

定测录导一体化技术在涪陵页岩气田的应用

吴宏杰

(中石化江汉石油工程有限公司, 湖北 潜江 433124)

摘要:为满足涪陵二期复杂构造条件下钻井的提速增效,引入了旋转导向工具,应用定测录导一体化工作模式,通过旋转导向工具选型、地层特性与钻头匹配性、优化轨迹控制方法、完善现有信息平台 and 导向软件,形成了定测录导一体化技术。经过涪陵页岩气田 8 口井的现场应用试验,储层钻遇率明显提高,轨迹控制圆滑,钻井提速明显,达到了“跨界组合、创新发展”的目的,具有较强的推广性和适用性。

关键词:页岩气钻井;定测录导一体化;旋转导向;轨迹控制与优化;钻井提速增效;涪陵页岩气田;新能源
中图分类号:TE24 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)08-0010-05

Integration of directional drilling, logging and rotary steering in Fuling Shale Gas Field

WU Hongjie

(Sinopec Jiangnan Petroleum Engineering Co., Ltd., Qianjiang Hubei 433124, China)

Abstract: In order to improve ROP and efficiency in drilling in the Fuling Phase II complex structure, the rotary steering tool was introduced and the integrated operation mode of directional drilling, logging and rotary steering was applied. The integrated technology of directional drilling, logging and rotary steering was developed by selecting the rotary steering tool, matching formation characteristics with drilling bits, optimizing the trajectory control method, improving the existing information platform and rotary steering software. Field test in 8 wells in Fuling Shale Gas Field demonstrated that the reservoir intersection rate was obviously increased, the trajectory control was smooth, and ROP was obviously increased, which achieved the goal of “cross-disciplinary combination, innovation and development”, and has strong popularization and applicability.

Key words: shale gas drilling; the integration of directional drilling, logging and rotary steering; rotary steering; the trajectory control and optimization; improving ROP and efficiency; Fuling Shale Gas Field; new energy

0 引言

涪陵页岩气田按构造特征和区域分划可分为焦石坝主体区、江东、平桥、白涛、白马、梓里场等 6 个区块。其中,焦石坝区块为一期产建主体区,江东、平桥区块为二期产建期主力区块。勘探开发目的层系五峰组—龙马溪组下段。随着二期产建的深入,地质目标埋深明显增大、储层变薄、地层产状变化大等地质条件更加复杂,超长水平井、加密井的钻遇率要求更高,大大增加了钻井与地质导向难度,导致施工周期普遍超期^[1-2]。

为满足涪陵二期复杂构造条件下钻井的提速增效,引入旋转导向系统,整合定测录导一体化技术,实施工程地质跨界融合,打破定向、录井、地质、测井等单项工程技术的局限性,深化目的层展布及地质特征研究,解决复杂构造条件下高造斜率轨迹调整频繁、工具匹配性差、设备资源信息共享难、随钻资料利用率低、地质建模精度差等问题,起到提升风险控制能力、提高复杂地质条件下储层钻遇率、提升钻井时效之目的,为钻井和后期储层改造提供技术支撑,降低综合勘探开发成本。

收稿日期:2019-03-20 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.08.002

基金项目:国家重大科技专项“大型油气田及煤层气开发”(编号:2016ZX05038-006);中石化石油工程技术服务有限公司科技开发项目“中深层页岩品质录井精细评价技术”(编号:SG15-21K)

作者简介:吴宏杰,男,汉族,1969年生,工程师,钻井工程专业,主要从事页岩气工程技术管理与新技术研发工作,湖北省潜江市江汉石油工程技术发展处,wuhongjie.jhyt@sinopec.com。

引用格式:吴宏杰.定测录导一体化技术在涪陵页岩气田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):10-14,66.

WU Hongjie. Integration of directional drilling, logging and rotary steering in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):10-14,66.

