

贯通式空气反循环潜孔锤连续取心锤头改进与试验效果

宋小军¹, 李文彬¹, 王扶志¹, 殷琨²

(1. 天津华北地质勘查局, 天津 300170; 2. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要:贯通式空气反循环潜孔锤连续取心技术主要适用于干旱无水或缺水地区的地质钻探工作。为了了解该工艺的普遍适用性,在某大水矿区进行了一系列试验,通过对锤头和钻杆的局部改造,解决了钻探、取心、治水等一系列重大难题,为提高该工艺的普遍适用性和推广性提供了可靠的技术支撑。

关键词:空气反循环钻探;贯通式潜孔锤;取心钻进;锤头;混合器接头;钻进效率

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)07-0052-06

Improvement of Run-through Air Reverse Circulation DTH Continuous Coring Hammer and the Test Effects/ SONG Xiao-jun¹, LI Wen-bin¹, WANG Fu-zhi¹, YIN Kun² (1. North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China; 2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: Continuous coring technology by run-through air reverse circulation DTH hammer is mainly applied in the geological drilling in dry or water-deficient areas. In order to learn the universal applicability of this technology, a series of experiments were conducted in a water abundant mining area, by local transformation of the hammer and drill pipe, the major problems of drilling, coring and water control were solved.

Key words: air reverse circulation drilling; run-through DTH; coring bit; hammer; mixer joint; drilling efficiency

0 引言

贯通式空气反循环潜孔锤连续取心技术是吉林大学殷琨教授等人研制的一种固体矿产钻探工艺,该工艺主要适用于干旱无水或缺水地区的地质钻探工作,其具有效率高、成本低、适应强、成果快的优势。

目前,空气反循环潜孔锤钻探工艺在国外地质找矿方面已经被普遍采用。国内,由于受到地质规范的限制,几乎无法推广,其主要原因是取出的岩样为粉末状或砂砾状,无法提供直观的岩性特征、岩石结构特征,岩层分界限、构造裂隙性质等地质信息。贯通式空气反循环潜孔锤连续取心技术可以在干燥的、完整的地层钻进中取出较多的块状、饼状和短柱状岩心,部分地解决了地质信息不足的问题。然而,该工艺在复杂地层和含水地层中钻进时,似乎有着无法逾越的诸多难题。为了解决这些钻探难题,笔者对锤头、钻杆、设备等进行了一系列改进和试验,获得了成功,为提高该工艺的普遍适用性和推广性奠定了基础。本次试验还采用了“RG孔内全角电视测井技术”,为岩心编录和地质体结构研究提供了三维地质信息。

1 贯通式潜孔锤反循环钻进基本原理

高压空气通过双壁钻杆的环状空隙被送入冲击器(钻具结构),再推动潜孔锤(锤头机构)做功,锤头连续高速往复运动,击碎孔底岩石;同时,送入锤头主风道(回风口)的气流通过钻杆的中心通道上升,使锤头主风道与孔底之间形成真空区,送入孔底的气流把被凿开的岩石抬起,在真空和底风共同作用下,岩石被抬升到主风道,再被主风道强劲的气流向上顶推,送出孔外,形成连续取心过程(参见图1)。

贯通式潜孔锤锤头中心通道直径大,排出的岩样多呈块状、圆饼状、小短柱状和砂砾状。普通潜孔锤锤头中心通道直径小,排出的岩样多为砂砾状。

2 原锤头在大水地层中试验暴露的问题

原锤头试验时出现的主要不良工况有:(1)孔口大量喷水;(2)岩样滞后堵塞;(3)块状岩样量少;(4)拆卸钻具困难;(5)效率快速下降。

2.1 孔口喷水现象分析

2.1.1 孔口喷水现象

高压空气通过双壁钻杆的环状空隙被送入潜孔

收稿日期:2014-03-25; 修回日期:2014-06-05

作者简介:宋小军(1961-),男(汉族),江苏人,天津华北地质勘查局工程管理处处长、教授级高级工程师,地质钻探、水文地质与岩土工程专业,硕士,从事钻探工程、岩土工程、水文地质工程地质研究工作,天津市河东区广瑞西路67号,769522528@qq.com。

