

PVA1788成膜体系无固相冲洗液 在桂柳地1井的应用

苏力才¹, 蒙学礼^{*1}, 李永卫¹, 王嘉瑶¹, 李明星¹, 付帆²

(1.广西第一地质工程公司,广西 南宁 530031; 2.北京探矿工程研究所,北京 100083)

摘要:桂柳地1井为广西柳州市鱼峰区雒容镇区块页岩气地质调查井,设计井深2350 m,钻遇水敏性地层等复杂地层。为了提高无固相冲洗液在页岩气复杂地层深孔钻进中维持孔壁稳定的能力,在PVA1788体系无固相冲洗液的基础上,添加成膜A剂、封堵剂GFD-1等处理剂。根据冲洗液试验及现场应用,成膜A剂具有降失水功能,不影响冲洗液的润滑性能,对粘度影响不明显,该PVA1788成膜体系无固相冲洗液滤失量较低,封堵裂隙效果好,减弱了地层水化膨胀,提高了成膜抑制防塌能力,满足了桂柳地1井深孔复杂地层维护孔壁稳定、安全钻进的需要。对类似复杂地层无固相冲洗液的推广应用具有参考价值。

关键词:页岩气地质调查;页岩气井;PVA1788无固相冲洗液;成膜体系;水敏性地层;孔壁稳定;桂柳地1井

中图分类号:P634.6: TE254 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2022)05-0057-07

Application of PVA1788 film-forming system solid-free drilling fluid in Well Guiliudi-1

SU Licai¹, MENG Xueli^{*1}, LI Yongwei¹, WANG Jiayao¹, LI Mingxing¹, FU Fan²

(1. The 1st Geoengineering Company of Guangxi, Nanning Guangxi 530031, China;

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

Abstract: Well Guiliudi-1 is a shale gas geological survey well in Luorong town block, Yufeng district, Liuzhou City, Guangxi province. The designed well depth is 2350m, and complex formations such as water sensitive strata are encountered during drilling. In order to improve the ability of solid-free drilling fluid to maintain the stability of hole walls in deep hole drilling in complex formation of shale gas geological survey, drilling fluid treatment agents such as the film-forming agent A and the plugging agent GFD-1 were added to the solid-free flushing fluid of PVA1788 system. Test and field application showed that the film-forming agent A had the function of reducing water loss without affecting the lubrication performance of the flushing fluid, or any obvious effect on the viscosity. The PVA1788 film-forming system solid-free drilling fluid has low filtration loss, good fracture sealing effect, reduces formation hydration expansion, and improves sloughing inhibition and prevention ability with film-forming; meeting the needs of maintaining the stability of the hole wall and safe drilling in the deep hole and complex formation. This paper has reference value for the popularization and application of solid-free drilling fluid in similar complex formations.

Key words: shale gas geological survey; shale gas well; PVA1788 solid-free flushing fluid; film-forming flushing fluid; water sensitive reservoir; borehole stability; Well Guiliudi-1

收稿日期:2022-01-24; 修回日期:2022-07-11 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.008

基金项目:广西壮族自治区地质矿产勘查开发局地质科研资金资助项目“广西区攻深找盲地质勘查中深孔钻探配套技术应用研究”(编号:桂地矿科[2011]56号、任务书编号201101,桂地矿地[2014]21号)

第一作者:苏力才,男,汉族,1967年生,总工程师,高级工程师,探矿工程专业,主要从事钻探技术研究及技术管理工作,广西南宁市江南区沙井大道33号,458677780@qq.com。

通信作者:蒙学礼,男,汉族,1969年生,总经理,高级工程师,水工环地质专业,主要从事钻探技术研究、开发和管理,广西南宁市江南区沙井大道33号,2053093317@qq.com。

引用格式:苏力才,蒙学礼,李永卫,等.PVA1788成膜体系无固相冲洗液在桂柳地1井的应用[J].钻探工程,2022,49(5):57-63.

SU Licai, MENG Xueli, LI Yongwei, et al. Application of PVA1788 film-forming system solid-free drilling fluid in Well Guiliudi-1 [J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):57-63.

