

高密度抑制防塌冲洗液体系在四川营山 SY-1地热井中的应用

王永全, 李世昌, 张凯
(中国煤炭地质总局水文地质局, 河北邯郸 056004)

摘要:四川营山地下热矿水探采井SY-1井是一口地热资源重点勘查井,实际完钻深度2758 m,揭露三叠系上统须家河组热储层岩性以长石砂岩、粉砂岩为主,埋藏深度2220~2758 m,厚度538 m。下沙溪庙组岩性为灰绿色页岩、暗紫红色粉砂质泥岩夹黄褐色中厚层状粉砂岩及块状细粒长石砂岩,含高压气、卤水混合物,施工过程中需解决坍塌掉块、井涌、井漏、卤水污染、缩径等复杂难题。室内通过开展高密度抑制防塌钻井液流变性、防塌性、稳定性等控制方面的技术攻关,在优选钠基膨润土的基础上,通过对包被剂、降滤失剂(抗盐)、防塌剂等材料的筛选及优化,形成了高密度抑制防塌冲洗液的最佳配方:清水+4%膨润土+0.1%纯碱+0.1%烧碱+1%~2%增粘剂HN-1+0.2%~0.5%环保大分子包被剂+1%~3%环保降滤失剂HJ-1+1%~3%抗盐滤失剂HLY+1%~2%环保防塌剂HFJ+重晶石。该配方密度1.50~1.80 g/cm³可调,滤失量4.0 mL,流变性能好,抑制防塌效果显著,在现场取得了成功应用,保证了该项目的顺利实施。

关键词: 地热井; 冲洗液体系; 抑制防塌; 高密度; 流变性能

中图分类号: P634.6; TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)12-0086-08

Application of the high-density, environment-friendly, anti-collapse drilling fluid system in SY-1 thermal well in Yingshan, Sichuan

WANG Yongquan, LI Shichang, ZHANG Kai

(Hydrogeology Bureau of China National Administration of Coal Geology, Handan Hebei 056004, China)

Abstract: SY-1 geo-thermal mineral water well in Yingshan, Sichuan Province is a key exploration well for geothermal resources with actual drilling depth of 2758m. It was found that the lithology of the thermal reservoir of Xujiahe Formation in Upper Triassic is mainly feldspar sandstone and siltstone, with buried depth of 2220 to 2758m and thickness of 538m. The Xiashaximiao formation consists of gray-green shale and dark purplish red silty mudstone mixed with yellowish brown medium-thick layered siltstone and massive fine-grained feldspar sandstone, which contains a mixture of high-pressure gas and brine, where complex drilling problems such as well collapse, well kick, overflow, lost circulation and wellbore contraction were encountered. Lab research was carried out on control of rheology, anti-sloughing and stability of high-density anti-sloughing drilling fluids, and with premium sodium bentonite as drilling fluid base, the coating agent, the fluid loss reducer (salt-resistant), the anti-sloughing agent, and other materials were selected to obtain the final formula of high-density anti-sloughing drilling fluid; water+4% bentonite+0.1% soda+0.1% sodium hydroxide+1% to 2% tackifier HN-1+0.2% to 0.5% environment-friendly macromolecular coating agent+1% to 3% environment-friendly filtrate reducer HJ-1+1%~3% salt-resistant filtrate reducer HLY+1% to 2% environment-friendly anti-collapse agent HFJ+barite. The formula has adjustable density of 1.50 to 1.80g/cm³, infiltration loss of 4.0ml, good rheological property, and remarkable anti-collapse effect; and has been successfully applied in the field and ensured the smooth implementation of the project.

Key words: geothermal well; drilling fluid system; inhibition and anti-collapse; high density; rheological property

收稿日期:2021-10-28 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.12.013

作者简介:王永全,男,汉族,1967年生,副局长,教授级高级工程师,探矿工程专业,从事钻探生产施工、技术研究和管理工作,河北省邯郸市丛台区滏河北大街154号,w13722690771@163.com。

引用格式:王永全,李世昌,张凯. 高密度抑制防塌冲洗液体系在四川营山SY-1地热井中的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(12): 86-93.

WANG Yongquan, LI Shichang, ZHANG Kai. Application of the high-density, environment-friendly, anti-collapse drilling fluid system in SY-1 thermal well in Yingshan, Sichuan[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12): 86-93.

