

金川矿区复杂地层坑道钻探施工技术

陶归成¹, 张永昇², 苗朝阳³, 王少强¹

(1. 甘肃省有色金属地质勘查局白银矿产勘查院, 甘肃 白银 730900;

2. 金川集团股份有限公司, 甘肃 金昌 737100;

3. 湖南省国土空间调查监测所, 湖南 长沙 410000)

摘要:甘肃金川公司坑道小口径岩心钻探施工存在地质条件差, 施工效率低, 新开展的二矿区深部找矿钻探工程普遍月台效不超过 150 m, 钻孔事故率和报废钻孔多。主要原因是钻遇蚀变地层时围岩压力大和钻孔涌水造成的孔壁失稳引发的孔内事故多, 泥浆护壁效果不理想, 扫孔经常会发生钻具断裂和出现新孔现象, 施工孔深大于 300 m 的钻孔时普遍会遇见卡钻、埋钻事故。本文依据该矿区施工经验提出钻遇高应力、蚀变性强的复杂地层时的经济实用处理方法: 跟管钻进、泥浆调配、高压注浆及卡钻事故处理。其中, 高压注浆在小口径岩心钻探复杂地层施工中应用较少, 在合适的地层通过注浆既可以减少套管使用数量, 还可以提高孔壁稳定性, 是一种实用性强和值得推广的技术方法。

关键词:坑道钻探; 跟管钻进; 高压注浆; 卡钻事故; 涌水

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0281-05

Practice of tunnel drilling in complex Strata in Jinchuan mining area

TAO Guicheng¹, ZHANG Yongsheng², MIAO Chaoyang³, WANG Shaoqiang¹

(1. Baiyin Mineral Exploration Institute, Gansu Nonferrous Metal Geological Exploration Bureau,

Baiyin Gansu 730900, China;

2. Jinchuan Group Co., Ltd., Jinchang Gansu 737100, China;

3. Hunan Provincial Land and Space Survey and Monitoring Institute, Changsha Hunan 410000, China)

Abstract: The construction of small diameter core drilling in the tunnel of Gansu Jinchuan Company has poor geological conditions and low construction efficiency. The newly launched deep ore exploration drilling project in the second mining area generally has a meterage per rig-month of no more than 150m, and there are many drilling accidents and scrapped boreholes. The main reason is that there are many accidents in the hole caused by the high pressure of the surrounding rock and the instability of the hole wall caused by water gushing during drilling in the altered formation. The effect of mud wall protection is not ideal, and drilling tool breakage and new hole phenomena often occur during hole cleaning. When drilling with a depth of more than 300m, it is common to encounter stuck or buried drilling accidents. Based on the construction experience of the mining area, this article proposes economic and practical treatment methods for drilling in complex formations with high stress and strong corrosion: drilling with casing, mud mixing, high-pressure grouting, and handling of stuck drilling accidents. Among them, high-pressure grouting is rarely used in the construction of complex formations in small diameter core drilling. In suitable formations, grouting can not only reduce the number of casing used, but also improve the stability of the hole wall. It is a practical and worth promoting technical method.

Key words: tunnel drilling; drilling with casing; high pressure grouting; stuck drill accidents; water gushing

收稿日期: 2023-05-23; 修回日期: 2023-08-19 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.043

第一作者: 陶归成, 男, 汉族, 1993 年生, 工程师, 勘查技术与工程(岩土钻掘)专业, 从事小口径岩心钻探工作, 甘肃省白银市白银区北京路世贸花园, 294213350@qq.com。

引用格式: 陶归成, 张永昇, 苗朝阳, 等. 金川矿区复杂地层坑道钻探施工技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 281-285.

TAO Guicheng, ZHANG Yongsheng, MIAO Chaoyang, et al. Practice of tunnel drilling in complex Strata in Jinchuan mining area[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 281-285.

