



CO₂地下封存地质学理论探讨

A discussion on theory of CO₂ geological sequestration

Rongshu ZENG

Institute of Geology and Geophysics

Chinese Academy of Sciences

2011.7.12-14

Changchun, China

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



1. 沉积盆地埋存CO₂地质理论问题的提出

The pose of theory of CO₂ geological sequestration in sedimentary basin

用CO₂地下埋存的观点，重新评价沉积盆地，对储层、盖层、构造、水文、地质力学、地球化学特征进行深入研究。从沉积背景着手，从宏观到微观，分析盆地内储盖组合的发展演化以及时空配置，是研究CO₂在盆地内埋存的重要基础。

研究对象似乎与石油勘探过程类似，但是其主导思想不同，以此建立评价中国陆相盆地埋存CO₂的方法与技术。

From view point of CO₂ geological storage, to re-evaluate sedimentary basin, including reservoir, caprock, structure, hydrogeology, geomechanics and geochemistry.

It seems more likely that the objectives are similar to oil Exploration, but guiding ideology is defferent.

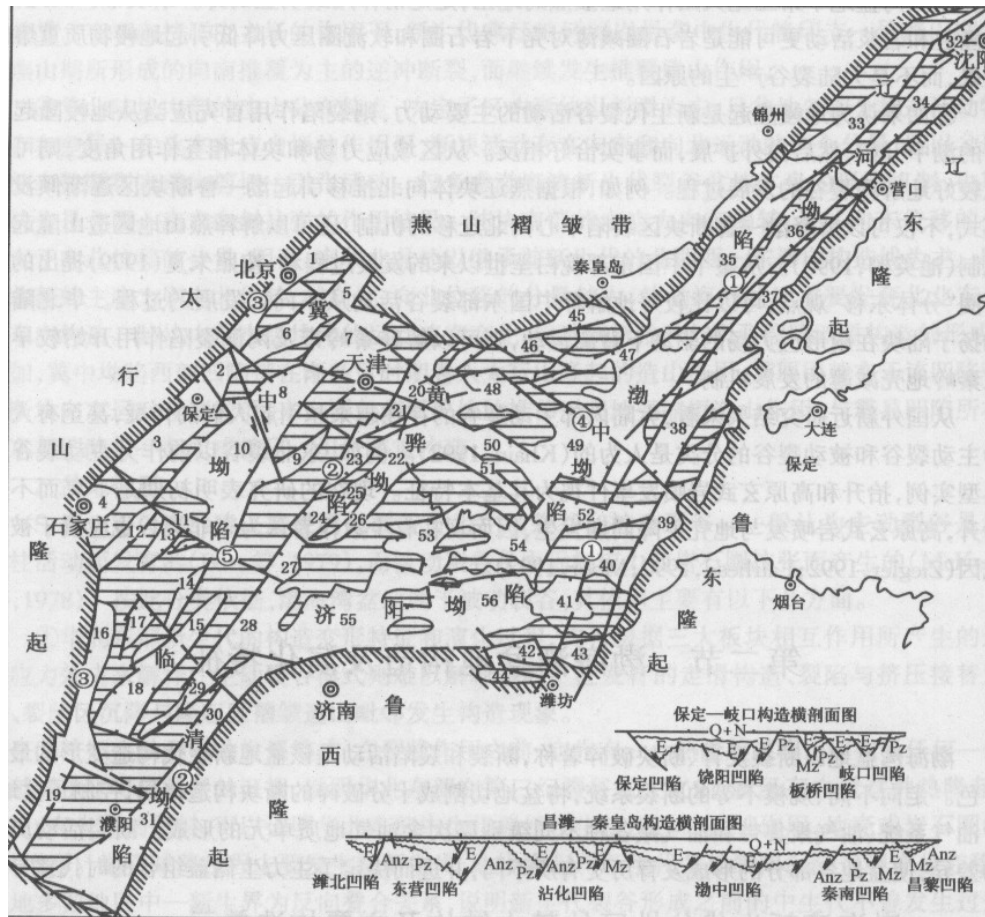


China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



以渤海湾盆地为例，渤海湾盆地**20万km²**。把原来不同的裂谷盆地在东营组（渐新世）时期填平，整体沉降，形成非常广阔的冲积平原。从太行山（西部）、燕山（北部）、泰山（东部）、辽东半岛（东北部）向中心提供物质，形成以辫状河为主的馆陶组冲积平原，沉积厚度**500~1000m**。馆陶组沉积后，又继续下沉，形成以曲流河为主的明化镇组冲积平原，厚度**1000~1500m**。新第三系厚度达**2000~2500m**以上。晚第三纪形成的以河流为主的冲积平原，在平原中发育了纵横交错的河道砂体。



Bohai Bay Basin, 200,000km², during Oligocene, Dongying Fm covered whole rift basin and subsided, became a vast alluvial plain.

Guantao Fm, braided stream, 500~1000m.

