

昭通 YSH1-1 页岩气水平井钻井完井技术

王金磊¹, 黑国兴², 赵洪学²

(1. 中国石油哈萨克斯坦公司 PK 项目钻井部, 阿拉木图 050010; 2. 中国石油长城钻探工程公司钻井一公司, 辽宁盘锦 124010)

摘要:为加快中国石油昭通页岩气示范区页岩气水平井钻井技术探索, 根据该区块第一口水平井(评价井)——YSH1-1 井的实钻情况, 基于常规水平井安全优快钻井完井技术研究, 通过优选钻头、细化防漏堵漏方案、试验应用高密度油基钻井液、优化固井工艺等措施, 有效解决了地层研磨性和冲击性强、恶性井漏频发、泥页岩井壁垮塌严重、固井质量难以保证等技术难点。YSH1-1 井的实钻效果表明, 上述各技术措施切实可行, 可在该区块推广应用, 并提出了昭通页岩气示范区未来页岩气钻井完井技术的研究重点, 对国内页岩气钻井施工有一定的借鉴意义。

关键词:页岩气 水平井 堵漏 油基钻井液 固井 YSH1-1 井

中图分类号: TE243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2012)04-0023-05

Drilling & Completion Techniques Used in Shale Gas Horizontal Well YSH1 -1 in Zhaotong Block

Wang Jinlei¹, Hei Guoxing², Zhao Hongxue²

(1. Drilling Department, CNPC Kazakhstan Company(PK), Almaty, 050010, Kazakhstan; 2. GWDC No. 1 Drilling Company, CNPC, Panjin, Liaoning, 124010, China)

Abstract: To speed up the exploration for drilling techniques of shale gas horizontal well in Zhaotong block, this paper takes Well YSH1-1 as an example to introduce those successful technical measures and construction experiences in bit optimization, drilling fluid leak protection and bridging, exceptional cementation process and high density OBM to crack down technical difficulties such as formation abrasiveness and strong impact, frequent vicious mud loss, serious borehole collapse and cement quality. The success in pilot drilling in Well YSH1-1 suggests that those adopted technical measures are practicable, which can be promoted in this block. In addition, the paper also proposes further research focus in shale gas well drilling in Zhaotong Block. It would provide a guideline in technical improvement in shale gas well drilling in China.

Key words: shale gas; horizontal well; circulation loss control; oil base drilling fluid; well cementing; Well YSH1-1

YSH1-1 井是中国石油昭通页岩气示范区第一口水平井, 该井通过探索应用钻头优选技术、防漏堵漏技术、特殊固井工艺、高密度油基钻井液等关键技术, 获取了地质、工程所需的各项技术参数, 为下古生界龙马溪组页岩气井产能评价、储量计算及开发方案编制提供了重要依据, 也为国内页岩气水平井钻井技术积累了施工经验。

1 YSH1-1 井概况

YSH1-1 井位于四川台坳川南低陡褶带南缘, 南与滇黔北坳陷相邻, 沉积盖层从震旦系到侏罗系、

白垩系, 川南低陡褶带以华蓥山背斜为主体, 向南逐渐分支, 发育有温塘峡—临峰场等构造带, 背斜构造呈左列雁行排列。该井自上而下分别钻遇飞仙关组、乐平组、峨眉山玄武岩组、茅口组、栖霞组、梁山组、罗惹坪组和龙马溪组地层。目的层为龙马溪组,

收稿日期: 2012-02-27; 改回日期: 2012-06-08。

作者简介: 王金磊(1983—), 男, 山东阳谷人, 2006 年毕业于中国石油大学(北京)石油工程专业, 2009 年获中国石油大学(北京)岩土工程专业硕士学位, 2010 年获俄罗斯石油天然气大学水平井钻井专业硕士学位, 工程师, 现从事钻井现场施工管理及安全优快钻井技术研究。

联系方式: 13810413246, 13810413246@163.com。

主要岩性为一套黑色笔石页岩,上部为泥灰岩及粉砂质灰岩,下部含较多黄铁矿结核,岩性在探区内变化较小,仅在上部泥灰岩或粉砂质灰岩内有所变化。YSH1-1井设计的井身结构如图 1 所示。

