**碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南**

**（征求意见稿）**

**编制说明**

北京理工大学

2022年8月

目 录

[1 工作简况 4](#_Toc112248810)

[1.1 任务背景 4](#_Toc112248811)

[1.2 任务来源 5](#_Toc112248812)

[1.3 协作单位 5](#_Toc112248813)

[1.4 主要工作过程 5](#_Toc112248814)

[2 确定标准主要技术内容的论据及主要内容说明 6](#_Toc112248815)

[2.1 确定标准主要内容的论据 6](#_Toc112248816)

[2.2 标准主要技术内容 6](#_Toc112248817)

[2.2.1 适用范围的界定 6](#_Toc112248818)

[2.2.2 CCUS全流程工程项目风险源识别 7](#_Toc112248819)

[2.2.3 CCUS全流程工程项目风险分析与评定方法 8](#_Toc112248820)

[2.3 确定标准主要内容的论据 9](#_Toc112248821)

[2.3.1 项目风险源选择依据 9](#_Toc112248822)

[2.3.2 风险分析方法选择依据 11](#_Toc112248823)

[3 试验分析、技术经济论证和预期的经济效果 11](#_Toc112248824)

[4 采用国际标准的程度及水平的简要说明 11](#_Toc112248825)

[5 重大分歧意见的处理经过和依据 12](#_Toc112248826)

[6 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议 12](#_Toc112248827)

[7 贯彻中国煤炭学会标准的要求和措施建议 12](#_Toc112248828)

[8 废止现行有关标准的建议 12](#_Toc112248829)

[9 其他应予说明的事项 12](#_Toc112248830)

[主要参考文献 13](#_Toc112248831)

# 1 工作简况

## 1.1 任务背景

二氧化碳捕集、利用与封存技术（CCUS）是将二氧化碳从大气或工业能源使用相关的排放源中分离或直接加以利用或封存，以实现二氧化碳减排或消除的工业过程。2021年10月，中共中央、国务院正式发布《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》，明确指出为实现我国碳中和目标，要大力推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用。然而，由于技术成熟度不高、政策不完善、产业链较长、时间跨度大等，当前CCUS全流程项目实施过程仍存在很大的不确定性，这引发了利益相关方对CCUS全流程项目实施可能带来的各种安全与风险问题的担忧，大幅降低了项目投资吸引力，进而制约CCUS的规模化发展。

近年来，我国高度重视 CCUS 技术发展，多类示范项目落地运行，部分示范项目已达到百万吨规模。然而，与国际上相对完善的CCUS项目风险管理制度相比，我国尚没有适用于CCUS项目的全流程风险评估与管理标准或技术指南，且现行的风险评价技术导则难以直接套用，一定程度影响了CCUS示范项目和技术的发展进程。

CCUS全流程项目风险评估是管理部门开展项目风险管理的前提和基础。碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南的制定一方面有助于项目运营方提高对CCUS全流程项目各类风险的认识，强化项目风险管理；另一方面，有助于政府部门开展针对性监管，降低和控制全过程可能出现的风险与安全隐患，规范我国CCUS全流程工程项目风险管理。

《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》可以填补当前我国适用于CCUS全流程工程项目风险管理的空白，有利于推动和规范我国CCUS全流程项目的风险评估和管理，提高决策者和公众接受度，引导CCUS全流程项目的健康发展和规模化推广，助力我国碳中和目标的实现。

## 1.2 任务来源

碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南的制定，可充分为加快完善碳捕集利用与封存（CCUS）标准体系建设，推动CCUS技术的发展与应用提供依据。

按照《中国煤炭学会标准工作管理办法（暂行）》要求，依据《中华人民共和国标准化法》和国家标准化管理委员会、民政部印发的《团体标准管理规定》（国标委联〔2019〕1号）等文件规定，按照《关于中国煤炭学会2021年第二批团队标准立项通知》（中煤学会学术函〔2021〕10号）的有关通知，《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》团体标准批准立项，项目编号t/ccs2021087，北京理工大学为项目牵头起草单位。

工作起止年限：2022年1月～2022年9月。

## 1.3 协作单位

本标准由中国煤炭学会提出，由北京理工大学牵头起草，主要协作单位包括中国21世纪议程管理中心、北京师范大学、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、中国矿业大学（北京）、中国石油天然气集团有限公司、中石化石油工程设计有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、国家能源集团。

