

# 江西省朱溪矿区钻探施工回顾与思考

黄忠高<sup>1</sup>, 李志强<sup>1</sup>, 杨启文<sup>2</sup>

(1. 江西省地质矿产勘查开发局九一二大队, 江西 鹰潭 335000; 2. 山东莱芜鸿丰探矿工程有限公司, 山东 莱芜 271100)

**摘要:**在介绍朱溪矿区钻遇地层特点的基础上,系统分析了钻孔深度大、易斜,相对浅孔而言地层更复杂,钻孔质量要求尤其是孔斜要求更为严格等施工难点,总结了主要钻探装备选用和钻探施工管理工作,以及钻进方法、钻孔结构、钻头选用、钻进技术参数、冲洗液选用、护孔堵漏措施等。建议今后深孔施工中必须提高钻探装备的施工能力、遏制重大孔内事故发生、坚持预防为主治理为辅的孔斜防治原则、抓好泥浆护孔等工作。

**关键词:**深孔岩心钻探;钻探装备;钻进工艺;施工管理

**中图分类号:**P634      **文献标识码:**B      **文章编号:**1672-7428(2017)10-0042-05

**Review and Reflection of Zhuxi Mine Drilling Construction in Jiangxi Province/HUANG Zhong-gao<sup>1</sup>, LI Zhi-qiang<sup>1</sup>, YANG Qi-wen<sup>2</sup>** (1. 912 Brigade, Jiangxi Province Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Yingtan Jiangxi 335000, China; 2. Hongfeng Exploration Co., Ltd., Laiwu Shandong 271100, China)

**Abstract:** Based on the introduction of drilled strata characteristics of Zhuxi mining area, the construction difficulties are analyzed systematically in the aspects of deep drilling depth and easily being inclined, more complex formation comparing with shallow drilling, higher requirements of drilling quality, especially for hole inclining and some others. This paper summarizes the main drilling equipments selection, drilling construction management works and major technologies including drilling methods, hole structures, drill bit selection, drilling technical parameters, flushing fluid selection and hole wall protection and plugging measures; suggests improving construction capability of drilling equipments, curbing serious down-hole accidents in future deep hole construction, insisting on the control principle of prevention first and treatment secondary and being prepared for hole wall protection with mud.

**Key words:** core drilling in deep holes; drilling equipment; drilling technology; construction management

## 1 矿区概况

江西省浮梁县朱溪外围钨铜多金属矿,位于江西省东北部景德镇—乐平之间,行政区划隶属于景德镇市浮梁县寿安镇、乐平市涌山镇等管辖。

朱溪矿区交通便利,位处景德镇—乐平丘陵地带,钦杭结合带江西萍乐凹陷带之北缘、江南造山带东南部、赣东北深大断裂北西侧、宜丰—景德镇深断裂带南侧,塔前—赋春推覆构造带从矿区中部呈北东向通过。区内经历了多期次多阶段的构造运动,构造十分复杂。

朱溪矿区是江西省地质矿产勘查开发局九一二大队近年承担的江西省地质勘查基金和中央地质勘查基金联动勘查项目。项目自2010年开始启动,累计完成钻探工作量近62000 m,揭示了矿区矿化具上铜下钨铜的分布规律,以及向深部矽卡岩化增强、

花岗岩矿化变强、白钨矿主矿层变厚和品位变富的特点。矿床具上部热液脉型、中深部矽卡岩型、更深部为岩体(斑岩)型的矿床模式。至2015年底,朱溪矿区探明WO<sub>3</sub>资源量(333+334)286.48万t并一举成为世界最大的钨矿床、打破江西“南钨北铜”的成矿格局而形成赣南赣西北赣东北钨矿“三足鼎立”的新态势、超额完成我国找矿突破战略行动“358”钨矿找矿第二阶段目标(全国钨矿目标200万t)并大大提高了我国钨矿资源的保障程度、荣获了中国地质学会2015年度十大地质找矿成果。

