

# 大口径空气钻进工艺在大陆科学钻探中的应用

张秋冬<sup>1</sup>, 王兴民<sup>2</sup>, 张新春<sup>1</sup>, 邢向渠<sup>1</sup>, 申云飞<sup>1</sup>, 王俊杰<sup>1</sup>, 魏庆<sup>1</sup>

(1. 河南省地矿局第二地质环境调查院, 河南 郑州 450053; 2. 河南省地矿局第二地质矿产调查院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 云南腾冲火山-地热-构造带科学钻探工程钻遇多期火山喷发地层, 地层空、渣、砂、漏等复杂情况严重。介绍了该复杂火山地层大口径空气钻进钻具、设备配套及施工工艺措施, 对类似地层工程钻探施工有一定的借鉴意义。

**关键词:** 大陆科学钻探; 火山地层; 空气钻进工艺; 腾冲

**中图分类号:** P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)05-0010-04

**Application of Large Diameter Air Drilling Technology in Continental Scientific Drilling/ZHANG Qiu-dong<sup>1</sup>, WANG Xing-min<sup>2</sup>, ZHANG Xin-chun<sup>1</sup>, XING Xiang-qu<sup>1</sup>, SHEN Yun-fei<sup>1</sup>, WANG Jun-jie<sup>1</sup>, WEI Qing<sup>1</sup>** (1. No. 2 Institute of Geo-environment Survey of Henan, Zhengzhou Henan 450053, China; 2. No. 2 Geological Survey Institute of Henan Bureau of Geology and Mineral Resources, Zhengzhou Henan 450001, China)

**Abstract:** In Tengchong volcano-geothermal-tectonic zone scientific drilling project of Yunnan, while drilling in multi period volcano eruption formation, the complex conditions of hollow, slag, sand and leakage were serious. The paper introduces the large diameter air drilling tools, equipments and technical measures used in this complex volcano formation, which can be taken as reference to the geological engineering drilling construction in similar formations.

**Key words:** continental scientific drilling; volcano formation; air drilling technology; Tengchong

## 0 前言

云南腾冲火山-地热-构造带科学钻探预导孔钻探施工, 是2008年启动的国家科技专项“深部探测技术与实验研究”——专项五“大陆科学钻探选址与钻探实验”的子课题之一。云南腾冲县境内分布着新生代火山68座, 温泉139处, 也是西南著名的地震活动区, 集大型走滑构造、岩浆活动、地热和大型有色金属成矿作用于一体, 是实施科学钻探工程的首选地区之一。本项目拟通过一口2000 m科学钻探预导孔施工, 服务于以下科学研究工作: 为高热异常区进行钻探工作提供各种地质地球物理参数; 论证该区进行深孔科学钻探的必要性和可能性; 研究该区新生代火山作用和构造活动关系, 大型走滑构造与岩浆活动和成矿作用背景, 为矿产资源开发和地方经济发展提供科学依据; 为腾冲开展科学深钻做可行性技术准备。而复杂火山地层孔段取心钻探施工, 是本科学钻探孔施工的重要环节。

## 1 地层及技术要求

### 1.1 钻遇地层

工作区内出露的地层主要为元古界高黎贡山群构造岩层、古生界二叠系、中生界三叠系碳酸盐岩石

地层、新生界新近系和第四系堆积物, 其它的地层缺失。该预导孔位于腾冲火山国家公园之内, 紧邻大空山、小空山, 受多期火山喷发的影响, 钻遇地层上部以可钻性较好的气孔状玄武岩、安山岩为主, 中部为可钻性一般的泥沙岩、大理岩等, 下部为可钻性较差的花岗岩地层。地层呈现渣、灰、空、砂交替出现情况, 与地表深部采坑出露地层吻合(见图1)。所谓“渣”实际上是气孔状玄武岩, 由于气孔过于发育, 呈现煤渣状, 结构强度极低, 空隙四通八达, 钻井液、压缩空气均全孔漏失。而所谓“灰”实际上是尚未成岩的火山灰, 吹口气即能烟消云散。而所谓“空”则是没有任何充填物的空洞。“砂”其实就是从粉砂、细砂到粗砂的流沙层, 没有任何胶结, 钻具提离钻孔, 流砂立即充填钻孔。



图1 采坑及钻孔地层显示

### 1.2 技术要求

收稿日期: 2014-01-02; 修回日期: 2014-03-13

基金项目: 深部探测技术与实验研究专项之“大陆科学钻探选址与科学钻探实验”(SinoProbe-05)资助

作者简介: 张秋冬(1972-), 男(汉族), 河南新安人, 河南省地矿局第二地质环境调查院高级工程师, 探矿工程专业, 主要从事科学钻探、盐井、地热井及水平定向对接井等钻探技术与管理工作, 河南省郑州市南阳路56号, zqdl030@sina.com。

