

基于信息化系统的智慧水务供排水网络 监控与管理策略

杜云鹏

(唐山市丰润区海祥自来水工程处, 河北 唐山 063000)

摘要 随着城市化进程的加快, 智慧水务系统在供排水网络中得到广泛应用, 成为信息化管理的重要手段。本文分析了供排水系统结构与原理, 供水系统通过水流方程和管道阻力模型确保平稳运行, 排水系统借助智能监控平台提升稳定性, 并提出了优化策略。研究表明, 信息化技术的应用可提高监控精度和应急响应能力, 缩短响应时间并减少损失, 推动水务管理的智能化与高效化。

关键词 信息化系统; 智慧水务; 供排水网络; 网络监控

中图分类号: TU99; TP3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.04.027

0 引言

随着城市化不断推进, 供排水网络作为关键基础设施, 其稳定性直接影响居民生活质量和城市可持续发展。传统系统面临水资源浪费、管网漏损和水质污染等问题, 亟须通过现代技术提升管理效率和安全性。智慧水务利用物联网、大数据、云计算等技术, 通过实时监控和数据分析, 优化系统运行并提供精准预警, 确保水务系统安全可持续发展。

1 供排水网络的基本结构与工作原理

1.1 供水网络的结构与功能

供水网络由水源、输水管网、泵站、储水设施和用户终端组成, 主要功能包括水的输送、分配、水质监测、流量调节和压力控制。其基本结构包括水源、输水管道、分配管网和用户终端。数学上, 供水网络可通过水流方程和管道阻力公式(如哈根一波塞公式)建模, 描述水流在各管道中的流动状态:

$$Q = \frac{\Delta P}{R} \quad (1)$$

其中, Q 为流量; ΔP 为压力差; R 为管道的阻力, 反映了水流通过管道时的阻力特性。通过这些数学模型, 可以对水流的行为进行精确控制和优化, 确保供水网络的高效稳定运行。

1.2 排水系统的组成与工作原理

排水系统是城市水务基础设施的重要组成部分, 负责将污水和雨水排放至处理设施或自然水体。它包括雨水、污水和混合型排水三类, 依靠重力和泵站提升保证水流顺畅。排水管道设计需考虑流速、倾斜度

等因素, Navier-Stokes 方程式如下:

$$\nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (2)$$

通过式(2)来模拟流体流动的规律, 确保高峰负荷时稳定运行。智能监控平台利用传感器实时监测流量、压力、管道状况, 优化系统调度与运行效率。

2 智慧水务供排水网络监控管理中存在的主要问题

2.1 数据孤岛现象与信息共享缺乏协同效应

在智慧水务供排水网络管理中, 数据孤岛和信息共享缺乏协同效应是主要制约因素。当前, 许多水务管理系统孤立运作, 缺乏跨部门和跨区域的数据交换与共享机制, 导致信息壁垒和数据冗余, 增加了系统复杂性和运维成本。同时, 实时数据和历史数据难以融合, 限制了信息分析能力, 缺乏全局视角的精准监控和决策支持^[1]。这种信息孤岛不仅影响智能决策, 还可能延迟应急响应, 降低水务管理效率, 特别是在突发事件和水资源调配中, 无法及时获得精确数据, 影响决策的科学性和效率。

2.2 设备老化与信息化技术改造滞后

智慧水务供排水网络监控管理面临的主要问题是设备老化和信息化技术改造滞后。设备老化导致传感器、泵站和管道监控硬件无法支持现代技术, 影响数据采集精度和系统效率。同时, 技术改造缓慢, 许多老旧设施未升级, 导致数据处理能力不足, 智能决策系统失效, 降低了水务管理效能。表 1 展示了设备老化与技术改造滞后的主要影响。

表1 设备老化与信息化技术改造滞后对智慧水务管理的主要影响

问题 / 影响	影响描述
设备老化	传感器、泵站等设备的精准度下降，导致数据采集误差或设备故障
数据处理能力不足	设备老化导致的信息传输与数据处理滞后，无法实时监控供排水网络运行状况
智能决策支持系统无效	系统缺乏实时数据支持，影响智能决策支持系统的效能，导致决策延迟或错误
技术改造滞后	未能及时引入新型信息技术和自动化设备，限制了网络监控的智能化水平

