

下扬子地区望江拗陷页岩气地质调查 皖望地4井钻井技术

欧阳志勇¹, 徐军军^{*1}, 张培丰¹, 赵志涛¹, 石砥石², 徐秋晨², 戚钢³

(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083;

3. 山东省煤田地质局第一勘探队, 山东 青岛 266427)

摘要:为查明下扬子地区望江拗陷白垩系-二叠系地层岩性和层序、验证地球物理信息、评价油气资源潜力, 中国地质调查局部署了大口径页岩气地质调查井皖望地4井, 完钻井深2503.9 m。针对钻遇地层多变、软硬互层、大段多层膏岩层等复杂情况, 通过钻头适应性优化、钻具组合稳斜纠斜、稳定可靠的钻井液体系等钻探工艺技术的实施, 实现防斜打直快速穿越, 保证了岩心采取率, 实现了钻井目的。该井钻井技术可为周边地区油气钻探提供有益经验。

关键词:页岩气地质调查; 页岩气井; 钻井技术; 防斜打直; 皖望地4井; 望江拗陷

中图分类号: P634.5; TE242 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)06-0113-09

Drilling technology of Well Wanwangdi-4 for shale gas geological survey in the Wangjiang Depression of the Lower Yangtze Area

OUYANG Zhiyong¹, XU Junjun^{*1}, ZHANG Peifeng¹, ZHAO Zhitao¹, SHI Dishu², XU Qiuchen², QI Gang³

(1. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China;

2. Oil and Gas Survey Center, CGS, Beijing 100083, China;

3. The First Exploration Team of Shandong Coalfield Geologic Bureau, Qingdao Shandong 266427, China)

Abstract: In order to investigate the lithology and stratigraphy of the Cretaceous-Permian strata in the Wangjiang Depression of the Lower Yangtze Area, verify the geophysical information, and evaluate the petroleum potential, the Wanwangdi 4 well was deployed by the China Geological Survey, which is a large-caliber shale gas geological survey well, and the total depth of which is 2503.9m. To deal with the complex drilling situation of variable formations, soft and hard interlayers, and large sections of multi-layered mudstone layers, drilling technologies such as bit adaptability optimization, inclination correction and reliable drilling fluid system were implemented to achieve anti-deviation and fast penetration, ensure core recovery rate, and achieve the drilling goals. The drilling technology used in this well can provide useful experience for oil and gas drilling in surrounding areas.

Key words: shale gas geological survey; shale gas well; drilling technology; anti-deviation drilling; Well Wanwangdi-4; Wangjiang Depression

收稿日期: 2023-05-25; 修回日期: 2023-08-15 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.06.015

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“合肥盆地及周缘油气资源战略调查(北京探矿工程研究所)”(编号: DD20201111)、“战略性矿产勘查钻探工程取样查证”(编号: DD20230294)

第一作者: 欧阳志勇, 男, 汉族, 1969年生, 高级工程师, 应用物理专业, 主要从事钻探技术与工艺研究工作, 北京市海淀区学院路29号, oyzhiyong@mail.cgs.gov.cn。

通信作者: 徐军军, 男, 汉族, 1985年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 主要从事钻探技术与工艺、钻探工程管理工作, 北京市海淀区学院路29号, xjunjun@mail.cgs.gov.cn。

引用格式: 欧阳志勇, 徐军军, 张培丰, 等. 下扬子地区望江拗陷页岩气地质调查皖望地4井钻井技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(6): 113-121.

OUYANG Zhiyong, XU Junjun, ZHANG Peifeng, et al. Drilling technology of Well Wanwangdi-4 for shale gas geological survey in the Wangjiang Depression of the Lower Yangtze Area[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(6): 113-121.

0 引言

天然气是一种高效洁净环保的优质能源资源,已成为当今油气工业主要勘探领域。作为一种重要的非常规天然气资源,页岩气的勘探与开发研究受到了广泛关注。我国上扬子地区页岩气勘探取得进展和突破,主要包括四川盆地奥陶系五峰组-志留系龙马溪组,鄂西地区三叠系嘉陵江组-大冶组、二叠系龙潭组-孤峰组。同属扬子地块的下扬子地区,发育有多套厚层富有机质页岩,页岩气勘探开发目前还未取得明显突破^[1-5]。

皖望地4井是中国地质调查局在下扬子盆地安徽省望江县布置的一口大口径地质调查井,通过钻探工程的实施,获取岩心岩屑实物和钻井、测井、录井等相关数据资料,查明地层层序、验证地球物理信息,为评价油气资源潜力和资源勘查开发建设提供必要的科学依据和数据支撑。

1 地质概况

皖望地4井位于安徽省望江县雷池乡,构造属于下扬子盆地望江坳陷江南斜坡带^[3]。通过本井钻探工作,获取岩心岩屑实物资料和测录井数据信息,揭示望江坳陷白垩系-二叠系地层层序,标定已有地球物理资料,深化区域构造演化认识,有利于油气资源潜力评价。

1.1 区域构造及特征

下扬子望江坳陷处于望江-无为对冲带,构造相对稳定,油气资源潜力好。通过对地质地球物理剖面分析,该区处于江南隆起向望江坳陷过渡的冲断抬升带,发育印支期形成的断层相关褶皱,为构造相对稳定单元,对页岩气保存有利,主要目的层埋藏深度适中,适合探索三叠系周冲村组常规油气及二叠系页岩气^[2]。

