

# 页岩气钻井废水减量化及回用技术\*

李盛林 蒋学彬 张敏 黄敏

(中国石油川庆钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院)

**摘要** 文章以某地区具有代表性的 M2 井组共 8 口单井, M3 井组共 6 口单井为研究对象, 探讨其在开发过程中形成的废水分类管理方法和钻井废水回用处理技术。通过划分污染区域、划分废物池功能、配套搭建废水池雨棚等井场清污分流措施, 以及现场废水综合回用等废水分类管理措施。试验研究不同阶段产生的钻井废水配制钻井液胶液、配制压裂液的可行性技术, 表明不同阶段产生的钻井废水均可用于配制钻井液胶液。通过采取各种措施, 废水产生量可减少 67% 以上。

**关键词** 页岩气开发; 钻井废水; 废水管理; 废水回用

DOI: 10. 3969/j. issn. 1005-3158. 2017. 03. 010

文章编号: 1005-3158(2017)03-0032-04

## 0 引言

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。但页岩气单井产量低, 产气期长, 需要大量钻井才能形成产量规模, 为节约土地, 多采用井组开采, 形成“工厂化”作业, 整个井组钻井时间长, 废水产生量大, 环保压力大<sup>[1-3]</sup>。目前的页岩气井组多位于丘陵和山岭地区, 年降雨量大, 污水池和井场污染区汇水面积大, 雨水进入污水池增加污水量; 此外雨季山洪也有进入污水池的可能, 增大了环境污染的风险。钻井废水运输至回注点回注或至污水处理厂处理, 成本高; 同时运输距离远, 运输风险也高<sup>[4-6]</sup>。

某地区此前钻井作业产生的废水通过井场内污水沟进入废水池内, 采用混凝法对钻井废水处理回用<sup>[7-8]</sup>, 由于各阶段的钻井作业废水混合在一起, 组分复杂, 污染物含量较高, 井队配套装置很难实现废水有效处理, 无法达到现场回用的要求, 经简单处理后运输至污水处理厂处理。通常每米钻井进尺废水产生量为 0.4~0.5 m<sup>3</sup>, 运输成本及处理成本都较高<sup>[9-10]</sup>。该地区降雨丰富, 雨水渗入废水池也增大了钻井废水处理和运输的负担<sup>[11-12]</sup>。

针对当地页岩气钻井的特殊情况, 探索一套废水分类管理方法, 根据井场情况进行较为彻底的清污分流, 设计并实施防雨设施, 减少雨水进入污水池, 形成规范的清污分流设计, 促进页岩气钻井作业标准化建设。研发钻井废水回用处理技术, 针对不同来源的钻

井废水进行相应处理, 提高钻井废水回用率, 减少废水最终产生量。

## 1 试验井选取及现状

### 1.1 废水产量现状

#### 1.1.1 试验井选取

为配合试验, 选取采用了“工厂化”开采方式、具有代表性的 M2 井组共 8 口单井(M2-1、M2-2、M2-3、M2-4、M2-5、M2-6、M2-7、M2-8)和 M3 井组共 6 口单井(M3-1、M3-2、M3-3、M3-4、M3-5、M3-6)为研究对象, 探讨其在开发过程中形成的废水分类管理方法和钻井废水回用处理技术。

#### 1.1.2 钻井废水的产生环节及其产生量现状

为控制废水产生量, 在 M2、M3 井组作业前, 针对钻井工程中不同的工序及钻井工艺, 根据经验和统计, 对钻井废水产生量进行预估, 将其作为后续钻井过程中控制参数指标。

#### 1.1.3 钻井工程各工序废水产生量(单井)

钻井冲洗废水约 150 m<sup>3</sup>(清洗钻井液循环罐 60 m<sup>3</sup>, 常规清洗设备 60 m<sup>3</sup>, 检查清洗设备 30 m<sup>3</sup>); 固井产生废水约 300 m<sup>3</sup>; 空气钻井洗尘水约 100 m<sup>3</sup>; 其他服务单位废弃、散落产生废水约 100 m<sup>3</sup>。

