

基于 Profinet 与 S7-1200 PLC 的 RN254 型铁钻 工电控系统的研发与应用

刘晓林^{1,2,3,4}, 王林清^{1,2,3,4*}, 许本冲^{1,2,3,4}, 刘凡柏^{1,2,3}

- (1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000;
2. 中国地质学会自动化智能化钻探装备创新基地, 河北 廊坊 065000;
3. 中国地质调查局深部探测钻探装备技术创新中心, 河北 廊坊 065000;
4. 廊坊聚力勘探科技有限公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: RN254 型铁钻工是勘探技术所自主研发的井口自动化拧卸设备, 可在 3.5~10 in 范围内安全、快速、平稳地实现钻具连接、上卸扣操作。基于对一般钻井井台自动化设备集成应用和功能需求特点分析, 以井台设备模块化、集成化为设计思想, 结合 RN254 型铁钻工的作业工况、机械结构及液压系统, 设计了 RN254 型铁钻工电控系统。该系统以 S7-1200 PLC 为控制核心、Profinet 为通讯方式, 将铁钻工所有元件有序地整合到一起, 实现了动作单步控制或多个动作顺序组合的一键自动控制。经野外实际生产试验及厂内联合调试, RN254 型铁钻工各动作执行良好, 主机控制稳定有序, 验证了电控系统的可行性及可靠性, 提高了孔口作业自动化程度和作业安全性, 为后续钻井智能化装备研发提供了参考。

关键词: Profinet; S7-1200 PLC; 铁钻工; 电控系统; 自动化拧卸设备

中图分类号: P634.4; TE921 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0231-07

Research and application of RN254 roughneck electrical control system based on Profinet and S7-1200 PLC

LIU Xiaolin^{1,2,3,4}, WANG Linqing^{1,2,3,4*}, XU Benchong^{1,2,3,4}, LIU Fanbai^{1,2,3}

- (1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;
2. Innovation Base for Automatic and Intelligent Drilling Equipment, Geological Society of China,
Langfang Hebei 065000, China;
3. Technology Innovation Center for Deep Exploration Drilling Equipment, CGS, Langfang Hebei 065000, China;
4. Langfang Juli Exploration Technology Co., Ltd., Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: RN254 Roughneck is an independently developed wellhead automated unscrewing equipment by the Exploration Technology Institute. It can safely, quickly, and smoothly connect and detach drilling tools within a range of 3.5 "to 10". Based on the analysis of the integrated application and functional requirements of general drilling platform automation equipment, the RN254 roughneck electronic control system was designed with the design concept

收稿日期: 2024-07-29 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.035

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“固体矿产高效精准勘探技术及自动化钻探装备升级与应用”(编号: DD20242850); 廊坊聚力勘探科技有限公司研发专项“孔口自动化拧卸装置研发”

第一作者: 刘晓林, 男, 汉族, 1987 年生, 高级工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 从事钻探装备及岩土钻掘装备自动化和智能化研发工作, 河北省廊坊市广阳区金光道 77 号, 13722651087@163.com。

通信作者: 王林清, 男, 汉族, 1993 年生, 地质工程专业, 硕士, 从事钻探新技术、新设备、新工艺的研发工作, 河北省廊坊市广阳区金光道 77 号, wanglinqingmail@163.com。

引用格式: 刘晓林, 王林清, 许本冲, 等. 基于 Profinet 与 S7-1200 PLC 的 RN254 型铁钻工电控系统的研发与应用[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 231-237.

LIU Xiaolin, WANG Linqing, XU Benchong, et al. Research and application of RN254 roughneck electrical control system based on Profinet and S7-1200 PLC[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 231-237.

of modularization and integration of platform equipment, combined with the operating conditions, mechanical structure, and hydraulic system of the RN254 roughneck. The system uses S7-1200 PLC as the control core and Profinet as the communication method, integrating all components of the roughneck in an orderly manner, achieving one key automatic control of single step action or multiple action sequence combinations. Through actual field production tests and joint debugging in the factory, the RN254 roughneck has performed well in all actions, with stable and orderly control of the main engine, verifying the feasibility and reliability of the electrical control system, improving the automation level and safety of drilling operations, and providing reference for the development of intelligent drilling equipment in the future.

