

# 空气反循环连续取样在含金砾岩钻探中的应用

冯常英, 刘殿有, 皮微微, 温红晓  
(吉林省第六地质探矿工程大队, 吉林 延吉 133401)

**摘要:**通过选取合适的钻探设备和合理的钻进参数,采用空气反循环连续取样工艺,在吉林省珲春金泉岗含金砾岩矿区施工取得了良好的应用效果。实践表明,在岩矿样难以采取的含金砾岩地层中,采用空气反循环连续取样钻进工艺,其岩样采取率达98%以上,配合潜孔锤钻进工艺,在坚硬岩层中钻进,有效提高了钻探效率,降低了成本。介绍了施工设备、管材的配置及空气反循环连续取样钻探技术的施工工艺。

**关键词:**空气反循环连续取样钻进;气动潜孔锤;含金砾岩

**中图分类号:**P634.5   **文献标识码:**B   **文章编号:**1672-7428(2016)02-0048-05

**Application of Air Reverse Circulation Continuous Sampling in Auriferous Conglomerate/FENG Chang-ying, LIU Dian-you, PI Wei-wei, WEN Hong-xiao (Jilin Sixth Geological Prospecting Engineering Team, Yanji Jilin 133401, China)**

**Abstract:** Good effects were received by the application of air reverse circulation continuous sampling technology with rational drilling equipments and drilling parameters in an auriferous conglomerate mine of Jilin. The practice shows that the recovery of rock samples is more than 98% in auriferous conglomerate by the use of air reverse circulation continuous sampling technology, where sampling is difficult; and along with DTH hammer technology, drilling efficiency in hard rocks can be improved with the cost being reduced. The paper introduces the construction equipment, pipe configuration and the process of air reverse circulation continuous sampling technology.

**Key words:** air reverse circulation continuous sampling; pneumatic DTH hammer; auriferous conglomerate

## 1 概述

吉林省珲春市金泉岗多金属矿,位于珲春市春化镇太平沟村西3 km处,行政区划隶属于珲春市春

化镇。地理坐标为:东经130°55'58"~130°57'28",北纬43°15'25"~43°17'02",勘察区面积6.08 km<sup>2</sup>。

### 1.1 矿区区域地质情况(见表1)

表1 区域地层简表

界	系	统	组	段	代号	厚度/m	岩性特性	分布范围
新 生 界	第四系	全新统			Q <sub>4</sub>	15	现代河流冲、洪积砂砾石及粘土	现代河流及沼泽地
			上新统	船底山组	N <sub>2c</sub>	50~300	块状玄武岩、气孔状玄武岩	勘查区及勘查区北东部蒲山、牛心山一带
	第三系	中新统	土门子组	上段	N <sub>1t</sub> <sup>3</sup>	80	灰色砂质泥岩夹中粗粒砂岩	东部草帽顶子一带
				中段	N <sub>1t</sub> <sup>2</sup>	98	上部:泥岩夹褐煤层、砂岩、砂砾岩夹玄武岩 下部:粘土岩、凝灰岩、粉砂岩	黄松甸子—兰家趟子一带
			下段	N <sub>1t</sub> <sup>1</sup>	36	砾岩、砂砾岩、砂岩,局部夹泥岩,砾岩层中含金	勘查区及黄松甸子一带	
				渐新统	珲春组	E <sub>1-3h</sub>	510	灰色砂岩、砂页岩、煤层

矿区内地层主要有第三系中新统土门子组和上新统船底山组玄武岩等,二者特征如下。

#### 1.1.1 中新统土门子组(N<sub>1t</sub><sup>1</sup>)

该组地层出露不全,仅见下段地层,其岩性为巨砾岩、砂砾岩、含砾粗砂岩。底部砾岩为主要含金矿层,呈角度不整合覆盖于华力西晚期花岗闪长岩之上,砾岩型金矿体赋存于该组下部砾砂岩段中。

