

冀中坳陷区域JZ04井钻井工程设计

伍晓龙, 杜垚森, 王庆晓

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: JZ04井是冀中坳陷区域施工的一口地热勘探井。作为该区域最深的一口地热勘探井, 本井在钻井工程设计过程中主要根据JZ04井地质设计、邻井地层资料和相关物探资料等, 设计中通过分析该区域地质资料, 对该井的井身结构进行详细设计, 对施工设备配置、钻具组合、钻井液体系、固井方式、井控装置等进行设计和选用; 在储层保护方面提出相应措施和操作要求; 考虑本井设计深度大, 所钻地层较复杂, 加之地层资料准确性欠佳, 会导致后期施工风险较大, 为此, 设计中对本井施工难点做出提示和相应解决措施。在后续项目施工过程中, 本设计可以对工程施工提供一定的指导方向, 为下步顺利钻至目的层, 完成钻探任务提供了有力保障。

关键词: 地热井; 钻井工程设计; 储层保护; 冀中坳陷

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)07-0084-07

Drilling design of Well JZ04 in the Jizhong depression region

WU Xiaolong, DU Yaosen, WANG Qingxiao

(Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Well JZ04 is a geothermal exploration well in Jizhong depression. As the region's deepest geothermal exploration well, its drilling design is mainly based on its geological design, adjacent well stratigraphic data and related geophysical data. The detailed design of the well hole structure is conducted through analysis of the regional geological data, with design and selection of the drilling equipment, the drilling stem, the drilling fluid system, the cementing method, well control device and so on. The relevant measures and operation requirements are put forward for reservoir protection. Considering high risk in later drilling operations due to great well depth, complex strata, and compromised accuracy of formation data, the drilling difficulties and the corresponding solutions are given in the design. The design can provide some guide for later drilling operations; hence support for drilling smoothly to the target layer to complete the drilling task.

Key words: geothermal well; drilling design; reservoir protection; Jizhong depression

1 概况

为紧密结合京津冀一体化经济社会发展需求, 以缓解大气污染现状、实现节能减排为目标, 面向宏观决策与工程应用需求, 为京津冀地区冬季供暖提供清洁能源支撑, 中国地质调查局在冀中坳陷地区开展了深部碳酸盐岩热储调查评价, 探测该区域

深部碳酸盐岩热储层的结构特征, 查明地热流体的水热循环条件, 明确深部地热成因机制; 开展深部碳酸盐岩热储改造与地热资源开发利用相关技术研究, 实现深部碳酸盐岩热储资源量的分层评价, 形成沉积盆地深部碳酸盐岩热储勘查开发技术支撑体系, 为冀中坳陷区深部碳酸盐岩热储地热资源

收稿日期: 2020-08-27; **修回日期:** 2021-04-21 **DOI:** 10.12143/j.ztgc.2021.07.013

基金项目: 国家重点研发计划课题“煤层瓦斯赋存参数的地面准确测定技术及装备”(编号: 2018YFC0808001); 中国地质调查局地质调查项目“冀中坳陷深部碳酸盐岩热储调查评价(中国地质科学院勘探技术研究所)” (编号: DD20201103)

作者简介: 伍晓龙, 男, 汉族, 1987年生, 工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 主要从事钻探设备设计制造及国家地质勘探科研项目研发工作, 河北省廊坊市金光道77号, wxl1987516@163.com。

引用格式: 伍晓龙, 杜垚森, 王庆晓. 冀中坳陷区域JZ04井钻井工程设计[J]. 钻探工程, 2021, 48(7): 84-90.

WU Xiaolong, DU Yaosen, WANG Qingxiao. Drilling design of Well JZ04 in the Jizhong depression region[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(7): 84-90.

