

涪陵页岩气田江东区块优快钻井技术研究与应用

黄迪箫笙

(中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司,重庆 408000)

摘要:涪陵页岩气田江东区块地质构造复杂、地层倾角大,存在机械钻速低、定向钻井托压严重、水平井轨迹控制困难等问题,给该地区优快钻井作业带来了挑战。本文通过总结现场施工作业及技术攻关实践,分析总结了江东区块复杂地质条件下相适应的钻井新工艺、新工具,形成了一套适用于涪陵页岩气田江东区块的优快钻井技术。江东区块钻井周期从开发前期的 235 d 缩短至 90.33 d,机械钻速、储层钻遇率不断提高的同时,定向钻井托压、钻头提前失效等工况逐渐减少。通过 4 年发展,涪陵页岩气田江东区块优快钻井集成技术逐渐成熟,基本满足了深层页岩气的开发需要。

关键词:涪陵页岩气;江东区块;优快钻井;水平井;提速提效

中图分类号:P634;TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)04-0018-06

Research and application of fast drilling technology in Jiangdong Block of Fuling Shale Gas Field

HUANG Dixiaosheng

(SINOPEC Chongqing Fuling Shale Gas Exploration and Development Company, Chongqing 408000, China)

Abstract: The Jiangdong Block of the Fuling Shale Gas Field is featured of complex geological structures and large dip angles. Problems such as low mechanical drilling rate, severe drag force and difficult horizontal trajectory control are encountered, which brings drilling problems to the fast drilling operations in this area. By summarizing the field operations and technical problem solving practices, this paper presents a set of fast drilling techniques through analysis of drilling processes, new tools, bit selection and speed-increasing tools suitable for the complicated geological conditions of Jiangdong Block. Comparison of the fast drilling technology with the conventional drilling method at the Jiangdong Block of the Fuling Shale Gas Field shows that the drilling duration in Jiangdong Block has been shortened from 235 days to 90.33 days in the early stage of development. While the drilling rate and the reservoir intersection rate have been continuously improved, the working conditions such as drag forces, premature bit failures have been gradually reduced. Over three years of development, the fast drilling technology at Jiangdong Block of Fuling Gas Field has gradually matured, and the results have been applied significantly.

Key words: Fuling shale gas; Jiangdong Block; fast drilling; horizontal well; speed up and efficiency improvement

1 概况

涪陵页岩气田江东区块是气田二期产建重点开发区域,地处四川盆地盆缘山地过渡地带,境内地势以低山丘陵为主,地面海拔介于 45~800 m 之间。江东区块储量动用面积 49.8 km²。

2 江东区块钻井工程主要难点

2.1 地质条件复杂,岩石可钻性差

江东区块地质条件复杂,经历过多期构造运动,断层、裂缝较发育,发育断层 39 条,相对于焦石坝主体区块地层较为破碎^[1-3]。一开钻遇地层须家河组为灰白、黄灰色石英砂岩与泥岩互层;雷口坡组为灰色、紫红色泥页岩与灰色灰岩、角砾状灰岩互层,可

收稿日期:2019-01-11;修回日期:2019-03-08 DOI:10.12143/j.tkge.2019.04.004

基金项目:国家科技重大专项“涪陵页岩气开发示范工程”(编号:2016ZX05060)

作者简介:黄迪箫笙,男,汉族,1991 年生,石油与天然气工程专业,硕士,从事钻井工程设计及钻井提速相关研究工作,重庆市涪陵区焦石镇中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司,hdxs123@foxmail.com。

引用格式:黄迪箫笙.涪陵页岩气田江东区块优快钻井技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):18-23.

HUANG Dixiaosheng. Research and application of fast drilling technology in Jiangdong Block of Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):18-23.

