

页岩气勘探开发现状及环境影响与风险

徐丽¹ 刘福云² 张戎³ 侯祥宁³ 吴军涛³ 王彦昌³

(1. 中国石油西南管道分公司; 2. 中国石油华北油田采油五厂; 3. 中国石油安全环保技术研究院)

摘 要 研究页岩气的开发利用对缓解我国的能源危机,降低能源对外依存度具有重要意义。文章集中分析了页岩气勘探开发的重要性、我国近年来页岩气勘探开发的现状及政策,指出:开发利用页岩气主要存在未经证实的资源储备风险、开发技术方面的风险、自然环境风险、企业资金风险。分析认为,页岩气勘探开发需建立长期科学可行、可持续的规划;在环境风险管理监督方面、体制方面还需进一步完善。

关键词 页岩气; 勘探开发; 环境影响; 风险

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2017.04.002

文章编号:1005-3158(2017)04-0006-05

0 引 言

随着工业化进程的加快,我国能源消费需求快速增长,能源供应安全以及由能源开发利用所带来环境问题日益突出。非常规油气资源作为目前最可能的过渡能源,在世界能源结构中扮演着日益重要的角色。页岩气被美国《纽约时报》称为国际能源市场上的“游戏规则改变者”。作为后石油时代的战略性补充能源,页岩气的开发利用对缓解我国的能源危机,降低能源对外依存度具有重要意义^[1-2]。

尽管页岩气开采至今已有 100 多年的历史,但是由于其所需巨大资金及技术投入,进展却十分缓慢。在过去的十多年中,美国凭借着水平钻井以及水力压裂技术的应用,页岩气开发取得了突破性进展,成为了目前世界上唯一实现页岩气大规模商业化开采利用的国家。近年来美国的“页岩气革命”,已经引起了天然气生产和消费大国—尤其是中国的高度关注。

基于我国近年来在页岩气开发过程中取得的成功经验以及经验教训,本文讨论了页岩气开发对社会经济的影响,分析了页岩气勘探开发可能带来的社会经济及自然环境的风险。

1 页岩气开发的重要性

随着经济的高速增长,我国能源消费已经达到了一个新的历史高度。天然气作为一种清洁能源,在我国一次能源消费结构中的比例越来越大,从 2000—2011 年一直保持年增长 16.6% 的消费速度,然而国内天然气生产却仅保持年均增长 11.6% 的生产速度。中国从 2007 年开始由一个天然气净出口国变为

净进口国,如图 1 所示。据《中国天然气发展报告(2016)》白皮书显示,2016 年我国天然气对外依存度已达到 34.9%,同比提高了 3.8 个百分点。单纯依靠传统天然气已经无法弥补如此巨大的供需差距,页岩气的成功开采无疑会大大减轻天然气的供需矛盾。

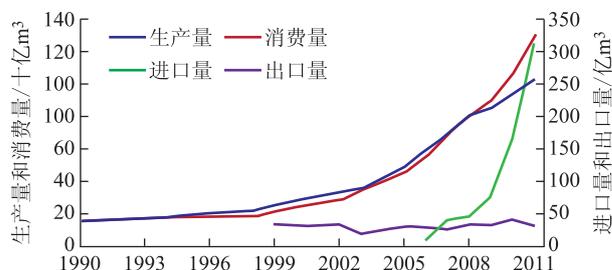


图 1 我国天然气年生产量、消费量、进口量以及出口量 (1990—2011 年)

最重要的是,在我国南方海相岩层实现页岩气的成功开采可以大大缓解华南地区能源短缺的突出问题。我国化石能源的分布极不平衡,据国土资源部油气战略研究中心最新数据,在华南地区化石能源储量中,煤炭、石油和天然气分别占 13%,13%和 45%^[3]。中国能源统计年鉴数据显示,2011 年华南地区消费 20.3 亿 t 标煤,占全国消费总量的 48.2%;然而,本地区生产 5.9 亿 t 标煤,仅仅占全国生产总量的 18%。2011 年,华南地区煤炭、石油和天然气的自给率分别为 26.0%,6.9%和 32.6%。广泛的古生代海洋沉积已经在华南地区形成,面积超过了 200 万 km²,最大地层厚度超过了 10 000 m。另外,华南地区页岩气储藏特征和美国东部的十分类似^[4-6]。我国