开发利用提供示范,助力实现我国北方地区冬季清洁供暖规划目标。

JZ04 井是中国地质科学院勘探技术研究所承担的地调项目“冀中拗陷深部碳酸盐岩热储调查评价”在冀中拗陷区域中部施工的一口地热勘探井。该井位于河北省保定市博野县城东北部,设计井深 4000 m,直井,目的层为蓟县系雾迷山组。主要钻井目的为揭穿高阳低凸起中南部新生界地层,揭露中一新元古界碳酸盐岩地层,获取深部热储层厚度、温度、岩性、渗透性、出水量等参数,为深部地热资源评价工作提供基础资料,为查明博野潜山区碳酸盐岩地层分布情况及高阳—博野断裂空间展布,结合安国、蠡县等地区的碳酸盐岩地热井数据,研究高阳

低凸起中南部碳酸盐岩储层分布特征,提供实钻数据。

2 钻遇地层预测

JZ04 井工作区位于冀中拗陷中部,处于高阳低凸起上,高阳低凸起西靠保定拗陷,北接牛驼镇凸起,东邻蠡县斜坡,东南面深泽低凸起、深县凹陷、无极藁城低凸起接壤,是保定凹陷和蠡县斜坡之间的北北东向条形低凸起,凸起基底构造走向北北东,倾向西北,由元古宇、古生界地层组成。

本井综合区域资料与周边地区钻井录井岩屑及物探测井资料,根据博野县境内揭露碳酸盐岩地层深钻钻遇地层情况,结合区域物探成果,推测出 JZ04 井钻遇地层(自上而下)见表 1。

表 1 JZ04 井钻遇地层预测
Table 1 Predicted formation at Well JZ04

地 层			设计分层		岩 性 特 征
界(宇)	系	组	代号	底深/m 厚度/m	
新生界	第四系		Q	430 430	灰黄、黄棕、棕黄和棕红色亚砂土、亚粘土、粘土以及灰黄和灰白色砂层
		明化镇组	Nm	1400 1070	土黄色、棕黄色、棕红色砂质泥岩和灰白色、浅灰色砂岩为主,局部夹灰绿色泥岩及钙质团块
	新近系	馆陶组	Ng	1900 500	上部为紫红色泥岩、灰绿色砂质泥岩与灰白色、浅灰色粉砂岩呈互层交互层出现,下部以紫红色泥岩、砂质泥岩,灰白色含砾粉砂岩为主,夹灰绿色薄层粉砂岩、含砾粗砂岩
	古近系	东营-沙河街组	Ed-Es	2900 1000	浅棕色、棕红色、紫色泥岩夹灰色、灰白色砂岩,下部为含砾砂岩
		孔店组	Ek	3100 200	灰白色、浅灰色、浅棕色砂岩与紫红色、暗紫红色泥岩互层,下部为砂岩、含砾砂岩、砾岩、白云质泥灰岩夹薄层泥岩
元古宇	蓟县系	雾迷山组	Jxw	4000 900 (未穿)	大套灰白色、浅灰色白云岩为主,中下部为紫红色、肉红色、灰黄色硅质云岩及硅质岩

3 钻井工程设计

3.1 井身结构设计

根据本项目地质设计中地层分层及分组段岩性简述,结合周边临井资料,JZ04 井设计^[1-4]为三开结构(见图 1),为了确保施工顺利钻至目的层,完成施工任务,防止因井内事故或者其他地层因素导致施工困难,又设计了备用的四开井身结构(见图 2)。

井身结构设计说明:

开孔段采用 Ø660 mm 刮刀钻头钻进 50~80 m,

下入 Ø508 mm 表层套管,采用水泥固井,固井水泥上返至井口,主要用来封隔第四系表层粘土层,建立井口,确保井壁稳定。

一开钻透第四系、新近系地层,进入古近系沙河街组,约 1400 m。采用 Ø444.5 mm 钻头钻至井深约 1400 m(进入沙河街组),下 Ø339.7 mm 套管,封隔表层松软、易垮塌地层,满足下入水泵、保护地表水及井控装置安装的要求。

