

隆探 X3 井基岩定向井钻井设计与施工

段晓岩

(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)

摘要:为确保大庆油田首口基岩定向井隆探 X3 井的安全顺利钻进,针对该井存在易井漏井斜、易井壁失稳、岩石硬度大、可钻性差、井眼净化难等技术难点,在工程设计中的井身结构、钻具组合、钻头优选、钻井液优选、井眼清洁等方面运用 Landmark 软件进行了大量的计算,同时通过统计分析和筛选,对该井工程设计进行了优化分析。在该井实钻过程中没有出现井下事故,钻井施工顺利,说明该井钻井设计合理,施工措施合理,有效地克服了钻井施工过程中存在的难题。

关键词:基岩;钻井设计;井身结构;钻具组合;钻头;钻井液;井眼清洁

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)07-0057-07

Design and drilling of directional Well Longtan X3 in bed rock

DUAN Xiaoyan

(Drilling Engineering and Technology Research Institute, CNPC Daqing Drilling Exploration and Engineering Company, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: In order to ensure the safe and smooth drilling of Well Longtan X3, the first directional well to be drilled in bed rock, a lot of calculation has been done in the drilling engineering design with the Landmark software on the well structures, BHA, bit optimization, drilling fluid optimization and borehole cleaning to cope with the tricky issues such as circulation loss, well deviation and wellbore instability, poor drillability of hard rocks, difficult borehole cleaning; at the same time, statistical analysis and screening were made for optimizing of the engineering design. As a result, drilling operations have been carried out successfully without any accidents, indicating that the engineering design was proper, and the technical difficulties in drilling operations can be overcome.

Key words: bed rock; drilling design; well structure; BHA; bit; drilling fluid; borehole cleaning

隆探 X3 井位于松辽盆地古中央隆起带昌德凸起构造,钻探目的层为基底,兼探泉头组一、二段及登娄库组,探索古中央隆起带基岩风化壳储层的含气性,同时兼探上覆登娄库组及基底内幕的含气性。设计完钻井深 3944.66 m,垂深 3630 m。预测目的层地层压力为正常压力体系,孔隙压力系数为 1.04,平均破裂压力系数为 1.80,地温梯度为 4.60 °C/100 m。为确保该井的安全高效施工进行了钻井工程方案设计。

1 隆探 X3 井难点分析

隆探 X3 井是大庆首口基岩定向井,受勘探程

度和资料限制,地质勘探风险较高,钻井施工风险高,主要有以下难点。

(1)存在多处断层,易井漏井斜:青二、三段 1600、1710 m,泉三段下部 2330 m,基底内幕顶部有断层。

(2)基岩岩性复杂,裂缝发育,易井漏及井壁失稳;风化壳顶部岩石整体破碎、疏松,孔隙度 5.5%,下部裂缝发育;内幕推测为碎裂花岗岩、碎裂岩,易发生井漏,且本井为定向井,更要严防井壁失稳。

(3)岩石硬度大,可钻性差:目的层岩性主要为碎裂花岗岩、碎裂岩、糜棱岩,岩石可钻性 8~9 级。

(4)基岩勘探程度低:地层压力不明确,可能存

收稿日期:2019-03-03; 修回日期:2019-06-03 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.07.010

作者简介:段晓岩,女,汉族,1987 年生,工程师,油气井工程专业,硕士,从事钻井设计工作,黑龙江省大庆市八百垅南路 37 号,DUANXIAOY-AN@cnpc.com.cn。

引用格式:段晓岩.隆探 X3 井基岩定向井钻井设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):57-63.

DUAN Xiaoyan. Design and drilling of directional Well Longtan X3 in bed rock[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):57-63.

在压力异常;破裂压力低,固井易漏失。

2 隆探 X3 钻井优化设计

参照邻井实钻资料,并针对本井以上施工难点,在设计方案中重点对井身结构、钻具组合、钻头选型、钻井液情况等方面进行优化,以达到降低施工难度与风险,指导现场安全高效施工的目的^[1-5]。

2.1 井眼轨迹

表 1 隆探 X3 井井眼轨道剖面设计(表中的南北、东西坐标均为相对坐标)

Table 1 Trajectory design of Well Longtan X3 (NS coordinates and EW coordinates in the table are relative coordinates)

说明	井深/ m	井斜角/ (°)	方位角/ (°)	垂深/ m	南北坐标/ m	东西坐标/ m	视平移/ m	“狗腿”度/[$(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$]	造斜率/[$(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$]
井口	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
造斜点	2809.39	0.00	0.00	2809.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
增斜段	3098.35	48.16	270.00	3065.50	0.00	-114.46	114.46	5.00	5.00
靶点 A	3240.01	48.16	270.00	3160.00	0.00	-220.00	220.00	0.00	0.00
靶点 B(井底)	3944.66	48.17	270.00	3630.00	0.00	-745.00	745.00	0.00	0.00

