

YDX - 1 型轻便岩心钻机的研制与应用

李文秀, 孟义泉, 董向宇, 刘凡柏, 王庆晓

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:根据我国矿产资源勘探开发现状,通过对国内外现有岩心钻机的对比分析,研制了 YDX - 1 型轻便岩心钻机,其特点为高效、轻便、易搬运、模块化、全液压顶驱式。通过机电液测控技术、虚拟仪器技术、Internet 网络技术,对钻机运行及钻进过程中相关数据进行采集、分析、处理,完成钻机故障诊断和故障处理、孔内工况识别和典型工况自动处理、钻进规程参数优化、远程数据传输及监控等任务目标,实现钻进过程自动化控制。钻机于 2013 年在山东省威海市进行了野外生产试验,展示出优良性能、高效率和高可靠性,取得了良好的经济技术效果。实践证明:YDX - 1 型轻便岩心钻机设计布局合理,性能优良,用途广泛,可靠性高,机械化程度高,制造质量总体水平高,对钻探工艺适应性强,是高山交通不便矿区勘探较为理想的新一代钻探设备。

关键词:YDX - 1 型轻便岩心钻机;全液压顶驱;模块化设计;自动化控制技术

中图分类号:P634.3⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 - 7428(2015)02 - 0008 - 07

Development of YDX - 1 Portable Core Drill and Its Application/LI Wen-xiu, MENG Yi-quan, DONG Xiang-yu, LIU Fan-bai, WANG Qing-xiao (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Based on the present situation of the development of mineral resources in China, by the comparison analysis on the existing core drills both in China and abroad, YDX - 1 portable core drill was developed with characteristics of high-efficiency, lightweight and portable, modular and fully hydraulic top driving. The related data in drill operation and drilling process are collected, analyzed and processed by electro-hydraulic control, virtual instrument and internet network technologies; the drill rig fault diagnosis and treatment, the recognition of operating conditions and automatic processing of typical conditions, drilling parameters optimization, remote data transmission and monitoring are carried out to realize the automation control of drilling process. The practice proves that YDX - 1 portable core drill has the characteristics of excellent performance with reasonable design layout, wide application, high reliability, high mechanization degree, good overall quality and strong adaptability of drilling technology; it is a new generation of drilling machine for exploration in mountainous and inconvenient traffic areas.

Key words: YDX - 1 portable core drill; fully hydraulic top driving; modular design; automation control technology

0 前言

我国是一个矿产资源大国,良好的地质构造条件形成了多样性的矿产,但复杂的地质构造增加了矿产资源勘探开发的难度。加大矿产资源的勘探力度,力争发现和掌握更多的重要矿产储量,这已经受到我国矿业界的高度重视。《国务院关于加强地质工作的决定》指出“积极开展重大地质问题科技攻关,大力推进成矿理论、找矿方法和勘查开发关键技术的自主创新。加快对地观测、深部探测和分析测试等高新技术的开发与应用。提升地质装备水平,提高现有地质装备利用的效率,增强矿产资源勘查核心技术和关键装备的自主研究开发能力。”找矿

是地质工作之本,取心取样钻探是地质找矿的最终和必要手段,它能准确地确定地下矿体的埋藏深度、矿体厚度、品位、含量等参数。

目前,我国许多区域属于“难进入”钻探施工区,常规的钻探设备比较笨重,又不便于拆卸。尽管一些地区施工钻孔为中深孔,但是其设备等物资的运输同样较难,而且用常规的钻探设备与技术施工又会遇到很多问题,施工效率低,生产成本高,给施工单位造成了极大的负担。近年来,有个别地勘单位引进国外模块式、轻便钻探装备,但是其价格并非国内一般地勘单位能够承受的,需花费大量的外汇;另外,国外的该种装备与技术也不太适合我国经济

收稿日期:2014 - 09 - 12; 修回日期:2015 - 01 - 29

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“地质勘查自动化轻便岩心钻机应用示范”(编号:12120113096700)