二开钻透古近系地层,钻进至孔店组底部,约钻进 1700 m。采用 Ø311.2 mm 钻头钻至井深约 3100

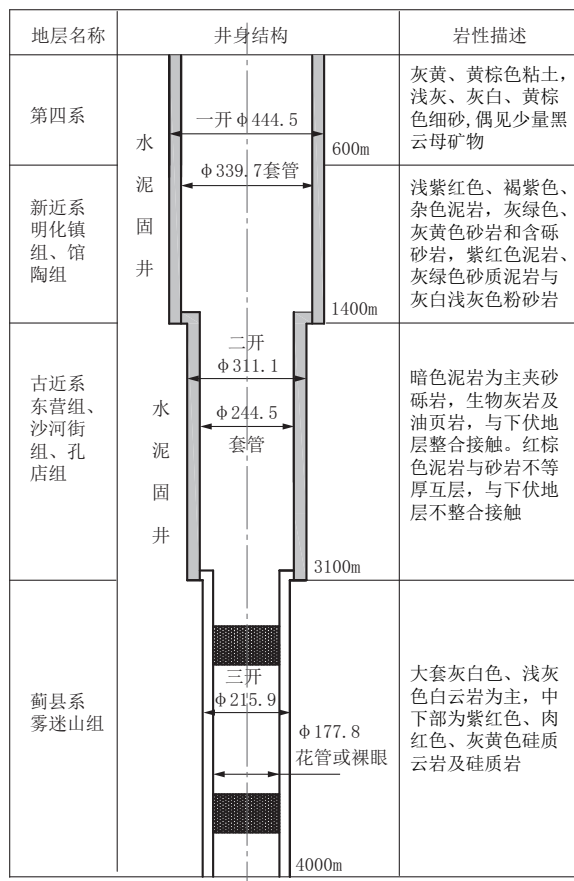


图1 JZ04井井身结构

Fig.1 Drilling structure of Well JZ04

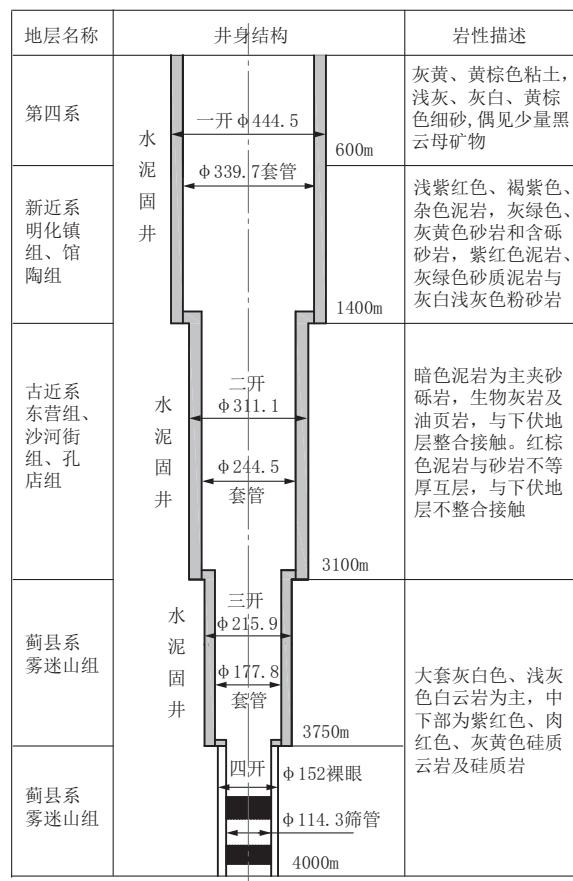


图2 JZ04井备用井身结构

Fig.2 Backup structure of Well JZ04

m(进入孔店组),下 $\phi 244.5$ mm套管,封隔孔店组及以上地层。

三开钻入蓟县系雾迷山组,约900 m,采用 $\phi 215.9$ mm钻头钻至井深4000 m,下 $\phi 177.8$ mm滤水管或裸眼完井,保证出水量。