## 1.4 主要工作过程

指南编写团队于2021年11月成立了《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》项目组，确定指南编写大纲及工作进度安排，编制项目设计书，进行项目可行性论证、项目概算。2022年12月北京理工大学组织专家对项目总体设计进行了初审，2022年1月初项目通过了中国煤炭学会的终审。

2022年1月～8月，按照项目设计书进度安排，开展了下列工作：

（1）2022年1月针对《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》（以下简称《指南》）研究内容，项目组通过走访、座谈和调研、收集国内外相关标准、规范、指南、管理办法、论文、科研报告等资料，对已有的研究成果进行总结，为编制《指南》奠定了基础；

（2）2022年2月，项目组研究编制出《指南》（工作组第一稿）；

（3）2022年3月7日，项目组在北京组织专家召开了《指南》（工作组第一稿）专家咨询会；

（4）2022年4月～6月，项目组根据专家审议意见，对文稿进行修改完善，形成《指南》（工作组第二稿）。

（5）2022年7月，项目组针对《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》（工作组第二稿）和编制说明（第一稿）进行了多次内部讨论，形成了《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》（工作组第三稿）及编制说明（第二稿）。

（7）2022年8月，项目组邀请部分CCUS项目示范单位及领域内专家对《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》（工作组第三稿）及编制说明（第二稿）进行了深入讨论，形成了《碳捕集利用与封存全流程工程项目风险评估指南》（征求意见稿）及其编制说明。

# 2 确定标准主要技术内容的论据及主要内容说明

## 2.1 确定标准主要内容的论据

（1）本文件依据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》的要求进行编写完成。

（2）参考的主要标准包括《项目风险管理 应用指南》（GB/T 20032-2005）、《Lifecycle risk management for integrated CCS projects》（ISO/TR 27918:2018）等。

（3）CCUS技术概念和技术特征，美国、欧盟等国家关于CCUS技术的法律法规，相关文献等。

## 2.2 标准主要技术内容

### 2.2.1 适用范围的界定

本文件规定了碳捕集利用与封存（CCUS）全流程工程项目风险评估的总则，工作流程，风险源识别，风险评估方法，风险管理等基本内容。本文件所讨论的CCUS全流程工程项目风险，主要是指项目在建设、运行、关闭和关闭后阶段由政策、经济、健康安全环境、技术、市场、资源和社会等风险源造成的，对项目目标实现产生的不利影响及其发生概率。

本文件适用于陆上新建或改扩建碳捕集利用与封存全流程工程项目。其中，二氧化碳利用与封存环节主要包括地质利用与封存、化工利用、生物利用和矿化利用四大类技术，其中地质利用与封存主要包括七种主要类型：二氧化碳强化石油开采、二氧化碳驱替煤层气开采、二氧化碳强化天然气开采、二氧化碳增强页岩气开采、二氧化碳增强地热系统、二氧化碳铀矿浸出增采、二氧化碳强化深部咸水开采（张贤等，2021）。与化工利用、生物利用和矿化利用相比，地质利用与封存具有二氧化碳减排潜力大，已开展示范项目多，工艺复杂等特征（魏一鸣等，2020）。因此，本标准中的二氧化碳利用与封存涵盖所有地质利用或/和地质封存技术，暂不包括化工利用、生物利用和矿化利用。对于二氧化碳捕集和运输环节，涵盖其建设和运行阶段；对于二氧化碳封存和（或）利用环节，涵盖其建设、运行、关闭和关闭后阶段。

### 2.2.2 CCUS全流程工程项目风险源识别

《指南》在当前技术水平和经验认知下对CCUS全流程工程项目主要风险源进行识别，具体包括以下五类：

（1）政策与法规风险：由于碳排放控制政策、基础设施土地使用权、环境保护要求、长期监管责任、封存许可、财税激励措施等相关的地方性或（和）行业性政策法规缺失、不完善或执行不连续给CCUS全流程工程项目带来的风险。

（2）经济与市场风险：制约CCUS全流程工程项目商业化应用的经济风险与市场风险。主要包括CCUS项目成本不确定性大、融资困难、与CO2排放交易或CO2供应相关的市场不成熟、与其它减排技术存在市场竞争等因素。

