

南秦岭镇安西部复杂地层钻探技术及对策

黄德强, 汪传武, 张波, 周武卫, 李季

(西安地质矿产勘查开发院有限公司, 陕西 西安 710100)

摘要:南秦岭镇安西部地区是钨钼多金属找矿重点区域,该地区地层大部分为灰岩、白云岩,地形切割大,地势陡峭,岩溶发育,钻孔施工过程中所遇溶洞较多,构造十分发育,钻孔见断层构造带较多,局部岩心破碎,孔内坍塌掉块严重,深孔施工较为困难。施工过程中,通过优化钻进参数,采取各种堵漏措施填补溶洞,调配冲洗液处理孔内坍塌掉块,调整冲洗液密度处理深部涌水,解决构造带岩心采取困难等诸多施工难题,提高钻进效率。ZK5201 钻孔找到矽卡岩型钨矿化带和印支—燕山期花岗岩隐伏岩体,顺利完成钻探施工任务,采用绿色勘查方法,确保钻探施工现场及周边水体不受污染,施工经验可为以后该地区同类型深孔钻探提供参考。

关键词:钻探;溶蚀溶洞;断层涌水;构造带取心;绿色勘查

中图分类号:P634 文献标识码:B 文章编号:2096-9686(2023)S1-0251-05

Drilling technology and countermeasures for complex strata in the West of Zhen'an, South Qinling

HUANG Deqiang, WANG Chuanwu, ZHANG Bo, ZHOU Wuwei, LI Ji

(Xi'an Institute of Geological and Mineral Exploration Co. Ltd., Xi'an Shaanxi 710100, China)

Abstract: The western area of Zhen'an, South Qinling, is a key area for molybdenum tungsten polymetallic prospecting. Most of the strata in this area are limestone and dolomite. The topographic is large, the terrain is steep, and the karst is developed. There are many karst caves encountered in the drilling construction process. The structure is very developed. There are many fault tectonic belts drilled, the local cores are broken, and the collapse blocks in the holes are strict. Heavy, deep hole construction is more difficult. During the construction process, by optimizing the drilling parameters, taking various leakage plugging measures to fill the karst cave, allocating flushing to deal with the collapse and falling blocks in the hole, adjusting the density of flushing to deal with deep water inrush, solving many construction problems such as difficulty in adopting the core of the tectonic zone, and improving the drilling efficiency. The ZK5201 hole found the skarn-type tungsten mineralization belt and the Indo-Yanshan period granite hidden rock mass. The drilling construction task is successfully completed. The green exploration method is adopted to ensure that the drilling construction site and surrounding water bodies are not polluted, and provide reliable experience for the construction of the same type of deep hole drilling in the area in the future.

Key words: drilling; karst cave; fault water inrush; coring of structural zone; green exploration

0 引言

“陕西省镇安县六里街—川口河钨钼多金属矿
预查”项目是陕西省镇安西部找矿会战区钨矿找矿

重点项目。勘查区位于镇安县和宁陕县境内。

为验证隐伏岩体接触带矽卡岩型钨矿(化)体
布设了 ZK5201 钻孔, ZK5201 钻孔设计 1200 m, 实

收稿日期:2023-02-13; 修回日期:2023-05-06 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.038

基金项目:陕西省地勘基金项目“陕西省镇安县六里街—川口河钨钼多金属矿预查”(编号:61201304225)

第一作者:黄德强,男,汉族,1971年生,高级工程师,探矿工程专业,长期从事煤田钻探、金属矿产钻探生产和技术管理工作,陕西省西安市长安区杜陵西路56号,547387815@qq.com。

引用格式:黄德强,汪传武,张波,等.南秦岭镇安西部复杂地层钻探技术及对策[J].钻探工程,2023,50(S1):251-255.

HUANG Deqiang, WANG Chuanwu, ZHANG Bo, et al. Drilling technology and countermeasures for complex strata in the West of Zhen'an, South Qinling[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):251-255.

