

# 平顶山北地热示范区PBR01井钻探施工实践

祁新堂, 谢永德, 郭佳欢, 任飞飞, 刘 梁, 李越飞

(河南省有色金属地质矿产局第四地质大队, 河南 郑州 450016)

**摘要:** PBR01井是河南省有色金属地质矿产局在平顶山北组织实施的一口地热勘查示范井。完井深度2248.56 m, 终孔直径216 mm。施工过程中遇到涌水、漏失、坍塌掉块、水敏失稳造浆等复杂地层及岩心采取率低等问题。本文从地层情况、井身结构设计、钻井工艺技术等方面介绍了该井的施工情况, 总结取得的成果。通过采用改善钻井液性能、工艺堵漏、改进坚硬地层取心工艺、平衡法固井等措施解决施工中遇到的难题, 为今后该地区中深部地热钻探积累一定的经验和技能。

**关键词:** 平顶山北地热示范区; 地热勘查; 复杂地层钻进; 坚硬地层取心; 漏失层固井; 射孔

**中图分类号:** P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0275-06

## Drilling of Well PBR01 in the North Pingdingshan Geothermal Demonstration Area

QI Xintang, XIE Yongde, GUO Jiahuan, REN Feifei, LIU Liang, LI Yuefei

(No.4 Geological Brigade of Henan Nonferrous Geological Mineral Resource Bureau, Zhengzhou Henan 450016, China)

**Abstract:** Well PBR01 is a geothermal exploration demonstration well organized and implemented by Henan Nonferrous Metal Geology and Mineral Resources Bureau in the north of Pingdingshan. The completion depth is 2248.56 m and the final hole diameter is 216 mm. In the process of drilling, there were some problems, such as water gushing, leakage, collapse and stone falling, water sensitive instability, low efficiency of core recovery. This paper introduces the construction of the well from the aspects of geological formation, well structure design and drilling technology, and summarizes the achievements. By improving the performance of drilling fluid and plugging technology, improving the coring technology in hard formation, balanced cementing and other measures, the problems encountered in the construction were solved, and some experience and technology were accumulated for the middle and deep geothermal drilling in this area in the future.

**Key words:** North Pingdingshan Geothermal Demonstration Zone; geothermal exploration; drilling in complex formation; coring in hard formation; cementing in lost zone; perforation

### 0 引言

地热是自然赋予人类宝贵的资源和能源, 具有分布广泛、储量巨大、持续稳定等特征。

作为国家大力提倡发展的新能源, 地热能源和煤、石油、天然气等化石能源相比, 具有清洁、安全、绿色、环保等特点。可广泛用于清洁供暖、旅游度假、理疗康养、观光农业、工业焙干、发电等产业领

域。大力推进地热资源勘查开发对发展绿色低碳经济和大气污染防治具有十分重要的现实意义<sup>[1-6]</sup>。地热勘查开发利用越来越被人们所重视, 水热型地热资源勘查主要涉及水文地质、地球物理、地球化学等专业, 最终的勘查结果及开发利用均需要钻探工程来实现, 因此钻探在地热勘探、开发过程中作为主要的技术手段发挥着相当大的作用<sup>[7-9]</sup>。为完

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.046

作者简介: 祁新堂, 男, 汉族, 1970年生, 高级工程师, 长期从事钻探施工管理及技术研究方面工作, 河南省郑州市郑东新区中牟县郑开大道与雁鸣路交叉口路南有色地矿科技产业园C座1011室, 1193723138@qq.com。

引用格式: 祁新堂, 谢永德, 郭佳欢, 等. 平顶山北地热示范区PBR01井钻探施工实践[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 275-280.

QI Xintang, XIE Yongde, GUO Jiahuan, et al. Drilling of Well PBR01 in the North Pingdingshan Geothermal Demonstration Area [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 275-280.

