



预探井杨柳1井钻井提速关键技术

赵润琦

Key Technologies for ROP Improvement in Exploratory Well Yangliu-1

ZHAO Runqi

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021095>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

川深1井超深井钻井提速关键技术

Key Techniques of Drilling Penetration Rate Improvement in Ultra-Deep Well Chuanshen-1

石油钻探技术. 2019, 47(3): 121-126 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019056>

顺北油田超深井优快钻井技术

Optimization of Fast Drilling Technology for Ultra-Deep Wells in the Shunbei Oilfield

石油钻探技术. 2017, 45(6): 8-13 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201706002>

塔里木盆地满深1井超深井钻井关键技术

Key Drilling Technologies for the Ultra-Deep Well Manshen 1 in the Tarim Basin

石油钻探技术. 2020, 48(4): 21-27 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020067>

硬地层稳压稳扭钻井提速技术

Technology for Drilling Speed Increase Using Stable WOB/Torque for Hard Formations

石油钻探技术. 2019, 47(3): 107-112 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019053>

顺北油气田鹰1井超深井段钻井液关键技术

Key Drilling Fluid Technology in the Ultra Deep Section of Well Ying-1 in the Shunbei Oil and Gas Field

石油钻探技术. 2019, 47(3): 113-120 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019068>

哥伦比亚Matambo区块深井钻井关键技术

Key Techniques for Deep Well Drilling Optimization in the Block Matambo, Colombia

石油钻探技术. 2018, 46(2): 30-37 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018067>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021095

引用格式: 赵润琦. 预探井杨柳 1 井钻井提速关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(5): 26-30.

ZHAO Runqi. Key technologies for ROP improvement in exploratory Well Yangliu-1 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(5): 26-30.

预探井杨柳 1 井钻井提速关键技术

赵润琦

(中石化中原石油工程有限公司钻井三公司, 河南兰考 475300)

摘 要: 杨柳 1 井为普光气田周边区块的一口预探井, 设计井深 5 850.00 m, 因陆相地层软硬交错、倾角大、须家河组研磨性强和裂缝性地层发育等问题, 导致钻井过程中存在提速困难、井身质量控制难度大、钻井液漏失量大等技术难题。为此, 根据该井地层岩性特征, 优选应用了泡沫/空气钻井技术以提高上部陆相地层机械钻速、“螺杆钻具+复合钻头”钻井提速技术以提高须家河组高研磨性地层机械钻速、预弯曲动力学防斜打快技术以提高井身质量、裂缝性地层防漏堵漏技术以提高堵漏成功率, 确保该井顺利钻至井深 5 890.00 m 完钻, 平均机械钻速 2.77 m/h, 与邻井相比有较大幅度的提高, 且未出现严重的井下故障, 减少了钻头使用量, 缩短了堵漏时间, 取得了良好的经济效益。杨柳 1 井实现了钻探目的, 完善了该区块的地质资料, 为今后该区块的钻井积累了提速经验。

关键词: 预探井; 机械钻速; 泡沫钻井; 空气钻井; 防斜打快; 防漏堵漏; 杨柳 1 井

中图分类号: TE249

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)05-0026-05

Key Technologies for ROP Improvement in Exploratory Well Yangliu-1

ZHAO Runqi

(The No.3 Drilling Company, Sinopec Zhongyuan Oilfield Service Corporation, Lankao, Henan, 475300, China)

Abstract: Well Yangliu-1 is an exploratory well in the surrounding blocks of Puguang Gas Field, with a design well depth of 5 850.00 m. Problems such as interlaced soft and hard continental strata, large dip angles, strong abrasiveness of the Xujiahe Formation, fractured strata were encountered, leading to difficulties in improving the ROP(rate of penetration), hard quality control of the casing program, and serious lost circulation during the drilling process. According to the lithological characteristics of strata in the well area, the air/foam drilling technology was selected to improve the ROP of upper continental strata; the PDM(positive displacement motor) + compound bit technology was employed to improve the ROP in the highly abrasive strata of the Xujiahe Formation; the pre-bending dynamic inclining prevention and fast drilling technology was adopted to enhance casing program quality; the lost circulation prevention and control technology was applied in fractured strata for a higher success rate of lost circulation control. As a result, the well was successfully drilled to the depth of 5 890.00 m, with an average ROP of 2.77 m/h, which was greatly enhanced compared with that of adjoining wells. This process had no serious downhole failures, which reduced the bit usage, shortened the time for lost circulation control, and thus achieved good economic benefits. The drilling goal has been achieved in Well Yangliu-1, which enriches the geological data of this block and provides ROP improvement experience for the drilling in this block in the future.

