

土耳其高温地热钻井关键技术

曹继飞¹, 赵洪山¹, 余广兴², 刘峰², 甘赠国²

(1.中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东 东营 257017; 2.中石化胜利石油工程有限公司渤海钻井公司, 山东 东营 257100)

摘要: 高温地热资源具有分布广泛、清洁环保的特点, 世界各国都在加大高温地热资源的开发利用。土耳其 ECOLOG 公司 Geo2E 地热发电项目高温地热钻井实施过程中, 针对区块高温地热钻井过程中存在的技术难点, 从井身结构设计、钻井提速、抗高温钻井液、安全钻井技术等方面着手, 进行相关技术的研究及应用, 现场应用效果好。该地区高温地热钻井成功经验能够为我国高温地热开发钻井施工提供有效借鉴, 促进我国高温地热资源的经济高效利用。

关键词: 高温地热; 钻井技术; 技术难点; 钻井提速; 土耳其

中图分类号: TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2018)09-0034-03

Key Technology for High Temperature Geothermal Drilling in Turkey/CAO Ji-fei¹, ZHAO Hong-shan¹, YU Guang-xing², LIU Feng², GAN Zeng-guo² (1. Drilling Technology Research Institute of Shengli Petroleum Engineering Ltd., Dongying Shandong 257017, China; 2. Bohai Drilling Company of Shengli Petroleum Engineering Ltd., Dongying Shandong 257100, China)

Abstract: Countries worldwide are increasing the exploitation of high temperature geothermal resources, due to their wide distribution, cleanliness and environment-friendliness. During drilling of the high temperature geothermal well of Geo2E, a geothermal power generating project of the Turkish company ECOLOG, research has been conducted on some drilling techniques to tackle high temperature geothermal drilling difficulties from various aspects, such as well structure design, drilling rate improvement, high-temperature resistant drilling fluid, safety drilling technology; and field application of these techniques has achieved good results. The successful high temperature geothermal drilling experiences in this area can be drawn on to enhance the economical and effective utilization of high temperature geothermal resources in China.

Key words: high temperature geothermal; drilling technology; technical difficulties; drilling rate improvement; Turkey

0 引言

地热资源是指能够被有效经济开发和利用的地热能、地热流体及其有用组分, 属于清洁的可再生能源, 具有分布广、可直接利用的特点。我国是世界上地热资源储量较大的国家之一, 在低碳经济和石油资源日益紧张的压力下, 世界各个国家开发地热资源的力度不断加大; 我国高温地热资源的开发利用程度相对较低, 国家“十三五”规划要求加快高温地热发电产业发展, 积极开展高温地热发电应用, 提高地热资源消费比重, 形成相关技术序列、条件成熟进行推广应用。

土耳其 ECOLOG 公司 Geo2E 地热发电项目是中石化胜利石油工程公司承揽的首个高温地热钻井大包项目, 钻井过程中面临着诸多技术难题, 目前已

完成 7 口井的现场施工(一期 4 口, 二期 3 口)经验能够为我国高温地热开发钻井施工提供有效借鉴。

1 土耳其高温地热地质概况

土耳其高温地热井施工的阿拉谢希尔区域位于地中海——喜马拉雅地热带, 其热储层为中生界/古生界的变质岩及灰岩, 热储类型为水热型, 最高温度为 230 °C。上部地层主要以新生界砂岩、砾岩为主, 红泥岩夹杂细沙岩、粉砂岩。该地区地质分层如表 1 所示。

2 土耳其高温地热钻井技术难点

根据邻近区块完钻井资料及区域地质资料分析, 该地区高温地热井钻井过程中面临着一系列技术

表 1 土耳其高温地热地层钻遇情况

| 地 层 名 称 | 底深/ m | 厚度/ m | 地 层 岩 性 |
|-------------------------|--------------------|----------|-------------|
| 第四系 Alluvion | 280 | 280 | 砂岩、泥岩 |
| 新近系 Kaletpe /Bintepeler | 920 | 640 | 砾岩、粉砂岩 |
| 新近系 Gediz | 1620 | 700 | 以砾岩为主,夹砂岩 |
| 新近系 Alasehir | 2336 | 716 | 粗砾—中砾的砾岩为主 |
| 中生界/ 古生界 | Metamorphic Serial | 3800 | 1464 灰岩、变质岩 |

难点,主要表现为:

(1)目的层地层较老,岩石硬度大,抗压强度高,研磨性强,使得单只钻头进尺小,机械钻速慢。邻近区块 OB-61 井基岩段地层钻进全部使用牙轮钻头为主,平均机械钻速仅为 2.5~3.5 m/h,使得钻井周期较长。

(2)地温梯度大,根据邻井实钻地层温度情况,待钻区块 500 m 处预计 100 °C,井底预计在 200 °C 以上,这就给钻井工具、钻井液体系及地面装备的选择提出了较大的挑战。

