

海南FS复杂断块油田钻井防塌误区及井壁稳定对策

曾瑞华^{1*}, 陈英杰², 廖宇春², 付杰¹, 肖伟伟³, 徐同台^{3#}

¹南方石油勘探开发有限责任公司工程技术处, 海南 海口

²南方石油勘探开发有限责任公司FS油田项目部, 海南 海口

³北京石大胡杨石油科技发展有限公司, 北京

收稿日期: 2022年4月11日; 录用日期: 2022年7月13日; 发布日期: 2022年7月20日

摘要

断层对其周边地应力大小和方向均有较大影响, 且断层破碎带作为一种岩石弱面, 其力学强度较连续完整地层明显偏低, 断层是钻遇/钻邻断层井壁稳定的主控因素, 对于复杂断块油田更是如此。然而长期以来, 业界对于该机理认识不清, 往往简单地基于连续完整地层的坍塌压力, 来进行钻井液密度及防塌性能设计, 井壁稳定设计未充分考虑断层因素, 导致坍塌压力数值失真、相应地防塌设计效果达不到预期, 钻井防塌陷入误区。本研究以FS断块油田为例, 深刻分析近断层区域井壁坍塌机理, 揭开当前近断层或过断层井防塌工作误区, 提出两套复杂断块油田井壁稳定研究技术路线, 并开展了实例研究, 可为类似复杂断块钻井防塌提供参考借鉴。

关键词

复杂断块, 断层, 坍塌压力, 井壁稳定, 技术对策

Misunderstanding of the Wellbore Collapses for Complex Fault-Block of FS Oilfield, Hainan and Its Technical Countermeasures for Wellbore Collapse

Ruihua Zeng^{1*}, Yingjie Chen², Yuchun Liao², Jie Fu¹, Weiwei Xiao³, Tongtai Xu^{3#}

¹Engineering and Technology Department, China Southern Petroleum Exploration & Development Corporation, PetroChina, Haikou Hainan

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 曾瑞华, 陈英杰, 廖宇春, 付杰, 肖伟伟, 徐同台. 海南 FS 复杂断块油田钻井防塌误区及井壁稳定对策[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(7): 1013-1019. DOI: 10.12677/ag.2022.127097

²FS Oilfield Project, China Southern Petroleum Exploration & Development Corporation, PetroChina, Haikou Hainan
³Huyang Petroleum Technology Development Limited, Beijing

Received: Apr. 11th, 2022; accepted: Jul. 13th, 2022; published: Jul. 20th, 2022

Abstract

The fault is the key factor for wellbore instability of the area nearby because of two reason, especially for the complex fault-block reservoir. One reason is that the fault impacts the *in-situ* stress of the area nearby, and another is the strength of the faulted zone is lower than the area far from the fault. However, the collapse mechanism of the area nearby fault has not been known by the drilling engineers and the related personnel, and the collapse pressure of the continuous formation is often used for the wellbore stability of the area far from the faults, which lead to the deviation from the down hole condition and poor wellbore instability results. The misunderstanding for the wellbore instability named FS complex fault-block has been analyzed in this paper, and two technical methods for wellbore collapse research nearby faults have been developed. The case study with one method shows that the influence of fault on the collapse pressure and the mud window nearby. The results of this paper shall be helpful for improving the wellbore collapse prevention nearby the faults, especially for the complex fault-block reservoir.

Keywords

Complex Fault-Block, Fault, Collapse Pressure, Wellbore Stability, Technical Countermeasures

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

断层对其周边地应力大小和方向均有较大影响,且断层级别越高、距离断层越近,地应力方向偏离区域方向越明显、地应力大小分布越复杂[1]-[6];另一方面,断层破碎带作为一种岩石弱面,其力学强度较连续完整地层明显低[2] [7] [8] [9] [10]。受这两方面影响,断层周边地层坍塌机理更为复杂,井壁失稳问题突出,对于复杂断块油田更是如此。然而,对于近断层或过断层井坍塌机理的特殊性,目前业界并未引起足够重视,更缺乏针对性研究策略,多沿用连续完整地层思路指导井壁稳定研究及安全密度窗口设计,未充分考虑断层因素,防塌工作陷入了误区;部分学者也提出了断层因素的重要性,但尚未提出一套简单有效且操作性强的技术对策[11]-[17]。正确认识断块油田坍塌机理并充分考虑断层影响,是走出复杂断块油田防塌误区的关键。

