

# 中国CCUS技术与产业发展状况

李 阳

二〇一八年十月

# 提 纲

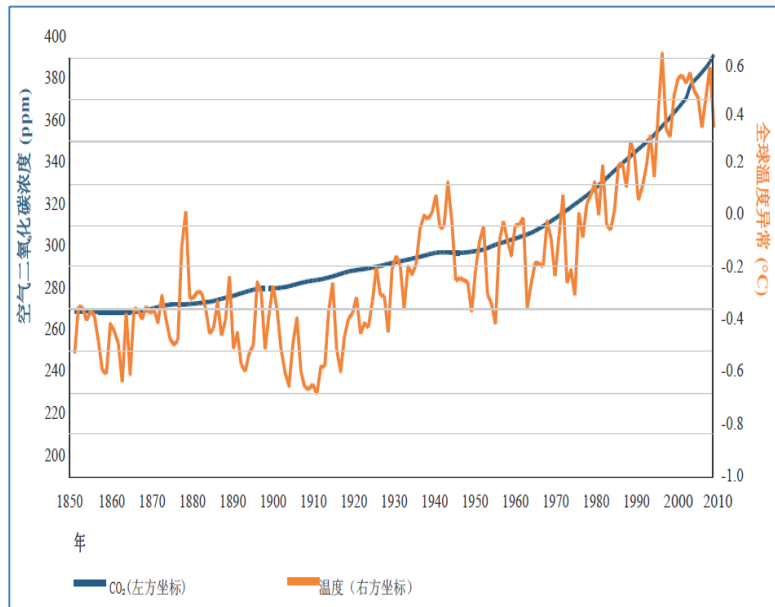
**一、中国CCUS技术发展政策和行动**

**二、中国CCUS技术发展状况**

**三、产业化发展及前景展望**

# 应对气候变化催生了CCS技术发展

二氧化碳排放在近 150 年左右大幅度增长，大气中CO<sub>2</sub>含量由工业革命前280 mg/L上升到目前396mg/L，导致全球气温上升。



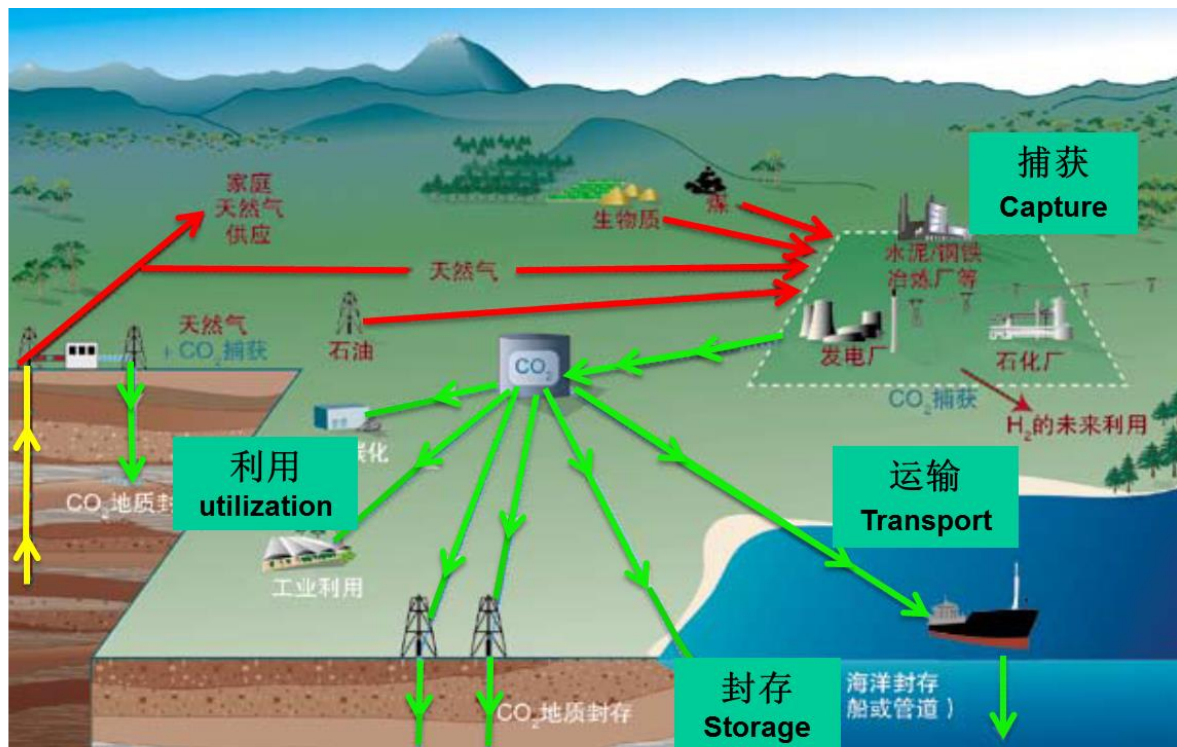
全球大气中二氧化碳浓度与平均温度变化趋势

来源: Brohan et al.(2006),MacFarling et al.(2006)



