

## 碳减排技术

[编者按]在中国生态环境保护任务日益艰巨,尤其是大气污染防治成为重大民生关切的今天,关注碳排放,有利于节约燃煤、控制煤炭消费总量,有助于减少污染物排放、防治大气污染。碳减排既是当务之急,更是长远战略。《能源发展“十二五”规划》提出,要降低经济发展中的能源强度和碳排放强度。因此应加强对节能、提高能效、洁净煤、碳捕集利用与封存等低碳和零碳技术的研发和产业化投入,通过科技创新和管理创新来满足国家能耗排放做“减法”、经济发展做“加法”的新型发展道路。特别是碳捕集和封存(CCS)技术的广泛应用,有望缓解煤炭持续消耗与节能减排之间的矛盾,实现能量梯级利用,达到减少污染物排放、防治大气污染的目的。为报道产学研单位在有关碳减排方面的研究成果及应用,促进学术交流与科研成果转化,本刊组织了《碳减排技术》专题,对 CO<sub>2</sub> 捕集技术及应用、煤化工产业与 CO<sub>2</sub> 地质封存、油田燃煤电厂 CO<sub>2</sub> 捕集、煤层气开发利用等进行了介绍,以期提高行业节能减排意识,加快低碳能源的开发与利用。

# 煤化工产业与二氧化碳地质封存

曾荣树<sup>1</sup>,石晓闪<sup>1,2</sup>,肖建新<sup>3</sup>,田兴有<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029; 2. 中国科学院大学,北京 100049; 3. 中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083)

**摘要:** CO<sub>2</sub> 在地下深部封存可有效减少燃烧化石燃料产生的温室气体向大气层的排放。然而,现在碳捕集成本高、能耗大,在 CO<sub>2</sub> 捕集与封存(CCS)链条中碳捕集成本占 60%,成为实施 CCS 的瓶颈。煤化工排放高浓度 CO<sub>2</sub> 可能为中国实现全链条的 CCS 提供早期的机会。目前经过国家发改委批准的煤化工企业排放的高浓度 CO<sub>2</sub> 总量已达亿吨规模,如果这些企业能够实现 CO<sub>2</sub> 封存,对于中国减少温室气体排放将具有重要意义。中国的沉积盆地拥有适合 CO<sub>2</sub> 地质封存的储盖层组合,其中有些油田适合利用 CO<sub>2</sub> 驱油来提高石油采收率(EOR),高浓度 CO<sub>2</sub> 排放源靠近封存场地将有效减少运输成本和工程操作的复杂性。高浓度 CO<sub>2</sub> 气源与 EOR 或深部咸水层封存的耦合将给中国提供在全球率先实现碳捕集、利用与封存(CCUS)的机会。

**关键词:** 碳捕集与封存; 煤制气; 煤制油; 煤制烯烃; 沉积盆地

中图分类号: X141 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)05-0001-05

## Coal chemical industry and geological storage of carbon dioxide in China

ZENG Rongshu<sup>1</sup>, SHI Xiaoshan<sup>1,2</sup>, XIAO Jianxin<sup>3</sup>, TIAN Xingyou<sup>1</sup>

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (IGGCAS), Beijing 100029, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Energy, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Deep geological storage of CO<sub>2</sub> can provide an essential solution to mitigate greenhouse gas emissions from the continuous use of fossil fuels. However, the cost and energy consumption of CO<sub>2</sub> capture is high at present. About 60% of carbon capture and storage (CCS) cost is for the carbon capture which causes a bottleneck in advancement of CCS in China. High levels of CO<sub>2</sub> from coal chemical plants provides sufficient CO<sub>2</sub> for full-chain CCS implementation. The total amount of high concentration CO<sub>2</sub> that will be emitted (or is being emitted) by the coal chemical factories approved by the National Development and Reform Commission is up to hundred million tones per year.

