



中国地质调查局

CHINA GEOLOGICAL SURVEY



二氧化碳地质储存监测：神华CCS示范项目案例研究CO₂ Geological Storage Monitoring Case Study: the Shenhua CCS project

李旭峰 LI Xufeng

Prepared by: 李旭峰&王永胜

中国地质调查局水文地质环境地质调查中心
Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey ,
China Geological Survey

神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯分公司
China Shenhua Coal to Liquid and Chemical CO., LTD

Jun. 30th, 2017

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





汇报内容/OUTLINE



一、神华集团CCS示范工程概况

二、神华集团CCS示范工程监测技术及取得的认识

三、神华集团CCS示范工程后续监测设计

四、结论与建议

一、 General Introduction of Shenhua CCS Project

二、 Monitoring Achievements

三、 Future Monitoring Plan

四、 Conclusions



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



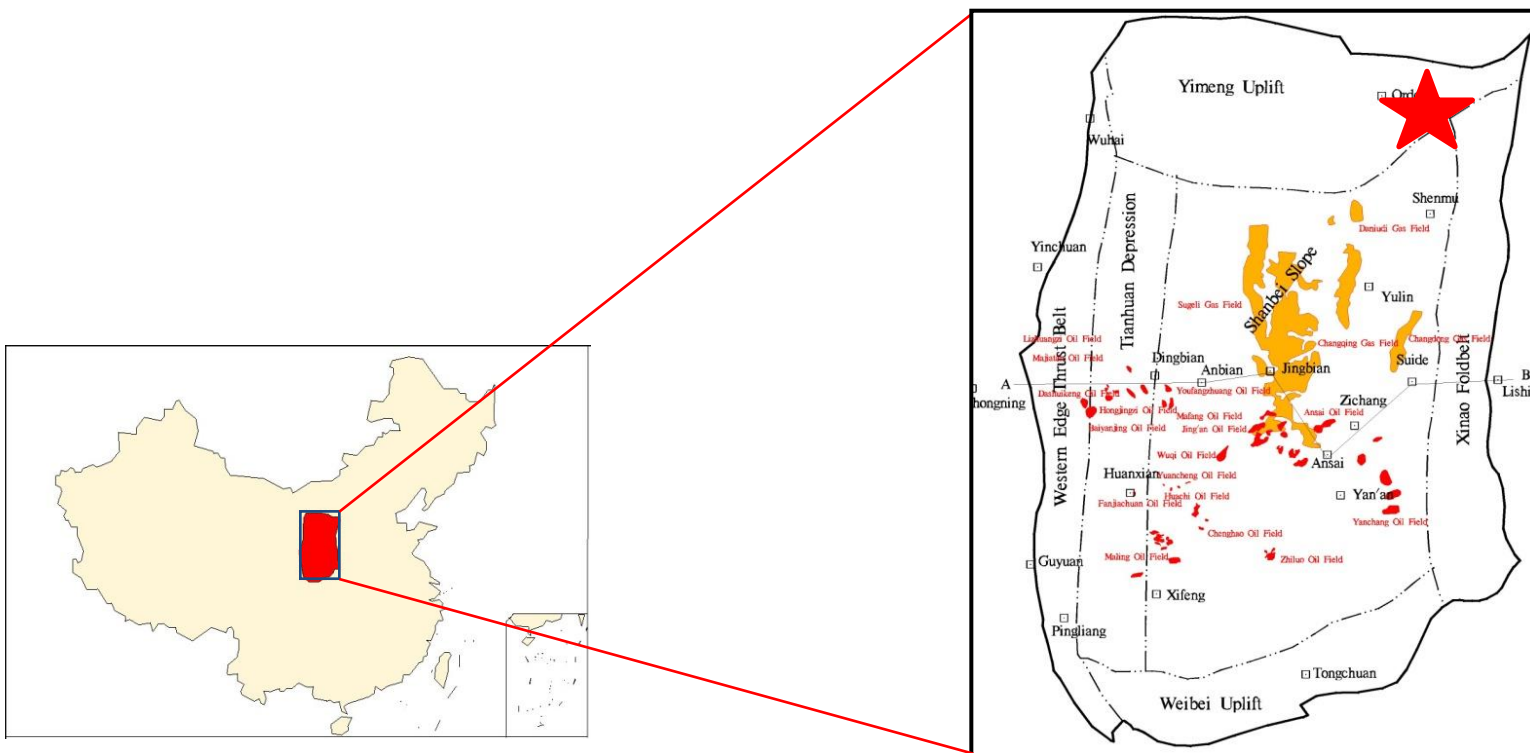


神华集团CCS示范工程概况

General Introduction of Shenhua CCS Project



神华CCS示范项目位于内蒙古自治区鄂尔多斯市伊金霍洛旗境内。鄂尔多斯盆地东北部，封存地质构造属于鄂尔多斯盆地伊盟隆起。



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存





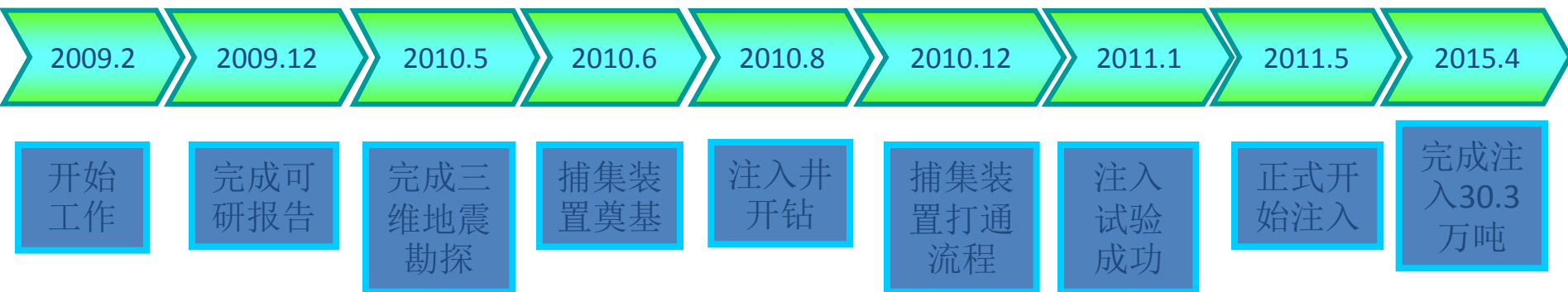
神华集团CCS示范工程概况

General Introduction of Shenhua CCS Project



项目历程

Project history



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存





神华集团CCS示范工程概况

General Introduction of Shenhua CCS Project



运输
公路罐车, 13km
Transportation
(Trucks, 13km)



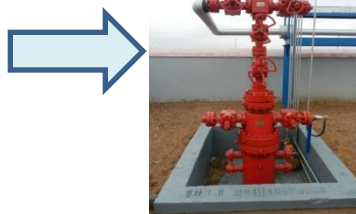
提纯、压缩
CO₂纯度: 99.99%
Purification and Compress
(CO₂ purity: 99.99%)



捕获: 神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯分公司
CO₂纯度: 88.8%
Caprture (CO₂ purity: 88.8%)



缓冲罐区
加压、增温, 泵注
Buffer tanks
(compression, warmming and pump in)



注入井
4个储层, 笼统注入
Injection well
(4 reservoirs, general inject)

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





神华集团CCS示范工程概况

General Introduction of Shenhua CCS Project



- 中国第一个煤基全流程深部咸水层二氧化碳地质储存示范项目
First coal-based whole process CCS demo-project in deep saline aquifers in China
- 灌注目标：10万吨/年
Injection target: 100,000t/a
- 截至2015年4月中旬：共注入30万吨CO₂
Total Injection of CO₂ until Apr. 2015: 300,000 tons



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存





汇报内容/OUTLINE



一、神华集团CCS示范工程概况

二、神华集团CCS示范工程监测技术及取得的认识

三、神华集团CCS示范工程后续监测设计

四、结论与建议

一、 General Introduction of Shenhua CCS Project

二、 Monitoring Achievements

三、 Future Monitoring Plan

四、 Conclusions

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





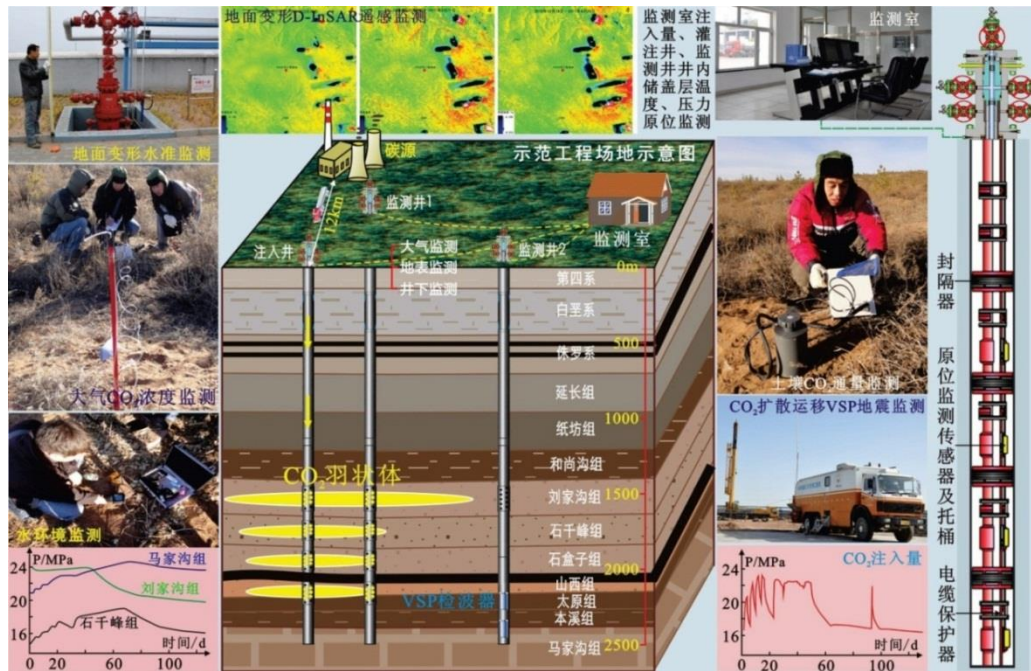
神华集团CCS示范工程监测认识

Monitoring Achievements of Shenhua CCS Project



探索建立了“大气—地表—地下”CO₂地质储存立体监测技术方法体系，提出了CO₂地质储存环境影响与安全风险评估方法。

Established a tridimensional monitoring method system of CO₂ geological storage including “Atmosphere -Surface- Underground”, and propose environmental assessment and safety evaluation of CCUS project



