

淮阴竹络坝灌区三维虚拟地理场景 构建关键技术研究

张云峰¹, 陈锁忠^{2,*}, 张卉芬¹, 何 亮², 卢飞翔¹

(1. 淮阴区水利局, 江苏 淮安 223300; 2. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210023)

摘要:针对灌区三维虚拟场景构建的多源异构数据,提出了支持灌区水工建筑物三维模型(BIM)与三维虚拟地理场景模型(3D GIS)构建数据采集总体技术路线与技术方法;从宏观尺度灌区地理场景与微观尺度水利设施内部场景可视化2个方面研究了三维虚拟地理场景构建方法;对涉及的基于Cesium的地理场景高效渲染、三维地形模型与水利工程模型无缝融合、水系线性要素空间建模、闸口等点状物建模、水文要素的动态渲染、多尺度模型加载关键技术问题提出了解决方案。根据淮阴竹络坝灌区的特点,采用了“GIS+BIM”融合模式构建了灌区三维虚拟地理场景,为数字灌区建设奠定了基础。

关键词:智慧灌区;3D GIS技术;BIM技术;三维场景建模

中图分类号:TV663

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2021)07-0067-06

Research on key technology of 3D virtual geographic scene construction in Zhuluoba Irrigation Area of Huaiyin District

ZHANG Yunfeng¹, CHEN Suozhong^{2,*}, ZHANG Huifen¹, HE Liang², LU Feixiang¹

(1. Huaiyin District Water Conservancy Bureau, Huai'an 223300, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment Nanjing Normal University, Ministry of Education, Nanjing 210023, China)

Abstract: Aiming at the multi-source heterogeneous data of three-dimensional virtual scene construction in irrigation area, the overall technical route and method of data acquisition supporting three-dimensional model of hydraulic structures (BIM) and three-dimensional virtual geographic scene model (3D GIS) in irrigation area were proposed. The construction method of 3D virtual geographic scene was studied from two aspects of the macro scale geographica scene of irrigation area and the micro scale internal scene visualization of water conservancy facilities. The solutions to the key technical problems involved in efficient rendering of geographic scene based on Cesium, 3d terrain model and hydraulic engineering model, spatial modeling of linear elements of river system, modeling of point objects such as sluicing gates, dynamic rendering of hydrological elements, and loading of multi-scale model were proposed. According to the characteristics of Zhuluoba Irrigation Area in Huaiyin District, the "GIS+BIM" fusion mode was used to construct the 3D virtual geographic scene of irrigation area, which laid a foundation for the construction of digital irrigation area.

Key words: smart irrigation area; 3D GIS technology; BIM technology; 3D scene modeling

收稿日期:2021-05-11

基金项目:江苏省水利科技项目(2019057)

作者简介:张云峰(1981—),男,工程师,本科,主要从事农田水利规划与建设工作。E-mail:104399692@qq.com

通信作者:陈锁忠(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事地理信息系统和科学计算可视化研究工作。E-mail:09153@

njnu.edu.cn

智慧水利是智慧社会建设的重要组成部分,旨在应用云计算、物联网、大数据、移动互联网和人工智能等新一代信息技术,实现对水利对象及活动的透彻感知、全面互联、智能应用与泛在服务,从而促进供水与水治理体系和能力现代化。智慧水利是补短板、强监管的重要抓手,是推进新时代水利现代化的重要举措,也是水利信息化的发展趋势^[1],并且已成为各国发展的重点研究方向。

国外智慧水利发展起步较早,系统架构和软件平台已经发展成熟,智慧水利系统已经从软硬件领域转换到数据的收集、处理及应用领域^[2]。受管理体制、经费投入等方面的制约因素的影响,我国智慧水利发展较晚,作为智慧水利重要组成部分的智慧灌区建设水平仍需提升,主要存在以下不足:第一,灌区信息采集点少、手段落后,高度依赖工程运维人员工作经验;第二,重硬件、轻基础数据与软件建设;第三,缺少灌区全域三维虚拟场景支撑,可视化水平较低,管理系统的导视功能不足;第四,灌区信息化系统的综合集成能力不强;第五,缺乏有效的统一管理方案。

