

钾盐矿区钻探施工技术与工艺优化研究

马德义 杨新江

新疆维吾尔自治区地质局阿克苏地质大队

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2448

[摘要] 文章对钾盐矿床地层结构特点、盐岩层力学性质以及地下水溶解对钻探工程的影响进行了详细研究,并在此基础上就钾盐矿床钻孔设备的选择、钻进方式及工艺参数的选择、钻井液配方设计、护壁防塌技术和防止卡钻、漏失的方法等方面提出了钾盐矿床钻探工程施工的主要技术和对策措施。研究结果证明:使用三级口径钻孔结构以及饱和盐水钻井液体系并合理选择钻头,有利于钻机钻速的提升、钻孔的质量改善。可以给其他相同类型的钾盐矿井钻探工程提供一定借鉴作用。

[关键词] 钾盐矿; 钻探工艺; 饱和盐水钻井液; 井壁稳定; 工艺优化

中图分类号: TS38 文献标识码: A

Research on Drilling Construction Technology and Process Optimization in Potash Salt Mining Areas

Deyi Ma Xinjiang Yang

Aksu Geological Brigade, Geological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] This paper conducts an in-depth study on the stratigraphic structural characteristics of potash salt deposits, the mechanical properties of salt rock formations, and the impacts of groundwater dissolution on drilling engineering. On this basis, key technologies and countermeasures for potash salt deposit drilling are proposed from aspects including the selection of drilling equipment, the choice of drilling methods and process parameters, the formulation of drilling fluid recipes, wall protection and anti-collapse technologies, as well as measures to prevent pipe sticking and fluid loss. The results demonstrate that the adoption of a three-stage caliber borehole structure, a saturated salt water drilling fluid system, and rational bit selection is conducive to improving the drilling rate and borehole quality. This study can provide a reference for drilling engineering in other similar potash salt mines.

[Key words] potash salt mine; drilling technology; saturated salt water drilling fluid; wellbore stability; process optimization

引言

钾盐是国家重要的战略性矿产之一,广泛应用于农业生产及化学工业,而浅层钾盐资源越来越少,深层卤水钾盐矿与复杂地质环境中的钾盐矿体成为勘探开采的对象,但是钾盐区内钻探作业存在很多问题:盐岩层溶解胀径,膏盐层蠕动缩径,泥岩水化膨胀,砂砾碎屑岩颗粒松散倒塌,高浓度卤水造成钻井液性能损失等问题严重影响了钻进速度以及钻孔的质量。柴达木盆地察汗斯拉图矿区钾盐察ZK02孔设计钻孔深度为1500米,穿透的地层是新近系盐湖相沉积地层,在钻进过程中极易出现缩径、糊钻、掉块、坍塌等情况;遇盐岩层或含有Ca²⁺、Mg²⁺离子盐水后,钻井液性能容易发生变化导致钻探施工难度增大,本文在对前人的研究基础上,针对钾盐矿区的特点进行钻探施工的技术难点及相应的处理对策进行了系统的阐述,并提出相应

的改善措施,希望能够给钾盐矿区钻探施工的安全高效进行提供一定的参考。

1 钾盐矿区地质条件对钻探施工的影响分析

1.1 地层结构特征分析

钾盐矿床地层构造复杂,一般具有多旋回沉积特点,在钻探揭示的地层剖面上由下至上分为第四系松散沉积层、新近系盐湖相沉积层以及基底下部碎屑岩层,其中盐湖相层中盐岩,泥岩,砂岩与泥砾岩互层迭置现象比较普遍,互层结构造成了岩石钻时以及研磨性变化幅度很大,对钻头的选择和钻进参数的调整造成了很大的麻烦,如在思茅盆地勐野井组JG-2井全井段取芯过程中发现岩盐,泥岩,砂岩,泥砾岩互层迭置频繁,岩石可钻性及研磨性变化幅度大,钻头机械钻速忽快忽慢,容易发生泥包、岩心磨损的问题。