# ◆ 中国提出了CCUS的发展理念

2010年，国家科技部指出：我国应该以“U”为中心，发展CCUS技术来推动**产业发展**，被国际社会广泛接受。



## 碳产业链

捕获  
↓  
输送  
↓  
利用  
↓  
封存

## ◆ 低碳发展企业在行动

在国家科技部指导下，企、校、院联合，成立CCUS产业技术创新战略联盟，推动我国CCUS技术及产业的创新与发展。

依托国家973、863等重大研发及示范工程项目，开展系统理论研究及技术攻关，形成技术体系。

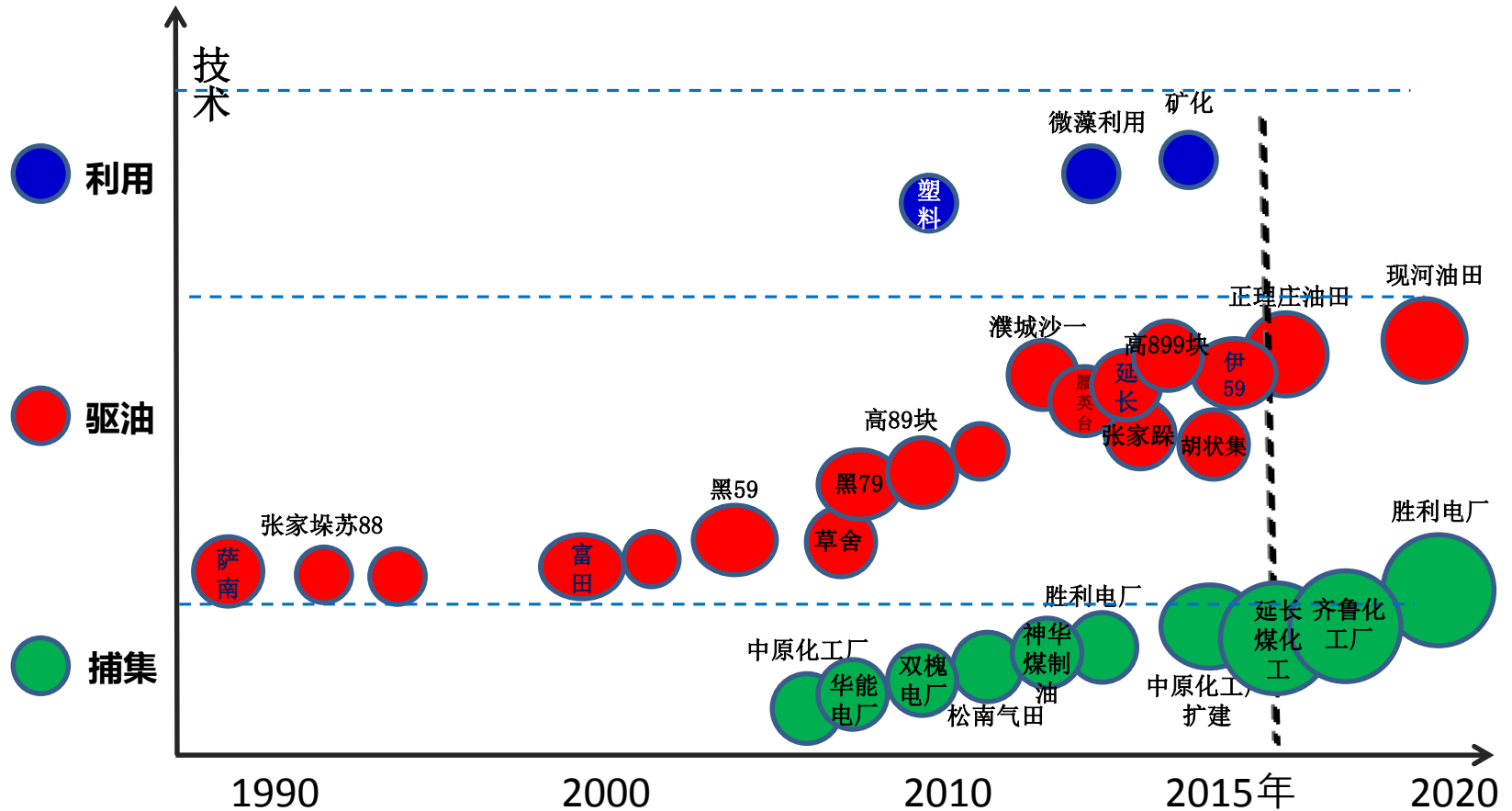


CCUS战略产业创新联盟



CCUS产学研转化模式

# CO<sub>2</sub>捕集、埋存和利用项目分布情况

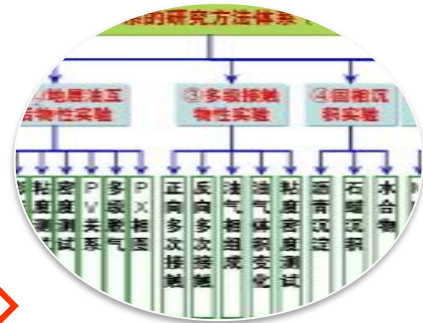


# 建设多个“技术研发（实验）中心”，成为CCS技术研发和应用的<sup>有效</sup>平台

聚集专业技术  
创新团队



形成完备实验  
测试方法体系



CO<sub>2</sub>驱油与埋存技术研发  
(实验)中心



建成国际一流  
实验装置平台



建成CCUS技术  
示范试验基地

# 提 纲

**一、中国CCUS技术发展政策和行动**

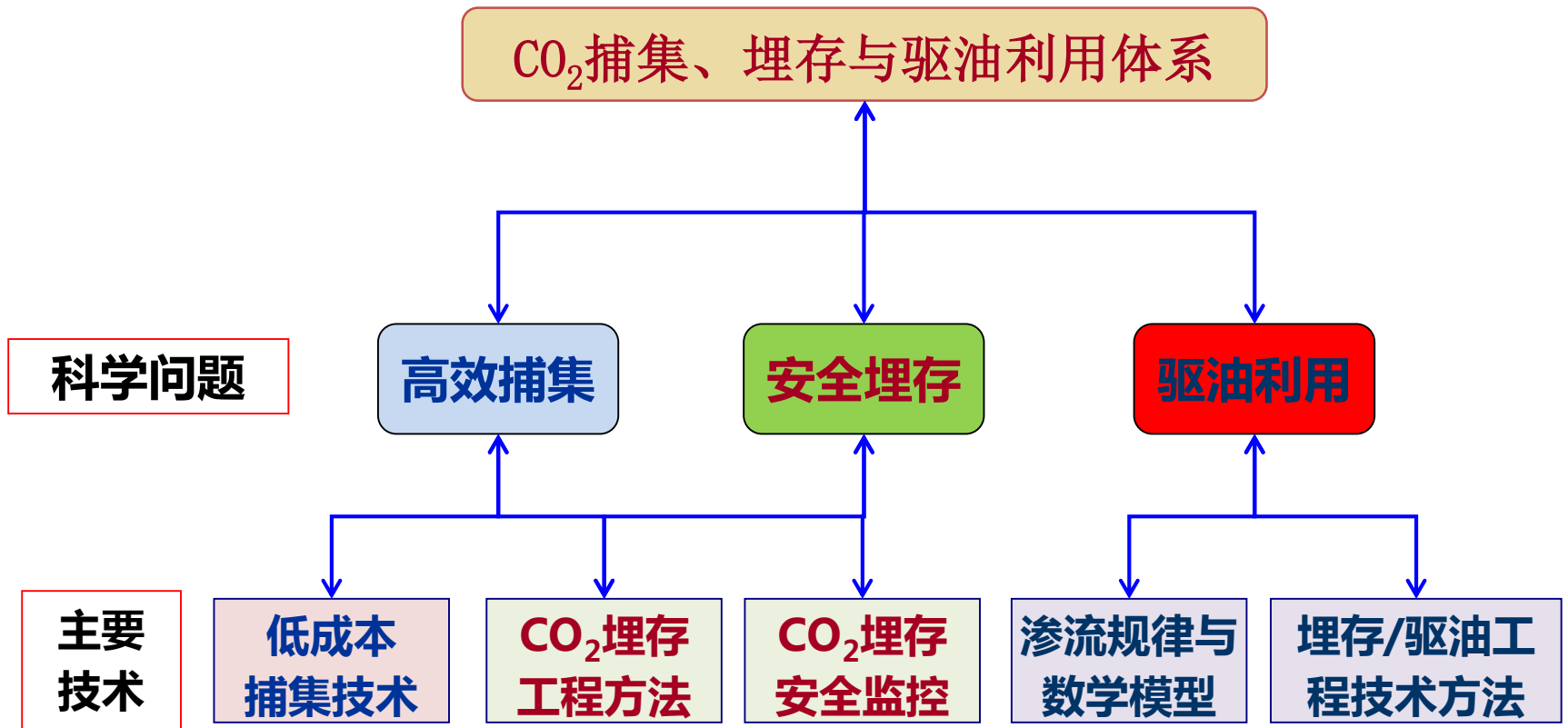
**二、中国CCUS技术发展状况**

**三、产业化发展及前景展望**



# ◆ 技术的研究状况

研究的重点：CO<sub>2</sub>捕集、埋存及高效利用体系。



# (一) 形成了针对三种主要排放源的捕集技术

□高碳天然气捕集技术：全流程 松南气田

□燃煤电厂 捕集技术：全流程 胜利电厂

□炼 化 厂 捕集技术：全流程 敦华石油 中原化工总厂



胜利电厂捕集纯化



压缩



干燥



液化



储存装车

罐车输送，80km



采出气 CO<sub>2</sub>回收



油井产出

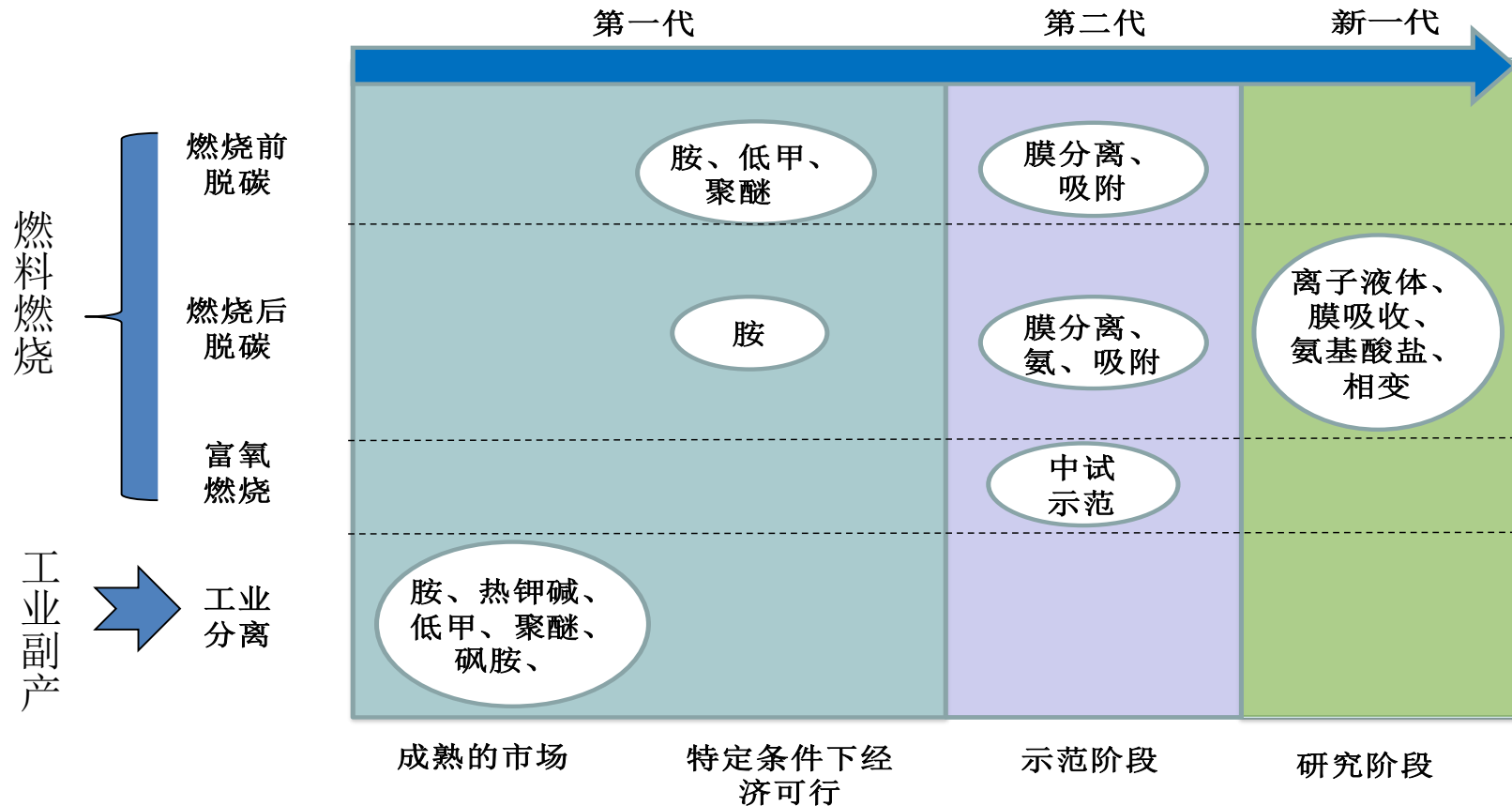


注入到油层



CO<sub>2</sub>注入站

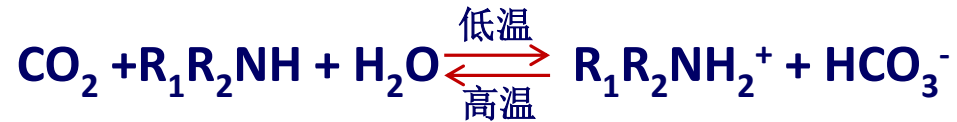
从燃烧类型划分，主要有燃烧后捕集、燃烧前捕集、富氧燃烧、工业分离四种途径。其中，工业分离中煤化工、高碳天然气等CO<sub>2</sub>浓度高，捕集成本低；燃料燃烧产生CO<sub>2</sub>总量大，燃烧后捕集是现阶段的主流方向。



