

高原生态脆弱区钻探技术体系综合研究与示范

吴金生¹, 张统得¹, 刘卫东², 钱锋¹, 胡立¹

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 2. 四川省核工业地质局, 四川 成都 610021)

摘要:高原生态脆弱区若尔盖铀矿田是我国四大基本类型铀矿田之一,地处高原藏区、生态脆弱、山高坡陡,地层为灰岩、硅灰岩及碳质板岩交互,区内断裂构造发育,岩层产状陡,孔内漏失、垮塌、水敏缩径及孔斜并存,导致取心率低、钻进效率低、质量差。解决若尔盖钻探技术难题是一项系统工程,从改善孔内安全、提高钻进效率、改善施工质量、减少钻机搬迁及提高搬迁效率等方面集成创新、综合治理,形成一套适合若尔盖复杂地层的综合钻探技术体系,在西部高原及深孔复杂地层钻进具有示范与推广作用。

关键词:生态脆弱区;复杂地层;综合钻探技术体系;若尔盖铀矿田

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2016)10-0117-05

Research and Demonstration of Drilling Technology System in the Ecological Fragile Zone of Plateau/WU Jin-sheng¹, ZHANG Tong-de¹, LIU Wei-dong², QIAN Feng¹, HU Li¹ (1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. Sichuan Nuclear Geology, Chengdu Sichuan 610021, China)

Abstract: Ruoergai uranium deposit is one of the four basic types of uranium ore field in China, where the limestone, silicon limestone and carbonaceous slate are interbedded. The development of faults and steep rock occurrence in this area are the main reasons for hole leakage, collapse, shrinkage and deviation, which also lead to low coring rate, low drilling efficiency and low drilling quality. To solve these drilling problems in Ruoergai is a system engineering, the integrated innovation and management should be started from improving hole safety, drilling efficiency, construction quality, reducing rig moving times and improving removal efficiency to form a set of comprehensive drilling technology system suitable for the complex strata in Ruoergai. This drilling system has demonstration effects for drilling in Western Plateau and deep hole of complex formations.

Key words: ecological fragile zone; complex formation; integrated drilling technology system; Ruoergai uranium ore field

1 选题依据与研究意义

四川省若尔盖铀矿田地处高原藏区、生态脆弱、环境恶劣,植被一旦破坏后,自然恢复的速度极低,其结果会恶化生态环境;山高坡陡、搬迁困难;若尔盖铀矿田位于西秦岭褶皱带的南亚带,区内断裂构造十分发育;地层为灰岩、硅灰岩、碳质板岩及断层破碎带交互进行;岩层产状较陡;钻孔条件十分复杂。如图1所示,孔内漏失、垮塌、水敏缩径及孔斜同时存在,泥浆性能难以维护。孔壁失稳,导致取心率低、钻进效率低、质量差、成本高,一直被我国地质钻探工程界称为“五毒俱全”地层。

但四川省若尔盖铀矿成矿条件特别优越,有丰富的铀源,成矿深度大,矿量集中,品位较富,是我国西部最大的经济性好的硬岩型铀矿田,也是目前我



图1 复杂地层条件

国硬岩型保有储量最大的铀资源大基地,已纳入国家“358”的整装勘查范围。

收稿日期:2016-07-30

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“高原生态环境脆弱区综合钻探技术应用示范(四川省若尔盖碳质泥岩型铀矿地质调查)”(编号:12120113017200)

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

为攻克若尔盖铀矿钻探技术难题,探矿工艺所和四川省核工业地质局联合实施了地质调查项目——高原生态环境脆弱区综合钻探技术应用示范,集成创新了多项钻探技术成果,综合解决了若尔盖钻探技术难题,形成了一套适合恶劣地理、地形条件和复杂地层条件的钻探技术体系。

2 主要研究内容和技术路线

解决若尔盖铀矿田复杂施工条件钻探施工难题的工作是一项系统工程,必须进行综合治理。采用国内最好的技术,依靠国内钻探界的综合力量来解决若尔盖铀矿钻探技术难题,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。

