

一种基于PLC的水处理工艺流程科研教学演示装置

史慧超^{1*}, 李建峰², 路凯³

¹北京化工大学信息科学与技术学院, 北京

²北京航天石化技术装备工程有限公司, 北京

³北京智芯微电子科技有限公司, 北京

收稿日期: 2023年11月7日; 录用日期: 2023年12月7日; 发布日期: 2023年12月14日

摘要

针对水处理工艺流程及控制单元的科研教学演示需求, 本文将实现水处理工艺流程的各工艺单元模块放置到水处理厂实景沙盘模型上, 并借助于PLC控制单元实现了对整体工艺流程的自动化控制, 在此基础上设计并研制的水处理工艺流程科研与教学演示装置可以完整演示水处理工艺的各个流程及控制过程。本文详细介绍了水处理工艺流程及各工艺单元模块的控制, 该装置的运行演示结果证明装置可以直观、形象、完整的演示水处理工艺流程及控制功能, 达到良好的科研及实验教学效果。

关键词

水处理, 工艺流程, 控制系统, PLC

A PLC-Based Scientific Research and Teaching Demonstration Device for Water Treatment Process Flow

Huichao Shi^{1*}, Jianfeng Li², Kai Lu³

¹School of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing

²Beijing Aerospace Petrochemical Technology and Equipment Engineering Co., Ltd., Beijing

³Beijing Zhixin Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing

Received: Nov. 7th, 2023; accepted: Dec. 7th, 2023; published: Dec. 14th, 2023

*通讯作者。

Abstract

In view of the scientific research and teaching demonstration needs of water treatment process flow and control unit, this article places each process unit module that realizes the water treatment process flow on the real-life sand table model of the water treatment plant, and uses the PLC control unit to realize the overall process flow on this basis, the water treatment process scientific research and teaching demonstration device designed and developed can completely demonstrate the various processes and control processes of the water treatment process. This article introduces the water treatment process flow and the control of each process unit module in detail. The operation demonstration results of the device prove that the device can intuitively, vividly and completely demonstrate the water treatment process flow and control functions, achieving good scientific research and experimental teaching effects.

Keywords

Water Treatment, Process Flow, Control System, PLC

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 城市建设中水处理需求越来越多[1] [2] [3]。基于不同工艺流程的水处理技术也成为了业界研究和学习的重点[4] [5]。常规的水处理工艺主要处理水中的悬浮物、胶体物质和病原微生物等, 主要包括混凝、沉淀或澄清、过滤和消毒等工艺单元[6]。针对上述工艺单元开展单独研究或者整体研究, 尝试不同的工艺环节、材料应用或流程组合, 是目前水处理工艺研究的主要方法。

水处理工艺流程中各个工艺单元功能以及整体工艺流程实现有赖于各类测量设备、动力设备以及控制单元[7] [8] [9]。只有在控制单元准确控制的情况下才能保证上述工艺流程准确实现[10] [11]。然而, 实际的水处理场景更多关注的是实际工艺流程的功能实现, 缺少面向工艺流程研究以及教学的演示装置, 特别是将水处理工艺流程与各工艺单元模块控制相结合, 直观演示水处理工艺类别、原理、特点、效果以及控制逻辑及实现的装置。

本文针对水处理工艺及控制单元的科研与教学演示需求, 将实现水处理工艺流程的各工艺单元模块放置到水处理厂实景沙盘模型上, 借助 PLC 控制系统实现对各个工艺流程的自动化控制, 设计并研制了水处理工艺流程科研与教学演示装置, 完整演示了水处理工艺的各个流程及控制过程。

2. 水处理工艺

根据科研与教学的需要, 设计了一整套水处理工艺流程运行演示装置, 完整演示水处理工艺流程以及控制过程。装置包括取水井(河道旁缓冲源水池)、泵房、加药间、调节池、反应沉淀池(反应与沉淀合并)、V 型滤池、消毒池、气泵房、清水池、用户供水泵房。

具体的水处理工艺流程如图 1 所示, 实现水处理工艺流程的主要工艺单元模块实物如图 2 所示, 其中主要的工艺流程是在调节池、反应沉淀池、V 型滤池、消毒池等单元模块中完成。

