

基于物联网的水库供水模拟与实时预警系统研究

王坤¹, 杨姗姗², 徐征和¹, 孔珂¹, 丛鑫¹, 徐晶³, 王江婷¹

(1. 济南大学 资源与环境学院, 山东 济南 250022; 2. 山东省淮河流域水利管理局, 山东 济南 250100; 3. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 水库供水预警对水资源的综合利用以及可持续发展具有重要的理论意义和实用价值。锦绣川水库作为济南市南部山区重要的饮用水源地,其供水预警系统建立显得尤为重要。以锦绣川水库为研究对象,利用先进的物联网技术,建立了监测和服务平台。并选用 MIKE11 HD 河道模拟软件对不同工况下的供、用水过程进行仿真模拟。通过分析河道水位流量变化规律,结合水库实际情况和物联网平台功能,建立了有效的供水预警系统,为水库水资源合理利用及优化调度提供支撑。

关键词: 水库供水; 物联网; MIKE11; 预警系统; 实时预警

中图分类号: TV697.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0117-06

Research on the water supply simulation of reservoirs and the real-time early warning system based on the internet of things

WANG Kun¹, YANG Shanshan², XU Zhenghe¹, KONG Ke¹, CONG Xin¹, XU Jing³, WANG Jiangting¹

(1. School of Resources and Environment, University of Jinan, Jinan 250022, China; 2. Huaihe River Basin Water Resources Management Bureau of Shandong Province, Jinan 250100, China; 3. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The early warning for water supply of reservoirs has important theoretical significance and practical values for the comprehensive utilization and sustainable development of water resources. Jinxiuchuan reservoir is an important drinking water source in the southern mountain area of Jinan, the establishment of its early warning system is more necessary. In this paper, the monitoring and service platform of Jinxiuchuan reservoir were established using the advanced technology of the internet of things. The MIKE11 HD river simulation software was selected to simulate the processes of water supply and utilization in different operating conditions. Through the analysis of the change rule of water level and flow, combined with the practical situation of reservoir and the platform function of the internet of things, the effective early warning system for water supply was established. It will be supportive in rational utilization and optimal operation of reservoir water resources.

Key words: water supply of reservoir; internet of things; MIKE11; early warning system; real-time early warning

1 研究背景

供水是水资源利用的基本环节,也是水库最重要的功能之一。利用先进技术不断提高供水系统的运行管理水平,才能及时满足社会发展对供水工作提出的越来越高的要求。当前,物联网技术以其反

应即时、大信息量的特点^[1-2],在包括水利行业在内的各行业都得到了广泛的应用。其中,翟惠云等^[3]将物联网在水资源管理方面的应用进行了初探;吕琼莹等^[4]利用物联网技术建立了远程无线控制系统,解决了远程供水控制方面的难题;曾微波等^[5]对物联网技术和虚拟技术在水闸智能调度方面的应

收稿日期:2016-12-15; 修回日期:2017-02-08

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2012DL08);济南市水环境生态治理技术的研究与示范推广(SHMS2015-3-01);济南市海绵城市南部试点区水质监测评估技术(2016JSFW02Z0307)。

作者简介:王坤(1991-),女,山东济宁人,硕士研究生,研究方向为水文与水资源。

通讯作者:孔珂(1972-),男,山东德州人,博士,副教授,研究方向为水文水资源。

用进行研究。可见,物联网技术可以帮助决策者及时获取供水过程中的水情、工情信息。但是,由于水库供水过程难以进行原型实验,所以利用系统模拟技术对监控信息进行分析加工,获取渠道水位流量变化趋势,从而为水资源科学调度提供依据是对物联网功能的一个很好的补充。因此将物联网技术和系统模拟技术结合会对提高供水效率和保证率起到更加积极的作用。

