

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.16.020

# 常德城区泵站群智能管控系统构建研究

刘清华, 张世能

(常德市城区水利泵站管理处, 湖南 常德 415000)

**摘要:** 基于常德市城区水利泵站现有的管理与调度体制,以及实际需求高于现泵站群的防洪、防涝和城区排水能力的情况,通过对三维GIS、倾斜摄影建模、BIM建模、深度学习分析等新技术的结合应用,加强与“三防”、水文等部门的数据共享,建成集河湖信息立体全面感知、站闸自动监控、智慧调度决策支持等功能为一体的综合智慧管控系统,实现“管理精细、决策科学、调度智慧”的建设目标,将城区水利泵站初步打造成洞庭湖区率先基于全三维仿真的智慧水利样本。研究表明,通过泵站群的协同工作,智能管控系统构建具有安全、经济、智能化、一体化和自动化与降低生产成本等优点,还能提高防洪、防汛、水资源调度能力;城区泵站群在智慧水利系统的建设框架下有利于改善泵站群联动工作、提高工作效率和调洪能力,可为其他泵站水利工程建设管理提供参考。

**关键词:** 泵站群; 智慧调度; 智慧决策; 智能管控; 系统构建

**中图分类号:** TV675    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1000-4602(2022)16-0117-08

## Research on the Construction of Intelligent Control System of the Pumping Station Group in Changde

LIU Qing-hua, ZHANG Shi-neng

(Changde Water Conservancy Pumping Station Management Office, Changde 415000, China)

**Abstract:** Based on the existing management and dispatching system of the water conservancy pumping stations in urban Changde, and the actual demand is higher than the capacity of the existing pumping station group for flood control, waterlogging prevention and urban drainage, a comprehensive smart management and control system that integrates functions such as comprehensive perception of river and lake information, automatic monitoring of station gates, and smart dispatch and decision support is constructed, through the combined application of new technologies such as three-dimensional GIS, oblique photography modeling, BIM modeling, and artificial intelligence algorithm analysis, as well as enhanced data sharing with three defenses, hydrology and other departments. To achieve the construction goal of fine management, scientific decision-making, and smart dispatch, the urban water conservancy pumping station is initially built into the first smart water conservancy sample based on full three-dimensional simulation in the Dongting Lake area. The research shows that through the collaborative work of the pumping station group, the constructed intelligent management and control system has the advantages of safety, economy, intelligence, integration and automation, which can reduce production costs and improve the ability of flood control and water resources dispatch. The construction framework of the smart water conservancy system is beneficial to improve the linkage work, work efficiency and flood control capacity of the pump station group, and can provide reference for the construction and management of other pumping station water conservancy projects.

**Key words:** pumping station group; smart dispatch; smart decision-making; intelligent control; system construction

泵站是给排水工程的重要组成部分,是水资源唯一的人工动力来源,不仅有利于水资源的合理分配,而且在调水和防洪方面发挥着重要作用。泵站也是灌区灌溉水源和排水过程常用的基础设施之一,是现代水利工程的重要组成部分,对水利系统提高效率有着举足轻重的作用。

常德市水资源丰富,是全国第一批海绵城市建设试点城市,还是湖南省新型城镇化试点地区,排水防涝工作和污水治理工作显得尤为重要;常德市被列入近年来内涝灾害严重的城市名单<sup>[1]</sup>,因此城区水利设施的建设合理性、现代化关系着该市的人民生命财产安全。

利用智能传感器、物联网、云计算、大数据等,结合智能泵站的需求进行技术探讨,为泵站现代化建设提供参考<sup>[2]</sup>。对于泵站群,前人研究大多聚焦于将泵站和输水管渠纳为一个整体来探讨泵站群的调度优化问题,通常是将泵站实际运行参数(或泵站机组性能评价)与渠道(或管道)运行水力学特性参数结合起来<sup>[3-4]</sup>,采用一种或多种算法进行目标函数优化<sup>[5-11]</sup>,这种研究思路在一定程度上实现了部分智能化,但是面对现在复杂多变的水利、气象环境,要求泵站群协同调度、纵向规划配置水资源的问题时,常德城区老旧泵站不能有效合理解决该问题,不能做到实时、自动化、集成化和智能化。因此,根据水利部《智慧水利总体方案》的指导思想,开展了对常德市城区智能泵站技术、技术支撑和系统构建的研究和分析,可为持续提升城区泵站运行管理的集约化和智能化水平,以及泵站的未来管理、规划、水资源管理利用和协同调度提供理论基础,保障城区水利安全。

