

引用格式:李成龙,潘俊鸥,包凯,等.南川页岩气开发区污染防治措施及其环境保护效果研究[J].油气藏评价与开发,2021,11(1):109-116.  
Li Chenglong, Pan Junou, Bao Kai, et al. Pollution prevention measures and its environmental protection effects in Nanchuan shale gas development area[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(1): 109-116.  
DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2021.01.015

## 南川页岩气开发区污染防治措施及其环境保护效果研究

李成龙<sup>1</sup>,潘俊鸥<sup>1</sup>,包凯<sup>1</sup>,高涣杰<sup>1</sup>,谢凯玲<sup>2</sup>,卢培利<sup>2</sup>

(1.中国石化华东油气分公司重庆页岩气有限公司,重庆 408400;2.重庆大学环境与生态学院,重庆 408400)

**摘要:**页岩气开发对区域环境质量的潜在影响包括水力压裂过程对地下水的污染风险,返排水回到地表对地表水体的污染风险,甲烷泄露对区域大气环境质量的影响等。对页岩气开发区域的环境质量进行跟踪、监测和评价是确认污染防治措施效果和了解长期累积性环境影响的有效手段。对南川页岩气开发区域的污染防治措施进行了总结,重点监测了开发区域的地下水环境、地表水环境、大气环境、声环境和土壤环境。按照最不利原则,采用最大监测值的单因子指数对当前的环境质量状况进行了评价,对各要素环境质量的年际变化进行了评估。结果表明:各环境监测因子满足相应功能区的环境质量标准;各监测因子,尤其是氯化物等页岩气开发的特征污染因子的评价指数未发生明显年际变化,区域页岩气开发未造成各环境要素的污染和引起环境质量发生明显不利变化。虽然,当前采用的污染防治措施有效,但持续、累积性的环境影响尚需更长时间的跟踪监测与评价。

**关键词:**页岩气开发;污染防治;环境质量;跟踪监测;环境影响

中图分类号:TE991

文献标识码:A

### Pollution prevention measures and its environmental protection effects in Nanchuan shale gas development area

Li Chenglong<sup>1</sup>, Pan Junou<sup>1</sup>, Bao Kai<sup>1</sup>, Gao Huanjie<sup>1</sup>, Xie Kailing<sup>2</sup>, Lu Peili<sup>2</sup>

(1.Sinopec East China Oil and Gas Company, Chongqing 408400, China;  
2.College of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing 408400, China)

**Abstract:** The potential impact of shale gas development on regional environmental quality include the risk of groundwater pollution during hydraulic fracturing, the risk of surface water pollution due to the backflow drainage, and the influences of methane leakage on regional atmospheric environmental quality. The way of tracking, monitoring and evaluating the environmental quality of shale gas production areas is effective to confirm the effects of pollution prevention measures and understand the long-term cumulative environmental impact. The pollution prevention measures in Nanchuan shale gas production area have been summarized. The groundwater environment, surface water environment, atmospheric environment, acoustic environment, and soil environment in the production area have been monitored. According to the most unfavorable principle, the single factor indexes with the largest monitoring value have been used to evaluate the current environmental quality, and the inter-annual changes of the environmental quality of each element has been assessed. The results show that the monitoring factors of surface water environmental quality, groundwater environmental quality, atmospheric environmental quality, acoustic environmental quality, and soil environmental quality in Nanchuan shale gas production area meet the environmental quality standards of the corresponding functional area. There is no significant inter-annual changes in the evaluation indexes of each monitoring factor, especially the characteristic pollution factor of shale gas development such as chloride. The regional shale gas development has not caused pollution of various environmental elements and significant adverse changes in environmental quality. Although the current pollution prevention measures are effective, the continuous and cumulative environmental impacts still require longer-term follow-up monitoring and evaluation.

**Key words:** shale gas development, pollution prevention, environmental quality, tracking and monitoring, environmental impact

收稿日期:2019-12-01。

第一作者简介:李成龙(1988—),男,硕士,工程师,主要从事油气田安全、环保、节能管理工作。地址:重庆市南川区渝南大道9号,邮政编码:408400。E-mail: dida\_2007@126.com

基金项目:国家科技重大专项“彭水地区常压页岩气勘探开发示范工程”(2016ZX05061);重庆市南川区2020年度技术创新与应用发展项目“南川页岩气田采出水高效处理工艺研究与应用”(CX202046)。

页岩气藏渗透率低,水平井、丛式井以及水力压裂是主体开发技术,造成了页岩气开发比常规天然气开发更大的资源消耗和生态环境影响<sup>[1-6]</sup>。页岩气开采产生的废水主要包括钻井废水、压裂返排液、采气废水等,产量较大,水质复杂,处理难度高,处理不当可能引发地表水、地下水和土壤污染<sup>[7-11]</sup>;水基岩屑和油基岩屑等固体废弃物产生量大,处理成本高,堆存、转运和处理处置过程对地下水、土壤和大气环境具有潜在威胁<sup>[12-13]</sup>;钻井和压裂(试气)噪声会对周边声环境产生短期不利影响<sup>[14]</sup>;页岩气开采过程中,燃油机械和热水炉等燃烧产生的废气可能对大气环境产生影响<sup>[15]</sup>;建设井场、道路、废水池、管线、集气站等占用土地,破坏地表植被,改变土壤结构,对生态环境产生影响<sup>[16-18]</sup>。美国作为最早进行页岩气商业开发的国家,开发过程对区域地表水和地下水等环境质量产生了影响<sup>[19-21]</sup>。随着页岩气开发方式的改进,我国在返排水处理与回用,普通岩屑处理与资源化利用,油基岩屑资源回收与处置,噪声与废气治理等方面取得了积极进展,有效减少了进入环境的污染物。但是,由于我国页岩气开发处于起步阶段,且集中在川渝地区,开发过程的生态环境影响机制、环境风险后果、污染防治的工程技术与管理规范都亟待完善<sup>[22-23]</sup>。因此,对页岩气开发区域环境质量进行持续的跟踪监测是检验污染防治措施效果的有效手段,也是认识长期累积环境影响的重要依据。

