



中国页岩气勘查开发理论与 技术现状

报告人:翟刚毅

中国地质调查局油气资源调查中心

2015年10月



汇报内容

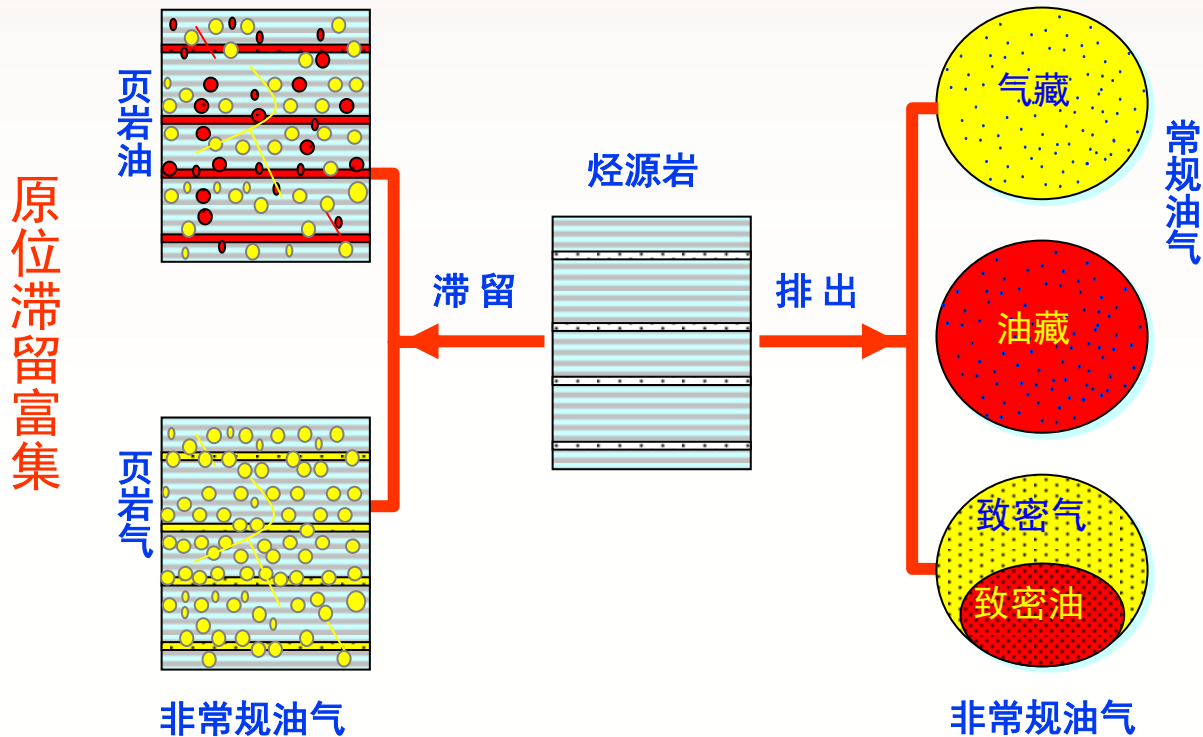
1. 研究现状
2. 地质理论研究进展
3. 勘查开发技术进展
4. 绿色环保开发



1. 研究现状

1.1 页岩气特征

页岩气是主要以吸附、游离方式存在富有机质泥页岩及其它岩性夹层中的热成因气、生物成因气，是滞留在烃源岩层段中的烃类气体



非常规油气已成为新的勘探领域



1. 研究现状

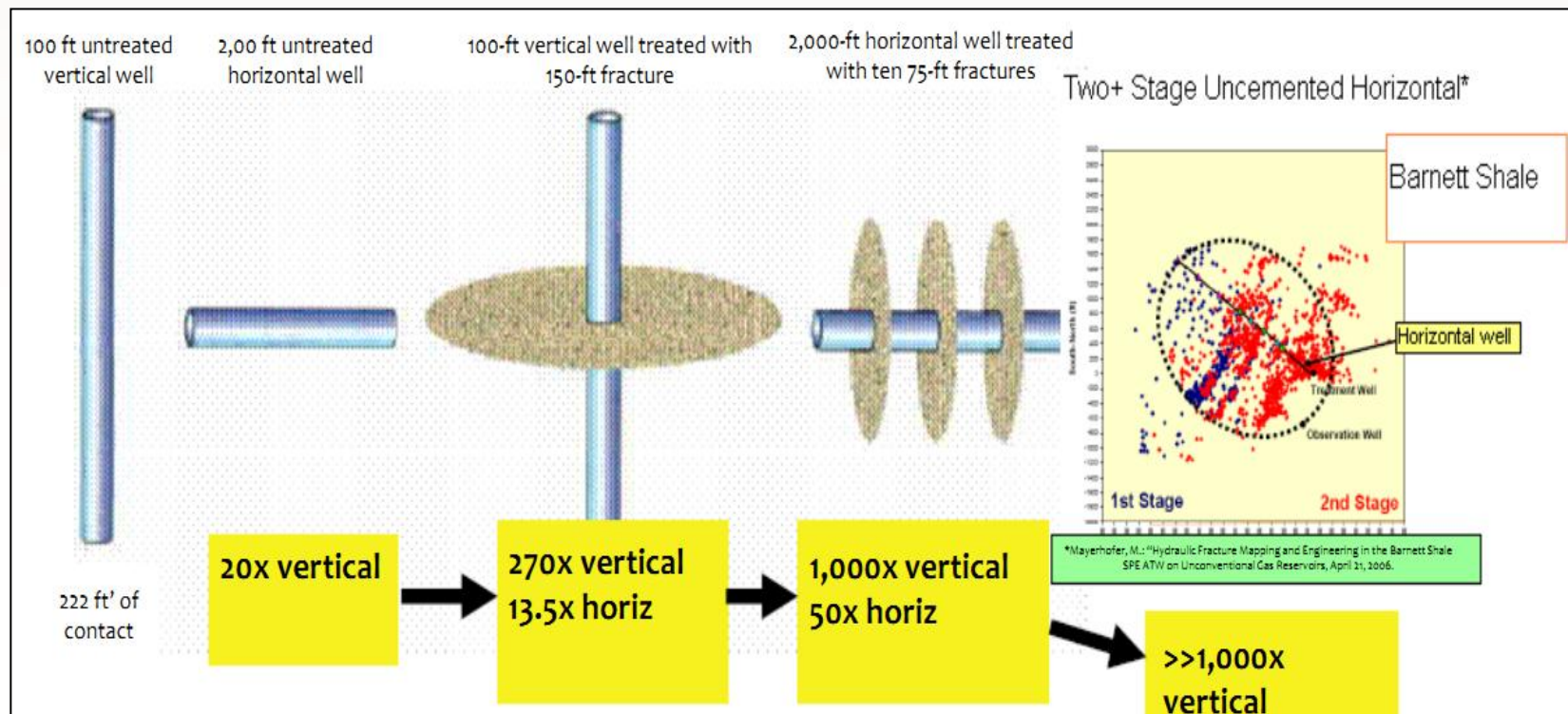
1.1 页岩气特征

页岩气成功勘探开发取决于先进的技术

地质因素评价是勘探开发成功的基础

工程技术进步是勘探开发成功的关键

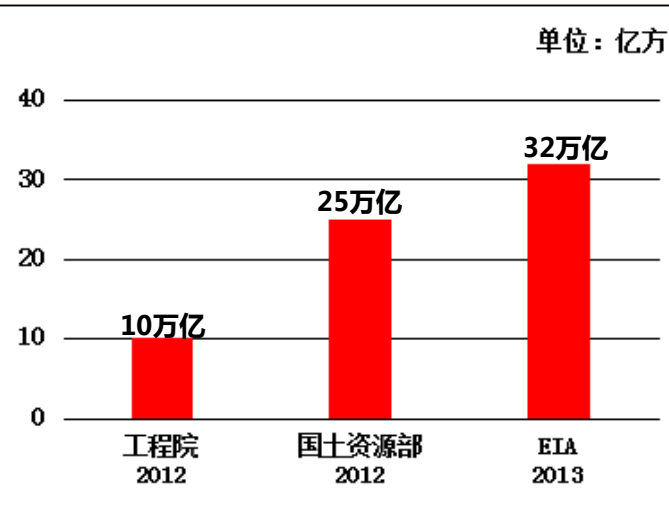
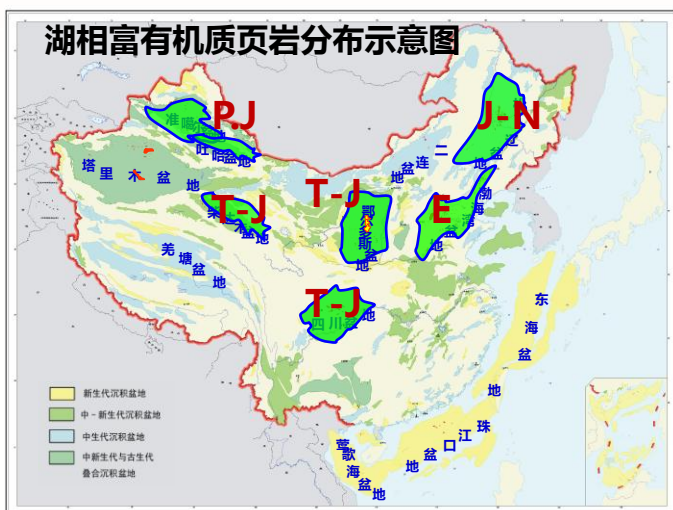
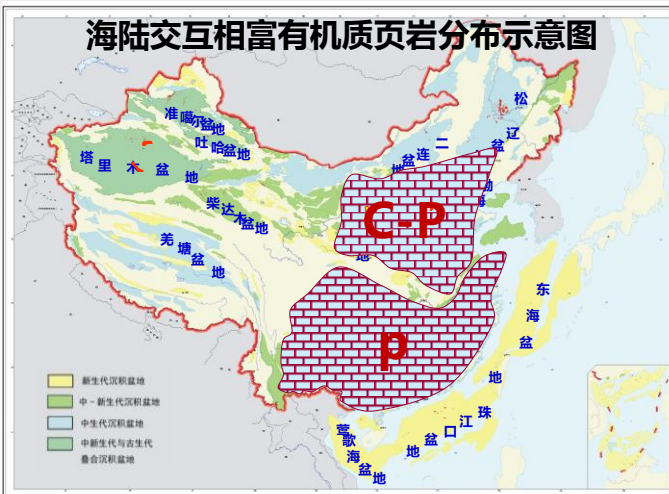
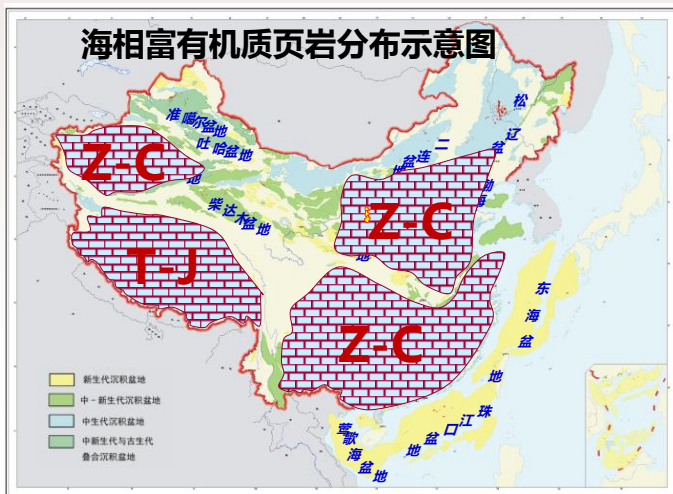
水平井+分段压裂可以最大限度增大与页岩的接触面积





1. 研究现状

1.2 我国页岩气资源总量大、类型多、层系多、分布广

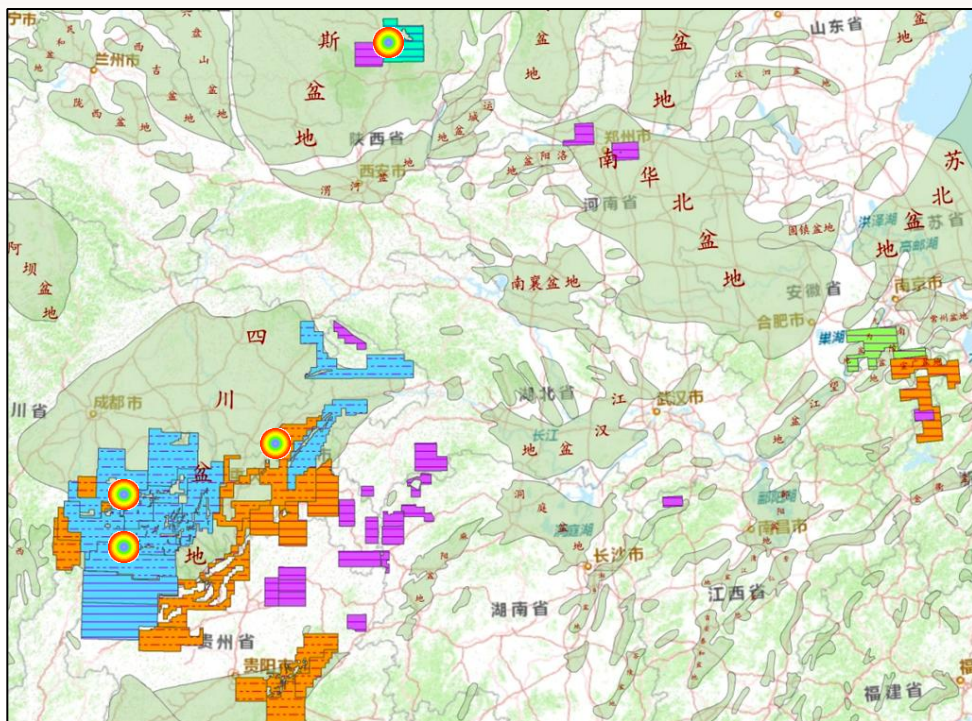


地质时代			页岩气发育层位和相带	
新生代	第四纪	Q		
	晚第三纪	N		
	早第三纪	E	陆相	
中生代	白垩纪	K ₂	陆相	
		K ₁		
	侏罗纪	J ₃		
		J ₁₋₂		
	三叠纪	T ₃		
		T ₁₋₂	海陆过渡相	
古生代	二叠纪	P ₂	海陆过渡相	
		P ₁		
	石炭纪	C ₂		
		C ₁		
		D ₃		
	泥盆纪	D ₁₋₂		
	志留纪	S		
	奥陶纪	O ₃		
		O ₁₋₂	海相	
寒武纪	Є			
晚元古代	震旦纪	Z		
	青白口纪—南华纪	Pt ₃ ¹		