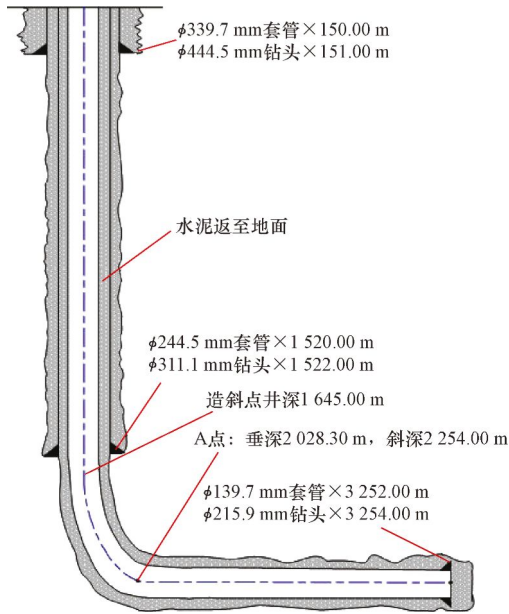


图 1 YSH1-1井设计井身结构

Fig. 1 Casing program design of Well YSH1-1

2 钻井技术难点

1) 地层可钻性差,钻头选型困难。峨眉山玄武岩组和罗惹坪组地层以致密细砂泥岩和灰岩为主,软硬交错频繁,抗压强度高,研磨性、抗冲击性强。常规 PDC 钻头不适用于该地层,牙轮钻头机械钻速低;蹩跳钻现象严重,钻具易疲劳折断。

2) 防漏、堵漏困难。全井各开次均钻遇溶洞,地层裂缝发育、承压能力极差,堵漏困难,钻井质量难以保证;茅口组、栖霞组灰岩地层漏失严重,清水强钻时,地质录井无法预知钻头前井段的地层岩性;

龙马溪组水平段用油基钻井液容易漏失,用普通堵漏材料效果不佳。

3) 井壁垮塌严重。乐平组煤系地层和龙马溪组泥页岩易水化膨胀,导致井壁剥落、垮塌^[1];乐平组、梁山组煤系地层发育,煤系地层中夹泥岩,井漏造成井壁失稳垮塌;水平段堵漏效果差,泥页岩井壁垮塌严重。

4) 固井质量难以保证。全井段存在多处严重井漏,常规固井工艺易导致水泥低返;水平段较长且采用油基钻井液,井壁界面油湿,套管居中度差,易造成顶替效率和界面胶结强度差,无法满足后期分段改造对水泥环密封性能的要求^[2-4]。

3 施工工艺

3.1 钻头优选

为尽快探索出昭通页岩气示范区钻头优选技术,结合地层岩性和钻头破岩机理、钻头技术参数、钻齿形状及保径等综合因素^[5-6]试验了多种类型的钻头,对每只钻头的使用情况都进行了分析评价。以下重点介绍 YSH1-1井三开井段钻头优选分析。

YSH1-1井三开造斜段(1 501.62~2 129.38 m)主要为灰质泥岩、细粉砂岩和泥页岩互层。由于三开造斜段的地层岩性复杂且交替变化,依次用 $\phi 215.9$ mm HJT617G 型牙轮钻头、Q506X 型 PDC 钻头、HJT637G 型牙轮钻头、GP446D 型 PDC 钻头、MD617 型和 MD537 型牙轮钻头试钻,以探索适合该井段的优质高效钻头。为了充分发挥 PDC 钻头的优势,特别试钻了 Q506X 型和 GP446D 型钻头,但它们在入井钻进 38.00 和 64.93 m 后均因牙齿严重磨损而被迫起钻更换。YSH1-1井三开造斜段钻头使用数据见表 1。

表 1 YSH1-1井三开造斜段钻头使用情况

Table 1 Statistical list of used bits in the third spud angle buildup interval for Well YSH1-1

