

# 新疆智慧水利综合管理平台<sup>①</sup>



林雨萌<sup>1</sup>, 陈炳才<sup>1</sup>, 马致明<sup>1</sup>, 宁 芊<sup>1</sup>, 肖延亭<sup>2</sup>, 罗朝传<sup>2</sup>, 杨岚斐<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(新疆师范大学 计算机科学技术学院, 乌鲁木齐 830054)

<sup>2</sup>(四川大学 水利信息化联合实验室, 成都 610065)

通讯作者: 陈炳才, E-mail: [china@dlut.edu.cn](mailto:china@dlut.edu.cn)

**摘 要:** 新疆具有典型的干旱气候特征, 疆内各地区经济基础薄弱、水利建设智能化程度不高, 农业灌溉水资源利用率只有 40% 左右. 吉木乃县作为新疆最为典型的干旱缺水县, 近年来因全球气候变暖形势加剧, 其境内唯一的水源地—木斯岛冰山的冰川雪线不断后退, 情况不容乐观. 传统水资源分配与管理方式较为落后, 已不能解决当前吉木乃县所面临的水利管理困境, 其管理效率低, 产生的效益差, 已不符合当前的经济发展形势. 而现代化的智慧水利利用信息技术、网络技术、大数据和人工智能, 使得水利管理智能化、管理效率大大提高. 本文以新疆维吾尔自治区阿勒泰地区吉木乃县智慧水利综合管理平台建设为依据, 从水资源管理、多水源仿真联动、防汛抗旱、农村饮水安全、水库大坝安全、闸门远控和灌溉管理 7 方面展示智慧化信息综合平台在水利管理中的建设细节, 为推动智慧水利体系的构建提供了有效支撑.

**关键词:** 水利管理; 智慧水利; 人工智能; 互联网; 大数据

引用格式: 林雨萌, 陈炳才, 马致明, 宁芊, 肖延亭, 罗朝传, 杨岚斐. 新疆智慧水利综合管理平台. 计算机系统应用, 2021, 30(10): 86-94. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/8103.html>

## Smart Water Conservancy Management Platform in Xinjiang

LIN Yu-Meng<sup>1</sup>, CHEN Bing-Cai<sup>1</sup>, MA Zhi-Ming<sup>1</sup>, NING Qian<sup>1</sup>, XIAO Yan-Ting<sup>2</sup>, LUO Zhao-Chuan<sup>2</sup>, YANG Lan-Fei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(College of Computer Science and Technology, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

<sup>2</sup>(Joint Laboratory of Water Conservancy Informatization, School of Electronics and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Xinjiang is an arid region with a typical dry climate. The economic foundation is relatively weak and the degree of water conservancy intelligence is not high. The utilization rate of water resources for agricultural irrigation is only about 40%. Jeminay County is the most typical water-deficient county in Xinjiang. The snow line of Muz Taw Glacier, the only water source in its territory, has constantly retreating due to global warming, leaving an urgent situation. Traditional water allocation and management methods are relatively backward, with high labor intensity, low efficiency, and poor benefit. It can no longer solve the current dilemma about water resource management in Jeminay County, nor adapt to the current economic situation. Modern smart water conservancy has high efficiency by leveraging information technology, network technology, big data, and artificial intelligence. Based on the smart water conservancy management platform of Jeminay County in Xinjiang, this study demonstrates the construction details of the smart information integration platform from seven aspects and provides strong support for promoting the construction of a smart water conservancy system.

**Key words:** water management; smart water convergence; artificial intelligence; Internet; big data

① 基金项目: 国家自然科学基金 (61961040, 61771089); 新疆维吾尔自治区区域协同创新专项 (2020E0247, 2019E0214); 新疆维吾尔自治区“天山青年计划”(2018Q024)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61961040, 61771089); Regional Collaborative Innovation Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2020E0247, 2019E0214); Tianshan Youth Program of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2018Q024)

