

商业视角下碳捕集与封存技术的研究

吴 辉

(合肥工业大学 人文经济学院, 合肥 230009)

摘 要: 二氧化碳捕集与封存 (CCS) 技术可以减少CO₂排放, 而成本是CCS商业化的主要障碍。从CCS完全价值链的角度分析了CCS成本的构成, 长期、稳定的融资机制是CCS项目实施的主要资金来源, 不同的融资机制方式可以加速CCS商业化的进程。相关的利益相关者更关注的是CCS的安全性, 完善的风险管理体系可以把风险控制在最低水平。一些国际组织和国家政府都制定了相应的研发规划, 并积极地开展了CCS技术的理论、实验、示范及其应用研究。

关键词: 二氧化碳捕集与封存 (CCS); 商业化; 碳交易市场; 风险管理; 政策机制

中图分类号: F72; TQ116 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2011.03.007

一、引言

气候变化作为一个全球环境问题, 严重影响了人类的生存与发展, 已经引起世界各国政府和人民的广泛关注。全球气候变暖是当前气候变化的主要特征, 而大气中的CO₂等温室气体的浓度, 是导致全球变暖的主要原因。CO₂浓度的大幅度升高主要源自人类生产和生活过程中燃烧化石燃料。在不影响人类能源供给安全的情况下, 减少CO₂排放, 是人类共同努力的目标。二氧化碳捕集与封存(carbon dioxide capture and storage, 缩写CCS)技术对减少大气中的CO₂排放具有潜在的贡献力, 因此有助于缓和气候变化^[1]; 同时允许继续使用化石燃料^[2], 满足人类日益增长的能源需求。

一些学者已经从不同的角度研究了CCS技术, 是CCS技术进展的主要理论依据。但很少有学者从完全CCS价值链的角度, 研究其技术性能、经济效益和社会效益。本文试图从完全价值链的角度来研究CCS的技术性能、经济效益和社会效益, 将CCS的研究纳入到一个整体框架之中, 为未来的CCS大规模商业化提供一定的理论依据。

二、商业化视角下的 CCS

(一) CCS 完全价值链的内涵及其机理

CCS 完全价值链是指从CO₂排放源捕集CO₂ (包括提纯和加压过程), 通过运输方式运输到储存地点并进行储存, 以及封闭后相关活动的过程, 在整个过程中运营费用是主要支出, 也可以通过出售CO₂用于提高石油采收率, 获得收益。CCS 完全价值链的经济效益表现为成本最小化, 性能最优化。Sven Bode 和 Martina Jung(2005)认为 CCS 完全价值链的成本构成为^[3]:

$$C_{CCS} = C_{\text{捕集}} + C_{\text{运输}} + C_{\text{储存}} + C_{\text{监测}}$$

煤炭或天然气发电厂捕集CO₂的成本为15~75/吨CO₂, 运输成本为1~8美元/吨CO₂ (取决于运输距离和CO₂流量), 注入成本为0.5~8美元/吨CO₂, 监测成本为通常少于1美元/吨CO₂^[4]。

新技术在实现商业化之前, 所需要的成本高于采用现有技术的成本。成本的降低是实现商业化的关键。如果CCS的成本降低了, CCS的经济效益、社会效益、技术性能, 及其全生命周期成本的优势和经济上的正外部性, 都将得以体现。高成本制约了CCS商业化的要求, 但目前已经有示范项目把CO₂

作者简介: 吴辉 (1977-), 男, 合肥工业大学人文经济学院 硕士研究生; 研究方向: 技术创新, 技术管理。

收稿日期: 2011年2月14日

捕集、运输、存储作为完整的价值链来运营了。技术的有效性在示范项目中已经得到了证明,更大规模的示范项目或商业化的示范项目可以利用得到的宝贵经验和数据来运营。将来的商业化项目都是完整价值链的项目,一方面显示了技术的可行性,另一方面证明 CCS 商业化运营的经济效益。目前的领先项目或示范项目得到了政策激励和资金支持,没有很强的市场竞争力。同其他非 CO₂(低碳技术)提供能源的技术相比,不能与这些技术形成有力竞争。进一步的研究与发展,必须加快步伐;技术学习,R&D 投入有待加强。CCS 技术的有效性、经济效益、社会效益,有望通过更多的领先项目或示范项目来检测和证实。