中、下扬子和东南地区的页岩气储量大约为 27.47 万亿 m^3 , 占我国总储量的 18.7%, 远超过其它化石能源储量。这些充足的页岩气储量可以大大缓解本地区的能源短缺问题和保证能源供应。

2 页岩气勘探开发的现状及政策

2.1 页岩气资源在我国的分布情况

2004 年我国国土资源部油气资源战略研究中心首先开展了对我国页岩气资源的研究。随后, 中国地质大学、中国石油勘探开发研究院、美国能源信息署等单位加入了对我国页岩气资源储量进行调查。2011 年我国国土资源部油气资源战略研究中心组织开展了全国范围内页岩气资源储量及分布的普查, 有开发前景的地域被首次确定。根据调查结果, 我国大陆主要被分为 5 个区域, 分别是中国西北地区、青海和西藏地区、上扬子和滇黔桂地区、中国北部和东北地区、中下扬子和东南地区, 以上 5 个地区包含了 41 个盆地、87 个评估单位和 57 个含气页岩层。

评价结果显示, 我国大陆(除了青海和西藏地区)页岩气资源储量为 134.42 万亿 m^3 , 其中上扬子和滇黔桂地区总储量最大(62.56 万亿 m^3), 占 46.50% (如图 2 左所示)。上扬子和滇黔桂地区、中下扬子和东南地区、北部和东北地区以及西北地区分别占中国页岩气可采储量的 39.60%, 18.50%, 26.70% 和 15.20% (如图 2 右所示)。

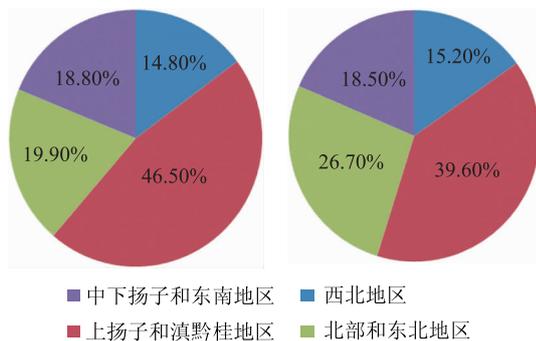


图 2 我国页岩气总储量分布(左)及可采储量分布(右)

2.2 我国页岩气勘探开发进程

尽管我国页岩气资源开发相对于北美起步较晚, 但是在世界范围内仍然占据主要地位^[7-9]。自 2005 年开始, 我国借鉴北美成功经验开始了对页岩气的开发。油气公司、地质研究机构及政府部门(如国土资源部油气资源战略研究中心、中国国家能源局)对页岩气的形成、富集地质条件、资源潜力评估及地质岩层调查等方面展开了研究, 共研究了 41 个盆地、87 个评估单位和 57 个含气页岩层, 并取得了重要的基

本参数。调查结果显示, 目前我国页岩气井主要分布于鄂尔多斯盆地和四川盆地。截至 2014 年 7 月, 我国已明确划出 54 个页岩气区, 共占地 170 000 km^2 ; 累计完成页岩气钻井 400 口, 其中 130 口为水平钻井; 累计投入研发资金 200 亿元^[10]。

2.3 我国页岩气勘探开发的政策

我国政府部门已经将页岩气提升至国家能源战略的重要地位—增加能源自给率、改善能源结构以及确保能源安全。国家相继颁发了促进页岩气开发的政策文件, 主要分为以下 4 个方面: 工业规划、财政支持、税收减免和补贴、管理机制创新。

