北美页岩气勘探开发的启示

一、北美页岩气研究现状

二、页岩气成藏机理

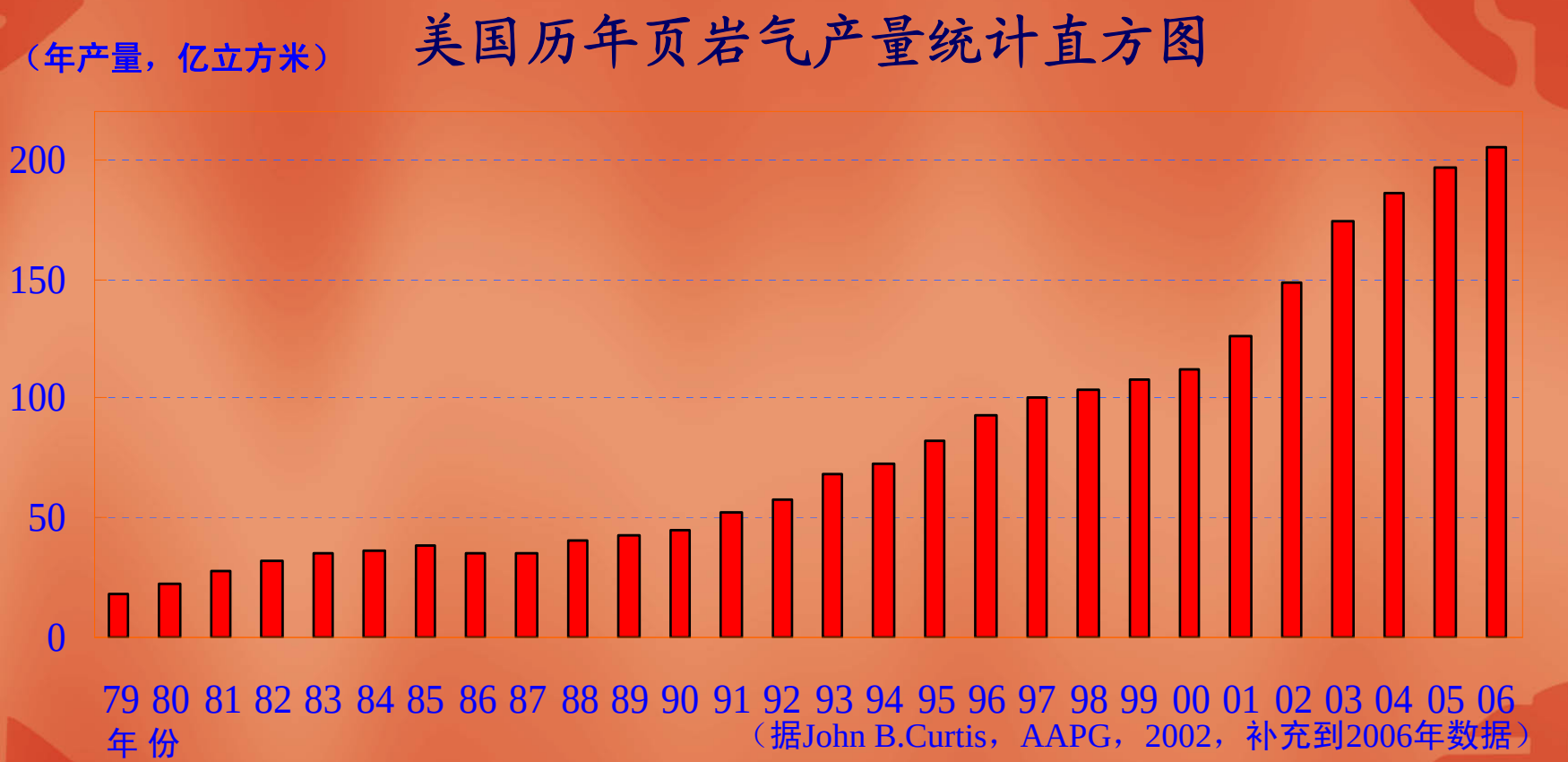
三、页岩气开采技术

四、页岩气研究意义

一、北美页岩气研究现状

目前，全球对页岩气的开发并不普遍，仅美国和加拿大在这方面做了大量工作。其中，美国已进入页岩气开发的快速发展阶段，在页岩气勘探开发方面，美国早已进入商业性运营阶段。

