

# PVA1788无固相冲洗液体系的研究与应用

苏力才, 谢健全\*, 李永卫, 苏福长

(广西第一地质工程公司, 广西南宁530031)

**摘要:**为了提高绳索取心液动锤钻进技术在复杂地层的应用效果,提高无固相冲洗液维持孔壁稳定的能力,在PHP+GSP无固相冲洗液体系的基础上,添加了PVA1788冲洗液处理剂。按PHP、GSP、PVA1788比例为1:5:5混合,混合粉加量为1%~1.5%时,API滤失量为10~11 mL,漏斗粘度为18.4~21 s,塑性粘度为3.5~6 mPa·s,动切力为0.5~0.75 Pa。根据冲洗液试验及现场应用,该PVA1788无固相冲洗液体系具有粘度低、抑制防塌能力强、润滑性能好、使用维护方便等特点,大幅度提高了液动锤零配件的工作寿命,提高了钻机钻深能力,满足了复杂地层维护孔壁稳定、安全钻进的需要。本文对类似地层无固相冲洗液的推广应用具有参考价值。

**关键词:**PVA1788; PHP; GSP; 无固相冲洗液体系; 抑制防塌; 润滑

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)04-0068-06

## Research and application of PVA1788 solid-free drilling fluid system

SU Licai, XIE Jianquan\*, LI Yongwei, SU Fuchang

(The 1<sup>st</sup> Geoengineering Company of Guangxi, Nanning Guangxi 530031, China)

**Abstract:** In order to improve the performance of the wire-line coring hydro-hammer in complex formation and to improve the ability of solid-free drilling fluid to maintain the stability of hole walls, the PVA1788 flushing fluid treatment agent was added to the PHP + GSP solid-free drilling fluid system. When the ratio of PHP, GSP and PVA1788 was 1:5:5 and the dosage of mixed powder was 1% to 1.5%, the solid-free drilling fluid performance was as below, API water loss 10 to 11mL, funnel viscosity 18.4 to 21s, plastic viscosity 3.5 to 6mPa.s, yield stress 0.5 to 0.75Pa. Test and field application showed that the PVA1788 solid-free drilling fluid system had the characteristics of low viscosity, strong inhibition and anti-sloughing ability, good lubrication performance, and convenient operation and maintenance etc.; thus greatly improving the service life of hydro-hammer parts, increasing the drilling capability of drilling rig, and meeting the needs of maintaining stability of hole walls and safe drilling in complex formations. This paper has reference value for the popularization and application of the solid-free drilling fluid in similar formations.

**Key words:** PVA1788; PHP; GSP; solid-free flushing fluid system; inhibition and anti-sloughing; lubrication

绳索取心液动锤钻进技术具有提高钻进效率、提高破碎地层回次进尺的优点,在硬—坚硬“打滑”地层及硬脆碎地层中钻进,优越性更显著。在复杂地层中钻进,要求冲洗液防塌性能高,采用传统的固相泥浆粘度高,固相含量高,液动锤零配件工作

寿命低,故障率高,制约了液动锤在复杂地层中的应用效果<sup>[1-3]</sup>。广谱护壁剂GSP具有抑制、防塌、降失水、润滑等一剂多能的特点,PHP+GSP无固相冲洗液体系较好地解决了钻杆内壁结垢的问题,具有钻屑在地表沉降快、钻具磨损降低、提高钻进效

收稿日期:2021-12-23; 修回日期:2022-04-06 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.04.010

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:谢健全,男,汉族,1973年生,工程部技术负责,高级工程师,探矿工程专业,主要从事钻探技术研究及施工技术管理工作,广西南宁市江南区沙井大道33号,2543784217@qq.com。

引用格式:苏力才,谢健全,李永卫,等.PVA1788无固相冲洗液体系的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(4):68-73.

SU Licai, XIE Jianquan, LI Yongwei, et al. Research and application of PVA1788 solid-free drilling fluid system[J]. Drilling Engineering, 2022,49(4):68-73.

