

# 美国未来能源格局趋势与中国页岩气勘查现状

费红彩, 张玉华

中国地质科学院, 北京 100037

**摘要:** 页岩气是一种清洁高效能源, 已经成为继石油、天然气后的一种重要能源。美国能够成功开发页岩气能源和迅速发展页岩气工业, 与其强大的科学技术及优惠政策有着密不可分的关系。随着我国经济的快速增长, 能源供应不足已经成为制约国民经济发展的瓶颈。本文结合近年来美国页岩气开发的最新进展, 分析了中国页岩气分布特点和开发现状, 最后指出中国页岩气开发中存在的困难和问题。

**关键词:** 页岩气; 液压裂解; 勘探开发; 环境问题; 美国; 中国

**中图分类号:** P618.12; TE3 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2013.03.14

## The Trend of US Future Energy Pattern and the Present Situation of China's Shale Gas Exploration

FEI Hong-cai, ZHANG Yu-hua

Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

**Abstract:** Shale gas is one kind of clean, high-efficient energy and has become an important energy source after petroleum and natural gas. That America can successfully develop shale gas and start shale gas industry is inseparable from its cutting-edge technology and preferential policy. With fast increasing of China's economy, the shortage of energy supply has become a bottleneck restricting the development of China's economy. Combining with the latest progress of US shale development, this study analyzes distribution characteristics and exploration status of China's shale gas, and points out difficulties and problems China will face during exploration of shale gas.

**Key words:** shale gas; hydraulic fracturing; exploration; environmental issue; America; China

随着全球经济发展, 能源需求也不断增长, 常规油气资源已不能满足社会发展, 页岩气等非常规油气资源, 由于其低污染、较低温室效应等优势, 已成为替代能源的不二选择(Jaramillo et al., 2007)。美国页岩气成功开发, 对全球产生了深刻影响, 为全球页岩气能源的开发注入了活力, 同时也催生了中国的能源革命。

页岩气是一种清洁高效能源, 主要赋存于富有机质泥页岩及其夹层中, 是以游离态、吸附态、溶解态及其他可能相态为主要存在方式的非常规天然气(Curtis, 2002)。页岩气可分为生物成因和热成因两种(Claypool, 1998), 间或出现混合型页岩气。主要由甲烷(90%)及少量烃化物 CO<sub>2</sub>、氮气和 H<sub>2</sub>S 组成,

封存于孔隙和裂缝之中或吸附于有机物或矿物表面(Jenkins et al., 2008)。其母岩页岩主要形成于静水环境, 既是原岩也是储层, 既是封闭层也为盖层。页岩为紧密型储层, 常规开发法就不适用于页岩气的开发, 目前最成功的页岩气开采技术是水平钻孔结合水压裂解。该项技术起源于 20 世纪 50 年代的美国, 到 20 世纪 70 年代开始成熟, 直至 20 世纪 90 年代, 美国米切尔能源公司真正实现水压裂解技术的页岩气商业开发(EIA, 2011)。自此, 借此页岩气开发技术, 美国页岩气勘探开发取得了惊人成就(BP, 2010), Stevens(2010)(英国国防事务研究所(Chatham House))将这种现象称为“页岩气革命”。报告解释了“美国页岩气如何影响全球天然气市场、液化气

供过于求及降低对天然气价格担忧的压力”。Stevens(2012)发表的“页岩气革命:挑战与变化”中阐述“美国页岩气革命”提高液化天然气的供应,降低全球天然气的价格,并引发世界页岩气的开发热潮。

中国在其经济快速发展中遭遇能源瓶颈(闫强等, 2010), 应该借鉴美国页岩气开发的成功经验, 分析世界石油消耗的轨迹(邹愉等, 2010), 加快中国页岩气资源开发的步伐。中美两国地质条件存在差异, 特别是地质条件复杂、埋藏深、基础建设差等, 加之中国页岩气开发的技术、政策、资金及储量不清等诸多问题, 但由此引发中国能源革命却毋庸置疑。本文从美国页岩气开发的角度, 探讨了页岩气起源、发展、技术及应用的最新进展, 结合中国页岩气发展的资料, 论述了中国页岩气开发所面临的挑战, 对于促进页岩气的勘探与开发具有一定的意义。

