

# 页岩气开发对川渝地区水资源环境的影响

陆廷清<sup>1</sup>, 胡明<sup>1</sup>, 刘墨翰<sup>1</sup>, 丁春艳<sup>1</sup>, 汪星<sup>2</sup>

1. 西南石油大学地球科学与技术学院, 成都 610500

2. 四川省煤田地质局 141 队, 德阳 618000

**摘要** 目前中国页岩气已进行大规模商业开发, 但页岩气开发对当地水资源环境造成一定的风险。通过川渝两地页岩气井场实地调查和取样分析, 结果表明: 一方面, 页岩气开发总耗水量巨大, 每口井用水量约 32000 m<sup>3</sup>; 另一方面, 水环境污染风险来自于: 1) 压裂返排液和钻井返排液, 其成分复杂, 盐度高, 并含有多种重金属; 2) 钻进过程产生巨量的废油基泥浆和含油钻屑; 3) 页岩气开发地区, 溶洞、裂缝、暗河发育, 钻井过程易发生井漏或井喷; 4) 地面工程建设。因此, 在页岩气开发过程中, 必须精心施工, 合理调配水资源, 大力发展返排液处理技术, 以便防止页岩气开发过程中过度消耗水资源, 并避免水污染。

**关键词** 页岩气开发; 水力压裂; 含油钻屑; 水资源消耗; 水环境污染; 川渝地区

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二五年规划纲要》中明确指出将增加清洁能源的供应量, 包括天然气、水电及核能, 其中天然气需求量在未来 5 年能源结构中比例将增加 1 倍, 同时实现 2020 年国内单位生产总值二氧化碳排放量比 2005 年下降 40%~50%。页岩气是一种重要的非常规天然气, 中国又具有丰富的页岩气资源量<sup>[1-3]</sup>。2009 年国土资源部油气资源战略研究中心启动了“我国重点地区页岩气资源潜力及有利地区优选研究”项目, 对页岩气的成藏条件和勘探潜力进行研究<sup>[4-7]</sup>, 研究重点集中在上扬子地区的四川盆地及其周缘<sup>[8]</sup>, 并钻探了页岩气评价井和开发先导性试验井, 建立了四川威远—长宁、重庆涪陵—黔江、云南昭通等多个国家级页岩气工业化开发先导实验区<sup>[9]</sup>。在四川南部威远—长宁、川渝的富顺—永川和重庆涪陵等地的下古生界海相地层中获得页岩气开发突破, 现正加快进行开发部署, 以期页岩气产量达到《中国页岩气“十二五”发展规划》要求的目标。

但与美国相比, 中国页岩气勘探开发时间短、速度快, 积累的经验少; 与常规油气相比, 页岩气井为水平钻井、布井密集, 且进行大规模水力压裂来采气; 页岩气开发可能带来用地紧张、水资源短缺及潜在环境风险, 需要重视的问题之一就是环境保护, 尤其是水资源环境<sup>[10-14]</sup>, 但还未见文献进行具体分析。

页岩气和水是 2 种重要的资源, 对每一种重要资源的使用都依赖于另一种资源, 并影响其使用<sup>[15-17]</sup>。页岩气开采过程中对水资源环境的 2 个主要影响为水资源消耗和水污染,

因此, 本研究利用页岩气井场实地调查、钻井和压裂返排液取样分析结果, 探讨川渝地区页岩气开发过程对水资源和水环境的影响。

## 1 川渝地区页岩气勘探开发概况

四川盆地及其周边地区是中国古生界海相页岩气开发最为有利的地区, 产气的层位多, 资源量巨大, 技术条件最为成熟。在 20 世纪 60—70 年代进行常规油气勘探过程中, 在四川的威远(威 5 井)、九奎山(阳 63 井)和圣灯山(隆 3 井)等构造的下古生界黑色页岩中获得了 2×10<sup>3</sup>~2.46×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 的天然气, 前者产自寒武系筇竹寺组, 后两者产自志留系龙马溪组。取气样分析, 甲烷含量 96.4%~98.45%, 且不含硫化氢<sup>[8]</sup>。