锤并推动潜孔锤锤头机构连续高速往复运动,此时潜孔锤滑套与锤头之间是有间隙的,风会从滑套间隙向钻杆外冲出,形成部分正循环气流向孔外溢出。当正循环气流压力大于孔内水柱压力,而同时钻杆内的反循环气流压力小于钻杆内的水柱压力时,水柱就会从孔口喷出;反循环向上射流的压力会降低钻杆内的水柱压力,此时钻杆内外所受到的水柱压力会有短时间产生平衡的可能,于是孔底气体聚集,当持续聚集的气体压力达到一定程度并足以冲破钻杆内外的水柱压力时,聚集的气体压力会瞬间爆破,形成孔口爆炸式喷水,水柱最高可达 5~7 m,给施工带来巨大的危险。

2.1.2 喷水原因分析

(1) 锤头上的反循环主风道口径 5 mm,射流道长 5 mm,斜向上 45°,向上射流强度差,风在钻杆内对冲干扰形成风帘,即向上运动,也向下运动(参见图 1)。

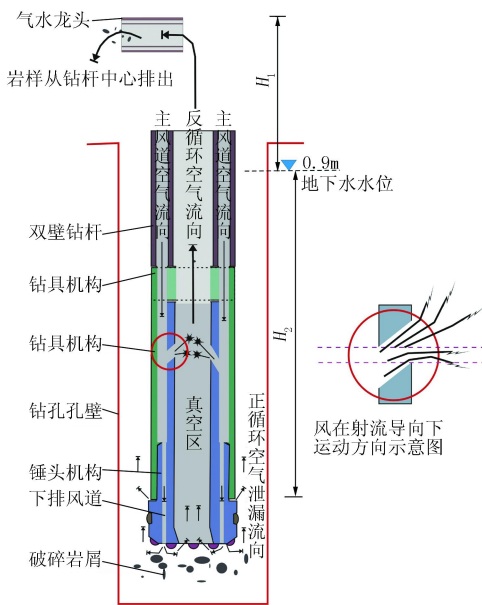


图 1 原锤头试验时孔口喷水机理分析图

- (2) 锤头下部侧向的滑套处是气体外泄区。
- (3) 锤头底部下排风道的风既向中心部位吹,也向锤底外部吹。
- (4) 上述三种向钻具外流动的气体形成了正循环风量的总合。
- (5) 正循环风力所承受的水柱压力 H 小于反循环风力所承受的压力 $H_2 + H_1$,因此,正循环的风力先冲出钻孔,形成孔口喷水。
- (6) 反循环的风力在正循环风力释放后,逐步将钻杆内水顶托出来,反循环形成。
- (7) 锤头中的主风道 45°射流导向抵消了部分水

头压力,所以当 H_2 逐渐增大到一定程度时,反循环能力将大于正循环能力,孔口喷水现象减弱至不喷水。

(8) 现场试验结果是,当孔深(约是 H_2) > 120 m 时,孔口喷水减弱至不喷水,此时的风压是 2.4 MPa,换算得正循环风压略小于 1.2 MPa,反循环风压略大于 1.2 MPa,此时,钻杆内水柱(约是 H_1)浮动为 123~128 m,说明导向射流的作用抵消了部分 H_1 水压力。

