

地浸砂岩型铀矿钻探现状及提高钻探效率 的技术措施

刘晓阳^{1,2}, 李 博²

(1. 中国核工业地质局, 北京 100013; 2. 核工业北京地质研究院, 北京 100029)

摘要:近十年来,随着我国地浸砂岩型铀矿钻探工作量稳步增加,以及铀矿新层位、新地区、新类型、新深度找矿思路调整,对地浸砂岩型铀矿钻探工艺及装备提出了新的要求。在分析目前地浸砂岩铀矿钻探施工现状基础上,从工艺技术与装备等方面提出了一系列提高钻探效率的改进措施。主要包括实行地表退心平行作业、采用低固相聚合物泥浆、优化钻头钻具组合、松散地层应用单动双管和大口径绳索取心钻进技术、开展无岩心钻进技术、开发自动化数字化的砂岩铀矿钻探设备,以大力提升行业钻探水平。

关键词:地浸砂岩型铀矿;钻探工艺;钻探装备;松散砂岩取心;卵砾石层;无岩心钻进

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)01-0035-07

Current status of in-situ leachable sandstone-type uranium drilling and technical measures of improving drilling efficiency

LIU Xiaoyang^{1,2}, LI Bo²

(1. Bureau of Geology, CNNC, Beijing 100013, China;

2. Beijing Research Institute of Uranium Geology, CNNC, Beijing 100029, China)

Abstract: Over recent ten years, the drilling footage in in-situ leachable sandstone-type uranium exploration in China has been increasing steadily, and uranium exploration is shifting to new stratum, new areas, new types and new depth; thus, new requirements are raised for in-situ leachable sandstone-type uranium drilling technology and equipment. This paper analyzes the current status of in-situ leachable sandstone uranium drilling, and proposes a series of improvement measures to improve drilling efficiency from the aspects of technology and equipment. The main measures include implementation of parallel operation of core removal at surface and core drilling, utilization of low-solid polymer mud, optimization of the bit and drilling tool assembly, application of the swivel type double-tube core barrel and large diameter wire-line core drilling technology in loose strata, execution of full-face drilling technology. Besides, automatic and digital drilling equipment should be developed to promote the industrial level of drilling engineering.

Key words: in-situ leachable sandstone-type uranium; drilling technology; drilling equipment; unconsolidated sandstone coring; gravel-cobble stratum; full-face drilling

0 引言

钻探是铀矿床勘查过程中的主要技术手段之

—^[1],地浸砂岩型铀矿钻探技术的发展水平直接影响到地浸砂岩型铀矿地质找矿成果、矿床勘探效率

收稿日期:2020-09-14; 修回日期:2020-11-16 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.01.005

基金项目:中国核工业地质局生产中科研项目“地浸砂岩型铀矿高效安全取心钻进技术研究”(编号:201903-5-1)

作者简介:刘晓阳,男,汉族,1967年生,正高级工程师,探矿工程专业,博士,长期从事地质岩心钻探技术研究工作,北京市东城区和平里七区十四号楼,250050462@qq.com。

引用格式: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.

与勘探成本等。近十年来,中国核工业地质局地浸砂岩型铀矿钻探工作量稳步增加^[2-3],2019年钻探总工作量达到65万m,其中砂岩型约45万m,约占总工作量的70%,主要由地处北方的3个核工业地质大队承担完成。

砂岩铀矿钻探工作量的持续增长和新层位、新地区、新类型、新深度找矿思路调整,对地浸砂岩型铀矿钻探工艺及装备提出了新的要求,要求地浸砂岩型铀矿钻探技术和施工装备进一步升级换代^[4-5],以提高钻探技术水平和生产效率,满足高效、安全、绿色发展需求,为新形势下的铀矿勘查工作提供技术支持。

1 砂岩铀矿钻探现状

1.1 钻探装备

1.1.1 钻机

地浸砂岩型铀矿勘查钻机基本为国产立轴岩心钻机,主机型号以XY-5、XY-6型为主,钻进能力在1500~2000m(N口径),配套电机功率在45~75kW,装载形式有拖车式和落地式。拖车式钻探机组型号主要有HXY-800T、HXY-800TB和HXY-800TQ型^[6],配套有液压起落的桅杆钻塔。落地式钻探机组配套钻塔主要为13.5m和18m高A型塔。