2.3 实时监控精度不足与应急响应能力不强

智慧水务供排水网络面临的主要难题之一是实时监控精度不足。尽管信息化系统在数据采集和传输方面有所进展，但现有监控设备和传感器精度不高，特别是在水流量、压力、温度等关键数据的监测上，常受限于设备的敏感度。此外，系统的应急响应能力也较弱，面对突发事件如自然灾害或设备故障时，缺乏足够的智能预警和自动调整机制，导致管理决策滞后和严重后果的发生^[2]。

3 基于信息化系统的智慧水务供排水网络监控与管理优化策略

3.1 打破数据孤岛推动信息共享与协同效应的提升

智慧水务管理中的数据孤岛问题制约了供排水网络的高效运行。不同部门或平台间缺乏信息共享，导致数据无法全面利用。打破信息孤岛、推动数据共享是提升水务管理效能的关键。例如，某市通过建设统一的数据平台，将水厂、泵站、管网等数据集成，促进了数据互联互通，提高了数据利用率和决策效率。数据共享的效能可以通过以下公式表示：

$$E_{\text{共享}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \cdot W_i}{T} \quad (3)$$

其中， $E_{\text{共享}}$ 为数据共享效能； D_i 为第*i*个数据源的贡献值； W_i 为第*i*个数据源的权重； T 为系统的处理时间。通过这一公式，可以量化不同数据源对整体管理效能的贡献，并评估数据共享的综合效率。

在传统水务管理中，各部门信息孤立，导致决策迟缓或误判。通过信息化系统，相关部门可共享水务数据，实时了解各环节状况。例如，某地区通过智慧水务系统实现供水与排水部门的信息联动，供水部门发现水质异常时，排水部门可立即调整压力，确保系统稳定运行。协同效应可通过以下公式衡量：

$$C_{\text{协同}} = \sum_{j=1}^m (R_j \cdot \tilde{N}_j) \quad (4)$$

其中： $C_{\text{协同}}$ 为协同效应； R_j 为第*j*个部门的响应速度； P_j 为第*j*个部门的决策准确度。通过该模型可以衡量信息共享在跨部门协同中的效率和价值。

3.2 设备更新与信息化改造的协同优化

信息化改造通过大数据平台和物联网技术，实现设备与管理系统的互通与智能调度，能够提升水务系统的管理水平和响应效率。在智慧水务系统中，供排水的动态响应优化可以用线性规划模型（Linear Programming Model）来实现。例如：设供排水网络中共有*n*个管网节点，供水流量为 Q_i ，流量损失为 L_i ，则每个节点的供水平衡方程可以表示为：

$$Q_i^{\text{in}} - Q_i^{\text{out}} - L_i = 0 (i=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

其中： Q_i 表示节点的流入流量； Q_i^{out} 表示节点的流出流量； L_i 为节点的流量损失。通过引入优化目标函数，最小化管网的总流量损失：

$$\text{Minimize: } \sum_{i=1}^n L_i \quad (6)$$

在约束条件下（如节点供需平衡和管道流量容量限制）：

$$Q_i^{\text{in}} \leq Q_{\text{max}}, Q_i^{\text{out}} \geq Q_{\text{min}} \quad (7)$$

以某城市的智慧水务项目为例，城市在老旧供水管网的基础上实施了信息化改造，安装了分布式传感器和智能水表。通过这些新型设备，水务公司能够实时监控管网的水质 W_i 、水压 P_i 、水流量 F_i 等重要指标：

$$W_i = f_1(x_1, x_2, \dots, x_m), P_i = f_2(y_1, y_2, \dots, y_k), F_i = f_3(z_1, z_2, \dots, z_n) \quad (8)$$

其中， f_1 、 f_2 、 f_3 为系统监控模型函数； x_i 、 y_i 、 z_i 为各类传感器采集的数据。例如，某一段管网出现压力异常时，系统通过公式分析出水压的变化趋势：

$$\Delta P = \frac{\partial P_i}{\partial t} \quad (9)$$

当 $\Delta P > \Delta P_{\text{threshold}}$ 时，系统会自动分析原因，并通过控制模块调整水泵流量 Q_p ：

$$Q_p = Q_p^{\text{max}} - k \cdot \Delta P \quad (10)$$

从而维持管网的稳定压力。此外，设备更新与信息化改造的协同优化还促进了数据的深度融合与智能

决策的实现。在大数据平台的支持下，设备采集的海量数据可以通过预测模型进行分析。例如，用水量预测可以基于时间序列模型 (Time Series Model)：

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + \beta Y_{t-1} + \gamma Y_{t-2} + \varepsilon \quad (11)$$

