

大庆深层钻井提速技术

李瑞营¹, 王 峰², 陈绍云¹, 刘金玮¹

(1. 中国石油大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江大庆 163413; 2. 中国石油大庆钻探工程公司国际事业部, 黑龙江大庆 163411)

摘 要:为提高大庆深层钻井速度, 加快勘探开发进程, 开展了大庆深层钻井提速技术研究。借鉴国内外深层提速技术成果, 分开次、分层段制定了不同的提速对策, 建立了大庆深层自上而下的钻井技术序列。二开井段优选应用 T1951DB 型、CK506 型、CK606 型等 PDC 钻头, 全部实现 PDC 钻进, 施工周期控制在 25.00 d 以内; 三开井段分析对比了液动旋冲工具、涡轮钻具、气体钻井 3 种提速技术的现场试验效果, 确定了气体钻井适用井段最短长度为 900.00 m, 液动旋冲提速工具适用于岩石可钻性级值小于 7 的井段, 涡轮钻具主要用于岩石可钻性级值大于 7 的硬地层。大庆深层提速技术在 19 口井进行了应用, 平均钻井周期缩短 48.60 d。研究结果表明, 大庆深层钻井技术序列的建立, 解决了大庆深井钻井提速技术单一、集成应用少、整体提速效果不明显的问题。

关键词: 深井钻井 涡轮钻具 气体钻井 大庆油田

中图分类号: TE242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2015)01-0038-06

ROP Improvement in Deep Formations in the Daqing Oilfield

Li Ruiying¹, Wang Feng², Chen Shaoyun¹, Liu Jinwei¹

(1. *Drilling Engineering Technology Research Institute, CNPC Daqing Drilling & Exploration Engineering Corporation, Daqing, Heilongjiang, 163413, China*; 2. *International Business Department, CNPC Daqing Drilling & Exploration Engineering Corporation, Daqing, Heilongjiang, 163411, China*)

Abstract: To improve the ROP in deep formations of the Daqing Oilfield in order to accelerate the exploration and development process, relevant techniques were reviewed with the goal of determining an ideal process. Based on available ROP improvement achievements for deep formations in China and abroad, different technical solutions were proposed for spudding in, and for drilling through different formations. Then, the drilling technique series from top to bottom were confirmed for the Daqing Oilfield's deep formations. PDC bits (e. g. T1951DB, CK506 and CK606) were selected and applied for the 2nd spud formations, with the drilling time controlled within 25 d. By comparing the field test results of the three solutions (e. g. the hydraulic rotary impact tool, turbine drills and air drilling techniques), for the 3rd spud formations, it was confirmed that the gas drilling technique was applicable for intervals with shortest length of 900 m, the hydraulic rotary impact tool was applicable for the intervals with a drillability grade less than 7, and the turbine drills were applicable for the hard formations with drillability grade more than 7. The application of these techniques in 19 wells showed that the average drilling time was shortened by 48.60 d. The study results indicated establishing the drilling technique protocols addressed the previously identified problem impeding ROP improvement in deep formations of the Daqing Oilfield, such as unitary technique tests, less integrated applications and unobvious overall effects of improvement.

Key words: deep well drilling; turbodrill; gas drilling; Daqing Oilfield

大庆深层勘探目的层主要位于埋藏深度大于 2500.00 m 的白垩系下统和侏罗系上统火石岭组及基底, 多为砂岩、泥岩、火山岩、变质岩及砂砾岩等致密性岩石, 可钻性差, 单只钻头进尺短、机械钻速低^[1-3]。针对该问题, 2011 年以前, 大庆油田开展了欠平衡/气体钻井技术、水力脉冲钻井技术、扭力冲击钻井技术、涡轮钻井技术等单项钻井提速技术现

收稿日期: 2014-07-28; **改回日期:** 2014-12-18。

作者简介: 李瑞营(1971—), 男, 黑龙江伊春人, 1996 年毕业于大庆石油学院油气钻井工程专业, 2006 年获大庆石油学院钻井工程专业硕士学位, 高级工程师, 从事钻井工程设计和相关管理工作。

