

YGL-220RC型空气反循环取样钻机的研制及应用

崔金龙, 关彪, 张克永

(无锡金帆钻探设备股份有限公司, 江苏 无锡 214112)

摘要:空气反循环取样钻进技术是国外目前比较成熟与先进的工艺技术,具有施工效率高、生产成本低、找矿效果好等优点。但是国内运用比较少。针对目前国内对空气反循环取样钻机的需求,分析了复杂地层钻机移动安全、取心效率与钻进安全等问题,研制了一种采用电控负载反馈系统的新型全液压空气反循环钻机——YGL-220RC型反循环取样钻机。现场使用结果显示,电控与手动相互配合使其具有适应能力强、节能环保、履带行走平稳、操作系统简单、全液压系统稳定、辅助时间少、装卸钻具方便快捷、多角度施工、细节方面更加人性化等优点。很好地解决了施工场地与施工过程中出现的问题。相比国外高成本和对技术方面的约束,YGL-220RC型反循环取样钻机很好地解决了当今钻探市场对取样钻进高效和节能环保的需求。

关键词:反循环钻机;空气反循环取样钻进;液压反馈系统;复杂地层;施工效率;高效节能;绿色勘探

中图分类号:P634.3 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0424-07

Development and application of YGL-220RC air reverse circulation sampling drilling rig

CUI Jinlong, GUAN Biao, ZHANG Keyong

(Wuxi Jinfan Drilling Equipment Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214112, China)

Abstract: Air reverse circulation sampling drilling technology is a relatively mature and advanced process technology in foreign countries, which has the advantages of high construction efficiency, low production cost and good exploration effect. However, domestic use is relatively small. In view of the current domestic demand for air reverse circulation sampling drilling rigs, when analyzing the mobile safety coring efficiency and drilling safety of complex formation drilling rigs, a new full hydraulic air reverse circulation drilling rig using electronically controlled load feedback system—YGL-220RC reverse circulation sampling drilling rig was developed. The on-site use results show that the electronic control and manual cooperate with each other, so that it has the advantages of strong adaptability, energy saving and environmental protection, smooth crawler walking, simple operating system, stable full hydraulic system, less auxiliary time, convenient and fast loading and unloading drilling tools, multi-angle construction, and more humanized details. It solves the problems that arise at the construction site and during the construction process well. Compared with the high cost and technical restrictions of foreign countries, YGL-220RC reverse circulation sampling drilling rig well solves the needs of sampling drilling efficiency, energy saving and environmental protection in today's drilling market.

Key words: reverse loop drilling rig; air reverse circulation sampling drilling; hydraulic feedback system; complex formation; construction efficiency; high efficiency and energy saving; green exploration

0 引言

空气反循环取样钻探(CSR)起源于20世纪80

年代中期,主要用于固体矿产资源的勘探,在欧美等国家已得到广泛应用^[1]。国内虽然也有部分应

收稿日期:2022-05-13; 修回日期:2023-03-08 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.068

第一作者:崔金龙,男,汉族,1989年生,机械制造设计及其自动化专业,从事钻探设备研究工作,江苏省无锡市新吴区梅村工业园锡泰路221号,371032659@qq.com。

引用格式:崔金龙,关彪,张克永.YGL-220RC型空气反循环取样钻机的研制及应用[J].钻探工程,2023,50(S1):424-430.

CUI Jinlong, GUAN Biao, ZHANG Keyong. Development and application of YGL-220RC air reverse circulation sampling drilling rig [J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):424-430.

用,但是由于相关规范的限制,且有萎缩趋势。随着国家对环保及安全要求越来越严,以及人工成本不断提升,需要提高施工设备的施工效率、操作方便安全性及工艺适应性能等^[2]。