#### 1.1.4 钻井过程各钻井工艺废水产生量(单井)

单井钻井过程各钻井工艺废水产生量主要参照钻井设计进行预估, M2 井组单井钻井液用量为聚合物无固相钻井液 381 m<sup>3</sup>, KCl 聚合物钻井液 269 m<sup>3</sup>,

\* 基金项目: 国家科技重大专项“页岩气开发废弃物处理及资源化技术集成及装备开发”(编号: 2016ZX05040-006)。

李盛林, 2009 年毕业于西南石油大学环境工程专业, 现在中国石油川庆钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院从事油气田环保研究工作。通信地址: 四川省广汉市绍兴路三段 11 号, 618300

油基钻井液 628 m<sup>3</sup>。预计常规钻井液回用 50% 后, 则聚合物无固相钻井液产生废水 57 m<sup>3</sup> (按 30% 计), KCl 聚合物钻井液产生废水 27 m<sup>3</sup> (按 20% 计); 按油基钻井液回用 90% 计, 油基钻井液产生废水 13 m<sup>3</sup> (按 20% 计)。则 M2 井组单井将产生废水 97 m<sup>3</sup>。

M3 井组单井钻井液用量为聚合物无固相钻井液 373 m<sup>3</sup>, KCl 聚合物钻井液 351 m<sup>3</sup>, 油基钻井液 585 m<sup>3</sup>。预计常规钻井液回用 50% 后, 聚合物无固相钻井液产生废水 56 m<sup>3</sup> (按 30% 计), KCl 聚合物钻井液产生废水 35 m<sup>3</sup> (按 20% 计); 按油基钻井液回用 90% 计, 油基钻井液产生废水 12 m<sup>3</sup> (按 20% 计)。预计产生废水 103 m<sup>3</sup>。

#### 1.1.5 钻井过程中总废水产生量(单井)

根据上述测算, M2、M3 井组单井预计将产生约 750 m<sup>3</sup> 废水。

### 1.2 井场清污分流系统现场状况

目前钻井现场的清污分流主要为排污沟、废水池、排洪沟等, 同时通过井场清污分流系统建设及在循环罐、钻井液加料台、柴油机房和泵房等重污染区安装截雨棚的方式, 将天然雨水收集导入清水沟, 实现清污分流, 减少废水产生量和处理量。

但目前井场清污分流系统在设计或施工方面普遍

存在问题, 如排洪沟渠坡度、大小、防渗处理不合格, 场内清污分流不完全, 地面防渗处理面积不够, 雨水进入井场变成污水等, 不能满足钻井作业环境保护需要。

针对此情况, 在 M2、M3 井组对现有的清污分流措施进行调查。M2、M3 井组所在地区年降雨量为 1 143.9 mm, M2 井组井场面积为 115.5 m × 70 m, 其中易污染面积 1 567 m<sup>2</sup>, 废水池面积 2 158 m<sup>2</sup>; M3 井组井场面积为 110.5 m × 70 m, 其中易污染面积 2 078 m<sup>2</sup>, 废水池面积 2 144 m<sup>2</sup>。按废水池全面积和井场易污染区 20% 雨水汇入废水池, M2、M3 井组雨水进入废水池的量年增加预期分别为 2 827 m<sup>3</sup> 和 2 868 m<sup>3</sup>。

## 2 研究结果与讨论

### 2.1 钻井废水减量化措施

#### 2.1.1 划分污染区域

为控制水量, 将 M2、M3 井组的井场按照清洁区及污染区划分为四大块管理相关污染区, 现场及时进行清洁, 防止污水“跑、冒、滴、漏”形成二次污染, 同时针对各区清污分流系统进行修建或完善, 减少雨水进入。M2 井场污水来源划分示意图 1 (M3 井组井场参照 M2 井组井场污水来源划分示意图)。