每台钻机配一台120~150kW移动式柴油发电机组,1辆大功率越野牵引车,配备2辆野外生活宿营车。

1.1.2 泥浆泵

以NBB-250型泥浆泵居多,少量为NBB-390型泥浆泵。

1.1.3 泥浆固控设备

每个机台配备1台除砂器,采用一级旋流、二级振动的两级除砂方式,处理能力约20~30m³/h。

1.1.4 钻杆钻具钻头

采用 $\varnothing 60$ mm普通端加厚外丝钻杆, $\varnothing 89$ mm单管岩心管, $\varnothing 113$ mm/72mm金刚石复合片取心钻头。连接方式:水龙头—主动钻杆— $\varnothing 60$ mm外丝钻杆— $\varnothing 68$ mm或 $\varnothing 89$ mm钻铤—岩心管变径接头— $\varnothing 89$ mm单管岩心管— $\varnothing 113$ mm/72mm金刚石复合片取心钻头。

不取心段使用牙轮钻头或PDC复合片全面钻头。

1.2 钻探工艺

1.2.1 钻进方法与取心工艺

地浸砂岩型铀矿赋存于含矿含水的砂岩层,钻孔钻遇地层自上而下有第四系、古近-新近系、白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系和石炭系等。主要钻遇岩层包括泥岩、粉砂质泥岩、炭质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、中粗粒砂岩、砂砾岩和煤层。钻遇岩层松散破碎,胶结性差,岩心极易受泥浆冲蚀、钻头钻具的扰动和磨蚀。

铀矿勘查钻孔口径一般采用 $\varnothing 95$ ~110mm,无套管裸眼钻进,一径到底。相同钻孔口径下,单管钻具岩心直径大,钻具结构简单,退心操作方便,在松散砂岩地层取心时,可采用小泵量或无泵钻进。“十三五”之前我国铀矿勘探深度主要在500m以浅,提下钻辅助时间对施工效率的影响较小,普遍采用单管提钻取心钻进方法。

松散砂岩层取心采用投球式无泵取心工艺。工艺流程为:在钻具变径接头上部安装有投球接头,钻具下入离孔底1m左右,先用大泵量冲洗孔内岩粉,然后从接头处投入钢球,开泵送钢球至投球接头处,停泵干钻取心,回次终了加大钻压干钻卡心后提升钻具。

1.2.2 钻进规程

钻进规程参数如表1所示。

表1 砂岩型铀矿钻进参数

Table 1 Drilling parameters for sandstone-type uranium deposits

钻头类型	钻头规格/ mm	转速/ (r·min ⁻¹)	钻压/ kN	泵量/ (L·min ⁻¹)
金刚石复合片钻头	$\varnothing 113/72$	150~350	10~25	100~300

1.2.3 泥浆工艺

采用泥浆以膨润土泥浆为主,各机台主要依据经验添加适量纤维素、腐殖酸钾和护壁剂等:3%~8%膨润土+0.1%~0.2%NaOH+0.1%~0.3%Na-CMC+0.15%~0.75%KHm+0.3%~0.6%广谱护壁剂。

2.3 钻探生产效率

核工业二一六大队、核工业二四三大队和核工业二〇八大队近3年砂岩型铀矿钻探施工钻月效率在1000m左右(见表2)。

表2 核工业3个大队砂岩型铀矿钻探施工效率

Table 2 Drilling efficiency in sandstone-type uranium deposits by three geological companies

施工单位	平均台月效率/m			平均钻月效率/m		
	2017年	2018年	2019年	2017年	2018年	2019年
二一六大队	980.7	1078.9	977.7	767.2	861.7	774.2
二〇八大队	1263.6	1063.4	1068.1	1111.6	952.5	969.9
二四三大队	1342.8	1401.4	1757.2	779.3	901.6	1151.5

