

三维 GIS 在灌区管理中的应用

程 帅^{1,2,3}, 豆明珠⁴, 刘 照^{2,3}, 张树清²

(1. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102;
3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 山东师范大学 生命科学学院, 山东 济南 250014)

摘 要: 为提升灌区管理与决策水平,提高水资源利用率,本研究将三维 GIS 技术引入灌区日常运营管理之中。首先确定灌区三维 GIS 管理信息系统整体架构,随后根据具体应用需求设计出系统各功能模块及所用数据库,最后基于集成二次开发平台来进行系统开发。实例应用表明:在三维虚拟空间中,可以更加直观地获取灌区内各类地理实体的基础地理信息,并可结合不同的需求进行相应的空间分析,从而使得灌区的规划、利用具有更高的效率,对促进灌区的可持续发展具有重要意义和实用价值。

关键词: 灌区管理; 三维 GIS; 集成二次开发; 三维虚拟空间

中图分类号: S274.3; P208 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2015)06-0230-06

Application of 3D GIS in management of irrigation area

CHENG Shuai^{1,2,3}, DOU Mingzhu⁴, LIU Zhao^{2,3}, ZHANG Shuqing²

(1. College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: In order to enhance the management and decision making level of irrigation area, and improve the utilization efficiency of water resources, the paper introduced 3D GIS technology into the daily operation and management of irrigation area. First of all, the overall framework of a 3D GIS information management system for irrigation area was built, and then every function module and database belong to the system was designed, and the system was developed based on the integrated secondary development platform at last. The results show that the basic geographic information of entities in the irrigation area can be more intuitively obtained, in the meanwhile, spatial data analysis can be carried out in accordance with special requirements and applications in 3D virtual space. So the plan of irrigation area and utilization of water resources have higher efficiency, which has important significance and practical value for the sustainable development of irrigation area.

Key words: management of irrigation area; 3D GIS; integrated secondary development; 3D virtual space

1 研究背景

灌区在提高作物产量,保障粮食安全,促进农业和国民经济的持续发展,优化配置水资源,维护、调节生态环境等方面发挥着重要作用,但对灌区水利设施而言,一直以来存在着“重建设,轻管理”的情况,使得灌区管理效率不高,灌区应有的功能没有得

到充分发挥^[1-2]。要想充分发挥灌区应有的作用,管理是关键,作为灌区现代化的基础和重要标志,灌区信息化可以深入开发、充分利用灌区各类信息资源,实现信息共享,辅助灌区管理部门进行科学高效的决策,提高灌区日常运营管理效率,合理优化配置灌区内水土等资源,促进灌区可持续、现代化发展^[3]。

收稿日期:2015-05-21; 修回日期:2015-06-09

基金项目:国家重大专项(21-Y30B05-9001-13/15-2); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-07-02); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-15)

作者简介:程 帅(1982-),男,河南舞阳人,博士生,主要从事 GIS 智能计算和农业水资源优化配置研究。

通讯作者:张树清(1964-),男,吉林白山人,博士,研究员,博士生导师,主要从事 3D/4D 地理信息系统理论建模、分析、计算和遥感信息提取研究。

随着灌区信息化建设的不断发展,如何处理海量多源数据,以及如何利用这些数据进行分析决策成为一个摆在管理者面前亟待解决的问题。因具有强大的管理多源多类空间及非空间数据,并可基于这些数据根据不同的应用目的进行相应的空间分析等能力,地理信息系统(GIS)技术在灌区日常运营管理中的应用日益广泛与深入。基于二维 GIS 技术,国内外研究者成功地研制众多灌区管理信息系统,这些软件与平台的应用大大提高了灌溉效率,促进了灌区水土等资源的优化配置,提升了灌区现代化管理水平,促进了灌区信息化的发展^[4-8]。但将灌区内的空间实体采用二维的方式表达具有很大的局限性,不但不符合人类的日常认知习惯,而且无法有效地利用空间多维信息^[9-10]。若能在三维虚拟空间中对灌区内各类水利设施进行操作,可以使得对灌区的管理、模拟、分析具有更丰富的表现手法,管理人员可以获取更多的信息量,能更加宏观直接地把握灌区的日常运营状况。基于此,根据灌区特点与具体需求,本研究将三维 GIS 技术引入灌区日常运营管理之中,设计并开发出灌区三维 GIS 管理信息系统,在三维虚拟空间环境中,以期能为灌区管理人员与决策者提供实用的可视化与空间分析工具及高效的决策支持平台。