成平顶山市大气污染防治、燃煤替代任务,平顶山市人民政府委托河南省有色金属地质矿产局进行平顶山市地热资源勘查开发工作。

PBR01井是由河南省有色金属地质矿产局在平顶山北部地区部署并实施的一口水热型地热资源勘查示范井,旨在揭示平顶山北部地区中深部热储的空间分布形态,评价地热资源潜力及可利用性,探索出一套适合示范区的地热勘查开发工作流程,为后续大面积勘查开发工作提供基础数据支撑。

## 1 工程概况

### 1.1 勘查井施工情况

勘查井为三开直井,设计井深2250 m,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,受新冠疫情影响2个月,实际施工用时3.5个月,实际完钻井深2248.56 m(一开137.15 m、二开1437.73 m、三开2248.56 m),终孔直径216 mm,同时完成录井、取心、测井、下管、固井等工作。

### 1.2 地质条件

平顶山凸起地质构造既受华北板块控制,更重要的是受秦岭造山带的控制<sup>[10-13]</sup>,褶皱、断裂多属嵩淮弧的构造成分。工作区位于河南省中南部,伏牛山区以北,西邻宝丰、郟县山间盆地,向东逐步过渡为平原,为一地垒形构造。

由于经历多次强烈的构造运动和地壳运动,并伴有不同规模的岩浆侵入,所以呈现了地质构造的复杂性和多样性,为地热资源的形成提供了条件<sup>[14-15]</sup>。

### 1.3 地层

本区属山前冲洪积平原,地层由老到新为:新太古界变质岩系、中元古界长城系—蓟县系、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。实际钻遇地层情况见表1。

### 1.4 热储特征

平顶山地热田是一个隐伏地热田,工作区热储层有二叠系砂岩裂隙热储层,石炭系岩溶裂隙热储层,寒武系顶部古风化壳岩溶裂隙热储层,寒武系中上统张夏组岩溶热储层,寒武系朱砂洞组岩溶热储层。本井钻探目标热储层为二叠系砂岩裂隙热储层,寒武系张夏组,朱砂洞组碳酸盐岩热储层。二叠

表1 PBR01勘查井钻遇地层

地层	岩性特征	底板埋深/m	揭露地层厚度/m
第四系 Q	粘性土、细砂、卵砾石	123.00	123.00
二叠系 P	细—中粒砂岩、泥岩	1337.00	1214.00
石炭系 C	石灰岩、泥岩、砂岩	1424.00	87.00
寒武系 ɛ	白云质灰岩、砂岩、页岩	2214.00	790.00
震旦系 Z	泥岩、砂质泥岩	2248.56 (未揭穿)	34.56

系砂岩裂隙热储层富水岩性以细粒、中粗粒砂岩为主;寒武系张夏组富水岩性以厚层状白云岩、鲕状灰岩为主;寒武系朱砂洞组富水岩性以厚层状豹皮状灰岩及白云质灰岩为主。以上3个热储全区均有发育。

## 2 钻井质量指标及技术要求

### 2.1 钻井质量要求

PBR01井设计井深2250 m,井斜率要求<sup>[16-17]</sup>:300 m内 $\nlessgtr 1^\circ$ ,1000 m内 $\nlessgtr 3^\circ$ ,2000 m内 $\nlessgtr 7^\circ$ ,2000 m以深终孔 $\nlessgtr 10^\circ$ ;井深误差 $\nlessgtr 1/1000$ 。

### 2.2 岩屑样及岩心采取要求

岩屑样热储井段每1~2 m取一个,在接近或钻达热储层时应加密采取。每个岩屑样 $\nlessgtr 500$ g。

粘性土、胶结性较好的砂岩、完整基岩岩心采取率平均 $\nlessgtr 70\%$ ;风化或破碎基岩平均采取率 $\nlessgtr 40\%$ 。每组地层1组岩样,每组岩样不少于6块,每块岩样长度要大于直径的2倍,且岩样完整。

