

大同盆地北部油气预查钻井工程实践

徐学军

(山西省地质勘查局二一七地质队,山西大同 037008)

摘要:大同盆地北部油气预查施工区地层主要为泥岩、砂质泥岩、炭质泥岩和砂砾岩不等厚互层。上部砂砾层胶结松散、破碎,易掉块坍塌;泥岩水敏性强,易分散造浆,护壁困难,钻进中易产生卡钻及粘附卡钻。设计井深一般为1000~3000 m,钻进中合理采用了不同类型、结构的钻头,钻具和取心工具,调整了钻进技术参数,并选用了双聚-成膜无固相钻井液体系及其它相应的工艺技术措施,孔壁稳定,保证了正常施工。其中也顺利完成了侧钻井施工任务,均取得了较好的效果。

关键词:油气勘探;取心技术;侧钻井;双聚-成膜无固相钻井液

中图分类号:P634;TE24;TE25 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)06-0052-06

Drilling Engineering Practice of Oil and Gas Pre-exploration in Datong Basin/XU Xue-jun (The 217 Geological Team, Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau, Datong Shanxi 037008, China)

Abstract: In the oil and gas pre-exploration in northern part of Datong basin, the construction area formation is interbedded mainly with mudstone, sandy mudstone, carbonaceous mudstone and sandy conglomerate, loose cemented gravel in upper part, which are broken with block falling, and mudstone has strong water sensitivity and is easy to disperse and mud making, wall protection is difficult, blocking and sticking occur in drilling process. The designed well depth is generally 1000~3000m, different types and structures of drill bit, tools and coring tool are adopted, drilling parameters are adjusted. Dual polymer filming non-solid drilling fluid system is selected together with corresponding technological process and measures to realize wall stability and the side tracking are successfully completed.

Key words: oil and gas exploration; coring technology; side tracking; dual polymer filming non-solid drilling fluid

1 工程概况

大同盆地北部油气预查勘探是山西省地勘基金项目,也是省经济发展战略计划开发重点项目之一。位于大同市西部,毗邻山阴、怀仁和左云三县,区域面积约9200 km²,由我队承担组织施工。按照设计,钻井顺序由南至北,先进行小口径预查后再进行大口径勘探试井。主要目的是获取石炭、二叠系各地层及岩心组合特征,查明二叠系保德组底部与右所堡组不整合接触面地层的特征和含油气特征,初步评价区内油气成分、含量、分布规律和影响因素,评价其潜在资源量,为油气层普查提供地质依据。

2014年4月开始投入施工,至2017年3月共完成探井2眼,参数井3眼,完成钻探工作量共8012 m,产值3000万元。主要集中在该区南部山阴北周庄—怀仁鹅毛口一带,面积约2100 km²。先期施工的DY-1井在井深1806~1864 m处气测显示全烃含量0.7%~9.31%,天然气储层厚度64.02 m,储

层压力18.45 MPa,经反复研究论证,区内资源前景可观,勘探工作渐进式向北延伸,预计中—北部钻井深度可达4000~5000 m,据有关规划设计预计近年内完成全部预查勘探工作任务。

2 构造、地层特征及钻井施工难度

2.1 构造及地层特征

大同盆地北部在大地构造上位于中朝地台中北部,跨山西断裂隆起区和燕山台褶带两个二级构造单元,经历了地槽、地台及大陆边缘地台演化三个演化阶段。该区南部山阴北周庄—怀仁鹅毛口一带地层自上而下一般为:上部为第四系覆盖层0~80 m;下部棕红色、黑色、红色泥岩,砂质泥岩,炭质泥岩,砂质页岩,砂岩和砂砾岩不等厚互层,深80~1880 m,该段上部砂砾岩胶结极为松散、破碎,最大厚度350 m,平均200~260 m;底部为角闪片麻岩,相对完整。