收稿时间: 2020-12-22; 修改时间: 2021-01-25; 采用时间: 2021-02-02

近年来,国家先后出台多项水相关的管理制度,比如《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》(国发〔2012〕3号)、《关于全面推行河长制的意见》(2016年12月),强调对水资源、水环境的保护.《水利信息化资源整合共享顶层设计》中提出以新时期“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水兴水战略思想为指导,实现水利信息化资源共享,促进业务应用协调.2012年我国成立首个“水利部物联网技术应用示范基地”<sup>[1-6]</sup>.2013年王忠静等在文献[7]中提出智慧水利的核心特征为实时感知、水信互联、过程跟踪、智能处理,是以“准确预报、精准配送和高效管理”为核心目标的基于云技术的监测、计算,提出水利是一个大系统,在专业上涉及防汛抗旱、工程建设与运行、水资源管理、河湖保护、农田水利、水土保持等方面,因此,智慧水利建设要做好顶层设计,统一规划、统一标准、统一要求<sup>[8]</sup>.

## 1 引言

在新疆,水的问题是首要而迫切需解决的问题.目前,新疆的智慧水利建设中存在用水智能化程度不高,因此加强水利资源的智能分配调度、水质智能分析、多水源联动控制建设尤为重要<sup>[9,10]</sup>.阿勒泰地区吉木乃县的地表水年径流量为0.74亿 $m^3$ ,占全地区地表水资源的1/166;地表水资源人均占有量1977 $m^3$ ,为全地区平均水平19341 $m^3$ 的1/10;木斯岛冰山是全县唯一的水源地,随着全球气候变暖,冰川雪线已从70年代末的海拔2600m退缩至目前的3100m<sup>[11-13]</sup>,逐步恶化的趋势十分明显,持续下去,全县将失去其境内唯一水源地,这不仅给吉木乃县的经济带来了极大危害,而且严重影响了可持续发展能力,因此需要继续加强吉木乃县水利的建设力度,促进全县水利管理能力和服务能力的不断提高.吉木乃县行政区域的遥感影像图如图1所示.



图1 吉木乃县行政区域的遥感影像图

本文通过智能仿真技术及人工智能算法,借助信息化手段,通过建立多模态数据传输平台、分布式大数据处理系统,以水利局业务工作为中心的应用服务,加强对水资源的检测、分配和管理,促进“互联网+水利”的应用进步和管理创新.通过数据可视化的形式仿真水文规律演变,使原本较为复杂的监控参量变得直观且易于处理,快而及时地对生活饮用水水质进行在线分析,鉴定水中溶解氧、重金属等化学成分含量,保证居民饮水安全.通过建立调洪演算模型对水库水位及出库流量数据进行预测,对吉木乃县内部分水库及下游灌区闸门实现远程集中控制;实时监测大坝安全渗流数据和主要河流流量数据,对高于防洪限制水位的监测数据和超过安全阈值的监测项在线预警,并推送至大坝安全相关责任人,方便工作人员在春季冰雪融化期和汛期掌握水情.

## 2 建设目标

1) 构建区域水利信息化管理平台.以吉木乃县水利局的水利业务工作为中心,利用机器学习算法以日期为时间序列对区域内每日来水量、需水量进行预测,实现用水水量精细化.为设置阶梯水价提供合理有效依据,促进水权市场化.

2) 建立灌区水资源分配智能调度模型.利用大系统区域分解协调技术及自适应动态规划算法建立区域用水调度任务模型,将作物水分生产函数及最大增产效益指标引入水资源分配调度策略,采用自适应动态规划算法农业对灌区及居民用水进行分配调度.

3) 建立闸门远程控制系统.通过远程控制闸门的开度进行蓄水与泄水,系统通过计算实时输出各时段末之水位.过去调洪演算工作量大,智慧水利综合管理系统将这部分工作都用具体的参数如尺寸、流量系数等取代.只要改动其中的任何参数,都会形成不同的调洪方案,其计算速度快,准确性高,可实现闸门实时控制.

4) 提升地表水水质的管控力度.利用水质在线检测系统实时分析,采取多项水质参数综合评价方法对水质进行检测并在线预测水质变化,保证农村饮水安全.

5) 构建涉及大坝安全和工程巡检的工程运行管理体系.通过非工程的信息化监测手段建设,采用电子化工程巡检,大坝安全自动化监测,及时掌握工程运行状态,从而为制定维修和治理方案提供有效依据.有效避免或减少因工程隐患而导致工程安全事件发生.