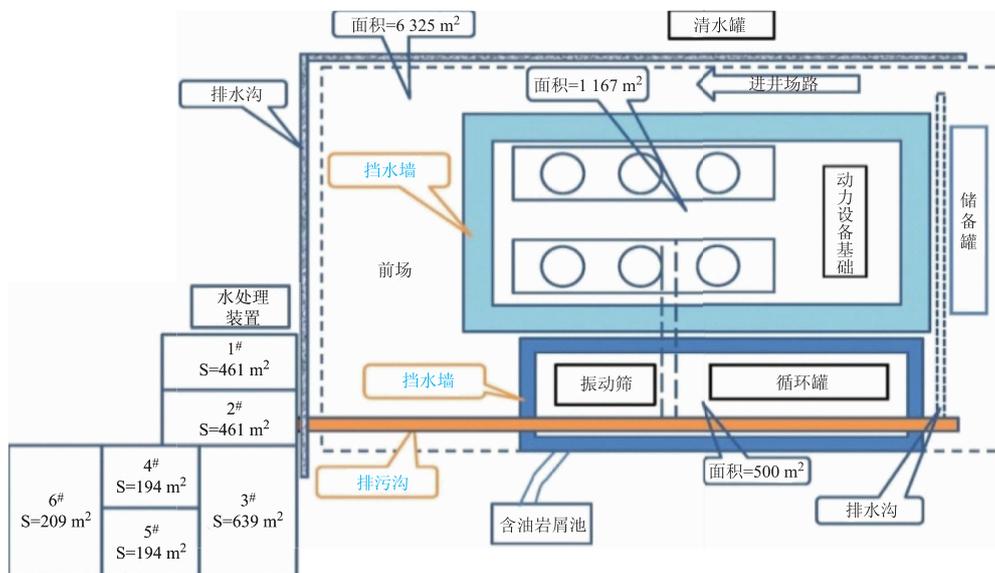


图 1 M2 井场污水来源划分示意

① 钻机及动力设备区域, 产生污水主要区域, 周边设围堰, 保证污水全部流入污水池中。

② 振动筛、循环罐区域, 产生污水区域, 周边设围堰, 产生的污水流入污水池中。

③ 井场岩屑及废水池区, 为全场固体废物及生产

废水集中储存区, 为防止雨水混入成为废水, 对污水池进行功能划分, 对主要废水容纳池搭建雨棚。

④ 井场钻机、设备、循环系统以外产生清洁雨水的区域, 雨水直接外排。特别是 M2、M3 井组井场所处位置靠山边坡地, 为防止雨季形成的山洪混入井场, 对井

场靠山坡处及井场周边的排洪沟进行了改造。

⑤对各区产生的废水及时采用空气隔膜泵进行收集,钻井队用于清洁设备。

### 2.1.2 划分废物池功能,强化废水过程控制

现场人员及时收集废水产生量数据,根据废水主要来源,建立了废水分类台账。

针对钻井废物的不同性质,在开钻前,对井场废物池进行了功能划分,做到固体废物与废水分类存储,井组的废物集中存放,减少雨水进入池内成为废水的数量。

M2井组有6个存储池,池深2.8m,容积共5920m<sup>3</sup>。设置1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>池为岩屑和废水池,3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>池为清水池,6<sup>#</sup>池为酸池。

M3井组有7个储存池,池深2.6m,容积共5700m<sup>3</sup>。设置1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>为废水池,5<sup>#</sup>池为酸池,6<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>池为岩屑池。

### 2.1.3 配套搭建废水池雨棚,降低雨水汇入量

考虑到M2、M3井组为丛式井组,钻井周期较长,周期内将有1~2次雨季,为减少雨水混入量,现场搭建废水池雨棚。前期通过废物池存储功能划分,将各井废水集中在某一个或几个废水池中,现场只搭建废水池雨棚,每年减少废水产生量约2400m<sup>3</sup>。

在井场废水池铺设管线,随时连接,输送废水至振动筛附近进行回用。

## 2.2 钻井废水回用技术

### 2.2.1 废水回用要求

根据实验室对钻井废水回用的研究及现场应用,形成了钻井废水回用的简单判定指标:

钻井液回配要求:废水Cl<sup>-</sup><3000mg/L(钻井未遭遇高盐地层,一般的常规钻井废水浓度都能满足)、膨润土含量MBT(Methylene blue test,亚甲基蓝测试法)值<15g/L,废水可用于配制钻井液胶液。

