

古城 7 井工程钻井设计优化与钻井实践

李文明¹, 李欢欢¹, 李 义²

(1. 大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院设计中心, 黑龙江 大庆 163413; 2. 大庆油田第六采油厂, 黑龙江 大庆 163114)

摘要:古城 7 井是大庆油田塔东区块的首钻井, 为了增加钻井成功率以及缩短钻井周期和钻井成本, 在工程设计中的井身结构、钻具组合、钻头优选和扭力冲击器配合 PDC 钻头使用上, 进行了大量的计算、统计分析和筛选, 在实钻中钻速得到了大幅提高, 平均机械钻速为 4.68 m/h, 比古城 6 井平均机械钻速 3.01 m/h 提高了 55.48%, 钻井周期大幅缩短, 完钻周期为 152.44 d, 按同开次同井深与古城 6 井相比, 缩短了 86.8 d。实践证明, 古城 7 井工程设计符合塔东区块的地质情况, 能够大幅地提高钻速, 缩短周期和钻井成本, 为加快勘探开发步伐打下了坚实的基础。

关键词:扭力冲击器; 井身结构; 钻具组合; PDC 钻头

中图分类号: TE242 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2013)10-0023-06

Design Optimization of Engineering Drilling for Well Gucheng - 7 and the Drilling Practice/LI Wen-ming¹, LI Huan-huan¹, LI Yi² (1. Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling & Exploration Engineering Corporation, Daqing Heilongjiang 163413, China; 2. No. 6 Oil Production Company of Daqing Oil, Daqing Heilongjiang 163114, China)

Abstract: Well Gucheng - 7 is the first drilling well in Tadong block of Daqing oilfield. To increase the success rate of drilling, shorten drilling period and reduce drilling cost, a lot of calculation, statistical analysis and screening were made on the designs of well structure, BHA, bit optimization and the application of torsion impact apparatus in combination with PDC bits, the real drilling speed was greatly improved. The average penetration rate was 4.68m/h, 55.48% higher than that in well Gucheng - 6 of 3.01m/h; drilling cycle is 152.44d, 86.8d less than well Gucheng - 6. The practice shows that the design of well Gucheng - 7 is consistent with the geological conditions in Tadong block with large improvement of drilling speed, short drilling period and low drilling cost.

Key words: torsion impact apparatus; well structure; BHA; PDC bit

1 概述

大庆油田从 2012 年开始进行新疆塔东区块的开发, 古城 7 井作为大庆油田在塔东区块的首钻井, 大庆油田相关部门为此做了大量的前期调研和讨论, 在井身结构、钻具组合、钻头优选和三开实施扭力冲击器 + PDC 钻头提速试验等一系列配套设施, 最终达到提速的目的。

现场试验表明: 扭力冲击器配合专用 PDC 钻头提速效果明显。从钻速及周期上相比都有突破, 仅用 181 d 就钻完 6789 m 的井深, 钻井周期同比古城 6 井(6169 m 井深) 缩短了 106 d, 创出了大庆钻探有史以来最深钻井纪录和塔东区块钻井新纪录, 被誉为新疆塔东区块钻井的“大庆速度”, 现场实践效果良好。

2 古城 7 井基本情况及难点分析

2.1 古城 7 井基本情况

古城 7 井位于塔里木盆地北部坳陷古城低凸起新疆且末县城北偏西约 82 km, 东南距古城 4 井约 22.4 km, 西距古隆 1 井约 51.5 km, 北距古城 6 井 3.2 km。钻井目的是落实中下奥陶统鹰山组中下部白云岩储层的含气性以及探索中下奥陶统鹰山组顶和蓬莱坝组顶层风化壳岩溶储层含气性, 目的层位是鹰山组、蓬莱坝组。本井设计井深 6588.00 m, 实钻井深 6789.00 m, 三开 3735.00 ~ 5258.79、5409.01 ~ 5613.00 m 实施扭力冲击器 + PDC 钻头提速试验, 层位为却尔却克组。

