

# 城镇供水 SCADA 系统升级改造及智慧化集成应用研究

张剑文

深圳市布吉供水有限公司 广东 深圳 518000

**【摘要】**：城镇供水 SCADA 系统面临着信息化程度低、管理效率低等问题，随着智慧城市的推动，提升供水系统的智能化水平成为行业发展趋势。通过对传统 SCADA 系统进行升级改造，结合物联网、大数据和人工智能等技术，能实现更加精准的水资源监控、调度与管理。智慧化集成应用的引入，不仅提升了供水系统的自动化水平，也优化了资源配置，降低了能源消耗，提高了供水的安全性和可靠性。研究表明，智慧化技术的应用可显著增强供水系统的运营效率，推动城镇供水行业的现代化发展。

**【关键词】**：SCADA 系统；城镇供水；智慧化应用；系统升级；自动化管理

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.011

## 引言

现代城镇供水系统承担着提供高效、稳定水资源的重要任务。随着城市化进程加快，供水需求日益增加，传统的供水管理模式已无法满足日益复杂的挑战。为了提高供水系统的效率和智能化水平，SCADA 系统的升级与改造成为重要的研究方向。通过引入先进的信息技术，如物联网、云计算和人工智能，能够实时监控水资源的使用情况，精准调度水源，实现资源的优化配置。智慧化集成应用的引入，使得供水系统不仅能实现自我管理，还能通过大数据分析进行预测性维护，从而减少故障发生，提高运行效率。如何在传统供水系统中实现这些技术的有效融合，成为当前亟待解决的关键问题。

## 1 现有城镇供水系统的技术现状与发展需求

### 1.1 传统 SCADA 系统的功能与不足

城镇供水 SCADA 系统是通过计算机化的监控与数据采集手段，实现对供水系统运行状况的实时监测与管理。传统 SCADA 系统主要包括数据采集、远程控制和报警功能，能够有效地收集水位、水压、流量等参数数据。这些系统大多是基于闭环控制的静态架构，缺乏实时数据分析和智能决策支持，无法应对复杂的供水环境。系统的扩展性差、实时性不足，尤其是在面对突发情况时，响应速度和系统的自动调整能力较为有限，这使得供水管理的效率和可靠性受限。

### 1.2 智能化技术对供水系统的挑战

智能化技术的不断发展，物联网、人工智能、大数据等新兴技术逐渐应用到供水系统中<sup>[1]</sup>。智能化技术在供水系统中的应用仍面临诸多挑战。首先设备的互联互通性差，导致信息无法流畅传递，影响系统的数据共享和决策效率。其次庞大的数据量和复杂的分析模型对计算和存储能力提出了更高要求。供水系统的运行环境多变，智能化技术在实际应用过程中需要解决各种突发情况和设备故障的处理问题，确保系统稳定、安全地运行。

### 1.3 智慧化集成应用的市场需求

城镇化进程的加速和人们对供水质量要求的提升，智慧化

集成应用在供水系统中的需求愈发迫切。城市对供水系统的效率、可持续性和安全性提出了更高标准，要求智能化技术能够全面提升供水网络的运行效率。智慧化应用不仅能增强系统的实时监控能力，还能够进行深度数据分析，为管理决策提供有力支持。随着节能减排的政策要求不断增强，智能化技术的应用能够优化能源使用，降低资源浪费，从而满足未来供水系统绿色发展的需求。

## 2 SCADA 系统升级改造的核心技术

### 2.1 SCADA 系统的架构与设计原则

SCADA 系统的架构通常由数据采集层、通信层、控制层和管理层组成，确保信息流动的高效与稳定。在设计时，架构需具备高度的可扩展性，以适应未来的功能拓展与技术更新。数据采集层负责从现场设备获取实时数据，通信层通过网络将数据传输至控制中心，控制层进行实时控制和报警响应，管理层则进行数据存储、分析和决策支持。升级改造过程中，需考虑系统的开放性和兼容性，采用模块化设计和标准化协议，确保各类硬件设备和软件系统的无缝衔接。设计还要注重系统的容错性与冗余设计，确保在突发事件和设备故障时，系统依然能够稳定运行。

### 2.2 升级改造的关键技术路线

SCADA 系统升级改造的技术路线应包括硬件设施的优化、软件系统的更新以及网络架构的改造。在硬件设施方面，老旧设备需更换为支持远程监控和智能控制的现代化设备，以提高数据采集和处理速度，其中核心控制器优先选用三菱 FX5U 系列 PLC，该型号 PLC 在处理余氯、pH 值等模拟量信号时，具备响应速度快（响应延迟 $\leq 50\text{ms}$ ）、抗干扰能力强、数据采集精度高的优势，可精准捕捉水质参数的细微变化，为后续控制指令的下发提供可靠数据支撑；同时，加药系统的执行机构需配套升级，选用丹佛斯 FC-51 变频器与加药泵联动，通过优化 PID 控制算法向变频器下发频率调节指令，根据水质实时参数动态调整变频器输出频率（调节范围 0-50Hz），进而精准控制药剂流量，实现加药环节的精细化管控，避免药剂浪