注:核工业二〇八大队工区在鄂尔多斯地区。

2 提高地浸砂岩型铀矿钻探效率的技术措施

2.1 实行地表退心平行作业,提高时间利用率

地浸砂岩型铀矿钻探普遍采用泵压退心技术。岩心管提到地表后,通过专用泵压退心接头与泥浆泵连接,利用泥浆泵压将岩心退到岩心槽中,然后整理装入岩心箱。根据现场观察了解,一般情况下,岩心管提到地表后,泵压退心及整理岩心管的时间在20 min左右。如果有特殊情况,或者操作不熟练,时间更长,在30 min以上。

实际钻探退心操作占用泥浆泵,需要待退心操作完成后才能进行下一回次钻进,辅助时间增加,占用钻进时间。假设一天的退心次数10次,将占用200 min。这些时间如果用来钻进,每天的钻探进尺将有很大提高。所以,建议机台配备专用的小型泥浆泵作为退心泵,实行退心和钻进平行作业,提高时间利用率。泥浆泵的主要性能参数推荐为:泵量40 L/min以下,压力3 MPa,单缸或双缸,功率7.5~11 kW。

2.2 规范钻机操作规程,优化钻进工艺参数

明确机台各岗位安全操作规程,严格规范操作,包括各操作动作、对工具的使用、对设备的操作等;操作人员要熟悉机械性能,熟知各环节危险源,减少不规范操作。在保证安全的前提下,明确下钻、取心、提钻、退心、冲洗液调配与维护等流程中各岗位的独立操作和联动操作规程及职责,提高岗位之间的协调性和操作流程的时间利用率。

根据砂岩型铀矿常见地层情况和采用钻进方法,优化钻进工艺参数。结合选用钻头类型、取心/不取心钻进方式、泥浆性能等因素,明确在不同地层中采用钻压、转速、流量等参数的合理范围和组合。这需要采集不同地层中钻进参数对应的机械钻速、钻头寿命和孔内事故率等,分析钻进数据,优

选适宜的钻进参数组合,并根据实际钻进情况,进行主动的钻进参数管理,从钻压、转速、流量、泥浆性能等方面进行调整,以提高机械钻速和钻头寿命。

2.3 选择合理的钻头钻具及泥浆,提高钻进效率

2.3.1 钻头选择

当前地浸砂岩型铀矿钻探取心钻进采用的钻头以PDC复合片钻头为主,极少量硬质合金钻头^[7-8]。针对不同钻进地层,施工机台主要采用不同齿数的PDC复合片钻头,如四齿型、六齿型、八齿型等。从砂岩型铀矿常见碎岩地层和钻头碎岩机理来看,除了复合片钻头齿数的选择,更应该注意从钻头类型、复合片的类型、钻头底面结构、复合片与钻头体的镶焊方式等方面进行考虑和优选。如在松散砂层、砂砾石层和泥岩层,可采用薄壁PDC复合片钻头^[9];在具有一定胶结性的卵砾石层,可采用唇面结构外侧为锥面或弧面的孕镶金刚石钻头,胎体内添加耐冲击硬质材料^[10]。

2.3.2 钻具组合

一方面,目前地浸砂岩型铀矿钻探主要采用提钻式单管取心具可进一步优化改进,如在卵砾石层钻进中,以“挤压套取为主,切(磨)削为辅”的思路^[4],尽量加大岩心直径,提高岩心抗扰动力;减小钻头壁厚,降低磨削工作量,便于挤压套取岩心。建议选用2种规格:

(1)选用 $\varnothing 89$ mm/80 mm岩心管。 $\varnothing 89$ mm岩心管根据壁厚不同,分4.5和6.5 mm两种规格。目前砂岩型铀矿取心钻进中采用的是壁厚6.5 mm的 $\varnothing 89$ mm/76 mm岩心管,配 $\varnothing 113$ mm/72 mm钻头,钻头壁厚20.5 mm,钻进过程中,厚壁钻头难以有效套取岩心,主要消耗在磨削孔底翻滚的卵石上。选用 $\varnothing 89$ mm/80 mm岩心管,钻头内径可增大至 $\varnothing 76$ mm,同时钻头外径可适当减小至 $\varnothing 98\sim 110$ mm。