1. 研究现状

1.3 中国页岩气勘探开发已经展开，在四川盆地海相、鄂尔多斯盆地陆相相继取得突破，成为除美国、加拿大之后的第三个实现商业性开发的国家



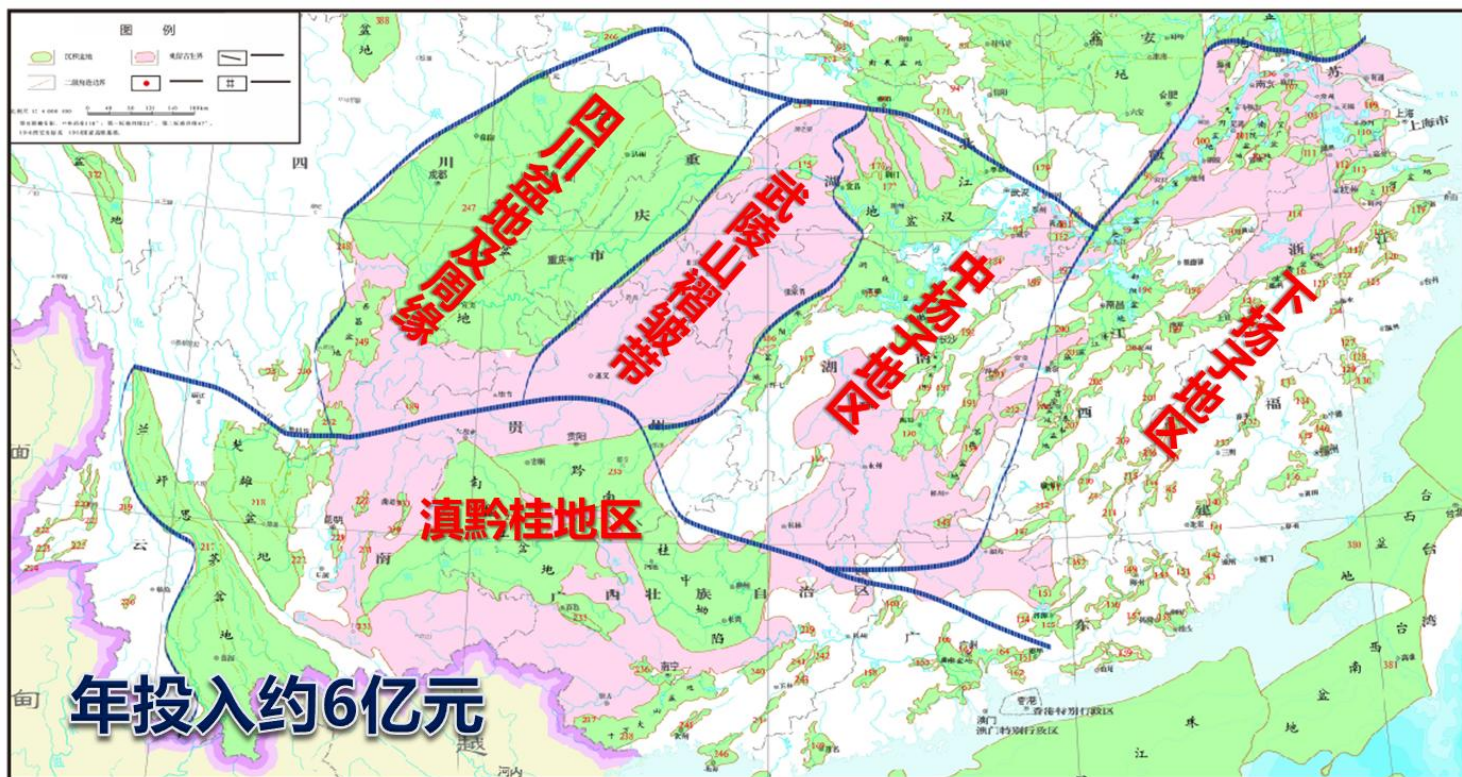
◆ 截止2015年7月

- ◆ 设置探矿权54个，17万平方千米
- ◆ 累计投资250亿元
- ◆ 钻井840口，二维地震21818千米，三维地震2134平方千米
- ◆ 2014年页岩气产量13亿方
- ◆ 在重庆涪陵、四川长宁-威远、云南昭通、鄂尔多斯等地取得突破



1. 研究现状

1.4 针对我国页岩气资源家底未落实，勘查开发仅在局部地区和个别层系突破，而大部分地区急需落实资源潜力和技术攻关现状，国土资源部启动我国南方页岩气资源调查评价，积极开展页岩气地质理论和技术攻关





汇报内容

1. 研究现状
2. 地质理论研究进展
3. 勘查开发技术进展
4. 绿色环保开发



2. 地质理论研究进展

初步总结了我国南方海相页岩气富集高产的主控因素

七大主控因素

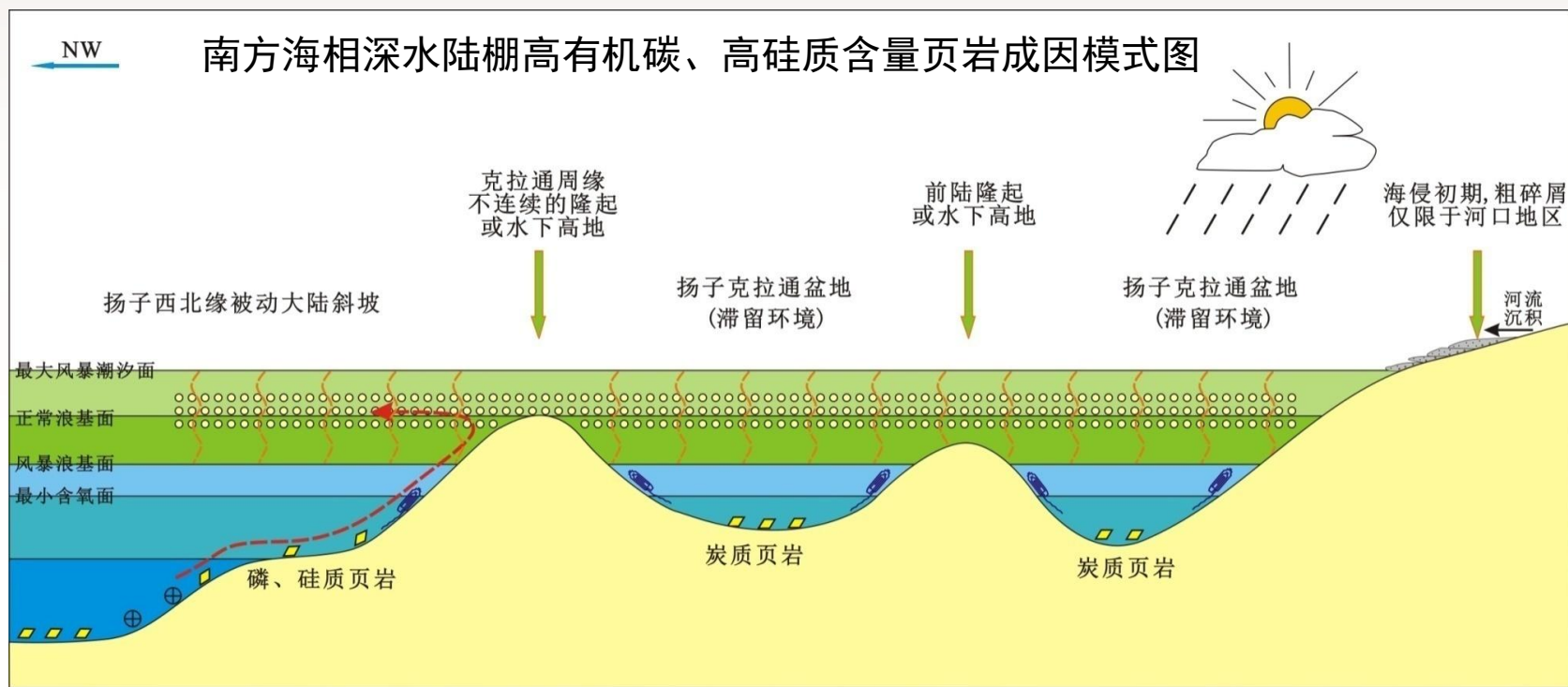
- ◆ 深水陆棚相，优质页岩段厚且分布稳定 沉积是基础
- ◆ 构造相对稳定，保存条件好，埋藏适中 构造保存是关键
- ◆ 地层超压（压力系数 > 1.2 ）
- ◆ 网状天然裂缝发育 储层物性是条件
- ◆ 孔隙度高，含气量高
- ◆ 地应力差较小
- ◆ 水平井井眼轨迹垂直最大主应力 工艺技术是保证



