

古城 601 井井身结构优化设计

王建艳¹, 韩福斌², 陈琳琳¹, 杨永祥¹, 袁后国¹, 李兵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. 中国石油大庆油田有限责任公司勘探事业部, 黑龙江 大庆 163410)

摘要:古城地区实钻中存在表层窜冒、却尔却克组大段难钻“黑被子”地层、H₂S、卡钻、井漏、溢流、井塌、地层压力温度高等技术难点,导致该区块钻井周期长、钻井成本高。针对古城地区地质特点,结合古城 601 井钻井目的及完井方式,综合考虑地层压力、必封点等井身结构设计关键点,在保障安全和质量的前提下,对古城 601 井进行了井身结构优化设计,并经实钻验证该设计思路合理,为古城地区井身结构设计提供了新思路。

关键词:钻井;完井;井身结构;必封点;井漏;井塌

中图分类号: TE22;P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)06-0030-07

Structure optimization of Well Gucheng - 601

WANG Jianyan¹, HAN Fubin², CHEN Linlin¹, YANG Yongxiang¹, YUAN Houguo¹, LI Bing¹

(1. *Drilling Engineering and Technology Research Institute, CNPC Daqing Drilling Exploration and Engineering Company, Daqing Heilongjiang 163413, China;*

2. *Exploration Department of Daqing Oilfield Co., Ltd., CNPC, Daqing Heilongjiang 163410, China*)

Abstract: Drilling wells in the Gucheng area faces many technical difficulties, such as drilling through the long section of black quilt strata, H₂S, stuck bit, well leakage, overflow, well collapse, high formation pressure and temperature, which lead to long drilling periods and high drilling cost in this block. In view of the geological characteristics in Gucheng; keeping in mind the drilling purpose of Gucheng - 601 and the well completion method; in consideration of key well bore design elements such as formation pressure, mandatory plugging locations; and on the premise of ensuring safety and quality; well structure optimization was performed for Well Gucheng - 601. Field results verified that the design approach is rational, providing an alternative for well design in the Gucheng area.

Key words: drilling well; completion; well structure; mandatory plugging locations; well leakage; well collapse

0 引言

井身结构设计^[1]是钻井工程设计的重要内容之一,它不仅关系到钻井施工能否顺利,而且还关系到该井是否安全、有效益。合理的井身结构^[2-5]设计既要能最大限度地避免“漏、喷、塌、卡”等工程事故的发生,又要能最大程度地减少钻井费用,使工程成本达到最低。塔里木古城地区由于“高压、高产、高危”和目的层深^[6-9],传统的井身结构难以同时满足安全、经济要求,因此,合理进行井身结构设计是塔里木古城地区油气勘探开发成功的关键技术之一。

古城 601 井位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞

蒙古自治州且末县境内,是布署在塔里木盆地北部拗陷古城低凸起为进一步扩大鹰山组白云岩储层含气范围的一口预探井,目的层为鹰山组鹰三段,兼探一间房组、鹰一段、鹰二段。根据地质资料显示,目的层地层孔隙发育含天然气、硫化氢,井控风险大,井塌、井漏风险高,下部地层岩性为云质灰岩及灰质云岩,性脆且硬,井壁剥落及坍塌造成卡钻风险高^[10-12]。为进一步缩短古城地区钻井周期,降低钻井成本,在古城地区已钻井经验的基础上,从地层压力,必封点几方面入手^[13],结合井身结构设计标准及井身结构优化后施工技术难点对古城 601 井进行

收稿日期:2019-07-10; 修回日期:2020-04-27 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.06.006

作者简介:王建艳,女,汉族,1981年生,高级工程师,长期从事探井钻井设计及成本预测工作,黑龙江省大庆市红岗区八百垅南路37号, wangjianyan@cnpc.com.cn。

引用格式:王建艳,韩福斌,陈琳琳,等.古城 601 井井身结构优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):30-36.

WANG Jianyan, HAN Fubin, CHEN Linlin, et al. Structure optimization of Well Gucheng - 601[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):30-36.

