

# 大庆致密油区块工厂化水平井优快钻井技术

谷玉堂<sup>1</sup>, 奚博文<sup>2</sup>, 邢广宇<sup>1</sup>

(1. 中国石油大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413; 2. 东北石油大学, 黑龙江 大庆 163318)

**摘要:**工厂化水平井是近些年来发展起来的致密油气及非常规油气资源开发的新兴技术手段, 主要是通过平台井优化布局、流水作业的方式提高钻完井及后期作业的施工效率, 实现施工周期的缩短和成本的降低。通过目标区块的工厂化组织、流水化施工和提速手段的集成化应用, 实现了目标区块的钻井周期大幅缩短, 完成了工厂化钻井的作业计划目标要求。本文分析了工厂化钻井的施工难点, 阐述了工厂化钻井作业的模块化施工关键技术, 为同类型井施工提供有益的借鉴。

**关键词:**工厂化钻井; 水平井; 钻井提效; 致密油气; 优快钻井

中图分类号: P634; TE243<sup>+</sup>.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2016)08-0029-05

**Optimized and Fast Drilling Technology for Industrialized Horizontal Wells in Daqing Tight Oil Blocks/GU Yu-tang<sup>1</sup>, XI Bo-wen<sup>2</sup>, XING Guang-yu<sup>1</sup>** (1. Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling & Exploration Engineering Corporation, Daqing Heilongjiang 163413, China; 2. Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang 163318, China)

**Abstract:** Industrialized horizontal wells is an emerging technical means for newly developed tight oil and gas development and unconventional oil and gas resource development, by optimizing the platform wells layout and line production to improve the construction efficiency of well drilling and completion as well as post operation, so as to shorten the construction period and reduce the cost. Based on the integrated application of the industrialized organization in target block, line production and drilling efficiency improving, the drilling cycle of the target block is greatly shortened and the production schedule are completed. By the analysis on the difficulties of industrialized drilling construction, the paper elaborates the key technologies for modular construction of industrialized drilling operations, which provides useful reference for the same type of wells construction.

**Key words:** industrialized drilling; horizontal wells; drilling efficiency improving; tight oil and gas; optimized and fast drilling

## 1 区块概况

大庆探区外围具有丰富的致密油气资源, 以扶余和高台子油层为主, 由于储层薄, 地层物性差, 开发难度大, 生产成本高。如何降低致密油气的开发成本, 是致密油开发的关键。实行工厂化作业, 提高钻井效率, 提高机械钻速, 降低钻井成本是降低致密油气开发成本的主要手段。

目标区块位于盆地中央坳陷区, 整体构造为西高东低的单斜。形成了由南西向北东方向倾斜的单斜。由于受北部沉积体系控制, 主要发育三角洲前缘亚相, 沉积微相类型主要为席状砂微相。席状砂是水下分流河道砂体在河口末梢处受湖浪改造形成的薄层带状砂体, 与浅湖、半深湖相泥岩伴生。岩性

剖面为大套灰黑色、深灰色泥岩夹薄层灰色粉砂岩、泥质粉砂岩等, 砂岩厚度较薄, 一般为2~3 m。

## 2 钻井技术难点

### 2.1 井场布局需同时兼顾钻井和压裂作业

平台固定区域和活动区域布局以满足批量钻井要求, 固定区域放置循环罐及发电机组; 活动区域实现钻机快速精准平移。平台布局既要满足施工流程要求, 又要满足后期压裂、生产改造要求, 同时尽可能减少土地占用面积。

### 2.2 地层发育复杂, 存在注水层

造斜段上部存在易漏易塌地层, 同时已开发区块存在注水层, 施工中存在较大的风险。保证封固

收稿日期: 2015-12-25; 修回日期: 2016-06-01

作者简介: 谷玉堂, 男, 汉族, 1965年生, 高级工程师, 硕士, 长期从事水平井、分支井等复杂结构井科研及现场服务工作, 黑龙江省大庆市红岗区八百垅钻井工程技术研究院, guyutang@cnpc.com.cn。

