

# “互联网+排涝泵站群”远程网络管控系统设计

付琛, 杨国华, 李海波, 赵晓峰

(无锡商业职业技术学院 物联网技术学院, 江苏 无锡 214153)

**摘要:** 以常熟辛庄片区排涝泵站群为载体, 结合“互联网+水利自动化+优化网络安全控制”的理念, 采用分散控制、统一管理的模式, 利用浏览器、手机 APP 为远程终端服务软件, 以 PLC 作为现场控制核心, 基于 WEB 以及移动子网开发了一套排涝泵站群数据采集与监视控制系统 (supervisory control and data acquisition system, SCADA); 文中重点就系统设计过程中的一些关键技术进行了阐述, 如系统通信网络安全自检模块设计、远程水泵工作状态数据采集以及远程水泵智能启停控制实现等; 通过该系统在实际现场的应用调试发现, 其运行安全可靠, 实现了利用浏览器或手机移动终端进行各排涝子站分管区域的水情监测、泵站工作状态数据监测、排涝子站的水泵机组多模式控制等智能化功能, 给泵站的实时监管带来了便利, 创造了很大的社会价值。

**关键词:** 排涝站; 网络应用; 正交试验; 数据采集与监视控制系统; “互联网+”; 智能优化调度

## Remote Management and Control System Design of Drainage Pumping Stations Based on Internet

Fu Chen, Yang Guohua, Li Haibo, Zhao Xiaofeng

(School of IOT Engineering, Wuxi Vocational Institute of Commerce, Wuxi 214153, China)

**Abstract:** Combined with the idea which was called Internet plus hydraulic automation and optimization technology, a set of drainage pumping stations supervisory control and data acquisition system has been developed. The decentralized control and unified management mode was adopted in this system. The direct digital controller was PLC. And the browser and mobile APP was used to the remote terminal service software. Some key technologies were elaborated in this paper, such as the design procedure of communication network security checking, working state of remote data acquisition and remote intelligent pump control modules. By applying in Xinzhuang town of Changshu City, this system has shown the convenience and reliability. It could not only monitor the water regime of the main river and some important parameters of the pumps in time by mobile APP and PC, but also intelligent control the pump. It has brought convenience to the real-time monitoring of pumping station and created a great social value.

**Keywords:** drainage pumping stations; WEB application; orthogonal test; SCADA; “internet plus”; intelligent optimal dispatching

## 0 引言

水利排涝站作为国民经济和社会发展的重大公益性基础设施, 它不仅是农业生产的重要基础设施、防洪排涝体系的重要组成部分, 还是区域生态环境保护的有力保护者<sup>[1]</sup>。但是许多建成于 20 世纪 80、90 年代的大型泵站, 大多以传统的手工控制、人工值守为主, 缺少自动化监控设施和信息化手段, 导致排涝泵站机组整体运行经济效益偏低, 严重制约了城市生态环境的建设以及社会经济的发展。近年来, 随着计算机技术、智能控制技术以及通信技术的发展, 许多大型城市也相继采用了组态化的监控软件 CIMPLICITY、GENIE、INTOUCH、组态王等进行了各大泵站集中监控系统的改造与信息化创新<sup>[2-3]</sup>。但是这些组态软件存在功能单一、价格昂贵、维护更新受制于人等缺陷。鉴于以上情况, 结合全国“互联网+”行动计划和常熟辛庄片区信息化改造要求, 按照水利泵站监控的需求, 研究设计一套基于 WEB 以及移动子网的排涝泵站群 SCADA 系统。

## 1 常熟辛庄排涝泵站群概况

在常熟辛庄片区中, 需要对贵泾、张泾东和牌头坝 3 座泵站进行信息化改造, 希望运用工业自动化在数据采集、传输、计算以及物联网在全面感知、可靠传递、智慧处理方面的优势, 实现水利自动化与信息化的深度融合。现有的 3 座泵站共有 150 kW 机组两台、90 kW 机组两台、75 kW 机组两台, 仅能进行现场手工起停控制, 远远不能满足实时监控的需要。

## 2 排涝泵站群 SCADA 系统方案设计

针对辛庄片区排涝站点的信息化改造需求, 坚持以安全、可靠、实用为基础, 以节能增效为目标, 结合“互联网+水利自动化+优化网络安全控制”的思想, 采用分散控制、统一管理的模式, 构建 SCADA (数据采集与监视控制) 系统, 系统框架结构设计如图 1 所示。

