

鲁页参 1 井钻井液技术

战启帅, 杨卫东, 王天放, 刘伟, 王新

(山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 济宁 272100)

摘要:鲁页参 1 井钻遇地层复杂, 水敏地层造浆严重, 二叠系地层坍塌掉块, 出现卡钻事故, 导致钻井施工进度慢, 风险大。针对钻井施工中存在的技术难题, 开展了一系列的技术攻关, 确定了一开和二开以及取心段的钻井液体系, 形成了一整套钻井液技术和工程技术措施。实践表明, 该套钻井液体系解决了鲁页参 1 井钻井中出现的坍塌、掉块等难题, 减少了井下故障的发生, 提高了钻进速度, 建井周期明显缩短, 为以后的钻井施工提供了技术支持。

关键词:页岩气; 钻井液体系; 水敏地层; 坍塌; 取心; 井壁维护

中图分类号: P634.6 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2014)09-0027-05

Drilling Fluid Technology in Shale Gas Parameter Well - 1 of Shandong/ZHAN Qi-shuai, YANG Wei-dong, WANG Tian-fang, LIU Wei, WANG Xin (Shandong Provincial Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Jining Shandong 272100, China)

Abstract: The drilling of shale gas parameter well - 1 of Shandong encountered complex formations with serious mud making in water sensitive formation and collapsed block in Permian strata. The jammed bit accident led to slow drilling construction progress with high risk. According to the technical difficulties in the drilling process, the drilling fluid system for the first and the second as well as the coring sections are determined by a series of technology research to form a complete set of drilling fluid technology and engineering measures. The results show that the difficulties such as collapsed block are solved by this drilling fluid system in the shale gas parameter well - 1 of Shandong, the downhole accidents are reduced with improved drilling speed and short well construction period.

Key words: shale gas; drilling fluid system; water sensitive formation; collapse; coring; borehole wall maintenance

1 概述

鲁页参 1 井是由山东省鲁南地质工程勘察院在《重点地区页岩气资源调查评价》工作基础上, 优选山东南部有利目标区实施的上古生界页岩气参数井, 设计井深 1800 m。目的层段全井段取心, 开展全井段综合测井、录井, 并进行目的层现场含气量解析实验及室内有机地球化学特征、矿物成分、储层物性分析测试, 建立山东南部上古生界页岩气地球化学剖面, 为页岩气资源评价和区块优选提供依据。

该井与 2013 年 11 月 12 日 08:00 开钻, 于 2014 年 4 月 17 日 06:00 二开完钻, 完钻井深 1700 m。

2 地层特点及技术难点

2.1 地层及岩性情况(见表 1)

2.2 鲁页参 1 井井身结构(见表 2)

2.3 钻井液技术难点

众所周知页岩气是蕴藏于页岩层中的天然气, 页岩气主体位于暗色泥页岩和高碳泥页岩中, 是以吸附或游离状态存在于泥岩、高碳泥岩、页岩及粉砂质

表 1 鲁页参 1 井地层分层及岩性情况

地层单位	底界埋深/m	岩性
Q + N	535	上部为浅黄、灰黄色粉砂质粘土、粘土质粉砂的不等厚互层; 下部为紫红、灰绿色为主的粘土岩夹粉细砂岩; 岩性相对较细, 成岩不好, 胶结松散
官庄群(Eg)	1064	上部为紫红、灰绿色粉砂岩夹泥岩和砂岩, 含少量石膏结核; 中部为紫红、灰绿色钙质泥岩、砂岩, 夹粉砂岩和泥灰岩; 下部为浅紫色粉砂岩夹砂质泥岩和砂砾岩, 含石膏
石盒子组(P _{2-3s})	1436	黄绿、灰绿、灰白色砂岩和杂色页岩构成, 局部地区下部可含薄煤层或煤线
山西组(P _{2s})	1524	陆相沉积为主, 由灰~深灰色砂泥岩夹煤层构成
太原组(C _{2-P_{1t}})	1650	海陆交互沉积, 岩性以灰、灰黑色粉砂岩和泥岩为主, 夹多层石灰岩和煤层, 顶、底均以石灰岩为界与上覆山西组及下伏本溪组分开
本溪组(C _{2b})	1668	青灰、紫红色铁铝质粘土岩和泥岩
马家沟组(O _{2-3m})	1700	灰色厚层石灰岩与泥质白云岩、角砾状白云岩的互层, 以厚层石灰岩为主

岩类夹层中的天然气。随着钻井技术的发展, 钻井深度逐渐增加, 更多的钻遇高温、高压及各种复杂地层, 对钻井液性能提出了越来越高的要求, 促使钻井液技术不断发展。实践表明, 钻井液的性能对于确保深井

