

文冬光, 郭建强, 张森琦, 等. 中国二氧化碳地质储存研究进展[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1716-1723.

Wen Dongguang, Guo Jianqiang, Zhang Senqi, et al. The progress in the research on carbon dioxide geological storage in China[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1716-1723(in Chinese with English abstract).

中国二氧化碳地质储存研究进展

文冬光¹ 郭建强² 张森琦² 许天福³ 贾小丰²

李旭峰² 范基姣² 张 徽² 刁玉杰² 胡秋韵¹

(1. 中国地质调查局, 北京 100037; 2. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051;
3. 吉林大学, 吉林 长春 130021)

摘要:2010年以来, 中国地质调查局组织实施了“全国二氧化碳地质储存潜力评价与示范工程”项目。依据我国沉积盆地的地质条件, 基本建立了中国CO₂地质储存潜力与适宜性评价体系, 初步评估了417个(面积大于200 km²)陆域及浅海沉积盆地的CO₂地质储存潜力与适宜性; 在内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗参与并合作实施了中国首个、也是世界上规模最大的煤基全流程深部咸水层CO₂地质储存示范工程, 突破了钻探、灌注、采样、监测等一系列科学技术难题; 在储存过程中的物理化学与生物作用、仿真模拟、环境影响与安全风险评价等基础理论研究方面取得了实质性进展。

关键词:二氧化碳地质储存; 潜力与适宜性评价; 示范工程; 基础理论研究

中图分类号: P591; P511 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)05-1716-08

2005年, 我们初步分析了中国二氧化碳地质储存条件, 提出了有关研究方向^[1]。按照国土资源部关于做好“应对全球气候变化地质响应与对策”有关工作的要求, 中国地质调查局于2010年启动了全国CO₂地质储存潜力评价与示范工程计划项目。三年来, 通过中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、青岛海洋地质研究所、吉林大学、北京大学、清华大学、中国地质大学(北京、武汉)、中国石油大学(北京)、长安大学、中国科学院(地质与地球物理所、武汉岩土力学所和南海海洋所)、中国神华等20余家单位的共同努力, 初步建立了中国CO₂地质储存技术方法和指标体系, 突破了CO₂地质储存关键

技术, 提升了中国利用CO₂地质储存技术应对全球气候变化的能力。

1 全国二氧化碳地质储存潜力与适宜性评价

1.1 评价工作划分及框架体系

在充分考虑中国沉积盆地复杂的地质背景、CO₂地质储存研究现状等因素的基础上, 借鉴碳封存领导人论坛(CSLF)等科研机构 and 学者^[1-14]已开展的CO₂地质储存研究成果, 及中国地下水、矿产勘查经验, 将中国CO₂地质储存潜力与适宜性评价工作划分为区域级、盆地级、目标区级、场地级及灌注级

收稿日期: 2014-03-10; **改回日期:** 2014-04-08

基金项目: 中国地质调查局地质调查计划项目“全国二氧化碳地质储存潜力评价与示范工程”(1212011087130、1212011087127、1212011120050、1212011120048、1212011120050)资助。

作者简介: 文冬光, 男, 1964年生, 博士, 研究员, 主要从事水文地质环境地质调查研究和管理工作; E-mail: wdongguang@mail.cgs.gov.cn。

5个阶段。按潜力评价精度由低到高,依次分称CO₂地质储存E、D、C、B、A级潜力(表1,图1)。

1.2 CO₂地质储存潜力与适宜性评价

为评估我国CO₂地质储存条件与前景,针对全国417个面积大于200 km²的沉积盆地,开展了区域级CO₂地质储存潜力与适宜性评价。评价总面积585.54万km²,其中陆域沉积盆地390个,面积400.43万km²;海域沉积盆地27个,面积185.11万km²。

针对主要沉积盆地开展了盆地级评价,深入分析了储、盖层地质条件及分布,计算了其储存潜力,对盆地各构造单元进行综合评价,圈定了一批目标靶区,并编制了沉积盆地CO₂地质储存图集,为企业利用CO₂地质储存技术减排CO₂提供了目标方向。

