

冀中拗陷区域JZ04地热勘探井施工技术

伍晓龙, 杜焱森, 王庆晓, 赵远, 王晓赛

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

摘要: JZ04井是中国地质调查局在华北地区冀中拗陷区域部署的一口地热勘探井, 设计井深4000 m, 完钻井深4016.63 m, 完钻井径215.9 mm。针对一、二开井眼直径大容易产生井内坍塌、漏失、埋钻卡钻等事故, 开展了钻具组合和钻井液配比研究; 针对目的层取心效率低开展了取心技术研究。JZ04井的施工经验可为后续施工提供经验指导。另外, 对实物岩心资料、测井资料、抽水试验数据等分析, 获取该区域深部热储层厚度、温度、岩性、渗透性、出水量等参数, 为揭穿高阳低凸起中南部新生界和中一新元古界碳酸盐岩地层, 研究高阳低凸起中南部碳酸盐岩储层分布特征和深部地热资源评价工作提供基础资料。

关键词: 地热勘探井; 钻具组合; 钻井液; 取心技术; 冀中拗陷

中图分类号: P634; TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)01-0107-08

Construction technology of JZ04 geothermal exploration well in Jizhong Depression

WU Xiaolong, DU Yaosen, WANG Qingxiao, ZHAO Yuan, WANG Xiaosai

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

Abstract: Well JZ04 is a geothermal exploration well deployed by China Geological Survey in Jizhong Depression, North China. The designed depth of the well is 4000m with the completion depth of 4016.63m at 215.9mm diameter. In view of susceptible collapse, leakage and sticking due to large diameters of the first and second well sections, research were made on the drilling assembly and the fluid formula. The coring technology was studied to resolve the problem of low core recovery. The drilling experience can provide guidance for subsequent work. In addition, the thickness, temperature, lithology, permeability, water yield and other parameters of the deep thermal reservoir in the area were obtained by analyzing the physical core data, logging data and pumping test data, so as to provide basic data for exposing the Cenozoic and Meso-Neoproterozoic carbonate strata, and investigating the carbonate reservoir distribution and deep geothermal resource evaluation in the central and southern Gaoyang Low Uplift.

Key words: geothermal exploration well; drilling assembly; drilling fluid; coring technology; Jizhong Depression

1 工程概况

JZ04井是2020年中国地质调查局在华北地区冀中拗陷区域部署的一口地热勘探井, 由中国地质科学院勘探技术研究所承担实施。钻井目的^[1]是为揭穿高阳低凸起中南部新生界和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。本井设计井深4000 m, 三开 \varnothing 215.9 mm完钻, 实际完钻

收稿日期: 2022-04-26; 修回日期: 2022-09-02 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.01.016

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“冀中拗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)

第一作者: 伍晓龙, 男, 汉族, 1987年生, 高级工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 主要从事钻探设备研发及钻井工艺研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, wx11987516@163.com。

引用格式: 伍晓龙, 杜焱森, 王庆晓, 等. 冀中拗陷区域JZ04地热勘探井施工技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(1): 107-114.

WU Xiaolong, DU Yaosen, WANG Qingxiao, et al. Construction technology of JZ04 geothermal exploration well in Jizhong Depression[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(1): 107-114.

井深4016.63 m,完钻层位为蓟县系雾迷山组。

2 区域地质特征

JZ04井行政区域属保定市博野县经济开发区,位于博野县东北部,施工井位距离津石高速博野县入口约2 km,交通非常便利,通讯便捷。

施工区域位于冀中拗陷高阳低凸起博野潜山一带,高阳低凸起是一个叠置于中元古界基底之上,呈北东向展布的新生代低凸起,总的构造是东西两侧低,中间高,局部又有小潜山,其东侧高阳断层是一北东向的反坡向正断层,始于沙河街四段沉积之前,至馆陶组沉积时仍有活动。该断层是高阳低凸起与蠡县斜坡分界,其两侧是保定凹陷的董庄—温仁等断层,基底为蓟县雾迷山组地层^[2-6]。施工实际钻遇地层情况见表1。

表1 JZ04地热勘探井实际钻遇地层

Table 1 Strata actually drilled by JZ04 exploration well

地层年代	底界埋深/m	预揭露地层厚度/m
第四系	455	455
新近系明化镇组	1413	958
新近系馆陶组	1952	539
古近系东营组	2480	528
古近系沙河街组	2730	250
古近系孔店组	3040	310
寒武系馒头组	3188	148
青白口系长龙山	3240	52
蓟县系雾迷山组	4016.63(未穿)	776.63