## 1 美国页岩气发展

美国是页岩气勘探开发最早、也是最成功的国家。早在 1821 年就成功钻探了世界第一口页岩气井, 20 世纪 70 年代, 美国政府从政策、财政上大力支持页岩气开发, 有效推动了页岩气开采技术的发展, 20 世纪 80—90 年代, 美国米切尔能源开发公司在德克萨斯中北部地区贝纳特页岩区实施了深部页岩气项目, 并实现页岩气的大规模商业开采。这主要得益于针对页岩气储层的特点开发了页岩气射孔优化技术、压裂技术和水平井技术。技术上的突破和商业化的生产, 有效降低能源的价格, 缓解美国严重依赖能源进口的局面, 为美国的经济可持续发展提供保障。美国能源署《年度能源展望报告 2011》和《年度能源展望报告 2012》(EIA, 2011, 2012)表明, 美国干页岩气产量从 2000 年的 99.58 亿  $\text{m}^3$  (0.39 tcf, 占美国干气生产总量不到 1%) 增长到 2010 年的 1416 亿  $\text{m}^3$  (5.0 tcf, 占美国干气生产总量 23%), 预计到 2035 年生产总量为 3851 亿  $\text{m}^3$  (13.6 tcf, 占美国干气生产的 46%~49%), 2040 年到 4729 亿  $\text{m}^3$  (16.7 tcf)。特别是自 2007 年以来, 页岩气生产增长 7 倍, 2011 年页岩气的生产占到干天然气生产的 30%, 弥补了石油产量不足的情况。美国能源署发布的《2013 年度能源展望早报》(AEO2013; EIA, 2013) 预测, 2011 到 2035 美国干天然气的累计产量比 AEO2012 年高 8%, 这主要得益于水平钻井和液压裂解技术在页岩气生产方面的应用。

EIA2011 年能源报告主要对美国五大盆地页岩

气进行评估, 而在 2012 年报告中对 32 个盆地进行评价。图 1a 显示了美国主要盆地的页岩气产量, 图 1b 显示了自 2004 年到 2010 年美国 EIA 预测的可采资源量柱状图。从图 1 可以看出, EIA 每年都在不断的调整页岩气的资源量预测, 这是因为可采页岩气资源量随着技术发展、地质理论认识及勘探程度等发展而不断修正和扩大。

图 2a 显示, 自 2011 年随着陆地天然气生产的减少, 页岩气的产量预测不断增加, 并且在所有非传统天然气中的涨幅最大(EIA, 2012)。图 2b 显示, 从 1990 年起国内石油产能的降低, 能源进口不断攀升, 在 2005 达到 60%。自 2005 年开始, 能源进口不断降低, 到 2010 及 2011 年, 石油进口分别为 49%(EIA, 2012)和 46%(EIA, AEO2013), 表明页岩气的开发逐步缓解能源需求压力, 非传统能源的开发弥补美国天然气产量的不足的现状。EIA《年度能源展望 2012 年报》的展望报告早期预计美国在 2035 年对进口能源的依赖降至 36%(图 2b), 并且到 2040 年天然气生产将增加到 9373 亿  $\text{m}^3$  (EIA, AEO2013), 比 2011 年增加 44%, 美国天然气产量不断提高, 对中东、加拿大传统液化天然气以及管道天然气的依赖度下降。所有这些数据都是利好消息, 势必将催生世界页岩气开发的热潮, 对世界的能源产生巨大的影响。

美国页岩气开发的成功, 对国际天然气市场及世界能源格局产生重大影响, 世界主要资源国都加大了对页岩气的勘探开发力度。因此, 美国政府、科研机构及各油气行业的不断尝试、探索和合作也为其他国家页岩气的发展提供了很好的范本。

## 2 中国页岩气开发现状

页岩气已成为能源行业的一个新焦点, 相比之下中国页岩气发展起步较晚, 始于 20 世纪 80 或 90 年代, 已取得初步进展。近年来, 在国家政策与导向的支持下, 设立页岩气调查评价和勘查国家专项, 初步摸清了我国部分有利区富有机质页岩分布, 初步掌握了页岩气基本参数, 建立了页岩气有利目标区优选标准, 优选出一批页岩气富集有利区(页岩气发展规划(2011—2015 年)。2011 年 5 月, 国土资源部选择六家公司作为第一批的页岩气开发商, 对 8 块区域约 7000 平方英里的区域进行了开发。截至 2011 年底, 我国石油企业开展页岩气直井压裂试气, 初步掌握了页岩气直井压裂技术, 证实了我国已具有开发页岩气的技术能力。

