

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.06.007

数字水网可视化表达及其与业务融合应用

于翔,解建仓,姜仁贵,梁骥超,张璇,孙小梅

(西安理工大学西北旱区生态水利工程国家重点实验室,陕西 西安 710048)

摘要:基于实体水网对象和过程的数字化来构建数字水网,并将其划分为空间数据水网、工艺流程水网和拓扑关系水网3种表现形式。采用3S集成技术、知识图与组件技术,基于综合集成平台来搭建数字水网可视化的业务环境。将数字水网应用于京津冀地区的水功能区考核管理,实现了可视化的数字水网与业务融合应用,为京津冀地区水资源高效利用与管理提供决策支持与技术支撑,同时为智慧水网的发展提供新的思路与解决方案。

关键词:数字水网;空间数据;拓扑关系;工艺流程

中图分类号:TV213;TP393

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2020)06-0039-07

Digital water networks visualization and its integration application // YU Xiang, XIE Jianchang, JIANG Rengui, LIANG Jichao, ZHANG Xuan, SUN Xiaomei (State Key Laboratory of Eco-hydrologic Engineering in Northwest in the Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The digital water networks (DWN) are established based on the digital objects and process of actual water network. The DWN were divided into three types, including spatial data, technological processes and topological relations. Adopting 3S integrated technology, knowledge map technology, component technology and integrated platform, a visualization environment of DWN was constructed. The DWN was applied to the assessment and management of water functional zone in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region to realize the integration application of digital water networks visualization, aiming to provide decision and technical support for efficient utilization and management of water resources in Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region, and in the meantime supply a new idea and method for the development of intelligent water networks.

Key words: digital water networks; spatial data; topological relations; technological processes

随着云计算、物联网、大数据、人工智能、移动互联网、虚拟现实等新一代信息技术的发展以及智慧城市建设的,各行各业对“智慧”的理念认知逐渐加强,分别提出了智慧电网、智慧交通、智慧医疗等概念^[1-4]。5G、无人驾驶汽车、智能电网运行调度代表着通信网、能源网、交通网3种基础网络正逐步实现智慧化^[5-7]。但水网作为基础网络中重要的一部分,智慧化程度并不高。目前全国各地都已逐步开展智慧水网的建设^[8-10],如北京、上海建设的“水务联网”,通过物联网技术与水务管理业务相结合构建前端监测平台,支撑水环境治理和水资源管理工作^[11-12];山西省的“大水网”建设,主要以水域连通为基础建设输配水管道和控制节点来实现水量调

配,实现了自动化控制,但是与水利业务结合不够紧密^[13];江苏无锡在太湖治理过程中提出“感知太湖”,构建了太湖智慧水网的决策系统,实现太湖及周边的污染防治、水量调配、防汛抗旱等业务管理^[14];山东省以流域内的河湖连通、供排蓄泄为目标,构建了集防洪、供水、生态等多功能水网于一体的现代化水网,来实现区域水资源统一调配^[15-16]。目前智慧水网的建设大多数以工程建设为主,实现了工程控制的自动化,并且以“水利一张图”模式为基础实现了信息服务,但是并不能发挥出智慧水网的业务应用价值。为了实现智慧水网的可视化,本文借鉴国内不同地区智慧水网建设与实践经验,将实体水网的对象和过程数字化,通过数字水网的

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0401409);国家自然科学基金(51679188,51509201,71774132)

作者简介:于翔(1991—),男,博士研究生,研究方向为水利信息化。E-mail: yuxiang91@qq.com

通信作者:解建仓,教授。E-mail: jxie@xaut.edu.cn

地理空间数据进行处理后存储于空间数据库中,并面向不同主题进行数据集成、组织与管理,最终将二维 GIS 和三维 GIS 技术融合来构建可视化的空间数据水网。空间数据水网的可视化表达如图 1 所示,将京津冀地区多种地理空间数据矢量化与数字化后,以二维和三维 GIS 来呈现实体水网的空间特征和属性特征。

