

可行, 陈建文, 龚建明, 等. 东海陆架盆地 CO₂ 地质封存适宜性评价[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(7): 1-12.

KE Xing, CHEN Jianwen, GONG Jianming, et al. Suitability evaluation of CO₂ sequestration in the East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(7): 1-12.

东海陆架盆地 CO₂ 地质封存适宜性评价

可行^{1,2}, 陈建文^{2,3,4*}, 龚建明^{2,3}, 杨传胜^{2,3}, 杨长清^{2,3}, 谢明英⁵, 王建强^{2,3}, 袁勇^{2,3}

(1 山东科技大学地球科学与工程学院, 青岛 266590; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237;

3 崂山实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266237; 4 河海大学海洋学院, 南京 210024;

5 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518000)

摘要: 温室气体过量排放引起了明显的全球气候变化及诸多次生灾害, CO₂ 捕集与地质封存技术应运而生。中国东海沿岸 CO₂ 排放源众多, 但陆上盆地面积狭小, 无法满足巨量 CO₂ 封存的需求。根据相关学者做出的中国全海域级碳封存适宜性评价, 东海陆架盆地在中国近海盆地中碳封存适宜性排名第 3, 面积宽广且封闭性好, 因此, 在此基础上对东海陆架盆地开展了盆地级碳封存适宜性评价。结合专家意见和相关学者研究成果, 利用模糊综合评价法和层级分析法确立了适宜性评价指标体系及指标权重, 再根据盆地内各二级构造单元的相关地质资料, 按照评价指标分级赋分表对各单元的评价指标进行评分, 结合权重计算出综合适宜性评分。综合考虑碳封存容量、封闭性及可操作性的评价结果认为, 台北坳陷为盆地中碳封存综合适宜性最好的单元, 可作为优先实验性封存区。

关键词: 东海陆架盆地; 海域碳封存; 适宜性评价; 台北坳陷

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.156

0 引言

英国石油公司(BP)的统计数据显示, 中国 2019 年的碳排放量为 98.25 亿 t, 约占全球碳排放量的 29%, 位列全球之首。根据世界银行的统计数

据测算, 中国单位 GDP 碳排放量为 0.69 kg/美元, 是世界平均水平的 1.77 倍, 碳排放强度显著高于世界平均水平^[1]。中国快速发展的经济对能源的需求在今后相当长一段时间内仍将保持较高增速, 在未来数十年中, 预计仍将保持以煤为主的能源结构^[2], 控制温室气体排放的难度非常大。因此, 碳排放量在短时间内大幅降低几乎是不可能的。

由于以 CO₂ 为主的温室气体正导致全球气候变暖, 全球关于 CO₂ 减排的呼声越发高涨。《联合国气候变化框架公约》是第 1 个提出全面控制 CO₂ 等温室气体排放的国际公约^[3], 以应对全球气候变暖及其次生灾害给大自然及人类带来的不利影响。中国是全世界 CO₂ 排放第 1 大国, 同时也是该框架公约的缔约国之一。为了履行碳减排的国际义务, 中国提出了在“2030 年碳达峰”和“2060 年碳中和”的目标。目前, 除了常规的温室气体减排方法以外, CO₂ 捕集和封存(Carbon Capture and Storage, CCS)技术在国际上已获认可并得到应用。CCS 技术是指将 CO₂ 从工业排放或相关能源消耗的源头分离出来, 输送到安全的封存地点, 使其长期与大气隔

收稿日期: 2022-05-16

资助项目: 崂山实验室项目“中国海域重点盆地发育时空差异及其深部过程”(LSKJ202203401), “海域强屏层下与崎岖海底深层地震采集技术”(LSKJ202203404); 国家自然科学基金“二连盆地地下白垩统富火山组分的咸水湖相烃源岩地质地球化学特征及其有机质富集机制”(42102188), “南黄海 CSDP-2 井二叠系砂岩储层致密化过程及其对油气充注事件的响应”(42206234); 山东省自然科学基金“南黄海盆地崂山隆起上二叠统特低渗砂岩致密层储层表征研究”(ZR2020QD038); 中国地质调查局项目“渤海等海域新生代油气地质条件与碳封存选区”(DD20230401), “我国东部海域及北印度洋等重点海域油气资源调查评价”(DD20221723), “南黄海油气资源调查”(DD20160152), “崂山隆起构造沉积条件地质调查”(DD20190818)

作者简介: 可行(1995—), 男, 在读硕士, 主要从事地球化学方面的研究工作。E-mail: 1132720355@qq.com

* 通讯作者: 陈建文(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事海洋油气资源调查评价及碳封存方面的研究工作。E-mail: jwchen2012@126.com

绝^[4]。该技术从源头上避免 CO₂ 排放,可以有效封存来自大型发电厂、钢铁厂、化工厂等企业的 CO₂,同时,可以利用 CO₂ 移除技术大规模减少大气中已有的 CO₂。

20 世纪 70 年代初,美国率先开展了将 CO₂ 注入油田来提高石油采收率(enhanced oil recovery, EOR)的工程,世界各国也相继开展在油气田、深部煤层或地下咸水层封存 CO₂ 的工程^[5-7]。一些国家已成功应用 CCS 技术在陆地和近海陆架的地下咸水层、废弃或高开发程度的油气田封存大量的 CO₂。例如,挪威斯莱普内尔气田,每年将 100 万 t 伴生 CO₂ 封存到咸水层中,至 2019 年累计封存量已达 2 200 万 t 且未发现泄露;日本 2019 年在北海道附近海域成功实施了 30 万吨级 CO₂ 地质封存试验项目。全球 CCS 项目发展迅速,截至 2021 年 9 月,规划、在建和运行中的商业化 CCS 设施数量已达 135 个^[8],较 2020 年增加 1 倍以上,全部建成后每年可捕集 CO₂ 约 1.5×10⁸ t。目前,大规模 CCS 项目共有 31 个,分布在美国(13 个)、中国(5 个)、加拿大(4 个)、欧洲(4 个)、中东(3 个)、澳大利亚(1 个)、巴西(1 个);处于开发后期或运行中的 CCS 产业集群数量达到 24 个,分布在美国(6 个)、英国(6 个)、荷兰(4 个)、希腊(1 个)、挪威(1 个)、丹麦(1 个)、加拿大(1 个)、中国(1 个)、中东(1 个)、澳大利亚(1 个)、巴西(1 个)。CCS 产业集群体现了规模经济效应,通过提高封存规模来大幅降低碳减排的单位成本。

中国在 21 世纪初开始进行 CCS 相关技术的理论研究及实践,对国内许多陆上及近海陆架盆地的碳封存潜力及适宜性进行了评价^[9-14],并针对其中一些潜力和适宜性较高的盆地开展了 CO₂ 地质封存工程。根据科学技术部向全国征集 CCS 示范项目的统计结果,自 2004 年中国第 1 个 CCS 示范项目在山西投运以来,已投运和建设中的 CCS 示范项目共有 49 个,集中在华东和华北地区;已投运的 38 个 CCS 示范项目,累计注入封存 CO₂ 超过 2×10⁶ t,形成 CO₂ 捕集能力 2.96×10⁶ t/a、封存能力 1.21×10⁶ t/a。与国际先进水平相比,中国 CCS 示范项目在整体规模、集成程度、离岸封存、工业应用等方面均存在较大差距^[15]。