## 1 工程背景

常德最大的市情是水情,最大的忧患是水患。近年来,常德对城区水利泵站提出了更高的要求,但是目前的水利工程及管理调度手段无法满足防洪、排涝、水环境等多目标综合调度的要求。由于缺乏调度所需的实时水量和山川河流地理三维信息,无法动态掌握流域内的排水量、蓄水量、水流变化等重要信息,难以及时调整排涝、补水工程的调

度;在及时调度给排水工程的同时,调度方案的制定过于依赖专家的经验因素,较多的定性分析和较少的定量指标阻碍了调度方案的自动或交互生成;缺乏处理防洪、排涝、水环境等多目标优化调度的有效手段,且防洪、排涝与水环境之间相互协调的调度模型尚未建立。在国家政策和战略方针的指导下开展本工程智慧调度系统建设,有助于推进常德水利信息化全面渗透、深度融合,提高水治理体系和理论的现代化。系统建成后,能够实现城区水利泵站智慧联合调度,降低洪涝灾害影响;可为改变传统泵站、水闸运行管理体制、调度运用模式提供现代化的技术手段;通过泵闸群联合调度、智慧决策,在汛期可以减少洪涝灾害对生态环境的破坏;除此之外,还能增加防洪排涝调度的精度和预见性,提高应急处理能力和运行管理水平,减少洪涝灾害损失。

系统设计依据:《全国水利信息化发展“十三五”规划》(水规计[2016]205号);《水利信息化资源整合共享顶层设计》(水信息[2015]169号);《水利部关于印发加快推进智慧水利的指导思想和智慧水利总体方案的通知》(水信息[2019]220号);《水利部关于印发水利网信水平提升行动方案(2019—2021年)的通知》(水信息[2019]171号);《湖南省水利信息化“十三五”规划》(湖南省水利厅,2017年6月)及相关设计规范。

## 2 项目建设框架

### 2.1 泵站群智能管控系统总体设计

城区水利泵站智慧调度系统,立足于常德市城区泵站群,以城区河道、泵站、水闸为对象,系统全面地采集水利数字化信息要素,以打造现代化示范性智慧泵站调度系统为理念,以马家吉泵站为调度中心,各个泵站、闸所为次调度中心。通过该系统,在大量历史水文数据的支持下,能够预测水位变化的规律和趋势;结合河流的汇流历时和水位、水量、水流以及城区的降雨和河道情况之间的关系,通过系统内置的模型计算出可行的调度方案。对于可行的配水方案,调度中心将其直接转化为可行的指令以控制各渠道泵站的启闭,并在实际调度中反复

验证,逐步修正模型。

常德市城区泵站群工程汇总见表1。

表1 常德市城区泵站群工程

Tab.1 Pumping station group project in urban Changde

站点	地理位置	功 能
南昏泵站	沅水左岸	担负着428.52 km <sup>2</sup> 集雨面积雨水和市江北城区污水的外排任务,同时肩负着柳叶湖、穿紫河、新河水系旅游水位的调度与控制,外兼环保水质的调控任务,是常德市江北城区的主要外排出口
河洑补水 泵站	武陵区河洑闸外的沅水左岸河滩上	不仅能在枯水期向新河水系、穿紫河和护城河补水,还可以提升新河水系、穿紫河和护城河的自净能力,从而改善水系水质
花山闸站	武陵区、鼎城区和柳叶湖管理区三区交界处,新河出花山河口	作为新河水系综合整治项目的重要节点工程,对于推动新河整治步伐、改善区域防洪排涝条件尤为重要
新河口节制 闸	位于马家吉河干流,距马家吉河出沅江口13 km处	是一座具有防洪、蓄水、排水三项功能的综合性中型水闸
柳叶闸	柳叶湖与姻缘河交界处,至市区约2.5 km	主要建筑物从南至北依次为土坝、排水闸、土坝、船闸、土坝,能起到城区排水、船舶通航的作用
靳家湾 泵站	柳叶湖旅游度假区靳家湾村,距离马家吉河出口上游9.1 km处	将东城区(武陵区、柳叶湖区)13.7 km <sup>2</sup> 集雨区域内涝水外排至马家吉河,其排水范围西起常德大道,东至新河口闸,北抵柳叶湖,南到马家吉河
马家吉 泵站	城区东端,马家吉河出沅江处	作为湖南省洞庭湖重点区域排涝能力建设项目,主要负责常德城区发展和旅游水位精准控制以及城区排涝

