

# 基于PLC的CGJ系列搓管机电控系统研发与应用

刘晓林<sup>1,2,3</sup>, 高洁云<sup>1,2,3\*</sup>, 杜一锦<sup>4</sup>, 王飞虎<sup>5</sup>, 申茂<sup>6</sup>, 宋志彬<sup>1,2,3</sup>, 姜宇昊<sup>1,2,3</sup>

(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. 国网冀北电力有限公司廊坊供电公司, 河北廊坊 065000; 5. 三江瓦力特种车辆有限公司, 湖北孝感 432000; 6. 陕西省一九四煤田地质有限公司, 陕西铜川 727000)

**摘要:** CGJ系列搓管机是用于城市建设领域的系列化大口径套管驱动岩土钻掘设备, 作为机电液一体化设备, 其采用了基于PLC的电控系统。本文主要介绍基于PLC的电控系统的研发和应用情况, 首先对电控系统进行功能需求分析, 在此基础上进行电控系统硬件设计和程序设计, 以专用PLC作为主控元件, 文本显示器作为人机交互设备, 线控操作盒作为系统输入, 集成市场成熟的无线遥控技术和模拟量/CAN模块, 实现了具有人机交互功能的, 集无线遥控、远程线控和应急手动多种操作模式于一体的电控系统。对搓管机及同类设备的电控系统研发设计具有一定参考价值。

**关键词:** PLC; 搓管机; 电控系统; CAN; 文本显示器

**中图分类号:** TU67; P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2025)04-0096-07

## Research and application of the PLC-based electronic control system for the CGJ series casing oscillators

LIU Xiaolin<sup>1,2,3</sup>, GAO Jieyun<sup>1,2,3\*</sup>, DU Yijin<sup>4</sup>, WANG Feihu<sup>5</sup>, SHEN Mao<sup>6</sup>, SONG Zhibin<sup>1,2,3</sup>, JIANG Yuhao<sup>1,2,3</sup>

(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 and Drilling Equipment, China Geological Survey, Langfang Hebei 065000, China; 4. State Grid Langfang Power Supply Company, Langfang Hebei 065000, China; 5. Sanjiang Volat Special Vehicle Co., Ltd., Xiaogan Hubei 432000, China; 6. Shaanxi 194 Coalfield Geology Co., Ltd., Tongchuan Shaanxi 727000, China)

**Abstract:** The CGJ series casing oscillators are large-diameter casing driven rock and soil drilling equipment successfully developed by the Institute of Exploration Techniques for urban construction. As a type of electromechanical hydraulic integrated equipment, they adopt a PLC-based electronic control system. This article mainly introduces the research and application of the electrical control system based on PLC. Firstly, the functional requirements of the electrical control system are analyzed. Based on the results, the hardware and program design of the electrical control system are carried out so that the electronic control system design with human-computer interaction function is realized, which integrates wireless remote control, remote wire control and emergency manual operation modes. The functional implementation of PLC program design is emphasized, which has certain application value for the research and design of electrical control systems for casing oscillators and similar equipment.

**Key words:** PLC; casing oscillator; electronic control system; CAN; text display

收稿日期: 2024-09-16; 修回日期: 2025-01-23 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.04.013

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); 廊坊聚力勘探技术有限公司高新项目“兼容旋挖与泵站动力的自动化搓管机的研发”(编号: 24138)

第一作者: 刘晓林, 男, 汉族, 1987年生, 高级工程师, 地质机械专业, 从事钻探设备自动化研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, liuxiaolin\_cqu@163.com。

通信作者: 高洁云, 女, 汉族, 1996年生, 助理工程师, 地质机械专业, 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, 775726390@qq.com。

引用格式: 刘晓林, 高洁云, 杜一锦, 等. 基于PLC的CGJ系列搓管机电控系统研发与应用[J]. 钻探工程, 2025, 52(4): 96-102.

LIU Xiaolin, GAO Jieyun, DU Yijin, et al. Research and application of the PLC-based electronic control system for the CGJ series casing oscillators[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(4): 96-102.