1.2 拓扑关系水网

拓扑关系水网是采用知识图谱技术^[17]将业务的相关关系和逻辑关系数字化,并将管理单元的过程逻辑和对象进行拓扑化,以图元的方式用拓扑图对复杂业务可视化、对经验和知识描述形式化,用知识图谱来表达业务应用的抽象关系与过程。在平台中将复杂业务按不同主题分类分层后,以问题为导向通过流程化对业务进行梳理,而且拓扑关系水网和空间数据水网、工艺流程水网相互关联,从而实现宏观形式上水网的管理应用。拓扑关系水网的可视化表达如图2所示。将河流水系、湖泊、水库通过图

空间数据水网是基于实体水网的空间特征和属性特征的数字描述,以遥感数据、地形数据、基础要素矢量数据以及水利普查的多种地理空间数据为基础,通过计算机网络系统将所有与地理信息和水利业务相关的信息资源进行跨部门的交换,按照统一标准对

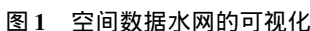


图2 拓扑关系水网的可视化

Fig. 2 Visualization of topological water network

元方式进行拓扑化,以可视化形式来表达之间的相互关系,进一步与水利业务相关联。

1.3 工艺流程水网

工艺流程水网采用知识图谱技术将用水的工艺及原理进行流程化描述,并将用水工艺及原理中的各个环节进行概化,提取主要节点并建立可视化图库,用知识图谱来可视化的表达用水工艺的原理及过程,而且工艺流程水网和空间数据水网、拓扑关系水网相互关联,从而实现了微观形式上水网的管理应用。工艺流程水网的可视化表达如图 3 所示,将海水淡化的原理通过图元和知识图谱以可视化形式来呈现处理的工艺与流程,进一步与具体业务相关联。

2 可视化业务环境搭建

采用 3S 集成技术、知识图与组件技术,基于综合集成平台搭建数字水网可视化的业务环境。3S 集成技术实现对各种地理空间信息的快速采集、处理、管理、分析与应用。通过空间数据水网的发布与调用,实现地理空间信息与水利信息融合与应用。知识图是以图表方式管理知识和经验,通过知识图的绘制来描述水利业务的流程、逻辑以及模型计算的过程;组件是对模型计算方法的封装,使用组件

可以实现快速编程与处理;知识图与组件技术是实现水利业务化的核心,使得计算的过程与结果可视、可用、可信。基于综合集成支持平台,通过知识图的绘制表达水利业务流程关系,以组件的开发和定制来实现具体业务功能,平台可以灵活地搭建业务,为用户提供个性化服务,从而为数字水网的可视化业务环境提供基础技术支撑与保障^[18-22]。

2.1 空间数据水网发布与调用

通过收集研究区域的遥感数据、地形数据、矢量数据等地理空间数据,并对其进行融合、裁剪、投影、分级处理;然后将处理后的空间数据存储到地理云服务器中,以 XML、GML 文件配置各图层的样式,并通过 Geoserver 地理服务器进行数据的管理与发布^[23];最后二维和三维 GIS 通过 Web Map Service (WMS)、Web Feature Service (WFS)、Web Map Tiles Service (WMTS) 网络服务接口调用与读取,空间数据水网的发布与调用流程如图 4 所示。将研究区内的水库、湖泊、行政区划、水利工程等实体水网的地理空间数据进行处理与发布,综合集成平台定制二维、三维 GIS 组件,将江河湖库的位置及连通关系进行可视化呈现。根据用户实际需求来调用所需的水网,便可快速搭建形成符合业务需求的空间数据水网,并且在空间数据水网上添加相关业务组件进行