钻性 6~8 级;嘉陵江组、飞仙关组岩性为灰色灰岩及紫红色泥岩,均质性强,可钻性较好。二开钻遇地层长兴组浅层气发育,龙潭组、茅口组、栖霞组、梁山组地层硬度大,夹层多,可钻性差,致使钻头消耗量增加;韩家店组、小河坝组地层研磨性强,可钻性 7~8 级,憋跳钻严重,导致钻头钻速低、失效快、进尺短^[4-5]。三开龙马溪组上部浊积砂可钻性变差,龙马溪组目的层岩性主要为泥页岩,含砂量相对焦石坝主体区增加,研磨性增强。统计已完钻井数据,江东区块单井平均消耗钻头 20.6 只,与焦石坝主体区块 14.7 只相比,钻头消耗增加了 40.1%。

2.2 轨迹调整频繁,定向施工难度大

江东区块西南部江东鞍部及乌江 1 号断背斜一带构造复杂、变形强,乌江断裂具压扭性质(图 1)。地层倾角变化大,本区由南到北地层倾角逐渐增大,

最高可达 30°,致水平段高程差逐渐增加^[6-8]。较焦石坝一期相比,龙马溪目的层埋深更大(焦页 X2-4HF 井最大垂深 4474 m),随钻伽马曲线与上部地层相比变化幅度小,标识层不清晰,导致地质导向评价分析准确度降低^[9-10]。A 靶点垂深预测偏差大(焦页 C-2HF 在 A 靶点误差达到 272 m),造成三开井眼轨迹调整频繁且着陆控制困难,水平段地层倾角变化大,致轨迹调整频繁。井眼轨迹造斜率大,水平段呈波浪状,致使滑动钻进摩阻增大,定向托压严重,机械钻速低^[11]。例如,焦页 A-2HF 井在三开调整次数高达 32 次,三开水平段呈 W 形,造成定向施工耗时长,严重影响钻井进度,该井水平段机械钻速相对于焦石坝区块水平段平均钻速下降 29.3%。

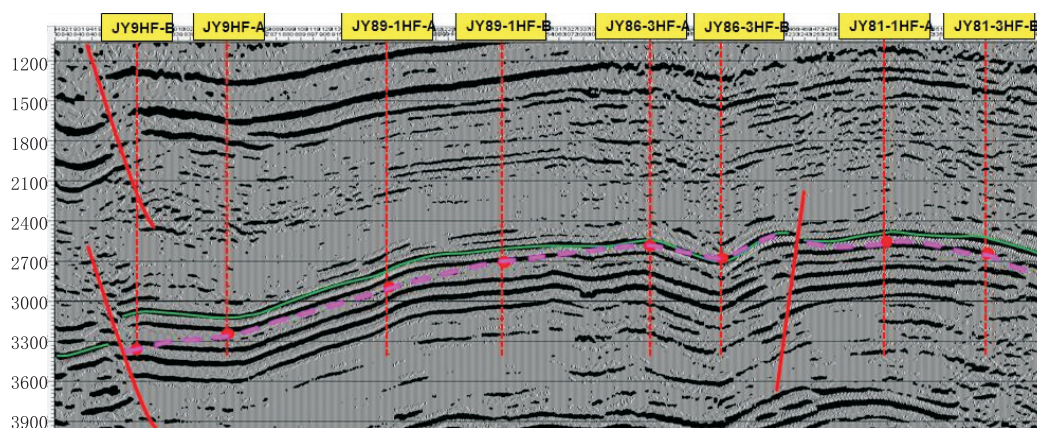


图 1 江东区块构造特征地震图

Fig.1 Seismic map of the structural features of Jiangdong Block

3 钻井提速技术研究与应用

3.1 针对地层岩性特征优选钻头

3.1.1 二开龙潭组、茅口组地层优选牙轮钻头

江东区块二开龙潭组地层中部岩性以灰、深灰色灰岩、含泥灰岩为主夹薄层含生屑灰岩;上、下部岩性为灰黑色炭质泥岩。茅口组地层以灰岩、云质灰岩、泥质灰岩为主,夹薄层灰黑色泥岩、深灰色含灰泥岩及含生屑灰岩,地层胶结不整合、缝洞发育。其中,龙潭组下部及茅口组上部泥岩不适合用 PDC 钻头,宜使用牙轮钻头钻穿。而焦石坝区块成熟钻头不适用江东区块岩性,憋跳钻严重、易崩齿、易失效。经多轮次钻头优选,江钻牙轮钻头 HJT637GL 锥型齿牙齿小、耐磨损、抗冲击性强,破岩提速效果