2.2 不良工况原因分析与对策

不良工况原因分析和现场研究确定的解决方案如表 1 所示。

3 新锤头、混合器接头的研制和钻进参数改进

3.1 新锤头的研制

新锤头的研制是在原锤头的基础上进行改进(参见图 2)。

3.1.1 主风道改进

原锤头的主风道设计在滑键槽壁上(参见图 2a),对称 4 组,每组 2 个,上下分布,间距 5 mm;主风道口径 5 mm,向上倾斜 45°,滑键槽壁壁厚 5 mm。当风进入主风道时,由于主风道口径与风道管长之比太小,射流向上的引导角度不足,致使气流对冲阻塞,形成风帘,大部分气流受引导角的导引向上运动,但受钻杆内地下水抬升的阻力,运动速度缓慢;其余部分气流受阻后向下运动,填充了真空区,并持续下移直至从锤头底部向钻具外运移,与锤头底部下风道和潜孔锤滑套泄漏区的气流汇合,加大了正循环能力,导致钻杆外的地下水先于钻杆内喷出。

将主风道改到滑键键体上,加长风道管长,提高射流向上的引导角,是加大气流流速的基本原理,这一点基于步枪与手枪射程能力的原理(参见图 2b);同理,将主风道再微微倾斜一点角度,让气流呈螺旋状上升,这一点基于子弹在枪膛里运动的原理,其可消除气流对冲阻塞成风帘的问题,使气流永远向上运移(参见图 2c)。通过这种改进,在钻探较浅(≤ 120 m)时,孔口不再大量喷水。

3.1.2 下风道改进

原锤头的下风道有 2 个对称的风口,目的是把凿碎的岩石吹动并使其能易于抬起。但同样是因为导槽对称原因,其作用不是十分好(参见图 2a)。

将下风道竖向导槽底部的外沿做一个导向块,使气流到底部时可以自然向锤头底部中心的方向运移,促使气流像铲刀一样将松动的岩块铲起来(参见图 2b);考虑到对称铲切时的相互干扰,将锤头底

表1 第一组锤头试验中发生的不良工况原因分析及解决方案

名称	不良工况类型	不良工况原因分析	不良工况解决方案
孔口大量喷水	(1) 钻进前,孔口产生爆破式喷水,水柱高2~3 m (2) 钻进时,孔口有水+气+岩粉混合式喷出,水+气喷出高度约1 m (3) 停钻时,孔底产生空气爆破,钻杆内、外同时排出残余岩样,水柱高4~5 m	(1) 钻杆内反循环压力小于钻杆外正循环压力 (2) 锤头外泄流量大,正循环压力大于孔外水柱压力,正反循环共存 (3) 钻杆内、外空气被压缩到一定程度时,压力突然释放形成空气爆破	(1) 改造主风道的射流角度和射流管长度,加大反循环向上的射流能力 (2) 减少下排风道的外溢,加大向内的射流角度 (3) 在钻杆一定位置上增加混合器接头,使反循环提前被引流,减弱正循环
岩样堵塞含水	(1) 钻进回次停顿后,再钻进时发生钻杆堵塞 (2) 钻进时偶尔发生钻杆间歇性堵塞 (3) 钻进较深时,岩样和水混合抽出,细颗粒样损失	(1) 停钻时,未排完岩粉而停风,岩粉沉积堵塞 (2) 块状呈椭圆状翻滚卡在钻杆内,后又吹开 (3) 外泄正循环风量减弱,不足以阻止地下水进入	(1) 停钻时加长给风时间,待排完岩粉后再停风 (2) 缩小小锤头底部贯通孔口径,减小块状岩样直径 (3) 利用混合器接头,使孔内地下水先被抽出
块状岩样量少	岩样约比例为:细粉85%,碎渣10%,块状5%	钻速快、跟进慢而造成锤头重复破碎岩石	使用慢转速钻机;使用能快速跟进的液压系统
拆卸钻具困难	每次提钻更换钻头、钻具、钻杆时,拆卸困难	冲击+回转+孔壁阻力的作用造成丝扣紧固	加大钻头扩径钎头,降低转速,快速跟进
效率快速下降	钻进到一定深度时,钻进效率会突然下降	地下水形成缓冲作用,粉状岩样形成缓冲软垫	加大反循环作用,快速形成孔底干净的状态