率等优点<sup>[4-6]</sup>。

我单位进行PHP+GSP无固相冲洗液体系室内试验,PHP加量800~1000 mg/L、GSP加量0.5%~1.5%时,实际失水量(FL)<sup>[7]</sup>在25~42 mL之间。现场应用表明,GSP加入到PHP无固相冲洗液体系后,有效地拆散PHP浆液的网状粘结构,漏斗粘度在18~22 s之间,漏斗粘度降低明显,沉淀除砂效果好;具有一定的抑制作用,在破碎、较复杂地层中获得了较好的防塌效果。

在中深孔、深孔复杂地层中钻进,为了降低PHP+GSP无固相冲洗液体系的滤失量,进一步提高冲洗液的抑制、润滑性能,需要添加降失水、抑制、润滑作用的冲洗液处理剂。聚乙烯醇PVA1788具有降失水、抑制、润滑作用,一剂多效,是我们应用研究课题设计的首要选项。

## 1 PVA1788的机理及特性<sup>[8-15]</sup>

工业上,聚乙烯醇PVA一般由聚醋酸乙烯干态低碱法醇解生成,有3种类型:一是完全碱化型,常温下在水中只吸收膨润而不溶解,在80℃以上高温中迅速溶解。低温条件下,溶液浓度高时,其粘度较不稳定。二是部份碱化型,在常温下可缓慢溶解,水溶液的粘度安定性良好。醇解度为87%~89%的PVA,在冷水或热水中都能溶解。三是超低部份碱化型,溶于冷水中,加温反而不利于溶解。醇解度为75%~80%的PVA,只溶于冷水,不溶于热水。醇解度小于66%的PVA,由于醋酸基疏水基含量增大,水溶性下降。直到醇解度50%以下,PVA不再溶于水。不同醇解度的PVA,一旦制成水溶液,就不会在冷却时再析出来。

PVA的表面活性和表面胶体效应都随醇解度的下降而提高。保护胶体能力随分子量增大而提高,但表面活性则随分子量的减小而提高。PVA的-OH吸附基,类似多元醇的化学性质。

聚乙烯醇PVA1788为部分醇解型,醇解度通常为87%~89%,1788表示聚合度为1700,醇解度为88%。部分醇解型PVA1788保留了部份醋酸基的疏水基,其水溶液搅拌时起泡,是表面活性剂、具有润滑作用;Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等高价金属离子对PVA1788的影响较弱,乳化、润滑稳定性高。

PVA1788的降失水作用以非离子型-OH吸附基为主,与阴离子型水化基团相比,吸附基团对泥浆的提粘作用不明显。

PVA1788的-OH吸附基团与孔壁上的泥岩、粘土等强吸附,增强了成膜的理想性,分子链上的醋酸基疏水基团进一步增强成膜的理想性,这种表面活性剂膜形成了一道防止水和溶质扩散的屏障;长分子链上含有大量的-OH侧基吸附基团,可以增大整个分子空间位阻,使分子主链刚性增强。因此,PVA1788具有包裹吸附作用和成膜抑制性,吸附成膜速度快,膜的致密性好。聚乙烯醇的非离子型-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,形成一个疏水的膜,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。

室内试验加量0.5%时,PVA1788(120目)在高速搅拌下可搅拌溶解;加量2%或4%时,容易结团,需在60~80℃的水中搅拌溶解。野外应用时,PVA1788与广谱护壁剂GSP按比例混合均匀后,不存在结团现象,搅拌溶解十分方便。

## 2 PVA1788无固相冲洗液体系试验

### 2.1 PVA无固相冲洗液体系室内试验

#### 2.1.1 PVA1788无固相冲洗液体系室内试验

采用川维120目聚乙烯醇PVA1788、广谱护壁剂GSP及分子量1000万~1200万、水解度30%~35%的水解聚丙烯酰胺PHP,不同配比的PVA1788无固相冲洗液体系室内试验结果见表1。

表1 PVA1788体系无固相冲洗液室内试验结果

Table 1 Laboratory test results of PVA1788 system solid-free flushing fluids

配比 序号	冲洗液配比	相对 密度	漏斗粘 度/s	实际失水 量/mL	视粘度/ (mPa·s)	塑性粘度/ (mPa·s)	动切 力/Pa	静切 力/Pa
1	水+4%PVA1788	1.01	26		13.5	13	0.5	0.25
2	水+1000 mg/L PHP+0.5%PVA1788+0.5%GSP	未测	19	12.5	4.25	3.5	0.75	0
3	水+1000 mg/L PHP+0.5%PVA1788+1.0%GSP	未测	18	12.0	3.5	3	0.5	0
4	水+1000 mg/L PHP+0.5%PVA1788+1.5%GSP	未测	18	12.0	3.5	3	0.5	0