2. 地质理论研究进展

2.1 深水陆棚是优质页岩发育的有利相带

深水陆棚环境浮游生物繁盛，为强还原沉积环境，有利于有机质的富集、保存和有机孔发育



⊕ 等深流

-----> 上升洋流

▭ 黄铁矿

— 浊流

○ 浮游生物

⎋ 悬浮沉降

据中石化郭旭升

牛蹄塘组
被动大陆边缘深水陆棚

五峰组-龙马溪组
克拉通内坳陷深水陆棚

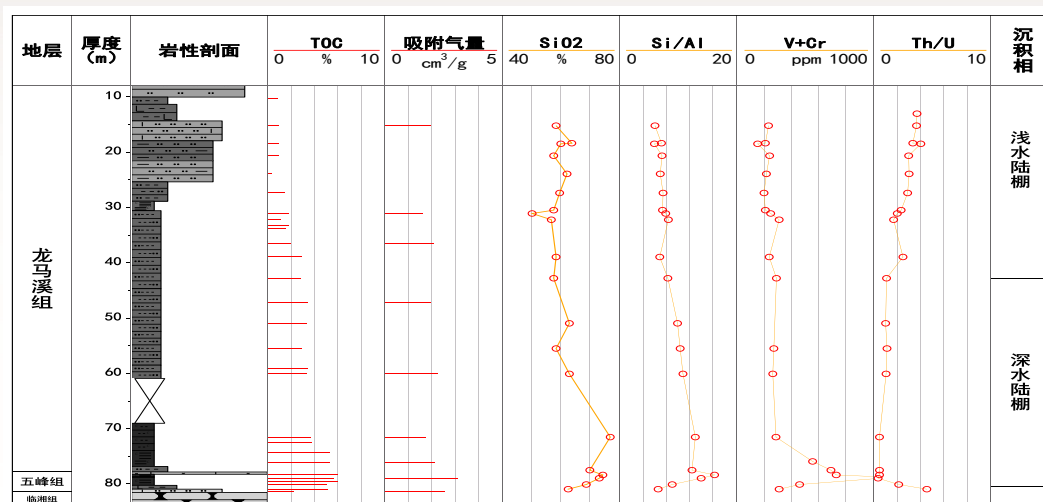
中国地质调查局
CHINA GEOLOGICAL SURVEY



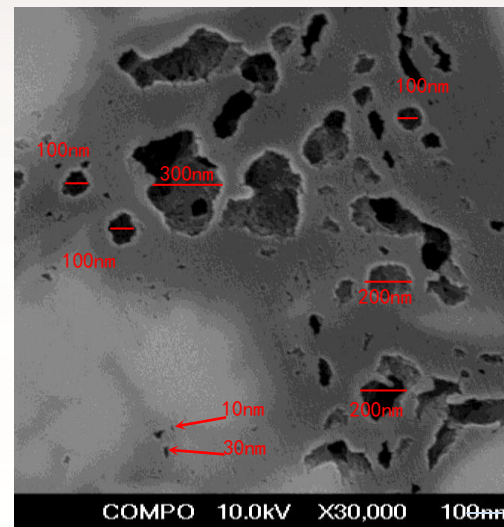
2. 地质理论研究进展

2.1 深水陆棚是优质页岩发育的有利相带

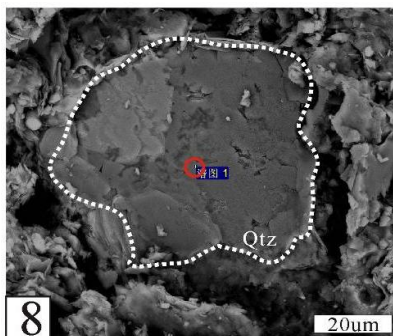
深水陆棚有机碳含量高、有机孔发育，硅质矿物以内生为主



川东南五峰组-龙马溪组页岩气评价柱状图（骑龙村剖面）



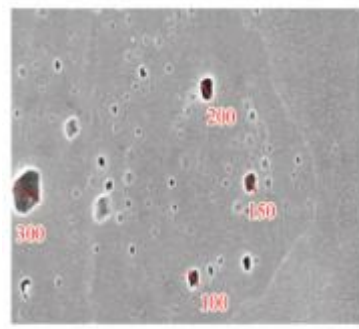
有机质孔形态及大小



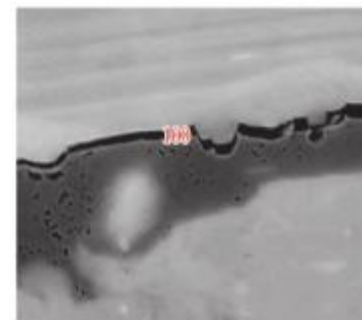
深水陆棚自生石英（片状、晶形完整）



深水陆棚相炭质笔石页岩



d. 方解石粒内溶蚀孔, JY4井, 井深2570.71 m



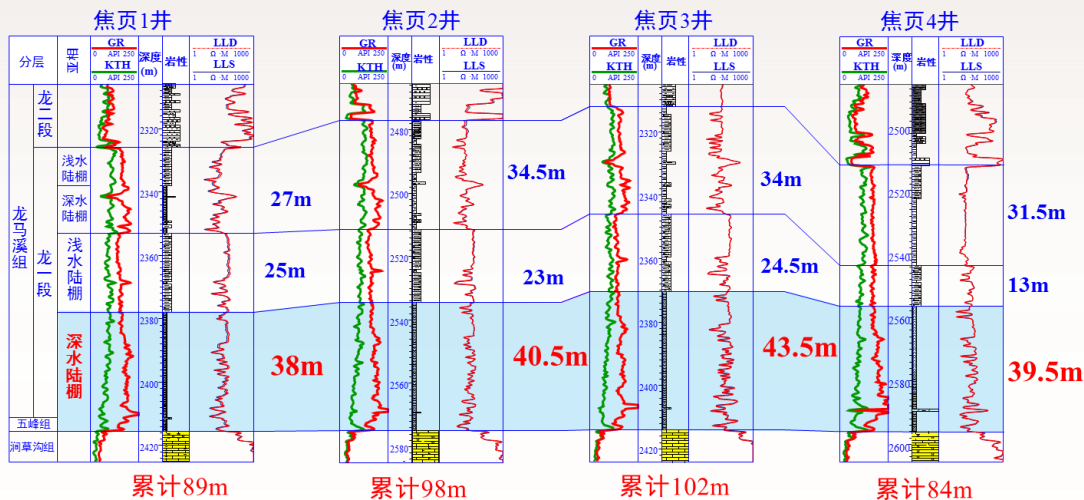
e. 有机质与黏土之间微裂缝, JY1井, 井深2381.91 m



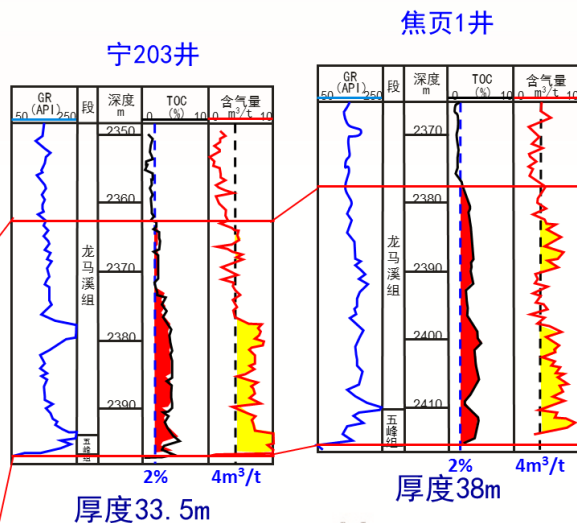
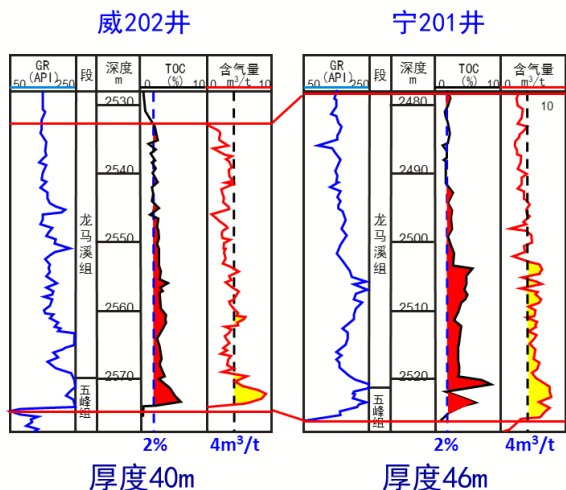
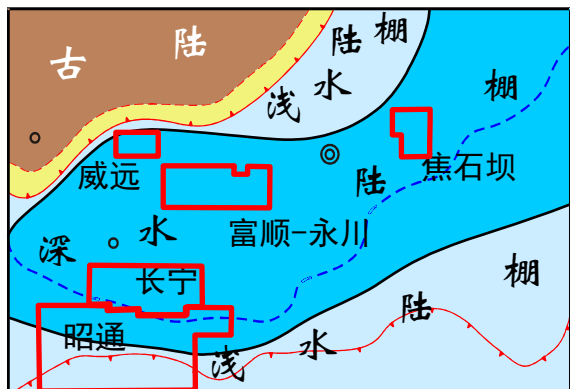
2. 地质理论研究进展

2.1 深水陆棚是优质页岩发育的有利相带

优质页岩厚度大，分布稳定



龙马溪组底部优质页岩TOC 3-5%，集中段厚度约40m，分布稳定





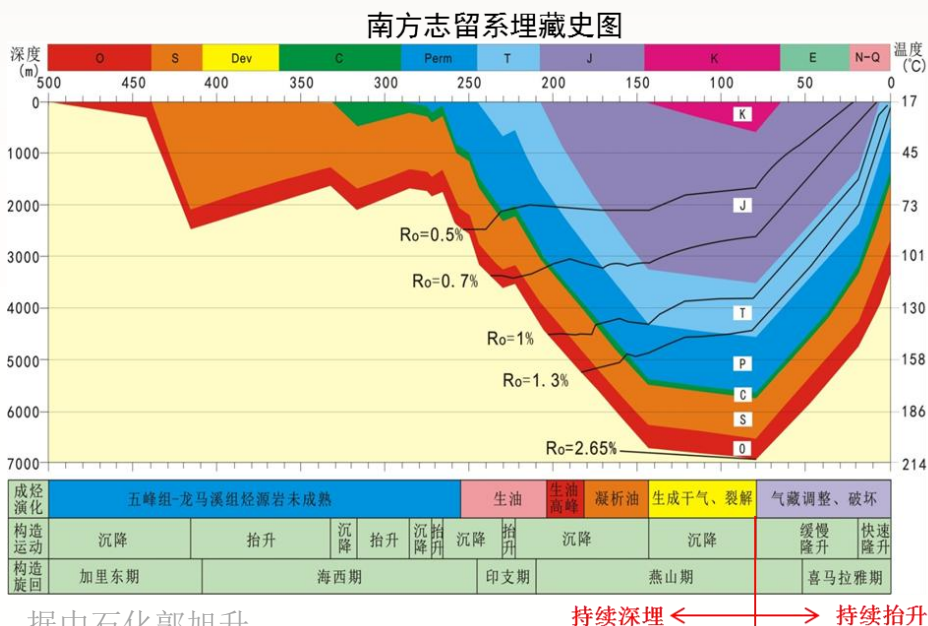
2. 地质理论研究进展

2.2 构造保存条件是影响页岩气富集的关键因素

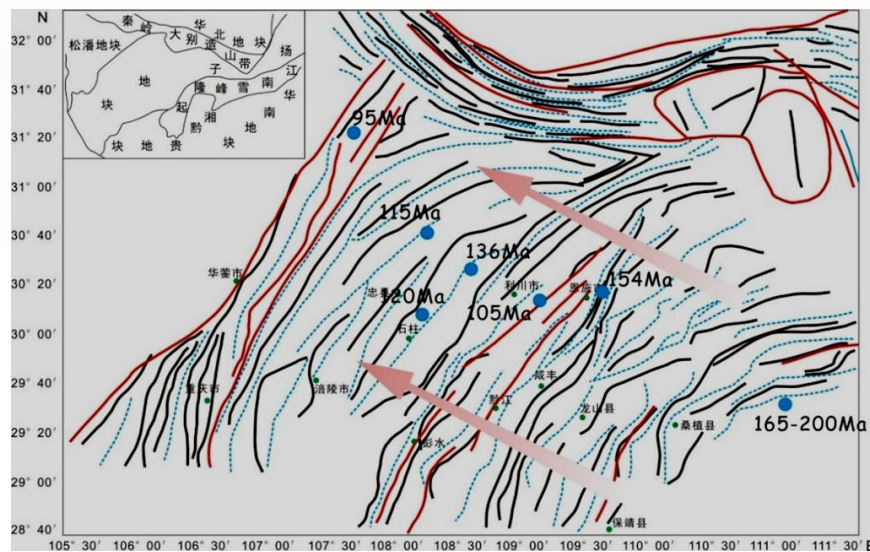
南方海相深水陆棚优质页岩一般经历了早期持续深埋和晚期持续抬升两个阶段

早期持续深埋阶段影响页岩气滞留保存的主要因素是**顶底板条件**

晚期持续抬升阶段影响页岩气保存的主要因素是**构造作用**



据中石化郭旭升



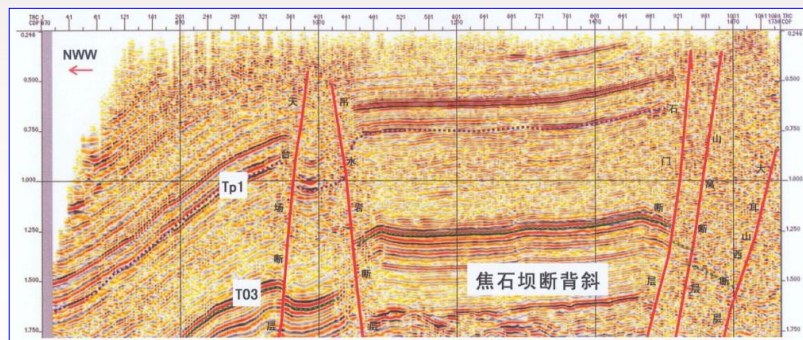
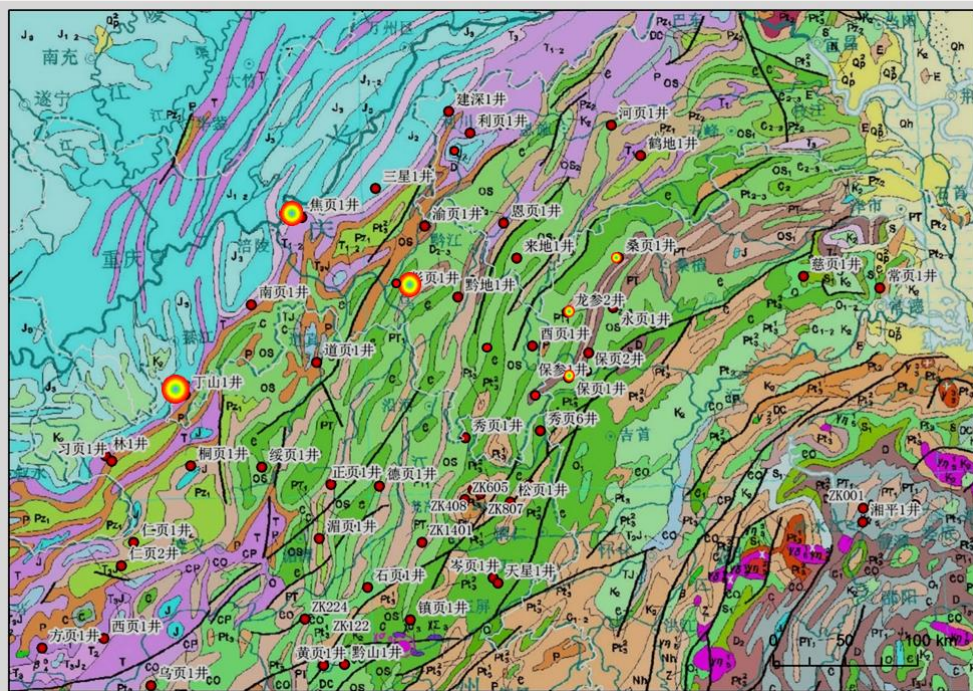
构造运动强度越大、抬升剥蚀越剧烈、作用时间越长，保存条件越差



2. 地质理论研究进展

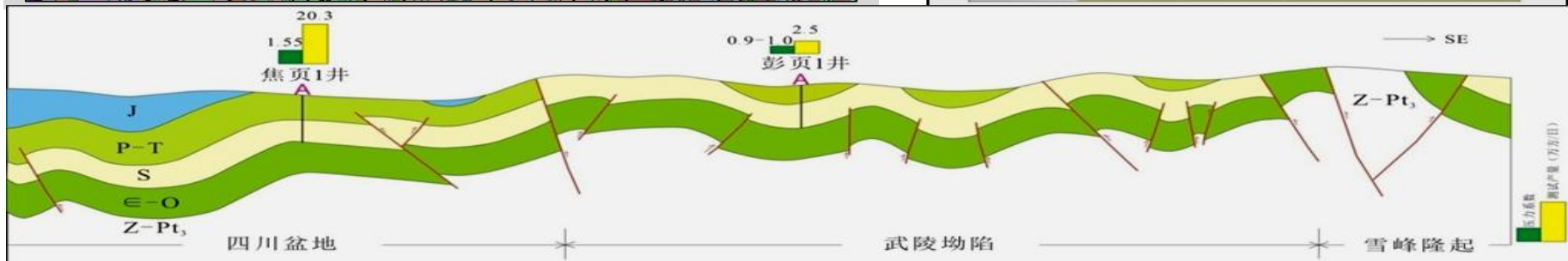
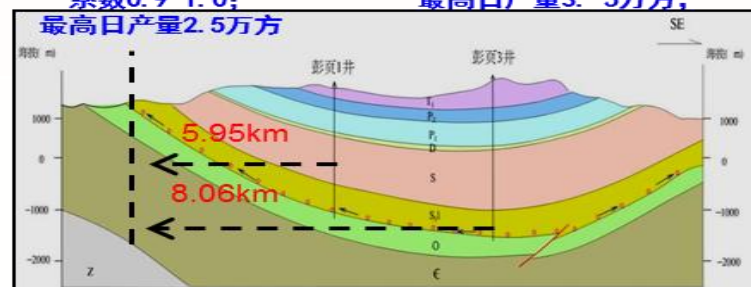
2.2 构造保存条件是影响页岩气富集的关键因素

