

基于 CAN 总线技术的钻机电控系统的设计与应用

和国磊, 刘晓林, 朱芝同, 马汉臣, 杜焱森, 王嘉瑞
(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:电控系统作为钻机的操控核心,其安全性和可靠性是钻机正常运行的重要保障。本文提出了基于 CAN 总线技术的控制系统方案,重点论述了该系统的结构组成及功能设计。通过在 SDC2500 型全液压钻机上的应用表明,基于 CAN 总线技术的控制系统具有布线简洁、远程集成控制、故障预警、提高钻机操控安全性等优势。

关键词: CAN 总线技术;控制器;全液车车载钻机;电控系统

中图分类号: P634.3⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)12-0072-06

Design and Application of Electronic Control System of Rig Based on CAN Bus Technology/HE Guo-lei, LIU Xiao-lin, ZHU Zhi-tong, MA Han-chen, DU Yao-sen, WANG Jia-ru (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The electric control system is the core of operation control for a rig, its high security and reliability are the important guarantee for the normal operation. A scheme of control system based on CAN bus technology is proposed in this paper, the system structure and function design are discussed. Through its application on SDC2500 vehicle-mounted hydraulic, it is proved that this control system based on CAN bus technology has advantages of simple wiring, remote integrated control, fault early warning and improved drilling rig safety.

Key words: CAN bus technology; controller; hydraulic vehicle-mounted drilling rig; electric control system

0 引言

钻机属于野外作业和移动性设备,施工地点大多处于远离城市和工业电网的旷野之中。钻机动力输出来源于柴油机,载荷变化幅度大,能耗高,动力分配复杂,要求采用廉价、节能、维护方便、适用于大功率控制及具有一定控制精度的控制技术。由于钻机控制需检测及交换大量数据,采用硬接信号线的方式不但烦琐、昂贵,而且难以解决问题,采用 CAN 总线上述问题便能得到很好地解决。

CAN 总线是一种串行数据通信协议,其通信接口中集成了 CAN 协议的物理层和数据链路层功能,可完成对通信数据的成帧处理。由于其高性能、高可靠性及独特的设计,CAN 越来越受到人们的重视,目前被广泛地应用于工业自动化、船舶、医疗设备、工业设备等方面。基于此,提出适用于全液车车载钻机的 CAN 总线技术的控制系统。

1 钻机电控系统的功能要求

根据钻机施工特点和控制方式,控制系统须满

足以下要求。

(1)实现远程控制。配置远程操纵盒来控制钻机全部动作,采用总线方式与主控制系统相连接,要求控制可靠。

(2)具有良好的人机交互性,可实时掌握钻机运行状态。HMI 人机交互界面提供输入、输出检测,故障报警,钻机各项参数监控及压力、流量设置,以便实时、便捷地掌握和控制钻机运行情况。

(3)实时油门控制。通过油门电位计以及油门执行器,控制油门开度,实现对柴油机转速的实时控制。

(4)采集柴油机信号。通过信号采集模块,采集柴油机传感器信号,通过 CAN 总线方式传输给主控制器并在显示屏上显示。

(5)实现 PWM 比例输出,以驱动比例电磁阀。要求传感器、电磁阀与柴油机等无缝对接,并实现复杂逻辑控制、互锁、过程运算等。

(6)适应野外恶劣工况,线路简洁,通信稳定,可维护性好。

收稿日期:2016-06-16; 修回日期:2016-11-29

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“冀中平原典型盐碱化地区水文地质调查”(编号:12120113017000)

作者简介:和国磊,男,汉族,1984年生,高级工程师,机械设计及其自动化专业,从事钻探设备的研发工作,河北省廊坊市金光道77号, hglie@sina.com。

2 控制系统方案

控制系统框图如图 1 所示。系统采用 CAN 总线分布式结构,线路的连接简洁,可靠性高,易于实现控制的数字化、模块化,并具有较高的扩展性。

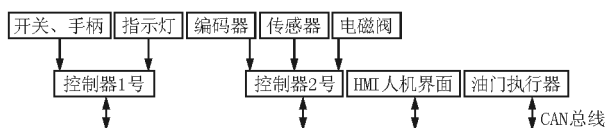


图 1 CAN 总线分布式体系

系统主要由远程控制单元(遥控端)和钻机控制单元(钻机端)组成。两单元之间采用 CAN 总线网络连接通讯。用 8 个小型控制器分别作为信号采集和控制输出。CAN 总线网络拓扑图如图 2 所示。

