

浅层气区地质岩心钻探技术综合研究与应用

吴金生^{1,2}, 房 勇^{1,2}, 石绍云^{1,2}, 邓 伟^{1,2}, 黄晟辉^{1,2}, 齐 江³

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川成都 611734; 2.中国地质调查局地质灾害防治技术中心,四川成都 611734; 3.核工业二一六大队,新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:核电发展需要稳定的铀资源供应,在我国北方油气盆地开展砂岩型铀矿战略选区和调查评价,需要对主要异常和重点地区进行取心钻探工程验证。但钻进地层极松散破碎,取心率低;浅层气发育,井控要求高;大直径扩孔,井斜和携岩困难;极寒冬季施工及环保要求高。通过研究和探索,形成了一套浅层气区极松散破碎地层的绿色综合钻探技术体系及工艺方法,包括单管锥阀取心、环保高粘低失水泥浆、远程井控、钻铤及导向钻具分级扩孔等,为北方砂岩型铀矿找矿突破和资源能源安全保障提供技术支撑,具有示范与推广作用。

关键词:浅层气区;极松散破碎地层;砂岩型铀矿;钻探技术;取心钻进;环保泥浆;远程井控

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)08-0023-05

Comprehensive Study and Application of Geological Core Drilling Technology in Shallow Gas Area/WU Jin-sheng^{1,2}, FANG Yong^{1,2}, SHI Shao-yun^{1,2}, DENG Wei^{1,2}, HUANG Sheng-hui^{1,2}, QI Jiang³ (1.Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2.Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 3.216 Nuclear Industry Brigade, Urumqi Xinjiang 830011, China)

Abstract: The development of nuclear power requires a stable supply of uranium resources. For the strategic selection and investigation & evaluation of sandstone-type uranium deposits in oil and gas basins in northern China, the main anomalies and key areas need to be verified by coring drilling. In view of the poor geological conditions of extreme loose and broken strata with low core recovery, shallow gas development, high well control request, large diameter hole reaming with difficult well inclination control and difficult rock carrying, construction in extremely cold winter and high environmental protection request, a set of green integrated drilling techniques and methods is successfully explored for drilling in extremely loose fractured formation in shallow gas area such as single pipe cone valve coring, environment-friendly high viscosity and low cement loss slurry, remote well control, graded reaming with drill collar and guiding drilling tool, which provides technical support for prospecting breakthrough of sandstone-type uranium deposit in northern China and energy supply security with extension demonstration.

Key words: shallow gas zone; extremely loose and broken formation; sandstone-type uranium deposits; drilling technology; coring drilling; environment-friendly slurry; remote well control

1 选题依据与研究意义

核电发展需要铀资源的稳定供应,我国北方含油气盆地煤、油、铀同盆共生,铀矿成矿潜力巨大,工作程度较低,油气田区具有大量的放射性测井资料,利用油气田资料“二次开发”技术思路,开展铀矿调查工作,能快速摸清盆地铀资源家底,为国家提交铀矿找矿靶区和矿产地,也可为盆地多种资源综合利用和生态环境保护提供依据。

以我国北方主要含油气盆地为重点,开展油气田勘查区砂岩型铀矿战略选区和调查评价工作,对主要异常和重点地区开展钻探工程验证,查明异常

的矿化特征。但油气盆地砂岩型铀矿钻探不同于一般的地质岩心钻探,主要表现在地层极松散破碎、取心率低、钻孔口径大、井控要求高、极寒冬季施工、环保要求高等难题。

为攻克该地区钻探技术难题,主要从改善松散破碎地层取心、浅层气地区钻探施工井控等方面进行钻探技术综合研究,探索形成一套适合浅层气区松散破碎复杂地层条件下的绿色综合钻探技术体系。通过2016—2017年的现场钻孔应用,共完成钻孔34个,完成钻探工作量12064.14 m,全部钻孔顺利通过天津地调中心的终孔验收,钻孔合格率达100%,优质孔率

收稿日期:2018-07-01

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“油气田勘查区砂岩型铀矿调查与勘查示范(中国地质科学院探矿工艺研究所)”(编号:DD20179103);“十三五”重点研发计划“深部原位取心原理与技术”(编号:2016YFC0600701)