构造相对稳定区和良好的顶底板条件是页岩气高产关键



彭页1井: 埋深2520m, 压力系数0.9-1.0; 最高日产量2.5万方

彭页3井: 埋深3019m, 最高日产量3.5万方



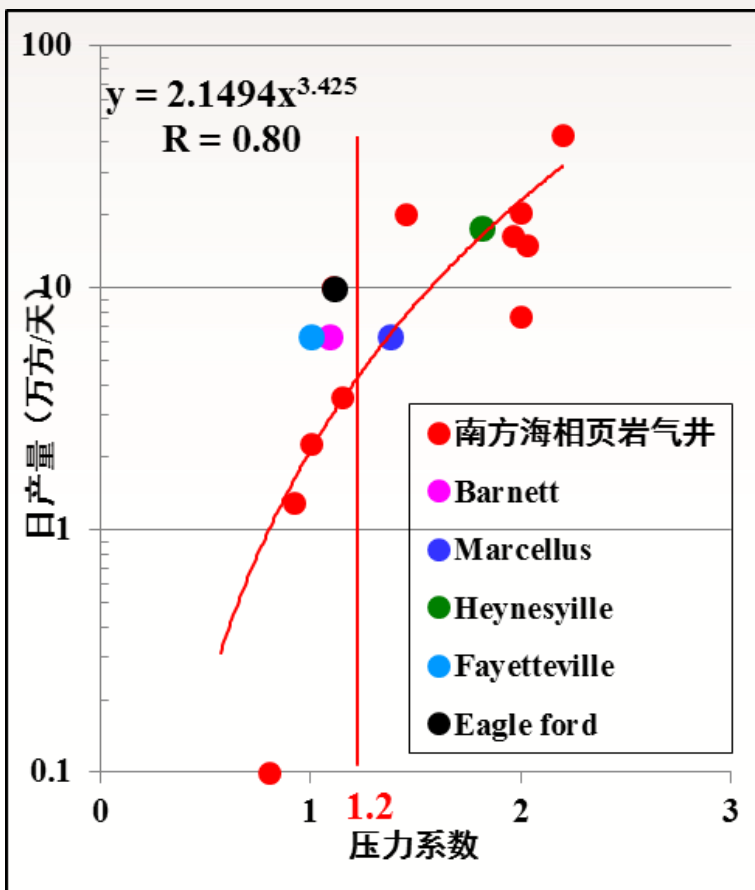


2. 地质理论研究进展

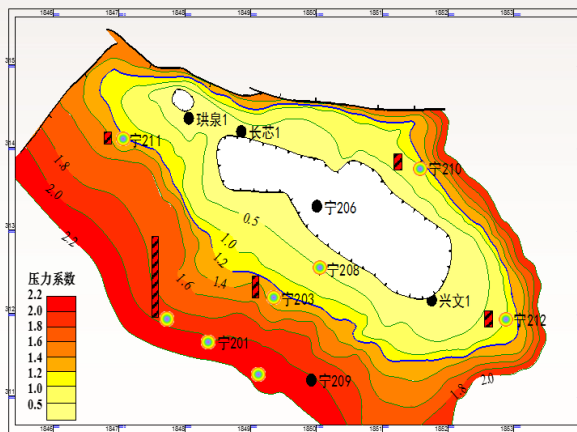
2.2 构造保存条件是影响页岩气富集的关键因素

地层压力系数是页岩气保存条件的直接评价指标

长宁区块龙马溪组底部压力系数分布图

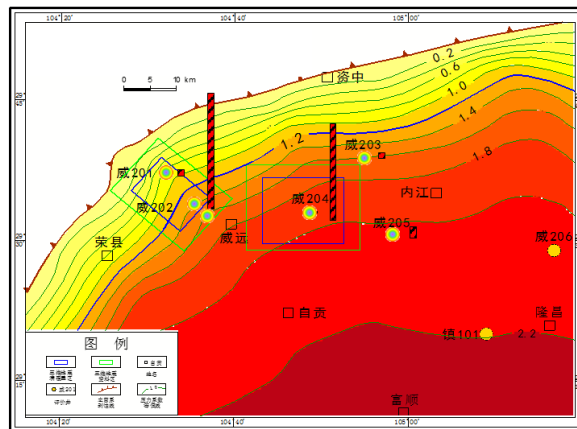


气产量与压力系数相关关系图



- 宁208井：
压力系数0.50
无页岩气产量
- 长宁H3-4井：
压力系数1.96
日产气27.4万方

威远区块龙马溪组底部压力系数分布图



- 威201井：
压力系数0.92
日产气0.5万方
- 威202H2-4井：
压力系数1.50
日产气28.8万方

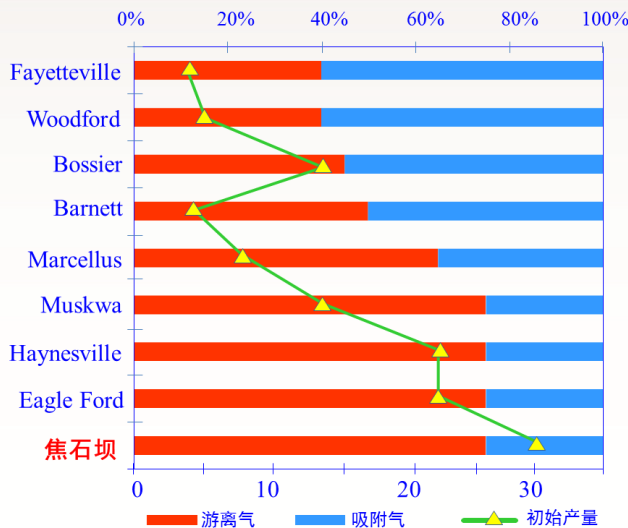
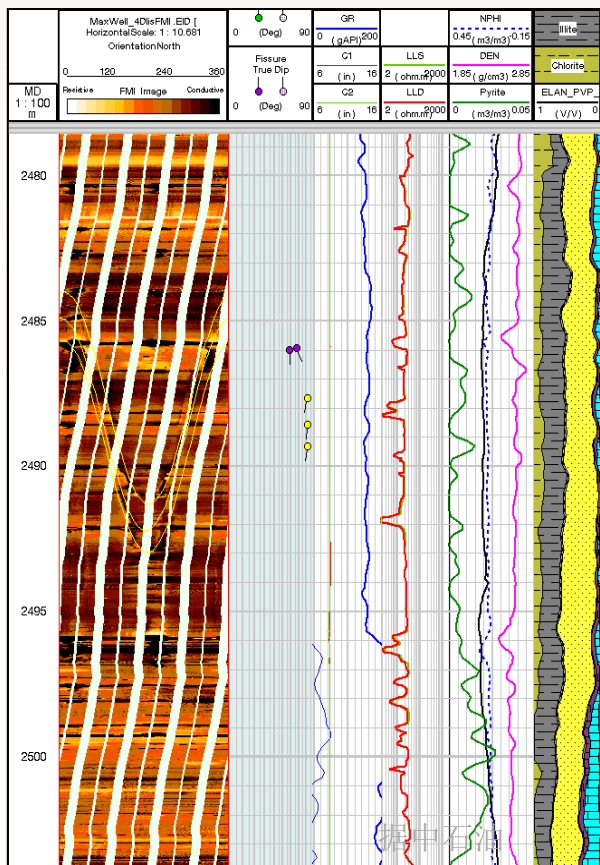