## 2 钻孔施工特点

### 2.1 地层特点

矿区沉积岩地层主要有粉砂质页岩、粉砂岩、中细粒砂岩,局部见燧石砾岩或炭质页岩及煤层,灰

收稿日期:2017-01-17;修回日期:2017-09-06

作者简介:黄忠高,男,汉族,1968年生,钻探工程专业,从事探矿工程生产与技术管理工作,江西省鹰潭市月湖区梅园大道16号,hzg681022@126.com。

岩、白云质灰岩、大理岩、砂卡岩,以及硅质岩、燧石灰岩、中细粒长石石英砂岩等。

矿区岩浆岩岩石类型以煌斑岩、花岗闪长斑岩、细晶岩、闪长玢岩和闪长岩为主,还有少量石英闪长(玢)岩、英安斑岩、变安山岩、变英安岩、花岗斑岩,主要分布在钻孔底部。

矿区变质岩主要岩性为灰、灰绿色绢云母千枚岩、砂质千枚岩、变质砂岩、绢云母板岩夹变余沉凝灰岩。这些浅变质岩系,主要分布在钻孔底部或矿区边缘钻孔。

第四系(Q)分布于现代河流洼地中。岩性为浅黄色亚粘土层,下部为砂、砂砾石层,厚度不大。

总之,矿区主要钻遇地层为灰岩、厚—巨厚层状中细粒白云岩、糖粒状大理岩、砂卡岩化大理岩和粉砂质石英砂岩。岩石硬度一般(软—中硬),可钻性级别中等(5~7级),研磨性不强(弱—中),比较完整和稳定。但部分岩石裂隙发育,局部破碎比较严重,泥质含量增多,蚀变常见,遇水分解、松散剥落,钻进中掉钻、掉块、垮渣、漏水时有发生。

## 2.2 完工钻孔统计

几年来,在朱溪矿区共完工钻孔43个,完成钻探工作量61919.01 m。从表1的统计中可以看出,完工的43个钻孔平均孔深1440 m,超过1000 m的钻孔有34个,超过1700 m的钻孔有20个,超过2000 m的钻孔有6个,最深钻孔是ZK5406孔,2222.80 m;直孔13个,其余都是斜孔,且以开孔顶角10°者居多;采用螺杆纠斜钻孔数8个,其中2个变质岩地层钻孔螺杆纠斜不成功。

## 2.3 施工难点分析

综合表1和钻孔施工地层特点等情况,结合这几年的钻探施工实践,朱溪矿区钻探施工有如下难点。

(1) 钻孔深。如前所述,43个完工钻孔中,超过1000 m的钻孔有34个,超过2000 m的钻孔有6个。从施工设备、工具、材料方面看,大型、复杂、多种多样,但设备、工具、材料的安全性、配套性、实用性,却常常不尽人意;从工艺技术角度看,无论是钻进、取心,还是护壁、堵漏,抑或孔内事故处理,由于钻孔深度的增加,各种施工难题都可能出现;从施工管理角度看,不管是钻前准备工作,还是钻中的日常管理,以及钻后的收尾、验收和总结,涉及的人和事,都多了很多;从现场施工操作角度看,包括钻进技术参数

