

PVC-U套管在小口径科学实验孔中的应用探讨

何玉云¹, 訾兵¹, 王发民², 曹学斌¹, 何林¹

(1. 宁夏核地质调查院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏矿产地质调查院, 宁夏银川 750021)

摘要: 根据地质需要, 采用XY-6B型钻机在内蒙古棋盘井煤矿区实施了一口设计深度535 m的科学实验孔, 终孔孔深540 m, 终孔口径133 mm, 完钻后需进行地球物理测井工作。为了减小钢套管对入井仪器信号屏蔽, 需要按地质设计下入 $\varnothing 90$ mm PVC-U套管, 下PVC-U套管前做了大量准备工作, 主要从孔径参数设计、PVC-U套管连接改造、采用导正锥头防止PVC-U套管下入过程发生磨损卡钻及加工滤水管平衡冲洗液浮力等方面入手, 顺利完成了该科学实验孔的PVC-U套管下管工作, 确保了一系列孔内科学实验工作的顺利完成。

关键词: 科学实验孔; 地球物理测井; PVC-U套管; 导正锥头; 滤水管; 套管受力分析

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)01-0055-06

Application of PVC-U casing in a small diameter scientific experimental drilling hole

HE Yuyun¹, ZI Bing¹, WANG Famin², CAO Xuebin¹, HE Lin¹

(1. Ningxia Nuclear Geological Survey Institute, Yinchuan Ningxia 750021, China;

2. Ningxia Institute of Mineral Geology, Yinchuan Ningxia 750021, China)

Abstract: According to the geological needs, XY-6B drill was used to drill a scientific experimental hole with design depth of 535m, and completion depth 540m at $\varnothing 133$ mm in the Qipanjing coal mine area, Inner Mongolia. After drilling, geophysical exploration was needed. In order to reduce the shielding of the steel casing to the instrument signal in the drilling hole, PVC-U casing of $\varnothing 90$ mm diameter was run into the drilling hole. A lot of preparatory work was done before setting the PVC-U casing, mainly including the diameter parameter design of the drilling hole, modification of PVC-U casing connection mode, use of the guide cone head to prevent the wear and jamming of PVC-U casing during running, processing the screen pipe to balance the buoyancy of drilling mud. As a result, the PVC-U casing was successfully run into the scientific experimental drilling hole, ensuring the smooth completion of a series of scientific experiments.

Key words: scientific experimental hole; geophysical logging; PVC-U casing; guide cone head; screen pipe; stress analysis of casing

0 引言

近年来, 随着地质勘查技术手段的发展, 物探测井技术方法在地质勘探领域得到了广泛的应用^[1]。以往在钻遇复杂地层时, 为了完成钻探施工任务, 需要下钢套管对孔壁进行保护^[2], 但是, 下入钢套管对后期物探测井的测量信号有一定的屏蔽

作用^[3], 不利于物探仪器在孔内正常工作, 因此, 需要采用一些对物探仪器信号屏蔽较弱的材料作为钢材套管的替代材料。PVC(聚氯乙烯)类材质的套管在这方面具有一定的适应性^[4-6], 得到了很好的应用。PVC-U(硬聚氯乙烯)是以聚氯乙烯树脂为主要原料, 加入适量的稳定剂、润滑剂、填充剂、增

收稿日期: 2022-04-26; 修回日期: 2022-08-23 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.01.009

作者简介: 何玉云, 男, 回族, 1985年生, 工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事地质岩心钻探及冲洗液等方面的研究及管理工作, 宁夏银川市西夏区贺兰山西路718号, heyuyun2010@126.com。

引用格式: 何玉云, 訾兵, 王发民, 等. PVC-U套管在小口径科学实验孔中的应用探讨[J]. 钻探工程, 2023, 50(1): 55-60.

HE Yuyun, ZI Bing, WANG Famin, et al. Application of PVC-U casing in a small diameter scientific experimental drilling hole[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(1): 55-60.