项目的研究内容主要从改善孔内安全、提高钻进效率、改善施工质量、减少钻机搬迁以及提高搬迁效率等方面进行综合性钻探技术研究。其研究框图如图2所示。

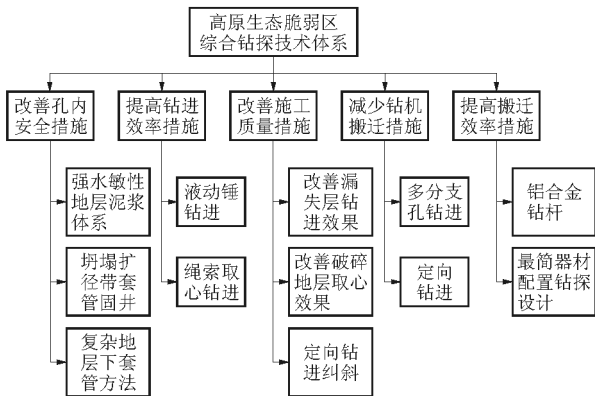


图2 主要研究内容框图

根据五大研究内容,开展七大技术专题方面的研究,分别为:防斜、纠斜和多分支孔定向钻进技术,复杂地层套管护壁钻进技术,漏失层钻进与快速堵漏技术,强水敏/极破碎性地层的泥浆护壁技术,复杂地层取心钻进技术,铝合金钻杆/液动锤提钻取心钻进技术,液动锤绳索取心钻进技术。

3 主要阶段性成果

项目组克服重重困难,冒着高原反应和可能存在的铀辐射,紧密围绕着四川省若尔盖铀矿田恶劣的地理、地形条件和复杂的地层条件,进行了大量的现场试验与研究,开展高原生态环境脆弱区综合钻探技术体系的研究与应用,取得了阶段性成果。

(1)集成创新,成功探索出了一套小直径有缆随钻/螺杆马达定向钻进、套管取心钻进、钾石灰-聚磺泥浆、复合凝胶(FHD)快速堵漏等钻探技术组合。首次在国内地质勘探极端复杂地层成功应用套管钻进技术,并创造了国内地质钻探连续套管钻进270 m的纪录;成功应用地质钻探小直径受控定向钻进技术取得重大突破,形成了一套适合于若尔盖铀矿田复杂地层条件和恶劣地理条件的综合钻探技术体系,为若尔盖铀矿资源能源安全保障提供技术支撑,最大限度地减少对高原生态环境脆弱区的扰动。

该技术体系显著提高了若尔盖铀矿区的钻探施工效率、降低了钻探施工成本、改善了钻探施工质量。开展高原生态环境脆弱区综合钻探技术应用示范项目后,完成的总工作量提高了172%,平均台月效率提高76.6%,平均机械钻速提高44%,钻孔合格率达100%,优质孔率达76%,取得了阶段性成果,达到了预期目标。

(2)小直径地质受控定向钻进技术在极端复杂地层取得突破,成功进行了定向钻进/分支孔/纠斜施工/侧钻绕障等,获得了高质量的定向效果,成功实现了“一基多孔、一孔多支”的钻探目标,减少搬迁、保护生态、提高了效率。

定向钻进方法有很多种,主要使用机械式连续造斜器、螺杆马达/随钻测斜技术(有缆和无缆)以及钻具组合等定向钻进方法,但每种方法均有它的适用条件和特点,根据若尔盖定向钻进钻孔直径小、精度高、深度深且成本相对较低的实际情况,优选有缆随钻/螺杆马达定向技术。

有缆随钻/螺杆马达定向技术在若尔盖铀矿田成功完成1个钻孔中进行2个分支孔(ZK3-1、ZK3-5)的钻进试验,揭穿下部更深铀矿层,对扩大铀矿储量,增大矿区范围具有重要意义;在ZK8-5孔位上完成了1个跨越勘探线三维定向孔(ZK4-1)施工;1个二维定向孔(ZK12-1)施工;在2个钻孔(ZK15-1、ZK15-5)中进行纠斜试验;完成了3次侧钻绕障事故处理,取得了高精度的定向效果,满足了地质设计要求,成功实现了“一基多孔、一孔多支”的高原生态环境脆弱区绿色钻探施工。其工程部署如图3所示。

