

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, 现场应用效果良好。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

收稿日期: 2018-05-07

作者简介: 曹继飞, 男, 汉族, 1986 年生, 钻井工程专业, 硕士, 主要从事复杂结构井技术服务与研究, 山东省东营市北一路 827 号, caojif-eidrilling@163.com。

表 1 土耳其高温地热地层遇温情况

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 Kaletepe /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 / Metamorphic Serial	3800	1464	灰岩、变质岩
古生界			

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果,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

(下转第 41 页)

在进行下开次钻井作业之前,现场还采用了溢流检查(负压)手段对高压盐膏层段固井质量进行检验。具体做法:钻水泥塞及浮鞋至原井深后,循环,溢流观察;起钻,分段每500 m用清水替出井内原浆(折合井底钻井液当量密度为下开次钻进钻井液密度),每次替完浆进行溢流观察;下钻至井底,替入下开次井段所用钻井液,循环调整钻井液性能均匀,并溢流观察。由于高压盐膏层井段固井的特殊性,在进行溢流检查时还需排除井筒热效应的影响。47井高压盐膏层井段固井质量中等—良好,溢流检查确认井眼稳定,不溢不漏。

4 结语

针对米桑油田高压盐膏层固井的难点及出现的问题,在前人大量技术研究的基础上,主要从现场施工的技术应用方面进行了优化,主要优化措施有:

(1)提高隔离液粘度与套管居中度综合考虑,隔离液中加入防漏纤维,泵入前置液前,泵入适量低密度且流变性较好的钻井液。

(2)采用双凝水泥浆体系,提前进行大量水泥浆实验室试验,最优化一级固井水泥浆的“直角稠化”性能及水泥浆、前置液与钻井液的相容性。

(3)制定更为严格的套(尾)管现场检验标准。

(4)易漏井段对起下钻速度、下套管速度均严格

定量限制;钻进期间及固井前循环,均限时缓慢开泵。固井前循环由于环空间隙窄,循环压耗大,更要慎重、耐心,逐泵冲提排量至正常排量。

(5)采用了溢流检查(负压)手段对高压盐膏层段固井质量进行检验,并排除井筒热效应的影响。

优化措施取得了良好的效果,高压盐膏层井段固井质量合格,为下部钻井作业顺利进行奠定了技术基础。由于各区块地质条件和井型的差异性,该措施的应用还有一定的局限性。

参考文献:

- [1] 蒋凯,罗宇维,史元,等.M油田高压盐膏层固井技术研究与应用[J].中国海上油气,2013,(3):44-49.
- [2] 罗宇维,赵璇,宋茂林,等.中国海油固井技术发展现状与展望[J].石油科技论坛,2017,(1):32-36.
- [3] 齐奉忠,杨成颜,刘子帅.提高复杂油气井固井质量技术研究——保证水泥环长期密封性的技术措施[J].石油科技论坛,2013,(1):19-22,66-67.
- [4] 薛雷,杨海席,王长月,等.高压盐膏层固井技术研究及在伊拉克米桑油田的应用[J].内蒙古石油化工,2016,(7):77-81.
- [5] 于小龙,王涛,刘云,等.无氯低温早强剂及其在浅层水平井固井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):55-58.
- [6] 戴小毛.伊拉克鲁迈拉油田优化固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(11):45-47.
- [7] 嵇井明,杨远光,安新朝.固井水泥浆主要性能模糊评价方法研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):24-27.
- [8] SY/T 5396-2012,石油套管现场检验、运输与贮存[S].

(上接第36页)

5 结论及建议

(1)高温地热钻井关键技术的应用为土耳其高温地热高效钻井提供了技术保障,但仍存在基岩井段机械钻速慢的问题,下步将吸取石油钻井硬地层提速经验进行水力加压器、扭冲工具等提速工具的推广,进一步提高机械钻速,缩短钻井周期。

(2)钻头类型的优选是基岩地层高效提速的关键,下步将根据该地层特性进行耐磨混合钻头的研发及优化,提高基岩地层的钻井速度。

(3)卡钻、井漏及井控风险的控制对高温地热安全钻进至关重要,建议制定相应的高温地热安全钻进技术规范,进一步提高高温地热钻井过程的安全性。

参考文献:

- [1] 戴宝华.我国地热资源开发利用与战略布局思考[J].石油石化绿色低碳,2017,2(1):6-12.
- [2] 郑人瑞,周平,唐金荣.欧洲地热资源开发利用现状及启示[J].中国矿业,2017,(5):22-25.
- [3] 许刘万,伍晓龙,王艳丽.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.
- [4] 查永进,冯晓炜,葛云华.高温地热发电钻井技术进展[J].科技导报,2012,30(32):12-15.
- [5] 秦林猛,董璐.浅谈我国地热井钻探工艺及方法[J].商品与质量,2016,(14):30-33.
- [6] 邵保平,赵金昌,赵阳升.高温岩体地热钻井施工关键技术研究[J].岩石力学与工程学报,2011,(11):2234-2243.
- [7] 金子辉.肯尼亚OLKARIA高温地热井钻井技术应用[J].黑龙江科技信息,2012,(25):43-45.
- [8] 王文勇,龙俊西,刘博伟.超高温地热井泡沫钻井井筒压力剖面计算方法[J].天然气工业,2012,32(7):59-62.
- [9] 吕洁,武争.气举反循环钻进技术在地热深井施工中的应用[J].工程技术,文摘版,2016,(10):16-20.
- [10] 黄学勤,柯柏林,赵连海.定向井工艺在复杂基岩地层地热钻井中的应用[J].城市地质,2007,2(2):37-42.