色剂等加工而成。其物化性能优良,耐化学腐蚀,流体阻力小,耐老化,使用寿命长,应用成本低。与常规钢材质地质套管相比,PVC-U类材质的套管抗拉强度和抗剪强度较低^[7-8],抗冲击强度低,在地质钻孔浅孔使用时风险较低,但在中深孔使用时,对PVC-U套管的材质和下管工艺要求较高^[9-11],需要做好前期准备工作。本文就内蒙古棋盘井煤矿区一口中深孔的PVC-U套管的下管工艺进行探讨。

1 工程概况

1.1 工程基本要求

该工程位于内蒙古自治区鄂尔多斯市鄂托克旗棋盘井镇,目的是对内蒙古棋盘井镇某矿区地质异常体进行探查,查清陷落柱或断层、构造发育及水文地质情况。布置一眼钻孔(直孔),设计深度535 m,覆盖层及基岩风化层为钢套管,进入基岩后为裸孔^[12],按照地质设计要求,终孔后全孔下入内径 ϕ 70 mm的PVC-U套管,PVC-U套管下入孔内设计深度后要保持完整、不变形、不破损且能保证瞬变仪器探管(直径38 mm、长度4 m)安全顺利进出钻孔为原则。孔底不能有沉渣,避免PVC-U套管和瞬变仪器探管^[13]不能到达终孔深度。

1.2 地层岩性

地层岩性见表1。根据地质设计及地层特点,加之钻孔布置于地质陷落柱的中心位置,地层岩性整体比较破碎。

表1 地层岩性特点

Table 1 Formation lithology

序号	深度/m	厚度/m	岩性特征
1	0~10	10	砂砾石层为主,砂土及冲洪积砂砾石
2	10~230	220	灰黄色砂砾岩,夹紫红色砂质泥岩团块,砾径大小不等,分选差,成半胶结或松散状,与下伏地层呈不整合接触
3	230~330	100	灰绿色粗、细粒砂岩与杂色砂质泥岩互层
4	330~440	110	深灰色砂质泥岩及泥岩,灰白色粗、中粒砂岩
5	440~515	75	深灰色砂质泥岩及泥岩,含煤3~6层
6	515~535	20	灰岩

1.3 施工难点和注意事项

PVC-U套管在小口径中深孔中使用较少(常规采用钢材质地质套管),主要因为安放PVC-U管存在多方面风险隐患:一是PVC-U材质密度低(约 1.5 g/cm^3),钻孔冲洗液产生的浮力致使PVC-U套管不易下沉安放到位;二是PVC-U套管抗拉强度低,如果地层缩径或垂直度偏差过大,安放过程中受阻导致下放不到位,上拉提管容易断裂,同时如果接头连接不牢固容易发生脱节造成孔内事故;三是PVC-U套管抗剪强度低,安放过程如果碰撞冲击过大,可能造成管壁破损而导致钻孔报废。

该矿区地层以砾岩为主,夹杂砂岩和砂质泥岩,整体上比较破碎,不利于钻孔孔壁稳定,对顺利下入PVC-U套管带来了一定的难度。

为降低以上风险及隐患,开工前研究分析风险隐患产生的原因,针对每个工序制定防范措施和工艺方法,保证PVC-U套管一次安放到位。

2 施工过程及技术措施

2.1 钻进方法及钻孔结构

该钻孔采用XY-6B型立轴式钻机施工,配备BW260/7型泥浆泵,开钻时间2020年6月15日,完钻时间7月18日。一开采用 ϕ 60 mm地质钻杆+ ϕ 89 mm单管取心钻具+ ϕ 113 mm复合片取心钻头钻进至15 m,提钻换 ϕ 190 mm扩孔钻头^[14-15]扩孔至15 m,下 ϕ 146 mm钢套管;二开换 ϕ 60 mm地质钻杆+ ϕ 89 mm单管取心钻具+ ϕ 113 mm复合片取心钻头钻进至设计深度,继续钻进5 m作为砂袋,防止掉块和岩粉沉降影响套管不能下入孔底的现象发生。由于受PVC-U管材质所限,加之孔深超过500 m,为了防止下套管过程中发生遇阻等复杂情况,确保一次下放到位,因此,下入外径90 mm PVC-U套管之前采用 ϕ 133 mm扩孔钻头进行了扩孔,终孔口径为133 mm,具体钻孔结构见图1。

2.2 钻进工艺

为确保孔壁稳定和施工过程顺利,钻进冲洗液采用北京探矿工程研究所研制的成膜冲洗液体系,该体系护壁效果良好,有效防止了钻孔坍塌掉块,保证钻孔孔壁稳定;同时,合理控制钻进参数,确保钻孔百米垂直度偏差 $<1^\circ$,降低下管过程中套管壁与孔壁之间的摩擦阻力和碰撞冲击;终孔后更换冲洗液,调整冲洗液参数,含砂量 $<3\%$,冲洗液密度

