

美国大规模页岩气开发的若干问题

禹 庚

(新疆维吾尔自治区科学技术厅, 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 美国大规模页岩气开发取得了显著成效, 能源安全得到有力保障, 为经济复苏提供了坚实保障, 增加了就业及政府收入, 并有助于减少温室气体的排放。美国大规模开发页岩气, 除源于能源供应紧张外, 还有政府鼓励开发非常规能源以及页岩气开发技术日臻完善。水力压裂技术是页岩气开发的关键技术, 但存在水资源被过度使用、地下水及环境被污染及人工诱发地震等潜在风险。美国页岩气持续稳定发展也面临气田产量衰减和公司盈利能力等问题。目前, 为缓解天然气紧缺, 欧洲也在考虑开发页岩气, 但美国页岩油气爆发式发展的成功有许多是美国自身的因素, 其他国家要照搬并不可取。

关键词: 美国; 页岩气; 页岩气开发; 水力压裂技术

中图分类号: F437.126.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.11.003

自2002年, 美国页岩气开发进入大干快上的阶段(也称美国页岩气革命), 美国页岩气产量一年一个台阶, 节节攀升。到2012年, 美国页岩气日产量由2007年的19 901.45亿 ft^3 猛增到102 965.72亿 ft^3 , 页岩气产量占到天然气总产量的39%强。本文将分析美国大规模页岩气开发的成因及联邦政府采取的政策措施, 讨论美国对页岩气开发的关键技术——水力压裂技术的相关意见

以及是否加强监管的争论, 并探讨美国页岩气持续稳定发展所面临的气田产量衰减和公司盈利能力等问题以及美国页岩气革命输出的可能性。

1 大规模页岩气开发的成效

美国大规模页岩气开发取得了显著成效, 自1990年以来, 美国干天然气产量构成及至2040年的产量预测^[1]见图1所示。

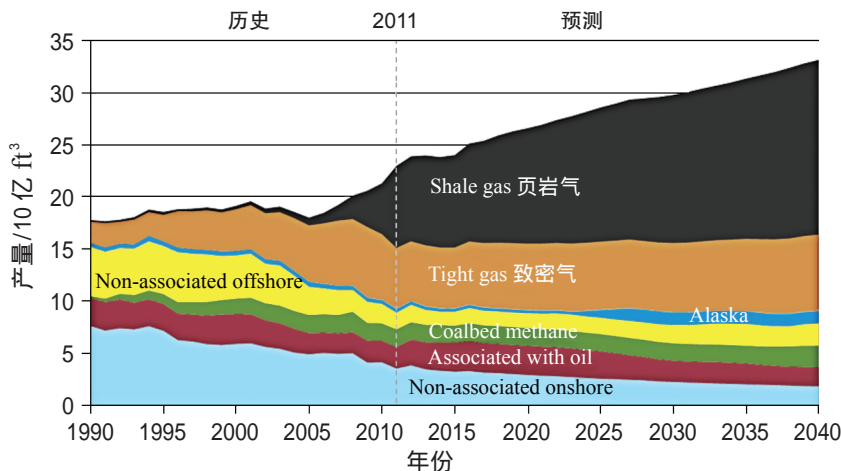


图1 美国干天然气产量构成及至2040年的产量预测

数据来源: U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2013 Early Release。

作者简介: 禹庚(1958—), 男, 国际科技合作处处长, 主要研究方向为国际科技合作管理及农业经济管理。

收稿日期: 2014-08-08

(1) 美国对进口能源的依存度降低，能源安全得到有力保障。国际能源署 2012 年底发布的《世界能源展望》年度报告称，美国将取代沙特阿拉伯成为世界上最大的石油生产国，并在 10 年后实现能源自给。到 2015 年，美国将大幅度超越俄罗斯，成为世界最大的天然气生产国。

(2) 页岩气开发拉动天然气价格向下浮动，而价格低廉、供应充足的天然气为美国的经济复苏提供了坚实保障。据报道，由于能源成本下降明显，美国一些高能耗重化工业、制造业企业出现回流现象，全球竞争力有所提升。

(3) 增加了就业及政府收入^[2]。2012 年，美国非常规能源上下游及相关化工产品联邦与地方税累计达到 744.43 亿美元。页岩气开发带动能源产业发展，提供了 210 多万个优质就业岗位。

(4) 美国天然气产量增长，推动了天然气在发电行业的煤炭替代，进一步挤压了煤电行业的份额，有助于减少温室气体的排放。

(5) 凭借大规模页岩气开发的成功，美国低碳技术的领袖地位日益巩固，国际领导力增强。

2 大规模开发页岩气的必要条件与偶然因素

页岩是沉积岩常见存在形式，有薄页状或薄片层状的节理，主要由黏土沉积经压力和温度形成。页岩气是以游离或吸附状态蕴藏于页岩层或泥岩层中的天然气。页岩既是天然气生成的源岩，也是聚集和保存天然气的储层和盖层。页岩气、煤层气和致密砂岩气被统称为非常规天然气或致密气层气，是因为相对常规天然气而言，非常规天然气具有资源富集程度低、分布区域广、储集层渗透率低、开采难度大等特点。换句话说，页岩气等非常规天然气就是人们常说的贫矿，通常认为无法开采或不值得开采。

