

低固相高润滑双聚钻井液体系在地热井施工中的应用

李亚刚

(河南省地质矿产勘查开发局第四地质矿产调查院,河南 郑州 450000)

摘要:在河南省兰考地区地热井施工中,二开井段深度超过 1500 m,采用普通膨润土钻井液体系无法满足地热井施工及对含水层保护的要求,且容易造成卡钻事故。为了解决生产实际问题,研究设计了一种地热井施工用低固相高润滑双聚钻井液体系,通过现场 4 口井中的应用,钻井过程顺利,有效解决了井眼携砂能力不强、泥岩地层井壁不稳定、砂岩地层失水量大、泥皮厚等问题,4 口井均未发生任何井下复杂情况和事故,说明该钻井液体系对兰考地区地层的适应性较好,能够满足该地区钻井工程的需要,对兰考地区地热井施工具有很好的指导意义。

关键词:地热井;低固相钻井液;高润滑双聚钻井液;兰考地区

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672—7428(2020)11—0051—05

Application of a low solid-phase, high lubricating and double polymer drilling fluid system in geothermal well drilling

LI Yagang

(No.4 Institute of Geological and Mineral Resources Survey from Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: In geothermal well drilling in Lankao where the depth of the second well section is more than 1500m, the common bentonite drilling fluid system can not meet the requirements, and it is easy to cause sticking incidents. In order to solve the drilling problems, a kind of low solid-phase, high lubricating and double polymer drilling fluid system was designed for geothermal well drilling. Field application in 4 wells showed that the drilling process was smooth, which effectively solved the problems such as poor sand-carrying capacity, unstable well wall in mudstone formation, large water loss in sandstone formation, thick mud cake, etc. None of the 4 wells met any difficult situation and incident. The drilling results indicate that the drilling fluid system has good compatibility with the formation characteristics in the Lankao area and can meet the needs of drilling works, providing good guidance for geothermal well drilling in the Lankao area.

Key words: geothermal well; low solid drilling fluid; double polymer high lubricating drilling fluid; Lankao area

1 概述

目前,在河南省兰考地区,地热井供暖项目得到了大力推广和实施。供暖方式普遍采取“一抽两回、取热不取水”的模式,单井井深都在 2000 m 以深,以定向井居多,井身一般采用二开结构,目的层位于馆陶组,单井涌水量 100 m³/h,水温 75~80 ℃,地热能资源丰富,开发前景良好。在地热施工过程中,深度>1500 m 时,施工风险和施工难度相应加

大,部分定向井组还要满足回灌需求,因此对钻井液要求较严格,要求钻井液既能满足地热井施工需要,又对含水层的负面影响最小,采用普通膨润土钻井液体系无法满足上述要求,且容易造成卡钻事故。为了解决生产实际问题,满足地热井中深井施工的需求,避免卡钻事故发生,研究一种地热井施工用低固相高润滑双聚钻井液是极为必要的。

1.1 地层情况

收稿日期:2020—08—04;修回日期 2020—09—23 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.11.009

基金项目:河南省地矿局局管地质科研项目“河南省深水井(孔)钻井关键技术应用研究”(编号:豫地矿科研[2017]16号)

作者简介:李亚刚,男,汉族,1988年生,勘查技术与工程专业,从事石油钻井技术相关工作,河南省郑州市郑东新区郑开大道永顺路交叉口郑东地矿大厦,569509543@qq.com。

引用格式:李亚刚.低固相高润滑双聚钻井液体系在地热井施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):51—55.

LI Yagang. Application of a low solid-phase, high lubricating and double polymer drilling fluid system in geothermal well drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(11):51—55.