### 0 引言

搓管机设备是城市建设大口径套管驱动的岩土钻掘设备,起源于法国,发展完善于日本、德国和意大利。目前国外搓管机知名厂家主要有德国的宝峨、Leffer 公司,意大利的土力、卡沙特兰地等公司。由于城市建设施工现场设备密集度高,而搓管机通常需要配合旋挖钻机或履带吊机等大型施工设备共同施工,考虑现场泥、水、混凝土飞溅,施工环境恶劣,以及关联、互锁、快慢挡和自动搓管等自动化需求,为确保操控安全、高效和符合 HSE 规范要求,降低操控者劳动强度,近年来各搓管机厂商均摒弃了传统手动阀或液控等本地操作方式,而采用远程电控方式。

勘探技术研究所 2000 年成功研发了国内首台 CGJ-1500 型搓管机和配套冲抓成孔设备,逐步形成了系列化并进行了大量应用推广<sup>[1-4]</sup>,多年来持续在机电液一体化、模块化、自动化等方面创新研发,率先在国内研发了基于 PLC 的 CGJ 系列搓管机电控系统,替代原继电器系统,系统功能可靠、简单易用。

### 1 电控系统总体方案设计

#### 1.1 系统架构

搓管机采用电-液系统驱动液压油缸带动各执行机构实现功能动作,系统架构如图 1 所示。

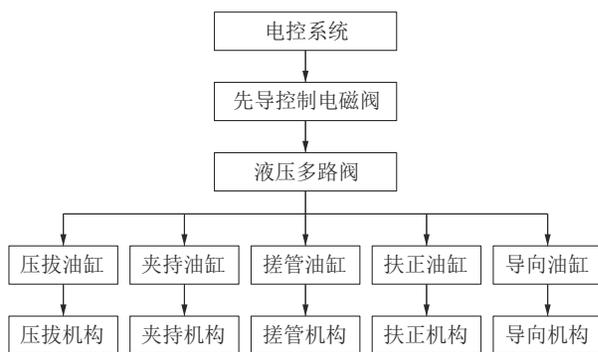


图 1 搓管机系统架构

Fig.1 System structure frame diagram

#### 1.2 电控系统功能需求分析

作为机电液一体化的工程机械设备,根据 CGJ 系列搓管机的机械结构和液压系统设计特点,对于 CGJ 系列搓管机电控系统的功能需求主要有以下几个方面:

(1)电磁换向阀的动作逻辑控制。搓管机油缸的动作是由电磁换向阀先导控制主油路多路阀实现的,动作逻辑控制可实现互锁、联动、延时、计数、快慢档、自动顺序控制等功能。

(2)设备信息录入、查询和参数设置功能。设备信息查询功能是指通过人机界面进行人机交互,实现搓管机设备出厂信息(如出厂编号、程序版本、出厂时间)录入和查询,对设备进行身份信息录入和查询,可用于客户用户档案的关联,便于设备维护追踪和产品售后服务;参数设置是指设定系统工作的一些参数,如搓管换向缓冲时间等。

(3)设备工作数据统计。设备工作数据统计功能是指针对搓管机设备的各手柄开关、电磁阀或油缸执行机构的累计工作次数和工作时长进行计数或计时,以及采集、记录液压系统压力、温度信号数据,搜集、存储这些设备工作数据,必要时可导出这些工作数据形成报表或曲线进行分析,为分析设备使用情况、用户操作习惯提供可追溯信息,并可为设备零部件工作寿命及其影响因素分析提供基础数据,为设备功能设计、零部件选型及设备售后、更换配件等反馈参考信息。

(4)系统 I/O 监控及简易故障诊断功能。通过人机界面,对系统的输入输出(I/O)点进行监控,可用于线路故障诊断。

(5)具备无线或有线远程操控功能。搓管机作为城市建设施工现场众多设备之一,远程操控能极大地提高施工人员和设备的安全性。

#### 1.3 系统拓扑结构

基于对 CGJ 系列搓管机电控系统的功能需求分析,以工控设备标准化、集成为设计思想,结合建筑、工程机械设备作业工况特点和常用设计,以 ESMAC2418 型工程机械专用 PLC 作系统主控设备、文本显示器为人机交互设备,考虑兼容应急阀控、有线电控和无线遥控控制方式,采用模块化设计原则,系统拓扑结构设计如图 2 所示。