目前,常用的钻机和钻进工艺存在以下问题。

(1)操作工作面紧凑,操作过于复杂,容易出现操作失误。

(2)钻机整体设计功能单一,施工工艺适应能力较差。

(3)钻机在施工现场维修保养方面比较复杂,难以维修。

(4)松散覆盖地层、卵砾石层、基岩破碎地层中钻进时成孔困难。

(5)对含水层或富水层钻进时,钻进速度慢,岩样收集比较困难。

(6)岩样含水后,容易在管道内壁出现泥环、卡钻等问题。

针对以上出现,研制了YGL-220RC型全液压反循环钻机,配合空气反循环取样钻进技术,能够更高的提高钻进取样效率,减轻劳动强度,满足市场的需求。

1 空气反循环取样钻进技术简介

空气反循环取样钻进技术是使用由外钻杆和内管组成的双壁钻杆进行钻进^[3],钻进过程中以压缩空气作为冲洗介质,压缩空气从双壁钻杆的环空进入钻孔携带孔底岩屑从内管中心到达地面,通过软管连接到旋风分离器进行样品缩分,然后样品从底部开口掉入样品袋中。样品袋标有收集样品的位置和深度,可以直接送到化验室进行分析^[4-5]。与岩心钻探需要进行专门的取心作业不同,空气反循环取样钻进获得的是连续的岩屑样本,不需要专门的取心作业。

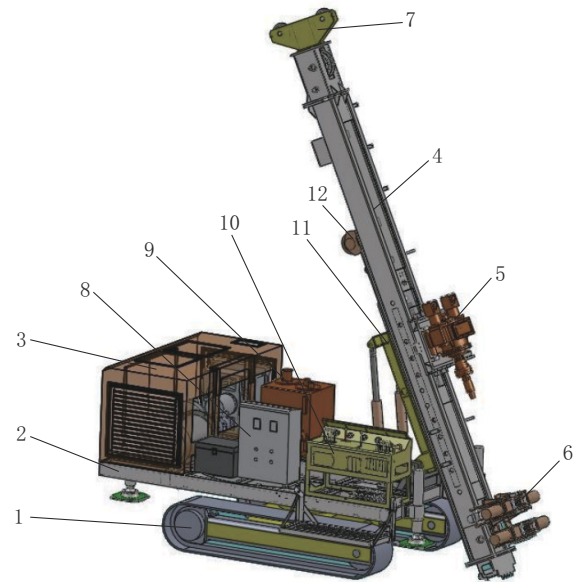
当空气反循环取样钻进遇到粘土层和有地下水时会出现中心通道堵塞、孔壁有泥环、破碎层卡钻等一些列问题,可以通过连接正反交叉接头,使其转换为正循环冲击,用高压气流解决问题,可大大的减少工作时间。解决了反循环施工过程中一个难题,钻孔深度越深效果越显著。

2 YGL-220RC型空气反循环取样钻机总体结构

及性能参数

2.1 钻机的外形结构

YGL-220RC型空气反循环取样钻机是全液压动力头式履带钻机,主要由履带底盘、动力装置、动力头、桅杆、孔口装置、机架(平台)、操纵与控制系统、绞车以及除尘装置(选配)等部件组成,并且所有部件均装载在履带底盘上,可以实现自行整体移动^[6]。钻机外形结构如图1所示。



1—履带总成;2—底盘总成;3—动力总成;4—桅杆总成;5—动力头(双通道);6—夹持器总成;7—天车;8—启动柜;9—液压油箱;10—操纵平台;11—滑移机构;12—绞车总成

图1 YGL-220RC型钻机外形结构

2.2 钻机的性能

(1)适用范围:钻机整体结构设计^[7]和反循环连续取样工艺方法配合,对各类地层和复杂工况有较大的适应性,可有效解决在松散覆盖地层、卵砾石层、基岩破碎地层中钻进时成孔困难的问题,适用范围广。

(2)动力方面:动力系统由动力机、联轴节、串联油泵等组成。动力部分可以选配电动和柴动两种类型,分别为:Y225S-4+Y250M-4(37 kW+55 kW)双电动机,油泵排量为75 mL/r+63 mL/r+25 mL/r;康明斯6BTA5.9-C180(132 kW)柴油机,油泵排量为63 mL/r+50 mL/r+25 mL/r。

(3)全液压式负载反馈系统设计,保证钻机在操

控履带行走、平台回转、以及加速与功能切换等方面具有安全稳定、高效节能等显著效果。

(4)反循环动力头:采用并排式双马达驱动结构,配备了可调速变速箱与液压变速相配合的设计,更好的控制输出转速和扭矩,使其可以适应不同的施工要求,配备的动力头缓冲功能,在工作时有效的保护动力头内部结构,减少损坏成本,结构简单,每个零部件都可以拆除(非整体装置),易于维修与保养^[8],如图2、图3所示。