显著,单个 HJT637GL 钻头进尺相较于初期使用的钻头增加了 90.9%,机械钻速提高了 69.63%(见表 1)。

3.1.2 三开龙马溪组浊积砂岩段优选混合钻头

江东区块浊积砂岩地层定向困难、机械钻速低,优选使用江钻混合钻头 KPM1642ART。混合钻头兼具 PDC 钻头和牙轮钻头的优点,锥型齿形成破碎坑,有利于地应力的提前释放,PDC 齿快速切屑地层,机械钻速显著高于牙轮钻头,具有良好的耐磨性和防托压效果。对比邻井使用牙轮钻头,在浊积砂中钻进,混合钻头机械钻速比牙轮钻头平均提高 100.4%(见表 2)。

3.1.3 针对三开龙马溪组、五峰组页岩层段优选 PDC 钻头

表1 江东区块二开优选钻头使用效果对比

Table 1 Comparison of drilling results of the selected bits for Stage-2 drilling at Jiangdong Block

井号	钻头型号	使用井段/m	钻遇地层	进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)	平均机械钻速/(m·h ⁻¹)	提速效果/%
焦页 A-2HF	HJT637GL (优选)	1736~1838	龙潭组、茅口组	102	5.10	5.53	69.63
焦页 A-1HF		1635~1839	龙潭组、茅口组	204	5.67		
焦页 A-5HF		1516~1819	龙潭组、茅口组	303	5.83		
焦页 B-1HF	HJT537GK	1342~1431	龙潭组	89	2.97	3.26	
焦页 B-2HF		1500~1626	茅口组	126	3.71		
焦页 B-3HF		1293~1397	龙潭组	104	3.10		

表2 浊积砂层混合钻头使用效果对比

Table 2 Comparison of the drilling results of mixed drill bits at Jiangdong Block

井号	钻头型号	使用井段/m	进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)	平均机械钻速/(m·h ⁻¹)	提速效果/%
焦页 A-2HF	KPM1642ART	3290~3755	465	8.53	10.00	100.4
焦页 A-1HF		3100~3701	601	11.56		
焦页 C-2HF	HJT537GK	2577~2596	19	6.90	4.99	
焦页 C-1HF		2420~2591	171	3.09		

江东区块三开龙马溪组、五峰组地层均质性不强,局部硅质含量高,研磨性强。钻井施工过程中需多次调整井眼轨迹,部分井段大造斜率追层,易造成PDC钻头肩部崩齿、磨齿,导致钻头提前失效。针对江东区块龙马溪组地层岩性特征,通过现场不断试验,优选型号为江钻 KSD1652AGR 和 KMD1652ADGR。

两款钻头均采用浅内锥、侧切能力强的轮廓线

型等为定向井设计,适用于三开水平段施工。其中江钻 KMD1652ADGR 采用双排齿设计,增加减震结构。江钻 SD1652AGR 具有深排屑槽布置方位以及优化水力结构,使得钻头具有更好的水力效果,并且刀翼采用螺旋保径设计。通过现场不断试验,两款钻头对于江东区块水平段优快钻井有明显的提速效果(见表3)。

表3 江东区块水平段优选 PDC 钻头使用效果对比

Table 3 Comparison of the drilling results of selected PDC bits for the horizontal section at Jiangdong Block

井号	钻头型号	使用井段/m	所钻层位	进尺/m	纯钻时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)
焦页 A-1HF	KSD1652AGR	3701~5118	龙马溪组、五峰组	1417	121	11.71
焦页 A-1HF	KSD1652AGR	5118~5540	龙马溪组	422	54	7.81
焦页 C-2HF	KMD1652ADGR	3435~5806	龙马溪组、五峰组	2371	238	9.96
焦页 C-3HF	KMD1652ADGR	3687~5223	龙马溪组	1536	146	10.52