南川页岩气开发区域包括重庆市的彭水县、武

隆区与南川区。项目区属喀斯特地形,地貌地形破碎,目标层即含气地层为志留系底部的下志留统龙马溪组,地下水基本为裸露型碳酸盐岩岩溶水,大部分区域内岩溶地下水埋藏较浅,局部地带岩溶水埋藏较深。页岩气井部署区域均为偏僻地区。目前,南川页岩气开发区已经进入规模化开发期,完钻80口井,其中,南川区是主力区,已投产40口井,累计产气量约 $11 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,日产气量约 $240 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在对南川页岩气开发区域的污染防治措施进行总结,并对开发区域地下水环境、地表水环境、大气环境、声环境和土壤环境进行跟踪监测后,基于监测结果,采用单因子指数对区域环境质量进行了评价,同时,进行了不同年份监测结果的比较评估,以期为我国页岩气开发环境保护措施的有效性和对累积性环境影响的认识提供基础信息。

## 1 南川页岩气开发区污染防控措施

### 1.1 污染源与环境影响简述

页岩气勘探开发主要分为4个环节:①钻前;②钻井及压裂试气;③地面工程;④采气。消耗的主要环境资源包括土地资源和水资源。采用工程分析的方法,针对每一环节的活动、使用材料和设备等,从废水、废气、噪声、固体废弃物、生态影响这5个方面识别出污染源(表1)。各污染源的生态环境影响特性见表2。

表1 各施工作业环节污染源

Table 1 Pollution sources in construction operations of shale gas development

工程阶段	污染源				生态影响
	废水	废气	噪声	固体废弃物	
钻前工程	施工废水和施工人员生活污水	施工扬尘、施工机械和运输车辆尾气	施工机械噪声	土石方、施工人员生活垃圾	表土剥离、水土流失
钻井及试气工程	钻井废水、场地雨水、洗井废水、压裂返排液、生活污水	燃油废气、测试放喷燃烧废气	钻井、压裂机组等设备的机械噪声、测试放喷噪声	普通钻屑、油基岩屑、废油、化工料桶	水土流失、土壤污染
地面工程	施工过程中产生的废水	施工机械尾气排放的少量CO、NO <sub>x</sub> 以及土石方施工产生的粉尘	施工机械噪声	土石方、施工人员生活垃圾	表土剥离、水土流失
采气阶段	气井采出水	热水炉加热产生的废气、放空产生的废气	集气站热水炉、分离器、节流阀等产生的噪声	生活垃圾	土壤污染

表2 污染源环境影响分析

Table 2 Analysis of environmental impact of pollution sources of shale gas development

污染源类别	影响分析
水环境	施工废水及采出水泄漏,污染地表水;钻井过程中钻井液泄漏,可能会影响地下水
大气环境	施工扬尘降低空气质量;设备设施废气污染大气环境
声环境	设备设施的机械噪声影响声环境,对听力造成损伤,影响周边居民日常生活
固体废弃物	水基岩屑、油基岩屑撒落或处置不当,污染水、土壤;生活垃圾污染周边环境
生态环境	植被破坏,水土流失,造成石漠化;同时易导致自然灾害

## 1.2 污染防治措施

在近几年的开发进程中,南川页岩气开发区形成了源头预防优先、资源化利用其次和末端治理兜底的生态环境保护思路,主要防护和治理措施见表3。

对于地下水和土壤污染,重点措施是清水钻井液的使用、钻井工程的防护和重点区域的防渗;对于地表水,形成了“均质缓冲池+AAO法(厌氧-缺氧-好氧活性污泥法)-MBR法(膜生物法)+芬顿氧化+中和沉淀”的物化-生化联合处理工艺,并进行了工程应用;对于岩屑,主要采取资源化利用的方式进行处理。

## 2 南川页岩气开发区生态环境保护效果

### 2.1 环境质量监测与评价方法

重庆市南川区境内的溪河主要属于乌江及长江水系,地表径流量  $18.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中地下水量  $2.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,水利资源蕴藏量  $17.96 \times 10^4 \text{ kW}$ 。

2017年和2018年,对南川页岩气开发区内的地表水环境质量、地下水环境质量、大气环境质量、声环境质量和土壤环境质量各进行了一期监测。采样和监测按照各要素环境影响评价导则中的监测规范进行。在大青河、乌江、蟹塘河等地表水设置5个监测断面,于平/枯水期(11月份)连续监测3d,每天取样1次。监测因子有pH值、COD(化学需氧量)、BOD<sub>5</sub>(生化需氧量)、氨氮、硫化物、石油类、硫酸盐及