收稿日期: 2014-05-12; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.05.001

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2011CB707300); 中国科学院地质与地球物理研究所自主创新研究课题(31361170)

作者简介: 曾荣树(1946—),男,福建晋江人,研究员,博士,从事 CO<sub>2</sub> 地质封存研究。E-mail: rszen@mail.iggcas.ac.cn

引用格式: 曾荣树,石晓闪,肖建新,等. 煤化工产业与二氧化碳地质封存[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 1-5.

ZENG Rongshu, SHI Xiaoshan, XIAO Jianxin, et al. Coal chemical industry and geological storage of carbon dioxide in China [J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 1-5.

If all projects could store CO<sub>2</sub> underground, it would be of great significance for mitigating greenhouse gas emissions. Basins located in North China are characterized by several sets of reservoir - caprock strata which is suitable for CO<sub>2</sub> storage. Some oil fields are potentially suitable for CO<sub>2</sub> enhanced oil recovery (EOR). The short distance between the high concentration CO<sub>2</sub> sources and potential storage sites reduce transportation cost and operational. So high purity sources coupled with EOR or aquifer storage offer China the opportunity to accomplish beneficial CCUS globally.

**Key words:** carbon capture and storage (CCS); coal gasification; coal to olefin; sedimentary basin

## 0 引言

中国是以煤为主要能源的国家,在世界各国中煤的储量、年产量与年耗煤量均位居前列,储量居第3位,仅次于美国、俄罗斯;产量亦位居第3位;耗煤量第2位,仅次于美国。由于中国富煤贫油少气的资源禀赋,煤炭是中国的主要能源,分别占一次能源生产和消费总量的77%和70%<sup>[1]</sup>。在相当长时间内这个比例还会保持在60%以上,今后几十年内煤炭仍然是中国的主要能源。国民经济的高速发展,人民生活水平的改善需要大量的能源支持,单靠增加石油、天然气的进口,发展核能、水电以及可再生能源(风能、生物质能等),依然满足不了发展的需要,所以煤炭的充分利用就显得更加迫切。由于中国科学技术水平的限制,单位GDP能耗比发达国家高,在提高能源利用效率等领域还有很大空间。尤其是近年来,中国CO<sub>2</sub>排放量仍较高,极端气候事件频发,严重的雾霾天气使人们深刻认识到必须有效减少CO<sub>2</sub>的排放。20世纪90年代,中国在大庆开展了利用CO<sub>2</sub>驱油提高石油采收率的矿场试验<sup>[2]</sup>,而加拿大利用煤气化厂排放的高浓度CO<sub>2</sub>来提高石油采收率,同时实现CO<sub>2</sub>的地质封存取得了较好的成果<sup>[3]</sup>。21世纪以来,在国家科技部的组织领导下,中国开展的国家重点基础研究发展计划(973计划)包括进行CO<sub>2</sub>减排、封存与资源化利用的研究,取得一系列成果同时发表了相关专著<sup>[4]</sup>。笔者提出把煤化工产业排放的高浓度CO<sub>2</sub>封存在沉积盆地的深部咸水层或者临近衰竭的油气场,同时提高油气采收率,是一个双赢的解决办法。

## 1 煤化工产业发展的机遇

由于近年来国际油气价格的不断攀升,要通过利用油气能源来减少温室气体的排放还存在一些困难,所以利用中国丰富的煤炭资源,发展煤化工产业,制造国家急需的油气以及其他化工原料,也是一

种必然选择。利用煤作化工原料,存在能源转换效率偏低,煤炭资源和水资源消耗量大以及巨大的温室气体排放压力等问题,但是为了发展,仍需要在开展煤化工的过程中,边干边改善工艺,尽量克服由此产生的不足。国民经济的发展进程为煤化工产业的发展提供了一种难得的机遇,促使煤炭逐步从燃料为主,过渡到燃料和原料并重。近年来,基于煤炭气化的新型煤化工得到了快速发展,在“十一五”期间煤炭液化、煤制烯烃、煤制乙二醇以及煤制天然气等方面的示范工程取得了阶段性成果的基础上,煤化工产业继续发展。2013年煤化工耗煤2.1亿t,同比增长7%<sup>[5]</sup>。

