

甘肃山丹花草滩煤矿扩大区煤炭详查 钻井液工艺及应用

蔡晓文¹, 李晓东², 牛彦杰¹, 纪卫军²

(1.甘肃煤田地质局一四五队,甘肃 张掖 734000; 2.北京探矿工程研究所,北京 100083)

摘要:在甘肃省山丹县花草滩煤矿扩大区煤炭详查钻探施工中,普遍存在着泥岩地层造浆、膨胀缩径及坍塌掉块等问题。针对上述问题,开展了钻井液工艺研究,选择了有机硅抑制剂、降滤失材料、随钻封堵材料及包被絮凝材料,进行钻井液配方及性能研究。通过室内实验及现场应用,证明了该钻井液具有良好的抑制性能、防塌护壁性能及流变性能,有效解决了上述技术难题,钻井液使用周期大幅提升,显著减少了废弃钻井液的排放,促进了绿色勘查理念在勘查区的实践推广。

关键词:煤炭详查;钻井液;造浆;膨胀缩径;绿色勘查

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)11-0056-05

Drilling fluid technology and application in detailed coal exploration in the extended area of Huacaotan Coal Mine, Shandan, Gansu

CAI Xiaowen¹, LI Xiaodong², NIU Yanjie¹, JI Weijun²

(1.145 Brigade, Gansu Bureau of Coal Geology, Zhangye Gansu 734000, China;

2.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: During detailed coal exploration drilling in the extended area of Huacaotan Coal Mine, Shandan, Gansu, problems such as mud-production, borehole expansion or shrinkage, caving and falling blocks in mudstone formation were often encountered. In light of the above problems, drilling fluid technology research was carried out. Materials as silicone inhibitor, filtrate reducer, plugging-while-drilling materials, and coating and flocculation materials were chosen for research on drilling fluid formulation and properties. Through indoor experiments and field applications, it has been proved that the drilling fluid has good inhibiting performance, anti-caving and wall protection performance and rheological properties, and effectively solves the above technical problems. The service period of the drilling fluid is greatly increased; thus significantly reducing the discharge of waste drilling fluid, and fostering the application of the concept of green exploration in the exploration area.

Key words: detailed coal exploration; drilling fluid; mud-production; expansion and contraction; green exploration

随着社会经济快速发展和环保意识逐渐增强,煤田地质勘探技术要求越来越高^[1]。在勘探过程中经常会遇到孔壁失稳的问题,随着钻探深度的不断增加,孔壁失稳问题日益突出,孔内坍塌、缩径、卡钻及埋钻等事故频繁发生,甚至导致钻孔报废等严重

后果,给钻探施工造成极大的经济损失^[2-3]。笔者针对甘肃山丹花草滩煤矿扩大区煤炭详查钻探施工中遇到的孔壁失稳问题,开展了钻井液工艺技术研究,并在现场进行了应用。

收稿日期:2020-08-28; **修回日期:**2020-10-20 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.11.010

基金项目:甘肃省地勘基金项目“甘肃省山丹县花草滩煤矿扩大区煤炭详查”(编号:201601-M01)

作者简介:蔡晓文,男,汉族,1967年生,高级工程师,从事煤田勘探工作,甘肃省张掖市甘州区张火公路1公里处145号,770929891@qq.com。

通信作者:李晓东,男,汉族,1984年生,工程师,应用化学专业,硕士,从事钻井液技术研究与应用工作,北京市海淀区学院路29号,lixid@bjiee.com.cn。

引用格式:蔡晓文,李晓东,牛彦杰,等.甘肃山丹花草滩煤矿扩大区煤炭详查钻井液工艺及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):56-60.

CAI Xiaowen, LI Xiaodong, NIU Yanjie, et al. Drilling fluid technology and application in detailed coal exploration in the extended area of Huacaotan Coal Mine, Shandan, Gansu[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(11):56-60.

1 概况

1.1 工区概况

甘肃省山丹县花草滩煤矿扩大区煤炭详查是原甘肃省国土资源厅的地质勘查基金项目,勘查区系花草滩煤矿外围延伸部分,主要针对花草滩煤矿北东外围进行深部煤层的勘查。勘查区位于大黄山北缘的山前冲洪积戈壁平原上,为典型的干旱戈壁荒漠,东西最长约 10 km,南北最宽约 6.5 km,面积 24.6 km²,大多地形平坦,局部为缓坡及山丘,略显东南高、西北低之势,其最低点位于勘查区西端,海拔约 1990 m,最高点位于勘查区南部与花草煤矿交界处及北部边缘,海拔约 2200 m,相对高差 210 m。钻探施工现场全景图如图 1 所示。