## 2.2 智能管控系统任务框架

① 水雨工情信息采集系统。通过数据交换方式,接入江北城区水文监测系统已建的31个内河湖泊水位站点、31个视频监控站点、17个泵闸监测站点信息,实现江北城区现有水雨工情信息共享;补充建设2个流量在线监测站,实现涝区外排流量的实时监测,分别位于南昏泵站进水渠和马家吉泵站进水渠。

② 工程监控系统。为了更好地把握工程实时情况,建立一个工程监控系统,提高工程实施效率。计算机监控系统包括1个调度中心、7个监控分中心、10座泵站、水闸现地设备,实现水利泵站的集中控制、远程监控调度管理、信息管理与采集;实现监控对象的控制、信息采集。

③ 数据库。主要包括区域地形数据获取及处理、区域影像数据获取及处理、排区内外河道断面数据获取及处理、系统水利一张图数据获取及处理、综合数据库建设以及专用数据库建设。

④ 应用支撑平台。包括数据库平台软件、三维GIS基础平台软件、应用服务平台软件、数据共享服务平台软件等基础软件。

⑤ 应用支撑系统。主要包括智慧调度决策支持系统开发、河道三维建模、河道水流三维仿真系统开发以及智慧调度管理信息平台开发。

⑥ 网络系统。包括光纤专线租用、4G数据传输、网络设备等。

⑦ 安全系统。在调度中心设置安全系统设备及软件,包括防火墙、上网行为管理、日志审计系统、数据库审计、终端检测响应平台等。

## 3 系统建设步骤

依托《水利信息化发展“十三五”规划》政策,提出逐步实现“数字工程、智慧管控”目标。对泵闸群而言,核心是实现数字化、精细化管理要求,改变传统泵站、水闸管理过多依赖水利工作者经验的局面,即实现数字水利目标。

### 3.1 水雨工情信息采集系统

采集指标均为水位、流量,通过使用4G传输、5 m立杆及单垂线打桩法的安装方式和ADCP单垂线法测流的监测方法实现流量在线监测。因常德城区河道枯水期流速低、水位低,汛期流速高、水位高,河道断面不规则、种类多、杂物多,故采用声学多普勒垂线测量法(工作方式为双频率式),将仪器安装在水面或者河底,从而一次性测量出水面至河底的多点流速,并且通过测量该条垂线的多点流线流速能获得垂线平均流速,从而获得断面流速。其中,在水面宽>40 m时,采用双垂线安装,安装位置在距离河道左右岸1/4处;水面宽<40 m时,安装位置在河道中泓线附近。



### 3.2 数据库

系统数据库主要由综合数据库和专用数据库构成。

综合数据库是专用数据库的信息支撑模块。综合数据库包括实时的水位流量信息,雨情信息,水闸、泵站等的实时工情信息等,其主要功能模块之间的逻辑关系如图1所示。

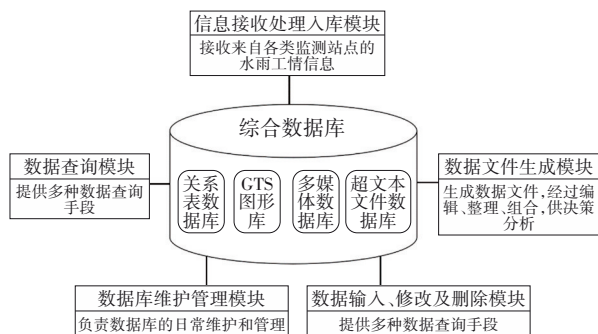


图1 各模块关系逻辑

Fig.1 Logic diagram of the relationship among each module

本次设计针对不同信息采用不同的方式对数据进行处理。对历史库每年更新一次,其间对数据的完整性和一致性进行检验,将变化的新数据替换入库。对于实时水雨工情信息,则在每次启动运行系统时,与数据库连接将最新信息添加入库,设计运行系统每个月对实时库内数据做一次彻底的检验,确保库内数据的可靠性和一致性。综合数据库接口设计,采用ODBC技术,采用支持ODBC的应用程序开发工具(VB、VC等)开发数据库接口,实现数据库各类数据的动态和实时更新。