3 钻井施工情况

3.1 钻井设备

考虑到本井设计井深4000 m,依据钻机负荷的选择原则、井控配套等的要求,同时考虑到地层的不确定性,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ZJ50型石油钻机^[7]。

3.2 各开次施工情况

一开0~1018.62 m,井径 $\varnothing 444.5$ mm。采用 $\varnothing 444.5$ mm PDC钻头钻进,在明化镇组上部稳定层位停钻,主要钻遇第四系粘土层和下部明化镇组砂岩、泥岩,钻进时控制钻压、转速,大泵量喷射钻进,确保一开井眼垂直度。加接单根时泥浆泵充分循环携砂,根据井深和钻速情况不断调整泵量和钻井液性能,满足护壁、防塌及堵漏要求,保证起下钻具通

畅。测井完通井下入 $\varnothing 339.7$ mm \times 9.65 mm套管,套管下深为1018.62 m,套管钢级为J55,采用“内插法”固井,水泥返至地面,固井深度0~1018.62 m。

二开1018.62~3152.56 m,井径 $\varnothing 311.2$ mm。使用 $\varnothing 311.2$ mm PDC钻头钻进,2020年12月23日二开中完。本开次上部地层为新近系明化镇组泥岩夹砂岩,下部为古近系沙河街组泥岩、砂岩,地层较松散,遇水易膨胀、缩径,钻井液性能以护壁和降失水为主,同时控制好粘度和密度。测井完通井下入 $\varnothing 244.5$ mm \times 8.94 mm套管,套管下深为962.38~3152.56 m,套管钢级为N80,与一开套管重合56.24 m。采用“穿鞋戴帽法”固井,固井深度962.38~1080 m、2780~3152.56 m。

三开3152.56~4016.63 m,井径 $\varnothing 215.9$ mm。使用 $\varnothing 215.9$ mm牙轮钻头钻进,本开次钻遇寒武系砂岩、蓟县系雾迷山组白云岩。测井结束,根据测井结果划分地层裂隙,通井下入 $\varnothing 177.8$ mm \times 8.05 mm实心套管和 $\varnothing 177.8$ mm \times 8.05 mm滤水管,套管钢级J55,其中实心套管下入长度569.39 m,滤水管下入长度348.07 m,累计下入套管长度917.46 m,下入套管井段为3099.17~4016.63 m。

3.3 施工钻具组合

施工过程中一开上部井段为保证开孔垂直度,采用塔式钻具,下部全部采用钟摆钻具组合,能够很好的起到稳斜效果^[8-9],取心段采用川系列取心钻具,详细钻具组合见表2。

3.4 钻井液使用情况

一开钻井液配置:清水+5%膨润土+0.4% HV-CMC+1% NH_4 -HPAN+0.5% KPAM+2% 复合沥青+片碱+纯碱,调整钻井液密度在1.01~1.15 g/cm³,漏斗粘度28~42 s,失水量10~20 mL,泥饼 ≤ 1.5 mm。

二开钻井液配置:基浆+0.3~0.4%大钾+2%硅稳定剂+2%液体降粘剂+1% LV-PAC+片碱,调整钻井液密度在1.15~1.31 g/cm³,漏斗粘度40~84 s,失水量5~15 mL,泥饼 ≤ 1 mm。

三开钻井液配置:基浆+1% LV-PAC+片碱,调整钻井液密度在1.05~1.17 g/cm³,漏斗粘度47~65 s,失水量5~6 mL,泥饼 ≤ 0.5 mm。

3.5 井身质量

JZ04井作为一口垂直型的地热勘探井,分三开完钻,其中一开井段0~1018.62 m,最大井斜为

表 2 JZ04 井钻具组合
Table 2 Drilling assembly of Well JZ04

开次	口径/ mm	钻具组合 类型	钻 具 组 合
一开	444.5	塔式/钟摆 钻具组合	Ø444.5 mm 钻头+Ø203 mm 钻铤+单流阀+Ø440 mm 螺旋扶正器+Ø203 mm 钻铤+Ø178 mm 钻铤+Ø127 mm 加重钻杆+Ø127 mm 斜坡钻杆
二开	311.2	钟摆钻具 组合	Ø311.2 mm 钻头+Ø203 mm 钻铤+单流阀+Ø308 mm 扶正器+Ø203 mm 钻铤+Ø178 mm 钻铤+Ø127 mm 加重钻杆+Ø127 mm 斜坡钻杆
三开	215.9	钟摆钻具 组合	Ø215.9 mm 钻头+Ø159 mm 钻铤+单流阀+Ø212 mm 扶正器+Ø159 mm 钻铤+Ø127 mm 加重钻杆+Ø127 mm 斜坡钻杆
		取心钻具	Ø215.9 mm 取心钻头+川 8-4 取心钻具+Ø159 mm 钻铤+Ø127 mm 加重钻杆+Ø127 mm 斜坡钻杆 Ø152.4 mm 取心钻头+川 6-4 取心钻具+Ø121 mm 钻铤+Ø89 mm 加重钻杆+Ø127 mm 斜坡钻杆

