

基于XY-6型立轴钻机的数字化升级改造

高明帅¹, 孙军盈¹, 臧臣坤¹, 薛善忠¹, 宋志亮¹, 韩菲², 高帅军³, 黄江³

(1. 中地装(北京)科学技术研究院有限公司, 北京 100120; 2. 中国地质装备集团有限公司, 北京 100016;

3. 中地装张家口探矿机械有限公司, 河北 张家口 076250)

摘要: XY系列立轴式岩心钻机作为我国小口径找矿施工的主力机型, 其中市场保有量较大的XY-6型立轴钻机可满足2000 m以内的固体矿产勘探, 由于其主要为机械传动、人工手动操作制带、匮乏的钻参数数据等缺点很难高效支撑新一轮找矿突破行动, 所以对于XY系列机械立轴钻机的数字化升级改造迫在眉睫。本文重点介绍在机械式XY-6型立轴钻机基础上对其进行变频电传动和数字化控制的升级改造, 相比于原型机, XY-6DB新型电传动立轴钻机实现了回转动力单元变频改造、提升制动系统电液控制升级、手-自一体式换挡方式以及整机的数字化控制方式的升级改造, 最终可实现整机的节能、增效、降低劳动强度和提高安全性的目的。

关键词: 立轴钻机; 变频电传动; XY-6DB型钻机; 数字化控制

中图分类号: P634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0471-05

Digital upgrading of vertical shaft drilling rig based on XY-6

GAO Mingshuai¹, SUN Junying¹, ZANG Chenkun¹, XUE Shanzhong¹, SONG Zhiliang¹,

HAN Fei², GAO Shuaijun³, HUANG Jiang³

(1. China Geological Equipment Research Institute Co., Ltd, Beijing 100120, China;

2. China Geological Equipment Group Co., Ltd, Beijing 100016, China;

3. CGE Group Zhangjiakou Exploration Machinery Co., Ltd, Zhangjiakou Hebei 076250, China)

Abstract: XY series vertical shaft core drill is the main type of our country's small-caliber ore prospecting construction, among which the XY-6 vertical shaft drill with large market can meet the needs of solid mineral exploration within 2000m, it is difficult to support a new round of prospecting breakthrough because of its disadvantages such as mechanical transmission, manual operation of belt-making and lack of drilling data, so it is urgent to upgrade XY series mechanical vertical shaft drilling rig. This paper mainly introduces the upgrading of the XY-6 vertical shaft drilling rig based on its frequency conversion electric drive and digital control, the XY-6DB new electric drive vertical shaft drilling rig has carried on the frequency conversion transformation of the rotary power unit, the electro-hydraulic control upgrade of the hoisting brake system, the manual-self-integrated shift mode and the digital control upgrade transformation of the whole rig, finally, the whole machine can realize the goal of saving energy, increasing efficiency, reducing labor intensity and improving safety.

Key words: vertical shaft drilling rig; frequency conversion electric drive; XY-6DB drilling rig; digital control

0 引言

习近平总书记在给山东省地矿局第六地质大队全体地质工作者的回信中提到:“矿产资源是经

济社会发展的重要物质基础, 矿产资源勘查开发事关国计民生和国家安全。”要求我们“践行绿色发展理念, 加大勘查力度, 加强科技攻关, 在新一轮找矿

收稿日期: 2023-04-17; 修回日期: 2023-06-25 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.076

第一作者: 高明帅, 男, 汉族, 1991年生, 产品研发部副主任, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事地质小口径钻探、地热及油气勘探装备及工具的研发工作, 北京市西城区黄寺大街24号明湖大厦B座311, gmsstudy@163.com。

引用格式: 高明帅, 孙军盈, 臧臣坤, 等. 基于XY-6型立轴钻机的数字化升级改造[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 471-475.

GAO Mingshuai, SUN Junying, ZANG Chenkun, et al. Digital upgrading of vertical shaft drilling rig based on XY-6[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 471-475.

