

文章编号:1005—6157(2010)01—081—5

# 安徽省地质碳汇潜力及二氧化碳地质储存

方 星<sup>1</sup>,孙 健<sup>2</sup>,魏永霞<sup>2</sup>

(1 安徽省地质矿产勘查局,安徽 合肥 230001;2 安徽省地质环境监测总站,安徽 蚌埠 233000)

**摘 要:**气候变化是当今全球面临的重大挑战,它不仅是重大的科学问题,也是重大的政治问题。遏制气候变暖,拯救地球家园,是全人类共同的使命。我省处于工业化加速期,高能耗行业比重高,未来面临巨大的二氧化碳减排压力。加大产业结构调整、利用低碳技术改造和提升高碳产业固然是非常重要的技术措施,但地质碳汇也是二氧化碳减排的一条重要渠道。岩溶碳汇效应显著,土壤固碳潜力巨大,在二氧化碳减排和缓解温室气体效应的研究计划中,加强地质研究已是不容回避的重大科学问题。

**关键词:**地质碳汇;潜力;CO<sub>2</sub>地质储存;安徽省

**中图分类号:** P66

**文献标志码:** A

## 0 引言

在碳循环研究中,我们把释放二氧化碳的库称为源(source),吸收二氧化碳的库称为汇(sink)。地质碳汇主要指地壳表层的岩、土、水吸收、固定二氧化碳的活动、过程和机制。

在既有的科学研究中,生物圈系统的碳汇已为人们所熟知。借助于光合作用,发生在生态系统的碳转化,昼夜不息,在各类碳元素转化形式中其速率最快。然而,所有生态系统碳汇的产物将化身为有机质进入岩石圈碳循环,相对而言,这一过程显得漫长且人们知之甚少。

地球是一个巨大的碳库,地球上的碳元素分别以不同的形态分布于地球表层的大气圈、生物圈、水圈和岩石圈系统中,在四个圈层中,岩石圈是最大的碳库。岩石圈中的无机碳主要以碳酸盐岩形式存在,地质历史时期碳酸盐岩的碳储量高达 $61 \times 10^{15} \text{t}$ ,占全球碳总量的99.5%。在地球早期的演化历史中,岩浆岩风化过程中从大气中回收高浓度的二氧化碳<sup>[1]</sup>,与金属离子结合形成了各类碳酸盐岩,地球表层2000多万平方公里的广泛区域都分布着这类岩石。

岩石圈中的有机碳是参与大气圈二氧化碳交换、影响全球气候变化的主要碳形态。这些碳主要赋存在土壤中,土壤有机碳储量巨大。研究者估算,陆地土壤碳储量约为1200~2500Pg,是大气碳库的2倍,陆

地生物量的2~3倍。

目前,国际地质碳汇研究集中在两个方面:一是研究地壳表层的岩、土、水吸收存储二氧化碳的机理和潜力;二是研究二氧化碳地下封存关键技术。

## 1 开展地质碳汇工作的意义

我省处于工业化中期,产业以资源型为特征;生产以劳动密集型为主体;工业以高能源消耗、地质环境严重破坏、高二氧化碳排放为代价。我省煤炭、有色金属选冶、火电等传统能源开发利用承载着安徽几十年的发展,但也在很大程度上影响了人民的生存环境。据统计,我省2008年能源消费量达 $8341.6 \times 10^4 \text{t}$ 标准煤,温室气体排放量约为 $29761.75 \times 10^4 \text{t}$ ,占全省二氧化碳排放总量的75%左右。此外占较大比例的是水泥孰料制造过程中的排放。我省减缓温室气体排放的目标与任务是:到2010年,努力实现万元生产总值能耗比2005年降低20%;力争到2015年,万元生产总值能耗至少降低15%。因此我省二氧化碳减排任务非常艰巨。

面对巨大的减排压力,摸清我省地质系统中碳储量家底,查明地质碳汇潜力和二氧化碳地下储存潜力对我省二氧化碳减排将具有举足轻重的作用,伴随国内外研究的升温,在我省开展此项研究工作已刻不容缓。