1.2 钻遇地层

皖望地4井实际钻遇上部地层有2处逆断层,出现地层重复,下部地层层序正常,与设计基本一致,如表1所示。钻遇地层依次为第四系,新近系,古近系,白垩系赤山组,三叠系黄马青组、周冲村组,二叠系吴家坪组,三叠系周冲村组、南陵湖组、和龙山组,二叠系吴家坪组,三叠系和龙山组、殷坑组,二叠系大隆组、龙潭组(吴家坪组、武穴组)、孤峰组、栖霞组。

2 钻探工程实施

2.1 井身质量要求

皖望地4井井身质量执行《钻井井身质量控制规范》(SY/T 5088-2017)^[6],具体要求如下:

(1)全井段最大井斜 $\geq 6^\circ$,全角变化率 $< 3^\circ/30\text{ m}$ 。

(2)井底水平位移 $\geq 50\text{ m}$ 。

(3)目的层平均井径扩大率 $\leq 20\%$ 。

(4)完钻直径215.9 mm,为应对钻井复杂情况,预留一级152.4 mm直径裸眼终孔。

2.2 井身结构

根据地质设计和区域资料,由于望江-无为对冲带存在三叠系膏岩层,2019年皖为页1井钻遇膏岩层时见高压地层,含有高浓度的硫化氢气体,本次钻井应引起高度重视并采取防范措施;三叠系灰岩地层局部可能比较破碎,裂隙、孔洞发育,钻井过程中注意防漏^[7-9]。皖望地4井井身结构设计如下。

导管段,选用 $\varnothing 660.4\text{ mm}$ 钻头,钻进至60 m,入新近系稳定岩层,下入 $\varnothing 508\text{ mm}$ 套管固井;封隔松散表、土层系,建立钻井液循环。

一开拟选用 $\varnothing 444.5\text{ mm}$ 钻头钻穿新近系和古近系,进白垩系赤山组,至260 m,下入 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 表层套管固井,水泥浆返至地面。

二开选用 $\varnothing 311.2\text{ mm}$ 钻头钻穿白垩系,三叠系黄马青组、周冲村组、南陵湖组与和龙山组,进三叠系殷坑组,至2000 m(视情况可提前),下入 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 技术套管固井,水泥浆返至地面。

三开选用 $\varnothing 215.9\text{ mm}$ 钻头钻进至2500 m完钻,钻遇三叠系殷坑组,二叠系大隆组、龙潭组、孤峰组、栖霞组,裸眼测井完钻。

钻探实施过程中,自1009 m进入三叠系周冲村组,由于地层挤压逆冲,钻遇砂泥岩、灰岩、砾石互层,特别是一直伴有厚薄不均的石膏层间断出现,造成钻井液钙侵,钻井液滤失量增大、粘切快速增高(45 s增至200 s),流动性变差,井内缩径、坍塌、漏失均有显现,但并未出现严重漏失现象。

根据实钻地层和施工情况安排,导管段采用 $\varnothing 660.4\text{ mm}$ 钻头钻至64.10 m, $\varnothing 508\text{ mm}$ 套管下深63.10 m,一开采用 $\varnothing 444.5\text{ mm}$ 钻头钻至308.44 m, $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 套管下深307.36 m,二开采用 $\varnothing 311.2\text{ mm}$ 钻头钻至1601.5 m, $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 套管下深1599.85 m,各开次固井顺利,质量合格,三开采用 \varnothing

表 1 皖望地 4 井钻遇地层情况

Table 1 Lithology drilled by Well Wanwangdi-4

| 系 | 组 | 顶深/m | 底深/m | 厚度/m | 地层岩性描述 |
|-----|---------------|------|--------|------|--|
| 第四系 | | 0 | 24 | 24 | 灰黄色黏土、粉砂质粘土、粘土粉砂岩 |
| 新近系 | | 24 | 77 | 53 | 灰白色长石石英砂岩为主,含少量泥砾 |
| 古近系 | | 77 | 205 | 128 | 浅红色细砂岩为主,夹杂色砾岩、砂砾岩及薄层浅红色泥岩 |
| 白垩系 | 赤山组 | 205 | 997 | 792 | 以棕、浅棕色泥岩为主,棕色泥岩、棕色砂砾岩、棕红色细砂岩、粉砂岩互层 |
| | 黄马青组 | 997 | 1009 | 12 | 浅灰、灰色粗砂岩、中砂岩及细砂岩 |
| 三叠系 | 周冲村组 | 1009 | 1293 | 284 | 上部为浅灰色白云质灰岩、灰白色石膏质泥岩、灰色泥质灰岩,下部为棕色灰质角砾岩 |
| 二叠系 | 吴家坪组 (逆断层) | 1293 | 1363 | 70 | 上部为灰色白云质灰岩、泥质灰岩,下部灰黑色泥岩、碳质泥岩 |
| | 周冲村组 | 1363 | 1471 | 108 | 灰色白云质灰岩、泥质灰岩夹薄层灰黑色碳质泥岩及膏岩 |
| 三叠系 | 南陵湖组 | 1471 | 1612 | 141 | 灰色灰岩、泥质灰岩夹薄层深灰色泥岩 |
| | 和龙山组 | 1612 | 1644 | 32 | 灰色灰岩、泥质灰岩 |
| 二叠系 | 吴家坪组 (逆断层) | 1644 | 1661 | 17 | 灰黑色泥岩、碳质泥岩 |
| 三叠系 | 和龙山组 | 1661 | 2028 | 367 | 灰色灰岩、泥质灰岩夹灰黑、深灰色泥岩 |
| | 殷坑组 | 2028 | 2259 | 231 | 上部为灰黄色钙质泥岩夹灰岩,下部深灰色泥质灰岩夹灰黑色钙质泥岩 |
| | 大隆组 | 2259 | 2325 | 66 | 灰黑色硅质页岩夹薄层灰黑色泥质灰岩 |
| | 吴家坪组 | 2325 | 2453 | 128 | 中上部为灰色灰岩、泥质灰岩,下部灰黑色碳质泥岩 |
| 二叠系 | 武穴组 | 2453 | 2477 | 24 | 灰色灰岩、泥质灰岩 |
| | 孤峰组 | 2477 | 2488 | 11 | 灰黑色硅质页岩 |
| | 栖霞组 (未穿) | 2488 | 2503.9 | 15.9 | 灰色灰岩、泥质灰岩 |

