

# CCS在中国 现状、挑战和机遇

TOWARDS MARKET TRANSFORMATION  
CCS IN CHINA

2010年7月22日

北京



**C** 气候组织  
THE CLIMATE GROUP

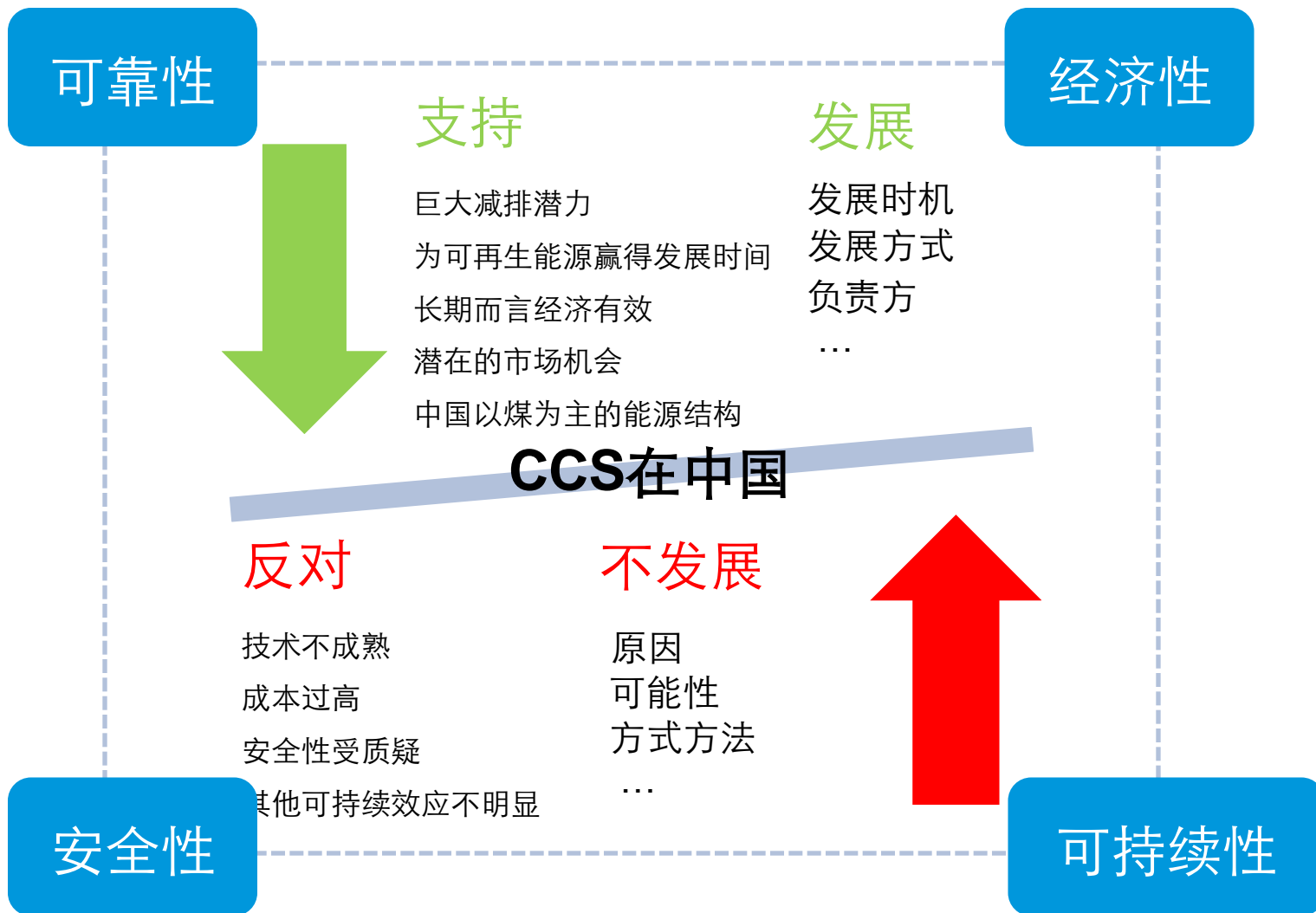


# The Climate Group

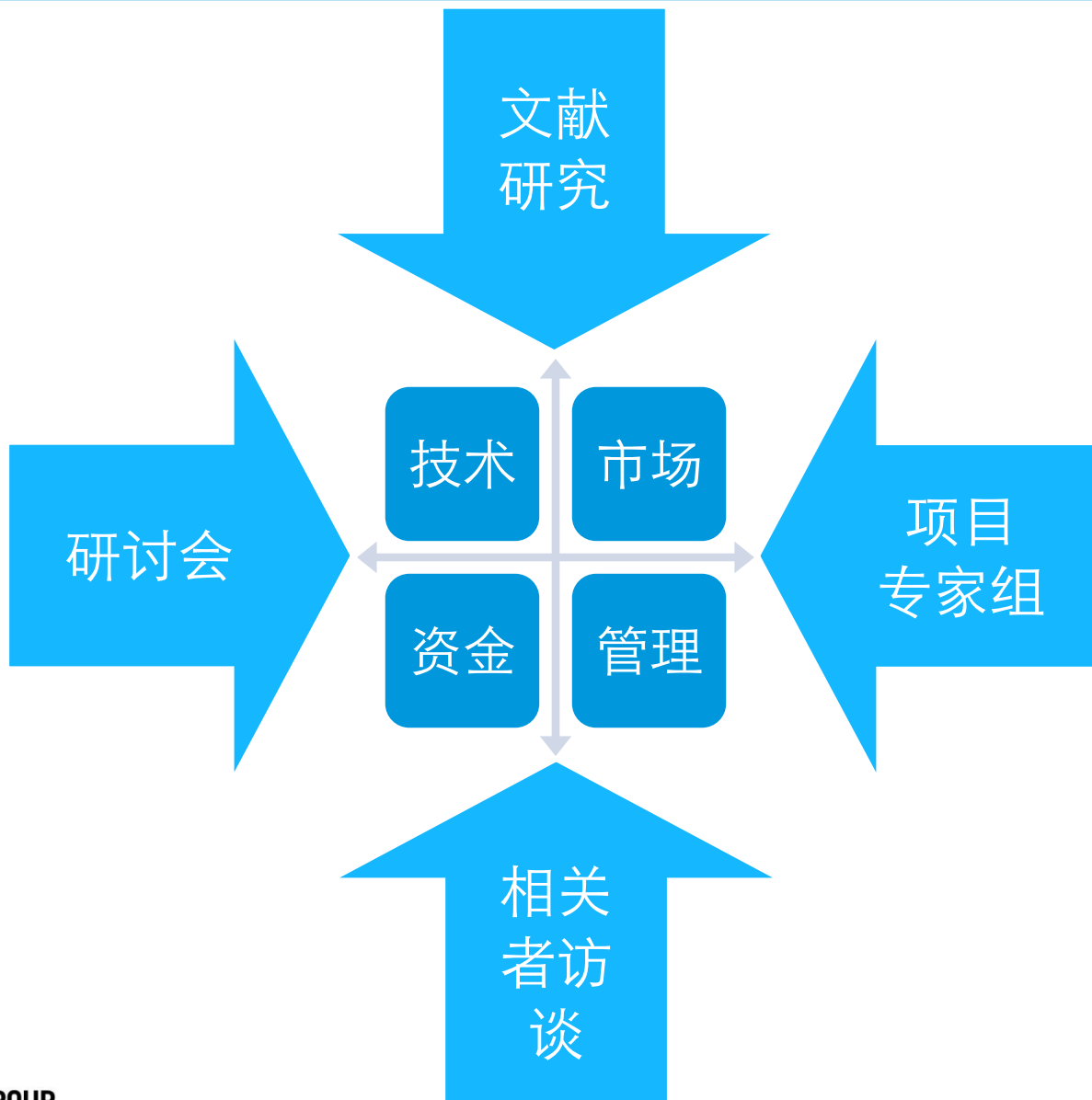
- Founded 2004 to act as a hub for business & government leadership on climate change
- 90 staff in 6 countries/regions (Europe, North America, China, HK, India and Australia)
- Membership from Fortune 100 companies, Cities and States
  - 50+ members including HSBC, China Mobile, AIG, Virgin, JPMorgan, News Corp, California, New York, London
- Financial support from a wide range of sources – foundations, individuals, corporations, governments
- Programmes on Policy & Research, Corporate Engagement, Market Transformation of Low Carbon Technologies (CCS, EV, LED, ICT, Building), Climate Solution Exchange, Consumer Engagement (Million Forest)



# 研究背景和目的



# 研究方法



# 技术

分阶段、有重点的综合考量技术的可靠性、经济性和适用性

# 主要发现



- 捕集、运输和封存各环节发展水平不一
- CCS成本降低有赖于捕集技术能效提高和煤炭利用方式的突破
- 源汇匹配工作有助于运输方式选择和路线规划
- 中国理论封存潜力巨大，但仍需完整勘察和验证，封存安全性为主攻方向
- 已有研究不能说明CCS具有良好的规模效应
- 目前确定CCS在中国的技术发展路线图为时尚早，还需更深入全面的技术研发和示范