## 3 钻探施工

### 3.1 井身结构

PBR01井设计完钻井深2250 m,完钻层位预测为新元古界震旦系东坡组。由于钻井中不可预见的因素较多,实际钻探中地质情况与预计有一定差别。因此确定井身结构时应充分考虑地层和压力的变化,选择的套管程序应为各开次钻井留有余地,以保证完成钻探目的。

一开采用 $\varnothing 444.5$  mm牙轮钻头钻至井深137.15 m,钻穿粘土及地表松散冲积层,下入 $\varnothing 339.7$  mm $\times 9.65$  mm的J55表层套管(石油套管),下入深度0~137.15 m。

二开采用 $\varnothing 311.2$  mm牙轮钻头及PDC钻头钻

至井深 1437.73 m,进行测井并下入  $\Phi 244.5 \text{ mm} \times 8.94 \text{ mm}$  的 J55 石油套管及滤水管,下入深度 127~1437.73 m。

三开采用  $\Phi 215.9 \text{ mm}$  牙轮钻头或  $\Phi 215.9 \text{ mm}$  PDC 钻头钻至井深 2248.56 m,进行测井并下入  $\Phi 177.8 \text{ mm} \times 8.04 \text{ mm}$  及  $\Phi 139.7 \text{ mm} \times 9.17 \text{ mm}$  的 J55 石油套管及滤水管,下入深度 1427~2248.56 m。实际井身结构如图 1 所示。

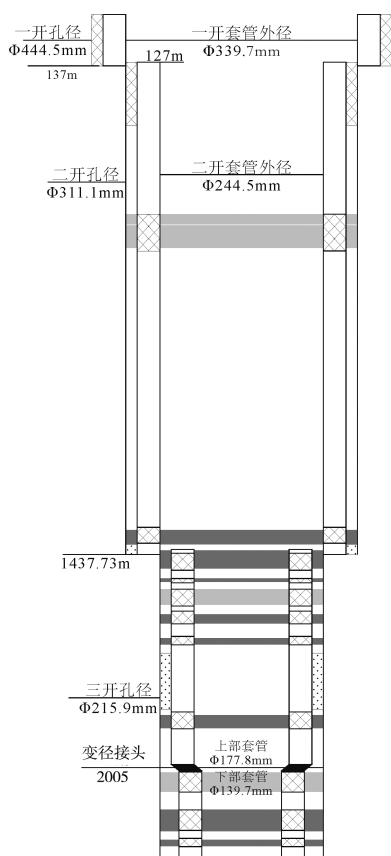


图 1 井身结构示意图

## 3.2 设备选型

选用 ZJ30 型石油钻机,主要配置见表 2。

## 3.3 钻进工艺

### 3.3.1 一开井段

井深 0~137.15 m,为第四系地层,岩性以粘土、泥层和砂砾为主,需改善钻井液性能,提升携沙及护壁功能,采用大泵量小钻压吊打钻进工艺<sup>[18]</sup>。一开完钻下入  $\Phi 339.7 \text{ mm} \times 9.65 \text{ mm}$  的 J55 表层套管(石油套管),下入深度 0~137.15 m。用 P042.5 普通硅酸盐水泥固井至地表。

表 2 钻机主要设备性能

名称	型号	规范或特征	载荷/kN	数量
钻机	ZJ30		1960	1
井架	TJ170		1960	1
天车	TC-250		2450	1
游车	YC-250		2450	1
大钩	DG-250		2450	1
水龙头	SL-225	中心管内径75mm		1
转盘	ZP-520A	通孔 520 mm	1960	1
井架底座				1
泥浆泵	3NB-1300	956 kW		1
动力机	PZ12V190B-1	1000 kW		3
控制系统	FKQ4005A			1
振动筛	BL-50	180 m <sup>3</sup> /h		2
储备罐	ZXZ×32			4

钻具组合: $\Phi 444.5 \text{ mm}$  钻头 +  $\Phi 197 \text{ mm}$  螺杆 +  $\Phi 165 \text{ mm}$  钻铤 9 根 +  $\Phi 127 \text{ mm}$  钻杆。

