

# 梯子崖-富子岭矿区复杂地层钻探技术与对策

祁恩强, 朱金军

(西北有色地质勘查局七一七总队, 陕西 宝鸡 721004)

**摘要:**陕西省凤县梯子崖-富子岭铅锌多金属矿区,其地层主要为产状较陡的千枚岩,局部含方解石或石英脉,断层破碎带发育,井壁稳定性差,施工中孔斜严重,许多钻孔因孔斜而达不到设计目的,防斜、治斜和泥浆护壁为该矿区施工方面的主要技术难题。文章从孔斜预防、定向造斜、护壁堵漏等方面介绍了所采取的工艺措施和取得的效果。

**关键词:** 钻孔偏斜;定向钻进;偏斜器;护壁堵漏;岩心钻探

**中图分类号:** P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2017)09-0001-06

**Drilling Technical Problems and Countermeasures in the Complex Formations of Tiziya-Fuziling/QI En-qiang, ZHU Jin-jun (717 Branch, North West Mining and Geological Exploration Bureau for Non-ferrous Metals, Baoji Shaanxi 721004, China)**

**Abstract:** The formations are mainly of steep occurrence of phyllite in Tiziya-Fuziling lead-zinc polymetallic ore area, locally containing calcite or quartz veins with fault fracture zone development and poor wall stability, the design requirements could not be met because of common severe drilling hole bending. The hole deviation prevention, deviation correction and slurry protection are the major construction technical problems in this mining area. This paper introduces the technical measures taken in hole deviation prevention, directional deflection, wall protection and plugging, as well as the results achieved.

**Key words:** hole deviation; directional drilling; deflecting wedge; hole wall protection and loss shut-off; core drilling

## 0 引言

陕西省凤县梯子崖-富子岭矿区由于矿体受背斜构造限制,钻孔多为斜直孔和弯曲孔,地层主要为产状较陡的千枚岩,局部含方解石或石英脉,断层破碎带发育,井壁稳定性差,施工中普遍存在着严重的孔斜,许多钻孔因孔斜而达不到设计目的,影响了对该矿区“热水喷流沉积-改造型”铅锌铜矿床的地质条件和赋矿规律的进一步验证。防斜、治斜和泥浆护壁为该矿区施工方面的主要技术难题。

## 1 矿区地质条件及设计要求

矿区地处秦岭主脊南部,为中高山地形,山脉多呈东西向延展,与区内主要构造线一致,地形陡峻,沟壑纵横,相对高差300~700 m。地层从下至上主要为中泥盆统结晶灰岩、含生物碎屑灰岩及硅化灰岩,上泥盆统含炭千枚岩、铁白云质千枚岩、绿泥质千枚岩,侵入岩主要为石英闪长岩、花岗闪长岩,岩石级别为VI类。

钻孔深度800~1500 m,方位角220°~280°,倾角75°~82°,终孔口径75~95 mm,方位和倾角每50 m测量一次,顶角允许弯曲 $\geq 1^\circ/100$  m,方位角偏差要求穿过矿层(下盘)点,不得偏线左右25 m,平均岩心采取率 $\geq 70\%$ ,近矿围岩和矿心采取率 $\geq 85\%$ ,岩心采取率为0时,采取措施补采。近矿围岩及在矿体中钻进提钻采心间隔 $\leq 1$  m,孔深验证间隔每100 m一次,误差 $\geq 1\%$ 。

## 2 施工中存在的主要技术问题

### 2.1 钻孔自然弯曲严重

矿体受背斜和走向制约,两翼钻孔全部为不同倾角的斜孔或斜直孔,2000—2014年累计完成钻探工作量1.3万余米,90%以上的钻孔会遇到不同程度方位跑斜和倾角上漂,因弯曲无法达到设计目的而报废工程量达5%~8%。施工中由于防斜和造斜处理,钻探效率总体不高,台月效率仅220~350 m,对施工进度和质量影响很大。

收稿日期:2016-11-11;修回日期:2017-07-14

作者简介:祁恩强,男,汉族,1963年生,队勘探公司经理,高级工程师,探矿工程专业,从事地质勘查钻探工程和岩土工程施工技术工作,陕西省宝鸡市金台大道5号,gkc717@sina.com。

