

◀测井录井▶

doi:10.11911/syztjs.2021018

引用格式: 张钰. 直推式存储测井工艺在西北油田的应用 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 121-126.

ZHANG Yu. Application of direct-push storage logging technology in the Northwest Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(1): 121-126.

直推式存储测井工艺在西北油田的应用

张 钰

(中国石化西北油田分公司, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘 要: 西北油田碳酸盐岩油气藏钻遇放空漏失或溢流的情况较多, 从施工安全角度考虑, 无法进行常规电缆测井; 因井深及硫化氢含量高, 部分斜井或水平井中钻具与套管环空间隙过小, 无法进行电缆钻具输送测井。为了解决西北油田复杂环境下取全测井资料困难的问题, 引进了一种无电缆、免对接的直推式存储测井工艺。介绍了直推式存储测井系统组成和主要技术指标, 分析了其工艺特点。顺北、塔河及部分外围区块应用结果表明: 直推式存储测井工艺的安全性、可靠性更高, 可缩短测井占用井口的时间, 大幅提高完井效率; 在井况复杂或存在井控风险的井中, 能够保证井下仪器的使用安全和井口安全, 取全测井资料, 且目的层测井资料获取率大幅提高 (如顺北区块目的层测井资料获取率从 31.25% 提高至 90.91%)。研究表明, 直推式存储测井工艺取得的测井资料真实、可靠, 可以满足储层评价需求, 值得推广应用。

关键词: 直推式测井; 存储式测井; 测井系统; 测井工艺; 漏失; 溢流; 西北油田

中图分类号: P631.8⁺ 文献标志码: A 文章编号: 1001-0890(2021)01-0121-06

Application of Direct-Push Storage Logging Technology in the Northwest Oilfield

ZHANG Yu

(Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumuqi, Xinjiang, 830011, China)

Abstract: Conventional wireline logging cannot be carried out safely in the Northwest Oilfield due to lost circulation or overflow which often occurs in carbonate reservoirs. Because of well depth and high hydrogen sulfide content, as well as the small space between casing and drilling string in some inclined or horizontal wells, it is impossible to carry out wireline logging. To solve the difficulties in acquiring full logging data in complex environments of Northwest Oilfield, a new direct-push storage logging technology free of cables and docking was introduced. Further, introductions of the components, main technical indexes of this logging system were made, and the its technological characteristics were analyzed. Practical applications in Shunbei, Tahe and some peripheral blocks confirmed its higher safety and reliability, and it could shorten the time of occupying wellhead for logging and greatly improve completion efficiency. Besides, this new technology allows one to acquire full logging data while ensuring the safe service of downhole instruments and wellhead safety under complex well conditions or in wells with risks in well control. The acquisition rate of logging data in the target layers was significantly improved, for example, that of the Shunbei area was improved from 31.25% to 90.91%. The research results showed that the direct-push storage logging technology could acquire accurate and reliable data, and could meet the needs of reservoir evaluation, making it worthy of popularization and application.

Key words: direct-push logging; storage logging; logging system; logging technology; leakage; overflow; Northwest Oilfield

西北油田由塔河区块、顺北区块和其他外围区块组成, 奥陶系碳酸盐岩储层是其勘探开发的重点储层, 具有埋藏深、压力系统多和地质条件复杂等特点。

塔河区块以碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏为主, 井深一般为 6 000.00~7 000.00 m, 通常为三开井, 以漏

失井、小井眼井居多。测井施工以电缆测井和电缆钻具输送测井为主, 漏失井大多免测。顺北区块是走滑断裂控制的碳酸盐岩超深层油气藏, 储层平均埋深超过 7 300.00 m, 井深普遍超过 8 000.00 m, 油气聚集存在明显的差异, 油气聚集差异的主控因素包括走滑断

收稿日期: 2020-08-26; 改回日期: 2020-12-10。

作者简介: 张钰 (1981—), 男, 甘肃民勤人, 2004 年毕业于成都理工大学资源勘查工程专业, 2015 年获成都理工大学地质工程专业工程硕士学位, 高级工程师, 主要从事勘探项目运行管理工作。E-mail: zhangyu.xbsj@sinopec.com。

