

平顶山北地热示范区PBR01井钻探技术研究与分析

孟祥瑞^{1,2}, 谢永德^{1,2}, 祁新堂^{1,2}, 郭佳欢^{1,2}, 康善修²

(1. 河南省有色金属地质矿产局第四地质大队, 河南 郑州 451450;
2. 河南省金属矿产深孔钻探工程技术研究中心, 河南 郑州 451450)

摘要:为打赢大气污染防治攻坚战和燃煤替代任务,平顶山市委市政府委托河南省有色金属地质矿产局组织开展平顶山地区地热勘查开发工作。根据对区域地质情况和地层特点,河南省有色金属地质矿产局自行设计并组织施工了平顶山北地热示范区PBR01井。文章从钻探设备选型、施工工艺选择、钻井液配置等方面介绍了项目设计和施工的全过程;通过钻井的施工,解决了本地区大口径深孔钻进难题,为本地区后续开发应用起到了良好的示范作用;通过对钻时曲线的分析,掌握了本地区不同地层钻进效率情况,提出了提高大直径硬岩钻进效率的方案。

关键词:地热井施工;钻井液配置;钻时曲线分析;钻进效率研究

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0264-05

Drilling technology for PBR01 geothermal well in North Pingdingshan Geothermal Demonstration Zone

MENG Xiangrui^{1,2}, XIE Yongde^{1,2}, QI Xintang^{1,2}, GUO Jiahuan^{1,2}, KANG Shanxiu²

(1. The Fourth Geological Brigade of Henan Province Non-ferrous Metals Geological and Mineral Resources Bureau, Zhengzhou Henan 451450, China;

2. Henan deep hole drilling engineering technology research center of Henan Province, Zhengzhou Henan 451450, China)

Abstract: In order to win the battle of preventing and controlling air pollution, fulfil the task of replacing coal burning, the Pingdingshan Municipal Party Committee and Government entrusted Henan provincial Non-ferrous Metals Geological Mineral Resources Bureau to organize the geothermal exploration and development in Pingdingshan area. According to the regional geological conditions and stratigraphic characteristics, Henan Provincial Non-ferrous Metals Geological Mineral Resources Bureau designed and organized the construction of well PBR01 in north Pingdingshan geothermal demonstration area. This paper introduces the whole process of the project designing and constructing from the aspects of drilling equipment selection, construction technology selection and drilling fluid configuration. Through drilling construction, the problem of large-diameter deep hole drilling in this area has been solved, which has played a good demonstration role for the subsequent development and application in this area. Through the analysis of the drilling time curve, the drilling efficiency of different areas in this region is understood, and the scheme to improve the large diameter drilling efficiency in hard rocks is put forward.

Key words: geothermal construction, drilling fluid configuration, drilling time curve analysis, drilling efficiency study.

0 引言

地热能是一种巨大的潜在能源,它可以通过火山爆发、喷泉、岩石的热传导形式向地表传递热量,是一种优质的清洁能源。我国地热能储量丰富,但目前资源利用程度较低、开发利用潜能巨大^[1-3]。如能大规模的进行地热能开发,可带来良好的经济效

益和环境效益^[4-5]。

习近平总书记在十九大报告中指出发展清洁能源是改善能源结构、保障能源安全、推进生态文明建设的重要任务。2019年10月11日,国务院总理李克强在主持召开的国家能源委员会会议上强调,要推动能源生产消费转型升级,保障能源安全。

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.044

作者简介:孟祥瑞,男,汉族,1985年生,地质工程专业,硕士,主要从事固体矿产钻探、地热井施工、岩土工程勘察相关方面的工作,河南省郑州市金水东路16号,mxr198501@126.com。

引用格式:孟祥瑞,谢永德,祁新堂,等.平顶山北地热示范区PBR01井钻探技术研究与分析[J].钻探工程,2021,48(S1):264-268.

MENG Xiangrui, XIE Yongde, QI Xintang, et al. Drilling technology for PBR01 geothermal well in North Pingdingshan Geothermal Demonstration Zone[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1):264-268.