## 2.2 钻遇地层水敏性强,漏失严重

钻进主要地层为千枚岩,可钻性较好,但其水敏性强,尤其是断层破碎带部位的岩心呈软塑状,干燥后呈散状,若泥浆性能调控不好,钻孔缩径或井内岩粉太多成为正常钻进隐患。地层断层破碎带发育,含水丰富,施工中出现涌水或泥浆增多现象,有的出现渗漏或突然漏失,钻进中出现进尺变快,岩心采取率低,有的无法取到岩心或钻具无法到达孔底。遇到上述情况时,如若操作不当,就会发生夹钻、烧钻、钻杆脱扣或折断事故。

## 3 钻探工艺

### 3.1 主要设备

HXY-44T型、HXY-42T型塔机一体、HXY-6B型钻机,BW-250型水泵,SN14-8N型拧管机。地标S75、S95和NQ、HQ绳索取心钻杆。BD-14、DD-1型定向仪,LZ65、LZ71型螺杆钻具。XJL-42、BZM照相,KXP-1型数字测斜仪。

### 3.2 钻进方法

除第四系覆盖层使用硬质合金或单管金刚石钻具开孔外,其它采用金刚石绳索取心钻进工艺施工。冲洗液以低固相为主,地层条件较好的使用清水作为冲洗液,破碎或漏失地层,使用固相泥浆。

### 3.3 针对性技术措施

#### 3.3.1 钻孔弯曲防治方法

受构造应力影响,千枚岩地层具有蠕变特性,是引发钻孔异常弯曲的主因。同时地层片理发育,钻孔轴线与地层倾向夹角小(片状岩心),钻孔顺层趋势明显;局部软硬互层孔段,从采取岩心表面就可以看到弯曲程度(见图1)。对策是统计分析已完工钻孔测斜数据,找到了“倾角上漂方位西偏”的弯曲规律及幅度,后续钻孔施工时采取初级定向制定施工方案,基本可以满足孔深500 m以浅的钻孔防斜需要。

##### 3.3.1.1 合理设计钻孔结构

尽量使用大口径钻进。经过对同一地区相同地层条件下测斜数据的比较分析,相对于 $\varnothing 75$  mm(NQ)、 $\varnothing 60$  mm(BQ)口径而言, $\varnothing 122$  mm(PQ)和 $\varnothing 95$  mm(HQ)口径的钻具本身刚性较大,导向性好,钻杆钻具不易弯曲,在第四系覆盖层和软硬互层频繁、断裂破碎带等易斜地层中钻进时防斜、抑斜效果明显。



图1 ZK20805孔1013 m处的岩心

800~1200 m深的钻孔,常用结构为 $\varnothing 150$  mm $\times \varnothing 122.5$  mm $\times \varnothing 95$  mm $\times \varnothing 75$  mm,其中 $\varnothing 130$ 和 $\varnothing 60$  mm作为备用口径。开孔用 $\varnothing 150$  mm,见完整地层后下 $\varnothing 146$  mm套管,用 $\varnothing 122.5$  mm大口径稳斜钻进300~400 m后下 $\varnothing 114$  mm套管,用 $\varnothing 95$  mm口径钻进600~800 m或至终孔,如果 $\varnothing 75$  mm口径终孔时则下 $\varnothing 89$  mm套管。

大口径钻孔结构不经济,但其钻杆钻具的抑制孔斜作用,在强促斜地层条件下运用还是必要、合理的。

##### 3.3.1.2 保证设备安装质量

设备安装做到周正、水平、稳固和“三点一线”是基本要求。本文所指的设备安装是指根据方位和倾角跑斜规律和幅度,在安装时采取的一种预偏安装措施。

做法:根据倾角 $1^\circ \sim 3^\circ/100$  m上漂、方位角 $5^\circ \sim 8^\circ/100$  m向西偏斜幅度,结合孔深推算出开孔的方位和倾角,或者从设计目标靶点倒推计算出实际开孔位置,再安装钻机施工。如矿区ZK2401和ZK2402孔,设计孔深均560 m,倾角 $90^\circ$ ,考虑钻孔目的和垂直孔没有方位控制指标,实际开孔时有意将倾角改为 $89^\circ$ ,方位 $290^\circ$ ,目的是让钻孔方位与控矿背斜鞍部走向一致,有利于钻孔中靶。ZK2401孔施工时方位没有预偏,钻至500 m时因方位偏斜严重没有钻到矿体而报废。ZK2402孔是在原地盘补充设计的钻孔,目的和ZK2401孔一样,安装时孔位沿线平移1.70 m,方位向南预偏 $15^\circ$ ,以 $278^\circ$ 方位、 $89^\circ$ 倾角开孔。施工中控制钻进时效,以7~9 kN钻