中国全区域级碳封存适宜性评价结果表明,不适宜盆地有 31 个,面积为 6.91×10⁴ km²;较不适宜盆地有 70 个,面积为 34.22×10⁴ km²;一般适宜盆地 166 个,面积为 81.44×10⁴ km²;较适宜盆地

109 个,面积 139.70×10⁴ km²;适宜盆地有 32 个,面积为 297.06×10⁴ km²。其中,中国深部咸水层 CO₂ 地质储存面积达 306.15×10⁴ km²,总预测潜力为 2 936.17×10⁹ t^[16]。据已有研究成果,中国近海陆架盆地存在体积巨厚的深部咸水层,可用来储存大量的 CO₂。在陆架盆地进行 CO₂ 离岸封存的相关研究尚处于起步阶段,未开展深部咸水层 CO₂ 地质储存特征及封存适宜性实质性研究,因此,对具有碳封存远景的陆架盆地开展盆地级(D 级)CO₂ 地质储存适宜性评价,筛选出适宜或较适宜的碳封存远景区,提出有推广价值的评价指标体系,并利用现代地质学理论研究评价相似盆地的封存适宜性,对于全面利用 CO₂ 地质封存技术达成中国的“双碳目标”具有深远意义^[17]。

1 研究现状

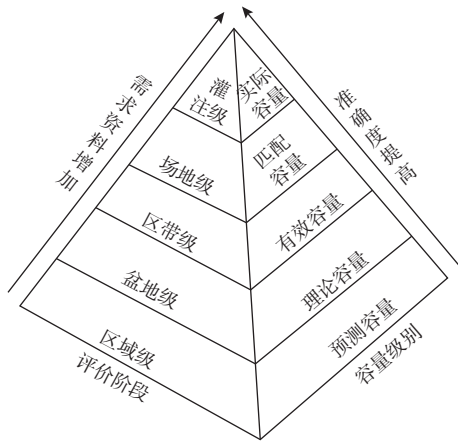
广义的 CO₂ 地质封存潜力,是指一个海域、一个盆地或者一个地质体能够封存 CO₂ 的潜在能力,反映的是包括地质储层条件、排放源分布、现有经济和技术条件以及法律法规限制和公众接受程度等在内的综合能力。在封存潜力初步评价阶段,主要是评价碳封存所具备的地质条件,包括地质封存适宜性评价和地质封存容量估算。

CO₂ 地质封存适宜性评价的结果最终以数值表征,数值越大封存适宜性越好,主要通过适宜性评价指标的量化和封存容量的计算等方式来确定,其评价指标以及各指标的赋值和权重、分析方法尚无统一标准,学者一般根据封存地质体特征、评估目的等在参考专家建议及前人研究成果的基础上自行制定。

国外将 CO₂ 地质封存潜力评价分为国家级、盆地级、场地级、灌注级 4 个级别^[18]。评价初期,首先根据封存地质体特征、评估目的等确立相应的封存适宜性评价指标体系,对地质概况、地面基础设施等封存条件进行初步筛选。初步筛选后,需要建立较详细的盆地级评价指标体系,对潜在封存储盖条件开展进一步的评价和排序。随着评价等级的深入,进一步考虑政策法规、民众意向、泄漏风险和环境影响,形成更详细的评价指标体系^[19-22]。对于封存容量的计算,不同学者根据对各类技术和封存机理的研究提出了相应的封存量计算方法,包括物质平衡算法、有效容积算法、溶解机理算法以及考虑多种 CO₂ 捕获机制的综合封存容量计

算法^[23]。

中国碳封存潜力评价相关研究起步较晚,国内学者主要参考国外现有经验和油气资源的评价思路,结合中国沉积盆地的发育特点,建立了不同级别的碳封存潜力评价模型(图 1)^[24-27],包括区域级、盆地级、区带级、场地级和灌注级 5 个等级,依次对应不同的封存容量,相当于油气勘探阶段中的普查、远景区调查、区域勘探、资源预探、资源详探。从全区域级到盆地级,再到区带级和场地级,最后到灌注级,随着评价区域越来越小,所需要的资料增多,评价的精确度和针对性会越来越高,计算所得的碳封存容量则更加准确。



据文献^[28]修改

图 1 碳封存潜力递阶评价模型

Fig.1 The hierarchical evaluation model of carbon sequestration potential

目前碳封存适宜性评价及封存容量估算主要存在以下问题^[23]:①评价指标的选定、赋值及权重。由于不同地质体具有不同的特征,且相关地质资料的可获取程度不同,建立的评价指标体系也有所不同,对于定性指标的量化和赋值因人而异,不同学者或专家给予不同评价指标的权重更是差别巨大,这就导致采用不同评价指标体系得到的碳封存适宜性结果有所不同甚至差异较大,不同地质体、不同研究者的评价结果之间的可比性较差。②封存容量的计算。容量计算公式中引入的存储效率因子其取值受多种因素影响,不同计算方法对其定义不同,其内在影响机理尚无定论,还未形成公认的计算方法,不同学者根据大致判断自行取值或取多个值,难以精准计算封存容量。③储层的非均质性。储层的封闭性评价和容量计算都是在理想状态下做出的,即认为储层是均一的,用少量的储层条件和物性参数代表整体,可能会与实际情况相差

较大。

地球上主要存在海洋和陆地等天然碳储层,其中,海洋碳储层的储量是陆地碳储层的数倍。研究认为,CO₂海底地质封存具有比陆地更大的优势^[28],主要原因是:①上覆海水层在海底近表层形成了稳定的高压、低温环境,使封存在地层中的 CO₂ 具有更高的稳定性,降低了泄漏风险和对盖层高封闭性的要求;海水与海底表层地下水不断的交换作用弥补了表层未固结沉积物中断层和裂隙较为发育的弊端,并使表层沉积物处于饱和状态,减少了逃逸的通道。②海底地质封存的压力管理过程比陆地地质封存相对容易,陆地封存技术是在不提取咸水的情况下直接注入大量 CO₂,容易导致原有地下压力失衡,造成后续注入速率减慢,降低总的封存容量,大大增加 CO₂ 泄漏的风险,而海底地层中的孔隙流体与海水的化学组成接近,通过抽取地层水就可以释放压力,避免了陆地地质封存中压力失衡导致的一系列问题,同时,排水井也可用于 CO₂ 的灌注和监测。

中国海岸线绵长,沿岸城市分布有众多的火力发电厂、水泥厂、钢铁企业等,是温室气体的最大排放源^[29]。霍传林等^[28]利用模糊综合评价法和层次分析法对中国近海盆地进行了碳封存适宜性评价,得出了各盆地碳封存适宜性的高低排序(表 1),排名前 3 的依次是珠江口盆地、南海中南部诸盆地以及东海陆架盆地。中国东海沿岸经济发达,火力发电厂、水泥厂和钢铁厂众多,其中火力发电厂约有 19 座,预计 2025 年 CO₂ 排放量达 $2\,911 \times 10^6$ t(表 2)。东海沿岸的陆上盆地虽然数量众多,但面积小、沉积物厚度薄,无法满足大规模地质碳封存的需求(图 2)。相反,东海陆架盆地面积约 26×10^4 km²,沉积物最大厚度达 15 km,已开发及在产的油气田众多,其咸水层及枯竭油气田可以封存巨量的 CO₂,上覆海水的封闭保护作用又大大降低了气体泄露的风险。由此看来,东海陆架盆地的自然和经济条件非常适合开展 CO₂ 海底地质封存^[30]。