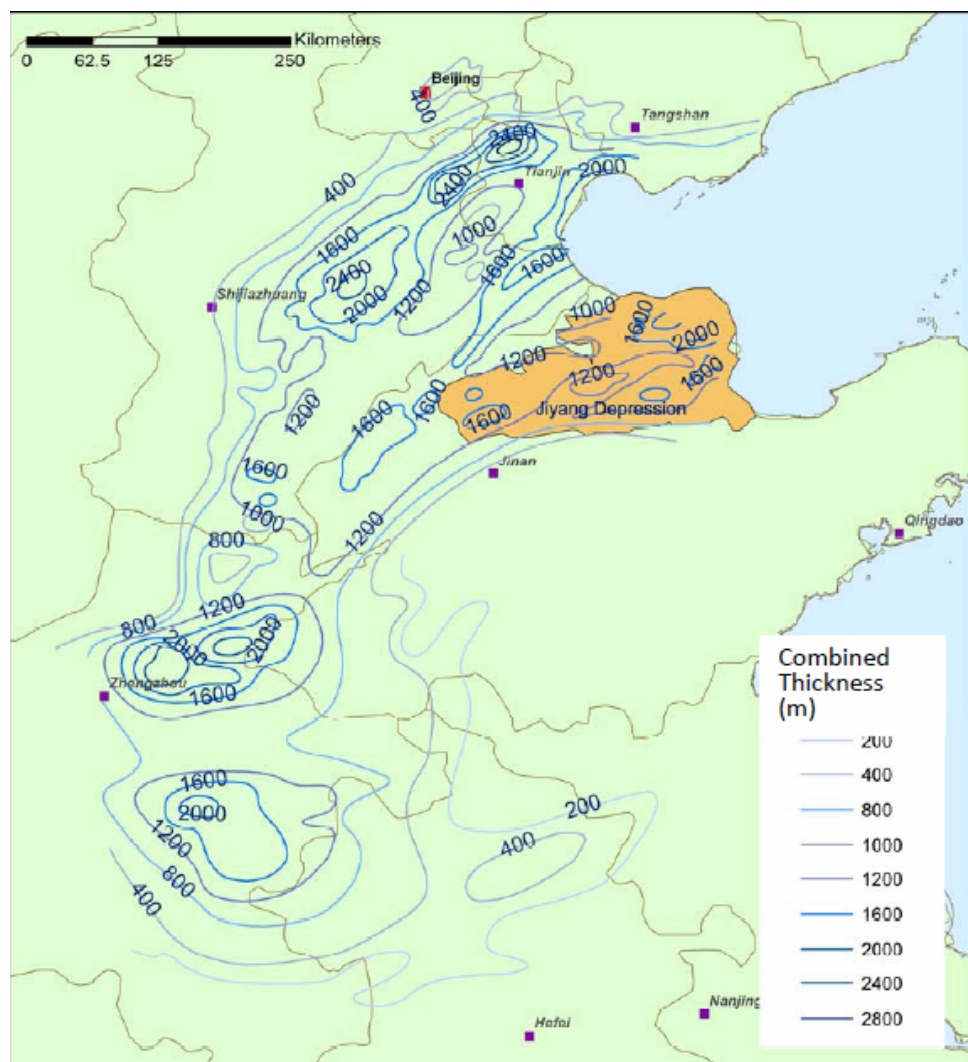
Minghuazhen Fm, meandering stream, 1000~1500m.

Neogene 2000~2500m

storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存





中国华北地区馆陶组与明化镇组 厚度等值线图

晚第三系分布范围不均一，厚薄有继承性，早第三系凹陷发育的区域，在晚第三纪仍然是沉积较厚的地区。

Isopach of Guantao and Minghuazhen Fm in Northern China

cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



这个过程为我们提供一个思考：就是能否在馆陶组中寻找以岩性圈闭为主的**CO₂**埋存体？科学依据：冀中、黄骅、济阳坳陷的馆陶组中发现的岩性油气藏是在河道砂中沉积的，如果上面有泛滥平原的厚层泥岩封盖，就可以成为**CO₂**的埋存体。

Whether could we find CO₂ apartment in Guantao Fm?

Scientific basis: lithologic trapping of oil and gas in Guantao Fm deposited in channel sand bodies, it could form a reservoir – sealing pair if there is a thick mudstone covering it.



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



1-1 渤海湾盆地的演化

Evolution of Bohai Bay Basin

形成三套储盖组合

- 明化镇组（盖层）- 馆陶组、东营组（储层）
- 砂一段（盖层）- 沙二段（储层）
- 沙三段（盖层）- 沙四段（储层）
- 孔店组是下第三系的区域性盖层，底下还有雾迷山组碳酸盐和寒武奥陶系系古风化壳形成的“古潜山”埋存体。

Minghuazhen Fm (caprock) – Guantao and Dongying Fm (reservoir)

Sha1 member (caprock) – Sha2 member (reservoir)

Sha3 member (caprock) – Sha4 member (reservoir)

Regional caprock (Eogene) - Buried hill (reservoir)

