

页岩气开发过程中存在的环境问题及对策*

杨德敏^{1,2,3} 袁建梅⁴ 夏 宏^{1,2,3} 向祥蓉⁵ 王 兵⁴

(1. 国土资源部页岩气资源勘查重点实验室; 2. 重庆市页岩气资源与勘查工程技术研究中心; 3. 油气资源与探测国家重点实验室重庆页岩气研究中心; 4. 西南石油大学化学化工学院; 5. 重庆材料研究院国家仪表功能材料工程技术研究中心)

摘 要 我国正处于页岩气开发的试验期,页岩气开发会带来水资源紧缺、水和土壤污染及甲烷泄漏等环境污染问题,因此,分析页岩气开发带来的环境问题并制定应对措施十分必要。文章详细分析了页岩气开发过程中可能引起的一系列问题,并结合我国页岩气开发实际情况提出了解决对策,希望能为我国页岩气的开发提供一定的参考。

关键词 页岩气; 水力压裂; 环境风险评估; 水污染

中图分类号: TE991.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2013)02-0020-03

0 引 言

据统计,世界非常规天然气总资源量为 921 万亿 m^3 (其中,致密气 209.6 万亿 m^3 、煤层气 256.1 万亿 m^3 、页岩气 456 万亿 m^3),是常规天然气 2 倍多,但产量只占 1/7 左右^[1]。随着近年来页岩气开发技术的不断创新,尤其是水平井技术和水力压裂技术的出现,为页岩气开发的快速发展解决了关键难题。2010 年,美国页岩气产量达到 $1.379 \times 10^{11} \text{ m}^3$,较 2008 年增长了 80%,占美国天然气年总产量的 23%; 2011 年,其产量达到了 $1.8 \times 10^{11} \text{ m}^3$,占美国天然气年总产量的 34%^[2]。美国能源信息署(EIA)预计,到 2013 年美国页岩气产量将占到天然气年总产量的 35%,2030 年会进一步上升到 55%^[3]。

我国针对页岩气的勘探开发与研究尚处于探索试验阶段。据专家预测,我国页岩气技术可采资源量为 25 万亿 m^3 ,超过常规天然气资源^[4]。2008 年 11 月 26 日,长芯 1 井在四川省宜宾市顺利完钻,这意味着中国页岩气研究步入了以寻证找气为特点的勘探开发阶段。2009 年,与美国签署了《中美关于在页岩气领域开展合作的谅解备忘录》,就联合开展资源评估、技术合作和政策交流制定了工作计划^[5-6]。紧接着,我国石油企业与壳牌公司签订富顺—永川联合评价协议,与挪威、康菲、BP、雪弗龙、埃克森美孚公司建立联合研究合作意向,收购了部分国外页岩油气区块权益。截至 2011 年底,我国石油企业完成了 15 口页岩气直井压裂试气,9 口井见气,初步掌握了页岩气

直井压裂技术,也证实了我国具有开发页岩气的前景^[7]。在 2012 年 9 月 11 日,重庆地质矿产研究院与斯伦贝谢公司合资组建了页岩气技术服务公司,该公司将以斯伦贝谢公司的技术核心力量推动和支撑我国页岩气的快速发展。同时,在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中“大型油气田及煤层气开发”国家科技重大专项中设立“页岩气勘探开发关键技术”研究项目,成立了国家能源页岩气研发(实验)中心,以加大页岩气勘探开发关键技术研发力度。

页岩气勘探开发过程对环境会带来哪些影响,目前国内还没有明确定论,更没有相关的行业或环保法律法规。为此,文章对页岩气勘探开发过程中可能存在的一系列问题进行了详细综述,以期能为我国页岩气的勘探开发提供一些参考依据。

1 水资源问题

目前被广泛应用于页岩气开发的压裂技术是水力压裂法,是在高压条件下,将大量水、砂和化学添加剂的混合物(其中水和砂的含量在 99% 以上)通过钻孔打入地下,对页岩层进行液压破碎,从而将其中的石油或天然气储备释放出来的压裂开采方法。