鉴于东海陆架盆地具有较高的碳封存潜力,笔者对东海陆架盆地开展盆地级(D 级)适宜性评价。D 级评价以盆地内的二级构造单元——坳陷和隆起为评价单元,通过资料收集和整理对主要碳储层和储盖组合进行分析,运用模糊综合评价和层次分析法对各单元封存适宜性指标综合评价,选出碳封存适宜区,为后续区带级适宜性评价提供依据。

表1 中国近海盆地海底碳封存适宜性

Table 1 The suitability of seafloor carbon sequestration in offshore basins of China

盆地名称	盆地适宜性(权重0.533)	封存容量(权重0.206)	泄露风险(权重0.156)	运输距离(权重0.105)	综合评分
渤海盆地	2	2	1	3	1.949
北黄海盆地	2	1	3	3	2.055
南黄海盆地	3	2	3	2	2.689
东海陆架盆地	3	4	3	2	3.101
台西盆地	1	1	2	2	1.261
台西南盆地	2	2	3	2	2.156
珠江口盆地	4	3	3	2	3.428
北部湾盆地	2	1	2	3	1.899
琼东南盆地	1	1	2	1	1.156
南海中南部诸盆地	3	5	3	1	3.202

注: 据文献[28]修改。

表2 东海沿岸地区火电、水泥和钢铁行业 CO₂ 排放量Table 2 The variation trend of CO₂ emissions from thermal power, cement, and steel industries in coastal areas of the East China Sea

沿岸城市	CO ₂ 排放量/10 ⁶ t		
	2005年	2015年	2025年(按增长率预测)
上海	98.894	249.60	629.94
浙江	166.226	419.53	1058.84
福建	45.954	115.98	292.72
广东	146.084	368.70	930.54

注: 据文献[28]修改。

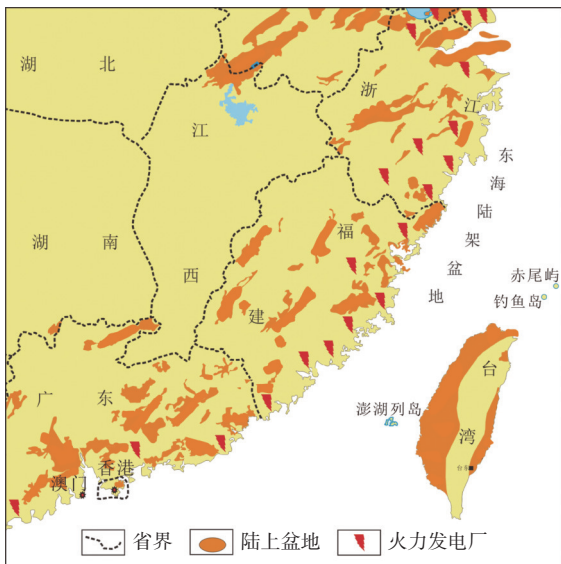


图2 东海沿岸陆上海盆及火电厂位置

Fig.2 Location of onshore basins and thermal power plants along the East China Sea

2 区域地质概况

2.1 构造单元划分

东海陆架盆地是中国近海最大的中-新生代叠

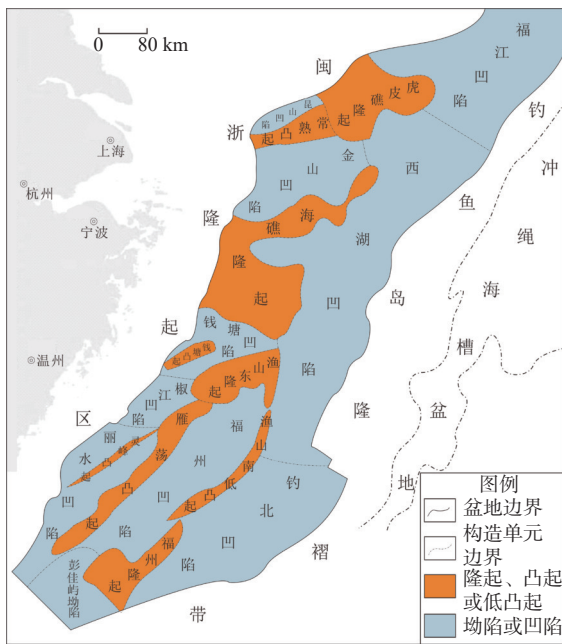
合盆地,东以钓鱼岛隆褶带与冲绳海槽盆地相隔,西为浙闽隆起区,南接台湾中-新生代盆地群,北延至对马海峡附近,总体走向为NE向,呈现出明显的“东西分带、南北分块”的构造格局,可进一步划分为以新生代沉积为主的西部坳陷带和东部坳陷带及以中生代沉积岩和岩浆岩为主的中部隆起带(图3),3条构造带在沉积充填、地层构造上各具特征^[31-32]。东部坳陷带浙东坳陷自北向南可划分为福江凹陷、西湖凹陷和钓北凹陷。西部坳陷带自北向南可划分为长江坳陷、台北坳陷、彭佳屿坳陷,包含昆山凹陷、常熟凸起、金山凹陷、钱塘凸起、钱塘凹陷、椒江凹陷、丽水凹陷、灵峰凸起、雁荡凸起及福州凹陷等三级构造单元^[33]。中部隆起带自北向南可划分为虎皮礁隆起、海礁隆起、渔山隆起、福州隆起(表3)。

2.2 水深和离岸距离

东海陆架盆地水深介于60~140 m,平均水深72 m,盆地整体呈“东断西超”的箕状结构,水体深度为东深西浅,但隆起单元水深较坳陷单元浅。目前中国海洋石油工程经济作业的优势水深是200 m以浅,水深50 m以浅时不仅成本较低而且对可操作性的影响可忽略不计,超过200 m后作业成本急剧增加,有利于碳封存实际操作的平均水深为72 m。东海陆架盆地西部坳陷带边缘至上海、浙江和福建3省(市)的主要碳排放源区距离大约为50 km,而东部坳陷带离岸距离约为50~300 km。

2.3 储碳条件

东海陆架盆地古近系厚约1~12 km,发育古新统月桂峰组、灵峰组、明月峰组,始新统瓯江组、温州组、平湖组和渐新统花港组;新近系厚约1~5 km,发育中新统龙井组、玉泉组、柳浪组,上新统



据文献 [31] 修改

图 3 东海陆架盆地构造单元划分

Fig.3 Division of tectonic units in the East China Sea Shelf Basin

三潭组; 第四系厚 250~500 m (表 4)。在适合地质碳封存的 800~3 200 m 深度地层中, 存在 4 套有效储碳层和封盖层组合^[24]: ①明月峰组滨岸砂坝相砂岩, 平均孔隙度 17.1%, 为良好储碳层, 上覆瓯江组、温州组海陆过渡相泥岩封盖层; ②平湖组滨岸相砂