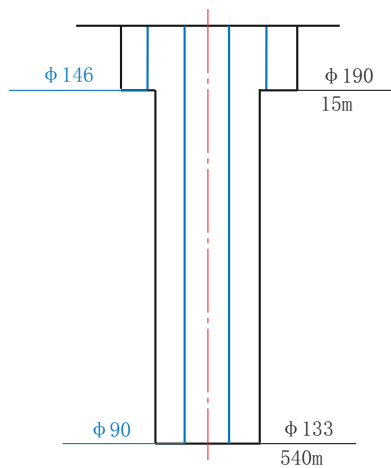


图1 钻孔结构示意图

Fig.1 Borehole structure

1.04 g/cm³, 粘度 22~24 s, 以降低孔内冲洗液对 PVC-U 套管的浮力和孔底沉渣厚度。

2.3 钻孔直径探测

采用 $\Phi 113$ mm 复合片取心钻头钻进至设计深度后, 为确保下套管顺利, 采用 $\Phi 133$ mm 扩孔钻头进行了全孔扩孔, 采用物探测井测量钻孔直径和垂直度, 测井结果显示, 钻孔倾角为 3.8°, 钻孔断面直径 133~165 mm。钻孔孔径曲线见图 2。

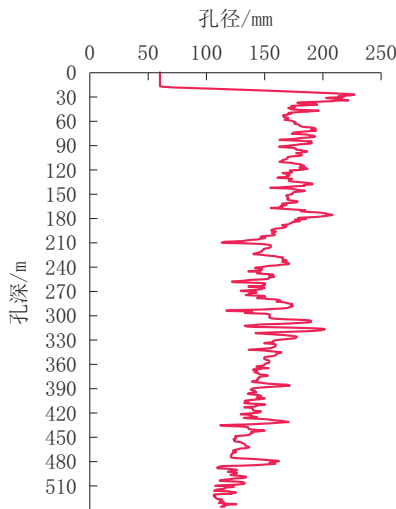


图2 钻孔孔径曲线

Fig.2 Caliper logging curve of the hole

3 PVC-U 套管技术改造及下管工艺

3.1 PVC-U 套管技术参数

按照地质设计要求, 选用的 PVC-U 套管需能承受 1.6 MPa 的公称压力, 且内径 ≤ 70 mm, 根据调

研, 按照《给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材》(GB/T 10002.1—2006) 国家标准, 外径 90 mm 的 PVC-U 管内径为 76.6 mm, 既可以满足内径的要求也满足承压要求, 最终选用外径 90 mm 的 PVC-U 管作为该钻孔的套管。PVC-U 管主要技术指标: 外径 90 mm, 壁厚 6.7 mm, 公称压力 1.6 MPa, 弯曲度 $\leq 1\%$, 且内外表面光滑、无明显划伤、凹陷及可见杂质, 不透光, 切割断面平整。

3.2 PVC-U 套管技术改造

有些地下水监测井和水井已经开始使用 PVC-U 井管作为成井管材, 由于地下水监测井和水井的孔径较大, PVC-U 套管选择余地较大, 更容易满足施工需要。而地质岩心钻探多为小口径钻进, 终孔口径较小, 一般采用钢管作为套管, PVC-U 套管的施工经验较少。加之该钻孔布置在地质陷落柱上, 钻遇地层比较破碎, 容易出现掉块和卡钻现象, 因此, 对顺利完成 535 m PVC-U 套管下管带来了一定的难度。由于本次施工采用的是连接类型为 R 型的 PVC-U 管, 其主要用于建筑垂直给水或地面平铺给水, 使用时, R 型接头凹槽部位会安装橡胶圈, 达到连接固定效果, 另外, 垂直给水安装时 PVC-U 管是自下而上安装, 并且在墙壁上会有固定。该连接方式不适合钻孔内使用, 故需进行一定的技术改造。

原有 PVC-U 套管管体外径 90 mm, 接头位置隆起部位最大外径 110 mm, 理论环孔间隙 11.5 mm, 不利于下入孔径 133 mm 的钻孔, 由于地层破碎, 继续扩孔势必增加施工难度和风险, 因此对 PVC-U 套管接头进行了改进。具体做法是用切割机锯掉 R 型接头, 改用内径 90 mm、壁厚 6 mm、长度 100 mm 的管箍将套管对接, 再用粗砂纸对切掉 R 型接头的 PVC-U 管两端进行打磨处理, 以增加摩擦阻力, 并涂抹 PVC-U 专用胶, 对接后在接箍段 1/4 位置均布 4 个 $\Phi 5$ mm 螺钉眼孔, 上下两层共 8 个, 连接成长度 14 m 的立根, 在下入孔内时在孔口处用 12 mm 长的 M6 平头螺丝固定, 提高 PVC-U 套管连接部位抗拉强度和扭矩并保证连接垂直度。R 型 PVC-U 套管加工改进前后实物见图 3。

