

双聚防塌冲洗液在覆盖层钻探中的应用

于富安^{1,2}, 刘维平^{1,2*}, 孙健越^{1,2}

(1. 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 山东烟台 264001; 2. 海陆一体化钻探工程技术创新中心, 山东烟台 264001)

摘要: 在河南驻马店地区覆盖层钻探过程中, 钻遇第四系黏土层、砂质泥岩、松散砂砾岩和泥岩不等厚互层, 钻孔护壁难度大, 容易发生掉块卡钻、塌孔埋钻等事故, 取心困难。根据地质情况及区内钻孔施工资料, 采用双聚防塌冲洗液, 通过现场试验应用, 在长孔段裸眼提钻取心钻进过程中, 孔壁稳定性较好, 未发生掉块、坍塌等现象, 岩心采取率满足地质设计要求, 减少了套管下入深度, 节约了施工成本。

关键词: 双聚防塌冲洗液; 覆盖层; 松散砂岩; 孔壁稳定

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)02-0059-06

The application of dual-polymer anti-sloughing flushing fluid for drilling in covering layers

YU Fu'an^{1,2}, LIU Weiping^{1,2*}, SUN Jianyue^{1,2}

(1. Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai Shandong 264001, China;
2. Technology Innovation Center of Marine Land Integrated Drilling Engineering, Yantai Shandong 264001, China)

Abstract: During the drilling process in the covering layer of Zhumadian area in Henan Province, the Quaternary clay layer, sandy mudstone, loose sandstone unevenly interbedded with mudstone were encountered, resulting in difficult wall protection, prone to accidents such as block jamming, hole collapse and burial, and difficult in taking cores. Based on the geological conditions and the drilling construction data within the area, the dual-polymer anti-sloughing flushing fluid was used. In the on-site application, the stability of the hole wall was good during the drilling process of the long open hole well section, without any incidents of falling or collapses. The core recovery rate can meet the geological design requirements, moreover, the casing depth and construction cost were reduced.

Key words: dual-polymer anti-sloughing flushing fluid; covering layer; loose sandstone; stability of the hole wall

0 引言

东部地区战略性矿产靶区查证技术支撑项目河南驻马店工作区地处河南省南部, 位于南襄盆地中独立单元的泌阳凹陷内。2024年, 钻探过程中遇到第四系黏土层、砂质泥岩、松散砂砾岩和泥岩不等厚互层, 孔壁失稳, 发生卡钻事故。

在河南驻马店覆盖层中钻遇第四系黏土层、砂质泥岩、松散砂砾岩和泥岩不等厚互层, 在采用膨润土基冲洗液钻进时, 因孔内掉块严重导致孔壁失稳, 发生卡钻事故, 最终钻孔报废、挪孔, 后通过双聚防塌冲洗液的现场应用, 较好的维持了孔壁的稳定, 确保了钻探施工的顺利开展。

收稿日期: 2024-08-17; 修回日期: 2024-09-05 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.02.008

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“东部地区战略性矿产靶区查证技术支撑(烟台中心)”(编号: DD20242961)

第一作者: 于富安, 男, 汉族, 1991年生, 工程师, 勘查技术与工程专业, 从事探矿工程相关技术工作, 山东省烟台市芝罘区机场路287号, yufuan2022@163.com。

通信作者: 刘维平, 男, 汉族, 1986年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事探矿工程相关技术和管理, 山东省烟台市芝罘区机场路287号, 563916176@qq.com。

引用格式: 于富安, 刘维平, 孙健越. 双聚防塌冲洗液在覆盖层钻探中的应用[J]. 钻探工程, 2025, 52(2): 59-64.

YU Fu'an, LIU Weiping, SUN Jianyue. The application of dual-polymer anti-sloughing flushing fluid for drilling in covering layers[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(2): 59-64.