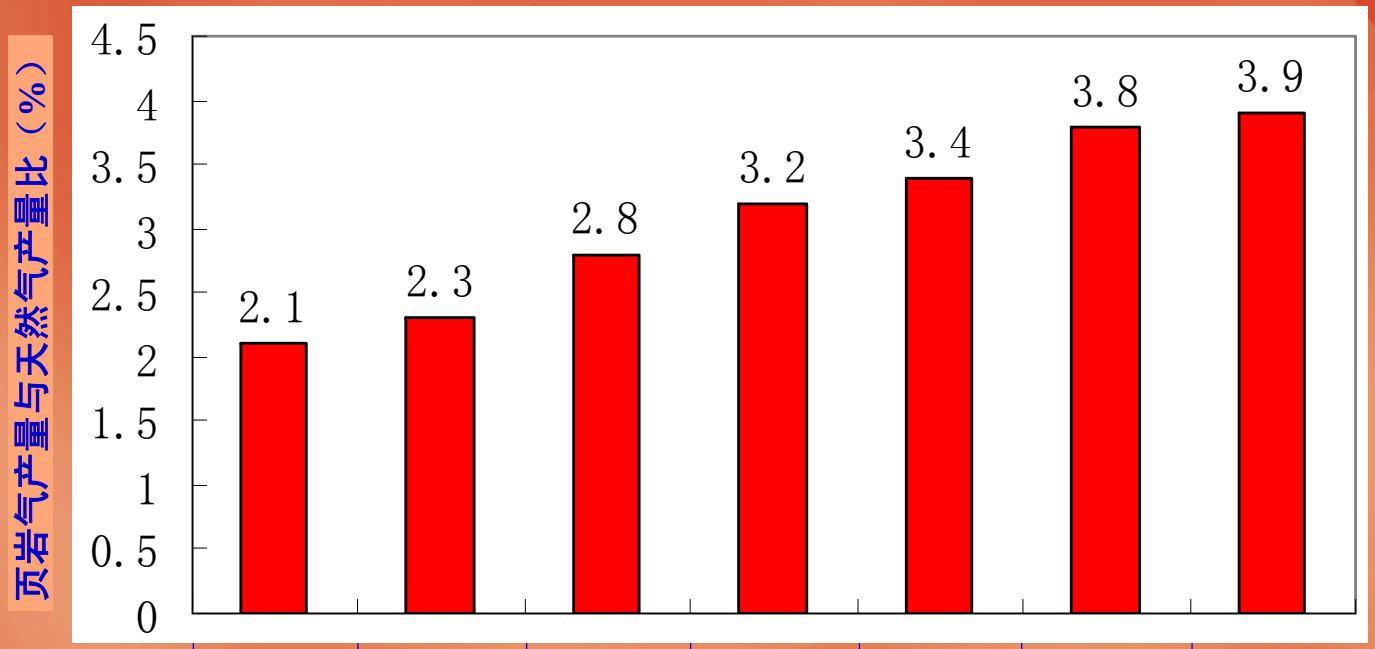
一、北美页岩气研究现状



●1979年：16.7亿立方米　　● 1999年：107.6亿立方米　　增长27%/年

●2000年以来，增长速度更快，2006年产量达到204.7亿立方米

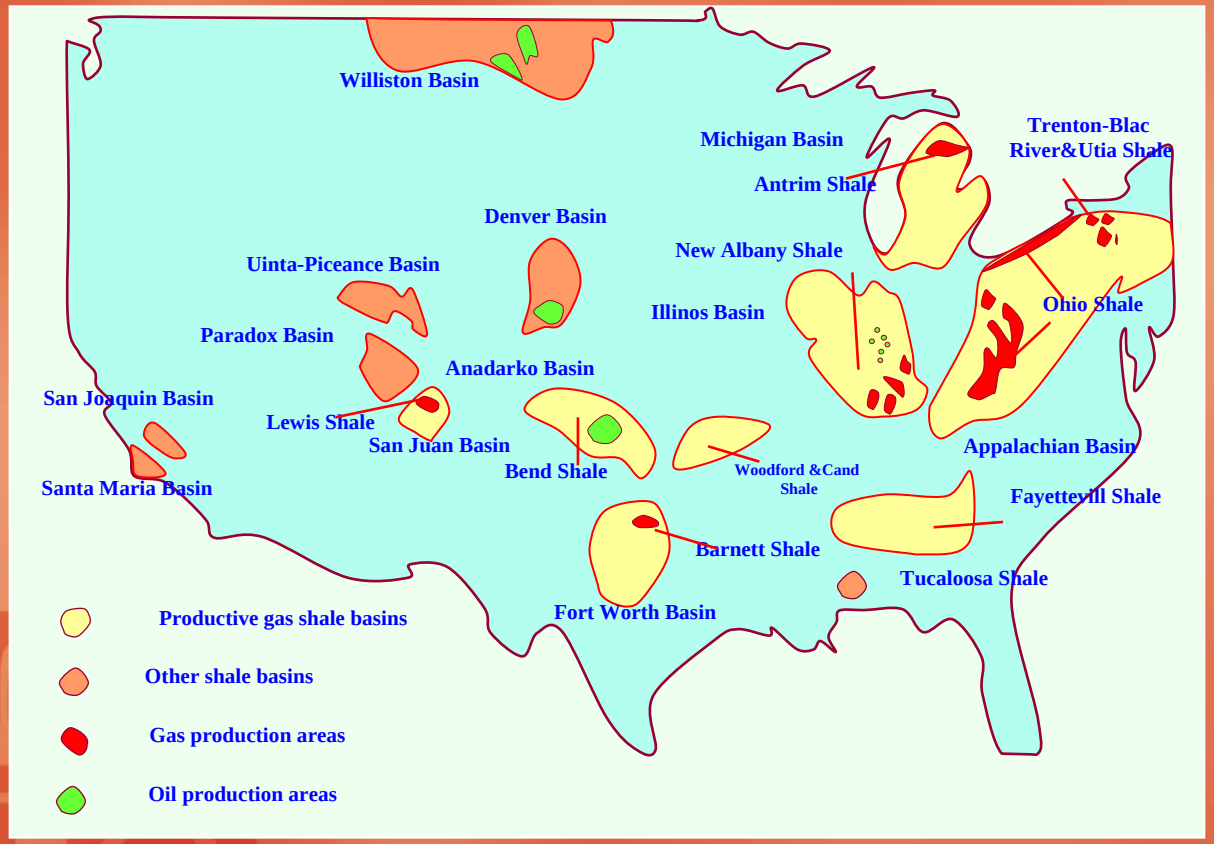
一、北美页岩气研究现状



年份	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
页岩气产量(亿方)	112	126	149	174	186	196	205
天然气产量(亿方)	5432	5555	5360	5408	5264	5118	5241
页岩气产量/天然气产量(%)	2.1	2.3	2.8	3.2	3.4	3.8	3.9

