

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.04.021

竹皮河流域智慧水务综合管控平台系统设计及应用

李 振¹, 李清泉¹, 白 春¹, 车 涛², 刘 萌³

(1. 中国葛洲坝集团水务运营有限公司, 湖北 武汉 430000; 2. 荆门市政府投资工程建设管理中心, 湖北 荆门 448000; 3. 北京金控数据技术股份有限公司, 北京 100071)

摘 要: 依托荆门市竹皮河流域水环境综合治理工程智慧水务项目, 首先介绍了平台系统架构设计情况及工作重难点, 给出总体技术架构和网络拓扑结构。然后分析软件系统创新性、功能需求及模块设定内容。构建了水质扩散、水环境容量、洪水预测、雨污水管网等模型, 通过模型分析及及时准确地实施污染预警和应急调度, 为项目运营提供智慧化的决策支持。开发 Web 端+移动 APP+微信公众号的多端联合应用平台, 以信息化推进流域水环境治理现代化, 全面提升竹皮河流域治理工作信息化水平。该平台软件系统设计及应用过程中的实践经验, 可以为智慧水务建设模式探索和复制、推广提供参考。

关键词: 智慧水务; 云平台; 软件系统; 流域水环境; 水环境模型

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)04-0118-09

Design and Application of Smart Water Integrated Management and Control Platform in Zhupi River Basin

LI Zhen¹, LI Qing-quan¹, BAI Chun¹, CHE Tao², LIU Meng³

(1. China Gezhouba Group Water Operation Co. Ltd., Wuhan 430000, China; 2. Jingmen Municipal Government Investment Project Construction Management Center, Jingmen 448000, China; 3. Beijing Kingtrol Data Technology Co. Ltd., Beijing 100071, China)

Abstract: Based on the smart water project of Zhupi River basin water environment comprehensive management in Jingmen City, the design of platform system architecture and work difficult points are introduced, and diagrams of overall technical framework and network topology have been drawn. Then the software system innovation, functional requirements and module design content are analyzed. Models of water diffusion, water environment capacity, flood prediction and stormwater sewer network are also constructed for pollution warning and emergency dispatch timely and accurately, which provide intelligent decision support for project operation. The multi-terminal joint application platform of Web terminal, mobile APP, and WeChat official account is developed to promote the modernization of watershed water environment management and to comprehensively improve the informatization level of Zhupi River basin management. The practical experience in the design and application of the platform software system can provide reference for the exploration, replication and promotion of smart water construction model.

基金项目: 中国葛洲坝集团水务运营有限公司科技项目(GZBSW-2020-01)

Key words: smart water; cloud platform; software system; watershed water environment; water environment model

2016年荆门市对竹皮河流域启动以“水清、水美、水活、水生态”为总体目标的整治工程,提出涵盖控源截污、驳岸整治、生态修复、景观提升和智慧水务“五位一体”的流域综合治理理念^[1-2],成为湖北省在国家财政部PPP示范项目中第一个成功落地的项目^[3]。

智慧水务能够显著增强荆门排水系统的应急反应能力并有效降低城市内涝风险,依托新技术实现水资源水环境演变规律分析、问题诊断、未来形势预判,为水环境预警及时准确和多水源的智能优化、低耗调度提供智慧化服务。

1 管控平台系统架构设计

1.1 平台搭建重难点分析

竹皮河流域智慧水务综合管控平台软件系统开发重点在于实时数据与填报数据的采集和融合,将“源-网-厂-河”一体化监测采集数据与填报数据

进行展示、计算及分析,实现对竹皮河水环境各要素的全程动态监管和实时解读,为运营者提供智慧化的决策支持。其开发难点主要在于“源-网-厂-河”一体化监测需根据不同设备类型及品牌进行具体分析,利用不同的采集路径统一汇总到平台的数据层,同时为业务数据作支撑。

1.2 总体技术架构

总结长江大保护试点城市智慧水务系统平台总体框架的构建经验^[4],借鉴成熟的河道流域智慧水务建设方案^[5],荆门市竹皮河流域智慧水务综合管控平台总体架构设计包括基础层、数据层、支撑层、应用层、展示层等5个层次(见图1)。通过搭建“天、空、地、人”立体化全天候监测监控体系,增强河长制监管模式的针对性、准确性和时效性,实现工作地域人员、职责、业务管理和信息监控的全覆盖^[6]。

