

铀矿地质钻探月效率影响因素分析及提升建议

李柏军^{1,2}, 童俊涛³, 王琳⁴, 汪成勇⁵, 李军委⁶, 邹润¹

(1.核工业二四〇研究所,辽宁沈阳 110000; 2.中国核工业地质局,北京 100013;
3.核工业二九〇研究所,广东韶关 512000; 4.核工业二四三大队,内蒙古赤峰 024000;
5.核工业二〇三研究所,陕西西安 710000; 6.核工业二〇八大队,内蒙古包头 014010)

摘要:铀矿是我国重要的战略矿产资源,国家有关部委、中国地质调查局、中国核工业地质局,以及四川、山东、宁夏、广西等多省和自治区均明确在新一轮找矿突破战略行动中加大铀矿地质工作投入。本文结合中国核工业地质局2021—2022年生产中科研项目成果以及部分地勘单位良好的工艺实践,建立钻月效率计算模型,系统分析了铀矿地质钻探生产效率影响因素,并针对性地提出了钻探生产全过程的提质增效建议,包括提高纯钻速度、台月时间利用率、实钻率以及生产台时利用率等4方面的具体建议,为地勘钻探工艺进步和管理提升提供参考依据。

关键词:铀矿;地质钻探;钻月效率;纯钻速度

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:2096-9686(2023)03-0044-10

Analysis of influencing factors on the drilling efficiency of uranium geological drilling and suggestions for improvement

LI Baijun^{1,2}, TONG Juntao³, WANG Lin⁴, WANG Chengyong⁵, LI Junwei⁶, ZOU Run¹

(1. Research Institute No.240, CNNC, Shenyang Liaoning 110000, China;
2. China Nuclear Industry Geological Bureau, Beijing 100013, China;
3. Research Institute No.290, CNNC, Shaoguan Guangdong 512000, China;
4. Geological Party No.243, CNNC, Chifeng Inner Mongolia 024000, China;
5. Research Institute No.203, CNNC, Xi'an Shaanxi 710000, China;
6. Geological Party No.208, CNNC, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: Uranium is an important strategic mineral resource in China. The relevant ministries and commissions of the state, China Geological Survey, China Nuclear Industry Geology Bureau, and many provinces and autonomous regions such as Sichuan, Shandong, Ningxia and Guangxi have clearly increased their investment in uranium geology in the new round of strategic action of prospecting breakthrough. In this paper, combined with the achievements of scientific research projects in production implemented by China Nuclear Industry Geology Bureau in 2021—2022, and the good process practice of some geological exploration units, the influencing factors of geological exploration and drilling production efficiency are systematically analyzed by using the calculation model of meterage per drill working-month, and suggestions on improving quality and increasing efficiency in the whole process of drilling production are put forward, including four specific suggestions, such as improving the pure drilling speed, the utilization rate of table month time, the actual drilling rate and the utilization rate of production table time, focusing on process optimization and introduction of mature tools and instruments. The suggestions and methods for improving drilling efficiency put forward in this paper have been partially verified during the implementation of scientific research

收稿日期:2022-11-05; 修回日期:2023-03-21 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.03.006

基金项目:中国核工业地质局项目“地浸砂岩型铀矿钻探安全高效取心技术研究”(编号:2019-03-07-01)

第一作者:李柏军,男,汉族,1987年生,高级工程师,地质工程专业,硕士,主要从事钻探生产工艺研究与管理,北京市东城区和平里七区14号楼,303390464@qq.com。

引用格式: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.

LI Baijun, TONG Juntao, WANG Lin, et al. Analysis of influencing factors on the drilling efficiency of uranium geological drilling and suggestions for improvement[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3):44-53.

projects in production in recent two years, and some achievements have been made in reducing costs, improving quality and increasing efficiency, so it is necessary to further consolidate and explore. Finally, the paper summarizes the general suggestions on production management, equipment renewal, technology citation and talent team construction to ensure the efficiency of uranium geological drilling, which provides a reference for the improvement of geological drilling technology and management.

Key words: uranium; geological drilling; meterage per drill working-month; pure drilling speed

铀矿是我国重要的战略矿产资源,近年来,中央财政持续加大铀矿地质勘查投入^[1],高质量完成铀矿钻探生产工作是实现铀矿找矿突破、国家天然铀供应安全的重要保障。中国核工业地质局是我国铀矿地质勘查的“国家队”和“主力军”,组织实施中央财政铀矿勘查项目钻探生产工作,所属地勘单位具体承担^[2]。近年来,由于地方协调难度加大、工艺技术比较传统、攻深找盲新区扩大、作业人员技能水平参差不齐等原因,铀矿地质钻探钻月效率提升缓慢。国家有关部委、中国地质调查局、中国核工业地质局,以及四川、山东、宁夏、广西等多省和自治区均明确在新一轮找矿突破战略行动中加大铀矿地质工作投入。本文结合铀矿地质勘查钻探施工现状,科学剖析钻月效率影响因素,并提出针对性的提升建议,以期提升铀矿钻探技术水平。

1 铀矿地质钻探生产概况

中国核工业地质局实施铀资源大基地战略^[3],形成以伊犁、准噶尔、塔里木、鄂尔多斯、松辽、二连、巴音戈壁、巴丹吉林等北方重点盆地为重点,兼顾扩大南方相山、鹿井、苗儿山、诸广等老矿田深部和外围铀矿资源的勘查布局。