专用数据库的动态和实时更新主要包含调度运行系统专用的实时、历史和预测的雨情、水情、工情信息,地理空间数据和属性数据,各类社会经济数据,模型的运行参数、运行结果等数据;也包括调度运行系统运行过程中所需查询的各种文档资料。

### 3.3 系统数据流分析设计

系统输入数据主要有:实时降雨、水位、流量等实时水雨情数据,降雨水位流量的历史系列数据、典型年和多年平均等历史水雨情,工程设计资料和规划调度原则等基础工情,工程运行实况等实时工情,流域工程分布的空间信息等其他水文气象信息,由外江来水预报系统提供的各闸口的水位和外江水位预报成果等。通过系统数据流分析设计获

得调度决策,系统产生如下成果:各闸外江的水位和水位过程线,通过方案计算产生的泵站闸门等主要调水工程的流量过程,河道站及各主要控制断面的水位、流量过程,各主要水闸出水流量过程,各主要河段的实测与计算的水面线,各闸开启和关闭的时间等。所有需要保存的分析计算及调度决策结果信息均可存入专用数据库。

### 3.4 应用系统支撑平台

本研究的调度中心项目数据库包含了实时数据、统计数据、特性数据、结构数据、地理数据、应用数据、模型数据等,这些信息有动态、静态相结合的形式,有高频度、低频度的特点,涵盖了水雨情、水量、机组、闸门等类型。

#### 3.4.1 数据平台软件

采用全面支持主流GIS的空间和属性数据的存储管理的Oracle数据库系统,使种类复杂、存储数据量大、复杂数据扩展和多任务支持以及三维模型数据具有空间和属性数据的存储管理功能。

#### 3.4.2 三维GIS基础平台

① 该平台架构从上到下可以分为应用层、门户层和服务层三个层级,其中门户层和服务层通常部署于云中。服务层有大量服务器以及数据和服务资源,并通过Portal门户进行统一管理,用来实现GIS的分析、计算和可视化等各种功能。应用层是各种类型的用户使用地理信息系统平台的入口,用于访问云中的资源和服务,以及使用本地的资源完成各种业务功能。

② 地理信息系统三维场景软件基于Opengl库,以及在动态链接库Tao. Platform. Windows中定义的Simple Opengl Control类。在Form的派生类中添加一个内部的Simple Opengl Control类,使其所有属性和方法可以被调用<sup>[12]</sup>。模型类分为两部分:模型绘制和模型展示。模型绘制需要调用Opengl库的函数,并且渲染模型;模型展示则需要利用Form类和Simple Opengl Control类来实现。具体过程如下:a. Simple Opengl Control类对象加载Load事件和Size Changed事件;b. 在初始化函数中加载Form Load事件;c. Simple Opengl Control类对象加载Paint事件,实现重绘;d. 利用设置的Timer事件来实现定期更新重绘模型。模型支持TIN数据显示,显示场景时,地理信息系统三维场景软件会将所有数据加载到场景中,矢量数据以矢量形式显示。

### 3.5 3D GIS技术

本研究利用3D GIS平台管理倾斜摄影测量三维场景数据,同时管理二维数据和站闸BIM数据,搭建完善的江北城区河道及节点建筑物真三维场景。为给泵闸群智慧调度各应用系统提供统一的本底数据,将监测信息、视频图像信息与二维数据、三维BIM模型关联,实现实时在线监测、监视,同时利用3D GIS空间分析特性为河道在线水流仿真模型及其他水业务提供决策支持<sup>[13]</sup>。

### 3.6 智能视频分析(IVS)

本研究使用IVS技术将不用的摄像机连接到不同的视频设备(DVR、DVS及流媒体服务器),通过目标检测神经网络算法去除背景干扰(如树叶抖动、水面波浪、灯光变化),将场景中背景和目標分离,识别出真正的目标,实现实时“发现敌情”并“看到”视野中的监视目标,并且通过自身的图像识别神经网络算法判断出这些被监视目标的行为是否构成安全威胁<sup>[14]</sup>,对已经出现或将要出现的威胁,及时通过声音、视频等向综合监控平台或后台管理人员发出报警,通过实时分析,将报警信息传导给综合监控平台及客户端。