21 世纪随着美国页岩气开发热潮向中国袭来, 促使中国也加快了页岩气资源的研究工作。2005—2010 年, 国土资源部油气资源战略研究中心在川渝鄂、苏浙皖及中国北方部分地区共计 4×10<sup>5</sup> km<sup>2</sup> 的范围内开展了页岩气调查和勘查示范研究, 2009 年 10 月在重庆市綦江区启动了首个页岩气资源勘查项目, 正式开始页岩气的勘探与开发。2008 年 11 月中国石油勘探开发研究院针对四川盆地页岩气在长宁构造钻探第一口地质取芯井——长芯 1 井, 证实了页岩气的存在<sup>[18]</sup>, 2009 年 12 月在四川南部的威远县新场镇开钻第一口页岩气评价井——威 201 井, 2010 年 8 月试气获得成功, 2 个月后投产, 初期产量 2×10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/d, 产气层是寒武系筇竹寺组和志留系

收稿日期: 2015-08-16; 修回日期: 2016-05-04

基金项目: 四川省环境保护科技计划项目(2013HB01)

作者简介: 陆廷清, 副教授, 研究方向为石油与天然气地质、资源环境, 电子信箱: lutingqing@swpu.edu.cn

引用格式: 陆廷清, 胡明, 刘墨翰, 等. 页岩气开发对川渝地区水资源环境的影响[J]. 科技导报, 2016, 34(23): 51-56; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.

2016.23.005

龙马溪组。2010年1月,在重庆市彭水县连湖镇的一口页岩气勘探浅井——渝页1井完钻,也发现志留系龙马溪组黑色页岩中含有天然气<sup>[19]</sup>。以这些井钻探结果和全国页岩气资源调查现状为基础,国务院于2011年12月批准了页岩气为新发现矿种<sup>[20]</sup>。

自此,开始在川南、重庆及四川盆地周边地区进行页岩气水平井钻探,并压裂地层采气。2010年12月在四川南部的威远县新场镇威201-H1井开钻,2011年7月完成11段压裂,8月投入生产。2012年5月重庆市涪陵区焦石镇焦页1HF井开钻,同年9月完钻,11月压裂后求产获无阻流量 $1.67 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 的气流<sup>[21]</sup>。2010年相继在重庆永川和四川南部泸州市富顺县页岩气开发中获得成功,并向管网供送页岩气。从2012年末和2013年初在川渝地区海相页岩气工厂化钻井平台建设全面铺开,进行商业性开发,到目前为止,已投入生产的页岩气井200余口,累计产气多达 $2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。川渝地区页岩气开发的成功激发了周边地区页岩气勘探开发热情。

## 2 页岩气开发对水资源环境的影响

### 2.1 水资源消耗及其影响

现在川渝地区进行页岩气开发主要是重庆涪陵和四川南部地区,完成《中国页岩气“十二五”发展规划》任务,在川渝地区每年要增加1000口左右的页岩气井。水平钻井和水力压裂是采集页岩气的有效途径,而且水力压裂需要大量的淡水。从已公开的页岩气水平井水力压裂参数数据<sup>[22-23]</sup>对用水量情况进行统计,重庆市涪陵焦石坝地区26口页岩气井水力压裂共用水 $794534.3 \text{ m}^3$ ,平均每口井用水 $30559 \text{ m}^3$ ,焦页12-4HF井用水最多,达 $46140.7 \text{ m}^3$ ,焦页7-2HF井用水最少,为 $22465.9 \text{ m}^3$ ;四川省自贡市荣县金页1HF井压裂用水约 $30000 \text{ m}^3$ ;长宁—威远国家级页岩气示范区5口页岩气水平井压裂平均用水 $20931 \text{ m}^3$ ,2015年8月威页1HF井压裂用水 $29000 \text{ m}^3$ 。除压裂用水外,钻井液的配制、机械设备冷却、施工人员工作和生活也需要使用淡水,这部分仅占全部用水量的5%左右<sup>[24]</sup>,因此川渝地区每口页岩气井总用水量约为 $32000 \text{ m}^3$ 。据美国对页岩气田的统计分析,大多数生产井是常规天然气井开发用水量的10倍左右,页岩气钻井和水力压裂过程用水 $2 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6$ 加仑(即 $7500 \sim 15000 \text{ m}^3$ ),在大多数情况下,约是 $3 \times 10^6$ 加仑(即 $11356 \text{ m}^3$ )<sup>[15]</sup>。与美国相比,川渝地区每口页岩气井耗水量要大得多。若川渝两地每年完成1000口页岩气井,总用水量约 $3.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

