

涪陵页岩气田“绿色”钻井关键技术研究与实践

刘超

(中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司, 重庆 涪陵 408014)

摘要:为最大限度地降低页岩气钻井对环境的影响,涪陵页岩气田通过钻井技术方案优化和现场实践探索,形成了涪陵页岩气“绿色”钻井关键技术。本文从页岩气水平井钻井工艺特点和涪陵地区自然环境特征入手,分析了涪陵地区页岩气钻井对环境的挑战,在此基础上构建了以油基钻井液回收利用、油基钻屑无害化处理、油改电、钻井设计与施工工艺优化以及“井工厂”钻井为核心的“绿色”钻井技术体系。该技术在涪陵页岩气田一期产建中推广应用,减少二氧化碳排放 20.9 万 t,井场占地面积同比减少 30%,做到了零污染、零排放。涪陵页岩气田“绿色”钻井技术的应用极大地降低了钻井作业对环境的影响,同时为国内页岩气钻井发挥了重要的示范和指导作用。

关键词:页岩气;钻井;绿色环保;绿色钻井;涪陵页岩气田

中图分类号:P634;TE242 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)07-0009-05

Research and Practice of the Key Technologies for “Green” Drilling/LIU Chao (The Exploration and Production of Shale Gas Chongqing Fuling, SINOPEC, Fuling Chongqing 408014, China)

Abstract: To minimize the impact of shale gas drilling on environment to the lowest level, the key technologies for drilling is formed in Fuling shale gas field by technology program optimization and field practice exploration. This paper analyzes the impact of shale gas drilling on the environment in Fuling area starting with horizontal drilling characteristics and environmental features there. On this basis, “green” drilling technical system is constructed with core of oil-based drilling fluid recycling, harmless treatment of oil-based cuttings, converting oil to electricity, drilling design and construction technology optimization as well as “well factory” pattern drilling. This technology was popularized and applied in the first phase production of Fuling shale gas field, carbon dioxide emission is reduced 209 thousand tons, well site area is reduced 30% with zero pollution and zero emission.

Key words: shale gas; well drilling; green environmental protection; “green” drilling; Fuling shale gas field

“绿色钻井”是指整个钻井过程中,着眼于污染预防,最大限度地减少原料和能源的消耗,降低生产成本,减少和防止钻井过程对生态环境的破坏。中石化涪陵页岩气田所属区域深藏于武陵山系的崇山峻岭之间,山体植被丰富,喀斯特地貌属性导致地表沟壑纵横,地下溶洞多、暗河多、裂缝多、漏失层多^[1-3],且三水平段钻进需要采用油基钻井液,页岩气钻井过程中不可避免地存在较多的环境风险,同时,国内尚没有成功开发页岩气的先例。为此,本文通过页岩气钻井对环境的影响分析,构建了涪陵页岩气“绿色”钻井关键技术,并在涪陵页岩气田全面推广应用,极大地降低了钻井作业对环境的影响,为国内页岩气钻井做出了示范。

1 页岩气钻井对环境的影响分析

1.1 油基钻井液与油基钻屑对环境的影响分析

由于页岩地层层理和微裂隙发育、粘土矿物易水化膨胀,页岩地层钻井过程中井壁易失稳,故国内外在页岩地层钻井施工过程中多采用油基钻井液^[4-5]。根据所用基础油的不同,油基钻井液主要有柴油基钻井液和白油基钻井液。无论是柴油基还是白油基钻井液,其基础油的含量均在 80% 左右,因此,油基钻井液较水基钻井液对环境的影响更大,具体表现为:(1)油基钻井液污染物清洗需要更多的水;(2)钻井过程中产生的钻屑含油量高,处理困难,一旦落地有可能对土壤和周边环境造成污染;(3)油基钻井液转运和处理难度大,成本高。

1.2 钻井设备燃料消耗对环境的影响

钻井生产过程中主要动力是大功率柴油机、发

电机提供的,燃烧柴油排放的气体中含有 SO_2 、 NO_x 、 CO 、烟尘等会造成空气污染,同时柴油机、发电机、气动马达产生的排气、进气噪声;钻井设备、传动设备产生的机械噪声;钻具之间、设备之间的撞击噪声以及设备振动产生的噪声^[6]。

1.3 地表漏失对浅层地下水的影响

涪陵页岩气田位于重庆市涪陵区境内,为典型的山地-丘陵地形喀斯特地貌。该地区浅表地层溶洞、暗河发育,呈不规则分布,导眼和一开钻井过程中钻井液漏失有可能造成地表水资源污染^[1,3],同时该地区地处长江中上游,为我国重要的水源地,水资源保护压力大。