3.2 井眼轨道优化设计与实时调控

3.2.1 井眼轨迹优化

针对江东区块地层自然造斜能力强、长稳斜段轨迹控制难度大等问题,钻井设计提前考虑复合钻进时地层造斜率增量,将常规“直-增-稳-增-平”剖面设计优化为“直-增-微增-稳-增(扭方位)-平”剖面(见图2)。降低初始造斜段的造斜率,由原设计的14°~16°/100 m降至6°~10°/100 m,后续微增井段依靠地层自然造斜率增斜,减少滑动进尺,提高复合钻进比例。该优化设计降低全井段造斜率,减少定向滑动钻井比例,减少滑动钻进摩擦阻力,大幅降低轨迹控制难度(图3)。

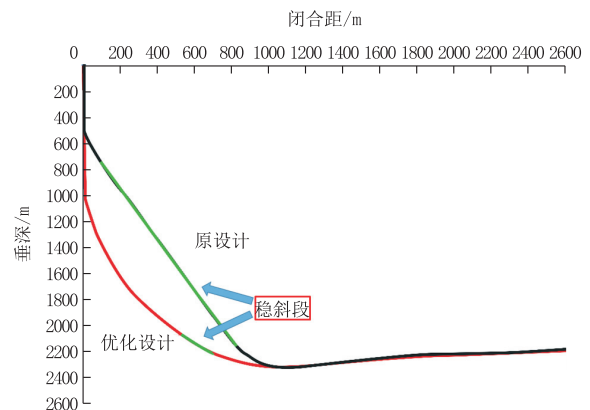


图2 焦页 D-1HF 井轨道优化设计

Fig.2 JYD-1HF Well path optimization design

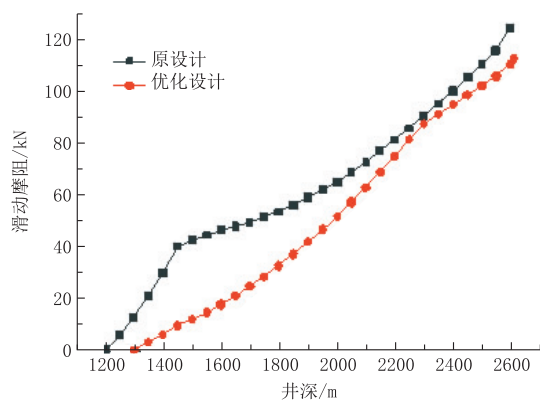


图 3 焦页 D-1HF 井轨迹优化滑动钻进摩擦对比

Fig.3 Comparison of sliding drilling friction with JYD-1HF optimized well trajectory

3.2.2 近钻头随钻测量技术

近钻头随钻测量系统零长小于 1 m,较常规测量仪器 LWD(零长约 17 m)有较大优势,可及时发现钻遇地层变化情况,指导井眼轨迹实时调整,提高井眼轨迹控制的精度,提高优质页岩气层的钻遇率^[12-14]。江东区块 16 口井配套应用了近钻头仪器,优质储层的钻遇率均在 95%以上(见表 4)。

表 4 江东区块近钻头使用情况

Table 4 Near-bit Drilling results at Jiangdong Block

井号	随钻测量仪器	水平段长/m	目的层穿行段长/m	目的层钻遇率/%
焦页 D-5HF	近钻头	1472	1472	100
焦页 E-1HF	近钻头	1555	1555	100
焦页 D-6HF	MWD	1304	1182	90.6
焦页 E-3HF	MWD	1252	1001	80

3.3 针对性推广使用提速工具

3.3.1 水力振荡器

针对江东区块二开定向段、三开水平段托压等问题,在施工过程中使用水力振荡器。水力振荡器利用阀板机构,把单纯的机械式加压改为机械与液力相结合的加压方式,为钻头提供有效、真实的钻压,可提高机械钻速,减少钻头磨损,延长单趟钻有效进尺,减少起下钻次数,缩短钻井周期^[15]。从前期试用到目前推广使用,水力振荡器定向钻井提速较为显著,平均机械钻速提高 20%以上(见表 5)。