- 电力行业是CCS技术的主要应用领域，但与煤化工结合可能成为中国的一大特色

# 捕集 - 规模化效应有限，提高能效为关键



| 技术    | 适用类型   | 效率损失 (%)              | 成本 (USD/ton) |
|-------|--------|-----------------------|--------------|
| 燃烧后捕集 | 煤粉电厂   | 8~13                  | 29~51        |
| 燃烧前捕集 | IGCC电厂 | 7~10                  | 13~37        |
| 富氧燃烧  | 煤粉电厂   | 比相同技术水平的常规IGCC系统低7%以上 | 21~50        |

数据来源：IPCC特别报告：CCS决策者摘要和技术摘要

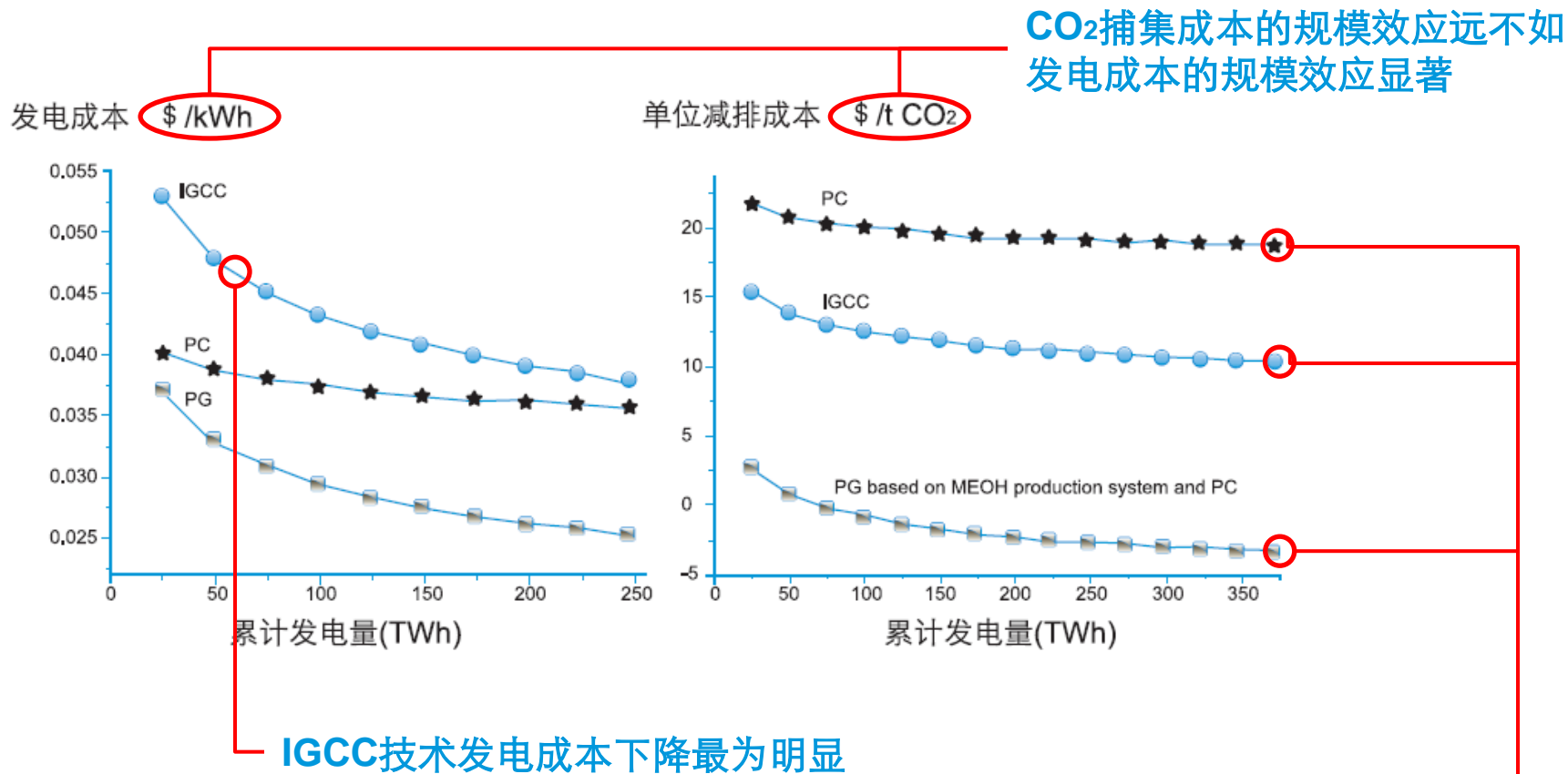
| 参比系统类型               | IGCC          | 超临界系统         | IGCC         | 超临界系统         |
|----------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| CO <sub>2</sub> 捕集方法 | 燃烧前捕集         | 燃烧后捕集         | 燃烧前捕集        | 燃烧后捕集         |
| 数据来源                 | Kreutz        | Rubin         | 考虑国产化        | 考虑国产化         |
| 捕集率 (%)              | 90.7          | 86.8          | 88.3         | 86.0          |
| 捕集成本(USD/ton)        | 17.61         | 38.22         | 17.28        | 29.48         |
| - 投资成本               | 12.13 (68.9%) | 26.20 (68.5%) | 9.77 (56.5%) | 15.05 (51.0%) |
| - 运行成本               | 5.47 (31.1%)  | 12.02 (31.5%) | 7.51 (43.5%) | 14.43 (49.0%) |