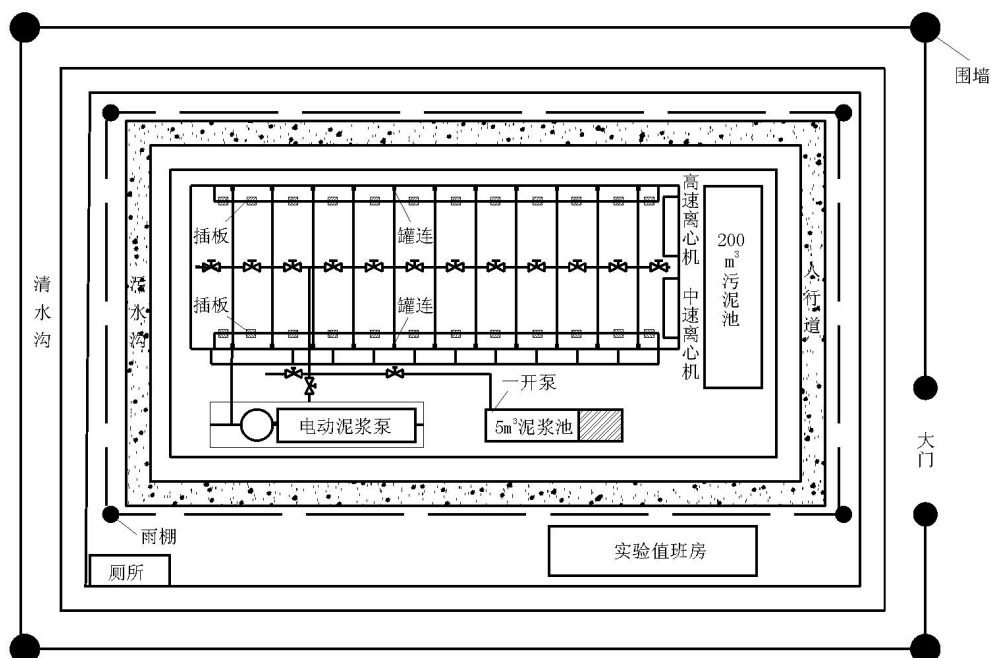
1.4 钻井井场对土地及生态的影响

国外勘探开发实践表明,页岩气单井产量低、递减速度快,需要持续钻大量的井才能够维持气田总体产量稳定。与常规油气资源开发相比,页岩气开发井的密度大,钻井数量多,井场建设所占用的耕地面积也随之增加。这给涪陵地区本来就紧缺的土地带来极大的挑战。

2 涪陵页岩气田“绿色”钻井关键技术

2.1 油基钻井液集中回收处理技术

通过调研国内外油基钻井液处理技术,针对涪陵页岩气田油基钻井液特点,研究开发了一套油基钻井液回收处理系统(见图1),并成立了油基钻井液集中处理站,实现了油基钻井液集中处理。



注:(1)带混合漏斗,要处理泥浆;(2)要2台离心机,一台高速,一台中速;(3)每个罐配3个搅拌机,内容积 50 m^3 ;(4)储备站面积 $50 \text{ m} \times 65 \text{ m}$ 。

图1 油基钻井液重浆处理站平面图

2.2 油基钻屑无害化处理技术

通过研究国内外油泥砂处理技术,提出了采用热裂解技术处理含油岩屑的技术方法。其技术原理为,首先通过机械离心原理将固相与液相进行分离,然后通过热脱附工艺实现将油泥中的油与固相分离(见图2所示)。

热裂解技术处理含油岩屑的工艺流程为:(1)用振动筛将油基废钻井液中的岩屑分离出来;(2)油泥进入甩干机进行二次固液分离;(3)液相再进入离心机进行3次分离回收油泥,经过甩干机和离

离心机处理的干岩屑油水含量大幅度降低,固体含油率降至 3.5% ;(4)分离的油泥及干岩屑进入热脱附终端设备,进行无害化处理,最终剩余固体含油率降至 3% 以下;(5)钻屑经处理后回收了大部分油,回收的油存入油罐;(6)处理后的污水回用,多余的水进站内的污水处理系统,实现资源回收和环境保护的双重效益;(7)处理后的残渣有多种利用价值,可用作绿化培土或筑路素土,也可以制成人造砾石用于铺垫井场。

