

贵州省遵义县 ZK1 地热井钻井液技术

王 虎^{1,2}, 朱斗圣³, 张承飞³, 邓少东³, 刘玉超³

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 111 地质大队, 贵州 贵阳 550008; 2. 贵州地质工程勘察设计院, 贵州 贵阳 550008; 3. 贵州省地质矿产勘查开发局 112 地质大队, 贵州 安顺 561000)

摘要: 为了满足贵州省遵义县 ZK1 地热井钻进施工中引进的螺杆钻进工艺对钻井液性能的要求, 应对该井复杂的地质条件, 综合分析了地层的特征和复杂程度以及螺杆钻进工艺所需的钻井液性能参数, 在实验室进行了钻井液配比实验。通过该井的应用实践, 表明所采用的钻井液性能良好, 适应性强, 粘度适中, 滤失量合理, 形成的泥饼薄而致密, 对防止孔壁的缩径垮塌起到了良好作用, 减少了孔内事故发生率, 对螺杆钻进能够提供足够的动力, 完全能够满足螺杆钻进工艺要求, 提高了钻进效率。

关键词: 钻井液; 地热井; 螺杆钻具; 复杂地层

中图分类号: P634.6 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2016)10-0245-05

Drilling Fluid Technology for ZK1 Geothermal Well in Zunyi of Guizhou/WANG Hu^{1,2}, ZHU Dou-sheng³, ZHANG Cheng-fei³, DENG Shao-dong³, LIU Yu-chao³ (1. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province 111 Geological Brigade, Guiyang Guizhou 550008, China; 2. Guizhou Geological Engineering Investigation Design and Research Institute, Guiyang Guizhou 550008, China; 3. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province 112 Geological Brigade, Anshun Guizhou 550008, China)

Abstract: Screw drilling technology was introduced to ZK1 geothermal well drilling construction in Zunyi of Guizhou, in order to meet the requirements of screw drilling technology on drilling fluid property and deal with the complicated geological conditions, a comprehensive analysis was made on the formation characteristics and complex degree as well as performance parameters of drilling fluid for drilling process. Drilling fluid proportioning experiment was carried out in laboratory. Through the application in this well, it showed that the drilling fluid has good properties of strong adaptability, moderate viscosity and reasonable filter loss with thin and compact mud cake, which can prevent borehole collapse and diameter shrinkage to reduce accident rate and can provide sufficient power for screw drilling to meet the requirements of screw drilling technology and improve drilling efficiency.

Key words: drilling fluid; geothermal well; screw drill; complex strata

0 引言

地热是一种廉价、清洁、丰富的能源^[1-2]。研究资料表明, 贵州省的地热资源十分丰富, 具有良好的勘查和开发前景^[3-4]。但贵州省地质条件复杂, 钻井技术相对落后, 钻进效率低, 施工成本高、风险大, 束缚了贵州省地热资源的勘查和开发利用, 严重影响了贵州省的钻探技术水平的发展和提高, 也制约了贵州省的经济发展^[5]。为提高贵州省深井钻探施工效率和经济效益, 贵州省地矿局引进了先进的钻井工艺技术——螺杆钻具孔底动力钻井工艺^[6], 并在贵州省遵义县三合镇的地热钻井施工中进行了

应用研究。螺杆钻具本身对钻井液要求较高, 加之施工区域地质条件复杂, 需要严格设计和控制钻井液各方面性能。为保证充分发挥螺杆钻具作用, 提高钻进效率, 结合螺杆钻具要求和试验井地质情况, 实验组在实验室进行了钻井液优选配比实验, 并在试验井进行了现场试验。

1 试验井地理概况

试验井为贵州省遵义县 ZK1 井(以下简称 ZK1 井), 地处贵州省遵义县三合镇青龙寺旁, 北距遵义

收稿日期: 2016-07-13

基金项目: 贵州省科技厅社会发展科技攻关项目“贵州复杂地层深井钻探工艺应用研究”(编号: 黔科合 SY 字[2015]3002); 贵州省地矿局地质科研资金资助项目“地热钻井泥浆技术的研究应用”(编号: 黔地矿科合[2014]01)

