

FD-600 型全液压动力头反循环 连续取样钻机的研制与应用

刘智荣¹, 伍晓龙², 王庆晓²

(1.西北综合勘察设计研究院, 陕西 西安 710003; 2.中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 文章结合国内外 CSR 取心技术的现状和所生产钻机的特点, 为满足国内对空气反循环连续取样(心)、冲击回转、定向钻进等多种高效钻探工艺对钻机的需要, 从钻机整体结构设计、整体布局进行详细考量, 采用质量可靠的液压件、动力机等外购件, 摒弃传统钻机设计周期长、动力小、机械化程度低、对地形和钻探工艺适应性低等特点, 研制出了一台高效、可靠、机械化程度较高的 FD-600 型全液压动力头式反循环取样钻机。在 3 次野外生产试验中充分体现出了优越性, 可满足砂金勘探、工程施工等取心钻探的要求。

关键词: 全液压动力头钻机; 履带式; 空气反循环; 连续取样; 潜孔锤; 多工艺钻进

中图分类号: P634.3⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)03-0062-06

Development and Application of FD-600 Full Hydraulic Power Head Reverse Circulation Continuous Sampling Drill/ LIU Zhi-rong¹, WU Xiao-long², WANG Qing-xiao² (1. Northwest Research Institute of Engineering Investigations and Design, Xi'an Shaanxi 710003, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Combining with the status quo of CSR coring technology both in China and abroad as well as the characteristics of drilling rig production, in order to meet the drilling rig requirements in China for matching air reverse circulation continuous sampling (coring), impact rotary drilling, directional drilling and other efficient processes, an efficient and reliable high-degree mechanization FD-600 type hydraulic power head reverse circulation sampling drill is developed, its overall structure and layout are designed in detail and the reliable purchased components such as hydraulic parts and engine are used, the drill reflects the superiority in 3 field production experiments and it shows that this drill can meet coring drilling for placer gold exploration and engineering construction.

Key words: full hydraulic power head drill; crawler type; air reverse circulation; continuous sampling; DTH hammer; multi-process drilling

随着社会的进步及全球人口的增加, 人类对矿产资源的的需求量将会进一步增加。与人类生存有密切关系的矿产资源的供给与补充对人类未来能否更好地生存显得尤为重要。近几年随着国家勘探任务的增加, 各种先进的技术装备与工艺, 在我国得到了大量的应用与推广, 如金刚石绳索取心方法等, 但 CSR 钻探方法在我国一直未得到广泛的应用与推广。CSR 钻探技术未能在我国推广的原因, 一方面是我国在地质方面没有统一的标准, 另一方面我国还没有一系列的专门用于 CSR 钻探方法的钻探设备与钻具。因此为丰富我国的钻探技术方法, 更好

的为地质找矿服务, 进行反循环取样钻探装备及钻探工艺技术研究, 研制一整套专门用于 CSR 钻探技术的钻探设备与钻具, 使之系列化, 是当前必须解决的重大技术问题。在《国务院关于加强地质工作的决定》(国发[2006]4 号) 出台之后, 中国地质科学院勘探技术研究所顺应国家政策, 立项开展空气反循环取样钻探装备及钻探工艺技术研究, 使之系列化、产品化, 无论是提升我国的钻探技术水平还是满足资源勘探的迫切需求都是非常必要的; 对缓解目前资源短缺制约我国经济发展的“瓶颈”、发现新的矿产地、拓展新的找矿空间实现资源可持续发展意义

收稿日期: 2017-11-16; 修回日期: 2018-02-07

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“空气反循环取样钻探技术示范应用推广”(编号: 12120113096800)

作者简介: 刘智荣, 男, 汉族, 1967 生, 高级工程师, 主要从事基础工程设计与施工及钻探新技术、新工艺、新设备的开发研究工作, 陕西省西安市习武园 9 号, dmgy040919@126.com; 伍晓龙, 男, 汉族, 1987 年生, 机械设计制造及其自动化专业, 从事岩石钻探设备设计制造及国家地质勘探科研项目研发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, wxl1987516@163.com。