采用 CCS 技术或重新改造电厂再采用 CCS 技术捕集 CO₂, 捕集是 CCS 开发和运营中最昂贵的部分^[7],需要很多额外的成本。采用 CCS 技术的煤炭火力发电厂,其能效损耗大约为 8.5%,天然气发电厂的能效损耗大约为 8%(Gbbins and Chalmers, 2008; IEA GTGP, 2006)。所以发电厂在发电时,往往考虑的是其投资成本和运营成本,技术因素被列为次要地位。如果 CCS 被看做是引起消费者电费上涨的原因,那么可以预测 CCS 肯定会有许多不足之处^[8]。发电厂为了保持自己在市场中的竞争地位(同风力发电、太阳能发电、水力发电等的竞争),非特殊情况下,不会考虑 CCS 技术,CCS 技术的市场竞争力无形中又被降低了。

CO₂ 运输的首要经济效益是其成本问题。从捕

集(加压)、运输到储存的总成本并不乐观,事实上运输距离最小化、注入容量最大化是能够解决成本效应的^[7]。当前的天然气管道运输的运营模式:从投资到管道运营与维护,为解决 CO₂ 运输提供了参考。天然气运输管道网建设已成规模,运营能够实现利润最大化。如果天然气流量非常大且稳定,管道网的经济效益就高,所以其成本主要依赖于流量和稳定性。因此,管道运输的可持续经济效益比其他运输方式(铁路或公路)要高的多。CO₂ 运输的基础设施建设是个长远策略,管道网建设是最有成本效益的选择(国际的和国内的管道网建设),包括主要干线建设以及和主要干线相连的支网建设。未来新建的火力发电厂,在采用 CCS 技术的情况下,不仅要考虑到 CO₂ 运输,即 CO₂ 通过管道网运输的经济效益,实现管道网运输的利润最大化;同时还要考虑到煤炭资源的供给与运输远近(减少资源成本和运输成本),水资源的供给,电力上网的便捷性和向供热单位供热的可持续性。这些都可以降低 CCS 全生命周期成本。

储存地点的选择即最具经济效益的储存方式利用 CO₂ 提高石油采收率,以及枯竭的油气田。美国在利用 CO₂ 提高石油采收率(CO₂-EOR)方面取得了很大的进展,并带来了一定的经济效益。2008 年 1 月,美国国家能源技术实验室,发表了一份题为《储存 CO₂ 提高石油采收率》的报告^[9]。报告中指出,发电厂通过出售捕集到的 CO₂,用于提高石油采收率,能够获得巨大额外收入,也能够支付发电厂

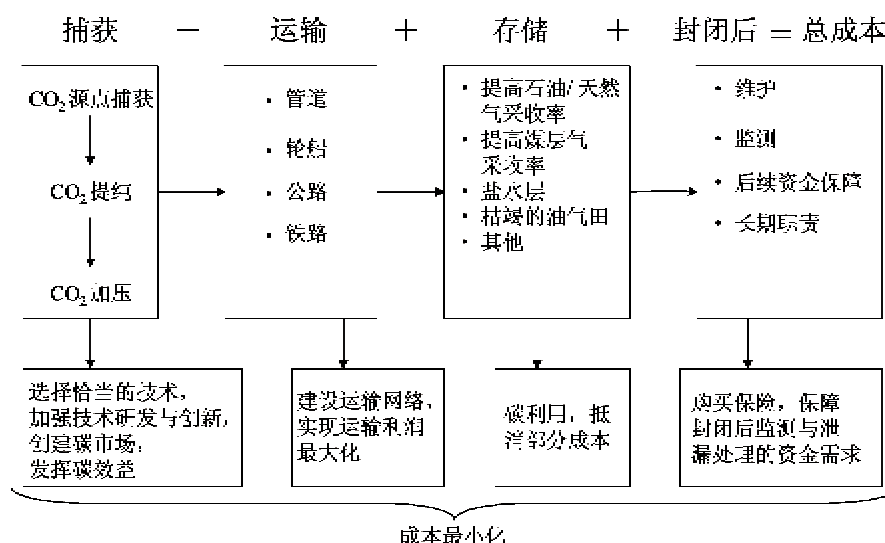


图 1 CCS 完全价值链的成本构成

采用 CCS 技术带来的成本;CO₂—EOR 可以克服储存上的困难,为 CO₂ 提供了储存地点;CO₂—EOR 可以增加 390 亿—480 亿桶石油;利用现有的 CO₂—EOR 管道运输 CO₂,也可以为盐水层储存 CO₂ 提供运输方式。

从表 1 中可以看出:出售 CO₂ 用于 CO₂—EOR 市场能够改变竞争状况,最终反应在电力价格上,可以抵消采用 CCS 带来的部分成本,使 CCS 在未来更具有市场竞争力。

