

# 低碳经济视阈下我国利用碳捕获与封存技术的对策分析

刘 奂 成

(云南大学 发展研究院,云南 昆明 650500)

**[摘 要]** 发展低碳经济已经成为当今国际社会的共识。作为长期成本最低的碳减排技术,碳捕获与封存技术与整体煤气化联合循环发电技术相结合将成为我国煤电行业碳减排的重要技术选择。然而,我国在推广利用碳捕获与封存技术方面还存在缺乏必要的政策法规等困难。对此,我国有关部门和企业应该正确认清国际碳减排技术发展方向,加大政府支持力度,促进技术创新,加强国际合作,推进碳捕获与封存技术研究和推广应用,为促进我国发展低碳经济提供技术保障。

**[关键词]** 低碳经济; 碳捕获与封存技术; 煤炭消耗; 碳排放

**[中图分类号]** F062.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2013)05-0059-04

2010年,我国GDP总值超越日本,成为世界第二大经济体。然而,我国经济的高速发展伴随着大量的碳排放。我国CO<sub>2</sub>排放强度为13.4吨/万元GDP,远高于世界4.2吨/万元GDP的平均水平<sup>[1]</sup>。我国是煤炭生产和消费大国,70%的能源消费来自煤炭燃烧。CO<sub>2</sub>是对气候变化影响最大的气体,1985—2011年间全球CO<sub>2</sub>浓度以1.74ppm/年的速度增加,到2011年底,CO<sub>2</sub>浓度已接近391ppm<sup>[2]</sup>。

当今时代,发展低碳经济已经成为国际社会的共识,低碳经济成为经济发展的重要趋势。面对艰巨的碳减排压力,联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)于2005年特别推荐碳捕获与封存技术(Carbon dioxide Capture and storage, CCS),以期实现温室气体的大幅减排。由于CCS与现有能源系统基础构造一致,受资源条件限制较小,一经提出便受到工业化国家的广泛关注与重视。

随着我国经济的高速发展,对能源特别是化石燃料能源的需求迅猛增长,我国已经成为CO<sub>2</sub>排放大国。许多学者认为CCS在我国的发展前景十分广阔,政府也对CCS项目给予了高度重视和支持<sup>[3]</sup>。然而,CCS毕竟还处于研究和探索阶段,其大规模实施还有一些争议。

因此,从我国实际国情出发,制订合理的CCS利用方案,为我国碳减排战略提供科学的决策依据,具有重要的战略意义。

## 一 我国利用碳捕获与封存技术的重要意义

我国煤炭消耗与碳排放现状决定我国利用碳捕获与封存技术的必要性。新中国成立以来,我国的煤炭产业一直在以较快的速度发展。1949年,我国原煤产量不足4000万吨,居世界第九位,到1991年,我国的原煤产量达10.9亿吨,跃居世界第一位。我国也是世界上最大的煤炭消费国,煤炭的消费占到全球的48.2%<sup>[4]</sup>。2007年我国煤炭消费量为25.9亿吨,2012年上升到了36.2亿吨,年均增长2.06亿吨,增长幅度接近40%。

煤炭是我国的主要能源,分别占一次能源生产和消费总量的76%和69%<sup>[5]</sup>。根据中国的能源资源禀赋,专家认为,到2050年,煤炭所占比例不低于50%<sup>[6]</sup>,煤炭在我国能源结构中的地位在未来相当长的时期内不会改变。煤炭消耗产生的CO<sub>2</sub>远高于其他化石燃料,单位热量燃煤引起的CO<sub>2</sub>排放比石油和天然气高出36%和61%<sup>[7]</sup>。我国煤炭消费主要集中在电力、冶金、建材、化工4个行业,占全国煤炭消费总量的66%。这四大行业部分燃煤设备是按照燃烧原煤的标准设计的,不适用于洁净煤的燃烧,造成能源消费中CO<sub>2</sub>和烟尘的排放强度较高。燃煤所释放的CO<sub>2</sub>占到CO<sub>2</sub>排放总量的71%左右,形成巨大的温室效应。研究显示,中国碳排放占全球碳排放总量的28%,居世界第一。

减少碳排放是我国发展低碳经济的必然途径,那么,怎样减少碳排放,为我们发展低碳经济创造条

件?对此,本文认为,碳捕获与封存技术是我国发展低碳经济的重要技术选择。

碳捕获常常与碳封存、碳利用联系在一起,目前学界常用的是碳捕获与封存技术(CCS)这个概念。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)对CCS的定义是:碳捕获与封存技术是一个将CO<sub>2</sub>从工业或与能源相关的源头中分离,再运输到存储地点并与大气长时间隔离的过程。它是减少大气中温室气体的诸多方法中的一种。根据英国碳捕获与封存团体(UK Carbon Capture and Storage Community)的定义,CCS分为四个阶段:从大型的人为CO<sub>2</sub>排放源中捕获、通过管道运输、在地表下的地质构造中封存CO<sub>2</sub>并检测封存的有效性。碳捕获技术可分为三类,即:燃烧前CO<sub>2</sub>捕获、富氧燃烧技术、燃烧后CO<sub>2</sub>捕获。除以上三种基本技术外,化学链燃烧技术作为脱碳行业的新兴技术,也正在迅速发展<sup>[8]</sup>。

