电气自动化在智慧水务中的应用与展望

张涛¹ 杨帆¹ 田学龙²

1. 西安航天自动化股份有限公司 陕西 西安 710065

2. 克拉玛依市克拉玛依区住房和城乡建设局 新疆 克拉玛依 834000

摘要: 智慧水务以信息技术为核心, 构建覆盖水务全流程的智能化管理体系, 电气自动化技术为其提供关键支撑。本文从水源监测、供水系统、排水处理及综合调度等场景, 阐述电气自动化在智慧水务中的应用, 并探讨传感检测、通信网络、自动控制及数据处理等核心技术的融合创新, 展望其与人工智能、区块链、5G等技术的深度融合及系统升级方向。

关键词: 智慧水务; 电气自动化; 自动控制理论; 数据融合; 系统升级

引言: 随着城市化进程加快, 水务系统面临效率提升、资源优化与安全保障等多重挑战。智慧水务作为应对方案, 依托物联网、云计算与大数据技术, 构建全流程智能化管理体系。电气自动化技术作为其核心驱动力, 通过设备互联、数据采集与智能控制, 实现水务系统高效运行与精准管理, 成为推动水务行业转型升级的关键力量。

1 智慧水务与电气自动化基础

1.1 智慧水务概念解析

智慧水务以信息技术为核心驱动力, 构建起覆盖水务全流程的智能化管理体系。借助物联网、云计算、大数据等技术, 将供水、排水、污水处理等环节的设施设备进行互联互通, 形成庞大的感知网络。传感器分布在水源地、水厂、管网、用户终端等各个节点, 实时采集水位、水质、水压等运行参数, 并通过通信网络传输至数据中心。数据中心依托算法模型对海量信息进行深度分析, 模拟水务系统运行状态, 精准预测用水需求、管网漏损等情况。以供水调度为例, 系统根据不同时段、区域的用水规律, 自动优化水泵运行参数, 实现按需供水, 降低能耗与成本。智慧水务平台为管理人员提供可视化界面, 各类运行指标、异常预警以图表形式直观呈现, 便于及时决策与调度。这种智能化管理模式有效提升水务系统的运行效率、可靠性与服务质量, 满足城市发展对水务管理的更高要求。

1.2 电气自动化技术内涵

电气自动化技术以自动控制理论为基础, 融合电子技术、计算机技术与电力电子技术, 实现电气设备的自动化运行与智能化管控^[1]。在硬件层面, 由传感器、控制器、执行机构等构成, 传感器负责采集设备运行状态的物理量, 如温度、压力、转速等, 将其转化为电信

号。控制器作为核心处理单元, 接收传感器信号后, 依据预设程序或算法进行逻辑运算与分析判断, 进而发出控制指令。执行机构根据指令完成相应动作, 如电机的启停、阀门的开闭, 实现对设备的精准控制。在软件层面, 电气自动化系统搭载专用控制程序与监控软件, 可远程配置参数、诊断故障、优化运行策略。在污水处理厂中, 电气自动化系统通过控制曝气设备、污泥处理设备的运行, 维持生化反应的最佳条件, 确保出水水质达标。其数据采集、传输、处理与设备控制的功能协同运作, 保障电气系统稳定、高效、安全运行, 广泛应用于工业生产、城市建设等诸多领域。

2 电气自动化在智慧水务中的应用场景

2.1 水源监测与保护

在水源监测与保护环节, 电气自动化技术构建起全方位的守护体系。于水源地部署各类传感器, 将水位计、水质检测仪等设备接入自动化监测网络。水位计持续跟踪水体高度变化, 水质检测仪则对酸碱度、浊度等指标进行实时检测, 所采集的物理量转化为电信号后, 通过通信模块传输至控制中心。控制中心的自动化系统依据预设阈值对数据进行分析判断。当检测到水质指标异常时, 系统自动触发报警装置, 启动相关保护设备。例如, 若检测到污染物超标, 电动闸门会立即关闭, 截断污染源流入; 联动的自动采样设备开始采集样本, 为后续处理提供依据。自动化系统还可控制无人机对水源地周边进行巡检, 通过图像识别技术及时发现非法排污、违规建筑等隐患, 实现水源地从数据采集到应急处理的全自动化保护。