Key words: Profinet; S7-1200 PLC; roughneck; electric control system; automated unscrewing equipment

0 引言

随着智能化钻探设备的发展,铁钻工正在逐步取代液气大钳及人工作业钳成为孔口主要的上卸扣装备^[1-3]。而矿产资源开采环境复杂,钻井条件艰苦,如何高效安全的操作铁钻工进行上卸扣作业成为当前主要的研究方向^[4-6]。RN254型铁钻工是勘探技术所基于所承担的“智能化深部钻探技术升级及应用示范”项目自主研发的井口自动化拧卸设备,可在3.5~10 in(1 in=25.4 mm,下同)范围内安全、快速、平稳地实现钻具连接、上卸扣,该型铁钻工采用有线、无线及本地3种控制方式,并可根据现场使用条件设定参数实现智能化一键对孔位和一键上、卸扣,极大地减少人工作业劳动强度的同时可有效地提高深孔地质钻探辅助作业效率。

2023年,RN254型铁钻工在陕西延安某气井施工现场成功开展了生产应用试验,试验中RN254型铁钻工配合钻机钻井进尺4164 m,实现零故障零事故自动化拧卸各种扣型千余次,获得了用户的一致好评。

2024年,着力在设备模块化、自动化、集成化方面升级完善RN254型铁钻工电控系统。西门子S7-1200 PLC处理性能强大,配合扩展模块可控制多个执行元件顺序或同时动作^[7-10];Profinet通讯可靠性高抗干扰性强^[11-13],可作为集成终端的主要通讯方式。基于Profinet与S7-1200 PLC设计研发了新型电控系统,并对RN254型铁钻工关键技术进行了集成应用测试,取得了较好的应用效果。

1 RN254型铁钻工概述

RN254型铁钻工是采用机电液一体化设计的孔口自动化拧卸设备(图1),采用模块化设计和全液压驱动方式,具备有线、无线及本地3种操控模式,该铁钻工由焊接底座、基座、伸缩臂、旋扣钳、卸

扣钳、液压阀箱和电控箱组成。

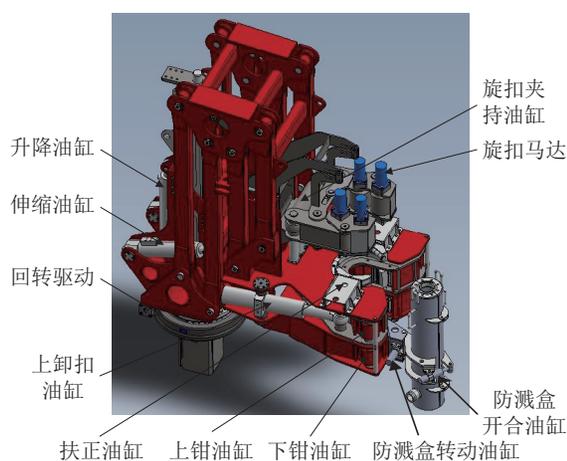


图1 RN254型铁钻工

RN254型铁钻工通过焊接底座固定安装在钻机底座上,根据图1所示结构组成和液压系统设计,铁钻工具有以下11个动作,分别为:

(1)基座旋转:该机构通过基座上的回转驱动可使铁钻工主钳对准井口或“鼠洞”工位、停机位等其他设定位置。(2)主钳前后移动:该机构利用一对平行四连杆机构组成的伸缩臂通过伸缩油缸实现铁钻工主钳向井口或“鼠洞”方向前后移动。(3)主钳上下移动:通过安装于基座和伸缩臂之间的滑移油缸伸缩带动主钳实现夹持位置的高低调整。(4)下钳夹紧与松开:下钳通过径向均布的3个夹紧油缸伸缩带动夹持卡瓦移动,实现对钻杆的夹紧与松开。(5)上钳夹紧与松开:原理与下钳相同。(6)主钳上扣与卸扣:主钳上扣与卸扣是实现在上扣时最后一扣的拧紧与卸扣时对第一扣的退扣,是受到侧向安装的两只油缸控制,当一个油缸伸出时,另一个油缸同时缩回,实现紧扣与松扣。(7)旋扣器夹紧与松开:旋扣器由两组滚轮和旋扣器夹紧油缸控制,夹紧油缸动作推动滚轮架实现对钻杆的“抱