2. 地质理论研究进展

2.3 储层物性是页岩气高产的重要条件

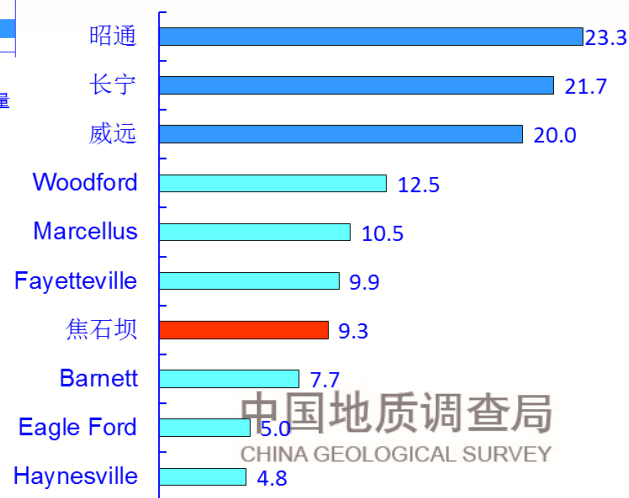
页岩储层天然裂缝发育、孔隙度高、含气量高、地应力差小是实现页岩气高产的重要条件

YS108井层间与高角度缝发育



微裂缝越发育，游离气比例越大，初始产量越高

水平应力差越小，压裂效果越好

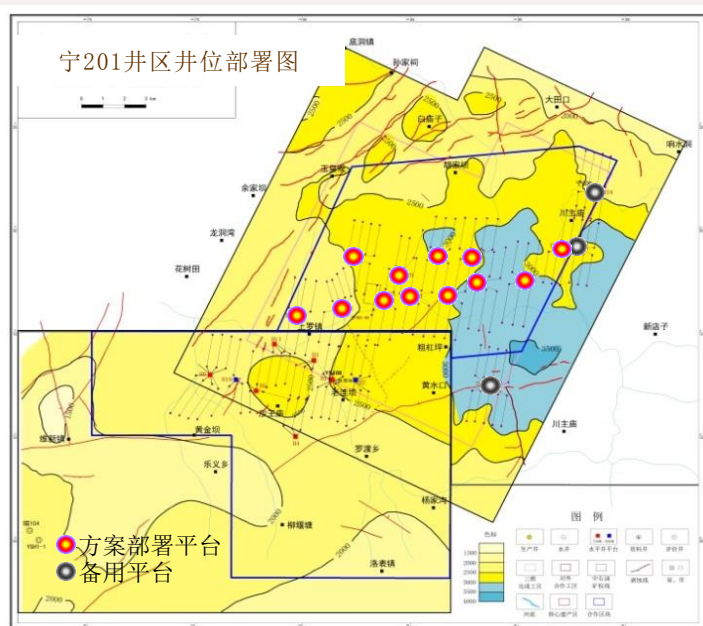




2. 地质理论研究进展

2.4 工艺技术是实现页岩气高产的保证

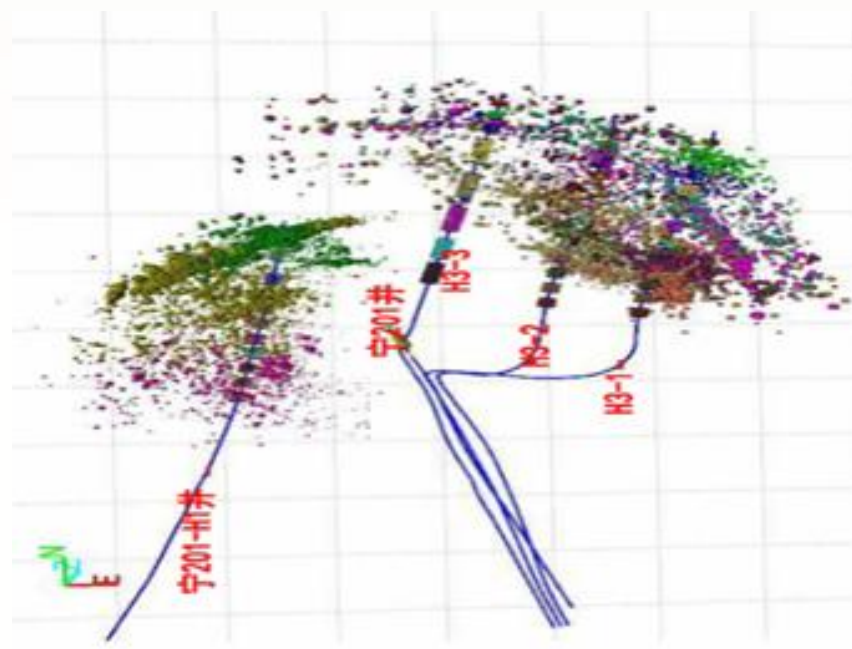
水平井钻井井眼轨迹和分段压裂工艺是影响压后产量的重要因素



据中石油

水平段在优质页岩中，分段压裂改造方式和规模将影响压裂改造波及体积和效果

井眼方位优选：水平井钻井井眼轨迹应垂直最大主应力，长宁区块井眼方位与最小主应力方向夹角约 10° - 25°





汇报内容

1. 研究现状
2. 地质理论研究进展
3. 勘查开发技术进展
4. 绿色环保开发

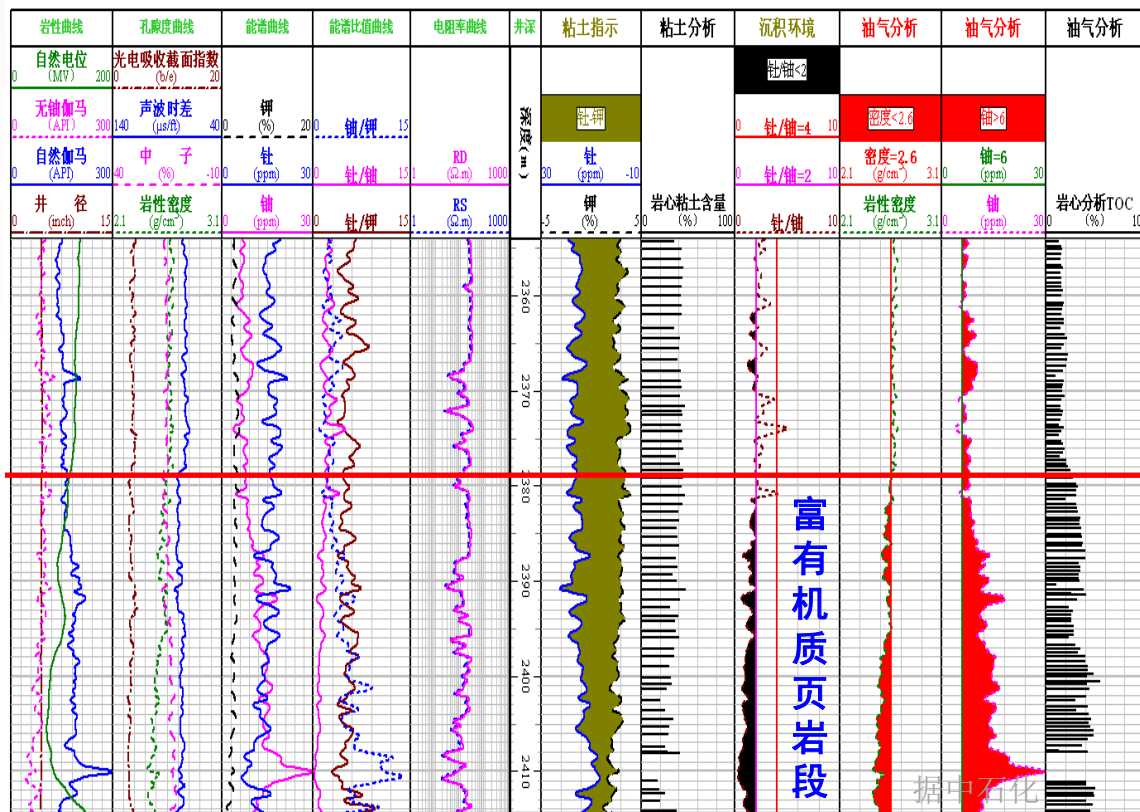


3. 勘查开发技术进展

3.1 页岩储层测井评价技术

建立了海相页岩气层测井资料快速识别模式，“四高三低”测井响应特征综合反映了高TOC、好的储集性、高含气量、好的可压裂性

焦页1井龙马溪组页岩气储层测井快速识别综合图



优质页岩“四高三低”特征：

- ◆ 高自然伽玛
- ◆ 高声波时差
- ◆ 高电阻率
- ◆ 低密度
- ◆ 低中子
- ◆ 低无铀伽玛

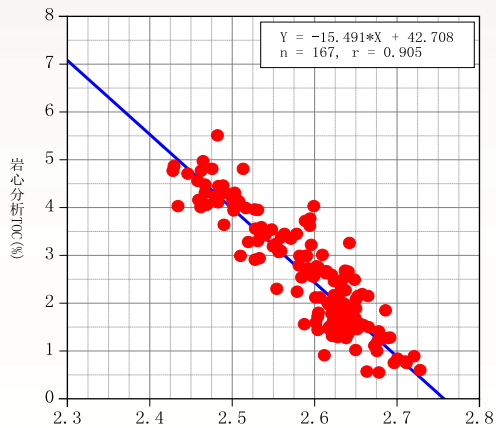


3. 勘查开发技术进展

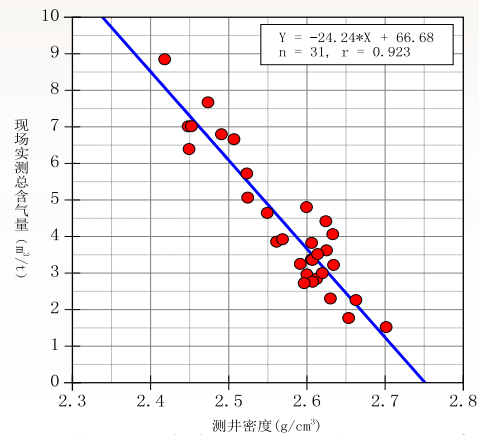
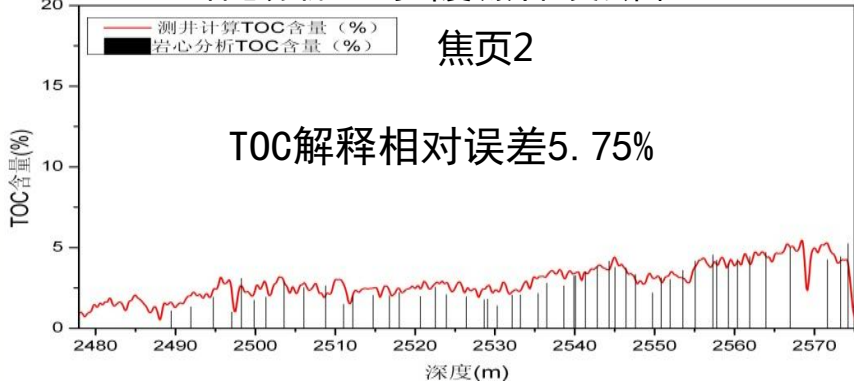
3.1 页岩储层测井评价技术

建立了TOC、含气量的岩性密度解释模型

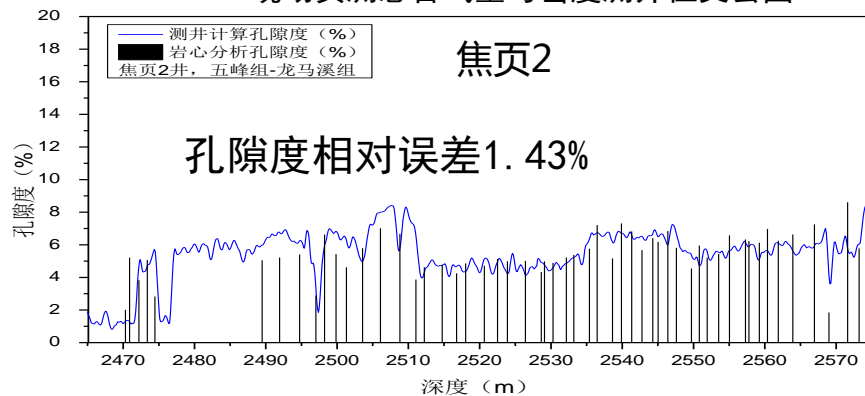
建立了基于元素俘获测井（ECS）与混合骨架密度的矿物含量与孔隙度解释模型



岩心分析TOC与密度测井值交会图



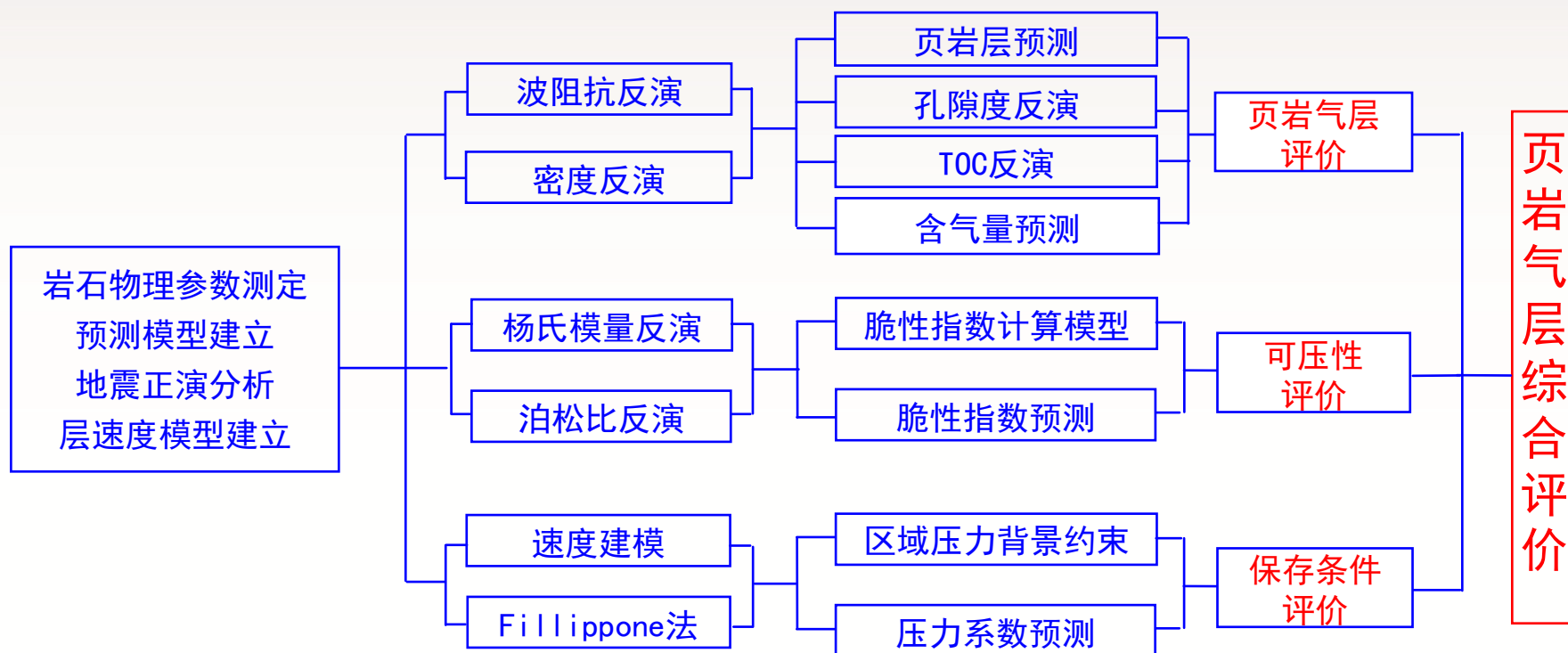
现场实测总含气量与密度测井值交会图





3. 勘查开发技术进展

3.2 页岩气地震“甜点”预测技术





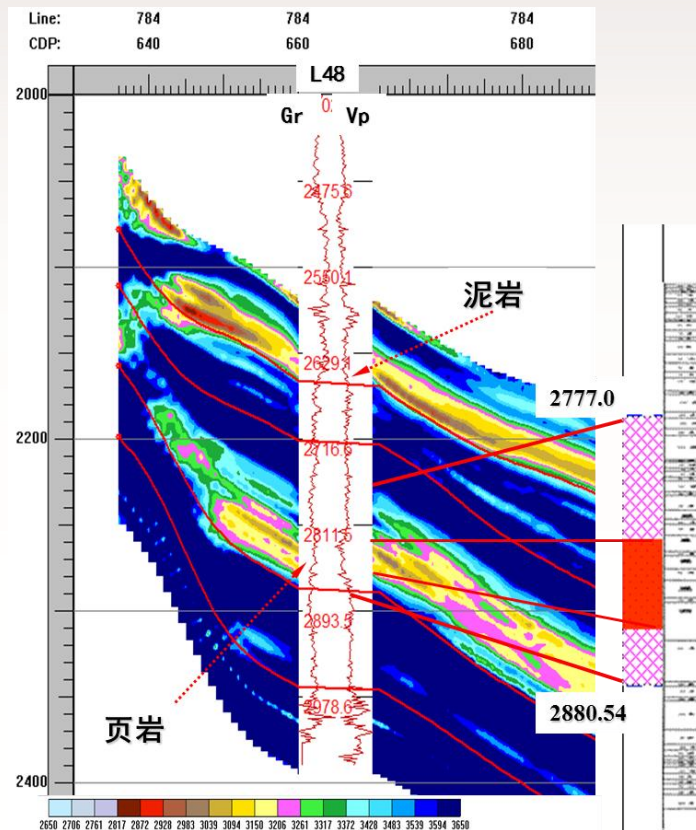
3. 勘查开发技术进展

3.2 页岩气地震“甜点”预测技术

建立了波阻抗反演页岩厚度预测技术

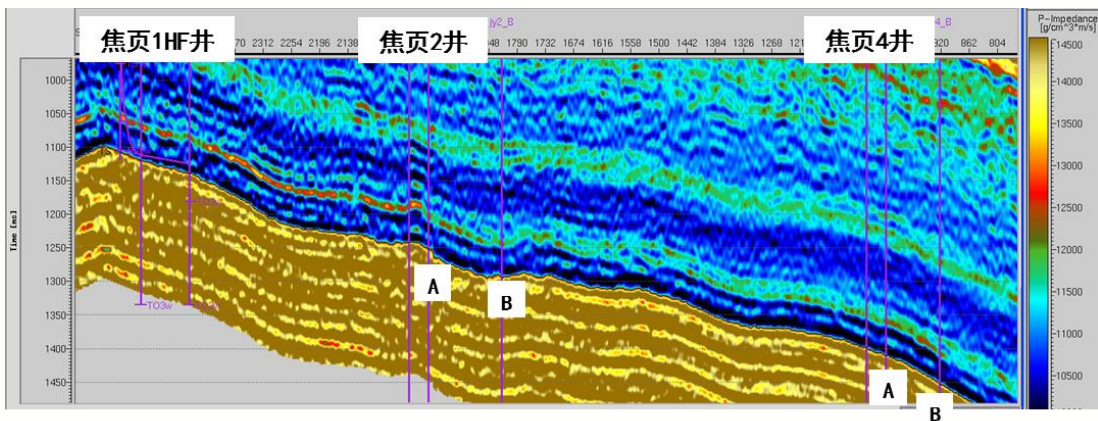
利用波阻抗反演实现页岩厚度预测，预测相对误差小于8%。

井名	预测厚度 (m)	实钻厚度 (m)	绝对误差 (m)	相对误差 (%)
焦页1井	96	89	-7	7.3
焦页2井	105	98	-7	6.7
焦页4井	90	84	-6	6.7



