

# 基于数值模拟的远程工程支持在海洋 19-6 井的实践

袁洪水, 和鹏飞, 袁则名, 徐彤, 李耀琳, 靳楠

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

**摘要:**数字化和智能化是钻井工程发展的新方向,但目前仍处于初级阶段。针对海洋 19-6 井中下部井段存在异常压力层,预测钻井液安全窗口较窄的问题,通过 Drillworks 软件采用 dc 指数法和分段测井资料校正法开展了地层随钻压力监测、通过动态跟踪软件 Well-Ahead 软件结合 Landmark 软件水力模块校正开展了随钻动态水力(随钻 ECD 当量密度和起下钻抽汲和“激动”压力分析)监测,保证了井底和套管鞋钻井液循环当量在三压力安全窗口内。通过这种远程数据支持模式的建立,进一步推进了钻井工程数字化进程,有效保证钻井工程安全。

**关键词:**数据支持;随钻监测;数值模拟;钻井工程;海上油田

**中图分类号:**TE21 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)03-0042-04

**Research and Application of Decision Support Method for Drilling Engineering Based on Data Analysis/YUAN Hongshui, HE Peng-fei, YUAN Ze-ming, XU Tong, LI Yao-lin, JIN Nan** (CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** Digitization and intelligentization are new direction of drilling engineering development, but it is still in its primary stage. Aiming at the abnormal pressure layer in the lower well section of offshore well 19-6 and the narrow safety window for drilling fluid prediction, by using Drillworks software, DC index method and subsection logging data correction method, the formation pressure monitoring while drilling is carried out; by the combination of dynamic tracking software Well-Ahead software and Landmark software hydraulic module calibration, the dynamic hydraulic monitoring while drilling (ECD while drilling, tripping swabbing and surge pressure analysis) are carried out to ensure the drilling fluid circulation equivalent between the bottom hole and the casing shoe in 3 pressures safety windows. Through the establishment of this remote data support model, the digital process of drilling engineering is further promoted and the drilling safety is effectively guaranteed.

**Key words:** data support; monitoring while drilling; numerical simulation; drilling engineering; offshore oil well

## 0 引言

钻井工程是油气开发中的重要环节,担负着钻达油气层、建立井筒的重任<sup>[1-2]</sup>。作为传统行业,钻井作业长期以现场人员经验为主,对于工程的认识、分析和复杂情况的处理基本采用经验法。随着当前全球数字化的发展,各种大数据形式层出不穷,这也为钻井工程提供了新的研究思路 and 方向<sup>[3-4]</sup>。钻井工程数据量大、专业性强,各大油田近年来均开展了相关的信息化数据研究工作,各类数据库逐步建立,但对于现场作业的直接指导仍处于尝试与探索阶段。早期海洋钻井实现了现场录井曲线在陆地的远程传输与显示<sup>[5]</sup>,但缺乏有效的分析和管管理,海洋钻井数据管理工作近年来也取得了较大进步,建立了 wellview 井史资料库、sitecome 作业曲线存储数据

库,拥有 Well-Ahead、Well-Planner、Drillworks 以及 Landmark 等商业化钻井工程软件,其中 Well-Ahead 软件能够与远程录井数据对接,进行数据动态计算,将现场一次参数加工计算为二次参数,主要用于井筒 ECD 当量密度的跟踪,Well-Planner 能够实现对单个工况的全程模拟,比如固井作业,从水泥浆泵入到顶替到位,该软件可实现过程模拟分析,Drillworks 和 Landmark 软件属于行业内广泛使用的地层压力分析和钻完井工程分析软件<sup>[6-7]</sup>。同时也建立了钻完井数据管理机构,在海洋 19-6 井尝试了以老井资料(来自数据库)分析、作业井数据软件模拟分析的钻井随钻远程数据支持模式。

收稿日期:2017-09-19; 修回日期:2018-01-16

基金项目:国家级基金支持项目“海洋石油天然气开采事故防控技术研究及工程示范”(编号:2017YFC0804500)

作者简介:袁洪水,男,汉族,1981年生,石油工程专业,从事海洋钻井监督技术及数据分析工作,天津市塘沽区渤海石油路 688 号工程技术公司 408, yuanhsh@cnooc.com.cn。

