

# 三江盆地富地1井软塑地层钻探技术

赵帅<sup>1</sup>, 谷波<sup>2</sup>, 孙友宏<sup>1</sup>, 郭威<sup>1</sup>, 贾瑞<sup>1</sup>, 陈光华<sup>1</sup>, 张鹏宇<sup>1</sup>

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 黑龙江省齐齐哈尔矿产勘查开发总院, 黑龙江 齐齐哈尔 161000)

**摘要:**具有中生界海相和海陆相交互沉积、且被多次构造运动改造后的三江盆地,其覆盖层均为软塑地层,并且厚度较大;针对三江盆地厚覆盖层软塑地层保直钻进施工存在的难点,从钻进方法、井身结构、钻井液护壁、工艺措施等方面进行研究,分析得出适合于在三江盆地软塑地层不下套管的情况下,实施保直取心钻进的技术措施,并且在生产实践中解决了钻进技术难点,取得较好的经济效果。

**关键词:**钻探技术;软塑地层;钻井液;组合钻具;三江盆地

**中图分类号:** P634.5   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2017)01-0024-05

**Research and Application of Soft Plastic Drilling Technology in Fudi 1 Well of Sanjiang Basin/ZHAO Shuai<sup>1</sup>, GU Bo<sup>2</sup>, SUN You-hong<sup>1</sup>, GUO Wei<sup>1</sup>, JIA Rui<sup>1</sup>, CHENG Guang-hua<sup>1</sup>, ZHANG Peng-yu<sup>1</sup>** (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Heilongjiang Province Qiqihar Mineral Exploration and Development Institute, Qiqihar Heilongjiang 161000, China)

**Abstract:** Sanjiang basin, with the Mesozoic marine and land sea interaction deposition and after the transformation of multiple tectonic movements, its covering layer is thick soft-plastic formation. According to the stratigraphic characteristics of Sanjiang basin and drilling difficulties in drilling construction, the study was made on drilling methods, borehole design, flush fluid and process measures, the technical measures suitable for highly straight drilling were carried out without casing in thick overburden strata of soft plastic formation in Sanjiang basin, and the drilling difficulties were solved in the practice with good economic effect.

**Key words:** drilling technology; soft plastic formation; flush fluid; combined drilling tool; Sanjiang basin

## 1 工程概况

三江盆地是中国东北地区唯一具有中生界海相和海陆相交互沉积、且被多次构造运动改造后的残留盆地。富地1井是位于三江盆地的依通-舒兰断裂带和密山-敦化断裂带之间的油气基础地质调查井,设计井深为1500 m。该井全井段是以粉砂岩、泥质粉砂岩泥岩、油页岩等为主的软塑性地层,各层段中富含一定量的水,钻进时极易造成钻孔的缩径。另外,该井中也包含有地层胶结性差的砂层及砂卵砾石层,钻进过程中也极易出现孔壁坍塌等孔内事故。富地1井目前为三江地区完钻深度最深的地质调查井,获得了详细的地层岩心资料,对于以后三江盆地在前进拗陷、盆地演化、大地构造与沉积环境方面研究提供了基础资料。

## 2 施工设备

三江盆地富地1井的钻进施工过程中,所用到的施工设备包括,XY-2000型钻机、NBB-250/6型泥浆泵、HCX-18型四角钻塔和SK-2000型综合录井仪。根据井场空间大小,合理安装钻塔、钻机,保证井场秩序井然,同时兼顾环保且利于施工。XY-2000型钻机液压给进、立轴回转,可用于斜、直孔钻进。具有结构简单紧凑、布局合理、质量适中、拆卸方便、转速范围宽的优点。钻机配有水刹车,卷扬能力大,提升制动低位操作方便。NBB-250/6型泥浆泵最高泵压为6 MPa,满足压力要求。SK-2000型综合录井仪(见图1)的主要作用是用于录取钻井工程参数、钻井液参数,并以此监控钻井施工安全,优化钻井参数等;同时录取地层释放出的全烃和组分的参数,用于解释和评价储层。

收稿日期:2016-04-04; 修回日期:2016-10-22

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“黑龙江大三江盆地油气基础地质调查”(编号:12120115001601-05)

作者简介:赵帅,男,汉族,1990年生,硕士研究生在读,地质工程专业,研究方向为油页岩钻采技术,吉林省长春市西民主大街938号, m15143015634@163.com。



