR 监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

二氧化碳陆地封存 terrestrial storage of carbon dioxide

通过工程技术手段将捕集的二氧化碳以超临界态（温度高于 31.1 ℃，压力高于 7.38 MPa）注入陆地深处（通常在 800 m 以下）具有适当封闭条件的地层中进行长期（千年至万年尺度）安全封存和隔离的过程。

3.2

封存场址 storage site

用于封存的地质体或地下空间以及用于二氧化碳注入、监测等设施建造的地面区域。

3.3

储层 reservoir

能够注入和储存二氧化碳的深部地质体，主要包括咸水层、枯竭油气藏、深部不可开采煤层及基性-超基性岩。

3.4

盖层 caprock

位于储层之上，能够阻止注入的二氧化碳向上渗流和扩散的低渗（渗透率一般低于 5mD）岩层。

3.5

封存潜力 storage capacity

能够注入和封存二氧化碳的能力，主要包括理论封存潜力、有效封存潜力、实际封存潜力和匹配封存潜力。

3.6

盆地级 basin level

以盆地基底起伏形成的隆起或坳陷为一级构造单元或以多个背斜、单斜和向斜形成的二级构造单元为研究对象和评价单元的选址级别。

3.7

目标区级/靶区级 target area level

以盆地内单个背斜、单斜和向斜形成的三级构造单元为研究对象和评价单元的选址级别。

3.8

场地级 site level

以二氧化碳地质封存储存场地为研究对象和评价单元的选址级别。

3.9

咸水层封存 saline aquifer storage

通过工程技术手段将主要来自于工业领域大型排放源捕集的二氧化碳注入至适宜咸水层中，以实现其与大气长期隔绝的目的。适宜咸水层封存深度通常在 800m 以下，矿化度一般介于 3-50 g/L。

3.10

油气藏封存 oil and gas reservoir storage

通过向油气储层注入二氧化碳，降低油气的粘度和界面张力，进而推动地下油气向井口运移。二氧化碳的注入可以替换孔隙中的油气，弥补油气开采导致的储层压力下降，在增加油气采收率的同时封存二氧化碳。

3.11

煤层封存 coal seam storage

二氧化碳注入煤层后，在煤层孔-裂隙系统中混合的流体经竞争吸附、置换、扩散、渗流，驱替煤层气，使得二氧化碳最终替换煤层孔裂隙系统中的煤层气，并以吸附态、游离态赋存于煤层的孔隙和裂隙中，从而实现二氧化碳封存。

3.12

基性-超基性岩封存 basic-ultrabasic storage

将二氧化碳注入地下基性-超基性岩（如玄武岩和橄榄岩）中，加速和促进二氧化碳与岩石中的橄榄石、辉石、基性斜长石等矿物发生碳酸盐化反应，生成固态无机碳酸盐矿物，从而实现二氧化碳永久封存。

3.13

场址适宜性评价 site suitability evaluation

综合分析二氧化碳陆地封存场址的选址指标，评判其适宜性程度等级。

3.14

三维地质模型 three-dimensional geological modeling

包括表征沉积相分布的岩相模型、表征地层属性分布的属性模型、表征断层分布的构造模型、表征地下水运动基本模式的地下水流动模型等。

3.15

含水层水力联系 hydraulic connection

同一含水层内水平方向与不同含水层垂直方向之间的水力联系程度。

3.16

封闭性 sealing ability

盖层、断层对流体运移渗透的阻碍性能。

3.17

二氧化碳羽流 carbon dioxide plume

超临界态二氧化碳注入储层后运移扩散形成的羽状流体。

3.18

二氧化碳注入危险性 hazard of carbon dioxide injection

指一定时间内，由于二氧化碳注入引起的某种程度不良效应的概率，包括二氧化碳泄漏、诱发地震以及地面变形的概率。

3.19

二氧化碳注入易损性 vulnerability of carbon dioxide injection

二氧化碳注入产生的不良效应对环境、建筑物、人口等的可能破坏程度，用0（没有损失）和1（全损失）之间的数字来表征。

3.20

二氧化碳泄漏风险 risk of carbon dioxide leakage

二氧化碳注入后由盖层、井筒、断层等途径泄漏至盖层上部各地层、浅层地下水、大气，可能对环境造成危害的潜在风险。

3.21

二氧化碳注入诱发地震风险 risk of carbon dioxide injection induced earthquakes

二氧化碳注入后因诱发地震，影响工程的正常施工和安全运营，并可能对人民群众生命财产造成损失的潜在风险。

3.22

二氧化碳注入诱发地面变形风险 risk of carbon dioxide injection induced ground deformation

二氧化碳注入后因诱发地表变形，对地面生产、生活设施和生态环境造成危害的潜在风险。

4 基本规定

4.1 目标

二氧化碳陆地封存选址应结合规划选址阶段和设计选址阶段的需要，开展不同尺度的选址工作。

4.2 任务

4.2.1 应搜集不同尺度的选址资料，开展调查、勘察及测试，获取选址数据。

4.2.2 应按地质适宜、安全经济等原则开展选址工作。

4.2.3 应根据选址尺度，结合咸水层封存、油气藏封存、煤层封存和基性-超基性岩封存等不同类型场址的封存特点，确定选址指标，采用定性-半定量方法开展二氧化碳陆地封存选址工作。

4.3 选址尺度

4.3.1 二氧化碳陆地封存选址尺度宜分为盆地级尺度、目标区级/靶区级尺度、场地级尺度。

4.3.2 盆地级尺度基本比例尺宜为 1:50 万～1:400 万。

4.3.3 目标区级/靶区级尺度基本比例尺宜为 1:5 万～1:50 万。

4.3.4 场地级尺度基本比例尺宜为 1:2 000～1:5 万。

4.4 选址阶段

4.4.1 本文件服务于二氧化碳陆地封存规划选址和设计选址阶段。

4.4.2 盆地级和目标区级/靶区级选址主要服务于规划选址阶段。

4.4.3 场地级选址主要服务于设计选址阶段。

4.5 选址流程

二氧化碳陆地封存选址工作宜分为数据获取、场址评价、成果编制 3 个阶段。

4.5.1 数据获取阶段：根据不同选址阶段和不同类型场址封存的需要，搜集选址资料，开展调查、勘察及测试，获取的选址数据属性与不同尺度封存选址要求一致。

4.5.2 场址评价阶段：根据不同选址阶段和不同类型场址封存的需要，对选址数据进行综合整理与分析，确定选址指标及其权重，开展场址适宜性评价，形成不同尺度的场址适宜性评价结果数据。

4.5.3 成果编制阶段：根据不同选址阶段和不同类型场址封存的需要，编制二氧化碳陆地封存选址图件和报告，形成选址成果。

5 基础数据

5.1 一般规定

5.1.1 应根据二氧化碳陆地封存工程选址的不同阶段及场址适宜性评价的工作需求，搜集不同尺度的数据。

5.1.2 数据来源应包括但不限于已有的文献、专著及各类调查、勘察、测试报告等资料。

5.2 资料搜集

5.2.1 盆地级尺度宜搜集比例尺大于 1:400 万的选址资料，包括区域地质、遥感、工程地质、水文地质、矿产资源分布、生态环境、社会经济等方面的基础数据。

5.2.2 目标区级/靶区级尺度宜搜集比例尺大于 1:50 万的选址资料，包括基础地质、遥感、工程地质、水文地质、地球物理勘探、钻探、生态环境、社会经济等方面的基础数据。

5.2.3 场地级尺度宜搜集比例尺大于 1:5 万的选址资料，包括遥感、工程地质、水文地质、工程地质勘察、地球物理和地球化学勘探、钻探、生态环境、社会经济等方面的基础数据。

5.3 调查、勘察及测试

5.3.1 针对盆地级和目标区级/靶区级尺度，对于数据量较少、数据精度较差或数据缺失的区域，宜进行补充调查和勘察，具体要求可参照 GB 55017、DZ/T 0257、DB37/T 4336、DB37/T 4514 执行，获取的数据精度应符合本文件 4.4 规定的比例尺要求。

5.3.2 针对场地级尺度，对于数据量较少、数据精度较差或数据缺失的区域，宜进行补充勘察和测试，并开展监测，建立三维地质模型并进行数值模拟，获取的数据精度应符合本文件 4.4 规定的比例尺要求。

a) 勘察的具体要求可参照 GB 50021、GB/T 33683 执行。
b) 测试数据宜包括储层盖层岩心测试和灌注试验等数据，测试的具体要求可参照 GB/T 29172、GB 50391、DZ/T 0441 执行。
c) 监测数据宜包括环境背景值监测数据和灌注试验监测数据等。
——环境背景值监测数据宜包括大气二氧化碳含量、土壤二氧化碳通量、地下水化学组分背景值、地震背景噪声等数据。
——灌注试验监测数据宜包括灌注试验过程中注入量、注入压力、注入速率、储层盖层压力与温度和灌注试验完成后的二氧化碳羽流、压力前缘、储层盖层压力与温度、孔隙中流体组成成分、地下水化学组分、土壤二氧化碳通量、大气二氧化碳含量、诱发地震、诱发地面变形等数据。
——监测的具体要求可按附录 A 执行。
d) 三维地质模型数据宜通过地质、钻探和地震勘探等手段获取。
——三维地质模型数据宜包括表征岩相、孔隙度、渗透率、饱和度、断层、裂隙分布等信息的岩相模型数据、属性模型数据、构造模型数据等。
——三维地质模型数据宜包括表征含水层水力联系的地下水流动模型数据等。
——三维地质模型建立的具体要求可参照 NB/T 35099、NB/T 11043、SY/T 7378 执行。
e) 数值模拟数据宜为在岩心测试和灌注试验结果的基础上，开展规模化灌注模拟获取的数据。

6 选址指标体系

6.1 一般规定

6.1.1 应在本文件第 5 章获取的基础数据基础上，根据选址尺度和研究区的具体情况，对可能影响选址的主要因素进行逐项分析，遴选工程地质条件、封存潜力条件、社会经济条件、工程风险条件等选址要素。

6.1.2 应针对咸水层封存、油气藏封存、煤层封存和基性-超基性岩封存等不同类型场址的封存特点，对不同尺度的选址要素进行综合分析。

6.1.3 盆地级和目标区级/靶区级的选址要素宜包括工程地质条件要素、封存潜力条件要素、社会经济条件要素等；场地级的选址要素宜包括工程地质条件要素、封存潜力条件要素、社会经济条件要素、工程风险条件要素等。

