

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2014.01.002

发展碳捕集、利用与封存对广东的产业机会

陈澜^{1,2}, 梁希², 周蒂³

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院, 广州 510663;

2. 中英(广东)CCUS 促进与学术交流中心, 广州 510663; 3. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

摘要: 碳捕集、利用与封存(CCUS)作为最有前景和有效深度减排的低碳技术之一, 将给传统化石能源行业、制造业、建筑业、工程服务业和金融行业等产业带来显著的发展机会。分析了英国 CCS 商业化示范项目带来的 CO₂ 减排贡献, 潜在 CCUS 供应链的商业机会、设备和技术需求, 以及英国采用海底封存的原因, 结合我国广东省实际情况, 探讨了 CCUS 技术对广东省带来的产业机会。研究表明: 尽管全球 CCUS 市场还没到达快速增长阶段, 但如果现在不及早准备逐步推动示范项目和相关产业发展的政策, 将会失去发展 CCUS 相关产业和进入其供应链的机会。CCUS 相关技术和装备都在广东省现有能源行业等非 CCUS 领域有广泛应用和市场, 结合广东省装备制造和能源服务企业, 开展国内外企业合作, 可为 CCUS 产业发展和成本下降做出贡献。

关键词: 碳捕集利用与封存; 二氧化碳; 海底封存; 产业机会

中图分类号: F206

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2014)01-0007-09

Potential Economic Opportunities of Developing a CCUS Industry in Guangdong

CHEN Lan^{1,2}, LIANG Xi², ZHOU Di³

(1. Guangdong Electric Power Design Institute, China Energy Engineering Group Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. UK-China(Guangdong) CCUS Industry Promotion and Academic Collaboration Centre, Guangzhou 510663, China;

3. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS) as one of the most promising low-carbon technologies to curb greenhouse gas emissions will bring in significant opportunities for energy, manufacturing, construction, engineering services, and financial service industries. This paper firstly analyzes the contribution to CO₂ emission reduction, potential commercial opportunity from CCUS supply chain, equipment and technical requirements, the reasons of seabed sequestration with commercial CCS demonstration projects in the United Kingdom. Then the industrial opportunities for Guangdong province from CCUS technique are discussed. The results show that the global CCUS market has not yet achieved a stage of rapid growth and therefore seizing the opportunities for industry will require early preparation of enabling policy frameworks and the development of CCUS demonstration projects. We cannot wait for this to happen before developing the CCUS industry and indeed most of the technology and equipment required already has applications in non-CCUS related industries. Based on the cooperation of equipment manufacturing industry and energy service companies at home and abroad, the CCUS industrial development and cost reduction will have a good prospect.

Key words: CCUS; CO₂; seabed sequestration; economic opportunity

碳捕集、利用与封存(CCUS)是目前唯一一项能够从化石燃料大幅度减排温室气体的技术, 预计会为应对全球气候变化事业做出显著贡献。它包括三个主要部分: (1) CO₂ 捕集; (2) CO₂ 运输;

(3) CO₂ 利用或封存。其流程如图 1 所示。根据国际能源署 2011 年对温室气体减排蓝图情景的预测(见图 2), 为在 2050 年达到 CO₂ 排放量 14 Gt 目标, 碳捕集与封存(CCS)将贡献 19%^[1]。

国际能源署 2012 年预计全球 CCUS 项目将在 2030 年达到 850 个, 并在 2050 年增长至 3 400 个^[2]。国际能源署 2013 年研究指出: 化工行业 CCUS 有较多低成本机会, 将在 2020 年前成熟, 而 2030 年大部分 CCUS 项目可能会位于发展中国家,

收稿日期: 2014-10-01

作者简介: 陈澜(1967), 男, 江西吉安人, 高级工程师, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院总工程师, 主要从事企业科技管理工作(email)chenlan@gedi.com.cn。

如图 3 所示^[3]。苏格兰 CCS 中心 2012 年预测英国北海中部每年能够封存 5×10^8 t CO₂，相当于欧盟在 2007 年 25% 的电厂及工业碳排放总量^[4]。

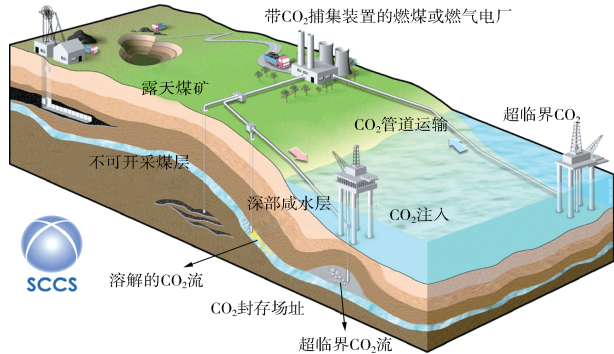


图 1 碳捕集与封存流程图 (苏格兰 CCS 中心, 2010)
Fig. 1 Schematic Diagram of CCS (SCCS, 2010)