上部复杂地层同时,兼顾提速要求,减少大井眼施工井段。分别设计注水区和非注水区的井身结构。

### 2.3 轨道控制困难

地质情况复杂,砂泥互层较多,滑动钻进困难。井壁稳定性差,存在井塌风险。着陆着目的层垂深变化较大,给精确中靶带来较大困难。L26 - 平 G 井完钻通井出现井塌,无法进入原井眼。三维井施工中扭方位困难。扭方位作业有时需要在  $\varnothing 311$  mm 井眼内施工,钻速慢、定向摩阻大、造斜率低。

### 2.4 机械钻速慢

该区块地层发育不均匀,夹层较多。滑动钻进摩阻大,下白垩系以灰绿色、灰黑色泥岩为主,地层可钻性差,钻速较慢,作业效率较低。

## 3 技术关键与解决方案

### 3.1 平台布局及作业流程

为实现工厂化作业,平台布局要考虑到平台平移方式、管网铺设、基建最优化等因素,以钻井液体系转换界面为节点进行平移,达到快速钻井以及钻井液的重复利用目的,实现提速提效及降低钻井成本目标。同时坚持平台井组的整体设计原则,兼顾防碰绕障、减摩降阻、井眼平滑、套管安全下入、工序优化等环节。井场布局见图1。

通过不断摸索和借鉴,形成了接替式和循环式两套适合大庆的工厂化作业模式。目前大庆工厂化水平井主要应用循环式作业流程。

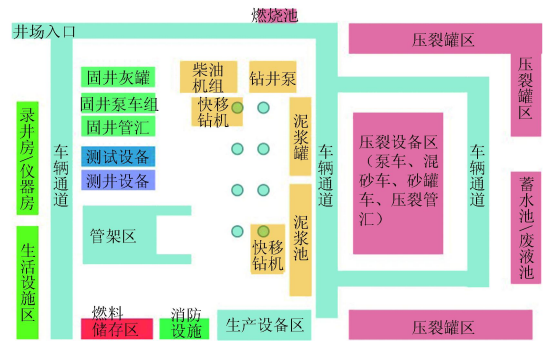


图1 工厂化钻井作业布局图

循环式:采用一部钻机先施工第一口井一开、二开,然后移到下一口井一开、二开,最后一口井一开、二开、三开完钻后再实施前一口井的三开,重复利用泥浆。循环作业模式如图2所示。

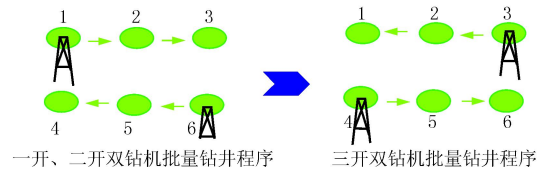


图2 循环式作业模式示意图

### 3.2 钻机设备完善配套

配套了轨道式、步进式、地锚式等3种快移装置(见图3),实现了平台井之间的快速移动,同时根据施工需要,所有 ZJ40D 以上钻机分别配备了 2500、3500、5000 kN 三种顶驱设备,满足了工厂化作业要求,提高了作业效率。



(a) 导轨式快移装置

(b) 地锚式快移装置

(c) 步进式快移装置

图3 钻机快速移动装置

### 3.3 井身结构设计技术

针对区块施工难点,对水平井井身结构进行优化。根据施工井所在区域情况,未注水区使用2层套管,上部下  $\varnothing 244.5$  mm 表层套管封固嫩二段以上地层,  $\varnothing 215.9$  mm 井眼施工到完钻,下入  $\varnothing 139.7$

mm 油层套管至井底,水泥返至地面。注水区主要采用三层套管结构,上部下入  $\varnothing 339.7$  mm 表层套管,封固上部易漏易塌地层、安装井控装置、悬挂技术套管,水泥返至地面;中部下入  $\varnothing 244.5$  mm 技术套管,封固姚一段葡萄花油层防止井漏、为水平段顺

