

青海夏日哈木矿区地层钻进特点与钻探工艺研究

高元宏¹, 杨树强², 陈佰辉¹, 梁 俭¹, 段隆臣²

(1. 青海省第二地质矿产勘查院, 青海 西宁 810002; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:夏日哈木矿区地层复杂,在青海祁漫塔格重点成矿带具有一定的代表性。该矿区地层呈脆性,坚硬并且破碎,部分钻孔钻进过程中存在钻头寿命低、钻进效率低、孔内事故多等问题。针对该矿区地层特点及钻进难点,在总结以往工作经验基础上,对钻头选型及参数选取、钻机选择及时效分析、钻具振动及处理、钻井护壁及堵漏、钻孔结构设计及施工等方面进行分析并提出综合应对技术措施。

关键词:钻探;孔壁坍塌;堵漏;钻井液;夏日哈木矿区

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)10-0036-05

Study on Drilling Characteristics and Drilling Technology for Xiarihamu Mining Area of Qinghai/GAO Yuan-hong¹, YANG Shu-qiang², CHEN Bai-hui¹, LIANG Jian¹, DUAN Long-chen² (1. The Second Geology and Mineral Exploration Institute of Qinghai Province, Xining Qinghai 810002, China; 2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The strata are brittle, hard and fragile in Xiarihamu mining area, which has certain representativeness in Qimantage key metallogenic belt of Qinghai. Many problems such as short bit life, low drilling efficiency and hole accidents often occur in the drilling process. According to the strata characteristics and drilling difficulties and based on the summary of drilling experience, analysis is made on bit and parameter selection, drilling rig selection and efficiency analysis, drilling tool vibration and dispose, hole wall protection and plugging and hole structure design and construction, comprehensive technical measures are also put forward.

Key words: drilling; hole wall collapse; plugging; drilling fluid; Xiarihamu mining area

0 引言

近年来,随着地质找矿的深入,在夏日哈木矿区钻遇的复杂地层越来越多,钻进施工中遇到一系列难题,成为制约找矿任务的关键。夏日哈木矿区位于青海省重要成矿带的东昆仑西段祁漫塔格地区,是拉陵灶火地区铜多金属矿整装勘查工作项目的工作区域之一。2011 年青海省第五地质矿产勘查院在该区发现了大型夏日哈木铜镍硫化物矿床,为东昆仑成矿带首次发现的铜镍硫化物矿床。其地层特点在该地区斑岩型矿床中具有较好的代表性,解决这一矿区的钻探技术问题将对于扩大该区地质找矿成果具有积极意义。目前,祁漫塔格重要成矿带的地勘工作正方兴未艾,为加快这一地区的地质找矿成果,钻探技术与经验总结方面面临着诸如此类的工作任务。

青海省第二地质矿产勘查院是该矿区岩心钻探任务的主力承担单位之一,投入的钻探设备包括 YDX-3 型全液压动力头式岩心钻机和 XY-44 型

立轴式岩心钻机,共 8 台,其中大部分钻探任务由 YDX-3 型全液压动力头式钻机完成,已累计完成钻孔数超过 110 个,钻孔深度一般在 400~850 m,钻探工作量达 37000 m。

1 矿区地质与环境概况

1.1 自然环境概况

夏日哈木铜镍矿位于青海省格尔木市西南约 185 km 处,矿区平均海拔 3500 m,最高达 4700 m,地形起伏较大,沟谷深切,区内气候寒冷,冰冻期长,干旱少雨,植被稀疏,呈典型高原荒漠景观。矿区内人烟稀少,仅有少数游牧民生活,交通不便。

1.2 地层岩性

矿区内出露的地层岩性主要有:第四系冲洪积物,下元古界金水口岩群白沙河岩组的石英片岩、黑云母片岩、黑云母斜长片麻岩、大理岩等,奥陶-志留系滩间山群组的砂岩、板岩夹千枚岩、硅质岩、片岩、角岩、糜棱岩等碎屑变质岩,其他出露和较发育