1 定测录导一体化技术

定测录导一体化技术是以地质研究为基础,结合定向、录井、地质、测井等工程的专业技术优势,依托井场综合信息平台、三维地质导向系统,利用随钻测量、测井参数和综合录井之岩性、钻时、气测、元素等资料,实时识别地质目标,形成通过定向钻井工艺引导钻头向地质目标钻进的多学科、综合性工艺技术,以确保地质目的的实现,促进钻井的提速提效。

1.1 工具选型

目前,旋转导向是三开井段最有效的提速手段^[3-4],为解决常规 M/LWD+螺杆导向钻具组合存在的测量盲区大,不能适时反馈井底数据,井眼轨迹不平滑、不能及时修正井眼轨迹,导致的储层钻遇率低、钻井周期长等问题,引入旋转导向系统。由于旋转导向在工区应用较少,为充分挖掘工具优势,在仪器选型、定向选井等配套工艺技术方面开展研究。

1.1.1 仪器选型

表 1 旋转导向仪器主要参数对比

Table 1 Comparison of main parameters of rotary steering instruments

公司	仪器类型	钻头选型	造斜率/[$(^{\circ}) \cdot (30\text{ m})^{-1}$]	压耗/MPa	传输速度/bps	近钻头伽马零长/m	对钻井液要求
斯伦贝谢	PowerDrive Archer	史密斯钻头(1.5 排)	0~15	0.5	0.5~12	3.27	含砂量<0.2%,堵漏粒径<1.5 mm
	Geopilot-7600Dirigo	SFE55 (单排)/SFD55DC(双排)	0~15(实际 0~5)	1.0	≥ 5	1.20	含砂量<0.2%,堵漏粒径<2 mm
哈里伯顿	Geopilot-7600Hybird	SFE55 (单排)/SFD55DC(双排)	0~15(实际 0~7)	1.0	≥ 5	1.20	含砂量<0.2%,堵漏粒径<2 mm
贝克休斯	AUTOTrack 系列	DPD505S	0~15			3.74~5.54	仪器故障率较高,机械钻速偏低,只有近伽马

1.1.2 定向仪器选择原则

根据调研和实钻经验,结合工区地质情况,制定了旋转导向、近钻头和常规 LWD 选择原则。三开井段定向仪器选择建议见表 2。

表 2 三开井段定向仪器选择
Table 2 Selection of directional instruments for the third section drilling

适应条件	仪器类型		
	常规 LWD	旋转导向 斯伦贝谢 哈里伯顿	近钻头
水平段>2000 m		✓	✓
短半径水平井、双二维水平井		✓	✓
构造复杂,产状变化大		✓	✓
构造边缘井,缺少地震资料		✓	✓
油基泥浆性能较差	✓		✓
焦石坝 II 类储层井	✓		✓
构造简单,地层平缓,水平段<2000 m	✓		
二维井,定向施工难度小	✓		✓

现有的斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯旋转导向仪器参数对比见表 1。仅从仪器参数来看,斯伦贝谢的旋转导向仪器适用于断层较多、造斜率高的江东区块;哈里伯顿的旋转导向仪器适用于相对稳定、造斜率较高的平桥区块,也适用于超长水平井需要长距离稳斜的焦石区块。但哈里伯顿的旋转导向仪器除了造斜率偏低外,在钻头、近钻头测量盲区、曲线质量、钻井液性能适应性等方面均有优势,因此,综合优选哈里伯顿旋转导向仪器。

钻头选型:结合工区已钻井的钻头应用情况,考虑到焦石区块五峰组顶部观音桥段介壳灰岩的可钻性差,整段硅质含量高,部分含有黄铁矿,钻头易磨损和崩齿。相比龙马溪组,五峰组地层研磨性提高,可钻性变差。因此,龙马溪组选用抗冲击性强的 SPE55 PDC 钻头(单排齿),五峰组在钻头选型方面应挑选兼顾耐磨性和抗震动钻头,优选 SFE55D PDC 钻头(双排齿)。

对于焦石区块水平段长度>2000 m 的井,平桥区块构造复杂、断层发育的水平井,江东区块埋深较深、轨迹调整频繁、处于构造边缘的井,常规定向工具预计三开钻井周期超过 23 d 的水平井,可优先选择旋转导向工具施工;对于钻井工况较复杂,甲方要求近钻头进行导向的井,可选用近钻头导向工具施工;对于钻井工况极其复杂,如容易垮塌、遇卡等,严禁使用近钻头类导向工具;气侵严重,容易发生溢流、井涌等复杂井,经过论证后再决定是否使用近钻头类导向工具。