6.1.4 应根据不同尺度的选址要素，分别遴选指标，包括适用于不同类型场址的通用性指标和能够

表征封存场址特点的特征性指标，构建不同尺度的选址指标体系并确定指标分级。

6.1.5 选址要素及选址指标数据精度宜参照本文件第 5 章规定的要求。

6.1.6 选址指标及其分级可按附录 B、C、D 执行。

6.2 选址指标

选址指标的遴选可按先考虑选址尺度、再考虑场址类型的原则进行。

6.2.1 盆地级指标

6.2.1.1 工程地质条件要素，宜包括地热流值、地温梯度、地表温度、活动断裂的发育情况、火山发育区、距活火山距离、基本地震动峰值加速度、历史地震、距震中距离、盖层岩性、储层岩性、水动力作用等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜参考本条款通用性指标。
b) 对于油气藏封存，宜进一步考虑构造背景、断裂和裂缝的发育情况、断裂封闭性、是否地震带、水文地质等特征性指标。
c) 对于煤层封存，宜进一步考虑距活断层距离、地震发生情况等特征性指标。

6.2.1.2 封存潜力条件要素，宜包括构造单元面积、沉积地层厚度、盖层埋深、盖层厚度、盖层渗透率、盖层分布连续性、盖层数量、储层埋深、储层厚度、储层孔隙度、储层渗透率、储层砂厚比、储层层间非均质性、储层数量、储盖组合数量、勘探程度、数据支持情况、资源潜力、单位面积封存潜力等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜进一步考虑封存潜力、使用年限等特征性指标。
——对于咸水层封存潜力值评价，可优先采用美国能源部（US-DOE）评价方法，可按附录 E 执行。
——对于已掌握不同捕获机理下封存潜力值计算因子详细数据的情况，可采用碳封存领导人论坛（CSLF）评价方法，可按附录 E 执行。
b) 对于油气藏封存，宜进一步考虑盆地面积、盆地深度、油气开采潜力（饱和度）、油气提高采收率、二氧化碳封存能力、使用年限、封存潜力等特征性指标。
——对于油气藏封存潜力值评价，可采用 US-DOE 评价方法、CSLF 评价方法或美国地质调查局（USGS）评价方法，可按附录 E 执行。
——对于已掌握溶解捕获机理下封存潜力值计算因子详细数据的情况，可采用中国石油勘探开发研究院和中国石油大学（北京）（RIPED&CUP）评价方法，可按附录 E 执行。
c) 对于煤层封存，宜进一步考虑盖层封闭性（泥岩厚度）、煤层气增产潜力（不可开采煤层中煤层气资源丰度）、二氧化碳封存潜力（单位面积封存潜力）、煤层深度等特征性指标；对于煤层封存潜力值评价，可采用 US-DOE 评价方法和 CSLF 评价方法，可按附录 E 执行。
d) 对于基性-超基性岩封存，宜参考通用性指标。
——对于基性-超基性岩封存潜力值评价，可采用基于自然类比的计算方法评估最大、最小封存潜力，可按附录 E 执行。
——对于已掌握岩石体积、物性及单位矿物固碳量等封存潜力值计算因子详细数据的情况，可采用基于储层岩石物性的计算方法和基于矿化实验的计算方法，可按附录 E 执行。

6.2.1.3 社会经济条件要素，对于咸水层封存、油气藏封存、煤层封存和基性-超基性岩封存等不同类型场址封存宜包括人口密度、土地利用现状、碳源密度、碳源规模等通用性指标。

6.2.2 目标区级/靶区级指标

6.2.2.1 工程地质条件要素，宜包括地热流值、地温梯度、地表温度、活动断裂的发育情况、基本地震动峰值加速度、历史地震、盖层断裂发育、储层岩性、水动力作用、地质灾害易发性、不良地质作用等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜进一步考虑盖层岩性、沉积环境等特征性指标。
b) 对于油气藏封存，宜进一步考虑盖层岩性、储层沉积环境、储层地层压力系数等特征性指标。
c) 对于煤层封存，宜进一步考虑距活断层距离等特征性指标。
d) 对于基性-超基性岩封存，宜进一步考虑距活断层距离等特征性指标。

6.2.2.2 封存潜力条件要素，宜包括盖层埋深、盖层厚度、盖层渗透率、盖层力学稳定性、盖层分布连续性、盖层封气指数、盖层数量、储层厚度、储层孔隙度、储层渗透率、储层渗透率变异系数、储层层间非均质性、储层分布连续性、储集体层状展布、储层数量、储盖组合数量、封存潜力等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜进一步考虑盖层突破压力、盖层扩散系数、储层埋深、储层地层组合等特征性指标。
b) 对于油气藏封存，宜进一步考虑盖层层序结构、储层地层组合等特征性指标。
c) 对于煤层封存，宜进一步考虑储层兰氏体积、兰氏压力、盖层的封闭性、煤层深度、煤层气增产潜力、单位面积封存潜力等特征性指标。
d) 对于基性-超基性岩封存，宜进一步考虑储层埋深、盖层的封闭性等特征性指标。
e) 对于不同类型封存场址的封存潜力值评价方法，可参照本文件 6.2.1.2 规定的要求执行。

6.2.2.3 社会经济条件要素，宜包括人口密度、公众认可程度与法规、土地利用现状、是否符合城市发展规划、是否在保护区、重点保护植物、碳源距离、运输方式、蕴矿状况等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜进一步考虑与居民点的距离、碳源规模、与保护区距离、基本设施、成本、二氧化碳地下水含水层、地下水补给区、水源的距离等特征性指标。
b) 对于油气藏封存，宜进一步考虑与居民点的距离、碳源规模等特征性指标。
c) 对于煤层封存，宜进一步考虑与居民点的距离、碳源规模、捕获成本、运输成本、供给能力、井的生产时间、煤层气输送管线长度、用户需求量等特征性指标。
d) 对于基性-超基性岩封存，宜进一步考虑与居民点的距离、碳源规模等特征性指标。

6.2.3 场地级指标

6.2.3.1 工程地质条件要素，宜包括地热流值、地温梯度、地表温度、活动断裂的发育情况、断裂和裂缝的发育情况、基本地震动峰值加速度、历史地震、地貌类型、地势、地形坡度、盖层断裂发育、储层岩性、储层沉积相、储层压力系数、水动力作用、与采煤塌陷区距离、地质灾害易发性、不良地质作用等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜进一步考虑盖层岩性、沉积环境、主导风向等特征性指标。
b) 对于油气藏封存，宜进一步考虑盖层岩性、储层沉积环境、储层地层压力系数等特征性指标。
c) 对于煤层封存，宜进一步考虑距活断层距离等特征性指标。
d) 对于基性-超基性岩封存，宜进一步考虑距活断层距离等特征性指标。

6.2.3.2 封存潜力条件要素，宜包括盖层埋深、盖层厚度、盖层渗透率、盖层力学稳定性、盖层分布连续性、盖层封气指数、盖层数量、储层厚度、储层层间非均质性、储层分布连续性、储集体层状展布、储层数量、地层水矿化度、封存潜力、使用年限等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜进一步考虑盖层突破压力、盖层扩散系数、储层埋深等特征性指标。
b) 对于油气藏封存，宜进一步考虑盖层层序结构、储层埋深、原油密度、原油粘度、原始含油饱和度、油气藏深度、油气藏温度、油气藏压力、油气藏倾度、油湿指数、孔隙度、渗透率、渗透率变异系数等特征性指标。

c) 对于煤层封存，宜进一步考虑物探工作程度、煤层深度、盖层的封闭性、煤层气潜力、二氧化碳封存潜力、煤层渗透率等特征性指标。

d) 对于基性-超基性岩封存，宜进一步考虑储层岩体完整性等特征性指标。

e) 对于不同类型封存场址的封存潜力值计算，可参照本文件 6.2.1.2 规定的要求执行。

6.2.3.3 社会经济条件要素，宜包括人口密度、与居民点的距离、公众认可程度与法规、土地利用现状、是否符合城市发展规划、是否在保护区、重点保护植物、运输方式、蕴矿状况等通用性指标。

a) 对于咸水层封存，宜进一步考虑碳源规模、与保护区距离、碳源距离、基本设施、成本、二氧化碳地下水含水层、地下水补给区、水源的距离等特征性指标。

b) 对于油气藏封存，宜参考通用性指标。

c) 对于煤层封存，宜进一步考虑捕获成本、碳源距离、运输成本、供给能力、井的生产时间、煤层气输送管线长度、用户需求量等特征性指标。

d) 对于基性-超基性岩封存，宜参考通用性指标。

6.2.3.4 工程风险条件要素，宜包括二氧化碳泄漏风险、二氧化碳注入诱发地震风险、二氧化碳注入诱发地面变形风险等通用性指标，可采用危险性指数和环境易损性指数等次级指标表征。

a) 二氧化碳泄漏风险评价

——空间范围应考虑可能受到注入活动影响的地上和地下空间，地下空间横向范围宜为二氧化碳注入后可能导致储层压力增高的区域边界，纵向范围宜为盖层上部地层。

——时间范围应考虑注入中、场地关闭及关闭后 100 年。

——泄漏的危险性指数，应考虑工程地质条件要素、井筒基本信息指标和本文件 5.3.2 中的灌注信息指标，可参照本文件 6.2.3.1 及 T/CSES 71 规定的指标要求。

——泄漏的环境易损性指数，应考虑二氧化碳泄漏的环境影响，可利用本文件 5.3.2 获取的数据进行环境影响的表征，并参照 T/CSES 71 规定的指标要求。

——泄漏的风险值应由危险性指数和环境易损性指数相乘得到，评价结果宜划分为风险大、风险中等、风险小、风险极小 4 个等级。

b) 二氧化碳注入诱发地震风险评价

——空间范围应考虑可能受到注入活动影响的地上和地下空间，地下空间横向范围宜为二氧化碳注入后可能导致储层压力增高的区域边界，纵向范围宜为含有断层的盖层、储层以及储层下方岩层，地上空间宜为可能受到诱发地震影响的地上场地。

——时间范围应考虑注入中、场地关闭及关闭后 5 年。

——诱发地震的危险性指数，应考虑工程地质条件要素和本文件 5.3.2 中的灌注信息指标，可参照本文件 6.2.3.1 及 T/CSES 71 规定的指标要求。

——诱发地震的环境易损性指数，应考虑人口密度、建筑物密度等本文件 6.2.3.3 规定的指标。

——诱发地震的风险值计算流程可参照本条款 a) 的规定。

c) 二氧化碳注入诱发地面变形风险评价。

——空间范围应考虑可能受到注入活动影响的地表，地下空间横向范围宜为二氧化碳注入后可能导致储层压力变化的区域边界，纵向范围宜为盖层上部地层。

——时间范围应考虑注入中、场地关闭及关闭后 10 年。

——诱发地面变形的危险性指数，应考虑工程地质条件要素和本文件 5.3.2 中的灌注信息指标，可参照本文件 6.2.3.1 及 T/CSES 71 规定的指标要求。