(二)短期计划:示范阶段

示范阶段的关键要素是融资和非技术问题(运输、储存、法律法规、职责等)。首先要对关键要素进行认真详细的识别,分析关键要素的基本特征和成因,制定出具体对策和措施。根据具体情况,对示范项目提出具体要求和规定。有些关键问题可以通过示范来解决(“干中学”、R&D),最终实现 CCS 的完全商业化。通过示范项目的运营,可以详细了解 CCS 的融资方式、建设性能、成本要素,包括通过 R&D、技术学习等手段来降低成本、减少运营风险等;为运输与储存(非技术问题)提供管理策略。捕集技术创新与研发,储存地点的选择、勘探和类型,示范技术的性能,特别是整个完全价值链的示范项目需要许多种技术的融合,这些都给示范项目带来了巨大的挑战。

确定什么需要测试和验证,在什么规模上进行测试和验证,是示范阶段的主要任务之一。首先要检测出示范项目整个 CCS 价值链的经济效益,特别是 CCS 可持续的经济效益。不同的示范项目采用不同的技术,目的是要监测出不同的技术所具有的不同性能。保证每个示范项目的规模不一样,由于规

模不一样,得到的资料和数据会更加全面,更进一步检测出整个 CCS 价值链的技术性能、经济效益和社会效益。示范项目的资金除政府支持外,可以借助其他经济手段或市场途径来解决。创建完善的 CO₂ 市场,充分发挥碳市场的优势,利用碳价格的市场效益,来支持示范项目的运营。碳的市场效益主要依赖于碳价格,如果碳价格太低,就不可能抵消示范项目的成本(捕集、运输、埋存、封闭后)。假设 2005 年 CO₂ 的价格为 10 欧元/吨 CO₂,2010 年为 20 欧元/吨 CO₂,2015 年为 30 欧元/吨 CO₂,2020 年为 40 欧元/吨 CO₂,2025—2050 年为 50 欧元/吨 CO₂,这是个持续增长的过程。当价格为 50 欧元/吨 CO₂,CCS 在新电厂中的应用就具有经济效应了^[9]。

示范项目中积累的知识、信息资源、经验等,要通过恰当的方式转移给其他国家,特别是发展中国家。知识共享有助于加快技术发展和降低成本。未来的投资决策取决于示范工程的经验,利用这些经验能够提高未来项目的设计和运营能力,从而构建了更优的竞争优势。

知识共享的内容主要有:(1)示范项目运营过程中的任何相关问题的及时信息披露;(2)互惠原则的相关知识;(3)项目运营中的相关数据的及时报告;(4)融资机制的方式和渠道;(5)风险管理的经验。另外要积极开展国家之间的合作,欧盟委员会认为刺激 CCS 示范活动,是其成员国和他们的产业合作者之间的职责^[10]。合作可以加速技术开发进程,技术转让、能力建设以及示范、研发项目的合作等方式能获取更多的设备和经验,同时也能获得更多的资金支持,减少资金风险;技术的快速推广,也有助于降低技术成本。

表 1 不同技术情景下的电力价格

不采用 CCS/采用 CCS 的电力价格 (美元/MWh)	2012	2020	2030
粉煤	56.60 *	59.70	59.10
先进煤	65.70	62.00	59.30
先进煤/采用 CCS	86.30	80.80	
采用 CCS 和出售 CO ₂ 的电力价格 (美元/MWh)			
先进煤/采用 CCS (35 美元/吨 CO ₂)	59.60	57.30 *	52.00 *
先进煤/采用 CCS (25 美元/吨 CO ₂)		64.00	58.70

* 优先选择的价格

数据来源:美国国家能源实验室

CO₂ 捕集的成本很大程度上由 CO₂ 捕集和增压造成的能源效率损耗决定的。需要验证 3 种不同捕集技术的性能与商业价值—燃烧前捕集, 燃烧后捕集, 富氧燃烧捕集。大量的捕集技术已经在美国、加拿大、欧洲进入不同的研发和应用阶段, 但这些技术主要针对的燃煤和燃气发电厂。所以还要把这些技术推广应用到不同的行业中, 比如钢铁企业, 水泥厂, 化工企业等。

根据对 CO₂ 运输的可行性研究, 管道运输是最好、最安全的运输方式^[1]。在示范阶段不仅要进一步检测管道运输的经济效益, 还要检测管道运输对环境的影响。重点是跨国界的管道网建设, 要加强与其他国家的合作, 寻求资金支持, 为未来的 CO₂ 跨国运输提供主要的运输方式, 以便能够充分发挥管道网的经济效益。同时要对管道网的所有权问题作出具体确定, 尽量减少合作中的产权纠纷。