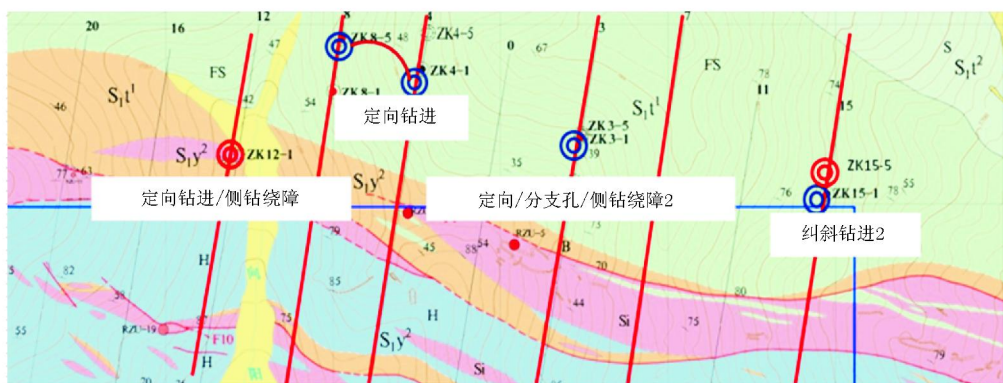


图 3 定向钻孔部署图

(3) 套管护壁取心钻进技术在若尔盖铀矿极端复杂地层试验成功, 创造了国内地质勘探极端复杂地层条件下长孔段套管取心钻进的纪录(最大提钻间隔 126.06 m), 为地质勘探顺利穿越复杂地层提供了实用、有效的钻进方法, 成为克服地质矿产勘查复杂地层钻进难题的“法宝”。

在若尔盖铀矿上部复杂地层, 松软破碎, 孔壁稳定性较差, 泥浆护壁困难, 采用套管取心钻进技术, 进行不提钻换钻头取心钻进, 尽可能减小或消除因

提钻导致的钻孔坍塌、掉块等孔内钻进故障, 改善施工环境, 维持钻孔安全施工, 使钻孔有效穿越上部复杂地层。

套管取心钻进原理是采用特制套管代替绳索钻杆传递钻压、扭矩和作为传送泥浆的通道; 用套管取心钻具进行不提钻(绳索)换钻头取心钻进, 钻至预定孔深后, 将孔底取心钻具提离钻孔, 套管(绳索)钻柱则留在孔内作技术套管保护孔壁。套管钻进取心钻具及装配图如图 4 所示。



图 4 套管取心钻具及装配图

采用 $\varnothing 114$ mm 套管取心钻进技术在若尔盖铀矿田 3 个钻孔(ZK3-1、ZK4-1、ZK12-1)内进行套管取心钻进技术试验, 其中, ZK3-1 孔为直孔, ZK4-1 孔为斜孔(5°), ZK12-1 孔为斜孔(9°), 累计试验进尺 582.43 m, 最大孔深 270.12 m, 最大提钻间隔 126.06 m, 创造了国内地质勘探极端复杂地层条件下长孔段不提钻套管取心钻进的纪录。套管钻进效果好, 工艺简便, 劳动强度小, 受到参与共同试验的钻探施工单位的欢迎和好评, 为地质勘探顺利穿越复杂地层提供了实用、有效的钻进方法。

(4) 研发了新型复合凝胶堵漏材料(FHD-1)与多种先进堵漏工艺, 堵漏成功率一次性达 93% 以上, 成功实现了空心玻璃微珠低密度泥浆漏失层钻进。漏失层钻进与快速堵漏技术与工艺取得新突破, 快速经济解决了漏失问题。

漏失层钻进方面, 根据若尔盖地层漏失机理, 降低漏失压力, 先采用空气泡沫、微泡沫泥浆进行漏失层钻进, 因多种原因均未成功; 后采用空心微珠低密

度泥浆在 ZK12-1 孔内成功进行漏失层钻进试验, 孔深 693.82 m, 试验进尺 33.23 m 直至终孔, 未出现漏失与孔壁垮塌。泥浆密度调整方便, 性能稳定, 空心微珠且可回收, 满足若尔盖铀矿田漏失层钻进要求。现场配置低密度泥浆如图 5 所示。



图 5 低密度泥浆

快速堵漏方面, 针对若尔盖铀矿不同地层和地质要求, 研发了新型堵漏材料与多种先进的堵漏工艺。一是采用复合凝胶承压快速堵漏技术, 将多种

不同粒径级配的堵漏材料互配,添加多种化学凝胶,形成了一种新型的复合凝胶(FHD-1)堵漏材料,如图6所示,实现了“方便面”式的承压快速堵漏。使用该材料现场快速堵漏试验20次,成功堵漏19次,成功率达95%。二是采用胶质泥浆+水泥浆复合堵漏技术,该方法适合于地层漏失且孔壁失稳的情况,该堵漏方法现场试验17次,成功率达92%,可以良好地补充复合凝胶堵漏技术的空缺,在破碎掉块漏失地层可以起到良好的保护孔壁的作用。



图6 复合凝胶FHD堵漏材料

漏失层钻进与快速堵漏的情况见表1。

表1 漏失层钻进与快速堵漏统计

年份	空气泡沫	微泡沫泥浆	空心微珠低密度泥浆	复合凝胶(FHD-1)承压	胶质泥浆+水泥浆	随钻堵漏
2013	4次					
2014		10.5 m		5次	3次	若干
2015			33.23 m	15次	14次	若干
合计	4次	10.5 m	33.23 m	20次	17次	
适用范围	污染环境	高原稳泡差	降低漏失压力	快速堵漏	漏、垮	小漏

