

垂直钻井系统 PowerV 技术 首次在川西高陡构造 X01 井的应用效果

王俊良¹ 王植锐² 胡建华³ 叶富伟³

1. 斯伦贝谢科技服务(成都)有限公司 2. 重庆科技学院石油与天然气工程学院
3. 中石化西南工程有限公司重庆钻井分公司

王俊良等. 垂直钻井系统 PowerV 技术首次在川西高陡构造 X01 井的应用效果. 天然气工业, 2016, 36(12): 87-91.

摘要 PowerV 垂直钻井技术(以下简称 PowerV)是一项高陡构造直井防斜提速钻井技术,合理选配钻头、控制钻井液性能指标等成为运用该技术的关键。为此,以 PowerV 的结构、工作原理及钻具组合要求为指导,分析其在四川盆地西部高陡构造 X01 井的首次应用试验情况,该井在 $\varnothing 316.5$ mm 井眼的 933 ~ 2 757 m 井段实钻,PowerV 钻进井段井斜小于 1.2° ;与常规组合的钻井相比较,钻速提高 4 倍;与邻井相同井段的钻井效果相比,PowerV 钻具组合使用了较高的钻压和转速钻进,机械钻速成倍提高。试验结果表明:①选择性能较好的进口钻头可以节约起下钻时间;②使用全套固控设备的时间应占循环时间的 85% 以上,以保证入井钻井液性能;③要求循环系统具备较高的承压能力才能够保证 PowerV 垂直钻井系统对压降的基本需求。结论认为,该技术有利于高陡构造的井身质量控制,大幅度提高了钻速,具有较好的推广价值和应用前景。

关键词 垂直钻井系统 高陡构造 井斜 钟摆组合 钻压 钻速 井身质量 侧向力 四川盆地西部 高陡构造

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2016.12.012

Application of the PowerV vertical drilling system to Well X01 in high dip structures of the western Sichuan Basin

Wang Junliang¹, Wang Zhirui², Hu Jianhua³, Ye Fuwei³

(1. Schlumberger Technology Service <Chengdu> Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, China; 3. Chongqing Drilling Company, Sinopec Southwest Engineering Company, Chongqing 400042, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 36, ISSUE 12, pp.87-91, 12/25/2016. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The PowerV vertical drilling technology ("PowerV") is a deviation-control ROP enhancement technology for vertical wells in high dip structures. Essentially, it is necessary to select bits rationally and control performance indicators of drilling fluid. In this paper, the first trail application of PowerV to Well X01 in the high dip structure, western Sichuan Basin, was analyzed in terms of its structures, working principles and BHA (bottom hole assembly) requirements. In the 933–2 757 m interval of the $\varnothing 316.5$ mm hole, the deviation of the borehole drilled by PowerV is less than 1.2° and the ROP (rate of penetration) is 4 times higher than that of conventional BHAs. Compared with the drilling results of the same interval in the neighboring well, PowerV doubles the ROP by virtue of higher WOB (weight on bit) and RPM (revolution per minute). Test results show that the trip time can be cut down by adopting the imported bits with better performance; that the operation time of complete solid control equipment should account for over 85% of the circulation period to ensure the satisfactory performance of drilling fluid in the well; and that the pressure resistance of the circulation system should be high enough to meet the basic pressure drop requirement of PowerV. It is concluded that PowerV can be used to control the wellbore quality in high dip structures and increase ROP significantly, thus having great spreading values and application prospects.

Keywords: Vertical drilling system; High dip structure; Borehole deviation; Pendulum BHA; Weight on bit (WOB); Rate of penetration (ROP); Wellbore quality; Side force; Western Sichuan Basin; High dip structures

作者简介: 王俊良, 1964 年生, 高级工程师; 1985 年毕业于西南石油大学石油工程系; 现供职于斯伦贝谢中国公司, 主要从事丛式定向井、水平井、大位移井的工程技术服务及技术支持工作; 已发表论文 30 余篇, 曾获得省、局级科技进步成果奖十余项。地址: (610041) 四川省成都市高新区新加坡工业园新园大道七号。电话: 18190491833; ORCID: 0000-0001-8374-079X。E-mail: 875662263@qq.com