2.2 难点分析

受勘探程度和资料限制, 地质勘探风险较高, 缺少对断层、漏层、超压层以及膏岩、盐岩、火成岩、煤层、砾岩厚度和深度的准确预测, 使钻井施工风险升

收稿日期: 2013-05-23; 修回日期: 2013-07-23

作者简介: 李文明(1973-), 男(汉族), 黑龙江大庆人, 大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院设计中心, 石油工程专业, 主要从事钻井设计相关工作, 黑龙江省大庆市红岗区八百垅, liwm_zy@cnpc.com.cn。

高,主要有以下难点:

(1)地表地层疏松,钻表层时易发生圆井窜漏,需控制好排量与返屑;

(2)上中部井段裸眼段长,地层成岩差、井壁不稳定、泥岩易吸水膨胀,要求钻井液抑制性好,防止井眼缩径卡钻;

(3)奥陶系却尔却克组地层巨厚,可钻性差,研磨性强、易塌、易斜,机械钻速低,应严格控制钻井液性能和钻井参数,寻求钻井提速技术手段;

(4)奥陶系却尔却克组地层 4300 ~ 4400 m 井段,易井斜且古城 4、古城 6 两口井均发生断钻具事故,需加强钻具探伤检测,同时做好防斜打快工作;

(5)目的层为奥陶系鹰山组、蓬莱坝组,地层埋藏复杂,埋藏深(>5000 m),地温高,均质性差;

(6)产层为高压裂解气藏(69.36 MPa/6113.45 m),且 H₂S 和 CO₂ (48.15%) 含量高,井控风险大,对钻完井设计的井筒完整性要求高,应合理控制钻井液密度,做好应急预案;

(7)地层硬度高、研磨性强,钻头选型难度大;

(8)高温(110 ~ 180 ℃)、高密度、窄间隙条件下固井难度大,固井质量难以保障。

3 古城 7 井钻井优化设计

利用邻井实钻资料,结合本井施工难点,借鉴庆深气田和塔里木油田钻井经验,重点对古城 7 井邻井的井身结构设计、钻头选型情况以及出现的事故复杂情况进行了分析。根据邻井古城 4 井和古城 6 井的钻完井资料对古城 7 井进行优化设计,优化了井身结构和新工艺新工具钻井井段,确保了现场施工顺利。

3.1 井身结构优化设计

针对塔东区块地质特点,借鉴庆深气田和塔里木油田的常规钻井井身结构,并综合古城 7 井地质情况,进一步优化井身结构,以满足钻井提速和勘探开发需求,其各层套管下深确定依据如下。

(1) Ø339.7 mm 套管下至 800 m 封固上部疏松地层,加固井口。

(2) Ø244.5 mm 套管下至奥陶系却尔却克组顶部 3350 m,封固上部水层和白垩系以上易坍塌、缩径地层;封固三叠系、石炭系泥岩层;奥陶系上部泥岩层。为三开做井控准备,采用 Ø215.9 mm 井眼专打却尔却克组“黑被子”地层,提高钻井速度。

(3) Ø177.8 mm 尾管下至奥陶系气层顶部吐木休克组中下部(3150 ~ 5600 m)(兼顾一间房含油气

显示),封固上部大段泥岩,Ø152.4 mm 井眼专打目的层。

(4) Ø152.4 mm 钻头钻至设计井深 6588 m,下入 Ø127 mm 尾管固井。若油气显示良好,必要时,Ø177.8 mm 套管回接至井口。

3.2 钻具组合优化设计

非易斜井段采用单螺扶或双螺扶钟摆钻具组合,既能控制井斜,又起到了修整井壁的作用,减少了岩屑上返的阻力,保持环空畅通,可有效降低起下钻阻卡显示和环空憋漏复杂情况。

易斜井段借鉴海塔、方正等区块防斜打快经验,建议应用垂直钻井系统,实现控斜打快。利用 LANDMARK 软件进行各开次钻具组合校核。

二开设计的钻具组合为:Ø311.2 mm 钻头 × 0.3 m + Ø244.5 mm 螺杆 × 9.1 m + Ø228.6 mm 钻铤 × 9.0 m + Ø308.0 mm 稳定器 × 1.5 m + Ø228.6 mm 钻铤 × 9.0 m + Ø308.0 mm 稳定器 × 1.5 m + Ø228.6 mm 钻铤 × 9.0 m + Ø203.0 mm 钻铤 × 54.0 m + Ø178.0 mm 钻铤 × 81.0 m + Ø165.0 mm 随钻震击器 × 6.52 m + Ø159.0 mm 钻铤 × 27.0 m + Ø127 mm 加重钻杆 × 127.0 m + Ø127 mm 钻杆。图 1 为钻具校核图。