富氧燃烧技术产生的烟气中CO<sub>2</sub>浓度达到70%~90%的水平,干烟气CO<sub>2</sub>浓度更是可以超过95%<sup>[9]</sup>,十分有利于CO<sub>2</sub>的回收利用。氨法是近几年得到广泛开发的燃烧后CO<sub>2</sub>捕集技术。氨法的主要原理是氨水与烟气中的CO<sub>2</sub>接触并发生化学反应,形成不稳定的盐类,而盐类在一定条件下会逆向分解释放出CO<sub>2</sub>,从而达到将CO<sub>2</sub>从烟气中分离并富集的目的。当氨水浓度达到5%以上时,CO<sub>2</sub>脱除效率可达到90%<sup>[10]</sup>。浓度超过15%的氨水易挥发,法国电力巨头阿尔斯通(ALStom)公司开发了一种称为冷氨法的CO<sub>2</sub>捕集工艺<sup>[11]</sup>。冷氨法操作温度控制不宜超过40度。除温度之外,CO<sub>2</sub>的脱除率还受氨水浓度、氨水流量、入口CO<sub>2</sub>流量等因素影响<sup>[12]</sup>。

## 二 我国碳捕获与封存技术利用现状分析

国际能源署研究表明,CCS技术的减排贡献将从2020年占总减排量的3%上升至2030年的10%,并在2050年达到19%,成为减排份额最大的单项技术,它将是长期成本最低的减排技术。目前全球共有三个工业规模的CCS项目正在运行,分别是挪威国家石油公司的Sleipner项目、加拿大的Weyburn项目和阿尔及利亚的In Salah项目<sup>[13]</sup>。

美国能源部在2009年公布的《美国复苏与再投资法案》中计划用24亿美元来扩大和加速商业CCS项目的部署力度<sup>[14]</sup>。欧盟计划在2015年前建成10~12个大规模CCS示范项目<sup>[15]</sup>。澳大利亚、日本等也都在加紧CCS项目的部署。据相关资料统计,目前全球在CCS项目中的投资总额已达24亿

美元<sup>[16]</sup>。

我国已经初步掌握碳捕获与封存技术,目前采用较多的捕获技术是燃烧后CO<sub>2</sub>捕获技术,采用的方法以化学吸收法为主,捕获的CO<sub>2</sub>经管道运输后再寻找合适的封存场所。

为了达到世界先进水平,2005年,我国开始对CCS技术进行全面规划部署,CCS技术被编入《国家中长期科技发展规划纲要(2005~2020)》<sup>[17]</sup>。现阶段我国发展CCS技术有两大目标,一是实现近零排放的燃煤电站的商业化示范。据统计,目前我国CO<sub>2</sub>排放总量的三分之一来自电力(特别是煤电)行业,而整体煤气化联合循环发电技术(IGCC)已成为全球公认的清洁煤技术。面对以煤炭为主的能源结构和火电装机占总装机比例达到3/4的事实,我国采取了一条以IGCC为主导的“绿色煤电”路线图<sup>[18]</sup>,IGCC+CCS将成为我国煤电行业减少碳排放的一条重要技术路线。

二是开发出具有自主知识产权的、适合我国国情的、低能耗甚至是“零能耗”的CO<sub>2</sub>捕获技术。考虑到CO<sub>2</sub>捕获能耗高的特点,就现阶段来看,我国还很难实现完全以储存为目的的CO<sub>2</sub>捕获回收。因此,增强CO<sub>2</sub>的应用价值也是促进CCS发展的一个重要因素。随着人们对于CO<sub>2</sub>性质的深入了解,CO<sub>2</sub>的应用领域扩展到了食品业、工业、农业、国防、医疗等各个部门。

国内清华大学、北京大学、浙江大学、华中科技大学等高等院校和有关科研机构都在积极开展CCS的研究。2012年12月,由华中科技大学牵头承担的国家科技支撑计划项目“35MWth富氧燃烧碳捕获关键技术、装备研发及工程示范”在湖北应城正式开工建设。有关专家表示,目前我国CCS技术与世界同步,我国CCS的现场试验按照时间顺序在国际上可以排到第四位置。这说明,我国利用碳捕获与封存技术已经具有良好的条件,为我国进一步推广利用碳捕获与封存技术奠定了重要基础。