改进后的 PVC-U 套管接箍外径 102 mm, 钻孔孔径 133 mm, 理论环空间隙 15.5 mm, 加之钻进过程中孔壁受到冲洗液冲刷等因素的影响, 实际孔径大于理论孔径, 测井结果显示, 由于地层破碎, 部分孔段孔径明显增大, 因此改进后的 PVC-U 套管能

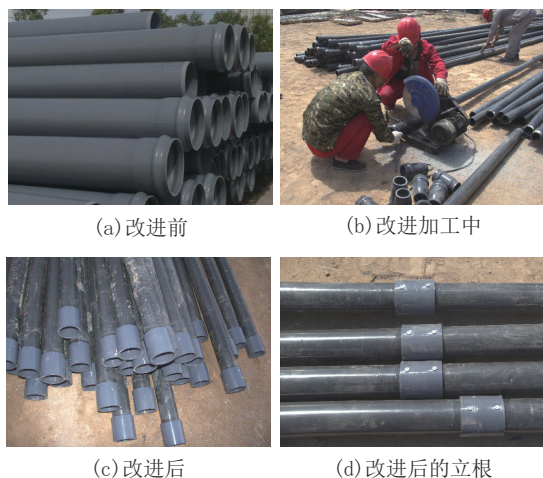


图3 R型PVC-U套管改进前后实物

Fig.3 “R” PVC-U casing before and after improvement

够满足孔径方面的技术要求。

3.3 下管工艺

为了确保PVC-U套管下管顺利,既要考虑钻孔孔径是否满足下管要求,又要考虑PVC-U套管连接是否牢靠,同时要确保下管全过程PVC-U套管不被破坏,另外还要考虑冲洗液产生的浮力对下入PVC-U套管的影响。满足孔径和连接方面的问题已经解决,保护PVC-U套管下入过程不被破坏和平衡冲洗液浮力是后续需要考虑的主要问题。

(1)在裸眼孔段下入PVC-U套管,由于受孔壁的摩擦,PVC-U套管很容易被撞击或挤压,有可能出现“卡钻”现象,不能确保PVC-U套管完好无损的下入孔底,一旦出现上述情况,需要重新起拔PVC-U套管,起拔后的套管不能二次使用,势必造成成本的增加,起拔过程受阻也可能造成PVC-U套管断裂导致钻孔报废,为此,技术人员在PVC-U套管前段加工了一个长度50 cm,最大外径90 mm,最小外径60 mm,带有锥度的尼龙导向锥头(见图4),以减少下入PVC-U套管过程中孔壁对套管的刮擦或卡顿。

(2)根据出厂参数,PVC-U套管的质量为2.734 kg/m,外径90 mm,壁厚6.7 mm,内径76.6 mm,由此可以计算出PVC-U套管材料密度为:

$$\rho_s = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$v = \frac{\pi}{4} \times [d^2 - (d - \delta)^2] \quad (2)$$

式中: ρ_s ——PVC-U套管材料密度, g/cm³; m ——



图4 尼龙导正锥头

Fig.4 Nylon guide cone head

PVC-U套管米重,取2.734 kg/m; v ——每米PVC-U套管的材料体积,m³; d ——PVC-U套管直径,取0.09 m; δ ——PVC-U套管壁厚,取0.0067 m。

由上述计算可知,PVC-U套管材料密度为1.56 g/cm³,终孔后孔内冲洗液密度1.04 g/cm³,PVC-U套管材料密度大于冲洗液密度,有利于套管下放。

同时,为了平衡冲洗液产生的浮力,加工了一根9 m长的“滤水管”(见图5),每隔15 cm对向打 \varnothing 10 mm小孔,保证PVC-U套管下放过程中冲洗液的内外连通,以减少冲洗液对套管产生的浮力。



图5 滤水管

Fig.5 Screen pipe

(3)在下入PVC-U套管前对冲洗液参数进行了调整^[16],此次钻进采用的是北京探矿工程研究所研制的成膜冲洗液体系^[17],设计密度1.04~1.07 g/cm³,失水量6~8 mL/30min,该体系性能优良,可以有效保护破碎地层的岩心和孔壁,钻进至540 m时,测得循环时孔口冲洗液密度1.15 g/cm³,重新配置2.0 m³密度1.04 g/cm³冲洗液进行循环换浆,循环2 h后测得孔口冲洗液密度为1.04 g/cm³。