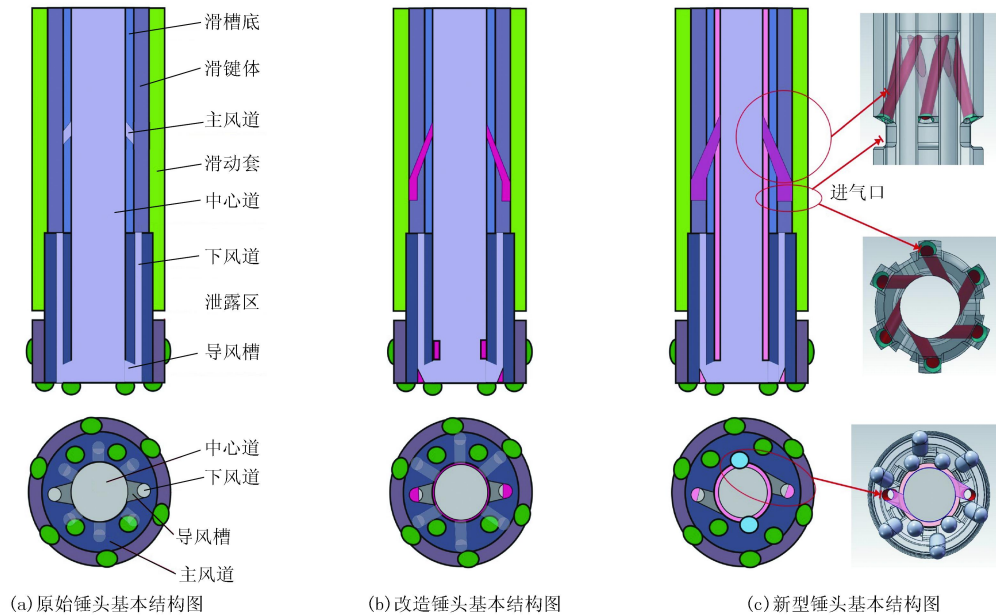


图2 锤头改进过程图

部的横向导槽偏斜一定角度,并与钻具旋转方向呈反向布置,这样就可以更有效地铲切并抬起松动的岩块(参见图2c)。通过这种改进,在钻进中取出的块状岩石比例大大提高。

3.1.3 进岩口改进

原锤头的进岩口与潜孔锤内管直径同径,当岩层是倾斜的时候,凿碎的岩石无论是块状、圆饼状或是小短柱状,均有可能呈椭圆形态,在其上升翻滚时,长轴易卡在管内,造成阻塞。

将进岩口缩小一定的比例,满足大于 45° 角所计算的长轴直径即可(参见图2c)。通过这种改进,在钻进中基本没有出现卡岩心的现象。

3.2 混合器接头的研制

在使用新锤头钻进较浅(≤ 120 m)孔段时,孔口不再大量喷水,但可以观察到仍有一些气水混合物喷出。这时,钻杆内呈反循环,潜孔锤滑套处外泄的气流呈正循环形式顶托住了孔内地下水进入钻杆内,提出的岩样是干燥的。当钻进较深(≥ 120 m)的孔段时,正循环气流将逐渐小于孔内水柱压力,地下水会进入孔底,被反循环抽出,此时的岩样与水混合,细颗粒样流失严重。

制作混合器接头(参见图3),将其安放在某一深度的钻杆上。当气流进入时,首先在混合器接头处瞬间形成真空区,并以反循环方式将钻杆内上部的水柱

顶托出钻杆,随后,锤头处形成真空区,并以反循环方式将钻杆内下部的水柱顶托上来,形成接力式反循环作用,此后在强大的反循环作用下,孔内地下水被抽出,使孔内地下水水位迅速下降或成空孔。此时,正常钻进,由于钻进速度很快,在一个钻探回次过程中,冲击器滑套处外泄的气流有足够的时间顶托住孔外涌入的地下水,提出的岩样仍然是干燥的。