了井身结构优化设计研究与实践。

1 井身结构设计标准选择

根据大庆在塔东古城地区施工要求,古城区块预探井主要参照塔标 II 和标准井身结构两个标准设计井身结构,如图 1,图 2 所示。

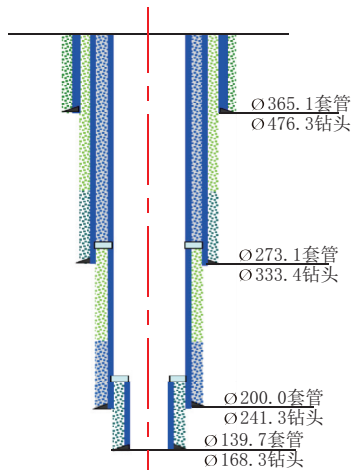


图 1 塔标 II 井身结构

Fig.1 Well structure: Well Talimu II

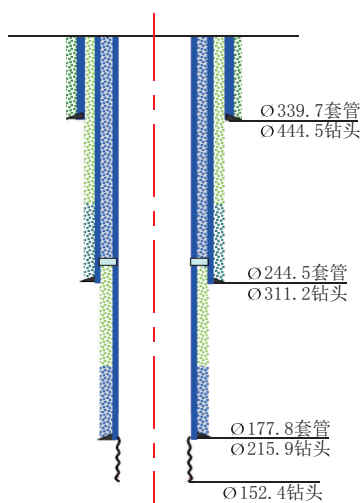


图 2 标准井身结构

Fig.2 Well structure: standard structure of CNPC

由图 1 可看出,塔标四层结构与标准四层结构的区别在于,对应同一开次塔标结构井眼更大,因此,在四开结构时可用 $\varnothing 101.6$ mm 钻杆钻进施工。

同等条件下,当采用标准井身结构时,用 $\varnothing 88.9$ mm 钻杆,排量 15 L/s,系统循环压耗达到 30 MPa,当采用塔标井身结构,用 $\varnothing 101.6$ mm 钻杆,排量 15 L/s,系统循环压耗为 20.5 MPa,优化后的塔标井身结构井眼所用排量范围更大,井眼清洁

能力更强,见图 3,图 4。

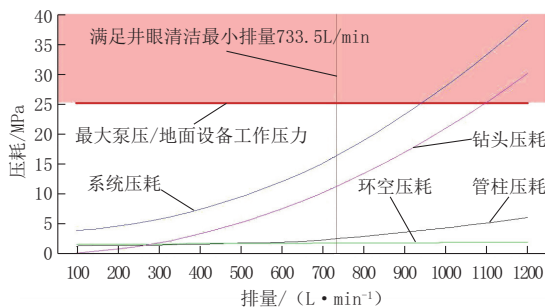


图 3 使用 $\varnothing 88.9$ mm 钻杆时循环压耗

Fig.3 Pump pressure loss with $\varnothing 88.9$ mm DP

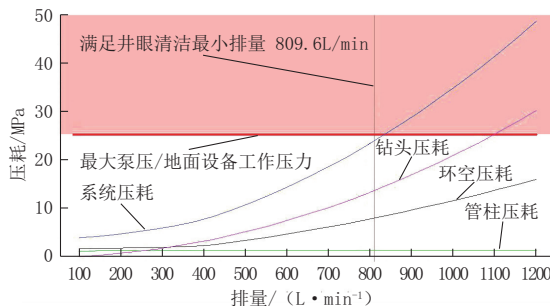


图 4 使用 $\varnothing 101.6$ mm 钻杆时循环压耗

Fig.4 Pump pressure loss with $\varnothing 101.6$ mm DP

同等条件下,当采用标准井身结构时,用 $\varnothing 88.9$ mm 新钻杆,钻具抗拉余量只有 500 kN 左右,当采用塔标井身结构,用 $\varnothing 101.6$ mm 新钻杆,钻具抗拉余量有 900 kN,钻具安全性更高,见图 5,图 6。