- 第一代CO<sub>2</sub>捕集技术趋于成熟
- 第二代CO<sub>2</sub>捕集技术处于实验室研发或小试阶段。

## □胜利电厂碳捕集技术:

一是开发MSA复合吸收剂，辅助活性胺、缓蚀剂、抗氧化剂等成分



MSA与传统MEA法相比，技术优势：

- ◆吸收能力提高30%，再生能耗下降20%
- ◆氧化降解率由3.08%下降到0.52%

二是开发热泵技术，将低品位余热提升为高品位热能在利用

- ◆吨液体CO<sub>2</sub>再生能耗降低25%
- ◆吨液体CO<sub>2</sub>节约成本25元



□ 吨液体CO<sub>2</sub>捕集成本有望控制在300元

## ● 回收EOR采出气/伴生气的CO<sub>2</sub>吸收剂

开发了适用于CO<sub>2</sub>-EOR采出气及油田伴生气CO<sub>2</sub>回收的吸收剂，并进行了现场试验（CO<sub>2</sub>捕集率 > 80%，CO<sub>2</sub>纯度 > 95%）



化学吸收脱碳系统

**适用于：**大规模，中低CO<sub>2</sub>含量

**试验规模：**30000Nm<sup>3</sup>/d



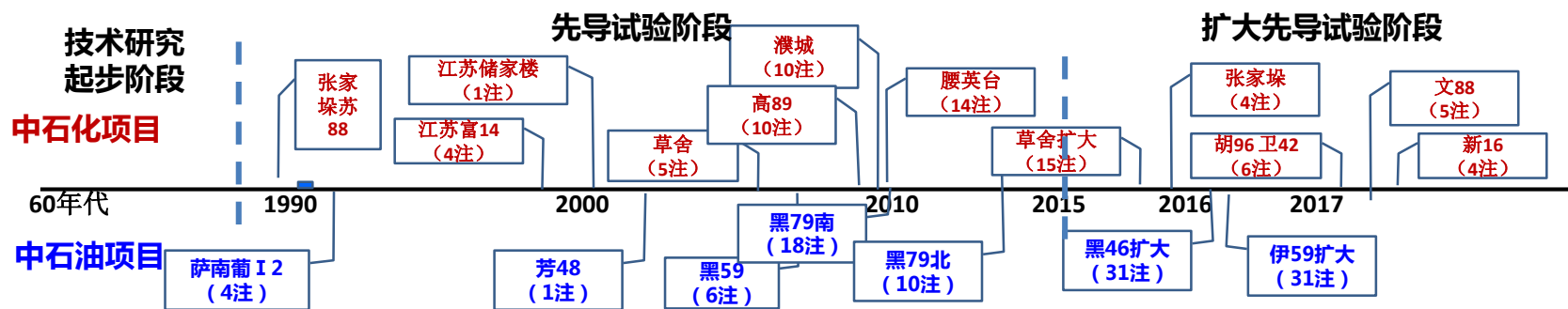
低温分馏脱碳系统

**适用于：**大规模，高CO<sub>2</sub>含量

**试验规模：**75000Nm<sup>3</sup>/d

## (二) CO<sub>2</sub>驱油埋存技术取得新进展

经过多年实践，特别是近10年攻关和示范，中石油、中石化和延长油田在30多个区块开展CO<sub>2</sub>驱油埋存矿场试验。



■中石油：以捕集天然气中CO<sub>2</sub>为基础的全流程CCUS实践

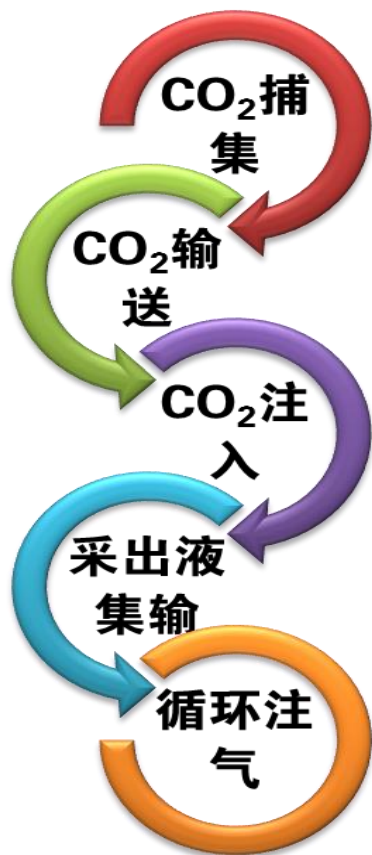
■中石化：以捕集燃煤电厂CO<sub>2</sub>、高碳天然气分离、炼化厂捕集CO<sub>2</sub>为基础的多碳源全流程CCUS工程实践

■延长石油：以石油化工与煤化工耦合副产品CO<sub>2</sub>为基础全流程CCUS工程实践



## CCUS--EOR主要技术逐步成熟

涵盖CO<sub>2</sub>驱油与埋存全流程的**捕集、选址、容量评估、注入、监测和模拟**等在内的十项关键技术，为实施全流程CCS示范工程提供了技术支撑。



- 驱油与封存C较高浓度CO<sub>2</sub>捕集净化工艺
- CO<sub>2</sub>非完全混相驱油理论
- 全过程数值模拟实时跟踪及调整技术
- CO<sub>2</sub>驱油与埋存分层注采集输工艺技术
- CO<sub>2</sub>驱油与埋存工程系统的腐蚀与防护技术
- CO<sub>2</sub>的综合监测和风险控制技术
- CO<sub>2</sub>地质封存的并行高精度数值模拟技术
- 驱油及埋存选址及容量评估技术
- 基于核磁共振的CO<sub>2</sub>地质封存物理化学试验平台
- 工业级CCS井群布置方案