1.1.3 旋转导向介入施工井段参考

焦石、江东区块三开井段的龙马溪组中段浊积砂岩发育,厚度 20~60 m 不等,岩性以粉砂岩、泥质粉砂岩为主,矿物成分主要为石英,粉粒级别,胶结致密,物性较差,具有强研磨特性,可钻性差;平桥区块龙马溪组中段浊积砂岩不明显,岩性以灰黑色

炭质页岩、页岩为主,顶部见灰黑色泥质粉砂岩,厚度2 m左右。从钻井经济性和时效性综合考虑,提出3个区块旋转导向施工井段推荐参考意见,焦石、江东区块建议水平段使用,具体介入井段在进入A靶100 m之前,平桥区块造斜段+水平段使用,具体介入井段为钻穿高研磨段的小河坝组地层后方可使用旋转导向。

1.2 定测录导一体化技术

1.2.1 最佳穿行层段优选

定测录导一体化技术核心在于地质导向。一体化施工前应认真研究邻井地质资料,根据地层变化规律编制相应的技术措施和施工计划。区域实钻资

料显示,目的层五峰组厚度一般5~6 m,整段岩性主要为灰黑色硅质、炭质页岩,小刀难刻划,岩心污手,页理发育,笔石化石发育,局部富集,发育星散状、条带状的黄铁矿,发育毫米至厘米级的凝灰岩;顶部见20~24 cm深灰色介壳灰岩,底部见1 m深灰—灰黑色含硅炭质页岩夹薄层凝灰岩,见硅质结核,岩石坚硬致密。伽马值较高,一般在100~290 API,地质导向参考标志点为4凹4尖。

针对五峰组页岩储层岩性复杂,储层薄导向易出层、硅质含量高、可钻性差等困难,从岩性、电性、含气性、可钻性等综合评价,将五峰组地层划分为a、b、c、d段(见图1)。

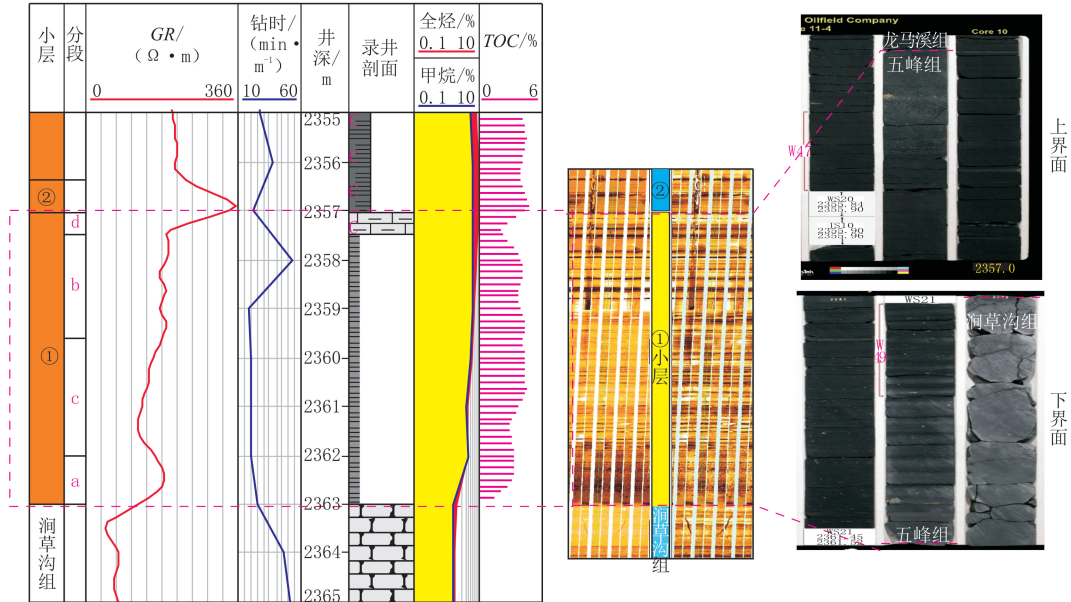


图1 A井五峰组地层特性分析

Fig.1 Stratigraphic characteristics analysis of Wufeng Formation

结合钻头选型结果,应尽量避免五峰组可钻性差的层段,提高钻井速度,最佳穿行层段可选取①小层中下部c、b段,伽马值的第2凹顶与第3凹底的半幅点之间,一般在160~200API。