按照国土资源部的部署要求,地矿部门必须有所作为,要在地质碳汇和二氧化碳地下封存方面做

收稿日期:2010-05-15

作者简介:方星(1956-),男,安徽旌德人,教授级高级工程师,现从事安徽省地质矿产勘查局水工环地质管理工作。

出贡献,为低碳经济提供技术支撑。

## 2 地质碳汇工作展望

### 2.1 地质系统中的碳储量

地质系统中碳储量研究应该是地质碳汇研究的基础问题,家底不清将成为困扰许多研究工作的障碍。

为了解地质系统中的碳汇作用,美国地质调查局上世纪90年代启动了密西西比河流域的碳计划<sup>[2]</sup>,耗资 $10 \times 10^9$  USD,在这个占据美国领土40%的大流域中,以小流域分期分批推进的方式持续进行监测研究。

储存在岩石和地下水中的碳主要是无机碳,分布稳定,仅部分参与碳交换,易于查清,但专门研究却开展的极少。地下水碳汇的研究刚刚起步,关注度较低。土体中的碳储量研究主要局限于表层土壤层,尤其是土壤有机碳的研究,国内外科学家已开展多年,取得了许多积极的进展。现有研究成果表明,土壤是地球表层系统参与全球碳循环及影响全球气候变化的主要碳储库,土壤有机碳问题在全球变化研究中具有重要的战略意义。土壤碳库活跃度大。有学者研究认为土壤有机碳库变化0.1%将导致大气圈二氧化碳浓度1mg/L的变化,全球土壤有机碳10%转化为二氧化碳,其数量将超过30年来人类二氧化碳总量排放。中国国土面积占世界的1/15,土壤有机碳库储量仅为 $500 \times 10^8 \sim 1000 \times 10^8$  t,远低于世界平均水平。

中国地质调查局近年来对四川、湖南、吉林、江苏、陕西、河北六大区域 $160 \times 10^4$  km<sup>2</sup>国土面积开展了土壤地球化学调查,资料表明:0~1.8m深度土壤碳储量估算最高的四川省是24813 t/km<sup>2</sup>,最低的河北省为10525 t/km<sup>2</sup>。据此粗略估算,中国大陆在深度范围0~1.8m平均土壤碳储量为1533 t/km<sup>2</sup>;土壤平均碳密度为48.8 t/hm<sup>2</sup>,低于美国的50.3 t/hm<sup>2</sup>、欧盟的70.8 t/hm<sup>2</sup>。

南京农业大学许兴旺等利用全国第二次土壤普查资料<sup>[3]</sup>,研究了安徽省不同土地类型表层土壤的有机碳密度。研究结果表明,安徽省土壤平均有机碳密度为 $31.64 \pm 16.39$  tC/hm<sup>2</sup>,其中林地 $36.36 \pm 18.75$  tC/hm<sup>2</sup>,旱地 $17.58 \pm 6.07$  tC/hm<sup>2</sup>,水稻土耕层有机碳密度为 $27.7 \pm 6.72$  tC/hm<sup>2</sup>,犁底层有机碳密度为 $14.11 \pm 6.44$  tC/hm<sup>2</sup>。林地表层土壤有机碳密度高于全省表层土壤平均有机碳密度,旱作表层土壤有机碳密度则低于全省平均值。有机碳密度

的大小顺序为:林地>水稻土耕层>旱地。安徽省表层土壤有机碳储量分布也表现为:林地>水稻土>旱地。表层土壤有机碳总量达0.28Pg,其中林地占50%,水稻地占23%,而旱地只占18%。

土壤是在气候、母质、生物、地形、时间和人为作用等众多因素影响下形成的,其中有机碳总体分布呈不均匀状态。土壤有机碳含量与土壤类型、生态系统、土地利用方式等有关,还取决于净生物输入量、耕作方式和有机碳稳定性等众多因素<sup>[2]</sup>。因此,目前土壤碳储量计算结果误差较大,所有成果还局限于粗略估算。因此,我省地质系统中碳家底的调查还有许多工作待做。