联系方式: (0459)4893665, liruiying@cnpc.com。

基金项目: 中国石油天然气股份公司重大科技专项“大庆探区非常规油气勘探开发关键技术与现场试验”(编号: 2012E-2603-08)资助。

场试验,取得了良好的效果;但多项技术应用井段存在重叠,且缺乏明确有效的方法来划分各项技术使用界限,存在提速技术单一、集成应用少、整体提速效果不明显、试验费用高等问题。

为了提高大庆深层整体钻井速度,笔者从钻井顶层优化设计、自主研发提速工具、完善气体钻井配套技术等方面出发,开展了科研攻关与现场试验,加快了大庆深层天然气藏的勘探与开发。

1 地质特点及钻井难点

1.1 地质特点

大庆深层气藏岩性复杂,主要有砂岩、泥岩、熔岩、碎屑岩、砂砾岩及其过渡性岩石,并具有多套储集类型。其典型特征为:1)纵向上分布井段长,埋藏深,最深达到6 300.00 m;2)井温高,平均地温梯度在4.0 °C/100m左右;3)岩性致密,密度最高可达2.75 g/cm³;4)物性差,火山岩储层渗透率最低仅有0.02 mD,孔隙度4.0%;5)储集空间复杂,主要有原生气孔和裂缝组合、纯裂缝储层、溶孔与裂缝组合等^[3]。

1.2 钻井难点

1) 深层岩石硬度大,岩石可钻性级值最高达10.38,强度超过5 000 MPa,钻进火山岩、砾岩地层时钻头磨损严重、钻速低。

2) 平均地温梯度高达4.0 °C/100 m,4 000.00~5 500.00 m井段的温度为160~220 °C,对钻井工具、仪器、助剂的耐温性能要求高,易发生井下故障,固井施工难度大。

3) 深部地层压实程度高,孔隙度和渗透率低。

徐家围子断陷带主力气层孔隙度2.0%~10.0%,渗透率0.040~2.574 mD,一般地层压力系数为0.90~1.10,局部存在异常压力层系。

4) 部分区块裂缝发育,存在胶结性差的破碎性地层,易发生井壁剥落、坍塌和恶性漏失等井下故障。

2 钻井设计优化

2.1 井身结构优化

钻井设计优化有利于深层钻井提速提效,需综合考虑设计井深、层位、岩性、地层压力、三开裸眼段长度和各开次固井施工难度等多种因素。直井技术套管下深以PDC钻头实现二开井段完钻为优化原则;三开井段设计应用高效PDC钻头复合钻井、气体钻井、液动旋冲钻井以及涡轮钻井等配套技术,以提高钻井速度,缩短钻井周期,降低钻井成本^[4-7]。统计分析表明,古龙等区块四开井段仅完井时间就长达69.14 d,因此开展了井身结构优化,明确各开次完钻层位,深层直井全部采用三开井身结构。以古深3井为例,说明深层直井井身结构优化过程:1)表层套管下深优化为352.00 m,封固地表松散地层;2)气体钻井地层出水预测软件结果显示,3 180.00~4 388.00 m井段地层出水量少,适合应用气体钻井技术,因此将技术套管下深优化为3 180.00 m(泉一底),封固泉头组上部水层,并优选高效PDC钻头,采用复合钻井技术,提高二开井段机械钻速,实现二开井段PDC钻头完钻;3)三开井段设计应用气体钻井、涡轮钻井等综合配套提速技术,完成钻井施工(见图1)。