——诱发地面变形的环境易损性指数，应考虑人口密度、建筑物密度等本文件 6.2.3.3 规定的指标。

——诱发地面变形的风险值计算流程可参照本条款 a) 的规定。

7 选址方法

7.1 一般规定

7.1.1 应遵循尺度从大到小开展场址适宜性评价。

7.1.2 对于盆地级场址适宜性评价，宜对盆地的一级或二级构造单元开展工程地质条件、封存潜力条件、社会经济条件等选址要素的综合评价，获得比选目标区/靶区。

7.1.3 对于目标区级/靶区级场址适宜性评价，宜对比选目标区/靶区开展工程地质条件、封存潜力条件、社会经济条件等选址要素的综合评价，获得比选场地。

7.1.4 对于场地级场址适宜性评价，宜对比选场地开展工程地质条件、封存潜力条件、社会经济条件、工程风险条件等选址要素的综合评价，获得优选场地。

7.1.5 如果目标区级/靶区级评价无法得到比选场地，应返回盆地级重新选定比选目标区/靶区；如果场地级评价无法得到优选场地，应返回目标区级/靶区级重新选定比选场地。

7.2 选址要素评价

7.2.1 工程地质条件要素评价

7.2.1.1 应对本文件 6.2 推荐的工程地质条件指标开展综合分析，确定工程地质条件各指标分值和各指标权重。

a) 工程地质条件各指标宜按“适宜”、“较适宜”、“不适宜”分为 3 级，并分别进行赋值，获得指标分值，具体指标赋值方法可按附录 B、C、D 执行。
b) 工程地质条件各指标权重 P 可采用专家打分法、层次分析法等方法确定。

7.2.1.2 根据指标权重及指标分值，可采用地理信息系统（GIS）软件平台，进行多因子空间计算，获得工程地质条件指数；根据工程地质条件指数，可利用专家经验或自然间断点分级方法确定指数阈值，获得工程地质条件要素评价结果，宜划分为“适宜”、“较适宜”和“不适宜”3 个等级。

7.2.1.3 可采用 GIS 软件平台，对工程地质条件要素评价结果进行局部平滑和噪音处理，绘制工程地质条件要素评价图。

7.2.2 封存潜力条件要素评价

评价流程宜根据本文件 6.2 推荐的封存潜力条件指标，可参照本文件 7.2.1 规定的内容执行，获得封存潜力条件要素评价结果及评价图。

7.2.3 社会经济条件要素评价

评价流程宜根据本文件 6.2 推荐的社会经济条件指标，可参照本文件 7.2.1 规定的内容执行，获得社会经济条件要素评价结果及评价图。

7.2.4 工程风险条件要素评价

7.2.4.1 应在二氧化碳泄漏风险、二氧化碳注入诱发地震风险和二氧化碳注入诱发地面变形风险评价结果基础上开展。

7.2.4.2 可采用专家打分法、层次分析法等方法确定二氧化碳泄漏风险权重、二氧化碳注入诱发地震风险权重、二氧化碳注入诱发地面变形风险权重。

7.2.4.3 可采用 GIS 软件平台对各类风险评价结果及其权重进行多因子空间计算，可参照本文件

7.2.1 规定的流程，获得工程风险条件要素评价结果，宜划分为风险大、风险中等、风险小和风险极小 4 个等级，绘制工程风险条件要素评价图。

7.3 场址适宜性评价

7.3.1 应在选址要素评价的基础上开展场址适宜性评价，获得场址适宜性评价指数。

a) 针对盆地级和目标区级/靶区级尺度，可参照本文件 7.2.1 规定的流程，宜首先确定工程地质条件、封存潜力条件、社会经济条件等选址要素权重，基于各个选址要素的评价结果，可采用 GIS 软件平台进行多因子空间计算，获得场址适宜性评价指数。
b) 针对场地级尺度，可参照本文件 7.2.1 规定的流程，宜首先确定工程地质条件、封存潜力条件、社会经济条件、工程风险条件等选址要素权重，并基于各个选址要素的评价结果，可采用 GIS 软件平台进行多因子空间计算，在此基础上获得场址适宜性评价指数。

7.3.2 根据场址适宜性评价指数，可利用专家经验或自然间断点分级方法确定指数阈值，获得场址适宜性评价结果，宜划分为“适宜”、“较适宜”和“不适宜”3 个等级，绘制场址适宜性分区评价图。

7.3.3 可将盆地级和目标区级/靶区级场址适宜性评价结果为“适宜”、“较适宜”的分区作为次一级尺度的比选区域；宜将场地级场址适宜性评价结果为“适宜”的分区作为优选场地。

7.3.4 评价单元可采用栅格单元，盆地级评价精度（栅格分辨率）宜优于 250 m×250 m，目标区级/靶区级评价精度宜优于 50 m×50 m，场地级评价精度宜优于 12.5 m×12.5 m。

8 选址成果

应充分利用场址基础数据，按照场址适宜性评价的需求进行，对不同尺度下相应精度的数据、图件、报告等选址成果进行整理。

8.1 数据应要素齐全，包含指标类型、参数、适宜性、数据来源等基本要素；数据应符合国家基本比例尺、国家坐标系统等基本要求，符合地理、地质、遥感、物探、化探、测试等数据要求。

8.2 图件应在深入分析和综合研究的基础上进行编制，包括工程地质条件要素评价图、封存潜力条件要素评价图、社会经济条件要素评价图、工程风险条件要素评价图、场址适宜性分区评价图以及相应的图件说明书。

8.2.1 图式、图例、符号、用色原则等可参照 GB/T 958 和 DZ/T 0179。

8.2.2 图面应简洁易懂、要素齐全，体现真实性、科学性、针对性和实用性。

8.3 报告应在综合分析场址背景数据的基础上，按照场址适宜性评价结果进行编制。

8.3.1 宜包括搜集的资料和调查、勘察、测试等资料，不同选址尺度和不同场址类型的选址要素指标和场址适宜性评价结果的分析及说明。

8.3.2 应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据、建议合理，便于使用和长期保存，并应因地制宜、突出重点。

8.3.3 报告提纲应按附录 F 执行。

附 录 A
（资料性附录）
灌注试验监测

表 A.1 给出了灌注试验监测内容和监测技术类型
表 A.2 给出了地球物理监测技术
表 A.3 给出了地球化学监测技术
表 A.4 给出了井孔监测技术
表 A.5 给出了土壤二氧化碳通量监测技术
表 A.6 给出了大气二氧化碳监测技术

表 A.1 灌注试验监测内容和监测技术类型表

监测内容	技术类型	监测报告
直接二氧化碳饱和度(点)	地球化学监测方法	宜包括监测设备布置图，监测的原始数据及采集时间，土壤水饱和状况等近地表条件的描述，注入速率和注入压力等信息，监测方法敏感性及监测异常信息，监测数据处理步骤及使用的主要假设，二氧化碳羽流位置、压力前缘位置、诱发地震和诱发地面变形等的地球物理解译结果，地球物理解译结果与相应数值模拟结果的对比。
间接二氧化碳羽流(面、体)	地震监测方法、重力监测方法、电法/电磁法监测方法、微动监测方法	
直接压强(点)	井孔监测方法	
间接压强(面、体)	地震监测方法	
地层温度	井孔监测方法	
地下水化学组分	地球化学监测方法	
土壤二氧化碳通量	土壤碳二氧化通量监测方法	
大气二氧化碳含量	大气监测方法	
诱发地震	微震监测方法、建筑物振动监测方法	
诱发地面变形	合成孔径雷达干涉(InSAR)监测方法、重力监测方法	

表 A.2 地球物理监测技术表

技术类型	具体要求
地震监测方法	宜包括但不限于时移地震勘探、垂直地震剖面和井间地震监测；地震波源和接收器可布设在地表或地下钻孔，布设方法可参照DZ 47；时移地震勘探数据处理方法可参照GB/T 33685。
微震监测方法	宜包括但不限于地面监测和井中监测。 地面监测设备应广泛分布于封存场址，井中监测设备应选取至少一口监测井进行监测；微震监测应实时对数据进行接收、汇集、存储并自动处理，获取地震定位、震级及震源机制，建立地震动衰减关系，完成震级ML≥1.0的地震烈度分布图、场地峰值加速度(PGA)或场地峰值速度(PGV)等值线图的绘制；基于微震监测结果，应开展场地周边断层活化调查与发震能力评价，建立监测预警和管理模式。
重力监测方法	宜包括重力仪布设、重力数据解译等内容。重力仪可布设在地表或者钻孔中，具体布设方法可参照SY/T 5819；在采集重力数据后应进行仪器漂移、海拔差异和其他布设特定条件的校正；重力数据应与剖面图、地层和区域地质信息进行联合解译以获取合理结果。
电法/电磁法监测方法	电法可参照DZ/T 0069、DZ/T 0072和DZ/T 0073；电磁法可参照GB/T 14499、DZ/T 0069、DZ/T 0153、DZ/T 0187、DZ/T 0280、SY/T 6688、SY/T 7072。
微动监测方法	应根据封存场址信号源特征及探测目标参数设定布设方法，在首次布设仪器之前，进行仪器一致性测试；在二氧化碳注入之前，应进行地质结构的首次探测，以此作为二氧化碳注入后引起的地层岩性波速变化监测的背景值；自二氧化碳注入开始，如有条件可进行长时观测，按不同的时间段进行地质结构成像。
合成孔径雷达干涉(InSAR)监测方法	地面变形监测空间范围宜为二氧化碳注入后储层压力变化的区域边界；当二氧化碳注入诱发地面变形的速率为1 m/a及以上，可采用Offset-SAR方法监测；当地面变形的速率为1 cm/a～1 m/a，可采用Stacking-InSAR或SBAS-InSAR方法监测；当地面变形的速率为1 mm/a～1 dm/a，可采用PS-InSAR方法监测；InSAR监测质量控制流程可参照T/CAGHP 013；InSAR地面变形监测前期数据准备应包括SAR数据和辅助数据两部分，数据选择可参照T/CAGHP 013和DD 2014-11。