作者简介:李文秀,男,汉族,1974年生,教授级高级工程师,从事地质钻探设备的研制与开发等工作,河北省廊坊市金光道77号,wenxiu - li@163.com。

情况和西部地区的地质特点。

在我国西部及东北山地地区进行矿产资源勘探施工,要求钻机性能优越、质量好、耐用、易搬运、便于解体、易操作等。因此,大力借鉴国外在“难进入”地区进行钻探施工的经验,使新研制的钻机具有轻量化、小型化、组件化、液压驱动化和装载运输现代化的“五化”特征,服务于西部矿产大开发的工作。

1 研究现状

1.1 国外研究现状

国外地质矿产勘查用钻机,除保留有一部分经改进的传统立轴式钻机外,已大量采用全液压力头钻机。其特点是回次进尺长,自动化、机械化程度高。国外具有代表性的全液压力头钻机有:

(1)加拿大阿特拉斯公司的全液压岩心钻机如 CS3001 型(NQ 钻杆钻深 1700 m)、CS14 型(NQ 钻杆钻深 1200 m)和正在研制的 CS4002 型(NQ 钻杆钻深 2000 m)全液压地表取心钻机,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;

(2)Boart Longyear 公司的 LF90D(NQ 钻杆钻深 1080 m)、LF140(NQ 钻杆钻深 1700 m)、LF230(NQ 钻杆钻深 2350 m)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;

(3)加拿大国际钻探设备公司的 CSR 系列钻机,主要用于 300~1000 m 孔深进行反循环中心取样(CSR)作业,在美国、加拿大广泛用于金、铀和铁等地质矿产勘查。

1.2 国内研究现状

我国从 20 世纪 60 年代就开始研制液压传动钻机,其中地质部勘探技术研究所(现中国地质科学院勘探技术研究所)研制成功并通过鉴定和验收的这类型钻机就有 5 台,它们在生产试验中都能较好地满足钻探工艺的要求,显示了液压力头钻机的许多优点,但由于当时国产液压元件质量不过关,生产管理水平和人员素质低等原因而未能形成生产力。改革开放以来,我国陆续从美国、德国等国引进了多种名牌液压元件生产线,使国产液压元件的品种增多,质量有了大幅度提高,同时,伴随着我国的加入 WTO 及世界经济的快速发展,国外的优质液压元件也大量进入我国,品种多,质量高,这就为我

国研制全液压钻机提供了更好的液压元件选择。原地质矿产部及有关部门引进了一些新型液压钻机样机,通过对这些样机的消化吸收和对以往研究工作的分析总结,我国已具备了研究液压传动钻机的良好物质基础和技术准备。

进入 21 世纪,国内有关研究单位与钻探机械制造厂商先后研发出了多种型号的全液压地表岩心钻机以满足市场的需求,主要产品有:

(1)2005 年中国地质科学院勘探技术研究所研发成功的 YDX-3 型岩心钻机,该钻机采用 N 系列钻杆钻深能力为 1000 m,2006 年 6 月通过国土资源部组织的部级鉴定,并已批量生产;2009 年中国地质科学院勘探技术研究所研发成功的 YDX-5 型岩心钻机,采用 N 系列钻杆钻深能力可以达到 2500 m;

(2)山东省地质探矿机械厂研发的 XD-5 型全液压力头式岩心钻机于 2005 年底试制出样机,2006 年投放市场;

(3)中装集团连云港黄海机械厂有限公司于 2006 年底研制出了 HYDX-5 全液压岩心钻机;

(4)贵州远东兄弟钻探有限公司研制成功了 KZ-168 型全液压力头岩心钻机。

国内近期研制成功的这几款岩心钻机特点均顺应国际钻探设备的发展趋势,属于同一档次,钻深能力相差不多,具有全液压化、给进行程长、无级调速、机械化程度高等优点。我国地质岩心钻探装备已经形成标准化、系列化;在设计方面已采用国外拼装式(模块)设计。