三开设计的钻具组合为:Ø215.9 mm 钻头 × 0.5 m + Ø172.0 mm 螺杆 × 7.2 m + Ø159.0 mm 浮阀 × 0.8 m + Ø159.0 mm 钻铤 × 9.0 m + Ø214.0 mm 稳定器 × 1.5 m + Ø159.0 mm 钻铤 × 9.0 m + Ø214.0 mm 稳定器 × 1.5 m + Ø159.0 mm 钻铤 × 153.0 m + Ø165.0 mm 随钻震击器 × 6.52 m + Ø159.0 mm 钻铤 × 27.0 m + Ø127 mm 加重钻杆 × 135.0 m + Ø127 mm 钻杆。图 2 为钻具校核图。

四开设计的钻具组合为:Ø152.4 mm 钻头 × 0.3 m + Ø120.65 mm 浮阀 × 0.5 m + Ø120.65 mm 钻铤 × 153.0 m + Ø120.65 mm 随钻震击器 × 6.0 m + Ø120.65 mm 钻铤 × 27.0 m + Ø88.9 mm 加重钻杆 × 135.0 m + Ø88.9 mm 斜坡钻杆 × 3306.0 m + Ø127 mm 斜坡钻杆。图 3 为钻具校核图。

3.3 钻头优选

目前塔东区块已钻井数量有限,迄今共钻不到 40 口井,且多为 2005 年以前施工的井,应用钻头型号繁多,单钻头进尺少,部分井单井用钻头超过 70 只,划眼用钻头超过 10%,钻头失效严重,所以开展钻头优化设计需求迫切。