在该系统中, 采用了分布式的控制方式: 现场泵站控制主要采用 PLC 作为核心控制器, 利用 PLC 与各类智能电表、水位传感器、雨量检测用传感器等进行通信, 实现对水泵的智能化控制; 基于泵站优化理论, 以总能耗最小为目标, 通过正交试验选优的方法实现多模式的远程网络泵站控制; 借助于 Modbus TCP/IP 协议, 实现上位 WEB 应用软件与下位控制器 PLC 之间的数据通信; 采用基于消息的订阅/发布模式, 使用 DCOM 技术, 基于 WEB 的应用平台实现对远程数据服务器的

收稿日期: 2016-12-26; 修回日期: 2017-02-13。

**基金项目:** 江苏省高等职业教育产教深度融合实训平台—互联网+工业智能技术应用平台项目 (苏教高〔2016〕10 号)。

**作者简介:** 付琛 (1983-), 男, 甘肃天水人, 硕士, 实验师, 主要从事通信技术、控制技术应用以及系统集成等方向的研究。

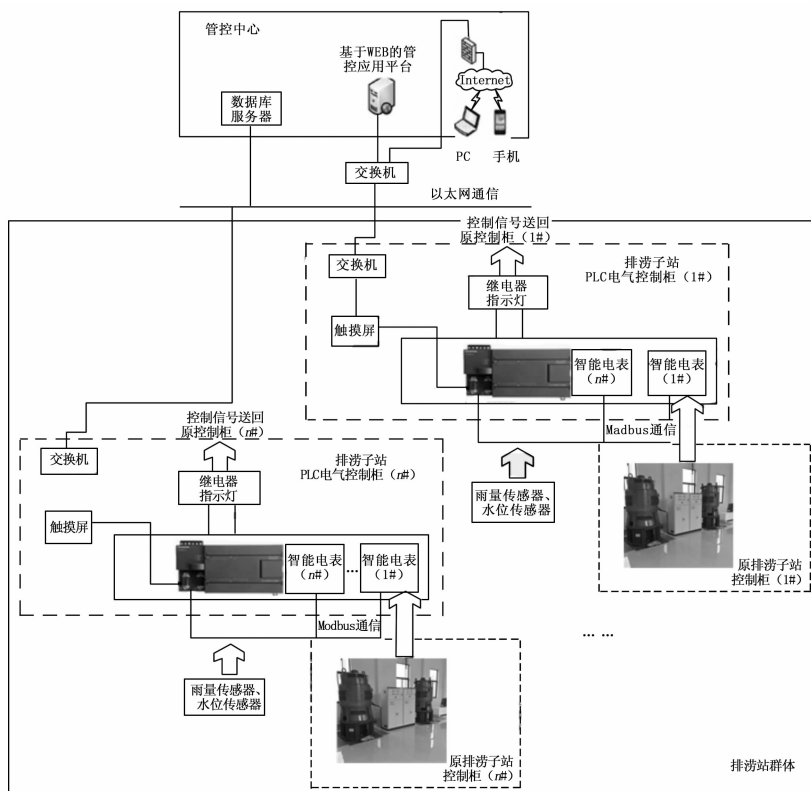


图1 排涝泵站群远程网络管控系统结构

访问;基于移动子网,利用开发的手机APP实现移动实时监控。最终实现智能型的水利排涝泵站群组远程网络管控,达到利用浏览器、手机移动终端等进行各排涝子站分管区域的水情监测、泵站工作状态数据监测、排涝子站的水泵机组多模式控制等功能。

### 3 排涝泵站群智能优化调度控制模块设计

江苏城镇圩区现行泵站群调度方案一般比较粗放,通常选择在梅雨季节采用强排方式,以最快的速度进行排涝以保证老百姓生活安全;在其他季节则通常依靠经验方式定期手工开启水泵保证内河水位在安全水位。这样的调度方式虽然能确保安全,但是带来的一个最大问题就是总排涝能耗可能较大,造成一定程度上的能源浪费。因此,在当前能源日益紧缺的年代,对排涝泵站进行信息化改造的同时,深入对排涝泵站的运行优化调度研究具有极其重要的意义。