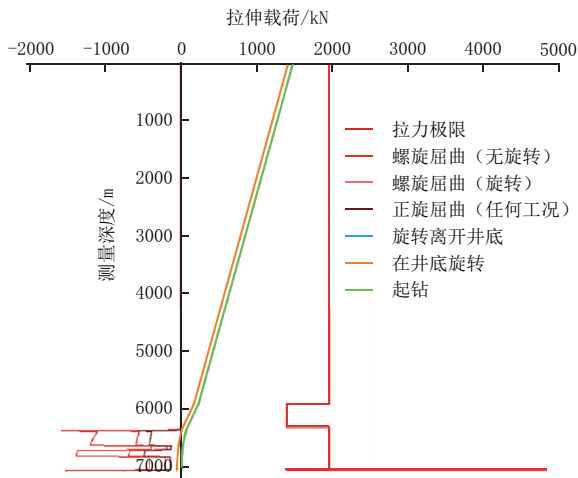


图 5 使用 $\varnothing 88.9$ mm 钻杆时有效受力图

Fig.5 Effective tension with $\varnothing 88.9$ mm DP

标准井身结构相比塔标结构周期可缩短 20 d,同时由于井眼尺寸较小,套管和固井水泥成本也相对较少,但本井要求尾管完井,标准结构若下尾管存在试油无法下 $3\frac{1}{2}$ in (1 in=25.4 mm,下同) 油管的

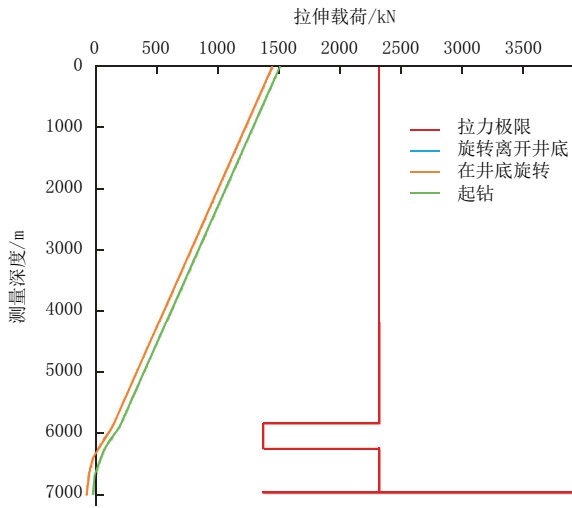


图6 使用 $\text{O}101.6\text{ mm}$ 钻杆时有效受力图
Fig.6 Effective tension with $\text{O}101.6\text{ mm}$ DP

问题,影响后续作业。

塔标II结构在施工难度、压耗、安全性方面明显优于标准井身结构^[14-15],且可下 $5\frac{1}{2}$ in 尾管完井,

见表1。

综合考虑钻井施工泵压排量、钻具强度及后期试油施工难度,优选塔标II井身结构。

2 套管下入层次优化

井身结构设计任务是确定套管下入层次^[16],下入深度、水泥浆返深以及钻头与套管尺寸。而其中套管的层数设计是井身结构设计中的关键内容^[17],合理的套管层数设计即有效封隔必封点,降低钻井风险,缩短钻井周期。套管层数设计^[18]主要参考储层压力和储层的地质特征,同时又受钻头质量与钻井工艺水平^[19]等限制。为此,在确立了井身结构设计标准后,对古城601井的地层异常压力、邻井钻井液应用情况、邻井井径扩大率、邻近区块井身结构应用情况等进行了调研,论证了原四层井身结构简化为塔标II三层井身结构的可行性,见图7,图8。

表1 标准结构与塔标II结构优缺点分析

Table 1 Advantages and disadvantages of Talimu II and standard CNPC well structures

井身结构	优 点	缺 点
标准结构	周期较短,套管、固井水泥用量较少,成本较低	环空小、泵压高、钻具抗拉余量小,需使用复合钻杆;完井若下尾管影响后续作业
塔标II结构	环空大,可提高排量,泵压低;钻具抗拉余量大;可下 $5\frac{1}{2}$ in 尾管完井;施工难度相对较小	周期较长,成本较高

