



渤海中深部地层多源信息一体化压力监测方法

陈波 和鹏飞 宋峙潮 吴旭东 徐彤 郑卓

A pressure monitoring method integrating multi-source information in middle and deep formations in Bohai Sea

CHEN Bo, HE Pengfei, SONG Zhichao, WU Xudong, XU Tong, ZHENG Zhuo

引用本文:

陈波, 和鹏飞, 宋峙潮, 吴旭东, 徐彤, 郑卓. 渤海中深部地层多源信息一体化压力监测方法[J]. *石油钻采工艺*, 2022, 44(1):112–116. doi: 10.13639/j.odpt.2022.01.017

CHEN Bo, HE Pengfei, SONG Zhichao, WU Xudong, XU Tong, ZHENG Zhuo. A pressure monitoring method integrating multi-source information in middle and deep formations in Bohai Sea[J]. *Oil drilling and production technology*, 2022, 44(1):112–116. doi: 10.13639/j.odpt.2022.01.017

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13639/j.odpt.2022.01.017>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

地质工程一体化研究与应用现状

Research and application status of geology–engineering integration

石油钻采工艺. 2021, 43(2): 131 <https://doi.org/10.13639/j.odpt.2021.02.001>

渤海中深层勘探开发一体化平台位置优选

The platform location optimization technology for the exploration–development integration of middle and deep reservoirs in the Bohai Sea

石油钻采工艺. 2018, 40(S1): 84 <https://doi.org/10.13639/j.odpt.2018.S0.023>

渤中凹陷19–6构造地层压力随钻精确监测技术

Precise detection technology of formation pressure while drilling in BZ19–6 structure of Bozhong sag

石油钻采工艺. 2018, 40(S1): 125 <https://doi.org/10.13639/j.odpt.2018.S0.035>

卸载型异常高压地层压力预测方法

A method for predicting the pressure of unloading–type abnormal pressure formation

石油钻采工艺. 2020, 42(5): 553 <https://doi.org/10.13639/j.odpt.2020.05.004>

随钻地质导向智能决策的实现与应用

Realization and application of the intelligent geosteering decision making while drilling

石油钻采工艺. 2020, 42(1): 1 <https://doi.org/10.13639/j.odpt.2020.01.001>

渤海边际油田勘探开发一体化探索与实践

Research and practice of exploration–development integration of marginal oilfield in the Bohai Sea

石油钻采工艺. 2019, 41(3): 272 <https://doi.org/10.13639/j.odpt.2019.03.002>

文章编号: 1000-7393(2022)01-0112-05

DOI: 10.13639/j.odpt.2022.01.017

渤海中深部地层多源信息一体化压力监测方法

陈波¹ 和鹏飞¹ 宋峙潮¹ 吴旭东² 徐彤¹ 郑卓¹

1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司; 2. 中海石油(中国)有限公司

引用格式: 陈波, 和鹏飞, 宋峙潮, 吴旭东, 徐彤, 郑卓. 渤海中深部地层多源信息一体化压力监测方法 [J]. 石油钻采工艺, 2022, 44(1): 112-116.

摘要: 地层压力是影响钻井工程安全的关键问题。传统欠压实地层压力监测方法受到人工操作因素、井筒钻具因素影响导致系统误差大、监测结果精度低。通过对历史井数据、随钻获得的测井、录井、钻井数据归纳表达和描述, 建立基于历史源的分析过程参数和结果参数库, 通过钻头破岩效率分析剔除产生的异常噪点影响, 通过气测响应特征分析建立井筒压力关系映射特征, 通过井筒动态压力精细刻画, 建立了三类关系约束模型, 最终建立了多源信息的地质工程一体化压力分析工作流程。2017—2020年在32口井的应用实践表明, 该方法预测精度可达94%以上, 证明了该技术具有较好的实用性和推广价值。

关键词: 地层压力; 压力监测; 多源信息; 信息处理; 地质工程一体化

中图分类号: TE21 **文献标识码:** A

A pressure monitoring method integrating multi-source information in middle and deep formations in Bohai Sea

CHEN Bo¹, HE Pengfei¹, SONG Zhichao¹, WU Xudong², XU Tong¹, ZHENG Zhuo¹

1. Engineering Technology Company, CNOOC Energy Development Co., Ltd., Tianjin 300452, China;

2. CNOOC (China) Co., Ltd., Beijing 100007, China

Citation: CHEN Bo, HE Pengfei, SONG Zhichao, WU Xudong, XU Tong, ZHENG Zhuo. A pressure monitoring method integrating multi-source information in middle and deep formations in Bohai Sea [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2022, 44(1): 112-116.