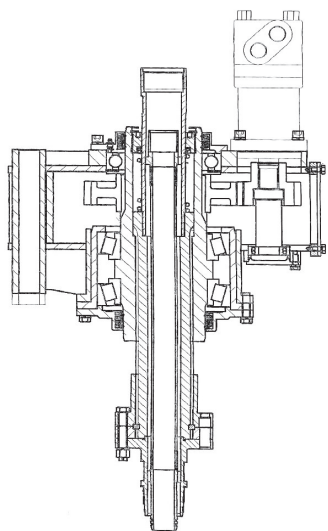


图2 反循环动力头示意

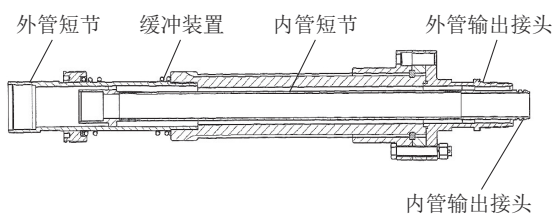


图3 动力头内部双管结构示意图

(5)双通道水龙头:主要由内管芯管、主轴、进气接口、芯轴、排渣接头等几部分组成,与动力头连接组成一个整体,如图4所示。

(6)机架平台与桅杆装置构造:平台是由型钢焊接而成的结构件,质量轻,强度高。起塔与滑移组件通过油缸可以调节桅杆的角度或相对平台的位置。机架平台有4个油缸式支腿可以对平台进行调平;桅杆由拖板、桅杆体、加压机构等组成。拖板联接桅杆与动力头,并通过加压机构带动动力头上下移动,对钻具进行给进或起拨。桅杆由高强度合金钢焊接而成,置于下导轨上,加压机构由油缸通过链条倍速

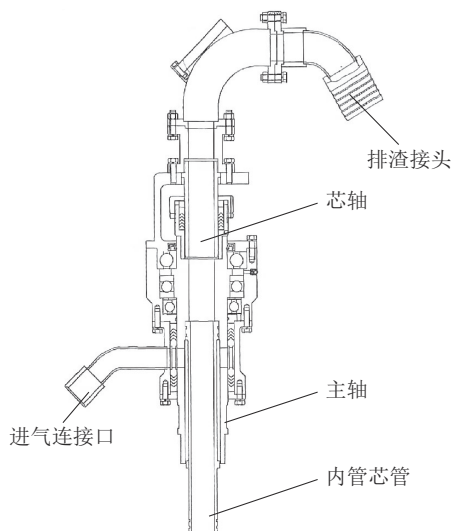


图4 双通道水龙头结构示意图

机构带动拖板移动,实现动力头的加压与起拨。

(7)履带底盘:由承重轮、导向轮、驱动轮、履带链轨、张紧机构及支架组成,并装有回转支承。液压回转装置为内藏式,并配有平衡阀,可以有效地实现防冲及制动功能,使其可以适应施工现场复杂的地形;同时配合电控装,直接可以用遥控远程控制,大大提高人员操作安全性^[9]。

(8)孔口装置:由夹持器、卸扣器组成。夹持器由一对夹紧油缸及卡瓦组成;卸扣器由一对夹紧油缸和卡瓦以及冲扣油缸组成。当夹持器和卸扣器上的夹紧油缸均夹紧套管后,冲扣油缸收缩带动卸扣器上的夹紧油以回转轴为中心转动,冲开钻杆丝扣,降低了钻杆拆卸难度,节省了辅助时间,大大减少了人工劳动强度,提高了操作的安全性。

2.3 主要技术参数

YGL-220RC型空气反循环取样钻机的主要技术参数见表1。

3 钻机主要结构的研制

3.1 液压系统设计

YGL-220RC型全液压钻机,其动作主要是靠液压系统工作,液压执行元件主要有履带行走、变幅油缸、平移油缸、给进起拨油缸、动力头马达、动力头侧移油缸、四根支腿油缸、加持器油缸等。通过变量油泵给压到各个多路阀,通过多路阀控制操作各个油缸,来实现钻机的工作^[10-11]。液压系统原理如图5所示。