2.2 井身结构

针对古中央隆起带地质特点,井身结构确定依据如下:

(1)必封点:①本井位于葡萄花油层注水开发区内,葡萄花油层需封固;②嫩江组、青山口组地层易缩径、失稳,需封固;③基岩目的层压力不明确,可能存在异常压力层或复杂地层,须预留一层套管,因此选择三层标准井身结构,预留 $\varnothing 177.8 \text{ mm}$ 套管和 $\varnothing 152.4 \text{ mm}$ 井眼。

(2) $\varnothing 339.7 \text{ mm}$ 套管下至 260 m 稳定泥岩处,封固地表疏松地层和保护地表水,加固井口。

(3) $\varnothing 244.5 \text{ mm}$ 技术套管下至登二段底部 3210 m,封隔嫩江组、青山口组等不稳定地层和葡萄花注水高压层;将目的层与上部压力层系分隔,实现三开低密度钻进,保障勘探发现;减少三开裸眼段长度,降低三开钻完井风险;借鉴达深 X23 经验教训,缩短三开裸眼段,降低摩擦扭矩,实现基岩储层专打。

(4) $\varnothing 215.9 \text{ mm}$ 钻头钻至设计井深(斜深) 3944.66 m,下入 $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 尾管固井。若油气显示良好,必要时, $\varnothing 139.7 \text{ mm}$ 套管回接至井口^[7-9]。

2.3 钻具组合

由于隆探 X3 井造斜段+稳斜段共计 1135 m,稳斜角 48° ,利用 Landmark 软件模拟(见图 1、图 2),其造斜段+稳斜段最大扭矩为 $15.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。由于理论轨迹为理想的平滑曲线,借助达深 X23 井

根据本井的地质目标,本井地质设计已经规定了靶点坐标,进而明确了该井的井斜角及方位角。按造斜率 $5^{\circ}/30 \text{ m}$ 、采用三段制设计本井井眼轨迹,反推造斜点 2809.39 m、最大井斜角 48.16° 。从地质分层看,本井造斜点、稳斜段地层硬度适中,无坍塌、缩径、高压、易漏,易于钻井施工^[6]。井眼轨道优化设计结果见表 1。

实钻与理论数据,对隆探 X3 井计算结果进行修正,预计实际施工扭矩大约为 $24 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

摩擦扭矩分析			
发生螺旋屈曲时的钻压(旋转钻进中):	332.1 kN	位于:	2783.90 m
发生正弦屈曲时的钻压(旋转钻进中):	328.3 kN	位于:	2783.90 m
拉力余量(起钻):	876.7 kN	屈服百分比:	90.00 %
上提摩擦阻:	249.8 kN	下放摩擦阻:	148.7 kN

图 1 造斜段+稳斜段摩擦扭矩计算结果

Fig.1 Calculation results of drag and torque in building and holding sections

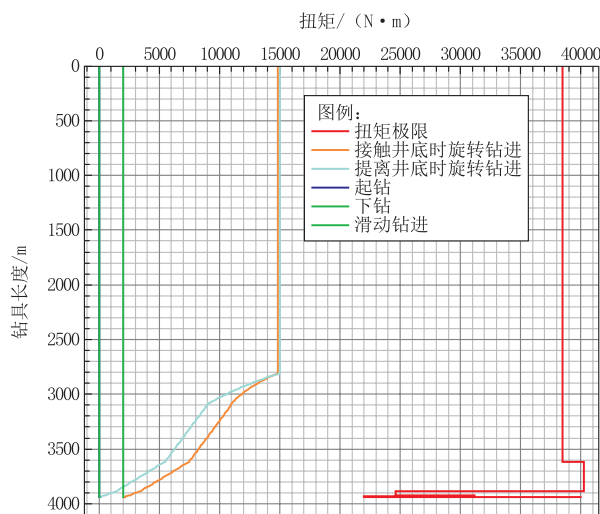


图 2 造斜段+稳斜段摩擦扭矩图

Fig.2 Graphical representation of drag and torque in building and holding sections

利用 Landmark 软件进行各开次钻具组合校核。

二开造斜段+稳斜段设计的钻具组合为^[10-13]: $\text{O}311.2 \text{ mm}$ 钻头 $\times 0.3 \text{ m}$ + $\text{O}216.0 \text{ mm}$ 螺杆 $\times 8.4 \text{ m}$ (造斜段 $1.5^\circ/1.25^\circ$; 稳斜段 $0.75^\circ/1.0^\circ$) + $\text{O}203.0 \text{ mm}$ MWD $\times 13.3 \text{ m}$ + $\text{O}203.0 \text{ mm}$ 无磁钻铤 $\times 9.0 \text{ m}$ + $\text{O}178.0 \text{ mm}$ 钻铤 $\times 54.0 \text{ m}$ + $\text{O}159.0 \text{ mm}$ 钻铤 $\times 54.0 \text{ m}$ + $\text{O}127 \text{ mm}$ 加重钻杆 $\times 135.0 \text{ m}$ + $\text{O}127 \text{ mm}$ 钻杆。图 3~5 为造斜段钻具校核图。