Key words: exploratory well; ROP; foam drilling; air drilling; inclining prevention and fast drilling; lost circulation prevention and control; Well Yangliu-1

普光气田位于川东断褶带东北段双石庙—普光构造带上, 储层主要为上二叠统长兴组的生物礁白云岩和下三叠统飞仙关组的鲕粒滩白云岩, 是国内

发现的储集层物性最好的深层碳酸盐岩气田之一^[1-2]。近年来, 为确保普光气田稳产, 加大了大湾、毛坝、元坝等周边区块的勘探开发力度, 部署了多口探井,

收稿日期: 2021-07-12; 改回日期: 2021-08-06。

作者简介: 赵润琦 (1975—), 男, 河南卫辉人, 1994 年毕业于中原石油学校钻井工程专业, 高级工程师, 主要从事钻井工程技术与管理工作。E-mail: pyzhaorunqi@163.com。

基金项目: 中石化石油工程技术服务股份有限公司项目“西南工区深井超深井钻井故障预防与处理关键技术研究”(编号: SG20-37J) 资助。

杨柳1井为其中一口重点预探井。该井位于四川省宣汉县清溪镇沙溪村,设计井深5 850.00 m,主探东岳寨构造飞仙关组一段、二段台缘斜坡带颗粒滩储层,兼探千佛崖组河道砂岩、长兴组礁前斜坡带不整合岩溶储层和茅口组不整合岩溶储层,主要存在地层倾角大、裂缝性地层漏失频发和地质情况不明等钻井技术难题^[3-6]。为此,笔者研究应用了泡沫/空气钻井技术、“螺杆钻具+复合钻头”钻井提速技术和裂缝性地层防漏堵漏技术等提速关键技术,顺利完成了杨柳1井钻井施工,全井平均机械钻速2.77 m/h,取得了较好的提速提效效果,并进一步完善了该区块的地质资料,积累了较为丰富的探井钻井提速经验,可为国内类似预探井钻井提速提供借鉴。

1 地层岩性及井身结构设计

1.1 地层岩性特点

杨柳1井钻遇地层自上而下依次为上沙溪庙组、下沙溪庙组、千佛崖组、自流井组、须家河组、雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组、长兴组、龙潭组和茅口组。受沉积环境影响,该井钻遇地层岩性较为复杂,陆相地层砂泥岩互层频繁、泥页岩厚度大,整体厚度达到3 402 m,占井深的58%,给钻井提速和井下安全带来了较大难度。根据普光1井、东岳1井等邻井的实钻资料,在钻进千佛崖组、自流井组和须家河组时会出现气测异常,且易发生严重的裂缝性漏失;须家河组中下部石英含量高达75%以上,可钻性极差;海相气层分布范围广,除雷口坡组外钻进所有地层时均有气测显示,且嘉陵江组、飞仙关组和长兴组均含有少量硫化氢;嘉陵江组石膏岩、膏盐岩发育;飞仙关组三段至茅口组地层压力系数高,预测存在高压气层;地层倾角大,嘉陵江组三段至茅口组地层倾角为10.0°~15.0°,对井眼轨迹控制技术要求高。

1.2 井身结构设计

杨柳1井设计采用三开井身结构:导管段,采用 $\phi 660.4$ mm钻头钻至井深100.00 m, $\phi 508.0$ mm导管下深100.00 m,水泥浆返至地面,封隔浅部水层;一开,采用 $\phi 444.5$ mm钻头钻至井深1 501.00 m, $\phi 339.7$ mm表层套管下深1 500.00 m,水泥浆返至地面,封隔上沙溪庙组上部易塌、易漏地层;二开,采用 $\phi 311.1$ mm钻头钻至井深4 242.00 m, $\phi 244.5$ mm尾管下深4 240.00 m,封隔嘉陵江组三段以上低压、易漏地层, $\phi 260.4$ mm套管回接至井口;三开,采用