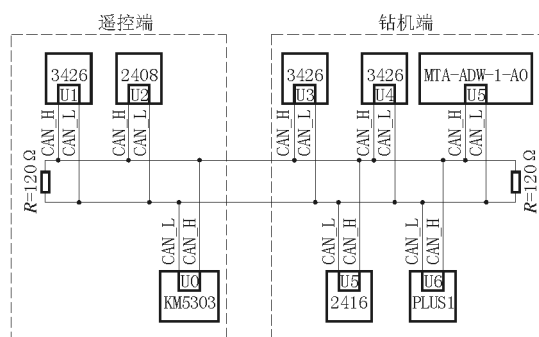


图 2 CANBUS 总线网络拓扑图

远程操纵盒是钻机操作的核心部分,钻机所有执行动作均通过远程操纵盒操控完成。传感器对钻机运行状态参数进行采集并输入控制器,在人机交互端配备显示器对主要参数进行监控。控制系统组成如图 3 所示。

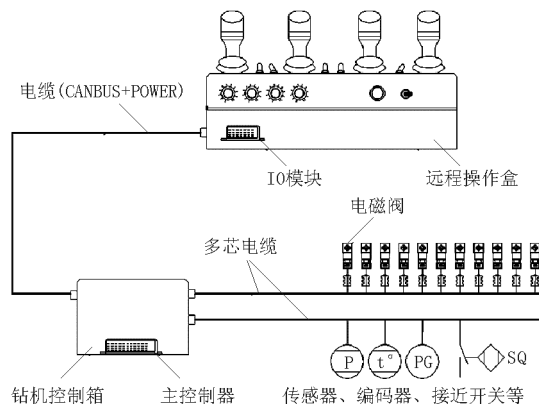


图 3 控制系统组成图

3 功能设计

电控系统可实现柴油机的启停调速控制、开关量控制、比例量控制及钻进参数实施显示。

3.1 柴油机启动电路

柴油机启动、熄火均通过控制器控制,启动电路如图 4 所示。控制器输出点 Q0.6, Q0.7 分别接继电器线圈 KA1、KA2,经继电器触点 KA1,KA2 分别控制柴油机点火和断油阀电路的通断,实现柴油机启停控制。柴油机启动熄火均在遥控盒上操作完成。为提高安全性,应对突发状况,在钻机两侧设有急停按钮 SBE_1, SBE_2。

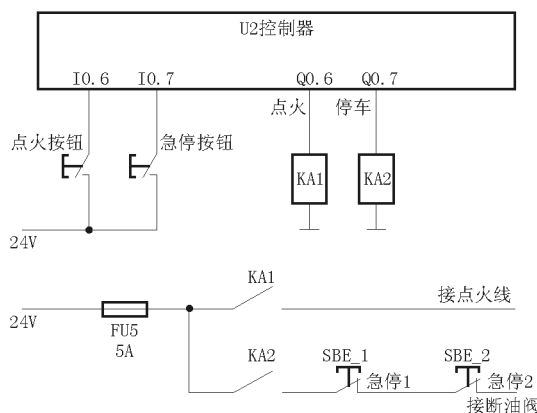


图 4 柴油机启停电路图

柴油机点火须满足以下 6 个条件:(1)不存在 CAN 故障;(2)柴油机转速值低于 30 r/min(避免频繁点火);(3)位于 HMI 上的套管钳开关关闭(防止带载启动);(4)位于 HMI 上的水箱散热开关关闭(防止带载启动);(5)柴油机停车 Q0.7 处于高电平状态(柴油机断油阀持续供电);(6)持续按下点火按钮 0.5 s 以上(避免误动作)。在满足上述条件下,置位 Q0.6,此后的 5 s 时间内,接通柴油机点火,启动电机工作,当控制器接收到柴油机转速值超过 350 r/min,即认为柴油机成功启动,复位 Q0.6,点火结束。5 s 时间到,无论是否成功启动,为防止长时间点火损坏启动电机及相关线路过热,程序将使点火强制结束。参见图 5。