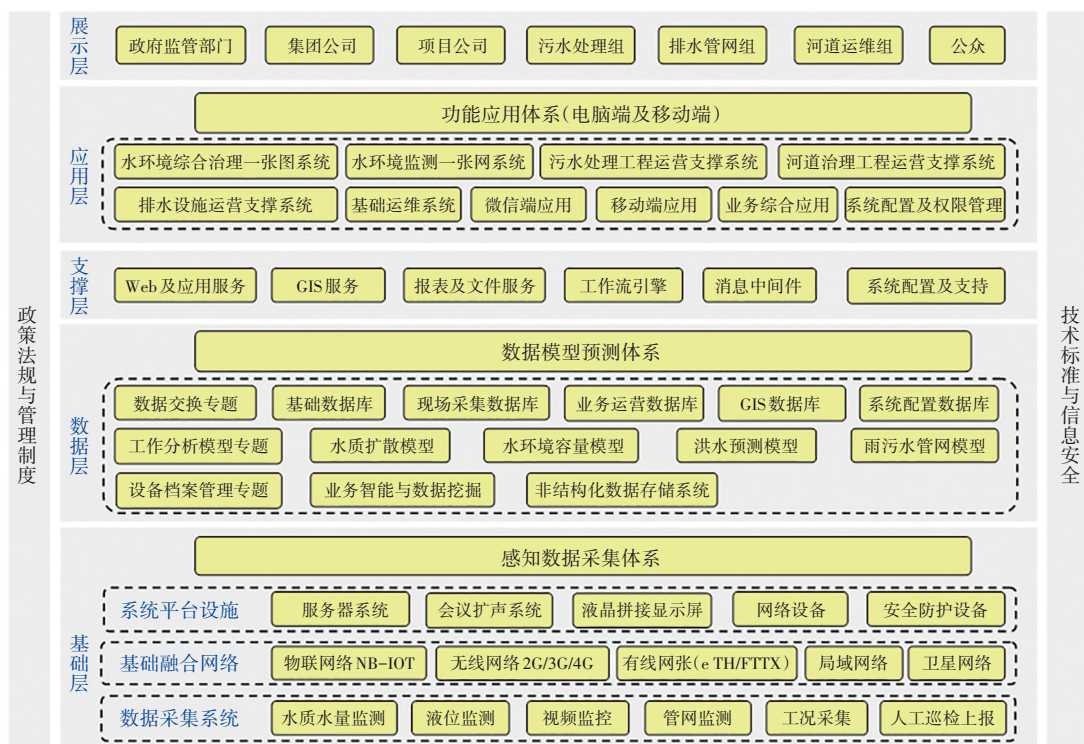


图1 智慧水务平台总体技术架构

Fig.1 Overall technical framework of smart water platform

① 基础层

基础层主要实现数据的监测采集与传输,智慧

水务系统即建立在信息基础之上。信息获取手段、措施以及相应采集点组成监测采集系统,采集内容

涉及多种场景和不同对象,包括河道水质(水位)、管网液位(水质)、生产单元工况信息、视频监控等信息;基础融合网络是信息共享和数据传输的基础,包括窄带物联网、无线网络、公网宽带、专用光纤等传输方式。

② 数据层

数据层通过构建所有与运维相关的数据模型和结构,搭建“数据资源中心”或“大数据平台”,使应用层能够快速从海量的各类型数据中获取所需信息,进而形成各种业务应用。建立数据结构时须遵循有关标准,以确保为上级(或下级)系统预留数据交换接口的适配性。

③ 支撑层

支撑层以数据层为基础,通过建立各类基础支撑平台使业务应用层面向用户提供的各种功能服务得以实现。

④ 应用层

应用层建立在支撑层的基础上,充分利用数据层的数据和先进的IT技术,搭建竹皮河流域水环境综合治理智慧水务平台,提供可视化的界面,便于服务用户的业务应用。

⑤ 展示层

展示层以浏览器或移动软件为载体,直接向政府监管部门、水务运营公司、三大业务板块(污水厂、排水管网、河道)及公众提供相关功能或信息服务。

1.3 网络拓扑结构

网络拓扑即网络形状,旨在阐明网络在物理上的连通性,其作用是通过不同类型的结构实现网络中计算机等设备的相互连接。网络拓扑结构指利用传输媒体互连各类设备的物理布局,网络拓扑结构图可直观地展示出网络服务器、工作站网络配置以及相互间的连接,主要由前端感知、远程传输和数据接收处理三部分构成。

2 系统功能模块设计

2.1 软件系统创新性

该项目创新点主要在于三大业务板块虽然具有不同的运营管理模式,却有共同的数据一览需求;根据各业务板块不同的运营模式,分别为三大板块提供有针对性的运营管理功能模块,最后在综合首页进行重点要素的汇总展示,既满足各业务板

块不同的业务需求,又实现对竹皮河水环境各要素的全程动态监管及实时分析,为厂站远期无人值守提供可能。此外,通过景观节点二维码、设备二维码、微信公众号的普及与宣传,分享竹皮河水环境流域的治理成果,有助于提升水环境治理的公众参与度及居民幸福感。

2.2 系统功能需求

智慧水务平台服务于整个竹皮河流域水环境综合治理项目,持续为企业高质量健康发展赋能。首先邀请知名企业进行技术交流,了解智慧水务行业的发展现状及前景;其次前往成熟项目基地开展调研与学习,掌握和借鉴特色系统功能模块制作;然后组织现场踏勘,由设计院结合竹皮河流域实况与主流设计经典案例,做好智慧水务项目顶层设计;最后在公司总部专家指导下,项目公司所属各业务板块针对运维痛点提出各自所需并对设计方案予以完善。