与川渝两地水资源量相比,页岩气开发总耗水量占很少部分。川渝地区水系发育,降雨较为充沛,水资源较为丰富。以2005年为例,两地水利局公布的水资源总量数据为 $3.4 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。尽管受气候条件、降雨程度不同的影响,川渝两地每年水资源总量有小幅波动,但波动幅度不是很大。另外,2005年四川省人均水资源量为 $3388 \text{ m}^3$ ,人均用水量为 $304 \text{ m}^3$ 。通过比较发现,若不考虑钻井和压裂的返排水循环再利用,每口页岩气井就要耗去100余人1年的用水量。川

渝地区1.1亿总人口,而页岩气开发主战场在川渝两地的人口密集地区,不是在人口稀少、水源极其丰富的川西地区;页岩气钻井平台往往邻近村舍、乡镇,周围多是农业灌溉、水产养殖、饮用水源。页岩气井用水取自钻井平台附近地表水或地下水,如四川威远地区的威201-H1井压裂所需水取自于离井场约3 km的一条河流。重庆涪陵焦石坝地区页岩气开采压裂用水取自乌江。若取水考虑不当,会给当地水资源带来冲击,引起耕地沙化,农作物生长困难;小流域流量减少,河流退化,水产品欠收。遇干旱年份,还会影响页岩气开发区居民生活和农业灌溉用水。因此,合理调配水资源,科学安排施工时节至关重要,不与当地居民和农业用水相争,以减少页岩气开发对川渝地区水资源的影响。

### 2.2 水环境污染

#### 2.2.1 返排液

返排液有2种:压裂返排液和钻井返排液。水力压裂结束后,解除钻井中泵压,进入地层的滑溜水压裂液将沿着井筒回到井口位置。这是在短时间内将大量液体注入页岩中压裂开采天然气,随后会逐渐从井中返排出来。压裂返排液中除了含有压裂液体中的化学添加剂成分外,还含有烃类化合物、重金属和高溶解固体等,其中高溶解固体组分包括钙、钾、钠、氯化物和碳酸盐,以及来自页岩地层的天然放射性物质,如铀、钍及其衰变产物等<sup>[15]</sup>。川渝地区页岩气井用来压裂的液体也是滑溜水,滑溜水又称清水压裂液,是以清水作为主体,在其中添加较低比例的支撑剂和水溶聚合物添加剂。清水的体积占绝大部分,约为90%;支撑剂约占9%的体积,添加剂约占1%。支撑剂是天然石英砂或人造陶粒,人造陶粒是利用铝土矿在高温、干燥条件下烧结而成,主要成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。添加剂种类在压裂液中所占的比例很小,约有10种,包括盐酸、戊二醛、过硫酸铵、甲酰胺、硼酸盐、原油馏出物、瓜胶或羟乙基纤维素、柠檬酸、氯化钾或氯化钠、乙二醇、异丙醇。这些添加剂有各种毒性作用,危害人类身体健康<sup>[25]</sup>。添加剂的量不足压裂液总量的1%,但对提高页岩气井的产量至关重要,压裂因添加剂进入地层发生作用后再从井口返回地面,而使页岩气开发对环境的影响上最具争议。

在页岩气生产过程中,美国页岩气井排出量占压裂液体积从小于30%到大于70%<sup>[26]</sup>。与美国相比,川渝地区海相页岩气井压裂返排液量是很少的。在重庆涪陵焦石坝地区,包括钻塞过程排出液在内的每口页岩气井压裂返排液一般不高于总压裂液体积的5%<sup>[27-28]</sup>,现场也看到涪陵地区有的页岩气井返排液极少,有的井甚至没有液体排出,压裂液基本被消耗完。但也有个别井的返排液量很大,如川南地区威页1HF井压裂后1个月返排液达总液量的24.3%。

水力压裂在钻井完成后进行,钻井过程中要使用大量钻井液。页岩气井钻井主要用水基钻井液和油基钻井液。水基钻井液是以淡水或咸水为主体,由膨润土、处理剂、加重剂所组成的多相分散体系。在水基钻井液中膨润土是最常用的配液材料,在川南页岩气钻井用的水基钻井液处理剂多为