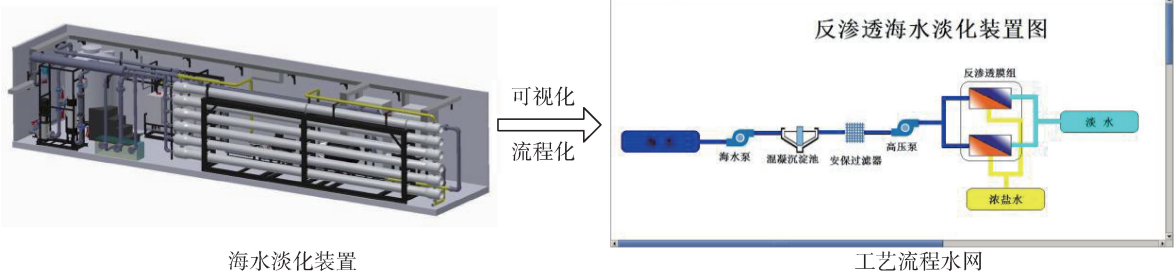


图 3 工艺流程水网的可视化

Fig.3 Visualization of water network in process flow

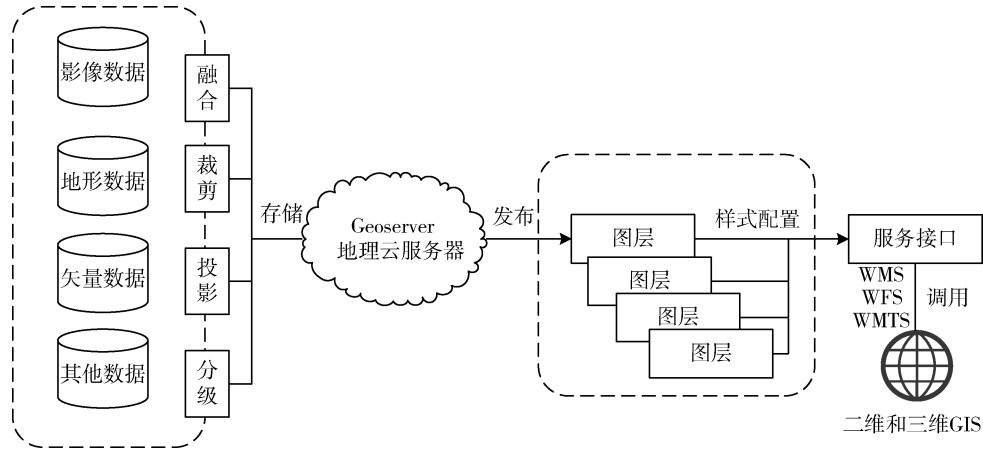


图 4 空间数据水网发布与调用流程

Fig.4 Publishing and calling flow of spatial data water network

决策分析。

2.2 知识图的定制与绘制

拓扑关系和工艺流程水网采用知识图将其相互关系、逻辑关系进行抽象与概化,将管理的对象实体进行逻辑化与拓扑化,以图元的形式将复杂业务进行可视化和知识化的描述。在综合集成平台中,以问题为导向,通过对业务的需求和流程进行梳理并划分不同主题,对于不同的主题定制和绘制新的知识图,通过流程和节点的概化将业务梳理成流程化可执行的程序,将宏观和微观层面上的业务逻辑关系以及工艺流程关系进行数字化呈现,而且可以快速修改,实现业务动态化响应,为水利个性化服务提供支持^[24]。以知识图的定制与绘制来描述拓扑关系水网与工艺流程水网的搭建过程,如图5所示。在用知识图来描述拓扑关系和工艺流程时,首先定制新的知识图,通过节点创建与组件绑定来实现计算流程的可视化;同时知识图是互相嵌套的,用来体现业务之间的联系^[25]。

2.3 业务组件开发应用

组件技术实现了软件复用性,提高系统开发效率,采用组件技术和 workflow 技术来实现业务计算及决策服务等功能。组件开发是通过编程将计算模型和方法实现后打包上传,然后通过定制不同的计算服务组件与知识图中的节点绑定后进行应用^[26]。组件开发应用过程主要包括4个步骤:模块划分、组件封装、组件搭建、组件应用。

a. 模块划分。根据水利业务具体需求划分不同的模块,一般按照模型计算过程进行划分,其中每个模块可以独立完成运算过程,也可以按照模型的逻辑结构来划分。

b. 组件封装。运用 Web Service 技术、面向 SOA 架构将划分好的模块进行封装,组件开发遵循

一定的约束与标准。组件封装后包含输入和输出两个接口,输入接口主要控制参数和数据的流入,通过组件计算后在输出接口输出计算结果。

c. 组件搭建。封装后的组件存入组件库中,用户从组件库中定制新的组件来搭建业务系统,其中一个模型可能会需要一个或多个组件进行组合来搭建,从而实现了组件的复用性和可移植性。

