

应对意外情况下的数据丢失或损坏。备份数据存储在介质上,并进行加密保护。

3.3 数据处理

GIS 技术提供了丰富的空间分析功能,可以对大坝监测数据进行处理和分析。空间分析有助于发现数据之间的空间关联性和规律性,进而可进行数据挖掘和模型建立。

通过对地质构造、水文气象、地面位移、内部渗压等监测数据进行空间叠加分析,以确定地质构造与地面位移数据之间的空间关联关系,有助于更好地理解大坝周围地质环境对大坝稳定性的影响。

通过对大量监测数据进行数据挖掘和建模分析。例如,利用 GIS 技术构建大坝稳定性的空间模型,以评估不同地质条件下大坝的抗震性能,发现数据中的潜在模式和规律;针对监测点的渗压数据,通过对监测断面进行网格剖分,后台利用有限元模拟仿真技术,结合上下游水位值,模拟出该测点所在监测断面的渗压情况,全面展示大坝整体的渗压变化规律,在模拟数据中添加设计浸润曲线,对比显示出异常情况,由此更好对渗压结果进行分析。

4 数据可视化

基于 GIS 的地图服务,可以将监测数据以图形化的方式展示出来,提供直观的数据展示和分析工具。主要包含几个主要功能:

(1) 利用 GIS 引擎,加载天地图影像、大坝 BIM 模型及周边倾斜摄影等地图服务,方便的查看大坝及其周边地理信息,包括地形、地貌、水系、道路、建筑物等,搭建数字孪生场景,为后续的监测和分析提供直观的空间参考。

(2) 专题信息通过空间属性嵌入地图,点击对地图上的标注点,展示相关信息。如视频监控、大坝信息、断面信息、监测点信息及其他信息等,为数字孪生场景提供数据支撑。

(3) 将坝段、监测断面和监测点的空间数据与实测数据相关联,实时查看监测数据,结合预警标准,显示相关的预警状态,当发现异常情况,及时进行定位和分析。

(4) 提供地图绘制等工具,在地图上绘制重要的地理位置、监测点位、安全隐患等信息,以便进行标记,为后续的监测和管理工作提供便利。

(5) 提供时序信息,对监测数据进行动态监测和历史回放,更好的突出变化趋势。

5 平台实现

本文设计的基于 GIS 的大坝安全监测平台已在临淮岗洪水控制工程主坝中进行了应用:



图 1 临淮岗洪水控制工程主坝安全监测管理平台一张图

GIS 引擎采用 SuperMap, 平台主要功能包括一张图、实时监测、预警管理、报表报告、设备管理、数字看板、平台管理等模块。基于 GIS 开发的一张图,能够及时展示实时监测情况和预警预报状态,直观的展示该工程主坝的监测情况,减少软件繁琐的数据查询工作。同时平台还内置了数据模拟分析、趋势分析等算法,以期对历史数据做深入的挖掘工作,更好的分析主坝的安全运行状态。

6 结论

工程实例表明,基于 GIS 引擎的大坝安全监测平台,能够实现监测信息从繁琐的数据表格转换成三维空间表达,快速定位实时监测信息和安全状态,直观展示多源数据,相较以往的安全监测系统更加形象、生动,提高了大坝安全监测的效率和精度。未来,随着监测手段的不断增多,更多的监测数据也会加入到平台中, GIS 技术在大坝安全监测领域将会越来越广泛。希望本文的研究成果能够为类似水利工程的安全监测管理提供借鉴和参考,推动水利工程安全管理水平的不断提升。

参考文献

- [1] 杨瑞. 大坝安全监测信息系统的网络技术[J]. 低碳世界, 2016(15):52-53.
- [2] 郭婷婷. 初探大坝安全监测信息系统网络技术的应用[J]. 科技风,2017(26):78. DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201726070.
- [3] 陈述平,杨成群. 大坝运行安全监测管理信息系统设计与实现[J]. 水利规划与设计,2020(4):148-152. DOI:10.3969/j.issn.1672-2469.2020.04.034.
- [4] 吴佳蓓,黄铭. 基于BIM的大坝安全监测信息系统开发[J]. 山西建筑,2021,47(21):196-198. DOI:10.13719/j.cnki.1009-6825.2021.21.070.
- [5] 王馨颜. 地理信息系统空间多维数据自动监测方法[J]. 科学技术与工程,2019(19):190-195.