WebGIS 是一种互联网与地理信息相结合的新技术,通过计算机网络,将多源异构的空间地理数据按照一定的运行机制进行组织、管理并发布,提供空间数据浏览、专题查询及统计分析等功能,实现信息的共享与辅助决策^[3]。但传统的二维(2D)GIS 对处于三维(3D)空间中的各种地理对象,需全部进行二维平面投影简化处理,导致了第三维方向上的几何位置信息、空间拓扑信息以及部分语义信息的损失,不能完整地反映客观世界^[4]。同时,水利业务及 IT 运行环境相对复杂,具有设计交互多样性、服务形态复杂性的特点。大型灌区 3D 建模与城市不同,除去传统需要考虑的建筑模型、道路等,灌区场景更多的聚集在水网、水利设施、地形等方面的 3D 建模。因此,本文立足于多源异构数据,采用多种手段与方法获取灌区 3D 场景构建所需 3D 数据,采用了“GIS + BIM”融合模式,生成支撑智慧灌区运行的 3D 虚拟场景。

1 灌区与智慧灌区

灌区是指灌溉水源工程所能控制的对农田实施灌溉的地域,由灌溉水源工程、灌溉排水系统及灌溉农田组成^[5]。灌区作为水利的重要组成部分,无论是对水资源开发利用的影响,还是对水利工程的整体协调和互为支撑,其作用都是不可忽视的,因此,智慧灌区的建设是智慧水利建设不可缺少的部分。

智慧灌区是现有灌区信息化、自动化和数字化的

高级形式,它融合了人工智能技术,以期实现更为智能的灌区监测、信息解译、模拟、预警、决策和调控^[6-7],具备自主学习、分析和优化能力。智慧灌区是灌区信息化建设的最终目标,它是在数字灌区建立的基础框架上,通过物联网将现实灌区与数字灌区进行有效融合,从而感测、整合、分析灌区生产运行过程中的各项信息,对农业灌溉用水的需求做出智能响应,为灌区管理者和用水户提供方便、快捷的智能化服务。智慧灌区由“数字灌区、灌区泛在网、灌区云计算”三部分组成,其中,数字灌区是智慧灌区建设的基础,是指基于 GIS 技术对灌区的构成元素数字化建模,以及空间信息分析与深度挖掘,并通过传感器技术实现对天空地一体化的各类灌区生产运行信息快速获。

鉴于目前已建的灌区信息化管理系统中灌区背景数字化程度局限性,有必要开展“面向智慧调水的灌区 2D 与 3D 一体化的虚拟场景构建技术方法的研究”,其研究意义主要体现在以下几个方面:第一,增强灌区日常管理的可视性;第二,有利于灌区智慧调水空间辅助决策;第三,弥补省水利地理信息服务平台的不足。

2 数据获取方法

本文针对传统灌区管理信息系统缺乏场景可视化、管理量化、辅助决策智能化等方面的问题,提出了面向 3D 视觉的智慧灌区场景搭建方案。因此,如何获取 3D 虚拟场景构建所需要数据,成为首要解决的基础性问题。灌区管理涉及的数据源如竣工图纸等,皆为点线面矢量数据,无法支撑上述 3D 场景的搭建及后续的智慧化应用,因此需要采集支持灌区水工建筑物 3D 模型(BIM)与 3D 虚拟地理场景模型(3D GIS)构建的相关数据。BIM 与 3D GIS 建模数据获取的技术路线如图 1 所示。

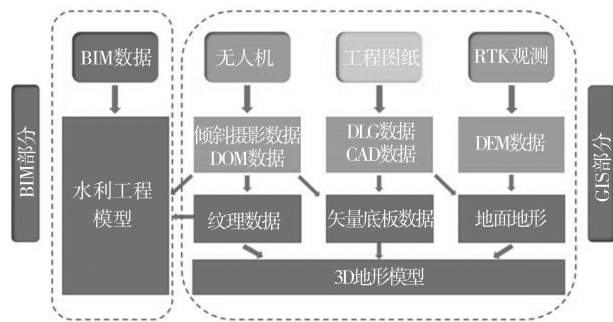


图1 BIM与3D GIS建模数据获取的技术路线图

2.1 BIM部分

如图1所示,BIM部分以灌区内水工建筑物、设

备与设施的基础数据为主,侧重于获取水利设施的内部组件,从而为3D模拟下的智慧调水等智能化分析场景做支撑。同时其内部组件的空间位置等则通过GIS中的地面控制点、竣工图纸等底板数据来进行水利设施的整体空间定位,从整体及局部完成其内部组件的空间地理编码。