文本显示器与 PLC 双向通信,可实现设备信息、数据查询和参数设置等数据读、写功能<sup>[5]</sup>,线控操作盒与无线遥控器作为系统输入,经 PLC 处理后输出控制电磁换向阀实现逻辑控制功能,温度、压力传感器采集液压系统工作状态参数,输入 PLC 后可在文本显示器显示并设置超温、过压报警。

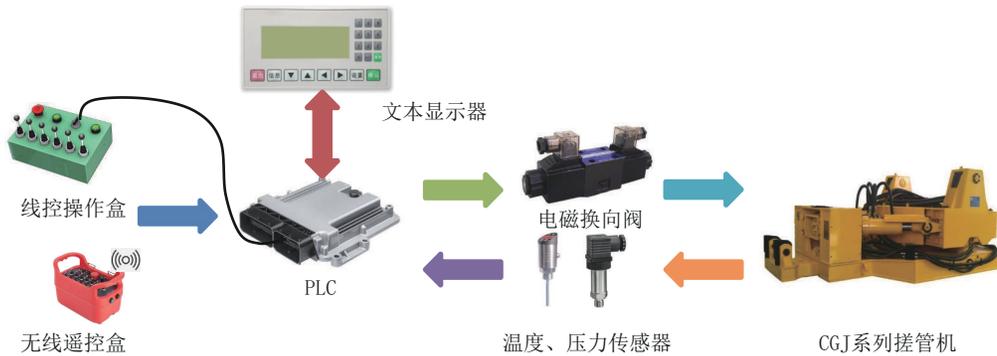


图2 电控系统拓扑图

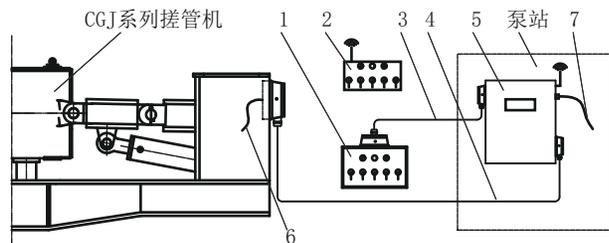
Fig.2 Topology diagram of electronic control system

## 2 硬件设计

### 2.1 设备组成

根据电控系统总体方案设计,结合搓管机液压系统安装情况,系统由无线遥控盒、线控操作盒、PLC电控箱、线控电缆和钻机电缆及线束等设备和附件组成。

系统设备组成与连接如图3所示,CGJ系列搓管机采用独立泵站为钻机提供动力,24V电源、温度和压力变送器以及部分电磁阀安装于泵站,并通过泵站线束接入PLC电控箱,因此将PLC电控箱就近安装于泵站,箱内集成了PLC、文本显示器、无线接收器等设备。PLC电控箱一端通过线控电缆连接线控操作盒,另一端通过钻机电缆连接钻机线束,进而连接钻机端电磁阀和搓管行程开关<sup>[6-7]</sup>。



1—线控操作盒;2—无线遥控盒;3—线控电缆;4—钻机电缆;5—PLC电控箱;6—钻机电缆;7—泵站线束

图3 电控系统设备组成与连接示意

Fig.3 Equipment composition and connection of electronic control system

### 2.2 电路设计

系统采集和控制电路设计主要围绕接入PLC的外部输入/输出设备的电源供电及信号输入/输出开展,系统供电及通信电路设计如图4所示。

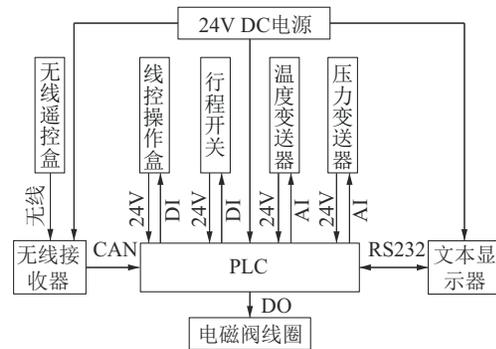


图4 供电及通信电路设计框图

Fig.4 Block diagram of power supply and communication circuit

### 2.3 主要硬件选型和设计

根据系统总体方案设计和PLC的I/O点需求分析,主要设备选型和设计如下。

#### 2.3.1 PLC

PLC的选型主要以经济实用、可靠为原则,选用工程机械市场成熟、专用的小型化开关量PLC,开关量输入输出点数充足,并支持RS232和CAN数字通信接口<sup>[8-9]</sup>。

