

某砂岩型铀矿床地浸工艺钻孔施工效率分析

杨 俊

(湖南中核勘探有限责任公司, 湖南 长沙 410016)

摘要: 地浸采铀技术是中国砂岩型铀矿开采所使用的重要技术。地浸工艺钻孔是地面连通地下矿层的唯一通道, 在地浸采铀中发挥着重要作用, 其施工效率影响整个铀矿山的建设和发展。以某铀矿山为研究对象, 统计分析了 2019—2020 年地浸工艺钻孔施工效率及存在的问题。结果表明, 与岩芯钻机相比, 水井钻机在施工中优势明显; 泥浆泵配置、钻孔深度、后勤管理和保障均对钻孔施工效率有影响。对施工效率的影响因素提出了相应改进建议, 以达到降本增效的目的。

关键词: 地浸采铀; 钻孔; 施工效率; 效率分析; 影响因素; 改进建议

中图分类号: TL212.1; TD868 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2024)02-0047-06

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2023.10.19

砂岩型铀矿所提供的铀资源量在各铀矿类型中仅次于不整合面型铀矿, 位居第二位, 并且埋藏浅、储量大、成本低、易于开采^[1-2]。目前, 中国的铀资源大多集中分布在砂岩型铀矿中^[3-5]。

地浸采铀技术已成为中国开采砂岩型铀矿的重要方法, 形成了以地浸铀资源评价、地浸工艺钻孔结构与施工工艺、浸出剂配方和使用方法、钻孔排列方式和钻孔间距确定等为主体的技术体系^[6]。

钻探技术是铀矿勘查主要技术手段之一。通过钻探获取的地层岩芯岩屑等实物资料, 可反映地层构造、验证地质推断和圈定目标矿体^[7]。地浸工艺钻孔是浸出剂进入矿层、浸出液抽至地表的唯一通道^[8]。钻孔设计、钻孔施工效率和质量是整个矿山建设的重要影响因素。当前地浸工艺钻孔的钻进方法主要采用正循环冲洗的回转钻进^[9], 钻孔施工设备配备型号众多, 效率差别较大, 设备机械化程度低、机动性差、机械故障率高; 且设备由其他行业引进, 适用性较差。近几年逐步形成了以水井 800 型和水井 1000、2000 型钻机配套 HT1200、3NB350 型泥浆泵, 使用直径 89、114、127 钻杆钻进的施工模式, 较大地提高了钻进效率^[10]。

加拿大、澳大利亚和美国等铀资源大国在钻探工艺多样性、钻杆钻具的标准化^[11]、设备的自动化和数字化^[12], 以及信息化技术的应用^[13]方

面较为先进, 钻探设备功能与工艺紧密结合, 专业化程度高^[14]。为了降本增效、提高内蒙古某铀矿山的钻孔施工效率, 针对该铀矿山的地浸工艺钻孔施工中的 2 种型号的钻机设备、泥浆泵配置、钻孔深度、后勤管理和保障存在的问题进行了研究。

1 工作区地形地质条件

矿区总体交通便利, 场外道路畅通。施工现场为砂石路和土路, 可满足施工车辆行驶。施工现场主要为草原, 有少量的耕地和林地。施工区场地平整, 钻机可直接就位。

1.1 自然地理条件

工作区地处松辽平原, 海拔高程在 120~200 m, 地貌平缓。工作区内水系不发育。本区属温带大陆性气候, 受蒙古内陆冷空气和海洋暖流季风影响, 冬季寒冷有雪, 夏季温热多雨, 春秋多风; 年平均气温为 0~8℃, 最低气温可达 -40℃, 最高气温可达 35℃; 降水分布不均匀, 大部分地区在 350~450 mm, 且多集中在 7~8 月; 年蒸发量 1 000~1 900 mm; 春秋季节多浮尘、扬沙、沙尘暴天气; 冰冻期一般为每年 11 月至次年 4 月, 冻结深度一般为 1.6~2.5 m。

1.2 地层概况

工作区内地表无露头, 均为第四系草原覆盖。工作区内地层自上而下为第四系(Q)、嫩江组

收稿日期: 2023-10-30

第一作者简介: 杨俊(1986—), 女, 江西上饶人, 学士, 工程师, 主要从事地浸工艺钻孔施工工作。

(K_2n)、姚家组(K_2y)、青山口组(K_2qn)等(图1)。工作区主要岩性为砂岩类、砾岩类、泥岩类,地层结构与岩性组合具有形成层间氧化带的条件。含矿层下段或上段均存在着多个泥岩-砂岩-泥岩的地层结构。砂岩有一定渗透性,具有渗入型自流盆地的特征。