聚合物、苏打(碳酸钠),加重剂为重晶石粉。油基钻井液是以油(通常为柴油)作为连续相分散体系。在川南页岩气钻井过程中油基钻井液主要使用油、水比在(50~80):(50~20)范围内的油包水乳化钻井液,添加剂主要有:乳化剂,如硬脂酸钙、烷基硫酸钙、烷基苯磺酸钙、斯盘-80;润湿剂,如十二烷基三甲基溴化铵、卵磷脂、石油磺酸铁;亲油胶体,如有机膨润土、氧化沥青、亲油褐煤;碱度控制剂,如熟石灰;加重剂,如重晶石粉、石灰石粉、铁矿粉等。以柴油作为基础油的油基钻井液有一定毒性,其毒性主要来自柴油中的芳香烃,芳香烃含量越高、毒性越大。

本研究采集了川南地区珙县上罗镇的宁201井平台钻井

返排液和压裂返排液样品,前者呈弱碱性,后者呈弱酸性,选取部分金属阳离子进行检测,结果如表1所示。钻井返排液和压裂返排液中的金属元素在含量上具有明显差别,最突出的是后者中的重金属离子明显高于前者。两者含量最高的是高溶解固体物:钾(K<sup>+</sup>)、钠(Na<sup>+</sup>)、钙(Ca<sup>2+</sup>),还含有一定量的重金属:汞(Hg<sup>2+</sup>)、铬(Cr<sup>3+</sup>)、锌(Zn<sup>2+</sup>)、锰(Mn<sup>2+</sup>)等多价离子。阳离子含量最高可达9.24 g/L,为咸水。重庆涪陵焦石坝地区4个钻井平台钻井返排液和3口水平井压裂返排液的阳离子较少,只有4种:钾(K<sup>+</sup>)、钠(Na<sup>+</sup>)、钙(Ca<sup>2+</sup>)、镁(Mg<sup>2+</sup>),钻井返排液中钡(Ba<sup>2+</sup>)和锶(Sr<sup>2+</sup>)含量为0,氯离子(Cl<sup>-</sup>)含量却很高,约达10 g/L<sup>[27]</sup>。

表1 宁201井钻井液返排液和压裂返排液金属元素含量和pH值

Table 1 Metal elements content and pH value of the drilling and fracturing flowbacks in Ning 201 Well

分析项目/(mg·L <sup>-1</sup> )	宁201-H4井 钻井液返排液	宁201-H1井 压裂液返排液	宁201-H2井 压裂液返排液	宁201-H3井 压裂液返排液	
金属阳离子	K <sup>+</sup>	1647.87	418.48	464.90	460.28
	Na <sup>+</sup>	447.20	4839.06	6292.01	6601.55
	Ca <sup>2+</sup>	272.92	549.22	1843.23	930.00
	Mg <sup>2+</sup>	0.55	143.01	285.23	282.64
	Fe <sup>3+</sup>	0.25	17.81	6.79	23.22
	Sr <sup>2+</sup>	8.90	213.00	301.20	313.41
	Cr <sup>3+</sup>	0.05	0.11	0.04	0.03
	Zn <sup>2+</sup>	0.05	0.13	0.19	0.18
	Mn <sup>2+</sup>	未检出	4.09	8.63	100.10
	Hg <sup>2+</sup>	3.93	20.45	33.31	34.08
pH值	7.15	6.94	6.96	6.71	

高溶解固体物可能是造成水资源污染的主要来源,必须对返排液进行严格管控和有效处理。川渝地区返排液一般先储存于井场旁的沉砂池和储污池中(图1),然后用罐车运走进行处理后又用于压裂,或注入废弃油井中,如威201-H1井压裂返排液就注入其附近的废弃井中。另外,也有将返排液置于池中等待自然挥发,返排液储存池必须建有内衬并作防渗处理,用来防止含有多种金属物质的液体进入地表水和地下水系统。在美国,为实现大量返排液体重复利用,首先采用双氧水(过氧化氢)和漂白水这类强氧化剂,除去细菌和聚合物,再通过沉淀和过滤的方式,除去悬浮颗粒和垢,最后再加入阻垢剂保证处理后的液体与地层的配伍性,形成施工处理的基液<sup>[29]</sup>。应注意的是,返排液的处理应就地进行,不能运输到其他地方进行,避免二次污染。

