

中国页岩气地质特殊性及其勘探对策

聂海宽<sup>1</sup> 何发岐<sup>2</sup> 包书景<sup>1</sup>

1. 中国石化石油勘探开发研究院 2. 中国石化油田勘探开发事业部

聂海宽等. 中国页岩气地质特殊性及其勘探对策. 天然气工业, 2011, 31(11): 111-116.

**摘 要** 与页岩气生产大国——美国相比, 中国页岩气勘探开发除了起步较晚, 更有地质条件特殊性决定的页岩气地质特殊性。根据页岩发育环境、页岩类型、演化历史和演化特点等的研究, 系统总结了我国海相、陆相页岩油气的地质特殊性。海相页岩具有“一老二杂三高”的特点, 时代老、层系多, 多期复杂构造运动、破坏强度大, 热演化史复杂、成熟度高; 陆相页岩具有“一新一深二低”的特点, 时代新, 埋藏深、成熟低、脆性矿物含量低等, 油气兼产。要实现页岩气勘探的突破和储产量的快速增长, 应立足我国盆地特殊的地质特征来分析研究页岩气成藏机理、条件和有利分布区域, 建立适合我国页岩气地质特殊性的综合评价方法和技术体系, 同时加强地震技术、钻井技术、压裂技术、测井技术等攻关。

**关键词** 页岩气 地质特殊性 海相页岩 陆相页岩 聚集机理 储层预测 含气量 中国

DOI:10. 3787/j. issn. 1000-0976. 2011. 11. 028

1 中国页岩气地质特殊性

美国产页岩气盆地主要位于阿巴拉契亚早古生代逆冲褶皱带、马拉松—沃希托晚古生代逆冲褶皱带和科迪勒拉中生代逆冲褶皱带前缘的前陆盆地及其相邻地台之上的克拉通盆地<sup>[1]</sup>。中国发育与其相似的盆地类型, 但受特殊的大地构造位置控制, 受深大断裂及板块规模较小等因素的影响, 破坏较为严重, 属多旋回的叠合盆地<sup>[2-5]</sup>, 这就造成了页岩气地质条件的复杂性和特殊性。与美国产页岩气盆地相比, 我国的页岩气盆地具有独特的地质条件, 根据页岩类型, 海相页岩的特性可概括为“一老二杂三高”的特点, 主要表现在时代老、经历的构造运动复杂、热史复杂、有机碳含量高、成熟度高、演化程度高等特征, 以产天然气为主; 陆相页岩的特殊性可概括为“一新一深二低”, 主要表现在时代新、埋藏深、成熟度低、脆性矿物含量低等, 油气兼产(表 1)。

1.1 海相领域页岩气地质特殊性

1.1.1 时代老、层系多

从中、晚元古代至新生代的不同时期, 我国三大克拉通台地及其周缘发育了裂谷型、大陆边缘型和前陆

表 1 中美页岩特征对比表

| 对比系列   | 美国             | 中国                   |
|--------|----------------|----------------------|
| 构造运动   | 简单, 定型早, 后期改造弱 | 复杂, 定型晚, 多期次构造叠加     |
| 页岩沉积类型 | 海相             | 海相+陆相                |
| 海相页岩时代 | 较新, 晚古生代为主     | 较老, 早古生代为主           |
| 热演化史   | 简单             | 复杂                   |
| 成熟度    | 一般小于 2%        | 海相一般大于 2%, 陆相一般小于 2% |
| 页岩成熟时间 | 较晚             | 较早, 且后期多期叠加          |
| 油气类型   | 油气兼有, 以气为主     | 海相以气为主, 陆相以油为主       |
| 埋藏深度   | 较浅             | 变化较大, 普遍较深           |
| 保存条件   | 好              | 差, 保存和破坏的分区性比较明显     |
| 工艺技术   | 比较成熟           | 刚刚起步                 |
| 地表条件   | 简单             | 复杂                   |

型等沉积盆地, 海相页岩层系主要分布在华北、塔里木、鄂尔多斯和四川等盆地的中上元古界—古生界,

**基金项目:** 国家油气专项“全国油气资源战略选区调查与评价”(编号: 2009GYXQ15)、中国博士后科学基金(编号: 20110490541)。

**作者简介:** 聂海宽, 1982 年生, 博士; 现在中国石化石油勘探开发研究院博士后工作站从事油气成藏机理和非常规天然气地质研究工作。地址: (100083) 北京市海淀区学院路 31 号。电话: 13466585382。E-mail: niehk, syky@sinopec.com.

