

南华北盆地太康隆起地热调查尉热1井钻井技术

郭充¹, 朱怀亮^{1,2,3*}, 杨忠彦¹, 王丽妍¹, 蔡金盟¹, 李文龙¹, 林圣明¹, 张钰琪¹

(1. 天津地热勘查开发设计院, 天津 300250; 2. 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京 100083;
3. 陆内火山与地震教育部重点实验室(中国地质大学, 北京), 北京 100083)

摘要: 尉热1井是河南省国土资源厅在南华北地区太康隆起西段部署的一口地热调查井, 设计井深3000 m, 完钻井深3306.80 m, 是南华北地区深度最大的地热井。区域内构造发育, 且缺乏邻井参考资料, 地热地质研究程度较低, 所钻遇地层复杂, 施工中易出现坍塌、掉块等孔内复杂情况。通过优选钻探设备、钻进参数选择、钻井液体系等措施, 保障了钻井工程的顺利实施, 为该地区深部地热钻探施工提供了借鉴和指导作用。对实物岩心资料、物探测井数据、降压试验数据等分析, 获取了热储层厚度、岩性、孔隙度、渗透率、单井涌水量、出水温度等参数, 揭示了该区深部热储发育特征及开发潜力, 为今后地热勘探开发提供了指导方向。

关键词: 地热调查井; 钻井技术; 取心技术; 降压试验; 尉热1井; 太康隆起; 南华北盆地

中图分类号: TE249;P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0384-08

Drilling technology of Well Weire-1 for geothermal geological survey in western Taikang Uplift, South North China Basin

GUO Chong¹, ZHU Huailiang^{1,2,3*}, YANG Zhongyan¹, WANG Liyan¹,

CAI Jinmeng¹, LI Wenlong¹, LIN Shengming¹, ZHANG Yuqi¹

(1. Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, Tianjin 300250, China;

2. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Key Laboratory of Intraplate Volcanoes and Earthquakes (China University of Geosciences, Beijing),
Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Well Weire-1 is a geothermal exploration well deployed by Department of Land and Resources of Henan Province in western Taikang Uplift, South North China. The designed depth of the well is 3000m with the completion depth of 3306.80m, which is the deepest geothermal well in South North China area. The fault was well developed, and the reference materials from adjacent wells were lacking. The geothermal geology research is not thorough and the formation is extremely complex, which are prone to collapse and block falling during drilling. In view of the difficulties in drilling works, optimization of drilling equipment, drilling parameter selection, drilling fluid systems was conducted. These measures have ensured the smooth implementation of drilling operations and provides reference and guidance for the construction of deep geothermal drilling in this area. In addition, Thermal reservoir thickness, lithology, porosity and permeability, water yield, hot water temperature 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, and the development characteristics and development potential of deep heat storage in this area are revealed, which provides a guiding direction for future geothermal exploration and development.

收稿日期: 2024-06-04; 修回日期: 2024-07-18 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.062

基金项目: 河南省国土资源厅2017年度省财政地质勘查项目“郑州航空港经济综合试验区(尉氏段)地热资源调查”(豫国土资发[2017]22号-40)资助

第一作者: 郭充, 女, 汉族, 1989年生, 工程师, 从事地热钻探及勘查工程技术研究工作, 天津市河东区卫国道189号, 15022036415@163.com。

通信作者: 朱怀亮, 男, 汉族, 1986年生, 高级工程师, 博士在读, 主要从事地热地质及地球物理勘查技术研究工作, 天津市河东区卫国道189号, huailiang_1987@163.com。

引用格式: 郭充, 朱怀亮, 杨忠彦, 等. 南华北盆地太康隆起地热调查尉热1井钻井技术[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 384-391.

GUO Chong, ZHU Huailiang, YANG Zhongyan, et al. Drilling technology of Well Weire-1 for geothermal geological survey in western Taikang Uplift, South North China Basin[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 384-391.