不但要防止池中的返排液体渗漏进入地下,同时也要防止外泄污染土壤和水源,因此须对池中返排液及时处理,避免暴雨外泄。从川渝地区多个钻井平台附近的储污池来看,其上无防雨棚,池子又处于低洼处,若大雨、暴雨,池子易于装满外泄(图1),对水资源环境和地质环境产生不良影响。因此,在页岩气钻采过程中,必须针对川渝地区大雨、暴雨情况,设计和管理好储污池。



(a) 川南宁201平台的沉砂池 (b) 重庆涪陵焦石坝48平台的储污池

图1 川渝地区页岩气钻井平台的岩屑沉砂池和储污池

Fig. 1 Cuttings deposited pool and storage pool of drilling pad in Sichuan and Chongqing

## 2.2.2 钻井岩屑和废液

页岩气钻井过程中要产生大量岩屑、废弃泥浆和钻井废液,也存在对水环境污染的风险。根据涪陵地区开发试验区典型页岩气井井身结构数据<sup>[27]</sup>,从导管钻头、一开、二开和三开钻头大小及相应深度进行测算,井深4430 m的一口页岩气井,从地下钻出297.6 m<sup>3</sup>岩石,按岩石平均密度2.7 g/cm<sup>3</sup>计算,得净重803.4 t(不含水、油等)。一开、二开用水基钻井液,产生水基岩屑;三开用油基钻井液,产生含油岩屑。岩石被钻头磨碎还饱含油、水液体,体积和重量会成倍增加。如

一个平台钻4口页岩气水平井,就会产生巨量的废油基泥浆和含油钻屑。

### 2.2.3 井喷和井漏

目前,钻井建设过程中尽管安装多层套管和固井水泥层,用于保护蓄水层的地下淡水资源,同时确保将含页岩气层系和上覆含水地层隔离开来。但是,在重庆涪陵、彭水地区,四川南部的珙县、兴文、筠连等页岩气开发地区,地表或近地表多是二、三叠系碳酸盐岩地层,碳酸盐岩是易溶岩石,地下溶洞、裂缝、暗河发育,呈不规则分布;在页岩气井钻进过程中,易钻透上覆含水层或钻遇暗河、溶洞,造成地下水系扰动,地表水漏失,钻井液就会污染地下水。在长宁地区曾出现过钻井液大量漏失现象,工程上就采取措施堵漏,用核桃壳堵漏剂,结果用于堵漏的核桃壳在离井场一定距离的河流中漂流出来。重庆涪陵焦石坝焦页5-2HF井、焦页8-2HF井在一开钻井时,采用泡沫钻进,遭遇地下暗河,出水量很大;而焦页51-3HF井、焦页74-3HF井一开钻进时,遭遇失还性漏失,其中焦页51-3HF井1 h漏失钻井液超过400 m<sup>3</sup>。在川渝地区页岩气开发地区因岩溶发育,地下水受污染的风险很大,且地下水污染隐蔽性强,短时间不易觉察,污染后极难修复。因此,页岩气钻井必须精心施工。

### 2.2.4 地面工程建设

页岩气钻井平台建设、输气管线建设以及道路铺设改变地表地形、破坏植被的同时,产生的一些尘土等碎屑物质就近进入小溪、河流,河流中悬浮物增加,影响水质,尤其是河流源头的小溪<sup>[26, 30]</sup>。川南珙县上罗镇附近一条小河两侧有多个页岩气钻井平台,同时沿小河架设输气管道,小河水质受到明显影响。