# 口草舍低渗透油藏连续注气混相驱

2005年7月投注，注入井5口

◆孔隙度14.08%，渗透率46 mD

◆混相压力：29.34MPa

◆连续注气转水气交替注入

◆累注CO<sub>2</sub>液体：17.9万吨

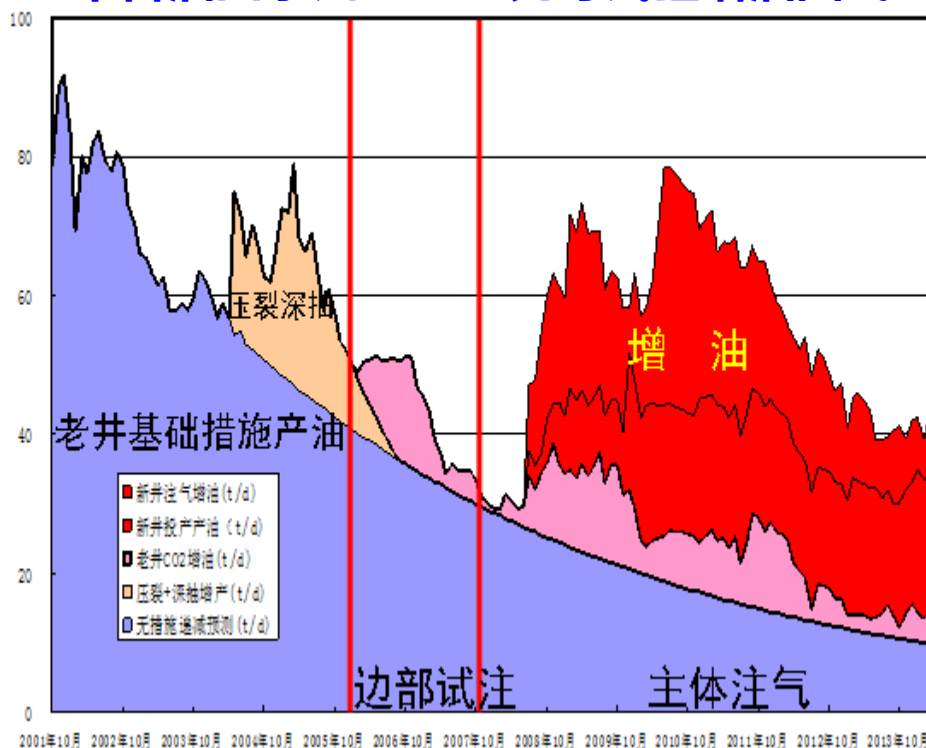
◆累增油：7.97万吨

◆提高采收率：7.89%，

◆预计最终提高：17.2%

◆目前换油率：1：2.25

草舍油田泰州组CO<sub>2</sub>先导试验增油曲线



目前已在苏北盆地实施13个区块（井组），覆盖地质储量1340万吨，注气井24口，生产井72口，日注CO<sub>2</sub>气278吨。

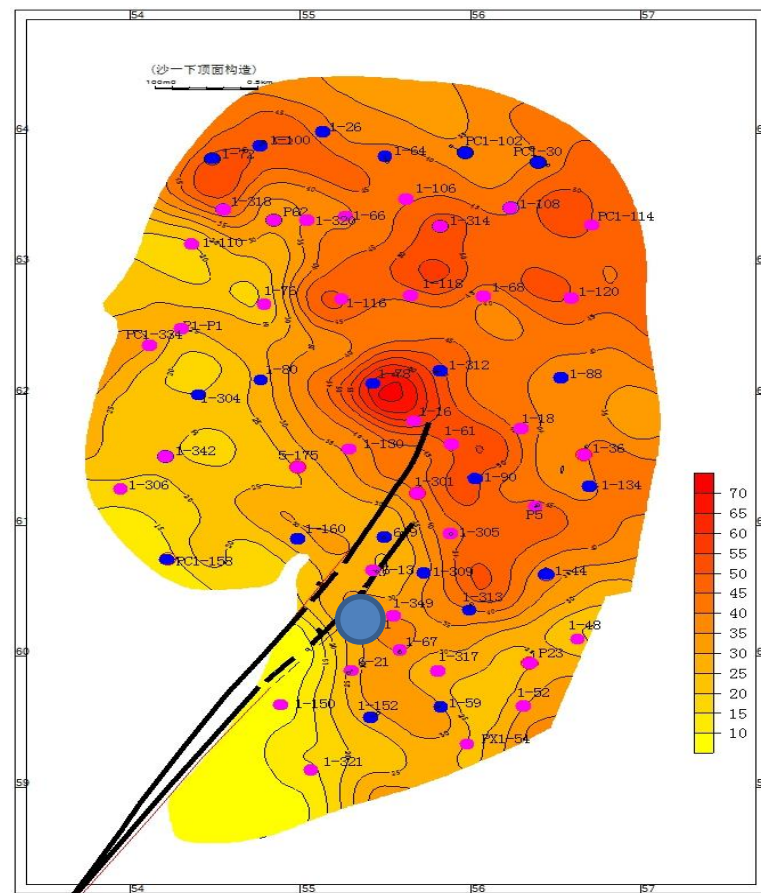


# □ 濮城沙一水驱废弃油藏水气交替驱

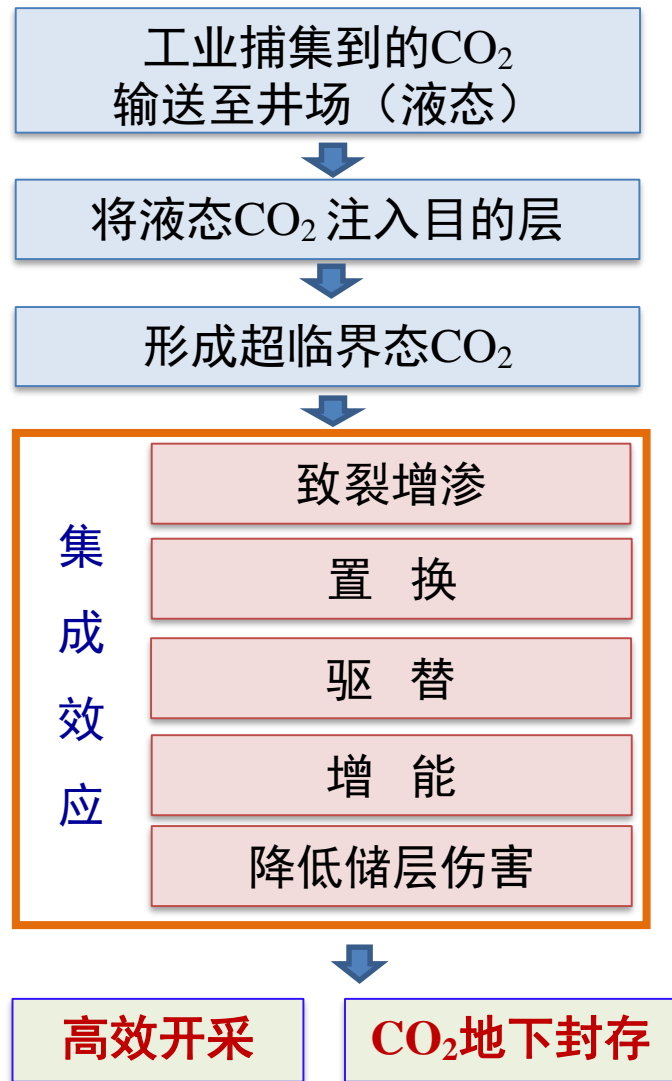
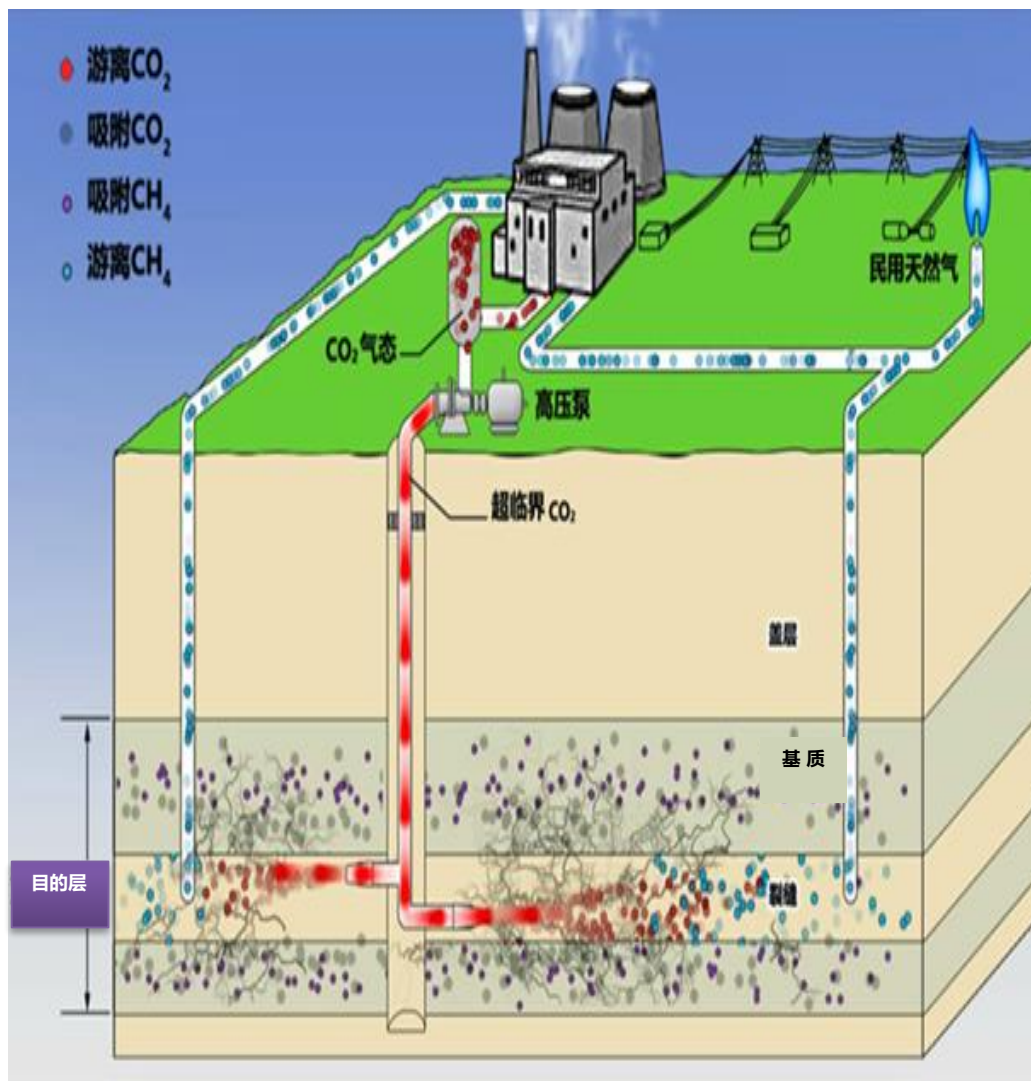
1992年因高含水停产废弃,2008年濮1-1井先导试验,2013年12月扩大注入。设计注气井**10口**,生产井**38口**。

- ◆ 地质储量：1050万吨
- ◆ 孔隙度：28.1%，渗透率：690mD
- ◆ 采出程度：50.9%，采收率：51.3%
- ◆ 水气交替注入
- ◆ 已累注CO<sub>2</sub>液体：34万吨
- ◆ 累增油：1.7万吨
- ◆ 预计最终提高采收率：6%

## 濮城沙一下CO<sub>2</sub>气驱井网图



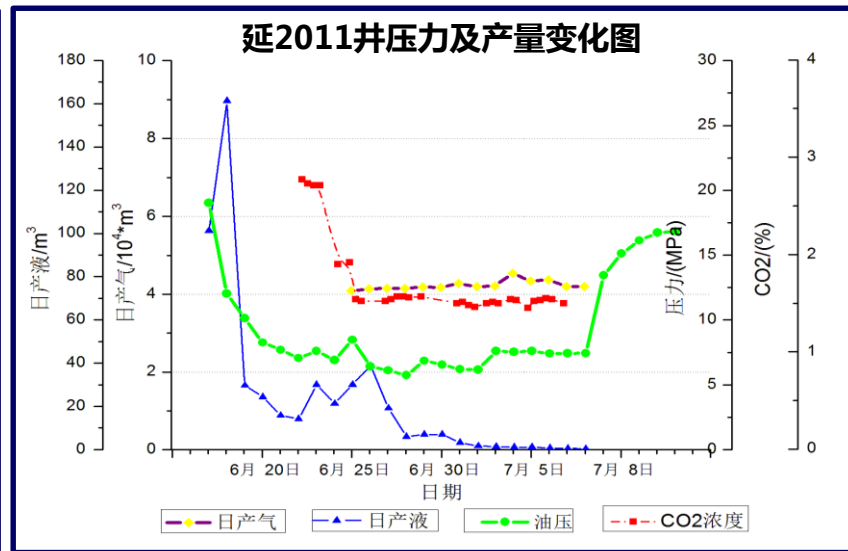
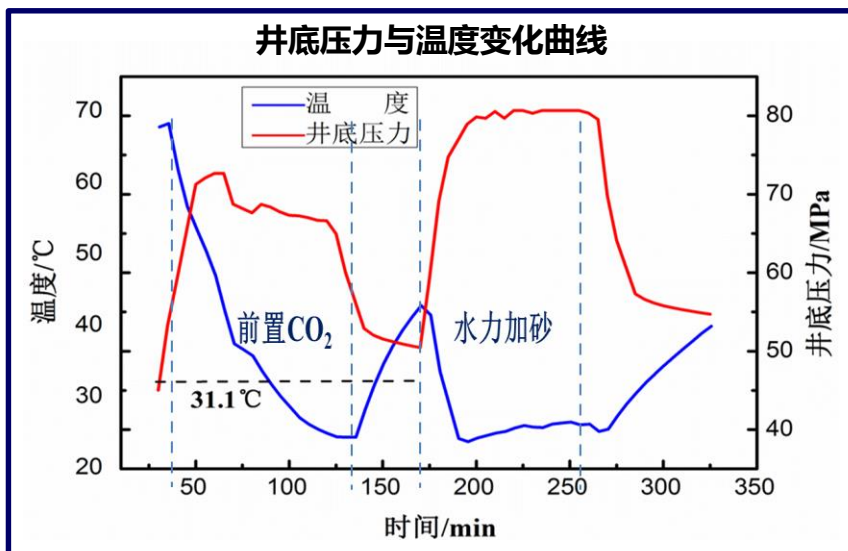
# 低渗-致密油气CO<sub>2</sub>压裂-埋存技术取得突破