表 3 东海陆架盆地构造单元

Table 3 The tectonic units of the East China Sea Shelf Basin

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元
东海陆架盆地	西部拗陷带	昆山凹陷
		长江拗陷
		金山凹陷
		常熟凸起
		钱塘凹陷-钱塘凸起
	中部隆起带	椒江凹陷
		丽水凹陷
		灵峰凹陷
	东部拗陷带	雁荡凸起
		福州凹陷
	彭佳屿拗陷	
	虎皮礁隆起	
	海礁隆起	
	渔山隆起	渔山东隆起
		渔山南低凸起
	福州隆起	
	浙东拗陷	福江凹陷
		西湖凹陷
		钓北凹陷

注: 据文献[31-32]修改。

岩, 平均孔隙度 20.9%, 为良好储碳层, 上覆平湖组上段海湾相深灰色泥岩封盖层; ③花港组滨湖相砂体及湖泊三角洲砂体, 平均孔隙度 20%, 为良好储碳层, 上覆花港组上部及龙井组深灰色泥岩封盖层;

表 4 东海陆架盆地沉积地层及储盖层

Table 4 Sedimentary strata and reservoir cap rocks in the East China Sea Shelf Basin

地层系统			储盖层	构造运动	构造演化阶段	
系	统	组			西部拗陷带	东部拗陷带
第四系	更新统	东海群				
	上新统	三潭组				
新近系	中新统	柳浪组	砂砾岩储层/泥岩盖层	冲绳海槽运动	沉降期	沉降期
		玉泉组	砂砾岩储层			
		龙井组		龙井运动		
古近系	渐新统	花港组	砂岩储层/泥岩盖层	花港运动	拗陷—反转期	拗陷—反转期
		平湖组	砂岩储层/泥岩盖层	玉泉运动		
	始新统	温州组	泥岩盖层	瓯江运动	断陷期	断陷期
		瓯江组	泥岩盖层			
		明月峰组	砂岩储层			
	古新统	灵峰组		雁荡运动	断陷期	断陷期
月桂峰组						

注: 据文献[30]修改。

④玉泉组上部—柳浪组底部陆海过渡相砂砾岩,平均孔隙度 22%,为良好储碳层,上覆柳浪组泥岩盖层。

虽然东海陆架盆地内存在多套良好的储盖层组合,但由于盆地构造的不均一性,并不是所有储盖层都具有区域性,二级构造单元具有多套储盖层或仅有一两套储盖层不等。在储层以古近系为主的凹陷中,上部渐新统、始新统泥岩都可作为盖层。盆地总体呈“东断西超”的箕状结构,沉积地层厚度自东向西逐渐减薄。西部拗陷带新生代沉积厚度达 9 km,主要沉积层为古新统和始新统下段,普遍缺失始新统上段和渐新统,新近系较薄,多不整合于古新统或始新统之上,台北拗陷中的丽水-椒江凹陷古新统为主要储层。中央隆起带无古近系沉积,新近系厚度达 2~4 km,直接不整合于基底之上。东部拗陷带新生代最大沉积厚度在 15 km 以上,以发育巨厚的始新统、渐新统及中新统为特征,平湖组之上地层发育齐全,其中,西湖凹陷花港组砂岩厚度大,物性好^[34-35]。

东海陆架盆地总面积为 $26.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,拗陷总面积为 $19.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中西湖凹陷是最大的含油气凹陷,面积为 $5.18 \times 10^4 \text{ km}^2$,各二级构造单元面积均 $>250 \text{ km}^2$ 。地温梯度介于 $25.0 \sim 63.7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$,均值为 $33.2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$,满足 CO_2 长期封存场地地温梯度 $\leq 35 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ 的要求。目前已知盆地内存在 2 套超压地层,分别是西湖凹陷的始新统平湖组和丽水凹陷的古新统灵峰组,超压顶面深度分别为 3 000 m 和 3 344~3 767 m。由于超压顶面深度处于 CO_2 海域封存最佳深度(800~3 200 m)之下,因此,东海陆架盆地的压力场有利于碳封存^[28]。东海陆架盆地整体不属于俯冲带附近的盆地或正在发育的走滑拉分盆地,而地震活动性与构造背景息息相关,各构造单元地震活动性基本一致,均属于中或弱活动性,近 100 年来盆地 6~7 级地震历史记录较少,无 7 级以上地震记录。盆地内断裂相对较发育,以

NE—NNE 向、NEE 向和 NW—NWW 向为主,其中 NE—NNE 向和 NEE 向断裂走向与区域走向基本一致,构成了东海区域构造的主要格架,并未对单元内部的储盖层进行大量切割^[36]。总体上东海陆架盆地地壳稳定性较好。另外,盆地油气勘探开发程度较高,钻井平台密度大,油气输运管网发达,开发工程数据翔实,面积广阔的地下咸水层和部分处于生产枯竭期的油气藏非常适合于碳封存。

综上所述,东海陆架盆地具有水深较浅、 CO_2 输运距离较短、储碳条件优越、工程条件成熟等优点,可以作为碳封存的试验区。

3 东海陆架盆地 CO_2 地质封存适宜性

3.1 评价指标的选取及分级

根据 IEAGHG 在 2009 年提出的盆地级 CO_2 地质封存适宜性评价指标体系^[37],笔者结合东海陆架盆地的地质条件以及指标相关资料的可获取程度,建立了适合该区的 CO_2 地质封存适宜性初步筛选指标体系,对每个指标给出了适合该区的筛选条件(表 5)。该筛选指标为决定性指标,即具有一票否定性,只要不满足这些指标中的其中一个,所评价的拗陷和隆起将会被直接标定为不适宜,不再进一步计算其适宜性。

首先,利用 7 个决定性指标考察东海陆架盆地内的所有拗陷和隆起,排除明显不适宜的单元;其次,对于未被排除的单元,再补充若干新指标,对所有指标的适宜程度进行打分并确定指标权重,加权求出各单元的封存适宜性大小。根据前文对东海陆架盆地地质概况和储碳条件的综合讨论,利用上述筛选指标对东海陆架盆地内各构造单元进行检验,结果显示东海陆架盆地内所有二级单元均符合 7 个决定性指标。

表 5 盆地级 CO_2 海域地质封存适宜性评价筛选指标

Table 5 The selection index of geological storage suitability evaluation of basin level CO_2 in sea area

指标类型	指标	不可行	可行
决定性指标	沉积厚度	$<1\ 000 \text{ m}$	$>1\ 000 \text{ m}$, 储集体 $>800 \text{ m}$
	拗陷或隆起面积	$<250 \text{ km}^2$	$>250 \text{ km}^2$
	压力状态	超压	中压或低压
	构造背景	俯冲带/走滑拉分盆地	前陆盆地/克拉通
	断裂密度	密集	中等或稀疏
	储盖组合	差、不连续、被切割	中等或良好,多套组合
	地震活动性	强	中或弱

