

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.03.003

# 基于 World Wind 的三江源水资源电子沙盘研究

于翔, 姜仁贵, 解建仓, 梁骥超, 严栋飞

(西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 三江源地区作为国家自然保护区,其水资源保护至关重要。本研究基于 World Wind 三维 GIS 平台,融合海量遥感数据、数字高程数据以及水利等多源数据,采用组件开发、数据缓存、瓦片金字塔以及三维建模等技术,设计并开发水资源电子沙盘系统。以三江源地区为研究区域进行应用,结果表明:基于 World Wind 构建的三江源水资源电子沙盘系统具有较好的实用性、可扩展性以及可视化效果,可为三江源地区水资源高效利用与科学管理提供技术手段支持与决策服务,同时也可对其他水利业务的电子沙盘设计开发提供参考。

**关键词:** 三江源; 水资源; World Wind; 电子沙盘

**中图分类号:** TP391.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-4710(2019)03-0284-07

## Research on electronic sand table of water resources in the source area of Three Rivers based on World Wind

YU Xiang, JIANG Rengui, XIE Jiancang, LIANG Jichao, YAN Dongfei

(State Key Laboratory of Eco-Hydraulic in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** As a national natural reserve, it is important to protect water resources in the source area of Three Rivers. The study could develop the electronic sand table system for water resources based on World Wind platform, with the integration data of massive remote sensing, digital elevation and water conservancy. Such technologies as component, massive data cache, tile pyramid and 3D modeling were also used in the system. The case study of the source area of Three Rivers shows that the electronic sand table of water resources is of good practicability, scalability and visual effect. It can provide a new important method and decision support for reasonable and efficient management of water resources. It is also a useful reference for designing the electronic sand table of water service.

**Key words:** the source area of Three Rivers; water resources; World Wind; electronic sand table

三江源地区地处青藏高原腹地,平均海拔超过 4 000 m,境内河流、湖泊、冰川众多,它是黄河、长江及澜沧江的发源地,素有“中华水塔”的美誉<sup>[1]</sup>。近年来国家积极推进生态文明建设,三江源地区作为我国水源涵养与生态保护的重要地区,其开发与保护深受国家重视。水资源作为三江源地区最重要的自然资源,更加需要合理的开发利用与保护。随着三江源地区的气象、水文、水质等自动监测站点的不

断建设,将为水资源利用、水利工程建设和防汛抗旱等提供基础支撑。通过不断完善信息化基础建设,利用信息技术来提高三江源地区水资源管理水平,是当前需要解决的问题。

三维电子沙盘采用地理信息系统(GIS)、遥感(RS)、虚拟现实(VR)及三维可视化等技术,构建了一个可交互的虚拟现实环境,并真实反映地形地貌等信息。三维电子沙盘以其简便、高效、精准的特

**收稿日期:** 2018-10-30

**基金项目:** 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401409);国家自然科学基金资助项目(51679188, 51509201, 71774132);陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2018JM5031)