合”,松开动作相反。(8)旋扣器正反转:旋扣器的滚轮由液压马达驱动,可实现钻杆的正、反旋扣。(9)扶正机构伸出与缩回:由两个油缸同步动作带动对中架伸缩,在组接钻杆时扶正上部钻杆,使上下钻杆丝扣对正,便于旋扣。(10)泥浆防溅盒旋转与回位:由油缸带动泥浆防溅盒在待机位和钻杆中心位置(工作位)间摆动。(11)泥浆防溅盒打开与闭合:由油缸带动,使防溅盒打开或闭合。

2 电控系统方案设计

2.1 总体方案设计

2.1.1 电控系统拓扑结构

基于对一般钻井井台自动化设备集成应用和功能需求特点分析,以井台设备模块化、集成化为设计思想,结合RN254型铁钻工的作业工况、机械结构及液压系统设计,设计RN254型铁钻工电控系统拓扑结构如图2所示。

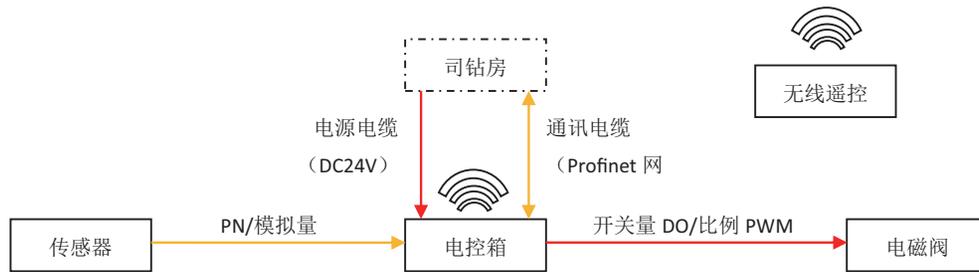


图2 电控系统拓扑图

2.1.2 铁钻工动作机构与系统 I/O

分析 RN254 型铁钻工各执行元件动作和检测

反馈,对应液压系统设计,按信号 I/O 类型统计见表 1。

表 1 铁钻工动作/检测与 IO 类型

序号	IO 信号类型	电控元件	动作/检测说明
1	开关量输出(DO)	电磁阀	回转驱动、伸缩油缸、升降油缸、下钳油缸、上钳油缸、上卸扣油缸、扶正油缸、旋扣夹持油缸、旋扣马达、防溅盒转动与开合油缸、高低压力及流量切换
2	比例量输出 PWM	电磁阀 1YT	远程比例限压
3	RS485	绝对值编码器	回转驱动位置检测
4	AI/电流 4~20 mA	缸内位移传感器/ 压力传感器	伸缩、上卸扣油缸活塞杆位移检测/上、下钳夹紧方向,上卸扣方向及旋扣夹紧方向压力检测

2.2 控制功能设计

除本地应急控制外,RN254型铁钻工多采用无线遥控,或由司钻房上位机通过Profinet网络通讯方式实现中央集控,两种控制方式都可实现单步控制或多个动作顺序组合的一键自动控制,具体如下。