表1 YGL-220RC型钻机主要技术参数

钻机型号	YGL-220RC			
总质量/kg	7500			
长×宽×高(运输状态)/mm	6300×2000×2500			
名义钻孔深度/m	200			
钻孔直径/mm	60~250			
钻孔倾角/(°)	-90~-10			
爬坡角度/(°)	≤35			
动力头输出转速/(r·min ⁻¹)	单泵工作		双泵合流	
	I挡	II挡	I挡	II挡
	40	80	70	140
最大输出扭矩/(N·m)	8500			
动力头给进行程/mm	3800			
动力头给进力/kN	60			
动力头提拔力/kN	85			
油泵动力	电机动力	柴油动力		
大油泵排量/(mL·r ⁻¹)	75	63		
小油泵排量/(mL·r ⁻¹)	25	25		
中(加速)油泵排量/(mL·r ⁻¹)	63	50		
最高压力/MPa	23	23		
动力机型号	Y225S-4+Y250M-4	6BTA5.9-C180		
功率/kW	37+55	132		
转速/(r·min ⁻¹)	1470	2200		

主泵1和三位四通阀4控制动力头旋转,主泵1通过过载阀16调节动力头系统压力,三位四通阀4采用比例阀控制,可以通过操作遥控器上面的电流强度来控制旋转速度,也可以通过两位四通阀10来控制旋转速度。副泵2和四联阀5控制夹持油缸冲扣、履带行走和给进起拔,副泵2通过过载阀15调节四联阀5系统压力,四联阀5采用比例阀控制,履带可以通过遥控手柄来实现。给进起拔的速度可以通过操作遥控器上面的电流强度来控制(给进也可以用单向节流阀11控制钻孔给进速度)。副泵2和三位四通阀9控制除尘器工作(降低粉尘)。小油泵3通过八联阀6、五联阀7控制钻机其余辅助油缸动作,系统压力分别是14、13过载阀调节八联阀6和五联阀7的系统压力。通过实际工作情况来控制泵压,实现钻机正常工作。

系统中装吸油滤芯器17、18、19与回油滤油器

20、回油调压阀12,对液压油进行过滤。滤油器上均装有压力、压差发讯器,具有目视和发讯(电子报警)功能。发讯器表面设有绿、黄、红3个区域,当指针指向绿区时,表示正常,当指针指向黄区时,表示滤油器有一定堵塞,当指针指向红区时,表示滤油器严重堵塞,需要清洗或更换滤芯。系统中还串联了两个散热器8,减少避免油温过高,从而使其影响钻机正常使用。

3.2 全液压系统节能利用率

整个系统的效率利用通过公式进行分析表示:

$$\eta = \eta_a \eta_p \eta_e \eta_b$$

式中: η_a ——总动力的效率; η_p ——油泵的效率; η_e ——液压元件的效率; η_b ——液压回路效率。

总动力的效率 η_a 、油泵总效率 η_p 和液压元件的效率 η_e ,都是属于定量不可更改变化,只有液压回路效率 η_b 为变量,在设计中可以优化使其发挥出更好的效率。

液压回路效率可以通过公式:

$$\eta_b = \frac{P_1 Q_1}{P_p Q_p} = \frac{P_1 Q_1}{(P_1 + \Delta P)(Q_1 + \Delta Q)}$$