215.9 mm 钻头钻至 2503.90 m,裸眼终孔。实钻井身结构如图 1 所示。

2.3 钻探设备

本井设计井深 2500 m,终孔直径 ϕ 215.9 mm,

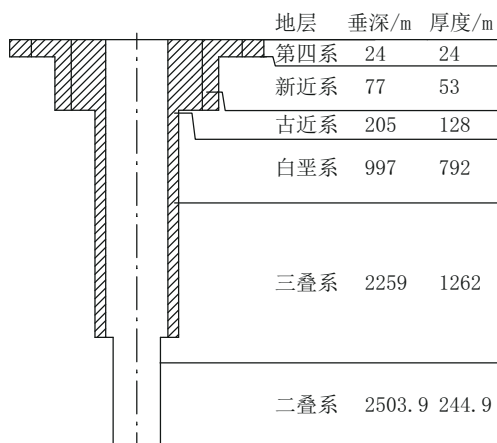


图 1 实钻井身结构

Fig.1 Actual wellbore structure diagram

根据钻机设备负荷能力及满足井深需要,选择 ZJ30 钻机,为保障项目顺利实施,同时配套 2 台套 YX3NB-1300A 泥浆泵配套设备,主要钻井设备见表 2。

2.4 钻具组合

皖望地 4 井各开次钻具组合见表 3。

表 2 主要钻井设备

Table 2 Main drilling equipment

| 序号 | 设备名称 | 型号规格 | 参数 | 数量 |
|----|------|-------------|-------------|----|
| 1 | 钻机 | RT30-1700J | 钩载 1700 kN | 1 |
| 2 | 井架 | JJ170/41-K7 | 钩载 1700 kN | 1 |
| 3 | 转盘 | ZP205 | 静负荷 3150 kN | 1 |
| 4 | 绞车 | JC30 | 功率 550 kW | 1 |
| 5 | 柴油机 | PZ12V190B | 功率 882 kW | 1 |
| 6 | 电动机 | Z12V135/400 | 功率 630 kW | 2 |
| 7 | 泥浆泵 | YX3NB-1300A | 功率 956 kW | 2 |
| 8 | 防喷器 | 2FZ35-35B | 额定压力 35 MPa | 1 |

表3 钻具组合

Table 3 Drilling assembly

| 序号 | 钻进井段/m | 钻具组合 | 备注 |
|----|-----------------|--|--------|
| 1 | 0~64.10 | Ø660.4 mm 牙轮钻头×1.14 m+定向短节×0.66 m+Ø203 mm 钻铤×54.79 m+631×430 接头×0.30 m+接头×0.41 m+方钻杆 | 导管段 |
| 2 | 64.10~308.44 | Ø444.5 mm 牙轮钻头×0.40 m+630×630 接头×0.48 m+Ø203 mm 钻铤×82.22 m+631×410 接头×0.30 m+Ø177.8 mm 钻铤×81.86 m+Ø127 mm 钻杆×143.26 m+下旋塞×0.41 m+方保×0.41 m+方钻杆 | 一开防斜打直 |
| 3 | 308.44~1601.50 | Ø311.2 mm 牙轮/PDC 钻头×0.30 m+630×630 接头×0.50 m+Ø203 mm 钻铤×54.79 m+631×410 接头×0.30 m+Ø177.8 mm 钻铤×72.69 m+Ø127 mm 钻杆×1470.60 m+方保×0.41 m+下旋塞×0.41 m+方钻杆 | 二开防斜打直 |
| 4 | 1601.50~2019.52 | Ø215.9 mm 牙轮钻头×0.25 m+Ø172 mm 1°螺杆×8.10+4A11×410 接头×0.38 m+Ø177.8 mm 钻铤×81.71 m+Ø127 mm 钻杆×1910.11 m+方保×0.41 m+下旋塞×0.41 m+方钻杆 | 三开复合钻进 |
| | 2142.60~2503.90 | Ø215.9 mm PDC 钻头×0.33 m+1°螺杆×8.32 m+4A11×410 接头×0.38 m+Ø177.8 mm 钻铤×91.28 m+Ø127 mm 钻杆×2129.87 m+方保×0.41 m+下旋塞×0.41 m+方钻杆 | |
| 5 | 2019.52~2142.60 | Ø215.9 mm PDC 钻头×0.33 m+1°螺杆×8.32 m+4A11×410 定向接头×0.38 m+Ø165 mm 无磁钻铤+Ø177.8 mm 钻铤×91.28 m+Ø127 mm 钻杆×2043.85 m+方保×0.41 m+下旋塞×0.41 m+方钻杆 | 纠斜 |
| | | Ø215.9 mm PDC 取心钻头+取心双筒×20.58 m+Ø177.8 mm 钻铤×72.69 m+Ø127 mm 钻杆+方保×0.41 m+下旋塞×0.41 m+方钻杆 | |
| 6 | 间隔取心井段 | Ø215.9 mm PDC 取心钻头+取心筒×9.50 m+Ø177.8 mm 钻铤×54.63 m+Ø127 mm 钻杆+方保×0.41 m+下旋塞×0.41 m+方钻杆 | 取心 |