d. 组件应用。通过知识图绘制构建可视化的拓扑关系与工艺流程的水网,其业务流程以可视化图元表达,将知识图中的各节点与业务组件相互绑定,从而建立事件监听机制。在水网进行交互操作时,接收其事件源并通过组件调用其业务所需的相关数据,从而实现组件的业务应用。

3 实例应用

依托国家重点研发计划项目“京津冀水资源安全保障技术研发集成与示范应用”,采用 3S 集成技术、知识图与组件技术研发了基于数字水网的京津冀综合调控平台,构建京津冀可视化数字水网,以信息化的手段来解决京津冀地区水资源安全保障问题^[27]。根据收集京津冀地区的基础地理数据、遥感数据、DEM 数据、水文气象数据、水质数据,按不同主题将水网分类分层,如按省、市、县行政区划划分;按工业、农业、生活、生态用水划分;按保护区、缓冲区、开发利用区和保留区4类水功能区划分;按再生水、微咸水、雨洪水、海水淡化的非常规水资源划分不同的数字水网。下面以京津冀水功能区考核管理为实例来说明数字水网如何与具体业务融合应用。

根据水资源管理中“三条红线”^[28-29]之一“水功能区限制纳污能力红线”的要求与目标,在京津冀地区数字水网搭建的基础之上,对京津冀地区水功能区进行可视化表达,通过水功能区纳污能力计算

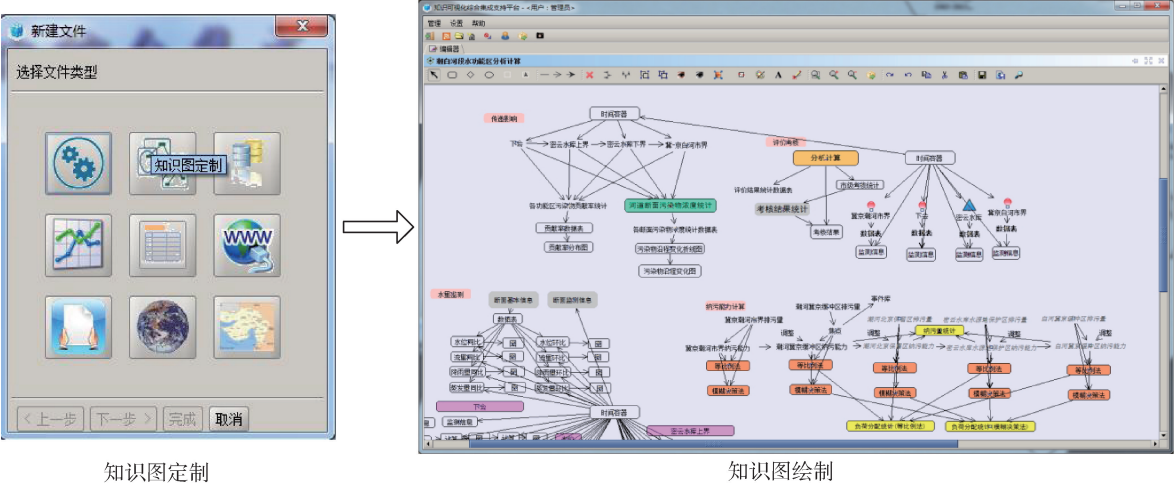


图5 知识图定制与绘制
Fig.5 Customization and drawing of knowledge map

对其进行考核管理。水功能区纳污能力计算与考核管理系统主界面如图 6 所示。图 6 中包括两种可视化的数字水网,左边是在二维 GIS 上呈现的空间数据水网,更加直观地表现水功能区的地理位置等信息;右边是将河流和水功能区概化的拓扑关系水网,从拓扑水网中能清楚地了解水系连通的关系。系统主要包括监测信息、分析计算、考核管理等功能。监测信息是对各水功能区在不同时间段内的水质信息(水温、pH、COD、BOD 等)和各断面水量信息(水位、流量、降水量、蒸发量等)、排污量进行查询展示。水功能区分析计算与考核结果展示界面如图 7 所示,图 7 左边为排污量和纳污能力计算结果展示,根据监测信息对水功能区纳污能力进行分析计算,