配比序号1需要加热、搅拌溶解。序号2~4, PVA1788无固相冲洗液体系室内试验时,因浆桶装浆过多,未能高速搅拌充分溶解。充分陈化后,实际失水量(*FL*)12~12.5 mL(采用一张API滤纸),塑性粘度3.0~3.5 mPa·s,动切力0.5~0.75 Pa。具有超低固相、低失水、低粘、低切力性能,特别适用于绳索取心液动锤钻进工艺。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。

### 2.1.2 PVA1788体系与PVA2488体系对比试验

首先,采用川维120目聚乙烯醇PVA1788,按PHP:GSP:PVA1788=1:5:5的混合比例,配制PVA1788三合一混合粉;采用皖维100目聚乙烯醇PVA2488,按PHP:GSP:PVA2488=1:5:5的混合比例,配制PVA2488三合一混合粉。然后,加入不同比例的混合粉进行配浆,对比试验结果见表2。

表2 不同型号及加量的PVA配制的无固相冲洗液对比试验结果

Table 2 Comparative test results of solid-free drilling fluids prepared with different types and dosages of PVA

配比序号	冲洗液配比	相对密度	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	动塑比
1	水+1%PVA1788混合粉	1.013	18.4	11	4	3.5	0.5	0.25	0.14
2	水+1.1%PVA1788混合粉	1.013	20	9	12.75	10.5	2.25	0.25	0.21
3	水+1.2%PVA1788混合粉	1.013	20	10	6	5.5	0.5	0.25	0.09
4	水+1.5%PVA1788混合粉	1.014	21	10	6.75	6	0.75	0.25	0.13
5	水+1%PVA2488混合粉	1.013	19.5	11	5.75	5	0.75	0.25	0.15
6	水+1.1%PVA2488混合粉	1.013	20	10	6	5.5	0.5	0.25	0.09
7	水+1.2%PVA2488混合粉	1.013	21	10	7.25	6.5	0.75	0.25	0.12
8	水+1.5%PVA2488混合粉	1.014	20	6	10.5	9	1.5	0.25	0.17

表2中,除序号2配比因测试前预搅拌不够充分,视粘度、塑性粘度及动切力离散较大外,在相同的加量情况下,PVA2488无固相冲洗液体系的视粘度、塑性粘度比PVA1788体系高;PVA2488混合粉加量为1.5%时,API滤失量为6 mL,明显优于PVA1788体系无固相冲洗液。因此,PVA2488无固相冲洗液体系悬浮、携带岩粉的能力更强,更适用于复杂、孔壁超径严重的地层钻进。推广应用PVA1788无固相冲洗液体系后,采购PVA2488三合一混合粉,供机台针对地层情况选择使用。

### 2.2 PVA1788无固相冲洗液体系委托试验

为了评价、验证PVA1788无固相冲洗液体系的润滑、抑制等性能指标,委托北京探矿工程研究所对

PVA1788无固相冲洗液体系进行评价试验,评价结果见表3。

从表3与表1对比试验数据看,在PHP、PVA1788和GSP加量相同的情况下,粘度、动切力及失水量存在不同。主要原因我们自己进行的试验,是依据《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227-2010),采用一张API滤纸测定;而委托北京探矿工程研究所进行的试验,均采用两张API滤纸测定。

从表3可以看出,PVA1788无固相冲洗液体系较PHP+GSP体系的抑制性能及润滑性能得到加强,相对膨胀降低率为65.59%~74.14%,摩阻系数在0.16~0.18之间。

表3 PVA1788无固相冲洗液体系委托试验结果

Table 3 Test results of PVA1788 system solid-free flushing fluids by the third party