压匀速钻进,25 m 测斜一次,加密监视孔斜幅度,在孔深 228.55 ~ 243.60、331.79 ~ 338.45 m 纠方位 3 次,方位控制在 310° 以内,终于见矿。2 个孔测孔数据见表 1。

表 1 ZK2401、ZK2402 孔测斜数据

孔深/ m	ZK2401 孔		ZK2402 孔	
	方位角/(°)	倾角/(°)	方位角/(°)	倾角/(°)
0	293	89	278	89
50	289	89	262	88
100	336	87	284	87
150	338	86	303	87.5
200	340	86	313	86
250	341	86.5	295	83
300	342	85.5	297.5	83
350	342	78	295	83
400	344	73	296	82
450	342	69	304	80
500	344.5	67.5	305	77.5
550			307	77
560			309	77

### 3.3.1.3 合理选用钻头

选用锯齿、同心圆尖齿、外阶梯唇面的金刚石绳索取心钻头,以减小钻压和增大破碎岩石自由面,达到小钻压高时效的目的,避免大钻压钻进促使倾角上漂过快。胎体硬度 HRC25 ~ 28、30 ~ 35,粒度 46 ~ 60 混目,含石英脉或硅化岩地层选用 HRC18 ~ 20、60 ~ 100 目的钻头。出现打滑或进尺很慢时,通过钻杆向孔底投入适量砂渣块强制研磨出刃,一般都有效果。

### 3.3.1.4 操作注意事项

要减小钻压平稳钻进,不求进尺快,时效控制在 0.8 ~ 1.2 m。使用正直钻具,定期检查钻具外径磨损情况,及时更换磨损严重的异径接头和上、下扩孔器。同时注意检测钻杆接手外径,磨损过大的应及时更换,发挥接手的扶正作用。

### 3.3.1.5 螺杆钻具造斜钻进

造斜钻进是钻孔轨迹偏离设计方向时人为采取的纠正钻进方法,内容包括造斜轨迹设计、螺杆钻具定向和钻进、测控、稳斜钻进等。使用的钻具有 LF-54、LZ65、LZ73 型,配 0.75°、1° 弯外管,定向仪为 BD-14、DD-1、DXY-2 型(图 2),其中 DXY-2 型数字仪可实现随钻定向并检测钻具面向角、钻孔顶角和方位,精度较高。

实例 ZK4001 孔,设计深度 860 m,倾角 89°,方位 280°,终孔口径 75 mm,全孔采用金刚石绳索取心



图 2 DXY-2 型定向仪

钻进工艺,使用无固相冲洗液,钻孔设计目的和施工过程见图 3。为了防斜,开孔采用  $\varnothing 122.5$  mm 大口径钻至 150 m,方位和倾角控制得比较好,下  $\varnothing 114$  mm 套管后,用  $\varnothing 95$  mm 继续钻进至 402 m 时方位 332.5° 北偏 52.5°,倾角上漂 1° 成 88°,孔斜在要求范围之内。下  $\varnothing 89$  mm 套管后换  $\varnothing 75$  mm 继续钻进,在 406 ~ 420 m 孔段纠方位 3 次,稳斜钻进至 450 m 方位 327°、倾角 85°,继续稳斜钻进。但在 685 ~ 700、737 ~ 742、761 ~ 773 m 遇到 3 层坚硬的硅化岩脉地层(参见图 4),导致钻孔倾角上漂较快,750 m 时方位 343°、倾角 80.5°,距目标矿层很近,按要求继续钻进至 859.53 m,测方位 347°、倾角 70.5°,没有探到矿体,于是架桥建造孔底,用定向分支孔的方法,再次探索了深部隐藏的矿体部位。