1 地质与工程概况

1.1 地质概况

工作区地处东秦岭造山带,属于晚中生代—新生代形成的“后造山期”断陷-拗陷型盆地。地层基

底为前白垩系变质岩及岩浆岩等柔性基底,沉积盖层为上白垩统及古近系、新近系、第四系。ZKBY05 钻孔钻遇地层岩性情况见表1。

表1 ZKBY05 钻孔钻遇地层岩性
Table 1 Lithology drilled by ZKBY05

深度/m	岩性	特点
0~85	第四系黏土层,局部有弱胶结砂砾岩	地层易造浆,钻孔易缩径
85~127	古近系钻遇廖庄组棕红-灰绿色砂质泥岩	地层坚硬易打滑,进尺慢
127~450.2	古近系核桃园组破碎松散的砂砾岩和泥岩不等厚互层	岩石胶结性差,回转阻力大,回次进尺少,钻孔护壁难度大,容易发生掉块卡钻、塌孔埋钻等事故,取心困难

1.2 工程概况

ZKBY05 钻孔设计孔深 450 m, ZKBY04 钻孔设计孔深 400 m, 要求终孔直径 >110 mm, 岩心直径 >60 mm, 全孔取心, 全孔岩心采取率 $\leq 65\%$, 核桃园组岩心采取率 $\leq 75\%$, 矿层回次进尺 ≥ 1.00 m, 矿层岩心采取率 $\leq 85\%$, 每 50 m 测斜一次, 钻孔弯曲度 $<2^\circ/100$ m。

ZKBY05 和 ZKBY04 钻孔均为全孔取心, 既要采取岩心样品, 研究填充序列、查明地层结构, 也要进行必要的水文观测, 对钻进过程中水文情况进行详细记录, 钻进完成后做水位观测, 揭示地下水特征。选用 XY-6B 型立轴钻机钻进, 配备 BW300 型泥浆泵, 采用提钻取心工艺。

ZKBY05 钻孔原孔 2024 年 5 月 20 日开孔, 钻进至 201 m 处发生卡钻事故, 于 2024 年 6 月 10 日重新开孔, 2024 年 7 月 8 日终孔, 终孔深度 450.20 m, 终孔口径 $\Phi 110$ mm。采用两开钻孔结构, 一开采用 $\Phi 130$ mm PDC 钻头 + $\Phi 127$ mm 单管取心钻具 + $\Phi 91$ mm 绳索取心钻杆, 钻进至 9 m, 下入 $\Phi 127$ mm 表层套管; 二开采用 $\Phi 110$ mm PDC 钻头 + $\Phi 108$ mm 单管取心钻具 + $\Phi 91$ mm 或 $\Phi 71$ mm 绳索取心钻杆, 钻进至终孔。钻孔结构见图 1。

ZKBY04 钻孔于 2024 年 7 月 29 日开孔, 2024 年 8 月 26 日终孔, 终孔深度 400.20 m, 终孔口径 $\Phi 110$ mm。采用两开钻孔结构, 一开采用 $\Phi 130$ mm PDC 钻头 + $\Phi 127$ mm 单管取心钻具 + $\Phi 71$ mm 绳索取心钻杆”钻进至 9 m, 下入 $\Phi 127$ mm 表层套管; 二开采用“ $\Phi 110$ mm PDC 钻头 + $\Phi 108$ mm 单管取心钻具 + $\Phi 71$ mm 绳索取心钻杆”钻进至终孔。

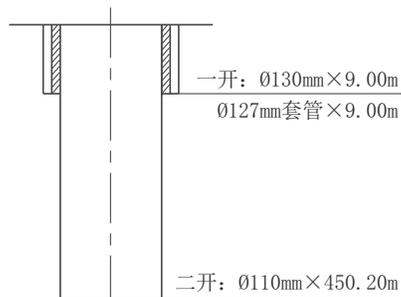


图1 ZKBY05 钻孔结构

Fig.1 Structure of ZKBY05 hole

2 施工难点和冲洗液选择

2.1 施工难点

(1) 第四系黏土地层易水化造浆, 使冲洗液黏度增加, 导致孔壁缩径。ZKBY05 钻孔 0~85 m 为第四系土黄色泥岩, 局部有弱胶结砂砾岩(见图 2), 钻进时泥岩遇水水化膨胀导致缩径、孔壁失稳, 而且地层易造浆导致冲洗液黏度增大^[1-2]。ZKBY05 钻孔原孔使用膨润土基冲洗液钻进, 孔壁稳定性差, 多次发生起下钻受阻甚至卡钻的情况。