各业务板块对智慧水务软件系统功能的主要需求如下:

① 污水厂系统功能需求

旨在实时监控进厂污水情况,明确进水责任划分;实时监控污水处理过程,把控出水水质和效率;实时监控出厂污水情况,验证水质达标;建立运营管理系统,提升管理和经济效益。

② 排水管网系统功能需求

旨在整理排水管网数据库,夯实运营基础;建立管网监测系统,掌握管网运行状况;利用数据制定养护计划,提高运营效率;建立内涝应急系统,实现高效抢险指挥。

③ 河道系统功能需求

旨在建立监控调度中心,强化管理;实时监测水环境数据,掌握运营状况;利用监测数据,提供高效运营手段;建立泵、闸站远程监控系统,提高运行维护效率;实时调控水利设施,保证河道多方面要求。

2.3 系统功能模块设定

竹皮河流域智慧水务综合管控平台软件系统功能模块设计遵循顶层设计为导向、功能需求为主线、政府要求为基准的原则,通过深入开展软件系统需求调研、与政府监管部门和集团公司反复磋商、持续进行设计优化而最终成型。软件系统功能模块及内容见图2。

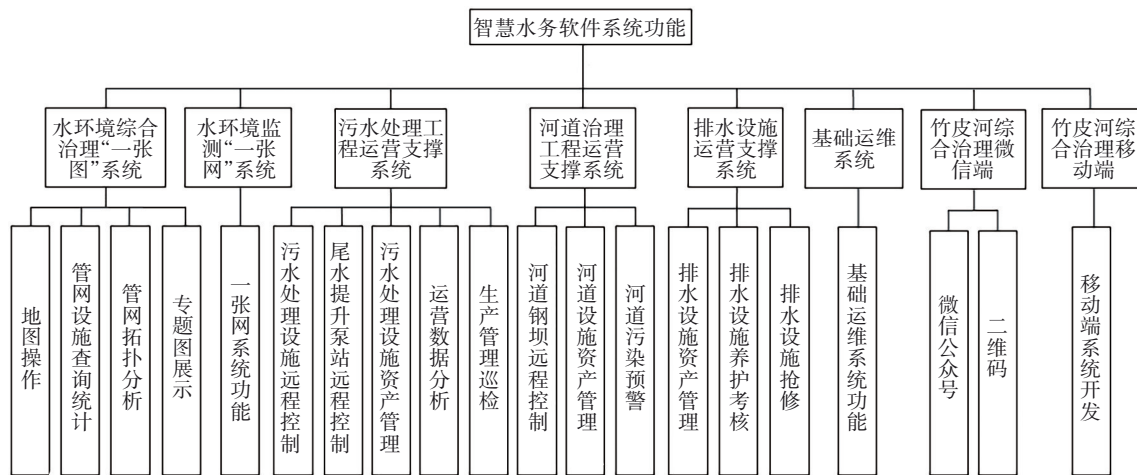


图2 智慧水务软件系统功能模块

Fig.2 Function module of smart water software system

① 地图操作:包括基础操作、地图量算、坐标定位、鹰眼视图等功能。

② 管网设施查询统计:包括设施查询和设施统计等功能。

③ 管网拓扑分析:包括上下游分析、管道纵横图、雨污水管网模型等功能。

④ 专题图展示:主要指GIS专题图的展示。

⑤ 一张网系统功能:包括气象数据接入、河道断面检测数据接入、污水处理厂自动控制数据接入、水质监测数据接入、井下水位数据接入、内涝点水位数据接入、监测设备管理等功能。

⑥ 污水处理设施远程控制:包括设施展示、工况数据接入、视频数据接入、监测数据预警管理、远程监视设施启闭情况查询等功能。

⑦ 尾水提升泵站远程控制:包括工程信息管理、工程水质监测数据展示、工程工况数据展示、工程视频数据展示、监测数据预警管理、远程监视设施启闭情况查询等功能。

⑧ 污水处理设施资产管理:包括设施资产地图展示、人员管理、设备管理、巡检计划制定、巡检计划审批、巡检任务管理、巡检问题上报、维修任务派发、维修绩效考核评估、统计报表、备品备件管理等功能。

⑨ 运营数据分析:包括运营项目列表、运营项目分类查询、运营项目基本信息查看、运营项目统计报表等功能。

⑩ 生产管理巡检:包括污水处理工程地图展示、巡检人员管理、设备管理、物资管理、巡检计划

制定、巡检计划审批、巡检任务派发、巡检任务考核评估、巡检统计分析、巡检问题上报(移动端)、巡检出勤打卡(移动端)、我的任务(移动端)、我的上报(移动端)、巡检绩效考核等功能。