2.2.1 单步控制

通过无线遥控或司钻房上位机 HMI,实现动作的单步控制。

2.2.2 一键自动控制

通过无线遥控或司钻房上位机控制界面,一键实现多个组合动作的顺序执行。

(1)自动工位:通过回转驱动编码器及伸缩油缸缸内位移传感器采集数据及工位计算,一键实现

“井口待机”、“鼠洞待机”“停机”共3个工位的自动就位。

(2)自动卸扣:自动卸扣功能是通过设置自动卸扣的相关参数,使铁钻工完成一键自动卸扣动作。自动卸扣各顺序动作步见表2。

(3)自动上扣:自动上扣功能是通过设置自动上扣的相关参数,使铁钻工完成一键自动上扣动作。与自动卸扣动作类似,具体步动作设计不在此赘述。

2.3 系统设备组成

根据电控系统总体方案设计,结合液压系统设计和安装特点(图3),RN254型铁钻工电控系统由传感器、电磁阀、电控箱、无线遥控及电缆线束等附件组成,电控系统由连接司钻房的电源电缆取电24

表2 自动卸扣步动作流程

步	动作	条件判断
0	按下“自动卸扣”键	
1	初始化各相关动作初始位置	自动执行 t (程序设定时间)
2	下钳油缸夹紧	压力传感器
3	上卸扣钳顺时针旋转	油缸缸内位移传感器
4	上钳油缸夹紧	压力传感器
5	上卸扣钳逆时针旋转	压力传感器;油缸缸内位移传感器
6	上钳油缸松开	时间
7	上卸扣钳回正	油缸缸内位移传感器
8	旋扣夹持油缸夹紧	压力传感器
9	旋扣(马达)松	时间
10	旋扣夹持油缸松开	时间
11	下钳油缸松开	时间
12	是否需要防溅	司钻房上位机勾选“是”则继续运行,“否”则跳至20步
13	伸缩臂回收	缸内位移传感器
14	防溅盒打开	时间
15	防溅盒摆臂至工作位	时间
16	防溅盒闭合	时间
17	防溅盒打开	人工选择
18	防溅盒摆臂至待机位	时间
19	防溅盒闭合	时间
20	伸缩臂回收至待机位	缸内位移传感器

VDC,并通过Profinet网络通讯电缆连接司钻房上位机集控系统。其中电控箱内集成PLC和扩展模块、无线接收器和中间继电器等。

2.4 软硬件设计

2.4.1 硬件设计

硬件设计主要包括传感器的选型、PLC和扩展模块的选型以及无线遥控的选型设计。

2.4.1.1 传感器的选型

对于回转驱动位置检测,为确保位置检测精度,选择使用RS485绝对值输出型编码器安装于回转驱动马达输出轴端,考虑回转驱动使用高减速比的情况下,角度位置检测精度进一步提高,满足一键自动对位时的高精度要求。

对于油缸位移的检测,充分考虑铁钻工作业工况,选择油缸内置磁致伸缩位移传感器,输出4~20 mA信号,具有防护性好、衰减小、检测精度高的特点。

对于液压系统压力的检测,选择高精度薄膜喷射式压力变送器,输出4~20 mA信号。

2.4.1.2 PLC和扩展模块的选项

PLC的选型主要考虑易于与司钻房上位机集成系统通信,同时以稳定可靠为原则,选择西门子S7-1200系列,同时考虑Profinet通信、RS485通信以及前述系统I/O类型和点数需求,CPU及各扩展模块的选型详见表3。