1.1 工艺设备

花岗岩、火山岩等热液岩型(以下简称硬岩)铀矿地质钻探主要采用N口径金刚石绳索取心钻进工艺。地浸砂岩型(以下简称砂岩)铀矿地质钻探不取心段采用复合片/牙轮钻头全面钻进,取心段主要采用投球式单管干钻取心工艺,特别松散砂岩段与卵砾石层采用双管提钻取心或单管干钻取心钻进,乌恰、硫磺沟、乌尔禾、伊和乌素等地层相对稳定地区主要使用绳索取心钻进工艺。

铀矿地质钻探设备钻进能力在700~2000 m(N口径),以国产立轴岩心钻机为主(约占87%),装载形式有拖车式和落地式,其余为履带式/便携式全液压钻机。

1.2 钻月效率

钻月效率(单机台一个自然月内平均完成的钻探工作量)能够全面体现机台管理与技术水平,也是钻探施工中一项综合性经济技术指标。2020—2021年铀矿地质钻探典型工区钻月生产效率统计见表1,硬岩铀矿钻探平均钻月效率507.87 m,砂岩铀矿钻探平均钻月效率1063.69 m。

表1 2020—2021年典型工区钻探效率统计

Table 1 Drilling efficiency in typical work areas from 2020 to 2021

典型工区	2020年		2021年		
	台月效率/m	钻月效率/m	台月效率/m	钻月效率/m	
硬岩铀矿钻探	苗儿山	837.76	511.19	1046.09	521.75
	相山	707.37	503.38	794.44	498.86
	鹿井	789.71	550.46	747.43	485.81
	诸广	731.96	504.38	790.65	487.09
砂岩铀矿钻探	伊犁盆地	1099.8	914.2	1173.35	954.93
	二连盆地	1933.77	1251.66	1928.8	1269.88
	鄂尔多斯盆地北部	1460.29	1055.1	1511.73	1013.65
	鄂尔多斯盆地南部	1135.24	746.08	1136.17	751.02
	松辽盆地南部	1980.69	1330.44	2060.55	1349.89

2 钻月效率影响因素分析

钻月效率影响因素包括台月效率和台月时间利用率,关系式如下^[4]:

$$\eta_{\text{钻月}} = K \cdot \eta_{\text{台月}} \cdot P \quad (1)$$

式中: $\eta_{\text{钻月}}$ ——钻月效率,m; $\eta_{\text{台月}}$ ——台月效率,m; P ——台月时间利用率; K ——修正系数,与钻遇地层岩性特征、不取心段地层厚度等客观条件有关。

由此可见,钻月效率与台月效率、台月时间利用率成正比关系,分析台月效率、台月时间利用率影响因素即可得到钻月效率影响因素。

2.1 台月效率

台月效率即台月时间内的生产效率,台月时间包括生产台时(包括纯钻时间与辅助时间)和非生产台时(包括孔内事故、机械事故、待水、待料、内部断电及其他停工时间)^[5],台月效率受生产台时内的平均纯钻速度 V 和生产台时利用率 P_2 影响,关系如式(2)~(5):

$$\eta_{\text{台月}} = V \cdot T_1 \cdot P_1 \quad (2)$$

$$T = T_1 + T_2 \quad (3)$$

$$P_1 = t_1 / (t_1 + t_2) \quad (4)$$

$$P_2 = T_1 / T \quad (5)$$

式中: V ——平均纯钻速度,m/h; T ——台月时间,h; T_1 ——生产台时,h; T_2 ——非生产台时,h; P_1 ——实钻率; P_2 ——生产台时利用率; t_1 ——纯钻时间,h; t_2 ——辅助时间,h。

2.2 台月时间利用率

台月时间利用率即台月时间与总作业时间之比:

$$P = T / T_{\text{总}} = T / (T + T_3) \quad (6)$$

式中: P ——台月时间利用率; $T_{\text{总}}$ ——钻探总作业时间,即钻机施工第一个钻孔开始至最后一个钻孔施工结束的全部时间,h; T_3 ——不计入台月时间,包括设备拆迁安装、终孔后测井、终孔后起拔套管、封孔、水文地质试验、水文钻孔成井作业、不迁离现场的定期检修设备时间以及其它工作时间(等待进场、透孔、停产开会、整顿、学习等)。

整理式(1)~(6)可得:

$$\eta_{\text{钻月}} = K \cdot V \cdot T \cdot P \cdot P_1 \cdot P_2 \quad (7)$$

由此可知,在修正系数 K 与台月时间 T 一定的前提下,提升钻月效率可通过提升平均纯钻速度 V 、台月时间利用率 P 、实钻率 P_1 、生产台时利用率 P_2 实现(见图1)。

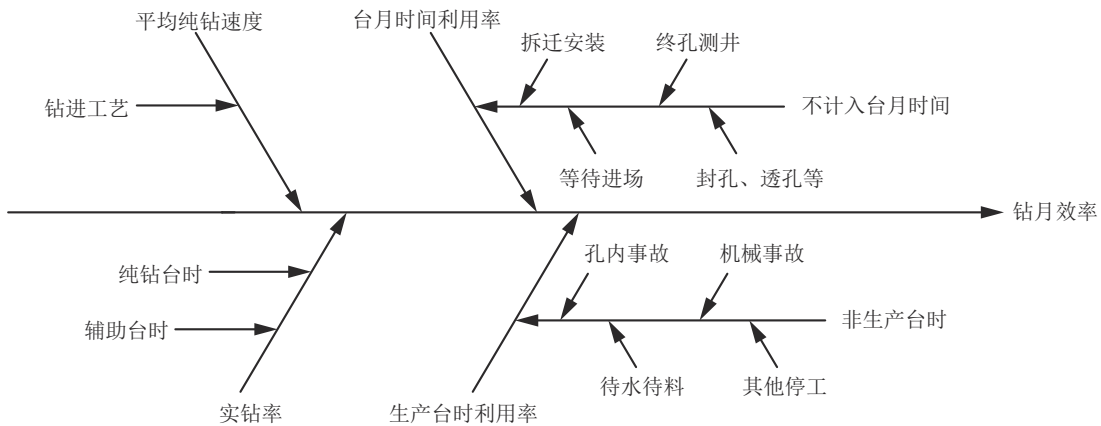


图1 钻月效率影响因素鱼骨图

Fig.1 Fishbone diagram of influencing factors of meterage per drill working-month