Abstract: Formation pressure is a key issue affecting the safety of drilling engineering. The traditional under-compacted formation pressure monitoring method is affecting by manual operation factors and well drilling tools, resulting in large systematic errors and low monitoring accuracy. Through the generalization and description of historical well data and logging, drilling data obtained while drilling, a library of analysis process parameters and result parameters based on historical sources was established. Eliminate the influence of the data generating abnormal noise through analyzing the rock breaking efficiency of drill bit. Establish the mapping characteristics of well pressure relationship through analyzing gas logging response characteristics. Establish a constraint model on three types of relationship through finely characterizing well dynamic pressure. And finally, establish a pressure analysis workflow integrating multi-source information from geology and engineering. The application practice in 32 wells from 2017 to 2020 shows that the prediction accuracy of this method can reach more than 94%, which proves that there are favorable practicability and promotion value for this technique.

Key words: formation pressure; pressure monitoring; multi-source information; information processing; geology-engineering integration

基金项目: 国家重点研发计划“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)。

第一作者: 陈波(1986-), 2008年毕业于吉林大学地质勘查专业, 主要从事海洋钻井监督技术及数字化应用研究工作, 工程师。通讯地址: (300452) 天津市滨海新区渤海石油路668号海油发展工程技术公司。E-mail: chenbo3@cnooc.com.cn

通讯作者: 和鹏飞(1987-), 2010年毕业于中国石油大学(北京)石油工程专业, 主要从事海洋钻井监督技术及数字化应用研究工作, 高级工程师。通讯地址: (300452) 天津市滨海新区渤海石油路668号海油发展工程技术公司。E-mail: hepf@cnooc.com.cn

近年来随着渤海油田勘探开发的深化,从明化镇组下段到沙河街、潜山均有大量发现成果,随着勘探井深的增加,地层压力升高、压力系统复杂,如渤中19-6构造自东二下段发育异常压力,沙河街组实测最高地层压力系数达1.52。准确监测地层压力对于减少钻井事故、降低钻井风险、优化钻井设计、缩短钻井周期、节省钻井成本具有重要的意义。

在石油钻井行业中已形成多套地层压力监测和计算方法。对于随钻的压力监测方法,主要有标准化钻速法、泥页岩密度法、岩石强度法和 d_c 指数法^[1-5]。标准化钻速方法考虑多种因素,加入变量标准化考量,但钻速方程计算繁琐;泥页岩密度法主要通过随钻过程测量岩屑密度,绘制密度与深度关系图,回归正常趋势线监测异常压力,同样存在密度获得难度大、工程操作复杂的问题;岩石强度法,通过钻井参数评估岩石强度进行压力监测,这种方法涉及孔隙度等参数,工程中获取难度较大,因此这3种方法在随钻过程中的应用较少。 d_c 指数法是目前随钻过程应用最广的方法,计算过程主要涉及钻井参数,但总体精度较低^[6-8]。

通过对钻井过程的信息归类应用(历史源数据、随钻录井数据和随钻钻参数据),以 d_c 指数法为基础,建立了区域历史井压力成果库和气测响应模型,提出了地层压力修正方法,对井筒压力关系进行了精细刻画,建立一种基于多源信息的地质工程一体化压力监测方法,用以满足工程实践需要和提高压力监测精度。

1 传统压力分析方法局限性分析

传统 d_c 指数法随钻过程中的压力监测,主要采用通过钻井参数实时传输,计算 d_c 指数,通过选择稳定泥岩段,建立正常趋势线,之后采用Eaton方法计算压力值^[9-11]。这种方法,在随钻过程中主要存在的问题是精度低,受限于两方面的因素:一是在 d_c 方法压力分析过程中,首先需要确定正常压实泥岩段的趋势线参数,包括斜率和截距,在使用Eaton方法计算压力时,需要得到Eaton指数,这3个过程参数,存在较大系统误差,主要由工程师手动操作确定;二是该方法通过钻井参数计算 d_c 来表征地层特征,但现代钻井钻具组合较为复杂,PDC和动力钻具大量使用,这些提速因素对钻井参数影响较大,无法准确表征地层情况,因此如何在过程中剔除钻具因素影响极为重要。