重大。

1 研究现状

1.1 国外研究现状

20 世纪 70 年代初,美国首先在砂金矿的勘探工作中应用 CSR 技术,通过大量试验,成功解决了常规钻探方法在砂金矿勘探中取样难、采样质量低的难题,且大大提高了效率,降低了成本,因此被推广并应用于其他固体矿产勘探。80 年代后期,CSR 钻探在美国、加拿大、法国等西方工业发达国家得到广泛应用,其矿产勘探工作量的比重超过 60%,完成的工作量已超过金刚石钻探工作量。由此可知,CSR 钻探工艺在国外特别是西方发达国家是一套技术成熟并已经得到全面推广的钻探工艺技术。

随着 RC 钻探技术的发展,根据地质条件的不同,钻探设备类型、钻具组合得到不断发展与完善。现在加拿大 DRLL-SYSTEMS 公司、美国公司、法国 VPRH 公司都大量生产反循环取样钻机,钻机钻深能力 200~1000 m,产品都已经标准化、模块化、系列化。这些钻机都采用全液压顶驱式(动力头钻机),其设计为模块化、全液压、多功能,代表了最新的发展潮流。具有长行程给进、无塔升降钻具、无级调速、机械化程度高、配套器具齐全、生产效率高等优点,其特点是回次进尺长、自动化、机械化程度高。如 ATLAS 的 R50\R220 钻机,加拿大的 CSR-1000V 钻机等。

通过调查与研究不难发现,国外 RC 钻探机械装备的整体现状与发展趋势主要有以下特点:(1)钻机都采用全液压顶驱式(动力头钻机),具有回次进尺长、自动化、机械化程度高;(2)钻机具备一机多能,除应用于反循环中心取样工艺外,大多数能进行水井施工,适合空气正反循环、气举反循环等水井施工工艺;(3)愈来愈多地采用拼装式设计(Component Design),便于变形设计派生产品,便于产品系列化。

1.2 国内研究现状

我国曾在 80 年代中期从加拿大 DRLL-SYSTEMS 公司及美国 INGERSOLL-RAND 公司分别引进了 CSR-1000AV 型钻机及 TH-100 型钻机,分别在山东、宁夏等地进行了试验并取得了良好的效果^[13]。地矿部在“八五”期间研制了一台 300 m 全液压反循环中心取样钻机,但由于受当时我国

液压件类型及质量的影响,钻机在使用过程中各动作的控制精度低,操作性差,液压元件易漏油、损坏,维修成本大等缺点,使得钻机整体质量不是很高。

2 研究的内容

为满足空气反循环连续取样(心)、冲击回转、定向钻进等多种高效钻探工艺钻进的需要,研制了 FD-600 型高效、全液动力头式反循环取样钻机。主要研究内容有:

- (1)钻机整体布局模块化结构设计;
- (2)钻机动力头结构设计;
- (3)钻机给进、提升机构结构设计;
- (4)钻机桅杆部分结构设计;
- (5)钻机液压系统原理设计;
- (6)底盘结构设计;
- (7)卸扣机构及孔口结构设计;
- (8)钻机行走机构及其它辅助结构设计;
- (9)钻机配套钻杆(双壁钻杆)、钻具(潜孔锤)及辅助工具的结构设计;
- (10)进行野外实际生产试验,检验钻机各项性能指标,并对钻机进行合理的修改与完善,使其适合相应的钻探工艺,进而达到高效生产的目的。

3 FD-600 型钻机结构及性能特点

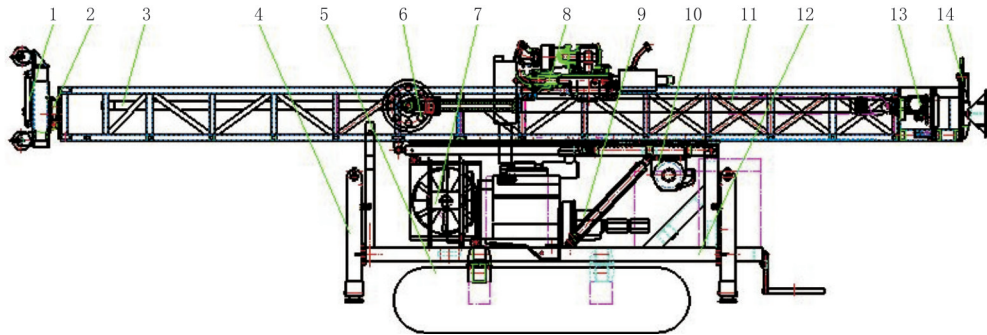
3.1 钻机主要结构设计

3.1.1 钻机整体结构

钻机整体结构见图 1。该钻机主要由塔顶吊车、主桅杆、桅杆支座、给进机构、动力头、液压系统、底盘、行走机构、操作台、卸扣夹持器等模块化部件组成。动力系统配有柴油机,行走机构通过无线遥控履带行走,可适应多种工作环境。