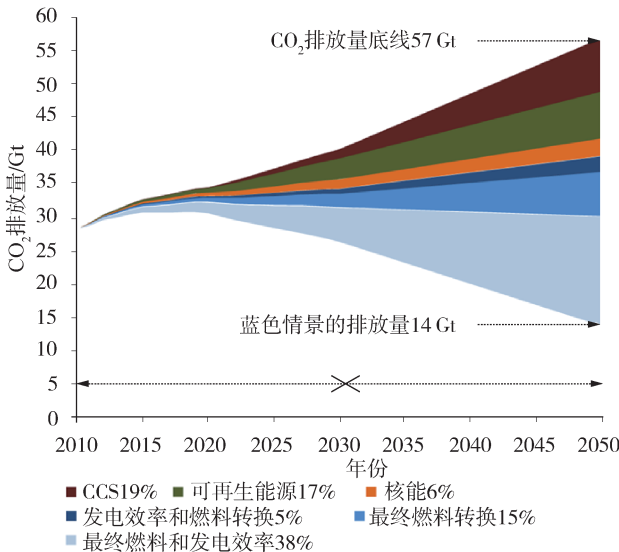


图 2 2050 年前 CO₂ 减排贡献示意图 (国际能源署)
Fig. 2 Different Contributions of CO₂ Emission Reduction Before 2050 (IEA)

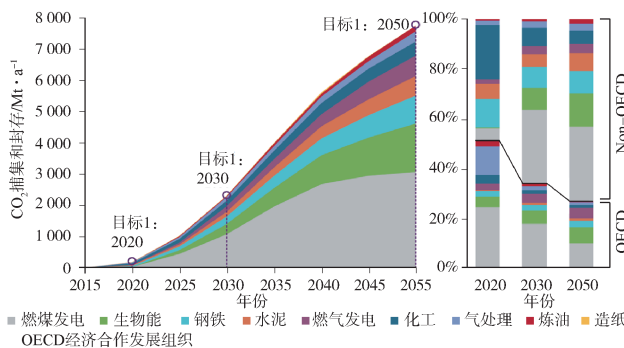


图 3 预计电力和工业行业内的 CCUS 活动 (国际能源署)
Fig. 3 Estimated CCUS Activities in Power and Industry (IEA)

1 潜在 CCUS 供应链带来的商业机会

CCUS 供应链对于建设一体化 CCUS 项目非常重要，大型 CCUS 项目将非常复杂，并需要商业合作和合同关系^[5]。英国能源与气候变化部 2012 年委托 AEAT 公司的一项研究表明：预计 2030 年前 CCUS 和相关清洁煤技术每年会为英国经济创造 20 亿~40 亿英镑，并提供 7 万~10 万个额外就业岗位^[6]。文[5]预计英国 CCS 商业化示范项目将带来六大行业机会：

- (1) 在建设阶段供应设备和提供服务。
- (2) 在运营阶段持续地服务。
- (3) 项目退役与拆除。
- (4) 为其他国家提供装备和服务。
- (5) 为其他国家提供英国大陆架的封存机会。
- (6) 为其他国家提供项目退役和拆除服务。

为了促进 CCS 技术的发展，英国政府将拨款十亿英镑资本金(约一百亿人民币)，以及额外的电力市场改革措施来促进设计、建设和运行大规模 CCS 项目^[7]。CCS 供应链涵盖石油与天然气行业、电力行业、基础设施发展和建设、金融服务行业，并延伸至原材料供应，如图 4 所示。据 Senior CCS 咨询公司(2010)^[8]和苏格兰 CCS 中心(2012)^[4]研究表明：创造一个 CCS 产业将会对英国经济产生显著的积极影响。

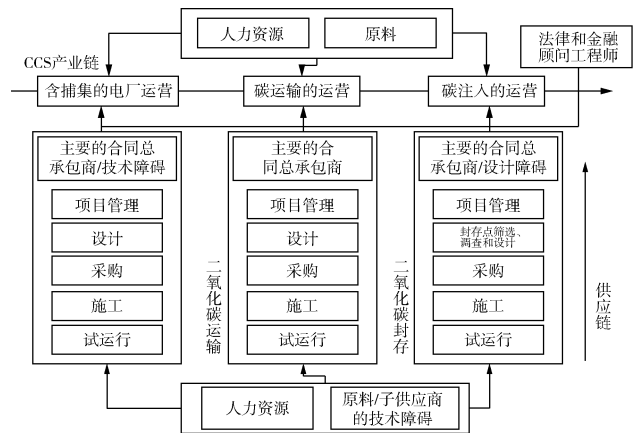


图 4 CCS 技术的供应链 (国际能源署)
Fig. 4 Supply Chain of CCS Technology (IEA)

Senior CCS 咨询公司(2010)的研究表明^[8]：因为不同的技能、能力和商业模式，以及现有能源行业的结构，基础电厂和 CO₂ 捕集模块通常在运输和封存部分之外，可能仅有少量大型能源公司有能力

投资 CCUS 项目整个链条(如壳牌集团), 预计 CO₂ 运输和封存的供应链与石油及天然气行业类似。英国 CO₂ 运输和封存的产业链可分成三部分: (1) 运输和封存开发商; (2) 主要的合同和顾问; (3) 产品与服务供应商, 子合同商和子供应商。这项研究提出了 CCUS 产业链在现有的石油及天然气行业基础上, 衍生出 8 个新的领域, 如表 1 所示。