图 1 钻探施工现场
Fig.1 Drilling site

1.2 地层情况

勘查区内地层自下而上为寒武系下统大黄山群(ϵdh)、石炭系上统羊虎沟组(C_2y)、二叠系下统太原组(P_1t)、二叠系中统大黄山组(P_2d)、二叠系上统窑沟群(P_3yg)、新近系疏勒河组(N_s)和第四系(Q)^[4-5]。各地层自下而上的岩性情况如下:

(1)寒武系下统大黄山群为基底地层,地层岩性主要为灰绿色变质砂岩及板岩,局部为泥岩,厚度为 4299 m。

(2)石炭系上统羊虎沟组为山丹煤田的第一个沉积盖层,岩性主要为灰白色中、粗粒砂岩、灰黑色砂岩及泥质灰岩,地层厚度约为 44 m。

(3)二叠系下统太原组(P_1t)为勘查区主要含煤地层,按其沉积特点和岩性组合可分为上、中、下三段。上段为陆相沉积,岩性及厚度比较稳定,上部为一套杂色碎屑岩,含云母砂岩(标志层 K3)及一层杂色泥岩、粉砂岩(K31),下部为灰黑色泥岩、粉砂岩、砂岩、炭质泥岩及煤层,含有煤₁、煤₂^上、煤₂^下,3 层可

采煤层,厚度为 25.4~119.2 m;中段为海陆交互相(含煤沉积),含有 3 层生物灰岩,其中底部的鲕灰岩厚度(厚度为 35.9~94.5 m)最大;下段属海陆交互相沉积,无层状生物灰岩及煤层,岩石中含铁质(赤铁矿或菱铁矿),部分岩石呈现为杂色,底部有铁、铝质沉积,并不整合在大黄山群浅变质岩之上,厚度为 50.7~64.8 m。

(4)二叠系中统大黄山组 and 上统窑沟群,两者岩性及颜色相似,皆为杂色碎屑岩,为整合接触。大黄山组厚度较稳定,一般为 8.65~269.35 m;窑沟群由于遭受剥蚀,厚度变化大,残余厚度 0~671.50 m。

(5)新近系疏勒河组,为勘查区主要覆盖层,分布广泛。岩性为浅灰黄、浅黄、浅橙色泥岩、砂质泥岩,夹浅红、浅黄色粉砂岩及细砂岩,中上部含有石膏,下部为紫红、砖红色砾岩、角砾岩及含砾粗砂岩,泥质胶结。厚度为 0~365.20 m。

(6)第四系在勘查区内分布广泛,以砂砾石层为主,顶部有 3~10 m 厚的次生黄土及耕植土,底部偶尔会有厚度不足 10 m 的透镜状角砾岩。区内第四系总厚度为 1.00~99.20 m。

2 钻探设备及工艺

2.1 钻探方法

(1)采用 XY-8 型液压钻机,可解决钻孔开孔钻遇砾石层不能有效加压的问题,提高钻探效率。采用金刚石钻进工艺在砾岩层中钻进,提高砾岩层钻进的效率。

(2)在基岩中采用单管钻井、切断器取心。煤系地层使用复合片钻头钻进取心,提高岩心采取率。

(3)在煤层取心钻进中,采用 GmK-II 型采煤器。其特点是:双管单动配合复合片钻头钻进能保证煤心的有效直径,内管采用半合管结构,可以直观观察煤心的原生结构,保持岩心不磨损、不易丢失、采煤效率高。

(4)大部分瓦斯孔原则上采用绳索取心钻进,采瓦斯时从割心到提到井口的时间应满足如下要求。即:煤层埋深在 0~500 m 的钻孔,提心时间 ≥ 10 min;煤层埋深在 500~1000 m 的钻孔,提心时间 ≥ 20 min;煤层埋深在大于 1000 m 的钻孔,提心时间 ≥ 30 min。对于非绳索取心的瓦斯孔应尽量缩短提心时间。

(5)对煤层气采样孔(X401号、X301号),采用绳索取心技术,绳索取心能提高钻探效率,降低工程成本,提高岩心采取率,减少孔内事故的优点。

(6)环境保护措施:施工现场铺设防渗布,以防油污、废钻井液渗入地下;钻井材料和油料要集中管理,放置在经过防渗处理的地方,减少漏失;废泥浆固化后运送到当地的垃圾场妥善处理;完井后做到工完场地清,钻屑运到当地的垃圾场妥善处理,恢复地貌。