## 三 基于低碳经济视阈我国推广利用碳捕获与封存技术的对策思考

碳捕获与封存技术目前存在以下问题,一是碳捕获技术成本高昂,资金缺乏。对油气行业来说,CO<sub>2</sub>驱油一般能使一个老油田的产量增加5%,但目前尚缺少对CO<sub>2</sub>捕获与在油田里永久封存的总体成本评估。按照现在项目估算,CCS项目的商业化运行成本是每吨CO<sub>2</sub>70美元左右<sup>[19]</sup>。在高昂的成本面前,企业普遍难以接受,推广和使用碳捕获技

术面临较大的资金瓶颈。

二是碳捕获与封存技术存在潜在环境风险。 $\text{CO}_2$ 在运输过程中可能泄露,输送 $\text{CO}_2$ 管道必须由抗腐蚀合金制造,或在内部包含一层合金或连续的聚合物涂层。如果管道质量不合格, $\text{CO}_2$ 在运输过程中可能会泄漏到大气中。另外,将 $\text{CO}_2$ 封存到地下可能导致地震。 $\text{CO}_2$ 注入岩层孔隙会造成地层压力的增加,如果注入压力超过地层压力,可能诱发地层裂缝,进而诱发地震<sup>[20]</sup>。

三是缺少一个明确的政策与法律框架。CCS技术到目前为止还没有一个有效的法律和法规框架,各国CCS项目缺乏统一的准则。目前只有澳大利亚和挪威通过立法让政府承担长期法律责任。

针对上述问题,我国应从以下三个方面努力,采取措施,加快推广利用碳捕获与封存技术,促进我国低碳经济的发展。

其一,要加大政府支持力度和国际合作。CCS作为一个庞大的系统工程,其研究、开发和利用,涉及化工、发电、地质众多领域,需要政府的资金扶持,从而带动相关领域的科技创新。2008年发布的《中国温室气体白皮书》已将研究CCS列为中国减缓气候变化的政策与行动之一;国家科技部的973和863计划,国家自然科学基金委员会等都对CCS项目给予了高度重视和支持;《国家能源科技“十二五”规划》已将CCS技术列入重要的研究和示范的课题。然而这些都还不足以保障CCS技术在中国的广泛推广。根据国际能源署预测,2050年前新增的火电厂绝大部分都将集中在发展中国家。中国作为最大的发展中国家,应主动和拥有资金与技术优势的发达国家建立合作项目,逐渐缩短与发达国家的技术差距,不断降低技术风险和实施成本,从而促进CCS的快速发展。

其二,加强CCS技术环境风险评价和质量管。资金瓶颈是短期问题,潜在环境风险是长期问题。目前对将巨量 $\text{CO}_2$ 注入地下的后果缺乏科学的解释,对其潜在的环境风险预测缺乏技术上的手段。鉴于此,一方面应不断创新CCS技术的环境风险评价方法,实施CCS发展规划环评制度和CCS项目环评制度;另一方面在CCS项目实施过程中要把好质量关,例如对 $\text{CO}_2$ 运输路线,尤其是经过居民区的管道路线进行仔细挑选,并加强泄漏检测,避免给子孙后代留下巨大的环境与安全隐患。

其三,要加快立法进程。欧盟一直都是CCS立法的先驱。2007年欧盟制定出世界第一部关于CCS的详细立法。二氧化碳捕获、运输、封存过程中

遇到的法律问题在其中都有涉及。美国虽然退出了《京都议定书》,但却是世界上碳捕获与封存技术大型项目批准最多的国家。与之相关的法律包括《2007年国内二氧化碳存储评估法》和《2007年能源部碳捕获与封存研发部署法》、《碳捕获与封存早期部署法》。我国应借鉴国外在碳捕获与封存技术发展中的立法经验,尽快完善相关法律法规。

#### 四 结论

低碳经济是人类社会从工业文明向生态文明转变过程中探索出来的一种新型经济发展模式,是全球经济的大趋势,也是我国经济发展的必然选择。我国在推进新型工业化、城镇化的进程中,能源需求也在快速增长。我国的资源条件,决定了煤炭在我国能源结构中的地位。燃煤发电排放的 $\text{CO}_2$ 居高不下,如何实现我国煤炭和电力行业的低碳化发展是我国发展低碳经济必须首先要解决的问题。从短期来看,增加不可再生能源的消费可以促进经济的增长,但是,长期如此必然以能源耗竭为代价,如果没有技术进步,那么经济将陷入停滞。而通过提高技术水平、参与清洁发展机制、提高能源效率等途径,可以在减排的同时提高经济增长率。为了实现 $\text{CO}_2$ 减排的目标,越来越多的国家正大力发展 $\text{CO}_2$ 减排技术,CCS技术潜力巨大。

