

# 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

刘俊辉

(核工业二三〇研究所,湖南长沙 410011)

**摘要:**广西向阳坪地区地层复杂,存在多段大厚度水敏性蚀变地层及破碎地层,高岭石化及绿泥石化蚀变地层吸水后极易膨胀缩径或分散剥落,引起孔内掉块、孔壁坍塌等现象,导致卡钻、埋钻等孔内事故频发。通过对该地层岩心样品进行岩性分析,选择了成膜防塌无固相冲洗液体系,经过室内实验评价,确定了适用于向阳坪地区复杂地层的冲洗液配方,并在现场进行应用,有效地解决了水敏性蚀变地层吸水膨胀及分散剥落问题,护壁效果明显,孔壁稳定性显著提高,避免了孔内事故的发生,所取出的岩心完整且岩心采取率高,大大提高了钻进效率,缩短了施工时间,降低了施工成本。

**关键词:**向阳坪地区;复杂地层;水敏性地层;冲洗液;防塌;护壁

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)12-0036-06

## Drilling fluid technology for complex formation drilling in the Xiangyangping area of Guangxi

LIU Junhui

(Research Institute No.230, CNNC, Changsha Hunan 410011, China)

**Abstract:** The formation in the Xiangyangping area of Guangxi is complex. There are large sections of water-sensitive altered formation and broken formation. Kaolinite and chlorite altered formation is prone to expand and shrink or break off after water absorption, leading to frequent downhole incidents, such as rock falling, borehole collapsing, drilling string sticking or burial. Through the lithological analysis of the core samples from the formation, the film-forming anti-collapsing solid-free drilling fluid system was adopted, which effectively solved the expanding and shrinking problems of water-sensitive altered formation with remarkable enhancement of borehole wall stability and significant improvement of borehole wall protection. As a result, the cores taken out were intact with high core recovery; down-hole incidents were avoided; and drilling efficiency was greatly improved with shorter construction time and less construction cost.

**Key words:** Xiangyangping area; complex formations; water-sensitive formation; drilling fluid; anti-collapse; wall protection

### 1 地层概况

工作区位于广西资源县向阳坪铀矿床内,岩性以花岗岩为主,主要岩性为印支期中粒一中粗粒似斑状黑云母花岗岩( $\gamma_5^1$ )及燕山早期中细粒—细粒二云母花岗岩( $\gamma_5^{2-2}$ )。工作区构造极为发育,以断裂为主,主要由近 NNE、SN、EW、NW 和 NE 向 5 组断裂构成本区构造的基本格架<sup>[1-4]</sup>。

构造岩以硅化花岗碎裂岩、硅质角砾岩、碎裂花岗岩为主,构造发育部位岩石破碎,围岩蚀变发育,蚀变类型主要有高岭土化、绿泥石化、赤铁矿化、硅化、黄铁矿化、钾长石化、水云母化等<sup>[5-9]</sup>。岩石可钻性 4~12 级不等,地层岩石特性如表 1 所示。

由于工作区构造断裂极为发育,复杂岩层主要呈现为水敏性地层、破碎地层和漏失地层。水敏性

收稿日期:2020-06-08 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.12.006

基金项目:中国核工业地质局铀矿钻探生产科研项目“广西向阳坪地区硬岩钻探复杂岩层护壁堵漏技术研究”(编号:2019-03-07-2)

作者简介:刘俊辉,男,汉族,1986 年生,工程师,勘查技术与工程专业,主要从事铀矿钻探技术和生产管理工作,湖南省长沙市雨花区桂花路 34 号,597025204@qq.com。

引用格式: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.