⑪ 河道钢坝远程控制:包括钢坝地图展示、钢坝工况数据接入、闸前与闸后水位数据接入、监测数据预警管理、远程启闭闸门、河道巡检等功能。

⑫ 河道设施资产管理:包括河道设施地图展示、河道设施列表、河道设施查询统计、拓扑分析、设施动态更新等功能。

⑬ 河道污染预警:包括水环境容量计算、河道水质分析、水质扩散预测、洪水预测、应急预案管理、应急预案启动、应急人员物资调度、应急成果管理等功能。

⑭ 排水设施资产管理:包括地图基本操作、设施查询、设施统计、上下游分析、横断面分析、纵剖面分析、连通性分析、雨污混接排查、设施管理、管井管线维护等功能。

⑮ 排水设施养护考核:包括养护单元认定管理、年养护计划管理、月养护计划管理、养护任务单管理、养护记录管理、质量自评管理、巡查养护数据统计分析、排水管网维护与抢修计费报表、排水管网维护质量年度自评定考核表、运维工作记录等功能。

⑯ 排水设施抢修:包括防涝指挥工作联络图、应急预案库管理、防涝专家资料库管理、应急预案管理、应急资源管理、应急预案管理、应急调度及决策支持、移动险情上报、应急事件记录、成果管理等功能。

⑰ 基础运维系统功能:包括组织机构管理、角色管理、用户管理、权限管理、系统日志、短信报警等功能。

⑱ 微信公众号:包括新闻推送、公众号内容推广、公众监督、权限配置等功能。

⑲ 二维码:主要对重点设备、植物、节点增加二维码说明。

⑳ 移动端系统开发:包括实时运行监管、移动巡检、移动业务应用、统计分析、工作流、待办提醒、运维工作记录、河道巡检等功能。

3 水环境模型构建及应用

竹皮河流域智慧水务综合管控平台以“源-网-厂-河”一体化监测为基础,通过采集污水厂水质及水量实时数据、排水管网管井液位及积水点水位监测数据、河道水质流量及钢坝闸数据,再结合人工填报数据汇总至监控调度中心进行监测、计算、分析,实现对竹皮河流域水环境各要素的全程动态监管。结合三大业务板块需求及业务架构关联性、已积累的水质水文及气象数据、其他相关资料等着手构建水环境模型,分析水质扩散、水环境容量、洪水预测、雨污水管网等模型参数之间的联系并进行集中耦合,以探究竹皮河流域水体的水质变化机理,掌握水环境系统内部影响因子的变化规律并进行定性或定量描述,逐步实现对水环境未来状况的分析和预测,最终为运维人员提供高效、准确、超前的智慧化决策。其中,水质扩散模型和水环境容量模型的构建基于实时监测数据,并可进行调参、修正与完善;洪水预测模型和雨污水管网模型主要基于既有的历史数据,以平面二维形式进行简单定性展示。

3.1 水质扩散模型

水质扩散模型可以模拟污染物质排入河流后,水体水质在物理及生物化学等过程中的变化。按照水质标准设定、污染预测参数输入、污染物混合浓度计算、水质扩散预测的步骤,计算某一污染源在影响区域内的浓度分布。对于污染物均匀混合的中、小型河段,污染物浓度及相应水域纳污能力的计算公式如下:

$$C_x = C_0 \exp(-K \frac{x}{u}) \quad (1)$$

$$M = (C_s - C_x)(Q + Q_p) \quad (2)$$

式中: C_x 为流经 x 距离后的污染物浓度, mg/L; C_0 为上游来水污染物背景浓度, mg/L; K 为污染物综

合衰减系数, s^{-1} ; x 为沿河段的纵向距离, m; u 为设计流量下河道断面的平均流速, m/s; M 为水域纳污能力, g/s; C_s 为水质目标浓度, mg/L, 依据PPP项目合同约定为地表水Ⅳ类标准; Q 为初始断面的入河流量, m^3/s ; Q_p 为污水排放流量, m^3/s 。

水质扩散模型建立后,依据2014年竹皮河干流水质监测数据及荆门市水资源公报对模拟参数进行率定。2016年起实施竹皮河流域水环境综合治理工程,2020年竹皮河正式进入运维阶段后,极大地恢复了流域生态系统,形成浅层富氧河流。鉴于河道水体存在自净能力,进一步采用2020年—2021年水质月度监测数据对相关系数进行校核和修正。模型模拟结果与实测数据较吻合,相对误差满足相关要求,适用于后续工作的模拟与分析。