钻头类型	使用井段/m	数量/只	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)
HJT617G 型牙轮	1 501.62~1 608.00	2	106.38	67.76	1.57
Q506X 型 PDC	1 608.00~1 646.00	1	38.00	13.62	2.79
HJT637G 型牙轮	1 646.00~1 686.73	1	40.73	39.16	1.04
GP446D 型 PDC	1 686.73~1 751.66	1	64.93	52.79	1.23
MD617 型牙轮	1 751.66~1 912.82	2	161.16	108.89	1.48
MD537 型牙轮	1 912.82~2 129.38	2	216.56	164.06	1.32

由表 1 可知:在 1 501.62~2 129.38 m 井段, MD617 型和 MD537 型牙轮钻头的使用效果较好, 钻头磨损较轻, 单只钻头进尺纯钻时间较长, 机械钻速也较为理想, 推荐使用。

三开水平段(2 129.38~3 165.72 m)所在龙马溪组主要为泥岩、页岩夹粉砂质泥岩、粉砂岩。该井段试用 $\phi 215.9$ mm Q506X 型 PDC 钻头取得了良好效果, 单只钻头进尺 738.15 m, 机械钻速达 7.92 m/h。该型钻头的结构特点是:采用双排异步切削六刀翼结构, 在主刀翼切削齿磨损到特定程度前, 备用切削齿不会接触地层, 适用于软到中硬地层(研磨性较强的砂岩、碳酸盐岩和泥页岩)、软硬夹层的地质;同时, 在钻头肩部切削区域增大金刚石体积, 延长了钻头使用寿命。

通过分析 YSH1-1 井钻头使用情况及进一步研究认为:对四川台坳川南低陡褶带地层而言, 表层粉砂岩、泥岩地层可选择 SKH517G 型牙轮钻头;峨眉山玄武岩组可选择 DF1606BU 型 PDC 钻头;茅口组、栖霞组和梁山组的大段灰岩地层可选择 HJT537G 型牙轮钻头;罗惹坪组的泥页岩、粉砂岩地层可选择 MD617 型和 MD537 型牙轮钻头;龙马溪组的页岩夹粉砂质泥岩、粉砂岩地层推荐选用优质、高效的 Q506X 型 PDC 钻头。

3.2 堵漏技术

YSH1-1 井钻井过程中发生多次井漏。根据漏失速度、漏失类型和漏失原因, 同时考虑漏层以上的井眼状况, 总结了针对该地区的不同堵漏技术和措施。

3.2.1 随钻堵漏

对于漏失速度小于 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 的小型漏失或渗漏, 采用随钻堵漏方式。

YSH1-1 井一开钻至井深 21.00 m 时出现渗漏, 漏速为 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。通过降低钻井液密度、调整流变参数和排量及改变开泵措施等方法, 减小了地层产生诱导裂缝的可能性。堵漏配方为 10.0% 膨润土 + 4.0% 复合堵漏剂 + 4.0% 超低渗透井壁稳定剂 + 0.8% CMC-HV。

3.2.2 架桥停钻堵漏

对于漏失速度为 $10\sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$ 的一般性裂缝漏失, 可采取高强度架桥停钻堵漏措施。

YSH1-1 井二开钻至井深 635.85 m 时发生井

漏, 漏速为 $28 \text{ m}^3/\text{h}$, 判断为乐平组砂岩裂缝性井漏。立即停钻起钻换钻具, 并不断向环空中注入钻井液, 配复合堵漏钻井液 35 m^3 。注入堵漏钻井液后基本不漏, 静置 9 h 后微渗漏 4 m^3 , 堵漏成功, 该期间共漏失钻井液 87 m^3 。堵漏配方为 4.0% 膨润土 + 8.0% 棉籽壳 + 5.0% 粗核桃壳 + 5.0% 细核桃壳 + 5.0% 玉米芯 + 0.4% PAC。

3.2.3 凝胶或水泥堵漏

对于漏失速度大于 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 的溶洞或大型裂缝性漏失, 若不满足清水强钻条件, 则只能采取水泥浆堵漏措施。