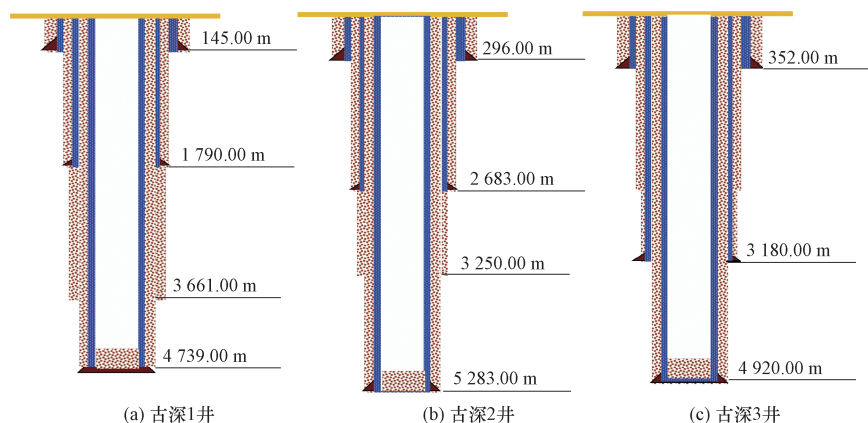


图1 直井井身结构优化前后示意

Fig. 1 Casing program of vertical well before and after optimization

古深3井完钻井深4 920.00 m,与采用四开井身结构的古深1井和古深2井相比井,仅完井时间就缩短了19.37 d。

2.2 高效钻头优选

大庆深层气井利用综合定量选型方法,根据所钻遇地层的岩性、测井资料等确定所钻井段的岩石可钻性级值及其匹配的钻头类型,利用已钻井的实钻数据进行综合评价,用最优化理论和模糊数学中的聚类分析方法,对二开、三开井段进行了钻头优

选^[8],确定了大庆深层钻头适用范围(见表2),形成大庆深井钻头序列,2013年基本实现二开井段1~2只PDC钻头完钻,钻进周期控制在25.00 d以内。

古深3井技术套管下至3 180.00 m,砂泥岩抗压强度大于137.9 MPa,在2 503.90~3 180.00 m井段优选并试验应用哈里伯顿MM64DH型钻头,进尺676.10 m,纯钻时间287.7 h,机械钻速达2.35 m/h,相比常规钻头节省5趟钻,钻进时间缩短12.00 d,突破了泉头组下部地层无法应用PDC钻头的技术瓶颈。

表1 大庆深层岩石力学参数及适用钻头类型

Table 1 Rock mechanics parameters and optional bit types for deep formations of Daqing Oilfield

层位	硬度 MPa	抗压强度/MPa	可钻性值	地层属性	适用钻头
上部地层	50~600	5~70	0~4.0	软	PDC 钻头($\phi 19$ mm 复合片,5 刀翼,低密度)
泉三段	300~700	60~90	3.0~5.0	软—中硬	PDC 钻头($\phi 16$ mm 复合片,5 刀翼,中密度,双排齿)
泉二段	300~800	80~100	3.0~5.0	软—中硬	PDC 钻头($\phi 16$ mm 复合片,5/6 刀翼,中密度,双排齿)
泉一段	400~800	90~100	3.0~5.5	中硬	PDC 钻头($\phi 16$ mm 复合片,6 刀翼,中密度,双排齿)
登四段	400~900	90~110	3.0~5.5	中硬	PDC 钻头($\phi 16$ mm 复合片,6 刀翼,中密度,双排齿)
登三段	500~1 100	90~120	3.0~6.0	中硬—硬	PDC 钻头(达、宋、芳、升、肇适用 $\phi 16$ mm 复合片,6 刀翼,高密度,双排齿)
登二段	500~1 300	90~120	4.0~7.0	硬	517、537 牙轮钻头,孕镶金刚石钻头
营城组流纹岩	1 200~3 500	110~150	6.0~9.0	硬	537 牙轮钻头,孕镶金刚石钻头
营城组英安岩	2 000~3 500	120~140	7.0~9.0	硬	537 牙轮钻头,孕镶金刚石钻头
营城组安山岩	2 000~3 500	120~140	7.0~9.0	硬	537 牙轮钻头,孕镶金刚石钻头
营城组砂砾岩	2 200~3 800	130~160	7.0~10.0	极硬	537、617、637 牙轮钻头,孕镶金刚石钻头
营城组玄武岩	1 700~3 000	120~150	7.0~8.0	硬	637 牙轮钻头,孕镶金刚石钻头
营城组凝灰岩	1 000~2 800	90~130	6.0~8.0	中硬	可尝试用 PDC 钻头钻进
沙河子组	800~1 800	90~130	5.0~9.0	中硬	637 牙轮钻头,孕镶金刚石钻头