**作者简介:** 于翔,男,博士生,研究方向为水利信息化。E-mail: yuxiang91@qq.com

**通讯作者:** 解建仓,男,教授,博导,博士,研究方向为水利信息化。E-mail: jcxie@xaut.edu.cn

点,已被广泛应用于军事、教育、旅游、城市规划等领域<sup>[2-4]</sup>。在国外,最早是由美国军方和社会科学研究所研发的野外炮兵训练智能导航虚拟沙盘应用到军事领域。近年来,我国在沙盘开发和应用研究中取得了较多成果。刘志江<sup>[5]</sup>等基于富媒体平台,结合 Google Earth 与 .NET 软件集成构建滦河下游灌区电子沙盘;姚宏伟<sup>[6]</sup>等结合二维 GIS 与三维视景系统,构建了南水北调电子沙盘系统。黄国峰<sup>[7]</sup>等以宁夏防汛防凌为业务需求,构建全区三维地形与地貌,实现工程信息查询,为宁夏防汛防凌工作提供了三维数字化平台;张峰<sup>[8]</sup>基于 Skyline 软件平台,在二次开发基础上加载各类矿山监测成果数据,构建了矿山三维电子沙盘;彭余蕙<sup>[9]</sup>等通过 SuperMap 二次开发,构建了赣州水文三维虚拟电子沙盘系统;马丽娜<sup>[10]</sup>等利用航空影像和 3ds Max 建模技术,并基于 ArcScene 平台制作电子沙盘系统;毕力格<sup>[11]</sup>等基于 EV-Globe 三维 GIS 平台,结合高分辨率遥感影像与数字高程模型,设计开发了内蒙古人工影响天气电子沙盘系统。综上所述,目前,大多数沙盘是在构建三维地形地貌的基础上以信息查询与展示为主,为决策提供的分析功能较少,而且在大范围三维场景涉及的数据量较大时,则需要考虑数据的存储和传输以及接口的复用性问题,从而提高开发效率。World Wind 三维 GIS 平台已应用于水利三维可视化仿真<sup>[12]</sup>、地质数据采集<sup>[13]</sup>、大规模地形可视化实现中<sup>[14]</sup>,说明 World Wind 能够实时、准确地实现大规模地形可视化,提高开发效率,并为行业结合应用提供可扩展、可视化效果好的基础平台。

针对水利行业应用中存在的海量数据资源难以融合、业务系统难以复用、三维可视化效果不佳等问题,将电子沙盘系统与水利行业应用相结合,提出主题化、组件化、模块化开发模式<sup>[15-17]</sup>,将海量高分辨率遥感数据、数字高程模型数据、地理空间数据与水利多源数据融合,基于 World Wind 构建水资源电子沙盘(water resources electronic sand table, WR-EST),实现了水资源的分析统计、监测预警、评价考核及辅助决策等功能。最终为三江源地区水资源管理提供高效、精准的技术手段与决策支持,从而提高区域水资源管理水平。

## 1 水资源电子沙盘设计

### 1.1 WR-EST 设计目标

WR-EST 系统的开发遵循水利行业标准以及

实用性、先进性、可扩展性等原则,融合水利、气象、环保共享数据及空间数据,采用主题化、组件化、模块化、可视化开发模式,构建具有水利行业特色且适用的应用系统,从而更好地满足水资源管理过程中的业务服务需求,并为水资源管理提供科学的决策支持。

### 1.2 WR-EST 开发流程

WR-EST 以“多源数据融合-电子沙盘开发-水资源业务应用-界面可视化实现”为开发流程。①多源数据融合作为系统开发的第一步,同时也为 WR-EST 提供基础数据服务。②WR-EST 以三维 GIS 为基础平台,基于 World Wind Java SDK(WWJS)对其接口进行二次开发,根据平台提供的三维球体模型、事件响应、动态创建等方案,采用界面编程、数据库操作等技术,实现数据集成与应用和可视化平台的开发。③水资源业务应用是在 WR-EST 设计开发的基础上,结合水资源管理的需求进行功能的个性化定制。④界面可视化是以不同的用户操作终端来实现的,通过不同终端的交互操作来满足不同业务的需求。

### 1.3 WR-EST 体系架构

根据 WR-EST 的开发流程,构建数据层、服务层、应用层和表现层的四层体系架构与之相互对应,如图 1 所示。

1) 数据层是将系统所需的各类数据进行多源数据融合与标准化处理后存入数据库及云服务器中,海量数据的存储与调用需要高性能计算机硬件来支撑,系统再根据不同的请求对其进行实时的读取与调用。

2) 服务层是电子沙盘系统的核心,通过三维地理信息系统 World Wind 搭建基础平台,根据地理服务接口、数据标准化接口的规范将数据融合到电子沙盘中,然后对水资源业务中涉及的数学模型进行设计开发,从而为应用层提供基础。