模型应用及相关业务流程如图3所示。

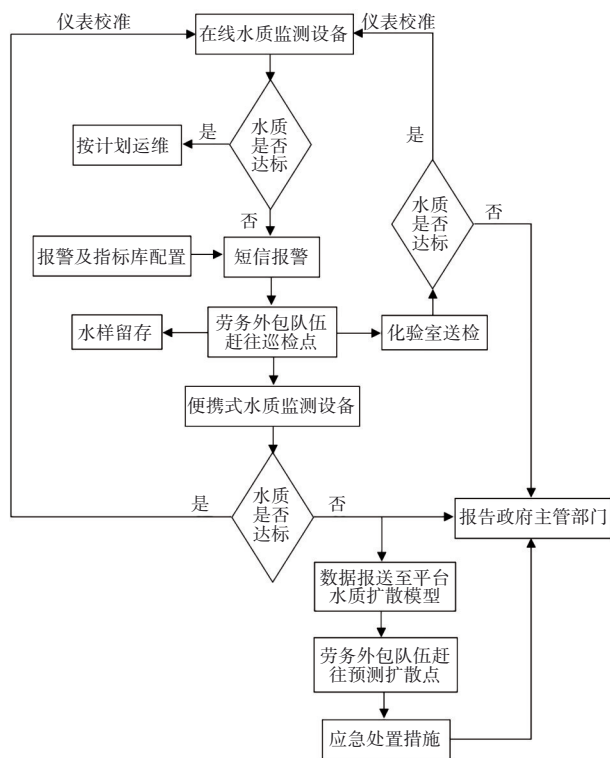


图3 模型应用及相关业务流程

Fig.3 Model application and related business flow chart

因竹皮河考核断面较为规则,采用流量计控制补水,通过各钢坝闸液位自动调整开度以确保流速相对稳定。借助水质在线监测设备并结合视频监控初步锁定排口所处河段,通知现场巡检人员采用便携式设备获取所需数据后反馈至智慧水务平台运管人员,同时采样留存并及时向政府主管部门

报告。利用水动力学水质扩散模型对竹皮河水质进行演进模拟,实现对实时污染源(排污口)正常排放情况下污染物时空变化的模拟预测,提前掌握污染物动态扩散趋势并及时制定有效应对措施。如在污染物可能扩散距离处提前放置活性炭包,并将应急处置费用(环境保护费)计入河道运维费用,极大提升预测的时效性并尽可能减轻相关负面影响。

3.2 水环境容量模型

水环境容量特指在满足水环境水质要求的前提下,水体容纳污染物的最大负荷量。竹皮河流域水环境综合治理PPP项目已按照合同内容实施截污控源及河道清淤,面源污染和内源影响可忽略,而将点源污染作为重点分析控制对象。通过构建水环境容量模型估算竹皮河流域内各污染源的污染负荷总量,作为处理多种不同类型污染的日常管理 & 应急分析工具,主要用于月度对标管理分析、应急演练及突发事件分析处理。水环境容量定时计算以《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010)和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)为计算标准,利用下式进行计算:

$$W = 86.4 \times Q_h \times [C_s \times \exp(K_1 \times L/86400u_1) - C_0] \times t$$
 (3)

式中:W为容量,kg/a;Q_h为流量,m³/s,通过河道流量计或便携式仪表获取;C_s为功能区水质标准

浓度,mg/L,依据PPP项目合同约定为地表水Ⅳ类标准;K₁为衰减系数,d⁻¹,模型计算;L为需进行计算的河段长度,m;u₁为流速,m/s,通过河道流速仪或便携式仪表获取;t为时限,d;86.4为时间换算系数。

按照模型参数输入、河流状态记录、污染物监测、计算水环境容量的步骤,通过零维/一维算法,以图形、表格、趋势线等形式直观展示主要污染物历史排放量、累计排放量、未来允许排放量,为水体质量达标运维以及主要污染源污染物排放控制提供数据基础。依据2022年竹皮河考核断面水质监测数据(见表1),计算竹皮河水环境容量及拟许可排放量,计算结果如表2所示。

表1 2022年竹皮河考核断面月度平均水质监测数据
Tab.1 Monthly average water-quality monitoring data of Zhupi River assessment section in 2022

月份	COD/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	pH
1	12.18	0.98	0.24	6	8.44
2	18.61	0.92	0.27	5	7.80
3	17.02	0.40	0.26	4	7.91
4	15.97	0.75	0.23	4	7.88
5	19.72	0.96	0.24	5	7.62
6	13.16	0.10	0.23	5	7.64
7	11.92	1.32	0.28	4	7.30
8	24.82	1.35	0.26	4	8.33

表2 2022年竹皮河水环境容量及拟许可排放量

Tab.2 Water environmental capacity and allowable discharge amount of Zhupi River in 2022

截止月份	水环境容量				拟允许排放量				实际排放量			
	COD	NH ₃ -N	TP	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	TP	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	TP	BOD ₅
1	142.56	4.16	0.48	0	240	12	2.40	48	97.44	7.84	1.92	48
2	347.58	14.60	1.02	18	540	27	5.40	108	334.98	16.56	4.86	90
3	581.22	34.40	1.74	54	540	27	5.40	108	306.36	7.20	4.68	72
4	1 086.30	61.40	4.26	126	1 080	54	10.80	216	574.92	27.00	8.28	144
5	1 703.10	93.80	7.86	186	1 800	90	18.00	360	1 183.20	57.60	14.40	300
6	2 477.74	158.20	11.08	232	1 380	69	13.80	276	605.36	4.60	10.58	230
7	4 123.02	174.58	12.90	414	2 730	136.50	27.30	546	1 084.72	120.12	25.48	364
8	4 485.62	185.08	15.70	554	2 100	105	21.00	420	1 737.40	94.50	18.20	280