式中: P_1 、 Q_1 ——负载的压力、流量; P_p 、 Q_p ——液压泵输出的压力、流量; ΔP 、 ΔQ ——工作中损失的压力、流量。

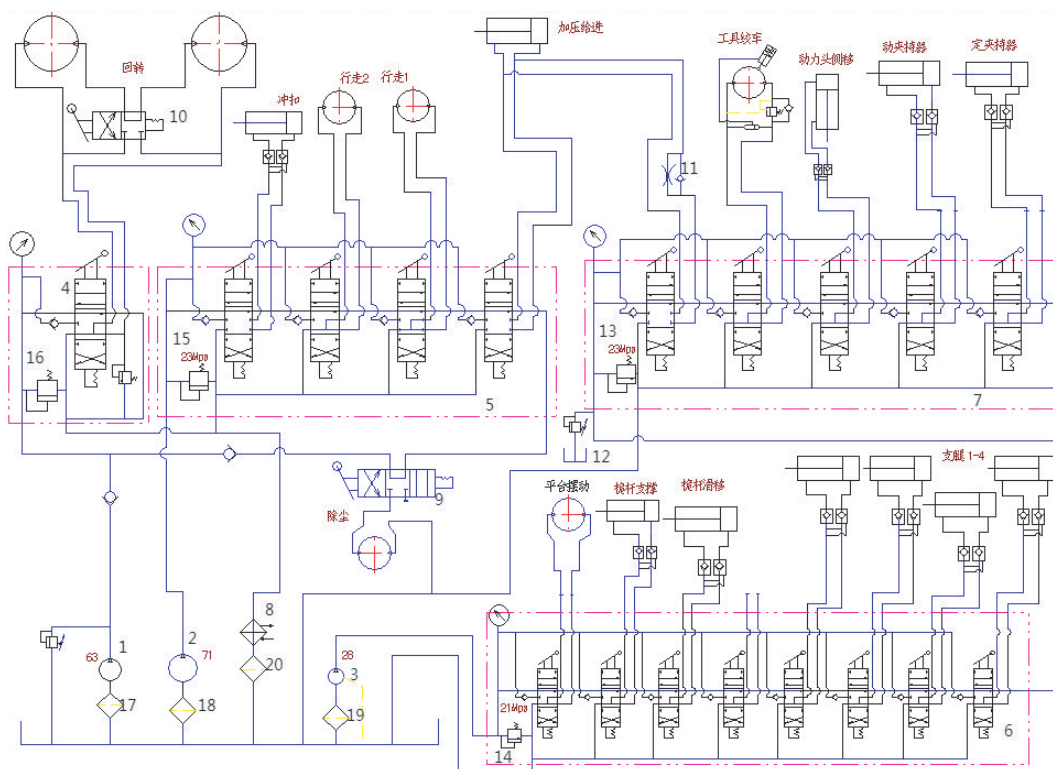
损失的压力和损失的流量是液压系统能耗的主要原因,节能系统的设计就是满足输出需求的前提下,使损失的压力和流量尽可能的减少,从而提高整体液压系统的效率。

通过合理的设计可以降低压夜系统的系统造成的能量损失。在满足使用要求的前提下,通过合理的选择效率高的液压元件,选择适当的节能电路,优化结构和布局合理,降低系统的压夜系统能量损耗,有较高的效率,以达到节约能源的目的。

3.3 电路控制系统

钻机电路控制系统主要分为:柴油机电控系统 and 钻机操作控制系统两类。

柴油机电控系统采用东风康明斯控制集成CAN专用监控仪,集合了CAN通讯技术、电子控制系统、车辆控制技术、PLC数模混合处理系统、智能电控仪表。配以(主)32-bit400MHzRISC+(副)CANCPU、7寸LED可触摸屏、中英文可调节、存储器128M FLASH+64M DDRAM及掉电存储器RTC 256KB+实时时钟。柴油机电控系统一般由



1—主泵;2—副油泵;3—小泵;4—三位四通阀;5—四联阀;6—八联阀;7—五联阀;8—散热器;9—三位四通阀;10—两位四通阀;11—单向节流阀;12—回油调压阀;13、14、15、16—过载阀;17、18、19—吸油滤芯器;20—回油滤芯器

图5 钻机液压系统原理

电控单元(ECU)、传感器和执行器3大部分组成。以ECU为控制核心,以各传感器为控制基础,以执行器为控制对象。采用转速、加速踏板位置、喷油时刻、进气温度、进气压力、燃油温度、冷却液温度等传感器,将实时检测到的各种信号先送入模/数(A/D)转换器(如果输入信号是模拟量),然后通过电子控制单元的接口输入。存有所需的发动机调控参数或状态目标数据。柴油机ECU对电控系统传感器输入的各种信息进行运算、处理、判断,与已储存的设定参数值或参数图谱进行比较,使柴油机电控系统保持原状态,发动机继续按先前状态运行。同时也加入钻机转速、马达和给进流量、履带行走速度等。都可以显示在屏幕上面。控制显示器面板如图6所示,电子调速器接线原理图如图7所示。

钻机操作控制系统主要是由比例阀和PLC控制系统组成。电液比例阀是阀内比例电磁铁输入电压信号产生相应动作,使工作阀阀芯产生位移,阀口尺寸发生改变并以此完成与输入电压成比例压力、流量输出元件。阀芯位移也可以以机械、液压或电形式进行反馈。电液比例阀具有形式种类多样、控