在深井、超深井及复杂工艺井的钻探中,井眼垂直性十分重要,因为上部井段的井眼质量不好必然会增大钻下部井段的扭矩、摩阻,以及钻具、套管的额外磨损,这不仅增加了钻井周期、综合成本,而且还有可能导致地质勘探的脱靶、失败。因此在山前构造或高陡构造等复杂构造带把井钻垂直一直是一个世界性的钻井难题。多年以来,中国石油塔里木油田公司(以下简称塔里木油田)针对高陡构造防斜打快技术难题进行了持续不断的技术攻关,先后试验了钟摆钻具、偏轴接头防斜打快技术、定向反扣技术、螺杆钻具配合 PDC 钻头等多种防斜打快技术,其中应用最普遍的是螺杆钻具+PDC 钻头防斜打快技术。这些技术都属于轻压吊打的被动防斜技术,钻压没有得到完全的解放,没有从真正意义上解决防斜打快的问题,井斜仍得不到有效控制,同时机械钻速低,钻井周期长,事故复杂时效高、钻井效率低,钻井成本难以控制。防斜打快问题成了当时制约塔里木油田勘探和开发进程的第一大技术难题。鉴于此,塔里木油田在 2003 年前后引入了 PowerV 垂直钻井技术。先后在大北、迪那、阳北等山前井上广泛应用。山前井平均钻井周期减少 19.78 d,钻机月速度提高 107.64 m,增幅 21.32%,走出了高成本、低效益的困境,为避免套管损坏和山前井上部井段钻井提速开辟了捷径。PowerV 垂直钻井技术现已成为塔里木油田使用最广泛、最成熟的一套防斜打直钻井技术^[1-6]。

与塔里木油田相似的川渝地区,相当一部分井属于地层倾角较大的高陡构造,个别层段的倾角甚至接近 90°,井斜难以控制的矛盾异常突出,“轻压吊打”成了部分直井不得不采用的控制井身质量的传统办法。与塔里木油田相似的地质特征,井身质量控制技术完全可以借鉴。因此,在川西高陡构造 X01 井

Ø316.5 mm 井段首次使用了 PowerV 垂直钻井技术,取得了一些令人惊喜的效果,也有一些需要总结和改进的地方。

虽然 PowerV 技术已在国内不少油田得到了应用^[7-9],相关报道和文章不少,但是在 PowerV 原理的认识和使用的适应性等方面存在一定的偏差甚至误解,为了更好地推广该项技术,本文从 PowerV 的结构、工作原理、典型钻具组合、设备配套等方面予以阐述,以期更好地用好该项技术。

1 垂直钻井系统 (PowerV) 工作原理

PowerV 是一套“全自动化”旋转导向垂直钻进工具,在钻进时会自动追踪地心引力(自动感应井斜),自动设定和调整工具侧向力大小,使倾斜的井眼快速返回垂直状态。这是一个全自动重复的过程。

1.1 PowerV 的结构

PowerV 系统主要由两个部分组成,它们分别是上端的控制短节(电子控制部分,以下简称 CU)和下端的偏心短节(机械部分,以下简称 BU),总长约 4.2 m,其结构如图 1 所示。

CU 是 PowerV 的指挥中枢,它内部有陀螺测斜仪、钻柱转速传感器、流量变化传感器、震动传感器、温度传感器以及电子控制部件等。CU 控制单元在指令作用下可以相对于地面静止不转,从而达到轨迹控制的目的。BU 是偏心短节,它的作用就是执行电子部件 CU 的指令,是 1 个纯机械执行装置。主要由 1 个钻井液导流阀和 3 个由钻井液推动的推力板组成。这个导流阀与电子控制部分 CU 的控制轴相连,其方向由控制轴的方位确定。