3 提升铀矿地质钻探钻月效率的建议

结合近年中国核工业地质局生产中科研项目实施成果及部分地勘单位良好工艺实践,针对影响钻月效率的纯钻速度、台月时间利用率、实钻率和生产台时利用率等4项因素,分别提出钻月效率具体提升建议。

3.1 提升纯钻速度

纯钻速度即钻头克取岩石的钻进速度,由具体钻探工艺决定,本文重点从优化钻具选型与合理应用钻进规程参数两方面论述。

3.1.1 优化钻具选型

3.1.1.1 硬岩铀矿钻探钻具选型

硬岩铀矿钻探多采用 $\varnothing 110$ mm 硬质合金钻头开孔钻进,钻穿覆盖层到风化层(如有),下入 $\varnothing 108$ mm 套管后使用 $\varnothing 91$ mm 金刚石钻头单管钻穿风化岩层,下入 $\varnothing 89$ mm 套管后使用 N 口径金刚石绳索取心钻具钻进至终孔,预留 B 口径。

目前硬岩铀矿钻探大部分纯钻速度 < 2.0 m/h,平均钻头寿命 < 60 m。建议从 2 方面提高纯钻速度:

(1)根据地层、钻进工艺研制和应用高效长寿命广谱钻头,以诸广矿区为例,应用高效长寿命钻头后纯钻速度从 1.67 m/h 提高至 2.05 m/h(见表 2),而且钻头寿命显著提高。

(2)大力推广应用液动冲击器,可有效提升纯钻速度和钻头寿命^[6],特别适用坚硬“打滑”地层,效率提升明显(见表 3),应用液动冲击器可减少岩心堵塞,提高破碎岩层的回次进尺^[7],快速通过裂隙漏失地层,同时有助于钻孔防斜^[8-10]。

钻孔 6 为应用液动冲击器的第一个孔,作业人员不熟悉液动冲击器使用和维护要点以及相应钻进规程参数控制,因此纯钻速度较低。另外,在中深孔硬岩铀矿钻探中建议采用 H 口径金刚石绳索取心钻具,增大一级口径可提高钻具的刚性,更好预防钻

表 2 高效长寿命钻头在诸广地区使用情况对比

Table 2 The use of high efficiency long life bit in Zhuguang area

钻头类型	钻孔个数	平均纯钻效率/(m·h ⁻¹)	平均寿命/m	单孔平均起下钻次数/次
常规钻头	42	1.67	58.96	10.06
高效长寿命钻头	26	2.05	113.23	5.92

表 3 诸广地区绳索取心动液冲击器应用前后对比

Table 3 Comparison before and after application of wire-line coring hydro-percussive tool in Zhuguang area

应用前后对比	平均纯钻速度/(m·h ⁻¹)	台月效率/m	破碎段平均纯钻速度/(m·h ⁻¹)	破碎段平均回次进尺/m
应用前钻孔平均数据	1.67	731	1.98	2.35
应用后				
钻孔 1	2.02	905	2.80	2.40
钻孔 2	1.85	723	2.20	2.90
钻孔 3	1.72	753		
钻孔 4	1.7	786	2.30	2.70
钻孔 5	1.9	805		
钻孔 6	1.6	700	1.90	2.50

孔弯曲^[11],诸广地区应用 H 口径金刚石绳索取心钻具钻孔防斜效果明显(见表 4)。

表 4 不同口径钻具钻进同孔段顶角与方位角变化率对比

Table 4 The change rate of apex angle and azimuth angle in the same hole section drilled with different drilling tools

口径	孔 段			
	0~100 m		100~200 m	
	顶角变化率/[(°)·(20 m) ⁻¹]	方位角变化率/[(°)·(20 m) ⁻¹]	顶角变化率/[(°)·(20 m) ⁻¹]	方位角变化率/[(°)·(20 m) ⁻¹]
N 口径	0.18	0.28	0.26	0.40
钻孔 1	0.14	0.27	0.18	0.38
钻孔 2	0.11	0.36	0.15	0.51
H 口径				
钻孔 3	0.16	0.24	0.22	0.37
钻孔 4	0.17	0.26	0.19	0.39
钻孔 5	0.17	0.21	0.24	0.29

3.1.1.2 砂岩铀矿钻探钻具选型

砂岩铀矿钻探一般在非目的层采用无岩心全面钻进,目的层采用投球式单管/双管提钻取心钻进。

(1)不取心段钻具。砂岩铀矿钻探不取心段松散覆盖地层钻进,多选用水口和内外出刃较大的复

合片钻头,效率较高,最高纯钻速度可达 20 m/h。钻遇卵砾石层(如:伊犁、鄂尔多斯盆地北部等地区),主要选用牙轮钻头全面钻进,效率较低,纯钻速度 < 2 m/h。

