



中国非常规天然气资源开发利用前景

报告人：赵文智

中国工程院

2014.6 · 北京



汇报提纲

1 项目概况

2 中国非常规天然气开发利用前景

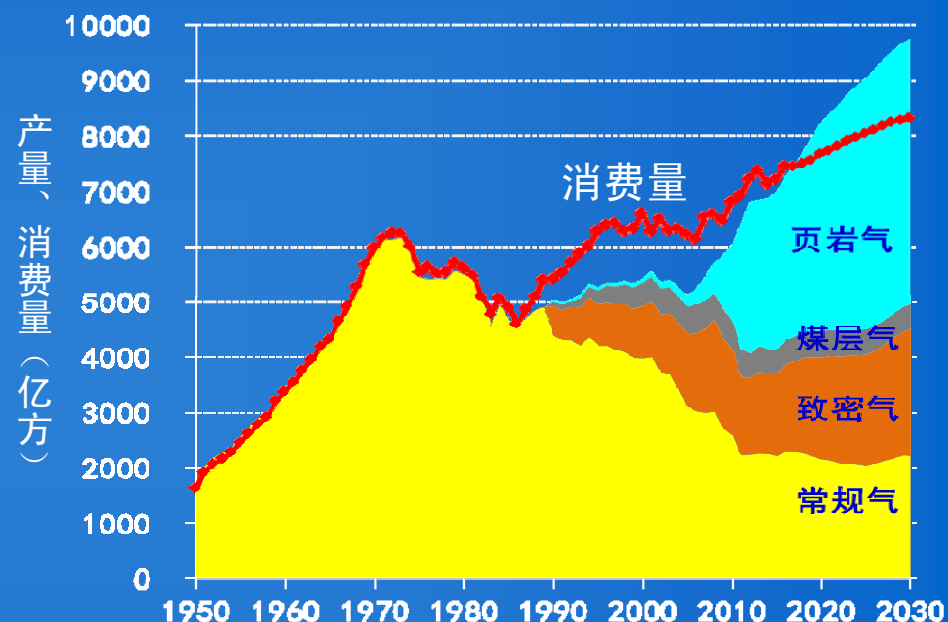
3 近期页岩气勘探开发新进展



1. 项目概况

- 美国页岩气大规模利用，助推其能源独立及全球战略布局重大调整
- 中国非常规天然气资源丰富，加快发展对改善能源结构、保障能源安全具有重大意义

美国天然气产量变化图



为客观回答中国非常规天然气资源开发利用的相关重大问题，2011年3月，中国工程院启动院级重大咨询项目《我国非常规天然气开发利用战略研究》，历时1.5年



1. 项目概况

- **项目顾问：**徐匡迪、周济、潘云鹤
- **项目负责人：**谢克昌
- **课题设置：**下设四个课题组
 - ◆ 我国页岩气和致密气资源潜力与开发利用战略研究——邱中建任组长
 - ◆ 我国煤层气开发利用战略研究——袁亮任组长
 - ◆ 我国天然气水合物勘探开发战略研究——金庆焕任组长
 - ◆ 项目综合组——谢克昌兼任组长，袁亮任执行组长
- **参研单位及人员：**100多家单位，400多位专家，其中院士32位
- **基本做法：**注重基础研究与现场调研，强化专题研讨与专家咨询，广泛征求院士、专家意见，凝聚共识，成果是集体智慧的结晶

2012年9月，研究成果上报国务院和有关部委，获得国家领导人批示，为国家制定相关战略与政策提供了重要参考



汇报提纲

1 项目概况

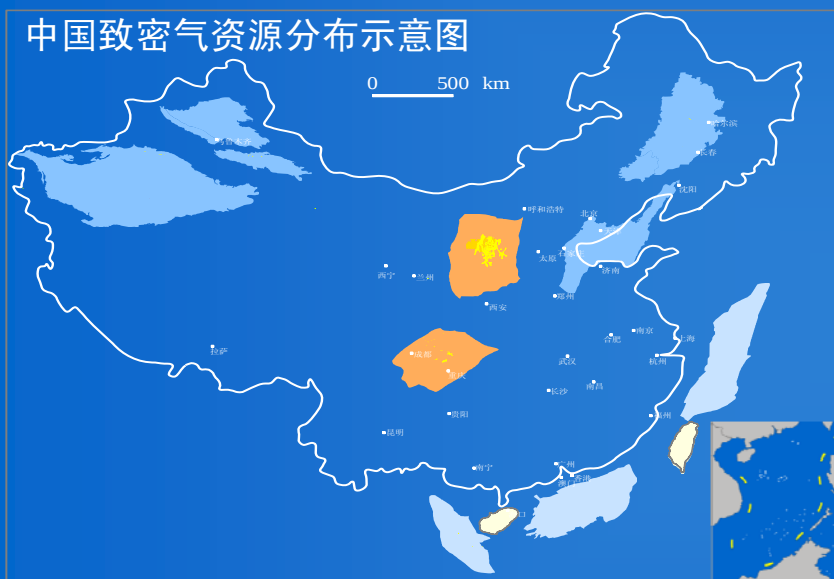
2 中国非常规天然气开发利用前景

3 近期页岩气勘探开发新进展



(1) 致密气：现实性最好，是非常规天然气开发利用的先头部队

① 大规模工业开发早已起步，技术可采资源量9-13万亿方，是天然气增储上产的重要领域



发展历程

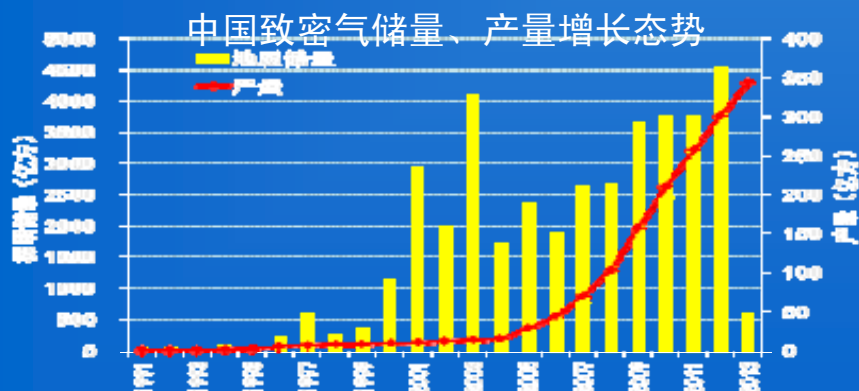
- 1995年以前：储量、产量缓慢增长
- 1996-2005年：储量较快增长，但产量增长缓慢
- 2006年以来：储量、产量快速增长
- 2013年产量：340亿方，约占28%