因所选PLC无内置A/D模块不支持4-20 mA模拟量信号接入,考虑其支持CAN接口的情况下,选择4-20 mA/CAN型转换模块,将信号转为CAN信号后接入CAN总线,PLC解析CAN报文数据后存入相应寄存器<sup>[10-13]</sup>。

#### 2.3.2 文本显示器

文本显示器的选型主要是考虑人机交互功能的实现,与PLC易于通信且产品成熟可靠,选择市场占有率高的文本显示器,可通过其标准RS232串口与PLC采用Modbus RTU主从通信,文本显示器作为主站,可编程开发人机交互界面,与PLC从站

进行双向数据通信,读、写 PLC 寄存器数据。

### 2.3.3 无线遥控和线控操作盒

无线遥控盒/接收器的定制选型主要考虑无线遥控端的开关量输入点数以及接收器端的信号与 PLC 通信,且需适用于工程机械施工现场的、较为成熟的无线技术,接收器端选用 CAN 输出信号,易于通过已有 CAN 网络与 PLC 通信。

定制的无线遥控器和线控操作盒如图 5 所示,两种操控面板功能键位都设计了“左起拔”、“右起拔”、“上夹紧”、“搓管”、“扶正”、“下导向”操作手柄,以及“自动”开关、“快慢挡”开关、电源开关和急停开关。

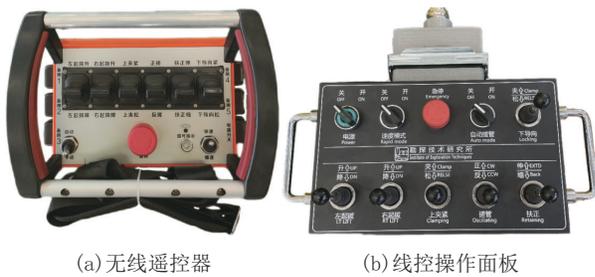


图 5 无线遥控器和线控操作面板

Fig.5 Panel design of wireless remote control and wire control

### 2.3.4 PLC 电控箱

在对主要外购元件进行选型后,考虑系统硬件的安装和防护,需对 PLC 电控箱进行设计,PLC 电控箱安装于搓管机泵站内,主要功能是安装集成 PLC、无线接收器、模拟量/CAN 转换模块和文本显示器,并选择适用于野外现场使用工况的重载连接器,PLC 电控箱如图 6 所示。

## 3 PLC 主程序设计

PLC 程序设计采用顺序式结构编程,按一般



图 6 PLC 电控箱  
Fig.6 PLC cabinet

PLC 程序设计原则,PLC 程序应具备结构简短清晰、高效、模块化<sup>[12,14-16]</sup>等特点,为简化程序层次结构,按程序块功能将各功能区程序段封装成不同子程序,主程序根据条件调用这些子程序,程序结构如图 7 所示。

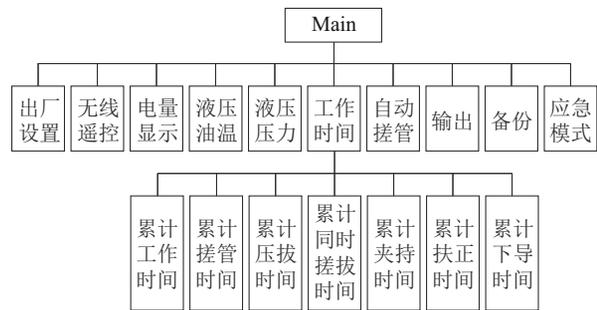


图 7 PLC 程序结构  
Fig.7 Structure of PLC program

### 3.1 PLC 程序设计

PLC 程序设计采用“IF A THEN B”即“条件-结果”式顺序执行结构,通过主程序顺序执行循环调用各子程序,各子程序处理 PLC 输入端口各开关量、模拟量采集及数字通讯接口数据,实时更新相关寄存器地址数据与文本显示器通讯,最后输出开关量驱动电磁阀,并以数据通讯方式在文本显示器上输出相应数据显示,程序流程如图 8 所示。

