

# 低渗透成膜钻井液在贵州深部地热井中的应用

王 虎<sup>1</sup>, 陈 怡<sup>1</sup>, 段德培<sup>1</sup>, 吴晓兰<sup>1</sup>, 李 勇<sup>1</sup>, 苏 宁<sup>2</sup>

(1. 贵州地质工程勘察院, 贵州 贵阳 550008; 2. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550000)

**摘要:**贵州省碳酸盐岩地层分布广泛, 溶洞、溶隙、裂隙发育。在地热深井钻进过程中, 经常在热储层钻遇溶洞, 出于储层保护目的, 常常采取顶漏钻进措施。在贵州铜仁 ZK2 地热井热储层遇到此情况时, 采用了低渗透成膜钻井液顶漏钻进, 节约了钻探成本, 同时能将岩屑及时排出, 保证了钻井安全, 为低渗透成膜钻井液在深部地热钻井中的应用提供了宝贵的经验。

**关键词:** 地热井; 低渗透成膜钻井液; 护壁; 贵州

**中图分类号:** TE254.3   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2015)04-0013-03

**Application of Low Permeability Film Forming Drilling Fluid in Deep Geothermal Well in Guizhou Province/WANG Hu<sup>1</sup>, CHEN Yi<sup>1</sup>, DUAN De-pei<sup>1</sup>, WU Xiao-lan<sup>1</sup>, LI Yong<sup>1</sup>, SU Ning<sup>2</sup>** (1. Guizhou Institute of Geological Engineering Investigation, Guiyang Guizhou 550008, China; 2. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550000, China)

**Abstract:** Carbonate formations are widely distributed in Guizhou Province with karst caves, karst cracks and joint cracks developing. Karst caves are frequently encountered in deep geothermal well drilling operation. For the purpose of reservoir protection, it is usual to drill against loss circulation. In geothermal reservoir of ZK2 geothermal well of Guizhou, by drilling against loss circulation with low permeability film forming drilling fluid, the cost was reduced and the cuttings were discharged in time. This safe drilling case provides its experience for the application of low permeability film forming drilling fluid in deep geothermal well drilling.

**Key words:** geothermal well; low permeability film forming drilling fluid; wall protection; Guizhou

## 0 引言

贵州省碳酸盐岩地层分布广泛, 地层岩溶发育, 多见溶洞、溶隙、裂隙, 是深部地热钻井钻进事故多发地层。在浅部钻遇溶洞, 可采用水泥封堵的方式处理, 但在热储层则需考虑储层保护, 不能影响热储层渗透率, 避免完井后水量不足甚至不能出水。因此, 在热储层钻遇溶洞, 往往采取顶漏钻进方式进行钻井施工。

在顶漏钻进时, 一般使用常规泥浆、清水或无固相泥浆。使用常规泥浆, 由于漏失量比较大, 配置泥浆工作量比较大, 而且成本也比较高; 使用清水, 工作量小, 成本低, 但存在岩屑携带困难, 防塌护壁效果差等问题; 无固相泥浆使用清水加聚丙烯酰胺 (PAM)、植物胶和纤维素 (CMC) 等添加剂, 添加剂添加量小, 因而配制工作量小, 配制成本也不高, 但

其具有一定的粘度, 并且添加剂在井壁上可形成低渗透薄膜, 具有较强的岩屑携带能力和较好的护壁效果。

实践证明, 普通无固相泥浆对轻微破碎和漏失地层能起到较好的抑制作用, 但其成膜性与胶结力都不稳定, 对破碎地层的护壁效果并不理想<sup>[1]</sup>。为此, 我们结合国内外先进理论, 使用了低渗透成膜钻井液, 并取得了良好的成效。

## 1 作用机理

### 1.1 低渗透成膜钻井液

人工或天然聚合物处理剂可在孔壁表面聚集成胶体薄膜, 这些胶体在钻井液液柱压力驱动下可侵入岩层微裂隙、溶隙, 从而在孔壁表面形成低渗透性的致密封堵层, 以起到阻止钻井液及其滤液进入

收稿日期: 2014-08-06; 修回日期: 2015-01-21

基金项目: 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, 助理工程师, 地质工程专业硕士, 从事钻井液技术研究工作, 贵州省贵阳市云岩区百花大道 5 号, wanghu235@163.com。

通讯作者: 苏宁, 男, 汉族, 1958 年生, 总工程师, 从事地下水空气钻进、地热水多工艺空气钻进及深部岩心钻探的生产技术管理工作, 贵州省贵阳市北京路元隆广场 7 号楼 907 号, 568904896@qq.com。