配比序号	冲洗液配比	摩阻系数	相对膨胀降低率/%	API滤失量/mL	视粘度/ mPa·s	塑性粘度/ mPa·s	动切力/ Pa
1	水+800 mg/L PHP+1.0%PVA1788+1.5%GSP	0.176	74.14	8	12	10	2
2	水+1000 mg/L PHP+0.5%PVA1788+0.5%GSP	0.17	68.59	7	8	7	1
3	水+1000 mg/L PHP+0.5%PVA1788+1.0%GSP	0.16	70.56	9	8	6	2
4	水+1000 mg/L PHP+0.5%PVA1788+1.5%GSP	0.18	65.59	8.4	7.5	6	1.5



### 3 PVA1788无固相冲洗液体系现场应用

#### 3.1 地层简述

扶绥县罗维银铅锌多金属矿区地层为寒武系小内冲组( $\epsilon x$ ),细分为3个岩性段,各段均为整合接触。

第一段( $\epsilon x^1$ ):岩性为泥岩夹细粒长石石英砂岩、含泥粉砂岩、粉砂质泥岩,局部夹含炭泥岩。厚度 $>470$  m。

第二段( $\epsilon x^2$ ):下部为长石石英杂砂岩、长石石英砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩夹泥岩。中上部为砂岩与泥岩互层。风化后呈灰黄色、褐黄色及紫红色。厚448~466 m。

第三段( $\epsilon x^3$ ):下部为石英杂砂岩、长石石英砂岩、泥质砂岩夹少量泥岩。上部为泥岩、粉砂质泥岩夹长石石英砂岩、石英杂砂岩、含泥砾砂岩。厚224~447 m。

本矿区地质构造复杂,褶皱极发育,受变质作用的影响,多数岩石已经不同程度的变质,主要有硅化、角岩化、砂卡岩化、帘石化、黄铁矿化、绿泥石化等蚀变。岩石可钻性7~8级,部分9级。区内断裂发育,受深大露头断裂及深大隐伏断裂的影响,部分钻孔地层较复杂至复杂,冲洗液全泵量漏失或部分漏失。

#### 3.2 冲洗液配制及性能要求

##### 3.2.1 现场PVA1788三合一混合粉配比

PVA1788混合粉配比为:PHP:PVA1788:GSP=4 kg:20 kg(1包):25 kg(1包)=1:5:6.25。

##### 3.2.2 混合粉加量及冲洗液性能要求

在较完整至破碎、较复杂地层中,PVA1788三合一混合粉加量为0.7%~1.0%,冲洗液API滤失量控制在20 mL以内。在较复杂至复杂地层中,PVA1788三合一混合粉加量1.2%~1.5%,冲洗液API滤失量控制在15 mL以内。

配制及调节冲洗液性能,均采用PVA1788三合一混合粉。随着孔深的增加及钻屑在地表沉降,冲洗液处理剂有消耗,每班需要酌情添加维持冲洗液性能。

##### 3.3 现场冲洗液性能测试结果

罗维矿区ZK41603孔,钻遇地层破碎、较复杂(见图1)。该孔采用PVA1788无固相冲洗液体系、SYZX-77型绳索取心液动锤钻进,终孔孔深522.20 m。在此钻孔配合中国地质科学院勘探技术研究所进行液动锤易损件磨损情况测试。为了取得PVA1788无固相冲洗液体系应用数据,在现场对冲洗液的API滤失量、视粘度、塑性粘度等性能进行了测试。

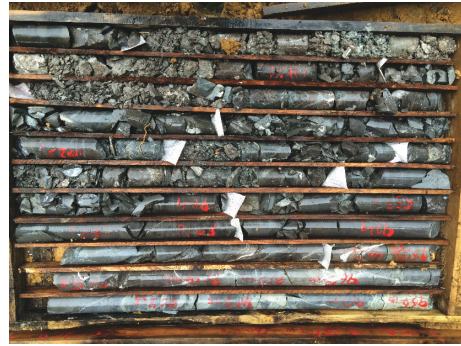


图1 较复杂地层岩心

Fig.1 Core from the relatively complex formation

在破碎、较复杂的地层中,PVA1788无固相冲洗液体系的密度基本控制在 $1.02$  g/cm<sup>3</sup>以内,原浆密度约 $1.01$  g/cm<sup>3</sup>,折算冲洗液固相含量 $<1.7\%$ ;漏斗粘度为18~22 s,视粘度为 $1.25\sim 2.4$  mPa·s,塑性粘度为 $1.0\sim 2.0$  mPa·s,动切力为 $0\sim 0.6$  Pa,API滤失量 $\leq 20$  mL,满足了维持孔壁稳定、安全钻进的需要。现场测试结果见表4。