CO₂ 在运输和存储过程中会腐蚀金属材料, 要求使用的材料具有抗腐蚀性, 而目前的抗腐蚀材料价格很昂贵。同时在整个 CCS 价值链中材料的价格也会影响项目的成本降低, 所以要确保材料价格的稳定, 供给渠道要畅通, 建立完善的供给机制。CO₂ 在注入地下过程中极易与岩石发生化学反应, 形成水垢, 堵塞通道, 降低存储效率。所以要加强防腐除垢技术的研发与创新。

海洋封存与地质封存在示范项目中要同时进行。地质封存要进一步验证以下几方面的可行性:

- CO₂ 长期在地下储存: 高度持久性
- 利用 CO₂ 提高采油率、天然气采收率、煤层气的采收率以及把 CO₂ 出卖给软饮料加工企业, 验证经济上的可行性
- 通过参考和利用天然气的成熟理论、技术与设备, 进一步研究 CO₂ 储存的各项性能和指标
- CO₂ 注入地下后是否会发生泄露, 泄露是否影响地下水或地表的环境

海洋封存在运输方式上的成本效益的检测(轮船运输与管道运输的可比性), 以及监测对海洋环境的负面影响—CO₂ 与水反应生成碳酸, 使海水酸化, 造成环境污染; 海洋生物对海水中增加的 CO₂ 会不会产生不良反应, 是否会影响其生存。

在选择储存地点时, 不仅要考虑储存容量、持久性, 还要考虑到未来储存地点的共享问题, 即将

来的 CO₂ 通过管道网跨国运输到储存地点进行储存, 可以充分发挥管道网的运输能力, 也可以减少总成本。

在示范阶段还要对其他要素进行检测和验证: (1) 法律法规: 对现有的法律法规进行必要的修改, 为 CCS 示范提供良好的政策环境; (2) 长期职责: 储存地点封闭后, 要进行长期监测, 一旦发生泄露, 采取必要的补救措施; (3) 不同的群体参与项目的影响效果的评估, 包括: 技术研发人员、设备供应商、科学家、地质学家、环境保护组织、石油公司、投资公司等; (4) 整个 CCS 项目对环境影响的评估。

(三) 长期计划: 商业化阶段

捕集过程中的成本降低将会受到三个方面的挑战: 减少能源效率损失, 促进技术向发展中国家转移, 提升 CCS 应用地位。不能单纯地把 CCS 用于电力行业, 为了有利于 CCS 大规模商业化的推广, CCS 应该推广到所有有 CO₂ 排放的行业中, 特别是水泥生产厂和化工行业。由于低效率的电厂采用 CO₂ 捕集技术在经济上不具有可行性, 发电效率的高低, 决定着采用 CCS 时单位电力成本的高低。最具有经济可行性的做法是, 提高发电效率, 并对旧的燃煤电厂进行改造, 用技术手段来弥补由于 CO₂ 捕集导致的能源效率的降低。在未来, 分散化发电在能源供给中会占据一定地位, 所有分散化的化石燃料发电厂也要采用 CCS。技术应该在所有 CO₂ 排放部门之间均衡发展。成本也可以通过产业的大规模集群来降低。

CO₂ 运输规划在短期和长期计划中都要有详细阐述。技术的不确定性在短期项目中已经得到解决, CO₂ 在整个运输网中进行运输。从长远来看, 管道网并不存在技术障碍, 变革依赖于商业化进展的商业模式、管道设计、运输基础设施的获得与管理。CO₂ 运输网的管理可以借鉴其他管道网运输的经验, 比如: 天然气运输、美国 CO₂ 运输和国家电力输送网, 法律法规问题相对较容易解决, 需要加强的是长期远距离的管道网运输管理。大规模的 CO₂ 跨国界运输, 已经具有明显的经济效益。

CO₂ 的长期储存将受到以下几个方面的挑战: 储存地点的选择、储存容量的大小、泄露、监测、长期职责的承担、封闭后的资金保障等。政府主要致力于储存前的基础建设, 包括地质勘探, 向储存运

营商提供数据资料,并评估储存地点的安全性、环境影响和人类健康。同时,政府还要对储存地点进行深入系统地分析与研究,从整体上考虑储存的经济可行性,对具有可行性的储存地点给予许可。封闭后监测应交给公共部门来实施,让公共部门承担更多职责。

