

# 多工艺空气钻探技术在地热井开发中的应用

许刘万, 王艳丽, 殷国乐, 陈浩文

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**多工艺空气钻探技术在我国自“七五”期间开始, 经过数年来的研究创新, 发展到今天配套设备及器具日趋先进, 内容也更加丰富。尤其对加速地热资源开发利用, 保护环境以及低碳经济的要求, 均发挥了重大作用。本文结合生产实践, 在阐述了该技术的优点及其在地热井施工中推广应用情况的基础上, 介绍了多工艺空气钻探技术与地热井钻探设备的配套以及钻进工艺技术措施。

**关键词:**多工艺空气钻探; 地热井; 钻探设备; 配套

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0225-05

**Application of Multi-process Air Drilling Technology in Geothermal Well Exploration/XU Liu-wan, WANG Yan-li, YIN Guo-yue, CHEN Hao-wen** (Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Since the beginning of the 7th Five-year-plan period, by the research and innovation, multi-process air drilling technology has been developed to have increasingly advanced equipments in China. This technology has played an important role in accelerating the development and utilization of geothermal resources, protecting the environment and realizing low-carbon economy. Combining with the production practice, on the basis of the elaboration of the advantages of this technology and its application in geothermal well construction, the paper introduces the matching of multi-process air drilling technology and geothermal well drilling equipments as well as drilling technical measures.

**Key words:** multi-process air drilling; geothermal well; drilling equipment; matching

## 1 概述

实践证明多工艺空气钻探技术具有许多优越性, 在各类钻探施工中针对适应地层首选此种工艺, 特别是在干旱缺水区域施工发挥的作用更大。在地热井钻探市场竞争十分激烈的情况下, 拥有先进的钻探设备和与之配套的多工艺空气钻探技术, 就会在市场竞争浪潮中占得先机。

根据未来地球可持续发展来看, 呼唤着人类由工业文明向生态文明的转变, 而这个转变的核心是新能源革命, 要告别黑色、高碳转向环保绿色、低碳。能源结构由目前的化石能源为主, 将逐步转化为以水电、太阳能、风能、生物质能、海洋能、地热能等非化石能源(可再生能源)为主。地热资源的特点是储量大、分布广、具有清洁环保、用途广泛、稳定性好、可循环利用, 而且与风能、太阳能相比, 不受季节、气候、昼夜变化等因素影响, 所以是一种现实生活中竞争力很强的新能源。我国地热资源的分布共有3种类型。

### (1) 浅层地热能。

收稿日期: 2016-07-19

**作者简介:**许刘万, 男, 汉族, 1954年生, 教授级高级工程师(二级), 中国地质科学院创新基地首批成员, 全国水井钻机情报网首席顾问, 河北省科技奖励专家库成员, 北京市科委专家信息库成员, 国土资源科学技术奖评审专家库专家, 探矿工程专业, 一直从事水文水井、工程钻探设备、各类钻具及钻探工艺的研究、推广配套工作, 河北省廊坊市金光道77号, xuliwan@126.com。

按资源品质分为适宜区、较适宜区、较不适宜区、不适宜区4类。其中资源利用条件好的适宜区主要分布在东北地区南部、华东地区、江淮流域、四川盆地。是地热资源的一部分, 也是一种特殊的矿产资源, 其能量主要来源于太阳辐射与地球梯度增温。

### (2) 中深层地热。

按实际应用分为: 高温对流型地热源, 主要分布在滇藏及台湾地区; 中低温对流型地热源主要分布在东南沿海和胶辽地区; 中低温传导型地热源主要分布在大中型沉积盆地, 潜力巨大, 是目前地热能开发利用的重点。

### (3) 干热岩。

此能源主要分布在西藏, 其次为云南、广东、福建等东南沿海地区, 山东、陕西局部地区也有分布, 是一种不含水或蒸汽的热岩体, 主要是各种变质岩或者结晶岩类的岩体, 普遍埋藏于距地表2~6 km的深处, 其温度范围在150~650℃。

从地热资源的开发利用来看, 主要分为发电和直接利用2个方面, 地热资源以其平均利用系数最

高,具有清洁可再生的优势,将成为一种有竞争力的低碳新能源。在开发地热资源中,常规的地热井施工周期长、风险大、成本高,对于施工单位来说,采用多工艺空气钻探技术是最有效的途径。

