

基于 PLC 的地面能源远程控制方案

王 静¹, 盛文巍¹, 刘睿智¹, 翟 宇², 郭 军¹

(1. 北京精密机电控制设备研究所, 北京 100076; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

摘要: 传统伺服地面能源系统的远程控制主要通过模拟量来实现, 其自动化程度低、抗干扰能力差; 为了解决以上问题, 提出了一种基于 PLC 的地面能源远程控制方案, 其分别采用了基于 Profibus 现场总线的分布式 PLC 控制技术、基于高压输出反馈的闭环控制技术、OPC Server 与 PLC 远程通讯技术, 实现了伺服地面能源系统的远程自动化控制功能, 用基于虚拟仪器技术的人机交互界面取代模拟器件, 用基于 MODBUS 协议的数字式网络传感器取代模拟传感器, 实现了伺服地面能源系统数字化, 提高了伺服地面能源系统的抗干扰能力。

关键词: 远程控制; 现场总线; PLC

Remote Control Solution Based on PLC for Ground Energy

Wang Jing¹, Sheng Wenwei¹, Liu Ruizhi¹, Zhai Yu², Guo Jun¹

(1. Beijing Research Institute of Precise Mechatronic Controls, Beijing 100076, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co. Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: The remote control of the traditional servo ground energy is realized by the simulation. It has a low degree of automation and poor anti-interference ability. In order to solve the above problems, it proposes a remote control solution based on PLC for ground energy. It uses a distributed PLC control technology based on Profibus fieldbus, a closed-loop control technology based on high-voltage output feedback, an OPC Server and PLC telematics technology. This realizes the remote automatic control function. It also uses a virtual instrument technology based on the man-machine interface to replace the analog interface, a digital network sensor based on the Modbus protocol instead of an analog sensor. This realizes the digital servo ground energy system and improves the anti-interference ability of servo ground energy control.

Keywords: remote control; fieldbus; PLC

0 引言

在航天以往的型号中, 伺服地面能源系统的远程控制方式主要采用模拟器件和继电器电路, 分别需要测试仪配套能源远控箱、控制分系统配套模拟能源远控仪两套设备, 模拟器件在使用过程中容易损坏, 造成设备故障。运行参数的调节均靠模拟量完成, 抗干扰能力差。现场设备间通过模拟信号电缆连接, 操作复杂, 不利于调试、维护和排查。本文提出一种基于 PLC 的地面能源远程控制技术方案, 以实现伺服地面能源系统的数字化控制为基本原则, 采用高实时性、高可靠性、高稳定性的 OPC 技术与 PLC 进行通讯, 同时减少了地面设备数量、简化了使用方法、提高了设备的可靠性。地面能源远程控制方案设计中选用了以西门子 S7-300 系列 PLC 为硬件支撑, 以工业以太网通讯层、Profibus 现场总线^[1]层以及仪器仪表通讯层三层网络结构的设计方案, 该方案采用数字控制方式, 融合了基于虚拟仪器技术的人机界面、数字式网络传感器、基于高压输出反馈的闭环控制、OPC Server 通讯等多种新技术, 完成伺服地面能源系统的远程控制。

1 技术难点

基于 PLC 的地面能源远程控制方案需要解决如下技术难点。

收稿日期: 2017-05-14; 修回日期: 2017-06-01。

作者简介: 王 静(1982-), 女, 黑龙江望奎人, 硕士, 工程师, 主要从事测控软件设计与开发方向的研究。

由于地面模拟能源属于大功率设备, 可达到 40 kW, 在启动时产生电磁波对能源控制线路可造成严重影响, 出现乱码、误码现象, 为解决此问题采用高可靠性电磁兼容设计方案, 采用了基于 MODBUS 协议的数字式网络传感器, 传感器回采使用数字化传输方式, 抗干扰能力强, 同时采取优化 485 网络拓扑结构, 485 接收器电路设置失效保护电路, 信号电缆及动力电缆屏蔽合理接地, 增强软件强壮性设计等多种措施保证系统运行稳定。

由于控制系统软件基于 VxWorks 实时操作系统完成, 控制系统与模拟能源控制箱的上层以太网通讯存在着不兼容问题, 因此需要在模拟能源控制箱与控制系统之间采用指令解析的方式突破操作系统障碍, 解决不同操作系统间指令不兼容问题, 完成伺服系统能源系统的远程控制。