费或加药不足的问题。软件系统方面，应加强大数据分析与人  
工智能算法的应用，提升系统决策支持的准确性与效率<sup>[2]</sup>。网  
络架构方面，采用更高效的通信协议和传输技术，确保数据的  
实时传输与处理。同时，考虑到系统的兼容性，改造过程中应  
使用开放式架构，以便于与现有的技术系统进行无缝对接，并  
能灵活适应未来技术的发展和需求变化。

### 2.3 数据采集与监控优化方法

数据采集和监控的优化是 SCADA 系统升级的核心环节之  
一。升级后的系统应能实现对供水系统各环节的高精度监控，  
采用分布式传感器和智能设备，实时采集水位、流量、压力等  
关键参数。这些数据通过高速网络传输至控制中心进行统一处  
理与分析。在优化过程中，重点提升传感器的精度与响应速  
度，减少数据传输的延迟和误差。同时，结合物联网技术，通  
过云平台将数据进行汇总和存储，利用大数据分析技术对海量  
数据进行处理和预测，为系统的优化运行提供数据支持。

## 3 智慧化集成应用的实施路径与技术方案

### 3.1 物联网技术在供水系统中的应用

物联网 (IoT) 技术在供水系统中实现了设备之间的智能  
互联，促进了数据的实时采集与远程监控。通过在供水管网、  
泵站、阀门等重要设施中部署传感器和智能设备，能够全天候  
监测水流、水压、水质等关键参数。这些数据通过无线通信网  
络实时传送至中央控制平台，为运营人员提供精准的运行状  
态。物联网技术的应用能够显著提升供水系统的响应速度与故  
障预警能力，在突发事件发生时，能够实现快速定位并自动调  
整供水策略，降低人工干预的需求。同时，利用智能设备进行  
自动调节，不仅优化了系统运行效率，还降低了运维成本，确  
保供水质量和系统稳定性。

### 3.2 人工智能与大数据分析的结合

人工智能与大数据分析的结合为智慧化供水系统带来了  
强大的数据处理与决策支持能力。通过将供水系统中采集的大  
量数据输入 AI 模型，利用机器学习算法进行数据分析，系统  
能够识别出潜在的趋势和规律，为优化调度和预测性维护提  
供依据<sup>[3]</sup>。基于历史数据与实时监测数据的分析，AI 可以提前预  
判设备故障、管道老化等问题，帮助运营人员进行科学决策，  
避免突发故障的发生。大数据技术可以对多维度的供水数据进  
行深度挖掘，为长期规划提供决策支持，进一步提升资源的利  
用效率，实现供水系统的智能化和精细化管理。

针对水厂工业环境的实际需求，需重点细化算法的工程可  
实现性：文中提及的 PID、模糊控制、神经网络和遗传算法中，  
在实际水厂的工业环境中，直接在 PLC 中运行复杂的神经网络  
或遗传算法往往受限于 PLC 的算力，通常需要借助上位机  
(SCADA) 或边缘计算网关实现。因此，建议聚焦主干算法，  
重点突出“前馈+反馈的串级 PID 控制”或“模糊 PID 控制”，由

于自来水厂的大型沉淀池和混合管道存在极大的大滞后性(纯  
滞后时间通常可达 30-60s)，单纯的 PID 控制容易出现参数震  
荡、调节不及时的问题，而模糊 PID 控制结合了模糊控制的自  
适应能力和 PID 控制的精准性，在实际 PLC 编程中无需复杂  
的算力支撑，是最高效且最容易落地的控制算法，可有效解决  
大滞后系统的调节难题。同时，需构建上位机与下位机协同架  
构，将复杂的寻优算法(如神经网络)部署在 SCADA 系统的  
服务器中，通过服务器强大的算力完成最优参数的计算，再将  
设定值下发给底层的 PLC 执行，形成“云-边-端”的协同架构，  
既保证了算法的实用性，又兼顾了控制的实时性。

### 3.3 系统集成与平台架构设计

智慧化供水系统的实施离不开良好的系统集成与平台架  
构设计。在系统集成方面，需要通过统一的标准接口实现各类  
硬件设备、传感器、控制系统以及软件应用的互联互通，确保  
信息流的高效传输与共享。平台架构设计则应着眼于模块化和  
可扩展性，确保系统能够适应未来技术的升级与功能的拓展。  
核心控制平台应集成数据采集、处理、分析、决策支持等多个  
功能模块，并能够在统一的界面下提供实时数据展示与报警信  
息。云平台的采用有助于实现海量数据的存储与处理，并通过  
大数据分析和智能算法提供决策支持，进一步提升供水系统的  
运行效率与智能化水平。