$\phi 215.9$ mm钻头钻至井深5 850.00 m, $\phi 139.7$ mm尾管下深5 847.00 m, $\phi 177.8$ mm套管回接至井口。

2 主要钻井难点

1)上部陆相地层软硬交错,平均机械钻速低。普光气田及周边区块陆相地层砂泥岩互层频繁、软硬交错,尤其是须家河组石英含量高,研磨性较强,导致钻头磨损严重、单趟进尺短和机械钻速低,平均机械钻速低于1.00 m/h。例如,邻井普光5井陆相地层平均机械钻速为1.68 m/h,平均单只钻头进尺109.78 m,其中仅钻进须家河组时就使用钻头13只,平均机械钻速仅为0.99 m/h,平均单只钻头进尺仅54.62 m。

2)地层倾角大,防斜打直难度大。陆相地层泥岩、粉砂质泥岩、砂泥岩互层频繁,软硬交错,井斜控制难度大;嘉陵江组四段、五段顶部发育膏岩,地层产状变化较大,上部地层倾角3.0°~5.0°,倾向为北东,下部地层倾角10.0°~15.0°,倾向为北东东,钻进时易发生井斜,若采用轻压吊打则导致钻速慢、钻井周期长,防斜打直难度较大。例如,邻井川岳84井上部井段的最大井斜角达到8.5°。

3)气层活跃,裂缝发育,气侵、漏失层位分布广。该井共钻遇11套地层,仅上沙溪庙组、下沙溪庙组和雷口坡组无油气显示,千佛崖组、自流井组、须家河组和雷口坡组裂缝发育,钻井过程中易发生井漏。例如,邻井川岳83井发现8层钻井液漏失层或裂缝性地层,其中3层为陆相地层,5层为海相地层;邻井川岳84井钻遇气层21层,发生漏失9次(含3次失返性漏失),共漏失钻井液1 896.3 m³。

3 钻井提速关键技术

3.1 泡沫/空气钻井技术

泡沫/气体钻井技术是以泡沫、压缩空气或氮气等作为循环介质的一种欠平衡钻井技术,可以解决易漏地层钻井液漏失量大、成本高的问题,同时在坚硬地层具有良好的提速效果,已在川东北地区得到推广应用^[7-9],并达到良好的提速效果。参考邻井地层岩性及实钻情况,考虑杨柳1井上沙溪庙组浅层水分布情况,若采用常规钻井液钻进,易发生钻井液漏失、井眼失稳等井下故障;若采用气体钻井技术钻进,则易出现钻屑携带困难、埋钻和卡钻等井下故障。为此,该井一开 $\phi 444.5$ mm井眼采用泡

沫钻井技术,为提高泡沫携岩效率,优化了钻井参数:钻压 250 kN,转速 70 r/min,注气量 180~200 m³/min,泡沫排量 8~12 m³/min,钻具组合为 $\phi 444.5$ mm HJT537GK 牙轮钻头+ $\phi 279.4$ mm 减振器+ $\phi 279.4$ mm 钻铤+浮阀+ $\phi 228.6$ mm 钻铤×53.00 m+ $\phi 203.2$ mm 钻铤+ $\phi 139.7$ mm 钻杆。该井一开井段顺利钻至设计井深 1 501.00 m,累计使用牙轮钻头 3 只,平均机械钻速 6.03 m/h(见图 1),与邻井相比提高 50% 以上,解决了一开大尺寸井眼机械钻速低、钻井液易漏失等难题。