中—新生界海相页岩仅在南方地区局部层系发育。可作为页岩气勘探目标的海相黑色页岩主要发育于南方(包括四川盆地)、塔里木、鄂尔多斯等大型沉积盆地的震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系及二叠系。这些黑色页岩与美国主要产气页岩具有相似的沉积环境,即主要为裂谷沉积、被动大陆边缘沉积、前陆挠曲形成的滞留环境沉积和克拉通内坳陷沉积等。

如中国南方地区发育有下寒武统(牛蹄塘组及其相当层位)、上奥陶统(五峰组)一下志留统(龙马溪

组)、下二叠统、上二叠统等区域性海相页岩,还有地区性海相页岩,如上扬子地区的震旦系陡山沱组,滇黔桂地区、十万大山盆地的中上泥盆统、中下扬子地区的下奥陶统、楚雄盆地的上三叠统等。这些页岩原始生烃条件优越,有过大量生烃的历史,并在早期钻井中见到良好的页岩气显示,其中下寒武统和上奥陶统一下志留统是目前页岩气勘探的重点层系(表2)。

美国目前的产气页岩主要集中在泥盆系和密西西比系(下石炭统)等层系,以晚古生代页岩为主(表3)。

表2 中国南方海相页岩气目前主要勘探层系表

| 地区或构造单元 | 四川盆地及其周缘 |      |      | 中扬子地区 |      | 下扬子地区 |     | 黔南凹陷 |
|---------|----------|------|------|-------|------|-------|-----|------|
| 页岩名称    | 陡山沱组     | 牛蹄塘组 | 龙马溪组 | 水井沱组  | 龙马溪组 | 荷塘组   | 龙潭组 | 牛蹄塘组 |
| 地层      | 震旦系      | 下寒武统 | 下志留统 | 下寒武统  | 下志留统 | 下寒武统  | 二叠系 | 下寒武统 |

表3 美国主要产气页岩层系表

| 盆地名称 | 阿巴拉契亚     |      | 福特沃斯    | 帕罗多  | 黑勇士        | 阿科马          |          | 密执安           | 圣胡安   | 伊利诺伊       |
|------|-----------|------|---------|------|------------|--------------|----------|---------------|-------|------------|
| 页岩名称 | Marcellus | Ohio | Barnett | Bend | Floyd/Neal | Fayetteville | Woodford | Antrim        | Lewis | New Albany |
| 地层   | 中泥盆统      |      | 上泥盆统    | 下石炭统 | 上石炭统       | 下石炭统         | 上石炭统     | 晚泥盆统—<br>下石炭统 | 泥盆系   | 下白垩统       |

这一差别带来的问题,一是黑色页岩的沉积环境、厚度和展布情况等尚不十分清楚;二是时代老,经历的构造运动复杂、热演化史复杂,页岩经历了多期次的生排烃,页岩气成藏条件复杂;三是页岩埋深变化较大,从出露地表到埋深超过万米均有分布。

#### 1.1.2 多期复杂构造运动、破坏强度大

中国以至亚洲大陆并不是以一个巨型前寒武纪克拉通为主体的单一大陆,而是由一些小克拉通或小陆块和众多微陆块及其间的造山带组合而成的复合大陆<sup>[6]</sup>。而北美地台的面积较大,地台刚性强,克拉通盆地在后期的构造运动中遭受的破坏较小。中国3个古生代海相沉积区都不是典型的克拉通盆地<sup>[2]</sup>,克拉通台地个体小、稳定性差,故称准地台。中朝克拉通是其中最大的一个,也只有东欧克拉通的约1/4,北美克拉通的约1/12;扬子克拉通只有东欧的1/7,北美的1/20<sup>[7]</sup>。这些块体边缘多次反转,同时上叠了中新生代沉积盆地,在区域性深大断裂控制下形成了复杂的构造复合。在美国密执安盆地和伊利诺伊盆地边缘生产页岩气的区域,在中国相同位置的各种构造带,页岩地层破坏严重。国内的海相页岩形成于多旋回叠合盆地,基本上经历了拉张—挤压—扭动走滑的应力多次交替,造成了裂谷盆地→克拉通盆地→被动大陆边缘盆地→前陆盆地的叠加复合,具有复杂的地质结构<sup>[2]</sup>。