作者简介:吴金生,男,汉族,1970年生,教授级高级工程师,博士,地质工程专业,主要从事深孔复杂地层钻探技术及科学钻探研究工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路139号,542768373@qq.com。

达90%，取得了阶段性成果，具有示范与推广作用。

2 主要研究内容和技術路线

解决浅层气区极松散破碎地层砂岩型铀矿地质取心钻探技术难题是一项系统工程，必须进行综合治理。采用国内最好的技术，借鉴石油钻井井控经验来解决砂岩型铀矿钻探技术难题，主要采用成熟、可靠和先进的技术，同时开展一些急需的、能在短期内见效的技术研发。

项目的研究内容涉及五大方面，主要从极松散破碎地层取心、大直径扩孔与携岩、防斜保直、井控以及环保措施等五大方面进行综合性钻探技术研究。其研究框图如图1所示。

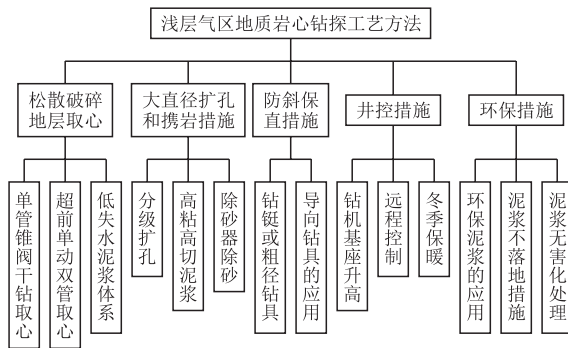


图1 研究内容框图

3 主要阶段性成果和创新点

项目组克服重重困难，冒着极寒冬季施工和可能存在的铀辐射，紧密围绕着浅层气区砂岩型铀矿田复杂的地层条件和恶劣的气候条件，进行了大量的现场试验与研究，开展浅层气区极松散破碎地层综合钻探技术体系的研究与应用，取得了阶段性成果。

3.1 形成一套适合浅层气区松散破碎复杂地层条件下的绿色综合钻探技术体系及工艺方法

集成创新，成功探索一套单管锥阀取心、环保高粘低失水泥浆体系、钻铤及导向钻具分级扩孔、岩心钻机远程井控措施等钻探技术组合，形成一套适合浅层气区松散破碎复杂地层条件下的绿色综合钻探技术体系及工艺方法，为北方砂岩型铀矿找矿突破和资源能源安全保障提供技术支撑。

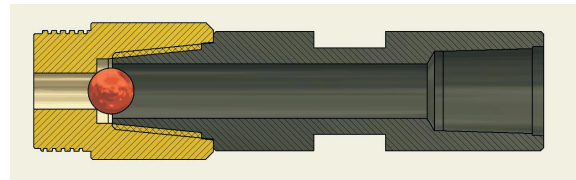
该技术体系及工艺方法显著提高油气田勘查区砂岩型铀矿的钻探施工效率、降低钻探施工成本、改善钻探施工质量。2016—2017年，共完成钻孔34个，完成钻探工作量12064.14 m，超过了设计钻探

工作量1264.14 m，平均台月效率774.90 m，平均机械钻速3.89 m/h，岩心采取率82.48%，全部钻孔顺利通过天津地调中心的终孔验收，钻孔合格率达100%，优质孔率达90%，取得了阶段性成果，达到并超过了预期目标。

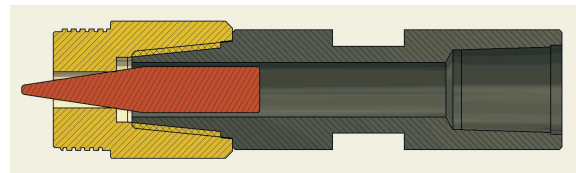
3.2 采用单管锥阀取心技术解决松散破碎砂层的原状取心技术问题

采用松散破碎砂层的单管锥阀取心技术完成钻孔34个，完成钻探工作量12064.14 m，岩心采取率达82.48%，大大超过地质设计要求，至少比过去在同样地区岩心采取率提高30%以上，达到并超过了地质预期目标。