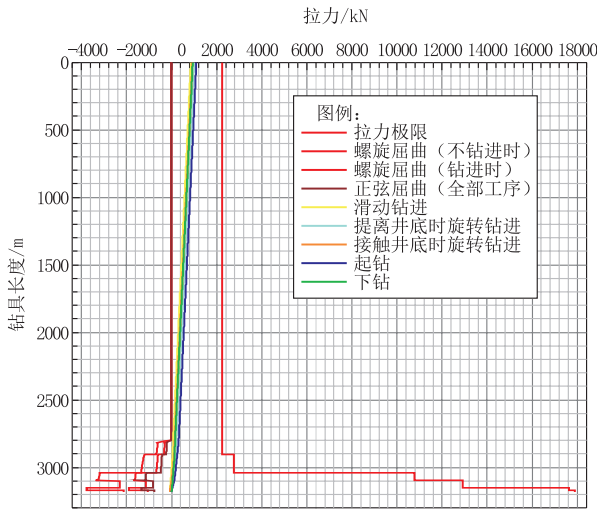


图 3 二开造斜、稳斜段井眼钻具强度校核图

Fig.3 Strength calibration of BHA for building and holding sections in the second spud in

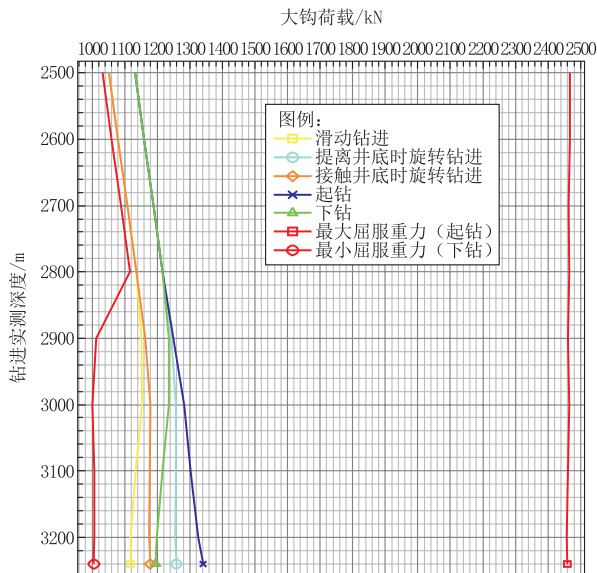


图 4 二开 $\text{O}311.2 \text{ mm}$ 井眼钻具摩擦阻图

Fig.4 Drag of BHA in the $\text{O}311.2 \text{ mm}$ hole in the second spud in

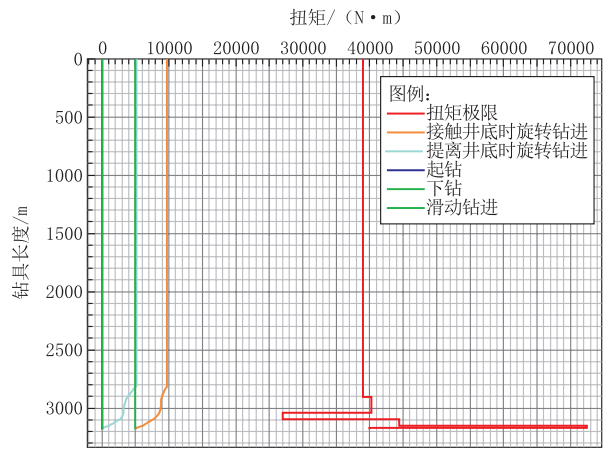


图 5 二开 $\text{O}311.2 \text{ mm}$ 井眼钻具扭矩图

Fig.5 Torque of BHA in $\text{O}311.2 \text{ mm}$ hole in the second spud in

三开稳斜设计的钻具组合为: $\text{O}215.9 \text{ mm}$ 钻头 $\times 0.3 \text{ m}$ + $\text{O}172.0 \text{ mm}$ 螺杆(带一个扶正器) $\times 8.4 \text{ m}$ + $\text{O}214.0 \text{ mm}$ 稳定器 $\times 1.5 \text{ m}$ + $\text{O}159.0 \text{ mm}$ 钻铤 $\times 9.0 \text{ m}$ + $\text{O}214.0 \text{ mm}$ 稳定器 $\times 1.5 \text{ m}$ + $\text{O}159.0 \text{ mm}$ 止回阀 $\times 1.0 \text{ m}$ + $\text{O}172.0 \text{ mm}$ MWD $\times 13.3 \text{ m}$ + $\text{O}165.0 \text{ mm}$ 无磁钻铤 $\times 9.0 \text{ m}$ + $\text{O}159.0 \text{ mm}$ 钻铤 $\times 54.0 \text{ m}$ + $\text{O}127 \text{ mm}$ 加重钻杆 $\times 270.0 \text{ m}$ + $\text{O}127 \text{ mm}$ 钻杆。图 6~8 为稳斜段钻具校核图。

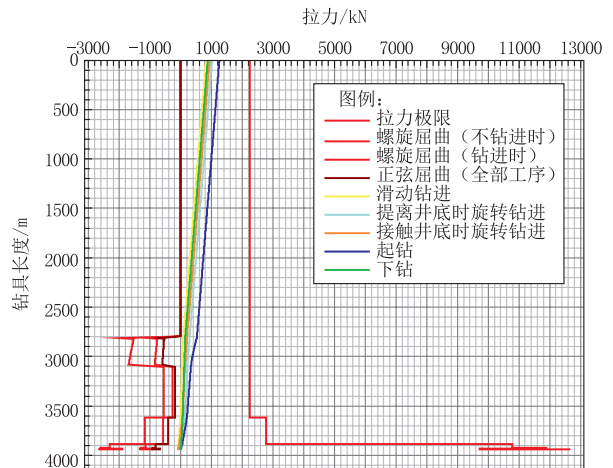


图 6 三开稳斜段井眼钻具强度校核图

Fig.6 Strength calibration of BHA for the holding section in the third spud in

2.4 钻头优选

(1)二开泉二、泉一(直井段)岩石可钻性 4~5 级,采用液动旋冲工具+PDC 钻头提速^[14-16]。

(2)二开泉一、登三段(造斜段)岩石可钻性 4~6 级,设计采用 MWD+螺杆+PDC 钻头造斜钻进,备用牙轮钻头^[7]。

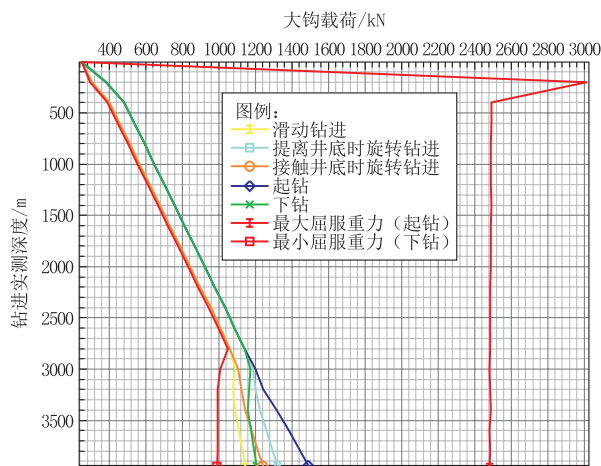


图7 三开 Ø215.9 mm 井眼钻具摩擦阻图

Fig.7 Drag of BHA in the Ø215.9 mm hole in the second spud in

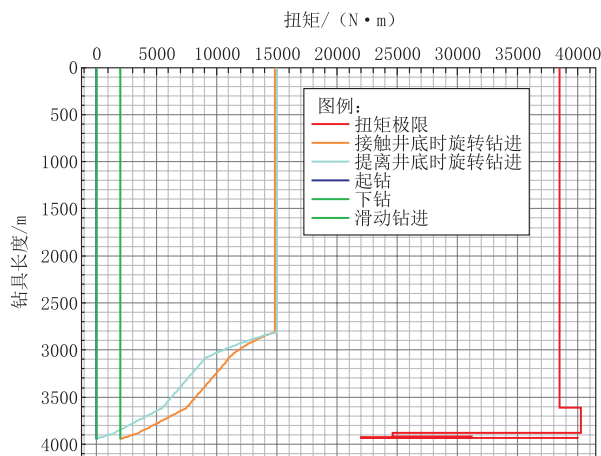


图8 三开 Ø215.9 mm 井眼钻具扭矩图

Fig.8 Torque of BHA in the Ø215.9 mm hole in the third spud in

(3)三开基岩井段主要为花岗岩、碎裂岩等,顶部岩石可钻性达8~9级,设计采用高速牙轮钻头,并探索应用休斯敦研发中心非平面齿PDC钻头提速,各层位岩性可钻性见图9。