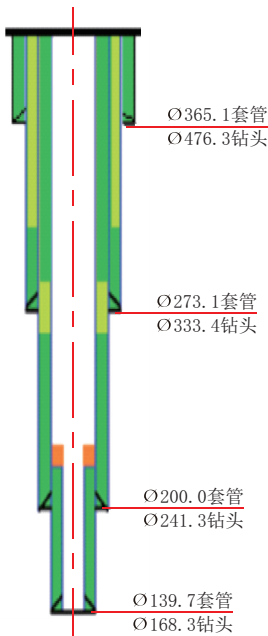


图7 标准四层井身结构示意图
Fig.7 Four-tier well structure

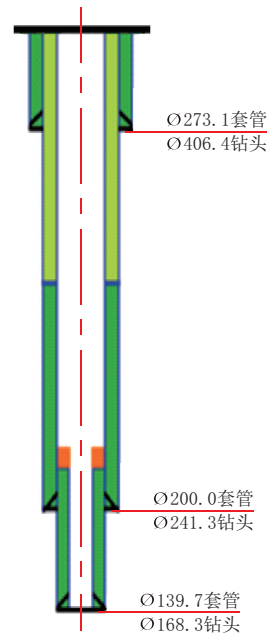


图8 塔标II三层井身结构示意图
Fig. 8 Three-tier well structure

2.1 地层压力

古城 601 井地层三压力曲线如图 9 所示,从图 9 可以看出,三叠系以上地层(0~2500 m)为正常压力系统。石炭系 2650~2800 m 存在坍塌压力不稳定井段^[20],该井段为四层结构中技套 1 封固的主要异常点,而已钻井在该层位并未发生恶性漏失,但个

别井存在井径扩大率大的问题。

进入一间房组灰岩层存在压力拐点^[21],若灰岩中裂缝、溶蚀孔洞发育时,漏失压力会远小于地层破裂压力,多口邻井在一间房组以下地层发生井漏、溢流等复杂,故上部高压层和泥岩段需封固,该点为必封点。

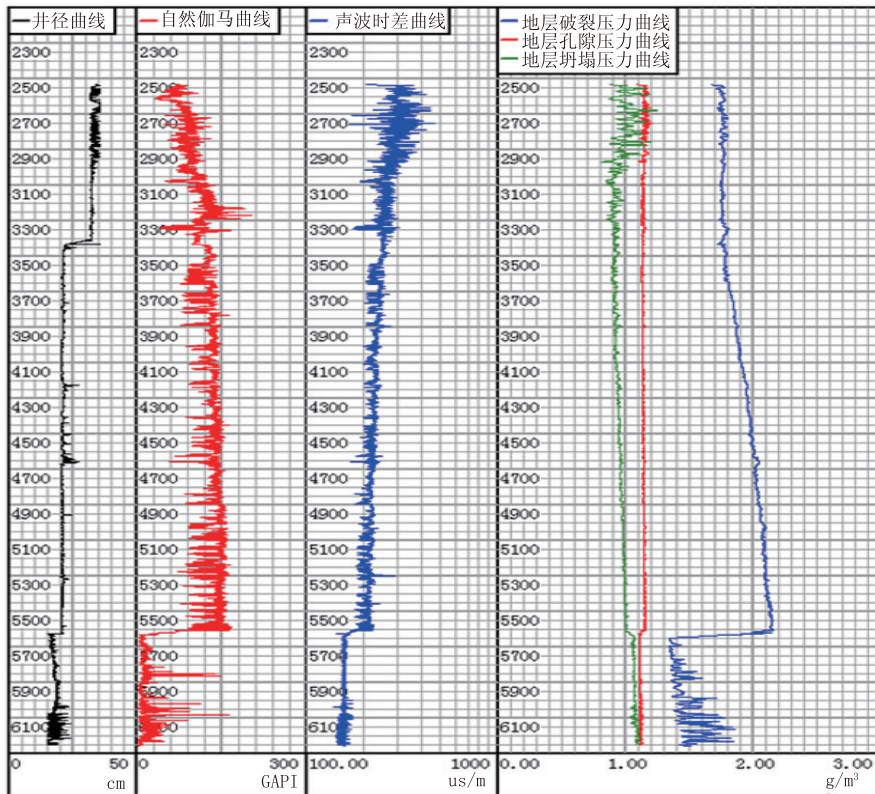


图 9 古城 601 井地层三压力曲线

Fig.9 Triple pressure logging curves of Well Gucheng - 601

2.2 邻井钻井液密度

从已钻井的钻井液密度使用情况可以看出(见图 10),二开上限和三开下限是连续的,而三开钻井液体系都是以二开老浆为基础。四层井身结构改为三层井身结构,钻井液密度方面没有问题。