2 灌区三维 GIS 管理信息系统设计与开发

灌区三维 GIS 管理信息系统应具有信息集成度高,三维展示效果较好,便于与用户交互,可扩展等特点。根据实地调研结果,在了解灌区内空间实体的特点与掌握灌区管理者具体需求的基础之上,首先应设计出系统总体架构,并确定采用何种开发与开发语言;然后根据应用目的对系统开发进行模块分解,确定软件体系结构,并选取相应的数据库来存储、组织、管理空间数据与属性数据。

2.1 系统总体架构与开发平台

灌区三维 GIS 系统由数据层,功能层以及应用层组成,如图 1 所示。

数据层主要包括灌区内地理实体的空间数据和属性数据,其中空间数据包括遥感影像、DEM、二维矢量地图、图像纹理以及空间实体的三维模型数据等,属性数据是对灌区内空间实体属性信息的描述,包括基础属性与专题属性,可以定性或定量地来表达水利设施特征与灌区运营状况;功能层用来整合多源多类海量数据,展示构建好的灌区三维虚

拟场景,用以实现对灌区内实体的显示、查询、量算及空间分析等功能;应用层包括用户如何操作系统以及系统如何向用户反馈信息,实现系统与用户的交互性。

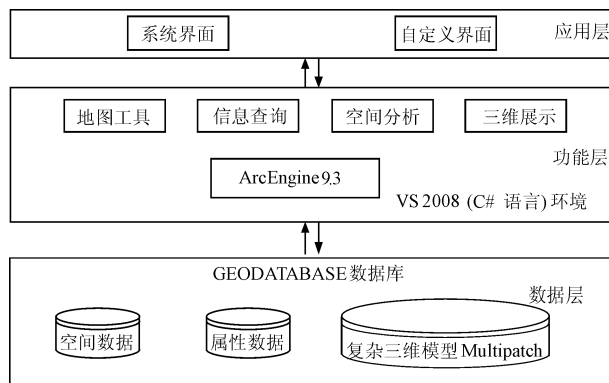


图 1 系统总体架构图

GIS 应用开发可分为独立开发、单纯的二次开发和集成二次开发 3 种方式,这 3 种开发方式具有不同的特点与优势,独立开发对研发经费和科研力量等投入要求较大且周期较长;单纯二次开发简便易行,但移植性差;集成二次开发可以利用专业 GIS 工具软件,采用通用的软件开发工具,根据应用领域与系统要实现的具体功能目标来进行二者的集成开发,目前已成为主流^[11]。本研究即是采用的集成二次开发方式,基于 ArcGIS Engine 二次开发平台,利用 C# 开发语言,采用 Geodatabase 数据库来统一管理空间数据与属性数据。

2.2 系统功能模块设计

灌区三维 GIS 管理信息系统按照模块化原则进行设计与开发,可以分为 4 大模块,每个模块又包含灌区日常管理所需各类功能的实现,如图 2 所示。

地图工具模块用来实现对灌区三维数字地图的基本操作,包括对形成三维场景的各个图层进行添加删除等操作,对各图层进行分层编辑,量算三维空间内两个实体的距离,量算选取区域二维面积,以及将三维场景输出成图片格式;三维展示模块用来展示灌区的三维虚拟场景,可以沿着指定的路径或者任意方向进行三维实时漫游,并可以动态地改变动画速度、视点高度、俯仰角和视线方向;信息查询模块可以实现查询灌区内地理实体的空间及属性信息,通过点击选取的方式来获得空间实体的位置,或者通过属性查询窗体输入目标内容来获取空间实体的属性信息;空间分析模块是本系统的核心模块,在此可以实现渠系出水口到被配水目标之间最短路径分析规划,灌区两点之间的通视域分析,估算灌区内