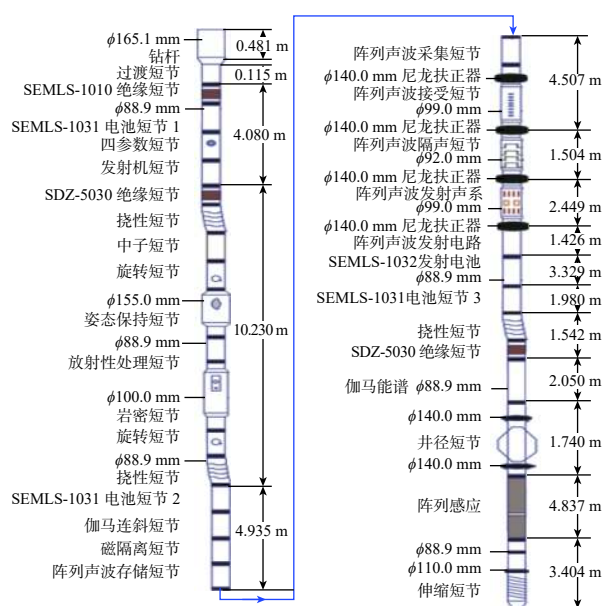


图2 直推式特殊测井工具串示意

Fig. 2 Tool string sketch of direct-push special logging

对数据进行打包存储,同时将伸缩短节测量数据、张力短节测量数据、仪器状态信息立即以电磁波形式发送至地面,地面解码单元完成解码后,立即将井下仪器的伸缩量、张力传送至井口司钻显示器。

1.2 直推式存储测井系统主要技术指标

最高工作温度 200 ℃, 工作时间 70 h; 最高工作压力 170 MPa; 套管内测速 ≤ 20 m/min, 套管外下测速度 ≤ 10 m/min, 套管外上测速度 ≤ 6 m/min; 井下仪器电池连续供电时间 ≥ 150 h; 压断力: 通用仪器 ≤ 170 kN, 特殊结构仪器 ≤ 50 kN; 常规仪器主体外径为 80.0 mm, 偶极子声波仪最大外径 110.0 mm。

1.3 直推式存储测井工艺特点

从施工影响因素、复杂井况通过能力、测井方式、测井项目、测井质量及井控风险等方面,对直推式存储测井工艺与电缆钻具传输测井和泵出式存储测井工艺进行了对比(见表1),发现直推式存储测井工艺受各因素的影响较低^[13-14]。

表 1 直推式存储测井工艺与其他测井工艺的特点对比

Table 1 Comparison of the characteristics of direct-push storage logging technology with other logging Technologies

测井工艺	影响因素	抗拉压强度	测井方式	测井项目	测井质量	井控风险
电缆钻具输送测井	钻井液杂质、湿接头	抗拉 ≤ 77.0 kN	上测/	常规+能谱+成像类、井径 ≤ 120.7 mm无法施工	高	需耗时抢装工具剪断电缆压井
	工具、电缆、电路稳定性	抗压 ≤ 18.0 kN	下测			
泵出式存储测井	保护套悬挂、投球泵出、电路稳定性	抗拉 ≤ 68.0 kN	上测	常规	中	泵出前后可随时循环压井
	电路稳定性	抗拉 ≤ 167.0 kN 抗压 ≤ 49.9 kN	上测/ 下测	常规+能谱+偶极子	高	随时循环压井

直推式存储测井工艺具有以下优点: 1) 适用性强。可以在“三超”(超深、超高温、超高压)井^[14]、大斜度井、小井眼及目的层发生漏失、溢流等复杂工况的井使用, 对复杂工况的适应性强。2) 安全性好。在复杂井中的通过能力强, 处理工程问题的能力高, 能够保证井下仪器安全, 避免出现井下复杂情况; 更突出的是在井控方面, 可以按照常规井控流程及时响应, 达到本质安全。3) 精确度高, 实时匹配钻具长度和跟踪钻具深度, 深度测量精度高,