（3）健康安全环境风险：与影响健康、安全以及生态环境相关的潜在风险。

（4）技术与资源风险：影响CCUS全流程工程项目顺利发展的技术性风险和资源性风险。主要包括由于核心设备制造能力薄弱导致的设备制造风险；由于CCUS技术工艺落后或不完善造成的能效下降甚至引发安全事故的技术工艺风险；因研发能力不足导致的新材料研发风险；技术操作人员缺乏经验和专业技能造成的技术操作风险；数据缺失风险；以及与能源惩罚和水资源消耗相关的风险。

（5）社会风险：受到公众或环境非政府组织的反对而导致项目延期或终止的潜在风险。

### 2.2.3 CCUS全流程工程项目风险分析与评定方法

结合项目准备阶段的需求与特征，《指南》推荐采用专家打分法开展项目风险分析。首先，成立评估专家组，原则上专家组成员人数不得低于9人。其次，专家组每位成员分别针对政策与法规风险、经济与市场风险、健康安全环境风险、技术与资源风险、社会风险5个项别，给出对应评估分值，该分值即反映项目存在对应项别风险的可能性和严重程度。基于百分制评分标准，5个项别遵循等权重原则，各项最高得分均为20分。给出的评估分数越高，表示项目在该项别上的风险潜势越大。各项别分数之和为项目风险评分，得到的项目风险评分越高，表示项目面临的风险因素越多，总项目风险潜势越大。在对5个项别进行评估时，建议参考以下评分表形式，见表1。

表1 碳捕集利用与封存全流程工程项目风险专家评分表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **项别** | **可能发生的风险要素** | **评估分数** |
| 政策法规风险  （最高20分） | 相关碳排放控制政策、基础设施土地使用权、环境保护要求、长期监管责任、封存许可、财税激励措施等地方性或（和）行业性法律法规缺失、不完善或执行不连续等。 |  |
| 经济与市场风险  （最高20分） | 项目成本不确定性大、投资高；融资模式不清、渠道单一；与CO2排放交易或CO2供应相关的市场不成熟；与其它减排技术存在市场竞争等。 |  |
| 健康安全环境风险  （最高20分） | 项目存在影响环境以及风险受体健康和安全的相关风险，例如CO2泄漏风险、诱发地震风险等。 |  |
| 技术与资源风险  （最高20分） | 核心设备制造能力薄弱导致的设备制造风险；CCUS技术工艺落后或不完善造成的能效下降甚至引发安全事故的技术工艺风险；因研发能力不足导致的新材料研发风险；技术操作人员缺乏经验和专业技能造成的技术操作风险；数据缺失风险；能源惩罚风险；用水资源风险。 |  |
| 社会风险  （最高20分） | 可能受到公众或环境非政府组织的强烈反对 |  |
| **项目风险评分**（上述各项别分数之和）： | | |

项目总体风险，即专家组的综合评估结果，是在各专家成员的评分基础上，去掉一个最低分和一个最高分，再对其余评分取平均值计算得到，并按下列界限划分碳捕集利用与封存全流程工程项目总体风险水平等级：低风险、中风险和高风险，见表2所示。

表2 项目风险水平等级划分

|  |  |
| --- | --- |
| **对应得分范围** | **描述** |
| 0~30 | 风险水平可接受，不需采取特别的风险管控措施，加强过程风险防范 |
| 31~60 | 风险水平可容忍，需要采取针对性的风险管理措施，降低项目风险潜势，减少风险可能造成的损失 |
| 61~100 | 风险水平不可接受，需要调整工程设计方案，并再次评估项目风险水平，直至项目风险可容忍，否则不应继续开展该项目 |

## 2.3 确定标准主要内容的论据

### 2.3.1 项目风险源选择依据

在当前技术水平和经验认知下，通过大量文献调研和现场走访座谈，最后通过专家咨询及项目组集中讨论，筛选确定了CCUS全流程工程项目主要风险源，具体包括五类，即政策与法规风险、经济与市场风险、健康安全环境风险、技术与资源风险、社会风险。