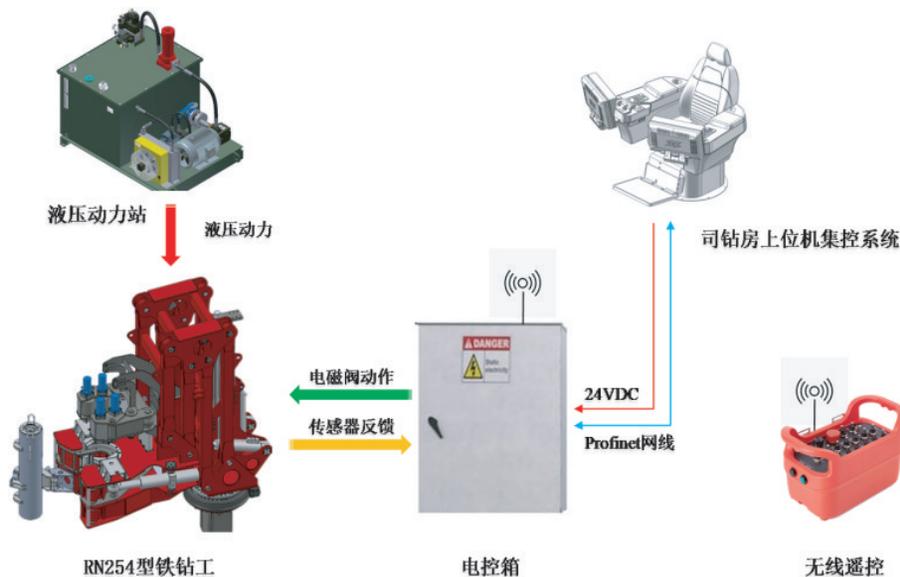


图3 电控系统设备组成

表 3 PLC 及扩展模块选型

序号	名称	型号/指标参数
1	CPU	西门子 CPU1215C
2	RS485 模块	西门子 CB1241(RS485)
3	Profinet 网络模块	西门子 ET200sp PN 接口模块 155-6 PN ST
4	开关量输入模块	西门子 DI 16*24VDC ST
5	开关量输出模块	西门子 DQ 16*24VDC/0.5A ST
6	模拟量输入模块	西门子 AI 8*I2-, 4-wire BA

2.4.1.3 无线遥控的选型和面板设计

无线遥控选型主要以可靠、适用于野外井场作业工况为原则,无线接收器端选用开关量输出,通过开关量输入(DI)模块接入系统,无线遥控面板根据前述控制功能设计如图 4 所示。



图 4 无线遥控面板设计

图 4 中,设置各动作单步控制用三位自复位按钮开关 11 个,对应 11 个动作的正反向,另设有 5 个按键供一键自动动作,包括“自动上扣”、“自动卸扣”、“井口待机”、“鼠洞待机”、“待机工位”,分别对应一键自动上扣、自动卸扣、井口工作位、“鼠洞”工作位和停机工作位。除功能键位外,设置急停开关、侧面启动按键、信号指示灯和电量指示灯。

2.4.2 PLC 程序设计

S7-1200 系列 PLC 支持 IEC61131-3 标准下的梯形图(LAD)、函数块图(FBD)、结构化文本(ST)、指令表(IL)和顺序功能图(SFC)多种编程语言,本系统的研发中主要采用结构化文本编程,它是类似于 C 语言的高级文本编程语言,适合处理复杂的计算、算法和数据处理的控制任务。

PLC 程序设计主要分为两个方面:

(1) PLC 作为下位机,与司钻房上位机界面通过 Profinet 网络协议进行通讯,为确保正常通讯,除

设备 IP 地址和数据块 DB 等设置正确外,需与上位机共同定义数据交换的接口,即上位机 HMI 需要给下位机 PLC 发的操控指令和参数设置等,以及下位机 PLC 需要发给上位机 HMI 的当前传感器的数据和各开关状态等,即与司钻房上位机 HMI 设定对应的接收数据区和与 HMI 显示对应的发送数据区(见图 5)。

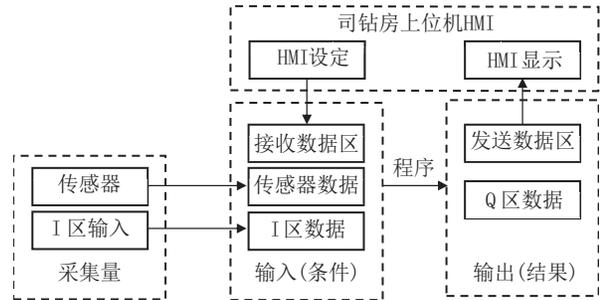


图 5 PLC 程序数据流

(2)在定义了这些需要交换的数据接口的基础上,程序设计主要体现在系统的输入条件(包括 HMI 设定的接收数据区、传感器数据和 I 区数据)和输出结果(包括 HMI 显示的发送数据区和 Q 区数据)之间,采用 ST 编程语言对 PLC 的关联、互锁、顺序动作执行等控制逻辑进行表达,以及对数据进行类型转换和运算处理等。为简化程序结构,程序中多采用“IF A THEN B”条件语句结构以及循环、函数等程序构件进行编程。