### 2.2 地质系统中的碳循环

地质系统在昼夜不停地参与全球碳循环。二氧化碳从岩石圈进入大气圈叫地质碳源,二氧化碳从大气圈进入岩石圈叫地质碳汇,地质系统即是全球最大碳源,也是全球最大的碳汇。

地壳岩石中平均含有0.27%的碳,约有 $6.55 \times 10^{20}$  t,其中73%是以碳酸盐岩(海相碳酸盐岩、沉积碎屑岩中碳酸盐胶结物以及泥质岩中碳酸盐矿物)和幔源碳的形式存在<sup>[4]</sup>,其余部分以石油、天然气、煤等各种有机碳形式存在。在各种内外营力作用过程中(如脱碳气、氧化、热裂解、微生物降解等),碳以水溶气相、油溶气相、连续气相、连续液相等各种形式迁移或转化,最终以二氧化碳等气体形式通过地下水、油(气)田、地热区、活动断裂带和火山活动不断地释放到大气圈,构成地质系统中的碳源。

地壳表层的岩石在风化、溶蚀过程中不断吸收大气圈中的二氧化碳,以及土壤在形成过程中,不断地积存来源于生命的物质,构成了地质系统中的碳汇。地质碳汇研究目前主要集中在岩溶碳汇和土壤碳汇两个方面。中国地质科学院桂林岩溶研究所袁道先院士就先后领衔4项联合国教科文组织资助的国际地质对比计划,其中,1994年~1999年主持的“岩溶作用与碳循环”项目,对岩溶碳汇效应作了深入研究。国内外岩溶地质观测资料显示,现代的岩溶作用对大气二氧化碳具有显著的捕获回收效应,全球碳酸盐岩溶解回收大气二氧化碳的速率每年超过 $6 \times 10^8$  t碳。袁先生给了一个形象的数据:1t的石灰岩溶蚀,能够从大气中回收120kg的碳<sup>[5]</sup>。土壤碳循环相当复杂,土壤中的有机碳与大气圈二氧化碳频繁地进行着交换,土壤表层生物残体源源不断地进入土壤层构成碳汇,而土壤中植物根系的呼

吸、微生物对土壤有机质的分解又源源不断地向大气释放二氧化碳,这种交换量非常巨大,大约占陆地表层生态系统碳储量的2/3。可以说,土壤碳库是地球系统处于活跃状态的最大碳汇,同时也是温室气体的主要碳源。

地质碳汇潜力评价主要是通过系统地部署监测点,采样测定一定时期内岩、土、水中碳密度的变化,计算吸收二氧化碳数量,以此来判定岩土层固碳的潜力,或与发达国家相同条件现状值的对比,可确定我国岩土层目前的含碳水平或差距。

安徽省北部、沿淮、沿江碳酸岩盐广布,岩溶碳汇至今尚无人研究,碳汇潜力还是未知数。因此,在节能减排巨大压力面前,亟待建立岩溶碳汇效应动态监测网络,准确测算我省岩溶碳汇对大气二氧化碳回收的贡献,定量评价我省岩溶碳汇潜力。

我省地下水几十年的监测结果显示,浅层地下水及岩溶地下水的碳储量多呈逐年递增趋势。地下水作为环境变化的受体和信息载体,值得我们深入研究。岩溶区水岩相互作用所导致的碳酸盐溶解与沉淀是全球碳循环的重要环节,因此,加强水岩(土)作用过程中无机碳对全球气候的碳汇作用研究,对应对全球变暖,荒漠化治理均具有重要影响。再有,因长期开采导致地下水位降低对环境的影响也是一个不容忽视的科学问题。张宗枯院士等的研究表明,超量开采地下水同样意味着额外的二氧化碳排放。根据水中平均的总碳含量估算求得每采 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 地下水,其蒸发消耗二氧化碳量约相当于燃烧9000t煤所排放的碳量。

我省土壤分布面积约 $987 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,固碳潜力巨大。研究我省丘陵、平原区土壤碳汇机理及碳循环规律,估算我省土壤碳储量和碳汇潜力,监测土壤碳库变化,发展固碳增汇技术既是一项基础研究,也是我省节能减排的政治任务。中国地质调查局先后立项在我省开展了江淮流域生态地球化学调查(2002~2006年)和县(市)土地质量评估(2009年启动)。国土资源部已经完成了全国第二轮土地质量调查。但上述项目主要是对土壤的化学环境和土地质量进行全方位的调查评价,并没有针对土壤中的碳元素开展专项调查。因此迫切需要在上述研究的基础上开展全省土壤地质碳汇专项研究,通过加密采样,提高我省土壤碳储量的估算精度,较准确评价我省土壤碳汇潜力。根据我省各地土壤碳水平现状,寻求诸如改变土地利用方式、增加土壤有

