



中国地质大学  
China University of Geosciences

---

# 非传统油气资源：页岩油气

刘晓峰

13871047077

[xfliu@cug.edu.cn](mailto:xfliu@cug.edu.cn)

中国地质大学(武汉)资源学院

---

2017年09月13日

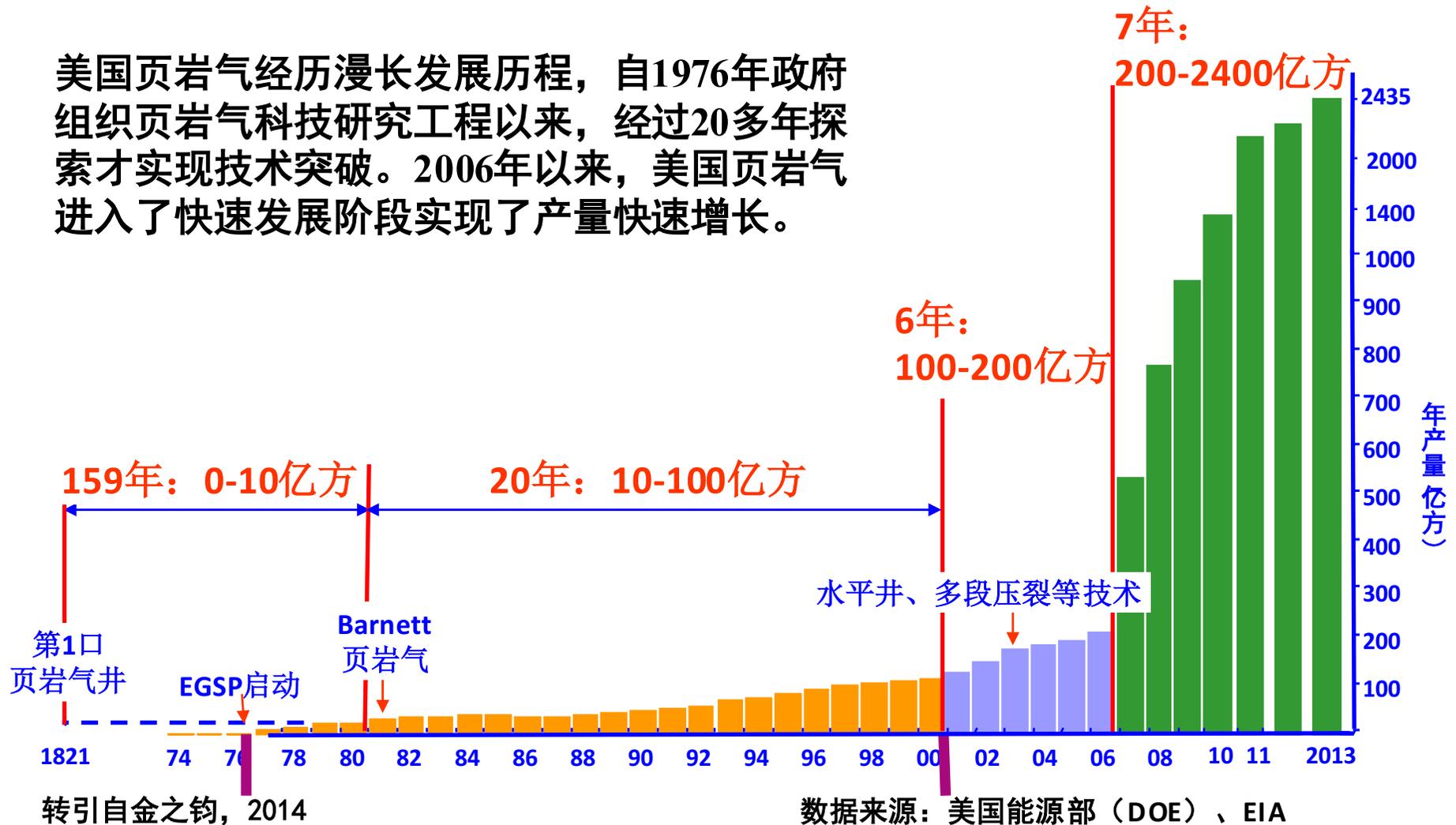
# 郑重声明

本多媒体部分内容来自他人未公开发表的成果，仅用于辅助教学，切勿引用！

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命

美国页岩气经历漫长发展历程，自1976年政府组织页岩气科技研究工程以来，经过20多年探索才实现技术突破。2006年以来，美国页岩气进入了快速发展阶段实现了产量快速增长。



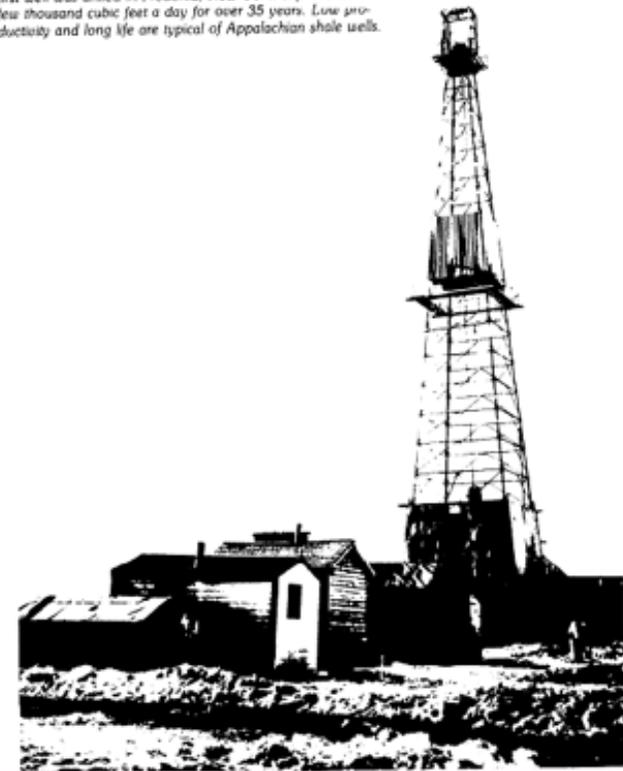
# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——前夜

- 1821年， William A. Hart 在美国纽约的弗里多尼亚钻了第一口产自页岩的商业天然气井(27 英尺深)，被认为是页岩气的首次发现。
- 1914年，在阿巴拉契亚盆地泥盆系Ohio页岩中，发现了世界第一个页岩气田—Big Sandy。
- 受地质认识和技术手段的限制，人们对这类资源并没有重视，没有认识到它的巨大潜力，没有想到它可以被大规模地开采利用。

### Devonian Shale Gas

Shale gave birth to the U.S. gas industry in 1821 when the first well was drilled in Fredonia, New York. It produced a few thousand cubic feet a day for over 35 years. Low productivity and long life are typical of Appalachian shale wells.

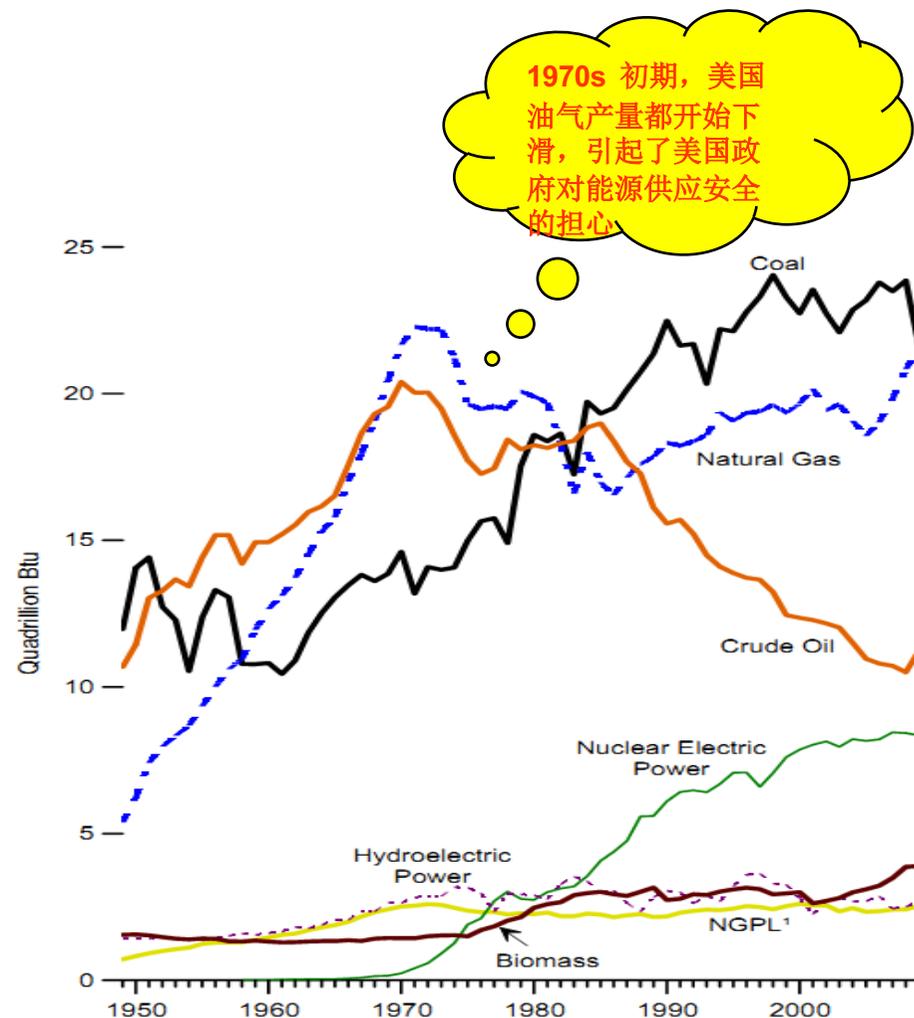


资料来源： Science Application, INC, 1980

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——开始与发展

- 1970s晚期—1990s早期，美国能源部（DOE）联合油公司、科研机构、高校等单位开展了非常规天然气（页岩气、致密气和煤层气）评价和开采方法研究。
- 针对页岩气实施了东部页岩气工程（EGSP 1976-1992）



# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——开始与发展

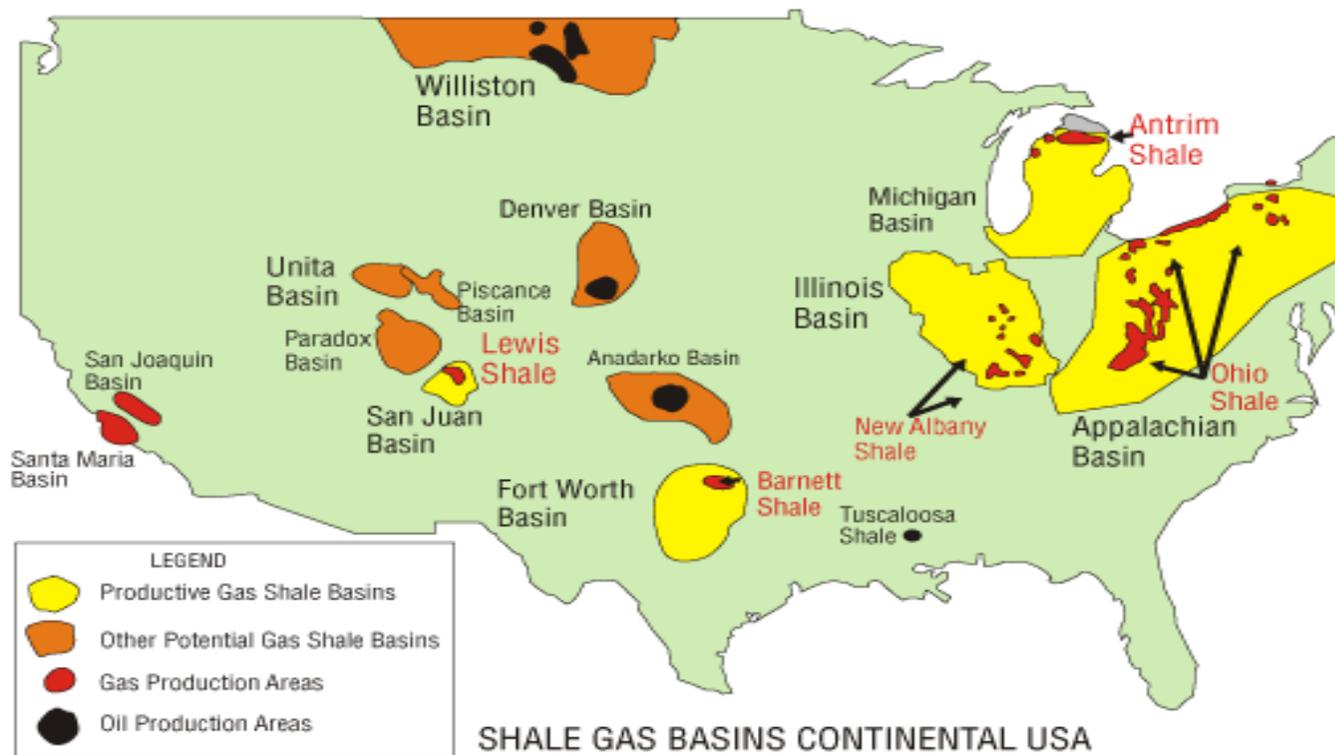
●1981—1998, Mitchell能源公司坚持在Fort Worth盆地探索试验, 综合开发了水力压裂和水平井技术, 最终实现了Barnett页岩气的规模商业开发, 开创页岩气开发新局面。



页岩气之父George Mitchell 于2011年获得终身成就奖, 以表彰他在页岩气开发方面做出杰出贡献

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——开始与发展



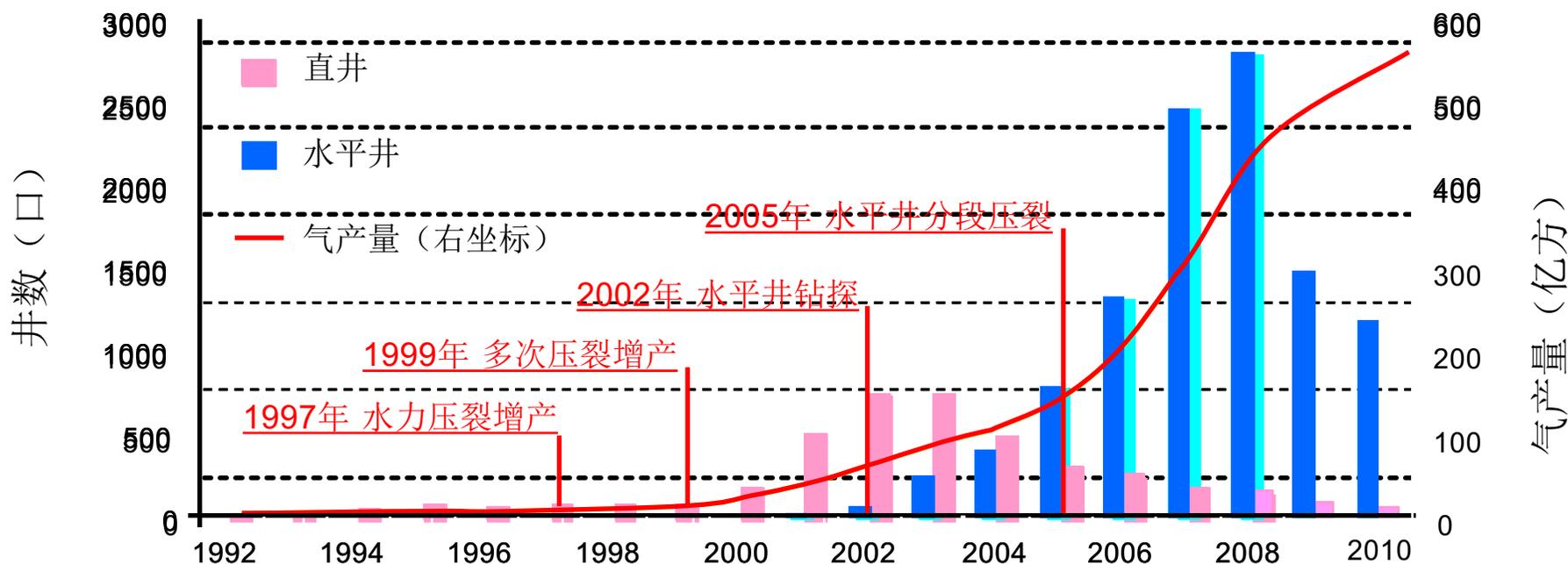
- 在此期间，美国开发的页岩气区带有5个：Ohio、Antrim、Barnett、Lewis和New Albany。
- Barnett页岩气开发成功具有里程碑意义，它使人们真正认识到了页岩气的巨大潜力，成为这场页岩气革命成功的标志。

转引自金之钧，2014

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——成功

2000年以后，水平井钻井技术及分段压裂、同步压裂、重复压裂技术等快速发展及大规模应用，带来了美国页岩气的快速发展。Barnett页岩气年产量由1999年的22亿方快速增加到2009年560亿方，10年间增长了25倍。

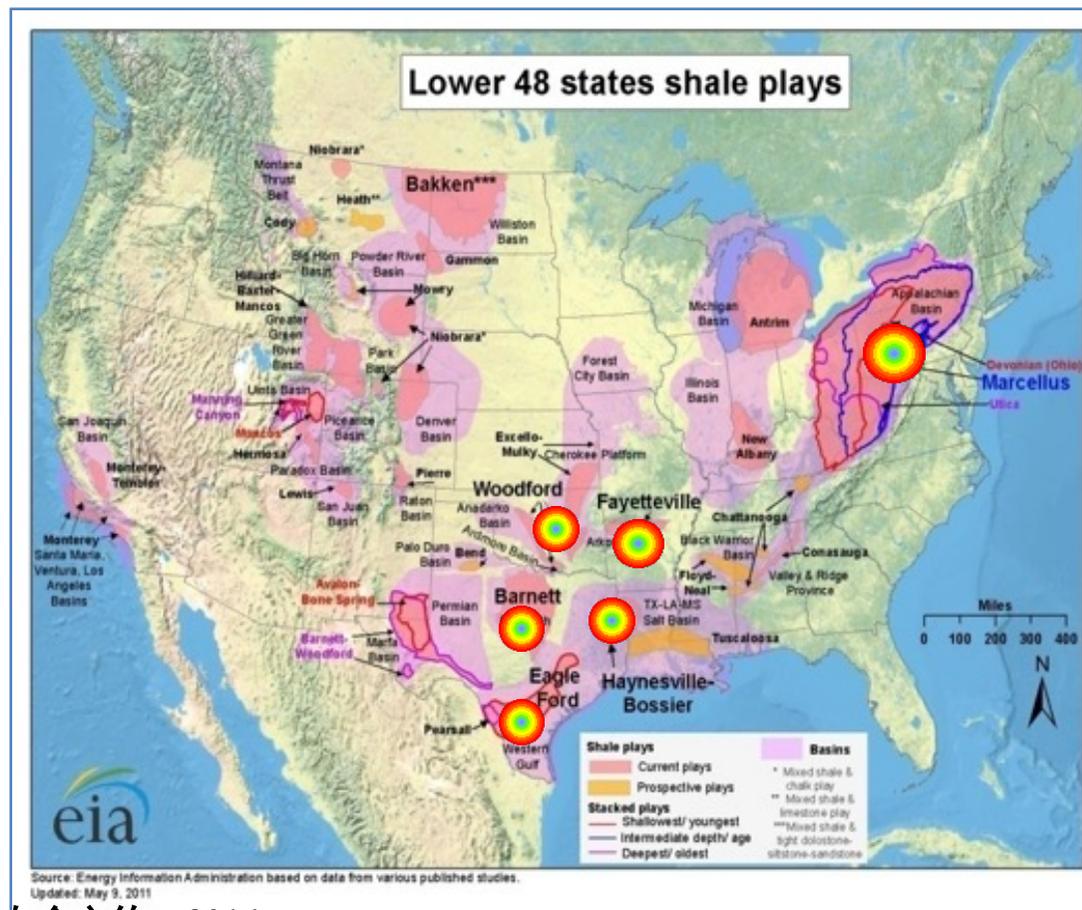


美国Fort Worth 盆地Barnett 页岩气开发历史

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——成功

在Barnett页岩气开发成功的鼓舞下，美国页岩气在全国展开，兴起了一股页岩气的勘探开发热潮，带来了美国页岩气的快速发展，形成了6大页岩气区。



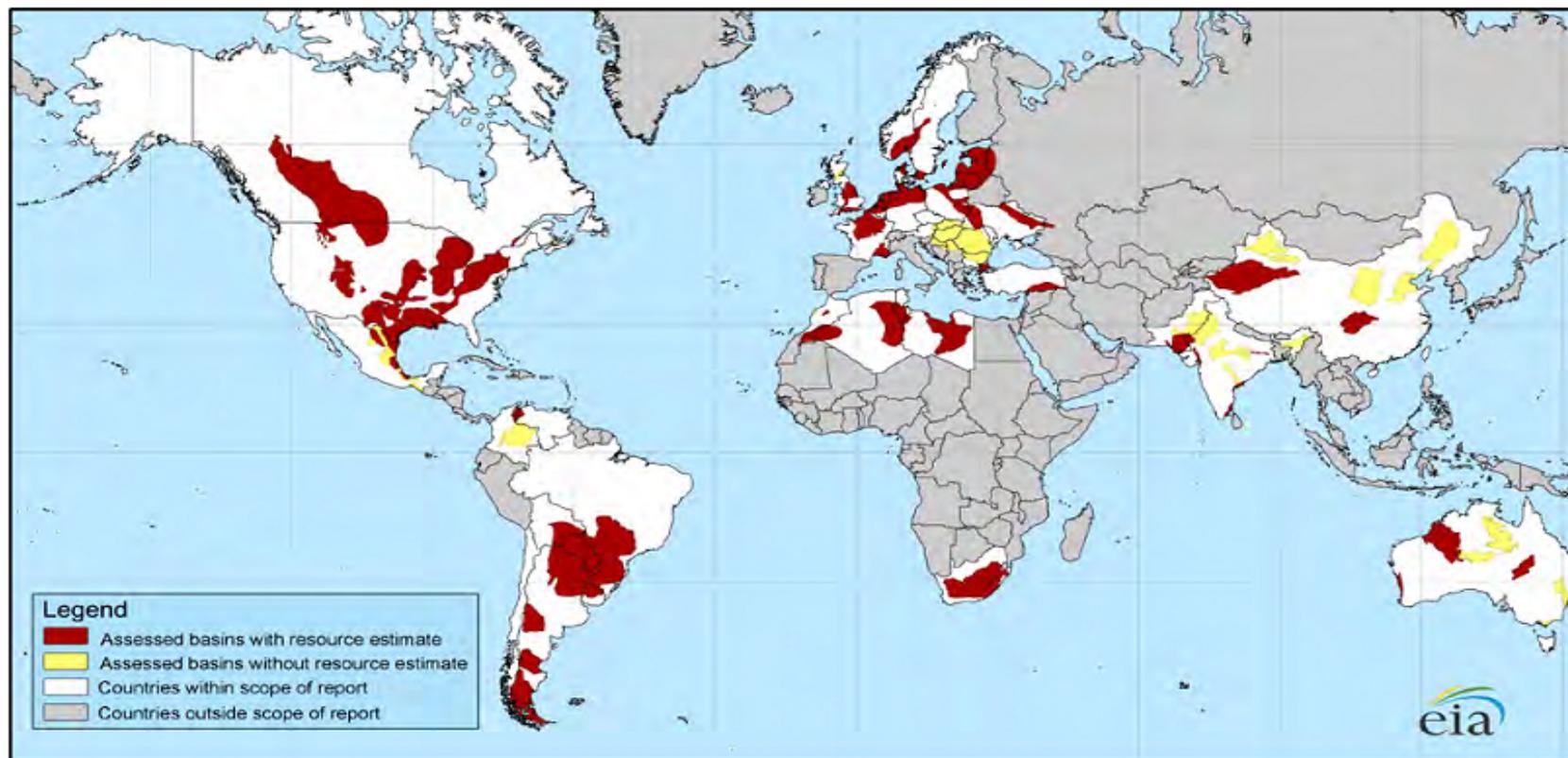
- Marcellus
- Haynesville
- Barnett
- Fayetteville
- Eagle Ford
- Woodford