- 星载合成孔径雷达差分干涉测量
- 大气CO₂浓度
- 土壤CO₂通量
- 地面变形
- 水环境质量
- 井下压力温度原位监测
- 时移垂直地震剖面法
- D-INSAR
- Atmospheric CO₂ concentration
- Soil CO₂ flux
- Ground deformation
- Water quality
- In-situ pressure and temperature monitoring
- Time-lapse vertical seismic profile, VSP



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存

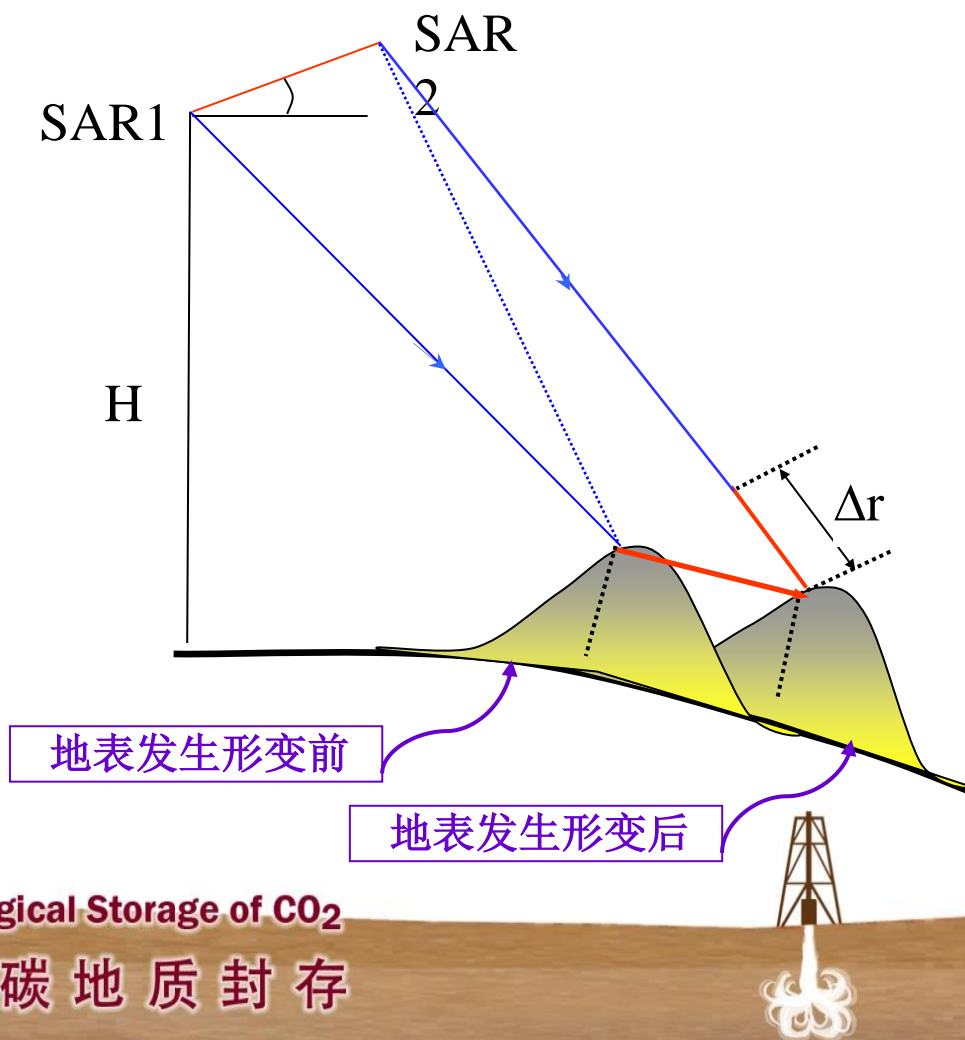


星载合成孔径雷达差分干涉测量

Differential Interferometry for Spaceborne Synthetic Aperture Radar

技术优势：

- ◆ 全天候全天时监测；
- ◆ 全覆盖；
- ◆ 高精度；
- ◆ 获取数据迅速；
- ◆ 历史重现；
- ◆ 成本低。





神华集团CCS示范工程监测认识

Monitoring Achievements of Shenhua CCS Project



星载合成孔径雷达差分干涉测量

Differential Interferometry for Spaceborne Synthetic Aperture Radar

| 期次 | 设计获取时间 | 实际获取时间 | 实际灌注量 (×10 ⁴ t) |
|------|----------|-------------|----------------------------|
| 第一期 | 2010年10月 | 2010年10月18日 | 0 |
| 第二期 | 2010年12月 | 2010年12月29日 | 0 |
| 第三期 | 2010年12月 | 2010年02月15日 | 0 |
| 第四期 | 2011年03月 | 2011年03月11日 | 0 |
| 第五期 | 2011年04月 | 2011年04月28日 | 0.1 |
| 第六期 | 2011年12月 | 2011年12月24日 | 1.30 |
| 第七期 | 2012年06月 | 2012年07月27日 | 5.00 |
| 第八期 | 2012年12月 | 2012年12月18日 | 7.00 |
| 第九期 | 2013年10月 | 2013年07月22日 | 13.00 |
| 第十期 | 2013年12月 | 2013年12月13日 | 17.00 |
| 第十一期 | 2014年06月 | 2014年06月23日 | 21.00 |
| 第十二期 | 2014年09月 | 2014年09月27日 | 24.00 |
| 第十三期 | 2014年10月 | 2014年10月21日 | 25.00 |
| 第十四期 | 2014年12月 | 2014年12月08日 | 26.00 |