3) 应用层是服务于水资源业务的具体应用,实现了水利基础信息服务、统计分析服务、辅助决策服务、水文气象服务、水资源管理考核、水资源监测预警、水质监测模拟、三维场景浏览、三维空间分析及数据管理与维护等功能。

4) 表现层与开发流程中的界面可视化实现相对应,即开发的 WR-EST 系统通过移动终端应用(APP)、投影仪、客户端及 LED 显示屏等方式为用户提供一个三维虚拟现实的互操作环境。

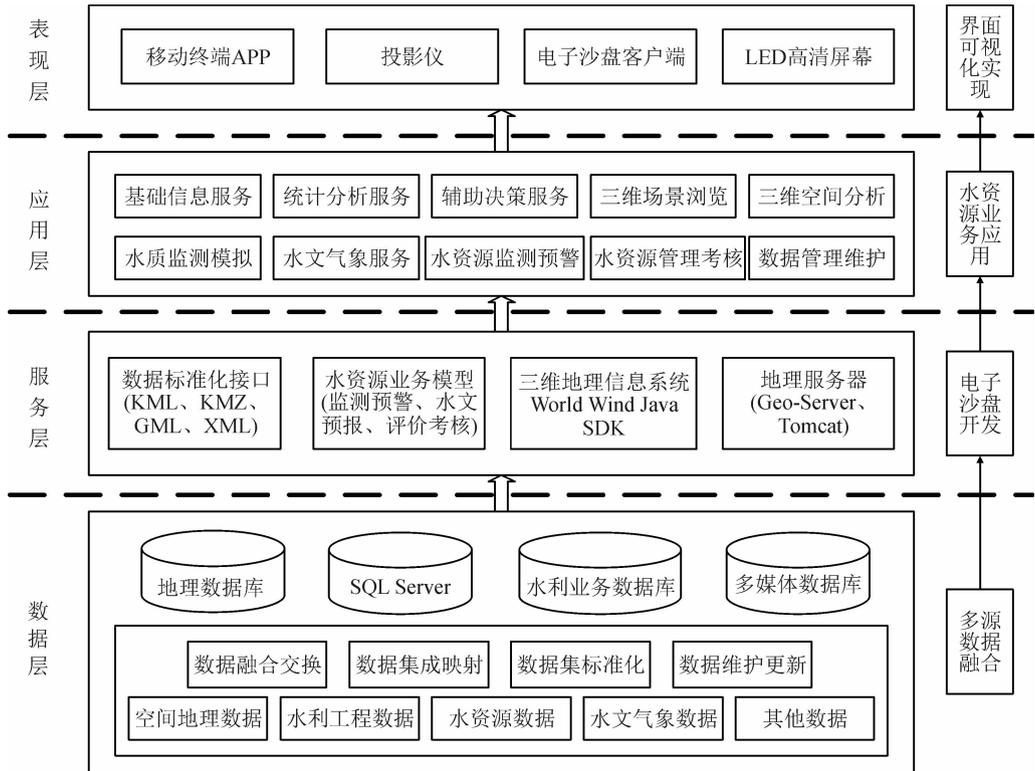


图 1 WR-EST 体系架构  
Fig.1 Architecture of WR-EST

## 2 系统实现的关键技术

### 2.1 World Wind 组件开发

World Wind 是由美国 NASA 研究中心研发的一款开源的三维地理信息平台,相比于其他 GIS 软件,如 Google Earth、Skyline、GeoGlobe、VRMap 等<sup>[18-19]</sup>,具有更好的灵活性与可扩展性,从而可以满足用户的个性化定制需求。同时可以利用 NASA 已有的遥感影像资源,如 Landsat 8、MODIS、

IKONOS、QuickBird 等遥感卫星。World Wind 有基于 Java 和 .NET 语言两个版本,基于 Java 语言具有跨平台、可扩展的优点,而且也在不断更新中<sup>[20]</sup>。因此,笔者选择基于 WWJS 组件进行水资源服务组件的定制开发,完成了水资源相关数据和模型的展示与应用功能,同时为系统提供可扩展的接口。