表 1 广西向阳坪地区地层岩石特性  
Table 1 Lithology in the Xiangyangping area of Guangxi

| 岩石名称         | 可钻性分级 | 物理机械性质  | 易发生的复杂情况               | 研磨性 |
|--------------|-------|---------|------------------------|-----|
| 中粒—中粗粒黑云母花岗岩 | 7~9   | 均质,硬度大  | 裂隙发育地段易漏水              | 中等  |
| 中细粒—细粒二云母花岗岩 | 8~10  | 均质,硬度大  | 裂隙发育地段易漏水              | 中弱  |
| 构造岩          | 4~7   | 破碎,硬度不均 | 构造岩,切削具磨损快,破碎、掉块、垮孔、漏水 | 中强  |
|              | 10~12 | 硬度极大    | 切削具磨损快,漏水、难钻进          | 强   |

地层主要为高岭土化、绿泥石化花岗岩,吸水后分散剥落成颗粒状(见图 1);破碎地层主要为构造带碎裂花岗岩或风化花岗岩(见图 2),岩石呈碎裂块状结构;漏失地层主要是由构造、裂隙发育所导致(见图 3)。



图 1 水敏性蚀变地层岩心  
Fig.1 Cores from water-sensitive altered formation



图 2 破碎地层岩心  
Fig.2 Cores from broken formation



图 3 裂隙发育地层岩心  
Fig.3 Cores from fracture-developed formation

该地区地层复杂原因主要是工作区密集发育多条 NNE 向平行构造带及其次级构造,构造带及其影响范围宽,构造发育部位地层岩石破碎,裂隙发育,高岭土化、绿泥石化、硅化等蚀变发育,岩心遇水松散剥落,钻进过程中容易出现孔壁掉块、坍塌、孔内冲洗液漏失现象。

2 钻探施工概况

2.1 现场主要设备与仪器

现场主要设备与仪器如表 2 所示。

表 2 现场主要设备与仪器  
Table 2 Main equipment and instruments on site

| 设备名称     | 设备型号    | 单位 | 数量 | 生产厂家         | 功率/kW |
|----------|---------|----|----|--------------|-------|
| 钻机       | XY-4    | 台  | 1  | 连云港黄海机械厂     | 30.0  |
| 泥浆泵      | BW-250  | 台  | 1  | 衡阳探矿机械厂      | 15.0  |
| 钻塔       | HCX-13  | 台  | 1  | 连云港黄海机械厂     |       |
| 绳索取心绞车   | SJ-1000 | 台  | 1  | 连云港黄海机械厂     | 7.5   |
| 搅拌机      | NJ600   | 台  | 1  | 萍乡三汇泥浆工程技术公司 | 11.0  |
| 中压滤失仪    | ZNS-2   | 套  | 1  | 青岛海通达        |       |
| 泥浆三件套测试仪 | ANY-1   | 套  | 1  | 沧州鑫科仪器       |       |

2.2 钻进工艺与钻具组合

开孔采用  $\varnothing 91$  mm 单管取心钻具,变径及正常钻进采用  $\varnothing 75$  mm、 $\varnothing 60$  mm 金刚石绳索取心钻具钻进。钻具组合如下。

(1) $\varnothing 91$  mm 钻具组合: $\varnothing 91$  mm 金刚石钻头+ $\varnothing 89$  mm 岩心管+变径接手+S75 钻杆+变径接手+主动钻杆。

(2) $\varnothing 75$  mm 钻具组合: $\varnothing 75$  mm 金刚石钻头+ $\varnothing 75.5$  mm 下扩孔器+ $\varnothing 73$  mm 岩心管+ $\varnothing 75.5$  mm 上扩孔器+弹卡室+挡头+S75 钻杆+变径接手+主动钻杆。

(3) $\varnothing 60$  mm 钻具组合: $\varnothing 60$  mm 金刚石钻头+ $\varnothing 60.5$  mm 下扩孔器+ $\varnothing 58$  mm 岩心管+ $\varnothing 60.5$  mm 上扩孔器+弹卡室+挡头+S60 钻杆+变径接手+主动钻杆。

### 2.3 孔身结构设计

采用  $\phi 91\text{ mm}\rightarrow\phi 75\text{ mm}\rightarrow\phi 60\text{ mm}$  钻孔结构设计(如图 4 所示),分别下入  $\phi 89\text{ mm}$ 、 $\phi 73\text{ mm}$  套管后,使用  $\phi 60\text{ mm}$  钻具钻进至终孔。