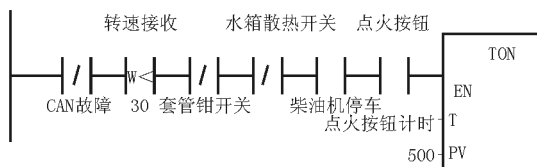


图 5 柴油机启停控制程序

3.2 比例量控制电路

动力头回转采用电比例变量马达驱动,通过控制回转马达排量变量,实现动力头回转速度的控制。马达变量范围为 80 ~ 160 mL,综合钻进常用转速参

数,对马达采用三挡定点排量控制,如图6所示。马达排量分别设为80、120、160 mL。考虑到马达运转平稳及使用寿命等因素,设置换挡缓冲,即在换挡瞬间,通过马达变量电磁线圈的电流不发生突变,而是由马达换挡前设置电流向马达换挡后设置电流平滑过渡,完成换挡操作之后,该电流值才稳定在当前挡位马达的设置电流。设置换挡缓冲的目的是减小钻进作业中换挡操作对马达以及动力头的液压和机械冲击。

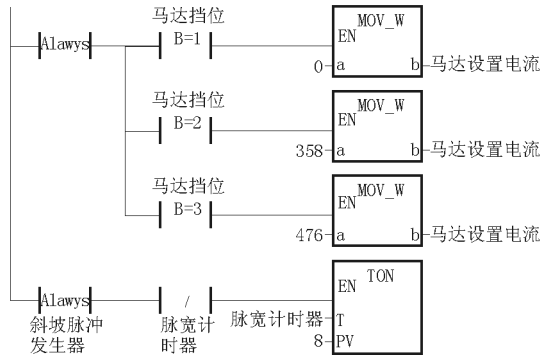


图6 马达变量控制程序

动力头回转由双马达驱动,出现电路故障时,2台马达排量不同会导致马达承受非对称载荷。极端情况下,单个马达可能因过载而损坏。系统具备针对此类电路故障的容错性,始终保证2台马达排量变化一致。利用控制器PWM输出端口的电流反馈检测功能,对实际通过马达变量电磁线圈的电流进行检测,并作差进行比较,若该差值超出一定范围,即认为发生故障,程序立即清零马达变量电磁线圈输出,使2台马达同处于最大排量输出状态(如图7所示),并将同时将马达变量故障通过CAN网络通知HMI,在HMI显示屏上输出马达变量故障报警。

3.3 给进参数显示

钻机给进控制中引入编码器,可准确实时地测量出动力头的位移量,由此能计算出动力头给进速度即钻机的进尺速度,动力头的位移和速度通过CAN网络发送至HMI界面显示。编码器采用ABZ三相增量式编码器,通过U4控制器的高速计数口接入系统中,如图8所示。

接入编码器可以标定动力头的最高位置和最低位置,通过HMI界面可准确读出动力头当前位置,便于计算下入孔底组合钻具或套管需要的净空距离。动力头下降至最低位置时,按下HMI界面标零按钮,

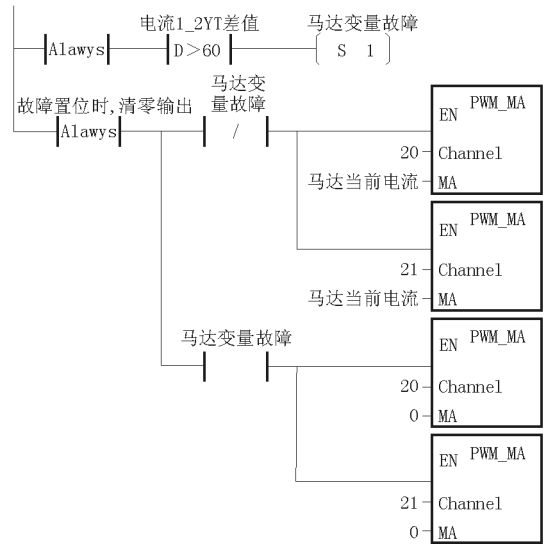


图7 马达故障检测控制程序

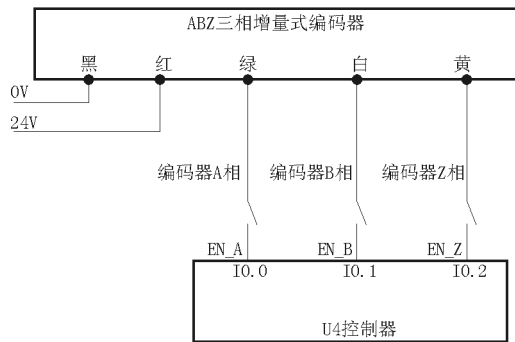


图8 编码器接入电路

动力头位移归零;动力头上升至最高位置时,按下HMI界面标高按钮,显示动力头位移最大值,如图9所示。在钻机钻进过程中,为保证HMI界面显示的动力头位置的准确性,应每隔一段时间标定(标零或标高)一次动力头位置以消除编码器在动力头给进运动中的累积误差。