自动完成上测和下测,一次下井即可完成所有常规与特殊项目的测井作业任务,快速读取井下存储数据,深度匹配和处理数据,可大大提高作业时效和测井资料的质量。

以井深 8 000.00 m、测量井段长 500.00 m 为例,根据石油天然气行业标准《泵出存储式测井作业技术规范》(SY/T 7308—2016)和中国石化西北油田分公司企业标准《钻具输送测井操作规程》(Q/SHXB 0078—2019)测算了不同测井工艺的测井用时,结果见表 2。

表 2 井深 8 000.00 m、测量井段 500.00 m 条件下不同测井工艺测井用时对比

Table 2 Comparison of logging time at depth of 8,000.00 m and logging section of 500.00 m with different logging technologies

测井工艺	各阶段用时/h							测井总用时/h
	仪器组装	下钻	起钻	循环顶通	投球释放	对接及导向	裸眼测井	
电缆钻具输送测井	≥2	≥26	≥20	≥4	0	≥4	≥4.0	≥60
泵出式存储测井	≥4	≥20	≥20	≥4	≥1.5	0	≥3.5	≥53
直推式存储测井	≥2	≥20	≥20	正常灌浆	0	0	≥4.0	≥46

由表2可知,与其他2种测井工艺相比,直推式存储测井工艺的时效性大幅度提高:无须使用电缆,一次下井即可完成所有常规与特殊测井项目,与泵出式存储测井工艺相比,不需要释放仪器,与电缆钻具输送测井工艺相比,不需要导向、电缆与仪器对接等环节。对比电缆钻具输送测井和泵出式存储测井工艺,测井时间分别缩短了14 h和7 h,工作效率分别提高了39.1%和15.2%,表明直推式存储测井工艺在时效上具有十分明显的优势。

2 现场应用效果分析

直推式存储测井工艺已在西北油田超深井、复杂井、漏失井进行广泛应用,截至目前累计在塔河区块施工3井次,在顺北区块施工22井次,施工成功率100%。其中,顺北区块目的层测井资料获取率从2017年(未应用直推式存储测井工艺,完钻11口井,只有5口井取得目的层测井资料)的31.25%提高至2020年(完钻11口井,10口井应用直推式存储测井工艺并取得目的层测井资料)的90.91%,目的层测井资料获取率大幅度提高;另外,顺北53-2H井四开标准直推存储式测井创造了亚洲陆上最深定向井测井施工纪录(8 874.40 m)。现场应用结果表明,直推式存储测井工艺具有施工可靠、结果可信的优势,具备推广价值。下面通过实例具体分析应用效果。

2.1 测井资料质量分析

直推式存储测井系统与哈里伯顿公司Excell2000测井系统在玉中2井的测井结果进行对比,测量井段为奥陶系鹰山组碳酸盐岩地层。对比分析发现,Excell2000测井系统所测电阻率高值部分较直推式存储测井系统稍高,但两者形态基本一致,其余测井曲线接近重合,数值大小基本一致,证明直推式存储测井的自然伽马、补偿声波、补偿中子、双侧向电阻率、自然伽马能谱的测量值稳定可靠,满足测井评价要求。

2.2 应用实例分析

2.2.1 在漏失井中的应用

受储层特征影响,西北油田的塔河、顺北区块在钻进目的层时发生井漏的现象较为普遍。在发生失返性漏失后,为保证井下安全,一般不进行测井,而是直接进行完井测试。但目的层测井资料缺失,会严重影响塔河、顺北区块奥陶系油气藏的储层评价、储量计算及后期开发方案制定等工作。应用直推式存储测井工艺后,这一问题得到一定程度

的解决。

TH10443X井设计井深6 748.00 m,是典型的目的层发生失返性漏失的开发井,三开钻至井深6 470.00 m时发生失返性漏失,此时井斜角为66°,无法建立循环,在不清楚井下情况的条件下强钻至井深6 731.85 m提前完钻,起钻过程中又遇卡,用时3 h才解卡。该井钻井液累计漏失量超过1 400 m³,实时监测环空液面在井深1 300.00 m左右,井下情况相当复杂,采用直推式存储测井工艺一次下井取全了标准测井资料,资料真实可靠。TH10443X井奥陶系部分井段的测井资料如图3所示。