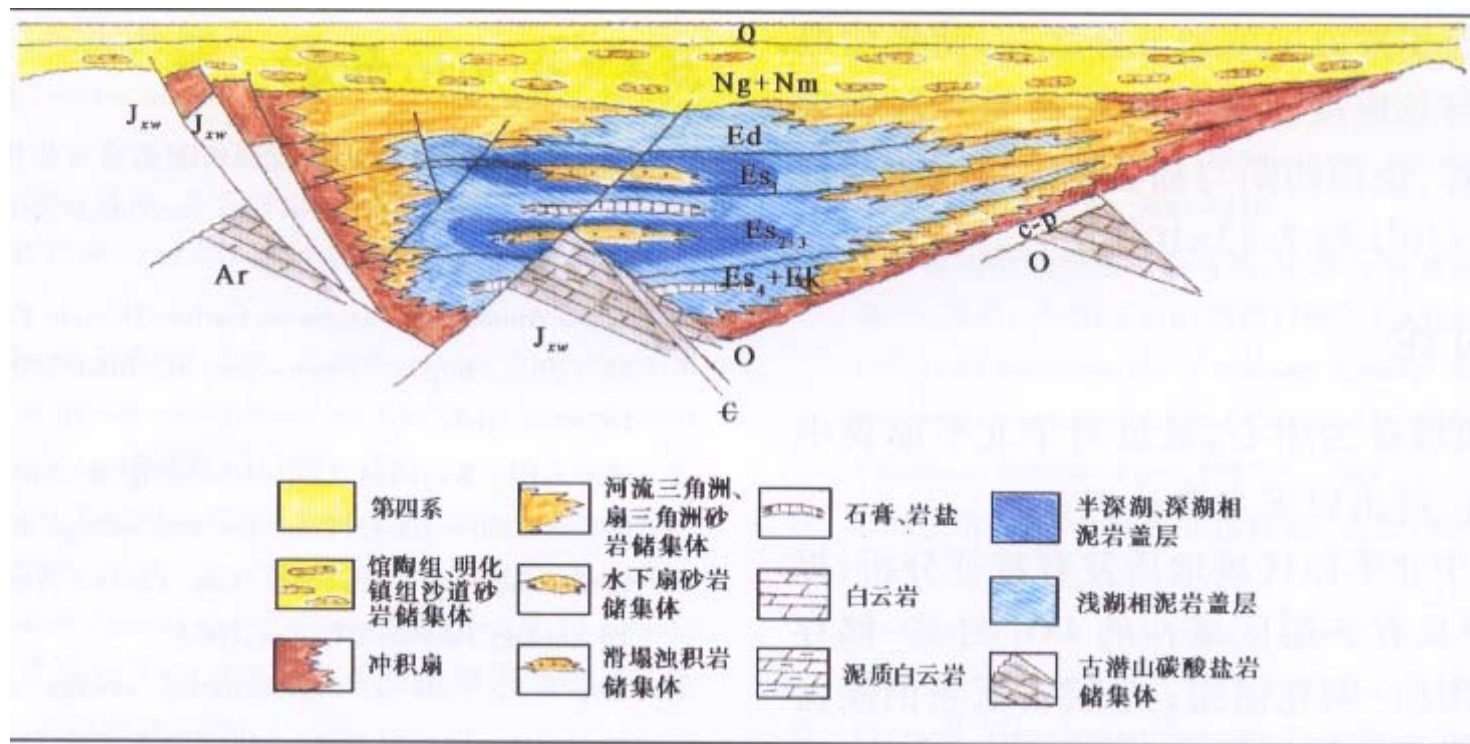


China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



- 胜利、大港、东濮、辽河油田的发育历史很类似，都是这种模式。分析它们的沉积历史可以看到：经历了两次湖面扩张。第一次沙三段，第二次沙一段。沙三段的泥岩覆盖孔店-沙四段的埋存体（河道砂等）。沙一段泥岩覆盖沙四、沙三、沙二段的埋存体。
- 明化镇、馆陶组覆盖东营组。所以我们应该在这些组合中寻找最佳的地段。



1-2 松辽盆地的演化

Evolution of Songliao Basin

松辽盆地，面积**26万km²**；大型拗陷内陆盆地，晚侏罗纪断陷盆地基础发展起来。经历早期（登娄库）的由断陷向拗陷转换，以河流相为主的沉积充填作用；盆地发展经历扩大、缩小，再扩大、又逐步缩小的过程，至嫩江组晚期湖泊基本填平补齐，整体抬升遭受剥蚀。四方组基本准平原化，以河流沉积为主，明水组以冲积平原为主，第四纪成为冲积平原。