1.2 盐岩层物理力学性质

盐层有特殊的物理力学特性,对钻井施工有很大影响。盐在常温常压下是脆性的,在一定围压和温度下会呈现塑性蠕变特点,这就是它与其他沉积岩的区别。盐层蠕变速率受应力状态、温度、含水量以及自身纯度等因素影响,在高压高温环境中蠕变速率很快,钻进的时候一旦打穿了盐层,井壁附近的盐岩由于地层压力的作用会发生挤入井筒内,造成井径缩小,严重的会发生卡钻事故^[1]。另外盐层还有较强的可溶性,在钻遇非饱和钻井液情况下,会导致井壁发生坍塌,甚至整个井眼报废。青海柴达木盆地钾盐矿层位复杂疏松破碎,泥岩遇水膨胀孔缩小,砂砾碎屑岩颗粒间未胶结易坍塌掉落,是常见的“水敏性泥岩及钾盐互层及松散的砂、卵砾石破碎以及高压涌水”的复杂地层。

1.3 地下水及溶蚀作用影响

钾盐矿采区地下水一般为高含盐量卤水,含有大量 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等正离子以及 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等负离子,其矿化程度一般都在几十万 mg/L 以上,这种高浓度盐含量的离子的存在会导致正常淡水钻井液产生严重的盐侵,从而使钻井液性能严重下降,黏度大幅上涨,滤失量增加,流变无法调节;还会出现钻遇高压卤水层而导致井涌或者井喷的现象,给施工带来极大的安全隐患。地下水对盐层的溶蚀效应也是导致井眼扩大的重要原因,在钻井过程中如果钻井液滤液和盐层接触,那么盐层内部可溶成分会被溶解下来而形成溶蚀孔穴使井壁支撑力减弱。

1.4 复杂地质条件对钻探的制约因素

综上所述,盐湖矿井复杂地质环境对钻探工程的影响主要有以下几点:第一,盐岩互层与泥岩互层较多,不同岩石力学性质不一,造成钻头选择难,机械钻速不稳定,频繁起下钻具,耽误施工进度;第二,盐岩蠕变及溶解性质,容易发生缩颈及扩颈,严重影响井壁安全,增加井控压力;第三,遇水膨胀的泥岩容易导致泥包钻头,清洁井眼难,降低了钻进速度,第四,高含盐度的卤水破坏钻井液性能,提高了钻井液维护处理难度和成本;第五,疏松砂砾碎屑岩层坍塌,掉落造成卡钻,甚至导致钻孔报废。

2 钾盐矿区钻探施工关键技术

2.1 钻井设备选型与配置

钾盐矿井钻探机械的选择要兼顾钻孔深度、地层状况以及取心要求等因素,对深孔钾盐钻进,一般是三重钻具组合形式,在不同的井段实现不同的技术要求,浅部套管封闭松软层,技术套管隔断盐岩蠕变带,生产套管保证完井质量。钻机的选择要按设计井深为基础,留有余量,一般选择设计井深1.2~1.5倍的钻机,以防特殊情况的发生^[2]。泥浆泵的排量要达到携岩及井壁稳定的需要,压力储备能够超过循环系统所产生的阻力,能够在特殊的工作条件下保持正常的循环。

2.2 钻进方法及工艺参数控制

钾盐矿藏钻探方法的选择要基于地层特征以及取芯需求进行选择。对盐岩层应该选择取心钻探技术,从而取得完整盐岩柱状体标本,研究盐岩层位、品位、物理力学性质,作为日后开采依据。对于非取心井段可以选择全孔钻进方式来加快钻进速度。钻

探参数有钻压、转速、排量等,要结合地层软硬度、钻具种类合理搭配,在遇到地层发生变化时及时作出改变。在钻入盐岩层的时候不能太大,防止盐岩塑变造成卡钻情况,常规选择20~40kN左右,再根据盐岩纯度、埋藏深度大小来定夺。转速取决于钻头尺寸以及地层研磨度,对于孕镶金刚石钻进而言,可以较高转速(300—600r/min),使其能够发挥最大的磨削作用;而对PDC钻进来说则需采用中低转速(150—300r/min),防止由于转速过快造成的复合片过热损坏。泥浆泵送排量要能保持好环空返速为0.8—1.2m/s,从而可以有效的携带出岩屑,使井眼清洁。