1.78°, 300 m 内最大井斜为 0.78°, 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%; 三开井段

3152.56~4016.63 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%, 完钻时整体钻井质量见图 1。

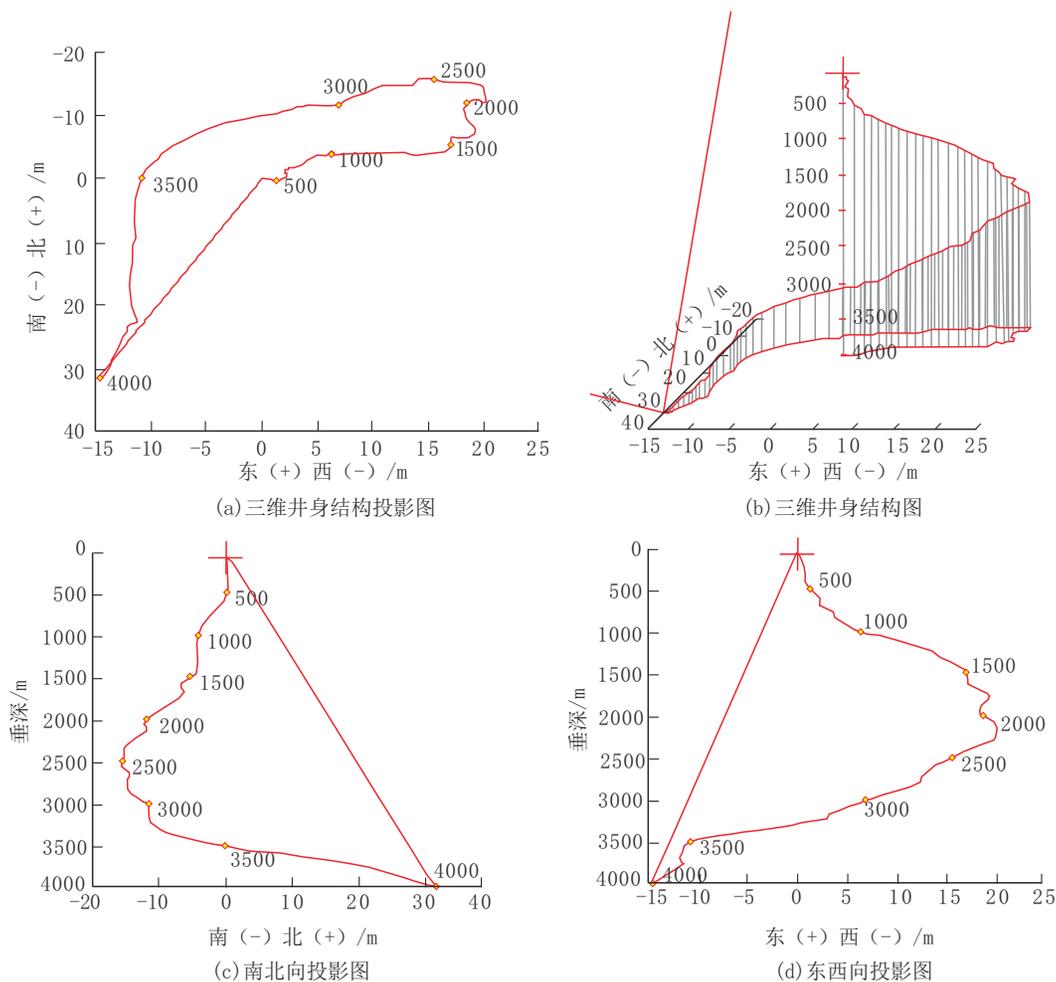


图 1 JZ04 井井身轨迹投影图
Fig. 1 Projection of Well JZ04 drilling trajectory

3.6 抽水试验

本井抽水试验井段为 3223.30~4016.63 m。试验采用 200QJR150-240、200QJR63-320 型潜水泵各 1 台。200QJR150-240 型潜水泵扬程为 240 m, 功率为 160 kW, 水量为 150 m³/h; 200QJR63-320 型潜水泵扬程为 320 m, 功率为 90 kW, 水量为 63 m³/h。潜水泵下至 249.4 m 处。试验设备包括潜水泵、井下压力传感器、电子温度计、电磁流量计、堰箱、测线等。抽水试验总计历时 359 h, 其中抽水时间 250 h, 恢复水位时间 109 h。抽水试验分 3 个落程加一次放喷试验, 持续时间分别为 106、68、41、144 h。