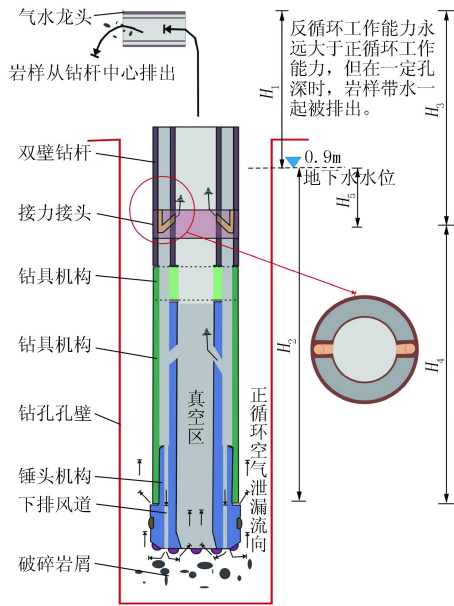


图3 混合器接头工作原理图

工作原理及分析:接力接头首先将 H_5 的水柱雾化并顶出, $H_3 = H_1 + H_5$ 形成半真空低压区,此时钻杆内 H_4 水柱压力持续小于钻杆外 H_2 的水柱压力,于是反循环将连续工作,正循环的压力冲不开 H_2 ,孔口不再喷水。孔浅时,正循环压力顶托 H_2 水柱不进入孔底,孔深时,顶托力不足,水进入孔底,与岩样同时被反循环抽入钻杆,排出孔外。

3.3 钻进参数的改进

钻机回转速度快,使锤头反复击打岩石的频率增加,易形成孔底很细的粉状软垫层,降低冲击力,消耗锤头球齿,效率发挥的程度不高,还会造成钻杆压紧,拆卸困难。在钻进回次停钻时,迅速断风,不易使孔底岩样彻底排净,残余岩粉易堵塞钻具。在钻进跟进速度慢时,尤其遇破碎岩层时,松散的破碎岩石易被锤头底唇面向下和向外挤压,击打力不足,易造成岩样缺失。

降低钻机转速(24 ~ 40 r/min),长回次(3 ~ 6 m)快速跟进,有效地提高了钻进效率,减轻了拆卸难度,提高了块状岩样的采取率。

3.4 锤头缩径问题及其解决方案

潜孔锤钻进是以上下垂直运动为主,旋转扩孔的能力极低。当一个锤头工作时间较长时,外扩钎头易磨损,造成锤头侧向摩阻力增大,降低钻进效率,也有卡钻的隐患。

设计多级锤头,是有效预防钻探事故的最好方案。本次试验制作 2 级锤头: $\varnothing 93$ mm/ $\varnothing 96$ mm; $\varnothing 113$ mm/ $\varnothing 116$ mm; $\varnothing 133$ mm/ $\varnothing 136$ mm 等。

4 改进后试验效果

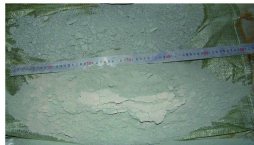
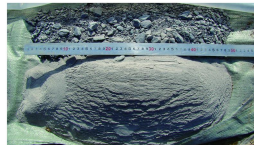
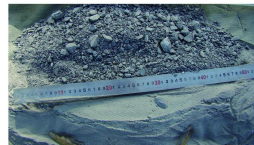

4.1 取心效果

经过改进后,取心效果对比见表 2。

4.2 钻探效率对比

为了便于对比,各阶段的参数选取都是以地质孔(硬质合金钻进)和潜孔锤 2 种钻孔相对应的孔段进行数据统计,地质孔取 61.10 ~ 180.10 m,潜孔锤取 62.60 ~ 181.60 m。对比结果见表 3。

表 2 不同锤头取心效果对比表

原锤头	初改锤头	新锤头	加混合器接头
细粉 85% ±, 碎渣 10% ±, 块状 5% ±	细粉 60% ±, 碎渣 30% ±, 块状 10% ±	细粉 50% ±, 碎渣 35% ±, 块状 15% ±	细粉 45% ±, 碎渣 40% ±, 块状 15% ±
			