钻遇砾径较大、可钻性较高的卵砾石层可使用

宽底唇面、平底同心圆型孕镶金刚石钻头单/双管取心钻进。平底孕镶金刚石钻头耐磨性较高、抗冲击、稳定性好^[12],可有效降低卵砾石层的重复破碎及钻柱的不规则运动程度,有效提高钻头的破碎效率及钻杆柱寿命,保持孔壁规则,利于提高孔壁稳定性,有效预防孔内卡钻事故发生。在鄂尔多斯盆地伊和乌素地区使用 $\text{O}113\text{ mm}$ 孕镶金刚石钻头双管取心钻进大粒径卵砾石地层,纯钻速度较全面钻进得到显著提升(表5)。

(2)取心段钻具。砂岩铀矿钻探取心段常用的钻进方法见表6。普遍采用投球式单管提钻取心钻进工艺,对操作者水平要求高,钻进效率随着孔深的加大明显降低,一些地区岩心质量差、采取率低。

建议减少应用孔内事故风险率高的干钻单管提钻取心工艺,尽量采用单动双管提钻取心工艺,降低冲洗液对岩心的冲刷和钻具对岩心的扰动,有效提高岩心采取率与岩心质量。在地层相对完整、成岩度较高的工区,探索应用绳索取心钻进工艺,逐步拓

表5 伊和乌素地区不同钻进方式大粒径卵砾石层纯钻速度对比

Table 5 The pure drilling speed of different bit for drilling large size gravel stratum in Yihewusu area

卵砾石层孔段/ m	$\text{O}113\text{ mm}$ 孕镶金刚石钻头取心钻进纯钻速度/ $(\text{m}\cdot\text{h}^{-1})$	$\text{O}118\text{ mm}$ 镶齿三牙轮钻头全面钻进纯钻速度/ $(\text{m}\cdot\text{h}^{-1})$
25~95	3.42	2.32
135~215	3.85	2.13
240~280	4.15	2.85
360~420	3.53	2.35

宽砂岩绳索取心工艺应用范围,可大幅提高钻进效率,降低劳动强度^[13-15]。

在鄂尔多斯北部松散砂岩、卵砾石层应用绳索取心钻进工艺,验证了其工艺的适用性(表7),试验钻孔全孔岩心采取率达到92%以上,平均纯钻速度3.58 m/h,比单管提钻取心钻进提升约23%。

表6 典型地层取心钻进方法

Table 6 The typical formation coring bits, coring tools and coring methods

取心段岩性	取心钻头	取心钻进工艺	卡取岩心方法
松散砂岩、砂砾岩、细砂岩	四齿/六齿复合片钻头	投球式单管提钻取心	干钻卡取
特别松散砂岩(哈达图、芒来、乔尔古等地段)		干钻单管提钻取心	
泥岩、粉砂、煤	六齿尖片复合片钻头	投球式单管提钻取心	干钻/卡簧卡取
卵砾石,目的层松散砂岩、砾岩	六齿/八齿圆片复合片钻头	单动双管提钻取心	卡簧卡取
坚硬致密泥岩	四齿尖片复合片钻头	投球式单管提钻取心	干钻/卡簧卡取
全孔胶结程度完整的岩性	齿轮/同心尖齿金刚石钻头	金刚石绳索取心	卡簧卡取

表7 鄂尔多斯盆地砂岩绳索取心钻进试验技术指标统计

Table 7 Technical indexes of wire-line core drilling test in sandstone of Ordos Basin

钻进工艺	钻孔	校正孔深/m	纯钻时间/h	辅助时间/h	岩心采取率/%	台月效率/m	累计提钻次数
砂岩绳索取心	钻孔1	920.41	238.07	250.93	95.31	947.84	24
	钻孔2	915.72	230.50	175.50	92.05	1483.23	9
	钻孔3	770.68	262.83	202.00	92.66	1096.16	26
单管提钻取心	钻孔1	782.35	377.42	249.42	74.99	765.17	116
	钻孔2	843.71	230.50	279.50	77.50	882.95	132
	钻孔3	933.96	311.00	302.00	78.19	1000.67	167

钻遇胶结性好、水密性较差的致密弹塑性泥岩地层,建议使用切屑效果较好的三角式六齿复合片钻头,其表镶金刚石胎体耐磨性强,深V形水口结构保证冲洗液有效携带切削的岩屑,防止钻头“泥

包”现象。在十红滩矿区外围地区应用三角式六齿复合片钻头钻进弹塑性泥岩,与使用圆片和尖齿普通型钻头相比,平均纯钻速度由0.8 m/h提升至1.5 m/h,最低纯钻速度由0.6 m/h提升至1.1 m/h

h(表 8)。

表 8 不同类型复合片钻头在十红滩外围地区使用情况统计

Table 8 The application of different types PDC bit in the surrounding areas of Shihongtan

钻头型号	钻孔个数	有效进尺/m	平均纯钻速度/(m·h ⁻¹)	平均寿命/m
圆片/尖齿复合片钻头	8	1623.76	0.8	45.78
三角式六齿复合片钻头	7	1893.47	1.5	73.29

(3) 优化钻具组合。砂岩铀矿钻探典型钻具组合如下:

不取心段: $\varnothing 113$ mm 牙轮/三翼复合片钻头 + 变径接头 + $\varnothing 89$ mm 钻具 + 变径接头 + $\varnothing 83$ mm 钻铤 + 变径接头 + $\varnothing 68$ mm 钻铤 + 变径接头 + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 变径接头 + 主动钻杆。

取心段: $\varnothing 113$ mm 复合片钻头 + 变径接头 + $\varnothing 89$ mm 岩心管 + 变径接头 + $\varnothing 68$ mm 钻铤 + 变径接头 + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 变径接头 + 主动钻杆。