潜力评价结果表明,中国沉积盆地CO₂地质储存潜力巨大,其中海域沉积盆地储存潜力占总潜力的27.33%,东部陆域沉积盆地占31.88%,西部陆域占20.33%,中部陆域占10.49%,南部陆域占9.97%。CO₂地质储存介质可分为深部咸水层、油藏、天然气藏、煤层气藏,其中深部咸水层的CO₂储量占98.25%,油藏占0.31%,天然气藏占1.21%,煤层气藏占0.23%。深部咸水层是主要的CO₂地质储存介质。

利用盆地基础地质条件、研究程度和资源潜力、稳定性条件、地热地质条件、社会经济条件和盆地预测潜力6个指标,综合评价了沉积盆地适宜性。中国CO₂地质储存适宜区主要为大中型沉积盆地,不适宜区主要分布在南方的滇黔桂、闽台、华北、川渝、陕甘宁、甘青和新疆地区的部分中小盆

地,其不适宜主要原因为盆地预测潜力小或地壳稳定性差,或兼而有之。

从宏观上看,中国源汇匹配并不十分理想。东部和中部盆地群碳源匹配相对较好;南方碳源集中地区,缺乏潜力巨大的CO₂储存空间;西部地质条件相对较好,但目前碳源分布少,随着西部大开发进程加快,西部源汇匹配状况将会逐渐变好;对于中国碳排放量相对较大南方沿海地区,其周边的陆域沉积盆地CO₂地质储存潜力普遍较小,海域盆地可以作为一个有利的补充。

2 CO₂地质储存示范工程

2.1 示范工程建设

2010—2012年中国地质调查局参与了神华煤制油化工有限公司实施的鄂尔多斯全流程深部咸水层CO₂地质储存示范工程,共同合作开展相关的CO₂地质储存工程技术方法和监测工作。该示范工程是中国首个,也是世界上规划最大的煤基全流程深部咸水层CO₂地质储存示范项目。

鄂尔多斯CO₂地质储存示范工程位于鄂尔多斯盆地北部,内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗东南约40 km处,依托神华集团实施的10万t/a CO₂捕获与储存示范工程建设。

2.2 全流程工程技术实践

CO₂地质储存示范工程的实施,初步验证了中国深部咸水层CO₂地质储存技术、经济和安全可行性,探索了深部咸水层CO₂地质储存示范工程全流程技术,明确了调查、勘查、选址、钻探、灌注试验、灌注、监测等各技术方法的总体要求、工作程序、实

表1 中国二氧化碳地质储存潜力与适宜性评价阶段划分

Table 1 Different stages of CO₂ geological storage potential and suitability assessment in China

工作阶段	研究对象	等级	阶段目的任务
区域级预测潜力评价	全国陆域及浅海地区盆地为单元	E	以单个盆地为单元进行适宜性评价, 对全国陆域及浅海地区盆地进行排序, 淘汰部分盆地, 选择出适宜的盆地
盆地级推定潜力评价	以盆地一、二级构造单元为研究对象	D	对盆地一级或二级构造单元, 进行CO ₂ 地质储存适宜性评价, 确定储存远景区, 为宏观CO ₂ 地质储存地选择提供依据
目标区级控制潜力评价	盆地圈闭级构造单元	C	以圈闭为研究和评价对象, 通过圈闭CO ₂ 地质储存适宜性评价, 优选出目标靶区并计算目标靶区储存潜力, 为国家提供一批CO ₂ 地质储存目标靶区
场地级基础储存量评价	储存场地	B	通过场地综合地质调查、地震地球物理勘探、钻探与灌注试验、动态监测、室内物理模拟与数值模拟, 查明场地CO ₂ 地质储存地质条件, 计算场地级储存量, 制定合理的CO ₂ 灌注方案, 为CO ₂ 灌注工程施工图设计提供依据
灌注级工程储存量评价	CO ₂ 灌注工程	A	开展CO ₂ 灌注工程的监测, 根据灌注工程的运行状况, 对灌注场地CO ₂ 灌注量及场地风险进行评估