注:登二段至沙河子组地层采用特殊工具或工艺钻进时,可考虑采用PDC钻头。

3 提速工具的研制

针对深层机械钻速低,起下钻频繁等问题,根据井史资料和岩石力学分析结果,分析了深层天然气的提速潜力和破岩机理,研制了抗高温提速工具并进行了应用,深井钻井速度不断提高。

3.1 液动旋冲提速工具

液动旋冲工具是将钻井液的流体能量转化为机械能,使PDC钻头受到周向周期性冲击和轴向水力脉冲,优化了PDC钻头的破岩方式,提高了钻头的破岩效率,减缓了钻头磨损,进而提高了机械钻速^[9-11]。该工具的特点:1)提供额外的周向高频冲击力,消除

黏滑现象,辅助PDC钻头剪切破岩;2)提高PDC钻头的适用性和耐久性;3)液动脉冲辅助破岩;4)纯机械构造,适用温度高;5)现场操作简单、安全可靠^[9]。

3.2 涡轮钻具

涡轮钻具是利用高压钻井液冲击反向弯曲的涡轮定子、转子叶片,将钻井液的压力能转换为机械能,使钻头高速旋转,研磨地层实现破岩^[12]。该工具的主要特点:1)全金属结构,抗温性能良好;2)输出扭矩平稳,钻具震动小,不易损伤钻具和失速;3)涡轮钻具驱动孕镶金刚石钻头高速旋转(800~1 100 r/min)研磨地层,所钻井眼规则,井径变化小;4)配合孕镶金刚石钻头,可以提高硬或极硬地层单只钻头的进尺和行程钻速^[13]。

4 气体钻井配套技术

2010 年前,大庆油田 23 口井应用了气体钻井技术,平均单井进尺 668.86 m,平均机械钻速 6.08 m/h,与常规钻井相比,机械钻速提高 4~5 倍,深层提速见到良好效果,但存在地层出水卡钻、井斜角超标、断钻具等问题。2011 年,完善了地层出水预测技术、改进了配套设备、优化了现场施工工艺,累计应用 6 口井,在大幅提高钻速的同时,实现了零井下故障。

4.1 完善地层出水预测技术

原有地层出水预测方法精度较低,无法满足气体钻井技术推广应用的需求。对预测参数进行了重新识别,建立了不同渗透率条件下地层出水判别公式,以及不同流动方式和天然水域外边界条件下的地层出水量计算公式,预测精度提高至 80% 以上^[2,14-15]。

4.2 改进配套设备

1) 开展钻具受力和携岩效果分析,优化并设计了方接头小钟摆钻具组合,在提高钻速的同时,保证了井身质量。

2) 在原有注气参数监测软件基础上,增加了存储、回放、曲线分析及报警功能,同时利用视频远距离传输同显技术,实现了钻台直接监测注气参数,并在排砂管线加装湿度传感器和配套降尘装置等地面设备,保证了监测的连续性,提高了识别地层出水的及时性和准确性^[16-17]。

3) 应用内喷外侵注白油施工工艺,保证了气液转化时井壁的稳定,降低了卡钻概率。

5 提速技术集成应用

2011 年起,通过对井身结构优化、高效钻头优选、液动旋冲工具、涡轮钻井和气体钻井等技术进行集成,深井钻井速度得到进一步提高,并制定了以下提速技术应用原则,实现了深层直井提速技术集成配套:

1) 一开选用 B535E 型钻头(机械钻速大于 20.00 m/h,防泥包)。

2) 二开井深 2 100.00 m 以浅,采用 T1951-DB 型钻头,机械钻速大于 12.00 m/h;二开 2 100.00~2 500.00 m 井段,采用 T1951DB 型钻头+CK606/506 螺杆钻具,机械钻速大于 8.00 m/h;二开

2 500.00~3 000.00 m 井段,采用 T1951DB 型钻头+MM64DH 螺杆钻具,机械钻速大于 5.00 m/h。

3) 三开,根据地层条件选择不同的技术组合:

a) 若气体钻井适应井段大于 900.00 m、且井深小于 3 800.00 m(或井深大于 3 800.00 m、但地层可钻性级值小于 7),采用气体钻井+U613M 型液动旋冲工具的技术组合;b) 若气体钻井适应井段大于 900.00 m,井深大于 3 800.00 m 且可钻性级值大于 7,则采用气体钻井+DD5560M-A1 型涡轮钻具的技术组合;c) 若气体钻井适应井段小于 900.00 m 且井深小于 3 800.00 m(或井深大于 3 800.00 m,但可钻性级值小于 7),采用 T1365DB 型螺杆+U613M 型液动旋冲工具的技术组合;d) 若气体钻井适应井段小于 900.00 m,井深大于 3 800.00 m,且可钻性级值大于 7,则采用 T1365DB 型螺杆+U613M 型液动旋冲工具+DD5560M-A1 型涡轮钻具的技术组合。

6 现场应用效果分析

通过近几年的科研攻关与现场试验,形成了大庆深层钻井提速集成配套技术,取得了良好的提速效果。2011—2013 年,累计钻深井 19 口,平均井深 4 075.30 m,平均钻井周期 91.60 d,平均建井周期 118.40 d,平均机械钻速 4.13 m/h,与 2004—2010 年相比,平均钻井周期缩短 48.60 d,建井周期缩短 56.90 d(见表 2)。

表 2 深层直井提速效果对比

Table 2 Comparison of ROP improvement in deep formations

时间	平均井深/m	平均钻速/(m·h ⁻¹)	钻井周期/d	完井周期/d	建井周期/d	统计井数/口
2011—2013	4 075.30	4.13	91.60	19.05	118.40	19
2004—2010	4 118.80	2.99	141.70	25.85	175.30	123

6.1 专项技术应用效果

6.1.1 液动旋冲工具

对液动旋冲工具进行不断改进完善,研制了适用于 $\phi 152.4$ 、 $\phi 215.9$ 、 $\phi 241.3$ 和 $\phi 311.1$ mm 井眼的 134 型、182 型、196 型、279 型等 4 种规格的液动旋冲工具。该工具广泛应用于深井提速,累计钻井 13 口,总进尺 4 067.07 m,平均机械钻速 3.64 m/h(见表 3),取得了良好的应用效果。

表3 液动旋冲工具部分应用井情况统计

Table 3 Certain operations of the hydraulic rotary impact tool

井号	应用井段/m	层位	进尺/m	机械钻速/ ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	邻井相近井段/m	邻井单只 钻头进尺/m	邻井平均钻速/ ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)
徐探1	2 869.68~3 110.31	营城组	240.63	3.42	2 821.50~3 120.00	114.00	1.50
宋深11	2 661.56~2 906.47	登娄库组	244.91	3.55	2 660.00~2 900.23	43.83	1.18
达深16	3 708.43~4 283.17	沙河子组	574.74	6.92	3 710.79~4 290.85	44.00	0.97
达深16	3 040.75~3 618.02	营城-沙河子组	577.27	5.26	3 035.16~3 630.27	44.00	0.97