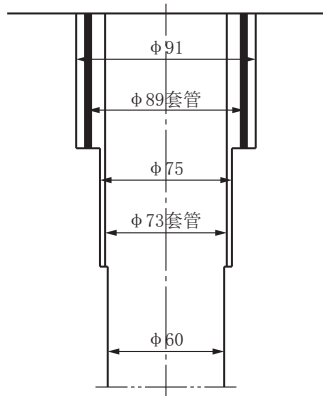


图 4 孔身结构设计

Fig.4 Design of the borehole structure

以钻孔 ZK7-49-2 孔为例, $\phi 91\text{ mm}$  口径开孔,下  $\phi 89\text{ mm}$  套管 49.1 m,下  $\phi 73\text{ mm}$  套管 70.4 m, $\phi 60\text{ mm}$  钻具钻进至终孔 742.65 m。

## 3 施工难点分析

### 3.1 施工难点

以往工作区复杂岩层施工主要存在下列问题:

(1)地层复杂,护壁困难。工作区复杂岩层主要为破碎地层,且含有水敏性强的蚀变高岭石和绿泥石,易发生掉块和坍塌,且孔越深,钻进时间越长,孔壁越容易失稳。裂隙发育,冲洗液严重漏失的情况下,孔内复杂情况(坍塌、掉块等)将更加突出。因此,在复杂岩层钻进,保护孔壁是十分重要的一环,必须解决好护壁难题。

(2)冲洗液漏失会导致钻进回转阻力大,动力和材料消耗大,孔内事故多。随着孔深的增加,孔内钻杆增长,摩擦阻力增大。对绳索取心钻探而言尤为突出,不仅钻杆磨损加快,钻机负荷增大,而且难以提高转速,还容易造成断钻杆等孔内事故。

(3)钻头寿命缩短。岩层软硬互层交替频繁,岩层变化大,局部硅质岩、角砾岩硬度高,研磨性强,导致金刚石钻头寿命短,起下钻次数多,对孔壁扰动大,造成复杂岩层孔壁不稳定,易发生事故风险。随着钻进越深,钻压越难以准确控制,加上钻杆接头密封不良易产生泄漏,难以保证将冲洗液全部送到孔底,因而形成假循环,容易造成钻头烧蚀,影响钻头

寿命。

(4)钻进效率低,成本高。因孔内地层复杂,钻进困难,加之使用普通泥浆护壁效果不好,随着施工周期增长,极易发生因孔壁坍塌、掉块导致的卡埋钻、断钻杆等事故,增加了大量处理事故时间,直接造成材料损失,钻进效率降低,成本增高等问题。

### 3.2 问题分析

(1)蚀变地层水敏性强。从工作区多个钻孔水敏性地层采取岩心样品,进行岩石矿物成分分析,结果如表 3 所示。从分析结果可知,岩心中含有大量蒙脱石、高岭石和白云母,蒙脱石吸水易膨胀,而高岭石和白云母遇水易分散剥落。

表 3 岩心样品矿物成分分析结果

Table 3 Assay results of the core samples

| 孔号       | 孔深/<br>m | 蒙脱石/<br>% | 高岭石/<br>% | 微斜长石/<br>% | 白云母/<br>% | 石英/<br>% | 辉沸石/<br>% | 透长石/<br>% |
|----------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| ZK4-28-2 | 61       | 40        | 20        | 6          | 23        | 11       |           |           |
| ZK4-28-2 | 473      | 24        | 14        | 20         | 18        | 24       |           |           |
| ZK7-41-1 | 283      | 67        | 8         |            | 17        | 8        |           |           |
| ZK7-41-1 | 288      | 30        | 21        |            | 49        |          |           |           |
| ZK7-41-1 | 512      | 76        | 5         |            | 8         |          | 11        |           |
| ZKD80-8  | 385      | 54        | 26        |            | 20        |          |           |           |
| ZKD80-8  | 386      | 74        | 10        |            | 16        |          |           |           |
| ZKD80-8  | 390      | 85        | 4         |            | 11        |          |           |           |
| ZKD80-8  | 466      | 63        | 16        |            | 14        |          |           | 7         |
| ZK6-37-1 | 277      | 52        | 17        |            | 17        | 14       |           |           |
| ZK6-37-1 | 290      | 49        | 15        |            | 12        | 24       |           |           |
| ZK6-37-1 | 295      | 70        | 7         | 7          | 9         | 7        |           |           |
| ZK7-49-2 | 405      | 18        | 16        | 12         | 18        | 36       |           |           |
| ZK7-49-2 | 435      | 7         | 5         | 14         | 7         | 67       |           |           |
| ZK7-49-2 | 563      | 8         |           | 11         | 13        | 68       |           |           |