在进行古城 7 井钻头设计时,借鉴了大庆深层钻头优化经验,并根据塔东区块特点进行钻头优化,

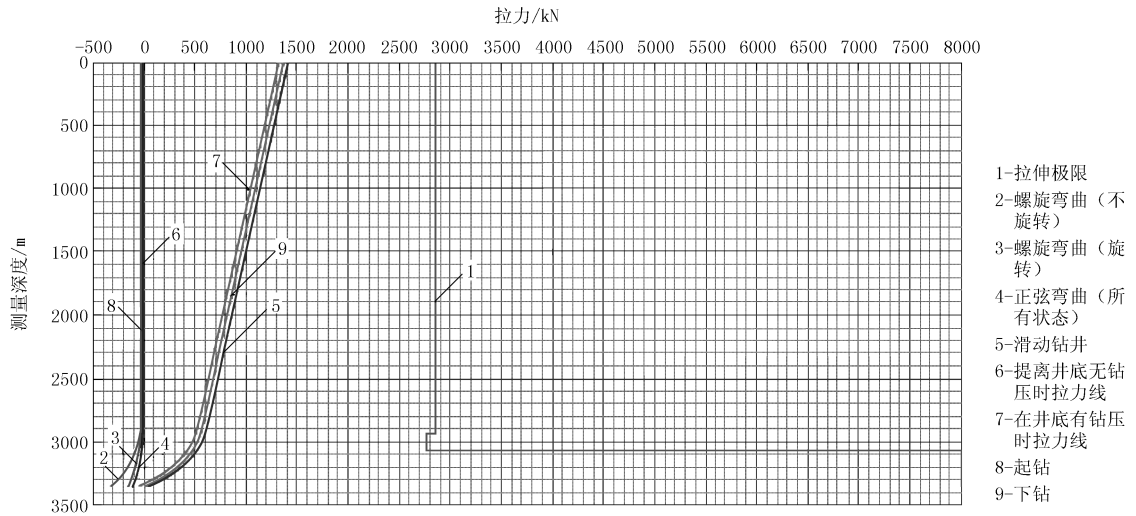


图 1 二开钻具校核图

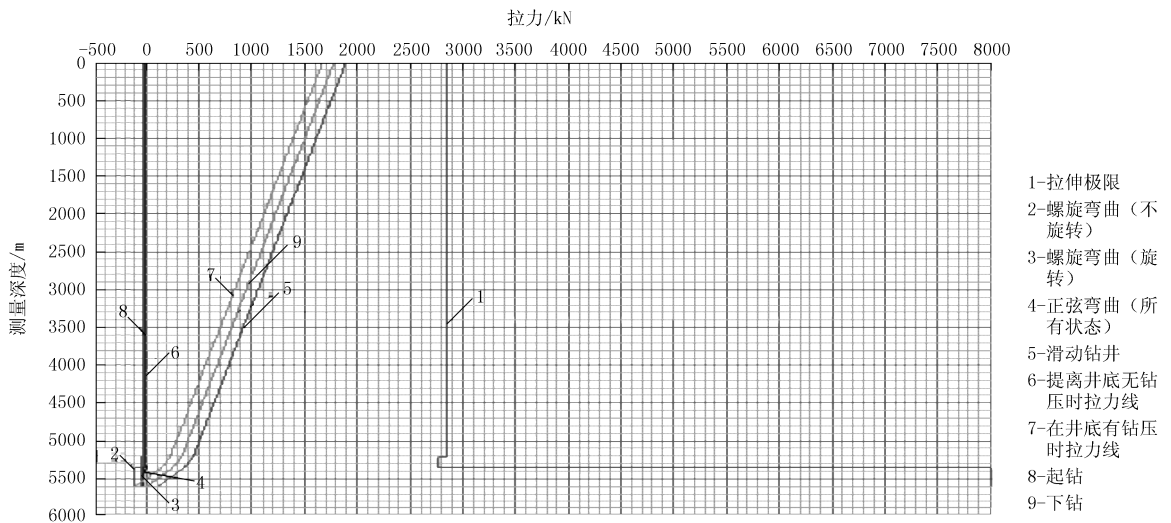


图 2 三开钻具校核图

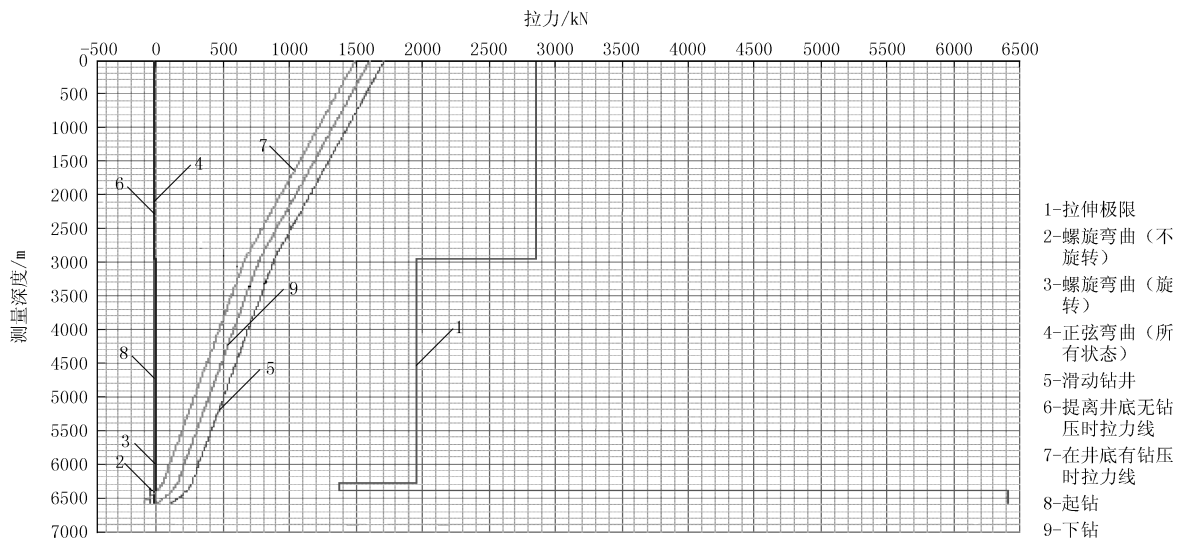


图 3 四开钻具校核图

主要思路是:优先使用 PDC 钻头,在砾岩层和“黑被子”地层配合使用牙轮钻头;提高上部地层钻进排量,增大钻井液上返速度和水功率,减少二次破岩,预防钻头“泥包”,提高机械钻速。重点强化钻头保径和使用寿命,探索动力钻具+孕镶金刚石钻头提速可行性,建立钻头应用序列,提高钻井速度。