三、CCS 的融资机制

示范阶段公益性大于营利性,短期内 CCS 实施需要大量资金支持,目前还没有一种有效的融资机制能够提供长期的、稳定的资金来源。2007 年 3 月,欧盟证实了到 2015 年将有达到 12 个 CCS 示范项目,以确保 CCS 到 2020 年具有商业价值。在资金需求方面,除了发电厂的基本费用(100 亿欧元~120 亿欧元)外,实施 CCS,还存在 70 亿~120 亿英镑的资金缺口^[12]。CCS 是尚处在发展阶段中,具有很强的不确定性;也缺乏有效的政策驱动,来促使私人投资 CCS 领域。目前,有多种机制可以加速 CCS 商业化进程,包括 CDM、公私合营、排放权交易体系(cap-and-trade)中的奖励配额的相关额外碳收益、通过制定排放标准等机制来强制推行 CCS 技术、针对 CO₂ 储存的减税或返税,以及提高燃料或电价为 CCS 筹集额外资金等。完善的融资机制,为 CCS 商业化提供长期稳定且充足的资金支持。

(一) CDM(清洁发展机制)

然而是否把 CCS 纳入到 CDM 中已经引起社会各界和政治界的广泛关注。随着更多发展中国家签订了 CDM,CDM 将成为发展中国家 CO₂ 减排的主要动力。如果不把 CDM 作为潜在的激励机制,或不改变当前的技术转移的方式,CCS 在发展中国家只会偶尔出现在相关部门里。欧盟已经开始注意到把 CCS 纳入到 CDM 中去。目前主要的焦点是,发达国家出于自己的利益反对把 CCS 纳入到 CDM 中,而发展中国家在实施 CCS 时资金缺口很大,所以急需资金支持,应该把 CDM 看做实施 CCS 的主要资金来源。

(二) 碳交易市场

在 CCS 技术能够商业化并成熟的情况下,一方面政府采用传统的财税政策促进 CCS 等低碳技术的开发和应用,另一方面加快利用市场机制引导私人资本投资 CCS 行业,其中主要的方式为碳交易。

通过碳交易的方式能够有效地抑制高碳排放企业自觉地减少碳排放量,刺激企业积极性、主动地节能减排、采用像 CCS 这样的低碳技术。

目前,欧美国家基本上形成了碳资本和碳金融体系,在制度体系(立法)、政策体系、交易体系的建立、市场扩张、优势竞争的过程和程序上取得一定的实质性进展。CCS 在欧盟最重要的日子是 2008 年 1 月 23 日,这天欧盟颁布了一项提案,创造了一个有利的法律框架,鼓励在欧盟实施 CCS(CCS 指令)。与此同时,欧盟发布了一项提议:修改欧盟排放交易体系(从 2013 年起实施,即欧盟排放交易体系的第 3 阶段)(排放交易体系指令:EST Directive)。新的排放交易体系指令的目标是,到 2012 年后,加强、扩大、提升欧盟排放交易体系的功能,作为成功实现欧盟减少 CO₂ 排放目标的最主要、最有成本效应的工具^[13]。这个指令包括 CCS 的实施。欧盟对 CCS 补贴政策大致可以分为两类:降低碳捕集和封存设施和运营成本的政策(欧盟国家补贴指南),以及为参与碳捕集和封存提供附加价值的政策(环境税减免,单项投资补贴)。前者在技术成熟的初期阶段更为有效,后者在技术实现商用之后更为合适,二者互为补充。

(三) 多方参与机制

欧洲的融资机制如欧洲投资银行,欧洲建设与发展银行,欧洲投资资金,在 CCS 相关活动中起着重要的融资作用,并提供风险共同承担机制。

欧洲投资银行是由欧洲委员会和银行共同参与运营,建立对研究、发展、创新进行投资的风险共同承担融资机制。那些风险较高的投资,银行贷款风险由银行与欧洲委员会共同承担。基础研究、应用或行业研究、试验或前期竞争开发、领先项目和示范项目,都可以享有这种贷款。设备的投资,R&D 费用,参与人员的工资,或者其他类型的成本,都可以得到资助。由于欧洲投资银行的标准是官方的,相关的长期资助方式,风险共同承担机制的参与方也可以获得其他形式的资金资助,比如:商业银行的贷款,通常是那些新技术发展受阻时所需要的贷款。欧洲投资银行还为那些在新能源和环境技术方面的创新项目提供资金支持。欧洲投资银行和其他公共资金机构在不久的将来会为改善全球气候变化提供资金支持。

在美国专门创建一个 CCS 信托资金,用于支付美国在未来 10-30 年内实施 CCS 示范项目所带来的费用。在 10-15 年里,这些费用估计为 100 亿~300 亿美元。

世界银行气候投资基金、清洁技术基金、全球环境信托基金,都依赖于捐助国的承诺,利用这些基金支持发展中国家减缓气候变化的行动。同时,大量的双边基金也将成为上述资金来源的重要补充。