预留四开 $\phi 152.4$ mm口径,应对施工中不可预见的问题。

3.2 钻井设备选择

本井设计钻深4000 m,依据钻机负荷的选择原则、井控配套等的要求,同时考虑到井深的不确定性,选择的钻机设备负荷能力及配置能够满足5000 m钻井的需要,施工选择钻深能力为ZJ50型石油钻机^[5]。钻机底座高度7 m,完全满足安装井控设备的需求。配套2台3NB-F1600型泥浆泵,其排量和固控系统最大处理量完全可满足深孔排渣和对钻井液净化、维护钻井液性能的需求。设备配置见表2。

3.3 钻具组合设计

本井涉及全面钻进和取心钻进2种方式,钻具

组合为全面钻进钻具组合和取心钻进钻具组合,其中如果三开或四开地层稳定,孔壁漏失严重可以采用气举反循环钻具,组合方式见表3。

3.4 钻井液设计

根据地热井钻井特点和JZ04井预测钻遇地层情况和钻井要求,本着有利于环境保护、有利于地质资料录取、保证安全快速钻井、利于储层保护的原则,选择合理的钻井液,保证钻井液具有良好的防塌、防漏、抗高温、润滑性和储层保护特性等性能^[6]。本井盖层可根据地层情况采用不同密度、粘度、失水率的钻井液作为冲洗液,钻遇热储层后宜采用清水或无固相稀钻井液作为冲洗液。考虑热储层保护要求,在保证孔壁稳定的前提下,采用近平衡钻进,以防堵塞和污染热储层^[7]。

开孔段由于地层松软成岩性差,采用普通高坂含钻井液,钻井液主要配方:6%~8%钠膨润土+0.2%~0.3% Na_2CO_3 (土量)+0.1%~0.2%HV-CMC。钻井液性能参数:密度1.1~1.25 g/cm³,粘

表 2 ZJ50 钻机及其主要设备配置			
Table 2 ZJ50 drilling rig and main complete equipment			
序 号	设备或 部件名称	规格型号	性能指标
1	井架	JJ315/45-K	最大钩载 3150 kN
2	底座	DZ315/7.5-K	最大转盘载荷 3150 kN
3	绞车	JC50	电机功率 1100 kW
4	天车	TC315	最大载荷 3150 kN
5	游车	YC315	额定载荷 3150 kN
6	大钩	DG315	最大钩载 3150 kN
7	水龙头	SL315	最大静载荷 3150 kN
8	转盘	ZP3775	最大静负荷 4540 kN
9	液压猫头	YM-16 II	额定牵伸力 160 kN
10	液压猫头	YM-10 II	额定牵伸力 100 kN
11	液压大钳	ZQ203-125	卸扣扭矩 125 kN
12	气动绞车	XJFH-35	提升力 60 kN
13	1号柴油机组	PZ12V190B	额定功率 1200 kW
14	2号柴油机组	G12V190PZL	额定功率 1200 kW
15	3号柴油机组	G12V190PZL1	额定功率 1200 kW
16	1号泥浆泵	3NB-F1600	最大压力 34.5 MPa
17	2号泥浆泵	3NB-F1600	最大压力 34.5 MPa
18	振动筛	ZHZS1180× 695-3P	最大处理量 60 L/s
19	除气器	ZCQ1/4.5	最大处理量 200 m ³ /h
20	除泥器	ZQJ300×2	最大处理量 120 m ³ /h
21	除砂器	ZQJ100×10	最大处理量 240 m ³ /h
22	离心机	LW455-NJ-B	最大处理量 50 m ³ /h
23	液气分离器	YQ-1000	最大处理量 200 m ³ /h
24	加重漏斗	SLH150-40	