Research on the construction of high quality flood control system in Dongfeng Canal Irrigation area under modern technology background

Huaibin Wang

Dongfeng Canal Management Office, Dujiangyan Water Conservancy Development Center, Dujiangyan, Sichuan, 610031, China

Abstract

In view of the flood control pressure faced by the Dongfeng Canal Irrigation Area in Dujiangyan, Sichuan Province during the heavy rainfall, combined with the development trend of modern information technology, this paper proposes a technical scheme for building a high-quality flood control system. By analyzing the application of Internet of Things monitoring, digital twin, big data analysis and other technologies in flood control, the intelligent flood control framework of Dongfeng Canal Irrigation Area was constructed from three dimensions: monitoring and early warning, project scheduling, and emergency response. Combined with the successful cases such as the Dujiangyan canal head digital twin system, specific implementation suggestions are put forward. The results show that the application of modern technology can significantly improve the flood control capacity of irrigation areas and reduce flood losses.

Keywords

smart flood control; Dongfeng Canal Irrigation Area; digital twins; Internet of Things monitoring; Flood forecasting

现代技术背景下东风渠灌区高质量防汛体系构建研究

王怀斌

四川省都江堰水利发展中心东风渠管理处, 中国·四川都江堰 610031

摘要

本文针对四川省都江堰东风渠灌区在特大暴雨期间面临的防汛压力问题, 结合现代信息技术发展趋势, 提出构建高质量防汛体系的技术方案。通过分析物联网监测、数字孪生、大数据分析等技术在防汛中的应用, 从监测预警、工程调度、应急响应三个维度构建东风渠灌区智慧防汛框架。结合都江堰渠首数字孪生系统等成功案例, 提出具体实施建议。研究表明, 现代技术应用可显著提升灌区防汛能力, 减少洪灾损失。

关键词

智慧防汛; 东风渠灌区; 数字孪生; 物联网监测; 洪水预报

1 引言

东风渠灌区是都江堰灌区的重要组成部分, 承担着向成都、眉山两市 19 个县(市、区)及天府新区输送生活、生产、生态用水的关键任务。灌区总面积约 1.2 万 km², 灌溉面积达 180 万亩, 供水人口超过 1200 万。该灌区在汛期(特别是 6-9 月)常面临特大暴雨袭击, 防汛形势严峻。

近年来, 随着气候变化影响加剧, 极端降雨事件频发, 传统防汛手段已难以满足现代水利管理需求。本文结合东风渠灌区实际情况, 探讨如何运用现代信息技术构建高质量防汛体系, 提升灌区防洪减灾能力。

【作者简介】王怀斌(1969-), 男, 中国四川眉山人, 本科, 高级工程师, 从事水资源保护及充分利用研究。

2 东风渠灌区防汛现状分析

2.1 防汛难点与挑战

东风渠灌区防汛主要面临以下挑战:

- 暴雨强度大: 年均暴雨天数 5-7 天, 最大日降雨量达 300mm 以上;
- 工程设施老化: 干渠总长 816 公里, 其中 60% 为上世纪 70-80 年代建设的混凝土衬砌渠道;
- 排水系统压力大: 特大暴雨期间, 泵站负荷急剧增加, 易出现过载现象;
- 成都市自来水六厂、七厂水源浊度急剧升高, 可大于 100NTU, 水厂将完全停止取水, 对居民生活造成严重影响;
- 监测预警滞后: 现有雨量监测点密度不足, 预警信息传递不及时。

2.2 典型汛情案例分析

2.2.1 案例一 2013 年“7.9”特大暴雨

2013年7月9日（我时任职东风渠郟县站，现郟都水利管理站工作），东风渠郟县站灌区遭遇特大暴雨，暴雨一直持续7月14日，都江堰市最大雨量达1105.9毫米，郟县最大雨量达650毫米，五条干渠全部严重超负荷运行。仅郟县站渠道损毁13km，导水坝冲毁5处640m，拦河坝4处50m，支渠闸3座，直接损失超2455万元，间接损失超亿元。整个东风渠管理处修复费用（概算）如下表：