一、北美页岩气研究现状

北美五大产页岩气盆地



Michigan Basin/Antrim 页岩

Illinios Basin/New Albany 页岩

San Juan Basin/Lewis 页岩

Fort Worth Basin/Barnett 页岩

Appalachian Basin/Ohio 页岩

一、北美页岩气研究现状

1. 密歇根盆地Antrim页岩

密歇根盆地位于美国东北部，北美大陆中、上泥盆统广泛分布有机质页岩（TOC含量0.3-24%），Antrim页岩是其中之一。盆内充填5182m沉积物，其中Antrim页岩和相关岩层厚274m，页岩纯厚21-36m。

一、北美页岩气研究现状

2.阿帕拉契亚盆地Ohio页岩

该区古生代沉积岩是个巨大的楔形体，总体上是富含有机质页岩（TOC含量0-4.7%）、碎屑岩和碳酸盐岩构成的旋回沉积体。总岩层厚1524m，其中富含有机质页岩152m，纯厚度9-30m。

一、北美页岩气研究现状

3. 伊利诺依盆地 New Albany页岩

New Albany页岩总厚30-122m，纯厚15-30m，埋深182-1494m，源岩有机碳含量1-25%，成熟度Ro值仅0.4-1.0%，其页岩气主要为生物成因气。该页岩气主要产自肯塔基西南部和印地安纳南部60多个油气田。这个盆地的页岩气产量一直较少，研究程度也较低。

一、北美页岩气研究现状

4. 圣胡安盆地Lewis页岩

是地史时期最年青的商业开发页岩气产区（晚白垩世）。

Lewis页岩被认为是低海岸面近海远端沉积物。页岩TOC含量0.45-2.5%，目前产量较低，但正随时间而增长。

一、北美页岩气研究现状

5. 沃思堡盆地Barnett页岩

1981年来，Mitchell能源开发公司开始在沃思堡盆地密西西比系Barnett页岩中生产商用天然气。盆地东部是主要产区，该区页岩埋深1981-2591m，页岩纯厚15-61m，TOC平均含量4.5%，页岩气属热解成因气 。

一、北美页岩气研究现状

美国五大页岩气系统地质地化特征简表

盆地		沃斯堡	阿帕拉契亚	密西根	伊里诺依	圣胡安
主要产层时代		Barnett 密西西比	Ohio 泥盆系	Antrim 泥盆系	New Albany 泥盆系	Lewis 白垩系
页岩厚度	总厚度（m）	60~90	90~300	48	30~122	150~570
	纯厚度（m）	15~61	9~30	21~37	15~30	61~91
地化特征	TOC（%）	4.5	0~4.7	0.3~24	1~25	0.45~3.5
	Ro（%）	1.0~1.3	0.4~1.3	0.4~0.6	0.4~1.0	1.6~1.88
物性特征	总孔隙度（%）	4~5	4.7	9	10~14	3~5.5
	含气孔隙度（%）	2.5	2.0	4	5	1~3.5
含气特征	气含量(scf/t）	300~350	60~100	40~100	40~80	15~45
	吸附气（%）	20	50	70	40~60	60~85
气层特征	深度（m）*	1950~2550	600~1500	180~720	180~1470	900~1800
	井底温度（℃）	111	55.5	41.7	44.4~58.3	72~94.4
	油藏压力（Kg/cm^2）	210.9~281.2	35.15~140.6	28.12	21.09~42.18	70.3~105.45
	压力梯度（psi/ft)	0.43~0.44	0.15~0.4	0.35	0.43	0.2~0.25
单井日产量(m^3/d)		2830~28300	849~14150	1132~14150	283~1415	2830~5660
单储系数（$\times 10^8 m^3/km^2$）		3.28~4.37	0.55~1.09	0.66~1.64	0.76~1.09	0.87~5.46