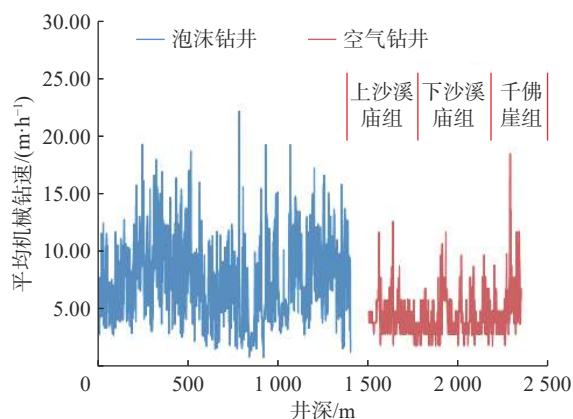


图 1 杨柳 1 井泡沫/空气钻井平均机械钻速曲线

Fig.1 Average ROP curves of air/foam drilling in Well Yangliu-1

二开井段设计井深 4 242.00 m,因沙溪庙组至须家河组地层研磨性强、可钻性差,钻井过程中普遍存在机械钻速低、钻头磨损严重和单趟进尺短等难题。为实现二开井段的提速提效,选用了空气钻井技术钻进,钻井参数为:注气量 100~140 m³/min,钻压 15~40 kN,转速 30~50 r/min。考虑空气钻井时井径扩大率较小,为保证后期转为钻井液钻进时 PDC 钻头下入顺畅,应用了 $\phi 320.0$ mm 空气锤,钻具组合为 $\phi 320.0$ mm 空气锤+浮阀+ $\phi 203.2$ mm 钻铤×3 根+ $\phi 139.7$ mm 加重钻杆×12 根+ $\phi 139.7$ mm 钻杆。该井二开井段钻至井深 2 346.00 m 时,因千佛崖组出油,起钻转为钻井液钻进,空气钻井累计进尺 845.00 m,平均机械钻速 12.94 m/h,其中千佛崖组进尺 170.00 m,平均机械钻速达 10.93 m/h,相比该地层转为钻井液后的机械钻速 2.72 m/h,提速效果显著。这表明,空气钻井技术能够满足川东北陆相地层钻井提速需求,为该技术的进一步推广应用提供了依据。

3.2 “螺杆钻具+复合钻头”钻井提速技术

普光气田陆相地层软硬交错,且须家河组石英含量高、研磨性较强,应用常规 PDC 钻头或牙轮钻

头钻进时普遍存在机械钻速低、钻头磨损严重和单趟进尺短等难题。为此,杨柳 1 井自井深 2 358.94 m 试验应用了“螺杆钻具+复合钻头”钻井提速技术,其中复合钻头兼具 PDC 钻头和牙轮钻头的特点和优势,能同时实现剪切破岩和冲击压碎破岩,可显著降低扭矩、钻头的横向振动和粘滑趋势,从而提高破岩效率和导向钻进能力^[10-11]。

杨柳 1 井应用“螺杆钻具+复合钻头”钻进时,钻具组合为 $\phi 311.1$ mm 复合钻头+ $\phi 216.0$ mm 直螺杆+ $\phi 228.6$ mm 减振器+ $\phi 228.6$ mm 钻铤×3 根+ $\phi 203.2$ mm 无磁钻铤×1 根+ $\phi 203.2$ mm 钻铤×9 根+ $\phi 139.7$ mm 加重钻杆×12 根+ $\phi 139.7$ mm 钻杆,钻井参数为:钻压 140~170 kN,转盘转速 65 r/min,排量 52 L/s。该井应用“螺杆钻具+复合钻头”钻井提速技术顺利钻穿须家河组(井深 3 426.00 m),进尺 1 026.06 m,共应用 11 只复合钻头(KPM1633DST 型、SH533 型和 KPM1633DSTW 型),平均单只钻头进尺 93.28 m,平均机械钻速 1.86 m/h(如图 2 所示),其中仅钻进须家河组就使用了 10 只复合钻头,平均机械钻速仅 1.61 m/h,平均单只钻头进尺 68.30 m。邻井普光 5 井应用牙轮钻头钻进须家河组时的机械钻速为 0.99 m/h,单只牙轮钻头平均进尺 54.62 m,与之相比,杨柳 1 井实现了钻井提速和提高单趟进尺的目的,但单只钻头平均进尺短、使用钻头数量多的问题仍较为突出。

