

基于PLC的纯水自控系统升级改造实践

姜 波

黑龙江昊华化工有限公司 黑龙江 齐齐哈尔 161033

摘要：本文围绕基于PLC的纯水自控系统升级改造展开。阐述了纯水自控系统的基本原理、核心功能与架构，分析当前系统存在的问题。详细介绍了升级改造方案，包括目标设定、架构设计、控制策略优化及故障诊断报警功能设计。分享了改造实践过程，涵盖实施步骤、关键技术问题解决及系统调试优化。最后对升级改造后的系统性能进行分析，表明其在自动化程度、稳定性、能耗资源消耗等方面均有显著提升。

关键词：PLC；纯水自控系统；升级改造

1 纯水自控系统概述

1.1 纯水自控系统的基本原理

纯水自控系统旨在通过自动化技术实现对纯水制备、储存和分配过程的精确控制。其基本原理基于对水质参数、设备运行状态等关键信息的实时监测与反馈调节。在纯水制备环节，利用各种传感器，如电导率传感器、pH传感器等，实时检测原水水质及处理过程中的水质变化。这些传感器将检测到的模拟信号转换为数字信号，传输至控制系统。控制系统根据预设的参数范围，自动调整处理设备的运行参数，例如通过控制反渗透装置的进水压力、流量以及回收率等，确保产出符合要求的纯水。在储存和分配阶段，同样依靠传感器监测水位、压力等参数，保障纯水的稳定供应，避免因水位过高或过低、压力异常等情况影响纯水质量和使用安全。整个系统通过不断的数据采集、分析和指令下达，形成一个闭环的自动控制回路，实现对纯水生产全过程的自动化管理。

1.2 自控系统的核心功能

纯水自控系统具备多项核心功能。首先是数据采集与监测功能，能够实时、准确地获取纯水制备过程中的各种数据，包括水质参数（如电导率、硬度、微生物含量等）、设备运行参数（如水泵的转速、压力、流量等）以及环境参数（如温度、湿度等）。这些数据为系统的自动控制提供了基础依据^[1]。其次是自动控制功能，根据采集到的数据和预设的控制策略，自动调节相关设备的运行状态。另外是报警与保护功能，当系统检测到异常情况，如水质超标、设备故障、压力异常等，能够及时发出报警信号，提醒操作人员采取相应措施，并自动启动保护程序，避免事故扩大，保障设备和人员的安全。此外，系统还具备数据存储与分析功能，能够记录历史数据，为系统的优化和故障排查提供数据支持。

1.3 系统架构与主要设备

纯水自控系统通常采用分层分布式架构，主要包括管理层、控制层和现场层。管理层负责系统的整体监控、数据管理和决策支持，一般由上位机软件和服务器组成，操作人员可以通过上位机界面实时查看系统运行状态、历史数据等信息，并进行参数设置和远程控制。控制层是系统的核心，主要由可编程逻辑控制器（PLC）构成，它接收现场层传感器采集的数据，根据预设的控制程序进行逻辑运算和决策，并向执行机构发出控制指令。现场层则由各种传感器、执行机构和现场设备组成，传感器负责采集现场数据，执行机构根据PLC的指令控制设备的运行，如电动阀门、水泵等。主要设备方面，传感器包括电导率仪、pH计、流量计、液位计等，用于实时监测各种参数；执行机构主要有电动调节阀、变频器等，用于调节设备的运行参数；PLC作为控制核心，具备强大的逻辑运算和数据处理能力，能够适应复杂的控制需求。

2 纯水自控系统现状分析

当前纯水自控系统在许多领域得到了广泛应用，但也存在一些问题。从系统性能方面来看，部分老旧系统的自动化程度较低，仍需要较多的人工干预，导致生产效率不高，且容易出现人为失误。在稳定性方面，一些系统由于设备老化、控制策略不完善等原因，容易出现故障，影响纯水的正常供应。从能耗和资源消耗角度分析，部分系统在运行过程中能耗较高，水资源浪费现象较为严重。一些设备长期处于高负荷运行状态，能源利用效率低下；在纯水制备过程中，由于控制不当，可能会导致原水利用率不高，产生较多的废水。随着工业技术的不断发展，对纯水质量的要求越来越高，现有系统在应对复杂水质条件和高标准质量要求时，显得力不从心，需要进行升级改造以满足实际生产需求。