钻进参数:钻压 10~200 kN,转速 58 r/min,泥浆泵排量 26 L/s。

钻井液参数:水基低固相聚合物钻井液体系,密度 1.05~1.08 g/cm<sup>3</sup>,粘度 50~60 s,失水 <10 mL/30min,pH 值 9,含沙量 1% 左右,泥饼厚度 <1 mm。

### 3.3.2 二开井段

井深 137.15~1437.73 m,为二叠系、石炭系及寒武系地层,岩性以砂岩、泥岩和石灰岩为主,地层互层变化频繁。钻进时采用大泵量,中一大钻压钻进工艺。二开完钻后下入  $\Phi 244.5 \text{ mm} \times 8.94 \text{ mm}$  的 J55 石油套管及滤水管,下入深度 127~1437.73 m。用 P042.5 普通硅酸盐水泥进行“穿鞋戴帽”固井。

常规钻具组合: $\Phi 311.2 \text{ mm}$  钻头 +  $\Phi 203 \text{ mm}$  钻铤 7 根 +  $\Phi 178 \text{ mm}$  钻铤 9 根 +  $\Phi 127 \text{ mm}$  钻杆。

动力钻具组合: $\Phi 311.2 \text{ mm}$  钻头 +  $\Phi 197 \text{ mm}$  螺杆 +  $\Phi 158 \text{ mm}$  钻铤 9 根 +  $\Phi 127 \text{ mm}$  钻杆。

取心钻具组合: $\Phi 190 \text{ mm}$  取心钻头 + 川 7-4 取心筒 +  $\Phi 158 \text{ mm}$  钻铤 13 根 +  $\Phi 127 \text{ mm}$  钻杆。

钻进参数:钻压 40~180 kN,转速 63 r/min,泥浆泵排量 30 L/s。

取心钻进参数:钻压 5~50 kN,转速 60 r/min,泥浆泵排量 30 L/s。

钻井液性能:密度 1.10~1.21 g/cm<sup>3</sup>,粘度 31~75 s,失水 4~10 mL/30min,pH 值 9~10,含沙量

0.8%~1.2%,泥饼厚度 $\leq 1$  mm。

### 3.3.3 三开井段

井深 1437.73~2248.56 m,为寒武系及震旦系地层,岩性以白云质灰岩和砂岩为主。采用螺杆马达+PDC 钻头钻进,通过提高钻速减少泥浆对储层的侵入污染,保护储层。三开完钻后下入下入  $\varnothing 177.8$  mm $\times$ 8.04 mm 及  $\varnothing 139.7$  mm $\times$ 9.17 mm 的 J55 石油套管及滤水管,下入深度 1427~2248.56 m。

动力钻具组合: $\varnothing 215.9$  mm PDC 钻头+171 mm LG+ $\varnothing 158$  mm DC $\times$ 9 根+ $\varnothing 127$  mm DP。

取心钻具组合: $\varnothing 215$  mm 取心钻头+川 7-4 取心桶+ $\varnothing 159$  mm 钻铤 $\times$ 9 根+ $\varnothing 127$  mm 钻杆。

钻进参数:钻压 20~50 kN,转速 60 r/min,泥浆泵排量 30 L/s。

取心钻进参数:钻压 5~60 kN,转速 60 r/min,泥浆泵排量 30 L/s。

钻井液性能:密度 1.03~1.08 g/cm<sup>3</sup>,粘度 30~38 s,失水 <10 mL/30min,pH 值 9~10,含沙量 <0.5%,泥饼厚度 $\leq 0.5$  mm。

## 4 施工难点及应对措施

施工过程中遇到第四系地层松软坍塌、平顶山砂岩坚硬取心难、泥页岩水敏失稳造浆、地层涌水、地层漏失、固井困难等问题。通过采用控制起下钻速度、减少抽吸及压力激动对孔壁的破坏、改善钻井液性能、堵漏工艺、改进取心工艺、平衡法固井等措施解决了施工过程中的问题。

