

纳岭沟铀矿床地浸工艺孔高效快速施工 工艺研究

闫立鹏

(核工业二〇八大队, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 纳岭沟铀矿床地浸工艺孔(一次成孔)偏斜要求高、施工工序多,导致钻孔施工难度大、周期长,全工序施工周期6~10 d,平均7~8 d,裸眼施工时间4~8 d,平均5~6 d。为了高效快速施工地浸工艺孔,节约全流程钻进时间,本文从优化钻具级配、泥浆配方,优选螺杆钻具和扶正器,使用随钻测斜仪,设计固控系统、下管辅助设备,采用坐封器防止泥浆回落等多方面进行高效快速施工工艺研究,通过试验研究,实现了裸眼成孔时间短、成孔质量高、钻具损伤小和钻头消耗少的应用效果。

关键词: 地浸工艺孔; 螺杆钻具; 随钻测斜仪; 固控系统; 坐封器; 高效快速

中图分类号: P634; TD853 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)S1-0363-06

Research on the efficient and rapid construction technology of in-situ leaching wells for the Nalinggou uranium deposit

YAN Lipeng

(Geologic Party No.208, CNNC, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: The deviation requirements for the in-situ leaching process holes in the Nalinggou uranium deposit are high, and there are many construction procedures, which make the drilling construction difficult and the construction period long. The construction period for the entire process of the in-situ leaching process holes (one-time hole formation) in the Nalinggou uranium deposit is 6 to 10 days, with an average of 7 to 8 days. The open-hole construction time is 4 to 8 days, with an average of 5 to 6 days. In order to efficiently and rapidly construct the in-situ leaching process holes and save the entire drilling process time, this paper conducts research on the efficient and rapid construction process from aspects such as drilling tools gradation, mud formulation, positive displacement motors and centralizers. Introduce drilling inclinometers, design of solid control systems, design of pipe lowering auxiliary equipments, and design of setting devices to prevent mud from falling back. Through research and experiments, the effects of short open-hole formation time, high hole formation quality, small damage to the drilling tool and low consumption of the drill bit have been achieved.

Key words: in-situ leaching process hole; positive displacement motor; measurement while drilling inclinometer; solid control system; setting seal; high efficiency and rapidity

1 纳岭沟铀矿床地层概况

1.1 区域地层

纳岭沟铀矿床内钻孔揭露的层位有下白垩统

(K_1)、中侏罗统直罗组(J_2z)、延安组(J_2y),如图1所示。本项目开展的各项工作主要针对目的层位直罗组下段(J_2z^1)进行。

收稿日期:2025-05-29; 修回日期:2025-07-13 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.059

基金项目:中国核工业地质局项目“铀矿勘查调度指挥系统研发与应用”(编号:202446-9)

作者简介:闫立鹏,男,汉族,1989年生,工程师,勘查技术与工程专业,从事铀矿钻探工作,内蒙古包头市阿尔丁大街九号街坊,353863477@qq.com。

引用格式:闫立鹏.纳岭沟铀矿床地浸工艺孔高效快速施工工艺研究[J].钻探工程,2025,52(S1):363-368.

YAN Lipeng. Research on the efficient and rapid construction technology of in-situ leaching wells for the Nalinggou uranium deposit[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):363-368.