2.2 孔身结构

一开第四系卵石地层采用 $\varnothing 225$ mm的牙轮钻头,钻透第四系后下入 $\varnothing 194$ mm的套管封闭第四系。二开采用 $\varnothing 98$ mm的金刚石钻头,钻至终孔深度。

2.3 钻具组合

(1)松散层、卵石层:89 mm六方主动钻杆+ $\varnothing 73$ mm钻杆+ $\varnothing 95$ mm钻铤+ $\varnothing 194$ mm的扶正器+ $\varnothing 225$ mm牙轮钻头。

(2)第三系、基岩层、煤层:89 mm六方主动钻杆+ $\varnothing 95$ mm钻杆+ $\varnothing 95$ mm绳索取心器+ $\varnothing 98$ mm金刚石取心钻头。

2.4 钻进技术参数

依据岩石的性质、钻头类型、钻孔深度、钻井液类型、使用设备和钻具性能等,选用钻进技术参数(参见表1)。这些参数的有机配合是决定钻效、钻头寿命、钻具的磨损等的基础因素。提倡平稳、一致,决不可忽高忽低。新钻头开始接触孔底钻进时,采煤、扫孔等均应轻压、慢转、灵活使用,严禁盲目地追求重压、快转速。

表1 钻进技术参数

Table 1 Drilling technical parameters

地层	钻压 W/kN	转速 $n/(r \cdot \min^{-1})$	泵量 $Q/(L \cdot \min^{-1})$
第四系	4~8	250~350	200~300
第三系	8~12	250~450	90~300
二叠系、石炭系	8~12	250~450	150~300
煤层	4~6	250~450	90~300

3 现场存在的问题及分析

第四系地层松散破碎,易发生坍塌掉块问题;新近系及二叠系存在大段松散砂层及水敏性泥岩地层,松散砂层易坍塌掉块,泥岩地层遇水后易膨胀缩径,同时泥岩造浆严重,导致钻井液粘度剧增,极易

发生粘附卡钻事故,以往钻探施工过程中孔内事故频发,给施工单位造成了很大的经济损失^[6-9]。

以往施工中钻井液一般采用膨润土及纤维素等材料配制的低固相细分散体系,该钻井液体系抑制性较差,在造浆地层钻进时其流变性能迅速恶化,常需要重新配制新的钻井液替换旧浆来维持正常施工钻进;防塌护壁性能也达不到施工要求。尤其当前国家对生态文明建设极为重视,“绿水青山就是金山银山”的绿色勘查理念在地质勘查工作中的重要性越来越突出,勘查区又处于西北植被土壤环境脆弱地区,废弃钻井液的排放必然会对环境带来污染隐患。因此,在保证钻井液性能满足施工要求的基础上,减少钻井液排放也是钻探施工亟需解决的难题^[10-13]。

4 室内实验研究

4.1 现场施工对钻井液的要求

钻井液应具有良好的流变性和悬浮携带性能,既能将岩粉带出孔内,又易于岩粉在地表沉降;密度应具有较大的可调节范围,以平衡地层压力;滤失量低,减少自由水浸入地层造成孔壁膨胀缩径和分散剥落等问题,防止粘附卡钻事故的发生;具有良好的抑制性,抑制泥岩等水敏性地层膨胀、分散造浆问题,维护孔壁稳定,确保钻探施工安全顺利进行^[14-16]。

4.2 钻井液处理剂的选择

依据钻遇地层情况、钻进工艺方法、取心技术要求等条件,选择配制钻井液所使用的处理剂,所选择处理剂及其常用加量和作用如表2所示。

表2 各处理剂常用加量和作用

Table 2 Addition amount and functions of various additives

处理剂名称	代号	常用加量/%	主要作用
膨润土		3~5	造浆材料,提高钻井液粘度和切力
有机硅抑制剂	GYZ-1	1~2	抑制泥岩水化膨胀、抑制泥岩造浆
降失水剂	GPNH	1~2	降低钻井液滤失量
随钻堵漏剂	GPC	1~3	封堵微孔隙、微裂隙,防止渗漏,提高孔壁稳定性
包被剂	GBBJ	0.2~0.3	包被、絮凝作用,易于岩粉沉淀