YSH1-1 井三开钻水平井段至井深 2 867.53 m 时, 井口发生失返。立即起钻, 向井筒内注入常规堵漏钻井液 30 m^3 , 静止堵漏无效。注入密度为 1.65 kg/L 的夹江 G 级水泥浆 8 m^3 , 再注入后置液 1 m^3 , 替 21.6 m^3 油基钻井液, 起钻至井深 2 500 m 关封井器憋压。不断泵入油基钻井液(共计 8 m^3), 立压 $0.9\sim 1.5 \text{ MPa}$, 候凝 48 h, 探塞面深 2 768 m, 井内能注满钻井液。

3.2.4 清水强钻

根据滇黔北地区的实钻经验, 当发生大型溶洞性井漏时, 架桥堵漏无法在溶洞漏失通道中形成有效堵塞。若井壁稳定, 井场能储备足够清水, 可采用清水强钻, 快速钻穿漏层。

YSH1-1 井二开钻至井深 807.54 m 时, 井口失返, 漏速约 $74 \text{ m}^3/\text{h}$, 漏层为茅口组灰岩地层。多次采用常规技术堵漏无效, 因上部井壁较稳定, 实施清水强钻直至井深 1 461.00 m 时井下恢复正常, 表明已成功钻穿漏层, 随后继续钻进, 钻过漏层至井深 1 501.62 m 中完。清水强钻时平均机械钻速 6.77 m/h , 共漏失清水 $7 432 \text{ m}^3$, 漏失钻井液 664 m^3 。

3.3 油基钻井液技术

为了充分保护页岩气储层, 强化钻井液的抑制性、造壁性、封堵性、流变性和润滑性, 防止泥页岩水化垮塌和卡钻事故的发生^[6], YSH1-1 井三开井段(1 501.62~3 165.72 m)选用了高密度油基钻井液, 基础配方为 70%~80% 白油 + 10%~12% 氧化沥青 + 3%~4% 有机膨润土 TF-46 + 2.0%~3.2% 主乳化剂 YZG-1 + 1.5% 辅乳化剂 YZG-2 + 1%~2% 润湿剂 YZG-3 + 2% 流型调节剂 M317 + 5% 降滤失剂 YZG-4 + 3% 防塌封堵剂 MP-1 + 5%~10%

生石灰粉 CaO +加重剂 CaCO_3 ,加重剂加量视实钻情况而定。

3.3.1 性能维护措施

根据机械钻速和钻井液消耗量及时补充基液,保证施工安全。实时检测钻井液各项性能指标,若发现异常立即采取以下处理措施:

1) 三开下钻探塞后,用油基钻井液替出井筒内全部水基钻井液,尽量处理掉混浆;根据地层压力系数调整初始钻井液密度后开始钻进,结合钻进气测值和后效气测值,逐步调整钻井液密度。

2) 为抑制龙马溪组页岩水化膨胀,严格控制高温高压失水量,使其小于 8 mL;根据实际钻遇页岩的工况逐渐提高钻井液密度,维持较高破乳电压,维护时保持油水比稳定。

3) 三开进入大斜度井段和水平段后,维持较高的黏度和动切力,提高钻井液的悬浮携砂能力,用白油、有机土、增黏剂、结构剂和润湿剂来调整钻井液的流变性^[7],密切配合短程起下钻等工程措施,最大限度地消除岩屑床,保证井眼通畅。

4) 保持油基钻井液具有良好的电稳定性,破乳电压大于 2 000 V。在钻进中如果地层水侵严重,需要加入乳化剂、润湿剂和石灰进行处理,使电稳定性逐步上升并趋于稳定。