如果 CCUS 沿着图 3 所示的国际能源署 CCS 路线图发展, 显著的装备和服务机会将会出现。国际能源署 2012 年委托 Ecofys 公司研究列出了碳捕集过程内主要的装备需求, 如表 2 所示^[10]。

燃烧后捕集直接从化石燃料电厂、水泥厂、炼油厂、钢厂和其他工业排放源尾气分离 CO₂。燃烧后捕集包括四大主要的过程: (1) 尾气预处理, 包括深度的脱硫和脱硝; (2) CO₂ 吸收; (3) CO₂ 解析; (4) CO₂ 加压。

脱硫和脱硝是成熟和商业运行的过程。中国和欧洲均有一些燃烧后捕集吸收和解析的中试装置, 目前仅加拿大的边界大坝项目(Boundary Dam Project)正式启用(2014年10月)^[9], 还没有其它大型全规模运行的吸收塔。溶液市场由能耗和环境表现驱动, 通常受专利保护。最终, 很可能是少量拥有具有成本效益的先进溶液的企业占领显著的全球市场份额。压缩系统的技术是成熟的, 但很少供应商能够生产高压设备^[10], 而且杂质对压缩系统的影响会为设备运行带来挑战。

在燃烧前捕集过程, CO₂ 从合成气中分离(通过“转换”过程), CO₂ 在燃烧之前捕集。燃烧前捕集主要包括四大部分: (1) 空气分离装置; (2) 气

化炉; (3) 水煤气变换反应炉; (4) 富氢燃气轮机。

大型空气分离装置的过程在工业上是成熟的, 因为空分在钢铁、空气处理、化工/炼油、以及煤制油等领域已经得到广泛应用。全球主要有少数几家企业供应大型空分装置, 例如 Air Product、Linde、Air Liquide、BOC 和 Praxair。中国在气化炉上需求很大, 但目前气化炉的制造能力还比较有限。水煤气变换反应是一个成熟的过程, 在煤化工行业有广泛应用, 其核心技术是催化剂。富氢气轮机目前还不成熟, 只有少数几家潜在供应商, 如 General Electric、Siemens 和 Alston。

富氧燃烧过程包括四个主要部分: (1) 空气分离装置; (2) 富氧锅炉; (3) 先进的尾气处理装置; (4) 压缩系统。在富氧燃烧过程, 需要用空气分离装置取得高浓度 CO₂ (如 95% 以上), 然后输入富氧锅炉。世界上有不少大型的富氧中试锅炉, 如 Alston 在德国的实验基地和华中理工大学在武汉的富氧中试项目, 但目前还没有大型全规模的富氧锅炉。煤炭与 O₂ 及 CO₂ 的混合气燃烧, 如果 O₂ 有较高的氧浓度, 则需要有更好的耐热材料来建造锅炉, 同时热交换系统和燃烧系统也与传统锅炉不一样, 才能应付回流尾气可能带来的腐蚀作用。另一方面, 先进的尾气处理系统需要减少碳氧化物、硫化物和氩气等杂质的影响, 从而保证加压和运输过程。目前, 富氧燃烧输出尾气处理, 还没有成熟的市场, 但一些大型气体处理公司正在积极开发现有尾气处理项目^[2]。开发先进的尾气处理装置需要取决于运输和封存对 CO₂ 气体质量的监管。

表 1 CO₂ 运输和封存环节为石油和天然气行业带来的新商业机会和技能需求 (Senior CCS 咨询公司, 2010)

Table 1 New Business Activities and Skills Required in the CO₂ Transport and Storage Chain Compared to the Oil and Gas Supply Chain (Revised from Senior CCS Solutions Ltd., 2010)

新的领域	潜在的商业活动	CCUS 项目的生命周期阶段	潜在执行机构
封存地特性确认和模拟	提供封存地特性确认和模拟顾问	封存地开发	顾问公司, 石油天然气公司, 研究机构, 和其他能源服务公司
检测技术	检测 CO ₂ 在盆地的封存情况	CO ₂ 注入和注入后关闭环节	专业的能源服务公司
CO ₂ 井服务公司	为井监控和修复提供开发和执行系统	井开发和 CO ₂ 注入	井服务公司
封存风险的评估	评估封存风险	从封存地开发的封存地关闭	顾问公司, 油田和天然气公司, 研究机构和其他能源服务公司
供应和分析井的材料	为开发和闭井提供材料	井开发, 拆除和关闭	建设公司, 工程顾问
CO ₂ 运输	CO ₂ 运输和管道开发, 建设及运营	建设和 CO ₂ 运输	管道建设商和运营商
CO ₂ 封存证书/认证	提供 CO ₂ 封存活动的认证服务	CO ₂ 注入, 闭井, 闭井后服务	认证机构
金融机构和风险管理机构	提供融资, 金融风险转移方案	项目全生命周期	银行, 保险机构

表 2 电厂碳捕集环节的主要设备需求(国际能源署, 2012)

Table 2 Major Equipment Required in the Three Major Power Plant CO₂ Capture Process (Revised from IEA, 2012)