### 3.7 三维建模

建立穿紫河、马家吉河、柳叶湖、新河、花山河、渐河等河道三维可视化模型,该模型能够显示出河道节点建筑物,如泵站、水闸、桥梁、水雨情监测点。

#### 3.7.1 河道三维模型

河道三维模型的建立分两个部分:河道三维地面模型和河道水下三维模型。本研究河道三维地面模型采用倾斜摄影测量,测区面积为65.2 km<sup>2</sup>;河道水下三维模型采用单波束水下地形测量,测区面积为40 km<sup>2</sup>。

① 河道地面倾斜摄影测量和河道地下水测量采用统一的坐标高程系统。

② 无人机倾斜摄影测量,航摄分辨率优于5 cm,航向和旁向重叠率分别大于60%和70%,采用专业的软件进行空中三角测量和三维建模,模型应能清晰、完整地表达河道周边的环境状况。

③ 河道水下的地形采用基于GPS-RTK减去水深的地形测量方法,通过无人船进行多波束水下地形测量。

④ 将所采集的数据统一转换为DEM格式,河道沿岸倾斜测量生成的DEM数据剔除河道水面的

DEM数据,与水下地形测量生成的DEM数据拼接,获得完整的河道数据,再利用该数据生成河道三维模型。

⑤ 基于BIM技术对河道节点建筑物(如泵站、水闸)进行3D建模,该流程为:绘制各河道节点建筑物的等高线,利用TIN绘制出对应的数据模型,根据建筑物的空间信息(体积、内部空间大小、嵌入体大小等),通过TIN获得动态填挖后的模型;然后将使用通过CAD进行实体建模、其他软件建模和参数化建模获得的工程建筑物模型与TIN获得动态填挖后的模型导入Navisworks中进行渲染,得到工程场景图<sup>[15]</sup>。

其中对于几何形态规则的物体(开挖/填筑曲面、大坝等地形),采用描述形体特征的面(三维面或面域)表示法和实体几何表示法,定义模型几何特征信息,如结构形体特征、位置约束、几何尺寸、精度等,然后搜索已有的几何数据库,将模型的几何特征与预定义的特征相比较,从而确定所需特征的具体类型及相关信息,最后将确定的特征参数按照其位置约束进行组合,通过几何布尔运算(差集、并集、交集等)和基本变形操作(如切割、平移、旋转等)完成物体的可视化实体建模<sup>[16]</sup>。

对于几何形体不规则的物体(如施工场地的地形),采用曲面建模。将曲面分解成许多四边形网格或三角网格,采用平面逼近曲面的方法构建实体模型。

⑤ 仿真系统中的水工建模场景是利用BIM建模软件及各种建模技术综合生成的。建立相关场景的过程包括原始数据的采集处理、数字地形及各种建筑物建模,最后导入BIM建模软件中渲染等一系列活动。

#### 3.7.2 水流三维仿真模型

在河道三维地理信息与属性数据建立的河道三维可视化模型的基础上,进一步集成河道在线水流仿真模型,通过对河道内水位、流量进行动态仿真模拟预测,总结河道水力变化规律,为泵闸群调度决策提供科学依据,并且具备三维空间分析支持垂直距离测量、水平距离测量、水平面积测量、剖面分析、点透视分析、矢量线图层控制、模型层图层控制等功能<sup>[17]</sup>。

### 3.8 智慧调度管理信息平台

智慧调度管理信息平台以河道三维可视化模

型为载体,将各种零碎、分散、割裂的信息数据以及设施运维所需的各种属性参数进行一体化整合,集成3D GIS、BIM、自动控制、智能视频分析、数据库、Web服务、移动APP应用等多种技术。智慧调度管理信息平台由物联数据采集子系统、河道一张图子系统、泵闸调度子系统、数据分析子系统等组成,如图2所示。

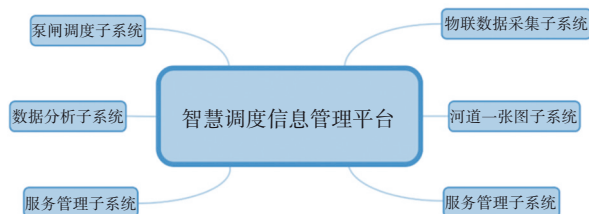


图2 智慧调度管理信息平台

Fig.2 Intelligent dispatch management information platform

#### ① 物联数据采集子系统

物联数据采集系统与前端感知体系直接对接,接入本工程的泵闸现有的自动化控制系统中的生产运行数据,实时接收水工建筑工情及水位、流速、水质、雨量等传感器上传的海量数据,通过数据采集平台以及数据传输网络从PLC中自动、实时将生产运行数据传输到平台中。