**政策与法规风险：**CCUS项目健康稳序的发展离不开强有力的政策激励和完善的法律法规保障（IPCC, 2005; Stigson et al., 2012; Von Rothkirch and Ejderyan, 2021）。参考ISO发布的《Lifecycle risk management for integrated CCS projects》（ISO/TR 27918:2018），澳大利亚《CO2捕集与封存环境指南-2009》（Environmental Guideline for Carbon Dioxide Capture and Geological Storage-2009）以及我国《二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）》等标准指南，以及国内外相关文献（Groenenberg and de Coninck, 2008; Zapantis et al., 2019），结合我国CCUS示范项目现场调研和多轮专家咨询讨论，综合筛选确定了CCUS全流程工程项目政策与法规风险主要指由于碳排放控制政策、基础设施土地使用权、环境保护要求、长期监管责任、封存许可、财税激励措施等相关的地方性或（和）行业性政策法规缺失、不完善或执行不连续给CCUS全流程工程项目带来的风险。

**经济与市场风险：**CCUS项目工艺复杂、流程较多、能耗高、运营周期长，CCUS项目投资成本巨大，投资额在数千万元甚至上亿的规模，资金回收期具有显著的不确定性（Stigson et al., 2012; Wennersten et al., 2015; Durmaz, 2018; Akerboom et al., 2021）。结合我国CCUS示范项目现场调研和多轮专家咨询讨论，综合确定了CCUS全流程工程项目的经济与市场风险主要包括CCUS项目成本不确定性大、融资困难、与CO2排放交易或CO2供应相关的市场不成熟、与其它减排技术存在市场竞争等因素。

**健康安全环境风险：**CCUS全流程示范项目运行过程由于可能会发生的CO2 泄漏和诱发地震等危害到人类、动植物及其所处环境的安全状况（Hepple et al., 2005; CSLF, 2012; Foxall et al., 2013）。参考欧盟《CO2地质封存指令2009/31/EC》，我国《二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）》《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》，ISO《Lifecycle risk management for integrated CCS projects》（ISO/TR 27918:2018）等技术指南和国际标准，结合文献调研（Eriksson et al., 2006; IEAGHG, 2007; Li et al., 2013; Liu et al., 2014），以及多轮专家咨询讨论，综合确定了CCUS全流程工程项目健康安全环境风险指影响生命体（敏感人群、动植物、微生物等），有价值物体（与工程建设、运行、关闭和关闭后阶段直接或间接相关），自然环境介质（地下水、地表水、大气、土壤等），以及社会经济主体（与工程建设、运行直接相关）等风险受体的健康、安全以及环境风险。

**技术与资源风险：**在CCUS全流程示范项目实施过程中也会面临影响工程项目顺利发展的技术性风险（CSLF, 2009; 魏一鸣等，2020）和资源性风险（House et al., 2009; Yang et al., 2020）。依照CCUS示范项目全流程特征，结合项目一线工程技术人员的建议，综合筛选确定了五类CCUS全流程工程项目技术与资源风险，主要包括由于核心设备制造能力薄弱导致的设备制造风险；由于CCUS技术工艺落后或不完善造成的能效下降甚至引发安全事故的技术工艺风险；因研发能力不足导致的新材料研发风险；技术操作人员缺乏经验和专业技能造成的技术操作风险；数据缺失风险；以及与能源惩罚和水资源消耗相关的风险。

**社会风险：**由于CCUS项目对健康安全环境的潜在危害，加之公众对此技术普遍缺乏了解，可能引发周边社区对CCS/CCUS项目的强烈抵制，导致项目难以开展和推广（Leiss and Larkin, 2019; Akerboom et al., 2021）。例如，荷兰的Barendrecht CCS项目就因当地居民对该项目安全问题的担忧而遭到强烈反对（Stigson et al., 2012）。通过文献阅读、对相关CCUS示范项目现场调研、专家咨询及项目组集中讨论确定CCUS全流程示范项目社会风险主要指受到公众或环境非政府组织的反对而导致项目延期或终止的潜在风险（Terwel et al., 2012; Ashworth et al., 2012）。

### 2.3.2 风险分析方法选择依据

常用的项目风险评价方法可分为三类，即定性、定量和半定量的方法（EPA, 2008; Larkin et al., 2019; Liu et al., 2021）。其中，定性方法主要依据专家知识和经验，定量或半定量类型方法的结果则极大程度上取决于输入参数、模型基本假设与边界条件的可靠性（Covello and Merkhoher, 1993）。