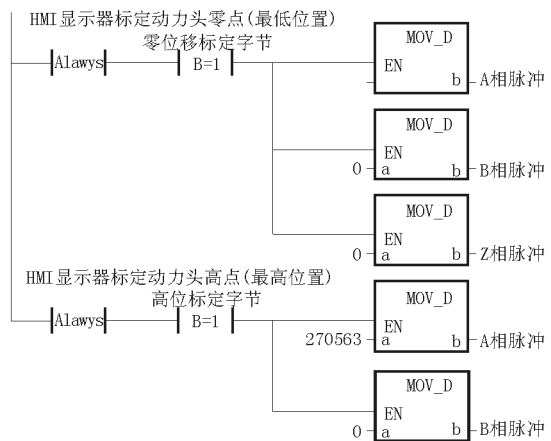


图9 编码器标零和标高程序

利用控制器高速计数端口自带的 AB 解码功能,通过 AB 相脉冲计数差值作为脉冲总数,该脉冲总数除以编码器单圈脉冲数得到编码器转动圈数,将圈数乘以滑轮周长可得出动力头位移,除以单位时间即可获得动力头的给进速度,如图 10 所示。

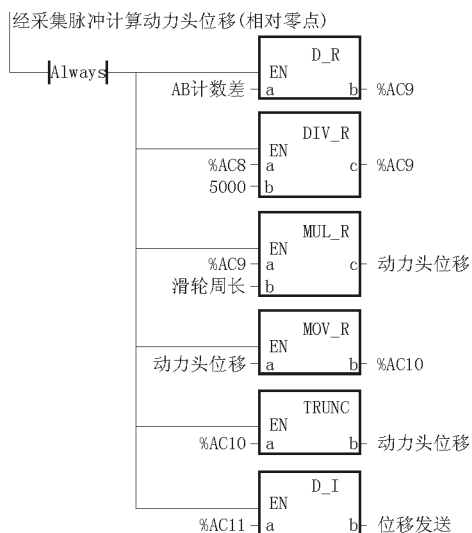


图 10 编码器测算动力头位移程序

3.4 HMI 人机界面

HMI 人机界面可显示柴油机工作参数,液压阀的电磁铁工作状态,设置电液比例阀的工作电流。通过切换 HMI 显示屏,实时掌控钻机的工作参数故障报警等。

HMI 主页面即钻机正常工作时默认页面,提供钻机主要运行参数监控,是 HMI 显示功能的核心。其显示内容包括柴油机运行参数,给进压力及负载,回转压力及扭矩,动力头位置及速度,手柄动作百分比等。

故障页面提供故障查询显示功能,当故障发生时,位于远程操作盒上的故障灯闪烁,同时蜂鸣器蜂鸣,按下 HMI“故障”键即切换当前页面至故障页面,红色闪烁故障灯显示当前故障。参见图 11。