## 2 多工艺空气钻探技术的优点及推广应用状况

### 2.1 多工艺空气钻探技术的优点

目前地热井施工除泥浆正循环外,近年来已转向以气动潜孔锤和气举反循环钻进工艺为主,其原因是正循环泥浆钻进需配大功率的泥浆泵,而且机台还需配专门的泥浆搅拌和处理系统,特别是泥浆对钻井的出水量影响很大,洗井困难。另外,遇到孔内漏失钻进困难时会耽误工程进度。而多工艺空气钻探技术已被实践证明具有许多优越性,所以在地热井施工领域受到大家的青睐,其技术优点主要表现在以下几个方面。

(1)空气取之不尽,气液混合介质易制备,利于在干旱缺水、严寒冰冻、供水困难地区钻探施工,可大大减少用水成本。对气动潜孔锤钻进而言,压缩空气除在孔内循环外,还可作为动力源实现冲击回转,提高基岩钻进效率。

(2)高压空气在钻孔内流速快,能迅速将岩屑排到地表,并可及时判明地层情况。气液混合介质(气水混合、泡沫、充气泥浆等)密度低,可明显降低井底的压力,能有效提高钻进速度,成井质量高。

(3)气动潜孔锤钻进循环方式可以因地制宜,采取正循环或者反循环。当用气举反循环钻进时,能够满足大口径和深井施工要求,解决许多钻探技术难题。

### 2.2 取得的科研成果及推广应用领域

多工艺空气钻探技术以勘探技术研究所为依托,经过多年来的努力取得了多项科研成果,主要有:国家发明奖1项,国家教委科技进步二、三等奖4项,省部级科技进步和成果一、二等奖17项,三等奖7项,国家专利20余项。推广应用领域以水井、地热井为主,现已发展到煤层气井、瓦斯排放井、煤矿通风井、矿山抢险救援井、太阳能井、地源热泵井、回灌井、小口径空气反循环连续取样钻进以及超深井通井、洗井、修井等领域。

### 2.3 地热井施工应用成效

多工艺空气钻探技术通过多年来的宣传推广以及经验交流,在地热井施工中发挥的作用越来越大,特别是在近年来国家对地热开发力度的加强,地热能

产业已经壮大成为新兴产业。目前除对查明的地热能资源合理开发利用进行产业布局外,还制定优惠政策及相应法规推进,大力开展科技创新,突破技术瓶颈。而且还推广废弃油井改造为地热井技术,使得宝贵的地热资源利用达到最大化。在这种情况下,地热井施工技术就显得十分重要,尤其近年来施工队伍不断增加,市场竞争也非常激烈,在一些地热井施工招标中采用多工艺空气钻探技术已成为先决条件,这充分体现了此项技术在地热井施工中的重大作用。我们也通过国内应用比较好的施工单位产生的成效进行说明,以利于我国自北向南的大地热带开发利用。

(1)北京市地质工程勘察院是国内较早使用多工艺空气钻探技术的单位。在非洲马里、布基纳法索、加纳、埃塞俄比亚、玻利维亚等国采用气动潜孔锤钻进技术施工水井5000多眼。在北京施工了2000多眼地热井、供水井,深井施工主要采用气举反循环钻探工艺,地热钻井深度达到4200 m,创全国之最。

(2)贵州省地矿局111地质大队2016年在地热井施工中采用气动潜孔锤与气举反循环钻进方法,气动潜孔锤用于上部基岩地层,钻进效率高,气举反循环主要用于深孔,解决岩屑上返困难,孔内漏失严重、涌水等复杂地层钻进。2种工艺技术在该队钻探施工中均得到广泛应用且效果很好,现已在全省地热井施工中推广应用。2007年以前,该队主要运用常规泥浆钻进工艺施工地下水井、地热井,一般供水井成井周期均在1个月甚至更长,地热井成井周期也在半年以上。自从引进多工艺空气钻探技术以后,一般供水井成井周期缩短到10天甚至更短,地热井成井周期3~4个月,不仅大大提高了钻探效率,还降低了钻探成本,经济效益和社会效益十分显著。

(3)河北腾飞太行井业有限公司自2009年开始在地热井施工中应用气举反循环钻进技术(见图1、图2),在山西太谷、太原、黎城,河南新密,辽宁喀左,吉林白城,内蒙古赤峰,江苏南京,新疆,贵州等地热井施工中发挥了重要的作用。由于施工周期短、钻头寿命长、不用泥浆材料,施工成本与正循环泥浆钻进相比可节约1/3,使得该公司在市场竞争中始终处于优势地位,特别是在一些特殊地层和探采结合井施工中,甲方、业主为了提高出水温度和出水量,招标就要求采用多工艺空气钻进方法。近年来他们采用多工艺空气钻探技术施工,既取得了明