#### 3.1 正交试验法原理<sup>[4-5]</sup>

所谓正交试验法,就是将排涝泵站群根据实际排水官网的铺设情况、分管河域状况进行分组,根据各组所对应的排水官网的汇水能力以及泵站开机经验设定试验水平,然后生成正交表进行正交试验,分析各泵站组的能耗以及排水量。以泵站群总能耗最低为目标,利用极差分析法明确各泵站组的试验水平对目标的影响度,以圩区内、外河水位限制多目标模拟去劣的方式,择优选取最优的泵站群调度方案。

#### 3.2 基于正交试验法的智能优化调度方案选择

为了灵活方便地应对各种旱涝现象,本系统设置了3种泵站调度控制模式:1)手动单启闭模式;2)全开强排模式;3)常规日常调度智能化优化模式。其中,手动单启闭模式主要用

于某一河道水位上涨后手工进行排涝;全开强排模式主要适用于当地遭遇超标标准降雨时机;而常规日常调度智能化优化模式<sup>[6-8]</sup>,则是在圩区降雨不超过区域除涝标准时,通过以式(1)所定义的优化问题,采取预先正交试验的方法,从而确定贵泾、张泾东和牌头坝3座泵站组分别按照3-1-2最优开启方式进行排涝。

$$\begin{aligned} \min F &= \sum_{i=1}^n P_i(x_i) \cdot t_i \\ s. t. \quad &\sum_{i=1}^n W_i(x_i) = m \\ \min W_i &\leq W_i(x_i) \leq \max W_i \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中, $F$ 为泵站群总电功耗(kWh)。 $x_i$ 为第*i*组泵站的开机方案,一般称之为试验水平。它主要是在保障设备和电网安全的前提下,尽可能减少水泵启动次数并控制一次开机时间而设定的。一般按以下3种试验水平确立:(1)泵站组所有水泵按照“全开1小时—停机45分钟”的方式循环;(2)按照“半开3小时—全开0.5小时—停机0.5小时”的方式循环;(3)按照“单开1.5小时—全开0.5小时—停机0.5小时”的方式循环。 $t_i$ 为第*i*组泵站的开机总时间; $P_i(x_i)$ 为第*i*组泵站对应于第*i*中试验方案所消耗的功率(kW)。 $W_i$ 为第*i*组泵站的排水量; $m$ 是指圩区需外排的总水量。 $\min W_i$ 、 $\max W_i$ 是指第*i*组泵站的最小排水量以及最大排水量,其主要依据当地的地表径流以及降雨开始时刻的可滞纳库容等设定。

### 4 排涝泵站群远程管控实现

“互联网+排涝泵站群”远程管控系统所要实现的功能是:1)各个泵站组能够进行远程和现场智能化控制;2)远程能够利用PC或者移动终端实时监控各泵站所主管内外河水位变化、各泵站组的工作状态以及运行参数,并进行数据存储以及故障报警。其功能实现核心技术主要有以下几个方面:1)现场数据如何采集;2)远程PC或者移动终端如何与现场控制器PLC之间进行数据交互;3)现场数据如何进行存储以方便后续管理优化调用。

#### 4.1 现场就地泵站运行状态数据采集程序编制

单个排涝泵站组对应的内外河水位变化、水泵的工作状态对排涝的安全可靠性起到了决定性作用。因此,该远程管控系统现场控制部分主要选用了12位格雷码输出的WFH-2A型水位计进行内外河水位的检测;选用了支持Modbus RTU协议的电表PD194I进行水泵的运行参数以及运行状态监测。

在处理水位计的输入信号时,一方面需要注意水位计与PLC输入端的接线顺序,另外,在程序中要通过如图2所示的流程将格雷码转化为字类型的标准二进制码。

在利用电表PD194I进行水泵的运行参数以及运行状态监测时,主要利用PLC与智能电表之间的Modbus通信实现<sup>[9]</sup>。其具体流程如下:

- 1) 变量初始化以及自由通信端口的Modbus主站初始化;
- 2) 搜索并储存有效的从站地址;
- 3) 轮流对各从站发送读取数据申请。

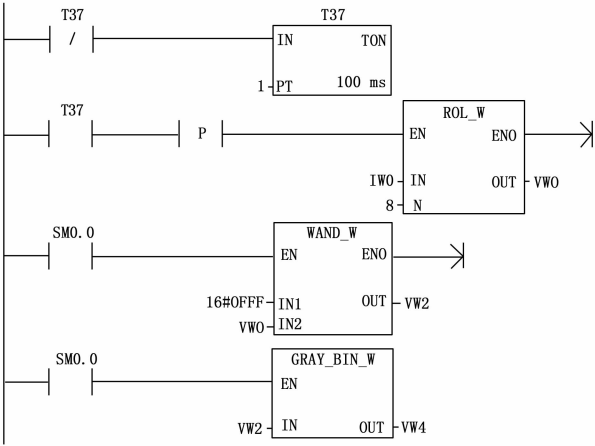


图 2 水位信号处理流程

4.2 基于 Modbus TCP | IP 协议的上下位数据通信实现

在数据远程传输过程中，一般采用 PLC 加以太网扩展模块的方式，通过以太网扩展模块建立上位机和下位机之间的数据传输通道，该方式能够实现数据的有效传送，但以太网扩展模块硬件成本较高<sup>[10]</sup>。Modbus TCP/IP 是 Modbus 与以太网结合的产物，其运行在 TCP/IP 网络上，比 Modbus 串行协议扩展更为方便，传输速率更高。为此，本系统从成本角度出发，以保证数据传输质量为根本，采用了带有以太网接口的触摸屏进行数据的转发，基于 OPC 技术开发 OPC SERVER，从而基于 DCOM 技术完成上下位机之间的数据通信<sup>[11-12]</sup> 具体实现方式如下：远程管控平台（上位机）和触摸屏（下位机）通过 Modbus TCP/IP 协议进行数据的以太网通信，利用触摸屏与 PLC 之间的串口通信进行现场数据的交换。触摸屏作为数据转发设备完全取代了以太网扩展模块，大大节约了硬件投入成本。

以上位机远程发送水泵启停命令为例，具体阐述其实现过程：首先根据 Modbus TCP/IP 通讯规约，为触摸屏添加通用 TCP/IP 父设备，对其属性进行配置，设定其为客户端；然后进行相关驱动程序编写，设置与 PLC 之间的变量动态对接，如表 1 所示。

表 1 触摸屏与 PLC 之间变量对接关系

参数	区	地址	数据类型	PLC 对应的地址	HMI 中定义的变量名称
1 号泵启动信号	0	11	位	V1220.0	远程启动 1 号
1 号泵停止信号		21	位	V1221.0	远程停止 1 号
2 号泵启动信号		12	位	V1222.0	远程启动 2 号
2 号泵停止信号		22	位	V1223.0	远程停止 2 号
3 号泵启动信号		13	位	V1224.0	远程启动 3 号
3 号泵停止信号		23	位	V1225.0	远程停止 3 号

然后编写如图 3 所示的梯形图实现水泵的远程控制。图 3 中，若控制模式开关 I2.0 打向远程模式，则远程启动信号 V1220.0 发出后，将驱动 Q2.0 为“1”，中间继电器 KA1 得电，水泵运转。若远程发出停止信号 V1221.0，将驱动 M13.0 得电，从而使得 Q2.1 为“1”，中间继电器 KA2 得电，水泵停止。

4.3 基于 WEB 的管控应用平台设计

为了保证应用系统的跨平台、稳定性以及服务的可扩展性，本系统采用 Tomcat 7.0 作为应用服务器，Redis 2.8 作为

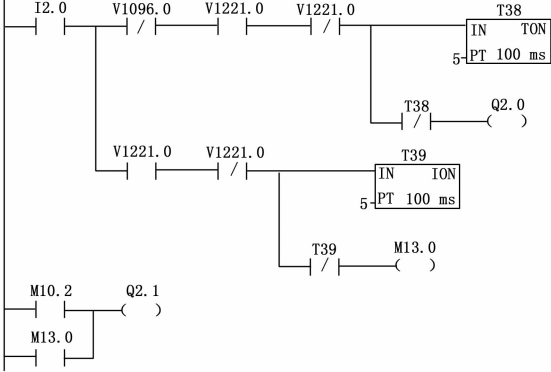


图 3 水泵远控制梯形图

实时数据缓存和消息路由，SQL Server 2008 存储历史数据和应用配置信息。其基于 WEB 的管控平台逻辑结构如图 4 所示。它主要由 3 部分构成：交互层、数据层、DCOM 通讯层。

