

河北省牛驮镇地热田钻探工艺

田京振, 李砚智

(河北省地矿局第三水文工程地质大队, 河北 衡水 053000)

摘要:河北省牛驮镇地热田地热地质条件为华北地区最好, 开发 20 多年来, 设备能力逐渐加强, 管材由水文水井系列过渡到石油 API 系列, 钻探工艺逐步发展。随着地下热水的开采, 水位下降, 储层的压力下降很多, 在刚钻开基岩风化壳时出现了因泥浆骤然漏失而造成上部松散层坍塌的问题。针对这一施工难点问题, 对钻进及成井工艺进行了改进。

关键词:地热井; 成井工艺; 钻井结构; 热储层; 漏失; 坍塌; 牛驮镇地热田

中图分类号: TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)08-0027-04

Drilling Technology for Niutouzhen Geothermal Field in Hebei/TIAN Jing-zhen, LI Yan-zhi (No. 3 Team of Hydrogeology and Engineering Geology, Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Hengshui Hebei 053000, China)

Abstract: Niutouzhen geothermal field is with the best geothermal geological condition in North China, pipe equipment was transitioned from hydrological well series to API series. But the groundwater and the reservoir pressure lowered with the continuous exploitation of geothermal groundwater, and upper loose layer collapsing occurred while drilling in base rock weathering crust. According to this construction difficulty, improvement was made on drilling and well completion technology.

Key words: geothermal well; well completion technology; well structure; geothermal reservoir; leakage; Niutouzhen geothermal field

河北省牛驮镇地热田为华北地区目前发现的地热地质条件最好的地热田, 该热田位于河北省雄县和固安县的部分地区。其热储分布广、埋藏浅、水量大、水质好, 已广泛开发利用。1985 年由我队开始勘查, 到 1990 年共勘查牛驮镇地热田 600 多平方千米(地温梯度 $3.5 \sim 12 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 的面积)。河北省牛驮镇地热田分为 2 个大的热储层: 一是上第三系明化镇组热储层, 含水层以中细砂岩为主, 胶结松散, 底界深度 $500 \sim 1000 \text{ m}$, 成井后水温在 $45 \sim 55 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间; 二是基岩热储层, 包括青白口系、蓟县系铁岭组和雾迷山组, 主要岩性为白云岩、白云质灰岩和燧石条带白云岩, 可钻性 6~11 级, 为开发的主要目的层, 在 $550 \sim 2100 \text{ m}$ 内, 可获得 $65 \sim 91 \text{ }^\circ\text{C}$ 的热水。1995 年前所施工的基岩热储井均自流, 自流量 $20 \sim 110 \text{ m}^3/\text{h}$, 水高头 $10 \sim 22 \text{ m}$ 。

河北省雄县县城和白洋淀温泉城位于牛驮镇地热田的南部, 地温梯度在 $3 \sim 6 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 之间, 第三系明化镇组底界深 $880 \sim 1100 \text{ m}$, 钻穿明化镇组后即 为 蓟 县 系 雾 迷 山 组 热 储 层。开 采 该 区 基 岩 热 储 层 (深度 $1050 \sim 1600 \text{ m}$), 水量达 $50 \sim 80 \text{ m}^3/\text{h}$, 温度

达 $55 \sim 70 \text{ }^\circ\text{C}$ 。近几年随着地热井的增多, 开采量的加大, 雄县县城和白洋淀温泉城范围内地热井水位下降很快, 部分井的静水位已超过 60 m ; 地热田开发初期的一些井, 由于泵室管下的少(小于 100 m), 已出现或面临抽不上来水的境况; 同时由于水位下降(储层压力下降), 使一些井在刚钻开基岩风化壳时出现了因泥浆骤然漏失而造成上部松散层坍塌的问题。