在这种条件下寻找具有一定范围的稳定海相沉积体都有较大的困难<sup>[4]</sup>。

美国产气页岩在沉积之后,没有经历后期的多次构造运动对盆地的叠加和改造,盆地多保留为原型盆地。例如美国页岩气勘探开发最早的阿巴拉契亚盆地,是早古生代发育起来的前陆盆地,主要有3次大的构造事件:Taconic、Acadian 和 Alleghanian 构造运动<sup>[8]</sup>,中石炭世的 Alleghanian 构造运动形成盆地现今的形态。与美国相比,中国南方早古生代形成的海相页岩在中石炭世以后经历了印支期、燕山期和喜山期等复杂的、多期次的构造演化(包括埋藏、抬升、断裂和褶皱等)和热演化(多期次、多种方式的生排烃),这些地区的页岩气藏比美国主要页岩气藏对保存条件要求严格。因此,构造演化的差异性决定了盆地内页岩气藏保存条件的差异性,决定了页岩气的聚集程度和勘探潜力。在这样的构造背景中,不仅常规油气难以保存,而且页岩气保存条件也面临挑战,只在相对稳定的块体上有一定的发育条件,因此,“动中找静”,可能是页岩气进行勘探的关键。但庆幸的是,尽管在四川盆地边缘及其附近这些页岩在后期的构造运动中被卷入各种逆冲推覆构造中,破坏较为严重,但在盆地深部特别是志留系区域性滑脱层之下的古生界泥页岩遭受的破坏较小,页岩气保存条件较好。

### 1.1.3 热演化史复杂、成熟度高

美国主要产气页岩经历的生烃史较简单,成熟度相对较低,处在成熟阶段。与美国主要产气页岩相比,中国海相页岩热演化程度偏高,部分已达过成熟阶段,这与中国海相页岩沉积时代早、经历的地质历史长和经历的构造运动复杂等因素密切相关,导致页岩经历了多期次的生排烃(早期生气、二次生气、沥青生气和残余油生气等)和页岩气的聚集、散失,页岩气藏遭受了多期次的改造—破坏,具有复杂的页岩气聚集机理和过程,使页岩气藏的形成和分布复杂。中国南方地区海相页岩经历了长期的构造和热演化,具有演化历史复杂、热成熟度较高、生烃时间早等特征,为勘探增加了难度。因此,在南方构造相对活动的地区要寻找构造活动相对薄弱且生气高峰晚(至少是生气时间距今比较近的页岩)的地区进行页岩气研究。

中国海相页岩具有成熟高的特点(图 1),以中国南方地区下寒武统黑色页岩为例,大部分地区的成熟

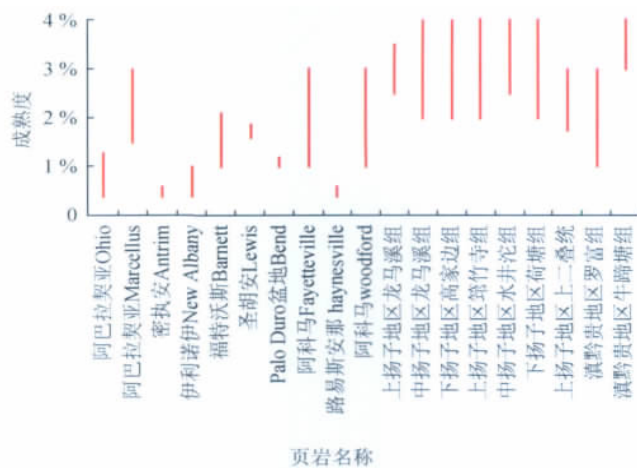


图 1 中美主要页岩成熟度对比图

度大于 3%,处于过成熟晚期阶段,局部地区的成熟度均超过 4%,达到变质期,失去生气能力<sup>[9-11]</sup>。虽然局部地区的成熟度偏高,但是高的有机碳含量预示着这些层位可能是页岩气发育的有利层位,如在黔中隆起的方深 1 井的下寒武统牛蹄塘组,成熟度( $R_o$ )高达 5.5%,有机碳含量高达 8.02%,对牛蹄塘组黑色页岩的压裂测试表明,仍有天然气产出。因此,不难看出即使是高成熟度的页岩,也可能有天然气赋存。总体来讲,高成熟度对页岩气藏来说是不利的,在高成熟度条件下,主要看页岩保存条件的好坏,如果保存条件好,即使成熟度高也能形成页岩气藏。笔者对四川盆地及其周缘下寒武统和上奥陶统一志留统 41 块黑色页岩

的成熟度和含气量的关系可以看出,成熟度( $R_o$ )介于 1.1%~3.0%时,吸附气含量达到最大值区域,平均超过 0.5 m<sup>3</sup>/t,最大超过 2 m<sup>3</sup>/t,总含气量也达到最大值区域,平均超过 1 m<sup>3</sup>/t。在小于 1.1%和大于 3.0%时,吸附气含量和总含气量均有不同程度的降低,前者因为处在生油窗(湿气),生气量有限且溶解于石油中,后者成熟度过高,生气能力有限,均导致吸附气含量不高(图 2)。无论成熟度高低,在页岩层中,均有天然气赋存,甚至形成页岩气藏。