为打赢大气污染防治攻坚战和燃煤替代任务,平顶山市市委市政府委托河南省有色金属地质矿产局组织开展平顶山地区地热勘查开发工作。

为科学合理有效地开发地热,按“示范先行、逐步推广”的原则,河南省有色金属地质矿产局自行设计并组织施工了平顶山北地热示范区PBR01井,利用示范井勘查成果,评价主要目标热储层的地热资源量,探索出一套适合示范区地热勘查开发的工作

流程,为后续大面积勘查开发工作提供了基础数据支撑。

1 区域地质情况

区域内揭露地层由老到新有:太古宇变质岩系、新元古界震旦系、下古生界寒武系、上古生界石炭—二叠系、中生界三叠系及新生界古近系—第四系,地层如表1所示。

表1 钻井地层岩性概况

地层	岩性	底板埋深/m	揭露地层厚度/m
第四系(Q)	粘性土、细砂、卵砾石	200	200
二叠系(P)	细—中粒砂岩、泥岩	1337	1137
石炭系(C)	石灰岩、泥岩、砂岩	1424	87
寒武系(ε)	白云质灰岩、灰岩	2214	790
震旦系(Z)	砂质、泥质页岩,砂质砾岩	2248.56	34.56

2 钻井任务要求

(1)地热井按地热地质勘查孔的技术要求钻井施工,准确获取钻井地质及地热参数资料的前提下,开展抽水试验及水质检测分析工作;

(2)查明利用热储层段的岩性、空间分布、空隙率、渗透性及产能;

(3)查明热储盖层岩性、厚度变化、热储的封闭情况及其地热增温率;

(4)查明地热水物理性质与化学组分,并对其可利用方向做出评价;

(5)计算评价地热井地热资源量、可开采的控制范围、可开采量及采灌井距的确定,提出地热资源保护与可持续开发利用的建议。

3 钻井施工情况

3.1 施工仪器设备的选择

PBR01勘查井为一口三开直井,该井设计深度2250 m,结合区域地层特点,地热钻井拟采用ZJ30型钻机进行施工,本钻机主要配置见表2。

表2 钻机主要配置

名称	型号	规范或特征	载荷/kN	数量
钻机	ZJ30		1960	1
泥浆泵	3NB-1300	956 kW		1
振动筛	BL-50	处理量 180 m ³ /h		2

3.2 井身结构

勘查井计划工期6个月,经过前期准备,项目于2020年1月9日开工,2020年6月22日完钻,用时165 d,受新冠疫情影响60 d,实际施工用时105 d,实际完钻井深2248.56 m。根据地层特点及分层抽水需要,钻井设计为一口三开直井^[6]。因目前的国内常用的分层抽水工艺同径止水效果不能完全保证,为实现后期不同热储层的分层抽水,在三开2005 m处使用变径接头产生变径台阶,下部下139.7 mm套管至井底,从而在后期分层抽水试验时可在2005 m处实现异径分层止水,保证分层抽水质量。钻井井身结构见图1。

3.3 钻井施工工艺及施工情况分析

3.3.1 一开钻进施工工艺

0.00~137.15 m,采用 $\varnothing 444.5$ mm牙轮钻头钻进,钻穿粘土及地表松散冲积层,钻进至137.15 m完钻。下入规格 $\varnothing 339.7$ mm \times 9.65 mm,J55表层套管(石油套管)。

施工难点:该井段地层胶结性差、疏松,含流沙层、砾石层井壁不稳定,易坍塌掉块,渗透率高,易漏失,钻井液消耗量大。

钻具组合: $\varnothing 444.5$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 203$ mm钻铤4根+ $\varnothing 159$ mm钻铤8根+ $\varnothing 127$ mm钻杆,常规转盘回转钻进。

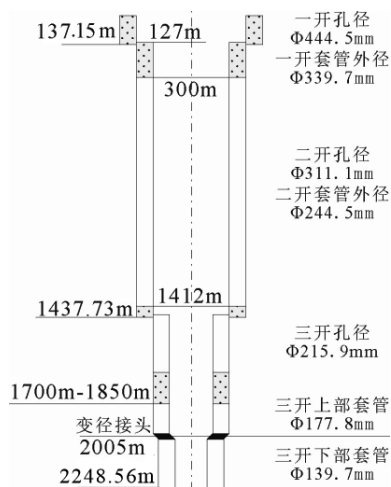


图1 PBR01 勘查井井身结构

钻井液采用聚合物钻井液体系^[7-9],钻井液配置见表3,钻井液性能详见表4。

表3 钻井液配置情况一览表

钻井配方	数量	加入时间
基浆/ m^3	40	配置时加入
搬土/t	4	配置时加入
纯碱/t	0.6	配置时加入
片碱/t	0.2	配置时加入
大钾/t	0.05	预水化24h后加入
铵盐/t	0.1	预水化24h后加入
腐钾/t	0.2	预水化24h后加入