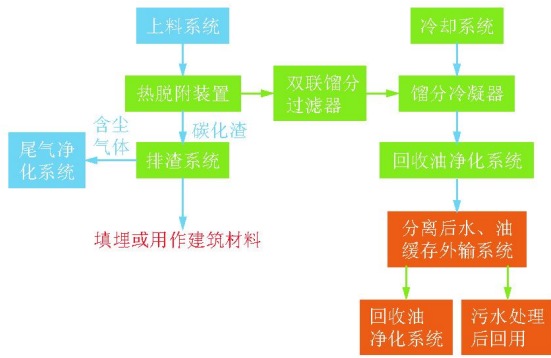


图 2 油基钻屑回收利用工艺采用

通过该工艺处理后钻屑残渣含油量 < 2%，最后进行固化后集中填埋封存。通过该工艺技术的应用实现了油基钻屑的“资源化、减量化、无害化”，油基岩屑无害化处置率达到 100%。参见图 3。

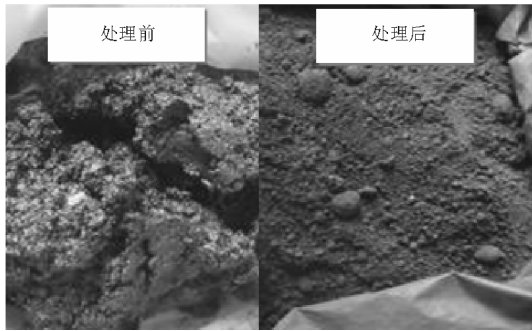


图 3 油基钻屑处理前后对比

2.3 网电钻机改造技术

一般为钻机提供动力的是柴油机或柴油机发电机组,在使用过程中能耗比较高,能量转换率比较低,排出的 CO₂ 等温室气体污染大气环境,且机械传动产生的噪声比较大,影响当地居民的生活。为响应国家节能减排,降低钻井成本,提高钻井效益,而网电钻机改造技术作为一项节能、清洁、降噪的新技术,不仅可以降低钻井过程的运行成本,而且对建设节约型社会具有重大意义和广阔的推广应用前景。涪陵页岩气田开发,钻井平台实施丛式井布置,当地高压网电资源也比较丰富,为实施高压网电钻井创造了有利条件。

使用高压网电进行钻井,需要对现有设备进行网电钻机改造。实施网电改造需要解决的问题主要是 2 方面:一是动力模块替代,就是把原柴油机驱动替换为电机驱动;二是网电接入变压、调整控制问题。根据井队实际情况进行设备对接,优化配置,网电设备达到安全可靠平稳运行,实现利用高压网电

进行钻井作业。图 4 为钻机网电改造方案。

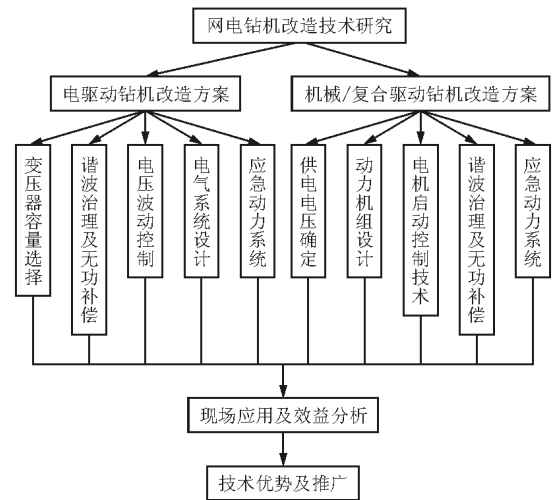


图 4 钻机网电改造方案

2.4 绿色环保钻井工艺技术

2.4.1 钻井平台选址技术

2.4.1.1 采用高密度电法勘查法避开溶洞暗河选址

平台选址时,采用高密度电法勘查法对地下 100 m 内暗河、溶洞分布情况进行水文勘探,避免勘探开发过程中污染地下水。

2.4.1.2 钻井平台选址避开环境敏感区

涪陵页岩气田所处地域内有武隆仙女山、大木花谷等自然风景区,同时该地区还有多处村民引用水源。钻井平台选址尽量避开生态环境敏感区域,尽量减少树木砍伐、植被破坏。施工结束后,严格按照复垦方案进行植被恢复、水土保持和土地复耕。

2.4.2 “绿色”钻井优化设计技术

钻井设计上,选用“导管 + 三段式”井身结构(图 5),四层套管固井,选用抗压 117 MPa 压力等级的优质套管进行水泥固井,固井水泥返至地面,并进行固井质量检测,确保所钻井眼完全与环境水体、浅层岩体隔离开。