度 30~50 s,失水量 8~10 mL/30 min(上部地层成岩性差,疏松,含有砂岩,泥质胶结差)。可有效防止因覆盖层粘土层井壁稳定性差,造成井壁漏失、坍塌等。

一开井段井眼直径和钻深较大,主要以粘土、泥砂岩为主,采用坂土浆转聚合物防塌钻井液,钻井液主要配方:4%~6%膨润土浆+0.2%~0.3%Na₂CO₃+0.1%~0.2% NaOH + 0.2%~0.3% HV-CMC + 0.2%~0.3%KPAM+NaOH+防塌剂+重晶石粉。钻井液性能参数:密度 1.1~1.15 g/cm³,粘度 35~45 s,失水量 6~10 mL/30 min。可以使钻井液具有足够的悬浮、携岩和护壁能力,有效抑制中下部地层泥岩的水化分散,防止钻头泥包和井壁坍塌。

二开井段采用聚合物防塌钻井液,钻井液主要

表 3 钻具组合		
Table 3 Drilling stem		
开 次	口径/ mm	钻 具 组 合
一开	444.5	塔式钻具:Ø444.5 mm 钻头+Ø244.5 mm 螺杆+Ø203 mm 钻铤×2根+单流阀+Ø203 mm 钻铤×3根+Ø178 mm 钻铤×3根+Ø127 mm 加重钻杆×15根+Ø127 mm 斜坡钻杆
二开	311.2	钟摆钻具:Ø311.2 mm 钻头+Ø244.5 mm 螺杆+Ø203.2 mm 钻铤×1根+单流阀+Ø308 mm 扶正器+Ø203.2 mm 钻铤×2根+Ø178 mm 钻铤×3根+Ø127 mm 加重钻杆×18根+Ø127 mm 斜坡钻杆
三开	215.9	钟摆钻具:Ø215.9 mm 钻头+Ø159 mm 钻铤×1根+单流阀+Ø212 mm 扶正器+Ø158.8 mm 钻铤×6根+Ø127 mm 加重钻杆×18根+Ø127 mm 斜坡钻杆
		气举反循环:Ø215.9 mm 钻头+Ø159 mm 钻铤×1根+Ø212 mm 扶正器+Ø158.8 mm 钻铤×6根+Ø127 mm 加重钻杆×18根+Ø127 mm 斜坡钻杆+气水混合器+Ø127/70 mm 双壁钻杆
四开 (预留)	152.4	钟摆钻具:Ø152 mm 钻头+Ø120 mm 钻铤×1根+Ø149.2 mm 扶正器+Ø120.7 mm 钻铤×8根+Ø104 mm 钻铤×9根+Ø89 mm 加重钻杆×15根+Ø89 mm 斜坡钻杆+Ø127 mm 斜坡钻杆
		气举反循环:Ø152 mm 钻头+单流阀+Ø149.2 mm 扶正器+Ø120.7 mm 钻铤×8根+Ø104 mm 钻铤×9根+Ø89 mm 加重钻杆×15根+Ø89 mm 斜坡钻杆+Ø127 mm 斜坡钻杆+气水混合器+Ø127/70 mm 双壁钻杆
取心钻具		Ø215.9 mm 取心钻头+川 7-4/KT194 取心钻具+Ø158.8 mm 钻铤×6根+Ø127 mm 加重钻杆×18根+Ø127 mm 斜坡钻杆
		Ø152.4 mm 取心钻头+川 6-3/KT140 取心钻具+Ø121 mm 钻铤×6根+Ø89 mm 加重钻杆×15根+Ø127 mm 斜坡钻杆

配方:一开浆稀释后+0.5%~0.8% NH_4HPAN +0.3%~0.4%+ KPAM +0.3%~0.5% 降滤失剂+防塌剂(一般使用沥青)+0.1%~0.2% NaOH +重晶石粉。钻井液性能参数:密度 $1.06\sim 1.15\text{ g/cm}^3$,粘度 $35\sim 65\text{ s}$,失水量 $6\sim 8\text{ mL/30 min}$ 。使钻井液可以控制钻屑分散,有较高的携岩能力和抑制性,另外根据地层变化和地层实钻情况及时调整钻井液性能。