钻具组合方面,除科学使用钻铤进行孔底加压外,为保证钻具稳定、减小孔斜、减小钻具对孔壁的回转扰动^[16],建议使用扶正器,以减小钻头、岩心管外径差带来的不利影响。2022 年松辽盆地南部海力锦工区在钻铤下部、中部和上部使用三翼导流式复合片扶正器(图 2)以稳定钻具,钻具组合: $\varnothing 113$ mm 复合片无心钻头 + $\varnothing 113$ mm 扶正器 + $\varnothing 89$ mm 钻铤 $\times 2$ + $\varnothing 113$ mm 扶正器 + $\varnothing 89$ mm 钻铤 $\times 2$ + $\varnothing 113$ mm 扶正器 + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 变径接头 + 主动钻杆。施工钻孔 41 个,孔深 595~690 m,平均钻孔偏斜距离 6.36 m,比 2021 年未使用扶正器降低约 4.9 m,取得了显著的防斜效果。

3.1.2 合理应用钻进规程参数

选用合理的钻进规程参数是提高钻进效率、降



图 2 三翼导流式扶正器

Fig.2 Three wing diversion centralizer

低成本、保证孔内安全的关键环节^[17]。根据钻遇岩性,技术人员能够清晰地给出较科学的钻进规程参数,生产中关键在于钻进规程参数的控制。目前广泛应用的立轴钻机,操作人员不能很好地控制孔底钻压、转速与冲洗液量,操作者不能较精确地控制钻进规程参数,直接影响钻进效率、钻头寿命与钻孔质量。

建议施工单位加强机班长操作技能培训,规范加减压操作与孔内钻压控制,尽可能较准确地执行和控制钻进规程参数。另一方面探索引用钻参仪,清晰地反映孔底实时钻进规程参数。核工业二九〇所诸广地区机械立轴钻机应用“核钻牌”钻参仪(图 3),促进实现钻进参数的精准控制,试验钻孔台月效率提升 31%,孔内事故率明显降低(表 9)。

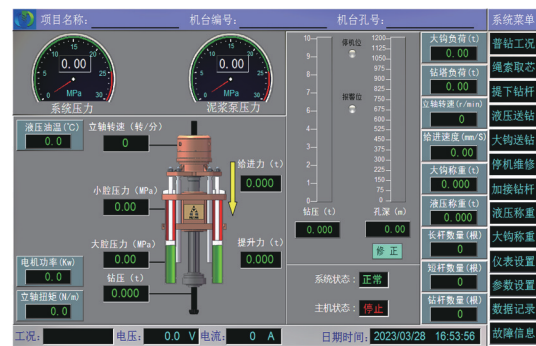


图 3 “核钻牌”钻参仪显示界面

Fig.3 Display interface of drilling parameter instrument

表 9 诸广地区 290-8 号钻机应用钻参仪前后对比

Table 9 Comparison of results before and after the application of drilling parameter instrument on 290-8 drilling rig in Zhuguang area

时间段	钻孔个数	完成工作量/m	台月效率/m	发生孔内事故次数
加装钻参仪前	3	1473.01	659.56	3
加装钻参仪后	3	1815.53	864.54	1

3.2 提高台月时间利用率

提高台月时间利用率,可通过压减生产工期中设备拆迁安装、终孔测井、终孔后起拔套管、封孔、等待进场、透孔、停产整顿等不计入台月的时间实现,其中终孔测井、终孔后起拔套管、封孔、透孔、停产整顿时间相对较少,设备拆迁安装、等待进场时间占比较大,下面重点从减少设备拆迁及等待进场时间两方面论述。

3.2.1 减少设备拆迁安装时间

硬岩铀矿钻孔多分布于山区,钻探设备以立轴式岩心钻机、四角钻塔为主(约占63%),人工拆卸钻塔,使用挖掘机、农用运输车等搬迁设备;便携式全液压钻机使用桅杆式钻塔,设备模块化、可拆解性较强^[18],尤其适合搬迁设备难进入地区,可使用人力或畜力搬迁,平均单孔拆迁安装时间可节约5.7 d(表10)。

表10 不同硬岩铀矿钻探设备拆装用时统计
Table 10 Time for removal and installation of drilling equipment in different hard rock uranium mines

主要钻探设备	单孔拆迁安装平均用时/d		
	拆卸	搬迁(包括雨天停待)	安装
机械立轴岩心钻机,四角钻塔	1.5	11	3
便携式全液压钻机,桅杆式钻塔	0.8	8	1

砂岩铀矿钻探设备以落地式立轴钻机、A型钻塔为主(约占65%),以吊装的形式拆卸和安装;巴音戈壁、二连、松辽盆地等地势平坦地区使用拖车式立轴钻机组,配套有液压起落钻塔,泥浆泵、搅拌机安装在拖车底盘上,单孔平均设备拆卸和安装时间较落地式钻机可节省2 d左右(表11),搬迁时间相仿。

表11 地势平坦地区砂岩铀矿钻探设备拆装用时统计
Table 11 Time for removal and installation of drilling equipment in sandstone in flat area

主要钻探设备	单孔拆装平均用时/d	
	拆卸	安装
立轴钻机、A型钻塔	1	3
拖车式钻机组	0.5	1.5

综上,可通过优化钻探设备选型减少设备拆迁安装时间;硬岩铀矿钻探可加快引进全液压/机械动力头钻机,600 m以浅、地层相对不复杂的钻孔施工优先选用便携式全液压岩心钻机;砂岩铀矿钻探优先选择自动起塔车载式/拖车式立轴钻机,特殊地形地貌区配备自动起塔落地式立轴钻机,逐步定制引进电动/机械顶驱钻机。在大口径绳索取心、多工艺复合钻进等关键技术成熟后,逐步引进全液压力