1 钻探工艺发展概况

1.1 1985~1995 年

1985~1990 年为部管项目的勘查阶段, 共钻地热井 10 口, 最深井 1302 m 。1990 年以后开始商业开采, 但直到 1995 年牛驮镇地热田施工地热井并不多。钻机由开始的 XY-5、XB-1000 型更新为 TSJ-1000 型, 泥浆泵由 BW250/40 型更新为 TBW850/50 型。采用钻杆规格有 $\text{O}60$ 、 73 、 89 mm (少量), 并且是从最初的内加厚钻杆更新为外加厚钻杆; 钻铤规格则是 $\text{O}146\text{mm}$ 及 $\text{O}121\text{mm}$ 为主。成井管材的规格多为水文地质钻探系列, 泵室管和技术管(第

收稿日期: 2009-04-29; 改回日期: 2009-06-07

作者简介: 田京振(1959-), 男(汉族), 河北临城人, 河北省地矿局第三水文工程地质大队队长、高级工程师, 探矿工程专业, 硕士, 从事探矿工程技术及管理工作, 河北省衡水市红旗大街 808 号, Hbhstjz@163.com。

三系成井则是井壁管和滤水管)为 $\text{Ø}244.5\text{ mm}$ 管(或 $\text{Ø}219\text{ mm}$)和 $\text{Ø}168\text{ mm}$ 。将 $\text{Ø}168\text{ mm}\times 7\text{ mm}$ 技术管丝扣参考API标准改为1:32非标准扣,外配 $\text{Ø}178\text{ mm}$ 接箍,强度和密封性达到了要求。

勘查阶段的井多为全井取心。盖层采取小径硬质合金取心钻进,干钻取心,然后再进行扩孔;基岩取心则是硬质合金取心钻进与金刚石取心相结合。

这期间施工的基岩热储井, $\text{Ø}168\text{ mm}$ 技术管下到了完整基岩上。在钻进风化壳时,仅一口井发生了全泵量漏失;大部分井不漏失或少量漏失,泥浆能正常循环。即便像全泵量漏失的Rx6井(492.57 m钻至风化壳,发生漏失后,泥浆最深液面小于10 m),也没有因漏失造成上部松散层的坍塌。这一时期明化镇热储层和基岩热储层的成井结构如图1和图2所示。

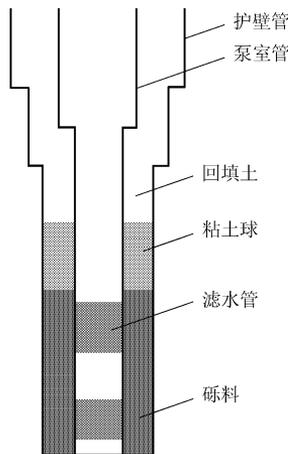


图1 牛驼镇地热田明化镇热储层成井结构

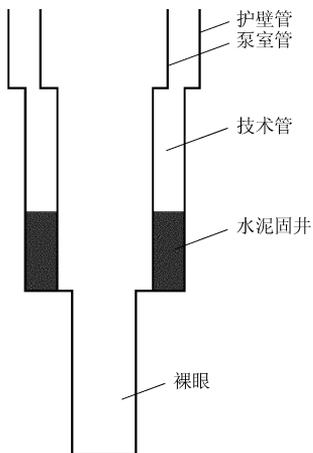


图2 1995年前牛驼镇地热田基岩热储层成井结构

这个阶段主要存在的问题是:(1)受设备、钻具、管材限制,加上经验和不足,效率较低;(2)在较纯的白云岩尤其燧石条带白云岩取心,钻进困

难,岩心采取率低;(3)初期因全部是地质系列的管材,出现了钻杆频繁折断、钻头丝扣及套管丝扣出问题等。

1.2 1995年至今

1995~2000年间牛驼镇地热田钻井很少,2000年后,随能源价格上涨,地热田北部的固安县牛驼镇林成村一带和雄县县城及白洋淀温泉城钻凿地热井较多。所用钻机型号为TSJ-1000、TSJ-200、GZ-2000、RPS-3000型,泥浆泵型号为TBW-850/50、TBW-1200/70、QZ3NB-500型,钻具及成井管材已全是API系列,施工能力明显加强,建井周期大大缩短。这期间存在的最大问题是:进入2000年后,雄县县城及白洋淀温泉城所钻地热井钻风化壳时,因漏失引起的事故。