在 125 m 以浅,潜孔锤正常条件下的纯钻效率为 12.00 m/h 左右,是地质孔的 10 倍左右。在 125 ~ 181.6 m(终孔),由于孔内各种压力的不断增大,钻进阻力也随之增加,在钻进送入的风压不足以克服孔内各种压力的时候,钻进效率会突然性地下降。从表 3 可以看出,钻头、风压在随深度的变化而调整,纯钻效率也相应的发生阶梯状下降趋势。本次

试验由于不可抗力,未能继续施工。

4.3 钻探成本对比

按 180 m 孔深统计,把潜孔锤与地质孔从运输、起塔、钻进到清场的现场直接消耗成本进行对比(不含压风机租赁费、设备折旧、材料准备和青苗赔偿等),结果如表 4。

表3 不同钻进方法钻进效率统计表

钻进方法	孔径/mm	压力	钻进时间				进尺/m	孔深/m	钻进效率/(m·h ⁻¹)			
			连续钻进时间		辅助钻进				总时间/h	纯钻效率	连续纯钻效率	综合效率
			时间/min	比例/%	时间/min	比例/%						
地质孔	91		5212	75.10	1728	24.90	6940	119.0	180.1	3.2~0.8	1.37	1.03
	136	18.00	120		222			27.0	89.6	16.4~12.0	13.50	
	133	20.00	45		123			9.0	98.6	12.9~11.3	12.00	
潜孔锤	116/113	23.00	357		392			38.0	136.6	12.9~2.9	6.39	
	96/93	24.00	734		249			45.0	181.6	6.7~2.7	3.68	
	合计		1256	49.41	986	38.79	2542	119.0			5.68	2.81

表4 不同钻进方法钻探成本统计表

项 目	地质孔(180 m)			潜孔锤(180 m)		
	用量	单价/元	合价/元	用量	单价/元	合价/元
运输费(往返)/次	1	6000	6000	1	6000	6000
人工费/(人×天)	17×13	200	44200	18×9	200	32400
钻头消耗/个	8	250	2000	1	800	800
消耗油料/L	300	7.5	2250	1000	7.5	7500
总计			54450			46700
单位成本(元/m)			303			259

5 地质描述问题及其解决方案

岩心编录是以取样的情况进行描述,由于不能取长柱状岩心,所以不能准确地描述地质体结构构造、分层界线等问题。

通过“RG孔内全角电视测井技术”,对地质体的描述达到了三维效果(参见图4)。如:64.00~111.00 m为黑云斜长片麻岩,层电阻率341.87 Ω,层纵波波速3903.19 m/s;其中,94.00 m以浅为强风化带,94.00~143.00 m为中~弱风化带,期间发育有6条破碎带,破碎带总长度达14.20 m。该测试段岩石完整度确定为破碎岩石,裂隙极为发育,其含水性、透水性很好,可看作含水层。主要裂隙发育方向为197°,倾角为67°(参见图5)。

本次试验压风机租赁费为8万元/月(不含油料消耗),RG测井增加了2人2日的工费、运输费、差旅费、测井费等约1.5万元/次。单从这次试验来说,投入的成本较大,如果此类项目有较多的工程量,这些费用摊销后,可以体现出潜孔锤的优势。