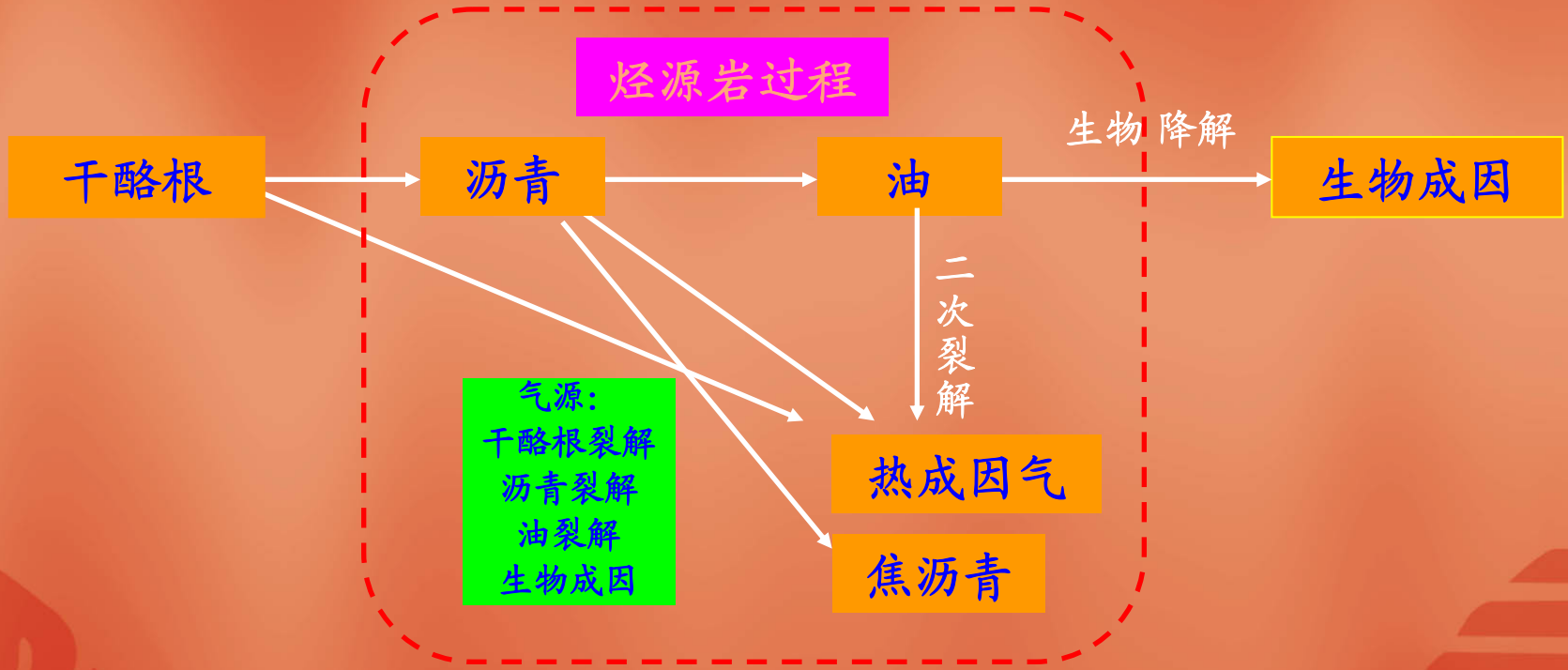
三、页岩气成藏机理

页岩气定义

所谓页岩气（Shale gas）系指主体位于暗色泥页岩或高碳泥页岩中，以吸附或游离状态为主要存在方式的天然气聚集。

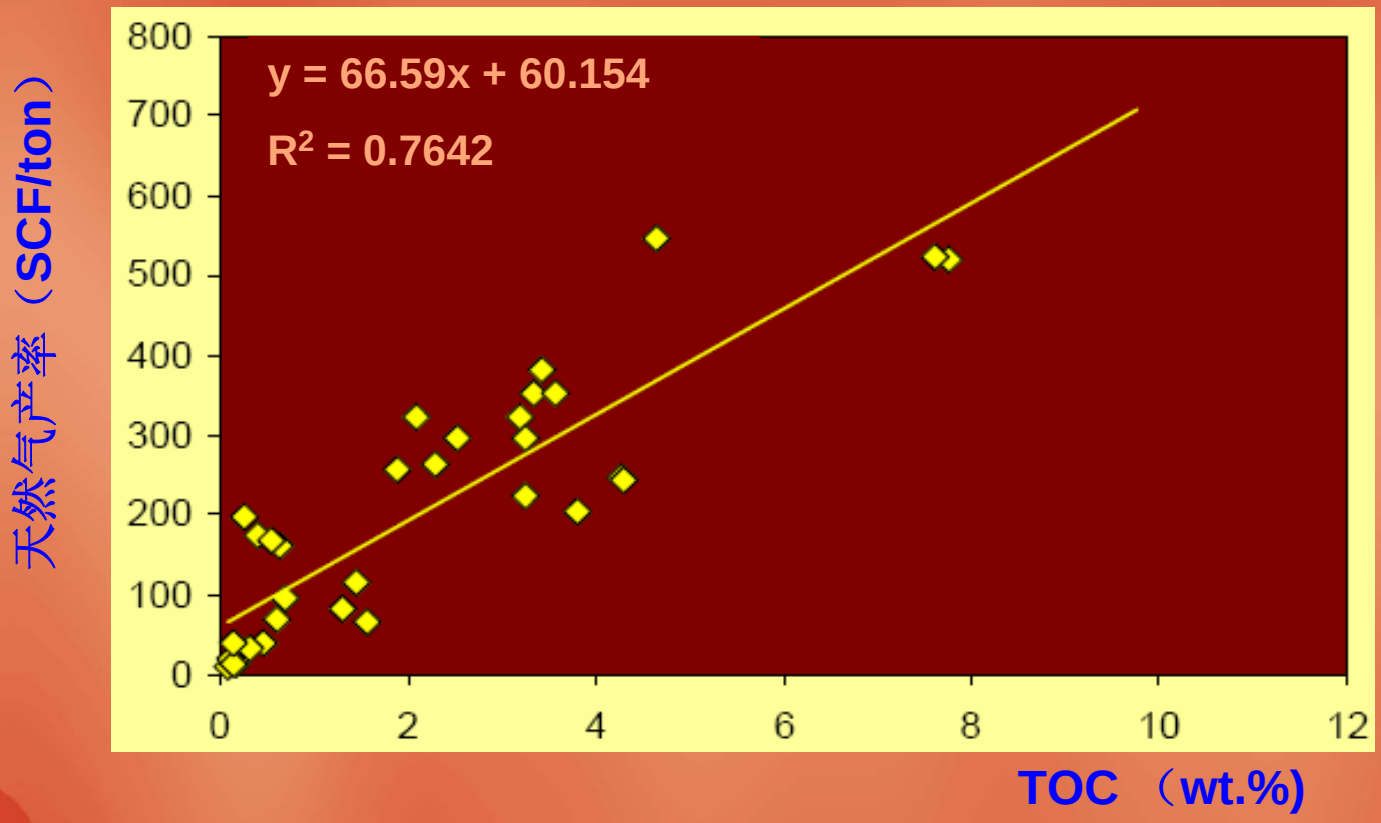
三、页岩气成藏机理

页岩气成因



三、页岩气成藏机理

页岩气特点-----页岩中天然气产率与其TOC含量密切相关

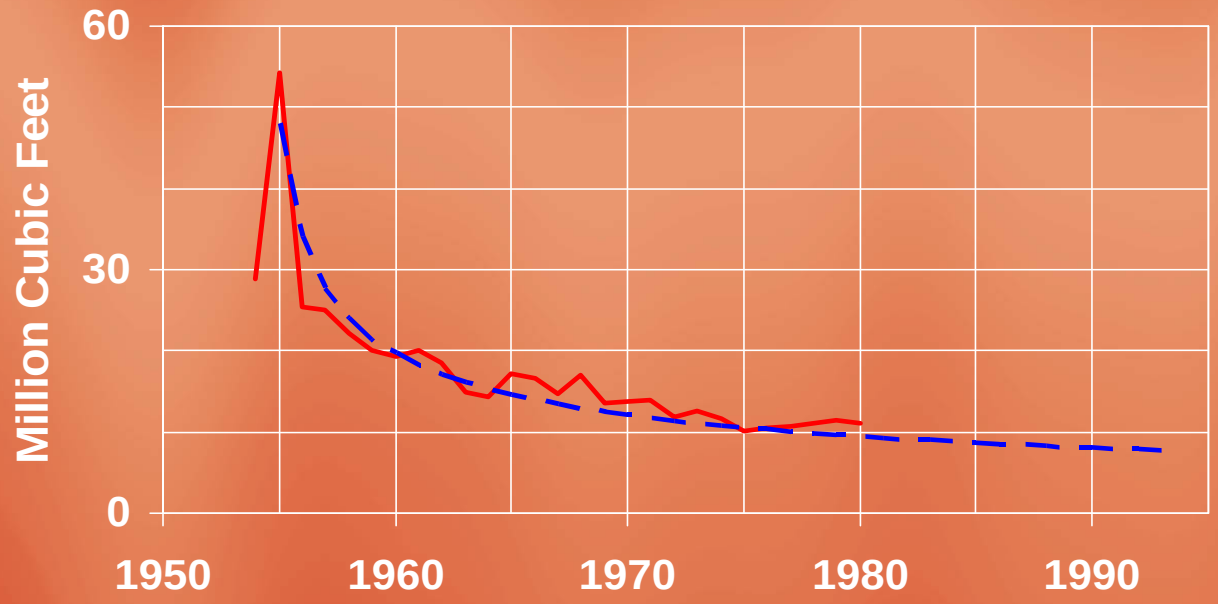


印证了页岩有机质丰度（如TOC）不仅是烃源岩生烃能力的重要参数，而且是烃源岩储层吸附气的重要载体、预测储层产能的重要参数之一。

三、页岩气成藏机理

页岩气特点-----页岩气井生产寿命长

