

锡矿山复杂地层小口径取心深孔钻探施工方法

蒋光旭¹, 唐振华^{*2}

(1.湖南省有色地质勘查局二总队,湖南湘潭411100; 2.湖南省有色地质勘查局二一七队,湖南衡阳421001)

摘要:针对冷水江市锡矿山谭家冲矿区ZK2401钻孔复杂地层,把单个钻孔的钻探施工作为一个系统工程来实施,对可控制部分进行合理有效的控制,做到有备而动并提高钻孔的成孔率。从前期调查、钻孔结构设计及钻探设备选择、钻孔工程设计和实际施工情况4个方面总结钻探施工方法,确保在矿区复杂地层小口径深孔钻探施工的顺利进行,其经验可供同行参考。

关键词:深孔钻探;复杂地层;钻孔设计;泥浆;系统控制

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0148-06

Small diameter deep core drilling method for difficult formation in a Tin mine

JIANG Guangxu¹, TANG Zhenhua^{*2}

(1. Second Team of Hunan Nonferrous Metals Geological Exploration Bureau, Xiangtan Hunan 411100, China;

2. 217 Team of Hunan Nonferrous Metals Geological Exploration Bureau, Hengyang Hunan 421001, China)

Abstract: In view of the complex formation of ZK2401 borehole in Tanjiachong mining area of Stannary in Lengshuijiang City, the drilling construction of every single borehole is carried out as a system engineering, and the controllable part is controlled reasonably and effectively, so as to be prepared to move and improve the rate of borehole formation. This paper summarizes the drilling construction methods from four aspects: preliminary investigation, drilling structure design and drilling equipment selection, drilling engineering design and actual construction situation, in order to ensure the smooth deep hole drilling of small diameter in complex strata of mining area, and the experience can be used as reference for peers.

Key words: deep drilling; complex formation; drilling design; drilling mud; system control

0 引言

锡矿山锑矿资源储量超过210万t,约占全球总量的30%,成为全球最大的锑成矿产区,锑矿产量居世界之最^[1-4],作为生产多年的老矿山,经历了超过120年的矿业开采和近60年的矿产勘查活动^[5]。冷水江市锡矿山谭家冲矿区ZK2401钻孔地处湖南省娄底市,设计孔深1800m,主要目的是探明该矿区深部锑矿,并揭露该矿区从上至下施工地

层。由于矿区地质条件复杂,导致地层水敏性强,易发生塌孔、垮孔等不良情况,对钻探工程的安全推进带来了隐患^[6-11]。多年实践经验表明^[12-14],摸排查清任何对钻探安全施工造成危害的因素至关重要,首先前期调查需要有针对性地根据复杂地层的特殊情况设计钻孔结构并制定钻探施工作业方案,采取有效的安全技术和良好的钻探设备,结合施工现场完善管理防范措施及安全确认,可以完全有效

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.023

作者简介:蒋光旭,男,汉族,1972年生,副队长,高级工程师,地质工程专业,主要从事探矿工程工作,湖南省湘潭市河东大道998号,jiangguangxu5178@126.com。

通信作者:唐振华,男,汉族,1978年生,基础公司经理,高级工程师,地质工程专业,主要从事探矿工程工作,湖南省衡阳市解放西路56号,zzzb686@163.com。

引用格式:蒋光旭,唐振华.锡矿山复杂地层小口径取心深孔钻探施工方法[J].钻探工程,2021,48(S1):148-153.

JIANG Guangxu, TANG Zhenhua. Small diameter deep core drilling method for difficult formation in a Tin mine[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):148-153.