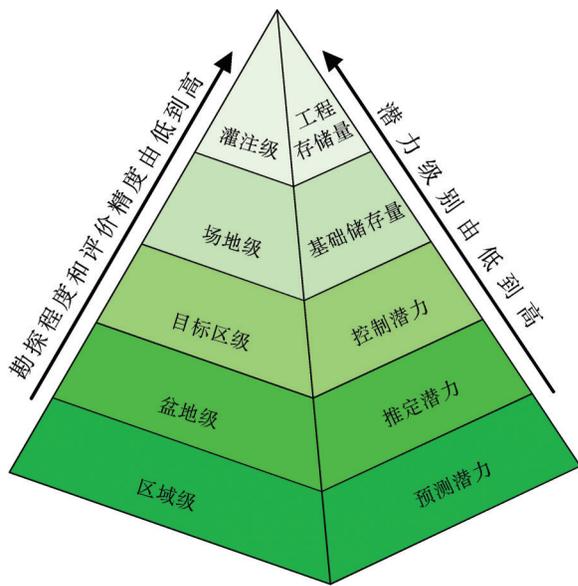


图1 中国CO₂地质储存潜力评价阶段金字塔示意图
Fig.1 Stage pyramid diagram of CO₂ geological storage potential assessment in China

施原则、技术与质量要求等内容,为中国CO₂地质储存示范工程或商业工程的实施提供了技术储备。

2.3 深部咸水层CO₂地质储存工程选址流程与指标体系的建立

场地选址是CO₂地质封存工程的第一步,也是最关键的一步^[15-17]。通过借鉴对比国内外CO₂地质储存选址实践,并结合鄂尔多斯CO₂地质储存示范工程,科学地划分了深部咸水层CO₂地质封存工程选址的阶段,包括比选场地选址、优选场地选址和选定场地选址3大阶段(图2)。各阶段排序优选出的场地依次称为比选场地、优选场地和选定场地。

CO₂地质储存场地选址受到自然地理条件、气候条件、地质条件、社会经济条件、交通条件以及工程技术条件等诸多因素的影响。因此,从选址技术、安全性、经济适宜性和地面地质条件4个方面建立了具有层次分析结构的选址指标体系。

