

Environmental Impacts of Shale Gas Extraction in China

Yuqiang Xia^{1,2}, Michel C. Boufadel²

¹Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of the Ministry of Education, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, China

²Center for Natural Resources Development and Protection (NRDP), Department of Civil and Environmental Engineering Temple University, Philadelphia, PA 19122, USA
xiayqcug@gmail.com; xiayq@temple.edu

Abstract: Shale gas is kind of unconventional natural gas production from hydrocarbon rich shale formations. In recent years, advances in horizontal drilling and in hydraulic fracturing, and rapid increases in natural gas prices as a result of significant supply and demand pressures have made shale gas production economically viable today. Following the shale gas revolution in the U.S., China began its first shale gas project in Sichuan province last November after an agreement signed between Royal Dutch Shell PLC and PetroChina. The shale gas brings huge economic benefit and significantly impacts the nation's energy demands, however, according to a recent Temple University Summit about the shale gas development, some great environmental challenges exist during the shale gas extraction. This paper reflects our concerns for unbalanced shale gas development in China. Laws and regulations along with the drilling technologies and facilities should serve to reduce environmental impacts of gas development and to guarantee the sustainable development of energy and environment in China.

Keywords: shale gas; hydraulic fracturing; environmental impacts; China

中国页岩气资源开发中的环境问题

夏玉强^{1,2}, Michel C. Boufadel²

¹ 中国地质大学（武汉）环境学院及教育部生物地质与环境地质重点实验室，武汉，中国，430074；

² 天普大学土木与环境工程系及自然资源开发与保护研究中心，费城，美国，19122
xiayqcug@gmail.com; xiayq@temple.edu

摘要：随着清洁能源生产技术的革新、可持续低碳循环经济的发展以及全球能源危机的恶化，页岩气作为一种重要的非常规天然气资源，已成为全球油气资源勘探开发的新亮点。然而，根据最近在天普大学召开的一个页岩气峰会以及美国有关页岩气开发的其他研讨会的报告显示，美国页岩气资源的开采已经引起了许多环境问题。因此，本文对中国页岩气资源开发中可能存在或引起的环境问题进行了初步探讨。提出我国应该将页岩气的资源勘探评估与其区域水资源规划以及环境影响评估相结合，对页岩气资源开采的可行性进行综合评估。

关键词：页岩气；水力压裂技术；环境影响；中国

1 引言

随着水平钻探技术和水力压裂技术的发展、全球能源危机的加剧以及减碳目标压力的增加，页岩气作为一种重要的非常规天然气资源，已成为全球油气资源开发的新亮点^[1]。美国是世界上页岩气资源开发起步最早、开采技术最先进和相关基础建设最完善的国家^[2]，近几年来页岩气革命已经在美国形成^[1]。现在世界各国都在谈论这一天然气革命。中国目前也正在紧锣密鼓地开展

页岩气资源的储量评估和勘探开发的工作。然而根据作者最近参与的“Marcellus 页岩气开采的环境影响讨论：天普大学峰会”^[3]和“Marcellus 页岩气开采的潜力与危害：德克萨斯州镇长专题报告”讨论会^[4]以及美国其他类似的页岩气讨论会，页岩气资源开发的背后隐藏着许多的环境问题。基于此，本文简述了中国页岩气资源开采可能存在和引起的环境问题。

2 美国页岩气资源开发状况

美国页岩气的估计可开采量逾 28 万亿立方米。美国能源信息管理局的《2010 年能源年度展望》^[5]显示, 2008 年全美已探明的页岩气储量多达 0.93 万亿立方米(产量约为 572.57 亿立方米), 预测到 2035 年页岩气产量达 0.17 万亿立方米, 届时可提供 24% 的全美天然气消费量。美国目前最主要的页岩气田有 Fayetteville, Haynesville, Marcellus, Woodford, Barnett, Antrim 和 New Albany, 表 1 总结了这几大气田的基本情况。其中, 位于美国东部 Appalachian 盆