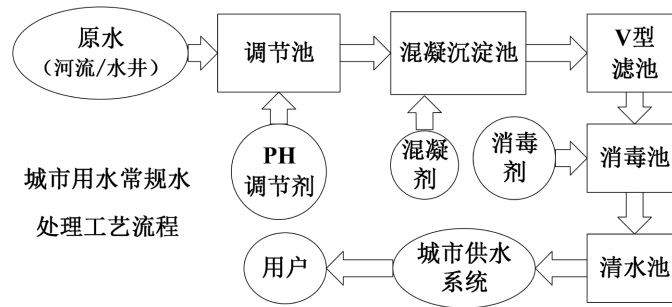


Figure 1. Water treatment process flow
图 1. 水处理工艺流程

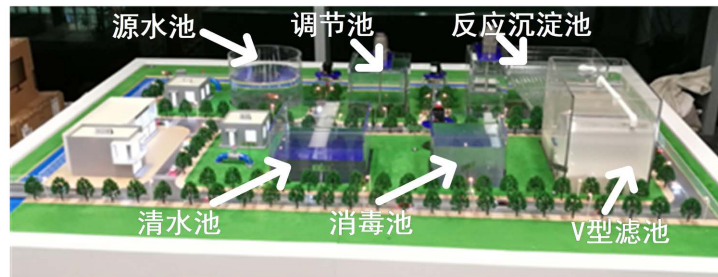


Figure 2. Physical main process unit modules
图 2. 主要工艺单元模块实物

根据水处理工艺流程，设计的科研与教学演示装置包括各个工艺单元模块及保证功能实现的配套设备。

原水箱泵房将河流或者水井中的源水泵送到源水池存放。原水池选用有机玻璃圆柱体结构，保证功能实现的配套设备包括提升泵、液体流量计、电磁阀。

加药间根据原水的 PH 值，将 PH 调节剂添加到调节池中，以保证调节池水中的 PH 值满足工艺要求，除此之外调节池对水进行搅拌、曝气、静置沉淀，并调节污水温度，使出水水质均匀。装置的调节池为有机玻璃长方体结构，PH 加药池为有机玻璃圆柱体结构，保证功能实现的配套设备包括蠕动泵、提升泵、搅拌机、液体流量计、电磁阀、加药流量计等。

混凝池将混凝剂添加到前序工艺处理完的水中并使混凝剂与水充分反应。沉淀池采用平流式结构，分离污水中相对密度较大的无机颗粒，本文中装置将混凝反应与沉淀功能合并到反应沉淀池中完成，反应沉淀池为有机玻璃立方体结构，主要包括污泥箱、斜板沉淀池，保证功能实现的配套设备包括提升泵、液体流量计、电磁阀、三级混凝搅拌装置、加药泵、加药流量计、搅拌电机、搅拌器、搅拌叶片、漏电保护、按钮开关、电压表、电源线、连接管道及球阀等。

V 型滤池将前序工艺处理完的水通过过滤料进一步过滤净化。通常情况 V 型滤池上部进水底部出水，经过不同类型的滤料过滤后，水中悬浮物和溶解物被捕获滤除。V 型滤池的结构和滤料选取可以根据科研教学需要进行改造。V 型滤池为有机玻璃制作，整体为立方体结构，保证功能实现的配套设备包括水泵、液体流量计、电磁阀、气体流量计、长柄滤头、空压机、滤料、连接管道及球阀、电源控制系统、漏电保护器、控制开关、搅拌机调速器、指示灯等组成等。

消毒池主要是对前序工艺处理后的水进行消毒处理。该工艺环节中可选消毒方法有多种，目前采用较多的是氯消毒法，该方法对水中有细菌、氨氮存在的水源有较好的消毒效果。装置可以通过实验设置与消毒方法的选取，演示不同消毒方法的基本原理、过程及效果。装置的消毒池为有机玻璃制作，配有

同为机玻璃制作加药池，保证功能实现的配套设备包括蠕动泵、加药流量计、搅拌机、水泵、液体流量计、电磁阀等。

清水池为有机玻璃长方体结构，主要存放水处理工艺完成后的水，并对水处理效果进行检测。检测设备包括 PH 传感器、溶解氧 DO 传感器、电导率传感器及温度传感器。为了能多次演示，装置的水循环使用。清水池中的水通过回流泵从清水池回流至原水池，该过程需要通过流量传感器、液位传感器及电磁阀以保证回水量适合。