2.3 钻井液体系设计与优化

钻井液是钾盐矿井钻探工程的重要技术手段之一,对能否保证井壁稳定,顺利钻进以及井下安全至关重要。根据钾盐矿井所处地质条件,在钾盐矿井打井时应选择饱和盐水钻井液系统来抑制盐层溶解及泥岩膨胀。饱和盐水钻井液是以氯化钠作为加重材料使钻井液中的盐分处于饱和的水平,这样就可以防止盐岩层继续发生溶解作用,利用高浓度来抑制泥岩的水化膨胀。

对于钻遇的异常高压卤水层,采用压喷接近平衡钻井液钻进方法,在保持井壁稳定的条件下,改善钻井液体系使钻速提高,减少钻井事故的发生几率等优点。

2.4 井壁稳定与防塌技术

钾盐矿区井壁失稳主要是盐岩层蠕变缩径、泥岩水化膨胀坍塌、砂砾层松散掉块。对不同地质条件下的地层采取不同的井壁加固措施,做到“一井一策,一段一策”。对于盐岩层要加强钻井液饱和度以及密度的控制,使钻井液密度与地层蠕变压力平衡来抑制盐岩蠕变膨胀,同时保证钻井液中有足够的盐离子饱和度,避免盐岩溶解扩大,如需加强则可适当增加钻井液密度来减缓盐岩蠕变速度;对于水敏性泥岩,选择强抑制性钻井液加磺化沥青、聚氧醇等封堵防塌剂,形成稳定的滤饼隔绝滤液进入地层,减少泥岩水化膨胀程度。同时合理的控制钻井液的失水量,使API失水量控制在5mL之内,减少钻井液中滤液对泥岩的侵入^[3]。

2.5 防卡钻与防漏失技术

卡钻与井漏是钾盐矿井钻井过程中常见的一种事故现象,在钻进施工作业过程中,其会严重影响到整个钻井工程的顺利开展以及安全性,而卡钻又可以被分为缩径卡钻、键槽卡钻、沉砂卡钻三种形式,针对不同的卡钻方式也需要有不同的预防及处置方法。防卡钻主要是要保持井孔的畅通以及钻井液良好的润滑作用,及时地进行短起下钻作业来破除已经出现的缩径部分,在钻盐的时候也应当经常性的进行短起下钻作业来打破盐岩蠕变造成的缩径,保持钻井液有良好的携带性,避免岩屑堆积在井底造成沉砂卡钻现象。青海某钾盐矿水平定向钻进工程在施工之初就遇到了卡钻的问题,在改进泥浆配置以及钻头的选择以及防卡钻钻具的应用之后,避免了卡钻问题的发生。

2.6 高温高压及盐岩塑性变化条件下的泥浆工艺措施

针对深部钾盐油气钻探高温($\geq 120^{\circ}\text{C}$)、高压(压力系数 ≥ 1.5)以及盐岩塑性蠕变等多种复杂情况,应当有针对性地采取泥浆技术措施:高温情况下选择耐温抗盐处理剂(SMP-II、SPNH等)并且控制API失水量 $\leq 8\text{ml}$ (例如塔里木盆地5600m深井,在 140°C 条件下安全完成钻井任务);高压盐水层使用重载饱和盐水钻井液(密度为 $1.35\sim 1.50\text{g}/\text{cm}^3$)进行近平衡作业(例如柴达木盆地某井压力系数高达1.6,通过调节密度到 $1.55\text{g}/\text{cm}^3$ 来控制井涌);盐岩塑性蠕变缩径问题需要增加钻井液密度(比孔隙压力高出 $0.15\sim 0.25\text{g}/\text{cm}^3$)结合短起下钻措施(例如老挝万象钾盐矿,钻井液密度升高到 $1.32\text{g}/\text{cm}^3$ 时,井筒扩张率小于15%);复合型工况应用抗高温抗盐体系、四级固控和应急装备(例如四川盆地4850m深井,温度达到 152°C 、压力系数1.65,节省了12天的钻进时间)。综上所述,这些方法都可以很好的保证钻探的安全性和效率。