□ **试验井**：延2006井、延2011井本溪组  
含砂岩薄夹层泥页岩

□ **储层物性**：孔隙度2%，全烃基值0.6%  
，泊松比0.191；弹性模量40.7GPa

□ **施工情况**：

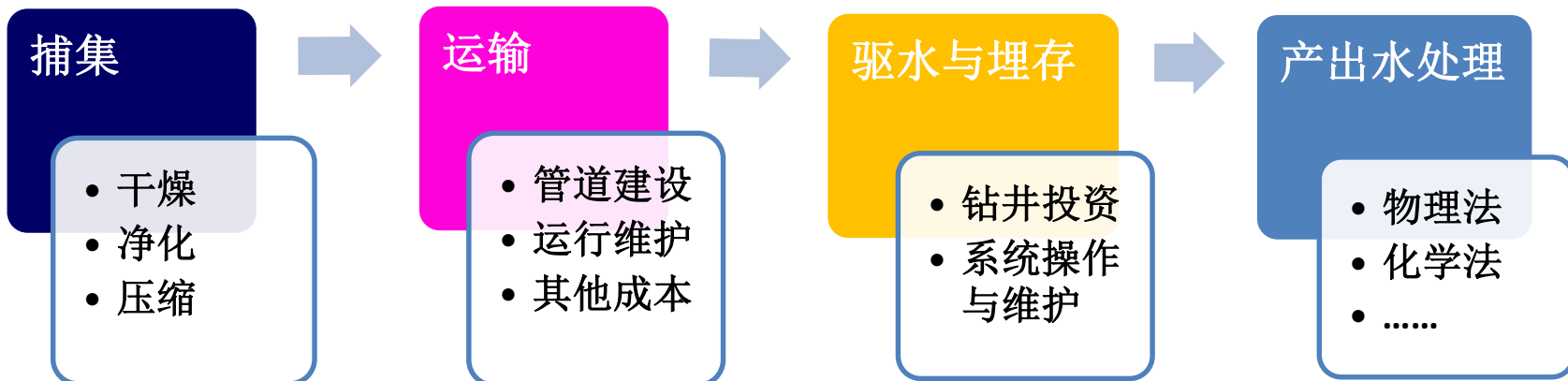
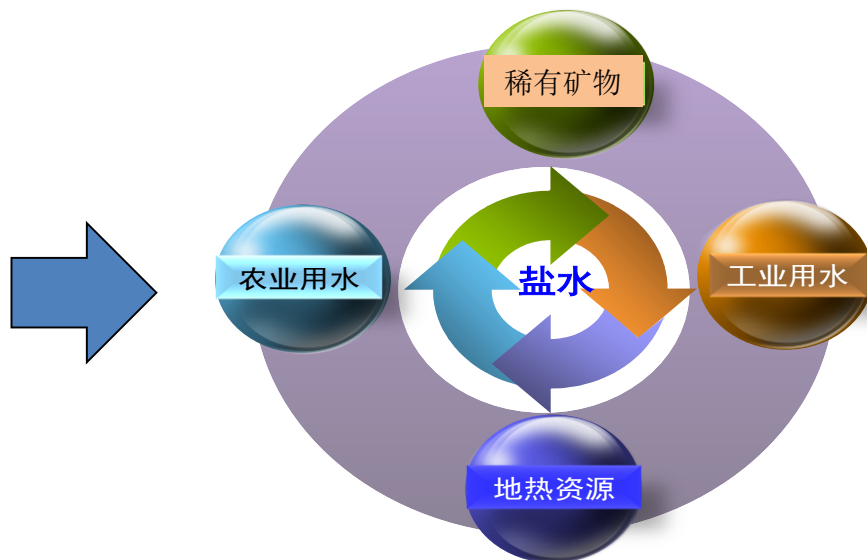


➤ **液态CO2注入地层后能够达到超临界状态**

➤ **延2011井平均日产量4.3万方，产出CO2浓度小于2%，与原生储层含量相当**

### (三) 深部咸水层CO<sub>2</sub>驱水与埋存研究进展

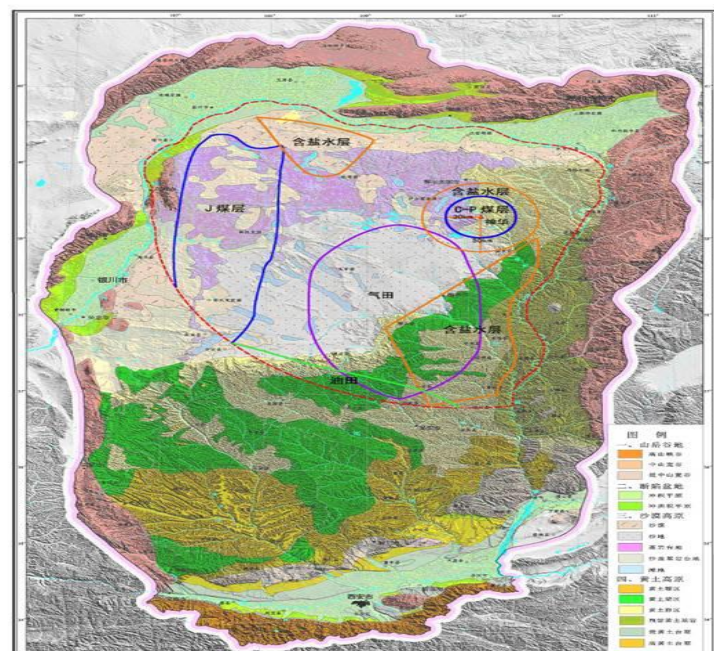
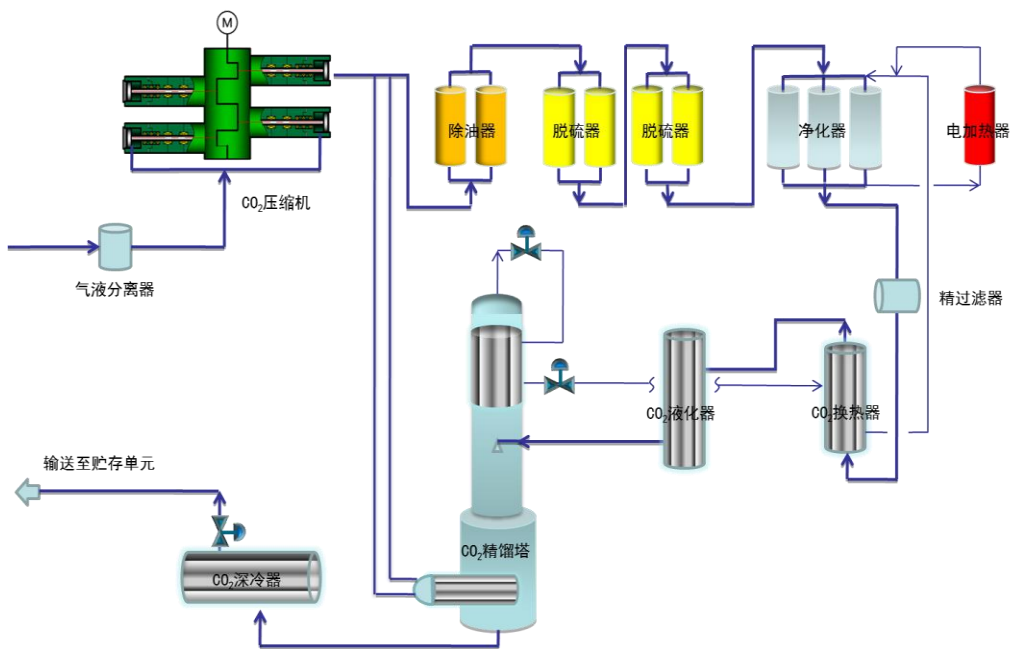
- 我国西部和内蒙干旱地区，煤化工产业集中，深部咸水层CO<sub>2</sub>封存与咸水开采技术，既可以实现埋存，又可以提供水资源，具有较好的技术前景；
- 强化CO<sub>2</sub>驱产出盐水淡化处理及水资源综合利用技术研发，降低成本



