

二氧化碳捕获与地质封存项目进展及启示

李桂菊^{1,2}, 张军^{1,2}

(1.中国科学院武汉文献情报中心,湖北 武汉 430071;

2.中国科学院国家科学图书馆武汉分馆,湖北 武汉 430071)

摘要 CCS技术已成为温室气体减排的关键技术之一,美国、加拿大、澳大利亚及一些欧洲国家都投入大量资金积极开展相应的发展计划。在未来10年内,CCS技术的研究将聚焦于降低成本、提高捕获率和评价不同封存方式的优劣等方面。从目前来看,各国CCS优先发展方向大致相似,捕获技术主要集中在发电厂CCS技术利用;封存技术主要集中于驱油、驱煤层气及深部咸水层封存方面。不过,具体的技术方向也有所差别。CCS技术将在中国实现未来减排目标中发挥重要作用,但目前研究工作尚处于起步阶段。除了一些共性的问题,我国CCS技术发展还有一些尚需克服的障碍。如缺乏顶层设计与规划,尚未制定发展路线图,缺乏战略性的引导,缺乏系统性的评估;同时CCS技术存在不确定性、成本昂贵。需要研究和制定一套政策和规章制度来保障商业规模的CCS示范与部署,进行体制机制与政策创新,研究和制定中国CCS路线图,做好发电厂和其他工业升级或配备CCS的准备,同时应加强国际合作。

关键词 温室气体减排 碳捕获 地质封存 驱油 驱煤层气 商业示范 发展路线图

1 前言

CO₂捕获与封存(CCS)是指将CO₂从工业或相关能源排放源分离出来,输送到一个封存地点,并使其长期与大气隔绝的过程^[1]。目前,CCS技术被认为是任何温室气体(GHG)减排投资方案中不可缺少的内容,国际能源署(IEA)指出,CCS技术将在直到2050年的温室气体减排蓝图中发挥重要作用^[2]。

2 世界主要国家碳捕获与地质封存发展现状

由于CCS技术具备经济效益和环境效益,已经引起了全球各国的广泛关注。目前,一些国际组织和国家政府都投入大量资金来积极开展相应的发展计划^[3]。根据澳大利亚全球CCS研究院(Global CCS Institute, GCCSI)统计^[4],截至2010年12月,全球CCS项目共有275项,其中213项正在开展或规划当中,34项已经完成,26项取消或推迟,还有2项由于项目进度可能将被关闭。

2.1 主要国家项目运行机制

目前,美国、加拿大、澳大利亚以及一些欧洲发达国家都制定了CCS技术发展规划,并投入大量资金开展了相应的研发、示范与部署项目。

美国的CCS项目主要是通过能源部来负责开展与部署^[5]。项目的开展主要是通过创办碳封存论

坛、组建地方碳封存合作关系框架以及成立碳捕获与封存工作组来统一管理和部署。目前,通过美国能源部碳封存项目(Carbon sequestration program)开展的CCS研发项目已多达80多项^[6]。

加拿大开展的CCS项目超过100项,主要集中在CO₂捕获与地质封存两个方面。碳捕获研究主要由CANMET能源技术中心组织开展;碳封存主要是通过Weyburn-Midale项目以及阿尔伯达省的驱油(EOR)、驱煤层气(ECBM)及深部咸水层封存项目。

澳大利亚CCS项目是围绕国家低排放煤炭计划(NLECI)发展目标(加快包括CCS技术的低排放煤炭技术的利用,实现煤炭燃烧温室气体排放的减排)进行的。目前提议或正在开展的CCS项目有13项^[7],主要是围绕COAL21联盟与其他合作研究中心(CRCs)开展,包括煤炭可持续发展合作研究中心(CCSDC)及温室气体技术合作研究中心(CO₂CRC)。

欧盟国家CCS项目由欧盟委员会提供统一的政策引导,并且可以从欧洲经济刺激计划中申请资

作者简介:李桂菊,助理研究员,2005年获中国地质大学(武汉)资源学院海洋地质专业硕士学位,目前主要从事能源科技战略情报研究工作。 E-mail: ligj@mail.whlib.ac.cn