地防范钻进过程中事故的发生。以ZK2401钻孔为例,综合考虑该地区复杂的地质条件,把钻孔施工作为一个系统工程,分别从前期调查、钻孔结构设计及钻探设备选择、钻孔工程设计和实际施工情况等4个方面进行施工方案设计,确保实现该钻孔安全优质的持续钻进。

1 前期调查情况

1.1 矿区历史施工数据收集

根据以往钻孔揭露的情况推断该钻孔地层情况如下:

(1)第一段0~140 m处,上部为泥晶灰岩、微晶灰岩夹钙质页岩、生物碎屑泥晶灰岩,底部为砂质页岩与页岩互层,局部夹砂岩。

(2)第二段140~390 m处为微晶灰岩夹砂质页岩、石英粉砂岩、页岩。

(3)第三段390~720 m处为泥晶灰岩、微晶灰岩夹页岩、含碳页岩、钙质页岩。其中,720 m附近为F₃₀₁断层破碎带:主要由碎裂状石英砂岩及页岩、构造角砾岩、断层泥组成。

(4)720 m以下地层无钻孔揭露,地层情况未知。

1.2 查看岩样

提取以往施工钻孔岩样中漏、硬、脆、塌、水敏性等代表性岩心进行分析,并根据岩心情况确定钻头选型、常用泥浆配方、特殊地层地区泥浆配方和特殊地层钻进的施工工艺选择。ZK2401孔是在碳岩页岩层中钻进,且岩心表现为水敏性地层,所以施工中泥浆配方的选择和优化需要重点考虑。

1.3 同地区施工数据

通过原始记录得知该地区正常钻进条件下的班进尺为每班8 m左右,日进尺量为24 m/d左右;每个口径钻进效率情况不同且处于水敏性地层,所以每段裸孔的时间不宜超过30 d,或将导致泥浆的护壁效果出现大幅度的下降。

1.4 施工现场踏勘

ZK2401钻孔位置周边居民少,可借网电来满足动力需求且方便钻探施工取水,需自备水管、水泵;钻孔场地平整,运输条件便利。但钻孔区域下方有村民聚居地,区域内村民生活用水主要来源为自建水池蓄水和收集地面沟渠用水,并自建水井存储饮用水,而钻探施工可能会破坏村民的储水设施并污

染附近的水质,需提前重点观察并采取控制措施。

2 钻孔结构设计及钻探设备选择

2.1 钻孔结构设计的原则

钻孔结构设计在整个钻探施工的系统工程中处于核心地位,钻探施工必须达到地质勘探设计钻孔工程的目的,才能视为钻探工程完成,其整个过程具有不确定性;整个工程的过程无法直接观察,各种状况的发生和应对,没有可以遵循的相应规则,只能凭借可以观察到的现象去推断孔内发生的情况。经验值在工程的实施过程中占据的比重较大,但缺少一个可以衡量或鉴定的标准。依据收集到的第一阶段工作的资料进行钻孔结构的设计,显得尤其重要。钻孔结构是可以控制的,是整个钻探施工或顶层控制工程重要的环节之一。

2.2 钻孔结构设计

钻孔设计的核心是对整个钻探施工项目进行整体控制,是项目实施过程中的工期和成本控制。通过钻孔结构设计确定施工所需配备的钻探设备、相关工具和材料,并根据钻孔结构设计来预估工程工期和成本。

ZK2401钻孔设计孔深1800 m,垂直钻孔,终孔直径为60 mm。开孔时采用直径150 mm的钻头钻至井深30 m处,下入孔口管;一开采用直径122 mm的钻头钻至井深500 m;二开采用直径95 mm的钻头钻至井深1200 m;三开采用直径75 mm的钻头钻至井深1800 m^[15],钻孔结构设计如图1所示。钻孔施工的预估工期为4个月,具体时间预计为2018年7月~2018年11月。

2.3 钻探施工实际口径情况

实际钻孔工程终孔结构为开孔时采用直径150 mm的钻头钻至井深22.2 m;一开时采用直径122 mm的钻头钻至井深477.2 m;二开时采用直径95 mm的钻头钻至井深1003.3 m;三开时采用直径75 mm的钻头钻至井深1523.48 m;四开时采用直径60 mm的钻头钻至井深1645.1 m,实际钻孔结构如图2所示。实际工期时间为2018年7月25日~2018年12月19日。