成井结构:(1)明化镇热储层成井:泵室管以 $\text{Ø}273\text{ mm}$ 为主,下入深度150~250 m,较之前泵室管下入深度长了许多;井壁管和滤水管则是 $\text{Ø}177.8\text{ mm}$ 。(2)基岩热储层成井:在固安县林成村一带以四开的成井结构为主(见图3)。2005年前雄县县城及白洋淀温泉城的井以三开井为主(见图4),但技术管大部分没有下在完整基岩上,所以三开用 $\text{Ø}152.4\text{ mm}$ 钻头终孔后,在基岩段下入 $\text{Ø}127\text{ mm}$ 衬管(打孔滤水管);2005年后,则是以四开井结构(见图5)施工,三开用 $\text{Ø}216\text{ mm}$ 钻头钻到完整基岩后,下入 $\text{Ø}177.8\text{ mm}$ 打孔滤水管,然后用 $\text{Ø}152\text{ mm}$ 钻头四开钻至终孔,四开井段裸眼成井。

2 钻进及成井工艺

2.1 冲洗液

河北省地矿局综合研究队在牛驼镇地热田的Rx1井进行了地热钻井液类型、性能及处理剂加量等试验,优选了以高阳粘土、CMC、CPAN、PHP为主

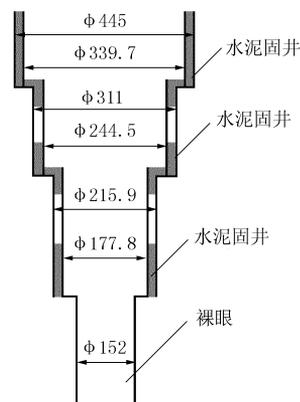


图3 1995年后牛驼镇地热田北部基岩热储层四开成井结构

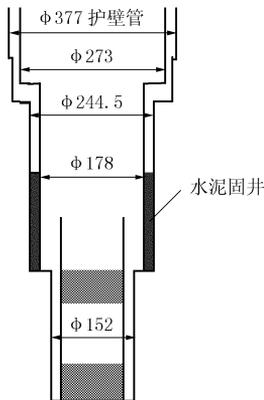


图4 1995年后牛驼镇地热田南部基岩热储层三开成井结构

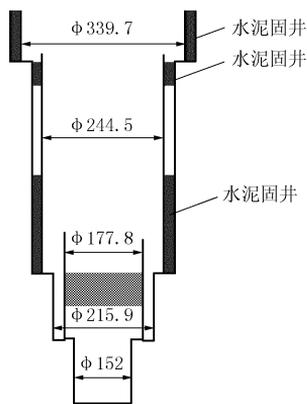


图5 1995年后牛驼镇地热田南部基岩热储层四开成井结构

的地热钻井液。其主要性能是:漏斗粘度 20~24 s, 密度 1.08~1.15 g/cm³, API 失水量 15 mL/30 min, pH 值 8~9。较好地解决了孔壁坍塌、超径、缩径、粘钻等问题。后来发展为泥浆处理剂以具有降失水性和一定稀释性的铵盐(NH₄-HPAN)为主,同时结合 CMC、K-PAM 的泥浆体系。

2.2 钻进参数

钻进参数随着设备和钻具能力的加强而不断加大,现钻进参数一般为钻压 40~80 kN, 转速 40~100 r/min, 泵量 600~1100 L/min。

2.3 固井

表层套管(护壁管)和技术套管采用内管法固井,也就是通过钻杆注入水泥浆,使水泥浆返至套管的外环空间;技术管与表层套管之间用挤水泥的方法封固。表层套管均是由井队用泥浆泵来完成;有了 TBW-1200/70 型泥浆泵后,技术管固井大多由井队用泥浆泵来完成。