#### 1.1.2 上新统船底组(N<sub>2c</sub>)

该组地层岩性主要为玄武岩,呈斑状结构,致密

及气孔状构造,呈盖层状,大面积覆盖于土门子组含矿地层之上,厚度>80 m。

#### 1.1.3 岩浆岩

矿区内岩浆岩十分发育,主要为华力西晚期侵入岩,代表岩性为花岗闪长岩,闪长岩构成含矿地层基底岩石。

### 1.2 矿体地质特征

矿区内金矿体赋存于第三系土门子组下段含金砾岩中,因该含金砾岩中普遍含金,所以含金砾岩层

基本视为金矿体,矿石为含金砾岩,呈巨砾—粗砾结构,块状层状构造,砾石含量为40%~50%,成分多为花岗闪长岩和闪长岩,呈圆状、次圆状,胶结物为砂、泥质,胶结致密—疏松,遇水易松散,金呈自然金形态赋存于砾石与胶结物间隙中。

### 1.3 矿区水文地质情况

矿区主要矿体为砾岩及砂砾岩层,地下水丰富,涌水量为2.1~3.9 L/s,渗透系数4.93 m/d,含水层厚3~10 m,矿层顶板以上一般无水位。

## 2 钻进工艺的选择

### 2.1 钻进难点

由前述地质情况可知,砾岩型金矿由于其成矿的特殊性,使得钻进工艺的选择相对困难。

(1)矿层上部覆盖层为玄武岩,结构斑状,致密及气孔状构造,岩石可钻性为7~8级,致密状玄武岩可钻性有时可达9~10级。

(2)矿体为巨砾岩、砾岩、砂砾岩、含砾粗砂岩,砾石含量占40%~50%,胶结物为砂、泥质,胶结致密—疏松,遇水易松散,而金以自然金形态赋存于砾石与胶结物间隙中。

### 2.2 对钻进工艺的要求

(1)在坚硬的玄武岩盖层中应有较高的钻进效率。

(2)在含金砾岩层钻进,应能保证金矿心的采取率,避免打丢矿层或影响矿层的品位和减少污染。

(3)在含金砾岩层中钻进,应能有效保护孔壁,保证钻进安全和控制岩样采取数量准确。

### 2.3 钻进工艺的确定

基于上述因素,使得传统的金刚石绳索取心钻探工艺在该矿区难以满足地质要求,经过认真分析,并征得地质单位的同意,决定采用空气反循环连续取样钻进技术做为该矿区的主导钻进工艺。

## 3 空气反循环连续取样钻进工艺的特点及工作原理

### 3.1 空气反循环连续取样钻进工艺简介

空气反循环连续取样钻进是将压缩空气做为冲洗介质,从双壁钻杆环状间隙送至孔底,携带岩矿样从中心通道高速返回地表,进行收集、编录的钻进工艺。

该钻进工艺在国内使用的不太多,而其在国外应用较为普及。我队于1989年开始试验该工艺,并

于1990—1991年在吉林省珲春市黄松甸子含金砾岩型金矿的勘探中,取得了良好的应用效果,成功提交了《吉林省珲春市黄松甸子砾岩型金矿床勘探地质报告》,1992年吉林省储委以吉储决字(1992)81号文批准该报告。

### 3.2 空气反循环连续取样钻进工艺特点

(1)冲洗介质流速快,携带岩屑能力强,洗孔效果好<sup>[1]</sup>。

(2)孔底清洁,冷却钻头效果好。

(3)配合潜孔锤冲击钻进,钻进效率高。

(4)钻进中可连续、实时采取岩矿样品,采取率高,确保矿层品位。

(5)采用空气做为循环介质,实现欠平衡钻进,有利于钻穿复杂地层。

### 3.3 空气反循环连续取样钻进工作原理

按采用的钻具组合不同,空气反循环连续取样工艺的工作原理分为2种:一种为孔底局部正循环钻进,另一种为全孔反循环钻进。具体讲,当采用一般钻具组合时(普通潜孔锤牙轮钻头等),压缩空气从双壁钻杆环状间隙送入孔底,驱动孔底潜孔锤做功,冲击破碎岩石或牙轮钻头回转破碎岩石,并由孔壁间隙上返,通过正反转换接头进入内管中心通道,返回地面,压缩空气既做为冲洗介质,又提供动力。当采用贯通式钻头或贯通式潜孔锤组合时,压缩空气从双壁钻杆间隙送入孔底,由钻头或贯通式潜孔锤中心通道,直接进入内管中心通道,返回地面,为全孔反循环。见图1、图2<sup>[2]</sup>。