0 引言

广西柳州市鱼峰区雒容镇区块页岩气地层受地质构造的影响,部分地层严重破碎,胶结性差,具有水敏不稳定性。位于该区域的桂柳地1井设计井深2350 m,根据邻井钻遇地层资料,破碎的泥岩层量多、厚度大,伊利石、高岭石和绿泥石等粘土矿物总含量高,水化膨胀性较强。在破碎、水敏不稳定地层深孔钻进,要求冲洗液维持孔壁稳定的能力更强,需要冲洗液能有效封堵裂隙,强化孔壁作用;更低的滤失量,减弱水化作用;更强的成膜抑制效果,能够在孔壁较快速成膜隔水^[1-4]。PVA1788体系无固相冲洗液具有粘度低及较高的润滑性能,具有一定的充填裂隙、吸附成膜抑制防塌能力,在固体矿产地质勘查钻探中取得很好的应用效果,因此,在此基础上添加成膜A剂为主的处理剂进行试验研究,应用于桂柳地1井深孔复杂地层。

1 地层简述

1.1 钻遇地层岩性

桂柳地1井位于柳州市鱼峰区雒容镇东塘村东南约1.2 km处,采用HXY-8B型钻机,JS122、CHD98绳索取心防斜钻具钻进,终孔孔深2004.80 m。钻遇地层如下:

(1)0~67.15 m为罗城组(C_1l)地层。其中0~14.90 m为残坡积层;14.90~67.15 m为基岩,灰色石英砂岩夹深灰色泥岩、含生物钙质泥岩。

(2)67.15~1319.83 m为鹿寨组三段(C_1l^3)地层。灰黑色泥岩、含粉砂质泥岩夹深灰色石英砂岩,局部为灰色含生物屑灰岩。

(3)1319.83~1943.50 m为鹿寨组二、一段(C_1l^2 、 C_1l^1)。上部为灰黑色泥晶灰岩、砾块灰岩、生物屑灰岩,局部夹灰黑色钙质泥岩;中部为灰黑色泥岩与深灰色薄—中层状砂岩互层;下部为灰黑色泥晶灰岩夹黑色薄—中层硅质岩、硅质灰岩、薄层碳质泥岩、硅质泥岩,局部为生物屑灰岩。

(4)1943.50~2004.80 m为五指山组(D_3w)。扁豆状、疙瘩状、条带状灰岩,微晶灰岩。

钻遇部分地层极破碎,如孔深551.05~556.85 m鹿寨组三段(C_1l^3)的黑色泥岩(见图1)。

1.2 邻井不稳定泥岩成分分析

桂柳地1井与东塘1井直线距离约1.5 km,委托北京探矿工程研究所对相邻的东塘1井鹿寨组三段



图1 桂柳地1井取出的破碎地层岩心

Fig.1 Cores taken from broken formation in Well Guiliudi-1

(C_1l^3)破碎不稳定泥岩成分分析,结果见表1。

表1 不稳定泥岩成分分析

Table 1 Component analysis of unstable mudstone

取样孔深/m	泥岩成分比例/%				
	伊利石	高岭石	绿泥石	斜长石	石英
170	10	35	20	5	30
195	15	40	15	5	25
294	10	40	25	5	20

伊利石、高岭石和绿泥石总含量 $\geq 65\%$,其中,伊利石总含量 $10\% \sim 15\%$,粘土矿物含量高,水化膨胀性较强^[5]。部分泥岩极破碎,冲洗液滤液很容易渗入地层,使孔壁的机械强度进一步降低;粘土矿物以伊利石、高岭石和绿泥石为主的泥岩,吸水分散,易造浆^[6]。

2 PVA1788成膜体系无固相冲洗液试验

2.1 PVA1788成膜体系无固相冲洗液室内试验

在PVA1788体系无固相冲洗液的基础上,委托北京探矿工程研究所,选择、添加成膜抑制防塌类处理剂进行室内对比试验。PVA1788体系无固相冲洗液加入5%成膜A剂、0.5%增粘剂GTQ后,提高了冲洗液与蒸馏水相比的相对膨胀降低率,降低了API滤失量;成膜A剂基本不影响冲洗液的润滑性能。岩样浸泡试验成果表明,加入成膜A剂后,冲洗液的成膜抑制防塌能力更强。结果见表2及图2。