0 引言

金川公司位于中国的镍都甘肃省金昌市金川区,其硫化镍储量居世界第三位,矿产开发已经持续了30余年。为该地区矿产资源可持续发展,金川公司于2020年部署实施了深部找矿工程,以延续增储。二矿区井下700 m水平作为金川公司深部找矿工作的最大靶区,一期共设计钻孔10个(1个400 m,2个500 m,7个750 m),钻探硐室6个,钻孔倾角 $67^{\circ}\sim 88^{\circ}$,工作量共计6650 m。白银矿产勘查院承揽了二矿区700 m水平深部找矿坑道钻探工程,在实施过程中的难点问题主要有钻遇蚀变地层时岩心采取率低、涌水、塌孔频发,塌孔后扫孔困难,钻进和扫孔时易发生卡钻或埋钻事故,钻孔报废情况多。本文总结了钻孔施工时所遇的普遍性的问题及现场解决办法,旨在为今后该矿区或类似问题的钻孔施工提供借鉴。

1 工程概况

1.1 地层情况

金川矿体存在于超基性橄榄岩,从井下700 m水平依次往下揭穿的岩性有混合岩、大理岩、二辉橄榄岩、超基性岩体等,矿体赋存于超基性岩体。钻遇地层时围岩压力大、掉块、塌孔、缩径、涌水现象多,钻进效率低下、处理钻孔事故周期长且成功率低。从实施的钻孔情况得到,孔深320~350、680~710 m有2层蚀变地层。采用扫描电子显微镜(SEM)对岩样进行微观结构分析(见图1),矿区地层微裂隙极其发育,尤其是一些蚀变强烈地层的岩样裂隙发育且裂隙直径较大、胶结性差,一旦该类地层被钻开后,自由水很容易沿着孔隙进入地层造成原本较为松散的岩石发生垮塌,同时随着自由水的深入也会引发深部地层的水化反应进一步加剧孔壁失稳^[1-3]。

1.2 钻孔结构

施工的钻孔结构基本分为4级,如图2所示。一开采用 $\text{O}150\text{ mm}$ 单管取心钻穿松散地层后,下入 $\text{O}146\text{ mm}$ 孔口管;二开采用 $\text{O}122\text{ mm}$ 绳索取心钻穿第一层蚀变带,下入 $\text{O}114\text{ mm}$ 套管;三开采用 $\text{O}98\text{ mm}$ 绳索取心钻穿第二层蚀变带,下入 $\text{O}91\text{ mm}$ 套管;四开采用 $\text{O}75\text{ mm}$ 绳索取心钻至终孔。

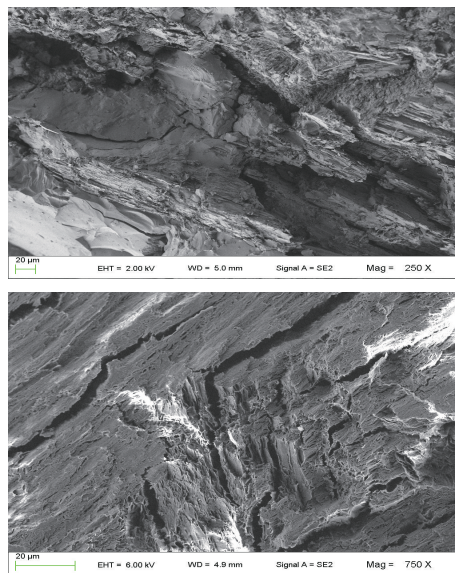


图1 岩样水平及垂直方向裂隙发育

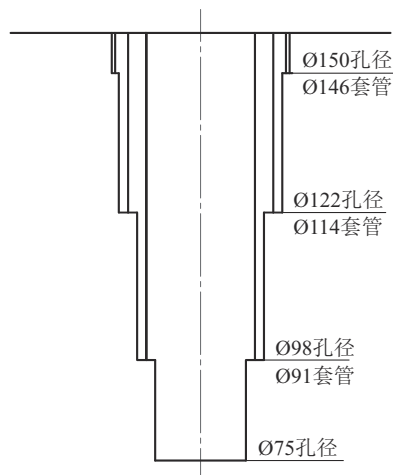


图2 钻孔结构示意图

2 复杂地层施工技术措施

2.1 泥浆护壁技术

该矿区地层有大理岩、混合岩等类似的变质岩层,地层裂隙发育多,下部地层破碎,钻孔连续涌水,ZKII10-1钻孔停钻观测钻孔涌水量达到 $5\text{ L}/\text{min}$,钻进过程中需要不断的补充泥浆材料来平衡钻孔压力和护壁^[13-14]。

蚀变地层钻穿失稳导致钻孔坍塌埋钻事故较多,选用的泥浆体系为细分散高固相泥浆,主要针对的是水敏性及易坍塌地层,通过现场多次调配及测试,ZKII10-1钻孔遇到扫孔困难时应用此类材料后扫孔进度明显提高,后续通过发挥泥浆工艺的优势顺利完成终孔^[15-17]。