(2)选用 $\Phi 108$ mm/ 99 mm类型的岩心管,配套钻头外径 $112\sim 122$ mm,内径 95 mm。

另一方面,在深部松散地层,可采用单动双管钻具^[5],配套底喷或超前双管钻头可有效降低钻头振动对岩性的扰动,提高取心效率和取心质量。考虑保证较大的岩心直径,建议尝试采用以下钻具规格: $\Phi 108$ mm/ 99 mm外管、 $\Phi 89$ mm/ 80 mm内管,标准配 $\Phi 110$ mm/ 72 mm钻头。在砂岩地层中应用,钻头外径可适当增大至 $112\sim 122$ mm,根据实际情况调整。

2.3.3 泥浆选择与泥浆净化

砂岩型地层钻探泥浆以膨润土泥浆为主,适量添加纤维素、腐殖酸钾和护壁剂等^[11]。建议推广使用聚合物泥浆^[12],在同一片区明确泥浆性能指标范围,统一规范添加剂的种类及剂量区间,选出 $2\sim 3$ 套推荐泥浆配比方案,供该区域各机台参考使用。同一区域进行规范化管理。

重视和加强泥浆净化工作,采用适合砂岩型铀矿钻探的高效泥浆处理技术,提高钻探泥浆利用率,现场必须配套有泥浆除砂器,建议增配离心机。可借鉴油气钻井泥浆不落地技术,开发适合砂岩型铀矿钻探的轻便式泥浆不落地系统。

2.4 改进松散砂岩取心工艺,提高深部钻探取心效率

20世纪90年代末,为了解决松散砂岩取心难题,中国核工业地质局研究了球(锥)阀式单管无泵取心技术^[4-5],并迅速得到全面推广应用,使松散砂岩岩心采取率从不足 30% 提升到 95% 以上,最大程度保持了岩心原状度。这项技术在钻孔深度小于 500 m,在比较均质的松散砂岩取心有独特优势。在含砾砂岩、砾岩、卵砾石层,球(锥)阀式单管无泵取心效果并不好。另外,无泵取心操作,需要操作人员有较高操作技术水平,如果掌控不好,很容易造成孔内事故,实际钻探生产中,这方面的事故案例很多。

近年来,砂岩型铀矿的勘查深度已经超过 500 m,部分钻孔深度达 1000 m。目前使用的球(锥)阀式单管无泵取心技术,需要在回次终了前进行干钻卡心操作,干钻卡心的时间 $15\sim 20$ min,技术不熟练的工人操作时间更长。钻头失效、卡钻事故基本是在干钻卡钻的过程中发生的。假设一天取心 10 回次,将占用 $150\sim 200$ min。孔深情况下频繁提下钻

杆,耗费大量时间,导致施工效率降低。所以,干钻取心工艺在钻孔深部应用存在很大风险,耗用时间长,已经不适应铀矿勘查的实际需求,需要研究适合深孔、松散岩层的取心工具、取心方法及配套的工艺。

建议采用提钻单动双管取心钻具^[5],合理选用孕镶金刚石钻头或PDC复合片钻头。单动双管钻具配套有专门的卡心装置,免去了单管取心钻具回次终了干钻卡心的操作过程,不仅节约了时间,同时也保证了取心质量和取心操作安全,使取心效率大幅提高。如果配上液动冲击器,可提高双管的回次进尺和取心钻进效率^[13-17]。

建议开展松软岩层大口径绳索取心钻进技术应用试验。与普通提钻式取心方法相比,绳索取心钻进技术具有取心效果好、生产效率高、钻探成本低、劳动强度小等优点^[18-20],其经济效果随着钻孔深度增加而越发显著。但绳索取心作为一种钻进方法,只有在一定的地质和技术条件下,才能取得最好的技术经济效果,也就是说它具有一定的合理的使用范围。所以,在地层条件适合的地区开展砂岩绳索取心钻进的探索应用,是提高深部取心效率和施工效率的有效方法。

中国核工业地质局在“十五”期间就开始了松软岩层绳索取心钻进技术研究工作^[20]。在砂岩中应用绳索取心,虽然目前还存在很多关键问题待解决,如泥浆配比及净化处理、钻孔口径、内外管间隙配合、钻头类型等,短时间还不具备大范围推广的条件,但砂岩型铀矿推广绳索取心钻探将是趋势。