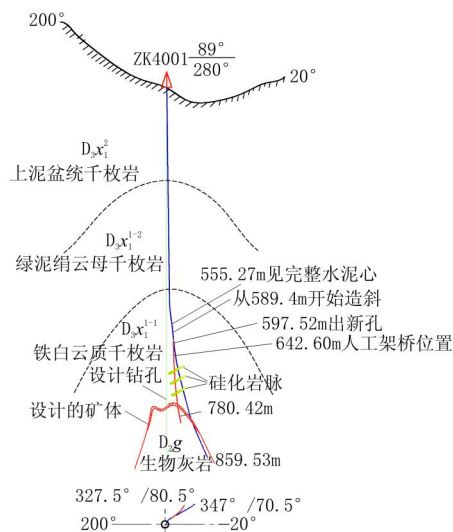


图 3 ZK4001 孔施工过程示意图



图4 硅化岩脉

分支孔施工要点如下。

(1) 选择有利造斜孔段, 安装钢木楔子, 灌注水泥封堵架桥。

685 ~ 773 m 段有 3 层坚硬岩脉地层, 不利于造斜钻进, 于是选择在 580 ~ 600 m 孔段定向偏孔, 在 642 m 处安装钢木楔子架桥封孔, 按 0.5 水灰比灌注 10 袋水泥。

钢木楔子: 用长度 600 mm、 $\varnothing 73$  mm 的套管, 上端车成反扣, 和  $\varnothing 73$  mm 钻杆接手相连接, 底端焊接钢板挡住木塞, 将套管割成图 5 所示的形状, 把制作好的各部件依次安装, 注意让木楔两半圆侧面与钢楔宽面对应, 楔子下部钢体上钻眼用钢钉与木楔固定, 楔体与钻杆柱连接, 下钻至 642 m 处, 取 3 ~ 4.5 m 长、 $\varnothing 54$  mm 钻杆一根, 在钻杆接手上焊接 U 形环



图5 钢木楔子

与绞车钢绳连接用作冲击锤, 用绞车将冲击锤从钻杆内下放到楔体处, 上下反复提降将钢锥打入木楔体内, 直止木楔体撑开套管楔体与井壁挤死固定。提出冲击锤, 正传钻杆柱卸开楔体留在孔内。再将钻杆柱向上提高离楔体 1 ~ 2 m, 再次下入冲击锤探测楔体位置没有变化时, 架桥成功。

灌注水泥: 按设计的封孔长度计算水泥量, 购买新出厂水泥, 按 0.5 水灰比分批搅拌, 添加 2% NaCl (占水泥量), 用泥浆泵从钻杆内压入。灌注过程中, 按每次灌注量准确计算需要提出钻杆的长度, 保证钻杆在水泥浆里的合理埋深。

灌注要在批次水泥浆量的最小可泵期内完成, 灌完全部水泥浆后, 必须压入清水替浆。替浆量:

$$Q_{\text{替}} = (H - h_0 - h)q + Q_{\text{地}}$$

式中:  $Q_{\text{替}}$ ——总替水量, L;  $H$ ——钻杆长度, m;  $h_0$ ——孔内静水位距孔口距离, m;  $h$ ——预计水泥浆返回井壁间隙的高度, m, 一般取 10 ~ 20 m;  $q$ ——每米钻杆内容积, L;  $Q_{\text{地}}$ ——地面管线容积, 取 50 ~ 60 L。

替浆量的控制直接影响灌浆质量和钻杆柱的安全, 太多会稀释孔内的水泥浆, 太少钻杆内的浆液没有被全部压出, 有可能凝固在钻杆内造成事故。替浆结束后, 可边提钻边冲洗钻杆。

灌浆过程中, 用塑料瓶取适量水泥浆液样品, 放置水箱中养护, 便于对照参考孔内水泥的凝固程度, 候凝 48 h 后便可试透孔, 钻取水泥心判断凝固程度, 强度满足要求后, 透钻至设计偏孔深度, 可进行定向造斜钻进。

(2) 定向和造斜钻进: 螺杆钻具下井前要做好地表启动和运转试验, 观测溢流阀开启、关闭是否灵活, 启动泵压、钻具运转是否正常。正常后依次连接平稳下钻, 在接手螺纹处涂抹丝扣油拧紧。控制钻头距孔底 30 ~ 50 cm 后, 下定向仪定向。

造斜钻进时, 给进速度要慢, 使钻头处于扫孔状态, 有利于钻头侧向切削钻进。完全出新孔的最小造斜钻进长度, 按照钻具配置弯外管度数进行测算,  $\varnothing 75$  mm 孔径中偏出新孔时最小理论钻进长度:

$$L = D / (\tan \alpha \times \beta)$$

式中:  $L$ ——最小钻进长度, cm;  $D$ ——造斜钻头直径, 取 7.1 cm;  $\alpha$ ——弯外管度数, 取  $0.75^\circ$ ;  $\beta$ ——造斜率, 取 0.8。