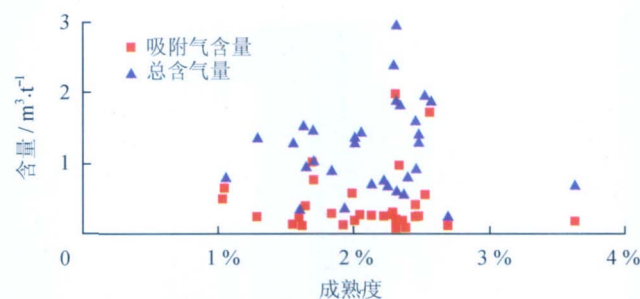


图 2 成熟度和吸附气含量、总含气量关系图

为了尽量避免勘探风险,笔者认为成熟相对较低的页岩可能具有较好的勘探前景,在中国南方地区大范围高成熟度的条件下,要寻找成熟度相对较低的区域,并加强含气量和保存条件的研究。

### 1.1.4 页岩分布面积广、厚度大、有机碳含量高

中国海相黑色页岩总体上具有层位稳定、分布面积广、厚度大和有机碳含量高等特点。以上扬子下寒武统黑色页岩为例,主要发育在梅树村期和筇竹寺期,与最大海泛面对应的低能环境对应,在整个上扬子广泛分布,包括川南九老洞组、川北筇竹寺组、贵州—湘西牛蹄塘组、鄂西水井沱组、湘西天柱山组等,分布稳定,岩性主要为黑色页岩、碳质页岩、硅质页岩、结核状磷块岩、粉砂质页岩和石煤层等。主要发育在川南—黔北—黔中、湘鄂西—渝东和川北—川东北等地,厚度介于 20~200 m,大部分地区大于 100 m,在川中古隆起一带不发育该套黑色页岩。总体来看,上扬子下寒武统黑色页岩具有厚度大、分布范围广的特点,现今残留面积约为 44×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,其中厚度大于 30 m 的分布面积约为 30×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。已发现的一系列古油藏(如贵州瓮安、麻江、铜仁、湘西南山坪等)的烃源岩均为该套黑色页岩,表明该套页岩曾有过生排烃过程。现今,这些古油藏被暴露地表,下寒武统黑色页岩也遭受剥蚀,页岩气的成藏条件破坏严重。

笔者对四川盆地及其周缘重庆市秀山县溶溪镇等

16 块样品分析,有机碳含量分布在 0.28%~6.37%,平均为 2.44%,普遍大于 1%(其中大于 1%的样品数占样品总数的 80%,大于 2%的样品数占样品总数的 53.3%),这些均表明下寒武统黑色页岩的有机碳含量高。中扬子、下扬子等地的古生界烃源岩也均具有厚度大、有机碳含量高优点,可与美国主要产气页岩盆地进行对比(图 3)。

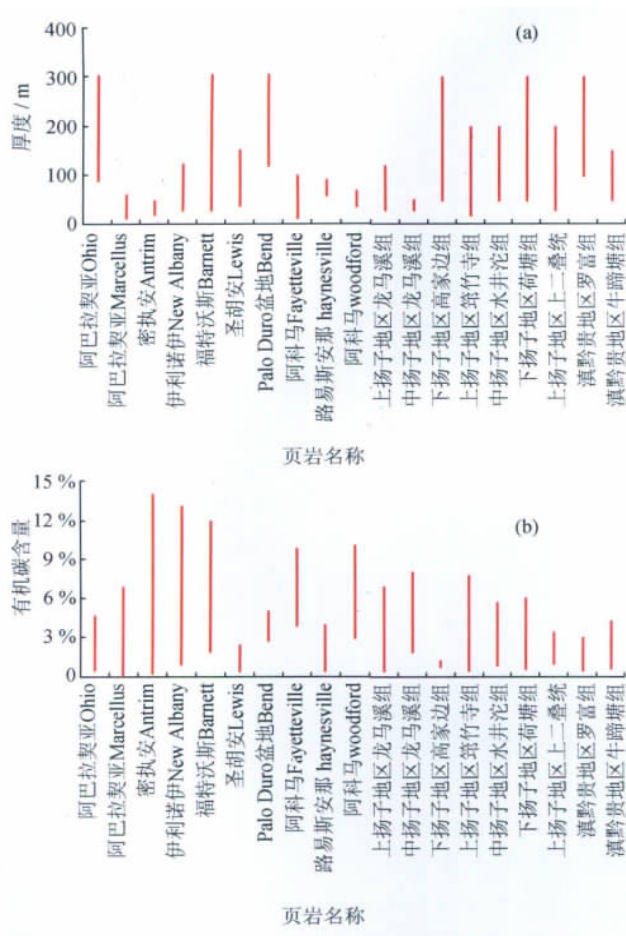


图 3 美国主要产气页岩与中国南方下古生界页岩厚度(a)和有机碳含量(b)对比图

## 1.2 陆相页岩油气的特殊性

中国陆相页岩主要发育在东部陆相盆地白垩系和古近系、西北侏罗系及其以上地层、中部鄂尔多斯盆地三叠系和南方四川盆地及其周缘的三叠系—侏罗系等,具有时代新、埋藏普遍较深、成熟度低和有机质丰度高等特点,油气兼产。以渤海湾盆地东营凹陷为例,古近系为断陷沉积阶段,存在多个湖侵和湖退旋回,暗色泥岩总厚度超过 1 000 m。泥页岩层主要发育在沙四上亚段和沙三下亚段,其中沙三下亚段暗色泥页岩