资源潜力

- 技术可采资源量：9-13万亿方，中值11万亿方

陆上七大盆地：9.5万亿方，占86%

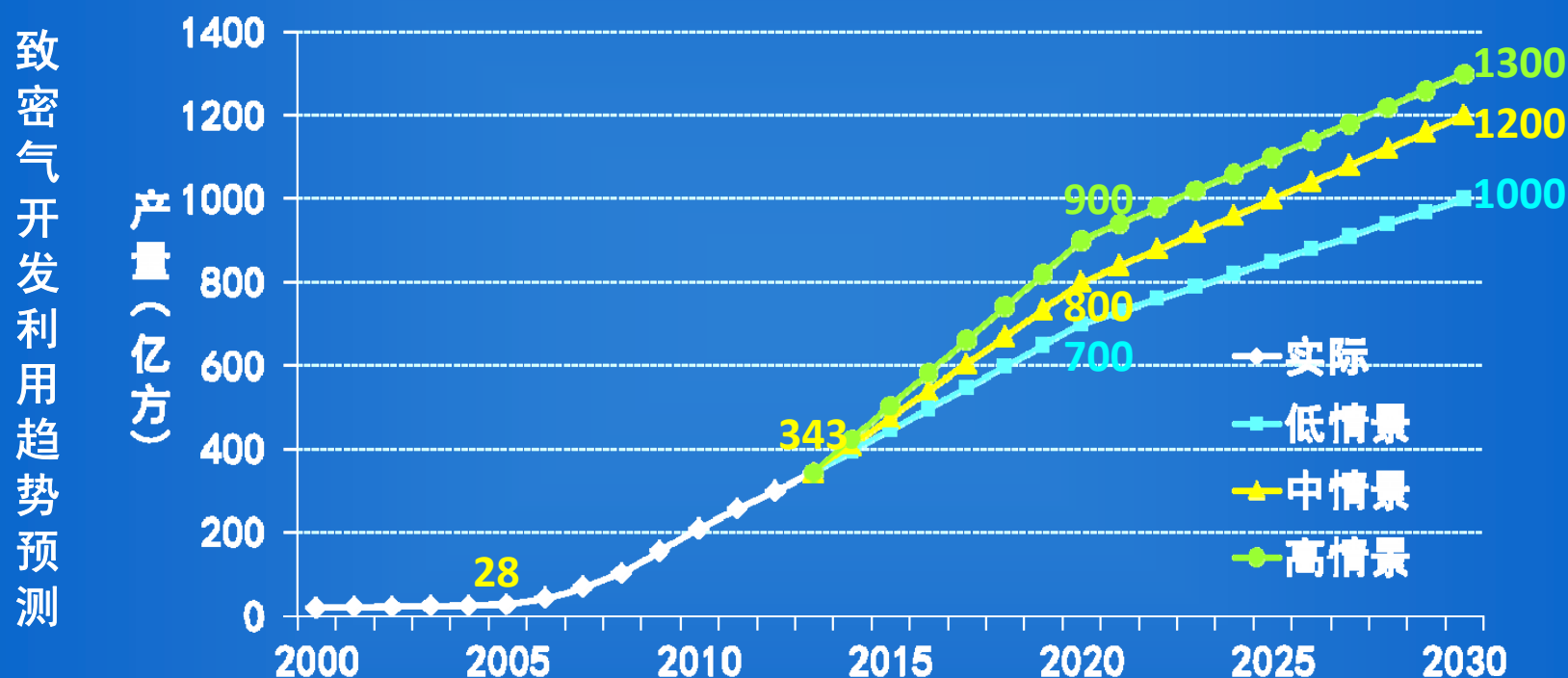
海上三大盆地：1.5万亿方，占14%





(1) 致密气：现实性最好，是非常规天然气开发利用的先头部队

② 2020年前产量将保持大规模增长，之后稳定发展，2030年高峰产量1000-1200亿方

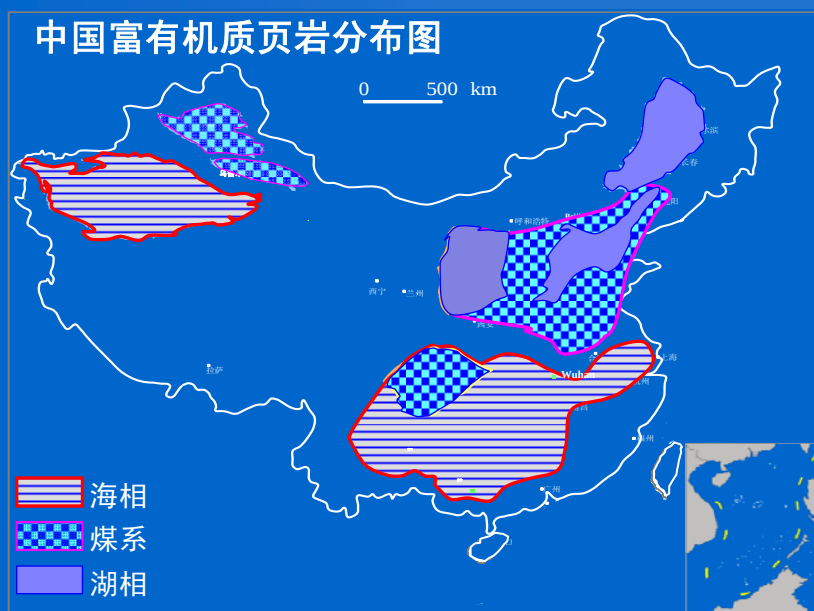


- **低情景：**现有技术正常发展，现行管理体制机制不变，以甜点开发为主
- **中情景：**技术明显进步，价格补贴部分到位，部分边际储量经济动用
- **高情景：**技术显著进步，价格补贴到位，低品位资源规模经济开发

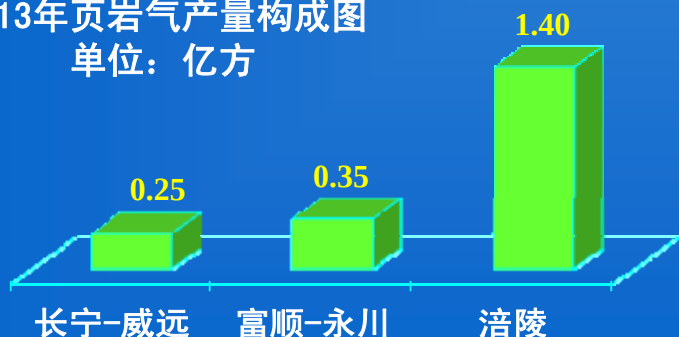


(2) 页岩气：前景令人鼓舞，是非常规天然气开发利用的生力军

① 已实现工业突破，有三类页岩气，海相最现实



2013年页岩气产量构成图
单位：亿方



发展历程

- 2009年以前：野外调查与选区评价
- 2010-2013年：在四川、鄂尔多斯等盆地设立产业化示范区
- 2010年威201第一口工业突破井
- 2013年产量：2亿方

资源潜力

- 海相页岩气可采资源量：8.8万亿方
龙马溪组：4.6万亿方，占52%
筇竹寺组：3.5万亿方，占40%

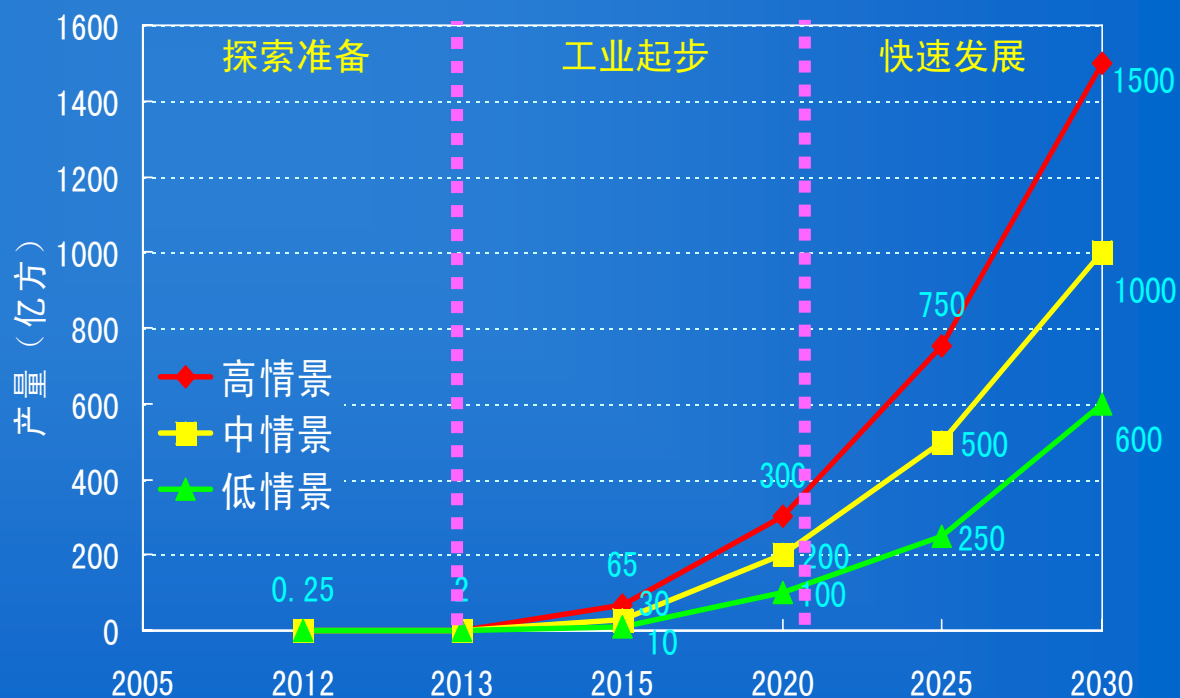


(2) 页岩气：前景令人鼓舞，是非常规天然气开发利用的生力军

② 2020年前以技术准备与示范区建设为主，之后产量可快速增长，2030年产量1000亿方左右

- **低情景：**技术未获重大突破，气价补贴部分到位，超压区为主，埋深2500-3500米范围
- **中情景：**技术部分突破，气价补贴基本到位，超压区为主，埋深2500-4500米范围
- **高情景：**技术全面突破，气价补贴充分到位，常压区实现工业开发，埋深1500-4500米范围