收稿日期:2014-07-21; 修回日期:2014-09-25

基金项目:青海省地勘基金“青海省大场及周边矿区永冻层勘探技术研究”(2013056420)

作者简介:高元宏(1967-),男(汉族),青海人,青海省第二地质矿产勘查院工程师,钻探工程专业,从事钻探技术服务及技术研究方面的工作,青海省西宁市城北区朝阳西路 43 号,1975235388@qq.com。

的岩石有晚泥盆世牦牛山组的凝灰岩、流纹岩、英安岩、安山岩等。矿区矿产资源以煤炭、铁(Fe)、铜(Cu)、镍(Ni)、铅(Pb)、锌(Zn)、金(Au)等为主。

1.3 地质构造

1.3.1 断裂

区内断裂构造具有规模大、切割深、活动期长、期次多等特点。区域构造以 NWW 向、近 EW 向断裂为主,形成期次早,控制着区内地层及岩浆岩的分布,与成矿关系较为密切。NE 向、NNE 向、SE 向断裂为次级断裂,形成较晚,往往切断近 EW 向或 NWW 向断裂,为一组右行走滑的逆断层。受断裂影响,带内碎裂岩化岩石发育,糜棱岩、断层泥及构造扁豆体、断层角砾岩、片理化岩石常见。

1.3.2 岩浆活动

岩浆活动强烈是区内最显著的一个特征,以华力西期-印支期的中酸性岩体为主。岩体基本由橄榄岩、辉石岩、辉长岩组成,矿体主要赋存于橄榄岩和辉石岩中,普遍具有绿泥石化、碳酸盐化、透闪石化、蛇纹石化等特点。

2 矿区钻进难点

近年来,矿区内年度工作量在 4 万 m 以上,年开动来自省内外 9 家单位的机台平均超过 25 台。在实际钻进中,每个单位的机台几乎均遇到过钻孔报废,达不到设计孔深的情况,主要存在以下几个方面的问题。

2.1 钻头寿命低

矿区内地层具有硬、脆、碎的特点,在钻进过程中孕镶金刚石钻头胎体易产生崩刃、偏磨现象,严重制约了钻头的使用寿命。

2.2 钻具磨损严重

钻进部分构造裂隙、破碎带时孔底漏失明显,导致中粗颗粒松散碎屑岩、断层泥碎屑排屑困难,使钻具磨损加快。

2.3 孔壁坍塌

地层中构造破碎带规模大,碎屑岩呈松散胶结,泥质胶结的角砾岩和断层泥易水化坍塌形成埋钻事故。

2.4 钻井液漏失

矿区地层破碎并且构造裂隙发育,钻井液漏失现象频发。

2.5 钻具纵向振动

由于岩层软硬不均、破碎,并存在构造破碎带,孔内漏失等问题,回转阻力大,钻具易产生纵向振

动。

2.6 钻进时效低

由于地层破碎导致岩心堵塞岩心管的问题十分突出,从而增加了提下钻回次数,易对孔壁造成破坏,并且影响了钻进效率。

3 钻进事故分析及钻进工艺研究

钻进中遇到的难题在矿区内的 13、15、19 三条勘探线的钻孔施工中最为严重,ZK1516 钻孔最具代表性,该孔设计孔深 600 m,于 2012 年开始施工,先后 4 次钻孔报废,第 5 次于 2013 年 9 月钻进至 570 m 后事故终孔。ZK1516 钻孔地层特点见表 1,钻孔取出的岩心如图 1 所示。

表 1 ZK1516 钻孔地层特点

孔段/m	地层岩性及特点
0~0.6	风积沙覆盖层
0.6~40	风化破碎的石英岩、混合岩化斜长片麻岩,破碎易漏失
40~80	破碎片麻岩与辉长岩互层
80~570	含构造破碎带、断层泥、辉石岩脉,混合岩化斜长片麻岩、硅质岩、片岩、角岩、糜棱岩等碎屑变质岩相互交错,地层破碎、松散,并随钻伴有小漏失现象