收稿日期:2017-04-12

作者简介:徐学军,男,汉族,1962年生,钻探工程专业,从事探矿工程技术及管理工作,山西省大同市永泰南路79号,13403420703@163.com。

2.2 施工难度

由于砂砾岩大多呈半胶结状,松散、破碎,局部较厚;泥岩水敏性强,膨胀性大。钻进中极易产生坍塌、掉块、缩径、分散造浆,护壁困难且难于采心,并易导致井内事故。给钻探施工带来较大困难,阻碍了钻井施工的正常进行。

3 钻井工艺技术

3.1 主要设备及附属设备选择

3.1.1 探井设备选择

探井设计深度 < 2000 m,为小口径钻探,主要设备选择为:YDX-1800A型全液压履带式 and XY-8B型立轴深孔岩心钻机,配BW300/16B型交流变频泥浆泵,200 kW柴油发电机组(康明斯NTA855-GA,拖车式)。

3.1.2 参数井设备选择

参数井设计深度 2000 ~ 3000 m,为大口径钻探,主要设备选择为:ZJ45型钻机;ZJ45型井架,高度 47.6 m;3NB-1300型泥浆泵 2 台;PZ12V-190型柴油机 3 台,总功率 2646 kW;440 kW P550EL型发电机 2 台;三级搅拌固控净化系统(ZJ202型);闸板防喷器(FZ35-35,35 MPa);液压防喷控制器。

钻机、三级搅拌固控净化系统和闸板防喷器见图 1。

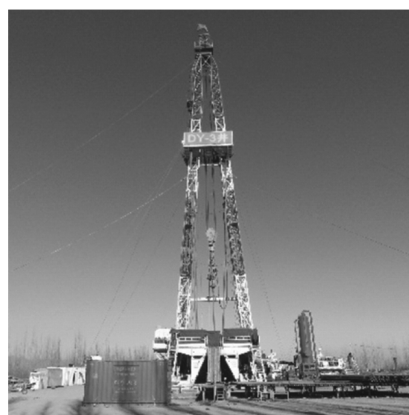
3.2 钻进工艺

3.2.1 钻进方法及井身结构

探井穿过第四系覆盖层后采用金刚石(复合片)小口径绳索取心钻进工艺;一开 $\varnothing 153$ mm 下 $\varnothing 146$ mm 套管,深 80 m;二开 $\varnothing 122$ mm 下 $\varnothing 114$ mm 套管,深 600 m;三开 $\varnothing 98$ mm,四开 $\varnothing 75$ mm。钻进中根据实际情况在条件许可原则下坚持预留最小口径($\varnothing 75$ mm)。

参数直井采用 PDC 钢齿(镶齿)五齿刮刀钻头钻进工艺,侧钻井采用 1.5° 单斜螺杆马达(动力钻具)定向钻进工艺。一开 $\varnothing 346.10$ mm 下 $\varnothing 273.10$ mm 套管后水泥固井,深 220 m,二开 $\varnothing 215.90$ mm,视油气特征,若需下套管则下 $\varnothing 139.70$ mm 套管至井底后水泥固井,后通过射孔压裂试井。目的层段采心采用同径金刚石绳索取心钻头钻进,一径完钻。

3.2.2 钻具(组合)特征、钻头类型选择及钻井参数



ZJ45型钻机



三级固控净化系统



闸板防喷器

图 1 钻机、三级固控净化系统和闸板液压防喷器

探井采用金刚石小口径绳索取心钻具,钻头类型选择为金刚石(或复合片)绳索取心钻头,外径比常规大 3 mm,泥岩钻进中一般选用复合片绳索取心钻头,利于克取岩石,排除岩粉,提高时效。钻进参数一般选择为:压力 7 ~ 12 kN,转速 150 ~ 650 r/min,泵量 75 ~ 135 L/min;松散、破碎砾岩钻进中因压力过大易造成孔斜,钻杆、钻具折断,转速过高,钻杆撞击孔壁使孔壁不稳,应以中压、低速、小泵量为主。