2.4 钻探设备的选择

ZK2401钻孔施工所需要的主要设备和相关材料如表1和表2所示。

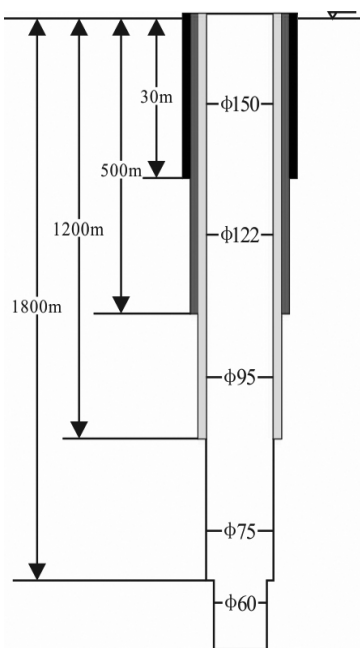


图1 钻孔结构设计

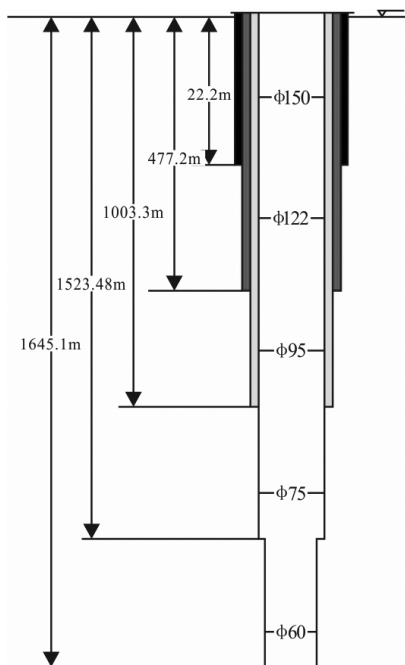


图2 实际钻孔结构

3 施工难点

ZK2401 钻孔地层主要为水敏性碳质页岩地层。水敏性地层具有遇水不稳定和易坍塌等特征,并含有软硬夹层且在施工过程中冲洗液有小部分漏失。针对水敏性地层对钻孔施工造成的不稳定影响,应采用优质泥浆护壁保护裸孔,保证短期内孔壁的稳

表1 ZK2401 钻孔施工主要设备

序号	设备材料名称	规格型号	单位	数量
1	岩心钻机	XY-8C	台	1
2	泥浆泵	BW-300/16-D	台	1
3	钻塔	SG23	台	1
4	搅拌机	0.6 m ³	台	1
5	绳索绞车	SJ-3000	台	1
6	动力钳	SQ114/8	台	1
7	配电柜	250 A	台	1
8	行灯变压器	5000 VA	台	1
9	测斜仪	STL-1GW 高精度	台	1

表2 ZK2401 钻孔施工材料清单

序号	设备材料名称	规格型号	单位	数量
1	普通钻杆	Ø50	m	50
2	绳索钻杆	PQ×3	根	170
3	绳索钻杆	S95A×3	根	370
4	绳索钻杆	CNHT×4.5	根	400
5	绳索钻杆	BQ	m	2000
6	套管	Ø146	m	45
7	套管	Ø108	m	400
8	套管	Ø89	m	1250
9	套管	Ø73	m	1600

定,并在 30 d 内钻孔施工至稳定地层后,快速下入套管保护孔壁。

4 钻孔工程设计

小口径取心钻探工程是钻进岩层并取出岩心,在保证采取率的同时根据钻取岩心的特殊性质进行施工设计。主要考虑岩石硬度和地层水敏性,这是影响整个钻探工程的 2 个关键因素。从现有的装备和器具,以及孔底辅助动力设施,可以有效解决岩石高硬度特性带来的施工技术难题,而水敏性岩石的处理存在一定的难度,有待进一步调整完善施工工艺。