其中： Y_{t+1} 为下一时刻预测用水量； Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2} 为当前及过去时刻的用水量； α, β, γ 为模型参数； ε 为误差项。通过此模型，系统可以预测用水趋势，优化供排水调度，提升资源利用效率。

3.3 增强精准监控与高效应急响应能力

现代智慧水务管理的关键在于精准监控与高效应急响应。通过整合大数据、物联网 (IoT)、人工智能 (AI) 等技术，能够实时监测水务网络各环节的运行状态，及时发现故障和异常。为了实时监测水务网络中的各个环节，可以基于管网的动态数据建立监控模型。例如，水流量 (Q)、水压 (P) 和流速 (v) 之间的关系可以通过以下公式描述：

$$Q = A \cdot v \quad (12)$$

其中： Q 为流量 (单位： m^3/s)； A 为管道截面积 (单位： m^2)； v 为水流速度 (单位： m/s)。同时，基于管网节点的压力平衡，可以采用以下公式进行节点水压监测：

$$P_{in} - P_{out} = R \cdot Q \quad (13)$$

其中： P_{in} 为节点进口压力 (单位：Pa)； P_{out} 为节点出口压力 (单位：Pa)； R 为管道阻力系数。

通过动态采集数据并与历史数据对比，系统可快速识别异常水压或流量，实现精准监控。在突发事件如水管破裂或污染事故中，信息化系统能迅速提供现场信息，分析事故影响范围和后果^[3]。应急响应核心在于优化资源分配，基于线性规划建立优化模型，以最小化灾害影响为目标函数，定义如下：

$$\min Z = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \chi_i \quad (14)$$

约束条件：

1. 资源总量约束：

$$\sum_{i=1}^n \chi_i \leq R_{total} \quad (15)$$

2. 单个区域需求约束：

$$\chi_i \geq D_i, \forall i \in [1, n] \quad (16)$$

3. 非负性约束：

$$\chi_i \geq 0, \forall i \in [1, n] \quad (17)$$

其中： C_i 为第 i 个区域的资源分配成本； χ_i 为第 i

个区域的资源分配量； R_{total} 为资源总量； D_i 为第 i 个区域的最低需求量。通过这一优化模型，可快速调度水资源与相关应急设备，在突发事件中最大限度地减少损失。

此外，信息化系统通过构建数字化水务管理平台，实现信息共享与协同工作，提升应急响应效率。在突发事件中，相关部门可实时共享信息，进行协同应急响应。大数据分析帮助预判事件趋势，提前做好资源调度和预警^[4]。通过比对历史数据和实时数据，可利用时间序列模型 (如 ARIMA 模型) 预测水质污染或管网故障的可能性：

$$y_t = \hat{a} + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (18)$$

其中： y_t 为当前时刻的观测值； ϕ_i 为自回归系数； θ_j 为移动平均系数； ε_t 为随机误差。通过该模型，可以在潜在的水质污染发生前发出预警，使相关部门提前部署应急响应措施，有效减少灾害损失^[5]。

4 结束语

随着智慧水务技术的进步，供排水网络管理逐步实现精细化、高效化和智能化。借助物联网、大数据和云计算，水务管理可进行实时监控、数据分析和故障预警，减少水资源浪费和管网风险。智慧水务系统优化了水质监测、流量调节和压力控制，提升了管理效能，保障水务安全稳定运行。同时，智能监控和应急响应机制加快了突发事件的反应速度，减少损害。随着技术革新，智慧水务将在保障水资源安全、提升管理水平和推动可持续发展中发挥更大的作用。

参考文献：

- [1] 傅功年, 王姣, 何贤骏, 等. 智慧水务管控一体化系统的研究与分析 [J]. 湖南水利水电, 2023(04):74-76.
- [2] 谷宏宇. 面向智慧水务建设的排水业务系统设计与应用 [J]. 供水技术, 2023,17(03):60-64.
- [3] 张龙军, 王兴兴, 房志伟. 基于 GIS 技术的智慧水务综合管理平台研究 [J]. 智能城市, 2023(11):111-113.
- [4] 陆青, 邓敏茜, 李春玲. 基于物联网的校园智慧水务信息管理平台研究 [J]. 供水技术, 2023,17(06):13-16.
- [5] 郑宇祺. 智慧水务云平台技术的应用与发展 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(04):175-177.