际施工 1276.31 m,是该会战区施工最深的钻孔。通过 ZK5201 钻孔发现隐伏白钨矿体 2 条、隐伏矿化体 2 条,隐伏萤石矿化体 3 条。ZK5201 钻孔验证了区内隐伏岩体及其接触带含矿性的存在,为下一步区内深部找矿提供了可靠依据。

该勘查区断裂构造十分发育,断层很多,钻孔见断层构造带较多,局部岩心破碎,孔内坍塌、掉块严重,钻进困难。地表大部分为灰岩、白云岩地形,地形切割大,地势陡峭,设备搬迁困难。灰岩地区岩溶发育,钻孔施工过程中所遇溶洞较多,给钻探施工带来很大困扰。ZK5201 钻孔施工周期为 2021 年 9 月 28 日—2021 年 12 月 14 日,施工过程中解决了钻探施工中遇到的溶洞漏水、破碎带涌水、构造带岩心采取率不足等难题,顺利完成钻孔施工^[1-3]。

1 矿区概况

1.1 构造

工作区位于南秦岭被动陆缘南秦岭造山带,构造变形强烈,褶皱断裂发育,区域构造线方向总体为 NWW 向,岩石主要遭受了三期构造变形,分别为菜

子坪—柞水推覆岩片带、旬阳坝—石瓮子滑脱推覆带、柴家坪—金鸡岭滑脱—推覆带。

勘查区主体褶皱形成于印支期,主要褶皱有黄岗梁—严家坪向斜,扬四庙—太神庙复背斜、甘岔河破复背斜等,勘查区断裂构造十分发育,不同构造层次、不同性质类型的断裂相互叠加交织、改造利用,构成一个复杂的断裂分布。

1.2 地层

布设 ZK5201 深孔主要针对隐伏岩体接触带附近的矽卡岩型钨矿(化)带,找出该地区印支—燕山期花岗岩隐伏岩体,钻遇地层由上到下依次为(表 1):

(1)寒武—奥陶系石瓮子组(ϵ_1-O_2s):灰白色中厚层状—块状细晶白云岩、细晶灰岩,碎裂岩,糜棱岩等。

(2)寒武系水沟口组(ϵ_{1sg}):深灰色炭硅质板岩,粉砂岩,砂质灰岩夹硅质岩等。

(3)震旦系灯影组(Z_2dy):上部深灰色厚层细晶白云岩、藻纹白云岩;中部浅灰—深灰色藻纹细晶白云岩、粉晶白云岩;下部为灰色薄—纹层状含藻纹泥质粉晶白云岩间互厚层粉晶白云岩、砾屑白云岩。

(4)印支—燕山期花岗岩,闪长岩。

表 1 钻孔所遇地层

孔深/m	地 层	岩 性 描 述	钻 探 特 性
0~545	寒武—奥陶系石瓮子组	白色中厚层状—块状细晶白云岩,局部见细粒灰岩	岩溶发育,溶洞较多,漏水严重,堵漏困难
545~874	寒武—奥陶系石瓮子组	碎裂岩、细晶灰岩、白云岩	地层较完整,硬度较大。断层多,裂隙发育,局部漏水
874~969	寒武—奥陶系石瓮子组	灰白色中厚层状—块状细晶白云岩、细晶灰岩	岩溶不发育,含网状石英脉,硬度较大
969~1010	寒武—奥陶系石瓮子组	糜棱岩、细晶灰岩、细晶白云岩	地层较完整
1010~1060	寒武系水沟口组	硅质岩夹炭质板岩、粉砂岩,砂质灰岩夹硅质岩	石英脉发育,硬度大,断层发育 1037~1052 m 处为断层构造带,孔内涌水
1060~1241	震旦系灯影组	灰白色块状局部透闪石化白云质大理岩,粉晶白云岩、砾屑白云岩	大部分岩层破碎,断层较多,掉块多,容易卡钻
1241~1276	印支—燕山期花岗岩	细粒二长花岗岩,闪长岩	地层较完整,硬度大