兰考地区所处华北平原断拗陷之次级构造单元开封断陷内古近系、新近系、第四系沉积地层自上而下分为第四系平原组,新近系明化镇组、馆陶组,古近系东营组。

第四系平原组(Q):厚度为 300 m,主要为河流相沉积地层,岩性上部为砂质粘土、粘质砂土、粉土夹粉砂,下部为砂质粘土、粘土与粉砂、细砂互层。与下伏新近系明化镇组呈不整合接触。

新近系明化镇组(Nm):厚度为 1140 m,岩性上部主要以棕黄、灰、灰绿色杂色砂质粘土、泥岩和粉砂岩、细砂岩为主(局部夹钙质结核),下部以泥岩及细砂、中细砂岩为主。与下伏馆陶组呈不整合接触。

新近系馆陶组(Ng):厚度为 370 m。岩性上部为细—中砂岩及泥岩与细砂岩互层夹粉砂岩,下部岩性为砾岩、含砾砂岩、砂砾岩、细砂岩夹灰绿色粉砂岩、泥岩。

古近系东营组(Ed):厚度为 190 m,未揭穿。岩性以棕红色泥岩和灰色泥质砂岩为主。预计钻遇地层见表 1。

表 1 预计钻遇地层

Table 1 Expected drilling formation

层 位	预测深度/m	钻井液密度/(g·cm ⁻³)	地层压力系数	故障提示
平原组	300	1.00~1.05	1.0	防垮塌、防沉砂
明化镇组	1440	1.05~1.10	1.0	防缩径、防沉砂
馆陶组	1810	1.10~1.15	1.0	防垮塌、防沉砂、防卡、防斜
东营组	2000	1.10~1.15		

1.2 井身结构

该地区地热井为二开结构设计,一开设计深度 400 m,二开设计钻进到进入东营组,预计深度为 2000 m。开次具体深度及滤水管长度根据地层实际情况做适当调整。井身结构和套管程序见表 2。

表 2 井身结构和套管程序

Table 2 Well structure and casing program

开次	井段/m	钻头尺寸/mm	套管/mm	备 注
一开	0~400	444.5	339.7	
二开	400~1600	241.3	177.8(实管)	表套与技套之间
	1600~2000	241.3	177.8(筛管)	采用悬挂器连接

1.3 钻井液设计

1.3.1 钻井中存在问题

二开裸眼段长,井壁不稳定。二开井段地层为新近系明化镇组和馆陶组,岩性主要以泥岩、砂岩为主,地层造浆能力强,固相含量高,导致钻井液性能差,清洁钻头能力弱,井底沉渣多,机械钻速低;泥岩易于水化膨胀缩径,砂岩渗透性好,易于形成厚滤泥饼;同时,二开井段为定向井段,井斜较大,钻具与井壁接触面积大,易发生粘附卡钻等事故。

1.3.2 钻井液设计依据

(1)依据中华人民共和国国家标准《石油天然气工业钻井液现场测试第 1 部分:水基钻井液》。(GB/T 16783.1—2014/ISO 10414—1:2008)所规定的钻井液常规性能和滤液分析测试程序。

(2)《钻井液材料规范》(GB/T 5005—2010)。

(3)《钻井液流变学与力学计算程序推荐作法》(SY/T 6613—2005)。

(4)《地热井钻井设计规范》(Q/SH 1050 002—2013)。

(5)《地热钻探技术规程》(2014)。

(6)邻井施工中所遇到的复杂情况的处理措施。

(7)《钻井地质设计》。

1.3.3 总体原则

(1)针对性。应针对井身结构、地层结构和地层流体性质配制不同类型和不同参数的钻井液有利钻进、保护热储层。在热储层钻进,宜采用聚合物钻井液。

(2)适宜性。应采用近平衡钻井液。根据地层孔隙压力、破裂压力测试数据特别是热储层压力条件,设计钻井液参数指标,特别是密度、粘度和失水率指标,保证井眼压力平衡,注意防止堵塞或者污染热储层。

(3)耐温性。设计钻井液耐温要大于预测地层温度,保证钻井液性能良好。

(4)润滑性。设计钻井液性能参数具有高润滑性,已达到 2 个保障的要求:保障测井,不得加入影响测井质量的处理剂;保障下套管(绕丝筛管)、固井施工顺利。

(5)安全环保性。做好钻井液以及相关材料的防渗、防漏工作,完工后应对钻井液回收利用或者无害化或者合法化处理^[1-3]。

综合考虑,设计了如表 3 所示的钻井液体系。

表 3 设计钻井液体系
Table 3 Designed drilling fluid system

开次	钻井液型	常 规 性 能						流变性能					摩阻系数
		密度/ (g·cm ⁻³)	粘度/ s	滤失量/[mL· (30 min) ⁻¹]	泥饼厚/ mm	含砂 量/%	pH 值	静切力/Pa		塑性粘度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	<i>n</i> 值	
一开	预水化膨润土钻井液	1.00~1.05	35~50										
二开	低固相高润滑双聚钻井液	1.05~1.15	30~45	≤8	<1.0	<0.3	7~9	0~2	1~4	5~9	2~5	0.4~0.6	0.08~0.10