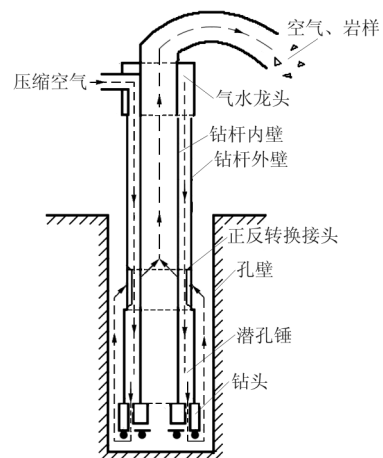


图1 孔底局部正循环钻进工艺原理图

## 4 钻探设备、管材及配套设施选择

2015年,金泉岗矿区设计钻探工作量为2020

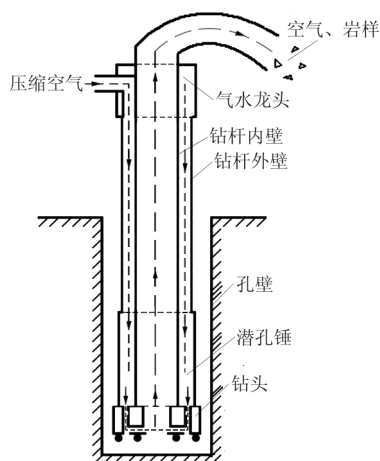


图2 全孔反循环钻进工艺原理图

m, 钻孔 28 个, 单孔孔深为 50 ~ 150 m。为满足钻探工艺要求, 考虑钻孔情况并结合矿区自然地理条件, 选用钻探设备、管材及配套设备如下。

#### 4.1 钻机

YDX-3L 型全液压钻机, 该钻机为多功能履带式钻机, 移动方便, 适合钻孔浅、搬迁频繁的施工特点, 性能上非常适用于空气反循环连续取样钻进工艺, 主要参数为:  $\varnothing 71$  mm 钻杆, 钻进能力 1000 m;  $\varnothing 89$  mm 钻杆, 钻进能力 700 m;  $\varnothing 108$  mm 钻杆, 钻进能力 400 m; 动力头最大扭矩 506 ~ 4257 N·m; 移动速度 2 km/h; 爬坡角度 30°。

#### 4.2 空压机

空压机技术参数的选择, 主要考虑所用潜孔锤的额定工作气压和耗风量的大小, 还有不同孔深带来的循环管道损失及用来克服孔内水位背压的压力损失, 并在此基础上要留有一定的余量。

选用 RHP-750 型螺杆式空压机, 其额定工作压力 2.07 MPa, 流量 20 m<sup>3</sup>/min。

#### 4.3 岩矿样收集器

采用旋流分离器。

#### 4.4 气水龙头

气水龙头的中心通道输出上返的岩样流体, 内径与双壁钻杆内径一致, 旁侧通道输入高压空气, 经双壁钻杆环状间隙送至孔底。

#### 4.5 双壁钻杆

依据选用的钻机型号, 该钻机动力头通径为  $\varnothing 89/55$  mm, 外平双壁双杆, 做为空气反循环钻探, 双壁钻杆的密封性极为重要, 双壁钻杆的结构性能、技术参数、加工质量是决定该项工艺成败的关键。