突破战略行动中发挥更大的作用,为保障国家能源资源安全、为全面建设社会主义现代化国家做出新贡献。”

随着新一轮找矿突破战略行动的开展,对于支撑找矿战略行动的勘探技术装备也亟待新的突破升级。中国地质装备集团有限公司作为一家集地质装备研发与生产于一体的企业,积极响应国家号召先后在小口径找矿和绿色勘探、一带一路建设、地热能、油气资源等领域推出多类型成套装备。中地装集团下属的中地装(北京)科学技术研究院有限公司联合中地装(张家口)探矿机械有限公司,基于市场保有量较大的XY-6型钻机进行了变频电传动升级改造为XY-6DB型,相比XY-6型机械立轴钻机,升级后的XY-6DB型钻机提供了转速、钻压、泵量、孔深等丰富的钻进参数;极大地改善了司钻站在钻机旁手动控制制带的作业方式,整体采用数字化司钻系统,钻机所有的动作控制都集中在司钻房内;简化了钻机的传动路线,用电传动替代多级变速齿轮传动,提高了传动效率的同时实现钻进参数的连续性,更适合钻探施工应对复杂多变的地层。目前该系列产品包含了已投入市场使用的XY-5DB型、XY-6DB型、XY-8DB型、XY-9DB型电传动立轴钻机^[1-3],其钻深能力涵盖1000~4000 m的小口径固体矿产勘探,为新一轮找矿突破战略行动提供可靠的、高效的、环境友好型的装备支撑。

1 总体方案

基于XY-6型立轴钻机的操作习惯和其主体传动模式,对其回转动力模块、卷扬制动模块、挡位挂合方式以及电液控制进行升级改造,最终实现XY-6DB型电传动立轴钻机的数字化电液比例精确控制,通过升级改造改善传统地质勘探过程中人、机、料、法、环的关系,让设备适用于工法、让工法适应于环境、让设备和工法适合于人员最终达到安全、高效的目标。

1.1 整体结构方案

立轴钻机具备浅孔加压和深孔减压的功能特点,具备钻机移车让开孔口拆卸空间的优势,根据不同施工需求通过多挡手动变速箱可提供多组钻探工艺参数与之匹配选择。鉴于立轴钻机的以上特点使其成为地质勘探施工历史上普及度最高的一种设备类型,长期以来受到广大地质勘探从业者的

喜爱^[4-8]。

基于从业者在深孔钻探中一种成熟的、较为舒适的作业空间与场景中对传统XY-6型钻机的操作习惯和作业流程的熟悉,在保留原有回转、卷扬、高低挡等3个换挡方式以及原有加减压作业工艺的前提下,将换挡执行机构设计为气控/手动2种控制模式使其具备远程/本地换挡功能;将原55 kW普通三相异步电机+手动变速箱的动力模块调整为55 kW交流变频电机+电动换挡变速箱的模式;同步将原钻机液压系统进行了模块化设计,液压动力单元集成了卷扬的液压制动器控制和卡盘、给进、移车等原有动作的电液比例控制。改造后的XY-6DB型电传动立轴钻机如图1所示,主要包含底座、滑架、动力单元、卷扬、制动器、液压动力站、回转器以及卡盘等功能模块。

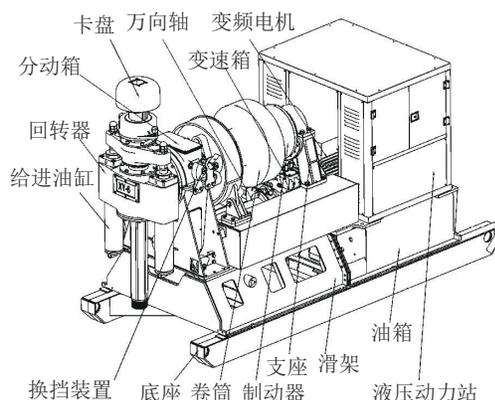


图1 XY-6DB型钻机主机结构

经过以上改造可改善操作者的高强度、高危险、环境脏乱的作业环境,操作者在司钻房即可对钻机的所有功能进行精准数字化控制。司钻房可实时显示转速、扭矩、给进速度、钻压、钩载以及泥浆泵压和泵量等参数。同时配备能耗制动功能的变频电机具备“零速悬停”功能,操作者可通过手柄实现卷扬的悬停和速度控制,完全打破“手把+制带”的高强度作业模式。

1.2 性能参数

本次改造通过对驱动单元的变频电传动改造可实现回转和卷扬的挡内无极调速,对钻机运行参数的数字化精准控制与显示,最终实现对XY-6型钻机的操控模式、提升设备运行效率和运行经济性的提升,使设备在新一轮找矿突破战略中延续和提升

