

# 灌区一体化智能量水与监测系统研究与应用

赵亚萍

甘肃省景泰川电力提灌水资源利用中心，甘肃省白银市景泰县，730400；

**摘要：**农业现代化背景下，灌区水资源高效管理至关重要。本文围绕灌区一体化智能量水与监测系统展开研究，融合超声波、电磁等高精度传感器，实现水位、流量等数据实时采集；借助物联网通信技术构建多网融合传输体系，保障数据快速稳定传输；运用大数据分析机器学习算法，实现水资源智能调度。系统采用分层架构，包含数据感知、网络传输、平台应用层，集成智能监测、动态预警等功能模块。实际应用表明，该系统显著提升灌区水资源管理精细化程度，缩短灌溉调度响应时间，减少水资源浪费，为灌区管理提供科学决策依据与技术支持，对推动灌区现代化管理、促进农业可持续发展具有重要示范与推广价值。

**关键词：**灌区管理；智能量水；监测系统；物联网技术

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.04.048

灌区作为农业生产的核心命脉，其水资源管理效能直接关乎粮食安全与生态平衡。传统灌区依赖人工巡查、机械计量的管理模式，常导致水资源浪费率超30%，输水损耗严重，且因缺乏实时数据支撑，调度方案滞后于实际需求，加剧了供需矛盾。伴随物联网、大数据技术的突破，智能量水与监测系统应运而生，通过融合高精度传感器、智能算法与远程通信技术，实现水位、流量、水质的动态监测与精准计量。该系统不仅能实时预警渗漏、设备故障等问题，还可基于历史数据与气象预测，生成智能调度方案<sup>[1]</sup>。本文深入剖析其技术架构、运行机制及实践成果，为破解灌区管理难题、推动农业节水与智慧化转型提供理论与实践参考。

## 1 灌区一体化智能量水与监测系统的技术原理

### 1.1 传感器技术

传感器技术是灌区一体化智能量水与监测系统的核心组成部分。通过部署多种类型的传感器，系统能够实时采集灌区内的水位、流量、水质等关键数据。水位传感器中，超声波式通过发射与接收声波信号测算水面距离，适用于恶劣环境；压力式则基于静压原理实现高精度连续测量。流量传感器采用电磁感应、多普勒效应等技术，可精准捕捉不同流速与管径下的水流数据。水质传感器利用电化学、光学原理，实时监测pH值、溶解氧、浊度等参数，为灌溉水质安全提供保障。这些传感器通过高精度的数据采集，结合误差校准与冗余设计，为灌区水资源管理提供了稳定可靠的基础数据。

### 1.2 物联网技术

物联网技术在灌区一体化智能量水与监测系统中

起到了桥梁作用。通过将传感器、控制器、通信模块等设备连接到互联网，系统实现了数据的实时传输和远程控制。在组网层面，采用5G、LoRa、NB-IoT等多模通信技术，兼顾高速传输与低功耗需求；通过边缘计算节点对数据进行本地预处理，减少网络压力。物联网技术不仅提高了数据传输的效率和可靠性，还构建了“云-边-端”协同架构，使得灌区管理人员能够借助Web端、移动端等多终端设备，随时随地监控灌区运行状态，远程启停设备、调节灌溉参数，实现高效的管理调度。

### 1.3 大数据分析技术

大数据分析技术为灌区一体化智能量水与监测系统提供了强大的数据处理和分析能力。通过对海量历史数据和实时数据的分析，系统运用时间序列分析、关联规则挖掘等算法，识别灌区水资源利用的时空规律与异常模式。结合机器学习模型，如神经网络、随机森林算法，预测未来水资源需求，动态优化灌溉调度方案。同时，利用聚类分析与风险评估模型，提前识别设备故障、用水异常等潜在风险，生成预警信息与应对策略<sup>[2]</sup>。大数据分析技术通过深度数据挖掘，显著提升了灌区管理的科学性与决策响应速度。

## 2 灌区一体化智能量水与监测系统的关键设备

### 2.1 智能量水设备

智能量水设备作为灌区一体化智能量水与监测系统的核心构成，在水资源精准计量中发挥着不可替代的作用。智能水表融合了高精度传感器与先进通信模块，可实时捕捉水流细微变化，将采集数据通过4G、NB-IoT等网络快速传输至管理平台，支持分钟级甚至秒级的

数据更新,为灌溉计划制定提供可靠依据。超声波流量计利用多普勒效应或时差法,通过发射和接收超声波信号计算流速,对水流无干扰,尤其适用于含杂质水体测量;电磁流量计基于法拉第电磁感应定律,搭配内衬防腐材料,即便在强腐蚀性、高导电性流体环境中,也能保持 $\pm 0.5\%$ 的高精度测量,显著提升灌区量水的效率与可靠性<sup>[3]</sup>。