2.2 供水系统自动化运作

电气自动化深度融入供水系统各个环节。在水厂生产过程中, 自动化控制系统对混凝、沉淀、过滤、消毒

等工序进行精准调控。以混凝环节为例，在线浊度仪实时监测原水浊度，自动化系统根据浊度数据自动调节混凝剂投加量，确保絮凝效果最佳。各生产设备的运行参数，如水泵转速、阀门开度，均由可编程逻辑控制器（PLC）统一管理，依据设定程序自动运行，保证生产过程稳定高效^[2]。供水泵站的调度同样依赖电气自动化。压力传感器安装在管网关键节点，实时感知水压情况。自动化系统根据用水高峰低谷规律，结合管网压力数据，自动调整泵站水泵的运行台数与转速。当某区域用水需求激增时，系统迅速启动备用泵，并调节主泵转速，提升供水量，维持管网压力稳定。这种自动化调度方式避免了人工操作的滞后性，大幅提升供水效率与稳定性。

2.3 排水与污水处理智能化

电气自动化在排水与污水处理领域发挥关键作用。排水管网监测通过部署液位传感器、流量传感器实现。传感器将管网内液位、流量等信息传输至自动化控制系统，系统对数据进行分析建模，预测管网堵塞风险。当检测到液位异常升高时，系统自动调度附近的清淤设备前往处理，或开启备用排水通道，防止内涝发生。污水处理厂内，电气自动化系统对各类设备进行集中控制。曝气设备根据生化反应池中溶解氧浓度自动调节曝气量，保证微生物活性；污泥处理设备依据污泥浓度与含水率，自动调整脱水机运行参数。自动化系统还结合处理工艺需求，优化各处理单元的运行时序。例如，通过分析进水水质，自动调整初沉池、二沉池的沉淀时间，提高污水处理效率与质量。

2.4 水务综合调度管理

电气自动化技术为水务综合调度管理提供有力支撑。将水源监测、供水系统、排水与污水处理等环节的自动化设备所采集的信息，统一接入水务调度系统。调度系统通过自动化的数据处理模块，对这些信息进行整合分析，构建起水务系统的数字孪生模型。模型能够模拟不同工况下水务系统的运行状态，如极端天气下的供水排水情况、突发污染事件对水质的影响。管理人员基于模型模拟结果，利用自动化决策工具制定科学的调度方案。当预测到某区域用水需求将大幅增加时，调度系统自动协调水源地供水、水厂生产与泵站调度，合理分配水资源。系统还能对调度方案的执行效果进行实时跟踪与反馈，根据实际情况动态调整，实现水务系统的精细化管理与高效运行。

3 电气自动化应用的关键技术

3.1 传感检测技术

传感检测技术是智慧水务数据采集基础。pH传感器

基于玻璃电极原理，将溶液中氢离子浓度变化转化为电位差信号，反映水体酸碱度；浊度传感器利用光散射原理，通过悬浮颗粒对光的散射程度判断水质浑浊情况。流量传感器采用不同原理实现监测。电磁流量计依据法拉第电磁感应定律，导电液体切割磁力线产生感应电动势，以此计算流量；超声波流量计通过时差法或多普勒法，利用超声波在流体中传播速度变化测量流速。压力传感器基于压阻效应，受压时电阻变化经电路转换为电信号，用于监测管网压力。这些传感器分布在水务各节点，持续采集物理量，支撑系统运行监测。

3.2 通信网络技术

智慧水务的高效运行依赖稳定可靠的通信网络技术。无线通信协议LoRa凭借低功耗、远距离传输特性，适用于分布广泛且数据传输频次低的传感器节点，如偏远地区的水源监测点，可实现数十公里范围内的数据传输。NB-IoT技术则以高覆盖、强连接能力，保障大量分散设备的稳定接入，适合城市供水管网中密集分布的压力、流量传感器数据传输。在网络架构层面，边缘计算与云计算相结合的模式被广泛应用。边缘计算设备部署在靠近数据采集端，对传感器数据进行初步处理和筛选，降低传输压力^[3]。水厂内的边缘计算网关实时分析生产设备数据，仅将异常和关键参数上传至云端。云计算平台负责存储处理大量历史数据，整合分析全水务系统信息。工业以太网在水厂、污水处理厂内部，基于TCP/IP协议实现设备高速稳定通信，确保自动化控制指令快速准确传输，实现设备互联协同。

3.3 自动控制理论

自动控制理论为水务设备运行提供调控策略。经典控制理论中的PID控制，通过比例、积分、微分三个环节协同作用。在水厂加药控制中，比例环节依据误差大小快速调整加药量；积分环节消除稳态误差，确保加药量精准；微分环节预测误差变化趋势，提前调整，使加药量维持在合适水平，保障水质净化效果。现代控制理论采用状态空间法，针对复杂水务系统多变量、非线性特点，在供水泵站变频调速控制中，应考虑管网压力、流量、水泵转速等多个状态变量，构建系统状态方程，优化控制策略，实现节能高效运行。模糊控制算法也应用于水务系统，基于模糊逻辑规则，对温度、流量等不精确参数进行控制，在污水处理厂曝气控制中，根据污水水质变化动态调节曝气量。

