

# 大力推广气动潜孔锤及气举反循环组合钻进技术

许刘万<sup>1</sup>, 史兵言<sup>1</sup>, 李国栋<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所钻头中心, 河北 廊坊 065000; 2. 东北煤田地质局 103 队, 辽宁 辽阳 111000)

**摘要:**针对我国目前水井和煤层气钻井技术特点, 就如何大力推广应用气动潜孔锤与气举反循环组合钻进技术进行了探讨, 结合生产实际阐述了推广此种组合钻进技术的优越性。

**关键词:**水井; 煤层气; 气动潜孔锤; 气举反循环; 组合钻进

**中图分类号:** P634.5    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1672-7428(2007)09-0041-05

近年来岩土钻掘工程应用领域已不仅涉及矿产资源, 而愈来愈多地涉及建筑、供水、市政、交通、环境等方面。同时随着我国经济建设的迅速发展, 这类工程的国际国内市场也越来越大, 要求越来越高。尤其是解决干旱缺水地区水井钻探、煤层气开采钻探技术长期存在的若干难题, 传统的泥浆正循环工艺已远远不能满足高速度的钻井要求, 因此, 各施工队伍纷纷在寻找高速完井工艺。实践证明, 多工艺空气钻进技术已被视为当代衡量钻探技术水平的重要标志之一。现我国已能较全面地掌握和推广应用多工艺空气钻进技术, 缩短了与世界先进水平的差距, 增强了国际竞争能力。从此技术推广应用产生的巨大生产力来看, 气动潜孔锤钻进技术和气举反循环钻进技术已被大家所公认, 而且应用领域不断扩大, 但对大多数用户来说还只是单一的应用, 将这两种钻进技术有机的结合起来, 在当前来说还仅仅才开始, 这就必须通过我们认真的总结在单一应用方面的经验, 进行大力推广两种钻进技术组合应用时, 能够进一步取得更好的经济效益和社会效益新思路, 以推动我国水井和煤层气钻进技术上一个新台阶。

## 1 气动潜孔锤与气举反循环钻进技术组合的优点

由于这两种钻进技术都属于多工艺空气钻进技术体系, 其实质主要是用压缩空气代替常规钻进时用水或泥浆循环, 起冷却钻头、排除岩屑和保护井壁的作用。当在干旱缺水地区需要拉水方能完成钻探施工时, 有些地段开孔就是岩层或者覆盖层很薄下入表层套管后, 可先采用气动潜孔锤钻进工艺揭露

含水层, 当达到深孔高水柱大背压时, 时效会明显下降甚至无法钻进, 且钻进成本已不尽合理, 这时就应该换为气举反循环钻进技术, 这样使二者很好地组合, 发挥各自高效钻进的优越性。

### 1.1 气动潜孔锤钻进技术的优点

气动潜孔锤钻进技术是把压缩空气既作为破岩动力又作为冲洗介质的一种孔底冲击回转钻进方法。目前除广泛应用于矿山爆破孔、基岩水井、地源热泵井外, 已扩展到地热井、油田井、煤层气开采等领域。它具有钻进效率高, 钻头寿命长, 所需钻压低、扭矩小、转速低, 钻孔垂直度高等优点。它的诞生及发展是世界钻探技术的一次重大革命, 改变了岩石的研磨碎岩方式, 使岩石破碎为体积破碎, 是当今提高坚硬岩石和复杂地层钻进效率的有效手段, 从气动潜孔锤的工作性能来看, 它能适应多种工程应用的要求。

### 1.2 气举反循环钻进技术的优点

气举反循环钻进技术是将压缩空气沿双壁钻具输气管道送入一定深度, 经混合器进入管内循环液, 使混合后的液体密度小于冲洗液的密度, 这样井筒与管内就产生压差, 并在井筒液柱压力的作用下, 使管内混合的气液以较高的速度向上流动, 从而将孔底的岩屑或岩心连续不断地带出地表, 经振动筛, 排入沉淀池。沉淀后的泥浆再流回孔内, 补充循环液, 如此不断循环形成连续钻进的过程。它的最大特点是管路平直, 不易堵塞, 携带上来的气、液、固三相流不流经任何工作机械, 设备磨损小, 并具有排岩屑能力强, 钻进效率高, 钻头寿命长, 尤其是在基岩复杂地层中钻进安全可靠, 并能实现连续取样(心)钻