(3)目的层地层压力低,发育有裂缝、溶洞,局部含有 CO₂、H₂S,钻进过程中极易发生上喷下漏的问题,邻近区块基岩地层钻进发生多次失返性恶性漏失。

(4)断层发育明显,地层倾角大,基岩井段井斜难以控制,直接影响钻井质量和效率。

(5)考虑高温环境及建成井的寿命要求,高温、易漏及腐蚀介质多等问题对钻井液性能、固完井质量要求高。

3 土耳其高温地热钻井关键技术

3.1 井身结构优化

井身结构设计是保证安全、快速钻进的前提,在充分借鉴相似区块完钻井施工经验基础上,确定了区块井身结构设计的基本原则:(1)采用四开井身结构,表层套管下至 250 m 处,二开采用 13 $\frac{3}{8}$ in(1 in = 25.4 mm)套管封固上部常温地层,下至中新统中上部;(2)三开 9 $\frac{5}{8}$ in 套管封固漏层、裂缝发育带;(3)四开基岩井段定深完钻,若进入热储层发生失返性恶性漏失,强钻 50 m 后完钻。表 2 为该区块某井井身结构设计情况。

3.2 高温地热钻井提速技术

3.2.1 优选钻头类型,提高全井机械钻速

土耳其高温地热区块上部沉积岩地层以砂岩、

表 2 土耳其高温地热井井身结构

| 开钻 | 钻头直 径/mm | 井深/ m | 套管外 径/mm | 套管下 深/m | 水泥返 高/m | 备 注 |
|----|-------------|----------|-------------|------------|------------|------|
| 一开 | 660.4 | 201 | 508.0 | 200 | 地面 | |
| 二开 | 444.5 | 1085 | 339.7 | 1084 | 地面 | |
| 三开 | 311.2 | 2301 | 244.5 | 2300 | 980 | 尾管悬挂 |
| 四开 | 215.9 | 2900 | 177.8 | 2900 | 裸眼 | 尾管悬挂 |

砾岩为主,下步基岩井段以灰岩、变质岩为主,钻头类型的优选较为困难。针对区块地层岩石特性,优选钻头类型,在上部井段选用 PDC 钻头提高单只钻头机械钻速和进尺,基岩井段根据地层温度情况优选抗温能力强、牙齿保径和掌背加强的牙轮钻头,同时对比分析不同厂家牙轮钻头的经济效益,提高基岩井段钻进的经济效益,实现高温地热井的高效、经济钻进。以 K4 井为例,如表 3 所示,在 1500~2109 m 井段选用 PDC 钻头,单只钻头进尺达到 609 m,下部基岩井段采用抗高温牙轮钻头,平均机械钻速达 3.5 m/h。

表 3 K4 井钻头使用情况

| 钻头直 径/mm | 型 号 | 井段/m | 进尺/ m | 纯钻时 间/h | 机械钻速/ (m·h ⁻¹) |
|-------------|-----------|--------------|----------|------------|-------------------------------|
| 311.2 | HJ517G | 1059~1306 | 247.00 | 18 | 13.72 |
| 311.2 | HJ517G | 1306~1500 | 194.00 | 43 | 4.51 |
| 311.2 | PDC 钻头 | 1500~2109 | 609.00 | 152 | 4.00 |
| 311.2 | HE34JMRSV | 2109~2335.85 | 226.85 | 72 | 3.15 |
| 215.9 | HJ537GK | 2335.85~2566 | 230.15 | 62 | 3.71 |
| 215.9 | HJ537GK | 2566~2863 | 297.00 | 86 | 3.45 |

3.2.2 优化钻具组合,防斜与提速并举

高温地热区块基岩地层裂缝、断层发育,地层倾角大,地层自然造斜能力强,前期施工钻进过程中直井段井斜难以控制,下入螺杆纠斜且纠斜后井斜仍增长过快。针对后续施工井地质特征,细化层段钻具组合,在砂泥岩与基岩结合位置使用塔式钟摆钻具结构,进入变质岩层段,采用双扶、三扶钻具组合,起到较好的防斜效果。同时针对部分层段倾角较大的问题,在地层温度较低层段提前下入小角度螺杆(不带扶正器),将井斜控制在合理范围,然后下入满眼钻具组合配合水力加压器来控制井斜的增长,达到防斜与提速并举。以 K3 井为例,通过使用优化后的钻具组合,在 1700~2500 m 易斜井段将井斜控制在 3°以内,满足了甲方设计要求。

3.3 抗高温钻井液技术

高温地热井对钻井液体系性能要求较为严格,施工区块上部地层为砂泥岩,易水化分散,同时压力

系数低,容易发生漏失,携带困难等,选用抑制性聚合物钻井液体系,以解决软泥岩分散导致的钻井液流型差、固相含量难以控制等难题,同时减少了因流型调整产生的钻井液排放量,降低环保压力。