锦绣川水库是济南南部山区集防洪、灌溉、城市供水、生态补水、发电于一体的多功能水利工程,其供水可靠性和有效性对南部山区水资源的优化配置有着重要意义^[6-7]。本文针对锦绣川水库水资源供需现状以及工程实际,以物联网技术作为支撑,搭建了水库智能化监测和信息服务平台,基于物联网数据用 MIKE11 水动力模型对水库干渠供、用水过程进行仿真模拟,研究河道的水位和流量的时空变化规律^[8-13],在此基础上制定出水库供水实时预警方案,为调度决策提供科学依据,提高水库用水效率、缓解水资源供需矛盾。

2 物联网监测和服务平台

2.1 锦绣川水库干渠基本情况

锦绣川水库位于玉符河上游,属黄河流域,控制流域面积 166 km²,流经西营、锦绣川和仲宫三个乡镇,汇入卧虎山水库,是一座综合性利用的中型水库。干渠位于历城区南部山区,总长 31.5 km,其中从渠首至渠尾分水岭水厂,全长 27.405 km。干渠设牛家、东路、泉淞、分水岭 4 个管理站,沿途隧洞 13 座,长 4478 m,渡槽 10 座,总长 582 m,共经过 22 个自然村,锦绣川水库干渠工程情况如图 1 所示。渠道衬砌多为混凝土,断面形态以矩形为主。

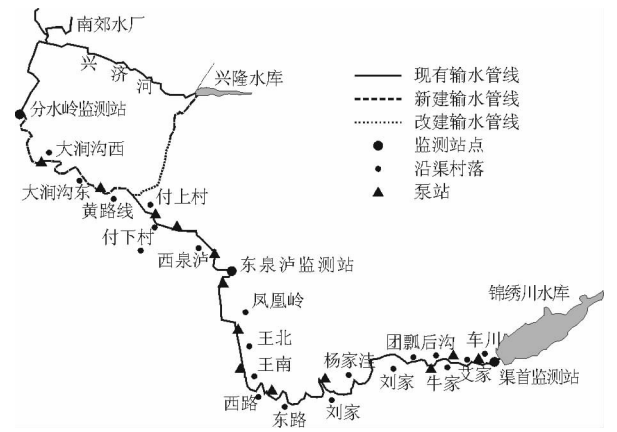


图 1 锦绣川水库干渠概化图

锦绣川水库的供水对象主要为城市用水和农业用水:在城市供水设计保证率为 95% 的情况下,水库每年向渠尾分水岭水厂提供约 $2\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 用于南部山区城市工业和生活;在灌溉设计保证率 75% 的情况下,水库需向沿程 22 个自然村提供 $350 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的农业用水。由于干渠沿程取水口众多,约为 290 多处,沿渠居民多根据自身需要从取水口自行取水,不由水库相关部门直接控制。因此取水时间和数量难以控制,具有很大随机性。尤其是在灌溉期,农业用水量剧增,与城市供水矛盾加剧,可能导致城市供水保证率不足。因此,制定有效的水库监测和预警系统具有重要的现实意义。

2.2 物联网监测和服务平台构建

通过了解锦绣川水库及干渠实际工程情况,建立了物联网监测和服务平台。该平台主要分现场级和管理级两个层面,二者通过 GPRS 公共网进行信息传输,其系统构架如图 2 所示。物联网平台的搭建为水库管理及实时预警提供了保障。