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



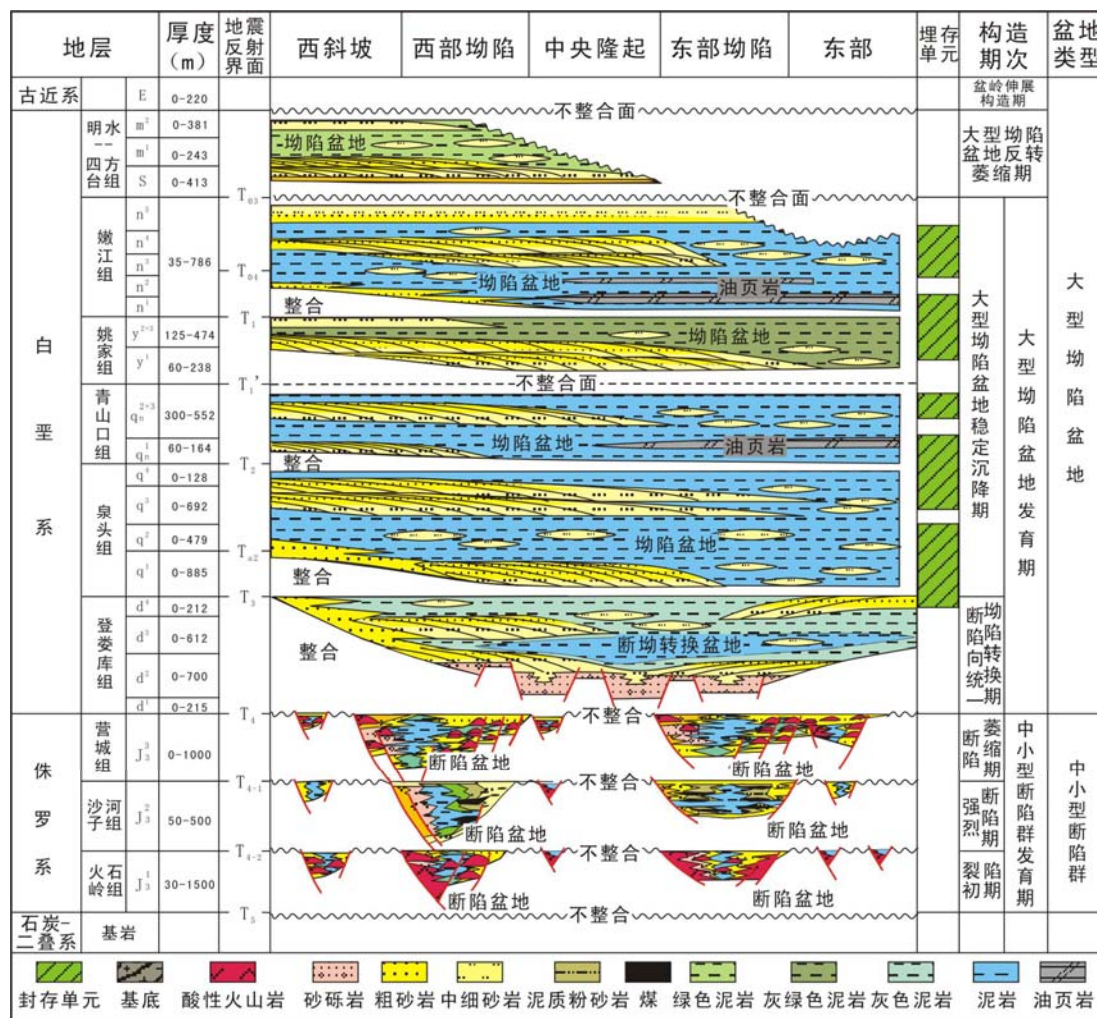
盆地沉积演化的结果形成多套CO2储盖层组合

Several reservoir-caprock pairs formed

湖泊扩张期是盖层发育期

，湖泊收缩期是储层发育期，在白垩纪发生了多次湖泊扩张与收缩，形成了若干套泥岩盖层与储集层组合。

Caprock formed during lake spreading, reservoir formed when lake shrinking.



CAGS

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



在中国的东部地区，渤海湾盆地与松辽盆地发育史具有相似性：（1）都经历了盆地的扩张、收缩演变过程；（2）都沉积了巨厚的沉积层与盖层，这些特点为我们寻找CO₂储集空间与封盖层提供了沉积学依据。

Similarity of Bohai Bay and Songliao Basins:

(1) basin spreading and shrinking;

(2) thick reservoir and caprock deposited



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



2. 围绕CO₂地下埋存的问题提出以下三个主要的观点

Main points of CO₂ storage underground

2-1: 陆相沉积盆地的深部咸水层是CO₂封存的主要场所

2-2: 陆相盆地的储层岩石学特征有利于实现CO₂的永久封存

2-3: 陆相盆地不同类型泥岩盖层的力学稳定性是CO₂长期封存的关键

2-1 Great potential CO₂ storage site in deep saline aquifer.

2-2 Petrologic feature of reservoir is favored for long term CO₂ storage.

2-3 Geomechanic stability of caprock is a key parameter of CO₂ sequestration.