第一落程共进行 106 h, 抽水时间 80 h, 恢复水位 26 h, 测得动水位 150.04 m, 热水头 +38.13 m, 降深 188.17 m 时涌水量 73.663 m³/h, 单位涌水量 0.391 m³/(h·m), 温度 120.1 °C, 气水混合物流量为 227.84 m³/h。

第二落程共进行 68 h, 抽水时间 44 h, 恢复水位 24 h, 测得动水位 88.40 m, 降深 126.53 m, 水量

51.282 m³/h, 温度 118.0 °C, 单位涌水量 0.405 m³/(h·m), 气水混合物流量为 223.32 m³/h。

因本井自流情况稳定, 所以先进行放喷试验确定自流量情况。

放喷试验先进行引流, 抽水时间 29 h, 测得动水位 150.00 m, 涌水量 73.663 m³/h, 温度 120.9 °C, 气水混合物流量为 228.49 m³/h。放喷试验共进行 115 h, 其中自流 73 h, 恢复水位观测 42 h, 测得动水位 +0.75 m, 降深 37.38 m, 自流量 25.142 m³/h, 温度 110.5 °C, 单位涌水量 0.673 m³/(h·m), 气水混合物流量为 170.34 m³/h。

第三落程采用 200QJR63-320 型潜水泵, 扬程 320 m, 功率 90 kW, 最大抽水量 63 m³/h, 潜水泵下至 249.4 m 处, 共进行 41 h, 其中抽水时间 24 h, 恢复水位 17 h。测得动水位 29.34 m, 降深 67.47 m, 水量 28.895 m³/h, 温度 115.0 °C, 单位涌水量 0.428 m³/(h·m), 气水混合物流量为 190.85 m³/h。抽水试验中绘制关系曲线见图 2~4。