在孔深 681 m 扫孔时的封堵防塌型泥浆材料配比为:2.5% 火碱(与膨润土的比例)+2.5% 纯碱(与膨润土的比例)+5% 膨润土+2% 降失水抑制剂+1% 封堵防塌剂+1% 纳米乳液。泥浆主要性能参数:苏氏漏斗粘度 25~35 s,失水量 8~10 mL/30 min,密度 1.05~1.07 g/cm³。

2.2 跟管钻进技术

钻遇涌水及坍塌地层时,泥浆护壁效果不明显,围岩压力大造成孔壁失稳,钻遇泥页岩地层破碎或采取率不足,扫孔无效果或者阻力大,应及时避免盲目扫孔,以防出现急弯偏孔,后续钻进时会导致钻具折断等事故。当 $\Phi 122$ mm 口径和 $\Phi 98$ mm 口径未能顺利穿过蚀变带时,采用跟管钻进的方法,该项目实施跟管钻进的钻孔有 3 个,通过跟进套管的办法全都安全穿过蚀变带,提拔套管时选用水压割刀成功切割,减少管材损失和提高施工效率。采用跟管钻进技术能够解决以上钻孔难题,但跟管钻进过程中要注意操作细节,尤其对机班长的技术熟练水平要求较高^[4-5]。

2.2.1 跟管钻具选型

根据大多数机台施工地层情况,应选用绳索取心钻杆作为跟进的套管,为延长跟管钻头寿命,可将钻头外径加大处理,但不宜过大,结合现场实际经验, $\Phi 114$ mm 钻杆跟管钻头外径可加至 $\Phi 119$ mm, $\Phi 91$ mm 钻杆钻头外径可加大至 $\Phi 94$ mm。

2.2.2 跟管钻进实际操作

(1)为减小跟进套管时钻机扭矩以及降低起拔套管时的损失量,跟进的套管在下钻过程中应涂抹钻杆油或黄油。

(2)不提钻跟进套管。当绳索取心钻头钻进深度超过跟管钻头底部 5 m 以上时,停泵并打捞出内管后,继续等待孔内岩粉沉淀约 20 min,卸松孔口第 1 根钻杆(卸松 1 个螺距)缓缓将整个钻具下放孔底后,卸掉孔口第 1 根钻杆(由于第 1 根钻杆直径影响主动钻杆行程)后开泵跟进套管,跟进套管过程中钻机扭矩过大、进尺过慢、泵压过高的情况下应停止,继续使用绳索取心钻进。

(3)跟管过程中为预防岩粉卡死套管,每班至少上下晃动或跟进套管 1 次。

(4)钻进过程中跟管钻头消耗完不进尺时也可以更换钻头,提出套管后更换跟管钻头时不能将钻杆从孔内提出,如若将钻杆和套管全部提出会造成

孔壁失稳。

(5)起拔跟进套管时使用水压割刀切割方式,切割选在距离蚀变带 6 m 以上套管位置。

2.3 高压注浆深孔护壁

高压注浆大多用于岩土工程地基处理,其在小口径深孔钻探施工中的运用较少。水泥浆通过泥浆泵压入地层裂隙,可以粘结和充填破碎地层,进而提高地层抵抗围岩压力强度。钻探施工过程中遇到易坍塌、涌水、渗漏等存在裂隙的复杂地层,选用高压帷幕注浆技术能够更安全、更高效的护壁^[6]。ZKII12-1 钻孔处理复杂地层采用高压注浆技术是该矿区比较典型的成功案例,在深孔施工中值得推广^[7]。注浆工具连接示意图 3。