松散岩层绳索取心钻进对泥浆的性能要求更高,需配套开展高效环保的泥浆处理技术的应用,降低泥浆中固相含量,减少钻杆内壁结泥皮的现象,增强孔壁稳定性,并提高泥浆利用率,减少环境污染。

建议开展“不提钻孔内变换钻进方法的复合钻探技术”和“长取心筒深部取心技术”研究。今后砂岩型铀矿取心钻进方法将由普通提钻单管取心向双管提钻取心、绳索取心过渡,逐步形成以不提钻高效安全取心钻进方法为主、提钻单管或双管取心方法为辅的多方法组合。

2.5 提高卵砾石层钻进效率,解决重点难题

北方几个盆地砂岩型铀矿勘查区均有卵砾石

层,鄂尔多斯地区深达几百米的卵砾石层,更是钻探施工的难题,制约着该地区钻探生产效率的提高。卵砾石层钻进效率对整个施工生产效率影响很大,建议:

(1)合理选择钻头。复合片钻头并不适合卵砾石层钻进,尤其是坚硬、尺寸较大、胶结强度高的卵砾石层。推荐使用孕镶金刚石钻头,钻头胎体应具有耐磨、抗冲击的特点^[21-22]。

(2)在卵砾石层有取心要求的情况下,建议使用单动双管取心钻具,逐步取消单管干钻卡取岩心方法。

(3)采用钻铤孔底加压钻进方式。

(4)采用护壁效果较好的低固相聚合物泥浆^[11]。

2.6 采用无岩心钻进,缩短成孔周期

无岩心钻进技术,也称为全面钻进,即在钻进过程中全面破碎岩石,不获取岩心,而是通过岩屑/岩粉录井、物探测井和孔壁取样等手段获得地层资料。该技术在石油天然气钻井、水文水井等大口径钻井领域应用较多;在沉积地层小口径勘查钻孔领域,我国煤田勘探部门长期保持和发展了无岩心钻探,采用无岩心钻探和取心钻探复合钻进技术方法,无岩心钻进效率比取心钻进提高了1~5倍,较大幅度地提高了钻探效率。中国煤炭地质总局通过测井技术的发展,促进了无岩心钻进与测井技术的综合应用^[23]。

2018年以来,随着钻探工作量的增加和找矿工作程度的提高,砂岩型铀矿勘查无岩心钻探工作量的比例逐步提升,以鄂尔多斯地区为例,2020年该地区部分钻孔无岩心钻探工作量可占到75%以上。目前主要采用无岩心钻进+取心钻进复合钻进方式,即非目的层采用无岩心钻进(牙轮钻头/PDC钻头、泥浆循环)快速施工,进入目的层后采用投球式单管取心钻进方式。以鄂尔多斯地区1个700 m深的勘查钻孔为例,约前500 m为无岩心钻进,耗时8~9天,500~700 m段为取心钻进,耗时6~7天,全孔施工周期约为15天,比同地区同深度范围的钻孔施工周期缩短3天以上。从目前来看,采用无岩心钻进可以有效缩短成孔周期,提高施工效率,降低生产成本。建议在非目的层或找矿工作程度高的地区采用无岩心全面钻进。

无岩心钻探显示出高效率的优势,但是,北方

砂岩型铀矿无岩心钻进方法在施工过程中存在着孔斜超差、钻孔超径、钻杆偏磨、钻杆折断事故和泥浆消耗大等问题。如后续大量采用无岩心钻进,建议开展高效无岩心钻进技术研究,重点包括防斜保直钻具、孔底动力技术(螺杆马达+液动冲击器)、高效长寿命全面钻头技术、高压喷射钻进技术和泥浆净化等。

2.7 加强孔内事故预防,降低孔内事故发生率

在钻探过程中,因操作者责任心不强,操作技术不熟练、预防技术措施不当及违章作业或因地质条件复杂和设备、管材质量不好等原因造成孔内事故直接影响钻探工程的施工进度。严重事故致使钻探进尺和管材报废,造成大量人力、物力的浪费,使钻探成本增高及影响钻探任务的顺利完成。因此,加强钻探孔内事故预防工作,制定有效的预防措施,对钻探施工效率和安全生产有着极其重要的意义^[24]。

