

美国页岩气开发中的环境与监管问题及其启示

冯连勇¹ 邢彦姣¹ 王建良¹ 姜鑫民² 翟圣佳³

1. 中国石油大学(北京)工商管理学院 2. 中国国家能源局 3. 环境保护部环境工程评估中心

冯连勇等. 美国页岩气开发中的环境与监管问题及其启示. 天然气工业, 2012, 32(9): -.

摘要 受水平井技术及水力压裂技术的推动, 美国成为世界上页岩气勘探开发最为成功的国家, 但在页岩气开发中存在的许多环境和监管问题成为页岩气进一步开发的重要制约因素, 却又往往被外界所忽视。为此, 在大量查阅国内外相关文献的基础上, 总结分析了美国页岩气开发对环境造成的严重影响, 包括消耗大量水资源、加剧气候变化、潜在的甲烷泄漏、污染饮用水源、降低区域空气质量等; 同时发现监管方面也存在许多矛盾以及不科学之处。基于前车之鉴, 对我国实际提出了以下建议: 建立严谨的技术标准, 进行可靠全面的评估; 建立完整的监管制度; 实行严格的保护环境控制措施; 采取预防措施, 制订预警方案。

关键词 美国 页岩气开发 高压水力压裂 生态环境 政府监管

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2012.09.024

近年来, 页岩气在美国得到了快速发展, 2010 年和 2011 年美国页岩气产量分别为 $1\ 378 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1\ 800 \times 10^8 \text{ m}^3$, 分别占美国天然气总产量的 23% 和 34%。由于其产量的快速增长, 影响了北美甚至世界的能源格局, 被称为美国的“能源革命”。在这种背景下, 许多国家都表现出对页岩气的高度兴趣, 我国也对页岩气开发积极推进。但与此同时, 美国在大规模开发页岩气的过程中也出现了许多问题, 如大量消耗水资源、温室气体排放、对饮用水影响以及区域空气质量问题等, 这些问题已经引起了美国联邦政府、州政府的重视。对此, 我国应高度重视, 规范页岩气开发, 形成以防为主, 以治为辅的环境保护措施体系。

1 美国页岩气大规模开发产量大增

美国是世界上最早进行页岩气勘探开发的国家, 近 10 年里, 美国页岩气开发得到了快速发展。由于水平井技术及水力压裂技术的推动, 2006 年, 美国页岩气井数达到了 40 000 余口, 页岩气产量达到 $311 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占美国天然气总产量的 5.9%。2009 年, 美国页岩

气勘探开发更是取得了惊人的发展速度, 页岩气生产井数增至 98 590 口, 产量超过 $878 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 1), 占美国天然气总产量的 13%。其中, 仅巴尼特(Barnett)页岩气产量就达到 $560 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2010 年, 页岩气占美国天然气总产量的比例上升到 23%, 2011 年占到了 34%^[1]。

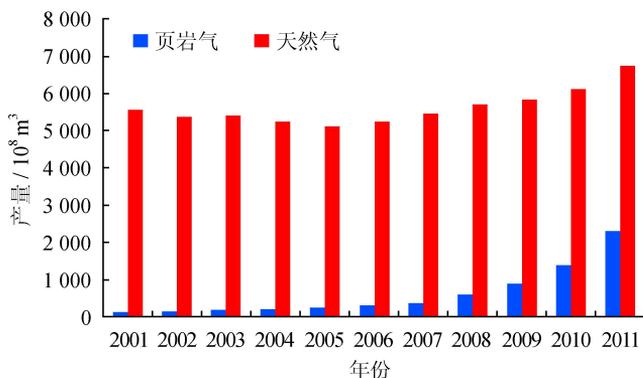


图 1 美国天然气和页岩气产量柱状图

资料来源: <http://www.adv-res.com/pdf/Annual-Gas-Shale-Production.pdf>, <http://www.bp.com/statisticalreview>