本文结合 FS 复杂断块油田实例,深刻分析断块油田坍塌机理,揭开当前近断层或过断层井防塌工作误区,提出两套复杂断块油田井壁稳定研究技术路线,可成功开展了实例研究,可为类似复杂断块油田钻井防塌提供参考。

2. FS 复杂断块油田井塌分析及处理误区

2.1. 基本情况

FS 油田为复杂断块构造油气藏,实钻因井壁失稳造成井下复杂频发,严重影响钻井作业时效。该油

田地层层序自上而下依次为第四系、上第三系(望楼港组、灯楼角组、角尾组、下洋组)和下第三系(溇洲组、流沙港组)地层,其中流沙港组为目的层、层内断层发育,地层相对破碎。该油田目前主要利用老井场采用定向井井型施工,部分井因井场位置及靶点限制,不可避免将在流沙港组钻穿或钻邻断层带。结合岩石力学实验分析,流沙港组流二段等硬脆性泥页岩较发育,岩心破坏形式以劈裂为主,峰值强度对应应变基本低于 1.5%,具有较强硬脆性特征,易剥落掉块,从而进一步加剧了井壁失稳风险。

2.2. 地应力及安全密度窗口研究

针对流沙港组井壁垮塌严重的情况,该油田开展了较为系统的岩石力学与地应力实验研究,建立了地应力剖面,在此基础上建立了孔隙压力、坍塌压力、破裂压力剖面及安全钻井液密度窗口,但相关研究工作多聚焦在远离断层的相对连续完整地层。

以朝阳构造为例,该区远离断层区的奠定地应力剖面、三压力剖面分别如图 1 和图 2 所示。三个地应力分量之中,上覆应力为最大地应力;流沙港组地层压力当量密度 0.9~1.2 g/cm³,基本属于正常压力体系。