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——蔓延

受美国页岩气革命成功的影响，页岩气革命蔓延全球，许多国家给予极大关注，纷纷开展研究、勘探评价和开发试验工作。

Figure 1. Map of 48 major shale gas basins in 32 countries



转引自金之钧，2014

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——蔓延

2009年中美双方签署了  
《中美关于在页岩气领域  
开展合作的谅解备忘录》，  
将两国在页岩气领域的合  
作提升到了国家层面

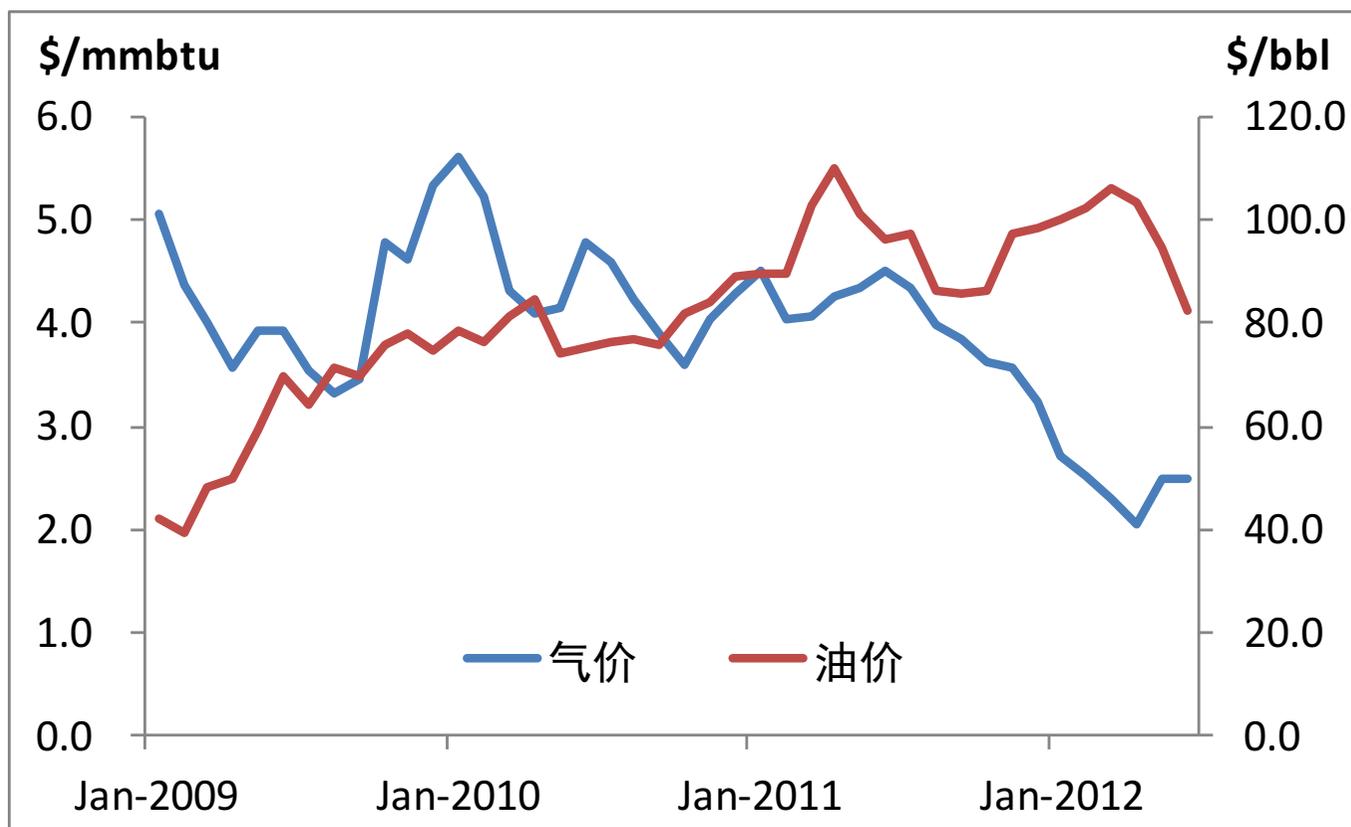


我国的页岩气勘查始于2009年，全国页岩气产量2012年（0.25亿方）、2013年（2.0亿方）；2014年（13.0亿方）、2015年（44.6亿方）

# 0 引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩气革命——跳转——页岩油革命

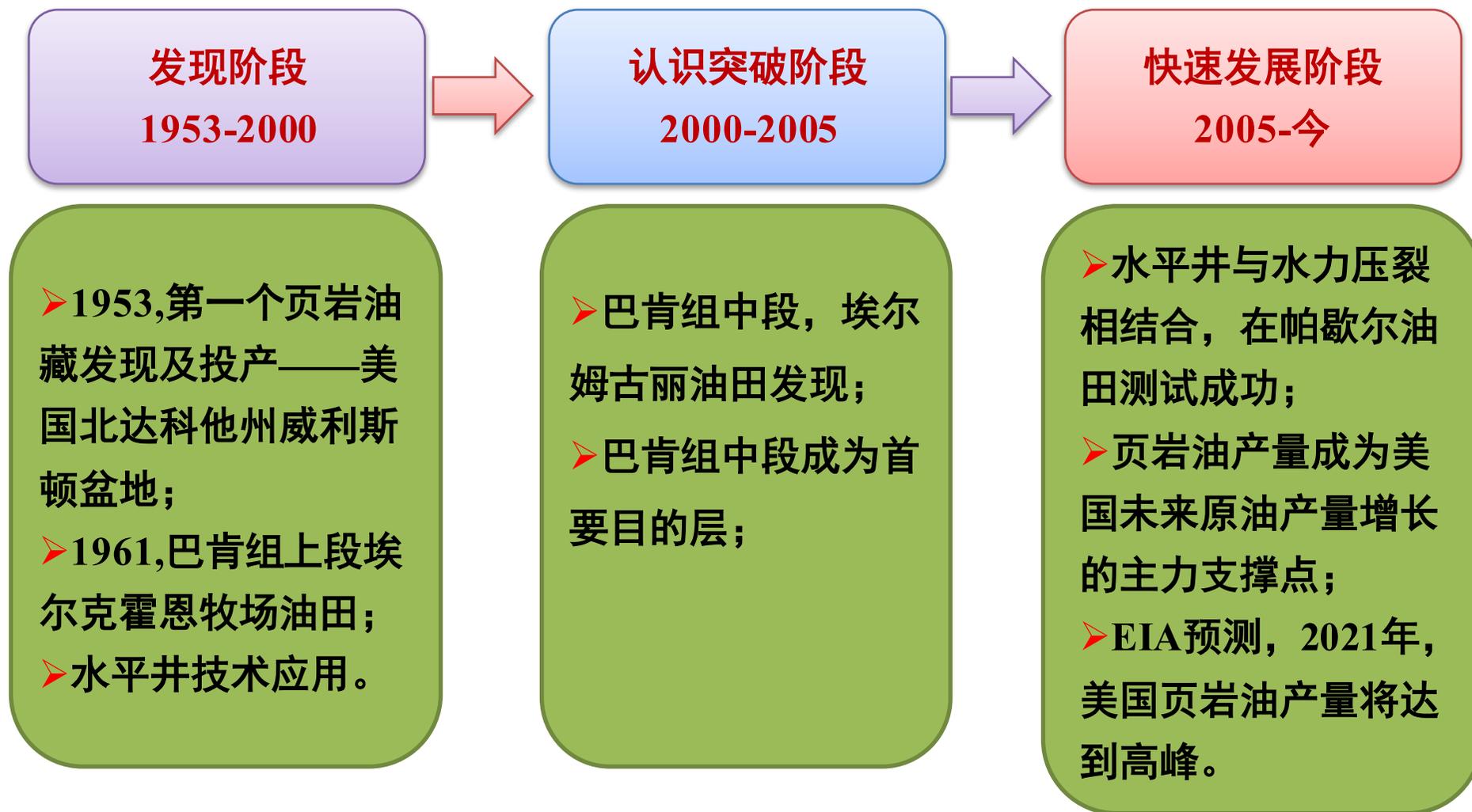
随着美国页岩气产量实现突破，气价下跌，天然气投资步伐放缓；油价上扬，石油投资开始发力。页岩油开发受石油公司“青睐”。



2009-2012年间美国油气价格趋势对比情况（数据来源：EIA）

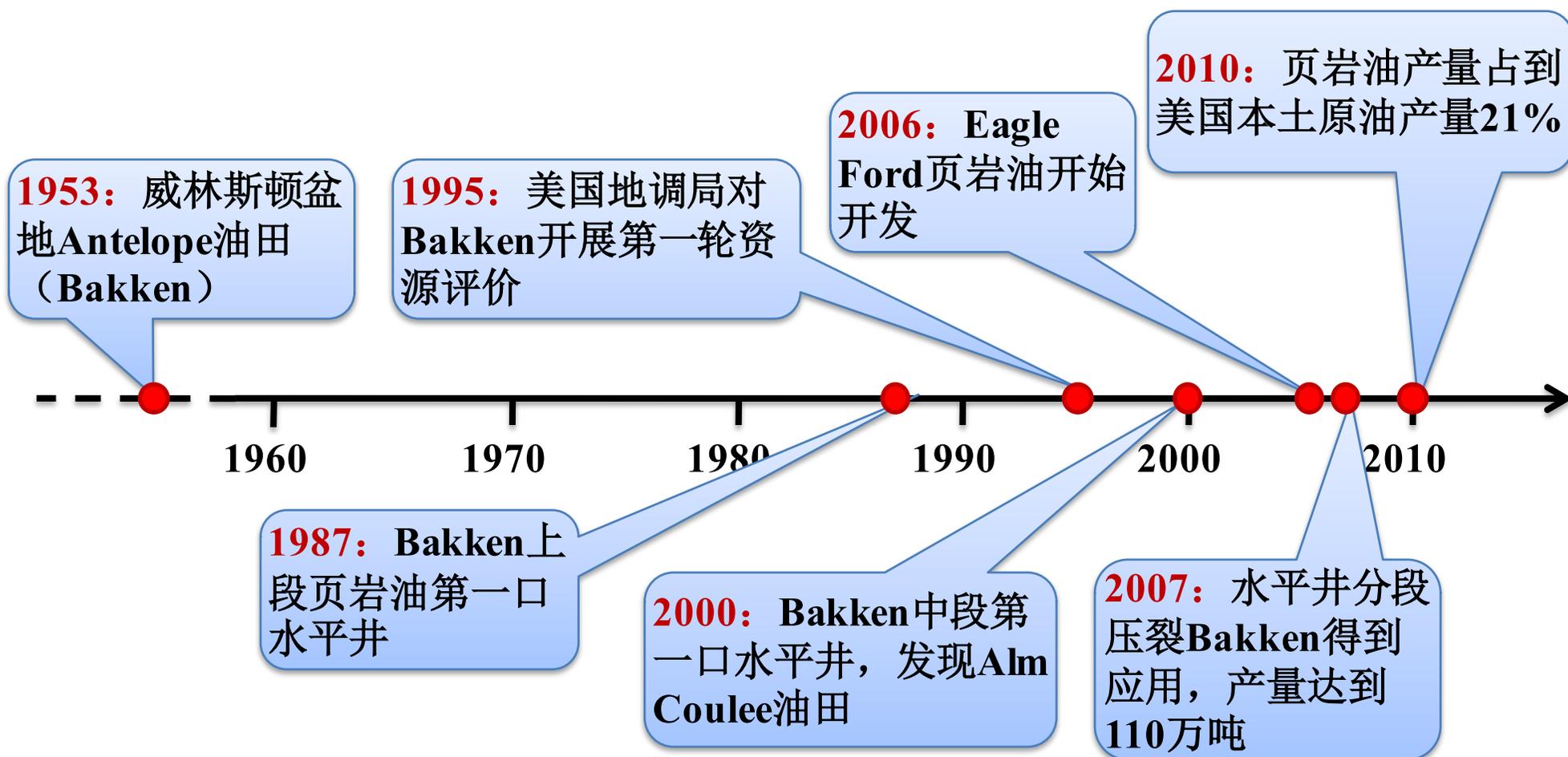
# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油气革命



# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油革命——发展



转引自金之钧, 2014

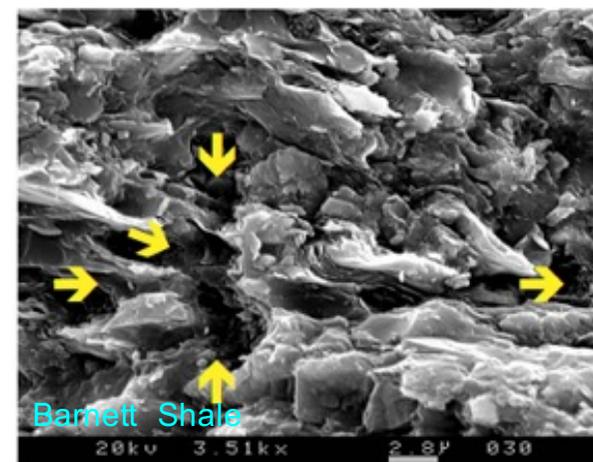
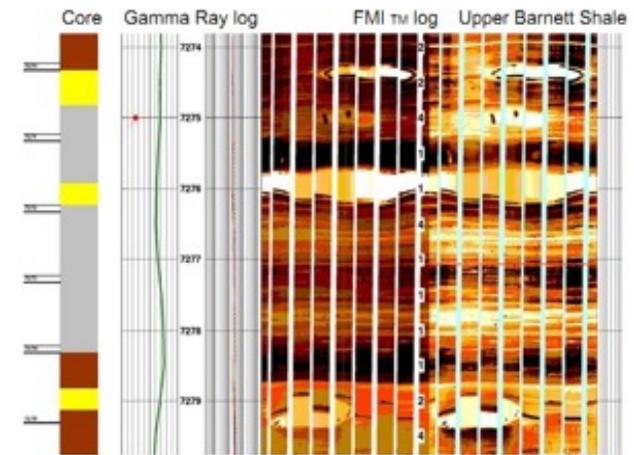
非常规油气革命推动美国“能源独立”战略梦实施

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油气革命——启示

### (1) 基础地质研究孕育了美国页岩气革命

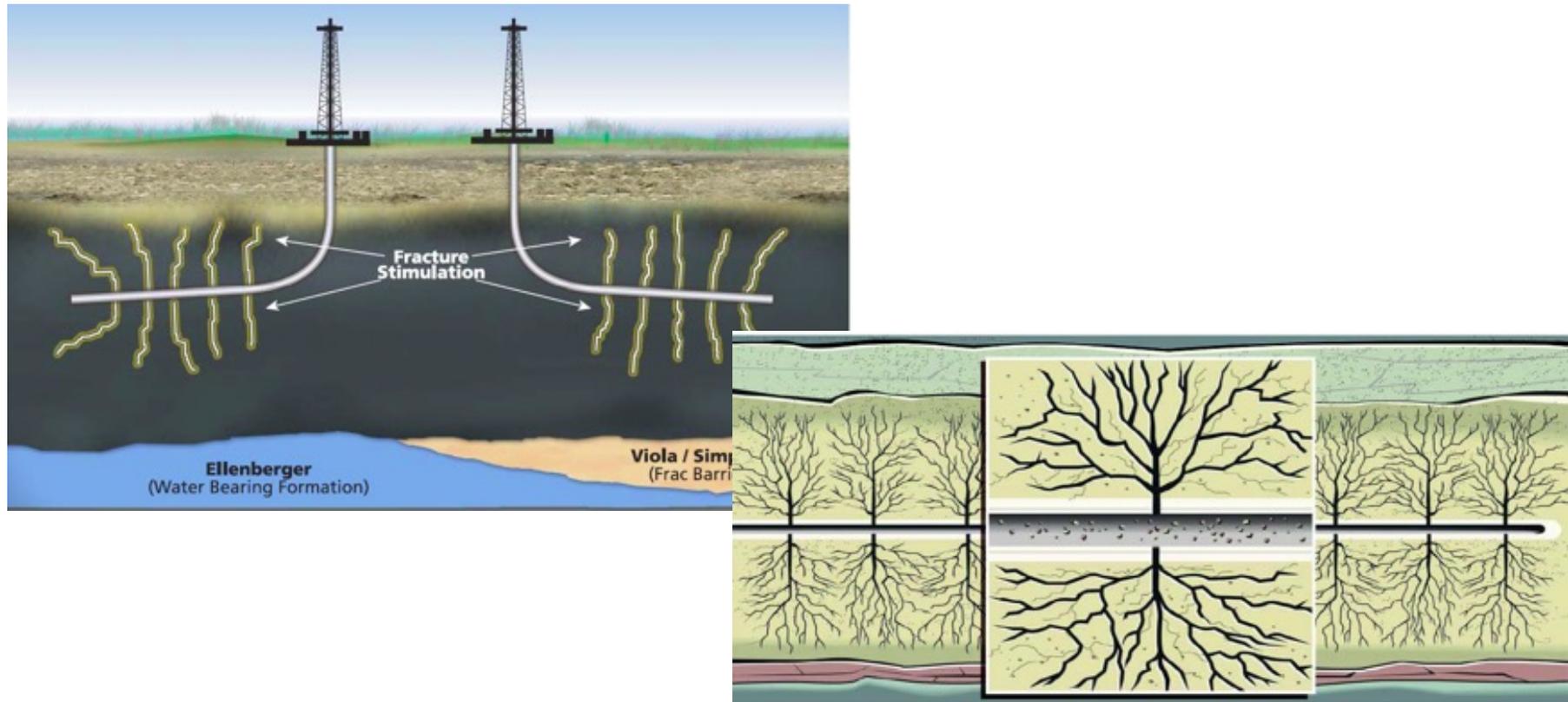
- 1930年代开始，有专家认识到页岩不只是烃源岩，还具有天然气储集能力。如Browning Iley B. (1932) Hunter C.D.和 D.M.Young (1953)，但是没有引起重视；
- 1970年代后30多年，美国政府组织研究解决资源评价、页岩储层描述、吸附气和游离气测量等重大问题；
- 70多年坚持不懈的基础地质研究为页岩气革命奠定了坚实的基础



# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油气革命——启示

### (2) 技术的进步是页岩油气成功的关键要素



### 水力压裂和水平井技术

从水平井中获得的最终采收率是直井的3倍，而费用只相当于直井的2倍。

转引自金之钧，2014

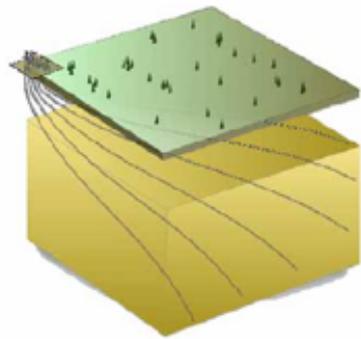
# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油气革命——启示

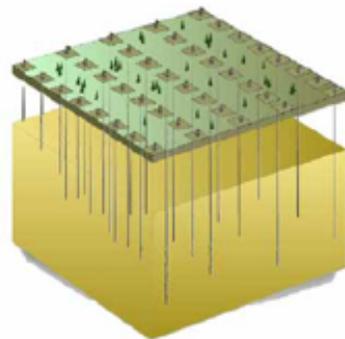
### (2) 技术的进步是页岩油气成功的关键要素

#### “多井平台”和“井工厂”的开发方式

The multi-well pad has significantly less disturbed area vs. the comparable vertical well scenario