由计算得知: 钻出新孔时的进尺  $\leq 6.78$  m。

图 6 为造斜进尺时的岩心图片。



(a) 造斜进尺不足时的岩心



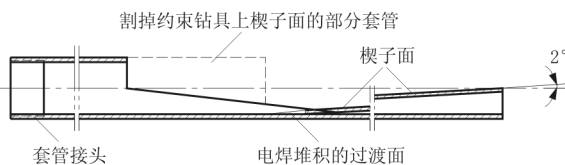
(b) 完全出新孔时的孔底岩心 (造斜钻头留下痕迹)

图6 造斜时的岩心图片

### 3.3.1.6 套管楔子纠斜

适合于200~300 m浅孔纠斜钻进使用。浅孔施工中一般采用较大口径开孔钻进,如果钻孔出现偏斜时,可以在换径钻进前下套管时使用套管楔子,定向安装于孔底,改变换径后钻孔的方位或倾角。

根据需要可用钻杆或套管料制作,做成全孔套管楔或局部楔子,顶角以 $1^{\circ}$ ~ $2^{\circ}$ 为宜,不宜太大。楔面用割下那部分,修割后焊接在套管内壁上,过渡斜面上部用焊条堆焊而成(见图7),过渡段用手砂轮打磨修整,自然过渡到楔面上。割掉约束钻具进入斜面的那部分套管,以利于钻出新孔。制作好的楔子用钻具做通过实验(见图8)。

图7  $2^{\circ}$ 套管楔子剖面示意图图8  $\varnothing 114$  mm 套管楔子, S95 钻具进入楔面

套管楔子纠斜钻进时,钻具最好不配扩孔器,选

用外锥唇面的孕镶金刚石钻头。钻头上楔子面钻进操作应采用小钻压,慢速给进,掌握钻头完全上了楔子面后,再逐步恢复到正常钻进操作。

### 3.3.2 钻孔护壁堵漏

本矿区千枚岩地层水敏性较强,泥浆失水量指标调控不好,易出现缩径。遇到断层破碎带时,孔壁易出现垮塌掉块,井内事故多发,施工中常采用套管、泥浆护壁和灌注水泥固结堵漏。

#### 3.3.2.1 套管护壁

套管用 $\varnothing 146$ 、114、108、89 mm 4种规格。第四系覆盖地层用 $\varnothing 146$  mm 套管隔离,其它孔段根据钻孔深度、穿越地层复杂程度选择使用。特别破碎孔段必须使用套管护壁,如施工白杨沟 ZK20805 孔时就是采用套管和泥浆护壁措施,才成功完成了深度1335 m的钻孔施工。该孔使用 $\varnothing 75$  mm 绳索取心工艺和优质泥浆成功钻穿680~840 m的连续破碎带地层,在钻至1128 m时,破碎带位置孔壁开始失稳,出现垮塌,在760~780 m段形成了“大肚子”,连续发生3次断钻事故,断头被淹埋丝锥无法到达,经多次透孔才成功捞出,经过多次扫孔才到达1128 m孔底,但钻机负荷明显增大,不能再强行钻进,就用S71钻杆作套管,换SA56绳索取心钻至1335 m处终孔。

该孔下入套管太多,终孔后套管起拔困难,还是680~840 m段连续破碎带段孔壁垮塌和缩径夹持所致,使用水力割管器分别在760、680 m割断钻杆仍起拔不动,又在650 m处割断后才提拔出钻杆,孔内遗留钻杆478 m。

教训:复杂地层施工必须使用优质泥浆护壁,下入套管时可在其外壁涂抹黄油或在钻孔内灌满植物胶、切削膏制作的浓浆液。施工期间,做好孔口各级套管间的封闭,防止岩粉进入对套管形成加塞,有利于终孔后的起拔。

#### 3.3.2.2 重视泥浆护壁

虽然低固相或无固相泥浆已被广泛使用于本矿区钻探施工,当遇到特别破碎的地层时,就需要及时调配使用特殊性能的固相泥浆。2010年施工设计孔深800 m的ZK20803孔时,使用无固相泥浆钻进到366 m时遇破碎带发生卡钻事故,事故头被埋,处理无效报废。重新开孔钻到688.93 m,虽已穿过破碎带,还是出现了上部破碎带卡钻事故,井壁坍塌掩埋了事故头,处理无效而报废。