1.3 岩石的主要性质及可钻性分类

工作区内第四系岩石以砂、粉砂、砾石等松散堆积为主,该层砾石较少,所含砾石硬度不大,粉砂较多,可钻性3~4级;一般厚100~150 m,该层孔壁不稳定,渗漏严重,易垮塌。

白垩系嫩江组岩石上部以灰、深灰色泥岩为主,夹粉砂岩,水平层理发育;下部为细砂岩、粉砂岩及泥岩,自下而上砾度变细,为较稳定的沉积环境;研磨性低,可钻性4级,钻进过程中易造浆、缩

径;该层区域发育稳定,厚度30~60 m。白垩系姚家组上段岩石以浅灰、灰色细砾砂岩为主,夹有多层紫红色泥岩薄层及灰色泥岩透镜体,研磨性低,可钻性5~6级,厚度60~70 m。白垩系姚家组下段岩石以浅灰、灰色细砾砂岩为主,属长石砂岩类,分选中等,次圆状;研磨性中等,可钻性5~8级,厚度65~70 m。白垩系青山口组岩石顶部以紫红色粉砂质泥岩为主,水平层理,厚度8~9 m;下部为紫红色泥质粉砂岩,可钻性3~4级^[15]。

1.4 钻孔施工流程

地浸工艺钻孔施工流程大致分为裸孔施工和成井工艺2个阶段。裸孔施工:钻机定位→钻机安装→泥浆调配→钻孔施工,后勤配合采铀套管加工;成井工艺:安装套管→逆向注浆→候凝→安装过滤器→洗井→验收。

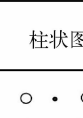

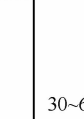

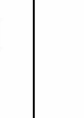
系	统	组	段	代号	柱状图	厚度/m	岩性描述	沉积相	铀矿化
第四系				Q		100~130	砂、粉砂、砾石等松散碎屑堆积	残、坡积相	
白垩系	上统	嫩江组		K_2n		30~60	上部以灰、深灰色泥岩为主,夹粉砂岩,水平层理发育。下部为细砂岩、粉砂岩及泥岩。自下而上粒度变细。砂岩粒度为次圆状,分选好,水平层理发育,为较稳定的沉积环境。与下伏姚家组整合接触	滨浅湖相	
			上段	K_2y^2		65~70	以浅灰、灰色细粒砂岩为主,夹有多层紫红色泥岩薄层及灰色泥岩透镜体。砂岩与泥岩组成多个下粗上细的沉积韵律。姚上段与姚下段呈明显的冲刷接触关系,冲刷面上可见含砾砂岩、砾岩,向上粒度逐渐变细。砂岩中可见楔状、板状交错层理,泥岩为水平层理	砂质辫状河相	见三层工业铀矿体
		姚家组	下段	K_2y^1		65~70	以浅灰色、灰色细粒砂岩为主,属长石砂岩类,分选中等,次圆状。顶部为厚度约5~6 m较稳定的紫红色泥岩层,下部有一薄层泥岩,两泥岩层间为厚约30~40 m的含砂矿体。本段粒度偏粗,沉积韵律明显	砂质辫状河相	见三层工业铀矿体
			青山口组	K_2qn		未见底	顶部以紫红色粉砂质泥岩为主,水平层理,厚度8~9 m。其下部为紫红色泥质粉砂岩		

图1 工作区地层综合柱状图

Fig. 1 Comprehensive histogram of strata in the work area

2 2020年施工台效分析

2020年施工的地浸工艺钻孔,设计孔深为420~425 m。钻孔施工工艺为先裸孔钻进,然后在矿层段局部扩孔,安装可更换内置过滤器。施工时间为2020年4月—2020年11月。

2.1 设备参数

主要设备:HXY-1500型岩芯钻机,3台,配套钻塔为TA-13型塔架(高13 m)和NBB-390/15型泥浆泵;S800型水井钻机,3台,配套钻塔为

液压升降塔及TBW-850/5B型泥浆泵。

辅助设备:振动筛、配电柜、搅拌机等,投料罐、投料管、车床、空压机等为机台共用。钻机参数见表1,泥浆泵参数见表2。

2.2 施工工程量

2020年4月—2020年11月,共施工完成钻孔107个,累计工程量45 263 m(表3)。投入6台钻机,其中20-1号、20-5号和20-6号为HXY-1500型岩芯钻机及配套设备,20-2号、20-3号和20-4号为S800型水井钻机及其配套设备。