#### 4.6 正反转换接头

正反转换接头能够使正循环气流从旁侧孔进入双壁钻杆的中心通道, 是改变钻具组合, 顺利完成含金砾岩钻进的决定因素, 见图 3。



图3 正反转换接头

#### 4.7 潜孔锤

金泉岗矿区采用了 2 种潜孔锤。

一种为中国地质科学院勘探技术研究所研制的 KFQC-345 型中空气潜孔锤(贯通式潜孔锤), 其主要参数为: 潜孔锤直径 95 mm, 钻孔直径 110 ~ 130 mm, 使用风压 0.7 ~ 2.1 MPa, 耗风量 4.2 ~ 11.7 m<sup>3</sup>/min, 频率 800 次/min。

另一种为河北宣化苏普曼钻潜机械有限公司生产的普通潜孔锤, 为低频潜孔锤。型号: STm-4.5; 工作压力: 0.8 ~ 1.2 MPa; 频率: 850 次/min。

#### 4.8 牙轮钻头

选用普通牙轮钻头。

#### 4.9 水泵

水泵的压力要与空压机压力相匹配, 流量可调的普通柱塞泵, 现场选用小型喷雾泵, 额定压力 0.7 ~ 2 MPa, 流量 15 ~ 70 L/min。

施工现场见图 4。



图4 施工现场图

### 5 空气反循环连续取样钻进工艺钻孔结构和钻进参数

#### 5.1 钻孔结构

金泉岗矿区依据地层条件和钻进工艺的需要,

钻孔结构为:采用 $\varnothing 150$  mm普通硬质合金钻头开孔,钻穿覆盖层(1~2 m),下入 $\varnothing 146$  mm孔口管,换用 $\varnothing 122$  mm潜孔锤钻进,钻穿玄武岩盖层,改用 $\varnothing 118$  mm牙轮钻头至终孔。

## 5.2 钻进参数的选择

### 5.2.1 钻压

由于矿区内主要岩层为玄武岩盖层,钻压过小,难以克服潜孔锤工作时背压和反弹力,影响冲击力的有效传递,而钻压过大,会增大回转阻力和使钻头产生早期磨损<sup>[3]</sup>,一般情况下钻压为7~35 kN。

### 5.2.2 转速

转速的选择主要取决于潜孔锤的冲击频率、规格大小和所钻岩石的物理力学性质,合理的转速以最优冲击间隔来确定。

最优冲击间隔多采用两次间隔的转角表示,转速与冲击频率和最优转角的关系为<sup>[3]</sup>:

$$A = 360n/f$$

式中: $A$ ——最优转角, $(^\circ)$ ;  $n$ ——钻具转速, $r/min$ ;  $f$ ——潜孔锤冲击频率, $次/min$ 。

KFQC-345型潜孔锤的冲击频率 $\geq 800$ 次/ $min$ ,一般最优转角取 $11^\circ$ ,合理转速为 $25.2 r/min$ 。

### 5.2.3 风压

潜孔锤的冲击功率和冲击频率都和空气压力有关,空气压力是决定冲击功的重要因素,是影响机械钻速的主要参数。空气压力除满足潜孔锤工作压力外,还要克服管路损失,孔内压力降,在孔内有水位时,要增加克服背压、顶开水柱的压力。在一定范围内,风压与钻进速度成正比关系,但过高的风压也会带来锤头磨损快、对孔壁冲刷严重、反循环不易形成和油耗增加等不利因素。

一般采用 $0.8 \sim 1.2$  MPa(孔深100 m以浅)。

### 5.2.4 风量

潜孔锤钻进时,送入的压缩空气有2个作用,其一是提供潜孔锤活塞运动的能量,其二是冷却钻头及携带岩屑,上返风速必须大于岩屑颗粒的自由悬浮速度,一般上返风速为 $15 \sim 25$  m/s<sup>[4]</sup>,而采用空气反循环钻进工艺所需风量不受钻孔孔径的影响,其影响因素只取决于双壁钻杆中心通道断面和上返风速,所需风量小,采用SHB89/55 mm型双壁钻杆时,反循环钻进工艺所需风量仅为 $2.5 m^3/min$ <sup>[5]</sup>,正循环钻进时,所需风量为 $6 m^3/min$ (钻孔口径 $\varnothing 122$  mm,上返风速 $15$  m/s)。