2 基于多源信息的计算方法建立

2.1 钻井信息的归类处理

油田勘探开发过程中,现场数据来源多样,钻井过程主要有工程参数和地质参数两大类。其中工程参数主要包括钻井液性能、水力参数、转速、钻压、钻头类型等,地质参数主要为岩性特征。按时间维度划分,又可分为周边历史井数据和当前所钻井数据。因此综合应用于随钻分析的数据,有历史源数据、随钻钻井参数数据和随钻录井数据3大类。其中历史源数据是数据库中历史井数据资料,包括随钻钻参数据、井史日报数据、部分测井数据等;随钻录井数据包括待监测井气测、岩屑录井数据等;随钻钻参数据包括随钻钻压、钻速、扭矩、排量、泵压等数据。这3类数据表征意义各不相同,但又相互关联,通过算法沟通可建立相互联系和实现印证。

2.2 分析模型源方法的确定

莱州湾、辽东湾、黄河口地区的异常高压主要由欠压实型因素引起,环渤海中部地区的异常高压主要由生烃主导型引起^[4]。由于Eaton预测模型适用于砂岩和泥岩构成的地层,可分析泥岩欠压实及流体膨胀成因的异常高压,故选取Eaton压力预测法作为本技术的基础模型,计算公式为

$$p_p = p_{ob} - (p_{ob} - p_h)(d_c/d_{cn})^N \quad (1)$$

式中, p_p 为孔隙压力,MPa; p_{ob} 为静岩压力,MPa; p_h 为静水压力,MPa; d_{cn} 为正常压实地层可钻指数,无因次; d_c 为实测地层可钻性指数,无因次; N 为Eaton指数,无因次。

2.3 精准关联参数的获取

利用Sitecom数据库(中海油建设的钻井参数动态数据库)中的历史井动态数据,结合实际测压值,利用Eaton压力预测法,回归历史井的趋势线,并利用多口历史井的测井资料,结合实际测压值,按照声波时差法,回归趋势线与Eaton指数,最后利用不同求平均值的方法,处理多条趋势线与Eaton指数,得出更精确的基础参数。以此为基础,结合地质特征数据,建立区域成果库。区域成果库主要包含区域关键参数库、区域地层压力响应特征图库和已钻井连井剖面库,其中区域关键参数库包括截距、斜率和Eaton指数。使用历史井数据回归迭代标准方法结合Eaton压力预测法和声波时差法,回归正常压实趋势线和Eaton指数 N 。建立区域成果库的主要目的是将历史井地层压力相关资料以及处理模式

关键参数等进行储存和调用,通过多口历史井数据迭代、反演,建立更加精准的正常压实趋势线。

2.4 异常噪点影响的剔除

虽然渤海地层主要岩性为砂泥岩,但也存在异常地层夹层等复杂岩性。由于 Eaton 模型只适用于预测由砂岩和泥岩构成的地层压力,故本文引入可反映钻头实时工作状态的参数机械比能,来辅助剔除钻头、钻具产生的异常噪点影响。其计算公式为

$$M_{SE} = \frac{4 \times 10^3 W_{OB}}{D^2 \pi} + \frac{4.8 \times 10^5 NT_b}{D^2 R_{OP}} \quad (2)$$

式中, M_{SE} 为机械比能, MPa; W_{OB} 为实钻钻压, kN; D 为钻头直径, mm; N 为转速, r/min; T_b 为钻头扭矩, kN·m; R_{OP} 为机械钻速, m/h。

结合 Sitecom 数据库中动态钻井参数,利用 Drillworks 软件实时计算机械比能,当其实时计算值变化趋势变化时(偏离正常趋势并无限增大,若是地质夹层,则机械比能上升至某一台阶值后保持稳定),辅助判断是地层因素还是钻头失效或钻具故障问题,进而剔除钻头或钻具对地层压力监测的影响情况。

3 地质工程一体化压力综合分析方法

3.1 井筒压力关系映射模型

钻井过程中,储层流体可以通过渗流扩散和破

碎涌入两种方式进入钻井液。考虑到井筒钻井液柱压力与地层孔隙压力的相互变化,气测会形成正压差、过渡态和负压差 3 种情形:在稳定的正压差下,上提单根会产生抽汲压力,导致井筒液柱压力降低并出现单根气,但背景气含量保持稳定;地层压力逐渐升高直至与井筒液柱压力相等时,上提管柱会持续性出现单根气且背景气含量不断增大;负压差时,地层压力大于井筒液柱压力,随着压差的增大,单根气和背景气均出现上涨趋势。