## 1 海洋 19-6 井基本情况

海洋 19-6 井位于渤海西南部海域,为一口预探井,设计井深 4173 m,完钻层位位于太古界花岗岩潜山。

### 1.1 地质概况

本井自上而下依次揭开平原组、明化镇组、馆陶组、东营组、沙河街组和太古宇潜山。具体层位深度见表 1。

表 1 地层层位划分

层位	底深/m
平原组	500
明化镇组	1900
馆陶组	2600
东营组	3500
沙河街组	4050
太古宇潜山(未穿)	4180

### 1.2 钻前地层压力预测

钻前根据地震资料预测,本井自东营组下段开始地层压力逐渐增加,孔隙压力达到  $1.34 \text{ g/cm}^3$ ,坍塌压力达到  $1.27 \text{ g/cm}^3$ ,漏失压力  $1.58 \sim 1.66 \text{ g/cm}^3$ ,破裂压力  $1.73 \sim 1.87 \text{ g/cm}^3$ 。沙河街组上部孔隙压力最大达到  $1.51 \text{ g/cm}^3$ ,坍塌压力达到  $1.37 \text{ g/cm}^3$ ,漏失压力  $1.70 \sim 1.78 \text{ g/cm}^3$ ,破裂压力为  $1.84 \sim 1.99 \text{ g/cm}^3$ 。沙河街组下部孔隙压力由  $1.56 \text{ g/cm}^3$  逐渐回落至  $1.35 \text{ g/cm}^3$ ,坍塌压力达到  $1.28 \text{ g/cm}^3$ ,漏失压力  $1.68 \sim 1.75 \text{ g/cm}^3$ ,破裂压力为  $1.79 \sim 1.93 \text{ g/cm}^3$ 。

### 1.3 井身结构设计

根据地层压力情况及渤海井身结构设计方案,海洋 19-6 井井身结构设计如表 2 所示,  $12\frac{1}{4} \text{ in}$  ( $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$ ) 井眼在异常压力层顶部中完,采用  $9\frac{5}{8} \text{ in}$  套管作为技术套管封固。

表 2 井身结构设计

井眼尺寸/in	井深/m	套管尺寸/in	套管下深/m
26	498	20	495.00
16	1476	13 $\frac{3}{8}$	1470.50
12 $\frac{1}{4}$	3386	9 $\frac{5}{8}$	3381.57
8 $\frac{1}{2}$	4044	7	3066~4038.5
6	4180	裸眼	

### 1.4 难点分析

(1) 预测本井在以下深度可能会钻遇断层( $12\frac{1}{4} \text{ in}$  井眼): 深度位于 2111、2539 m 处; 断距分别为 95、27 m; 断点范围依次为 2043~2145、2372~2705

m。

(2) 预测本井存在高压层( $12\frac{1}{4} \sim 8\frac{1}{2} \text{ in}$  井眼)。  $12\frac{1}{4} \text{ in}$  井眼中完原则是进入沙河街组,不揭开高压层,确保  $9\frac{5}{8} \text{ in}$  套管封住上部易漏地层,因此卡准高压层极为重要。

(3)  $8\frac{1}{2} \text{ in}$  井眼进潜山地层 2~3 m 中完,作业压力窗口较窄,揭开潜山地层时存在漏失风险。

## 2 远程数据支持思路与方法

### 2.1 数据支持重点

$12\frac{1}{4} \text{ in}$  井段存在 2 个断层,作业过程易漏失; 该井段的中完原则是进入沙河街组,封固东营组大段泥岩,但不揭开高压层。根据预测三压力曲线,地层压力自东二下段开始抬升,与上部地层形成明显的高低压区别,该井段的中完卡层困难。否则将出现高低压同层,同时考虑上部井段存在断层等薄弱地层,漏失风险增加。

$8\frac{1}{2} \text{ in}$  井眼开钻密度  $1.35 \text{ g/cm}^3$ ,并在实钻过程中,根据 dc 指数法监测地层压力,进行调整泥浆密度;本井段中完原则揭开潜山地层 2~3 m,进入潜山存在漏失风险;7 in 尾管固井时可能发生漏失复杂情况,固井过程中对 ECD 当量密度进行计算。

6 in 井段钻太古界潜山,易漏,结合水力模块,监控作业过程 ECD 当量密度,使 ECD 当量密度处于安全范围内。

### 2.2 技术思路

孔隙压力跟踪方法:钻前通过邻井测井资料以及地层压力资料进行分析,得到重要 dc 指数中的相关数据,再利用 dc 指数法跟踪本井段地层压力。

井筒内水力学参数监测:(1) 利用 Well - Ahead、Well - Planner 动态软件实现钻进和循环时对整个井段的任何位置 ECD 当量密度监控,比如管鞋、井底和中间易漏层等位置,确保薄弱地层的 ECD 当量密度高于孔隙压力和坍塌压力,低于漏失压力和破裂压力,为钻井参数的调整提供参考;(2) 利用 Landmark 等软件水力模块实现对整个井段 ECD 当量密度和抽汲及“激动”压力的监控,计算出极限泵排量和起下钻速度,从而降低漏失和坍塌风险;(3) 计算套管到位循环时 ECD 当量密度,提供循环排量参考;(4) 模拟顶替过程中,环空 ECD 当量密度的变化。