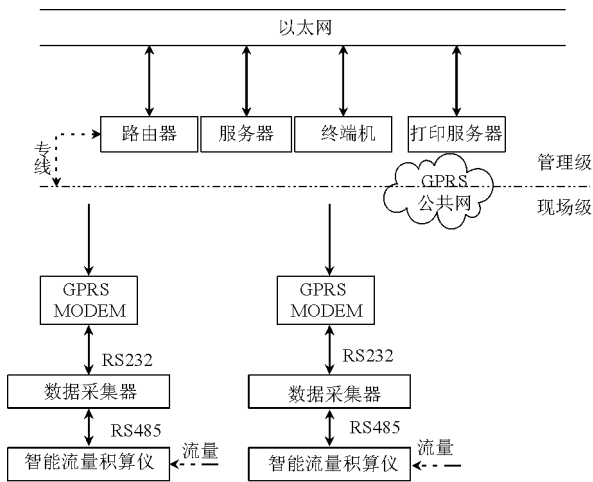


图 2 物联网系统构架

2.2.1 现场级 现场级主要是通过设置传感器,随时随地获取供水过程中渠道内的实时信息,并对数据进行解析、编码、发送。由于渠首和渠尾分别控制水流的流入和流出,以及考虑到泉淞基本处于渠道中点位置以及其水力条件较好的因素,研究在渠首,泉淞以及渠尾分水岭水厂 3 处建立了监测点,每个监测点上设置传感器来获取渠道水流情况。传感器采用多普勒仪对渠道内的液位,流速,温度,累计流量,瞬时流量进行采集以及本地存储。采集到的信息经过有线方式传输到远程控制终端 RTU,RTU 通过 GPRS 模块与中国移动的 3G 网络连接,将信息传输到互联网。

2.2.2 管理级 管理级的主要功能是对现场传输来的实时数据进行整理并提供信息服务。工作模式是基于通用浏览器的 Brower/Server 模式。服务器端部署监听程序,监测点设备上电后通过网络连接服务器监听程序,所有数据通过 TCP 协议发送到服务器。服务器程序将数据预处理后存储到 Mysql 数据库,通过 www 服务实现信息展示、查询统计、预警、系统管理以及站点与设备管理等功能。

用户可以通过两种形式使用服务器端的功能,一种是通过计算机浏览器进入的水利信息监测平台,水库管理者可以通过该平台监测渠道水流情况,了解设备运行情况,及时发现输水警报。另一种是移动手机客户端,使用者只需下载水情监测 APP,便能在手机上随时随地掌握水库动态,方便实用。水利信息监测平台和水情监测 APP 界面如图 3 和 4 所示。



图 3 水利信息监测平台界面



图 4 水情监测 APP 界面

3 水库干渠供用水过程模拟

3.1 模型建立

3.1.1 MIKE11 水动力模型 (HD) HD 模型基于一维非恒定流圣维南 (Saint - Venant) 方程组来模拟河流的水流状态。方程组包括连续性方程和动量方程,其具体表达式如公式 (1)。模型采用明渠不稳定流隐式格式有限差分解。其差分格式采用了六点钟中心隐式差分格式 (Abbott) 格式,离散后的线性方程组用追赶法求解^[14]。

$$\begin{cases} B_s \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ}{C^2} \frac{Q}{AR} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: x 、 t 分别表示空间坐标和时间坐标, m 、 s ; Q 、 h 分别表示断面流量和水位, m^3/s 、 m ; A 、 R 分别表示断面的过水面积和水力半径, m^2 、 m ; B_s 为河宽, m ; q 为旁侧入流量, m^3/s ; C 为谢才系数; g 为重力加速度, m/s^2 ; α 为垂向速度分布系数。

利用 MIKE11 HD 进行模拟时需要建立河网、断面、边界以及参数文件,模拟计算结果保存在 .res11 结果文件中。

(1)河网文件。锦绣川水库干渠河网主要研究范围为渠道源头即锦绣川水库出口至分水岭水厂共 27.175 km。渠道结构较简单,无其他支流汇入。

(2)断面文件。断面文件包含了断面形状、水力半径、断面所在河流和所在位置等信息。考虑工程实际,将断面间距设置为不大于 5 000 m,以此可以保证计算的稳定性,并在地形变化大或是断面差异大的地方适当增加断面来满足计算的精度,结合收集到的资料,研究共设置了 45 处断面。

(3)边界文件。河流边界就是在模型中那些不与其它河段相连的河段端点处,流入代表从模型外部流入,流出代表流出模型区域。基于物联网监测平台采集数据,本研究中将锦绣川水库出口实测流量数据作为上游入流边界条件,分水岭水厂水位数据作为下游出流边界条件。