2.2 3D GIS 部分

3D GIS 部分侧重于灌区宏观地理场景的3D建模,数据3D具有多源、异构、多流程特点。主要获取手段为RTK观测、无人机采集、工程图纸三类。RTK观测采用载波相位动态实时差分方法,在野外测量获得点位坐标,差值解算处理生成目标区域数字高程模型(DEM),作为灌区内的基础3D地形数据。

无人机采集是通过拍摄生成两类数据,即倾斜摄影数据与数字正射影像图(DOM)。倾斜摄影数据通过摄影测量原理用于生成目标区域内的3D模型,并将DEM数据作为约束与3D场景进行融合解算,进一步获取精确的陆地地形数据;生成的DOM数据将作为3D地形与水利设施的贴图纹理,同时其正射影像内容中的水系等要素作为后续水网生产的矢量化底板。

工程图纸数据包括灌区内的数字线划图(DLG)与CAD数据,作为最为基础的数据,其具有支撑空间校准、矢量化、3D建模等多方面用途;同时针对智慧灌区3D虚拟场景侧重水网建设这一要点,能够对水工建筑物附近的水网矢量数据进行获取并校准;而对于其他大面积的野外区域水系,仍然利用上述无人机拍摄的灌区DOM数据进行水系的人工矢量化。同时结合相关资料数据信息,对水系进行属性赋值,理清河道、干渠、支渠与斗渠间的隶属关系,完成对灌区内水网的数字化处理,同时水网的数字化成果也作为后续三维智慧灌区的数据基础。

3 灌区三维虚拟地理场景构建

灌区3D虚拟场景搭建不同于传统城市内对于建筑物、道路等要素采取的批量建模,灌区内部场景极具个性化,因此,需采用上述多源异构的方式,在尽可能保证精细度、准确度与展示效率的前提下进行定制化建模。而灌区的场景搭建,依然要结合灌区的特点建立相应的搭建模式。基于“GIS+BIM”的数据获取架构,支撑了顾及灌区特点从宏观与微观两个层面进行场景搭建,一定程度上彻底摆脱传统二维场景下点、线、面这类较为粗糙的灌区场景,大幅提升灌区可视化水平。

3.1 宏观尺度地理场景可视化

宏观层面上,聚焦于大型灌区整体3D场景搭建,主要包括水系、地形、水工建筑物(不含设施内部组件),即呈现在外部的可视化内容。场景所需3D实体数据基本都能从本文提出的多源异构数据获取框架中生成。因此,当在场景表面上设置相应的控制点位,便可将物料库中的3D实体数据累加至3D地球球面上来。

3D地形模型通过测绘地理信息手段生成,由于其地理坐标真实性,能够直接与虚拟地球表面贴合作为场景的基底。通过Smart3D、3DMax等软件工具,结合先前数据底板中水系面宽、深度等参数,搭建水系3D场景。除可视化外,也是支撑后续智能化调水分析等智慧灌区应用场景的基础。水利设施通过建模及贴纹理的方式生成3D模型,并在建筑物附近布置控制点使3D模型能够按照体态和坐标对应置于场景中。其他环境要素则同样通过无人机的倾斜摄影及其他辅助措施建模并放置于场景中,从而完成宏观意义上的灌区3D虚拟场景搭建。

3.2 微观尺度水利设施内部场景

除了可视化,智慧灌区管理量化与辅助决策智能化的实现,主要依赖于水利设施内部的微观层面场景搭建。内部场景的搭建依赖于BIM(Building Information Modeling)数据。BIM技术是一种当前广泛应用于工程设计、建造、管理的数据化工具,通过对建筑及其内部零部件的立体可视化、数据化、信息化模型整合,在项目策划、运行和维护的全生命周期过程中进行共享和传递,使工程技术人员对各种建筑信息进行正确理解和高效应对,为设计团队等各方建设主体提供协同工作的基础。其中水利设施的内部零件,由于存在建筑BIM数据库中,其3D建模便已经完成,并可直接获取样式及相关业务属性信息,经过定位处理使其富含地理属性,从而能够按照实际位置摆放至虚拟3D场景中。而在此基础上搭建的这些微观世界的3D零件实体,能够进一步通过系统模拟其体态、动态属性内容,如控制闸口放水量从而模拟分析当前水量下灌区的灌溉效率及风险评估等,从而为智慧灌区管理量化与辅助决策智能化提供有力支撑。