CO₂ 封存适宜性评价分为适宜、较适宜、一般适宜、较不适宜、不适宜等 5 个级别, 不同级别的评价指标不同。但是, 不论那个级别, 都有一部分定性指标, 为此, 前人提出了模糊评价法与层次分析法(AHP)相结合的综合评价方法。参照上述评价方法, 结合东海陆架盆地的特点及相关资料的可获取程度, 确定了由 3 个一级指标和 11 个二级指标组成的评价指标体系(图 4)。对于定量指标, 取其原始观测值, 对于定性指标, 建立区间分级标准, 按照贡献值或影响程度量化取值。

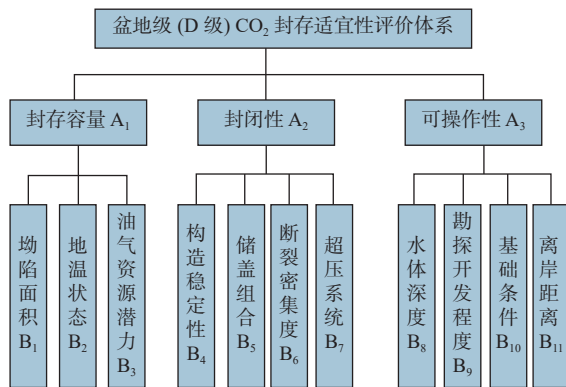


图 4 CO₂ 地质封存适宜性评价指标体系

Fig.4 The suitability evaluation index system of CO₂ sequestration

所有二级指标 5 个等级的分级标准^[38] 如下:

B₁(坳陷面积): 指标的大小将直接影响储盖层的规模, 间接影响其储存潜力, 也影响储层流体的流动规模(单位: m²), 参照中国沉积盆地二级构造单元面积值统计划分等级。

B₂(地温状态): 包括地表温度、地热流值和地温梯度, 地表温度指地表面与空气交界处的温度(单位: °C), 地热流值指单位面积、单位时间内由地球内部传输至地表的热量, 地温梯度指每百米垂直深度上增加的温度数量。

B₃(油气资源潜力): 区域面积上可能蕴藏的油气、煤规模资源数量(单位: m³), 分级标准参照统计资料和现有资源评价等级划分。

B₄(构造稳定性): 按照会聚大洋、会聚造山带、离散陆架、离散陆外、离散克拉通 5 个等级划分。

B₅(储盖组合): 包括盖层岩性、厚度、分布连续性以及储层厚度、渗透率等, 分级标准参照《油气储层评价方法》中的储层、盖层标准规定执行^[39]。

B₆(断裂密集度): 断裂的延伸长度和面积的比值及断裂活动强度、类型(单位: km/km²), 分级标准参照《工程场地地震安全性评价》执行^[40]。

B₇(超压系统): 按照超压系统的数量、存在位

置与储碳层及盖层的关系划分。

B₈(水体深度): 这里只考虑水深对工程开展的成本影响, 而未考虑水深对海底地层中 CO₂ 的封闭作用。按照中国海洋工程开展的难易程度及成本与水深的关系划分。

B₉(勘探开发程度): 根据油气资源调查中在不同单元内完成的钻井密度、地震测线(测网)密度及地球物理研究资料等数据, 划分为未勘探、已勘探、开发中、较成熟、高成熟 5 级。

B₁₀(基础条件): 考虑各单元目前具备的与油气开发相关的设施, 如平台和管线, 是否有油气开发平台或钻探工程等设施, 划分为无、较少、中等、较多、大规模 5 级。

B₁₁(离岸距离): 分析盆地各构造单元与最近海岸的平均距离, 按最远距离和最近距离之差平均分为 5 个区间, 依次定义为很近、近、一般、远、很远。

该适宜性评价指标体系相对于前文中的适宜性筛选指标体系, 增加了油气资源潜力、勘探开发程度和基础条件等指标。盆地的油气潜力大则意味着地层中除咸水层之外还可有更多的油气藏空间来保存 CO₂。对于各单元的油气潜力, 参考了历次全国油气资源评价以及部分学者研究所得的数据^[41-47], 对于没有油气资源潜力资料的构造单元, 则根据盆地预探油气总量和对部分构造单元已有的勘探认识, 结合地质条件对比附近构造单元的油气潜力大致估算。勘探开发程度决定了目前对盆地基础地质条件的认识程度, 程度越高, 则对盆地封存性能了解得更准确更详细。目前, 盆地中坳陷区的开发程度较隆起区高, 尤其是东部坳陷带中的西湖凹陷和西部坳陷带中的丽水-椒江凹陷, 均有钻井并正在开发工业油气流。而基础条件则主要影响封存工程的可操作性。对于每个指标的不同等级所赋分值, 主要参考了 BACHU 等^[48-49]、杨国强等^[50] 提出的赋分原则(表 6)。

3.2 东海陆架盆地 CO₂ 地质储存适宜性评价

根据前述建立的评价指标体系, 结合上述对东海陆架盆地封存条件的整体讨论, 并参考了大量相关文献^[24-26,28,31-37,41-48], 分别对盆地各单元的每个评价指标的情况进行了详细探讨, 按照指标所属的不同等级赋分。由于东部坳陷带的浙东坳陷面积过大, 因此分为 3 个次级凹陷进行评价, 最终得出了研究区各评价单元所有指标的赋分, 对所有单元每个特定指标的分数进行比较, 将最高分数归化为 1, 其他较低的分数等比缩小, 得到归一化分数表(表 7)。

表6 评价指标分级赋分表^[48-50]
Table 6 The grading table of the evaluation indicators^[48-50]

一级指标	二级指标	描述	等级					
			不适宜	较不适宜	一般适宜	较适宜	适宜	
CO ₂ 封存适宜性 (权重0.43)	坳陷面积/10 ⁴ km ²	描述	小	中	大	巨大		
		分值	1	3	5	9		
	地温状态 封存容量(地热流值 q , mW/km ² ; (权重0.43) 地温梯度 g , °C/m; 地表温度 t , °C)	描述	热	次热	中等	次冷	冷	
		描述	$q > 85$	$75 < q < 85$	$65 < q < 75$	$54.5 < q < 65$	$q < 54.5$	
		描述	$g > 5$	$4 < g < 5$	$3 < g < 4$	$2 < g < 3$	$g < 2$	
		描述	$t > 25$	$10 < t < 25$	$3 < t < 10$	$-2 < t < 3$	$t < -2$	
		分值	1	3	5	9	13	
	油气资源潜力	描述	无	小	中等	大	巨大	
		分值	1	3	7	13	21	
	构造稳定性	描述	海洋聚敛边界	聚敛型山间盆地	离散大陆架	离散型前陆盆地	离散型克拉通	
		分值	1	3	7	15	15	
	储盖组合	描述	缺乏	较少	中等	较多	丰富	
		分值	1	3	7	15	21	
	封闭性 (权重0.43)	断裂密集度/(km/km ²)	描述	密集(>0.5)	较密集(0.4~0.5)	中等(0.3~0.4)	较稀少(0.2~0.3)	稀少(<0.2)
			分值	1	3	7	15	21
	超压系统	描述	较多且靠近 碳储层	较少且靠近 碳储层	较多但远离 碳储层	较少且远离 碳储层	无	
		分值	1	3	7	15	21	
	水体深度/m	描述	极深(>200)	较深(150~200)	中等(100~150)	较浅(50~100)	很浅(<50)	
		分值	1	3	7	15	21	
	可操作 性 (权重0.14)	勘探开发程度	描述	未勘探	已勘探	开发中	较成熟	高成熟
分值			1	2	4	8	10	
基础条件	描述	无	较少	中等	大规模			
	分值	1	3	7	10			
离岸距离/km	描述	很近(50~100)	近(100~150)	中等(150~200)	远(200~250)	很远(250~350)		
	分值	1	2	4	8	10		