数据来源：国外研究，中国科学院工程热物理所研究

# 捕集 - 规模化效应有限，提高能效为关键 (2)



常规超临界电厂和IGCC电厂发电成本及CO<sub>2</sub>捕集成本学习曲线



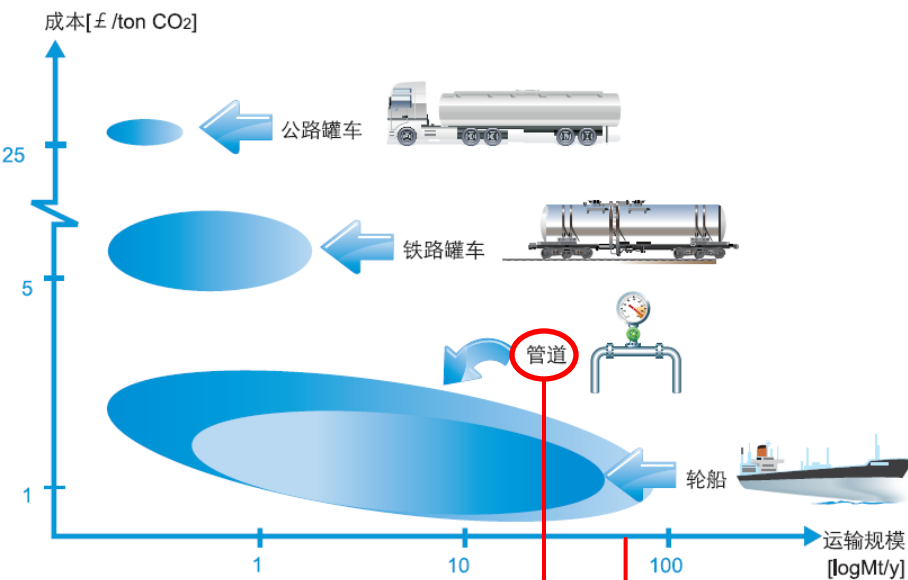
数据来源：中国科学院工程热物理所模型研究

各能源动力系统CO<sub>2</sub>捕集技术的规模效应差别不明显

# 运输 - 方式多、规模效应明显，需明确源汇距离



## 运输方式的成本规模效应和优劣比较

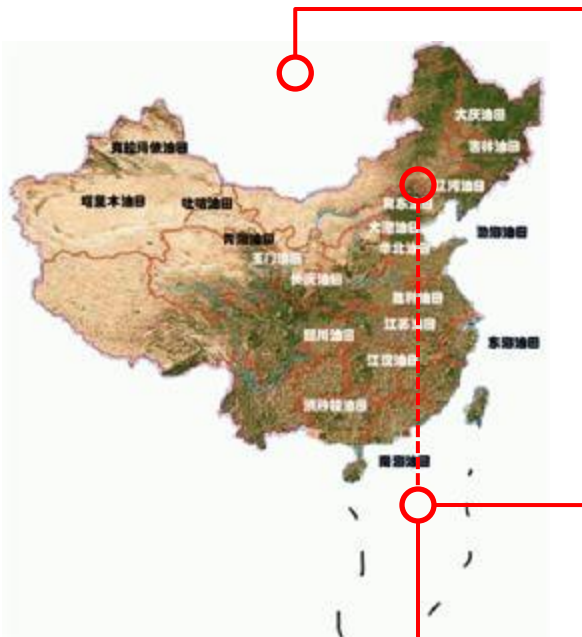


| 适合条件              | 优势                  | 劣势                              | 成熟度               |
|-------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------|
| 小批量非连续            | 规模小、投资少、风险低、灵活      | 运输量小、距离短                        | 技术成熟<br>有运输商      |
| 运输量大、运输距离远        | 运量大、距离长、可靠性较高       | 铁路管理和调度复杂、需配备接卸和储运配套            | 成熟<br>暂无运输商       |
| 大容量、长距离、负荷稳定的定向输送 | 运量大、距离长、受外界影响少、可靠稳定 | 初始投资大、运行成本高                     | 成熟<br>有运营商        |
| 大规模、超长距离或海岸线运输    | 运量大、超远距离、目的地灵活      | 成本高、投资大、运行成本高、需配套接卸和储运配套、受气候影响大 | 成熟<br>暂无，但可解决石化经验 |