(4)HD 参数文件。小尺度流域范围内参数文件主要是定义模拟的初始条件和河床糙率。初始水位的设定必须不能高于或低于河床,否则可能导致模型不能顺利启动;河床糙率是率定参数,应根据对模拟渠道的认识及模型计算结果确定。

3.1.2 系站设置模块 根据 2.1 节所述水库干渠多年实际用水情况及管理方面存在的问题,通过询

问水库相关工作人员以及搜集到的沿渠村落灌溉情况等资料,对干渠进行了取水控制概化。利用 MIKE11 可控建筑物模块(SO)中的泵站设置模块,通过对 22 个沿渠村落距离以及灌溉面积大小综合考虑之后,设置合适的泵站位置,并用 Time 控制方法对过泵流量的大小进行控制。最终在水库干渠沿程设置了不同过泵流量的泵站 13 处,具体设站情况如图 1 所示。

3.2 模型率定与验证

水动力模型率定的主要参数是河道糙率。河道糙率与河道形态、河床粗糙情况、河道弯曲程度、植被成长情况、水位高低、河槽的冲击以及河道上人工构筑物等因素有关。由于分水岭水厂是锦绣川水库调度的重点对象,因此研究选用分水岭水厂实测数据资料对模型进行率定和验证,为了避免人为因素干扰,选取了非灌溉期 1、2 月份的数据。其中利用 2016 年 1 月 30 日-2 月 3 日的流量过程进行模型率定,2 月 4 日-5 日流量过程进行模型验证,模拟步长为 1 h。由于渠道为人工渠道,渠道沿程基本都是混凝土材质,因此糙率取值可以相对偏小。经过调算,锦绣川水库干渠糙率为 0.029。参数率定后分水岭实测流量与模拟流量对比过程如图 5 所示,参数验证过程如表 1。

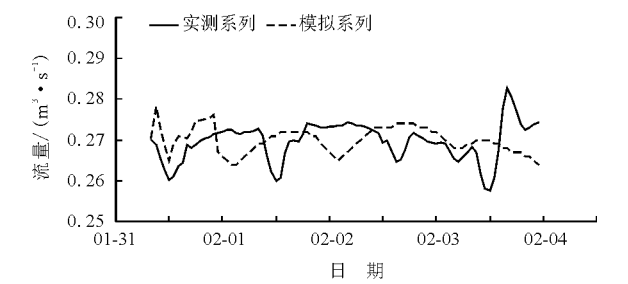


图5 分水岭水厂实测流量与模拟流量对比过程

表 1 模型参数验证				
时间	实测 流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	模拟 流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	相对 误差 $Re/\%$	Nash 效 率系数 (DC)
2016-02-04 00:00	0.275	0.273	-0.73	0.07
2016-02-04 06:00	0.276	0.275	-0.36	
2016-02-04 12:00	0.264	0.269	1.89	
2016-02-04 18:00	0.271	0.276	1.85	
2016-02-05 00:00	0.273	0.270	-1.10	
2016-02-05 06:00	0.273	0.270	-1.10	
2016-02-05 12:00	0.269	0.272	1.12	
2016-02-05 18:00	0.269	0.273	1.49	

通过率定结果可以看出除流量过程有延迟特点以外,模拟流量变化趋势与实测流量基本吻合。验证参数选用流量相对误差 Re 和 Nash 效率系数两个指标:相对误差即用预报误差比实测值的百分数表示,依据《水文情报预报规范》GB/T 22482-2008,河道流量预报以预见期内实测变幅的 20% 作为许可误差;Nash 效率系数 (DC) 是用来表示洪水预报与实测过程之间的吻合程度, DC 值越接近 0,表示模拟结果接近实测值的平均值水平,即可以认为总体结果比较可信^[15]。从表 1 可以看出相对误差 Re 和 Nash 效率系数均在合理范围以内,表示模拟总体结果可信。因此采用 MIKE11 建立的模型是可靠的,参数的取值是合理的,可用于锦绣川水库供、用水过程的模拟。