综合CCUS项目准备阶段的需求特征以及我国CCUS技术的发展水平，现阶段我国全流程示范项目相关基础数据积累较少，难以通过先验的历史匹配建立定量的优化过程。因此，本标准在充分考虑所选方法的可操作、普适性和科学性等基础上，参考ISO发布的《Lifecycle risk management for integrated CCS projects》（ISO/TR 27918:2018），欧盟《CO2地质封存指令2009/31/EC》，我国《二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）》等标准指南，结合我国燃煤电厂CCUS示范项目、二氧化碳驱油示范项目调研，以及多轮专家咨询讨论，推荐采用专家打分法开展CCUS全流程工程项目风险分析。

# 3 试验分析、技术经济论证和预期的经济效果

本标准发布后，拟在全国相关重点行业进行宣传与贯彻，并组织有关部门和企业进行学习和培训。首先通过中石化石油工程设计有限公司、中国石油天然气集团有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、国家能源集团等协作单位，将该标准应用于新建、改扩建CCUS项目中，同时在已开展或计划开展CCUS全流程示范项目建设的企业，以及从事CCUS相关研究的高校和科研院所、学术会议现场等召开若干次标准宣传和培训会，加快标准的行业推广。

# 4 采用国际标准的程度及水平的简要说明

国内尚无专门针对CCUS全流程项目风险评估与管理的标准或技术规范/指南，部分指标参考了ISO/TR 27918已发布的《Lifecycle risk management for integrated CCS projects》。主要参考其中关于CCUS项目全生命周期内的风险评估流程与指标等数据，并结合国内CCUS工程示范项目的实际情况进行了调整。

# 5 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在草案制定过程中无重大分歧。

# 6 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准是规范CCUS全流程工程项目风险评估与管理的技术要求，与现行有关技术标准一起配套使用，对指导CCUS全流程项目风险评估、强化项目风险管理具有重要意义。建议作为推荐性团体标准发布实施。

# 7 贯彻中国煤炭学会标准的要求和措施建议

本标准确定的风险评估流程方法和管理规范基于充分的文献调研和工程项目实践经验，符合大多数CCUS示范项目的实际情况。该标准可直接在行业内大多数CCUS 示范项目中贯彻实施。本标准可提高CCUS全流程项目风险管理的可操作性和实用性，规范我国CCUS全流程项目风险的科学评价，引导CCUS项目规模化推广，建议尽早实施。

# 8 废止现行有关标准的建议

无。

# 9 其他应予说明的事项

无。

# 主要参考文献

魏一鸣等. (2020). 气候工程管理：碳捕集与封存技术管理. 北京: 科学出版社.

张贤, 李阳, 马乔等. (2021). 我国碳捕集利用与封存技术发展研究. 中国工程科学, 23(6):11.

Akerboom, S., Waldmann, S., Mukherjee, A., Agaton, C., Sanders, M., & Kramer, G. J. (2021). Different this time? The prospects of CCS in the Netherlands in the 2020s. Frontiers in Energy Research, 9, 644796.

House, K. Z., Harvey, C. F., Aziz, M. J., & Schrag, D. P. (2009). The energy penalty of post-combustion CO 2 capture & storage and its implications for retrofitting the US installed base. *Energy & Environmental Science*, *2*(2), 193-205.

Durmaz, T. (2018). The economics of CCS: Why have CCS technologies not had an international breakthrough?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *95*, 328-340.

Terwel, B. W., ter Mors, E., & Daamen, D. D. (2012). It's not only about safety: Beliefs and attitudes of 811 local residents regarding a CCS project in Barendrecht. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *9*, 41-51.

Ashworth, P., Bradbury, J., Wade, S., Feenstra, C. Y., Greenberg, S., Hund, G., & Mikunda, T. (2012). What's in store: lessons from implementing CCS. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *9*, 402-409.

Yang, L., Lv, H., Jiang, D., Fan, J., Zhang, X., He, W., et al. (2020). Whether CCS technologies will exacerbate the water crisis in China?—A full life-cycle analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *134*, 110374.