显的经济效益又增加了知名度,故在全国地热井施工中树立了典型,也成为河北省钻井协会先进单位,各地多工艺空气钻探技术培训特邀贵公司作经验介绍。



图1 地热井气动潜孔锤钻进施工现场



图2 地热井气举反循环钻进施工现场

### 3 多工艺空气钻探技术与地热井钻探设备配套

多工艺空气钻探技术设备配套,除根据钻孔深度、孔径、地层情况、钻进工艺及地热层的温度、压力等条件考虑适宜的钻机能力外,还要考虑多工艺空气钻探技术特点对钻机的要求,只有依靠先进的设备技术性能,才能很好地实现多工艺空气钻探技术有机的结合。

#### 3.1 钻机

对于深层地热井施工,钻机选配主要以石油钻机和地质厂家水源深井散装转盘钻机。当孔深在1500~3000 m时可选用地质厂家生产的钻机,超过3000~4500 m时就要考虑选用石油钻机。另外,随着钻探设备及工艺方法的迅速发展,大吨位全液压力头模块化钻机,也已成为地热井市场竞争能力比较强的钻井设备。目前在国内除了德国宝峨公司生产的RB-T100型钻机外,北京天和众邦勘探技术股份有限公司研制的CMD-150、CMD-180型钻机也相继进入到地热井市场,供用户选择。

目前,用户对地热井钻机的选择还认识不一,现就这2种类型钻机的优缺点做一分析,以便用户选

购钻机时参考。

#### 3.1.1 散装转盘钻机的优缺点

优点:结构简单,使用维护方便。强度高,能力大,可以实现每次提下3个单根组成的立根,提下钻效率高。可配套液压盘式刹车、交流变频驱动等液压和电气装置。操作使用要领易掌握且简单,运行成本低,配套相对容易。

缺点:钻进必须使用主动钻杆,因而每次加接钻杆过程繁琐。钻机使用范围小,搬迁运输需要多辆大卡车,安装拆卸费时费力,占地面积相对较大。

#### 3.1.2 大吨位全液压力头模块化钻机优缺点

优点:全液压力头综合了转盘钻机水龙头和方钻杆全部功能,结构紧凑。传动链集中,没有复杂的齿轮、链轮等传动、变速、变向等机构,使钻机整体结构简洁。提下钻简单方便,处理孔内事故时,起拔、回转、循环可同时工作,回转、提升速度可控制,大大提高了处理孔内事故的能力。施工现场占地面积小,搬迁运输方便,自动化程度高,工人劳动强度低。另外,钻机的综合功能强,适应范围广。

缺点:提下钻一般为单根,相对慢一些。钻机操作复杂,对司钻人员能力要求高,维修相对转盘钻机要难,造价高。

2种类型的钻机各有利弊,要根据施工要求综合考虑来选择。这2种类型钻机匹配多工艺空气钻进都可满足,当需要反循环钻进时,配套双壁钻具只是气盒子有所区别。不同钻机结构如图3~5所示。



图3 地热井施工中的散装转盘钻机应用现场

#### 3.2 空气压缩机

气动潜孔锤钻进可根据钻孔口径、深度、孔内情况选用市场上常用的进口螺杆式空压机,风量30~38 m<sup>3</sup>/min,压力24~28 MPa,一般配套2台就可满足。



图4 宝峨 RBT-100 型全液压力头钻机  
(在贵州省地矿局 111 地质队地热井施工现场)



图5 北京天和众邦研制的 CMD-150 型  
大吨位全液压力头模块化钻机

气举反循环钻进地热井用空压机不同于气动潜孔锤钻进用空压机,要求高压、低风量,一般选择风量  $10 \sim 16 \text{ m}^3/\text{min}$ ,压力  $6 \sim 15 \text{ MPa}$  的国产活塞+螺杆复合式空压机即可。空气泡沫钻进复杂地层深孔,可借用气举反循环用空压机即可满足要求。

### 3.3 钻具

多工艺空气钻探技术在地热井施工中已占有主导作用,上部稳定基岩地层采用气动潜孔锤正循环钻进,若孔内遇水背压大时,下部基岩地层用气举反循环钻进,发挥各自的优势。气动潜孔锤正循环钻进使用常规单壁钻具,选配性能可靠的气动冲击器。气举反循环钻进下部除连接常规的单壁钻杆、钻铤,扶正器外,还需配套结构性能先进、寿命长、维护保养方便、质量可靠的双壁钻具,这是决定多工艺空气钻进成败的关键,一定要慎重选配,注意各自工艺技术要求,操作注意事项。