利施工提供保障、悬挂油层套管,水泥返至地面;下部下 $\varnothing 139.7$  mm油层套管至井底,水泥返至地面。

### 3.4 井眼轨迹控制技术

#### 3.4.1 井眼轨道再优化技术

在现场施工过程中,由于上直井段未能实现完全打直,与原始设计或多或少存在偏差,因此在实际施工过程中需以实钻井眼轨迹为基础,重新进行待钻井眼轨道设计。

二维井施工:根据钻探层位以及水平段长度,优化井眼曲率和靶前距;考虑目的层不确定性因素,探油顶长度30~50 m,探油顶井眼曲率 $3^\circ/30$  m,确保精确中靶和提高油层钻遇率。

三维井施工:针对较大偏移距( $\geq 300$  m)的三维水平井需要大幅度调整方位,存在滑动摩擦大、定向钻速慢等难题,从原来的“直井段—增斜—增斜变方位—增斜—水平段”变为“直井段—增斜—稳斜变方位—增斜—水平段”,优化后将调整方位井段放在井斜较小的井段,施工过程中调够偏移距后只需增斜不用兼顾方位;调整后井施工中实现以下优点。

(1)造斜点由1800 m上移至1650 m,造斜率由 $6^\circ/30$  m降为 $4.7^\circ/30$  m,增加了复合钻进比例。

(2)摩阻降低20 kN。由原设计井斜 $54^\circ \sim 70^\circ$ 时,将方位从 $96^\circ$ 扭到 $153^\circ$ ,优化为在井斜 $35^\circ$ 时,开始将方位从 $69^\circ$ 扭到 $153^\circ$ ,提前扭方位降低定向摩阻。

(3)缩短钻进周期。对比同平台井,定向周期缩短12.25 d。

该方法在X2区块平台井中的X2-9井(见图4)取得良好应用效果,与同平台、同井型的X2-8井相比:造斜段平均机械钻速提高了56%,造斜段钻井周期缩短了6.9 d。

#### 3.4.2 薄差储层高效钻遇技术

(1)水平段施工钻具摩阻较大,因此需要使用 $0.75$  或 $1^\circ$ 单弯螺杆钻具以转盘钻进与动力定向交替进行的方式达到稳平效果。

(2)当井眼轨迹接近油层顶界或底界时电阻率和伽马会有明显的变化,通过这些变化规律可以判断油层顶界及底界的位置。深、浅电阻率曲线出现第一次交汇的地方可作为进入储层的标志。

(3)钻薄油层阶梯形或波浪形水平井的水平段,要在多个油层中穿行,必须研究钻头上下倾钻进方向,目的是了解实钻轨迹与产层间的相互关系、

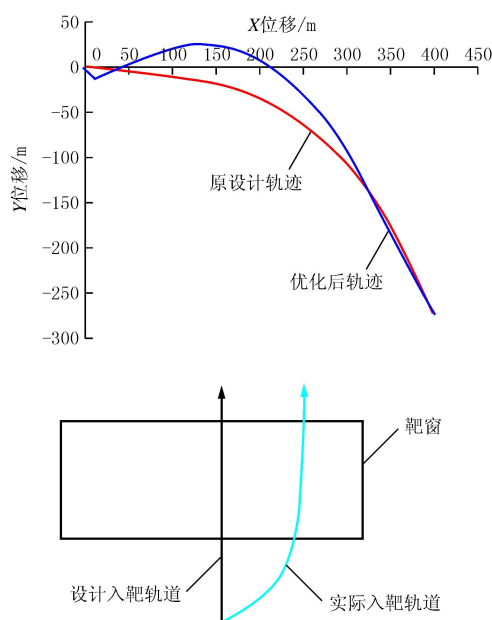


图4 X2-9井轨迹优化情况

及时地防止或预告钻头钻出目标层顶底界面,通过增斜或降斜实时调整井眼轨迹,使钻头始终沿着目标层中物性较好的部位钻进。

(4)适时使用近钻头随钻测井、旋转导向等工具提高储层钻遇率。

#### 3.4.3 远程监控决策系统

同时在现场施工中,为避免突发情况造成施工异常,开发应用远程专家指挥系统(如图5所示),将有利资源最优化应用,使用卫星信息传输技术,实现了井场数据、视频、音频实时传输,为远程监控、专家实时决策和提供技术支持,及时发现现场轨迹控制存在的隐患,判断随钻仪器的数据是否异常,为现场施工人员提供了有力的技术支持和决策依据。