DIRECTIVE 2009/31/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directive 85/337/EEC, European Parliament and Council Directives 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC, 2008/1/EC and Regulation (EC) No 1013/2006. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0114:0135:EN:PDF>

Environment Protection and Heritage Council (EPHC), Environmental Guidelines for Carbon Dioxide Capture and Geological Storage – 2009. http://www.nepc.gov.au/system/files/resources/afb015f4-8b55-6904-716c-d26bcf317c86/files/environmental-guidelines-ccs.pdf

Groenenberg, H., & de Coninck, H. (2008). Effective EU and Member State policies for stimulating CCS. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *2*(4), 653-664.

Stigson P, Hansson A, Lind M. Obstacles for CCS deployment: an analysis of discrepancies of perceptions[J]. Mitigation and adaptation strategies for global change, 2012, 17(6): 601-619.

Von Rothkirch, J., & Ejderyan, O. (2021). Anticipating the social fit of CCS projects by looking at place factors. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *110*, 103399.

Zapantis, A., Townsend, A., & Rassool, D. (2019). Policy priorities to incentivise large scale deployment of CCS. *Thought Leadership Report. Global CCS Institute*.

Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF). (2009). Phase I final report from CSLF Risk Assessment Task Force. Washington, D.C.: Carbon Sequestration Leadership Forum, U.S. Department of Energy, CSLF-T-2009-04, October.

Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF). (2012). Phase II final report from CSLF Risk Assessment Task Force. Washington, D.C.: Carbon Sequestration Leadership Forum, U.S. Department of Energy, CSLF-T-2012-03, May.

Eriksson S, Andersson A, Strand K, Svensson R (2006). Strategic Environmental Assessment of CO2 Capture, Transport and Storage – Official Report. http://www.vattenfall.com/en/ccs/file/　SEA-report---Strategic-Enviro\_8469910.pdf

Foxall, W., Savy, J., Johnson, S., Hutchings, L., Trainor-Guitton, W., Chen, M. (2013). *Second generation toolset for calculation of induced seismicity risk profiles* (No. LLNL-TR-634717). Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States).

Hepple R.P. (2005). Human Health and Ecological Risks of Carbon Dioxide. In Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations – Results from the CO2 Capture Project, Vol. 2: Geologic Storage of Carbon Dioxide with Monitoring and Verification, Benson S.M., Oldenburg C., Hoverstein M., Imbus S. (eds). Elsevier Publishing: Oxford; 1143–1172

International Energy Agency Greenhouse Gas (IEAGHG). (2007). Study of potential impacts of leaks from onshore CO2 storage projects on terrestrial ecosystems. Cheltenham: IEA Environmental Projects Ltd., Technical Report 2007/03, July.

IPCC. (2005). Special Report on Carbon Capture and Storage, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.

Larkin, P., Leiss, W., & Krewski, D. (2019). Risk assessment and management frameworks for carbon capture and geological storage: a global perspective. *International Journal of Risk Assessment and Management*, *22*(3-4), 254-285.

Leiss, W., & Larkin, P. (2019). Risk communication and public engagement in CCS projects: The foundations of public acceptability. *International Journal of Risk Assessment and Management*, *22*(3-4), 384-403.

Li, Q., Liu, G., Liu, X., & Li, X. (2013). Application of a health, safety, and environmental screening and ranking framework to the Shenhua CCS project. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *17*, 504-514.

Liu, B., Liu, S., Xue, B., Lu, S., & Yang, Y. (2021). Formalizing an integrated decision-making model for the risk assessment of carbon capture, utilization, and storage projects: From a sustainability perspective. *Applied Energy*, *303*, 117624.

Liu, L.-C., Li, Q., Zhang, J.-T. & Cao, D. (2014). Toward a framework of environmental risk management for CO2 geological storage in China: gaps and suggestions for future regulations, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, doi: 10.1007/s11027-11014-19589-11029.

US Environmental Protection Agency (EPA). (2008). Vulnerability Evaluation Framework for Geologic Sequestration of Carbon Dioxide. US Environmental Protection Agency, pp 85.

Wennersten, R., Sun, Q., & Li, H. (2015). The future potential for Carbon Capture and Storage in climate change mitigation–an overview from perspectives of technology, economy and risk. *Journal of Cleaner Production*, *103*, 724-736.