WWJS 由球体模型、空间视图、事件监听机制以及基础数据组成,WWJS 的组件结构如图 2 所示。

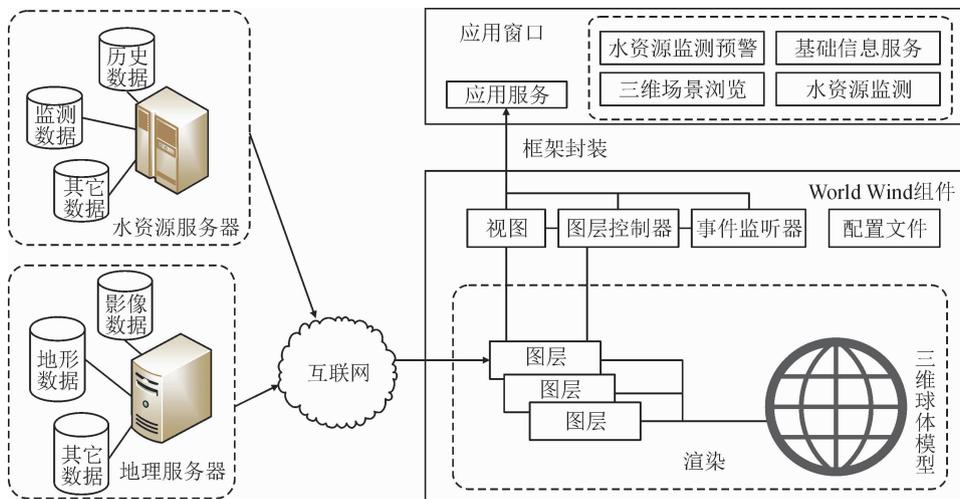


图 2 WWJS 组件结构  
Fig.2 Component infrastructure of WWJS

地理服务器和水资源服务器通过网络交换提供三维球体模型所需要的基础数据,各类数据在球体模型中以不同图层渲染后呈现,通过视图控制器来操纵球体模型,事件监听机制实现了用户对可视化界面操作的监听及处理,最终实现人机交互。World Wind 的组件开发是实现其应用功能的核心,WR-EST 系统就是在 World Wind 组件基础之上将数据集成、框架封装后进行展示。

## 2.2 数据缓存与瓦片金字塔

WR-EST 系统在存储和调用海量影像和数字高程数据时,由于数据量级大,所有涉及的数据存入云服务器,将不同分辨率下的数据进行分层存储,当用户的视角浏览定位在某区域中,沙盘从本地缓存中获取当前区域的数据后加载渲染,当某些区域无缓存数据时,便采用网络地图服务(web map service, WMS)请求云服务器来获取数据,渲染后的数

据可以通过用户视角缩放控制来分层呈现。海量数据以瓦片金字塔模型进行划分后,并按照一定规则统一存储于服务器或缓存存储到本地<sup>[21]</sup>。World Wind 提供的缓存机制提高了数据访问效率,同时可以在无网络情况下访问使用。

瓦片金字塔模型是将影像按不同分辨率,由小到大分层处理后存储为不同的影像瓦片。因此影像的数据量由小到大成倍的增加<sup>[22]</sup>。World Wind 对影像和高程数据进行读取加载的流程如图 3 所示,首先根据视角的范围来确定当前位置的经纬度及图层级数,再通过行列值的计算来得到当前区域各层下需影像及高程文件的瓦片路径,瓦片命名规则为“根目录\缓存目录\图层级别\行数\行数\_列数.文件格式”,最后通过存储的路径与命名文件来读取瓦片并载入 WR-EST 系统中。