2.1 必要条件

2.1.1 能源供应紧张

美国是在经受了两次石油危机的打击后，开始重新审视非常规天然气资源。特别是 1979 年底，能源价格飙升、供应紧张、经济衰退，美国天然气的储采比降到了历史最低（9.8 : 1），天然气资源即将耗尽的警告不绝于耳。饱受能源供应困扰的美

国联邦政府调整了政策，鼓励开发国内资源以降低对进口能源的依赖，鼓励开发非常规能源以提高能源供应的多元化等。

2.1.2 政府鼓励开发非常规能源

为了营造开发环境，美国联邦政府采取了 2 项关键措施：一是加强国家能源的统筹管理；二是出台优惠政策，鼓励开发国内各类能源资源，尤其是非常规能源。

1977 年，美国议会通过了《能源部组织法案》（*Department of Energy Organization Act 1977*），在整合原有近 50 个政府相关机构的基础上，成立了统一管理国家能源事务的联邦政府机构——能源部，负责联邦政府能源政策制定、能源行业管理及能源相关技术研发等，以解决美国的能源问题。

1980 年，美国通过《原油意外获利法案》（*The Windfall Profits Tax Act of 1980*），提出了一揽子优惠政策，鼓励开发非常规天然气资源。该法案虽然适用范围有限，但对从事包括页岩气在内的非常规及低渗透天然气开发的公司而言，其降低风险和提高收益效果明显。在法案有效期的 22 年里，美国非常规天然气产量翻了一番。

2.1.3 页岩气技术日臻完善

为了创造开发条件，美国联邦政府加大基础科学投入，摸清资源禀赋，开展相关技术的开发研究，组织试验钻探等。1973 年，美国政府开展首次有组织的非常规天然气资源调查，得出美国非常规油气资源丰富的基本判断。1976 年，美国议会采纳了美国国家科学院关于开展大规模非常规天然气资源调查的建议^[3]，批准能源研究与开发管理署（*Energy Research and Development Administration*，后并入能源部）整合国家实验室、大学和企业的科研力量，组织实施非常规油气资源研究计划（*Unconventional Gas Research Programs*，1976-1995）。计划设立页岩气、煤层气、致密砂岩气 3 个项目，总拨款 2.2 亿美元。在完成了几个主要构造带非常规油气资源存量清册的同时，试验、展示、推广适用技术，企业在边干边学的过程中不断创新，使技术日臻完善。其中，就有在美国页岩气革命中发挥了决定性作用的技术：水平井钻探技术、水力压裂技术以及微地震压裂监测技术等。这些技术并不都是页岩气开发过程中的原创，但都经

过了消化吸收再创新或集成创新的过程，以满足页岩气资源开发的特定需求。

(1) 水平井 horizontal well 钻探技术

该技术就是垂直向下钻进当接近页岩油气藏层时进行 90 度转弯，再沿着页岩层节理方向水平钻进至理想开采位置。美国早在 1929 年就开始了水平井钻探^[4]，1970 年代，随着井下动力钻头的问世，定向钻井 directional drill 技术日趋成熟。1986 年，在能源部资金和技术的支持下，美国在阿帕拉契亚平原打出了第一口真正意义的水平页岩气井。

(2) 水力压裂 hydraulic fracturing 技术

该技术是利用地面高压泵，通过井筒向油气层加压注入压裂液，井底油气层岩石因过压破裂而产生裂缝，持续注入压裂液使裂缝继续向油层内部扩张，压裂液中的支撑物质支撑起已经压开的缝隙使其不致闭合，从而在油气层与油气井之间形成众多通道，以提高油气井的产量。1947 年，美国 Standolin Oil 公司在堪萨斯一口油气井首次进行水力压裂试验获得成功；1949 年，该技术商业化；到 1955 年，该技术被广泛采用^[5]。

(3) 微地震压裂监测 micro-seismic hydraulic fracturing mapping 技术

该技术通过接收压裂过程中诱发的微地震波来实时监测压裂过程中裂缝生长的几何形状和空间分布，操作人员利用这些信息优化压裂设计或采取措施，从而提高油气采收率。该技术于 20 世纪 70 年代由美国国家实验室发明用于地热项目，后来逐步用于页岩气开采。

2.2 偶然因素

能源的紧张、政府的重视、技术的成熟为美国非常规油气资源开发创造了必要条件，奠定了坚实基础。然而，2002 年，2 个偶然事件，触发了美国页岩气的大开发。

2.2.1 米切尔能源公司经过 20 多年的不懈努力，开发页岩气获得成功

米切尔能源公司位于德克萨斯州，创立于 1946 年，老板是乔治·米切尔（George Mitchell），从事常规天然气勘探与生产。依靠向芝加哥天然气管道供气的长期合同，公司获得稳步发展，到 1980 年，成为德州当时最大的能源企业之一。就在这时，公司租赁土地的常规天然气资源日渐枯竭，迫

切需要开拓新的天然气资源以保证稳定供气，但一时又没有明确的天然气田租赁目标和充足的资金。在公司地质师的建议下，不得以在公司租赁的 Barnett 页岩地区尝试开采页岩气。