头车载钻机替代立轴钻机。

3.2.2 减少等待进场时间

等待进场用时主要包括受天气、占地协调与地质布孔影响的停待时间。

南方地势陡峭地区以及鄂尔多斯盆地南部、松辽盆地北部等地势低洼地区受降雨影响道路泥泞、湿滑,雨季进场等待时间可长达1个月左右。建议提前关注天气变化,根据下一个机坪的道路情况,预估拆卸搬迁时间,提前安排修路、开挖机坪等工程部署,减少停待时间。为适应难进入地区搬迁需求,钻探设备更新向模块化、轻量化、便携化发展。

随着地方生态环保意识的增强,内蒙古等地区占地协调工作逐渐困难。为减少占地协调停待,除了积极办理入场手续,更应重视减少钻探施工的环境影响的工艺举措。科学引进和使用泥浆净化设备是真正实现泥浆不落地、减少泥浆排放量的关键^[19],将是树立良好施工形象、顺利进场施工的前提。

为减小地质布孔影响的进场停待时间,在满足地质找矿需求的前提下,地质组与钻探施工方应协同协作,尽早确定下一孔位,为进场占地协调以及修路、机场建设等辅助工程尽可能提供更多准备时间。

3.3 提高实钻率

实钻率即纯钻台时占生产台时(纯钻台时与辅助台时之和)的百分比,可通过管理和技术措施减少辅助台时实现。辅助台时包括升降钻具、上下套管、更换钻具、扫孔、扩孔、孔内观测、测斜、设备保养、止涌堵漏以及短时间的迁移孔位、安装拆卸等,一般占计入台月时间的40%~50%,并且随时效的提高而提高^[20]。升降钻具理论时间消耗随钻孔深度加大以平方关系增加,也是钻进中消耗体力最大、安全风险较大的工序^[21],下文重点论述减少升降钻具时间的管理和技术措施。

3.3.1 减少升降钻具时间的管理措施

加强作业人员技能培训,提高作业熟练度和配合默契度,可一定程度减少升降钻具时间,还可通过优化拧卸钻具与退取岩心流程实现。

硬岩铀矿钻探目前普遍采用人工拧卸钻杆,可引用液压管钳有效减少升降钻具时间和作业人员劳动强度;个别机台使用一套绳索取心内管作业,建议改变作业习惯,使用2套绳索取心内管可以一定程度节省等待内管下放时间。

砂岩铀矿钻探每次地表泵压退心与整理岩心需要 20 min,建议机台配备专用的小型泥浆泵作为退心泵,实现退心和钻进平行作业^[12],这样可省去下钻前的退心与整理岩心时间,进而提高纯钻时间利用率。

在追求提下钻速度的同时,还要注意作业安全,过快的升降钻具易引起抱闸、卷鼓摩擦付高温失效,使滞带与卷鼓的摩擦系数下降并加快磨损^[22],建议机台在孔深超过 500 m 时启用水刹车。

3.3.2 减少升降钻具时间的技术措施

硬岩铀矿钻探钻头寿命多不足 60 m,根据钻遇岩性、钻进工艺特点研制高效长寿命广谱钻头,是实现提高纯钻速度与回次进尺,减少提下钻次数的根本途径。

砂岩铀矿钻探应通过前文已论述的优化取心工艺措施着力提高松散砂岩、卵砾石采取率,以提高纯钻速度与回次进尺,降低升降钻具耗时。此外,在巴音戈壁、准噶尔、塔里木盆地及鄂尔多斯盆地南部等地层相对完整、成岩度较高,深部取心量较多的工区,应积极探索应用绳索取心钻进工艺,降低升降钻具耗时和劳动强度^[23]。

3.4 提高生产台时利用率

提高生产台时利用率,也即减少孔内事故、机械事故、待水、待料、内部断电及其他停工等产生的非生产台时。

通过强化组织管理与后勤保障,可有效减少机械设备事故、停工、待水、待料及其它停工时间^[24],做好孔内事故预防和处理是减少非生产台时的关键。

硬岩铀矿钻探孔内事故近年以钻孔偏斜超差和孔内漏失为主,以巴泉地区、长排南部地区为例,2020 年因钻孔偏斜超差过大分别报废 4 个钻孔和 3 个钻孔,共报废工作量 700 余米,个别钻孔经 3 次开孔才正常施工,孔内漏失更为普遍。建议硬岩铀矿钻探施工注重优化钻孔结构,以预防事故为重点抓手,尤其在相山等 600 m 以深的钻孔施工中,加大开孔口径与 H 口径绳索钻具应用深度,尽量较少应用 B 口径绳索钻具,可有效预防钻孔弯曲。在孔内漏失不大时,根据不同漏层性质优选一定级配和浓度的惰性材料随钻桥接堵漏,该方法使得钻进效率不会因为另采取停钻处理措施(如水泥灌浆堵漏)而受到较大影响^[25]。

砂岩铀矿钻探孔内事故以断钻、埋钻、卡钻为主。断钻事故预防重点以优化钻具结构和加压方式为抓手。埋钻、卡钻事故预防更应注意泥浆性能维护,降低钻孔失水量,减小泥皮厚度。当前砂岩铀矿钻探生产普遍使用 JSN-2B 型泥浆净化机,但除砂效果不理想,主要表现为处理能力较低(约 30 m³/h),松辽盆地南部地区钻探施工自 2021 年引用 ZS/Z1×2 型除砂振动筛(处理能力约 40 m³/h)后泥浆净化效果显著提升,以 600 m 钻孔施工为例,泥浆净化机排砂量由约 1.5 m³提升至 3 m³,单孔废浆排放量由约 15 m³降至约 7 m³。

