

# 川东地区气田水水质特性研究\*

袁增<sup>1</sup> 王珏<sup>1</sup> 李小斌<sup>1</sup> 张小川<sup>1</sup> 吴建祥<sup>1</sup> 马伶俐<sup>2</sup> 王丹<sup>3</sup>

(1. 中国石油西南油气田公司重庆气矿; 2. 重庆市生态环境监测中心;  
3. 重庆市涪陵页岩气环保研发与技术服务中心)

**摘 要** 气田水是天然气开采过程中采出的地层水,因其来源广泛、类型多以及成分复杂,导致难达标处理且易对土壤、地表水以及地下水造成环境污染。文章以川东地区气田水为研究对象,通过常规水质测定和气相色谱-质谱联用(GC-MS)检测等方法对其进行全面分析,结果表明:川东地区气田水的特征污染物为氯化物、COD、SS、阴离子表面活性剂以及硫化物等物质;根据其水质特性可以将川东地区气田水分为两类,一类是高矿化度、高含有机物气田水,另一类是高含硫、高含有机物气田水;川东地区气田水中共有17种有机污染物,主要为烷烃类、醇类、酯类以及少量酸类等物质。

**关键词** 川东地区; 气田水; 水质特性; 分类; 有机污染物

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2021.03.003

文章编号:1005-3158(2021)03-0011-04

## Study on the Characteristics of Gas Field Water Quality in Eastern Sichuan

Yuan Zeng<sup>1</sup> Wang Jue<sup>1</sup> Li Xiaobin<sup>1</sup> Zhang Xiaochuan<sup>1</sup>  
Wu Jianxiang<sup>1</sup> Ma Lingli<sup>2</sup> Wang Dan<sup>3</sup>

(1. Chongqing Gas Field of PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company;  
2. Ecological and Environmental Monitoring Center of Chongqing;  
3. Sichuan National Inspection and Testing Co., Ltd.)

**ABSTRACT** Gas field water is the formation water produced with natural gas in the process of natural gas exploitation. Treatment of the gas field water is difficult to meet the standard due to its wide source, numerous types and complex composition; in addition, it can easily pollute the soil, surface water and groundwater. This article took the gas field water in the Eastern Sichuan region as the research object, carried out comprehensive analysis by routine water quality determination, GC-MS and other means. The results showed that the characteristic pollutants of gas field water in the Eastern Sichuan region were chloride, COD, SS, anionic surfactant, sulfide and other substances. According to the characteristics of water quality, gas field water could be divided into two types, one was high salinity, high organic gas field water and the other was high sulfur, high organic gas field water. There were 17 kinds of organic pollutants in the gas field water in the Eastern Sichuan region, mainly including alkanes, alcohols, ester sand and a small number of acids.

**KEY WORDS** Eastern Sichuan region; gas field water; characteristics of water quality; category; organic pollutants

## 0 引 言

气田水是伴随天然气开采过程带出地面的地下水,主要包含钻井、试油、修井及气井生产过程中的伴生水。气田水因其来源广泛、类型众多、成分复杂<sup>[1]</sup>,

导致其具有一定特殊性,主要体现在:1)天然气开采层位于地层深处,需通过钻井保证天然气的正常开采,过程中会加入重金属、表面活性剂、盐类、油基钻井液、聚合物等添加剂,导致后期采出水中污染物种

\*基金项目:中国石油西南油气田公司科技计划项目“气田水池恶臭及VOCs治理技术研究与应用”(编号:20200307-08)。

袁增,2016年毕业于西南石油大学环境工程专业,硕士,现在中国石油西南油气田公司重庆气矿从事油气田环境污染治理研究工作。通信地址:重庆市开州区中吉街222号,405400。E-mail:yuanzeng2017@petrochina.com.cn。