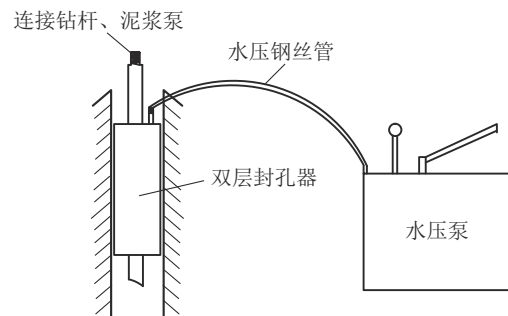


图3 注浆工具连接示意

2.3.1 施工经过

ZKII12-1 钻孔完成施工孔深 750.18 m,使用 $\Phi 91$ mm 口径钻进至 275 m 时遇卡钻事故,换 $\Phi 75$ mm 口径施工至 375 m 时,钻孔围岩压力大,遇破碎地层出现坍塌掉块现象,泥浆护壁效果不明显,扫孔困难,钻进效率低。第一次实行高压注浆,封孔器下入深度为 360 m,因孔壁失稳段长度超过 30 m,第一次注浆未能全部固壁。之后进行第二次注浆,3月16日透孔,扫孔时水泥凝固效果良好。通过上面两次高压注浆,孔深为 275~375 m 之间的不稳定地层孔壁稳定,扫孔和钻进过程中孔内阻力正常。钻进至 400 m 时第三次注浆,透孔显示水泥浆固壁效果良好。

2.3.2 高压注浆操作方法

高压注浆工具有双层封孔器(双层胶塞),水压钢丝管、水压泵,注浆钻杆(现场所用为 $\Phi 42$ mm 钻杆,利于替浆),注浆材料选用 42.5R 硅酸盐水泥^[7-8]。

工作原理:钻杆底部接胶塞下至孔内后,水压泵

将水压力通过水压钢丝管传递到封孔器,致使封孔器膨胀后封闭孔壁间隙,泥浆泵将高压力的水泥浆依次从钻杆、封孔器管道最底部压入封孔器以下深度后,水泥浆经过孔壁裂隙压入深层后起到固定孔壁的效果^[9]。

操作步骤:

(1)在地面用水压泵打压测试封孔器工作压力,用游标卡尺测量封孔器膨胀外径基本等同于孔壁外径时停止打压,读出水压泵压力表数值。再次通过水压泵泄压,用秒表记录封孔器恢复膨胀前所需的时间。

(2)将测试好的封孔器连接钻杆和水压管后下入孔内完整地层段,打压后水压泵达到测试的工作压力时,开始用泥浆泵注水泥浆,根据泥浆泵注浆压力数值变化判断孔底情况^[10]。

若泥浆泵注浆压力逐渐增大,表明水泥浆不断的压入孔壁裂隙,当注浆压力表数值不再增大时立即停止注浆。

若泥浆泵注浆压力增大后出现减小的情况,表明水泥浆从封孔器上部溢出,此时应立即停止注浆并提钻,防水泥浆从上部封死封孔器。

若泥浆泵注浆压力从一开始一直保持不变,表明封孔器膨胀直径不够或下入封孔器的孔壁段有超径地层和漏失地层。

若泥浆泵注浆压力一开始快速增大,表明所注浆地层无裂隙,注浆效果不理想。

高压注浆通常适用于节理、裂隙发育地层。

3 事故处理实践

目前小口径绳索取心工艺在复杂地层遇到卡钻事故的处理比较棘手,主要局限于管材材质、壁厚和孔径。金川公司坑道钻探各个深孔施工时都会遇到卡钻、埋钻事故,正确的处理方法决定钻孔后续施工的难易程度,每个钻孔事故情况不尽相同,处理事故也没有绝对统一的方法^[11]。本文结合实际工作经验介绍2个案例。

3.1 ZKII12-1 钻孔卡钻事故

ZKII12-1 钻孔处理卡钻事故2次,使用 $\varnothing 91$ mm口径施工至孔深275 m时出现第一次卡钻事故,卡钻地层属于泥质充填的砾岩,岩心采取率低。卡钻后用 $\varnothing 71$ mm钻杆连接打捞器捞出内管后(钢丝绳打捞不起来),由于钻机动力的局限(HXY-

42T型)和 $\varnothing 114$ mm套管提拉不动未选择进行扩孔处理,直接下入 $\varnothing 75$ mm绳索取心钻具切穿 $\varnothing 91$ mm钻具后继续施工。

使用 $\varnothing 75$ mm口径钻进至581 m遇见蚀变地层出现埋钻现象,下入 $\varnothing 42$ mm钻具切穿 $\varnothing 71$ mm钻具后继续向下钻进2.5 m,合车慢慢晃动和提拉 $\varnothing 71$ mm钻杆,成功处理了埋钻问题。后续施工采用高固相低失水泥浆护壁,保持BW250型泥浆泵低挡压力不低于5 MPa,最终施工达到设计孔深750.18 m。该钻孔裸孔段长度为475 m,是该矿区井下施工裸孔段最长的钻孔,也成为矿区多年施工钻孔中技术应用最成功的案例,获得了业主的好评^[12]。