6 Horizontal wells (8 fracs/well) = 48 total fracs per section



Same development would require 48 vertical wells each on a separate wellsite

Adapted from www.encana.com



多井平台与直井的比较

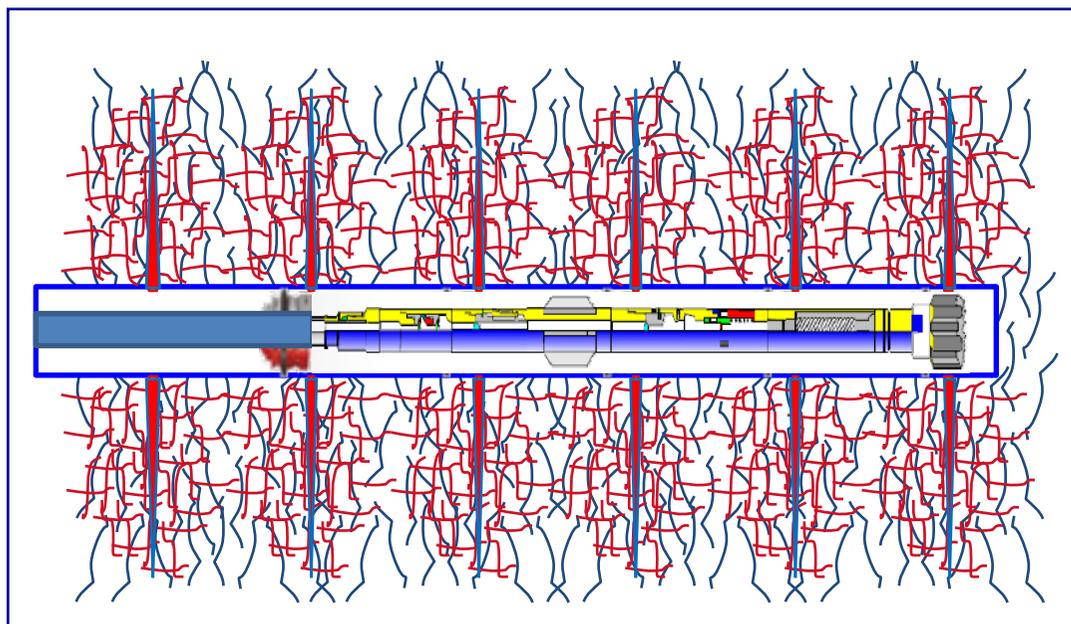
“井工厂”开采页岩气

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油气革命——启示

### (2) 技术的进步是页岩油气成功的关键要素

水平井多段水力压裂、重复压裂技术、新型压裂液技术、新型支撑剂等极大地提高了单井页岩气产量



页岩气水平井分段压裂模式

转引自金之钧, 2014

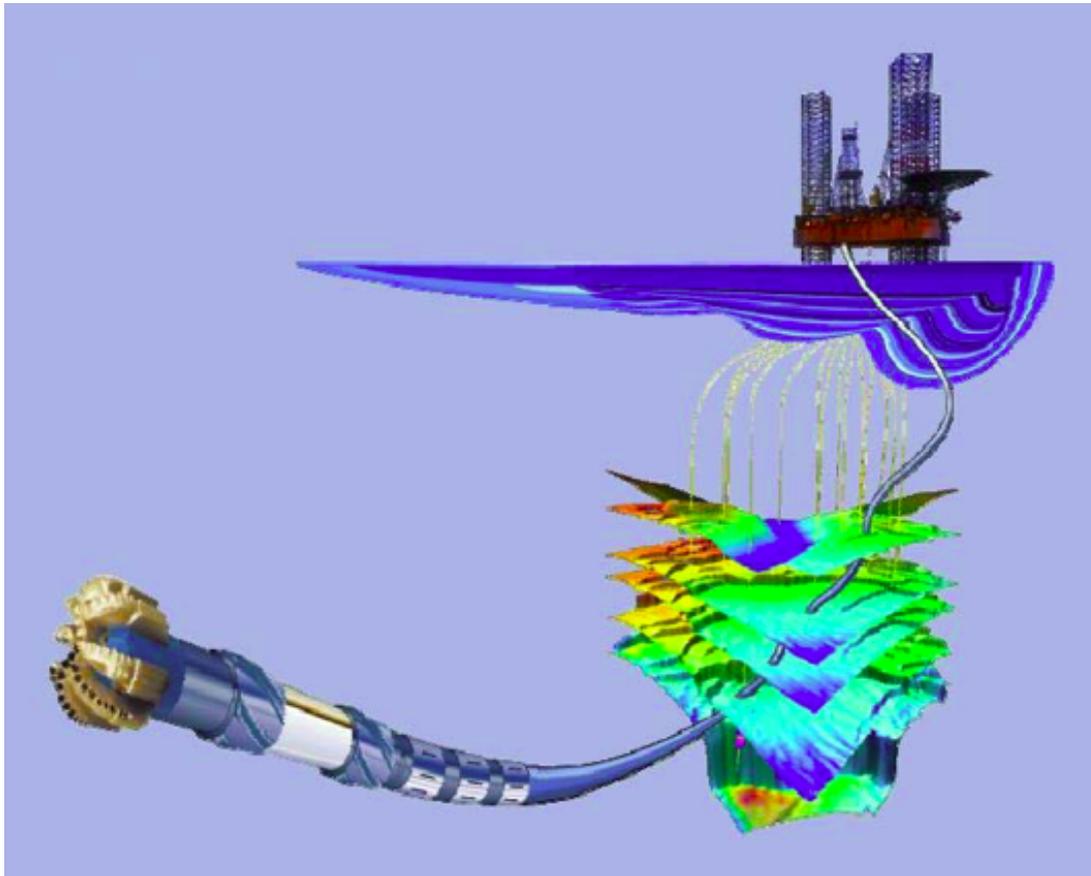


新型LPG无水压裂液施工现场

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油气革命——启示

### (2) 技术的进步是页岩油气成功的关键要素



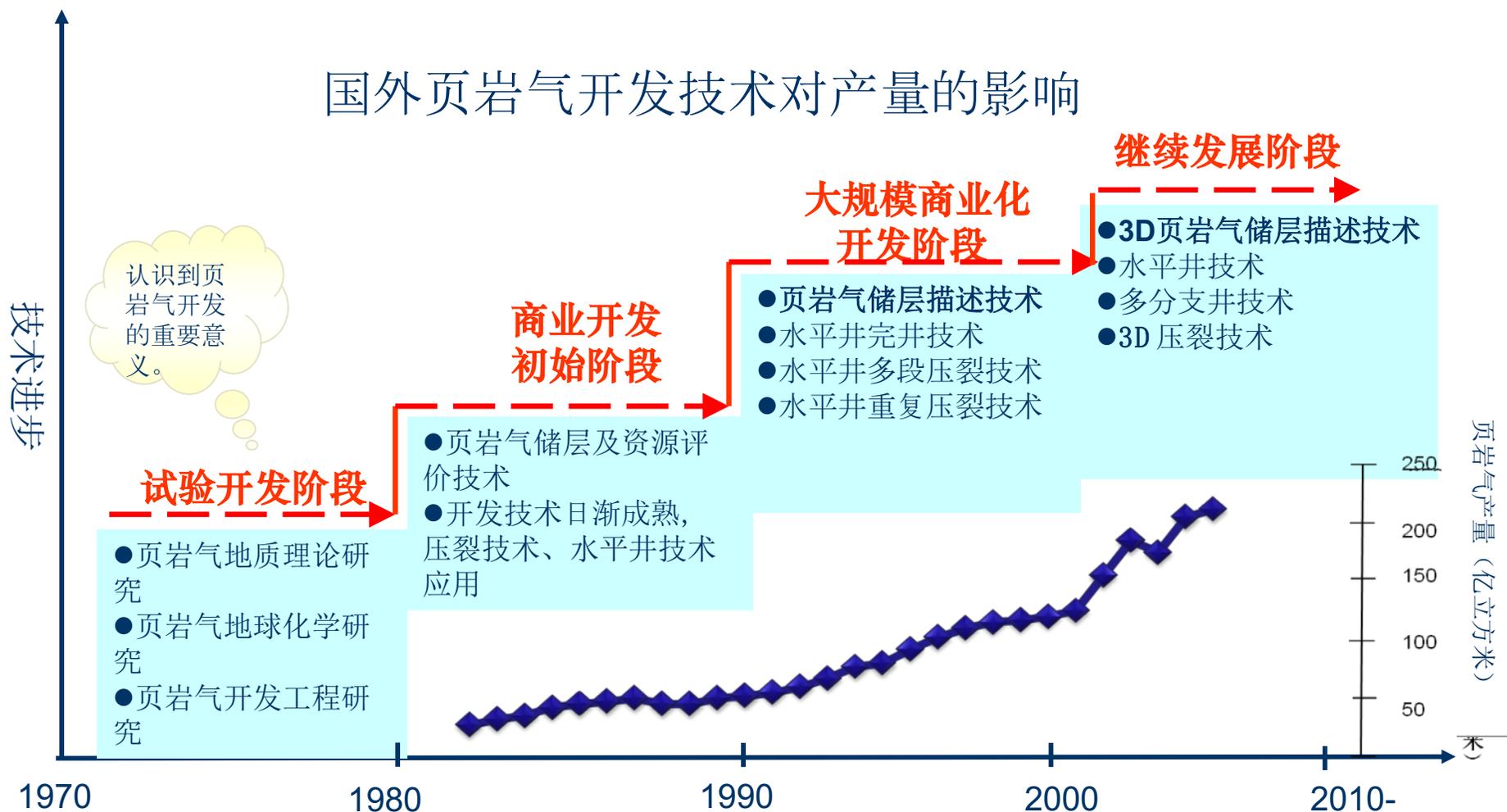
**RTGS—实时地质  
导向钻井和随钻成  
像测井系统**

**实时探测油藏边界，  
模拟测井响应与实  
时测井响应，对比  
实时模型校正，实  
时轨迹调整**

# 0引言——页岩(油)气的革命

## 1、美国的页岩油气革命——启示

### (2) 技术的进步是页岩油气成功的关键要素



转引自金之钧, 2014

# 非传统油气资源：页岩油气

---

## 0、引言——页岩油气革命

### 1、油气的生成与常规油气资源

### 2、非常规油气资源——页岩油气

### 3、中国页岩油气勘探与开发

### 4、秭归地区的页岩气勘探

# 1、油气的生成与常规油气资源

---

## 1.1 油气的生成

### (1) 石油的概念

石油(Oil): 以**液态**形式存在于地下**岩石孔隙**中的可燃有机矿产。成分上以**烃类**为主, 并含有非烃化合物及多种微量元素; 相态上以**液态**为主, 并溶有大量**烃气**和少量**非烃气**以及**固态物质**。石油的元素组成主要是C、H, 其次是S、N和O, 并含有几十种微量元素。

### (2) 天然气的概念

广义的天然气(Gas): 自然界中的一切气体。有大气、地表沉积物中气、沉积岩中的气、海洋中溶解气、变质岩中气、岩浆岩中气、地幔排出气、宇宙气。**狭义天然气**: 地壳上部各种天然气体, 主要是指有工业价值的以**烃类**为主的**气体**或**非烃类**气体。

# 1、油气的生成与常规油气资源

---

## 1.1 油气的生成——成油物质

有机成因说——油气起源于生命物质。

**沉积有机质：**通过沉积作用进入沉积物中并被埋藏下来的生物残留物质，它主要是生物的遗体也包括其生命过程的排泄物和分泌物。沉积有机质生化组成除水以外，主要有脂类、碳水化合物、蛋白质和木质素等4类。

生物有机质  沉积有机质（干酪根和沥青）

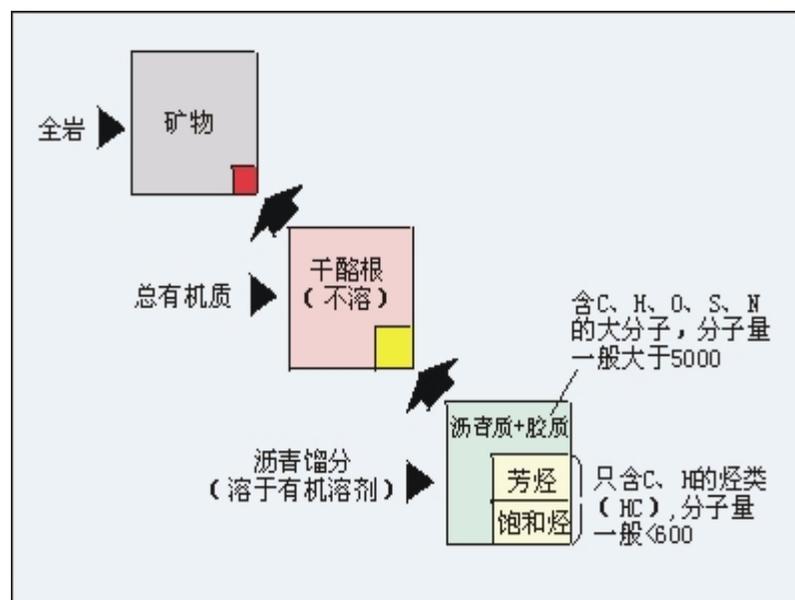
- 前寒武纪-泥盆纪：沉积有机质唯一来源是海洋浮游植物（藻类）和细菌；
- 泥盆纪之后：沉积有机质来源也包括高等植物，但贡献仍小。

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——成油物质

**干酪根 (kerogen)**：沉积岩中不溶于碱、非氧化型酸和有机溶剂的分散有机质。而沉积物中**未固结**的有机质以**腐殖酸**为主，它是沉积岩中干酪根的前身。

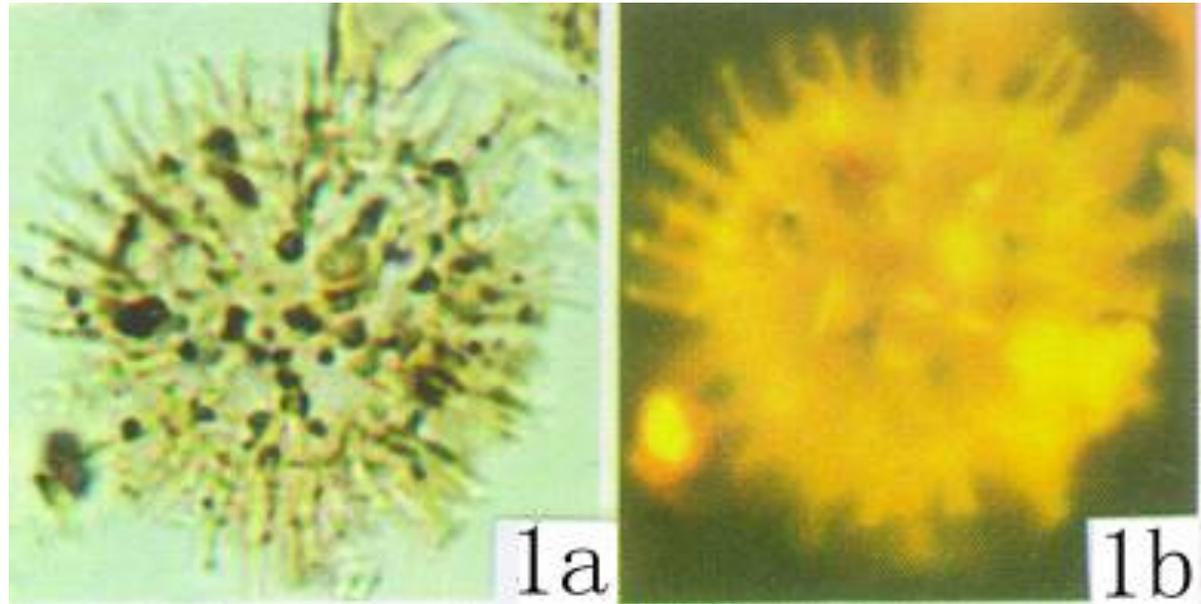
干酪根是有机碳存在的最重要的形式，占沉积岩中分散有机质总量的80~90；其余可溶于有机溶剂的部分叫可溶沥青，通常指氯仿抽提物，包括烃类、胶质和沥青质。抽提时温度常低于80℃。



# 1、油气的生成与常规油气资源

---

## 1.1 油气的生成——成油物质



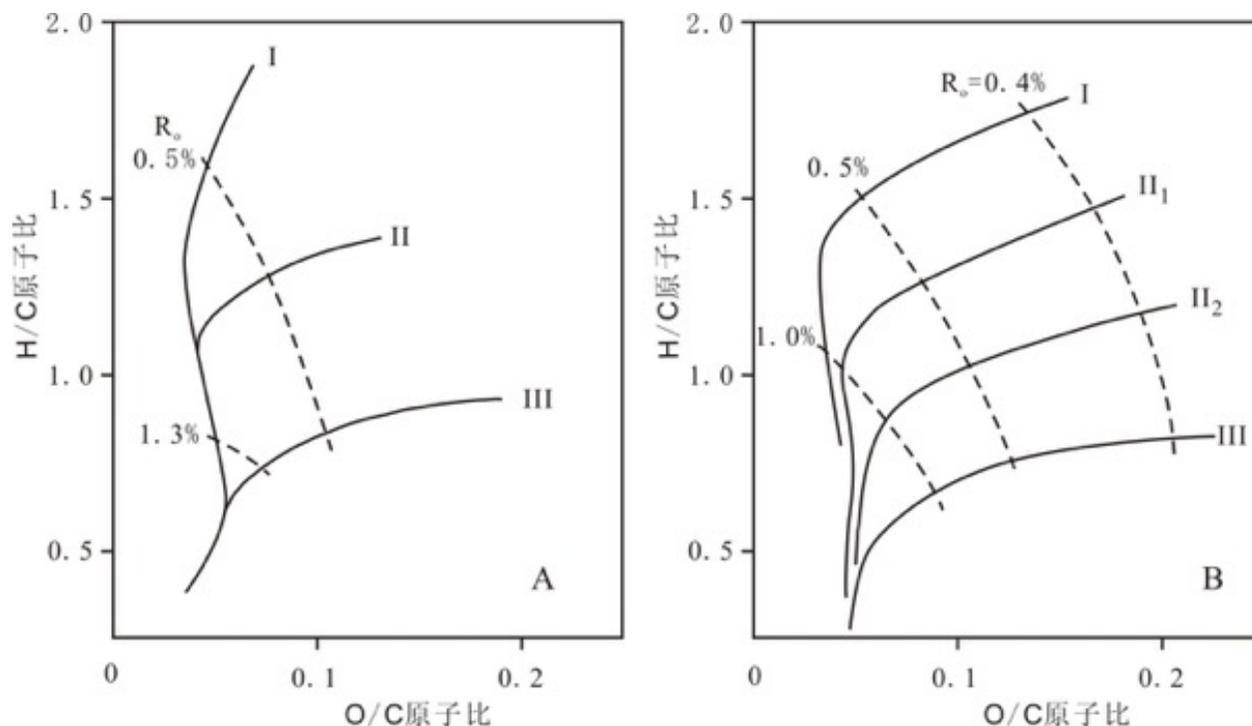
低等动植物(主要是水生浮游生物)  
是生成石油的主要母质。

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——有机质的类型

Tissot (1974)根据元素分析采用H/C和O/C原子比绘制相关图即范氏图将干酪根分为3大类：I型为藻质型，II型为腐泥型，III型为腐殖型；另外，IV型为残余型。

我国学者将干酪根类型划分为I型为腐泥型，II型为混合型，进一步分为II<sub>1</sub>型腐殖腐泥型和II<sub>2</sub>型腐泥腐殖型，III型为腐殖型。



有机质的类型不同，其生烃潜力及产物是有差异的。一般认为I型干酪根生烃潜力最大，且生油为主，III型生烃潜力最差，且以生气为主，II型介于两者之间。

干酪根类型及其演化模式图（A据Tissot, 1974；B据秦建中, 2005）

# 1、油气的生成与常规油气资源

---

## 1.1 油气的生成——有机质的热演化(成熟度)

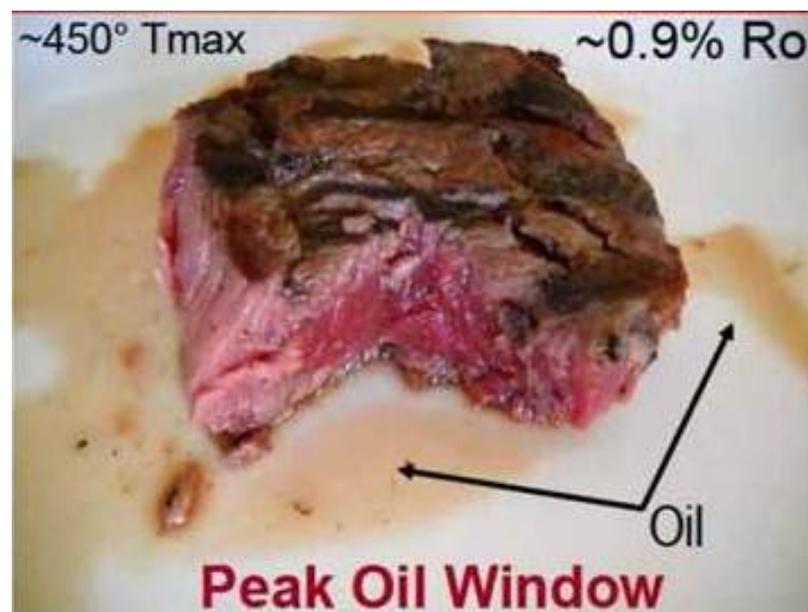
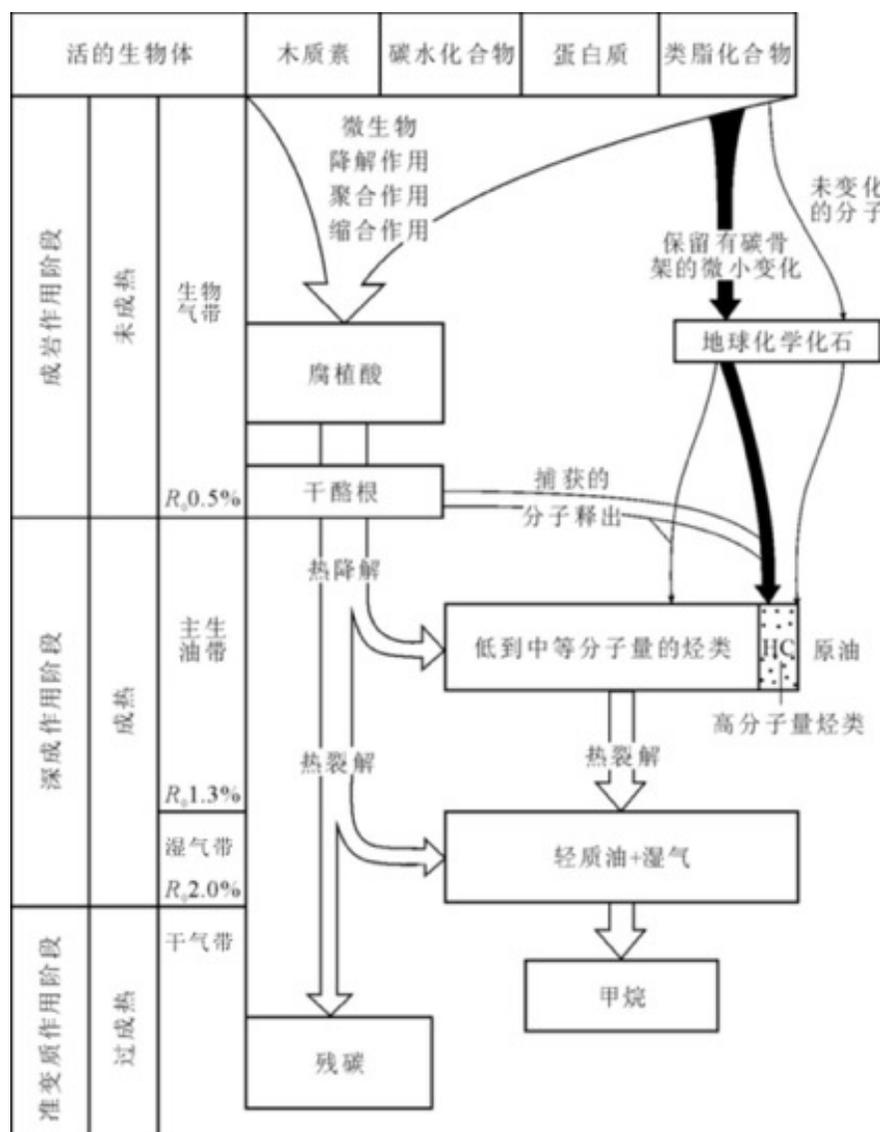
**有机质的成熟度：**是指在温度的作用下有机质的热演化程度。有机质的成熟度可以通过一系列的指标来衡量，目前常用的指标是镜质体反射率（ $R_o\%$ ）。