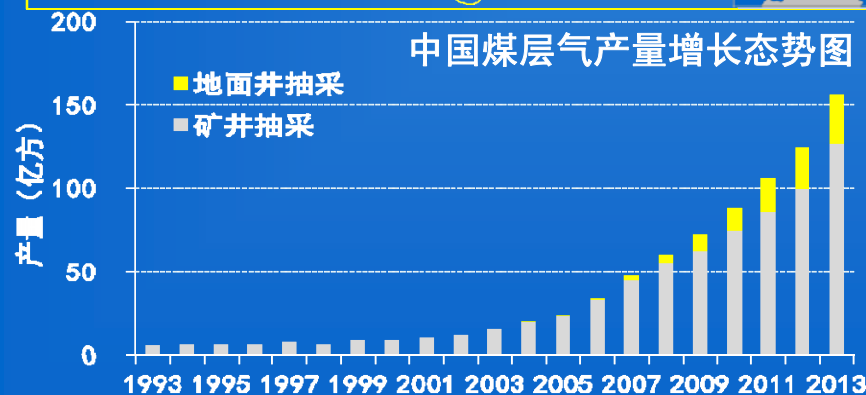
页岩气开发利用趋势预测





(3) 煤层气：坚持地面与井下两条腿走路，是非常规天然气加快发展的重要资源

① 建成两大地面工业抽采基地，技术可采资源量9-13万亿方，具备加快发展资源基础



发展历程

- 1990-2002年：矿井抽采为主
- 2003-2008年：地面开始商业生产
- 2009年以来：地面、矿井抽采量快速增长
- 2013年产量：156亿方，其中地面抽采量30亿方、占19%

资源潜力

- 技术可采资源量：9-13万亿方，中值11万亿方
- 西北占26%、东北占25%
- 华北占30%、华南占19%



(3) 煤层气：坚持地面与井下两条腿走路，是非常规天然气加快发展的重要资源

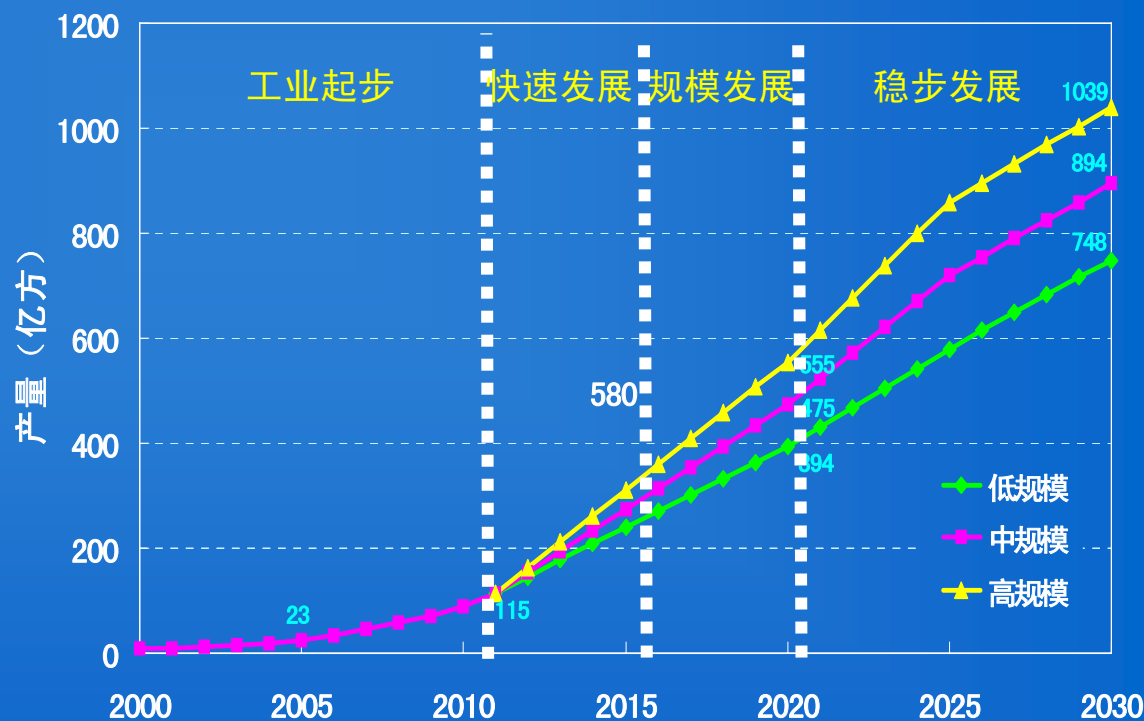
② 2020年前实现规模发展，之后扩大产业化基地，2030年产量900亿方左右（地面630亿方）

■ **低规模：** 煤产量30-40亿吨，抽采技术按目前发展趋势进步，扶持政策保持目前水平

■ **中规模：** 煤产量40-45亿吨，抽采技术发展速度有所加快，扶持政策进一步加大

■ **高规模：** 煤产量45-50亿吨，抽采技术取得显著进展，扶持政策完全到位

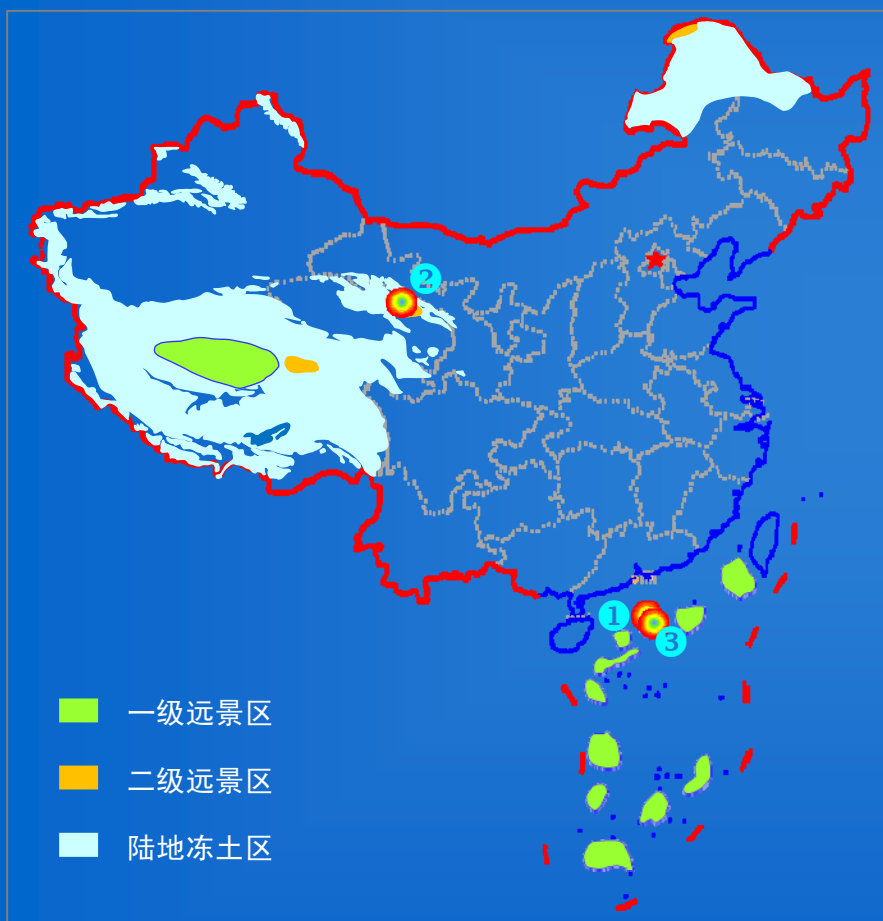
煤层气开发利用趋势预测





(4) 天然气水合物：加快勘查、适时试采，尽早实现商业开发利用

① 已成功钻获样品并圈定了有利靶区，远景资源量116万亿方



■ 发展历程

- 2006年以前：资源调查、钻探准备
- 2007年以来：有利区评选，钻探试验，取得水合物实物样品
- 2013年在南海北部陆坡控制水合物55km²、天然气储量1000-1500亿方