2.5 各开次施工情况

2.5.1 一开钻井

一开钻进井径 Ø444.5 mm, 井段 0~308.44 m。地层为新近系、白垩系含砾, 主要以打直、防塌为主。选用 Ø444.5 mm 钢齿牙轮钻头, 采用双泵大排量、轻压慢转。打完钻铤后再接钻杆, 未出现表土层坍塌、漏失、孔斜超标等现象。

钻进中, 提高钻井液排量带砂, 钻完立柱后循环泥浆充分携砂后再接立柱作业; 钻至一开完钻井深后, 调整维护钻井液粘度, 充分循环后静止探底, 确保无沉砂, 对全井段进行封闭, 为套管一次下入成功打下基础。

2.5.2 二开钻井

二开钻进井径 Ø311.2 mm, 井段 308.44~1601.50 m。

该井段钻遇地层多, 复杂情况多。周冲村组角砾岩和南陵湖组灰岩地层可钻性极差, 裂缝发育充填硬度高的石英脉, 跳钻严重, 地层倾角大、井斜控制困难, 同时钻头磨损严重, 频繁起下钻换钻头, 施

工效率低。周冲村组含石膏地层, 泥浆粘度增长太快, 造成泥浆流变性能差, 泵压不稳。

(1) 二开地层主要使用塔式稳斜钻具组合, 解决跳钻, 控制井斜; 每 100 m 单点测斜, 为保证下套管固井顺利, 将井斜控制在 2° 以内, 加密直井段测斜, 为后期施工做好准备; 针对白垩系软地层, 可采用直螺杆复合钻进, 增加钻铤重量, 控制钻压、提高转速、提高排量, 做到提前控制井斜。

(2) 针对角砾岩、灰岩可钻性差的问题, 优化钻头选型, 避免频繁起下钻。

(3) 针对可能出现的石膏层和硫化氢危害, 采用防钙侵防 H₂S 的钙基钻井液, 添加除硫剂, 避免在周冲村组含石膏地层大排量定点循环, 提高钻井液稳定性, 提前准备好堵漏材料, 防止灰岩地层漏失。

2.5.3 三开钻井

三开钻进井径 Ø215.9 mm, 井段 1601.5~2500 m。

出二开套管后, 南陵湖组灰色灰岩、灰色泥质灰岩、灰黑色泥岩地层使用高速牙轮配合螺杆复合钻

进,机械钻速显著提高。三开钻进中,地层研磨性较强,可选用球形齿的牙轮钻头,防止掉、断齿,延长钻头使用寿命,缩短起下钻频次。

由于地层裂缝发育且倾角较大,特别是间断取心后,宜控压吊打,防止形成增斜趋势。三开至井深2019.52 m,单点测斜井斜增大,后下MWD纠斜稳斜。

钻进中如机械钻速低,需加强监测和优化泥浆

性能,有效携砂,改善井底环境,减少重复破碎。钻进至下部泥页岩地层,在泥浆性能稳定的条件下,出现掉块现象,提高泥浆密度至 1.15 g/cm^3 后,地层相对稳定,无掉块发生。

3 钻探工艺技术分析

3.1 钻探施工进度

皖望地4井施工进度见表4。

表4 钻井施工进度

Table 4 Drilling progress

| 序号 | 井段/m | 施工作业项目 | 计划天数/d | 实际天数/d | 计划累计天数/d | 实际累计天数/d |
|----|-----------------|------------------------------|--------|--------|----------|----------|
| 钻前 | 0~64.10 | 三通一平,设备安装下套管、固井、候候凝、安装、钻进、辅助 | 23 | 18.31 | 23 | 18.31 |
| 一开 | 64.10~308.44 | 一开钻进,测井、固井、装井口 | 12 | 8.58 | 35 | 26.89 |
| 二开 | 308.44~1601.50 | 二开钻进(含两趟取心),固井、测井、装井口 | 45 | 36.50 | 80 | 63.39 |
| 三开 | 1601.50~2503.90 | 三开钻进(含六趟取心)、测井、完钻 | 30 | 43.10 | 110 | 106.49 |

望江区域油气井施工较少,地层复杂多变,本井在钻探工艺、钻头及钻具选择和三开井段取心上耗时较多,但整体施工进度较计划提前,后续类似区域施工可优选钻头和动力钻具组合,匹配合适的钻探工艺措施,提高钻探效率和质量。