2.4.3 司钻房上位机人机界面(HMI)设计

司钻房上位机人机界面采用 WinCC 开发,在 WinCC 中新建项目,添加设备组态,修改设备 IP 地址,并添加数据块 DB,设置好相关地址和通讯参数后,按与 PLC 定义好的数据接口添加相关变量名称、数据类型和地址,然后在组态画面中根据控制需求添加控件,各控件的变量关联要与前述定义数据接口一致。

司钻房上位机 HMI 主界面设计如图 6 所示,各功能区域①~⑦具体设计如下:

①布尔(开关)状态显示区,以指示灯方式显示铁钻工控制的一些开关状态显示;

②状态参数显示区,以数值方式显示铁钻工当前状态参数,如工位角度、压力等;

③故障显示区,以指示灯方式显示故障并提供参数设置入口,参数设置页面如图 7 所示;

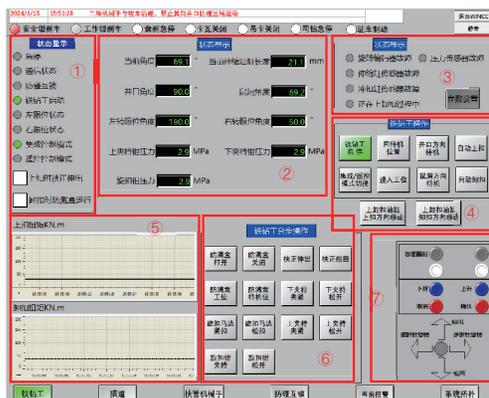


图6 司钻房上位机HMI主界面

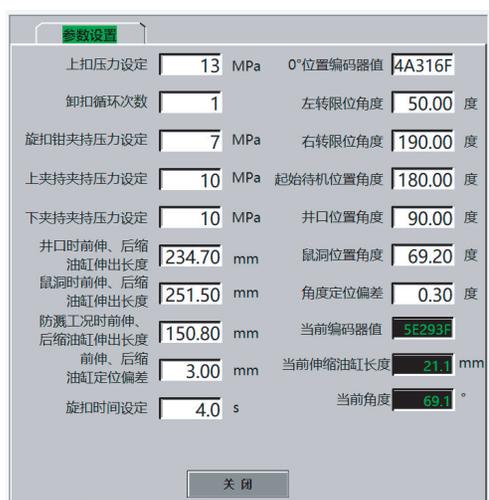


图7 司钻房上位机HMI参数设置页面

④铁钻工操作区,提供操作按钮,如启停、集成/遥控切换,以及一键自动操作按钮等;

⑤扭矩曲线显示区,以实时曲线图方式显示铁钻工上卸扣扭矩;

⑥铁钻工分步操作区,提供各动作单步(点动)操作按钮;

⑦弹窗区,该区域显示手柄操作信息弹窗。

3 系统调试与应用

3.1 系统调试

3.1.1 PLC在线监控测试

连接系统硬件,经检查确认线路无误,在仅电控系统上电、液压系统不启动的情况下,使用PLC在线监控功能对PLC的输入点、传感器数据和Q区输出进行监控,通过操作无线遥控盒在线监控测试各I区输入点是否正常,在线监控测试传感器数据是否正常,配合万用表或观察Q点输出中间继电器

动作响应测试输出Q点是否响应无误。

3.1.2 与司钻房上位机通讯测试

在PLC在线监控测试各IO点正常的基础上,测试与上位机通讯是否正常,如上位机HMI操作指令与设置参数是否正常写入PLC接收数据区,以及上位机HMI显示区是否正常读取PLC发送数据,如各传感器数据等。