#### ② 河道一张图子系统

在江北城区水系三维模型图基础上,建立一张融合各类涉水要素信息(水域现状、水文信息、泵闸工程信息、水情、雨情、工情、灾情等)及泵闸安防信息等的统一坐标、统一标准,通过数据挖掘与大数据分析,建设场景式业务专题服务,直观地对业务数据成果进行情景化、层次化、综合化展示统一底图的泵闸实时监测预警一张图。

#### ③ 泵闸调度子系统

一水情一预案,事先根据水情临界情况以及控制目标,利用“水流三维仿真”进行调度方案预演,根据预演结果建立调度预案。根据预设调度情况,输入模拟参数或根据实时运行参数调度决策运算模型进行河道水力计算,调度决策运算模型根据预设情况、模拟运行条件、河道及泵闸连通模型等进行模拟计算,输出泵闸启闭方案及水流演进模拟。系统可以根据调度方案的演进结果进行微调,对合适结果形成调度方案或调度预案进行管理。同时

系统可设置各项监控指标的临界条件值,一旦接近或触发临界条件,系统将通过多种渠道发出预警指令到达工作人员处,系统还将应用人工智能学习方法,通过大量数据学习自动进行预测预警。

#### ④ 数据分析子系统

数据分析子系统的建设依赖于建立在数据共享服务平台基础上的数据中心,该系统结构如图3所示。

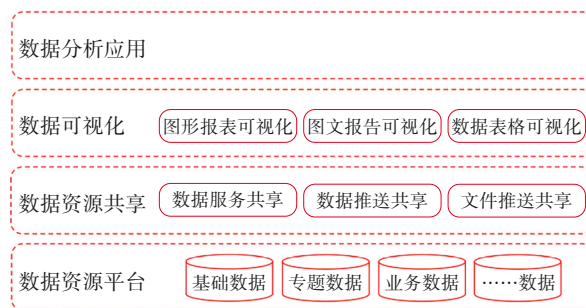


图3 数据分析子系统结构

Fig.3 Data analysis subsystem structure

多维分析通过OLEDB、ADO等数据访问接口读取数据仓库中的数据,OLAP负责实现多维数据分析,数据集市负责提取数据仓库中的隐含知识和对OLAP结果做深层次的分析处理。多维分析支持数据的多维概念视图,支持多个维度层次,能通过切片、切块、旋转、上钻、下钻等技术,提供丰富的统计和分析功能。

### 4 智慧平台应用实例

2021年6月30日—7月2日,常德市江北城区288 km<sup>2</sup>共下雨118.52 mm,其中6月30日降雨18.02 mm、7月1日降雨47 mm、7月2日降雨53.5 mm,在此期间沅江水位由32.3 m涨至37.3 m(吴淞高程,下同),柳叶湖水位由32.37 m涨至32.65 m,穿紫河水位在32.3~32.5 m之间变化,马家吉河水位在32.3~32.6 m之间变化。

调度方案由智慧调度平台基于大数据预测所得,该平台通过建立产汇流模型、河网水力模型和调度决策支持模型,在实时监测数据和历史资料相结合的基础上搭建平台进行模拟运行和决策分析,最终实现决策支持功能和智能调度功能。其调度过程如图4所示。