参数直井钻具组合如下。

一开: $\varnothing 346.10$ mm 钻头 + $\varnothing 177.8$ mm 钻铤 9 根 + $\varnothing 127$ mm 钻杆。

二开常规钻具: $\varnothing 215.90$ mm 钻头 + 止回阀 + $\varnothing 177.80$ mm 钻铤 12 根 + $\varnothing 127$ mm 钻杆。

二开钟摆钻具: $\varnothing 215.90$ mm 钻头 + 止回阀 +

Ø177.80 mm 钻铤 2 根 + Ø212 mm 螺旋扶正器 + Ø177.80 mm 钻铤 10 根 + Ø127 mm 钻杆。

目的层采心组合钻具:原组合钻具 + Ø215.90 mm 金刚石取心钻头 + Ø177.80 mm 绳索式半合管取心工具 + Ø127 mm 钻杆。

钻进参数:压力 100 ~ 140 kN, 转速 90 ~ 120 r/min, 排量 28 ~ 35 L/s, 泵压 8 ~ 15 MPa。一开钻进采用轻压、慢转、小排量, 钻头一般选择为 PDC 钢齿(镶齿)五齿刮刀钻头(HAT127/HJ517G), 上部使用钢齿钻头, 由于泥岩较多, 地层相对较软, 易于克取岩石; 下部地层相对较硬, 使用镶齿钻头, 易于提高时效。

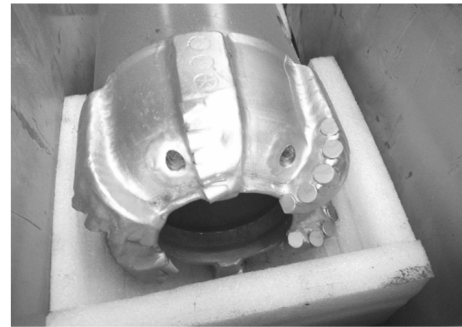
3.2.3 取心技术

探井采用金刚石小口径绳索取心钻具采取岩心, 松散、破碎层采用屏蔽式莲蓬卡簧, 控制钻井参数及回次进尺, 适当降低钻压、转速, 控制泵压; 参数井目的层取心段一般在 1800 ~ 1885 m 之间, 长约 85 m, 采用金刚石大口径绳索取心底喷钻头, 屏蔽式莲蓬卡簧, 绳索半合管(Ø215 mm 金刚石绳索取心钻头、莲蓬卡簧见图 2) 同径取心, 一钻完钻的工艺措施, 有效地保证了岩心采取率满足地质设计要求。

3.3 钻井液的应用

3.3.1 钻井液类型选择

正确、合理地选择钻井液类型及性能特点是钻井



φ215mm 金刚石绳索取心钻头



莲蓬卡簧

图 2 取心钻头及卡簧

能否成功的关键之一。据油气勘探钻井液特点及地层情况选用了双聚 - 成膜无固相钻井液体系, 该体系具有较强的抑制性, 防塌效果好, 低滤失量, 流变性好, 携砂能力强, 润滑性好, 减少振动使用方面。