- (1) 钻孔深度:2000 m 或达到目的层花岗岩;
- (2) 钻孔倾角:90°(直孔);
- (3) 终孔直径:  $\leq 152$  mm;
- (4) 取心要求:全孔连续取心,岩心直径  $\geq 60$  mm,岩心采取率  $\geq 85\%$ ;
- (5) 孔斜要求:钻孔偏斜  $\geq 1.5^\circ/100$  m,终孔孔斜  $\leq 15^\circ$ ,最大“狗腿”度  $\geq 2^\circ/30$  m。

- (2) 空压机:现场使用的为一台英格索兰 RHP825E 空压机,容积流量  $23.5 \text{ m}^3/\text{min}$ ,排气压力  $2.07 \text{ MPa}$ ;
- (3) 取心筒:石油川 6-3 单动双管取心筒;
- (4) 钻杆: $\text{Ø}89$  mm 钻杆;
- (5) 潜孔锤:扩孔时使用嘉兴生产的 JWD-350 型潜孔锤,锤头  $\text{Ø}400$  mm;
- (6) 取心钻头:主要为武汉万邦激光金刚石工具有限公司生产的热压金刚石普通取心钻头 and 金刚石底喷式取心钻头。

2 火山复杂地层钻探施工难点及对策

钻孔所在区域 204 m 以浅以多期火山喷发地层为主,地层裂隙发育,空洞、无胶结火山灰频繁出现,地层呈现为全漏失特点,雨季虽然大雨不停,但地面基本没有积水,全部漏失。

2.1 钻探施工难点

- (1) 钻遇地层复杂,掉块、塌孔、漏浆严重,不能建立正常的泥浆循环,岩屑无法被携带至地面。
- (2) 施工区严重缺水,人畜饮水都非常困难,生产用水不能保证,必须到几十千米之外买水。
- (3) 终孔孔径要求  $\text{Ø}152$  mm,孔径较大。因钻遇地层的不确定性及其复杂性,因此,火山复杂地层钻孔孔径设计较大,为深部钻探预留足够的空间。一开孔径设计为  $400$  mm,下入  $\text{Ø}325$  mm 套管;二开孔径设计为  $300$  mm,下入  $\text{Ø}244.5$  mm 石油套管。

2.2 针对钻探施工难点采取的对策

- (1) 针对缺水、漏浆的地层特点,采用空气作为循环介质钻进。如果使用泥浆顶漏钻进,必须大量用水,以及泥浆材料的大量使用,将导致钻探成本高的弊端。空气钻进采用跟取粉管的跟管技术,地层掉块及大颗粒物质直接装入取粉管带出孔外,避免卡钻事故的发生,较小颗粒岩屑随着空压机的强大气流,充填入地层孔隙或直接吹出孔外。
- (2) 由于孔径设计较大,为了提高钻进效率,先用小口径( $\text{Ø}152$  mm)取心,再扩孔下管固井。本孔空气钻进孔段由于地层原因分二开完成。一开封隔  $142$  m 处砂层,二开封隔  $190$  m 左右位置流砂层段。
- (3) 该钻孔  $150$  m 以深见水。入水后,继续空气钻进至合适孔段下套管固井(本孔二开  $\text{Ø}244.5$  mm 套管下深  $204$  m),三开换成泥浆正循环钻进。

3 空气钻进主要设备及工具

$204$  m 以浅孔段空气钻进,使用的主要设备及工具如下。

- (1) 钻机:选用石家庄煤矿机械厂生产的 GZ-3000 型水源钻机, $\text{Ø}89$  mm 钻杆钻进深度为  $3000$  m;

4 空气取心钻进

4.1 钻具组合

采用  $\text{Ø}152$  mm 金刚石取心钻头 + 川 6-3 单动双管钻具 +  $\text{Ø}121$  mm 钻铤 +  $\text{Ø}89$  mm 钻杆的塔形钻具组合形式,保证钻孔垂直度和钻具安全。

4.2 钻进工艺

火山岩地层硬度较大,主要用川 6-3 石油单动双管钻具和热压金刚石钻头空气回转取心钻进。川 6-3 单动双管钻具是石油系统较普遍使用的一种可靠的取心钻具,设计卡簧锥度大,卡心可靠、外管管壁较厚、使用安全,但钻头唇面较厚,影响机械钻速。采用这种钻具在 2 种不同硬度岩石的钻进情况见表 1。

表 1  $\text{Ø}152$  mm 金刚石取心钻头在不同硬度火山岩的钻进情况

钻进孔段 /m	纯钻 时/h	机械钻速 $/(m \cdot h^{-1})$	转速 $/(r \cdot \text{min}^{-1})$	钻压 /kN	风量 $/(m^3 \cdot h^{-1})$	备注
4.63 ~ 28.67	28	0.85	72	10	23.3	22 m 以浅为气孔玄武岩
28.67 ~ 34.28	15	0.37	43	20	23.3	致密安山岩