2 钻进工艺

2.1 钻探设备选择

由于该地区为灰岩地区,沟谷切割严重,钻孔交通困难,不宜选择大型设备,需选择能分解的钻探设备。采用 XY-6B 型钻机,动力机为玉柴 6108 柴油机, BW-280 型泥浆泵, 13 m 四角钻塔。

2.2 钻探机具选择

根据终孔口径要求和该地区上部覆盖层及强风化层,上部使用普通钻进方法,选用 $\varnothing 50$ mm 钻杆,采用 $\varnothing 130$ mm 钻头,下入 $\varnothing 127$ mm 套管。下部地层大多为白云岩、灰岩地层,根据以往该地区钻探经验,岩溶发育,溶洞较多,根据岩溶实际情况,为了隔离溶洞下入 $\varnothing 108$ mm 套管和 $\varnothing 89$ mm 套管。

上部采用HQ系列绳索取心钻具,钻具选择 $\varnothing 95$ mm孕镶金刚石钻头+ $\varnothing 89$ mm绳索钻杆。下部采用NQ系列绳索取心钻具钻至终孔,钻具选择为 $\varnothing 75$ mm孕镶金刚石钻头+ $\varnothing 73$ mm绳索钻杆。

2.3 钻孔结构

钻孔位于灰岩、白云岩地层,根据以往该地区施工经验,孔深在400 m以浅时,一般会遇见0.5~3.0 m不等的溶蚀和溶洞,钻遇大于1.0 m的溶洞时堵漏比较困难,钻孔上部遇到溶洞采用套管隔离的方法,套管根据所遇溶洞情况随时变化^[4-6]。结合钻孔所遇地层实际情况,最终钻孔结构如下:

(1) 开孔是坡积层及强风化层,采用 $\varnothing 130$ mm钻头,孔深28 m处见完整基岩,下入 $\varnothing 127$ mm套管。

(2) 采用HQ系列绳索取心钻具,采用 $\varnothing 95$ mm钻头,钻探过程中遇到溶蚀较多,直径都 < 1.0 m,大多不漏水,部分漏水溶蚀采用泥球填埋方法能有效堵漏,钻至88.5~90.7 m处见2.2 m溶洞,堵漏困难。用 $\varnothing 110$ mm钻头扩孔至95 m处,下入 $\varnothing 108$ mm套管。

(3) 继续采用HQ系列绳索取心系列钻具,采用 $\varnothing 93$ mm钻头,钻至199.7~201.6 m处遇1.9 m溶洞,继续钻至203 m直接下入 $\varnothing 89$ mm套管。

(4) 换用NQ系列绳索取心系列钻具,采用 $\varnothing 75$ mm钻头钻至终孔,钻孔结构如图1所示。

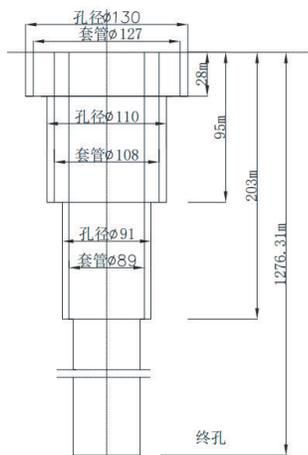


图1 钻孔结构示意图

2.4 钻进参数

结合实际情况选择合适的钻进参数,一般按单位底面积压力选择钻压;根据岩石的可钻性、研磨性、完整程度选择转速;根据岩石的可钻性、完整程度、钻进速度和钻头直径合理选择泵量。

钻孔所遇地层大部分为灰岩、白云岩、碎裂岩,上部地层硬度较小岩溶发育,下部地层硬度较大断层裂隙多,根据钻孔所遇地层的特性,以及选择的钻机和泥浆泵,结合以往该地区钻探施工经验,合理选择钻进参数^[7-9],钻进参数见表2。

表2 钻进参数

地层层位	钻进方法	钻具系列	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)
上部灰岩、白云岩	孕镶金刚石绳索取心	HQ	12~16	300~700	60~120
下部白云岩、花岗岩、碎裂岩、糜棱岩		NQ	10~12	400~700	60~90