市场竞争力。经过对变频电机动力匹配、由机械传动向电传动的传动方式调整以及整机控制由手动操控向电-液/气远程比例控制和施工工艺数据的数字化显示和存储等一系列改造,最终XY-6DB型钻机与XY-6型钻机性能参数对比如表1所示。

表1 XY-6DB型钻机与XY-6型钻机性能参数对比

参数	XY-6型	XY-6DB型
钻孔深度/m	1000~2000	
钻杆直径/mm	50/60/89	
立轴转速/($r \cdot \min^{-1}$)	正转 80/175/ 225/260/360/ 490/730/1000 反转 62/170	正转 0~1000 (无极调速) 反转 0~1000 (无极调速)
立轴最大扭矩/($N \cdot m$)	6000	6000
给进油缸上顶力/kN	200	200
给进油缸给进力/kN	150	150
给进油缸行程/mm	600	600
给进油缸缸径/mm	125	125
卷扬单绳提升力/kN	60	70
卷扬提升速度/m/s	0.66/1.44/1.85/ 2.13/2.96/4	0~6
卷筒直径/mm	300	300
钢丝绳直径/mm	20	20
容绳量/m	140	140
移车距离/mm	550	550
动力电动机	55kW Y250M-4	55kW YZP250 M-4
动力柴油机	100HP 4135AG 柴油机	
外形尺寸/mm	3450×1500× 2250	3450×1500× 2250
主机质量/t	4.2	4.8
控制方式	手动控制	电-液/气控制
操控环境	户外	司钻房
钻参数据	给进油缸压力、 泥浆泵压	立轴转速、扭 矩、孔底钻 压、钻速、泥 浆泵压、泵量

2 关键技术升级

本次改造重点对动力单元和卷扬制动装置进行了改进,使XY-6DB型钻机具备回转和提升能力的无极调节,可以更好地及时对应不同地层钻进需求

进行调整钻探工艺。原钻机的液压系统简易,主要液压动作均为手动控制,无法实现远程操控,经过改造后的液压系统采用电-液比例阀,结合伺服电机驱动的油泵可以实现对各个液压动作的精准、比例、远程操控。

2.1 动力单元变频升级

XY-6DB型钻机的驱动单元采用55 kW交流变频电机,机座号与原钻机采用的电动机相同,可以实现动力互换。经过变频的电动机将动力输入到变速箱,4挡变速箱+2挡分动箱最终可实现8个机械挡位,同时在任意挡位电动机可以实现0~1500 r/min的无极调速以及不低于1.5倍的瞬时过载扭矩储备能力,图2为立轴转速与扭矩对比曲线,图3为卷扬绳速与拉力对比曲线。

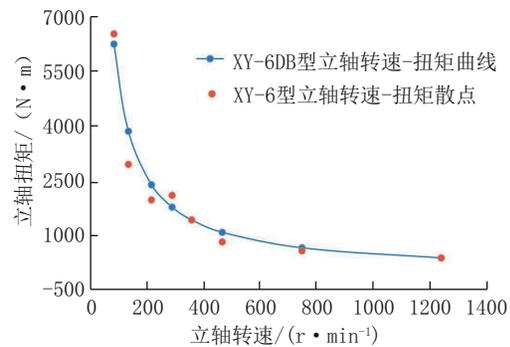


图2 立轴转速-扭矩对比曲线

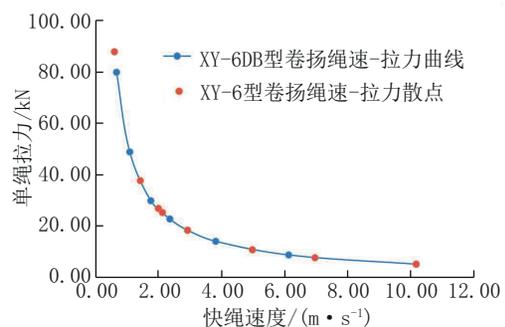


图3 卷扬绳速-拉力对比曲线

从图2可以看出,XY-6型钻机的立轴转速和扭矩是8个非连续断点,在实际施工中对于不同地层的适配性也变得“孤立”,很难实现孔底“需求”与实际输出的匹配。同样对于图3,原钻机可以通过操作者凭“手感”实现卷扬的不同提升和下放速度控制,但这种方式操作者是非常辛苦的,对设备和孔内

