

【简讯与热点】

# 澳大利亚地球科学局在地质碳封存方面开展的主要工作与启示

王欢<sup>1</sup>, 郑宇舟<sup>2</sup>, 王为<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局地质文献中心, 北京 100083; 2. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 3. 东方地球物理公司, 河北涿州 072751)

## The major work and implication of Geoscience Australia on geological carbon sequestration

WANG Huan<sup>1</sup>, ZHENG Yuzhou<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>

(1. Geoscience Documentation Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 2. China Natural Resources Airborne Geophysical and Remote Sensing Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 3. Oriental Geophysics Company, Zhuozhou 072751, Hebei, China)

碳捕获、利用与封存(CCUS 或 CCS)是有助于减少 CO<sub>2</sub>排放到大气中的负排放技术之一。可再生能源、提高能源效率和燃料转换等技术的目的是防止 CO<sub>2</sub>排放。CCS 补充了这些技术,解决了目前无法避免的排放问题,如钢铁或水泥制造等工业过程的 CO<sub>2</sub>排放。CCS 也有可能直接从大气中去除 CO<sub>2</sub>,并将其永久封存在地下深处。

大约从 20 年前,澳大利亚地球科学局(GA)就在 CCS 领域发挥了积极的作用,主要是在地质封存、温室气体监测和核查、提供技术咨询以及推广和教育等方面。地球科学局在 CCS 方面的大部分工作都与其所属部——澳大利亚联邦工业、科学、能源和资源部(DISER)及 CO<sub>2</sub>合作研究中心计划(CO<sub>2</sub>CRC)密切相关或通过其提供资金。

### 1 澳大利亚地球科学局当前开展的与 CCS 相关的项目

(1)地质封存:确定澳大利亚剩余油区(ROZ)的碳氢化合物和 CO<sub>2</sub>封存潜力

剩余油区是指储集层中以水为主的部分,其具有一定的(剩余)含油饱和度,传统上开采该饱和度的石油并不经济。这些 ROZ 区域位于油田(“棕地”油田)下方的油水界面下,也可能出现在与石油聚集无关的储层部分(“绿地”)。在过去几年间,在美国二叠纪盆地,通过 CO<sub>2</sub>提高石油采收率(CO<sub>2</sub>-EOR)技术成功地从剩余油区开采出石油。通过这个项目,GA 的目标是识别和评估澳大利亚产油盆

地中的剩余油区,以确定澳大利亚潜在的石油资源量和 CO<sub>2</sub>封存资源量。该项目是澳大利亚“为未来而勘探计划”(Exploring For The Future Program)(2020—2024)第二阶段的一部分。

(2)奥特韦断层实验项目

澳大利亚地球科学局目前正在与 CO<sub>2</sub>CRC 合作,评估 CO<sub>2</sub>CRC 在维多利亚州的奥特韦(Otway)国际测试中心进行小型浅层 CO<sub>2</sub>断层注入实验的可行性。拟议的实验将在高度受控的条件下,在浅层断层附近 80 m 的地下释放少量 CO<sub>2</sub>(例如 10 t),并对地下 CO<sub>2</sub>迁移行为进行成像分析。CO<sub>2</sub>CRC 的奥特韦场地提供了在表征良好的走滑断层上进行实验的机会。迄今科学家对走滑断层上的垂直泄漏知之甚少,很难预测这种断层几何结构中的气体运移。从该实验中获得的经验将有助于提高地球科学局对 CO<sub>2</sub>迁移的理解,即泄漏井可能向浅层含水层释放 CO<sub>2</sub>,以及改进对断裂近地表环境中流体流动的预测。

该项目的第一阶段和第二阶段已经完成,重点是设计实验、获取地质和基线环境数据、测试监测工具和模型,以及表征构成注入目标的 Port Campbell 石灰岩和 Brumbys 断层的特征。目前正处于项目第三阶段的规划阶段,该阶段将包括 CO<sub>2</sub>的注入和监测。

(3)CCS-氢

GA 工作的一部分集中在澳大利亚清洁氢气生产方面。氢可以通过可再生能源(可再生氢或绿氢)驱动的电解或煤或天然气与水的热化学反应产

生,产生的CO<sub>2</sub>排放被捕获并封存在地下地质层位(CCS或蓝氢)。

#### (4)向政府提供技术咨询

GA负责向政府提供技术咨询,特别是通过工业、科学、能源和资源部,就CCUS和低碳能源技术相关问题提供咨询。GA协助制定了澳大利亚《2006年海上石油和温室气体封存法》、《CO<sub>2</sub>封存条例》,并负责发布海上CO<sub>2</sub>封存区块。GA经常在国内和国际论坛上担任政府在CCS方面技术代表和顾问的角色,如碳封存领导论坛和国际能源机构温室气体研发计划。