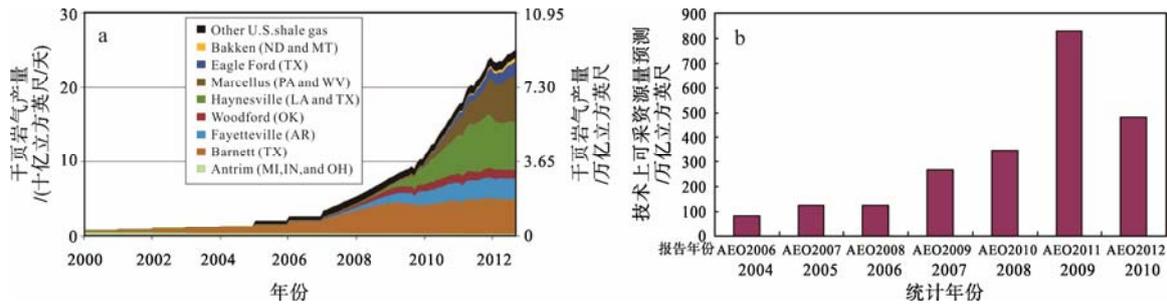


图1 美国2000—2012年各大盆地页岩气的实际产量(a)和2004—2010年15个盆地中页岩气的可采资源量(b) (据 EIA, 2012)

Fig. 1 Cumulated volumes of shale gas production for the basins in US from 2000 to 2012(a) and unproved technically recoverable resource assumptions from 2004 to 2010(b)(after EIA, 2012)

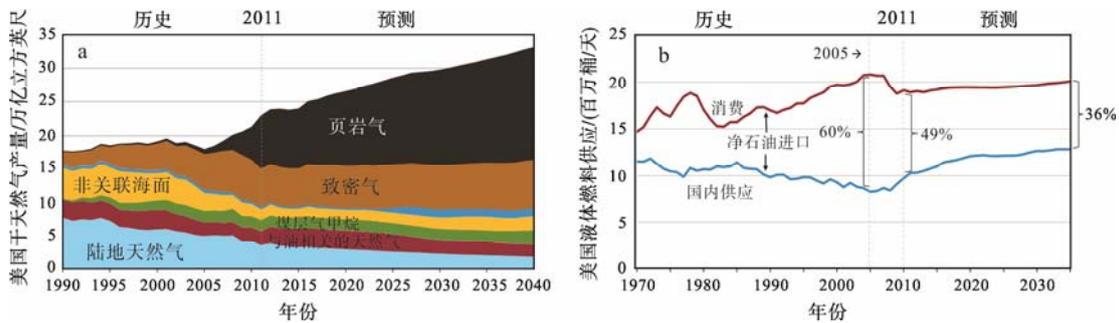


图2 美国1990—2011年干天然气产量及2020—2040年干气产量预测(a, 1990—2040; 据 EIA, 2013)和美国石油及其它液体能源生产、消费及净进口状况(b, 1970—2035; 据 EIA, 2012)

Fig. 2 US dry natural gas production from 1990 to 2011 and predictions from 2020 to 2040(a; after EIA, 2013) and total U.S. petroleum and other liquids production, consumption, and net imports from 1970 to 2035(b; after EIA, 2012)

目前,我国页岩气勘探开发主要集中在四川盆地及其周缘、鄂尔多斯盆地、辽河东部凹陷等地,已获得重大发现。中国地质调查局(2012)转载《国土资源报》成果汇报显示:在对我国陆域划分为五个区(上扬子及滇黔桂区、中下扬子及东南区、华北及东北区、西北区和青藏区)的41个盆地和地区、87个评价单元、57个含页岩气的层段评价后,初步评价我国陆域页岩气地质资源潜力为134.42万亿 $m^3$ ,可采资源潜力为25.08万亿 $m^3$ (不含青藏区),和目前我国常规天然气可采资源潜力(2011年动态评价结果为32万亿 $m^3$ )相当。其中,已获工业气流或有页岩气发现的评价单元,面积约88万 $km^2$ ,地质资源为93.01万亿 $m^3$ ,可采资源为15.95万亿 $m^3$ ,是目前页岩气资源落实程度较高、较为现实的勘查开发地区。