页岩气初期产量不高，且年递减率通常小于5% （一般为2-3%），稳产期长，一般生产井的寿命可达30年。 递减曲线中包含了初始产量陡升段和随后长期递减阶段。

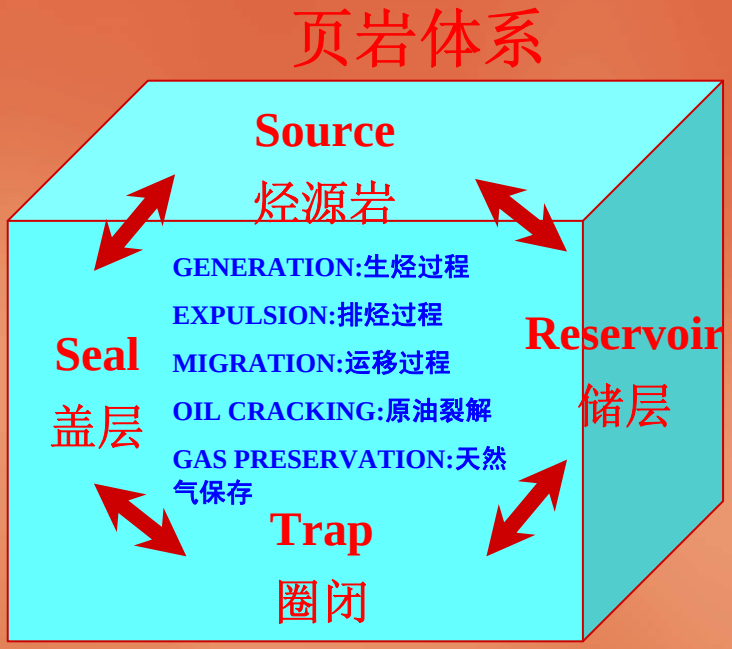


典型的页岩气产量递减曲线

（Kentucky东部泥盆系页岩为例，26年累计产量 1333万立方米）

三、页岩气成藏机理

页岩气藏特点



- 成藏要素和作用过程发生在同一岩石单元内，运移距离很短
  - 富含有机质的页岩既是烃源岩，又是储集岩，也可能是盖层
  - 储层为低孔低渗裂缝性页岩，储层中天然气为生物气或热解气
  - 天然气既可吸附在干酪根或粘土颗粒的表面, 也可以以游离气的形式赋存于页岩裂缝和基质（粒间）孔隙中， 还可以溶解在沥青中