2.5 冲洗液配置

该钻孔上部为灰岩、白云岩,岩溶发育,溶洞多,漏水严重,配置冲洗液时,护壁、堵漏是重点;下部是白云岩、碎裂岩、糜棱岩、硅质岩、花岗岩,构造发育断层裂隙多,易坍塌掉块,配置冲洗液时,护壁、堵漏、润滑是重点。钻孔主要采取NQ系列绳索取心钻探工艺,孔内环状间隙小,泵压高,为了保证高转速,提高钻探效率,综合考虑采用无固相冲洗液。

2.5.1 处理剂的选择

由于采用无固相冲洗液,冲洗液密度小,配置冲洗液携粉、护壁、堵漏、润滑是重点要解决的问题。冲洗液中岩粉等固体颗粒物危害大,提高钻孔携粉能力,提高冲洗液粘度,增加冲洗液切力。由于地层构造发育断层裂隙多,易坍塌掉块,部分地段有水敏地层,必须提高冲洗液的降失水性能,同时减少孔内冲洗液漏失。钻孔较深,必须提高冲洗液的润滑性能,有效减少孔内阻力。

选用高粘纤维素(CMC),提高冲洗液粘度,增加携粉能力,钻孔深部有水敏地层改用中粘CMC,提高冲洗液粘度的同时,具有明显的降失水性能。广谱护壁剂能有效增粘、降失水、增加携粉能力,使用方便。聚丙烯酰胺(HPAM)吸附基团可将岩粉等固体颗粒吸附絮凝沉淀,同时其长分子链吸附于孔壁上,也起到降低地层吸水防止孔壁坍塌。高效润滑剂具有强粘附性和抗水冲刷性能,合适的稠度及良好的润滑性,有效提高冲洗液的润滑能力,减少孔内阻力^[10-12]。随钻堵漏剂能解决钻孔轻微漏失情况。

2.5.2 一般冲洗液配方

采用的无固相冲洗液配方为:1 m³清水+8~10

kg 高粘纤维素+7~9 kg 广谱护壁剂+4~5 kg 聚丙烯酰胺+6~8 kg 随钻堵漏剂+5~8 kg 高效润滑剂。

冲洗液性能参数为:密度 1.01~1.02 g/cm³;漏斗粘度 20~24 s;API 滤水量 12~14 mL;泥皮厚度 <1.0 mm;胶体率 >95%;pH 值 8~9。

2.5.3 冲洗液维护

经常测试冲洗液性能,及时进行性能调节,并做好配制、净化处理、捞砂工作。根据地层变化及时调整冲洗液性能,加强净化并适时补充处理剂来恢复其性能。现场配备冲洗液搅拌罐和药剂桶,根据钻进中处理剂消耗情况,搅拌罐内搅拌好的处理剂溶液有控制地加入到泥浆池内。现场泥浆循环系统尽可能加长,泥浆槽设置沉淀池,及时清理岩粉,保证冲洗液性能。

3 所遇问题及对策

3.1 溶洞堵漏措施

钻孔上部地层主要是灰岩、白云岩,采用套管隔离的办法堵漏,由于下入 Ø89 mm 套管至 203 m,后期遇到溶洞必须采取堵漏措施。该孔在 203~350 m 范围内遇到 0.5~1.5 m 的溶蚀和溶洞,由于空洞大,无法使用架桥材料有效堵漏。钻孔在 247 m 处遇到直径 1.5 m 溶洞,根据以往在相邻地区的钻探施工经验,钻孔溶洞堵漏主要采用水泥球堵漏,采用水泥球的堆积,自然形成水泥柱。

把水泥加入适量的速凝剂,合成半湿状直径 6 cm 左右的水泥球,第一次团大量水泥球投入孔内,孔口注水时孔口返水,可能水泥球进入溶洞上部钻孔,使用钻具捣实,孔内又漏水,再次将水泥球投入孔内,往复 3 次,孔内返水,停顿 12 h,堵漏成功后用泥浆护壁继续钻进^[13-14]。钻遇地层岩心见图 2。