厚度介于 100~350 m,有机碳含量介于 1.0%~9.0%,镜煤反射率为 0.35%~1.9%,底界埋深在 1 200~4 000 m。在以前的钻井中有较好的页岩油气显示,如东营凹陷的丰深 1 井、河 160 井,车镇凹陷车 571 井,沾化凹陷的义 170 井,惠民凹陷的临 98 井<sup>[12]</sup>。

陆相生油理论的建立以及陆相盆地的成功勘探,使中国的石油工业走上了独立自主发展的道路<sup>[2]</sup>。陆相页岩油气的勘探同样需要积极创新,勇于突破,走中国特色的勘探道路。虽然陆相页岩油气的勘探比海相起步较晚,但是陆相页岩具有比海相页岩更有利的成藏条件,如厚度大、时代新、热成熟度低和生排烃历史简单等。四川盆地建南地区和元坝地区已获得突破,如川东北元坝 9 井在侏罗系珍珠冲段的压裂高产超过  $1 \times 10^4$  m<sup>3</sup>,建南气田利川复向斜建南构造的建 111 井,压裂后在下侏罗统自流井组东岳庙段日产天然气 3 000 m<sup>3</sup>,并且在泌阳凹陷安深 1 井获得页岩油突破,均表明中国的陆相地层具有页岩气(油)潜力。

与美国主要产页岩气盆地类比,中国陆相页岩具有分布局限、埋藏普遍较深、脆性矿物含量低、黏土含量高(图 4),具有成藏机理和成藏条件特殊以及不利于后期改造等不利因素,需要在今后的工作中,加强陆相页岩油气地质理论和开采技术的研究。

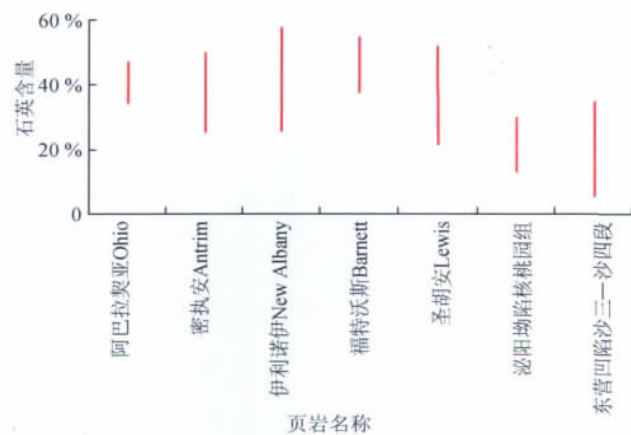


图 4 中国东部断陷盆地和美国主要产气页岩石英含量图

## 2 中国页岩气勘探策略

中国页岩气地质条件的复杂性和特殊性,决定了中国的页岩气勘探不能照搬美国成功的页岩气勘探开发经验,美国页岩气勘探开发经验无法直接指导中国的页岩气勘探,只能在一定程度上给予借鉴。加强页岩气聚集机理和分布规律等理论研究和勘探开发技术攻关是解决页岩气勘探开发问题的关键。



## 2.1 加强页岩气地质理论研究

笔者认为亟待解决的页岩气地质理论包括以下几个方面:

### 2.1.1 页岩气聚集机理

页岩气具有与常规油气不同的生成机理、运移机理、赋存机理和保存机理,其中页岩油和页岩气的聚集机理也差别较大,需要分别研究。①页岩中的天然气生成机理覆盖了生物化学、热解和裂解等几乎所有可能的有机生气作用机理,从未成熟到成熟均有发现,不同成熟度的页岩气藏,特征差别较大,准确判断页岩气成因是认识一个页岩气藏的关键;②页岩气没有从烃源岩运移到常规圈闭并在其中赋存的过程,只在页岩中赋存了大量气体,初次运移是控制页岩气聚集和分布的重要因素;③在页岩气藏中天然气主要以 3 种状态赋存在页岩中,研究天然气的赋存类型和比例,是估算气田深部或未勘探区页岩含气量、资源评价的重要依据,也是评价页岩气可采性和进行产能预测的主要参数之一;④页岩气的保存机理主要以岩性变化、水力封闭等机理对天然气进行封闭,保存条件的优劣主要取决于页岩本身的质量和构造运动的强度,前者主要与页岩的宏观发育、物性特征和微观封盖能力有关,而后者由构造运动所导致的裂缝发育及抬升、剥蚀程度来反映,另外,页岩和上覆、下伏地层的岩性、物性特征也是影响保存的主要因素。