在能源系统自动化控制模式 F, 如何能在能源状态异常的情况下自动保障设备和操作人员的安全是急需解决的问题。因此方案中引入了分级故障自动检测处理模式, 可根据不同程度的故障采取不同的强制措施, 从按正常流程停止并限值操作到紧急停止整套地面能源系统, 并通过鲜明警示色、闪烁等手段通知操作者, 有效地保障了设备和操作人员的安全。

2 系统硬件组态结构

系统采用三层分布式结构^[2-3], 包括以太网通讯层、Profibus - DP 现场总线层、仪器仪表通讯层。方案硬件组态结构如图 1 所示。

2.1 以太网通讯层

在以太网通讯层, 通过能源远控解析机与控制系统中心机

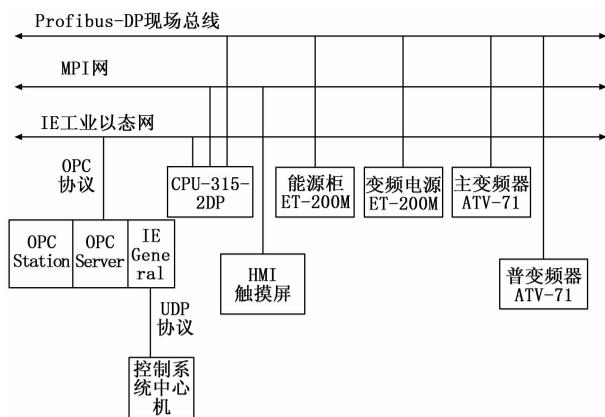


图 1 硬件组态结构图

进行通信协议解析及数据交互, I II III 级模拟能源控制箱通过以太网交换机与能源远控解析机通讯, 控制系统软件通过自定义 UDP 协议与能源远控解析机通讯, 能源远控解析机采用宽温加固结构, 担任现场设备层的 DMZ (网络隔离) 主机的角色, 负责将现场设备层网络与管理层网络进行隔离, 保证了网络中的非法数据不会影响到另一个网络。能源远控解析机完成 OPC Server 和 IE General 两个底层的驱动组态, 自开发程序完成指令的格式转化和对对应数据库封装, 转换完的指令通过 OPC Server 对 Profibus-DP 网络中的 DP 主、从站进行数据读、写。

2.2 Profibus-DP 现场总线层

在 Profibus-DP 现场总线层, 以模拟能源控制箱 DP 主站、变频电源 ET-200M 从站、变频电源主变频器 DP 从站、变频电源辅变频器 DP 从站、模拟能源柜 ET-200M 从站组成分布式网络, 各站点设备间使用 Profibus 总线连接, 模拟能源控制箱内的主控 PLC 通过总线控制变频电源和模拟能源柜中的分布式 I/O 模块、数字化网络传感器、主辅变频器和模拟量输出模块, 实现了全数字化、双向高速的现场设备分散控制与集中管理。

2.3 仪器仪表通讯层

在仪器仪表通讯层, 采用 RS485 网络完成 PLC 从站与数字传感器之间的指令发送、信号采集。

在大功率交流电机运行产生的强电磁干扰干扰环境下, 为保证系统运行稳定性, 在 485 接收器电路设置失效保护电路。

3 系统软件结构

以图 1 为硬件支撑, 软件系统主要包括触摸屏 HMI 软件、主控 PLC 软件以及能源控远软件。

3.1 触摸屏 HMI 软件

触摸屏 HMI 软件用于地面能源系统状态参数显示、控制参数的编辑和保存、人机交互指令的操作等功能, 不参与地面能源的闭环控制。

此外, HMI 软件增加了能源柜传感器编号设置界面和能源控制参数设置界面, 负责设置和保存能源柜数字式传感器编号和闭环控制参数, 使得参数可以通过交互界面输入, 不必重新烧写程序即可改变能源系统的警告界限和响应特性。

触摸屏 HMI 软件通过 MPI 总线与主控 PLC 通讯, 从 PLC 中获取需要监视的工作参数, 以虚拟表头的形式显示在

主控界面上, 并对工作参数进行实时判读, 当超出限值时以鲜明警示色、闪烁等方式提醒操作人员, 使得操作人员不必始终高度集中注意力进行能源系统工作状态判断, 降低了操作人员的工作强度, 减少了因误判导致的故障。