三开或四开在井壁稳定的情况下,使用清水钻进。如井壁不稳,改用泥浆正循环施工,温度 $>80\text{ }^\circ\text{C}$ 时,常规聚合物抗温能力有限,此时可采用聚磺钻井液。钻井液主要配方:基浆+0.05%~0.08% KPAM +0.5%~0.8% NH_4HPAN +2%~3%阳离子乳化沥青(或磺化沥青)+1%~3% SMC +1%~3% SMP-1 +0.5%~1% SMT +1%~3% 润滑剂。钻井液性能参数:密度 $1.02\sim 1.1\text{ g/cm}^3$,粘度 $30\sim 45\text{ s}$,失水量不做特殊要求。保证钻井液在高温条件下性能稳定,增强钻井液的封堵能力和抑制性,提高钻井液的封堵、润滑能力,确保井壁的稳定^[8-9]。

3.5 固井设计

本井固井主要目的是为了封隔易坍塌、易漏失的复杂地层,巩固所钻过的井眼,保证钻井顺畅,提供安装井口装置的基础,封隔非必须的油、气、水层等。

根据钻孔井身结构设计情况,一开设计井深 1000 m ,考虑地热井特点,采用 P.O42.5 或 P.S.A42.5 水泥体系,固井方式为内管柱法固井,水泥返高至地面;二开设计钻井长度 2100 m ,下入悬挂套管,采用 G 级水泥浆体系,考虑钻井长度较大及固井设备能力和地层可承压情况,采用“穿鞋带帽”方式固井,即悬挂套管底部向上固井约 700 m ,顶部往下固井约 500 m ,这样可以减小固井水泥对地层的压力,防止压漏地层,降低固井成本。若钻遇复杂情况,改为四开结构,三开套管根据钻井情况,下入悬挂套管后,采用 G 级水泥浆体系,使用尾管固井法,水泥返高至悬挂套管顶部。每一开次固井完成后水泥凝固 $48\sim 72\text{ h}$,进行下一开次钻井^[10]。

3.6 井控设计

根据地质设计提示,本井需配置一套压力为 35 MPa 的井口压力控制装置,确保出现意外情况时可实现关闭井口、放喷等功能以避免风险。井控设备

配置标准:井口双闸板液压防喷器、钻井四通、套管头、节流-压井管汇、远程遥控及蓄能器装置。钻井井口装置、井控管汇的配套与安装应符合行业标准《钻井井控装置组合配套、安装调试与维护》(SY/T 5964-2006)的规定要求^[11-14]。

3.7 储层保护措施

3.7.1 钻井液固相控制

根据地质设计要求,三开井段若井壁稳定,尽量采用清水钻进,若地层漏失严重或者井壁稳定性差,未使用清水钻进,钻井液体系中需严格加强固相控制,利用四级固控充分清除劣质固相,防止其进入热储层通道造成固相污染。在钻至目的层雾迷山组后,采用低固相钻井液,严格控制钻井液性能,防止污染水层。确保后续抽水试验数据的准确性。