4.3 常规性能评价

根据各处理剂常用加量,开展室内配方实验研究,按照表3所列的钻井液配方配制钻井液,测定钻

井液常规性能,测试结果如表 4 所示。

表 3 钻井液室内实验配方

Table 3 Indoor experimental formula of the drilling fluid

实验编号	钻井液配方
1	3%膨润土+1%GYZ-1+1%GPNH+1%GPC+0.2%GBBJ
2	5%膨润土+1%GYZ-1+1%GPNH+1%GPC+0.2%GBBJ
3	3%膨润土+2%GYZ-1+1%GPNH+1%GPC+0.2%GBBJ
4	3%膨润土+1%GYZ-1+1.5%GPNH+1%GPC+0.2%GBBJ
5	3%膨润土+1%GYZ-1+1%GPNH+2%GPC+0.2%GBBJ

表 4 钻井液常规性能评价

Table 4 General performance evaluation of the drilling fluid

实验编号	表观粘度 AV/ (mPa·s)	塑性粘度 PV/ (mPa·s)	动塑比	API 滤失量 FL/mL	泥皮厚度 H/mm
1	25	18	0.39	7.2	0.1
2	28	20	0.40	6.6	0.1
3	22	15	0.47	6.0	0.1
4	30	22	0.36	6.2	0.1
5	24	17	0.41	6.8	0.1

通过实验数据可以看出,各处理剂在常规加量的情况下,钻井液均具有良好的流变性能及滤失造壁性能。现场应用时,根据实际需要调整各处理剂加量,以达到施工要求。在易造浆的泥岩地层钻进时,减少或者不加膨润土,同时根据造浆情况适当提高有机硅抑制剂加量,防止钻井液粘度过高。

4.4 抑制性能评价

以配方“3%膨润土+1%GYZ-1+1%GPNH+1%GPC+0.2%GBBJ”配制的钻井液为例,进行钻井液抑制性能评价,通过岩屑滚动回收实验和页岩膨胀量测定,计算得出岩心滚动回收率和膨胀量降低率,实验结果见表 5。

表 5 钻井液抑制性能评价

Table 5 Inhibition performance evaluation of the drilling fluid

配方	滚动回收率 R/%	相对膨胀量降低率 Y/%
清水	39.6	
钻井液	92.1	89.5

从表 5 可以看出,该钻井液的岩屑滚动回收率在 90%以上,相对膨胀量降低率接近 90%,对于泥岩等水敏性地层具有良好的抑制性。

5 现场应用效果

通过在勘查区钻探施工现场的应用,取得了以下效果:

(1)防塌护壁效果明显提高。在易坍塌的砾石

层、砂层及砂质粘土等地层钻进时,孔壁稳定性较好,基本没有坍塌、掉块等现象。

(2)抑制性强。钻进易吸水膨胀的泥岩地层时,钻井液的抑制性有效避免了泥岩地层吸水后的膨胀缩径和分散剥落问题,钻进及起下钻比较通畅。

(3)护心效果好。取出的岩心完整且取心率高,煤层岩心采取率高达 93%以上。现场取出的岩心如图 2 所示。



图 2 现场取出的岩心

Fig.2 Cores obtained on site

(4)流变性能良好。钻井液循环过程中状态良好,满足携砂要求,同时循环池、沉淀池中沉降的岩粉明显增多,钻井液使用周期长、排放量明显减少。

6 结论

针对甘肃省山丹县花草滩煤矿扩大区煤炭详查项目钻探施工中遇到的施工难题,通过室内实验选择了有机硅抑制剂、降滤失剂(GPNH)、随钻封堵剂(GPC)及包被剂等泥浆材料配制钻井液。该钻井液具有良好的抑制性能、防塌护壁性能及流变性能,并在钻探施工中进行了现场应用,有效解决了施工中存在的泥岩膨胀缩径、造浆、坍塌等一系列技术难题,钻井液使用周期大幅提升,显著减少了钻井液的排放,促进了勘查区绿色勘查理念的实践推广。

参考文献(References):

- [1] 李学渊.论煤田地质勘探发展趋势[J].西部探矿工程,2014,26(6):76-78.
LI Xueyuan. Discussion on the development trend of coal field geological exploration[J]. West - China Exploration Engineering, 2014,26(6):76-78
- [2] 夏宏南,刘小利,王小建,等.煤层钻井技术研究综述[J].内蒙古石油化工,2006(6):1-3.
XIA Hongnan, LIU Xiaoli, WANG Xiaojian, et al. Overview of research on coal seam drilling technology[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2006(6):1-3.
- [3] 申瑞臣,屈平,杨恒林.煤层井壁稳定技术研究进展与发展趋势