表1 朱溪矿区2010—2016年施工钻孔统计

序号	钻孔号	设计顶角/(°)	开、终孔日期	完工孔深/m	备注
1	ZK4207	10	2010.07.24—09.04	1085.20	小孔内事故
2	ZK2808	3	2010.08.31—11.03	1207.80	
3	ZK5404	10	2010.09.15—10.19	883.20	
4	ZK4208	10	2011.08.23—11.23	1701.53	
5	ZK5405	15	2011.09.05—10.20	1065.00	
6	ZK2809	10	2011.09.12—10.15	698.24	
7	ZK6201	10	2011.12.12—12.29	398.19	
8	ZK6202	10	2011.12.13—2012.01.04	637.95	
9	ZK7801	10	2012.01.01—11	428.80	
10	ZK4209	5	2012.02.09—05.23	1805.50	
11	ZK3208	10	2012.10.18—12.31	1290.85	
12	ZK704	10	2012.10.12—12.01	1010.60	
13	ZK4210	0	2012.09.29—2013.01.02	1867.35	
14	ZK5406	5	2012.11.15—2013.04.11	2222.80	较大孔内事故
15	ZK4211	0	2013.01.29—06.17	1944.10	
16	ZK4212	0	2013.07.30—12.16	1996.60	
17	ZK4216	0	2014.03.15—05.12	1217.51	变质岩。螺杆纠斜不成功
18	ZK5407	0	2014.04.8—11.26	2047.60	螺杆纠斜
19	ZK6602	5	2014.05.20—08.13	1503.97	
20	ZK3002	0	2014.05.21—2015.5.11	1784.36	重大孔内事故。液动冲击回转钻进
21	ZK5408	5	2014.06.26—10.09	1747.60	
22	ZK5409	0	2014.07.14—2015.01.07	2208.20	重大孔内事故
23	ZK3003	0	2014.09.13—2015.06.03	1985.24	液动冲击回转钻进
24	ZK3001	5	2014.10.26—2015.01.12	1700.40	
25	ZK1808	10	2014.12.09—2015.03.20	1545.80	
26	ZK3701	10	2015.03.26—05.05	686.30	
27	ZK501	10	2015.03.30—06.03	1729.70	
28	ZK502	10	2015.04.05—05.17	1131.00	
29	ZK2103	10	2015.04.15—05.23	970.40	小孔内事故。采用聚乙烯醇浆液
30	ZK1008	10	2015.04.24—08.05	1420.55	螺杆纠斜
31	ZK2102	10	2015.05.16—07.16	806.30	
32	ZK1810	10	2015.06.18—09.03	1570.40	螺杆纠斜
33	ZK1009	10	2015.06.26—10.01	1760.95	
34	ZK2104	10	2015.08.07—09.23	1100.01	
35	ZK505	5	2015.08.07—11.26	1909.20	
36	ZK3702	10	2015.08.22—12.02	1135.37	
37	ZK1811	10	2015.09.25—12.13	1785.10	
38	ZK2105	0	2015.11.04—2016.04.16	2002.60	
39	ZK3004	0	2016.06.05—11.12	2047.20	螺杆纠斜,较大孔内事故
40	ZK1011	5	2016.06.12—12.24	2000.24	重大孔内事故,螺杆纠斜
41	ZK1812	0	2016.06.16—	1932.80	螺杆纠斜,重大孔内事故
42	ZK1012	0	2016.07.23—12.09	1492.20	变质岩,螺杆纠斜不成功
43	ZK4701	10	2016.08.16—09.04	454.30	

尤其是钻压的控制,内管到位的判断,深部断钻的掌

握等等,操作起来困难都很大;从经济技术指标看,一个2000 m左右的深孔,投资很大,动辄三四百万元,工期也很长,快的也要4个月,慢的要半年甚至更长时间,一旦出现孔内事故,处理起来时间占用长、材料消耗多、资金开销大,甚至无法处理致钻孔有报废的可能,可谓高风险。

(2) 钻孔斜。大顶角斜孔施工,如ZK5405开孔倾角 $75^\circ$ ,ZK1810开孔倾角 $80^\circ$ ,且要求钻孔方位角偏差不超过勘探网距离 $1/4 \sim 1/3$ 。即使小顶角甚至垂直孔施工,在孔深时方位角不大的变化,也将对钻孔轨迹产生不小的影响。

(3) 相对浅孔而言,深斜孔地层更复杂。深孔钻进因各种厚度、容量、径流量的孔隙、裂隙、洞穴所致各种程度钻孔漏失经常可见,因岩石松散破碎、遇水膨胀、钻孔缩径、孔壁掉块坍塌等造成孔壁稳定性差的情况普遍存在,而且,硬岩钻进的低效率,软岩取心的大难度,也屡见不鲜。如ZK4210在下了1426 m  $\varnothing 89$  mm套管后,中等程度漏失一直存在,ZK4209孔在孔深1397 m处遇空洞,ZK4207孔孔深530~570 m岩石松散、垮塌,孔内沉渣近60 m,ZK2808孔孔深360 m见2 m厚断层泥,ZK3004孔和ZK1812孔在孔深1800 m后都出现地层破碎、遇水分解等情况。

(4) 质量要求尤其是孔斜要求严格。如钻孔顶角偏差 $\geq 3^\circ/1100$  m,方位偏差不超过勘探网距离 $1/4 \sim 1/3$ 等,这与常规地质岩心钻探“直孔施工中每100 m顶角偏斜不应超过 $2^\circ$ ”、“斜孔施工中每100 m顶角偏斜不应超过 $3^\circ$ ”的一般要求相比,可谓“高标准、严要求”。

(5) 孔内事故严重。从表1看出,超过2000 m的6个钻孔中,有5个钻孔出现过包括螺杆纠斜在内的严重孔内事故。尤其是2016年施工的5个深孔,孔孔纠斜,重大孔内事故频发,严重影响了钻探施工效率,大幅度增加了钻探施工成本。