2.3.1 表层套管(护壁管)固井

套管下完后,马上下入钻杆至距套管底部 10 m 左右的位置,最上一根钻杆联接套管短节,套管短节与表套用丝扣拧紧,实现井口密封(图 1、图 2 单纯

的护壁管无丝扣需要用焊接实现井口密封),然后进行泥浆循环和注水泥施工。表层套管(护壁管)固井采用 R42.5 水泥固井,水泥浆密度 ≤ 1.80 g/cm³,注完水泥浆 4 h 后提出钻杆,候凝时间 ≤ 72 h。

2.3.2 技术管固井

泵室管与技术管采用丝扣连接的井(图 2、图 4),是在井管下完后,下钻杆至浮箍(逆止阀)以上 3~5 m 的位置,同样是用短节来实现井口密封,然后进行泥浆循环和注水泥施工。采用图 3 及图 5 结构的井,则是技术管用钻杆带一反扣接头下到位置后,直接进行泥浆循环和注水泥作业。固井最易出现的问题是窜槽,所以采取在技术管外加装套管扶正器(底部 300 m 范围内每 30 m 一个)使套管居中,下完套管后先充分循环泥浆,另外泵送水泥浆前要打 5 m³ 以上隔离液,并且要以大排量泵注水泥浆。固井各个技术参数一定要计算准确,技术管内要留不少于 10 m 的水泥柱,对替浆水一定要计量准确。采用 G 级油井水泥,水泥浆密度 ≤ 1.85 g/cm³,技术套管固井水泥返高 > 300 m,顶替完马上提出钻杆,候凝时间 ≤ 36 h。顶替时最大泵压 < 8 MPa,从打水泥浆到打完替浆水的时间在 1 h 内,质量和安全是有保障的。

2.4 成井工艺

明化镇热储层成井与一般水文水井工艺相同,采用缠丝滤水管,缠丝间距 0.8 mm,缠丝管外包 60 目尼龙网,选用 $\varnothing 2\sim 4$ mm 石英砂砾料,填砾厚度 > 75 mm,采用粘土球止水,然后管外回填红土至地表。牛驼镇地热田北部(固安县)的基岩井,用技术管封闭部分基岩,下部的基岩裸眼成井。雄县县城及白洋淀温泉城地区基岩井,在前面钻井结构中已经说明,此处不再赘述。

洗井多采用物理方法,对基岩结合酸泡或酸化压裂来进行。抽水试验由前期的采用空压机改为现在用潜水泵来进行。

3 施工难点

3.1 风化壳漏失引起的坍塌

雄县县城及白洋淀温泉城地区的井,风化壳从几米到 40 m 不等。进入 2000 年后,在钻进风化壳时,大部分井均出现全泵量漏失,个别井在钻开风化壳仅不足 1 m 时,瞬间全泵量漏失,泥浆液面骤降,造成上部第四系松散层因液面支撑力下降而坍塌,坍塌的同时,松散的砂层也成为漏失层。漏失发生后,马上提钻,有时能把钻具全部抢提出来,有时仅

能提出部分钻杆。处理埋卡在井内的钻具采用套铣的方法。最初泥浆液面大多是在50多米的位置,处理时,泥浆加稠的同时,还要在泥浆中加入桥式堵漏剂进行护壁和堵漏;井壁相对稳定的情况下,逐步进行套铣。从处理过程发现,控制住180 m以浅含水层的漏失,以下不再有松散含水层的漏失;但是,260 m以深的地层才基本没有明显的坍塌,坍塌物(主要是砂)间断地落到近600 m的深度。发生上述情况的原因是:(1)多年的热水开采,热储层压力下降很大(较开采初期下降了近0.9 MPa);(2)护壁管下的少(仅80 m左右);(3)个别井进入风化壳不足1 m就大量漏失,还没有来得及判断清楚是否钻到基岩。