图6 控制显示器面板

制精度高、安装使用灵活以及抗污染能力强等多方面优点,应用领域日益拓宽。具有先导控制、负载传感和压力补偿等功能的电液比例阀,对移动式液压机机械整体技术水平提升具有重要意义,特别是在电控先导液压系统操作、无线遥控(图8)和有线遥控(图9)操作等方面展现了其良好应用前景。

比例阀结构原理如图10所示,先导液压系统驱动阀芯进而打开工作油口通道。

先导液压系统的核心是控制作用在阀芯两端的先导油压(P_p)的电磁阀桥。它包括4个电磁阀,上边两个是常闭(NC),下边两个是常开(NO)。当阀

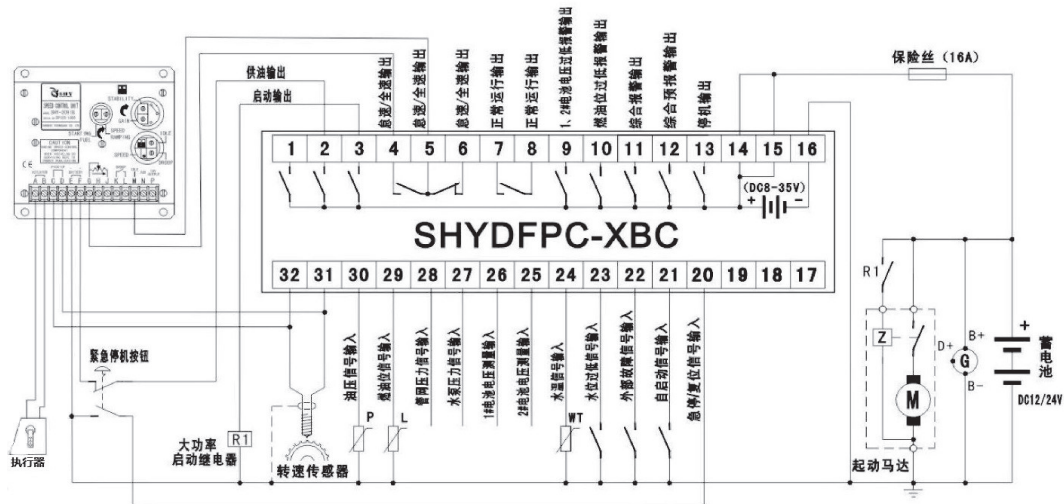


图 7 电子调速器接线原理



图 8 无线遥控操作



图 9 有线遥控操作

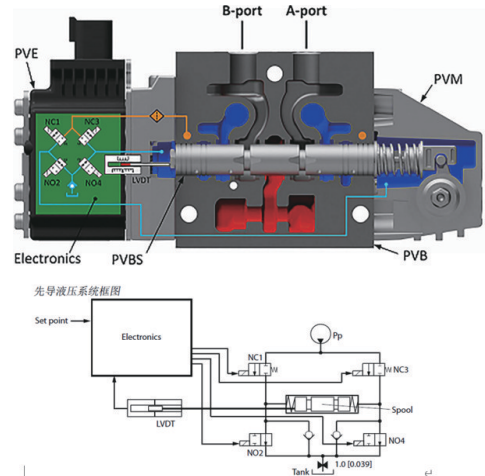


图 10 比例阀结构原理

芯偏离中位时, P_p 先导油压力克服复位弹簧力, 当阀芯趋向中位时, P_p 先导油压力和复位弹簧力共同作用在阀芯上。基于 NO 比 NC 具有更大的开度, 因此阀芯趋向中位比偏离中位的运动速度更快。

当 PVE 刚上电时, 所有的电磁阀保持关闭状态。为了向右移动阀芯, NC1 和 NO4 是打开的, 同时, NC2 和 NO3 是关闭的。为了向左移动阀芯, NC2 和 NO3 是打开的, 同时, NC1 和 NO4 是关闭

的。阀对杂质不敏感, 可靠性高。系统简化, 元件大大减少, 能实现远程控制和程序控制。与液压比例阀相比, 体积小、质量轻、结构简单、成本较低。

4 钻机现场应用效果^[12]

4.1 西藏工地的应用

在西藏墨竹工卡县冈底斯山脉东余脉勘查取样^[13](如图 11)。这里是目前国内已探明的第一大铜矿——西藏巨龙铜矿, 矿山最高海拔 5566 m, 山势险峻, 低温干燥, 空气稀薄, 昼夜温差大, 最大冻土深度 40 m。极端的地理位置和气候也使其成为全球海拔最高, 开采难度最大的矿山之一。