### 3 技术和管理工作回顾

#### 3.1 主要钻探装备

“工欲善其事,必先利其器”。包括钻机、动力机、水泵、钻塔、泥浆搅拌机和绳索取心钻杆在内的钻探设备配套,需考虑地层、地形等基本施工环境条件和地质质量技术要求,以及钻探施工工艺的适用性、先进性和安全性等各个方面情况。

朱溪矿区钻探设备选用情况见表2。

表2 钻探设备选用情况

孔深	2000 m左右	1000 m以浅
钻机	XY-6N; HXY-6A	XY-5; XY-44A
动力机	厂家配套柴油机或120 kW柴油发电机组	厂家配套柴油机或100 kW柴油发电机组
水泵	BW-320或BW-300	BW250
钻塔	SGX-17或SGX-21(个别)	SGX-13
泥浆搅拌机	HJ300	HJ300
绳索取心钻杆	$\varnothing 114$ mm $\times$ 5.5 mm 或 $\varnothing 110$ mm $\times$ 5.5 mm; $\varnothing 89$ mm $\times$ 5.5 mm; $\varnothing 71$ mm $\times$ 5.5 mm	$\varnothing 89$ mm $\times$ 5 mm; $\varnothing 71$ mm $\times$ 5.5 mm

### 3.2 主要钻进工艺

#### 3.2.1 钻进方法

朱溪矿区主要采用金刚石绳索取心钻进方法,只有ZK3002和ZK3003两个钻孔采用金刚石绳索取心液动冲击回转钻进。

#### 3.2.2 钻孔结构

如表3所示,基本上采用的是3级或4级口径的钻孔结构,且以S95为主要施工口径,S75次之。

表3 钻孔结构

孔深/m	开次	钻孔口径/mm	套管口径/mm	套管深度
< 2000 (视钻孔浅部地层而定)	一开	110	108	穿过第四系表土层
	二开	95	89	设计孔深的 $1/2 \sim 2/3$
	三开	75		
> 2000 (视钻孔浅部地层而定)	一开	150	146	穿过第四系表土层
	二开	122(110)	114(110)	300 m左右
	三开	95	89	设计孔深的 $2/3$ 左右
	四开	75		

#### 3.2.3 钻头选用

深孔钻探施工,一定要采用机械钻速高、寿命长的金刚石钻头,尽可能延长钻头在孔底的工作时间,最大限度减少起下钻次数,且应适当加大钻头外径尺寸 $1 \sim 2$  mm。朱溪矿区主要钻遇岩石硬度一般(软—中硬),可钻性级别中等(5~7级),研磨性不强(弱—中),普通金刚石钻头的钻进效率均不错。

#### 3.2.4 钻进技术参数

理论上 $\varnothing 95$ 、75 mm金刚石钻头钻进技术参数见表4。但实际操作中,受钻机本身能力和孔深、孔斜等因素影响,钻压的精确控制比较困难。通常是以钻进小时效率的高低和泵压的大小,来判断采用钻进技术参数的合适与否。

#### 3.2.5 冲洗液选用

表 4 钻进技术参数理论值

钻孔口径/mm	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )
95	8~15	350~650	60~100
75	6~11	400~800	50~80

针对朱溪矿区深孔地层特点,冲洗液选用如表 5 所示。但因对复杂地层的特点认识不足等原因,选用冲洗液类型时有不正确、不及时的情况发生。

表 5 冲洗液选用对策

序号	冲洗液类型	主要处理剂	适用地层
1	聚丙烯酰胺无固相冲洗液	聚丙烯酰胺、润滑剂	完整、稳定地层
2	磺化沥青无固相冲洗液	磺化沥青、聚丙烯酸 钾、低荧光特效防塌 护壁降失水剂、防塌 润滑剂	比较破碎、松散、不稳定地层
3	聚乙烯醇无固相冲洗液	聚乙烯醇	遇水崩解、垮塌、不稳定地层

### 3.2.6 护孔堵漏措施

护孔堵漏是深孔岩心钻探最为重要的工艺技术之一(其实浅孔钻探也不例外)。在朱溪矿区施工中,主要采用了套管(扩孔)护孔堵漏、堵漏剂堵漏、泥浆护孔堵漏和清水顶漏钻进这几种护孔堵漏措施。至于浅孔钻探常用的水泥护孔堵漏手段,在朱溪矿区深孔施工中,取得的效果非常有限。