智慧调度平台决策是根据水力学模型来进行决策的,决策信息均通过网络下发,决策过程见图5。



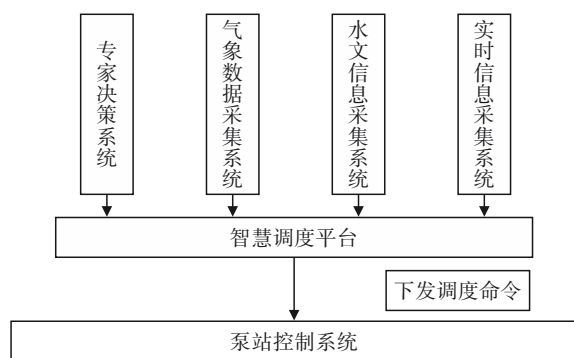


图4 智慧平台调度过程

Fig.4 Scheduling process of the smart platform

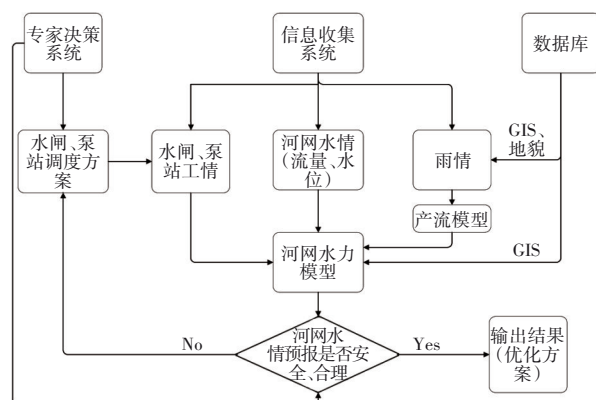


图5 智慧平台决策过程

Fig.5 Decision-making process of the smart platform

城区各河流通过智慧调度平台下发的调度方案为:①当穿紫河水位超过 32.50 m,且南昏自排闸关闭,并预报有降雨过程时,南昏泵站开机。②当柳叶湖水位超过 32.50 m时,开启新河田闸、柳叶闸向马家吉河、穿紫河排水,适时调度新河田节制闸。③当柳叶湖水位超过 32.50 m时,开启新河田闸、柳叶闸向马家吉河、穿紫河排水,适时调度新河田节制闸。④当马家吉河水位达到 33.00 m时,关闭新河口节制闸,马家吉泵站开机。⑤当城区遭遇特大暴雨袭击,在调度过程中柳叶湖、马家吉河全线危急时,开启新河口节制闸,通过拦马口闸、伍家拐闸、牛鼻滩和苏家吉电排参与抢排城区洪水。按照柳叶湖、穿紫河、新河旅游要求,原则上柳叶湖水位按 32.80 m控制,穿紫河按 32.40 m控制,新河按 32.50 m控制,并适时通过河湫泵站补水。

未建成智慧调度平台时,只能通过水文 APP 查看各河流、湖泊的水位数据,然后根据经验做出决策,负责泵站管运行调度的人员以电话形式通知各站所长。相比较而言,智慧调度平台具备结果精准

预测、数据及时传输的优点。

## 5 结语

依据常德市城区泵站群的工程建设布置、系统结构、信息技术应用现状,并结合现有生产需求,建设了水利泵站群智能管控系统。该泵站群在智慧水利系统的建设框架下,有利于改善泵站群联动工作,提高工作效率和调洪能力,推动城区水利信息化全面渗透、深度融合及“数字水利”向“智慧水利”的转变,并将城区水利泵站初步打造成洞庭湖区率先基于全三维仿真的智慧水利样本。常德市泵站群智能化系统建设模式可为其他城区泵站建设、布局、管理提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 刘鹏. 常德市城区排水管理研究[D]. 长沙:湖南大学, 2019.  
LIU Peng. The Research on Drainage Management in Urban Area of Changde City [D]. Changsha: Hunan University, 2019(in Chinese).
- [2] 房灵常,唐炜,陈金水. 智能泵站关键技术研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(12): 73-76.  
FANG Lingchang, TANG Wei, CHEN Jinshui. Research on key technologies of intelligent pumping station [J]. China Rural Water and Hydropower, 2020 (12): 73-76(in Chinese).
- [3] 钱智. 在自治区农业高效节水建设现场会上的讲话[J]. 新疆水利, 2012(3): 1-5.  
QIAN Zhi. Speech at the on-site meeting of agricultural efficient and water-saving construction in the autonomous region [J]. Xinjiang Water Resources, 2012 (3): 1-5(in Chinese).
- [4] 孙娟. 河水滴灌重力沉沙过滤池的设计与应用推广[J]. 节水灌溉, 2014(1): 60-64.  
SUN Juan. Design of gravity desilting filter tank for drip irrigation with river water and its extension [J]. Water Saving Irrigation, 2014(1): 60-64(in Chinese).
- [5] 王彤,李春桐,刘文睿. 基于遗传算法的地表水取水泵站优化调度[J]. 水电能源科学, 2020, 38(6): 89-91, 107.  
WANG Tong, LI Chuntong, LIU Wenrui. Optimal scheduling of surface water pumping station based on genetic algorithm [J]. Water Resources and Power, 2020, 38(6): 89-91, 107(in Chinese).
- [6] 赵平伟,王海明,张薇薇. 基于改进遗传算法的水泵