**镜质体 (Vitrinite)**是有机质的一种显微组分，它主要是植物的茎、叶和木质纤维素经过凝胶化作用而形成的。随着镜质体演化程度的增加，其反射光的能力增强。镜质体反射光的能力用镜质体的油浸反射率表示，常用符号为 $R_o$  (Reflectance in oil)。

根据有机质镜质体反射率的大小，一般将有机质的演化过程划分为四个阶段：**未成熟阶段、成熟阶段、高成熟阶段和过成熟阶段。**

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——有机质的热演化



# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——烃源岩

广义的烃源岩：指具有生烃能力的沉积岩。在地质历史中生成并排除石油和天然气的岩石称为**有效烃源岩**。

烃源岩一般是粒细、色暗、富含有机质和微体生物化石的岩石，其中常含原生分散状黄铁矿和游离沥青质。常见的烃源岩主要是**泥质岩类烃源岩、碳酸盐岩类烃源岩和煤系烃源岩**。

	页岩	碳酸盐	砂岩
有机碳平均含量 (Hunt)	2.1%	0.29%	0.05%
占沉积岩总体积 (Weeks)	50%	16%	34%
占沉积岩有机碳总量 (Dickins)	95%		

# 1、油气的生成与常规油气资源

---

## 1.1 油气的生成——烃源岩



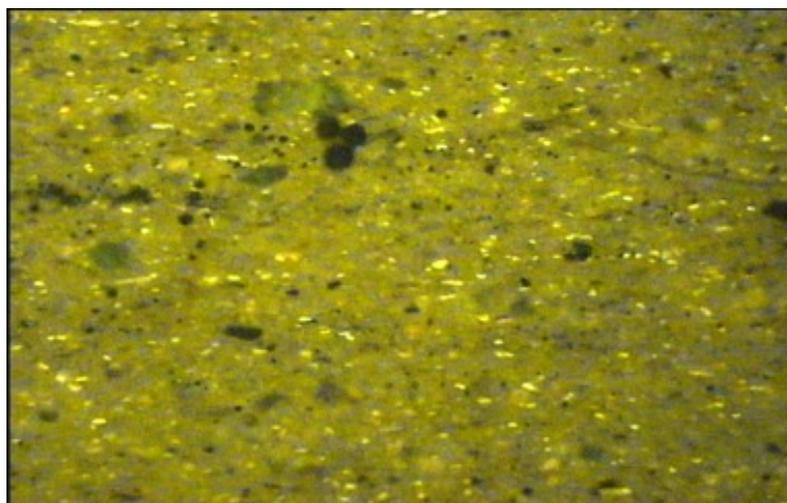
陡山沱组四段黑色碳质页岩——烃源岩

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——烃源岩



有机质富集层



分散有机质

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——烃源岩的评价

- 1、有机质的数量（有机质丰度TOC%）
- 2、有机质的类型（I、II、III、IV型）
- 3、有机质的成熟度（Ro%）

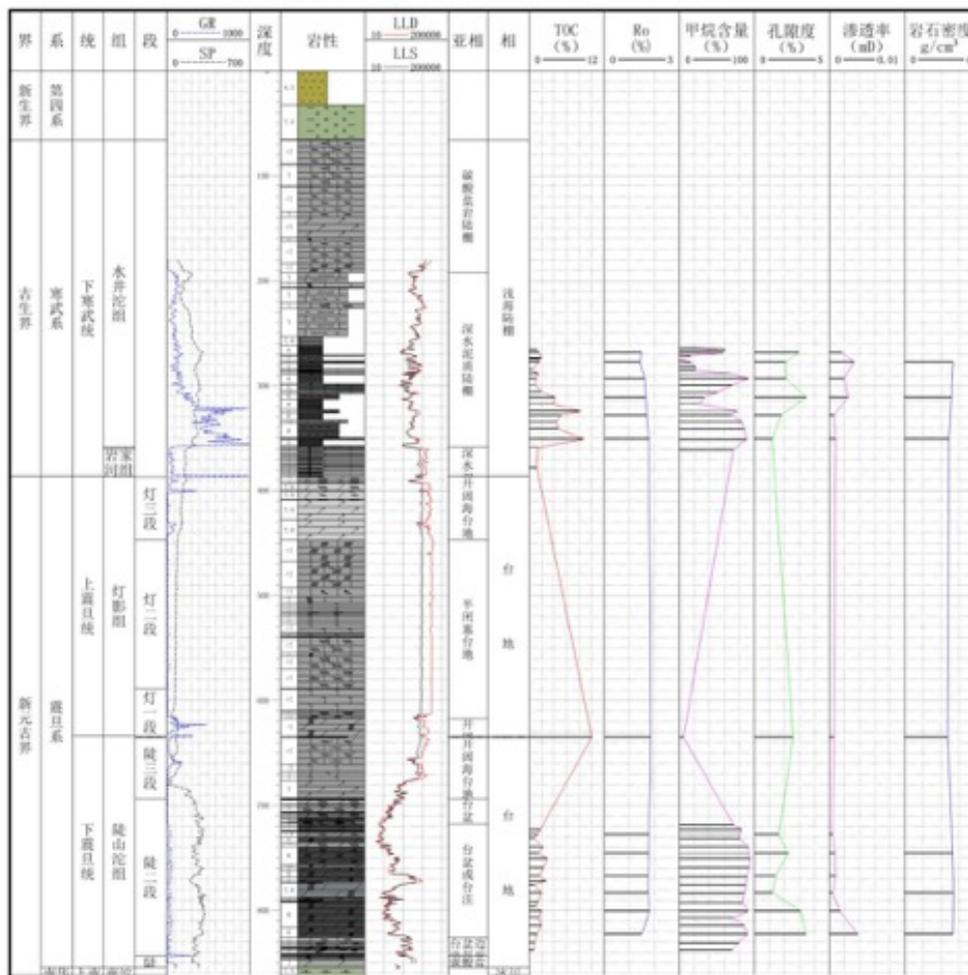
表 4-13 中国陆相湖泊泥质烃源岩有机质丰度标准(据胡见义等,1991;黄第藩等,1991;秦建中等,2005)

演化阶段	烃源岩级别 评价参数	干酪根类型	很好烃源岩	好烃源岩	中等烃源岩	差烃源岩	非烃源岩
未成熟   低成熟	有机质类型		富烃腐泥型	腐泥型	中间型	腐殖型	腐殖型
	H/C 原子比		1.5~1.7	1.3~1.5	1.0~1.3	0.5~1.0	0.5~0.7
	TOC/%	I - II <sub>1</sub>	>2.0	1.0~2.0	0.5~1.0	0.3~0.5	<0.3
		II <sub>2</sub> - III	>4.0	2.5~4.0	1.0~2.5	0.5~1.0	<0.5
	沥青“A”/%		>0.25	0.15~0.25	0.05~0.15	0.03~0.05	<0.03
	总烃(HC)/10 <sup>-6</sup>		>1 000	500~1 000	150~500	50~150	<50
S <sub>1</sub> + S <sub>2</sub> /mg · g <sup>-1</sup>		>10	5.0~10	2.0~5.0	0.5~2.0	<0.5	
成熟   过成熟	TOC/%	I - II <sub>1</sub>	>1.2	0.8~1.2	0.4~0.8	0.2~0.4	<0.2
		II <sub>2</sub> - III	>3.0	1.5~3.0	0.6~1.5	0.35~0.6	<0.35

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——烃源岩的评价

ZD1井页岩气地质综合柱状图（教学用图）



水井沱组 ( $\in 2s$ )：富有机质泥页岩，总计厚度115.08m。有机碳 (TOC) 为0.53~8.72%，均值为2.95%；热演化程度 ( $R_o$ ) 1.43~1.79%，均值为1.61%。

陡山沱组 ( $Z_2d$ )：富有机质泥页岩集中分布于陡四段、陡二段，总计厚度110.24m。有机碳 (TOC) 为0.72~2.91%，均值为1.63%；热演化程度 ( $R_o$ ) 为1.49~1.86%，均值为1.74%。

乔家坪秭地1井烃源岩指标

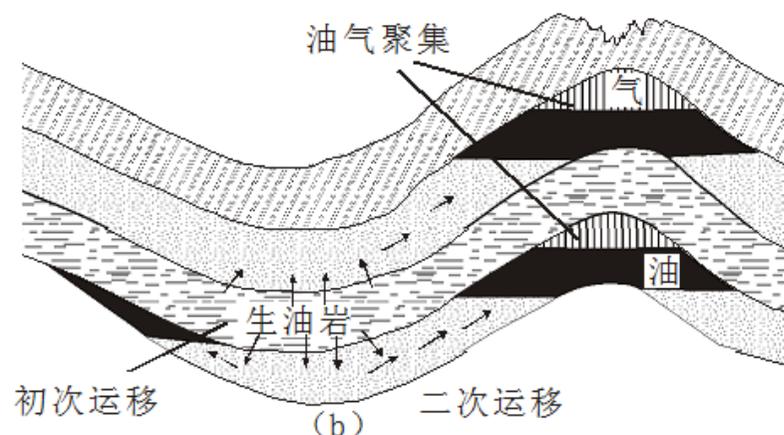
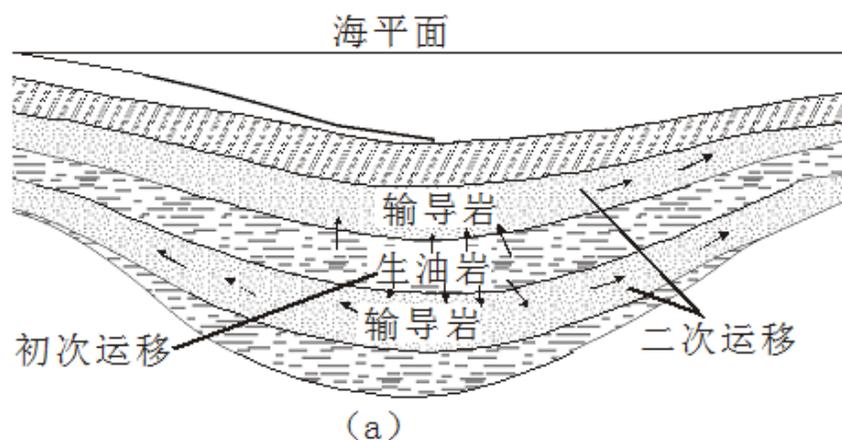
# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——油气运移

油气在地下的一切运动称为油气的运移。

**初次运移**——油气从烃源岩向储集层的排出（或运移）。

**二次运移**——油气进入储集层以后的一切运移。二次运移包括了成藏前油气在储层或输导层内的运移，也包括了油气藏破坏后的运移。



暗示：烃源岩生成的油气有的运移出去了，有的没有运移出去

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——储集岩（层）

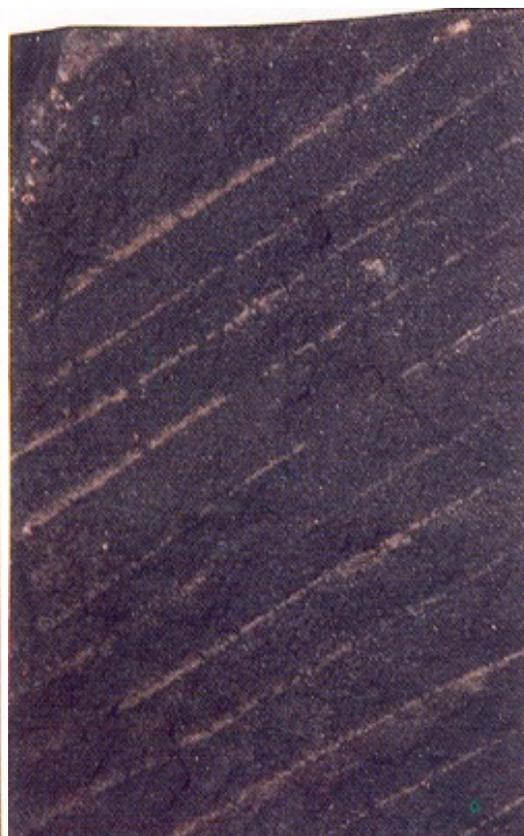
储集层：具连通孔隙，能使流体储存并在其中渗滤的岩层。



轻质油  
相对密度 $\leq 0.87$



中质油  
 $0.87 < \text{相对密度} \leq 0.90$



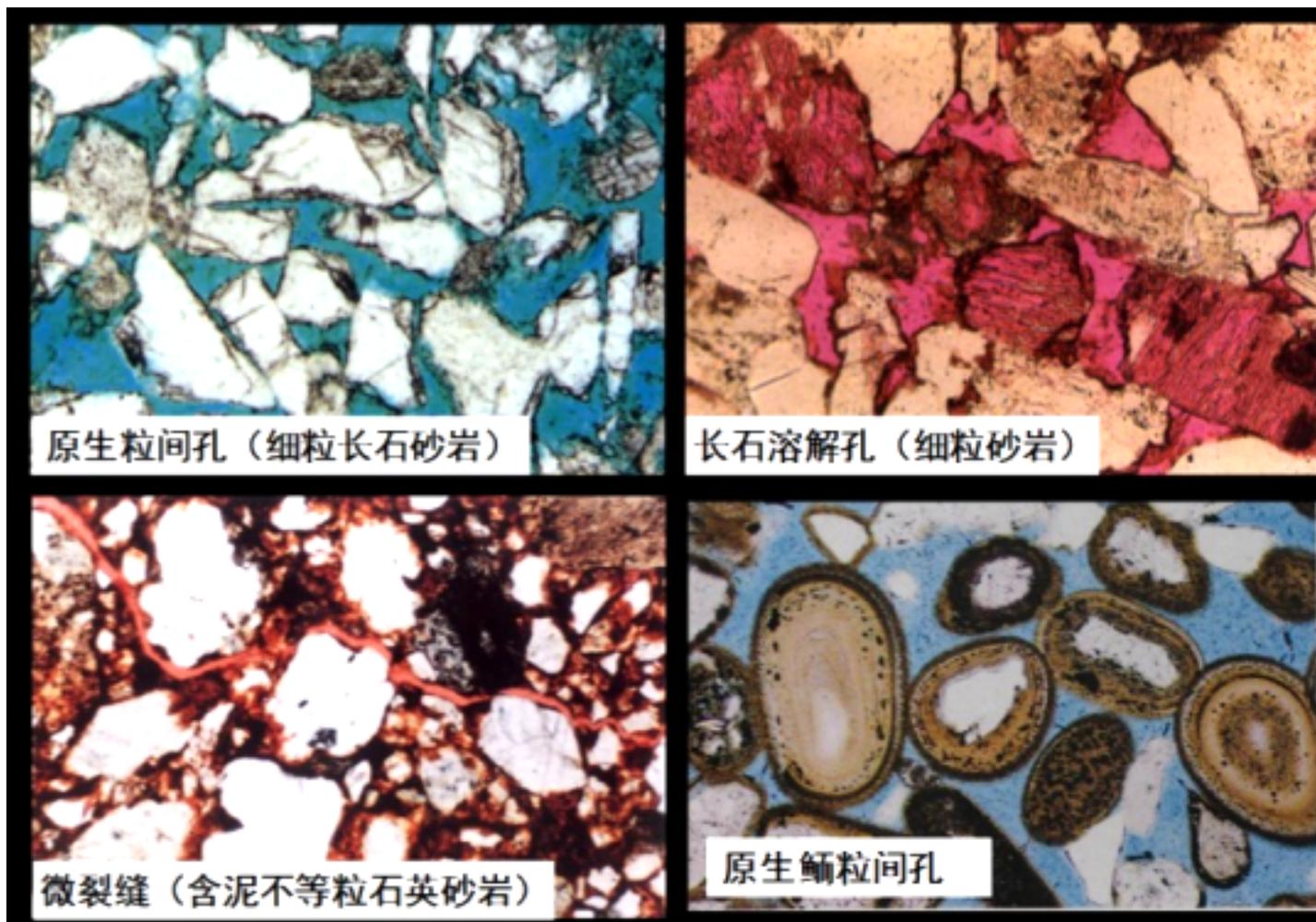
重质油  
 $0.90 < \text{相对密度} \leq 0.934$



稠油  
 $0.934 < \text{相对密度}$ ，地面粘度 $> 100 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——储集岩（层）——多孔介质

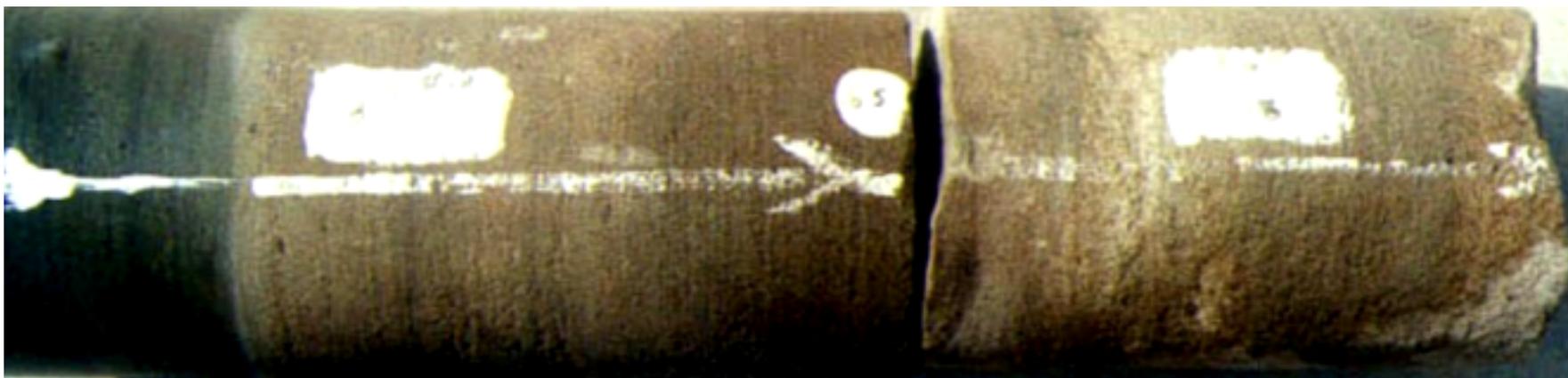


常规油气——页岩不是储集层（页岩孔隙会怎样？）

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.1 油气的生成——封闭层或盖层

**盖层**：位于储集层四周，能够阻止油气逸散的**岩层或断层**等。



- 1、**泥岩盖层**：各种粘土岩（泥岩和页岩）。
- 2、**蒸发岩盖层**：石膏和硬石膏、盐岩等类岩石。
- 3、**致密碳酸盐岩盖层（灰岩）**：如亮晶灰岩。
- 4、**其它岩类盖层**：如火山岩。



# 1、油气的生成与常规油气资源

---

## 1.1 油气的生成——圈闭和油气藏

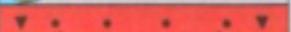
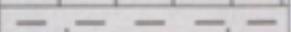
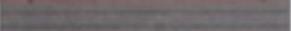


背斜是一种常见简单的聚油构造  
长阳白氏桥背斜

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.2 常规与非常规油气资源

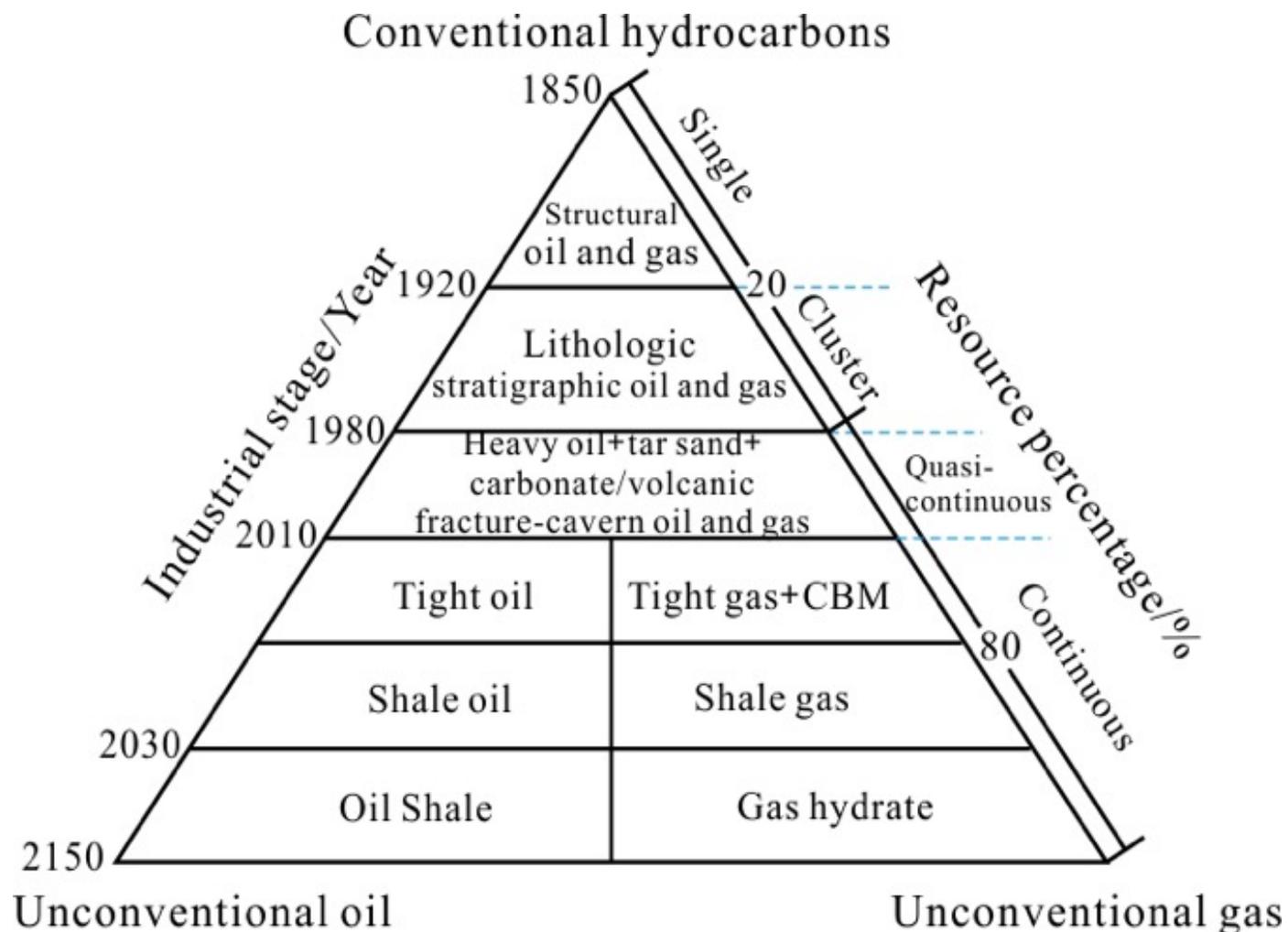
20世纪70年代初，美国大多数勘探地质学家将不太经济或边界经济的油气资源视为非常规资源（Law & Curtis,2000）常规含油气系统属于构造或地层圈闭中因浮力驱动所形成的油气聚集，而多数非常规含油气系统的形成不受水柱影响，期分布不受构造或地层圈闭约束。