### 3.3 施工管理

2010 年 7 月 24 日,ZK4207 孔的开钻,标志着朱溪矿区钻探工程施工正式启动;同年 10 月 9 日九一二大队“深部找矿钻探施工现场工作会议”在朱溪矿区召开,为后续 1000 m 以深的钻孔施工做了思想准备和技术准备;2014 年 8 月大队下发文件成立九一二大队深孔定向钻探技术攻关小组,同时投入资金 58 万元为该技术攻关小组配齐相关仪器设备并开展螺杆定向纠斜施工,满足了 2000 m 左右深度钻孔“见矿结束点在孔口所在水平面的投影位置与钻孔开孔点的距离即水平偏距 $\geq 100$  m”的地质要求,开创了江西省地矿系统深孔螺杆定向纠斜先例;2016 年下半年开始,大队一分队、一分院、二分院 3 个单位分别同时施工 3 个 2000 m 左右的深孔,都进行了螺杆定向纠斜,都出现了严重的孔内事故。

朱溪矿区是世界最大的钨矿床,主要采用“九一二大队宏观统筹—3 家二级实体单位全面管理—机台钻探施工”的组织管理模式,有小而散、散而乱之嫌。

朱溪矿区以钻探深孔为主,对施工设备器具、钻

进工艺技术和人员技能要求较高。现有的 6 型立轴钻机和 17 m 斜直两用钻塔等装备、简单粗糙且不及时的泥浆技术、难以掌握的孔内准确情况、单一的孔内事故处理手段等等,给本就粗放的施工管理工作带来了很大的挑战。

朱溪矿区钻探施工质量要求尤其是孔斜要求非常高,钻孔深部地层破碎、松散、遇水崩解、垮塌等不稳定,给技术管理工作出了很大的难题。更加遗憾的是专职技术人员少且不精。

## 4 存在的问题

尽管九一二大队朱溪矿区曾经取得如下成绩和荣誉:(1)3 次创造江西省地矿局地质岩心钻探最深钻孔纪录;(2)连续 5 年荣获江西省地矿局优质钻探工程奖;(3)2014 年采用螺杆定向纠斜工艺技术完工的终孔孔深 2047.60 m 的 ZK5407 孔,历经自 1288.70 m 开始至 1637.25 m 结束的 17 次纠斜(纠斜总进尺 47.80 m)并成功,开创了江西省地矿系统深孔螺杆定向纠斜先例;(4)2015 年,“减小钻孔施工的水平位移”QC 成果在江西省第三十六次质量管理小组代表大会上荣获全省二等奖,该 QC 小组在江西省质量活动推进总结大会上荣获 2015 年江西省优秀质量管理小组;(5)以朱溪矿区钻孔施工技术为素材公开发表专业技术论文 6 篇等。但是以下 4 个问题的存在,也是不容置疑的。

### 4.1 现有钻探装备难以继续满足 2000 m 钻孔施工要求

与通常采用“大马拉小车”的钻探设备选用模式不同,朱溪矿区实际施工中是“小马拉大车”。因为,正常情况下,XY-6 型钻机施工  $\varnothing 75$  mm 口径的孔深达 2000 m 就基本满负荷了,SGX-17 型钻塔额定工作负荷只有 15 t。尤其是钻塔,根本无法满足 2000 m 左右深度钻孔需求,反而产生重大安全隐患。务必选用钻深能力更大的立轴钻机如 XY-7 或 XY-8 型钻机、额定工作负荷 30 或 50 t 的斜直两用四角钻塔。

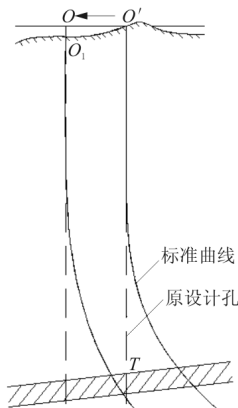
### 4.2 深孔重大孔内事故频发

除了孔斜事故外,多发的孔内事故主要是钻孔垮塌事故。“深孔无小事”。毫无疑问,深孔重大孔内事故频发,是我们钻探施工包括组织领导和工艺技术真实水平的真正体现,同时也反面证明:各级领导正确决策和指挥、技术人员大力推广先进工艺技