2.3 井径

从已钻井的井径可以看出(见图 11),KCl 聚合物体系,聚磺防塌体系以及 BH-WEI 等钻井液体系基本都能满足古城区块钻井需求^[22]。其中城 16、探 1、古 8、古 7 井二开井段井径控制较好,其余井普遍存在个别井段井径扩大率超标的问题,由此可见控制好钻井液性能是井身结构简化的关键。

随着塔东区块钻井实践和地质认识的不断深入,对于地质情况相对比较清晰的评价井,将四层结

构简化为三层结构是可行的。

2.4 技术难点对策

古城 601 井设计井深 6260 m,采用三层井身结构后,二开裸眼段长度达 4445 m,井身质量控制、井下安全控制、钻具事故预防^[23]、井控安全等难度大、对钻井施工要求高,为此针对四层井身结构改三层简化井身结构可能出现相应的技术难点设计了应对策略。

2.4.1 二开裸眼段长,对表层固井质量要求高

对策:表层由原先的 800 m 深下至 1200 m,减少了二开裸眼段长度,同时防止圆井窜漏,严格按照规定通井,维护好钻井液性能,消除虚厚泥饼,减少下套管摩擦阻,采用常规固井保证固井质量。

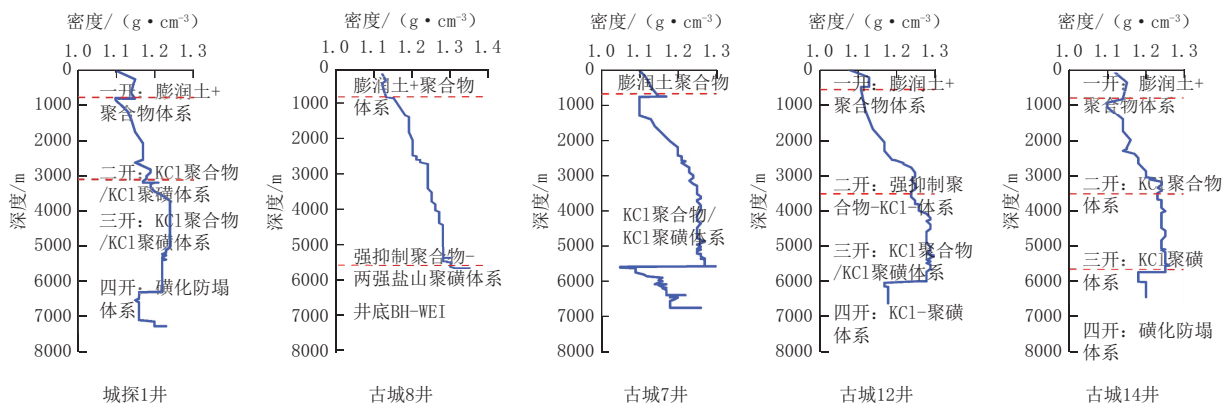


图 10 邻井钻井液使用情况

Fig.10 Drilling fluid properties of adjacent wells

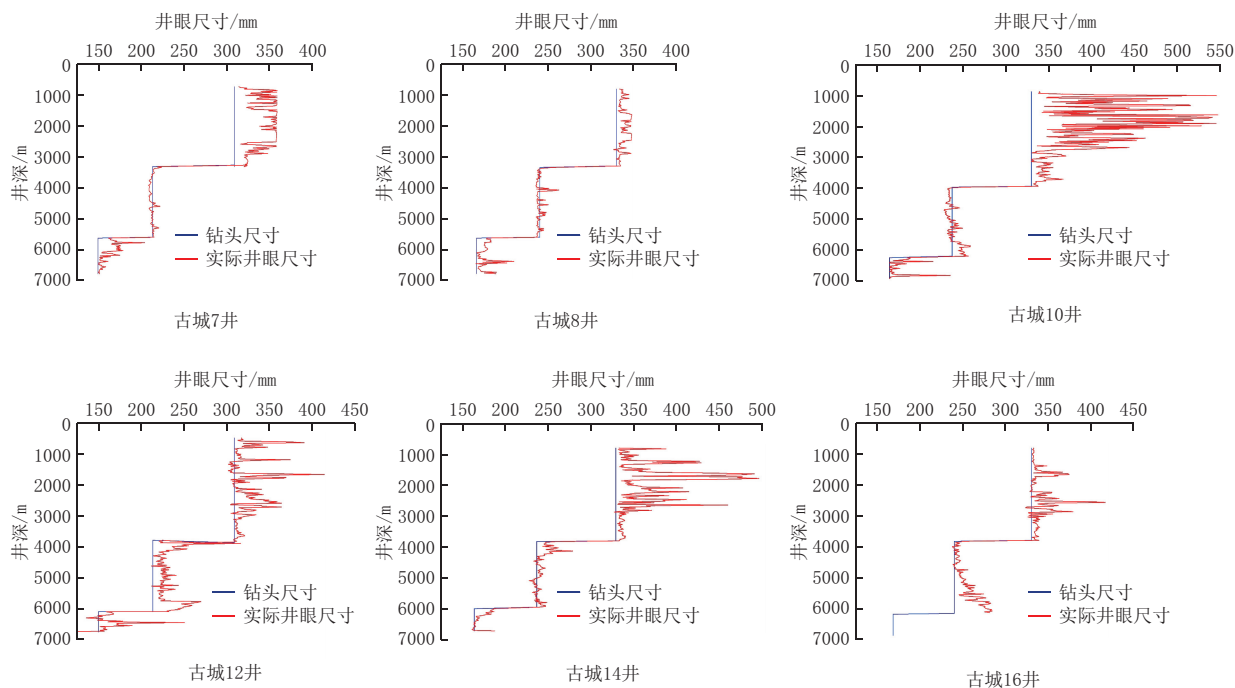


图 11 邻井井径情况

Fig.11 Hole diameter enlargement rates of adjacent wells

2.4.2 二开长裸眼段对井壁稳定要求高