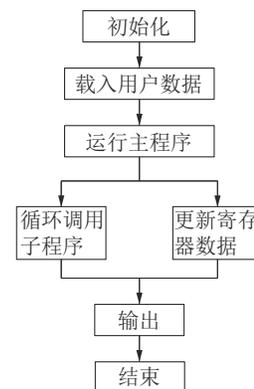


图 8 PLC 程序流程  
Fig.8 Flowchart of PLC program

#### 3.1.1 主程序

如图 9 所示,主程序按不同子程序运行条件调用执行子程序。网络 0 始终执行(Always)调用 7 个子程序,为简化显示,采用 STL(语句表)结构。网络 1 以应急插头输入点是否得电作为条件,不得电

时执行“自动搓管”和“输出”子程序,得电则调用“应急模式”子程序。进入应急模式后,泵站主油路和控制油路建压电磁铁常得电,按CGJ系列搓管机液压系统的设计,搓管机将进入手动越权模式,此时可手动操作钻机端换向阀(手电一体阀)实现各油缸动作。该模式设定是考虑搓管机无线遥控或线控操作盒出现干扰或意外损坏等异常失效故障情况下的紧急手动越权操作。

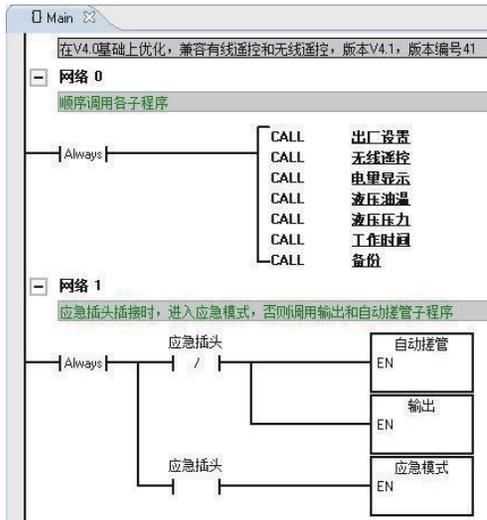


图9 PLC主程序

Fig.9 Main program of PLC

### 3.1.2 “出厂设置”子程序

本子程序主要完成PLC与文本显示器或其他上位机通讯的寄存器数据处理,如文本显示器界面参数设置、程序版本号以及温度传感器量程设置等读取和写入区寄存器赋值。

### 3.1.3 “无线遥控”子程序

“无线遥控”子程序主要处理无线遥控和线控操作盒的切换和兼容。系统以适当的逻辑来决定何种情况下采用CAN数据、何种情况下采用I区输入,以安全便捷地区分和兼容这两种操作模式,具体程序不在此赘述。

### 3.1.4 “电量显示”子程序

“电量显示”子程序目的是将无线遥控盒的剩余电量百分数(0~100)显示在文本显示器上。

### 3.1.5 “液压油温”和“液压压力”子程序

“液压油温”和“液压压力”子程序的功能是将CAN口接收到的液压温度和压力数据经“电流/温度”及“电流/压力”量程比例转换、数据类型转换,

在文本显示器上显示并作为报警设置的数据。

### 3.1.6 “工作时间”子程序

“工作时间”子程序是统计搓管机设备的工作(存在任一动作即视为工作)和各分动作累计时间。

### 3.1.7 “备份”子程序

上述工作时间子程序中的累计工作时间,以及系统里其他需要掉电保存的参数设置通过“备份”子程序送入PLC铁电数据备份区进行备份。

### 3.1.8 “自动搓管”和“输出”子程序

“自动搓管”和“输出”子程序功能是实现输入输出的关联、互锁、自动搓管步控制等逻辑控制。为避免出现双线圈输出错误,编程思想是以Q区输出作为目标,使用程序语言(LAD梯形图或STL语句表)按控制逻辑将Q区对应的各电磁阀得电条件通过“与”、“或”、“非”、“异或”等逻辑运算表达,最后将各得电条件以“或”运算连接至对应输出线圈。

### 3.1.9 应急模式

同前述主程序设计,“应急模式”功能是在应急插头连接时,通过直接输出泵站主油路开关电磁阀和控制油路先导电磁阀常得电,使搓管机进入手动越权模式。

## 3.2 文本显示器界面设计

文本显示器通过标准串口RS232与PLC进行Modbus RTU通信,为了在文本显示器实现系统数据的显示和参数设置,需要将文本显示器与PLC的通信参数设置一致,并设计文本显示器界面,配置好读、写控件的数据以实现PLC相应寄存器区数据读、写操作。文本显示器1~6各界面设计如图10所示。