3.3.2 射流冲击器

射流冲击器是利用钻井液经过换向机构,交替作用到活塞上、下端面上,推动活塞带动冲锤产生高频往复运动,冲锤高频冲击作用到砧子上,冲击能量由传递机构传递到钻头,提高动静态耦合作用下的钻头

表 5 江东区块部分平台水力振荡器使用情况

Table 5 Use of hydraulic oscillators on some platforms at Jiangdong Block

井号	井眼尺寸/mm	是否使用水力振荡器	使用井段/m	进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)	钻井提速/%
焦页 F-2HF	215.9	使用	3732~4200	468	6.16	21.74
焦页 F-1HF	215.9	未使用	3432~4672	1240	5.06	
焦页 F-3HF	311.2	使用	1528~2123	595	8.18	38.18
焦页 F-1HF	311.2	未使用	1528~2245	717	5.92	
焦页 G-1HF	215.9	使用	2730~5465	2735	5.46	30.31
焦页 G-4HF	215.9	未使用	2767~4415	1648	4.19	

破岩效率^[16]。针对江东区块二开茅口组机械钻速低的问题,在焦页 H 平台使用 $\varnothing 228$ mm 射流冲击器对二开直井段提速,机械钻速提高 26.81%(见表 6)。

表 6 焦页 H 平台射流冲击器使用效果对比

Table 6 Comparison of the results of jet impactors in JY H platform

井号	井眼尺寸/mm	是否使用冲击器	钻进井段/m	进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)	提速效果/%
焦页 H-6HF	311.2	是	2680~2735	55	10.36	26.81
焦页 H-4HF	311.2	否	2677~2731	54	8.17	

3.4 “一趟钻”钻井技术

“一趟钻”技术是指利用一只钻头入井一次打完一个开次的所有进尺。利用该技术使得水平井降本增效效果明显。“江东区块”由于其地质条件复杂、地层情况不清,导致三开造斜段及水平段实现“一趟钻”技术困难。目前,在江东区块三开水平段“一趟钻”仅有 5 次,较焦石坝主体产建区三开水平段“一趟钻”使用较少。

焦页 A-1HF 井全井使用国产工具,合理使用射流冲击器和水力振荡器,根据地层优选钻头类型,实现一开一趟钻,二开五趟钻,三开造斜段一趟钻,水平段一趟钻。该井钻井周期 52.5 d,创江东区块钻井周期最短记录;一开机械钻速最高 24.27 m/h,二开直井段单日进尺最多 505 m,二开定向段单日进尺最多 301 m;三开单只混合钻头进尺最多 601 m;三开首次实现江东区块水平段一趟钻(见表 7)。

4 江东区块优快钻井技术应用效果分析

经过 4 年的技术探索和经验总结,江东区块钻完井技术不断成熟。导眼段平均机械钻速由 2015 年的 3.53 m/h 提升到 2018 年的 8.36 m/h,整体提升了 1.4 倍(见表 8)。一开钻井克服地层可钻性差

表7 焦页A-1HF井“一趟钻”应用情况
Table 7 Results of “one-pass” bits in JYA-1HF Well

开次	钻头直径/mm	型号	井段/m	所钻层位	进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)
一开	406.4	KS1662SGAR	277~1005	嘉陵江组-飞仙关组	728	24.27
	311.2	KM1653DAR	1005~1635	飞仙关组-龙潭组	630	26.25
	311.2	HJT637GL	1635~1839	龙潭组-茅口组	204	5.67
二开	311.2	KMD1663DFRT	1839~2201	茅口组-韩家店组	362	7.62
	311.2	KSD1663DRT	2201~2502	韩家店组	301	6.92
	311.2	KSD1362ADGR	2502~3100	韩家店组-小河坝组	598	15.33
三开	215.9	KPM1642ART	3100~3701	小河坝组-龙马溪组	601	11.56
	215.9	KMD1652ADGR	3701~5118	龙马溪组-五峰组	1417	11.71