表4 钻井液性能

性能	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	粘度/s	pH	失水量/ mL	泥饼厚/ mm
参数	1.08~1.15	32~40	8~9	10~15	<1

3.3.2 二开钻进施工工艺

137.15~1437.73 m,采用 $\Phi 311.2$ mm牙轮钻头及PDC钻头钻进至井深1437.73 m完钻,进行测井、下二开套管及滤水管,下入规格 $\Phi 244.5$ mm \times 8.94 mm的J55石油套管。

施工难点:上部井段泥页岩存在造浆问题,下部煤层井壁易掉块、垮塌及井漏。

钻具组合: $\Phi 311.2$ mm钻头+变径+ $\Phi 203.2$ mm钻铤4根+变径+ $\Phi 177.8$ mm钻铤6根+变径+ $\Phi 158.9$ mm钻铤4根+变径+ $\Phi 127$ mm钻杆+变径+主动钻杆。

钻井液配制:二开后由于原泥浆在扫水泥塞时受到钙侵,决定在出套管前排掉一部分泥浆,将泥浆粘度控制在38 s左右;同时由于泥岩造浆,需连续少量加入大钾溶液减少钻井液中的固相;为防止缩径,还应加入少量铵盐降失水,控制泥岩水化;由于地层压力高,在整个过程中泥浆密度严格控制在 1.15 g/cm^3 以内^[7-8]。

3.3.3 三开钻井施工情况

1437.73~2248.56 m,采用 $\Phi 215.9$ mm牙轮钻头或 $\Phi 215.9$ mm PDC钻头钻进,钻进至井深2248.56 m。

施工难点:钻进目的含水层及断层带易造成井漏、井塌及埋钻事故。

钻具组合: $\Phi 215.9$ mm钻头+变径+ $\Phi 177.8$ mm钻铤6根+变径+ $\Phi 158.9$ mm钻铤8根+变径+ $\Phi 127$ mm钻杆+变径+方钻杆。

钻井液的配制:三开钻井液的配置主要应提高钻井液的抑制性能,控制粘土矿物水化分散,要有较好的流变性能和造壁性能以降低钻井液向地层渗失^[9]。钻井液粘度控制在40 s左右,保证钻井液的携带能力,减少井内沉屑。

3.3.4 射孔

因本井下管时采用了挂网缠丝的滤水管,过水通道小,且在钻进至漏失严重地层时被迫使用了惰性堵漏材料,存在过水通道被堵死而影响出水量的可能性。为增加下部水层出水量,本井对三开富含水层、疑似断裂带和钻进漏失地层进行射孔,每段射孔5~15 m,总射孔长度60 m(见图2)。

3.3.5 空压机洗井

射孔结束后,为进一步打开钻井下部出水通道,提高水量水温,本井在射孔结束后采用SF-10/250型空压机进行洗井,该空压机排气量为 10 m^3/min ,最大排气压力25 MPa。

具体施工原理如下:用空压机直接注入高压气体,实现限气量或者限压力可控井喷,对地层瞬时减压10~15 MPa,不断减压又不断恢复,实现地层吞吐清洗效果^[10]。

3.3.6 钻井施工情况分析

由钻井的钻时曲线可知,本井的日均进尺约为20 m,具体钻进时间及钻进效率详见图3、表5。但在钻井的549~647 m处平顶山砂岩段地层岩石致密坚硬,石英含量达80%、耐研磨性强,可钻性可达



