

磺化沥青钻井液在贵州地热勘探井中的应用

李 勇, 陈 怡, 王 虎, 吴晓兰

(贵州省地质工程勘察院, 贵州 贵阳 550008)

摘要:贵州省岩溶裂隙地层发育, 地层复杂, 地热勘探井施工难度大。根据磺化沥青的基本特性, 分析了磺化沥青钻井液护壁防塌机理, 确定了性能合理的磺化沥青钻井液配方, 并在贵州省铜仁市西部地区地热水资源整装勘查沿河勘查区块地热勘探孔(ZK2)进行了生产应用。实际施工表明, 磺化沥青钻井液护壁防塌效果良好, 提高了钻井效率, 取得了良好的经济效益。结合实际应用情况对磺化沥青在地热井施工中的使用提出了建议。

关键词:磺化沥青钻井液; 地热钻井; 护壁防塌; 复杂地层

中图分类号: P634.6⁺4; TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)01-0027-04

Application of Sulfonated Asphalt Drilling Fluid in Geothermal Exploration Well of Guizhou/LI Yong, CHEN Yi, WANG Hu, WU Xiao-lan (Guizhou Institute of Geological Engineering Investigation, Guiyang Guizhou 550008, China)

Abstract: The geothermal exploration construction in Guizhou is difficult because of karst fracture formations and complex strata there. According to the characteristics of sulfonated asphalt, the analysis was made on the wall-protection and anti-collapse mechanism of sulfonated asphalt drilling fluid to determine its rational formula, and the production application was also made in ZK2 of geothermal water resource whole-mount exploration in west part of Tongling in Guizhou. In the actual construction inspection, it is proved that sulfonated asphalt drilling fluid has good anti-collapse effect with higher drilling efficiency. The rational suggestions are put forward to the use of sulfonated asphalt drilling fluid in geothermal well construction based on the field application experience.

Key words: sulfonated asphalt drilling fluid; geothermal well; wall-protection and anti-collapse; complex strata

0 引言

在地热井钻进施工中, 常常遇到孔内垮塌、掉块、缩径等复杂的构造破碎地层和厚薄不均的泥页岩层或夹层, 在钻井液的冲洗破坏下, 很容易造成孔壁垮塌和缩径, 引发憋钻甚至钻杆折断和卡钻等孔内事故。特别是在贵州岩溶裂隙发育、以碳酸盐岩为主的复杂地层中, 孔内事故频发、处理难度颇高, 严重影响了生产效率和施工进度。因此, 增强孔壁的稳定性, 处理好复杂地层钻孔的防塌护壁, 减少孔内事故是钻进生产的重点工作。笔者在贵州省铜仁市西部地区地热水资源整装勘查沿河勘查区块地热勘探孔(ZK2)地热钻井的施工中, 使用了磺化沥青泥浆, 有效防止了孔壁垮塌和缩径, 提升了安全生产质量, 取得了良好的经济效益。

1 磺化沥青及其护壁防塌机理

1.1 磺化沥青简介

制备磺化沥青的原料沥青是由一些结构复杂的高分子碳氢化合物及其非金属(硫、氮、氧等)衍生

物组成的混合物。沥青主要由沥青质、树脂、蜡、油等化学组分构成, 其中胶质成分能溶于油溶液, 但沥青质只能分散于油溶剂中。根据来源的不同, 沥青的性质有很大差别。沥青成分中的沥青质和树脂的化学结构中包含了大量稠环芳烃类化合物以及杂环化合物, 这些环上的一个氢原子比较容易被磺酸基($-\text{SO}_3\text{H}$)取代, 从而生成磺酸化合物。这一化学过程叫做磺化作用, 被磺化的沥青即被称作磺化沥青。

磺酸基团具有极强的亲水性。沥青经磺化后, 由于其高分子链上增加了亲水基团, 沥青的水溶性会得到一定程度提高。磺化程度越高, 沥青的亲水性越强。当沥青的磺化度达到一定的程度, 磺化沥青会变成水溶性物质。

磺化沥青中的碱金属盐和碱土金属盐均能溶于水, 因此其具有较强的抗钙、抗盐能力。磺化沥青是一种阴离子型的高聚物, 其水溶性成分为带阴离子基的大分子, 而粘土边缘一般带有正电荷, 因此当磺化沥青中的水溶性大分子在吸附到粘土边缘上时, 可阻止粘土颗粒的分散; 当其吸附在泥、页岩地层井

壁的微小缝隙上时,可有效阻止水渗入岩层,从而减少剥蚀掉块。磺化沥青中不溶于水的部分则能提供适当大小的颗粒,这些颗粒可以帮助造壁,改进泥饼的质量。不溶于水的物质覆盖在泥、页岩地层井壁的表面,还可以起到抑制泥、页岩分散的作用。