图 2 钻遇地层岩心

3.2 孔内涌水处理措施

下部地层构造发育,断层裂隙多,易坍塌掉块,钻孔钻至 1010 m 处时,遇到厚度较大的断层破碎

带,出现涌水现象,当时测定涌水量约 4 m³/h,由于钻孔涌水对孔壁破坏严重,必须采取措施控制涌水。

解决方案是采用增加泥浆的密度,解决涌水问题。通过多次实验,采取泥浆中加入重晶石粉以提高泥浆密度,泥浆密度调整到 1.10 g/cm³时,能控制孔内涌水,通过计算和现场实验,1 m³泥浆加入 125 kg 重晶石粉能把泥浆密度调整到 1.10 g/cm³左右。

通过加入重晶石粉配置大密度泥浆,基浆必须保证一定的漏斗粘度,实验表明当基浆的漏斗粘度达到 26 s 时,就能成功配置重晶石粉加重泥浆。控制孔内涌水后的钻进过程中,需随时观察孔内泥浆的变化,调整泥浆密度和粘度,保持孔内压力平衡。

3.3 保证矿心采取率措施

该孔采用绳索取心工艺,上部岩心采取率都能达到要求,钻孔下部构造发育,断层裂隙较多,该部位又是主要含矿地层,必须保证构造带和断层的采取率也能达到 90% 以上。

施工过程中,主要采取措施为降低钻压和转速,钻进平稳,钻进速度适当控制,不能过快或过慢,同时控制回次进尺,每回次控制在 1.5 m 以内;钻至构造带后,减小钻头与卡簧座的间隙,一般间隙控制在 1.0~1.5 mm;同时减小泵量,泵量控制在 60 L/min 以内,避免泥浆冲刷构造带岩心;检查钻头、卡簧和钻具,各机构可靠配合,保证钻具同心度。通过上述一系列措施,该孔综合岩心采取率为 94.8%,矿心采取率为 91.8%,构造带岩心采取率见表 3。

表 3 构造带岩心采取率

钻孔深度/m	钻遇岩性	构造情况	采取率/%
892.54~898.74	白云岩、碎裂岩	破碎带、岩心破碎	91.8
915.03~921.49	白云岩、灰岩	构造带	93.9
1009.95~1022.15	细晶灰岩、白云岩	断层构造带	90.4
1036.84~1051.10	炭质板岩	断层构造带	91.5
1214.36~1223.32	大理岩、白云岩	断层构造带	92.7

3.4 提高钻进效率措施

由于钻孔较深,提大钻需要时间较长,选择优质的钻头。该孔选用孕镶金刚石钻头,综合考虑岩石的硬度、研磨性、破碎程度等因素,考虑钻头钻进效率的同时兼顾钻头使用寿命,减少提大钻次数。

采用 NQ 系列绳索取心系列钻具,每次捞取岩心时仔细检查钻具配合精度,避免出现岩心脱落现

象。钻杆采用高强度调质绳索取心钻杆,提大钻时仔细检查钻杆,避免断钻杆、丝扣脱落等事故。每次下钻时,丝扣缠胶带,防止丝扣漏水。

配置冲洗液时,不但要考虑冲洗液的携粉、护壁、堵漏性能,还需考虑其润滑效果,冲洗液中加入高性能的润滑剂,并且每次下钻时在钻杆表面涂抹吸附性强的润滑脂,降低钻杆和孔壁阻力,提高钻进转速,能有效提高钻进效率^[15-16]。

由于该地区沟谷切割深,地形较差,溶洞多,地质情况复杂,原来施工深孔较少,2020年在该地区周边施工一个ZK801钻孔,孔深788 m,本次施工应对措施得当,提高了钻进效率,2个钻孔对比见表4。

表4 钻进效率对比

孔号	孔深/ m	台月 效率/ m	纯钻 利用 率/%	处理事 故时间 率/%	提下钻 时间 率/%	岩心 采取 率/%
ZK801	788.5	375	43	22.7	24	85.0
ZK5201	1276.31	491	52	11.5	27	94.8