收稿日期: 2007-08-01

**作者简介:** 许刘万(1954-), 男(汉族), 陕西人, 中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师, 全国水井钻机情报网首席顾问, 探矿工程专业, 从事水文水井、工程钻探设备、各类钻具及钻探工艺的研究、推广工作及进口全液压力头钻机、国产各类钻机、机具的配套研究, 近年来在地热井、煤层气井以及特殊施工工艺研究方面有突破性的进展, 河北省廊坊市金光道 77 号, 13903168519, xuliawan@126.com。

进,节省辅助时间和减轻劳动强度等优点,现已成为国内外钻进水井、油田井、煤层气井以及大口径工程施工孔最受用户青睐的技术方法。

## 2 推广两种钻进技术组合前的技术准备

两种钻进技术已成为当今应用广泛和最有发展前景的工艺方法,二者组合应用必将在水井和地热井、油田井、煤层气井等缩短施工周期方面起到积极的作用。由于这两种钻进技术本身所具有的特点,作为重要手段已引起各级领导的高度重视,为此我们必须作好推广前的各项准备工作。

### 2.1 选择两种钻进技术组合应用的条件

在什么地层和施工条件下适合选用这两种钻进技术组合,这对于施工单位决策者来说是必须慎重考虑的问题。虽然在同一钻机上两种工艺方法都可实现,但是一次性投资很大,这就要求施工单位具有一定的经济势力,一种情况是上级部门进行专项资金扶持,另一种是决策者看准了方向下决心投资,其目的是在市场竞争中立于不败之地,取得更大的收益。从施工环境条件来说,覆盖层较浅、基岩层不取心钻孔,拉水施工总成本较高者,复杂漏失地层严重时,应优选两种钻进工艺组合。

### 2.2 推广应用前的技术组织准备

这两种钻进技术虽然比较成熟,简单实用,在我国许多单位和涉外承包打井中已得到广泛应用,但只是单一采用,而且还有很多地方不够完善,仍需不断认识提高,对大多数生产第一线的技术工人要组织他们学习培训,有条件的话组织参观两种钻进技术施工现场,增加感性认识,并请施工单位介绍经验,以利于在推广过程中能够发挥更好的作用。

#### 2.2.1 钻机的选择

从气动潜孔锤单一钻进技术来讲,用户按照孔径、孔深的要求,钻机的选择范围很大,如立轴式、动力头式、转盘式都可选用。但从本文中阐述的两种钻进技术组合推广应用来看,我们要达到目的是尽快解决水井、地热井、煤层气井施工中存在的若干技术难题,针对我国广大用户目前选用的钻机看,还主要以转盘式为主,这样也正好符合气举反循环钻进技术配套的要求,为此,各种转盘式钻机均可进行这两种钻进技术组合应用。当然有些单位进口了国外不同国家的全液压力头车装钻机或国内生产的全液压力头车装钻机、履带式全液压力头钻机,也可进行两种钻进技术组合应用,只是要特别注意,这些全液压力头钻机一般要求仅只能气动潜

孔锤、泥浆正循环钻进,而要采用气举反循环钻进工艺时,必须要在动力头部位增加气盒子才能实现。

所以选择钻机的主要依据是:设计的钻井结构;岩石可钻性级别,环境条件所决定的钻进方法;钻进技术规程参数;钻机本身的技术性能;施工单位的经济条件等。钻机选择的正确与否,不仅影响钻进效率的高低、质量的好坏、成本的多少,而且也影响到钻进工作的正常进行。