3 基础理论和数值模拟技术研究

3.1 实验研究平台建设

吉林大学环境与资源学院建立了用于CO₂地质储存研究的多相流体驱替实验室、高温高压水-岩-气-微生物作用实验室、数值模拟软件研发实验室、

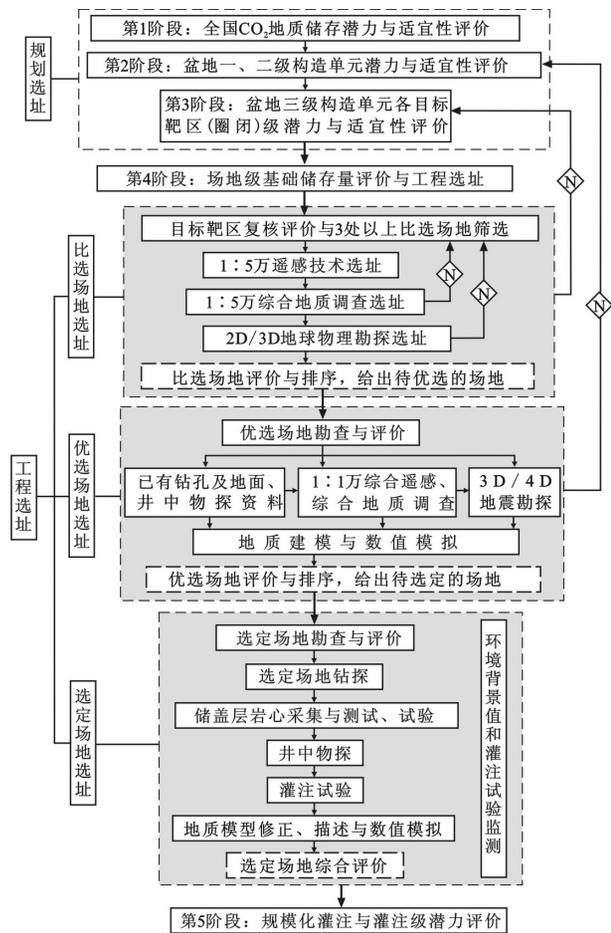


图2 二氧化碳地质储存选址工作流程图
Fig.2 Flowchart of site selection of CO₂ geological storage

数值模拟计算实验室、岩石热物性参数测试实验室,初步建成了CO₂地质储存研究的实验室平台系统。

2011年,在长安大学建成了二氧化碳地质储存基础问题研究试验场,可模拟人工释放二氧化碳对生态环境施加影响的试验装置,为研究二氧化碳在地层中(包气带)扩散时的一系列科学问题创建了一个平台(图3)。

3.2 二氧化碳地质储存机理研究

结合二氧化碳地质储存示范工程场地水文地质与地质条件,从CO₂储存水-岩-气作用、微生物对储存影响、天然CO₂气田类比、盖层力学变化等方面,对CO₂地质储存过程涉及的机理问题进行了全方位实验和研究,明确了不同注入层矿物溶解沉淀的规律和影响因素;探索了不同土著微生物对矿物溶解沉淀的影响趋势;明确了盖层力学的分布变化



图3 二氧化碳地质储存基础问题原位试验场及二氧化碳监测实验塔
Fig.3 In situ test site of CO₂ geological storage study and monitoring experimental tower

过程;从天然 CO₂气田盖层-储层界限处发现了 CO₂“矿物圈闭”的标志性矿物——片钠铝石,印证了形成 CO₂封闭壳的数值模拟结果,为 CO₂地质封存的安全性提供了来自天然 CO₂气藏的证据。

基于天然类比预测思路,以天然 CO₂气藏中片钠铝石分布的最大视距离为参考,结合示范工程井钻遇的地层产状、野外地质观察和古地理等,预测示范区 CO₂气运移方向为向四周指状扩散,主体向东北方向运移,其影响范围约为 42 km²。

3.3 数值模拟技术研究

3.3.1 软件研发

基于二氧化碳地质储存模拟软件技术现状,研发了具有国际水平的二氧化碳地质储存地质响应数值模拟系统(CO₂-GSM)。该系统由流场-温度场-化学场-应力场四场耦合模拟软件——CO₂-THCM,可视化界面软件——VISUAL-THC,二氧化碳地质储存并行化计算模拟软件——THC-MP 三大软件构成,功能强大、界面友好、易于普及和推广。

(1)CO₂-THCM:实现了二氧化碳地质储存过程中的流动场、温度场、化学场和应力场的四场耦合,为 CO₂地质储存储、盖层应力变化以及地表变形等问题的模拟与预测提供了有力工具。通过国内外实际算例验证了软件的有效性,模拟结果与实际监测数据拟合较好,印证了软件的科学实用性(图4)。

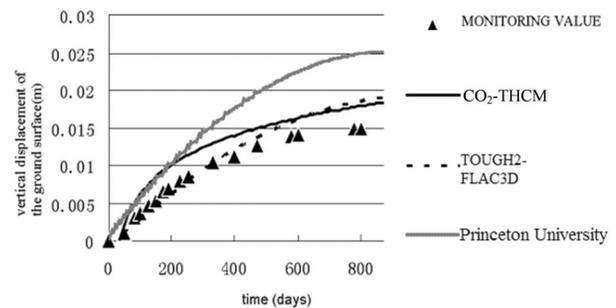


图4 CO₂-THCM模拟结果在Salah场地的验证
Fig.4 CO₂-THCM simulation results in the Salah Site

(2)VISUAL-THC:实现了复杂地质体快速建模,具有强大的前处理与后处理能力,使二氧化碳地质储存数值模拟技术的普及与应用变得更加容易,为模拟软件的使用提供了便捷有力的辅助工具。