采用表 1 钻进参数,在较完整的玄武岩地层中取出的岩心表面光滑,岩心采取率也较高。最长岩心  $1.1$  m,钻头冷却正常。用该型号钻具取出的岩心见图 2。



图 2 玄武岩岩心

## 5 空气扩孔钻进

### 5.1 钻具组合

遇水前和遇水后背压不大情况下,为了提高扩孔效率,采用潜孔锤扩孔钻进技术。这种方式的钻具组合是:Ø400 mm 锤头 + 潜孔锤 + Ø377 mm 取粉管 + Ø89 mm 钻杆。遇水后,背压较大,潜孔锤扩孔效率降低后,使用组合式牙轮钻头扩孔钻进。这种方式的钻具组合是:Ø400 mm 组合式牙轮钻头 + Ø377 mm 取粉管 + Ø159 mm 钻铤 + Ø121 mm 钻铤 + Ø89 mm 钻杆。2种方式均在钻具下部加大直径的取粉管,一是保证钻孔垂直度,二是解决由于孔径较大的返渣问题,避免造成埋钻事故。2种钻具组合形式见图3。



图3 扩孔钻具组合形式

### 5.2 扩孔钻进工艺

潜孔锤扩孔钻进时,钻压不超过 10 kN,转速 23 r/min。Ø400 mm 潜孔锤扩孔情况见表2。随着钻孔内水位的加深,背压的增加,扩孔效率降低。同时由于所配置的空压机能力较小,潜孔锤扩孔效率没有很好的发挥。

表2 潜孔锤扩孔情况

深度 /m	机械钻速 / (m·h <sup>-1</sup> )	钻压 /kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	风量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	风压 /MPa
0~6.5	1.8	10	23	23.3	1
6.5~17	0.5~0.7	10	23	23.3	1
17~21.5	1.5	10	23	23.3	1
21.5~47.5	0.7~0.8	10	23	23.3	1
47.5~53.2	1.3~1.4	10	23	23.3	1
53.2~55.2	2	10	23	23.3	1
55.2~59.3	0.8~1	10	23	23.3	1
59.3~61.8	2.15	10	23	23.3	1
61.8~76.2	0.6~0.8	10	23	23.3	1

钻压过大和过小都会影响潜孔锤钻进的正常工作。过大则会引起钻头的过早磨损,球齿掉落,回转困难;过小将影响冲击功的有效传递。如回转速度低,不仅会产生重复破碎,影响效率的提高,而且钻头球齿也易发生凿入碎岩坑穴中,造成回转困难和钻头的损坏。如果回转速度过高,则不仅会使冲击

碎岩的作用减弱,而且会造成钻头的强烈磨损,使冲击碎岩转化为切削碎岩,造成效率低、钻头磨损严重。

组合式牙轮钻头扩孔,钻压 30~40 kN,转速 72 r/min。由于牙轮钻进的特殊性,需要较大的钻压,将取粉管和钻铤组合起来。这样的钻具组合较笨重,为了倒岩屑方便,下托盘设置双托盘装置,倒粉时将最下一个托盘卸开,岩粉从第一个托盘预留的出渣孔漏出(见图4)。由于地层较硬,大口径组合式牙轮钻头钻探效率不高,钻压 30~40 kN,转速 72 r/min,平均机械钻速 0.4 m/h。空气循环介质对牙轮的润滑效果不好,经常出现牙轮掌内进岩粉不转圈,憋车等现象。



图4 双托盘装置

为了保证孔底干净,不造成埋钻等事故,2种扩孔钻进方法都控制回次进尺,一般不超过 5 m。当岩粉过多,超过取粉管的容积时,孔内多余的岩粉容易造成埋钻事故。

## 6 空气钻进取粉管技术

利用空气的气流进行洗孔排除岩屑属于气力输送问题。岩屑在空气流介质中,因本身的粒度、密度和形状的不同而具有不同的自由悬浮速度。球体自由沉降时,球体既不上升,也不下降,呈摆动状态,此时流体的速度称为该物体的自由悬浮速度,因此,钻孔环状空间内上返风速必须大于岩屑的悬浮速度。压风机的供风量按下式计算:

$$Q \geq 60K_1 K_2 (\pi/4) (D^2 - d^2) v$$

式中:  $Q$ ——空风机的供风量, m<sup>3</sup>/min;  $V$ ——上返风速,一般取 15~25 m/s;  $D$ ——钻孔实际直径, m;