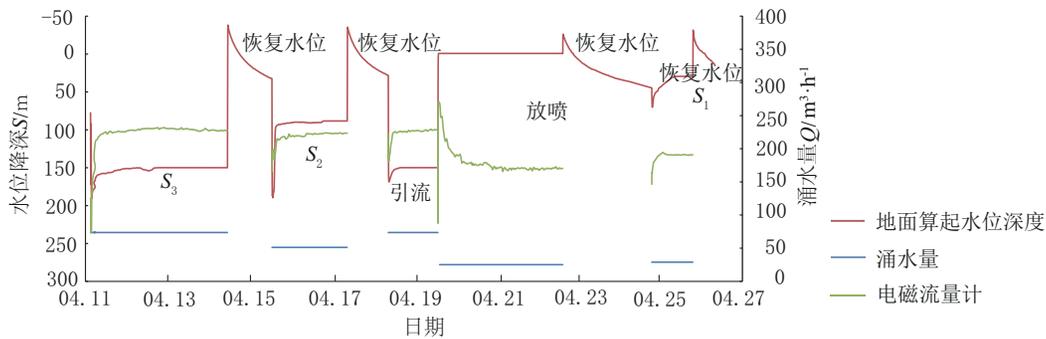


图 2 $Q, S-t$ 关系曲线

Fig. 2 Q and $S-t$ relation curves

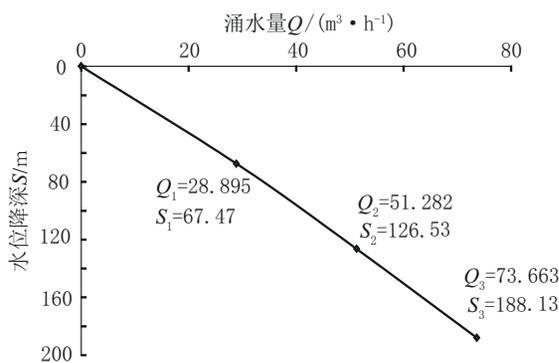


图 3 $Q=f(S)$ 关系曲线

Fig. 3 Relation curve of $Q=f(S)$

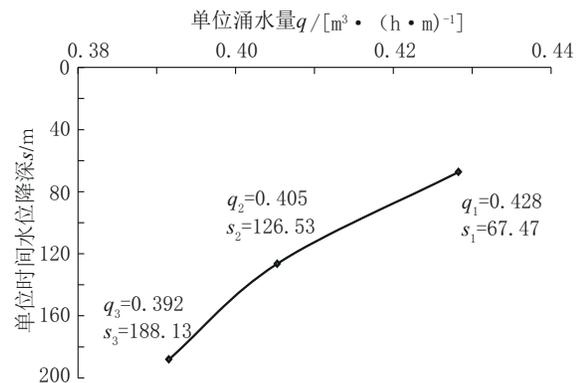


图 4 $q=f(s)$ 关系曲线

Fig. 4 Relation curve of $q=f(s)$

依据上述抽水试验过程得到抽水试验数据见表3。

4 施工难点及解决措施

JZ04井设计井深大,覆盖层厚,为顺利钻至地下热储层,按照地质要求完钻口径 ϕ 215.9 mm,上部地层一开、二开钻进过程中出现井漏、坍塌,三开进入目的层雾迷山组钻进时出现卡钻、漏失,同时裂隙发育地层取心效率低等,通过调整钻井液性能,优化钻头选型等措施,顺利完成钻井施工。

表3 抽水试验数据
Table 3 Pumping test data

落程	热水头/m	动水位/m	水位降深/m	涌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	单位涌水量/[$\text{m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{m})^{-1}$]	水温/ $^{\circ}\text{C}$
S_3		150.04	188.13	73.663	0.392	120.1
S_2		88.40	126.53	51.282	0.405	118.0
S_1	+38.13	29.34	67.47	28.895	0.428	115.0
放喷		+0.75	37.38	25.142	0.673	110.5

4.1 一、二开井眼直径大,裸眼井段长

本井一开钻进口径444.5 mm,设计钻深1400 m,实际钻深1018.62 m,钻遇地层为第四系、新近系明化镇上部。该井段钻进口径大,地层以大段泥砂岩为主,遇水易膨胀、缩径、造浆、出现井壁坍塌,漏失,增加钻井风险。施工过程一是优选聚合物钻井液体系,确保该体系中足够的大分子含量,使钻井液有足够的包被抑制能力,钻井液性能主要以防塌护壁为主^[10-14];二是采用钟摆钻具,随时调整加大泥浆泵排量,加快钻进速度,在钻进200 m左右做短起下作业,保证井眼畅通,钻至1018.62 m处分析上返岩屑稍硬,钻进参数较稳定,停止一开钻进,进行测井下套管,保证一开的顺利完钻。

二开钻进口径311.2 mm,设计钻深3100 m,实际钻深3152.56 m,钻遇地层为明化镇下部、馆陶组、东营组、沙河街组、孔店组、馒头组。本开次钻进井段跨度大,以沙河街组为界,上部井段以泥砂岩为主,钻井液密度和粘度较小,进入沙河街组后有大段砂泥岩,易吸水膨胀出现垮塌,需提高钻井液密度和粘度,降低失水量,施工过程中在钻井液中加入沥青类、大分子、细目碳酸钙等改善泥饼质量,加入乳化

沥青提高钻井液防塌、润滑性能,降低钻具摩阻,每隔150~200 m进行短起下一次,确保井眼顺畅。最终钻进至3152.56 m处停止二开钻进,测井后迅速下入二开套管。

4.2 孔店组出现严重漏失

钻进至2029 m孔店组时井口钻井液突然失返,发生严重漏失,漏失前上返岩屑为砖红色砂质泥岩,未见灰岩或白云岩,分析原因孔店组地层岩性以泥岩为主,施工对钻井液密度、粘度要求不能太大,但该层位于沙河街组以下,在沙河街组施工时为保证井壁稳定,钻井液密度和粘度较大,在突然穿过沙河街组进入孔店组时,由于钻井液密度较大,瞬间压漏地层,出现井内大量漏失。

漏失发生后立即抢起钻具,同时连续向井筒灌浆,保持井内有一定量的钻井液,维持井壁稳定,同时配堵漏浆60 m^3 (堵漏浆配方为:清水+土粉+磺化沥青PAC-LV+重晶石+15%复合堵漏剂+5%单项压力封闭剂+5%DSA+3%细目碳酸钙+黄原胶提粘至滴流),起钻至套管内,将堵漏浆用小排量泵注入井内,注堵漏浆过程中井口返出钻井液量较小,堵漏浆全部注入井内后进行静止堵漏,在静止堵漏期间配地面钻井液,15 h后开始下钻,下钻过程中返浆正常,每下200~300 m小排量循环一周,返浆正常,基本无漏失,下钻到底后小排量循环无漏失,随后缓慢将排量提至钻进时排量,基本无漏失,恢复钻进后,在钻进过程中仍有渗漏现象,漏速在1.5~2 m^3/h ,钻井液消耗量较大,每天配随钻堵漏新浆40 m^3 左右进行补充,连续堵漏钻进约10 d,基本恢复正常,开始正常钻进,正常堵漏过程累计消耗钻井液约400 m^3 。