中国北方煤炭资源丰富,新疆、内蒙古、陕西、宁夏和山西已成为煤化工投资的热点地区,相对便宜的煤价与靠近煤产地为煤制气、煤制油与煤制烯烃产业的发展提供了可能。神华集团在国内最先开展利用煤制油过程排放的CO<sub>2</sub>地质封存的研究,并且已经取得令人瞩目的进展<sup>[6]</sup>,目前正在进行CO<sub>2</sub>地质封存的实验项目具有深远意义,尽管封存量只有30万t。经中国政府批准的煤制天然气、煤制油与煤制烯烃项目等在建或路条项目以及CO<sub>2</sub>排放量见表1。

煤制天然气工程排放的CO<sub>2</sub>与煤阶、工艺过程以及其他因素密切相关,笔者以生产1亿m<sup>3</sup>煤制天然气排放高浓度CO<sub>2</sub>为21.4万t;生产1万t煤制油,排放CO<sub>2</sub>3.5万t;1万t煤制烯烃,排放CO<sub>2</sub>4万t进行评价。上述煤化工企业的CO<sub>2</sub>年排放总量为1.25×10<sup>8</sup>t。

## 2 沉积盆地封存CO<sub>2</sub>现状

现在兴建的煤化工企业座落在煤矿附近,便于煤的就近利用,有效减少运输成本。中国主要大型煤矿分布在北部广大地区,同时位于或紧邻沉积盆地,这就为碳捕集与封存提供了良好的源汇匹配,可以把煤化工产业排放的大量CO<sub>2</sub>在油田就地封存与利用,有利于减少温室气体排放与改善环境。

表1 全国煤化工产业及其CO<sub>2</sub>的排放量

类型	地点	设计产能/(亿 m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> 排放量/(万 t·a <sup>-1</sup> )
煤制气	大唐集团内蒙古自治区克什克腾旗(在建)	40	856
	大唐集团辽宁阜新市(在建)	40	856
	新疆庆华煤化有限公司新疆伊宁县(在建)	13.7(第一期)	3231
	汇能集团内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗(在建)	16	342
	中电投集团新疆伊宁霍城(路条)	60	1284
	山东新汶矿业集团新疆伊犁(路条)	40	856
	国电集团内蒙古乌兰浩特兴安盟(路条)	40	856
	中海油集团山西大同(路条)	40	856
	内蒙古新蒙能源公司内蒙古鄂尔多斯(路条)	40	856
合计		329.7	9993
煤制油*	神华集团内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗项目(已投产)	108	378
	潞安集团山西长治项目	150	525
合计		258	903
煤制烯烃*	神华集团内蒙古包头(已投产)	60	240
	大唐集团内蒙古多伦县(在建)	50	200
	神华宁煤集团宁夏灵武市宁东(在建)	50	200
	中石化集团贵州织金(路条)	60	240
	中石化与河南煤业集团河南鹤壁(路条)	60	240
	中煤集团陕西榆林煤制烯烃二期(路条)	60	240
	华鸿汇金公司甘肃平凉(路条)	60	240
合计		400	1600

注:\* 设计产能单位均为万 t/a

将CO<sub>2</sub>封存于沉积盆地内,是当前减排温室气体、保护环境的重大举措之一,已引起各国政府和地学、环境科学界等高度重视。发达国家在这个领域已经开展了较深入的研究,如Bachu<sup>[7]</sup>对加拿大沉积盆地封存CO<sub>2</sub>的潜力进行筛选与评价,Hooper等<sup>[8]</sup>对澳大利亚Latrobe盆地封存CO<sub>2</sub>潜力进行研究,Grataloup等<sup>[9]</sup>对法国巴黎盆地CO<sub>2</sub>封存潜力进行研究,美国地质调查局与内政部对全国范围CO<sub>2</sub>封存潜力进行评估<sup>[10]</sup>,以及英国、挪威、丹麦、南非等国对沉积盆地封存CO<sub>2</sub>潜力进行研究等<sup>[11-14]</sup>。