米切尔开发页岩气的进展并不顺利。1981—1997 年，公司投入约 2.5 亿美元，打了无数初探井，尝试了多种水力压裂方法（包括泡沫压裂技术、氮气辅助凝胶水压裂技术等），虽然没有获得期盼的成功，但是米切尔始终苦苦坚持，坚信有实现技术突破、获得经济产能回报的一天。1997 年，米切尔偶然发现水基压裂液压裂效果好、成本低。后经多次试验改进，完善了以水为压裂液、以石英砂为主要支撑物质、辅以少量化学添加剂的水力压裂技术，在提高压裂效果的基础上，大幅降低了压裂液成本。也是这一年，米切尔能源公司打出了高产商业页岩气井。现在，人们知道 Barnett 页岩可能是美国大陆最大的气田，仅页岩气资源储量就达 26 万亿 ft^3 。

2.2.2 天然气价格攀升

在 2002 年初，由于天然气产量下降，美国天然气价格进入新一轮升幅波动期。天然气井口价格从 2002 年初的 2.5 美元/ ft^3 迅速攀升到 2003 年初的 5 美元/ ft^3 ，直到 2009 年初价格始终在 5 美元/ ft^3 以上波动^[6]。页岩气开发因此而有利可图。

两个因素叠加，大批掘金者投资页岩气开采，美国页岩气革命由此揭开序幕。老迈的米切尔乘势以 35 亿美元的价格把公司出售给戴文能源 Devon Energy。

3 页岩气开发的关键技术——水力压裂技术的弊端

油气资源的开发常常伴随着环境污染的风险。随着对水力压裂技术应用研究的深入，其显现和潜在的风险逐渐引起关注，如，水资源的过度使用、地下水及环境污染、人工诱发地震等。水力压裂技术之所以成为问题的焦点就在于，一旦这项技术被打上问题技术的烙印而被限制，非常规油气资源的商业开发就成为不可能完成的任务。

3.1 水资源过度使用

水力压裂技术的作业流程是：向地下高压注入主要由水、石英砂和少量化学添加剂制成的压裂

液，使油气藏层产生缝隙，石英砂作为支撑物大量留在裂隙里保持裂隙不闭合，作用后的压裂液被抽回到地面，存放在临时的蓄水池中，处理后，或重复利用、或注入地下、或排放到河流中。据统计，美国 95% 的油气井采用水力压裂技术，其石油产量占美国石油总产量的 43% 强，天然气产量占 67%^[7]。

根据美国能源部资料 Shale Gas 101 介绍，采用水力压裂技术，每口油气井的用水量约为 1 000 万加仑（1 加仑=3.785 L），一个规模油气田对水的需求由此可见一斑。在少雨的地区或季节，存在与当地生产和生活争水的矛盾。动物保护组织直指油气开采大量用水，使水禽栖息地水体缩小。

3.2 用后水污染问题

水力压裂作业期间，部分（10%~50%）用后水将被抽回到地面。如何处理和处置含有泥沙、碳氢化合物、重金属、阻垢剂、微生物和盐以及其他作业层组分的用后水，不仅事关环境与健康，还提出了一个棘手的低成本、合规处理和处置用后水的技术难题。

3.3 人工诱发地震

油气井水力压裂过程中伴随有作业层的微地震。有感地震的震级为 3 级以上，而目前，美国水力压裂作业诱发的最强地震为 0.8 级^[8]，只有精密的仪器才能检测到，微地震压裂监测技术就是利用这个原理来实现对压裂效果的监测。但近来，美国地质调查局（United States Geological Survey）在大量分析地震数据后认为，美国中部和东部地区最近几年记录到 450 次 3 级左右的地震，其每年超过 100 次的频率远大于历史记录的每年 20 次，这与大规模进行的水力压裂作业有直接关系，并指出用后水的回注人工诱发地震的风险更大^[9]。

水力压裂技术首次被贴上污染环境的问题技术标签是 1997 年。阿拉巴马州 Black Warrior Basin 的居民长期抱怨因为油气公司使用水力压裂技术开采浅层煤层气而引起地下水污染，但没有什么结果。非营利环保组织，法律环境援助基金会（LEAF）站了出来起诉州环保署不作为。美国第 11 届巡回

法庭裁定，鉴于水力压裂技术是某种地下注入的活动，责成州环保署将其纳入“地下注入控制 UIC”计划严加监管^[10]。联邦环保署就此组织了由各界代表参与的调查活动，评价水力压裂技术的使用对地下饮用水资源的影响，2002 年 8 月提交报告草案，后来几经修改，2004 年 7 月形成最终报告，结论是：通过煤层气井注入的水力压裂液对地下饮用水资源没有危害性影响或影响甚微。环保署主导的水力压裂技术与饮用水源及地下水全周期关系研究仍在进行中，2012 年末发布了研究进展报告^[11]，计划 2014 年底前，提交最终报告。

其他使用水力压裂技术开采油气的地区，如，盛产页岩气的宾夕法尼亚州和得克萨斯州也有许多类似的抱怨。此外，地下饮用水源受到污染^[13]的报道也常出现在各类媒体。

虽然多项研究都认为，尚未发现水力压裂技术污染环境和影响人类健康的实际案例，但人们的疑虑并未因此消除。美国油气开发地区的公众，尤其是环境保护人士，要求限制或禁止水力压裂技术的使用、加强监管的呼声不绝于耳。