管道是长距离运输最经济合理的方法  
 200万吨/年  
 200~600km  
 3~10USD/ton

源汇距离将最终决定选择何种运输方式

# 封存 - 长期安全为重中之重，需加强技术和法规研究



## 理论地质封存潜力巨大

- 理论封存潜力 3,088Gt
- 深部盐水层潜力 3,066Gt
- 油田封存潜力 4.8Gt
- 气田封存潜力 5.2Gt
- 煤田封存潜力 12Gt

考虑到源汇匹配，现阶段中国每年地质封存CO<sub>2</sub>量不会超过2.5Gt/a

封存潜力: 陆地 > 海洋

封存成本: 陆地 > 海洋  
USD 0.6~8.3 6~31

## 现状

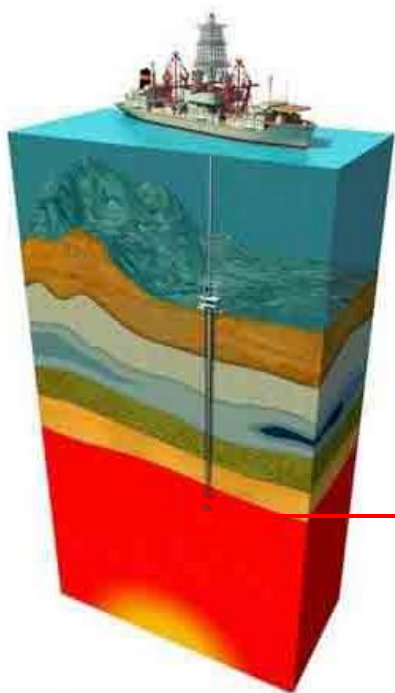
- 缺少明确的封存选址标准
- 缺少场地勘察技术
- 长期封存过程的模拟计算尚不能满足泄漏风险评估的要求
- 缺少研究力学稳定性评价方法

## 需要

- 进一步开发CO<sub>2</sub>泄漏的应急补救措施
- 进一步深入全局性的源汇匹配研究
- 在示范阶段探讨安全封存所需法规框架，为推广做准备

数据来源: 中国科学院武汉岩土力学研究所模型研究

# 封存 – 中国具有在CO<sub>2</sub>油气藏中封存的早期机会



## 潜力

- 中国适合注气开采的石油储量为**35亿吨**，通过注气可增采储量**3.5亿吨**，按提高采收率**32%**计算，相当于**11亿吨**储量  
大油田
- 已积累的地质封存工程经验

## 注入CO<sub>2</sub>的石油增产比例

- 平均为**2.5~4.1:1**，最高可达**2:1**

## CO<sub>2</sub>驱油的经济效益

- 成本（扣除CO<sub>2</sub>成本）：**28.4~46.7CNY/ton**，合**4.2~6.9 USD/ton**
- 按**2.5~4.1:1**计算，扣除捕集和运输成本后，驱油部分成本仍低于**60USD/ton**

## 苏北油田

- **11口井12井次**的CO<sub>2</sub>单井吞吐试验
- 累计注入CO<sub>2</sub>量**4,490吨**
- 每注**1吨CO<sub>2</sub>**多出**2.39吨油**
- 累计增产原油**10,724吨**
- 项目累计投入**684.5万元**，原油销售收入**1,722万元**
- 投入产出比**1.0:2.5**

数据来源：COACH项目研究，石油大学研究

# 资金

区分项目和技术，善用公共资金，吸引私人资本



- 发展CCS存在巨大资金缺口，且比其他低碳技术更缺乏投融资机制
- 应分开讨论发展示范项目和技术研发所需资金及来源
- 技术发展决定了资金和市场发展，但与政策之间的关系复杂
- CCS成本问题应与碳价问题合并讨论
- 目前国际上已有多种投融资机制的尝试，但是否适用于中国仍有待检验
- 利用保险和再保险等金融工具化解CCS风险尚未得到足够重视

# 成本 – 探讨资金和市场的必要出发点



## 不同机构对CCS成本价测算

|          | 模型计算                      | COACH                                       | NZEC                                     | IPCC             |
|----------|---------------------------|---|--|------------------|
| PC电厂捕集   | 国产化<br>29.5 USD           | —   | 278 RMB<br>41 USD                        | 29~51 USD        |
| IGCC电厂捕集 | 国产化17.3<br>USD            | 225 RMB<br>33 USD                           | 203 RMB<br>30 USD                        | 13~37 USD        |
| 运输       | 3~10<br>USD/200~600<br>km | 3.4 RMB<br>/0.5 USD<br>/100km               | 12RMB/1.8USD/100km<br>26RMB/3.8USD/200km | 1~8<br>USD/250km |
| 封存(陆地)   | —                         | 场地评估和注入<br>设备<br>15~46.7 RMB<br>2.2~6.9 USD | 注入设备<br>6 RMB<br>0.9 USD                 | 0.5~8 USD        |
| 后期监测     | —                         | 8.3 RMB<br>1.2 USD                          | —  | 0.1~0.3 USD      |
| 总成本      | —                         | 260~300 RMB<br>38~44 USD                    | 约280 RMB<br>41 USD                       | —                |

注:以上表格中数据以每吨CO<sub>2</sub> 减排量为单位, 其中模型计算、COACH 和NZEC 项目的成本测算专门针对中国, 而IPCC 给出的数据具有国际意义

数据来源: 中科院工程热物理研究所、COACH、NZEC项目研究结果和IPCC报告数据

# 资金需求



## CCS项目数量和所需投资（亿美元）

| 投资国家和地区 | 到2020年<br>项目数量 | 到2050年<br>项目数量 | 2010~2020<br>项目投资 | 2010~2050<br>项目投资 |
|---------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| 全球      | 100            | 3,400          | 1,300             | 50,700            |
| OECD国家  | 50             | 1,190          | 916               | 21,350            |
| 非OECD国家 | 29             | 1,260          | 198               | 17,650            |
| 中国和印度   | 21             | 950            | 190               | 11,700            |