图 1 ZK1516 钻孔 80~570 m 孔段部分岩心

3.1 钻头选型及参数选取

2013 年 6 月中旬前,青海省第二地质矿产勘查院在该矿区完成了 1.4 万多米的钻探工作量,在钻进过程中所使用的 NQ 系列孕镶金刚石钻头寿命较短,平均进尺不足 18 m,大部分钻头因微烧钻、金刚石颗粒脱落受损,部分以胎体崩刃的形式受损,导致不能继续工作,ZK1516 钻孔使用的钻头如图 2 所示。

现场针对可钻性在 5 级左右的绿泥石、碳酸盐化辉石岩和构造角砾岩等,以及可钻性在 9 级的较破碎的混合岩和混合岩化斜长片麻岩等,所采用的钻头的参数见表 2。

通过对实际工况分析发现,以上两类不同级别

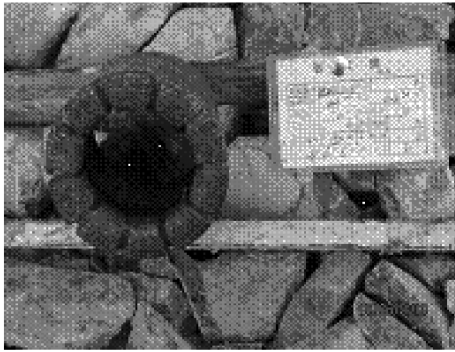


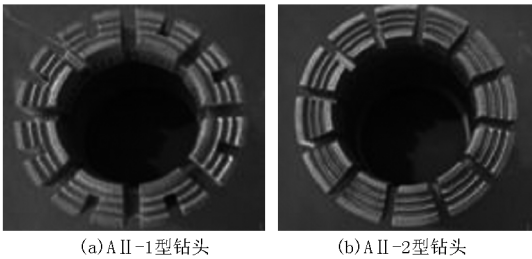
图2 ZK1516 孔用钻头

表2 钻头的参数

可钻性 级别	胎体硬度 /HRC	粒度 /目	浓度 /%	水口数 /个	工作层高 /mm
5	35~40	45~60	70~75	10	6
9	5~12	80~85	75	10	6

可钻性的岩石的研磨性均很强,在破碎松散地层中,强研磨性主要由中粗颗粒的碎石英、长石矿物引起,同时,在钻进夹杂绿泥石等泥质岩层过程中出现泥包现象。

因此,我们针对 2 种不同可钻性的地层向钻头生产商提出钻头规格及性能,定制了 2 种适用范围较广的专用钻头,即 AⅡ-1 型钻头和 AⅡ-2 型钻头,以期减少提下钻回次数,提高生产效率,钻头的结构如图 3 所示,钻头的基本参数见表 3。



(a)AⅡ-1型钻头 (b)AⅡ-2型钻头

图3 特制钻头

表3 钻头基本参数

钻头 型号	胎硬 标准 /DCDMA	粒 度 /目	浓 度 /%	直喷 水口 /个	外 水槽 /个	工作 层高 /mm	钻头 外径 /mm	钻头 内径 /mm
AⅡ-1	200	55~60	80	8	8	10	76.1	47.6
AⅡ-2	400	65~70	80	12		10	76.2	47.7

这 2 种新型的专用钻头均以 WC 作为胎体的骨架材料,粘结金属以 Cu-Ni 为基础,钻头外径均增大 1 mm。AⅡ-1 型钻头适用于岩石可钻性 4~6 级、中~强研磨性岩石,适应的工作钻压为 3~12 kN。AⅡ-2 型钻头适用于岩石可钻性 7~10 级、强研磨性岩石,适应的工作钻压≤25 kN。

在钻进过程中结合地层及钻头的特点对定制的

两种专用钻头进行了现场应用,所采用的钻进参数见表 4,应用发现这两种钻头的使用寿命大大提高,平均进尺达到了 46 m,同时减少了钻进回次数,降低了钻孔事故,孔壁的稳定性在同类地层中明显增强。

表4 钻进参数

地层特点	钻压/kN	转数/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)
构造裂隙、破碎带	5~10	500~750	65~80
硬、脆、碎地层	12~25	>750	>65