1 工程概述

四川省营山县为实施新农村示范片区建设,打造以旅游休闲养生为目的的形象和温泉休闲养生旅游品牌,在东升镇玉帝五湖山庄院内布置了1口地下热矿水探采井(SY-1井)。该井位于营山县东升镇玉帝五湖山庄内,有效井深约2750 m(不进入雷口坡组),取水目的层段为2350 m以下井段;要采取合理工艺技术和有效措施,确保施工不损害地下热卤水等资源。

1.1 地理位置及区域地质概况

SY-1井主要区域构造位于营山背斜的南西翼,营山背斜较宽缓,在井场附近的地层倾角为 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$,工区井场附近断层不发育,地表未见断裂构造,仅在距拟设井场北西侧15~25 km处有一系列断裂构造,但规模不大均为压扭性断层。

1.2 SY-1井地质概况

SY-1井钻遇地层自上而下详见表1所示。

表1 SY-1井钻遇地层

Table 1 Lithology encountered during drilling

地层年代		厚度/ 深度/		岩性描述
界	系 统 组	m	m	
新生界	第四系	60	60	第四系,较发育,分布在河流两岸及谷地,上部为砂质粘土及砂砾卵石,为河漫滩一级阶地,底部为橙黄色砂质粘土及砂砾卵石夹粘土,揭露厚度60 m(进入基岩6 m)
侏罗系	上沙溪庙组	1015	1075	由多个砂岩-泥岩不等厚正向沉积韵律组成。以泥岩为主,砂岩占比约1/4。泥岩为紫红色、暗紫红色,富含粉砂质、钙质为特征,含砂质、钙质结合。砂岩有黄灰、灰紫、灰色、青灰等多种色调。上部以灰紫色为主,中部多为灰色,下部多为黄灰、青灰色。底界黄灰到浅黄色长石石英砂岩、岩屑长石砂岩
	中统 下沙溪庙组	374	1449	紫红色、暗紫红色泥岩为主,夹同色粉砂岩,灰紫色、黄褐色岩屑长石砂岩,岩石种类单调。色调以暗紫色为主,常见黄绿色条带及不规则花斑。泥岩一般含砂质、钙质结合。顶部为深灰、灰绿色、黄绿色页岩。底界为关口砂岩,黄色、黄褐色巨厚层细粒、中粗粒长石、长石石英砂岩
	新田沟组	209	1658	顶部杂色段,黄绿色为主,夹紫红色泥岩及粉砂岩、细砂岩;中上部为绿色段,黄绿色泥岩夹同色粉砂岩、长石细砂岩;中下部为深灰色页岩夹石英,偶夹灰岩透镜体;底部紫红夹黄绿、灰绿色泥岩及石英粉砂岩
中生界	自流井组	212	1870	上部主要为灰褐色、灰色、浅灰色灰岩夹灰黑、灰绿色泥岩,砂岩少;下部主要为灰绿色、紫褐色、深灰色泥岩为主,夹细砂岩
	下统 珍珠冲组	350	2220	主要为灰绿色、深灰色砂质泥岩夹岩屑砂岩为主,顶部界面暗紫色夹黄绿色砂质泥岩与黄色粉砂岩夹泥岩整合接触,底部为白色石英砂岩与须家河组整合接触
三叠系	上统 须家河组	538	2758	岩性由灰黑色、灰色岩屑石英砂岩、粉砂岩、砂质页岩、炭质页岩、煤层等组成,其中砂岩占85%。须家河组分为六段,分述如下。六段:灰白色石英砂岩、长石岩屑砂岩夹砂质页岩,厚度140 m。五段:灰黄色粉砂质页岩、灰色长石砂岩、泥岩,含薄煤层,厚度104 m。四段:灰、灰白色长石砂岩、石英砂岩,偶夹炭质页岩透镜体,厚度198 m。三段:灰色、黑色页岩夹薄层粉砂岩、含钙细砂岩,厚度36 m。二段:灰色钙质长石石英砂岩、砂质页岩,揭露厚度60 m

1.3 SY-1井钻井施工概况

采用三开结构,详见表2。本井设计钻深2750 m,根据新地热井钻进目的任务以及地层地热地质条件,施工设备采用RT-40型石油钻机及附属设

备,设备及器具构成见表3。

表层(0~60 m):采用 $\varnothing 445$ mm牙轮钻头、泥浆正循环钻进,进入完整基岩6.2 m;下入 $\varnothing 339.7$ mm套管。