(四)封闭后融资机制

CCS 项目的成本应该包括封闭后的成本,这些成本主要有 CCS 工厂的退役、储存地点的复原、对存储地点的监测和由于 CO₂ 泄漏而引起的责任所需费用(对泄漏的补救所需费用、环境破坏的补偿、人员造成伤害的补偿等)。关于存储地点的还原与退役,可以参照矿业和石油生产的资金解决方式,一般在项目计划中有预算支出或银行贷款中对成本的估算。这种机制值得 CCS 项目考虑。对存储地点监测的费用可以采用同样的方式,但这种监测的期限比退役和还原的期限长的多。长期监测的任务由公共部门(比如环保部门)来进行,费用作为政府财政支出。

泄漏发生的情况非常复杂,也是一项长期责任问题和风险防范问题。当运营商还继续存在时,责任和风险防范都在法律约束下由运营商承担。可是,这种责任的期限很长或风险发生的意外性,当泄漏发生时,运营商或许已经不存在了。有三种方案可以解决处理泄漏的费用:第一,项目预算的预留资金;第二,政府支付;第三,购买泄漏发生的意外保险。另外需要制定相关法律法规或对现存的法律法规进行修改,制定相关标准,确保封闭后的成本需求。

四、泄漏的风险管理

CCS 是温室气体排放中扮演着重要的角色。然而,这取决于公众和政策制定者的承诺,需要说明局部风险,或其它与 CO₂ 长期储存有关的管理^[4]。CCS 示范项目在实施过程中会遇到一定的风险和不确定性因素,这些会影响到 CCS 实施的安全性、商业化的可行性、法律法规的完善性、公众对 CCS 的接受程度。利益相关者接受 CCS 项目部分原因是 CCS 能够减少温室气体的排放,但对 CCS 运营过程

中是否存在长期风险影响到社区的安全存有疑虑。CCS 项目的支持者认为,实施尚在发展中的 CCS 技术存在很大风险,必要的风险管理不可少。选择适当的存储地点,有可能尽量减少泄漏的发生,但完全不泄漏是不可能的。泄漏会造成一定的环境污染,甚至对人类健康的产生威胁,然而通过相关的补救措施,可以把污染控制在最低水平。

CCS 项目可以采用公开招标的形式,由于公开招标具有竞争性,能够激励参与方许下关键性的承诺,包括风险的承担或共同承担。

泄露的风险与监测、污染的控制等作为整个项目管理的一部分,把泄露严格控制在最低水平,并证明其有效性。严格的、透明的风险管理需要提前实施,明确 CCS 相关泄漏风险要素,评价要素的重要性及其影响力。

在 CCS 项目实施过程中,风险管理的主要内容有:

- 监测活动的对象与模式,作为 CO₂ 泄露的早期预警系统;
- 评估风险的程度:短期泄漏,长期泄漏;
- 泄漏信息的及时披露,增加透明度;
- 及时采取补救措施;
- 泄漏补救结果的及时公布,减少公众的心理压力,增强公众的信心;
- 保护人类的安全和健康;
- 保护生态系统;
- 提高办事效率,减少费用支出;
- 参照石油、天然气的风险管理,结合 CCS 项目的自身特征,选择和采用适当的技术手段,把伤害控制在最低水平。

五、国内外 CCS 技术发展现状及其政策机制

(一)主要发达国家 CCS 技术发展现状及其政策机制

欧盟在开展 CCS 的技术研发和规划工作方面比较积极。2009 年 10 月,欧盟发布了战略能源技术计划(SET-Plan)的技术路线图及低碳技术开发的计划。该计划明确提出加强 CCS 技术的商业化培育,在 2020 年或稍后的时间内,促使 CCS 技术成为燃煤发电厂和其他碳密集部门具有成本竞争力

的部署^[15]。

澳大利亚联邦政府对于 CCS 支持力度在不断增强,主要包括:19 亿美元的 CCS 旗舰计划、3.85 亿美元的国家低污染排放煤炭行动、成立澳大利亚国家低污染排放煤炭 R&D 组织、研究 CO₂ 的地质储存、为全球碳捕集和封存研究院(GCCSI)提供超过 3 亿美元的资金。同时成立国家 CCS 委员会,致力于和促进 CCS 发展。另外有关 CCS 的规范框架正在逐步形成。澳大利亚的资源与能源部于 2009 年 3 月宣布了 10 个近海地区作为存储温室气体的场所,这 10 个地区的管理将在澳大利亚《近海石油与温室气体储存法案(2006)》(Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act)框架下进行^[16]。