鉴于目前该技术在环保、成本、技术、公众认知等方面都面临诸多障碍,因而还需要政府支持、国际合作、完善法规、寻求更加经济合理的手段,促进该技术的研究、应用和推广。我国作为 $\text{CO}_2$ 高排放的发展中国家,正密切关注CCS技术的进展,并已正在建立大型CCS示范工程。

#### 【参考文献】

- [1] 赵爱文,李东.中国碳强度与能源强度实证研究[J].干旱区资源与环境,2012(1):1-5.
- [2] Jose A Tapia. Climate change and the world economy: short-run determinants of atmospheric  $\text{CO}_2$  [J]. Environmental science & policy, 2012(21):50-62.
- [3] Li Zheng, Zhang dongjie, Ma Linwei, et al. The necessity of and policy suggestions for implementing a limited number of large scale, fully integrated CCS demonstrations in China [J]. Energy Policy, 2011(39):5347-5355.
- [4] 周新军. 高速铁路的节能减排效应 [N]. 中国能源报, 2012-05-14(24).
- [5] 李岩,许哲峰. 浅谈影响煤气发生炉用煤的气化指标 [J]. 内蒙古石油化工, 2013(2):35-36.
- [6] 杨旭峰,黄斌,舒建成. 国内煤矸石的资源化利用现状及展望 [J]. 云南化工, 2011(2):37-40.

- [7] 赵剑峰. 低碳经济视角下煤炭工业清洁利用分析及政策建议[J]. 煤炭学报, 2011(3):514-518.
- [8] Howard J Herzog. Scaling up Carbon dioxide capture and storage From megatons to gigatons [J]. Energy Economics, 2011(33):597-604.
- [9] Maja, B Toftgaard, et al. Oxy-fuel combustion of solid fuels[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 36, 2010(36):581-625.
- [10] Jinzhao Liu, Shujuan Wang, Bo Zhao, Huiling Tong, Changhe Chen. Absorption of carbon dioxide in aqueous ammonia[J]. Energy Procedia, 2009(1):933-940.
- [11] 张东明, 杨晨, 周海滨. 二氧化碳捕集技术的最新研究进展[J]. 环境保护科学, 2010(5):7-9.
- [12] Qing Zeng, Yincheng Guo, Zhenqi Niu, Wenyi Lin. The absorption rate of CO<sub>2</sub> by aqueous ammonia in a packed column [J]. Fuel Processing Technology, 2013(108):76-81.
- [13] 李雪静, 乔明. 二氧化碳捕获与封存技术进展及存在的问题分析[J]. 中外能源, 2008(5):104-107.
- [14] Stephens J C. Jiusto. Assessing innovation in emerging energy technologies: Socio-technical dynamics of carbon capture and storage (CCS) and enhanced geothermal systems(EGS) in the USA [J]. Energy Policy, 2010, 38(4):2020-2031.
- [15] Liu H, Gallagher K S, Catalyzing strategic transformation to a low-carbon economy: A CCS roadmap for China [J]. Energy Policy, 2010, 38(1):59-74.
- [16] IQPC. Carbon Capture and Storage Symposium 2010 [EB/OL]. <http://www.carbon-capture.com.au/Event.aspx?id=329858>.
- [17] 徐文佳, 王万福, 王文思. 二氧化碳捕集研究进展及对策建议[J]. 绿色科技, 2013(1):60-63.
- [18] 王晓亮, 吴家桦, 赵庆. 燃煤电站 CO<sub>2</sub> 捕集技术研究现状及前景展望[J]. 东方电气评论, 2011(2):1-9.
- [19] 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(3):517-520.
- [20] 高玉冰, 宋旭娜, 王可. 高度关注碳捕获与封存技术潜在环境风险[J]. WTO 经济导刊, 2011(7):74-75.

## Countermeasures for Promoting Carbon Dioxide Capture and Storage in China Under Low-carbon Economy Perspective

LIU Huan-cheng

(Yunnan University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Development of low-carbon economy has become a consensus of the international community. Famous for its long term profit and low cost, carbon dioxide capture and storage as well as Integrated Gasification Combined Cycle would be one of the most significant technical measures that china will take to reduce its carbon emissions. However, China is still deficient in implementing necessary policies and regulations to promote these new technologies. Therefore, relevant enterprises and authorities in China should possess a global vision on the new trend in carbon emissions technologies. Low-carbon economy in China could not be promoted unless more efforts are made by the government and research institutes.

**Key words:** low-carbon economy; carbon dioxide capture and storage; coal consumption; carbon emissions