收稿日期: 2014-06-30

作者简介: 战启帅(1989-), 男(汉族), 山东人, 山东省鲁南地质工程勘察院, 勘查技术与工程专业, 从事勘探技术工作, 山东省济宁市兖州区建设东路 272 号, zhanxingzhe@126.com。

表2 鲁页参1井井身结构

井深/m	井径/mm	备注
0~41	444.5	下入 $\varnothing 377$ mm 孔口管
41~1075	311	0~1075 m 下入 $\varnothing 244.5$ mm 套管
1075~1403	215.9	裸眼
1403~1700	215.9	取心

及超深井的安全、快速钻进具有十分重要的作用。

由表1可见该井钻井液技术难点主要表现在以下几点。

(1)松散地层多。钻遇地层有厚达1000 m以上的松散覆盖层,上部地层易坍塌破碎。泥岩层受上覆地层压力、构造应力及井温影响,易出现塑性变形导致缩径。

(2)裸眼井段长。钻遇的地层中有易坍塌、缩径地层。要求钻井液能满足各种地层的需要,具有良好的护壁性能。同时为了防止钻井液中的固相物、岩屑堵塞和充填目的层,要求钻井液具有保护含气层的作用。

(3)下入套管长。设计下套管1150 m,实际下管1068.49 m,要求钻井液必须保证井壁的稳定,以便使套管安全下到位。

(4)取心井段长。重复起下钻对井壁稳定有着负面影响,要求钻井液必须保证一定的润滑性,维护井壁稳定。

(5)水敏性地层多。大段的泥页岩和含石膏泥岩遇水易膨胀造成缩径,在井内的液柱压力不能平衡地层的横向应力时,会向井内蠕动垮塌。

3 各井段钻井液类型的选择

3.1 选择原则

井眼稳定是安全钻井的重要条件,选择适合该区井下条件的聚合物,增强钻井液的封堵能力,降低钻井液滤失量,以确保井壁的稳定和形成规则的井眼。钻井液要保持优良的流变特性,满足携砂要求,保持井眼清洁。形成薄而致密的泥饼,强化润滑性。

针对以上地层特点,钻井液必须满足以下原则。

(1)有很强的抑制能力。由于该井钻遇地层有长段距离的水敏地层,此段地层松散,易钻且极具造浆性。必须有效抑制其水化分散,否则,会使地层失去支撑而造成井壁坍塌。通过加入强抑制性处理剂以确保钻井液体系的强抑制性和强封堵性能力,保持井眼稳定。

(2)有良好的携带岩屑的能力和护壁能力。严格控制钻井液的滤失量,确保形成质密光滑的泥饼。

(3)保持良好的流变性。钻井液保持低粘度、低切力、流动性好的性能,为喷射钻井、提高钻速创造有利条件。

(4)有良好的润滑防卡和防塌的能力。

(5)防止盐、膏侵。控制好石膏层对钻井液的污染。处理时应及时补充纯碱,但纯碱过量生成的 CO_3^{2-} 会对钻井液造成新的污染。

3.2 各井段钻井液类型

针对地层情况,多方调研钻井液类型确定如下:

(1)一开(50~1075 m),采用膨润土-聚合物钻井液体系。

(2)二开(1075~1403 m),采用膨润土-聚合物钻井液体系。

(3)二开取心段(1403~1700 m),采用聚合物钻井液体系。

4 钻井液维护及处理

4.1 一开(41~1075 m)

鲁页参1井与2013年11月17日一开,本井段钻遇地层为第四系、新近系及古近系,地层疏松,钻速快。因施工井队没有对泥浆进行高度重视,只是采用水化24 h的膨润土浆+CMC钻进,钻进至540 m时,井孔出现泥皮过厚、提下钻困难以致塌孔事故。

经研究决定采用膨润土-聚合物钻井液。在原有钻井液的基础上,以胶液的形式补充0.3%~0.4%的聚合物(KPAM),保证良好的抑制包被能力,防止钻屑分散,以有利于地面固控设备的清除。胶液配方:井场水+0.2%~0.3% NaOH+0.3%~0.5% KPAM+0.3%~0.5% NH_4 -PAN+0.3%~0.5% 广谱护壁剂。钻井液性能为:密度 $1.10 \sim 1.12 \text{ g/cm}^3$,塑性粘度 $16 \sim 18 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,API失水量 $\geq 12 \text{ mL/30 min}$,pH值 $9 \sim 10$,动切力 $6 \sim 8 \text{ Pa}$,流性指数 $0.6 \sim 0.8$ 。