金支持,项目的具体执行由各国政府及相关研究单位来协调管理。挪威 CCS 项目发展围绕两项国家计划,一是 2005 年启动的 CLIMIT 国家天然气技术计划,促进燃气发电厂 CCS 技术成本效益和技术进步。二是 2007 年启动的 Mongstad 计划,第一阶段成立欧洲 Mongstad 技术中心,开展企业合作每年捕获 $10 \times 10^4 \text{t}$ 的 CO_2 ; 第二阶段是大规模部署碳捕获设备,每年将捕获 $120 \times 10^4 \text{t}$ 的 CO_2 ^[8]。荷兰的 CCS 研发项目主要围绕 CATO 项目和 CAPTECH 展开。CATO 项目由乌得勒支能源研究中心负责,第一阶段(2004~2008 年)预算近 2500 万欧元(3500 万美元),开展整个 CCS 链(包括捕获、封存、监控以及公众接受度等)的调查研究;第二阶段(2009~2014 年)预算增至 7500 万欧元,开展更多应用研究来支持 CCS 中试项目,包括荷兰北部 SEQ 氧燃料电厂、NUON 公司 IGCC 燃烧前 CO_2 捕获项目及 EnecoGen 公司的 Cryogenic 项目^[9]。CAPTECH 项目(2006~2009 年)由荷兰能源中心(ECN)负责开展,作为 CATO 项目捕获研究的补充,目标是在发电厂效率降低不超过 5% 的同时, CO_2 捕获成本降低 50%^[10]。

2.2 主要国家经费预算情况

近两年,美国以及欧盟等国在 CCS 方面的项目拨款主要来自于经济刺激计划。美国于 2009 年 5 月宣布从《美国经济刺激和再投资法案》中拨款 24 亿美元用来推进和加快 CCS 技术的商业部署,主要包括洁净煤发电计划(8 亿美元)、工业碳捕获与封存(15.2 亿美元)、地质封存地点表征(2000 万美元)、地质封存培训与研究(2000 万美元)^[11],并在随后逐步得以落实。2010 年初,美国政府又发布了 CCS 发展备忘录,筹建跨机构工作组,并引导在 2016 年左右开展 5~10 个商业示范项目。

欧盟委员会于 2009 年初就提出将从欧洲经济刺激计划中拨款 12.5 亿欧元支持 CO_2 捕获与封存项目的发展^[12],并在年底得到落实,英格兰北部的 Hatfield 电厂、德国 Vattenfall Jaenschwalde 电厂、西班牙 Endesa Compostilla 电厂、荷兰 Maasvlakte 电厂和波兰的 Belchatow 电厂各获资 1.8 亿欧元,意大利 Porto Tolle 电厂获资 1 亿欧元。此外,欧盟委员会于 2009 年 10 月提出未来 10 年能源研究投资方案,其中提到未来 10 年在碳捕获与封存方面的投资将达 130 亿欧元,以支持 CCS 示范项目的开展。

澳大利亚政府也于 2009 年 5 月发布了清洁能源预算^[13],提出将投资 45 亿澳元启动清洁能源计划,其中 24 亿澳元将用于发展洁净煤技术,包括提供 20 亿澳元用于在碳捕获与封存旗舰项目下开展的工业规模项目。

加拿大政府针对 CCS 技术的投资主要分为两方面。2008 年 6 月宣布在阿尔伯达省投资 20 亿美元发展 3~5 个大规模 CCS 集成装备,计划到 2015 年能上线,预计至少在 10 年内每年封存 $500 \times 10^4 \text{t}$ 的 CO_2 。其次是 2008 和 2009 财年预算投资。2008 财年预算拨款 2.5 亿美元支持 Saskatchewan 项目和 Nova Scotia 项目,以及加拿大自然资源部生态能源(ecoENERGY)技术发展计划投资 1.25 亿美元;2009 财年预算拨款 10 亿美元,计划在未来 10 年发展清洁能源技术,包括 1.5 亿美元用于研究,8.5 亿美元用于包括 CCS 技术在内的技术与示范。

2.3 主要国家优先研究方向

从长期来看,CCS 技术在减排上将起到至关重要的作用。在未来 10 年内,发展和改进 CCS 技术所开展的研究将聚焦于降低成本、提高捕获率和评价不同封存方式的优劣等方面^[14]。接着是发展大规模的示范项目和到 2030 年适于广泛商业化的先进系统,包括向氢经济的转型和零排放电站的发展。

从目前的项目情况来看,各国 CCS 优先发展方向大致相似,捕获技术主要集中在发电厂 CCS 技术利用;封存技术主要集中于驱油、驱煤层气以及深部咸水层封存方面。不过,具体的技术方向也有所差别。美国 CCS 研发活动范围较广,优先研究领域包括核心技术研发、基础设施发展以及项目管理。加拿大捕获项目侧重于发电厂的氧燃料燃烧捕获和燃烧后捕获,封存项目集中于驱油、驱煤层气以及深部咸水层封存。澳大利亚 CCS 项目主要集中在发电厂碳捕获方面,包括燃烧前捕获、燃烧后捕获以及氧燃烧捕获。欧盟国家 CCS 项目通过框架计划及欧洲经济刺激计划的目标来统一协调。从总体而言,欧洲短期内的目标是提高发电厂效率以减少 CO_2 排放,中长期则重点发展 CO_2 封存技术。