除上述情况外,与常规油气生产相比,页岩气生产还需要进行水力压裂,将添加了化学物质的大量压裂液注入地层中,并在其中产生裂缝,而且这些裂缝长度一般只有几十米,少数沿着层理面可延伸百余米,压裂液携带支撑剂进入这些裂缝中,天然气沿裂缝进入井眼里,汇集后进行页岩气采集。这些裂缝一旦扩展到上覆含水层,压裂液或页岩气就会沿裂缝窜上来污染地下水。在川南地区,页岩气压裂层段都在2000 m以下甚至地下更深处,压裂液通常注入能饮用地下水水源底层隔水层之下,难于沿压裂缝窜入浅层地下水中。而页岩气沿套管泄漏污染井水在美国开发过程中也多次出现<sup>[17, 31]</sup>。但是,压裂施工压力高,使套管变形,存在井口、压裂管线刺漏进入地下水层的风险。为防止出现这种情况,在重庆涪陵焦石坝地区,将内层套管厚度由10 mm变为12.34 mm<sup>[28]</sup>。因此,需加强压裂液或页岩气进入浅层地下水层的监测,应有应对措施。

## 3 结论

在川渝地区每口页岩气井平均消耗水3.2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,每年耗水约3.2×10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>。随着川渝地区页岩气开发的步伐加大,钻井数量增加,消耗水量巨大,对四川和重庆地区的水资源

总量影响不大,但对页岩气开发区会带来一定影响。注重节约用水,合理安排施工季节,最大程度上减少页岩气开发对当地水资源的冲击。

页岩气开发中对水环境污染风险主要来自钻井返排液、压裂返排液和钻井岩屑。前两者成分复杂,盐度高,并含有多种重金属;后者数量巨大,且有毒性。另外,储污池易受暴雨或其他因素影响外泻或渗漏而污染地表水和地下水;页岩气开发的地区,溶洞、裂缝、暗河发育,钻井过程易发生井喷、井漏污染地表水和地下水。

页岩气勘探开发在中国处于起初阶段,在川渝地区海相页岩气取得成功后,这2个地区加速了页岩气的开发,局部已出现水环境污染风险,虽对水资源影响和水污染还未凸现,但必须精心施工,合理开发,大力发展返排液处理技术,为中国其他地区页岩气开发提供水资源合理利用和避免水污染的示范作用。

**致谢:** 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司勘探开发研究院王兰生教授级高级工程师、李红卫高级工程师,西南石油大学化学化工学院朱天菊高级实验师,四川长宁天然气开发有限责任公司井场现场管理人员提供帮助。

### 参考文献(References)

- [1] 《页岩气地质与勘探开发实践丛书》编委会. 中国页岩气地质研究进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.  
Editorial Committee of "Series of Books on the Geology and Exploratory Development of Shale Gas". Recent progresses of shale gas study in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.
- [2] World shale gas resources: An initial assessment of 14 regions outside the United States[R]. Washington, DC: US Energy Information Administration, 2011: 1-365.
- [3] 邹才能, 董大忠, 杨桦, 等. 中国页岩气形成条件及勘探实践[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 26-39.  
Zhou Caineng, Dong Dazhong, Yang Hua, et al. Conditions of shale gas accumulation and exploration practices in China[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 26-39.
- [4] 张金川, 聂海宽, 徐波, 等. 四川盆地页岩气成藏条件[J]. 天然气工业, 2008, 28(2): 151-156.  
Zhang Jinchuan, Nie Haikuan, Xu Bo, et al. Geological condition of shale gas accumulation in Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(2): 151-156.
- [5] 朱炎铭, 陈尚斌, 方俊华, 等. 四川地区志留系页岩气成藏的地质背景[J]. 煤炭学报, 2010, 35(7): 1160-1165.  
Zhu Yanming, Chen Shangbin, Fang Junhua, et al. The geologic background of the Siluric shale-gas reservoiring in Szechwan, China[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(7): 1160-1165.
- [6] 董大忠, 程克明, 王玉满, 等. 中国上扬子地区下古生界页岩气形成条件及特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 288-299.  
Dong Dazhong, Cheng Keming, Wang Yuman, et al. Forming conditions and characteristics of shale gas in the Lower Paleozoic of the Upper Yangtze region, China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 288-299.
- [7] 王世谦, 陈更生, 董大忠, 等. 四川盆地地下古生界页岩气藏形成条件与勘探前景[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 51-58.