表7 东海陆架盆地各评价单元碳封存适宜性评价指标赋分

Table 7 Evaluation indicators of carbon sequestration suitability of each evaluation unit in the East China Sea Shelf Basin

评价单元	封存容量相关指标			封闭性相关指标				可操作性相关指标			
	坳陷面积	地温状态	油气资源潜力	构造稳定性	储盖组合	断裂密集度	超压系统	水体深度	勘探开发程度	基础条件	离岸距离
长江坳陷	0.46	0.92	0.95	0.92	0.81	0.94	1	0.8	0.92	0.95	1
台北坳陷	0.95	0.98	1	0.95	0.95	1	0.95	0.8	1	1	0.92
彭佳屿坳陷	0.28	0.95	0.86	0.95	0.81	0.88	1	0.85	0.86	0.95	0.85
虎皮礁隆起	0.31	0.61	0.78	0.72	0.67	0.75	1	1	0.75	0.54	0.95
海礁隆起	0.45	0.72	0.78	0.75	0.67	0.75	1	1	0.73	0.63	0.95
渔山隆起	0.29	0.68	0.78	0.70	0.67	0.75	1	1	0.78	0.65	0.85
福州隆起	0.25	0.65	0.78	0.69	0.67	0.75	1	1	0.73	0.76	0.8
福江凹陷	0.72	0.95	0.85	0.97	0.95	0.86	1	0.75	0.95	0.85	0.72
西湖凹陷	1	0.95	0.92	1	1	1	0.85	0.75	1	0.98	0.51
钓北凹陷	0.69	1	0.85	0.97	0.95	0.92	1	0.75	0.95	0.85	0.48

参考大量的专家评判以及各位学者的研究中所使用的适宜性指标权重^[15],结合东海陆架盆地自身条件,建立了各指标的权重。对各级指标权重作

归一化处理,一级指标集{封存容量,封闭性,可操作性}的权重为 $W^1 = \{0.435, 0.435, 0.130\}$,二级指标集封存容量相关指标{坳陷面积,地温状态,油气资

源潜力}的相对权重为 $W_1^2=\{0.41, 0.41, 0.18\}$, 封闭性相关指标{构造稳定性, 储盖组合, 断裂密集度, 超压系统}的相对权重为 $W_2^2=\{0.22, 0.26, 0.26, 0.26\}$, 可操作性相关指标{水深, 勘探开发程度, 基础条件, 运输距离}的相对权重为 $W_3^2=\{0.25, 0.25, 0.25, 0.25\}$ 。计算所有二级指标对 CO₂ 封存适宜性的真实权重(表 8)。

表 8 东海陆架盆地 CO₂ 地质封存适宜性评价指标权重
Table 8 Index weight of CO₂ sequestration suitability evaluation in the East China Sea Shelf Basin

一级指标	二级指标	相对权重	真实权重
封存容量 (0.43)	坳陷面积	0.41	0.1763
	地温状态	0.41	0.1763
	油气资源潜力	0.18	0.0774
	构造稳定性	0.22	0.0946
	储盖组合	0.26	0.1118
	断裂密集度	0.26	0.1118
封闭性 (0.43)	超压系统	0.26	0.1118
	水体深度	0.25	0.035
	勘探开发程度	0.25	0.035
可操作性 (0.14)	基础条件	0.25	0.035
	离岸距离	0.25	0.035

由真实权重可以看出, 所有评价指标中坳陷面积与地温状态对 CO₂ 封存适宜性影响最大, 其次为储盖组合、断裂密集度、超压系统, 其他二级指标影响相对较小。将各级指标所赋分值加权得出各构造单元一级指标封存容量、封闭性和可操作性的适宜性评分以及综合适宜性评分(表 9)。

表 9 各评价单元适宜性评分

Table 9 Suitability score of each evaluation unit

评价单元	封存容量	封闭性	可操作性	综合适宜性
台北坳陷	0.971	0.963	0.930	0.962
西湖凹陷	0.965	0.961	0.810	0.942
钓北凹陷	0.846	0.960	0.758	0.882
福江凹陷	0.838	0.944	0.818	0.881
长江坳陷	0.737	0.917	0.918	0.840
彭佳屿坳陷	0.659	0.908	0.878	0.797
海礁隆起	0.620	0.794	0.828	0.724
渔山隆起	0.538	0.783	0.820	0.683
虎皮礁隆起	0.518	0.788	0.810	0.675
福州隆起	0.509	0.781	0.823	0.670

3.3 适宜性等级划分及分区

东海陆架盆地的一级指标中, 封存容量和封闭性的权重均为 0.43, 而可操作性的权重只有 0.14, 因此, 在封存适宜性等级评价中首先考虑封存容量和封闭性, 其次才是可操作性。根据上述评分, 将封存适宜性和 3 个一级指标的评分按等距分值区间定义为不适宜、较不适宜、一般适宜、较适宜和适宜 5 个等级(表 10), 鉴于东海陆架盆地整体上属于中国近海盆地中碳封存适宜性第 3 的盆地, 该等级仅代表盆地内的各构造单元封存适宜性的相对好坏。综合适宜性的评价结果为, 台北坳陷和西湖凹陷为适宜, 福江凹陷和钓北凹陷为较适宜, 彭佳屿坳陷和长江坳陷为一般适宜, 虎皮礁隆起、海礁隆起、渔山隆起和福州隆起为不适宜(图 5)。