## 5.2.5 水量

空气反循环连续取样钻进,采用空气做为循环介质,在其上返流速达到 $15 \sim 25$  m/s时,可以起到携带岩屑、冷却钻头、清洗孔底的作用。在空气介质中,配合适当的水量,可以实现不同的钻进方法,有利于创造良好的工作环境,根据加水量的大小,可分为以下几种方法。

### 5.2.5.1 干空气钻进

在无水地层采用干空气钻进,在上返风速达到 $15 \sim 25$  m/s,可以满足空气反循环连续取样钻进工艺,缺点是在反循环建立之前和样品收集时,粉尘大,工作环境差。

### 5.2.5.2 雾化钻进

在空气介质中加入 $1\% \sim 0.5\%$ 的水,实现雾化钻进。雾化钻进在潮湿地层中,可解决泥包、泥堵和岩粉粘附钻杆内壁等问题,可有效提高纯钻时间利用率<sup>[1]</sup>。

### 5.2.5.3 气水混合钻进

适当增大空气中水的比例, $3\% \sim 6\%$ ,可实现气水混合钻进,形成气、水、屑三相混合流,增大携屑能力,在含金砾岩层钻进,实现气水混合钻进是决定因素,一般注水量为 $10 \sim 15$  L/min。

## 6 空气反循环连续取样钻进工艺钻具组合

该工艺钻具组合分为以下2种。

(1)牙轮钻头(普通潜孔锤)+正反循环接头+双壁钻杆+气水笼头+鹅颈管+排屑管。

(2)贯通式潜孔锤(贯通式钻头)+双壁钻杆+气水龙头+排屑管。

## 7 空气反循环连续取样钻进工艺技术措施

(1)该工艺由于中心通道空气上返流速高,因此判层准确,随时确定地层变化,根据地层情况,选择合适的钻进参数,特别是水量应满足不同地层所需要的钻进方法。

(2)钻遇含金砾岩,要准确丈量机上余尺,记录见矿深度,按地质设计要求取样段分段取样,一般 $250$  mm为一个取样段,每一个取样段钻进结束,要停止钻进,清孔 $1 \sim 2$  min,待无岩样返出后,再进行一个取样段的钻进,以免影响取样的数量和质量。

(3)在钻进过程中,要尽量避免油污,防止对岩样的污染。

(4)在钻进中要最大限度保持连续钻进,连续取样,防止因各种原因造成的中途提钻,特别是含金砾岩地层,稳定性差,再次下钻,易产生复杂情况和影响取样效果。

(5)钻进中如遇岩样堵塞或孔内沉渣,掉块卡钻致使无法钻进时,可在孔口加接反吹接头,改孔内反循环为正循环,同时窜动钻具,利用高压气流,可较快排除上述故障,反吹接头在该工艺中是确保钻进顺利和预防处理卡钻事故重要工具<sup>[6]</sup>。

(6)钻进中要确保反循环的有效建立,高压空气送入孔底后,有2种循环趋势,当反循环趋势强时形成反循环,反之则形成正循环。在采用贯通式潜孔锤(贯通式钻头)由于设计合理,反循环效果较好。当采用普通潜孔锤、牙轮钻头和正反转换接头时,由于正反转换接头下部为正循环,高压空气进入转换接头入口时,往往由于选用钻杆和钻孔直径的级配不合理时,产生正循环,因此应根据钻杆和钻孔直径,在转换接头上部安装合适的管外封隔器,一般封隔器直径应小于钻孔直径4~5 mm,才能有效建立起反循环。