### 3 实践与工程应用

#### 3.1 地层压力跟踪分析

实钻跟踪情况:海洋19-6井为19区块6构造的第一口探井,无邻井实钻资料进行参考。在本次地层压力跟踪中选取dc指数法。其中伊顿指数根据选择参考距离该井最近的一口海洋22-2-1科学探索井<sup>[8-9]</sup>,首先对科学探索井测井资料以及地层压力资料进行分析,最终选择伊顿指数为0.5,dc斜率0.000172、截距1.004503。在海洋19-6井二开跟踪初期选择此伊顿系数。实际二开跟踪使用的正常压力系数为1.03。随钻计算结果如图1所示。

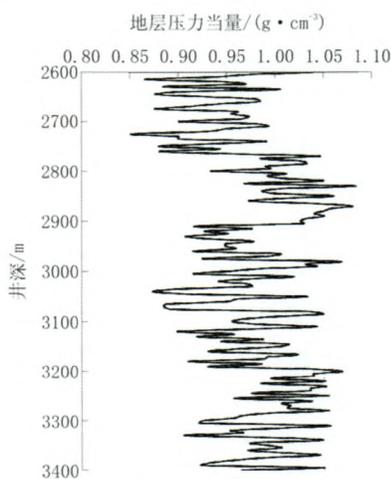


图1 随钻dc指数法计算地层压力(12 $\frac{1}{4}$  in井段)

钻后校正:二开中完后,根据测压结果和测井声波数据校正地层压力曲线。结果表明,本井上部压力系数为0.98,并证明伊顿指数取值合理,实时跟踪地层压力结果显示跟踪结果与实测压力结果基本一致,dc指数跟踪地层压力方法可以较好地跟踪计算地层压力,如图2所示。

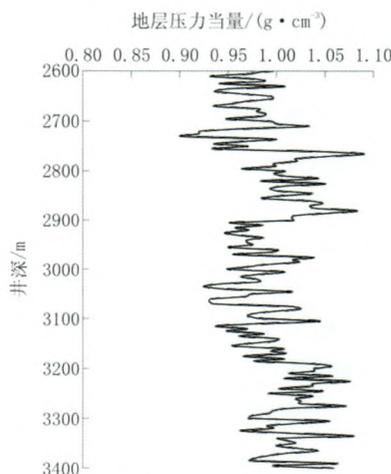


图2 钻后声波时差法计算地层压力(12 $\frac{1}{4}$  in井段)

8 $\frac{1}{2}$  in 井眼作业中使用二开校正后的压力系数和原伊顿指数。钻进至3546 m,气全量由2%~3%升高至21%,dc指数开始偏离正常趋势线,循环排气,逐步提高钻井液密度至1.50 g/cm<sup>3</sup>,气全量逐渐下降至7.5%,循环调整钻井液性能并逐步提高钻井液密度至1.52 g/cm<sup>3</sup>,气全量下降至6%,之后背景气稳定在5%以内,但是持续有单根气出现。所以地层压力当量略大于钻井液密度1.52 g/cm<sup>3</sup>。实际测压数据显示3521 m处测压数据为1.518 g/cm<sup>3</sup>,dc计算该处地层压力为1.512 g/cm<sup>3</sup>,实测值与计算值基本一致。根据钻后电缆测压结果,随钻地层压力跟踪准确度在85%以上,尤其对高压点起压点的监测和预警准确率100%。如图3所示。

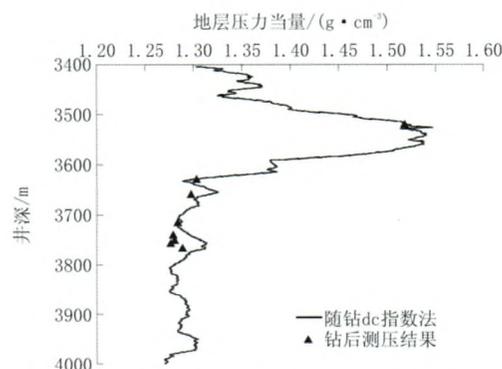


图3 随钻dc指数法计算地层压力与钻后测压对比(8 $\frac{1}{2}$  in井段)

#### 3.2 随钻ECD当量密度监测

Well-Ahead软件实时动态计算井底ECD当量密度(见图4),根据数据对比得出,在12 $\frac{1}{4}$  in井段井底ECD当量密度与钻井液密度的附加值在0.25左右,在8 $\frac{1}{2}$  in井段则附加值在0.45左右,在6 in井段则上升到0.5~0.6,跟踪结果显示井底ECD当量密度均在安全钻井液窗口范围内,如图4所示。

#### 3.3 抽汲与“激动”压力分析

利用Landmark软件对井底4173 m处的起钻速度分析:起钻速度为10、30 m/min,抽汲造成的井筒当量钻井液密度不会低于孔隙压力(见图5);下钻速度为10、30 m/min,“激动”压力造成的井筒当量钻井液密度大于地层漏失压力(见图6)。