## 2 澳大利亚地球科学局代表政府发布可供CO<sub>2</sub>地质封存的合适区域(区块)以供招标

澳大利亚政府于2021年12月6日发布了5个用于温室气体封存的近海区块进行招标。2021年近海温室气体(GHG)封存区域释放区块,包括位于西澳大利亚州和北领地的联邦海域3个沉积盆地中的5个区域。2021年所发布GHG亩数的投标在2022年3月4日和10日之间接受。招标基于最优工作计划,不是资金作为衡量标准。

#### (1)波拿巴(Bonaparte)盆地

发布招标的2个区域位于海燕(Petrel)子盆地的GHG21-1和GHG21-2区域。其中:

GHG21-1区域,包括330个区块(是指按照经纬度的一定间隔划成的空间范围,基本区块为1分乘以1分,一般为2~3 km<sup>2</sup>),水深30~75 m,有限井控。

GHG21-2区域,包括304个区块,水深30~75 m,有几口天然气发现井。

封存目标层面:含盐层(侏罗系一下白垩统)。

潜在CO<sub>2</sub>来源:达尔文加工设施,波拿巴油田开发。

东部海燕子盆地CO<sub>2</sub>封存潜力是由2014年澳大利亚地球科学局研究评估的。

#### (2)Browse盆地

所发布的可供封存CO<sub>2</sub>的区域GHG21-3位于Caswell子盆地内。

GHG21-3区域,包括42个区块,水深200~2000 m,位于Brecklock和Calliance气田上方。

封存目标:含盐层(主要为下白垩统)。

潜在CO<sub>2</sub>来源:未来油田开发产生的气体。

Caswell子盆地CO<sub>2</sub>封存潜力由2016年澳大利亚地球科学局研究评估。

#### (3)北卡纳文盆地

GHG21-4和GHG21-5封存区域位于丹皮尔子盆地。其中,GHG21-4区域,包括22个区块,水深50~100 m,广泛井控、三维地震覆盖;GHG21-5区域,包括45个区块,水深100~150 m,广泛井控、三维地震覆盖。

封存目标:枯竭气田(中上侏罗统和下白垩统)。

潜在CO<sub>2</sub>来源:大丹皮尔地区的工业排放。

成熟的油气生产区,数据覆盖率高。

2021年12月发布的这5个可供CO<sub>2</sub>地下地质封存的海上释放区域,可以通过澳大利亚地球科学局门户网站交互观看,该网站包含一系列地球科学数据。澳大利亚地球科学局负责提供竞争前地球科学信息,以支持在澳大利亚近海沉积盆地发现和开发能源资源。其中的信息包括对澳大利亚温室气体地质封存潜力的项目和研究,以及对Petrel子盆地(波拿巴盆地)和Browse盆地CO<sub>2</sub>地质封存潜力的评估。

澳大利亚地球科学局还拥有一套关于关键近海盆地的区域地质信息集,包括地层学、盆地演化、石油系统、勘探历史和关键参考文献的总结。虽然这些信息集旨在勘探石油资源,但其中包含了大量与这些盆地中温室气体地质封存相关的信息。这包括波拿巴、Browse和北卡那封盆地的全面信息,其中2021年温室气体发布区域均位于其中。

具体这5个区域的地质信息从略。

## 3 地质封存研究工作

在过去20年左右的时间里,澳大利亚地球科学局在CCS方面的一个关键作用是确定和评估澳大利亚沉积盆地封存二氧化碳的潜力和能力。GA的工作主要集中在国家和盆地规模的研究上。

#### (1)APCRC/GEODISC,1999—2003年

GEODISC是澳大利亚地球科学局于2002年为澳大利亚石油合作研究中心(APCRC,1999—2003)完成的一个国家二氧化碳封存和基础设施评估项目。在对澳大利亚所有沉积盆地进行筛选研究之后,区域分析计划详细审查了近90个场地和15个区域的地质特征及其地质封存的适用性,随后进行了风险和经济分析以及碳源-碳库匹配研究。与评估

场地相关的空间数据可通过GA的在线数据门户访问,研究结果详细发表在2000—2004年的各种出版物中。对根据GEODSIC计划检查的CO<sub>2</sub>封存潜力场地及其CO<sub>2</sub>封存的地质前景进行了详细的填图。

#### (2)CO<sub>2</sub>CRC盆地评估,2003—2010年

温室气体控制技术合作研究中心(CO<sub>2</sub>CRC)成立于2003年,此前APCRC作为CCS合作研究和示范中心的任务已经终止。作为CO<sub>2</sub>CRC的合作伙伴,澳大利亚地球科学局参与了一系列与CO<sub>2</sub>地质封存、温室气体监测和验证相关的合作研究和开发工作,以及在澳大利亚开发CO<sub>2</sub>注入示范点(CO<sub>2</sub>CRC奥特韦国际测试中心)。完成了奥特韦盆地、加利利盆地、伯恩盆地、吉普斯兰盆地、悉尼盆地、达令盆地、珀斯盆地和科利盆地的地质封存资源量评估。其他研究包括完成断层密封完整性项目等。