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



2-1 陆相沉积盆地的深部咸水层是CO₂封存的主要场所

2-1 Great potential CO₂ storage site is in deep saline aquifer

在考虑埋存CO₂的时候，为了获得一定的经济利益，往含油层注入CO₂以提高石油采收率是一种选择。但是，油层的数量是有限的，同时有些正在开采的油藏还没有到达第三次采油阶段，所以对于大量埋存CO₂来说，最重要的是选择地下深部的咸水层作为埋存的场所。咸水层具有比油气层、不可采煤层更大的封存潜力，我国如果要实施CO₂的地质封存，目前EOR是首选，但是数量有限，真正发挥大作用的是在咸水层的封存。

CO₂EOR and CO₂ storage in saline aquifer



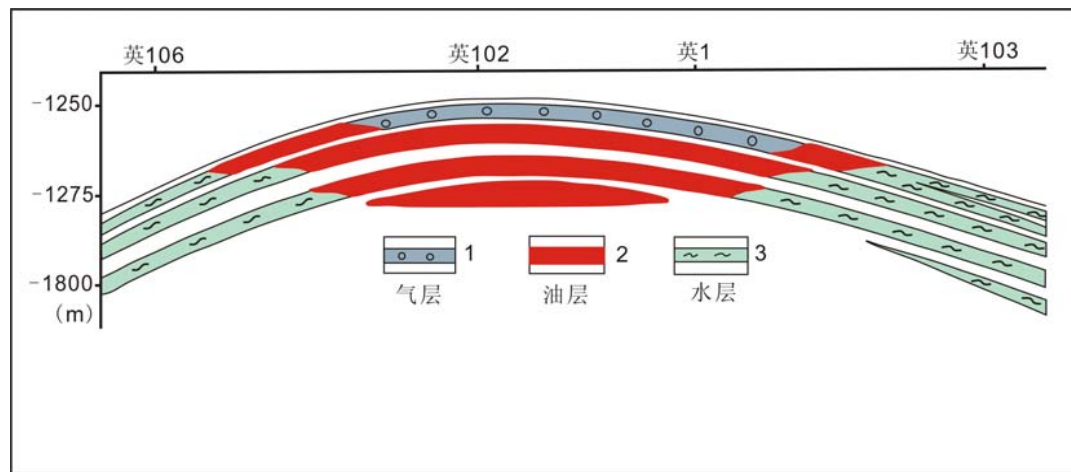
China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



现在我们考虑的深部咸水层埋存，实际上是在沉积盆地，尤其是现在油气田范围内的深部咸水层。因为对这些咸水层的成分、顶盖层岩性、构造圈闭特征等等，石油勘探资料是比较完备的，但是没有进行深入研究，我们可以在这个基础上开展工作。我们说的咸水层包括：圈闭中含油气藏的含水层；圈闭中不含油气藏的含水层(干井所处的圈闭构造应该是首选区域)。

我国长江三角洲和珠江三角洲以及周边地区的地下咸水层有很大的储存能力，但是还需要进行详细的研究，才能得出比较准确的结论。



cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



- 在**GeoCapacity**项目中，对华北油田的馆陶组开展一些初步研究。
- 馆陶组形成的时代为晚第三系中新统，为什么选择馆陶组？
 - ① 冲积平原，稳定层位；
 - ② 埋存深度比较适中，**1000~2000m**；
 - ③ 距离物源区燕山、太行山较远；
 - ④ 上覆地层明化镇组（晚第三系上新统）具有良好的封盖性能。

Why did we select Gauntao Fm as a reservoir?

- ① alluvial plain, stable horizon
- ② depth 1000~2000米,
- ③ located far from sediment source (Yanshan and Taihang Mountain)
- ④ Good caprock in Minghuazhen Fm
(Oil-bearing reservoir, Stratigraphic trapping)