# □ 盐水层埋存技术进展

**神华CCS项目**：在全球首次建成了煤制油高浓度CO<sub>2</sub>

陆相咸水层年封存**10万吨级**CCS示范工程。



## (四) 持续推动多种利用技术的研究



深水埋存和利用技术

综合利用：与其他产业结合  
化工和微藻利用 尿素 甲醇 合成气

CO<sub>2</sub>转化为甲烷气技术

# 二氧化碳深海地质埋存技术

## ◆ 直接注入海洋水体

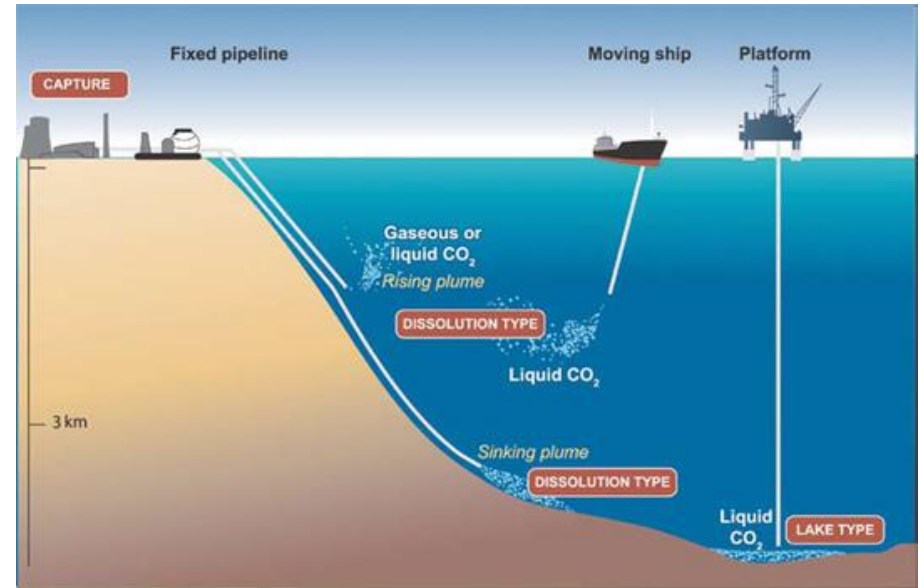
- ◆ 注入浅海（上升流，气态或液态）
- ◆ 注入深海（下降流，液态）
- ◆ 在海底表面注入（形成CO<sub>2</sub>湖）

缺点：

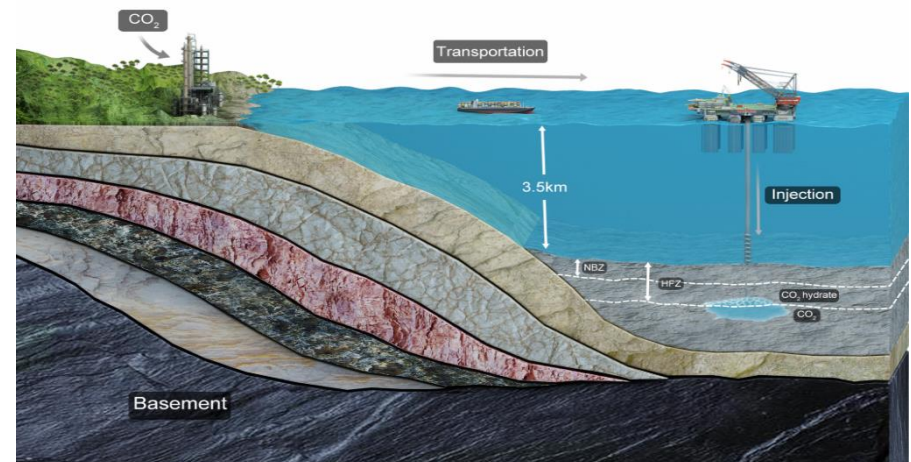
- 洋流的扰动
- 对海洋生态环境造成负面影响

## ◆ 注入深海沉积物（深海地质埋存）

- ◆ 负浮力区
- ◆ 水合物稳定带
- ◆ 存在条件：高压、低温



Programme I G G R. Ocean storage of CO<sub>2</sub>[J]. 1999.



# □CO<sub>2</sub>开采天然气水合物技术

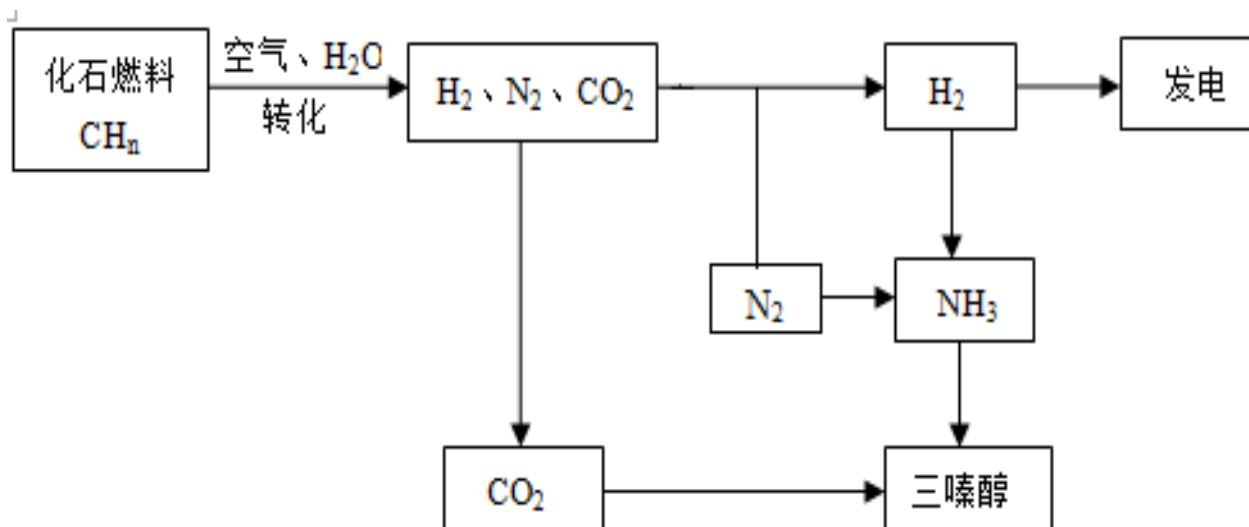


中国南海北部神狐海域天然气水合物试采成功



**CO<sub>2</sub>化工利用技术**：如合成气、可降解聚合物、有机碳酸酯技术等，CO<sub>2</sub>电催化还原合成化学品、基于CO<sub>2</sub>光催化转化的“人工光合作用”等；矿化技术等。

**CO<sub>2</sub>合成三嗪醇技术**：利用一部分H<sub>2</sub>与伴生的N<sub>2</sub>反应成NH<sub>3</sub>，NH<sub>3</sub>与CO<sub>2</sub>在一定工艺过程条件下得到CO<sub>2</sub>含量最高的稳定固体产品三嗪醇，进而合成三类高分子材料：