基金项目 国家自然科学基金项目“化石能源峰值预测及对中国经济的影响研究”(编号:71073173)、国家社会科学基金重大项目“基于中国石油安全视角的海外油气资源接替战略研究”(编号:11&ZD164)和教育部哲学社会科学重大课题攻关项目“扩大我国油气战略储备研究”(编号:11JZD048)。

作者简介 冯连勇, 1966 年生, 教授, 莫斯科石油大学经济学博士, 博士生导师, 从事能源、技术经济及石油峰值等方面的教学和科研工作。地址: (102249) 北京市昌平区府学路 18 号。电话: 13911236801。E-mail: fengly@yahoo.cn

产量不断增长的同时,探明可采储量的增长也十分迅猛,后续资源潜力巨大。据美国能源信息署(EIA)估算,美国拥有技术可开采天然气储量超过 $49.38 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其中非常规天然气储量占60%,特别是广泛分布于美国48个州的页岩气,资源丰富储量巨大^[2]。美国能源信息署认为,美国今后天然气可采储量的增长,将主要来自页岩气。预计到2013年页岩气占比将上升到35%,2030年进一步上升到55%^[3]。

2 暴露出严重的生态环境问题

2.1 需要消耗大量的水资源

由于页岩气需要采用与常规水力压裂不同的高压水力压裂技术,这种技术的风险和耗水量非常大。数据显示,页岩气开发所采用的高压水力压裂技术,平均每口井耗水 $100 \times 10^4 \sim 400 \times 10^4$ 加仑($0.38 \times 10^4 \sim 1.51 \times 10^4 \text{ m}^3$),是常规水力压裂井的50~100倍,根据美国能源部的统计,Marcellus页岩气田的每一口钻井平均用水量为 388×10^4 加仑(约 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$),其中用于水力压裂的水量占98%。Barnett页岩气田每口钻井需水 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ (水力压裂水占85%),Fayetteville页岩气每口井需 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ (水力压裂水占95%),Haynesville页岩气每口井需 $1.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ (水力压裂水占73%)^[4]。对于缺水的地区来说,页岩气的开发将加剧水资源紧张局面。

2.2 页岩气开发极大地影响气候变化

与常规天然气开发一样,在开发运输及存储过程中将不可避免有甲烷泄漏到大气中,特别是在压裂液返排过程中有大量甲烷直接排入大气环境。页岩气从开发到消费的全生命周期内泄漏到大气中的甲烷量为3.6%~7.9%,而常规气仅为1.7%~6%^[5]。甲烷比二氧化碳温室效应更强。从温室效应看,按照100年的时间来分摊计算甲烷的暖化作用,1t甲烷造成全球暖化的威力也比二氧化碳高出25倍。事实上,这种算法还明显低估了甲烷的暖化作用,原因是甲烷在大气中停留的时间比二氧化碳短很多,一般只停留10年以内,20年后几乎完全消失。如果按照20年期分摊计算,得出甲烷的温室效应比二氧化碳强72倍。因此,即使很少量的甲烷排放,也会对气候变化产生不可忽视的影响。从温室气体足迹来看,页岩气远大于煤炭和石油^[6]。

2.3 对居民用水构成威胁

为实现规模化开采,页岩气区钻井布置密集且将实施大体积水力压裂,每口页岩气井在压裂过程中所使用的压裂液,除含有大量沙石外,还有多达 20×10^4

L的酸液以及杀菌剂、阻垢剂、润滑剂和表面活性剂等化学添加剂,返排液中还包括高矿化度地层水^[5]。如果压裂液返回到地表后处置不当,将会对地表饮用水源产生影响。在美国,部分压裂返排液回注到油气井中,还有部分废液在城市污水处理厂进行处理,部分处理不合格的废液排入了河流,形成严重污染。

压裂液同样可通过诱发的地质断层、密封不良的套管壁等通道污染地下饮用水源。如2009年,美国俄亥俄州、路易斯安纳州、宾夕法尼亚州均发生压裂液污染水体事件,导致当地居民疾病以及牛和鱼类死亡^[7]。