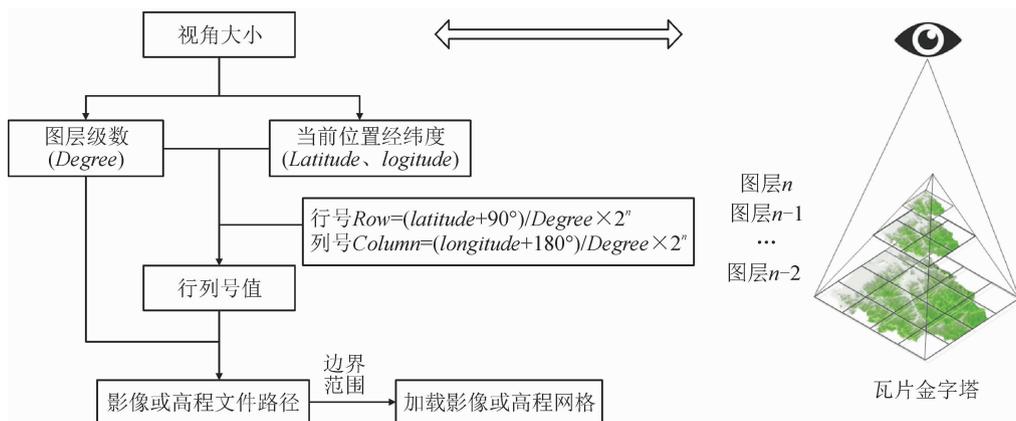


图 3 World Wind 调用影像及高程数据流程

Fig. 3 Process of World Wind invoking the remote sensing image and digital elevation model

## 2.3 SketchUp 构建三维模型

为了增强电子沙盘中三维场景效果,需要点、线、面信息和相应的三维模型,通过 SketchUp 建模工具构建系统中所需模型,World Wind 中提供了 KMZ、KML 等格式应用接口,三维模型经过渲染和修饰后存储为 KMZ 格式,WR-EST 系统可直接调入三维可视化场景中。SketchUp 主要建模方法包括:几何体建模、映射建模及矢量建模。几何体建模利用基础工具绘制模型框架,再通过纹理映射渲染模型模拟还原实际效果;映射建模利用实际纹理图片对构建模型进行渲染,简化构建模型过程并提高模型真实度;矢量建模通过二维矢量数据导入进行建模,如将 CAD 设计工程图导入 SketchUp 软件中并进行坐标系校正,然后快速生成三维立体模型,提高模型构建速度。图 4 是构建的水利枢纽工程三

维模型及 WR-EST 载入效果,其中水利枢纽模型采用矢量建模,并叠加高分辨遥感影像。



图 4 三维模型构建及 WR-EST 载入效果

Fig. 4 Construction of the 3D model and loading into the WR-EST

### 3 应用实例

本文以三江源地区为研究区域,三江源涉及的行政区包括玉树、海南、果洛、黄南藏族自治州和格尔木市唐古拉乡等多个州。结合水资源管理工作中实际业务需求,设计并开发了三江源水资源三维电子沙盘系统,验证了系统的可操作性、实用性及可靠性。系统实现了三维场景浏览、图层控制、飞行定位、空间分析等基础功能。在三维可视化场景中,结合三江源地区实际情况,主要以专题信息展示查询、监测预警、评价

考核及应急指挥调度业务模块与实际应用相结合。

1) 电子沙盘系统的信息服务如图 5 所示,通过水利普查、工程规划、水资源统计等资料整合,将基础地理数据、水利专题数据、气象水文数据进行融合、分析与挖掘,以三维可视化电子沙盘全景来展示基础信息。将专题图层分级分类,逐级呈现三江源地区的地形、地貌、河流水系、冰川雪山、行政区划、水利工程、水文测站等信息,并接入动态监测数据,使决策者能更加直观地了解三江源地区情况,从而实现了水资源信息的动态化和可视化管理。