2.2 PVA1788成膜体系无固相冲洗液现场试验

2.2.1 不同的PVA1788无固相冲洗液对比试验

采用川维120目聚乙烯醇PVA1788、广谱护壁剂GSP、成膜A剂及分子量1000万~1200万、水解度 $30\% \sim 35\%$ 的水解聚丙烯酰胺PHP,不同配比的

表2 不同配比的PVA1788体系无固相冲洗液室内试验结果

Table 2 Laboratory test results of different PVA1788 system solid-free drilling fluid

序号	冲洗液配比	摩阻系数	相对膨胀降低率/%	岩屑回收率/%	API滤失量/mL	视粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa
1	水+0.136%PHP+0.682%PVA1788+0.682%GSP	0.19	57.3	80.8	24	3	3	0
2	水+0.136%PHP+0.682%PVA1788+0.682%GSP+5%成膜A剂+0.5%增粘剂GTQ	0.18	74.0	77.4	8	19.5	13	0.75

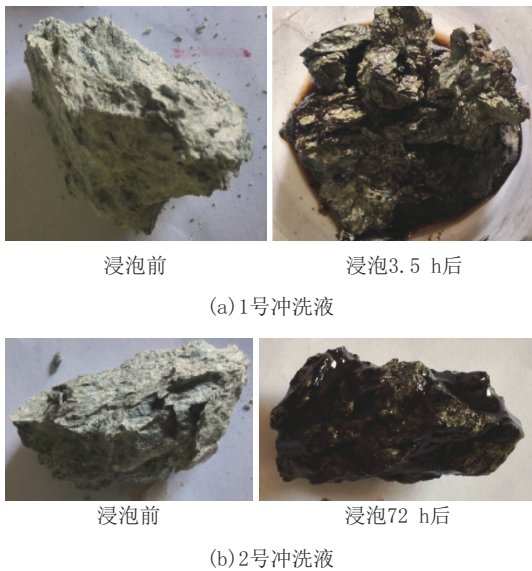


图2 不同配比冲洗液岩样浸泡对比

Fig.2 Comparison of immersion of rock samples in different drilling fluid systems

PVA1788体系无固相冲洗液进行对比试验。成膜A剂对冲洗液塑性粘度影响不明显。PHP提粘作

用较强,在PVA1788及GSP加量相同时,加入PHP浓度为0.05%~0.08%的冲洗液比加入4%~6%成膜A剂的冲洗液塑性粘度高约3~4 mPa·s。现场使用时应采用加入0.01%~0.03%的PHP包被、絮凝钻屑,控制PHP的用量,必要时,可选择分子量较低的PHP或其他处理剂作包被、絮凝剂。结果见表3。

2.2.2 在造浆性地层中抗污染对比试验

钻遇伊利石、高岭石、绿泥石等粘土矿物含量高的泥岩时,具有一定的造浆性能,使冲洗液粘度升高,密度增大。为了评价造浆性地层对PVA1788体系无固相冲洗液的影响,采用在南宁市采购的PVA1788(川维120目)进行冲洗液对比试验。加入4%人工钠土浆液后,PHP加量0.02%,PVA1788、GSP加量在0.5%~1.0%时,冲洗液塑性粘度在4~5.5 mPa·s之间,升高2~2.5 mPa·s,冲洗液性能维持在较稳定的水平;PHP加量0.03%,PVA1788、GSP加量均为1.5%时,冲洗液塑性粘度高达12.5 mPa·s。根据罗维矿区PVA1788体系无固相冲洗液室内

表3 不同配比的PVA1788体系无固相冲洗液现场对比试验结果

Table 3 Comparative test results in field of different PVA1788 system solid-free drilling fluid