### 2.1 中国页岩气的分布

我国富有机质页岩分布广泛,张金川等(2008)将中国页岩气发育区划分为大致与板块对应的四大区域,即南方、华北—东北、西北及青藏等四大地区。根据沉积环境条件和特点,含气页岩可分为:海相、海陆过渡相及陆相(邹才能等,2010)。海相黑色

页岩主要形成于台地或陆棚环境,主要分布于南方地区、华北地区 and 新疆塔里木盆地,其特点以古生界海相沉积为主、热演化程度高、后期构造变动强,页岩气资源丰富。陆相暗色泥页岩主要形成于湖泊沉积环境中,主要分布于华北地区、准噶尔盆地、吐哈盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地和松辽盆地等,气富集条件多变,古—中—新生界页岩发育齐全(张金川等,2009;董大忠等,2011)。海陆过渡相煤系页岩主要分布于鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、华北地区及中国南方地区等(邹才能等,2010)。中国海相古生界页岩具有分布面积广、厚度大、有机质及脆性矿物含量高有利成藏条件;同时,又有中国南方海相页岩埋藏深、成熟度高、保存条件差、地表复杂等不利条件(杜金虎等,2011),势必加大中国页岩气勘探的难度。

### 2.2 中国页岩气的开发

中国对页岩气的关注始于2005年,总体上处于前期的探索和准备阶段,2008年初步将扬子地区为我国页岩气富集远景区,在2009至2011年启动“中国重点地区页岩气资源潜力及有利区带优选”项目、“川渝黔鄂页岩气资源战略调查先导试验区”和“全

国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目(张大伟, 2012)。2012年完成先导试验区工作, 系统开展全国页岩气资源潜力评价, 以5个大区区域性页岩气地质条件和富集规律研究为基础, 获取页岩气资源潜力评价的相关参数, 评价各区页岩气资源潜力。

依照国家页岩气发展规划(2011—2015年), 2012年3月, 中国国家能源宣布了页岩气的第一个五年计划, 希望在2012年生产目标6.5亿 $m^3$ , 2020年的生产目标60~100亿 $m^3$ 。第二个五年计划要求查明页岩气地质资源量6000亿 $m^3$ , 可采储量2000亿 $m^3$ , 2015年页岩气产量65亿 $m^3$ 。这对我国各级地质勘查是一次极大的考验, 页岩气的商业开发即将进入关键的攻坚阶段, 为我国页岩气大规模开发提供了宝贵的战略机遇。

### 2.3 中国页岩气的潜力

关于中国页岩气的资源量问题, 国内已有大量研究。张金川等(2009)研究认为中国页岩气可采资源量约为26万亿 $m^3$ , 刘洪林等(2010)通过类比法初步估计中国页岩气资源在30.7万亿 $m^3$ 左右, 赵文智等(2012)研究认为中国页岩气技术可采资源量为9.2万亿至11.8万亿 $m^3$ , 期望值为10万亿 $m^3$ 。中国国土资源部和地质调查局2012年3月公布普查数据, 中国陆域页岩气地质资源为134.42万亿 $m^3$ , 可采储量为25.08万亿 $m^3$ (不含青藏区)。该数据低于EIA2012年对中国主要盆地的页岩气资源潜力的评估数据为36.1万亿 $m^3$ , 但国内学术界也相继涌现出高达45万亿 $m^3$ 及低至4万亿 $m^3$ 相差近十倍的测算结论, 这些数据有一定差距, 但无论算法如何, 中国拥有的页岩气资源潜力都位居世界前列, 开发潜力巨大。

关于页岩气潜力区域, 赵文智等(2012)和李建忠等(2012)认为, 我国海相页岩气勘探前景最好, 四川盆地及其周缘地区最为现实; 海陆过渡相与煤系页岩气勘探潜力有待落实; 湖相页岩气主要分布于凹陷中心区, 具有一定的勘探潜力。张金川等(2009)及EIA(2012)认为, 中国页岩气富集的地质条件优越, 具有与美国大致相同的页岩气资源前景及开发潜力。尽管中国有如此的可开采储量, 但中国地质复杂, 地形多变, 多数地区的基础建设非常落后, 在进行商业生产时不能不考虑到有这些因素。但能否实现商业性开发, 还有待进一步考证。