施工组织设计要围绕解决钻探工程中最关键的因素,进行相配套的系统控制。ZK2401 钻孔岩心硬度 < 7 级且处于水敏性地层区域,孔壁易坍塌。所以采用多开分径钻进、多层套管和轻质泥浆护壁技术,解决钻进中孔壁稳定的问题,采用轻质泥浆护壁技术是关键。

4.1 泥浆的配制

在同矿区的地层中取岩心样品分析并做配方优化实验,选取最佳泥浆配方,配制泥浆。

4.2 泥浆的质量维护

利用现有场地条件,建立不少于2个沉淀池循环系统,同时需要保证自然降雨和排水不会侵扰到循环系统,并对出口泥浆性能进行监控和检测。

4.3 控制钻速

班进尺和日进尺的控制,是经常被忽视的。泥浆在孔内循环的过程中,需要维持一定的时间,才能对钻进的孔壁起到保护作用。钻速过快不利于孔壁的稳定,根据以往施工经验,采用每班8 m、每日24 m的速度钻进比较合理。

在矿产资源勘查的工作中,钻探施工处于从属的地位。在钻孔工程施工前,获得的前期地质资料是地质技术人员提供的施工区域预估地质岩层构造

图,与钻探施工点上的岩层并不完全符合,具有不确定性;单个钻孔施工的孔内情况是不可测、不可视和未知的,如果不能有效地进行控制或预测,那么从孔底的状况反映到地面的工作将出现滞后反应。综上所述,采用每班8 m、每日24 m的钻速开展钻探工程并保持平稳的钻进,有利于提高该矿区钻孔成孔率。

5 实际施工情况

5.1 泥浆试验情况

根据添加剂的量和添加顺序的不同,制定2个配方,然后测试2种抑制泥浆体系的pH值、粘度、密度、API滤失量及对岩样的抑制性。具体配方如表3所示,泥浆基本性能参数如表4所示。

按配方1浸泡后的岩心如图3所示,浸泡120 h后的岩心无膨胀且无分散现象。按配方2浸泡后的岩心如图4所示,浸泡120 h后的岩心无膨胀且无分散现象。

表3 泥浆试验配方

步骤	配方一	配方二
第一步	1000mL水+3%钠土+0.1%纯碱+0.3%SD-2+0.5%KDG	1000 mL水+2.5%钠土+0.1%纯碱+0.3%SD-2+1.5%KDG+0.6%KP+0.5%XH+0.04%K-PAM
第二步	+0.4%TES	+5%工业盐
第三步	+0.5%KDG	
第四步	+0.4%KP	
第五步	+0.5%XH+0.04%K-PAM	

表4 泥浆基本性能参数

步骤	配方一		配方二	
	漏斗粘度/s	API滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]	漏斗粘度/s	API滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]
第一步	17.7~18.5	13	24.6	9
第二步	18.6~19.1	12	21	10
第三步	20.8~21.2	9		
第四步	23.7~22.8	9.5		
第五步	27.5	8.8		
最终密度/(g·cm ⁻³)		1.03		1.07
最终pH值		9~10		9~10
最终胶体率(静置48 h后)/%		>98		>94
最终泥饼厚度/mm		<0.8		<1

配方1和2对页岩的抑制性均可满足要求,推荐使用配置成本更低的配方;虽然配方1小于配方2

的滤失量,但是配方2的矿化度超过50000 ppm,在遇有强水敏地层如泥岩时的抑制性反而要强于配方



图3 按配方1浸泡后的岩心

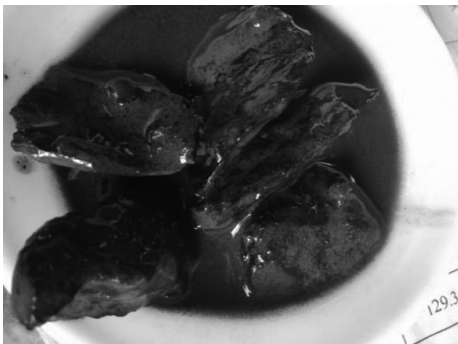


图4 按配方2浸泡后的岩心

1;配方2的密度超过配方1,而且在控制黏度变化不大的情况下还可以增加密度,在遇到力学不稳定地层时可平衡地层压力。

5.2 施工过程设计调整

在实际钻探施工过程中,单口径的钻进深度与钻孔结构设计有差距,最后采用备选的口径为60 mm的终孔。钻孔换径时,综合考虑钻机负荷、泥浆泵压力、井差、岩层完整度和剩余钻孔深度,要平衡利弊得失,提前充分准备、果断决策行动。