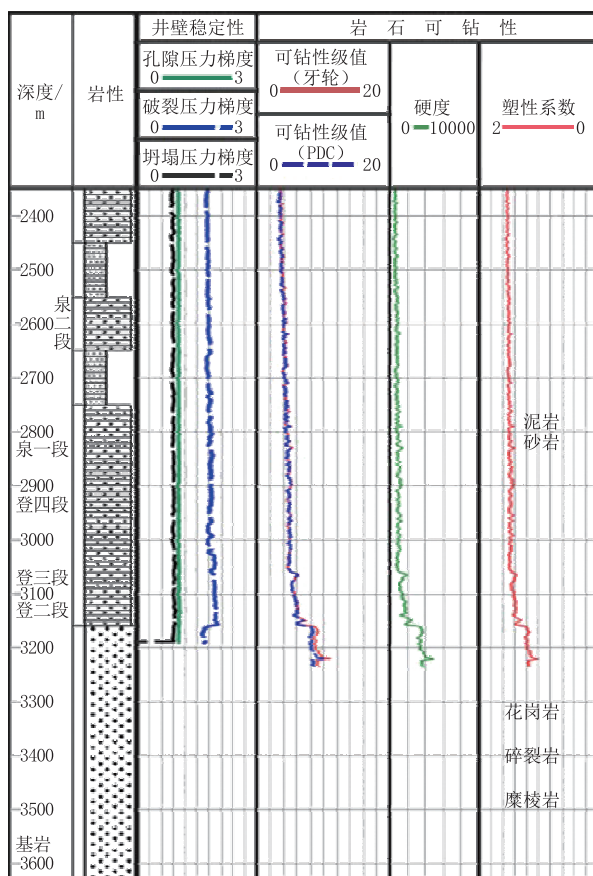


图9 各层位岩性可钻性

Fig.9 Rock drillability of various layers

2.5 钻井液优选

根据本井基岩钻探的不确定性及二开大井眼造斜的需求,一开设计采用膨润土浆;二开、三开设计采用有机硅聚磺钻井液体系,该钻井液体系具有良好的润滑性和封堵防塌能力,综合性能接近油基泥浆^[17-18],钻井液性能见表2、表3。

2.6 井眼清洁

表2 钻井液性能对比

Table 2 Comparison of drilling fluid properties

实验样品	PV/(mPa·s)	YP/Pa	HTHP失水量/mL	初/终切/Pa	失水量/[mL·(30 m) ⁻¹]	极压润滑系数	泥饼粘附系数
聚合醇聚磺钻井液	20	5	22	2/6	5.6	0.168	0.26
老化后	22	9.5	19	1.5/4	6	0.176	0.12
油包水钻井液	22	6	9.6	1.5/3	0	0.050	吸不住
老化后	25	8	10	3.5/4	0	0.060	吸不住
水包油钻井液	24	5	14.6	2.5/4	0	0.134	吸不住
老化后	30	9	13.4	3/8	0	0.142	吸不住
有机硅聚磺钻井液	23	10	9.8	2/6	3.1	0.118	吸不住
老化后	25	9	9.6	1.5/5	3.0	0.123	吸不住