(2)蚀变地层与硬度较高的岩层形成软硬互层,水敏性矿物遇水膨胀、分散、剥落后,硬岩失去支撑,从而坍塌、掉块,造成孔内事故。

(3)部分蚀变地层与强度较大的花岗岩混杂在一起,当蚀变岩剥落时,花岗岩碎块很容易从孔壁脱落,造成孔壁不稳定。

(4)由于蚀变层松散、破碎,强度低,加之钻孔环空间隙小,因此,起下钻时的抽吸作用和冲洗液的冲刷作用很容易诱发孔壁坍塌或掉块。

## 4 冲洗液研究与应用

### 4.1 冲洗液选择

水敏性分散剥落地层,如绿泥石化地层、高岭土

化地层、含蒙脱石及伊利石等地层是钻探行业的难点地层,使用一般冲洗液在此类复杂地层中钻进,孔壁稳定周期短,坍塌掉块风险大。最安全的做法是采用油基冲洗液,但油基冲洗液成本昂贵,除石油钻探使用外,地质钻探几乎很少使用。通常做法是采用高粘度、高密度、低滤失量冲洗液快速穿过下套管封隔,但地质钻探均为取心钻进,钻孔直径小,裸眼时间长,维持孔壁稳定十分困难,一个钻孔中若含有多个复杂孔段,采用套管封隔则会受到很大限制。

通过对该地层岩心样品进行岩性分析,选择成膜防塌无固相冲洗液体系<sup>[11-12]</sup>,该冲洗液可通过强抑制性材料来降低水化作用对地层的影响,采用强粘接性和封堵性材料来强化孔壁,从而延长孔壁的稳定周期。该冲洗液已在工作区多个钻孔现场进行应用,在水敏性地层及破碎地层绳索取心钻探施工中取得了显著成效<sup>[13-18]</sup>。

## 4.2 冲洗液室内评价

### 4.2.1 冲洗液配方

成膜防塌无固相冲洗液常用配方为:水+0.1%~0.2%烧碱+4%~6%成膜体系 A 剂+2%~3%成膜体系 B 剂+1%~2%改性沥青+1%~2%随钻堵漏剂+2%~3%封堵剂+0.5%~0.8%增粘剂+0.2%~0.3%包被剂。

室内评价确定配方为:水+0.2%烧碱+5%成膜体系 A 剂+2.5%成膜体系 B 剂+1%改性沥青+1%随钻堵漏剂+2%封堵剂+0.6%增粘剂+0.2%包被剂。

### 4.2.2 处理剂的作用

(1)成膜体系 A 剂(GCM-A):具有成膜性、降滤失及封堵作用,可在孔壁形成具有隔水作用的保护膜。

(2)成膜体系 B 剂(GCM-B):具有成膜性,可在孔壁形成具有隔水作用的保护膜,起到成膜体系 A 剂成膜性的补充加强作用。

(3)改性沥青(GLA):抑制泥岩分散造浆,防塌护壁。

(4)随钻堵漏剂(GPC):封堵地层裂隙,减少冲洗液渗漏,强化孔壁。

(5)封堵剂(GFD-1):封堵地层微裂隙,强化孔壁。

(6)增粘剂(GTQ):提高粘度和切力,降低滤失量。

(7)包被剂(GBBJ):具有包被和絮凝沉淀岩粉作用。

### 4.2.3 常规性能评价

室内实验测定成膜防塌无固相冲洗液常规性能,如表 4 所示。

表 4 冲洗液常规性能

| 漏斗粘度/<br>s | 密度/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 表观粘度/<br>(mPa·s) | 塑性粘度/<br>(mPa·s) | 动切力/<br>Pa | API 滤失量/<br>mL | 泥皮厚度/<br>mm | pH 值 |
|------------|------------------------------|------------------|------------------|------------|----------------|-------------|------|
| 25         | 1.04                         | 16               | 11               | 5          | 6              | 0.2         | 12   |

