

河南洛阳 0401 工程 2500 m 地热钻探与流体质量评价

卢予北

(河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队, 河南 郑州 450053)

摘 要:河南洛阳地层复杂, 深部地热钻探和成井风险大。就钻探设备、机具选择和成井工艺的设计进行了论述, 并就地热流体质量和腐蚀性进行了评价。

关键词:地热; 钻探; 流体; 腐蚀; 评价

中图分类号:TE249 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)SI-0124-04

根据 0401 工程需要, 河南省地球物理工程勘察院和我单位联合对位于河南省洛阳新区人防办进行深部地热资源勘探。前者主要采用地球物理勘探方法进行论证和确定具体井位, 我单位负责地热井的钻探与成井设计和施工, 并对地球物理勘探成果进行验证。通过一年多的前期勘探和施工, 该井的钻探工程部分于 2007 年 2 月圆满结束。尽管最终钻探成果与前期物探成果相差较大, 但是, 就钻探工程而言, 该井是一个非常圆满的工程。同时也再次证明了钻探工程是获取地球深部信息最准确的手段和方法, 对完善和推动其它学科起到了积极的推动作用。

1 钻遇地层

0~120 m 为第四系卵石、漂石、砾石层, 局部有粘土、粗砂地层, 其中 0~70 m 卵石、漂石粒径较大, 并且含量高, 下部主要以砾石和粘土为主; 120~

1800 m 为新近系粘土岩、泥质砂岩, 局部有松散细砂层; 1800~2500 m 为古近系粉砂岩、粘土岩等。

2 主要钻探设备和钻具选型

2.1 钻机型号与性能

钻机选择石家庄煤矿机械厂生产的 GZ-3000 型钻机, 如图 1 所示。采用机械传动, 部分气控操作, 块装式结构, 配双电动机或柴油机两种动力装置, 绞车采用带式刹车, 并配有水刹车, 其性能指标见表 1。



图 1 GZ-3000 型水源钻机

表 1 GZ-3000 型水源钻机主要技术参数表

钻进深度/m	转盘通径/mm	转盘转速(正、反)/(r·min ⁻¹)	转盘扭矩/(kN·m)	卷扬机单绳慢速提升能力/kN	可配备动力(电动机)/kW	外形尺寸(长×宽×高)/mm	主机质量(不含动力部分)/t
Ø89 mm 钻杆 Ø127 mm 钻杆	445	43, 72, 97, 163	35	110	110×2	9353×4800×2290	26.2

2.2 泥浆泵型号与性能

选择青州石油机械厂生产的 QZ3NB-350 型泥浆泵, 如图 2 所示, 目前在 3000 m 以内最为常用。此泵采用更换不同直径的缸套、活塞来改变泵的排量与压力。更换皮带轮的直径可改变泵的冲次, 从而也可达到改变泵的排量与压力, 其性能指标见表 2。

2.3 钻塔与平台



图 2 QZ3NB-350 型泥浆泵

钻塔是宝鸡石油机械厂生产的 AP31-35“A”型塔, 其中“A”型塔带 DZ125/2.2-T 平台, 其规格

收稿日期: 2007-05-30

作者简介: 卢予北(1964-), 男(汉族), 河北平山人, 河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队副队长兼副总工程师、地热院院长、高级工程师, 地质工程专业, 工学硕士, 河南省学术技术带头人(省 555 人才), 从事钻探工程和地热勘探技术研究和管理工作, 河南省郑州市南阳路 56 号。

表2 QZ3NB-350 型泥浆泵性能指标

缸筒直径 /mm	理论排量 /(L·min ⁻¹)	最高排出压力 /MPa	备 注
100	486	20	泵速 115 min ⁻¹
110	588	18	
120	702	15	
130	822	13	
140	954	11	
150	1092	9.5	
160	1248	8.4	
动力配备	电机型号 Y355L1-6, 185~260 kW, 985 r/min, 气控		

为:长×宽×高=13800 mm×6790 mm×2200 mm。具有安装方便、迅速的优点,缺点是安装时受场地条件限制。钻塔有效高度 31 m,最大承载负荷为 1500 kN。

2.4 水龙头与大钩

水龙头选择江苏省高邮市华兴石油机械制造有限公司生产的 CH125 型。最大静负荷 1250 kN,工作载荷 938 kN,泥浆最大工作压力 210×10^5 Pa,质量 648.5 kg,外形尺寸(长×宽×高)2099 mm×660 mm×620 mm。