由于本井段钻速快、产生岩屑多,结合工程上进行大排量钻进,保证钻井液对井壁的冲刷作用,尽量防止厚泥饼的形成,做好固相控制,开启四级固控设备最大限度地清除钻井液中的有害固相,振动筛使用80目以上的筛布。每钻进200~300 m清理一次沉淀池,保持钻井液的清洁。起钻前一次性加入足量的润滑剂增强钻井液的润滑性降低起下钻摩阻。随着井深的增加,适时提高密度,保持井壁稳定。同时还要每钻进200 m短起下钻一次拉一拉井壁。

本井段井眼大,钻速快,在保证排量和井眼稳定的前提下,尽量控制钻井液低粘切,低密度,低固相,

提高机械钻速。

钻井液的维护主要以补充聚合物 KPAM 胶液和膨润土浆为主,每班对钻井液进行 2 次以上的全性能监测,根据粘切的高低使用不同浓度的聚合物胶液,胶液以细水长流的形式补充到钻井液中使钻井液具有极强的包被抑制性,稳定井壁,包被岩屑,有利于固相清除。严格控制失水在设计范围之内,对于上部地层疏松渗透性好的井段,添加一定量的重晶石粉,做好屏蔽暂堵工作,以减少每天钻井液的消耗,从而使得钻井液性能得到稳定。用铵盐($\text{NH}_4 - \text{PAN}$)来调整钻井液的流变性和控制钻井液的失水量 $\leq 12 \text{ mL}/30 \text{ min}$,形成质密强韧的泥饼,满足长裸眼段的要求。

完钻前,将泥浆调整到设计范围内,循环干净后,搞一次长短起下钻到底后,充分循环泥浆,彻底清洗井眼,起钻前用配好的封井浆对导管鞋以及井底进行封井,以保证电测和下套管的顺利进行。

4.2 二开(1075 ~ 1700 m)

该井在本开次下部全井段取心 300 m,钻井液性能的好坏直接影响取心工作的顺利与质量,因此该井段是本井钻井液维护的重点。

4.2.1 无心段施工

在井段 1075 ~ 1152 m,井队采用 RL3NB - 1300 型泵(泵量 41.5 L/s)施工,因柴油机故障,在 1152 ~ 1209 m 井段采用 TBE - 1200 型泵(泵量 20 L/s)施工。施工发现,其他参数不变,在泵量 20 L/s 的情况下施工,机械钻速(0.96 m/h)相对在泵量 41.5 L/s 的(1.25 m/h)要小得多。地层以灰色泥岩为主,20 L/s 泵量下的岩屑成粘糊状,且钻井液有造浆变稠的现象。而 41.5 L/s 下的岩屑呈碎片状,岩屑携带良好。

根据上返岩屑分析,20 L/s 泵量下,钻井液无法将钻头克取的岩屑有效的清除,造成岩屑在井底的重复破碎,影响机械进尺。

对钻井液进行性能调整,动切力由 3 Pa 提高到 6 Pa,钻进工况得到明显改善,上返岩屑棱角明显,机械钻速提高到 1.1 m/h。

该井段钻进至 1267 m 开始春节放假,2014 年 2 月 7 日开始生产。2 月 10 日在下钻过程中, $\varnothing 89 \text{ mm}$ 钻杆丝扣断裂,2 月 11 日早打捞完毕。在后续的施工过程中,出现下钻遇阻、起钻挂卡事故,在开泵状态下,上提下放不遇阻。经研究分析,由于放春假,井孔停待时间较长,井壁呈失稳状态,后受掉落钻具碰撞,发生垮塌,出现“大肚子”现象,岩粉在“大肚

子”井段不能正常上返,造成卡钻。

据上判断,在原钻井液基础上调整泥浆:SPNH(磺化褐煤树脂)750 kg + 钠土 3 t + 纯碱 120 kg + 重晶石 8 t + MHP(高粘防塌剂)500 kg。动切力 $> 16 \text{ Pa}$,以提高钻井液的携砂能力,经过循环处理,井内岩屑清除干净,事故解除。上返岩屑见图 1。