资源类型	分布特征	聚集类型	聚集形态	聚集机理	聚集方式	资源比例	关键技术	实例	
常规油气	单体型	构造油气藏		远源浮力	常规圈闭	20%±	二维或三维地震 直井或水平井	松辽盆地长垣白垩系	
	集群型	岩性、地层油气藏						准噶尔盆地西北缘侏罗系	
非常规油气	准连续型	油砂+重油		近源压差	非常规储层	80%±	三维地震 微地震监测	辽河西斜坡新近系	
		变质岩油气						松辽盆地白垩系	
		火山岩油气						塔里木盆地奥陶系	
		碳酸盐岩缝洞油气							
	连续型	致密油					源内滞留	水平井“体积”压裂 平台式“工厂化”开采	鄂尔多斯盆地三叠系
		页岩油							鄂尔多斯盆地石炭-二叠系
	致密气				四川盆地寒武-奥陶系				
	煤层气								
	页岩气								

油气资源类型与聚集方式（据邹才能等，2013）

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.2 常规与非常规油气资源

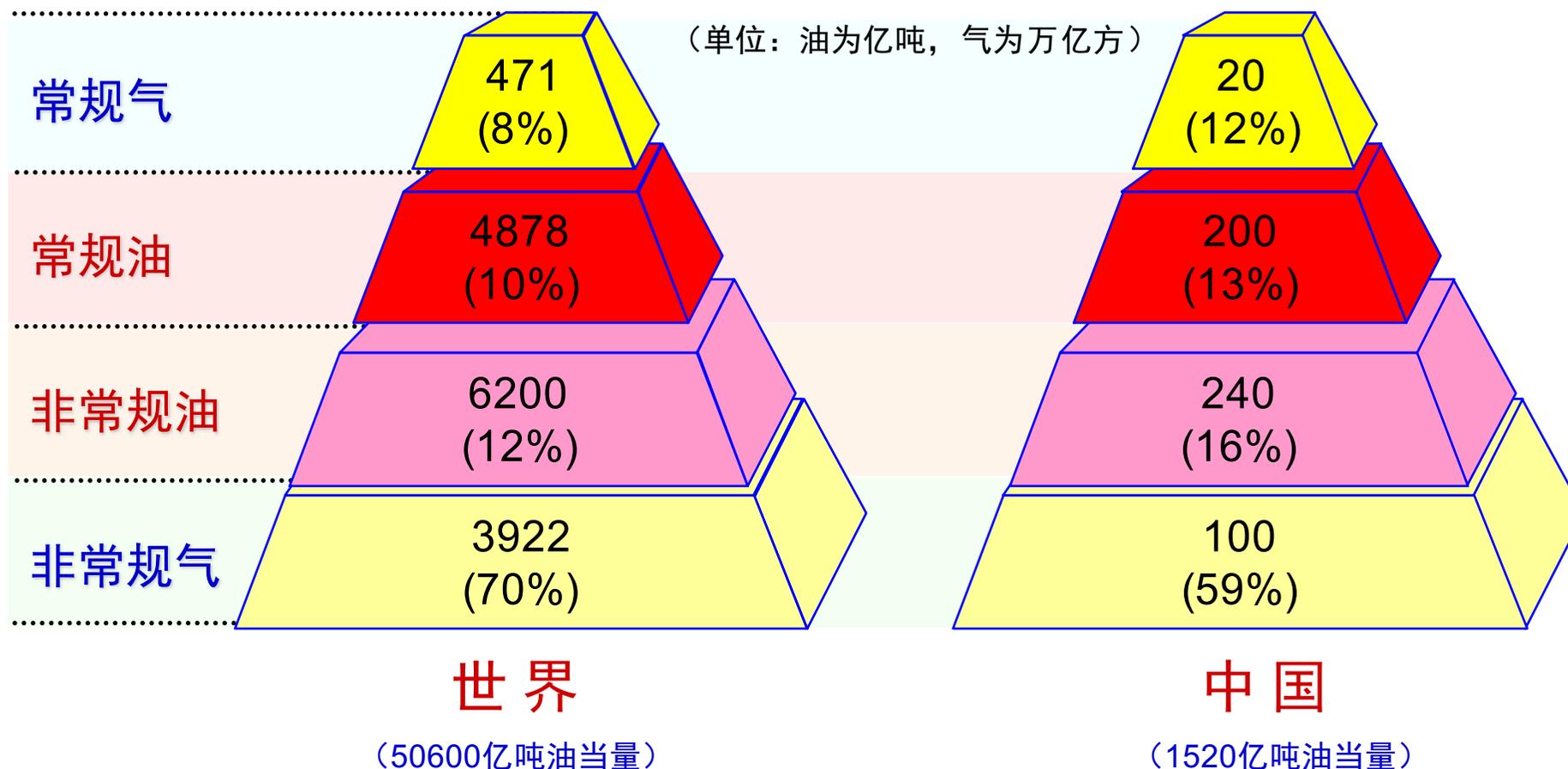


油气资源三角形据Stephen A. Sonnenberg, 2011

# 1、油气的生成与常规油气资源

## 1.2 常规与非常规油气资源

非常规与常规油气资源比例大约 8 : 2（据邹才能）



## 2、非常规油气资源——页岩油气

---

### 1.2 页岩油气的概念

2011年12月页岩气被国务院批准为新发现矿种。

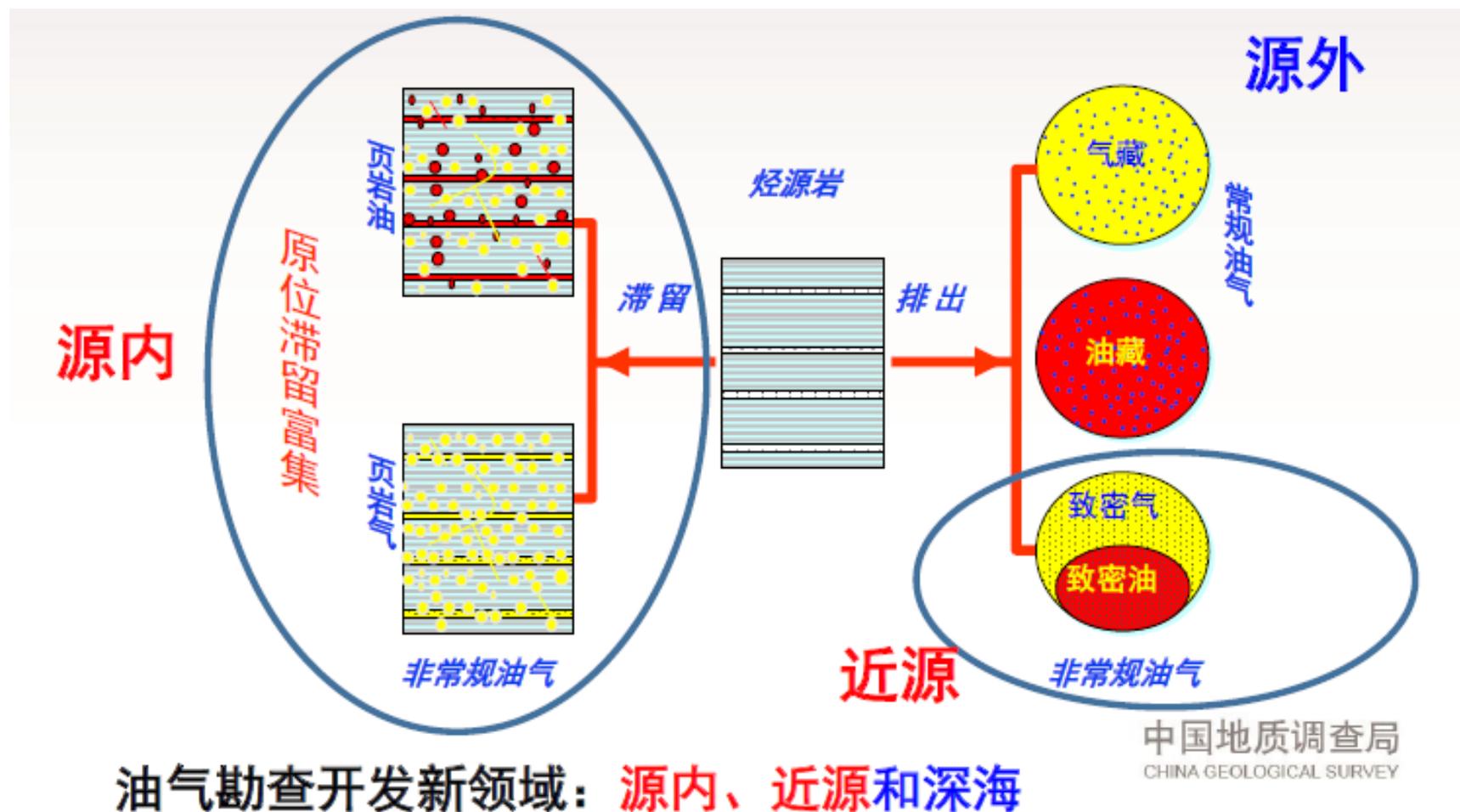
**页岩气 (Shale Gas)** 是指赋存于富有机质泥页岩及其粉砂岩、碳酸盐岩等夹层中，以吸附和游离状态为主要存在方式的烃类气体。

页岩气为烃源岩层系内油气资源，为源岩滞留油气。

**页岩油 (Shale Oil)**：是指赋存于渗透率极低的暗色泥页岩与泥质粉砂岩、砂岩、碳酸盐夹层系统中的自生自储、连续分布的石油聚集。

## 2、非常规油气资源——页岩油气

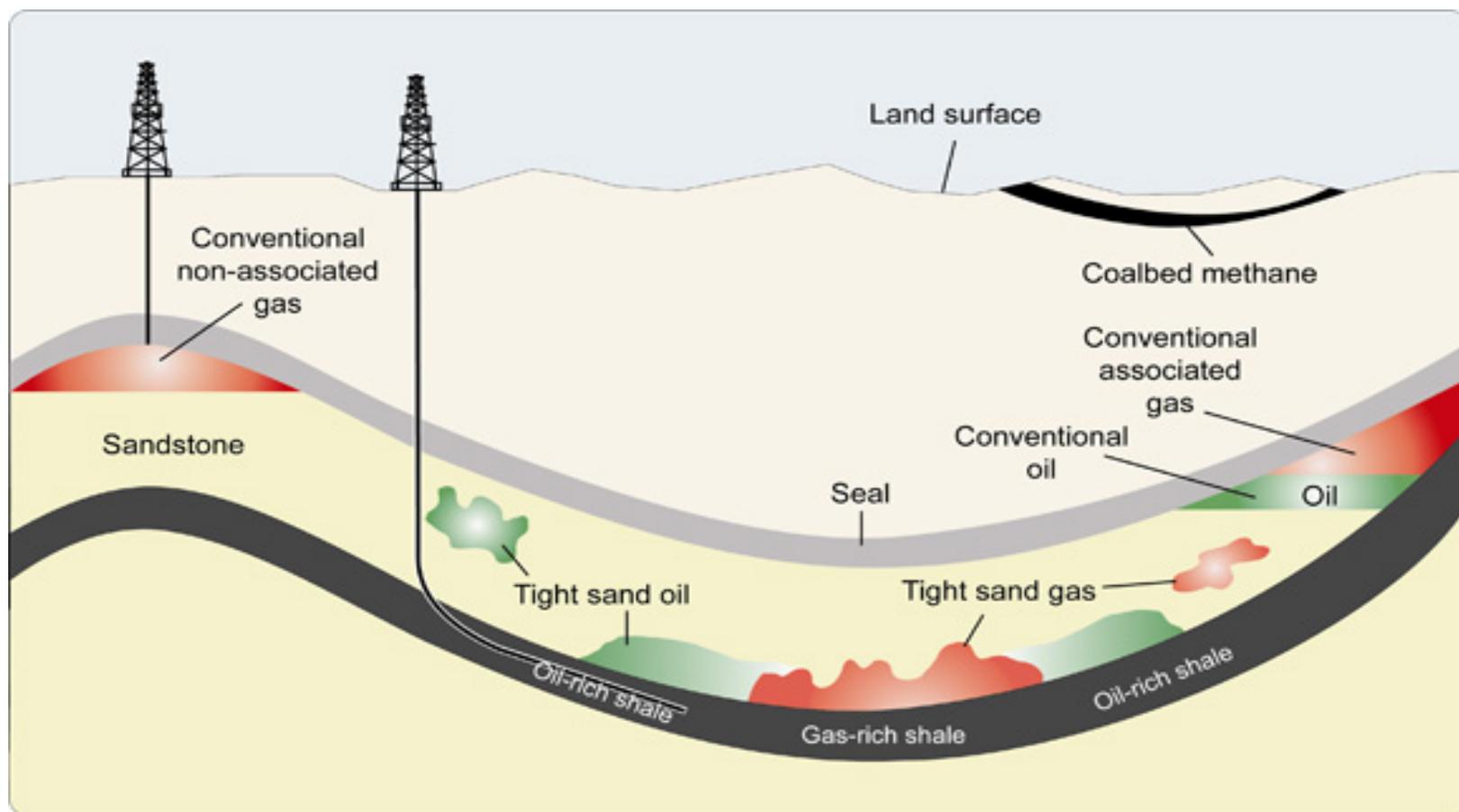
### 1.2 页岩油气的特征——（1）自生自储含油气系统



转引自包书景，2016

## 2、非常规油气资源) ——页岩油气

### 1.2 页岩油气的特征—— (2) 大面积连续分布



常规油气、致密及页岩油气关系示意图 (NEB, 2012.02)

## 2、非常规油气资源) ——页岩油气

### 1.2 页岩油气的特征—— (3) 超低孔超低渗

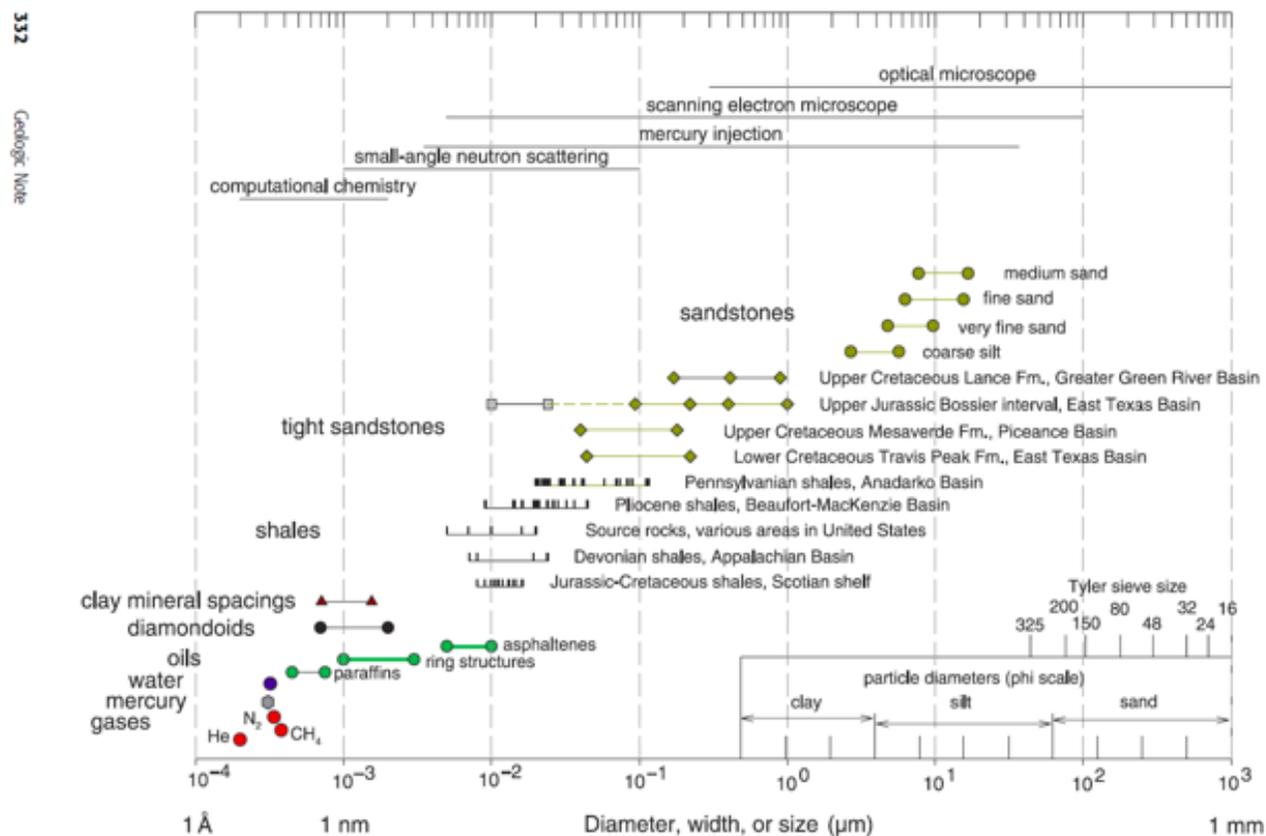


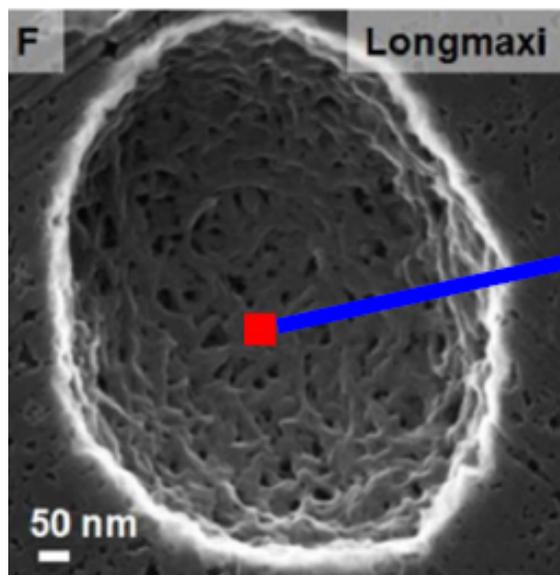
Figure 2. Sizes of molecules and pore throats in siliciclastic rocks on a logarithmic scale covering seven orders of magnitude. Measurement methods are shown at the top of the graph, and scales used for solid particles are shown at the lower right. The symbols show pore-throat sizes for four sandstones, four tight sandstones, and five shales. Ranges of clay mineral spacings, diamondoids, and three oils, and molecular diameters of water, mercury, and three gases are also shown. The sources of data and measurement methods for each sample set are discussed in the text.

非常规储层以纳米孔吼为主，页岩气5-200nm，页岩油30-400nm，致密灰岩40-500nm，致密砂岩50-900nm

## 2、非常规油气资源) ——页岩油气

### 1.2 页岩油气的特征—— (3) 超低孔超低渗

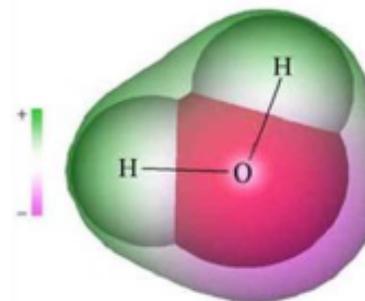
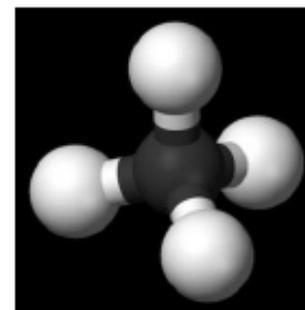
纳米尺度的有机质孔隙，是页岩气赋存的主要空间