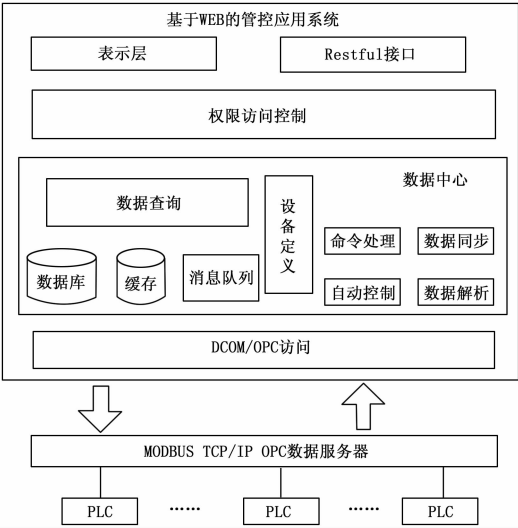


图 4 上位管控平台的逻辑结构

所谓交互层，就是由表示层和 Restful 接口提供应用的交互界面，其 Web 界面主要是借助于 HTML5 的 WebSocket 通讯方式，实现 Web 页面与服务器之间的实时通讯，动态展示设备运行状态以及相关运行参数。其提供的接口主要包括两部分：一是由浏览器访问的 WEB 动态网页，二是为移动终端提供的一组 Web API 接口。

对于数据层而言，其主要用于定义应用系统范围内 PLC 设备及其状态变量，为上层应用下发的命令提供解析和执行，解决应用数据与设备数据的同步问题。系统主要是在 OPC SERVER 和 Redis 之间完成数据同步。系统将 Redis 作为 WEB 应用的缓冲，保存设备的实时数据，然后通过订阅发布机制帮助应用实现对设备的远程控制。为了减少读写之间的相互影响，本系统采用了读写分离的双线程工作模式。

DCOM 通讯层是通过 DCOM 接口，将 PLC 的数据按 OPC 规范与 OPC Sever 进行相互的通讯<sup>[13]</sup>。首先通过在 Windows 系统中进行 DCOM 的配置，分配相应的权限，然后利用 OPC 基金会推荐的 Utgard 项目这样一个纯 Java 实现的类库，实现 Java 对 OPC Server 的访问。

磁阀远程控制及水压监测系统。该系统的特点：引入 GPRS 无线通讯技术，具有连接方便、覆盖面广、传输速度快的优势<sup>[10]</sup>；采用基于云平台搭建的服务器，管理用户信息和设备信息；设计了基于 Android 的移动客户端 APP 软件，使农业灌溉智能化，便捷化。随着国家对农业现代化的不断推进，以及智能控制和物联网技术的不断发展，农业智能化是必然的发展趋势。嵌入式系统和无线通信技术相结合的远程控制系统必将是发展的潮流。电磁阀远程控制及水压监测系统还有许多需要完善之处，随着技术的不断提高以及系统的不断完善，该系统必将给用户带来更人性化的操作。

参考文献：

[1] 王恩亮，华 驰. 基于物联网技术的农业环境监测站的设计 [J]. 计算机测量与控制，2016，24（5）：18-20.

[2] 李志军，刘亚善. 基于 ARM 和 GPRS 的多功能智能表数据采集器 [J]. 计算机测量与控制，2015，23（8）：2918-2920.

(上接第 76 页)

5 网络安全自检设计

对于“互联网+排涝泵站群”远程网络管控系统而言，保证安全首当其冲。在该系统中主要考虑远程操作安全性和数据传输的安全性<sup>[14]</sup>。在远程操作安全性方面，主要是通过设置用户操作权限，依据网络通信状态和水泵当前的运行状态来有效避免非授权人员任意操作和授权人员误操作。在数据传输安全性方面，首先通过对系统可能出现的网络通信故障（网络线路断路、下位触摸屏离线不响应）分析，设计采用设置“心跳包”的模式保证系统的安全：首先由 PC 与下位触摸屏之间约定共同的一个参数，并定期由 PC 向触摸屏进行数据写入，触摸屏定期查询该变量值的变化，若该变量值没有按照既定的方式改变，则自动重新启动触摸屏；重启后如果仍然没有收到上述正确信息，则进行本地相应网络异常声光报警。

6 远程网络管控系统的应用调试

该管控系统（如图 5 所示）在常熟辛庄进行了实际安装调试。经过实际应用发现，该系统不仅监控及时，能够有效避免泵站排涝故障，同时还能远程智能启停水泵，方便无人值守。同时，还能对整个城镇的各个主要水域的水情变化趋势进行实时监控，水情数据进行存储，便于进行有效的区域排涝站点设置与分析管理。



图 5 远程监控泵站示意

7 结论

本系统从现有泵站信息化改造实际出发，结合经济性、系统稳定安全性等多方因素考虑，设计了一套安全、稳定的智能

[3] ST 公司. STM32L476RE 使用手册 [EB/OL]. <http://www.st.com/>, 2016.