氯化物。采用单因子指数法进行地表水环境质量现状评价,评价公式如下:

$$S_i = C_i / C_{oi} \quad (1)$$

式中: $S_i$ 为第*i*种污染物的评价指数; $C_i$ 为第*i*种污染物的最大监测值,mg/L; $C_{oi}$ 为第*i*种污染物的评价标准,mg/L。

pH值评价模式:

$$S_{\text{pH}} = \frac{\text{pH}_j - 7.0}{\text{pH}_{\text{su}} - 7.0}, \text{pH}_j > 7.0 \quad (2)$$

$$S_{\text{pH}} = \frac{7.0 - \text{pH}_j}{7.0 - \text{pH}_{\text{su}}}, \text{pH}_j \leq 7.0 \quad (3)$$

式(2)一式(3)中: $S_{\text{pH}}$ 为pH值的单项污染指数; $\text{pH}_{\text{su}}$ 为地表水水质标准中规定的pH值下限; $\text{pH}_{\text{su}}$ 为地表水水质标准中规定的pH值上限; $\text{pH}_j$ 为在*j*监测点处实测pH值。

在矿区内选取四处地下水监测点:1#地下水裂隙出水点、2#溶洞出水点、3#地下水裂隙出水点、4#溶洞出水点。连续监测2d,每天取样1次,监测因子有pH值、COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、硫化物、石油类、硫酸盐及氯化物,采用单项水质指数进行评价。

南川区地属中亚热带湿润季风气候区,具有气候温和,雨量充沛,湿度较大,无霜期长,云雾多,日照少,风速小等气候特点,区域全年静风最多且无明显主导风向。根据开发区地理位置,布设4个环境空气监测点,连续监测7d的SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>日均值与H<sub>2</sub>S小时浓度值。

采用占标率对项目建设区大气环境质量现状进

表3 南川页岩气开发区生态环境防护和治理措施

Table 3 Measurements of ecological and environmental protection from shale gas development in Nanchuan area

工程阶段	水污染防治措施	大气污染防治措施	噪声防治措施	固体废弃物处理和处置措施	生态保护措施
钻前工程	设置沉淀池,施工废水经沉淀处理后全部回用;生活污水利用当地旱厕处置	铺设防尘网、防尘洒水、密闭运输、恢复植被等	选用符合国家标准的选择施工机具和运输车辆;选用低噪声施工机械和工艺	土石方回填井场;生活垃圾交由环卫部门处置	依据区域内地形地貌优化选址,减少挖方、填方,减少植被破坏
钻井及试气工程	废水管输至集中处理站处理后重复利用或达标外排;雨水清污分流;生活污水经旱厕收集处置	使用优质燃料、强化设备检测与维护等	网电钻井、网电压裂代替柴油机;基座减震;发声设备噪声治理;居民住房功能置换	清水钻屑铺垫井场;水基钻屑资源化综合利用;油基钻屑交危险废物处置单位处置;化工料桶由厂家回收	井场表面铺碎石防止雨水冲刷、场地周围修临时排水沟;周边裸露地表绿化
地面工程	施工废水经沉淀后回用	铺设防尘网、洒水、密闭运输、及时恢复植被	选用符合国家标准的施工机具和运输车辆;选用低噪声的施工机械	土石方回填井场;生活垃圾交由环卫部门处置	挖方及时回填,或在指定场所集中堆放,做好临时防护措施
采气阶段	采气水管输至集中处理站处理后重复利用或达标外排	采用短火焰灼烧器、修建放喷池		垃圾分类,交由环卫部门统一清运处置	

行评价,计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{C_{oi}} \quad (4)$$

式中: $P_i$ 为第*i*个污染物的最大地面浓度占标率,%。

在井场场界和敏感点共布设30个噪声监测点,在页岩气开采施工期间,考虑昼间等效声级和夜间等效声级,对监测因子(pH值、石油烃、铅、六价铬、挥发酚)连续监测2 d,昼夜各监测1次。选择典型井场,在井场上游与下游共布置5个土壤监测点,每个监测点采用梅花布点法分别取样1次。采样深度根据可能造成的污染情况确定,原则上最深不超过50 cm。

## 2.2 环境质量监测与评价结果

### 2.2.1 地表水环境质量

2018年南川页岩气开区域各地表水体监测断面的监测因子浓度值均满足国家标准GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的Ⅲ类标准限值,硫化物均未检出(表4),表明截至2018年,页岩气开发未造成地表水污染。

为了反映年际变化,将2017年和2018年各断面水质监测指标的最大评价指数进行对比(图1),结果表明:除了4#和5#断面的pH值评价指数、COD评价指数和氨氮评价指数上升外,其他因子的评价指数并未发生年际上升情况。3#断面的COD和BOD<sub>5</sub>的评价指数上升相对显著且趋势一致,但这2个指标并非页岩气开采的特征指标。而页岩气开发废水的特征因子硫酸盐和氯化物的评价指数并未发生年际上升,且均处于较低水平,说明区域页岩气开发未导致区域地表水水质发生明显不利变化。