(5)大胆引进石油钻井液先进技术,探索出适

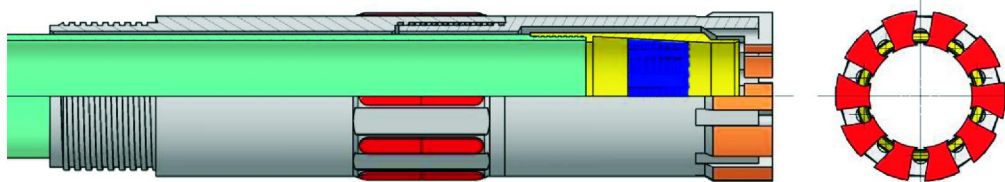


图7 隔水取心工具底部组合



图8 不同规格的取心钻头

合若尔盖铀矿强水敏地层的“钾石灰-聚磺泥浆”体系,它具有抑制、防塌、封堵、润滑及抗污染性能,孔壁稳定性得到明显改善,已成功穿过了厚度300 m的炭质板岩层,能满足套管护壁钻进、螺杆定向钻进等多种钻进方法。若尔盖共试验进尺7054.44 m,取得了良好的试验效果。

(6)采用加重钻杆+扶正器满眼钻具组合在高陡构造强造斜地层中防斜效果良好。分别在3个钻孔(ZK3-1、ZK3-5、ZK12-1)中进行了防斜试验,钻孔轨迹基本为一直线,防斜效果良好。

(7)针对严重破碎、岩心采取率低的矿层,利用现有的取心钻具,改进完善钻头的结构形式,采用半隔水、阶梯式全隔水取心钻头、隔水卡簧座等措施(如图7所示),优化水力参数,减少冲洗液对岩心的冲蚀,岩心采取率大幅提高。

(8)完成了取心钻头与地层适应性研究。对岩石可钻性、研磨性等进行分析认为:岩石可钻性为7~9级,硬—坚硬,研磨性很强。根据分析报告加工了取心钻头(如图8所示),并进行了现场试验,试验进尺1508.17 m,钻头寿命由25 m提高到35.96 m,提高了43.8%。

4 主要创新点

其创新点主要体现在:一是集成创新,综合治理,形成了一套适合若尔盖铀矿田恶劣地理条件和复杂地层条件下的综合钻探技术体系;二是在国内

地质钻探领域首次采用套管钻进技术解决了复杂地 层护壁问题;三是研发了新型复合凝胶(FHD-1)

堵漏材料和堵漏工艺,成功实现了空心微珠低密度泥浆漏失层钻进;四是研发了一种用于钻孔护壁的新型高压旋喷组合钻具,通过调整泵量实现了扫孔与喷射切换,解决了松散破碎地层注浆加固孔壁难题。

5 结论

通过3年来的现场试验与研究,成功探索了一套适合若尔盖铀矿田恶劣地理、地形条件和复杂地层条件下的综合钻探技术体系,它不仅为若尔盖铀矿能源资源勘探开发提供了技术支撑和保障,同时在若尔盖铀矿田建立了复杂地层钻探技术示范基地,也对西部高原生态脆弱区、深孔复杂地层钻探及绿色勘查等具有示范与推广作用。

该体系应用前景十分广阔,分别在阳山金矿、页岩气调查井(万地1井、巫地1井、雒容1井、楚页2井)、山东招金41ZK2深孔、华锋钻探事故处理、四川金核定向等领域进行应用与推广,取得了良好的效果,真正为国家资源能源战略、绿色勘查提供了技术支撑。

参考文献:

[1] 吴金生,董洪栋,张统得,等.若尔盖铀矿田漏失层空心微珠泥

- 浆试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3).
- [2] 吴金生,张伟,刘卫东,等.若尔盖铀矿田定向钻进技术研究及应用[C]//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.北京:地质出版社,2015.
- [3] 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]//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.北京:地质出版社,2015.
- [4] 徐朝伟,陈礼仪,王胜,等.若尔盖铀矿勘探钻孔堵漏技术研究与应用[J].西部探矿工程,2014,(5).
- [5] 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孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8).
- [6] 吴光琳.定向钻进工艺原理[M].四川成都:成都科技大学出版社,1991.
- [7] 吴金生,宋军,尤建武,等.汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)定向钻进技术的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12).
- [8] 徐同台,刘玉杰,申威,等.钻井工程防漏堵漏技术[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [9] 王建学,万建仓,沈慧.钻井工程[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [10] 李世忠.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1992.
- [11] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东青岛:中国石油大学出版社,2006.
- [12] 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.