3.3 洪水预测模型

洪水预测需要海量空间数据作支撑,洪水要素信息是实现洪水准确预测与管理的先决条件,GIS则是洪泛区洪水有限元分析的重要辅助。依据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021),计算汇水面积>2 km²时应考虑区域降雨和地面渗透性能的时空分布不均匀性和管网汇流过程等因素。当降雨量

过大时选中管网位置造成积水,当最大排水量(流速)大于选中位置汇水量则不会积水,汇水量、排水量、设计暴雨强度的计算公式如下:

$$Q_s = q\Psi F$$
 (4)

$$Q_p = v\pi(D/2)^2$$
 (5)

$$q = \frac{167A_1(1 + C\lg P)}{(t_1 + b)^n}$$
 (6)

式中: Q_s 为雨水设计流量, L/s ; q 为设计暴雨强度, $L/(hm^2 \cdot s)$; Ψ 为综合径流系数,取平均值 0.525; F 为汇水面积, hm^2 ; Q_p 为排水量, m^3/s ; v 为雨水明渠的最大设计流速,混凝土材质取 4.0 m/s ; D 为管道内径, m ; P 为设计重现期, a ; t_1 为降雨历时, min ; A_1 、 C 、 b 、 n 为相关参数,根据统计方法计算确定。

水文水动力耦合方式见图 4。

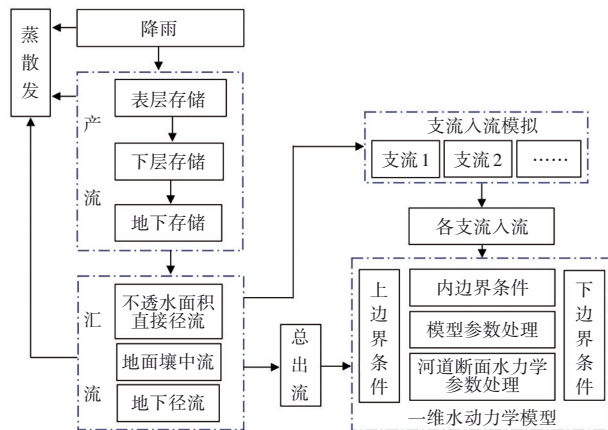


图 4 水文水动力耦合方式

Fig.4 Coupling mode of hydrology and hydrodynamics

采用竹皮河流域水文模型进行河道上边界断面和各支流控制流域出口断面的流量过程预测,将

其计算结果作为上边界条件和内边界条件直接输入到一维水动力学模型中,一维水力学模型的数据不反馈输入至水文学模型,二者之间为单向输入。

通过一维河流和地表径流有关模型的耦合建立洪水预测模型,分析上游极端来水以及流域局部强降雨引起的洪水风险,实现对洪水演进路线和破坏力的预测,并为分析各种洪水问题提供灵活多样的选择。例如:上游库容对泄洪的需求、钢坝启闭对河道行洪的影响、河道蓄水补水的优化调度等。洪水预测模型近期虽为基于既有水文及气象资料构建的静态(不做频繁更新),却足以明确当下防洪排涝及运维工作的痛点、重点和风险点,并协助制定高效的河道补水方案,避免造成水资源浪费。

选用竹皮河流域出口断面近年资料完整且具有代表性的 16 场洪水进行模拟计算(结果见表 3),从而验证所采用的水文水动力耦合模型能否有效地描述流域产汇流特性,对模型参数、地形及断面进行合理概化,能否真实反映河道水流情况并改善洪水预报精度。由表 3 可以看出,本系统所建的水文水动力耦合模型模拟的洪水流量过程与实测过程拟合良好,模型计算稳定、快速、准确,可用于实际洪水的预测且更具有通用性。