3. 基于 PLC 的控制系统

本文中设计研制水处理工艺流程科研教学演示装置基于西门子的 PLC 的控制单元搭建控制系统。

3.1. 主要设备连接及控制

实现上述水处理工艺流程的总体流程图以及组成设备如图 3 所示。

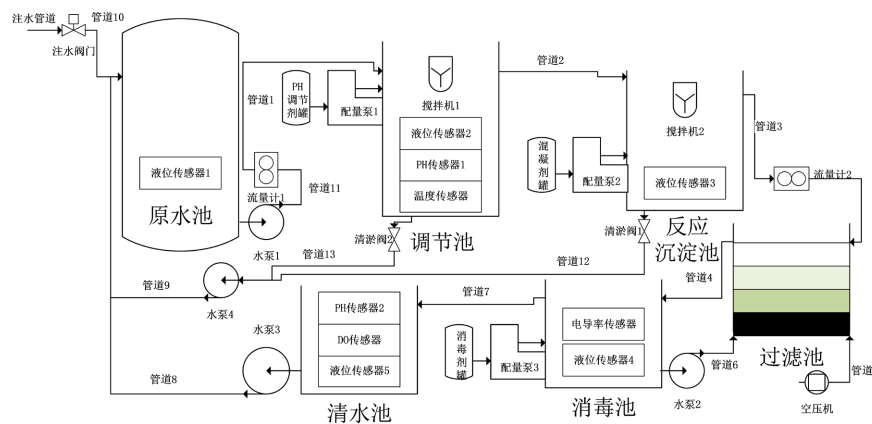


Figure 3. Water treatment process flow chart and component equipment
图 3. 水处理工艺流程图及组成设备

根据水处理工艺流程，具体的控制方案如下。

- 1) 注水阀门、液位传感器 1、水泵 1 和流量计 1 控制原水池中的水位保持一定的高度，当水位低于罐体某一水位时打开注水阀门注水。
- 2) 液位传感器 2 触发配量泵 1 和搅拌器 1，即当调节池中水位达到设定高度时，配量泵 1 和搅拌器 1 开启，此时根据 PH 传感器的检测结果往调节池中添加 PH 调节剂；根据温度传感器的输出控制调节池的加热冷却装置，将调节池温度控制在恒定范围。
- 3) 液位传感器 2 触发配量泵 2 和搅拌器 2，即当反应沉淀池中水位达到设定高度时，配量泵 2 和搅拌器 2 开启，此时根据流量计 1 的输出值将混凝剂添加到反应沉淀池中。
- 4) 流量计 2 控制水泵 2，当流量计 2 测得流量大于流量计 1 时，降低水泵 2 抽水速度，当流量计 2 测得流量小于流量计 1 时，提高水泵 2 抽水速度，通过以上控制匹配过滤池出水流量与入水流量相当。
- 5) 液位传感器 4 触发配量泵 3，此时根据流量计 2 的输出值将消毒剂添加到消毒池中。
- 6) 液位传感器 5 触发水泵 3，当清水池中的水位到达设定值时开启水泵 3，将清水泵入原水池。
- 7) 间隔一段时间开启调节池和混凝池的清淤阀 1、清淤阀 2，并同时开启水泵 4 将未处理污水注入原水池使整个净水系统循环使用。
- 8) PH 传感器和 DO 传感器用来检测清水池中的水的质量，用于评估净化处理效果。

3.2. 控制单元设计及实现

本文中设计的科研教学演示装置，控制单元主要包括控制配电孔柜 1 台、西门子 S7-300 系列 PLC 控制器 2 台、西门子 ET200 系列控制器 2 台，数字/模拟端口 1 套，主机箱及显示器 1 套、交换器 1 台、触摸屏 1 块，电缆、连接线、漏电保护器、过载保护装置、旋钮开关、工作状态指示灯等。控制系统可以根据演示需求定制化配置，控制对象也可按水处理工艺流程与演示要求进行调整。