平桥区块构造边缘五峰组存在破碎带,构造缝发育,交织呈网状,因此穿行层位应避免五峰组,降低井垮、井漏风险,确保井下安全。

1.2.2 轨迹控制与优化

地质导向在实现地质目的的同时应充分考虑钻井轨迹实现^[5]。综合利用地层产状变化规律,尽量减少井斜波动范围,降低钻井摩阻和扭矩,严格控制导向轨迹,保证储层钻遇率。按施工顺序,采取以下措施:

施工前,根据邻井资料、地震资料、设计资料等做好地质建模、地质导向施工方案。

二开井段,提前介入导向,持续关注层位变化,与钻井配合,及时修正井眼轨迹,尽量节约钻井时间,减少钻井进尺浪费。

三开造斜段,实时跟踪层位变化,入靶前控制造斜率 $<0.2^\circ/\text{m}$,保证轨迹圆滑,尽量以小夹角入A靶;对于有短半径中靶要求的入靶应合理分配靶前距,分段控制造斜率^[6],以合适的井斜和位移入靶(见图2)。控制好入靶方式:上倾地层入上靶框,控制下切夹角 $2^\circ\sim 3^\circ$;下倾地层入下靶框,控制下切夹角 $1^\circ\sim 2^\circ$ 。

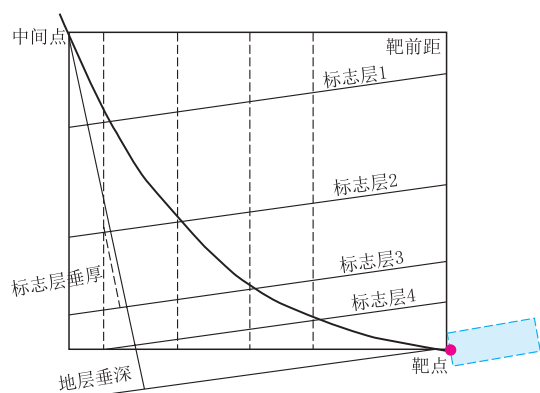


图 2 单斜地层垂深、靶前距与造斜率匹配关系图

Fig.2 Matching diagram of vertical depth, target front distance and build-rate for monoclinic formation

三开水平段, 轨迹控制遵循尽量用合适的井斜角匹配地层倾角, 轨迹调整应做到“勤微调、少大调、勤预测”, 以降低钻井扭矩和摩阻。利用旋转导向工具优势(微增、微降、稳斜), 减少停等和轨迹调整频次, 对于多靶点长水平段井, 研究控制点的变化规律, 预留地质风险控制 and 轨迹调整空间, 由被动调整变主动调整。

1.2.3 配套信息平台与地质导向软件升级

在江汉录井现有信息发布平台基础上, 增加了实时伽马曲线传输模块, 以满足现场随钻测量数据的及时传输; 自主研发的 SGA-850 型页岩气地质导向分析系统, 以地质建模、多井对比、轨迹实时跟踪与调整、轨迹控制与优化、倾角计算等导向模块为核心, 集成涪陵及周缘工区的数据管理、地质模型(二、三维)展示、地质导向、成果管理、单井产能预测和产气性评价等功能模块于一体, 持续升级和完善三维地质导向软件, 根据已完实钻结果及时校正三维地质模型, 提高地质建模精度, 进一步增强软件的操作性和实用性。该系统在涪陵、丁山、宜昌等页岩气探区已应用 46 口井, 水平段优质页岩储层的钻遇率 98.5%, 其中, 33 口井优质页岩储层的钻遇率 100%, 占比 70% 以上。

2 现场应用

定测录导一体化技术在涪陵页岩气田推广应用的 8 口井中, 水平段优质页岩储层的钻遇率 99.6%。其中, 7 口井优质页岩储层的钻遇率 100%, 1 口井优质页岩储层的钻遇率 95.9%, 井眼轨迹圆滑, 与同等条件 LWD 施工井对比(见表 3),