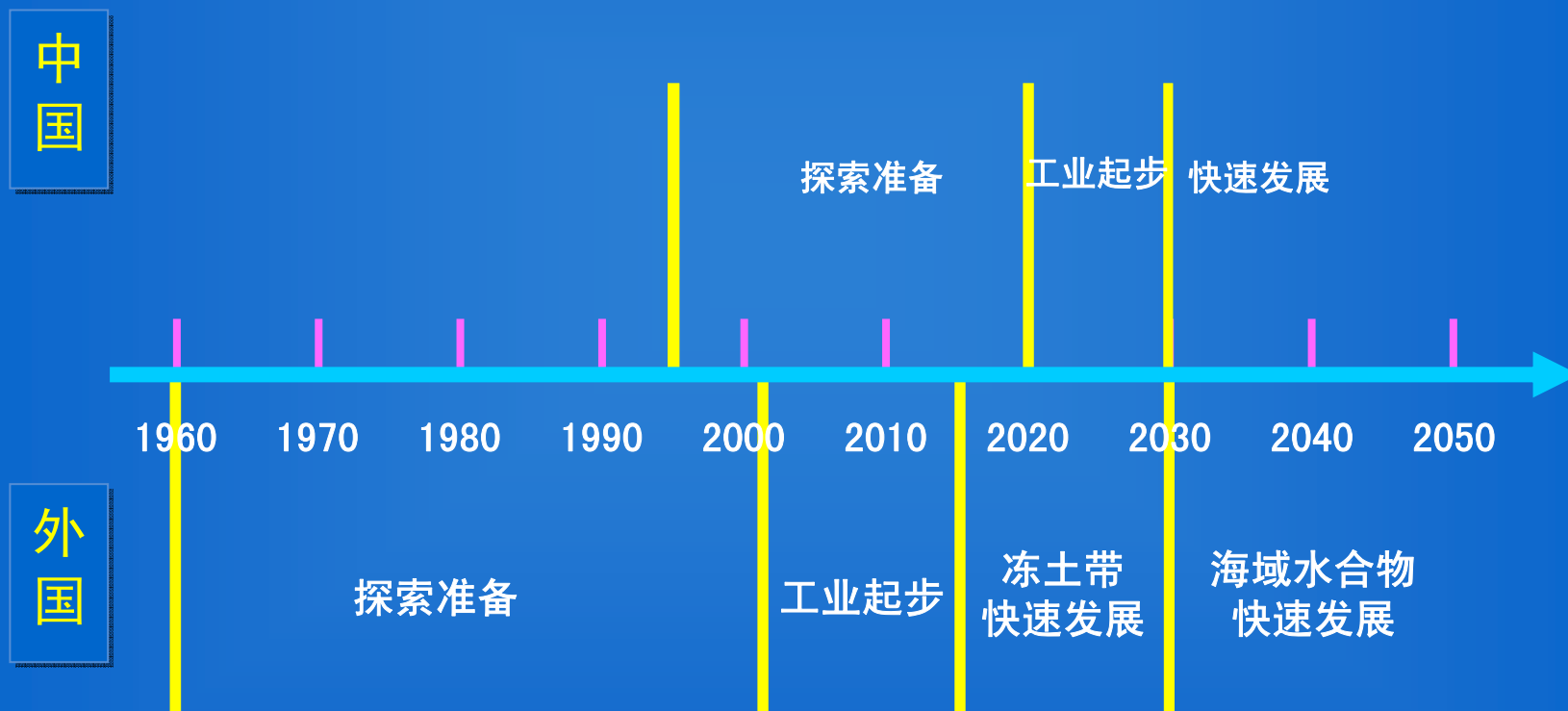
■ 资源潜力

- 远景资源量：116万亿方
 - 南海海域：74万亿方，占64%
 - 青藏高原：30万亿方，占30%



(4) 天然气水合物：加快勘查、适时试采，尽早实现商业开发利用

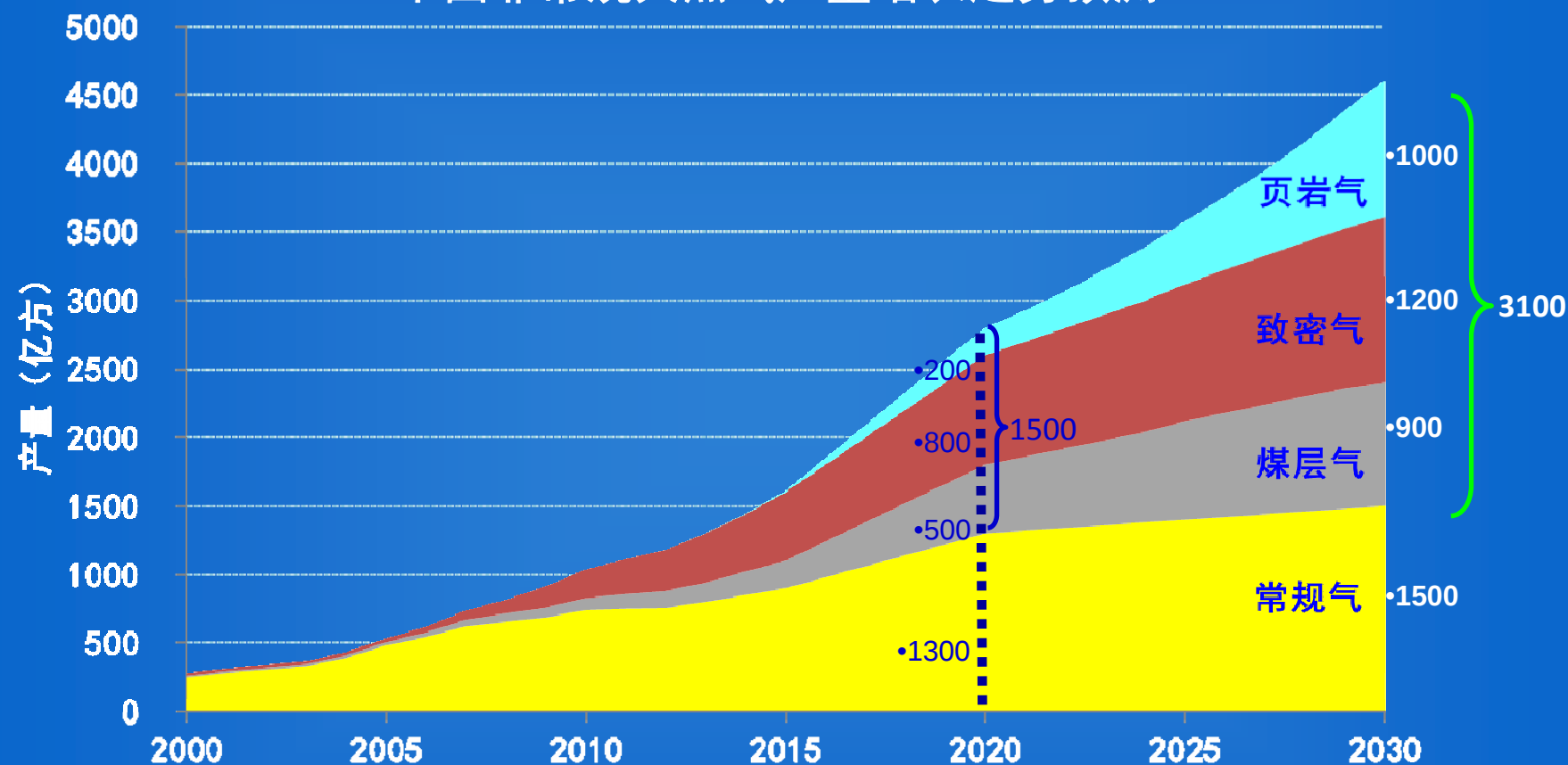
- ② 资源调查和试采比国外晚10-20年，经过10-20年左右准备，有望实现工业起步





非常规天然气是支撑中国天然气工业 长期较快发展的主体资源

中国非常规天然气产量增长趋势预测



- 2020年：致密气、煤层气、页岩气产量约1500亿方，占天然气总产量一半以上
- 2030年：致密气、煤层气、页岩气产量约3100亿方，占天然气总产量2/3



汇报提纲

1 项目概况

2 中国非常规天然气开发利用前景

3 近期页岩气勘探开发新进展



3. 近期页岩气勘探开发新进展

三个好消息

- ◆ 页岩气开发已顺利实现工业起步，发展好于预期
- ◆ 龙马溪组底部集中段是现实目的层段，核心区进一步明朗
- ◆ 初步形成了页岩气工业开发的组织管理体系与配套技术