对策:采用 KCl 聚合物体系,通过适当浓度的钾离子达到对泥岩地层的稳定作用,上部松软地层易垮塌、缩径,注意提高抑制性和封堵性能,进入三叠系后,逐步加入防塌剂及液体润滑剂,预防井塌,4500 m 前完成体系抗温 150 °C 转换。

2.4.3 二开长裸眼段双密度一次封固难度大

对策:严格按照规定通井,保障井眼通畅,避免环空不畅;固井前做地层承压试验,根据地层承压能力,优选水泥浆体系及固井方案,预防井漏;采用变排量复合顶替模式,确保封固段顶替效率。

2.4.4 石炭系、三叠系水层易造成二开生产套管早期腐蚀

对策:若影响产能,可考虑将 5 1/2 in 尾管回接至井口。

3 措施后效分析

通过上述优化和现场实施^[24],该井克服了表层窜冒、白垩系、三叠系、石炭系、却尔却克组鹰二段等地层倾角最大 1.9°、却尔却克组大段难钻“黑被子”地层、H₂S、卡钻、下部地层井漏、溢流、井塌风险高^[25]、地层压力温度高等技术难点,于 2018 年 8 月

5 日 8:00 顺利完井, 钻井周期 125.24 d, 建井周期 160 d, 设计符合率 91.42%; 与优化方案前的同区块历年邻井相比钻井周期与建井周期分别缩短 46.17 d 和 57.05 d (见表 2), 提速分别达 26.94% 和

26.28%。本井二开井段平均井径扩大率 3.2%, 三开目的层井径扩大率为 2.2%, 井径扩大率均控制在设计范围内。

表 2 三层井身结构方案优化前后实钻效果对比情况

Table 2 Comparison of drilling results with the three-tier well structure before and after optimization