3.2 钻探工艺技术

3.2.1 各开次钻头选型

皖望地4井上部含砾石层,中下部有逆断层,部分岩心如图2所示,地层岩性复杂,含砾层,软硬互

层,倾角大,造成钻头选型的困难,提下钻次数较多。针对复杂情况,优化钻头切削具组合和结构设计,匹配合适钻进参数和孔底动力钻具,保证钻探效率^[10-13]。

(1)一开钻头易泥包,选用HJT517牙轮钻头,机械钻速 5.19 m/h ,选用合适的水眼组合以保证足够的钻头水功率,提高破岩能力和携砂能力。

(2)二开上部新进系、白垩系地层含砾石,在钻进中始终有不同程度的跳钻现象,选用HJT517牙

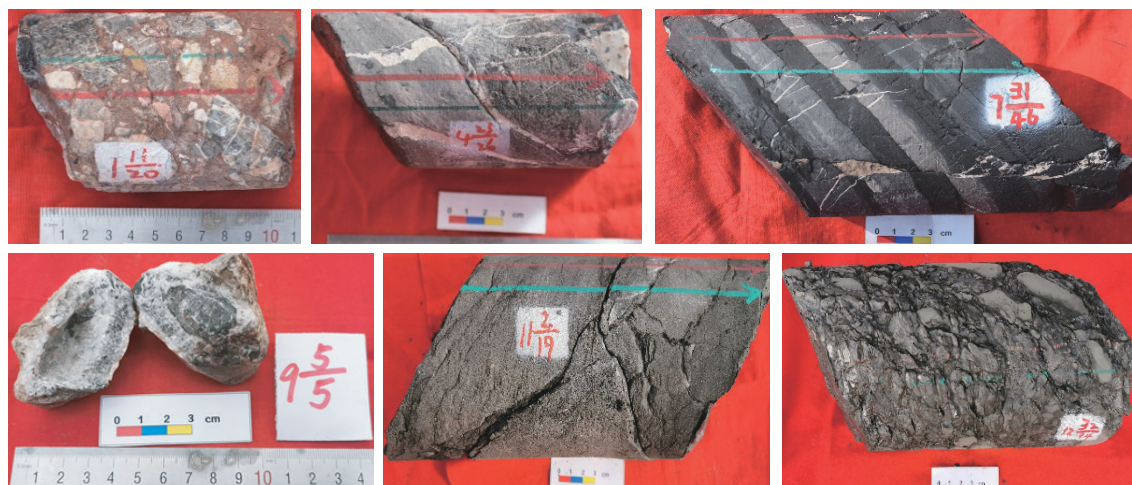


图2 皖望地4井部分岩心照片

Fig.2 Partial cores from Well Wanwagndi-4

轮钻头,加强保径,保证了井眼规则,大直径偏顶勺形内排齿,楔形外排齿,在钻进中采用低转速55~56 r/min,钻压40~60 kN,提高了单只钻头的进尺,延长了钻头的使用时间;白垩系下部和三叠系地层,岩性为浅棕色细砂岩、棕色泥岩、棕色粉砂质泥岩、褐色中砂岩,使用PDC钻头,平均机械钻速3.63 m/h,单只钻头进尺558.45 m,该类型的钻头适合于本地层的钻进;进入南陵湖组灰黑色碳质泥岩、灰色白云质灰岩地层钻进后,地层岩性致密,耐磨性好,可钻性差,使用HJT517牙轮钻头效果不理想。换用PDC钻头至二开完钻,在破碎推覆体地层使用中井身质量较好、钻探效率较高。

(3)在三开二叠系地层,岩石裂隙发育、耐磨性强。使用5刀翼PDC钻头钻进,单只钻头进尺40.49 m后,钻时增大、机械钻速明显下降,上钻检查钻头磨损严重。换用HJT617钻头,纯钻时间相对较长,磨损轻,但机械钻速偏低。使用HJT537G高速牙轮钻头配合螺杆复合钻进,钻探效率明显提高。

3.2.2 取心钻头技术与应用

皖望地4井为大口径地质调查井,取心工作量较大,由于钻遇地层情况可预见性小、复杂多变,针对现场采用长筒提钻取心的工艺,取心钻探工艺特点如下:

(1)切削齿采用较小直径($\varnothing 10\sim 13$ mm)耐冲击复合片与金刚石聚晶组合,增强保径效果,尽可能提高钻头适应性,适应地层软硬变化^[12-14],如图3所示。



图3 聚晶、复合片组合取心钻头

Fig.3 Polycrystalline and PDC combined coring bit

(2)采用5~6刀翼钻头结构,保证复杂工况下钻头平稳钻进。

(3)严格取心钻进工艺措施,做到钻压、排量、转速等参数与复杂地层的精确匹配。

3.2.3 钻井液技术

依据本井地质、工程设计,参考邻井资料^[15-19],针对该井地质条件及钻井施工的复杂性,室内在钻井液体系选择、处理剂优选及配伍性、润滑防塌和高温高密度条件下的钻井液性能维护与处理等方面进行了研究试验,最终确定各开次主要钻井液体系与配方如下:

(1)导管段、一开低固相钻井液:淡水+0.2%烧碱+3%~8%膨润土+0.3%~0.8%增粘剂。一开钻遇地层层位:新近系、古近系、白垩系地层,主要岩性:灰岩、白云岩、砾岩、砂岩。

(2)二开钻遇地层层位:白垩系、三叠系、二叠系,主要岩性:泥岩、砂岩、白云质灰岩。采用双聚防塌钻井液:淡水+0.2%烧碱+2%~4%膨润土+0.5%~1.5%降失水剂GPNH+0.5%~1.5%降失水剂GPNA+0.5%~1%接枝淀粉+1%~2%随钻堵漏剂+0.2%~0.5%增粘剂+0.2%~0.3%包被剂。

(3)三开钻遇地层层位:二叠系,主要岩性:灰岩、泥页岩。维持双聚防塌钻井液体系,并在二开钻井液性能基础上,提高降失水材料的加量,进一步降低滤失量,减少水进入泥页岩地层造成吸水膨胀、坍塌缩径等问题。