术、机长班长规范操作互相协作密切配合,是提高钻探施工水平、能力和效果的重要途径。

#### 4.3 孔斜防治问题突出

前述表1可知,朱溪矿区完工的钻孔共43个,采用螺杆纠斜钻孔就有8个,其中2016年施工的5个深孔,孔孔纠斜。在不得不接受“高标准、严要求”的孔斜质量要求的基础上,孔斜防治的原则应该是:预防为主,治理为辅。具体建议:(1)地质设计方面尽可能设计初级定向钻孔,利用一般情况下钻孔自然弯曲的明显规律设计钻孔,可以达到操作简便、投资少、施工快的效果,这是最重要、也是最简单和最有效的方法,详见图1;(2)做好开孔和下孔口套管工作;(3)采用刚性更好的 $\varnothing 110$ 或 $114$  mm而非 $\varnothing 89$  mm绳索取心钻杆进行钻进,采用保直防斜效果良好的液动潜孔锤进行金刚石绳索取心冲击回转钻进;(5)安装合乎要求的扩孔器作稳定器;(6)把好换径关;(7)地层软硬变化时,掌握好压力,尽可能保持匀速钻进;(8)如出现了偏斜,采用螺杆定向钻进纠斜。



设计步骤:(1)将画在垂直面上孔身标准曲线的透明纸蒙在勘探线剖面上。(2)使标准曲线原点 $O$ 与原设计开孔点 $O'$ 重合。(3)水平移动透明纸,直到标准曲线与设计见矿点 $T$ 相交,标准曲线与地面交于 $O_1$ 。(4) $O'O_1$ 的水平距离就是新孔位沿着勘探线方向应该移动的距离。

图1 标准曲线法设计初级定向钻孔轨迹

#### 4.4 护孔工作急需加强

深孔护孔工作的好坏,很大程度上决定了钻孔施工效率的高低、施工成本的大小、施工质量的好坏,甚至决定了钻孔施工能否成功。可以这么认为,一个机台、一个单位的钻孔护孔水平的高低,直接反映了该机台、该单位总体钻探施工水平的高低。钻孔护孔工作总的思路是:充分认识地层特点,正确选

用护孔方法,打牢套管护孔基础,发挥水泥护孔作用,抓好泥浆护孔关键。朱溪矿区钻孔上部包括空洞在内的套管护孔工作,值得肯定;深孔水泥护孔没有发挥应有作用,有待进一步改进和完善;不稳定地层采用聚丙烯酸钾、低莹光特效防塌护壁降失水剂、防塌润滑剂等的磺化沥青无固相冲洗液,效果良好;水敏性不稳定地层采用聚乙烯醇无固相冲洗液,如ZK2103、ZK3004、ZK1812钻孔均在深部使用了聚乙烯醇,初步显示出了优良的成膜作用,必须继续推广应用。

#### 5 结语

朱溪矿区钻探施工存在钻孔深、钻孔斜,相对浅孔而言地层更复杂、质量要求尤其是孔斜要求严格和孔内事故严重等施工难点,务必从提高钻探装备的施工能力、遏制重大孔内事故发生、坚持预防为主治理为辅的孔斜防治原则、抓好泥浆护孔这一关键工作等4个方面,继续努力,不断解决钻探施工难题,争取取得与朱溪矿区之世界最大钨矿和2015年全国十大地质找矿成果荣誉相媲美的新成果。

#### 参考文献:

- [1] 汤凤林, A. Γ. 加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2009.
- [2] 黄忠高, 李志强, 杨启文. 江西省浮梁县朱溪矿区深孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(5).
- [3] 李志强, 黄忠高. 江西九一二大队深孔钻探技术现状与发展思路[J]. 中国西部科技, 2012, 11(3).
- [4] 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.
- [5] 宋世杰, 陈师逊, 杨芳. 三山岛海上金矿勘查工程 ZK3410 孔坍塌原因与处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2).
- [6] 张伟. 科学深孔复杂地层钻进技术难题与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9).
- [7] 胡郁乐, 张晓西, 张惠, 等. SinoProbe-05 深部探测项目钻探技术问题总结与对策研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9).
- [8] 黄忠高, 李志强, 潘海迪, 等. 江西省浮梁县朱溪矿区 ZK5407 深孔螺杆定向纠斜施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(8).
- [9] 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), 2015, 42(8).
- [10] 黄忠高, 李志强, 王勤发. 朱溪矿区深孔孔斜问题浅见[J]. 西部探矿工程, 2016, 28(3).