作业过程中,根据随钻测量的实时岩屑录井和气测数据,可以建立井筒压力平衡状态的气测响应模型,综合计算随钻过程中的实时压力数据;再结合上述 3 种井筒内压力状态,通过气测表征类型获得初步井筒压力状态;最后使用区域井数据关系进行定量分析(气测→井筒平衡状态→压差定量)。基于大数据关联方式的映射模型见式(3),渤中地区中深层获得的初步数据管理结果见表 1。

$$f \left\{ \begin{array}{l} \text{破岩气} \\ \text{背景气} \\ \text{单根气} \end{array} \right\} \rightarrow f \left\{ \begin{array}{l} \text{正向} \\ \text{近平衡} \\ \text{欠平衡} \end{array} \right\} \rightarrow f \left\{ \begin{array}{l} \text{环空压耗} \\ \text{抽汲波动} \\ \text{激动波动} \end{array} \right\} \quad (3)$$

由表 1 可知,单根气含量、气测基值等参数与井筒压力平衡状态匹配程度较高,可以通过随钻测量的实时岩屑录井和气测数据,定量评价地层压力与

表 1 数据关联定量结果

Table 1 Quantitative results of data association

井名	井深/m	地层压力当量密度/(g·cm ⁻³)	钻井液密度/(g·cm ⁻³)	单根气/%	气测基值/%	ECD/(g·cm ⁻³)	岩性
X井	3 518	1.524	1.46	16	8.08~14.00	1.53	泥岩
	3 521	1.518	1.48	16	8.00~13.00	1.55	砂岩
	3 527	1.546	1.50	16	7.00~10.00	1.57	砂岩
	3 569	1.319	1.52	17	7.55	1.61	砂岩
	3 574	1.316	1.52	17	7.79	1.62	砂岩
	3 599	1.311	1.52	14	8.30	1.62	砂岩
	3 630	1.303	1.52	10	3.95	1.62	砂岩
Y井	3 747	1.482	1.48	0	2.15	1.55	泥岩
	3 770	1.453	1.49	8	1.05	1.56	泥岩
Z井	3 698	1.387	1.40	0	1.19	1.45	泥岩
	3 829	1.344	1.40	0	1.40	1.45	含砾细砂岩
	3 842	1.260	1.40	0	2.15	1.45	含砾细砂岩
	3 889	1.245	1.40	0	1.20	1.45	砂砾岩
	3 978	1.273	1.40	1	2.00	1.46	砂砾岩
	4 079	1.210	1.40	0	1.46	1.46	砂砾岩

井筒动态液柱压力的压差。该模型从工程角度完善压力监测技术,提高了地层压力预测精度。

3.2 建立地层压力约束模型

结合上述 3 种井筒压力状态的气测响应类型,分析井筒动态平衡状态的最小约束方程。

$$\begin{cases} \text{正压差: } p_p < \{p_{Swab}, p_{ESD}\} \\ \text{过渡态: } \{p_{Swab}, p_{ESD}\} < p_p < \{p_{Surge}, p_{ECD}\} \\ \text{负压差: } \{p_{Swab}, p_{ESD}, p_{ESD}\} < p_p \end{cases} \quad (4)$$

稳态下,环空有效液柱当量密度主要受钻井液密度、环空压力、岩屑特征等因素影响。

$$E_{CD} = f\{A, B, C, D\} \quad (5)$$

非稳态环空波动压力下,环空有效液柱当量密度受随钻参数的影响。

$$S_{wab} \text{ or } S_{urges} = f\{E, F\} \quad (6)$$

式中, p_{Swab} 为抽汲压力, MPa; p_{ESD} 为静液柱压力, MPa; p_{ECD} 为开泵时的环空有效压力, MPa; p_{Surge} 为激动压力, MPa; E_{CD} 为井筒内某一深度环空当量钻井液密度, g/cm^3 ; A 为钻井液性能影响因素; B 为井筒内钻屑特征影响因素; C 为钻井参数影响因素; D 为井筒和地层物理特性影响因素; S_{wab} 为抽汲压力当量密度, g/cm^3 ; S_{urges} 为激动压力当量密度, g/cm^3 ; E 为随钻既定参数因素; F 为随钻可调参数因素。