3.7.2 操作要求

(1)开泵和起下钻要平稳操作,避免因压力“激动”导致井漏、井塌、卡钻或抽吸诱喷等复杂事故而造成热储层损害。

(2)钻井液密度执行设计下限,实钻过程中根据现场实际情况和录井压力监测调整。

(3)严格控制滤失量,防止钻井液滤液进入热储层,造成热储层污染。

(4)进入目的层前,重泥浆和加重材料储备按地热井控制要求执行,使用酸溶性加重材料。

(5)严格坐岗制度,防止因漏失钻井液及岩屑污染水层。

(6)储层段禁止使用重晶石、沥青类、磺化类会造成储层堵塞的材料。

4 施工难点和保障措施

(1)钻井区域地质条件复杂,导致井身质量控制困难。施工过程中应当密切注意地层变化情况,及时调整钻井参数和钻井液性能,确保井壁稳定,施工安全^[15]。

(2)该区地热资源较丰富,井底温度高,钻井液、水泥浆性能维护难度大。根据地层和邻井资料显示,推断本井井底温度最高可达到 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 以上,高温下钻井液和水泥浆的性能会变差,因此,应选用抗高温的钻井液和水泥浆,并制定合理的维护处理措施,以保证钻井液和水泥浆性能稳定。

(3)井漏可能性大。根据附近邻井资料显示,该井在进入雾迷山组时会发生井漏危险,钻井过程中

必须密切注意液位变化,及时调整钻井液随钻堵漏性能,确保施工安全^[16]。

(4)井涌可能性大。邻井资料显示,该区域地热井完井后为自流井,应注意防范发生溢流、井涌、井喷等有关工程情况,随时做好关井准备,确保施工安全。

(5)固井难度大,固井质量难以保证。本井一开、二开钻井深度大,口径大,套管与井壁环状间隙大,对固井泵压要求高,但泵压过高容易压漏地层,施工时根据实际情况,固井前选择合适的固井方式。

(6)施工风险大。根据现有资料,在高阳低凸起石油勘探过程中,曾钻获工业油气,为了防患于未然,要求钻井过程中密切监测天然气,同时施工单位做好钻遇可燃气体预案。

5 工程实施情况

本井施工过程中基本按照该设计进行,施工过程较顺利,目前,已圆满完成整个钻井工作,采用三开结构完钻,实际完钻井深4016.25 m。其中一开采用 $\varnothing 444.5$ mm钻头,完成钻进井段0~1018.62 m,300 m最大井斜为 0.78° ,该井段最大井斜为 1.78° ,完钻井斜 1.58° ,平均井径为480 mm,平均井径扩大率为8%;二开采用 $\varnothing 311.1$ mm钻头,完成钻进井段1018.62~3152.56 m,最大井斜为 2.06° ,平均井径为323.92 mm,平均井径扩大率为4.1%。三开采用 $\varnothing 216$ mm钻头,完成钻进井段3152.56~4016.25 m,最大井斜 5.9° ,完钻井斜 2.4° ,平均井径为226.15 mm,平均井径扩大率为4.7%。整个钻井周期历时133 d,平均钻效达1.26 m/h,各开次井径扩大率均小于10%,最大井斜均小于 6° ,一开、二开采用“穿鞋带帽”方式固井,固井质量合格,各完井参数均符合设计要求。

6 结论及建议

(1)本设计主要基于钻孔地质设计、邻井资料和相关物探资料,能够对施工提供指导方向,符合地热井设计要求。

(2)本井设计井深4000 m,地层资料准确性欠佳,采用三开结构完钻,施工难度大。

(3)本井设计井深较大,施工过程通过及时调整钻具组合,控制井斜,确保了顺利钻达目的层。

(4)一开、二开裸眼段较长,钻井液体系选择合

理,井壁稳定性保护较好,防止了钻井事故发生,确保套管顺利下入。

(5)实钻表明,钻井工程设计对施工具有直接指导作用,在编写设计时,需要尽可能查找相关地质资料,为工程提供地质依据,合理地选用钻井设备和钻井参数,完善施工应急预案,是保证施工成功的关键。

参考文献(References):