地层的作用<sup>[2]</sup>。这种基于成膜理论的钻井液体系被称为低渗透成膜钻井液体系,是近年来国内外学者新提出的一种钻井液体系理论<sup>[3-4]</sup>。

## 1.2 聚合物成膜理论

钻井液成膜主要有3种方式:聚合物材料成膜、封堵材料成膜以及合成基和逆乳化成膜<sup>[5]</sup>。综合地质情况和配制成本,现场采用聚合物材料成膜,其成膜机理为:聚合物中的吸附基相互联接形成网状结构,当吸附基联接足够多时,即可在孔壁上产生多点网膜吸附,进而形成韧性良好的吸附膜。

## 2 钻井液的选材与配制

### 2.1 钻井液材料的选择

通过参考相关文献材料,结合施工现场地层情况和其他钻井队在贵州同类地层施工经验,以及考虑钻井液成本、采购难度和配置工作量,确定钻井液材料为PHP(水解聚丙烯酰胺,分子量为1800万)、植物胶、Hv-CMC(高粘羧甲基纤维钠)、磺化沥青或腐植酸钾。

### 2.2 钻井液护壁机理

#### 2.2.1 PHP作用机理

(1)絮凝机理:PHP具有长链(线)状的分子结构(见图1),其分子中含有大量活性基团。PHP每个分子是由十万个以上的单体聚合构成,所以其分子链相当长,其长度要比一般的分子或离子长数万倍以上。长而细的PHP分子可以弯曲或卷曲成不规则的曲线形状。这个长分子链向外侧伸出许多化学活性基团——酰胺基( $-\text{CONH}_2$ )及羧基( $-\text{COO}^-$ )。这些活性基团易于形成副价键而与其它物质的活性基团吸附并连结起来。通过自身活性基团对其它物质的活性基团的吸附作用和其分子长链自身的卷曲作用,PHP能与其溶液中的固体微粒形成如棉絮般松散、无定形,互相联结但不很稳固,内部有很多空间和微细网络,包藏大量液体的絮凝物。

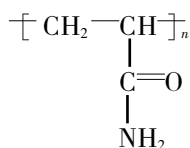


图1 PHP分子结构

PHP通过絮凝作用可以将钻井液中的微小颗粒聚集成较大颗粒并将其携带出孔底。这些微小颗

粒是形成泥包的重要因素。

(2)成膜机理:PHP的长链能在孔壁上产生多点吸附,并形成致密的吸附膜,盖膜能有效减缓钻井液及其滤液向孔壁岩层渗透的速度;PHP形成的膜可在泥浆压力下进入岩层孔隙、裂隙,进一步减小孔壁渗透率,同时多点吸附可以阻止岩石的剥落<sup>[5]</sup>。

#### 2.2.2 植物胶、Hv-CMC护壁机理

植物胶是一种从植物中提取的天然胶聚物,其分子结构(见图2)呈网状。植物胶溶于水后,其分子链上的羟基( $-\text{OH}$ )可吸附水分子的氢键,使得分子间的接触和内摩阻力得到增强,从而提高溶液粘度。同时网状的植物胶分子间也可进行吸附,形成更复杂的网状结构,叠加的网状结构最终形成胶膜,吸附在孔壁上,提高岩石的固结能力。Hv-CMC的护壁机理与植物胶相类似。

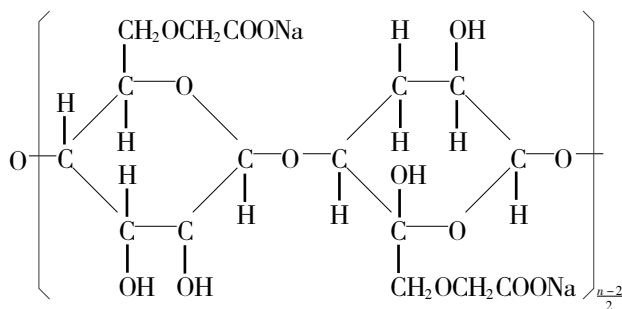


图2 CMC分子结构

#### 2.2.3 多种添加剂与磺化沥青组合作用机理

PHP分子长链与植物胶、Hv-CMC的网状分子支链之间在多点吸附之下可形成复杂的网架结构。磺化沥青一方面可以吸附在井壁地层表面,维护井壁稳定和阻止地层中的泥质分散,另一方面磺化沥青中部分不溶粒子可以挤到地层层理裂隙中,起到封堵的作用。磺化沥青与其它高聚物相结合,可以在井壁表面形成一层致密且高强度的低渗透胶膜,从而起到胶结岩石和降低孔壁渗透率的作用。