3 基于 PLC 的纯水自控系统升级改造方案设计

3.1 升级改造目标

本次升级改造的主要目标是提高纯水自控系统的自动化程度，减少人工干预，实现纯水制备过程的智能化控制。通过优化控制策略，提高系统的稳定性和可靠性，降低故障发生率，确保纯水的稳定供应。注重降低系统的能耗和资源消耗，提高能源利用效率，减少水资源浪费，实现绿色生产。还要提升系统对复杂水质条件和高标质量要求的适应能力，确保产出的纯水质量符合甚至超越相关标准，满足企业不断发展的生产需求。

3.2 系统架构设计

在系统架构设计上，保留原有的分层分布式架构，但在各层进行优化升级。管理层方面，升级上位机软件，增加更强大的数据分析和可视化功能，使操作人员能够更直观地了解系统运行状态。采用更稳定的服务器，提高数据存储和处理能力。控制层选用性能更强大、功能更丰富的PLC，增加I/O点数，以满足更多传感器和执行机构的接入需求。对PLC的程序进行优化，采用更先进的控制算法，提高控制精度和响应速度。现场层更换老化或精度不足的传感器，选用高精度、高可靠的新型传感器，确保数据采集的准确性。同时对执行机构进行升级，选用响应速度快、控制精度高的电动调节阀和变频器，提高设备的执行能力，增加通信模块，实现各层之间更稳定、高效的数据传输^[2]。

3.3 控制策略优化

针对纯水制备过程中的各个环节，优化控制策略。在预处理阶段，根据原水水质的变化，自动调整加药量和反冲洗频率。例如，当原水浊度较高时，增加混凝剂的投加量，并适当缩短反冲洗周期，以保证预处理效果。在反渗透环节，采用更精确的压力控制和流量调节策略，根据进水水质和产水要求，自动调整高压泵的转速和进水阀门的开度，确保反渗透膜的稳定运行，提高产水质量和回收率。在储存和分配阶段，根据用水需求的变化，自动调节水泵的运行频率，实现恒压供水，避免因压力波动对用水设备造成影响。采用智能算法对系统的运行参数进行实时优化，根据历史数据和实时数据，自动调整控制策略，使系统始终处于最佳运行状态。

3.4 故障诊断与报警功能设计

设计完善的故障诊断与报警功能，提高系统的可靠性和安全性。在PLC程序中增加故障诊断模块，对传感器、执行机构和设备运行状态进行实时监测。当检测到异常情况时，能够快速准确地判断故障类型和位置，并通过上位机界面显示详细的故障信息，同时发出声光报

警信号。例如，当传感器数据超出正常范围时，系统能够自动判断是传感器故障还是实际参数异常，并给出相应的处理建议。对于关键设备，如水泵、反渗透膜等，设置多重保护机制。当设备出现过载、过热等故障时，系统能够自动停机，并记录故障发生的时间和相关信息，方便后续的故障排查和维修。另外，建立故障预警机制，通过对设备运行数据的分析，提前预测可能出现的故障，并及时发出预警信号，提醒操作人员采取预防措施，避免故障的发生。

4 基于 PLC 的纯水自控系统升级改造实践

4.1 改造实施步骤

改造实施是一个系统且严谨的过程，通常被划分为多个关键步骤，以确保升级改造工作顺利推进并达到预期效果。首先是需求调研和方案设计阶段，这一阶段至关重要，技术人员需与企业生产、管理等部门的相关人员进行全面且深入的沟通。详细了解企业的生产需求，如纯水的产量、质量标准、用水时段等，同时精准掌握现有纯水自控系统存在的问题，像设备老化、控制精度不足、能耗高等。在此基础上，结合企业的实际场地、预算等情况，制定出科学合理、切实可行的详细升级改造方案，明确改造目标、技术路线和实施计划。接着进入设备选型和采购环节，依据方案要求，从众多品牌和型号中挑选合适的PLC、传感器、执行机构等设备。要充分考虑设备的质量、性能、兼容性以及售后服务等因素，确保所选设备能够满足系统升级后的运行需求。设备安装阶段，安装人员必须严格按照安装规范进行操作，保证设备安装牢固、接线正确无误。同时对原有系统进行有序拆除和彻底清理，为新系统的安装创造良好条件^[3]。完成设备安装后，开展系统调试工作，包括硬件调试和软件调试。硬件调试着重检查设备的运行状态和通信是否正常，软件调试则对PLC程序进行逐步测试和优化，确保控制策略准确实现。最后进行系统联调，将各个子系统进行整合，进行全面测试和运行，保障整个纯水自控系统稳定、可靠运行。