加强钻探操作工人技能培训,出队前进行为期一周的现场操作培训。每个钻孔开工前组织班组成员学习钻孔施工设计书,对可能出现的施工问题进行分析讨论,提出相应的技术措施和预案,熟悉该地区不同地层泥浆配置及处理剂使用方法。加强钻探机台标准化管理,并严格遵守操作规程和采取有效的预防措施,减少和避免人为因素造成的孔内事故。

选择材质达标、加工及热处理质量合乎要求的钻杆^[25]。改善钻杆工作条件、减小钻杆在孔内的弯曲,在钻孔中使用扶正器,以减小钻杆挠度。采用孔内钻铤配重加压方式钻进来减小钻杆的弯曲,避免使用地表钻机油缸加压。对超径较大的孔段及时进行处理,做好钻孔防斜控斜工作。根据岩层分层合理选择和使用钻头,采用合理钻进参数,严禁盲目加压。钻进中,注意随时改变给进速度来消除钻具共振产生的疲劳破坏。建议开展地浸砂岩型铀矿钻探大直径外平钻杆钻进试验工作,为逐步取消普通 $\varnothing 60$ mm外丝钻杆做技术准备。

及时根据孔内地层情况对泥浆性能进行调整,做好泥浆净化和管理的工作,钻进复杂地层中,应随时调整泥浆,以增强其护壁能力^[11,26]。加强设备使用维护工作,严格按照设备使用手册进行维护保养,发现问题及时处理。

2.8 采用先进的岩心钻探装备,提高作业自动化

水平

砂岩型铀矿钻探设备目前以XY-5、XY-6型立式轴式岩心钻机为主,采用散装和落地式2种装载形式,存在工艺匹配性差、自动化程度低、劳动强度大、给进行程短等缺点。

今后砂岩型铀矿钻探设备应向机械化、自动化、数字化方向发展,具有高效率、高安全、多功能、多工艺、多装载形式等特点。建议结合砂岩型铀矿钻探工艺发展方向,针对性开展砂岩型铀矿地质岩心钻探设备的研发工作,钻探设备应适应大口径绳索取心钻进工艺、适应大直径外平钻杆多工艺钻探、适应综合钻探工艺,具有长行程倒杆、自动送钻功能,可进行恒钻速-恒钻压模式钻进,可机械化加减钻杆、塔上与孔口作业实现自动化,具备机械及孔内安全预警系统,可实现钻进参数的数字化显示-存储-远程传输;便于北方地区盆地砂岩型铀矿快速搬迁,能解决沙化严重、沙漠、沼泽等难进入区铀矿勘查钻探施工难题;进而改善野外工作条件,减轻操作劳动强度,提高设备搬迁与拆装效率,提高钻探生产安全。

3 结语

砂岩型铀矿钻探工作量的逐年增加,勘查区域越来越广、钻探深度越来越深、钻探难题越来越多,现有的几支钻探队伍及钻探装备在提高钻探生产效率,满足高效、安全、绿色发展需求等方面将面临较大压力。改进钻探工艺,更新钻探装备,加强钻探生产管理,是提升铀矿勘查整体钻探技术水平、提高钻探生产效率的有效途径。建议加强钻探生产科研,研究钻探新工艺、新方法和新装备,加强钻探生产标准化管理,全面提升砂岩型铀矿钻探技术水平,保障新形势下的铀矿勘查需求。

参考文献(References):