三个坏消息

- ◆ 筇竹寺组含气量和产量均低，资源风险加大
- ◆ 陆相页岩气尚未工业突破，潜力更不明朗
- ◆ 成本仍居高不下，经济开发依然面临挑战

三个关注

- ◆ 页岩气初期高产与天然裂缝有关，递减规律值得关注
- ◆ 4000米以下含气量和产量待落实，经济性值得关注
- ◆ 页岩气发展尚有不不确定性，未来路线图值得关注



(1) 页岩气勘探开发的三个好消息

① 页岩气开发已顺利实现工业起步，发展好于预期

中国页岩气勘探开发区块分布图



截至2014年5月，钻页岩气井184口，获气井132口，累计产量5亿方

◆ 中国石油

持续探索四川盆地海相页岩气，钻井59口，获气井45口，率先实现工业突破

◆ 中国石化

经历由改造区海相→四川陆相→稳定区海相转变，钻井65口，获气50口，率先实现快速上产

◆ 其它

探索鄂尔多斯盆地长7陆相页岩气，钻井39口，获气34口，未见连续生产曲线；国土部及矿权招标区完成地震6167km，钻井21口，见低产气3口，进展较慢

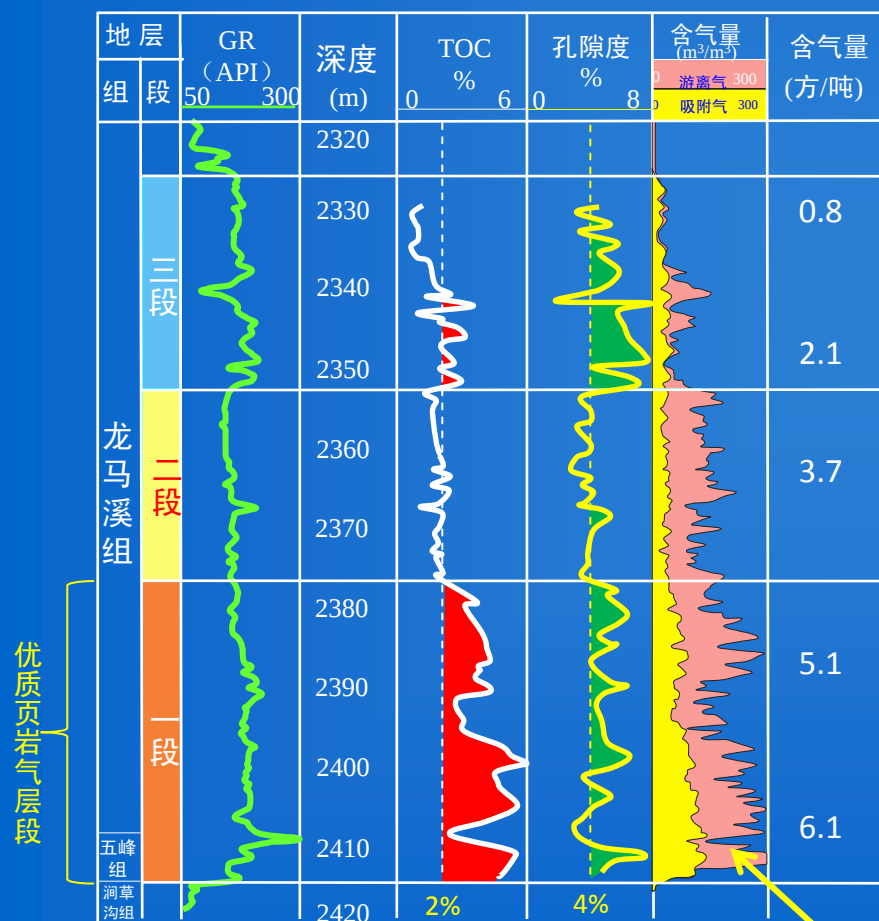
结论：海相页岩气已顺利实现工业开发起步，陆相、海陆过渡相尚需落实



(1) 页岩气勘探开发的三个好消息

② 龙马溪组底部集中段是现实目的层段，核心区进一步明朗

焦页1井龙马溪组含气页岩段评价图



日产气20.3万方

龙马溪组底部集中段特征

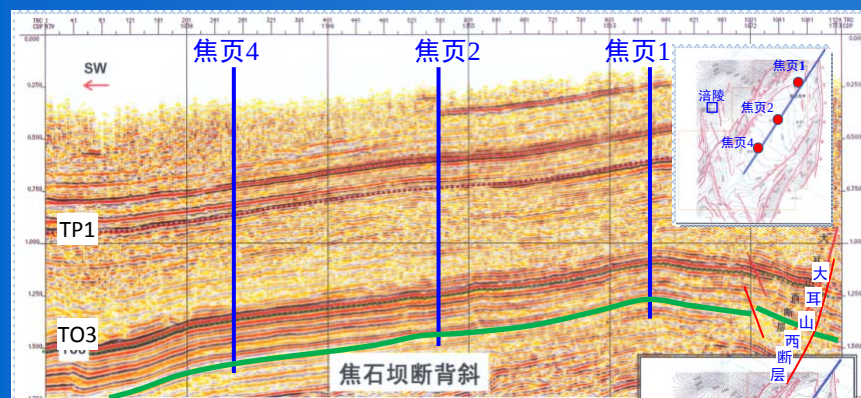
- 集中段厚度：30-70m
- 岩性：富含笔石的硅质页岩
- TOC：3-6%
- Ro：2-3%
- 孔隙度：3-7%，平均4.7%
- 含气量：4-8m³/t，平均6m³/t
- 脆性矿物：石英30-75%