Key words: geothermal survey well; drilling technology; coring technology; pumping test; Well Weire-1; Taikang Uplift; South North China Basin

0 引言

尉热 1 井是 2017 年河南省国土资源厅(现河南省自然资源厅)在南华北盆地太康隆起西段部署的一口地热调查井,由河南省有色金属地质矿产局第六地质大队进行工程部署,天津地热勘查开发设计院承担实施。该井钻探目的为揭露太康隆起西部砖楼凹陷带地层发育情况,获取岩心岩屑实物和钻井、测井、录井等相关数据资料,探明砖楼凹陷带热储埋藏深度并获取热储层水温、水量,为评价地热资源潜力和地热开发利用建设提供必要的科学依据和数据支撑。本井设计井深 3000 m,四开 $\varnothing 152.4$ mm 完钻,实际完钻井深 3306.80 m,完钻层位为寒武系张夏组。

1 地质概况

1.1 地质构造

南华北盆地位于我国东部,地处河南、山东、安徽、江苏四省交界处,主体位于河南省境内,总面积约为 15×10^4 km²,大地构造位置属于华北板块南部

及其南缘^[1]。南华北盆地相比北部渤海湾盆地地热研究程度低,从区域地质条件和地热背景出发,并与渤海湾盆地对比分析,认为南华北盆地热储层为两层结构系统,上层为新近系孔隙型热储层,分布遍布全区;下层为下古生界岩溶裂隙型热储层,普遍被新生界或上古生界盖层掩盖^[2-5]。

太康隆起是南华北盆地北部的二级构造单元^[6],北接开封坳陷,南邻周口坳陷,总体构造格局为“两坳夹一隆”,其次级构造单元从西到东可划分为鄆陵凸起、砖楼凹陷、通许凸起、邢口凹陷以及商丘凸起^[7-10]。太康隆起整体呈 NWW 向带状展布,东西长约 220 km,南北宽约 70 km,面积约为 1.6×10^3 km²,其构造格局及地层保存等多受秦岭-大别造山带南北向挤压作用的影响^[11]。工作区所在的砖楼凹陷是太康隆起的次级构造单元,北以中牟-开封断裂与济源-开封凹陷为界,南以新郑-太康断裂与鄆陵凸起相接,东以尉氏断裂与通许凸起相邻(见图 1)。

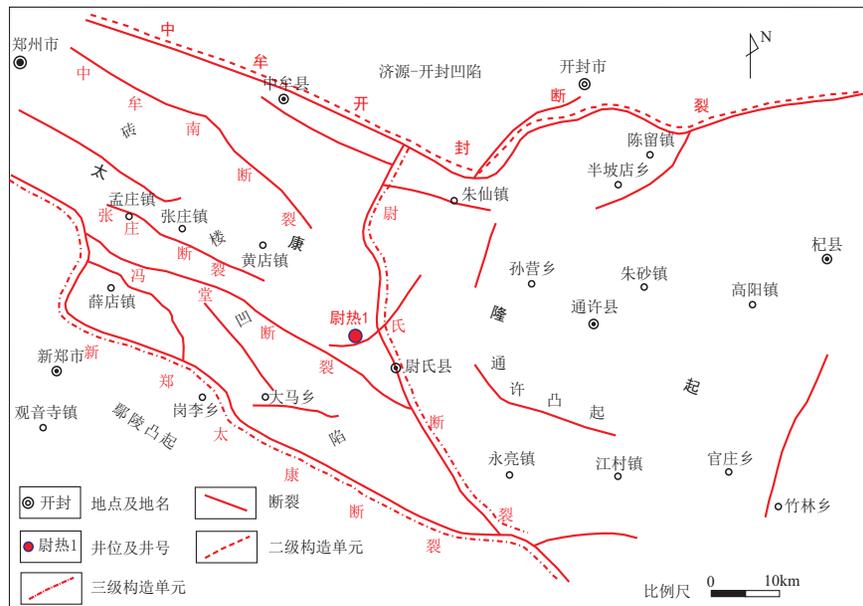


图 1 太康隆起西段构造单元划分(据文献[9],有修改)