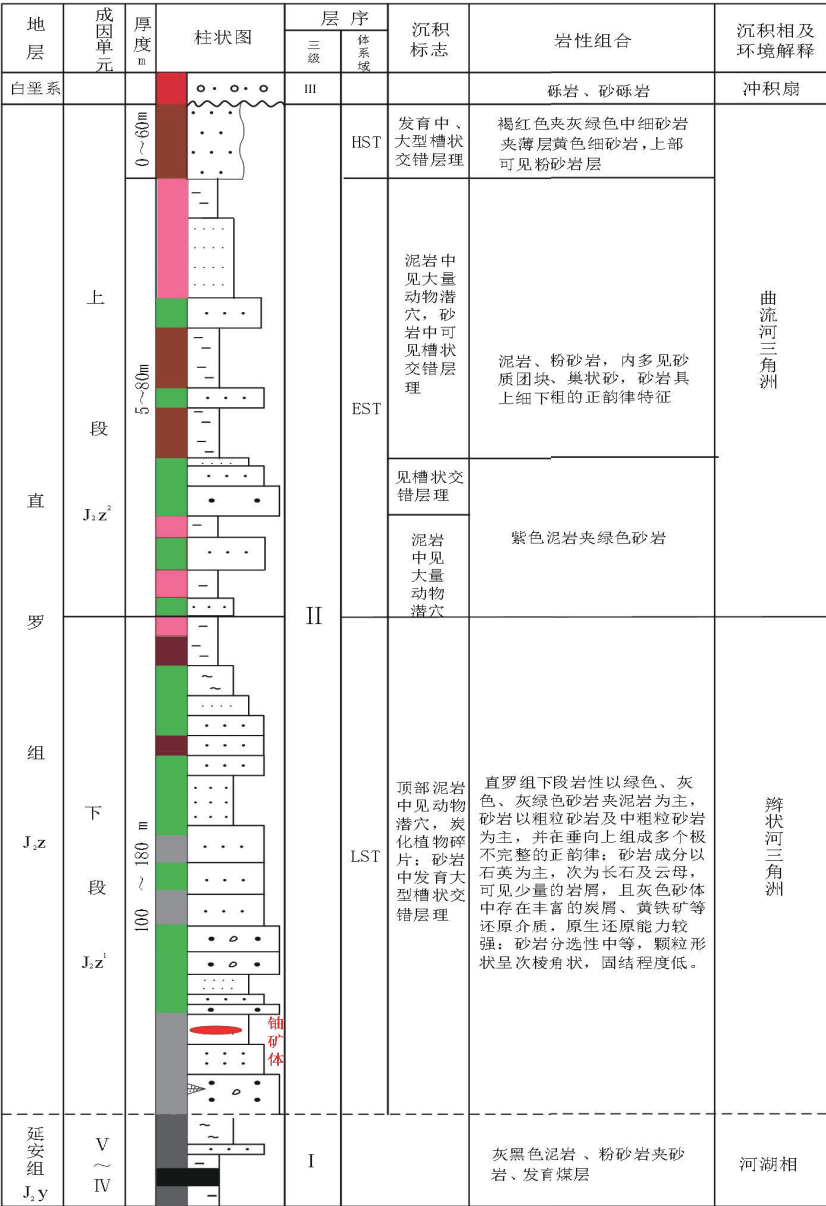


图1 纳岭沟铀矿床直罗组地层结构

1.2 区域岩石主要物理力学性质及可钻性

- (1)工作区覆盖层主要以冲积黄土为主,岩石松软,钻进容易,可钻性等级1~2级。
- (2)底部以砂砾岩为主,岩石可钻性等级一般为4~7级,少量砾岩可钻性等级7~10级。
- (3)白垩系下统有砾岩、砂砾岩、砂岩、粉质砂岩、粉质泥岩、泥岩,可钻性等级6~8级,由于大部分砂岩、砂砾岩、砾岩地层不含水,钻进时有些层位易发生漏水现象。
- (4)侏罗系地层是鄂尔多斯盆地内的主要沉积地层之一,主要是中粗砂岩、细砂岩夹泥岩、碳质泥

岩和多层煤层等。大部分砂岩为泥质胶结,透水性好,属于软地层,在机械作用下易破碎,研磨性中等,可钻性等级为4~5级。小部分砂岩钙质胶结,致密、透水性差,研磨性强,可钻等级性6~8级。泥岩、碳质泥岩致密不具透水性,塑性强,研磨性弱,可钻性等级5~6级。煤层硬度小,局部松散,研磨性弱,裂隙发育易漏水,可钻性等级4级。