在选取污染物类型、计算模型、时间、设计保证率后,计算每种模型对应的纳污能力,为水功能区污染治理提供多种决策方案。图 7 右边为各水功能区断面的评价结果及最终行政区的考核结果展示,以水功能区断面所监测的水质信息为基础,调用水质信息对比分析其超标项目与超标量,统计其水质不达标次数,并根据各水功能区的考核达标数、达标率及控制目标来评价行政区的最终考核结果。

实例应用结果表明,基于可视化数字水网的水功能区考核管理业务应用系统可以实现水功能区纳污能力的动态计算,而且以知识图、组件搭建而成的可视化数字水网具有很强的移植性和扩展性,为水功能区考核管理及水生态问题提供可视化的决策

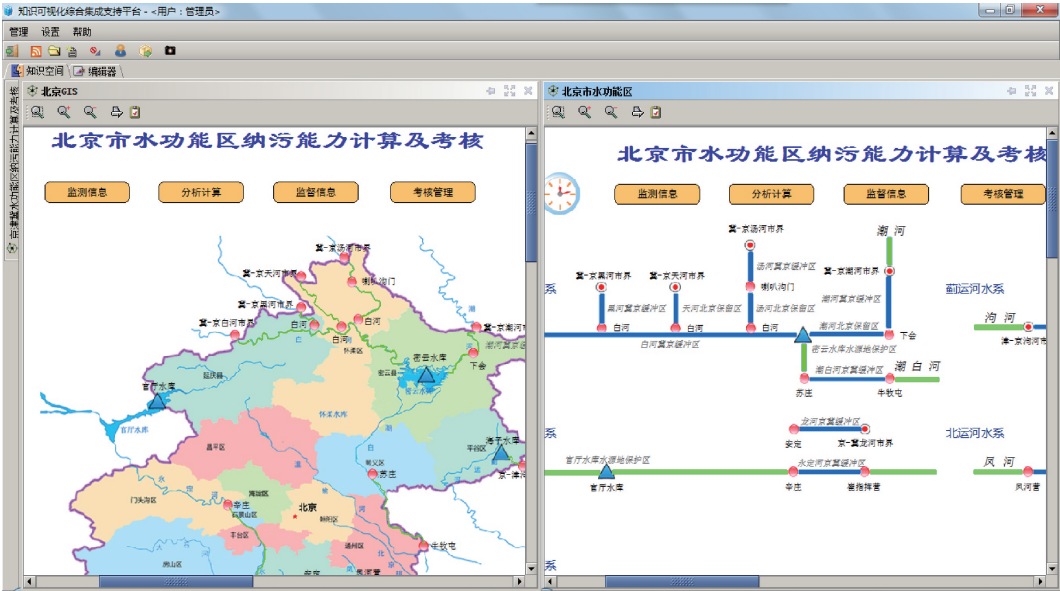


图 6 水功能区纳污能力计算与考核管理主界面

Fig. 6 Main interface for calculation, assessment and management of carrying capacity of water function area