## 3 中国页岩气开发遭遇的挑战

和美国页岩气发展相比, 中国页岩气资源勘探

程度较低、投入资金不足、资源总量和分布尚未完全掌握, 尽管我国具有页岩气大规模成藏的基本条件, 但尚未系统开展全国范围内页岩气资源调查和评价。根据国家能源局近日发布了《页岩气发展规划(2011—2015年)》, 到2015年, 中国页岩气仍以勘探为主, 将力争在2020年实现页岩气产量600亿至1000亿 $m^3$ 。因此, 美国“页岩气革命”, 为我国页岩气开发提供良好的范本。现在我国页岩气开发属起步阶段, 需要理性面对页岩气勘探开发的热情, 页岩气的开发风险大、成本高, 更需国家政策和财政支持。只有加大页岩气的勘探、科技投入, 提升关键技术的自主创新能力, 才能应对能源革命。页岩气开发为经济发展带来诸多机遇, 但在存在诸多问题。

(1)页岩气勘探开发的关键技术。页岩气赋存于页岩孔隙之中, 分布面积大, 富集程度低, 用常规方式难以进行有效开采。页岩气开发的水力压裂技术是页岩气开采的关键技术(Stevens, 2010)。我国页岩气开发技术尚处于起步阶段, 关键开发技术尚未掌握, 水平井与储层压裂改造技术适用性差, 也不成熟, 突破关键技术尚需要做大量工作。其次, 页岩气的一个重要特点就是没有完全相同的开采程序, 即使同一口井中页岩气产状也不同, 因此在一口井中适用的方法, 可能不适用于其他井(Stevens, 2012)。所以, 需要根据矿山的环境, 加强工区基础地质的勘察研究, 在引进国外技术的同时, 立足自主研发, 设计出适合中国地质条件的关键技术与重大装备。

(2)页岩气储量评价方法及规范化问题。目前页岩气储量评价方法很多, 不同开发单位在页岩气储量和资源量评估都采用不同的方法(刘洪林等, 2010; 刘德华等, 2011), 这无疑增加了全国资源评估的难度, 所以无论采用何种方法, 评价结果为政策决策者提供基本信息就是, 储集层是否具有足够的天然气地质储量, 是否具备足够的渗流能力与条件实现经济开采(李新景等, 2007)。这就需要总结海相和陆相页岩气成藏机理、富集规律, 建立不同类型的页岩气成藏模式, 确定页岩气资源评价的关键参数, 采用相应的评价方法和评价标准, 能较准确地计算页岩气藏储。

(3)页岩气生产技术引发的环境问题。水平钻井和压力裂解技术对地下地上环境造成何种破坏; 是否触发深部岩层滑动从而引发地震; 裂解使用化学注射物是否对环境有影响; 如何处理生产过程中产生大量废水(也就是卤液), 因为废水中全溶解固体

(TDS, total dissolved solids)比海水中高出5倍, 处理不当, 则对地表水质造成极大地影响(Gregory et al., 2011)。所以, 环境保护问题也是中国页岩气开发商必须考虑的因素。

(4)页岩气开发将面临许多社会及法律等未知问题, 如水资源、土地征用、基础设施等方面的一些问题。针对这些问题, 美国分别通过《美国联邦环境法》、《资源保护和恢复法》等法律, 对确保安全有效开发页岩气起到至关重要的保障作用(杨淑梅等, 2012)。这就需要政府出台一系列政策, 确保中国页岩气产业规划的顺利实施。