表1 钻机参数一览表

Table 1 List of drilling rig parameters

钻机型号	转盘最大通孔直径/mm	钻井深度/m	转速/(r/min)	最大扭矩/(kN·m)	钻塔负荷/kN
HXY-1500	500	900	289, 188, 118, 67, 40	7.8	138.5
S800	650	800	126, 86, 59, 22	12.7	385.0

表2 泥浆泵参数一览表

Table 2 List of mud pump parameters

泥浆泵型号	最大公称流量/(L/min)	公称压力/MPa	吸浆管内径/mm	排浆管内径/mm	活塞行程/mm	活塞直径/mm
NBB-390/15	390	11	102	50	140	100
TBW-850/5B	850	5	152	64	260	140

表3 各机台施工情况

Table 3 Construction conditions of each machine

钻机编号	钻机型号	钻塔型号	泥浆泵型号	完成孔数/个	完成工程量/m
20-1	HXY-1500	TA-13(13 m高)	NBB-390/15	15	6 362
20-2	S800	液压升降塔	TBW-850/5B	19	7 993
20-3	S800	液压升降塔	TBW-850/5B	21	8 919
20-4	S800	液压升降塔	TBW-850/5B	21	8 871
20-5	HXY-1500	TA-13(13 m高)	NBB-390/15	14	5 900
20-6	HXY-1500	TA-13(13 m高)	NBB-390/15	17	7 218

2.3 机台效率分析

2020年实际完成工程量45 263 m,创造了单日进尺270 m的记录。6个机台平均月台效为1 474 m(统计时未计算裸孔洗井和安装内置过滤器耗时,下同)。其中,20-3号机台的效率最高,20-4号机台次之,各机台效率见表4。

在统计钻孔成井效率时,分别统计了各机台的不同工艺耗时(表5、图2),发现前期裸孔施工效率高的机台,在成井工艺中效率不一定高。

2020年的施工数据表明,S800型水井钻机的效率明显优于HXY-1500型岩芯钻机,年度施工工程量较多,钻孔平均总耗时较少。在同一种设备中,20-3号机虽然裸孔钻进施工效率最高,但其在同机型中总耗时最高。在岩芯钻机中,20-5号机是施工工程量最少的机台,主要原因是井斜超标导致2次移孔,从而影响整体效率。说明在同一机型中,作业人员的作业水平对整个机台的施工效率存在较大影响。

表4 2020年地浸钻孔施工机台效率

Table 4 Efficiency of drilling construction machines for in-situ leaching in 2020

钻机编号	完成工程量/m	施工时间/d	设计孔深/m	施工效率/[m/(台·月)]
20-1	6 362	151	420~425	1 264
20-2	7 993	155	420~425	1 547
20-3	8 919	150	420~425	1 784
20-4	8 871	155	420~425	1 717
20-5	5 900	153	420~425	1 157
20-6	7 218	157	420~425	1 379

表5 各机台不同工艺耗时

Table 5 Each machine has different process time consumption

机台编号	钻机型号	完成钻孔/个	平均裸孔施工/d	平均安装套管/h	平均固井/h	平均裸孔洗井/d	平均总耗时/d
20-1	HXY-1500	15	6.80	2.89	2.95	5.87	12.87
20-2	S800	19	4.74	3.39	2.99	5.68	10.68
20-3	S800	21	4.52	3.24	3.13	5.71	11.10
20-4	S800	21	4.95	2.75	2.18	5.50	10.05
20-5	HXY-1500	14	8.64	2.74	2.92	4.29	13.57
20-6	HXY-1500	17	6.65	2.98	2.66	5.00	11.41