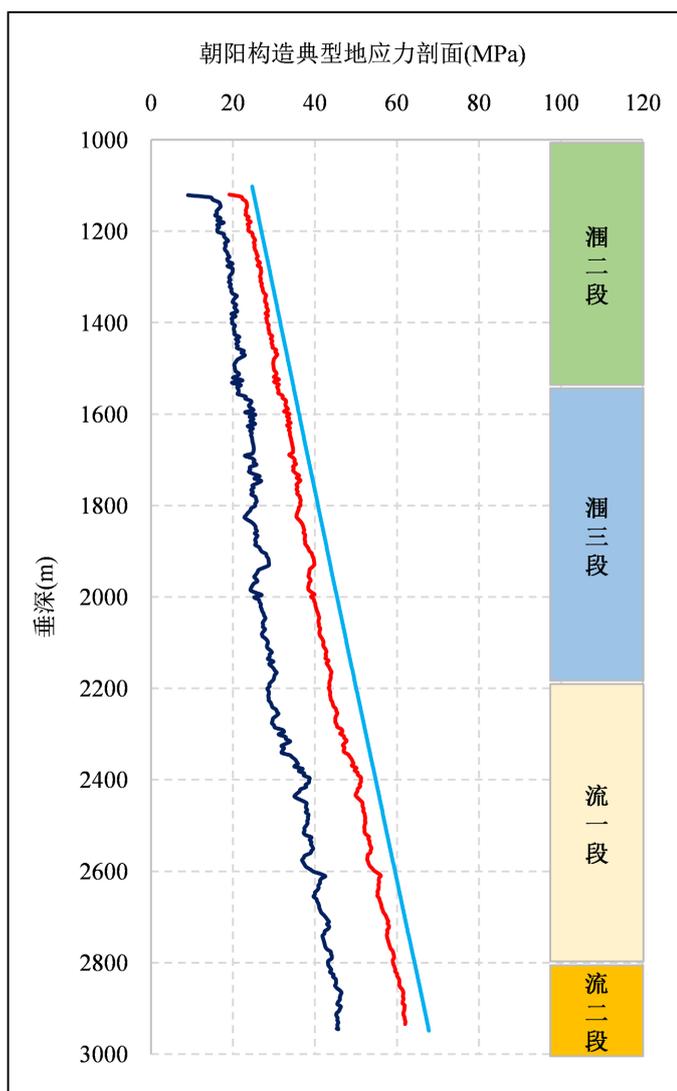


Figure 1. The *in-situ* stress profile of Chaoyang structure

图 1. 朝阳构造地应力剖面

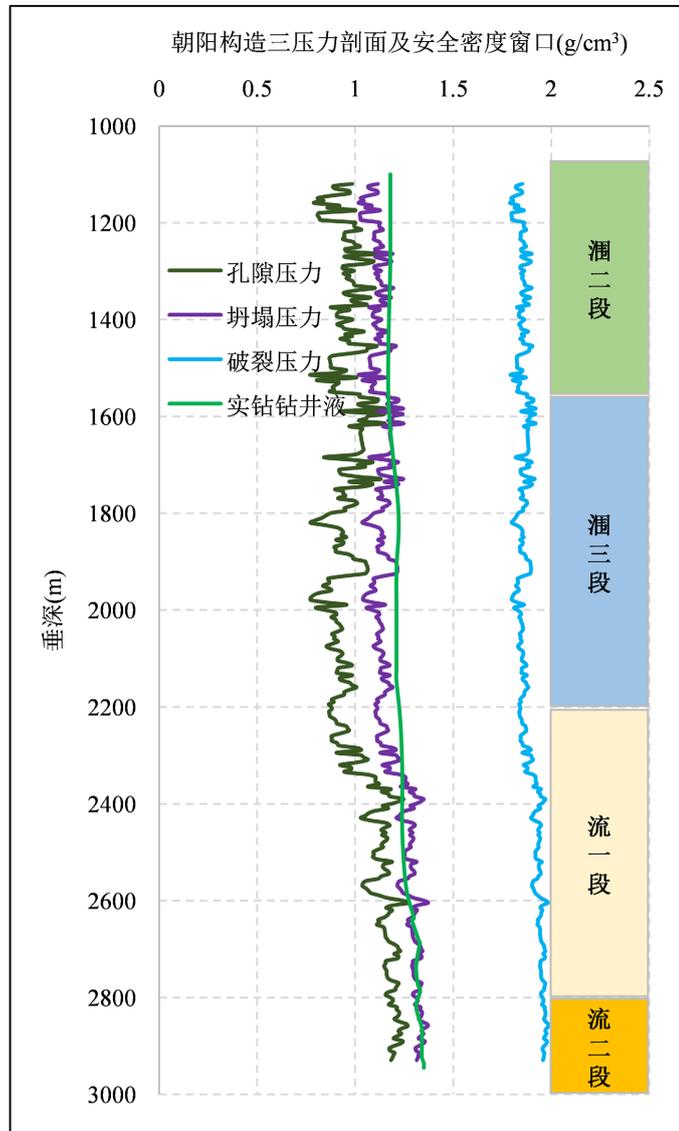


Figure 2. The profile of pore pressure, collapse pressure and fracture pressure of Chaoyang structure

图 2. 朝阳构造三压力剖面

对于井眼轨迹远离断层的井，其安全钻井液密度窗口普遍大于 0.5 g/cm^3 ，所用钻井液密度设计可以兼顾防涌、防塌、防漏需要，钻井施工较为顺利，井壁失稳不是主要矛盾，结合钻井设计以及实钻情况来看，对于远离断层区域，现用钻井液密度及性能设计合理。以朝 6-2X 井为例，该井流二段井斜 $5^\circ\sim 7^\circ$ 、方位 $N348^\circ E$ ，对应坍塌压力 1.2 g/cm^3 ，由于该井段近乎直井段，坍塌压力相对较低，实钻基本无井眼垮塌，如图 3 所示。

2.3. 井壁失稳研究误区

FS 油田井壁垮塌、施工复杂井多是钻遇/钻邻断层的井，而以往开展的大量井壁稳定研究均聚焦于远离断层的连续地层，并未充分考虑断层影响这项制约井壁稳定的主控因素，坍塌压力分析结果严重失真，其结果对于钻遇/钻邻断层井指导性差、甚至误导钻井施工。