捕集技术	捕集步骤	设备名称	技术状况	
燃烧后	脱硫	吸收塔及换热器	成熟	
	脱硝	催化剂	成熟, 但未来可能缺乏部分所需矿物	
	吸收		直冷换热设备的泵	成熟
			烟气冷却室	成熟
			胺溶液的泵	成熟
			吸收塔	未成熟, 在示范阶段
			热交换器	成熟
			氨吸收剂	未成熟, 在示范阶段
			吸附	固体吸附剂
	解析	解析塔	成熟	
	CO ₂ 捕集	滤网	成熟	
	CO ₂ 压缩设备		多级压缩机	成熟, 但需要再考虑杂质
			热交换器	成熟
			脱水设备	成熟
CO ₂ 泵			成熟	
燃烧前	空分设备	热交换器	成熟	
		升压压缩机	成熟	
	气化	气化炉	成熟	
	气化	进料装置	未成熟, 在示范阶段	
	气化	合成气滤网	成熟	
	变换	水煤气转换	成熟	
	合成气处理	催化剂	未成熟, 在示范阶段	
	CO ₂ 压缩设备	CO ₂ 压缩机	成熟	
	脱硫	脱硫装置	成熟	
	燃烧	氢气轮机	未成熟	
富氧燃烧	空分设备	热交换器	成熟	
		升压压缩机	成熟	
	CO ₂ 压缩纯化设备	CO ₂ 压缩机	成熟	
		余热蒸汽发生器 (过热器/热交换器)	成熟	
	燃烧	锅炉/燃烧器/燃烧室	未成熟	
		酸冷凝器	未成熟	
		汽轮机	未成熟	
		蒸汽透平冷凝器	成熟	
		燃气轮机	未成熟	
		对富氧燃烧的先进气体处理设备	未成熟	

除了装备制造, 创新也是开发高附加值 CCUS 产业的核心部分。大部分主要的 CCUS 知识产权由几家大的高碳企业控制, 通常分布在化工, 肥料, 和提高石油采收率等产业。英国皇家国际事务研究所 2009 年统计了 20 个大型 CCUS 系统的专利持有机构, 当中包括石油与天然气公司、设备制造商、化工企业和专门的服务供应商等(见图 5), CO₂ 分离相关专利的申报在 1998 年后迅速上升, 特别是在吸附剂和薄膜等先进技术领域^[11]。

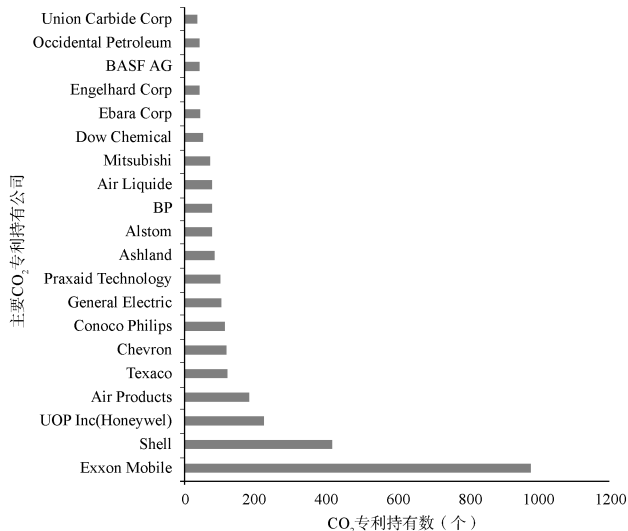


图 5 主要 CO₂ 专利持有公司所持的专利数
(英国皇家国际事务研究所, 2009)

Fig. 5 Top Patent Holders in Carbon Capture
(Chatham House, 2009)

目前还很难预计, CCUS 供应链什么时候会变得健全和成熟, 并且在什么时候会开始进入快速成本下降过程并为这一技术带来益处。根据过去脱硫产业的经验, 70 年代, 脱硫技术已经得到示范, 但仍然存在很多技术和成本障碍, 但没有妨碍其产业链随后 40 年的迅速发展。随着英国, 德国和美国相关监管制度的健全, 脱硫技术和产业链在 80 年代和 90 年代迅速发展, 并在最近 15 年在中国得以广泛应用, 成本大幅度下降。

2 对广东低碳转型和产业发展带来的机会

化石能源的储备将在不久的将来面临两个选项: 留在地底下或者执行 CCUS 技术。

为了防止气候变化带来危险的海平面上升、热浪、干旱等灾难, 稳定气温上升在 2 摄氏度内是国际上认可的目标, 同时也被联合国气候变化委员会

专家确认, 作为全球碳预算的基准。联合国气候变化委员会(IPCC)第五份评估报告要求全球温室气体排放不超过 1 万亿吨, 然而一半以上的温室气体已经被排放。为了实现这个目标, 化石能源的储备只有两个选项: 留在地底下或者执行 CCUS 技术。

中国在全球应对气候变化工作上占有重要地位, 从 2010 年开始规划低碳示范省份和城市。广东省作为经济最发达的省份之一, 在温室气体排放减排主动承担更大的责任, 因此承诺了一个比全国温室气体减排指标更高的减排量。在第十二个五年计划内, 广东省需要降低 14.8% 的 SO₂ 和 16.9% 的氮氧化物排放量, 并减少 18% 的 GDP 能耗和 19.5% 的单位 GDP CO₂ 量, 这显著高于全国的平均指标。广东省作为中国一个低碳试点省份, 正在积极示范先进低碳技术和发展碳市场。