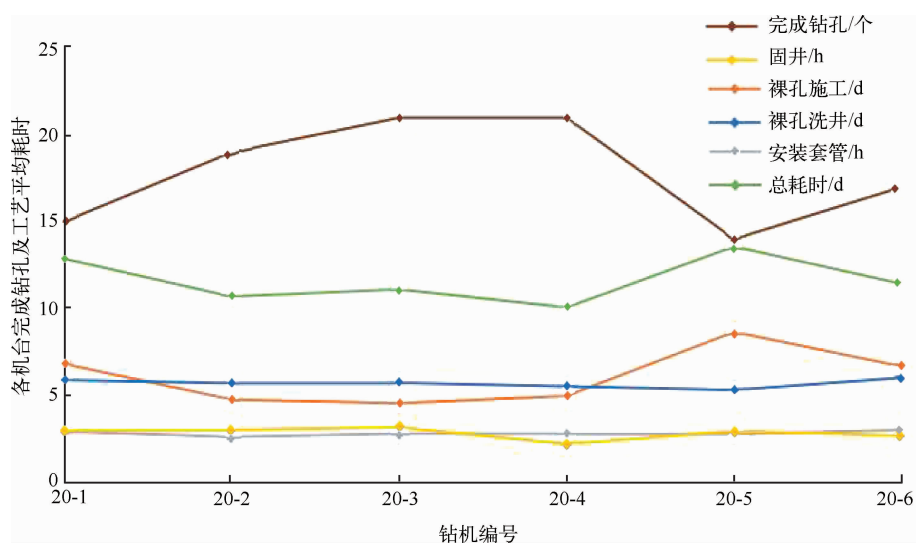


图2 各机台完成钻孔及工艺平均耗时

Fig. 2 Average time for each machine to complete drilling and process

综上所述,各机台施工时间不同,完成工程量及钻孔施工台效差别也较大。当工艺要求、施工管理、后勤保障及组织调配等影响因素基本相同时,台效的影响因素主要为装备配备、工艺衔接

及人员素质。钻孔施工效率的影响因素包括装备配备、工艺要求等硬件设施,以及施工管理、组织调配、工艺衔接、后勤保障、作业技术等人为因素。

3 2019年施工台效分析

2019年,该公司在同一个矿区进行地浸工艺钻孔施工:年度共完成工程量12 952 m,钻孔结构是扩孔式可更换防砂式。

2019年共投入4套设备进行施工,其中19-1号和19-2号为S800型水井钻机,配套TBW850/5B泥浆泵;19-3号为S800型水井钻机,配套

NBB-390/15型泥浆泵;19-4号为HXY-1500型岩芯钻机,配套NBB-390/15型泥浆泵。

3.1 配套设备和孔深对机台效率的影响

4个施工机台平均综合台效为976 m/(台·月),其中19-1号平均台效为1 078 m/(台·月);19-2号平均台效为1 169 m/(台·月);19-3号平均台效为807 m/(台·月);19-4号平均台效为888 m/(台·月),见表6。

表6 2019年各机台施工情况

Table 6 Construction conditions of each machine in 2019

钻机编号	钻机型号	钻塔型号	泥浆泵型号	完成孔数/个	完成工程量/m	施工时间/d	设计孔深/m	效率/[m/(台·月)]
19-1	S800	液压升降塔	TBW850/5B	14	3 665	102	253~295	1 078
19-2	S800	液压升降塔	TBW850/5B	10	3 622	94	285~404	1 169
19-3	S800	液压升降塔	NBB-390/15	11	3 120	116	253~295	807
19-4	HXY-1500	TA-13(13 m高)	NBB-390/15	10	2 545	86	250~365	888

由表6可知,S800型钻机的效率一般高于HXY-1500型岩芯钻机。但在同一型号钻机中,泥浆泵的配置也很关键;19-1、19-2、19-3号的钻机型号一致,但19-3号泥浆泵排量小,台效较低。在相同工程量情况下,19-2号机的单钻孔孔深更深、钻孔数量更少;而19-2号机的台效高于19-1号机,表明钻孔深度对施工效率有影响。

3.2 施工人员和施工流程对机台效率的影响

因钻孔结构改变,2019年前的台效未进行统计。在2019—2020年仅有郭机长和李机长均在该地区施工,使用同种配套设备,即S800型水井钻机,配套使用TBW850/5B型泥浆泵。与2019年相比,2020年2位机长的台效均有明显提高,台效增长率均超过50%(表7)。

表7 2019—2020年施工效率对比

Table 7 Comparison of efficiency from 2019 to 2020

机长	效率/[m/(台·月)]		变化率/%
	2019年	2020年	
郭机长	1 078	1 717	+59 ^①
李机长	1 169	1 784	+53

注:①“+”代表增加,“-”代表降低。

2020年的平均台效比2019年高的原因:1)

2020年的孔较深,转场次数少,有效钻进时间长;2)2020年施工工艺更成熟,机台作业人员熟悉流程,且各工艺安排紧凑,事故率低,成孔率高;3)2020年优化了施工流程。2019年施工钻孔流程为一次成孔(即从裸孔施工到水量初验全部完成)后再施工下一孔;而2020年在固井完成后即可转场,洗井及内置过滤器安装工作由另一班组执行,将时间进行了有效分割,减少等待时间。