工程实施需要开挖土石方量,灌区地形的坡度分析,对渠系内水流进行三维演进模拟等功能。

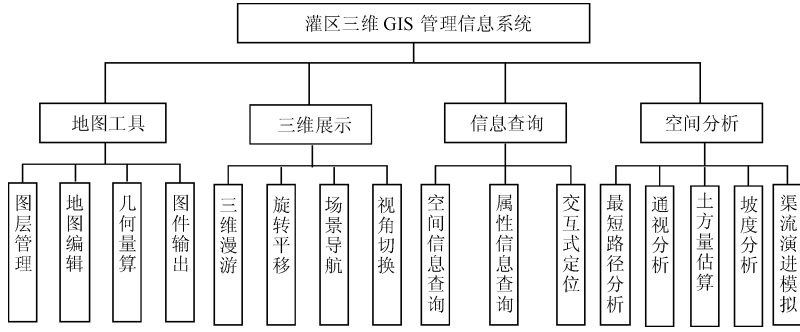


图2 系统功能模块设计

2.3 系统数据库设计

灌区内各类地理信息数据是灌区三维GIS管理信息系统构建的核心与基础,主要包括高分辨率遥感影像,数字高程模型(DEM)数据,纹理图像数据,三维模型数据,以及各类文本数据等等,这些格式不一、种类繁多的基础数据可以分为空间数据与属性数据。

(1)空间数据:可以归纳为矢量数据和栅格数据。灌区内实体可以被抽象为点、线、面矢量格式,并在被分类分层之后组织存储于数据库之中,如表1所示;栅格数据包括遥感影像,纹理图像以及原始DEM影像等,由于在研究中是将栅格数据作为一个整体进行分析的,所以它们以栅格数据集的方式被存储,不同来源与类型的栅格数据被添加统一空间参考之后存储于栅格数据集中。

表1 空间数据库图层组织结构表

类别	要素名	中文名	空间类型	数据类型
植被	Farmland	农田	面状	Polygon Feature
	Tree	景观树	点状	Multipoint Feature
	Bush	灌木丛	点状	Multipoint Feature
道路	Road	公路	线状	Polyline Feature
	Dirt road	土路	线状	Polyline Feature
	Main canal	干渠	线状	Polyline Feature
水系	Branch canal	支渠	线状	Polyline Feature
	Yellow river	黄河	面状	Polygon Feature
	Pond	池塘	面状	Polygon Feature
...
建筑物	Residential building	居民建筑	点状	Point Feature
	Water conservancy construction	水利工程建筑	点状	Point Feature

(2)属性数据:属性数据用来描述灌区基本情况,展示灌区正常运行、管理现状,如研究区情况概述,各级渠道的类型、名称、长度、衬砌类型、流量,灌

区灌溉情况,气象资料,作物种植状况等等。灌区三维GIS管理信息系统的属性数据采用关系模型组织,由一些关联的二维关系表组成,这些关系表满足列名唯一,各行唯一,各行自上而下的顺序无关,各属性值单一等要求。

在构建灌区三维GIS管理信息系统时,选取和设计合理的系统数据库是非常关键的,本研究采用的是Geodatabase数据库,它是建立在DBMS之上的智能化的、统一的空间数据库。“智能化”是指在Geodatabase模型中,用户更能接受和理解地理空间要素的表达,“统一”是指Geodatabase做到了统一描述地理空间要素,如矢量、栅格、网络、三维表面等,利用Geodatabase数据库可以实现在同一个数据库中同时组织、存储、管理空间数据与属性数据^[12]。系统数据组织如图3所示:

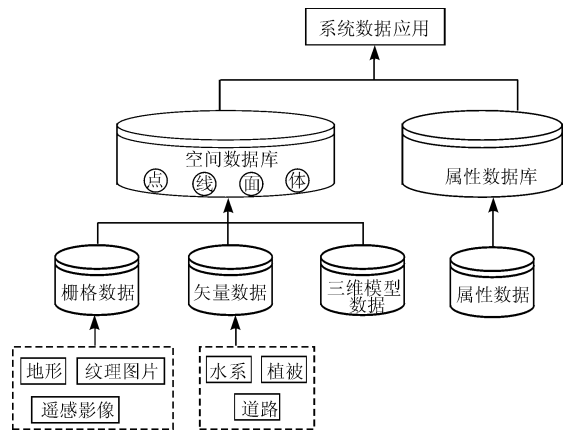


图3 系统数据组织逻辑结构

3 系统应用研究

赵口引黄灌区位于河南省黄河南岸东部大平原,灌区内干、支、斗等各级渠系密布,水工建筑物包括闸(涵)、桥梁、倒虹、渡槽等,本研究选取赵口灌区内包含主干渠段部分作为实验区域。首先构建灌

区三维虚拟环境;然后利用灌区三维 GIS 提供一个三维展示与管理平台,使得管理者可以多尺度、多视点地来查看兴趣目标,如灌区的工情、水情等信息;并对空间实体进行操作,如查询其空间坐标及属性信息,量算空间距离,测算面积体积等,以及通过建立路径实现三维场景漫游等;根据应用目的进行不同的空间分析操作,如计算一个点的可视域,进行坡度分析,模拟渠流演进等。

3.1 三维虚拟环境展示

传统的灌区信息管理系统以二维展示为主,整体性、宏观性很强,但缺乏直观、逼真、自然的展示效果。因此本研究基于共享资源,利用 GIS、RS 以及虚拟现实技术,采用数据融合、混合建模、交互式一体化建模等方法来构建灌区地理环境的三维虚拟场景,如图 4 所示,采用分层管理的方法来集成不同类型的地理空间实体,包括干渠、支渠等渠系,渠首闸等水工建筑物,以及居民建筑、道路、水塘、林木等各类地物,通过控件可以调用和展示各类地理实体。

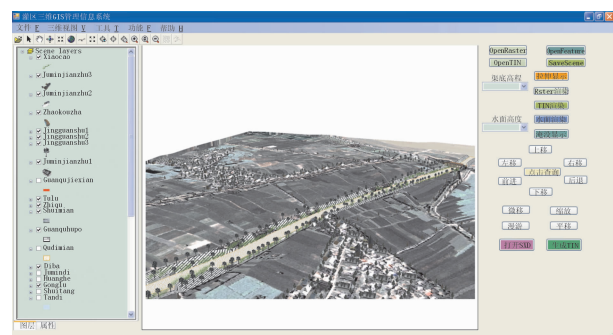


图 4 系统主界面与三维虚拟环境展示

3.2 空间查询与量测

灌区三维 GIS 管理信息系统不应仅对灌区内地形地物进行三维可视化展示,更应在此基础上获取三维虚拟场景之中地理实体的空间及属性信息,以及利用空间分析工具获得灌区管理所需信息。由于是采用 Geodatabase 数据库来统一存储管理空间数据与属性数据,灌区内各类实体与相应的属性信息是一一对应的,从而可以进行空间定位,交互式查询等操作。在系统交互中,利用空间查询功能可以实时获取灌区内实体的空间位置信息,如图 5 所示。