- [1] 张蕊,付春苗,王桂芹.宁东油田ND61井钻井工程设计[J].延安大学学报(自然科学版),2019,38(3):90-93,98.
ZHANG Rui, FU Chunmiao, WANG Guiqin. Drilling engineering design of ND61 Well in Ningdong Oilfield[J]. Journal of Yanan University (Natural Science Edition), 2019, 38(3):90-93,98.
- [2] 陈明,黄志远,马庆涛,等.马深1井钻井工程设计与施工[J].石油钻探技术,2017,45(4):15-20.
CHEN Ming, HUANG Zhiyuan, MA Qingtao, et al. Design and drilling of Well Mashen 1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017,45(4):15-20.
- [3] 袁后国.城探1井工程设计优化与钻井实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(8):45-50.
YUAN Houguo. Engineering drilling design optimization and drilling practice of Well Chengtan-1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(8):45-50.
- [4] 李文明,李欢欢,李义.古城7井工程钻井设计优化与钻井实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):23-28.
LI Wenming, LI Huanhuan, LI Yi. Design optimization of engineering drilling for Well Gucheng-7 and the drilling practice[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(10):23-28.
- [5] 张思民.油气田钻井设备管理探讨[J].装备制造技术,2014(1):126-127.
ZHANG Simin. Oil and gas drilling equipment management[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2014(1):126-127.
- [6] 王中华.复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J].中外能源,2014,19(1):39-48.
WANG Zhonghua. The status and development direction of plugging technology for complex formation lost circulation[J]. Sino-Global Energy, 2014,19(1):39-48.
- [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):51-53.
KONG Fanjun, YANG Zhiguang, ZHANG Shurui, et al. Test research on combined drilling techniques under conditions of high temperature and deep well in Xujiaweizi[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005,32(11):51-53.

- [8] 李砚智,张长茂.GYx地热井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):61-66.
LI Yanzhi, ZHANG Changmao. Drilling fluid technology for geothermal well GYx[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):61-66.
- [9] 黄聿铭,张金昌,郑文龙.适于深部取心钻探井超高温聚磺钻井液体系研究[J].地质与勘探,2017,53(4):773-779.
HUANG Yuming, ZHANG Jinchang, ZHENG Wenlong. Experimental study on the ultra-high temperature polysulfonated drilling fluid system suitable for deep coring drilling[J]. Geology and Exploration, 2017,53(4):773-779.
- [10] 胡晋军,和国磊,耿志山,等.天津CGSD-01地热调查井固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):26-30.
HU Jinjun, HE Guolei, GENG Zhishan, et al. Cementing technology for Tianjin CGSD-01 geothermal survey well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(1):26-30.
- [11] 王高杰.钻井井控技术中有关问题探讨[J].断块油气田,2017,24(6):851-854.
WANG Gaojie. Discussion on well control technology of drilling[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2017,24(6):851-854.
- [12] 乌其昆·卡德尔.井控设备在石油钻井施工过程中的应用[J].化工设计通讯,2017,43(11):270.
WU Qikun·Ka Deer. Application of well control equipment in oil drilling construction[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017,43(11):270.
- [13] 魏武,周长虹,邓虎,等.气体钻井井控安全分析与控制[J].钻采工艺,2018,41(5):102-104.
WEI Wu, ZHOU Changhong, DENG Hu, et al. Safety analysis and control of gas drilling well control[J]. Drilling & Production Technology, 2018,41(5):102-104.
- [14] 石绍云,邓伟,吴金生,等.大庆油田浅层气地区小口径岩心钻探井控防喷技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):14-18.
SHI Shaoyun, DENG Wei, WU Jinsheng, et al. Research on well control and blowout prevention technology for small diameter core drilling in shallow gas area of Daqing Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(6):14-18.
- [15] 郭杰.钻井施工现场风险源分析与风险控制措施[J].内蒙古石油化工,2010,36(20):31-33.
GUO Jie. Dangerous source analysis and dangerous control method in well-drilling construction spot[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010, 36(20):31-33.
- [16] 陈建兵,王振福.关中盆地地热钻井施工常见问题预防及处理方法探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):21-27.
CHEN Jianbing, WANG Zhenfu. Prevention and treatment of common problems in geothermal drilling in Guanzhong Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):21-27.

(编辑 荐华)