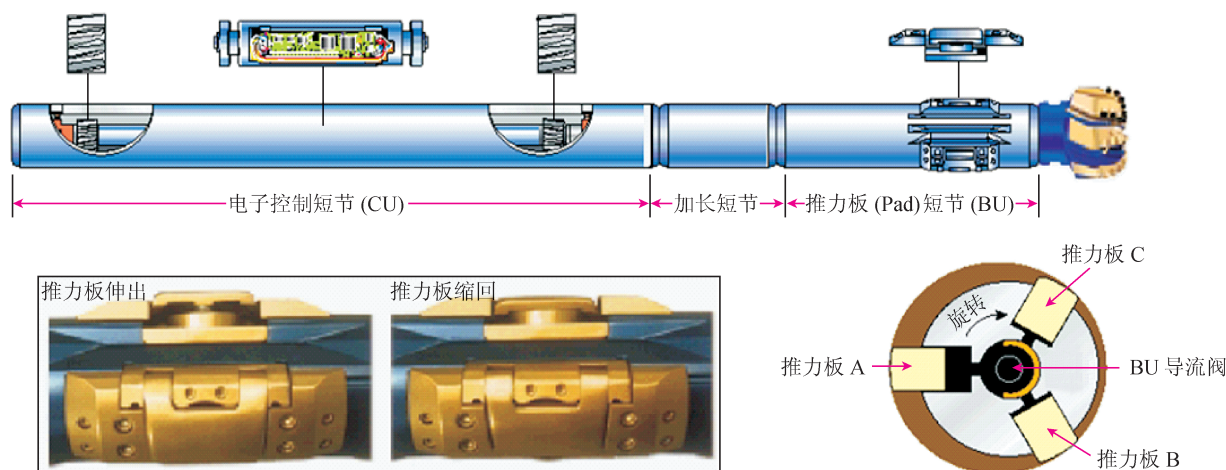


图 1 PowerV 结构简图

1.2 PowerV 的工作原理

当钻井液经过 BU 导流阀分流后, 流向转到该方向上的推力块 A, 约 4 MPa 的液压力推动推力块, 使推力块 A 伸出, 推压井壁, 井壁对钻头产生 1 个反作用力, 这就是钻头侧向力, 从而把钻头推向地面工程师需要的降斜方向。该推力块 A 转过这个位置后, 钻井液的液压作用就转向下一个转到这里来的推力块 B, 从而推力块 B 伸出, 把钻头推向期望的降斜方向。而推力块 A 液压通道被堵, 失去内部推力的推力块 A 在井壁的挤压下缩回去; 推力块 B 转过这个位置后, 液压通道被堵, 内部推力卸掉而缩回; 下一个轮到推力块 C, 推力块 C 在内部高压钻井液压力作用下在这个位置伸出, 把钻头推向期望的降斜方向。周而复始, 由此实现全自动旋转导向降斜钻进^[10-11]。

当 PowerV 在出车间前已经初始化成全力降斜的模式, 即工具面设置到 180°, CU 按照车间的设置把它内部的电子控制部分固定在高边工具面角 180° 的位置 (GTF180/100%), 从而实现无论钻柱如何旋转, 井斜如何变化, CU 内部的控制轴始终对准在高边工具面 180° 的方位上, BU 按照 CU 的指令全自动降斜。从而实现 PowerV 全自动垂直钻进。

1.3 PowerV 钻具组合

通常情况下, PowerV 顶部还会接 1 根钻铤和 1 个稳定器, 构成一个钟摆组合。其作用不但可以协助 PowerV 系统降斜, 还可以用稳定器修整井壁, 使井眼更加光滑、顺利起下。PowerV 的降斜原理如图 2 所示。

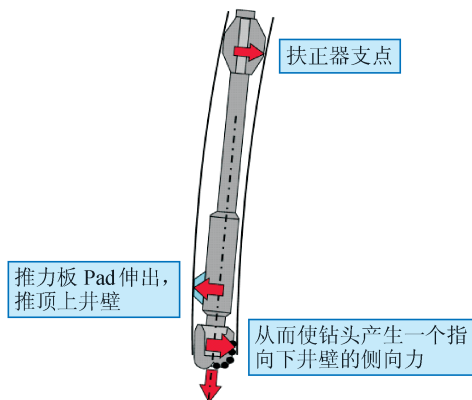


图 2 PowerV 的降斜原理图

1.4 PowerV 降斜系统的优势

PowerV 的优点: 由于 PowerV 钻具组合中的所有部件都在不停地旋转, 大大降低了卡钻的机会。

而使用传统螺杆钻具在滑动降斜钻进时除钻头外, 其他钻具始终贴在下井壁上, 容易造成卡钻。使用 PowerV 垂直钻井钻具组合, 把压差卡钻的风险降至最低。钻出的井眼更光滑、不会出现螺旋形井眼; 有利于钻头和井底工具仪器正常工作, 使后期的套管和油管作业更顺利; 任何工况 (增斜、降斜、扭方位、稳斜稳方位等) 都是以旋转形式完成, 有利于携砂, 减少短起次数。

2 PowerV 的现场应用效果

2.1 X01 井的地质及工程特点

X01 井位于四川盆地西部某高陡构造。X01 井第二次开钻的 $\varnothing 316.5$ mm 井眼侏罗系蓬莱镇组、遂宁组、上沙溪庙组、下沙溪庙组、千佛崖组、白田坝组可钻性差, 偶尔会出现大段砾石层段, 地层倾角大 ($10^\circ \sim 70^\circ$), 井易斜。