图1 SK-2000型综合录井仪

### 3 钻探施工难点

#### 3.1 地层因素

富地1井所处的三江盆地是沉积岩地层,主要是具有强水敏性的泥、页岩,极易遇水膨胀导致钻孔缩径,同时还容易导致粘附性卡钻。该井的上部井段为砂层及砂卵砾石层,胶结性差,钻进过程中孔壁极易坍塌引发卡钻、埋钻等钻探事故,甚至钻孔报废。

#### 3.2 工艺因素

钻孔的垂直度要求较高,完钻顶角 $\leq 8^\circ$ ,相当于每百米顶角变化 $\leq 0.53^\circ$ ,远高于岩心钻探规程的规定,给施工造成很大的困难。常规的解决厚覆盖层的井身结构设计是以多层套管隔离的方式来保证钻井在厚覆盖层的顺利施工。但是多层套管的结构在厚覆盖层施工是不合理的:开孔级数多,材料消耗大,造成钻探成本升高;口径大环空增大,钻井液上返速度低,排渣效果受到影响,钻杆在技术套管内呈螺旋状,导致回转阻力大,而且容易发生钻杆的偏磨,钻杆在孔内的工作状况恶劣容易引起断钻杆、孔

壁坍塌等钻井事故<sup>[1]</sup>。如果采用螺杆定向纠斜保直钻进,在地层允许的情况下,可以保证该角度,达到稳斜作用,但是所需费用远高于预算。

### 4 技术措施

井身结构设计应该能保证实现钻井目的,有利于安全优质快速钻井<sup>[2]</sup>。

#### 4.1 井身结构

本次钻探施工摒弃了常规厚覆盖层设计中开次级数多、口径大的原则,井身结构设计为二开(见图2),结合实际钻进情况及地层与构造特征,钻进过程中适当优化井身结构,调整各开次深度,在满足设计要求的前提下确保井身质量。开孔采用 $\varnothing 180$  mm 硬质合金钻头钻进11 m 下入 $\varnothing 140$  mm 孔口管;一开采用 $\varnothing 114$  mm PDC 钻头钻进至1245.37 m;二开采用 $\varnothing 94$  mm PDC 钻头钻至1518.86 m。钻遇的地层主要有:砂土、粘土、砂岩、泥岩。岩石研磨性为2~4级,硬度为2~4级,可钻性为2~4级。

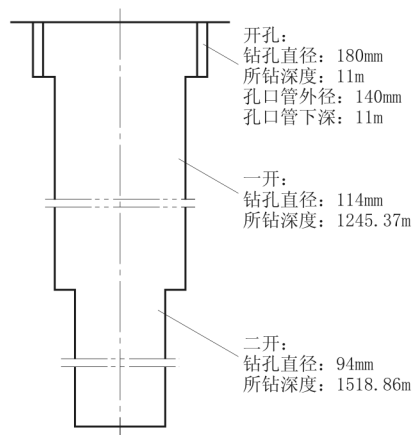


图2 富地1井井身结构示意图

#### 4.2 钻具组合

按照设计要求进行钻具组合配置,结合实际钻进过程中的地层岩性特点、倾角变化、构造等情况,依据有利于优质、高效钻井的原则适当调整钻具组合。

**开孔:**第四系地层,采用 $\varnothing 180$  mm 硬质合金钻头 +  $\varnothing 89$  mm 单管取心钻具 +  $\varnothing 60$  mm 钻铤 +  $\varnothing 60$  mm 两端内加厚钻杆 +  $\varnothing 89$  mm 六方主动钻杆;

**一开:**地层复杂而松散,包括第四系、粘土、沙土层、软塑泥岩、砂岩,采用 $\varnothing 114$  mm PDC 钻头 +  $\varnothing 89$  mm 单管取心钻具 +  $\varnothing 60$  mm 钻铤 +  $\varnothing 60$  mm 两端内加厚钻杆 +  $\varnothing 89$  mm 六方主动钻杆;

二开:较稳定泥岩、砂岩地层,采用  $\varnothing 94$  mm PDC 钻头 +  $\varnothing 89$  mm 单管取心钻具 +  $\varnothing 60$  mm 钻铤 +  $\varnothing 60$  mm 两端内加厚钻杆 +  $\varnothing 89$  mm 六方主动钻杆。