针对松散破碎砂层取心技术难题，采用单动双管取心卡心困难，岩心采取率不高；采用单管球阀取心，球阀在起下钻过程中容易出现晃动，岩心原状性易破坏；采用单管锥阀取心，锥阀在起下钻过程中密封性好，不易扰动，岩心的原状性和采取率大幅提高。锥阀取心与球阀取心对比如图2所示。



(a) 球阀



(b) 锥阀

图2 球阀与锥阀取心原理区别

在采用单管锥阀取心时，同时采取以下工艺措施：(1)增大钻头内外径。 $\varnothing 89$ mm岩心管配 $\varnothing 113$ mm钻头，减少缩径对钻进的负面影响。(2)加大钻头水口。采用4~6个水口，每个水口过水面积较大，减少泥浆循环对岩心冲刷。(3)硬质合金或复合片数量少，增加切入深度，达到快速钻进的目的。(4)泥浆采用高粘低失水泥浆，小泵量或干钻进行钻进。(5)严格控制回次进尺。通过改进取心钻具与工艺方法，比过去在同样地区岩心采取率提高30%以上。砂层原状取心如图3所示。

3.3 采用环保高粘低失水泥浆体系，成功实现大直径携岩、护壁护心及环保问题



图 3 砂层原状岩心

环保高粘低失水泥浆技术体系具有较强的携岩能力,护心和环保效果好。

3.3.1 低失水泥浆体系的应用

表 1 高粘高切泥浆性能参数

漏斗粘度/s	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	失水量/[($\text{mL} \cdot (30 \text{ min})^{-1}$)]	初切/终切/Pa	PV/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	YP/Pa	AV/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	动塑比
80~120	1.20~1.30	8~12	10~12/22~26	20~33	13~22	34~55	0.53~0.88

3.3.3 环保泥浆

按照“五位一体”生态文明建设要求和“十三五”发展理念,油气田勘查区砂岩型铀矿勘查必须是绿色勘查,因此,钻探施工必须满足环境保护要求。钻探施工用泥浆应为环保无污染泥浆,泥浆体系中不含有毒有害等成分,不对环境造成污染,同时具有抑制、防塌、润滑、封堵及各组分能满足生物自然降解的特性。

现场用泥浆主要为膨润土聚合物环保泥浆体系:(1)第四系地层钻进采用膨润土聚合物泥浆体系:优质膨润钠土,添加 CMC、纯碱等。其性能参数:密度 $1.20 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $50 \sim 90 \text{ s}$,失水量 $12 \sim 25 \text{ mL/30 min}$ 。(2)松散砂岩、砂砾岩和易碎的泥质岩层钻进采用钾基—膨润土聚合物泥浆体系:优质膨润钠土,添加 CMC、纯碱、KCl 等。其性能参数:密度 $1.15 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $40 \sim 80 \text{ s}$,失水量 $6 \sim 12 \text{ mL/30 min}$ 。(3)自然造浆地层钻进采用抑制性低固相钾基—膨润土聚合物泥浆体系:优质膨润钠土,添加 CMC、纯碱、腐植酸钾等。其性能参数:密度 $1.12 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $30 \sim 60 \text{ s}$,失水量 $10 \sim 18 \text{ mL/30 min}$ 。

极松散破碎砂层取心泥浆性能的调节是关键因素之一,通过现场多次试验,得出了适用于该地层的低失水泥浆体系,主要采用优质的油井钠膨润土,添加 CMC、纯碱和 KCl 若干,适当提高泥浆密度进行一级井控,其性能控制在:密度 $1.20 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $40 \sim 45 \text{ s}$,失水量 $6 \sim 11 \text{ mL/30 min}$,取得了非常好的岩心质量和岩心采取率。

3.3.2 高粘高切泥浆体系的应用

大直径扩孔主要采用优质的油井钠膨润土,添加 CMC、纯碱、KCl 和 BaSO_4 若干,主要提高泥浆的粘度与切力,其性能控制在:密度 $1.20 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $80 \sim 120 \text{ s}$,失水量 $6 \sim 12 \text{ mL/30 min}$,动塑比 $0.53 \sim 0.88$,该泥浆体系具有较高的粘度和切力,携带岩粉能力较强,确保大直径扩孔时孔内干净。其高粘高切泥浆性能参数见表 1。泥浆净化采用较长循环系统,较大的泥浆池自然沉淀和除砂器机械除砂净化。