3.3 供用水过程模拟

在模型建立完备和参数率定验证的基础上,将模拟过程分为两种情况:灌溉期用水过程模拟和非灌溉期用水过程模拟。基于物联网监测平台的实时监测信息,在结果讨论中主要对渠首流量、东泉泸监测点水位以及分水岭水厂监测点流量数据进行展示。通过对边界条件以及泵站参数的不同设置,模拟不同的供、用水过程。基于模拟结果,分析 3 个监测点数据的相互关系,为实时预警方案的制定提供合理的数据支撑和科学依据。

3.3.1 非灌溉期模拟 非灌溉期供水过程模拟相对简单,由于沿渠没有灌溉取水,因此设置泵站全关。将模拟期设定为 1 月 1 日-15 日,模拟步长为 1 h,通过控制水库出口流量的大小,来模拟不同工况下的供水过程。经过多次模拟,选取一种典型工况进行结果展示,结果如图 6 所示。

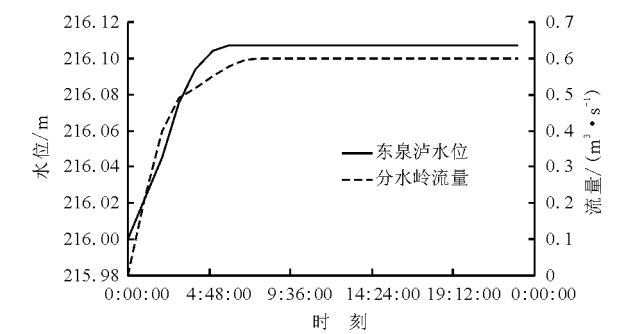


图6 东泉泸水位及分水岭流量在非灌溉期供水过程中的变化趋势图

图 6 为渠首流量设置为 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 时的模拟结果,从模拟结果可以看出,水流从渠首到达东泉泸观测点的延迟时间约为 5 h,测站水位高程稳定在

216.1 m 左右,即水深为 0.6 m(该点高程为 215.5 m)。渠首水流 8 h 后到达分水岭水厂,测站流量稳定后为 0.6 m³/s。该工况为干渠保证城市供水的临界情况。

3.3.2 灌溉期模拟 灌溉期供水过程模拟,需要根据 3.1.2 节中描述,对泵站进行设置。由于灌溉期集中在每年 3-5 月份,研究中选取 3 月份作为典型月进行模拟,4、5 月份概化为相同情况。将抽水时间设在 3 月 1 日-3 月 3 日 3 d,时间为早上 5 点到晚 12 点。由于流量的延迟作用,将模拟周期定为 2 月 27 日-3 月 8 日,模拟步长为 1 h。选取一种典型工况进行结果展示,结果如图 7、8 所示:

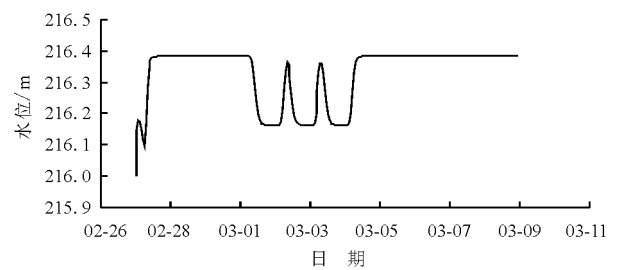


图 7 东泉沱观测点水位在灌溉期供水过程中的变化趋势图

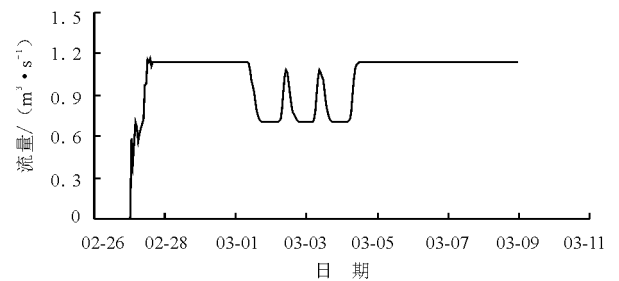


图 8 分水岭水厂观测点流量在灌溉期供水过程中的变化趋势图

图 7 和 8 为渠首流量设置为 1.27 m³/s 时的模拟结果,在该工况下,当各泵站抽水后,东泉沱观测点水位稳定在 216.15 m,即水深为 0.65 m 左右,并且抽水过程结束后,水位有所恢复,最高可达 0.88 m。分水岭水厂流量数据显示,当各泵站抽水后,流量稳定在 0.7 m³/s 左右,抽水过程结束后,流量也有所恢复。此种工况下,既能满足灌溉用水,又能满足城市供水。同样可以看出,在各级泵站抽水后,水流从渠首延迟到达东泉沱观测点的时间约为 12 h,到达分水岭水厂观测点的延迟时间约为 15 h。

4 实时预警

经过调整渠首流量,模拟不同工况下的供、用水过程,通过分析河道水位流量变化规律得出预警阈

值,研究将预警指标设置为正常、初级预警和高级预警三个级别,并结合渠道运行情况,制定出更为实用的预警方案。由于灌溉期农业用水和城市供水两者之间的矛盾加剧,为保证城市供水,应重点考虑灌溉期预警。

4.1 非灌溉期预警

对于非灌溉期的预警指标设定,只需要考虑城市用水即可,结合水量平衡原理和用水过程模拟结果,利用分水岭水厂流量值给出预警指标,具体预警情况如表 2 所示。

表 2 非灌溉期预警指标设定			
位置	预警参数	预警指标/(m ³ ·s ⁻¹)	预警情况
分水岭 水厂	瞬时流量	>0.79	正常
		0.6~0.79	初级预警
		<0.6	高级预警

4.2 灌溉期预警

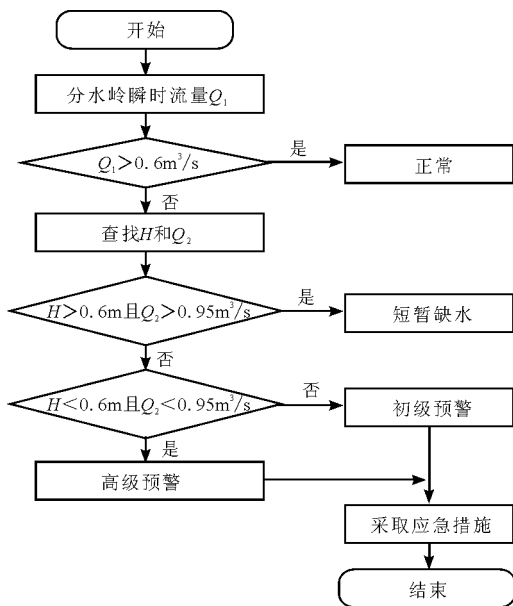
灌溉期预警要考虑农业灌溉和城市供水两方面,结合模拟结果,得出灌溉期的渠首、东泉沱和分水岭水厂 3 个监测点的预警阈值如表 3 所示。

表 3 灌溉期各监测点预警阈值			
位置	预警参数	预警指标	预警情况
渠 首	瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)	>1.14	正常
东泉沱	水深/m	>0.8	
分水岭水厂	瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)	>0.73	
渠 首	瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.95~1.14	初级预警
东泉沱	水深/m	0.6~0.8	
分水岭水厂	瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.6~0.73	
渠 首	瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)	<0.95	高级预警
东泉沱	水深/m	<0.6	
分水岭水厂	瞬时流量/(m ³ ·s ⁻¹)	<0.6	

由于灌溉期渠道用水过程较为复杂并且具有很 大随机性,因此,如果在每个监测点分别按照预警阈 值进行预警,会使预警过程太细,而产生过度预警的 情况。因为供水环节中城市供水的优先级比较高, 所以预警过程以分水岭水厂监测点实时信息为主要 依据,再结合模拟结果中的延迟时间考虑东泉沱测 站以及渠首测站的信息,综合判断后做出预警,其预 警过程技术路线如图 9 所示。