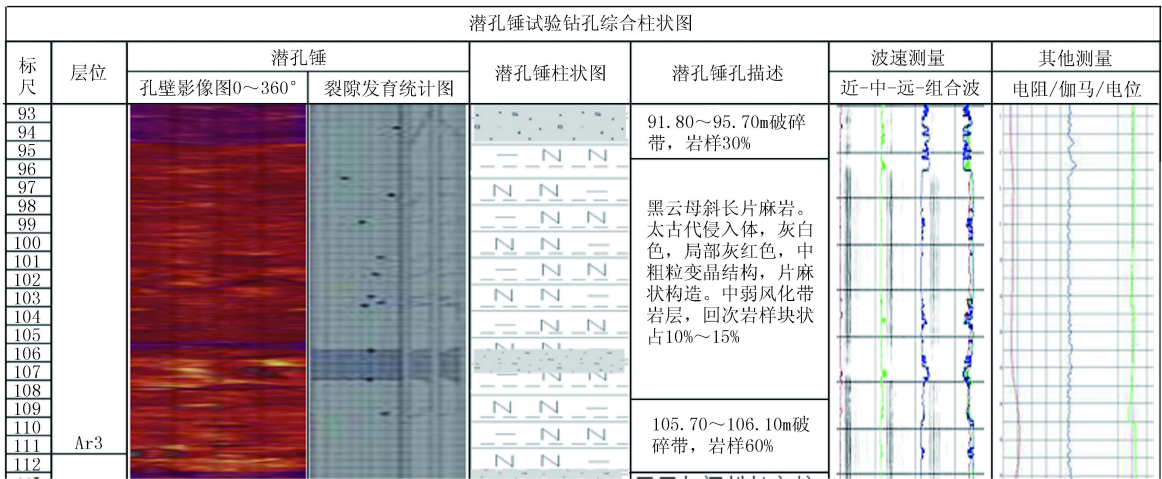


图4 岩心编录柱状图及综合地质成像和测井曲线图

6 矿化分析及其差异原因

潜孔锤的岩样化验了5组,与地质孔对应孔深的样品化验结果进行了对比(表5)。其结果是:100 m以浅潜孔锤的岩样铁矿物化化验结果比地质孔的岩心铁矿物化化验结果偏低;100 m以深潜孔锤的岩样铁矿物化化验结果比地质孔的岩心铁矿物化化验结果高出很多。

分析原因:(1)地质孔取样段长为2.0 m,潜孔锤

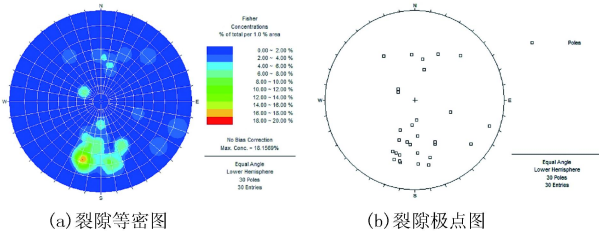


图5 94.00~111.00 m 裂隙图

表5 岩心化验对比分析表

序号	地质孔化验结果				潜孔锤化验结果			
	自/m	至/m	Tfe/%	mFe/%	自/m	至/m	Tfe/%	mFe/%
4	74.55	76.55	27.15	5.44	77.60	78.10	24.75	5.09
10	86.19	88.19	34.06	21.56	87.10	87.60	33.59	17.56
13	92.59	94.93	29.38	15.10	94.60	95.10	28.61	13.73
17	143.93	145.95	26.63	2.02	143.60	144.10	31.13	18.57
21	155.29	157.39	25.92	5.13	155.10	155.60	33.06	10.53

取样段长为0.5 m,两者存在着取样段含矿成分的原始误差;(2)潜孔锤前3组是干样,以块状样为主,因岩块中围岩成分多,矿化物质损失,化验结果偏低但在偏差允许范围内;(3)潜孔锤后2组是湿样,粉状和细颗粒岩样无法收集,以岩渣、岩块为主,因岩渣、岩块中围岩成分大多已经损失,所以化验结果较高。

7 结论

通过锤头、接头、钻机的改进和试验,在钻探工艺方面有8项成果:

(1)锤头主风道射流路径加长,提高了气流射流速度,有利于反循环能力快速形成;

(2)锤头主风道向上倾斜角度,消除了气流聚焦对冲,有利于岩样的连续顶托作用;

(3)锤头主风道横向偏斜角度,消除了气流直线射流,有利于气流的螺旋均匀顶托;