3.3.2 钻井液配方及性能

钻井液配方及性能见表 1。

表 1 钻井液配方及性能

井类	体系	配 方	性能参数
探井	双聚防塌无固相钻井液	0.15% ~ 0.4% 包被剂(BBJ) + 1.0% ~ 1.5% 降失水剂(GPNA) + 1.0% ~ 1.5% 增粘剂(KP241) + 1.5% ~ 2% 随钻堵漏剂(GPC)	漏斗粘度 20 ~ 28 s; 密度 1.03 ~ 1.05 g/cm ³ ; API 滤失量 ≤ 8 mL/30 min
	成膜防塌无固相钻井液	0.15% ~ 0.4% 包被剂(BBJ) + 1.0% ~ 1.5% 降失水剂(GPNA) + 1.0% ~ 1.5% 增粘剂(KP241) + 1.5% ~ 2% 随钻堵漏剂(GPC) + 0.5% ~ 1.0% 环保型固体润滑剂 + 2.0% ~ 4.0% 成膜 A 型	漏斗粘度 20 ~ 28 s; 密度 1.04 ~ 1.08 g/cm ³ ; API 滤失量 ≤ 6 mL/30 min
参数井	双聚防塌无固相钻井液	2% ~ 4% 包被剂(BBJ) + 2% ~ 3% 降失水剂(GPNA) + 2.5% ~ 4% 增粘剂(KP241) + 0.5% ~ 1% 改性铵盐 + 2% ~ 3% 磺化酚醛树脂 + 1.5% ~ 2% 防塌降粘降滤失剂	漏斗粘度 35 ~ 37 s; 密度 1.10 ~ 1.12 g/cm ³ ; API 滤失量 ≤ 6 mL/300 min
	成膜防塌无固相钻井液	2.5% ~ 5% 包被剂(BBJ) + 2% ~ 3% 降失水剂(GPNA) + 2.5% ~ 4% 增粘剂(KP241) + 0.5% ~ 1% 改性铵盐 + 2% ~ 3% 磺化酚醛树脂 + 1.5% ~ 2% 防塌降粘降滤失剂 + 3% ~ 5% 成膜 A 型	漏斗粘度 37 ~ 41 s; 密度 1.11 ~ 1.13 g/cm ³ ; API 滤失量 ≤ 5 mL/30 min

3.3.3 钻井液的配制

开孔为黄土覆盖层一般采用: 0.5% ~ 3% 聚丙烯酰胺干粉(PAM) + 2% ~ 5% 增粘剂(KP241) + 0.2% ~ 1.0% 抗盐共聚物(GTQ)。性能: 漏斗粘度 20 ~ 30 s, 密度 1.03 ~ 1.10 g/cm³。钻进中根据地层情况按照配方添加其它处理先将其逐步转化为双聚防塌钻井液体系, 而后再根据地层变化情况按配方

及时添加成膜 A 剂再将其转化成成膜防塌无固相钻井液体系, 严重破碎、坍塌、掉块地层可再添加 2% ~ 5% 成膜 B 剂。

3.3.4 钻井液的现场维护管理

(1) 探井施工须配置旋流除砂器, 布置泥浆坑 1 个(>15 m³), 沉淀坑 3 个(>10 m³), 循环系统长度 ≥ 20 m, 每 5 m 加挡板 1 个, 据场地情况尽量增长

循环长度,及时清理循环槽及沉淀坑内沉渣。每天定时补充新浆 $1\sim 3\text{ m}^3$ 。

(2)参数井采用容量 30 m^3 三级搅拌净化固控系统,布置沉渣池($650\sim 800\text{ m}^3$),上部浆液可回收利用。

(3)探井配置泥浆机台配套仪,专人专职负责钻井液技术工作,参数井设有钻井液性能测试室,定时测定钻井液的性能指数,并据地层要求及时调整钻井液性能指标,满足地层要求。

(4)松散、破碎层及时转化钻井液体系,将双聚防塌钻井液及时转化为成膜防塌无固相钻井液体系,据地层情况及时调整各种处理剂加量,保证孔壁稳定。视情况可将成膜防塌钻井液中再加入 $2\%\sim 4\%$ 成膜B剂,松散、破碎层区段钻井液的防塌效果更加明显,DY-2井钻进至510 m时,井内出现掉块、坍塌现象,地层为黑色砂质泥岩(见图3),分散性较强,在原浆液体系中添加了成膜B剂,孔壁逐渐稳定,顺利钻进至终孔。



图3 DY-2井岩心(508~514 m)