钻进至孔深309 m时,在泥浆池中将冲洗液充分搅拌后再取样,邮寄到北京探矿工程研究所进行性能测试,冲洗液摩阻系数为0.25,相对膨胀降低率为50.60%。委托测试结果见表5。

#### 3.4 PVA1788无固相冲洗液体系应用效果

(1)PVA1788无固相冲洗液体系低粘、低固相,满足绳索取心液动锤钻进要求,液动锤故障率明显降低,易损件使用寿命显著提高。

PVA1788无固相冲洗液体系粘度低,钻进过程中不需要特殊的固控设备控制固相含量,冲洗液通过循环系统的循环,实现沉降分离钻屑,固相含量维持在较低的水平。采用XY-4型钻机,应用PVA1788无固相冲洗液体系、ZN-77S型绳索取心液动锤钻具钻进,与采用水解聚丙烯酰胺PHP为主要的无固相冲洗液相比,液动锤工作纯钻时间自74.73 h提高到219.52 h,提高了2.94倍;零配件使用寿命自293.00 m提高到813.25 m,提高了2.78倍。

(2)PVA1788无固相冲洗液体系抑制性能较强,满足了在金属矿产地地质勘查破碎等复杂地层中维持孔壁稳定、安全钻进的需要。

罗维矿区ZK30003孔地层复杂,较破碎至极破碎地层占N口径钻探工作量的73.50%以上,部分构造角砾岩结构松软,用手捏岩心有凹痕,以泥质砂质混砾为主(见图2)。

表4 冲洗液现场测试结果

Table 4 Field test results of drilling fluids

序号	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	动塑比
1		8	19	28	2.40	1.8	0.6	0.25	0.33
2	1.03	8	18	18	1.25	1	0.25	0.05	0.25
3	1.03	8	18	17	1.25	1	0.25	0.05	0.25
4	1.02	8	19	14	1.75	2	0	0	0.00
5	1.015	8	20.5	17	1.75	1.5	0.25	0	0.17
6	1.02	8	22	15	1.85	1.7	0.15	0	0.09
7	1.02	8	21	16	1.75	1.5	0.25	0	0.17
8	1.02	8	21	16	1.75	2	0	0	0.00
9	1.015	8	22	18	1.25	1	0.25	0	0.25
10	1.015	8	21	17	1.25	1	0.25	0	0.25
11	1.02	8	22	15	1.75	1.5	0.25	0	0.17
12	1.015	8	21	16	1.75	2	0	0	0.00

表5 现场冲洗液委托测试结果

Table 5 Test results of the on-site drilling fluid by the third party

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	摩阻系数	相对膨胀降低率/ %
1.03	7.5	15.5	16	1.5	1	0.5	0.25	50.60



图2 复杂地层岩心

Fig.2 Core from the complex formation

ZK30003孔为物探异常验证孔,钻孔自设计孔深125 m起,不断变更、加深,受台风、待令及更换钻机影响,钻孔施工时间较长。因地质设计钻孔较浅,Ø89 mm套管仅下入孔深40.70 m,全孔没有采用水泥护壁堵漏,采用PVA1788无固相冲洗液体系、绳索取心液动锤钻具钻进至终孔孔深1009.55 m。施工过程中严格控制API滤失量 $\leq 15$  mL,除停钻时间较长、下钻发现孔底有沉渣、需要捞渣外,没有发现明显的掉块或钻孔坍塌现象,该冲洗液体系护壁、防塌性能较强。图2中的破碎不稳定岩层(590.10~610.10 m孔段),自钻遇至终孔,裸眼孔壁

稳定、安全钻进大于65天。

(3)PVA1788无固相冲洗液体系的润滑减阻性能卓越,提高了钻机的钻进能力。

在岑溪市佛子冲铅锌矿ZK1201号钻孔,采用PHP+GLUB无固相冲洗液,XY-4型钻机、ZN-77S型绳索取心钻具钻进至孔深约810 m时,因钻机万向轴螺杆更换高强度螺杆后,仍然频繁折断,不得不改用XY-1600型钻机钻进至终孔孔深868.55 m。