4 对油气资源开发的监管

监管是政府管理经济活动和社会活动的有效手段。经济监管旨在维护公平竞争的市场秩序，分为金融与银行业、特定行业（包括交通运输、能源等）和一般商业 3 类；社会监管旨在保护环境、维护公共健康和安全等，分为消费者安全与健康、国土安全、交通运输、工作场所、环境及能源 5 类。

美国有完善的监管体系，其体系除了政府监管、行业监管和企业自律外，还包括媒体监督、公众监督及非政府专业组织监督。

4.1 政府监管

在美国，负责监管油气开发，尤其是采用水力压裂技术生产活动相关的环境问题，主要是美国环境署 EPA、内务部土地管理局（负责联邦土地的管理和监管）和农业部的林务署 US Forest Service。此外，美国各州有专门机构负责油气开发活动的许

① 美国波士顿的研究机构 Lux Research 在 2012 年 5 月发表的研究报告预计，到 2020 年，处理并处置水力压裂法开采天然气所产生的用后水一项，将使美国水处理行业保持 28% 的年增长率，造就一个 90 亿美元的水处理产业。

② “EPA has concluded that the injection of hydraulic fracturing fluids into CBM wells poses little or no threat to USDWs.” Evaluation of Impacts to Underground Sources of Drinking Water by Hydraulic Fracturing of Coalbed Methane Reservoirs Study, EPA 816-R-04-003, June 2004.

可及监管,废弃物的管理和处置、气体排放、地下注水及对野生动物的影响等,更是监管的重点。

美国联邦政府没有专门针对水力压裂技术开采页岩油气的法律法规,认为现有法律法规可以有效保障环境和人类健康,其法律法规主要有:《清洁水法》(*Clean Water Act*),页岩气钻探和生产过程中排放地面的用后水,冲刷钻井作业区的雨水形成的径流等都在监管范围;《安全饮用水法》(*Safe Drinking Water Act*),注入地下的水力压裂液是监管的主要对象;《清洁空气法》(*Clean Air Act*),监管钻探机械、天然气处理设备以及一切由油气开发引起的排放;《国家环境政策法》(*National Environmental Policy Act*),进行环境影响分析,监管联邦土地的开发活动。各州除了实施联邦法律法规,通常还有自己的一套法律规定,与联邦法相比,其监管权限范围更大、规定更细、更有针对性。比如,各州对页岩气钻井和生产的监管普遍实施从摇篮到坟墓的全过程监管,要求开钻前必须获得开钻许可,而要获得许可,公司必须提供井的位置、基建、运营和生态恢复的详细信息,并要求提供押金以保证履约。联邦及相关各州政府还建立了完善的信息交流机制,研讨监管实践中出现的新问题,评价监管成效等。

4.2 行业监管

美国石油学会 是全美国唯一的石油天然气行业协会,其最主要的工作是在美国国家标准研究院 ANSI 以及国家实验室的指导下,制定行业标准、提供培训服务。石油学会制定的行业标准不仅成为美国行业企业的技术规范,也成为各州法律法规的重要参考。学会通过制定技术标准、建议操作规程、指导文件,实施行业监管。水力压裂技术也是该学会监管的重点。发布的指导文件包括, HF1 油气井施工、HF2 水资源管理、HF3 减轻水力压裂活动对地表影响的操作规程等^[12]。

在美国页岩气开发监管和监督过程中,监管机构和监督方一致认为,在纷杂的问题中要抓主要矛盾——化学添加剂的载体——压裂液,从源头控

制,禁止使用一切可能造成环境污染以及威胁人类健康的化学添加剂,推动公开其成分。

压裂液的基质有酸、凝胶、油、水等几种,目前,多以水为基质。水力压裂液的主要成分^[13]各公司之间存在差异,而且,针对不同地质构造,成分也有不同,但主要构成为:水 90%、石英砂(陶瓷珠) 9.5%、化学添加剂 0.5%。

2002 年,美国非营利机构地下水保护理事会(Ground Water Protection Council)召开年会,与会者呼吁,鉴于柴油所含苯对环境和健康的影响,在饮用水源地开采煤层气时,禁止使用柴油作为压裂液的介质。倡议得到包括与会企业的积极响应,环保署随后于 2003 年与美国油气巨头 BJ Services Company, Halliburton Energy Services Inc. 以及 Schlumberger Technology Corporation 签订了谅解备忘录^[14]。签约的三家巨头公司,其压裂作业量占到全美国压裂作业量的 95% 强。

4.3 媒体、公众及非政府专业组织监督

监督各方,尤其是科学家专业组织,对政府监管不满。忧思 认为,美国页岩油气资源开发的超常规发展速度,对科学、法律和社会都是某种挑战,因为科学认知、法律程序、社会进步各有其节奏,造成科学、法律和社会滞后的假象,形成空白区。而所谓的美国页岩气革命,就是非常规油气开发的超常规发展与公众学习科学、掌握信息并利用法律手段做出理性决策之间时间差的产物。忧思以翔实证据数举监管漏洞,例如,尽管监管机构有公布水力压裂液成分的要求,但相关公司多以商业秘密为由,规避公布压裂液中部分浓缩化学添加成分的做法已成惯例;再例如,联邦 1974 年生效的《安全饮用水法》规定,任何有可能影响饮用水源地的向地下注入或在地表排放废水的活动,都要受到监管。然而,美国 2005 年生效的《能源政策法》,豁免了水力压裂作业活动。