### 2.1.2 页岩储层预测技术

由于页岩的低孔低渗特征以及前期作为储层研究偏少等原因,页岩气的储层评价和预测技术是目前亟待解决的关键问题。目前对页岩的储层类型、孔隙类型、孔隙特征、孔渗特征和关系、裂缝特征以及裂缝对页岩气聚集的控制作用还不是十分明确,并且缺少针对页岩储层有效的实验手段、测试方法和预测技术。要发展针对页岩微米级孔隙,甚至纳米级孔隙的实验手段和测试方法,发展地震、测井等技术对页岩储层类型、储层特征的识别和预测,加强页岩矿物组成对页岩储层类型和特征控制作用的研究。在这些测试和预测技术的基础上加强裂缝对页岩气成藏的控制作用的研究,加强孔隙类型和特征的研究。

### 2.1.3 页岩含气量计算

页岩含气量计算是研究页岩气评价的重要内容。页岩含气量包括吸附气含量、游离气含量和溶解气含量,准确判断吸附气含量是一项艰巨的工作,不同学者在这方面进行了积极的探索。笔者认为页岩的内部因素(页岩有机地球化学指标、矿物组成、物性指标等)和外部因素(深度、温度、压力等)是影响页岩含气

量的因素。其中影响吸附气含量的主要因素为有机碳含量、石英含量、总烃量、形态有机质含量、黄铁矿含量、湿度、密度、压力和温度等,影响游离气含量的主要因素为压力、温度、湿度、碳酸盐含量、孔隙度和密度等。建议根据中国实际地质条件分析各因素与含气量的关系,采用多元回归的方法对页岩含气量进行预测计算。

### 2.1.4 保存条件

建议在构造活动较为强烈的地区,加强页岩气保存条件研究:①要加强盆地的演化史研究,恢复不同时期的盆地原型,动态地反映盆地改造过程,从而在区域上对页岩气的发育条件进行控制;②页岩自身的非均质性是页岩封闭天然气的先决条件,致密的硅质层或石灰岩层可以把天然气封闭在相对较软弱的碳质页岩层内,因而要加强岩性组合分析;③通天断裂和淡水注入的条件下,可能使页岩气藏破坏掉,因此要加强从区域范围内寻找较好的压力封闭区,有利于页岩气成藏和保存,尤其是目前处在微超压和超压状态的,是页岩气勘探值得关注的领域和地区。

## 2.2 加强页岩气综合评价技术研究

页岩气应由早期的静态指标评价向静态指标和动态因素综合评价转变。早期的页岩气选区主要是以厚度、有机碳含量和成熟度等静态指标的信息叠加获得,这对页岩气勘探早期寻找大的页岩气发育有利区带是有意义和价值的。随着页岩气勘探的进一步深入,需要加入动态因素分析,从页岩沉积环境、构造演化、埋藏史和热演化史、生排烃史等多方面进行综合评价,不能简单地从厚度、有机碳含量和成熟度等静态指标肯定或否定一个地区。尤其是对南方复杂构造演化的地区来说,后期构造运动是重要的影响因素,应以页岩构造演化为主线,对页岩气生烃有效性、排烃“无效性”、保存条件的有效性等进行综合评价。

另外,还需要加入经济评价的因素。由于中国复杂的地形地貌条件,许多页岩气发育的有利区块处于交通不便、自然条件下水系河网不发育的边远地区,客观上存在的困难造成了天然气管网建设也不到位,如何保证页岩气在开发过程中获得必要的经济效益成为页岩气选区评价的重要命题。特别是市场经济条件下产品商业化必须以效益为前提。因此源于常规油气勘探开发评价体系以及源于美国地理环境下、市场环境条件下的评价技术无法满足国内页岩气的系统全面评价,需要加强综合评价技术研究。

## 2.3 加强页岩气勘探开发技术攻关

针对中国页岩气地质特殊性和复杂性发展新的勘

探技术,加强勘探技术的科技攻关,是提高页岩气勘探成功率和开发效益的重要手段。

### 2.3.1 地震技术

地震特别是三维地震主要是预测页岩的空间展布和相对高有机碳、高孔渗及微裂缝发育的层段和地区,预测页岩中相对高孔高渗的“甜点”区域,为钻井设计提供基础资料,探索适合中国地质条件的页岩气勘探地震模型,发展非常规勘探的地震理论。

### 2.3.2 钻井技术

由于页岩的低孔低渗特征,一是需要开展针对页岩气藏的水平井技术和欠平衡技术,二是需要保证稳定井眼的优质钻井液技术,三是发展“工厂化”丛式井钻井技术。

### 2.3.3 压裂技术

开展针对中国页岩气地质特殊性的压裂技术,包括多级压裂、清水压裂、水力喷射压裂、重复压裂以及同步压裂等,尤其是陆相页岩,其脆性矿物含量低,黏土矿物含量高,需要发展针对陆相页岩的压裂技术。