2.4 对区域空气造成严重影响

页岩气的开发需要大量注水,因此需要很多巨型大功率柴油机提供动力,在消耗大量柴油的过程中对区域空气产生污染,甚至达到危险水平。在有些页岩气开发的地区上空,苯浓度有时会超过急性毒性标准,足以使人通过慢性接触而致癌。2010年7月,在得克萨斯州的Dish区,从居住在Barnett页岩区附近的居民采集的血液和尿液样本中,有65%的样本中含有甲苯,还有53%含有二甲苯。另外,钻机、压缩机、卡车和其他机械设备的废气排放也会导致地表臭氧达到非常高的浓度,美国科罗拉多州记录的数据显示,页岩气的开发使得该州部分地区经历了从未有过的空气污染^[5]。

2.5 其他影响

为实现规模化开采,页岩气区将布置密集钻井且要实施大体积水力压裂,这也意味着将占据大片的土地资源。在美国的得克萨斯州,开发者可以使用他们认为合情合理的足够的土地去开发矿产。按照得克萨斯州法律,矿权所有者可以将树木和围栏等障碍移除以进行钻井作业。一旦发现了天然气,矿权所有者可以在其认为合理的一定区域引进开采设备,面积可达1英亩(约 4047 m^2),甚至更多。而在大量注水的过程中,要同时使用很多巨型的大功率柴油机提供动力,随着开采和运输的进行,噪声对环境的影响也越来越不可忽视。

总体而言,由于美国页岩气开发对生态环境造成的影响,使人们对页岩气开发的安全性产生了质疑,美国政府正着手重新调查水力压裂技术的安全性。此外,欧洲几个小规模页岩气项目也都因存在环境隐患而被叫停,部分国家正是基于对环境的担忧而不鼓励发展页岩气。

3 美国政府监管方面的问题

3.1 政策漏洞形成潜在隐患

在页岩气发展初期,页岩气被纳入常规天然气的

范畴来进行管理,适用的法律包括《美国联邦环境法》《清洁水法案》《安全饮用水法》《资源保护和恢复法》《清洁空气法》等。这些法律相对有效地保护了美国人最基本的生存环境。

哈里伯顿等油气服务公司将原有的水力压裂技术进行改革升级之后,开采效率大幅提高,使得页岩气的大规模商业化开采成为可能。但是该技术中使用的压裂液成分十分复杂,并含有毒化学物质,这些都会受到《安全饮用水法》的制约。出于经济利益,哈里伯顿公司做了大量游说工作,于 2005 年通过美国《能源政策法案》将水力压裂从《安全饮用水法》监管中成功删除,从而加速了页岩气工业的发展。这就是有名的“哈里伯顿漏洞”,也正是这一漏洞使得高污染的化学品有可能进入到浅层水源,甚至造成饮用水源的污染。这是美国页岩气开发中存在的最大的一个技术安全漏洞,它使得页岩气的开采形成许多潜在的危险。

近些年来,空气和饮用水受到污染的报道层出不穷。2009 年 6 月,迫于多方面压力,美国国会两院讨论了《水力压裂责任和化学药品知情法案》,计划废止 2005 年《能源政策法案》中对水力压裂免除监管的条款,并要求能源企业披露被视为商业秘密的水力压裂液中的化学品,以便能够对地下水的影响进行充分评估。天然气生产商联合会花费巨资对政府进行了游说,水力压裂工艺在油气井开采工业的应用已经超过 60 年,如果通过《水力压裂责任和化学药品知情法案》,将使美国一半以上的油井、1/3 以上的天然气井关闭,天然气产量将因此减少 $2\,450 \times 10^8 \text{ ft}^3/\text{a}$ (约合 $69.38 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$),同时使联邦政府每年损失约 40×10^8 美元的税收^[8]。在利益面前,美国政府再一次选择了妥协,该法案最终仍然没有通过。