地质钻探装备的自动化技术是今后的发展趋势。而相比之下,我国目前在自动化地质岩心钻机的研制方面与国外差距巨大,处于空白状态,这种状况将会直接影响我国今后的钻探技术发展进程。国内大部分全液压岩心钻机钻杆拧卸主要为人工拧卸,劳动强度高,对钻杆管体及丝扣损坏大,现已有少量钻机借助石油系统用的小型动力钳进行钻杆拧卸。实现钻杆机械化拧卸可大大降低钻工的劳动强度,同时也可防止钻杆拧卸过程中对钻杆的人为损伤。

2 研究内容

研制的轻便岩心钻机最大钻进深度为 400 m(NQ 规格),其特点为高效、轻便、易搬运、模块化、

全液压顶驱式,能实现钻杆丝扣拧卸和起下钻过程自动化或半自动化操作。轻便岩心钻机共包括6部分:(1)主机,包括回转系统、给进提升系统、集中润滑系统;(2)动力站;(3)操控系统;(4)钻杆夹持拧卸系统;(5)机械化送钻系统;(6)泥浆系统,包括泥浆泵、泥浆搅拌器。自动化控制技术研究部分通过机电液测控技术、虚拟仪器技术、Internet网络技术,对钻机运行及钻进过程中相关数据进行采集、分析、处理,完成钻机故障诊断和故障处理、孔内工况识别和典型工况自动处理、钻进规程参数优化、远程数据传输及监控等任务目标,实现钻进过程自动化控制。

3 钻机性能及主要特点

3.1 钻机主要特点

(1)钻机采用模块化设计,最大部件质量为185 kg,便于实现钻机快速拆装搬迁。

(2)钻杆拧卸系统既能有效夹持和拧卸钻杆又不对钻杆造成损伤。

(3)钻机采用三台分体式柴油机提供动力,功率强(3×33 kW/台)、扭矩大($400 \sim 1000$ N·m)、转速范围大($0 \sim 1000$ r/min)。

(4)动力头的冷却、润滑、密封及可靠性高。

(5)钻机主要技术参数如下。

钻孔深度: BQ—500 m; NQ—400 m; HQ—300 m

动力头转速: $0 \sim 1200$ r/min

动力头扭矩: $400 \sim 1000$ N·m

卡盘通孔直径: 95 mm

给进行程: 1800 mm

提升能力: 120 kN

加压能力: 30 kN

给进、提升速度: $0 \sim 30$ m/min

绳索取心绞车容量: 500 m ($\varnothing 6$ mm 钢丝绳)

绳索取心绞车提升力: 10 kN

钢丝绳提升速度: $1.5 \sim 4.5$ m/s

钻机输入功率: 33 kW $\times 3$ 台

桅杆: 90° 可调

加长桅杆: 长度 5 m

系统最高压力: 21 MPa

3.2 数据采集系统

能对钻进过程中12个主要技术参数进行采集,包括钻压、扭矩、泵压、悬重、孔深、泵量、液位、转速、钻速、回次进尺、动力头位置、副卷扬钢丝绳长度。

系统采用CAN总线布线方式,简化了传感器信号线布线数量,提高了系统的可靠性,便于后期维护。

3.3 钻机液压系统故障诊断

通过安装在钻机液压系统不同部位(如液压泵、液压油箱、动力头马达、泥浆泵马达、加压油缸、副卷扬、操控阀等)的温度、压力、流量、转速、液位传感器监测钻机液压系统温度、压力、流量、温度、转速、液位等参数,获取钻机液压系统工作状况;利用计算机对监测数据进行分析处理,及时发现系统故障,同时显示发生故障的部位及故障原因,并通过声光报警方式及时通知操作者。

液压系统故障诊断界面见图1。

3.4 孔内典型异常工况识别

能够对钻进过程中常见的5种孔内典型异常工况进行识别,包括卡钻、烧钻、断钻杆、漏水、涌水。通过钻进参数监测系统采集的钻压、转速、钻速、扭矩、拉力、泥浆泵压力和流量、泥浆池液位、出口泥浆流量等数据,运用信号分析处理技术,结合不同孔内工况出现的典型特征,对钻进过程中孔内工况进行判断。