### 3.4 其他辅助器具

(1)为满足环保要求,正循环潜孔锤钻进需按钻孔直径及配套的钻杆选配孔口密封装置,石油钻杆需配套带补偿的孔口密封装置。

(2)若因地层需要反循环气动潜孔锤钻进时,一定要配特殊除尘装置。

(3)正反循环气动潜孔锤钻进时泡沫泵配套:随高压空气向钻孔内输送泡沫液,一可辅助排渣、降低粉尘污染,二可以润滑气动潜孔锤零部件,减少潜孔锤故障的排除。另外,也要在空气管路上增加注油器,使润滑油随高压空气进入潜孔锤部件,提高寿命。

(4)专用浮阀接头配套:气动潜孔锤正循环钻进除保护冲击器外,关键能缩短送气时间,降低空压机油耗。

(5)气动潜孔锤卸扣器配套:气动潜孔锤使用后丝扣越来越紧,在需要更换锤头、内部零部件保养时,施工现场很难卸开。往往现场通过氧气烤、大锤砸、冲击器外管和前后接头上焊块等方式,有时虽能卸开,但对气动潜孔锤造成严重损坏。为现场方便拧卸气动潜孔锤,配套专业的卸扣器,可降低工人的劳动强度、减少辅助时间,延长气动潜孔锤使用寿命,保证正常施工。

(6)气举反循环钻进时反循环连续取样排渣装置配套:可及时判断地层情况,既环保又安全。

## 4 地热井多工艺空气钻探技术应用

开展该技术应用,对加速改变地热井钻探施工使用泥浆正循环钻进落后局面、解决复杂地层正循环无法实现钻进难题、提高钻进效率、推进地热产业化有着非常重要的意义。从全国地热井钻探市场发展情况看,在此领域推广应用,已引起了施工单位的高度重视,并积极组织推广应用。

目前应用的方式主要以气动潜孔锤钻进和气举反循环钻进组合应用。与常规钻探技术相比,气动潜孔锤钻进效率可提高十几倍,气举反循环钻进效率可提高  $2 \sim 3$  倍,钻探成本可降低  $50\%$  以上,完全能满足提高钻效、降低施工成本、缩短施工周期的要求。2种钻进技术组合应用,均经过实践检验为成熟技术。针对地热井不同深度、地层和岩性,形成了适合不同热储类型的井身结构优化设计,多工艺空气钻井、热储层物理录井、测井及有效储层评价等地热钻井、成井工艺技术体系。国内地热井井身结构设计见图6。

根据井身结构设计,依据地层情况,可灵活选用工艺方法,若覆盖层很浅,就可以直接采用气动潜孔锤钻进,当遇钻孔内有水背压大时,便可更换为气举

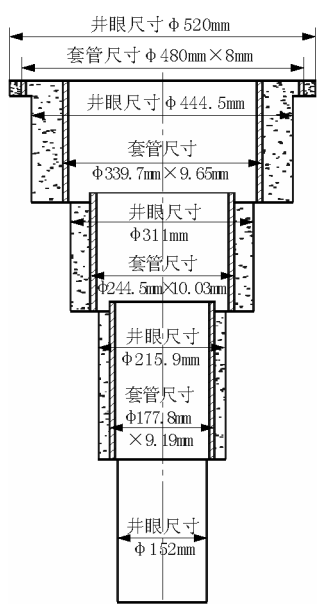


图 6 国内地热井施工井身结构设计

反循环钻进直到终孔。地热井多工艺空气钻进常见钻具组合如表 1、表 2。

表 1 气动潜孔锤钻进钻具组合

钻孔直径/mm	钻具组合
$\geq 445$	$\phi 445$ mm 锤头 + 1/2 in 潜孔锤 + $\phi 203$ mm 钻铤 + $\phi 178$ mm 钻铤 + $\phi 127/140$ mm 钻杆
311	$\phi 311$ mm 锤头 + 12 in 潜孔锤 + $\phi 203$ mm 钻铤 + $\phi 178$ mm 钻铤 + $\phi 127/140$ mm 钻杆
216	$\phi 216$ mm 锤头 + 8 in 潜孔锤 + $\phi 159$ mm 钻铤 + $\phi 127$ mm 钻杆