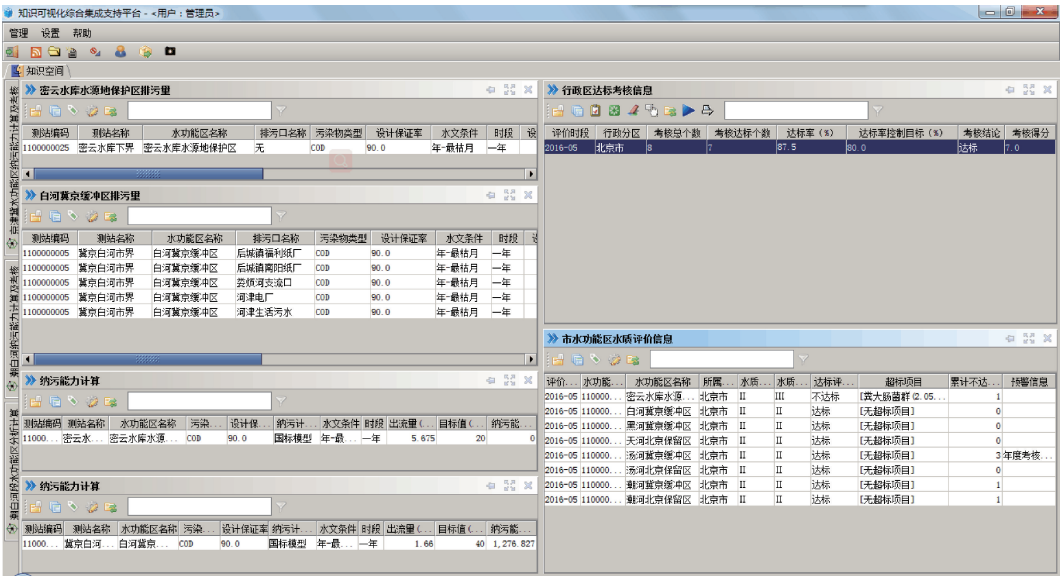


图 7 水功能区分析计算与考核结果展示界面

Fig. 7 Interface for analysis, calculation and examination of water function area

支持。

4 结 语

本文依托实体水网,采用二维和三维 GIS、拓扑关系图及工艺流程图将实体水网的对象和过程数字化,搭建空间数据水网、拓扑关系水网和工艺流程水网 3 种可视化的数字水网。通过 3S 集成技术、知识与组件技术,基于综合集成平台来构建数字水网可视化的业务环境,并在京津冀地区进行应用,在可视化数字水网基础上,实现了京津冀水功能区纳污能力计算与考核管理,为京津冀地区水资源的高效利用与管理提供决策支持。这种基于可视化的数字水网为智慧水网的发展提供了新的思路与解决方案。

参考文献:

- [1] 李德仁,姚远,邵振峰. 智慧城市中的大数据[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(6): 631-640. (LI Deren, YAO Yuan, SHAO Zhenfeng. Big data in smart city [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014, 39(6): 631-640. (in Chinese))
- [2] 高志远,姚建国,郭昆亚,等. 智能电网对智慧城市的支撑作用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 148-153. (GAO Zhiyuan, YAO Jianguo, GUO Kunya, et al. Study on the supporting role of smart grid to the construction of smart city [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 148-153. (in Chinese))
- [3] WANG Feiyue. Parallel control and management for intelligent transportation systems: concepts, architectures, and applications [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3): 630-638.
- [4] 倪明选,张黔,谭浩宇,等. 智慧医疗:从物联网到云计算[J]. 中国科学:信息科学, 2013, 43(4): 515-528. (NI Mingxuan, ZHANG Qian, TAN Haoyu, et al. Smart healthcare: from IoT to cloud computing [J]. Scientia Sinica (Informationis), 2013, 43(4): 515-528. (in Chinese))
- [5] 张平,陶运铮,张治. 5G 若干关键技术评述[J]. 通信学报, 2016, 37(7): 15-29. (ZHANG Ping, TAO Yunzheng, ZHANG Zhi. Survey of several key technologies for 5G [J]. Journal on Communications, 2016, 37(7): 15-29. (in Chinese))
- [6] NARLA S R K. The evolution of connected vehicle technology: from smart drivers to smart cars to self-driving cars [J]. ITE Journal, 2013, 83(7): 22-26.
- [7] 董朝阳,赵俊华,文福拴,等. 从智能电网到能源互联网:基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 1-11. (DONG Zhaoyang, ZHAO Junhua, WEN Fushuan, et al. From smart grid to energy internet: basic concept and research framework [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(15): 1-11. (in Chinese))
- [8] 王建华,赵红莉,冶运涛. 智能水网工程:驱动中国水治理现代化的引擎[J]. 水利学报, 2018, 49(9): 1148-1157. (WANG Jianhua, ZHAO Hongli, YE Yuntao. Smart water grid project: the engine driving China's water management modernization strategy [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(9): 1148-1157. (in Chinese))
- [9] 尚毅梓,王建华,陈康宁,等. 智能水网工程概念辨析及建设思路[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(3): 534-537. (SHANG Yizi, WANG Jianhua, CHEN Kangning, et al. Discussion on concept analysis and construction idea of smart water network engineering [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(3): 534-537. (in Chinese))
- [10] 叶枫,张鹏,夏润亮,等. 基于新一代大数据处理引擎 Flink 的“智慧滁河”系统[J]. 水资源保护, 2019, 35(2): 90-94. (YE Feng, ZHANG Peng, XIA Runliang, et al. “Smart Chuhe River” system based on Flink, a new generation of big data processing engine [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(2): 90-94. (in Chinese))
- [11] 匡尚富,王建华. 建设国家智能水网工程提升我国水安全保障能力[J]. 中国水利, 2013(19): 27-31. (KUANG Shangfu, WANG Jianhua. Construct national intelligent water network for securing water safety in China [J]. China Water Resources, 2013(19): 27-31. (in Chinese))
- [12] 吴兆丹,王晓霞,吴兆磊,等. 科技支撑水环境治理作用机制研究[J]. 水利经济, 2019, 37(4): 42-47. (WU Zhaodan, WANG Xiaoxia, WU Zhaolei, et al. Mechanism of science and technology supporting water environment governance [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(4): 42-47. (in Chinese))
- [13] 刘忠华,于华,杨方廷,等. 山西大水网工程的网络拓扑性能分析[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(20): 220-226. (LIU Zhonghua, YU Hua, YANG Fangting, et al. Analysis of topological properties of Shanxi water network [J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(20): 220-226. (in Chinese))
- [14] 戴甦,张敏. 智慧太湖建设总体目标与关键内容[J]. 水利信息化, 2018(4): 7-10. (DAI Su, ZHANG Min. Overall objective and construction key content of smart Taihu Lake [J]. Water Resources Informatization, 2018(4): 7-10. (in Chinese))
- [15] 王维平,杨金忠,范明元,等. 现代化水网建设与水资源优化配置研究[J]. 水利水电技术, 2004(5): 11-14. (WANG Weiping, YANG Jinzhong, FAN Mingyuan, et al. Modern water network system construction and optimal water resources allocation [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004(5): 11-14. (in Chinese))