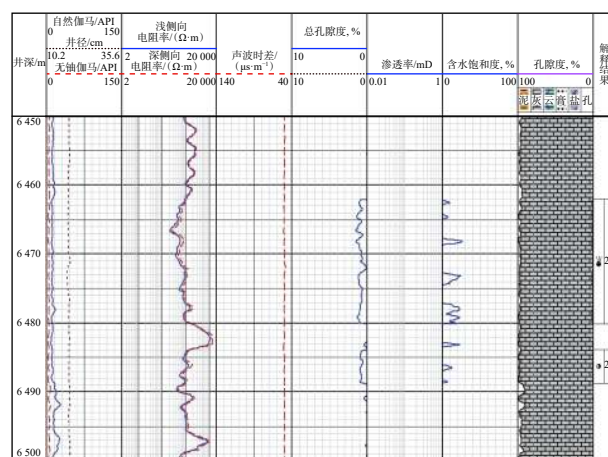


图3 TH10443X井奥陶系部分井段测井资料

Fig.3 Logging data of some sections in Ordovician in the Well TH10443X

从图3可以看出,TH10443X井储层发育段岩性较纯,自然伽马、无铀伽马均呈低值,声波时差略有增大,深、浅侧向电阻率值相对上下围岩的高电阻率值背景有所降低,并具有较明显的正差异(深侧向电阻率大于浅侧向电阻率,即 $R_D > R_S$),伽马、声波时差及电阻率曲线均符合该地区储层测井响应规律,满足储层测井评价要求。

可见,在如此复杂的井况下,采用直推式存储测井工艺,可以安全、高效、优质地取得常规标准测井资料。

2.2.2 在小井眼及复杂井中的应用

为满足西北油田老井侧钻挖潜或复杂井井身结构设计需要,最后一个开次越来越多地采用 $\phi 120.7$ mm钻头完成,这使测井面临以下困难:1)钻杆和套管间的环空间隙一般达不到《钻具输送测井操作规程》(Q/SHXB0078—2019)的要求;2)使用 $\phi 88.9 \sim \phi 92.0$ mm测井仪器时因井眼环空间隙太小、狗腿度大,难以通过。

玉中 2 井是部署在玉北区块以奥陶系鹰山组为目的层的一口探井,完钻井深 7 733.00 m,完井钻井液密度 1.19 kg/L,钻头外径 120.7 mm,井底温度 155 ℃。在复合钻至井深 7 501.32 m 的过程中扭矩达 13.7~14.3 kN·m,频繁憋停顶驱,井下工况十分复杂。其中,五开小井眼裸眼段长达 740.00 m(6 993.00~7 733.00 m),起下钻摩阻大于 200 kN,采用常规测井工艺风险大。为此,选用直推式存储测井工艺,在该井段进行自然伽马、自然电位、井径、补偿声波、补偿中子、双侧向电阻率、自然伽马能谱、井斜方位和偶极子声波测井,顺利完成了全部测井工作。

玉中 2 井 7 332.00~7 733.00 m 井段共解释Ⅲ类储层 12 层,累计视厚度 77.50 m。部分解释成果如图 4 所示。

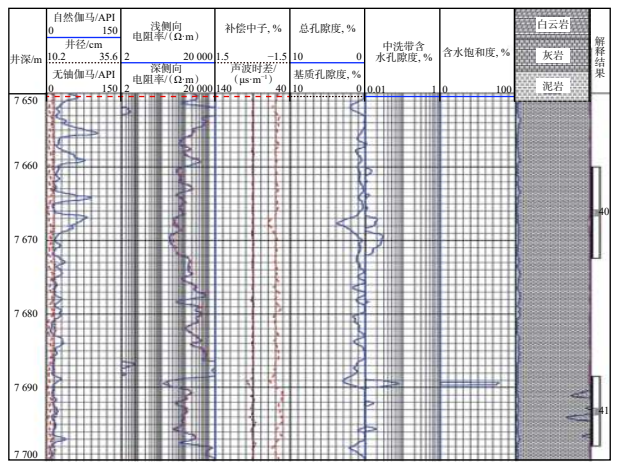


图 4 玉中 2 井奥陶系蓬莱坝组综合解释成果
Fig.4 Comprehensive interpretation of the Ordovician Penglaiba Formation in the Well Yuzhong-2