3.3.2 现场应用效果

YSH1-1井三开钻至井深 1 501.62 m 时换用油基钻井液,顺利钻穿罗惹坪组的灰色泥岩,钻至井深 1 844 m 进入龙马溪组的黑色页岩地层。采用逐步提高油基钻井液的密度(最高达到 1.89 kg/L)、抑制防塌性、胶结封堵性、破乳电压大于 450 V 等技术措施,保证了钻进的安全顺利,井下无明显垮塌现象,每次起下钻、接立柱均无阻卡,起钻附加拉力 30~50 kN,下钻摩阻 20~30 kN;三开完钻后,通井、电测、下套管和固井均较为顺利,油基钻井液钻产生的岩屑全部采用燃烧技术处理,同时进行油基钻井液的回收再利用,既降低了钻井液成本,又减小了环境污染。

3.4 优化固井技术

YSH1-1井固井中存在水平段长、套管偏心、井壁界面油湿、恶性井漏频发等技术难题,针对这些难题,改变固井工艺方法,优化水泥浆性能设计,提高顶替效率和界面胶结强度,以满足后期分段压裂改

造对水泥环密封性能的高要求^[8]。

该井二开电测完成后,下原钻具组合通井,因井漏无法建立循环,直接对 500 m 以深井段注稠浆封闭,套管顺利下至 1 498.95 m。因 807.54~813.00 m 井段强漏失,采用了正注反挤吊灌固井工艺。环空吊灌常规水泥浆 4 次共计注入 46.5 m³,候凝 48 h,测得水泥返高 910 m。再泵注 10 m³ 堵漏稠浆后,用水泥注浆 8 m³ 夹江 G 级干混速凝水泥浆,关井憋压候凝 12 h,继续吊灌水泥浆 3.9 m³,井口返出水泥浆,关井憋压候凝 48 h,测固井质量、试压均合格。

三开电测后调整好钻井液性能,用 $\phi 210.0$ mm 双球形稳定器通井,在遇阻卡井段反复划眼至完全畅通。采用刚性滚轮旋流扶正器和弓形弹性扶正器来提高油层套管居中度,具体安放设置及效果见表 2。通过选用优质冲洗液和隔离液、增加水泥浆接触时间、优化顶替液流变性等措施来提高顶替效率^[7];选用加表面活性剂的冲洗液冲洗井壁和套管壁,使其从亲油变为亲水,提高界面水泥胶结强度;全井筒采用清水顶替、憋压候凝技术,增大套管内外压差,减小胶结面微间隙,同时对大斜度和水平段有漂浮顶替作用;采用塑性抗折、抗冲击、防气窜的优质水泥浆,在 1 800 m 以深井段采用高强度低密度水泥浆,关井憋压候凝 48 h,测固井质量、试压均合格。

表 2 YSH1-1井油层套管稳定器安放设置

Table 2 Setting position of production casing centralizer for Well YSH1-1

序号	顶深/m	底深/m	稳定器类型	安放数量	安放间距/m	居中度, %
1	0	1 520	弹性	30	50	96.7
2	1 520	2 245	弹性	24	30	83.7
3	2 245	3 070	刚性	33	30	82.9

4 取得的技术成果

1) 在 YSH1-1井钻井过程中,通过及时调整钻具组合、应用带伽马探管的无线随钻测量技术、随钻测井地质导向技术,成功穿透 895 m 储层,页岩气储层钻遇率 100%,精确控制井眼穿过目的层上部物性较好的储层。

2) 通过现场优选钻头和优化钻井参数,特别是成功应用了 PDC 钻头,探索出了一套适用于昭通页岩气示范区的优快钻井技术。

3) 针对存在大型裂缝或溶洞的复杂地质条件, 研究出了一套切实可行的防漏堵漏技术及配套的特殊固井工艺。

4) 优选了高密度白油基钻井液, 提高了钻井液的抑制性、造壁性和封堵性, 有效防止了泥页岩水化垮塌, 最大程度地保护了油气储层。

5 结论与建议

1) 通过在 YSH1-1 井的探索和技术优化, 有效解决了各项技术难点, 特别在优快钻井技术、防漏堵漏技术、油基钻井液技术和固井工艺方面, 总结出了适合昭通页岩气示范区的钻井完井技术。