罗维矿区ZK30003孔采用XY-4型钻机应用PVA1788无固相冲洗液体系、ZN-77S型绳索取心液动锤钻具,以4挡(388 r/min)转速钻进至孔深914.50 m后,考虑到终孔孔深未确定及钻孔地层复杂,改换XY-1600型钻机钻进至终孔。钻进过程中,拧卸钻杆时扭矩没有明显增大现象,该冲洗液体系润滑减阻性能卓越。

#### 4 结语

(1)PVA1788具有降失水、抑制、润滑等一剂多效的优点,与GSP及PHP共同作用,该PVA1788无固相冲洗液体系具有粘度低、抑制防塌能力强、润滑性能好等特点,大幅提高了液动锤零配件的工作寿

命,提高了维持孔壁稳定能力,提高了钻机钻深能力。

(2)按PHP、GSP、PVA1788比例为1:5:5配制三合一混合粉,配制及调节冲洗液性能均采用混合粉,使用维护十分方便。在金属矿产地质勘查破碎、结构松软的复杂地层中,裸眼维持孔壁稳定、安全钻进大于65天,满足了复杂地层维护孔壁稳定、安全钻进的需要。

(3)在页岩气钻探中,钻遇极破碎、强水敏不稳定泥岩时,要求API滤失量 $<10\text{ mL}$ ,采用PVA1788三合一混合粉调节冲洗液性能,冲洗液粘度增高,密度持续增高。建议采用PVA1788:GSP=1:1的二合一混合粉配浆,加大PVA1788、GSP的用量,减小PHP的用量。需要时,建议采用聚合度相同、醇解度为66%~80%的PVA。

#### 参考文献(References):

- [1] 朱金凤,陈师逊.SYZX75型绳索取心液动锤在招远玲珑金矿勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8):22-23,26.  
ZHU Jinfeng, CHEN Shixun. Application of SYZX75 wire-line hydraulic coring hammer for prospecting in Linglong Gold Mine of Zhaoyuan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008, 35(8): 22-23, 26.
- [2] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等.系列高效液动锤的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):27-31.  
SU Changshou, XIE Wenwei, YANG Zeying, et al. Study and application of high efficiency hydro-hammer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(3): 27-31.
- [3] 罗冠平.SYZX75型绳索取心液动锤在肃北德勒诺尔铁矿中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):47-49,56.  
LUO Guanping. Application of SYZX75 wire-line coring hydro-hammer in Delenuer Iron Deposit of Subei[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(1): 47-49, 56.
- [4] 冉恒谦,张金昌,谢文卫,等.地质钻探技术与应用研究[J].地质学报,2011,85(11):1806-1821.  
RAN Hengqian, ZHANG Jinchang, XIE Wenwei, et al. Applications study of geo-drilling technology[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1806-1821.
- [5] 韩毅,张绍和,王文彬,等.湘西北复杂构造区雪峰山先导孔钻进技术[J].钻探工程,2021,48(7):20-25.  
HAN Yi, ZHANG Shaohu, WANG Wenbin, et al. Drilling technology for Xuefengshan pilot hole for shale gas geological survey in Northwest Hunan[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(7): 20-25.
- [6] 翟正峰.PAM-GSP钻井液在陕北石油钻井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(1):51-52.  
ZHAI Zhengfeng. Application of PAM-GSP drilling fluids in Shanbei Oil Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005, 32(1): 51-52.
- [7] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].  
DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 栾合道,王来祥,伊丕厚.高效、快速成膜防塌剂——PVA的研究与应用[J].探矿工程,1991(4):16-17.  
LUAN Hedao, WANG Laixiang, YI Pihou. Research and application of high-efficiency and rapid membrane forming anti-sloughing agent—PVA[J]. Exploration Engineering, 1991(4): 16-17.
- [11] 王禹,杨春柳,吕小燕.PVA无固相冲洗液在吉林珲春松林矿区复杂地层的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7):14-15,17.  
WANG Yu, YANG Chunliu, LÜ Xiaoyan. Application of PVA solid-free fluid in complicated formation in Songlin Mining Area in Huichun city Jilin province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(7): 14-15, 17.
- [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] 严瑞瑄.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.
- [15] 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.

(编辑 荐华)