3.2 钻机选择及时效分析

通过现场调查,孔壁坍塌、断钻具等事故的发生与地层性质、钻井液的适用性相关,还与设备类型有密切的关系。分析发现,在同类地层和相同孔深情况下,全液压力头式钻机产生的孔内事故远少于立轴式钻机,岩矿心采取率方面,全液压力头式钻机优于立轴式钻机。青海省第二地质矿产勘查院于 2013 年 6 月中旬通过现场应用 YDX-3 型全液压力头式钻机与 XY-44 型立轴式钻机并分析了钻进效率,统计结果见表 5。

表5 YDX-3 型与 XY-44 型钻机钻进效率对比

钻机类型	台月效率 /m	钻月效率 /m	最高台月 效率/m	岩心采取率 /%
XY-44	630.0	501.5	860.0	65
YDX-3	786.0	580.0	1170.0	96

由表 5 可看出,YDX-3 型全液压力头式钻机的钻进效率明显高于 XY-44 型立轴式钻机。在实际钻进中发现,该矿区全液压力头钻探设备更有利于保证钻孔成孔和钻孔质量,分析其原因,全液压力头式比立轴式的优势主要体现在如下几个方面。

- (1)全液压系统良好的吸震性能有利于降低钻具在硬、脆、碎地层及漏失地层中的纵向振动;
- (2)动力头式钻探设备由于动力传输系统构件配合公差精度高,输出动力的稳定性、钻具回转的稳定性优于立轴式钻机;
- (3)动力头式钻机更有利于在大钻压条件下实现高转速,提高钻进效率,降低钻井液对不稳定地层构造蚀变带的水化时间,从而有利于孔壁稳定;
- (4)在较稳定的孔壁及较小的孔壁间隙的条件下钻进时,高效钻进能够大大减少孔内钻具对孔壁的作用时间,有利于维持孔壁的稳定性,降低钻孔严重超径,减少坍塌、埋钻等事故的发生;
- (5)在该矿区立轴式钻机具有回转动力不稳定

和钻进时效过低的特点,容易产生岩矿心重复磨损、岩心堵塞的现象,造成钻进过程的不良循环。

3.3 钻具振动及处理

钻具振动通常导致钻杆折断、钻头崩刃等事故的发生,孔壁地层在钻具的各向振动作用下进一步机械破碎形成坍塌,这种情况下提钻后通常无法顺利下钻,需要扫孔后方能下钻到孔底。

矿区出现的典型事故情况见表 6,表中 4 个钻孔在钻进过程中钻具振动最为强烈,事故多发且类型多样,均未能达到设计孔深。

表 6 钻探事故孔号及类型

孔号	台月数	事故类型	设计孔深/m	终孔孔深/m
ZK1516	5.5	坍塌、埋钻	700	570
ZK2313	1.2	漏失、断钻具	700	602.13
ZK2801	2.2	坍塌、漏失、断钻具	300	109.7
ZK1509	1.5	坍塌、漏失	500	报废

实践表明,下钻前通过对钻具涂抹润滑油脂的措施能明显降低回转阻力以及减少钻具振动、钻具折断等事故的发生。

在夏日哈木矿区对普通硫化钼锂基润滑脂、钙基润滑脂等钻具润滑油脂的效果进行了观察,得出以下几点认识:

(1) 钻具润滑油脂与金属具有化学键吸附特性,与钻具的吸附性能较强,同时也能与岩石相吸附;

(2) 应选择油膜强度较高、粘度较大、分子量较大的钻具润滑油脂;

(3) 钻具润滑油脂应具有一定的抗高温性能。

现场实际应用发现,在硬、脆、碎特点的地层以及孔底漏失地层中通过对钻具涂抹 PID214 管材油脂能够明显减少钻具振动、钻具磨损过快、回转阻力过大的问题。

3.4 冲洗液护壁及堵漏

现场观察发现,造成夏日哈木矿区孔壁不稳定的原因主要有以下几点:

(1) 地层中含有绿泥石、高岭土化的含碳断层泥,该层虽然最大连续厚度在 1.6 m 以内,但是水敏性强,容易水化膨胀、坍塌,形成抱钻事故;