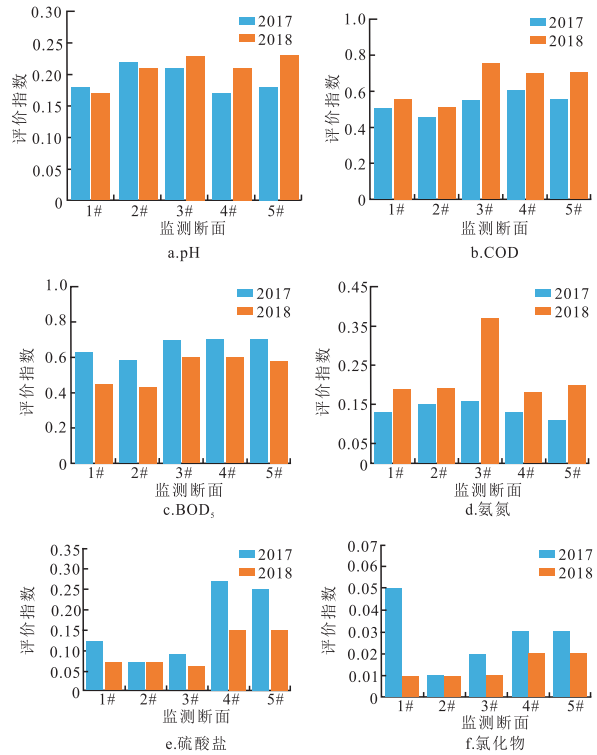


图1 2017年和2018年南川页岩气开区域监测断面地表水质量评价指数比较

Fig. 1 Comparison of assessment index of surface water in Nanchuan shale gas development area in 2017 and 2018

### 2.2.2 地下水环境质量

2018年南川页岩气开发区地下水监测结果(表5)显示,各监测因子浓度均符合国家标准GB/T 14848—2017《地下水质量标准》,且特征因子氯化物和硫酸盐浓度处于较低水平,石油类未检出,表明页岩气开发区域周边地下水水质并未受到污染。

对比其中3个监测点2017年和2018年监测结果的评价指数(图2),除氨氮的评价因子上升外,pH

表4 2018年监测的南川页岩气开发区地表水监测点监测结果

Table 4 Test results of surface water environment in Nanchuan shale gas development area in 2018

项目	pH值		COD		BOD <sub>5</sub>		氨氮		硫酸盐		氯化物		石油类		硫化物
	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	
Ⅲ类水质标准值 (GB 3838—2002)	6~9		≤20		≤4		≤1		≤250		≤250		≤0.05		≤0.2
1#监测断面	7.29~7.34	0.17	9~11	0.55	1.5~1.8	0.45	0.148~0.188	0.19	16.4~16.6	0.07	1.92~1.96	0.01	0.04	0.8	0.005L
2#监测断面	7.38~7.41	0.21	7~10	0.50	1.3~1.7	0.43	0.161~0.194	0.19	16.2~16.3	0.07	1.85~1.89	0.01	0.03~0.04	0.8	0.005L
3#监测断面	7.40~7.45	0.23	10~15	0.75	1.8~2.4	0.60	0.324~0.372	0.37	15.7~15.8	0.06	2.36~2.43	0.01	0.03~0.04	0.8	0.005L
4#监测断面	7.37~7.41	0.21	11~14	0.70	1.9~2.4	0.60	0.140~0.182	0.18	37.5~38.5	0.15	4.00~4.21	0.02	0.03~0.04	0.8	0.005L
5#监测断面	7.41~7.45	0.23	9~14	0.70	1.6~2.3	0.58	0.155~0.197	0.20	38.2~38.3	0.15	4.02~4.08	0.02	0.03~0.04	0.8	0.005L

注:附L表示未检出。

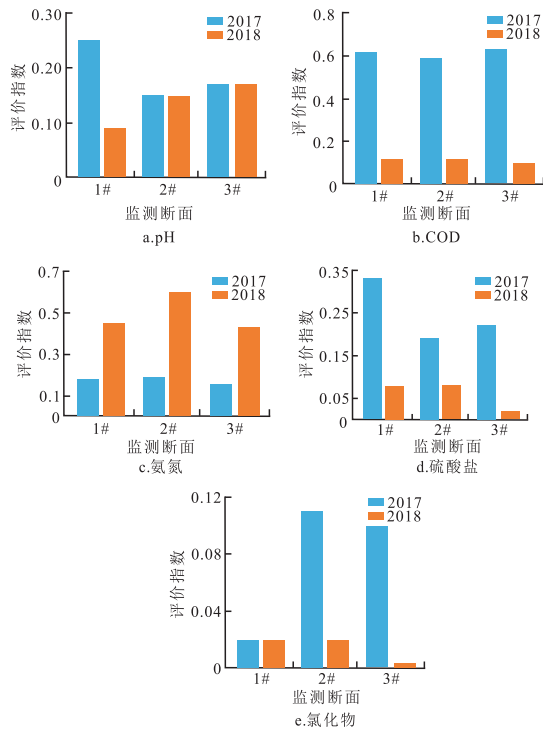


图2 2017年和2018年南川页岩气开发区区域地下水监测点质量评价指数比较  
Fig. 2 Comparison of assessment index of groundwater in Nanchuan shale gas development area in 2017 and 2018