1.2 地层特征

尉热 1 井钻遇地层依次为第四系,新近系明化镇组和馆陶组,三叠系,二叠系石千峰组、上石盒子

组、下石盒子组、山西组、太原组,石炭系本溪组,奥陶系马家沟组,寒武系三山子组、炒米店组、崮山组和张夏组。施工实际钻遇地层情况见表 1。

表1 尉热1井钻遇地层情况

系	组	代号	顶深/m	底深/m	厚度/m	地层岩性描述
第四系		Q	0	354	354	分散状未成岩的砂质粘土
新近系	明化镇组	N _m	354	720	366	棕红、棕黄色泥岩、粉砂质泥岩为主,与棕黄色中细砂岩、粗砂岩互层
	馆陶组	N _g	720	1150	430	棕红色、黄褐色泥岩与棕褐色、棕黄色、灰白色中细砂岩、粗砂岩、砂砾岩互层
三叠系		T	1150	1698	548	棕色、棕紫色泥岩与棕红色、浅棕色粉砂岩、泥质粉砂岩等厚互层
二叠系	石千峰组	P _{3s}	1698	2222	524	褐色、棕褐色、棕红色、灰绿色粉砂岩、粉砂质泥岩
	上石盒子组	P _{2s}	2222	2524	302	灰白色、灰绿色、青灰色粉砂岩、泥质粉砂岩与棕褐色泥岩互层
	下石盒子组	P _{2x}	2524	2782	258	青灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩
	山西组	P _{1sh}	2782	2864	82	深灰色、青灰色泥岩与灰色泥质粉砂岩、灰绿色、灰色细砂岩互层
	太原组	C ₂ P _{1t}	2864	2944	80	灰色灰岩与黄绿色细砂岩为主,夹灰黑色炭质泥岩、泥页岩
石炭系	本溪组	C _{2b}	2944	2954	10	浅灰色铝土质泥岩、灰黑色泥岩夹薄煤层
奥陶系	马家沟组	O _{2m}	2954	3110	156	深灰色灰岩、泥质灰岩、白云岩
	三山子组	Є _{3s}	3110	3155	45	灰白色含燧石结核白云岩、粉晶白云岩
	炒米店组	Є _{3c}	3155	3175	20	灰黄色细晶白云岩、微晶白云岩
寒武系	崮山组	Є _{3g}	3175	3221	46	黄色泥晶白云岩、亮晶白云岩
	张夏组 (未穿)	Є _{2z}	3221	3306.80	85.8	灰色厚晶鲕粒白云岩、粉晶白云岩

2 钻井施工情况

2.1 井身结构

尉热1井设计完钻井深3000 m,设计完钻层位预测为奥陶系马家沟组。实际完钻井深为3306.80 m,裸眼完钻,完钻层位为寒武系张夏组。具体井身结构如下:

一开采用 $\varnothing 444.5$ mm钻头钻进至井深205.55 m,下入 $\varnothing 339.7$ mm \times 9.65 mm J55钢级套管,采用“内插法”固井工艺,全井段水泥固井,水泥返至地面,固井深度0~205.55 m。固井结束后候凝72 h后进行套管试压,套管试压合格。

二开采用 $\varnothing 311.2$ mm钻头钻进至井深1299.86 m,下入 $\varnothing 244.5$ mm \times 8.94 mm J55钢级套管,下入深度175.22~1299.86 m,与一开套管重叠30.33 m。采用“穿鞋戴帽法”固井,固井结束后憋压候凝72 h,然后进行声波幅度测井,显示固井质量良好。本开次钻遇地层主要为第四系下部、新近系明化镇组和馆陶组以及三叠系上部。

三开采用 $\varnothing 215.9$ mm钻头钻进至井深2958.88 m,下入 $\varnothing 177.8$ mm \times 8.05 mm J55钢级套管,下入深度1264.06~2958.88 m,与二开套管重叠35.80 m。同样采用“穿鞋戴帽法”固井,固井结束后候凝72 h,声波幅度测井显示固井质量良好。本开次钻

遇地层复杂,主要为三叠系,二叠系石千峰组、上石盒子组、下石盒子组、山西组、太原组,石炭系本溪组。

四开采用 $\varnothing 152.4$ mm钻头钻进至井深3306.80 m裸眼完钻,本开次主要钻遇地层为寒武—奥陶系灰岩、白云岩。

尉热1井井身结构如图2所示。

2.2 钻井设备

根据钻遇地层情况、设计井深等条件,选择ZJ30型石油钻机,主要配置见表2,施工现场见图3。

2.3 施工钻具组合

施工过程中一开井段为保证开孔垂直度,采用塔式钻具,防止开孔井斜;二开主要采用复合钻进技术快速通过上部易垮塌地层;三开、四开不取心段采用复合钻进技术,全部采用钟摆钻具组合,能够起到很好的稳斜效果^[12-13]。取心段采用川8-4、川8-3取心钻具取心。详细钻具组合见表3。