4 关键技术

4.1 基于Cesium的地理场景高效渲染

对于灌区水利工程3D虚拟地理场景的构建,在可视化效果展示方面,选用了Cesium作为B/S端智慧灌区3D GIS的3D解决方案。Cesium源自于Ana-

lytical Graphics, Inc(AGI)公司开发的一个虚拟地球项目,是一个用于在 Web 浏览器上创建 3D 地球和 2D 地图的 JavaScript 库。Cesium 使用 WebGL 来进行硬件加速图形化,跨平台、跨浏览器,并且针对可视化动态数据,可以自行绘制图形,高亮区域,并提供良好的触摸支持,且支持绝大多数的浏览器和移动设备,基于此,当前 Cesium 已为数百万用户的应用程序提供强大的支撑,而其优异的特性使其广泛被应用于建筑规划、无人驾驶等各个三维场景中。

Cesium 使用一套 API 支持 3D 地球、2D 地图及 2.5 维(2.5D)哥伦布视图。对于动态地理空间的可视化,它能够通过 CZML 创建数据驱动的时间动态场景,并进行高分辨率的世界地形可视化。使用 WMS、TMS、openstreetmaps、Bind 以及 ESRI 的标准绘制影像图层。使用 KML、GeoJSON 和 TopoJSON 绘制矢量数据。使用 COLLADA 和 glTF 绘制 3D 模型。此外,它内置的高性能和高精度特性,能够实现优化的 WebGL,充分利用硬件渲染图形使用低级别的几何和渲染程序。基于这些特性,使用 Cesium 来使智慧灌区的地理场景达到了高效的渲染。基于 CesiumJS 的 3D 灌区地理场景渲染效果如图 2 所示。



图2 基于 cesiumJS 的 3D 灌区地理场景渲染效果图

4.2 3D 地形模型与水利工程模型无缝融合技术

对于灌区这样的大场景而言,在 3D 实体与 3D 球面、地形贴合时,直角实体与球面曲率之间存在缝隙的问题,因此本文提出利用拆分单元格分区贴合的方式,来解决大面积场景下的球面贴合缝隙问题。

在 3D 地形与 Cesium 提供的 3D 虚拟地球球面贴合时,地形基底来源于测绘地理信息技术生成的真实 DEM 数据。因此,数据本身具有球面曲面率,在坐标对应的情况下能够实现与虚拟球面的贴合。当对于直角坐标系下生成的各类地物如水系、水利设施、其他地形要素等,在进行贴合时,由于直角坐标系的实体与球面坐标系下的曲率,必然会造成缝隙。针对该问题,在直角坐标系下构建的 3D 场景模型(包含地形、水系、水利设施等全部成果)上,叠加网格图,考

虑到尽量避免切割水利设施导致这一影响智慧灌区的关键一环,网格图以 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 为宜,且网格线尽量避免水利设施,每个网格生成唯一编号。同样按照相应坐标,此网格上各个节点坐标在球面上一一对应,并在球面上模拟生成相应的网格并对应直角平面网格——对应编号。按照此网格来分割直角坐标系下的 3D 场景,生成对应网格编号的 3D 块体,并按照编号植入到球面上对应处,使 3D 块体的 4 个角坐标的 x, y 值对应球面上的坐标, z 轴值设为 0,从而贴合球面,最终完成无缝贴合。3D GIS 与灌区大型水利工程 3D 模型的无缝融合效果如图 3 所示。

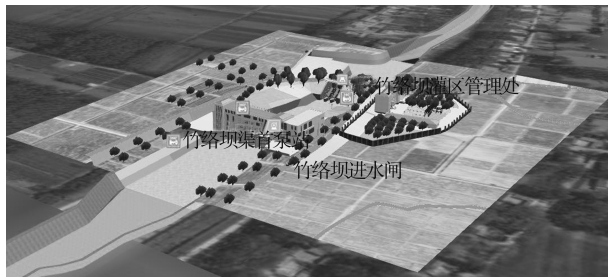


图3 3D GIS 与灌区大型水利工程 3D 模型的无缝融合效果图

4.3 水系线性要素空间建模

对于灌区而言,水系是非常重要的 3D 建模要素。因此,对于水系这类线性要素的建模,不同于传统城市等简单 3D 场景下对于类似道路等这类线性要素的批量建模,需要结合水系属性个性化建模。对于已经完成数字化的水系要素,首先获取水系的深度与宽度属性,通过这两个重要属性,定制生成水系的 3D 立体模型。此外,水系左右的堤坝等对象,也可根据正射影像等底板数据完成 3D 模型构建,并配套叠加水系模型。精细的水系模型能够尽可能支持精确计算当前河道的流量,为智慧调水等场景提供支撑。3D GIS 与线状地物 3D 模型的无缝融合效果如图 4 所示。