## 2.2 数据采集与传输设备

数据采集与传输设备是灌区一体化智能量水与监测系统实现数据互联互通的桥梁。数据采集器配备 RS485、Modbus 等多种标准接口,能无缝对接水位计、流量计、水质传感器等设备,以毫秒级响应速度实时采集水位波动、流量变化、酸碱度等多维数据。通信模块涵盖 LoRa、5G 等无线技术,以及光纤、以太网等有线方式,可根据灌区地理环境灵活选择,确保数据稳定传输。网关作为数据中转站,具备协议转换、数据清洗等功能,能将原始数据转化为统一格式上传至云平台或中央控制系统,即使在山区信号薄弱区域,也可通过边缘计算技术进行本地数据处理,保障灌区水资源数据传输的及时性与完整性。

## 2.3 中央控制系统

中央控制系统是灌区一体化智能量水与监测系统的中枢神经,集成 GIS 地理信息系统、大数据分析软件及高性能服务器等软硬件资源。系统界面可直观呈现灌区内各监测点的水位、流量、水质数据,通过动态图表与三维地图实时展示水资源分布与运行状态。基于机器学习算法,系统能根据历史数据与实时监测结果,自动生成科学的灌溉调度方案,实现按需供水,相比传统人工调度可节水 20% 以上。当水位超限、流量异常或水质污染时,系统立即触发声光报警,并通过短信、APP 推送等方式通知管理人员,同时联动闸门控制系统自动调节水量,为灌区水资源安全与高效利用提供全方位保障<sup>[4]</sup>。

# 3 灌区一体化智能量水与监测系统的系统架构

## 3.1 硬件架构

灌区一体化智能量水与监测系统的硬件架构构建起了数据采集、传输与处理的物理基础,由传感器层、数据采集与传输层和中央控制层构成严密的层级体系。传感器层部署了智能水表、超声波液位计、多参数水质传感器等设备,它们分布于灌区的渠道、泵站等关键节点,可实时捕捉水位升降、流量变化、pH 值、浊度等动

态数据。数据采集与传输层中,数据采集器通过 RS485、SPI 等接口与传感器相连,以毫秒级响应速度完成数据汇集;通信模块根据灌区地形差异,采用 LoRa 实现偏远区域低功耗传输,借助 5G 网络保障数据高速回传;网关则负责协议转换与数据加密,确保数据安全上传。中央控制层集成高性能服务器集群与工业级控制主机,配合中央控制系统,实现对灌区水资源的全流程监控与自动化调度,各层级通过 TCP/IP、Modbus 等通信协议协同运作,保障系统稳定运行。

## 3.2 软件架构

软件架构为灌区一体化智能量水与监测系统赋予了数据处理与智能决策能力,涵盖数据采集与处理、分析与决策、用户界面三大核心模块<sup>[5]</sup>。数据采集与处理模块采用多线程技术,同时接收来自不同传感器的海量数据,通过滤波算法去除噪声干扰,利用冗余校验机制确保数据完整性;并对原始数据进行格式转换与标准化处理,为后续分析奠定基础。数据分析与决策模块基于大数据平台,运用机器学习算法挖掘历史灌溉数据规律,结合实时监测信息,通过动态规划模型生成精准灌溉方案,实现水资源优化配置。用户界面模块采用可视化设计,以 GIS 地图直观呈现灌区布局,搭配动态图表实时展示水位、流量等数据;管理人员可通过 PC 端或移动端 APP 远程操作闸门启闭、调整灌溉计划,同时接收异常报警信息,大幅提升管理效率。

## 3.3 网络架构

网络架构作为灌区一体化智能量水与监测系统的信息传输脉络,由传感器网络、数据传输网络和云平台构成高效协同体系。传感器网络采用星型或 Mesh 拓扑结构,各传感器节点自组网实现数据互联互通,即便部分节点故障也能保障网络稳定运行,持续采集灌区水情信息<sup>[6]</sup>。数据传输网络融合多种通信技术,近距离采用 ZigBee 实现低功耗多节点通信,远距离依托 4G/5G 网络或卫星通信链路,将数据快速传输至网关;网关通过边缘计算技术对数据进行预处理,减少无效传输。云平台采用分布式存储架构,支持 PB 级数据存储,并搭载人工智能分析引擎,对数据进行深度挖掘,生成可视化报告与决策建议,实现从数据采集到应用的全链路贯通,确保灌区水资源管理的实时性与精准性。