作者简介: 王虎, 男, 满族, 1985 年生, 钻探工程部主任工程师, 硕士, 从事钻井工程技术和管理工作, 贵州省贵阳市云岩区百花大道 5 号, 516775129@qq.com。

通讯作者: 朱斗圣, 男, 汉族, 1968 年生, 高级工程师, 从事钻探工程工作, 贵州省安顺市西秀区西水路 57 号, 1104106950@qq.com。

市 27 km,南距贵阳市城区 102 km,与贵阳市的息烽县相邻,有 G50 兰海高速公路从试验井东侧通过,并有 210 国道经过该区域。210 国道与试验井施工场地之间有简易公路联通,交通较方便。施工地点附近有饮用水井一口,很好地解决了施工用水问题。试验井所在地区位于黔北岩溶丘陵地带,其地势总体上北高南低。区内地貌以溶蚀侵蚀中低山岩溶山岳河谷地貌为主,岩溶发育,多为峰丛地貌,岩溶洼地、岩溶谷地等,但是地层总体比较稳定。

2 地层特点及技术难点

2.1 地层及岩性情况

表 1 为 ZK1 井地层分层及岩性情况。从表中可以看出,ZK1 井所钻地层以碳酸盐岩为主,夹杂大量泥、页岩,三叠系下统茅草铺组含有石膏层,二叠系上统长兴组 + 龙潭组间夹松散煤层。整个地层包含了岩溶发育、水敏、松散、软硬夹层、石膏层等多种复杂地质条件,钻进难度极大。

表 1 ZK1 井地层分层及岩性情况

地层分层	地层代号	预计深度/m	岩性描述
第四系	Q	10.00	卵石层,褐色、杏黄色粘土、砂土
三叠系中统狮子山组	T _{2sh}	176.00	上部为灰色薄—中厚白云岩,泥质白云岩,夹少量泥质灰岩和钙质泥岩;下部为灰色中—厚层石灰岩、泥质灰岩、白云岩、白云质灰岩、页岩,局部具角砾状
三叠系中统松子坎组	T _{2s}	354.00	泥岩、页岩、泥质白云岩、白云岩互层,间夹石灰岩、白云质灰岩及角砾状白云岩(下部易垮)
三叠系下统茅草铺组	T _{1m}	645.00	上段为灰色中厚白云岩、石灰岩、角砾状白云岩;中段为泥质白云岩;下段为浅灰色薄—中厚石灰岩、夹角砾状灰岩及白云岩。局部含石膏层
三叠系下统九级滩段	T _{1j} ³	681.00	紫红色泥岩、页岩;间夹泥质灰岩(易垮段)
三叠系下统玉龙山段 + 沙堡湾段	T _{1y} ¹⁺²	1081.00	上部为薄—中厚石灰岩、泥质灰岩;下段为杂色泥岩、页岩及泥灰岩,易垮
二叠系上统长兴组 + 龙潭组	P _{2l+c}	1456.00	上部为灰色中—厚层石灰岩、含燧石团块灰岩,间夹页岩及硅质岩;下部主要由硅质岩、炭质泥岩、砂岩组成,间夹煤层,易垮
二叠系中统茅口组 + 栖霞组	P _{1q+m}	2000.00	上段由屑灰岩、硅质岩组成,中段为泥灰岩及硅质灰岩,下段为浅灰色厚层石灰岩夹少量泥质条带灰岩;栖霞组为中—厚层石灰岩、泥质灰岩、含燧石结核灰岩,夹少量白云质灰岩及页岩。底部由粘土岩、炭质页岩及砂岩组成,层厚 0~60 m,该层为钻探目的层