以往砂岩钻探施工处理埋钻与烧钻事故,首先多选择尝试强力起拔事故钻具,如起拔未果则采用反丝钻杆反转钻具,再利用大口径钻具套取剩余孔内钻具,处理时间长、成功率低并且安全风险大。2021—2022 年鄂尔多斯盆地、松辽盆地南部地区砂岩钻探施工改进了埋钻与烧钻事故处理方法,以 $\Phi 102$ mm 或 $\Phi 108$ mm 套管直接套取孔内事故钻具^[26],处理烧钻事故则在套管下部连接取心钻头,利用钻头将孔内烧结处切割后即可提升事故钻具,实现了安全、高效、快速处理孔内事故。

提高生产台时利用率要求在施工中采用合理的工艺,做好孔内事故处理预案外,作业人员还应严格执行操作规程,并备齐常用的孔内事故处理工具。

4 结论

提高铀矿地质钻探月效率是一项系统工程,钻探生产单位应结合当前生产实际,综合管理与技术提升条件,制定和实施效率提升方案,促进铀矿地质钻探生产降本增效、安全环保。

关于本文钻月效率计算模型的提出意义、钻月效率影响因素分析的全面性以及钻探经济技术指标统计方法发展趋势总结如下:

(1) 本文首次建立的钻探生产钻月效率计算模型对各钻探工程制定钻月效率提升方案有一定借鉴意义,有助于各钻探工程根据生产实际,系统梳理钻月效率影响因素并制定具体提升方案。

(2) 文中纯钻速度直接由钻进参数、钻具选型(包括钻头选型、钻具组合)和钻进工艺类型决定,本文基于当前铀矿钻探工艺,提出优化钻进参数和钻具选型的建议,并未考虑未来铀矿钻探工艺方法进步。

(3)文中提高台月时间利用率、实钻率和生产台时利用率分别围绕设备拆装、等待进场、升降钻具以及孔内事故预防处理等耗时较高的时间因素展开,其他因素也会具有一定影响。

(4)当前地勘钻探效率计算、钻探时间划分等经济技术指标统计尚缺少行业标准,应尽快建立类似石油钻井《钻井经济技术指标及计算方法》(SY/T 5841—2011)更适用地勘钻探的行业标准。

参考文献(References):

- [1] 秦明宽,李子颖,蔡煜琦,等.对加强我国铀资源勘查“三新”突破的战略性思考[J].世界核地质科学,2022,39(3):383-398.
QIN Mingkuan, LI Ziyang, CAI Yuqi, et al. Strategic thinking on strengthening three new breakthroughs for the uranium exploration in China[J]. World Nuclear Geoscience, 2022, 39(3): 383-398.
- [2] 李柏军,张明林,童俊涛,等.多措并举,深化改革,打造国内一流中核地质钻探铁军[J].世界核地质科学,2021,38(2):280-285.
LI Baijun, ZHANG Minglin, Tong Juntao, et al. Build a first-class uranium exploration drilling iron army for China by multiplying measures simultaneously and deepening reform[J]. World Nuclear Geoscience, 2021, 38(2):280-285.
- [3] 王成.关于高质量开展“摸清家底”实施好铀矿勘查规划的思考[J].铀矿地质,2022,38(4):571-581.
WANG Cheng. Consideration on the high quality takeover of resource inventory and implementation of uranium exploration programme[J]. Uranium Geology, 2022, 38(4):571-581.
- [4] 赵毓芳.钻探效率函数[J].煤田地质与勘探,1993(5):67-70.
ZHAO Yufang. Drilling efficiency function[J]. Coal Geology & Exploration, 1993(5):67-70.
- [5] 王军.降低钻探生产成本的途径[C]//《建筑科技与管理》组委会.2012年2月建筑科技与管理学术交流会议论文集.北京恒盛博雅国际文化交流中心,2012:144-146.
WANG Jun. Reduce the drilling cost of production way[C]. Organizing Committee of Building Technology and Management. Proceedings of the Academic Exchange Conference on Building Technology and Management in February 2012. Beijing Hengsheng Boya International Cultural Exchange Center, 2012: 144-146.
- [6] 杨冬冬,王四一.多工艺冲击回转钻进技术在硬岩钻进中的应用[J].煤矿机械,2018,39(1):112-114.
YANG Dongdong, WANG Siyi. Application of multi-technology impact and rotary drilling technology in hard rock drilling[J]. Coal Mine Machinery, 2018, 39(1):112-114.
- [7] 翟育峰,张英传,田志超.中国东部海区科学钻探工程CSDP-02井钻探效率统计分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(12):13-17.
ZHAI Yufeng, ZHANG Yingchuan, TIAN Zhichao. Statistical analysis of drilling efficiency for Well CSDP-02 of the eastern sea scientific drilling project of China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(12):13-17.
- [8] 王幼凤.深孔钻探降低钻探成本方法[J].安徽地质,2015,25(1):38-41,53.
WANG Youfeng. Analysis of method reducing cost of deep-hole drilling[J]. Geology of Anhui, 2015, 25(1):38-41, 53.
- [9] 李生海,段志强,韩园园,等.相山地区河元背深钻CUSD2孔钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):6-10,16.
LI Shenghai, DUAN Zhiqiang, HAN Yuanyuan, et al. Drilling technology of Heyuanbei deep drilling hole CUSD2 in Xiangshan area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(10):6-10, 16.
- [10] 童俊涛,吕文军,陈明,等.广东省仁化县油洞地区铀矿钻探工程——长江1号科学深钻工艺应用研究[J].铀矿地质,2021,37(4):736-744.
TONG Juntao, LÜ Wenjun, CHENG Ming, et al. Drilling techniques study of Changjiang No. 1 scientific deep drill in Youdong area, Renhua, Guangdong[J]. Uranium Geology, 2021, 37(4):736-744.
- [11] 黄帆.基于纵横弯曲理论的绳索取心满径防斜技术研究与应用[D].武汉:中国地质大学,2014.
HUANG Fan. Rerearch and application of anti-deviation technology of wire-line coring assembly with packed hole stabilizers based on vertical and horizontal bending theory[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014.
- [12] 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.
LIU Xiaoyang, LI Bo. Current status of in-situ leachable sandstone-type uranium drilling and technical measures of improving drilling efficiency[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(1):35-41.
- [13] 李柏军,邹润,郭超.绳索取心技术在覆盖地层钻井中的应用[J].煤田地质与勘探,2019,47(3):217-222.
LI Baijun, ZOU Run, GUO Chao. Application of wire line coring technique in overburden drilling[J]. Geology and Exploration, 2019, 47(3):217-222.
- [14] 孙德学,陈伟,张元清,等.沉积岩松软地层深孔绳索取心钻探技术实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):16-19.
SUN Dexue, CHEN Wei, ZHANG Yuanqing, et al. Practice of wire-line coring dring technology for deep hole in soft sedimentary rocks[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(1):16-19.
- [15] 李博,刘晓阳,段志强.国外铀矿勘查钻探技术现状及发展趋势[J].世界核地质科学,2022,39(1):153-164.
LI Bo, LIU Xiaoyang, DUAN Zhiqiang. Current situation and development trend of drilling technology for uranium exploration abroad[J]. World Nuclear Geoscience, 2022, 39(1):