(3)THC-MP:实现了二氧化碳地质储存大规模并行数值计算,大幅度提高工作效率,为实际工程的模拟预测提供了高效工具。

3.3.2 示范工程数值模拟

基于鄂尔多斯二氧化碳地质储存示范工程研究区的地质、水化学、地球化学等详细资料,建立了示范区 CO₂地质储存数值模拟系统,模拟预测了示范区 CO₂地质储存能力;建立了示范区盖层力学数值模拟系统,模拟预测了 CO₂灌注引起的应力场分

布和变化。

4 环境安全风险评价及监测技术

储存于地下的CO₂,在自然或人为作用之下可能会产生CO₂泄露的风险^[18-19],对人体健康、土壤、水体等造成的影响(表2)。为应对公众对CO₂地质储存环境安全风险的关注,开展了CO₂地质储存环境安全风险评价及监测技术研究,建设了CO₂地质储存监测体系。

4.1 二氧化碳地质储存监测体系建设

为深入探索监测CO₂逃逸的有效技术方法,建立适合的CO₂地质储存监测方法体系,结合鄂尔多斯CO₂地质储存示范工程,建立了一套“空中—地表—地下”动态监测体系,综合运用多种方法对地下CO₂的赋存状态以及可能逃逸情况进行观测。

空中监测采用了遥感技术,主要针对植被变化、地表变形开展监测;地表监测采用了土壤、水、样品采集测试,地形变水准监测,大气和土壤CO₂浓度实时测量等方法,监测CO₂地质储存可能对地表的空气、水、土壤、地表变形的影响;地下监测采用井中压力温度原位监测、原位水样采集测试以及及时垂直地震剖面法监测等地球物理监测方法,对地层的温度压力、地下水水质、CO₂的运移状态进行监测。

当发现监测数据异常时,对异常点范围加密监测频率,并以该点为中心梅花状增设临时监测点,确定监测异常范围。进行实时监测并分析异常区数据,当判断数据异常为人为因素、天气和其他因素影响时,回归到日常观测;反之,当判断为CO₂逃逸时,启动预警方案,实施灾害治理,实时监测,治理完好显示数据正常后回归日常观测。

4.2 二氧化碳地质储存监测技术研究

基于CAN总线传输机制和超低功耗MSP430微处理器,研制了具有低功耗、远距离传输、多节点、耐压、密封和称重等特点的pH值深层原位监测主机系统。该主机通过引入具有压力平衡机制的pH电极能够探测1600 m深度的pH值。

针对二氧化碳地质储存工程地球物理监测需要应对的风险问题、指标参数等,提出了建立地球物理监测优化组合模式的方法、两类组合模式建议和与其他监测方法的配合方法。

5 结论与建议

几年来,基本建立了中国CO₂地质储存潜力与适宜性评价体系,初步评估了主要盆地的CO₂地质储存潜力与适宜性;在内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗成功实施了深部咸水层CO₂地质储存示范工程;在CO₂地质储存基础研究、环境影响与安全风险评估、研究基地建设等方面取得了重要进展。

针对当前CO₂地质储存研究进展,建议在以下几方面进一步开展工作:

(1)基础科学理论研究

包括油气藏及相关地质体CO₂埋存机理及潜力评价方法、安全性评价及监控,CO₂埋存和提高采收率工程技术与方法;CO₂驱煤层气利用与储存基础研究,包括多元气体与煤岩的相互作用理论及模拟方法,场地筛选、性能评价与优化设计方法;CO₂转化利用基础研究,包括工业固废/天然矿物纳微尺度活化机理与碳酸化矿化过程强化机制,地下赋存的富含钙、镁、铁、钾、铀等元素的天然易反应矿物与CO₂的反应机理;CO₂地质储存的长期安全性基础理

表2 二氧化碳地质储存泄露可能产生的危害类型
Table 2 Disasters caused by CO₂ geological storage leakage