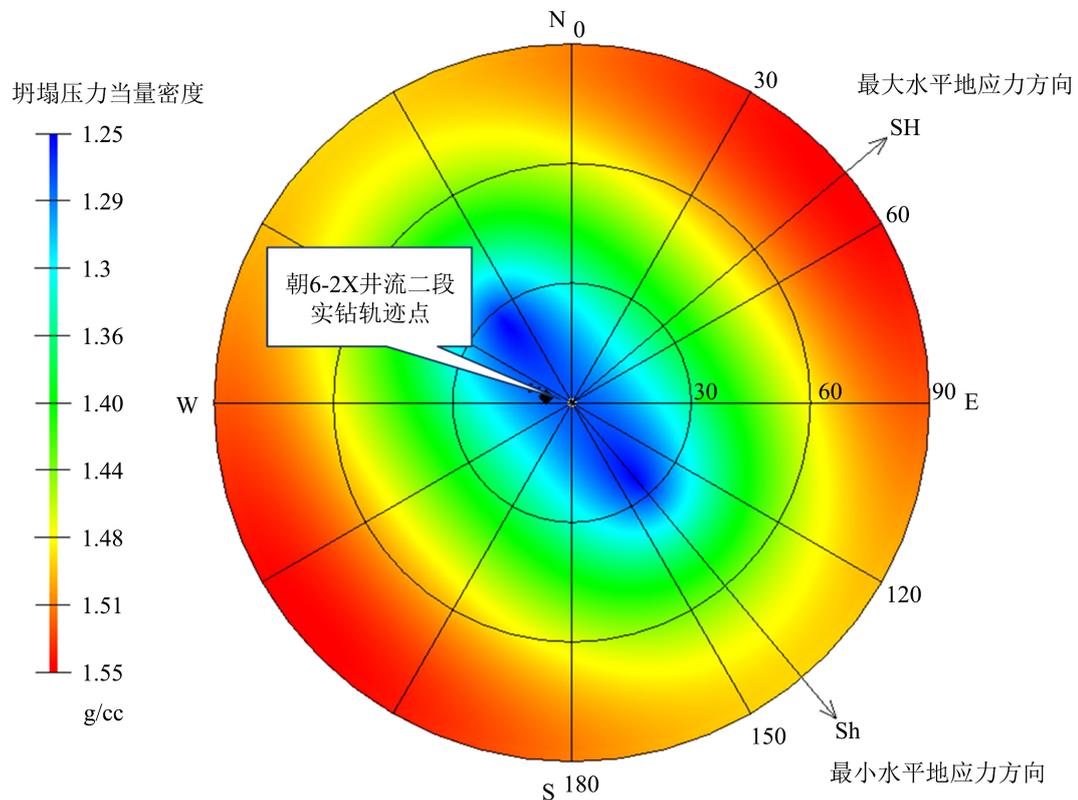


Figure 3. The variation of collapse pressure with well inclination and azimuth of Liu 2-layer, Chaoyang structure
图 3. 朝阳构造流二段坍塌压力

3. 复杂断块油田防塌技术对策

考虑 FS 油田断层发育, 且该区井型以定向井为主。该油田井壁稳定关键在于解决好钻邻或钻遇断层的井, 建议井位部署和定向井轨迹设计时应主动避开断层、远离断层, 从源头上规避工程风险、降低施工难度。对于 FS 油田因各种因素无法避开断层的井, 从科学合理角度, 坚持“一井一策”的原则, 为进一步提高井壁稳定及钻井液优化的针对性, 基于本研究提出两套技术思路:

第一套技术路线, 基于断层对地应力场影响的实验及模拟研究, 进而形成对坍塌压力的影响规律。主要包括四项工作: 第一步基于地质构造研究, 搞清断层发育及特性参数; 第二步基于钻邻或钻遇断层的井实钻资料, 通过地应力实验、地应力场模拟等手段, 搞清断层对地应力场的影响规律; 第三步基于断层扰动下的地应力场研究结果, 按照“一井一策”的原则, 以井壁稳定为导向, 开展井身结构、定向井轨迹、钻井液性能“一体化”设计, 形成安全钻井液密度窗口; 第四步兼顾抑制性及封堵性, 做好钻井液性能优化设计。