对交互式查询而言,则是利用数据库操作技术、SQL 语言对地理实体的属性信息进行查询与分析,可分为两种:一种是属性查图,在查询窗口输入查询条件来获取查询目标的属性信息;另一种是点击获取查询信息,通过选取显示窗口中的三维实体,将空间地物的属性信息展示出来。

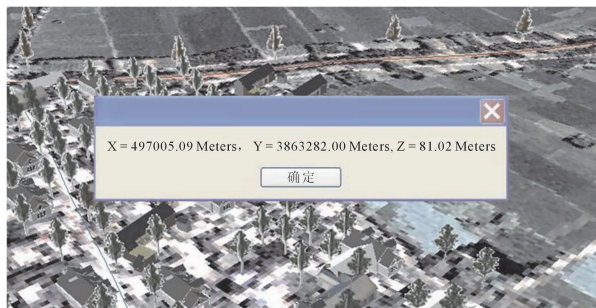


图 5 实体三维空间信息查询

在进行水资源优化配置时,灌区管理人员需要掌握水源面积,各级渠系长度等基础地理信息。量算功能可以为管理人员提供准确的信息,为优化配置灌溉水资源提供科学决策依据。系统所含二维长度、面积量算在此不再赘述。三维交互式测量是通过在系统的三维显示窗口内画折线或者直线,在画线的同时通过鼠标点击事件来获取线上每一节点的坐标信息,并以此为基础来实现测量实体之间的空间距离。如图 6 所示,量取渠首闸顶部到农田表面之间的距离。

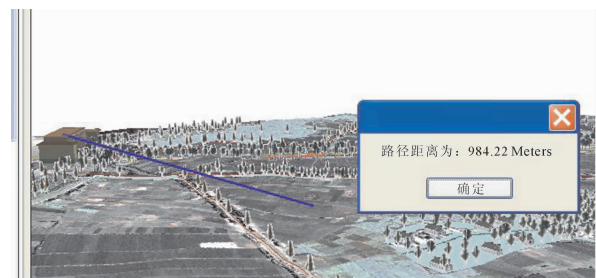


图 6 三维距离量算

3.3 通视分析与坡度分析

地形通视性分析属于对地形进行最优化处理范畴,是指基于数字高程数据判断三维空间内视点与目标点是否可见,是 GIS 空间分析中一项重要内容,三维场景下的通视性分析已被广泛地应用于军事、通讯、房地产、景观设计等行业^[13]。通视分析在灌区管理中亦有着重要且实际的应用价值,如在灌区安装监控设备来实时查看水工建筑物运行情况,渠系水情等信息时,需要利用通视性分析来选择合适位置。本系统实现了点的可视域分析,从本质上讲可视域是两点间通视计算在面域的实现,指在一个观测点上能观察到的范围,可分为可视的格网单元和不可视的格网单元,通视分析实现如图 7 所示。