产油段：2777.0-2880.54m页岩速度最低。

据石油大学黄悍东
 中国地质调查局
 CHINA GEOLOGICAL SURVEY



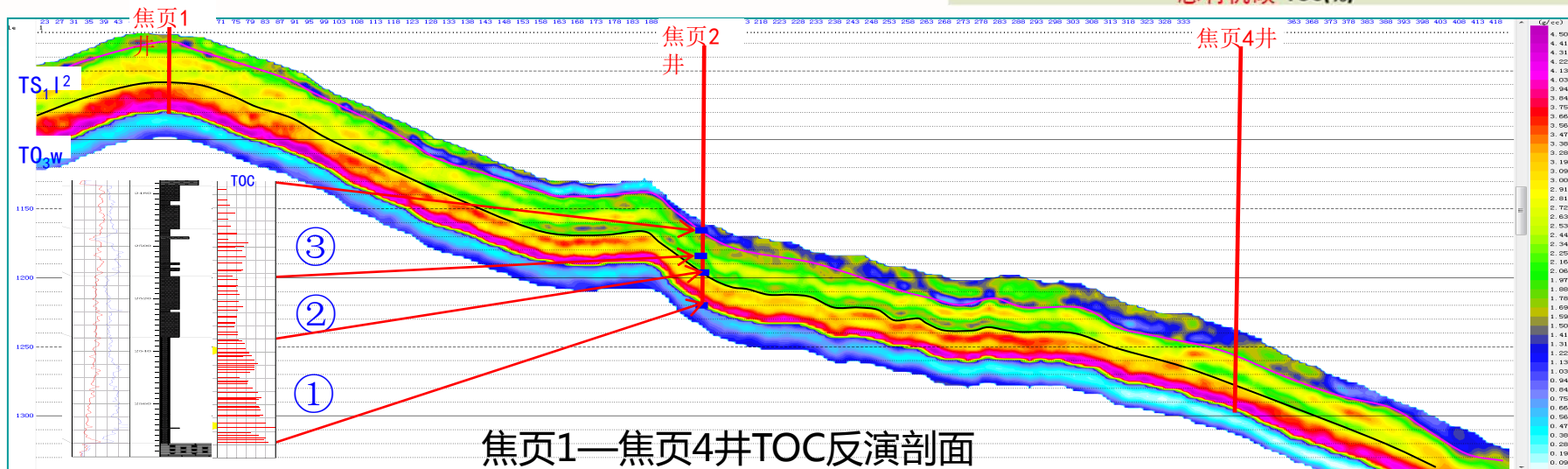
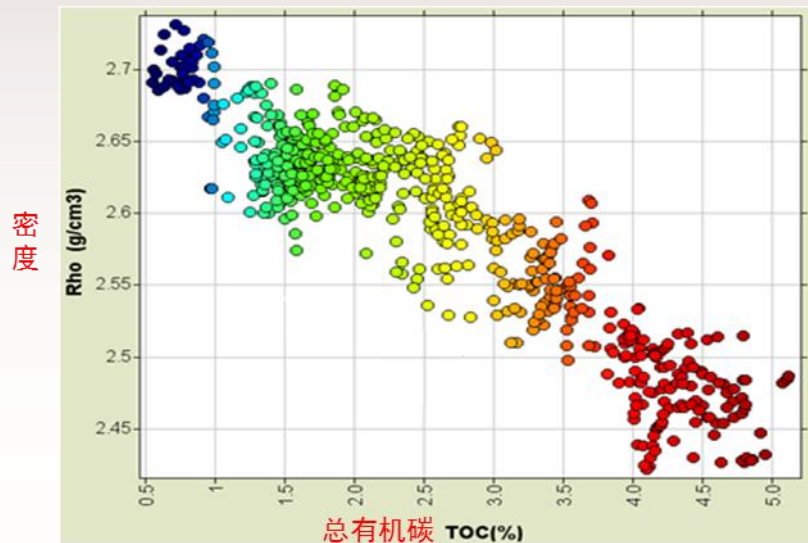


3. 勘查开发技术进展

3.2 页岩气地震“甜点”预测技术

建立了有机碳含量叠前地震定量预测技术

基于岩石密度的总有机碳预测模型，采用高精度叠前密度预测技术，实现有机碳含量的地震定量预测。



焦页1—焦页4井TOC反演剖面

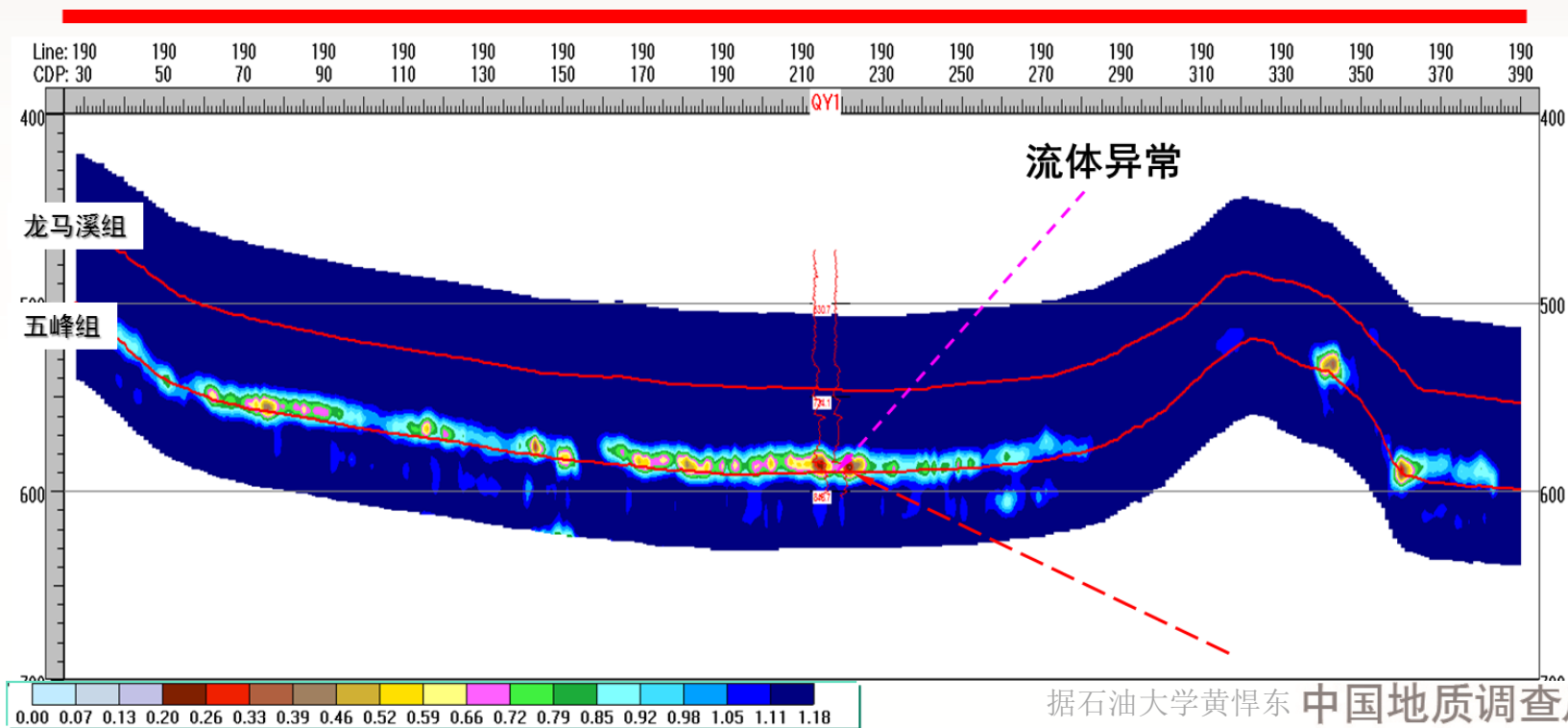


3. 勘查开发技术进展

3.2 页岩气地震“甜点”预测技术

建立了叠前反演与含气性识别技术

五峰组与临湘组交界处流体异常明显



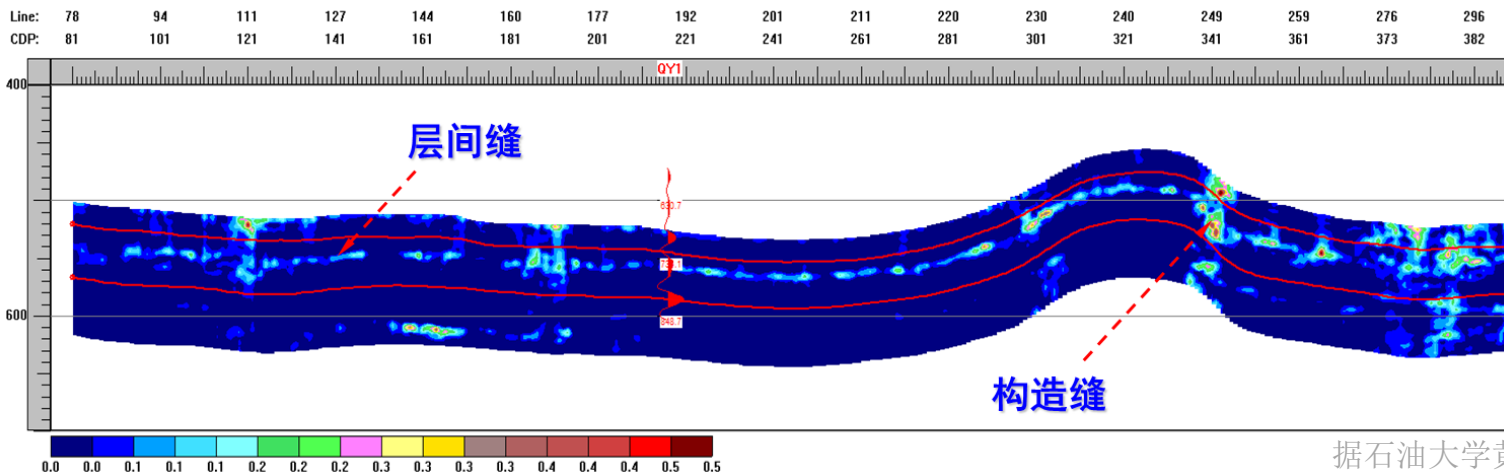
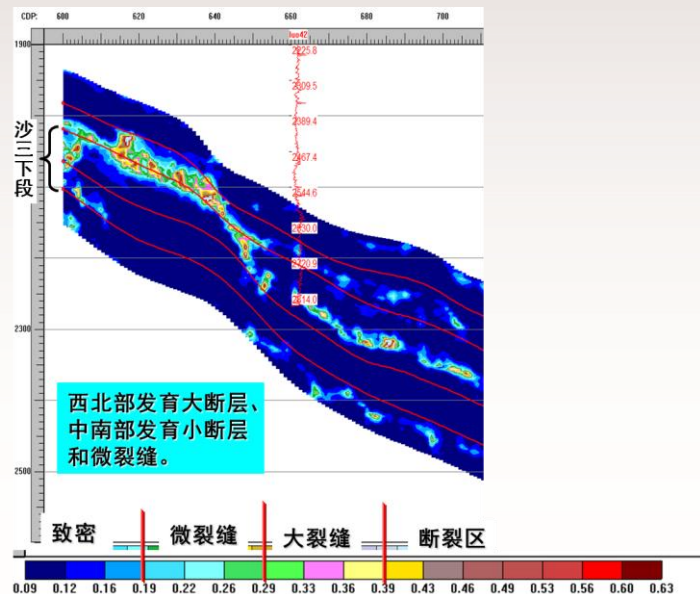


3. 勘查开发技术进展

3.2 页岩气地震“甜点”预测技术

建立了地震裂缝预测技术

根据地震解释预测裂缝强度，并结合测井资料判断裂缝发育尺度。

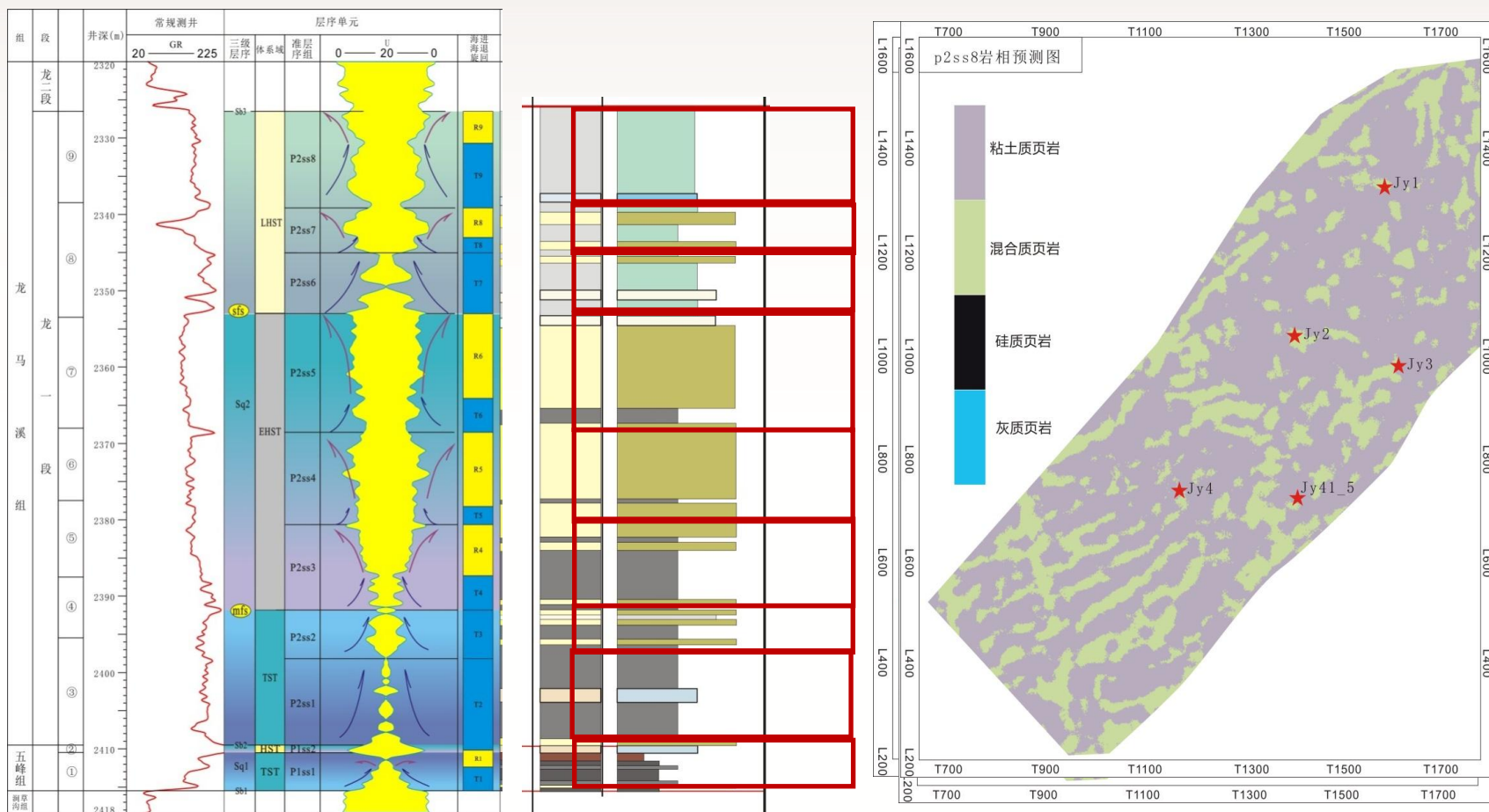




3. 勘查开发技术进展

3.2 页岩气地震“甜点”预测技术

通过地震与测井相表征，实现甜点区预测





3. 勘查开发技术进展

3.3 页岩气水平井钻完井技术

形成了水平井钻井优化设计技术

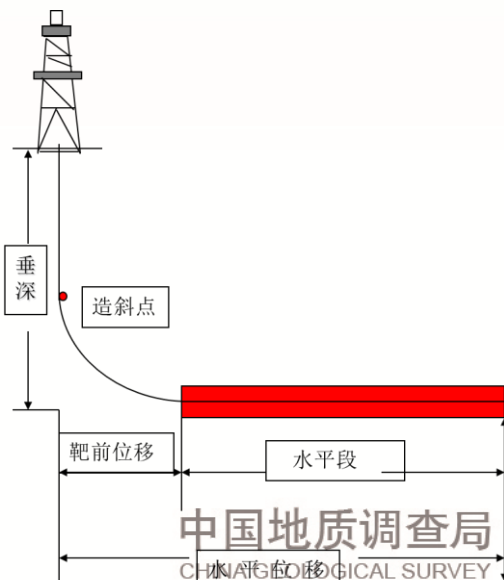
一是地质上：综合岩性、物性、含气性资料和实践认识，选择龙马溪组下部优质页岩作为水平井靶窗