中国的大陆及毗邻海域发育有大量的沉积盆地<sup>[15]</sup>。在全国范围的417个盆地中,面积大于10万km<sup>2</sup>的大型盆地有18个,总面积328.5万km<sup>2</sup>;面积介于1万~10万km<sup>2</sup>的盆地有67个,总面积175.1万km<sup>2</sup>;面积小于1万km<sup>2</sup>的小型盆地有332个,总面积71.1万km<sup>2</sup>。其中东北地区47个盆地的总面积59.6万km<sup>2</sup>;华北地区42个盆地的总面积26.8万km<sup>2</sup>;豫皖地区12个盆地的总面积17.3

万km<sup>2</sup>;滇黔桂地区30个盆地的总面积14.1万km<sup>2</sup>;川渝地区9个盆地的总面积21.8万km<sup>2</sup>;陕甘宁地区14个盆地的总面积36万km<sup>2</sup>;甘青地区46个盆地的总面积49.6万km<sup>2</sup>;新疆地区34个盆地的总面积97.4万km<sup>2</sup>。张洪涛等<sup>[16]</sup>研究表明,这些盆地具有封存CO<sub>2</sub>的巨大潜力,为温室气体的封存提供有力的支撑。

### 3 鄂尔多斯盆地封存CO<sub>2</sub>现状

根据中国目前发展的态势,建议选择鄂尔多斯盆地为重点地区,开展煤炭行业与石油行业的协作,进行CO<sub>2</sub>提高石油采收率(EOR)的试验研究,把煤化工企业排放的高浓度CO<sub>2</sub>作为增加石油采收率同时实现温室气体地质封存的技术手段,争取在较短时间内取得突破<sup>[17-18]</sup>。

#### 3.1 鄂尔多斯盆地的煤化工企业

据《亚化咨询》报道,2012年中国原油净进口2.7亿t,同期国内原油产量2.07亿t,海外依存度

接近57%。国际油价的居高不下,为发展现代煤化工,实现对石油资源的补充和部分替代提供了良好的市场机遇。2012是中国新型煤化工升级示范的开局之年,在2012—2015年,新型煤化工迎来产业化升级示范阶段。随着示范装置的稳定运行,煤制油和煤化工的技术和经济性已经得到验证。今后,大型煤制油项目和大型煤基能源化工基地建设将继续推进,其他新型煤化工的前沿技术将开发成功并获得工业化应用<sup>[18]</sup>。

近年来,在鄂尔多斯市煤化工产业迅猛发展,已经投产、在建以及开展前期工作的企业主要有:①伊金霍洛旗:神华集团的煤制油,内蒙古汇能煤化工有限公司的煤制天然气;②准格尔旗:伊泰集团的煤制油,道达尔石化/中电投的煤制烯烃,西北能源化工

有限公司、久泰能源、内蒙古东华能源有限公司、易高三维煤化科技有限公司的煤制甲醇,北京控股集团、中海油新能源投资有限责任公司的煤制天然气;③达拉特旗:新奥集团、内蒙古荣信化工有限公司的煤制甲醇;④杭锦旗:北京昊华能源股份有限公司的煤制甲醇,新蒙能源投资股份有限公司的煤制天然气;⑤鄂托克前旗:宁夏宝丰能源集团的煤炭深加工多联产;⑥乌审旗:蒙大新能源化工基地开发有限公司的煤制甲醇与甲醇制烯烃,中天合创的煤制烯烃,世林化工、鄂尔多斯金诚泰化工有限公司、内蒙古卓正煤化工有限公司的煤制甲醇,内蒙古建丰煤化工有限责任公司的煤热解及多联产等,表2列出鄂尔多斯市已投产与正在开展前期计划的煤化工项目与CO<sub>2</sub>排放量<sup>[19]</sup>。