### 3.5 优快钻井保障措施

#### 3.5.1 优选个性化钻头,提高与地层的适应性

针对大庆中浅层水平井目的层油藏埋藏较浅(1200~1800 m),岩性以泥岩、泥质砂岩、泥质粉砂岩和砂岩、油岩为主,成岩性较差造成易泥包、造斜率不稳等特点,优化钻头选型,选出适合大庆不同区块的PDC钻头。

#### 3.5.2 使用水力振荡器,减小钻具摩阻

针对定向段施工摩阻大、施工效率低的问题,使用水力振荡器减小钻具的摩阻,提高机械钻速,有效地传递真实钻压,并提高钻头使用寿命。

近期在该区块使用了6口井,平均机械钻速 $7.71$  m/h,其中定向钻速 $6.35$  m/h,复合钻速 $13.36$

m/h,平均机械钻速对比邻井提高 19.6%,钻进摩阻 平均降低 18 kN。

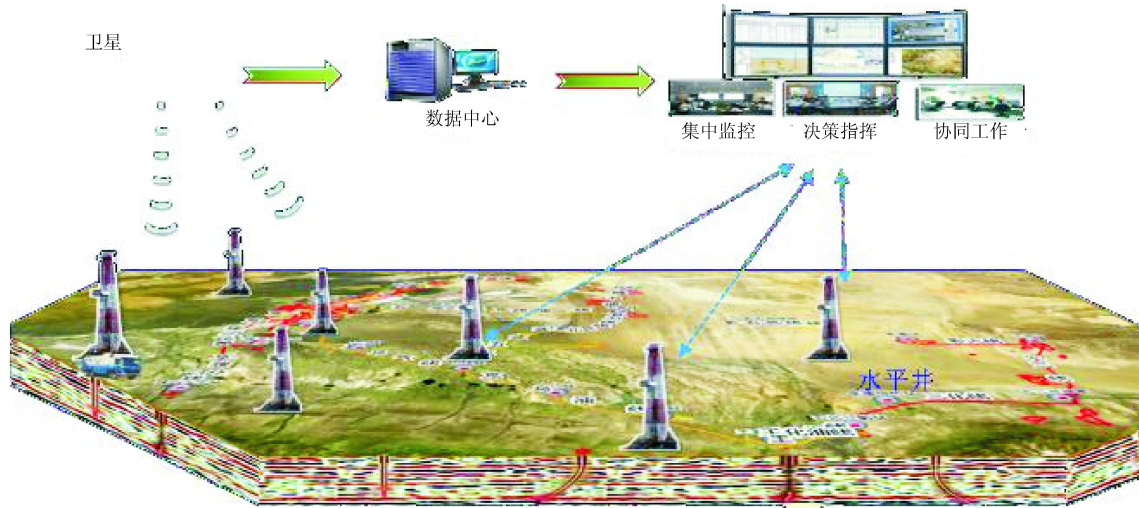


图5 远程专家决策系统示意图

表1 不同区块钻头序列优选表

区块	地质特性	钻头需求	优选型号
L26	地层复杂、软硬交错,工具面不稳、定向效率低、机械钻速慢	增加刀翼数量、增加副齿、增加布齿密度	M1656RS、T1951DB、MD517X、TR1953
F38	地层松软、嫩二、三段易造浆,导致泥包钻具	增大排屑槽、提高吃入地层能力、减少布齿密度	HT265DH、M1656RS
Q2	发育复杂,岩性交替变化地层自然造斜率低,定向难度大	增加副切削齿、加强保径及侧切齿、缩小切削齿高度	TR1953、M1656RS
G南	泥岩、粉砂岩及不等厚的夹层	一般五刀翼钻头即能满足钻井要求	PFM465、HT265DH、R4624
Y1	泥岩、粉砂岩及含钙砂岩不等厚的夹层,嫩二段发育大段泥岩,吸水水化膨胀易剥落,易泥包钻具	增大排屑槽、改善泥浆流道、减少布齿密度	M1656RS、MD517X