表 10 适宜性评价结果分级

Table 10 Classification of the suitability evaluation results

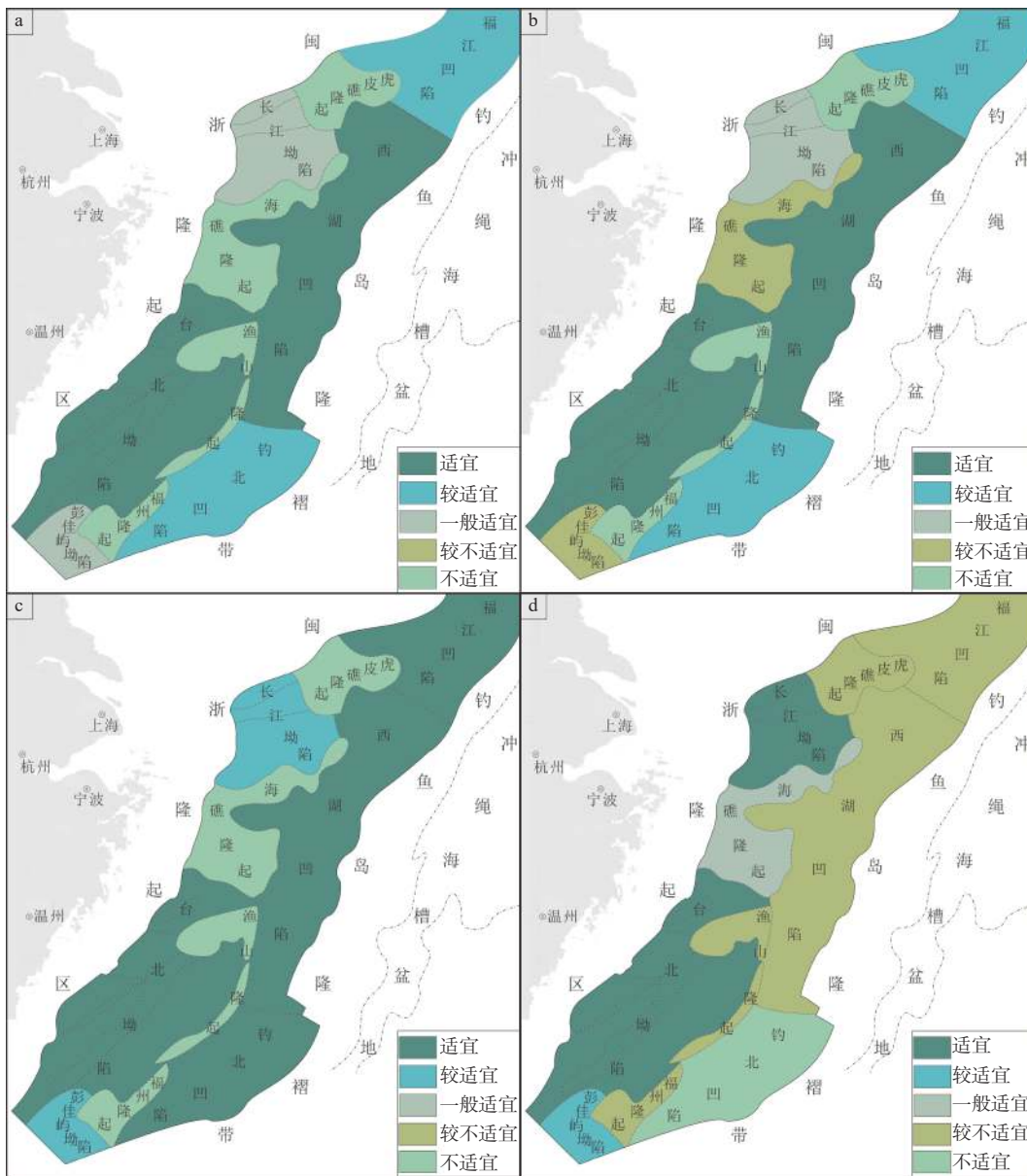
适宜性等级	封存容量	封闭性	可操作性	综合适宜性
不适宜	<0.602	<0.817	<0.792	<0.728
较不适宜	0.602~0.694	0.817~0.854	0.792~0.827	0.728~0.787
一般适宜	0.694~0.787	0.854~0.890	0.827~0.861	0.787~0.845
较适宜	0.787~0.879	0.890~0.927	0.861~0.896	0.845~0.904
适宜	>0.879	>0.927	>0.896	>0.904

4 结论

(1) 封存容量排前 4 位的构造单元分别是台北坳陷以及浙东坳陷中的西湖凹陷、钓北凹陷和福江凹陷。中部隆起带由于中新世地层厚度较薄、储盖层组合少、勘探程度低等原因, 其封存容量较之东、西部坳陷带低。

(2) 东部坳陷带水深和地层厚度最大、断裂较少, 故其封闭性最好, 西部坳陷带则次之, 而中央隆起带封闭性最差。

(3) 中部隆起带虽然水深较西部坳陷带浅, CO₂ 运输距离较东部坳陷带短, 但由于勘探开发程度低且缺少油气工程相关的设施和管道, 其可操作性并不高, 而台北坳陷和长江坳陷则由于离岸最近且具备油气工程相关设施, 可操作性最高。



(a)封存适宜性评价等级; (b)封存容量评价等级; (c)封闭性评价等级; (d)可操作性评价等级

图5 东海陆架盆地 CO₂ 地质封存适宜性评价等级

Fig.5 The suitability evaluation grade of CO₂ sequestration in the East China Sea Shelf Basin

(4)东海陆架盆地碳封存综合适宜性评价最好的单元为台北坳陷和浙东坳陷,包括福江凹陷、西湖凹陷和钓北凹陷;其次为长江坳陷和彭佳屿坳陷,最差的单元为中部隆起带的4个隆起单元。台北坳陷由于封存容量及可操作性均排名第1,可作为优先实验性封存区。

参考文献:

[1] 焦丽杰. 我国的碳排放现状和实现“双碳”目标的挑战[J]. 中国总会计师, 2021(6): 38-39.
 [2] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国应对气候变化的政策与行动(2011)[EB/OL]. (2011-11-22)[2022-04-28]. http://www.gov.cn/jrzq/2011-11/22/content_2000047.htm.

[3] 卞相珊. 从国际气候谈判看中国低碳经济转型[J]. 政法论丛, 2011(3): 19-25.
 [4] 李波. 应对气候变化的有效途径: 二氧化碳捕集与封存[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S1): 517-520.
 [5] Carbon capture journal Group. The global status of CCS 2014[J]. Carbon Capture Journal, 2015(43): 6-8.
 [6] HOLLOWAY S. An overview of the underground disposal of carbon dioxide[J]. Energy Conversion and Management, 1997, 38(S1): 193-198.
 [7] ORR F M. Storage of carbon dioxide in geologic formations[J]. Journal of Petroleum Technology, 2004, 56(9): 90-97.
 [8] PECKHAM J. Global CCS institute: EU falling behind on carbon capture and storage[J]. Gasification News, 2014, 17(4): 13-14.