灌注前背景监测

Baseline monitoring
before injection

灌注后运行监测

Injection Monitoring

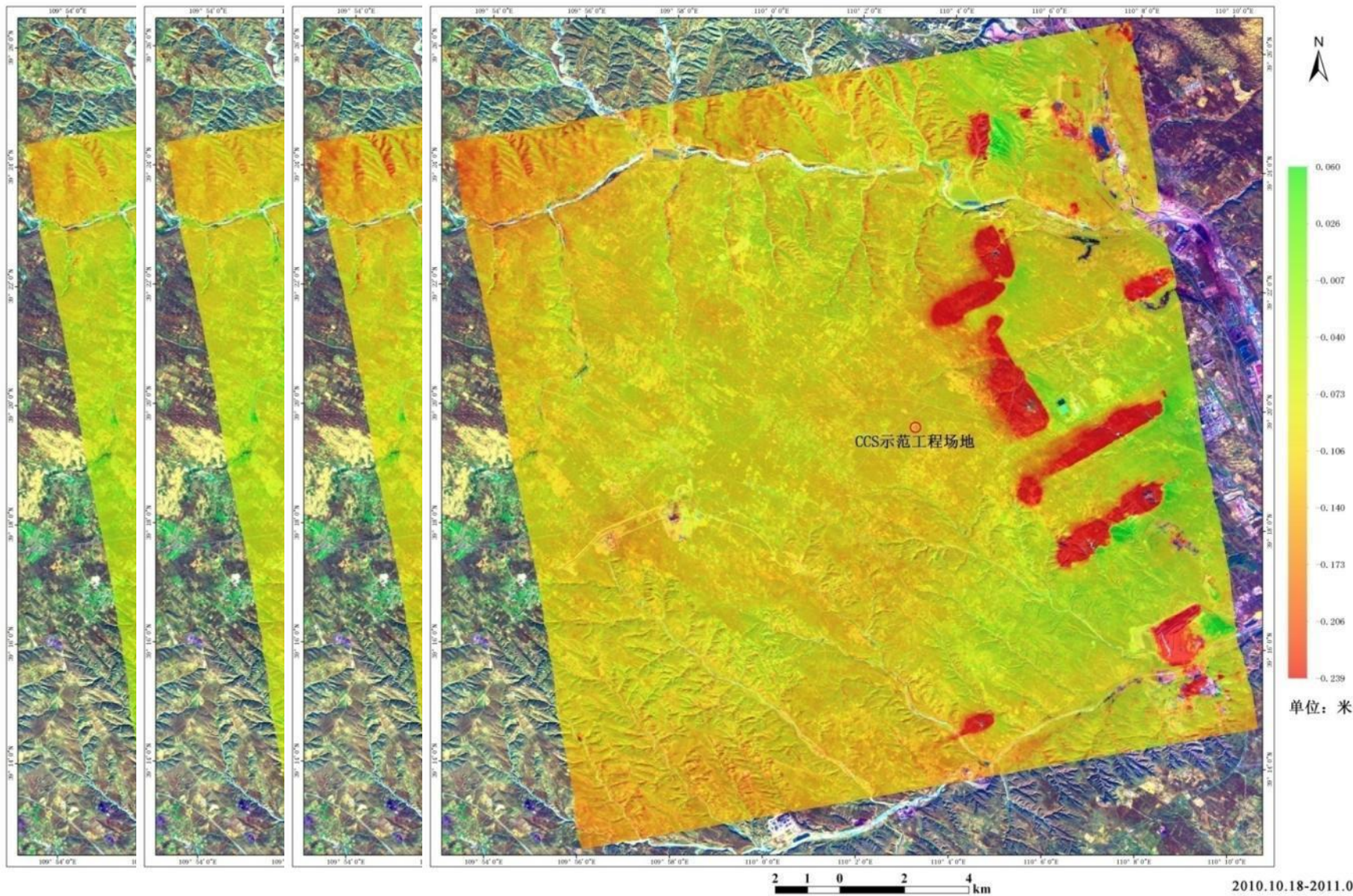


China Australia Geological Storage of CO₂

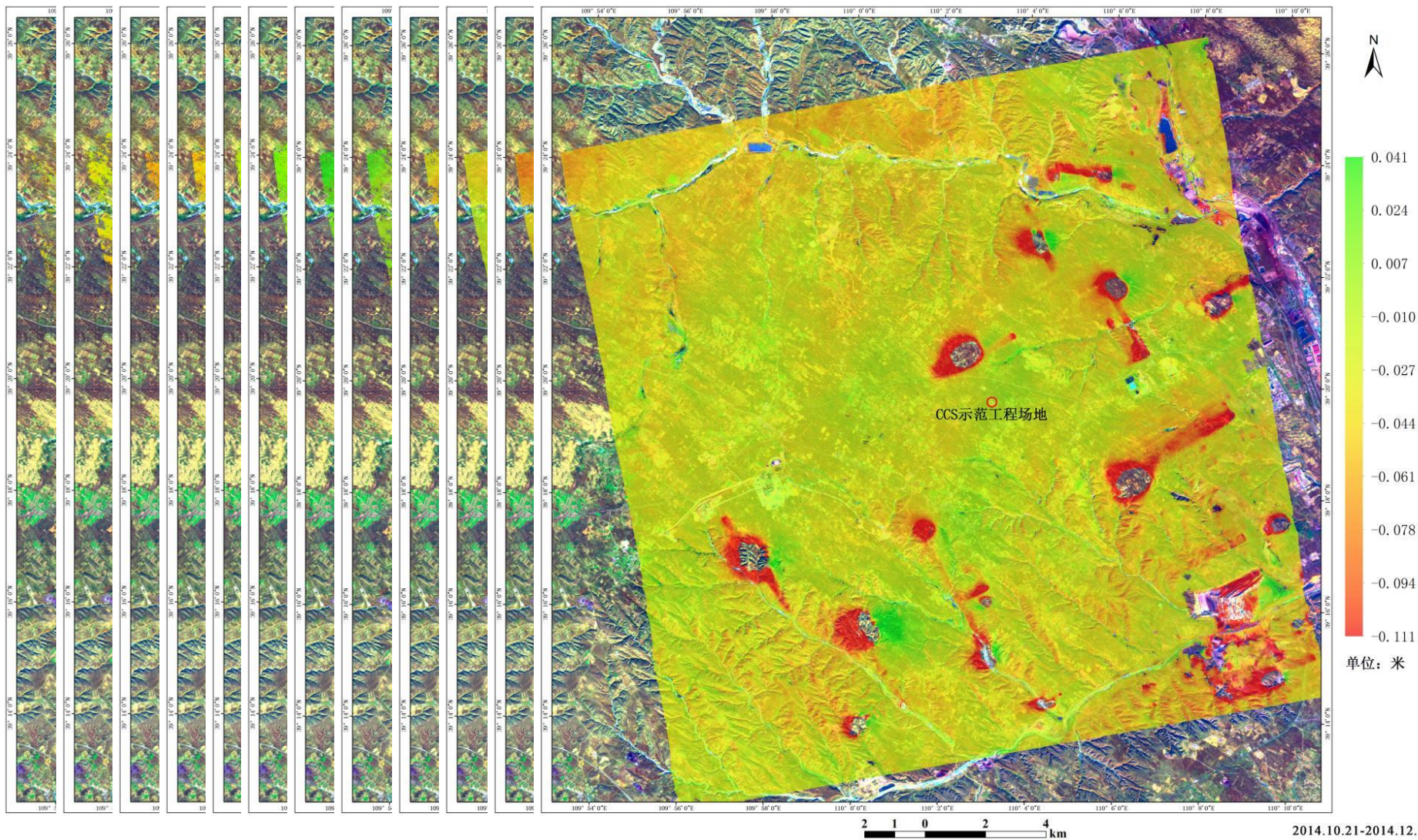
中澳二氧化碳地质封存

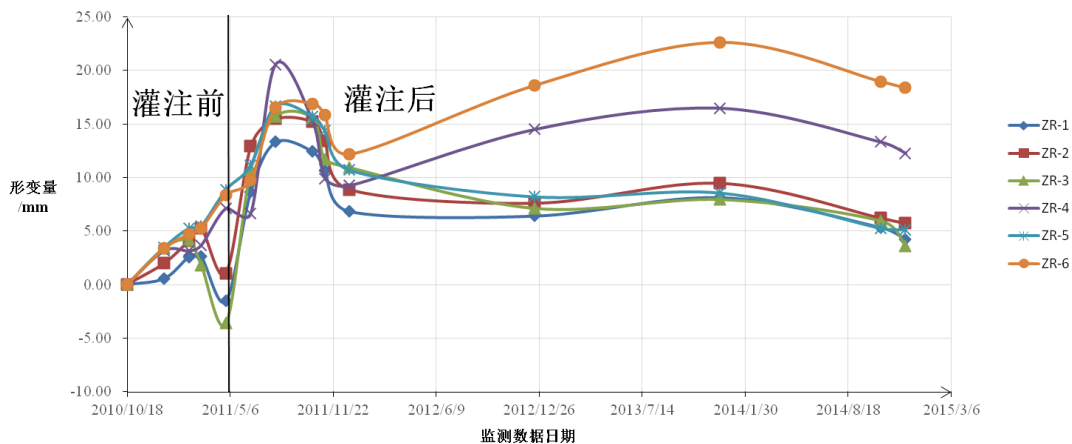


灌注前背景监测 Baseline monitoring before injection

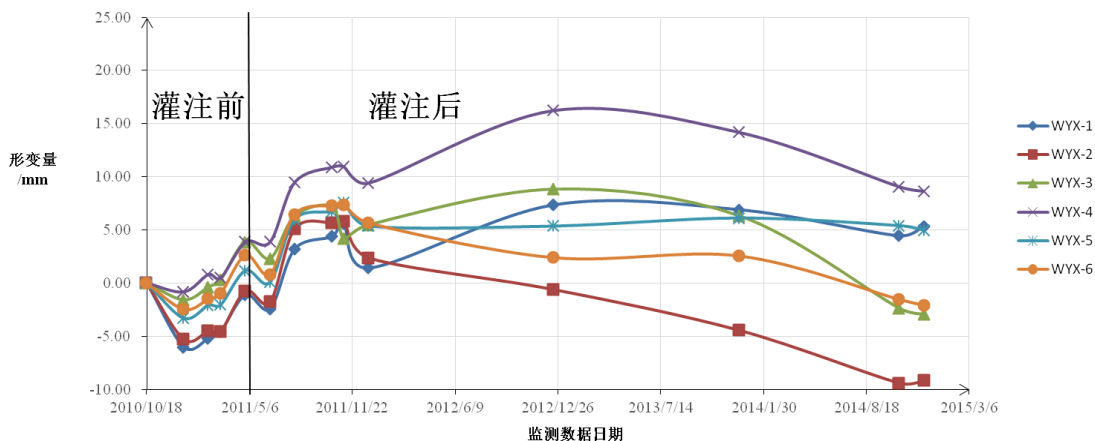


灌注后运行监测 Injection Monitoring





灌注前及灌注期间注入影响区典型监测点累计形变趋势图