2 钻井液施工技术

依据单位在豫东煤田钻探中已具有使用钻井液方面的成功经验,结合有关的地质和工程方面的数据,选择的各井段钻井液性能参数及配方如下。

2.1 一开钻井液

一开钻井液采用预水化膨润土钻井液,配方如下:清水+5%~6%膨润土+0.1%~0.2%Na₂CO₃+0.3%HV-CMC。开钻前根据设计配方配制膨润土浆和胶液,一次性调整好钻井液性能,达到设计要求。钻进中钻井液粘度过低采用 HV-CMC 调节,降低粘度按循环周缓慢加入清水^[4-9]。

2.2 二开钻井液

二开井段是该井钻井液使用和维护的重点和难点,施工过程中,裸眼段长、钻速快,泥岩易于水化膨胀缩径,砂岩渗透性好,易于形成厚滤泥饼;同时,二开井段为定向井段,全角变化率较大,二开全井段存在漏失、坍塌、卡钻等风险。要求钻井液既要达到抑制泥岩水化膨胀缩径,又要控制好钻井液的失水量,避免在砂岩段形成厚泥饼,造成水层堵塞^[10-13];最后,二开井段的下部地层温度高,所以钻井液还要考虑具备一定的耐高温性^[14-19]。

2.3 二开钻井液基本配方及制备方法

根据上述情况,设计一种地热井施工用低固相高润滑双聚钻井液,由以下质量百分比的原料制备而成:

水+4%~5%膨润土+0.4%~0.6%增稠剂(高粘羧甲基纤维素钠盐 HV-CMC)+0.5%~0.8%聚丙烯酰胺(PAM)+0.4%~0.5%水解聚丙烯腈铵盐(NH₄HPAN)+1%~2%润滑剂(无荧光防塌润滑剂 FT-342)+0.3%~0.5%降滤失剂(乙烯基单体多元共聚物 PAC-141)+0.1%~0.2%火碱(NaOH)+0.2%~0.4%纯碱(Na₂CO₃)。

钻井液性能参数:

按照上述材料制备所得的地热井施工用低固相高润滑双聚钻井液的密度为 1.10 g/cm³,粘度为 20

~25 s,滤失量为 7 mL/30 min,含砂量<1%,摩阻系数为 0.10,pH 为 8~9。

制备方法按照以下步骤进行:

(1)根据地热钻井需要的钻井液量,按上述质量百分比准备原料。

(2)在注入定量水的配制罐中加入膨润土和纯碱充分搅拌,使水膨润土充分预水化,水化时间为 24 h。

(3)向步骤(2)所得的浆料中加入处理剂,处理剂的添加顺序依次为增稠剂 HV-CMC、降滤失剂 PAC-141、絮凝剂 PAM 和 NH₄HPAN、润滑剂 FT-342;每种处理剂分别溶解,加入一种处理剂后,需要充分搅拌至均匀溶解,然后再加入下一种处理剂。

(4)对步骤(3)所得的钻井液进行性能调整,根据 pH 值要求加入 NaOH,调节钻井液的 pH 值。

(5)将步骤(4)所得的钻井液打入储备罐,即可使用。

3 具体应用效果

截至目前,在兰考区域施工地热井 5 口,在施工第 1 口井(公园首府 3 号井)中使用常规普通钻井液体系,在井深 1200 m 处发生了粘附卡钻事故;剩余井均采用了低固相高润滑双聚钻井液体系,在施工过程中,有效解决了井眼携砂能力不强、泥岩地层井壁不稳定、砂岩地层失水量大、泥皮厚等问题,4 口井均未发生任何井下复杂情况和事故,说明该钻井液体系对兰考地区地层适应性较好,能够满足该地区钻井工程的需要。具体钻井实效对比见表 4。

