灌区信息化系统建设方案探究

熊鹏飞
浠水县水库管护中心　湖北 浠水　438200

摘　要　灌区信息化系统建设是推动水利现代化、提升水资源管理效能的重要举措。本文围绕灌区信息化系统设计原则与目标，探讨智慧灌区综合管理平台构建路径。该系统以“感知互联、数据驱动、业务协同、智能决策”为核心内容，基于分层架构融合数字孪生、立体感知与物联网等先进技术，实现对水情、工情、农情的全面监控。文章聚焦水库除险加固中新型防渗技术监测与数据融合工作，通过多源信息集成与智能分析提升工程安全预警能力与水资源调度精准性。研究表明，该系统可实现从被动应对到主动预警的重要转变，为灌区精细化管理和可持续发展提供有力技术支撑。

关键词　水利工程；灌区；信息化系统；除险加固；建设方案

Research on the Construction Plan of Irrigation Area Informatization System

Xiong Peng-fei
Xishui County Reservoir Management and Maintenance Center, Xishui 438200, Hubei Province, China

Abstract　The construction of an information system for irrigation districts is a crucial initiative for advancing water conservancy modernization and enhancing the efficiency of water resource management. This paper focuses on the design principles and objectives of such a system, exploring the development pathway for an integrated smart irrigation district management platform. Centered on the core concepts of "perceptive interconnection, data-driven operation, business collaboration, and intelligent decision-making," the proposed system adopts a layered architecture that integrates advanced technologies such as digital twins, three-dimensional perception, and the Internet of Things (IoT). This enables comprehensive monitoring of hydrological conditions, engineering statuses, and agricultural activities. The study specifically addresses the monitoring of new anti-seepage technologies and data fusion in the context of reservoir reinforcement. By integrating multi-source information and applying intelligent analysis, the system enhances early warning capabilities for engineering safety and improves the precision of water resource allocation. The research demonstrates that this approach facilitates a critical transition from reactive response to proactive early warning, providing robust technical support for the refined management and sustainable development of irrigation districts.

Key words　Water Conservancy Engineering; Irrigation Area; Informatization System; Risk Removal and Reinforcement; Construction Plan

灌区作为农业灌溉和区域水资源调配的重要载体，其管理效率与工程安全直接关系粮食安全与水资源的可持续利用，然而，传统灌区管理模式依赖人工经验，存在信息感知不全、调度决策滞后、工程安全隐患难以及时发现等问题。随着物联网、大数据、数字孪生等新一代信息技术的快速发展，灌区信息化系统建设成为实现精细化管理与现代化转型的必然选择，因此，本文针对灌区信息化系统建设方案进行深入探索，旨在推动我国水利事业的健康发展。

1　灌区信息化系统建设设计原则与目标

灌区信息化系统构建要遵照科学、前瞻的设计准则，保证系统创建成功并长久运行。首要原则是先进性和实用性并重，系统应当使用成熟的、可靠的物联网、云计算、大数据技术，保证系统在近几年内不落伍，所有的功能设计都符合灌区管理单位、用水户的实际需要，界面友好、操作简便，避免华而不实的“技术堆砌”。其次是开放性、标准化原则，系统要模块化设计，并定义出标准的接口协议、数据标准，便于各个子系统（水资源调度、安全监控等）的平滑接入和功能扩展，可以和上级水利云平台实现数据共享和业务协同。同时还要把安全、稳定放在第一位，既要有网络传输、数据存储的安全，又要有系统7 × 24 h不停运转的可靠性，给灌区核心业务提供一个可以依靠的数字化根基[1]。

系统建设的总体目标是创建“感知互联、数据驱动、业务

协同、智能决策”的智慧灌区综合管理平台。具体而言，即要实现水情可测、水量可控、水质可监、工情可查、用水可计、风险可警、调度可视的精细化管理。这意味着要全面动态掌握从水源水库、输水干渠到田间地头每一个环节的信息，尤其是集成水库除险加固过程中采用的新型防渗技术监测数据，对工程的安全状况做到随时监测。最后，系统要服务两方面利益：第一，提高水资源的利用效率和效益，通过精准配水、节水灌溉等手段达到节水增效的目的；第二，筑牢工程安全、供水安全的底线，利用智能预警、应急调度等措施大幅度提升灌区应对干旱、洪涝、工程险情的能力，推动灌区管理从传统的经验型向现代智慧化转变。

2 灌区信息化系统建设方案探索

某灌区信息系统总体架构按照SOA模式构建数字孪生灌区，其逻辑结构包含数据采集层、基础设施层、数据汇聚层、数据资源层、应用支撑层、应用层与用户层，并且搭配标准规范体系、建设维护管理体系和信息安全体系这三大支撑体系。该架构可保障技术具备持续演进能力，能让系统具有良好的实用性、先进性、可扩展性、可移植性与开放性，同时保障系统的功能模块完备[2]。