容纳

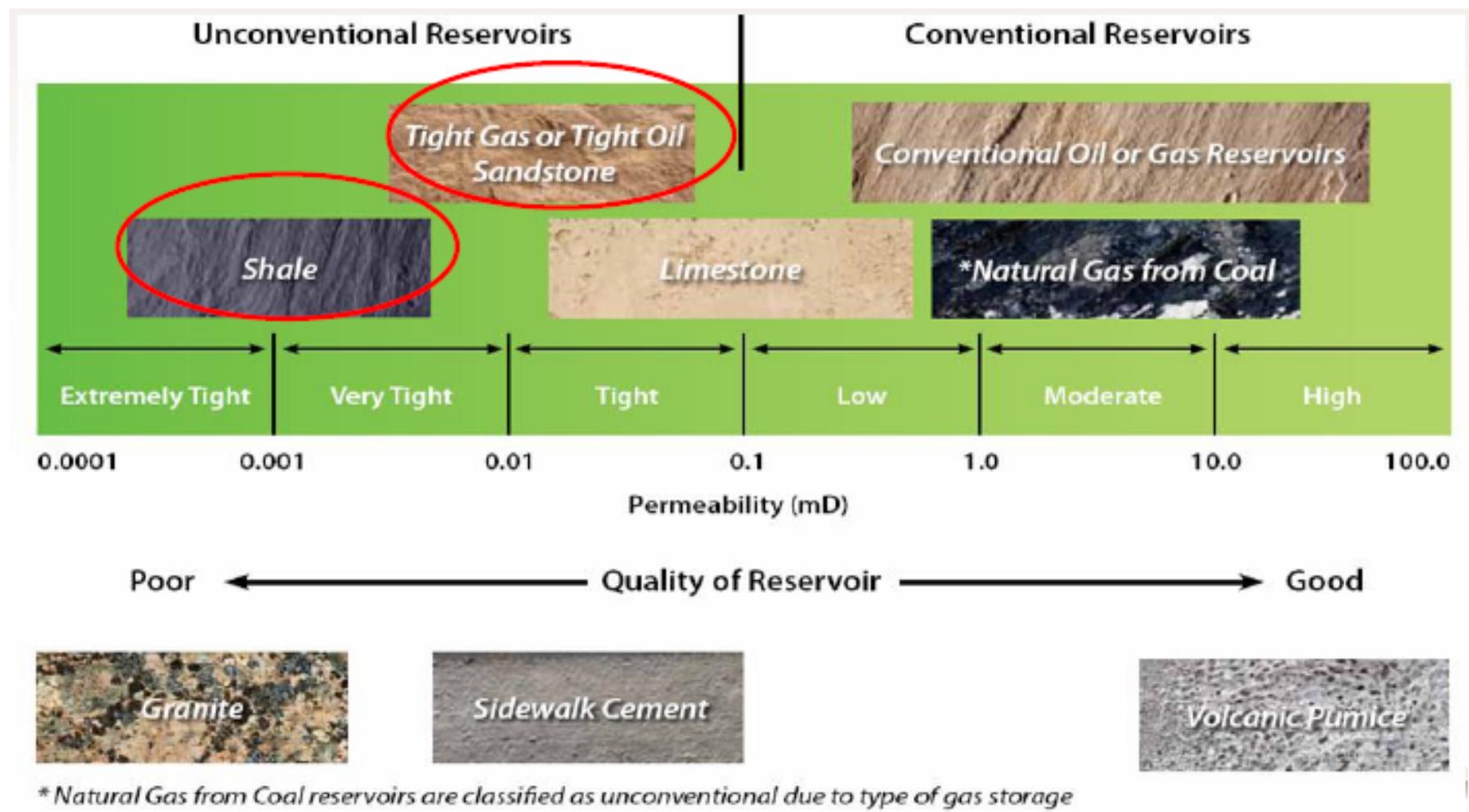
15625个  
甲烷分子

14641个  
水分子



## 2、非常规油气资源) ——页岩油气

### 1.2 页岩油气的特征—— (3) 超低孔超低渗



## 2、非常规油气资源) ——页岩油气

### 1.2 页岩油气的特征—— (3) 超低孔超低渗

美国商业开采的页岩气藏要么天然裂缝发育、要么需要压裂，因此裂缝的发育程度应是页岩气藏产能的主控因素之一。运移通道、储集空间。

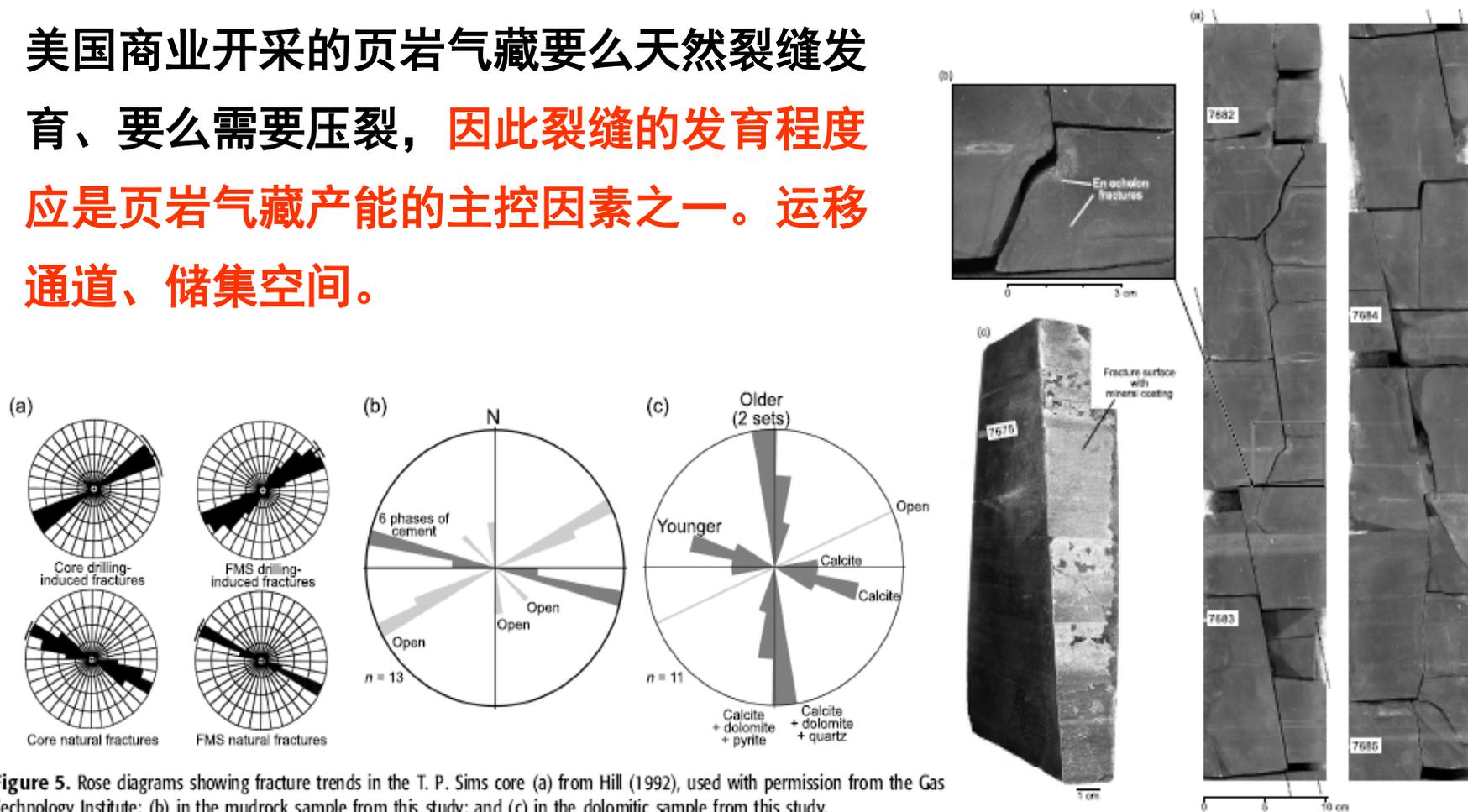
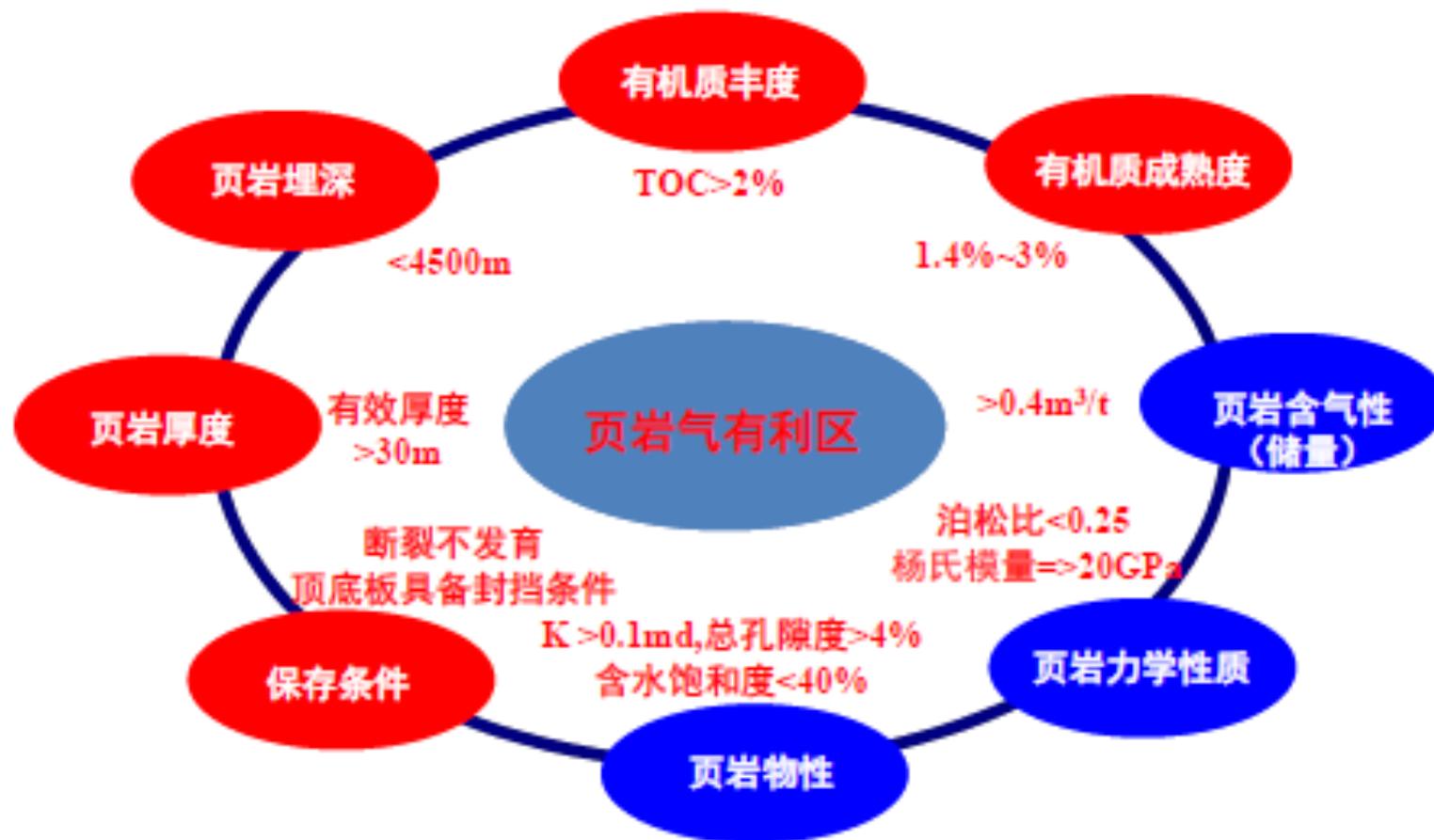


Figure 5. Rose diagrams showing fracture trends in the T. P. Sims core (a) from Hill (1992), used with permission from the Gas Technology Institute; (b) in the mudrock sample from this study; and (c) in the dolomitic sample from this study.

转引自包书景, 2016

## 2、非常规油气资源——页岩油气

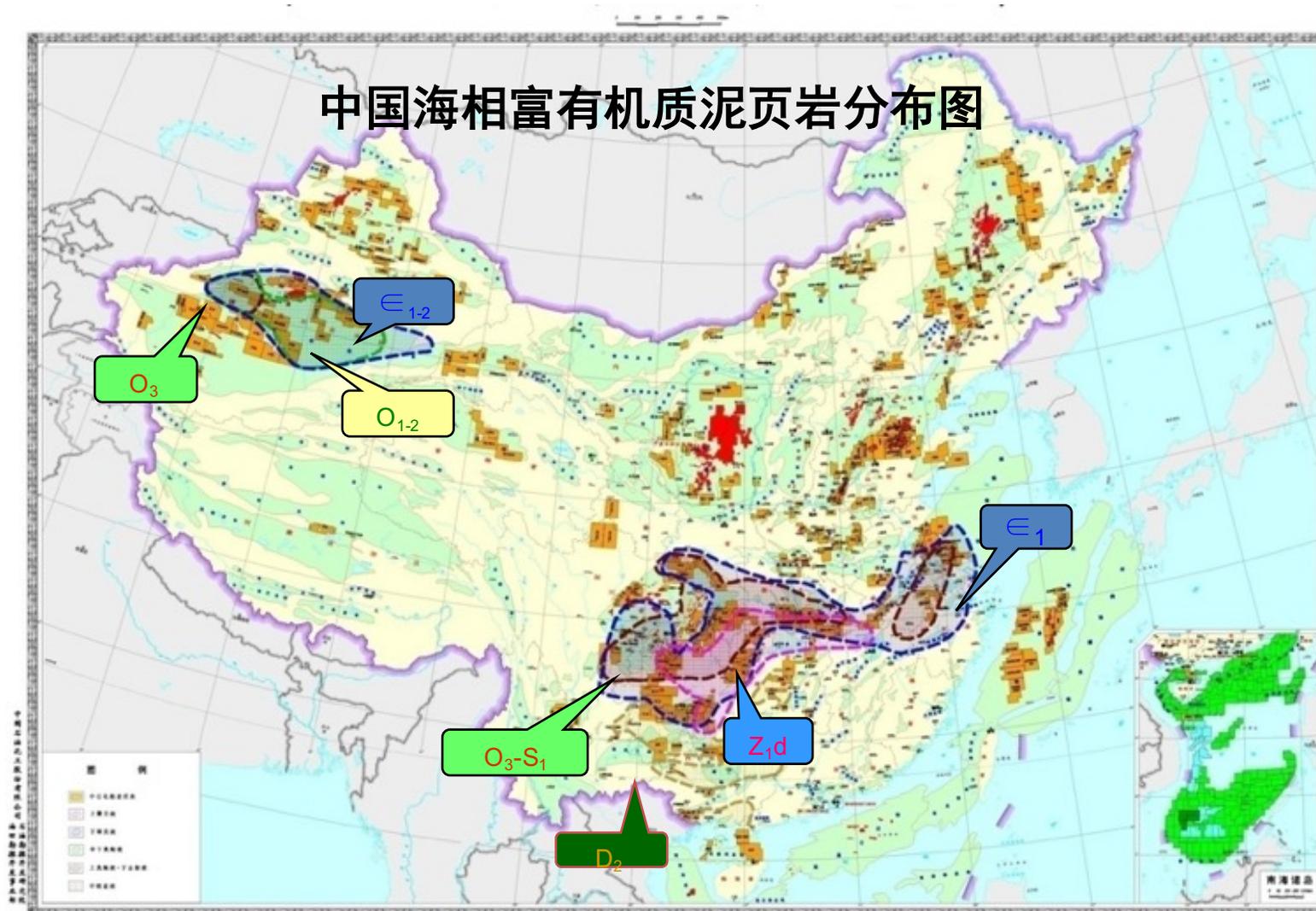
### 1.2 页岩油气的评价



据《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》(国土资源部, 2014.04.17)

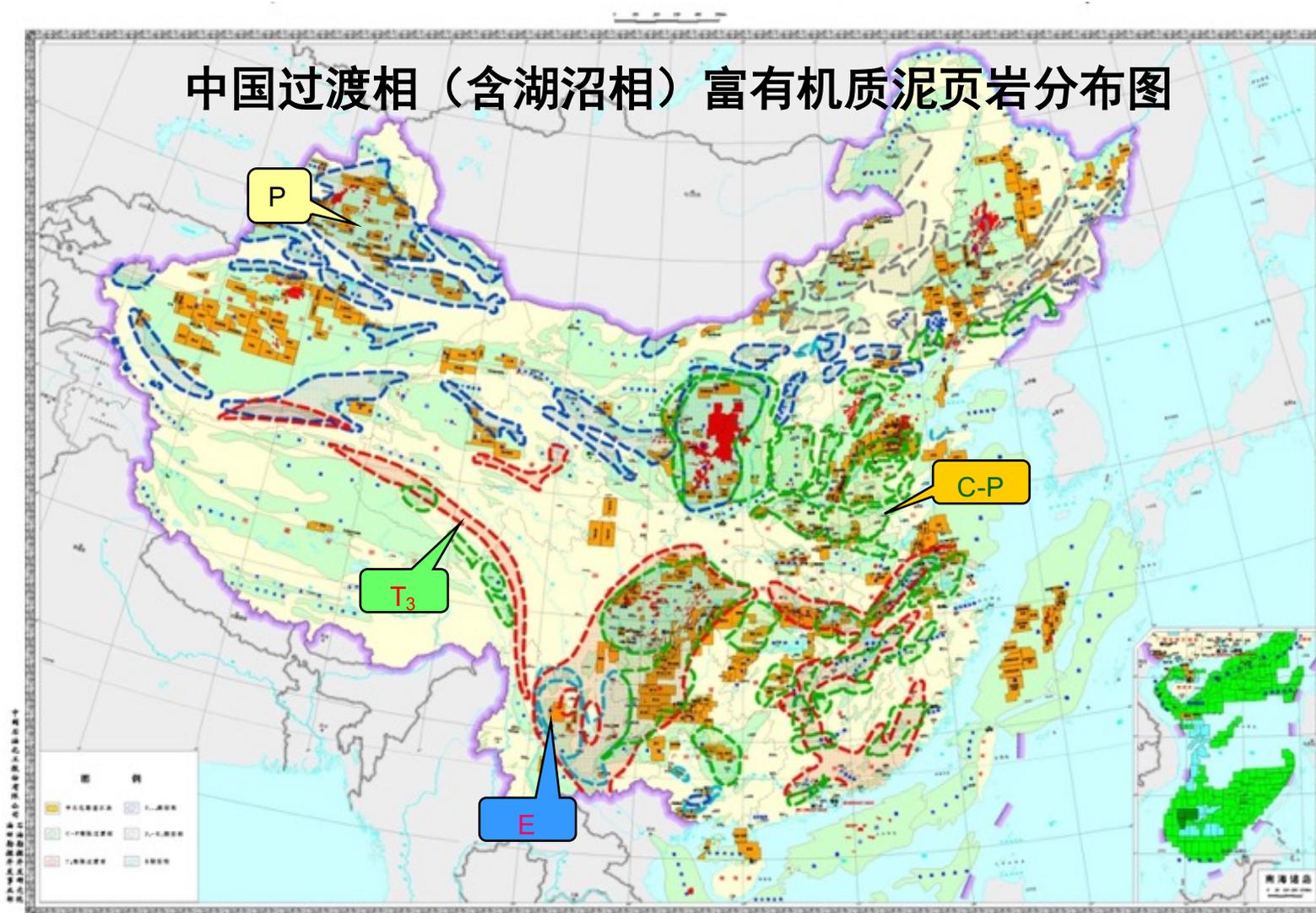
## 2、非常规油气资源——页岩油气

### 1.2 中国页岩油气勘探现状



## 2、非常规油气资源——页岩油气

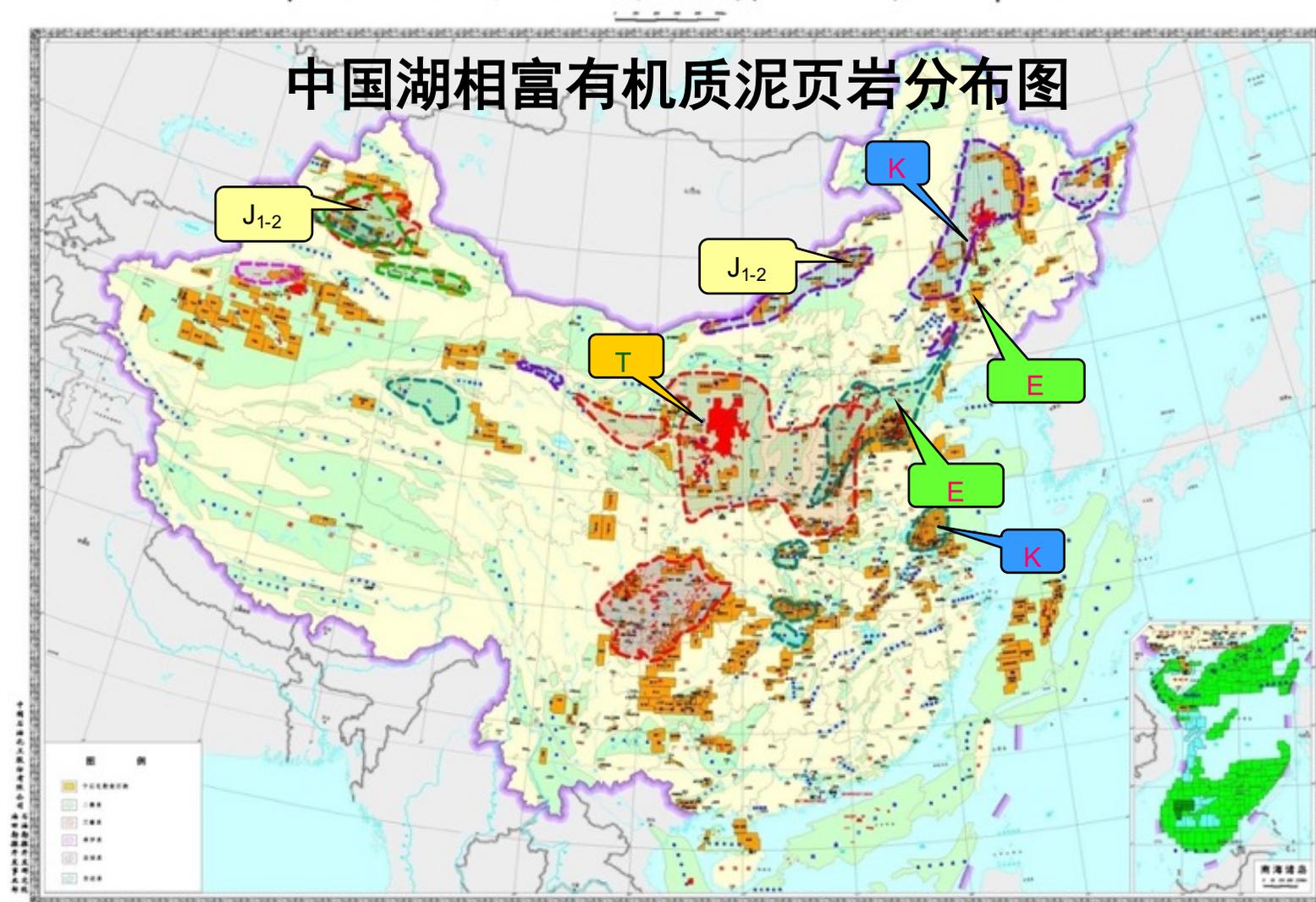
### 1.2 中国页岩油气勘探现状



转引自金之钧，2014，有修改

## 2、非常规油气资源——页岩油气

### 1.2 中国页岩油气勘探现状



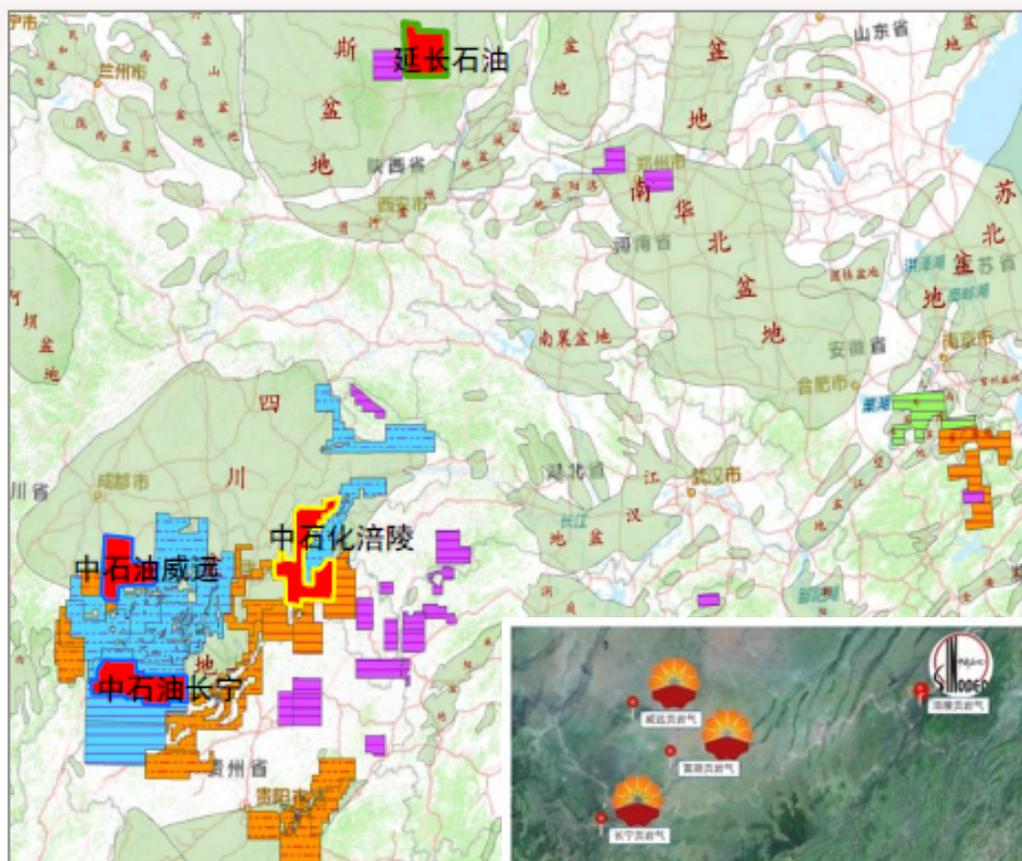
根据金之钧，2014，有修改

## 2、非常规油气资源) ——页岩油气

### 1.2 中国页岩油气勘探现状

加云南昭通

1.油气企业：已形成涪陵、长宁、威远、延长四大产气区，产能超过75亿方



#### ◆ 中国石化重庆涪陵

探明地质储量：3805.98 亿方

累计产气35亿方

建成产能50亿方/年

#### ◆ 中国石油四川长宁、威远

探明地质储量：1635.3亿立方米)