地的 Marcellus 页岩气田是目前世界上最大的非常规天然气田, 最近评估研究表明最大可开采量达 14 万亿立方米, 可供美国 20 多年的天然气消费^[6]。国际评论普遍认为, 页岩气资源的快速开发和有效利用已经改变了美国的能源结构, 促进了国民经济的复苏。由于 Marcellus 页岩气田的开采研究是美国近两年最新的成果, 中国国内目前已有的北美页岩气开发发展状况的介绍中还未涉及^{[7]-[11]}。

Table 1. Statistic data for the shale gas in the US

表 1. 美国页岩气田数据

页岩气田	分布面积(km ²)	气藏深度 (m)	地质储量 (tcm*)	可开采量(tcm)
Barnett	12950	1981-2591	9.26	1.24
Fayetteville	23310	305-2134	1.47	1.18
Haynesville	23310	3200-4115	20.30	7.11
Marcellus	246050	1219-2591	42.48	7.42
Woodford	28490	1829-3353	0.65	0.32
Antrim	31080	183-670	2.15	0.57
New Albany	112665	152-610	4.53	0.54

* tcm: Trillion cubic meters (万亿立方米), 本表源数据引自文献^[2]。

3 中国页岩气资源背景

自中国国家主席胡锦涛与美国总统奥巴马在 2009 年 11 月 17 日签署了“美国-中国页岩气合作倡议”后, 页岩气资源已经在短时间内引起了各方面的密切关注。国内三大石油公司已经将页岩气勘探开发列为非常规油气资源的首位。国家正在制定的《科学发展的 2030 年国家能源战略》将页岩气摆到了重要位置, 今年 1 月份中国国土资源部公布了《我国页岩气资源战略调查和勘探开发战略构想》, 3 月份两会上民革中央也提交了《关于加快我国页岩气勘探开发的建议》的提案。

中国页岩气资源量为 30 万亿-100 万亿立方米, 超过其常规天然气资源量, 大致与美国页岩气资源量相当^[7]。张金川等^{[13], [14]}通过对比中美页岩气成藏地质条件和初步估算发现, 中国主要盆地和地区的页岩气可开采资源量约为 26 万亿立方米, 其中以中国南方和西北地区最为有利, 分

别占可采资源总量的 46.8% 和 43%。闫存章等^[10]给出了中国页岩气资源开发有利气藏区域的示意图(图 1), 他们估计四川盆地的页岩气资源量达 15 万亿立方米。目前, 中国页岩气资源的调查与勘探开发还处于探索起步阶段^[15]。2009 年 12 月西南油气田公司在四川盆地的威远气田实施中国的第一口勘探页岩气井(威 201 井), 标志着中国页岩气进入实质性勘探开发阶段。2010 年 5 月 7 日, 中石化华东分公司在贵州大方县对一口页岩气老井(方深 1 井)成功进行了大型压裂, 这是中国第一口实施大型压裂改造的页岩气井。目前, 中国与壳牌、英国石油等几大国际油气公司合作正在实施多个页岩气联合勘探项目。中国国土资源部^[15]提出了到 2020 年实现页岩气年产能 150 亿-300 亿立方米的战略目标, 即页岩气产量达到常规天然气产量的 8%-12%。