3.3.5 双聚-成膜防塌无固相钻井液的作用效果

(1)具有较强的水化抑制能力,防塌效果好。主要是利用处理剂中 $\text{K}^+(\text{NH}_4^+)$ 的镶嵌作用及聚合物的包被作用,阻止了地层中水敏性地层(粘土)在原有水化状态下进一步水化的能力,使得水敏性地层不易产生分散和水化膨胀,从而抑制坍塌掉块,保护孔壁稳定。

(2)在探井小口径绳索取心钻进中,低密度、低切力有利于提高转速,在液流惯性离心力以及化学处理剂粘结等因素共同作用下,能使绳索钻杆内减少泥皮,并在孔壁上形成薄而韧的泥皮,减少失水保护孔壁。

(3)降滤失、抑制作用。由于钻井液中增粘剂(KP241)、降失水剂(GPNA),改性铵盐、磺化酚醛树脂均具有较好的提粘、降滤失及抑制作用,共同作

用在孔壁上能形成一种特殊的水化膜,保持较低的滤失量,有利于孔壁稳定。

(4)钻井液流动性好,携带岩粉能力强,孔底干净,利于提高时效。

3.4 侧钻井钻进技术

3.4.1 设计目的及要求

DY-3井完井后无油气异常,DY-1井为小口径探井发现的储层段含气特征不能进行试井验证,两井距离较近,为节约上部工作量及搬迁等勘探费用,经研究在DY-3井原井眼二开井段设计了一眼侧钻井DY-3-X1(参数井)。该井设计方位角 117° ,稳斜角 30° ,造斜率 $15^\circ/100\text{ m}$,全角变化率 $1.5^\circ/30\text{ m}$,侧钻点1100 m,造斜钻进分两段进行,造斜段1100~1450 m,稳斜段1450~2000 m,井深2000 m,在DY-3井深1100 m处开始侧钻造斜,穿过DY-1井深1820 m后见片麻岩完井。水平间距约365 m。DY-3-X1井轨迹见图4。

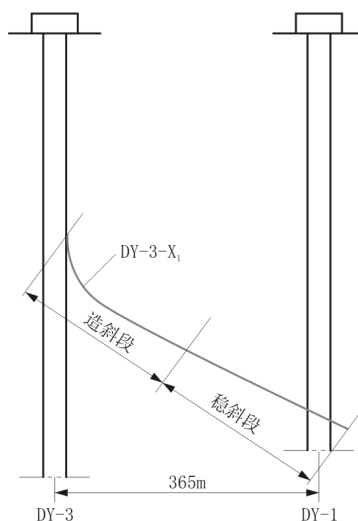


图4 DY-3-X1井轨迹图

3.4.2 侧钻技术

3.4.2.1 准备工作

侧钻前在DY-3井1060 m以深用水泥封固,候凝24 h下钻扫水泥塞至侧钻点。下钻前在地面认真检测弯套度数和动力钻具记号是否和弯点一线,测试动力钻具,检查MWD仪器的组装,工程人员和测量人员一起测量仪器内角差和动力钻具外角差。无误后下钻扫水泥塞实际至1086 m开始侧钻。

3.4.2.2 偏斜工艺

采用 1.5° 单弯螺杆马达定向动力钻具,内配脉冲式定向仪(MWD),钻进中井眼轨迹走向利用脉冲

信号通过钻井液介质传到地面进行采集数据,室内直观掌握偏斜情况,通过调整钻压及转盘方位控制轨迹走向。操作中严格控制钻压及转盘方位,准确把握造斜率和全角变化率,防止出现大“狗腿”,否则及时纠正调整,保持轨迹沿着预定走向偏斜钻进。

造斜段采用的钻具组合:Ø215.9 mm 牙轮钻头 + Ø172 mm 1.5°单弯动力钻具 + 431 × 410 回压凡尔 + 定向接头 + Ø177.8 mm 无磁钻铤(MWD) + Ø127 mm 钻杆。