结合打通循环时的泵压和钻井液流变性能,修正并优化水力模型参数。使用三点法拟合动力钻具压耗。对于螺杆马达、MWD 等钻具,压耗和排量呈现非线性关系,对于每套工具的实际压耗变化,采用小-中-大的三点拟合法,绘制出压耗包络线,再通过内插解决不同排量下该钻具的压耗精度。通过影响水力参数的岩屑尺寸、岩屑密度、水力模型、井筒粗糙度等因素的量化敏感性分析,给出标准化推荐方法,以此对下部井段水力参数预测,钻井液性能可参考邻井井史参数对应井段钻井液性能,完成钻井液性能修改后即可对下部井段进行水力参数预测。结合水力参数与井筒压力平衡状态的气测响应模型,分析地层压力情况^[12]。

4 压力监测工作流程

通过对数据信息分类利用,根据相互关联关系,形成了基于 5 大信息源数据的一体化压力监测工作方法流程模式,如图 1 所示。

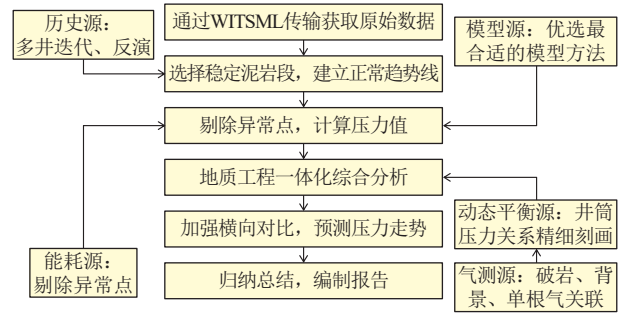


图 1 多源信息一体化压力监测方法流程

Fig. 1 Flow of the pressure monitoring method integrating multi-source information

5 现场应用

多源信息的地质工程一体化压力方法现场应用效果验证分为以下两步:(1)在研究区块前期勘探完成后,结合该区块已钻井实测数据(钻参、气测、岩性),使用 d_c 指数法回归计算模型的未知参数,算数平均后得到趋势线方程,进行地层压力跟踪;(2)结合该区块已钻井测井资料(声波、密度、伽马),使用声波时差回归方法计算地层压力,与 d_c 指数法计算得到的跟踪压力对比,验证趋势线方程的准确度。

以 N 和 P 区域为例,首先使用 Drillworks 软件和 Sitecom 系统的监测井数据,实现 WITSML 数据格式的实时更新及钻进过程中的同步计算,然后选择已经结束钻井作业的邻井分析地层压力数据和测井数据,计算得到模型的 Enton 指数为 0.5,趋势线斜率 0.000 172、截距 1.004 503。根据上述模型参数,对 N 区域某 2、3 井和 P 区域某 12、15 井地层压力进行跟踪,表 2 为 4 口探井声波计算与随钻监测结果。

表 2 N 及 P 区块钻后地层压力分析

Table 2 Analysis of formation pressure after drilling in N and P blocks

井号	随钻压力 监测结果		钻后声波时差法 计算结果		误差 率/%
	深度/ m	最高压力值/ ($g \cdot cm^{-3}$)	深度/ m	最高压力值/ ($g \cdot cm^{-3}$)	
N某2	4530	1.4258	4511	1.3797	3.34%
N某3	4506	1.4277	4507	1.4486	-1.44%
P某12	4266	1.2635	4250	1.2844	-1.63%
P某15	4522	1.2742	4629	1.3543	-5.91%

通过表 2 数据对比可看出, d_c 指数法与声波时差法计算得到的地层压力相差较小,准确率高达

94%以上,误差在6%以内,可以应用于欠压实地层压力实时精准监测。

6 结论

(1) 渤海中深部地层地质条件复杂,综合考虑区域地质背景、异常压力成压机理、地层物性特征、钻井管柱条件、钻头评估、钻井液性能、井筒力学、气测录井响应、岩屑特征、测井响应等多源信息,对传统欠压实地层压力监测方法进行了修正。