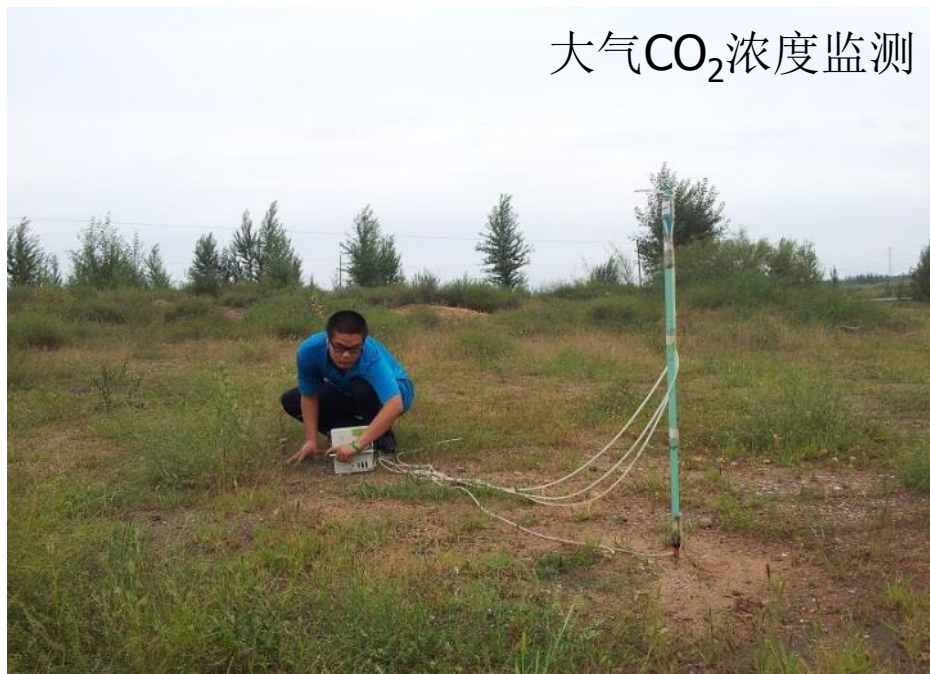
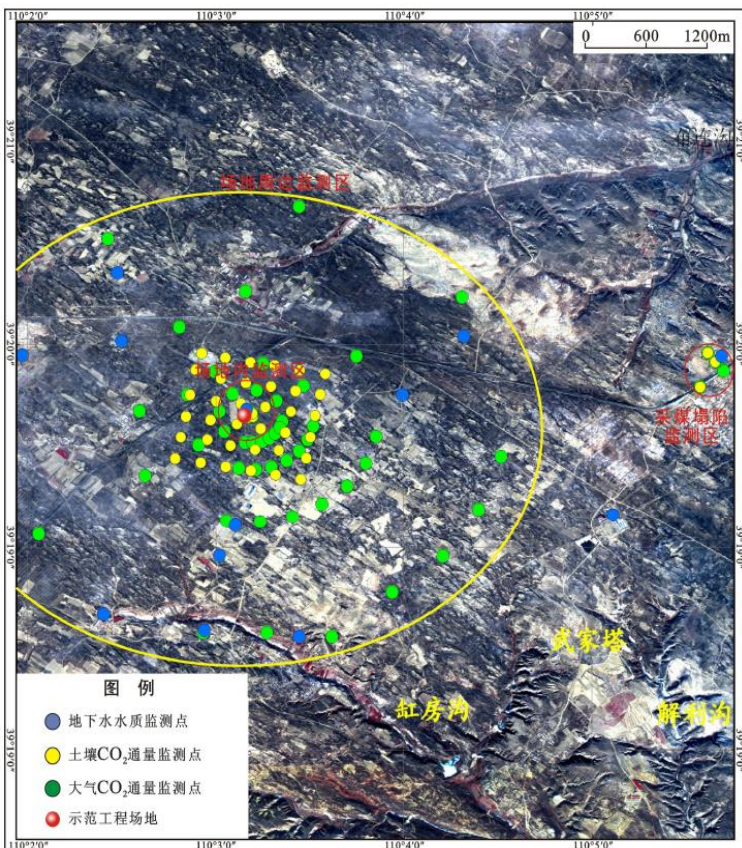


灌注前及灌注期间无显著影响区典型监测点累计形变趋势图

- 1、神华CCS示范工程灌注前，监测区地表变形背景值起伏度较小，灌注场地周边无明显的地面变形现象。
- 2、与灌注前相比，典型监测点的最大抬升变化值仍在厘米量级波动，场地周边无明显的地面变形。
- 3、随着CO₂注入影响区5处监测点地表形变均表现为线性下降趋势。随着CO₂灌注量的显著增加，地表形变量反而呈现下降趋势，进一步表明注入影响区地表形变没有受到CO₂灌注的影响。



大气CO₂浓度 Atmospheric CO₂ concentration



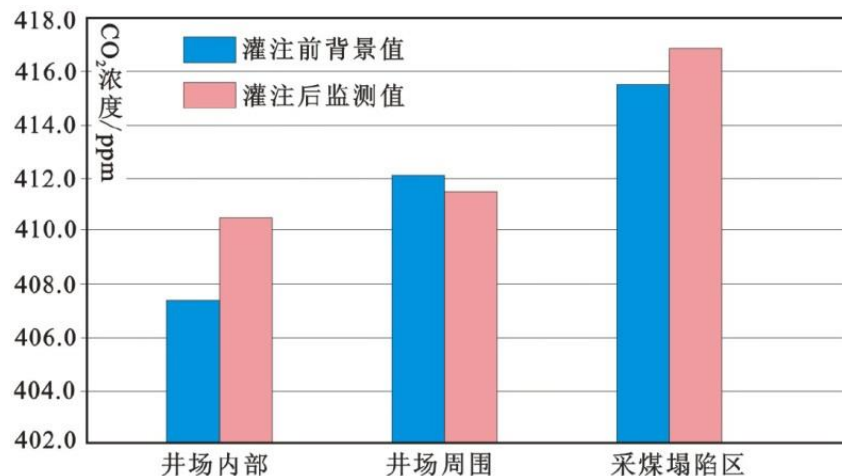
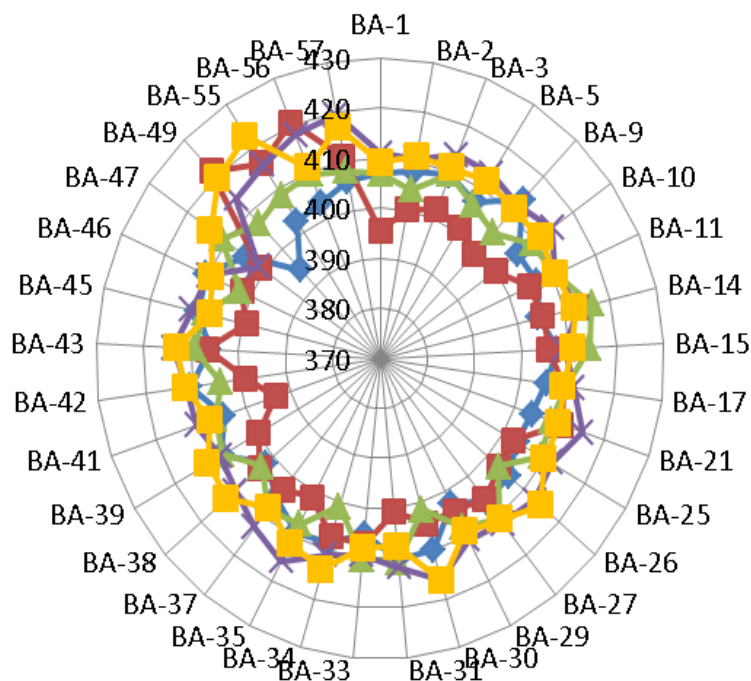