### 4.2.4 抑制性能评价

将现场采取的岩心样品压制成型,使用页岩膨胀量测定仪测定岩心样品在蒸馏水、普通膨润土冲洗液及成膜防塌无固相冲洗液中的膨胀量,计算不同冲洗液测得的膨胀量与水对比的膨胀量降低率,结果如表 5 所示。

表 5 冲洗液抑制性能

| 项 目        | 页岩膨胀性能     |           |
|------------|------------|-----------|
|            | 6 h 膨胀量/mm | 相对膨胀降低率/% |
| 蒸馏水        | 5.68       |           |
| 普通膨润土冲洗液   | 3.96       | 30        |
| 成膜防塌无固相冲洗液 | 0.73       | 87        |

### 4.2.5 岩心浸泡实验

将水敏性地层的岩心放入清水和成膜防塌无固相冲洗液中进行浸泡,观察岩心分散状态,结果如图 5 所示。从岩心浸泡前后对比图可以看出,在清水中浸泡 5 min 后的岩心已分散崩解,证明强水敏性地层遇水极易分散剥落;而在成膜防塌冲洗液中浸泡 3 h 后的岩心依然保持完整,证明了成膜防塌冲洗液对水敏性地层有良好的护壁护心作用。

## 4.3 冲洗液现场使用情况

现场采用的成膜防塌无固相冲洗液的配方如下:

1 m<sup>3</sup> 水+2 kg 烧碱+50 kg 成膜体系 A 剂+25 kg 成膜体系 B 剂+10 kg 改性沥青+10 kg 随钻堵漏剂+20 kg 封堵剂+6 kg 增粘剂+2 kg 包被剂。

现场使用的冲洗液性能如表 6 所示。

从现场测得的冲洗液性能可以看出,成膜防塌无固相冲洗液性能稳定,粘度和密度适中,滤失量较低,且泥皮质量好,可有效阻止水进入地层中,保护孔壁稳定。

## 4.4 冲洗液应用效果



图 5 岩心浸泡实验结果  
Fig.5 Results of core sample soaking test

表 6 现场使用的冲洗液性能

Table 6 Performance of the drilling fluid measured on site

| 漏斗粘度/s | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | API 滤失量/mL | 泥皮厚度/mm | 泥皮质量   | pH 值  | 含砂量/% |
|--------|--------------------------|------------|---------|--------|-------|-------|
| 21~30  | 1.03~1.06                | 6~10       | 0.2     | 致密, 薄韧 | 11~13 | 1~2   |

使用成膜防塌无固相冲洗液体系共施工了 2 个钻孔, 总计 1323.15 m, 取得了比较理想的效果, 具体表现在以下几个方面。

(1) 护壁效果显著。从岩心对比图(图 6 与图 1)可以看出, 使用成膜防塌无固相冲洗液, 岩心完整不分散, 孔壁稳定, 起下钻通畅, 水敏性地层钻进中无掉渣、掉块现象。孔底无沉渣, 钻进顺利。



图 6 采用成膜防塌无固相冲洗液取出的岩心  
Fig.6 Cores taken using film-forming anti-collapse solid-free drilling fluid

(2) 取心质量好及取心率高。成膜防塌无固相冲洗液可以有效地保护岩心, 保证了取心质量, 提高

了取心率。岩心由于有成膜冲洗液保护, 取上来时比较完整, 且放置一段时间后不会变散, 如图 6 所示。

(3) 钻进效率明显提高。采用成膜防塌无固相冲洗液钻进时, 由于该冲洗液粘度低、润滑性能好, 又有效保护了孔壁和岩心完整, 降低了孔内事故可能性, 因此钻进效率高。使用了成膜防塌无固相冲洗液的 2 个钻孔钻进过程中虽然遇到水敏性复杂地层, 但由于冲洗液的良好防护作用, 未出现孔内复杂情况, 钻进效率与未使用的钻孔相比明显提高(见表 7)。