表 A.3 地球化学监测技术表

技术类型	监测对象	监测层位	监测指标
原位监测方法	应为地层水的pH值和电导率。	宜包括但不限于二氧化碳注入层、上覆浅部含水层及表层土壤。	宜包括但不限于地层水pH值、电导率、溶解性总固体含量、碱性化合物浓度、基本化学成分分析(Ca^{2+}、Mg^{2+}、Na^{+}、K^{+}、F^{-}、Cl^{-}、SO_4^{2-})、微量元素、碳同位素、锶同位素、硫同位素、气体组成及二氧化碳的碳氧同位素、地层水和表层土壤的微生物群落的丰度及多样性、人工示踪剂；监测方案应根据注入量、监测指标敏感性以及经费情况等因素制定。
取样测试监测方法	应为地层水和气体样品的化学组分和同位素，监测二氧化碳是否发生盖层突破或者泄漏。		

表 A.4 井孔监测技术表

技术类型	监测对象	具体要求
注入井监测方法	宜为灌注量、灌注压力、灌注速率、储层盖层压力与温度、储层内二氧化碳扩散运移与地下水水质变化等参数。井孔监测设计可参照T/CSES 71。	监测点布置应包括但不限于二氧化碳封存的储层盖层。宜采用分布式光纤温度感应技术(Distributed Temperature Sensing，DTS)和分布式光纤声波感应技术(Distributed Acoustic Sensing，DAS)进行联合监测，实现全井段的温度和声波等参数实时测量。井孔实时监测可将注入前监测基线(如井温)作为参考，在灌注中和灌注后实时测量曲线是否偏离基线，并结合多种监测指标评价泄漏风险。
观测井监测方法	宜为储层温度、压力、应变等参数。温度测量监测精度宜为±0.2 ℃，压力测量监测精度宜为0.02%。井孔监测设计可参照T/CSES 71。	

表 A.5 土壤二氧化碳通量监测技术表

监测方案	监测方法
应比较二氧化碳灌注试验前后地表土壤二氧化碳通量的差异。应根据封存场址的特征来制定，宜采取多点位多次监测的方式，在可能发生泄漏的点位和潜在泄漏路线周围密集布点。	宜采用密闭箱监测法，将土壤呼吸室置于土壤表面，连接至气体分析仪上。可从统计学的角度制定适用于特定场地的土壤二氧化碳通量结果分级标准，并结合其他监测指标综合评估，可参照T/CSES 71。

表 A.6 大气二氧化碳监测技术表

监测方案	监测方法
应监测地表大气中二氧化碳浓度变化，监测方案可参照T/CSES 71。	大气样品的采集可采用直接采样法，包括玻璃注射器采样法、塑料袋采样法、球胆采样法、采气管采样法和采样瓶采样法等。自动监测频次要求可参照HJ 75，手工监测频次宜不低于1次/月。大气样品的分析宜首先选择国家颁布的标准分析方法，其次选择国家环保总局等颁布的标准分析方法，对没有标准分析方法的监测项目，可参照《空气和废气监测分析方法(第四版)》(国家环保总局，2003)中推荐的方法。大气监测结果及评价标准可参照T/CSES 71。

附 录 B

（资料性附录）

眨垒缉仮沉卸礴屣宪遨垢捩桩割缉裊

表 B.1 给出了盆地级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级
表 B.2 给出了盆地级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级
表 B.3 给出了盆地级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级
表 B.4 给出了盆地级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级
表 B.5 给出了盆地级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级
表 B.6 给出了盆地级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级
表 B.7 给出了盆地级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级
表 B.8 给出了盆地级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级

表 B.1 盆地级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级表

通用性指标	适宜	较适宜	不适宜
地热流值/(mW·m^{-2})	<54.5	[54.5,75]	>75
地温梯度/(℃·(100 m)$^{-1}$)	<2	[2,4]	>4
地表温度/℃	<-2	[-2,10]	>10
活动断裂的发育情况	远离活动断裂带(>25 km)，无活动断裂通过	距活动断裂较近(<25 km)，无活动断裂通过或有新近纪断裂通过，但断裂在全新世活动不明显	有活动断裂通过，但活动断裂规模较小、活动较弱或位于大的活动断裂带上或活动断裂带的交汇处，断裂活动强烈
火山发育频次	火山少发区	火山发生区	火山多发区
距活火山距离/km	>250	[25,250]	<25
基本地震动峰值加速度/g	<0.05	[0.05,0.1]	>0.1
历史地震	历史地震围空区	M≤6	M>6
距震中距离/km	>250	[25,250]	<25
盖层岩性	膏岩、泥岩/钙质泥岩	含砂泥岩、含粉砂泥岩、粉砂质泥岩、砂质泥岩	泥质粉砂岩、泥质砂岩、裂缝发育的灰岩、粗碎屑砂岩
储层岩性	碎屑岩	碎屑岩、碳酸盐混合或碳酸盐	岩浆岩、变质岩、盐丘等特殊储层
水动力作用	水力封闭作用	水力封堵作用	水力运移逸散作用

表 B.2 盆地级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
构造背景	克拉通前陆	内陆裂谷，库扩散被动盆地	走滑断裂盆地
断裂和裂缝的发育情况	有限断层，裂缝大的泥岩	有限断层，有限裂缝	中等断层和大断层，大裂缝
断裂封闭性	稳定	中等	不稳定

是否地震带	地震少发区	地震发生区	地震多发区
水文地质	重力驱动，长范围流动规模，流动深度深	侵蚀回流，混合作用；长范围流动规模，中等流动规模，流动深度浅、流动深度中等	挤压驱动，压实作用，短距离流动规模，流动深度浅

表 B.3 盆地级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
距活断层距离/km	>10	[5,10]	<5
地震发生情况	100年内发生5级以下地震	100年内发生5级-7级地震	100年内发生7级以上地震

表 B.4 盆地级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级表

通用性指标		适宜	较适宜	不适宜
封存潜力/10^8 t		>50	[0.5,50]	<0.5
使用年限/a		>30	30	<30
构造单元面积/km^2		>5000	[500,5000]	<500
沉积地层厚度/m		>3500	[1600,3500]	<1600
盖层	埋深(主力盖层)/m	[800,1200)	[1200,3500]	>3500或<800
	厚度(主力盖层的单层厚度)/m	>100	[30,100]	<30
	渗透率/10^{-3} μm^2	<0.0001	[0.0001,0.01]	>0.01
	连续性	连续，稳定	较连续或连续中等，较稳定	连续新较差或连续性差，较不稳定或不稳定
	数量	多套，质量好	多套或一套，质量较好	一套或无，质量差
储层	埋深/m	[800,3500]	[800,3500]	>3500或<800
	厚度/m	>100	[20,100]	<20
	孔隙度/%	>25	[10,25]	<10
	渗透率/10^{-3} μm^2	>50	[1,50]	<1
	砂厚比/%	>60	[20,60]	<20
	层间非均质性(砂体连续性)/m	>2000	[600,2000]	<600
	数量(区域性)	多套	可能存在	无

	储盖组合数量(区域性)	多套	可能存在	无
勘探程度		开发中	勘探程度一般	勘探程度低或未勘探过
数据支持情况		数据充分，可靠	数据一般充分，一般可靠	数据不充分
资源潜力(油气、煤规模)		大	一般	小
单位面积封存潜力/(10^4 t·km^{-2})		>150	[50,150]	<50

表 B.5 盆地级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
封存潜力/10^4 t	>900	[300,900]	<300
使用年限/a	>30	30	<30

表 B.6 盆地级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
盆地面积/km^2	>100	[10,100]	<10
盆地深度/m	>5000	[1000,5000]	<1000
油气开采潜力(饱和度)/%	>70	[25,70]	<25
油气提高采收率/%	>10	[5,10]	<5
二氧化碳封存能力/10^4 t	>900	[300,900]	<300
使用年限/a	>30	30	<30
封存潜力/10^8 t	>50	[0.5,50]	<0.5

表 B.7 盆地级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
盖层封闭性(泥岩厚度)/m	>50	[10,50]	<10
煤层气增产潜力(不可开采煤层中煤层气资源丰度)/(10^8 m^3·km^{-2})	>2	[1,2]	<1
二氧化碳封存潜力(单位面积封存潜力)/(10^8 m^3·km^{-2})	>4	[2,4]	<2
煤层深度/m	>1500	[1200,1500]	<1200

表 B.8 盆地级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级表

通用性指标	适宜	较适宜	不适宜
人口密度/(人·km^{-2})	<25	[25,100]	>100
土地利用现状	沙漠等未利用土地	牧草地、林地	耕地、园地、居民点及工矿用地、交通用地、水域

碳源密度	高	中	低
碳源规模/10^4 t	>20000	[1000,20000]	<1000

附 录 C

（资料性附录）

目标区级/靶区级二氧化碳封存选址指标分级表

表 C.1 给出了目标区级/靶区级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级

表 C.2 给出了目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级

表 C.3 给出了目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级

表 C.4 给出了目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级

表 C.5 给出了目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级

表 C.6 给出了目标区级/靶区级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级

表 C.7 给出了目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级

表 C.8 给出了目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级

表 C.9 给出了目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级

表 C.10 给出了目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级

表 C.11 给出了目标区级/靶区级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级

表 C.12 给出了目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级

表 C.13 给出了目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级

表 C.14 给出了目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级

表 C.15 给出了目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级

表 C.1 目标区级/靶区级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级表

通用性指标	适宜	较适宜	不适宜
地热流值/(mW·m^{-2})	[30,50)	[50,90]	>90
地温梯度/(℃·(100 m)$^{-1}$)	<2	[2,4]	>4
地表温度/℃	<2	[2,10]	>10
活动断裂的发育情况	25 km内无活动断裂，且外围25 km范围内不存在活断层	目标靶区内无活动断裂，但其外围25 km范围内存在活断层	目标靶区内及其外围是否发育有活动断裂迄今尚不明确
基本地震动峰值加速度/g	<0.05	[0.05,0.1]	>0.1
历史地震	历史地震围空区	M≤6	M>6
盖层断裂发育	有限的断层和裂缝，大的泥岩	中等断层中等裂缝	大断层大裂缝
储层岩性	碎屑岩	碎屑岩与碳酸盐混合	碳酸盐岩
储层沉积相	河流、三角洲	浊流、冲积扇	滩坝与生物礁

水动力作用	盖层	水动力条件	地下水高度封闭区	地下水封闭区	地下水半封闭区
	储层	水动力作用	水力封闭作用	水力封堵作用	水力运移逸散作用
地质灾害易发性(崩塌、滑坡、泥石流等)			无	低易发	中-高易发
不良地质作用	是否在采矿塌陷区、岩溶塌陷区、地面沉降区、沙漠活动区、火山活动区		否	-	是
	是否低于江河湖泊、水库最高水位线或洪泛区		否	-	是
	是否存在活动褶皱、断层封启性变化		否	-	是