序号	冲洗液配比	陈化时间	漏斗粘度/s	API滤失量/mL	视粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa
1	水+0.088%PHP+0.706%PVA1788+0.706%GSP+2%成膜A剂	2天	21.21	9	5.5	4.5	1
2	水+0.088%PHP+0.706%PVA1788+0.706%GSP+4%成膜A剂	2天	22.52	8	6	5	1
3	水+1%PVA1788+1%GSP+4%成膜A剂	当天	20.31	6	4.25	4	0.25
4	水+1%PVA1788+1%GSP+6%成膜A剂	当天	20.21		4.5	4.5	0
5	水+0.08%PHP+1%PVA1788+1%GSP	当天	28.39	9	10	8	2
6	水+0.05%PHP+1%PVA1788+1%GSP	当天	26.32	9	8	7	1

注:现场冲洗液试验时,采用2台ZNS-2型中压滤失仪,2人同时间段测试API滤失量,测试结果存在偏差;序号4配比搅拌过后产生的气泡非常多,气泡呈膏状,滤失量无法准确测试

试验结果,PHP、PVA1788加量相同,GSP加量0.5%~1.5%时,冲洗液的视粘度、塑性粘度变化不

明显,因此,冲洗液粘度增高的主要原因是PVA1788加量过大。结果见表4。

表4 粘土对PVA1788体系无固相冲洗液影响对比试验结果

Table 4 Comparative test results of influence of clay on PVA1788 system solid-free drilling fluid

序号	冲洗液配比	陈化时间/ d	漏斗粘度/ s	API滤失量/ mL	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)
1	水+0.02%PHP+0.5%PVA1788+0.5%GSP	当天	28.39	16	2.75	1.5
2	水+0.02%PHP+0.7%PVA1788+0.7%GSP	8	20.17	15	3	3
3	水+0.02%PHP+1.0%PVA1788+1.0%GSP	8	21.16	8	3	3
4	水+0.02%PHP+0.5%PVA1788+0.5%GSP+4%钠土	9	22.07	9	4	4
5	水+0.02%PHP+0.7%PVA1788+0.7%GSP+4%钠土	9	23.57	9	5	5
6	水+0.02%PHP+1.0%PVA1788+1.0%GSP+4%钠土	9	24.53	8	5.5	5.5
7	水+0.03%PHP+1.5%PVA1788+1.5%GSP+4%钠土	1	32.51	5	13.75	12.5

2.2.3 不同产地的PVA1788对比试验

采用不同采购渠道的PVA1788配制冲洗液,粘度差别较大。根据多次试验,在南宁市采购的川维120目PVA1788,4%水溶液塑性粘度均为13 mPa·s左右。在桂柳地1井应用PVA1788成膜体系无固相冲洗液过程中,发现在北京采购的PVA1788配制

浆液粘度偏高,为此进行了不同采购地点的PVA1788冲洗液对比试验,当PVA1788、GSP加量均为0.75%时,北京采购的PVA1788配制冲洗液塑性粘度高达6.5 mPa·s,与南宁采购的PVA1788相比,塑性粘度增高了3.5 mPa·s。结果见表5。

表5 不同产地的PVA1788无固相冲洗液对比试验结果

Table 5 Comparative test results of PVA1788 solid-free drilling fluid from different producing origins

序号	冲洗液配比	陈化时间/ d	漏斗粘度/ s	API滤失量/ mL	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切力/ Pa
1	水+0.75%PVA1788(北京采购)+0.75%GSP	6	23.72	10.0	8	6.5	1.5
2	水+0.75%PVA1788(南宁采购)+0.75%GSP	2	20.75	10.6	3.75	3	0.75

3 冲洗液处理剂机理及作用

聚乙烯醇PVA1788:聚合度为1700,醇解度88%,为部分醇解型,保留了部分醋酸基的憎水基,具有表面活性剂性质,其水溶液具有润滑作用;PVA1788的-OH吸附基类似多元醇的化学性质^[7]。PVA1788具有包裹吸附作用和成膜抑制性,分子链上含有大量的-OH侧基吸附基团与孔壁上的泥岩、粘土等强吸附,增大整个分子空间位阻,使分子主链刚性增强;分子链上的醋酸基憎水基团形成一道憎水屏障,防止水和溶质扩散,增强了成膜的理想性^[8]。泥岩或粘土吸附表面活性剂后,原来的亲水表面可转化为憎水表面,从而使泥岩或粘土憎水^[9]。PVA1788的非离子型-OH极性基团与水在粘土表面发生竞争吸附,优先在粘土表面取代部分水分子,