尽管存在以上问题, 但随着中国页岩气非常规油气资源基础理论的不不断提升、开采技术的发展及国家政策的支持, 页岩气的开发利用将在我国能源体系中起到重大作用。

### 参考文献:

- 董大忠, 邹才能, 李建衷, 王社教, 李新景, 王玉满, 李登华, 黄金亮. 2011. 页岩气资源潜力与勘探开发前景[J]. 地质通报, 30(2-3): 324-336.
- 杜金虎, 杨华, 徐春春, 梁世军, 皮学军, 王红岩. 2011. 关于中国页岩气勘探开发工作的思考[J]. 天然气工业, 31(5): 6-8.
- 李建忠, 李登华, 董大忠, 王社教. 2012. 中美页岩气成藏条件、分布特征差异研究与启示[J]. 中国工程科学, 14(6): 56-63.
- 李新景, 胡素云, 程克明. 2007. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发, 34(4): 392-400.
- 刘德华, 肖佳林, 关富佳. 2011. 页岩气开发技术现状及研究方向[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 33(1): 119-123.
- 刘洪林, 王红岩, 刘人和, 赵群, 林英姬. 2010. 中国页岩气资源及其勘探潜力分析[J]. 地质学报, 84(9): 1374-1378.
- 杨淑梅, 张丽丽. 2012. 美国开发页岩气的成功经验及对我国的启示[J]. 华电技术, 34(10): 73-76.
- 闫强, 陈毓川, 王安建, 王高尚, 于汶加, 陈其慎. 2010. 我国新能源发展障碍与应对: 全球现状评述[J]. 地球学报, 31(5): 759-767.
- 张大伟. 2012. 加强对外合作, 促进页岩气勘探开发[J]. 中国国土资源经济, (5): 11-13, 21.
- 张金川, 徐波, 聂海宽, 汪宗余, 林拓. 2008. 中国页岩气资源勘探潜力[J]. 天然气工业, 28(6): 136-160.
- 张金川, 姜生玲, 唐玄, 张培先, 唐颖, 荆铁亚. 2009. 我国页岩气富集类型及资源特点[J]. 天然气工业, 29(12): 1-6.
- 赵文智, 董大忠, 李建忠, 张国生. 2012. 中国页岩气资源潜力及其在天然气未来发展中的地位[J]. 中国工程科学, 14(7): 46-52.
- 邹才能, 董大忠, 王社教, 李建忠, 李新景, 王玉满, 李登华, 程克明. 2010. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 37(6): 641-653.
- 邹愉, 王高尚, 于汶加, 林建. 2010. 典型国家部门石油消费轨迹及对中国的启示[J]. 地球学报, 31(5): 666-672.
- 中国地质调查局. 2012. 我国页岩气可采资源潜力为 25 万亿方[OL/EB]. [2012-08-20]. <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/gzdongtai/13011.htm>.

### References:

- BP. 2010. Statistical Review of World Energy 2011[G]. London: BP.
- CLAYPOOL G E. 1998. Kerogen conversion in fractured shale petroleum systems[J]. AAPG Bulletin, 82(13): 5.
- CURTIS J B. 2002. Fractured shale-gas system[J]. AAPG Bulletin, 86(11): 1921-1938.
- DONG Da-zhong, ZOU Cai-neng, LI Jian-zhong, WANG She-jiao, LI Xin-jing, WANG Yu-man, LI Deng-hua, HUANG Jin-liang. 2011. Resource potential, exploration and development prospect of shale gas in the whole world[J]. Geological Bulletin of China, 30(2/3): 324-336(in Chinese with English abstract).
- DU Jin-hu, YANG Hua, XU Chun-chun, LIANG Shi-jun, PI Xue-jun, WANG Hong-yan. 2011. A discussion on shale gas exploration and development in China[J]. Natural Gas Industry, 31(5): 6-8(in Chinese with English abstract).
- EIA (Energy Information Administration). 2011. World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States[OL/EB]. [2012-08-20]. <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>.
- EIA (Energy Information Administration). 2012. Annual Energy Outlook 2012 with 2035 projections[G]. Washington DC: EIA.
- EIA (Energy Information Administration). 2013. Annual Energy Outlook 2013 Early Release[G]. Washington DC: EIA.
- GREGORY K B, VIDIC R D, DZOMBAK D A. 2011. Water Management Challenges Associated with the Production of Shale Gas by Hydraulic Fracturing[J]. Elements, 7(3): 181-186, doi: 10.2113/gselements.7.3.181.
- JARAMILLO P, GRIFFIN W M, MATTHEWS H S. 2007. Comparative life-cycle air emissions of coal, domestic natural gas, LNG, and SNG for electricity generation[J]. Environmental Science & Technology, 41: 6290-6296.
- JENKINS C D, BOYER C M. 2008. Coalbed- and shale-gas reservoirs[J]. Journal of Petroleum Technology, 60: 92-99.
- LI Jian-zhong, LI Deng-hua, DONG Da-zhong, WANG She-jiao. 2012. Comparison and enlightenment on formation condition and distribution characteristics of shale gas between China and US[J]. Engineering Sciences, 14(6): 56-63(in Chinese with English abstract).
- LI Xin-jing, HU Su-yun, CHENG Ke-ming. 2007. Suggestions from the development of fractured shale gas in North America[J]. Petroleum Exploration and Development, 34(4): 392-400(in Chinese with English abstract).
- LIU De-hua, XIAO Jia-lin, GUAN Fu-jia. 2011. Current Situation and Research Direction of Shale Gas Development[J]. Journal