2.2 钻井液技术难点

由于施工区域处在各个地质构造板块的交界地带,区内构造应力场较为复杂,从而导致附近的地层走向形成了一 S 形绕曲,这一现象导致本地区的地层比较破碎,完整性较差,在钻孔施工过程中孔壁的稳定性和较差,易发生掉块和垮塌现象;还钻遇有水敏性地层,遇水容易膨胀缩径,易垮塌,容易产生泥包钻头现象。此外,从 340~700 m 地层段含有少量石膏,钻井液容易被钙侵而改变性能。因此,ZK1 井的钻井液技术难点主要有以下几点。

(1) 钻井液漏失:由于碳酸盐岩地层岩溶发育,加之施工区域主要处于地质构造板块的交汇点,区内构造应力复杂,岩石破碎,地层溶洞、溶隙、裂隙发育,地层漏失严重,尤其是 200 m 以浅地层,多处完全漏失。

(2) 地层失稳:松散煤层和破碎带的存在,使得钻进过程中会容易发生掉块、垮塌等孔壁失稳情况,如不能稳定井壁,容易引发卡钻、埋钻等钻井事故。

(3) 水敏地层:在钻进过程中会钻遇泥质灰岩、

泥质白云岩、泥页岩等水敏性地层,造成膨胀缩径,孔壁垮塌等,发生孔内事故。

(4) 水泥侵和石膏侵:固井水泥和三叠系下统茅草铺组夹杂的石膏侵入钻井液后破坏钻井液的性能,给钻井液维护带来困难。

(5) 固相控制:螺杆钻具对钻井液固相含量要求高。根据经验,钻井液含砂量超过 0.5% 时,螺杆钻具使用寿命会降低 1/3 以上。

3 钻井液的技术措施

3.1 钻井液设计原则

孔壁稳定是安全钻进的重要条件,而合理的钻井液,将直接影响到钻探质量、钻进效率和钻井成本。选择适合施工区地质条件的钻井液处理剂,增强钻井液护壁堵漏能力,降低钻井液滤失量,以确保孔壁稳定和形成规则的井眼^[7]。钻井液要有良好的流变性,能够很好地为螺杆马达传递动力,又具有良好的护壁携砂能力。

针对上述地层特点和施工工艺,钻井液设计需

遵循以下原则。

(1)在中小漏失地层,钻井液应具有较好的护壁堵漏性能;在溶洞等恶性漏失地层,需要顶漏钻进的情况下,钻井液应在保证孔壁稳定和孔底干净的前提下,尽量降低成本。

(2)在松散煤层和破碎地层等不稳定地层,钻井液应有较强的防塌护壁性能,以保证井眼稳定。

(3)由于全孔多处夹杂水敏地层,全孔钻井液应保持较好的失水性能和抑制水化膨胀的能力。在水敏性较强的井段,应提前加强钻井液的抑制性。

(4)在扫水泥塞和钻至含石膏地层前,应提前加强钻井液的抗侵能力。

(5)钻井液固相含量对螺杆钻具寿命影响较大,要保证螺杆钻具寿命,必须及时清除钻井液中的有害固相,因此要配备有功能齐全的泥浆固控系统^[8];另外,为能为螺杆钻具提供足够的动力,保证钻井效率,钻井液必须具有良好的流变性。

(6)由于是大口径施工,钻速快,岩屑颗粒粗,钻井液必须有强大的携砂排粉能力。

3.2 钻井液处理剂的选择

根据试用配方选定方向选择了水解聚丙烯腈铵盐($\text{NH}_4 - \text{HPAN}$)、氯化钾、羧甲基纤维素钠($\text{Na} - \text{CMC}$)、KL防塌护壁剂、磺化沥青防塌护壁剂、803堵漏剂和防塌润滑剂等5种泥浆处理剂。

(1)水解聚丙烯腈铵盐($\text{NH}_4 - \text{HPAN}$)具有降滤失和抑制页岩分散的作用。在以前的实验和应用中都已经试验成功。

(2)高粘羧甲基纤维素钠($\text{HV} - \text{CMC}$)具有降滤失和增粘的作用。在泥浆中含量较高时,亦具有一定的抑制页岩水化膨胀能力。

(3)KL防塌护壁剂和磺化沥青防塌护壁剂具有良好的冷水分散性能,能够有效地抑制页岩膨胀和防止井壁坍塌;优良的降失水性能,泥皮致密坚韧;良好的润滑性能,可更好地防止粘附卡钻和一定的防垮塌作用。