2.1 系统分层架构

1.数据采集层是由物联网感知设备承担数据采集任务，借助多样化监测工具全面采集典型灌区水利工程信息化管理平台所需数据。这些数据涵盖水量、流量流速、工程状况、视频监控与闸门状态等信息，采集后可通过监测系统接入或人工填报录入两种方式汇入平台。

2.基础设施层是由网络传输与机房基础设施共同构成。网络传输形式分为有线与无线两大类：有线传输涵盖内网与专网，无线传输包括GPRS、5G、4G等通信方式。机房基础设施包含指挥调度中心、会商中心及机房等物理场所。

3.数据汇集层集成了自动终端、移动终端的数据接收模块与人工上报数据接收模块，并且辅以数据共享与交换机制，目的是实现数据的统一汇集、处理与存储。

4.数据资源层是典型灌区水利工程信息化管理平台所构建的数据库体系，具体由监测数据库、业务管理数据库、基础信息数据库、空间数据库及共享数据库等组成。

5.应用支撑部分为应用软件功能实现提供技术支持。应用支撑平台负责管理底层数据汇集工作，以此促进数据资源的整合与共享，同时为上层应用提供全系统信息服务，进而实现软件资源的复用，具体涵盖建立统一的数据交换体系来整合底层数据资源，形成完善的数据共享机制并制定全面的数据管理标准，通过统一认证、单点登录、信息推送、报表定制、异常预警、模型调用、可视化展示及数据访问等通用组件与标准化接口，实现跨系统的流程协同与数据交换，整合各应用系统的共享信息资源，为业务应用提供软件和资源支撑服务[3]。

6.应用层的业务系统主要承担数据展示与分析等核心功能。基于典型灌区水利工程信息化管理平台的需求，系统会采用GIS技术、数据服务及三维仿真等成熟技术构建基础框架，以数据库系统为支撑，重点建设综合信息服务、供配水调度管理、水费统计征收、工程运维管理及移动应用等五大子系统。

7.用户层结合典型灌区实际情况及现代化改造涉及的参与主体，系统用户主要包括灌区管理处及各级用水单位。

2.2 数字孪生灌区

数字孪生技术是智慧灌溉体系核心支撑，还是推动水利行业现代化发展的关键基础。该技术依托实体灌溉区域，融合时空数据构建框架，借助数学模型实现功能，依托水利专业知识驱动，最终形成一个虚拟数字系统。系统能通过数字化方式对灌溉区域所有要素及建设运营全过程精准刻画、智能推演和未来预测。作为新型基础设施，数字孪生灌区可与实体灌区实时协同运行，实现虚实互动与持续迭代，进而达成对灌区动态监控、异常预警和智能调控，通过对水源地、主干渠道、农田单元及网络环境等全方位数字化改造，融合先进技术实现水资源调度灌溉自动化、智能化与生态化协同，围绕信息感知、数据共享、决策辅助和普惠服务等体系架构，最终推动灌区达到“供水稳定、调度高效、用水精细、防灾强化、管理智能”发展目标。通过构建从水源到田间末端的全程数字化水量监测网络，完成关键供水设施的智能化调度，推广电子式计量设备以确保计量数据准确可靠，对核心分水枢纽与泵站实施自动化操控。高标准农田的田间分水节点优先采用智能测水控水技术，深化农业水价综合改革机制，科学增设监测站点实现闸门自动启闭，实时追踪全渠道供水状态并科学分析灌区用水数据，快速识别高损耗渠段。

2.3 数字孪生与可视化展示

数字孪生和可视化展示技术是连接复杂数据专业模型与管理者的最佳桥梁，在信息空间将整个灌区系统构建成动态且交互的虚拟映像，极大提升管理的直观性与决策效率。本系统基于高精度地理信息系统、倾斜摄影实景三维模型及建筑信息模型技术，构建从水库渠系闸阀到田间工程的全要素全流程数字孪生体。在这个虚拟灌区里管理者不仅能以三维沉浸方式浏览