由于地质条件限制,本井井斜角为48.16°,二开造斜段、增斜段长400.61 m,三开稳斜段长910 m,由

于钻井过程中,45°~65°井段容易形成岩屑床,为避免岩屑床的形成,提高净化程度,减少钻井过程中的

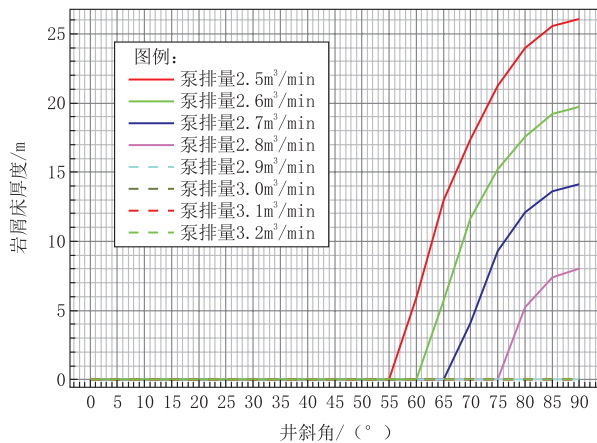
表 3 钻井液性能

Table 3 Properties of drilling fluids

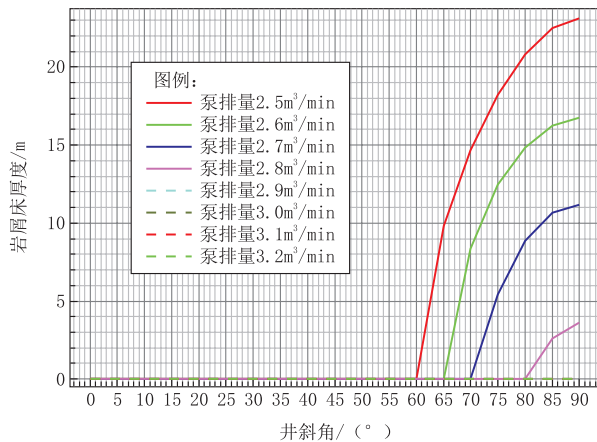
密度/ (g· cm ⁻³)	API 失 水量/ mL	HTHP 失水 量/mL	YP/ Pa	PV/ (mPa· s)	动 岩屑回 塑 收率/ 比 %	极压 润滑 系数	
1.15	3.0	9.6	8.0	18	0.44	95.4	0.082
1.23	2.8	9.8	10.5	27	0.39		0.078

摩阻和扭矩,防止出现井壁不稳定、形成键槽、粘卡等井下事故,需要采用 Landmark 软件,模拟计算排量、钻速以及岩屑颗粒半径对岩屑床厚度的影响^[19-25]。

二开造斜、稳斜段,钻头 Ø311.2 mm。在机械钻速 2.0 m/h,钻井液塑性粘度 21 Pa·s、动切力 15.5 Pa,岩屑颗粒半径 6 mm,排量 2.0~3.1 m³/min 条件下,模拟排量以及转速对岩屑床厚度的影响,结果见图 10。由图 10 可以看出,当排量<3.1 m³/min 时,同一转速下,岩屑床的厚度随着排量的



(a) 转盘转速250 r/min



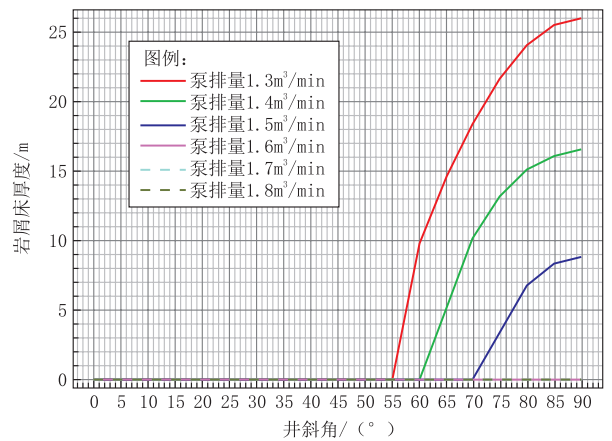
(b) 转盘转速270 r/min

图 10 二开造斜、稳斜段排量及转速对岩屑床厚度的影响

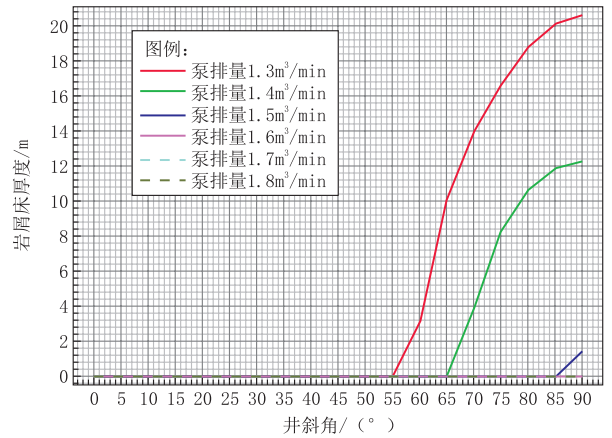
Fig.10 Effect of flowrates and rotary speeds on cuttings settlement thickness in the building and holding sections in the second spud in

增加而减小;在同一排量下,岩屑床的厚度随着转速的增加而减小。因此,设计钻井参数时,转速>270 r/min,排量>2.8 m³/min。

三开稳斜段,钻头 Ø215.9 mm。在机械钻速 2.0 m/h,钻井液塑性粘度 21 Pa·s、动切力 15.5 Pa,岩屑颗粒半径 6 mm,排量 1.2~2.0 m³/min 条件下,模拟排量以及转速对岩屑床厚度的影响,结果见图 11,图 11 可以看出,当排量<2.0 m³/min 时,同一转速下,岩屑床的厚度随着排量的增加而减小;在同一排量下,岩屑床的厚度随着转速的增加而减小。因此,设计钻井参数时,钻速>270 r/min,排量>1.5 m³/min。



(a) 转盘转速250 r/min



(b) 转盘转速270 r/min

图 11 稳斜段排量及转速对岩屑床厚度的影响

Fig.11 Effect of flowrates and rotary speeds on cuttings settlement thickness in the holding section in the third spud in