### 4.1 地层松软坍塌

一开井段地层胶结性差、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。

采取的措施:采用聚合物钻井液体系。选用优质泥浆材料,改善钻井液性能,提高钻井液护壁能力(适当提高钻井液粘度并降低失水量);控制钻进速度,采用大泵量小钻压吊打钻进工艺。

具体钻井液配方:清水+5%膨润土+0.4%CMC+0.05%KPAM+0.1%NH<sub>4</sub>-PAN+0.2%腐钾+火碱+纯碱。

### 4.2 水敏地层失稳造浆

二开上部井段泥页岩造浆,下部煤层易掉块垮塌。

采取的措施:采用低固相聚合物钾基钻井液体系。为控制泥岩造浆,必须采取有效措施减少钻井

液中的固相,并且连续少量加入钾盐溶液,以使固相絮凝减少固相含量。控制泥岩水化,防缩径,且加入少量铵盐降失水。钻井液性能以护壁、抑制造浆和降失水为主,同时控制好粘度和密度。钻进过程中随时监测钻井液各性能指标,适量调整泥浆材料控制钻井液性能,以保证钻井施工顺利进行。

具体钻井液配方:基浆+0.1~0.2%KPAM+1%LV-PAC+1%复合沥青+0.1%NH<sub>4</sub>-PAN+0.2%腐钾+1%降粘剂+火碱。

### 4.3 地层漏失

钻井钻进至 2137 m 时,钻孔出现较大漏失,最大时漏失 15 m<sup>3</sup>/min,一个班漏失 80 m<sup>3</sup>,钻孔已不返浆。

采取的措施:在二开钻井液配方的基础上,加入 1% 随钻堵漏材料及一定数量的惰性材料,能迅速形成具有一定强度的非渗透性屏蔽阻止钻井液中的液、固相侵入储层,对漏失地层封堵效果较好。

### 4.4 地层涌水

二开钻进至 166~230 m 时,钻孔出现涌水。顶水钻进,结果涌水量越来越大,最大时达 160 m<sup>3</sup>/h,造成水泵排不及而无法继续钻进。

采取的措施:使用加重材料的钻井液治水涌。根据井深及水涌情况计算出井底压力,配制一定数量的加重钻井液,控制住了地层涌水,保证了钻井正常进行。

具体配方为:清水+5%膨润土+7.5%重晶石粉+0.4%CMC+火碱+纯碱,调整钻进液密度 1.18 g/cm<sup>3</sup>,粘度 75 s。

### 4.5 取心困难

在钻进至 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。在钻探施工中钻头打滑、磨损严重,钻进效率极低,为提高取心效率及岩心采取率采取如下措施:

(1) 优选取心钻头。根据地层情况,使用 PDC 钻头可提高机械钻速,小直径复合片可减小对岩心的破坏,因此小切削齿 PDC 钻头对地层的适应性较好。

(2) 采用孔底动力钻具取心。通过提高转速加快钻头切入地层速度,使得岩心能够在较短时间内进入取心筒。使用孔底动力钻具可提高钻头转速,减小钻头的横向切力和钻柱离心力。

本次应用川 7-4 系列取心钻具配合  $\varnothing 172$  螺杆

马达进行取心作业并严格控制钻进参数,提高了取心效率和岩心采取率。普通PDC钻头转盘驱动与小切削齿PDC钻头螺杆驱动取心情况对比见表3。

表3 普通PDC钻头转盘驱动与小切削齿PDC钻头螺杆驱动取心情况

钻头类型	驱动方式	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	岩心采取率/%
普通PDC钻头	转盘	0.3~0.4	70~82
小切削齿PDC钻头	螺杆	0.8~1.1	85~95