(2) 泥岩地层坚硬易打滑, 地层造浆导致冲洗液黏度增加。ZKBY05 钻孔 85~96 m 分布有棕红色泥岩, 96~127 m 为灰绿色砂质泥岩(见图 3), 钻进时地层坚硬、易打滑、进尺慢, 而且地层造浆易缩径、掉块。

(3) 松散砂岩与泥岩互层孔段, 地层胶结性差、取心困难, 钻孔护壁难度大, 容易发生掉块卡钻、塌孔埋钻等事故。ZKBY05 钻孔重新开孔后, 127~450.20 m 为核桃园组灰绿色含砾砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、泥岩互层(见图 4), 微裂隙发育, 冲洗液易漏失, 沿裂缝、层理进入地层, 这为砂岩中的泥



(a) 第四系泥岩



(b) 弱胶结砂砾岩

图2 0~85 m地层岩心照片
Fig.2 Core in 0~85m



(a) 棕红色泥岩



(b) 灰绿色砂质泥岩

图3 85~127 m泥岩地层岩心照片
Fig.3 Core photo of mudstone in 85~127m

质成分水化提供了空间,导致地层易吸水分散剥落、掉块坍塌^[3-8]。ZKBY05钻孔原孔使用膨润土基冲洗液钻进时,多次出现下钻遇阻、下不到底的情

况,需要长时间冲孔扫孔,大大增加了辅助工作时间,降低了施工效率。



图4 127~450.2 m砾石-粗砂-中砂-细砂互层岩心
Fig.4 Cores of interbedded gravel-coarse sand-medium gravel-fine sand in 127~450.2m

由于工作区地层复杂,岩性变化快,提钻取心工艺孔内冲洗液静置时间长,钻孔护壁难度大。ZKBY05钻孔原孔2024年5月20日开孔,下入174 m \varnothing 127 mm 套管,使用膨润土基冲洗液钻进至201.60 m时发生卡钻事故,导致钻孔报废,126 m套管未取出。

2.2 冲洗液选择

为保证在该地区钻孔顺利施工,开展了区域地质资料、钻孔施工及冲洗液使用情况调研与分析,部分钻孔存在因孔壁失稳引发的卡钻事故。通过前期测井资料与岩心分析,孔径较大段多为地层破碎或不成岩孔段,地层渗透性强,冲洗液滤液易渗入地层微裂隙中引起剥蚀脱落,导致孔壁失稳^[9-11]。

由于该地区地层复杂,第四系地层厚度大,新近系、古近系地层松散弱胶结,选用的冲洗液必须满足不同地层的护壁要求。因此,在充分调研的基础上,最终采用北京探矿工程研究所研制的双聚防塌冲洗液,该冲洗液具有良好的防塌和降失水作用,主要由膨润土、改性沥青、降失水剂、增黏剂、封堵剂等材料组成^[12-17]。各组分的作用见表2。

3 双聚防塌冲洗液现场应用

3.1 双聚防塌冲洗液配方

现场采用淡水配制冲洗液,具体配方为:1 m³水+0~2 kg 烧碱+20~40 kg 膨润土+10~15 kg 降失水剂(GPNH)+5~15 kg 改性沥青(GLA)+20~30

表2 双聚防塌冲洗液体系中各组分的主要作用
Table 2 Main functions of various components in the dual-polymer anti-sloughing drilling fluid system