#### 2.2.2 空压机的选择

空压机作为多工艺空气钻进配套的一种主要设备,选择时应慎重考虑。对于适合气动潜孔锤钻进直径200~400 mm左右钻孔的,建议选用风量为21~33 m<sup>3</sup>/min、压力为2.1~2.6 MPa左右的空压机。一般认为所用压缩空气的压力高,则潜孔锤钻进的效率也高,而且钻头的使用寿命也长。供风量不仅是保证潜孔锤工作的基本条件,也是保证钻孔能否正常排粉的重要因素,而供风量的多少,一方面是根据所用潜孔锤的性能确定,另一方面是要保证环空的上返风速。因为排粉效果的好坏,主要和上返风速有关,而风速就和供风量直接相关。气举反循环钻进孔深在1000 m以内的可选择风量为4 m<sup>3</sup>/min、压力为1.5~3.0 MPa的空压机,孔深在2000 m左右的可选择风量为5 m<sup>3</sup>/min、压力为4.0 MPa的,孔深在3000~4000 m的可选择风量为10~15 m<sup>3</sup>/min、压力为6.0~8.0 MPa的空压机。在钻进过程中随着孔深的不断增加,混合器的深度也在变化,当钻进到孔深达到空压机的额定压力之后,就必须改变混合器潜入水中的深度。因此要想用该工艺钻进深孔得到足够的上返速度和较高的钻进效率,一般来讲,空压机的压力以大些为好。因为压力大、混合器下入得越深,则可以获得高的钻进效率。

从以上情况可见,空压机的排气量和它的工作压力是决定两种钻进效率的主要参数,也是两种钻进技术的应用关键。所以,除了参数应合理选择外,还应考虑它本身的结构特点。现我国在气动潜孔锤钻进施工中均采用移动式螺杆空压机,主要来源于进口,也有在国内独资生产的。气举反循环钻进施工中选用的多为落地风冷式的,主要为国产。这里需要强调的是两种钻进技术所用空压机,最好为专用,以利于降低成本。

#### 2.2.3 两种钻进技术钻具的选择

(1)气动潜孔锤钻进技术。该技术在水井、煤层气井、地源热泵井中目前还是以正循环钻进为主,应用转盘钻机的占大多数。整个钻具包括有:水龙

头、方钻杆、钻杆、扶正器、潜孔锤、钻头。钻具的上端和空压机连接,压缩空气经钻杆中心进入气缸里。但对于全液压力头式钻机来说,动力头就取代了水龙头和方钻杆,其它连接相同。

钻进过程中,整个钻具随同钻机的回转机构一起连续转动。当潜孔锤的活塞不断地冲击钻头时,就能够改变钻头每次破碎岩石的位置。所以钻头在孔底回转是连续的,冲击是间断的。冲击破碎的岩粉,经钻杆与孔壁之间的环状空间被压缩空气吹到孔外。钻杆的作用是向潜孔锤输送空气和带动其回转。它不仅承受扭矩、震动、轴向压力等外力,而且从孔底排出的岩粉对钻杆表面又产生磨蚀作用。因此,要求钻杆要有一定的壁厚,并保证具有足够的强度和刚度。

另外钻杆直径的大小也应满足排粉的要求。而且这也是决定钻进效率高低的主要因素。各种潜孔锤消耗的风量是一定的,所以悬浮岩粉的风速就决定了钻杆外径与孔壁之间的环状断面大小。当钻孔直径确定后,钻杆外径越大,悬浮岩粉的风速就越大。一般要求悬浮岩粉风速应达到 20 m/s 以上,最低不小于 15 m/s。