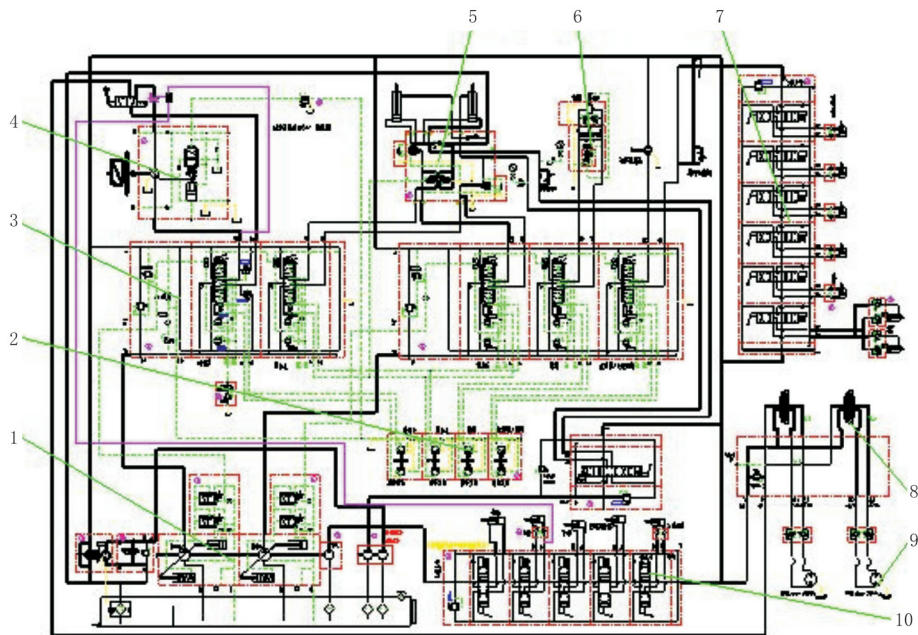
3.1.2 钻机液压系统

钻机液压系统见图 2。主要元件如液压泵、回转变量马达、主控制阀等部位液压元件均采用优质进口件,其他各元件也都采用国内名牌厂家元件,确保系统元件质量。液压油泵采用负荷敏感泵,该泵能够对系统的流量压力需求的变化做出正确响应,减小功率损失,满足工作要求;回转变量马达能够对动力头的输出转速从 0~140 r/min 实现无级调速,满足各工况对转速的需求;主阀采用负荷敏感阀可对各主要动作实行精确控制,满足多个主要动作在同负载下工作等特点,增加钻进过程的安全性。



1—塔顶吊车;2—回转式减速度器;3—桅杆;4—支腿油缸;5—行走履带;6—给进滑轮;7—发动机;8—动力头总成;9—液压油泵;10—吊车卷扬机;11—给进油缸;12—底盘;13—夹持器;14—孔口板

图1 FD-600型钻机结构示意图



1—液压泵及油箱;2—先导阀组;3—主阀组;4—回转马达;5—给进油缸阀组;6—卷扬机阀组;7—辅助阀组;8—行走阀组;9—行走马达;10—辅助阀组

图2 液压原理图

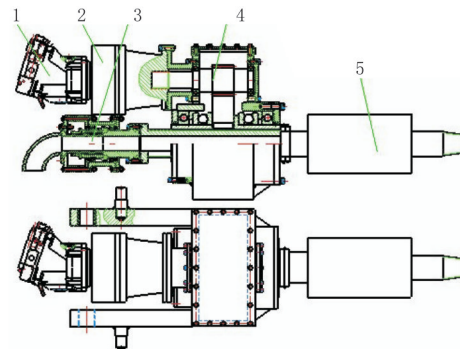
3.1.3 钻机动力头结构

动力头作为钻机的核心部件之一,其主要功能是为孔内钻杆和钻具回转提供所需的转矩和转速,实现孔底钻头通过连续旋转破碎岩石并连续延伸钻孔的目的。本动力头设计包含水龙头、传动机构、气盒子等。采用一级齿轮传动,通过变量回转马达+减速器直接驱动小齿轮,结构简单可靠;各齿轮、轴承等受力零件通过 SolidWorks 进行分析计算均满足强度要求,结构如图3所示。