#### 4.3 钻井液护壁技术

根据地层岩石的物理性质,选择不同类型的钻井液。富地 1 井所处地层为第四系粘土、亚粘土、砂砾石层、流沙层,钻孔坍塌严重,选择密度较大、固相含量较高的水基钻井液。在实际钻进过程中发现,第四系覆盖层松散并且厚度较大,达到 547 m,还存在流沙层,因此在钻进过程中,必须采用粘度较大的钻井液进行护壁,才能保证孔壁稳定,这就制约了钻进工艺的选择。

钻井液配方:1 m<sup>3</sup> 水 + 3% ~ 5% 优质粘土 + 0.3% 火碱 + 3 ~ 5 kg CMC + 0.3% ~ 0.5% 聚丙烯酸钾。

在钻进过程中,钻井液密度为 1.2 g/cm<sup>3</sup> 左右,粘度 80 ~ 100 s。火碱可以使膨润土加剧分散,表现为粘度上升,失水量降低;羧甲基纤维素可以使井壁形成薄而韧的泥饼;聚丙烯酸钾可以包裹岩屑,使岩屑不易分散到水基钻井液当中,通过振动筛就可以把岩屑从钻井液中分离出来,达到清除钻井液中有害固相、降低钻进扭矩和循环阻力的效果。

此外,在钻进的过程中要选择合理的钻进规程参数,采用减压钻进,不仅可以保证钻孔的垂直度而且降低了钻杆与孔壁、孔内套管接触的机会,降低了孔内事故的发生率;钻井液的泵量要适当,防止因为孔底泥沙不能及时排除而导致糊钻进而降低钻进效率的问题。提钻时要将钻井液回灌钻孔,避免因钻井液柱下降而引起孔壁坍塌;停钻时将孔内钻头脱离孔底 5 m,防止埋钻。

#### 4.4 钻进工艺方法

设备安装稳固,塔基基础牢固,保持均匀沉降,保证钻塔持重状态下不能倾斜。钻进过程中,严格控制井身质量,根据井斜变化情况,不断优化钻进工艺,确保井身质量达到设计要求。

富地 1 井采用减压钻进的方法,就是利用钻铤加压而不是钻机加压,防止钻杆在孔内成螺旋状而导致钻孔弯曲,并且使用钻机的油缸进行减压。为避免钻孔发生偏斜,严格控制钻进过程中的钻进工程参数,钻压全程控制在 8 ~ 10 kN;转速的控制范围根据地层决定,0 ~ 872 m 基本为难成岩的泥沙,

采用的转速为 353 r/min,872 ~ 1518.86 m,岩层逐渐过渡为泥岩和砂岩,可以采取岩心,因此采用较低的转速(237 r/min);钻井液流量 80 ~ 100 L/min。

富地 1 井的地层复杂,钻穿第四系后,钻遇的岩层基本上均为泥岩、粉砂岩,这些岩石成岩性差,十分松软,硬度不到 3 级,而且极易破碎,用手就能捏碎,造浆率很高,因此钻井液选择密度较大、固相较高的水基钻井液,钻井液密度控制在 1.12 ~ 1.3 g/cm<sup>3</sup> 之间,粘度控制在 60 ~ 85 s 范围内,泵压控制在 6 MPa 左右,同时采用大口径钻头配合粘度较大的优质钻井液进行护壁。

## 5 施工效果

### 5.1 井斜控制

通过分析三江盆地富地 1 井覆盖层中钻探施工存在的技术问题和工艺措施问题,并按照研究出的解决办法和技术对策,于 2015 年 10 月开始施工,2016 年 1 月圆满完成并进行测斜,测斜结果达到了较好的技术效果(见表 1)。

表 1 三江盆地富地 1 井的测斜结果

位置	井深 增量 $\Delta L/m$	顶角 $\alpha/$ $(^\circ)$	方位 角 $\varphi/$ $(^\circ)$	顶角变化率 $K_\alpha/[(^\circ) \cdot$ $(30 \text{ m})^{-1}]$	方位角变化率 $K_\varphi/[(^\circ) \cdot$ $(30 \text{ m})^{-1}]$	全角变化率 $K/[(^\circ) \cdot$ $(30 \text{ m})^{-1}]$
开钻	4.60	0.70	254.49			
	100	0.99	147.86	0.087	-31.989	0.311
	200	1.10	180.81	0.033	9.885	0.601
	300	0.40	183.44	-0.21	0.789	0.450
	400	0.50	233.54	0.03	15.018	0.245
	500	1.00	261.18	0.15	8.292	0.438
	600	0.50	263.68	-0.15	0.750	0.450
	700	1.00	263.29	0.15	-0.117	0.450
	800	1.60	350.12	0.18	26.049	0.580
	900	2.26	345.90	0.198	-1.266	1.157
	1000	2.81	340.63	0.165	-1.581	1.519
	1100	2.98	333.60	0.051	-2.109	1.734
	1200	3.66	352.48	0.204	5.664	1.965
	1300	4.39	346.66	0.219	-1.746	2.412
	1400	4.81	343.94	0.126	-0.810	2.759
完钻	1500	5.07	347.80	0.078	1.167	2.962