数据来源：国际能源署，CCS技术发展路线图研究，2009

中国和印度所占份额将由**14.6%**增加到**23.1%**，OECD国家的份额则从**70%**降到**42%**

# 资金投入和缺口

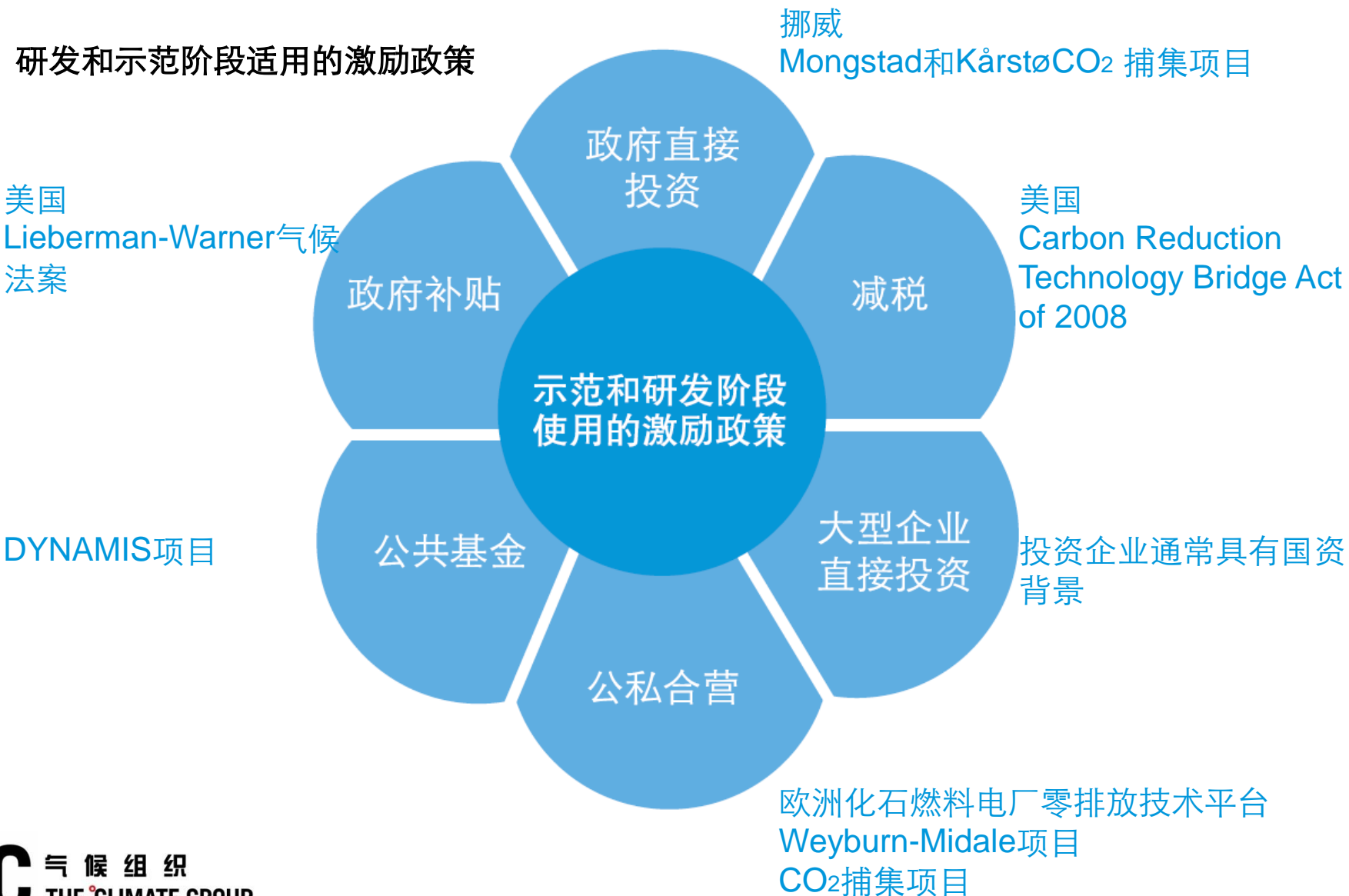


各国家及地区政府对CCS的资金投入（亿美元）

| 国家或地区 | 加拿大                     | 欧盟   | 澳大利亚                    | 美国      | 英国         | 挪威   | 日本                             |
|-------|-------------------------|--|-------------------------|---------|------------|--|--------------------------------|
| 投入资金  | 85亿加元<br>(合83.8<br>亿美元) | 10.5亿欧<br>元(合15<br>亿美元);<br>3亿EU-<br>ETS单位<br>的排名额 | 40亿澳元<br>(合34.9<br>亿美元) | 34亿美元   | 约95亿<br>美元 | 9.05亿美<br>元投资;<br>Mongstad<br>CCS项目<br>的建设投<br>资和运营<br>费用;<br>3000万美<br>元/年的研<br>发经费 | 1,080亿<br>日元<br>(合11.6<br>亿美元) |
| 合计    |                         |  |                         | 约400亿美元 |            |  |                                |