钻进过程中通过采用该钻井液体系,有效地控制了钻井液固相含量和钻井液密度,保证了钻井液的携砂能力,能很好地净化井眼,并保证了高效的钻井效率;4 口井纯钻进时间仅占总施工时间的 30%左右,缩短了钻井周期。

通过加入两种聚合物,保持钻井液中大分子的有效含量,并随钻加入适量的降滤失剂,控制滤失量

表 4 钻井实效对比
Table 4 Comparison of drilling efficiency

井 名	二开井段/ m	二开钻头 尺寸/mm	平均井 径/mm	井径扩 大率/%	纯钻进 时间/h	机械钻速/ (m·h ⁻¹)	摩阻系数	钻 井 液 体 系
公园首府 3 号井(定向井)	400~2020	241.3	279.7	15.9	225.3	7.90	0.20~0.35	常规膨润土钻井液体系,钻至 1200 m 发生粘附卡钻事故,测量卡在 1120 m 处,该井段存在大段泥岩
公园首府 4 号井(定向井)	395~2075	241.3	263.1	9.0	142.2	11.97	0.08~0.10	低固相双聚高润滑钻井液体系,未发生井下复杂事故
华兰城 1 号井(直井)	400~2050	241.3	260.0	7.7	190.5	8.81	0.08~0.10	
华兰城 2 号井(定向井)	400~2150	241.3	261.0	8.2	148.2	11.87	0.08~0.10	
华兰城 3 号井(定向井)	397~2150	241.3	259.4	7.5	140.9	12.50	0.08~0.10	

<8 mL/30 min,有效抑制了泥岩地层造浆、缩径等现象,施工时起下钻顺利。

在定向、稳斜井段中,加入适当的增稠剂、润滑剂,保证了低摩阻、低滤失量,使得整个二开定向井段施工过程顺利,井径规则,未发生因为砂岩坍塌而形成的“大肚子”井眼或者因为高滤失量形成厚泥皮而造成的卡钻现象,测井一次成功率 100%。

4 认识

(1)该钻井液体系密度低,含砂量小,有良好的流变性能,具有较强的携带钻屑能力,有利于清洁孔底,提高钻进速度和生产效率,有利于稳定井壁。

(2)该钻井液体系原料环保,对目的层含水层伤害较小,对含水层出水量影响较小,完全可以满足工程要求。

(3)该钻井液体系具有良好的润滑性能,摩阻系数可以维持在 0.08~0.10,适于地热井中定向井施工。

(4)在钻井液使用过程中,为了保持钻井液的低固相特性,要求配备良好的固控设备并合理使用。

参考文献(References):

[1] 陈建兵,王振福.关中盆地地热钻井施工常见问题预防及处理方法探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):21-27.
CHEN Jianbing, WANG Zhenfu. Prevention and treatment of common problems in geothermal drilling in Guanzhong Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):21-27.

[2] 李连生.第三系地层中地热井施工常见的主要问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(9):59-60.
LI Liansheng. Main problems existing in geothermic well drilling in Tertiary Formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004,31(9):59-60.

[3] 闫小利,郑树楼,王振福.陕西关中地区深层地热井成井工艺探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):36-39.

YAN Xiaoli, ZHENG Shulou, WANG Zhenfu. Discussion on deep geothermal well completion technology in Central Shaanxi Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(5):36-39.

[4] 王虎,朱斗圣,张承飞,等.贵州省遵义县 ZK1 地热井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):245-249.
WANG Hu, ZHU Dousheng, ZHANG Chengfei, et al. Drilling fluid technology for ZK1 geothermal well in Zunyi of Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):245-249.

[5] 黄聿铭,张金昌,杨钦明.钾铵聚合物钻井液在地热钻井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):265-268.
HUANG Yuming, ZHANG Jinchang, YANG Qinming. Research and application of potassium-ammonium polymer drilling fluid suitable for geothermal well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):265-268.

[6] 薛雨,张新悦,王立东.中俄东线楚州盐穴储气库配套钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):40-44.
XUE Yu, ZHANG Xinyue, WANG Lidong. Drilling fluid technology for Chuzhou salt-cavern gas storage for Sino-Russian east gas pipeline[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):40-44.