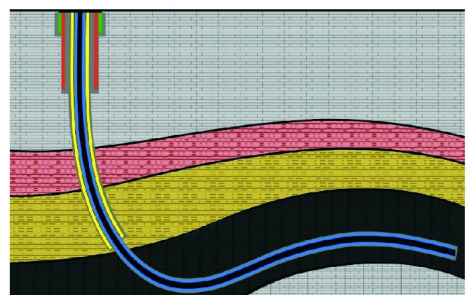


图 5 “导管 + 三段式”井身结构

2.4.3 “绿色”钻井施工技术

涪陵地区页岩气钻前施工时,通过修建废水池、放喷池、油基钻屑暂存池、清污分流沟、截水沟等环保设施,并进行防渗承压试验后交付使用,保护井场周围环境。

页岩气钻井施工时,1500 m 以浅的直井段采用清水钻井液工艺,无任何添加剂,避免钻井作业污染浅层地下水系;1500~2500 m 直井段采用水基钻井液工艺,主要添加药剂成分由天然矿(植)物类、改性天然高分子、合成聚合物和其它无机盐类(烧碱、纯碱、氯化钙、氧化钙)等绿色化工药剂;2500~4500 m 水平段一律采用油基钻井液工艺,主要添加药剂成分由水相(氯化钙水溶液)、油相(有机粘土、脂肪酸混合物、褐煤、石灰)组成,所有钻井液配制均严格按照《钻井液材料规范》(GB/T 5005—2010)等国家和行业标准规范执行。所有钻井液都在密闭循环系统中经回收处理后,循环使用。在油基钻井液钻进时,将钻机主体设备、通道、栏杆表面覆盖薄膜,保持设备表面清洁,减少擦洗设备废水产生量;油基钻屑严禁排入废水池,与水基钻屑严格实行分开收集,分类处理,处理流程如图6所示。整个钻井施工过程中实施清洁生产,采取废水重复利用和节水减排措施,实现了污水零排放。

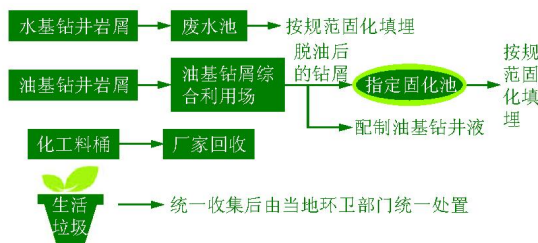


图6 涪陵页岩气钻井固体废弃物处理流程

2.5 “井工厂”钻井技术

“井工厂”钻井是指在同一地区集中布置大批相似井,使用大量标准化的装备或服务,以生产或装配流水线作业的方式进行钻井和完井的一种高效低成本的作业模式^[10]。涪陵页岩气田地处于川东南山地-丘陵地区,地表为典型的喀斯特地貌,钻前施工、井场建设、钻井材料运输等面临极大挑战,钻井工程建设周期长、成本高。为提高涪陵页岩气田钻井效率,降低钻井工程费用,借鉴国外页岩气开发经验,通过山地“井工厂”钻井平台布井方案优化、“井工厂”水平井轨道优化设计、“井工厂”钻机设备的改造与配套以及“井工厂”钻井作业流程设计等研

究,形成了一套适用于涪陵山地特点的“井工厂”高效钻井技术^[11]。通过“井工厂”钻井技术的应用,大幅降低土地征用面积,单井土地征用面积较常规丛式井节约30%,较单井减少82.5%,较丛式井油基钻井液使用量减少28%,废液减排1200 m³^[11]。

3 “绿色”钻井技术在涪陵页岩气田的应用

涪陵页岩气田通过关键技术的研究与攻关,形成了以油基钻井液集中回收处理、油基钻屑无害化处理、网电钻机改造、绿色环保钻井工艺以及“井工厂”钻井技术为核心的涪陵页岩气田“绿色”钻井技术体系。该技术体系在涪陵页岩气田一期产能建设中全面推广应用。

3.1 油基钻井液回收再利用技术的应用

通过油基钻井液回收老浆再利用工艺技术,减少固井水泥及冲洗液混入老浆造成污染,保证各项性能稳定。自2013年3月以来,涪陵页岩气田共完成230口油基钻井液服务,回收再使用老浆量12.76万m³,极大地降低了油基钻井液成本,减少了油基钻井液废液排放。

3.2 油基钻屑处理技术的应用

截止目前,涪陵页岩气田共计建设了7个油基钻屑回收利用厂(站),油基钻屑设计处置能力300 m³/d,实际处置能力达到230~320 m³/d。涪陵页岩气田开发以来,累计完钻251口井,产生油基钻屑56565.88 m³,处理率达到100%。