该井井眼尺寸为 $\varnothing 316.5$ mm, 不是标准的井眼尺寸 $\varnothing 311.2$ mm, 而 PowerV 的标准尺寸是 $\varnothing 311.2$ mm, 非标尺寸的井眼给防斜打快增加了一定的难度。

2.2 钻具组合

$\varnothing 316.5$ mm PDC 钻头 + PD900_PowerV + $\varnothing 228.6$ mm 转换接头 + $\varnothing 314$ mm 扶正器 + $\varnothing 241.3$ mm 回压凡尔 + $\varnothing 203.2$ mm 转换接头 + GMWD + $\varnothing 228.6$ mm 转换接头 + $\varnothing 314$ mm 扶正器 + $\varnothing 241.3$ mm 钻铤 + $\varnothing 228.6$ mm 转换接头 + $\varnothing 203.2$ mm 钻铤 3 柱 + $\varnothing 203.2$ mm 转换接头 + $\varnothing 139.7$ mm 加重钻杆 6 柱 + $\varnothing 139.7$ mm 钻杆至井口。

2.3 提速效果

PowerV 在 $\varnothing 316.5$ mm 井段钻进总进尺 1 824 m; PowerV 井下开泵时间 317 h; 纯钻时间 248 h; 平均机械钻速 7.4 m/h, 共计 3 趟钻。第 4 趟钻为常规钻具 + 牙轮钻头的钻井表现 (表 1)。

在上部地层, PowerV 的实际钻速比合同要求的钻速快, 但在下部含砾石段, 钻速比合同预期的钻速稍慢, 如图 3 所示。即使遇上砾石, 与牙轮钻头 + 钟摆组合的常规钻具相比, 机械钻速依然要快 3 倍以上, 如图 4 所示。

PowerV 钻具组合在 2 400 ~ 2 757 m 的井段中, 因砾石含量较高, 钻速变慢。钻井队起钻换成常规的牙轮钻头 + 钟摆组合钻进, 钻速只有 1 m/h, 比使用 PowerV 钻具组合慢了 4 倍 (图 4)。

表 1 PowerV 实钻与常规钻具钻进效果表

趟钻	井段 /m	钻具类型	地层	进尺 /m	纯钻 /h	钻速 / (m · h ⁻¹)	平均日进尺 /m	起钻原因
1	933 ~ 1 989	PDC + PowerV	蓬莱镇组、遂宁组	1 056	76.8	13.8		钻速变慢, 钻头崩齿
2	1 989 ~ 2 569	PDC + PowerV	遂宁组、沙溪庙组	579	126	4.6	87	钻速变慢, 钻头崩齿
3	2 569 ~ 2 757	PDC + PowerV	沙溪庙组	189	45	4.2		钻速变慢钻头崩齿
4	2 757 ~ 2 847	牙轮 + 常规组合	沙溪庙组	90	89.5		22.8	钻速太慢