### 3 平台设计

#### 3.1 总体架构

吉木乃县智慧水利综合管理平台总体架构图如图2所示,总体采用3层架构.物联网监控层主要包括闸门远程自动化控制模块、水情监测模块、墒情监测模块和泵站监测模块等,实现对水利信息采集、监测和传输.计算资源层主要包括地区水利局虚拟服务器资源池、中心工控机、大数据分布式处理中心和GIS云中心等,对数据进行统一化、规范化处理,加速海量数据的分析和业务优化过程.业务应用层主要包括中心应用软件平台、工程运行管理模块和移动终端平台等,以不同形式实现平台的具体应用.平台的整体运行流程是各监控、监测系统通过光纤专网/RTU/北斗通讯等网络传输模式将数据传递到包括吉木乃县水利局信息中心的计算资源层,然后计算资源层对数据进行高效处理并做出决策,最后部署的中心应用平台软件用

于实现各类应用.

#### 3.2 功能架构

平台功能架构以实现水安全智能保障,提高水资源调控能力为目的,实现支撑日常和应急状态下的防洪、水资源、水环境和水生态等管理业务工作<sup>[14]</sup>,包括智能感知、智能预警、智能控制等6个模块.具体功能架构如图3所示.

如图4所示,智能感知模块通过部署无线传感器、视频监控设备等设备采集多模态数据,建立水生态环境动态评估业务库、水务决策支持预案业务库等数据库,安全有序地实现数据的实时传递及安全存储.将处理后的数据传输至智能处理模块,根据当前时段过水情况和下一时段的输水要求,利用输入时间序列的循环神经网络对监测数据进行未来时段的水位、流量预测,实现水资源智能分析与动态监测.



图2 吉木乃县智慧水利综合管理平台总体架构图

智能仿真模块以风险分析与估计为出发点,实现过程为通过构造和系统调度模型性能及概率分布相似的

仿真模型,采取蒙特卡洛法在计算机上随机试验,以此将输水管道超压、阀门水损等风险控制可在可接受的范

围内. 同时将预估结果保存至工程基础数据库, 在智能控制模块中构建含有机会约束的水资源调度动态管控仿真模型, 通过导入管道摩阻系数、漏水系数、管壁水体反应系数、阀门水损系数等基础参数, 贴切化地

进行调度模拟计算, 并利用模拟计算结果对资源层和服务层建立多级联动控制, 实现控水精准化, 为吉木乃县水利工作人员提供涵盖动态系统建模、仿真和综合分析的集成环境. 智能仿真模块功能架构图如图 5 所示.