- [J].石油钻探技术,2010,38(3):1-7.
SHEN Ruichen, QU Ping, YANG Henglin. Advancement and development of coal bed wellbore stability technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010,38(3):1-7.
- [4] 邹志友,谢金梅,张立凡,等.甘肃花草滩煤矿区沉积相演化与内部构造的地质意义探讨[J].矿产与地质,2015,29(3):342-347.
ZOU Zhiyou, XIE Jinmei, ZHANG Lifan, et al. Study on evolvement of sedimentary facies and the geological significance of inner structure in Huacaotan coal mining area of Gansu[J]. Mineral Resources and Geology, 2015,29(3):342-347.
- [5] 张勃.石炭系含煤地层沉积特征及煤田成因类型[J].内蒙古煤炭经济,2018(14):158,160.
ZHANG Bo. Sedimentary characteristics of the Carboniferous coal-bearing strata and the types of coal field generation[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2018(14):158,160.
- [6] 孙长青.钻探施工中坍塌与缩径地层的处理[J].煤炭技术,2011,30(9):159-160.
SUN Changqing. Disposition of formation collapse and draw-down in process of drilling[J]. Coal Technology, 2011,30(9):159-160.
- [7] 时志兴,翟东旭,张东兴.小口径岩心钻探钻孔缩径的预防与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):46-49.
SHI Zhixing, ZHAI Dongxu, ZHANG Dongxing. Prevention of borehole diameter shrinkage in small diameter core drilling and treatment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(6):46-49.
- [8] 侯吉峰,刘浩,李永明,等.钻孔液浸泡下煤矿膨胀性泥岩钻孔缩径实验研究[J].煤矿安全,2016,47(5):52-56.
HOU Jifeng, LIU Hao, LI Yongming, et al. Experimental study on coalmine boreholes shrinkage crossing expansive mudstone under drilling fluid soaking [J]. Safety in Coal Mines, 2016,47(5):52-56.
- [9] 孙建荣,李英全,孙杰,等.巨野煤田龙固煤矿双主井粘土膨胀引起钻井缩径分析[C]//全国矿山建设学术会议,2004:518-522.
SUN Jianrong, LI Yingquan, SUN Jie, et al. Analysis of wellbore contraction caused by clay expansion in the double main wells in Longgu Coal Mine of Juye Coalfield [C]//National Conference on Mine Construction, 2004:518-522.
- [10] 王佟,张博,王庆伟,等.中国绿色煤炭资源概念和内涵及评价[J].煤田地质与勘探,2017,45(1):1-8,13.
WANG Tong, ZHANG Bo, WANG Qingwei, et al. Green coal resources in China: Concept, characteristics and assessment[J]. Coal Geology & Exploration, 2017,45(1):1-8,13.
- [11] 曹代勇,魏迎春,宁树正.绿色煤炭基础地质工作框架刍议[J].煤田地质与勘探,2018,46(3):1-5.
CAO Daiyong, WEI Yingchun, NING Shuzheng. The framework of basic geological works for green coal[J]. Coal Geology & Exploration, 2018,46(3):1-5.
- [12] 江涛,王佟,宋梅.煤炭行业绿色矿山建设标准及其评价指标初步探讨[J].煤田地质与勘探,2018,46(1):1-7.
JIANG Tao, WANG Tong, SONG Mei. Preliminary discussion on construction standards and evaluation index of green coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2018,46(1):1-7.
- [13] 雷晓力,张瑶,张福良,等.新时期我国绿色勘查典型实践与技术应用研究[J].中国矿业,2019,28(S2):124-128.
LEI Xiaoli, ZHANG Yao, ZHANG Fuliang, et al. Research on typical practice and technology application of green exploration in China in the new period[J]. China Mining Magazine, 2019,28(S2):124-128.
- [14] 韩建,隆威,郑克清.煤系复杂地层钻探护壁浆液研究与应用[J].煤田地质与勘探,2013,41(6):90-92.
HAN Jian, LONG Wei, ZHENG Keqing. Research and application of well wall-protecting slurry in drilling in complex formation of coal measures[J]. Coal Geology & Exploration, 2013,41(6):90-92.
- [15] 牛彦杰.低固相钻井液在煤田钻探施工中的应用探讨[J].内蒙古煤炭经济,2017(13):12,16.
NIU Yanjie. Discussion on the application of low-solid drilling fluid in coal field drilling construction [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2017(13):12,16.
- [16] 韦猛,曾一芳,朱金勇,等.含煤地层封堵抑制型钻井液添加剂的研究[J].煤田地质与勘探,2018,46(6):216-220.
WEI Meng, ZENG Yifang, ZHU Jinyong, et al. Study on inhibited plugging additives of drilling fluid for coal-bearing strata[J]. Coal Geology & Exploration, 2018,46(6):216-220.

(编辑 韩丽丽)