泥浆不落地措施:在自动出心时,采用滑槽,便于泥浆收集;为防止泥浆在循环过程中与地表接触污染环境,采用自制的泥浆循环槽和泥浆池(铁质或塑料),钻孔完成后进行废浆无害化处理,排出清水,固体填埋。泥浆不落地措施如图 4 所示。



图 4 泥浆不落地措施

3.4 借鉴油气钻井井控经验,成功解决浅层气区岩心钻探井控风险

借鉴石油钻井井控经验,浅层气区钻井的每个机台均安装井口防喷装置、远程控制装置、节流管汇、压井管汇、真空除气器、点火装置及简易气体探测仪器等预防措施。

钻机基座升高措施:地质岩心钻机,一般是不抬高钻机基座,没有考虑安装防喷器。在浅层气区施工,为确保钻孔施工安全,必须安装防喷器,因此,必

须升高钻机基座,基座高度至少 2.2 m 以上,且具有强度和稳定性要求,需要专业的单位进行设计和加工制作。

远程控制措施:防喷器配套要齐全且有远程控制功能,其中,防喷器压力等级不得低于 14 MPa,需要配备双闸板防喷器、节流管汇、压井管汇、远程控制台、司钻控制台、液气分离器、点火装置、备用重浆(12 m³ 以上)。防喷器及配套装置如图 5 所示。



图 5 防喷器及配套装置

冬季保暖措施:防喷器在大庆冬季施工时,为保证防喷器的正常运行,防止管路冻死、冻裂等,一定要做好冬季保暖工作。如更换防喷器冬季防冻液、管路缠保暖胶带等。

3.5 采用分级扩孔和高粘高切泥浆携岩措施,确保扩孔携岩、保护井壁和井斜控制

为防止浅层气区井喷安全防控问题,一开使用 $\varnothing 113$ mm 取心钻至稳定地层,再用全面钻头扩孔至 $\varnothing 200$ mm 左右,深度进入稳定地层,下入 $\varnothing 139.7$ mm 套管并固井,安装防喷器,确保钻探施工安全。

3.5.1 分级扩孔

为防止大直径扩孔孔斜及孔壁垮塌,采用分三级扩孔,其三级扩孔钻具组合如下:

- (1) $\varnothing 132$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 127$ mm 钻杆 + $\varnothing 89$ mm 钻杆 + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 89 主动钻杆;
- (2) $\varnothing 151$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 127$ mm 钻杆 + $\varnothing 89$ mm 钻杆 + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 89 主动钻杆;
- (3) $\varnothing 200$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 127$ mm 钻杆 +

$\varnothing 89$ mm 钻杆 + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 89 主动钻杆。

分三级扩孔,防止孔斜及孔壁垮塌:为保证钻孔在扩孔中保持孔直,扩孔期间加 $\varnothing 89$ mm 钻杆导正。在钻头处理方面,将钻头底部加工上有锥度的合金钻头,这样既保证在扩孔期间保证不会扩偏,也加快了扩孔速度。

3.5.2 高粘高切泥浆体系的应用

主要采用优质的油井钠膨润土,添加 CMC、纯碱、KCl 和 BaSO₄ 若干,主要提高粘度与切力,其性能控制在:密度 1.20~1.30 g/cm³,漏斗粘度 80~120s,失水量 6~12 mL/30 min,动塑比 0.53~0.88,该泥浆体系具有较高的粘度和切力,携带岩粉能力较强,确保大直径扩孔时孔内干净。其具体性能见表 1。