但是这些漏洞造成的环境影响后果说明,目前美国防止页岩气开发环境污染的相关技术及质量、管理标准和质量检测技术都还不够成熟和完善,美国终将为“哈里伯顿漏洞”支付高昂的环境补偿费用。

3.2 以州为主、联邦调控为辅的监管格局导致矛盾重重

美国天然气的开发监管政策和传统的石油监管政策相似,对跨州能源营业活动的监管权分属联邦和州两级。两者相互冲突的情况下,以联邦法规优先;联邦标准低于州标准时,则同时实施两套规定。这样的框架产生了强烈的地方主义特点。例如在得克萨斯州,环境污染问题通常属于得克萨斯州环境质量委员会(TCEQ)的管辖范围,其作为国家机关应该将联邦清洁水和空气环境法律的实施放在首要地位。然而,在

联邦清洁空气法案执法不严这一问题上,TCEQ 与美国环境保护局(EPA)陷入了矛盾。其向环保局提交了《合格设施豁免规则》以允许某些设施可以不再遵循联邦清洁空气法案,然而在 2010 年 3 月该规则遭到拒绝,并要求得克萨斯州进行修改以遵循联邦法案,得克萨斯州却毫不妥协,对峙由此开始。得州州长也指责联邦政府插手在得克萨斯州的业务是违宪的^[7]。

3.3 土地的地表权和矿业权分离,矿业权的主导地位引发矛盾

在美国,土地的地表权和矿业权分离,天然气被列为一种矿物,要想开采矿产就必须经由地表,这必然会在矿权所有者和土地所有者之间制造紧张气氛。比如美国第二大州得克萨斯州油气资源十分丰富,根据得克萨斯州的法律,矿权所有者可以将矿权租让给油气公司,当然还必须向土地所有者提供开采钻井意向的通知。因此土地所有者不能切断矿权所有者通往矿产的通道。矿权所有者可以使用他们认为合情合理的、足够的土地去勘探钻井,开发矿产。矿权所有者或承租人为了输送矿物可能会铺设管线,如果造成土地所有人的损失,得克萨斯州的法律并不要求矿权所有者或者承租人为其赔偿。

4 寻求解决方案

2010 年,纽约州发布了关于页岩气开发的临时禁令,以允许该州的环境保护署(DEC)有充足的时间来完成对页岩气的环境影响报告书。2011 年 9 月,该州公布了新的规则,并正在向公众征集意见。而在 2011 年 8 月,新泽西州州长 Chris Christie 颁布了为期一年的暂停水力压裂作业的命令,以便环境保护署可以进一步评估新泽西州的相关作业对环境潜在的影响。与此同时,怀俄明州、宾夕法尼亚州、阿肯色州、科罗拉多州、路易斯安那州和得克萨斯州,都已经颁布了新的法规,以应对页岩气开发过程中不断出现的问题。说明美国开始意识到问题的严峻性,并正在探寻解决方案。2011 年 9 月举行的国家石油会议(NPC)上确定的基本方针指出,必须以负责任的开采为前提。2012 年 4 月奥巴马声明美国政府要在非常规天然气资源开发方面发挥重要作用,组建一个包括国防部、内务部等在内的跨部门工作组,以协调部门间的政策行动,共享科学、环境、技术和经济方面的信息,进行长期规划并在自然资源评估等方面进行协调。

2011 年 7 月,美国环境保护署(EPA)有关空气法规的修订提案中制订了一系列措施,旨在控制石油和天然气产业的臭氧前体物,尤其是颗粒物和有毒空气

污染物。该提案中的规则将适用于所有新的压裂井和重新进行压裂操作的现有油井^[9]。美国的石油和天然气行业也已经采取了措施,以改善其钻探以及废水处理等方面的问题(特别是在页岩及其他非常规资源区)。美国石油协会(API),已制定出一套被广泛采用的钻井和生产标准,其中包括最近制定的“HF系列”标准,专门针对水力压裂作业。一些天然气大型企业也已采取行动,个别公司已高调公开承诺将努力采取措施,建立准则,以确保开发过程的安全。如2011年6月壳牌公司公开发布的“全球陆上致密/页岩油气作业原则”覆盖所有壳牌经营水力压裂作业的项目,包括安全、水、空气、土地占有和社区参与等5个方面^[10]。