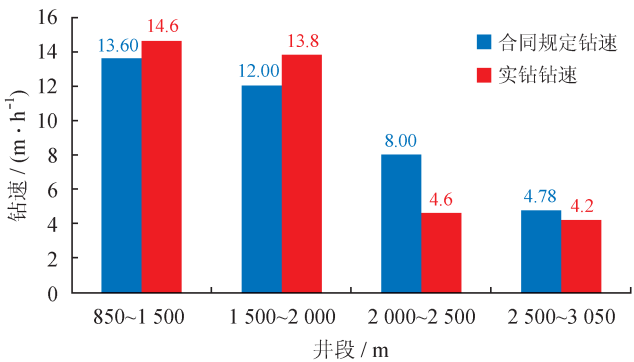


图 3 PowerV 实钻钻速与合同规定钻速对比图

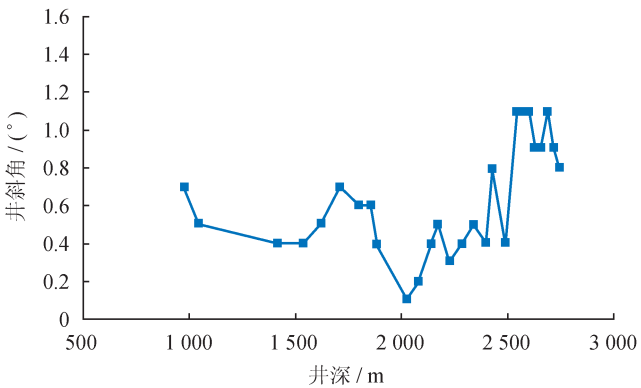


图 5 MWD 井斜测量图

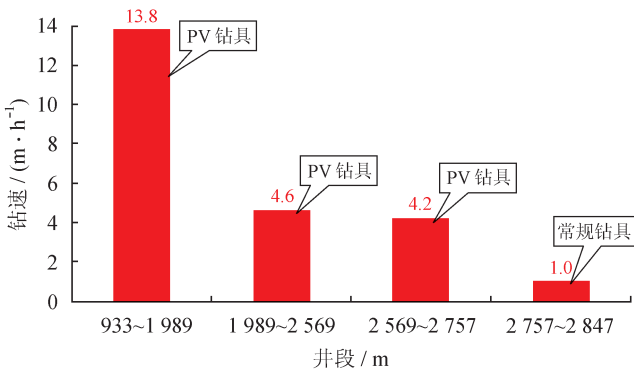


图 4 PowerV 实钻钻速与常规组合钻速对比图

2.4 实钻井斜控制情况

在使用 PowerV 钻进期间, MWD 实时监测轨迹的变化, 井斜测量结果如图 5 所示。在高陡构造, 控制井斜在要求的范围内是第一要素, 使用 PowerV 钻进井段长度 1 824 m, 井斜角全部小于合同规定的 1.5°, 满足合同井斜角小于 1.5° 要求, 达到预期目的。

与该区邻近的 X03 井同井段直井的主要钻井技术指标对比, 如表 2 所示。

从实际钻井效果可见, 传统的钟摆钻具组合

降斜使用的钻压小 (60 ~ 120 kN), 钻速受到影响 (1.0 ~ 6.0 m/h), 钻井周期相应增加; PowerV 钻具组合可以大幅度强化钻井参数, 钻压 160 ~ 230 kN, 使用较高的钻压 (转速大体相当) 钻进, 获得较高的机械钻速 (机械钻速 4.2 ~ 15.0 m/h), 真正达到了既彻底解放钻压、提高机械钻速, 又保证了井身质量的目的。

3 经验及建议

3.1 钻头选择

PowerV 垂直钻井系统在正常工作参数下, 大部分工具可以有 150 h 以上的循环寿命, 在塔里木盆地不少超深井使用时间在 300 h 以上。根据录井砂样分析, 该井在井段 2 400 m 以后, 沙溪庙组砾石含量达到 20% ~ 30%; 高砾石含量导致 PDC 钻头部分牙齿崩齿, 进而减慢了钻速, 但是在研磨性地层, 出于安全考虑, 建议 200 h 左右就应该起钻, 以避免磨损严重 (导致井斜控制不利)。因此, 钻头推荐选用性能与地层匹配较好的进口钻头, 以利于综合经济效益更好。

表 2 PowerV 钻具与邻井 X03 井相同井段钻井效果对比表

井号	钻具组合	井段 /m	钻压 /kN	转速 /(r · min ⁻¹)	井斜角 /(°)	机械钻速 /(m · h ⁻¹)
X03	钟摆组合	800 ~ 2 800	60 ~ 120	50 ~ 75	0.5 ~ 6.5	1.0 ~ 6.0
X01	PowerV 钻具	933 ~ 2 757	160 ~ 230	60 ~ 75	0.2 ~ 1.1	4.2 ~ 15

3.2 钻井液及固控设备

钻井液的含砂量通常应不超过 0.5%，最大时不超过 1%。入井钻井液的气泡浓度以不影响 MWD 信号传输为准。钻井液添加剂不可使用铁矿粉和硅酸盐。如果需要加入果壳类堵漏材料，其粒度应不超过中等颗粒，浓度小于 143 g/L。钻杆内必须使用过滤网。除砂器、除泥器、离心机尽量多开，低密度的井，固控设备的使用时间应占循环时间的 85% 以上。

3.3 钻井设备

要求循环系统的承压能力高，钻机设备性能要好，尤其是泥浆泵性能要好，最好配备 3 台泥浆泵。PowerV 垂直钻井系统的压降应该保持在 3.5 ~ 5.0 MPa，建议准备合适的钻头喷嘴，满足 PowerV 系统基本需求；同时钻机转盘必须能提供足够的扭矩，并使用准确、可靠性高的紧扣扭矩表。如能使用顶驱钻井，则能在既保证井下安全的同时，又能将 PowerV 的效益发挥到最佳。