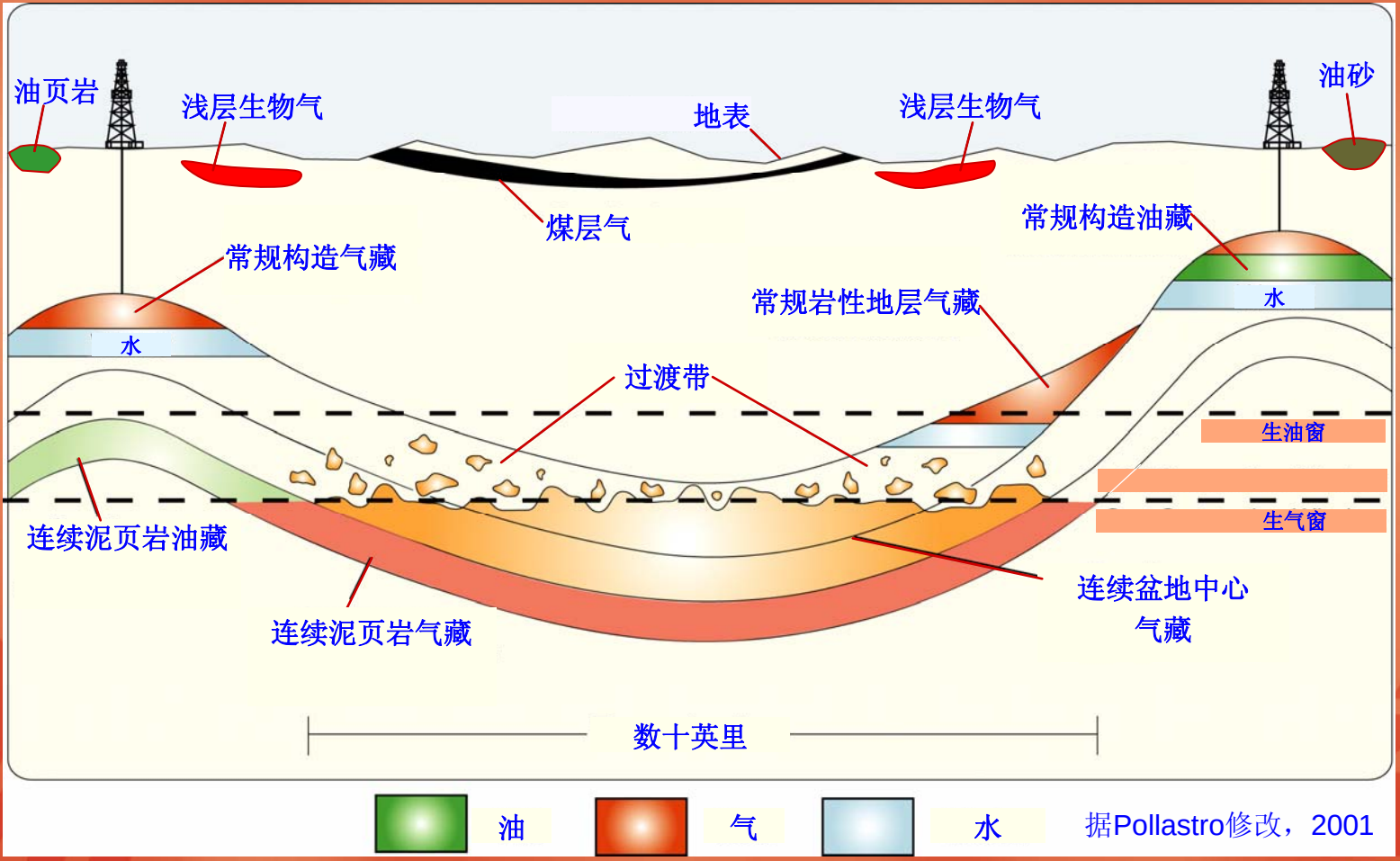
三、页岩气成藏机理

页岩气与煤层气及天然气对比

	页岩气	煤层气	天然气
成因类型	有机质热演化成因，生物成因	有机质热演化成因，生物成因	有机质热演化成因，生物成因，原油裂解成因
主要成分	甲烷为主，少量乙烷、丙烷等	甲烷为主	甲烷为主，乙烷、丙烷等含量变化较大
成藏特点	自生，自储，自保	自生，自储，自保	生、储、盖合理组合
分布特点	受页岩分布控制，有广布性	受煤层分布控制，有广布性	受生、储、盖组合控制
储集方式	吸附气和游离气并存，吸附气占20%-80%	吸附气为主，占80%以上	游离气为主
埋藏深度	200m及以上，最浅8.2m	氧化带以下，一般大于300m	一般大于500m