表 7 使用不同冲洗液的钻孔台月效率对比

Table 7 Comparison of rig-month efficiency between different drilling fluids

| 钻孔编号     | 孔深/m   | 台月数  | 台月效率/m | 冲洗液体系    |
|----------|--------|------|--------|----------|
| ZK6-19-1 | 559.30 | 1.00 | 559.30 | 普通膨润土冲洗液 |
| ZK6-15-3 | 640.30 | 1.17 | 547.26 | 普通膨润土冲洗液 |
| ZK6-37-1 | 580.50 | 0.70 | 829.29 | 成膜防塌冲洗液  |
| ZK7-49-2 | 742.65 | 0.92 | 807.23 | 成膜防塌冲洗液  |

从表 7 可以计算出, 使用成膜防塌冲洗液的钻孔台月效率比未使用成膜防塌冲洗液的钻孔台月效率要高出 44%~51%, 使用对比效果很明显。

(4) 具有良好的携砂排屑性。冲洗液具有良好的流变性, 既能满足携砂要求, 同时冲洗液中的岩屑又能在地表较好地沉降(见图 7), 冲洗液使用周期长, 循环使用率高。



图 7 冲洗液携带出来的岩屑  
Fig.7 Cuttings carried by the drilling fluid

## 5 结论

通过在广西向阳坪地区复杂地层钻进中使用成膜防塌无固相冲洗液, 有效地解决了水敏性蚀变地层吸水膨胀及分散剥落问题, 孔壁稳定性显著提高, 护壁效果明显; 所取出的岩心完整且岩心采取率高; 避免了孔内掉渣、掉块、垮孔、埋钻等事故的发生, 大大提高了钻进效率, 缩短了施工时间, 降低了施工成本。