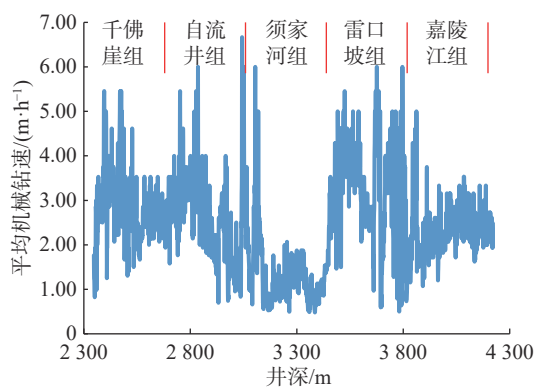


图 2 杨柳 1 井“螺杆钻具+复合钻头”钻井平均机械钻速曲线

Fig.2 Average ROP curves of drilling with PDM + compound bit in Well Yangliu-1

3.3 预弯曲动力学防斜打快技术

杨柳 1 井采用塔式钻具组合($\phi 311.1$ mm 钻头+ $\phi 244.5$ mm 直螺杆+ $\phi 228.6$ mm 减振器+ $\phi 228.6$ mm 钻铤×6 根+ $\phi 203.2$ mm 无磁钻铤×1 根+ $\phi 203.2$ mm 钻铤×4 根+ $\phi 139.7$ mm 加重钻杆×12 根+ $\phi 139.7$ mm 钻杆)钻进时,井斜控制效果较差,最大井斜角达到了

11.22°(井深4 200.00 m处)、方位角291.37°。为有效控制井斜,保证井眼轨迹平滑,该井三开井段应用了预弯曲动力学防斜打快技术,利用钻具组合在井眼中的涡动来消除钻头轴线的指向作用,形成偏向井壁方向的侧向力^[12-14],实现防斜打直。第一趟钻应用了 $\phi 172.0\text{ mm} \times 1.25^\circ$ 单稳螺杆钻具(稳定器直径210.0 mm),并在螺杆钻具上部约1.00 m处安装 $\phi 206.0\text{ mm}$ 稳定器;钻井参数为:钻压40~80 kN,转盘转速75 r/min,排量25 L/s。

该井自井深4 230.00 m钻至井深4 545.66 m时,井斜角2.59°、方位角346.09°,因井斜角较大,地层较硬,且地层倾角大,强扭方位较为困难。为减小狗腿度、增大扭方位位移,将工具面摆在40°~50°进行定向作业,当井斜角超过5°后,全力增斜钻至井深5 147.00 m起钻,井斜角15.91°,方位角45.78°。将钻具组合中的 $\phi 206.0\text{ mm}$ 稳定器更换为 $\phi 210.0\text{ mm}$ 稳定器,定向降斜钻至井深5 283.52 m(方位角44.90°),复合钻至井深5 890.00 m完钻,顺利完成了纠斜扭方位作业。该井应用预弯曲动力学防斜打快技术累计进尺1 612.16 m(未含取心井段),平均机械钻速2.36 m/h,与邻井普光5井平均机械钻速1.89 m/h相比提高了24.87%,完钻井斜角7.91°、方位角24.91°、最大水平位移71.69 m、最大全角变化率2.86°/30m,井身质量符合设计要求(设计要求水平位移 $\leq 200\text{ m}$,全角变化率 $\leq 3.25^\circ$),防斜打快效果良好。

3.4 裂缝性地层防漏堵漏技术

千佛崖组至雷口坡组地层裂缝发育,钻井过程中易发生井漏^[15-16],邻井川岳84井在钻进该地层时共发生钻井液漏失9次,单次漏失量超过50.0 m³的大型漏失达到7次,平均单次漏失量达210.7 m³。测井、录井资料分析表明,该井陆相地层漏失以孔隙-裂缝性漏失为主,海相地层以裂缝性漏失为主,其中嘉陵江组四段伴有缝洞型漏失。

杨柳1井在钻进裂缝性地层时,采取了提高钻井液封堵性能、优化堵漏方法、强化振动筛应用等防漏堵漏技术措施:1)钻井液中加入3%随钻堵漏剂、3%油溶性暂堵剂、1%高软化点沥青、6%超细碳酸钙和5%复合堵漏剂,提高钻井液封堵性能,满足裂缝性地层防漏的需求^[17];2)实钻过程中配备40 m³堵漏浆备用,堵漏浆配方为5%随钻堵漏浆(堵漏颗粒直径3~5 mm)+5%复合式堵漏浆(堵漏颗粒直径大于5 mm)+3%QS-2+5%核桃壳+3%油溶性暂堵剂+3%油基钻井液暂堵剂+3%FT+1%云