(4)803堵漏剂在微裂隙中具有较好的随钻堵漏效果。

(5)氯化钾中的钾离子对水敏性地层的膨胀缩径有较好的抑制作用^[10]。

3.3 钻井液的室内实验

针对地层和钻进工艺,通过多方调研以后把筛选出来的处理剂在室内进行实验、对比。在钻井液

配制过程中必须适当加大钻井液的密度,降低钻井液的滤失量。原浆采用优质钠土粉加水充分搅拌,水化24 h以上。处理剂采用聚丙烯腈铵盐、CMC、KPHP及GSP广谱护壁剂,粘度高时可以采用腐植酸钾作稀释剂,配制成低固相钻井液^[11],性能控制标准为:密度 $1.05 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $28 \sim 35 \text{ s}$,失水量 $< 8 \text{ mL}/7.5 \text{ min}$,泥饼厚度 $< 1 \text{ mm}$,pH值 $9 \sim 10$ 。

由上面地层岩性可知,上部岩层含有大量的泥岩、泥灰岩、泥页岩等水敏性地层,易垮塌,易缩径,还含有少量的石膏,所以,在钻井液选择方面,主要是以低固相抑制性钻井液并兼具抗钙侵功能^[12-13]。

根据实验室配比实验,最终确定 $0 \sim 1000 \text{ m}$ 钻井液配方为:水+7%优质钠土+0.4%~0.6%纯碱+0.1%高粘羧甲基纤维素+1%聚丙烯腈铵盐+0.8%磺化沥青+1%防塌润滑剂+包被剂。其性能为:密度 $1.06 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$,pH值9.5,马氏漏斗粘度 $29 \sim 35 \text{ s}$,API失水量 $< 8 \text{ mL}$,含砂量 $< 4\%$,泥饼厚度 1 mm 。

钻进至 1000 m 左右,下入套管并固井,上部地层已经全部被套管隔离,但是随着孔深不断增加,必须增强钻井液的排沙能力。因此, 1000 m 以后的钻井液要进行调整。

根据室内模拟实验, $1000 \sim 2000 \text{ m}$ 钻井液配方调整为:水+7%优质钠土+0.2%纯碱+0.3%高粘羧甲基纤维素+1%聚丙烯腈铵盐+1%防塌润滑剂+包被剂+0.3%~0.5%广谱护壁剂+适量抗高温处理剂。其性能为:密度 $1.06 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$,pH值 $9 \sim 10$,漏斗粘度 $28 \sim 30 \text{ s}$,API失水量 $< 10 \text{ mL}$,含砂量 $< 4\%$,泥饼厚度 1 mm 。

在 1000 m 以深,不再向钻井液当中添加磺化沥青,由于磺化沥青对地热水资源具有一定的污染性,并可能堵塞地层影响抽水,在进入热储层前,应当减少或不用磺化沥青,必要时,可加入 CaCO_3 对渗透地层进行暂堵,完井时再用酸洗解堵^[14]。

3.4 现场试验

在室内实验并选定钻井液配方以后,在三合ZK1地热井施工现场进行了试验。

ZK1井设计井深 2000 m ,实际完井深度 2076 m ,井深结构如表2所示。

表2 ZK1井井身结构

井深/m	井径/mm	备注
0.00~20.00	395	下入 $\varnothing 377$ mm 无缝钢管,并用水泥压浆永久性止水
20.00~1000.00	311	下入 $\varnothing 244.5$ mm APIJ 55 石油套管,并用水泥压浆永久性止水
1000.00~1500.00	216	下入 $\varnothing 177.8$ mm APIN 80 石油套管,并用水泥压浆永久性止水
1500.00~2000.00	152	如水量大,地层破碎,下入 $\varnothing 127$ mm APIN80 石油套管(有眼管)