形成一个憎水的膜,破坏和阻止了粘土表面导致泥页岩膨胀分散的结构水层的形成,从而起到抑制作用^[10-13]。降失水作用以-OH吸附基为主,PVA1788加量为0.5%~1%时,浆液粘度变化不明显;加量为1.5%、粘土侵入时,浆液粘度较高。

广谱护壁剂GSP:充填裂隙及聚合淀粉长链、网状吸附孔壁,具有抑制、防塌、降失水、润滑等一剂多能的特点^[14]。GSP中的植物油脚与具有表面活性的PVA1788联合作用,增强冲洗液的润滑性能。GSP加量0.5%~1.5%时,冲洗液粘度变化不明显。

成膜A剂:成膜隔水、降失水及封堵作用^[15]。不影响冲洗液的润滑性能,对粘度影响不明显。

封堵剂GFD-1:裂隙、破碎带封堵作用。

水解聚丙烯酰胺PHP:絮凝作用。

氢氧化钾KOH:调节pH值,利于成膜A剂的

溶解。

防塌减阻剂GFT:低温软化变形,粘附性较强,封堵微裂隙,润滑减阻,不增粘^[16]。

4 PVA1788成膜体系无固相冲洗液现场应用

4.1 冲洗液配比及性能维护要求

冲洗液配比:1 m³清水+0.5~0.8 kg PHP+7~15 kg PVA1788+7~20 kg GSP+25~50 kg 成膜A剂+0~20 kg GFD-1+0~2 kg KOH。

配制新浆及冲洗液性能要求:相对密度1.02~1.04,塑性粘度5~10 mPa·s,API滤失量5~8 mL,pH值8~11。

现场冲洗液配制及性能调节维护:

(1)配制新浆时,基本按冲洗液配比的中值加入处理剂,冲洗液配比:400 L清水+0.26 kg PHP+4.5 kg PVA1788+4.5 kg GSP+15 kg 成膜A剂+4 kg GFD-1+1 kg KOH。

(2)地层相对完整时,置换旧浆,每盘新浆加量:400 L清水+0.12kg PHP+4 kg PVA1788+4 kg GSP+20 kg 成膜A剂+4kg GFD-1。

(3)钻遇破碎地层时,置换旧浆,每盘新浆加量:

400 L清水+0.08 kg PHP+5 kg PVA1788+5 kg GSP+20 kg 成膜A剂+6 kg GFD-1。

(4)控制API滤失量5~8 mL,每盘调节400 L旧浆加量情况:采用在北京市采购的PVA1788时,先按12.5 kgPVA1788、20.5 kg GSP、25 g 成膜A剂的比例配制混合粉,然后,根据旧浆的性能添加混合粉,使400 L旧浆搅拌后的API滤失量在5~8 mL之间。采用在南宁市采购的PVA1788时,混合粉则按20 kg PVA1788、25 kg GSP、25 g 成膜A剂、17 kg GFD-1的比例配制。

(5)钻遇特别破碎、不稳定地层时,酌情加入防塌减阻剂GFT,每搅拌400 L旧浆加入4 kg防塌减阻剂GFT。

4.2 现场冲洗液性能测试统计结果

桂柳地1井孔深0~924.05 m采用在北京市采购的PVA1788配制及维护冲洗液,取孔内返浆测试冲洗液性能,性能参数离散较大,塑性粘度较高。孔深924.05~2004.80 m采用在南宁市采购的PVA1788不再加入KOH提高pH值,性能参数离散较小,API滤失量在5~8 mL范围内,冲洗液相对密度高与排浆受限、长时间积累有关,见表6。