二是井身结构上：优化形成了“导管+三开次”井身结构方案

三是井眼轨迹上：形成了“直-增-稳-增-水平段”双弧剖面水平井轨道设计方案

水平井钻井提速措施

地层		底深m	井身结构	提速技术	钻井液技术
系	组				
三叠系	嘉陵江组	277		常规钻井	膨润土浆
	飞仙关组	703		清水 PDC+螺杆/空气钻井	清水钻井液
二叠系	长兴组	876		进口PDC或牙轮 (韩家店前)	清水钻井液 (韩家店前)
	龙潭组	927			
	茅口组	1230			
	栖霞组	1379			
	梁山组	1401			
石炭系	黄龙组	1424		常规导向钻井 PDC+螺杆 (泡沫定向)	KCL聚合物钻井液 (气体泡沫)
志留系	韩家店组	1924		耐油螺杆+PDC	油基钻井液
	小河坝组	2150			
	龙马溪组	2410			
		2415			



据中石化



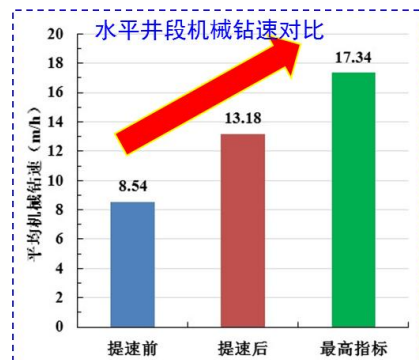
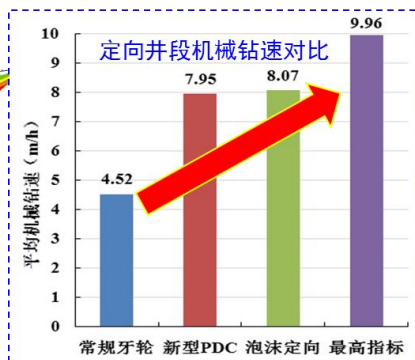
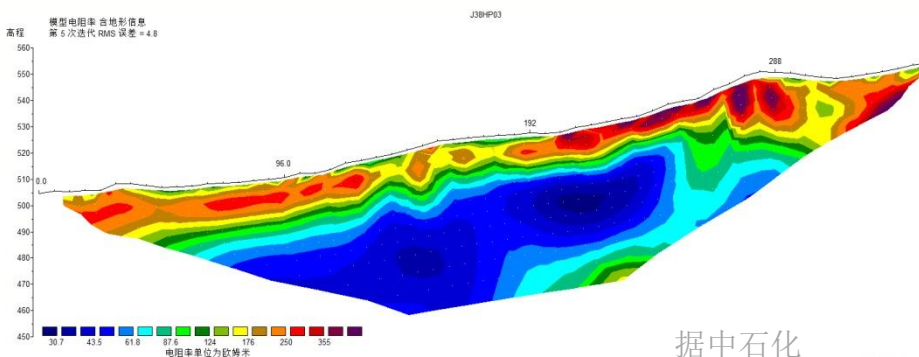
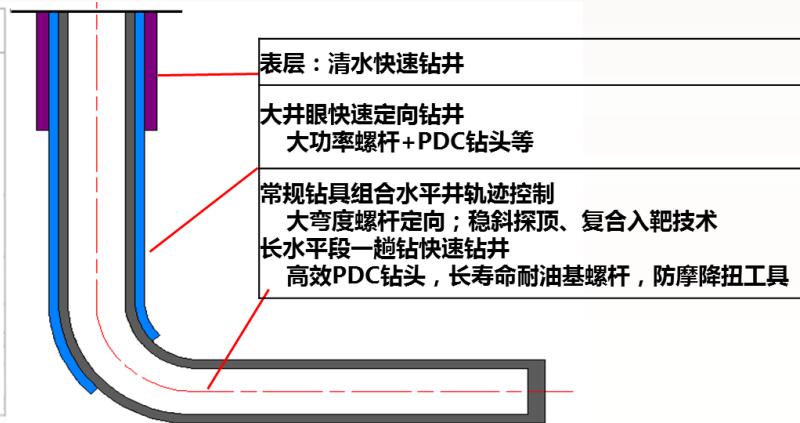
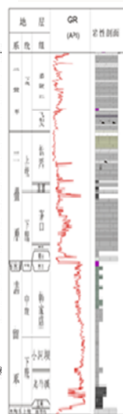
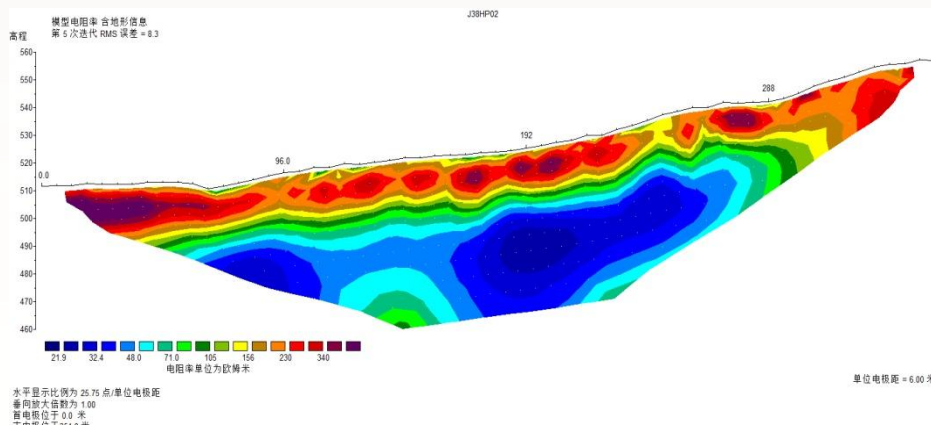
3. 勘查开发技术进展

3.3 页岩气水平井钻完井技术

形成了水平井优快钻井技术

一是浅表溶洞、裂缝预测技术避免了浅表复杂情况

二是采用“直井段+定向段+水平段”针对性钻井提速技术





3. 勘查开发技术进展

3.3 页岩气水平井钻完井技术

形成了山地复杂地表“井工厂”高效钻井作业模式

六大核心技术

- 地质、钻井工程一体化设计
- 工厂化作业设备配套及撬装化
- 地面井场布局优化

- 钻井液循环利用
- 优快钻井技术集成
- 施工作业流程工厂化、标准化

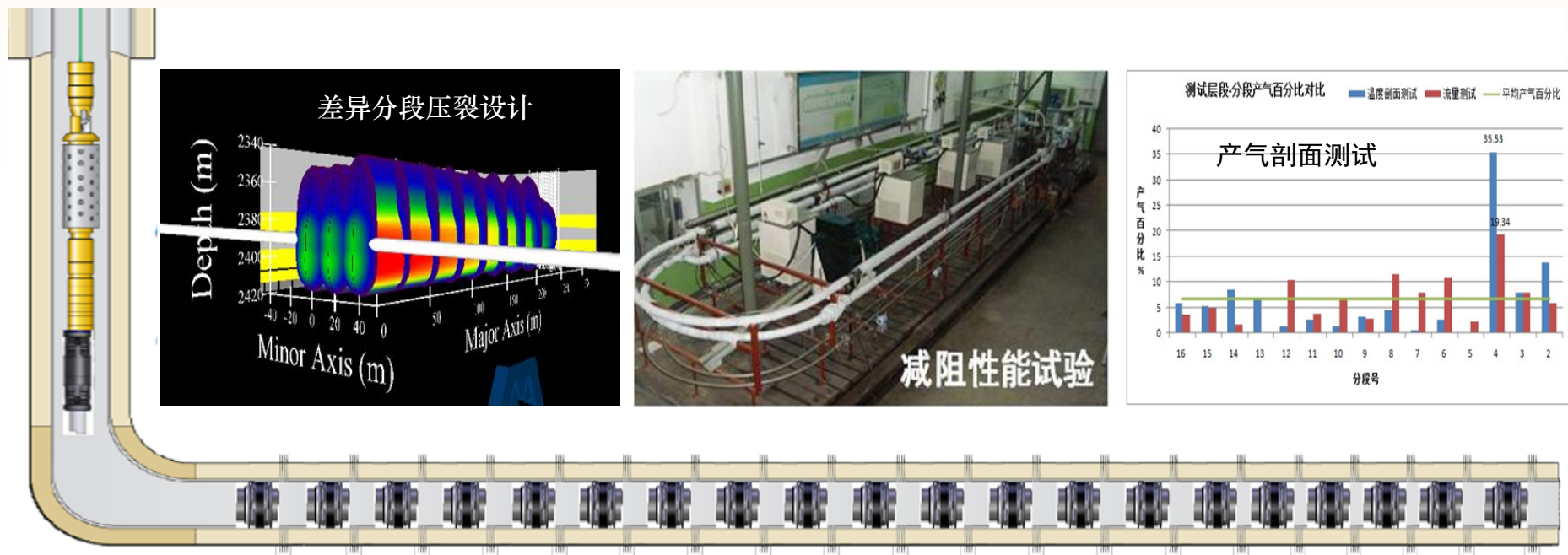




3. 勘查开发技术进展

3.4 页岩气水平井分段压裂试气技术

- 一是形成了差异化分段压裂工艺参数优化技术
- 二是形成了泵送桥塞+射孔联作技术、水平井连续油管钻塞技术
- 三是形成了自主研发的高效压裂液体系





3. 勘查开发技术进展

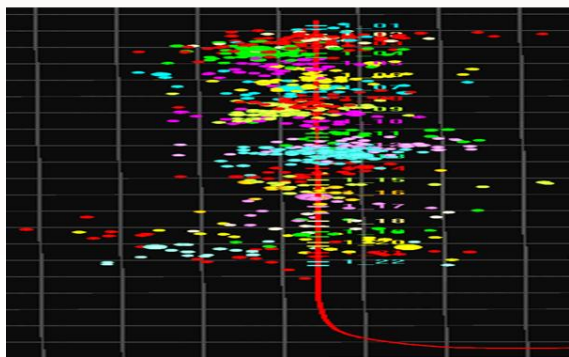
3.4 页岩气水平井分段压裂试气技术

四是形成了微地震监测技术

五是形成了压后返排处理技术

六是自主研发了复合桥塞、3000型压裂车等装备

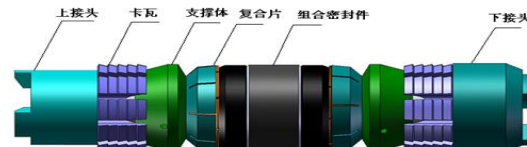
焦页48-1HF地面微地震监测结果



微地震监测仪表车



复合桥塞及配套工具



结构示意图



实物图

3000型压裂车



中国地质调查局
CHINA GEOLOGICAL SURVEY



返排液



絮凝剂



絮凝剂+助凝剂



过滤后



3. 勘查开发技术进展

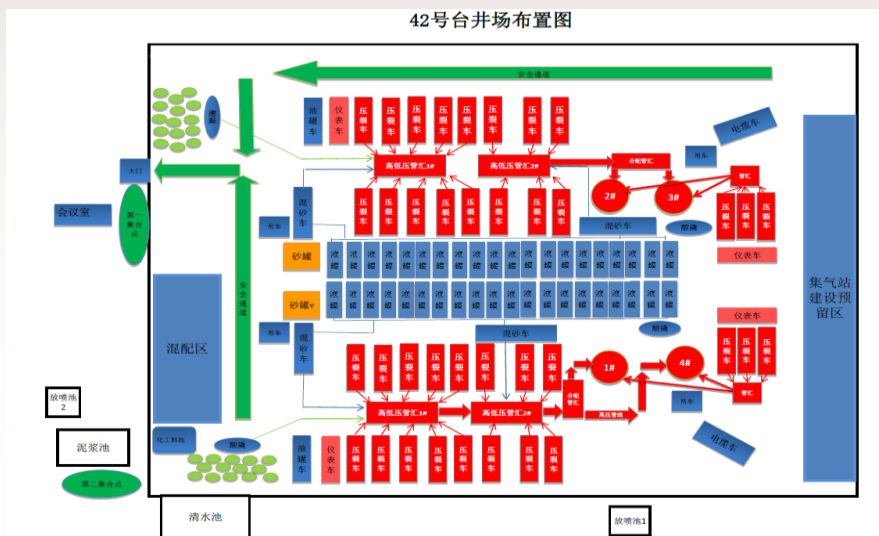
3.4 页岩气水平井分段压裂试气技术

七是形成了“井工厂”压裂作业模式

“井工厂”同步交叉压裂施工

焦页42号平台：4口井17天
压裂75段，入井总液量13.3万
方、总砂量4306方；单日压裂
最高达8段，单日最高入井液量
1.4万方、砂量508方

创造了国内页岩气单平台单
日压裂施工段数最多、加砂量最
大、加液量最多等施工纪录





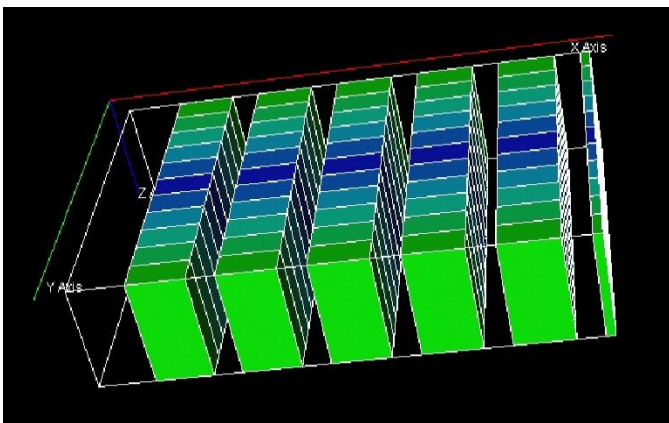
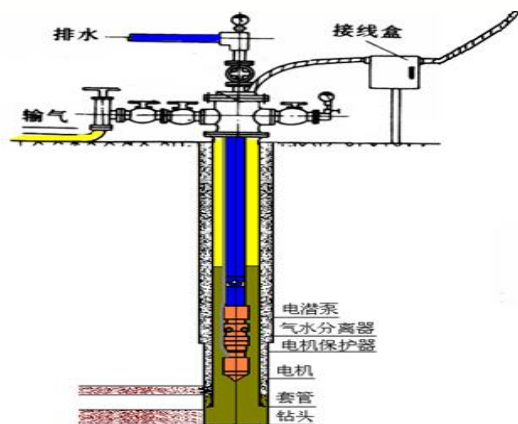
3. 勘查开发技术进展