$d$ ——钻杆外径, m;  $K_1$ ——孔深修正系数, 一般孔深在 100 ~ 200 m 时,  $K_1 = 1.05 \sim 1.1$ , 孔深在 500 m 时,  $K_1 = 1.25 \sim 1.3$ ;  $K_2$ ——孔内有涌水时的风量增加系数, 与涌水量有关, 中小涌水量时,  $K_2 = 1.5$ 。

根据上述公式计算,  $\varnothing 152$  mm 孔径, 若实现正常钻进, 需  $Q \geq 12 \text{ m}^3/\text{min}$ ;  $\varnothing 400$  mm 孔径, 则需  $Q \geq 56 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

可以看出,  $\varnothing 152$  mm 孔径取心钻进时, 空压机参数能满足正常钻进需要; 扩孔到  $\varnothing 400$  mm 孔径时, 不能满足正常钻进需要。鉴于此种情况, 扩孔钻进设计取粉管跟管技术。

根据上述公式计算, 当供风量为  $23.5 \text{ m}^3/\text{min}$  且能够满足上返风速  $15 \text{ m/s}$  时, 200 m 以浅孔段, 取粉管外径  $\geq 358$  mm, 即在这种取粉管与孔壁形成的环隙中, 上返风速能够达到潜孔锤正常钻进的理论风速。故在设计  $\varnothing 400$  mm 孔段中安装  $\varnothing 377$  mm 取粉管, 保证了孔底岩屑能够正常的返到取粉管之上, 一部分装入取粉管, 由取粉管带出孔外, 一部分吹出孔外或者裂隙, 保证孔底清洁。

## 7 钻具防倒吸装置设计

空气取心钻进及扩孔时, 当进入地下水位较深时(雨季水位基本在 65 m), 钻进回次终了停风后, 回气倒吸现象常常造成孔内岩屑堵塞双管环隙及扩孔时潜孔锤内腔。严重时由于倒吸岩屑较多, 卡死双管钻具, 造成报废, 见图 5。为了减轻这种倒吸造成的麻烦, 在取心钻具上接头或者潜孔锤上接头加装自制的单向阀进行控制, 有效地减轻了岩屑倒吸堵塞钻具的情况。但即使加上单向阀, 由于考虑单向阀的密封精度, 在回次终了停风时, 也要坚持缓慢放气, 防止快速放气造成剧烈倒吸, 影响钻具的正常使用和孔内安全。



图 5 岩屑倒吸现象

## 8 注意事项

(1) 空气取心钻进, 特别是钻孔较深, 岩屑不能全部、及时的排出孔外, 为了防止埋钻等安全事故的发生, 应合理控制回次进尺, 减少孔内岩屑残留。

(2) 由于空气对地层及岩心的剧烈冲蚀作用, 为了提高在该类地层中的岩心采取率, 选择使用底喷式取心钻头。

(3) 大口径钻进中, 由于钻具与孔壁环状间隙较大, 岩屑上返困难, 必须采取取粉管跟管钻进工艺, 及时将岩屑收集、携带出来, 预防埋钻。

(4) 取粉管要尽量长, 保证钻孔的垂直度。同时, 取粉管不能简单地焊接在钻具上, 需要以丝扣方式连接, 预防由于焊接的原因, 造成材料局部变化, 从而造成断钻具等事故的发生。

## 9 结语

通过空气钻进工艺在腾冲火山-地热-构造带科学钻探工程复杂火山地层的成功应用, 得出如下几点体会:

(1) 多期喷发火山地层施工, 由于地层的复杂性及不可预见性, 钻孔结构设计要为深部钻探预留足够多的套管程序;

(2) 空气钻进是大漏失火山复杂地层钻探的首选钻进技术, 与泥浆钻进工艺相比, 不需要堵漏、水泥封孔等措施, 施工简单、成本较低;

(3) 取粉管跟管钻进中, 要反复提钻总结取粉管装满岩屑的最佳进尺长度, 防止埋钻事故的发生。

## 参考文献:

- [1] 王建彬, 金新, 王力, 等. 中风压空气钻进技术在平煤某矿的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(11): 35-37.
- [2] 许刘万, 刘智荣, 赵明杰, 等. 多工艺空气钻进技术及其新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(10): 8-14.
- [3] 陈鑫发, 牛建设. 空气潜孔锤钻进技术在豫西抗旱找水打井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(10): 37-39.
- [4] 郭明, 张成志, 周晓. 空气金刚石取心钻进在黄河古贤勘探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11): 22-24.
- [5] 周晓, 刘晓波, 杨裕恩. 大口径金刚石取心钻头的研究及应用[J]. 探矿工程, 2003, (6): 56-58.
- [6] 刘家荣, 王建华, 王文斌, 等. 气动潜孔锤钻进技术若干问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(5): 40-44.