4.4 闸口等点状对象建模

对于闸口等这类精细部件点状对象,不需基于地理信息数据建模,因此,对于虚拟 3D 模型放置在搭建的虚拟场景中时,除了进行地理编码确定其准确坐标外,还要解决诸如其体态、摆放方向等关键问题。只有精确的摆放,才能够在还原可视化的前提下,为智慧调水等智能化应用场景提供准确支撑。针对这个问题,本文以测绘中布设控制点的方式,获取点状建模对象相对于几个控制点的位置,通过解算使用正确的摆放体态将点状对象放置在 3D 场景中,从而解决上述问题。基

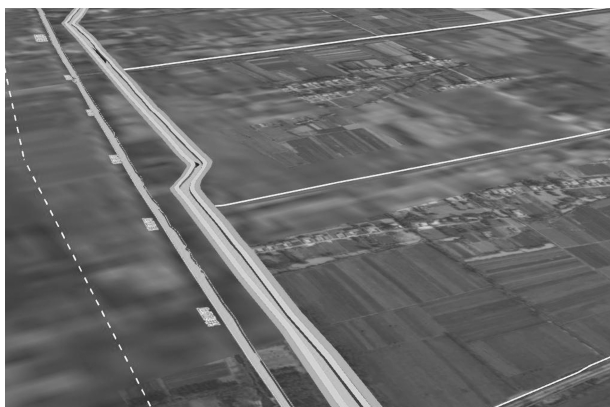


图4 3D GIS与线状地物3D模型的无缝融合效果图
于3D GIS的闸、口点状地物3D建模效果如图5所示。

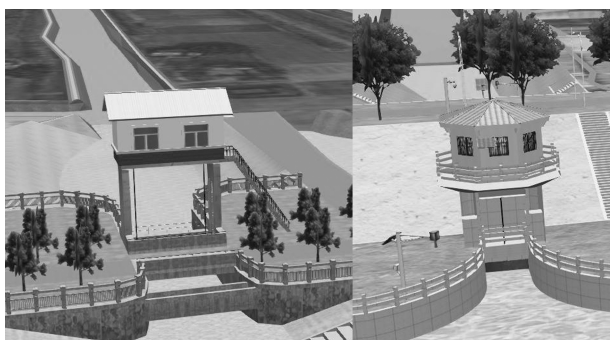


图5 基于3D GIS的闸、口点状地物3D建模效果图

4.5 水文要素的动态渲染

水文要素的动态渲染决定了智慧调水等应用场景中能够根据系统计算动态模拟水系等水文要素中的当前水流量。上述提及的水系3D建模仅仅只是对于其水系周围地形及堤坝等的建模,并不包含水流。这也是灌区不同于其他场景建模的重要特性,水系需要根据系统计算动态渲染。在此问题上,本文采用了基于WebGL的方式进行水文要素动态渲染,这种绘图技术标准允许把JavaScript和OpenGL ES 2.0结合在一起,通过对这两类的绑定,WebGL可以为HTML5的Canvas提供硬件3D加速渲染,这样不但能借助系统显卡来在浏览器里更流畅地展示3D场景与模型,还能创建复杂的导航和数据可视化。因此,基于此特性,在用户给予模拟参数的前提下,根据系统及后台计算,能够实现在Web端动态绘制水流,从而智能化模拟调水场景,辅助相关决策并预告风险等。