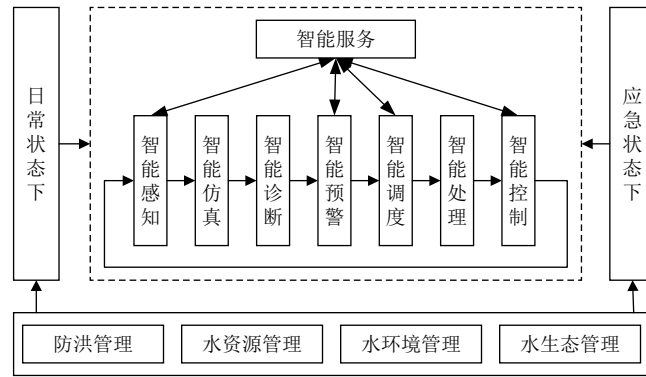


图3 吉木乃县智慧水利综合管理平台功能架构图

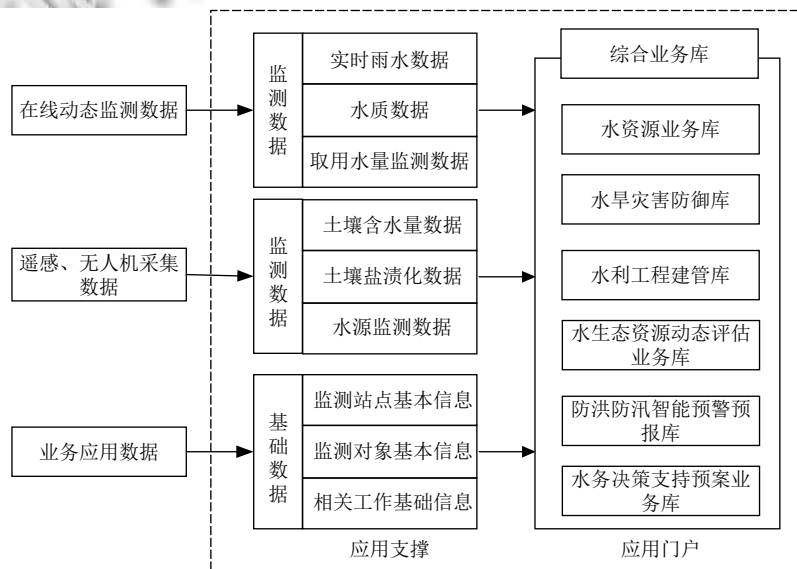


图4 智能感知模块功能架构图

智能诊断模块利用数字图像处理技术、信号处理技术将采集到的图像进行滤波复原、PCA 降维及去噪处理, 采用 YOLOv4 目标检测方法训练卷积神经网络, 将监控获取的水域图像进行人工标注, 用不同的类别区分得到标签图进行网络训练, 将训练得到的卷积神经网络对待测图像的水域情况、水面漂浮物等进行高精度检测与识别. 吉木乃是典型的干旱和半干旱地区, 由于灌溉不当引起的次生盐碱化是该地区典型的生态现象, 智能诊断模块利用采集的遥感影像信息, 分析该地区盐碱化区域明显的解译特征, 从而及时针对有盐

渍化趋势的区域加大水利灌溉管理措施.

智能调度模块采用启发式动态规划算法建立灌区水资源智能调度模型. 将研究地区划分为若干子区, 并将作物水分生产函数及最大增产效益引入区域水资源分配调度策略. 净灌溉增产效益函数采用 Jensen 模型,  $\lambda_i$  为作物的产量在供水不足情况下的敏感系数, 表达式如式 (1) 所示.

$$F_i = \max \left( \frac{Y_a}{Y_m} \right) = \max \prod_{i=1}^N \left( \frac{ET_a}{ET_m} \right)_i^{\lambda_i} \quad (1)$$



灌区水资源分配调度以全灌区各用水单位均衡收益平均增产为原则,在灌溉水量不足时考虑用水单位之间的灌溉效益差别<sup>[15,16]</sup>.在保证整个系统水量平衡的前提下,及时准确地引水配水,实现水资源精细化控制.灌区水量调度模型的目标函数可表示为:

$$F = \max \{F_1(Q_1) + \dots + F_i(Q_i) + \dots + F_n(Q_n)\} \quad (2)$$

$$Q_1 + \dots + Q_i + \dots + Q_n = Q \quad (3)$$

$$\min f = \sum_{i=1}^n f_n^i \quad (4)$$

式中,  $F$  为总灌溉效益;  $Q$  为可供分配的水量总额约束;  $Q_i$  为第  $i$  个子区域配水量;  $f_n^i$  为实际供水量与目标供水量之间的偏差.