钻进过程中通过对相关钻进参数进行实时监测,能够对孔内典型异常工况进行实时分析与判断,当孔内出现典型异常工况时,能够进行自动处理,避免孔内事故的发生。

孔内典型异常工况包括卡钻、烧钻、断钻杆、涌水、漏水5种工况,通过建立5种工况识别算法模型,在钻进过程相关参数实时监测与分析的基础上,通过与软件中预先分类设定的工况进行比对,实现分类判断并自动实施对钻机液压系统的反馈控制,当出现涉及孔内严重或重大安全事故的孔内典型异常工况征兆时,如断钻杆、卡钻、烧钻等,孔内工况识别系统一方面通过声光报警方式及时通知操作者,另一方面同时让钻机自动完成降速、减压或提钻等相应操作,防止重大孔内事故的发生。

如果是一般性孔内典型异常工况,如漏水、涌水,孔内工况识别系统则仅通过声光报警方式及时通知操作者,操作者可根据实际情况进行相应处理。

孔内典型异常工况识别系统见图2,系统流程见图3。

3.5 钻机自动化控制技术

钻机能够以设定的钻压为基准进行自动化

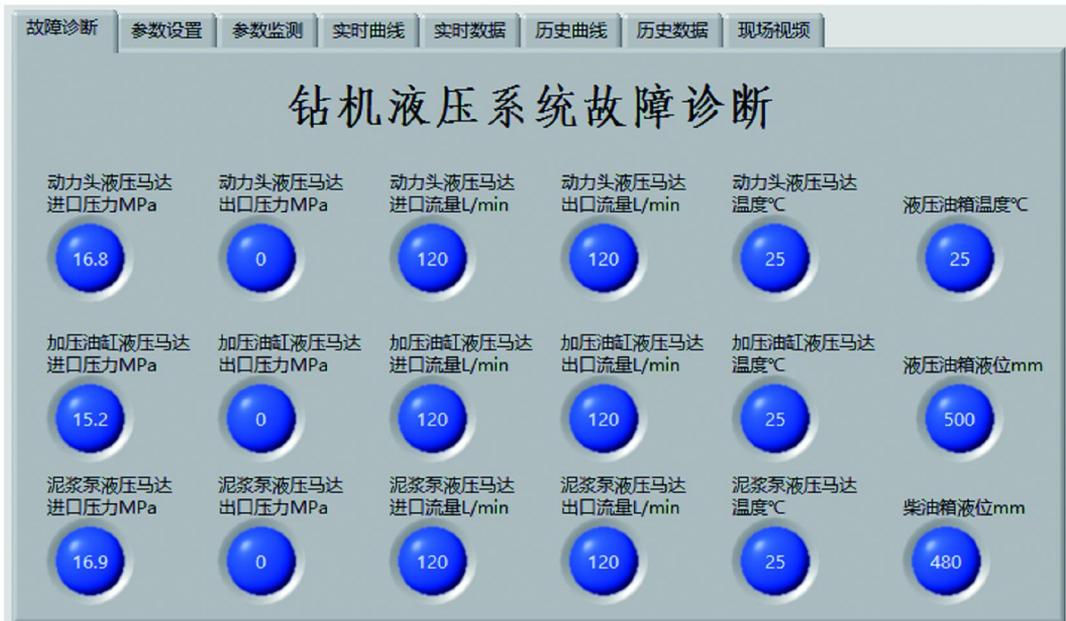


图 1 钻机故障诊断技术程序界面



图 2 孔内典型异常工况识别及钻机自动化控制系统

钻进,钻进过程中始终保持钻压为设定的恒定值不变,类似汽车驾驶过程中的自动巡航模式(参见图 2)。

3.6 远程无线数据传输

利用手机通信网络和北斗卫星通讯系统,可实

现各种野外钻探环境下将现场采集到的数据进行无障碍远程无线传输,便于不在野外现场的驻地机长、技术人员、基地领导和相关人员通过办公室上网电脑或智能手机随时掌握现场实时动态信息。