机质、加强土壤固碳作用等一系列固碳增汇战略措施。

### 2.3 二氧化碳地质封存

目前二氧化碳地质封存研究主要集中在两个方面,一是矿物固碳技术研究<sup>[6]</sup>,另一方面就是二氧化碳碳地下空间储存。

矿物固碳技术研究目前还处在起步阶段,主要是模仿自然界中Ca/Mg硅酸盐矿物的风化过程<sup>[7]</sup>,将大气中的二氧化碳转化成碳酸盐岩永久固定下来。寻找适宜与碳发生化学反应的岩石与矿物、查明这种适宜固碳的岩石、矿物、尾矿的空间分布及其资源潜力是该项工作的主要任务,目的是固碳增汇工程提供科技支撑。

二氧化碳地下储存目前被公认为最有潜力的二氧化碳减排技术,是地质碳汇研究领域中的关键技术<sup>[8]</sup>。CO<sub>2</sub>地质处置是一项具有广泛运用前途的应用技术。根据美国普林斯顿大学研究表明,美国Viking地层贮存CO<sub>2</sub>的容量可以达到 $2000 \times 10^8 \text{ t}$ ;日本“R&D”项目初步估算<sup>[9]</sup>,其国内深部含水层可贮存CO<sub>2</sub>达 $88 \times 10^8 \text{ t}$ ;Robert G. Bruant和Michael A. Cellia等(2002年),估算了世界范围内的CO<sub>2</sub>的地下贮存容量,按可用于贮存CO<sub>2</sub>的陆地沉积盆地面积约 $7000 \times 10^4 \text{ km}^2$ ;假定平均可用厚度为200m,含水层平均孔隙度10%,可容纳CO<sub>2</sub>达56 000Gt(1Gt= $10^9$ 吨);若以20%平均孔隙度计算,全球陆基深部含水层容纳CO<sub>2</sub>可达10000 Gt至200000Gt。这样大的贮存空间可以存放人类几百年乃至几千年的CO<sub>2</sub>的排放量。

2005年,中国地质调查局文冬光等初步估算<sup>[10]</sup>,中国CO<sub>2</sub>地下贮存总容量为 $14548 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中:24个主要沉积盆地深部咸水层可处置CO<sub>2</sub>约 $14350 \times 10^8 \text{ t}$ ,46个含油气盆地可处置CO<sub>2</sub>约 $78 \times 10^8 \text{ t}$ ,68个主要煤层区可处置CO<sub>2</sub>约 $120 \times 10^8 \text{ t}$ 。若CO<sub>2</sub>集中排放量按2002年我国CO<sub>2</sub>总排放量 $33 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8 \text{ t}$ 的1/3的计算,地下处置容量可供我国CO<sub>2</sub>地下处置使用1000年以上。

由中国地质调查局水文地质环境地质调查中心承担的“我国二氧化碳地质储存关键技术研究”项目总体设计已于2009年5月通过专家审查。项目力求通过对二氧化碳地质储存的勘查、评价关键技术方法和相应指标体系研究,为我国大规模实施二氧化碳地质储存工程奠定基础。

安徽省是矿业大省,并以地下开采为主,在开采过程中留下了大量的地下空间。据不完全统计,

我省两淮因采煤形成的采空区面积达300km<sup>2</sup>,铜陵开采金属矿的采空区已达2.5km<sup>2</sup>,还有定远的盐矿采空区,马鞍山的铁矿采空区等,这都是储存二氧化碳的有利部位。我省中新生代盆地广泛分布,如合肥盆地、淮北平原、沿江平原等,深部含水层均适宜二氧化碳封存。我省煤层分布广泛,其中不可开采煤层占有相当比例,也是进行CO<sub>2</sub>处置的良好地带,且处置潜力巨大。我省的二氧化碳地下储存具有广阔的前景,将为我省二氧化碳减排提供有力支撑。评价我省二氧化碳地质储存适宜区与远景区,选择典型地区开展二氧化碳地质储存示范工程研究将是我省近期亟待开展的一项基础地质工作。