美国知名大学的研究团队纷纷加入研究行列,大量深度研究报告揭示了页岩气开采以及水力压裂活动对环境和健康,尤其是浅层地下饮用水体的影

① American Petroleum Institute (API) 是美国唯一的石油行业协会, 550 多会员, 涉及美国石油和天然气行业的各个领域(www.api.org/)。

② 忧思是忧思科学家联盟的简称(Union of Concerned Scientists), 成立于 1969 年, 是一个由科学家组成的非营利社会团体, 关注由技术滥用而引发的社会热点问题, 提出忠告(www.ucsusa.org)。

响，呼吁加强监管、防控风险。民意调查^[15-16]也显示，加强油气公司的信息公开和政府监管的呼声明显高涨。

社会舆论普遍认为，政府应加强对油气开发活动，尤其是对争议较大的水力压裂作业的监管。多地在讨论立法限制水力压裂作业，联邦及各州政府仍在谨慎评估和权衡。就在全社会热烈讨论加强监管的时候，独立咨询机构已经给出了各监管措施对美国能源生产可能产生的影响。

2009年，受美国石油学会的委托，知名信息公司 IHS Global Insight 专题研究了水力压裂技术的监管对油气资源开发的影响评价，报告给出了3个假设的可能前景^[17]。

假设1——全面禁止使用水力压裂技术：在5年内，油气生产井的数量将减少79%。受此影响，到2014年，石油产量减少17%，天然气产量减少45%；到2018年，石油减23%，天然气减57%。

假设2——对可能造成环境污染的压裂液成分实施严格限制：受此影响的主要是页岩气开采，预计到2014年，天然气产量将减少22%，原油产量将减少8%。

假设3——按照地下注入控制 UIC 标准监管油气开采的水力压裂作业活动：5年内，新打井将减少20.5%，天然气产量将减少10%。

5 影响美国页岩气持续高速发展的重要因素

美国是页岩气大规模开发的先行者，仍保持着增长的势头。但美国页岩气行业关于产能和盈利的不确定性留下了太多的疑问，信息的非对称也留下了想象的空间。在人们把美国今天能源领域取得的成就归功于非常规能源页岩气开发的同时，也有学者认为，所谓的页岩气革命不过是美丽的泡沫（David Hughes，2013），也有观点认为是华尔街的骗局（Nick Hodge，2014）。

5.1 盈利能力

美国莱斯大学贝克能源研究中心主任 Ken

Medlock 是研究美国页岩气盈亏平衡问题的资深专家。他认为，除了天然气价格因素外，分析页岩气的效益还需要考虑其他因素。就盈亏平衡点而言，有些公司在天然气每千立方英尺 2.65 美元的价格就可以盈利，而有些则要 8.10 美元才能达到盈亏平衡，中位数为 4.85 美元。页岩气藏层的埋藏深度在 1 000~13 500 ft，造成页岩气井钻探成本差别巨大。以 Haynesville 页岩生产井为例，垂直深度 10 500 ft、水平钻进 4 000 ft，单井成本大约 800 万美元；而在 Barnett 和 Fayetteville 页岩，生产井的成本仅为 300 万美元左右。采收率直接关系评估最终开采储量（EUR），Barnett 和 Fayetteville 页岩气的采收率仅为 5.8% 和 10%，与常规天然气 75%~80% 的采收率相去甚远。页岩气井的综合开采，相当数量的页岩气井还生产天然气凝析液 NGL，其价值远高于页岩气等。Ken Medlock 认为，受经济复苏迟缓、能源需求不旺、价格低位徘徊的影响，美国部分页岩气公司经营亏损的局面还将持续一段时间，页岩气开发步伐将放缓。

5.2 产量衰减率

与盈利能力密切相关的另一个问题是页岩气井产量衰减率。与常规天然气井相比，页岩油气井产量衰减得非常快。Barnett 页岩是美国开采时间最长的，研究相对充分，其生产井的平均寿命约 7.5 年，产量在头 3 年的时间里平均下降 65%，随后每年下降约 8%^[18]。宾夕法尼亚州 Bradford 郡的气田^[19]，2009 年开发，属 Marcellus 页岩，到 2013 年 6 月底，有页岩气生产井 728 口，日产量 22 亿 ft³。以其中 2009 年下半年和 2010 年上半年投产的井为一组，分析产量的变化得出：从其投产到 2011 年底，平均单井日产量下降 42%；2012 年底，下降 31%；截至到 2013 年 6 月底，下降 22%。

因为页岩气井产量衰减快，因而，要保持气田产量持续增长，就必须保证新增页岩气井的产量超出老井衰减的量。办法是保质又保量，即打高产井以质取胜、打新井以量取胜。总之，页岩气公司就像一只被抽打高速旋转的陀螺，不是自己想停就能

① 2013 年底，达拉斯市议会通过了严厉的天然气井钻探法令，禁止在距离人类活动的场所（如，住宅、学校、商店、公园等）1 500 英尺的范围内开展钻探活动。这被业界视为等同于禁止水力压裂作业。Dallas Oks gas drilling rules that are among nation's tightest, 11 December 2013 (www.dallasnews.com)。