- 组合运行优化研究[J]. 电气自动化, 2020, 42(6): 92-94.
- ZHAO Pingwei, WANG Haiming, ZHANG Weiwei. Research on operation optimization of pump combination based on improved genetic algorithm [J]. Electrical Automation, 2020, 42(6): 92-94(in Chinese).
- [7] 郭永灵, 张海晨, 朱兴林. 基于动态规划法的单级泵站日经济运行优化模型[J]. 中国农村水利水电, 2020(1): 192-196.
- GUO Yongling, ZHANG Haichen, ZHU Xinglin. Daily economic operation optimization model of single-stage pumping station based on the dynamic programming method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(1): 192-196(in Chinese).
- [8] 肖若富, 龚诗雯, 周玉国, 等. 泵站站内机组运行组合的优化研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(12): 164-166, 171.
- XIAO Ruofu, GONG Shiwen, ZHOU Yuguo, *et al.* Research on the optimization of unit operation cooperation in pumping stations[J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(12): 164-166, 171 (in Chinese).
- [9] 陶东, 李娜, 肖若富, 等. 多级提水泵站优化调度研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(5): 123-127.
- TAO Dong, LI Na, XIAO Ruofu, *et al.* Study on optimal operation of multistage pumping station [J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(5): 123-127 (in Chinese).
- [10] 吴远为, 梁兴, 刘志勇, 等. 基于改进粒子群算法的排涝泵站优化调度分析[J]. 中国农村水利水电, 2020(1): 185-187.
- WU Yuanwei, LIANG Xing, LIU Zhiyong, *et al.* Optimal dispatching of pumping station based on improved particle swarm algorithm [J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(1): 185-187 (in Chinese).
- [11] 孔波, 付少杰, 黄强. 大型复杂跨流域调水工程电站-水库-泵站群多目标优化调度[J]. 水资源保护, 2020, 36(6): 67-72.
- KONG Bo, FU Shaojie, HUANG Qiang. Multi-objective optimal operation of hydropower plant-reservoir-pumping station group in large complex inter-basin water transfer projects [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(6): 67-72(in Chinese).
- [12] 左小清. 面向交通网络的三维GIS数据模型与可视化[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- ZUO Xiaoqing. 3D GIS Data Model and Visualization in Transportation Network [D]. Wuhan: Wuhan University, 2004(in Chinese).
- [13] 李小敏. WebGIS三维实景地图在城市规划管理中的应用研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- LI Xiaomin. Application Research of WebGIS 3D Real-scene Map in Urban Planning and Management [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2019(in Chinese).
- [14] 张凡忠. 智能视频分析技术在视频监控中的应用[J]. 中国安防, 2013(12): 56-61.
- ZHANG Fanzhong. Application of intelligent video analysis technology in video surveillance [J]. China Security & Protection, 2013(12): 56-61(in Chinese).
- [15] 徐建刚, 祁毅, 张翔, 等. 智慧城市规划方法[M]. 南京: 东南大学出版社, 2016.
- XU Jiangang, QI Yi, ZHANG Xiang, *et al.* Smart City Planning Method [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2016(in Chinese).
- [16] 苗倩. 基于BIM技术的水利水电工程施工可视化仿真研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- MIAO Qian. Study on Visualization Simulation of Hydraulic Engineering Construction Based on BIM [D]. Tianjin: Tianjin University, 2011(in Chinese).
- [17] 李云, 范子武, 吴时强, 等. 大型行蓄洪区洪水演进数值模拟与三维可视化技术[J]. 水利学报, 2005(10): 1158-1164.
- LI Yun, FAN Ziwu, WU Shiqiang, *et al.* Numerical simulation and 3-D visualization of flood propagation in large-scale detention basins [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005(10): 1158-1164(in Chinese).
- 
- 作者简介:** 刘清华(1965- ), 男, 湖南澧县人, 本科, 高级工程师, 主要从事水利工程建设与管理  
工作。
- E-mail:** changdeliuqinghua@163.com
- 收稿日期:** 2021-06-04
- 修回日期:** 2022-06-29

(编辑: 衣春敏)