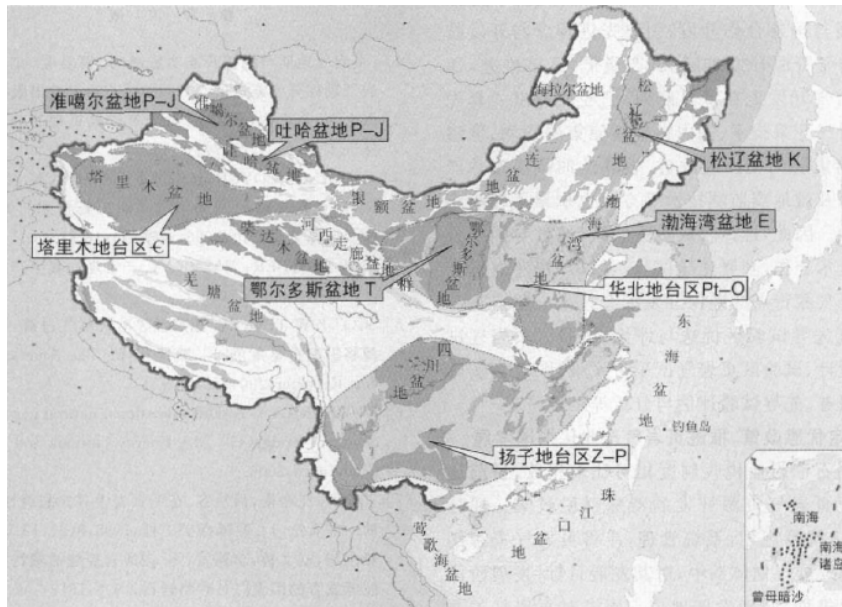


Figure 1. Shale gas reservoirs in China [10]

图 1. 中国页岩气有利勘探区域示意图 (引自 闫存章等[10])

4 开采中存在的问题

4.1 淡水资源的消耗

页岩气开采主要采用水力压裂技术,即将高压液体注入气藏岩层使其裂开而通过获得岩层中的天然气。很显然,页岩气的开采及水力压裂技术需要有可持续的、大量的淡水资源作为支撑。美国页岩气产业的快速发展,离不开其国土领域丰富的水资源的支持。然而,水资源短缺问题一直是中国经济发展的瓶颈,尤其是中西部地区。美国页岩气井的统计数据显示,每口页岩气钻井的日用水量在 114 立方米之间,单井日产气量在 1000 立方米左右,即用水量与产气量的比率为 10%。如果到 2020 年的 10 年间以每年 15 亿立方米的产能开采页岩气,则 10 年间需要消耗淡水量约 15 亿立方米。根据 2002 年实施的我国城市居民生活用水量标准,我国各城市平均每人每天用水量约为 0.15 立方米,由此可知,这些水量相当于全中国人口万人一周的用水量,也相当于 30 个百万人口城市一年用水量。

因此,中国要实现 2020 年页岩气产能达到 150 亿以上的目标,其需水量是上述的十倍,即 30 个百万人口城市 10 年的居民用水量。所以页岩气资源开采所消耗的淡水量是十分巨大的,如何保障页岩气井的用水量和居民用水的可持续性,是目前中国急需讨论的重要课题。本文建

议中国应在勘探页岩气拟开采地址的资源量的同时进行当地水资源量的可持续利用的评估,进行区域水资源规划和合理调度。在保障不影响当地和区域的居民、生态环境、工农业用水的前提下,科学合理地进行页岩气开采。

4.2 环境危害

页岩气的开采过程首先会对当地景观、植被及生态环境有破坏和扰动^[1]。另外,用于水力压裂的高压液中的化学添加剂种类有 250 余种,图 2 总结了常用的 12 种添加剂的含量,其中一些添加剂是有害的^[2]。在钻井水力压裂处理完成后,由于注入压力(泵压)的减小,井中的压裂液与地层水的混合物(我们称之为回流水)开始向井口流出,其体积多达原来注入高压液体的 30%-70%,其回流过程在数小时至几周之内。回流水中除了还有高压液体中的化学添加剂成分外,还含有烃类化合物、重金属和高浓度的溶解固体等,其中溶解固体组分包括钙、钾、钠、氯化物和碳酸盐以及来自气藏岩层的天然放射性物质(Naturally Occurring Radioactive Material, NORM)如铀、钍及其衰变产物等^[2]。天普大学峰会上的报告透露,回流水的盐度多达海水的 10 倍。因此,如果这些回流水被非法倾倒和造成泄漏,其环境危害不可想象。