4.6 多尺度模型加载

对于大型灌区3D场景,不同比例尺下的加载策略直接影响系统的展示效率及用户的可视化获得感。因此,制定多尺度模型加载策略,也是本文

研究的一项重点。通过多次实验,考虑人的操作获得感及硬件设备的适配性,能够让更多的相关用户尤其是一线灌区使用人员能够广泛使用,可通过脚本代码,获取当前系统展示的比例尺范围,针对小比例尺下大面积的灌区浏览,不出现3D模型。而当视角场景缩放到灌区内水利设施及周边范围内,脚本语言控制系统加载3D模型。这种方式的益处在于不过多地提高使用者的硬件设备要求,并在满足灌区内聚焦区域(一般为水利设施周边等)场景的可视化、管理量化、辅助决策智能化基础上,减少3D切片的层级,提高系统运行流畅度。多尺度灌区3D模型无缝切换加载效果如图6所示。



(a) 宏观尺度下灌区建模效果

(b) 中尺度下灌区建模效果



(c) 精细尺度下灌区建模效果

图6 多尺度灌区3D模型无缝切换加载

5 竹络坝灌区3D虚拟场景实现

以江苏省淮安市淮阴区竹络坝灌区为例,该灌区位于淮阴区淮沐河以西,北抵总六塘河、南接中运河、西与宿迁市的泗阳县接壤。灌区总面积 342.20 km^2 ,其中耕地面积 215 万 km^2 ,设计灌溉面积约 213.3 万 km^2 。

在构建其3D虚拟场景时,基于Cesium采用上述技术路线进行3D场景建模并植入3D球体内。当切换系统的场景至3D层面下时,能够发现3D模型与地球球面贴合,无明显缝隙。基于3D GIS +

BIM 技术的灌区水利设施 3D 建模效果如图 7 所示。同样对于水利设施而言,内部采用 GIS 与 BIM 融合方式构建水利实施 3D 模型能够满足智能分析要求。3D 虚拟场景内的零件设备,能够进行相关分析,其中提供的基于实时调控的闸门可视化动态仿真技术,可为基于灌区虚拟场景的智慧调水方案的制定提供空间辅助决策支持,在系统应用中得到了较好的验证。



图 7 基于 3D GIS + BIM 技术的灌区水利设施 3D 建模效果图

6 结 语

针对 3D 模型构建层面,多源多类数据能够相互补充,实现 3D 实体模型构建和纹理生产并贴图,同时由于多源多类数据的原因,在相互重叠的区域,不同类型数据对 3D 建模能够相互补充与约束,提高 3D 模型精确,从而使数字灌区的 3D 地理场景更具仿真性。尤其引入 BIM 模型后,对于水利

设施工程内部零件也能进行精细 3D 建模,从而能够通过模型智能模拟(譬如闸口水流量等)相关信息,从而支撑智慧灌区应用。

3D 模型无缝融合方面,通过利用格网编号分块的方式,能够在一定程度上消除直角坐标系下的 3D 模型和球面曲率相贴合产生的缝隙。经过研究,格网越细则越能减少缝隙的存在,但实际使用时应考虑如何避免切割水利设施整体 3D 模型的问题。同样,编号的方式能够提高相互融合时的效率,避免贴合时出现错误。

经系统实际应用验证,基于本文提出的基于多源多类数据的 3D 模型生成、3D 地形与水利工程模型无缝融合技术,能够达到既定目标要求。在实现面积较大灌区 3D 虚拟地理场景建模时,各环境要素及水利设施的 3D 建模及球面场景搭建,需在智慧灌区智能化应用工程上进行验证,进一步从数据层面上:为后续相关分析功能的开发应用提供支撑。

参考文献:

- [1] 水利部关于印发加快推进新时代水利现代化的指导意见的通知[R]. 北京:中华人民共和国水利部公报, 2018.
- [2] 谢丽芳,邵煜,马琦,等. 国内外智慧水务信息化建设与发展[J]. 给水排水, 2018, 54(11):135-139.
- [3] 饶鸣. 基于 WebGIS 的地理信息系统开发应用分析[J]. 信息系统工程, 2019(5):48.
- [4] 肖乐斌. 基于栅格框架的三维 GIS 集成数据模型与空间分析研究[D]. 北京:中国科学院地理研究所, 1999.
- [5] 高占义. 我国灌区建设及管理技术发展成就与展望[J]. 水利学报, 2019, 50(1):88-96.
- [6] 戴玮,李益农,章少辉,等. 智慧灌区建设发展思考[J]. 中国水利, 2018(7):48-49.
- [7] 周亚平,陈金水,高军. 智慧灌区建设要素及关键技术[J]. 水利信息化, 2019(2):11-18, 23.