控制系统采用两套西门子 S7-300 系列 PLC 作为主站核心处理器和两套西门子 ET200 作为 PLC 从站。每套控制模块配有对应的数字/模拟量输入/输出通道，使用网线或黄绞线联网，支持 PROFINET 协议或 PROFIBUS/MODBUS 协议。控制系统主要由控制配电孔屏、漏电保护器、旋钮开关、工作状态指示灯、PLC 控制器、继电器、组态监控软件、触摸屏、上位机等组成。控制系统组成以及设备连接如图 4 所示，控制单元实物连接效果如图 5 所示。

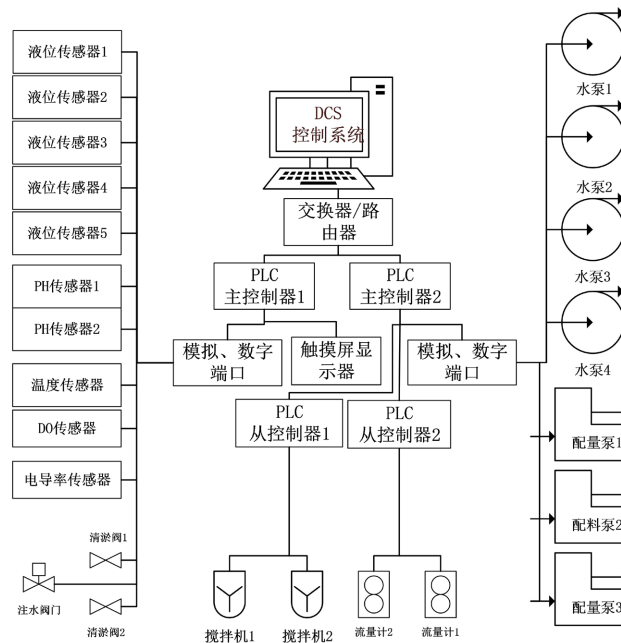


Figure 4. Control system composition and main equipment connections
图 4. 控制系统组成以及主要设备连接

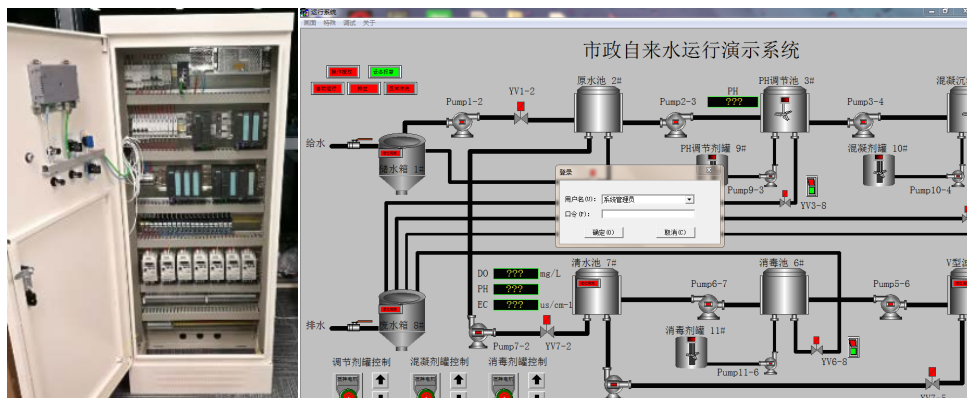


Figure 5. Control unit physical connection renderings
图 5. 控制单元实物连接效果图

4. 整体装置及演示

本文中设计的水处理工艺流程科研教学演示装置的实物如图 6 所示。通过对装置单个功能及整体水处理能力测试, 获得如下测试结果。

混凝沉淀池: 水处理速度为 2~6 L/h (平均)。V 型滤池处理量, 运行过程可实现智能控制连续进出水, 水处理量最大为 500 L/h, 滤速为 8~12 m/h。具有反冲功能, 气冲洗强度 15~20 L/s·m²; 冲洗时间 3 min, 水冲洗强度: 8~10 L/s·m², 冲洗时间 4~5 min。蠕动泵结合加药流量计控制加药量在 10.31~7072 mL/min 范围内。常规水处理之后的 PH 值为 7.8, 溶解氧为 7 mg/L, 电导率传感器 200~800 μS/cm。总体水处理净化最大为 6 L/h, 功能演示时水处理量可达 50 L/h 左右。