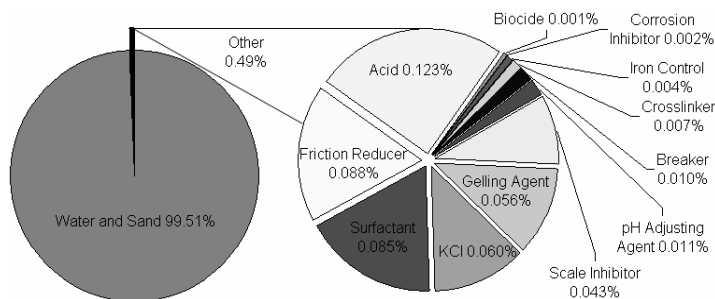


Figure 2. Volumetric composition of flowback water^[2]

图 2. 页岩气钻井回流水成分的百分含量^[2]

美国匹兹堡邮报 (Pittsburgh Post-Gazette) 报道称, 自 2008 年 10 月以来, Marcellus 页岩气井产生的未经处理的回流水已经污染了 Monongahela 河, 引起了当地工业用水单位和公共饮用水消费者的抱怨。天普大学峰会上 Damascus 民间组织的报告披露, 由于宾夕法尼亚州西部和萨斯奎汉纳河流域的天然气管井产生的回流水被非法倾倒, 导致 Dunkard 河遭受了严重污染, 现在已经变为了一个危险带。2010 年 4 月 16 日天普大学第二个关于 Marcellus 页岩气开发的“Marcellus 页岩气开采的潜力与危害: 德克萨斯州镇长专题报告”公开讨论会^[4]的主题报告指出, 页岩气开采产生的废气中有 61%的成分是对健康有害的, Dish Texas 镇开采地附近的许多树木因开采产生的污水和废气已经枯死或正面临死亡。另外, 由于钻井操作故障造成的事故也经常发生, 如美国的 Robson 钻井事故造成了周围地区土壤的污染和植被死亡。

由于中国的污废水、废气和废渣的处理技术和设备落后于美国等发达国家, 上面提及的污染问题在中国同样会存在并很有可能更严重。实际上, 虽然中国近年来加大了环境污染治理的力度和强度, 但中国的工业污染问题仍然十分严峻。在没有相应基础建设保障的前提下, 盲目开采页岩气无疑会加剧中国的环境污染现状。因此, 如何创新污废水等的处理技术和设备以及如何妥善处置好回流水将是中国页岩气资源开采中的另一个重要课题。

5 结论

页岩气资源是目前世界能源开发的热点、难点和前沿课题, 它在应对全球能源危机和保持社

会经济环境可持续发展方面具有重要科学意义。据作者广泛的文献查证所知, 目前我国各方面都把注意力集中在了如何保障和促进页岩气资源的勘探开发技术和政策上, 还未有学者或机构就中国页岩气开采潜在的水资源挑战和环境影响进行讨论和研究。因此, 本文结合美国页岩气资源开采的环境问题, 探讨了我国页岩气开采可能存在问题或引起的一些环境问题。强调中国在引进国外页岩气资源开采先进技术的同时, 更要注重借鉴其相应的、先进的水资源管理理念和环境保护技术, 建立健全相应的法律法规政策, 开展开采区相应的水资源规划与环境影响评估工作, 防治和减少页岩气开采带来的环境污染和生态破坏, 坚持油气开发与环境保护并举, 实现社会经济与生态环境的可持续协调发展。

尤其是在目前我国未考虑页岩气资源开发潜在的环境危害的情况下, 本文的观点有助于油气资源开发的健康发展, 这不仅对油气资源的可持续开发利用具有重要的参考价值, 而且也为我国水资源规划评价和环境影响评估等领域的发展提供了新思路。

References (参考文献)