2) 对于大斜度及水平井段页岩层发育、极易垮塌的情况, 建议开展储层地应力与岩石(弱面)力学研究, 通过室内试验及实钻资料进行井壁失稳机理分析。为提高钻井液性能, 特别是在页岩地层中的抑制性、造壁性和封堵性, 建议加强油基、合成基高性能钻井液和配套堵漏技术研究。

3) 为实现昭通页岩气示范区安全优快钻井技术, 建议针对该地区地层研磨性和冲击性极强的技术难点, 从耐磨地层破岩机理出发, 研制个性化高效钻头。

4) 针对昭通页岩示范区地层恶性井漏频发的问题, 建议继续开展易漏长封固段固井工艺及水泥浆配方研究, 以满足水平段优质固井质量要求。

参 考 文 献

References

- [1] 沈建中. 页岩 1 井钻井技术难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3): 41-45.
Shen Jianzhong. Drilling technical difficulties and countermeasures in Well Xuanye 1 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 41-45.
- [2] 徐波, 李敬含, 谢东, 等. 中石油探区主要盆地页岩气资源分布特征研究[J]. 特种油气藏, 2011, 18(4): 1-6.
Xu Bo, Li Jinghan, Xie Dong, et al. Distribution of shale gas resources in CNPC exploration area [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(4): 1-6.
- [3] 薛承瑾. 页岩气压裂技术现状及发展建议[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3): 24-29.
Xue Chengjin. Technical advance and development proposals of shale gas fracturing [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 24-29.
- [4] 崔思华, 班凡生, 袁光杰. 页岩气钻井技术现状及难点分析[J]. 天然气工业, 2011, 31(4): 72-75.
Cui Sihua, Ban Fansheng, Yuan Guangjie. Status quo and challenges of global shale gas drilling and completion [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(4): 72-75.
- [5] 王海柱, 沈忠厚, 李根生. 超临界 CO₂ 开发页岩气技术[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3): 30-35.
Wang Haizhu, Shen Zhonghou, Li Gensheng. Feasibility analysis on shale gas exploitation with supercritical CO₂ [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3): 30-35.
- [6] 方俊华, 朱炎铭, 魏伟, 等. 蜀南地区龙马溪组页岩气成藏基础分析[J]. 特种油气藏, 2010, 17(6): 46-49.
Fang Junhua, Zhu Yanming, Wei Wei, et al. Basic geologic analysis of shale gas accumulation in the Longmaxi formation in Shunan region [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(6): 46-49.
- [7] 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.
Tang Daixu, Zhao Jinhai, Wang Hua, et al. Technology analysis and enlightenment of drilling engineering applied in the development of Barnett shale gas in America [J]. Sino-Global Energy, 2011, 16(4): 47-52.
- [8] 刘德华, 肖佳林, 关富佳. 页岩气开发技术现状及研究方向[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(1): 119-123.
Liu Dehua, Xiao Jialin, Guan Fujia. Current situation and research direction of shale gas development [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(1): 119-123.

国外保护油气层疏水暂堵技术

智能 RDF(reservoir drill-in fluids) 油气层保护技术主要采用破胶剂体系, 用于需采用化学处理来预防完井伤害的油气井。然而如果化学破胶剂破胶能力太强或加入的过早, 泥饼破胶太早, 油层会被完全充填, 导致油气层损害。美国 M-I SWACO 公司研究出一种疏水暂堵技术, 利用疏水成分在泥饼中产生亲油通道, 该通道控制滤液的流入, 为油气提供了流动通道。泥饼的水相渗透率非常低, 油相渗透率则相对高得多, 从而减少使用化学破胶剂清除泥饼的时间和成本。疏水暂堵技术主要应用在地层和完井管柱之间的裸眼完井井段。即使在非裸眼完井作业中, 该技术仍然可以使地层在保持较高渗透率恢复率的情况下, 具有更低的流动初始突破压力。

该暂堵技术可以通过调整暂堵液组分来满足环保要求, 具有裸眼砾石充填完井的渗透率恢复率高, 流动初始压力低, 油流通道稳定, 不需化学破胶剂, 节省完井作业时间和费用, 允许油优先产出等特点。

[杨枝 供稿]