用磺化沥青处理钻井液,可使其泥饼变薄,可压缩性增大,滤失量也会随之下降。同时磺化沥青还可以增加泥饼的润滑性,降低钻具的阻力和扭力,延长钻头的使用寿命,还有防卡和解卡的作用。另外,磺化沥青还具有较好的抗高温性能,可在高温条件下维持较低的切力和较低的滤失量。

1.2 磺化沥青钻井液的护壁防塌机理

在破碎地层和较厚的泥页岩层中,岩石胶结性较差而呈分散状态。钻穿该类岩层后,岩石原有的相对平衡被破坏而形成新的自由面。由于钻井液中的自由水进入岩层内部岩石之间的小裂缝内,促使泥页岩或者破碎岩层水化膨胀,破坏孔壁的稳定性,加上钻穿地层后孔内压差的作用,极易造成孔壁垮塌,引起钻井事故。

磺化沥青加入泥浆后,分以下几步起到护壁防塌的作用:首先,沥青磺酸盐在泥浆中电离成带负电荷的离子团,而岩石破碎后其断键上带有正电荷,由于静电效应带有负电荷的沥青磺酸粒子会向破碎岩石断键边缘移动,正负电荷中和后紧紧地吸附在一起;其次,带负电的磺酸基团被吸附到岩石表面断键后,憎水基团露在外面朝向岩石裂隙,阻止了水分子向孔壁渗透的趋势;再次,当电荷作用达到平衡,无限多的沥青磺酸基团聚集并且朝向岩石裂隙,阻断了自由水分子向裂隙渗透的通道;最后,由于孔内压差和孔壁固有的渗透性,泥浆失水后形成的粘土颗粒、吸附有沥青磺酸基团的粘土颗粒、磺化沥青颗粒等一起紧密的附着在孔壁上形成一层致密、薄而韧的泥饼,这种泥饼能隔离自由水与孔壁之间的联系,从而达到降失水的目的。

2 ZK2 井地质情况

贵州省铜仁市西部地区地热水资源整装勘查沿河勘查区块地热勘探孔(ZK2)地热钻井位于贵州省铜仁地区沿河县和平镇黄柏石村,钻井施工段地层断层、裂隙、溶隙、溶洞发育,岩性以灰岩白云岩为主,其中夹有中—厚层泥页岩、粉砂质泥岩,属于易垮塌地层。钻井采用常规牙轮钻正循环钻井工艺,

井身结构见表 1。

表 1 ZK2 井井身结构

开次	井径/mm	深度/m
一开	395	0 ~ 20
二开	311	20 ~ 340
三开	216	340 ~ 790
四开	152	790 ~ 1051.6

2.1 地质构造

勘查区区域上处于扬子准地台黔北台隆遵义断拱凤冈北北东向构造变形区北东部,八面山褶皱带上。区内主要发育燕山期形成的近北北东向构造,断裂及次级褶皱非常发育。主要褶皱有沿河背斜,断裂有钟南枢纽断层(F1)、沿河枢纽断层(F2)、淇滩断层(F3)及其它次级断裂。

2.1.1 褶皱

沿河背斜:发育遍布于整个勘查区,由于被沿河枢纽断裂破坏,仅在乌江两岸能见其轴迹,岩层产状较缓,有多期变形。

2.1.2 断裂

(1)钟南枢纽断裂(F1):正断层。表现有多期活动,断层具 S 形弯曲,沿断层常有串珠状落水洞分布,延伸长达 40 km 以上。

(2)沿河枢纽断层(F2):正断层。在碎屑岩区产状缓,有分支复合现象,由 O₁m、O₂sh、O₂b 组成两盘及断夹块,岩层产状缓,断距约 300 ~ 800 m,延伸长度百余千米,具晚近期活动性质。

(3)淇滩断层(F3):逆断层。位于沿河至淇滩一线沿河背斜南东翼,两端延伸出较长,断距 100 余米,上下盘岩层中普遍发育平行分布的次级褶皱,且有弯曲现象,反映变形的多期性。

2.2 地层岩性

ZK2 井井深 1051.60 m,钻井揭露地层岩性及厚度见表 2。

从表 2 可以看出,从龙马溪群(S₁lx)到红花园组(O₁h)共 664 m 的地层均含泥、页岩和泥质岩的岩层或夹层。该类岩层均为水敏性较高的地层,在钻井过程中容易发生缩径、掉块、坍塌、泥包等钻井事故。

3 钻井液使用情况

3.1 初始泥浆使用情况

钻井初期使用钻井液(初始钻井液)配方为:

表 2 ZK2 井揭露地层岩性及厚度

地层	深度/m	厚度/m	岩 性 描 述
龙马溪群(S ₁ lx)	0~185	185	为灰绿、黄灰绿色粉砂质页岩夹薄—中层细砂岩及薄层条带状砂质生物屑泥晶灰岩,呈透镜体产出
五峰组(O ₃ w)	185~211	26	黑色粉砂质、硅质、炭质页岩夹深灰色含炭质生物屑灰岩,下部页岩含硅质较重,上部则含粉砂质重
宝塔组(O ₂ b)	211~282	71	浅灰、浅紫、紫红色中—厚层龟裂纹灰岩,含生物碎屑和泥质,顶部厚约 6 m 灰色中厚层瘤状泥质灰岩,不显龟裂纹。与下伏地层整合接触
十字铺组(O ₂ sh)	282~284	2	灰色厚层粗晶生物碎屑灰岩及薄—厚层泥灰岩。与下伏地层整合接触
大湾组(O ₁ d)	284~590	306	上部为黄绿、灰绿色含云母页岩、砂质页岩,中部为灰色、紫红色瘤状灰岩夹砂质页岩,下部为黄绿、灰绿色粉砂质、钙质页岩夹少量灰绿色、紫红色瘤状泥灰岩。与下伏地层整合接触
红花园组(O ₁ h)	590~664	74	灰—深灰色厚层生物屑细至粗晶灰岩,含少量燧石团块。底部为厚约 1 m 的灰色钙质砂岩及黄灰色钙质页岩,与下伏地层整合接触
桐梓组(O ₁ t)	664~900	236	灰—深灰色中—厚层白云岩夹少量灰色中—厚层灰岩
寒武系中上统娄山关群(⊂ ₂₋₃ ls)	900~1051.6	151.6	上部为浅灰色薄层状白云质灰岩及白云岩;下部为灰白色厚层、块状中至粗粒白云岩

7%土浆 + 0.15%纯碱 + 0.1%PHP + 5%植物胶 + 5%HV - CMC。

但初始钻井液的失水量偏大,泥皮厚度也偏大。从现场使用效果看,在使用此泥浆期间,井壁失稳严重,钻井缩径、掉块、垮塌事故频发,并且部分地段出现地层造浆情况,一天只能钻进 20 m 左右,钻进效率及钻井效益极其低下。

3.2 磺化沥青在钻井液中的使用

为了保证井壁稳定,提高钻进效率和钻井效益,必须对初始钻井液进行调整,降低钻井液的失水量和泥饼厚度,改善泥饼质量,提高钻井液的抑制性。为了达到上述目的,现场配置了 3 种钻井液配方,并对钻井液性能进行了测试。

3 种钻井液配方如下。

I :5% 土浆 + 0.15%纯碱 + 0.1%PHP + 5%植物胶 + 5%HV - CMC + 1%腐植酸钾;

II :5% 土浆 + 0.15%纯碱 + 0.1%PHP + 5%植物胶 + 5%HV - CMC + 1%磺化沥青;

III :5% 土浆 + 0.15%纯碱 + 0.1%PHP + 5%植物胶 + 5%HV - CMC + 1%腐植酸钾 + 1%磺化沥青。

3 种配方现场实验主要性能对比见表 3。

表 3 钻井液主要性能参数对比

配方序号	粘度/ s	失水量/[mL· (30min) ⁻¹]	密度/(g· cm ⁻³)	pH 值	泥饼厚 度/mm
初始钻井液	28.5	12.0	1.10	8.5	1.5
I	22.6	8.0	1.04	8.5	0.5
II	29.0	6.0	1.07	8.5	0.5
III	23.5	5.8	1.07	8.5	0.5

注:粘度为苏式漏斗粘度。

从表 3 可以看出:

(1) I、II、III 号配方钻井液与初始钻井液的性能相比,前 3 种配方的钻井液的泥饼质量都有了提高,失水量也得到了有效控制;

(2) I、II 号钻井液性能相比,使用了腐植酸钾的 I 号钻井液的粘度损失比较大,并且磺化沥青比腐植酸钾对失水量的控制效果更佳;

(3) II、III 号钻井液性能相比,III 号钻井液的粘度损失较大,但失水量降低并不明显。

综上所述,可以认为 II 号钻井液是最优配方,在水敏性较高的地层可使用 III 号钻井液。

3.3 使用效果对比

在后续钻井施工过程中,主要使用 II 号钻井液,部分地层水敏性较高时,采用 III 号钻井液。

使用初始钻井液施工时,由于钻井液失水量高、泥饼厚,泥饼质量不佳,孔壁时有垮塌,在含泥质地层中有地层造浆现象,泥浆性能不稳定,起下钻摩阻大,施工进度慢,正常钻进班平均进尺不足 10 m。在相同岩性段(破碎带、泥页岩层)地层换用磺化沥青泥浆后,孔壁无垮塌现象,检验上返泥浆性能无明显变化,施工进度明显增加,正常钻进班平均进尺可达 18 m(其中 III 号钻井液比 II 号钻井液效果更好,班平均进尺最高时达到 19.4 m,钻进效率更优)。详细对比参见表 4。