4.3 目的层取心效率低

JZ04井施工目的层为蓟县系雾迷山组,地质设计要求该层位取心不少于4个回次,岩心采取率 \geq 60%。采用川7-4取心钻具配金刚石取心钻头,回次进尺最大不足1 m,钻头磨损严重,取心时泵压较高,钻进效率低。为改善取心效果,采用川6-4取心钻具,配套PDC取心钻头,取心效果虽有所改善,但蹦齿严重。调整取心钻头PDC复合片直径由18 mm改为12 mm时,取心效果最佳,钻头的磨损小,蹦齿少,取心效率高,取心效果有所改善,初步解决取心回次进尺低、岩心采取率低等问题,满足取心要求。

分析整个取心过程发现,所钻雾迷山组白云岩硬而脆,具有很强的研磨性,对金刚石取心钻头材质要求高,要使金刚石钻头达到好的效果又需要较高的转速,而钻机转盘速度较低,金刚石不易开刃,不易进尺,岩心易重复破碎,导致钻头磨损严重,取心效果不佳。采用PDC钻头取心钻进时复合片以冲击破碎为主,而大直径复合片耐冲击性小于小直径复合片,所以大直径复合片易崩齿,而小直径复合片则效果较好,具有很好的经济实用性。

5 取得的成果

5.1 钻井技术成果

5.1.1 实现大井深条件三开完钻

JZ04井设计井深4000 m,完钻目的层为蓟县系雾迷山组,考虑到钻井过程中不可遇见性较大,预测地层情况与实钻地层有一定的差距,加之该地区热储层埋深大,覆盖层厚,容易出现井漏、坍塌、卡钻、埋钻等钻井事故^[15-18],同时,本井按照地质设计要求,完钻口径尽量不小于215.9 mm,因此,井身结构设计和施工需综合考虑上述因素,根据井身结构设计原则,设计三开 $\varnothing 215.9$ mm完钻,预留四开 $\varnothing 152$ mm口径。实际施工过程中,经过项目组人员对钻具组合优化、钻井液材料性能控制、钻井参数合理选择、地层分界面判断并及时下入各开次套管,各项技术措施得当,最终在保证完成地质目标和钻井目标

的前提下,实现大井深条件三开完钻,其中二开裸眼段长度2133.94 m,三开完钻口径 $\varnothing 215.9$ mm,满足后续地质试验需求。完钻井身结构见图5。

5.1.2 完成取心作业,获取实物岩心

按照钻井地质设计要求,全井进行岩屑编录,换层进行取心,进入目标储层后加密取心。本井设计取心9回次,实际取心14回次,总进尺58.93 m,岩心总长49.49 m,平均岩心采取率82.68%。岩心采取质量控制符合设计要求,取心统计见表4。

5.1.3 总结水热型地热钻探完井工艺

根据本井的实施,总结出适用于工作区的水热型地热钻探完井工艺方法,通过优化钻具组合、钻井液配比、堵漏、取心等技术,优选配置钻头、钻具,实现高效钻进,解决了裂隙发育地层中提高钻效、防漏失、取心的技术难题。初步形成复杂地层中提高钻效、防漏失、取心的高效地热钻探技术方法。

5.2 地质成果

5.2.1 初步查明工作区的地层序列

通过岩心、岩屑录井并结合物探测井工作,基本查清了工作区地层层序及主要岩性特征。JZ04地热勘探井揭露并完善了博野县城东北部发育的地层变化情况,为研究高阳台凸的深部地层提供了全新的资料。本井自上而下钻遇地层为第四系,新近系明化镇组、馆陶组,古近系东营组、沙河街组、孔店组,寒武系馒头组,青白口系长龙山组,蓟县系雾迷