神华集团CCS示范工程监测认识

Monitoring Achievements of Shenhua CCS Project



大气CO₂浓度 Atmospheric CO₂ concentration



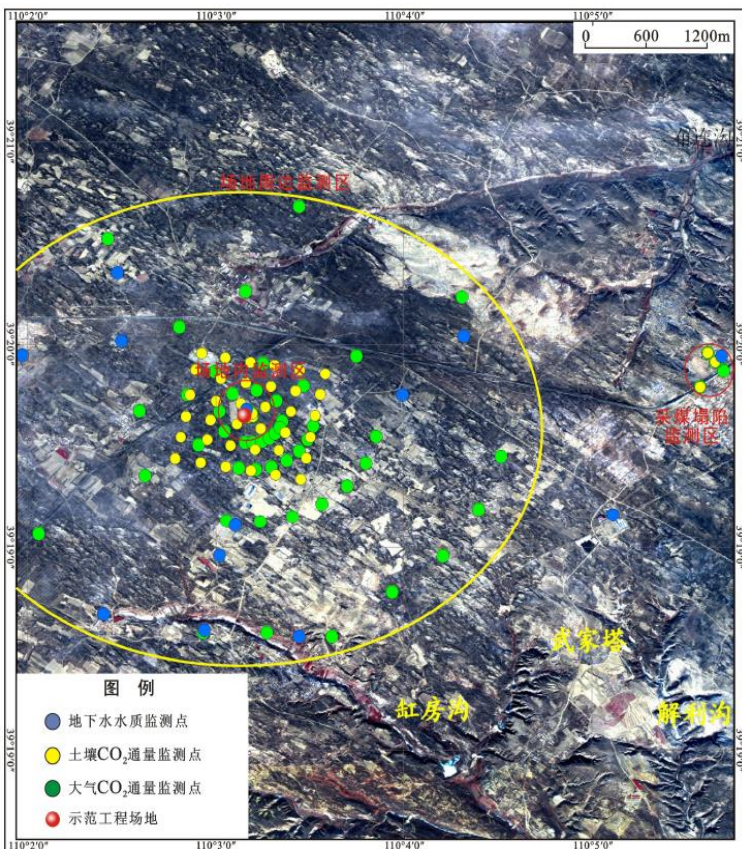
历年5月份灌注前后大气CO₂浓度监测对比图



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



土壤CO₂通量 Soil CO₂ flux



土壤CO₂通量监测



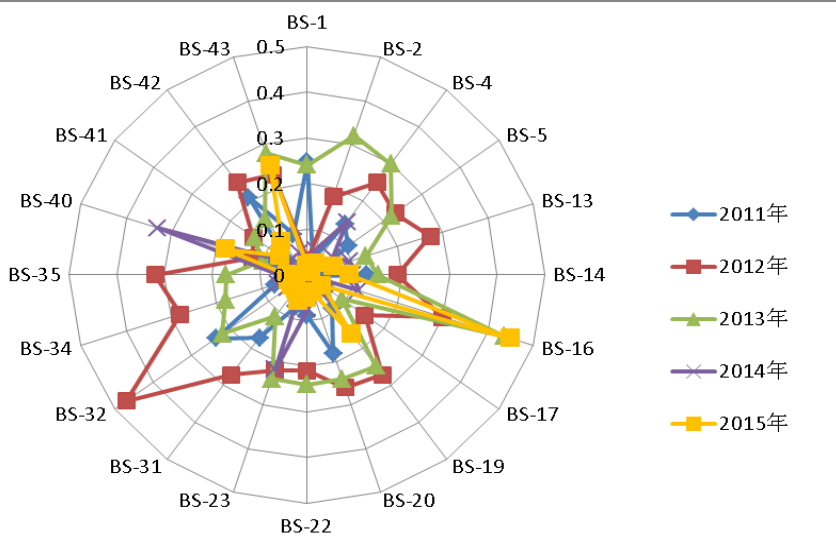


神华集团CCS示范工程监测认识

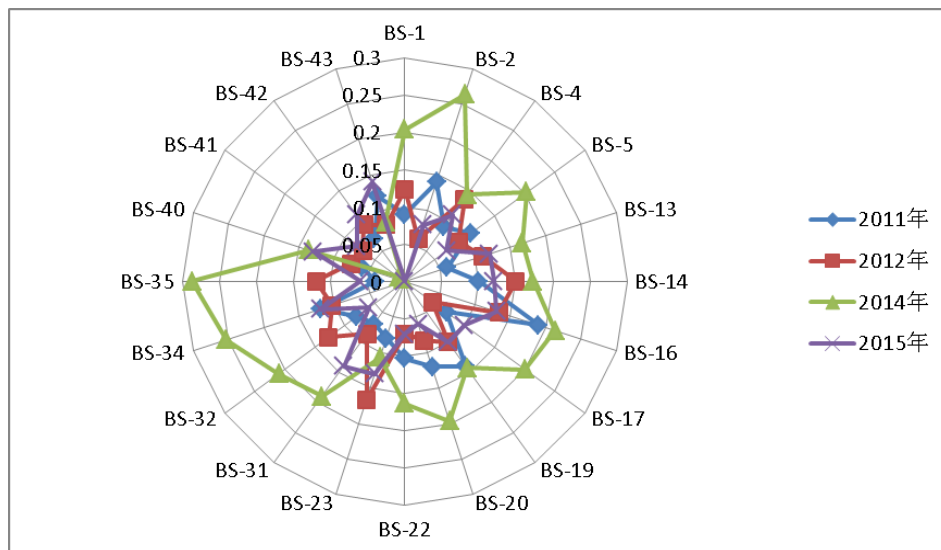
Monitoring Achievements of Shenhua CCS Project



土壤CO₂通量 Soil CO₂ flux



5月份土壤二氧化碳背景值与监测值对比曲线图



10月份土壤二氧化碳背景值与监测值对比曲线图

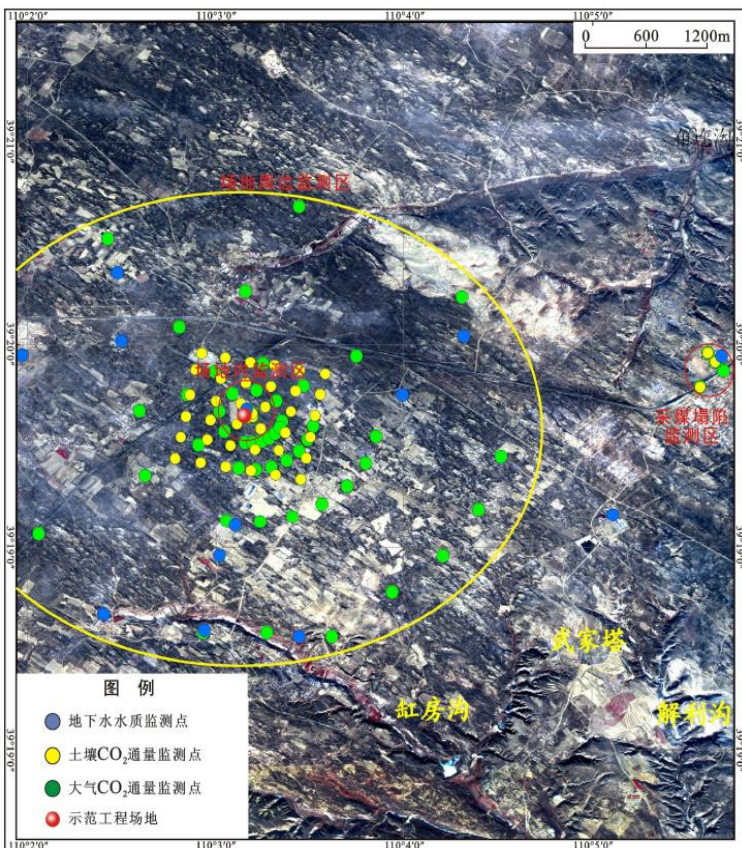


China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



水环境质量

Water quality





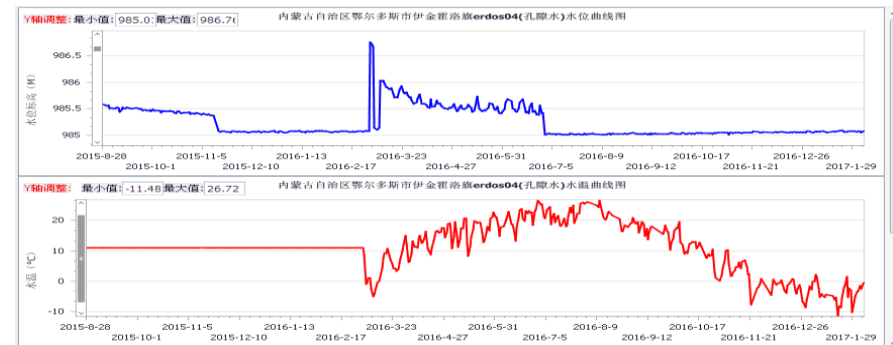
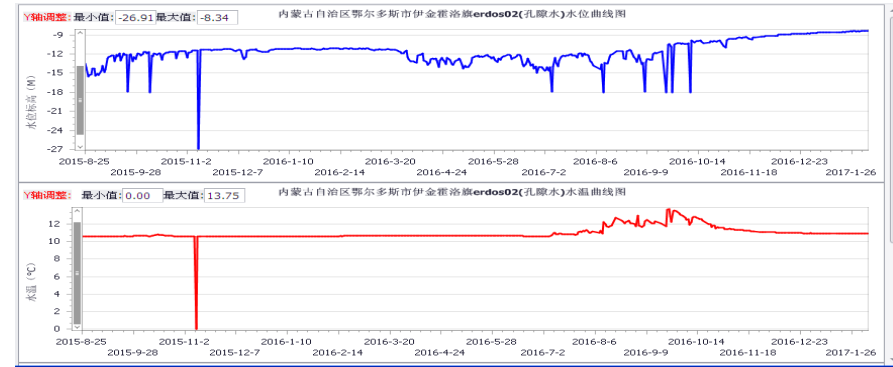
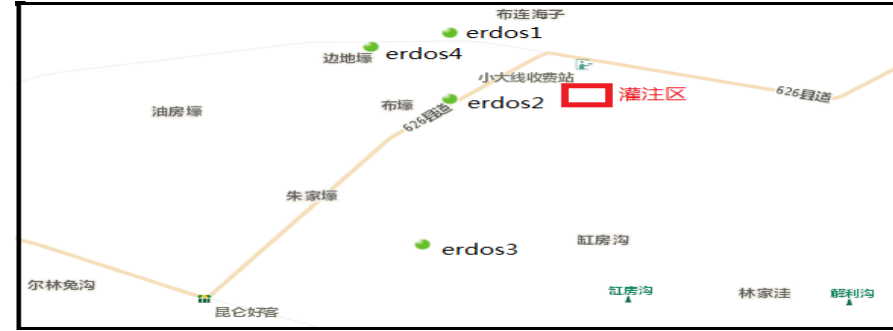
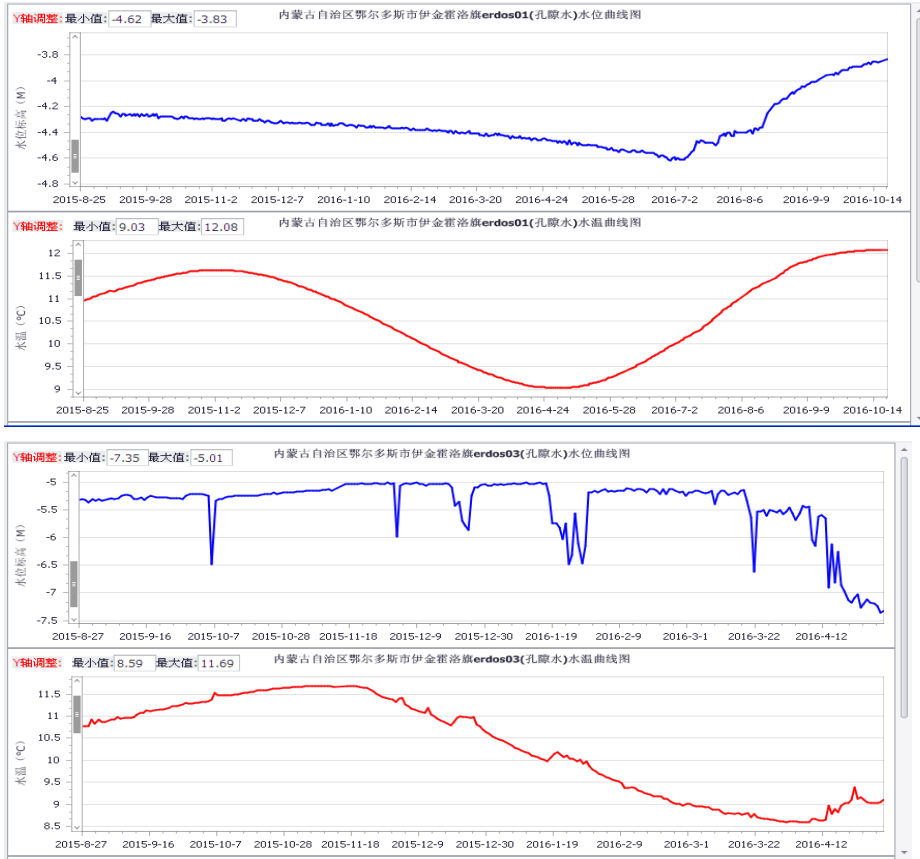
神华集团CCS示范工程监测认识