表8 江东区块优快钻井效果统计表

Table 8 Comparison of fast drilling effects at Jiangdong Block

年份	完井数/口	平均井深/m	平均水平段长/m	平均机械钻速/(m·h ⁻¹)				
				导眼段	一开	二开	三开	全井
2015	4	5188	1602	3.53	12.51	6.19	5.55	6.68
2016	20	5084	1631	6.93	14.93	7.02	6.84	7.16
2017	17	5299	1434	6.03	12.66	6.60	6.86	7.14
2018	22	5765	1619	8.36	12.35	7.09	7.72	7.55

且漏失频繁的难点,保证机械钻速不落后。二开钻井克服小河坝定向施工困难和破碎带掉块等难题,机械钻速提升14.53%。三开水平段“一趟钻”技术成果显著,累计成功5井次;三开井段平均机械钻速提高39.1%。钻井周期从2015年的235 d缩短至2018年的90.33 d,实现了江东区块钻井施工整体“降本增效”的目的。

5 结论

(1)根据地层岩性特征优选钻头类型,二开龙潭组、茅口组地层推荐使用牙轮钻头HJT637GL,三开龙马溪组浊积砂段推荐使用混合钻头KPM1642ART,水平段推荐使用PDC钻头KSD1652AGR和KMD1652ADGR,现场应用取得了良好的钻井提速效果。

(2)钻井设计提前考虑复合钻进时地层造斜率增量,降低全井段造斜率,减少定向滑动钻井比例,可大幅降低轨迹控制难度。近钻头随钻测量系统可提高井眼轨迹控制的精度,现场应用表明,优质储层的钻遇率均在95%以上,建议三开钻井全部使用近钻头随钻测量系统。

(3)水力振荡器定向钻井提速较为显著,平均机械钻速提高在20%以上;射流冲击器提高了动静态耦合作用下的钻头破岩效率,机械钻速提高在30%以上。建议后续钻井推广使用水力振荡器和射流冲

击器。

(4)江东区块钻井周期从开发前期的235 d缩短至90.33 d,机械钻速、储层钻遇率不断提高的同时,定向钻井托压、钻头提前失效等工况逐渐减少。通过4年发展,涪陵气田江东区块优快钻井集成技术逐渐成熟,对其他深层页岩气的勘探开发具有较强的参考价值。

参考文献(References):

- [1] 张金成,孙连忠,王甲昌,等.“井工厂”技术在我国非常规油气开发中的应用[J].石油钻探技术,2014,42(1):20-25.
ZHANG Jincheng, SUN Lianzhong, WANG Jiachang, et al. Application of multi-well pad in unconventional oil and gas development in China[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1):20-25.
- [2] 李海宏.钻井风险评价方法与模型建立[J].石油钻探技术,2003,31(6):66-68.
LI Haihong. The building of evaluation method and mathematical mode of drilling risk[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(6):66-68.
- [3] 刘绘新.裂缝型气藏井控技术[D].四川成都:西南石油大学,2015.
LIU Huixin. Fractured gas reservoir well control technology [D]. Chengdu Sichuan: Southwest Petroleum University, 2015.
- [4] 中石化井控培训教材编写组.中国石油化工集团公司井控培训系列教材[M].山东东营:中国石油大学出版社,2013.
Sinopec well control training textbook writing group. China Petrochemical Corporation company well control training series of textbooks[M]. Dongying Shandong: China University of Petroleum Press, 2013.
- [5] 牛新明.涪陵页岩气田开发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.
- [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]. Pe-