值、COD<sub>Mn</sub>、硫酸盐和氯化物的评价指数并未随着区域页岩气开发而上升,由于氨氮并非页岩气开发的特征因子,表明区域页岩气开发未导致地下水水质产生明显不利变化。

### 2.3 大气环境质量

南川页岩气开发区域空气质量监测点2018年监测结果(表6)显示,SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>浓度值均能满足对应功能区的质量标准,H<sub>2</sub>S浓度值满足国家标准GBZ 2.1—2019《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》所示大气中有害物质的最高容许浓度限值,且污染因子浓度处于较低水平,表明开发区监测点空气质量没有受到页岩气开发活动排放的废气污染。

从其中2个监测点在2017年和2018年监测的各个空气质量因子的评价指数的比较来看(图3),评价指数的年际变化并不显著,没有显著上升趋势,表明区域页岩气开发未导致大气环境质量发生明显不利变化。

表5 2018年南川页岩气开发区地下水监测点监测结果

Table 5 Test results of groundwater environment in Nanchuan shale gas development area in 2018

项目	pH无量纲		耗氧量(COD <sub>Mn</sub> )		氨氮		氯化物		硫酸盐		石油类
	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	
Ⅲ类水质标准值	6.50~8.50		≤3		≤0.5		≤250		≤250		≤0.05
1#监测断面	7.12~7.14	0.09	0.31~0.37	0.12	0.172~0.227	0.45	4	0.020	19.6	0.08	
2#监测断面	7.18~7.22	0.15	0.35~0.36	0.12	0.276~0.302	0.60	5.24~5.57	0.020	19.30~19.80	0.08	
3#监测断面	7.21~7.25	0.17	0.27~0.29	0.10	0.188~0.215	0.43	0.86~1.01	0.004	5.80~5.85	0.02	
4#监测断面	7.70~7.73	0.49	0.86~0.89	0.30	0.252~0.292	0.58	3.77~3.85	0.020	54.20	0.22	0.01L
5#监测断面	7.65~7.67	0.45	0.80~0.82	0.27	0.191~0.236	0.47	3.57~4.06	0.020	50.40~59.80	0.24	
6#监测断面	7.42~7.44	0.29	0.61~0.63	0.21	0.206~0.221	0.44	4.13~4.19	0.020	33.90~34.10	0.14	
7#监测断面	7.25~7.26	0.17	0.68~0.75	0.25	0.242~0.266	0.45	4.14~4.23	0.020	33.80~34.00	0.14	

注:附L表示未检出。

表6 2018年南川页岩气开发区监测点空气环境监测结果

Table 6 Test results of ambient air quality in Nanchuan shale gas development area in 2018

项目	SO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>		PM <sub>10</sub>		H <sub>2</sub> S	
	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数	范围	最大评价指数
一级评价标准(森林公园监测点)	≤0.050		≤0.08		≤0.05		≤0.01	
4#监测点	0.009~0.012	0.24	0.021~0.025	0.31	0.027 80~0.038 20	0.76	0.001 56~0.001 64	0.16
二级评价标准	≤0.150		≤0.08		≤0.15		≤0.01	
1#监测点	0.009~0.018	0.12	0.011~0.024	0.30	0.066~0.081	0.54	0.001 17~0.001 93	0.19
2#监测点	0.010~0.019	0.13	0.015~0.027	0.33	0.074~0.090	0.60	0.001 17~0.001 83	0.18
3#监测点	0.017~0.020	0.13	0.031~0.037	0.46	0.061 10~0.070 80	0.47	0.001 55~0.002 52	0.25

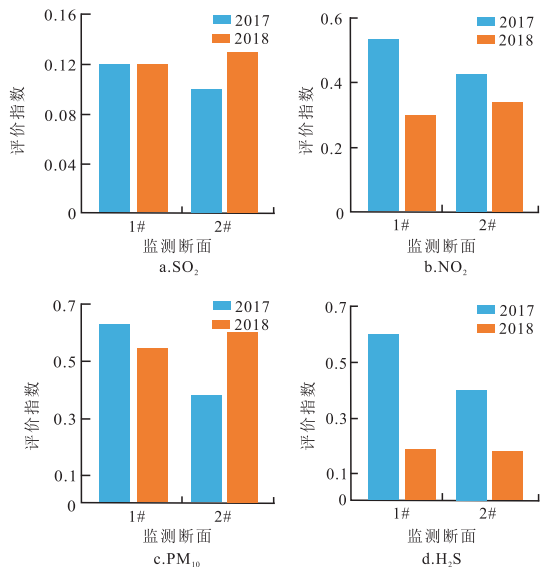


图3 2017年和2018年南川页岩气开发区域大气监测点质量评价指数比较

Fig. 3 Comparison of assessment index of atmospheric environment in Nanchuan shale gas development area between 2017 and 2018

## 2.4 声环境质量

2018年,对南川页岩气开发区域的井场场界和环境敏感点的30个监测点的声环境监测结果显示:各监测点昼、夜间噪声值均满足国家标准GB 3096—2008《声环境质量标准》的2类声环境功能区环境噪声限值要求,说明区域声环境质量较好,受到页岩气开发的噪声影响较小。