根据古城4、古城6井资料预测古城7井4000~4500 m井段岩石硬度平均值 <15000 psi(103.35 MPa),并绘制了古城7井岩石硬度预测曲线图,见图4。

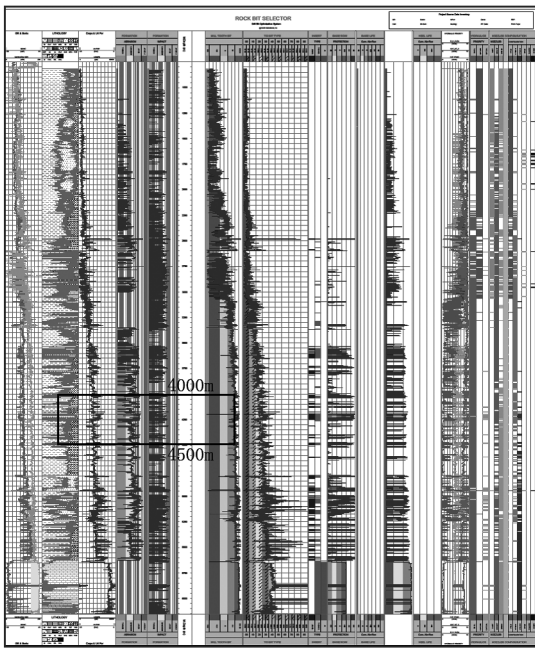


图4 古城7井岩石硬度预测曲线图

3.4 钻井液优化设计

针对塔东区块古城构造地质特点,开展抗高温、防塌钻井液体系及维护技术研究,保障钻井施工的顺利进行。

一开0~800 m:设计使用高粘切、低失水、护壁性强的膨润土-聚合物钻井液体系,主要解决第四系和新近系上部井段地层松散、流沙层易坍塌的问题。

二开800~3352 m:三叠系以上井段采用优质大分子强包被聚合物钻井液体系。选用大、中、小分子聚合物复配,抑制地层造浆,配合适量润滑剂,改善泥饼质量,减少滤失量,充分利用四级固控设备,彻底除去无用固相,调整优化钻井液流型,主要解决泥岩吸水膨胀,起下钻阻卡严重,钻头易泥包的问题;进入三叠系加入3% KCl 转化为 KCl-聚合物体系,进一步增强钻井液的抑制性;进入石炭系标准灰

岩顶段转换使用聚磺泥浆体系,增加抗温能力。加足大分子聚合物,使用沥青粉和润滑剂,控制粘切和失水,提高悬浮、携岩和抑制能力,主要预防地层垮塌、降低和减少短起下的难度,保证测井下套管安全顺利等。

三开3352~5603 m:设计使用 KCl-聚磺钻井液体系,重点做好奥陶系地层上部渗漏和坍塌问题。

四开5603~6588 m:设计使用 KCl-聚磺钻井液体系,主要解决奥陶系、寒武系泥岩强造浆,膏岩和高压盐水层、灰岩层污染问题。奥陶系目的层钻进钻井液加入1%~2% I型屏蔽暂堵剂和1%~2% II型屏蔽暂堵剂 II型随钻堵漏剂,同时备用高浓度堵漏钻井液,做好防漏和堵漏工作。在目的层段后必须加强 H₂S 检测与防护,邻井有 H₂S 显示的要提前在钻井液中预加0.05%~2%除硫剂,并提高 pH 值至9.5以上。