- troleum Drilling Techniques, 2013,41(5):26-30.
- [7] 艾军,张金成,臧艳彬,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.
- [8] 杨国圣,张玉清. 涪陵页岩气工程技术实践与认识[M].北京:中国石化出版社,2015.
YANG Guosheng, ZHANG Yuqing. Practice and understanding of Fuling Shale Gas Engineering Technology[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2015.
- [9] 陈勉,邓金根,吴志坚. 岩石力学在石油工程中的应用[M].北京:石油工业出版社,2006.
CHEN Mian, DENG Jinggen, WU Zhijian. Application of rock mechanics in petroleum engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [10] 曾义金.页岩气开发的地质与工程一体化技术[J].石油钻探技术,2014,42(1):1-6.
ZENG Yijin. Integration technology of geology & engineering for shale gas development [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(1):1-6.
- [11] 陈平,刘阳,马天寿.页岩气“井工厂”钻井技术现状及展望[J].石油钻探技术,2014,42(3):1-7.
CHEN Ping, LIU Yang, MA Tianshou. Status and prospect of multi-well pad drilling technology in shale gas[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(3):1-7.
- [12] 沙贞银,杜俊伯,向进,等.涪陵页岩气田钻井提速方案及实施效果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):31-36.
- SHA Zhenyin, DU Junbo, XIANG Jin, et al. A scheme for drilling rate improving in Fuling Shale Gas and its implementation effects analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):31-36.
- [13] 刘匡晓,王庆军,兰凯.涪陵页岩气田三维水平井大井眼导向钻井技术[J].石油钻探技术,2016,44(5):16-21.
LIU Kuangxiao, WANG Qingjun, LAN Kai. Large diameter hole steering drilling technology for three-dimensional horizontal well in the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(5):16-21.
- [14] 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. Fuling Shale Gas horizontal well drilling speed-up technology[J]. Natural Gas Technology, 2017,11(2):31-35.
- [15] 刘虎,段华,沈彬亮,等.焦石坝地区海相页岩气水平井优快钻井技术[J].西部探矿工程,2016,28(6):59-61.
LIU Hu, DUAN Hua, SHEN Binliang, et al. Fast drilling technology for marine shale gas horizontal wells in Jiaoshiba Area[J]. West-China Exploration Engineering, 2016,28(6):59-61.
- [16] 张金成.涪陵页岩气田水平井组优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):1-8.
ZHANG Jincheng. Optimal and fast drilling technology for horizontal wells in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):1-8.

(编辑 韩丽丽)

(上接第 17 页)

- [14] American Petroleum Institute. TR 5C3/ISO 10400:2007. Technique report on equations and calculations for casing or tubing; and performance properties tables for casing and tubing [S]. Washington DC: API, 2007:39-47.
- [15] American Petroleum Institute. TR 5C3/ISO 13679:2002. Recommended practice on procedures for testing and tubing connections [S]. Washington DC: API, 2002:9-30.
- [16] 王治国,刘玉文.宝钢特殊螺纹油管的设计分析[J].宝钢技术,2000,(6):54-57,62.
WANG Zhiguo, LIU Yuwen. Design analysis of Baosteel premium connection of drill pipe[J]. Bao Steel Technology, 2000,(6):54-57,62.
- [17] 李连进,王惠斌,宗卫兵,等.石油套管残余应力对抗压溃强度影响的数值模拟[J].钢铁,2005,40(6):51.
LI Lianjin, WANG Huibin, ZONG Weibing, et al. Study of effect of residual stress on compressive strength of casing pipe by FEM[J]. Iron and Steel, 2005,40(6):51.
- [18] 申昭熙,冯耀荣,解学东,等.套管抗挤强度分析及计算[J].西南石油大学学报,2008,30(3):139-142.
SHEN Zhaoxi, FENG Yaorong, XIE Xuedong, et al. Casing collapse resistance analysis and calculation [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2008,30(3):139-142.
- [19] 马智强.套管及下套管复杂情况[J].科技致富向导,2013,(30):228.
MA Zhiqiang. Casing and complexity of running casing[J]. Guide of Sci-tech Magazine, 2013,(30):228.
- [20] 周子棠.下套管作业过程要点探析[J].内蒙古石油化工,2015,(3):75-77.
ZHOU Zitang. Analysis on the key points of running casing [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015,(3):75-77.

(编辑 韩丽丽)