3 钻井关键技术

3.1 钻进参数选择

主要采用常规牙轮钻头和PDC螺杆复合钻进,循环介质为水基钻井液。一开完钻地层为第四系

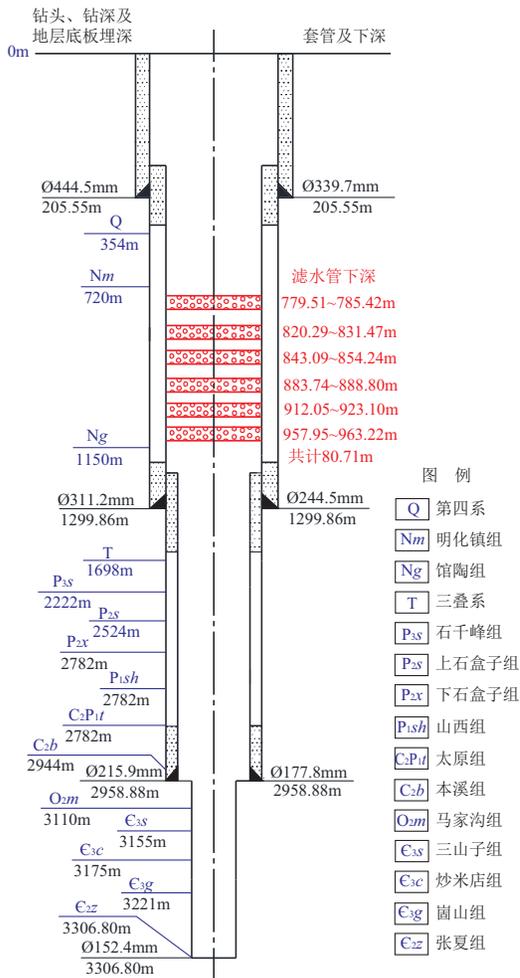


图2 尉热1井井身结构示意图

表2 尉热1井钻井设备配置

仪器设备名称	型号规格	数量	主要技术参数
钻机	ZJ30	1	最大钩载 1700 kN
转盘	ZP520	1	静负荷 3150 kN
井架	JJ170/42-K	1	最大钩载 1700 kN
底座	DZ200/5.0	1	撬装式底座前台高 5.0 m
天车	TC-200	1	天车六轮
游车大钩	YG-225	1	最大钩载 2250 kN
水龙头	SL-170	1	最大静载荷 1700 kN
泥浆泵	SL3NB1300A	1	排量 42 L/s, 泵压力 15 MPa, 变频调速
除砂器	ZQJ300×2-1.5×0.6	1	最大处理量 240 m ³ /h
除泥器	ZJ-150×8	1	最大处理量 156 m ³ /h
离心机	卧式螺旋沉降式	1	最大处理量 40 m ³ /h
柴油机	PZ12V190B	1	最大功率 883 kW
电动机	Y2-400-6	2	最大功率 355 kW



图3 尉热1井施工现场

底部,地层岩性以未成岩的粘土为主,钻进时采用大泵量、小钻压吊打钻进工艺^[14]。二开完钻地层为第四系、新近系和三叠系上部,地层岩性以泥岩、粉细砂岩为主,钻进时采用大泵量、小钻压吊打钻进工艺。三开完钻地层为三叠系、石炭一二叠系,地层岩性以泥岩、粉砂岩、砂岩为主,地层互层变化频繁,且三开井段较长,容易出现坍塌、卡钻、埋钻等事故,采用螺杆马达+PDC钻头钻进,通过提高钻速,可快速通过地层坍塌地段,预防钻井事故。四开完钻地层为寒武系、奥陶系,地层岩性以白云岩、灰岩为主。具体钻进参数见表4。

3.2 钻井液技术

根据尉热1井地质条件及钻井施工的复杂性,要求钻井液具有低失水、低固相、携带及悬浮钻屑能力强等优点,预防井壁坍塌,并达到环境保护、钻井安全的目的^[15-17]。最终确定各开次主要钻井液体系与配方如下:

一开采用聚合物钻井液体系,配方为:清水+5% 膨润土+0.4% HV-CMC+1% NH₄-HPAN+0.5% KPAM+2% 复合沥青+片碱+纯碱。钻井液性能:密度 1.05~1.10 g/cm³,漏斗粘度 35~40 s,失水量 ≤10 mL/30 min, pH 值 9, 含砂量 ≤0.5%, 泥饼厚度 ≤1 mm。