仅为2010~2020年间  
全球所需投资的**31%**

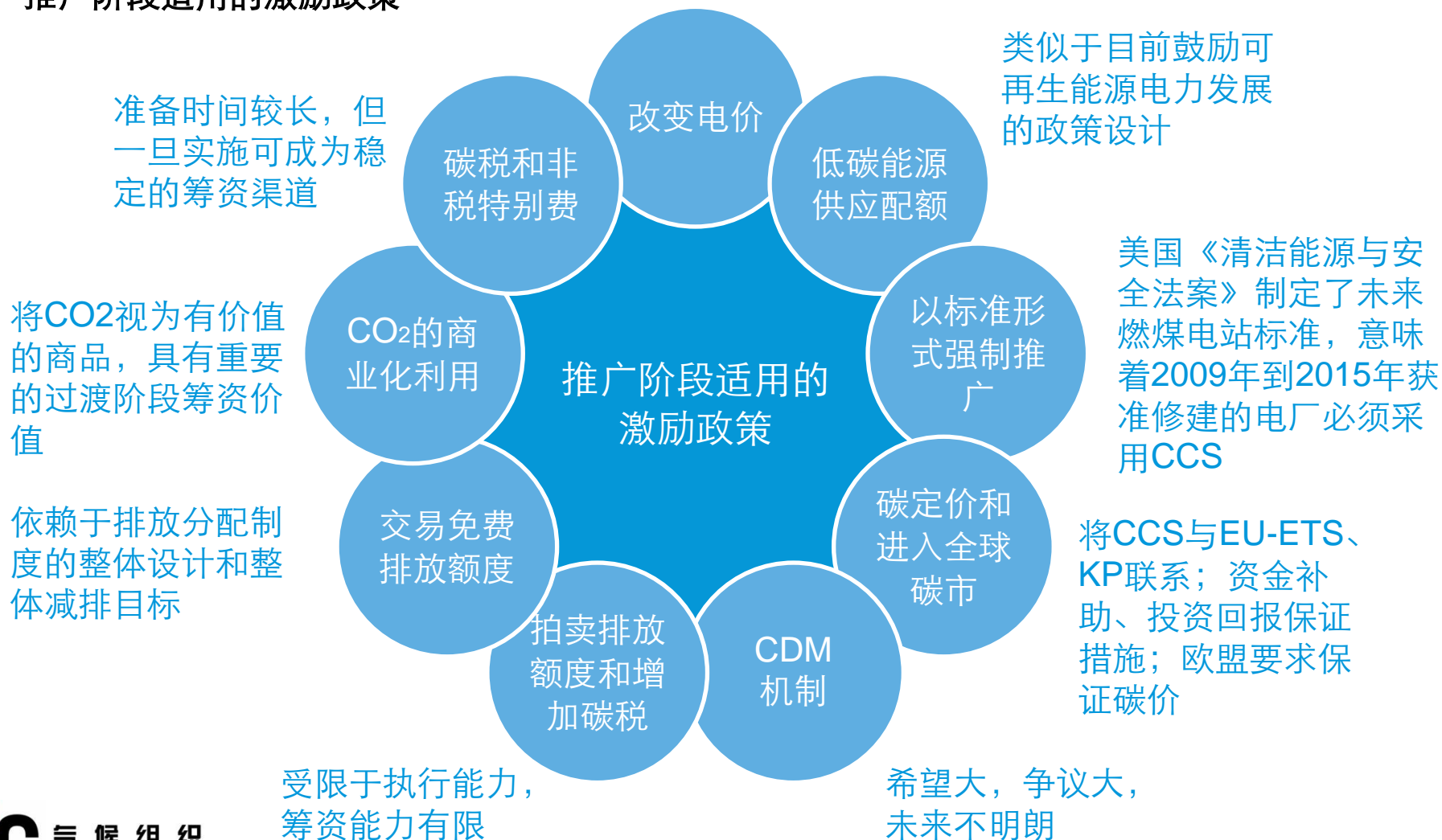
# 投融资机制 - 区分阶段和投资对象



# 投融资机制 – 区分阶段和投资对象 (2)



## 推广阶段适用的激励政策



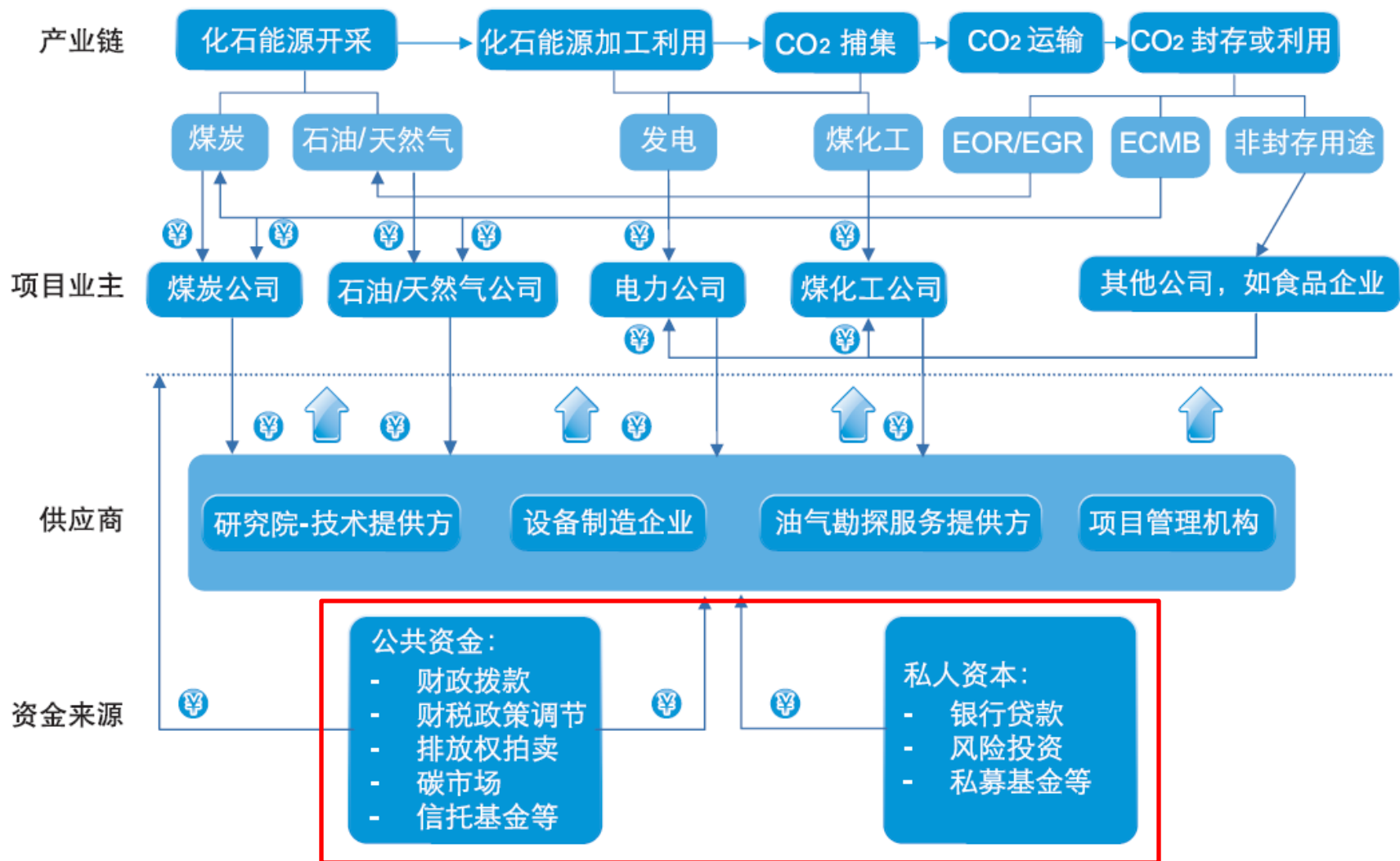
# 市场

加快形成产业链，促进市场发展，以加速CCS商业化进程



- CCS产业链尚未形成，但形成产业链的要素已基本具备
- 产业链未形成的原因除技术尚不成熟和资金匮乏外，另一重要原因是不同要素之间尚未建立有效联系
- 应推动跨行业、跨部门和跨区域合作，推动技术创新和制度创新