3.2 钻机主要特点

(1)模块化设计。各部件组装、分解简便,衍生系列产品快,设计工作量小,生产周期短。

(2)动力强。配备康明斯194 kW 6缸发动机,



1—回转马达;2—减速器;3—水龙头总成;4—齿轮箱总成;5—气盒子

图3 动力头结构图

采用全液压驱动,保证施工所用动力充足。

(3)机械化程度高,辅助时间少,劳动强度低。

配备塔顶工具绞车,方便起吊钻具、加装钻杆等;配有孔口卸扣器,便于卸开钻杆,避免因长时工作的钻杆连接扣预紧力过大,出现卸不开的现象;钻塔采用整体结构,给进行程长(6900 mm),一次可提升 6 m 长的立根;配有行走履带,开钻速度快。

(4)操作安全简便,事故率低。各动作采用液压阀直接控制,便于操作;无主动钻杆,配有快速提升机构,在遇见卡钻、埋钻等事故时,加快处理速度;钻机电、液仪表齐全,可实时观察设备运行情况,在关键部位如液压油箱、柴油箱安装自动报警装置,便于保护发动机和液压系统,减少人为事故的发生。

(5)适应性和安全性强。液压系统中设计有加、减压钻进、自重钻进、称重、快速给进提升等工作状态;底盘上安装有泡沫泵,可进行空气泡沫钻进,注油器能够润滑锤体内部,实现锤的高效钻进;桅杆角度可调,能钻进 $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的孔;从而可满足不同地层,不同钻孔和钻探工艺需要,同时配备的无线遥控控制可变速履带行走系统,增加钻机对地形的适应性及操作、运输人员的安全性。

(6)标准化程度高。在钻机设计中大量选用标准件、通用零部件,利于组织生产,降低成本,便于维修。

(7)工艺适应性强。该钻机能够适应泥浆正循环钻进、空气反循环潜孔锤钻进、空气牙轮钻进、气举反循环钻进等工艺,各工艺变换较快。

4 FD-600 型钻机主要技术参数

- (1)钻进能力: $\varnothing 89$ mm 双壁钻杆钻进 600 m;
- (2)提升能力: 350 kN;
- (3)扭矩: 10000 N·m;
- (4)转速: 0~142 r/min;
- (5)钻进倾角: 45° ;
- (6)桅杆结构: K 型;
- (7)给进行程: 6900 mm;
- (8)柴油机功率: 194 kW@2500 r/min;
- (9)系统压力: 31 MPa;
- (10)工具卷扬: 提升力 20 kN, 钢丝绳直径 12 mm, 容绳量 35 m;
- (11)行走方式: 履带式;
- (12)外形尺寸: 10.5 m \times 2.2 m \times 3.3 m (长 \times 宽 \times 高);
- (13)总质量: 14 t。

5 钻具研制

针对钻机结构,我们为该机配备有如下主要钻具:

(1)加长型保护接头,能够保护钻机主轴丝扣的同时方便加接钻杆。

(2)气盒子,实现气路转换,打压试验达到 5 MPa。

(3) $\varnothing 89$ mm 外平双壁钻杆,长 6 m,壁厚 9.35 mm,打压密封性达到 10 MPa。

(4)KFQC-335、KFQC-345 型中空式气动潜孔锤。该类型潜孔锤能量消耗低,冲击能量大,能量传递效率高;排屑能力强,钻进效率高;结构比较简单,维护保养方便。两种潜孔锤的参数如表 1 所示。

表 1 所采用的潜孔锤的技术参数

潜孔锤型号	外径/ mm	钻孔直径/ mm	风压/ MPa	风量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)
KFQC-335	90	95~105	0.7~2.1	4.2~11.7
KFQC-345	105	110~130	0.7~2.1	5.7~14.7

为更好的配合钻机试验,我们也配备了一些辅助型钻具,如:交叉接头、正循环潜孔锤、正循环封堵器、牙轮钻头等,确保钻机配套工艺试验顺利进行,又能满足多种工艺的钻进,真正检验钻机的各项性能指标。