一个典型的页岩气水平井在钻探和水力压裂过程中需使用 $3\,785.4 \sim 15\,141.7 \text{ m}^3$ 的水^[8]。据美国能源部统计,每一个美国 Marcellus 页岩气钻井的平均用水量约为 1.5 万 m^3 ,其中水力压裂的用水量占 98%; Barnett 页岩气钻井的用水量为 1.2 万 m^3 ,其中

* 基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(编号 2011BAC06B05);油气藏地质及开发工程国家重点实验室开放基金项目(编号 PLN1126)。

杨德敏,2012 年毕业于西南石油大学环境工程专业,硕士,现在国土资源部页岩气资源勘查重点实验室(重庆地质矿产研究院),从事油气田及页岩气田废水处理理论与技术、废水高级氧化深度处理技术、环境生物修复技术等方面的工作。通信地址:重庆市渝中区长江二路 177—9 号重庆地质矿产研究院,400042

水力压裂用水量占 85%;Fayetteville 页岩气田的每个钻井需水 1 万 m^3 ,其中水力压裂用水量占 95%;Haynesville 页岩气井需水量为 1.4 万 m^3 ,其中水力压裂用水量占 73%^[9]。而在水力压裂过程中将有 50%~70%的水会被消耗。这势必会给页岩气田周边或区域带来严峻的水资源挑战,对于水资源十分匮乏的中国来说,开展页岩气勘探开发,可能会对当地植被、水生生物的生存、城市生活用水和工农业用水带来不利影响。

2 环境问题

2.1 水和土壤污染

在页岩气的勘探和开采过程中,地震勘探和水力压裂作业可能会引起地下水水位的变化和地层损害。尤其是水力压裂作业,因为在压裂液中含有大量的化学添加剂,而这些化学添加剂中很有可能存在对地层地下水造成危害的组分^[10]。

在水力压裂作业过程中,压裂液中的某些化学添加剂可能直接通过断裂、裂缝系统自地下深处缓慢向上运移至地表或浅层,也可能因为页岩气采气管道的质量问题或操作不当而泄漏到地下水层中,从而通过污染物在环境中的迁移转化对河流、湖泊、蓄水层等水资源造成污染^[11]。此外,水力压裂作业的同时,有大量地层地下水、钻井岩屑和废压裂液返排到地面,这统称为压裂返排废液。对于这类返排废物首先是储存在现场修建的废液池,待返排废弃物达到一定量时再现场集中处理,但这可能存在废弃物的外渗或随雨季到来发生外溢,进而污染地层地下水。根据美国环保局数据显示,水力压裂很有可能会对地下水造成影响。

页岩气压裂返排废液不仅含有大量压裂液中的化学添加剂,还含有大量的矿物元素、无机和有机物质和部分放射性物质,不达标处理将会对井场周边或区域水体造成污染。目前我国没有专门针对页岩气开发废物治理的相关法律法规和行业标准,如页岩气压裂返排废水的达标排放标准、回注标准,废弃页岩气固体废物的处理处置规范。为此,压裂返排液的排放势必会对水体和水系造成严重污染,尤其是存在的难降解有机物、重金属、放射性物质和有毒有害物质进入水体后,会对水体中的水生生物、城市生活用水和工农业用水造成影响,其中某些污染物质还可能通过食物链对人类造成危害。

此外,页岩气作业平台滴、漏压裂液或压裂返排液以及压裂返排液外渗或外溢进入井场周边土壤后,将会对土壤的性质、结构和功能造成影响。由于压裂液体系中本身含有大量的化学添加剂,如杀菌剂、破胶剂、pH 调节剂、粘土稳定剂、转向剂、降滤失剂、降