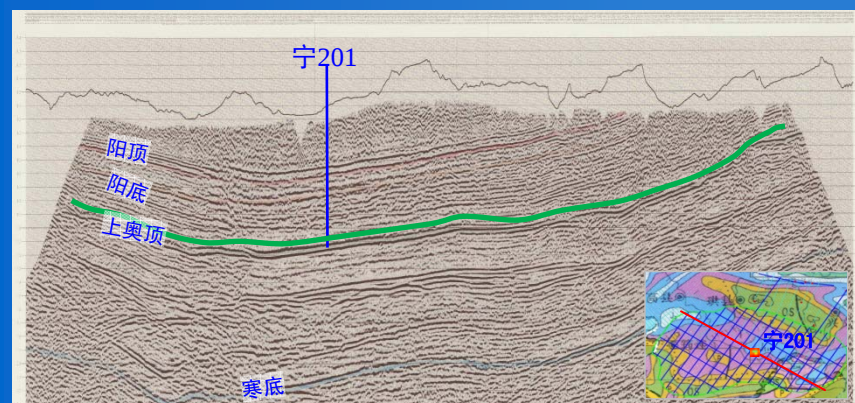
(1) 页岩气勘探开发的三个好消息

② 龙马溪组底部集中段是现实目的层段，核心区进一步明朗

涪陵焦石坝断背斜南北向地震剖面



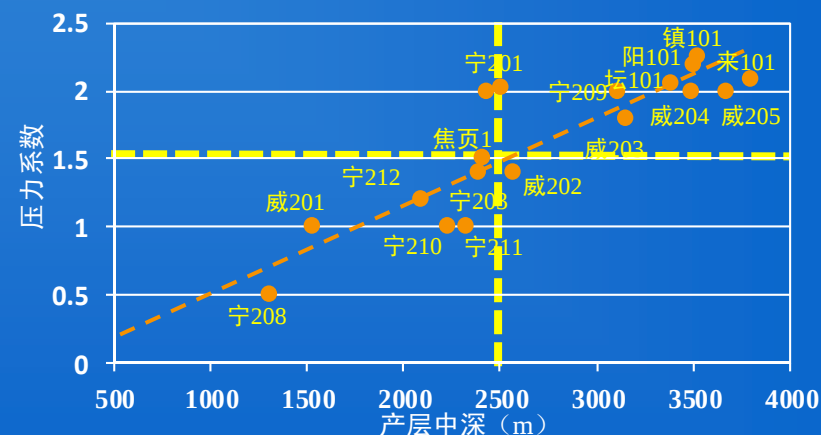
长宁构造2010CN001S线水平叠加剖面



核心区需要四个条件

- 梳状复背(向)斜宽缓区
- 深水陆棚相页岩集中段
- 地层相对连续，断层少
- 埋深大于2500m，超压

龙马溪组产层中深与压力系数关系图



结论：龙马溪组底部集中段厚度40m左右，横向分布稳定，核心区面积2-2.5万km²



(1) 页岩气勘探开发的三个好消息

③ 初步形成了页岩气工业开发的组织管理体系与配套技术

中石化组织管理

组织机构健全有效

- 成立领导小组，一体化组织管理
- 设立工区项目部，实行经理负责制

运行计划周密有序

- 围绕“勘探、生产、现场、成本、安全、环保、纪律”制定规章制度
- 建立制度手册，有章可循、规范运转

施工组织规范有力

- 内部竞争管理，追求最佳优质服务
- 按保证1500米水平段、15段压裂投资
- 内部设计院直接参与设计与问题解决

企地关系融洽双赢

- 地方政府从用地、用水等大力支持
- 增加当地就业，支持地方经济发展

勘探开发配套技术

● 优快钻井技术系列

- 空气钻、泡沫钻、清水钻等复合钻
- 国产油基泥浆+PDC水平段一趟钻
- 1500-2000米水平段钻井能力

● 体积压裂技术

- 大液量、高排量、低砂比，组合加砂、混合压裂模式
- 长水平段可钻式桥塞多级体积压裂

● 井工厂化作业模式

- 一个平台4-6口水平井钻井标准化设计
- 钻井、压裂、生产的交叉作业模式

结论：已经初步形成了面对稳定区、<3500米井深的配套技术，构造破碎区、>4000米深度仍有技术挑战



(2) 页岩气勘探开发的三个坏消息

① 筇竹寺组含气量和产量均低，资源风险加大

筇竹寺组与龙马溪组页岩地质特征对比

属性		筇竹寺组	龙马溪组
TOC		1~5%	1.1~6.3%
Ro		>3~3.5%	2.0~3.0%
孔隙度		1~3%	3~8%
孔径 (nm)		10~20	80~90
比表面积 (m ² /g)		2~8	10~35
含气量 (m ³ /t)		0.3~1.3	4~8
石英等脆性矿物		陆源碎屑为主	生物成因为主
岩性组合	上覆地层	裂缝性页岩	粘土质页岩
	下伏地层	白云岩	致密灰岩

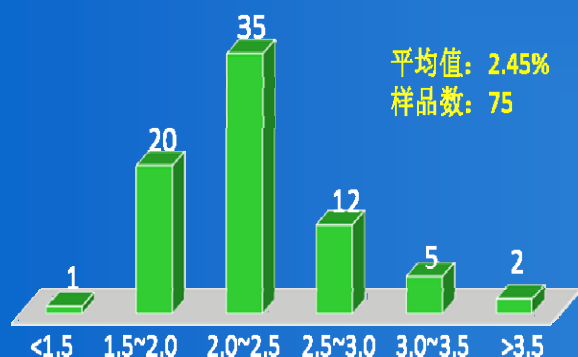


(2) 页岩气勘探开发的三个坏消息

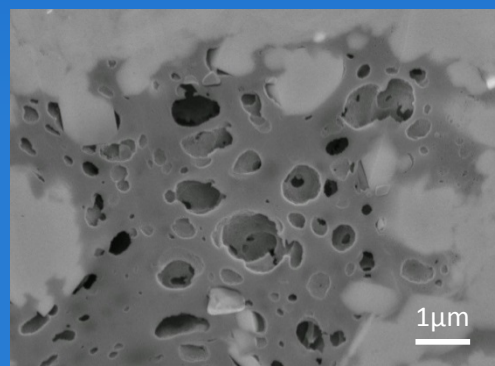
① 筇竹寺组含气量和产量均低，资源风险加大

Ro对比图

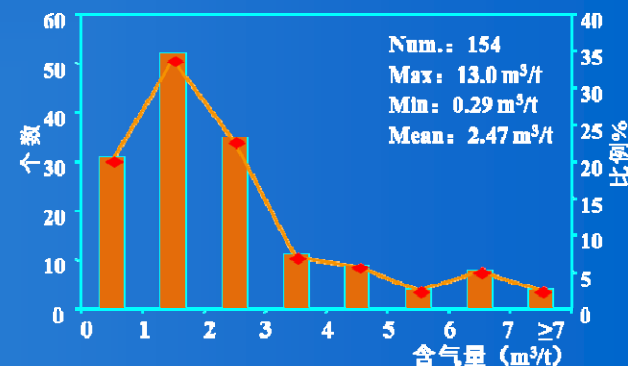
龙马溪组



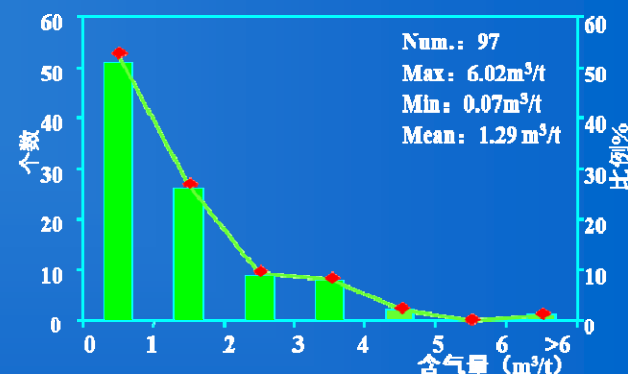
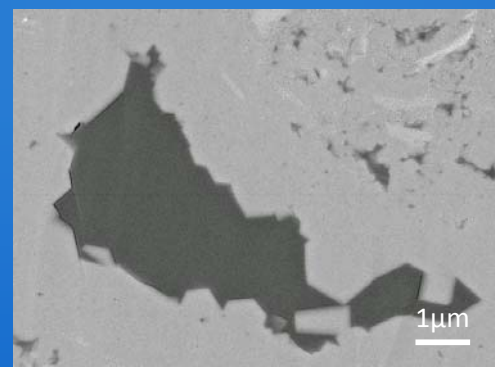
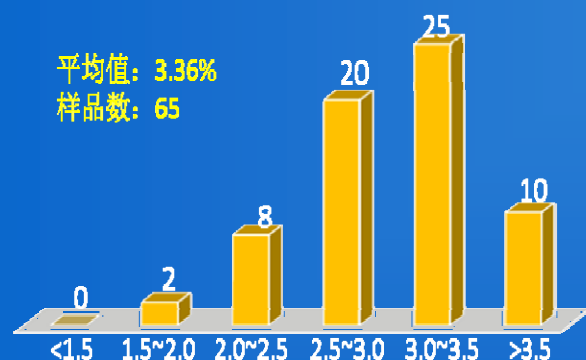
有机质孔对比



含气量对比图



筇竹寺组



筇竹寺组热演化程度高(Ro平均3.4%), 有机质孔不发育, 含气量低(<1.5m³/t)

结论: 筇竹寺组页岩气多数地区有风险, 局部地区还有希望



(2) 页岩气勘探开发的三个坏消息

② 陆相页岩气尚未工业突破，潜力更不明朗



中石化页岩气发展历程

第一阶段：外围改造区海相

- 钻井：4口，2口低产
- 认识：热演化程度高，保存条件差

第二阶段：四川盆地陆相

- 钻井：15口，7口获气
- 认识：有产量，无商业发现

第三阶段：四川盆地海相

- 钻井：6口，焦页1HF井获高产气流
- 认识：龙马溪组分布面积大、厚度大、有机质丰度高、含气性好

结论

煤系页岩：分布面积大，但集中段厚度小、连续性差，资源待落实

湖相页岩：热演化成熟度偏低，生气范围小、埋深偏大，潜力有限



(2) 页岩气勘探开发的三个坏消息

③ 成本仍居高不下，经济开发依然面临挑战

焦石坝

- 单井成本：9000-9500万元（含地面工程）
- 单井初期日产：6.0万方
- 20年EUR：0.8-1.0亿方
- 经济性：不考虑前期投入、投资折现、税费，前两年补贴0.4元/方，平衡气价**1.57元/方**