3.1.3 系统联调测试

在上述测试正常无误后,启动液压系统,对各动作进行单步控制测试,确认无误后在上位机HMI中设置合适参数,进行一键自动动作的测试,为避免出现异常,先进行无钻杆情况下的动作模拟测试,经反复测试确认动作无误后方可配合井口或“鼠洞”钻杆进行一键自动动作测试,通过反复测试调整和优化司钻房上位机HMI参数设置。测试过程中如遇异常情况第一时间按下急停按钮开关,停机后检查排除故障后再次开机测试。

3.2 应用情况

3.2.1 野外生产试验

2023年8月,RN254型铁钻工在陕西省延安市吴起县周湾镇某气井井台施工现场进行了生产试验(图8),试验期间,铁钻工配合钻机钻井进尺4164 m,电控系统全程零故障稳定运行,实现安全、高效、自动化拆卸各种钻具扣型千余次。



图8 RN254型铁钻工野外生产试验

3.2.2 集成应用

2024年4月,针对RN254型铁钻工与地质钻机厂家开展钻机井台设备系统集成和应用(图9),电控系统实现本地功能和通讯网络的正常运行和数据交互,成功进行了厂内综合联机调试,验证了全部设计功能,取得了较好的应用效果。



图9 RN254型铁钻工与钻机厂家集成应用

4 结语

在RN254型铁钻工电控系统的研发与应用中,以S7-1200系列作为下位机主控PLC,配合扩展模块,采用Profinet网络的方式与司钻房上位机集控系统通讯,集成市场成熟的工业无线遥控技术,实现了井口自动化设备的模块化、集成化的设计;通过设置传感器检测反馈和PLC程序设计,配合司钻房上位机HMI参数设置,实现了对孔位和上、卸扣多个组合动作的一键自动控制;通过野外生产试验和与钻井设备厂家的成功集成应用充分验证了电控系统的设计,提高了孔口作业自动化程度和作业安全性。RN254型铁钻工电控系统的成功研发与集成应用是勘探技术研究所在智能化钻探设备体系中的又一次有效尝试,下一步将继续完善、优化智能化钻探技术装备,支撑地球深部钻探与深地资源开发。

参考文献:

[1] 张鹏飞,朱永庆,张青锋,等.石油钻机自动化、智能化技术研究和发 展建议[J].石油机械,2015,43(10):13-17.

- [2] 孙长征,李进付,李海营,等.在役钻机管柱自动化升级改造技术与实践[J].西部探矿工程,2019,31(2):48-52.
- [3] 张洪生,于昊,赵金峰.铁钻工的现状与展望[J].石油矿场机械,2008(1):12-16.
- [4] 于昊.TZG216-110型铁钻工的机构研究[D].兰州:兰州理工大学,2008.
- [5] 张洪生,于昊,赵金峰,等.TZG-120型铁钻工的设计方案研究[J].石油机械,2008(4):31-33.
- [6] 张勇,刘清友,陈小伟.新型轻便式铁钻工的研制[J].石油矿场机械,2007(9):73-75.
- [7] 孙军盈,朱江龙,王春蕾,等.DT20型铁钻工电液控制系统的研制[J].地质装备,2024,25(2):7-11.
- [8] 赵金峰.TZG216-110型铁钻工控制系统的研究[D].兰州:兰州理工大学,2008.
- [9] 张锋青.ST-80C铁钻工液压系统改造[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(12):148-149,152.
- [10] 张洪生,赵金峰,于昊.基于PLC和行走式动力大钳的铁钻工上扣过程的控制[J].石油矿场机械,2008(3):80-83.
- [11] 陈亚伟,陆梦佳,孔德鸿,等.基于以太网的S7-1200在线缆多功能机中的应用[J].自动化应用,2024,65(12):100-102.
- [12] 金东琦,路汉刚.基于S7-1200控制的液压焊接夹具控制系统设计[J].牡丹江大学学报,2024,33(4):54-59.
- [13] 周涛,杨汇军,韩金来.基于PLC的订单识别与包装入库系统设计[J].机电工程技术,2024,53(5):237-240.

(编辑 荐华)