(2) 地层中含有绢云母化强、高岭土化弱的构造蚀变带,水化后易松散、坍塌,结构强度变弱后形成埋钻事故。

因此,对于冲洗液的性能必须与地层的特点相适应,才能起到护壁堵漏、稳定井壁的功能。

3.4.1 冲洗液配方及性能

ZK1516 钻孔地层较破碎,钻进过程当中冲洗液在循环压力作用下容易产生漏失现象。该孔前期经过 4 次施工后,第 5 次施工研究了与地层相适应的钻井液配方。

现场配制冲洗液的水源取自夏日哈木河的河水,该河水微咸,矿化度较高, Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 含量高,在配制前先用碳酸钠(Na_2CO_3)对水质进行软化处理。全孔在钻进过程中采用低固相冲洗液,配方:0.9 m³ 水 + 30 kg 膨润土 + 0.5 kg 碳酸钠(Na_2CO_3) + 1 ~ 2 kg 抗盐共聚物(GTQ) + 1 kg 高粘羧甲基纤维素钠(HV-CMC) + 3 ~ 5 kg 腐植酸钾(KHm) + 2 kg 生物聚合物(XC) + 1 ~ 1.5 kg 水解聚丙烯酰胺(PHP)。

冲洗液性能:失水量 14 mL/30 min,漏斗粘度 < 35 s,动塑比 $YP/PV > 0.17$,密度 1.015 ~ 1.035 g/cm³。

配制方法:冲洗液的配制在钻机机台的山脚下完成,按照配方材料次序依次加入并搅拌,每种钻井液材料加入后的搅拌时间 < 30 min。钻井液配制好后贮存在体积 > 15 m³ 的泥浆坑中,由泥浆泵送至井场。

现场应用表明,该冲洗液配方性能良好,携带岩粉能力较强,排粉效果好,基本满足钻探需要,能够有效地解决钻进过程中遇到的问题,提高了钻进效率。由于地层松散破碎,钻进过程中钻井液中的固相含量上升较快,因此增加了 1 套泥浆除砂器,以控制固相含量。

3.4.2 堵漏措施

若采用如上冲洗液配方后地层漏失还比较严重,则在此配方基础上按照 1.5% 的比例(水的 1.5%)加入美国 BAROID 品牌堵漏王 N-SEAL,充分搅拌后下钻具(取出内管)至孔底 0.5 m 处开泵送浆循环。采用这种堵漏措施需要注意:(1) 开泵循环时不能回转钻具;(2) 钻遇漏失层后每 10 m 内必须及时进行开泵循环;(3) 每次循环堵漏浆液 > 1 m³。

如果开泵循环堵漏浆液 > 1 m³ 后没有效果,则可通过 1 m³ 冲洗液中加入不大于 15 kg 的美国 BAROID 品牌堵洞王 HOLEPLUG 进行堵漏,然后再按照如上方法加入堵漏王 N-SEAL 进行循环堵漏。

3.5 钻孔结构设计与施工

ZK1516 钻孔地层较破碎,井壁不稳定且易漏失,前期经过 4 次施工发现:若采用水泥浆护壁,由于钻孔口径太小和钻具与孔壁的环境间隙较小,不

利于成功护壁。为便于降低钻井液的循环压力和护壁,需要钻井液具有较大的上返环空截面,同时,较大的孔径也有利于处理孔内事故。因此,针对该孔的特点和总结以往经验基础上,在第 5 次钻进施工中采取了 Ø150 mm 薄壁金刚石钻头开孔,HQ 口径终孔的方案,最终事故终孔,终孔深度 570 m,钻孔结构参数见表 7。

表 7 ZK1516 孔结构参数

开孔	孔深 /m	钻头直 径/mm	套管直 径/mm	地 层	备 注
一开	0~0.6 0.6~1.8	150	147	风积沙覆盖层 风化基岩	下套管 1.8 m
二开	1.8~120	123	114		下套管 120 m,PQ 绳 索取心、套管底部带 套管靴
三开	120~570	96.8			HQ 绳索索取心、无套管