图2 射井车施工及射井弹夹照片

10~11。在钻探施工中主要表现为钻头打滑、磨损严重,另外钻头保径效果也很差,且钻进效率极低,日均进尺不足7 m,个别部分日进尺仅2~4 m。

4 提高硬岩地层大口径深孔钻进效率的研究

通过对我局以往施工的地热井施工调查,大直

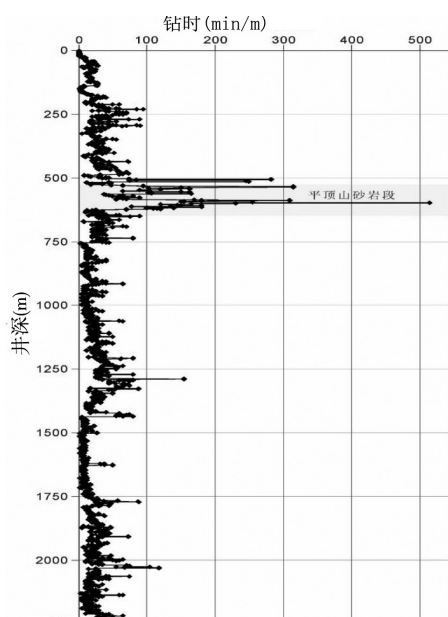


图3 PBR01勘查井钻时曲线

表5 PBR01 勘查井钻进时间及钻进效率统计

名称	数量
井深/m	2248.56
台月数/月	3.68
台月效率/m	661.01
纯钻进效率/(m·h ⁻¹)	1.99
综合效率/(m·h ⁻¹)	1.1
钻探总用时/h	2041.67
纯钻时间/h	1129.17
辅助时间/h	726.08
机械事故时间/h	102.75
孔内事故时间/h	83.67
等待时间/h	557.5
外因影响施工等待时间/h	421.5
测井后等待通知时间/h	136

径硬岩钻探施工难已成为一个共性问题。探索提高硬岩地层大口径深孔钻进效率的研究不仅迫切而且十分必要,对以后类似地层的施工具有指导意义。

下一步我们准备从优化钻头性能和改变钻头破岩机理入手,通过实际钻进过程各项参数的收集、整理、统计和分析,探索一套中深层地热成井标准化施工工艺。

4.1 不同钻头的优化对比试验

在现场钻至目标地层时采样3~5 m,送钻头生产厂家或其它有相应资质的实验室进行试验,测定其硬度、研磨性等参数。为加快施工进度也可以选取原来施工钻孔相同的地层岩心,但应保证岩样保存完好、未风化。根据试验结果,选择3~4种不同厂家、不同形式、不同配比的全面钻进不取心牙轮钻头、复合片钻头、金刚石钻头,进行对比试验,找出钻进效率最高的钻头类型。

4.2 不同钻头破岩机理对比试验

在目标地层中进行常规回转钻进、机械式高速旋转冲击钻进、螺杆马达钻进及高速涡轮钻进效率的对比试验,找出适合该地层的钻进方法。

4.3 数据分析及总结

将上述优化钻头性能试验和改变钻头破岩机理试验两组优化对比试验结果进行分析,形成一套硬岩地层快速成孔标准化施工工艺,为今后在类似地层的施工提供科学依据。

5 结论

(1)PBR01是平顶山地热田的首井,是本区地热资源勘查开创性的工作。该井的成功实施,填补了本区无地热资源开发利用的空白。不仅确定了该区的中深层地热资源具有供暖、康养等重要价值,而且为平顶山市供暖提供了新的清洁热源,具有重要的引领和示范意义。

(2)通过本井的地层特点选取了合适的钻机、钻具及施工工艺,钻井按期顺利完钻。根据本井钻探施工特点及钻时曲线分析,提出了提高硬岩地层大口径深孔钻进效率的研究方案。

(3)在施工中采用了高压空压机洗井、射孔等地热井增产工艺,进一步提升了河南省有色金属地质矿产局热井的施工水平,为以后地热井设计、施工和科研工作打下坚实的基础。

参考文献:

[1] 詹麒,崔宇.我国地热资源开发利用现状与前景分析[J].理论

月刊,2010(8):170-172.

- [2] 裴海平.地热资源开发利用的现状、存在问题及对策——以安阳为例[J].中国科技信息,2008(22):18.
- [3] 卢予北,张古彬,陈莹.河南省地热资源开发利用现状与问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):35-39.
- [4] 喻海洋.浅析中国地热资源开发利用的经济意义[J].华章,2011(16):314.
- [5] 冀英梅.某地热田开发对环境的影响及环境保护[J].科技信息,2011(20):342,345.
- [6] 潘东懿,汤振清,吴绍清.地热井深孔钻进工艺研究[J].山东煤炭科技,2006(4):59.
- [7] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].武汉:中国地质大学出版社:110-111.
- [8] 张天龙,屈俊瀛,霍仰春.低固相聚合物泥浆在山西煤层气井中的应用[J].西安石油学院学报(自然科学版),2001(1):33-35.
- [9] 黄聿铭,张金昌,杨钦明.钾铵聚合物泥浆在地热钻井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):265-268.
- [10] 朱丽君.煤田地质勘探中空压机洗井的运用初探[J].设备管理与维修,2019(2):161-163.