3.2 主控 PLC 软件

PLC 作为一种工业控制计算机在工业自动化领域得到了广泛的运用, 其特点是抗干扰能力强、可靠性高、体积小^[4-7]。本文将主控 PLC 软件用于地面能源的闭环控制, 共分为 4 种控制模式: 自检开环控制、手动高压压力闭环控制、自动高压压力闭环控制、自动含气量检测及补油低压闭环控制, 通过触摸屏 HMI 软件界面上的转换按钮进行状态位切换。

主控 PLC 软件功能模块划分为 3 类: 常驻模块、条件执行模块及闭环控制模块, 模块关系如图 2 所示。

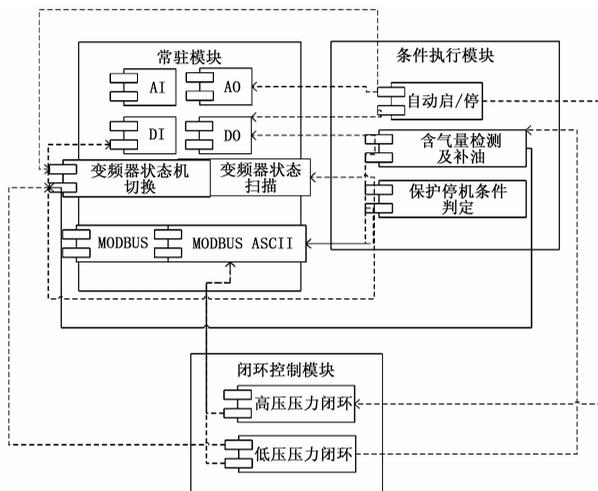


图 2 PLC 主控程序模块关系图

3.2.1 常驻模块

常驻模块在 PLC 每个扫描周期均执行, 包括: 模拟量输入 AI、模拟量输出 AO、数字量输入 DI、数字量输出 DO、变频器状态扫描、状态机切换、MODBUS RTU 和 MODBUS ASCII 等 8 个组件, 其中前 6 个在 1 个 PLC 扫描周期内按调用顺序完成, MODBUS RTU 和 MODBUS ASCII 在多个扫描周期内完成。

MODBUS ASCII 协议通讯模块通过能源柜从站内的 CP341 串口通讯模块采用轮询方式对 6 路数字传感器进行数据采集, 设定超时时间 70ms 的定时器, 收到传感器数据并完成校对解析后在下一个 PLC 扫描周期开启新的轮询, 校对解析失败或定时器超时则认为串口通讯伙伴丢失。

3.2.2 条件执行模块

多个 PLC 扫描周期内, 条件执行模块在特定输入条件的触发下执行, 包括自动启/停模块、自动含气量检测及补油模块、保护停机条件判定, 切换有穷自动状态机的状态, 由常驻模块和闭环模块输出控制指令, 从而实现自动流程控制。

其中, 保护停机条件判定模块负责根据能源柜传感器和变频器状态判定是否进行保护性停机, 保护停机分为以下两类:

强制停机: 保持以下条件 {油温传感器丢失或油温超限或液位传感器报警} 10S 后进入强制停机状态, 按有穷自动状态机顺序切换状态停机, 同时禁止主变频器的再次启动。

紧急停机: 触发以下条件 {两个高压传感器同时丢失或主

变频器运行过程中辅变频器异常或急停开关触发)时按最快速度断开高压输出,停止主辅变频器,同时禁止主辅变频器的再次启动。

上述停机模式中传感器丢失的判读条件为连续 5 次与该传感器的通讯出现超时或校对解码错误。

3.2.3 闭环控制模块

闭环控制模块分为 500 ms 周期的高压压力闭环和 700 ms 周期的低压压力闭环。

高压压力闭环通过 MODBUS ASCII 组件轮询采集到的高压压力作为当前压力反馈,按照闭环运算公式进行运算,运算结果通过 AO 模块输出以控制比例溢流阀控制电流。