钻进中严格控制钻井参数,一般为钻压 40 ~ 60 kN,转盘转速 60 r/min + 螺杆,泵量 28 ~ 30 L/s,泵压 10 ~ 12 MPa。稳斜段采用组合钻具:原钻具钻头改换 Ø215.9 mm PDC 五齿刮刀钻头 + 原钻具,钻井参数控制为钻压 20 ~ 40 kN,转盘转速 60 r/min,泵量 28 ~ 32 L/s,泵压 8 ~ 10 MPa。

实际钻进中“狗腿”最大 15°/100 m,闭合方位 116°,稳斜角 29.5°,闭合位移 364 m,垂直深度 1813 m,造斜段实际钻进 1086 ~ 1484 m,进尺 398 m,稳斜段实际钻进 1484 ~ 1903 m,进尺 419 m,顺利穿越

目的层,完井深度 1903 m,达到了设计的目的。

3.4.2.3 注意事项

(1)起下钻时,动力钻具入井,严禁划眼和悬空处理浆液,遇阻时,可换方位活动钻具下放,若无效,起钻通井,以防划出新眼。

(2)稳斜段较长,稳斜角较大,滑动钻进加压困难,在方位不变的情况下,用钻压控制井斜,少滑动钻进,多旋转钻进,做到平滑、减小钻铤的摩阻和扭矩,增大机械钻速。

(3)后期施工摩阻较大,定向脱压严重,需要定向时,及时加入润滑剂,效果良好,施工中认真观察记录摩阻变化情况,有增大趋势的情况,及时有效地采取调整措施。

(4)偏斜钻进对钻井液携岩、润滑性能要求高,要保持钻井液性能稳定,井底干净,井内液流畅通。

4 钻井施工效果

4.1 完成情况

完成工作量情况及经济技术指标见表 2。

表 2 完成工作量情况及经济技术指标

井类	井号	倾角/(°)	时间	井深/m	岩心采取率/%	时效/m	台月效率/m	钻井液体系
探井	DY-1	90	2014-04-12—2015-06-05	1865	94		134	PAM + CMC + 防塌降滤失剂
井	DY-2	90	2014-10-05—2014-12-10	1030	99		476	双聚 - 成膜无固相钻井液
参数井	DY-3	90	2016-10-07—2016-10-26	1998	96	11	3150	
数井	DY-3-X1	60	2016-12-22—2017-01-03	1903	98	8.5	2042	双聚 - 成膜无固相钻井液
井	DY-5	90	2017-03-08—2017-03-24	2302	98	12.5	4500	
合计								

工作量 8012 m,共 5 眼(DY-3-X1 实际进尺 817 m)

4.2 效果分析对比

采用以上钻探工艺措施共完成了钻井 5 眼,工作量 8012 m,施工中一般深约 2000 m 参数井有效台时 15 ~ 20 天/眼,井内事故少,孔壁稳定,岩心采取率平均 98% 以上,钻探时效达 12 m,平均台月效率达 3000 m 以上,取得了较好效果及效益,主要表现在以下几点。

(1)钻井液护壁性能好,孔壁稳定。特别是参数井钻进中提下钻虽时间相对转长,井深时起下钻每趟最少 22 h,但无遇阻现象出现。

(2)钻井液流动性、润滑性好,易于探井小口径金刚石开动高转速,携带岩粉能力强,下钻直接到底,井底干净无沉淀,利于提高钻探时效及台效。

(3)地层泥岩较多,水敏性、分散性强,缩径、造浆严重,因钻井液具有强抑制性,保证了钻井液性能

指标不受地层侵蚀破坏,达到了正常钻进的目的。

(4)在松散、破碎层钻进中只要适当调节处理剂加量,特别是适当增加包被剂和成膜剂加量,护壁效果明显。

(5)探井小口径绳索取心钻进中钻头外径比常规稍大,有利于降低环空阻力,防止孔壁坍塌。参数井上部岩石较软,采用钢齿钻头,下部岩石软硬采用镶齿钻头,易于克取岩石,携带岩粉,提高时效。