根据测斜结果,采用 MATLAB 软件,绘制钻井的井身轨迹图(见图 3),更直观地展现了钻井在地下的轨迹。

采用右手坐标系建立三维模型,其中 X 轴代表钻孔方位角,Y 轴代表顶角,Z 轴代表井深。对获得的测井数据采用 MATLAB 软件进行密集度的分析,

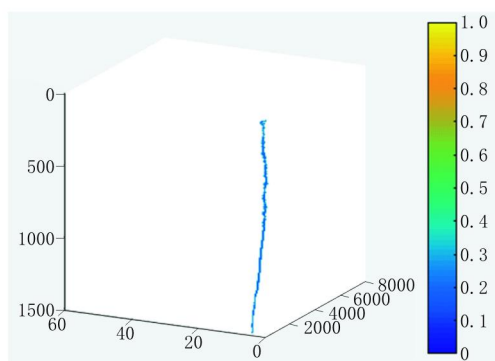


图3 富地1井轨迹图

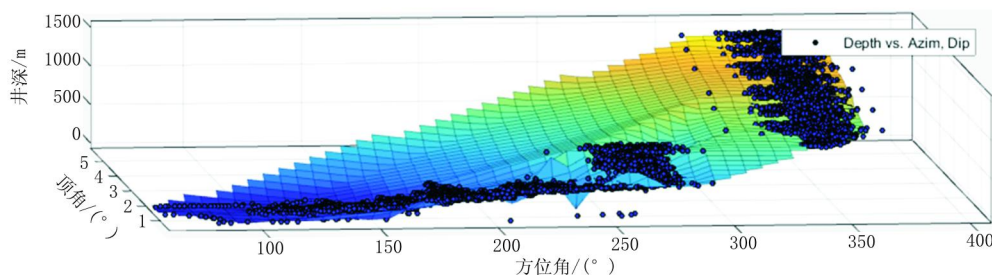


图4 富地1井方位角的变化分布情况

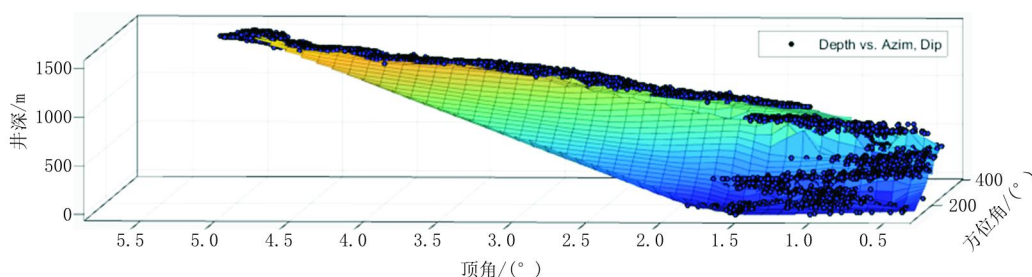


图5 富地1井顶角的变化分布情况

在富地1井的施工过程中,基岩段全部取心,但是由于上覆地层破碎,仍存在岩心采取率较低的问题,累计心长333.91 m,岩心取心率30.14%,分析其原因主要有以下几方面。

(1)富地1井的地层复杂,钻穿第四系后,钻遇的岩层基本上均为泥岩、粉砂岩,这些岩石成岩性差,十分松软,硬度不到3级,而且极易破碎,用手就能捏碎,造浆率很高,导致岩心采取率就比较低。

(2)第四系覆盖层厚,达547 m,还存在流沙层,因此在钻进过程中,必须采用大密度钻井液护壁,才能保证孔壁稳定,这就制约了钻进工艺的选择。

(3)在地层本身不宜取心的条件下,可以通过使用双管取心钻具来提高岩心采取率,但由于钻进过程中必须使用大密度钻井液护壁,双管取心钻具无法正常钻进,只能采用单管取心钻进。