### 3 结语和建议

二氧化碳减排既是我省的一个重大战略目标,同时也是一个重大的科学问题。根据以上研究,我省的地质系统具有巨大的固碳、储碳潜力,能够为我省今后几百年甚至上千年的二氧化碳排放提供处置场所。因此,我省应早日开展CO<sub>2</sub>地质碳汇、地质储存勘查研究。现就我省进一步开展此项工作提出如下建议:

#### 3.1 开展地质碳汇调查

通过建立监测网,对岩、土、水的取样测试,重点开展岩溶碳汇、土壤碳汇和地下水碳汇及其环境效应研究,进一步摸清我省地质系统中碳储量家底,进一步评价我省岩溶、土壤、地下水吸收二氧化碳的潜力,寻找地质系统固碳增汇的技术措施,探索地质碳汇的研究理论方法,为我省制定相关的政策、法规、规范、标准提供科学依据。

#### 3.2 开展二氧化碳地质封存研究

瞄准国内外二氧化碳地下储存的研究成果,围绕全省中新代生沉积盆地、主要煤层分布区开展二氧化碳处置空间调查工作,重点调查沉积盆地区、矿山采空区、不可采煤层分布区的范围、深度、孔隙度、渗透性、盖层厚度及密闭性等内容,划分适宜二氧化碳地下封存的空间范围,评价其储存潜力。

#### 3.3 开展二氧化碳地质处置试点工程研究

选择典型地区(如在淮北平原西部深部含水层),与大型企业合作开展二氧化碳地下封存试点、示范

研究。总结二氧化碳地质存储的技术方法,编制相关规程规范。为政府制定相关的政策法规;为采用经济杠杆促进全省二氧化碳地质处置提供科学依据。

地质碳汇研究是一个全新的地质服务领域,以上所述仅为作者对这方面工作的初步探讨和展望,希望能起到抛砖引玉的作用,使大家能关注这一领域,并着力推动这方面的工作。

#### 参考文献:

- [1] 邱冬生,庄大方,胡云峰,等.中国岩石风化作用所致的碳汇能力估算[J].地球科学-中国地质大学学报,2004,29(2),177~190.
- [2] 李晓明.国土资源部部长徐绍史-中国地质碳汇监测计划启动[N].科学时报,2010.3.
- [3] 许信旺,潘根兴,侯鹏程.不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响[J].水土保持学报,2005,19(6):193~200.
- [4] 蒋倩,李心清,丁文慈,等.岩溶水系统对大气CO<sub>2</sub>的潜在影响[J].矿物岩石地球化学通报,2006,25(3),226~234.
- [5] 袁道先.地球系统的碳循环和资源环境效应[J].第四纪研究,2001,21(3):223~232.
- [6] 二氧化碳矿物碳酸化固定的技术进展,中国化工信息网2007-11-6.
- [7] Jefferson mortatti, Jean-luci probst. Silicate rock weathering and atmospheric/Soil CO<sub>2</sub> uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variation [J]. Chem. Geol. 2003, 197:177~196.
- [8] IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change [c]// Metz B,Davidson O,de Coninck H C, et al, eds. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge: Cambridge University Press,UK and New York, 2005:195~276.
- [9] 张炜,李义连,郑艳,等.二氧化碳地质封存中的储存容量评估问题和研究进展[J].地球科学进展,2008,23(10),1061~1069.
- [10] 文冬光,吴登定,孙继潮,等.CO<sub>2</sub>地质处置研究现状和有关建议[J].中国地质环境信息网,2005-11-7.
- [11] 刘建栋,胡汉,张龙军.流域化学风化作用的碳汇机制研究进展[J].土壤通报,2007,38(5):998~1002.
- [12] 张军,李桂菊.二氧化碳封存技术及研究现状[J].能源与环境,2007(2),33~35.
- [13] 刘玉,刘德深,沈立成.云南维西花岗岩地区水文地球化学特征及形成机制研究[J].地球化学,2007,36(2),161~170.
- [14] 刘玉,刘德深,沈立成.花岗岩地区碳汇计算及影响因素研究[J].地球化学,2008,37(3),281~28