3.4 数据处理技术

大数据与云计算技术为水务决策提供有力支持。大数据技术通过分布式存储和并行计算框架，对海量水务

数据进行高效处理。从水源地到用户终端的各类运行数据,经清洗、转换后存入分布式数据库。利用数据挖掘算法对历史数据进行分析,可发现用水规律、设备故障模式等信息。如通过分析用户用水数据,预测不同时段、区域的用水需求,为供水调度提供依据。云计算平台强大的计算资源可快速处理复杂的水务分析任务。在污水处理工艺优化中,利用云计算模拟不同处理参数组合下的出水水质,通过建立仿真模型对比分析,找到最佳工艺参数。机器学习算法在水务数据处理中也发挥重要作用,基于历史数据训练水质预测模型,结合实时监测信息,提前预警水质变化趋势,帮助管理人员及时采取应对措施,实现水务系统的科学管理与精准决策。

4 气自动化在智慧水务中的发展展望

4.1 技术融合创新

电气自动化与人工智能的深度融合将重塑智慧水务运行模式。机器学习算法可对海量水务运行数据进行深度挖掘,构建高精度预测模型。例如,通过分析历史用水数据与环境因素,预测不同时段、区域的用水需求,使供水调度系统提前调整水泵运行参数,避免水资源浪费。深度学习技术应用于水质监测,能自动识别复杂的水质变化模式,在污染物浓度出现微小波动时即触发预警,提升水源保护的及时性与准确性。区块链技术为水务数据管理带来新突破。其去中心化、不可篡改的特性,确保水质监测、设备运行等数据的真实性与安全性。在跨区域水资源调配中,区块链可建立可信数据共享平台,各参与方实时查看水资源流向与使用情况,消除信息壁垒,保障交易透明。5G技术凭借高速率、低延迟特性,助力电气自动化设备实现更高效互联。高清视频监控设备可实时回传污水处理厂关键环节画面,工程师远程操控机械臂进行设备维护,提升应急处理效率与运维安全性。

4.2 系统升级方向

智慧水务系统未来将朝着更智能、集成、节能方向演进。智能方面,自动化控制系统引入数字孪生技术,构建与实体水务系统1:1映射的虚拟模型。通过模拟不同工况下系统运行状态,提前验证调度方案与设备改造效果,避免实际操作中的风险。例如,在新建水厂投入运行前,利用数字孪生模型优化工艺流程与设备布局,缩短调试周期。集成化体现在打破水务各环节信息孤岛^[4]。从水

源地监测、水厂生产到管网输送、用户用水,各子系统数据实现无缝对接。统一的管理平台整合设备运行、水质监测、用户反馈等信息,管理人员通过单一界面即可掌控全流程,实现跨部门协同管理。节能升级则依靠自动化技术优化设备运行策略。根据实时用水需求,智能调节水泵、曝气设备等能耗大户的运行参数,采用变频控制技术降低设备能耗,实现水务系统绿色低碳运行。

4.3 行业发展前景

电气自动化技术为智慧水务提升水资源利用效率提供强大动力。在供水环节,自动化计量设备精准统计各区域用水量,结合智能分析找出管网漏损点,通过自动化阀门及时修复,减少水资源浪费。排水与污水处理领域,自动化系统根据进水水质实时调整处理工艺参数,避免药剂过量投加,在保证出水达标前提下降低处理成本。随着技术发展,电气自动化设备将实现全生命周期管理。通过传感器持续监测设备运行状态,结合故障预测模型提前安排维护计划,减少设备停机时间,保障水务系统稳定运行。在农业灌溉、工业用水等领域,智慧水务系统根据不同用户需求与用水特性,定制个性化供水方案,实现水资源的精准分配与高效利用,推动整个水务行业向精细化、可持续方向发展。

结束语

电气自动化技术为智慧水务注入创新活力,推动水务系统向智能化、集成化、节能化方向演进。未来,通过与人工智能、区块链、5G等技术的深度融合,智慧水务将实现全流程协同优化与精准决策,提升水资源利用效率与系统可靠性。随着技术迭代与应用深化,智慧水务将引领水务行业迈向精细化、可持续化发展的新阶段,为城市发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]刘刚.电气自动化在智慧水务中的应用与发展趋势[J].电脑校园,2021(12):7877-7879.
- [2]刘杰.智慧水务系统中的电气自动化技术[J].水资源与水工程,2021,12(2):35-38.
- [3]谢善斌,刘辛悦,王杨,庞愉文.智慧水务信息化建设规划与实践[J].净水技术,2020,39(05):7-13+85.
- [4]徐涛,梁新华,梅春雨.智慧水务信息化系统建设[J].城乡建设,2020(06):54-55.