# CCS产业链 – 尚未形成





## 企业参与CCS发展的动力

### 电力企业：

防范风险、储备技术、提高核心竞争力

### 煤炭和煤化工企业：

利用已有技术特点，寻找结合点

### 石油企业：

增加工程经验、开发新业务领域

### 设备供应商和技术服务提供商：

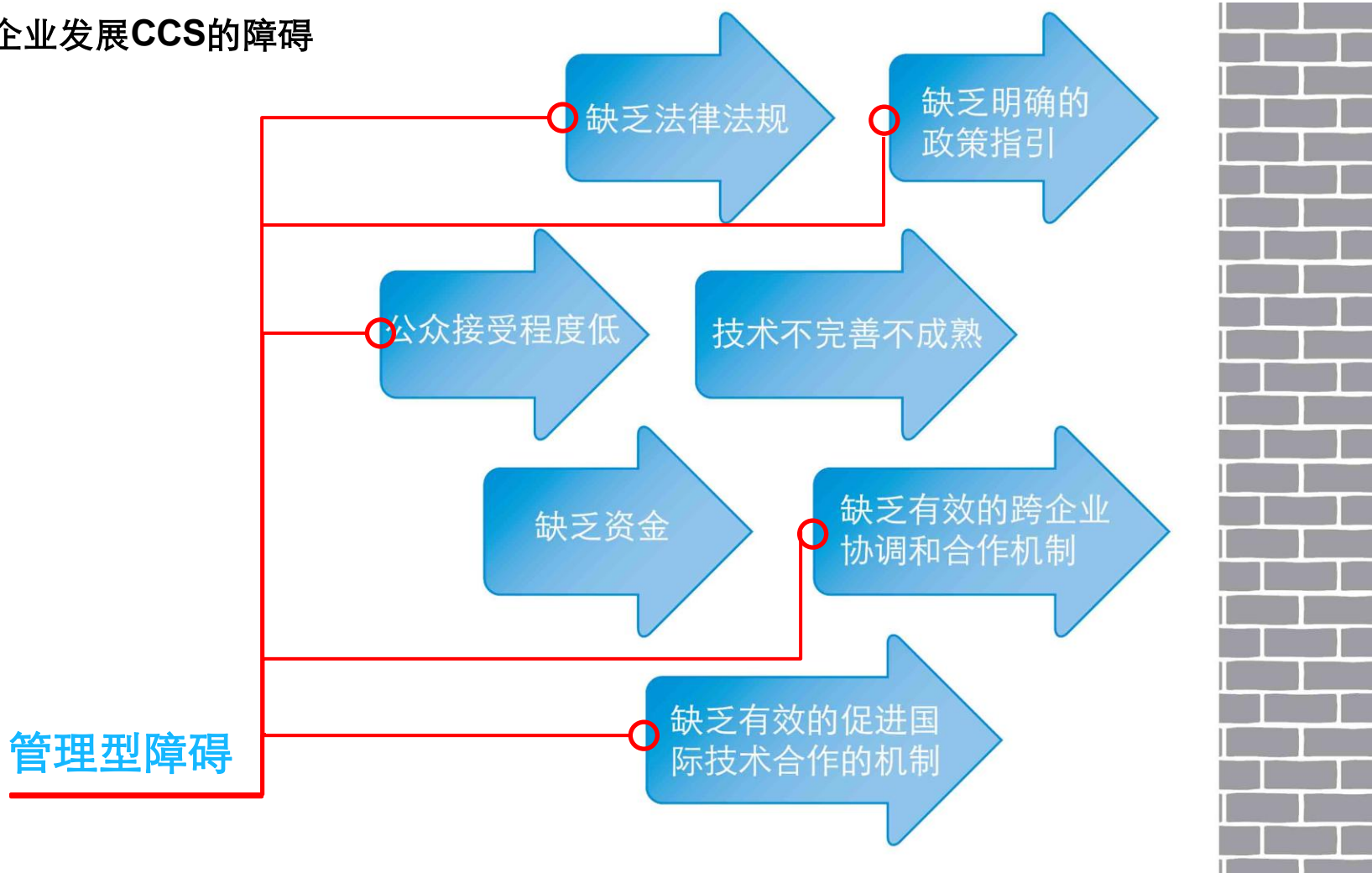
技术储备、积累客户



# 障碍 – 技术、政策、管理、合作



## 企业发展CCS的障碍



# 管理

客观评价、预防为主的鼓励型管理措施和政策设计



- CCS的发展和應用不仅是技术问题，更是管理问题，政策、法律、法规、标准并举
- 在CCS推广前，就应以预防为主为指导思想，开展CCS的安全、环境和健康风险评估和风险管理研究，为制定法律法规做准备
- 其中以安全风险控制最为重要，管理重点应包括项目核准程序、工程监督检查、环境影响评估、项目监测、事故应急响应和场地关闭管理等
- 未来的管理体系应具备更强的促进跨部门、跨行业和跨区域合作的功能

# CCS潜在风险



## CCS的潜在风险

### 捕集过程

- 增加NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、固体废弃物等其他污染物排放；
- 增加化学制品消耗。

### 运输过程

- 全球风险 - CO<sub>2</sub>泄露对全球气候变暖的影响；
- 局部风险 - 施工建造和CO<sub>2</sub>泄露：
  - ✓ 对人体健康的影响
  - ✓ 对地下水的污染
  - ✓ 对陆地和海洋生态系统的影响