阻剂、铁离子稳定剂、表面活性剂、温度稳定剂等,这些化学物质对土壤理化性质有很大影响,加之压裂液在返排过程中还从地层中带出了含有各种各样的有机和无机化合物、金属元素(如 Ba、Ca、Fe、Mg、Mn 和 Sr 等)以及自然产生的放射性元素(如美国 Marcellus 页岩气区含有 226Ra 和 228Ra)^[12]。这些物质不妥善处理处置势必会对土壤造成严重危害,如土壤板结硬化、土壤渗透性降低、盐碱化等。若这些物质进入农田,不仅会给农作物的产量带来影响,还可能引发食品安全问题,危及人类健康安全。

2.2 甲烷泄漏

页岩气的主要成分是甲烷,页岩气井泄漏甲烷的几率和总量比常规天然气井要多。甲烷泄漏可能来自页岩气开发过程中的故意排气、设备弊端引发的泄漏、或者水力压裂作业过程。甲烷是一种温室气体,若甲烷逃逸到大气中,则会加剧全球变暖,若甲烷不慎渗入地下水层,将会造成地下水严重污染^[13]。

安东·因格雷夫及罗波尔·哈瓦斯通过分析指出:在页岩气生产过程中所产生的甲烷,大部分都被排放到大气中,而不是捕捉用做燃料。美国环保局在报告中也表明他们严重低估了页岩气开发中的甲烷排放。采气管道需要穿过含水层才能到达更深的页岩层,如果管壁因质量问题或者操作不当而破裂和空洞,气井内壁的混凝土没有铺好或者老化而剥落,甲烷都有可能泄漏到地下含水层中。水力压裂作业过程打开的新裂缝连接天然存在的裂缝,可能提供甲烷向上渗入地下水层的通道,而且甲烷也可能溶解在废水中并伴随压裂液返排而释放到大气中。

Robert Jackson 在宾夕法尼亚州北部和纽约上州的马塞勒斯和尤蒂卡页岩结构的蓄水层中,找到页岩气开采导致甲烷对饮用水污染的系统性证据,钻探地点附近的甲烷污染程度是没有钻探地点水井水样的 17 倍。

3 存在问题的解决对策

页岩气开发已风靡全球,但从美国页岩气开发现状也发现了不少问题,这主要涉及水资源和环境问题,结合我国页岩气开发实际情况,提出如下解决页岩气开发过程中存在问题的对策,以期能为页岩气开发出现水资源和环境问题时提供參考^[14-15]。

◆ 开展页岩气压裂液和压裂技术的研发,开发出一种能够替代水力压裂法的新技术和新型绿色环保压裂液体系。

◆ 研发页岩气返排废水的处理工艺技术,优化工艺参数,对废水中有机污染物的降解机理和动力学规律进

行研究,开展废水处理中试实验研究和工程化推广。形成强有力的页岩气压裂返排废水回用、回注和达标外排处理技术,以减少水资源的大量消耗和缓解环境压力。

◆ 研究页岩气开发过程中产生固体废物的处理技术,如废钻井返排液的固化处理、生物修复技术等,并对目标污染物的迁移转化规律和降解机理及动力学进行探讨研究。

◆ 加强页岩气勘探开发设备和环保设备的研发,避免出现因设备故障而引发的各类问题。

◆ 加强页岩气开发及其开发过程中产生废物环保法律法规的建立和完善,做好环境影响风险评估和环境风险预案,建立 HSE 管理体系,强化井场作业人员的服务意识,严格把关,建立个人和班组责任制。

4 结束语

页岩气开采中,水力压裂技术的广泛应用,不仅带来了水资源的挑战,还可能引发水和土壤污染、甲烷泄漏等环境问题。因此,针对页岩气开采中带来的环境问题,结合我国页岩气开发实际情况,采取相应的对策是非常必要的,从而更好地促进页岩气开发与环境保护的和谐发展。

参考文献

- [1] 罗平亚. 关于我国发展页岩气开发技术的几点看法 [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/adcabf48>, 2012-5-11.
- [2] 肖钢,白玉湖. 基于环境保护角度的页岩气开发黄金准则[J]. 天然气工业, 2012, 32(9): 98-101.