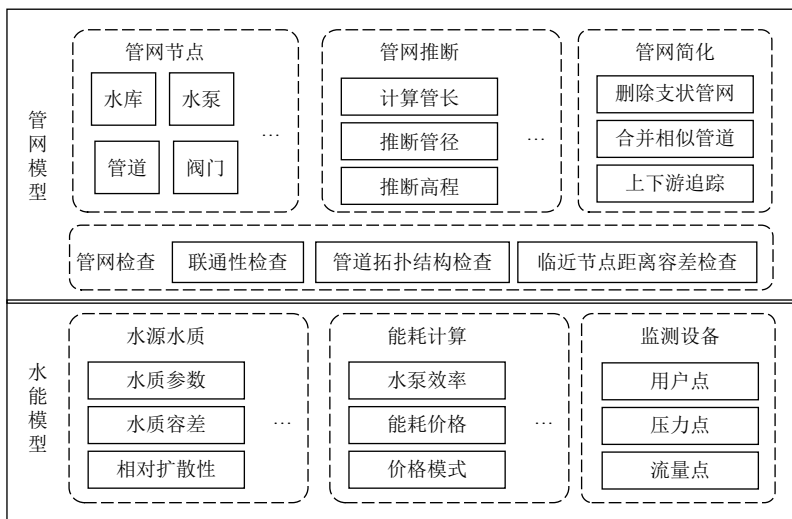


图5 智能仿真模块功能架构图

智能预警模块通过设置泄流条件、调洪方式、泄水建筑物等参数进行调洪演算.设置调洪起始水位、库容、水库防洪下限水位、下游安全限制泄量以动态监测来水流量、下泄水量等数据.由起始水位依次计算直至过程结束,系统实时输出各时段末之水位、溢洪道流量、水库出库总流量等,并用绘制水库水位变化线和洪水过程线、泄洪过程线.水库设计情况下计算间隔时段为 2.5 h 的水库下泄流量调洪结果见图 6.

智能控制模块通过建立水情实时动态监管模型,实现多水源联动控制.通过信息采集监控系统所获得的多模态数据如测控点视频、往年测量值,设备状态参数等,准确、及时、直观的掌握灌区水域情况,实现水域图像实时监控、水库水量实时测量、渠道水情实时测报,水位信息自动采集,为管理者和用水户提供快捷方便的服务.

### 3.3 大数据处理系统

吉木乃县智慧水利综合管理平台总体架构中计算资源层的关键是大数据分布式处理中心.考虑到管网节点、视频监控点、待测压力点及用水户数量庞大,

综合管理平台采用具有数据远程控制和并行处理功能分布式并行系统.大数据处理系统遵循 SOA 体系结构,通过在硬件设备上部署能高效储存和管理海量数据的 Hadoop 分布式计算系统,实现数据离线计算和数据存储的高度耦合;借助内部封装的 MapReduce 与 HDFS 的有机结合,解决分布式并行数据计算产生的容错性和伸缩性问题<sup>[17]</sup>基础分布式云平台将采集的水情、水质、遥感及图像数据清洗转储,分布式计算支撑技术实现多粒度多层次资源支撑,通过数据汇聚将高可靠的多模态数据时深化应用至水雨情分析、防洪风险预测、水源水质分析、水体漂浮物监控、水资源动态调度等核心服务.利用分布式面向列的数据库 HBase 及其内集成的 Zookeeper 分布式锁服务,完成系统管理环境中多个进程的同步控制、水利工程数据的实时交互,提升数据访问的并发性和稳定性和有序性;通过向用户提供校验和及运行后台进程两种方式校验数据保证数据的完整性.系统支撑、数据汇聚与系统应用模块协同控制,实现高通用性好、高并行性、运行稳定、负载均衡的大数据处理系统,其系统架构见图 7.