2 纳岭沟铀矿床地浸工艺孔施工概况

2.1 施工工艺

采用Φ269 mm钻头钻进至设计矿层,裸孔综合

测井后,先下入 $\varnothing 190\text{ mm}\times 12.88\text{ mm}$ PVC 井管^[1],最后逆向注浆封孔,钻孔结构如图 2 所示。

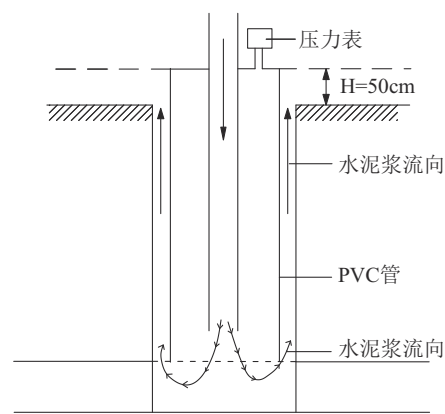


图2 PVC管反向注浆钻孔结构

2.2 施工面临的问题

(1)裸眼钻孔易偏斜;(2)卵砾石和泥岩地层钻进效率低;(3)钻具易粘扣;(4)泥浆固相含量高,使用单联振动筛跑浆严重,使用除砂器固控效果不理想;(5)人工下管时间长,需要辅助设备,辅助工器具不适合;(6)逆向注浆后容易发生水泥浆回落现象;(7)下管、注浆、洗井等环节操作不规范。

3 快速施工工艺研究

3.1 裸眼钻进

3.1.1 螺杆钻具与设备选择

根据钻孔孔深、孔径,选用 $\varnothing 172\text{ mm}$ 螺杆(参数见表 1),最佳流量为 $28\sim 31\text{ L/s}$,6 级螺杆工作压降为 4.8 MPa ,加上钻头压力损耗,确定泥浆泵额定压力不低于 7 MPa 。使用配备 355 kW 变频电机和 400 kW 启动柜的 F-800 型泥浆泵进行施工,钻机电机功率为 75 kW ,再加上其他辅助设备等用电功率,确定配备 500 kW 柴油发电机。

(1)落地式水源钻机机组设置了猫头轮,使用 B 型钳(图 3)拧卸钻头、螺杆、定向接头、无磁等钻具,B 型钳可提供扭矩大于 $100\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

(2)拖车式水源钻机机组没有猫头轮,无法使用 B 型钳,经调研,卸开螺杆与钻头、定向接头与无



图3 B钳图片

磁钻铤等未铣方钻具需要提供大于 $100\text{ kN}\cdot\text{m}$ 的力矩,因此选用 $200\text{ kN}\cdot\text{m}$ 的液压链钳(见图 4)。



图4 液压链钳

(3)螺杆施工过程中配合 MWD 脉冲随钻测斜仪可以随钻测斜、纠斜,保证钻孔质量。MWD 无线随钻测斜仪用当地已知的重力场和地磁场做为基准定义方向参数,利用定向探管坐标系与基准的相互关系计算出工具面、井斜、方位等参数,并将传感器测得这些井下参数按照一定的方式进行编码,产生脉冲信号,传输给地表接收装备。随钻测斜仪装在无磁钻铤内,一般每施工 30 m 进行一次测斜,易斜段可以每 20 m 进行一次测斜。

3.1.2 螺杆钻具配套

3.1.2.1 扶正器规格选择与位置设计

考虑钻头规格为 $\varnothing 269\text{ mm}$,扶正器(见图 5)的扶正带有效外径一般比钻头外径小 $4\sim 10\text{ mm}$,所以扶正带规格 $\geq \varnothing 259\text{ mm}$ ^[2]。