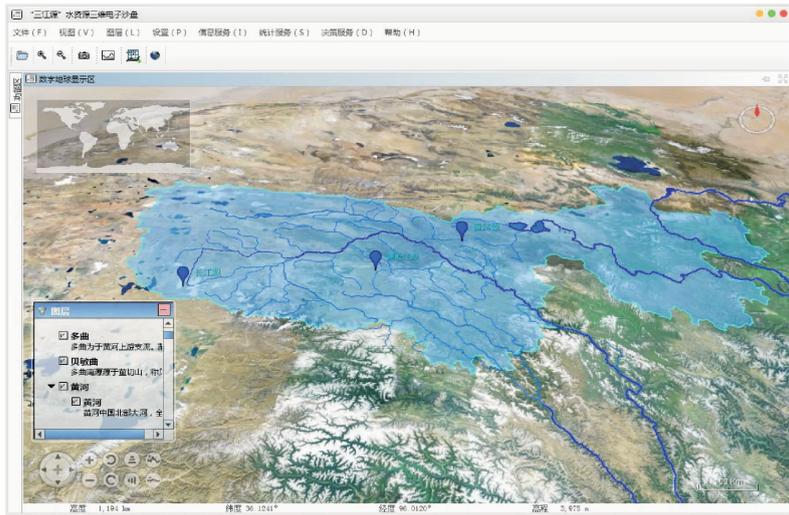


图 5 电子沙盘全景图  
Fig. 5 WR-EST panorama

2) 电子沙盘系统的监测预警如图 6 所示,系统通过数据接口将自动水文站、气象站等监控设备采集的降水、流量、水位、水质等实时动态数据接入云服务器中,采用大数据分析及处理技术来挖掘有用信息。

通过调用算法及模型对区域内的实时信息进一步分析预测,从而提供预警预报服务。根据阈值将预警信息划分为不同的等级,对超出阈值的监测站以可视化和动态警报的方式提醒决策者,使其尽快做出相应决策来应对灾害事件的发生。

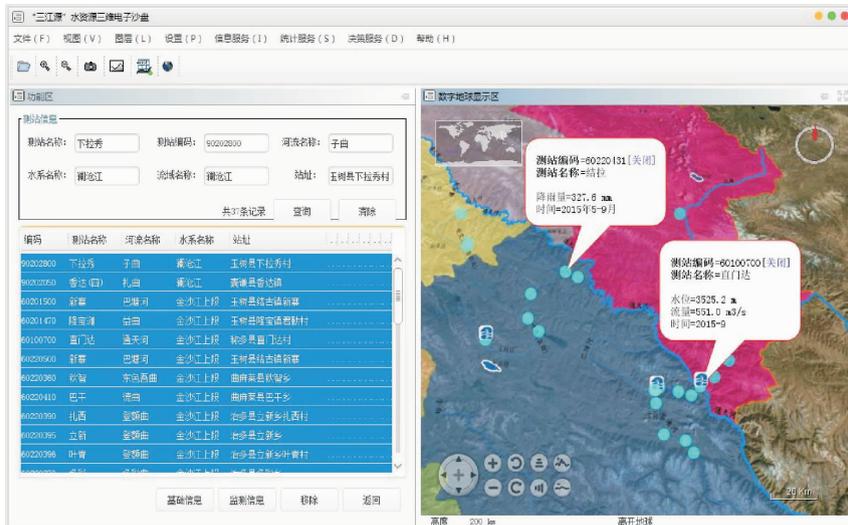


图 6 监测预警服务  
Fig. 6 Monitoring and early warning

3) 电子沙盘系统的决策管理如图 7 所示,基于基础信息监测及预警服务,得到监测站点的预警信息、发生范围及预警级别。

在可视化地形数据基础之上来模拟预警站点周围的淹没范围及安全范围,并在系统中规划转移和

撤离线路、安置点以及物资储备点,同时为公众用户推送微信、短信提醒服务,为管理人员提供精准化和可视化决策服务,从而提高灾害事件应对的准确性和时效性,并尽可能地减少灾害损失,节约管理成本。