输入状态页面提供系统各输入量状态查询,需要时可通过操作相应手柄、旋钮等输入元件观察相应输入点状态变化,此功能用于输入线路故障的现场排查。

输出状态页面提供各输出量状态查询,对照该页面所显示的输出状态,同时观察相关电磁阀实际状态,可对输出线路故障进行现场排查。参见图 12。



图 11 HMI 主页面和故障页面

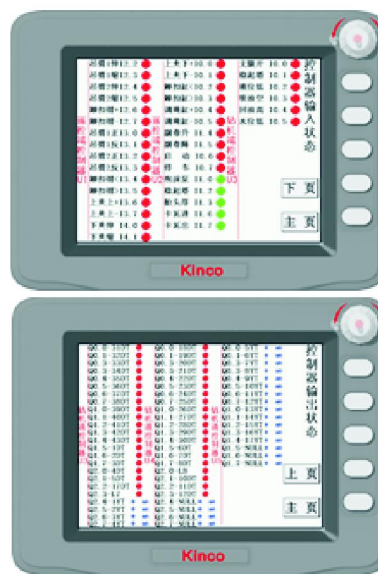


图 12 输入输出状态页面

设置页面提供电比例换向阀电流值设置功能,通过该页面设置各辅助动作执行机构流量进而调整动作速度。

其他页面提供动力头零点位置标定和车载柴油机运行时间查询功能。参见图 13。

4 硬件配置

系统主要硬件包括控制器、HMI 人机界面、油门执行器和传感器。

控制器采用 EasyController 系列控制器,该控制器是基于 TriCore 处理器架构的 32 位微控制器,



图13 设置页面和其他页面

外壳采用全铸铝封装,具备 $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 宽温、抗扰性强、耐震耐冲击性高等特点,见图14。HMI人机界面采用Kinco显示屏,内部结构电气设计以及面板设计具有宽温、宽电压、防水的特点,防护等级IP65,能够适应钻机野外施工恶劣的工作环境。

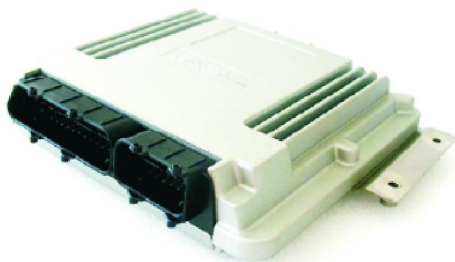


图14 EasyController 控制器

5 控制器软件

系统编程采用基于Windows平台的EasyBuilder编程软件。软件具有控制方案编辑和仿真调试功能,采用符合IEC 61131-3标准的编程语言,并与Windows的图形界面和面向对象的操作精确匹配,软件界面操作简单,包含了数学、PWM、系统控制等指令功能,软件界面如图15所示。

6 系统调试与测试

通过EasyBuilder软件完成各控制器程序编写后,保存并编译程序,检查无误后下载到相应控制器,在完成相应接线后通电试运行,动作各输入开关、旋钮、手柄,并使用该软件在线监控功能,监控控制器的

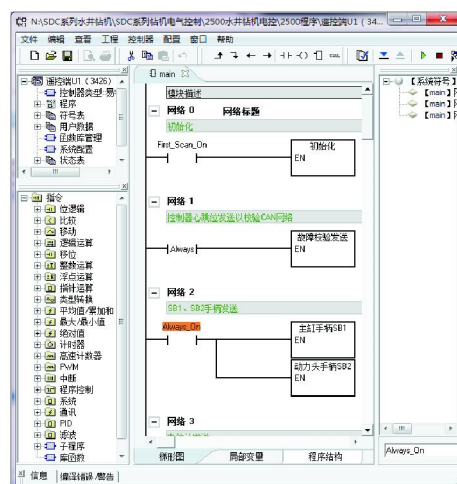


图15 EasyBuilder 编程软件界面

输入与输出,并同时观察相应电磁阀得电情况,检查是否满足控制要求。

(1)比例量控制:主卷扬、动力头抬头、动力头回转、主缸升降、加压钻进、减压钻进、动力头正转限压、动力头反转限压通过比例手柄控制和电位计旋钮控制调节。

(2)开关量控制:副卷扬、吊臂伸缩回转、夹持器、卸扣钳泡沫泵、孔口夹持由开关量手柄控制。

(3)柴油机启停通过开关、停车按钮控制,使用油门电机实时控制油门。

(4)HMI提供输入、输出检测,故障报警,钻机各项参数监控及压力、流量设置。

为提高系统安全性和可维护性,对于控制器之间的CAN数据收发进行简单的故障校验并处理如下:输出端控制器对CAN接收数据进行校验,若校验失败,则会清零所有输出,避免因CAN网络故障造成钻机失控的安全隐患;同样地,输入端控制器也会对CAN接收数据进行校验,若校验失败则判断为CAN故障,输出故障灯警报。对于控制器与HMI之间、控制器与CAN油门执行器之间,若出现通信异常,则通过CAN总线分析仪对收发数据进行诊断。

7 基于CAN总线PLC电控系统的应用及其效果

SDC2500型全液压车载钻机以汽车底盘作为载体,工作装置由动力头、伸缩桅杆、给进装置、钻井介质通道、液压系统和电气系统组成。其电控系统采用了基于CAN总线技术的电控系统。