针对下部基岩地层地层压力系数低、高温、易漏等问题,优选了抗高温低固相聚合物钻井液体系。该体系具有低密度、低粘度、低切力、低滤失、耐高温能力强等特点,选用的抗高温的处理剂可以在长时间高温下不会降解失效。施工前,在套管内利用配置好的抗高温聚合物胶液,一次性将钻井液的 MBT 降至 20 g/L 左右,密度降至 1.08 g/cm³、粘度 40 s、切力降至 2~7 Pa、滤失量 6 mL、pH 值保持在 9.5 以上。调整好钻井液性能后开始钻进,钻进过程中,根据实际情况及时补充配置好的抗高温聚合物胶液,并利用三级固控设备清除钻井液中的有害固相,保持钻井液的低固相。同时自主设计了钻井液冷却装置,采取多种措施保证钻井液出口温度在合理范围内。

现场应用表明该体系性能稳定,具有强抑制性、良好的流变性和润滑性能、性能稳定周期长、维护工艺简单等特点,满足了该地区高温地热施工技术要求。

3.4 抗高温安全钻井技术

土耳其高温地热井钻井施工过程中存在一系列风险,主要表现为:上部大井眼憋跳钻严重,对钻具及钻头损害较大,容易造成断钻具、卡钻等复杂情况;全井段都有井漏风险,特别是热储层有可能发生只进不出的漏失,存在沉砂卡钻的风险;热储层温度高,易产生闪蒸或停待时间长发生蒸汽井喷,可能会发生 CO₂ 等酸性气体气侵,并且钻井液因温度高流变稳定性变差。

针对以上问题,结合施工经验,从工程风险控制、井漏风险控制、井控及钻具风险控制三方面着手,总结形成了适合该地区的高温地热安全钻井技术。

3.4.1 工程风险控制

上部大尺寸井眼钻进加装减震器,减少憋跳钻等现象;三开及四开钻进时使用滚轮扶正器,简化钻具结构,降低扭矩以减少断钻具情况的发生。钻头使用方面严格遵循施工方案,在目的层钻进时选用抗温性能好、强耐磨的牙轮钻头,保证井下安全。

3.4.2 井漏风险控制

针对可能发生的井漏风险,非热储层以桥浆堵漏

为主,水泥堵漏为辅;热储层发生井漏,以补充清水聚合物为主,坚持钻进,上提下放钻具观察沉砂情况,如有放不到底或摩阻扭矩增大情况发生,则及时停钻、泵入高粘聚合物钻井液清扫井底、保证井下安全。

固井过程若发生失返,先注一定数量尾浆,保证套管鞋处固井质量,再从环空注清水顶替漏层以上水泥浆进漏层,保证通道畅通,待漏层下水泥浆稠化后,再从环空注足量的低密度水泥浆,保证水泥返高满足要求。

3.4.3 井控及钻具风险控制

高温地热井钻进过程热储层易发生井漏、井涌并诱发出井喷。钻进过程中随钻监测和一次井控工作至关重要,需密切关注钻井液进出口温度与密度变化、液面及返出流量变化、悬重、钻速及砂样状况等。同时为防止井口渗漏蒸汽伤人,安装易于开关的井口设备,控制装置置于地面以上,做到远程控制。准备 10 倍于井内最大容积的冷水,必要时采用“冷水控喷”。

钻具安全风险控制措施主要包括:(1)制定好轨迹控制措施,保证井眼“狗腿度”尽可能小;(2)起下钻对易疲劳井段钻具进行倒换,减少长期疲劳损伤情况;(3)计算钻具震动区间,加装合适的减震器、稳定器以保护钻具。

4 现场应用效果分析

目前土耳其高温地热钻井大包项目已完成 7 口井的钻井施工,高温地热钻井提速、抗高温钻井液及安全钻井技术的应用起到了很好的效果,从表 4 中可以看出,2800 m 左右施工井钻井周期较项目初期减少 5~10 d,且施工井全部实现盈利,施工经验的积累和钻井关键技术的成熟应用能够为二期项目后续施工井的高效进行提供坚实的技术保障。

表 4 土耳其高温地热井经济评价总结

| 井号 | 井深/ m | 平均机械钻速/ (m·h ⁻¹) | 钻井周期/ d | 建井周期/ d |
|---------|----------|---------------------------------|------------|------------|
| K1 | 3800 | 5.69 | 80.38 | 100.73 |
| D1 | 2875 | 4.68 | 54.21 | 82.96 |
| K2 | 2880 | 6.78 | 49.04 | 57.88 |
| K3 | 2562 | 5.50 | 38.08 | 40.08 |
| K4 | 2863 | 6.71 | 44.00 | 47.83 |
| B1(定向井) | 2500 | 3.60 | 37.71 | 43.27 |
| K5 | 2407 | 7.79 | 33.94 | 45.42 |