4 古城7井现场施工情况

4.1 井身结构

由于在井身结构设计时进行了优化,使井身结构设计较适应实际情况,与钻井现场实际井身结构符合率相当高。

Ø339.7 mm 套管下至797 m。Ø244.5 mm 套管下至奥陶系却尔却克组顶部3350 m;Ø177.8 mm 尾管下至奥陶系气层顶部吐木休克组中下部(3140.66~5610 m)(兼顾一间房含油气显示);Ø152.4 mm 钻头钻至井深6789 m,下入Ø127 mm 尾管固井(5448.7~6786 m)。

4.2 实钻钻头情况

在古城7井实钻过程中,使用了扭力冲击器配合 PDC 钻头使用和螺杆来提高钻速,缩短钻井周期,取得了显著提速和缩短周期的效果。古城7井实钻钻头使用情况见表1。

表1 古城7井钻头使用情况

开次	井段/m	进尺/m	钻头数量/只	平均机械钻速 /(m·s ⁻¹)
一开	0~797	797	1只牙轮	24.40
二开	797~3352	2555	2只牙轮,2只PDC	9.91
三开	3352~5613	2261	1只牙轮,6只PDC、 1只取心钻头	3.94
四开	5613~6789	1176	4只牙轮,4只PDC	1.98

4.3 三开扭力冲击器配合 PDC 钻头的使用

古城7井在三开井段使用了扭力冲击器配合 PDC 钻头使用,进行提速试验,来达到提速的目的。

4.3.1 扭力冲击器试验井段的基本情况

在三开井段共试验了 4 趟扭力冲击器的应用, 分别是:

第一趟: 扭力冲击器 + MD1646GU, 试验井段 3735 ~ 4621.6 m, 累计进尺 886.6 m, 纯钻时间 153 h, 平均机械钻速 5.80 m/h; 单只钻头进尺 886.6 m, 扭力冲击器累计使用时间 173 h。本趟钻进各项参数为: 钻头压降 2.7 ~ 3.5 MPa, 水眼 W16 × 6, 钻压 80 ~ 100 kN, 扭矩 12 ~ 14 kN·m, 排量 32.0 L/min, 泵压 19 ~ 21 MPa, 转速 60 ~ 75 r/min。

第二趟: 扭力冲击器 + U416M, 试验井段 4621.6 ~ 5136.55 m, 累计进尺 514.95 m, 纯钻时间 129 h, 平均机械钻速 3.99 m/h; 单只钻头进尺 514.95 m; 扭力冲击器累计使用时间 140 h。本趟钻进各项参数为: 钻头压降 2.8 ~ 3.3 MPa, 水眼 W16 × 6, 钻压 80 ~ 100 kN, 扭矩 13 ~ 18 kN·m, 排量 32.0 L/min, 泵压 19.5 ~ 22 MPa, 转速 60 ~ 75 r/min。

第三趟: 扭力冲击器 + U516M, 试验井段 5136.55 ~ 5258.79 m, 累计进尺 122.24 m, 纯钻时间 63 h, 平均机械钻速 1.94 m/h; 单只钻头进尺 122.24 m; 扭力冲击器累计使用时间 72 h。本趟钻

进各项参数为: 钻头压降 2.0 ~ 2.5 MPa, 水眼 W16 × 7, 钻压 80 ~ 120 kN, 扭矩 13 ~ 18 kN·m, 排量 32.0 L/min, 泵压 21 ~ 23 MPa, 转速 60 ~ 75 r/min。

第四趟: 扭力冲击器 + U513M, 试验井段 5409.01 ~ 5613.00 m, 累计进尺 203.99 m, 纯钻时间 51 h, 平均机械钻速 4.00 m/h; 单只钻头进尺 203.99 m; 扭力冲击器累计使用时间 58 h。本趟钻进各项参数为: 钻头压降 2.0 ~ 2.3 MPa, 水眼 W18 × 5, 钻压 80 ~ 130 kN, 扭矩 15 ~ 17 kN·m, 排量 32.0 L/min, 泵压 21 ~ 23 MPa, 转速 60 ~ 65 r/min。