井号	钻前周期	一开周期	一完周期	二开周期	二完周期	三开周期	三完周期	四开周期	完井周期	钻井周期	建井周期	
古城 7	15.96	2.50	6.13	22.75	12.21	83.29	29.15	68.60	23.04	224.63	263.63	
古城 8	20.25	2.83	10.42	28.67	11.21	40.83	17.85	41.29	16.02	153.10	189.37	
古城 14	35.00	2.42	6.88	21.96	9.25	58.96	19.71	34.33	31.50	153.51	220.01	
古城 12	17.31	2.10	5.96	29.71	8.17	43.31	24.44	39.50	28.00	153.19	198.50	
古城 10	18.54	1.63	5.00	20.52	10.19	41.08	17.46	49.50	24.42	145.38	188.34	
城 1	19.20	2.35	16.15	16.33	12.33	72.38	22.40	56.81		198.75	217.95	
平均	21.04	2.31	8.42	23.32	10.56	56.64	21.84	48.34	24.60	171.41	217.05	
古城 601	17.30	2.82	4.38	59.21	15.92	42.92			17.45	125.24	160.00	
				节约周期/d							46.17	57.05
				提速百分比/%							26.94	26.28

4 结论

(1) 古城 601 井的成功钻探, 验证了塔东古城地区三层井身结构的可行性, 为该区块的勘探开发提速提供了一种新的有效手段和途径。

(2) 通过井身结构优化可行性分析、优选钻头及提速工具, 与优化前方案相比, 三层井身结构缩短建井周期 57.05 d, 降低投资成本 1296.55 万元。

(3) 大尺寸钻杆除可保证有足够的阻卡提拉能力外, 还能减少钻杆内水力能量的损失, 有利于提高循环排量与钻头的水力能量, 这不仅有利于井下安全, 也有利于提高钻井速度。

(4) 井身结构简化是塔里木油田深井钻井提速的主要对策之一。

参考文献 (References):

[1] 周延军, 贾江鸿, 李真祥, 等. 复杂深探井井身结构设计方法及应用研究[J]. 石油机械, 2010, 38(4): 8-11, 29, 92.
ZHOU Yanjun, JIA Jianghong, LI Zhenxiang, et al. The method to design the casing program of complex deep prospecting wells[J]. China Petroleum Machinery, 2010, 38(4): 8-11, 29, 92.

[2] 张建龙, 温伟, 刘卫东, 等. 顺北 1-4H 井超深小井眼中短半径水平井钻井难点及技术对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(4): 17-22.
ZHANG Jianlong, WEN Wei, LIU Weidong, et al. Drilling difficulties and technical countermeasures for medium-short radius horizontal well in super-deep slim hole Shunbei 1-4H [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(4): 17-22.

[3] 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, 28.
CHEN Shaoyun, XING Chen, SUN Yan. Technical research on improving efficiency of gas drilling in Qingshen Gas Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(1): 22-25, 28.

[4] 陈琳琳, 王永吉, 李瑞莹. 垣平 1 井长水平段水平井设计与施工[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(6): 115-119.
CHEN Linlin, WANG Yongji, LI Ruiying. Design and drilling of horizontal Well Yuanping 1 with long lateral section[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(6): 115-119.

[5] 华远信, 张桂强, 朱伟鸿, 等. COMPASS、WELLPLAN 软件在钻井设计和施工中的应用[J]. 西南石油大学学报, 2004, 26(1): 83-86, 6.
HUA Yuanxin, ZHANG Guiqiang, ZHU Weihong, et al. Application of compass wellplan software in drilling design and field processing[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(1): 83-86, 6.

[6] 王建艳. 液动旋冲工具在徐深 1-平 3 井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(4): 16-20.
WANG Jianyan. Application of hydraulic rotary tool in well of Xushen-Ping3 [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(4): 16-20.

[7] 邹开吉, 郝俊芳. 钻井工程设计[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996: 22-30.
ZOU Kaiji, HAO Junfang. Drilling engineering design [M]. Dongying: Petroleum University Publishing House, 1996: 22-30.

[8] 张林强. 大位移井摩阻扭矩计算模型[J]. 断块油气田, 2008, 15(2): 88-91.
ZHANG Linqiang. Calculating model of torque and drag in extended-reach well[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15(2): 88-91.