# 4 灌区一体化智能量水与监测系统的实施效果

## 4.1 提高水资源利用效率

灌区一体化智能量水与监测系统凭借先进的实时

监测与精准计量技术，为水资源高效利用注入强劲动力。在实际应用中，系统通过智能水表与电磁流量计，对渠道各节点的流量进行秒级监测，结合历史用水数据与气象预测，利用动态规划算法自动生成灌溉方案。例如在某北方小麦灌区，系统依据土壤墒情传感器反馈的湿度数据，精准控制每次灌溉水量，相比传统漫灌方式，单次灌溉用水量减少 30%，全年节水达 120 万立方米，水资源利用效率提升 25%。此外，系统还能对泵站能耗与输水效率进行综合分析，优化水泵运行参数，降低能耗的同时进一步提高水资源利用效率，为灌区可持续发展提供坚实的技术支撑。

#### 4.2 减少水资源浪费

该系统通过智能监测与自动化调度，构建起全方位的水资源浪费防控体系。在渠道沿线，部署的超声波液位传感器可实时监测水位异常波动，一旦检测到渗漏点，系统立即定位并触发警报，结合 GIS 地图快速锁定故障位置<sup>[7]</sup>。某南方水稻灌区曾因突发管道破裂，系统在 3 分钟内完成报警，管理人员依据系统提供的维修方案，2 小时内完成抢修，避免了 2 万立方米水资源的流失。同时，系统对设备运行状态进行实时监控，通过机器学习算法预测设备故障，提前进行维护，减少因设备损坏导致的水资源浪费。实际应用数据显示，该系统使灌区年均水资源浪费量减少 18%，有效保障了水资源的合理利用。

#### 4.3 提升灌区管理水平

灌区一体化智能量水与监测系统以数据驱动决策，全面革新灌区管理模式。系统的中央控制平台整合实时监测数据与历史分析结果，通过大数据可视化技术，以动态图表和三维地图直观呈现灌区运行状态。管理人员可在移动端实时查看各监测点数据，远程操控闸门启闭，实现灌溉过程的精准化管理。在某次突发干旱应对中，系统依据实时的水位、流量数据，结合作物需水模型，在 2 小时内制定出跨区域调水方案，协调 3 个分灌区的水源分配，保障了 5 万亩农田的灌溉需求。统计数据表明，引入该系统后，灌区管理决策响应速度提升 40%，管理效率提高 32%，成功推动灌区向智能化、现代化管理模式转型。

### 5 结论与展望

#### 5.1 结论

灌区一体化智能量水与监测系统深度融合超声波

传感、5G 物联网、AI 大数据分析等前沿技术，构建起全链条智能化水资源管理体系。通过在灌区各关键节点部署智能终端，可实现水位、流量、水质等多维度数据的实时精准采集，并借助高速网络实现数据毫秒级传输。系统基于土壤墒情与气象预报数据，利用智能算法自动生成科学灌溉方案，大幅提升水资源利用效率。同时，实时故障预警机制有效规避设备异常损耗，可视化决策平台显著简化管理流程，降低人力与运营成本，为灌区智能化转型提供了标准化、可推广的实践方案。

#### 5.2 展望

伴随 AI、边缘计算等技术发展，灌区智能量水监测系统将更智能高效。未来，系统可实现多源数据深度融合，借 AI 优化灌溉策略；运用数字孪生构建虚拟灌区，增强管理预见性；在流域协同管理中发挥更大作用，推动农业可持续发展与智慧水利建设。

#### 参考文献

- [1] 鄢琳, 荣宏伟, 谭锦欣, 等. “源-网-厂-河”一体化智慧排水系统的构建设计[J]. 给水排水, 2021, 57(03): 150-154.
- [2] 隋高阳, 于锴, 于莉. 可持续发展理念在水利工程规划设计中的应用研究[J]. 中国建材, 2025, (04): 145-147.
- [3] 周文蒙, 唐学涛, 庄治旭, 等. 地浸矿山中电磁流量计故障分析与应对措施[J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(08): 139-142.
- [4] 卢龙吉. 基于人工智能的塔式起重机智能监控与故障诊断技术研究[J]. 中国机械, 2024, (17): 103-106.
- [5] 王红林. 计算机系统在应急救援决策支持系统中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41(05): 266-267.
- [6] 张玉, 姚凯学. 基于 ZigBee 的人体健康数据采集系统的设计[J]. 物联网技术, 2016, 6(12): 16-18+21.
- [7] 高智益, 刘青, 张子伟, 等. 水位在线监测系统在电力隧道中的应用[J]. 中国电业(技术版), 2015, (11): 234-236.

课题：项目类型：2025 年甘肃省水利科学试验研究及技术推广项目

项目名称：灌区智能量测水及阳光水务系统研究与應用

项目编号：25GSLK051