工程，外观还能穿透表面洞察内部关键运行状态，对于集成新型防渗技术的水库大坝数字孪生体不再是静态几何模型，而是能动态可视化渲染坝体内渗流场应力场和位移场。

系统能够把从感知层获取到的渗压计数据，利用插值算法在坝体剖面以不同颜色云图形式，实时展示出渗流压力的分布情况，让抽象的“渗流”变得清晰明了，如果防渗墙出现微小变形，模型也可通过夸张渲染或者矢量箭头的方式，将动态变化呈现出来。这种将专业监测数据转化成直观视觉信息的能力，让管理人员不用解读繁杂的数据报表，就能快速掌握工程的安全健康状况，达成了一键可知全局、一图可视风险。最终，数字孪生平台成为一个集监测模拟预警调度于一体的协同指挥中心，支持在虚拟环境里进行应急预案模拟和调度方案推演，进而优化在真实世界中的决策行动[4]。

2.4 立体感知与物联网技术

立体感知与物联网技术是构建灌区信息化系统的重要基石，其核心要点在于构建空天地一体化且覆盖“水—工—农”全要素的神经感知网络。传统灌区监测大多局限于水位、流量等水力参数范围，而本系统通过布设种类丰富且性能可靠的智能传感设备，实现了监测范围的深化与有效拓展。

在基础水情方面，水位计、流量计、雨量筒、水质多参数传感器构成水资源调配的基础数据来源；在农业层面，田间气象站与土壤墒情仪为精准灌溉提供了直接的参考依据。本系统的关键创新之处在于，将水库除险加固中的新型防渗技术效能监测接入此物联网体系。例如，针对已采用HDPE复合土工膜进行防渗加固的水库坝体，在膜下关键部位布设渗压计阵列，实时监测膜后渗透压力变化，以此评估土工膜的完整性与防渗效果；对于采用塑性混凝土防渗墙的工程，通过埋设在水工建筑物内部的测斜仪和应变计持续采集墙体的位移与应力数据，评判其长期稳定性状况。所有这些专业监测数据与常规水雨情、视频监控数据一起，通过5G、NB-IoT等低功耗广域网技术传输回中心，形成从宏观到微观、从外部水文到内部工情的全方位立体感知体系，为后续的智能分析与预警奠定坚实的数据基础。

2.5 水库除险加固新型防渗技术的监测与数据融合

如果只是单纯采集数据是远远不足的，一定要通过深入的数据融合与关联分析，才能够把原始数据转化成评估工程安全的有效信息。本次研究主要关注不同类型的新型防渗技术，设计出具有特异性的监测方案并且实现多源数据融合。以当前主流的几种技术为例：对于HDPE复合土工膜而言，其监测核心是验证其独立防渗层的有效性，所以监测方案重点是布设膜下渗流压力监测网络，如果发现某处渗压出现异常升高的情况，则初步定位可能存在破损或搭接失效的区域；对于超深高喷灌浆或塑性混凝土防渗墙这类垂直防渗体系，监测重点在于其结构的稳定性与连续性，要综合运用测斜管、土压力盒和分布式光纤传感技术，监测其在不同库水位工况下的变形与应力状态。数据融合是提升诊断精度的关键所在，系统平台会将上述防渗体系的特异性监测数据，与库水位升降、降雨强度及历时等环境驱动因子进行时空关联与耦合分析[5]。例如，当系统发现库水位上升时，某段防渗墙后的渗压计读数同步急剧上升且远超模型预测值，这就不再是孤立的数据，而是一个强烈的风险预警信号，指示该处防渗墙体可能存在缺陷。通过这种多源数据的深度融合，系统能够从“发生了什么”进阶到“为什么会发生”，实现对新型防渗技术工作性态的精准评估与异常原因的初步诊断。

3 结束语

综上所述，构建深度融合水库除险加固新型防渗技术监测的灌区信息化系统，是达成灌区现代化与智能化管理的有效解决办法。本研究提出以立体感知、数据融合、智能模型、数字孪生为核心的技术架构，不但实现对水情、工情、农情的全面监控工作，更重要的是把新型防渗技术的效能评估纳入常态化安全管理体系，实现从“被动应对”到“主动预警”的转变过程。该系统的应用能够显著提升水资源调配的精准性与利用效率，同时为工程安全尤其是隐蔽性极强的渗流安全提供前所未有的洞察力与决策支持。

参考文献

[1]陈建智.运城市夹马口灌区信息化系统建设方案解析[J].山西水利,2025,41(4):36-39,44.

[2]张全恩.灌区信息化建设发展现状及策略研究[J].农业科技与信息,2022(10):120-122.

[3]闫沛鑫.景电灌区续建配套与现代化改造项目立体感知体系建设探讨[J].内蒙古煤炭经济,2021(12):149-150.

[4]王自云.灌区运行管理中信息化建设现状及对策研究[J].低碳世界,2021,11(6):131-132.

[5]王夏然.某典型灌区信息化系统建设与思考[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2021,21(2):46-48,93.

（本文编辑 杜宇琪）