表4 取心情况统计

Table 4 Coring results

回次编号	取心井段/m	回次进尺/m	岩心长度/m	岩心取心率/%	地层	岩性	岩心直径/mm
1	1050.67~1057.28	7.20	6.12	85.00	明化镇组	泥岩夹砂岩	101
2	1314.04~1315.39	1.35	1.22	90.37	明化镇组	泥岩夹砂岩	101
3	1517.53~1524.51	6.98	4.37	62.61	馆陶组	砂岩	101
4	1953.48~1954.68	1.20	1.02	85.00	东营组	泥岩	101
5	1954.68~1963.30	8.62	8.02	93.04	东营组	泥岩夹砂岩	101
6	2513.01~2521.69	8.68	8.25	95.05	沙河街组	砂岩夹泥岩	101
7	2765.65~2774.01	8.36	7.11	85.05	孔店组	泥岩夹砂砾岩	101
8	3196.63~3200.96	4.33	4.23	97.69	寒武系	页岩夹砂岩	70
9	3246.91~3247.64	0.73	0.45	61.64	雾迷山组	泥质白云岩	70
10	3407.35~3407.47	0.12	0.12	100.00	雾迷山组	泥质白云岩	70
11	3407.47~3411.25	3.78	3.06	80.95	雾迷山组	白云岩	70
12	3785.20~3788.05	2.85	1.75	61.40	雾迷山组	白云岩	70
13	3902.34~3904.84	2.50	1.92	76.80	雾迷山组	白云岩	70
14	4014.40~4016.63	2.23	1.85	82.96	雾迷山组	白云岩	70

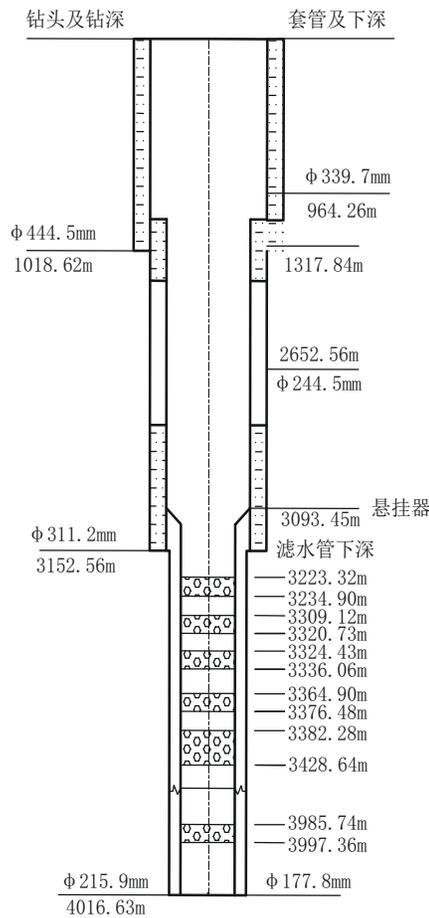


图 5 JZ04 井完钻井身结构

Fig. 5 Structure of Well JZ04 drilling and completion

山组(未揭穿)(见表 5)。

表 5 JZ04 井预计揭露地层与实际揭露地层

Table 5 Predicted and actual strata exposed in Well JZ04

地层年代	预计揭露地层		实际揭露地层	
	底界埋深/m	预揭露地 层厚度/m	底界埋深/m	预揭露地 层厚度/m
第四系	430	430	455	455
新近系明化镇组	1400	970	1413	958
新近系馆陶组	1900	500	1952	539
古近系东营组	2900	1000	2480	528
古近系沙河街组			2730	250
古近系孔店组	3100	200	3040	310
寒武系馒头组	—	—	3188	148
青白口系长龙山组	—	—	3240	52
蓟县系雾迷山组	4000	900	4016.63	776.63
			(未穿)	(未穿)

5.2.2 钻获地温场特性

测井显示井底最高温度 135.049 °C,代入相关计算公式,得到本井钻遇地层地温梯度如表 6 所示。

表 6 地温梯度

Table 6 Geothermal gradients

地层	新生界	寒武系	青白口系	蓟县系雾迷山组
地温梯度/[°C·(100m) ⁻¹]	3.35	4.93	5.48	1.13

5.2.3 钻获深部热储层特征

JZ04 勘探井利用热储为蓟县系雾迷山组岩裂隙热储,岩性主要为灰、灰白色白云岩、泥质白云岩,含燧石。裂隙发育段总厚度 297.3 m,占地层总厚度的 38.28% (储厚比),孔隙度加权平均值为 5.07%,渗透率加权平均值为 $6.46 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,抽水试验获得热水头 +38.13 m,动水位埋深为 150.04 m,水位降深 188.17 m 时涌水量 $73.663 \text{ m}^3/\text{h}$,单位涌水量 $0.391 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$,井口气水混合物温度 $120.1 \text{ }^\circ\text{C}$,气水混合物的流量为 $227.84 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