6.1.2 涡轮钻具

美国及俄罗斯涡轮钻具在大庆油田3口深井进行了应用,自己研制的DQW-178型涡轮钻具在

大庆油田2口深井进行了应用,应用效果如表4所示。从表4可以看出,DWQ-178型涡轮钻具的各项指标接近或优于国外同类产品,机械钻速显著提高。

表4 DWQ-178型涡轮钻具与引进涡轮钻具提速效果对比

Table 4 ROP improvement performance of domestic and foreign turbine drills

涡轮钻具	井号	层位	井段/m	进尺/m	起下钻次数	机械钻速/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)
DQW-178	宋深9H井	沙河子组	3 274.00~3 601.00	326.19	1	1.67
	宋深11井	营城-沙河子组	3 460.35~3 482.13	21.78	2	2.62
			3 486.22~3 923.72	437.50		2.23
美国、俄罗斯 涡轮钻具	古深3、达深 15、徐深35井	登三一沙河子组	2 879.00~4 601.00	319.55	6	1.64

6.1.3 气体钻井技术

完善后的气体钻井技术在6口井中成功应用,平均单井进尺820.52 m,平均机械钻速7.38 m/h。与完善前相比,平均单井进尺和平均机械钻速分别提高20.58%和10.31%,无任何井下故障发生,平均钻井周期缩短25.70 d,节约钻头8.30只,井斜角均控制在标准范围内,降低了钻井成本,实现了气体钻井提速提效的目的。

6.2 典型井例

达深16井完钻井深4 400.00 m,完钻层位为沙河子组,全井岩石可钻性级值小于7,组合应用井身结构优化、钻头优选、复合钻井、液动旋冲提速工具等配套技术,钻井周期仅为64.96 d,创造了松辽盆地深层直井钻井周期最短的纪录。

古深3井完钻井深4 920.00 m,完钻层位为营城组,气体钻井适应层段大于900.00 m,登娄库组以下地层岩石可钻性级值大于7,组合应用井身结构优化、钻头优选、气体钻井、复合钻井、涡轮钻井等配套技术,钻井周期仅为126.29 d,与古深1井和古深2井相比,钻井周期分别缩短199.12和102.54 d。

7 结 论

1) 大庆深层采用顶层优化设计、引进先进技术进行先导试验、自主攻关研发的提速思路,分层、分井段研制多种提速技术手段,并针对单井实际情况优选组合提速技术,形成了深井提速集成配套技术,解决了提速技术单一、组合集成应用少的问题。

2) 大庆深层钻井配套技术集成后,累计钻深层直井19口,平均井深4 075.30 m,平均钻井周期91.60 d,平均机械钻速4.13 m/h,与2004—2010年相比,平均钻井周期缩短48.60 d。

3) 建议开展深井岩石可钻性、研磨性和硬度的分布规律研究,分层建立三维岩性剖面,针对性地开展钻头选型和工具优化,以进一步实现深井提速提效。

参 考 文 献

References

- [1] 韩福彬,李瑞营,李国华,等. 庆深气田致密砂砾岩气藏小井眼水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术,2013,41(5):56-61.
Han Fubin, Li Ruiying, Li Guohua, et al. Horizontal slim-hole drilling technology for deep tight glutenite gas reservoir in Qingshen Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013,