表2 设计的井身结构数据

Table 2 Designed well structure data sheet

开钻次序	井径/mm	井深/m	套管直径/mm	套管名称	套管下深/m
导眼	444.5	60	339.70	导管	60.0
一开	311.2	600	244.57	表层套管	600.0
二开	215.9	600~2300	177.80	技术套管	2155.6
三开	152.4	2300~2750	127.00	生产套管	2750.0

表3 钻机与主要设备配置表

Table 3 Drilling rig and main equipment

名称	型号	规范或特征	数量
钻机	RT40		1
井架	JJ225/43-A	工作高度42 m	1
天车	TC225	七轮	1
游车	YC225	六轮	1
大钩	DG-225		1
水龙头	SL225	中心管内径75 mm	1
绞车	JC40D	735 kW	
转盘	ZP-275	通孔520 mm	1
井架底座		高6.0 m	1
钻井泵	3NB-1300	956 kW	2
配电柜、启动柜	YVF3-450-4	800 kW	2
振动筛	PTZS150	单筛处理量 ≥150 m ³ /h	2
除砂器	NCJ227	处理能力227 m ³ /h	1
除泥器	CNJ10×4-200	处理量120 m ³ /h	1
除气器	ZCQ2	最大处理量 90~144 m ³ /h	1
离心机	LW450×1000-NJ	最大处理量30 m ³ /h	1

一开(60~600 m):采用 $\varnothing 311$ mm牙轮钻头、泥浆正循环钻进,下入 $\varnothing 244.5$ mm套管。

二开(600~2300 m):自620.0 m开始采用 $\varnothing 215.9$ mm牙轮钻头或PDC钻头螺杆复合(或滑动)定向泥浆正循环钻进。以钻穿须家河组五段为宜、但必须钻穿珍珠冲组为原则。下入 $\varnothing 177.8$ mm套管,井段套管外水泥固井。

三开(2300~2750 m):采用 $\varnothing 152$ mm牙轮钻头泥浆正循环钻进。不钻入雷口坡组为原则。使用尾管悬挂器方法下入 $\varnothing 127$ mm套管及圆孔式滤水管。

2 SY-1井施工中存在的主要问题及措施要求

2.1 漏失、溢流

除地热水为高压卤水外,钻进过程中还钻遇多段高压油气层,控制不当易出现漏失、溢流的情况。要求:控制泥浆密度,及时消除泥浆中的有害杂质,保持泥浆良好的性能,预防泥浆密度发生明显变化,以防发生漏失和溢流现象^[1-4]。

2.2 坍塌掉块

钻遇地层岩性以砂岩、泥岩为主,其间夹杂多段煤线,地层稳定性较差,掉块现象比较严重,井壁不规则,对钻进、起下钻、下管产生一定的影响;须家河地层岩石硬度较大,影响钻速;钻达目的层泥浆受盐侵比较严重。应提前采用高密度防塌强抑制性泥浆预防坍塌,快速通过^[5-6]。

2.3 气侵、高压卤水

预计井深2730 m见高压气卤层。钻进时应预防泥浆密度下降,完井后,选择合理的替喷方式,配合井控装置安全起钻^[7-9]。

3 SY-1井高密度环保抑制防塌冲洗液体系设计

依据原地热井井喷数据以及收集的区域资料,SY-1井地热井预计须家河二段天然气压力达43 MPa。实钻中本井主要产出气地层为新田沟组下部、珍珠冲组及须家河组。珍珠冲组及须家河组出气时检测最大值超出固定式气体检测仪器测量量程(数据为:可燃气:超出量程;H₂S:无;CO:无;O₂:23.90 ppm),测得主要气体为可燃气,未发现H₂S及气体异常。工作区2220~2758 m三叠系上统须家河组地层多为钙质砂岩、粉砂岩夹少量泥岩,钻进过程中,局部层位破碎,该段地层孔隙—裂隙局部发育不均,由于地层中含高压气、水混合物。因此本井采用高密度抑制防塌冲洗液体系^[10-12]。

3.1 高密度环保抑制防塌冲洗液材料优选及加量确定

3.1.1 钠基膨润土的优选

通过调研和现场取样,获得了国内多个厂家的膨润土样品,对众多厂家的膨润土按国家标准《钻井液材料规范》(GB/T 5005—2001)进行评价,见表4。试验结果表明钠膨润土-SD的流变性能较好,具有较好的造浆粘度,且API滤失量较低,其不同加量下的性能见表5。