- [16] 高树东,任玉忠.潍坊市“自然-人工-数字”耦合水网体系的构建[J].水资源保护,2013,29(4):72-76. (GAO Shudong, REN Yuzhong. Natural-artificial-digital coupling water network system for Weifang City [J]. Water Resources Protection,2013,29(4):72-76. (in Chinese))
 - [17] 曹永强,齐静威,王菲.基于CiteSpace的水安全研究现状与热点分析[J].水利经济,2019,37(6):46-52. (CAO Yongqiang, QI Jingwei, WANG Fei. Current situation and hotspot analysis of water security researches based on CiteSpace[J]. Journal of Economics of Water Resources,2019,37(6):46-52. (in Chinese))
 - [18] 于翔.基于技术集成的数字水网研究与主题化服务[D].西安:西安理工大学,2017.
 - [19] 于翔,姜仁贵,李建勋,等.基于三维可视化平台的水资源监控主题服务研究[J].水利信息化,2015(6):32-36. (YU Xiang, JIANG Rengui, LI Jianxun, et al. Theme Service of Water Resources Monitoring based on Three Dimensional Visualization Platform[J]. Water Resources Informatization,2015(6):32-36. (in Chinese))
 - [20] 陈晨,罗军刚,解建仓.基于综合集成平台的水资源动态配置模式研究与应用[J].水力发电学报,2014,33(6):68-77. (CHEN Chen, LUO Jungang, XIE Jiancang. Study and application of water resources dynamic allocation model on integrated service platform[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33 (6) : 68-77. (in Chinese))
 - [21] 解建仓,罗军刚.水利信息化综合集成服务平台及应用模式[J].水利信息化,2010(5):18-23. (XIE Jiancang, LUO Jungang. Integrated service platform for the information explosion process in water resources industry and its application pattern [J]. Water Resources Informatization,2010(5):18-23. (in Chinese))
 - [22] 张永进,解建仓,蔡阳,等.对水利应用支撑平台的建议[J].水利信息化,2011(1):10-13. (ZHANG Yongjin, XIE Jiancang, CAI Yang, et al. Suggestion on water application support platform [J]. Water Resources Informatization,2011(1):10-13. (in Chinese))
 - [23] 王兴玲,杨崇俊,刘冬林.XML与新一代WebGIS系统的构建[J].计算机工程与应用,2002(12):227-230. (WANG Xingling, YANG Chongjun, LIU Donglin. XML and building of new generation WebGIS [J]. Computer Engineering and Applications, 2002 (12) : 227-230. (in Chinese))
 - [24] 李建勋,张永进,郭莲丽,等.应用知识图构建及其可视化方法[J].计算机科学,2012,39(9):225-228. (LI Jianxun, ZHANG Yongjin, GUO Lianli, et al. Construction and visualization method of application knowledge map [J]. Computer Science, 2012, 39 (9) : 225-228. (in Chinese))
 - [25] 金菊良,陈鹏飞,陈梦璐,等.基于知识图谱的水资源承载力研究的文献计量分析[J].水资源保护,2019,35(6):14-24. (JIN Juliang, CHEN Pengfei, CHEN Menglu, et al. Bibliometric analysis of research progress on water resources carrying capacity based on knowledge map [J]. Water Resources Protection, 2019, 35 (6) : 14-24. (in Chinese))
 - [26] 马增辉,解建仓,张永进,等.基于SOA的水利构件研究[J].西安理工大学学报,2008,24(4):415-420. (MA Zenghui, XIE Jiancang, ZHANG Yongjin, et al. A study of water conservancy component based on SOA [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2008, 24 (4) : 415-420. (in Chinese))
 - [27] 赵勇,翟家齐.京津冀水资源安全保障技术研发集成与示范应用[J].中国环境管理,2017,9(4):113-114. (ZHAO Yong, ZHAI Jiaqi. Research and development integration and demonstration application of water resources security technology in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2017, 9 (4) : 113-114. (in Chinese))
 - [28] 张瑞美,王亚杰,陈献.水资源管理立法现状与供给侧改革的新要求[J].水利经济,2018,36(1):27-31. (ZHANG Ruimei, WANG Yajie, CHEN Xian. Current legal situations of water resource management and new requirements of supply-side structural reform [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36 (1) : 27-31. (in Chinese))
 - [29] 王喜峰,张景增.水资源管理的供给侧结构性改革研究[J].水利经济,2018,36(1):42-45. (WANG Xifeng, ZHANG Jingzeng. Supply-side structural reform of water resource management [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36 (1) : 42-45. (in Chinese))
- (收稿日期:2019-04-19 编辑:彭桃英)
- +++++
- (上接第23页)
- [26] 黄河水利委员会.黄河流域水资源综合规划报告[R].郑州:黄河水利委员会,2007.
 - [27] 闫莉,余真真,张萍.黄河跨省界水环境补偿机制研究[M].郑州:黄河水利出版社,2017.
 - [28] 唐立杰,李良县,卢亚卓,等.水资源价值及其模型浅析[J].中国水利水电科学研究院学报,2009,7(1):67-70. (TANG Lijie, LI Liangxian, LU Yazhuo, et al. Analysis on water resources values and the relevant research models [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2009, 7 (1) : 67-70. (in Chinese))
 - [29] 徐麦菊,刘小飞,刘文康.基于治污成本法的流域生态补偿标准研究[J].水土保持通报,2017,37(4):156-160. (XU Maiju, LIU Xiaofei, LIU Wenkang. Ecological compensation standard for river basin based on method of pollution treatment cost [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37 (4) : 156-160. (in Chinese))
- (收稿日期:2020-06-30 编辑:彭桃英)