- 41(5):56-61.
- [2] 陈绍云,邢琛,孙妍. 提高庆深气田气体钻井效率技术研究[J]. 石油钻采工艺,2014,36(1):22-25.
Chen Shaoyun, Xing Chen, Sun Yan. Research of improving gas drilling efficiency in deep gas field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(1):22-25.
- [3] 王海波. 大庆徐家围子超深井提速技术研究[D]. 大庆:东北石油大学,2013.
Wang Haibo. Research on drilling rate improvement technology for ultra-deep well of Daqing Xujiaweizi District[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2013.
- [4] 唐志军. 川东北河坝区块井身结构的优化与实践[J]. 石油钻探技术,2011,39(1):73-77.
Tang Zhijun. Casing optimization and practice at Heba Block of Northeastern Sichuan Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(1):73-77.
- [5] 李克智,闫吉曾. 红河油田水平井钻井提速难点与技术对策[J]. 石油钻探技术,2014,42(2):117-122.
Li Kezhi, Yan Jizeng. Difficulties and technical countermeasures for improving penetration rate of horizontal wells in Honghe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(2):117-122.
- [6] 朱军,高英强,任杭洲,等. 腰英台地区深井钻井提速技术[J]. 断块油气田,2012,19(4):533-536.
Zhu Jun, Gao Yingqiang, Ren Hangzhou, et al. Technology to improve drilling speed of deep well in Yaoyingtai Area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2012, 19(4):533-536.
- [7] 文乾彬,杨虎,谢礼科,等. 准噶尔盆地阜东探区钻井提速技术[J]. 石油钻采工艺,2013,35(6):29-31.
Wen Qianbin, Yang Hu, Xie Like, et al. Drilling speed improving techniques in Fudong Area of Zhunggar Basin[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(6):29-31.
- [8] 李杉,云海涛. 大庆海拉尔油田钻井提速难点与对策[J]. 石油钻探技术,2012,40(5):59-62.
Li Shan, Yun Haitao. Difficulties and measures for improving ROP in Hailar Oilfield of Daqing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(5):59-62.
- [9] 李欢欢,王玉玺,李秋杰. 扭力冲击器在大庆油田肇深17井的试验应用[J]. 探矿工程:岩土钻掘工程,2013,40(4):44-47.
Li Huanhuan, Wang Yuxi, Li Qiujie. Experimental application of torque compactor in Well Zhaoshen 17 in Daqing Oilfield[J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2013, 40(4):44-47.
- [10] 李广国,索忠伟,王金荣,等. 塔河油田液动射流冲击器+PDC钻头提速技术[J]. 石油钻探技术,2013,41(5):71-75.
Li Guangguo, Suo Zhongwei, Wang Jinrong, et al. Improve ROP with hydraulic percussion hammer and PDC bit in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(5):71-75.
- [11] 秦晓庆,刘伟,李丽,等. 旋转钻井技术在川西硬地层的应用[J]. 断块油气田,2013,20(4):505-507.
Qin Xiaqing, Liu Wei, Li Li, et al. Application of rotary percussion drilling technology in hard formation of Western Sichuan[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(4):505-507.
- [12] 冯定. 涡轮钻具复合钻进技术[J]. 石油钻采工艺,2007,29(3):19-21.
Feng Ding. Study on compound drilling technology of turbo drill[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(3):19-21.
- [13] 董明键. 元坝124井超深井钻井提速配套技术[J]. 石油钻探技术,2011,39(6):23-26.
Dong Mingjian. Technology to increase drilling speed used in ultradeep Well Yuanba 124 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6):23-26.
- [14] 杨決算. 大庆油田气体钻井地层出水与井壁稳定技术研究[D]. 大庆:东北石油大学,2010.
Yang Juesuan. A study on prediction formation water production and well stability for gas drilling in Daqing Oilfield[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2010.
- [15] 杨決算. 大庆油田气体钻井配套技术及应用[J]. 石油钻探技术,2012,40(6):47-50.
Yang Juesuan. Technology and application of gas drilling in Daqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(6):47-50.
- [16] 韩福彬,张洪大,姜玉芳,等. 庆深气田深层 $\phi 311.1$ mm井眼气体钻井技术[J]. 石油钻探技术,2011,39(4):61-65.
Han Fubin, Zhang Hongda, Jiang Yufang, et al. Qingshen $\phi 311.1$ mm deep hole gas drilling technique[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4):61-65.
- [17] 韩福彬,刘永贵,王蔚. 大庆深层气体钻井复杂事故影响因素与对策分析[J]. 石油钻采工艺,2010,32(4):12-15.
Han Fubin, Liu Yonggui, Wang Wei. Influencing factors and countermeasures for complex gas drilling incidents in deep formation of Daqing Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010, 32(4):12-15.

[编辑 滕春鸣]