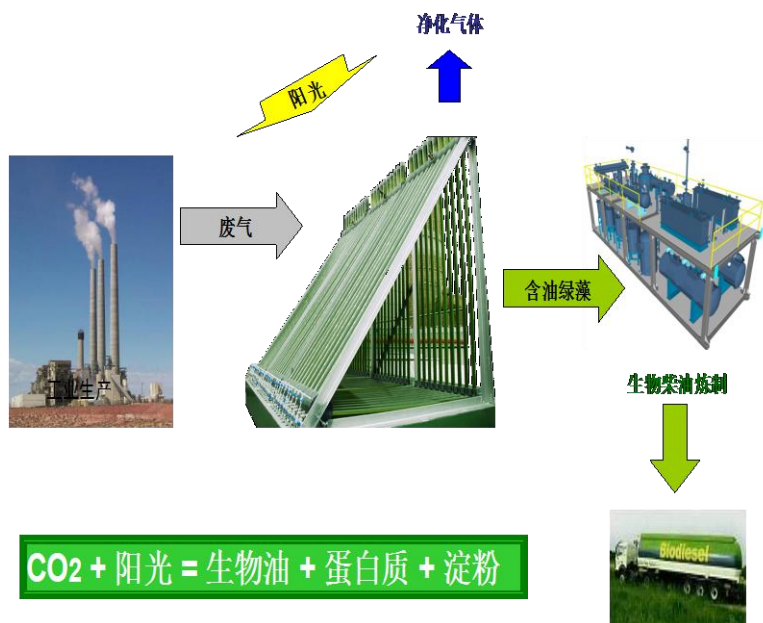


# □ CO2生物转化利用技术

中石化CO2微藻生物制油技术已开展中试，主要问题是**占地**  
**面积大、投资高、生产成本较高。**

## 攻关方向

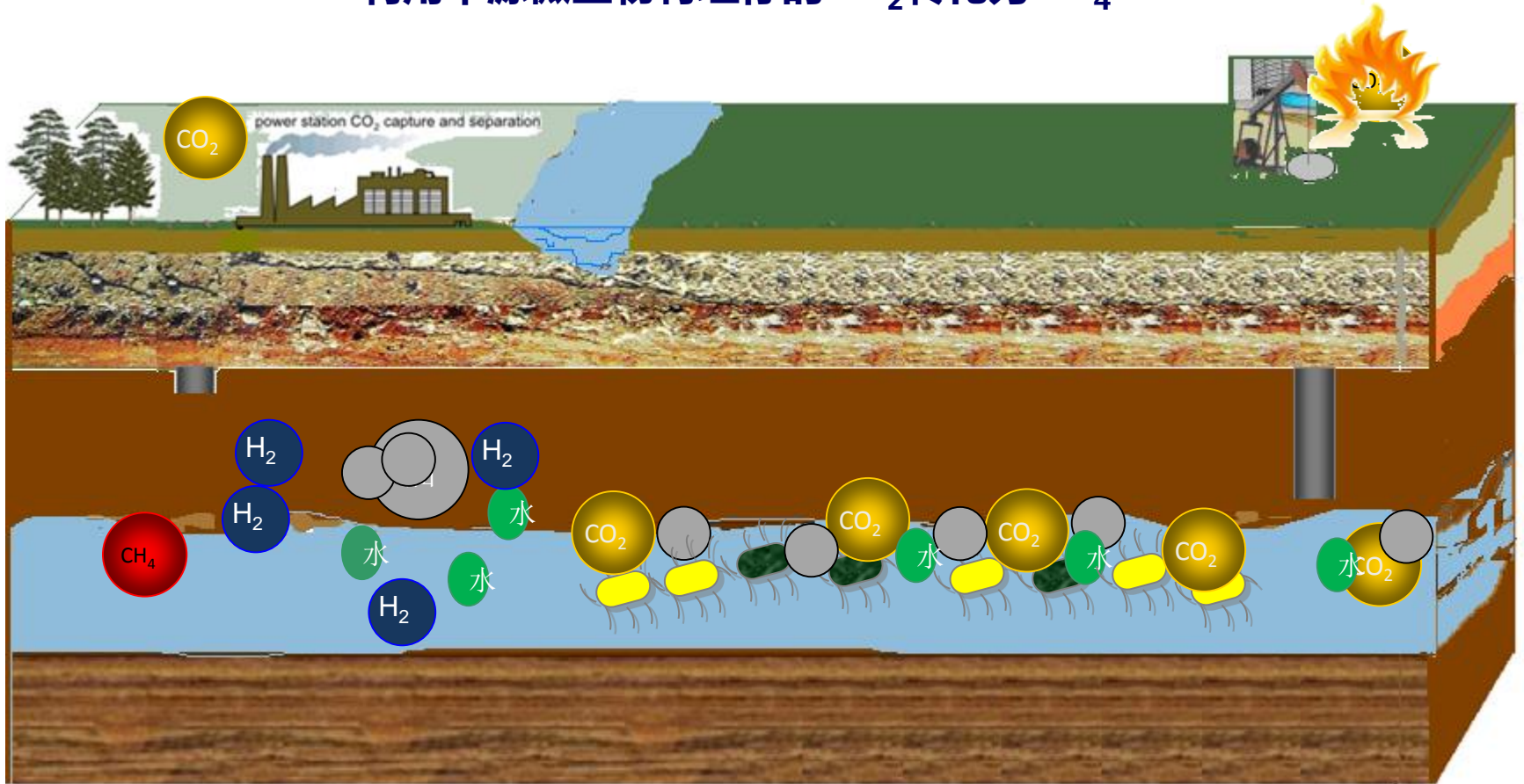
微藻工程技术消除废气排放，生成可再生能源



- 高效低成本固碳优良藻类培养及基因工程技术
- 生物转化固碳产物低成本采收分离与多联产加工技术
- 与电化学合成燃料耦合反应技术
- 高效光生物反应器构建技术。

# □CO<sub>2</sub> 转化为甲烷气技术：

利用本源微生物将埋存的CO<sub>2</sub>转化为CH<sub>4</sub>



# 提 纲

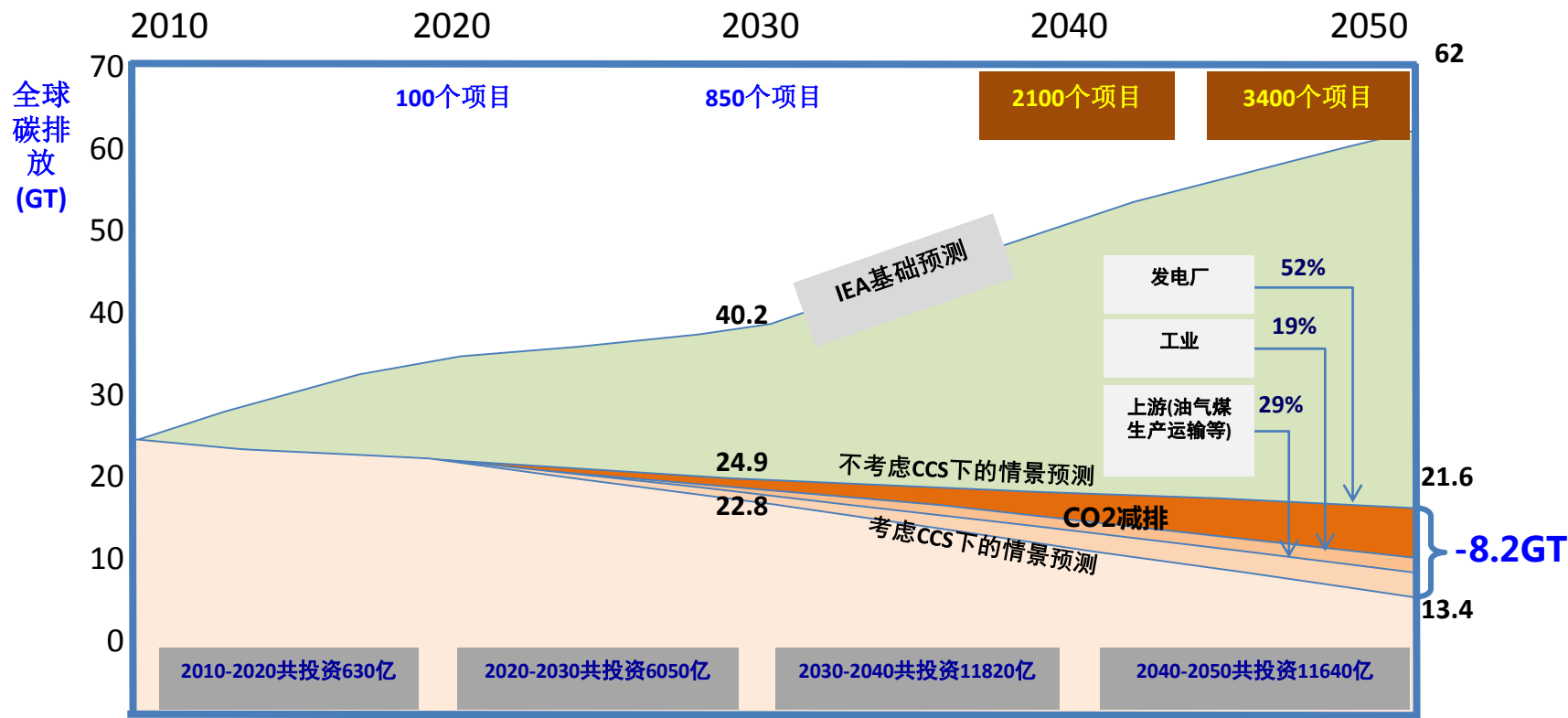
**一、CCUS技术发展政策与行动**

**二、中国CCUS技术发展状况**

**三、产业化发展及前景展望**

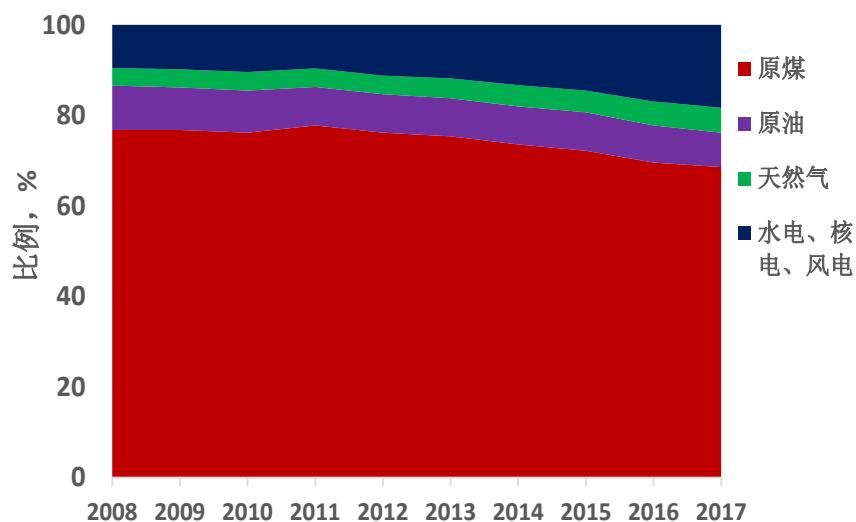
# (一) CCUS应对气候变化的作用，国际社会的共识

IPCC最新研究结果：**几乎所有的气候变暖警告场景都需要CCUS**  
其将贡献16.8%的减排量；2015-2050年累计减排**14%**的温室气体。  
是未来我国减少CO<sub>2</sub>排放、保障能源安全、构建生态文明和实现可持续发展的重要手段。



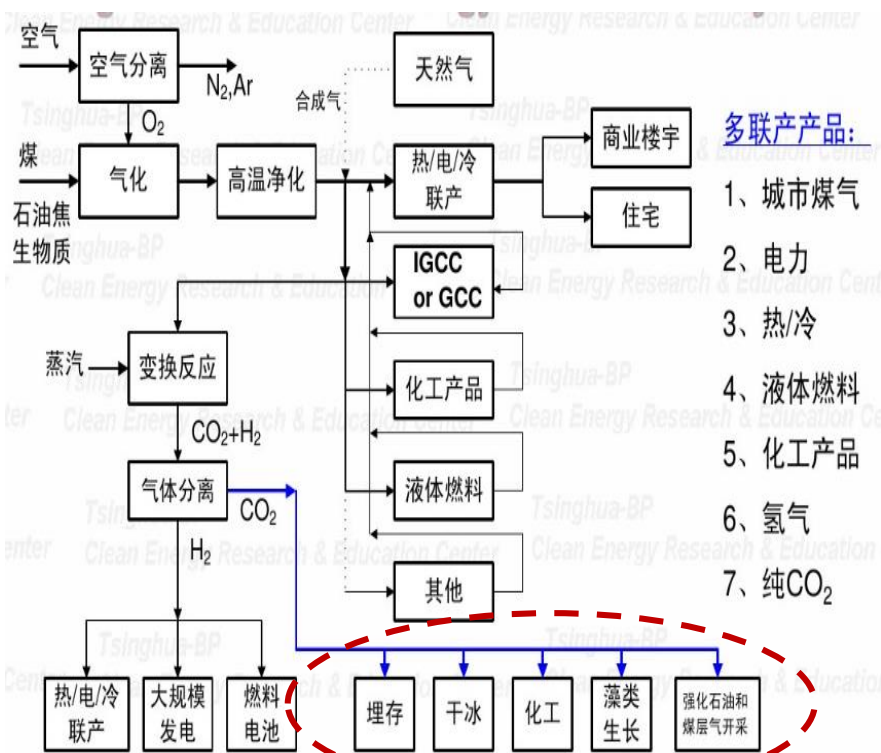
# 1、CCUS是实现煤炭清洁利用的主要途径

- 难以改变的事实：  
煤现在、将来较长时期仍是我国能源的主力，其直接燃烧引起大量的CO<sub>2</sub>排放。



中国能源结构变化趋势(国家统计局)