图 7 决策管理服务

Fig. 7 Decision and management

## 4 结 语

本文采用组件开发、数据缓存、瓦片金字塔以及三维建模等技术,基于 World Wind 三维 GIS 平台设计并开发了三江源水资源电子沙盘系统。系统实现了区域的地形、地貌的三维可视化,并全面展现了各类空间及属性信息,从而为水资源管理提供基础三维可视化环境。三江源地区的实例应用表明,水资源电子沙盘的建设可以为三江源地区水资源管理提供信息服务、预警服务和决策分析服务等,并为今后的水资源规划与管理提供新的技术手段与决策支撑。

随着信息技术的不断发展,虚拟现实 VR、增强现实 AR 以及混合现实 MR 可为高精度、大范围、动态的区域可视化场景提供更加丰富的技术支撑,将三维电子沙盘从计算机系统中解放出来,在人们身边构建一个全方位、立体且更加真实的虚拟现实环境,从而取得身临其境的体验。

### 参考文献:

[1] 董锁成, 周长进, 王海英. “三江源”地区主要生态环境问题与对策[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 713-720.  
DONG Suocheng, ZHOU Changjin, WANG Haiying. Ecological crisis and countermeasures of the Three Riv-

ers' headstream regions[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(6): 713-720.

- [2] 谢岩. 智慧景区三维电子沙盘的设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(10): 89-91.  
XIE Yan. Design and implementation of three-dimensional GIS wisdom scenic spot[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2017, 40(10): 89-91.
- [3] 王黎明, 文辉, 王英. 重庆市区域规划电子沙盘系统的设计与实现[J]. 地理研究, 2005, 24(2): 304-310.  
WANG Liming, WEN Hui, WANG Ying. Design and realization of electronic sand table system for regional planning of Chongqing [J]. Geographical Research, 2005, 24(2): 304-310.
- [4] 杨敏, 徐友宁, 乔彦军, 等. 利用 MAPGIS 软件制作电子沙盘系统初探: 以小秦岭某地电子沙盘系统为例[J]. 国土资源科技管理, 2009, 26(3): 106-110.  
YANG Min, XU Youning, QIAO Yanjun, et al. Development of electronic sand table system using MAPGIS software: with electronic sand table of Xiaolinling gold area as an example [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2009, 26(3): 106-110.
- [5] 刘志江, 樊宝康. 灌区电子沙盘系统制作方法[J]. 计算机应用, 2011, 31(S1): 202-203, 208.  
LIU Zhijiang, FAN Baokang. Approach to develop electronic sand table system for irrigation area[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(S1): 202-203, 208.
- [6] 姚宏伟, 涂颖. 南水北调电子沙盘系统的研究与开发