3 国内 CCS 技术发展现状

3.1 发展现状

我国在 CCS 技术方面的研究工作还处于起步阶段,目前有很多研究机构、高校和企业从事这方

面的研究。EOR项目比较普遍,几乎所有的油田都在开展。ECBM项目主要在山西沁水盆地开展^[15,16]。国家973项目“提高石油采收率的地质封存(2006~2011)”开展关于地质碳封存和EOR地质、物理及化学问题的基础研究,研究EOR非线性流机制问题以及碳捕获与抗腐蚀问题。863项目“碳捕获与封存(2008~2010)”开展集中烟气捕获CO₂先进技术以及深部咸水层碳封存的研究。国内开展的主要示范项目有华能集团负责的绿色发电(GreenGen)合资项目、由西安热工研究院(TPRI)与澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)合作开展的国内首个燃烧后捕获(PCC)示范项目^[17]。

3.2 CCS发展面临的挑战

不论是从国际层面,还是从国内层面来讲,CCS技术发展仍然面临着很多挑战,其中有一些是共性的问题,还有一些是国内尚需克服的障碍。

① 缺乏顶层设计与管理。CCS的出现将使能源市场以及市场运作方式发生大的转变,这对现有的机构、政策和管理来讲无疑是一次巨大的挑战。因此,从战略角度来讲,做好顶层设计显得十分关键,包括解决一些关键性的问题,比如政府和其他利益相关方各自应该发挥的作用、政府需要采取的财政和货币政策等等。截至目前,我国还没有制定关于CCS发展的短期、中期以及长期发展路线图,在CCS技术发展方面缺乏战略性的引导。

② CCS技术的不确定性。从国际层面来看,目前对于CCS所涉及的技术已经有了很好的认识,但还需要在商业规模发电厂或其他排放源进行示范项目。从国内层面来看,除了在CO₂回收与注入方面有一定的实践经验外,与开展大规模地质封存,尤其是在设备产能和成本上还存在很大的差距^[18]。

③ CCS技术成本昂贵。CCS可以说是一项成本密集型工艺技术。根据专家估计,在不考虑备有CCS技术的发电厂建设和运行成本的情况下,不管是通过总量控制与交易制度、碳税还是其他价格信号机制,捕获CO₂的成本在15~75美元/t之间^[11,19]。而且,关于CCS未来成本主要是通过能源系统建模和情景假设来估计的,当然也就存在很多内在的问题。国际上也不乏有CCS项目因为成本问题而被迫停止或重新调整的先例^[20]。

④ 缺乏系统性的评估。尽管已有一些学者就

国内CCS地质封存潜力做了相关研究^[21~23],但从国家层面来讲,还需要开展系统的评估,包括CO₂地质封存的整体潜力、适合进行碳封存的盆地类型、CCS对国家经济发展的影响、在不影响经济和社会发展情况下中国能否借助CCS顺利向低碳能源系统转型等。

4 对我国发展CCS的一些思考

CCS技术面临的诸多调整使得国内目前更愿意致力于能源效率提高和可再生能源项目。但从长远来看,CCS技术将在中国实现未来减排目标中发挥十分重要的作用,不过目前在国内尚未达到示范阶段。为促进该技术的发展并利用其优势,进而开展商业规模的CCS产业,需要加强以下几个方面:

① 研究和制定一套政策和规章制度来保障商业规模的CCS示范与部署。国内关于CO₂捕获与地质封存的基本框架和配套政策、法规都尚未形成,因此在政策保障方面比较薄弱^[24]。需要尽快制定政策框架来支持技术发展,当然不仅仅是示范项目,而是要形成一个新的CCS产业,提供更长远、更持续和更强劲的激励政策来支持商业规模的CCS示范项目。另外,需制定相关规章制度帮助CCS利益相关方了解各自的职责和需要遵守的规章。

② 体制机制与政策的创新。CCS将在一个全新的市场通过全新方式运作,因此体制机制和政策创新对于CCS发展尤为重要。应由政府引导,以市场为导向,通过环境友好方式开展行动。

③ 研究和制定中国CCS路线图。美、澳、加等国早在几年前就制定了国家CCS发展路线图^[25~27],国内需要在这方面加快步伐,结合我国能源结构制定全面的CCS发展路线图,以便于国内选择正确的发展路线来形成完整的商业CCS价值链。此外,技术路线图要与国家洁净煤研发计划、国家气候变化政策相协调。