对其中6个监测点2017年和2018年进行区域声环境质量监测的结果进行对比(表7),有4个对比点

表7 2017年和2018年南川页岩气开发区域声环境质量对比

Table 7 Comparison of noise environment in Nanchuan shale gas development area in 2017 and 2018

监测点	监测时段	2017年监测的结果	2018年监测的结果	变化情况
1#监测点 (场界)	昼间	45.6~45.9	53.9~54.9	升高
	夜间	43.2~43.5	44.2~45.0	升高
2#监测点 (居民点)	昼间	45.9~46.5	53.7~54.6	升高
	夜间	43.2	44.1~45.1	升高
3#监测点 (场界)	昼间	56.0~56.4	53.5~54.5	降低
	夜间	47.5~48.3	45.2~45.4	降低
4#监测点 (居民点)	昼间	57.0~57.2	56.5~57.0	降低
	夜间	47.5~48.1	44.2~45.8	降低
5#监测点 (场界)	昼间	46.2~46.4	56.2~56.5	升高
	夜间	43.9~44.6	45.4~46.2	降低
6#监测点 (居民点)	昼间	46.6~46.7	56.9~57.2	升高
	夜间	44.2~44.3	45.8~47.7	升高

昼间声环境监测值上升比较明显,这主要是受钻前和钻井活动的影响,但这种声环境的变化不具有长期性和累积性,随着页岩气开发进入采气期后会消失。

## 2.5 土壤环境质量

2018年监测的南川页岩气开发区土壤环境质量现状结果(表8)显示,各监测点铅浓度低于国家标准GB 15618—2018《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》中风险筛选值,石油烃浓度低于国家标准GB 36600—2018《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》中风险筛选值,六价铬和挥发酚未检出,说明区域土壤环境质量未因页岩气开发而造成污染。其中2个监测点在2017年和2018年的土壤环境质量对比(表9)显示,除1#监测点土壤中石油烃含量略有升高外,其他因子均有所降低,且石油烃变化幅度极小,低于天然环境背景浓度值,说明区域土壤环境质量未因页岩气开发而发生明显变化。

表8 2018年南川页岩气开发区土壤环境监测结果  
Table 8 Test results of soil environment in Nanchuan shale gas development area in 2018

监测位置	pH	石油烃 (mg/kg)	铅 (mg/kg)	六价铬 (mg/kg)	挥发酚 ( $\mu$ g)
1#监测点	6.33	28.90	25.7	2L	0.5L
2#监测点	7.84	7.45	23.6	2L	0.5L
3#监测点	7.34	13.90	20.4	2L	0.5L
4#监测点	6.22	29.20	26.4	2L	0.5L
5#监测点	7.78	17.00	25.0	2L	0.5L

注:附L表示未检出。

## 3 结论

为了了解页岩气开发污染防治措施在防控区域环境污染方面的有效性,以及为认识累积性环境影响提供支撑,对南川页岩气开发区的地表水环境质量、地下水环境质量、大气环境质量、声环境质量和土壤环境质量进行了跟踪监测,采用单因子指数进行了环境质量评价,通过年际比较评估了质量变化情况,得出如下主要研究结论。

1) 2018年监测的环境现状结果表明:南川页岩气开发区的各环境质量监测因子(地表水、地下水、大气、声和土壤)均能满足相应功能区的环境质量标准,区域页岩气开发未造成各环境要素的污染。

2) 2017年和2018年监测结果对比表明:南川

表9 2017年和2018年南川页岩气开区域土壤环境质量对比

Table 9 Comparison of soil environment in Nanchuan shale gas development area between 2017 and 2018

监测位置	石油烃(mg/kg)			铅(mg/kg)			六价铬(mg/kg)			挥发酚(μg)		
	2017年	2018年	变化情况	2017年	2018年	变化情况	2017年	2018年	变化情况	2017年	2018年	变化情况
1#监测点	22.9	28.90	升高	34.9	25.7	降低	4.21	2L	降低	未测	0.5L	
2#监测点	11.0	7.45	降低	25.8	23.6	降低	25.60	2L	降低	未测	0.5L	

注:附L表示未检出。

页岩气开发区各环境质量监测因子的评价指数,尤其是氯化物等特征因子的评价指数未发生明显年际变化,表明区域环境质量也未因页岩气开发受到明显不利影响。

3) 南川页岩气开发区环境质量保持达标并且无明显年际变化,表明当前采用的污染防治措施能够有效保障区域环境不受污染。但持续性与累积性环境影响尚需更长时间的跟踪监测与评价。

参考文献

[1] 刘琛,王洪建,霍君英,等.“页岩气革命”背后的潜在环境灾害风险及防范措施[J].中国人口资源与环境,2014,24(S2):73-75.  
Liu Chen, Wang Hongjian, Huo Junying, et al. Potential risks of environmental disaster in “Shale Gas Revolution” and its preventive measures[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 2014, 24(S2): 73-75.

[2] 张虹,张代钧,卢培利.涪陵焦石坝页岩气开采区土地损毁的生态风险评价[J].生态学报,2017,37(17):5807-5817.  
Zhang Hong, Zhang Daijun, Lu Peili. Ecological risk assessment of land destruction by shale gas development at Fuling Jiaoshiba, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(17): 5807-5817.