4.3.2 扭力冲击器试验井段与邻井同井段对比情况

古城 6 井 3735.00 ~ 4810.00 m 为 Ø311.2 mm 井眼, 而古城 7 井则为 Ø215.9 mm 井眼, 所以该段机械钻速没有对比性, 而 4810 m 以深古城 6 井为 Ø215.9 mm 井眼, 所以与古城 6 井对比所采取的井段为 4810.00 ~ 5193.00、5485.00 ~ 5618.00 m, 该段机械钻速为 1.62 m/h, 而古城 7 井的试验井段 4810.00 ~ 5258.79 和 5409.01 ~ 5613.00 m 的机械钻速为 2.74 m/h, 所以该井段的平均机械钻比古城 6 井速提高了 1.12 m/h, 即提高了 1.69 倍。详细对比情况见表 2, 2 口井的部分钻时对比见图 5。

表 2 古城 7 井扭力冲击器试验井段与邻井对比情况表

井号	井眼尺寸/mm	井段/mm	进尺/m	平均钻速/(m·h ⁻¹)	施工周期/d	钻头数量/只
古城 6 井	311.2	3764.00 ~ 4619.00	855.00	1.31	48.40	7
古城 6 井	311.2	4619.00 ~ 4810.00	191.00	1.05	10.10	1
古城 6 井	215.9	4810.00 ~ 5193.00, 5485.00 ~ 5618.00	516.00	1.62	30.78	6 只 PDC, 3 只牙轮
	215.9	3735.00 ~ 4621.60	886.60	5.80	9.29	1
古城 7 井	215.9	4621.60 ~ 5136.55	514.95	3.99	7.71	1
	215.9	5136.55 ~ 5258.79	122.24	1.94	4.60	1
	215.9	5409.01 ~ 5613.00	203.99	4.00	3.00	1
古城 7 井累计	215.9	3735.00 ~ 5258.79, 5409.01 ~ 5613.00	1727.78	4.36	24.60	4
古城 7 井对比井段	215.9	4810.00 ~ 5258.79, 5401.01 ~ 5613.00	652.78	2.74	12.11	3

注: 各井所处的地层层位为却尔却克组。

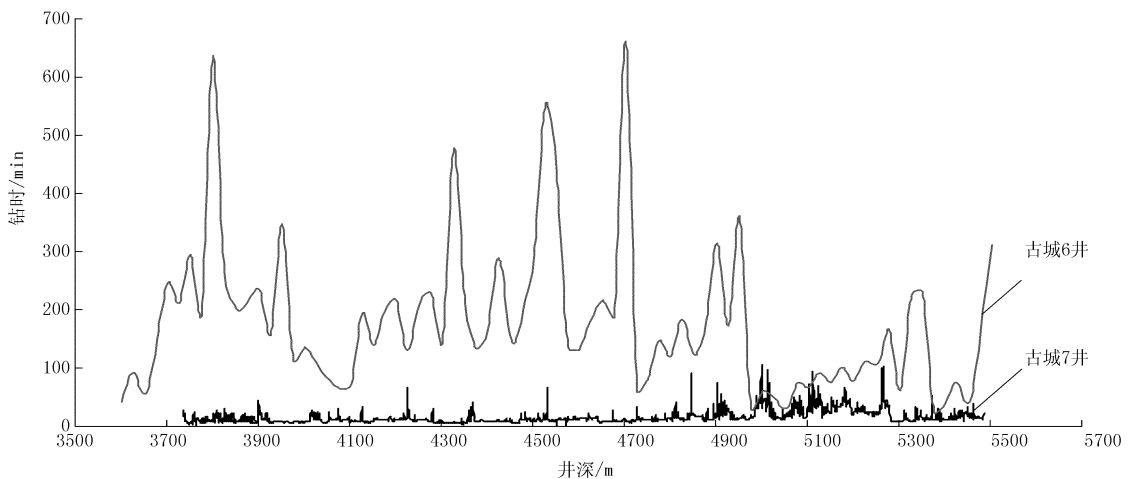


图 5 古城 7 井与古城 6 井钻时对比图

4.4 古城7井全井施工周期对比

古城7井自一开钻至四开钻进至设计井深6588 m,共施工145.07 d,比设计钻井周期264 d缩短了118.93 d。同比古城4井完钻钻进至6550.00

m施工376.62 d缩短了231.55 d。同比古城6井完钻钻进至6169.00 m施工261.79 d缩短了116.72 d。从一开到四开加深井深(6789 m)完钻共用152.44 d。详情见表3及图6。