④ 做好发电厂和其他工业升级或配备CCS的准备。有研究认为^[28],CCS技术将在我国实现未来低碳目标方面发挥关键的作用。要使目前或今后建造的发电厂或其他工业具备很强的升级能力,就需要从现在开始做好准备。采用CCS技术的IGCC发电厂是最具备发展前景的CO₂零排放燃煤发电技术,而且,IGCC电厂在碳捕获方面比常规粉煤电厂更具有显著优势^[29]。根据国内IGCC发展情况,估计

从 2020 年开始 IGCC 电厂将强制配备 CCS, 同时钢铁、水泥、电解铝、合成氨、乙烯等行业采用 CCS, 2030 年之后基本普及。

⑤ 加强国际合作。目前, 国内在 CCS 国际合作方面已展开了很多行动^[19], 包括加入碳封存领导人论坛(CSLF)以及中欧煤炭利用近零排放(NZEC)示范计划, 并在欧盟第六框架(FP6)下达成了中欧 CCS 合作行动(COACH), 与英国签署了 CCS 谅解备忘录(MoU)和合作开展相关计划。国际机制对于发展和示范 CCS 技术十分关键, 同时通过这些机制能够提供足够的财政支持发展中国家的 CCS 计划, 并有利于技术转移。中国应继续拓展与其他国际成员的合作机会, 争取更多的经费与技术支撑。

5 结语

实际上, 关于 CCS 的博弈是攸关国家未来能源乃至经济发展的大事。在世界各国大张旗鼓应对全球气候变化的今天, 有些发达国家将自身的减排压力转嫁到以煤炭为主要能源的国家, 特别是对发展中国家施加越来越多的减排压力。因此, 我国政府应当从顶层考虑和组织安排出发, 有组织有计划地支持开展相关活动, 一方面避免盲目成为发达国家的试验场, 另一方面要靠自身谋求出路, 为未来的发展赢得空间。

参考文献:

- [1] METZ B, DAVIDSON O, DE CONINCK H, et al. IPCC special report: Carbon dioxide capture and storage[EB/OL]. http://www.wmo.int/pages/prog/drr/publications/drrPublications/IPCC/IPCC_CO2_e.pdf.
- [2] International Energy Agency. World Energy Outlook 2008[EB/OL]. <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/weo2008.pdf>.
- [3] DE CONINCK H, STEPHENS J, METZ B. Global learning on carbon capture and storage: A call for strong international cooperation on CCS demonstration[J]. Energy Policy, 2009, 37(6): 2161-2165.
- [4] Global CCS institute. Strategic analysis of the global status of carbon capture and storage. Report 1: Status of carbon capture and storage projects globally[EB/OL]. [2010-12-08]. http://www.globalccsinstitute.com/sites/default/files/Report%201-Status%20of%20Carbon%20Capture%20and%20Storage%20Projects%20Globally_2.pdf.
- [5] DOE. Key R&D programs and initiatives[EB/OL]. [2010-04-25]. <http://www.fossil.energy.gov/programs/sequestration/>.
- [6] NETL. Carbon sequestration: 2008 carbon sequestration project portfolio table of contents[EB/OL]. [2010-03-15]. http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/project%20portfolio/2008/index.html.
- [7] COOK P J. Demonstration and deployment of carbon dioxide capture and storage in Australia[J]. Energy Procedia, 2009, 1(1): 3859-3866.
- [8] GJERDE G. Carbon capture and storage-Norwegian policies & projects[EB/OL]. (2010-1-21)[2010-06-03]. <http://www.usea.org/Programs/CFFS/documents/Norway.pdf>.
- [9] CATO homepage. CO₂ capture, transport and storage in the Netherlands[EB/OL]. [2010-05-17]. <http://www.co2-cato.nl/cato-2/program-overview>.
- [10] CAPTECH homepage. CO₂ capture technology development [EB/OL]. [2010-05-20] <http://www.co2-captech.nl/modules.php?name=Main&page=64>.
- [11] DOE. Secretary Chu announces \$2.4 billion in funding for carbon capture and storage projects[EB/OL]. (2009-05-15) [2010-05-03]. [http://www.recovery.wv.gov/news/Pages/SecretaryChuAnnounces\\$24billioninFundingfor.aspx](http://www.recovery.wv.gov/news/Pages/SecretaryChuAnnounces$24billioninFundingfor.aspx).
- [12] Europa. The Commission proposes €5 billion new investment in energy and Internet broadband infrastructure in 2009-2010, in support of the EU recovery plan[EB/OL]. (2009-01-28)[2010-06-03]. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/09/142&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>.
- [13] Clean Energy Council. Federal budget 2009-A clean energy council overview[EB/OL]. (2009-05-12)[2010-06-03]. <http://www.cleanenergycouncil.org.au/cec/mediaevents/media-releases/May/CECBudgetsummary.html>.
- [14] 张军, 李小春. 国际能源战略与新能源技术进展[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [15] LI Gao. CCS in China: Background, Activities & Perspectives [R]. IEA/CSLF workshop on near term opportunities for carbon capture and storage. (2007-02-15)[2010-03-21]. www.rite.or.jp/English/lab/geological/ccsws2007/3_ping.pdf.
- [16] CCS activities and developments in China[EB/OL]. http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/energy/op/ccs_egm/presentations_papers/li_ccs_china.pdf.
- [17] LIU Hengwei, GALLAGHER K S. Driving carbon capture and storage forward in China[J]. Energy Procedia, 2009, 1(1): 3877-3884.
- [18] 李小春, 方志明. 中国 CO₂ 地质埋存关联技术的现状[J]. 岩土力学, 2007, 28(10): 2229-2239.
- [19] MIT. The future of coal[EB/OL]. <http://web.mit.edu/coal/>.
- [20] 李桂菊, 张军, 季路成. 美国未来零排放燃煤发电项目最新进展[J]. 中外能源, 2009, 14(5): 96-100.