低压压力闭环通过变频器状态扫描组件采集到的辅机频率值,作为当前频率反馈,按照闭环运算公式进行运算,运算结果通过总线传送至辅变频器。

3.3 能源控远解析软件

能源远控解析软件功能模块划分为 2 类:上位机通讯模块和下位机通讯模块。

3.3.1 上位机通讯模块

控制系统软件基于 Vxworks 操作系统,能源远控解析软件基于 Windows 操作系统,为实现 Vxworks 操作系统与 Windows 操作系统的通讯,上位机通讯模块采用 UDP 协议与控制系统软件通讯,数据包为字节类型。UDP 协议将网络数据压缩成数据包形式,提供面向无连接的数据报投递服务。控制系统软件通过 UDP 接受命令后发送确认接收字回传控制系统软件。此模块具有指令校验功能(包括指令长度和指令内容),在控制系统软件与上位机通讯模块通讯协议末尾设置 2 个字节 16 位 CRC(循环冗余校验码)校验,校验多项式为 $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$ 。

3.3.2 下位机通讯模块

下位机通讯模块采用最新的通过 ETHERNET 建立 OPC 服务器与 S7 PLC 的 S7 连接技术对模拟能源控制箱进行控制。OPC(用于过程控制的 OLE)是一个标准的,建立在 OLE 规范之上,与开发商无关的软件接口,它为工业控制领域提供了一种标准的数据访问机制。OPC 规范包括 OPC 服务器和 OPC 客户端两部分,其实质是在硬件供应商和软件开发商之间建立了一套完整的“规则”,只要遵循这套规则,数据交互对两者来说是透明的。在工控通信方面,OPC 技术具有很高的实时性、可靠性、稳定性。S7 通讯是 SIMATIC S7 PLC 之间的最佳化通讯协议,它允许用户通过 S7 协议连接 PC 和 workstation,可以被工业以太网支持,是西门子公司开发的基于应用层的一个协议。S7 通讯提供了简明、强有力的通讯服务和与网络无关的用户接口,用于工业以太网、PROFIBUS、MPI。

下位机通讯模块将已经解析的命令发送给模拟能源控制箱,同时将实现该命令的参数一并写入模拟能源控制箱中,进而模拟能源控制箱控制地面模拟能源的启停、含气量检查及补油等。采用订阅方式读取模拟能源控制箱数据块中关于能源状态的数据,OPC 服务器的 Group 组在组内有数据变化时,自动根据更新周期刷新相应的客户端数据,若能源状态参数异常,上位机能够及时处理异常。同时设置开关量即需要写入能源模拟内的参数全部写入成功后发送 PLC 运行的开关量,有效防止了全部参数未全部写入之前模拟能源控制箱就开始控制能源而导致能源控制失败的错误。

能源控远软件结构如图 3 所示,具体流程如下:

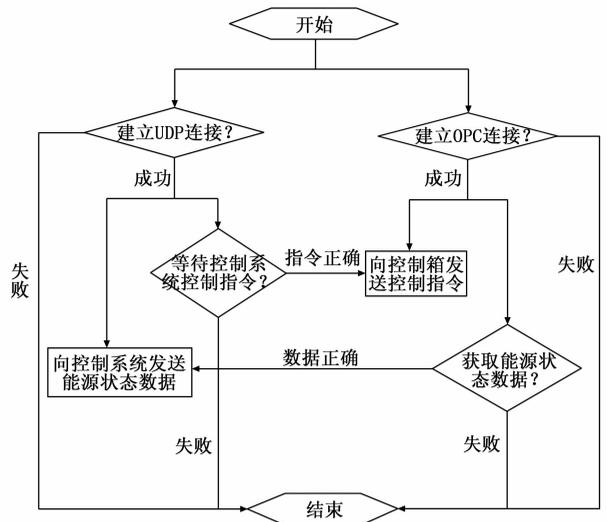


图 3 能源控远软件结构图

- 1) 控制系统通过 UDP 协议发送指令至能源远控解析机。
- 2) 能源远控解析机收到指令后发送确认消息并将指令通过 OPC 协议转发至控制箱。
- 3) 控制箱通过 Profibus - DP 总线发送控制指令控制地面能源启/停等动作。
- 4) 地面模拟能源状态数据从地面模拟能源依次通过控制箱、能源远控解析机传递给控制系统。