[3] Xie X M, Zhang T T, Wang M, et al. Impact of shale gas development on regional water resources in China from water footprint assessment view[J]. Science of the Total Environment, 2019, 679: 317-327.

[4] 何敏,王丹,张思兰,等.浅谈页岩气开发对水环境的影响[J].油气田环境保护,2016,26(2):33-37.  
He Min, Wang Dan, Zhang Silan, et al. Discussion on the impact of shale gas development on water environment[J]. Environment Protection of Oil & Gas Fields, 2016, 26(2): 33-37.

[5] Racicot A, Babi Roussel V, Dauphinais J F, et al. A framework to predict the impacts of shale gas infrastructures on the forest fragmentation of an agroforest region[J]. Environmental Management, 2014, 53(5): 1023-1033.

[6] Matthew M D, Cox A B, Wells R L, et al. Habitat loss and modification due to gas development in the Fayetteville shale [J]. Environmental Management, 2015, 55(6): 1276-1284.

[7] 魏云锦,王世彬,马倩,等.四川盆地长宁-威远页岩气开发示范区生产废水管理[J].石油与天然气化工,2018,47(4):113-119.  
Wei Yunjin, Wang Shibin, Ma Qian, et al. Waste water

management in Sichuan Changning-Weiyuan shale gas field[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2018, 47(4): 113-119.

[8] 梅绪东,王朝强,张思兰,等.涪陵页岩气开发主要环境风险分析及对策研究[J].环境科学与管理,2017,42(1):63-66.  
Mei Xudong, Wang Chaoqiang, Zhang Silan, et al. Main environmental risk analysis and countermeasure for shale gas mining in Fuling[J]. Environmental Science and Management, 2017, 42(1): 63-66.

[9] 莫裕科,孙东,杨海军,等.长宁页岩气开发区水文地质条件及地下水环境保护[J].四川地质学报,2018,38(4):671-675.  
Mo Yuke, Sun Dong, Yang Haijun, et al. Hydrogeological condition and groundwater environment protection in the Changning shale gas development zone[J]. Acta Geologica Sichuan, 2018, 38(4): 671-675.

[10] 徐建荣,刘祎,杜杰.苏里格气田建设与生态保护[J].油气田环境保护,2007,17(2):33-35.  
Xu Jianrong, Liu Yi, Du Jie. Sugeli gas field construction and ecological environment protection[J]. Environment Protection of Oil & Gas Fields, 2007, 17(2): 33-35.

[11] 王巨,胡晓斌,张帆.页岩气钻井工程对区域水文地质环境的影响与防治[J].四川地质学报,2017,37(2):304-306.  
Wang Ju, Hu Xiaobin, Zhang Fan. Influence and control of drilling engineering on regional hydrogeological environment in a shale gas field[J]. Acta Geologica Sichuan, 2017, 37(2): 304-306.

[12] 张春,金吉中,张思兰,等.水基钻屑固化填埋对周边土壤环境的影响[J].油气田环境保护,2017,27(2):40-42.  
Zhang Chun, Jin Jizhong, Zhang Silan, et al. Effects of water-based cuttings solidification on surrounding soil environment[J]. Environment Protection of Oil & Gas Fields, 2017, 27(2): 40-42.

[13] 蔡浩,姚晓,华苏东,等.页岩气井油基钻屑固化处理技术[J].环境工程学报,2017,11(5):3121-3127.  
Cai Hao, Yao Xiao, Hua Sudong, et al. Solidification treatment technology of oil-based drilling cuttings in shale gas well[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(5): 3121-3127.

[14] 喻元秀,冯冬艺,杨佳.重庆市页岩气开发环评管理及启示[J].环境影响评价,2017,39(3):5-7.  
Yu Yuanxiu, Feng Dongyi, Yang Jia. Environmental impact assessment management and enlightenment of shale gas development in Chongqing[J]. Environmental Impact Assessment, 2017, 39(3): 5-7.

[15] 马卫东,陈晓慧,潘峰,等.油田开发过程中大气污染的防治[J].油气田环境保护,2014,24(2):1-3.  
Ma Weidong, Chen Xiaohui, Pan Feng, et al. Prevention and

- control of air pollution in the process of oilfield development[J]. *Environment Protection of Oil & Gas Fields*, 2014, 24(2): 1-3.
- [16] Knee K L, Masker A E. Association between unconventional oil and gas(UOG) development and water quality in small streams overlying the Marcellus Shale[J]. *Freshwater Science*, 2019, 38(1): 113-130.
- [17] 刘静. 浅谈呼伦贝尔油田地面工程污染防治措施[J]. *内蒙古石油化工*, 2014, 40(22): 57-58.  
Liu Jing. A brief talk on environmental pollution prevention measures for surface engineering in Hulunbeir Oilfield[J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2014, 40(22): 57-58.
- [18] 刘晓华. 石化项目地下水土壤防治措施及环境监理对策[J]. *黑龙江科技信息*, 2015(18): 77-78.  
Liu Xiaohua. Groundwater and soil prevention measures and environmental supervision countermeasures for petrochemical projects[J]. *Heilongjiang Science and Technology Information*, 2015(18): 77-78.
- [19] Gunning A P, Lasocki S, Capuano P. Assessing environmental footprints induced by geo-energy exploitation: the shale gas case[J]. *Acta Geophysica*, 2019, 67(1): 279-290.
- [20] Sun D, Liu X Z, Yang H J, et al. Analysis of hydrogeological characteristics and water environmental impact pathway of typical shale gas exploration and development zones in Sichuan Basin, China[J]. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 2019, 7(3): 195-213.
- [21] Annevelink M P J A, Meesters J A J, Hendriks A J, et al. Environmental contamination due to shale gas development[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 550: 431-438.
- [22] 胡德高. 涪陵页岩气田开发建设水污染防控探索与实践[J]. *工业用水与废水*, 2017(4): 39-43.  
Hu Degao. Exploration and practice of water pollution control during development and construction of Fuling shale gas field[J]. *Industrial Water & Wastewater*, 2017(4): 39-43.
- [23] 吴青芸, 郑猛, 胡云霞. 页岩气开采的水污染问题及其综合治理技术[J]. *科技导报*, 2014(13): 74-83.  
Wu Qingyun, Zheng Meng, Hu Yunxia. Shale gas produced water contamination and its comprehensive treatment[J]. *Science & Technology Review*, 2014(13): 74-83.