类多、总量大。2)在天然气开采的中后期,多数气田相继出水,为了提高气田采收率,大部分已采取强化排水采气工艺,各类表面活性剂的不断加入,导致气田水水质波动大、产水量急剧增加<sup>[2]</sup>。3)不同类型气田在不同时间内所生成的气田水水质和水量均不同<sup>[3]</sup>,对油气田生态环境的影响日益严重。

目前,国内外对气田水处理技术有着较为广泛的研究<sup>[4-7]</sup>,但对区域内气田水水质的研究并不全面,而气田水的水质特征与其污染方式和后续处理技术有着直接且密切的关系。因此,针对目前川东地区气田水 COD、矿化度、TOC、硫化物高等现状,如何有效解决气田水的回注及其达标处理问题,须深入分析气田水的水质特征及污染规律,以确定特征污染物及其水质类别,最终选择适宜的气田水处理方式,实现川东地区气田水的达标处置。本文以川东地区气田水为研究对象,通过常规水质分析和 GC-MS 等分析手段,进行水质分析及污染物特征研究,以期对川东地区气田水后续达标处理技术研究提供新思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 分析仪器

PHS-3C 型 pH 计、OIL-460 红外分光测油仪、ICS-1100 离子色谱仪、日本岛津 TOC-VCPH 自动分析仪、美国安捷伦 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)。

### 1.2 分析方法

#### 1.2.1 常规水质分析

COD、SS、Cl<sup>-</sup>、氨氮、石油类等常规水质指标采

用《水和废水监测分析方法》(第四版)<sup>[8]</sup>中的推荐方法测定;TOC 采用日本岛津 TOC-VCPH 自动分析仪进行测定,在 TOC 测定前,水样经过 0.45 μm 醋酸纤维超滤膜过滤,容量在 20 mL 左右,最后进行分析检测。

#### 1.2.2 有机污染物分析

采用美国安捷伦公司气相色谱-质谱联用仪对气田水中有机物进行检测。GC-MS 检测条件为,色谱柱:30 m(柱长)×0.25 mm(内径)×0.25 μm(膜厚),HP-5MS 型;柱温:80℃(保持 1 min),以 20℃/min 升至 300℃(保持 3 min);进样口温度:250℃;色谱/质谱接口温度:280℃;载气:氦气,纯度>99.99%,柱流量 1.0 mL/min;电离方式:EI;电离能量:70 eV;离子源温度:200℃;全扫描方式,扫描范围 35~400 m/z。

### 1.3 样品采集

分别采集了包括 W 总站、T89 井等不同区域气田水进行常规水质分析;有机污染物分析样品则是将不同区域采集样品混合后的水样(采样方法参照 HJ/T 91—2002《地表水和污水监测技术规范》)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 气田水常规水质分析

根据川东地区气田产水及水质情况,选取具有代表性的 1 个回注站及 6 口产水井进行水质分析,表 1 为不同水样检测结果。由于国内只针对气田水回注指标制定了相关标准,并未对气田水达标处理排放制定相关规范,因此为全面准确分析气田水水质现状,选取 GB 8978—1996《污水综合排放标准》、SY/T 6596—2004《气田水回注方法》作为参考标准。

表 1 不同气田水水质检测结果

mg/L(pH 值除外)

项目	pH 值	SS	Cl <sup>-</sup>	矿化度	COD	氨氮 (以 N 计)	总磷 (以 P 计)
GB 8978—1996 一级	6~9	100	/	/	60	15	0.5
SY/T 6596—2004	6~9	25	/	/	/	/	/
W 总站	6.63	188	3.09×10 <sup>3</sup>	4.30×10 <sup>3</sup>	1.68×10 <sup>3</sup>	16.4	1.43
T89 井	6.42	68	1.19×10 <sup>4</sup>	1.49×10 <sup>4</sup>	610	16.9	<0.01
T71 井	6.31	89	8.66×10 <sup>3</sup>	1.26×10 <sup>4</sup>	1.33×10 <sup>3</sup>	25	<0.01
Y012-1 井	3.73	42	106	230	510	154	0.42
YH3 井	5.68	112	1.44×10 <sup>4</sup>	2.51×10 <sup>4</sup>	7.68×10 <sup>3</sup>	64.3	<0.01
Q49 井	6.92	178	1.51×10 <sup>3</sup>	4.36×10 <sup>3</sup>	4.57×10 <sup>3</sup>	47.7	<0.01
Q28 井	6.01	370	1.43×10 <sup>4</sup>	2.42×10 <sup>4</sup>	6.7×10 <sup>3</sup>	157	<0.01