- [J]. 系统仿真学报, 2002, 14(12): 1598-1602.  
YAO Hongwei, TU Ying. The study and development of the sand table system[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(12): 1598-1602.
- [7] 黄国峰, 苑希民, 刘媛媛. 宁夏防汛防凌三维电子沙盘系统建设[J]. 水利水电技术, 2011, 42(12): 84-87.  
HUANG Guofeng, YUAN Ximin, LIU Yuanyuan. Construction of 3-D electronic sand table system for flood control and ice-jam flood prevention in Ningxia [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2011, 42(12): 84-87.
- [8] 张峰. 基于 Skyline 的矿山三维电子沙盘研究[J]. 国土资源遥感, 2010, (4): 122-125.  
ZHANG Feng. Research on the electronic sand table for the mine based on the platform of Skyline[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010, (4): 122-125.
- [9] 彭余蕙, 李明亮, 付辉, 等. 赣州水文三维虚拟电子沙盘系统设计与实现[J]. 江西水利科技, 2018, 44(3): 212-217.  
PENG Yuhui, LI Mingliang, FU Hui, et al. The design and implement of Ganzhou hydrological 3D virtual electric sand table system [J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2018, 44(3): 212-217.
- [10] 马丽娜, 邢晓彬. 基于 ArcScene 平台的电子沙盘制作 [J]. 科技资讯, 2017, (2): 15-16.  
MA Li'na, XING Xiaobin. Manufacture of the electronic sand table based on the platform of ArcScene [J]. Science & Technology Information, 2017, (2): 15-16.
- [11] 毕力格, 达布希拉图, 苏立娟, 等. 基于三维 GIS 的内蒙人工影响天气电子沙盘系统设计及应用[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 207-213.  
Bilige, Dabuxilatu, SU Lijuan, et al. Design and realization of electronic sand table system based on three-dimensional GIS for weather modification in inner Mongolia[J]. Meteorological Science and Technology, 2018, 46(1): 207-213.
- [12] 于翔, 解建仓, 姜仁贵, 等. 水利工程三维可视化仿真研究与应用[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(4): 152-156.  
YU Xiang, XIE Jiancang, JIANG Rengui, et al. Study and application on three-dimensional visualization and simulation for water project[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2016, 27(4): 152-156.
- [13] 陈根深, 刘军旗, 何忆, 等. 基于 World Wind 移动端的地质数据野外采集系统[J]. 计算机系统应用, 2019, 28(4): 96-104.  
CHEN Genshen, LIU Junqi, He Yi, et al. Geological data field acquisition system based on World Wind mobile terminal[J]. Computer Systems & Applications, 2019, 28(4): 96-104.
- [14] 渠润涛, 陈小潘, 赵亚萌, 等. 基于 WPF 的大规模地形可视化系统设计与实现[J]. 地理空间信息, 2016, 14(12): 41-44, 51.  
QU Jiantao, CHEN Xiaopan, ZHAO Yameng, et al. Design and realization of large scale terrain visualization system based on WPF[J]. Geospatial Information, 2016, 14(12): 41-44, 51.
- [15] 姜仁贵, 于翔, 解建仓, 等. 水利电子沙盘研究与应用[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2017, 38(1): 13-17.  
JIANG Rengui, YU Xiang, XIE Jiancang, et al. Research and application of hydrologic electronic sand table[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2017, 38(1): 13-17.
- [16] 姜仁贵, 王小杰, 解建仓, 等. 城市内涝应急预案管理研究与应用[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 146-150.  
JIANG Rengui, WANG Xiaojie, XIE Jiancang, et al. Research on the urban waterlogging emergency preplan management[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 146-150.
- [17] 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.
- [18] BOSCHETTI L, ROY D P, JUSTICE C O. Using NASA's World Wind virtual globe for interactive internet visualization of the global MODIS burned area product [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(11): 3067-3072.
- [19] YU L, GONG P. Google earth as a virtual globe tool for earth science applications at the global scale: progress and perspectives[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(12): 3966-3986.
- [20] 卢海滨, 郑文锋, 银正彤, 等. NASA World Wind JavaSDK 数字地球客户端开发[J]. 测绘科学, 2009, 34(3): 169-170, 139.  
LU Haibin, ZHENG Wenfeng, YIN Zhengtong, et al. NASA World Wind Java SDK digital earth client development[J]. Science of Surveying and Mapping, 2009, 34(3): 169-170, 139.
- [21] 戴晨光, 张永生, 邓雪清. 一种用于实时可视化的海量地形数据组织与管理方法[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(2): 406-409, 413.  
DAI Chenguang, ZHANG Yongsheng, DENG Xueqing. An organization and management approach of data for real-time visualization of massive terrain dataset[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(2): 406-409, 413.
- [22] 刘义, 陈萃, 景宁, 等. 利用 MapReduce 进行批量遥感影像瓦片金字塔构建[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013, 38(3): 278-282.  
LIU Yi, CHEN Luo, JING Ning, et al. Parallel batch-building remote sensing images tile pyramid with Map Reduce[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(3): 278-282.