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



在渤海湾盆地的油田都发现了数个馆陶组岩性油气藏，是含油层，呈岩性圈闭构造。

在澳大利亚的拉特罗布裂谷也发现岩性圈闭的油气藏。他们 also 把这些圈闭作为埋存场所。

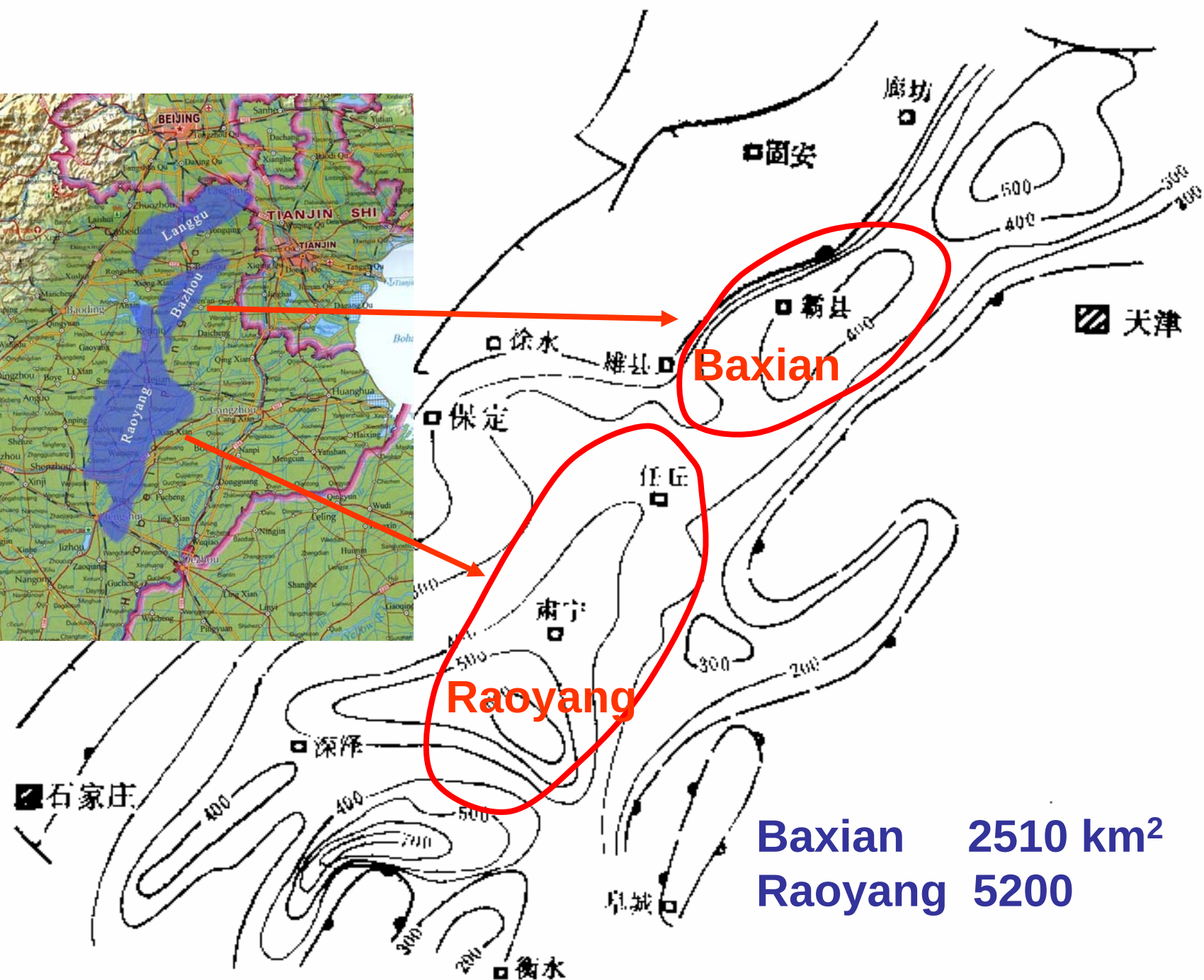
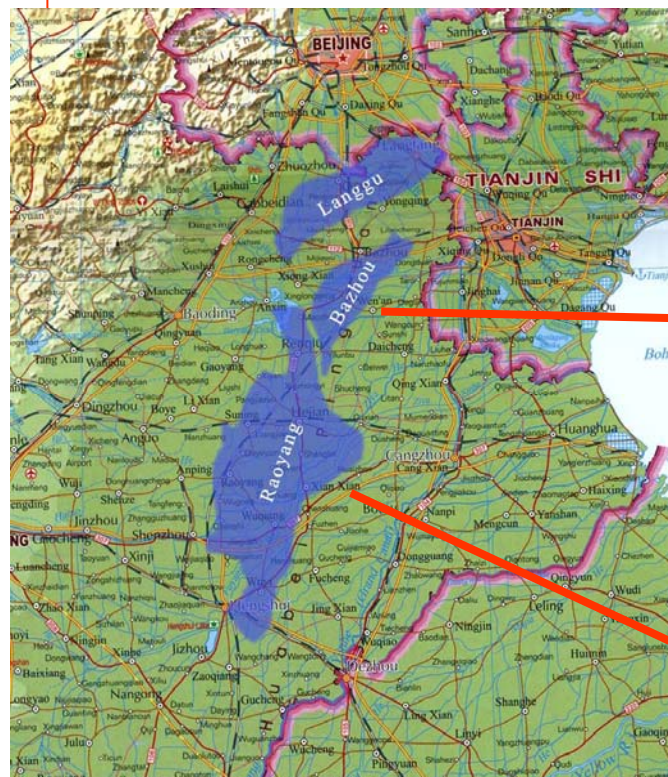
Compared with Latrobe Valley in Australia