理论计算得出,为保证井眼清洁,应适当提高排量和转速来减小岩屑床的厚度,以实现降低摩阻和扭矩的目的。由于本井段采用螺杆复合钻进,二开造斜段、稳斜段,三开稳斜段转盘转速 40~60 r/

min,二开造斜段、稳斜段排量 $2.8\sim 3.0\text{ m}^3/\text{min}$,三开稳斜段排量 $1.6\sim 1.9\text{ m}^3/\text{min}$ 。

3 隆探 X3 井现场施工情况

3.1 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。 $\text{O}339.7\text{ mm}$ 套管下至 261.82 m ; $\text{O}244.5\text{ mm}$ 套管下至登二段中部 3178.34 m ; $\text{O}139.7\text{ mm}$ 套管下至基底 4100.00 m 。

3.2 实钻钻头使用情况

在隆探 X3 井实钻过程中,二开在 $2227.87\sim 2791\text{ m}$ 井段使用2趟液动旋冲钻井工具+PDC钻头,钻井进尺 563.13 m ,纯钻进 161.5 h ,机械钻速 3.49 m/h ,其他井段采用定向仪器+螺杆,取得了显著的提速和缩短周期的效果。隆探 X3 井实钻钻头使用情况见表4。

表4 隆探 X3 井实钻钻头使用情况

Table 4 Use of bits in drilling Well Longtan X3

开次	井段/m	进尺/m	钻头数量/只	平均机械钻速/ ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)
一	0~262.00	262.00	1只牙轮	68.41
二	262.00~3180.00	2918.00	6只牙轮/5只PDC	3.90
三	3180.00~4120.00	940.00	16只牙轮	1.86

3.3 钻井液情况

(1)实现了低粘高切,体现出了良好的携带岩屑能力。整个施工过程中,钻井液漏斗粘度保持在 60 s 左右,动塑比达到 0.4 以上,振动筛筛面返砂明显,泵压平稳,保证了井底和井壁的清洁,扭矩 $5\text{ kN}\cdot\text{m}$,上提摩阻 50 kN 左右。

(2)钻井液加入抑制剂和优选防塌封堵剂,提高了钻井液的抑制封堵能力,并优选了抗高温处理剂,HPHT失水量 $\leq 12\text{ mL}$ 。对水敏性泥页岩,还是以平衡地层活度为主,使钻井液和地层中水的活度保持相等,从而达到阻止油包水钻井液中的水向地层运移,保证井壁稳定性,及固相颗粒优先被油润湿,避免了含有泥页岩的钻屑与钻井液接触后发生吸水膨胀,水化分散,使钻井液粘度上升,扭矩和阻力增大。

(3)具有良好的剪切稀释性和润滑性;避免了小排量时钻头泥包的可能性,保证了井内钻井液静止状态下,井下安全。

该井二开钻进采用造斜段 $1.5^\circ/1.25^\circ$ 单弯螺杆、稳斜段 $0.75^\circ/1.0^\circ$ 常规导向钻具组合,使用抑制封堵能力强的有机硅聚磺钻井液体系进行钻进。该井段19趟钻完成, 2918 m ,纯钻 749 h ,平均机械钻速 3.90 m/h ,平均造斜率 $1.54^\circ/30\text{ m}$ 。

该井三开钻进采用 $0.75^\circ/1.0^\circ$ 常规稳斜钻具组合,使用抑制封堵能力强的有机硅聚磺钻井液体系进行钻进。该井段29趟钻完成,纯钻 516.5 h ,进尺 940 m ,机械钻速 1.82 m/h 。

该井实际完钻井深 4120.00 m ,垂深 3747.32 m ,最大井斜角 51.5° ,方位角 272.00° ,钻进周期 127.83 d 。钻井施工过程中没有出现井下故障,完井、电测及下套管均安全顺利完成。

4 结论

(1)合理的井身结构,必封点的选取使得隆探 X3 钻井施工顺利完成,没有事故复杂情况的发生。

(2)采用 Landmark 对各井段钻具结构、摩阻及扭矩进行优化,确保了井身结构设计的合理性。

(3)二开 $2227.87\sim 2791\text{ m}$ 井段使用2趟液动旋冲钻井工具+PDC钻头,其他井段采用定向仪器+螺杆,三开基底钻进采用高速牙轮钻头,取得了显著的提速和缩短周期的效果。