Monitoring Achievements of Shenhua CCS Project



水环境质量

Water quality

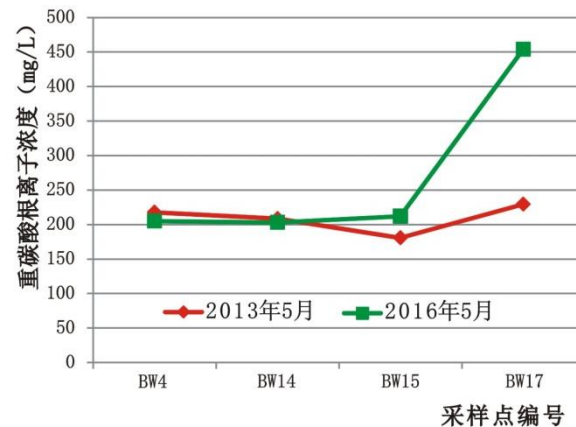
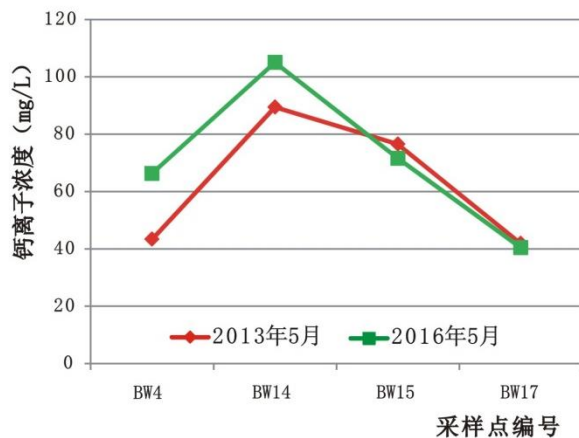
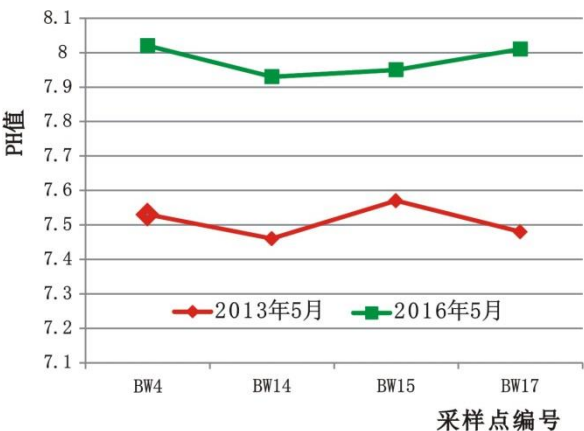


China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



水环境质量 Water quality



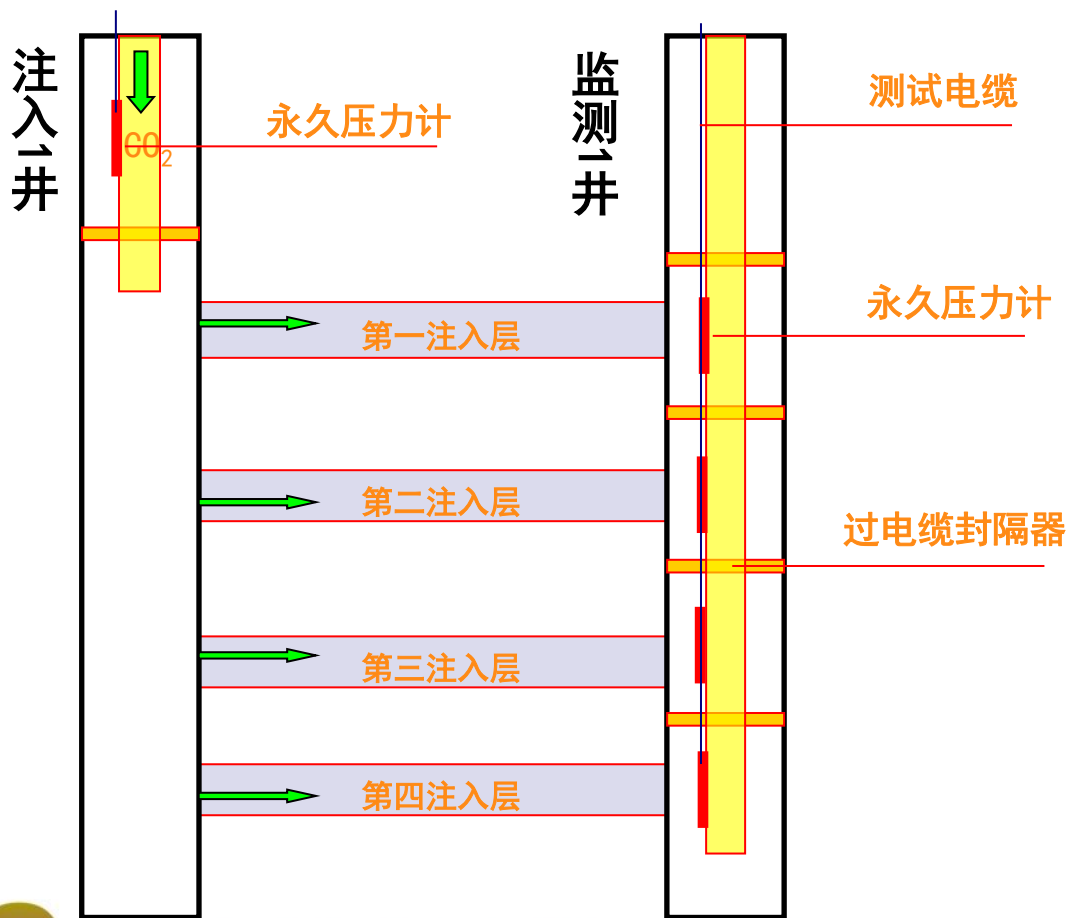
示范工程场地及其周边地区深层地下水（含水层深度100~250m）因地下水补给减少，地下水位降低，pH值、碱度呈增加趋势，没有发现二氧化碳泄漏迹象。





井下压力温度原位监测

In-situ pressure and temperature monitoring



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





神华集团CCS示范工程监测认识

Monitoring Achievements of Shenhua CCS Project



井下压力温度原位监测

In-situ pressure and temperature monitoring

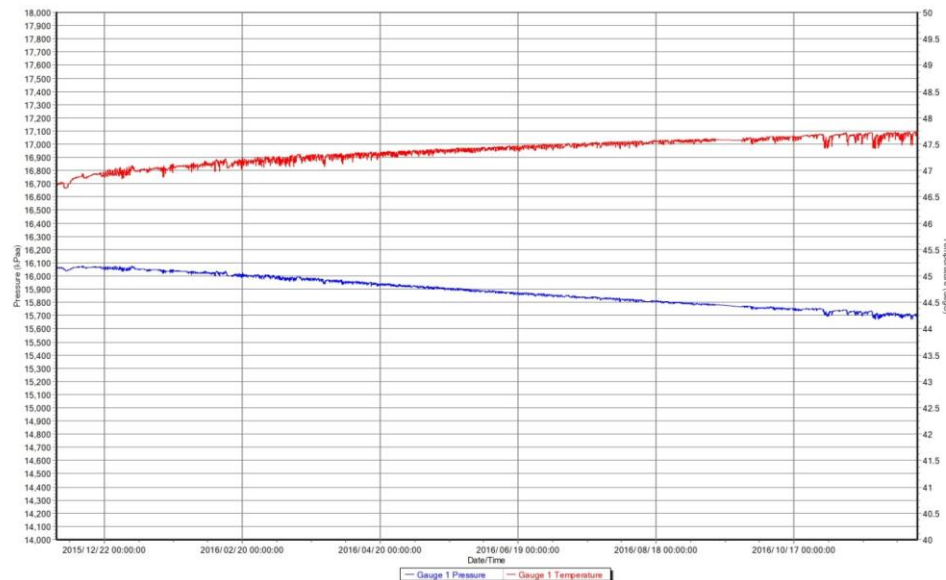
2015年4月停注后继续对井下压力温度进行持续监测，在2015年12月1日到2016年12月9日一年的时间内井下储层（刘家沟）温度缓慢上升了0.988℃，压力缓慢下降了356.77kPa。

Client:
Test Date: 2015/12/01 - 2016/12/09
Tool Serial #:

Well Name:
Location:
Field/Pool:

Formation Name:
Gauge/Run Depth [m KB (TVD)];
Test/Prod. Interval Top [m KB (TVD)];
Test/Prod. Interval Base [m KB (TVD)];