## 4 系统调试与实际应用

### 4.1 系统调试

#### 4.1.1 PLC的在线监控

在所有设备连接和测试前,检查、确认线路无误后,逐一连接线控操作盒、行程开关、无线遥控器 hardware,使用PLC编译软件的在线监控功能,对PLC的I/O点和CAN口接收数据进行监控,测试各I区接入点、Q区输出以及CAN口数据是否正常:I区输入点包括线控操作盒和行程开关,通过操作线控操作盒和行程开关在线监控相应I点是否响应正常;Q区输出即电磁阀的开关量控制信号,在线监控配合万用表测试相应PLC输出Q点响应是否正常;



图 10 文本显示器 1-6 界面设计

Fig.10 Design of text display interface 1-6

连接模拟量/CAN 模块、操作无线遥控盒,在线监控 CAN 口接收数据是否正常无误。

#### 4.1.2 与文本显示器的通信测试

在 PLC 在线监控的基础上,连接文本显示器,确保文本显示器与 PLC 正常通信的前提下,测试文本显示器各界面功能,对 PLC 的相应寄存器的数据读、写操作是否正常无误。

#### 4.1.3 系统联调测试

在上述测试正常无误后,连接所有系统硬件,在仅电控系统上电、液压系统不启动的情况下再次观察测试各电磁阀动作,确认无误后启动液压系统,进行搓管机各动作全方位联调测试。包括各关联和互锁动作逻辑、自动搓管、快慢档,以及文本显示器各界面的功能实现,如遇异常情况第一时间按下急停按钮开关,停机检查排除故障后再次开机测试。系统现场联调测试如图 11 所示。



图 11 系统联调测试

Fig.11 System integration testing

护壁灌注桩施工,深度达 86 m,成功解决了岩溶复杂地层大深度大口径套管灌注桩的施工难题,创造了国内岩溶地层搓管机施工大口径全套管灌注桩的桩深纪录,施工现场如图 12 所示。经过为期 6 个月的施工验证,2650S 搓管机在钻进和起拔大深度套管等方面均稳定可靠,电控和液压系统稳定运行,具有动力强劲、搓管扭矩大、搓管角度大、对恶劣施工条件适应性强、施工性能稳定等优势,为大型搓管机服务国家重大关键工程建设打下坚实基础。施工期间,该型搓管机配套的 PLC 电控系统各输入输出信号传输稳定,关联、互锁、快慢档和自动搓管等一系列自动化功能动作精准响应、安全高效,无卡顿、死机、误动作现象,全程稳定运行零故障,获得了很好的应用效果。



图 12 2650S 搓管机施工现场

Fig.12 2650Scasing oscillator construction site

#### 4.2 实际应用

2023 年,勘探技术研究所创新研发的国内首台 2650S 型超大直径旋挖搓管机,在广东省揭阳市榕江北河特大桥工程顺利完成 12 根直径 2 m 的套管

#### 5 结语

在 CGJ 系列搓管机电控系统的研发与应用中,以专用 PLC 作为主控元件,文本显示器作为人机交

互设备,线控操作盒作为系统输入,集成市场成熟的无线遥控技术和模拟量/CAN模块,实现了具有人机交互功能的,集无线遥控、远程线控和应急手动多种操作模式于一体的电控系统。以程序控制的轻量化方式实现关联、互锁、快慢挡和自动搓管等一系列自动化功能,使用数字通信接入文本显示器实现便捷、低成本人机交互,极大地改善了原继电器系统线路复杂、功能单一、无人交互和数字通信接口等不足,达到了安全、高效的控制目标;汽车和工程机械通用的CAN网络的引入有利于系统功能和设备扩展,后续将视具体应用情况对该系统进行进一步完善和改进。