4 结论

X01 井首次在川西地区使用了 PowerV 垂直钻井技术，已钻井段井身质量良好，钻速得到了较大幅度的提高。如果在钻井设备、钻头、固控设备等方面予以配套的话，机械钻速还会有更大的上升空间。采用垂直钻井技术的最大优势在于能彻底解放钻压、提高钻速、缩短钻井周期、保证井身质量、降低套损事故。X01 井 PowerV 垂直钻井技术的使用表明，PowerV 垂直钻井技术在川西高陡构造的适应性较好，使用效果显著，综合经济效益突出。具有较好的推广价值和应用前景。

致谢：成文中，得到了唐建勇工程师的大力支持和帮助，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 王春生, 魏善国, 殷泽新. PowerV 垂直钻井技术在克拉 2 气田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2004, 26(6): 4-8.
Wang Chunsheng, Wei Shangguo, Yin Zexin. Application of PowerV technology in the development wells of Kela-2 gasfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2004, 26(6): 4-8.
- [2] 王兴武. 塔里木超深井深部井斜控制技术[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 100-102.
Wang Xingwu. Hole deviation control technology for deep interval of ultra-deep wells in Tarim Basin[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2011, 18(1): 100-102.
- [3] 孙钰杰, 张磊, 席梅卿. 吐哈盆地台北凹陷柯柯亚区块几种防斜打快方法分析[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2011, 8(9): 57-59.
Sun Yujie, Zhang Lei, Xi Meiqing. Anti deviation and fast analysis of several methods of Kekeya block of Taipei sag in Tuba Basin[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2011, 8(9): 57-59.
- [4] 刘磊, 刘志坤, 高晓荣. 垂直钻井系统在塔里木油田应用效果及对比分析[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(1): 79-81.
Liu Lei, Liu Zhikun, Gao Xiaorong. Application results of two vertical drilling systems in Talimu Oilfield and their comparison[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2007, 22(1): 79-81.
- [5] 张建平, 肖华, 石丽娟, 曾贵蓉. 垂直钻井系统在吐哈盆地山前高陡构造的应用[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(10): 158-160.
Zhang Jianping, Xiao Hua, Shi Lijuan, Zeng Guirong. Application of vertical drilling system in piedmont high and steep structures of Tuba Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(10): 158-160.
- [6] 窦亮彬, 李天太, 周波, 张明, 张丽萍. 山前地区深井超深井套管防磨与减磨技术研究[J]. 石油机械, 2015, 43(1): 12-17.
Dou Liangbin, Li Tiantai, Zhou Bo, Zhang Ming, Zhang Liping. Wear prevention and reduction for casing in deep or super-deep wells in the piedmont zones[J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(1): 12-17.
- [7] 李杰, 郑伯华, 翟芳芳. 斯伦贝谢垂直钻井系统在川东北地区的应用[J]. 天然气技术, 2010, 4(3): 39-40.
Li Jie, Zheng Bohua, Zhai Fangfang. Application of Schlumberger vertical drilling system to Northeastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Technology, 2010, 4(3): 39-40.
- [8] 徐超, 夏宏南. Power-V 垂直钻井技术及现场应用研究[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2012, 9(10): 104-106.
Xu Chao, Xia Hongnan. Research on Power-V vertical drilling technology and its application in the field[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2012, 9(10): 104-106.
- [9] 刘以明, 蔡文军, 王平, 刘俊海, 刘涛. Power V 和机械式随钻测斜仪在黑池 1 井的应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(1): 71-73.
Liu Yiming, Cai Wenjun, Wang Ping, Liu Junhai, Liu Tao. Application of power V and mechanical inclinometer in Heichi 1 well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(1): 71-73.
- [10] 王俊良, 吴先忠, 杨金利, 厉元明. 高压含硫产层水平井旋转地质导向钻井技术实践[J]. 钻采工艺, 2008, 31(4): 4-8.
Wang Junliang, Wu Xianzhong, Yang Jinli, Li Yuanming. Application of PD X5 in the pay zone with high pressure gradient in Moxi gas field[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(4): 4-8.
- [11] 王俊良, 杨继明, 张新平, 陈斌. 中国南海流花油田套管开窗侧钻大位移井钻井技术[J]. 钻采工艺, 2010, 33(3): 7-11.
Wang Junliang, Yang Jiming, Zhang Xinping, Chen Bin. ERD technology by casing sidetrack in Liu Hua Oilfield of South China Sea[J]. Drilling & Production Technology, 2010, 33(3): 7-11.

(修改回稿日期 2016-10-27 编辑 凌 忠)