使用旋转导向系统(见表 4)平均机械钻速从 7.3 m/h 提升至 12.37 m/h, 是常规钻井指标的 1.7 倍; 行程钻速由 70.10 m/d 提升至 134.59 m/d, 是常规的 1.9 倍, 整体提速效果突出。

表 3 常规 LWD 钻井指标
Table 3 Conventional LWD drilling index

井号	井段/m	段长/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)	行程钻速/(m·d ⁻¹)
焦页 21-S1HF	2450~4610	2160	225.00	9.60	101.55
焦页 21-S3HF	2656~4505	1849	174.50	10.60	87.38
焦页 185-1HF	3450~5692	2242	359.00	6.25	50.45
焦页 185-2HF	3690~5745	2055	373.50	5.50	52.81
焦页 108-1HF	3330~5680	2350	335.00	7.01	67.63
焦页 108-2HF	3634~5924	2290	341.00	6.72	73.97
焦页 186-2HF	3066~5105	2039	378.00	5.39	56.92
均值		2140.71	312.29	7.30	70.10

表 4 旋转导向一体化技术应用钻井指标
Table 4 Drilling index of integrated rotary steering technology

井号	井段/m	段长/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)	行程钻速/(m·d ⁻¹)
焦页 2-5HF	2926~5965	3038	306.00	9.93	115.43
焦页 24-6HF	2896~4941	2045	202.50	10.10	131.94
焦页 196-1HF	3734~5966	2232	135.00	11.85	77.18
焦页 186-1HF	3188~5121	1933	111.50	17.34	203.05
焦页 192-4HF	3648~5726	2078	213.00	9.76	141.28
焦页 205-1HF	2528~4567	2039	129.50	15.75	134.59
焦页 192-3HF	3794~6026	2232	205.60	10.86	112.07
焦页 201-2HF	3705~5616	1911	142.90	13.37	161.20
均值		2188.5	180.75	12.37	134.59

与同平台、同等条件下常规 LWD 三开平均钻井周期对比: 埋深 < 3000 m 井位, 平均节约 7.5 d; 埋深 > 3500 m 井位, 平均周期缩短 14 d 以上, 三开整体提速 37.3% (见图 3)。

3 认识与结论

(1) 定测录导一体化技术在施工实践中得到了验证和完善。在管理上实现了工程地质的跨界融合; 在技术上实现了地质、钻井、录井、定向、测井等多专业的技术融合。

(2) 定测录导一体化技术核心在于地质导向。通过涪陵页岩气田五峰组地层细微特性的研究、分析和实践, 明确了五峰组最佳穿行层段, 借助信息平台 and 地质导向软件, 通过精细地层对比、严格控制导向轨迹, 保证了优质页岩储层的钻遇率高达 99.6%。