压裂液配液要求:钻井废水无大颗粒悬浮物、水质透明、现场配制达到黏度匹配要求。

井队清洁用水要求:控制SS、色度。

固井液配液要求:配制的固井液初凝时间、终凝时间。

录井用水要求:控制SS、色度。

钻井过程中产生大量废水,目前回用量少,大部分废水运至污水处理厂处理,运输风险大、处理费用高,提高废水回用率是现场生产迫切需求。

针对各主要钻井工艺产生的废水,采用常用处理工艺及改进处理工艺进行废水处理,并根据现场实际情况回用于清洗设备、配制钻井液,并进行回用配制

压裂液试验。

### 2.2.2 钻井表层阶段

M2、M3井组表层主要采用了清水及聚合物无固相钻井液钻井,经长期现场实际经验,该阶段的废水现场直接收集后,经废水池隔油、沉降除砂后储存于现场废水池,可直接用于现场清洁设备或配制钻井液。由于清洁用水水质要求较低,可由表观直接判断;配制钻井液等需要进一步试验,本项研究选用M2-4井废水进行了回配试验,针对该阶段废水特点,实验室主要检测了其氯离子、MBT和色度,结果见表1。

表1 M2-4井无固相钻井液体系回配废水水质检测结果

项目	数值	项目	数值
pH值	7.11	MBT/(g/L)	15
氯离子/(mg/L)	300	色度	256

#### ①直接用于配制钻井液胶液

由于钻井液膨润土浆要求很高,因此进行了配制钻井液胶液试验。将采集的钻井废水样分别加入药剂2%HV-CMC、1%KPAM、1%FA367,通过测试其漏斗黏度,将其与清水配制的胶液进行比较,结果见表2。

表2 废水配制钻井液胶液漏斗黏度(钻井表层阶段) mPa·s

水样	2%HV-CMC	1%KPAM	1%FA367
清水	36	33	32
M2-4井废水	38	34	35

由表2可知,钻井废水配制的胶液与清水配制的胶液所测得的漏斗黏度十分相近,同时配制产生的气泡不多,由此可知,钻井废水对大分子聚合物的水分散影响不大,能够直接用于配制胶液。

#### ②用于配制压裂液

由于配制压裂液的要求是废水必须清澈透明,因此将采集的钻井废水样加入FeSO<sub>4</sub>、Ca(OH)<sub>2</sub>等试剂预处理后,采集上清液进行回配试验。

运用黏度测定仪测定其初始黏度后与药剂SD2-12按比例混合搅拌后,再测定其黏度,同时放置7d后测定其黏度,结果见表3。

废水加入SD2-12黏度均有上升,放置7d后黏度无变化,与清水相比变化不大,可以用于配制压裂液。

### 2.2.3 钻井中后期阶段

M2、M3井组中后期阶段主要采用了KCl聚合物、聚磺钻井液及油基钻井液进行钻井,采集该阶段的废水进行检测,结果见表4。

表3 废水配制压裂液黏度检测(钻井表层阶段) mPa·s

水样	初始黏度	与SD2-12混合后黏度	放置7d
清水	/	$\Phi 100=2$ $\Phi 300=2.5$ $\Phi 600=4.5$	
M2-4井废水	$\Phi 100=1$ $\Phi 300=1.5$ $\Phi 600=2.5$	$\Phi 100=1.5$ $\Phi 300=2$ $\Phi 600=3.5$	无变化