- [1] 谈成龙. 钻探在可地浸砂岩型铀矿勘查中的地位与作用[J]. 铀矿地质, 2000, 16(2): 121-122.
TAN Chenglong. The position and function of drilling in prospecting for in-situ leachable sandstone-type uranium deposits[J]. Uranium Geology, 2000, 16(2): 121-122.
- [2] 姜德英, 刘晓阳. 核工业地浸砂岩型铀矿钻探技术发展概况[J]. 探矿工程, 2003(S1): 204-207.
JIANG Deying, LIU Xiaoyang. Development outline of nuclear industry in-situ leaching sand uranium deposit drilling technology [J]. Exploration Engineering, 2003(S1): 204-207.
- [3] 姜德英, 闭义德. 中国铀业钻探工程发展态势及重要举措[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(S1): 1-3.
JIANG Deying, BI Yide. Development trend and important measures of uranium drilling project in China [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(S1): 1-3.
- [4] 姜德英, 刘晓阳. 铀矿地质钻探主要技术成果及需要解决的技术问题[C]// 中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2011: 26-30.
JIANG Deying, LIU Xiaoyang. Main technical achievements of uranium geological drilling and technical problems to be solved [C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Sixteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 26-30.
- [5] 刘晓阳, 姜德英, 杨爱军. 松散岩层钻探技术应用研究进展及其主要成果[J]. 铀矿地质, 2005, 21(3): 169-176.
LIU Xiaoyang, JIANG Deying, YANG Aijun. Progresses of application research on drilling technology to loose rock formation and principal achievements [J]. Uranium Geology, 2005, 21(3): 169-176.
- [6] 刘晓阳, 段隆臣, 姜德英, 等. 松辽盆地可地浸砂岩型铀矿钻探施工技术[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(4): 130-134.
LIU Xiaoyang, DUAN Longchen, JIANG Deying, et al. Drilling technology of in-situ leaching sand uranium deposit in Songliao Basin [J]. West-China Exploration Engineering, 2004, 16(4): 130-134.
- [7] 姜德英, 刘晓阳, 朱明章, 等. 铀矿勘查岩心钻探系列钻头的研制、开发与应用[J]. 铀矿地质, 2007, 23(4): 244-248.
JIANG Deying, LIU Xiaoyang, ZHU Mingzhang, et al. Research, development and application of the series core drilling bit for uranium exploration [J]. Uranium Geology, 2007, 23(4): 244-248.
- [8] 刘晓阳, 杨爱军, 孙建华. 混镶式硬质合金钻头在卵砾岩层中的应用[J]. 西部探矿工程, 2005, 17(12): 188-189.
LIU Xiaoyang, YANG Aijun, SUN Jianhua. Application of mix-inserted carbide drill bit in gravel layer [J]. West-China Exploration Engineering, 2005, 17(12): 188-189.
- [9] 要二仓, 邢预恩, 张富兰, 等. 地浸砂岩型铀矿致密泥岩齿形复合片钻头的研究与应用[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 316-322.
YAO Ericang, XING Yuen, ZHANG Fulan, et al. Research and application of serrate composite bits to drilling at dense mudstone in uranium deposits of disseminated sandstone type [J]. Geology and Exploration, 2011, 47(2): 316-322.
- [10] 刘晓阳, 段隆臣, 杨爱军. 地浸砂岩型铀矿卵砾石层钻进钻头的试验研究[J]. 地质科技情报, 2005, 24(1): 107-110.
LIU Xiaoyang, DUAN Longchen, YANG Aijun. Test research of bits for drilling cobble and gravel formation of in-situ