组分名称	主要作用
膨润土	造浆材料,作为提黏和降失水的基础材料
烧碱	调节冲洗液的PH值
改性沥青(GLA)	抑制泥岩膨胀和降失水,保护孔壁
降失水剂(GPNH)	降低冲洗液的滤失量,形成优质的泥饼
封堵剂(GFD-1)	封堵地层孔隙和微裂隙,降低冲洗液滤失量和保护孔壁
增黏剂(GTQ)	提高冲洗液的黏度,增强悬浮和携带岩屑能力
包被剂(GBBJ)	絮凝包被作用,抑制泥岩等岩粉分散

kg 封堵剂(GFD-1)+2~3 kg 包被剂(GBBJ)+0~8 kg 增黏剂(GTQ)。

现场冲洗液性能为:密度 1.08~1.20 g/cm³,漏斗黏度 50~60 s,滤失量 6~10 mL/30 min,含砂量 2%~5%。

3.2 双聚防塌冲洗液配制与性能维护

3.2.1 冲洗液配制

在搅拌罐中放入清水,加入膨润土,搅拌 10 min;再按照配方依次加入降失水剂、改性沥青和封堵剂,搅拌 5~10 min;再加入经高速搅拌机搅拌后的包被剂胶液,搅拌 20~30 min;最后加入稀释的烧碱溶液,搅拌 15~30 min后即可使用。

3.2.2 现场维护与处理

现场使用和维护注意以下几个方面:

(1)在配制冲洗液时,按配方的顺序依次加入,每一种材料搅匀后再加入下一种材料,其中包被剂高速搅拌均匀,防止结团,造成材料浪费或堵塞莲蓬头。

(2)在冲洗液循环使用过程中,要定期测定冲洗液性能并注意观察岩心的状态,及时调整好冲洗液的性能参数。

(3)采用提钻取心钻进工艺,环空间隙大,冲洗液黏度应控制在 50~60 s,需根据黏度情况适当增减膨润土加量。

(4)在弱胶结、松散的砂岩地层中钻进时,应提高封堵剂用量,保持冲洗液较低的滤失量,滤失量控制在 10 mL/30 min 以内;若滤失量偏大,则提高降失水剂的加量,以维护好孔壁安全。

(5)为了使岩粉有效沉淀,并保证冲洗液性能的稳定性,现场设置了长距离的冲洗液循环槽,配制了 3 个 1 m³ 的沉淀池和 1 个 5 m³ 的沉淀池,并在钻进时及时补充包被剂。

3.3 双聚防塌冲洗液现场应用效果

ZKBY05 钻孔 6 月 10 日重新开孔,使用双聚防塌冲洗液,下入 9 m Ø127 mm 套管,7 月 8 日终孔,终孔孔深 450.20 m。ZKBY04 钻孔使用双聚防塌冲洗液,7 月 29 日开孔,下入 9 m Ø127 mm 套管,8 月 26 日终孔,终孔孔深 400.20 m。ZKBY04 钻孔虽然孔深较浅,但存在多处放射性异常孔段,矿层厚度较大,为保证矿层岩心采取率,提钻取心回次进尺 >1.00 m,台月效率相对较低。

(1)具有良好的防塌护壁性能。双聚防塌冲洗液很好地发挥了防塌护壁效果,ZKBY05 钻孔新孔、ZKBY04 钻孔没有发生坍塌或掉块卡钻事故,确保了钻进工作的顺利实施。而且,得益于双聚防塌冲洗液良好的护壁性能,有效保证了复杂地层孔壁安全,节约了套管的使用。

(2)具有较好的悬浮及携带岩粉性能。ZKY05 钻孔原孔使用膨润土基冲洗液时,每次下钻都需要冲孔、扫孔。ZKBY05 钻孔新孔、ZKBY04 钻孔使用双聚防塌冲洗液后,冲洗液能够保持较高的黏度和动塑比,在低泵量(40 L/min)、大环空间隙的情况下,仍能较好地将孔内岩粉携带至地表,孔内较为清洁,存留岩粉较少,全孔提钻取心过程很顺畅,终孔后物探测井探头一次性测至孔底,成功取得了完整的测井资料。

(3)具有良好的护心性能。双聚防塌冲洗液具有良好的抑制性和降滤失性能,能够在岩心表面形成一层薄而致密的泥皮,减弱了冲洗液对松散岩心的冲刷(冲洗液未进入岩心内部),并能抑制泥岩水化膨胀,全孔岩心采取率逐步提高至 94%,实现高质量地获取岩心实物。岩心照片见图 5,冲洗液应用情况见表 3。