三、页岩气成藏机理

页岩气藏分布特点



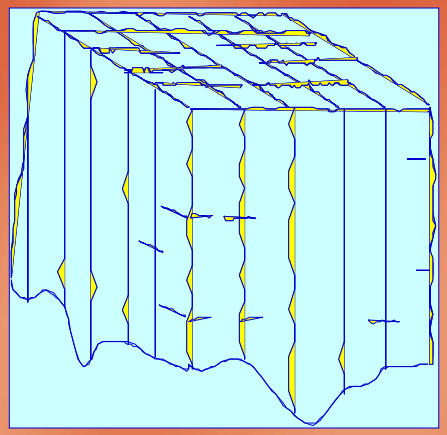
三、页岩气成藏机理

陆相盆地湖沼相和三角洲相沉积产物一般是页岩气成藏的最好条件，但通常位于或接近于盆地的沉降-沉积中心处，导致页岩气的分布有利区主要集中于盆地中心处。从天然气的生成角度分析，生物气的产生需要厌氧环境，而热成因气的产生也需要较高的温度条件，因此靠近盆地中心方向是页岩气成藏的有利区域。

三、页岩气成藏机理

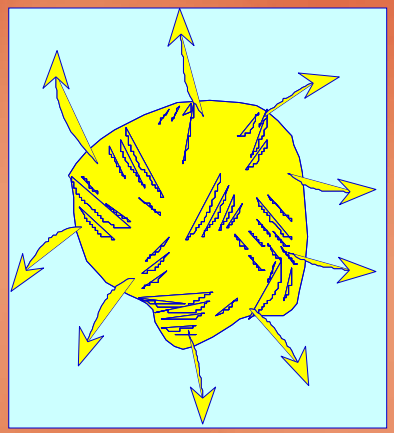
页岩气藏形成阶段

构成模式



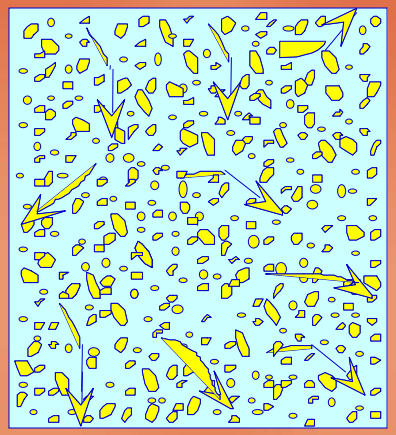
天然裂缝网络

阶段1



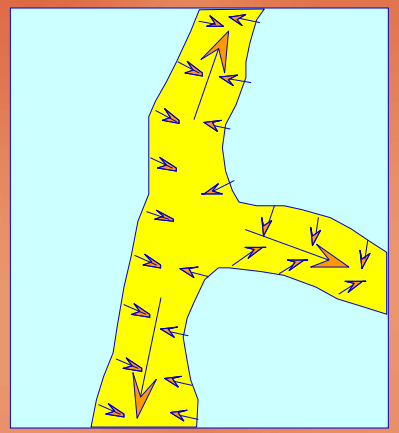
自内表面解吸

阶段2



流入基质孔隙

阶段3



流入天然裂缝系统

- 第一阶段：天然气的生成与吸附，具有与煤层气相同的富集成藏机理
- 第二阶段：当吸附气量与溶解气量达到饱和时，富裕的天然气解吸进入基质孔隙
- 第三阶段：随着天然气的大量生成，页岩内压力升高，出现造隙及排出，游离状天然气进入页岩裂缝中并形成聚积。

三、页岩气成藏机理

页岩气成藏主控地质因素及分布规律

- 岩性：多为沥青质或富含有机质的暗色、黑色页岩和高碳页岩。组成一般为30%～50%的粘土矿物、15%～25%的粉砂质(石英颗粒)和4%～30%的有机质
- 有机碳含量：一般大于2，为普通源岩的10～20倍
- 镜质体反射率(Ro)：一般大于0.4%

三、页岩气成藏机理

●页岩气藏中，页岩既是源岩又是储层。含气范围一般与有效源岩面积相当。页岩基质孔隙度一般小于10%，含气有效孔隙一般1%～5%，渗透率随裂缝的发育程度不同而有较大变化