#### 4.6 二开套管“戴帽”固井困难

二开套管按设计要求进行了“穿鞋戴帽固井”,但在完钻进行抽水试验时发现二开套管顶部与一开套管重叠段存在漏水现象,说明固井不成功。在第一次固井时,就考虑到二开井段上部钻进时存在涌水现象,固井作业存在一定的难度。因此,在二开套管顶部以下300 m位置采用正注反挤固井300 m,为保证固井质量,又在二开套管顶部采用自然沉降法进行了固井,但最终还是没有成功,说明涌水及漏失地层固井是一难题。

为了满足抽水试验及评价要求,必须封固二开套管与一开套管重叠段。认真总结上次固井失败的经验教训,并咨询地热方面有关专家,依据压力平衡原理,归纳总结出了注完水泥浆后的稳定液面及钻杆下入位置的计算公式,这在漏失井段固井是关键一点。

$$h_1 = (\rho_m / \rho_w) h_m - h_m + h_0 \quad (1)$$

式中: $h_1$ ——新平衡液面深度,m; $h_m$ ——水泥浆柱高度,m; $h_0$ ——原平衡液面深度,m; $\rho_m$ ——水泥浆密度,g/cm<sup>3</sup>; $\rho_w$ ——清水密度,g/cm<sup>3</sup>。

$$H = H_1 - H_2 - h_m + H_x \quad (2)$$

式中: $H$ ——钻杆下入位置,m; $H_1$ ——二开套管顶部的深度,m; $H_2$ ——理论上水泥浆柱下行距离,可根据不同套管环空容积差别具体调整, $H_2 = (\rho_m / \rho_w - 1) h_m$ ,m; $H_x$ ——浮动系数,取值范围20~30 m,考虑套管内预留水泥塞的高度。

井口未密封,二开套管顶部深度127 m,原稳定液面深度27.75 m。为保证固井质量,注入水泥浆4 m<sup>3</sup>,水泥浆密度1.80 g/cm<sup>3</sup>,水泥浆柱高度50 m。注入替浆水1.6 m<sup>3</sup>,理论计算新稳定液面为67.75 m,液面稳定过程中将水泥浆柱下推40 m,Ø127 mm钻

杆下入深度67 m,距二开套管顶部60 m。注入水泥浆并打替浆水完成后候凝72 h下钻扫塞,塞顶面115.5 m至重叠管口127 m处都是完整的水泥塞,试压后确定固进成功。

## 5 取得的成果

### 5.1 完成钻井任务,保证了施工质量

PBR01井在钻探施工过程中,完成了一开、二开、三开的钻井、录井、测井、下套管、固井等任务,完钻井深2248.56 m,完成率99.94%。全井最大井斜位于2150 m,井斜4.91°,井底2147 m位置井斜3.72°;最大井径扩大率位于1650 m,井径扩大率12.98%;孔深误差0.69%。各项指标完全满足规范及设计要求。

### 5.2 平顶山地热田的首井,示范作用明显

PBR01井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。初步查明了区内热储层及盖层的分布,岩性及裂隙发育特征,地温场的垂向变化规律,地热流体质量,为评价平顶山中深层地热田资源提供了有力支撑。

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。

### 5.3 厘清了平顶山凸起寒武系地层层序

平顶山凸起以往揭露地层以寒武系以上地层为主,对该地区寒武系及以下地层了解有限,本次通过录井、收集资料、咨询专家,现场查看剖面等方法基本厘清了平顶山地区寒武系地层层序,为以后在该区开展基础地质工作和地热勘查开发提供了重要依据。

### 5.4 初步查明了本区的地热地质条件

(1)通过地质录井、物探测井等技术手段揭示,本井的主要盖层为新生界(厚约120 m),热储层为二叠系石千峰组、石炭系太原组、寒武系崮山组、张夏组及朱砂洞组,未见断层影响,因此本区热储类型应以沉积盆地传导型层状为主,构造发育部位地热资源潜力更大。