试验结果表明,钠膨润土-SD加量越高,冲洗液的滤失量越低;但加量超过4%时冲洗液粘度大幅

表 4 不同膨润土冲洗液性能

Table 4 Properties of drilling fluids with different bentonite

名称	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	GEL (10"/10')/ Pa	API 滤 失量/ mL
钠膨润土-CF	16	9	7	8/20	18
钠膨润土-SD	18	10	8	6/15	12
钠膨润土-XJ	15	7	9	10/30	15
钠膨润土-HB	11	8	3	2/6	18

度升高。膨润土加量太低,为了降低滤失量,处理剂的加量会大幅度提高,成本将显著增加;但加量高,不利于冲洗液流变性能控制。综合考虑,体系基浆膨润土的加量选择为 4%,即基浆配方为:淡水+4% 钠膨润土-SD。

3.1.2 包被剂选择

包被剂一方面能够絮凝冲洗液中的劣质土(即

表 5 钠膨润土-SD 不同加量下的性能

Table 5 Properties with different dosage of sodium bentonite -SD

加量/ %	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	GEL(10"/ 10')/Pa	API 滤失 量/mL
2	2	0.5	1.5	1.5/2	52
3	3.5	2	1.5	2/2	30
4	5.5	3	2.5	4/5	23
5	9	3	6	10/13	19
6	13	5	8	16/28	17

岩屑),有利于地表岩屑沉降;另一方面,具有较强的包被作用,防止岩屑分散而造成冲洗液粘度的快速提高。水敏性地层常用絮凝剂有:水解聚丙烯酰胺(PHP)、聚丙烯酸钾(KPAM)及环保大分子包被剂,几种处理剂的对比试验结果见表 6。

表 6 包被剂对比试验

Table 6 Coating agent comparison test

项 目	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	GEL(10"/10')/Pa	API 滤失量/mL
基浆	5.5	3	2.5	4/5	23
基浆+0.1%PHP	14	8	6	8/21	16.6
基浆+0.1% 环保型大分子包被剂 BBJ	12.5	9	3.5	2.5/5	12
基浆+0.1%KPAM	9	8	1	0.5/2.5	13

试验结果表明,环保型大分子包被剂的冲洗液粘度适中、API 滤失量低,所以选择 BBJ 作为体系的絮凝剂。

3.1.3 降滤失剂选择

纤维素类、淀粉类、聚丙烯腈类、树脂类及腐殖

酸类产品都是常用的降滤失剂,在这 5 类产品中选择具有代表性的产品,即低粘度羧甲基纤维素钠盐(LV-CMC)、接枝淀粉、环保型降滤失剂 HJ-1,环保型抗盐降滤失剂 HLY、磺化酚醛树脂做对比试验,试验结果见表 7。

表 7 降滤失剂对比试验

Table 7 Comparison test of infiltration reducers

项 目	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	GEL(10"/10')/Pa	API 滤失量/mL
基浆	5.5	3	2.5	4/5	23
基浆+0.5%LV-CMC	21.5	15	6.5	8/38	11
基浆+1% 接枝淀粉	17.5	5	12.5	17/18.5	13
基浆+1% HJ-1	5	4.5	0.5	0.3/0.5	10
基浆+1%HLY	8	6	2	2/6	8
基浆+1% 磺化酚醛树脂	7.5	4	3.5	3/7	14

试验结果可以看出,环保型降滤失剂 HJ-1,环保型抗盐降滤失剂 HLY 降滤失效果较好,且不影响整体粘度,综合考虑优选环保型降滤失剂 HJ-1,环

保型抗盐降滤失剂 HLY 这两种材料作为体系的降滤失剂。

3.1.4 防塌剂选择

防塌剂又称页岩抑制剂,主要用于抑制水敏性地层吸水膨胀。本试验优选改性沥青GLA、腐殖酸钾、环保防塌剂HFJ。常规性能对比试验采用基浆加上1%处理剂;抑制性膨胀试验采用2%样品水溶液,试验用土为标准钠基土,几种产品对比试验结