从表 3、表 4 以及现场施工效果可以看出:III 号钻井液配方性能稳定,施工中钻时最快,钻进效果在 3 种配方中最好,但对粘度损失较大,在深井中使用时可能会出现携砂能力不足的情况;II 号钻井液(磺化沥青泥浆)泥浆粘度更趋稳定,在破碎带地层、

表 4 上返泥浆性能对比

配方序号	粘度/ s	失水量/[mL· (30min) ⁻¹]	密度/(g· cm ⁻³)	pH 值	泥饼厚 度/mm
初始钻井液	30.5	23.0	1.12	8.5	1.8
Ⅱ	29.0	6.0	1.04	8.5	0.5
Ⅲ	24.0	5.9	1.07	8.5	0.5

泥页岩地层中失水量更能得到控制,泥饼厚度明显低于初始钻井液。施工中对于配方Ⅱ、Ⅲ号钻井液反复检测其粘度、失水量、泥饼厚度,发现其性能稳定,降失水、控制泥饼厚度方面都能满足施工要求,且钻速都比初始钻井液要快。

通过施工对比得知,磺化沥青泥浆比普通泥浆润滑性更好,使用磺化沥青泥浆时钻具在孔内的摩擦阻力和扭矩更低;降滤失能力更强,可以抑制粘土成分在泥浆中的分散,尤其是在井壁的稳固方面,磺酸基团本身的亲水性抑制了水分子向地层内渗漏的趋势,更大程度地减小了孔壁吸水膨胀、甚至垮塌的可能。

综上所述,磺化沥青钻井液具有滤失量低、滤饼薄、润滑性好等特点,在水敏性地层中钻进时,可以有效地稳定孔壁,防止地层缩径坍塌,同时可以提高钻井效率。

4 结论与建议

4.1 结论

通过实际施工检验,可以得出以下结论。

(1)对于破碎地层与泥页岩地层本身机械强度低、遇水易膨胀的特点,使用磺化沥青钻井液能有效抑制泥浆中自由水的滤失,磺化沥青钻井液较普通泥浆具有更低的滤失量。

(2)磺化沥青钻井液与破碎地层及泥页岩地层中岩石小颗粒有良好的胶结作用,加强了孔壁的稳定性。

(3)磺化沥青钻井液具有密度低、流动性好、优

良的润滑减阻性能等特点,比较适用于金刚石钻进,且不易造成卡钻和孔内断钻杆事故。

(4)Ⅲ号钻井液对失水量控制效果更佳,比Ⅱ号钻井液具有更强的抑制性,可作为Ⅱ号钻井液抑制性不足时的补充。但Ⅲ号钻井液粘度损失较大,在深井钻井施工中可能存在携砂能力不足的情况,此时应注意提高提粘剂的加量。

4.2 建议

(1)磺化沥青泥浆在低温时本身易冻结不易搅拌均匀,故在低温环境中使用时应适当加热。

(2)临近终孔时应换掉磺化沥青泥浆,因为磺化沥青本身具有一定的污染性,对于地热储层的污染应当予以控制。

参考文献:

[1] 宋德莲,唐虹,李玉姣,等. 钻井液用磺化沥青类产品沥青总量测定方法的探讨[A]. 穆剑. 油田化学剂及检测技术论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2007:333-336.

[2] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,2006.

[3] 楼一珊,金业权. 岩石力学与石油工程[M]. 北京:石油工业出版社,2006.

[4] 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.

[5] 胡金鹏,雷恒永,赵善波,等. 关于钻井液用磺化沥青 FT-1 产品技术指标的探讨[J]. 钻井液与完井液,2010,27(6):85-88.

[6] 袁朝秀,李远宁. 磺化沥青复合剂(SHA)的研制与应用[J]. 探矿工程,1991,(3):6-9.

[7] 杨玉良,李跃明,马世昌,等. 沥青在石油钻井中的应用[J]. 新疆石油天然气,2010,6(1):59-62.

[8] 陈金照. 磺化沥青泥浆在煤田地质钻探中的应用研究[J]. 能源与环境,2006,(5):109-110.

[9] 何天承. 应用推广磺化沥青泥浆的经济效益[J]. 探矿工程,1986,(4):38-40.

[10] 张丽华,郭明红,李秀妹,等. 钻井液用磺化沥青抑制性评价方法分析与探讨[J]. 石油工业技术监督,2013,(8):1-3.

欢迎投稿,欢迎订阅,欢迎刊登广告!