一开和二开的套管与地层间隙之间灌注漏斗粘度 >50 s 的非分散性稠泥浆。研究证明,加大钻头外径可有效降低冲洗液在复杂地层中的循环压力,实现压力平衡钻进,为粘度较高的冲洗液提供了较好的使用空间,有利于处理孔内复杂事故。同时泵压的降低能很好地减轻冲洗液漏失,也能起到很好的护壁效果。

4 结 语

(1) 针对不同可钻性岩石的研磨性设计制造的 AⅡ-1、AⅡ-2 型 2 种新型专用钻头,有效地解决了钻头胎体崩刃、使用寿命低的问题。

(2) 夏日哈木矿区钻探实践表明,在同类地层

(上接第 35 页)

再次用清水冲洗,至水清砂净后下入 80 m³/600 m 热水潜水泵进行试水工作。

6 结 论 及 认 识

(1) 优选钻头、合理选择钻具组合、优化钻井参数是提高速度的必备条件。断裂带采用满眼钻进可有效防斜。

(2) 优选钻井液体系,优化钻井液性能,有利于深孔携屑、井壁稳定,为提高机械钻速提供良好的满眼条件。

(3) 固井止水质量较好。从管串开始做好每一项工作按照程序实施,保证了固井质量。

(4) 洗井效果较好。虽然达到合同要求,若洗井时辅以空压机振荡洗井,使管内、外的水柱产生压

和相同孔深情况下,全液压动力头式钻机发生孔内事故的几率远小于立轴式钻机,岩矿心采取率方面,全液压动力头式钻机也优于立轴式钻机。

(3) 现场实际应用发现,在硬、脆、碎特点的地层以及孔底漏失地层中通过对钻具涂抹 PID214 管材油脂能够明显减少钻具振动、钻具磨损过快、回转阻力过大的问题。

(4) 针对该矿区研制的冲洗液配方及堵漏工艺能够解决钻进过程中遇到的问题,该冲洗液配方携带岩粉能力较强,保证了孔底岩粉及时排出,提高了钻进效率。

(5) ZK1516 钻孔第 5 次施工采用三开式钻孔结构,加大钻头外径的方法有效地降低了冲洗液在复杂地层中的循环压力,为粘度较高的冲洗液提供了较好的使用空间,更有利于处理孔内复杂事故。

参考文献:

[1] 王冠,孙丰月,李碧乐,等.东昆仑夏日哈木矿区早泥盆世正长花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其动力学意义[J].大地构造与成矿学,2013,(4):685-697.

[2] 张林.青海拉陵灶火地区成矿地质特征及找矿远景分析[D].北京:中国地质大学(北京),2013.

[3] 李世金,孙丰月,高永旺,等.小岩体成大矿理论指导与实践-青海东昆仑夏日哈木铜镍矿找矿突破的启示及意义[J].西北地质,2012,(4):185-191.

[4] 翟育峰,王鲁朝,丁昌盛,等.西藏罗布莎科学钻孔冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):1-4.

[5] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.

差,水在涌入过程将井壁的泥皮冲毁,会加快洗井进程,缩短交井时间。

参考文献:

[1] 谭松成,段隆臣,叶雪峰,等.硬岩钻进用石油钻头研究现状及发展趋势[J].地质与勘探,2013,49(2):373-378.

[2] 刘同富,裴建忠,王安泰.胜利油田中深井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2003,31(4):7-8.

[3] 卢予北.地热井常见主要问题分析与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(2):43-47.

[4] 李明,林文彬.水井洗井技术的探讨[J].西部探矿工程,2008,(8):77.

[5] 穆剑,等.钻井液及处理剂评价手册[M].北京:石油工业出版社,2007.11.

[6] 刘希圣.钻井工艺原理[M].北京:石油工业出版社,1988.9.

[7] 塔里木石油勘探开发指挥部钻井监督办公室.钻井监督指南[M].北京:石油工业出版社,1999.7.

[8] 中国地质调查局.水文地质手册[M].北京:地质出版社,2012.