### 参考文献(References):

- [1] 宋志彬,冯起赠,和国磊,等. CG型全套管搓管成孔设备的研究和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 68-73.  
SONG Zhibin, FENG Qizeng, HE Guolei, et al. Research and application of CG all casing foundation drilling equipment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(S1): 68-73.
- [2] 宋志彬,冯起赠,王年友,等. CG型全套管冲抓成孔设备及施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(9): 48-52.  
SONG Zhibin, FENG Qizeng, WANG Nianyou, et al. CG percussive grabbing boring equipment with casing and construction technology [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(9): 48-52.
- [3] 杨引娥. 全套管旋挖钻进技术及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 39-42, 46.  
YANG Yine. Auger drilling technology with casing and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(12): 39-42, 46.
- [4] 张金昌,宋志彬,王年友,等. CG1900型全套管冲抓成孔设备、器具及施工工艺的研究和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001(6): 29-32.  
ZHANG Jinchang, SONG Zhibin, WANG Nianyou, et al. Research on and use of CG1900 foundation equipment and pile drilling Technology with casing oscillator & grab [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2001(6): 29-32.
- [5] 顾海勤,杨奕,全毅,等. 基于MODBUS协议的智能仪表与PC机双向通讯设计[J]. 仪表技术与传感器, 2013(12): 33-35.  
GU Haiqin, YANG Yi, QUAN Yi, et al. Design of bidirectional communication between intelligent instruments and PC computer based on MODBUS portocol [J]. Instrument Technique and Sensor, 2013(12): 33-35.
- [6] 刘正先. PLC和IPC组成的新型控制系统[J]. 控制工程, 2002, 9(5): 34-35, 65.  
LIU Zhengxian. New control system based on PLC & IPC [J]. Control Engineering of China, 2002, 9(5): 34-35, 65.
- [7] 刘栋良,崔立丽. 便携式数据采集与处理系统的研究[J]. 计算机自动测量与控制, 2002, 10(2): 127-128.  
LIU Dongliang, CUI Lili. Research of data acquisition and signal processing system [J]. Computer Measurement & Control, 2002, 10(2): 127-128.
- [8] He Y. Research on electrical automation control design based on PLC technology [J]. Journal of Electronic Research and Application, 2024, 8(4): 174-179.
- [9] 钱厚亮,贾艳敏,林锦国,等. 新型智能预应力张拉设备的研制[J]. 自动化仪表, 2009, 30(12): 49-51.  
QIAN Houliang, JIA Yanmin, LIN Jinguo, et al. Research and development of innovative intelligent pre-stressed stretching equipment [J]. Process Automation Instrumentation, 2009, 30(12): 49-51.
- [10] 何华东,赵喜荣,王程远,等. PLC与上位计算机的串行通信程序设计[J]. 机电工程, 2002, 19(2): 24-26.  
HE Huadong, ZHAO Xirong, WANG Chengyuan, et al. The design of serial communication program between PLC and host computer [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2002, 19(2): 24-26.
- [11] 舒凯. 基于MODBUS-RTU协议的PLC多路数据采集系统[J]. 水电与抽水蓄能, 2008, 32(2): 66-69.  
SHU Kai. MODBUS-RTU-based PLC multi-communication and control system [J]. Hydropower and Pumped Storage, 2008, 32(2): 66-69.
- [12] Li S D. The design of the modern ecological agricultural water-saving irrigation control system based on virtual instrument [C]//2011 International Conference on Environmental Systems Science and Engineering (ICESSE 2011). Dalian, 2011: 123-129.
- [13] 王俭朴. 基于Visual Basic6.0的数据采集处理系统及应用[J]. 工业控制计算机, 2005, 18(7): 3-4.  
WANG Jianpiao. Data acquisition and disposal system based on visual basic 6.0 and its application [J]. Industrial Control Computer, 2005, 18(7): 3-4.
- [14] Lim S, Ham H U, Han M S. Implementation of integrated development environment for machine vision-based IEC 61131-3 [J]. Computers, 2024, 13(7): 172.
- [15] 刘晓林,高洁云,王嘉瑞,等. 基于组态王与PLC的深水压力模拟测试系统的设计[J]. 钻探工程, 2025, 52(1): 121-128.  
LIU Xiaolin, GAO Jieyun, WANG Jiarui, et al. Design of deepwater pressure simulation testing system based on KingView and PLC [J]. Drilling Engineering, 2025, 52(1): 121-128.
- [16] van der Wal E. Building a solid foundation with PLCopen, EC 61131-3 [J]. Control Engineering, 2023, 70(6): 34.

(编辑 王跃伟)