此外,高聚物提高钻井液的粘度,加强了钻井液携带岩屑的能力。

### 2.3 低渗透成膜钻井液配比的选择

选择钻井液配比前先按6种配方进行钻井液性能测试实验,具体配比见表1。

测得各种配方钻井液的主要参数见表2。

钻井液配方的选择需综合考虑钻井液携砂能力、钻井液与地层岩性的配伍性和地热井的温度影响。当前贵州省地热井多采用牙轮钻井工艺,

表 1 低渗透成膜钻井液配方 %

配方序号	PHP	植物胶	Hv - CMC	磺化沥青	腐植酸钾
1	1.0	2.0	1.0	5	—
2	1.0	2.0	1.0	—	5
3	1.0	3.5	0.5	5	—
4	1.0	3.5	0.5	—	5
5	1.5	2.0	1.0	5	—
6	1.5	2.0	1.0	—	5

表 2 低渗透成膜钻井液主要性能参数

配方序号	粘度/ s	失水量/ [mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	pH 值
1	22.0	6.8	1.05	8.5
2	21.0	6.6	1.05	9.0
3	26.0	5.3	1.05	9.0
4	25.0	5.5	1.05	9.0
5	29.0	5.1	1.05	8.5
6	28.5	5.2	1.05	9.0

钻屑较大,需要钻井液具有较高的粘度以便将钻屑及时从孔底携带至漏失地层内,防止反复研磨影响钻进效率和孔底沉砂埋钻;热储层一般为碳酸盐岩地层,部分地层含泥质程度不同,因此需要控制钻井液的失水量,以抑制地层吸水膨胀或造浆;贵州地热资源属热水型低温地热资源,其特点是温度低(一般为 40~60℃)、补给广、水量大,在配制钻井液时无需考虑高温对钻井液的影响。综合考虑以上各因素和配制成本,确定使用 5 号配方。

### 3 现场使用及效果

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)地热钻井使用牙轮钻头钻进,在 842~843 m 钻遇溶洞,钻井液完全漏失。溶洞所处地层为寒武系中上统娄山关群( $\text{C}_2^3ls$ ),岩性为白云岩。

#### 3.1 前期处理

该地层属热储层,为保护储层和方便抽水,不能使用水泥封堵和下套管,虽采用其它多种堵漏方式进行封堵,均未起效。

第一次处理:采用灌注高粘泥浆方式堵漏,粘土粉 7% + Hv - CMC 或植物胶,将泥浆粘度提升至 35 s,堵漏无效。

第二次处理:在高粘泥浆中加入锯末堵漏剂,依然未见返浆。

第三次处理:向井内投掷用黄泥巴制作的直径 10 cm 左右的黏土球,然后用高粘泥浆钻进,依然未

见返浆。

#### 3.2 低渗透成膜钻井液的应用

多次堵漏失败后,决定顶漏钻进。初始使用无固相钻井液,即清水 + PHP + 磺化沥青,岩屑携带能力不足,孔底有沉砂,存在反复破碎现象,钻进效率很低,每天进尺只有 10 m 左右,且有掉块现象,存在坍塌事故隐患。为提高钻井效率,保证井壁稳定和保护储层,决定使用低渗透成膜钻井液,钻井液配方选定为 5 号配方。

钻井液的配制:钻井液直接在泥浆池内配制,钻井液添加剂从射流漏斗添加进泥浆池,漏斗与泥浆池内的砂泵连接,砂泵从泥浆池内泵吸钻井液。钻井液通过漏斗内的射流管返回泥浆池时,射流产生的吸力将添加剂吸入漏斗,添加剂随钻井液一起进入泥浆池。泥浆池内另外配 2 台砂泵搅拌钻井液,使添加剂均匀混入钻井液。为防止部分钻井液材料直接沉入泥浆池底部,在添加材料的同时,用空压机高压冲洗孔底,保证材料充分与钻井液混合。在添加聚合物添加剂(尤其是 PHP)时应注意防止添加剂结块,添加速度要缓慢,添加剂应撒开,均匀加入射流漏斗。

钻井液的使用:在离溶洞较近时,相对小泵量的钻井液即可将钻屑带入溶洞,为减少钻井液损耗,此时打开泥浆泵回流阀,使部分钻井液从回流阀回流。每次加接钻杆时应探砂,底部无沉砂,可适量开大回流阀,底部有沉砂,则适当关小回流阀。

#### 3.3 应用效果

低渗透成膜钻井液在该地热井钻进施工中,效果很明显。

(1) 携砂能力强。钻井液具有一定的粘度,循环时能够有效携带岩屑,静止时钻井液中各种添加剂能够快速形成网状结构,悬浮岩屑,保证了孔底的清洁,有效防止了埋钻事故的发生。使用低渗透成膜钻井液前,钻井顶漏钻进至溶洞下 30 m 处即开始有沉砂,在溶洞 50 m 下沉砂已有 7 m,无法加杆;换用低渗透成膜钻井液后,顶漏钻进 200 m,钻进过程中孔底基本无沉砂。