(下转第89页)

- 古生物研究所集刊,地层文集,第1号.北京:科学出版社,1964,21~66.
- [4] 穆恩之,葛梅钰,陈旭,倪寓南,林尧坤.安徽南部奥陶纪地层新观察[J].地层学杂志,1980,4(2),81~86.
- [5] 李积金.安徽南部上奥陶统的笔石并论围笔石属[J].古生物学报,1985,5(24):539~547.
- [6] 冯洪真,俞剑华,方一亭.皖南胡乐地区中奥陶统胡乐组微量元素的初步研究[J].南京大学学报(地球科学),1990,2(1).
- [7] 俞剑华,方一亭,刘怀宝.安徽省宁国县胡乐地区含笔石地层研究新进展[J].中国地质科学院院报,1986.12:25~343.
- [8] 方一亭,冯洪真,俞剑华.安徽省宁国县胡乐地区的胡乐组[J].地层学杂志,1989a,4(13).
- [9] 方一亭,冯洪真,俞剑华.安徽省宁国县胡乐司中奥陶世胡乐组的笔石[J].古生物学报,1989b,6(28).
- [10] 安徽省地质矿产局区域地质调查队.安徽地层志·奥陶系分册[M].合肥:安徽科学技术出版社,1989.
- [11] 安徽省地质矿产局区域地质调查队.安徽笔石化石[M].合肥:安徽科学技术出版社,1982.

## RESTUDYING THE ORDOVICIAN SYSTEM IN HULE, NINGGUO, ANHUI

GONG Wei-li<sup>1</sup>, QI Dun-lun<sup>2</sup>, BI Zhi-guo<sup>2</sup>, JIANG Li-fu<sup>3</sup>

(1. *Anhui Museum of Paleontological Fossils, Hefei, Anhui 230001, China*; 2. *No.327 Geological Party of Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Hefei, Anhui 230011, China*)

**Abstract:** The Hule stratigraphy, Ningguo that belongs to the Jiangnan Division of the Yangtze Stratigraphy is an area where the Ordovician system is widespread and outcropped completely, cross section is intact and sequence clear, and fossils are abundant, being typical and representative both domestically and in broader range. The Ordovician system in this area that is divided into from bottom to top the Tanjiaqiao Formation, Ningguo Formation, Hule Formation, Yanwashan Formation, Huangnigang Formation and Xinling Formation, is in conformity both with the underlying late Cambrian to early Ordovician Xiyangshan Formation and with the overlying late Ordovician to early Silurian Xiaxiang Formation, furthermore, the formations in the system are also continuously deposited and in conformity with one another. The lower stage of the former Yanwashan Formation was found at Meishuxia, Hule, and the turbidity current deposit of Ningguo Formation and its Bauma Sequence were firstly discovered at Jiangjunling, Hule.

**Key words:** Restudy; Ordovician system; Hule, Ningguo

(上接第84页)

## GEOLOGICAL CARBON SINK POTENTIAL AND GEOLOGICAL STORAGE OF CARBON DIOXIDE IN ANHUI PROVINCE

FANG Xing<sup>1</sup>, SUN Jian<sup>2</sup>, WEI Yong-xia<sup>2</sup>

(1. *Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Hefei, Anhui 230001, China*; 2. *Anhui General Station of Geological Environment Monitoring, Bengbu, Anhui 233000, China*)

**Abstract:** Climate change is a major global challenge to face. It is not only a significant scientific issue, but also a big political issue. It is the mission for all human beings to contain global warming and salvage the earth home. Anhui province is at the stage of industrial acceleration characterized by high percentage of high energy consumption industries facing huge pressure on reduction of carbon dioxide emission in the future. It is an important technical means to enhance industrial restructuring, reconstruct and improve high-carbon industries with low-carbon technology, besides, geological carbon sink is another major approach to reduction of carbon dioxide emission. In this regard karst carbon sink plays a remarkable role and soil has tremendous potential in carbon fixation. It has been an unavoidable major scientific issue to strengthen geological aspect in the research program for reduction of carbon dioxide and alleviating greenhouse effect.

**Key words:** geological carbon sink; potential; geological storage of CO<sub>2</sub>; Anhui Province