- [3] 冯连勇,邢彦姣,王建良,等. 美国页岩气开发中的环境与监管问题及其启示[J]. 天然气工业, 2012, 32(9): 102-105.
- [4] 发改能源[2012]612号. 页岩气发展规划(2011-2015年) [EB/OL]. http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2012tz/t20120316_467518.htm, 2013-03-16.
- [5] 陈清礼,陈高. 湘鄂渝交界地区页岩气优先勘探开发目标区研究[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(8): 43-47.
- [6] 张金川,边瑞康,荆铁亚,等. 页岩气理论研究的基础意义[J]. 地质通报, 2011, 31(2-3): 318-323.
- [7] 页岩气开发约束力明显 未来发展更趋理性[EB/OL]. <http://www.china5e.com/new/new-269168-1.html>, 2013-03-11.
- [8] 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.
- [9] Office of Fossil Energy and National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy. Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer[R]. Oklahoma: Ground Water Protection Council, 2009.
- [10] Editorial. The Shale Revolution[J]. Nature, 2009, 460: 551-552.
- [11] George Waters, Barny Dean, Robert Downie, et al. Simultaneous Hydraulic Fracturing of Aadjacent Horizontal Wells in the Woodford Shale [C]. SPE 119635, 2009.
- [12] 柯研,王亚运,周晓琨,等. 页岩气开发过程中的环境影响及建议[J]. 天然气与石油, 2012, 30(3): 87-89.
- [13] Howarth R W, Santoro R, Ingrffea A. Methane and the Greenhouse-gas Footprint of Natural Gas from Shale Formations[J]. Climatic Change, 2011, 106(4): 679-690.
- [14] 宋旭锋. 我国应高度关注页岩气开采的环境影响[J]. 环境与可持续发展, 2012, 106(6): 50-52.
- [15] 陈莉,任玉. 页岩气开采的环境影响分析[J]. 环境与可持续发展, 2012, 106(3): 52-55.

(收稿日期 2013-01-10)

(编辑 李娟)

(上接第 16 页)

3.2 技术推广应用及效益

在“杏北油田含油污泥处理站”现场试验较为成熟经验的基础上,大庆油田依靠此技术陆续建成了“北一区含油污泥处理站”、“杏 V-Ⅱ 含油污泥处理站”、“宋芳屯油田含油污泥处理站”3 座,污泥处理总规模达到 40 m³/h。自 4 座污泥处理站投产运行以来,截至 2012 年 5 月,已经处理含油污泥 86 555 m³ (含水 30%),回收原油 25 966 t,产生直接经济效益 7 919.63 万元(油价按照 3 050 元/t),节约排污费 8 655.5 万元,创经济效益 1.657 5 亿元。

4 结束语

近五年来,大庆油田加强对油田生产运行产生的含油污泥和前期储存的含油污泥治理工作,逐渐取缔原有污泥存放点,建设含油污泥处理站,减少和杜绝

由含油污泥引发的安全和环境隐患,改善油田生产和生活环境,而且变废为宝,回收了大量的原油,创造了经济效益,处理后的含油污泥用于油田生产建设。在根本上解决了长期以来含油污泥给油田生产和环境造成的巨大压力。

参考文献

- [1] 于海燕,闫光緒,郭绍辉. 油田含油污泥处理技术[J]. 化工进展, 2007, 26(7): 1007-1011.
- [2] 罗士平,周国平,张齐. 油田含油污泥处理工艺条件的研究[J]. 江苏工业学院学报, 2003, 15(1): 24-26.
- [3] 李巨峰,操卫平,冯玉军,等. 含油污泥处理与发展方向[J]. 石油规划设计, 2005, 16(5): 30-33.

(收稿日期 2012-12-13)

(编辑 张爽)