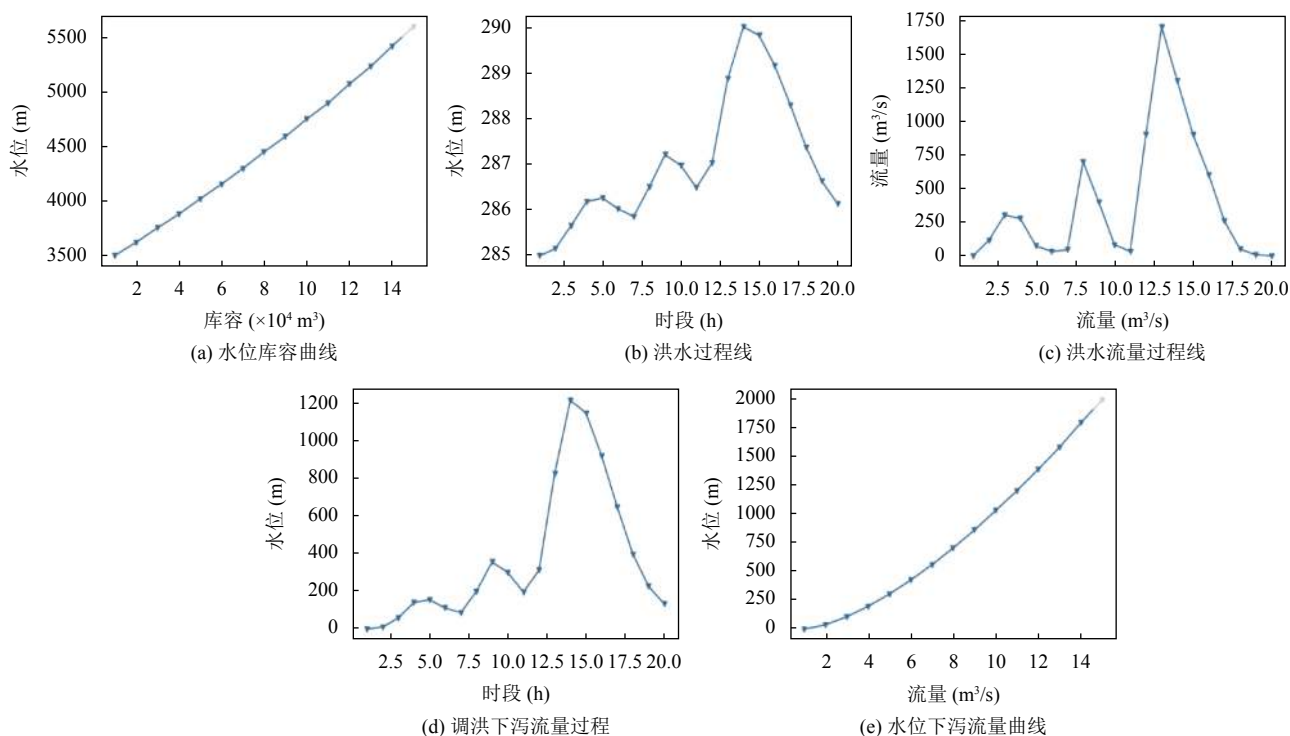


图6 水库下泄流量调洪结果

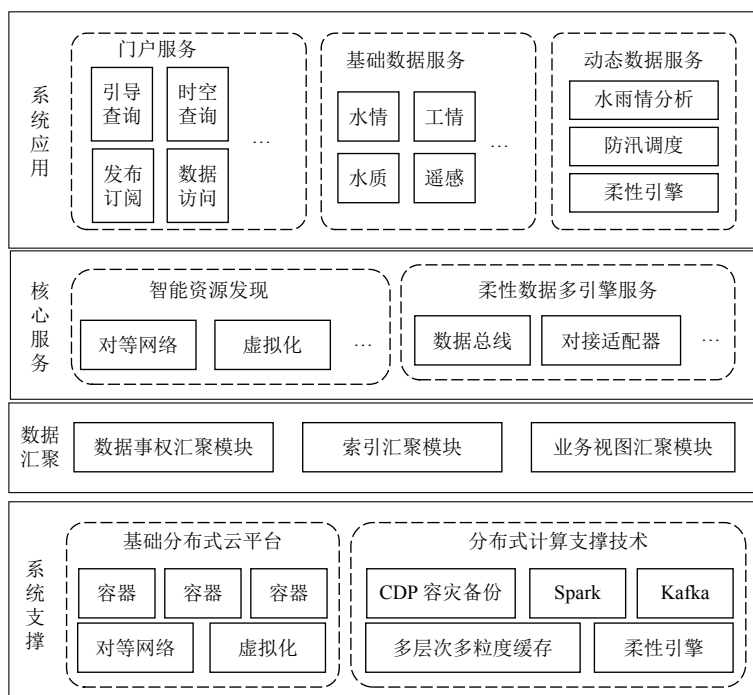


图7 大数据处理系统整体架构图

#### 4 平台应用

如图8所示, 吉木乃县智慧水利综合管理平台具有水资源管理、防汛抗旱、扬水工程、农村饮水安

全、水库大坝安全、闸门远控和灌溉管理7大方面的智慧化应用支持。

防汛抗旱管理, 建立洪水演进模型实现枢纽工

程洪峰到达时间及流量预测;电子化防汛预案调度,实时追踪预案执行结果,确保枢纽防汛安全;实现对现有水库库容分析,预测水库库容变化;通过移动巡查实现洪峰信息及时上报,以达到及时、迅速地应对汛情;通过不断地从各个人员物资调动点得到汛