(4)下管前仔细检查每根PVC-U管的质量,有破损或裂缝的严禁下入孔内。下放过程对准钻孔中心,轻拉慢放,以管材自重下沉,如果下放遇阻轻轻回转PVC-U套管,严禁强行下压。

3.4 套管柱受力情况分析

PVC-U套管柱在孔内的受力主要来自套管自重产生的轴向拉力,且轴向拉力在套管柱上自下而上逐渐长大,在孔口处套管所承受的轴向拉力最大,是危险截面,其拉力用 F_0 表示:

$$F_0 = \sum qL \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: q ——套管单位长度的名义重力,取26.79 N/m; L ——套管长度,取535 m; F_0 ——井口处套管的轴向拉力,经计算得14.33 kN。

实际上,套管下入孔内是处在冲洗液环境中,套管要受到冲洗液的浮力,各处的受力要比在空气中的拉力小。

因此,考虑浮力时的拉力 F_m 为:

$$F_m = \sum qL \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \times 10^{-3} \quad (4)$$

式中: ρ_d ——冲洗液密度,取1.04 g/cm³; ρ_s ——PVC-U套管材料密度,取1.56 g/cm³。

通过计算,套管柱在冲洗液环境下,孔口处套管承受的最大轴向拉力为4.78 kN。

为了检验改进后的连接方式是否满足套管柱孔口位置承受的最大轴向拉力,在将PVC-U套管下入孔内之前做了现场拉力试验,将两根改进后的PVC-U套管按设计方案连接,在钻机上进行了轴向拉力试验。具体方式是:将连接后的两根PVC-U套管一端固定在孔口处,一端用夹板固定后用钻机卷扬机慢慢提升,钻机拉力表指针达到10 kN时停止拉升,保持2 h完好无损。由此可见,经过改进后的套管,材质及连接方式能避免最大轴向拉力引起的疲劳破坏。

4 应用效果探讨

根据设计方案,在孔口处用夹板固定PVC-U套管,涂抹PVC-U专用胶,连接后用12 mm平头螺丝固定,每次连接固定后等待15 min,确保PVC-U专用胶粘结牢靠,再依次下入孔内,下放过程中,完全靠套管自重产生的重力下降,由于冲洗液浮力的影响,套管下降比较缓慢,因此,整个套管柱受拉力引起的破坏程度大大降低,PVC-U套管下管方式及连接固定见图6。

由于此次采用的是长度7 m的PVC-U套管,为了节约下管时间,事先在地面进行了对接,每两根单根对接在一起组成长度14 m的立根,钻塔二层平台



图6 PVC-U套管下管方式及连接固定
Fig.6 Running-in-hole mode and connection of PVC-U casing

高度13.5 m,比较便于人员操作,整个下管过程耗时10 h,下入深度535 m,下管过程顺利,没有出现遇阻和卡钻等复杂情况。完成PVC-U套管下管工作后,在孔口用夹板固定PVC-U套管,以防止晃动,配合科研人员开展了一系列孔内科学实验。完成孔内科学试验后,为了保证矿区采矿安全,防止发生透水等事故,根据地质设计要求,对PVC-U套管进行了起拔,具体做法是将夹板固定在接箍处,用卷扬机慢慢拉升,边起拔边拆卸,整个起拔过程顺利,起拔后按要求对钻孔进行了水泥封孔处理。

5 结论

(1)采用PVC-U管作为科学实验孔的套管,物探仪器在孔内受到的干扰较小,出入安全,具有很好的应用前景。

(2)相比钢套管而言,PVC-U套管抗外挤强度、屈服强度和抗拉强度等都比较弱,在小口径中深孔使用时,一定要有严格的设计方案。对接头改进并进行抗拉强度验证,下管过程中采用尼龙导向锥头配合“滤水管”的方式,可顺利完成小口径深孔PVC-U套管的下管工作。

(3)给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材可以作为

科学实验钻孔进行孔内实验的保护套管,能否作为钻进时保护孔壁和封堵漏失地层,有待进一步验证。

参考文献(References):