(4)二开钻遇石膏层,地质预告有硫化氢溢出风险。长井段多次钻遇石膏层,造成现场钻井液性能大幅变化,很难保证正常施工工艺与井内安全。在现场双聚防塌钻井液体系基础上,通过实验室分析研究和现场试验,钻井液钙侵后不添加纯碱除钙,而是添加烧碱和除硫剂,提高pH值控制游离钙离子含量并预防硫化氢,添加稀释剂调整钻井液流变性,添加降滤失剂控制钻井液滤失量。实际钻井液性能:漏斗粘度(马氏)控制在37~45 s,密度1.08~1.14 g/cm³、滤失量6~7 mL/30 min,pH值9~12。钻井施工中每次起钻无遇阻,下钻畅通,一次到底;二开完钻电测4趟,起下仪器顺利,井径规则,提高了测井效率,并给后面下套管施工奠定了基础,固井施工安全顺利。

3.3 井控设备

为确保钻井施工安全,进入油气地层的二开、三开井段,做好全员井控培训与安全演练;二开、三开井口配备2FZ35-35B型双闸板防喷器、JG35-35型节流管汇与YG35-35型压井管汇,配齐便携式和固

定式硫化氢检测仪、FKQ640-6型远控房、液气分离器与点火装置。

4 工程质量分析

4.1 取心质量

皖望地4井钻进期间共取心13次,进尺88.96 m,岩心长76.44 m,岩心直径80~100 mm,采取率85.93%,达到设计要求,取心情况见表5,取心工具如图4所示。

表5 皖望地4井取心统计

| 序号 | 层位 | 井段/m | 进尺/ m | 心长/ m | 采取 率/% |
|----|------|-----------------|----------|----------|-----------|
| 1 | 周冲村组 | 1254.48~1259.48 | 5.00 | 4.46 | 89.2 |
| 2 | 周冲村组 | 1259.48~1264.66 | 5.18 | 5.15 | 99.42 |
| 3 | 吴家坪组 | 1351.62~1362.79 | 11.17 | 10.70 | 95.79 |
| 4 | 和龙山组 | 1757.86~1762.52 | 4.66 | 3.94 | 84.55 |
| 5 | 和龙山组 | 1762.52~1766.52 | 4.00 | 3.90 | 97.50 |
| 6 | 殷坑组 | 2211.53~2221.28 | 9.75 | 9.50 | 97.44 |
| 7 | 大隆组 | 2278.19~2285.04 | 6.85 | 6.77 | 98.83 |
| 8 | 吴家坪组 | 2366.65~2372.70 | 6.05 | 3.55 | 58.68 |
| 9 | 吴家坪组 | 2423.57~2427.71 | 4.14 | 0.40 | 9.66 |
| 10 | 吴家坪组 | 2427.71~2435.86 | 8.15 | 4.06 | 49.82 |
| 11 | 吴家坪组 | 2435.86~2438.56 | 2.70 | 2.70 | 100 |
| 12 | 吴家坪组 | 2438.56~2447.97 | 9.41 | 9.41 | 100 |
| 13 | 栖霞组 | 2492.00~2503.90 | 11.90 | 11.90 | 100 |
| 合计 | | | 88.96 | 76.44 | 85.93 |



图4 长筒取心钻具取心钻头

Fig.4 Long-barrel coring tools and coring bits

4.2 井身轨迹质量

皖望地4井实测在2015.00 m处最大井斜角为3.76°,测量井段内井底闭合方位为127.12°,闭合位移逐渐增大,在2190.00 m闭合位移最大41.45 m,井底闭合位移31.32 m,全角变化率在2140 m最大值1.74%。水平位移、全角变化率和井斜均小于设计值,井眼轨迹符合钻井工程设计要求。

4.3 井径控制

皖望地4井各开次井径见表6,井径扩大率均<15%,符合钻井工程设计要求。

表6 各开次井径数值

| 开次 | 起始深 度/m | 结束深 度/m | 平均 井径/ mm | 钻头 直径/ mm | 扩大 率/% | 设计 扩大 率/% | 评述 |
|----|------------|------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|----|
| 一开 | 63.10 | 308.44 | 455.2 | 444.5 | 2.41 | 20 | 合格 |
| 二开 | 307.36 | 1600.00 | 342.8 | 311.2 | 10.15 | 20 | 合格 |
| 三开 | 1599.85 | 2503.90 | 239.3 | 215.9 | 10.84 | 15 | 合格 |

5 取得的成果

5.1 查明井位地区地层情况

皖望地4井完井井深2503.9 m,通过实施测录井工程和目的层间隔取心工作,获取了全井段岩屑和综合测录井数据、部分地层岩心,钻遇望江地区二叠系完整地层序列,揭示了望江坳陷白垩系-二叠系地层层序,为区域基础地质研究、油气资源发现奠定了良好基础。

5.2 获取油气显示情况

皖望地4井钻井工程,获取2503.9 m岩屑、76.44 m地层岩心、2503.9 m综合测录井数据,本井共钻遇不同级别的油气显示层28层,累计厚度193.86 m,气测异常11层,累计厚度84.92 m,地化TOC异常17层,累计厚度108.94 m。本井油气显示较好,显示层位主要集中在殷坑组、大隆组、吴家坪组、孤峰组。

5.3 先进钻探技术应用示范

皖望地4井发挥北京探矿工程研究所钻探优势技术,整合了钻头钻具技术^[20-22]、钻井液及固控技术,应用于现场油气钻探施工。

(1)长筒取心技术。采用射流式取心结构设计、内涂层岩心管等关键技术,提高复杂地层的取心效

果,可配双筒(18 m)或三筒(27 m),配合针对不同地层设计的隔水底喷钻头和聚晶复合钻头,采取合适的操作工艺,可明显提高取心收获率、钻头适应性和取心钻进效率。