(2) 钻井液在孔壁形成的胶膜降低了孔壁的渗透性,同时增强了岩石的固结能力,对掉块、坍塌等现象有明显的抑制作用。使用低渗透成膜钻井液前,每个回次钻进过程中都会有不同程度的掉块现象,

(下转第 20 页)



图2 钻头使用前后对比

机械钻速对比,机械钻速提高了129%。

(2)液动旋冲工具配合PDC钻头钻进,使用钟摆钻具组合,在钻压 $>120$  kN时,具有很好的稳斜效果,本井2960 m测斜 $1.7^\circ$ ,3040 m测斜 $0.38^\circ$ 。

(3)应用液动旋冲工具与PDC钻头在钻进中,通过参数优化,控压控时钻进,钻速较快且工作稳定,充分发挥了PDC钻头中等钻压、转速低、扭矩平稳的优点,对控制井身质量、钻具防断以及携带岩屑起到了较好的作用。

#### 参考文献:

[1] Whiteley M C, England W P. Air drilling operations improved by

percussion-bit/hammer-tool tandem [R]. SPE 13429, 1986.

- [2] Pratt C A. Modifications to and experience with percussion air drilling [M]. SPE/IADC 16166, 1987.
- [3] Melamed Y, Kiselev A, Gelfgat M, et al. Hydraulic hammer drilling technology: Developments and capabilities [J]. Journal of Energy Resources Technology, 2000, 122(1): 1-8.
- [4] 付加胜,李根生,田守增,等.液动冲击钻井技术发展与应用现状[J].石油机械,2014,42(6):1-6.
- [5] 王雷,郭志勤,张景柱,等.旋冲钻井技术在石油钻井中的应用[J].钻采工艺,2005,(1):17-19.
- [6] 汪海阁,王灵碧,纪国栋,等.国内外钻完井技术新进展[J].石油钻采工艺,2013,35(5):1-12.
- [7] 陶兴华.提高深井钻井速度的有效技术方法[J].石油钻采工艺,2001,(5):4-8,83.
- [8] 黄仁山.油气工业可借鉴的冲击回转钻进技术[J].石油钻探技术,1996,(4):18-20,64.
- [9] 殷琨,蒋荣庆,赖振宇,等.气动潜孔锤钻进技术[J].世界地质,1999,(2):104-107.
- [10] 张祖培,殷琨,等.岩土钻掘工程新技术[M].北京:地质出版社,2003.
- [11] 孟祥波,陈春雷,孙长青.徐深21-平1井轨迹控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):30-32.
- [12] 王建艳,李瑞营,孙妍,等.大庆葡萄花油层氮气专打技术实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):32-34.

#### (上接第15页)

表现为扭矩突然增大,然后又恢复正常值;换浆后,掉块现象明显减少,约为之前的1/3。

(3)钻井液无固相,钻进效率高。换浆后,每天进尺由原来的10 m左右提高至30 m左右,钻进效率提高了2倍。

(4)PHP的良好絮凝效果能充分清除孔底的微小颗粒,阻止了包钻事故的发生。

(5)泥浆配置容易,成本低廉。

#### 4 结语

施工实践表明,低渗透成膜钻井液作为深部地热井的冲洗液,在溶洞、溶隙、裂隙发育的碳酸盐岩地层钻进中能减少孔内事故、提高钻进时效、降低钻探成本,有极大的推广和应用价值。

#### 参考文献:

[1] 李平.聚合物无固相泥浆在广西资源县某矿区绳索取心钻进

中的应用[J].矿产与地质,2012,26(6):525-528.

- [2] 陈礼仪,李浩,袁学武,等.低渗透成膜钻探泥浆体系的研究与应用[J].成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(5):498-503.
- [3] 罗向东,陶为民,刘鹏,等.无渗透无侵害钻井液及其渗透性能评价方法的探讨[J].钻井液与完井液,2005,22(1):5-8.
- [4] 孙金生,刘雨晴,唐继平,等.超低渗透钻井液完井液技术研究[J].钻井液与完井液,2005,22(1):1-4.
- [5] 李智先.岩心钻探基础知识问答[M].北京:地质出版社,1984.
- [6] 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.
- [7] 艾贵成.封堵成膜钻井液技术在昆2井的应用[J].石油钻采工艺,2007,29(1):89-91.
- [8] 李会娟,鲍卫和,马忠平.聚合物防塌钻井液在天津地热定向井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(6):53-55.
- [9] 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.