- [21] LI X, WEI N, LIU Y, et al. CO₂ point emission and geological storage capacity in China[J]. Energy Procedia, 2009, 1(1): 2793-2800.
- [22] DAHOWSKI R T, LI X, DAVIDSON C L, et al. A preliminary cost curve assessment of carbon dioxide capture and storage potential in China[J]. Energy Procedia, 2009, 1(1): 2849-2856.
- [23] 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.
- [24] 崔振东, 刘大安, 曾荣树, 等. 中国 CO₂ 地质封存与可持续发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(3): 9-13.
- [25] DOE/NETL. Carbon sequestration technology roadmap and program plan 2007[EB/OL]. (2007-04)[2010-04-25]. http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/project%20portfolio/2007/2007Roadmap.pdf.
- [26] CO₂CRC. Carbon dioxide capture & storage, R&D in Australia[R]. [2010-04-25]. http://www.co2crc.com.au/PUBFILES/GEN0304/Roadmap2004_CO2CRC.pdf.
- [27] Natural Resources Canada. Canada's CO₂ Capture & Storage technology roadmap.[2010-05-20]. http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier/78714/ccstrm_e_highres.pdf.
- [28] 2050 中国能源和碳排放研究课题组. 2050 中国能源和碳排放报告——中国 2050 低碳发展情景研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [29] LIU Hengwei, NI Weidou, LI Zheng, et al. Strategic thinking on IGCC development in China[J]. Energy Policy, 2008, 36(1): 1-11.

(编辑 张峰)

Progress and Implications of Carbon Dioxide Capture and Geological Storage Projects

Li Guiju^{1,2}, Zhang Jun^{1,2}

(1. Wuhan Documentation and Information Centre of CAS, Wuhan Hubei 430071;

2. The Wuhan Branch of The National Science Library of CAS, Wuhan Hubei 430071)

[Abstract] Carbon dioxide capture and storage (CCS) technology is one of key approaches to reducing greenhouse gas emissions. The United States, Canada, Australia and some European countries have invested a large amount of money in developing this technology. Over the next 10 years, the research of CCS technology will focus on reducing cost, raising capture rate and assessing the pros and cons of different storage methods. Up to now, the areas each country has given priority to in developing CCS are similar. The development of capture technology focuses on the utilization of CCS technology in power plants and that of storage technology focuses on oil and coalbed methane displacement and storage in deep saline aquifers. However, there are still differences in specific technical trends in different countries. CCS technology will play an important role in helping China achieve its greenhouse gas emission reduction objectives although the research of CCS technology is still in the early stage in China. In addition to problems common in the development of CCS technology, China is facing some other obstacles in developing this technology, such as the lack of top-level designs and management, the absence of a development roadmap and the lack of strategic guidance and systematic assessment. In addition, CCS technology has some uncertainties and is very expensive. China needs to develop and impose a package of policies and regulations to ensure smooth CCS demonstration and deployment on a commercial scale, innovate in system, mechanism and policy, develop its own CCS roadmap, prepare for the upgrade of power plants and other industrial facilities and the introduction of CCS, and strengthen international cooperation in this area.

[Keywords] greenhouse gas emission reduction; carbon capture; geological storage; oil displacement; coalbed methane displacement; commercial demonstration; development roadmap