该装置可以直观、形象、完整的演示水处理工艺流程及控制单元功能, 主要的演示功能既包括水处理工艺流程的演示也包括控制单元功能的演示。

在水处理工艺流程科研及教学中可以演示, 1) 不同水处理工艺流程的整体运行及各工艺单元的原理; 2) 单个工艺单元不同原理水处理方式的对比演示及整体工艺流程效果演示; 3) 水处理速度与效果的对比演示等, 除此之外可以根据需求定制开发演示功能。

在水处理工艺流程科研及教学中可以演示, 1) 针对不同工艺需求的控制逻辑及功能实现; 2) 主从控制单元的连接与控制方式; 3) 不同测量设备与动力设备的信号类型及通讯方式选取及等, 除此之外可以根据需求定制开发演示功能。

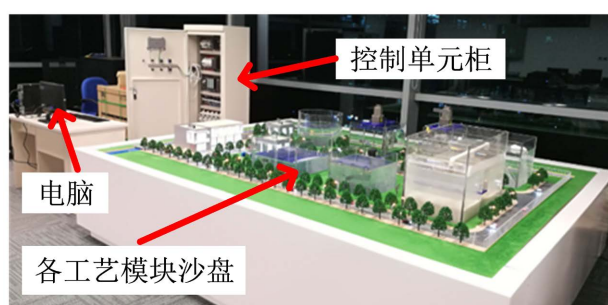


Figure 6. Actual picture of the water treatment teaching demonstration device
图 6. 水处理教学演示装置实物图

5. 结语

针对水处理工艺流程及控制单元的科研教学演示需求, 本文详细介绍了水处理工艺流程、功能单元模块及各工艺单元模块的控制, 设计并研制了针对水处理工艺流程的科研与教学演示装置, 将实现水处理工艺流程的各工艺单元模块放置到水处理厂实景沙盘模型上, 并借助于 PLC 控制单元实现了对整体工艺流程的自动化控制, 完整演示水处理工艺的各个流程及控制过程。装置的基础性能测试验证了设计方案的可行性, 该装置的运行演示结果证明装置可以直观、形象、完整的演示水处理工艺流程及控制功能, 达到良好的科研及实验教学效果。

基金项目

本文研究工作受国家重点研发计划课题(2019YFB2006602)资助。

参考文献

- [1] 刘兴平, 郝晓美. 城市污水处理工艺及其发展[J]. 水资源保护, 2003(1): 25-28+60.

- [2] 龙腾霄. 自来水厂水处理工艺的研究进展及应用研究[J]. 时代农机, 2017(5): 33+35.
- [3] 齐云强. 自来水厂净水处理工艺探析[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2019(10): 154.
<https://doi.org/10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201910142>
- [4] 张良荣, 倪欣. 自来水厂深度处理工艺[J]. 辽宁化工, 2015(12): 1525-1527.
<https://doi.org/10.14029/j.cnki.issn1004-0935.2015.12.036>
- [5] 尹茂想. 自来水厂净水处理工艺探析[J]. 工程技术研究, 2020, 5(15): 252-253.
<https://doi.org/10.19537/j.cnki.2096-2789.2020.15.118>
- [6] 李文博. 自来水厂净水处理工艺探析[J]. 科技传播, 2010(3): 11-12.
- [7] 裴向华, 游志华. 自来水的处理工艺及检测措施[J]. 江西化工, 2015(3): 172-173.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-3103.2015.03.061>
- [8] 李满天. 热电厂水处理监控系统的设计与实现[J]. 化工自动化及仪表, 2011(5): 630-631.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3932.2011.05.036>
- [9] 宋顺明. PLC 控制系统在高线水处理上的应用[J]. 科技信息, 2010(20): 382.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9960.2010.20.336>
- [10] 海华. 基于自控技术下的自来水厂水处理工艺研究[J]. 水电水利, 2019, 3(5): 121-122.
<https://doi.org/10.32629/hwr.v3i5.2101>
- [11] 张春生. DCS 控制系统在电厂化学水处理过程中的应用和研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2011.
<https://doi.org/10.7666/d.d160728>