2.3.1 工业规划

页岩气被看作找矿突破战略行动中的一种重要矿产。2011 年, 国务院办公厅发布了《找矿突破战略行动纲要(2011—2020 年)》, 纲要明确指出开展煤层气、页岩气、油页岩等非常规油气资源地质调查与研究, 圈定勘探开发远景区并评价开发利用前景, 选择有利目标区开展重点勘查示范, 促进我国非常规油气勘探开发, 开拓能源新领域, 实现能源多元供给。2012 年 3 月, 国家能源局发布了《页岩气发展规划(2011—2015 年)》, 根据该规划, 计划在“十二五”期间完成探明页岩气地质储量 6 000 亿 m^3 , 可采储量 2 000 亿 m^3 , 2015 年实现页岩气产量 65 亿 m^3 , 基本完成全国页岩气资源潜力的评估与勘探, 目标是到 2020 年力争达到页岩气年开采量为 600 亿~1 000 亿 m^3 ^[11]。

2.3.2 财政支持

为了促进页岩气开发的发展进程, 国家相关部门已经设置了多项专项研发基金。2011 年设置了“页岩气开发关键技术”的科学研究项目, 该项目作为国家大型科研项目“大型油气田和煤层气开发”的子项目之一, 由油气资源战略研究中心、中国石油和中国地质大学联合实施, 解决页岩气开发中的关键技术问题; 同年, 第一个关于页岩气的国家基础研究项目(973 项目)通过, 由广州地球化学研究所和中国科学院联合承担^[12]。根据国家自然科学基金委的统计, 2010—2013 年, 我国已经启动了 76 个国家自然科学基金项目, 累计投入资金 4 亿元。

2.3.3 税收减免和补贴

中央政府已经向页岩气开发企业拨付了财政补贴。为了促进我国页岩气的开发, 中央财政部门在 2012 年下发了关于页岩气开发以及使用的补贴政策文件。文件指出, 中央部门拨付专项资金以支持页岩气的开发和使用。另外, 规定了页岩气生产企业的补

贴标准为 0.4 元/m³ (2012—2015 年)^[13]。2013 年 10 月,国家能源局发布了页岩气产业政策。政策指出,中国对页岩气开发企业减免矿产资源补偿费用和采矿权使用费。另外,政府将执行激励政策,如资源税、增值税、收入税等。另外,关于页岩气开发的进口设备(包括进口技术)将免除关税。

2.3.4 管理机制创新

2011 年,页岩气被正式批准为我国第 172 个独立矿种。页岩气的开发也被首次列入了鼓励类别,鼓励投资者进入页岩气开发行业。2011 年,探矿权招标政策第一次被引入页岩气行业,同时采用了改革性的管理机制。国土资源部油气资源战略研究中心选定了 33 个页岩气核心区,引入市场竞争机制,采用公开招标和邀请投标。2012 年完成第二轮招投标,19 家企业获得了探矿权,其中有两家私营企业。

3 我国开发利用页岩气的风险

3.1 未经证实的资源储备风险

页岩气资源潜力是页岩气开发利用以及产业发展的根本。然而,对于页岩气开发的调查研究和评估是有局限性的,而且我国页岩气资源潜力问题仍然没有最终定论。政府部门、油气公司和大学研究机构已经从不同的角度对我国页岩气资源潜力作了评估。这些评估主要是基于主要盆地或次级盆地(类比美国页岩气)或国内天然气地质资料,不同的角度导致了不同的结果。

我国页岩气开发处于初级阶段,缺少原始数据和信息。我国的页岩气资源潜力是未知的,因为缺少重要的参数,如气体组成和含气油页岩等。同时,没有权威和统一的页岩气资源潜力数据经得住实际的考验。因此,我国是否含有世界上最大的页岩气资源储量仍需要进一步的评估验证。

3.2 开发技术风险

美国成功实现页岩气的大规模商业化开采归因于其长达 30 年的基础研发和实践经验积累,而我国在页岩气勘探开发方面的研发与应用起步较晚,要想在短时间内解决关键技术并从中受益,需要建立长期科学可行的规划。以美国的页岩气勘探开发进程为例,1821 年,美国的“Mitchell Energy”公司钻取第一口页岩气井,随后从 20 世纪 70 年代开始启动了“东部页岩气项目”,经过了很长一段时期的积累后,出现了多种页岩气开发技术,如水力压裂技术、水平钻井技术及多级压裂技术等,如图 3 所示,之后开发成本开始大大降低。这些技术突破后所带来的页岩