通过现场使用,效果良好,孔壁稳定,一直钻进至终孔,孔内没有出现掉块和垮塌现象。但是在钻进至340~700 m孔段,钻遇含石膏地层,开始有钻头泥包现象,通过钻井液维护和添加纯碱进行调理,钻井液性能恢复正常。

4 钻井液维护

4.1 钻井液维护原则

(1)由于钻速快,产生的岩屑多,结合钻井过程中采用大排量钻进,防止厚泥皮的形成,须开启五级固控系统,最大限度地清除钻井液中的有害固相。固相含量过高对螺杆的损害较大,严重缩短螺杆的使用寿命。振动筛采用80目以上的筛布。每钻进200~300 m,清理一次沉淀池,保持钻井液的清洁^[15]。

(2)正常钻进过程中要求每班每30 min测量一次泥浆密度、漏斗粘度。每班至少测量一次泥浆的全套性能(包括密度、粘度、滤失量、泥饼厚度、含砂量、pH值等)。特别是在0~1000 m孔段,要随时注意钻井液性能变化,分析变化情况。根随钻井液性能变化添加一定量的纯碱。纯碱不宜过多,但是也不能少,要保证钻井液的抗钙侵能力。

(3)控制钻井液粘度。粘度过高会降低螺杆钻进效率;粘度低了又对排沙不利。根据钻进过程中的实际情况综合分析,找到钻速和排砂的最优点。

(4)发现泥浆性能异常,应重复测量,并根据钻井液性能的变化,分析井下情况,及时做出调整。

(5)定时校正钻井液的测量仪器,使测量数据准确、无误。

4.2 钻井液性能的调节

(1)粘度和切力:钻进完整地层粘度控制在27 s左右;泥页岩地层控制在30 s左右。若粘度过高,可以加入腐植酸钾等降低粘度;过低则可以加入高

粘纤维素增加粘度。

(2)滤失量和泥饼厚度:完整地层滤失量应控制在15 mL/30 min以内,泥饼厚度应控制在0.5 mm以内;泥页岩地层及其他吸水膨胀易垮塌地层滤失量应控制在5 mL/30 min以内,泥饼厚度应控制在0.5 mm以内。要降低滤失量,减小泥饼厚度可以加纤维素或者腐植酸钾。

(3)密度:钻井液的密度是平衡孔内压力的参数。密度过小可能引起孔内垮塌;密度过大则可能压漏地层,同时钻具磨损也严重,也容易发生粘吸卡钻。优质钻井液一般密度应控制在1.05~1.15 g/cm³之间。密度过大可以采用清水稀释,也可以加入少量的润滑剂^[16-17]。

(4)含砂量:牙轮钻含砂量要求控制在4%以内,螺杆钻含砂量应控制在0.5%以内。含砂量太大,可以加入少量聚丙烯酰胺使小颗粒絮凝,通过固相控制设备除去^[18]。

(5)pH值:pH值是钻井液酸碱度的指标,一般控制在8~11之间。可以通过加入烧碱(NaOH)来调节。

(6)钻井液性能调节必须在钻井液循环的条件下进行。

(7)添加剂必须少量、缓慢的加入。

5 取得的效果

经过对钻井液的合理选择和精心控制,钻井液保持了较好的润滑性、流变性、携砂能力,保证了ZK1井的顺利施工,充分满足了螺杆钻进工艺的要求。

5.1 井身质量好

井壁稳定是保证井身质量的重要因素,而井壁稳定取决于钻井液性能的好坏。在ZK1井整个施工过程中,没有发生孔内事故,起下钻没有发生阻卡现象。没有发生明显的掉块和缩径垮塌现象,下套管顺利。充分说明了井身质量好。

5.2 钻井液密度合理

钻井液的密度一直控制在1.06~1.08 g/cm³范围,避免了密度过高引起的井漏;也避免了密度过低引起的软泥层蠕变、破碎地层坍塌,从而造成的缩径、掉块、垮塌等事故;也保证了较大颗粒的岩屑充分排出孔外。