当需要采用反循环钻进时,就必须利用双壁钻具和封堵器来实现,具体两种循环方式连接见图 1。

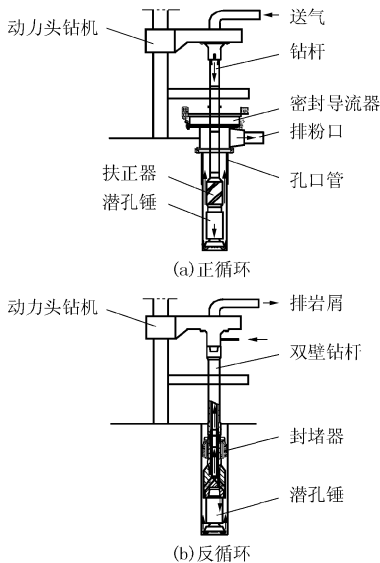
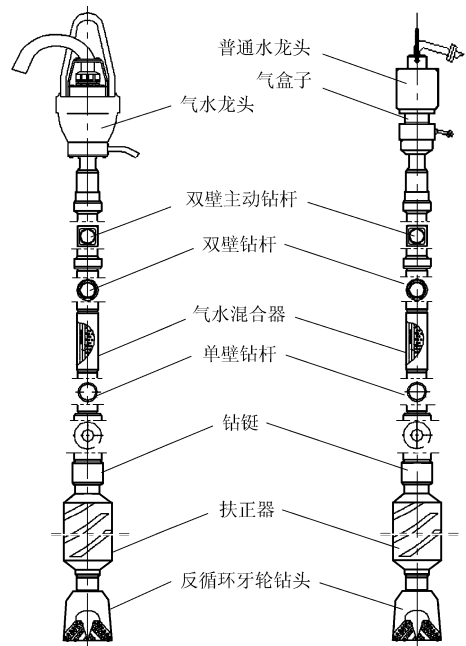


图 1 气动潜孔锤钻进连接示意图

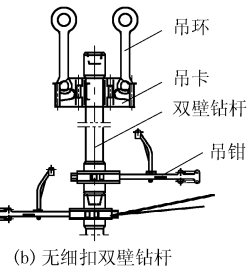
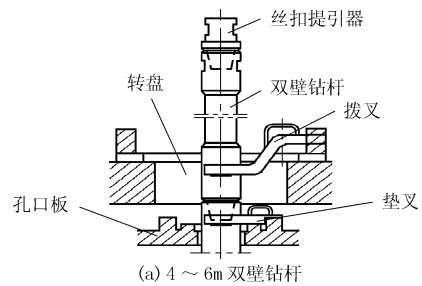
(2) 气举反循环钻进技术。实现气举反循环钻进技术的核心就是选用一套合理的钻具。根据用户在水井、煤层气井所用钻机情况看,施工深度 1000 m 左右的井,普通式钻机拧卸钻杆为垫叉、拨叉的,提下钻具用提引器的可选择 4~6 m 长的焊接式双壁钻具。超过 1000 m 的井,钻机较大,拧卸钻杆靠

吊钳、提下钻具用吊环、吊卡的可选择同石油钻井的  $\varnothing 127$  mm 无细扣双壁钻具,分别见图 2、图 3 所示。



(a) 4~6m 双壁钻具连接 (b) 无细扣双壁钻具连接

图 2 双壁钻具连接示意图



(a) 4~6m 双壁钻杆 (b) 无细扣双壁钻杆

图 3 双壁钻杆拧卸与提下钻示意图

### 3 推广两种钻进技术组合应用中的技术措施

采用两种钻探技术组合钻进可有效地发挥每一种工艺的优势,在施工过程中根据地层情况变化,针对性地选择,有利于钻进效率的提高,综合成本的降低。为搞好推广工作现就有关技术措施介绍如下。

#### 3.1 气动潜孔锤钻进技术方面

##### 3.1.1 轴向压力

从潜孔锤的破岩原理讲,岩石主要是靠冲击动

载作用破碎,而潜孔锤钻进效率的高低,主要是取决于冲击功的大小和冲击频率的高低,轴压只是保证冲击功充分发挥作用的辅助力,目的使钻头与孔底岩石紧密接触来破碎岩石。过大过小都会影响潜孔锤钻进的正常进行,大则会影响钻具的震动,钻头过早磨损,球齿掉落,回转困难。合理的轴向压力取决于潜孔锤后坐力,其目的是能保证潜孔锤的正常工作 and 冲击功的全面传递。所以轴向压力的大小主要由钻机使用人员经常观察和调节来确定。