[4] TI 公司. DRV8823 使用手册 [EB/OL]. <http://www.ti.com/>, 2016.

[5] USR 公司. USR-GPRS232-7S3 使用手册 [EB/OL]. <http://usr.cn.makepolo.com/>, 2016.

[6] RT-Thread 编程指南 [EB/OL]. [http://www.rt-thread.org/download/manual/rtthread\\_manual.zh.pdf](http://www.rt-thread.org/download/manual/rtthread_manual.zh.pdf), 2016.

[7] 戴 克，林仪明，崔 毅. Spring MVC 学习指南 [M]. 北京：人民邮电出版社，2015.

[8] 百度文库. 云服务器 [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/4630404dc850ad02de80419d.html>, 2016.

[9] 刘京华. Java Web 整合开发王者归来 [M]. 北京：清华大学出版社，2010.

[10] 李 宁. Android 开发权威指南 [M]. 北京：人民邮电出版社，2013.

[11] Achartengine [EB/OL]. <http://code.google.com/p/achartengine/>, 2016.

化排涝泵站群远程网络管控平台，实现了就地以及远程水情、泵站工作状态的实时监控，解决了传统泵站控制系统受地域限制的缺陷，通过智能化的优化方法预先设置了多模式的泵站群调度模式，不仅方便安全排涝，而且能够有效节省能耗。通过实例运行验证了本文提出的系统架构和安全机制的正确性和可行性。该系统的研究，对当前排涝站信息化改造具有一定的指导价值和现实意义。

参考文献：

[1] 李 琪，许建中，李瑞明，等. 中国灌溉排水泵站的发展与展望 [J]. 中国农村水利水电，2015（12）：6-10.

[2] 陈 虹，唐鸿儒，杨 鹏，等. 泵站监控系统的现状和趋势 [J]. 中国农村水利水电，2002（2）：55-58.

[3] 霍 宁. 泵站监控系统及其结构的发展趋势 [J]. 水电自动化与大坝监测，2004（4）：81-85.

[4] 刘瑞江，张业旺，闻崇炜，等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理，2010，27（9）：52-55.

[5] 魏效玲，薛冰军，赵 强. 基于正交试验设计的多指标优化方法研究 [J]. 河北工程大学学报（自然科学版），2010，27（3）：95-99.

[6] 刘静森，程吉林，黄 勇. 不受潮汐影响城镇圩区排涝泵站群常规调度方案优化 [J]. 灌溉排水学报，2015，34（3）：17-23.

[7] 刘静森，程吉林，龚 懿. 城镇圩区排涝泵站群日常运行方案优化 [J]. 农业工程学报，2014，30（17）：141-147.

[8] 方国华，曹 蓉，刘 芹，等. 改进遗传算法及其在泵站优化运行中的应用 [J]. 南水北调与水利科技，2016，14（2）：142-147.

[9] 徐鹏鹏. 基于 S7-300/200PLC 和 Modbus 协议的电力参数采集系统 [J]. 工矿自动化，2011（12）：104-107.

[10] 周亚平. 建立在以太网基础上的泵站集控系统 [J]. 中国农村水利水电，2008（8）：133-136.

[11] 孙大林. 基于 Modbus-TCP 的 OPC 数据访问服务器的研究与开发 [D]. 北京：北京交通大学，2007.

[12] 孟 磊，邹志云，郭宇晴，等. 基于 Modbus TCP/IP 的 HMI-PLC-SCADA 系统设计 [J]. 石油化工自动化，2015，51（6）：40-42.

[13] 赵晓峰. 基于 OPC 技术的 Web 工控系统的研究与实现 [J]. 计算机应用，2016（2）：62-64.

[14] 黄 磊. 基于 Internet 的远程 PLC 控制研究 [D]. 西安：西安工业大学，2014.