4 技术实现与分析

- 1) 采用分布式 Profibus 现场控制方式,替代模拟信号电缆,只需一根 Profibus 总线电缆即可完成所有现场设备间的通讯,减少了现场设备间的电缆数量,简化了设备展开的操作流程,使得整套地面能源系统便于拆卸,维护。同时,数字化传输的抗干扰能力更强,有效增强了现场设备工作的稳定性。
- 2) 采用高实时性、高可靠性、高稳定性的 OPC 技术与 PLC 进行通讯,并通过 ETHERNET 建立 OPC 服务器与 PLC 的 S7 连接,实现了对 Profibus - DP 网络中的 DP 主、从站进行数据读、写,以订阅方式实时上传 PLC 数据块中能源状态的信息变化,实现精确控制能源系统。
- 3) 采用了基于 MODBUS 协议的数字式网络传感器,传感器回采使用数字化传输方式增强抗干扰能力,使得 PLC 无需滤波即可直接使用,有效降低了 PLC 的负载,增强了模拟能源控制系统的稳定性。
- 4) 采用基于虚拟仪器技术的人机交互界面取代模拟器件。将所有需要监视的参量直接通过虚拟仪器界面显示,开关量的操作通过触摸屏完成,避免了因模拟器件损坏导致的设备故障。
- 5) 实现地面模拟能源系统的自动化流程控制,模拟能源控制箱可根据预置参数在无需人工干预的情况下按操作细则自动将能源系统调整至指定状态,完成地面模拟能源系统的自动启/停和为弹上油箱补油的操作。
- 6) 在地面模拟能源系统中实现了故障白动诊断和处理,利用 PLC 的逻辑处理能力对能源系统的常见故障进行实时监

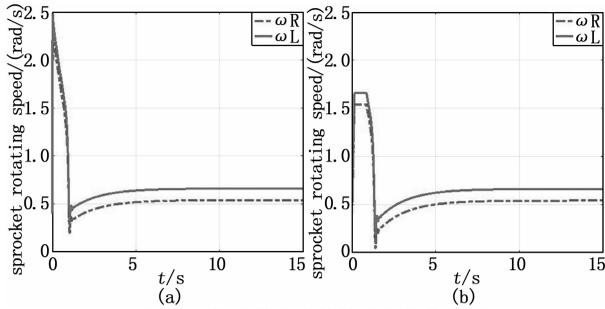


图 4 两侧履带主动轮转速变化曲线图

1) 由图 2、3 可知, 两种情况下, 履带式移动机器人通过本文设计的跟踪控制律, 均可快速有效地跟踪上参考圆轨迹, 且相对位置误差均只有一次超调;

2) 由图 2 可以看出, 考虑运动受限的图 2 (b) 在跟踪刚开始时的轨迹更加平滑, 但轨迹跟踪的超调量也更大。这是因为在运动受限作用下, 移动机器人的运动速度变化的剧烈程度也相应降低。

3) 由图 3 可知, 两种情况下方向角误差 θ_e 都非常很快地趋于零, 这表明有限时间控制律能够使机器人在很短的时间内跟踪上期望的航向角, 这对于航向角跟踪要求较高的场合非常适用;

4) 由图 3 可以看出加入运动受限策略后, 对移动机器人跟踪控制精度影响不大, 但超调量更大, 完全跟踪上参考圆轨迹的时间更长。这是因为运动受限作用使得机器人达不到原控制所需的控制速度, 跟踪的速度必然相应的变“慢”。

5) 由图 4 (b) 可明显的看出, 左右主动轮转速出现上限而不再继续增大。这是因为在控制过程中触发了运动受限的条件, 移动机器人已经达到了其运动的极限。因此图 4 (a) 中的跟踪状态是以超过机器人的运动极限为前提的。由此可以看出, 引入运动受限策略是十分必要的, 也是更加符合实际的。

5 总结

运动受限作用是移动机器人运动控制过程中一项基本的约束, 然而很多运动控制器的设计都忽略了运动受限作用。本文对履带式移动机器人的轨迹跟踪控制问题进行了研究, 设计了履带式移动机器人转向角速度的有限时间控制律和纵向线速度的滑模控制律, 并着重对比分析了考虑运动受限作用和不考虑运动受限作用下对于参考圆轨迹的跟踪控制效果。讨论分析的

(上接第 82 页)