为了执行广东省的低碳战略, 广东省发展及改革委员会执行了一系列的战略, 包括: (1) 启动十二五低碳规划(2010~2015); (2) 制定温室气体清单; (3) 成立省级低碳试点城市和低碳示范小区; (4) 完成低碳排放试点的准备工作。此外, 广东省与先进经济体紧密联系, 寻找低碳发展合作机会, 包括与英国开展碳市场和碳捕集技术方面合作^[12]。

2012 年, 中国进口了 2.89×10^8 t 煤, 相当于世界 7% 的总消费量, 而广东省作为中国最大的煤炭进口省份, 从海外市场进口了 0.68×10^8 t 煤, 相当于广东 40% 的年度消耗量^[13]。尽管广东在核电装机比其他省份明显要高(图 6), 新的核电装机在广东低碳战略具有重要地位, 火电仍然贡献了广东省 80% 的电力生产^[14]。如果煤炭能够实现近零排放, 并清洁地转化为电能或天然气, 煤炭仍将成为未来广东省主要的能源来源。

除了环境保护和低碳发展, 广东省政府把“产业升级”作为一个重要的发展重点。2010 年广东省制定了广东省现代产业体系建设总体规划, 其中一项目标将低碳作为一个战略的新型产业。为了执行产业升级发展计划, 广东省制定了一个产业发展指引目录, 计划开发“500 强先进项目”, 涉及超过 1 万亿人民币投资。其中, 500 强项目中有大量项目属于能源和环保领域, 清洁煤(包括碳捕集, 封存与煤炭气化)在产业发展指引目录中被考虑为一个重要领域^[15]。

表3 广东省2012年底发电装机容量结构

Table 3 Installed Generating Capacity Structure in 2012 in Guangdong Province GW

能源类别	煤炭	天然气	核电	水电	抽水蓄能	风电及其它
装机容量	50	11	6.1	7.8	4.8	2

水泥与炼油行业在广东产业中占有重要地位。广东省有四个大型的石化基地：广州、惠州、湛江（茂名）和揭阳，同时有大量的现代水泥生产线。广东水泥和炼油厂与电力行业和造纸行业已经被纳入碳排放交易试点体系，共同面对 CO₂ 减排和传统污染物控制的双重压力。

目前 CCUS 行业仍处于发展初期，全球未形成 CCUS 的产业机会，但大量的制造企业未来可能参与到全球 CCUS 的供应链，部分广东企业可能为 CCUS 产业链作出贡献，广东省政府和企业应发挥自身优势，与国内外企业合作，为产业发展和成本下降做出贡献。

3 海底封存战略意义

将 CO₂ 捕集和存储到地下或海底以与大气隔绝是缓解温室效应的重要途径^[16-17]，神华集团在鄂尔多斯开工建设的 30 万吨/年煤制油工程高浓度 CO₂ 捕集与地质封存示范项目是我国首个成功从煤制油生产线中捕集 CO₂ 经液化处理后注入地下 2 495 m 的咸水层中封存^[18]，但目前我国尚未有 CO₂ 海底地质封存示范项目，以及与电厂联合的 CCS 全过程示范项目。

尽管 CO₂ 海底地质封存相对陆上地质封存不仅昂贵而且技术难度更高，英国目前支持推进的大型 CCS 示范项目仍然采用海底封存。2014 年英国能源与气候变化部支持推进了两个百万吨 CCS 示范项目：一个为壳牌公司签订的苏格兰南苏格兰电力公司彼得黑德燃气电厂的 CO₂ 捕集与封存项目，另一个为 Alston 公司签订的英格兰约克郡富氧燃烧百万吨捕集 CCS 项目。这两个百万吨 CCS 示范项目都计划使用管道运输 CO₂ 到北海，注入到海底枯竭气田或咸水层进行封存。

英国大型 CCS 示范项目采用海底封存的原因如下：（1）英国缺乏合适的陆上封存地点，通过 CCS 实现大幅度 CO₂ 减排必然需要海底地质封存；（2）海底封存 CO₂ 环境风险较小，公众较容易接

受，而欧洲在过去十年推动 CCS 技术示范和应用的主要障碍是公众反对陆上封存项目；（3）进行海上封存技术的示范有利于巩固英国强大的能源产业，根据 CCS 协会和 TUC 公司最近的预计，推动 CCS 会为英国创造每年 15 000 ~ 30 000 个就业，以及每年 20 亿 ~ 40 亿英镑的经济效益。发展 CO₂ 封存技术能力和培养人才，促使英国未来有能力通过北海作为 CO₂ 封存枢纽为西北欧的大型排放源提供运输和封存服务。

英国的情况在国际上有一定代表性。目前欧盟内新规划的大型 CCUS 示范项目大部分采用海底地质封存，挪威和澳大利亚都开展了大型 CO₂ 海底地质封存示范项目，见表 4。

在亚洲，韩国有两个大型海底地质封存示范项目项目处于评估和初步确认阶段，而韩国和日本企业对海底 CO₂ 运输与封存技术进行了积极的部署，日本 CCS 公司计划在 2016 年在北海道 Tomakomai 地区进行 CO₂ 封存注入项目。