果见表8、表9。试验结果表明,加入环保防塌剂HFJ的滤失量最低,其抑制泥岩膨胀的性能好,并且环保防塌剂HFJ中不溶于水的颗粒对裂缝能起到封堵作用,进一步提高井壁稳定性,所以选择环保防塌剂HFJ作为体系的防塌剂^[13-14]。

表8 防塌剂对比试验

Table 8 Comparison test of anti-collapse agents

项 目	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	GEL(10"/10')/Pa	API滤失量/mL
基浆	5.5	3	2.5	4/5	23
基浆+1%环保防塌剂HFJ	6	4.5	1	0.5/1.0	10
基浆+1%腐殖酸钾	3	3	0	0.1/0.3	14
基浆+1%改性沥青	5	4.5	0.5	0.3/0.5	13

表9 抑制膨胀试验

Table 9 Expansion inhibition test

项 目	膨胀量/mm						膨胀降低率/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	
蒸馏水	1.10	1.49	1.86	2.19	2.48	2.75	
2%环保防塌剂HFJ	0.53	0.81	1.02	1.18	1.37	1.55	43.6
2%腐殖酸钾溶液	0.69	1.05	1.32	1.57	1.75	1.91	30.5
2%改性沥青	0.74	1.05	1.26	1.46	1.63	1.78	35.3

3.2 高密度环保抑制防塌冲洗液配方优化及性能

3.2.1 高密度环保抑制防塌冲洗液配方

通过室内正交试验的极差分析法初步分析了各试验指标所对应的水平的的影响大小和最优水平取值,综合考虑各指标的影响因素的主次并结合体系目标性能确定防塌冲洗液的优化配方为:4%钠土-

SD+1%~2%增粘剂HN-1+0.2%~0.5%环保型大分子包被剂+1%~3%环保降滤失剂HJ-1+1%~3%抗盐滤失剂HLY+1%~2%环保防塌剂HFJ+重晶石^[15-18]。

3.2.2 高密度环保抑制防塌冲洗液性能

高密度淡水冲洗液的常规性能见表10。

表10 高密度淡水冲洗液性能

Table 10 Properties of conventional high density fresh water drilling fluids

密度/ (g·cm ⁻³)	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	YP/PV	GEL(10"/10')/ Pa	API滤失量/ mL	摩擦 系数	漏斗粘度/ s	pH值	滤饼质量
1.05	16	10.5	5.5	0.52	2/4	6	0.09	40	9	薄韧致密
1.2	19	13	6	0.46	4/9	5	0.09	44	9	薄韧致密
1.4	22	15	7	0.47	3/11	5	0.1	52	9	薄韧致密
1.6	26.5	18	8.5	0.47	5/13	6	0.12	58	9	薄韧致密
1.8	32	23	9	0.39	5/18	5	0.15	61	9	薄韧致密
2.0	41	30	11	0.37	7/25	4	0.16	68	9	薄韧致密

4 高密度环保抑制防塌冲洗液体系在SY-1井应用

4.1 一开井段(0~600 m)

(1)一开采用聚合物钠土冲洗液体系,主要配

方:清水+4%膨润土+0.1%纯碱+0.1%烧碱+1%~3%铵盐+0.1%~0.3%高粘纤维素。循环补充胶液配方:清水+0.2%~0.5%环保大分子包

被剂。

(2)维护处理要点:冲洗液性能主要控制高坂含、高粘切。按配方配制冲洗液,每钻进50 m加入1~2袋环保大分子包被剂;清除岩屑,维持泥浆的 $GEL(10''/10')=2\sim 5/8\sim 15$,漏斗粘度在35 s以上,同时以环保大分子包被剂配制胶液,按循环周均匀补充维护来调节冲洗液的流变性。根据井下损耗以及固控损失,适当地加入铵盐控制冲洗液的失水量,适当使用固控设备降低冲洗液中劣质固相,以保证性能的稳定和合理的动塑比,保证泥浆的携砂能力以及护壁能力。

4.2 二开井段(600~2160 m)

(1)二开采用聚合物环保防塌冲洗液体系,主要配方:一开井浆+0.2%~0.5%环保大分子包被剂+1%~1.5%环保降滤失剂HJ-1+0.5%~1%封堵剂FD-1+1%~2%环保防塌剂HF-1+1%~2%增粘剂HN-1+重晶石。循环补充胶液配方:清水+0.2%~0.5%环保大分子包被剂+1%~2%增粘剂HN-1。