分类	描述
对健康的影响	由于CO ₂ 的密度比空气重近50%,当CO ₂ 逃逸出地表后,将在重力和大气流(如风)的作用下,沿着地表并在比较浅的洼地聚集,使局部地区浓度偏高。如果人或动物在此活动,危险也随着产生
对土壤或植被的影响	据有关资料,土壤中的植物生长所需CO ₂ 在土壤气体中的比例一般为0.2%~4%,如果泄露的CO ₂ 导致比例超过5%就会对动植物生长产生危害,超过20%会导致植物死亡
对地下水体的影响	CO ₂ 进入饮用地下水的补给层,导致地下水pH值的降低,酸性增强;使许多微量元素在地下水中的富集程度增加而影响水质;CO ₂ 的泄漏可能引起重金属污染物由矿体进入附近的饮用地下水补给层中,从而造成地下水水质的破坏;高含盐量的卤水进入蓄水层,破坏水质
诱发地震及地面变形等	CO ₂ 灌注后可能对地表和地层产生如下影响:①大量CO ₂ 注入沉积层或断裂岩体后会改变岩层本身的力学状态,储气层中或附近高的孔隙压力可以诱发微小的地震,甚至发生破坏性地震。②在构造压力很大的储气层中,任何构造压力的减小均会诱发断裂,导致地表向上抬升或向下错断;另外储气层岩石的溶解也会导致地面的沉降

论研究,包括在二氧化碳作用下储存地层长期封闭性和稳定性的演化规律及其主控因素,储存场地选址、储存有效性与安全性评价方法等;CO₂捕集、运输、利用及储存系统的环境影响评估与风险控制等基础研究。

(2)开展二氧化碳地质储存潜力评价与选址工作,筛选、储备一批目标靶区

欧美等很多发达国家在2000年前后就已完成本国CO₂地质储存潜力评价工作,为本国储备了一批CO₂地质储存目标靶区,以应对本国对利用地质储存技术减排CO₂的需求。为提升中国应对全球气候变化地质响应能力,需要选择重点地区开展CO₂地质储存适宜性与选址调查评价工作,储备一批预选场地,为CO₂地质储存工程的实施提供支撑。

(3)根据沉积地质特点,开展不同储存类型二氧化碳地质储存示范,突破一批二氧化碳资源化利用前沿技术

在已有深部咸水层CO₂地质储存示范工程的基础上,根据中国主要盆地地层的沉积特点,继续开展煤层、油气田、咸水层等CO₂地质储存示范工程,掌握一批CO₂地质储存场地选址、安全评价、监测与补救对策等核心关键技术,为我国实施规模化CO₂地质储存提供技术支撑。

CO₂地质储存不仅面临技术上的问题,而且单一的埋存将耗费巨大的资金。作为发展中国家,中国现阶段没有足够的财力投入无效益回报的单纯的储存。作为有望实现化石能源大规模低碳利用的新兴技术,如CO₂提高石油采收率技术(CO₂-EOR)、CO₂提高煤层气采收率技术(CO₂-ECBM)、CO₂提高页岩气采收率技术(CO₂-ESGR)、CO₂替代水作为循环液体的增强型地热系统(CO₂-EGS)与CO₂驱替卤水等CO₂捕获利用与储存技术将可能成为未来中国减少CO₂排放和保障能源安全的重要战略技术选择。走CO₂地质储存与资源利用相结合的道路,利用CO₂地质储存开发石油、煤层气、页岩气、地热能等,既能提高采收率获得更多的经济效益,又能达到CO₂永久储存,实现温室气体控制的目的。为实现CO₂资源化利用方面研究突破,需开展油气藏地质体CO₂利用与储存潜力评价,研究CO₂利用与储存一体化的实验模拟、油藏工程设计、安全监测及关键装备制造技术;开展CO₂驱煤层气开

采与储存场地筛选和评价,研究井网优化设计、煤层增注、长期安全监测技术;研发钙镁钾基工业固废及天然矿物矿化固定CO₂的过程强化与设备大型化技术。

为保证CO₂地质储存有效、可靠与安全,需在场地选址、安全评价、监测与补救对策等技术方面进行深入研究。研究储存场地精细勘察与表征技术,地质储存长期安全性保障技术,长期安全性的综合监测、评价与反演技术,工程失效的预警与补救对策技术;大规模、低成本CO₂利用技术。