根据合作研究中心的结论,CO<sub>2</sub>CRC成立了一个非营利研究组织。澳大利亚地球科学局作为合作伙伴和董事会成员,继续与CO<sub>2</sub>CRC、成员和利益相关者就地质封存和温室气体监测相关项目开展合作。

#### (3)国家碳填图和基础设施计划(NCIP),2009年

2009年,澳大利亚碳封存工作组(根据国家低排放煤炭倡议——NLECI建立)完成了对澳大利亚运输和封存CO<sub>2</sub>的潜力与能力的国家和盆地规模评估。高级别评估考虑了地质特征和其他因素,以确定沉积盆地CO<sub>2</sub>地质封存的潜力、容量和等级。作为该项目的一部分,实施了CO<sub>2</sub>管道路线规划工具,以模拟CO<sub>2</sub>排放源和潜在CO<sub>2</sub>封存场地之间的最佳路径。可通过GA的在线数据门户访问盆地排名空间数据和管道工具。详细论证了澳大利亚各盆地CO<sub>2</sub>封存潜力排名,具体从略。

#### (4)国家二氧化碳基础设施计划(NCIP),2012—2016年

该项目是根据国家低排放煤炭倡议确立的,旨在加快确定和开发靠近主要排放源的CO<sub>2</sub>封存场所(NLECI)。根据NCIP计划,对4个地区进行了详细调查,以确定其CO<sub>2</sub>封存潜力,包括获取新的地质数据。这4个地区分别是:Petrel子盆地(波拿巴盆地)CO<sub>2</sub>封存资源量评估;吉普斯兰盆地CO<sub>2</sub>封存资源量评估;弗拉明次盆地(珀斯盆地)CO<sub>2</sub>封存资源量评估;Browse盆地CO<sub>2</sub>封存项目;陆上碳封存项目

(新南威尔士州、西澳州)。

#### (5)重要的地质封存研究

澳大利亚各州政府机构、CSIRO、CO<sub>2</sub>CRC、大学和行业已经完成了许多关于CCS各个方面的研究和研发项目。这些研究项目包括:

①昆士兰政府2010年CO<sub>2</sub>封存地质图集。

②西澳大利亚州CCS计划和CO<sub>2</sub>封存地质图集(2014年)。

③新南威尔士州竞争前CO<sub>2</sub>封存评估项目。

④维多利亚州政府正在进行的碳网项目(CarbonNet)和相关CCS工作。

⑤CO<sub>2</sub>CRC地质封存研究项目。

#### (6)澳大利亚的CCS项目

在澳大利亚,目前有几个重要的CCS项目处于不同的运营和开发阶段。

①雪佛龙澳大利亚公司在西澳州运营的商业性Gorgon LNG项目,将CO<sub>2</sub>从Gorgon和Jansz Io油田生产的天然气中分离出来,并将其重新注入地下,注入巴罗岛下方的含盐储层Dupuy地层。2019年8月开始注入CO<sub>2</sub>。

②维多利亚州碳网(CarbonNet)项目,旨在建设一个CO<sub>2</sub>收集中心,在吉普斯兰盆地的近海部分进行地质封存。该项目得到了澳大利亚政府CCS旗舰计划的支持。

③南澳州Moomba CCS项目,由桑托斯公司和Beach能源公司共同合作,目标是每年封存170万t CO<sub>2</sub>,最终每年封存2000万t CO<sub>2</sub>。

④西澳州西南枢纽项目,正在调查珀斯盆地的CO<sub>2</sub>封存情况。该项目得到了澳大利亚政府CCS旗舰计划的支持。

⑤CTSCo公司的苏拉特盆地CCS项目,旨在证明苏拉特盆地CCS链的技术可行性,该项目由澳大利亚低排放技术计划和澳大利亚政府资助。

⑥CO<sub>2</sub>CRC奥特韦国际测试中心。自成立约15年以来,CO<sub>2</sub>CRC继续运营位于维多利亚州奥特韦盆地坎贝尔港附近的澳大利亚关键CCS研究和示范注入与监测设施。奥特韦地质封存和监测示范项目得到澳大利亚政府CCS旗舰计划的支持。

已完成的预可行性研究包括:

①ZeroGen项目,昆士兰州伯恩盆地。

②昆士兰万多安电力项目。

## 4 温室气体监测项目

监测CO<sub>2</sub>地质封存的有效性是一项具有挑战性的任务,因为CO<sub>2</sub>自然存在于大气、土壤、海洋和地下水中。澳大利亚地球科学局与许多组织合作,开发、验证检测和量化CO<sub>2</sub>的技术和工具,研究能够检测和量化CO<sub>2</sub>迁移或泄漏的技术。重点是2009—2015年温室气体监测项目。

温室气体监测项目开始于2009年,是澳大利亚地球科学局碳捕获与封存计划的一部分,于2015年结束。该项目的目的是评估CO<sub>2</sub>地质封存的监测技术,并收集选定陆上地区的区域大气和地下水基线数据。这项工作有助于政府和行业确定这一新兴领域的最佳实践。

该项目的主要成果包括:

①控制释放研究——安装并运行澳大利亚地球科学局与CO<sub>2</sub>CRC联合设施,以进行浅层地表下和地表上温室气体释放。该设施使研究人员能够测试现有的监测和量化技术,并开发新的监测和量化技术。

②开展三次地下CO<sub>2</sub>释放实验、一次地表CO<sub>2</sub>释放实验和一次CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>O组合地表释放实验。地下释放实验的数据可供下载。

③对受控释放场地进行国际比较,发现所有部位都表现出类似的斑片状泄漏行为。这些信息可用于更好地为地质封存场地的监测策略提供信息。

④在昆士兰中部安装一个原型,可远程操作的大气温室气体基准站(CSIRO——GA联合设施)。

⑤开展统计分析并表明,使用单个大气监测站检测CO<sub>2</sub>泄漏并不有效,但可能适用于监测煤层气田或煤矿的CH<sub>4</sub>泄漏。

⑥进行了八次昆士兰地下水调查(澳大利亚地球科学局与昆士兰州地质调查局联合调查),为伯恩和苏拉特盆地生成了新的综合地下水数据集。

⑦制作大自流盆地的水文地球化学地图集。

⑧将排放量化技术应用于中国青海的CO<sub>2</sub>泄漏井模拟。

⑨为FLUXNET2015数据集做出贡献,该数据集提供了来自全球212个场地关于生物圈和大气之间CO<sub>2</sub>、水和能量交换的数据,以及其他气象和生物测量数据。

⑩开发了一种使用点和线(激光)测量来估算CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>排放量的新方法。GA可提供免费软件代码和数据。

## 5 伙伴关系

澳大利亚地球科学局与各州和领地地质调查局、澳大利亚联邦工业与科学研究组织(CSIRO)、大学、联邦和州政府部门、行业以及国际机构和组织在一系列低碳地球科学主题方面密切合作。一些正式合作伙伴包括:

### (1)CO<sub>2</sub>CRC

澳大利亚地球科学局自2003年以来一直是CO<sub>2</sub>CRC的成员,并且是其前身澳大利亚石油合作研究中心(APCRC)的合作伙伴,GEODISC项目就是在该中心下完成的。CO<sub>2</sub>CRC是开发CCS所需技术和科学的世界领先研究机构之一。在维多利亚州西南部的研究地点,CO<sub>2</sub>CRC已将CO<sub>2</sub>注入地下深处的枯竭气藏和盐层中。CO<sub>2</sub>CRC的封存计划解决了一系列与监测、深层盐层的性质、封存层中岩石的力学行为以及CO<sub>2</sub>注入引起的流体-岩石相互作用等领域相关的问题。目前的几个项目正在通过CO<sub>2</sub>CRC地质封存计划与包括CSIRO和学术机构在内的一系列合作伙伴一起实施。

### (2)CSLF:碳封存领导者论坛(CSLF)

CSLF是一项国际部长级倡议,旨在发展和推进CCS的技术、监管、财务和其他方面。澳大利亚是占世界人为CO<sub>2</sub>排放量80%的26个成员国之一。澳大利亚地球科学局支持政府作为澳大利亚技术小组代表之一参与CSLF。

### (3)CAGS:中澳CO<sub>2</sub>地质封存合作项目(2009—2019)

CAGS是澳大利亚和中国政府之间的一个长期合作项目,重点是相互交流经验和专业知识,广泛传播知识,激发CCS相关科学,并为CCS的学生和早期职业研究人员提供发展机会。该项目由(当时的)澳大利亚资源、能源和旅游部资助,由澳大利亚地球科学局和中国21世纪议程管理中心(科技部)共同实施和管理,已经接触并联系了中国、澳大利亚和其他地区的数百名研究人员和机构。

从澳大利亚地球科学局正在开展的有关地质碳封存的主要工作内容看,此项工作已成为该国地质部门的一项重要任务。中国地质部门也要抓紧行动,发挥对深部地质有深入了解的优势,引领碳埋藏事业的发展,助力未来全球碳减排、碳中和目标的实现。