停得下来的。

美国石油学会的数据^[20]证实了专家关于页岩气公司经营困难的推断：2012 年钻井投入约 1 537 亿美元，比 2011 年增长 23.1%；新打油气井 46 735 口，比 2011 年增长 5.8%。但 2012 年，页岩油气钻探支出比 2011 年下降了 52.5%，而新打 3 619 口页岩油井与 2011 年的 3 414 口相比反而有增长。这表明：越来越多的页岩气公司转向价值更高的页岩油或天然气凝析液开采。尽管如此，美国石油学会还是认为，由页岩气引发的美国石油和天然气革命方兴未艾，美国油气开发的高潮还未到来。

与页岩气公司的举步维艰形成鲜明对照的是，华尔街对页岩气开采的高风险表现出非常宽容的态度。

2012 年，华尔街与页岩气相关的并购 M&A 交易共 77 笔，交易额累计 517 亿美元；2011 年，交易量 75 笔，交易额 727 亿美元^[21]。华尔街从中赚取高额利润和大笔中介费用，也即页岩气成为华尔街最赚钱的业务。

6 美国页岩气革命的输出

美国页岩气革命对患有能源饥渴症的世界而言，正是一石激起千层浪。页岩气资源丰富的国家大多在考虑是否可以拷贝美国的成功经验。欧洲也在考虑开发页岩气的可能性，以缓解天然气紧缺的问题。美国页岩气公司也急需开拓国外市场，扩大业务，释放受缚产能，提高盈利。

根据 2013 年美国能源信息管理局（U.S. Energy Information Administration，EIA）公布的数据^[22]：包括美国在内的世界 41 个页岩资源丰富的国家，技术可开采页岩气蕴藏量为 7 299 万亿 ft³，页岩油或致密油蕴藏量为 3 450 亿桶，其按照可开采页岩气及页岩油资源量排名前 10 的国家见表 1 所示。

6.1 美国学者看页岩气革命的输出

美国著名智库哈佛肯尼迪学院 Belfer 科学与国际事务研究中心学者 Leonardo Maugeri，2013 年提出的观点颇具代表性：美国拥有世界首屈一指的

表 1 EIA 按照可开采页岩气及页岩油资源量排名前 10 的国家

排名	页岩气			页岩油		
	国 别	储量/亿 ft ³		国别	储量/10 亿桶	
		EIA	ARI [*]		EIA	ARI [*]
1	中国	1 115		俄罗斯	75	
2	阿根廷	802		美国	58	48
3	阿尔及利亚	707		中国	32	
4	美国	665	1 161	阿根廷	27	
5	加拿大	573		利比亚	26	
6	墨西哥	545		澳大利亚	18	
7	澳大利亚	437		委内瑞拉	13	
8	南非	390		墨西哥	13	
9	俄罗斯	285		巴基斯坦	9	
10	巴西	245		加拿大	9	
	总 计	7 299	7 795		345	335

注：*对应的数据为 ARI（Advanced Resources International）估算值。

钻探能力。就硬件论，美国拥有世界 60% 的钻探设备，其 95% 可打水平井；就软件论，美国拥有数量庞大的熟练技术工人，掌握水力压裂、微地震压裂监测、用后水处理等页岩油气开发的关键技术和丰富的实践经验，同时还拥有强大的研发能力和庞大的技术储备等。世界任何其他国家，要形成这样的装备和能力，绝非数年努力可望企及。美国采矿权制度和企业家精神，尤其是独立进取、游击风格的企业家精神，在处理页岩油气开采过程中，善于把握稍纵即逝的机遇并实现多重目标。美国丰富的页岩气资源和低密度人口，使得美国可以持续高密度、高强度的打井和开采作业。总之，美国页岩油气爆发式发展和成功，是美国特有的现象与因素，其他国家要照搬美国的经验，绝非易事。

6.2 欧盟和英国的相关政策

6.2.1 欧盟页岩气政策

2014 年 1 月 22 日，经过激烈的讨价还价，欧盟委员会发布了 2030 年气候和能源政策目标：减少温室气体排放量 40%（对比 1990 年水平），可再生能源在能源结构中所占的比例不低于 27%，对能效没有规定具体目标。同时发布的还有“使用水力压裂技术勘探和开采碳氢化合物（如，页岩气）的基本原则建议”以及“欧盟使用水力压裂技术勘

探和开采碳氢化合物（如，页岩气）的通信”^[23-24]。这两份文件描述了欧盟在新颁布的气候和能源政策目标的框架内开发页岩气所面临的机遇和挑战以及不同政策选择对社会经济和环境影晌的基本判断。

欧盟委员会建议成员国：提前制定发展规划，在颁发许可前充分评估可能的累积效应；认真做好战略环境评估，充分评估风险；确保油气井各项标准符合最佳实践标准；捕捉排放的甲烷；在开采作业前检测当地水、空气和土壤，以监测任何变化并应对显露的风险；通过气体捕捉控制包括温室气体在内的排放；告知公众每口井使用的化学品；确保运营商在项目过程中适用最优方案。