表2 鄂尔多斯市已投产与正在开展前期计划的煤化工项目与CO<sub>2</sub>排放量

投资方	产能与产品	地点	CO <sub>2</sub> 排放量/(万t·a <sup>-1</sup> )	进度
神华集团	500万t/a煤制油	伊金霍洛旗	1750	一期投产
伊泰集团	16万t/a煤制油	准格尔旗	56	投产
伊泰集团	200万t/a煤制油	准格尔旗	700	前期工作
道达尔石化/中电投	100万t/a煤制烯烃	准格尔旗	400	前期工作
蒙大新能源化工基地开发有限公司	60万t/a煤制甲醇,60万t/a烯烃	乌审旗	390	建设
中天合创	130万t/a煤制烯烃	乌审旗	520	前期工作
西北能源化工有限公司	120万t/a煤制甲醇	准格尔旗	300	一期建设
久泰能源	100万t/a煤制甲醇	准格尔旗	250	投产
内蒙古东华能源有限公司	60万t/a煤制甲醇	准格尔旗	150	投产
易高三维煤化科技有限公司	20万t/a煤制甲醇	准格尔旗	50	投产
新奥集团	60万t/a煤制甲醇	达拉特旗	150	投产
内蒙古荣信化工有限公司	90万t/a煤制甲醇	达拉特旗	225	建设
世林化工	30万t/a煤制甲醇	乌审旗	75	投产
鄂尔多斯金诚泰化工有限公司	60万t/a煤制甲醇	乌审旗	150	投产
内蒙古卓正煤化工有限公司	120万t/a煤制甲醇	乌审旗	300	建设
北京昊华能源股份有限公司	40万t/a煤制甲醇	杭锦旗	100	建设
内蒙古汇能煤化工有限公司	16亿m <sup>3</sup> /a煤制天然气	伊金霍洛旗	342.4	建设
北京控股集团	40亿m <sup>3</sup> /a煤制天然气	准格尔旗	856	前期工作
中海油新能源投资有限责任公司	40亿m <sup>3</sup> /a煤制天然气	准格尔旗	856	前期工作
河北省建设投资集团公司	40亿m <sup>3</sup> /a煤制天然气	准格尔旗	856	前期工作
新蒙能源投资股份有限公司	40亿m <sup>3</sup> /a煤制天然气	杭锦旗	856	前期工作
内蒙古建丰煤化工有限责任公司	380万t/a煤热解及多联产	乌审旗	950	前期工作
宁夏宝丰能源集团	2000万t/a煤炭深加工多联产	鄂托克前旗	5000	前期工作

### 3.2 鄂尔多斯盆地的地质特征与CO<sub>2</sub>封存潜力

鄂尔多斯盆地是中国第2个大型的陆相沉积盆地,蕴藏着丰富的自然资源,现在已经成为国家重要的能源化工基地。

笔者在开展对鄂尔多斯盆地演化与温室气体地质封存的研究中,初步建立了鄂尔多斯盆地CO<sub>2</sub>埋

存体筛选指标体系,其筛选考虑因素包括:①沉积盆地充填演化、沉积相带与CO<sub>2</sub>埋存体的时空分布;②CO<sub>2</sub>埋存体的埋深(800~2500m);③埋存体的储层厚度、物性、分布等;④咸水层埋存体的化学组成、矿化度、分布等;⑤盖层的岩性、厚度、分布等;⑥构造条件与构造稳定性;⑦埋存体与CO<sub>2</sub>气源距离的