### 2.3.4 测井技术

由于组成页岩矿物的多样性和复杂性,在确定有机碳含量、成熟度、孔隙度、含气量和含气饱和度等参数之前要充分考虑测井曲线对多种矿物的测井响应,加强多种测井技术综合评价研究、攻关,建立适合中国页岩气地质的测井技术和标准。

## 3 结论和建议

1)中国发育多套海相页岩和陆相页岩,与国外相比,海相页岩具有“一老二杂三高”的特点,陆相页岩具有“一新一深二低”的特点。海相页岩与国外(主要是美国)典型页岩气盆地相比具有分布面积广、厚度大和有机碳含量高有利特征,同时也具有构造运动复杂、演化史复杂、演化程度高和生排烃期次多等不利因素,差异明显。要在认真研究美国页岩气盆地特征和勘探开发经验的基础上,立足中国盆地的具体特征来分析研究页岩气的成藏机理、条件和有利分布区域,建立适合中国页岩气地质特殊性的综合评价方法和技术体系,同时加强地震技术、钻井技术、压裂技术、测井技术等页岩气勘探开发技术的攻关。

2)在选区方法上,要采用静态指标分析向静态指标综合分析方法的转变,要加强页岩演化史、生烃史/量和排烃史/量等的动态研究,采用动态和静态因素相结合的方法进行页岩气勘探目标和钻井靶区的研

究。另外,除了地质条件外,将影响经济效益的人文地理参数进入评价体系,形成系统全面的综合评价体系和方法。

3)在选区地区和层位上,要坚持“立足盆内,兼顾盆外,海陆并举”的思想,盆地内常规油气勘探程度高,可供利用的资料较多,但由于页岩气地质特殊性,可能在盆外常规油气难发育的区域发育页岩气藏,因此,要兼顾盆外的页岩气勘探;同时考虑到中国在陆相生油理论和陆相盆地勘探获得巨大成功,为陆相页岩气勘探奠定了良好的基础资料,要加强陆相页岩气(油)的勘探研究和战略选区。类比国外在海相页岩气勘探获得巨大成功,要立足国内海相页岩气勘探,考虑到下古生界海相页岩特征,要“立足上古,兼顾下古和前寒武”。在具体措施上,根据中国页岩气地质特殊性海相选区要采取“高中找低、强中找弱、好中找厚”的原则。

## 参 考 文 献

- [1] 聂海宽,张金川. 页岩气藏分布地质规律与特征[J]. 中南大学学报:自然科学版,2010,41(2):700-708.
- [2] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘,2005,12(3):15-22.
- [3] 金之钧,蔡立国. 中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):722-730.
- [4] 金之钧,蔡立国. 中国海相层系油气地质理论的继承与发展[J]. 地质学报,2007,81(8):1017-1024.
- [5] 马力,陈焕疆,甘克文,等. 中国南方大地构造和海相油气地质(上册)[M]. 北京:地质出版社,2004.
- [6] 任纪舜. 中国大陆构造的基本模型[J]. 地球学报:中国地质科学院院报,1995(3):328-330.
- [7] 任纪舜,邓平,肖藜薇,等. 中国与世界主要含油气区大地构造比较分析[J]. 地质学报,2006,80(10):1491-1500.
- [8] CURTIS J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin,2002,86(11):1921-1938.
- [9] 李志荣,邓小江,杨晓,等. 四川盆地南部页岩气地震勘探新进展[J]. 天然气工业,2011,31(4):40-43.
- [10] 聂海宽,唐玄,边瑞康. 页岩气成藏控制因素及我国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报,2009,30(4):484-491.
- [11] 聂海宽. 页岩气成藏机理及其应用[D]. 北京:中国地质大学,2010:70-94.
- [12] 张林晔,李政,朱日房. 济阳拗陷古近系存在页岩气资源的可能性[J]. 天然气工业,2008,28(12):26-29.

(收稿日期 2011-09-18 编辑 罗冬梅)

demonstrates that the internal rate of return is more sensitive to the investment, gas price, and production capacity, then to the cost and subsidies. Therefore, in order to enhance the economic profit of this CBM development project, the CBM gas price needs to be further improved; more than that, the production per well is to be increased and the investment and cost to be cut down through the innovative theoretical studies and advanced development techniques. In addition, more preferential policies like increasing the policy subsidies should be formulated for the operators of such CBM development projects according to different production statuses in different areas.

**Key words:** CBM, economic evaluation, Cash Flow Method, price, productivity, preferential policy

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.11.026

**Cao Yan**, senior engineer, born in 1972, holds a Ph. D degree and is mainly engaged in research of natural gas and unconventional gas resources in terms of economic evaluation and economic analysis.