注：水力封闭作用指地下水对气体具有封隔作用，水力封堵作用指在压力差条件下，气体从高压力区（深部）向低压力区（浅部）渗流，地下水由浅部向深部运动，岩层中向上扩散的气体被封堵聚集的现象；水力运移逸散作用指岩层中具有水性断层或裂隙沟通含水层，地下水在运动过程中携带气体运移而逸散。

表 C.2 目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标		适宜	较适宜	不适宜
盖层岩性		蒸发岩类	泥质岩类	页岩和致密灰岩
沉积环境	陆相	冲积平原、三角洲平原和三角洲前缘水下分流河道；砂砾岩、粗砂岩	冲积扇、三角洲前缘、滨浅湖；中-细砂岩	湖底扇、浅-半深湖及其他；粉-泥质砂岩
	海相	封闭或半封闭浅水碳酸盐台富含生物的潮间带；生物碎屑灰岩	潮上带和潮下带；碳酸盐岩	其他

表 C.3 目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标		适宜	较适宜	不适宜
盖层岩性		蒸发岩类	泥质岩类	页岩和致密灰岩
储层	沉积环境	冲积平原、三角洲平原和三角洲前缘水下分流河道	冲积扇、三角洲前缘、滨浅湖	湖底扇、浅-半深湖及其他
		封闭或半封闭浅水碳酸盐台地、富含生物的潮间带	潮上带和潮下带	其他
	地层压力系数	<0.9	[0.9,1.1]	>1.1

表 C.4 目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
距活断层距离/km	>10	[5,10]	<5

表 C.5 目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
距活断层距离/km	>10	[5,10]	<5

表 C.6 目标区级/靶区级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级表

通用性指标		适宜	较适宜	不适宜
盖层	分布连续性	分布连续性、具区域性	分布基本连续	分布不连续、局限
	埋深/m	<1000	[1000,2700]	>2700
	厚度(单层)/m	>20	[10,20]	<10
	厚度(累计)/m	>300	[150,300]	<150
	渗透率/10^{-3} μm^2	<0.0001	[0.0001,0.01]	>0.01
	力学稳定性	稳定	较稳定	不稳定
	突破压力	高	中	低
	扩散系数	小	中	大
	封气指数/(Hg·m^{-1})	>200	[100,200]	<100
	数量	多套	一套	无
储层	埋深/m	[800,3500]	>3500	<800
	厚度/m	>80	[30,80]	<30
	孔隙度/%	>15	[10,15]	<10
	渗透率/10^{-3} μm^2	>50	[10,50]	<10

	渗透率变异系数	<0.5	[0.5,0.6]	>0.6
	层间非均质性(砂体连续性)/m	>2000	[600,2000]	<600
	分布连续性/m	>2000	[600,2000]	<600
	储集体层状展布	二氧化碳易运移至层状储集体压力相对小的或构造高的位置		
	数量	多套	可能存在	无
储盖组合数量(区域性)	是否处于储盖层交界处	否	-	是
	多层盖层-储层形式	多层盖层-储层形式既可能加大泄漏风险，又可能降低泄漏风险		
	单一盖层-储层形式	单一盖层-储层形式盖层厚度大，但单一盖层一旦被二氧化碳突破，封存系统将完全失效		
封存潜力/10^8 t		>50	[0.5,50]	<0.5
单位面积封存潜力/(10^4 t·km^{-2})		>100	[10,100]	<10

表 C.7 目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标			适宜	较适宜	不适宜
盖层	突破压力		高	中	低
	扩散系数		小	中	大
储层	埋深/m		[800,3500]	>3500	<800
	孔隙度/%	砂岩	>15	[10,15]	<10
		碳酸盐岩	>12	[4,12]	<4
	渗透率/10^{-3} μm^2	砂岩	>50	[10,50]	<10
		碳酸盐岩	>10	[5,10]	<5
	地层组合(含砂厚比)%		砂岩(碳酸岩盐)夹泥岩、层状分布；砂厚比>60	砂泥岩互层或泥岩夹砂岩；砂厚比[20,60]	泥岩夹砂岩；砂厚比<20

表 C.8 目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标			适宜	较适宜	不适宜
盖层	层序结构		多套，质量好	多套，质量一般	无
储层	孔隙度/%	砂岩	>15	[10,15]	<10
		碳酸盐岩	>12	[4,12]	<4
	渗透率/10^{-3} μm^2	砂岩	>50	[10,50]	<10
		碳酸盐岩	>10	[5,10]	<5
	地层组合(含砂厚比)/%		砂岩夹泥岩，砂厚比>60	砂、泥岩互层或泥岩夹砂岩，砂厚比[20,60]	泥岩夹砂岩，砂厚比<20

表 C.9 目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标		适宜	较适宜	不适宜
储层	兰氏体积	大	中	小
	兰氏压力	高	中	低
盖层的封闭性(泥岩厚度)/m		>50	[10,50]	<10
煤层深度/m		>1500	[1200,1500]	[1000,1200)
煤层气增产潜力(不可开采煤层中煤层气资源丰度)/(10^8 m^3·km^{-2})		>2	[1,2]	<1
二氧化碳封存潜力(单位面积封存潜力)/(10^8 m^3·km^{-2})		>4	[2,4]	<2

表 C.10 目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
储层埋深/m	[800,3500]	>3500	<800
盖层的封闭性(泥岩厚度)/m	>50	[10,50]	<10

表 C.11 目标区级/靶区级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级表

通用性指标	适宜	较适宜	不适宜
人口密度/(人·km^{-2})	<25	[25,50]	>50
公众认可程度与法规	公众认可度高，法规完善	公众认可度一般，法规需修改	公众排斥
土地利用现状	沙漠等未利用土地	牧草地、林地、耕地、园地	居民点及工矿用地、交通用地、水域等

是否符合城市发展规划	符合	符合	不符合
是否在保护区	不在，且>10 km	不在，但可能存在影响	在
重点保护植物	无、低	少、一般	多、高
碳源距离/km	<10	[10,30]	>30
运输方式	管道	公路、铁路	船舶
蕴矿状况	不压覆矿产	有矿产，但互不影响	压覆矿产

表 C.12 目标区级/靶区级咸水层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
与居民点的距离/m	>800	800	<800
碳源规模/(10^4 t·a)	>25	[10,25]	<10
与保护区距离/m	>3000	3000	<3000
基本设施	完善	中等	不完善
成本	低	中	高
二氧化碳地下水含水层	无	有，但下伏有良好的隔水层	有，下伏无良好的隔水层
地下水补给区	不在	不在	在
水源的距离/m	>150	150	<150

表 C.13 目标区级/靶区级油气藏二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
与居民点的距离/m	>1200	[800,1200]	<800
碳源规模/(10^4 t·a)	>25	[10,25]	<10

表 C.14 目标区级/靶区级煤层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
与居民点的距离/m	>1200	[800,1200]	<800
碳源规模/(10^4 t·a)	>25	[10,25]	<10
捕获成本/(元·t^{-1})	<200	[200,400]	>400
运输成本/(元·km^{-1}·t^{-1})	<0.1	[0.1,0.3]	>0.3
供给能力/10^5 t	>5×10^5	[1×10^5,5×10^5]	<1×10^5
井的生产时间/a	>10	[5,10]	<5
煤层气输送管线长度/km	<30	[30,100]	>100
用户需求量/(10^4 m^3/a)	10000	[3000,10000]	<3000

表 C.15 目标区级/靶区级基性-超基性岩二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
与居民点的距离/m	>1200	[800,1200]	<800
碳源规模/(10^4 t·a)	>100	[50,100]	<50

附 录 D

（资料性附录）

垛垒缉仮沉卸譬屣宪遨垢捩桩割缉裊

表 D.1 给出了场地级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级
表 D.2 给出了场地级咸水层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级
表 D.3 给出了场地级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级
表 D.4 给出了场地级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级
表 D.5 给出了场地级基性-超基性岩二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级
表 D.6 给出了场地级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级
表 D.7 给出了场地级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级
表 D.8 给出了场地级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级
表 D.9 给出了场地级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级
表 D.10 给出了场地级基性-超基性岩二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级
表 D.11 给出了场地级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级
表 D.12 给出了场地级咸水层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级
表 D.13 给出了场地级煤层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级

表 D.1 场地级二氧化碳封存选址工程地质条件要素通用性指标分级表

通用性指标	适宜	较适宜	不适宜
地热流值/(mW·m^{-2})	<50	[50,70]	>70
地温梯度/(℃·(100 m)$^{-1}$)	<2	[2,3]	>3
地表温度/℃	<3	[3,25]	>25
活动断裂的发育情况	25 km内无活动断裂，且外围25 km范围内不存在活断层	场地级尺度内无活动断裂，但其外围25 km范围内存在活断层	场地级尺度内及其外围是否发育有活动断裂迄今尚不明确
断裂和裂缝的发育情况	有限的裂缝，无断层	裂缝发育中等，无断层	大裂缝，发育断层中等
基本地震动峰值加速度/g	<0.05	[0.05,0.1]	>0.1
历史地震	历史地震围空区	M≤6	M>6
地貌类型	固定沙丘	基岩丘陵或半固定沙丘	水域
地势/m	>1250	[1150,1250]	[900,1150)
地形坡度/°	<10	[10,25]	>25
盖层断裂发育	有限的断层和裂缝，大的泥岩	中等断层中等裂缝	大断层大裂缝
储层岩性	碎屑岩	碎屑岩、碳酸盐岩混合	碳酸盐岩
储层沉积相	河流、三角洲	浊流、冲积扇	滩坝与生物礁
储层压力系数	<0.9	[0.9,1.1]	>1.1

水动力作用		水力封堵作用	水力封闭作用	水力运移逸散作用
与采煤塌陷区距离/km		>25	[20,25]	<20
地质灾害易发性		不易发	低-中易发	高易发
不良地质作用	是否在采矿塌陷区、岩溶塌陷区、地面沉降区、沙漠活动区、火山活动区	否	否，但可能存在影响	是
	是否低于江河湖泊、水库最高水位线或洪泛区	否	否，但可能存在影响	是

表 D.2 场地级咸水层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标		适宜	较适宜	不适宜
盖层岩性		蒸发岩类	泥质岩类	页岩和致密灰岩
沉积环境	陆相	冲积平原、三角洲平原和三角洲前缘水下分流河道；砂砾岩、粗砂岩	冲积扇、三角洲前缘、滨浅湖；中-细砂岩	湖底扇、浅-半深湖及其他；粉-泥质砂岩
	海相	封闭或半封闭浅水碳酸盐台富含生物的潮间带；生物碎屑灰岩	潮上带和潮下带；碳酸盐岩	其他
主导风向		下风向	侧风向	上风向