(2)维护处理要点:井深1075 m后进入下沙溪庙组,顶部页岩地层存在掉块现象。按照配方在井深900~1000 m时,调整冲洗液性能至目标范围,井深600~1000 m时冲洗液密度维持在1.15~1.25 g/

cm^3 之间,漏斗粘度为30~50 s;井深1000 m之后,存在多层破碎带,容易掉块、坍塌,需要根据地层情况逐渐加大冲洗液密度以提高地层稳定性,所以井深1000~1500 m时冲洗液密度维持在1.25~1.40 g/cm^3 ,漏斗粘度为40~60 s。

平时补充材料时,环保大分子包被剂按每50 m添加1~2袋,其他材料均参考配方据实际情况补充。

利用固控设备及时清除冲洗液中的劣质固相,振动筛、除砂器、除泥器使用率100%,离心机间断使用,控制冲洗液含砂量 $\geq 0.5\%$ 。每钻进50 m清除沉砂罐一次。

4.3 三开井段(2160~2785 m)

(1)三开采用高密度环保抑制防塌冲洗液体系,主要配方:二开井浆+1%~2%增粘剂HN-1+0.2%~0.5%环保大分子包被剂+1%~3%环保降滤失剂HJ-1+1%~3%抗盐滤失剂HLY+1%~2%环保防塌剂HFJ+重晶石,循环补充胶液。

(2)维护处理要点:开动离心机清除泥浆中无用固相;按配方添加增粘剂HN-1、环保降滤失剂、抗盐滤失剂降低失水量及环保防塌剂维持井壁稳定;补充0.5%~1%烧碱使pH值稳定在10左右。

各开次冲洗液性能见表11。

表11 各开次冲洗液性能指标

Table 11 Performance index of drilling fluids for various well sections

开次	密度/ ($g\cdot cm^{-3}$)	漏斗粘度/ s	YP/Pa	PV/ ($mPa\cdot s$)	$GEL(10''/10')$ / Pa	API滤失量/ m	坂土含量/ ($g\cdot L^{-1}$)	含砂量/ %	pH值	
一开	设计	1.02~1.20	30~60	5~15	10~20	2~5/5~15	≤ 10	20~60	≤ 1	8~10
	实际	1.03~1.10	35~50	5~10	8~12	2~4/8~13	8~10	30~40	0.5	9
二开	设计	1.08~1.50	30~70	4~12	10~30	2~5/10~20	≤ 5	30~60	≤ 1	8~10
	实际	1.20~1.40	30~50	5~8	12~18	2~4/10~18	4~5	30~40	0.2	10.0
三开	设计	1.40~2.00	40~90	5~12	10~40	5~10/10~30	≤ 5	40~60	≤ 0.5	9~11
	实际	1.50~1.80	50~70	5~10	15~25	5~8/12~20	4	50~70	0.1	10

4.4 特殊情况处理

4.4.1 气侵及压井情况

4.4.1.1 原地热井气侵、井喷情况

钻进到1437 m处时井喷(第一次),后调重浆压井,继续钻进到1452.16 m,下入 $\varnothing 244.5$ mm石油套管并固井,水泥返出地表。

钻进至2304 m,泥浆密度1.22 g/cm^3 。地层出气(第二次):井口测得可燃气体100%,无CO和

H_2S ,泥浆密度调高至1.35 g/cm^3 ,井口无气显示,继续钻进。

钻进至2736.96 m,地层为须家河组三段底部,遇高压卤水层(并含有气和油),井口突然喷涌(第三次),喷出液体为密度1.13 g/cm^3 的盐水。

4.4.1.2 探采井气侵情况

本次施工探采井钻进至下沙溪庙1437 m处有气侵显示,经过调整冲洗液密度至1.45 g/cm^3 后,实

现平衡钻井。

在井深 2043 m(珍珠冲组,灰色、灰黑色粉砂岩)时发生溢流,当时冲洗液密度 1.45 g/cm³(关井前出浆口冲洗液密度),API 滤失量 10 mL,含砂量 0.1%,pH 值为 10。随后进行了循环压井作业。

4.4.1.3 压井情况

井深 2043 m 处,压井情况:

第一次压井作业:将冲洗液密度加重至 1.71 g/cm³,一边加重冲洗液,一边循环,在一个或多个循环

周内完成压井作业。但在冲洗液返出井口后,由于条件所限加重速度慢,气侵速度快,压井未成功,关井。

第二次压井作业:采用工程师法压井,储备密度为 1.86 g/cm³重浆 96 m³,先配制足量的压井液,然后将配制好的压井液泵入井内,在一个循环周内建立了压力平衡。