二开采用硅基防塌钻井液体系,配方为:基浆+0.2%~0.3% 大钾+2% 硅稳定剂+1% 液体降粘剂+1% LV-PAC+片碱+纯碱。钻井液性能:密度 1.10~1.23 g/cm³,漏斗粘度 40~50 s,失水量 ≤8 mL/30 min, pH 值 9~10, 含砂量 ≤0.5%, 泥饼厚度 ≤1 mm。钻进期间加入润滑剂等控制摩阻,加入乳

表3 耐热1井钻具组合

开次	口径/mm	钻进井段/m	钻具组合类型	钻具组合
一开	444.5	0~205.55	塔式钻具组合	方钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆+ $\text{O}158.8$ mm 钻铤+ $\text{O}203.2$ mm 钻铤+ $\text{O}445$ mm 三牙轮钻头
二开	311.2	205.55~1299.86	钟摆钻具组合	方钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆+ $\text{O}158.8$ mm 钻铤+ $\text{O}203.2$ mm 钻铤+ $\text{O}311.2$ mm 三牙轮钻头
三开	215.9	1299.86~2958.88	钟摆钻具组合	方钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆+ $\text{O}158.8$ mm 钻铤+ $\text{O}215.9$ mm 三牙轮钻头(PDC钻头)
四开	152.4	2958.88~3306.80	钟摆钻具组合	方钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆+ $\text{O}88.9$ mm 钻杆+ $\text{O}88.9$ mm 加重钻杆+ $\text{O}152.4$ mm 三牙轮钻头
		取心钻具		$\text{O}215.9$ mm 取心钻头+川8-4取心钻具+ $\text{O}159$ mm 钻铤+ $\text{O}127$ mm 加重钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆 $\text{O}152.4$ mm 取心钻头+川6-4取心钻具+ $\text{O}121$ mm 钻铤+ $\text{O}88.9$ mm 加重钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆

表4 耐热1井钻进参数选择

开次	井段/m	钻压/kN	转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	泵量/($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	泵压/MPa
一开	0~205.55	50~80	50~70	1800~2100	3.0~5
二开	205.55~1299.86	30~50	50~80	1900~2300	4.5~7
三开	1299.86~2958.88	60~100	40~60	1500~2000	6~10
四开	2958.88~3306.80	30~60	50~70	1000~1300	8~12

化沥青提高钻井液防塌、润滑性能。适当控制转速,打完单根上下大幅度活动钻具划眼,便于携砂,保持井眼清洁。

三开采用硅基防塌钻井液体系,配方与二开基本相同。钻井液性能:密度 $1.10\sim 1.20\text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $40\sim 60\text{ s}$,失水量 $\leq 8\text{ mL}/30\text{ min}$,pH值 $9\sim 10$,含砂量 $\leq 0.5\%$,泥饼厚度 $\leq 0.5\text{ mm}$ 。维持硅基防塌钻井液体系,并在三开钻井液性能基础上,提高降失水材料的加量,进一步降低滤失量,减少水进入泥页岩地层造成吸水膨胀、坍塌缩径等问题。

四开采用低固相防漏钻井液体系,配方为:原浆+20%清水+3%随钻堵漏剂。钻井液性能:密度 $1.10\sim 1.15\text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $40\sim 50\text{ s}$,失水量 $\leq 10\text{ mL}/30\text{ min}$,pH值 $9\sim 10$,含砂量 $\leq 0.5\%$,泥饼厚度 $\leq 0.5\text{ mm}$ 。

3.3 护壁关键技术

耐热1井钻进至井深2443 m时,井内开始出现坍塌、掉块,并伴有多次卡钻。多次调整钻井液至密度 1.25 g/cm^3 、粘度 90 s 之后,井内坍塌的状况依然没有解决,最多沉渣厚度达50余米。二叠系上石盒子组岩性以灰黑色泥岩、粉砂质泥岩为主,泥岩

为水敏、破碎不稳定地层,岩层极易沿着板理面进行剥离、掉落,造成井内地层坍塌、掉块,井壁失稳^[18-20]。

为了确保施工安全,选用高密度($1.15\sim 1.25\text{ g/cm}^3$)、高粘度(200 s)的钻井液进行施工,加入2%防塌剂,加入适量粘土粉,降低失水量在 6 mL 以下。在钻进过程中视钻井液性能和地层稳定情况,加入防塌润滑阻剂GFT,以保持钻井液性能稳定。