表 D.3 场地级油气藏二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标		适宜	较适宜	不适宜
盖层	岩性	蒸发岩类	泥质岩类	页岩和致密灰岩
储层	沉积环境	冲积平原、三角洲平原和三角洲前缘水下分流河道	冲积扇、三角洲前缘、滨浅湖	湖底扇、浅-半深湖及其他
		封闭或半封闭浅水碳酸盐台地、富含生物的潮间带	潮上带和潮下带	其他
	地层压力系数	<0.9	[0.9,1.1]	>1.1

表 D.4 场地级煤层二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
距活断层距离/km	>10	[5,10]	<5

表 D.5 场地级基性-超基性岩二氧化碳封存选址工程地质条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
距活断层距离/km	>10	[5,10]	<5

表 D.6 场地级二氧化碳封存选址封存潜力条件要素通用性指标分级表

通用性指标			适宜	较适宜	不适宜
盖层	分布连续性		分布连续性、具区域性	分布基本连续	分布不连续、局限
	埋深(主力盖层)/m		[800,1200)	[1200,1700]	>1700
	厚度(主力盖层的单层厚度)/m		>100	[50,100]	<50
	渗透率/10^{-3} μm^2		<0.01	[0.01,1]	>1
	力学稳定性		稳定	较稳定	不稳定
	封气指数/m		>200	[100,200]	<100
	数量		多套，质量好	多套，质量一般	一套
储层	厚度/m		>80	[30,80]	<30
	孔隙度/%	砂岩	>15	[10,15]	<10
		碳酸盐岩	>12	[4,12]	<4
	渗透率/10^{-3} μm^2	砂岩	>50	[10,50]	<10
		碳酸盐岩	>10	[5,10]	<5
	地层组合(含砂厚比)%		砂岩(碳酸岩盐)夹泥岩、层状分布；砂厚比>60	砂泥岩互层或泥岩夹砂岩；砂厚比[20,60]	泥岩夹砂岩；砂厚比<20
	长宽比(有效储层)		<1:3	[1:3,1:5]	>1:5
	渗透率变异系数		<0.5	[0.5,0.6]	>0.6
	层间非均质性(砂体连续性)/m		>1200	[600,1200]	<600
	分布连续性/m		>2000	[600,2000]	<600
	储集体层状展布		二氧化碳易运移至层状储集体压力相对小的或构造高的位置		
	数量		多套	可能存在	无
	注入能力(主力储层)/m^3		>10^{-13}	[10^{-15},10^{-13}]	<10^{-15}
地层水矿化度/(g·L^{-1})			[10,50]	[3,10]	<3或>50
封存潜力/10^4 t			>900	[300,900]	<300
单位面积封存潜力/(10^4 t·km^{-2})			>100	[10,100]	<10
使用年限/a			>30	[10,30]	<10

表 D.7 场地级咸水层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标		适宜	较适宜	不适宜
盖层	突破压力	高	中	低
	扩散系数	小	中	大
储层	埋深/m	[800,3500]	>3500	<800

表 D.8 场地级油气藏二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标		适宜	较适宜	不适宜
盖层	层序结构	多套，质量好	多套，质量一般	无
储层	埋深/m	[800,3500]	>3500	<800
原油密度/(g·cm^{-3})		<0.82	[0.82,0.88]	(0.88,0.9]
原油粘度/(mPa·s)		<2	[2,8]	(8,10]
原始含油饱和度/%		>70	[40,70]	<40
油气藏深度/m		[1500,2000)	[2000,3500]	>3500
			[800,1500]	<800
油气藏温度/℃		[80,90)	[90,120]	>120
			[50,80]	<50
油气藏压力/MPa		[15,20)	[20,30]	>35
			[10,15]	<10
油气藏倾度/°		>70	[10,70]	<10
油湿指数		(0.8,1]	[0.4,0.8]	[0,0.4)
孔隙度/%		[10,15)	[15,25]	>25
			[6,10]	<6
渗透率/10^{-3} μm^2		[0.1,10)	[10,200]	(200,500]
渗透率变异系数		<0.5	[0.5,0.7]	>0.7

表 D.9 场地级煤层二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
物探工作程度	三维地震测线	二维地震测线	其他
煤层深度/m	>1500	[1200,1500]	[1000,1200)
盖层的封闭性(泥岩厚度)/m	>50	[10,50]	<10
煤层气潜力(不可开采煤层中煤层气资源丰度)/(10^8 m^3·km^{-2})	>2	[1,2]	<1
二氧化碳封存潜力(单位面积封存潜力)/(10^8 m^3·km^{-2})	>4	[2,4]	<2
煤层渗透率/10^{-3} μm^2	>10	[1,10]	<1

表 D.10 场地级基性-超基性岩二氧化碳封存选址封存潜力条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
储层岩体完整性	孔隙结构发育，节理、破裂、角砾化程度高	节理、裂隙发育程度一般，岩体基本完整	孔隙、裂隙不发育，岩体致密完整性高

表 D.11 场地级二氧化碳封存选址社会经济条件要素通用性指标分级表

通用性指标	适宜	较适宜	不适宜
人口密度/(人·km^{-2})	<25	[25,50]	>50
与居民点的距离/m	>1200	[800,1200]	<800
公众认可程度与法规	公众认可度高，法规完善	公众认可度一般，法规需修改	公众排斥
土地利用现状	沙漠等未利用土地	牧草地、林地、耕地、园地	居民点及工矿用地、交通用地、水域等
是否符合城市发展规划	符合	符合	不符合
是否在保护区	不在，且>10 km	不在，但可能存在影响	在
重点保护植物	无、低	少、一般	多、高
碳源规模/(10^4t·a)	>100	[50,100]	<50
碳源距离/km	<10	[10,30]	>30
运输方式	管道	公路、铁路	船舶
蕴矿状况	不压覆矿产	有矿产，但互不影响	压覆矿产

表 D.12 场地级咸水层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
碳源规模/(10^4t·a)	>25	[10,25]	<10
与保护区距离/m	>3000	3000	<3000
碳源距离/km	<100	[100,200]	>200
基本设施	完善	中等	不完善
成本	低	中	高
二氧化碳地下水含水层	无	有，但下伏有良好的隔水层	有，下伏无良好的隔水层
地下水补给区	不在	不在	在
水源的距离/m	>150	150	<150

表 D.13 场地级煤层二氧化碳封存选址社会经济条件要素特征性指标分级表

特征性指标	适宜	较适宜	不适宜
捕获成本/(元·t^{-1})	<200	[200,400]	>400
碳源距离/km	<50	[50,150]	>150
运输成本/(元·km^{-1}·t^{-1})	<0.1	[0.1,0.3]	>0.3
供给能力/10^5t	>5×10^5	[1×10^5,5×10^5]	<1×10^5

井的生产时间/a	>10	[5,10]	<5
煤层气输送管线长度/km	<30	[30,100]	>100
用户需求量/(10^4m^3/a)	10000	[3000,10000]	<3000

附 录 E
（资料性附录）
仮沉卸礆屣宽漣匀傞谦余眶淫

表 E.1 给出了咸水层二氧化碳封存潜力值评价方法
表 E.2 给出了油气藏二氧化碳封存潜力值评价方法
表 E.3 给出了煤层二氧化碳封存潜力值评价方法
表 E.4 给出了基性-超基性岩二氧化碳封存潜力值评价方法

表 E.1 咸水层二氧化碳封存潜力值评价方法

评价方法	适用场景	计算公式	符号注释
美国能源部 (US-DOE)	该方法可适用于盆地级、目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算。该方法假设咸水层为开放水文地质边界，通过计算有效储集空间与储层中二氧化碳密度得到二氧化碳有效封存潜力值。	$M_t(CO_2) = A \cdot h \cdot \varphi \cdot \rho_{CO_2} \cdot E_{geol}$	$M_t(CO_2)$为二氧化碳封存潜力，kg； A为储层面积，m^2； h为储层厚度，m； φ为储层孔隙度，%； ρ_{CO_2}为储层中二氧化碳密度，kg/m^3； E_{geol}为二氧化碳有效封存系数，无量纲，建议取值范围2%～14%。
碳封存领导人论坛 (CSLF)	该方法综合考虑不同的二氧化碳封存机理，需要较为丰富的地质数据支撑，计算盆地级和目标区级/靶区级二氧化碳封存潜力值时需考虑构造地层捕获、束缚捕获与溶解捕获的3种封存机理，封存潜力值为上述3种封存潜力值之和；计算场地级二氧化碳封存潜力时主要考虑构造地层捕获的封存机理。	$M_{ts}(CO_2) = A \cdot h \cdot \varphi \cdot (1 - S_{wi}) \cdot \rho_{CO_2} \cdot E_{geol}$	$M_{ts}(CO_2)$为构造地层捕获二氧化碳封存潜力，kg； A为储层面积，m^2； h为储层厚度，m； φ为储层孔隙度，%； S_{wi}为咸水层残余水饱和度，%； ρ_{CO_2}为储层中二氧化碳密度，kg/m^3。
		$M_{tr}(CO_2) = A \cdot h \cdot \varphi \cdot S_{CO_2t} \cdot \rho_{CO_2} \cdot E_{geol}$	$M_{tr}(CO_2)$为束缚捕获二氧化碳封存潜力，kg； A为储层面积，m^2； h为储层厚度，m； φ为储层孔隙度，%； S_{CO_2t}为液流逆流后残余二氧化碳的饱和度； ρ_{CO_2}为储层中二氧化碳密度，kg/m^3。

		$M_{td}(CO_2) = A \cdot h \cdot \varphi \cdot \rho i \cdot R_{CO_2} \cdot m_{CO_2} \cdot E_{geol}$	$M_{td}(CO_2)$为溶解捕获二氧化碳封存潜力，kg； A为储层面积，m^2； h为储层厚度，m； φ为储层孔隙度，%； ρi为初始地层水密度，kg/m^3； R_{CO_2}为二氧化碳在地层水中的溶解度，mol/kg； m_{CO_2}为二氧化碳的摩尔质量，0.044kg/mol。