从表4可以看出,该阶段钻井废水COD、SS、石油类、色度超过GB 8978—1996《污水综合排放标准》

表4 页岩气废水指标检测

井号	钻井液体系	pH值	COD/(mg/L)	SS/(mg/L)	石油类/(mg/L)	挥发酚/(mg/L)	硫化物/(mg/L)	六价铬/(mg/L)	Cl <sup>-</sup> /(mg/L)	氨氮/(mg/L)	色度
M2-4	油基	8.11	$1.63 \times 10^3$	103	6.52	0.003	0.108	0.092	350	ND	1 024
M3-3	油基	7.28	$1.71 \times 10^3$	20	5.37	0.003	0.743	0.183	427	1.260	1 024
M2-3	聚磺	8.59	$1.74 \times 10^3$	1 143	4.28	ND	0.214	0.024	136	0.689	1 024
M3-1	钾聚合物	8.75	$1.62 \times 10^3$	728	5.17	0.003	0.189	0.115	155	0.415	1 024
M2-3	油基	8.72	$1.83 \times 10^3$	1 032	6.89	0.004	0.515	0.128	154	0.098	1 024
M3-1	油基	8.05	$1.75 \times 10^3$	510	7.23	0.003	0.394	0.027	116	0.157	1 024
标准*		6~9	100	70	5	0.5	1.0	0.5	—	15	50

\* GB 8978—1996《污水综合排放标准》一级标准。

表5 废水配制钻井液胶液漏斗黏度(钻井中后期) mPa·s

水样	2%HV-CMC	1%KPAM	1%FA367
清水	35	33	32
M2-3井废水	36.5	32.5	34
M3-1井废水	37.5	34	36

根据表5中的数据,钻井废水配制的胶液与清水配制的胶液所测得的漏斗黏度十分相近,同时无明显气泡,能够直接用于配制胶液。

### ②用于配制压裂液

采集的钻井废水含有较多机械杂质,上清液通过滤纸过滤,过滤后再氧化,取上清液测定其黏度,结果见表6。

表6 废水配制压裂液黏度检测(钻井中后期) mPa·s

水样	初始黏度	与SD2-12混合后黏度
清水	/	$\Phi 100=2.0$ $\Phi 300=2.5$ $\Phi 600=4.5$
M2-3井废水	达不到黏度测定要求	达不到黏度测定要求
M3-1井废水	达不到黏度测定要求	达不到黏度测定要求

从表6可以看出,废水配制压裂液黏度达不到相关要求,难以回用,但其中哪种离子或物质造成的影

一级标准,使用油基钻井液时废水的性质也与常规钻井废水性质相似。

### ①用于配制钻井液胶液

采集2口井废水进行了试验,实验室主要检测了MBT值,聚磺钻井液体系M2-3井为24 g/L,钾聚合物M3-1井为35 g/L。

由于其MBT值较高,无法配制钻井液胶液,因此对废水进行预处理,根据废水水质采用 $\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 、高效混凝剂等多种方式处理,降低其MBT值后,采集上清液进行回配。废水配钻井液胶液漏斗黏度见表5。

响还需进一步研究。

### 2.2.4 现场废水综合回用

通过实验室回用试验,结合生产需求,对各阶段废水进行了综合利用。

钻井表层阶段,主要采用清水及无固相钻井液,废水污染物含量低,成分单一,经现场废水池简单的自然沉降沉砂后用于井队清洁、回用调配钻井液胶液。

钻井中后期以后,主要采用了聚磺或油基体系钻井液钻井,钻井废水中污染物浓度开始升高、成分逐渐变复杂,同时污染物在水中较稳定,无法自然沉降。现场经简单化学处理后用于冲洗(冲洗污水沟中的污泥,清洗泥浆罐体,清洗振动筛等),经现场废水处理装置处理后用于配制钻井液胶液。

## 3 结论

①钻井现场通过清污区严格区分、排污沟改造、废物池分类管理、搭建雨棚等多种清污分流措施的综合运用,并结合废水回用,各井废水最终产生量较以往平均产生量减少67%~78%。

②试验表明,钻井表层采用清水及聚合物无固相钻井产生的废水,自然沉降沉砂后可用于井队清洁和配制钻井液;简单处理后可用于配制压裂液。

(下转第48页)

期可能会大量丢失;有的泄漏点标识材料未考虑耐高温和防生锈;装置分区规则不统一,造成密封点编码路线不清楚等,这些对密封点标识有效性不利的因素将对未来开展检测带来很多问题。