3.2 ZKII10-1 钻孔施工实践

ZKII10-1 钻孔施工过程中钻遇蚀变带2段,孔深位置分别在322~345 m和673~710 m。使用 $\varnothing 122$ mm绳索取心工艺施工深度为334 m时出现扭矩大、别车和卡钻情况,随后下入 $\varnothing 114$ mm套管后,换 $\varnothing 98$ mm口径并采用跟进 $\varnothing 114$ mm套管至孔深345 m后岩层完整。使用 $\varnothing 98$ mm口径钻至673 m时孔内阻力大,下入 $\varnothing 91$ mm套管换用 $\varnothing 75$ mm口径跟管钻进, $\varnothing 91$ mm套管跟进至681 m时泥浆送不通无法继续跟进,使用 $\varnothing 75$ mm口径钻进时出现扫孔困难,最终采用高固相、低失水泥浆护壁工艺施工至750 m。

4 结论与建议

金川矿区钻探施工难度大,施工队伍更换频繁,钻孔报废率高,尤其是小口径钻探施工遇到的问题多。采用跟管钻进、泥浆调配、高压注浆并根据现场情况采取适宜的事故处理措施,能够取得较好的施工效果。高压注浆在小口径岩心钻探中应用,在合适的地层通过注浆既可以减少套管使用数量,还可以提高孔壁稳定性,是一种实用性强和值得推广的技术方法。在后续钻探施工有以下建议:

(1)处理复杂地层时要考虑当前方法是否有利于下一步施工,复杂地层设计钻孔结构和处理孔内事故时都需做到保守,通过预留多种处理孔内事故的手段使钻孔自始至终有路径可寻。

(2)坑道施工的组织管理也是关键因素之一,例如井下交通时间会影响现场交接班、运输材料、设备故障维修等,进场前应做好协调沟通,以便提供良好的施工条件。

(3)坑道钻探施工复杂地层时提钻和下钻频繁,因此钻探硐室要有足够大的提升空间,缩短提钻下钻的时间,有效保证孔壁的稳定性。

(4)施工复杂地层应选用性能良好的设备、管材等,将对处理孔内事故产生积极影响。

(5)在复杂地层钻进时可适当增加钻头外径,降低事故风险和循环压耗。

参考文献:

- [1] 祁新堂,谢永德,刘梁,等.河南省洛宁上宫金矿复杂地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):38-43.
- [2] 李晓东,柯玉军.甘肃金昌龙首矿坑道钻探冲洗液对策[J].地质装备,2018,19(4):21-24.
- [3] 董海燕,欧阳志勇,吴海霞,梁秋萍.深部探测金川预导孔深孔钻探钻头的应用与分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):41-46.
- [4] 张晓昂,郝登峰,刘国卫,等.大直径潜孔锤跟管钻进直排井施工技术研究与应用[J].钻探工程,2022,49(6):130-137.
- [5] 张杰.煤矿井下复杂岩层跟管定向钻进技术研究[J].钻探工程,2021,48(4):73-78.
- [6] 宋威武,唐世杰.注浆及挡墙护砌技术在铁路高路基沉降治理中的应用[J].钻探工程,2023,50(2):108-113.
- [7] 李中明,肖尧,罗婷.复杂地层高压旋喷护壁堵漏技术的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(4):74-80.
- [8] 裴向军,王文臣,谢俊革,等.SJP水泥浆封堵强涌水钻孔可控注浆工艺技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):62-67.
- [9] 陶建华,李粤南,陈惠明,等.高压旋喷水泥浆护壁技术的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):11-17.
- [10] 吴金生,李俊萍,张统得,等.一种用于钻孔护壁的高压喷射注浆组合钻具:201520666584.6[P].2015-12-16.
- [11] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].长沙:中南工业大学出版社,2014.
- [12] 李世忠.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1998.
- [13] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [14] 陶归成,唐珂灵,陈琛,等.陆相沉积地层绳索取心钻进所遇问题及解决办法[J].钻探工程,2022,49(4):93-98.
- [15] 余桂红.洛宁上宫金矿ZK322000深孔复杂地层护壁技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):19-23.
- [16] 何玉云,王发民,熊正强,等.甘肃李坝金矿区强水敏分散剥落地层冲洗液的选型与使用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):59-62.
- [17] 张鸿飞.深部找矿钻探施工工艺与方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):26-33.

(编辑 荐华)