3 钾盐矿区钻探施工工艺优化策略

在以上关键技术的基础上针对钾盐矿区钻探施工中的复杂地质环境可以从以下几点来改进施工方案:首先是钻孔结构的设计优化,在了解钻探地层剖面的前提下合理确定技术套管深度,使复杂地层分段隔离,降低全井段钻探的风险性;其次,在钻探深层钾盐时可以考虑采取三级口径的设计,表层套管堵漏防松散层,技术套管堵漏防盐岩蠕变段,生产套管保证完井质量的同时根据地层情况适当精简井身结构从而节省施工成本;再次,对钻头的选择也要做到有针对性,比如在遇到盐岩、泥岩、砂岩交替出现较多的地层应选择混合布齿PDC钻头或者复合钻头,这样既可以满足不同岩性间的切削需求又可以减少更换钻头时的停顿时间。在JG-2井钻井过程中,在对所钻到的地层岩性和所用的钻头品种、结构分析总结的基础上,选择出了八刀翼PDC绳索取心钻头种类,最后终孔深度达到了1829.44m,获得了直径大于等于78mm的优质盐岩芯样,岩盐矿心平均取得率达到了97.51%。由此可见适当的钻头选择对于提升取心质量以及加快钻速有着很大的帮助意义。其次加强钻井液性能保养,制定钻井液性能检

查制度,定时检验钻井液的密度、粘度、滤失量、含砂量等主要参数,并且适时调节钻井液添加剂用量,使钻井液性能始终控制在良好范围内^[4]。

4 结语

钾盐矿井区钻探工程施工中遇到盐岩层蠕变溶解,水敏性泥岩膨胀、砂砾层坍塌等多个技术难点,对钻井工艺有很高挑战性。本文详细探讨了钾盐矿井区地质环境影响钻探情况,针对设备选择、钻井参数、钻井液方案、井壁稳定以及防卡等方面的技术问题进行了论述,并提出了一些改进方法。通过对钻孔结构的设计、钻具的选择与使用饱和盐水钻井液体系、加强井壁稳定性等措施的应用可以实现钾盐矿井区钻探效率以及成井质量上的提升。通过对钻孔结构的设计、钻具的选择与使用饱和盐水钻井液体系、加强井壁稳定性以及针对高温高压及盐岩塑性变化的泥浆工艺等措施的应用,可以实现钾盐矿井区钻探效率以及成井质量上的提升。

[参考文献]

- [1]易强忠,王应科,黎光朋,等.景谷凹陷钾盐地质调查JG-2井钻探施工技术[J].钻探工程,2023,50(S1):358-364.
- [2]赵岩,高亮,王德,等.罗布泊盐湖深部钾盐科学钻探2号井钻完井工艺[J].钻探工程,2023,50(S1):351-357.
- [3]李晓东,周洪双.深层海相钾盐开发关键技术被攻克[N].光明日报,2026-02-05(008).
- [4]陈晓峰,李运刚,闫璐.非洲钾盐地层井筒冻结施工关键技术研究[J].安徽建筑,2025,32(09):28-31.

作者简介:

马德义(1970--),男,汉族,内蒙古通辽人,大专,探矿工程高级工程师,研究方向:固体矿产钻探施工,定向钻进施工,高原冻土层施工方法研究。

杨新江(1982--),男,彝族,云南凤庆人,大学本科,探矿工程副高级工程师,研究方向:固体矿产钻探施工,高原冻土层钻探施工,定向钻探施工方法与工艺研究。