(编辑 余聪)

(上接第101页)

- 研究——以四川盆地长宁区块龙马溪组某平台井为例[J]. *天然气工业*, 2019, 39(1): 74-80.  
Han Huifen, Yang Bin, Peng Junliang. Fracture initiation & propagation in shale due to imbibition during well shut-in after fracturing: A case study from one well platform in Longmaxi Fm of the Changning Block, Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(1): 74-80.
- [13] 王良, 马辉运, 韩慧芬, 等. 长宁区块页岩水化起裂机理及应用[J]. *钻采工艺*, 2020, 43(增): 27-30.  
Wang Liang, Ma Huiyun, Han Huifen, et al. Mechanism of shale hydration cracking and application at Changning Block[J]. *Drilling & Production Technology*, 2020, 43(S): 27-30.
- [14] 张涛, 李相方, 杨立峰, 等. 关井时机对页岩气井返排率和产能的影响[J]. *天然气工业*, 2017, 37(8): 48-59.  
Zhang Tao, Li Xiangfang, Yang Lifeng, et al. Effects of shut-in timing on flowback rate and productivity of shale gas wells[J]. *Natural Gas Industry*, 2017, 37(8): 48-59.
- [15] 潘登, 涂敖, 谢奎. 页岩气地面排采作业初期难点与技术对策[J]. *钻采工艺*, 2018, 41(6): 40-42.  
Pan Deng, Tu Ao, Xie Kui. Difficulties during shale gas well early stage flow back and well testing and technical solutions[J]. *Drilling & Production Technology*, 2018, 41(6): 40-42.
- [16] 韩慧芬, 王良, 贺秋云, 等. 页岩气井返排规律及控制参数优化[J]. *石油钻采工艺*, 2018, 40(2): 253-260.  
Han Huifen, Wang Liang, He Qiuyun, et al. Flowback laws and control parameter optimization of shale gas wells[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2018, 40(2): 253-260.
- [17] Zhang S F, Sheng J J. Effect of water imbibition on hydration induced fracture and permeability of shale cores[J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2017, 45: 726-737.
- [18] 范宇, 岳圣杰, 李武广, 等. 长宁页岩气田采气工艺实践与效果[J]. *天然气与石油*, 2020, 38(2): 54-60.  
Fan Yu, Yue Shengjie, Li Wuguang, et al. Practice and effect of gas production technology in Changning Shale Gas Field[J]. *Natural Gas and Oil*, 2020, 38(2): 54-60.
- [19] 曹孟京, 吴晓东, 安永生, 等. 页岩气井连续油管采气管柱优化设计[J]. *断块油气田*, 2018, 25(6): 811-814.  
Cao Mengjing, Wu Xiaodong, An Yongsheng, et al. Optimal design of coiled tubing for production string of gas well in shale gas field[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2018, 25(6): 811-814.
- [20] 林生茂, 陈家晓, 杨智, 等. 长宁页岩气自动化泡排加注工艺技术研究与应[J]. *钻采工艺*, 2020, 43(增): 64-67.  
Lin Shengmao, Chen Jiaxiao, Yang Zhi, et al. Research and application on automatic on foam-dewatering gas production technology for Changning Shale Gas Development[J]. *Drilling & Production Technology*, 2020, 43(S): 64-67.
- [21] 杨智, 陈家晓, 段蕴琦, 等. 页岩气水平井柱塞排采工艺研究与应用[J]. *钻采工艺*, 2020, 43(增): 40-42.  
Yang Zhi, Chen Jiaxiao, Duan Yunqi, et al. Plunger lift technology research and application in horizontal shale gas well[J]. *Drilling & Production Technology*, 2020, 43(S): 40-42.
- [22] Zhao Z H, Wu K D, Fan Y, et al. An optimization model for conductivity of hydraulic fracture networks in the Longmaxi shale, Sichuan basin, Southwest China[J]. *Energy Geoscience*, 2020, 1(1-2): 47-54.
- [23] Li Y Z. Mechanics and fracturing techniques of deep shale from the Sichuan Basin, SW China[J]. *Energy Geoscience*, 2021, 2(1): 1-9.

(编辑 徐佩)