在灌区进行规划或者工程设计施工时,需要根据灌区内坡度等地形特点,将水利工程设施选在合

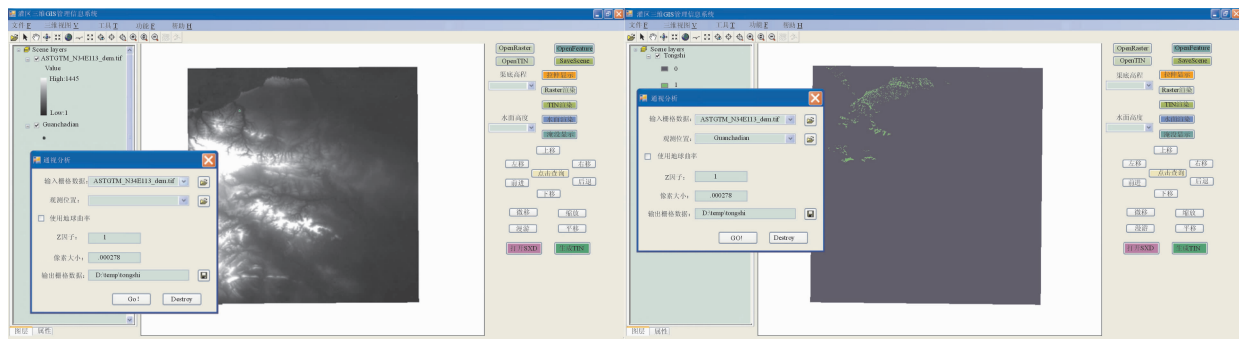


图7 空间点位可视域分析

适的位置,以使得蓄灌、提灌相结合,有效调节农田水分状况,并使得工程量与工程费用尽可能少;在进行土地利用规划时,也应基于灌区地形地貌,来充分利用光照等自然资源来提高生产潜力。坡度即水平面与局部地表之间的正切值,坡度分析是地形分析的重要组成部分,本系统采用三阶反距离权重法求解坡度,以求解栅格 DEM 坡度为例,如图 8 所示,首先导入原始 DEM 影像,然后利用系统内坡度分析功能对输入的栅格图进行计算,并生成一幅新的栅格图像,新图像中每个栅格单元都包含计算得到的坡度值。坡度值越小,表明区域地形越平坦;坡度值越大,则表明地形越陡峭。

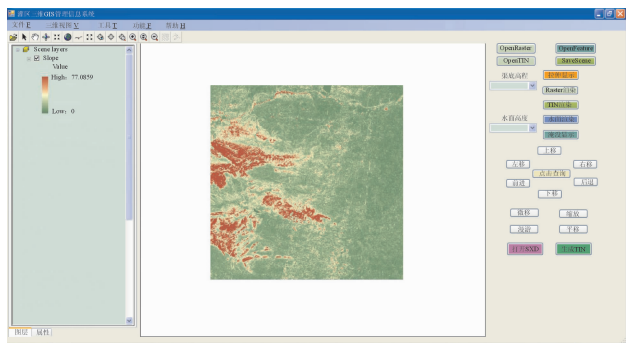


图8 坡度分析

3.4 三维渠流演进模拟

利用 GIS 空间分析技术进行水淹分析一直是研究热点,但很多研究仍是基于二维 GIS 技术,没有充分利用三维 GIS 所具有的三维空间分析与可视化功能,因而无法准确、直观地反映洪水的空间分布情况^[14],本研究将三维 GIS 技术应用于灌区渠系动态洪水仿真模拟的研究中,使得灌区管理人员可以在三维虚拟环境下对渠系内水流演进的现象和规律进行观察、操作和分析,并实现对渠流演进过程的控制。在前期构建的三维数字地形基础之上,采用高程平铺模型(即“无源淹没”),来模拟不同的水情下灌区总

干渠某段水流淹没范围。实现流程如图 9 所示:

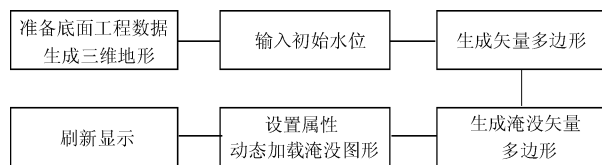


图9 渠流研究模拟流程

运行系统的渠流演进模拟功能,可以模拟渠系内不同水位情况下渠流演进效果如图 10 所示:

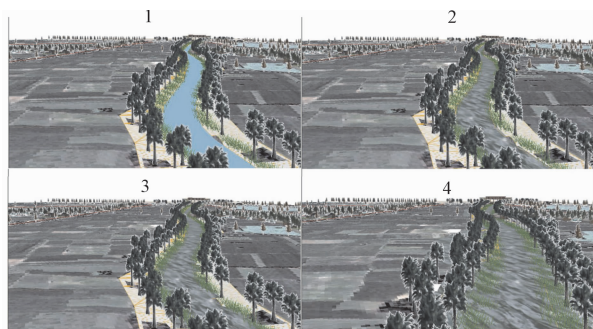


图10 总干渠三维渠流演进模拟

4 结 语

在未来农业生产以及水资源的优化配置与利用中,灌区信息化建设的重要作用将日益彰显。三维 GIS 系统的研究与开发作为地理信息科学发展的一个重要方向,其在灌区信息化建设中也将扮演愈加显著的角色。本研究利用集成二次开发的方式构建了灌区三维 GIS 管理信息系统,可以为灌区管理人员和决策者提供一个三维虚拟平台,能更加直观地反应灌区现状,为灌区规划设计提供一种崭新的表现手段;基于此三维平台,可以根据应用目的结合不同的空间分析工具,以及众多优化配置与决策支持模型,以提高管理水平与科学决策能力,促进灌区建设向着现代化,信息化,科学化发展。随着三维 GIS 技术在灌区管理应用程度的深入,还应从以下几个

方面加强研究:

(1)三维虚拟场景的构建是三维GIS系统的基础,如何利用海量数据来建立大场景、高精度、高动态的灌区真三维虚拟场景(包含地上地下)是下一步研究目标之一;

(2)灌区三维GIS发展应以应用为目的,应根据灌区管理人员与决策者的需求,以真三维场景为基础,提供更为丰富的交互功能,开发、集成专业分析模型,实现更多的空间分析功能,以提高空间智能辅助决策能力;

(3)随着网格、云计算、集群等技术的迅猛发展,基于新的分布式计算技术实现三维地理信息服务,促进灌区三维GIS管理信息系统的网络化、实用化与大众化发展。

参考文献:

[1] Levidow L, Zaccaria D, Maia R, et al. Improving water - efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices[J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 146: 84 - 94.

[2] 彭世彰,纪仁婧,杨士红,等.节水型生态灌区建设与展望[J]. *水利水电科技进展*, 2014, 34(1): 1 - 7.

[3] 胡和平,田富强.灌区信息化建设[M].北京:中国水利水电出版社,2004.

[4] 罗永华,成自勇,景栋.渠塘供水模式下灌区信息管理系统的设计[J]. *水资源与水工程学报*, 2011, 22(4): 106 - 108 + 113.

[5] Rowshon M K, Amin M S M, Lee T S, et al. GIS - integrated rice irrigation management information system for a river - fed scheme [J]. *Water Resources Management*, 2009, 23(14): 2841 - 2866.

[6] Ge Yingchun, Li Xin, Huang Chunlin, et al. A Decision Support System for irrigation water allocation along the middle reaches of the Heihe River Basin, Northwest China[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 47: 182 - 192.

[7] 陈智芳,王景雷,刘祖贵,等.基于WebGIS的多指标灌溉信息管理系统[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(9): 1781 - 1789.

[8] 张振伟,马建琴,李英,等.基于B/S模式的北方冬小麦实时在线非充分灌溉管理研究及应用[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(2): 120 - 125.

[9] 王金鑫,程帅,张成才.基于Google Earth技术的三维虚拟校园系统[J]. *地理空间信息*, 2013, 11(4): 55 - 57 + 186.

[10] 李思,崔晨风,张浩.基于OSG平台的坝区三维模拟系统设计[J]. *水资源与水工程学报*, 2013, 24(5): 85 - 87.

[11] 朱仕杰,南卓铜.基于ArcEngine的GIS软件框架建设[J]. *遥感技术与应用*, 2006, 21(4): 385 - 390.

[12] Breunig M, Zlatanova S. 3D geo - database research: Retrospective and future directions[J]. *Computers & Geosciences*, 2011, 37(7): 791 - 803.

[13] 张刚,汤国安,宋效东,等.基于DEM的分布式并行通视分析算法研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2013, 29(4): 81 - 85.

[14] 张成才,常静,孙喜梅,等.基于GIS的洪水淹没场景三维可视化研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 46(3): 329 - 332.