续表 1

项目	TOC	石油类	硫化物	总硬度 (以 CaCO <sub>3</sub> 计)	总碱度 (以 CaCO <sub>3</sub> 计)	溶解性 总固体	表面 活性剂
GB 8978—1996 一级	20	5	1	/	/	/	5
SY/T 6596—2004	/	30	/	/	/	/	/
W 总站	295	374	7	960	166	5.00×10 <sup>3</sup>	<0.05
T89 井	50.8	11	0.522	2.56×10 <sup>3</sup>	218	2.00×10 <sup>4</sup>	<0.05
T71 井	150	16.1	14	4.08×10 <sup>3</sup>	120	1.58×10 <sup>4</sup>	<0.05
Y012-1 井	56.8	0.35	900	78.5	<2.0	247	<0.05
YH3 井	1.88×10 <sup>3</sup>	11.5	26.3	3.01×10 <sup>3</sup>	345	2.67×10 <sup>4</sup>	2 200
Q49 井	1.30×10 <sup>3</sup>	5.75	0.643	588	238	4.70×10 <sup>3</sup>	<0.05
Q28 井	22.5	3.5	0.419	2.33×10 <sup>4</sup>	104	2.86×10 <sup>4</sup>	0.362

从表 1 可以看出:

1) 在 Cl<sup>-</sup> 和矿化度指标方面,除 Y012-1 井外,其余气田水样均具有较高的 Cl<sup>-</sup> (1 510~14 400 mg/L) 和矿化度 (4 300~25 100 mg/L)。这可能是天然气钻井过程中盐类添加较多,同时天然气所开采的层位本身含有大量的钙、镁、铝和锰等金属的碳酸盐、重碳酸盐、氯化物、硫酸盐、硝酸盐等盐类<sup>[9]</sup>,导致后期气田水经分离后矿化度及 Cl<sup>-</sup> 较高。

2) 在 COD 指标方面,W 总站、T71 井、YH3 井以及 Q49 井的 COD 均达到 1 000 mg/L 以上,超过 GB 8978—1996《污水综合排放标准》一级标准 10 倍以上。

3) 在 TOC 值指标方面,除 Q28 井 TOC 值接近排放标准外,其余水样的 TOC 值均超过 GB 8978—1996《污水综合排放标准》一级标准。

4) 在表面活性剂指标方面,YH3 井阴离子表面活性剂值高达 2 200 mg/L,远远高于其他水样,说明在气田开发中后期,泡排剂和消泡剂的添加对气田水有机物含量具有较大影响。

5) 在硫化物指标方面,Y012-1 井为 900 mg/L,远远超出其他井的硫化物指标,这是因为 Y012-1 井本身是高含硫气井(硫含量高达 87.99 g/m<sup>3</sup>)造成的。

6) 在 pH 值指标方面,W 总站、T89 井、T71 井、Q49 井及 Q28 井气田水 pH 值在 7 左右,波动范围较小,而 YH012-1 井 pH 值为 3.73,远低于其他水样。因为 YH012-1 井是酸性气田,该气田形成于含盐度高的海相沉积环境,其储层组合为碳酸盐—硫酸盐类型<sup>[10]</sup>。