(4)节约了施工成本。由于冲洗液性能好且易于维护操作,ZKBY05 钻孔新孔、ZKBY04 钻孔采用双聚防塌冲洗液后,孔壁稳定性高,长孔段裸眼钻进过程中没有发生孔内事故,全孔施工顺利,减少了扫孔冲孔、补采岩心等辅助工作时间,提高了钻探施工效率,避免了长孔段下套管的风险,有效节约了人工和材料成本,提高了经济效益。



(a) 膨润土基冲洗液的“护心”效果

(b) 双聚防塌冲洗液的护心效果

图5 不同冲洗液的护心效果对比

Fig.5 Comparison of the “core protection” effect using different drilling fluids

表3 双聚防塌冲洗液应用情况

Table 3 Application situation of the dual-polymer anti-sloughing drilling fluid

孔号	孔深/m	岩心采取率/%
ZKBY05	450.20	84
ZKBY04	400.20	94

4 结论

(1)对于复杂地层钻探施工,选择合适的冲洗液体系至关重要,合理的冲洗液技术能保证孔壁稳定的同时,大大缩减钻进辅助工作时间,确保钻探施工安全顺利、经济高效。

(2)双聚防塌冲洗液在河南驻马店地区覆盖层钻进中应用效果显著,孔壁稳定性较好,全孔提钻取心顺畅,岩心采取率达到94%,符合地质设计要求,终孔后测井工作安全顺利。

(3)双聚防塌冲洗液的应用有效解决了黏土层缩径造浆、松散砂岩孔壁不稳定、取心困难等难题,保证了长孔段裸眼钻进过程中孔壁的稳定,避免了缩径掉块、坍塌埋钻等事故的发生,大幅度减少了下入套管的数量,避免了套管回收的风险,节约了施工成本。

(4)长孔段裸眼钻进选用的冲洗液必须满足不同地层的护壁要求,选用适合的冲洗液体系同时,应做好冲洗液的日常维护,控制有害固相的含量,确保冲洗液的性能稳定。此外,还要严格控制起下钻速度,避免孔内压力波动过大造成强抽吸作用而引发孔壁失稳。

参考文献(References):

[1] 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.

- [2] 马超,赵林,宋元森.聚铝胺盐防塌钻井液研究与应用[J].石油钻探技术,2014,42(1):55-60.
MA Chao, ZHAO Lin, SONG Yuansen. Research and application of anti-sloughing drilling fluid of poly aluminum-amine salt [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(1):55-60.
- [3] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32,64.
HU Jiliang, TAO Shixian, JI Weijun. Discussion of borehole wall stability technology in broken formation and the practice[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(9):30-32,64.
- [4] 孙凯,冉茂林,李鑫.成膜防塌钻井液技术研究与应[J].钻采工艺,2021,44(4):104-109.
SUN Kai, RAN Maolin, LI Xin. Research and application of film-forming anti-collapse drilling fluid system [J]. Drilling & Production Technology, 2021,44(4):104-109.
- [5] 豆宁辉,王志远,刘殿琛.复杂地层防塌钻井液体系优化研究[J].钻采工艺,2020,43(6):103-106.
DOU Ninghui, WANG Zhiyuan, LIU Dianchen. Study on drilling fluid system optimization for preventing collapse in complex formation[J]. Drilling & Production Technology, 2020,43(6):103-106.
- [6] 陈晓华,邱正松,冯永超,等.鄂尔多斯盆地富县区块强抑制强封堵防塌钻井液技术[J].钻井液与完井液,2021,38(4):462-468.
CHEN Xiaohua, QIU Zhengsong, FENG Yongchao, et al. An anti-collapse drilling fluid with strong inhibitive and plugging capacity for use in the Fuxian Block in Ordos Basin [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2021,38(4):462-468.
- [7] 王琳.地浸砂岩型铀矿钻探施工技术[J].现代矿业,2021,37(4):223-225.
WANG Lin. Drilling construction technology for in-situ leaching sandstone-type Uranium deposit [J]. Modern Mining, 2021,37(4):223-225.
- [8] 李成,白杨,于洋,等.顺北油田破碎地层井壁稳定钻井液技术[J].钻井液与完井液,2020,37(1):15-22.
LI Cheng, BAI Yang, YU Yang, et al. Study and application of drilling fluid technology for stabilizing fractured formations in Shunbei Oilfield [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2020,37(1):15-22.
- [9] 孙金声,苏义脑,罗平亚,等.超低渗透钻井液提高地层承压能力机理研究[J].钻井液与完井液,2005,22(5):1-3.