母+1%刚性堵漏剂;3)发生裂缝性漏失时,采用静止堵漏方法,以有效降低承压堵漏导致的裂缝张开、漏失量增加的风险,同时为提高堵漏效果,注入的堵漏浆需覆盖距井底200 m井段;4)应用堵漏浆钻进时,选用60目和120目筛布的双振动筛,避免堵漏材料浪费的同时,又能满足地质需要;5)由于飞仙关组为已开采层位,地层压力较低,在确保井壁稳定前提下,将钻井液密度降至1.85~1.90 kg/L。

实钻结果表明,杨柳1井钻进千佛崖组至茅口组时共发生22次钻井液漏失,虽然单次漏失量超过50 m³的大型漏失达到14次,但平均单次漏失量仅73.7 m³,与邻井川岳84井相比,平均单次漏失量大幅减小,取得了较好的堵漏效果,为该地区探井钻井的防漏堵漏积累了经验。

4 实钻效果

杨柳1井应用钻井提速关键技术,顺利钻至井深5 890.00 m完钻,钻井周期274.13 d,完井周期303.13 d,平均机械钻速2.77 m/h,与邻井东岳1井和普光5井相比分别提高了60.1%和62.9%。该井钻井过程中未出现严重的井下故障,减少了钻头使用量,缩短了堵漏时间,提高了机械钻速,取得了良好的经济效益。

测录井资料综合解释结果表明,杨柳1井气层累计45层,层厚共计191.1 m,其中气层47.60 m/5层、含气层65.20 m/13层、泥岩气层15.00 m/1层、泥岩含气层24.10 m/9层、气水同层3.50 m/1层、微含气层19.00 m/9层、干层2.90 m/2层、油气层4.70 m/1层、煤层气4.10 m/3层、可疑层5.00 m/1层。杨柳1井实现了钻探目的,在探明飞仙关组、长兴组和茅口组含气情况的基础上,加深了对该井气层分布、烃源岩性质的认识,为今后该区块油气勘探开发提供了较丰富的地质资料。

5 结论与建议

1)杨柳1井钻井过程中面临陆相地层软硬交错、倾角大、须家河组研磨性强和裂缝性地层发育等难题,通过应用泡沫/空气钻井技术、“螺杆钻具+复合钻头”钻井提速技术、预弯曲动力学防斜打快技术及裂缝性地层防漏堵漏技术等钻井关键技术,实现了全井的提速提效及地质目的。

2)杨柳1井裂缝性地层防漏堵漏技术虽然取得

了较好的堵漏效果,但未完全解决裂缝性地层钻井液漏失的难题,需在深化地层漏失机理研究的基础上,进一步优化钻井液封堵性能和防漏堵漏技术措施,形成更加有效的裂缝性地层防漏堵漏技术。

3)在钻进陆相须家河组高研磨性地层时,建议推广应用泡沫空气钻井技术和“螺杆钻具+复合钻头”钻井提速技术,并优化复合钻头内锥及后鼻肩切削齿的结构及分布,提高单只复合钻头的进尺,降低钻井成本。

4)受制于地层倾角、地层造斜能力、钻井参数等现场情况,预弯曲动力学防斜打快技术的应用效果差异性大,需根据现场实际情况调整稳定器直径和位置,以获得最佳的防斜打快效果。