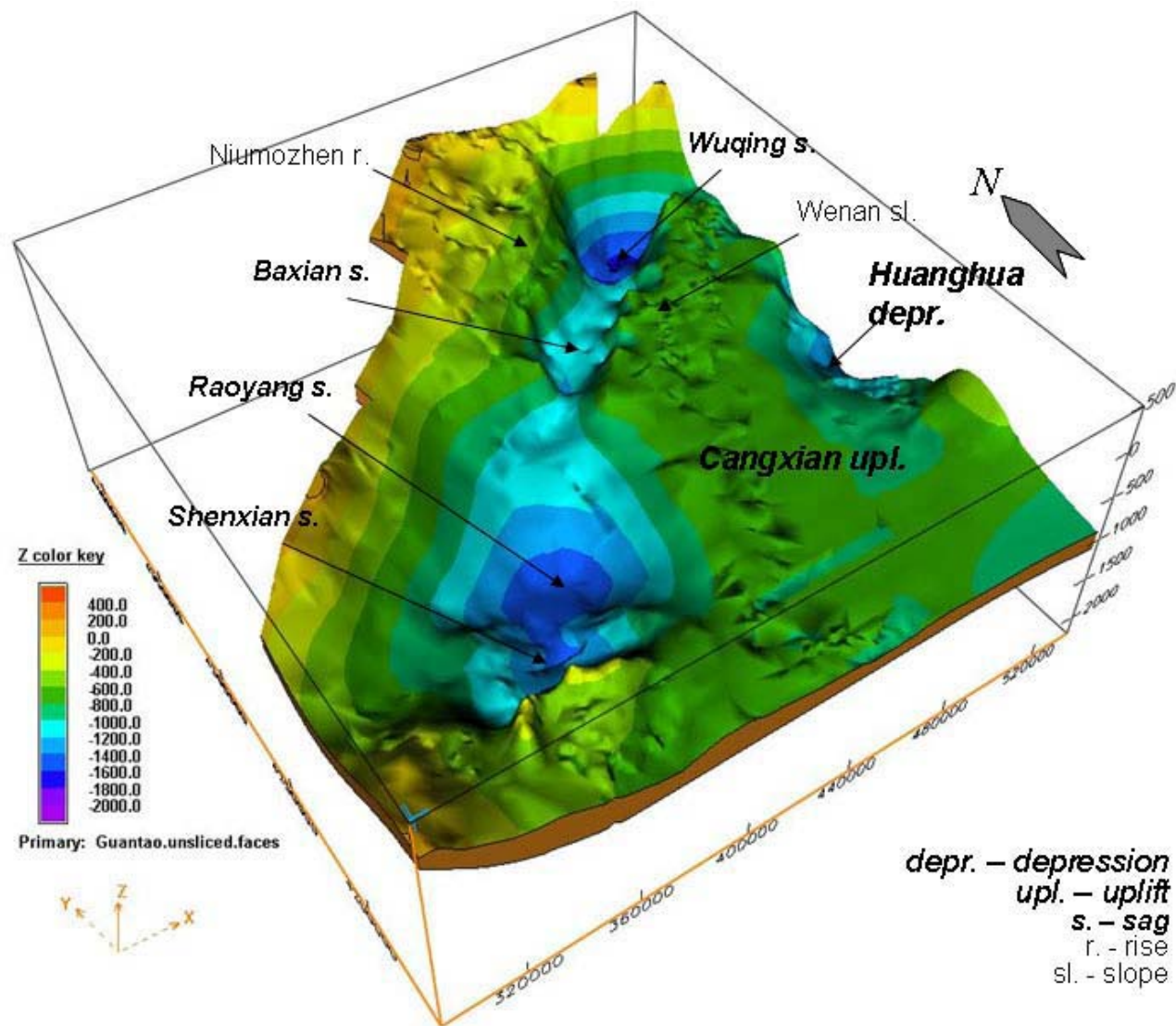
Stratigraphic trapping



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







EarthVision® model by BRGM

冀中坳陷馆陶组3维模型

cags

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



对封闭的咸水层来说，

CO₂ 埋存能力 = 孔隙体积 × CO₂ 密度 × 储存系数

storage capacity = pore volume × CO₂ density × store efficiency

- 饶阳、霸县凹陷馆陶组中砂岩透镜体储层作为埋存的储集层
- 砂岩孔隙度25%。CO₂ 储存体积为 553Mm³，储存系数 VCO₂/Vpores 为 0.16%。在深度1400m，CO₂ 密度为 0.67，CO₂ 埋存能力 **CMt=VCO₂* ρ CO₂ 为 371Mt。**
- 整个华北的埋存潜力还是可观的。

**For Raoyan, Baxian sub-basins, porosity 25%,
pore volume 553 Mm³, store efficiency 0.16%, CO₂ density 0.67,**

CO₂ storage capacity CMt = 371 Mt.



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



2-2 陆相盆地的储层岩石学特征有利于实现CO₂的永久封存

2-2 Petrologic feature of reservoir is favored for long term CO₂ storage.

基于对储集层岩石组分基本特征的分析：

- (1) 不稳定矿物的存在
- (2) 颗粒之间的钙质胶结

Based on the characteristics of composition of reservoir rock:

- (1) Unstable minerals**
- (2) Calcium cementation**



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



(1) 不稳定矿物的存在

(1) Unstable minerals

渤海湾盆地下第三系的裂谷盆地分割性强，虽然沉积面积**20万km²**，但是由若干裂谷盆地组成，盆地的相带（指河流相、三角洲相）较窄，变化大，规模较小；盆地的物源较近，搬运距离短，所以沉积物在搬运过程中沉积分异性差，形成的沉积岩成熟度低，主要表现在：①岩屑与不稳定矿物（如长石）的含量较高；②泥岩含量高，造成孔隙度低，渗透率低，非均质性严重。