采取的应对措施:(1)改“三开井”(图4)为“四开井”(图5),表层套管改为 $\varnothing 339.7$ mm,下深300 m,表层套管既是泵室管,又是护壁管;(2)二开用 $\varnothing 311$ mm钻至距预计基岩面100 m时,改用小一级钻头钻进,同时去掉扶正器和较粗的钻铤;(3)结合钻探特征和地质录井,卡准基岩面,必要时停钻进行专门的泥浆循环,以便捞样分析。

3.2 基岩顶漏钻进

在牛驮镇地热田北部的井中,一般没有大的漏失,也没有明显的风化壳,井壁较稳定,顶漏钻进风险不大。但在雄县县城及白洋淀温泉城的井,顶漏钻进存在很大的弊病:(1)井内的岩粉以及风化壳

的不稳定,对钻进安全构成很大威胁,极易造成卡钻;(2)大量岩粉进入储层,给含水层造成一定的堵塞;(3)有些井因岩粉太多,不得不提前终孔。正循环钻进,顶漏钻进的弊端不太好克服。从现今的工艺看,采用气举反循环钻进是有效的方法。牛驮镇地热田南部的井,揭露雾迷山组基岩厚度大多在200 m内,采用气举反循环钻进可以提高因漏失而无法钻进的深度,对探明整个雾迷山组的热储情况很有意义。

4 结语

河北省牛驮镇地热田20多年的勘探开发,结合了水文水井的成井工艺和石油钻井工艺,钻探工艺水平逐步提高,有经验也有深刻的教训。从现状看,在地热田的南部开展气举反循环新工艺钻进很有必要。各部门应加强对地热开发的管理,开展地热回灌工作,对地热田进行保护性开采有着迫切而又积极的意义。

参考文献:

- [1] 赵金洲,张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社,2005.
- [2] 马忠平,庞海,等. 天津地区地热钻井及成井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12).
- [3] 杨广山,张长茂,等. 河北省牛驮镇地热田勘查钻探技术工作报告[Z]. 1991.

(上接第26页)

大冶铁矿接替资源详勘钻探施工对孔斜要求较高,1000 m深的钻孔终孔要求偏离钻孔中心小于25 m。在施工中除采取各种措施控制钻孔偏斜外,还要有纠斜措施作保证。在施工中曾使用了灌水泥、扩孔、螺杆定向钻进等方法纠斜,但经过实践证明,在孔深300 m以前,用叠加定向法纠斜具有操作简单、经济、可靠的特点。在铁山矿区用此法纠斜效果统计见表1。

表1 铁山大冶铁矿纠斜效果统计表

孔号	纠斜深度/m	原顶角/方位角	纠斜后顶角/方位角	设计顶角/方位角
ZK19-1-17	300.00	9.0°/290°	7.8°/275°	8.0°/280°
ZK21-9	85.52	3.0°/280°	1.5°/260°	0°/-
ZK15-1-5	340.61	3.8°/320°	2.0°/304°	0°/-
ZK14-11	280.55	3.5°/260°	1.8°/280°	0°/-
ZK17-10	302.30	4.0°/235°	2.2°/215°	0°/-
BK-1	364.21	4.2°/308°	2.4°/290°	0°/-

4 结语

(1)用叠加定向原理对造斜的楔子进行定向,只需要使用测斜仪测量顶角,消除了铁磁体对测量方位角的影响,省去了定向仪,简化了装备,增加了定向可靠性与实用性,降低了消耗,提高了效益;

(2)定向工序简单,便于机台掌握、使用;

(3)造斜楔子不留孔内,对后续施工无任何影响。

参考文献:

- [1] 李世忠. 钻探工艺学(中)[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [2] 江天寿,等. 受控定向钻探技术[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [3] 滕子军,范万庆. 螺杆钻具纠斜的关键技术[J]. 中国煤田地质,2004,(S1).