根据选用扶正器的数量与现场情况,选用强降斜组合,确定扶正器位置为无磁钻铤上方。

表 1 $\varnothing 172\text{ mm}$ 螺杆(6 级)参数

头数	转速/ $(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	排量/ $(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$	工作压降/ MPa	最大压降/ MPa	输出扭矩/ $(\text{N}\cdot\text{m})$	最大扭矩/ $(\text{N}\cdot\text{m})$	输出功率/ kW
5:6	78~154	947~1894	4.8	6.78	6240	8814	142



图5 扶正器

岩层底端位置。



图6 刮刀扶正钻具实物

3.1.2.2 钻具组合

Ø269 mm 复合片钻头+变径接头+Ø172 mm 螺杆+变径接头+定向接头+Ø165 mm 无磁钻铤(内装随钻测斜仪)+变径接头+Ø263 mm 扶正器+Ø165 mm 钻铤+Ø114 mm 钻杆+Ø108 mm 主动钻杆。

3.1.2.3 泥浆配方及钻进参数

(1)第四系、白垩系上段及砾岩层要求泥浆有较高的黏度和密度,以及较小的失水量。

配方:1 m³清水、膨润土 15~20 kg、烧碱 2~4 kg。

性能指标:漏斗黏度 25~30 s,滤失量 15~20 mL/30 min,密度 1.2~1.3 g/cm³,pH 9~10。

(2)白垩系和侏罗系泥岩、煤层、粉砂岩配制泥浆时主要考虑降失水、抑制水化。

配方:1 m³清水、KHm 5~10 kg(或磺化沥青粉、褐煤树脂各 5~10 kg)、纯碱 1~3 kg。

性能指标:漏斗黏度 20~25 s,滤失量 8~12 mL/30 min,密度 1.15~1.25 g/cm³,pH 8~10^[3]。

(3)白垩系、侏罗系松散胶结弱的砂岩砂砾、含矿地层。

配方:1 m³清水、高黏防塌剂 2~3 kg、GSP 3~5 kg、烧碱 1~2 kg^[4]。

冲洗液性能:漏斗黏度 22~25 s,密度 1.10~1.15 g/cm³,pH 8~9,

钻进参数:转速 43 r/min、泵量 26~32 L/s、钻压 20~40 kN。

3.1.2.4 刮刀扶正钻具的使用

裸眼施工完成后,由于钻进速度较快,形成不规则螺旋孔壁,出现裸眼测井探管测不到底的情况,需要进行二次通孔。为了提高通孔质量,将螺旋孔壁变得光滑,保证探管顺利到底,项目部设计了刮刀扶正钻具(见图6),安放位置为钻杆穿过泥

3.2 钻头的设计

开孔未下螺杆钻具与随钻测斜仪时,为了快速施工到下仪器与螺杆位置,采用三翼PDC钻头提高钻进效率。钻至含较厚卵砾石地层的施工区域时,为了避免因含较厚卵砾石地层磨损钻头造成提钻,设计使用抗磨的五翼PDC复合片钻头。

3.3 固控系统的设计

泥浆含砂量高和密度大对螺杆钻具的定转子损伤比较大,也易出现螺杆砂堵等情况,同时对随钻测斜仪冲刷也比较严重。未使用螺杆时使用850型泥浆泵配小型除砂器,泥浆固控系统处理量为850 L/min,处理量偏小,且除砂效果不好;使用螺杆后用2台除砂器+单联振动筛组成的固控系统^[5](见图7),除砂效果并不理想。



图7 除砂器+单联振动筛泥浆固控系统示意

经过调研,最后采用双联振动筛(筛网目数≥120目)+离心机(处理能力≥40 m³/h)组成的固控系统^[6-7](见图8),可满足螺杆钻具需要的较大流量和较低的含砂量。双联振动筛也出现过跑浆情况,原因为:(1)地层中的砂岩、粉砂岩等岩屑颗粒与筛网孔眼尺寸相近,将筛网网孔糊住,处理措施是及时更换高目数筛网;(2)处理剂搅拌不充分,在地表