5 对我国的启示

经初步分析,提出以下建议:

5.1 建立严谨的技术标准,进行可靠全面的评估

应构建严谨的技术标准,在进行大规模开发之前,加大对页岩气开发的评估力度,将页岩气资源的勘探评估与区域水资源规划和环境影响评估等结合在一起,全面评估开采的可行性。对页岩气开发应该采取谨慎的态度,避免走先开发、先污染、再治理的路子。

5.2 建立完整的监管制度

中国页岩气资源的勘探开采属于起步阶段,面对的环境与美国完全不同。矿权管理模式、政府监管框架、天然气行业的发展模式以及油气开采权的相对集中都有别于美国。我国政府应在借鉴其他国家成功经验的同时,结合中国的国情有所创新,创造比较有利的政策环境,完善相关的政策法规。建立完整的监管制度有利于调动油气公司勘探开发页岩气资源的积极性,推动中国页岩气健康有序地发展,使得资源的开发利用有章可循,有法可依,为保障我国能源供应安全。

5.3 保护环境,实行严格的控制措施

我国政府在制定鼓励页岩气资源勘探开发优惠政策的同时,应该对现有的水、土地、空气、环境保护等法律法规以及油气开采的技术政策等进行适应性研究,提高环境保护要求,加大公众与舆论的参与和监督力度。要求本着不影响当地和区域的居民饮用水、工业用水、动植物生态需水等水资源平衡的原则,防治和减少页岩气资源开发中潜在的环境污染和生态破坏。

坚持油气开发与环境保护并举,真正实现社会经济与生态环境的可持续协调发展^[11]。

5.4 采取预防措施,制订预警方案

页岩气勘探和开发面临许多不确定的风险,为了确保突发事件的早发现、早报告、早处理,从而实现控制、降低或减少突发事件危害,制定符合实际、操作性强的预警方案非常必要。

参 考 文 献

- [1] 周庆凡,白振瑞,杨国丰.美国页岩气发展现状及对我国的启示[J].中国石化,2011(9):15-18.
- [2] 李欣,段胜楷,孙扬,等.美国页岩气勘探开发最新进展[J].天然气工业,2011,31(8):124-126.
- [3] 郭揆常.美国的页岩气开发对世界天然气市场的影响[J].电力与能源,2011,32(6):445-448.
- [4] 夏玉强.Marcellus页岩气开采的水资源挑战与环境影响[J].科技导报,2010,28(18):103-110.
- [5] HOWARTH R W,INGRAFFEA A.Natural gas:should fracking stop[J].Nature,2011,477(1):271-275.
- [6] HOWARTH R W,SANTORO R,INGRAFFEA A.Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations[J].Climatic Change,2011,106(4):679-690.
- [7] RAHM D.Regulating hydraulic fracturing in shale gas plays:the case of Texas[J].Energy Policy,2011,39(5):2974-2981.
- [8] 冯跃威.美国页岩气开发策略研究——美国的页岩气之梦[J].国际石油经济,2012,20(1-2):92-100.
- [9] U.S.Environmental Protection Agency.EPA Proposes Air Rules for the Oil and Gas Industry[EB/OL].(2011-07-28)[2012-05-06].<http://www.epa.gov/airquality/oilandgas/actions.html>.
- [10] Bipartisan Policy center.Shale Gas:New Opportunities,New Challenges[R/OL].(2012-01)[2012-05-06].<http://bipartisanpolicy.org/sites/default/files/BPC%20Shale%20Gas%20Paper.pdf>.
- [11] 王兰生,廖仕孟,陈更生,等.中国页岩气勘探开发面临的问题与对策[J].天然气工业,2011,31(12):119-122.

(收稿日期 2012-04-26 编辑 赵 勤)