表6 冲洗液现场测试统计结果
Table 6 Results of drilling fluid field test

孔段/m	统计项目	相对密度	pH值	漏斗粘度/ s	API滤失量/ mL	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	静切力/ Pa
0~924.05	最大值	1.16	11	40.09	12.8	24	19	5.75	0.75
	最小值	1.04	8	21.84	5	6.25	5.5	0.5	0
	算术平均值	1.088	9.24	29.20	7.89	15.51	12.29	3.22	0.26
	统计个数	45	45	45	45	45	45	45	45
	标准偏差	0.030	0.802	4.813	1.610	5.541	4.079	1.738	0.230
924.05~2004.80	最大值	1.19	9	35.1	7.6	18.25	15	4.25	0.5
	最小值	1.11	8	22.59	5	6.5	5.5	0.5	0
	算术平均值	1.154	8.16	26.32	5.93	10.83	9.23	1.60	0.04
	统计个数	74	74	74	74	74	74	74	74
	标准偏差	0.019	0.371	3.032	0.722	3.045	2.416	0.741	0.112

4.3 PVA1788成膜体系无固相冲洗液应用效果

桂柳地1井采用PVA1788成膜体系冲洗液,实现维持孔壁稳定、安全钻进,全孔没有采用水泥护壁堵漏。835.18~868.10 m孔段岩性为破碎—极破碎灰黑色泥岩,局部岩层面扭曲,产状近直立,容易发生孔壁掉块(见图3),裸眼维持孔壁稳定不发生坍塌

的时间>99 d。

4.4 存在的问题

(1)在破碎水敏不稳定地层深孔钻进,需要根据冲洗液维持孔壁稳定的能力,采用多级套管护壁。由于没有配套S口径绳索取心钻具,采用前导向扩孔钻具扩孔,工作量大,效率低。因扩孔时钻屑沉积



图3 不稳定地层岩心

Fig.3 Cores from unstable formation

于孔底,835.18~868.10 m孔段未能扩孔到位及时下入套管隔离,出现孔壁掉块。

(2)前期冲洗液pH值较高,对抑制泥岩水化膨胀与分散不利。

(3)采用TGLW350-692型离心机分离钻屑,离心机转鼓转速为1500 r/min,离心前后的冲洗液相对密度降幅多在0.01~0.02之间,固控效果不理想,冲洗液密度持续增大。应采用最大转速为2500 r/min的TGLW350型变频型离心机,提高固相分离效果。

(4)孔深1641.90~1646.20 m的灰黑色泥岩地层相对完整,与其他孔段的泥岩不同,层间缝内石膏半充填,泥岩层间的石膏具有较强的渗透性,容易诱发泥岩内部水化膨胀缩径。泥岩遇水膨胀产生钻孔缩径现象,通常在下大钻时才发现,而在钻进过程中,缩径孔段一般逐渐转变为超径孔段,钻遇缩径孔段时,采用加强扫孔处理,快速往下钻进。

5 结语

(1)PVA1788体系无固相冲洗液加入成膜A剂为主要的处理剂后,基本不影响冲洗液的润滑性能,提高了冲洗液与蒸馏水相比的相对膨胀降低率,降低了API滤失量。岩样浸泡试验成果表明,加入成膜A剂后,冲洗液的成膜抑制防塌能力更强。在桂柳地1井破碎、水敏复杂地层中应用表明,API滤失量控制在5~8 mL之间,裸眼维持孔壁稳定不发生坍塌时间>99 d。

(2)根据广西来宾市蒙村页岩气区块桂来地1井应用分析,塑性粘度 ≤ 7 mPa·s时,冲洗液的密度变化不明显,固相含量维持在较低的水平。在水敏复杂地层钻进,PVA1788加量>1%,冲洗液塑性粘度过高,钻屑在地表沉降分离效果差,导致密度持续

增大。建议采用聚合度相同、醇解度为66%~80%的PVA,或采用聚合度稍低、醇解度为88%左右的PVA,降低冲洗液的塑性粘度。

(3)钻遇破碎或渗透性较强的水敏不稳定泥岩,冲洗液的封堵、成膜隔水作用相对滞后,避免不了冲洗液渗入地层。后续应开展吸附成膜速度快的硅酸盐、氯化钾等处理剂的研究,以提高冲洗液矿化度,降低冲洗液活度(或化学位),减小或阻止冲洗液中的自由水向地层渗透,减缓泥岩水化膨胀与分散。

参考文献(References):