远近等。

同时,优选盆地的CO<sub>2</sub>埋存有利区块,从经济效益考虑,有利的CO<sub>2</sub>埋存单元深度应在800~2500 m,在盆地的南北方向,有利的埋存单元是三叠系的延长组和侏罗系的延安组,由于延长组的盖层泥岩比侏罗系的泥岩厚度大,所以,三叠系延长组是最有利的埋存单元。在东西方向,由于东部的翘起,在这个深度范围内存在很多层位,符合CO<sub>2</sub>埋存单元的地质体,包括:石炭-二叠系山西组与上石盒子组,三叠系的延长组和侏罗系的延安组与富县组。由于符合这个埋存深度的石炭-二叠系的山西组与上石盒子组位于盆地东部,这里储层中的地下水受黄河淡水补给的影响,其矿化度一般还达不到咸水层的要求,所以结合咸水层的分布,鄂尔多斯盆地适合CO<sub>2</sub>埋存的地层中生界优于上古生界。继续往东,最东边的二叠系地层也可以进行封存,但是,二叠系盖层的保存条件受到了破坏。三叠系也符合封存条件,但是与侏罗系相比较,由于其是低孔低渗储层,CO<sub>2</sub>的埋藏条件不如侏罗系好。另外考虑到与CO<sub>2</sub>源区的距离,宁夏中部的焦化厂位于这个地区,源汇匹配也比较合理。

综合考虑储层埋深、特性、构造稳定性、与CO<sub>2</sub>气源的距离等因素,初步确定盆地中西部的靖边一定边以南至庆阳以北地区的侏罗系延安组为最有利封存区,而东部的二叠系地层以及西部的上三叠统也可以作为封存的候选区块。关于盆地封存CO<sub>2</sub>的潜力,本文不再论述。

#### 4 结 论

1) 根据中国能源结构的特征,目前国民经济的发展进程为煤化工产业的发展,提供了难得的机遇,正在促使煤炭从主要作为燃料,逐步过渡到燃料和原料并重的局面。

2) 鄂尔多斯盆地有可能作为开展煤炭行业与石油行业协作的试验场所。在盆地范围内已建和待建的煤化工产业每年将排放亿吨高浓度的CO<sub>2</sub>,为实现提高石油采收率与CO<sub>2</sub>的地质封存创造条件。

3) 发展煤化工需要大量的水,对于中国西部、西北部广大的干旱、半干旱地区,这是一个制约瓶颈。如何统筹安排既保持国民经济的高速发展,又保证环境安全、社会可持续发展,为政策的制定部门提供一个审查评估的对象。

4) CCUS全链条产业应该包含从CO<sub>2</sub>气源开始

到应用、封存的整个过程。CO<sub>2</sub>的生产者也应该是CO<sub>2</sub>的利用者,同时也是CO<sub>2</sub>的封存者。对于这么大量排放的温室气体,目前世界各国包括主要的发达国家也都还没有找到有效利用的技术和运营机制,中国的企业与科技人员应在政府部门的统一领导与协调下,摸索出适合中国CCUS发展的经验。