远程无线数据传输系统野外使用效果见图 4。

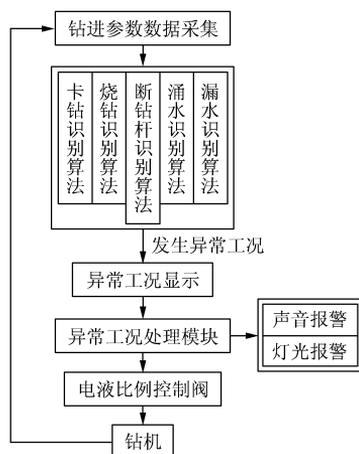


图3 孔内典型异常工况识别系统流程

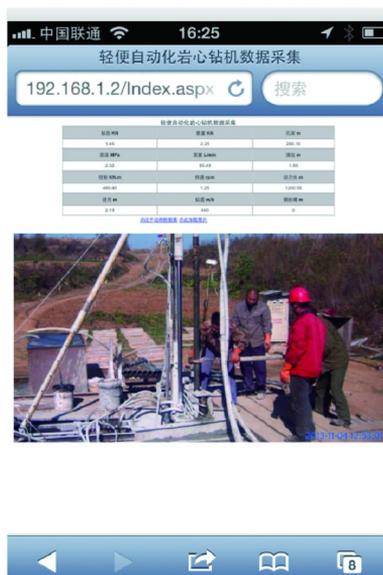


图4 在手机上实时显示的远程无线数据传输系统



图5 钻机的主体结构

围岩稳定。主要为海相沉积、海陆交互相沉积,岩性为中粗砂,淤泥砂。岩石的可钻性8~9级,研磨性中等。图6为施工现场情况。



图6 施工现场

4 总体结构

钻机主要由天车头、桅杆、中空卡盘式动力头、动力机系统、绳索取心绞车、底架、液压系统、孔口夹持器、泥浆搅拌器、泥浆泵等部件组成。钻机的主体结构见图5。

5 生产试验

钻机于2013年10月18日—11月15日在山东省威海市泊于镇大邓格村某金矿矿区进行了首轮野外生产试验,钻孔区内地层出露较简单,表层为第四系分布;30~150 m为黑云花岗闪长质片麻岩,局部可能有铅锌多金属;150~170 m为绢英岩化花岗质碎裂岩;170~300 m为黑云花岗闪长质片麻岩,

该试验钻孔编号为3ZK2-01,设计倾角为90°,设计深度为300 m。根据矿区地质特点、钻孔深度、终孔直径及以往施工经验,确定采用二级钻孔结构,即开孔钻孔直径为89 mm,钻进深度10~15 m;二开钻孔直径为77 mm,钻进深度15~300.53 m。钻孔结构如图7所示。

2013年10月25日开孔钻进,11月4日终孔,终孔直径76 mm,终孔孔深300.53 m,历时11天,取得了必要的数据和资料。按施工时采取的钻孔口径级别划分,整个生产试验过程大致可分为以下2个阶段。

第一阶段开孔采用 $\varnothing 89$ mm绳索取心钻杆,下钻至10.38 m时,穿过覆盖层,下 $\varnothing 89$ mm套管。正循环钻进,冲洗液采用水+羧甲基纤维素钠+0.5%

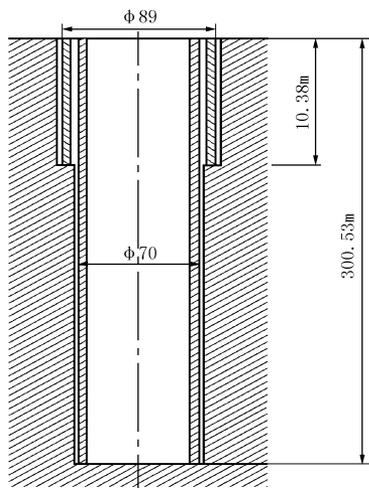


图 7 钻孔结构

~1.0% GLUB(润滑剂)。转速为 300 ~ 500 r/min, 泵量为 40 ~ 90 L/min, 泵压为 0 ~ 1 MPa, 柴油机运转在 1600 ~ 1900 r/min。此阶段总台时为 3 h, 进尺 10.38 m, 平均钻进时效 3.13 m。钻机无故障出现。