4.2 关键技术问题及解决措施

在改造过程中，遇到了一些关键技术问题。例如，新设备与原有系统的兼容性问题，由于新设备的技术标准和通信协议可能与原有系统存在差异，导致数据传输不畅或设备无法正常控制。针对这一问题，采用了中间转换设备或开发相应的通信接口程序，实现新设备与原有系统的无缝对接。另一个问题是控制策略的优化难度较大，纯水制备过程涉及多个复杂的物理和化学过程，要实现精确控制需要充分考虑各种因素的影响。通过与

专业技术人员合作，进行大量的实验和数据分析，不断调整和优化控制算法，最终实现了控制策略的有效优化，在系统调试过程中，还遇到了传感器数据不准确的问题，经过检查发现是传感器安装位置不当或受到外界干扰所致。通过重新调整传感器安装位置，并采取屏蔽等抗干扰措施，解决了数据不准确的问题。

4.3 系统调试与优化

系统调试是确保升级改造成功的关键环节。在调试过程中，首先对单个设备进行调试，检查设备的运行参数是否符合设计要求，如水泵的流量、压力，传感器的测量精度等。然后进行子系统调试，将相关的设备组成子系统，测试子系统之间的协同工作能力，例如预处理子系统、反渗透子系统等。在子系统调试过程中，重点检查控制策略的执行情况，确保各个设备能够按照预定的程序进行运行。完成子系统调试后，进行整个纯水自控系统的联调。在联调过程中，模拟各种实际生产情况，对系统进行全面的测试，包括正常运行、故障处理、参数调整等。根据调试过程中发现的问题，及时对系统进行优化。例如，调整控制参数，优化控制算法，提高系统的响应速度和控制精度。同时对操作人员进行培训，使其熟悉新系统的操作方法和维护要点，确保系统能够长期稳定运行。

5 升级改造后的纯水自控系统性能分析

5.1 系统自动化程度的提升

升级改造后的纯水自控系统自动化程度得到了显著提升。通过优化控制策略和增加先进的传感器、执行机构，系统能够自动完成纯水制备、储存和分配的全过程，大大减少了人工干预。操作人员只需通过上位机界面进行简单的参数设置和监控，系统即可根据预设的程序自动运行。例如，在反渗透环节，系统能够根据进水水质和产水要求，自动调整高压泵的转速和进水阀门的开度，无需人工频繁操作。这不仅提高生产效率，还降低人为失误的风险，使纯水生产过程更加稳定、可靠。

5.2 系统稳定性与可靠性的改善

经过升级改造，系统的稳定性和可靠性得到了明显改善。新型传感器和执行机构的使用，提高了数据采集的准确性和设备执行的可靠性^[4]。优化后的控制策略能

够更好地应对各种复杂工况，确保系统始终处于稳定运行状态。例如，在面对原水水质波动较大的情况时，系统能够自动调整处理参数，保证产水质量稳定。同时，完善的故障诊断与报警功能能够及时发现并处理系统故障，避免故障扩大，减少了停机时间，提高了系统的整体可靠性。据实际运行数据统计，升级改造后系统的故障发生率明显降低，设备的使用寿命也得到延长。

5.3 能耗与资源消耗的降低

升级改造后的系统在能耗和资源消耗方面取得了显著成效。通过优化控制策略，实现设备的智能运行，避免设备长期处于高负荷运行状态，降低了能源消耗。例如，采用变频器控制水泵的运行频率，根据用水需求自动调节水泵转速，使水泵始终在高效区运行，大大降低电能消耗。在资源消耗方面，通过精确控制加药量和反冲洗频率，提高原水的利用率，减少废水的产生。同时对反渗透膜的运行参数进行优化，延长膜的使用寿命，降低膜的更换成本。据统计，升级改造后系统的能耗降低了25%，水资源利用率提高18%，实现节能减排的目标，为企业带来了显著的经济效益和环境效益。

结语

本次基于PLC的纯水自控系统升级改造实践成效显著。通过优化架构、控制策略及增加先进设备，系统自动化程度、稳定性与可靠性大幅提高，能耗与资源消耗明显降低。不仅满足企业生产对纯水质量的高要求，还实现绿色生产，带来经济效益与环境效益。此次改造为纯水自控系统升级提供了宝贵经验，有助于推动相关领域自动化技术发展，为行业进步贡献力量。

参考文献

- [1]李盛广.纯水系统安装技术分析[J].科学与信息化,2024(23):86-88.
- [2]李海玲.反渗透浓水的处理工艺在纯水制备中的应用[J].节能与环保, 2019(9):107 – 108.
- [3]施强.实验室超纯水系统PVDF管道施工技术[J].安装.2023,(4).DOI:10.3969/j.issn.1002-3607.2023.04.010.
- [4]缪强强.反渗透水处理设备在工业污水处理中的应用[J].化学工程与装备,2021(002):000.