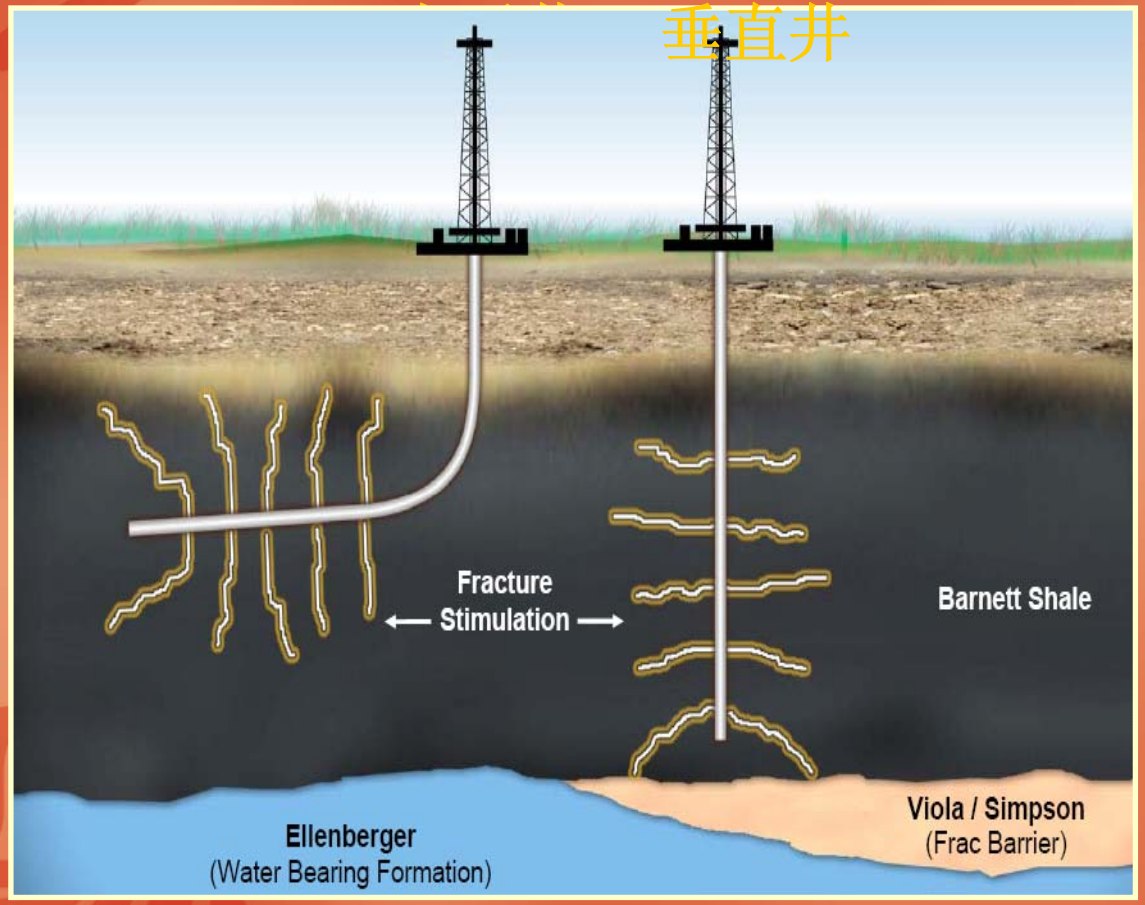
●具商业价值的页岩气藏依赖于地层中的裂缝发育规模。形成页岩气藏的页岩地层的含气量变化幅度为：0.4m^3/t～10m^3/t。含气量受页岩地层有机质丰度、地层压力、裂缝发育规模等因素控制

●页岩地层的裂缝系统由自生裂缝系统、构造裂缝系统两部分构成。因此，构造转折带、地应力相对集中带以及褶皱一断裂发育带是页岩气富集的重要场所

三、页岩气开采技术

裂缝的发育程度是页岩气运移聚集、经济开采的主要控制因素之一，但统计表明仅有少数天然裂缝十分发育的页岩气井可直接投入生产，其余90%以上的页岩气井需要采取压裂等增产措施沟通天然裂缝，提高井筒附近储集层导流能力。目前钻采技术的不断更新，从20世界80年代的N_2压裂一直发展到今天的清水压裂、水平井钻探技术。

三、页岩气开采技术



核心区产量：

垂直井1.5-2.5BCF/井属较好

水平井2.5-6BCF/井属很好

外围区产量：

垂直井1.5-2.5BCF/井属理想

水平井2.5-6BCF/井属非常好

四、页岩气研究意义

- 页岩气在成藏机理上既具有典型的煤层气特征、也具有游离相气水驱替特点，同时还由于泥页岩“储层”致密，又具有自身明显的特殊性，成藏过程复杂，具有吸附聚集、活塞式推进、置换式运移、非典型性过渡成藏、抗破坏能力强等一系列特殊性，成藏机理复杂，勘探及开发方式特殊，因此页岩气研究具有重要的科学探索意义。

四、页岩气研究意义

- 中国许多盆地具有泥页岩气成藏地质条件 ，而国内的“页岩气”基本上还未进行系统研究，许多盆地高碳泥页岩的TOC高达30％ ，是页岩气聚集的重要条件，尤其是中国南方扬子地区沉积岩经历地质时代长、地质背景复杂、构造破坏严重、油气保存条件较差，页岩气将有可能成为区域性油气勘探发现的重要突破口。

综合美国的非常规天然气勘探研究现状及其发展趋势分析，页岩气不久将会成为我国能源地质研究领域中的热点。因此，开展具有中国地质特点的页岩气研究具有重要的实践意义。


谢 谢！