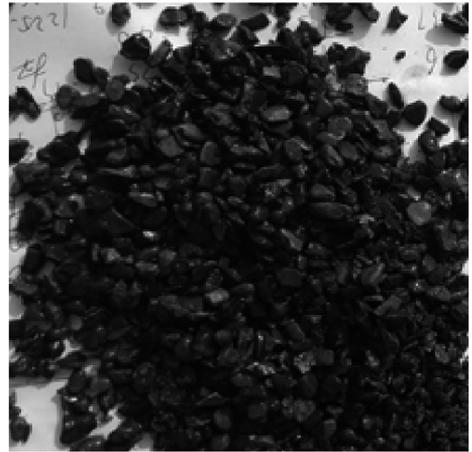


图 1 上返的岩屑

“大肚子”事故处理完毕后,考虑到二叠系地层复杂泥岩段较多,不稳定,易坍塌,坚持使用聚合物泥浆(SPZH、KHM、 $\text{NH}_4 - \text{PAN}$)抑制泥岩分散。在钻进中通过保持泥浆具有良好的携砂和悬浮能力,保持钻井液中防塌剂和降失水剂的有效含量在 3% 以上,控制钻井液的中压失水量 $\geq 5 \text{ mL}/30 \text{ min}$,以确保井壁稳定,井眼规则,防止了井壁掉块垮塌。

在满足钻井液有足够携带岩屑能力的前提下,保持低粘切钻进,提高了清洁井眼的效果。在钻进过程中,保证钻井液具有良好的润滑性,使摩阻系数 < 0.05 ,保证了井眼清洁和畅通。在现场施工过程中钻井液做到有较强的防塌能力、封堵能力、润滑能力和抗温能力。使钻井作业顺利施工。钻井液性能为:密度 $1.15 \sim 1.20 \text{ g}/\text{cm}^3$,塑性粘度 $10 \sim 20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,API 失水量 $\geq 5 \text{ mL}/30 \text{ min}$,pH 值 $9 \sim 10$,动切力 $6 \sim 10 \text{ Pa}$,动塑比 $400 \sim 600$,流性指数 0.6,含砂量 $\geq 0.3\%$ 。

4.2.2 取心段施工

2014 年 3 月 8 日接油气中心取心通知书,为保证取心作业顺利施工及取心质量,对钻井液性能进行调整。本井段多以泥岩为主,夹有煤层,易掉块坍塌。为保证取心作业顺利施工,对钻井液性能进行调整。在原有钻井液基础上添加:SPNH(磺化褐煤树脂)100 kg + KAM(防塌剂)150 kg + 广谱护壁剂 IV120 kg + 烧碱 50 kg + $\text{NH}_4 - \text{PAN}$ (铵盐)100 kg +

石墨粉 250 kg。

钻井液调整后,使用胶液维护钻井液性能,胶液配方:10 m³ 水 + 50 kg NaOH + 150 kg SPNH + 50 kg KPAM + 50 kg 广谱护壁剂。胶液以细水长流的方式加入,保证钻井液性能稳定,具有良好的抗高温能力。控制钻井液性能:密度 1.18 g/cm³,粘度 45~48 s,API 失水量 ≥5 mL/30 min,塑性粘度 16~18 mPa·s,动切力 10~15 Pa,静切力 2~5 Pa,含砂量 0.3%,固相含量 7%,流性指数 0.05。钻进时及时测量钻井液性能,根据钻井液性能变化随时调整钻井液性能,保证了井下安全。同时加强了工程的密切配合,控制好起下钻速度,开泵平稳,防止压力“激动”过大,起钻时及时向井内灌满泥浆,确保井壁的稳定。

完井作业前大排量洗井,合理调整钻井液流变参数,并在此基础上加入 KHm 500 kg、土粉 1000 kg、防塌防卡剂 500 kg,石墨粉 500 kg,配制成优质的封井液,保证了两次电测一次性成功。

为检测取心施工使用的钻井液是否能起到维护井壁的作用,现场针对井内钻井液与失水量达 10 mL/30 min 的钻井液,进行了一次岩心(灰黑色泥质断层角砾岩)浸泡试验(见图2)。每 30 min 观察一次岩心情况,后者岩心在 30 min 内解体坍塌,前者完好无损。后经 7 天的浸泡,取出岩心观察,岩心依旧保持完整状态(见图3),泥浆侵入约 2 mm。进一步



图2 岩心浸泡试验



图3 岩心浸泡后

表明所采取的钻井液达到了维护井壁的条件。

5 钻井液的固相控制

本井固相控制以机械固控和化学絮凝为主,及时清除有害固相。在上部地层的钻进过程中,由于钻速快、岩屑多且易分散,在加足高分子聚合物包被剂 KPAM,保证钻井液有强的包被抑制外,坚持使用四级固控设备运转 100%。

二开井段钻速较慢,且岩屑较细,有害固相多,振动筛使用 80 目筛布,保证除砂器、除泥器 100% 运转,适当的使用离心机,及时清除钻井液中有害固相,从而有力地保障了钻井液性能的稳定,防止了有害固相不能及时清除造成的粘切变动幅度大,减少了井壁不稳定的隐患。