(2)防H₂S防钙侵饱和钙基钻井液。根据皖望地4井长段石膏层出现的钙侵预防H₂S的需求,保证高效取心、钻进提速和井壁安全,成本也大幅降低。

(3)耐冲击高耐磨金刚石复合片钻头碎岩技术。针对钻遇软硬互层变化快、硬地层坚硬致密复杂地层,通过钻头切削具的碎岩机理研究,合理化切削具组合排布、优化钻头水力结构、精密化钻头焊接和加工工艺,提高复合片钻头适应性,获取更快钻进速度、延长钻头使用寿命。

(4)随钻防斜打直技术。钻遇地层软硬互层频繁,地层倾角大,易井斜,采用稳斜控斜钻进参数和PDC钻头+单弯螺杆+MWD钻具组合,打直提速效果显著。

(5)保压密闭取心钻进技术。钻井现场试验了保压密闭取心钻具及配套保压取心钻头,取得了良好效果。该型钻具为提钻式双动双管取心钻具,使岩样出井后能够保持与地层原位压力相近的压力,减少岩样油、气组分的流失,为后期研究提供更准确的地质资料。

(6)井场环保措施。钻探井场地处农田,现场优选土地复垦方案,钻前钻后做好耕植土剥离和回填,施工中配合固控循环和使用可降解泥浆材料,做好污染物隔离防渗处理,做到绿色环保钻探^[23-24]。

6 结语

在皖望地4井钻井施工中,针对下扬子望江坳陷地层多变、软硬互层的钻探复杂情况,应用北京探矿工程研究所自有钻头岩石切削工艺、稳定可靠的钻井液体系和系统全面的钻探工艺措施,实现在坚硬致密白云岩、石英砂岩和膏岩层、大倾角地层、砾石层等地层防斜打直快速穿越;复杂地层高效长筒取心、气层密闭保压取心、堵漏护壁环保钻井液体系等钻井器具与材料技术应用,安全高效环保实施钻、测、录、固井各项工程,为区域油气调查钻探技术体系建立提供有益经验,为开辟长江下游油气调查新领域发挥支撑作用。

参考文献(References):

- [1] 石砥石,徐秋晨,郭睿良,等.下扬子地区望江坳陷二叠系富有机质页岩孔隙结构特征与影响因素[J].天然气地球科学,2022,33(12):1911-1925.
SHI Dishu, XU Qiuchen, GUO Ruiliang, et al. Pore structure characteristics and main controlling factors of Permian organic-rich shale in Lower Yangtze Platform [J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(12): 1911-1925.
- [2] 李建青,章诚诚,黄正清,等.下扬子复杂构造区超高压含气层的发现及油气富集关键要素[J].地质通报,2021,40(4):577-585.
LI Jianqing, ZHANG Chengcheng, HUANG Zhengqing, et al. Discovery of overpressure gas reservoirs in the complex structural area of the Lower Yangtze and its key elements of hydrocarbon enrichment [J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(4): 577-585.
- [3] 朱迪斯,赵洪波,刘恩然,等.长江下游(安徽)地区页岩气钻井工程难点及对策分析[J].钻探工程,2022,49(5):11-21.
ZHU Disi, ZHAO Hongbo, LIU Enran, et al. Shale gas drilling difficulties and their solutions in the lower reach of the Yangtze River (Anhui) [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 11-21.
- [4] 何远信,胡志方,单衍胜,等.公益性陆域油气地质调查钻探工程技术进展与攻关建议[J].钻探工程,2022,49(5):3-10.
HE Yuanxin, HU Zhifang, SHAN Yansheng, et al. Advances and research suggestions for onshore oil & gas survey drilling engineering for the public benefit [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 3-10.
- [5] 张文浩,高永进,周新桂,等.公益性油气基础地质调查的进展与发展方向[J].地质学报,2021,95(5):1630-1643.
ZHANG Wenhao, GAO Yongjin, ZHOU Xingui, et al. The new prospecting and direction of non-profit petroleum basic geological survey in China [J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(5): 1630-1643.
- [6] SY/T 5088—2017, 钻井井身质量控制规范[S].
SY/T 5088—2017, Specification for wellbore quality of drilling [S].
- [7] 闫家,曹龙龙,胡晨,等.望江凹陷页岩油气地质调查皖望地2井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):30-38.
YAN Jia, CAO Longlong, HU Chen, et al. Drilling technology of Well Wanwangdi-2 for shale oil and gas geological survey in Wangjiang Sag [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 30-38.
- [8] 赵志涛,蒋睿,卢彤,等.下扬子页岩气地质调查井的溶洞识别与处理[J].钻探工程,2022,49(5):22-29.
ZHAO Zhitao, JIANG Rui, LU Tong, et al. Karst cave identification and treatment for a Lower Yangtze shale gas geological survey well [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 22-29.
- [9] 刘文武,朱文鉴,赵洪波,等.鄂西地区页岩气地质调查鄂建地4井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):39-47.
LIU Wenwu, ZHU Wenjian, ZHAO Hongbo, et al. Drilling technology of Well Ejiandi-4 for shale gas geological survey in