(4)采用具有良好的润滑性和封堵防塌能力的有机硅聚磺钻井液体系,保证了井壁稳定性以及井内钻井液静止状态下的井下安全,使得施工顺利进行。

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.
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.
- [2] 吴德山,董振国,崔春兰.大斜度定向井钻井设计优化及应用实践[J].煤炭科学技术,2018,46(4):58-64.
WU Deshan, DONG Zhenguo, CUI Chunlan. Optimum drilling design of high deviated directional wells and its application [J]. Coal Science and Technology, 2018,46(4): 58-64.
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 郝俊芳, 邹开吉. 钻井工程设计[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996: 22-30.
- HAO Junfang, ZOU Kaiji. Drilling engineering design[M]. Dongying: Petroleum University Publishing House, 1996: 22-30.
- [6] 张林强. 大位移井摩阻扭矩计算模型[J]. 断块油气田, 2008(2): 88-91.
- ZHANG Linqiang. Calculating model of torque and drag in extended-reach well[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008(2): 88-91.
- [7] 侯喜茹, 柳贡慧, 仲文旭, 等. 井身结构设计必封点综合确定方法[J]. 石油大学学报, 2005, 29(4): 19-22.
- HOU Xiru, LIU Gonghui, ZHONG Wenxu, et al. Comprehensive determination method of setting position for casing program design[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2005, 29(4): 19-22.
- [8] 张建群, 孙学增, 赵俊平. 定向井中摩擦阻力模式及其应用的初步研究[J]. 大庆石油学院学报, 1989, 13(4): 23-28.
- ZHANG Jianqun, SUN Xuezheng, ZHAO Junping. A preliminary study of frictional drag model and its application[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1989, 13(4): 23-28.
- [9] 孙妍. 龙 26-平 25 长水平段水平井钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(11): 41-44.
- SUN Yan. Drilling technology of L26-P25 horizontal well with long horizontal section[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(11): 41-44.
- [10] 于洪波. 复杂地质条件下 S 形定向井的井身结构优化及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(6): 28-31, 35.
- YU Hongbo. Casing program optimization of S-shaped directional well in complicated geological conditions and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(6): 28-31, 35.
- [11] 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.
- [12] 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 1-Ping 3[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(4): 16-20.
- [13] 陈鑫, 陈绍云, 王楚, 等. 扭力冲击器在宋深 9H 侧钻小井眼水平井中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(6): 32-35.
- CHEN Xin, CHEN Shaoyun, WANG Chu, et al. Application of TorkBuster to sidetracking of slimhole horizontal well in Well Songshen 9H[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(6): 32-35.
- [14] 杨瑶. 定向井复合钻头技术研究与应用[D]. 成都: 西南石油大学, 2016.
- YANG Yao. Technical research and application of composite bit used in slide steering drilling[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2016.
- [15] 徐杉杉. 葡 47-斜 3 大位移定向井钻井施工实践与认识[J]. 石油和化工设备, 2019, 22(2): 93-94, 92.
- XU Shanshan. Practice and knowledge of drilling construction of P47-X3 large displacement directional well[J]. Petro & Chemical Equipment, 2019, 22(2): 93-94, 92.
- [16] 李智先. 岩心钻探基础知识问答[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- LI Zhixian. Q & A on core drilling basic knowledge[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.
- [17] 张祺. D 井高温高密度钻井液体系优化研究[J]. 化学工程师, 2018, 32(3): 27-29.
- ZHANG Qi. Optimization of high temperature and high density drilling fluid system in D well[J]. Chemical Engineer, 2018, 32(3): 27-29.
- [18] 李庆铎. 关于大位移井钻井液技术难点的探讨[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(1): 219.
- LI Qingduo. Discussion on technical difficulties of drilling fluid in large displacement well[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(1): 219.
- [19] 刘二兵. 钻井工程井眼清洁技术要点[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(9): 165-166.
- LIU Erbing. Key technical points for wellbore cleaning in drilling work[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018, 38(9): 165-166.
- [20] 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.
- [21] 罗晓宇, 侯奕. 定向井钻井工艺技术措施优化[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(3): 214.
- LUO Xiaoyu, HOU Yi. Directional drilling technology optimization[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(3): 214.
- [22] 赵冀. 石油钻井工程定向井技术的现状与发展[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(11): 243-244.
- ZHAO Ji. Current status and development trend of directional well technology in oil drilling engineering[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(11): 243-244.
- [23] 党焱. 海洋大位移钻井井眼净化技术优化研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2017.
- DANG Yan. The optimization research of hole cleaning technology in ocean extended reach well[D]. Xi'an: Xi'an Petroleum University, 2017.
- [24] 张洪泉, 任中启, 董明健. 大斜度大位移井岩屑床的解决方法[J]. 石油钻探技术, 1999(3): 6-8.
- ZHANG Hongquan, REN Zhongqi, DONG Mingjian. Methods to solve cuttings bed in high-inclination, long-reached well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1999(3): 6-8.
- [25] 胥豪, 董志辉. 长水平段水平井井眼轨道优化设计方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(3): 35-37, 41.
- XU Hao, DONG Zhihui. Wellbore trajectory optimization design methods for long horizontal-section well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(3): 35-37, 41.