### 3.1.2 回转速度

潜孔锤回转速度对顺利钻进和延长钻头寿命起着决定性的作用。钻进过程中回转的作用使钻头的球齿每经过一次冲击都能落在新鲜的岩层上。在钻头外缘上的球齿对回转是特别敏感的,假若回转速度过慢,钻头上的球齿将打入先前冲击过的坑穴中,会引起钻头的不稳定,导致回转受阻,钻进效率下降,若回转速度过快,并不会使钻速提高,反而会使钻头球齿在强大的摩擦力状况下出现过早磨损。因此合适的锤头回转速度将会延长钻头寿命,合理的回转速度的选择,主要与潜孔锤所产生的冲击功大小、冲击频率高低、钻头的形式以及所钻岩石的物理机械性能有关。

对于司钻人员来说,如何寻求最优的钻具回转速度来获得有效的钻速、平稳的操作和经济的钻头寿命,就显得十分重要。现提供以下经验数据供参考:覆盖层 40~60 r/min,软岩层 30~50 r/min,中硬岩层 20~40 r/min,硬岩层 10~30 r/min。

### 3.1.3 水和泡沫剂的注入技术

气动潜孔锤正循环钻进时,为了解决除尘和排粉,减少钻进中出现的各种不安全因素,提高钻进效率,在钻进过程中往往采用加注泡沫剂的办法,借助泡沫携带岩屑上浮,改进和提高气流排岩屑的能力,以降低对空压机的要求。尤其泡沫气流可携带较大颗粒的岩屑上返,减少孔内事故。生产实践也证明注泡沫剂有许多优点。而注入泡沫剂的方法基本上可分为间隙注入和连续注入2种。间隙注入是把配制好的泡沫剂在每次加钻杆前从管内倒入,每钻进2 m左右放喷一次,强排孔内岩屑清孔,这种方法一般不可取。最好的方法是购买泡沫泵,利用泵把配好的泡沫剂通过空气管路三通连续注入比较理想,见图4。

### 3.1.4 孔口密封旋转导流器

若采用气动潜孔锤正循环钻进,有条件的话一定要配套孔口密封旋转导流器(见图5),其作用是

将岩屑导流到井场的远处,避免岩尘污染井场及设备,保证施工操作安全。



图4 注入泡沫管路和空气管路的连接

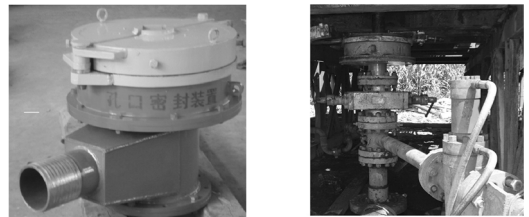


图5 (a) 孔口密封旋转导流器 (b) 孔口密封旋转导流器应用现场

图5 孔口密封旋转导流器及施工应用现场

对于未采用此种孔口密封旋转导流器的施工现场,污染严重(见图6、图7),操作人员非常困难,容易出现事故,必须注意预防,提高安全生产意识。



图6 散装和车装转盘钻机施工应用初始状态现场



图7 散装和车装转盘钻机注入泡沫剂钻进现场

## 3.2 气举反循环钻进技术方面

由于气举反循环钻进冲洗液流速很高,一般在3~4 m/s,高的可达10~15 m/s,能够将大颗粒的岩屑排出。这样收集岩样与泥浆净化就显得尤为重要。所以采用反循环泥浆振动筛在施工过程中是必不可少的设备。如若采取别的方法凑合,导致泥浆

清理困难,会造成许多不安全因素,而且增大了工人的劳动强度。因此,要求采用反循环振动筛能将排出的气、液、固三相流尽快分离,达到取样准确及时、提高泥浆质量、加速钻进的目的。见图 8。