#### 参考文献:

- [1] 张国宝. 在2010中国国际煤炭发展高层论坛开幕式上的致辞 [EB/OL]. (2010-11-10). <http://wenku.baidu.com/view/a87f91d428ea81c758f578f9.html?from=rec&pos=2&weight=1>.
- [2] 董喜贵,韩培慧,杨振宇,等. 大庆油田二氧化碳驱油先导性矿场试验[M]. 北京:石油工业出版社,1999.
- [3] Wilson M, Monea M. IEA GHG Weyburn CO<sub>2</sub> monitoring & storage project summary report 2000-2004 [c]//The proceedings of the 7<sup>th</sup> international conference on greenhouse gas control technologies. Vancouver [s. n. ] 2004.
- [4] 沈平平,廖新维. 二氧化碳地质埋存与提高石油采收率技术 [M]. 北京:石油工业出版社,2009.
- [5] 刘文革. 煤化工行业CO<sub>2</sub>捕集现状与发展[C]//二氧化碳捕集技术、装备及产业发展现场研讨会. 上海 [s. n. ] 2014.
- [6] 陈茂山. 神华CCS项目经验及规划[C]//碳捕集、利用与封存(CCUS)示范项目经验交流研讨会. 北京 [s. n. ] 2012.
- [7] Bachu S. Screening and ranking of sedimentary basins for sequestration of CO<sub>2</sub> in geological media in response to climate change [J]. Environmental Geology 2003, 44(3): 277-289.
- [8] Hooper B, Murray L, Gibson-Poole C. Latrobe Valley CO<sub>2</sub> storage assessment [R]. Australia [s. n. ] 2005.
- [9] Grataloup S, Bonijoly D, Brosse E, et al. A site selection methodology for CO<sub>2</sub> underground storage in deep saline aquifers: case of the Paris Basin [J]. [S. I. ]: Energy Procedia 2009; 1: 2929-2936.
- [10] U S Department of the Interior. National assessment of geologic carbon dioxide storage resources - results [R]. Virginia: U S Department of the Interior 2013.
- [11] UK DTI. Monitoring technologies for the geological storage of CO<sub>2</sub> [EB/OL]. <http://www.og.dti.gov.uk/regulation/guidance/decommission.htm>.
- [12] Chadwick A, Arts R, Bernstone C, et al. Best practice for the storage of CO<sub>2</sub> in saline aquifers [M]. U K: British Geological Survey 2008.
- [13] Larsen M, Bech N, Bidstrup T, et al. Kalundborg case study, a feasibility study of CO<sub>2</sub> storage [M]. Copenhagen: Geological Survey of Denmark and Greenland 2007.
- [14] Brendan Beck B, Surridge T, Liebenberg J. The current status of CCS development in south africa [J]. Energy Procedia 2011, 4, 6157-6162.
- [15] 李国玉,吕鸣岗. 中国含油气盆地图集[M]. 2版. 北京:石油工业出版社,2002.

(下转第8页)

率(EOR) 20世纪70年代后温室气体越来越被关注,到20世纪90年代初,减少CO<sub>2</sub>的排放成为国际社会迫切需要解决的问题。碳捕获与地质封存技术(Carbpem Capture and Storage,简称CCS)由于其巨大的减排潜力和经济性引起科学界和政治界的广泛关注。CO<sub>2</sub>地质封存方式主要有废弃或无商业开采价值的油气田、CO<sub>2</sub>油气和煤层气田、深部咸水层(海域和陆上)和无商业开采价值的深部煤层等(图1)。

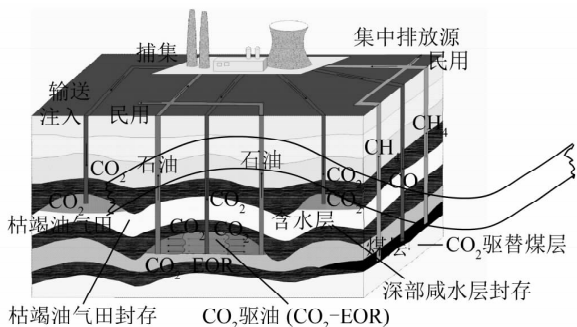


图1 CO<sub>2</sub>地质储存方式示意

2) 由于地下咸水层分布面积广、厚度大、埋存容量巨大,成为主要的CO<sub>2</sub>地质埋存方式之一。世界范围内有很多适合CO<sub>2</sub>地下埋存的沉积盆地。经初步统计,中国有面积大于200 km<sup>2</sup>的沉积盆地417个,面积约5.748 × 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>。现内海及毗邻海域有27个盆地,其中24个主要沉积盆地,分布了面积约3.4 × 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>的深部咸水层,可封存CO<sub>2</sub>约1.435 × 10<sup>12</sup> t。判断这些盆地是否具备进行CO<sub>2</sub>地质封存的条件,还要根据具体项目,综合考虑盆地的研究程度、盆地资源勘探程度以及社会因素等。埋存条件的选择、CO<sub>2</sub>长期封存的安全性和稳定性是CO<sub>2</sub>地质封存研究的重要内容。