2009 年 2 月在全球经济危机的背景下,奥巴马总统签署的美国历史性经济刺激法案《2009 美国复苏和再投资法案》中包含了美国历史上最大的清洁能源投资。其中有 34 亿美元用于碳捕获和储存技术研发与应用。2009 年 6 月,众议院通过了美国第一部控制温室气体排放的法案《美国清洁能源与安全法案》(American Clean Energy and Security Act),其中包括对碳捕捉和封存技术的投资(600 亿美元);同时还规定,将分派给各公司温室气体减排补助的 26%专门用于资助 CCS 等公共项目。2009 年 9 月,美国国会发布了《清洁能源就业与电力法案 2009》(Clean Energy Jobs and American Power Act of 2009),从立法的角度就建立地质储存规范、监测和报告、示范与补贴等提出了明确要求^[17]。

(二) CCS 国际性组织机构及其发展规划

国际能源署(IEA)是一个旨在实施国家能源计划的自治机构,于 1974 年 11 月在经济合作与发展组织(OECD)的框架下成立的。2008 年 6 月日本青森县举行的八国集团峰会中能源部长级会议达成一致的共识:请求 IEA 制定路线图来推动能源技术的创新,通过制定路线图以指导包括 CCS 和其他先进能源技术在内的新技术的研发及合作。

2003 年,美国发起成立了碳封存领导人论坛(CSLF)。CSLF 是一个部长级的应对国际气候变化的行动,主要致力于先进的、具有成本效益的 CO₂ 捕集与封存、运输及长期安全存储技术的研究。CSLF 的宗旨在于促进 CCS 科技研发和 CCS 项目部署方面的协同发展,处理 CCS 关键技术、经济和环

境方面的发展障碍。CSLF 还致力于 CCS 发展上的法律、监管、财务和制度环境方面的建设与完善^[18]。

2008 年 9 月,澳大利亚政府宣布,全球碳捕集和封存研究院(GCCSI)于 2009 年 4 月正式成立。全球碳捕集和封存研究院(GCCSI)的成立是一项大胆的新举措,目的在于促进 CCS 在全球范围内大规模的商业化活动,以及 CCS 技术和知识在全球范围内推广与共享。

(三)中国 CCS 技术发展现状及其政策机制

中国是《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》的成员,已经将 CCS 视为未来减少 GHG 排放量的潜在选择,并且加强了对 CCS 技术研究、开发、引进、推广、应用的支持,初步构建了我国当前 CCS 技术发展的政策体系。2005 年 12 月和 2006 年 2 月,科学技术部签署了 CCS 备忘录,标志着政府研究计划的正式启动。中国还将 CCS 作为领先技术纳入“863 计划”、“973 计划”和《国家中长期科学和技术发展规划(2006-2020)》中,鼓励 CCS 技术的研发、探索工作。

在高校和科研院所层面上,也在积极开展 CCS 项目的研发。西安热工研究院有限公司在电厂烟气 CO₂ 捕集与处理、脱硫脱硝、电厂化学药剂等开发等方面的研究处于国内领先地位。近年来在国家重大科技项目和中国华能集团的支持下,积极参与国际合作,西安热工研究院成功开发了“燃煤电厂燃烧后 CO₂ 捕集技术”,并建成国内第一台工业级的燃煤电厂烟气二氧化碳捕集装置,在 CO₂ 捕集系统设计与优化、吸收剂开发、设备防腐等方面开发取得了许多国家级的研究成果。我国企业也在积极探索 CCS 技术的研发与应用方面的活动,全球最大的燃煤电厂碳捕获项目——华能石洞口第二电厂碳捕获项目,于 2009 年 7 月份在上海开工,建成后预计年捕获二氧化碳 10 万吨。2010 年 6 月 1 日,我国第一个二氧化碳捕集、封存(CCS)工业化示范项目在位于内蒙古鄂尔多斯的神华集团煤直接液化项目现场开工。2004 年,华能集团开始倡导并组织实施“绿色煤电”计划,与有关科研单位开始了“绿色煤电”的系统设计集成、煤气化、煤气净化、制氢和二氧化碳分离、燃料电池、富氢气体燃烧和二氧化碳封存 7 个技术专题的研究工作。计划拟分三个阶段实施,用 10 年左右的时间最终建成“绿色煤电”示