表3 古城7井施工进度与古城7井设计及古城6井施工进度对比数据表

开钻次序	井号	对比井段/m	施工周期/d	施工进度对比情况
一开	古城6井	0~813.00	20.29	从一开到二开比古城6井缩短11.1 d
	古城7井	0~797.00	9.19	
	古城7井设计	0~797.00	16	
二开	古城6井	813.00~4810.00	钻进20.29	钻进时间比古城6井缩短1.12 d
	(对比井段为813.00~3370.00)			
	古城7井	797.00~3352.00	钻进19.17+完井10.08=29.25	
三开	古城6井	3352.00~5613.00	63	从二开到三开比设计缩短33.75 d
	古城7井	3352.00~5613.00	38.42	
	古城7井设计	3352.00~5613.00	85	
四开	古城7井	5613.00~6588.00	40.15	钻进时间比设计缩短39.85 d
	古城7井设计	5613.00~6588.00	80	
实际累计	古城7井	0~6789.00	152.44	

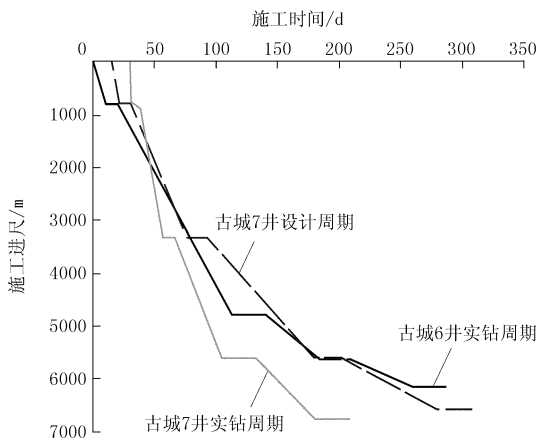


图6 古城7井施工进度与古城7井设计及古城6井施工进度对比图

4.5 经济效益比较

按扭力冲击器试验井段计算古城7井节约的成本,考虑节省钻机日费、节省钻头费用、节省的时间内钻井液维护费用等,共计为古城7井使用扭力冲击器累计节省的钻井成本,成本结余远远超千万元,经济效益可观。

5 结论

(1)古城7井提速效果非常明显,原因包括其井身结构优化设计,钻井液性能以及施工技术,均符合塔东区块的地质和勘探要求,为日后塔东区块钻井施工设计提供了参考。

(2)古城7井三开试验了阿特拉的扭力冲击

器,扭力冲击器配合专用PDC钻头提速效果明显。从钻速及周期上相比都有突破,总体机械钻速提高1.69倍。也为以后在新疆塔东区块钻遇却尔却克组“黑被子”地层找到了较好的技术方法。

(3)使用钟摆钻具组合,配合扭力冲击器钻井,井身质量良好,具有稳斜降斜效果,古城7井井斜角由 1.9° 降至 1.1° ,井眼规则,起下钻顺利,没有阻卡现象。

(4)在合适的井段应用扭力冲击器配合专用PDC能够大幅度提高机械钻速并缩短钻井周期,结余钻井成本,有很大的经济效益。

参考文献:

- [1] 吕晓平,李国兴,王震宇,等.扭力冲击器在鸭深1井志留系地层的试验应用[J].石油钻采工艺,2012,34(2).
- [2] 张惠良,王招明,张荣虎,等.塔里木盆地志留系优质储层控制因素与勘探方向选择[J].中国石油勘探,2004,(5).
- [3] 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).
- [4] 胡九珍,刘树根,冉启贵,等.塔东地区寒武系-下奥陶统成岩作用特征及对优质储层形成的影响[J].成都理工大学学报(自然科学版),2008,36(2).
- [5] 王昌利,刘永贵,杨淑静.大庆徐深28井气体钻井实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8).
- [6] 孙莉,李瑞营,孙义春.古深3井非目的层井段气体钻井设计与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6).
- [7] 孔凡军,杨智光,张书瑞,等.徐家围子深井高温复合钻井技术的试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(11).