参 考 文 献

References

- [1] 马永生,蔡勋育,赵培荣,等. 深层超深层碳酸盐岩优质储层发育机理和“三元控储”模式:以四川普光气田为例[J]. 地质学报, 2010, 84(8): 1087-1094.
MA Yongsheng, CAI Xunyu, ZHAO Peirong, et al. Formation mechanism of deep-buried carbonate reservoir and its model of three-element controlling reservoir: a case study from the Puguang Oilfield in Sichuan[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(8): 1087-1094.
- [2] 蒋小琼,管宏林,郑和荣,等. 四川盆地普光气田飞仙关组白云岩储层成因探讨[J]. 石油实验地质, 2014, 36(3): 332-336, 345.
JIANG Xiaoqiong, GUAN Honglin, ZHENG Herong, et al. Discussion on origin of dolomite reservoirs in Feixianguan Formation, Puguang Gas Field, Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2014, 36(3): 332-336, 345.
- [3] 陈明,黄志远,马庆涛,等. 马深1井钻井工程设计与施工[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(4): 15-20.
CHEN Ming, HUANG Zhiyuan, MA Qingtao, et al. Design and drilling of Well Mashen 1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(4): 15-20.
- [4] 张金成,张东清,张新军. 元坝地区超深井钻井提速难点与技术对策[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(6): 6-10.
ZHANG Jincheng, ZHANG Dongqing, ZHANG Xinjun. Difficulties of improving rate of penetration and its technical solutions in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 6-10.
- [5] 闫光庆,张金成. 中国石化超深井钻井技术现状与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 1-6.
YAN Guangqing, ZHANG Jincheng. Status and proposal of the Sinopec ultra-deep drilling technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 1-6.
- [6] 于文平. 我国深井钻井技术发展的难点及对策[J]. 中外能源, 2010, 15(9): 52-55.
YU Wenping. Difficulty and countermeasures for the advance of the deep well drilling technology in China[J]. Sino-Global Energy, 2010, 15(9): 52-55.
- [7] 侯树刚,刘新义,杨玉坤. 气体钻井技术在川东北地区的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 24-28.
HOU Shugang, LIU Xinyi, YANG Yukun. Application of gas drilling technology in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 24-28.
- [8] 董明键,肖新磊,边培明. 复合钻井技术在元坝地区陆相地层中的应用[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(4): 38-40.
DONG Mingjian, XIAO Xinlei, BIAN Peiming. Application of compound drilling technology in terrestrial formation in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 38-40.
- [9] 王文龙,赵勤,李子丰,等. 普光气田气体钻井钻具失效原因分析及预防措施[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(5): 38-43.
WANG Wenlong, ZHAO Qin, LI Zifeng, et al. Cause analysis and precautions of drilling tools failure during gas drilling in Puguang Gas Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(5): 38-43.
- [10] 朱宽亮,周岩,胡中志. PDC-牙轮复合钻头在南堡油田大斜度井的应用[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(6): 60-64.
ZHU Kuanliang, ZHOU Yan, HU Zhongzhi. Application of a PDC-roller hybrid bit in highly-deviated wells of the Nanpu Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(6): 60-64.
- [11] 况雨春,魏莉鸿,秦超. 牙轮-PDC复合钻头井底流场CFD模拟研究[J]. 石油机械, 2013, 41(6): 6-9.
KUANG Yuchun, WEI Lihong, QIN Chao. Research on bottom-hole flow field CFD simulation of composite roller-PDC bit[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(6): 6-9.
- [12] 邓柯,刘殿琛,李成晓. 预弯曲动力学井斜控制技术在长宁构造气田中的应用[J]. 钻采工艺, 2020, 43(2): 38-40.
DENG Ke, LIU Dianchen, LI Chengxiao. Application of pre-bending dynamic well inclination control technology in gas drilling in Changning Structure[J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(2): 38-40.
- [13] 汝大军,李立昌,陆红,等. 预弯曲钻具组合特性分析及其应用[J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(4): 14-16.
RU Dajun, LI Lichang, LU Hong, et al. Property evaluation on pre-bending BHA and its application[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(4): 14-16.
- [14] 狄勤丰,吴玉禄,石向前. 预弯曲动力学防斜打快技术初探[J]. 石油学报, 2003, 24(3): 86-89.
DI Qinfeng, WU Yulu, SHI Xiangqian. Primary research on vertical and fast drilling technology with pre-bending dynamic method[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(3): 86-89.
- [15] 何胡军,曾大乾,毕建霞,等. 普光气田碳酸盐岩储层裂缝的成因及其控制因素[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4): 65-72.
HE Hujun, ZENG Daqian, BI Jianxia, et al. Genesis and control factors of fractures in carbonate reservoirs in Puguang Gas Field[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2014, 19(4): 65-72.
- [16] 臧艳彬,王瑞和,张锐. 川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(2): 60-64.
ZANG Yanbin, WANG Ruihe, ZHANG Rui. Current situation analysis of circulation lost and measures in Northeast Sichuan Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 60-64.
- [17] 张杜杰,金军斌,陈瑜,等. 深部裂缝性致密储层随钻堵漏材料补充时机研究[J]. 特种油气藏, 2020, 27(6): 158-164.
ZHANG Dujie, JIN Junbin, CHEN Yu, et al. Study on the supplement timing of leakage stoppage materials while drilling for deep fractured tight reservoirs[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020, 27(6): 158-164.