- Wang Shiqian, Chen Gengsheng, Dong Dazhong, et al. Accumulation conditions and exploitation prospect of shale gas in the Lower Paleozoic Sichuan basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(5): 51-58.
- [8] 李玉喜, 聂海宽, 龙鹏宇. 我国富含有机质泥页岩发育特点与页岩气战略选区[J]. *天然气工业*, 2009, 29(12): 115-118.
- Li Yuxi, Nie Haikuan, Long Pengyu. Development characteristics of organic-rich shale and strategic selection of shale gas exploration area in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(12): 115-118.
- [9] 董大忠, 邹才能, 杨桦, 等. 中国页岩气勘探开发进展与发展前景[J]. *石油学报*, 2012, 33(增1): 107-114.
- Dong Dazhong, Zou Caineng, Yang Hua, et al. Progress and prospects of shale gas exploration and development in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(Suppl 1): 107-114.
- [10] 翟光明, 何文渊, 王世洪. 中国页岩气实现产业化发展需重视的几个问题[J]. *天然气工业*, 2012, 32(2): 1-4.
- Zhai Guangming, He Wenyuan, Wang Shihong. A few issues to be highlighted in the industrialization of shale gas in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(2): 1-4.
- [11] 王道富, 高世葵, 董大忠, 等. 中国页岩气资源勘探开发挑战初论[J]. *天然气工业*, 2013, 33(1): 8-17.
- Wang Daofu, Gao Shikui, Dong Dazhong, et al. A primary discussion on challenges for exploration and development of shale gas resources in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2013, 33(1): 8-17.
- [12] 藤吉文, 刘有山. 中国页岩气成藏和潜在产能与对环境的污染分析[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 1-30.
- Teng Jiwen, Liu Youshan. An analysis of reservoir formation, potential productivity and environmental pollution effect of shale gas in China[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 1-30.
- [13] Yang Hong, Flower R J, Thompson J R. Shale-gas plans threaten China's water resources[J]. *Science*, 2013, 340(6183): 1288.
- [14] 王玲, 熊永生. 水平井压裂技术下的页岩气开发环境影响研究[J]. *生态经济*, 2013, 275(12): 118-120, 138.
- Wang Ling, Xiong Yongsheng. Study on the environmental impact of the development of shale gas in horizontal well fracturing technology[J]. *Ecological Economy*, 2013, 275(12): 118-120, 138.
- [15] 凯特琳·M·纳什. 页岩气开发技术[M]. 汪丽华, 周靖, 王建强, 等, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 2012.
- Nash K M. Shale gas development[M]. Wang Lihua, Zhou Jing, Wang Jianqiang, et al, trans. Shanghai: The Nova Science Publishers, Inc., 2010.
- [16] 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.
- Xia Yuqiang. The challenges of water resources and the environmental impact of Marcellus shale gas drilling[J]. *Science and Technology Review*, 2010, 28(18): 103-110.
- [17] Vidic R D, Brantley S L, Vandenbossche J M, et al. Impact of shale gas development on regional water quality[J]. *Science*, 2013, 340: 1235009-1-9.
- [18] 王社教, 王兰生, 黄金亮, 等. 上扬子区志留系页岩气成藏条件[J]. *天然气工业*, 2009, 29(5): 45-50.
- Wang Shejiao, Wang Lansheng, Huang Jinliang, et al. Accumulation conditions of shale gas reservoirs in Silurian of the Upper Yangtze region[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(5): 45-50.
- [19] 张金川, 李玉喜, 聂海宽, 等. 渝页 1 井地质背景及钻探效果[J]. *天然气工业*, 2010, 30(12): 114-118.
- Zhang Jinchuan, Li Yuxi, Nie Haikuan, et al. Geologic setting and drilling effect of the shale cored well Yuye-1, Panshui County of Chongqing[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(12): 114-118.
- [20] 李玉喜, 张大伟, 张金川. 页岩气新矿种的确立依据及其意义[J]. *天然气工业*, 2012, 32(7): 93-98.
- Li Yuxi, Zhang Dawei, Zhang Jinchuan. Criteria for and significance of government's approving shale gas as a newly found mineral[J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(7): 93-98.
- [21] 周德华, 焦方正, 贾长贵, 等. JY1HF 页岩气水平井大型分段压裂技术[J]. *石油钻探技术*, 2014, 42(1): 75-80.
- Zhou Dehua, Jiao Fangzheng, Jia Changgui, et al. Large-scale multi-stage hydraulic fracturing technology for shale gas horizontal well JY1HF[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2014, 42(1): 75-80.
- [22] 王志刚. 涪陵焦石坝地区页岩气水平井压裂改造实践与认识[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(3): 425-430.
- Wang Zhigang. Practice and cognition of shale gas horizontal well fracturing stimulation in Jiaoshiba of Fuling area[J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(3): 425-430.
- [23] 尹丛彬, 叶登胜, 段国彬, 等. 四川盆地页岩气水平井分段压裂技术系列国产化研究及应用[J]. *天然气工业*, 2014, 34(4): 67-71.
- Yin Congbin, Ye Dengsheng, Duan Guobin, et al. Research about and application of autonomous staged fracturing technique series for horizontal well stimulation of shale gas reservoirs in the Sichuan basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2014, 34(4): 67-71.
- [24] Chang Y, Huang R, Robert J R, et al. Shale-to-energy use and air pollutant emissions of shale gas production in China[J]. *Applied Energy*, 2014, 125(14): 147-157.
- [25] Brantley S L, Yoxtheimer D, Arjmand S, et al. Water resource impacts during unconventional shale gas development: The Pennsylvania experience[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2014, 126(4): 140-156.
- [26] Willberg D M, Steinsberger N, Hoover R, et al. Optimization of fracture cleanup using flowback analysis[C]. *Rocky Mountain Regional Meeting/Low Permeability Reservoirs Symposium*, Denver CO, April 5, 1998: 147-159.
- [27] 王志刚, 孙健. 涪陵页岩气田试验井组开发实践与认识[M]. 北京: 中国石化出版社, 2014.
- Wang Zhigang, Sun Jian. Exploitation practice and cognition of pilot well group in Fuling shale gas field[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2014.
- [28] 郭旭升. 涪陵页岩气田焦石坝区块富集机理与勘探技术[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- Guo Xusheng. Enrichment mechanism and exploration technology of Fuling shale gas field at Jiaoshiba Block[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [29] 赵金洲, 王松, 李勇明. 页岩气藏压裂改造难点与技术关键[J]. *天然气工业*, 2012, 32(4): 46-49.
- Zhao Jinzhou, Wang Song, Li Yongming. Difficulties and key techniques in the fracturing treatment of shale gas reservoirs[J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(4): 46-49.
- [30] Drohan P J, Brittingham M. Topographic and soil constraints to shale-gas development in the north central Appalachians[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2012, 76(5): 1696-1706.
- [31] Robert B J, Avner V, Thomas H D, et al. Increased stray gas abundance in a subset of drinking water wells near Marcellus shale gas extraction[J]. *PNAS*, 2013; 110(28): 11250-11255.