5.3 钻井液粘度合理

在钻进施工过程中,钻井液的马氏漏斗粘度适中,一直控制在28~30 s,粘吸卡钻、缩径、垮塌事故减少,充分满足了螺杆钻进要求,提高了钻进效率,钻进时效达到19.7 m/h。

5.5 钻进效果

通过现场的试验实践证明,所使用的钻井液配方性能稳定,孔内钻进平稳,孔壁比较稳定,钻孔质量好,顺利完钻。说明这种低固相钻井液完全可以满足矿区地层的钻进要求。该钻孔的经济技术指标见表3。

表3 ZK1井经济技术指标

钻井液类型	台月效率/ m	单米成本/ 元	平均钻进时效/ m	孔内 事故
普通钻井液	615.2	1762.34	9.5	有
现场试验钻井液	812	1505.83	19.7	无

6 结语

经过在ZK1地热井的钻井液试验表明,所选用的钻井液配方对复杂地层具有良好的润滑减阻和护壁效果,能够很好地抑制泥页岩、泥灰岩、泥岩的水化、膨胀,并兼有地层微裂隙堵漏效果。该钻井液能够满足螺杆钻进的要求,为螺杆钻进工艺发挥了良好的作用,钻进效率大大提高。

当然,不同的地层钻井液配方并不是一成不变的,应该根据不同矿区的地质和水质和钻进工艺等具体情况,采用不同的配方,才能满足钻孔施工需要。此外,钻井液性能的现场维护是十分重要的,在水敏性地层中施工钻孔,一般要求钻井液具有低密度、低滤失量、抑制性能良好、泥饼薄而韧性好、堵漏效果明显,就可以起到较好的护壁作用。钻进过程中要根据实际情况,认真分析,调整钻井液密度和流变性,找到螺杆钻进需要满足的钻井液性能参数和稳定孔壁需要满足的性能参数的最优交汇点,从而满足钻孔施工需要。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 胡郁乐,张惠,张秋冬,等.深部地热钻井与成井技术[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2013:2-5.
- [3] 毛健全.贵州省地热资源特征、分布规律、开发现状及发展远景[C]//中国西部地热资源开发战略研究论文集.2001:29-36.
- [4] 王明章,王尚彦.贵州省地热资源开发问题及对策建议[J].贵州地质,2007,24(1):9-12.
- [5] 王虎,陈怡,段德培,等.贵州省深部地热钻井现状与发展建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):45-47,52.
- [6] 苏宁,王虎,王剑,等.多工艺钻井技术在贵州省遵义县ZK1井施工中的应用研究[J].地质与勘探,2016,52(1):165-172.
- [7] 战启帅,杨卫东,王天放,等.鲁页参1井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):27-31.
- [8] 李奇龙.螺杆钻具在地热井钻探中的应用初探[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):56-58.
- [9] 连经社,刘景三,赵强,等.油田化学应用技术[M].山东东营:中国石油大学出版社,2007:27-38.
- [10] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002:307-346.
- [11] 袁进科,陈礼仪,牛文林,等.低固相钻井液体系在古叙煤田勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(1):21-23.
- [12] 洪江,朱斗圣,张承飞,等.河南嵩县东湾金矿勘探泥浆应用探讨[J].西部探矿工程,2010,22(11):141-142.
- [13] 洪江,张承飞,朱斗圣,等.抑制性泥浆在贵州桐梓煤矿勘探中的应用[J].西部探矿工程,2010,22(11):161-163.
- [14] 李勇,陈怡,王虎,等.磺化沥青钻井液在贵州地热勘探井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):27-30.
- [15] 耿令强,刘松良,吴绍清,等.螺杆钻进技术在超深地热井中的应用[J].中国煤炭地质,2007,19(A01):76-77.
- [16] 张统得,陈礼仪,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目钻井液技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):139-142.
- [17] 张林生,陈礼仪,彭刚,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):146-150.
- [18] 张纯峰,孙贵生.螺杆钻进技术在煤田勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):15-16.