(4)锤头下排风道导槽偏斜角,消除了气流相互干扰,有利于消除抬起岩样的阻力;

(5)锤头进岩样口缩小直径,消除了块状卡管堵塞,有利于减少非正常停钻情况;

(6)钻杆在水下增设接力接头,消除了正循环的袭夺,有利于反循环作用永久优势;

(7)钻机更换转速较低的电机,降低了孔底形成粉垫,有利于取岩块率和拆卸钻具;

(8)锤头制作采用多级的尺寸,降低了钻进卡钻因素,有利于提高效率和预防事故。

“RG孔内全角电视测井技术”解决了地质编录中的一些重要问题。通过试验成果总结,笔者认为:潜孔锤施工在钻探效率、综合成本上具有一定的优势,但在地质编录、样品分析方面有不足。此工法在普查阶段、大规模扫面勘查时具有优势。

参考文献:

- [1] 宋小军,王扶志,李文彬,等.贯通式潜孔锤钻探工艺与孔内成像技术相结合的综合地质信息化成果应用研究报告[R].天津:天津华北地质勘查局,2012.
- [2] 张祖培,殷琨.岩土钻掘工程新技术[M].北京:地质出版社,2003.
- [3] 王扶志,张志强,宋小军.地质工程钻探工艺与技术[M].湖南长沙:中南大学出版社,2008.
- [4] 蒋荣庆.多工艺空气钻进技术[Z].吉林长春:长春地质学院,1988.
- [5] 张永勤.反循环钻探技术的推广应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):46-47.
- [6] 于航,殷琨,罗永江,等.内喷孔式反循环钻头结构优化设计及CFD模拟分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):49-52.
- [7] 郝树青,殷琨,王清岩,等.引射孔倾角与孔径对钻头体反循环形成影响的仿真分析与实验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(5):37-41.
- [8] 朱丽红,黄勇,殷琨,等.潜孔锤反循环钻头二级引射装置结构参数研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2013,(3):88-92.

国家能源局和国土资源部推进地热能开发利用工作

《中国矿业报》消息(2014-07-15) 国家能源局和国土资源部日前下发通知,要求各地编制本省(区、市)地热能开发利用规划,并于12月底前上报国家能源局和国土资源部。

通知要求,各地要收集整理本地区地热资源勘探评价成果,结合本地地热资源特点及用热、用电市场需求,组织编制地热能开发利用发展规划,明确地热能开发利用的发展目标、重点任务、区域布局和开发时序,提出适合地热能开发利用的保障措施。

通知明确,近期地热能开发利用规划以浅层地温能供暖(制冷)、中深层地热能供暖及综合利用为主,具备高温地热资源的地区可发展地热能发电。远期发展中温地热发电和干热岩发电,并提高地热综合利用水平。

通知要求,各地要根据地热资源勘探评价等已有工作基础,选择重点地区近期建设一批中深层地热能集中供暖项目,规模化推广浅层地温能开发利用,建设地热能利用示范

区,同时探索并形成适合本地的地热能开发利用的商业运行模式。选择高温地热资源区域建设地热发电项目,对中温地热发电进行技术产业化示范。

同时,各地要加强地热能开发利用规划与区域能源规划、城镇供热规划、城镇建设规划的统筹协调,将地热供暖规划纳入城镇供热体系,做好供热范围的划定和供热价格的衔接,并在市政基础设施建设、资金支持等方面为地热能开发利用提供保障。

通知还要求,各地要根据地热开发利用实际,制定流程简便、分工明确、监管有力的地热能开发利用项目管理办法,简化审批办法,下放审批权限,提高行政效率,加强项目后续运行及环境保护监管,建立信息监测体系,完善设备检测认证制度等。各地可结合新能源示范城市和绿色能源县的创建,将地热能开发利用纳入“新城镇、新能源、新生活”行动计划中,在城镇供能体系中统筹地热能开发利用。