第二阶段采用 $\varnothing 71$ mm 钻杆, $\varnothing 77$ mm 金刚石钻头钻深至 300.53 m。正循环绳索取心钻进, 冲洗液采用水 + 聚丙烯酰胺 + 0.5% ~ 1.0% GLUB(润滑剂), 遇微小漏失时, 加入 1% ~ 4% 的随钻堵漏剂(GPC)进行随钻堵漏。钻具组合为: 转换接头 + NQ 绳索取心钻杆 + NQ 绳索取心钻具 + $\varnothing 76$ mm 金刚石钻头。钻孔口径为 76 mm, 钻进到 300.53 m 终孔。终孔原因有二, 一是达到了钻机的钻深能力, 钻机各项技术性能得到全面检测; 二是达到了该孔的设计孔深, 经项目负责、技术负责和编录组长详细观察、编录后研究确认, 没有矿化层、矿层、蚀变带、构造破碎带等重要地质现象出现, 且已穿过矿层、矿化层 5 ~ 10 m, 按照有关规定要求决定终孔。此阶段钻进参数为: 钻进压力 20 ~ 25 kN, 转速 650 ~ 800 r/min, 泵量 35 ~ 70 L/min, 泵压 2 ~ 4 MPa, 柴油机一般在 1500 ~ 2000 r/min 之间运行。此阶段总台时为 240 h, 进尺 290.15 m, 平均钻进时效 1.21 m, 最高日进尺达到 43.5 m, 台月效率为 820 m, 纯钻进时间利用率为 95%。

钻孔完成后, 利用我所研制的绳索取心孔内数据记录仪对钻孔顶角进行了测量, 测量结果见表 1 和图 8。

该钻机顺利完成 300.53 m(终孔直径 76 mm)的

表 1 绳索取心孔内数据记录仪测试数据

| 时间 | 顶角/ (°) | 孔内温度/ ℃ | 时间 | 顶角/ (°) | 孔内温度/ ℃ |
|----------|------------|------------|----------|------------|------------|
| 11:31:02 | 2.54 | 18 | 11:35:42 | 3.06 | 14 |
| 11:31:22 | 2.22 | 18 | 11:36:02 | 3.54 | 14 |
| 11:31:42 | 3.14 | 17 | 11:36:22 | 3.88 | 14 |
| 11:32:01 | 2.40 | 17 | 11:36:42 | 3.27 | 14 |
| 11:32:21 | 2.48 | 17 | 11:37:02 | 2.81 | 14 |
| 11:32:42 | 2.34 | 17 | 11:37:22 | 4.20 | 14 |
| 11:33:02 | 2.26 | 17 | 11:37:42 | 3.17 | 14 |
| 11:33:22 | 2.58 | 17 | 11:38:02 | 4.81 | 14 |
| 11:33:42 | 1.46 | 16 | 11:38:22 | 2.71 | 14 |
| 11:34:02 | 2.73 | 15 | 11:38:41 | 2.25 | 14 |
| 11:34:22 | 2.21 | 15 | 11:39:02 | 1.76 | 14 |
| 11:34:42 | 3.25 | 14 | 11:39:22 | 4.14 | 14 |
| 11:35:01 | 3.55 | 14 | 11:39:42 | 4.14 | 14 |
| 11:35:22 | 3.55 | 14 | | | |