过渡罐中直接加入聚丙烯酰胺等易包被黏土的高分子聚合物和易黏附筛网的高黏纤维素类增黏剂,处理措施是充分搅拌处理剂,并严禁使用聚丙烯酰胺等容易包被和聚沉的处理剂和高黏纤维素。



图 8 双联振动筛+离心机泥浆固控系统

3.4 下管辅助工器具

(1)设计合页快速夹板、万向旋转吊具,见图 9。老式夹板拆卸繁琐,设计合页快速夹板使用更为快捷,同时设计万向旋转吊具可以防止老式钢丝绳吊拉夹板产生旋转。



图 9 合页快速夹板和万向旋转吊具

(2)下管辅助设备采用 6 个驱动滚子驱动套管,每一个滚子都是主动轮,气动马达控制扭矩和转速,气缸夹紧,气压可调,结构见图 10。

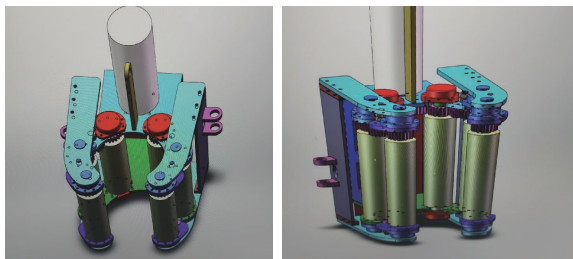


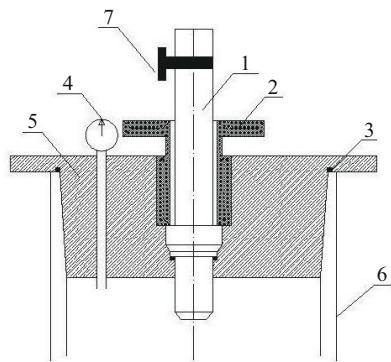
图 10 下管辅助设备

3.5 逆向注浆密封装置设计

逆向注浆工序中,若安装在井口的密封装置密封性能不好发生泄压,会造成水泥浆回灌,导致固井质量不合格,回落套管内的水泥浆(几米到几十

米)处理非常困难。回灌的水泥浆凝固时将注浆管一起固住,使注浆管提拉不动,造成钻孔报废。为了有效地阻止因泄压而产生的水泥浆回灌,保证固井质量,设计了孔口与孔底的密封装置。

孔口密封装置包括:阀门、压力表和排气阀等^[8](见图 11)。该装置与套管采用螺纹连接,中心有一带台阶的孔用来下放注浆插管,插管到位后采用锁紧压帽密封注浆管与坐封插座之间的空隙,达到井口密封效果。在底座上安装一压力表,用来监测注浆过程中孔内的压力变化。



1—注浆管;2—锁紧压帽;3—密封圈;4—压力表;5—坐封插座;6—套管头;7—球阀

图 11 孔口密封装置

孔底坐封密封装置(见图 12)主要是安装在套管末端的管帽,管帽内设置两道密封圈。逆向注浆时将带堵头的 $\varnothing 60$ mm 钻杆连接到注浆管最下端,缓慢下放注浆管,待 $\varnothing 60$ mm 钻杆开口处穿过套管末端管帽即可进行注浆。



图 12 孔底密封装置

4 效果评价

4.1 施工效果评价

截至目前推广孔底螺杆马达工艺钻机 8 台,施

工17.6钻月,累计完成钻孔110个,完成工作量超过47000 m。

(1)施工效率:纳岭沟铀矿床地浸工艺孔(一次成井)非螺杆钻进钻机裸眼施工时间在4~8 d,平均5~6 d,全工序施工时间6~10 d,平均7~8 d,使用螺杆钻具、新泥浆固控系统、辅助下管设备、注浆密封装置后,裸眼施工时间25~48 h,平均32~36 h,全工序施工时间3~5 d,平均4 d。裸眼钻进效率提升73.33%,全工序施工时间缩短42.86%。