- leaching uranium deposit[J]. Geological Science and Technology Information, 2005,24(1):107-110.
- [11] 刘晓阳.“双护”泥浆在地浸砂岩型铀矿钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(9):55-56.
LIU Xiaoyang. Application of “Double protections” mud in sandstone uranium mine drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004,31(9):55-56.
- [12] 要二仓,郑秀华,张富兰,等.快速钻进冲洗液在地浸砂岩型铀矿的应用试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):251-254.
YAO Ercang, ZHENG Xiuhua, ZHANG Fulan, et al. Application test of faster penetration drilling fluids in in-situ leachable sandstone-type uranium deposit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36 (S1) : 251-254.
- [13] 谢文卫,苏长寿,宋爱志.新型高冲击功液动潜孔锤的研究[J].探矿工程,1998(6):31-32.
XIE Wenwei, SU Changshou, SONG Aizhi. Research on new hydro hammer with high impact energy [J]. Exploration Engineering, 1998(6):31-32.
- [14] 沈建中,贺庆,韦忠良,等.YSC-178型液动射流冲击器在旋冲钻井中的应用[J].石油机械,2011,39(6):52-54,94.
SHEN Jianzhong, HE Qing, WEI Zhongliang, et al. The application of model YSC-178 hydraulic jet hammer in rotary percussion drilling [J]. China Petroleum Machinery, 2011,39(6):52-54,94.
- [15] 菅志军,殷琨,蒋荣庆,等.油气勘探钻井用液动射流式冲击器的研究与应用[J].世界地质,1998,17(4):88-92.
JIAN Zhijun, YIN Kun, JIANG Rongqing, et al. The research on hydro efflux DTH hammer applying to oil and gas exploration drilling [J]. World Geology, 1998,17(4):88-92.
- [16] 王雷,郭志勤,张景柱,等.旋冲钻井技术在石油钻井中的应用[J].钻采工艺,2005,28(1):8-10.
WANG Lei, GUO Zhiqin, ZHANG Jingzhu, et al. Application of percussive-rotary drilling technology in oil wells [J]. Drilling & Production Technology, 2005,28(1):8-10.
- [17] 菅志军,张文华,刘国辉,等.石油钻井用液动冲击器研究现状及发展趋势[J].石油机械,2001,29(11):43-46.
JIAN Zhijun, ZHANG Wenhua, LIU Guohui, et al. Current status and developing trend of research on hydraulic hole hammer for oil drilling [J]. China Petroleum Machinery, 2001,29(11):43-46.
- [18] 张元清,孟庆伟,颜廷福,等.松软煤系地层深孔绳索取心钻探实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):38-40,45.
ZHANG Yuanqing, MENG Qingwei, YAN Tingfu, et al. Practice of wire-line coring drilling in soft coal measure strata [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(11):38-40,45.
- [19] 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 drilling technology for deep hole in soft sedimentary rocks [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(1):16-19.
- [20] 贾中芳,王强,姜德英.绳索取心钻进技术在砂岩铀矿勘查中的应用研究[J].探矿工程,2002(6):34-36.
JIA Zhongfang, WANG Qiang, JIANG Deying. Application of wire line coring drilling technology in sandstone uranium exploration [J]. Exploration Engineering, 2002(6):34-36.
- [21] 屠厚泽.球状合金钻头在卵砾石层钻进中的应用研究[J].地质与勘探,2000,36(2):5-6.
TU Houze. Study on ball carbide bit in drilling gravel formation [J]. Geology and Exploration, 2000,36(2):5-6.
- [22] 刘晓阳,段隆臣,姜德英,等.金刚石-硬质合金复合齿钻头在卵砾石地层中的应用[J].煤田地质与勘探,2004,32(1):63-64.
LIU Xiaoyang, DUAN Longchen, JIANG Deying, et al. Application of diamond enhanced tungsten carbide composite button to gravel formation [J]. Coal Geology & Exploration, 2004,32(1):63-64.
- [23] 叶庆生.中国煤炭核测井技术发展历程与贡献[J].中国煤田地质,2003,15(6):68-70,108.
YE Qingsheng. Coalfield nuclear logging technology development course and its contribution [J]. Coal Geology of China, 2003,15(6):68-70,108.
- [24] 申庆民.可地浸砂岩型铀矿复杂地层钻探的技术措施[J].探矿工程,1999(S1):180-183.
SHEN Qingmin. Technical measures for drilling complex formation of in-situ leachable sandstone-type uranium deposit [J]. Exploration Engineering, 1999(S1):180-183.
- [25] 刘晓阳,段隆臣,姜德英.地浸砂岩型铀矿钻探钻杆的使用及改进[J].探矿工程,2003(S1):183-184.
LIU Xiaoyang, DUAN Longchen, JIANG Deying. Application and improvement of drilling pipe for in-situ leachable sandstone-type uranium deposit [J]. Exploration Engineering, 2003 (S1):183-184.
- [26] 申庆民.地浸砂岩型铀矿钻探施工治理涌水地层技术措施[J].探矿工程,2003(S1):229-230,235.
SHEN Qingmin. Control countermeasure to gush formation drilling for sandy type uranium mine [J]. Exploration Engineering, 2003(S1):229-230,235.

(编辑 荐 华)