表 2 气举反循环钻进钻具组合

钻孔直径/mm	钻具组合
311	$\phi 311$ mm 牙轮钻头 + 扶正器 + $\phi 203$ mm 钻铤 + $\phi 178$ mm 钻铤 + $\phi 89/127$ mm 单壁钻杆 + 气水混合器 + $\phi 127$ mm 双壁钻杆 + $133$ mm $\times$ $133$ mm 双壁主动钻杆 + 气盒子 + 水龙头
216	$\phi 216$ mm 牙轮钻头 + 扶正器 + $\phi 159$ mm 钻铤 + $\phi 89/127$ mm 单壁钻杆 + 气水混合器 + $\phi 127$ mm 双壁钻杆 + $133$ mm $\times$ $133$ mm 双壁主动钻杆 + 气盒子 + 水龙头
152	$\phi 152$ mm 牙轮钻头 + 扶正器 + $\phi 121$ mm 钻铤 + $\phi 89$ mm 单壁钻杆 + 气水混合器 + $\phi 127$ mm 双壁钻杆 + $133$ mm $\times$ $133$ mm 双壁主动钻杆 + 气盒子 + 水龙头

如果覆盖层较深, $\phi 445$  mm 钻孔段可采用常规正循环钻进完成,达到基岩面后可利用气动潜孔锤工艺施工,水大时可更换为气举反循环钻进工艺。总的来说,工艺的选择要依据地层条件确定。若是全液压力头钻机,气举反循环钻具就不需配套双壁主动钻杆,动力头下直接连接带有锁紧装置的气盒子便可。

## 5 结语

随着国民经济建设的迅速发展及科学技术进步,能源的需求越来越重要。地热资源是一种无污染的清洁能源,在石油、煤炭等传统能源逐渐枯竭的情况下,地热资源将成为未来缓解能源危机的一个重要途径之一。地热资源与其他可再生能源相比,具有稳定高效的独特优势。为优化能源结构、防治大气污染,改善人民生活,促进经济社会生态环境科学协调发展,搞好地热资源开发利用钻探工作是关键。多工艺空气钻探技术作为高效钻进技术,现已成为这一领域推广应用的重点,由于此项钻探技术在地热井施工中优越性突显,已得到大家公认。同时也引起了钻探界各级领导的高度重视,积极组织推广应用。我们相信在地热钻探界同仁的共同努力下,地热产业一定会蓬勃发展。

## 参考文献:

- [1] 莫日和,郭本广,孟尚志,等. 空气钻井技术在柳林煤层气井的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2):35-38.
- [2] 许刘万,刘智荣,赵明杰,史兵言,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] 许刘万,史兵言,赵明杰. 反循环气动潜孔锤的研制及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(4):31-34.
- [4] 陆文祥. 空气潜孔锤钻进方法在施工中的应用[J]. 江西煤炭科技,2009,32(1):46-47.
- [5] 大力推广气动潜孔锤及气举反循环组合钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):41-45.
- [6] 付兵,邱太宝,成体海. 潜孔锤钻进技术在深厚砂卵石层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(1):42-43,49.
- [7] 李英辉. 空气反循环钻进的实践与探索[J]. 地下水,1991,(3):138-141.
- [8] 鞍钢矿山研究所. 国外潜孔风动冲击器[M]. 北京:冶金工业出版社,1980.
- [9] 耿瑞伦. 应用空气钻进技术钻采地下水[C]//严重缺水地区地下水勘察论文集. 北京:地质出版社,2003.
- [10] 史亚楠,刘庆礼,张西坤,等. 水井钻机的选型与配套[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):27-32.
- [11] 许刘万. 水文水井钻探工艺及设备发展情况[J]. 地质与勘探,2000,(4):86-88.
- [12] 臧臣坤,张金昌,冯起赠. 全液压力头水井钻机国产化若干问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2):12-15.
- [13] 李旭文,王亚平,张志斌. RPS3000 地热水井钻机特点分析[J]. 地质装备,2005,(3):7-8.
- [14] 郑克桢. 北京地热田水位动态预测[J]. 工程勘察,1993,(3):23-26.
- [15] 徐继刚,梁元申. 关中盆地地下热水的类型和特征[J]. 水文地质工程地质,1984,(2):25-28.
- [16] 邵俊琪. 天津市地热井钻进与成井工艺[J]. 探矿工程,2001,(S1):202-204.
- [17] 王永全,许刘万. 气举反循环钻进技术在地热深井施工中的应用[J]. 探矿工程,2001,(S1):212-214.
- [18] 李震. 福州市地下水热资源规划与可持续发展战略[C]//21世纪中国地热可持续发展论文集. 2000:49-55.