由图 4 可知,玉中 2 井储层发育段声波时差、补偿中子略有增大;深、浅侧向电阻率值相对上下围岩的电阻率值均呈明显降低趋势并具有一定的正差异(即 $R_D > R_S$),孔隙度测井曲线与电阻率测井曲线具有较好的相关性,储层测井曲线响应符合该地区储层段电阻率降低,声波时差和中子孔隙度均相应增大的规律,可以满足储层测井评价要求,测试结果与测井解释评价结果也较为符合。

2.2.3 在超深、高温高压复杂井中的应用

顺北 55X 井是西北油田顺北区块的一口探井,完钻井深 8 725.00 m,井斜角 86.1°,井底压力高达 146 MPa,井底温度接近 170 ℃。前期钻井中出现遇阻、卡钻等井下故障,钻至井深 8 667.73 m 时放空 0.21 m,发生了漏失,气测显示活跃,同时存在环空小、无法进行钻具输送测井的问题,测井施工面临

的安全风险极高。经过反复论证,最终采用直推式存储测井工艺进行测井。

第一趟下井顺利取得标准和能谱测井资料,第二趟下井顺利取得补偿中子和偶极声波测井资料。相比钻具输送测井,省略了安装旁通短节、起下电缆、泵下枪对接、井口电缆导向和调校绞车同步等存在安全风险工序,单次即可节约作业时间 15 h 以上。测井资料质量优良,能满足储层评价及地质研究要求。

其中,正交偶极子声波测井波列记录齐全可辨,提取的单级纵波、横波时差在储层发育段具有明显的响应;储层段纵波横波能量和斯通利波能量均有一定程度的衰减,指示储层具有较好的渗透性。斯通利波反射干涉图像呈“V”字形或“人”字形,指示储层段可能发育有裂缝。这表明正交偶极子声波测井质量较为可靠,可以满足储层测井评价要求。最终解释为 4 层储层,累计视厚度 22.00 m。其中,奥陶系鹰山组部分井段综合解释成果如图 5 所示。

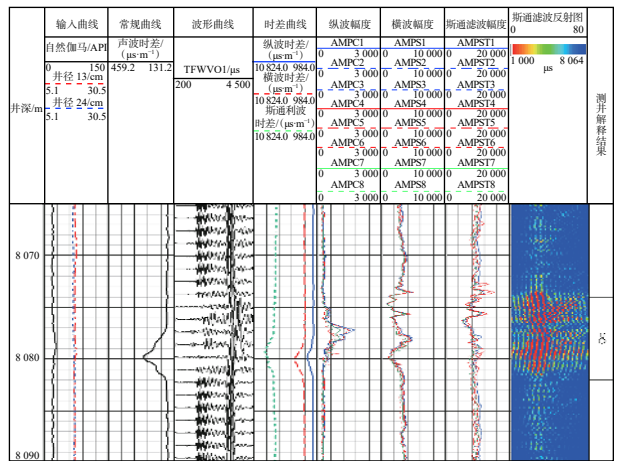


图 5 顺北 55X 井奥陶系鹰山组部分井段综合解释成果
Fig.5 Comprehensive interpretation of some well sections in the Ordovician Yingshan Formation in the Well Shunbei-55X

3 结论与建议

1) 西北油田各区块井况条件不同,表现出超深、高温、高压、大斜度、小井眼和多漏失等一系列复杂情况,现有测井仪器及配套工艺无法满足储层评价需求,需要新技术、新设备、新工艺来解决测井中存在的问题。

2) 通过工艺对比、技术分析和现场试验,认为直推式存储测井工艺能应用于西北油田碳酸盐岩油

气井测井。进一步应用表明,该工艺取得的测井资料质量满足常规储层的解释评价要求,可满足储层评价和储量计算需求,而且该工艺适用范围井眼较大,从安全生产、经济价值和提速提效等方面评价的结果均较好,具有良好的推广应用价值。