## 参考文献(References):

- [1] 吴昆明,李大雁,陈琪,等.广西向阳坪铀矿床成矿地质特征[J].铀矿地质,2016,32(4):224—229.  
WU Kunming, LI Dayan, CHEN Qi, et al. Geological features of Xiangyangping Uranium Deposit in Guangxi[J]. Uranium Geology, 2016,32(4):224—229.
- [2] 欧阳平宁,黄满湘,刘鑫扬,等.向阳坪铀矿床断裂构造原生晕特征及找矿意义[J].铀矿地质,2012,28(2):78—83.  
OUYANG Pingning, HUANG Manxiang, LIU Xinyang, et al. The characteristics of original geochemical halo in fault zone and its prospecting significance in Xiangyangping Uranium Deposit[J]. Uranium Geology, 2012,28(2):78—83.
- [3] 李卫星,巢小林,陈琪,等.利用 $\gamma$ 测井划分赋矿围岩岩性——以向阳坪铀矿床为例[J].湖南科技学院学报,2014,35(10):70—73.  
LI Weixing, CHAO Xiaolin, CHEN Qi, et al. Classification of host rock lithology by gamma logging—take Xiangyangping Uranium Deposit as an example[J]. Journal of Hunan University of Science and Engineering, 2014,35(10):70—73.
- [4] 欧阳平宁.苗儿山铀矿田向阳坪地区构造地球化学研究与成矿富集中心预测[D].长沙:中南大学,2012.  
OUYANG Pingning. Research on tectonic geochemistry and prediction of ore enrichment center in Miaoershan Uranium Orefield, Xiangyangping Area[D]. Changsha: Central South University, 2012.
- [5] 黄宏业,肖建军,欧阳平宁,等.基于多元统计的微量元素地球化学特征分析——以广西资源县向阳坪地区构造蚀变岩型铀矿为例[J].地质找矿论丛,2009,24(3):211—216.  
HUANG Hongye, XIAO Jianjun, OUYANG Pingning, et al. Geochemical characteristics of trace elements based on multivariate statistical analysis—An example from the altered tectonite type Uranium deposit in Xiangyangping, Guangxi Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2009,24(3):211—216.
- [6] 刘鑫扬,欧阳平宁,肖建军,等.苗儿山矿田向阳坪地区铀成矿条件及重点勘查地段研究[C]//中国核学会年会.2011:569—576.  
LIU Xinyang, OUYANG Pingning, XIAO Jianjun, et al. Research on uranium metallogenic conditions and key exploration zones in the Xiangyangping area of Miaoershan Mineral Field [C] // Progress Report on China Nuclear Science & Technology, 2011:569—576.
- [7] 李妩巍,王敢,许来生,等.大坪里一向阳坪地区铀成矿条件分析[J].世界核地质科学,2010,27(2):72—77.  
LI Wuwei, WANG Gan, XU Laisheng, et al. Analysis on uranium metallogenic condition of Dapingli—Xiangyangping area [J]. World Nuclear Geoscience, 2010,27(2):72—77.
- [8] 李妩巍,王敢,陈卫锋,等.广西向阳坪地区剪切带与铀成矿作用[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2011,36(5):1—7.  
LI Wuwei, WANG Gan, CHEN Weifeng, et al. Discussion on shear zones and Uranium metallogenesis in Xiangyangping Area of Guangxi Province[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Natural Science), 2011,36(5):1—7.
- [9] 黄剑,谭双,陈琪,等.广西向阳坪铀矿床黄铁矿特征及其对矿体延伸的影响[J].中国锰业,2019,37(3):20—23.  
HUANG Jian, TAN Shuang, CHEN Qi, et al. Characteristics of pyrite and influence of ore body extension of Xiangyangping Uranium deposit in Guangxi Province[J]. China's Manganese Industry, 2019, 37(3): 20—23.
- [10] 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)学术交流会论文集,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 (Drilling and Tunneling) Academic Conferences, 2015:424—430.
- [11] 陶士先,李晓东,吴召明,等.强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(6):1147—1154.  
TAO Shixian, LI Xiaodong, WU Zhaoming, et al. Research and application of the strong-film-forming wall-protecting flushing fluid system for drilling[J]. Geology and Exploration, 2014,50(6):1147—1154.
- [12] 熊正强,陶士先,李艳宁,等.国内外冲洗液技术研究与应用进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6—12.  
XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, LI Yanning, et al. Progress in research and application of flushing fluid technology both in China and abroad[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(5):6—12.
- [13] 李晓东,柯玉军.甘肃金昌龙首矿坑道钻探冲洗液对策[J].地质装备,2018,19(4):21—24.  
LI Xiaodong, KE Yujun. Drilling fluid countermeasure for underground drilling at Longshou Mine in Gansu Province, Gansu[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018,19(4):21—24.
- [14] 刘春生,李晓东,陶士先,等.张家口地应力测量钻探工程冲洗液技术应用[J].西部探矿工程,2017,29(10):45—48.  
LIU Chunsheng, LI Xiaodong, TAO Shixian, et al. Drilling fluid technology for the Zhangjiakou Geostress Measurement Drilling Project [J]. West-China Exploration Engineering, 2017,29(10):45—48.
- [15] 纪卫军,张辉,李晓东,等.新疆鄯善县沙尔湖页岩气3井护壁堵漏技术[J].地质装备,2018,19(4):25—27,39.  
JI Weijun, ZHANG Hui, LI Xiaodong, et al. Retaining wall plugging technology of shale gas No.3 Well at shaar lake in Shanshan of Xinjiang[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018,19(4):25—27,39.
- [16] 单文军,段晓青,任福建,等.甘肃武威盆地页岩气“武页1井”成膜低固相冲洗液的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):111—115.  
SHAN Wenjun, DUAN Xiaoqing, REN Fujian, et al. Application of low solid film-forming system in Well “Wuye-1” in Wuwei Basin of Gansu[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(7):111—115.
- [17] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相钻井液体系在金鹰矿区ZK1146井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):26—30.  
LI Panyi, SHAN Wenjun, XU Zhaogang, et al. Research and application of solid free film-forming and anti-sloughing drilling fluid system in Well ZK1146 of Jinying Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(10):26—30.
- [18] 何玉云,王发民,熊正强,等.甘肃李坝金矿区强水敏分散剥落地层冲洗液的选型与使用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):59—62.  
HE Yuyun, WANG Famin, XIONG Zhengqiang, et al. Selection and application of flushing fluid for strong water sensitive stratum in Liba Gold Mine of Gansu[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(4):59—62.

(编辑 韩丽丽)