第二套技术路线, 基于实钻资料的大数据挖掘、形成断层对坍塌压力影响的经验关系。主要包括三项工作: 第一步基于钻邻或钻遇断层的井实钻资料, 开展横向多井、纵向多层位的坍塌压力分析工作; 第二步利用地震剖面、地质构造相关资料, 分析钻邻或钻遇断层的井与断层的相对位置, 包括断层属性、距离断层远近、与断层夹角等; 第三步利用大数据分析手段, 建立不同级别断层周边坍塌压力与断层属性、距离断层远近、与断层夹角等经验关系, 在此基础上校正未考虑断层影响的常规压力剖面及安全钻井液密度窗口, 指导井壁稳定设计及对策制定。

对比以上两套技术路线来看, 第一套研究路线注重从断层对地应力影响的源头开始研究, 考虑近断

层地应力变化等因素开展坍塌压力分析,研究工作理论性强、系统性强,但技术难度较大。相对而言,第二套研究路线可操作性更强、难度相对较低,可满足工程实践需要,实用性更强。

4. 断层对坍塌压力影响实例研究

本研究按照第二种研究路线,以某井流一段 2400~2450 米钻遇断层情况为例进行分析。

在不考虑断层因素情况下,流一段 2400~2450 米坍塌压力 $1.24\sim 1.36\text{ g/cm}^3$,在此基础上设计了钻井液密度及主要性能,可以平衡坍塌压力。然而,实际该井钻遇断层,按照本研究提出的第二套技术路线,基于实钻资料的大数据挖掘、形成断层对坍塌压力影响的经验关系,研究得到流一段 2400~2450 米井段真实坍塌压力增加至 $1.37\sim 1.49\text{ g/cm}^3$,增幅达 0.1 g/cm^3 ,井底 ECD 低于真实坍塌压力,井壁垮塌不可避免,如图 4 所示。

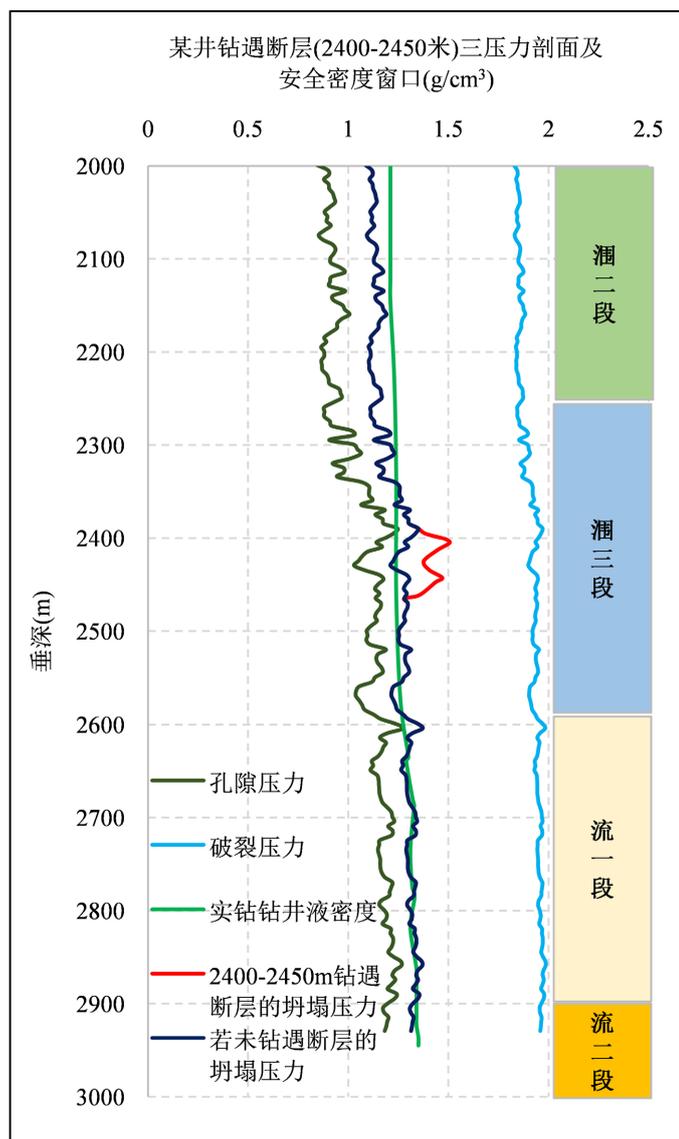


Figure 4. The collapse pressure of the interval 2400~2450 m after drilled through the fault