气大规模商业化开采逐渐引起了世界各国对页岩气这一能源的关注,我国亦是从 2005 年开始才对页岩气有了足够的重视,经验的缺乏使得我国在页岩气开发利用方面还只处于初步探索阶段。

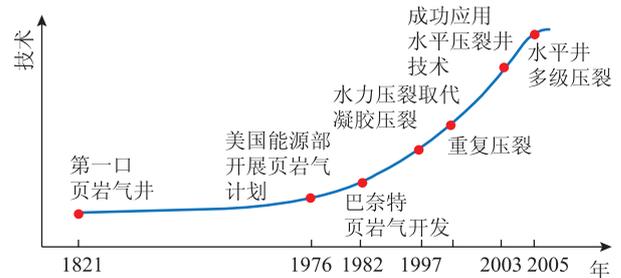


图 3 美国页岩气开发技术发展时间 (1990—2011 年)

由于在页岩气勘探开发方面起步较晚,我国尚没有建立完整开放的市场机制,从而对页岩气勘探开发的技术创新与进步造成一定的影响。美国在页岩气开发上的成功主要依赖于它本身强大的技术创新体系以及随之带来的技术创新。另一方面,美国投入大量的研发资金,积累了多种不同的技术,使得开发成本大大降低,成功实现了规模化开采。和美国不同的是,我国没有成千上万的市场主体在页岩气勘探开发方面进行互相竞争,而主要依靠大型国有油气集团进行技术探索与应用。尽管国有垄断性的技术研发对于推进页岩气勘探开发有一定的保障作用,在一定程度上也体现着国家的意图与战略,但是由于竞争机制的缺失,在资源、资金与人才的配置上,对于尽快实现我国页岩气勘探开发利用技术的突破,仍然还有不尽人意的方面。

美国在页岩气开发技术方面对我国采取技术封锁政策,因此我国不可能直接从美国引进先进技术。而且,尽管我国企业已经与具备先进开发技术和经验的美国企业进行合作,但是两国之间实际情况的巨大差异使得我国不能直接借鉴利用美国已有的成熟技术。例如,我国在煤层气资源开发初期基本都是借鉴美国的经验和技術,但是在后来的实践中发现,由于两国在地质环境等方面存在较大差异,盲目照搬美国的技术并不能保证我国煤层气资源成功开采利用。后来经过近 25 年的自主研发,我国于 2010 年开始才可以成功开采煤层气。

3.3 自然环境风险

3.3.1 水资源短缺的风险

众所周知,能源的开采需要大量的水资源作为支撑,这点尤其适用于页岩气的开发。水资源的管理是非常规油气开发面临的最主要的问题。水力压裂技

术是页岩气开发的核心技术之一,而利用此技术开发页岩气相比其他常规气体需要消耗大量水资源。环境保护部预计平均一口水平水力压裂页岩气井投产需要至少消耗 7 600~19 000 m³ 水量(取决于井深、水平距离、压裂次数);如果是高产气井,需要消耗 19 000~49 000 m³ 的水,而且其中 50%~70% 的水将在作业过程中被消耗^[14-15]。专家预测我国要达到年产 65 亿 m³ 页岩气的目标大约需要 450~1 380 口页岩气井,按每口井消耗 1 000 m³ 水量计算,相应的总消耗量是 45~138 万 m³。可见,页岩气开发需要大量用水,这只是一个方面。更重要的是我国水资源分布极不平衡。最近调查研究表明我国页岩气产气区正好位于缺水地区,如我国的西北部以及北部地区。由图 1 可知,我国西南地区页岩气储量占总储量的 46.50%,然而这些地区缺乏水资源,经常遭遇旱灾。2010 年我国有 3.34 亿人口因为干旱而缺乏饮用水,其中 70% 是来自于西南地区。

巨大的用水量对于开采地区来说必将是一个很大的负担,大量的水资源被用于水力压裂过程及与页岩气开采有关的应用,从而导致与农业、工业等用水产生竞争,还可能引发蓄水层消失、水质恶化、甚至可能会危害本地的生态环境。

3.3.2 大气污染的风险

在页岩气开发利用中,会造成空气污染的主要有微粒、粉尘、二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、挥发性有机物和甲烷等。