6 结论和建议

(1)通过本井施工,对大深度地热勘探井井身结构设计、钻井液配比、取心钻具的选用积累了经验。

(2)分析本井获取的实物岩心、岩屑资料,初步查清该区域地层层序及主要岩性特征,揭露并完善了工作区岩性发育及地层变化情况,为研究高阳台凸的深部地层提供了全新的资料。

(3)通过对本井水位、水量、水温进行定期监测,建立地下热水动态档案,可为该区域地热井利用提供相关数据。

本井作为冀中拗陷区域博野县境内最深的地热勘探井,其成果资料具有一定的科研参考价值,希望有关单位能够依托钻井资料,结合该区域地热井资料,对该区域地热资源合理利用提供指导方向。

参考文献 (References):

[1] 伍晓龙,杜焱森,王庆晓.冀中拗陷区域 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.

[2] 常健,邱楠生,赵贤正,等.渤海湾盆地冀中拗陷现今地热特征[J].

- 地球物理学报, 2016, 59(3): 1003-1016.
- CHANG Jian, QIU Nansheng, ZHAO Xianzheng, et al. Present-day geothermal regime of the Jizhong depression in Bohai Bay Basin, East China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 59(3): 1003-1016.
- [3] 叶大师, 丁文龙, 汤小琪, 等. 冀中坳陷蠡县斜坡中北部油藏油水同成因机制探讨[J]. 特种油气藏, 2021, 28(4): 55-61.
- YE Dashuai, DING Wenlong, TANG Xiaoqi, et al. Exploration of the genetic mechanism of oil-water coexistence in oil reservoirs in the North-Central area of Lixian Slope in Jizhong Depression[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 28(4): 55-61.
- [4] 毛翔, 汪新伟, 郭世炎, 等. 高阳地热田及邻区地热资源形成机制[J]. 中国岩溶, 2021, 40(2): 273-280.
- MAO Xiang, WANG Xinwei, GUO Shiyan, et al. Genetic mechanism of geothermal resources in the Gaoyang geothermal field and adjacent areas[J]. Carsologica Sinica, 2021, 40(2): 273-280.
- [5] 刘金龙, 李胜利, 梁星如, 等. 冀中坳陷蠡县斜坡古近系沙一下亚段沉积物源分析[J]. 古地理学报, 2016, 18(5): 809-817.
- LIU Jinlong, LI Shengli, LIANG Xingru, et al. Provenance analysis of the lower part of member 1 of Paleogene Shahejie Formation in Lixian Slope, Central Hebei Depression[J]. Journal of Palaeogeography, 2016, 18(5): 809-817.
- [6] 王朱亭, 张超, 姜光政, 等. 雄安新区现今地温场特征及成因机制[J]. 地球物理学报, 2019, 62(11): 4313-4322.
- WANG ZhuTing, ZHANG Chao, JIANG Guangzheng, et al. Present-day geothermal field of Xiongan New Area and its heat source mechanism[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2019, 62(11): 4313-4322.
- [7] 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.
- [8] 殷朝阳, 柏景海, 何俊才. 直井防斜钻具组合技术综述[J]. 天然气工业, 2000, 20(1): 50-53.
- YIN Chaoyang, BO Jinghai, HE Juncai. A summarization of deviation-controlling drilling tool assembly technique for straight well[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(1): 50-53.
- [9] 康建涛, 苏海峰, 张川, 等. BH-VDT大尺寸垂直钻井工具设计优化与应用[J]. 长江大学学报(自科版), 2021, 18(6): 63-68.
- KANG Jiantao, SU Haifeng, ZHANG Chuan, et al. Design optimization and application of BH-VDT large size vertical drilling tool[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2021, 18(6): 63-68.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 李祝智, 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 和国磊, 宋志彬, 胡志兴, 等. 东丽湖地热钻探CGSD-01井钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(4): 7-13.
- HE Guolei, SONG Zhibin, HU Zhixing, et al. Summary of drilling and completion technology for Well CGSD-01 in Dongli Lake geothermal drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4): 7-13.
- [16] 高鹏举, 董向宇, 马峰, 等. 雄安新区D15地热勘探井钻探施工技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(3): 106-112.
- GAO Pengju, DONG Xiangyu, MA Feng, et al. Drilling technology for D15 geothermal exploration well in Xiong'an New Area[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3): 106-112.
- [17] 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.
- [18] 樊腊生, 贾小丰, 王贵玲, 等. 雄安新区D03地热勘探井钻探施工实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(10): 13-22.
- FAN Lasheng, JIA Xiaofeng, WANG Guiling, et al. Drilling practice of D03 geothermal exploration well in Xiongan New Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(10): 13-22.

(编辑 王文)