4 取得的成果

4.1 完成钻探任务,保证了施工质量

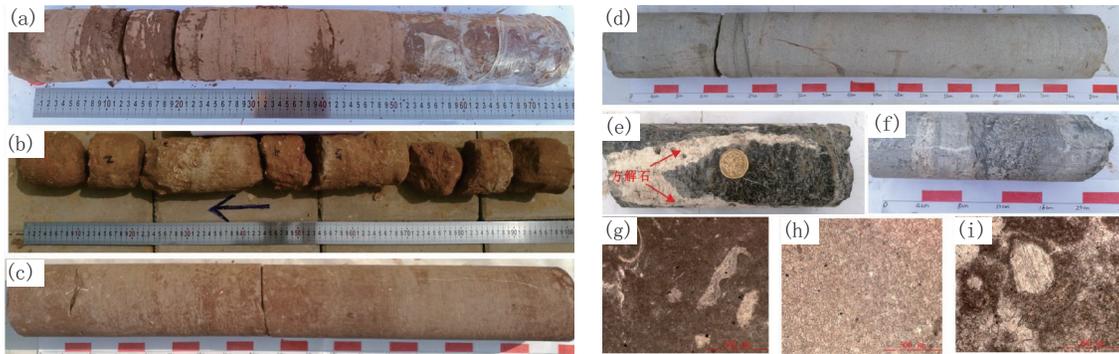
耐热1井是太康隆起西部部署的第一眼基岩地热井,钻进过程中不可预见的因素较多,实钻中地质情况与预计也有一定差别,施工过程中存在井壁严重坍塌等复杂情况。因此,在实际施工过程中,项目组人员充分考虑到钻遇地层岩性及压力可能发生的变化,做好钻具组合优化、钻井液材料性能控制、钻井参数合理选择、地层分界面判断,并及时下入各开次套管,保证了该地热井安全完钻。根据物探全井测井数据,本井1000 m处最大井斜角为 2.10° ,2000 m处最大井斜角为 2.95° ,完井最大井斜

角为4.05°,满足设计要求。

4.2 岩心采取质量较高,完成设计目标

根据设计要求和钻遇地层情况,尉热1井共计完成取心12回次,取心进尺41.80 m,岩心长度36.55 m,岩心采取率达到了87.44%(见图4和表5)。其中奥陶系马家沟组完成取心5回次,取心进

尺14.00 m,岩心长度12.07 m,平均岩心采取率86.21%,该井是太康隆起西段第一口对奥陶系取心的地热井,积累了大量的实物资料。本井岩心长度和采取率均满足设计要求,达到了地层划分和岩性确定的目的。



(a)新近系馆陶组棕红色泥岩,取样井深766.80~767.55 m;(b)新近系馆陶组黄褐色砂砾岩,取样井深1107.58~1108.58 m;(c)三叠系棕红色粉砂质泥岩,取样井深1156.85~1157.65 m;(d)二叠系石千峰组灰白色中粒石英砂岩,取样井深2193.62~2194.42 m;(e)奥陶系马家沟组深灰色含生物碎屑泥晶灰岩,原生裂隙中充填有宽度可达4 cm方解石胶结物,取样井深2968.25~2968.50 m;(f)奥陶系马家沟组灰色灰质白云岩,取样井深3006.55~3006.80 m;(g)奥陶系马家沟组含生物碎屑泥晶灰岩,生物碎屑可辨认有介形虫、三叶虫、海百合、腕足类,取样井深2968.50 m;(h)奥陶系马家沟组粉晶白云岩,取样井深2988.18 m;(i)奥陶系马家沟组粉晶白云岩,取样井深3006.80 m