DATA/PLOT



Data Plot

Page 1



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存

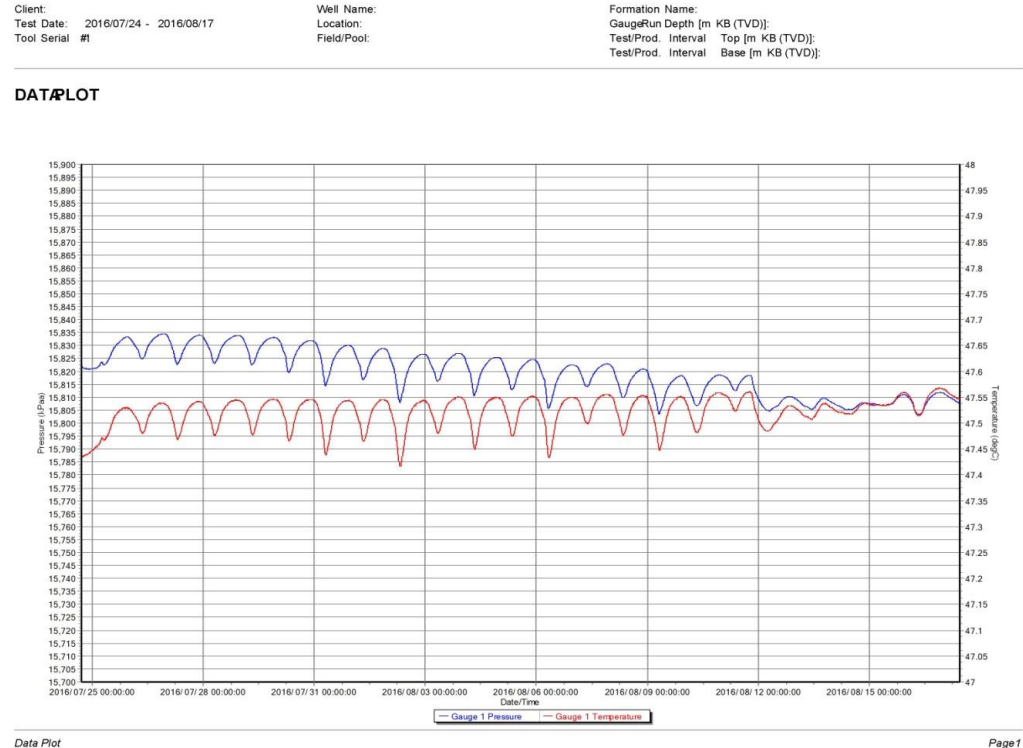




井下压力温度原位监测

In-situ pressure and temperature monitoring

右图为7-8月份（夏季）部分数据的放大效果图，压力和温度呈现了相似的有规律的波动，温度波动范围在0.06摄氏度左右，压力波动范围在11.65kPa左右。最高点出现在晚上9点左右，最低点出现在早上7点左右。





神华集团CCS示范工程监测认识

Monitoring Achievements of Shenhua CCS Project



井下压力温度原位监测

In-situ pressure and temperature monitoring

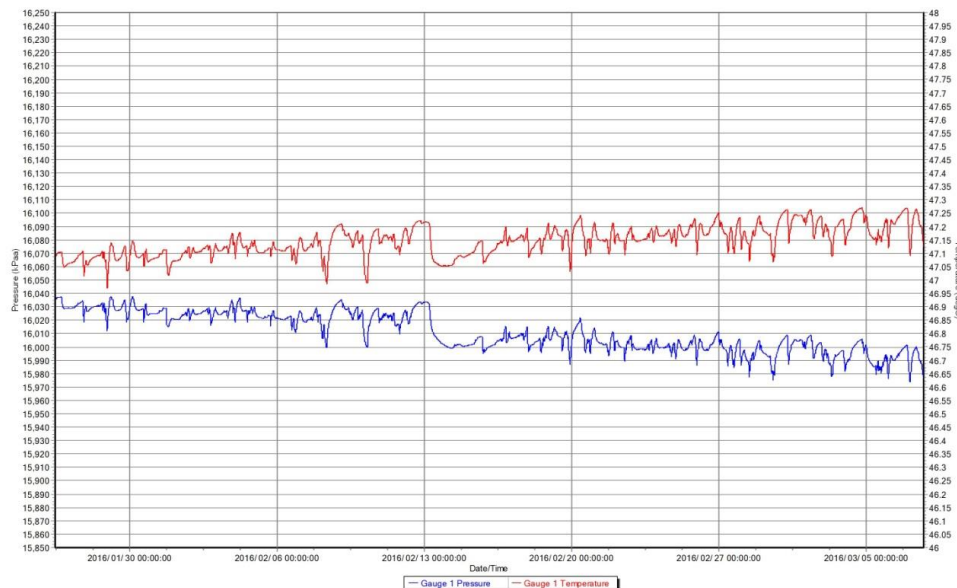
右图为2月份（冬季）部分数据的放大效果图，压力和温度呈现了相似但无规律的波动，温度、压力波动范围也没有夏季稳定。

Client:
Test Date: 2016/01/26 - 2016/03/07
Tool Serial #:

Well Name:
Location:
Field/Pool:

Formation Name:
GaugeRun Depth [m KB (TVD)]:
Test/Prod. Interval Top [m KB (TVD)]:
Test/Prod. Interval Base [m KB (TVD)]:

DATA PLOT



Data Plot



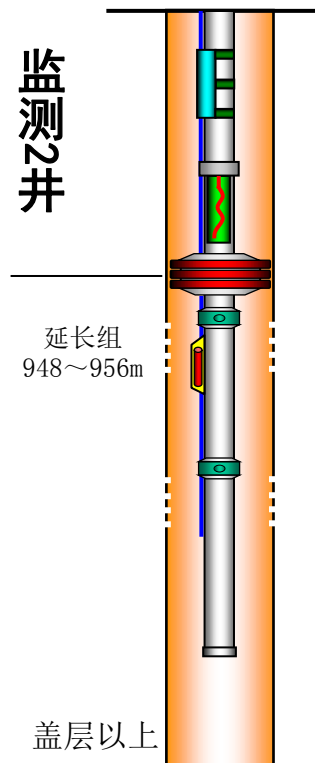
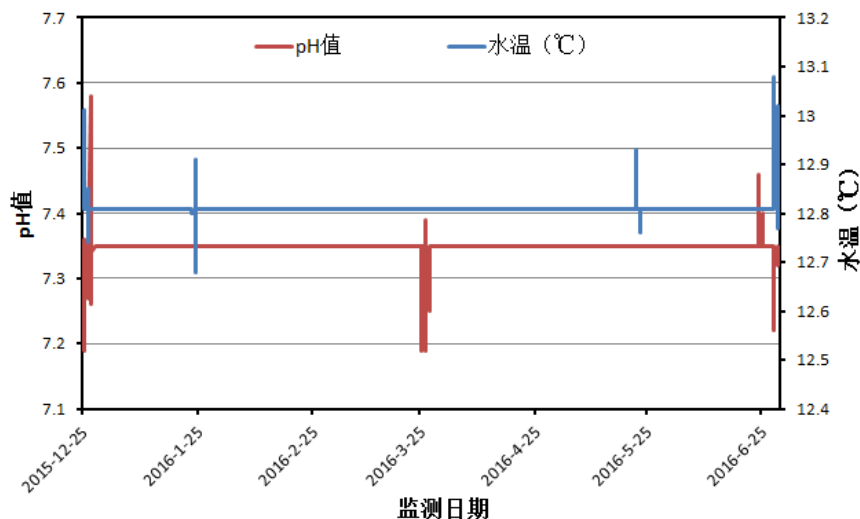
China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



井下压力温度原位监测

In-situ pressure and temperature monitoring

区域盖层上部含水层（延长组）监测：pH值、水温自动监测

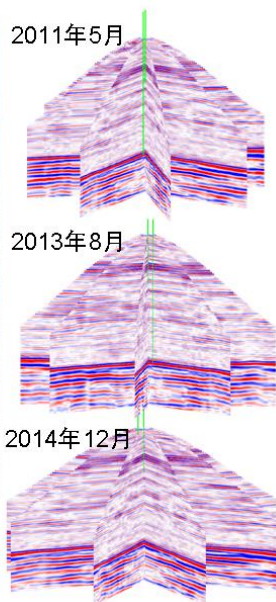
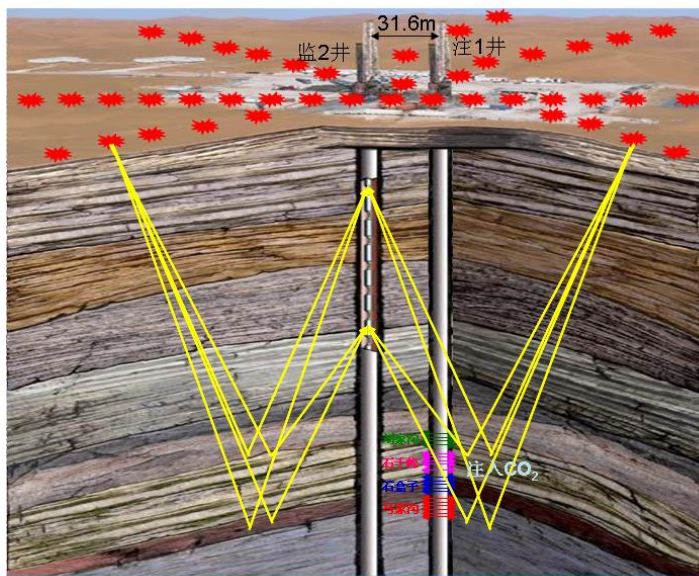


使用深部含水层多参数原位监测系统对区域盖层上部的延长组含水层进行了pH值、水温监测，pH值变化在7.19~7.59之间，平均值约为7.35；地下水温度变化在12.68~13.08°C之间，平均值约为12.81°C。