大钩选择通化石油机械制造有限公司生产的 YG125 型(执行标准 SY5208-2000)。最大荷载 1225 kN,质量 2055 kg,钢丝绳直径 28 mm。

2.5 钻具

钻杆分别使用石油系列 $3\frac{1}{2}$ in (Ø88.9 mm) 和 5 in (Ø127 mm),钢级 E。最小屈服强度 515 MPa,最大屈服强度 725 MPa,最小抗拉强度 690 MPa。钻铤分别使用 7 in (Ø177.8 mm) 和 $6\frac{1}{4}$ in (Ø158.8 mm),其屈服强度分别为:屈服强度 ≥ 758 MPa,屈服强度 ≥ 689 MPa;其抗拉强度分别为:抗拉强度 ≥ 965 MPa,抗拉强度 ≥ 930 MPa。

2.6 泥浆净化系统

深部地热钻井深度大,对泥浆性能的要求特别高,所以,必须配置净化系统。该井根据场地情况采用长距离的泥浆槽和 2~3 个沉淀池,除砂设备选择天津石油研究所研制的振动筛和旋流器,泥浆首先经过振动筛将大颗粒岩屑或泥皮除去,然后再通过旋流器,利用离心力原理将小颗粒岩屑除去,达到泥浆净化目的。

2.7 拧管机

传统的拧卸钻杆或套管的工具是上下垫叉和吊钳,对于超深层钻井来说,井内钻具重,使用上述两种工具主要存在不安全和效率低等问题。为此,我们选择兰州石油机械研究所和无锡机器制造有限公司联合生产的 ZQ100 型液气大钳。其液压系统工

作压力 16.6 MPa,气压系统工作压力 0.5~1.0 MPa,最大扭矩 100 kN·m,额定流量 114 L/min,适用管径 $3\frac{1}{2}$ ~8 in,电驱动时电机功率 40 kW,移送气缸最大行程 1.5 m,大钳总重 3500 kg,如图 3 所示。



图3 ZQ100 型液气大钳

3 钻探方法

钻探方法主要是正循环泥浆钻进,采用三牙轮钻头。

3.1 一开(0~250 m)

钻具组合:主动钻杆+ $3\frac{1}{2}$ in 钻杆+5 in 钻杆+ $6\frac{1}{4}$ in 钻铤(3 根)+7 in 钻铤(2 根)+ $12\frac{1}{4}$ in 三牙轮钻头。

钻进规程:转速 97 r/min,钻压 30 kN,泵量 20 L/s,泵压 0.1~0.3 MPa。

在 0~75 m 地层中主要以卵石、漂石为主,采用回转钻进效率低,设备毁坏和钻头磨损严重,所以,在该井段采用 Ø500 mm 冲击钻头以冲击方式形成圆整、稳定的井壁,然后采用上述的钻具组合和回转方法快速钻完一开,并下入 Ø244.5 mm 表层技术套管和水泥固井。以便达到固定井壁、保证井内安全之目的。

3.2 二开(250~2500 m)

钻具组合:主动钻杆 $3\frac{1}{2}$ in 钻杆+5 in 钻杆+ $6\frac{1}{4}$ in 钻铤(15 根)+7 in 钻铤(1 根)+ $8\frac{1}{2}$ in 三牙轮钻头。

钻进规程:转速 72 r/min,钻压 120 kN,泵量 15 L/s,泵压 0.6~10 MPa。

不同的地层和深度,对泥浆的性能指标要求不一样,尤其是井深超过 1300 m 时泥浆的管理和净化至关重要。在深部地热钻井时采用平衡钻井可以避免漏失、坍塌掉块和吸附卡钻等事故,所以通过一系列措施严格控制泥浆的密度、失水量和粘度。表 3 是洛阳 0401 工程地热井泥浆性能指标的界限值。

在泥浆性能指标控制和净化方面,分别采用净化设备和泥浆槽沉淀池相结合的方法,如图 4 所示。泥浆性能必须坚持每班测试 2 次,重点是泥浆密度、

粘度和失水量。

表 3 洛阳 0401 工程地热井泥浆性能指标

孔段	粘度 /s	密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	失水量/[$\text{mL} \cdot (\text{30min})^{-1}$]	泥饼厚度/mm	pH 值
一开	31~34	1.21~1.23	11	1	7~8
二开	25~29	1.15~1.26	12~20	0.5~1	6~7