(2)钻孔质量:使用螺杆钻具配套随钻测斜仪施工钻孔孔斜全部合格,没有因孔斜超标而报废钻孔;逆向注浆固井质量全部合格,仅有1个钻孔因候凝时间不够造成水泥浆回落5 m,已经处理完毕。

(3)钻具损伤:螺杆工艺施工110个钻孔,仅有2根钻铤出现粘扣情况。非螺杆工艺施工60个钻孔,出现28根钻铤粘扣,8根钻杆粘扣。使用螺杆钻具施工钻具损伤程度远低于未使用螺杆^[9-10]。

(4)钻头的消耗:在相同区域施工,采用螺杆工艺消耗钻头数为0.33只/孔,非螺杆工艺消耗钻头数为0.67只/孔,是螺杆工艺消耗钻头数的2倍。

4.2 经济性评价

机台通用支出为人员费、材料消耗、技术服务(搬迁、泥浆处理、拉水、测井)、设备折旧等,通用材料消耗分为:柴油、钻头、泥浆材料、水泥等;使用螺杆的机台专用材料消耗包括螺杆钻具、无磁钻铤等;专用技术服务主要为定向服务。

螺杆工艺施工由于配套设备的投入较大,专用材料和专用技术服务成本较高,根据项目部统计,使用螺杆机台月施工能力达到6.5孔,月进尺约2750 m(每孔按420 m计算),不使用螺杆工艺平均1680 m/钻月(4钻孔)。螺杆工艺施工米成本略高于普钻机台,但较普钻机台利润空间更大。

5 结论与建议

纳岭沟铀矿床地浸工艺孔(一次成井)采用螺

杆钻具钻进配合随钻测斜纠斜工艺和下管辅助设备、注浆密封装置,解决了裸眼钻孔易偏斜、卵砾石和泥岩地层钻进效率低、钻具易粘扣、泥浆除砂效果不好、人工下管时间久、逆向注浆水泥浆回落等难题。

使用螺杆等工艺比普通钻进工艺平均裸眼钻进效率提升73.33%,全工序施工时间缩短42.86%,钻具损伤程度降低,消耗钻头数也大幅度降低,虽然米成本略高于普钻机台,但是月度利润率大幅度提升。

纳岭沟铀矿床地浸工艺孔(一次成井)使用螺杆钻具配合随钻测斜纠斜仪器,大幅度提高裸眼和全工序钻进效率,显著提高钻孔成孔质量,下一步准备试验更大规格螺杆钻具进行施工。

参考文献:

- [1] 高士彬.关于铀矿地浸成井工艺研究[J].科技视界,2014(24):303.
- [2] 程洪文.定向钻进及随钻测量技术在充填孔施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):11-16.
- [3] 刘晓阳.“双护”泥浆在地浸砂岩铀矿钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(9):55-56.
- [4] 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.
- [5] 温得全,冯美贵,李斌,等.智能高效小型一体化泥浆不落地系统的应用[J].钻探工程,2022,49(4):49-54.
- [6] 温得全,王贵,邵盛元,等.铀矿绿色勘查泥浆随钻处理装备研究[J].钻探工程,2021,48(10):88-94.
- [7] 冯美贵,王健策,高元宏,等.地质岩芯钻探钻井液固相控制技术现场应用[J].西部探矿工程,2022,34(2):100-104.
- [8] 宗绪永,李柏军.通辽某铀矿区地浸工艺孔钻探施工质量保障措施[J].地质装备,2014(2):40-42,39.
- [9] 李柏军,童俊涛,王琳,等.铀矿地质钻探月效率影响因素分析及提升建议[J].钻探工程,2023,50(3):44-53.
- [10] 刘晓阳,李博.地浸砂岩型铀矿钻探现状及提高钻探效率的技术措施[J].钻探工程,2021,48(1):35-41.

(编辑 王跃伟)