钻具也是危险的。通过变频电机的调频可以实现对卷筒转速的精准控制,通过电机能耗制动可以代替人工拉制带的高劳动强度作业。此次动力单元改造最重要的是在不减弱立轴和卷扬能力的基础上提高了钻机对施工需求的适用性。

2.2 制动单元改造

XY-6型钻机采用控制行星架的运动状态实现卷筒的动力输入与切断,通过采用摩擦滚筒轮辐的方式对卷筒进行减速,同时可匹配水刹车防止在深孔下钻过程中钻具下放速度过快导致事故发生。鉴于以上手动控制方式无法实现对卷筒的精准控制,同时需要操作者长期、就近作业对操作者的安全造成威胁,XY-6DB型钻机取消卷筒的2个制带,采用能耗制动+液压制动器驻车制动的方式实现对卷筒的安全控制。

液压驻车制动器的安装方式如图4所示,该制动器为弹簧夹紧液压打开,也可以通过控制制动器液压油压力实现可控制动力制动。为提高设备的安全性,在控制系统逻辑中对制动器的控制保持独立具备紧急制动功能,当井场出现断电以及井下出现突发状况时,可通过司钻或程序自行紧急制动卷扬,以保护设备安全。

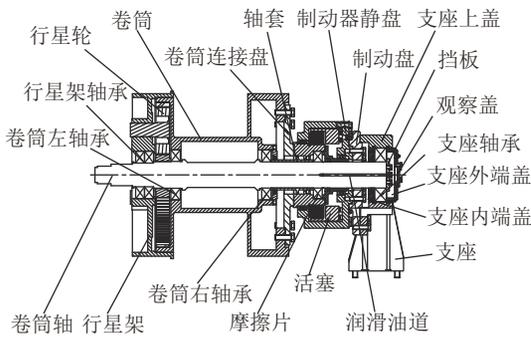


图4 XY-6DB型钻机制动器结构

2.3 液压原理

XY-6DB型钻机的液压系统采用了伺服电机驱动齿轮油泵为钻机提供液动力源,将原有手动控制阀更换为电液比例阀,除对给进、卡盘、移车等三大功能可实现远程精准控制以外还对液压制动器进行控制。经过对液压系统的电液比例控制升级,可实现对原有设备运行的状态参数进行实时监测与显示,并在司钻房内对采集的数据进行模拟量的数字化显示以供司钻及时掌握设备运行状态,并根据

设备运行状态判断孔内施工情况。液压系统原理如图5所示。

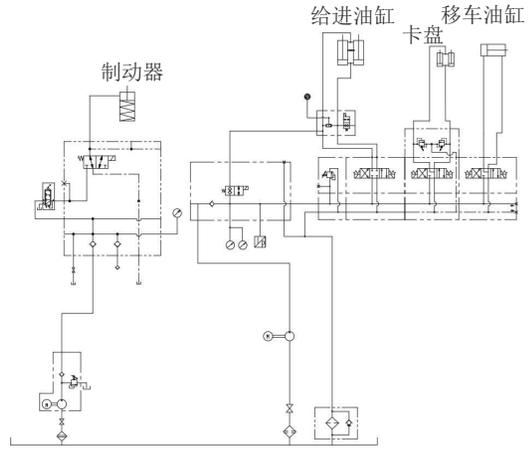


图5 XY-6DB型钻机液压系统

2.4 数字化控制系统

产品的数字化升级是企业数字化转型的基础,XY-6DB型钻机基于变频电传动技术和电液比例控制系统的结合实现对钻机全参数的数字化监视与设置。操作者可在如图6、图7所示的操作界面上完成钻机的整体运行状态的监控。



图6 钻机运行状态监视界面



图7 钻机运行设备参数设置界面

同时该系统还可对井场配套的变频泥浆泵等辅助设备运行参数显示,方便司钻根据全井场的参数做出及时、准确的工艺调整。另外该控制系统还可配备多位影像实时监控和安全报警装置,对全井场空间和夜间施工安全提供强有力的支撑