表 3 竹皮河水文水动力耦合及洪水预测

Tab.3 Hydrologic hydrodynamic coupling and flood prediction of Zhupi River

前期土壤含水量/mm	平均降雨/mm	产流					汇流						确定性系数
		实测/mm	模拟/mm	相对误差/%	绝对误差/mm	是否合格	实测/ (m ³ ·s ⁻¹)	模拟/ (m ³ ·s ⁻¹)	绝对误差/ (m ³ ·s ⁻¹)	相对误差/%	峰现时差(时段)	是否合格	
34.5	74.2	21.1	19.2	9.00	-1.9	是	264	257	-7	2.65	1	是	0.36
45.8	149.9	75.0	71.8	4.30	-3.2	是	1 129	1 030	-99	8.77	1	是	0.82
80.4	89.1	61.9	54.1	12.57	-7.8	是	843	725	-118	14.00	2	是	0.85
63.0	263.8	200.2	132.8	33.70	-67.4	否	1 540	1 306	-234	15.19	1	是	0.67
10.4	113.7	25.5	29.0	13.70	3.5	是	267	313	46	17.23	0	是	0.87
61.7	87.6	41.6	37.4	10.10	-4.2	是	454	413	-41	9.03	1	是	0.71
97.5	106.6	69.9	58.8	15.88	-11.1	是	686	735	49	7.14	0	是	0.87
58.2	129.0	62.5	57.0	8.80	-5.5	是	717	587	-130	18.13	1	是	0.78
101.5	89.3	59.4	53.4	10.10	-6.0	是	626	623	-3	0.48	1	是	0.78
89.5	85.1	48.4	40.7	15.90	-7.7	是	405	396	-9	2.22	1	是	0.79
22.3	193.7	86.0	93.4	8.60	7.4	是	881	1 164	283	32.12	3	否	0.55
64.9	126.1	34.8	31.4	9.77	-3.4	是	428	505	77	17.99	0	是	0.65
4.0	82.9	14.6	16.3	11.60	1.7	是	303	266	-37	12.21	0	是	0.64
66.9	197.0	132.0	125.1	5.20	-6.9	是	878	911	33	3.76	1	是	0.82
43.2	102.8	37.4	31.9	14.70	-5.5	是	480	426	-54	11.25	0	是	0.97
102.6	98.9	61.7	58.2	5.67	-3.5	是	414	495	81	19.57	0	是	0.67

3.4 雨污水管网模型

因项目基础资料有限且工作量繁重,本次仅研

究部分区域内雨水混接或错接污水管网的影响,后期具备条件后开展全域雨污水管网更新、水质普查

及模型完善工作。采用的计算引擎核心径流模块的产流模型、土壤入渗模型、地表汇流模型如下:

$$R = (i - f) \times \Delta t - D_s - E \quad (7)$$

$$f_t = f_{\infty} + (f_0 - f_{\infty})e^{-kt} \quad (8)$$

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{\partial H}{\partial t} = A(i - e' - f) - Q_n = A i^* - Q_n \quad (9)$$

式中: R 为子分区产流量,mm; i 为雨强,mm/s; f 为下渗速率,下渗率与雨强的较小者为实际值,mm/s; Δt 为降雨历时,s; D_s 为地面低洼处的积水深度; E 为蒸散发量; f_t 为 t 时刻的下渗速率,mm/s; f_{∞} 为平衡下渗率,mm/s; f_0 为初始下渗率,mm/s; k 为衰减系数, s^{-1} ; V 为子汇水区总水量, m^3 ; A 为子分区面积, m^2 ; H 为水位高度,m; e' 为蒸散发强度,mm/s; Q_n 为每个子分区的出流率, m^3/s ,可通过曼宁公式求解; i^* 为净雨,即有效雨强,mm/s。

雨污水管网模型利用计算机对地下管网进行数字化仿真,可有效模拟城市内涝,辅助分析管网与周边含水层之间的水力交互、管网漏损以及防渗透潜在的副作用。基于导致雨污水管网系统溢流的历史事件,调查并识别污水系统中由降雨引起的渗入、流入、溢流的位置及体积,确定管网容量上限,统计分析需要维修或更换的雨污水管网基础设施,以最大程度减少未来雨污水溢流和洪灾风险。

选取其中一座管井液位监测数据进行管网模型校核,模拟时间为24 h,将模拟水深与实测液位数据进行对比,通过不断调整模型参数将误差控制在15%以内。对比模拟水深数据与监测数据进行校核,调整管道曼宁系数最终取值为0.011时,误差率<10%,模拟水深与实测液位变化曲线见图5。

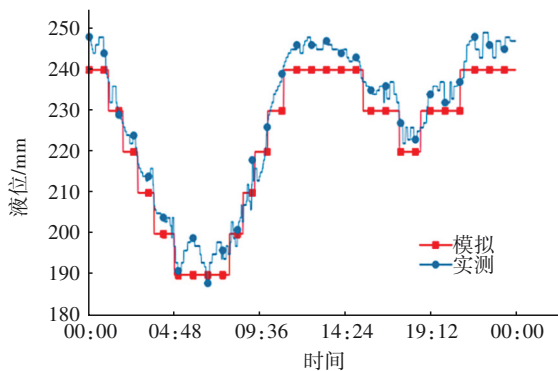


图5 污水管井液位模拟效果

Fig.5 Simulation renderings of sewage well liquid level

4 平台特色及应用效果

智慧水务综合管控平台软件系统具有监管实时化、运行关键数据采集及分析快速化、数据整理与分析高效化、业务管理集约化与精细化、服务智慧化,兼具成熟稳定性、可用性及高性价比、安全性、开放性、可维护性、易操作性、可扩展扩容性等诸多特色,能够充分满足移动办公需求。其中,实现污水厂、泵站、钢坝闸设备设施的远程控制,采用管井点位人工巡检定位的方式逐步弥补管网普查资料缺失,以及水环境模型构建及应用、水质超标预警、视频监控移动侦测、移动端与微信端应用等均为平台鲜明特色。