| 东风渠灌区“7.9”特大暴雨 水毁工程项目统计表 | | |
|-----------------------------|----------------|----------|
| 序号 | 项目名称 | 修复经费（万元） |
| 一 | 冲毁闸房、堰坝、导水坝 | 3190 |
| 1 | 柏条河白鹤堰导水坝修复工程 | 140 |
| 2 | 柏条河炮通堰导水坝修复工程 | 160 |
| 3 | 柏条河灵宝堰导水坝修复工程 | 140 |
| 4 | 柏条河三堰导水坝修复工程 | 100 |
| 5 | 柏条河鲁罗堰导水坝修复工程 | 120 |
| 6 | 柏条河青纱堰导水坝修复工程 | 160 |
| 7 | 清水河红旗支渠导水坝修复工程 | 120 |
| 8 | 徐堰河老联合堰导水坝修复工程 | 80 |
| 9 | 毗河幸福支渠导水坝修复工程 | 120 |
| 10 | 毗河李家堰堰坝修复工程 | 400 |
| 11 | 毗河粉后堰堰坝修复工程 | 350 |
| 12 | 毗河龙桥堰连锁闸修复工程 | 400 |
| 13 | 江安河三吏堰支渠闸修复工程 | 100 |
| 14 | 清水河团结渠枢纽闸修复工程 | 300 |
| 15 | 10处支渠进水闸修复工程 | 500 |
| 二 | 河堤、护坡 | 19268.4 |
| (一) | 平坝区河道 | 9634.2 |
| 1 | 江安河河堤修复工程 | 3230 |
| 2 | 走马河河堤修复工程 | 1162.6 |
| 3 | 徐堰河河堤修复工程 | 409 |
| 4 | 清水河河堤修复工程 | 903.6 |
| 5 | 沱江河河堤修复工程 | 68.6 |
| 6 | 柏条河河堤修复工程 | 1191.4 |
| 7 | 毗河河堤修复工程 | 2520 |
| 8 | 杨柳河河堤修复工程 | 118 |
| 9 | 府河河堤修复工程 | 31 |
| (二) | 丘陵人工渠道 | 219.84 |
| 1 | 总干渠护坡垮塌修复工程 | |
| 2 | 北干渠护坡垮塌修复工程 | |
| 3 | 东干渠护坡垮塌修复工程 | |
| 4 | 老南干渠护坡垮塌修复工程 | |
| 5 | 新南干渠护坡垮塌修复工程 | |
| 6 | 眉彭干渠护坡垮塌修复工程 | |
| 7 | 牧马山干渠护坡垮塌修复工程 | |
| 总计 | | 22458.4 |



走马河羊子口电站脱水区右岸堤岸冲毁约1300米



毗河 23+000-23+050 三河花园村河垮塌



江安河万春镇报恩村4组堤岸垮塌40米



新南干渠 41+300 山体滑坡

东风渠管理处“7、9”特大暴雨河（渠）道滑坡、垮塌水毁典型照片选

2.2.2 案例二 2020 年“8.11”特大暴雨

- ★ 最大降雨量达320mm(都江堰站)；
- ★ 12处泵站出现过载运行；
- ★ 45公里渠道出现漫溢；
- ★ 直接经济损失达8.5亿元。

以上汛情暴露出传统防汛手段存在监测预警不及时、

工程调度不精准、应急响应滞后等问题。

3 现代技术在防汛中的应用

3.1 物联网监测技术

物联网监测技术可实现雨量、水位、流量等参数的实时监测：

雨量监测：采用翻斗式雨量计，测量精度 $\pm 0.5\text{mm}$ ；

水位监测：采用雷达水位计，测量范围 0-10m，精度 $\pm 1\text{mm}$ ；

流量监测：采用超声波流量计，测量精度 $\pm 1\%$ 。

在东风渠灌区关键节点布设监测设备，可实现：

1. 雨量监测密度由原来的每 10km^2 1 个提升至每 2km^2 1 个；

2. 水位监测响应时间由原来的 30 分钟缩短至 5 分钟；

3. 流量监测数据更新频率由原来的每小时 1 次提升至每 5 分钟 1 次。

3.2 数字孪生技术

3.2.1 数字孪生技术可建立灌区洪水演进模型

建立三维数字模型：包含渠道、泵站、水厂等关键设施；

实时数据接入：整合雨量、水位、流量等监测数据；

洪水预报：预测洪峰到达时间和水位变化趋势。

3.2.2 数字孪生应用实例

场景 1. 在都江堰灌区指挥中心，LED 大屏上显示着几个醒目的大字：“都江堰渠首数字孪生”。工作人员只需轻点鼠标，数字孪生平台便会逐一呈现出综合概览、运行监控、工程调度三个模块的内容。通过这一系统，工作人员不仅可以清楚看到岷江和都江堰各个区域的实时监控画面，以及各类水情监测数据和计算分析，还可以对汛期的泄洪等操作进行提前模拟演练，制定调度方案。