根据目前 CO₂ 运输与封存的供应链模式^[8]，见表 5，CO₂ 海底地质封存会为项目开发企业（包括石油与天然气公司、专门的封存公司、电力公司、运输公司），承包机构和顾问公司，以及相关产品及技术服务公司带来了新的商业机会。除了直接参与的企业，供应链的第二级包括主要承包商和顾问公司，涵盖盆地服务、油井服务、相关设备以及海底和海洋工程。第三级供应商包括更广泛的产品和技术服务。此外，CO₂ 海底封存还会为许多现有的服务行业带来新的机会，包括认证服务（如挪威船级社积极投入 CCS 标准制定）、保险服务等。如苏黎士保险、瑞士再保险等保险公司与英国 CCS 协会合作，在 2012 年为 CO₂ 封存所带来的产业机会进行过深入的评估。

对于中国而言，中国的海洋石油和天然气生产、服务和装备制造公司需要改变观念，把 CO₂ 封存作为一项新兴的基础设施服务的产业，看作一个机会，而不是考虑为一项单纯的环保投资。在中国开发和示范海洋封存技术有以下六点战略意义：

（1）有利于大幅度降低温室气体排放。中国的碳排放总量已经达到世界第一，而中国东部和东南沿海地区的大型排放源约全国四分之一。类似于欧洲西北部地区，在中国东部和东南部很难在陆上找到合适的封存场地，发展海洋封存技术将是中国东

表4 全球正在运营、建设或规划阶段中的海底封存 CCUS 项目

Table 4 CCUS Projects of Seabed Sequestration in Operation, Construction or Planning Stage in the World

项目生命周期	项目名称	所在地区	年封存量/ Mt	开始运作的 时间	排放源	捕集方式	运输距离/ km
运行	Sleipner CO ₂ Injection	挪威北海	0.9	1996	天然气加工	燃烧前捕集	0.11
运行	Snøhvit CO ₂ Injection	挪威巴伦海	0.6~0.8	2008	天然气加工	燃烧前捕集	152
建设	Gorgon Carbon Dioxide Injection Project	澳大利亚西北部	3.4~4.1	2015	天然气加工	燃烧前捕集	7
规划阶段	Don Valley Power Project	英国南约克郡	4.0~5.0	2019	发电	燃烧前捕集	175
规划阶段	White Rose CCS Project	英国北约克郡	2.0	2020	发电	富氧燃烧	不确定
规划阶段	Peterhead Carbon Capture and Storage (CCS) Project	英国阿伯丁郡	0.8~1.0	2018	发电	燃烧后捕集	102
规划阶段	Rotterdam Opslag en Afvang Demonstratieproject (ROAD)	荷兰	1.0~1.2	2017	发电	燃烧后捕集	25

表5 CO₂ 海底封存带动的相关产业 (Senior CCS 咨询公司, 2010)Table 5 Related Industries from CO₂ Seabed Sequestration (Senior CCS Solutions Ltd., 2010)

第一级 运输与封存 开发公司	石油及天然气公司	专门的 CO ₂ 封存公司	电力公司	专门的 CO ₂ 运输公司	
供应链环节	盆地	井	设备	海洋和海底工程、管道	其他支持和服务
	封存地模型与管理盆地工程	油田服务 钻井合同	建设、运作和拆除工程设备及工程咨询	海洋及海底工程服务、重型设备服务	认证服务 责任保险
第二级 主要承包商 和顾问公司	取得三维地震数据	井有关工程顾问	结构设计	铺管服务 浮式生产装置 船舶运输服务	设备管理 海空运输服务 仓储服务 通信服务 安全服务
第三级 产品服务 和供应商	监测技术 盆地模型技术 地质科学咨询 数据分析顾问 三维地震设备 数据存储 计算机软硬件	油井可靠性分析 材料开发与测试 钻井设备设计和制造 钻井管道 实验室服务	设备再利用 设备设计及制造 专业工程服务 钢材和管道专业服务	海底管汇设计与制造 海洋及海底设备 海底监测服务	医疗服务 金融服务 能源咨询服务

部和东南部地区通过 CCS 实现大幅度碳减排的必需选择。

(2)有利于中国海洋经济的发展,有利于实现海上丝绸之路。发展海洋经济是中国政府高度重视的一项工作,中国政府在第十二个五年计划期间对出台了《全国海洋经济发展“十二五”规划》,提出2015年海洋生产总值要占国内生产总值10%,充分发挥珠三角、长三角和渤海湾经济区的引领作用。2014年1月8日,全国海洋经济调查领导小组召开第一次会议,启动了全国第一次全国范围的海经济调查。而国务院在2010年把广东列为海洋经济试点省份。

(3)有利于海洋工程相关装备制造,服务和先进技术的研发,降低应用相关技术的成本。 CO_2 进行海底封存是一项新兴的海洋工程;开发相关技术和装备,有利于巩固现有的海洋工程服务产业和人才队伍,进一步发展海洋工程和技术服务产业。

(4)有利于发展和巩固海洋工程和服务产业枢纽基地,增加海工产品出口能力和竞争力。广东省已经具有海洋工程装备基地(如珠海的高栏港)和海洋工程服务基地(如深圳的赤湾港),发展和示范海底地质封存技术,有利于巩固海工和相关服务基地的国际竞争力,并有助基地内的企业及早进入海底地质封存项目的产业链。