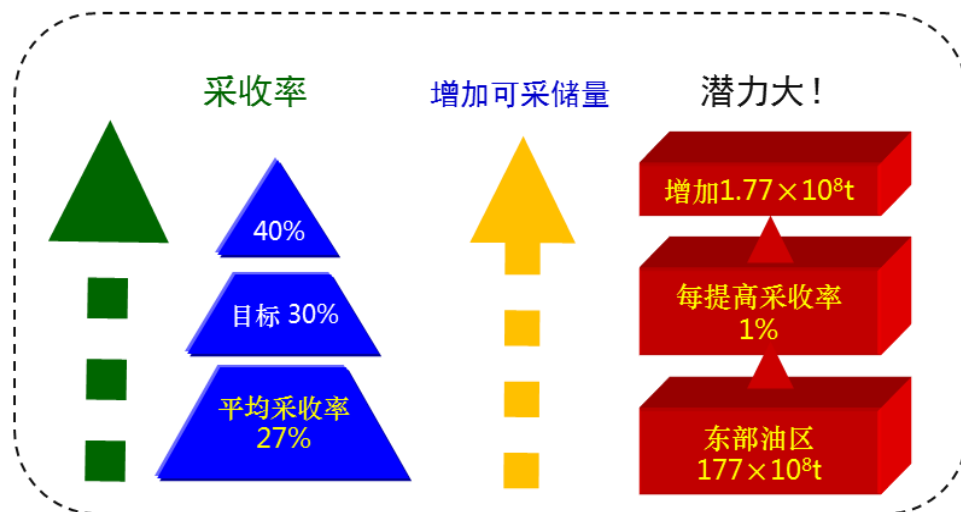
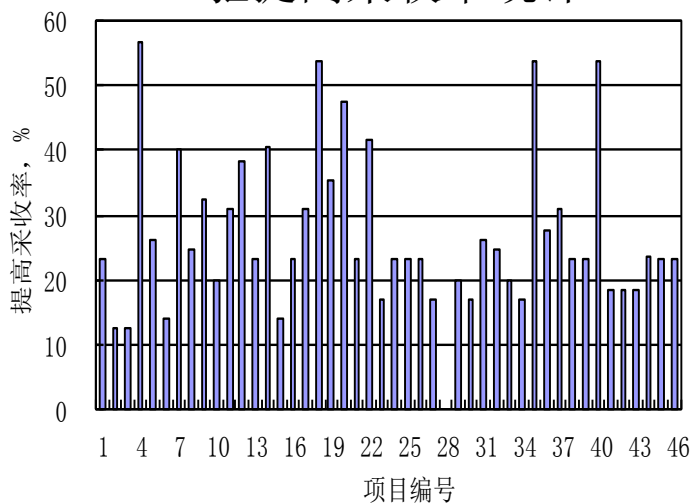
- CCUS耦合煤的多联产技术，实现煤的清洁化利用



## 2、CCUS是实现油气增储上产的有效手段

- CO<sub>2</sub>-EOR可提高采收率幅度**8-20%**，是有效的增产手段。
- 我国油气资源不足，提高采收率，增加油气产量，**减少能源对外依存度**，对国家能源安全具有重要的战略意义。

CO<sub>2</sub>驱提高采收率统计



**采收率每提高一个百分点，相当于新找到一个6亿吨规模的大油田。**

### 3、CCUS将有效促进能源产业可持续发展

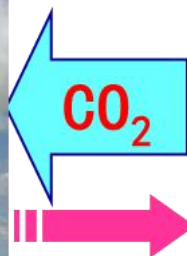
- 支撑绿色低碳发展战略
- 促进煤化工产业快速发展
- 发挥下游化工技术优势
- 提高技术竞争力，形成新的经济增长点



勘探



开发



炼油、化工



销售



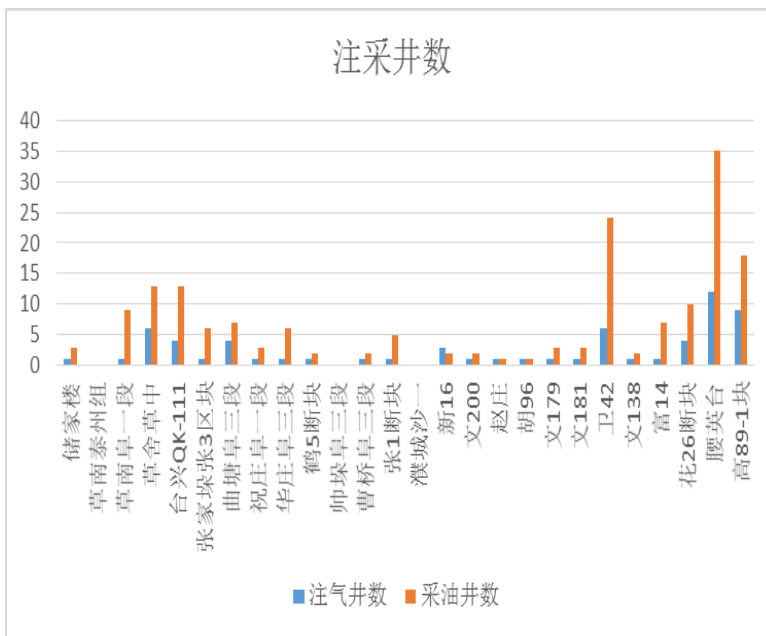
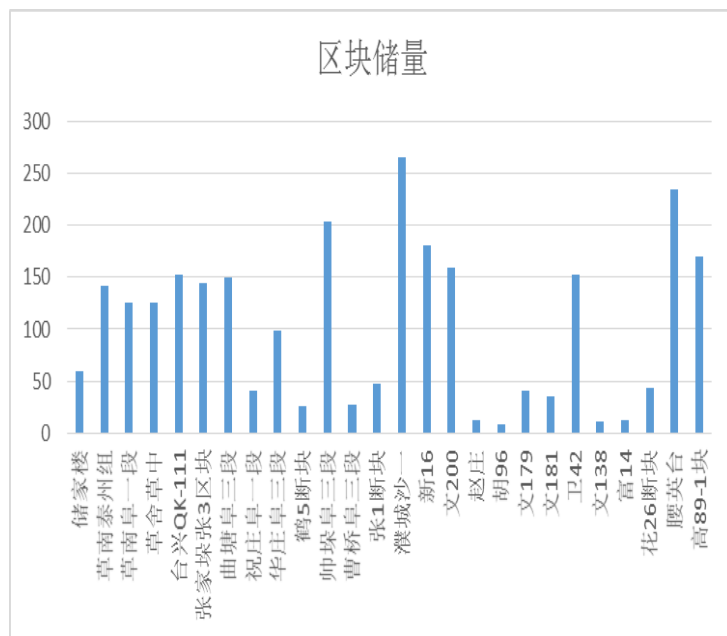
## **(二) 中国发展 CCUS 产业已经具备一定的基础**

- 以化石能源为主的能源结构长期存在；**
- 适合 CO<sub>2</sub>大规模捕集的排放源类型多、分布广；**
- CO<sub>2</sub>理论地质封存容量大；**
- 随着低渗透石油资源勘探和开发比重增长，CO<sub>2</sub>强化采油技术（CO<sub>2</sub>-EOR）将面临更大需求；**
- 多种 CO<sub>2</sub> 利用途径，存在潜在收益；**
- 具备了大规模全流程系统的设计能力；**
- 全国统一碳市场的建立为 CCUS 技术及产业发展提供了新的驱动力。**

# 产业化进展及面临挑战：

我国CCUS产业正在发展过程中，已形成新疆敦化、齐鲁炼化等从事碳捕集的专业化公司，但产业规模仍较小。面临诸多挑战：

(1) CCUS 技术水平仍有待提升。我国CCUS试验示范缺乏大规模全流程CCUS项目。CCS-EOR项目规模小，注入井少。



## **(2) 目前技术条件下，CCUS捕集能耗和成本较高**

**□ 吸附法能耗高，捕集成本高（200—300元/吨）**

**□ 埋存成本高（200—300元/吨）**

**◆从发展视角看：CCS负担不起。CCS后发电厂每千瓦小时能耗增加10%左右**

**(3) 我国东部地区油藏多为陆相沉积，原油大都为石蜡基原油，CO<sub>2</sub>混相压力高，驱油效率较低，提高采收率幅度低，大规模驱油利用还需进行深化研究。**

## (三) 产业化发展方向和目标

依据目前研发进展，预计：

- ◆ 2035年第一代捕集技术的成本及能耗与目前相比降低 **15~20%**；
- ◆ 第二代捕集技术实现商业应用，成本及能耗比第一代技术降低 **10~15%**；
- ◆ 2050年：CCUS 技术实现广泛部署，建成多个 **CCUS 产业集群**。

### 产业化发展方向

发展全流程的CCUS产业

- ◆ 以驱油和埋存为目标，发展捕集、运输与埋存一体化技术
- ◆ 形成源—汇一体化，捕集与利用一体化
- ◆ 捕集产业发展顺序：高碳天然气—煤化工—燃煤电厂

建设管网设施：

- ◆ 建设气体输送和密相输送方式下的管道网络

# 重点推动京津冀、鄂尔多斯区域CCS产业发展，形成规模化产业模式，促进煤、油、气、电能源一体化最大限度利用



- 基于区域经济发展、资源富集情况，协同有序利用，充分发挥集群化优势
- 注重整体规划、建设、管理和运作，实现能源和CO<sub>2</sub>埋存利用最大化

今天的努力是为了明天的

碧水 · 蓝天

Thank you!