6 野外生产试验

FD-600 型全液压力头反循环连续取样钻机的野外实际生产试验主要分为 3 个阶段,第一阶段 2013 年 11 月—2014 年 1 月在河北邢台朱庄水库;第二阶段 2014 年 10—11 月在新疆哈密红石矿区;第三阶段 2015 年 4—5 月在黑龙江黑河。共完成钻探工作量 1700 m。现就各个阶段试验情况和取得的数据介绍如下。

6.1 第一阶段(河北邢台)

本次试验(见图 4)主要验证钻机的整体性能以及钻机和钻具匹配的合理性。试验过程主要以空气反循环潜孔锤钻进、空气反循环牙轮钻进为主。开孔时采用 $\varnothing 168$ mm 正循环气动潜孔锤钻进,钻进深度 43 m,之后下 $\varnothing 146$ mm 套管,下完套管后采用 KFQC-345 型冲击器进行空气反循环钻进。钻具组合为:气盒子 + $\varnothing 89$ mm 外平双壁钻杆 + KFQC-345 型冲击器 + $\varnothing 120$ mm 冲击锤头。钻进到 154.87 m 后由于地下水量过大,潜孔锤工作效率严

重下降甚至出现不工作情况而改为空气反循环牙轮钻进。空气反循环牙轮钻进钻具组合为:气盒子+ $\text{O}89\text{ mm}$ 外平双壁钻杆+空气反循环导流罩接头+ $\text{O}114\text{ mm}$ 三牙轮钻头。当钻进到孔深265.20 m时空压机的风量随着钻孔深度的加深而不能将孔底的岩屑及时排出,若继续进行施工,岩粉会沉积越来越多,稍一停滞则会造成岩粉埋钻事故。最后我们采用气举反循环钻进,钻具组合为:气盒子+ $\text{O}89\text{ mm}$ 外平双壁钻杆+气水混合器+ $\text{O}89\text{ mm}$ 外平双壁钻杆+空气反循环牙轮钻接头+ $\text{O}114\text{ mm}$ 三牙轮钻头。从孔深265.20 m一直钻进至终孔深度472.35 m(设计孔深400 m)。



图4 河北邢台朱庄水库试验场景

6.2 第二阶段(新疆哈密)

本次试验(见图5)主要验证钻机改进后托架、夹持器、水龙头以及双壁钻具改进后的性能。试验过程主要以空气反循环潜孔锤钻进为主,完成2个设计钻孔,开孔时均采用 $\text{O}168\text{ mm}$ 正循环气动潜孔锤钻进,钻进至基岩后下入 $\text{O}146\text{ mm}$ 套管,后采用KFQC-345型冲击器钻进。钻具组合为:气盒子+ $\text{O}89\text{ mm}$ 外平双壁钻杆+KFQC-345型冲击器+ $\text{O}120\text{ mm}$ 冲击锤头。共完成孔深225.78和224.35 m钻孔两个。



图5 新疆哈密红石矿区试验

6.3 第三阶段(黑龙江黑河)

该次试验(见图6)是在前两次试验的基础上验

证钻进和钻具完善后的整体性能,试验过程主要以空气反循环潜孔锤钻进为主,完成10个设计钻孔,开孔时均采用 $\text{O}168\text{ mm}$ 正循环气动潜孔锤钻进,钻进至基岩后下入 $\text{O}146\text{ mm}$ 套管,后采用KFQC-355型冲击器钻进。钻具组合为:气盒子+ $\text{O}89\text{ mm}$ 外平双壁钻杆+KFQC-355型冲击器+ $\text{O}120\text{ mm}$ 冲击器锤头。共完成10个设计钻孔,完成的最大孔深115.2 m,最小孔深84.5 m,每个钻孔均在10 h内完成,充分体现了该种工艺的优越性并对钻机进行了充分的考验。



图6 黑龙江黑河矿区试验

上述3次试验地层均以岩石为主,刚好适合潜孔锤钻进,若采用常规岩心钻机进行取心施工,施工条件要求较高,需要有泥浆池、周围有水源,在无源地需要拉水或是打水井,施工场地的移位较繁琐、施工效率低。施工过程中针对不同地层,需要配备不同的泥浆,取心工艺单一,在钻遇破碎、坍塌、涌水裂隙发育等地层时,解决方式只能是提高泥浆性能、水泥封孔,严重时只能下套管处理,这样出现钻探事故可能性较大,若采用反循环连续取样钻机,只需配备空压机和双壁钻具即可,开孔辅助时间短,对施工场地的要求简单,气候适应性强,施工过程中减少泥浆对孔壁的冲刷,降低埋钻、卡钻尤其是涌水对施工的影响,同时可以根据地层情况随时更换钻具组合,实现多工艺空气钻进,满足取心要求的同时,施工效率高。