②数字化图件的应用。有的炼化企业建立了智能 P&ID 系统,利用数字化 P&ID 图,通过内置规则自动识别及标注密封点,同时建立密封点与 P&ID 图的一一对应关系。智能 P&ID 系统的引入,具有自动生成密封点台账、密封点与 P&ID 群组对应、台账后期复用、密封点信息自动更新等优势 and 亮点,避免了图纸分析中 P&ID 物流用颜色进行区分标注时易标错、漏标、标注非结构化、分类查询难;信息录入时密封点信息量极大,容易录错、漏、重复,没有统一的质量校核工具,查错难等难题。

③检测数据保存与上传。实施 LDAR 现场检测的某些企业将检测全过程用手操器完成,手操器直接与检测仪器连接,用程序控制各类密封点的检测时间,检测数据保存与上传至管控平台全部自动完成,不存在人为误差,消除了检测数据被伪造和篡改的隐患。

参 考 文 献

[1] 李兴春.石油化工行业挥发性有机物控制进展研究[J].

环境保护,2016,44(13):38-42.  
 [2] 张钢锋.泄漏检测与修复(LDAR)技术在国内外的应用现状及发展趋势[J].环境工程学报,2016,10(9):4621-4627.  
 [3] 中华人民共和国环境保护部办公厅.关于印发《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》及《石化企业泄漏检测与修复工作指南》的通知:环办[2015]104号[EB/OL].(2015-11-18)[2017-01-06].http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201511/t20151124\_317577.htm.  
 [4] 中华人民共和国环境保护部.关于发布《大气细颗粒物一次源排放清单编制技术指南(试行)》等4项技术指南的公告:公告2014年第55号[EB/OL].(2014-08-20)[2017-01-06].http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828\_288364.htm.  
 [5] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.石油炼制工业污染物排放标准:GB 31570—2015[S].北京:中国环境科学出版社,2015.  
 [6] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.石油化学工业污染物排放标准:GB 31571—2015[S].北京:中国环境科学出版社,2015.

(收稿日期 2017-02-09)

(编辑 郎延红)

(上接第 35 页)

③钻井中后期,使用 KCl 聚合物、聚磺钻井液及油基钻井液产生的废水,经简单化学处理后用作井队清洁用水,经深度处理后可用于配制钻井液;废水经现有工艺处理后不能满足配制压裂液需求,需进一步深入研究。

参 考 文 献

[1] 郭昊,袁玲.页岩气钻井关键技术及难点研究[J].石油化工应用,2013,6(6):12-15.  
 [2] 杨长军,田庆华,张悦.页岩气开采水环境压力与污染防治技术探讨[J].四川环境,2015,34(4):146-151.  
 [3] 唐代绪,赵金海,王华,等.美国 Barnett 页岩气开发中应用的钻井工程技术分析与启示[J].中外能源,2011,16(4):47-52.  
 [4] 余雷,高清春,吴兴国,等.四川盆地页岩气开发钻井技术难点与对策分析[J].钻采工艺,2014,37(2):1-5.  
 [5] 梁玉平,王建波.涪陵区块 12-4X 页岩气水平井钻井关键技术[J].石油机械,2014,42(8):57-61.

[6] 郭凯,秦大伟,张洪亮,等.页岩气钻井和储层改造技术综述内[J].蒙古石油化工,2012(4):93-94.  
 [7] 张红岩,吕荣湖,郭绍辉.混凝-臭氧氧化法处理三磺泥浆体系钻井废水[J].过程工程学报,2007,7(4):718-722.  
 [8] 张擎翰,蒋文举.钻井废水处理技术研究进展[J].四川化工,2011,14(1):45-48.  
 [9] 刘宇程,吴冕,陈明燕.钻井废泥浆固化处理技术研究进展及展望[J].环境科学与技术,2010,33(6E):534-537.  
 [10] 蔡利山.合理选择处理方式减少废钻井液外排[J].西部探矿工程,2000,62(1):73-74.  
 [11] 罗荣川.脱水法在川西废钻井液处理中的应用[J].油气田环境保护,2015,25(3):12-15.  
 [12] 张军,汪建军,袁海,等.川西油气田钻井污水及废泥浆固化处理技术[J].天然气工业,2005,25(11):94-98.

(收稿日期 2017-03-21)

(编辑 王薇)