数字孪生平台可实现对各河段来水量的分钟级预判，在问题发生之前先发现问题。在进行调度时，输入水库的预估下泄流量，平台系统会给出各条河流在各个时间段的流量数值，还能根据应急调度预案和指挥中心的调水计划，自动生成调度方案。可以说，都江堰渠首数字孪生就是都江堰灌区的“智慧大脑”。

之所以有如此强大的功能，源于技术的多方赋能。都江堰渠首数字孪生系统以数据底板为基础，融合都江堰渠首枢纽 23 处水闸 BIM 模型、水情监测数据、工情监测数据等多源数据，充足的数据为都江堰渠首数字孪生系统的智慧运算和分析等提供了坚实基础。

能够做到对灌区的一切情况了如指掌，将灌区“搬到”数字世界，得益于都江堰渠首数字孪生系统数量众多的前方“眼线”与“触角”。视频监控调度系统对全灌区 1411 台监控摄像头的实时监控画面进行整合，并按照管理单位、渠系、行政区划来对这些画面进行分组。点开其中一个画面，还可以进行回放、画面轮巡等操作，无需到现场，就能了解

灌区的详细情况。此外，灌区还安装了水位监测设备、流量监测设备、工程安全监测设备等共计一千多台，这些设备每天都会传输几十万条数据到物联网系统，有了这些数据，就可以实现远程闸门控制等多维度管理。

实现

★ 洪峰到达时间预测误差 < 2 小时；

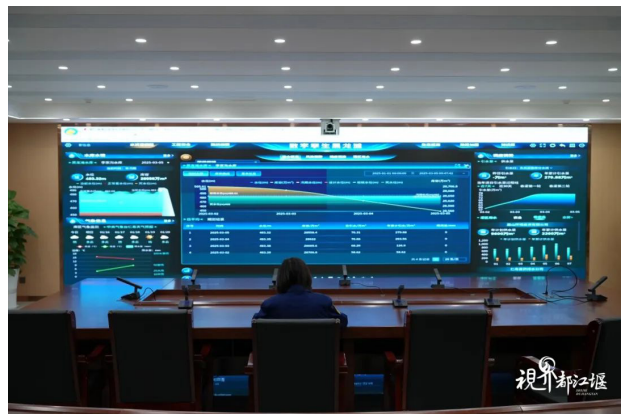
★ 水位预报精度 $\pm 5\text{cm}$ ；

★ 提前预警时间达 6 小时以上。

场景 2. 都江堰黑龙滩灌区 2025 年首次引入数字孪生技术

黑龙滩灌区覆盖眉山市仁寿县、乐山市井研县、四川天府新区眉山片区、简阳市镇金镇等 4 个行政区，灌溉面积 91.13 万亩。

按照计划，灌区供水仍将分两轮进行，第一轮是 3 月 5 日至 4 月 1 日，计划放出水量 6500万 m^3 ，满足灌区育秧用水、春玉米播种用水、空闲田泡田用水以及补充小型水库、山坪塘的蓄水；第二轮是 5 月 1 日至 5 月 31 日，计划放出水量 5500万 m^3 ，保障 42.6 万亩泡田栽秧用水。



数字孪生黑龙滩水库平台上线运行，春灌期间平台可实时采集上游来水、水库水位流量和渠道流量数据，形成直观清晰的“灌区水情信息一张图”，同时结合实际流量与灌区需水，可自动生成调水预案并精准调控闸门开度，实现水量精确调度、合理分配、高效管理。

3.2.3 数字孪生系统应用效果

让岷江水从源头到田头“一键直达”全力保障 1154.8 万亩灌面用水安全确保 598.4 万亩水稻满栽满插

数字孪生都江堰渠首枢纽系统，以感知数据为基础，联动鱼嘴分水、六大干渠水演进等模型，并融合自动控制体系，实现了渠首枢纽及 59 孔闸门联调联控，蒲阳河、柏条河、走马河、江安河、沙沟河、黑石河六大干渠调水实现全流程智慧化管控。

都江堰灌区以水资源精细化管理需求为导向，推动建设“数字化场景、智慧化模拟、精准化决策”的水网体系，打造“一云、一网、一中台、一平台”的灌区信息化架构，建成了都江堰灌区云计算数据中心，建成集业务专网、工业