(6)针对项目特点及地层特征所选配的设备、钻头、钻具满足地层及钻探工艺要求,并顺利完成了侧钻井施工任务,达到了预期目的。

(7)DY-1 井由于上马仓促,由外协队伍施工,经验不足,钻进到 730 和 1105 m 时发生 2 次钻杆折断事故,打捞处理钻杆的过程中因打捞器下不到位,扫孔时上部砾石层(见图 5)掉块、坍塌,最后采用扩

孔的办法处理事故共耗时384 d,故台月效率大大降低,成本增大。

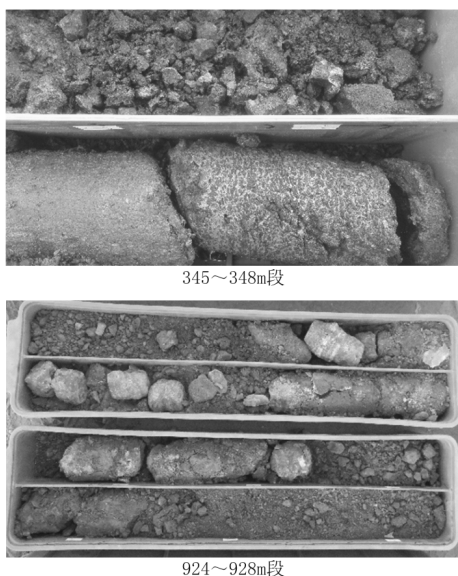


图5 DY-1井砾石层岩心

(8)DY-3井施工中,按设计要求在1786 m开始进行取心,2个回次进尺9.3 m,岩心长度4.6 m,岩心采取率只有49%,不能满足地质要求。由于地层泥岩较软,砂岩较破碎,岩心被浆液冲蚀,通过分析研究及时采取相应措施,将金刚石钻头水路改为底喷式,普通卡簧改为长爪莲蓬式(见图2),岩心采取率达98%以上。期间耽误台时156 h。

5 存在的问题

(1)探井钻进中采用循环系统配合除砂器进行净化浆液,循环槽及沉淀坑需及时清理,平均每天需排放2~3 m³废浆,再补充新浆,劳动强度大成本高,下一步要考虑配置固控净化系统。

(2)参数井目的层采心段虽只有50~85 m。但大口径采心困难,井深时提下钻耗时长,平均每个回次用时20~26 h,回次进尺只有4~6 m,成本高,下一步要解决大口径绳索取心问题,进一步提高钻探效益。

6 结语

实践证明,针对该区地层特征及油气探查钻进特点,所采取的一系列钻探工艺措施是合理的,行之有效的,取得了较好的经济效益和社会效益。所取得的效果和经验技术为我队下一步深井—超深井以及类似油气勘探工程项目施工奠定了良好的基础。我们的经验和认识还不够,探索才刚开始,工作中还存在很多问题和难点,有待今后不断进一步完善改进。

参考文献:

- [1] 孙建华. 大深度复杂地层绳索取心钻探技术[J]. 地质装备, 2008, 9(4): 19-21.
- [2] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东青岛: 中国石油大学出版社, 2012.
- [3] 王效祥. 钻井液工艺原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [4] 张祖培, 刘宝昌. 碎岩工程学[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [5] 负建林. 大口径绳索取心钻进技术在天然气水合物勘探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 20-23.
- [6] 王建标. 福山油田保护油气层钻进液技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 24-26.
- [7] 朱万存, 叶兰肃, 罗伟. 丛式平台钻井技术在陕北油田开发中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 31-35.
- [8] 单文军, 蒋睿, 陶士先, 等. 页岩气钻探冲洗液体系的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 176-181.
- [9] 肖刚, 唐颖, 等. 页岩气及勘探开发[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.