情信息,全方位的追踪以确保响应及时;从水情站、气象站等各个观测点或测站,得到天气、雨水、地下取水等数据,实时的根据经验建立数据模型,预测出汛情方位、流量信息,标记出淹没范围,预测损失等。



图8 吉木乃县智慧水利综合管理平台应用模块图

灌区用水管理,包括灌溉管理,渠道计量,田间计量。通过对全县主要粮食及经济作物的种类、灌溉面积、轮灌周期、土壤渗透量、田间降雨量、作物的缺水敏感系数等进行实时计算,在保证全区水量平衡的情况下,以农作物的生长周期划分不同阶段制定节水灌溉配水计划,并通过对灌溉用水量、实际用水量的有效统计和仿真计算及时预测,实时调整配水方案,做到用水量合理化、精准化。

农村饮水安全管理,通过多项水质参数综合评价的方法对饮用水水质进行在线分析。采用多次监测的平均值获得水质参数,对溶解氧、氨氮含量、重金属离子含量等指标进行测定和统计<sup>[18]</sup>,各阶段拟预测的水质参数应根据具体工程分析和环境现状、评价等级及当地的环保要求筛选和确定。

水库大坝安全管理,对大坝安全渗压渗流数据、库水位及出库流量数据进行实时监测并记录,并对其中超过阈值的监测项在线预警,并通过手机APP进行预警推送,让大坝安全相关责任人能在第一时间掌控险情,做出应对措施。如图9所示,是水库大坝管理界面的展示。

闸门远程控制管理,对吉木乃县红山水库及下游灌区的6座一体化闸门进行集中控制。实时显示闸门

过闸流量,闸门开度,并以动画的形式显示渠道的过水情况。提供了5种模式的闸门控制方式,适应不同的用水需求下的闸控需求。图10为闸门远程控制管理的界面展示。

## 5 结语

本文介绍的智慧化信息综合管理平台是阿勒泰地区吉木乃县水利局信息化建设的一个重要组成部分,有效提高了吉木乃县水利局的管理水平和优化水资源调配能力,促进生态平衡,促进区域水利设施管理、灌区用水管理和防汛抗旱管理的智慧化。智慧水利建设的作用和效益主要表现为以下5个方面:

(1) 对于提高吉木乃县水利工程的社会环境效益有着积极的影响。水资源优化配置、优化调度、优化利用的结果,不但提高了水利工程的社会效益,水管单位的内部经济效益也获得了一定程度的提高。

(2) 对于提高吉木乃县水资源的管理水平有着极大的意义,即实现了对灌区用水量的全面掌握,又从宏观上对全区域的分水情况进行把控,可以进行更有效的水资源最优分配及调度。

(3) 能实时掌握水情、墒情、工情信息,建立覆盖整个吉木乃县的防洪抗旱预测管理体系,掌握区域洪

水动态,提升管理部门应对汛期洪水、早期缺水管理能力。

(4)通过对水库入库水量,库容,出库水量的长期精准监测,结合大量各地需水情况的同期历史数据,可以有效预判水资源需求状况,提前做好水资源调度计划。

(5)用水户可以通过信息查询了解吉木乃县的工程建设、供水政策、水资源管理等情况,实现互动,提升管理部门的公众影响力和用水户的参与积极性,促进吉木乃县水利局更好地为农业生产和群众生活供水服务。