松辽盆地整体性强，沉积体系规模大。与华北裂谷盆地相比相比，尽管搬运距离相对较长，分异作用也较好些。但是仍然属于近源沉积，基质含量高，成熟度低，非均质性严重的问题。岩石类型都属于岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩。不稳定矿物含量高，为我们研究**CO₂**永久封存提供了良好的条件。

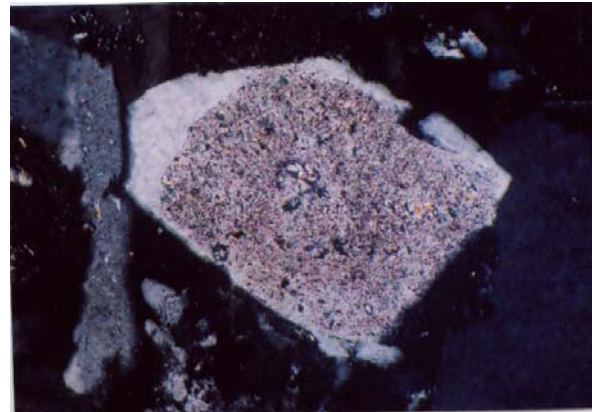
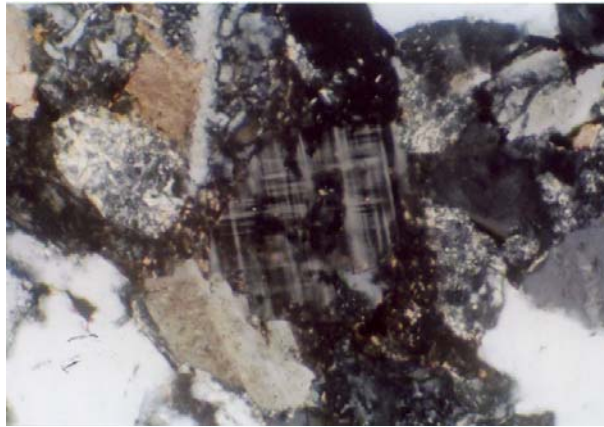


China Australia Geological Storage of CO₂
中澳二氧化碳地质封存



岩屑长石砂岩 石英、长石次生加大

lithic arkose, quartz, feldspar secondary enlargement



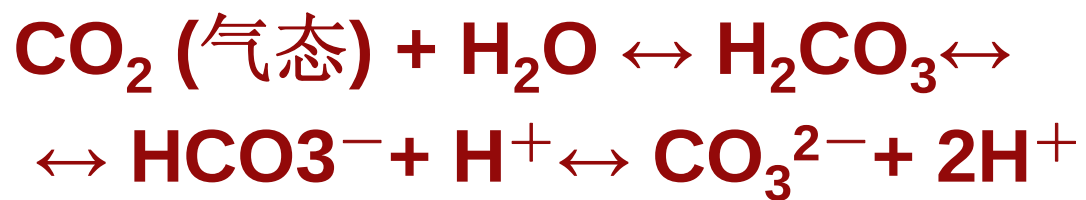
cags

China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



- CO₂在地层水的溶解:



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





溶解的CO₂与碳酸盐反应速度可以很快（以天计算），如果与硅酸盐反应就很慢（以千万年计算）。

The reacting speed of solved CO₂ in water with carbonate is very fast (accounting by day), but that for silicate is very slow (by million year).



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



(2) 颗粒之间的钙质胶结

(2) Calcium cementation

- 储层胶结物以钙质和泥质为主，含少量硅质。钙质以方解石和铁白云石为主，其含量在**2%-15%**，最高可达**35%**。泥质含量一般为**5%-20%**。硅质主要以石英次生加大边和粒间自形晶体两种形式存在，含量在**1%-3%**。
- 钙质胶结的特点是遇到酸就容易溶解，方解石溶解于碳酸后，溶液流动到周围介质，在一定条件下又可能沉淀析出。



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



CO₂与周围的岩体反应，形成新的矿物后，注入的**CO₂**被消耗掉了，就达到实现**CO₂**永久封存的目的。

陆相盆地的岩石学特征是含有大量的长石矿物与钙胶结物，而海相盆地只有钙胶结物，所以在陆相盆地**CO₂**储集层中发生的反应比海相盆地要强烈得多，这是陆相沉积盆地的重要特征之一。



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



2-3 陆相盆地不同类型泥岩盖层的力学稳定性是CO₂长期封存的关键

2-3 Geomechanic stability of caprock is a key parameter of CO₂ sequestration.

地质封存体的长期稳定性与有效性是保证CO₂在地下安全封存的重要条件。在对CO₂埋存的评价中，不仅要考虑岩石组成、物理性质、盖层厚度、空间分布与变化规律，还要盖层的岩石力学性质与其他因素。



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



以上的认识就是中国陆相盆地埋存**CO₂**的一些理论问题，也是具有中国地质特色的埋存**CO₂**地质理论。



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存



谢谢!

Thank you very much !



China Australia Geological Storage of CO₂

中澳二氧化碳地质封存