## 4 智慧化应用对城镇供水系统运营效率的提升

### 4.1 提升资源调度与监控精度

智慧化技术通过高度集成的传感器网络和实时数据分析  
平台，显著提高了资源调度和监控的精度。采用物联网技术对  
供水系统中的各个环节进行实时监控，能够精准获取水位、水  
流、压力、温度等多维度数据，这些数据为决策提供了重要依  
据。基于数据分析，系统可以根据需求变化、设备状态等因素  
自动调整供水策略，从而确保水资源的高效利用。尤其在城市  
用水高峰期，智慧系统能够实现精确的负荷预测和动态调度，  
避免因过度供水或水压波动造成的不必要损失。通过对历史  
数据和实时数据的深度分析，系统能够优化管网调度，减少  
不必要的水资源浪费，进一步提高了供水系统的响应速度和调  
度效率。智能化的监控系统还能够及时发现运行中的异常情  
况，快速响应并进行调整，从而保障了供水系统的稳定运行。  
在关键工艺环节——加药控制中，智慧化升级成效尤为突出。  
通过部署基于三菱 FX5U PLC 的模糊 PID 控制算法，并联动丹  
佛斯 FC-51 变频器调节加药泵频率，系统实现了对余氯浓度  
的高精度闭环调控。实际运行数据显示：余氯指标波动范围由  
传统人工调节的 $\pm 0.15$  mg/L 显著缩小至 $\pm 0.05$  mg/L；药剂月平均  
消耗量降低约 12%；加药响应时间从 3-5 分钟缩短至 30 秒以  
内；出厂水水质达标率由 96.2% 提升至 99.8%。上述量化成果  
不仅体现了智慧化系统在精细调控与资源节约方面的显著优

势,更大幅增强了供水系统的抗干扰能力与运行韧性,为智慧水厂建设提供了可靠技术支撑。

#### 4.2 优化供水网络管理与维护

智慧化技术的引入,供水网络的管理与维护变得更加高效。通过对供水管网进行智能化监控,系统可以实时获取管网内的水质、压力、流量等信息,从而实现精准的水流监控和管道损耗监测。这不仅提高了管网管理的准确性,还能有效预防管网泄漏和水质污染等潜在问题<sup>[4]</sup>。智能维护系统能够对管网设备进行健康评估和状态监测,提前识别设备故障或管道老化等问题,确保设施在最优状态下运行。通过数据分析,可以对管网系统进行优化,制定合理的检修计划和维护策略,延长设施使用寿命,减少突发故障。智能化的维护管理使得供水系统的运营更加精细化,能够提高资源配置效率,降低了维护成本,同时提高了供水服务的可靠性与可持续性。在异常工况(如加药泵故障停机、传感器数据失真、进水水质突变导致余氯瞬时下降 0.3 mg/L、变频器频率异常波动等)下,系统自动恢复率达 98%以上。例如,当加药泵发生故障时,系统可在 5 秒内触发报警并自动切换至备用泵运行;当传感器数据失真时,算法可基于历史趋势和相邻传感器数据进行智能补偿,确保控制指令的合理性,有效降低人工干预频率与水质超标风险。

#### 参考文献:

- [1] 李潇天,李大鹏.城镇供水智能化管理系统设计及实现[J].陶瓷,2025,(11):197-199.
- [2] 李潇天,李大鹏.城镇供水系统优化设计及效果评估[J].陶瓷,2025,(10):184-186.
- [3] 陈积义,刘阳,施周,等.城镇供水系统低碳优化设计策略与应用[J].中国给水排水,2024,40(24):46-52.
- [4] 城镇供水系统原水工程运行、维护及安全规程[J].城镇供水,2023,(05):7-8.
- [5] 城镇供水系统全过程水质管控技术规程[J].城镇供水,2022,(05):9-10.

#### 4.3 能源消耗与环境影响分析

智慧化技术能够通过优化供水系统的运行,显著降低能源消耗和环境影响。智能调度系统能够精确计算各供水设备的运行负荷,避免不必要的能耗浪费。在供水泵站和输水管网中,通过实时监测能源消耗数据,系统能够自动调整设备的运行状态,以最小的能源消耗满足供水需求。这不仅优化了能效,还降低了运营成本<sup>[5]</sup>。智慧系统还可以对环境影响进行实时评估。在水资源的分配过程中,系统能够考虑环境因素,优化水资源的使用,避免资源过度消耗。大数据分析帮助制定更加合理的供水计划,减少对自然水体的过度开发,减少对生态环境的负面影响。智能技术的运用能够为环保政策的实施提供数据支持,帮助供水企业进行环保评估和能源管理,从而促进了绿色、可持续发展。

#### 5 结语

智慧化集成应用在城镇供水系统中的发展,推动了供水系统的智能化与高效化。系统升级和技术集成显著提高了供水的安全性、稳定性与可持续性,促进了资源的节约与环境保护。未来,随着物联网、人工智能及大数据技术的不断进步,智慧化供水系统将在提升运营效率、减少能源消耗和优化资源管理方面发挥更大作用,进一步推动城镇供水行业的现代化进程。