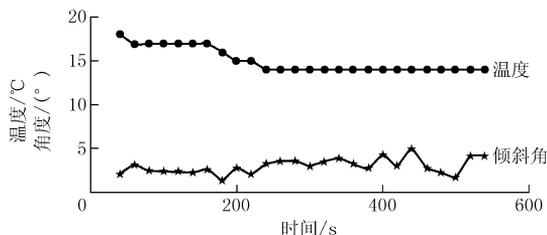


图 8 绳索取心孔内数据记录仪测试曲线

试验钻孔试验。试验对轻便岩心钻机、自动化控制系统、绳索取心孔内数据记录仪、钻杆自动装卸系统进行了较为全面的野外功能性验证试验。

通过试验, 验证了各系统的功能, 同时也发现了下述存在的问题, 为下步改进完善提供了第一手资料。

- (1) 动力头翻转后无限位装置, 有时妨碍工人操作。
- (2) 副桅杆过短, 无法满足 3 m 岩心管的取心打捞。
- (3) 水龙头与钻杆的连接丝扣因卸扣次数频繁工作过程中容易泄漏, 应进行改进优化。
- (4) 钻机底座过于单薄, 应与桅杆分开, 合理搬迁运输。
- (5) 自动化控制系统钻压自动控制时控制的实时性不好, 无法进行真正的自动化钻进。应对控制程序进行进一步优化, 大大缩短控制系统参数反馈时间, 提高系统的实时性。应用步进电机控制慢给进压力调节旋钮, 提高自动控制的精度。

6 结论

(1) 钻机完备的液压保护装置和通用性的液压元件,提高了钻机运行的稳定性和可靠性。模块化设计,为钻机的系列化作好了准备。采用新结构、新材料和新工艺,有效提高钻机的机械化水平和工作的可靠性。全液压力头式钻机钻进效率高、操作安全、模块化设计,解体性好、移动搬迁方便等特点非常突出,拆分式操纵系统可以使操纵者远离钻机,既可以解决施工场地狭窄问题,又可以使操作者远离设备免受机械噪声干扰。

(2) 钻机转速在 $0 \sim 1000 \text{ r/min}$ 之间可无级调速,速度范围宽、扭矩大,有利于以金刚石绳索取心钻进工艺的实施。钻机采用氮气弹簧卡盘,夹持力大,可靠性高,在夹持 $\varnothing 71 \text{ mm}$ 绳索取心圆钻杆过程中,反复松卡,无打滑现象,并且工作寿命长。

(3) 钻机的操控性能良好,液压系统工作稳定。钻机设计中大量选用标准件、通用零部件,关键件选用国内外名牌产品,主绞车装有静液制动器与平衡阀,起塔油缸装有双向平衡阀,生产实验证明该钻机工作可靠性高,安全系数大,设计制造质量达到了较高的水平。

(4) 桅杆与基座采用铰接结构,可以实现 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内钻孔。钻机配备电子仪表,便于实时观察设备运行以及孔内情况。

(5) 该钻机专门用于固体矿藏地表取心施工,适用于金刚石绳索取心钻进、定向钻进、冲击回转钻进、反循环连续取心(样)等多种高效钻探工艺方法。也可用于边坡锚固、注浆、水井钻进、工程地质勘察等钻进。

(6) 野外生产试验证明,YDX-1型轻便岩心钻机性能优良,效率高,可靠性高,可在国土资源大调查、危机矿山找矿的工作中发挥重大的作用。

(7) YDX-1型轻便岩心钻机设计布局合理,机械化程度大,用途广泛,制造质量总体水平高,对钻探工艺适应性强,是高山交通不便矿区勘探较为理想的新一代钻探设备。

参考文献:

- [1] 刘凡柏,吕红军,等. 1500 m 全液压岩心钻机的研制及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S2):101-105.
- [2] 孟义泉,等. 地质勘探轻便全液压岩心钻机自动化控制技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):57-60.
- [3] 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.
- [4] 张金昌,刘凡柏,冉恒谦,等. 2000 m 地质岩心钻探关键技术与装备[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):3-6.
- [5] 李文秀,董向宇,等. KD600型全液压坑道岩心钻机的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S2):106-109.
- [6] 张振,杨拴海,魏立勇,等. YDX-3L钻机在宝兴沟矿区深孔钻探中的应用[J]. 黄金科学技术,2014,(5).