[7] 李砚智,张长茂.GYx 地热井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):61-66.
LI Yanzhi, ZHANG Changmao. Drilling fluid technology for geothermal well GYx[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):61-66.

[8] 宋涛,陈志海,张树宝,等.唐山曹妃岛大酒店缩径软层地热深井设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):24-27.
SONG Tao, CHEN Zhihai, ZHANG Shubao, et al. Design and construction of hole shrinkage deep geothermal well in soft layer of Tangshan Caofei Island Hotel the Node[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(7):24-27.

[9] 丁飞,何林喜,黄学刚.腐植酸钾-磺化沥青低固相泥浆在北衙金矿的应用[J].昆明冶金高等专科学校学报,2012,28(1):7-9,16.
DING Fei, HE Linxi, HUANG Xuegang. Application of KHm-SAS low solid-phase slurry in Beiya Gold Mine[J]. Jour-

- nal of Kunming Metallurgy College, 2012, 28(1): 7-9, 16.
- [10] 冯哲, 徐会文, 张红红. 无固相钻井液在吉林省油页岩勘探中的研制与应用[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(1): 62-64.
FENG Zhe, XU Huiwen, ZHANG Honghong. Development and application of solid free polymer drilling fluid with strong rejection capability[J]. Coal Geology of China, 2008, 20(1): 62-64.
- [11] 张红红, 徐会文, 冯哲. 聚合物钻井液防塌机理的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(1): 44-46, 61.
ZHANG Honghong, XU Huiwen, FENG Zhe. Experimental research on the instability prevention mechanism of polymer drilling fluid[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(1): 44-46, 61.
- [12] 张红红, 徐会文, 冯哲. 吉林省油页岩勘探中聚合物钻井液防塌机理的试验研究与应用[J]. 世界地质, 2006(4): 445-449.
ZHANG Honghong, XU Huiwen, FENG Zhe. Experimental research on collapse prevention mechanism of polymer drilling fluid for oil shale exploration in Jilin, China[J]. Global Geology, 2006(4): 445-449.
- [13] 刘永贵, 张洋, 徐用军. 深层水平井双聚胺基钻井液技术研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(10): 11-16.
LIU Yonggui, ZHANG Yang, XU Yongjun. Research and application of double poly amine drilling fluid technology in deep horizontal well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(10): 11-16.
- [14] 解超, 梅永刚. 宁深 1 井深井高温钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(6): 27-30.
XIE Chao, MEI Yonggang. High temperature drilling fluid technique in Ningshen Well 1[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(6): 27-30.
- [15] 韩来聚, 牛洪波, 窦玉玲. 胜利低渗油田长水平段水平井钻井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(3): 7-12.
HAN Laiju, NIU Hongbo, DOU Yuling. Key drilling technologies for long displacement horizontal wells of low permeability reservoirs in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(3): 7-12.
- [16] 单文军, 陶士先, 蒋睿, 等. 干热岩用耐高温钻井液关键技术及进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(10): 52-56.
SHAN Wenjun, TAO Shixian, JIANG Rui, et al. Key technology and progress in high temperature resistant drilling fluid for hot dry rock[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(10): 52-56.
- [17] 颜磊, 蒋卓, 王大勇, 等. 干热岩抗高温钻井液体系研究[J]. 化学与生物工程, 2015, 32(7): 55-58.
YAN Lei, JIANG Zhuo, WANG Dayong, et al. Study on hot dry rock high temperature resistant drilling fluid system[J]. Chemistry & Bioengineering, 2015, 32(7): 55-58.
- [18] 付宇, 裴小龙, 南天浩, 等. 凤河营热水储层的钻井液体系优化研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(1): 14-18, 23.
FU Yu, PEI Xiaolong, NAN Tianhao, et al. Optimization research of drilling fluid system of the hydrothermal reservoir in Fengheying[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(1): 14-18, 23.
- [19] 丁同领, 高嵩. 武汉-1 超深地热井钻井成井工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 23-25.
DING Tongling, GAO He. Drilling and completion technology for WH-1 ultra-deep geothermal well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(8): 23-25.

(编辑 韩丽丽)