3)目前,直推式存储测井系统的密度测井资料还没有达到该系统测井时的偏心要求,难以取得合格的测井资料,建议对该测井系统的结构进行优化。

参考文献

References

- [1] 刘宝增. 塔里木盆地顺北地区油气差异聚集主控因素分析: 以顺北1号、顺北5号走滑断裂带为例[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 83–95.
LIU Baozeng. Analysis of main controlling factors of oil and gas differential accumulation in Shunbei Area, Tarim Basin: taking Shunbei No. 1 and No. 5 strike slip fault zones as examples[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(3): 83–95.
- [2] 杨海军, 陈永权, 田军, 等. 塔里木盆地轮探1井超深层油气勘探重大发现与意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(2): 62–72.
YANG Haijun, CHEN Yongquan, TIAN Jun, et al. Great discovery and its significance of ultra-deep oil and gas exploration in Well Luntan-1 of the Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(2): 62–72.
- [3] 漆立新. 塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 38–51.
QI Lixin. Oil and gas breakthrough in ultra-deep Ordovician carbonate formations in Shuntuoguole Uplift, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 38–51.
- [4] 陈强路, 席斌斌, 韩俊, 等. 塔里木盆地顺托果勒地区超深层油藏保存及影响因素: 来自流体包裹体的证据[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 121–133.
CHEN Qianglu, XI Binbin, HAN Jun, et al. Preservation and influence factors of ultra-deep oil reservoirs in Shuntuoguole Area, Tarim Basin: evidence from fluid inclusions[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(3): 121–133.
- [5] 焦方正. 塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 207–216.
JIAO Fangzheng. Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei Area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 207–216.
- [6] 焦方正. 塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(5): 831–839.
JIAO Fangzheng. Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuoguole Area of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(5): 831–839.
- [7] 张正玉. 泵出式测井系统在四川地区复杂井中的应用[J]. 测井技术, 2012, 36(4): 426–430.
ZHANG Zhengyu. Application of pump-out logging system to complex wells in Sichuan Oilfield[J]. Well Logging Technology, 2012, 36(4): 426–430.
- [8] 赵业卫. 存储式多参数生产测井技术[J]. 测井技术, 2006, 30(3): 276–279.
ZHAO Yewei. Memory multi-parameter production logging technique[J]. Well Logging Technology, 2006, 30(3): 276–279.
- [9] 曹博凡, 刘湘政, 张雄辉, 等. 存储式测井仪器状态监测系统设计与应用[J]. 测井技术, 2018, 42(3): 347–351.
CAO Bofan, LIU Xiangzheng, ZHANG Xionghui, et al. Design of logging tool condition monitoring system for storage logging technology[J]. Well Logging Technology, 2018, 42(3): 347–351.
- [10] 刘广华, 段润梅. 无电缆存储式测井技术在水平井中的应用[J]. 化工管理, 2017(22): 120.
LIU Guanghua, DUAN Runmei. Application of cableless storage logging technology in horizontal well[J]. Chemical Enterprise Management, 2017(22): 120.
- [11] 徐俊博, 信毅, 吴兴能, 等. SL6000LWF 钻杆输送无电缆测井在塔里木油田的应用[J]. 国外测井技术, 2013(2): 14–17.
XU Junbo, XIN Yi, WU Xingneng, et al. SL6000LWF drilling pipe conveyance cableless logging application in Tarim Oilfield[J]. World Well Logging Technology, 2013(2): 14–17.
- [12] 罗荣, 李双林, 罗军. 超深侧钻水平井测井工艺在塔河油田的应用[J]. 测井技术, 2012, 36(3): 300–303.
LUO Rong, LI Shuanglin, LUO Jun. The application of the ultra-deep sidetrack horizontal well logging technology in Tahe Oilfield[J]. Well Logging Technology, 2012, 36(3): 300–303.
- [13] 蒋建平, 罗荣, 崔光. 超深、超长水平井测井工艺技术研究与应用[J]. 中外能源, 2013, 18(11): 40–45.
JIANG Jianping, LUO Rong, CUI Guang. Research and application of the logging technology for super deep and super long horizontal well[J]. Sino-Global Energy, 2013, 18(11): 40–45.
- [14] 罗荣. 顺南地区复杂条件下测井工艺研究与应用[J]. 中外能源, 2016, 2(21): 54–58.
LUO Rong. Research and application of logging technology under complex conditions in Shunnan Area[J]. Sino-Global Energy, 2016, 2(21): 54–58.

[编辑 令文学]