## On the impact of shale gas development on water resource and environment in Sichuan and Chongqing

LU Tingqing<sup>1</sup>, HU Ming<sup>1</sup>, LIU Mohan<sup>1</sup>, DING Chunyan<sup>1</sup>, WANG Xing<sup>2</sup>

1. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

2. Team 141 of Sichuan Coalfield Geology Bureau, Deyang 618000, China

**Abstract** At present, China has commercially exploited shale gas in a large-scale. However, the shale gas development may bring risks for water resources and environments. By surveying water consumption, sampling and analyzing flowbacks from shale gas drill sites in Sichuan and Chongqing, it is shown that the total water consumption is huge for the shale gas development, i.e., each well consumes about 32000 m<sup>3</sup> of water. On the other hand, potential risks of water pollution come from several sections during shale gas development: firstly, fracturing and drilling flowbacks produce water having high salinity, complex components and a variety of heavy metals; secondly, a huge amount of waste fluids and oil-based mud cuttings are produced in the drilling process; thirdly, drilling circulation loss often happens in shale gas development areas where caves, cracks and underground rivers largely exist; and fourthly, constructions of the ground engineering. Besides, storage pools are apt to spill and leak by heavy rain or other factors. Therefore, when shale gas is extracted from Sichuan and Chongqing, constructions, allocation of water resources, and developing treatment technology of flowbacks must be meticulous. It is important to prevent water resources from being consumed excessively and water environment from being polluted in the developing shale gas.

**Keywords** shale gas development; hydraulic fracturing; oily cuttings; water resource consumption; water environment contamination; Sichuan and Chongqing

(责任编辑 王媛媛)