威远—长宁

- 单井成本：7000-10000万元（含地面工程）
- 单井初期日产：5.0万方
- 20年EUR：0.6-0.8亿方
- 经济性：不考虑前期投入、投资折现、税费，前两年补贴0.4元/方，平衡气价**2.03元/方**

富顺—永川

- 单井成本：2000万美元（约1.2亿元人民币）
- 单井初期日产：0.3-43万方
- 20年EUR：0.17-1.0亿方
- 评价结论：
 - 有资源
 - 经济不过关
 - 技术不过关
 - 市场不成熟

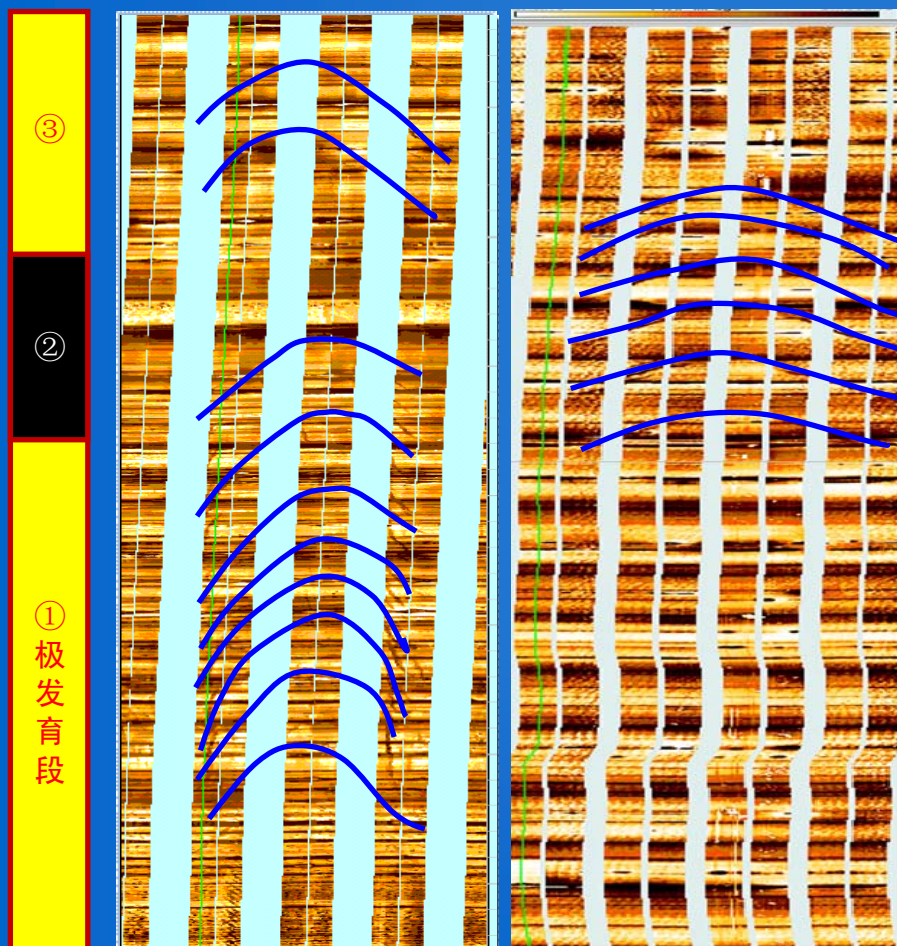


(3) 页岩气勘探开发的三个关注

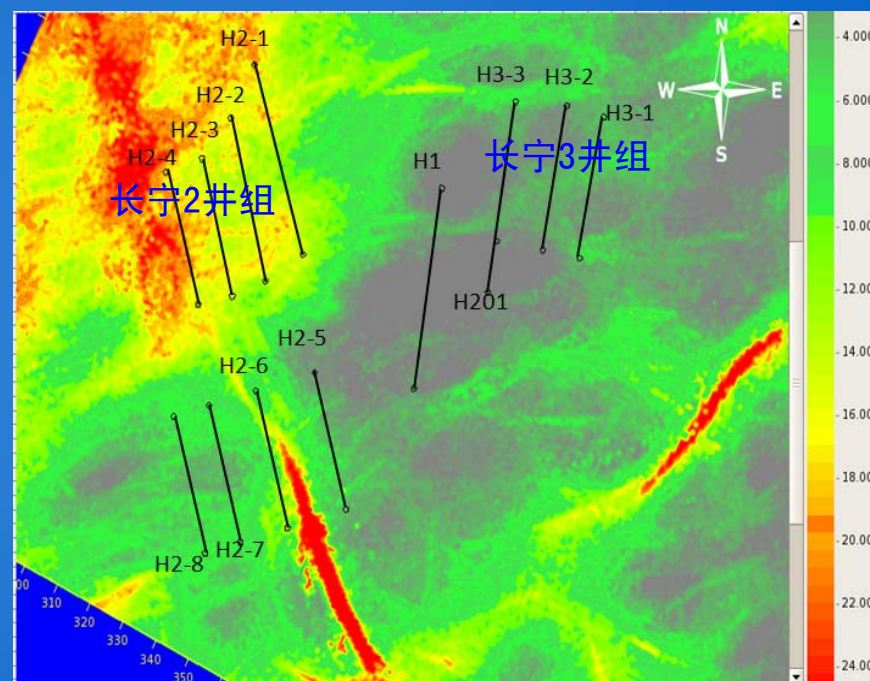
① 页岩气初期高产与天然裂缝有关，递减规律值得关注

焦页1井(焦石坝)成像测井

宁203(长宁)成像测井



长宁地区龙马溪组水平井组裂缝展布预测图

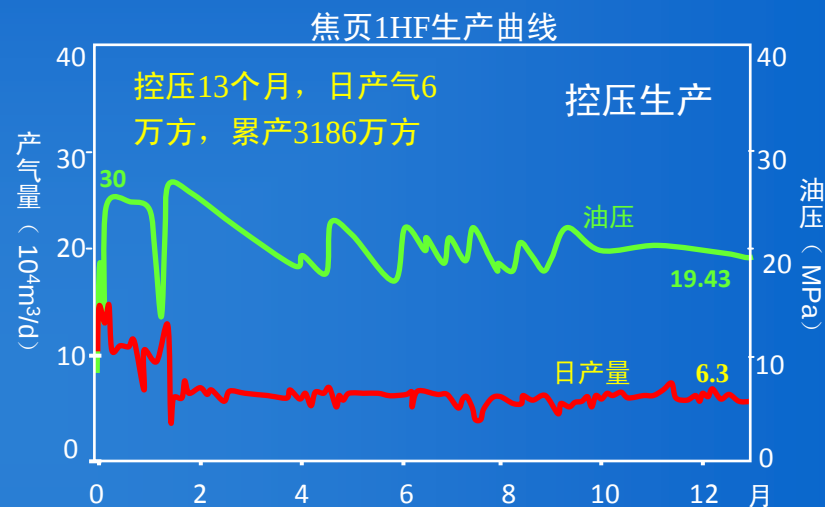
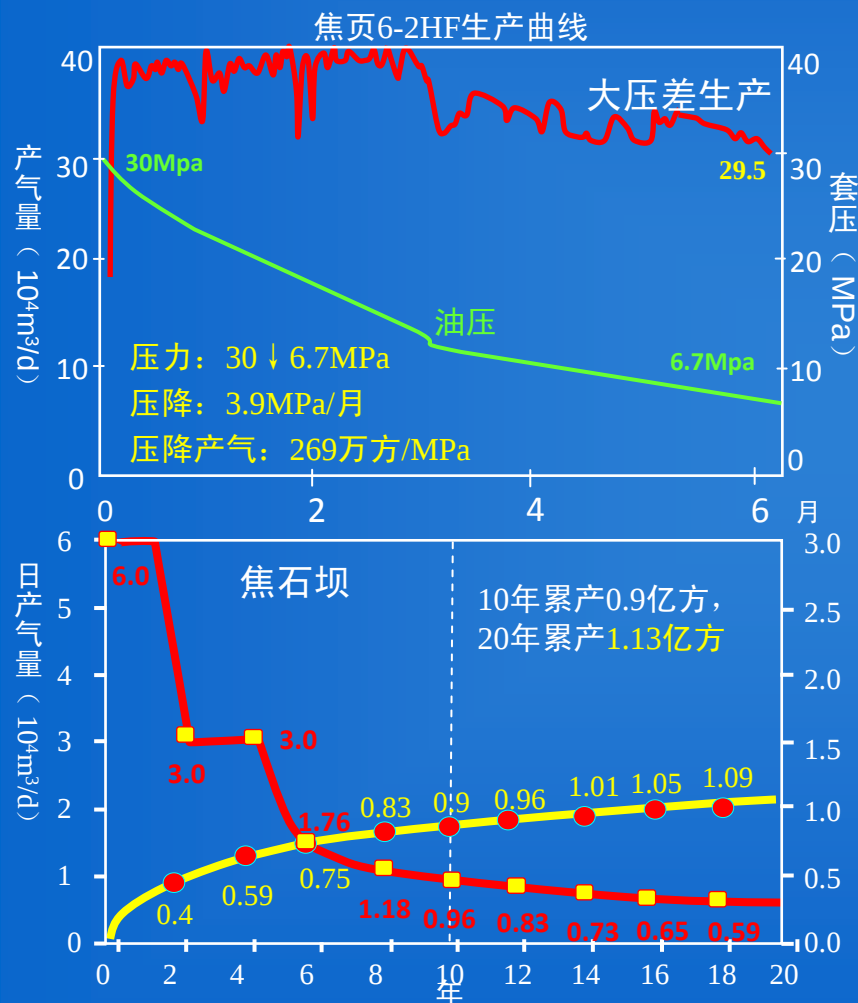