2014年施工 ZK20805 孔时认真汲取 ZK20803 孔教训,在钻进至 650 m 时,为穿越断层配置使用了高粘度、大密度固相泥浆,成功钻穿了 680 ~ 840 m 的千枚岩断层破碎带地层,平均岩心采取率 > 75% (参见图 9),为正常施工奠定了基础。



图9 801 ~ 803 m 处的岩心

泥浆配比(1 m<sup>3</sup> 泥浆):3% ~ 4% 膨润土 + 2% ~ 3% 烧碱(占土量) + 0.2% ~ 0.4% 纤维素 + 2% ~ 3% 腐植酸钾 + 1% ~ 2% 切削膏。泥浆性能参数:密度 1.2 ~ 1.26 g/cm<sup>3</sup>,粘度 35 ~ 37 s,失水量 7.5 mL,pH 值 7.5 ~ 9。

由于该泥浆密度和粘度较大,使用过程中用离心除泥除砂机定时清除不易沉淀的岩粉,定时检测泥浆性能指标,达不到要求指标时及时更换。钻进中适当降低转速,防止钻杆内壁结泥皮,以免影响打捞岩心及内管的投放。

### 3.3.2.3 灌注水泥堵漏

深孔施工中遇到小的断裂破碎带出现孔壁坍塌掉块、泥浆漏失时,采用灌注水泥浆或加锯末的水泥浆进行堵漏处理。水泥浆水灰比 0.5,添加 1.5% ~ 3% (占水泥) NaCl 或 CaCl<sub>2</sub> 作为早强剂(提前用水溶解备用),按 50 kg 水泥加 1 ~ 2 mL 三乙醇胺作速凝剂。灌注水泥浆堵漏和固结破碎带效果较好。

## 4 涌水钻孔应急处理

绳索取心钻进遇到涌水的情况时有发生,造成内管投放困难或无法送入孔底钻具内,可用增大泥浆密度方法处理。把膨润土和重晶石粉(600 ~ 800 目)按 1:1 搅拌后加入泥浆中,加量可通过检测泥浆密度和观测涌水量的变化适时控制,循环过程中

发现有重晶石粉沉淀时,可适当增大膨润土加入量。也可尝试使用以下方法。

(1) 钻孔涌水量不大时,通过加长打捞杆长度增加重力把内管压送到孔底钻具内,或者尝试合车后用水泵送水的办法压入。

(2) 投放内管前,加钻杆后把钻具放到孔底,待钻杆内涌水变小后再投入或送入内管,但前提条件是孔底必须干净,防止夹钻、埋钻事故发生。

(3) 在尝试(1)、(2)方法仍不能投入内管时,用绳索钻具单管钻进的方法,钻过涌水孔段后再使用绳索取心钻进法继续钻进。

## 5 结语

(1) 严重的钻孔弯曲直接影响到施工质量,虽然纠斜钻进工艺过程繁杂,成本高,但可以保证施工质量满足设计要求。认真总结矿区钻孔弯曲规律,做好施工工艺设计,最大限度地减小孔斜幅度十分必要。

(2) 配制和使用优质泥浆,可以有效预防水敏性千枚岩地层及其破碎带造成钻孔缩径、坍塌,减少井内事故的发生,保证岩心采取率,提高施工质量。

(3) 认真分析施工过程中遇到的具体工程问题,及时采取针对性的技术措施,是探矿工作者的职责。

## 参考文献:

- [1] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [2] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [3] 秦沛. 北京(密云)地应力检测孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):38-42.
- [4] 朱恒银,蔡正水,王强,等. 赣州科学钻探 NLSD-1 孔施工技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):1-7.
- [5] 王达,何远信,等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙:中南大学出版社,2014.
- [6] 曾祥熹. 钻杆泵送水泥浆的经验[J]. 地质与勘探,1978,(6):68-69.
- [7] 张成德. 注浆护壁堵漏工艺在深孔岩心钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):25-26.
- [8] 袁树珍. 钻孔水泥注浆护壁堵漏工艺在上杭碧田矿区的应用[J]. 科技与创新,2014,(7):105-108.