4 结论和建议

4.1 结论

钻孔综合施工效率不仅与钻孔结构、钻孔分布、施工工序有关,还与项目部的设备设施配置、施工组织、人员协调、人员技术水平、后勤保障等有关。当施工孔深小于300 m时,岩芯钻机与水井钻机的效率相差不大;但当孔深大于350 m时,岩芯钻机效率明显低于水井钻机效率。若仅提高钻机配置,而忽略泥浆泵的配置,不仅影响整体施工效率,也增加钻孔事故发生的概率。

4.2 建议

二次成井工艺结构的地浸工艺钻孔是未来发展的趋势,要在保证质量的同时提高效率,提出以下建议:

1)研制适宜于地浸工艺钻孔的专业设备。研

制专业钻机,做到集成度高、参数可视化、机械强度高;同时配置便于操作和转场泥浆处理设备,提高工效,降低安全环保压力。

2)加强设备操作人员的实操能力培训。将设备操作流程标准化,减少因变更作业人员或更换设备造成的效力降低问题。

3)将工艺分类,在设备装备上物尽其用。在钻孔施工阶段,选用效率高、施工质量高的设备,提高裸孔施工效率;在洗孔和内置过滤器安装阶段,由专业安装组进行,并选用灵活轻巧、搬迁便利的设备组合,提高转场效率。

4)加速推广复合钻进。复合钻进是指转盘和螺杆结合,实现钻机双动力,可有效提高钻进效率,有效控制井斜,保证钻孔质量。

参考文献:

- [1] IAEA. World distribution of uranium deposits database [EB/OL]. [2021-11-25]. <https://infcis.iaea.org/>.
- [2] 于文斌,董清水,邹吉斌,等. 松辽盆地东南缘地浸砂岩型铀矿成矿条件分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2006,36(4):543-548.
- [3] 张金带,李友良,简晓飞. 我国铀资源勘查状况及发展前景[J]. 中国工程科学,2008,10(1):54-60.
- [4] 王成. 我国地浸砂岩型铀矿勘查的首次重大突破[J]. 中国核工业,2008(1):62-63.
- [5] 王正邦. 国外地浸砂岩型铀矿地质发展现状与展望[J]. 铀矿地质,2002,18(1):9-20.
- [6] 阙为民,王海峰,田时丰,等. 我国地浸采铀研究现状与发展[J]. 铀矿冶,2005,24(3):113-117.
- [7] 冉恒谦,张金昌,谢文卫,等. 地质钻探技术与应用研究[J]. 地质学报,2011,85(11):1806-1822.
- [8] 李博,刘晓阳,胡柏石,等. 地浸采铀工艺钻孔施工与成建井技术现状及改进建议[J]. 铀矿地质,2017,33(4):252-256.
- [9] 刘月楼,张效寿,陈德书. 地浸孔的结构及成井工艺[J]. 西部探矿工程,1992,4(2):6-10.
- [10] 苗壮. 伊犁盆地地浸工艺钻孔施工效率分析[J]. 西部资源,2019(6):119-121.
- [11] 王达. 探矿工程(地质工程)未来20年科技发展战略研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(1):3-6.
- [12] 左汝强. 钻掘工程国内外发展水平与差距及建议(上)[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2003,30(1):1-8.
- [13] 张金带,李子颖,苏学斌,等. 核能矿产资源发展战略研究[J]. 中国工程科学,2019,21(1):113-118.
- [14] 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.
- [15] 李柏军. 通辽钱家店铀矿床地浸采铀钻孔施工技术研究[D]. 长春:吉林大学,2017.

Analysis on Drilling Efficiency of In-situ Leaching Technology in a Sandstone Type Uranium Deposit

YANG Jun

(Hunan Central Nuclear Exploration Co., Ltd., Changsha 410016, China)

Abstract: In-situ leaching uranium technology is an important means of sandstone type uranium mining in China. In-situ leaching drilling is the only channel connecting the ground to the underground ore layer, which plays an important role in uranium mining. The construction efficiency of in-situ leaching drilling affects the construction and development of the entire uranium mine. Taking a certain uranium mine as the research object, the efficiency and existing problems of in-situ leaching drilling construction from 2019 to 2020 were statistically analyzed. The results show that compared with core drilling machines, water well drilling machines have significant advantages in construction. The configuration of mud pumps, drilling depth, logistics management, and support all have an impact on the efficiency of drilling construction. Improvement suggestions have been proposed for the factors affecting construction efficiency, in order to achieve the goal of reducing costs and increasing efficiency.

Key words: in-situ leaching of uranium; drilling; construction efficiency; efficiency analysis; factors; improvement suggestions