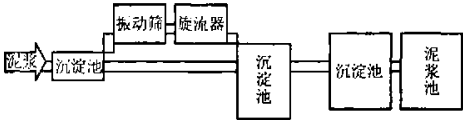


图 4 洛阳 0401 工程地热井泥浆净化系统

4 成井工艺

河南省地热钻井深度一般在 1000 ~ 1200 m,个别深度达到 1600 m,这些都是在松散层中钻探和成井。其成井结构一般为 0 ~ 200 m 为 $\varnothing 273$ mm 钢管,200 m 以深为 $\varnothing 159$ mm 钢管,过滤器为桥式管,如图 5 所示。采用动态投砾和粘土球止水完井工艺。这些工艺和方法对于 1600 m 以浅的地热井施工来说都已非常成熟。但是,对于复杂地层和超过 2000 m 深部的地热井的成井工艺则必须考虑其安全性和可靠性。图 5 中的桥式滤水管是由 6 mm 厚钢板冲压卷制而成,其抗拉强度、抗压强度较低,在井深大于 1800 m 时,其安全性和可靠性难以保证。洛阳 0401 工程地热井由于下部没有破碎和构造,岩层完整,其井底岩石温度却高达 96 $^{\circ}\text{C}$ 。根据实际情况必须在 1100 ~ 2300 m 之间所有可能透水的井段都要求下入过滤器,并且在 1100 m 以深不能采用水泥固井。所以,该井的成井工艺既不同于一般第四系和新近系松散层,也不同于热储层在基岩层。特别是过滤器型式和止水方法的选择在该井中最为关键。该井上部可能透水的地层比较松散,并且井深、环状间隙小。所以,按照常规的投砾或水泥固井进行成井显然是不现实的。为此,我们自行设计了梯形丝管和石油套管钻孔相结合的组合式过滤器。即在 $\varnothing 139.7$ mm $\times$ 6.2 mm 石油套管上用钻床钻 $\varnothing 12$ mm 孔眼,孔隙率 13%,然后定做内径 140 mm 的梯形丝过滤器(孔隙率 16%,缠丝间距 0.5 mm),然后套在钻孔的 $\varnothing 139.7$ mm 石油套管上,如图 6 所示。这样组合式过滤器既能保证足够的强度,又能起到直接挡砂过滤作用,1800 ~ 2300 m 孔段采用 $\varnothing 139.7$ mm $\times$ 6.2 mm 石油套管钻孔作为过滤器下入,2300 ~ 2500 m 为裸眼。

4.1 过滤器安装位置

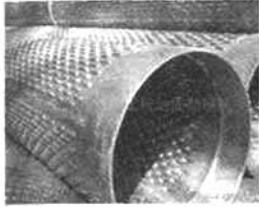


图 5 常用的桥式滤水管



图 6 钻孔梯形组合过滤器

为尽可能增加出水量,经论证从 1110 m 以深开始下入过滤器,具体位置见表 4。

表 4 洛阳 0401 工程地热井过滤器安装位置

序号	安装位置/m	过滤器型式
1	1110.80 ~ 1132.10	钻孔缠丝
2	1473.98 ~ 1496.17	钻孔缠丝
3	1673.62 ~ 1695.84	钻孔缠丝
4	1714.06 ~ 1746.61	钻孔缠丝
5	1955.72 ~ 1977.58	钻孔
6	2021.70 ~ 2032.71	钻孔
7	2148.16 ~ 2157.23	钻孔
8	2224.23 ~ 2235.25	钻孔
9	2245.35 ~ 2256.45	钻孔
10	2267.05 ~ 2278.12	钻孔

4.2 成井结构

0 ~ 250 m 下入 $\varnothing 244.5$ mm $\times$ 8.94 mm 石油套管,250 ~ 350 m 下入 $\varnothing 177.8$ mm $\times$ 10.36 mm 石油套管,350 ~ 2320 m 下入 $\varnothing 139.7$ mm $\times$ 6.2 mm 石油套,套管材质全部为 J55。

4.3 止水

根据实际情况,采用膨胀橡胶和橡胶皮兜分层止水,确保了分层取水,避免互相干扰。

在 $\varnothing 177.8$ mm 石油套管与 $\varnothing 244.5$ mm 套管重叠管体上布置膨胀橡胶 3 组,以保证封闭环状间隙。膨胀橡胶规格为 30 mm(宽) $\times$ 5 mm(厚),见图 7。其性能指标为:



图 7 带状膨胀橡胶

硬度为 42 ± 7 , 密度为 $1.4 \sim 1.47 \text{ kg/cm}^3$, 拉伸强度 $\geq 3.5 \text{ MPa}$, 清水浸泡链为 220%, 扯断伸长率 $\geq 450\%$, 耐高温 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 不流淌, 耐低温 $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ 不发脆、不折断。

4.4 小结

采用上述的钻探方法和成井工艺顺利完成全部的钻探工程部分, 并经石油测井验证, 其井壁圆滑、井身垂直(最大井斜 3.1°), 是一眼优质的钻探井。

5 地热流体质量评价

5.1 地热流体质量评价

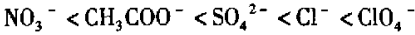
根据水质化验结果, 该井水中阳离子以钠为主, 含量高达 5057.55 mg/L , 其次是钙、镁离子, 含量分别为 677.35 、 167.31 mg/L 。阴离子以氯为主, 含量为 6013.38 mg/L ; 其次为硫酸根和重碳酸根离子, 含量分别为 4185.33 和 177.57 mg/L 。按照舒卡列夫分类法, 该井水化学类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型。溶解性总固体高达 16443.53 mg/L , 属于盐水; pH 值 7.1 , 总硬度 2378.5 mg/L , 属于极硬水。所以, 该类型水只能作为医疗热矿水进行开发利用, 其医疗和保健价值在国内罕见。本文仅对医疗保健作出评价, 见表 5。

表 5 洛阳 0401 工程地热井医疗热矿水评价 / $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$

项目	标准			含量及评价意见	
	有医疗价值浓度	矿水浓度	命名矿水浓度	含量	评价结果
二氧化碳	250	250	1000	28.10	无医疗价值
氟	1	2	2	2.6	氟水, 有医疗价值
溴	5	5	25	17.0	具矿水浓度, 有医疗价值
碘	1	1	5	14.0	碘水, 有医疗价值
锶	10	10	10	15.70	锶水, 有医疗价值
铁	10	10	10	40.10	铁水, 有医疗价值
锂	1	1	5	0.87	无医疗价值
钼	5	5	5	<0.1	无医疗价值
锰	1	1		<0.01	无医疗价值
偏硼酸	1.2	5	50	48.7	具矿水浓度, 有医疗价值
偏硅酸	25	25	50	33.8	具矿水浓度, 有医疗价值

5.2 地热流体腐蚀性评价

(1) 地下水中不同的阴离子在增加金属腐蚀方面具有以下顺序:



该井 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量分别高达 6013.38 mg/L 和 4185.33 mg/L , 其中 Cl^- 对金属具有很强的“穿透力”, 所以, 该井在 2~5 年内很容易出现金属井管局部腐蚀和破裂。

(2) 地下水硬度过高时, 会产生碳酸钙和硅酸镁垢。该井水总硬度为 2378.5 mg/L , 属于极硬水。结垢和腐蚀同时伴生, 且相互促进。

所以, 根据水质情况和上述简单分析, 该井主要以局部腐蚀(穿孔)和垢下腐蚀两种形式存在, 其次是应力腐蚀、电偶腐蚀。

6 结语

(1) 在 3000 m 以浅进行地热钻探, 选择文中所述设备和机具, 完全可以满足施工需要。并且与石油钻机相比具有“占地面积小、节能、成本低”等特点。

(2) 在类似地层成井采用“钻孔梯形丝组合式”过滤器可以同时解决强度和过滤问题, 也是一种行之有效的技术方法。

(3) 在温度低于 $80 \text{ }^\circ\text{C}$, 深度 $<3000 \text{ m}$ 的地热井中采用膨胀橡胶和橡胶皮兜分层止水可以达到安全、可靠、准确之目的。并且与水泥固井相比可节约费用 20~30 万元。

(4) 泥浆质量的好坏, 不仅直接影响着钻井效率和成井质量, 而且对井内吸附卡钻、埋钻和井壁稳定有着极其重要的关系。该井几乎没有出现任何井内事故, 与泥浆的设计和管理有着密切关系。

(5) 洛阳 0401 工程地热井氟、碘、锶、铁同时达到国家医疗热矿水命名标准, 溴、偏硼酸、偏硅酸达到国家医疗热矿水有价值标准。这在国内罕见, 具有很高的医疗保健价值。