5.3 钻孔揭露的地层情况

根据钻取的岩心,得知锡矿山谭家冲矿区ZK2401钻孔揭露的地层情况如下:

0~877.03 m为 C_{1y}^3 地层,上段中上部为泥晶灰岩、微晶灰岩夹钙质页岩、生物碎屑泥晶灰岩,底部为砂质页岩与页岩互层,局部夹砂岩。中段为微晶灰岩夹砂质页岩、石英粉砂岩、页岩。下段为泥晶灰岩、微晶灰岩夹页岩、含炭页岩、钙质页岩。其中,780.73~786.91 m为 F_{301} 断层破碎带:主要由碎裂状石英砂岩及页岩、构造角砾岩、断层泥组成。

877.03~955.72 m为 C_{1y}^2 地层,泥晶灰岩夹含炭页岩、页岩。

955.72~1191.99 m为 C_{1y}^1 地层,上部以泥晶灰

岩、云母粉砂岩、石英粉砂岩为主,夹石英砂岩、页岩、含炭页岩、砂质页岩。下部以钙质粉砂岩、石英粉砂岩为主,夹砂质泥晶灰岩、石英砂岩、页岩、含炭页岩,底部为钙质页岩。

1191.99~1319.18 m为 D_3x^5 地层,以石英砂岩、云母粉砂岩为主,夹炭质页岩、局部夹石英细砂岩,底部为页岩夹钙质页岩、含铁质砂岩。

1319.18~1462.03 m为 D_3x^4 地层,上部泥晶灰岩为主夹砂质页岩,下部砂质泥晶灰岩、钙质粉砂岩互层,夹砂质页岩。

1462.03~1493.03 m为F75断层破碎带:主要由透镜体、构造角砾岩、方解石脉、断层泥组成。

1493.03~1523.23 m为 ϵ_1 地层,为含炭质硅质岩夹页岩,底部为绢云母千枚状板岩。

1523.23~1601.80 m为 $Zbdn$ 地层,为含炭质硅质岩夹硅质岩。黄铁矿较发育,主要呈星点状、细脉状、浸染状产出。

1601.80~1632.85 m为 Zbd 地层,为条带状泥板岩、粉砂质泥板岩夹硅质岩、白云岩。岩石中见绿帘石化,黄铁矿呈细脉状、浸染状产出。

1632.85~1645.10 m为 Zan 地层,为冰碛泥砾岩夹绢云母板岩。砾石和砂屑占60%~70%。砾石有石英砾,花岗岩砾、碳酸盐岩砾、板岩砾,砾径2~16 mm,多呈次棱角一椭圆状。泥质、砂质胶结,黄铁矿较发育,呈星点状、粒状集合体产出。

综合考虑泥浆试验结果和地层地质情况,认真总结自2012年以来,在锡矿山矿区中钻探施工的失败教训和成功经验,总结以下5点:(1)为保证采取率达到技术规范要求,应采用绳索取心钻探工艺;(2)钻进施工时,必须使用泥浆护壁,清水钻进没有成孔先例;(3)设计孔深800 m以内的钻孔,可以考虑采用95 mm单口径钻孔结构设计(75 mm口径备用),一径到底实施钻探施工;(4)设计孔深1000 m以上的钻孔,必须采用多口径钻孔结构、多层套管技术;(5)此类地层中井内事故处理成功率低,遇到卡钻、埋钻、烧钻、断钻杆等事故时,若短时间不能处理好,应果断放弃;在许可的范围内移孔重打,重新实施钻探施工。