- SUN Jinsheng, SU Yinao, LUO Pingya, et al. Mechanism study on ultra-low invasion drilling fluid for improvement of formation pressure-bearing ability[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2005,22(5):1-3.
- [10] 张伟国,狄明利,卢运虎,等.南海西江油田古近系泥页岩地层防塌钻井液技术[J].*石油钻探技术*,2019,47(6):40-47.
ZHANG Weiguo, DI Mingli, LU Yunhu, et al. Anti-Sloughing drilling fluid technology for the Paleogene shale stratum of the Xijiang Oilfield in the South China Sea[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2019,47(6):40-47.
- [11] 王维,韩金良,亓宗凯,等.临汾区块煤系地层泥页岩防塌钻井液技术研究[J].*非常规油气*,2023,10(2):107-114.
WANG Wei, HAN Jinliang, QI Zongkai, et al. Study on anti sloughing drilling fluid technology of shale in coal measure strata in Linfen Block[J]. *Unconventional Oil & Gas*, 2023, 10(2):107-114.
- [12] 刘远亮,乌效鸣,朱永宜,等.松科1井长裸眼防塌钻井液技术[J].*石油钻采工艺*,2009,31(4):53-56.
LIU Yuanliang, WU Xiaoming, ZHU Yongyi, et al. Anti-sloughing drilling fluid technology for bare hole in CCSD-SK1 [J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2009, 31(4): 53-56.
- [13] 董海燕,高永进,白忠凯,等.塔里木盆地柯坪地区新苏地1井冲洗液护壁堵漏工艺[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*,2019,46(8):47-55.
DONG Haiyan, GAO Yongjin, BAI Zhongkai, et al. Wall protection and leak-plugging with drilling fluid for Well Xinsu-di-1 in Keping Area of Tarim Basin[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019,46(8):47-55.
- [14] 李冰乐,王胜,袁长金,等.复杂山区水平绳索取心定向钻进聚合醇绿色防塌冲洗液研究[J].*钻探工程*,2023,50(6):85-91.
LI Bingle, WANG Sheng, YUAN Changjin, et al. Research on polymer alcohol anti-collapse flushing fluid for directional drilling of horizontal wire-line coring in complex mountain areas [J]. *Drilling Engineering*, 2023,50(6):85-91.
- [15] 麻朗朗,陶士先,邹志飞.白银市土红湾-李家沟煤炭资源详查23-2孔冲洗液技术[J].*钻探工程*,2023,50(5):81-87.
MA Langlang, TAO Shixian, ZOU Zhifei. Drilling fluid technology for Hole 23-2, detailed investigation of coal resources in Tuhongwan-Lijiagou, Baiyin City [J]. *Drilling Engineering*, 2023,50(5):81-87.
- [16] 龚美鑫,汪成勇,陈擎,等.柴达木盆地石圈滩地区铀矿钻探冲洗液研究与应用[J].*钻探工程*,2023,50(4):57-63.
GONG Meixin, WANG Chengyong, CHEN Qing, et al. Research and application of flushing fluid for Uranium deposits drilling in Shiquantan area, Qaidam Basin [J]. *Drilling Engineering*, 2023,50(4):57-63.
- [17] 郑洪涛.嵩县某金矿区复杂地层强抑制防塌泥浆技术[J].*钻探工程*,2022,49(4):81-86.
ZHENG Hongtao. Strong inhibitive drilling fluid technology for complex formation in a gold mining area in Song County [J]. *Drilling Engineering*, 2022,49(4):81-86.

(编辑 王文)