(7)钻进中,应控制钻孔的弯曲度,在潜孔锤钻进中,钻进参数多采用小钻压、低转速,不易造成钻孔弯曲,当钻遇坚硬岩层时,往往为追求效率,而加大钻压,致使钻孔局部弯曲。实际施工中,钻遇玄武岩完整坚硬,由于玄武岩一般含铁量较高,因此其性质为塑性较强、脆性较弱,潜孔锤钻进时,产生体积破碎效果不好,进尺较慢,盲目加大钻压,在钻穿玄武岩盖层后,下入牙轮钻头时,往往下不去,造成大孔段扩孔(潜孔锤直径122 mm,牙轮钻头直径118 mm),严重影响了钻进效率。后在转换接头上部钻杆加工了扶正器,改变了钻杆工态,保证了以后钻进的顺利进行。

## 8 空气反循环连续取样钻进工艺施工效果

2015年累计完成29个钻孔,完成工作量2369.10 m,施工效果见表2。

## 9 存在问题

贯通式潜孔锤在空气反循环连续取样钻进技术中处于先进行列,具有钻进效率高、取样及时、采取率高、避免冲洗介质冲刷孔壁、利于钻穿复杂地层等诸多优点。2014年我们选用该工艺进行了试验,在上部完整的玄武岩盖层中,效果很好,但在含金砾岩钻进

表2 珲春金泉岗矿区部分钻孔施工技术指标统计表

序号	施工孔号	设计孔深/m	实际钻孔深度/m	纯钻利用率/%	事故停待率/%		台月效率/m	钻月效率/m	时效/m	岩心采取率/%
					率/%	孔内设备				
1	ZK801	60	62.90	32.22	0.00	14.81	1006.40	345.71	4.34	99
2	ZK601	75	79.30	25.52	0.00	11.05	901.52	297.38	4.90	100
3	ZK304	61	61.30	59.85	0.00	0.00	2006.18	262.71	4.65	98
4	ZK701	96	96.80	51.14	0.00	0.00	1909.48	484.00	5.19	99
5	ZK705	110	105.90	56.31	0.00	13.89	1155.27	453.86	2.85	99
6	ZK301	85	85.80	34.09	0.00	20.45	1404.00	514.80	5.72	100
7	ZK305	90	87.80	68.57	0.00	0.00	1548.15	526.80	3.13	99
8	ZK005	90	93.80	62.62	0.00	0.00	2046.55	469.00	4.54	98
9	ZK401	110	110.60	56.67	0.00	0.00	1990.80	658.12	4.88	98
10	ZK403	100	103.30	50.71	0.00	0.00	1583.77	619.80	4.36	98

中,由于砾岩分选不均,颗粒直径大小不一,中心孔经常被堵塞,无法处理,只有提钻处理,试验进行近1个月时间,也没有找到合适的办法。因此2015年改用了普通潜孔锤、牙轮钻头和正反转换接头的组合,解决了上述问题,实现了空气反循环连续取样工艺。

该工艺与常规钻探工艺不同之处在于所取得岩矿样品为岩屑,在地质编录时,不能判断岩石的结构、倾角等,岩性分辨也较为困难,一般地质人员难以接受,影响了该工艺的推广应用。

## 10 结语

珲春金泉岗含金砾岩型金矿,采用空气反循环连续取样钻进工艺,取得了良好的施工效果,解决了该矿采用常规钻探方法效率低、岩心采取率低的问题,为该矿的下步勘探打下了基础。

## 参考文献:

- [1] DZ/T 0227—2010, 地质岩心钻探规程[S].
- [2] 石立明. 空气反循环钻进工艺在地测浅层取样中的应用探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(11): 5-9.
- [3] 李锋. 空气反循环连续取样钻探技术在新疆乌什磷矿矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(5): 23-25.
- [4] 卢予北, 郭友琴, 王观国. 地热矿泉水资源勘查手册[M]. 河南郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [5] 殷琨, 王茂林, 彭视明, 等. 冲击回转钻进[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [6] 李雪峰, 白玉鹏. 空气反循环连续取样施工中卡钻事故的预防与处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(8): 40-45.
- [7] 丁晓庆, 何龙飞. 气动潜孔锤跟管钻进技术在岩土工程勘察施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(1): 17-21.
- [8] 郑英飞, 王茂森. 柴川钼矿采空区钻探技术试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2): 22-25.