4.4.2 漏失及堵漏情况

在钻井过程中对简易水文进行了观测,其漏失层位及堵漏情况见表 12。

表 12 钻井过程冲洗液漏失及堵漏情况

Table 12 Drilling fluid leakage and plugging during drilling

井深/m	层位、岩性	冲洗液性能	漏失量/(m ³ ·h ⁻¹)	堵漏方式	堵漏效果
1585~1592	自流井组,灰绿色粉砂岩	粘度 48 s、密度 1.43 g/cm ³ 、API 滤失量 7 mL	1	加随钻堵漏剂	成功
1604	自流井组,灰褐色粉砂岩	粘度 52 s、密度 1.44g/cm ³ 、API 滤失量 5 mL	9	加 0.3 t 锯末,加入 0.5 t 稻壳,并提出 6 立根钻具,循环冲洗液	成功
1622~1626			4	加 1.5 t 超级钙、1 t 随钻堵漏剂	成功
1721.85	自流井组,杂色砂岩泥岩互层	粘度 58 s、密度 1.32 g/cm ³ 、API 滤失量 5 mL	4	加 2.5 t 随钻堵漏剂,上提 14 立根钻具循环	成功
1735			1	加 1 t 复合堵漏剂	成功
2160	珍珠冲组,灰绿色、灰黑色粉砂质泥岩	粘度 90 s、密度(进口)1.86 g/cm ³ 、滤失量 4 mL	井口不返浆	加 3.5 t 核桃壳、0.5 t 碳酸钙、1 t 随钻堵漏剂	成功
2205	须家河六段	粘度 55 s、密度 1.84 g/cm ³ 、滤失量 5 mL	1	加 0.5 t 超细钙、0.5 t 粒径 0.02~0.05 cm 的核桃壳、0.5 t 锯末	成功

5 高密度环保抑制防塌冲洗液体系应用效果

通过使用高密度抑制防塌冲洗液,井壁坍塌掉块现象明显减弱,保证了井径的完整性,通过测井分析井眼的井径扩大率仅为 8%,有效提高了后期的固井质量。该冲洗液体系可有效提高岩屑的上返效率,防止钻头的重复研磨,冲洗液的润滑性能有效降低摩阻,降低托压,平均机械钻速较之前提高近 0.5 倍。前期施工过程中,坍塌掉块引起的井下事故,使得处理事故的时间较长,影响施工进度,该钻井液体系能有效控制事故发生,大大缩短处理事故的时间。高密度钻井液体系可有效平衡地层压力,控制溢流、井喷的情况发生,通过测量后效,该钻井液体系控制气侵时间是常规钻井液的 3 倍以上。

6 结论

(1)新型环保冲洗液体系,具有良好的流变性和

沉降稳定性,合适的粘度、切力是高密度冲洗液维护的重点,可减少井下复杂情况的发生。

(2)新型环保冲洗液体系具有较强的抑制性和封堵性,因此护壁效果好,施工过程中井壁稳定,保证了钻井顺利施工。

(3)新型环保冲洗液体系携砂、润滑效果好,SY-1 井工合计施工 90 天(含下套管、固井、测井等辅助作业),累计施工 2140 m,平均效率 23.78 m/天,有效地保障了钻探效率。

(4)新型环保冲洗液体系可有效平衡地层异常高压,有效控制气侵、盐侵导致的钻井液性能降低。

参考文献(References):

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 青岛:中国石油大学出版社,2006. YAN Jienian. Drilling Fluid Technology [M]. Qingdao: China University of Petroleum Press, 2006.
- [2] 鄢泰宁,等. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,