3.3 网电钻机的应用

网电系统应用表明,该系统运行安全、稳定、可靠,各项技术参数良好。以焦页38-2HF井为例,根据现场实际工况预算,该井使用柴油机作动力消耗柴油约为320 t,以当月柴油定额价5370元/t计算,柴油能耗费用为171.84万元;改用网电后,消耗的总电量为125.6万kW/h,实际能耗费用为144.44万元,加上柴油机、发电机使用维护费用每口井10万元,相比使用柴油节约费用37.4万元,使用网电施工费用相比使用柴油费用节约率为21.76%。同样通过焦页59-3HF井、焦页37-2HF井统计分析,节约率分别为25.84%、23.54%。综合分析,使用高压网电进行钻井能耗费率平均降幅为22.75%,这样高的能耗节约率对于钻井这个高成本行业来说,其经济效益非常明显。截止到2015年12月,涪陵页岩气田网电架设耗资5803.6

万元,工区的41部钻机进行了网电改造并先后投入了使用,网电施工121口井,累计使用电能14384.25万kW/h,替代成品油4.97万t,减少CO₂排放20.9万t,节约成本1600余万元,取得了良好的经济效益和环保效益。

3.4 绿色环保钻井工艺技术的应用

在涪陵一期产能建设的251口井中,全面应用了高密度电法勘查法避开溶洞暗河选址、绿色钻井优化设计以及绿色钻井施工工艺等技术。现场应用表明,通过针对性优化与设计,极大地保护了当地的水源,节约了用水。涪陵页岩气田建设期间未发生一起环保事故,无一例环保事件发生。

3.5 “井工厂”钻井技术的应用

截止2015年底,涪陵页岩气田推广应用“井工厂”钻井平台18个共计71口井,累计节约占用土地12000 m²,减少水基钻井液废液排放30000 m³,同时钻井过程中节约清罐等用水15000 m³,极大地降低了钻井对环境的影响,取得了显著的环保效益。

4 结论与建议

(1)针对涪陵页岩气田地表特征和页岩气钻井技术特点,构建了以油基钻井液回收利用、油基钻屑无害化处理、油改电、环保钻井工艺技术以及“井工厂”钻井为核心的“绿色”钻井技术体系,满足了涪陵页岩气“绿色”钻井的技术要求。

(2)通过涪陵页岩气田的推广应用,油基钻井液重复利用率达100%,油基钻屑处理后含油率<2%,减少二氧化碳排放20.9万t,井场占地面积同

比减少30%,同时极大地保护了当地水源,节约了用水,减少了水资源消耗和污染,为国内页岩气田绿色环保开发提供了示范与借鉴。

(3)现场实践表明,页岩气田开发的钻井数量多,使用油基钻井液所产的大量油基钻屑极大地增加了钻井成本,并给环保工作提出了极大的挑战,建议加快页岩地层水基钻井液技术的研发与现场应用,从根本上解决油基钻屑处理成本高和难度大的问题。

参考文献:

- [1] 周贤海. 涪陵焦石坝区块页岩气水平井钻井完井技术[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(5): 26-30.
- [2] 牛新明. 涪陵页岩气开发钻井技术难题及对策[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(4): 1-6.
- [3] 艾军, 张金成, 臧艳彬, 等. 涪陵页岩气田钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(05): 9-15.
- [4] 王显光, 李雄, 林永学. 页岩水平井用高性能油基钻井液研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 17-22.
- [5] 王中华. 国内外油基钻井液研究与应用进展[J]. 断气块气田, 2011, 18(4): 533-537.
- [6] 张吉平, 刘庆潘, 跃明, 等. “绿色钻井”面临的问题与对策思路[J]. 环境研究与监测, 2011, 6(2): 41-43.
- [7] 樊宝荣, 向春明, 朱鹏. 绿色钻井技术的综合应用[J]. 化学工程与装备, 2014(11): 192-195.
- [8] 魏文忠, 孙秉琳, 王薇. 实施绿色钻井的探讨[J]. 油气田环境保护, 2008, 18(3): 16-19.
- [9] 王建华. 实施绿色钻井的有关问题[J]. 石油科技论坛, 2009, 28(6): 36-38.
- [10] 张金成, 孙连忠, 王甲昌, 等. “井工厂”技术在我国非常规油气开发中的应用[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(1): 20-25.
- [11] 周贤海, 臧艳彬. 涪陵地区页岩气山地“井工厂”钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(3): 45-49.