图4 尉热1井部分岩心照片

表5 尉热1井取心情况统计

回次编号	取心井段/m	回次进尺/ m	岩心长度/ m	岩心采取率/ %	取心钻具	地层	岩性	岩心直径/ mm
1	765.67~769.77	4.10	3.55	86.59		馆陶组	中细砂岩	101.6
2	861.29~865.29	4.00	3.30	82.50		馆陶组	含砾砂岩	101.6
3	948.40~950.40	2.00	1.35	67.50		馆陶组	砂岩夹泥岩	101.6
4	1026.00~1031.00	5.00	4.42	88.40	川8-4	馆陶组	中细砂岩	101.6
5	1104.58~1108.58	4.00	3.56	89.00		馆陶组	砂砾岩	101.6
6	1152.53~1159.53	7.00	6.90	98.57		三叠系	粉砂质泥岩	101.6
7	2192.72~2194.42	1.70	1.40	82.30		石千峰组	石英砂岩	101.6
8	2966.00~2969.00	3.00	2.77	92.33		马家沟组	灰岩	70
9	2975.00~2978.50	3.50	3.00	85.70		马家沟组	白云岩	70
10	2985.18~2988.18	3.00	2.70	90.00	川6-4	马家沟组	白云岩	70
11	2996.68~2998.18	1.50	1.20	80.00		马家沟组	白云岩	70
12	3003.80~3006.80	3.00	2.40	80.00		马家沟组	白云岩	70

4.3 初步查明工作区的地层序列

工作区属于地热勘查“空白区”,以往地热地质研究程度较低,区内缺乏深部钻探资料,给本井钻探施工带来了极大的不可预见性。通过该井岩心、

岩屑录井并结合地球物理测井工作,基本查清了工作区地层层序及主要岩性特征,为太康隆起西段积累了丰富的地质资料。本井自上而下钻遇地层为第四系,新近系明化镇组、馆陶组,三叠系,石炭—

二叠系石千峰组、上石盒子组、下石盒子组、山西组、太原组、本溪组,奥陶系马家沟组,寒武系三山子组、炒米店组、崮山组、张夏组(未揭穿)。

4.4 实施分层抽水试验,钻获深部热储层特征

4.4.1 新近系馆陶组试验结果

按照地质设计要求,对新近系馆陶组及寒武—奥陶系分别进行抽水试验。因此,本井二开完钻后,先对新近系馆陶组进行了抽水试验。根据尉热1井钻探过程中地质编录资料、取心资料及测井结果,确定该井的止水位置为778 m,馆陶组主要开采780 m以深的地下热水资源。根据测井解释成果,对下入孔内的井管和滤水管($\varnothing 244.5$ mm)进行了详细的长度丈量,并对其下入孔中先后顺序进行了统一编号,孔中共下入滤水管9根,全长80.71 m(表6)。

表6 尉热1井滤水管下入井中位置

序号	起始深度/m	终止深度/m	长度/m	类型
1	779.51	785.42	5.91	滤水管
2	820.29	831.47	11.18	滤水管
3	843.09	854.24	11.15	滤水管
4	883.74	888.80	5.06	滤水管
5	912.05	923.10	11.05	滤水管
6	957.95	963.22	5.27	滤水管

套管及滤水管下完后分两次进行了水泥封固止水,之后采用空压机进行气举洗井,经过累计24 h的洗井工作,随即进行了3个落程的稳定流降压试验。3次降压试验出水量分别为100.39、65.96、35.66 m³/h,井口出水温度分别为55、54、52℃,各落程持续时间分别为49.5、21.5、12.5 h,稳定时间分别达到26、21、11 h(图5)。通过对本井大落程试验数据进行水文地质参数计算,该井单位涌水量为1.28 m³/(h·m),渗透系数为0.51 m/d,导水系数为41.22 m²/d,渗透率为0.29 μm²。这是尉氏地区出水量最大、水温最高的馆陶组地热井,达到了本次勘查目的的要求。

4.4.2 寒武—奥陶系试验结果

尉热1井设计目的层为古生界奥陶系,实际完钻地层为寒武系张夏组。该井寒武—奥陶系共揭露地层厚度352.8 m,测井解释结果显示,二类裂缝层1处,三类裂缝层4处,裂缝层总厚度18.2 m,占



图5 馆陶组抽水试验情况

揭露总厚度的5.16%,孔隙度为2.14%~6.58%,渗透率为 $(0.10\sim 2.67)\times 10^{-3}$ μm²,泥质含量1.17%~9.00%。

项目组对寒武—奥陶系进行了抽水试验,勘探孔中下入上、下两个封隔器,上封隔器位于774.21 m,封堵滤水管对应水层,下封隔器位于1259.26 m处($\varnothing 177.8$ mm套管台阶处)^[21],两封隔器之间用钻杆柱相连,随即采用空压机进行气举洗井,经过累计15 h的洗井工作,井中未见出水,证明了本井寒武—奥陶系不具备形成热储的条件。