### 5.3 井径变化情况

可以看到方位角与顶角的变化范围与趋势(见图4、图5)。方位角在750 m左右发生较大的改变,这是由于钻井所在岩层的性质发生了变化,由比较松软的灰白色泥岩转变为比较硬的灰绿色石英砂岩地层。钻井的顶角在前300 m变化波动较大,顶角甚至达到2°,是因为软塑性地层容易导致钻孔的倾斜,此外采用减压钻进和纠斜的措施,在400 m左右又成功地将顶角修回到0.5°。

### 5.2 岩心采取率

从常规测井资料中井径曲线(见图6)可以看出,本井在砂岩地层井眼较规则,而在泥岩段出现不同程度的扩径现象,对电阻率、声波、密度和中子测井产生一定的影响。由图6可以清晰看出,在前11 m为开孔,直径180 mm;11 m处直径变小,11~1254 m一开直径114 mm;在1254 m处明显看出直径进一步减小,为二开 $\varnothing 94$  mm,满足完钻井径>75 mm的要求。

由于富地1井所处地层为软塑地层,在开孔段因钻杆、钻头的跳动导致开孔井径大于钻头直径。加之裸眼钻进,第四系地层超过400 m,而且为流沙层,钻井液对井壁的冲刷也影响井径,此外一开与二开过程井深较大,钻杆在井内成螺旋状,会与井壁产生摩擦,钻井液泵量大,钻进速度慢,钻井液冲刷孔壁造成扩径,因此井径会有扩大现象。

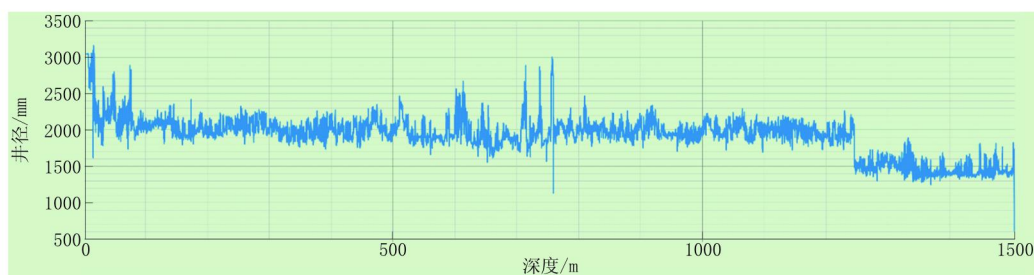


图6 富地1井井径变化曲线

## 6 结论

通过优化设计钻孔结构,合理地选择钻进规程参数和钻井液护壁,在厚覆盖层软塑性地层的钻进中有效地预防了钻孔坍塌、掉块事故的发生,同时钻井轨迹满足设计要求,每百米钻井顶角变化 $0.338^\circ$ ,远小于 $0.53^\circ$ 。

采用密度较大、粘度较高的水基钻井液护壁,并且在钻进过程中采用较大的泵压(6 MPa),没有采用下套管的技术措施,有效地预防了缩径的发生,同时降低了成本。

由于地层比较破碎,以松散的第四系泥砂、页岩、砂岩为主,因此取心率较低,但是基岩段的岩心采取工作仍然圆满完成。

## 参考文献:

[1] 罗永贵,王红阳,刘建华.小秦岭金矿田北矿带厚覆盖层钻探技术难点及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41

(1):27-29.

- [2] 李世忠,等.钻探工艺学(上)——钻进方法及钻探质量[M].北京:地质出版社,1992:365-373.
- [3] 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,2002:42-48.
- [4] 郭绍什,林凤章.钻孔防斜原理[J].地质与勘探,1983,(1):43-47.
- [5] 董志辉,胥豪.长水平段水平井眼轨道优化设计方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):35-37.
- [6] 宋文芳,陈庆平.煤田地质勘探钻孔防斜工艺技术探析[J].华东科技(学术版),2014,(1):400.
- [7] 陈谱.钻井技术手册(4)——钻具[M].北京:石油工业出版社,1992.
- [8] 宫华,李国华,邓胜聪,等.大庆油田火山岩砾岩水平井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):19-22.
- [9] 白家社,苏义脑.井斜控制理论与实践[M].北京:石油工业出版社,1990.
- [10] 董志辉,胥豪.长水平段水平井井眼轨道优化设计方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):35-37.
- [11] 董广华.金31-平2阶梯式水平井井眼轨迹控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3):30-33.
- [12] 隆东,张新刚,岳刚,等.HO24U井施工工艺及精确中靶技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):5-8,12.