## 5 结 论

1) 中国以煤炭为主导的能源结构在未来一段时期内将不会发生大的变化,煤炭的清洁、高效、低碳利用将是一项长期任务,在全球气候变暖的自然趋势下,如何解决煤炭消费过程中CO<sub>2</sub>问题,是涉及能源、环境、政治等多方面因素的工作,先期研究CO<sub>2</sub>地质储存技术,对解决中国能源、政治、环境具有重要影响,推行CO<sub>2</sub>地质封存项目对减缓气候变暖进程和中国实施可持续发展战略具有重要的意义。

2) 自然界中气藏的存在已证实了可在地下存贮数万至数千万年。由于CO<sub>2</sub>地质存贮相当于造一

个地下人工气藏,储存场所、存储介质(如储盖层几何学、结构构造、岩矿学、物性和岩石力学性质等)、场地条件(如应力、温度、流体属性等)以及所注入CO<sub>2</sub>的运移、反应等因素是研究的关键,同时还需考虑经济、社会、环境因素,必须满足存储量大、存储时间长、健康、安全和环保等条件,这些将是未来研究的重要课题。

## 参考文献:

- [1] 潘连生. 煤化工的发展要认真转变增长方式[J]. 煤化工, 2004, 12(6): 1-3.
- [2] 陈贵锋. 洁净煤技术产业发展机遇与挑战[J]. 中国能源, 2010(4): 5-8.
- [3] 韩宏刚. 我国煤化工产业低碳模式研究[D]. 西安: 西北大学, 2012: 10-15.
- [4] 李国志. 基于技术进步的中国低碳经济研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011: 5-35.
- [5] 肖钢, 马丽, Wentao Xiao. 还碳于地球[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011: 63-76.
- [6] 李广民, 王肖戈. 我国洁净煤能源开发利用的现状与前景[J]. 理论月刊, 2012(12): 115-118.
- [7] 冯益民. 我国煤化工产业的发展趋势及对策研究[J]. 现代化工, 2012(11): 1-4.
- [8] 新浪财经. 我国动力煤的需求情况[EB/OL]. (2013-09-23) [2014-01-28]. <http://finance.sina.com.cn/money/future/futuresroll/20130923/102016822004.shtml>.
- [9] 张柏芳, 高书琴, 罗浩阳. 我国煤化工产业前景[J]. 西部煤化工, 2007(1): 33-35.
- [10] 巢清尘, 陈文颖. 碳捕获和存储技术综述及对我国的影响[J]. 地球科学进展, 2006(3): 291-298.
- [11] 禹林. 二氧化碳深部盐水层地质封存物理模拟探索性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010: 4-17.
- [12] 王金龙, 崔大伟, 郭萍. 二氧化碳深部含盐水层地质封存国际研究进展及启示[J]. 环境保护, 2013, 41(17): 71-72.
- [13] 景凤江, 宋春华. 二氧化碳埋存技术在我国海上气田的应用与思考[J]. 油气藏评价与开发, 2011(5): 20-23.

## (上接第5页)

- [16] 张洪涛, 文冬光, 李义连, 等. 中国CO<sub>2</sub>地质埋存条件分析及有关建议[J]. 地质通报, 2005, 24(12): 1107-1110.
- [17] Zeng R S, Vincent J C, Tian X Y et al. New potential carbon emission reduction enterprises in China: deep geological storage of CO<sub>2</sub> emitted through industrial usage of coal in China[J]. Greenhouse Gas Science and Technology, 2013, 3(2): 106-115.
- [18] 低碳未来中心. 支持中国陕西省非电力行业的碳捕集、利用和封存的早期发展[R]. 北京: 北京低碳未来中心, 2012.
- [19] 亚化咨询. 第八届中国煤制油与煤化工前沿论坛[EB/OL]. (2013-08-09). <http://www.chinacoalchem.com/events/2013CTL>.