(4)加强二氧化碳地质储存工作中的政策与法规研究

CO₂地质储存囊括地质学、水文地质学、储层地质学等学科,是综合性极强的地质工作,同时CO₂减排是国家义务,具公益性。加之该技术涉及地下空间利用、矿产资源压占等国土资源与地质环境管理问题。因此,需研究CO₂地质储存选址、监测评价方法与标准,地下空间使用权利与责任归属的政策法规等,以适应未来CO₂地质储存管理之需。

致谢:感谢所有参加“全国二氧化碳地质储存潜力评价与示范工程”项目的各位专家。

参考文献(References):

- [1] 张洪涛,文冬光,李义连,等.中国二氧化碳地质埋存条件分析及有关建议[J].地质通报,2005,24(12):1107-1110.
Zhang Hongtao, Wen Dongguang, Li Yilian, et al. CO₂ geological sequestration in China and some suggestions[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(12):1107-1110(in Chinese with English abstract).
- [2] 刘延峰,李小春,白冰.中国CO₂煤层储存容量初步评价[J].岩石力学与工程学报,2005,24(16):2947-2952.
Liu Yanfeng, Li Xiaochun, Bai Bing. Preliminary estimation of CO₂ storage capacity of coalbeds in China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2947-2952(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘延峰,李小春,方志明,等.中国天然气田CO₂储存容量初步评估[J].岩土力学,2006,27(12):2277-2281.
Liu Yanfeng, Li Xiaochun, Fang Zhiming, et al. Preliminary estimation of CO₂ storage capacity in gas fields in China[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(12): 2277-2281(in Chinese with English abstract).
- [4] 李小春,刘延峰,白冰,等.中国深部咸水含水层CO₂储存优先区域选择[J].岩石力学与工程学报,2006,25(5):963-968.
Li Xiaochun, Liu Yanfeng, Bai Bing, et al. Ranking and screening of CO₂ saline aquifer storage zones in China[J]. Chinese Journal of

- Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 963–968(in Chinese with English abstract).
- [5] 张伟, 李义连, 郑艳, 等. CO₂地质封存中的储存容量评估: 问题和研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1061–1069.
Zhang Wei, Li Yilian, Zheng Yan, et al. CO₂ storage capacity estimation in geological sequestration: Issues and research progress[J]. Advances in Earth Sciences, 2008, 23(10): 1061–1069 (in Chinese with English abstract).
- [6] 江怀友, 沈平平, 宋新民, 等. 世界气候变暖及CO₂埋存现状与展望[J]. 古地理学报, 2008, 10(3): 323–328.
Jiang Huaiyou, Shen Pingping, Song Xinmin, et al. Global warming and current status and prospect of CO₂ underground storage[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(3): 323–328(in Chinese with English abstract).
- [7] 沈平平, 廖新维, 刘庆杰. CO₂在油藏中埋存量计算方法[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(2): 216–220.
Shen Pingping, Liao Xinwei, Liu Qingjie. Methodology for estimation of CO₂ storage capacity in reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(2): 216–220(in Chinese with English abstract).
- [8] 沈平平, 廖新维. 二氧化碳地质埋存与提高石油采收率技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
Shen Pingping, Liao Xinwei, CO₂ Geological Storage and Enhanced oil Recovery Technology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009(in Chinese).
- [9] 张森琦, 郭建强, 等. 中国二氧化碳地质储存地质基础及场地地质评价[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
Zhang Senqi, Guo Jianqiang, et al. Geological Backgrounds and in-situ Site Geological Assessment of CO₂ Storage in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011(in Chinese).
- [10] Bachu S, Adams J J. Sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change: Capacity of deep saline aquifers to sequester CO₂ in solution [J]. Energy Conversion and Management, 2003, 44(20): 3151–3175.
- [11] Bachu S. Comparison between Methodologies Recommended for Estimation of CO₂ Storage Capacity in Geological Media, Phase III Report[R]. Carbon Sequestration Leadership Forum, 2008.
- [12] Bachu S, Bradshaw J, et al. Queensland carbon dioxide geological storage atlas [C]// Greenhouse Gas Storage Solutions on behalf of Queensland Department of Employment(ed.). Economic Development and Innovation. 2008.
- [13] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [14] USDOE (U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy). Carbon Sequestration Atlas of United States and Canada [R]. 2007.
- [15] 张森琦, 郭建强, 刁玉杰, 等. 规模化深部咸水含水层CO₂地质储存选址方法研究[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1640–1651.
Zhang Senqi, Guo Jianqiang, Diao Yujie, et al. Technical method for selection of CO₂ geological storage project sites in deep saline aquifers[J]. Geology in China, 2011, 38(6): 1640–1651(in Chinese with English abstract).
- [16] 刁玉杰, 张森琦, 郭建强, 等. 深部咸水层CO₂地质储存地质安全性评价方法研究[J]. 中国地质, 2011, 38(3): 786–792.
Diao Yujie, Zhang Senqi, Guo Jianqiang, et al. Geological safety evaluation method for CO₂ geological storage in deep saline aquifer[J]. Geology in China, 2011, 38(3): 786–792(in Chinese with English abstract).
- [17] 郭建强, 张九天, 等. 中国二氧化碳地质封存选址指南研究[R]. 北京: 地质出版社, 2012.
Guo Jianqiang, Zhang Jiutian et al. Guidebook for Selection of CO₂ Geological Storage Project Sites in China[R]. Beijing: Geological Publishing House, 2012(in Chinese).
- [18] 刁玉杰, 张森琦, 郭建强. 深部咸水层二氧化碳地质储存场地选址储盖层评价[J]. 岩土力学, 2012, 33(8): 2422–2428.
Diao Yujie, Zhang Senqi, Guo Jianqiang. Reservoir and caprock evaluation of CO₂ geological storage site selection in deep saline aquifers[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(8): 2422–2428 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张森琦, 刁玉杰, 程旭学, 等. 二氧化碳地质储存泄漏通道及环境监测研究[J]. 冰川冻土, 2010, 12(6): 1251–1261.
Zhang Senqi, Diao Yujie, Chen Xuxue, et al. CO₂ geological storage leakage routes and environment monitoring[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 12(6): 1251–1261(in Chinese with English abstract).

The progress in the research on carbon dioxide geological storage in China

WEN Dong-guang¹, GUO Jian-qiang², ZHANG Sen-qi², XU Tian-fu³, JIA Xiao-feng²,
LI Xu-feng², FAN Ji-jiao², ZHANG Hui², DIAO Yu-jie², HU Qiu-yun¹

(1. *China Geological Survey, Beijing 100037, China*; 2. *Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Baoding 071051, Hebei, China*; 3. *College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China*)

Abstract: From 2010 to 2013, China Geological Survey (CGS) launched a project “CO₂ Geological Storage Potential and Suitability Assessment and Pilot-Project in China”, which has promoted CO₂ geological storage study in China. Based on the complex geological conditions of basins in China, the authors have established CO₂ geological storage potential and suitability assessment system suitable for China, and assessed CO₂ geological storage potential and suitability about the 417 land and shallow marine sedimentary basins with the area greater than 200 km². The CCS pilot-project in Ejin Horo Banner of Ordos City within Inner Mongolia was carried out, which served as the first coal-based CCS pilot project in deep saline aquifers in China and the largest one in the world. Some scientific and technical breakthroughs in such aspects as drilling, perfusion, sampling and monitoring were achieved. The substantial progress in the basic theoretical researches such as physical chemical and biological process, simulation, environmental impact and safety risk assessment of CO₂ geological storage has also been obtained.

Key words: CO₂ geological storage; potential and suitability assessment; pilot-project; basic theoretical study

About the first author: WEN Dong-guang, male, born in 1964, professor, engages in investigation and management of hydrogeology and environmental geology; E-mail: wdongguang@mail.cgs.gov.cn.