范电站。

当前,CCS 技术国际合作呈现出蓬勃发展势头,我国已经参与到多项国际 CCS 合作项目。中欧碳捕集与封存合作项目(COACH)于 2006 年 11 月正式启动,主要研究内容是以化石能源为主能源系统的 CO₂ 减排技术与系统集成。2007 年 11 月 20 日,中国科技部与英国政府在北京正式启动中英煤炭利用近零排放项目(Near Zero Emissions Coal Initiative, NZEC)旨在应对中国日益增加的燃煤能源生产和二氧化碳(CO₂)排放。由澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)、中国华能集团公司以及西安热工研究院(TPRI)联合建设的电厂项目,该项目是对华能北京热电厂进行碳捕集改造,设计 CO₂ 回收率大于 85%,年回收 CO₂ 能力为 3000 吨。

目前,我国 CCS 技术整体上处于起步阶段,与主要发达国家相比还有一定的差距。因此,在依托我国自身的科技发展水平和积极加强同国际的合作的同时,鼓励科研单位以及企业自主研发、试验和示范工作,逐步建立适合我国国情的 CCS 技术发展路线、政策框架和标准体系。■

参考文献:

- [1] Jennie C. Stephens, Jeffrey Bielicki, Gabriel M. Rand. Learning about carbon capture and storage: change stakeholder perception with expert information [J].Energy Procedia,2009,1:4655-4663.
- [2] J.Ivan Scrase,Jim Watson.Strategies for the deployment of CCS technologies in the UK:a critical review [J].Energy Procedia,2009,1:4535-4542.
- [3] Seven Bode, Martina Jung. Carbon dioxide capture and storage (CCS)-liability non-permanence under the UNFCCC [R].Hamburg,Germany :HWWA Discussion Paper 325,2005.
- [4] Cédric Philibert (IEA), Jane Ellis (OECD), and Jacek Podkanski (IEA).Carbon capture and storage in the CDM[R]. Paris, France: International Energy Agency (IEA),2007.
- [5] Stephens ,Scott Jiusto ,Jennie C...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 ,38:2020 - 2031.
- [6] Simon Shackley et al. The acceptability of CO₂ capture and storage (CCS) in Uurope:An assessment of the key determining factors [J].International Journal of Greenhouse Gas Control,2009,3:344-356.
- [7] Ton Wildenborg et al. Scenario for large -scale implementation of CCS in Europe[J].Energy Procedia,2009,1: 4265-4272.
- [8] National Energy Technology Laboratory. Storing CO₂ with oil recovery[R].the United States,2008.
- [9] Katja Schumacher,Ronald Sands. Greenhouse gas mitigation in a carbon constrained world—the role of CCS in Germany [J].Energy Procedia,2009,1:3755-3762.
- [10] Ad Seebregts and Heleen Groenberg. How may CCS technology affect the electricity market in North-Western Europe?[J].Energy Procedia,2009,1:4184-4191.
- [11] Werner Renzenbrinka .RWE's 450 MW IGCC/CCS Project -Status and Outlook [J].Energy Procedia,2009,1:615 - 622.
- [12] Gardiner Hill.Implementing CCS in Europe: ZEP's vision of zero emissions power by 2020 [J].Energy Procedia, 2009,1:2857-2861.
- [13] Tim Dixon et al.Trials and tribulations of getting CCS in and ETS.Principles for CCS in an ETS from UK work for the EU ETS.Energy[J].Procedia,2009,1:4443-4450.
- [14] Karin Ritter et al. Harmonizing the quantification of CCS GHG emission reductions through oil and natural gas industry project guidelines [J].Energy Procedia,2009,1: 4451-4458.
- [15] Nadine Heitmann, Christine Bertram, Daiju Narita. Embedding CCS infrastructure into the European electricity system:A policy coordination problem [EB/OL]. Kiel working Papers NO.1657,2010,11.
- [16] National CCS Week [EB/OL]. <http://minister2.ret.gov.au/Media Centre/Speeches/Pages/NationalCCSWeek.aspx>.
- [17] Melisa Pollak. Financial Mechanisms to Support Long - Term Liability for CCS:A U.S. Perspective [R]. IEA Regulators Network Webinar,2010,6.
- [18] OECD/IEA. Carbon Capture and Storage: Progress and Next Steps [R]. IEA/CSLF Report to the Muskoka 2010 G8 Summit,2010.

Business Perspective: Carbon Capture and Storage Technology

WU Hui

(School of Humanities and Economics, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract: Carbon Capture and Storage (CCS) technology can reduce CO₂ emissions, but cost is the main problem. Demonstration stage can provide commercial stage with more experience and reduce costs. Long term and stable financing mechanism is the main source of CCS, and different financing mechanisms can accelerate the process of commercialization of CCS. Some international organizations and governments made plans, and carried out research of CCS theory, experiment, demonstration and application.

Key words: Carbon Capture and Storage (CCS); Commercialization; Carbon trading market; Risk management; Policy mechanism