### 注入与封存过程

- 全球风险 - CO<sub>2</sub>泄露对全球气候变暖的影响；
- 局部风险 - 施工建造和CO<sub>2</sub>泄露：
  - ✓ 对人体健康的影响
  - ✓ 对地下水的污染
  - ✓ 对陆地和海洋生态系统的影响
  - ✓ 可能诱发地震

# 法律法规 – 强调环境安全问题



|          | 澳大利亚《CO <sub>2</sub> 捕集与封存指南- 2009》                                | 欧盟《碳捕集与封存指令》                        | 美国的《CO <sub>2</sub> 捕集、运输和封存指南》                | 国际能源署《CCS技术路线图》                                    |
|----------|--|-------------------------------------|--|--|
| 与其它法律的关系 | 所有的CCS项目必须符合已存在的法律法规   | 和欧盟的相关法律保持一致                        | 必须满足清洁空气法和清洁水法的要求                              | 修订相关的现行法律  |
| 环境风险评价   | 所有的CCS项目在相关法律制度框架下必须进行环境评价和核准。环境风险评价将贯穿于项目的整个生命周期                  | 强调封存过程的环境风险评价，包括危险识别、暴露评价、影响评价、风险识别 | 对于所有的封存项目，必须进行风险评价                             | 建立综合的CO <sub>2</sub> 运输和封存框架，框架包括环境影响评价、风险管理和补救措施等 |
| 封存场地选择   | 封存地点必须接受连续的风险评价，必须提供封存地址详细的地质特征（封存容量、孔隙率、地层学等）和储备模型以支持满足核准条件的评价和认定 | 修订相关指南，完善封存场地选择管理                   | 形成一套准则最小化泄漏风险；早期项目应该优先选择风险很低的场地；应该远离新鲜水或饮用水源地区 | 到 2012年形成关于封存场地选择的最佳实践指南                           |
| 准证核准和颁发  | 核准必须包括风险评价和监测，核准过程必须对公众是公开，透明的                                     | 修订相关指南，明确准证申请和颁发程序                  | 必须提交包括期望成本、注入率、储存能力等参数的准证申请                    | 尚未明确   |
| 监测       | 对注入的CO <sub>2</sub> 进行监测并提供证明。监测范围至少包括封存地址的安全性、环境保护、公众健康和资源管理等     | 建立监测与报告指导方针（MRGs）予以解决               | 实施“可测量、监测、核实（MMV）”的监测方法                        | 指出有必要建立一套国际通用的监测方法                                 |

# 法律法规 – 强调环境安全问题 (2)



|            | 澳大利亚《CO <sub>2</sub> 捕集与封存指南- 2009》  | 欧盟《碳捕集与封存指令》  | 美国的《CO <sub>2</sub> 捕集、运输和封存指南》                                    | 国际能源署《CCS技术路线图》        |
|------------|--|---|--|------------------------|
| 安全         | CCS项目符合《职业健康与安全准则 Occupational Health and Safety Principles》                             | 强调封存地点的永久封存评价、对运行、监测和场地关闭和后关闭的管理                                    | 强调制定管道和封存CO <sub>2</sub> 的安全标准                                     | 制定了到 2012年的封存安全管理条例和准则 |
| 注入和关闭前     | 与伦敦协定的规定一致，注入海洋的必须是CO <sub>2</sub> 。仅有的额外的物质必须是自然存在的，或者是捕集/分离出来的类似蒸汽的物质，或者添加剂，如用于检测的指示剂。 | CO <sub>2</sub> 注入地下面临着一些法律层面的障碍                                    | 项目运行商应该制定透明的运行和执行计划；进行水注入试验；注入井及其设备应该符合联邦和各州的建筑和设计管理               | 尚未明确                   |
| 场地关闭和后关闭条件 | 必须满足场地关闭标准   | 当允许的场地关闭工程状态达到，或者运营商请求权力部门授权是可以进行场地关闭；还规定了场地关闭后运营商的责任，包括监测、报告、补救措施等 | 关闭期间执行连续的监测；运行商应该建立一套包括位置、关闭条件、完整性压力测试等的数据库；经批准的关闭场地应该移交有资质的经营实体管理 | 尚未明确                   |
| 事故处理       | 尚未明确   | 按照《环境责任指令》处理突发环境事故  | 风险评价应该提供不可预料事故的减缓或补救计划，这些计划应该提交项目管理方以支持建议的 MMV 计划                  | 尚未明确                   |

# 中国CCS管理法规的考虑重点



## CCS法规元素分解



明确主管部门，以及主管部门与相关部门的分工协调机制

明确项目业主、设备/服务提供商等企业的责任分担机制

鼓励金融企业参与，利用金融工具化解风险

完善保护知识产权的法规

# 结论

- 技术发展是关键，应加快CCS的研究和示范
- 拓宽CCS技术和项目融资渠道，解决CCS发展的资金瓶颈
- 明确产业和技术发展政策
- 加紧开展以政府为主导的企业联合试点行动
- 完善CCS项目管理的相关法律法规
- 建立能促进跨行业、跨企业的协调合作经济之和管理体系
- 促进风险管理体系的发展
- 健全知识产权转让机制
- 促进企业参与政策制定过程
- 赢得公众的理解

# 致谢

## 项目专家组

陈洪波 社科院副研究员  
高 林 中科院副研究员  
李小春 中科院研究员  
刘兰翠 环保部博士  
彭 勃 石油大学教授  
唐人虎 大唐集团CDM办公室总监  
王 灿 国家谈判代表 清华大学副教授  
王 宇 清华大学博士后  
张九天 科技部21实际议程管理中心  
副处长

## 项目评审专家组

苏文斌 华能集团绿色煤电有限公司  
总经理  
任相坤 神华煤制油研究中心有限公司  
董事长  
王志轩 中国电力企业联合会秘书长  
姜克隽 发改委能源研究所研究员  
许方洁 中国经济体制改革委员会气  
候变化首席电力专家  
Anne Blaker, VP, Gassanova  
Dan Meredith, Policy Manager, E.ON  
Jeff Chapman, CEO, CCS Association  
John Stonwell, VP, Duke Energy



谢谢

尹乐

[LYIN@THECLIMATEGROUP.ORG](mailto:LYIN@THECLIMATEGROUP.ORG)

[WWW.THECLIMATEGROUP.ORG.CN](http://WWW.THECLIMATEGROUP.ORG.CN)

应对气候变化的国际领导力