(2) 多源信息融合的地质工程一体化压力监测技术,通过钻头破岩效率分析、动态水力参数计算及气测表征响应3种手段,剔除了岩性及工具状态变化产生的异常噪点,建立了地层压力约束模型,应用于N、P区域4口探井地层压力跟踪,监测结果与实际地层压力误差低于6%。

(3) 地层异常压力成因多样,Eaton压力预测模型仅在欠压实地层中具有较好的适用性,随着钻井技术发展,渤海油田目的层逐渐加深,以古潜山为代表的深部地层异常压力成因复杂,后续将对地层压力预测模型进行进一步完善。

参考文献:

- [1] 何雷. 基于历史数据和随钻信息预测地层压力的理论及应用研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2013.
HE Lei. Research of theory and application of formation pressure prediction based on historical data and information while drilling [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2013.
- [2] 廖茂林, 胡益涛. 随钻地层压力监测技术在南海D区块的应用 [J]. 录井工程, 2013, 24(3): 19-25.
LIAO Maolin, HU Yitao. Application of formation pressure monitoring while drilling in D Block, South Sea [J]. Mud Logging Engineering, 2013, 24(3): 19-25.
- [3] 王鸿升. 论等效深度法预测地层压力存在的问题 [J]. 油气地球物理, 2018, 16(4): 63-69.
WANG Hongsheng. On the problems of predicting pore pressure by equivalent depth method [J]. Petroleum Geophysics, 2018, 16(4): 63-69.
- [4] 刘阳, 邓建明, 崔国杰, 等. 渤中凹陷19-6构造地层压力随钻精确监测技术 [J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(增刊): 125-128.
LIU Yang, DENG Jianming, CUI Guojie, et al. Precise detection technology of formation pressure while drilling in BZ19-6 structure of Bozhong sag [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018, 40(S0): 125-128.
- [5] 魏茂安, 陈潮, 王延江, 等. 地层孔隙压力预测新方法 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 395-400.
WEI Maoan, CHEN Chao, WANG Yanjiang, et al. New approach for pore pressure prediction [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(3): 395-400.
- [6] 孙武亮, 孙开峰. 地震地层压力预测综述 [J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(6): 428-432.
SUN Wuliang, SUN Kaifeng. Review of pore-pressure prediction from seismic data [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007, 30(6): 428-432.
- [7] 孙东征, 杨进, 杨翔骞, 等. 地层压力随钻预测技术在高温高压井的应用 [J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(6): 746-751.
SUN Dongzheng, YANG Jin, YANG Xiangqian, et al. Application of formation pressure prediction while drilling technology in HTHP wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(6): 746-751.
- [8] 董振国. 湖南保靖区块碳酸盐岩地层压力评价技术 [J]. 录井工程, 2018, 29(2): 13-18.
DONG Zhenguo. Evaluation of carbonate formation pressure in Baojing Block, Hunan [J]. Mud Logging Engineering, 2018, 29(2): 13-18.
- [9] 吴怡, 耿亚楠, 蔚宝华, 等. 灰岩储层孔隙压力预测方法研究 [J]. 石化技术, 2018, 25(8): 120-121.
WU Yi, GENG Yanan, YU Baohua, et al. Study on forecasting method of pore pressure in limestone reservoir [J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(8): 120-121.
- [10] 彭海龙, 刘兵, 赫建伟, 等. 深水盆地高温高压环境下的地层压力预测方法 [J]. 天然气工业, 2018, 38(3): 24-30.
PENG Hailong, LIU Bing, HE Jianwei, et al. A formation pressure prediction method for deepwater basins under high temperatures and high pressures [J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(3): 24-30.
- [11] 李红, 于忠涛, 袁洪水, 等. 地层压力预测技术在渤中A区块钻井中的应用 [J]. 石油化工应用, 2018, 37(11): 33-36.
LI Hong, YU Zhongtao, YUAN Hongshui, et al. Application of formation pressure prediction technology in drilling in Bozhong A Block [J]. Petrochemical Industry Application, 2018, 37(11): 33-36.
- [12] 和鹏飞, 王伟. 基于数据分析的钻井工程辅助决策方法研究与应用 [J]. 石油工业技术监督, 2018, 34(4): 1-4, 22.
HE Pengfei, WANG Wei. Research and application of drilling engineering decision support method based on data analysis [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2018, 34(4): 1-4, 22.

(修改稿收到日期 2021-11-10)

[编辑 朱伟]