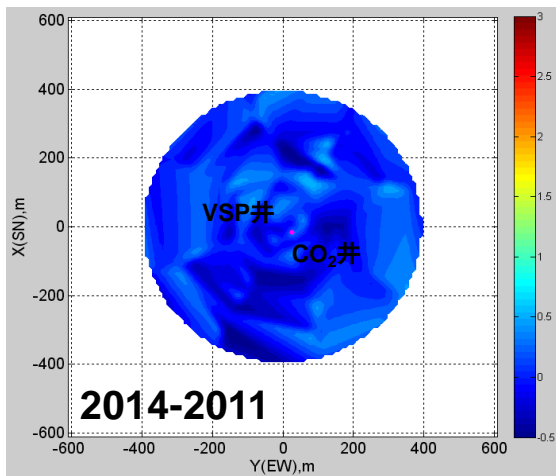
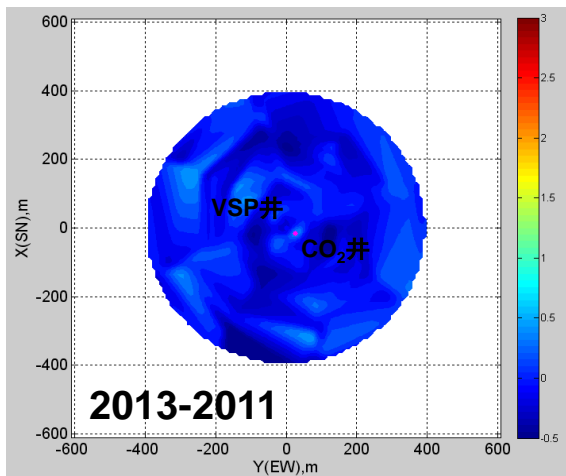
时移垂直地震剖面

Time-lapse vertical seismic profile , VSP

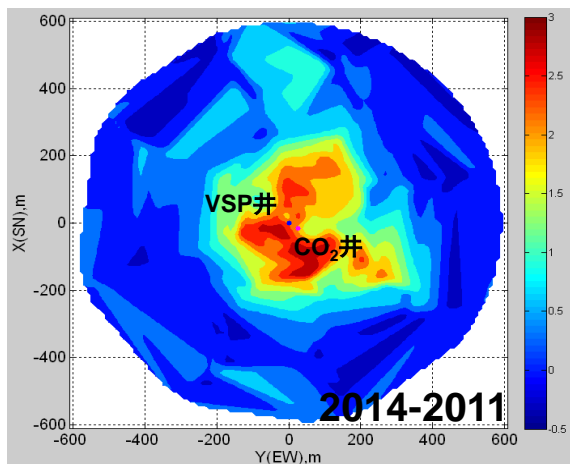
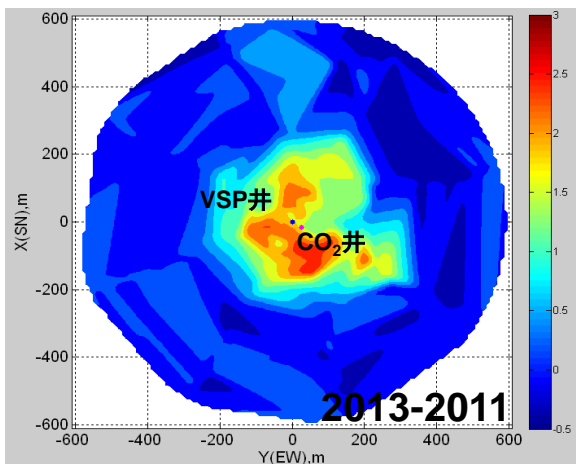


垂直地震剖面是一种地表附近激发地震波，并孔不同深度布置检波器进行接收的地震观测方法，它可以获得准确的地质速度、吸收衰减、地震子波、各向异性等信息。时移地震技术主要是利用重复多次地震测量来监测储层流体随时间的动态变化。





600ms (950m, 注气层以上) T0图对比图



1300ms (2350m, 注气位置) T0图对比图

- 未发现注入CO₂运移到储层上部的储盖层
- 储层内CO₂运移范围约400m, 基本上是均匀向外扩散, 工程运行良好

- No CO₂ was observed to migrate to upper reservoirs and cap rocks
- CO₂ migration about 400m in the reservoirs, mainly well-distributed, and the project works well





汇报内容/OUTLINE



一、神华集团CCS示范工程概况

二、神华集团CCS示范工程监测技术及取得的认识

三、神华集团CCS示范工程后续监测设计

四、结论与建议

一、 General Introduction of Shenhua CCS Project

二、 Monitoring Achievements

三、 Future Monitoring Plan

四、 Conclusions



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存

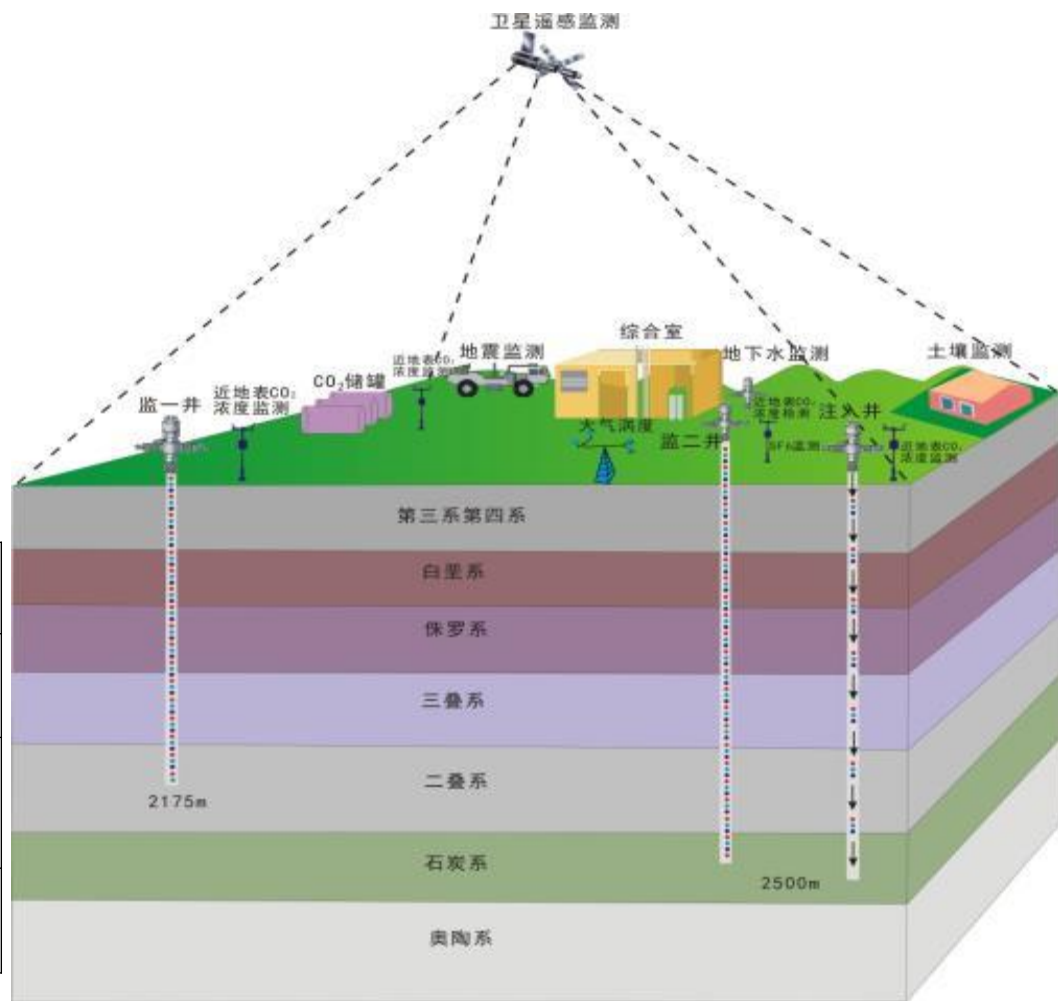




神华集团CCS示范工程后续监测设计 Future Monitoring Plan



- 科技部中美清洁能源研究中心清洁煤技术联盟 (CERC-ACTC) 科研项目
- 神华集团科研项目
- 中国地质调查局地质调查项目



| 序号 | 任务描述 | 预期成果 |
|----|--------------|------------|
| 1 | 设备更新与维护 | 保障监测设备正常运行 |
| 2 | 收集整理相关监测数据信息 | 完善扩展数据库 |
| 3 | 持续优化监测方案 | 形成初步改进建议 |



China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存





神华集团CCS示范工程后续监测设计 Future Monitoring Plan



神华15万吨/年CCS全流程示范项目

捕集系统：陕西省神木县国华锦界电厂

锦界电厂装机容量240万千瓦（4台600MW亚临界空冷机组），年产1000万吨煤炭，正在建设2台100万千瓦超超临界机组

封存系统：内蒙古鄂尔多斯市，利用神华煤制油公司已建成的CO₂封存装置

陕西国华锦界（4×600MW）煤电一体化项目



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





神华集团CCS示范工程后续监测设计 Future Monitoring Plan



进度安排

已完成立项，获得神华批复

2017年8月完成新型工艺总体方案研究

2017年10月完成初步设计

2018年4月完成施工图设计

2018年10月完成现场安装

2018年12月完成CCS全流程72h运行。



cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





汇报内容/OUTLINE



- 一、神华集团CCS示范工程概况
- 二、神华集团CCS示范工程监测技术及取得的认识
- 三、神华集团CCS示范工程后续监测设计
- 四、结论与建议

- 一、 General Introduction of Shenhua CCS Project
- 二、 Monitoring Achievements
- 三、 Future Monitoring Plan
- 四、 Conclusions

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





结论

Conclusions



- 1、二氧化碳地质储存监测的目的是利用综合的监测技术提前发现二氧化碳运移泄漏，以便在产生显著的环境影响和安全风险前对其进行恰当的处置；
- 2、经济有效的二氧化碳运移监测技术是为二氧化碳地质储存工程实施保驾护航的关键；
- 3、自动化监测技术以及基于云计算的监测预警技术将是未来需要加强研究的监测技术方向。

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





Thanks for your attention

Please contact us for more details:

Email: ffslxf@163.com

Tel: 0086-13785215418

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存