平台总体应用场景、综合管控Web端、移动监管APP端、公众互动微信端的应用效果如下:

① 平台总体应用场景

智慧水务综合管控平台的核心位于监控调度中心,主要涵盖液晶拼接显示屏、视频及数据监控主机、无线会议系统、机柜及备用电源、办公设施等,应用效果极佳。

② 综合管控Web端

综合管控Web端基于GIS技术对竹皮河流域水环境综合治理范围内11座污水处理厂、9座河道钢坝闸、2座提升泵站的远程控制进行二维建模,实现区域全方位可视化动态辅助决策。该平台自运行以来各业务板块已积累诸多运营数据,包括但不限于河道钢坝闸采集数据报表、钢坝闸远程控制日志、人工采样及补水口流量填报报表、化验室水质报表、各板块巡检上报记录及设备台账、保养计划及执行记录、备品备件出入库记录、管井水位与积水点水位采集数据报表等。

③ 移动监管APP端

手机APP主要便于三大业务板块的基层运行人员开展巡检、问题及险情上报、工单处理等工作,同时供管理人员查看业务数据、视频监控及工作进展,对部分问题予以处理和督办。

④ 公众互动微信端

通过微信公众号,对外公示污水厂水质实时数据、河道水文实时数据、河道治理成果、污水处理工程介绍、排水设施运营介绍等信息,发布阶段性治理成果和极端天气警报。居民可针对竹皮河流域治理情况进行监督投诉和咨询留言,并能通过扫码

识别获取既有的景观节点信息。

5 结语

智慧水务是智慧城市的重要组成部分,平台系统架构设计、系统功能设计、水环境模型构建在很大程度上决定了平台的应用效果。竹皮河流域智慧水务综合管控平台软件系统设计充分结合流域水环境综合治理的特点和实际需要,具备安全稳定、性价比高、便于操作和维护、可扩展扩容等特色,极大地促进了竹皮河流域治理的集约化、自动化、信息化和智能化,为保障竹皮河乃至汉江流域水环境、水资源、水安全、水生态、水景观、水文化的可持续发展积极赋能。平台应用实现了填报数据与实时数据的综合采集与高度融合,形成企业不同板块的业务互联、数据互通、运维共管、成果共享的创新局面,为厂站无人值守插上信息化的翅膀,也提供了可复制、参考及推广的智慧水务建设新思路。

参考文献:

- [1] 谢善斌,袁杰,侯金霞.智慧水务信息化系统建设与实践[J].给水排水,2018,44(4):134-140.
XIE Shanbin, YUAN Jie, HOU Jinxia. Construction and practice of intelligent water information system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(4): 134-140(in Chinese).
- [2] 汪丽,黄伟,王阿华,等.荆门市竹皮河流域水环境综合治理之生态修复工程设计[J].中国给水排水,2020,36(6):69-73.
WANG Li, HUANG Wei, WANG Ahua, et al. Ecological restoration project design of comprehensive treatment of water environment in Zhupi River basin,

Jingmen City [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(6):69-73 (in Chinese).

- [3] 李清泉,刘明松,李振,等.荆门市竹皮河流域水环境综合治理研究[J].自然科学,2021,8(2):151-153.
LI Qingquan, LIU Mingsong, LI Zhen, et al. Study on water environment comprehensive management of Zhupi River basin in Jingmen City [J]. Natural Sciences, 2021, 8(2):151-153 (in Chinese).
- [4] 孔祥文.长江大保护试点城市智慧水务系统构建探索[J].水利信息化,2020(6):12-16.
KONG Xiangwen. Exploration of smart water system construction in pilot cities of great protection of Yangtze River [J]. Water Resources Informatization, 2020 (6): 12-16 (in Chinese).
- [5] 王冠,孔宇.沙坪河河道流域智慧水务建设方案研究[J].给水排水,2020,46(3):148-152.
WANG Guan, KONG Yu. Study on smart water affair construction scheme in Shaping River basin [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(3): 148-152 (in Chinese).
- [6] 闫长位,李松平,张鑫,等.河南省河湖信息化监管平台研究与应用[J].水利信息化,2021(3):86-90.
YAN Changwei, LI Songping, ZHANG Xin, et al. Research and application of river and lake informatization supervision platform in Henan Province [J]. Water Resources Informatization, 2021(3): 86-90 (in Chinese).

作者简介:李振(1991-),男,河南新乡人,硕士,工程师,主要从事水污染控制工作。

E-mail:761629863@qq.com

收稿日期:2021-09-08

修回日期:2022-08-22

(编辑:衣春敏)

贯彻执行《中华人民共和国水法》