累计产气4.24亿方

建成产能25亿方/年

#### ◆ 延长石油鄂尔多斯甘泉

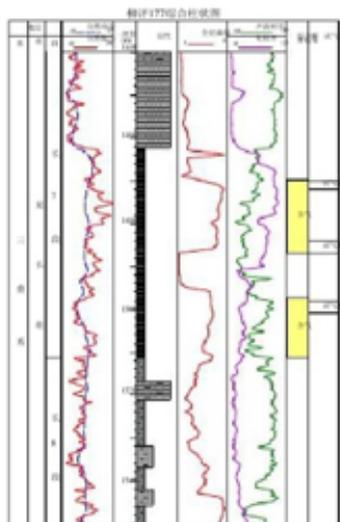
完钻页岩气井59口（直井50口，丛式井3口，水平井6口）

## 2、非常规油气资源) ——页岩油气

### 1.2 中国页岩油气勘探现状

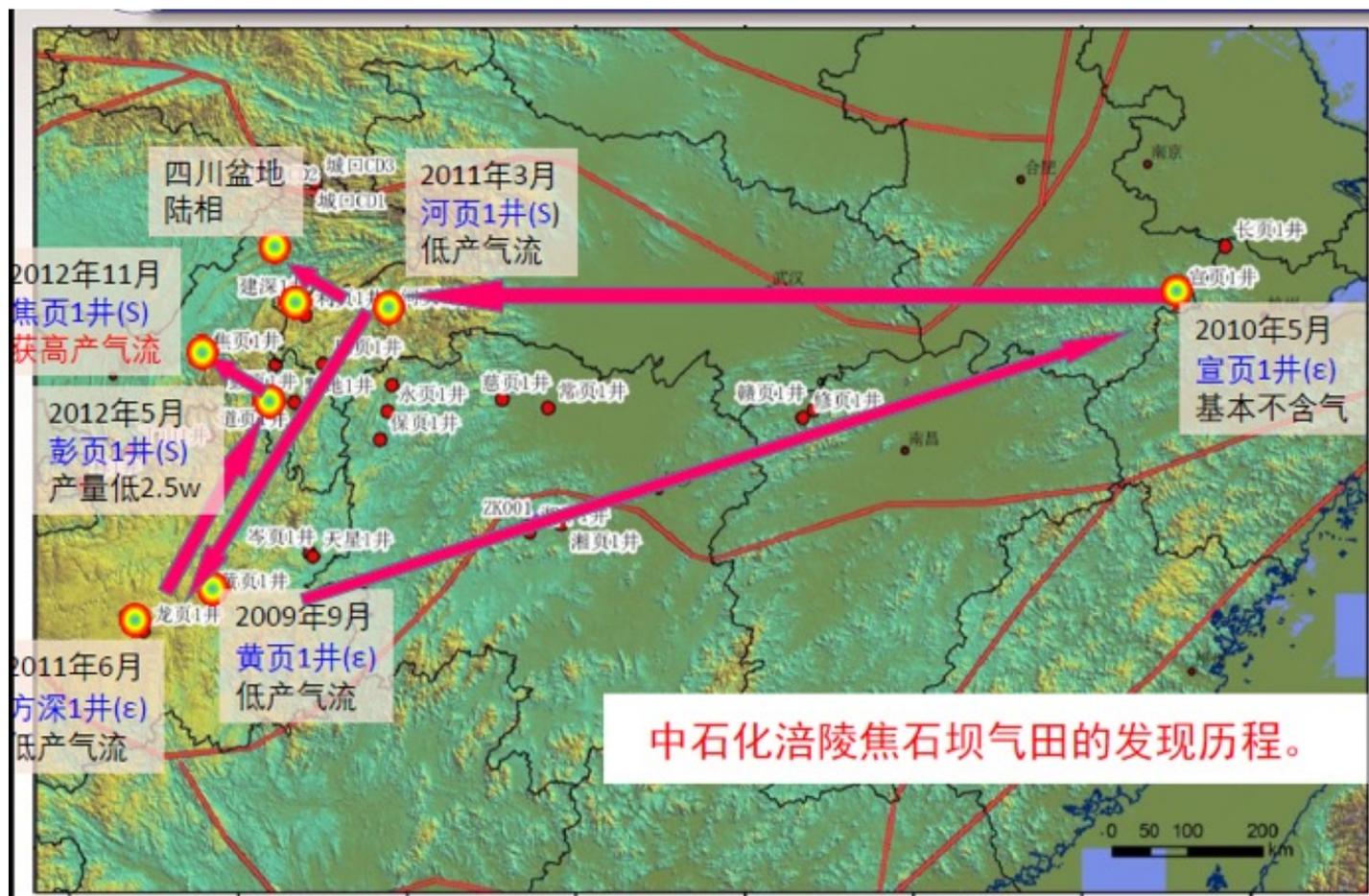


2011年4月，对柳评177井长7段页岩压裂测试成功出气，成为我国第一口陆相页岩出气井。



## 2、非常规油气资源——页岩油气

### 1.3 涪陵页岩气田地质特征——典型的优质海相页岩气



## 2、非常规油气资源——页岩油气

### 1.3 涪陵页岩气田地质特征——典型的优质海相页岩气

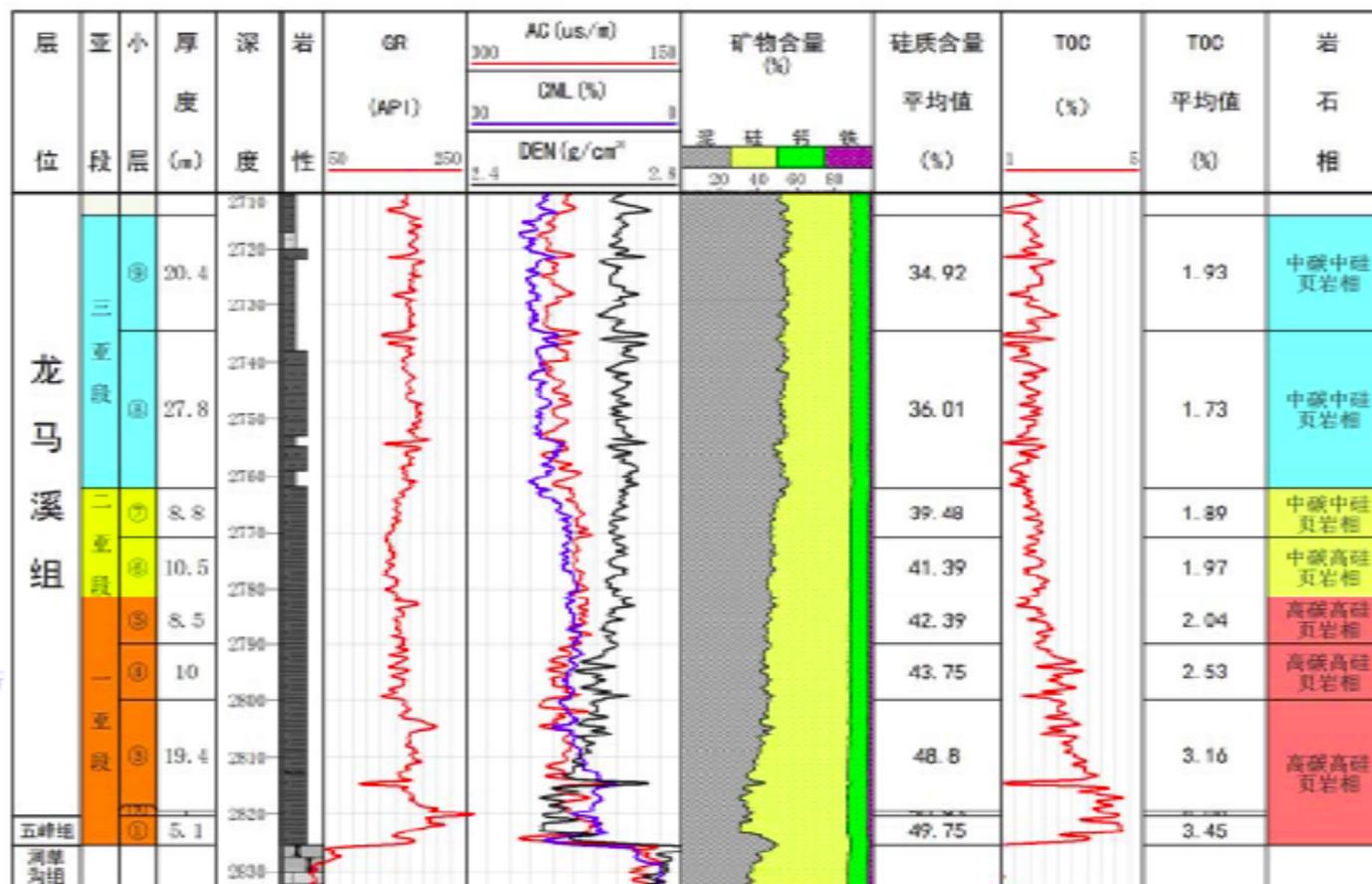
涪陵页岩气田位于重庆市辖区，勘探面积7300km<sup>2</sup>，山地—丘陵地貌，海拔1000m。焦石坝工区面积480km<sup>2</sup>，一期产能建设面积180km<sup>2</sup>。

中国首个大型页岩气田——涪陵页岩气田探明储量增加到3806亿立方米，含气面积385平方千米，成为全球除北美之外最大的页岩气田。



## 2、非常规油气资源——页岩油气

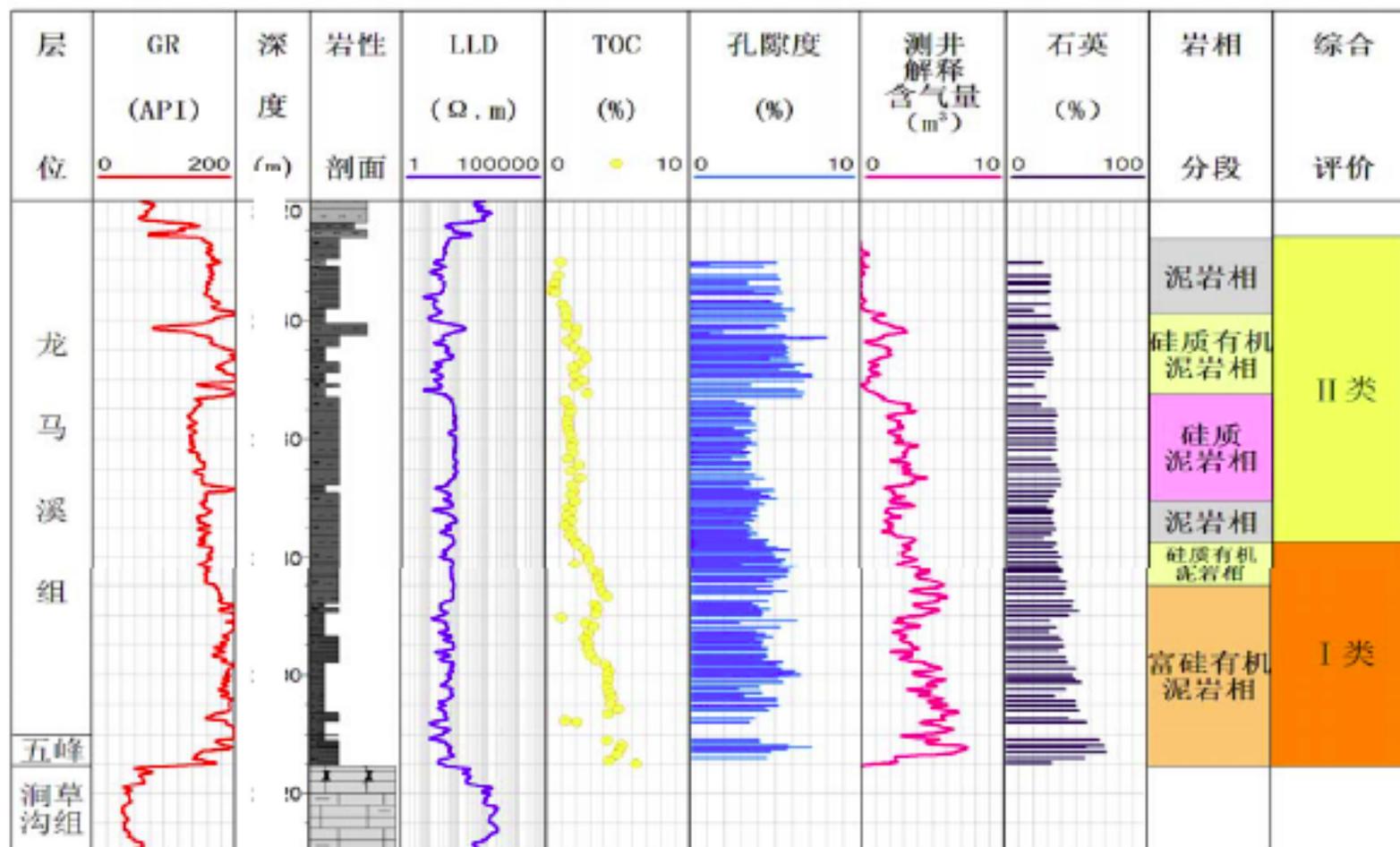
### 1.3 涪陵页岩气田地质特征



岩性与岩石学特征：一期工区，龙马溪组粘土矿物含量平均36.0%， “石英+长石”脆性矿物含量平均60.0%，方解石4.0%。二期工区，下部1类气层厚度略有增加，岩性与岩石学特征基本没变化。

## 2、非常规油气资源——页岩油气

### 1.3 涪陵页岩气田地质特征

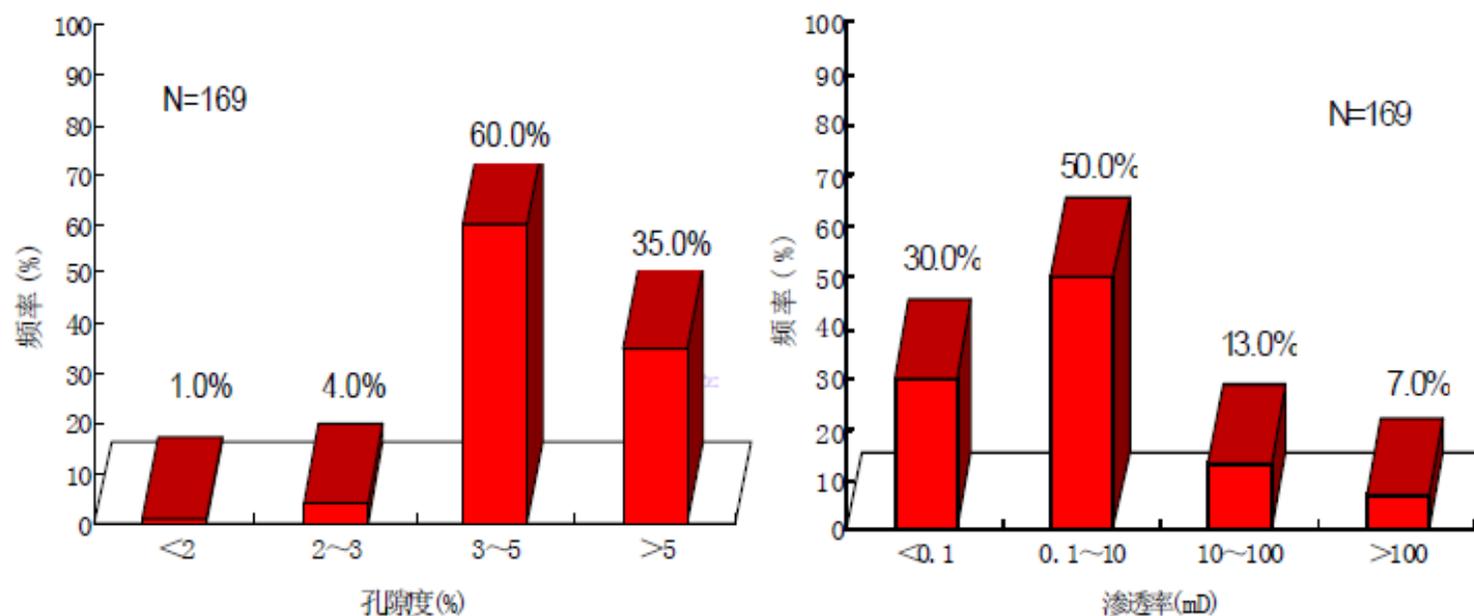


TOC 2.8-4.5%,  $R_o$  2.2-3.1%,  $G_s$  1.45-2.36 m³/t,  $G_t$  3.86-4.64 m³/t, 游离气占总含气量 60-65%。

## 2、非常规油气资源——页岩油气

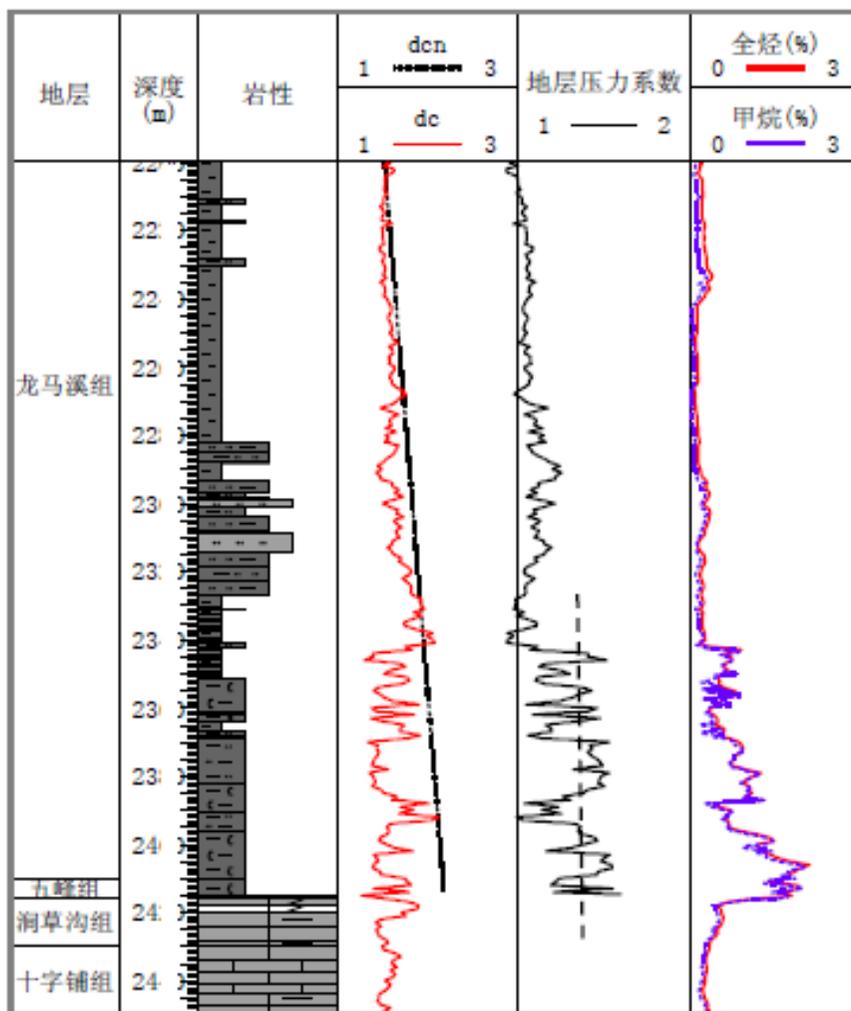
### 1.3 涪陵页岩气田地质特征

孔渗性特征：一期工区龙马溪组岩心孔隙度平均4.5%，二期平均孔隙度平均3.5%。



## 2、非常规油气资源——页岩油气

### 1.3 涪陵页岩气田地质特征



地层压力特征：龙马溪组存在生烃引起的地层异常压力，压力梯度1.35-1.55MPa/km,平均为1.45MPa/km。页岩地层异常高压也揭示地层排烃量大，且封闭性好，使页岩吸附能力增强

## 2、非常规油气资源——页岩油气

### 1.3 涪陵页岩气田地质特征

涪陵页岩气田的发现与成功开发，开创了我国页岩气勘探开发新纪元，同时证明我国有同北美地区一样的优质页岩气藏。



## 4、秭归及周缘页岩气地质与勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探



2009年9月，湖北省交通规划设计院在施工三峡翻坝高速公路季家坡隧道时（秭地1井北东部约8km），于埋深416m的掌子面上，在陡山沱组下部（二段）灰黑色碳质白云岩及泥岩中发现可燃气体，火焰多呈蓝色，部分呈黄色，大火烧了3天3夜才逐渐熄灭。

经景宁科技有限公司的专家对隧道内气体初步检测，鉴定可燃气体主要成分为甲烷，其地质成因初步推测为陡山沱组页岩气。

季家坡隧道页岩气显示

# 4、秭归及周缘页岩气地质与勘探现状

## 4.1 秭归地区页岩气勘探

地层系统				井深 (m)	钻孔柱状图 1:10000	含气量 (m <sup>3</sup> /t)	油气显示	
系	统	组	段				代号	水浸试验
寒武系	下统	石碑组		ε <sub>1p</sub>	32.45			
		牛蹄塘组	三段	ε <sub>1n</sub>	253.27			
			二段	ε <sub>1n</sub>		0.234-1.047 0.593		
			一段		386.46			
震旦系	上统	灯影组	三段	Zε <sub>1d</sub>	467.78			
			二段	Zε <sub>1d</sub>				
			一段		617.36			
	下统	陡山沱组	四段	Z <sub>1d</sub>	635.96			
			三段	Z <sub>1d</sub>	694.20			
			二段	Z <sub>1d</sub>		0.473-1.496 0.951		
南华系	上统	南沱组	一段	Z <sub>1d</sub>	845.86			
					854.16			
				Nb <sub>1n</sub>	861.86			