测和处理, 在紧急情况下自动强制停机, 为设备和操作人员的安全提供可靠的保障。

5 结束语

基于 PLC 的地面能源远程控制技术方案中运用基于 Profibus 现场总线的分布式 PLC 控制技术, 采用数字化传感器精度更高, 数字控制主、辅变频器精度更高, 性能可靠, 降低了以往产品电流调节的调节误差, 高压输出的反馈闭环控制, 减少了能源系统在运行过程中的人为干预, 保证了能源高压输出的稳定, 实现了地面能源的一键自动化远程控制功能, 有效提高液压系统的自动化测试水平, 具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 郑小倩, 黄明琪. 基于 PROFIBUS-DP 通信研究与实现 [J]. 计

结果表明:

1) 本文设计的轨迹跟踪控制律, 可实现移动机器人对参考轨迹的有效跟踪;

2) 运动受限作用使得移动机器人的跟踪轨迹更加平滑;

3) 有限时间控制律对于航向角跟踪要求较高的场合十分适用;

4) 运动受限作用并不影响跟踪控制的跟踪精度, 但会增加控制时间;

5) 在移动机器人跟踪控制器设计的过程中, 考虑运动受限作用是防止机器人超过其运动极限的必然要求。

参考文献:

- [1] 王仲民. 移动机器人路径规划与轨迹跟踪 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2008.
- [2] Kabanov A, Kramar V. Modeling and Control of Tracked Mobile Robot [J]. 2012.
- [3] Moosavian S A A, Kalantari A. Experimental slip estimation for exact kinematics modeling and control of a Tracked Mobile Robot [C]. 2008.
- [4] Amidi O. Integrated Mobile Robot Control [R]. Carnegie Mellon University, Robotics Institute, 1990.
- [5] 徐俊艳, 张培仁, 程剑锋. 基于 Backstepping 时变反馈和 PID 控制的移动机器人实时轨迹跟踪控制 [J]. 电机与控制学报, 2004 (1): 35-38.
- [6] 骆德渊, 刘 荣, 李纪文. 采用模糊逻辑的移动机器人轨迹跟踪 [J]. 电子科技大学学报, 2008, 37 (6): 943-946.
- [7] 周 波, 戴先中, 韩建达. 野外移动机器人滑动效应的在线建模和跟踪控制 [J]. 机器人, 2011, 33 (3): 265-272.
- [8] 张扬名, 刘国荣, 杨小亮. 基于滑模变结构的移动机器人轨迹跟踪控制 [J]. 计算机工程, 2013, 39 (5): 160-164.
- [9] 李会来, 李小民, 陈静华. 非完整移动机器人轨迹跟踪自适应控制器设计 [J]. 传感器与微系统, 2011, 30 (5): 104-106.
- [10] 王 静, 蒋 刚. 基于 EKF 和 Lyapunov 函数的移动机器人轨迹跟踪控制 [J]. 机床与液压, 2013 (6).
- [11] 阎世梁, 张 华. 基于预测控制的全向移动机器人轨迹跟踪 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (10): 2281-2284.
- [12] 张兴会, 王仲民, 邓三鹏, 等. 基于控制 Lyapunov 函数的履带式移动机器人轨迹跟踪 [J]. 制造业自动化, 2011, 33 (1): 202-203.
- [1] 王巧巧, 罗 飞. 基于 PLC 的能源设备监控管理系统 [J]. 绵阳: 兵工自动化, 2003, 22 (4): 1006-1576.
- [2] 吴美金, 王秉臣, 卢逸斌, 等. 基于 PLC 的航天器地面测控系统通用化设计研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (7): 14-24.
- [3] 夏明亮. 远程控制通信程序的设计 [J]. 南京: 南京工程学院学报, 2007, 5 (1): 1672-2558.
- [4] 王嘉炜, 索双富, 孟国营, 等. 基于 PLC 间通信的高压气流量系统闭环控制 [J]. 现代机械, 2016, 4: 88-90.
- [5] 范列朋, 石海钦, 雷 俊. 基于 HMI 与 PLC 的位移闭环控制系统在大型钢管防腐图层自动涂装生产线上的应用 [J]. 机电工程, 2012, 29 (6): 733-736.
- [6] 郑尚磊, 傅迎华, 周代全, 等. 基于 S7-300PLC 和 Wincc 的 PID 参数整定研究 [J]. 电子科技, 2016, 29 (11): 97-100.