3 展望与总结

经过变频升级改造后的XY-6DB型钻机样机如图8所示,该机型除上文介绍的重点功能部件的改造以外还配备了位移传感器、压力传感器、气动换挡装置等多种传感器,这些传感器的嵌入使其具备钻进参数数字化、可视化的基础。通过PLC可编程控制,在司钻房对钻机所有功能进行远程操控。该设备在河北省滦县司家营铁矿北区深部普查(2023年度续作)矿区N26勘探线ZKN26-12钻孔施工中应用,该钻孔设计孔深1270 m,要求终孔孔径 ≥ 75 mm,全孔采用绳索取心钻进,岩心采取率 $\leq 80\%$ 。通过数字化改造的XY-6DB型电传动立轴钻机以丰富的钻进参数,良好的作业环境,高效的运行效率受到一线从业人员的一致好评,目前施工进度过半整体设备运行状态良好。



图8 XY-6DB型钻机实物

中国地质装备集团有限公司积极推动地勘行业供给侧改革,通过技术革新不断推出助力国家新一轮找矿突破战略行动的地质装备产品^[9-14],其中就包括图9所示的XY-5/6/8/9DB系列电传动立轴钻机,满足4000 m以内小口径地质勘探施工的绿色、高效、节能产品。目前该系列产品尽管在节能、环保、高效方面取得较好的应用效果,但在自动化作业方面还有进一步提升的空间。在未来电传动立轴钻机会与传动机械式立轴钻机保持并行发展,但电传动立轴钻机的市场占比会逐步扩大,同时该类型产

品会继续向着数字化、自动化、智能化发展,并最终通过自动化设备的完整性配套实现全流程自动化作业,为国家矿产资源的勘探开发提供强有力的装备支撑。

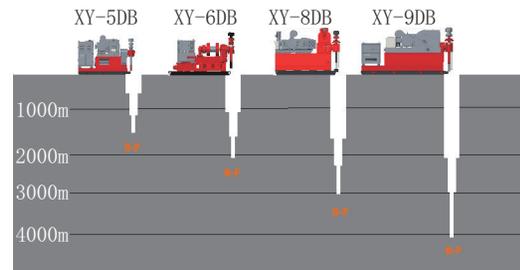


图9 XY系列电传立轴钻机产品序列

参考文献:

- [1] 臧臣坤,何磊,孙军盈,等.XY-9DB电传动立轴钻机的研制及应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2019:378-384.
- [2] 周政,臧臣坤,秦爱国,等.XY系列电传动立轴式岩心钻机的研制[J].地质装备,2019,20(5):11-14.
- [3] 高明帅,王春蕾,薛善忠,等.XY-5DB型电传动立轴钻机的研制与应用[J].地质装备,2020,21(5):11-14.
- [4] 黄洪波,张文举,臧臣坤,等.深部取心钻探卸工具机械化的思考与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):1-4.
- [5] 何磊,马福江,沈怀浦,等.全液岩心钻机给进机构及其控制分析[J].地质装备,2011,12(3):11-14.
- [6] 孙军盈.变频电驱动深孔地质钻机自动送钻系统的研究与应用[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [7] 孙军盈,沈怀浦,宋志亮,等.一种深孔电传动岩心钻机刹车控制系统[J].地质装备,2017,18(2):13-16.
- [8] 王德.深部找矿钻探动力头钻机与立轴钻机综合特性对比研究[J].世界有色金属,2022(23):199-201.
- [9] 柴喜元,谭颖,欧阳志强,等.机械传动立轴式岩心钻机自动化升级的研究及应用[J].地质装备,2021,22(3):7-11.
- [10] 周亲宗,谭颖,卢春阳,等.传统立轴岩心钻机的智能升级[J].地质装备,2019,20(5):15-16.
- [11] 宋志亮,周政,何磊,等.深孔地质钻机XY-8DB的液压缸送钻现状与优化[J].地质装备,2019,20(2):11-14.
- [12] 杨卫明.我国地质勘探钻机发展方向及应用的思考[J].设备管理与维修,2018(14):34-36.
- [13] 高明帅,孙卫娜,宋志亮,等.一种用于机械立轴钻机主绞车的液压制动装置:CN213011735U[P].2021-04-20.
- [14] 周政,臧臣坤,朱江龙,等.一种深孔用电传动立轴钻机:CN109973007B[P].2020-07-03.

(编辑 李艺)