**Add:** No. 31, Xueyuan Rd., Haidian District, Beijing 100083, P. R. China

**Tel:** +86-10-8228 4811      **Mobile:** +86-18710153139      **E-mail:** caoyan\_syky@sinopec.com

### Evaluation of returns to scale and economic forecast of a CBM development project

Qin Xuecheng<sup>1,2</sup>, Duan Yonggang<sup>1</sup>, Wang Yunhai<sup>2</sup>, Xie Xueheng<sup>2</sup>, Wang Shiming<sup>3</sup>, Chen Lin<sup>2</sup>

(1. *Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China*; 2. *Research Institute of Petroleum Exploration & Development, East China Company, Sinopec, Nanjing, Jiangsu 210011, China*; 3. *North-west University, Xian, Shaanxi 710069, China*)

**NATUR. GAS IND. VOLUME 31, ISSUE 11, pp. 107-110, 11/25/2011. (ISSN 1000-0976; In Chinese)**

**Abstract:** Based on the previous research results at home and abroad, an optimized economic forecast model is built for a CBM ground development project taking the profit (including the policy subsidies) as target variables. Then, in combination with the Cobb-Douglas Production Function, the returns to scale of this CBM project is evaluated by use of the economic forecasting data. If the capital and labor output elasticity of a CBM development project is approximately equal to 1, i. e., if  $a+b=1$ , it refers to that the returns to scale remains unchanged; if  $a+b>1$ , it refers to that the returns to scale is increasing; if  $a+b<1$ , it refers to that the returns to scale is decreasing. The forecasting results show that a large-scale production is preferable for a CBM ground development project, from which the company responsible for this project will benefit. However, the expansion of the CBM production scale is never limitless, according to this economic forecasting model, the optimal numbers of drilling wells can be obtained at different development stages. On this basis, an effective development plan can be made, thereby to play an important role of good programming in the implementation of this CBM project. This method has been successfully applied in many CBM gas development projects.

**Key words:** CBM, ground development, economic forecast model, Cobb-Douglas Production Function, returns to scale

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.11.027

**Qin Xuecheng**, senior engineer, born in 1970, is studying for a Ph. D degree, with his interest in oil and gas field development.

**Add:** No. 37, South Rehe Rd., Xiaguan District, Nanjing, Jiangsu 210011, P. R. China

**Mobile:** +86-13851895168      **E-mail:** qinxc2008@126.com

### Peculiar geological characteristics of shale gas in China and its exploration countermeasures

Nie Haikuan<sup>1</sup>, He Faqi<sup>2</sup>, Bao Shujing<sup>1</sup>

(1. *Sinopec Exploration & Development Research Institute, Beijing 100083, China*; 2. *Sinopec Oilfield Exploration & Development Division, Beijing 100083, China*)

**NATUR. GAS IND. VOLUME 31, ISSUE 11, pp. 111-116, 11/25/2011. (ISSN 1000-0976; In Chinese)**

**Abstract:** Compared to the high production of U. S. shale gas, shale gas development is in its infancy in China, one important reason is its peculiar geological characteristics. Based on the analysis of the sedimentary environment, shale types, and evolution history & characteristics, this paper summarized the geological peculiarities of marine and continental oil and gas shales in China. The marine

gas shales are featured by old age, multiple bed layers, complex multi-period tectonic movement, complicated thermal evolution history, high failure strength, high total organic carbon (TOC) contents, and high degree of thermal maturity and evolution. The continental oil and gas shales are featured by new age, great burial depth, low thermal maturity, and low contents of brittle minerals. In order to achieve a breakthrough of shale gas exploration and a rapid growth of shale gas reserves and production, we suggest that (1) the analysis of shale gas pooling mechanism, geological conditions, and the distribution of favorable exploration target zones should be based on the said peculiarities of shale gas in China, (2) a comprehensive evaluation method and a package of techniques should be set up adaptable for such peculiarities, and (3) bottlenecks should be overcome in such technologies as seismic, drilling, frac treatment, and logging, etc.

**Key words:** shale gas, marine-facies shale, continental oil shale, accumulation mechanism, reservoir forecast, gas content, China

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.11.028

**Nie Haikuai**, born in 1982, holds a Ph. D degree and is mainly engaged in oil and gas pooling mechanism and geological studies of unconventional natural gas resources.

**Add:** No. 31, Xueyuan Rd., Haidian District, Beijing 100083, P. R. China

**Mobile:** +86-13466585382      **E-mail:** niehk.syky@sinopec.com



English Editor: JIANG Jing-ping  
TAN Rong-rong

**Tel:** +86-28-8601 3013

**E-mail:** jjplynth@hotmail.com