欧盟要求，各成员国认真履行建议要求。欧盟将在18个月后，根据实施情况决定是否制定具有法律约束力的针对性条款，以规范使用水力压裂技术的页岩气开发活动。

考虑到欧洲74%民众对页岩气开发的相关环境问题表示担忧^[25]，欧盟的决定，对页岩气资源丰富的欧盟成员国，如，英国、波兰和罗马尼亚，说不上最好，因为环保要求比美国严格了许多；但绝对不是最差，因为至少没有禁止水力压裂作业并且赢得了18个月的继续做工作的时间，而且认真履行建议的要求，也许可以避免欧盟出台更严厉且具有法律约束力的法律法规。

6.2.2 英国政府页岩气政策

对欧盟的决定，英国卡梅隆政府总算可以松口气，因为，英国计划年内讨论颁发页岩气钻探许可。英国政府认为，大规模开发页岩气有助于降低英国天然气的价格，增加就业，但舆论并不看好。

普遍的观点^[26]认为，英国尚不具备美国页岩气革命成功的条件。而且，如果没有政府的强力干预，油气公司为了攫取更大经济利益一定会把页岩气经管道输入比利时市场。所以，借页岩气开发降低英国天然气国内市场价格的想法过于天真。

专家为英国政府支招：为有页岩气井的社区提供税收减免，如，每口井支付10万欧元，另加该页岩气井1%的产值分红；目前公众对采用水力压裂技术的页岩气钻探疑虑颇多，而政府内部与页岩气开采相关的监管机构更是五花八门，应成立页岩气监管的专门机构，统筹制定生产指导原则，不仅有利于提高监管效率，也有利于减少或消除社区公

众的恐惧和疑虑；对公众关心的页岩气生产过程可能产生的温室气体排放、对地下水的污染、废弃物的处置等，政府需要拿出令人信服的解决方案。

如果能够说服公众且页岩气开发顺利，英国政府可能因此减少天然气进口，同时，增强能源安全，政府收入也可能增加，但是，借页岩气开发降低英国天然气价格的打算注定要落空。

7 结语

美国国家石油委员会NPC，作为能源部的咨询机构，应时任部长朱棣文的要求，就美国油气资源开发进行了全面深入的研究。2011年9月，NPC提交了建议报告，其中，提出了评价政府能源开发政策措施的四项基本原则^[27]，摘录以下作为结语：经济繁荣——不仅着眼国家的财富程度，经济增长、经济安全、经济竞争力，更要考虑眼前利益和未来利益的平衡；环境可持续——随着时间的流逝，环境质量得以维护，资源得到保护；能源安全——增强能源供应的稳定性，消除因为能源供应中断而引发的价格波动和价格混乱；稳健开发——在充分考虑成本、效益分配的前提下，维护经济增长、环境可持续、能源安全、人类健康和安全的综合平衡。

参考文献：

- [1] U.S. Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2013 Early Release Reference Case[R/OL]. (2012-12-05)[2014-02-17]. http://www.eia.gov/pressroom/presentations/sieminski_12052012.pdf.
- [2] IHS. America's New Energy Future: The Unconventional Oil and Gas Revolution and the US Economy (Volume 3)[R]. Englewood, Colorado: IHS, 2013-09.
- [3] National Academy of Sciences. Natural Gas from Unconventional Geologic Sources (FE-2271-1)[R]. Washington, DC: National Academy of Sciences, 1976.
- [4] Montgomery C T, Smith M B. Hydraulic Fracturing: History of an Enduring Technology[J]. Journal of Petroleum Technology, 2010, 62(12): 26-32.
- [5] Energy.gov. Shale Gas 101[EB/OL]. [2014-02-17]. <http://energy.gov/fe/shale-gas-101>.
- [6] EIA. U.S. Natural Gas Wellhead Price[EB/OL]. [2014-05-