从本井钻遇地质录井及取心情况分析,处于不整合面之下的寒武—奥陶系孔、缝、洞等岩溶裂隙中发育有大量的方解石胶结物,方解石胶结物最宽可达4 cm,这些方解石胶结物一般认为是在二次埋藏成岩过程中发生化学作用胶结而充填于各种溶蚀孔洞缝中,影响了岩层的孔隙度及渗透率,使灰岩中原生孔缝洞等溶蚀裂隙被充填,岩层中裂隙不发育,不利于地热流体富集。

5 结语

尉热1井完钻井深3306.80 m,是太康隆起西部深度最大的地热勘探井,通过总结该井钻探施工经验,为今后在该地区开展同类工程的钻探施工提供了借鉴和指导,其成果资料具有一定的科研参考价值。通过该井岩心、岩屑录井并结合地球物理测井资料,基本查清了太康隆起西部地层层序及主要岩性特征,积累了丰富的地质资料,并揭示了该区深部热储发育特征及开发潜力。虽然本井在寒武—奥陶系试水工作中未发现地热水,但是通过取心、物探测井等工作手段,基本查明了寒武—奥陶系岩性变化特性、孔隙发育等情况,为今后基岩热储地热勘探开发提供了指导。

参考文献:

- [1] 余和中,吕福亮,郭庆新,等.华北板块南缘原型沉积盆地类型与构造演化[J].石油实验地质,2005,27(2):111-117.
- [2] 陈墨香.华北地热[M].北京:科学出版社,1988.
- [3] 王贵玲,张薇,梁继运,等.中国地热资源潜力评价[J].地球学报,2017,38(4):449-459.
- [4] 张薇,王贵玲,刘峰,等.中国沉积盆地型地热资源特征[J].中国地质,2019,46(2):255-268.
- [5] 王贵玲,刘彦广,朱喜,等.中国地热资源现状及发展趋势[J].地学前缘,2020,27(1):1-9.
- [6] 徐汉林,赵宗举,杨以宁,等.南华北盆地构造格局及构造样式[J].地球学报,2003,24(1):27-33.
- [7] 孙自明.太康隆起构造演化史与勘探远景[J].石油勘探与开发,1996,23(5):6-10.
- [8] 许立青,李三忠,索艳慧,等.华北地块南部断裂体系新构造活动特征[J].地学前缘,2013,20(4):75-87.
- [9] 张交东,曾秋楠,周新桂,等.南华北盆地太康隆起西部新区上古生界天然气成藏条件与钻探发现[J].天然气地球科学,2017,28(11):1637-1649.
- [10] 王志铄,王明亮,赵显刚,等.太康隆起南缘新郑-太康断裂的新生代活动形迹与地震活动[J].地震地质,2017,39(1):117-129.
- [11] 李庶波,王岳军,张玉芝,等.南太行山中新生代隆升过程:磷灰石裂变径迹证据[J].大地构造与成矿学,2015,39(3):460-469.
- [12] 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.
- [13] 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(自然科学版),2021,18(6):63-68.
- [14] 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.
- [15] 张统得,李正前,蒋炳,等.塔里木盆地油气地质调查新乌地1井钻探工艺技术[J].中国地质调查,2019,6(4):58-63.
- [16] 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(岩土挖掘工程),2019,46(4):7-13.
- [17] 郭军,李岩,王文彬,等.下扬子皖南地区皖泾地2井地质特征与优快钻井对策[J].中国地质调查,2021,8(5):45-52.
- [18] 郝登峰,齐治虎,张晓昂,等.鹿邑凹陷海陆过渡相页岩气地质调查鹿页1井钻井技术[J].钻探工程,2022,49(5):80-85.
- [19] 伍晓龙,杜垚森,王庆晓,等.冀中坳陷区域JZ04地热勘探井施工技术[J].钻探工程,2023,50(1):107-114.
- [20] 闫家,刘蓓,曹龙龙,等.下扬子地区页岩气地质调查皖望地3井钻井设计与施工技术[J].钻探工程,2023,50(3):74-82.
- [21] 杨忠彦,任鸿飞,林圣明,等.基于同井双目的层地热勘探井井身结构设计与实践[J].钻探工程,2022,49(6):162-168.

(编辑 荐华)