表2 水力震荡器应用效果统计

井号	应用井段/m	提速比例/%	降低摩阻/kN
A	1460~1928	28.50	10~20
B	1535~1606	15.50	10~20
C	1588~2047	80.20	20~30
D	1245~1513	6.00	10~20
E	1559~2030	19.70	20~30
F	1539~1980	26.00	10~20

### 3.5.3 适时使用旋转导向,提高井眼延伸能力

水平段钻井中,综合考虑钻速与仪器成本关系,水平段前期钻进使用LWD+马达施工,以降低施工成本。在水平段施工后期,因马达滑动钻进摩阻较大影响机械钻速,当使用LWD+马达施工的单米进尺成本大于使用旋转导向施工单米进尺成本时,换为旋转导向施工。

以40D钻机为例,钻机日费12万元,LWD日费6.5万元,螺杆成本日均2万元,旋转导向日费20万元计算, $[(12+6.5+2)/A_1] < [(20+12)/A_2]$ ,得 $A_1/A_2 < 65%$ ,即无特殊工况时,在使用螺杆施工行程钻速低于旋转导向同区块施工行程钻速65%

时,经济效益已非最佳,更换为旋转导向工具施工。

## 3.6 钻井液技术

致密油水平井主要应用油基和高性能水基钻井液施工,其中油基钻井液回收利用率可达92.84%;同时为进一步缓解环境及成本压力,大力开展了高性能水基钻井液技术攻关,目前已推广完成了30余口井应用,性能指标与油基钻井液体系相当。

### 3.6.1 油基钻井液回收利用

现已累计施工14口井(含2口井侧钻),共使用钻井液5173.5 m<sup>3</sup>,其中老浆2348.5 m<sup>3</sup>,占45.39%,创历史新高;完钻剩余3387.5 m<sup>3</sup>,回收3145 m<sup>3</sup>,回收率92.84%。目前大庆钻探所有使用油基钻井液施工的井队都实施了钻井液不落地处理措施。

根据钻井队实际施工情况,需要考虑3种钻井工况下的钻井废弃物处理工艺,具体如下。

正常钻进:含油钻屑自固控设备排出后,经由导流槽排入岩屑收集罐中存放。利用挖掘机将含油钻屑装至车载岩屑罐,然后送至集中处理基地。

固井:固井替出的混浆、隔离液和水泥通过振动筛前的钻井液分配器,然后经管线直接联通至固井替液分配器,排入固井替液回收罐,运输车辆送至集中处理基地。固井车洗车废水排放至固井洗车罐,最后利用污水罐车集中拉运。

清罐:完井后,先回收油基钻井液,再利用真空泵把钻井液罐中的残余钻井液和部分沉砂吸至岩屑收集罐内,然后转运至集中处理基地。剩余钻井液罐中的固体岩屑通过地面铺设的钻井液槽至装载机收集区,拉运至集中处理基地。