6 结论

锡矿山谭家冲矿区ZK2401钻孔的施工,是钻探施工中一次系统工程施工的范例。通过技术人员

前期充分的调查和准备工作,总结得出施工的关键难点,并在此基础上设计了相应的处理方案。施工过程中严格执行设计方案,同时根据现场施工实际情况进行了及时调整。通过总结分析,得出以下结论:

(1)将钻探工程视为一个系统的工程进行分析,主要由以下4个部分组成:前期调查、钻孔结构设计、钻孔工程设计和钻孔工程施工。其中前3个部分是可控的,最后施工阶段是不可控。所以需要通过前期调查和设计部分的控制,达到对钻孔工程施工部分产生积极影响的效果。

(2)ZK2401钻孔的施工中,根据前期调查获得的矿区钻探经验值,宜采取日进尺24 m的钻进速度且进尺限制时间为30 d,充分考虑日进尺速度和单径进尺时间并结合设计孔深进行钻孔结构与钻探设备、工具和相关材料的配置。

(3)根据钻孔取心揭露的地层情况和泥浆试验结果可知,施工过程中为保证采取率达到技术规范要求,应采用绳索取心钻探工艺;钻孔钻进时,必须使用泥浆护壁。

(4)钻孔工程设计时,在考虑日进尺速度和进尺限制时间的基础上,配制泥浆并管理泥浆,从而解决钻探施工中关键难点的突破。根据近15年的钻探施工经验总结发现,把单个钻孔的钻探作为一个系统工程来实施,对可控制部分进行合理有效的控制从而提高钻孔的成孔率。

参考文献:

- [1] 赵志坚,雷洁,唐代文.锡矿山铋矿飞水岩矿床控矿规律和找矿思路[J].世界有色金属,2019(14):47-48.
- [2] 魏力辉,王大娟,毕军平,等.锡矿山铋矿区生态环境质量遥感动态监测与评价[J].环境科学与技术,2020,43(6):230-236.
- [3] 温冰.湖南锡矿山水环境中铋来源及迁移转化的多元同位素解析[D].武汉:中国地质大学(武汉),2017.
- [4] 林禹翔,马银花.冷水江锡矿山重金属污染及其修复研究综述[J].安徽农学通报,2020,26(21):137-140.
- [5] 唐代文,韦俊杰.数字地质调查系统在湖南锡矿山铋矿田飞水岩矿区的应用[J].矿产勘查,2020,11(1):163-171.
- [6] 袁进科,陈礼仪,王军伟,等.青藏高原复杂地层地质钻探低固相冲洗液试验研究[J].钻探工程,2021,48(4):79-84.
- [7] 袁宜勋,雷超.复杂地层深孔取心钻探事故的处理方法[J].人民长江,2015,46(14):98-101.
- [8] 朱红增.深孔钻井施工技术探讨[J].科技创新与应用,2013(31):95.
- [9] 廖远苏,胡啟锋,缪赛,等.提高复杂地层取心质量的一种发夹式岩心提断器及其应用[J].煤田地质与勘探,2020,48(6):249-255.
- [10] 张超,丁乙,曹峰,等.水敏性泥页岩地层孔隙压力预测方法研究[J].科学技术与工程,2015,15(31):168-172.
- [11] 迟焕鹏,胡志方,王胜建,等.黔西地区表层易漏地层钻井工程技术[J].钻探工程,2021,48(4):66-72.
- [12] 何仲秋.钻探工程施工中危险源辨识、风险评估及其控制[J].中国安全生产科学技术,2010,6(6):177-181.
- [13] 张建国.复杂地层取心堵心原因及预防措施研究[J].中国矿山工程,2021,50(1):52-55.
- [14] 易强忠,郎学伟,周兴华,等.云南金平长安金矿大倾角钻孔绳索取心施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):48-55.
- [15] 高鹏举,董向宇,马峰,等.雄安新区D15地热勘探井钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(3):106-112.