在页岩气井的钻井过程以及加工和运输过程会释放出二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机化合物及一氧化碳等;页岩气开采注水过程需要柴油机提供动力,在消耗柴油的过程中会有大量苯系物溢出,且会产生氮氧化物、颗粒物粉尘等;页岩气燃烧产生的氮氧化物以及碳化合物排入空气中,在一定的条件下,会产生光化学烟雾。

在页岩气井运行期间,在事故状态下会造成页岩气的大量泄漏逸散。页岩气的主要成分为甲烷,其温室效应影响约是二氧化碳的 25 倍,尤其是在排放后的最初几十年中更为突出。

另外,我国西南地区的页岩气井常含有高浓度的 H₂S 气体,例如,我国四川威远地块的页岩气中 H₂S 气体浓度为 0.8%~1.4%,而四川东北地块页岩气中 H₂S 气体浓度可以达到 15%。因此,在页岩气勘探开发的过程中,一定量 H₂S 气体的泄漏是不可避免的,这将对大气环境造成不利影响。

3.3.3 地表水污染的风险

目前页岩气井的钻探主要利用水力压裂技术,钻井过程中需要使用大量的压裂液,压裂液主要由水、支撑剂(主要是砂粒)和少量化学添加剂配制成,其中水和砂粒含量一般为 99.5% 左右,化学添加剂含量约为 0.5%^[16]。压裂液中的化学添加剂种类繁多,常用的有十几种。这些压裂液处理不当会污染地表水。

在压裂结束后,约有 30%~70% 的压裂液会被抽回地面,称之为“返排水”。返排水中除了含有压裂液中的化学添加剂成分外,还含有烃类化合物重金属和高溶解固体(TDS)等,包括钙、钾、钠、氯化物、碳酸盐以及来自气藏岩层的天然放射性物质,如铀、钍及其衰变产物等^[17]。

返排水应在污水处理厂进行处理并达标后方可排放,但若未达到 GB 8978—1996《污水综合排放标准》,存在严重污染地表水的隐患。

3.3.4 地下水污染的风险

在页岩气钻井及运行过程中,如果管路密封不良,或者是遇到断层及裂缝区,压裂液及页岩气可能会窜入水层并对地下水造成污染;在大型的开采作业中,钻井设备的振动及钻进会对地层造成破坏并改变地层压力,从而可能造成地下水流速及流向的扰动和改变;且一些固井完井不合理或者井眼没有封存好,废弃井也有可能污染地下水。

美国杜克大学的研究人员 2011 年在《美国国家科学院院刊》表示,在宾夕法尼亚州使用水力压裂法开采页岩气的地区,地下水中甲烷含量比未钻探区域高出 17 倍,一定程度上表明饮用水受甲烷污染的现象与用水力压裂开采页岩气有关。

3.4 页岩气开发企业资金风险

页岩气开发需要投入大量的资金。首先,勘探钻井投入很大。页岩气井相对于传统的天然气井更深,需要采用更加先进的技术,因此,投入资金更大。调查结果显示,我国钻一口水平页岩气井平均花费(4~5)千万元,更有甚者高达 7 千万元。相反,在北美钻一口水平页岩气井平均花费仅仅(2~3)百万元^[18]。我国四川和重庆地块页岩气埋深一般为 2 600~3 000 m,然而储气层厚度只有几十米。因此,我国开发页岩气的成本几乎是美国的 4~5 倍,即 5~6.3 元/m³^[19]。另外,目前我国的页岩气可开采区域一般都远离已开发的油气资源开采区域,因此不能有效利用已有的天然气基础输运设施,从而必须投入大量资金和时间来修建公路、管道等其它基础设施。

4 结 论

①我国页岩气资源潜力未确定,仍是未知数。另外,页岩气的开发利用对我国能源消费结构的贡献是有限的。尽管许多部门对我国页岩气资源潜力进行评估,但是都存在一定的问題。目前,因为技术、资金和风险等问題,我国页岩气发展受到了一定程度的制约。