- [1] 谭春亮,宋殿兰,岳永东,等.钻探-物探测井技术在覆盖区填图中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):44-47.
TAN Chunliang, SONG Dianlan, YUE Yongdong, et al. Application research on drilling-geophysical logging for geological mapping of overburden area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):44-47.
- [2] 房勇,钱锋.地质勘探套管钻进技术专用套管的研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):10-14.
FANG Yong, QIAN Feng. Development and application of the special casing for geological prospecting casing drilling technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(8):10-14.
- [3] 邵春,付信信,褚志伟.基于ANSYS的套管对EM-MWD信号传输的影响分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):6-8.
SHAO Chun, FU Xinxin, CHU Zhiwei. Analysis on the influence rule of casing on EM-MWD signal transmission based on ANSYS[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(12):6-8.
- [4] 宋焯炜,董泽训,李宽,等.水泥环参数和套管形状参数对套管强度的影响[J].钻探工程,2021,48(2):70-77.
SONG Yewei, DONG Zexun, LI Kuan, et al. The influencing of cement sheath parameters and casing shape parameters on casing strength[J]. Drilling Engineering, 2021,48(2):70-77.
- [5] 闵江本,向蓉,陈博.长庆油田小套管二次固井工艺技术研究与应用[J].钻探工程,2021,48(8):26-32.
MIN Jiangben, XIANG Rong, CHEN Bo. Research and application of secondary cementing technology for slim casing in Changqing Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2021,48(8):26-32.
- [6] 曹建明,宋斌,刘发义,等.松软煤层瓦斯抽采孔PVC管护壁技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):1-4.
CAO Jianming, SONG Bin, LIU Fayi, et al. Application study on wall protection technology with PVC pipe in gas drainage hole in soft seams[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(7):1-4.
- [7] 段会军,赵大军,黄晟辉,等.UPVC井管在云南抗旱供水井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):34-36.
DUAN Huijun, ZHAO Dajun, HUANG Shenghui, et al. Application of UPVC well pipe for drought relief in Yunnan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(5):34-36.
- [8] 冉德发,李炳平,解伟,等.PVC-U携砾过滤器滤料厚度与阻砂性的相关关系试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(4):7-9.
RAN Defa, LI Bingping, XIE Wei, et al. Experimental study on correlation between filter material thickness of PVC-U gravel-filled filter and the sand-resistance[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(4):7-9.
- [9] 何乱水,杜文奎,孙汝军.松散卵石层高压旋喷中的PVC管护壁问题[J].探矿工程,2002(1):26-27.
HE Luanshui, DU Wenkui, SUN Rujun. Borehole wall protection with PVC pipes for jet grouting in loose gravel ground[J]. Exploration Engineering, 2002(1):26-27.
- [10] 卢予北.PVC-U塑料管在浅层地热能地下水资源开发工程中应用与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):1-6.
LU Yubei. Application and research on PVC-U plastic pipe for exploration of shallow geothermal energy and groundwater resource[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(11):1-6.
- [11] 白刚.煤矿井下定向钻孔超长套管下放技术[J].钻探工程,2021,48(6):57-62.
BAI Gang. RIH of over-long casing in underground directional boreholes in coal mines[J]. Drilling Engineering, 2021,48(6):57-62.
- [12] 易亚东,余中岳,高兴宝.下套管失返性漏失正注反挤置换法工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(5):27-31.
YI Yadong, YU Zhongyue, GAO Xingbao. Normal injection and reverse squeeze displacement process for lost return leakage in RIH of casing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(5):27-31.
- [13] 邱彦军.大口径工程井井身结构和成孔方法探讨[J].钻探工程,2021,48(S1):168-172.
QIU Yanjun. Borehole structure and drilling method for the large diameter borehole[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):168-172.
- [14] 何玉云,王发民.保径导向扩孔钻头的设计及其工程应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):50-53.
HE Yuyun, WANG Famin. Design and field use of the gauge-protected pilot reaming bit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):50-53.
- [15] 常思,刘宝昌,韩哲,等.热-机碎岩孕镶金刚石钻头的设计及试验研究[J].钻探工程,2022,49(2):77-84.
CHANG Si, LIU Baochang, HAN Zhe, et al. Design and test of the impregnated diamond drill bit assisted by frictional heat[J]. Drilling Engineering, 2022,49(2):77-84.
- [16] 庞少聪,安玉秀,马京缘.近十年国内钻井液降粘剂研究进展[J].钻探工程,2022,49(1):96-103.
PANG Shaocong, AN Yuxiu, MA Jingyuan. Research progress of domestic drilling fluid viscosity reducer in recent ten years[J]. Drilling Engineering, 2022,49(1):96-103.
- [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.

(编辑 荐华)