表 E.2 油气藏二氧化碳封存潜力值方法

评价方法	适用场景	计算公式	符号注释
美国能源部 (US-DOE)	该方法可适用于盆地级、目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算。该方法中封存效率因子E的确定，反映了已从中产生石油并可由二氧化碳填充的总储层孔隙体积的比例，包括原始石油储量和采收率，可根据经验或数值模拟得出。此外，未考虑二氧化碳在石油中的混溶性、二氧化碳在采出水和注入水中的溶解、原油开采和二氧化碳注入过程中的滞后效应等因素影响。	$M_t(CO_2) = \rho_{CO_2} \cdot A \cdot h \cdot \varphi \cdot (1 - S_{wi}) \cdot B \cdot E$	$M_t(CO_2)$为油藏中二氧化碳理论封存潜力，10^6t； ρ_{CO_2}为油藏中二氧化碳密度，kg/m^3； A为油藏面积，m^2； h为油藏厚度，m； φ为油藏孔隙度，%； S_{wi}为油藏束缚水饱和度； B为储层流体体积系数； E为二氧化碳封存效率因子。
碳封存领导人论坛 (CSLF)	该方法可适用于盆地级、目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算，以物质平衡理论为基础。	假设注入枯竭的油气藏中直到储层压力恢复到原始储层压力，即采出油气所占的空间都用于封存，计算公式为： $M_t(CO_2) = \rho_{CO_2} \cdot \left(R_f \cdot \frac{OOIP}{B} - V_{iw} + V_{pw}\right)$	$M_t(CO_2)$为油藏中二氧化碳理论封存潜力，10^6t； ρ_{CO_2}为油藏中二氧化碳密度，kg/m^3； R_f为原油采收率； OOIP为原始石油地质储量，m^3；

		基于油藏数据库中给出的储层几何形状(面积范围和厚度)，计算公式为：$M_t(CO_2)=\rho_{CO_2}\cdot(R_f\cdot A\cdot h\cdot\varphi\cdot(1-S_{wi})-V_{iw}+V_{pw})$	R为单位质量原油标准条件下体积与地层原位条件下体积之比；V_{iw}为注入水体积，m^3；V_{pw}为采出水体积，m^3；A为油藏面积，m^2；h为油藏厚度，m；φ为油藏孔隙度，%；S_{wi}为油藏束缚水饱和度。
		考虑储层特征，如浮力、重力超覆、流动性、非均质性、含水饱和度及地下含水层强度等因素影响时，二氧化碳实际封存潜力会减少，计算公式可通过封存系数(C＜1)表示：$M_e(CO_2)=C_m\cdot C_b\cdot C_h\cdot C_w\cdot C_a\cdot M_t(CO_2)=C_e\cdot M_t(CO_2)$	$M_e(CO_2)$为油藏中二氧化碳有效封存潜力，10^6t；C_m为流度造成影响的封存系数；C_b为浮力造成影响的封存系数；C_h为非均质性造成影响的封存系数；C_w为含水饱和度造成影响的封存系数；C_a为地下含水层强度造成影响的封存系数；C_e为各因素综合影响的有效封存系数。
美国地质调查局(USGS)	该方法可适用于盆地级、目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算，基于蒙特卡罗的概率评价方法，以体积平衡理论为基础。该方法主要考虑构造地层捕获和束缚捕获2种封存机理。	$TA_{SR}=(R_{SV}+B_{SV})\cdot\rho_{CO_2}$	TA_{SR}为技术上可获得的二氧化碳封存潜力，10^6t；R_{SV}为通过束缚封存机理捕获的二氧化碳，m^3；B_{SV}为通过构造地层封存机理捕获的二氧化碳，m^3。
		$R_{SV}=(SF_{pV}-B_{pV})\cdot R_{SE}$	SF_{PV}为储层孔隙体积，m^3；B_{pV}为用于构造地层捕获的孔隙体积，m^3；R_{SE}为束缚捕获效率。
		$B_{SV}=B_{pV}\cdot B_{SE}$	B_{SE}为构造地层捕获效率。

		$SF_{PV} = A_{SF} \cdot T_{PI} \cdot \varphi_{PI}$	A_{SF}为储层平均面积，m^2； T_{PI}为孔隙层厚度(孔隙度为8%或更高的储层地层厚度)，m； φ_{PI}为孔隙层平均孔隙度。
中国石油勘探开发研究院和中国石油大学(北京)(RIPED&CUP)	该方法可适用于盆地级、目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算。该方法主要考虑溶解捕获机理和注采水问题。该方法中确定原油采收率时一般通过现场经验或数值模拟获得。	二氧化碳突破前： $M_t(CO_2) = \frac{\rho_{CO_2}}{10^9} \cdot [R_{fb} \cdot A \cdot h \cdot \varphi \cdot (1 - S_{wi}) - V_{iw} + V_{pw} + C_{ws} \cdot (A \cdot h \cdot \varphi \cdot S_{wi} + V_{iw} - V_{pw}) + C_{os} \cdot (1 - R_{fb}) \cdot A \cdot h \cdot \varphi \cdot (1 - S_{wi})]$ 二氧化碳突破后： $M_t(CO_2) = \frac{\rho_{CO_2}}{10^9} \cdot [(0.4 \cdot R_{fb} + 0.6 \cdot R_{fh}) \cdot A \cdot h \cdot \varphi \cdot (1 - S_{wi}) - V_{iw} + V_{pw} + C_{ws} \cdot (A \cdot h \cdot \varphi \cdot S_{wi} + V_{iw} - V_{pw}) + C_{os} \cdot (1 - 0.4 \cdot R_{fb} - 0.6 \cdot R_{fh}) \cdot A \cdot h \cdot \varphi \cdot (1 - S_{wi})]$	$M_t(CO_2)$为油藏中二氧化碳理论封存潜力，10^6 t； ρ_{CO_2}为油藏中二氧化碳密度，kg/m^3； R_{fb}为二氧化碳突破前的原油采收率； A为油藏面积，m^2； h为油藏厚度，m； φ为油藏孔隙度； S_{wi}为油藏束缚水饱和度； V_{iw}为注入水体积，m^3； V_{pw}为采出水体积，m^3； C_{ws}为二氧化碳在水中的溶解系数； R_{fh}为二氧化碳突破后的原油采收率； C_{os}为二氧化碳在油中的溶解系数。

表 E.3 煤层二氧化碳封存潜力值评价方法

评价方法	适用场景	计算公式	符号注释
考虑可采煤层气煤层的二氧化碳封存潜力值计算	该方法可适用于常规煤层气开采技术和强化煤层气开采技术。	$M_t(CO_2) = \alpha \cdot \rho_{CO_2} \cdot \sum_i^{68} \sum_j^{10} Gi \cdot \frac{C_{ij}}{C_i} \cdot Rf_{ij} \cdot ER_{ij}$	$M_t(CO_2)$为煤层中二氧化碳封存潜力，kg； α为可采煤层气区面积占煤层总面积的比例； ρ_{CO_2}为煤层中二氧化碳密度，取1.977 kg/m^3； Gi为第i评价区内的煤层气资源量，m^3； C_i为第i评价区内的煤炭资源量，t； C_{ij}为第i评价区内第j种煤阶的煤炭资源量，t； Rf_{ij}为第i种评价区第j种煤阶中煤层气的可采气系数(注：利用常规煤层气开采技术，Rf在40%-60%之间；利用强化煤层气开采技术，Rf理论上可达100%)； ER为二氧化碳与煤层气的交换率。
美国能源部(US-DOE)	以有效容积理论为基础，假设将煤层的极限吸附空间作为有效容积，且假设注入煤层后二氧化碳完全饱和。	$M_t(CO_2) = A \cdot h_g \cdot C_{smax} \cdot \rho_{CO_2} \cdot E_{coal}$	$M_t(CO_2)$为二氧化碳封存潜力，kg； A为煤层面积，m^2； h_g为煤层厚度，m； C_{smax}为单位体积煤炭吸附的二氧化碳最大体积； ρ_{CO_2}为煤层中二氧化碳密度，kg/m^3； E_{coal}为二氧化碳封存效率。

碳封存领导人论坛(CSLF)	以物质平衡理论为基础，假设煤层中的煤层气完全被二氧化碳解吸置换。	$M_t(CO_2) = \rho_{CO_2} \cdot A \cdot h \cdot \widetilde{n_c} \cdot G_c \cdot (1 - f_a - f_m)$	$M_t(CO_2)$为煤层中二氧化碳封存潜力，kg； ρ_{CO_2}为煤层中二氧化碳密度，kg/m^3； A为煤层面积，m^2； h为煤层有效厚度，m； $\widetilde{n_c}$为原煤密度，kg/m^3； G_c为单位质量煤炭所含煤层气的体积，m^3/kg； f_a和f_m分别为煤的灰分和水分质量分数。

表 E.4 基性-超基性岩二氧化碳封存潜力值评价方法

评价方法	适用场景	计算公式	符号注释
基于矿化试验	该方法可适用于目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算。该方法主要考虑二氧化碳溶于水后形成的碳酸与岩石中含+2 价金属离子(Mg^{2+}、Ca^{2+}、Fe^{2+})的矿物发生化学反应，可采用全岩分析的CaO、MgO、FeO含量来计算矿化反应所消耗的二氧化碳，即可获取理论封存潜力。	$M_t(CO_2) = V \cdot \rho \cdot (1 - \varphi) \cdot \left(f_{MgO} \cdot \frac{44}{40} + f_{CaO} \cdot \frac{44}{56} + f_{FeO} \cdot \frac{44}{72}\right) \cdot C_{eff}$	$M_t(CO_2)$为二氧化碳封存潜力，kg； V为储层岩石体积，m^3； ρ为储层岩石密度，kg/m^3； φ为储层岩石孔隙度； f为岩石中钙镁铁氧化物的含量百分比； C_{eff}为二氧化碳有效封存系数，与二氧化碳矿化反应的矿物量以及反应效率有关，假设固碳矿物完全反应时取1。
基于储层岩石物性参数	该方法可适用于目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算。该方法根据二氧化碳封存的碳酸盐岩矿化充填储层岩石孔隙体积百分比进行计算，即可获取理论封存潜力。	$M_t(CO_2) = V \cdot \varphi \cdot d \cdot e \cdot 0.44 \cdot 1000$	$M_t(CO_2)$为二氧化碳封存潜力，kg； V为储层岩石体积，m^3； φ为储层岩石孔隙度； d为$CaCO_3$密度，kg/m^3； e为碳酸盐岩矿化充填储层岩石孔隙体积百分比。

基于自然类比方法	该方法可适用于目标区级/靶区级和场地级二氧化碳封存潜力值计算。该方法以获取的储层岩石体积或储层岩石分布面积为前提，根据已有的不同地区钻孔岩屑样本中二氧化碳含量进行计算，即可获取最大和最小的理论封存潜力。	$M_t(CO_2) = V \cdot e$ 或 $M_t(CO_2) = S \cdot f \cdot 1000$	$M_t(CO_2)$为二氧化碳封存潜力，kg； V为储层岩石体积，m^3； e为储层岩石单位体积的封存潜力(18.8~48.7 kg CO_2 /m^3)； S为储层岩石分布面积，m^2； f为储层岩石单位面积的封存潜力(28.2~73.1 t CO_2 /m^2)，计算出最大、最小封存潜力。