- [1] Nature Editorial. The shale revolution[J], Nature, 2009, 460, P551-552
- [2] U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fossil Energy and National Energy Technology Laboratory. Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer[R]. April 2009
- [3] Marcellus Shale Natural Gas Stewardship: Understanding the Environmental Impact— A Temple University Summit[C]. Hosted by Department of Civil and Environmental Engineering, Temple University, Philadelphia, March 18, 2010

- [4] Marcellus Shale Gas Development: Potential & Pitfalls. A Presentation by the Mayor of Dish Texas, Calvin Tillman, followed by Panel Discussion with DEP and Industry Representatives[C]. Hosted by Department of Civil and Environmental Engineering, Temple University, Philadelphia, PA, April 16, 2010
- [5] U.S. Energy Information Administration (EIA). Annual Energy Outlook 2010[R]. April 2010.
- [6] Engelder T, Marcellus 2008: Report card on the breakout year for gas production in the Appalachian Basin[J]. Fort Worth Basin Oil & Gas Magazine, 2009, 20, P18-22
- [7] Pan Jiping, The current state and development prospects of shale gas exploitation[J], *International Petroleum Economics*, 2009, 17, P12-15 (Ch)
潘继平, 页岩气开发现状及发展前景——关于促进我国页岩气资源开发的思考[J], 国际石油经济, 2009, 17, P12-15
- [8] Editorial committee of 《Series of books on the geology and exploratory development of shale gas》. Recent progresses of shale gas development in the North America [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009
《页岩气地质与勘探开发实践丛书》编委会. 北美地区页岩气勘探开发新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009
- [9] Zhang Jinchuan, Wang Zongyu, Nie Haikuan, et al., Shale gas and its significance for exploration[J], *Geoscience*, 2008, 22(4), P640-646 (Ch)
张金川, 汪宗余, 聂海宽, 等, 页岩气及其勘探研究意义[J], 现代地质, 2008, 22(4), P640-646
- [10] Yan Cunzhang, Huang Yuzhen, Ge Chunmei, et al., Shale gas: Enormous potential of unconventional natural gas resources[J], *Natural Gas Industry*, 2009, 29(5), P1-6 (Ch)
闫存章, 黄玉珍, 葛春梅, 等, 页岩气是潜力巨大的非常规天然气资源[J], 天然气工业, 2009, 29(5), P1-6
- [11] Pan Renfang, Huang Xiaosong, Shale gas and its exploration prospects in China[J], *China Petroleum Exploration*, 2009, 3, P1-5 (Ch)
潘仁芳, 黄晓松, 页岩气及国内勘探前景展望[J], 中国石油勘探, 2009, 14(3), P1-5
- [12] THE WHITE HOUSE, Office of the Press Secretary, Statement on U.S.-China Shale Gas Resource Initiative: Initiative to help reduce greenhouse gas emissions, promote energy security[R]. November 17, 2009
- [13] Zhang Jinchuan, Xu Bo, Nie Haikuan, et al., Exploration Potential of Shale Gas Resources in China[J], *Natural Gas Industry*, 2008, 28(6), P136-140 (Ch)
张金川, 徐波, 聂海宽, 等, 中国页岩气资源勘探潜力[J], 天然气工业, 2008, 28(6), P136-140
- [14] Zhang Jinchuan, Jiang Shengling, Tang Xuan, et al., Accumulation types and resources characteristics of shale gas in China[J], *Natural Gas Industry*, 2009, 29(12), P109-114 (Ch)
张金川, 姜生玲, 唐玄, 等, 我国页岩气富集类型及资源特点[J], 天然气工业, 2009, 29(12), P109-114
- [15] Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Shale gas resources in China's strategic research and exploration and development of strategic vision[R]. 2010 (Ch)
中华人民共和国国土资源部, 我国页岩气资源战略调查和勘探开发战略构想[R], 2010
- [16] Damascus Citizens for Sustainability (DCS). Complaint Regarding Potential Environmental Contamination from Activities at the Robson Gas Well Site, Oregon Township, Wayne County Pennsylvania: Supporting Photographic Information and Description[R]. October 2009