- of Oil and Gas Technology, 33(1): 119-123(in Chinese with English abstract).
- LIU Hong-lin, WANG Hong-yan, LIU Ren-he, ZHAO Qun, LIN Ying-ji. 2010. China Shale Gas Resources and Prospect Potential[J]. Acta Geologica Sinica(Chinese Edition), 84(9): 1374-1378(in Chinese with English abstract).
- STEVENS P. 2010. The 'Shale Gas Revolution': Hype and Reality[OL/EB]. [2012-08-20]. www.chathamhouse.org.uk.
- STEVENS P. 2012. The 'Shale Gas Revolution': Developments and Changes Energy[OL/EB]. [2012-08-20]. www.chathamhouse.org.uk.
- YAN Qiang, CHEN Yu-chuan, WANG An-jian, WANG Gao-shang, YU Wen-jia, CHEN Qi-shen. 2010. Development Obstacles of New Energies in China and Countermeasures: A Review on Global Current Situation[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(4): 392-400(in Chinese with English abstract).
- YANG Shu-mei, ZHANG Li-li. 2012. Successful experience of US in shale gas development and revelation for China[J]. Huadian Technology, 84(9): 1374-1378(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Da-wei. 2012. Strengthen International Cooperation and Promote Exploration and Development of Shale Gas[J]. Natural Resource Economics of China (Special issue), (5): 11-13, 21(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jin-chuan, XU Bo, NIE Hai-kuan, WANG Zong-yu, LIN Tuo. 2008. Exploration potential of shale gas resources in china[J]. Natural Gas Industry, 28(6): 136-160(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jin-chuan, JIANG Sheng-ling, TANG Xuan, ZHANG Pei-xian, TANG Ying, JIN Tie-ya. 2009. Enrichment Type of China's Shale Gas and Resources Characteristics[J]. Natural Gas Industry, 29(12): 1-6(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Wen-zhi, DONG Da-zhong, LI Jian-zhong, ZHANG Guo-sheng. 2012. The resource potential and future status in natural gas development of shale gas in China[J]. Engineering Sciences, 14(7): 46-52(in Chinese with English abstract).
- ZOU Cai-neng, DONG Da-zhong, WANG She-jiao, LI Jian-zhong, LI Xin-jing, WANG Yu-man, LI Deng-hua, CHENG Ke-ming. 2010. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 37(6): 641-653(in Chinese with English abstract).
- ZOU Yu, WANG Gao-shang, YU Wen-jia, LIN Jian. 2010. An Analysis of Sectorial Oil Consumption Track in Typical Countries and Its Implications to China's Trend[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 666-672(in Chinese with English abstract).

## 我国跻身世界地壳深部探测大国行列

从4月16日召开的“深部探测专项2012年度成果汇报会”上获悉：我国深反射地震剖面总长达到1.1万km，首次超过1万km，标志着我国跻身世界深部探测大国行列。

据介绍，“深部探测专项”是我国目前实施的规模最大的地球深部探测计划，是“地壳探测工程”的培育性专项。我国地壳探测工程计划用20年时间，完成地球深部探测计划。

2008年启动深部探测专项前，我国深反射地震剖面总长仅约5000km，相当于美国的1/12。而过去5年中完成了6000km“穿透地壳”的深反射地震剖面，超过了此前50年完成的总和，使我国深反射地震剖面总长达到11000km。

专项首席科学家、中国地质科学院副院长董树文说，获取深反射地震剖面，有利于了解地球的结构与组成，在资源勘探、环境保护和防灾减灾方面具有重要的科学意义。

专项还第一次系统建立适应我国大陆复杂岩石圈、地壳的深部立体探测技术体系；打破了国外垄断，自主研发了一批深部探测地震、地面电磁、无人机航磁等关键仪器和万米科学钻机，实现了关键技术的重大突破。

此外，我国首次建立了亚洲最大规模的地球动力学数值模拟平台，实现了全球、区域、局部尺度的三维地球模拟的跨越，这将为我国地壳活动性监测和地震预警提供新的技术路线。