附 录 F
（规范性附录）
二氧化碳陆地封存工程选址指南

F.1 成果报告编制提纲

第一章 概述

简述工作任务来源、目标任务、选址尺度、场址类型、工作周期、工作方法、完成工作量、质量评述、取得的主要成果等相关内容。

第二章 研究区背景

第一节 地理地质条件

1、气象水文

2、地形地貌

3、地质构造

4、地层岩性

5、水文地质

6、环境地质

7、不良地质

第二节 人类工程活动

1、社会经济发展概况

2、主要工程地质问题

第三章 选址要素评价

第一节 选址要素

第二节 选址指标体系

第三节 基础数据获取

第四节 选址要素评价方法

第五节 选址要素评价成果

第四章 场址适宜性评价

第一节 场址适宜性评价方法

第二节 场址适宜性评价成果

第五章 结论与建议

第一节 主要结论

第二节 建议

注：根据下达工作任务目标，确定相应选址内容

F.2 附件

二氧化碳陆地封存工程选址成果应附二氧化碳陆地封存选址评价图。

如果有数据库，也应作为附件。

条文说明

为了便于理解本文件的有关条文，避免不同行业技术人员使用时引起歧义，特对有关条文内容进行简要说明。

5.3.2 d) 三维地质模型数据

（1）钻探数据宜包括：

井的基本信息，包括井名、井类型、井口坐标、补心高度、井口海拔、井轨迹、完井深度等。

1）录井数据，包括分层数据、岩屑分析数据等。

2）测井数据及其解释成果数据，包括电阻率、孔隙度、岩性、矿物含量、物性参数、天然裂缝发育参数、地应力参数等。

3）岩心数据，包括岩心扫描、岩心描述、岩心钻孔取样信息等数据，由岩心观测判断的岩相、岩性、成岩现象，以及岩心实验分析的岩性、矿物组成、孔隙结构、物性参数等。

4）断点数据，与井轨迹相交的断层数据，包括所对应的井名、断层名、断点深度、产状、断距、缺失层位等。

5）钻探数据处理与解释可参照 NB/T 11278、SY/T 7620、SY/T 6994 执行。

（2）地震勘探数据宜包括：

1）地震解释数据，包括断层点线面数据、地层界面数据、构造面数据、剖面数据等。

2）地震属性数据，包括主要目的层岩相、岩性、矿物含量、物性参数、含气性、裂缝发育参数、压力、地应力等预测数据。

3）地震勘探数据采集、处理与解释可参照 GB/T 33583、GB/T 33684、GB/T 33685 执行。

（3）地下水流动模型数据宜包括：

1）区域水文地质调查数据、水文地质测绘数据、水源地勘查数据及有关水文地质研究成果等。

2）水文地质钻孔数据、供水井数据、泉水数据及其它集水构筑物数据等。

3）地下水水质分析成果及水同位素测试成果，包括地下水物理性质（如：温度、电导率、溶解氧含量等）、化学组分（如：水中八大离子及微量元素等）、年龄指标（如：^{81}Kr、^{14}C、^{39}Ar、^{3}H 等）、示踪指标（如：$\delta^{13}C$-DIC、$\delta^{34}S$-SO_4、$\delta^{11}B$、$\delta^{7}Li$、$^{87}Sr/^{86}Sr$、$\delta^{2}H$-H_2O、$\delta^{18}O$-H_2O 等）等。

4）抽水试验数据、物探测井数据、地下水动态监测数据、地下水均衡试验数据等。

6.2.3.4 工程风险条件要素

a) 二氧化碳泄漏风险评价

可采用专家打分法、层次分析法分析危险性评价指标，指标打分项、指标范围及对应分值可参照本文件第 6 章及 T/CSES 71 规定的要求。

为突出部分指标（如存在活断层）的权重，宜采用相乘法，将所有危险性评价指标的分值相乘，根据计算结果，判断二氧化碳泄漏危险性。危险性评价可采用危险性指数H_l表征，见公式（1）：

$$H_l = \prod_{i=1}^{n} a_i \quad (1)$$

式中：a_i——危险性评价指标 i 对应的分值。

宜将危险性指数H_l进行归一化处理，取值范围[0，1.0]。宜将归一化后的评价结果按等间距分类方法进行划分，以[0.75，1.0]，[0.50，0.75），[0.25，0.50），[0，0.25）将评价结果划分为危险性大、危险性中等、危险性小、危险性极小 4 个等级。

根据本文件 5.3.2 获取的数据进行二氧化碳泄漏造成的环境影响程度的量化评估，可采用专家打分法、层次分析法分析环境易损性评价指标，指标打分项、指标范围及对应分值可参照 T/CSES 71 规定的要求。环境易损性评价可采用环境易损性指数V_l表征，见公式（2）：

$$V_l = \sum_{i=1}^{n} b_i \quad (2)$$

式中：b_i——环境易损性评价指标 i 对应的分值。

宜将环境易损性指数V_l进行归一化处理，取值范围[0，1.0]。宜将归一化后的评价结果按等间距分类方法进行划分，以[0.75，1.0]，[0.50，0.75），[0.25，0.50），[0，0.25）将评价结果划分为环境易损性大、环境易损性中等、环境易损性小、环境易损性极小 4 个等级。

b) 二氧化碳注入诱发地震风险评价

可采用专家打分法、层次分析法分析危险性评价指标，指标打分项、指标范围及对应分值可参照本文件第 6 章及 T/CSES 71 规定的要求。危险性评价可采用危险性指数H_e表征，见公式（3）：

$$H_e = \prod_{i=1}^{n} a_i \quad (3)$$

式中：a_i——危险性评价指标 i 对应的分值。

宜将危险性指数H_e进行归一化处理，取值范围[0，1.0]。宜将归一化后的评价结果按等间距分类方法进行划分，以[0.75，1.0]，[0.50，0.75），[0.25，0.50），[0，0.25）将评价结果划分为危险性大、危险性中等、危险性小、危险性极小 4 个等级。对于评价结果为危险性大的单条断层，可采用莫尔-库伦准则计算断层活化可能性。

可采用专家打分法、层次分析法分析环境易损性评价指标，指标打分项、指标范围及对应分值可参照表 6.1。环境易损性评价可采用环境易损性指数V_e表征，见公式（4）：

$$V_e = \sum_{i=1}^{n} b_i \quad (4)$$

式中：b_i——环境易损性评价指标 i 对应的分值。

宜将环境易损性指数V_e进行归一化处理，取值范围[0，1.0]。宜将归一化后的评价结果按等间距分类方法进行划分，以[0.75，1.0]，[0.50，0.75），[0.25，0.50），[0，0.25）将评价结果划分为环境易损性大、环境易损性中等、环境易损性小、环境易损性极小 4 个等级。

c) 二氧化碳注入诱发地面变形风险评价

可采用专家打分法、层次分析法分析危险性评价指标，指标打分项、指标范围及对应分值可参照本文件第 6 章及 T/CSES 71 规定的要求。危险性评价可采用危险性指数H_d表征，见公式（5）：

$$H_d = \prod_{i=1}^{n} a_i \quad (5)$$

式中：a_i——危险性评价指标 i 对应的分值。

宜将危险性指数H_d进行归一化处理，取值范围[0，1.0]。宜将归一化后的评价结果按等间距分类方法进行划分，以[0.75，1.0]，[0.50，0.75），[0.25，0.50），[0，0.25）将评价结果划分为危险性大、危险性中等、危险性小、危险性极小 4 个等级。

可采用专家打分法、层次分析法分析环境易损性评价指标，指标打分项、指标范围及对应分值可参照表 6.1。环境易损性评价可采用环境易损性指数V_d表征，见公式（6）：

$$V_d = \sum_{i=1}^{n} b_i \quad (6)$$

式中：b_i——环境易损性评价指标 i 对应的分值。

宜将环境易损性指数V_d进行归一化处理，取值范围[0，1.0]。宜将归一化后的评价结果按等间距分类方法进行划分，以[0.75，1.0]，[0.50，0.75），[0.25，0.50），[0，0.25）将评价结果划分为环境易损性大、环境易损性中等、环境易损性小、环境易损性极小 4 个等级。

表 1 环境易损性赋值表

承灾体类型	分级	赋值
人口密度	≥200人/km²	0.8~1.0
	100~200人/km²	0.5~0.8
	30~100人/km²	0.3~0.5
	<30人/km²	0~0.3

建筑物密度	≥40%	0.8~1.0
	20~40%	0.5~0.8
	10~20%	0.3~0.5
	<10%	0~0.3

参考文献

[1] Benson, S.M. and Myer, L. 2002. Monitoring to ensure safe and effective geologic sequestration of carbon dioxide. IPCC workshop on carbon dioxide capture and storage 2002, Regina, Canada.

[2] 崔振东, 刘大安, 曾荣树等. 2011. CO_2 地质封存工程的潜在地质环境灾害风险及防范措施. 地质论评, 57(05): 700-706.

[3] 环办监测函. 2021. 碳监测评估试点工作方案. 生态环境部, 435.

[4] 李小春, 袁维, 白冰. 2016. CO_2 地质封存力学问题的数值模拟方法综述. 岩土力学, 37(06): 1762-1772.

[5] 刘廷, 马鑫, 刁玉杰等. 2021. 国内外 CO_2 地质封存潜力评价方法研究现状. 中国地质调查, 8(04): 101-108.

[6] 祁生文, 郑博文, 路伟等. 2023. 二氧化碳地质封存选址指标体系及适宜性评价研究. 第四纪研究, 42(2): 523-550.

[7] 田宝卿, 徐佩芬, 庞忠和等. 2014. CO_2 封存及其地球物理监测技术研究进展. 地球物理学进展, 29(3): 1431-1438.

[8] 中国 21 世纪议程管理中心, 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心等. 2012. 中国二氧化碳地质封存选址指南研究. 北京, 地质出版社.

[9] 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心. 2013. 二氧化碳地质储存潜力评价与示范工程总结报告.

[10] 邹乐乐, 吴成国, 周玉良等. 2013. 基于集对分析的水库诱发地震综合风险评价模型. 数学的实践与认识, 43(09): 91-100.

ICS 07.060

CCS D 01

关键词：二氧化碳地质封存、工程选址、选址指标体系、场址优选