- 长宁2井组：裂缝发育，压力30MPa，单井平均产量12.7万方/日
- 长宁3井组：裂缝不发育，压力40MPa，单井平均产量7.0万方/日



(3) 页岩气勘探开发的三个关注

① 页岩气初期高产与天然裂缝有关，递减规律值得关注



● EUR

- 中国: 0.8~1.0亿方
- 美国: 1.7~2.0亿方
- 有水: 裂缝水锥进
- 无水: 裂缝增储量
- 后期递减: 不完全等同于美国曲线

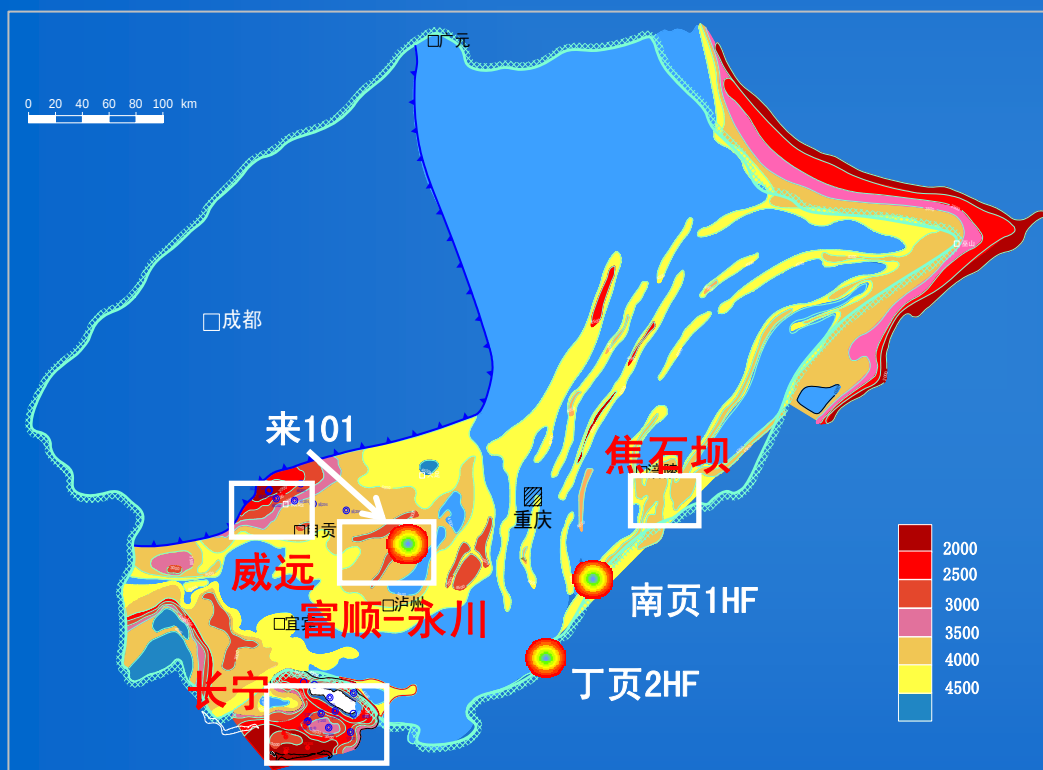
● 焦石坝生产时间短，生产曲线与国外不同，递减规律值得关注



(3) 页岩气勘探开发的三个关注

② 4000米以下含气量和产量待落实，经济性值得关注

四川盆地龙马溪组4000米以深页岩气勘探成果图



- 丁页2HF（中石化）：垂深4417m，水平段1034m，压裂12段，初期10.5万方/天，试采3万方/天
- 南页1HF（中石化）：垂深4400m，水平段1103m，显示好，压裂15段，排液中
- 来101（中石油）：垂深4050m，水平段628m，压裂5段，初期8.6

- 4000米以下有利面积约2万km²，可采资源2万亿方
- 工程技术面临新挑战，单井产量低、成本高



(3) 页岩气勘探开发的三个关注

③ 页岩气发展尚有不不确定性，未来路线图值得关注

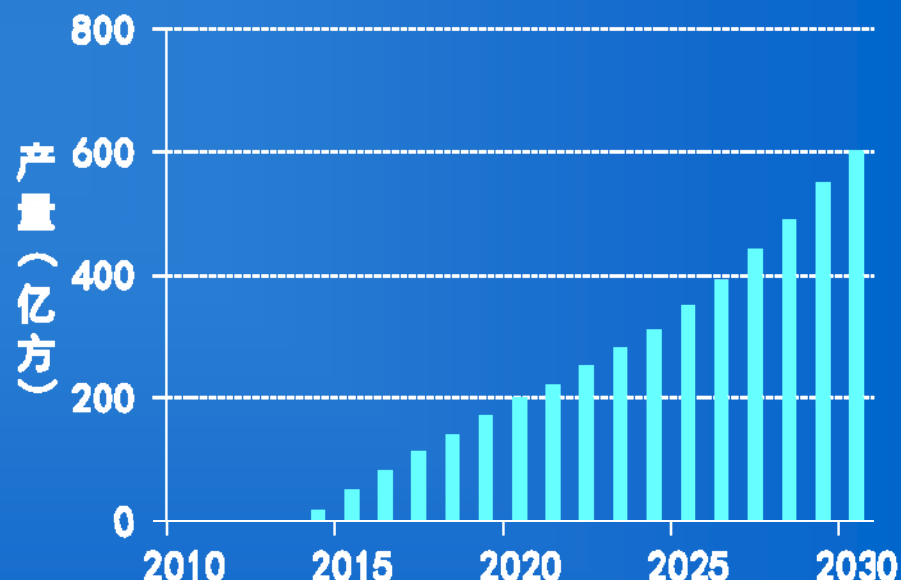
理论模型

- 单井产量：5万方/天，第1年稳产、第2年递减50%
- 一个井场：6口水平井，控制面积5km²，第1年产量1亿方

不同产量方案需要核心区面积

年产量 (亿方)	井场数 (个)	核心区面积 (万km ²)
300	2331	1.6
400	3107	2.1
500	3883	2.6
600	4659	3.1

未来页岩气发展路线建议



若水平井不能全部成功或达到产量要求，则核心区面积还要大幅增加
从目前认识程度，建议2030年页岩气高峰产量600亿方比较合适



结 语

- 中国非常规天然气资源比较丰富，其中致密气、页岩气、煤层气技术可采资源量约31万亿方，是常规天然气的1.5倍以上，具有良好的开发利用前景
- 中国已进入常规与非常规天然气并重发展阶段，预计2020年前后非常规天然气将与常规天然气“平分秋色”，2030年前后非常规天然气将占天然气总产量的2/3，成为支撑中国天然气工业长期较快发展的主体资源
- 近期中国页岩气勘探开发呈现出“三个好消息、三个坏消息、三个关注”，值得认真思考，正确判断发展形势，保障页岩气健康发展



谢谢!