图9 水库大坝安全管理模块展示

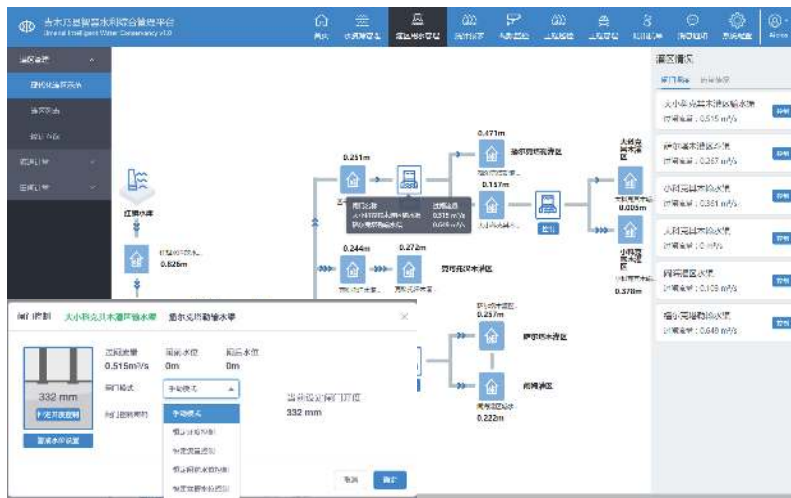


图10 闸门远程控制管理模块展示

参考文献

- 1 芮晓玲, 吴一凡. 基于物联网技术的智慧水利系统. 计算机系统应用, 2012, 21(6): 161-163, 156. [doi: 10.3969/j.issn.1003-3254.2012.06.035]
- 2 董海天. 关于“智慧水务”平台系统的构建及关键技术分析. 水利规划与设计, 2017, (2): 22-24. [doi: 10.3969/j.issn.1672-2469.2017.02.009]
- 3 卜云飞, 闫健卓. 基于大数据的智慧水务架构研究. 2017

- 4 中国自动化大会 (CAC2017) 暨国际智能制造创新大会 (CIMIC2017) 论文集. 济南: 中国自动化学会, 2018. 766-769.
- 5 倪建军, 杜嘉宸, 徐绪堪, 等. 智慧河湖长制信息化系统建设实践. 水利信息化, 2018, (3): 24-27.
- 6 谢丽芳, 邵煜, 马琦, 等. 国内外智慧水务信息化建设与发展. 给水排水, 2018, 44(11): 135-139. [doi: 10.3969/j.issn.1002-8471.2018.11.028]



- 6 桂芳. 基于云物联网的智慧水务生产监控系统研究. 甘肃科技, 2017, 33(18): 14–16. [doi: [10.3969/j.issn.1000-0952.2017.18.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0952.2017.18.007)]
- 7 王忠静, 王光谦, 王建华, 等. 基于水联网及智慧水利提高水资源效能. 水利水电技术, 2013, 44(1): 1–6. [doi: [10.3969/j.issn.1000-0860.2013.01.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0860.2013.01.001)]
- 8 水利部参事咨询委员会. 智慧水利现状分析及建设初步设想. 中国水利, 2018, (5): 1–4. [doi: [10.3969/j.issn.1000-1123.2018.05.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1123.2018.05.001)]
- 9 马月坤, 陈金水, 于树利. 灌溉水资源非常态控制过程. 水利水电技术, 2016, 47(5): 1–5, 11.
- 10 戚晓明, 白夏, 金菊良, 等. 智慧水资源管理系统的设计与应用. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2017, 38(3): 47–51.
- 11 李贵宝. 中国水管理问题的一些思考. 中国环境管理干部学院学报, 2015, 25(3): 3–7.
- 12 邱利民. “智慧水利”的发展和技术研究. 中国新技术新产品, 2018, (15): 18–19. [doi: [10.3969/j.issn.1673-9957.2018.15.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9957.2018.15.013)]
- 13 户冬梅. 新疆吉木乃县农村富余劳动力转移问题研究 [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- 14 赫晓惠, 李紫薇, 郭恒亮, 等. 郑州市智慧水务体系构建与关键技术研究. 水利信息化, 2016, 12(6): 61–66, 72.
- 15 Kulkarni P, Farnham T. Smart city wireless connectivity considerations and cost analysis: Lessons learnt from smart water case studies. IEEE Access, 2016, 4: 660–672. [doi: [10.1109/ACCESS.2016.2525041](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2525041)]
- 16 Mohammed Shahanas K, Bagavathi Sivakumar P. Framework for a smart water management system in the context of smart city initiatives in India. Procedia Computer Science, 2016, 92: 142–147. [doi: [10.1016/j.procs.2016.07.337](https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.337)]
- 17 Ntuli N, Abu-Mahfouz A. A simple security architecture for smart water management system. Procedia Computer Science, 2016, 83: 1164–1169. [doi: [10.1016/j.procs.2016.04.239](https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.239)]
- 18 蔡阳. 智慧水利建设现状分析与发展思考. 水利信息化, 2018, (4): 1–6.