7 试验中遇到的问题及改进

(1)钻机托架耳板断裂。主要是由于图纸绘制过程中对细节部分注意不够,再加上焊接质量问题。对托架进行重新改进设计加工后,使其在给进提升过程中更加可靠。

(2)夹持器在夹持钻杆时壳体变形严重。主要

是由于液压系统压力和夹紧油缸过大,夹持器结构受力不均匀。重新设计夹持器,选用较小的夹紧油缸,对其受力采用 SolidWorks 软件进行分析,增强受力薄弱和变形部位,使其在夹紧钻杆时避免了夹持器壳体的变形、损坏。

(3)水龙头密封不严,在遇到含水量大的地层时,会使得返上来的水从芯管漏出,进入动力头箱体内。为了解决这一问题,我们对芯管结构进行了改进,并对水龙头上各个零件加工的精度进行严格要求,选用不同材料的密封圈进行打压试验对比,经过反复试验,选用合适材料的密封圈,确保其在施工过程中的可靠性。

(4)动力头主轴上锥扣断裂。究其原因主要是在动力头设计过程中,为减小动力头体积,减小主轴尺寸,且需满足反循环工艺要求,使主轴内孔太大,导致壁厚太薄。改变内孔直径后,问题消失。

(5)钻机孔口板原为整体式,在试验过程中很不方便,后将其做成两半式,在加装和拆卸钻具、起下钻或临时增大钻孔直径时,体现出了优越性。

(6)钻机底盘进一步优化设计制造与布局,使钻机部件更便于维修、安装。

(7)履带底盘行走马达及其减速机构总成提高质量,加装更加可靠的刹车器,最好有多重刹车系统,以保证在陡峭的山坡上行走与停留更加安全。

8 结语

(1)钻机的整体结构布局合理,对各个零部件的设计要在强度和可靠性允许范围内设计精巧、便捷。

(2)钻机各个零部件在加工制造的过程要对质量严格要求,避免在施工过程中由于加工质量问题产生安全隐患。

(3)钻机在施工过程中会用到潜孔锤,由于潜孔锤在破碎岩石的过程中产生的震动会通过钻具直接传至钻机,导致钻机上各螺栓连接松动,严重时会产生事故,应加强各螺栓的防松,增加机械防松措施,避免在施工中由于潜孔锤震动剧烈而使螺栓松开,频繁预紧螺栓,损坏螺纹扣或产生事故。

(4)在钻机设计前,应当对所要配套的工艺进行充分的认识和了解,以便在施工过程中能够更好的和相应工艺进行配套,满足多工艺钻进。

参考文献:

- [1] 刘凡柏,王庆晓,李文秀,等.YDX-2型全液压岩心钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):32-35.
- [2] 张晓西,杨甘生.CSR钻探方法在中国矿产勘探中的应用与发展[J].探矿工程,1996,(5):16-18.
- [3] 李文秀,孟义泉,董向宇,等.YDX-1型轻便岩心钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):8-14.
- [4] 伍晓龙,刘凡柏,刘智荣.3500 m全液压岩心钻机动力头结构设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):13-17,22.
- [5] 张永勤.高效钻探技术是加速“危机矿山接替资源勘探规划”实施的最有效手段[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(1):6-8.
- [6] 张金昌.地质岩心钻探技术及其在资源勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):1-6.
- [7] 冉恒谦,张金昌,谢文卫,等.地质钻探技术与应用研究[J].地质学报,2011,85(11):1806-1822.
- [8] 李建华,刘凡柏.YDX-3全液压岩心钻机的研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,32(S1):46-49.
- [9] 李忠,姜光忍,唐宇恒,等.RC350型空气反循环钻机的研制与工艺试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):42-45.
- [10] 庞瑞珂,左国维.复合动力头式空气反循环钻机简介[J].工程勘察,1984,(1):45-47.
- [11] 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.
- [12] 周衍茂.空气反循环连续取样在砂金矿钻探中的应用[J].探矿工程,1992,(3):40-41.
- [13] 蔡柏松.CSR-1000AV钻机[J].探矿工程,1988,(6):60-62.