[9] 侯喜茹, 柳慧慧, 仲文旭. 井身结构设计必封点综合确定方法研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29(4): 52-55.
HOU Xiru, LIU Gonghui, ZHONG Wenxu. Comprehensive

- determination method of setting position for casing program design[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2005,29(4):52-55.
- [10] 王建艳,刘永贵,艾鑫.大庆油田莺深2井钻井设计与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):24-27.
WANG Jianyan, LIU Yonggui, AI Xin. Drilling design and practice of Well Yingshen 2 of Daqing Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(9):24-27.
- [11] 吴超,臧艳彬,张东清,等.定向井随钻井壁稳定预测方法及其应用[J].石油学报,2015,36(10):1290-1298.
WU Chao, ZANG Yanbin, ZHANG Dongqing, et al. A method of borehole stability prediction while drilling directional wells and its application[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015,36(10):1290-1298.
- [12] 程华国,王吉东,刘以明,等.影响川东北地区深井机械钻速的原因分析与对策[J].石油钻探技术,2004,32(5):20-21.
CHENG Huaguo, WANG Jidong, LIU Yiming, et al. Factors on the ROP and countermeasures for deep wells in the northeastern Sichuan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004,32(5):20-21.
- [13] 张立君,董明键,刘爱军,等.河坝1井复杂地层钻井完井技术[J].石油钻探技术,2005,33(4):4-7.
ZHANG Lijun, DONG Mingjian, LIU Aijun, et al. Drilling and completion technology of heba1 well in complex formation[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005,33(4):4-7.
- [14] 杨玉坤.非常规套管系列井身结构设计技术现状与在准噶尔盆地应用前景[J].钻采工艺,2005,28(2):1-3,10.
YANG Yukun. Technique actuality on hole structure design of unconventional series casing and its application foreground in Zhungeer Basin [J]. Drilling & Production Technology, 2005,28(2):1-3,10.
- [15] 刘绘新,张鹏,熊友明.合理井身结构设计的新方法研究[J].西南石油学院学报,2004,26(1):19-22,2.
LIU Huixin, ZHANG Peng, XIONG Youming. A new method of well structure design by salt rock creep pressure profile [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004,26(1):19-22,2.
- [16] 王占领,陈立强,吴占民,等.渤海油田油气井侧钻设计方法优化分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):36-41,48.
WANG Zhanling, CHEN Liqiang, WU Zhanmin, et al. Optimization design method for sidetracking wells in Bohai Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):36-41,48.
- [17] 张凯.复合钻进技术在红柳煤矿冻结孔施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):54-58.
ZHANG Kai. Application of combined drilling technique in the freezing well in Hongliu Coalmine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):54-58.
- [18] 范峥,钟久安,何非凡,等.高聚物复合堵水浆材在岩溶地区深孔帷幕灌浆中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):86-90.
FAN Zheng, ZHONG Jiuan, HE Feifan, et al. Application of high polymer composite water blocking slurry in deep hole curtain grouting in the karst area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(1):86-90.
- [19] 李小洋,李宽,张永勤,等.新型涡轮扭力冲击器的试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(12):40-43,49.
LI Xiaoyang, LI Kuan, ZHANG Yongqin, et al. Experiment on a new turbine torsional impactor[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(12):40-43,49.
- [20] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):21-26.
YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):21-26.
- [21] 何玉云,王发民.保径导向扩孔钻头的设计及其工程应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):50-53.
HE Yuyun, WANG Famin. Design and field use of the gauge-protected pilot reaming bit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):50-53.
- [22] 陈晓君,陈根龙,宋刚,等.基于岩石性质的钻进振动响应分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):20-27.
CHEN Xiaojun, CHEN Genlong, SONG Gang, et al. Analysis of drilling vibration response based on rock properties[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):20-27.
- [23] 陈星星.混合钻头在涪陵页岩气田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):34-39.
CHEN Xingxing. Application of hybrid drill bits in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):34-39.
- [24] 李旭方,熊正强.抗高温环保水基钻井液研究进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):32-39.
LI Xufang, XIONG Zhengqiang. Research progress on high temperature resistant and environment friendly water-based drilling fluids [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):32-39.
- [25] 樊好福.页岩气钻完井配套技术集成研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):15-22.
FAN Haofu. Research on integration of complete shale gas drilling and completion technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):15-22.