牛蹄塘组：黑色页岩厚度：  
120m， TOC:2.95%,Ro : 1.61%，  
含气量：1.05m<sup>3</sup>/t， CH<sub>4</sub>含量：  
52%。

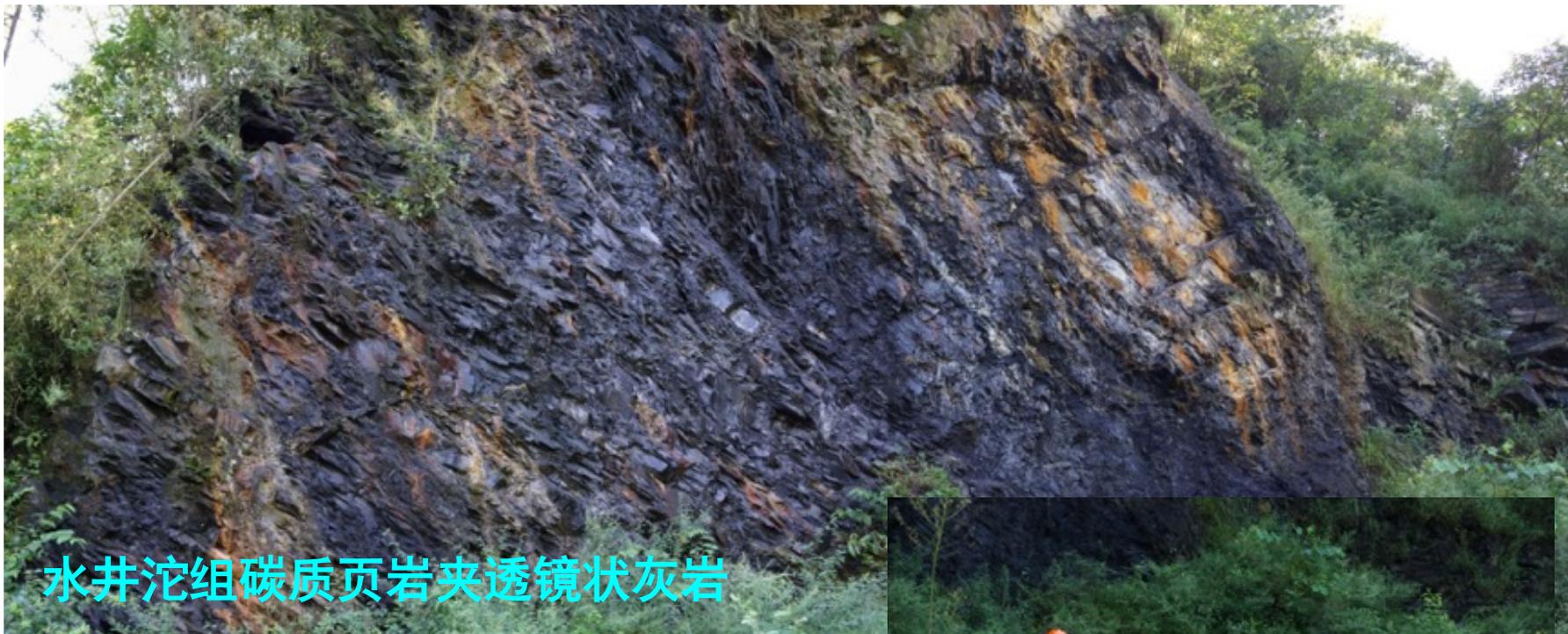
陡山沱组：黑色页岩厚度：  
102m， TOC:1.63%,Ro : 1.74%，  
含气量：1.50m<sup>3</sup>/t， CH<sub>4</sub>含量：  
85%。

水浸试验：均剧烈冒泡。  
点火试验：均成功燃烧，火焰呈  
淡蓝色。

**秭地1井在鄂西秭归地区下震旦统陡山沱组和下寒武统牛蹄塘组（水井沱组）首次发现页岩气**

## 4、秭归及周缘页岩气地质与勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探



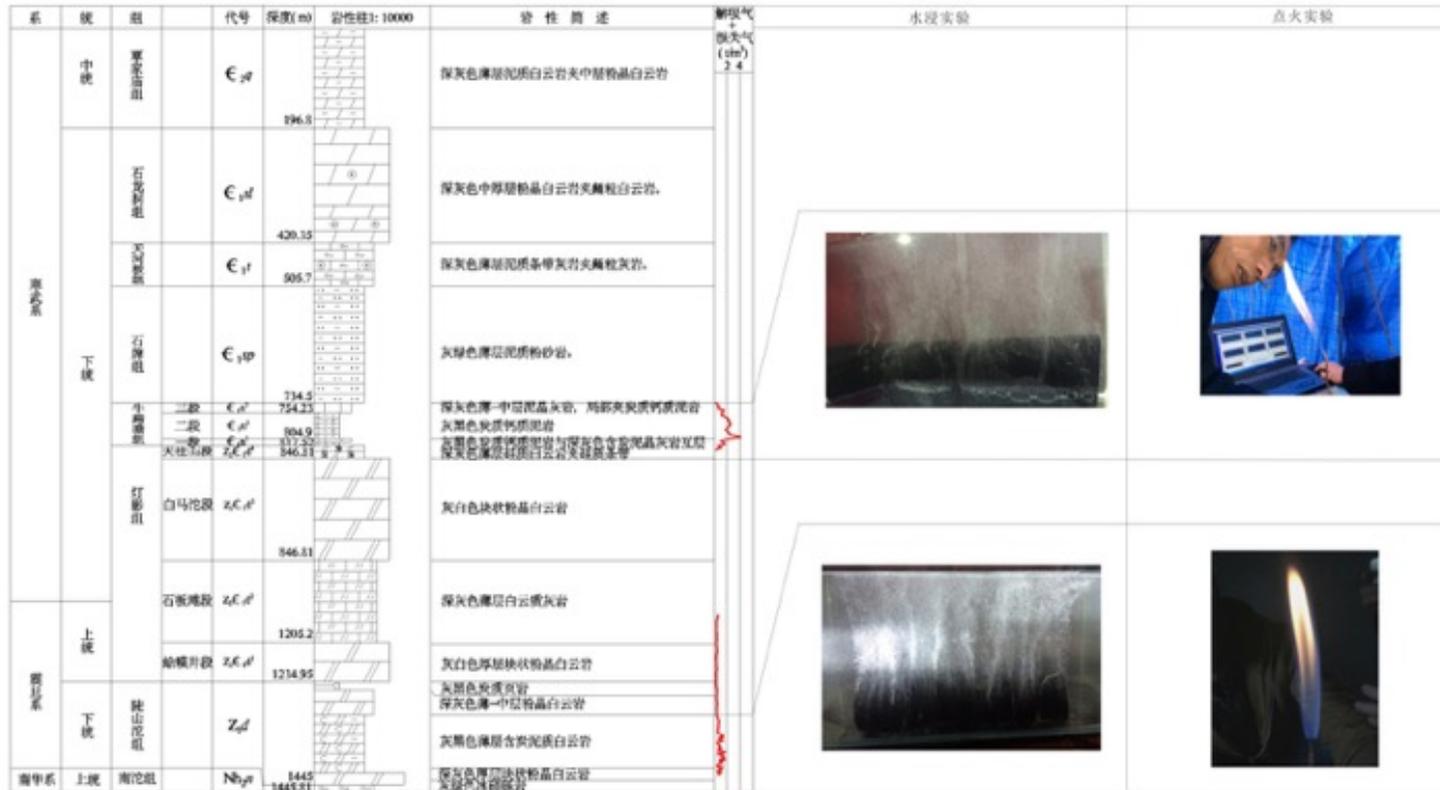
秭地1井——乔家坪剖面  
为石油工程专业特别定制的页岩气地质剖面  
让学生了解页岩气地质



# 4、秭归及周缘页岩气地质与勘探现状

## 4.1 秭归地区页岩气勘探

秭地2井钻井柱状图



牛蹄塘组: 黑色页岩厚度: 63.3m, 含气量: 解吸气最高**2.52m<sup>3</sup>/t**, 总含气量最高: **4.45m<sup>3</sup>/t**。  
 陡山沱组: 黑色页岩厚度: 120m, 含气量: 解吸气最高: 0.92m<sup>3</sup>/t, 总含气量最高: 1.67m<sup>3</sup>/t。  
 水浸试验: 均剧烈冒泡; 点火试验: 均成功燃烧, 火焰呈淡蓝色。

## 4、秭归及周缘页岩气地质与勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探

宜地2井天河板组钻遇常规天然气：

2015年10月，武汉地质调查中心在宜昌市土城乡实施的宜地2井在井深1342m钻遇天河板组下段发育高角度裂缝的深灰色角砾状灰岩时发生了井涌、井喷。经气液分离后，对气体试点火成功，气显示强烈时火焰可持续数小时不灭，火焰高度可达2~3m。



宜地2井天河板组钻遇常规天然气

## 4、秭归及周缘页岩气地质与勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探

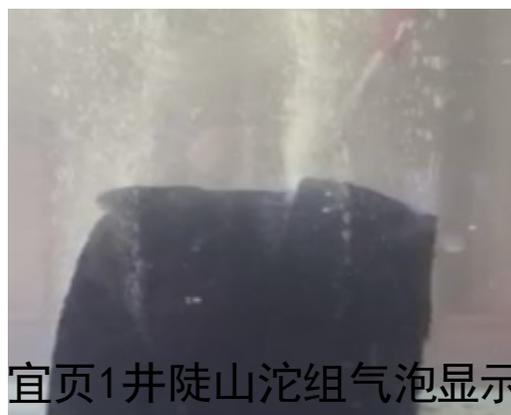
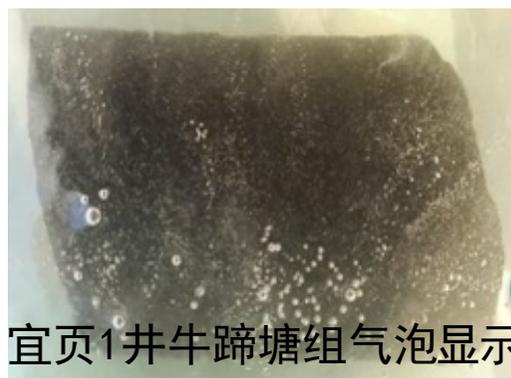
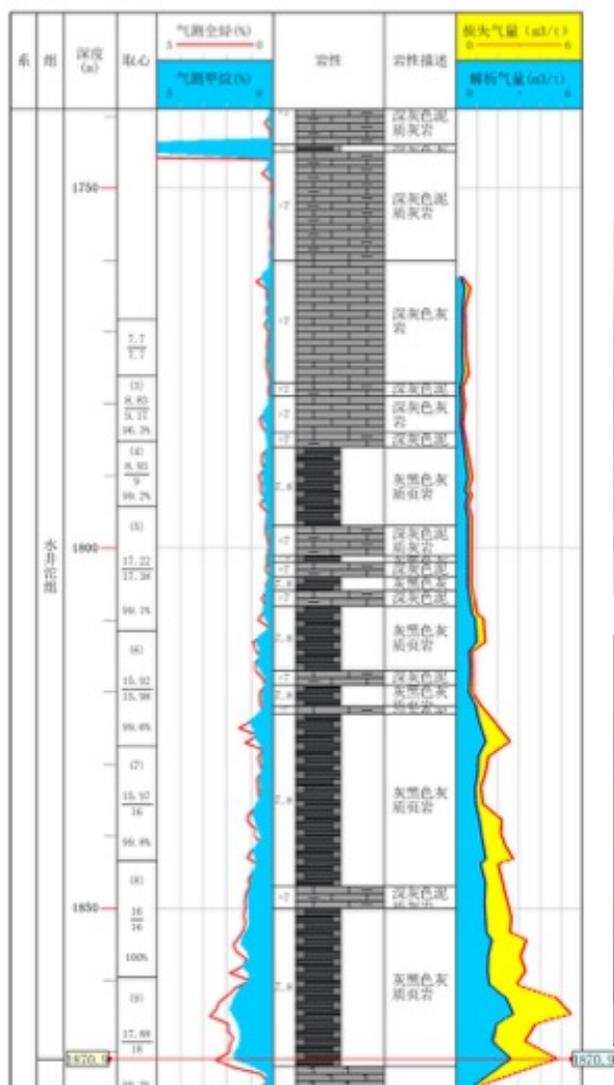


宜地2井牛蹄塘组水浸试验剧烈气泡

**宜地2井牛蹄塘组获得显著页岩气发现：**  
2015年10月3日，在钻至1668.5m处牛蹄塘组下段上部黑色页岩时，见强烈气显，将岩芯置于清水中，气泡溢出如同沸水。至10月18日完钻，获得井深1657.77-1728.09m寒武系水井沱组下段连续**优质烃源岩72m**。总含气量（不含残余气）**0.179-5.577 m<sup>3</sup>/t, 平均2.24m<sup>3</sup>/t。**

# 4、秭归及周缘页岩气地质与勘探现状

## 4.1 秭归地区页岩气勘探



气测录井显示含气量自上而下逐步升高。1790m：全烃升至0.5%；1837m：以后全烃升至1%以上；1855m：全烃升至1.5%，最高达到2.71%，甲烷含量为1.98%。

在井深1856.0-1872.0m牛蹄塘组下部发现了16m的优质含气层段。总含气量较高，平均3.3m³/t，最高可达5.5m³/t。钻获厚达120m具工业品位的震旦系陡山沱组页岩。解吸平均值为1.03 m³/t，最高2.00m³/t。

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探

★天河板组钻遇裂缝型储层  
鄂阳页1井在钻探过程中，在寒武系天河板组与牛蹄塘组顶部发生泥浆漏失现象，在堵漏过程中，气测异常值明显升高，全烃最高达66.89%，收集气点火成功，火焰呈现蓝色。



天河板组裂缝气收集点火成功

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探

★牛蹄塘组钻遇巨厚优质含气页岩层

◆阳页1井共钻遇牛蹄塘组地层468.5m，其中暗色泥岩类厚度达到141.0m，发现油气显示层7层。

◆连续取心过程中，气测值每筒呈递增趋势，最高达8.31%。其中气测全烃超过1%的地层厚度为77m；气测全烃超过2%的地层厚度为69.5m。

◆牛蹄塘组二段连续取心83.17m，现场解析气高达2.16方/吨，总含气量最高达4.48m<sup>3</sup>/吨。岩心浸水后冒泡剧烈。



牛蹄塘组岩心浸水冒泡剧烈

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

---

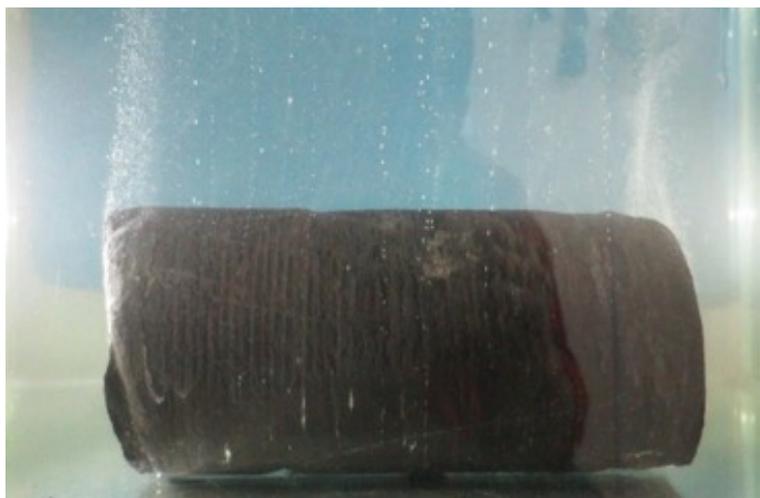
### 4.1 秭归地区页岩气勘探



★牛蹄塘组见页岩气流。  
阳页1井于2016年8月8日钻至2662m时，气测全烃最高达83.28%，点火成功，火焰高4m，持续时间2小时15分钟。

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探



陡山沱组岩心浸水冒泡剧烈

★陡山沱组钻遇优质含气页岩气。

◆阳页1井共钻遇陡山沱组高含气炭质页岩115.70米。确定油气显示层4层。

◆取心过程中，全烃异常值大于1%的地层累计厚达115.70m，全烃异常值大于2%的地层累计厚达105m。

◆岩心现场浸水试验，气泡逸出强烈，收集气体可燃。现场解析气量1.18-1.86 m<sup>3</sup>/吨，总含气量最高达4.8m<sup>3</sup>/吨。

# 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

## 4.1 秭归地区页岩气勘探

层位		岩性	含油气地层		油气显示图片
系	组		层	组	
寒武系	震旦统				
	陡山沱组			4 石龙洞-天河组 发现天然气	 4 天河组实验室储气显示
	牛蹄塘组			3 牛蹄塘组页岩气	 3 牛蹄塘组页岩气点火试验成功
	灯影组			2 灯影组发现天然气	 2 灯影组白云岩储气孔显示
	陡山沱组			1 陡山沱组页岩气	 1 陡山沱组页岩气点火试验成功
震旦系					
震旦系	震旦统				

区域上页岩气勘查虽然起步较晚，但是发展迅速。

基本查明了区域上主要目标层页岩气分布特征，在下震旦统**陡山沱组**、下寒武统**牛蹄塘组**、上奥陶统一志留统**龙马溪组**、二叠系孤峰组**和大隆组**等主要目标层均获得重要页岩气发现，部分层位取得重要突破，尤其是在宜昌地区实施的**秭地1井**、**秭地2井**、**宜地2井**、**宜页1井**、**阳页1井**、**宜参1井**等井在**下震旦统陡山沱组**、**下寒武统牛蹄塘组**获得一系列重大页岩气发现。

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探



“湖北宜昌震旦、寒武、志留系获得多项页岩气重大发现”入选  
中国地质调查局2016年度地质科技十大进展

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探



中国地质调查局武汉地质调查中心承担的鄂宜页1HF井是湖北省第一口页岩气水平压裂井。

**2017年4月13日下午3点30分**，鄂宜页1HF井钻完井一体化工程压裂试气工作启动，正式进入压裂试气阶段。

**2017年4月26日16:00**，随着最后40立方米顶替液泵入井筒，标志着武汉地调中心承担的鄂宜页1HF井压裂工程顺利、圆满完工。

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探



#### 鄂宜页1井试气点火

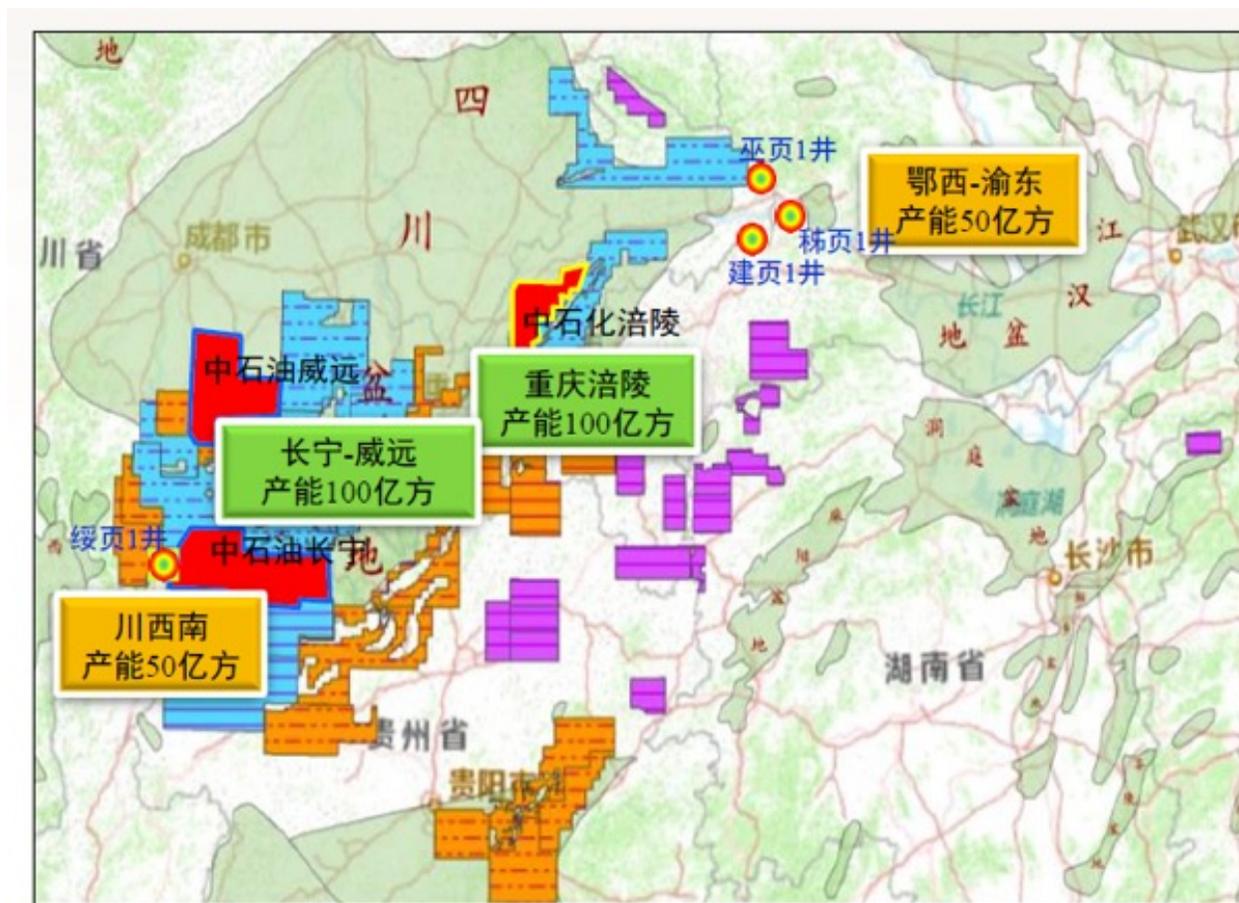
在地层形成于约5亿年前的寒武系水井沱组，获得了**6.02万立方米/日**、无阻流量**12.38万立方米/日**的高产页岩气流，并首次在形成于约6亿年前震旦系陡山沱组发现页岩气藏——迄今全球发现的最古老地层中的页岩气藏。

实现了我国南方页岩气调查新区新层系的重大突破、**力争形成与重庆焦石坝、四川长宁-威远三足鼎立的页岩气资源基地；**

## 4、秭归及周缘页岩气勘探现状

### 4.1 秭归地区页岩气勘探

支撑十三五页岩气产量规划目标实现（300亿方）  
（涪陵100亿方，长宁-威远100亿方，川西南50亿方，**鄂西-渝东50亿方**）



祝愿秭归地区早日建成页岩气资源基地

# 页岩油气革命——终极启示录

---

*“Several times in the past we have thought that we were running out of oil, when actually we were running out of ideas.”*——Parke A. Dickey, 1958

认识世界的非常规思想

改造世界的非常规方法



*Thank you for your  
attention!*

谢 谢

祝愿大家圆满完成实习