根据预警技术路线,将预警过程集成为 2.2 节 所述的物联网系统中,系统可根据实时监测数据自 动进行数据查找,从而在达到预警状态时发出预警

警报,或通过手机发出预警短信,水库管理者可以及时接收报警信息,并采取紧急措施。当分水岭水厂供水出现破坏时,管理者可酌情加大渠首的流量来补充水量。水库能否加大流量,最多提供多少,要根据水库的实际水量和调度规则判断。



注: H 为 2 h 前东泉泸监测点的水深; Q_2 为 14 h 前渠首监测点流量值

图 9 预警技术路线图

5 结 论

本文针对锦绣川水库供水现状,利用物联网技术和 MIKE11 模型仿真模拟技术,实现了水库实时供水预警。

(1) 搭建出基于渠首、东泉泸以及分水岭水厂 3 个测站的物联网监测和服务平台,实现水库服务及预警等功能,为水库管理及预警调度提供数据和技术支撑。

(2) 利用 MIKE11 HD 模型实现了不同工况下供、用水过程的模拟,通过分析模拟结果,为灌溉期和非灌溉期预警提供合理阈值和依据。

(3) 结合水库实际情况,综合判断后,提出了实用且有效的预警方案,对水库预警系统的建立具有重要的推动意义。

不足之处在于沿程设置的监测站点较少,覆盖

面较窄,这会造成系统精度有所降低。随着锦绣川水库管理设施的加强,该问题将会得到进一步解决和完善。物联网平台及预警系统也会在水库水资源利用及调度方面起到日益显著的作用。

参考文献:

- [1] 朱程,戚晓明. 物联网技术在水利信息化中的应用研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2013,29(8):28-29.
- [2] 郇阔. 基于物联网的城市供水系统节能降耗关键技术研究[D]. 苏州:苏州科技学院, 2014.
- [3] 翟惠云,徐海波. 物联网在水资源管理方面的应用技术初探[J]. 水利信息化, 2010(4):6-10.
- [4] 吕琼莹,刘晗,王晓博,等. 基于物联网模式的远程无线供水系统的应用[J]. 国外电子测量技术, 2012,31(10):30-34.
- [5] 曾微波,王履华,吴长彬,等. 基于虚拟技术和物联网技术的水闸智能调度系统研究[J]. 水利水电技术, 2013,44(11):120-123.
- [6] 李双,马波,李伟. 锦绣川水库灌区水资源合理利用研究[J]. 山东水利, 2012(10):48-49.
- [7] 李泉娥,马波,张洋. 锦绣川水库水源地供水现状及保护措施[J]. 山东水利, 2013(11):38-39.
- [8] 王领元. 丹麦 MIKE11 水动力模块在河网模拟计算中的应用研究[J]. 中国水运, 2007,7(2):106-107.
- [9] 杨洵,梁国华,周惠成. 基于 MIKE11 的太子河观一筏河段水文水动模型研究[J]. 水电能源科学, 2010,28(11):84-87+171.
- [10] 蒋宏伟,董立岩. MIKE11 模型在水资源管理中的应用[J]. 东北水利水电, 2009,27(9):42-43.
- [11] 朱德军,陈永灿,刘昭伟. 大型复杂河网一维动态水流-水质数值模型[J]. 水力发电学报, 2012,31(3):83-87.
- [12] 黄琳煜,聂秋月,周全,等. 基于 MIKE11 的白莲泾区域水量水质模型研究[J]. 水电能源科学, 2011,29(8):21-24.
- [13] 徐海波,苏飞,王士武. 余姚市河网平枯水期水质模拟研究[J]. 浙江水利科技, 2008(1):27-29+34.
- [14] 赵凤伟. MIKE11 HD 模型在下辽河平原河网模拟计算中的应用[J]. 水利科技与经济, 2014,20(8):33-35.
- [15] 李信. 基于 HEC-HMS 的雅砻江流域理塘河洪水预报研究[D]. 北京:中国地质大学, 2015.