- 153-164.
- [16] 王海才.提高地浸砂岩型铀矿深孔钻探效率的技术措施[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2019:135-140.
WANG Haicai. Technical measures to improve deep hole drilling efficiency of in-situ leaching sandstone uranium deposit [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:135-140.
- [17] 马智跃,李生海,段志强,等.相山地区如意亭深钻CUSD4孔钻探技术研究[J].地质与勘探,2019,55(2):614-621.
MA Zhiyue, LI Shenghai, DUAN Zhiqiang, et al. Drilling technology of the Ruyiting deep drilling hole CUSD4 in the Xiangshan area, Jiangxi province [J]. Geology and Exploration, 2019, 55(2):614-621.
- [18] 童俊涛,吕文军,曾令,等.绿色勘查技术在广东诸广矿区铀矿钻探工程中的应用与分析[J].世界核地质科学,2021,38(4):526-532.
TONG Juntao, LÜ Wenjun, ZENG Ling, et al. Application and analysis on green exploration technology in uranium drilling engineering in Zhuguang metallization cluster, Guangdong [J]. World Nuclear Geoscience, 2021, 38(4):526-532.
- [19] 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.
WEN Dequan, WANG Gui, SHAO Shengyuan, et al. Development of equipment for mud treatment while drilling in uranium green exploration [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(10):88-94.
- [20] 刘佳丹.探讨影响岩心钻探钻进效率的因素[J].河南科技,2014(8):33-34.
LIU Jiadan. Discussion on the factors affecting the drilling efficiency of core drilling [J]. Henan Science and Technology, 2014(8):33-34.
- [21] Б. И. Воздвиженский. 提高岩心钻探效率的途径[J]. 国外地质勘探技术, 1983(2):31-33.
B. I. Vozdvizhensky. Ways to improve core drilling efficiency [J]. Foreign Geoexploration Technology, 1983(2):31-33.
- [22] 吴开东.水刹车的使用[J].煤田地质与勘探,1984(3):72-74.
WU Kaidong. Use of water brakes [J]. Geology and Exploration, 1984(3):72-74.
- [23] 赵河江.新疆温宿、库车地区砂岩铀矿绳索取心钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3):37-39,50.
ZHAO Hejiang. Wire-line core drilling technology in sandstone uranium deposit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(3):37-39, 50.
- [24] 申庆民,贾肃.提高地浸砂岩型铀矿钻探工程效益的综合技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):122-124.
SHEN Qingmin, JIA Su. Comprehensive technical measures to improve the drilling benefit of in-situ leaching sandstone-type uranium deposits [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(S1):122-124.
- [25] 李柏军,张万亮,闫纪帆,等.桥接堵漏法在通辽钱家店铀矿床地浸采铀工艺钻孔施工中的应用[J].铀矿地质,2018,34(3):180-185.
LI Baijun, ZHANG Wanliang, YAN Jifan, et al. Application of bridge leakage plugging method in drilling construction of in-situ leaching uranium mining process of Qianjiadian uranium deposit, Tongliao [J]. Uranium Geology, 2018, 34(3):180-185.
- [26] 郝长旭,闫立鹏,江海宇.超长套铣筒在鄂尔多斯盆地铀矿钻探施工处理埋钻事故中的应用[J].钻探工程,2021,48(S1):108-112.
HAO Changxu, YAN Lipeng, JIANG Haiyu. Application of the extra-long washover pipe in bit burial treatment in uranium drilling in Ordos basin [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1):108-112.

(编辑 荐华)