钻机通过“冀中平原典型盐碱化地区水文地质调查”项目开展应用示范,先后完成地热井、煤层气

井的钻井施工,效果良好。应用表明,基于 CAN 总线技术的电控系统具有以下特点。

(1)大大简化了钻机控制系统,避免了大量远距离布置管线,钻机管线布置更加简洁。

(2)实现了钻机操作的集成控制,钻机全部动作由远程操纵盒集中控制,实现了动力机组起停调速、工作状态读取、参数实时调整、执行机构精准控制。

(3)电控系统具有故障预警功能,可实现故障位置精准指向,快速定位故障模块,缩短了钻机故障排查时间,提高了钻机的使用效率。

(4)钻机操控者可任意调整离孔口的距离,提高了钻机操作的安全性,改善了操控者的工作环境。

8 结论

基于 CAN 总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性。应用基于 CAN 总线的电控系统,极大地简化了钻机液压系统,可实现对钻机参数状态实时监控,及时进行故障诊断报警,提高了钻机工

作的可靠性、生产效率和安全性。通过在 SDC2500 型钻机上的应用,证明了基于 CAN 总线的电控系统可以很好地服务于大型钻探装备,对大型钻机的自动化、智能化发展提供了应用依据。

参考文献:

- [1] 刘卫平,王明泉. PLC 的发展及应用前景[J]. 机械管理开发, 2009,24(5).
- [2] 陶照园. PLC 在露天浅孔钻机控制系统中的应用[J]. 采矿技术, 2006,6(4).
- [3] 李莉,周斌. ZJ30DBT 钻机控制系统模块化设计及应用[J]. 石油机械, 2005,33(12).
- [4] 阮静洁,傅华明. 一种通用全液压自动化钻机控制系统的实现[J]. 微计算机信息(测控自动化), 2006,22(3-1).
- [5] 李雅梅,高剑. CAN 总线技术及设计应用[J]. 火控雷达技术, 2006,35(4).
- [6] 陈朝东,张莉. PLC 在钻机控制系统中的应用[J]. 计算机自动测量与控制, 2001,9(2).
- [7] 吴文秀,吴修德,李应刚. 基于 CAN 总线的液压车装钻机监控系统[J]. 石油机械, 2006,34(9).
- [8] 侯明,杜奕. 基于 CAN 总线的接口电路设计[J]. 通信技术, 2008,41(7).

(上接第 71 页)

方法,是提升产品质量、缩短设计周期、提高产品竞争力的一项有效手段,通过对夹持卸扣装置实体模型的合理简化,选择合适的网格划分方法与单元格类型,将结构优化设计与有限元分析相结合,从而形成了更为精确可靠的设计方案,不仅验证了结构强度的可靠性,同时为今后同类产品的设计提供了参考依据。

本文仅从理论角度验证了装置结构、强度的合理性,保证了设计需求。目前钻机正在研制中,有待实践的验证。

参考文献:

- [1] 姚亚峰,姚宁平,彭涛. 松软煤层套管钻机夹持机构设计与分析[J]. 煤炭科学技术, 2013,41(6):73-76.
- [2] 万军,王艳华,陈骞,等. 钻机双夹持器的设计与分析[J]. 矿业

安全与环保, 2008,35(S1):25-26.

- [3] 常江华,姚克,凡东,等. 煤矿定向长钻孔坑道钻机顶部开放式复合夹持器的研制[J]. 煤矿机械, 2011,32(7):148-150.
- [4] 黄晓徐,胡伟,范存孝. MD-100 型全液压锚固工程钻机新型夹持器的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004,31(2):39-41.
- [5] 黄洪波,张文举,臧臣坤,等. 深部取心钻探卸卸工具机械化的思考和实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011,38(7):1-4.
- [6] 孙友宏,沙永柏,于萍. JFK-15 型非开挖导向钻机夹持-卸扣机构[J]. 工程机械, 2006,37(11):12-15.
- [7] 石亦平. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [8] 马红月,刘子厚,李斌,等. 基于 Solidworks 的钻机底座有限元分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014,41(2):48-51.
- [9] 刘智. 车载修井机井架静强度有限元分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014,41(10):72-74.
- [10] 李旭涛,贺利乐,张幼振,等. 螺旋式煤炭采样装置螺旋钻杆疲劳强度分析[J]. 煤炭工程, 2012,(11):93-94.