3.5.3 除砂器除砂

大直径扩孔时,通过调整泥浆性能,提高泥浆的粘度和切力,同时增大泵量,岩粉携带能力大大增强,但携带上来的岩粉必须及时清除出去,避免随着

泥浆的循环再次进入孔内,影响泥浆的性能,泥浆中的有害固相含量增加,泥饼虚厚,影响孔壁稳定,因此,必须采用除砂器及时除砂,维护泥浆性能稳定。

3.6 大直径钻孔防斜保直措施

在大直径扩孔和 $\varnothing 200$ mm(一开)变径为 $\varnothing 113$ mm(二开)时,可能存在孔斜,除把好开孔关和钻进参数外,一是分级扩孔,二是优化钻具组合。

3.6.1 大直径分级扩孔

$\varnothing 113$ mm 取心直径扩孔至 $\varnothing 200$ mm 时,采用三级扩孔,也是防止孔斜,具体见前面介绍。

3.6.2 钻铤和粗径钻具的应用

取心钻具组合: $\varnothing 113$ mm 合金取心钻头 + $\varnothing 89$ mm 取心钻具 + $\varnothing 68$ mm 钻铤 $\times 65$ m + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 89 主动钻杆。即取心钻进中,其钻具组合中增加 $\varnothing 68$ mm 钻铤,一是增加下部粗径钻具的刚性,二是使钻具中和点位于钻铤上,钻杆处于收拉状态,钻具稳定性较好,不易产生弯曲。

扩孔钻具组合: $\varnothing 200$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 127$ mm 钻杆 + $\varnothing 89$ mm 钻杆 + $\varnothing 60$ mm 钻杆 + 89 主动钻杆。即扩孔钻进中,其钻具组合中增加 $\varnothing 127$ mm 钻杆、 $\varnothing 89$ mm 钻杆等粗径钻具,采用塔式钻具组合,一是增加钻具的刚性,二是增加钻具的稳定性,不易产生孔斜。

3.6.3 导向钻具的应用

为保证钻孔在扩孔中保持孔直,扩孔期间加 $\varnothing 89$ mm 钻杆导正。在钻头处理方面,将钻头底部加工上有锥度的合金钻头,这样既保证在扩孔期间不会扩偏,也加快了扩孔速度。二开换径时,钻具组合中采用导向钻具,防止二开开孔偏斜。

4 结语

集成创新,成功探索一套单管锥阀取心、钻铤及导向钻具分级扩孔、岩心钻机远程井控措施、环保高粘低失水泥浆体系等钻探技术组合,形成一套适合浅层气区松散破碎复杂地层条件下的绿色综合钻探技术体系及工艺方法,为北方砂岩型铀矿找矿突破

和资源能源安全保障提供技术支撑,具有示范与推广作用。

油气田勘查区砂岩型铀矿调查与勘查示范(718工程)的顺利实施,标志着中国地质科学院探矿工艺研究所能够在时间紧、任务重的情况下,克服油气田区钻探施工井控要求高、极寒冬季施工、队伍长途远征、松软复杂地层取心、大直径扩孔以及环保要求高等难题,为 718 工程等国家资源能源安全保障提供强有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 吴金生,陈礼仪,张伟.破碎松软地层取心钻头孔底流场数值模拟及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):107-110.
- [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.
- [3] 吴金生,张统得,赵远刚,等.新能源地质调查钻井中的难题对策研究与实施[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十九届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集,2017.
- [4] 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,(4):130-134.
- [5] 李世忠主编.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1992.
- [6] 鄢捷年主编.钻井液工艺学[M].山东东营:中国石油大学出版社,2006.
- [7] 吴金生,李子章,李政昭,等.绿色勘查中减少探矿工程对环境影响的技术方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):112-116.
- [8] 吴金生,张统得,刘卫东,等.高原生态脆弱区钻探技术体系综合研究与示范[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):117-121.
- [9] 刘卫东.若尔盖碳硅泥页岩型铀矿钻探工作回顾与技术对策[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集,2015.
- [10] 张文英,刘卫东,赵燕来,等.若尔盖铀矿区复杂易斜地层定向分支钻孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):22-24.
- [11] 吴金生,贾军,段玉刚,等.汶川地震断裂带科学钻探项目钻探事故预防与处理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):49-52,65.
- [12] 王建国,万建仓,沈慧.钻井工程[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [13] 王清江,毛建华,韩贵金,等.定向钻井技术[M].北京:石油工业出版社,2009.