为了明确川东地区气田水水质类型,对不同区域的 Cl<sup>-</sup>、矿化度、COD、硫化物、pH 值等环境指标进行详细分析,结果如图 1、图 2 所示。

从图 1 可以看出,不同气田水的 Cl<sup>-</sup>、矿化度、COD

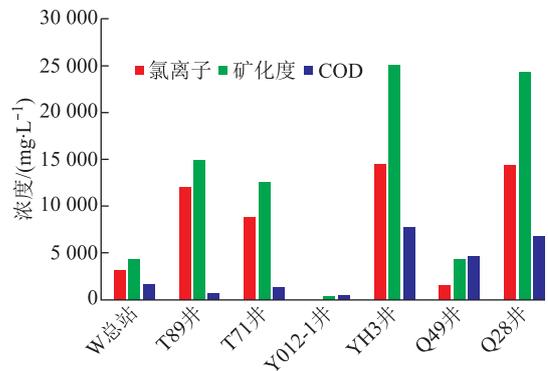


图 1 不同气田水 Cl<sup>-</sup>、矿化度、COD 含量

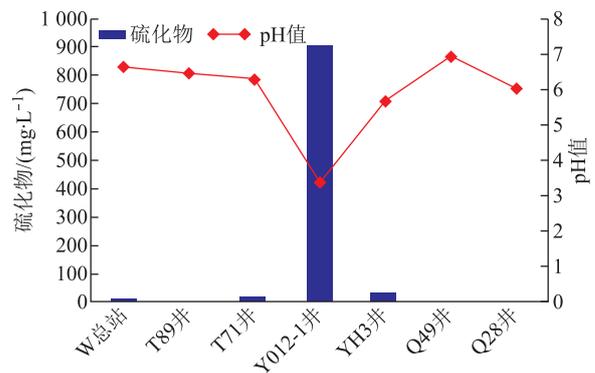


图 2 不同气田水硫化物含量和 pH 值

所反应的趋势不一样。W 总站、T89 井、T71 井、YH3 井、Q49 井以及 Q28 井的 Cl<sup>-</sup>、矿化度、COD 含量比 YH012-1 井明显高,属于高矿化度、高含有机物类型。

从图 2 可以看出,YH012-1 井的硫化物含量与 pH 值呈负相关,硫化物含量越高其 pH 值越低,这与该井的酸性气田特点相符。因此,按不同水质特性将川东地区气田水分为两类,第一类:高矿化度、高含有机物气田水,其 COD、氯化物、盐含量严重超标、阴离

子表面活性剂超标,代表井有 W 总站、T89 井、Q49 井、Q28 井、YH3 井和 T71 井;第二类:高含硫、高含有机物气田水,其硫化物含量超高(接近 1%)、有机物超标,代表井为 Y012-1 井。

因此,在后期气田水处理技术选择上,针对高矿化度、高含有机物气田水宜采用“蒸发+生物+臭氧复合”处理工艺;针对高含硫、高含有机物气田水宜采用“氧化+生物+臭氧复合”处理工艺进行处理。