4 绿色勘查

该工区位于秦岭南麓,绿色勘查是该项目钻探施工的基本要求,施工过程中认真按要求实施,减少对环境的影响。

修筑进场便道时,尽量少占用耕地,严禁毁坏树木,利用原有道路,减少对环境的破坏。修筑钻机场地时,在满足施工设备、器材和岩心摆放的情况下尽量少占场地,表层土壤开挖后,采取人工平整、夯实,然后铺设防渗布,避免钻机废油、废弃泥浆污染地表土壤。油料桶底部铺垫防渗布,以防污染场地。

建立泥浆不落地系统,开挖泥浆池、沉淀池,分别将铁箱放置泥浆池、沉淀池和循环槽内,防止泥浆污染地表土壤。沿机台四周开挖排水槽,雨天施工时将机台渗水集中排至储水池。现场生产生活垃圾、厨余垃圾等及时清运固定垃圾处理厂。

施工结束后对机场进行平整,对泥浆池、沉淀池进行掩埋、平整。把岩粉、污水、垃圾运到指定地点进行无害化处理,对施工现场及施工便道进行复垦,种植树木和植草^[17-19]。

5 结语

ZK5201钻孔实际施工1276.31 m,是该地区施

工最深的钻孔。该地区大量分布灰岩、白云岩,施工过程中克服溶洞漏水、断层涌水、构造带岩心采取困难等一系列施工难题,通过不断改进钻进参数,提高岩心采取率和钻进效率,历时78 d,完成钻孔施工,为以后该地区施工同类型深孔提供一定经验。

该孔顺利找到矽卡岩型钨矿化带和印支—燕山期花岗岩隐伏岩体,顺利完成钻探施工任务,同时为该地区后期找矿奠定了基础。

参考文献:

- [1] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [2] 汪传武,张波,黄德强,等. 马达加斯加Sakoa煤田钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):8-11.
- [3] 刘兵. 四川尔坪地吉铅锌矿区复杂地层钻探施工技术[J]. 钻探工程,2022,49(4):87-92.
- [4] 汤凤林, A. Γ. 加里宁, 等. 岩心钻探学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [5] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [6] 孙丙伦,孙友宏,徐良. 金矿复杂地层金刚石取心钻头选型试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8):71-72,76.
- [7] 臧世权,汪传武,张波,等. 榆横矿区赵石畔井田勘探钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):17-19,23.
- [8] 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,2020,47(3):38-43.
- [9] 王盛,潘振泉,秦正运. 小口径绳索取心钻进在砾山地区深厚泥岩地层中的施工技术[J]. 钻探工程,2022,49(2):85-90.
- [10] 张波,郑秀华,汪传武. 高模数水玻璃钾基抑制冲洗液在蠕变坍塌地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):42-45.
- [11] 熊正强,陶士先,张德龙,等. 高效钻杆润滑脂研制及其在川藏铁路勘察中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):7-11.
- [12] 陈尔志,陈礼仪,向昆明,等. 高密度低失水泥浆体系在煤田绳索取心钻探中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):15-18.
- [13] 彭博一,于培志. 破碎带地层钻探化学凝胶护壁堵漏技术的研究与应用[J]. 钻探工程,2022,49(1):64-71.
- [14] 张鑫,王茂森. 河南栾川钨矿多层采空区充填井成井工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):34-36.
- [15] 柳硕林,韩明耀. 秦岭造山带多金属矿普查复杂地层护壁堵漏技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):43-47.
- [16] 李红梅,石逊. 白洞铁矿南区复杂地层钻探施工技术[J]. 钻探工程,2021,48(11):30-35.
- [17] 赵志杰,丁宁宁,孔令玺,等. 绿色勘查技术在河北省古马铁矿钻探工程中的应用[J]. 钻探工程,2021,48(12):26-31.
- [18] 贾占宏,高元宏,梁俭,等. 绿色地质勘查综合技术应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):1-4.
- [19] 蒋炳,张统得,严君凤. 地质钻探废弃冲洗液固化处理技术研究及应用[J]. 钻探工程,2021,48(11):8-14.

(编辑 王文)