(5)有利于大型基建项目的实施和开发。公众的环保意识对开发大型基建项目的影响在日益增加。从沿海大型排放源捕集 CO_2 并在海底封存,能够实现大型基建项目的近零排放,从而提高公众对新项目的认可程度。

(6)有利于中国企业在海外开发油田。中国各大石油公司在国外的投资在逐年增加。优先掌握 CO_2 封存相关技术(如利用废弃油气田为排放源进行 CO_2 封存服务、再利用油田平台和钻井进行 CO_2 封存、利用 CO_2 充注提高海洋石油采收率等技术),有利于提升中国的石油公司的竞争力和最大化海外投资的收益。

中国人口总量为英国的20倍,为挪威的250倍。作为一个强调海洋战略的大国,尽快建设百万吨级的 CO_2 海底封存示范项目,掌握其中的主要技术环节,具备重大意义。以下对中国企业和政府在推动 CO_2 海底地质封存技术的开发和示范提出八点初步建议:

(1)由政府主导,以企业为实现主体,制定中

长期规划,逐步推进。发展 CO_2 海上运输和海底地质封存产业需要协调大量能源企业和专业机构(如表2所示),不可能一蹴而就,需要政府具备前瞻性的战略部署和进行积极的引导,稳步推进。建议政府把 CO_2 海底封存纳入海洋新兴产业,制定激励政策,鼓励企业投资和参与,并走出去在海外市场为海底封存项目服务。

(2)积极利用区域经济优势,协同相关海洋经济区的建设。2011年7月国务院批复同意《广东海洋经济综合试验区发展规划》,根据该规划广东省海洋经济将要2015年达到全省生产总值的1/4。示范海洋封存技术,可依托广东现有海洋经济试验区和海工产业服务区域的优势,鼓励企业参与 CO_2 封存有关的研究和示范,产生协同效应。

(3)通过国际合作,共同开发先进技术和海外市场。英国正在积极示范海底 CO_2 地质封存,可通过今年成立的“中英(广东)CCUS中心”或其他形式加强 CO_2 海底封存、提高石油采收率和监测方面的技术开发和产业合作,共同开发大型示范项目。国际合作不仅有利于外国企业在中国进行示范,也有利于中国企业进入 CO_2 封存项目的国际产业链。

(4)积极引进海洋封存有关技术和服务的人才。目前全球 CO_2 海洋封存示范还处于早期阶段,近期依托广东示范项目或研究项目引入人才和技术,机会成本会比在未来市场扩张时行动要低。

(5)委托科研机构与海洋石油公司合作,开展 CO_2 海底封存选址和源汇匹配研究。我国海域广阔,有许多大型沉积盆地和良好的封存条件。优先进行 CO_2 潜在封存的选址和排队工作,将有利于企业为区内大型排放源开展封存业务,有利于推动 CCS 及近零排放预留工作,也有利于明确海洋权益。

(6)推动跨行业的示范项目工作组,尽快促成首个大型示范项目。例如,通过政府引导华润电力海丰公司与中海油合作,建成亚洲首个百万吨燃煤电厂 CO_2 捕集与海底地质封存项目。

(7)进行海底地质封存方面的立法和制定示范项目的监管措施。根据欧盟的经验,监管海底地质封存活动需要制定相关监管措施,如环境影响评估和义务管理办法、 CO_2 泄露的监测和管理办法、注入时及注入后监控措施和管理办法、以及纳入碳排放权交易制度的管理办法等。

(8)积极引入国外财政支持。海底咸水层封存

是不带有提高石油开采经济效益的大型海洋工程活动,成本会比陆上封存高很多,中国作为首个发展中国家开展此类型的项目,需要积极从发达国家或多边组织引入财政支持。

中国目前已经具备了海洋石油和天然气开采的技术力量。然而,在降低 CO₂ 排放已成为世界共识的今天,如果中国的企业仍不能掌握 CO₂ 封存有关的技术,在碳排放约束进一步加强的时候,中国企业就可能再次需要依赖国外的技术。因此,及早进行 CCUS 的战略部署和示范,有利于中国企业融入国际 CO₂ 海底地质封存的产业链。

4 结语

碳捕集、利用与封存(CCUS)会给传统化石能源行业、制造业、建筑业、工程服务业和金融行业等产业带来显著的发展机会。尽管全球 CCUS 市场还没到达迅速增长阶段,但如果现在不及早准备逐步推动示范项目和相关产业发展的政策,将会失去发展 CCUS 相关产业和进入其供应链的机会。另一方面,发展 CCUS 产业不能“守株待兔”地等待市场到了身边才行动,大部分 CCUS 的相关技术和装备都在现有能源行业等非 CCUS 领域内有着广泛应用和市场。广东省有不少成功的装备制造和能源服务企业,通过开展国内外企业合作,可为 CCUS 产业发展和成本下降做出贡献。

参考文献:

- [1] International Energy Agency (IEA). Clean Energy Progress Report [R]. 2011, 22.
- [2] International Energy Agency (IEA). A Policy Strategy for Carbon Capture and Storage [EB/OL]. 2012[2013-11-19]. www.iea.org/publications/.../policy_strategy_for_ccs.pdf.
- [3] International Energy Agency (IEA). Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage [EB/OL]. 2013[2013-11-19]. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapCarbonCaptureandStorage.pdf>.
- [4] Scottish CCS (SCCS). Central North Sea - CO₂ Storage Hub: Enabling CCS Deployment in the UK and Europe [R]. 2012.
- [5] UK Department of Energy and Climate Change (DECC). CCS Roadmap: Skills and Supply Chain [EB/OL]. 2012[2013-08-05]. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48321/4903-ccs-roadmap-skills-and-supply-chain.pdf.
- [6] AEA Technology plc (AEAT). Assessing the Domestic Supply Chain Barriers to the Commercial Deployment of Carbon Capture and Storage within the Power Sector [EB/OL]. 2012[2013-08-20]. [https://www.gov.uk/government/publications/assessing-the-domestic-supply-chain-barriers-to-the-commercial-deployment](https://www.gov.uk/government/publications/assessing-the-domestic-supply-chain-barriers-to-the-commercial-deployment-of-carbon-capture-and-storage-within-the-power-sector)
- [7] UK Department of Energy and Climate Change (DECC). 2013. UK Carbon Capture and Storage: Government Funding and Support [EB/OL]. 2013[2013-11-04]. <https://www.gov.uk/uk-carbon-capture-and-storage-government-funding-and-support>.
- [8] Senior CCS Solutions Ltd (SCCSL). CO₂ Storage in the UK - Industry Potential Prepared for UK Department of Energy and Climate Change [EB/OL]. 2010[2013-09-07]. <http://www.ukccsrc.ac.uk/system/files/10D512.pdf>.
- [9] 赵熙熙. 加拿大启用全球首座清洁煤电厂[N]. 中国科学报, 2014-10-08(2).
ZHAO Xixi. Canada to Enable the World's First Clean Coal Power Plant[N]. China Science Daily, 2014-10-08(2).
- [10] International Energy Agency (IEA). CCS Retrofit Analysis of the Global Installed Power Plant Fleet [EB/OL]. 2012[2013-11-19]. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CCS_Retrofit.pdf.
- [11] The Royal Institute of International Affairs Chatham House (Chatham House). Who Owns Our low Carbon Future [EB/OL]. 2009[2013-08-20]. https://www.chathamhouse.org/.../r0909_lowcarbonfuture.pdf.
- [12] House of Commons Energy and Climate Change Committee, United Kingdom (ECCC). Low-carbon Growth Links with China [EB/OL]. 2012[2013-11-02]. <http://www.publications.parliament.uk/pa/cm201213/cmselect/cmenergy/529/529.pdf>.
- [13] 广东省发展及改革委员会. 广东省国民经济和社会发展报告(2013年):第三部分 产业经济 [R/OL]. 2013[2013-11-07]. [http://www.Guangdong Development and Reform Commission \(GDDRC\). Development Status\(2013\): Chapter 3 Industrial Economics \[R/OL\]. 2013 \[2013-11-07\]. http://www.gddpc.gov.cn/fzgz_3313/201310/t20131031_226430.htm](http://www.Guangdong Development and Reform Commission (GDDRC). Development Status(2013): Chapter 3 Industrial Economics [R/OL]. 2013 [2013-11-07]. http://www.gddpc.gov.cn/fzgz_3313/201310/t20131031_226430.htm)
- [14] 中华人民共和国国家统计局. 2013年中国各省年度数据 [EB/OL]. 2013[2013-11-02]. [http://www.National Bureau of Statistics of China \(NBSC\). Provincial Annual Data in 2013 \[EB/OL\]. 2013 \[2013-11-02\]. http://data.stats.govh.cn/work-space/index?m=fsnd](http://www.National Bureau of Statistics of China (NBSC). Provincial Annual Data in 2013 [EB/OL]. 2013 [2013-11-02]. http://data.stats.govh.cn/work-space/index?m=fsnd).
- [15] 广东省人民政府. 印发广东省现代产业体系建设总体规划的通知 [L]. 2010-09-28.
People's Government of Guangdong Province. Notice of Planning for Guangdong Province Modern Industry System [L]. 2010-09-28.
- [16] 周蒂. CO₂ 的地质存储—地质学的新课题 [J]. 自然科学进展, 15(7): 782-787.
ZHOU Di. Geological Storage of CO₂—The New Topic in Geology [J]. Progress in Natural Science, 15(7): 782-787.
- [17] 霍传林, 李官保, 潘建明, 等. 我国开展 CO₂ 海底封存的利弊分析和对策建议 [J]. 海洋环境科学, 2014, 33(1): 138-143.
HUO Chuanlin, LI Guanbao, PAN Jianming, et al. Feasibility Analysis of Carbon Dioxide Sequestration Under the Seabed of China Offshore and the Corresponding Countermeasures [J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(1): 138-143.
- [18] 呼跃军. 煤制油 CCS 示范项目技术获突破 [N]. 中国化工报, 2014-09-19(2).
HU Yuejun. Coal-to-oil CCS Demonstration Projects Made Great Technology Breakthroughs [N]. China Chemical Industry News, 2014-09-19(2).

(责任编辑 张春文)