超高海拔和极端的气候环境, 对设备性能、钻探工艺技术提出了极高的要求。由于温度过低, 钻机



图 11 西藏墨竹工卡县冈底斯山脉东余脉勘查取样

配备了柴油机和液压油箱的提前预热装置,施工现场地面有冰冻和泥坑,会出现履带行走打滑和晃动较大,为了工人操作钻机更加的安全,钻机使用电子遥控手柄来完成履带行走移机。钻孔倾斜度为 $-90^{\circ}\sim-10^{\circ}$,所以钻机桅杆增加了孔口接触装置使其跟地面接触面增大平稳,钻机使用了康明斯6BT5.9-132KW型柴油机。第一个孔位钻探取样,孔直径为115 mm,孔深55 m,海拔5370 m,冻土层厚达30 m。需要解决冻土层、反循环潜孔锤和双壁钻杆结冰等问题。开机钻探取样动力头转速为120 r/min,给进压力8~15 MPa,空压气体正常循环排岩粉。利用正反交叉接头转换正循环与反循环配合连续工作等。难题攻克接下来完成了120 m钻探取样效率也大大的提高,工程施工速度平均为18 m/h,每2 m一个样袋,岩粉采取率 $\geq 95\%$,且都是原岩粉。钻机从动力和对环境克服达到了预期的效果。

4.2 塔吉克斯坦工地的应用

位于我国西部邻国塔吉克斯坦钻探取样工地,平均海拔3000 m左右,温度达到 45°C 以上对于钻机和取样工艺也是一个新的挑战。钻探孔径115 mm,钻孔倾斜度为 -90° ,孔深200 m,地层为Ⅲ级花岗岩。钻机配备低速高扭矩动力头带侧移,双壁钻杆 $\text{O}89\text{ mm}\times 2\text{ m}$ (长),钻头直径115 mm,工作气压2.5 MPa,工作时转速90 r/min,给进压力8~10 MPa,钻进速度达到0.8~1.0 m/min,配合钻机自身平台的稳定性,成孔效率和取样都得到了很大的提升。

通过以上2个工程的应用,YGL-220RC型空气反循环取样钻机履带行走平稳,给进辅助时间短,可多角度孔位施工,很好地解决了当前钻机存在的环境适应能力差、钻进效率低等问题。全液压系统很好地保证钻机正常工作的稳定性、操作简单方便、降

低劳动强度,使其在性能、可靠性及节能环保等方面取得了显著的效果。

5 结语

通过对钻机的研发组装调试及施工使用,YGL-220RC型空气反循环取样钻机具有整套设备操控简单、施工效率高、采样率高、维护成本低等特点,钻机的研制及配套钻具和辅助设备完善,对不同勘探工艺可实现灵活的配套运用,更好地发挥出反循环钻机独特的勘探优势,为实现快速、易进入、绿色钻探提供了有力的支撑。同时设备的使用者也是一个重要的环节,对人员的培训也是十分有必要的。随着国内对反循环钻进工艺技术、配套设施、培训服务等方面的不断提升,更快、更安全、更经济、更智能的勘探工作将是未来发展的必然趋势。

参考文献:

- [1] 陆生林,邓梦春,李正前.空气反循环取样钻探与岩心钻探的地质找矿效果对比研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):8-11.
- [2] 赵大军.岩土钻掘设备[M].长沙:中南大学出版社,2010.
- [3] 石立明.空气反循环钻进工艺在地勘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.
- [4] 邓梦春,黄晟辉,殷琨,等.空气反循环钻探的岩样收集和缩分技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):73-76,80.
- [5] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].长沙:中南大学出版社,2014.
- [6] 冯德.钻机设计[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [7] 邱华,彭儒金,戴圣海.CTG-200型全液压工程钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):50-55.
- [8] 官中范.液压传动系统(第3版)[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [9] 王福平.岩土工程施工机械[M].北京:地质出版社,2002.
- [10] 姜继海.液压传动[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.
- [11] 刘延俊.液压元件及系统的原理、使用与维修[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [12] 黄晟辉,陆生林,殷琨,等.地质勘探空气反循环钻进技术找矿效果示范应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):1-6.
- [13] 鄢泰宁.岩土工钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2009.

(编辑 荐华)