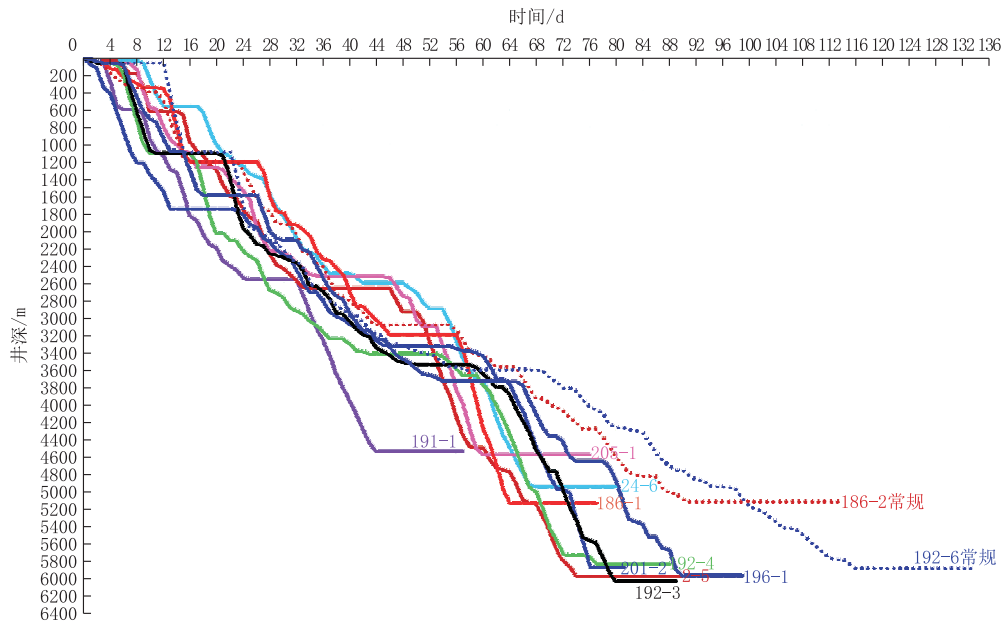


图3 旋导一体化与常规LWD钻井进度对比图

Fig.3 Drilling progress of integrated rotary steering vs conventional LWD

(3)应用旋转导向一体化技术的钻井提速效果突出,应用井的井眼轨迹圆滑,定向钻井效率高,行程钻速高,钻井周期短等优势明显,与同等条件常规LWD施工井对比,平均机械钻速从7.3 m/h提升至12.37 m/h,行程钻速由70.1 m/d提升至134.59 m/d,三开平均钻井周期缩短11.0 d,整体提速37.3%。

参考文献(References):

- [1] 牛新明. 涪陵页岩气田钻井技术难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(4): 1-6.
NIU Xinming. Drilling technology challenges and resolutions in Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 1-6.
- [2] 艾军, 张金成, 藏艳彬, 等. 涪陵页岩气田钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(5): 9-15.
AI Jun, ZHANG Jincheng, ZANG Yanbin, et al. The key drilling technologies in Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(5): 9-15.
- [3] 姜伟, 蒋世全, 付鑫生, 等. 旋转导向钻井技术应用研究及其进展[J]. 天然气工业, 2013, 33(4): 75-79.
JIANG Wei, JIANG Shiquan, FU Xinsheng, et al. Application of rotary steering drilling technology and its research progress[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(4): 75-79.
- [4] 张文泽, 夏宏南, 白凯, 等. 旋转导向技术在焦石坝地区的应用与分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2016, 13(17): 54-57.
ZHANG Wenzhe, XIA Hongnan, BAI Kai, et al. Application and analysis of rotary steering tool in Jiaoshiba Block Area[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2016, 13(17): 54-57.
- [5] 赵红燕, 周涛, 叶应贵, 等. 涪陵中深层页岩气水平井快速地质导向方法[J]. 录井工程, 2017, 28(2): 29-32.
ZHAO Hongyan, ZHOU Tao, YE Yingui, et al. Rapid geosteering method for middle-deep horizontal shale gas wells in Fuling[J]. Mud Logging Engineering, 2017, 28(2): 29-32.
- [6] 周贤海. 涪陵焦石坝区块页岩气水平井钻井完井技术[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(5): 26-30.
ZHOU Xianhai. Drilling & completion techniques used in shale gas horizontal wells in Jiaoshiba Block of Fuling Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(5): 26-30.
- [7] 张敏, 刘明国, 兰凯, 等. 焦石坝页岩气水平井钻井提速工具应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(1): 6-9.
ZHANG Min, LIU Mingguo, LAN Kai, et al. Application of drilling tools to improve ROP of shale gas well in Jiaoshiba Block[J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(1): 6-9.
- [8] 陶现林, 徐泓, 张莲, 等. 涪陵页岩气水平井钻井提速技术[J]. 天然气技术与经济, 2017, 11(2): 31-35.
TAO Xianlin, XU Hong, ZHANG Lian, et al. Optimal and fast drilling technology for horizontal well in Fuling Shale Gas [J]. Natural Gas Technology, 2017, 11(2): 31-35.
- [9] 高彦峰, 赵文帅. FEWD地质导向技术在深层页岩气水平井中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(4): 427-431.
GAO Yanfeng, ZHAO Wenshui. Application of FEWD geology steering technology in deep shale gas horizontal wells[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(4): 427-431.
- [10] 谢军, 张浩淼, 余朝毅, 等. 地质工程一体化在长宁国家级页岩气示范区中的实践[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(1): 21-28.
XIE Jun, ZHANG Haomiao, SHE Chaoyi, et al. Practice of geology-engineering integration in Changning State Shale Gas Demonstration Area[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(1): 21-28.