图 8 不同结构的反循环振动筛

#### 4 两种钻进技术组合应用取得的效果

此种组合钻进工艺方法曾由山西省地勘局第三地质工程勘察院首先在山西省隰县上均庄政府饮水解困重点项目中实施。井位确定后,设计井深 700 m,施工人员踏勘后附近无供水设施,若采用常规钻进工艺,需要到很远的地方拉水,费事费力,而且费用极高。后来结合中国地质科学院勘探技术研究所当时搞的“干旱缺水地区水资源快速评价钻探技术的研究与开发”项目研究内容。先用气动潜孔锤揭穿上部含水层,后在该技术无法施工的条件下,换用气举反循环工艺成功解决了大段泥灰岩易坍塌、难以快速通过的问题,顺利钻至 700 m 后,由于该孔兼顾勘探孔性质,最终孔深加至 900 m,通过这一工艺方法连续取样,完全满足了地质判层要求。两种钻进工艺组合应用与常规方法相比:采用常规泥浆正循环工艺,每天用水至少  $140 \text{ m}^3$ ,当地施工用水 8 元/ $\text{m}^3$ ,若按 90 天来算至少需水费 10 万元,但采用多工艺空气钻进技术施工周期缩短了 50% 多,节约人工费 5~6 万元。洗井只用了 0.5 h 就满足了设计需求,而且也增大了出水量。取得的经济和社会效益十分可观,圆满完成了各项任务。

为了进一步推广两种钻进工艺组合应用取得的科研成果,山西省地勘局第三地质工程勘察院又在山西榆次乌金山森林公园旅游点钻凿 2 口水井,在多家竞标的情况下夺冠。这 2 口井设计深度分别为 300 m 和 700 m,两井相距 200 m,现场既没有水源又没有电源提供,如果拉水施工最近的水源也在 10 km 以外,当时正值冬季,即使条件具备,若采用常规工艺也需 2 个月。由于该院有先前两种工艺组合钻进施工的经验,所以在现场作出承诺,不用水,不用电,300 m 深的井保证 25 天完成,结果具体施工仅用了 18 天就完成了,建设单位赞不绝口,第二口井中不必再招标直接指定该院继续施工。在占领水井市场中,出现了非我莫属的局面,深深体会到市场竞争中科技含量的重要意义。也充分显示了两种工艺组合应用的“神威”。

#### 5 结语

气动潜孔锤及气举反循环两种钻进技术组合应用,施工周期短,相对消耗少,经济效益高,在干旱缺水地区施工,先用气动潜孔锤钻进工艺完成上部孔段,揭开含水层后,水位上升达到一定沉没比后换用气举反循环钻进工艺,均不用专门的供水措施,成本大大降低。可大幅度提高市场占有率,完成更多的项目施工任务,具有得天独厚的优势。而且气举反循环钻进岩屑上返速度快,判层及时准确,代替岩心编录,这也是替代取心钻进技术的发展方向。

两种钻进技术虽然前期投入较高,但其技术含量较大,面对激烈的市场竞争,充分展现了它的强大竞争力。该组合钻进技术不仅应用于水井、煤层气井、油田井,还可应用于其他相关的工程之中,用于某些不允许用水、无需专门取心的钻孔,可见,大力推广两项工艺组合应用的前景十分广阔。

### 勘探技术研究所钻头中心简介

钻头中心主要从事各种钻具、钻头的研究、开发和营销,自成立以来,依托雄厚的科技实力,先后研制成功了几十种大口径钻具与钻头,研制的 PZ 系列组合牙轮钻头和大口径无循环钻具分别荣获国土资源部科技成果二等奖,几年来产品直接创产值 2 亿多元;研制的 8 系列、12 系列镶齿滚刀畅销香港及东南亚、南亚地区,并成功地应用于直径 3000 mm、孔深 50 m、岩石硬度 100 MPa 的超深、超大口径、极硬地层钻孔中,在技术上实现了历史性的突破;近年来研制成功的与大型旋挖钻机配套的长短螺旋钻头、钻斗、筒式钻头、旋挖扩底钻头及用于深层搅拌的 SMW 工法钻具等产品,在内地大城市广泛使用的基础上,成功的应用于国家特大型工程——青藏铁路,该工地除少数几个单位使用随机配带的进口钻头外,90% 以上的钻机均配备了钻头中心所生产的钻具,打出了与进口钻头相当甚至于超过某些进口产品的好效果,成功地解决了世界难题——永冻土层的钻进问题,为国家节约了大量外汇,创造了很好的经济效益及社会效益。