- [9] 杨红, 赵习森, 康宇龙, 等. 鄂尔多斯盆地CO₂地质封存适宜性与潜力评价[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(1): 95-102.
- [10] 张冰, 梁凯强, 王维波, 等. 鄂尔多斯盆地深部咸水层CO₂有效地质封存潜力评价[J]. 非常规油气, 2019, 6(3): 15-20.
- [11] 何佳林, 师庆三, 董海海, 等. 新疆准东油田各区块CO₂地质封存潜力评估[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2018, 35(4): 528-531.
- [12] 李玮, 师庆三, 董海海, 等. 低渗透油藏二氧化碳混相驱注采方式研究: 以克拉玛依油田X区克下组低渗透油藏为例[J]. 中国地质, 2022, 49(2): 485-495.
- [13] 汪传胜, 田蓉, 季峻峰, 等. 苏北盆地油田封存二氧化碳潜力初探[J]. 高校地质学报, 2012, 18(2): 225-231.
- [14] 孙亮, 陈文颖. 中国陆上油藏CO₂封存潜力评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(6): 76-81.
- [15] 张贤, 李阳, 马乔, 等. 中国碳捕集利用与封存技术发展研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(6): 70-80.
- [16] 郭建强, 张森琦. 深部咸水层CO₂地质储存工程场地选址技术方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(4): 1084-1091.
- [17] 贾小丰, 张杨, 张徽, 等. 中国二氧化碳地质储存目标靶区筛选技术方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(4): 1314-1326.
- [18] 刘桂臻, 李琦. 气候变化背景下二氧化碳地质封存的盆地级选址评价方法[J]. 气候变化研究快报, 2014, 3(1): 13-19.
- [19] MICHAEL K, ARNOT M, COOK P, et al. CO₂ storage in saline aquifers I-Current state of scientific knowledge[J]. Energy Procedia, 2009, 1: 3197-3204.
- [20] GRATALOU P, BONJOLY D, BROUSSE E, et al. A site selection methodology for CO₂ underground storage in deep saline aquifers: case of the Paris Basin[J]. Energy Procedia, 2009, 1: 2929-2936.
- [21] KOVSCEK A R. Screening criteria for CO₂ storage in oil reservoirs[J]. Petroleum Science and Technology, 2002, 20(7/8): 841-866.
- [22] MYER L R, BENSON S M, BYRER C, et al. The GEO-SEQ project: a status report[C]. Greenhouse Gas Control Technologies 6th International Conference, 2003: 1625-1628.
- [23] 刘廷, 马鑫, 刁玉杰, 等. 国内外CO₂地质封存潜力评价方法研究现状[J]. 中国地质调查, 2021, 8(4): 101-108.
- [24] 张森琦, 郭建强. 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.
- [25] WEI N, LI X C, WANG Y, et al. A preliminary sub-basin scale evaluation framework of site suitability for onshore aquifer-based CO₂ storage in China[J]. International Journal of Greenhouse Gas Control, 2013(12): 231-246.
- [26] 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. 中国二氧化碳地质封存选址指南研究[M]. 北京: 地质出版社, 2012.
- [27] 范基姣, 贾小丰, 张森琦, 等. CO₂地质储存潜力与适宜性评价方法及初步评价[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(6): 108-112.
- [28] 霍传林. 中国近海二氧化碳海底封存潜力评估和封存区域研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [29] 周泽兴. 火电厂排放CO₂的分离回收和固定技术的研究开发现状[J]. 环境工程学报, 1993(1): 56-73.
- [30] 匡建超, 王众, 霍志磊. 中国二氧化碳捕捉与封存(CCS)技术早期实施方案构建及评价研究[J]. 中外能源, 2012, 17(12): 17-23.
- [31] 张国华, 张建培. 东海陆架盆地构造反转特征及成因机制探讨[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 260-271.
- [32] 索艳慧, 李三忠, 戴黎明, 等. 东海陆架盆地构造单元划分与特征[J]. 海地质与第四纪地质, 2010, 30(6): 49-58.
- [33] 曾久岭, 王常青, 席敏红. 东海区域地质构造单元划分及地质结构特征[C]//第五次东海石油地质研讨会论文集. 2004.
- [34] 冯晓杰, 蔡东升. 东海陆架盆地中生代构造演化对烃源岩分布的控制作用[J]. 中国海上油气(工程), 2006, 18(6): 372-375.
- [35] 冯晓杰, 蔡东升. 东海陆架盆地中生代构造演化及其对油气分布的控制作用[C]//中国油气勘探潜力及可持续发展论文集. 第二届中国石油地质年会, 2006.
- [36] 刘斌. 利用重、磁异常研究东海陆架盆地的断裂构造[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [37] BASAVA-REDDI L, GORECKI C, WILDGUST N. Development of storage coefficients for carbon dioxide storage in deep saline formations[C]//Second EAGE CO₂ Geological Storage Workshop 2010. 2010.
- [38] 郑长远, 白刚刚, 师延霞, 等. 西宁盆地(D级)CO₂地质储存区域适宜性研究[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2016, 34(4): 1-8.
- [39] 中华人民共和国能源部. 油气储层评价方法 SY/T 6285—1997[S]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [40] 中华人民共和国地震局. 工程场地地震安全性评价 GB 17741—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [41] 陈建文, 梁杰, 张银国, 等. 中国海域油气资源潜力分析与黄东海海域油气资源调查进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(6): 1-29.
- [42] 杨传胜, 杨长清, 李刚, 等. 东海陆架盆地中—新生界油气勘探研究进展与前景分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(2): 136-147.
- [43] 杨长清, 韩宝富, 杨艳秋, 等. 东海陆架盆地中生界油气调查进展与面临的挑战[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(4): 1-8.
- [44] 金春爽, 乔德武, 须雪豪, 等. 东海陆架盆地南部油气资源前景与选区[J]. 中国地质, 2015, 42(5): 1601-1609.
- [45] 姜亮. 东海陆架盆地油气资源勘探现状及含油气远景[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(1): 5.
- [46] 蔡乾忠. 中国海域油气地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [47] 姜亮, 田海芹, 马玉新, 等. 东海陆架盆地西湖凹陷含油气系统及目标评价[M]. 东营: 石油大学出版社, 2000.
- [48] 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.
- [49] BACHU S, SHAW J. Evaluation of the CO₂ sequestration capacity in Alberta's oil and gas reservoirs at depletion and the ef-

fect of underlying aquifers[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2003, 42(9): 51-61.

[50] 杨国强, 苏小四, 杜尚海, 等. 松辽盆地CO₂地质储存适宜性评价[J]. 地球学报, 2011, 32(5): 570-580.

Suitability evaluation of CO₂ sequestration in the East China Sea Shelf Basin

KE Xing^{1,2}, CHEN Jianwen^{2,3,4*}, GONG Jianming^{2,3}, YANG Chuansheng^{2,3},
YANG Changqing^{2,3}, XIE Mingying⁵, WANG Jianqiang^{2,3}, YUAN Yong^{2,3}

(1 School of Earth Sciences and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Laoshan Laboratory, Qingdao 266237, China; 3 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China; 4 College of Oceanography, Hohai University, Nanjing 210024, China; 5 Shenzhen Branch of CNOOC(China) Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Excessive greenhouse gas emissions have caused obvious global climate change and many secondary disasters. CO₂ capture and sequestration technology came into being. There are many CO₂ emission sources along the coast of the East China Sea, but the land basin area is small, which cannot meet the needs of huge amount of CO₂ storage. The continental shelf basin of the East China Sea ranks the third in the suitability of carbon sequestration in China's offshore basins, with a wide area and good sealing. On this basis, the suitability of basin level carbon sequestration in the East China Sea Shelf Basin was evaluated. Combined with expert opinions and available research results in analytic hierarchy. According to the relevant geological data of each secondary structural unit in the basin, the suitability evaluation index system and index weight were established by using fuzzy comprehensive evaluation, in which each evaluation index of each unit is scored according to the evaluation index grading, and the comprehensive suitability score is calculated by combining the weight. After comprehensively considering the carbon storage capacity, sealing, and operability, the evaluation results show that the carbon storage suitability is better in the eastern depression than that in the western depression, and the central uplift is the poorest. Among them, the Taipei Depression is the best unit in comprehensive suitability of carbon storage in the basin, which can be used as a priority experimental storage area.

Key words: East China Sea shelf Basin; carbon sequestration in sea area; suitability evaluation; Taipei Depression