- [1] 陶士先,李晓东,纪卫军,等.成膜防塌无固相冲洗液体系的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会,第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2015:424-430.
TAO Shixian, LI Xiaodong, JI Weijun, et al. Research and application of film-forming anti-collapse non-solid phase washing liquid system[C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Eighteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2015: 424-430.
- [2] 单文军,蒋睿,陶士先,等.页岩气钻探冲洗液体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):176-181.
SHAN Wenjun, JIANG Rui, TAO Shixian, et al. Research and application of the flushing fluid system for shale gas drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):176-181.
- [3] 胡继良,陶士先.深部地质钻探钻井液体系设计因素及其分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):17-21.
HU Jiliang, TAO Shixian. Design factors of drilling fluid system for deep geological drilling and the analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(4): 17-21.
- [4] 罗红芳,张文哲,何小曲,等.延安东部气田成膜防塌钻井液体系优选和应用[J].钻探工程,2021,48(9):64-70.
LUO Hongfang, ZHANG Wenzhe, HE Xiaoqu, et al. Optimization and application of film-forming and anti-collapse drilling fluid in the Yan'an east gas field[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(9):64-70.
- [5] 刘敬平,孙金声.钻井液活度对川滇页岩气地层水化膨胀与分散的影响[J].钻井液与完井液,2016,33(2):31-35.
LIU Jingping, SUN Jinsheng. Effects of drilling fluid activity on hydration and dispersion of formation rocks in shale gas drilling in Chuan-Dian area [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2016,33(2):31-35.
- [6] 陶士先,付帆.地质钻探冲洗液技术[M].北京:地质出版社,

- 2015:82-92.
- TAO Shixian, FU Fan. Geological Drilling Flushing Fluid Technology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015: 82-92.
- [7] 严瑞璋. 水溶性高分子[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 42-79.
- YAN Ruixuan. Water-soluble Polymers[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998:42-79.
- [8] 孙金声, 蒲晓林, 等. 水基钻井液成膜理论与技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2013: 1-65.
- SUN Jinsheng, PU Xiaolin, et al. Theory and Technology of Membrane Forming for Water-based Drilling Fluid[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013: 1-65.
- [9] 汤凤林, A.T. 加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009: 393-394.
- TANG Fenglin, A. G. Gallining, DUAN Longchen. Core Drilling[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2009: 393-394.
- [10] 展嘉佳, 徐会文, 冯哲. 低温条件下乙二醇基钻井液体系的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(11): 17-19.
- ZHAN Jiajia, XU Huiwen, FENG Zhe. Experimental study on ethylene alcohol-based drilling fluid system under low-temperature condition[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008, 35(11): 17-19.
- [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] 盛欣, 余丽彬. 改性聚乙烯醇防塌剂研究[J]. 钻采工艺, 2010, 33(2): 108-110.
- SHENG Xin, YU Libin. Study on a modified polyvinyl alcohol anti-sloughing agent[J]. Drilling & Production Technology, 2010, 33(2): 108-110.
- [13] 曾祥熹, 陈志超. 钻孔护壁堵漏原理[M]. 北京: 地质出版社, 1986: 290-315.
- ZENG Xiangxi, CHEN Zhichao. Principle of Drilling Wall Protection and Leak Plugging[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986: 290-315.
- [14] 何远信. 新型钻井液用广谱护壁剂(GSP)的研究[J]. 探矿工程, 1995(3): 14-17.
- HE Yuanxin. Study on wide range walk protection agent (GSP) [J]. Exploration Engineering, 1995(3): 14-17.
- [15] 刘俊辉. 成膜防塌无固相冲洗液在广西向阳坪地区复杂地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(12): 36-41.
- LIU Junhui. Drilling fluid technology for complex formation drilling in the Xiangyangping area of Guangxi[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(12): 36-41.
- [16] 蔡晓文, 陈锡庆, 熊正强, 等. GFT型防塌减阻剂的性能评价与现场应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(7): 39-41.
- CAI Xiaowen, CHEN Xiqing, XIONG Zhengqiang, et al. Performance evaluation and field application of GFT anti-collapse and drag reduction agent[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(7): 39-41.

(编辑 李艺)