3.4 页岩气水平井分段压裂试气技术

八是尝试“二氧化碳”无水压裂

延长石油创新性开展液态CO₂/滑溜水混合压裂、纯液态CO₂压裂技术应用试验，累计实施42井次

开展了页岩气渗流机理研究，开发了非常规油气开发数值模拟器，试验了电潜泵、液氮气举等排水采气工艺





汇报内容

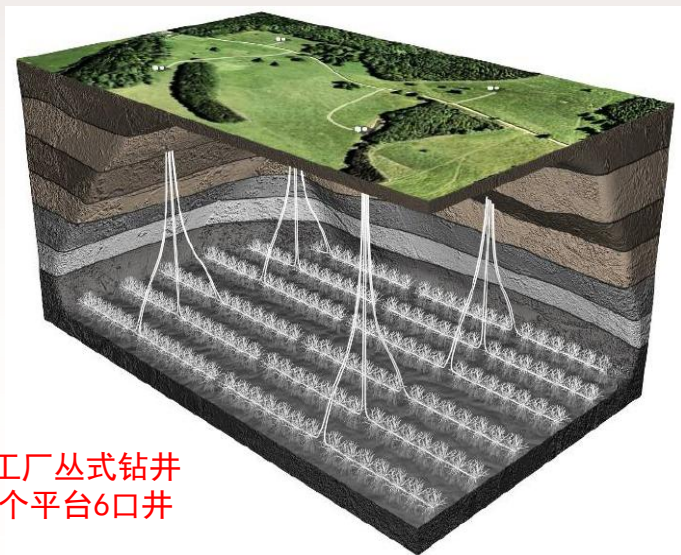
1. 研究现状
2. 地质理论研究进展
3. 勘查开发技术进展
4. 绿色环保开发



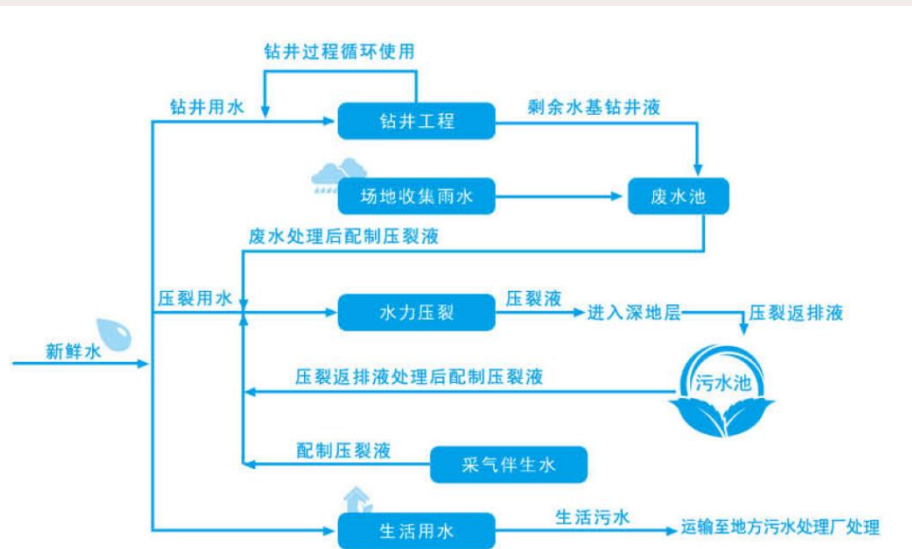
4.绿色环保开发

4.1 建立绿色开发配套技术

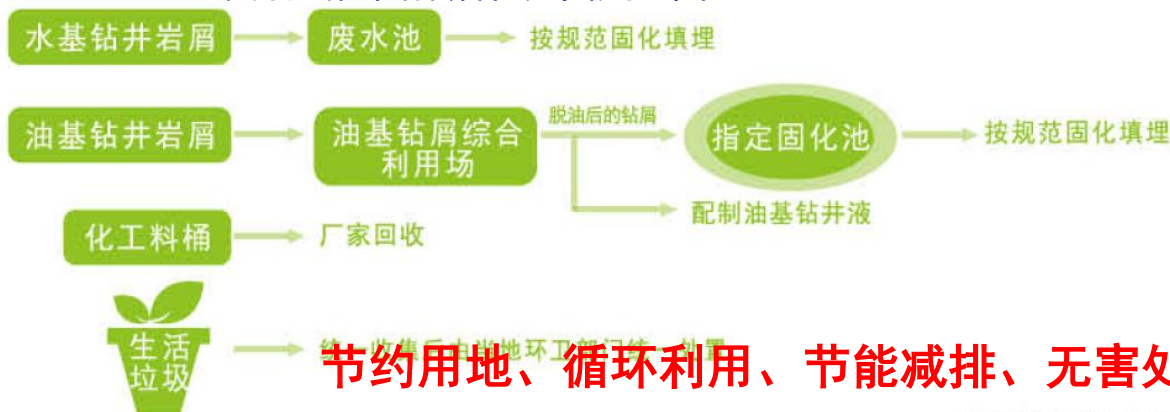
页岩气田丛式井示意图



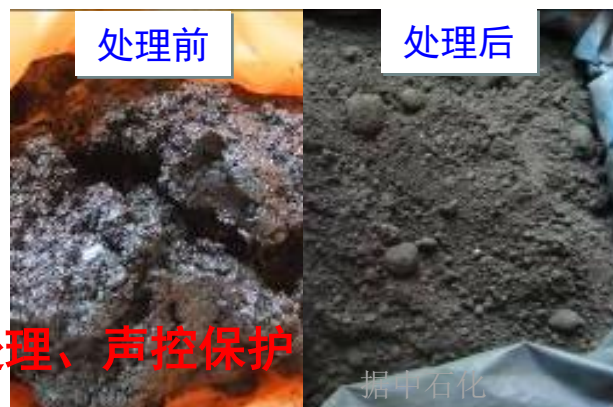
井工厂丛式钻井
一个平台6口井



页岩气田固体废物分类处置图



固体废弃物无害化处理对比图

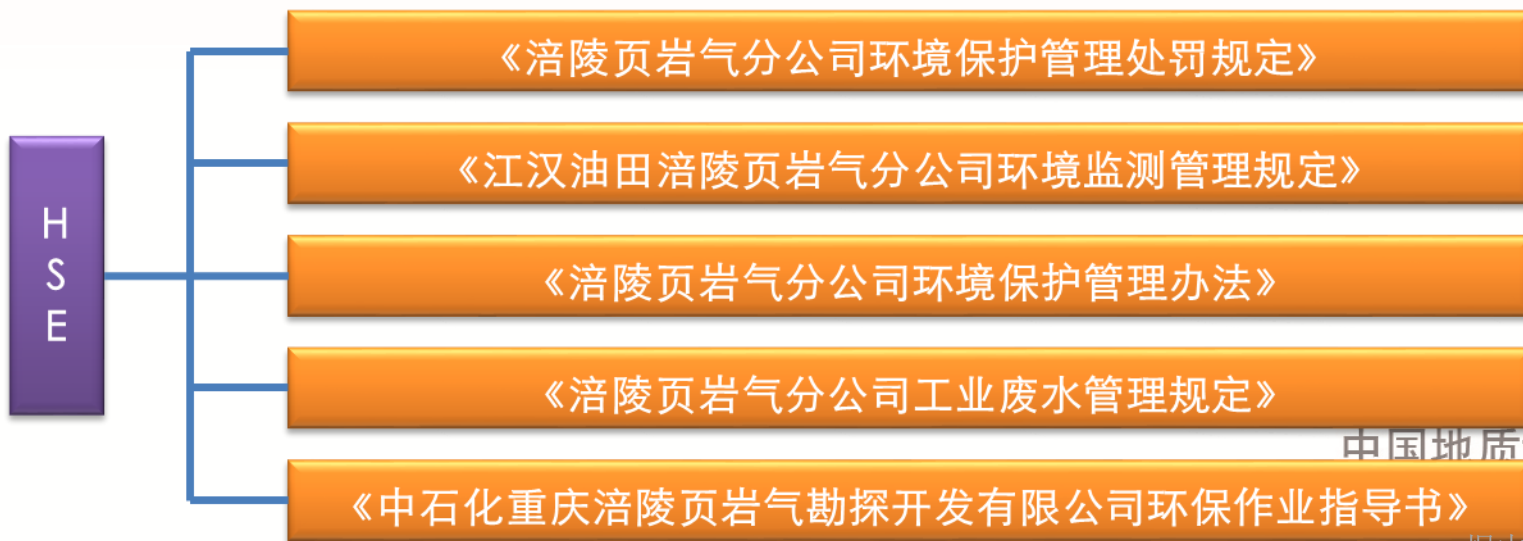
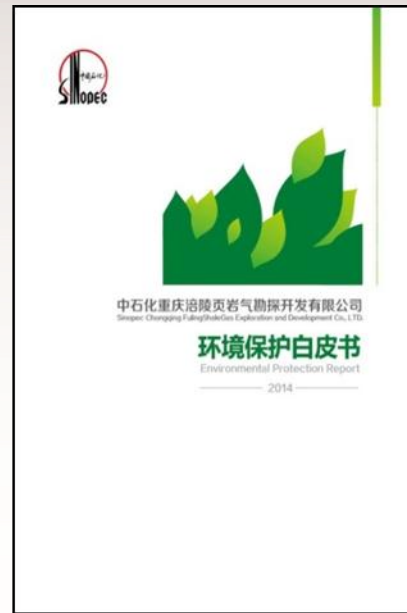




4.绿色环保开发

4.2 制定环保措施

中国的页岩气开发坚持把安全环保、绿色低碳放在首位；坚持资源开发与生态保护并重，严格履行环评、环评手续，强化HSE体系建设和全员HSE管理，推进页岩气田安全、高效、绿色开发。

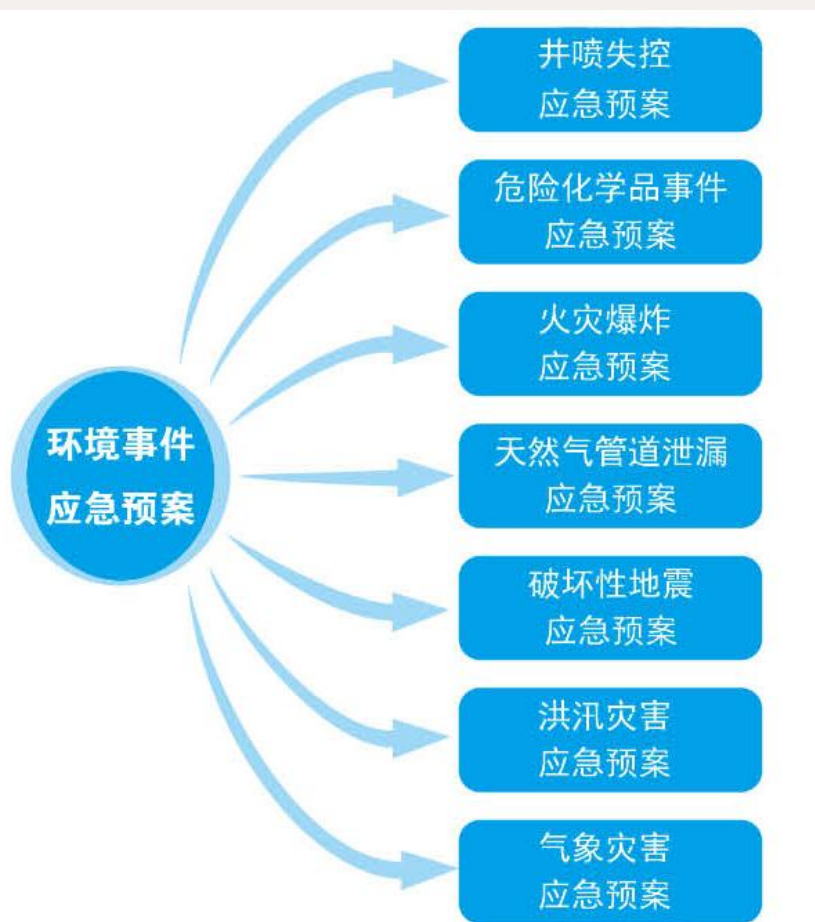




4.绿色环保开发

4.3 形成环保监管和应急预案

实行企业自主监管、第三方监管、政府监管、社会监督同步运行机制



据中石化





敬请批评指正!