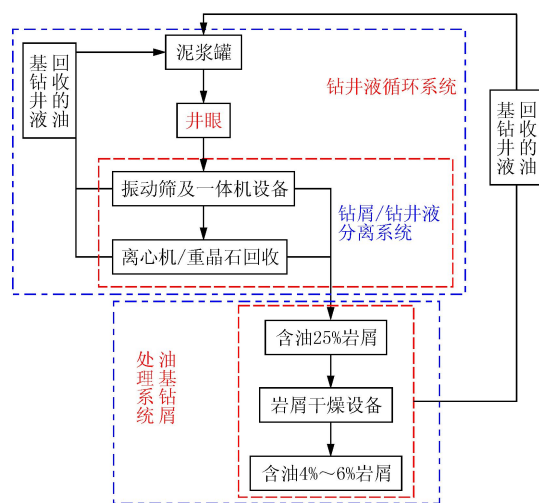


图6 钻井液回收示意图

### 3.6.2 环保高性能水基钻井液

先前施工井采用油基钻井液,现改为更为环保的高性能水基钻井液,L26-平H和L26-平J等30余口井应用表现出了低摩阻、高润滑的特点,极压摩阻系数在0.08~0.14之间,润滑性接近油基钻井液,其中L26-平H井水平段长度达1916m,摩阻系数与油基钻井液体系相当,明显高于普通水基钻井液体系,具有良好的润滑效果;触变性与水基钻井液相当,低于油基钻井液,可有效防止生成岩屑床,有利于井筒稳定与井筒清洁。

## 4 应用效果

2012—2015年共统计19个平台49口水平井,水平段长均超过1000m,单井最长水平段达到2660m,初期平均日产油达到直井的4~6倍。以L26-X平台井为例,该平台3口井累计进尺11849m,施工周期123d,相比于该区块单独3口井缩短施工周期52d,平均单井建井周期缩短14.99d,钻前缩短

周期1.69d,钻井周期缩短了13.49d,完井周期缩短了2.64d,工厂化作业见到了效果。

## 5 结论

(1)工厂化作业模式在致密油开发中施工周期比单井施工缩短明显,同时在节约成本、提高钻速、快速施工等方面成效显著,值得推广应用。

(2)针对近几年里的已施工井情况,综合分析区块施工特点,集成应用单项技术,模式化施工,固化井身结构、钻进参数、钻头选型等,在现场施工中取得了良好的效果。

(3)形成了一套适合致密油气资源开发的流水线作业模式,对非常规油气资源的高效开发具有一定的借鉴指导意义。

## 参考文献:

- [1] 廖腾彦,余丽彬,李俊胜,等.吉木萨尔致密砂岩油藏工厂化水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2014,42(6):30-33.
- [2] 张茂林,谢飞龙,段江,等.吉木萨尔致密油平台3工厂化钻井实践[J].钻采工艺,2014,38(1):11-15.
- [3] 陈平,刘阳,马天寿.页岩气“井厂化”钻井技术现状及展望[J].石油钻探技术,2014,42(3):1-7.
- [4] 李博.水力振荡器的研制与现场试验[J].石油钻探技术,2014,42(1):111-113.
- [5] 龙志平,沈建中,袁明进,等.煤层气“井工厂”钻完井技术探讨[J].油气藏评价与开发,2013,3(4):73-76,80.
- [6] 王东坡,刘立,张立平,等.松辽盆地白垩纪古气候、沉积旋回、沉积地层[M].吉林长春:吉林大学出版社,1995.
- [7] 王伟.安西县寒山金矿钻探施工难点及解决措施[J].地质与勘探,2008,44(2):95-98.
- [8] 石立明.复杂地层岩芯钻探综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):12-14.
- [9] 张先普,陈继明,董范.双层组套管的方案设计性能评价[J].西南石油学院学报,1997(4):43-46.
- [10] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-24.
- [11] 刘维平,胡远彪.牡丹江金厂矿区钻井液选用与堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(6):13-18.
- [12] 王伟.安西县寒山金矿钻探施工难点及解决措施[J].地质与勘探,2008,44(2):95-98.
- [13] 石立明.复杂地层岩芯钻探综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):12-14.
- [14] 宋子齐.测井多参数的地质应用[M].陕西西安:西北工业大学出版社,1993.
- [15] 刘振宇,徐怀宝,宠雷.准噶尔盆地乌夏断裂带构造迁移特征[J].新疆石油地质,2007,28(4):399-402.
- [16] 王旭宏.水平分支井技术套管固井技术研究与应用[J].大众科技,2008(5):73-75.