### 4 结论

(1)传统钻井工程中,主要以作业人员经验为主导开展作业,随着技术的发展,海洋钻井在随钻过程中采用各类工程软件开展数值模拟校核,保证作业

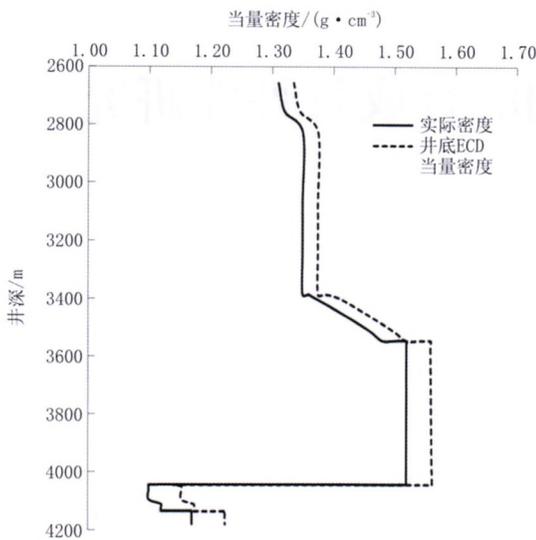


图 4 随钻 ECD 当量密度与实际密度对比

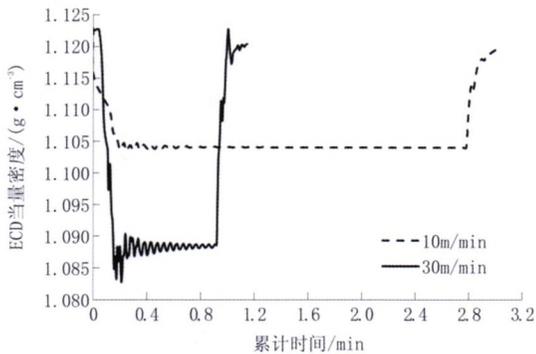


图 5 起钻抽汲压力分析

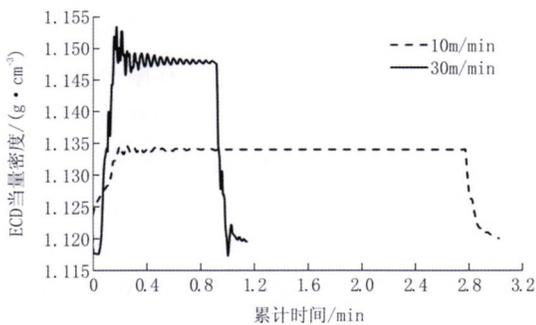


图 6 下钻“激动”压力分析

安全,实践表明效果较好。

(2)海洋 19-6 井在作业中以本井的异常压力为重点开展的主要内容包括地层压力随钻计算,结果表明通过分析邻井资料选取合理的 dc 指数法伊顿指数等参数,通过分阶段(开次)获得钻后测井资料的校正,能够保证模拟跟踪的数值准确度。

(3)通过 Well-Ahead 软件对井底 ECD 当量密度的实时计算和 Landmark 软件对抽汲和“激动”压力的计算,能够实现井筒内动态 ECD 当量密度在钻井液安全窗口内。

(4)将工程录井参数与软件对接,实现数据的动态计算和分析,为科学钻井、数字化分析提供了新的路径。本文通过在海洋 19-6 井作业的远程数据支持模式探索,进一步实践化了这种技术思路,虽然效果较好,但目前仍处在初级阶段,需要进一步开发和研究。

参考文献:

- [1] 陈庭根,管志川.钻井工程理论与技术[M].山东东营:中国石油大学出版社,2000;50-60.
- [2] 张传进,鲍洪志,路保平.测井资料在钻井工程中应用现状及展望[J].天然气工业,2002,22(5):55-57.
- [3] 刘岩生,赵庆,蒋宏伟,等.钻井工程软件的现状及发展趋势[J].钻采工艺,2012,35(4):38.
- [4] 樊洪海.钻井工程实时监测与井场信息系统开发[J].石油钻探技术,2003,31(5):17-19.
- [5] 郭剑,陈爱国.渤海油田钻完井项目群管理模式浅析[J].石油科技论坛,2010,29(5):51-53.
- [6] 李辉.基于构件的钻井模拟系统软件的开发与应用[D].北京:北京科技大学,2009,100-102.
- [7] 李玉.基于构件的钻井工程设计一体化系统研究[D].上海:上海交通大学,2003,60-70.
- [8] 和鹏飞.大位移井技术在渤海油田的应用及发展[J].海洋工程装备与技术,2016,3(6):361-366.
- [9] 和鹏飞.海上低成本侧钻调整井的可行性研究与实施[J].海洋工程装备与技术,2016,3(4):212-216.