- 16]. <http://www.eia.gov/dnav/ng/hist/n9190us3m.htm>.
- [7] National Petroleum Council. Prudent Development—Realizing the Potential of North America’s Abundant Natural Gas and Oil Resources[R]. Washington DC: National Petroleum Council, 2011-09.
- [8] American Petroleum Institute. The Facts About Hydraulic Fracturing and Seismic Activity[R/OL]. [2014-05-20]. http://www.api.org/~media/Files/Pblicy/Hydraulic_Fracturing/HF-and-Seismic-Activity-Report-v2.pdf.
- [9] Ellsworth W L. Injection-Induced Earthquakes[J]. Science, 2013, 341(6142): 1225942.
- [10] Rogers S M. State Oil and Gas Board of Alabama, History Of Litigation Concerning Hydraulic Fracturing To Produce Coalbed Methane[R]. Oklahoma City, OK: Interstate Oil and Gas Compact Commission, 2009-01.
- [11] EPA. The Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources: Progress Report[R]. (2012-12)[2014-05-20]. <http://www2.epa.gov/hfstudy/potential-impacts-hydraulic-fracturing-drinking-water-resources-progress-report-december>.
- [12] Begos Kevin. 4 States Confirm Water Pollution from Drilling[N]. USA Today, 2014-01-05.
- [13] API. Hydraulic Fracturing[OL]. [2014-06-22]. <http://www.api.org/policy-and-issues/hf>.
- [14] API. Freeing up Energy Hydraulic Fracturing Unlocking America’s Natural Gas Resources[R]. Washington, DC: API, 2010-07.
- [15] A Memorandum of Agreement Between the United States Environmental Protection Agency and BJ Services Company, Halliburton Energy Services, Inc., and Schlumberger Technology Corporation[R/OL]. (2003-12-12)[2014-06-22]. http://www.epa.gov/safewater/uic/pdfs/moa_uic_hyd-fract.pdf.
- [16] Deloitte Survey—Public Opinions on Shale Gas Development[R/OL]. (2012)[2014-06-25]. http://www.deloitte.com/view/en_us/us/3855a676aa1a6310VgnVCM2000001b56f00aRCRD.htm.
- [17] The National Surveys on Energy and Environment Public Opinion on Fracking: Perspectives from Michigan and Pennsylvania[R/OL]. (2013-05)[2014-06-25]. <http://closup.umich.edu/files/nsee-fracking-fall-2012.pdf>.
- [18] IHS Global Insight, Measuring the Economic and Energy Impacts of Proposals to regulate Hydraulic Fracturing[R]. Lexington, MA: IHS Global Insight, 2009.
- [19] Marcellus-Shale.us[OL]. [2014-06-25]. <http://www.marcellus-shale.us/>.
- [20] Euan Mearns. Marcellus Shale Gas Bradford Co Pennsylvania: Production History and Declines[EB/OL]. (2013-11-10)[2014-07-03]. <http://euanmearns.com/?s=Marcellus+shale+gas+Bradford+Co+Pennsylvania%3A+production+history+and+declines>.
- [21] American Petroleum Institute. API survey: U.S. Energy Revolution Gathers Momentum[EB/OL]. (2013-12-23)[2014-07-03]. <http://www.api.org/news-and-media/news/newsitems/2013/dec-2013/api-survey-us-energy-revolution-gathers-momentum>.
- [22] PWC. M&A deal volume in the U.S. Oil & Gas Industry Reaches Highest Level in Ten Years During Fourth Quarter 2012, According to PWC US[EB/OL]. (2013)[2014-07-05]. <http://www.pwc.com/us/en/press-releases/2013/m-and-a-deal-volume-in-the-us-oil-and-gas.jhtml>.
- [23] EIA. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States[R/OL]. (2013-06)[2014-07-03]. <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/fullreport.pdf>.
- [24] Commission Recommendation on Minimum Principles for the Exploration and Production of Hydrocarbons (Such as Shale Gas) Using High Volume Hydraulic Fracturing[J/OL]. Official Journal of the European Union, 2004-01, L39: 72-78[2014-07-05]. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014H0070&from=EN>.
- [25] European Commission. Communication on the Exploration and Production of Hydrocarbons (Such as Shale Gas) Using High Volume Hydraulic Fracturing in the EU[R/OL]. [2014-07-05]. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1407272899605&uri=CELEX:52014DC0023>.
- [26] Public Opinion on Shale Gas Is Not Black and White[R/OL]. (2013-03-27)[2014-07-06]. <http://www.europeanvoice.com/letter/public-opinion-on-shale-gas-is-not-black-and-white/>.

- [27] Stevens P. Fracking has conquered the US. But here's Why It Can't Happen in Britain[EB/OL].(2014-01-19)[2014-07-05].<http://www.theguardian.com/environment/2014/jan/19/why-fracking-wont-work-in-britain>.
- [28] National Petroleum Council. Prudent Development: Realizing the Potential of North America's Abundant Natural Gas and Oil Resources[R/OL].(2011)[2014-07-06]. <http://www.npc.org/NARD-ExecSummVol.pdf>.

Issues of the U.S. Shale Gas Revolution

YU Geng

(Science and Technology Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Wulumuqi 830011)

Abstract: The large scale development of shale gas in the United States has gained a huge success which in turn ensures its energy security and economy recovery. The success can be attributed to government policies taken by federal or state to push it forward, as well as innovative technologies developed during the shale gas exploration. The hydraulic fracking technology, a key technology in shale gas exploration, could bring some potential risks such as overuse of water resources, pollution of ground water and environment, as well as artificially induced earthquake. Besides, issues such as sharp production decline of shale gas plays and profitability of shale gas companies are still in hot debate. In Europe, large scale shale gas development is under precautions consideration, but it will be difficult to replicate the U.S. shale gas experience.

Key words: U.S. ;shale gas ;development of shale gas ;hydraulic fracking technology

(上接第 10 页)

Outline of China Participation in the Framework Program of the European Community for Research and Technological Development

ZHAO Jun-jie, MA Xiao-qian

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: The Framework Program of the European Community for Research and Technological Development (FP) is the largest comprehensive official program for research and technological development in the world with characteristics of broad fields, large funds, long period and large quantity of participants. Since FP4 opened outside EU formally, FP continues to extend the opening areas including information and communication technology, nanotechnology, energy, and environment. China has participated in the EU research program from FP4 to FP7, and the number of projects involved increased rapidly but with slow increase of funds. The cooperation between EU and China has extended from traditional areas to high-tech areas with participants mainly from higher and secondary education organizations (HES) and research organizations (REC). EU has executed "Horizon 2020" since 2014 and will promote the reciprocal opening and bilateral cooperation. So, we should summarize the experiences of early participation in FP and take active ways to meet the new challenges.

Key words: Framework Program of the European Community for Research and Technological Development (FP) ;science and technology cooperation ;Horizon 2020