②我国在页岩气勘探开发方面的研发与应用起步较晚,要想在短时间内解决关键技术并从中受益,需要建立长期科学可行、可持续的规划。

③页岩气勘探开发活动对于水资源、大气环境、地表水环境以及地下水环境等自然环境存在一定风险,在管理监督体制方面,还需要进一步的完善。

参 考 文 献

- [1] DONG D Z, CHENG K M, WANG S Q, et al. An evaluation method of shale gas resource and its application in the Sichuan basin [J]. *Natural gas industry*, 2009 (29): 33-39.
- [2] ZHU H, JIANG W L, BIAN R K, et al. Shale gas assessment methodology and its application: a case study of the western Sichuan depression [J]. *Natural gas industry*, 2009 (29): 130-134.
- [3] 中华人民共和国国土资源部. 中国的能源资源结构与分布 [R/OL]. (2012-03-27) [2015-08-15]. http://www.mlr.gov.cn/kpyd/nysc/201203/t20120327_1077888.htm.
- [4] WANG L, ZHENG Y. China's Shale gas resources distribution and energy conservation & emission reduction [J]. *Resour. industries*, 2012 (14): 24-30.
- [5] BONAKDARPOUR M, FLANAGAN B, HOLLING C, et al. The economic and employment contributions of shale gas in the United States [J]. *IHS global insight*, 2011 (12): 1-81.
- [6] U. S. Energy Information Administration. Electricity net generation: electric power sector [EB/OL]. (2012-09-27) [2013-09-17]. <https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.php?t=ptb0802b>.
- [7] WANG S Q, CHEN G S, DONG D Z, et al. Accumulation conditions and exploitation prospect of shale gas in the lower Paleozoic Sichuan Basin [J]. *Natural gas industry*, 2009 (29): 51-58.
- [8] DING W, LI C. Fracture development in shale and its relationship to gas accumulation [J]. *Geoscience frontiers*, 2012 (3): 97-105.
- [9] LIU D M, LI J Q, LI Z N. Research on enrichment and accumulation mechanism of shale gas and its formation conditions in China [J]. *Coal science & technology*, 2013 (41): 66-70.
- [10] 中华人民共和国国土资源部中国地质调查局. 中国页岩气资源调查报告 [R/OL]. (2015-6-13) [2016-06-12]. <http://www.ngac.cn/Public/AttachFile/201506/20150611050301df77.pdf>.
- [11] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于印发天然气发展“十二五”规划的通知: 发改能源 [2012] 3383 号 [A/OL]. (2012-10-22) [2013-09-17]. http://bgt.ndrc.gov.cn/zcfb/201211/t20121115_515431.html.
- [12] 中国科学技术信息研究所. 中国南方古生界页岩气赋存富集机理和资源潜力评价立项报告 [R/OL]. (2013-12-11) [2014-03-12]. <http://www.nstrs.cn/xiangxiBG.aspx?id=49060>.
- [13] 中华人民共和国财政部. 关于页岩气开发利用财政补贴政策的通知: 财建 (2015) 112 号 [A/OL]. (2015-04-17) [2016-08-18]. http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201504/t20150427_1223392.html.
- [14] Agency E P. Scoping materials for initial design of EPA research study on potential relationships between hydraulic fracturing and drinking water resources [R/OL]. (2010-10-13) [2011-07-13]. <http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri>.
- [15] RAHM D. Regulating hydraulic fracturing in shale gas plays: the case of Texas [J]. *Energy policy*, 2011 (39): 2974-2981.
- [16] SIMON J A, FLEMING M E. Editor's perspective: Shale gas, development: environmental issues and opportunities [J]. *Remediation journal*, 2011, 21 (4): 1-10.
- [17] OKLAHOMA E. The shale revolution [J]. *Nature*, 2009, 460: 551-552.
- [18] CHEN Y C, ZHAO J, TAN J C. Opportunities, risks and suggestions of China's shale Gas development [J]. *Petroleum plan. Des.*, 2012 (23): 7-12.
- [19] CIRN. Some enterprises won the bid of shale gas mining rights plan to exit exploration [EB/OL]. (2013-05-29) [2014-06-19]. <http://www.chinairn.com/news/20130529/104241123.html>.

(收稿日期 2017-06-12)

(编辑 李娟)