图 4. 某井流一段 2400~2450 米钻遇断层后坍塌压力分析

5. 结论

1) 对于井位或井眼轨迹无法避开断层、将钻遇或钻邻断层的井, 断层是其井壁稳定的主控因素, 对于复杂断块油田更是如此。受断层对其附近地应力场干扰以及断层破碎带力学强度低等因素影响, 断层附近地层坍塌压力较连续完整地层明显升高, 忽视断层因素开展井壁稳定设计, 否则轻则达不到预期防塌效果、重则严重误导安全施工。

2) 由于断层属性不同、井位与断层的相对位置不同, 断层对坍塌压力的影响研究非常复杂, 本研究提出按照“一井一策”的原则开展钻遇/钻邻断层井壁稳定设计, 在此基础上提出两套断块油田井壁稳定研究技术路线, 并选用简单有效的第二套技术路线开展了实例研究, 相关成果可为类似复杂断块钻井防塌提供参考借鉴。

参考文献

- [1] 刘中春, 吕心瑞, 李玉坤. 断层对地应力场方向的影响机理[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(3): 387-393.
- [2] 苏生瑞. 岩石物理力学性质对断裂附近地应力场的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(3): 370-377.
- [3] 沈海超, 程远方, 王京印, 等. 断层对地应力场影响的有限元研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(2): 34-37.
- [4] 孙礼健, 朱元清, 杨光亮, 等. 断层端部及附近地应力场的数值模拟[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(2): 7-12.
- [5] 邓金根, 林海, 胡连波, 等. Kingfisher 区块过断层地应力变化规律及井壁稳定性[J]. 科技导报, 2013, 31(23): 53-56.
- [6] 程远方, 沈海超, 赵益忠, 等. 复杂断块构造的地应力场研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(5): 15-20.
- [7] 陈朝伟, 王倩, 赵亦朋. 弱层层面地层的井壁稳定性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(增刊 2): 633-638.
- [8] 金衍, 陈勉, 柳贡慧. 弱面地层斜井井壁稳定性分析[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23(4): 33-35.
- [9] 姚如钢, 何世明, 龙平, 等. 断裂构造对井壁稳定影响的有限元分析[J]. 石油工业技术监督, 2020, 36(8): 43-47.
- [10] 曹文科, 邓金根, 蔚宝华, 等. 页岩层理弱面对井壁坍塌影响分析[J]. 中国海上油气, 2017, 29(2): 114-122.
- [11] 姚如钢, 何世明, 龙平, 等. 破碎性地层坍塌压力计算模型[J]. 钻采工艺, 2012, 35(1): 21-23.
- [12] 张磊, 谢涛, 刘海龙, 等. 过断层井壁稳定预测模型研究及应用[C]//2018 年度钻井技术研讨会暨第十八届石油钻井院(所)长会议论文集. 北京: 中国石化出版社, 2018: 118-124.
- [13] 翟科军, 寇春松, 陈修平, 赵海峰. 断裂带破碎地层井壁稳定机理的离散元法分析[J]. 石油钻采工艺, 2021, 43(5): 559-565.
- [14] Hou, B., Zeng, C., Chen, D., et al. (2017) Prediction of Wellbore Stability in Conglomerate Formation Using Discrete Element Method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42, 1609-1619. <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2346-5>
- [15] 张培丰. 龙门山地震断裂带地应力分布及其对井壁稳定的影响——以 WFSD-2 井为例[J]. 地质与勘探, 2012, 48(2): 379-384.
- [16] 魏文忠, 王广书, 吕国俭. 新 1 井严重破碎带地层钻井技术难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(6): 27-29.
- [17] 耿立军, 林海, 刘海龙. 渤海油田过断层井段井壁稳定性分析[J]. 非常规油气, 2021, 8(2): 101-106.