### 2.2 气田水有机物成分分析

为进一步分析气田水中有有机物种类及其组分,对其混合水样进行 GC-MS 分析,以确定有机物的种类,结果如图 3 和表 2 所示。

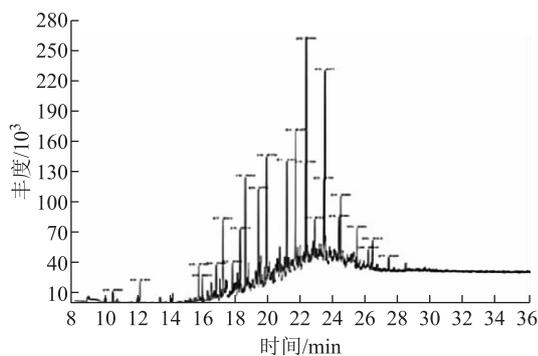


图 3 二氯甲烷萃取色谱图

表 2 川东地区气田水有机污染物分析结果

名称	分子式	相对含量/%
环己醇	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.68
1-二甲氨基-4-(2,2-二氰基乙基)苯	C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> N <sub>3</sub>	0.47
2,2,4,6,6-五甲基庚烷	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	2.33
4,6-二甲基十二烷	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	3.68
十三烷醇	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> O	4.26
2,7-二甲基-1,2,3,4-四氢萘	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub>	3.51
2,6,10-三甲基十二烷	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	6.10
十六酸	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	6.43
N,N-二苄基乙醇胺	C <sub>16</sub> H <sub>19</sub> NO	8.78
2,6,10-三甲基十五烷	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	10.59
(Z,Z,Z)-9,12,15-十八碳三烯酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	9.34
2,6,10,14-四甲基十五烷	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	7.28
二十一碳烷酸甲酯	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	9.57
九甘醇	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub> O <sub>10</sub>	7.25
2,6,10,14-四甲基十六烷	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	8.36
9-甲基十九烷	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	5.56
2-(十七碳烯基)-4,5-二氢-1H-咪唑-1-乙醇	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> N <sub>2</sub> O	5.11

由图 3 可知,用二氯甲烷萃取气田水中有有机物后进行 GC-MS 分析的数据结果显示,在 10~30 min 共出现 17 个主要吸收峰,且主要吸收峰集中在 16~28 min,占总面积的 92.35%,说明在此范围内有机物较多。由表 2 可知,气田水中主要的有机物为:环己醇、1-二甲氨基-4-(2,2-二氰基乙基)苯、2,2,4,6,6-五甲基庚烷、4,6-二甲基十二烷、十三烷醇、2,7-二甲基-1,2,3,4-四氢萘、2,6,10-三甲基十二烷、十六酸、N,N-二苄基乙醇胺、2,6,10-三甲基十五烷、(Z,Z,Z)-9,12,15-十八碳三烯酸甲酯、2,6,10,14-四甲基十五烷、二十一碳烷酸甲酯、九甘醇、2,6,10,14-四甲基十六烷、9-甲基十九烷、2-(十七碳烯基)-4,5-二氢-1H-咪唑-1-乙醇。

2-(十七碳烯基)-4,5-二氢-1H-咪唑-1-乙醇作为其中的一个吸收峰出现<sup>[1]</sup>,说明气田水中存在该有机物。经分析是因为在高含硫气田开采集输过程中,天然气未净化脱水之前,大量缓蚀剂被添加到管线内以减少湿气对管线的腐蚀,从而造成气田水中含有此类有机物,分析结果与现场生产实际相符。综上所述,气田水中有有机物的主要来源:一是在油气田开发阶段,在钻井和完井过程中添加的各类钻井液、完井液及各类化学处理剂,如聚合体系钻井液、合成基钻井液和油基钻井液等;二是在高温高压作用下各类有机物从地层溶出;三是在油气田开发中,采取强化排水、防冻堵及管道保护等措施时,添加的各类起泡剂、消泡剂、醇类及缓蚀剂等有机溶剂。

### 3 结 论

川东地区气田水出水组成复杂,总体呈现 COD 高、矿化度高、TOC 高、硫化物高等特点,其大部分指标远高于 GB 8978—1996《污水综合排放标准》一级标准及 SY/T 6596—2004《气田水回注方法》。

1)由气田水水质分析结果可知,川东地区气田水分为两类:第一类为高矿化度、高含有机物气田水,其 COD、氯化物、盐含量严重超标、阴离子表面活性剂超标,代表井有 W 总站、T89 井、Q49 井、Q28 井、YH3 井和 T71 井;第二类为高含硫、高含有机物气田水。硫化物含量超高(接近 1%)、有机物超标,代表井为 Y012-1 井。

2)川东地区气田水中有有机污染物共有 17 种,主要为烷烃类、醇类、酯类以及少量酸类等物质。

#### 参 考 文 献

[1] 顾友义,许深皓,杨立,等.含硫气田水地面处理达标外排工艺技术研究[J].工业水处理,2020,40(6):83-86.

(下转第 20 页)