6 取得的效果

经过对钻井液的合理选择和精心控制,钻井液保持了较好的流变性、润滑性、携砂能力,保证了鲁页参 1 井的顺利施工。

6.1 井身质量好

众所周知,钻具事故如果处理不当,极有可能导致井孔报废。钻具断裂事故处理是否顺利,取决于井身质量的优良,井壁稳定是决定井身质量的重要因素,而井壁的稳定取决于钻井液性能的好坏。鲁

页参1井施工过程中,发生了2次钻具断裂事故,井队在很短的时间内处理完毕,钻井液的处理工作功不可没。事故详情见表3。

表3 鲁页参1井钻具事故处理

事故名称	事故井深/m	事故地层	“落鱼”长度/m	“鱼顶”位置/m	处理方式	处理时间
钻铤丝扣刺穿	1010.05	官庄群	97.57	-912.48	公锥+导引外罩	2013.12.20~12.23
89钻杆断裂	1267.04	石盒子组	367.15	-900.29	母锥	2014.02.10~02.11

取心施工期间,34天36回次的提钻取心施工,无任何井下事故发生。取心井段(1403~1700 m),平均起下钻速率约300 m/h,即约10 h完成一次起下钻,起下钻过程中未出现阻卡现象。进一步说明井孔的井身质量好。由图4可以看出,井径扩大率控制在6%左右,井径没有明显变化,说明应用的钻井液起到了良好的护壁作用。

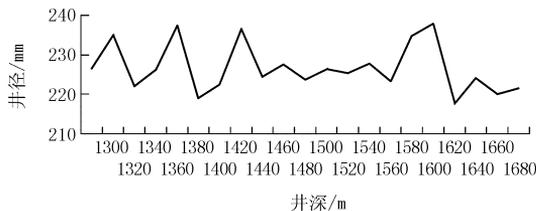


图4 鲁页参1井取心段井径变化

6.2 钻井液密度合理

钻井液密度控制在设计的较低范围,一开井段 $1.08 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$,二开井段 $1.15 \sim 1.18 \text{ g/cm}^3$,避免了密度过高引起井漏;同时也避免了密度过低引起的软泥岩地层蠕变、破碎地层坍塌,而造成的缩径、掉块卡钻等事故。

6.3 岩心收获率高

由于钻井液具备良好的防塌、成膜、护壁作用,即使在松散破碎地层和煤层(见图5)收获率也在90%以上。目的层进尺274.29 m,累计心长258.73 m,总取心率94.33%。得到了中国地质调查局领导和各方的好评。

7 结论和认识

(1) 在施工过程中严格执行钻井液设计,合理调整钻井液流变参数,钻井液具有良好的携砂、悬浮、防塌等性能,是保证全井钻井施工顺利进行的关键。

(2) 针对上部疏松易造浆段,合理运用抑制包被剂,配合固控系统,维护钻井液良好的护壁性能。



图5 鲁页参1井钻取的部分岩心

(3) 进入二叠系井段,井壁容易剥蚀掉块。从地层和化学2方面入手,一方面在设计范围内选择合适的钻井液密度,平衡地层压力;另一方面控制钻井液的失水,并加入防塌剂以维护井壁,从而有效地保证了施工的顺利进行。

(4) 取心施工期间,每钻进100 m,添加0.25%的石墨粉,提高钻井液润滑性能,降低摩擦系数,为起下钻提供了有利条件,维护了井壁的稳定。

(5) 为保障下套管的顺利施工,应合理地运用封井浆;在工程长时间停待(放假)期间,也应利用封井浆进行封井,以保障井下安全。

(6) 保持钻井液的携砂性能与泵量密切配合,即使以较低泵量钻进,也能保障井内清洁,避免孔内事故。

参考文献:

- [1] 赵岩,仲玉芳,王卫民,等. S/D-2 井欠饱和盐水钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):41-43.
- [2] 王建华. 油田盐膏层钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(4):47-49.
- [3] 刘德昭,邵俊琪. 天津地热井钻探用钻井液[J]. 探矿工程,1993,(6):49-50.
- [4] 张立泰,任中启,胡尖山,油田水平井提速钻井液技术[J]. 石油钻探技术,2011,(3):118-122.
- [5] 周长虹,崔茂荣,马勇,等. 深井高密度钻井液的应用及发展趋势探讨[J]. 特种油气藏,2006,13(3):1-3,11.
- [6] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [7] 陈平,等. 钻井与完井工程[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [8] 赵金洲,张桂林,等. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社,2011.