- western Hubei[J]. *Drilling Engineering*, 2022,49(5):39-47.
- [10] 沈立娜,贾美玲,蔡家品,等. 金刚石钻头高效破岩技术新进展[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2022,42(6):662-666.
SHEN Lina, JIA Meiling, CAI Jiapin, et al. New development of efficient rock breaking technology with diamond bit[J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2022,42(6):662-666.
- [11] 赵洪波,朱芝同,梁涛,等. 页岩气基础地质调查钻井技术进展及展望[J]. *中国地质*, 2023,50(2):376-394.
ZHAO Hongbo, ZHU Zhitong, LIANG Tao, et al. Shale gas geological survey drilling technologies: Progress and prospect [J]. *Geology in China*, 2023,50(2):376-394.
- [12] 邓思洪,但斌斌,容芷君,等. 混合钻头对软硬交错地层破岩特性的仿真研究[J]. *武汉科技大学学报*, 2022,45(1):46-52.
DENG Sihong, DAN Binbin, RONG Zhijun, et al. Simulation study on rock-breaking characteristics of hybrid drill bit in soft and hard interbedded strata[J]. *Journal of Wuhan University of Science and Technology*. 2022,45(1):46-52.
- [13] 张涛,韩成,刘贤玉,等. 油钻井PDC钻头技术应用现状与展望[J]. *化学工程与装备*, 2021(12):104-105.
ZHANG Tao, HAN Cheng, LIU Xianyu, et al. Application status and prospect of PDC bit technology in oil drilling [J]. *Chemical Engineering and Equipment*, 2021(12):104-105.
- [14] 沈立娜,吴海霞,蔡家品,等. 高效耐冲击复合片取心钻头的研制与应用[J]. *钻探工程*, 2021,48(S1):366-369.
SHEN Lina, WU Haixia, CAI Jiapin, et al. Development and application of high-efficiency and impact-resistance PDC core bits[J]. *Drilling Engineering*, 2021,48(S1):366-369.
- [15] 纪卫军,张明德,赵长亮,等. 青海省冷湖镇钾矿资源调查评价项目冲洗液技术研究及应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*. 2016,43(1):54-57.
JI Weijun, ZHANG Mingde, ZHAO Changliang, et al. Technical research and application of flushing fluid in the potassium ore resource investigation and evaluation project in Lenghu Town, Qinghai Province [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016,43(1):54-57.
- [16] 李攀义,单文军,储伟,等. 双聚防塌冲洗液体系在GHW2井中的应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2015,42(5):12-15.
LI Panyi, SHAN Wenjun, CHU Wei, et al. Application of bi-polymer anti-caving drilling flushing liquid system in Well GHW2[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2015,42(5):12-15.
- [17] 李田周,陶士先,熊正强. 磷石膏地层用钙基成膜环保冲洗液研究与应用[J]. *钻探工程*, 2023,50(1):49-54.
LI Tianzhou, TAO Shixian, XIONG Zhengqiang. Development and application of calcium-based film-forming environment-friendly drilling fluid for phosphogypsum formation[J]. *Drilling Engineering*, 2023,50(1):49-54.
- [18] 翟扬,赵新瑞,姜敬华. 白云岩及盐膏岩层安全钻井技术[J]. *钻采工艺*, 2001,24(3):17-18.
ZHAI Yang, ZHAO Xinrui, JIANG Jinghua. Safety drilling technology in dolostone and evaporite bed [J], *Drilling & Production Technology*, 2001,24(3):17-18.
- [19] 蔡晓文,李晓东,牛彦杰,等. 甘肃山丹花草滩煤矿扩大区煤炭详查钻井液工艺与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020,47(11):56-60.
CAI Xiaowen, LI Xiaodong, NIU Yanjie, et al. Drilling fluid technology and application in detailed coal exploration in the extended area of Huacaotan Coal Mine, Shandan, Gansu [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020,47(11):56-60.
- [20] 梁秋平,欧阳志勇,吴海霞,等. Ni-P-W合金镀层在钻探岩心管中的应用[J]. *地质装备*, 2019,20(2):22-26.
LIANG Qiuping, OUYANG Zhiyong, WU Haixia, et al. The application of Ni-P-W alloy coatings in core drilling pipe [J]. *Equipment for Geotechnical Engineering*, 2019,20(2):22-26.
- [21] 刘协鲁,陈云龙,阮海龙,等. 保压取样技术应用现状综述[J]. *地质装备*, 2021,22(6):9-13
LIU Xielu, CHEN Yunlong, RUAN Hailong, et al. Overview of the application status of pressure maintaining sampling technology [J]. *Equipment for Geotechnical Engineering*, 2021,22(6):9-13.
- [22] 邓都都,阮海龙,赵义,等. 保压取样钻具内岩心温压采集器的研制与应用[J]. *钻探工程*, 2022,49(6):116-121.
DENG Dudu, RUAN Hailong, ZHAO Yi, et al. Development and application of the temperature and pressure collector in the pressure core sampler [J]. *Drilling Engineering*, 2022,49(6):116-121.
- [23] 宁国忠. 土地复垦政策研究[J]. *城市建设理论研究(电子版)*, 2013,32:2095-2104.
NING Guozhong. Research on land reclamation policy [J]. *Theoretical Research on Urban Construction (Electronic Version)*, 2013,32:2095-2104.
- [24] 周华. 重庆永兴1井钻探用地复垦工作探析[J]. *工程技术(引文版)*, 2017(1):241.
ZHOU Hua. Exploration of land reclamation work for Well Yongxing-1 Drilling in Chongqing [J]. *Engineering Technology (Cited Edition)*, 2017(1):241.

(编辑 王文)