- 2004.
- YAN Taining, et al. *Drilling and Excavation Engineering* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2004.
- [3] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2002.
- WU Xiaoming, HU Yule, HE Bingxin, et al. *Drilling Fluid and Geotechnical Engineering Slurry* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2002.
- [4] 李世忠,等. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社,1989.
- LI Shizhong, et al. *Drilling Technology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [5] 胡继良,陶士先,纪卫军,等. 破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32,64.
- HU Jiliang, TAO Shixian, JI Weijun, et al. Discussion of borehole wall stability technology in broken formation and the practice [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2011,38(9):30-32,64.
- [6] 董海燕,高永进,白忠凯,等. 塔里木盆地柯坪地区新苏地1井冲洗液护壁堵漏工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):47-55.
- DONG Haiyan, GAO Yongjin, BAI Zhongkai, et al. Wall protection and leak-plugging with drilling fluid for Well Xinsudi-1 in Keping area of Tarim Basin [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019,46(8):47-55.
- [7] 黄杨. 川藏铁路DZ-深02-1钻孔高密度冲洗液的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):25-28.
- HUANG Yang. High-density drilling fluid research and application in Borehole DZ-Shen02-1 at Sichuan-Tibet Railway [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020,47(11):25-28.
- [8] 高永福. 高密度钻井液的技术难点及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(5):47-49.
- GAO Yongfu. Technical difficulties and application of high density drilling fluid [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2007,34(5):47-49.
- [9] 陈尔志,陈礼仪,向昆明,等. 高密度低失水泥浆体系在煤田绳索取心钻探中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):15-18.
- CHEN Erzhi, CHEN Liyi, XIANG Kunming, et al. Application of high density and low filtration drilling fluid system in wire-line coring drilling of coalfield [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2011,38(2):15-18.
- [10] 石秉忠,蔡利山,李斌,等. 官深1井超高密度钻井液性能调控关键技术[J]. 石油钻采工艺,2012,34(2):41-44.
- SHI Bingzhong, CAI Lishan, LI Bin, et al. Key technologies of ultra-high density drilling fluid performance adjustment in Well Guanshen-1 [J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2012,34(2):41-44.
- [11] 蔡利山,林永学,田璐,等. 超高密度钻井液技术进展[J]. 钻井液与完井液,2011,28(5):70-77.
- CAI Lishan, LIN Yongxue, TIAN Lu, et al. Research progresses summary of ultra-high density drilling fluid technology [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2011,28(5):70-77.
- [12] 林永学,杨小华,蔡利山,等. 超高密度钻井液技术[J]. 石油钻探技术,2011,39(6):1-5.
- LIN Yongxue, YANG Xiaohua, CAI Lishan, et al. Ultra-high density drilling fluid technology [J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2011,39(6):1-5.
- [13] 蔡利山,胡新中,刘四海,等. 高密度钻井液瓶颈技术问题分析及发展趋势探讨[J]. 钻井液与完井液,2007,24(S1):38-44.
- CAI Lishan, HU Xinzong, LIU Sihai, et al. High density drilling fluid: Bottleneck technologies and the progresses thereof [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2007,24(S1):38-44.
- [14] 匡绍华,浦晓林,罗兴树,等. 超高密度有机盐钻井液流变性和滤失量控制技术[J]. 石油钻采工艺,2010,32(2):30-33.
- KUANG Shaohua, PU Xiaolin, LUO Xingshu, et al. Rheology and filtration control of ultra-high density organic salts drilling fluids [J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2010,32(2):30-33.
- [15] 王树永,赵小平,吕本正,等. 一种低土相高密度抗钙钻井液体系[J]. 钻井液与完井液,2016,33(5):41-44.
- WANG Shuyong, ZHAO Xiaoping, LÜ Benzhen, et al. A calcium tolerant high density low clay drilling fluid [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2016,33(5):41-44.
- [16] 林枫,由福昌,王胜翔,等. 加重钻井液防重晶石沉降技术[J]. 钻井液与完井液,2015,32(3):27-29.
- LIN Feng, YOU Fuchang, WANG Shengxiang, et al. Study on prevention of barite sedimentation in weighted drilling fluids [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2015,32(3):27-29.
- [17] 王杰东,杨立,郑宁,等. 玛北1井四开抗高钙盐水侵钻井液技术[J]. 钻井液与完井液,2013,30(6):88-90.
- WANG Jiedong, YANG Li, ZHENG Ning, et al. The drilling fluids techniques on anti-contamination of calcium-rich brine in the fourth interval of Mabei-1 [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2013,30(6):88-90.
- [18] 樊相生,曾李,张勇,等. 元坝地区高密度超高密度钻井液技术[J]. 钻井液与完井液,2014,31(2):31-34.
- FAN Xiangsheng, ZENG Li, ZHANG Yong, et al. Ultrahigh density drilling fluid technology used in Yuanba [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2014,31(2):31-34.

(编辑 荐华)