(2)通过资料收集、物探测温基本查明工作区地温场特征。恒温带温度为17.2℃,深度为25 m,平均地温梯度为3℃/100 m。

根据地热流体分析检测结果,地热水中氟、偏硼酸、偏硅酸均达到了有医疗价值浓度,本井是一口优

质的理疗级地热井,具有广泛的开发利用前景。

### 5.5 探索射孔等地热井成井施工工艺,为以后地热井设计、施工和科研工作奠定基础

平顶山北地热示范区PBR01井采用了挂网缠丝的滤水管,过水通道小,且在钻进时使用了堵漏材料。为保证过水通道畅通,根据录井及物探测井情况,探索在三开、四开富含水层、疑似断裂带和钻进漏失地层中进行射孔。每段射孔5~15 m,总射孔长度60 m,如表4所示。上述层段为 $\varnothing 177.8$  mm和 $\varnothing 139.7$  mm套管,分别选用127型和89型射孔弹进行射孔作业,射孔数15个/m,相邻弹孔成 $90^\circ$ 相位。射孔作业完成后取出射孔枪,全部射孔器材起爆正常。

表4 射孔位置

地层	射孔弹型号	射孔位置/m	备注
寒武系 张夏组	127	1460~1465,1470~1475	含水层
		1544~1549,1556~1561	疑似断裂带
		1670~1675	含水层
寒武系 朱砂洞组	89	1871~1876,1883~1888	含水层
		2009~2014,2132~	漏失、含水
		2137,2143~2148	层
		2207~2212,2217~2222	含水层

## 6 结语

在平顶山北地热示范区完成了PBR01地热勘查井钻完井施工任务,对井身结构、钻井液、钻进参数、取心钻具及固井等方面进行了优化,为后续大面积勘探开发地热资源提供了一定的经验和技術方法。获取了岩心、岩屑实物资料并通过物探测井,基本厘清了地层厚度、岩性及裂隙发育特征,初步查明了本区的地热地质条件,为平顶山北地热示范区地

热资源勘查开发提供了一定的数据和技术支撑。

### 参考文献:

- [1] 吴焯,王建华,卢予北.“钻探”在民生地质工作中的作用与地位[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(11):1-5.
- [2] 胡童颖,董向宇,冉恒谦,等.地热井钻井液对井壁温度分布的影响研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):20-25.
- [3] 刘波.地热井开发现状分析及前景展望[J].石化技术,2015(4):153.
- [4] 许刘万,伍晓龙,王艳丽,等.我国地热资源开发利用及钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):1-5.
- [5] 卢予北,李艺,卢玮,等.新时代地热资源勘查开发问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):1-8.
- [6] 张伟.高温岩体热能开发及钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):219-224.
- [7] 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.
- [8] 张哈,卢玮,黄烜,等.河南省水热型地热成因模式及钻探方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):8-14,20.
- [9] 和国磊,宋志彬,胡志兴,等.东丽湖地热钻探CGSD 01井钻完井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):7-13.
- [10] 陈艳,张招崇,朱江.河南省安林砂卡岩型铁矿的成岩时代和成矿物质来源探讨[J].岩石学报,2014,30(5):1307-1321.
- [11] 陈毓川,裴荣富,王登红.三论矿床的成矿系列问题[J].地质学报,2006,80(10):1501-1508.
- [12] 中国地质调查局发展研究中心.中国断代大地构造图[M].北京:地质出版社,2014.
- [13] 朱炳泉,常向阳,邱华宁,等.地球化学急变带的元古宙基底特征及其与超大型矿床产出的关系[J].中国科学(D辑:地球科学),1998(S2):63-70.
- [14] 彭松民,李振国,王令全,等.河南省侵入岩构造单元的划分及其特征[J].矿产与地质,2014,28(3):264-271,283.
- [15] 河南省地质矿产局.河南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.
- [16] GB/T 11615—2010,地热资源地质勘查规范[S].
- [17] DZ/T 0260—2014,地热钻探技术规程[S].
- [18] 狄勤丰,沈双平.防斜打快技术的研究与发展[J].自然杂志,2003,26(2):111-115.