第27卷第4期 水资源与水工程学报 Vol. 27 No. 4
2016年 8月 Journal of Water Resources & Water Engineering Aug., 2016

DOI:10.11705/j. issn. 1672 - 643X. 2016. 04. 28

水利工程三维可视化仿真研究与应用

于 翔，解建仓，姜仁贵，刘建龙，吴园园
（西安理工大学 水利水电学院，陕西 西安 710048）

摘 要：针对目前水利工程建模过程复杂和效率低等问题，提出基于 WorldWind 的水利工程三维建模方法。设计了三维建模流程，基于 WorldWind 搭建三维数字地球平台，构建三维可视化模型，并实现模型在平台上的加载与管理。以陕西省引汉济渭工程为例，建立可视化环境，开发水库三维模型，并在数字地球平台上实现水库模型的加载与展示。实例表明：基于 WorldWind 的数字地球平台具有较好的扩展性与可视化效果，提出的水利工程三维建模方法能够有效实现水利工程的三维可视化仿真，具有较好应用价值和推广前景。

关键词：水利工程；可视化仿真；三维模型
中图分类号:TV698 **文献标识码**：A **文章编号**：1672-643X(2016)04-0152-05

Study and application on three – dimensional visualization and simulation for water project

YU Xiang, XIE Jiancang, JIANG Rengui, LIU Jianlong, WU Yuanyuan
(*Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an* 710048, *China*)

Abstract: In the light of the problems of complex and low efficiency in the process of engineering modeling, the paper proposed a three – dimensional modeling (3DM) method of water project based on the WorldWind. It designed the process of 3DM, established the three – dimensional digital earth platform based on the WorldWind, and realized the loading and. Management of model on the platform. Taking the Han – to – Wei River project for example, the paper established the visualization environment and developed the 3DM of reservoir, which was then integrated and displayed on the digital earth platform. The results show that the digital earth platform based on WorldWind has better scalability and visual functions. The method can efficiently achieve the three – dimensional visualization and simulation of the water project and has good application value and popularize prospect.

Key words: water project; visualization and simulation; three dimensional modeling (3DM)

水库是拦洪蓄水和调节水资源的重要设施，也是重大的水利枢纽工程，这些工程大多处于山谷，因其地理条件复杂、地质信息繁多，给工程前期的勘测、设计及后期施工带来了巨大的困难。随着计算机仿真技术、3S 技术、可视化和虚拟现实技术的迅速发展，在水利行业也取得广泛的应用，并推动了水利工程向数字化、可视化和智能化方向的发展[1]。构建水利工程三维可视化模型，直观地反映水利工程的建筑物形态。同时能全面地为水利水电工程的规划设计提供辅助手段，为施工管理提供依据，从而提高工作效率和质量[2]。

国内在水利工程建模仿真方面也有深入的探讨和研究，如高学平等[3]采用 Autodesk 3dsMax 三维建模软件进行模型构造，实现了对湖区景观、水利设施及工程的仿真；张社荣等[4]运用 CATIA 软件对双层取水口的建模分析表明，将 CATIA 软件的先进成熟技术引用到水利水电行业中是可行的；唐松强等[5]采用 Civil 3d 和 Unity3D 实现多平台混凝土坝施工三维动态可视化仿真。王宗敏等[6]结合 CATIA 提出“骨架 + 模板”的三维建模思路与方法，实现土石坝工程的快速建模。对比发现这些建模软件及方

收稿日期:2016-03-15； **修回日期**:2016-04-26
基金项目:国家自然科学基金项目(51509201、51479160、41471451)；中国博士后科学基金项目(2016M590964)；陕西省高校科协青年人才托举项目(20160217)
作者简介:于 翔(1991-)，男，陕西眉县人，硕士研究生，研究方向为水利信息化。
通讯作者:姜仁贵(1985-)，男，江西玉山人，博士，讲师，研究方向为水利信息化。

法,操作复杂不易掌握,建模效率较低,但是具有一定的精确性。前期基于三维地理信息系统 WorldWind,在水利三维可视化仿真方面有较深入研究,开发了防汛预警监视平台[7]、洪水淹没分析及仿真平台[8]、水污染模拟仿真平台[9]、引汉济渭移民信息系统等。

针对目前研究中存在的不足,为了提高建模的效率和质量,以及在三维可视化仿真研究基础之上,本文提出了基于 WorldWind 的三维可视化建模方法,采用 SketchUp 设计软件构建水利工程三维模型,基于 WorldWind 对组件和应用接口进行二次开发,设计可视化仿真模块,实现三维模型加载融合及可视化仿真。

1　三维可视化建模流程

基于 WorldWind 的三维可视化建模流程主要包括数据搜集、三维模型构建、三维可视化平台搭建和模型加载与呈现 4 个方面。首先是数据搜集阶段,为三维平台搭建和三维模型建立提供基础,根据获取地形和影像数据、工程资料实现对三维模型的基础构建及渲染。然后采用 SketchUp 软件初步构建实体三维模型,通过纹理数据的渲染,三维地形影像的构建及配准,预览模型并导出 KMZ 格式文件。其次对 WorldWind Java 进行系统组件的二次开发搭建数字地球平台,WorldWind Java 基础组件具有强大的用户自定制功能,通过设计开发三维可视化平台,实现了可视化仿真等功能。最后基于 WorldWind 提供了 KMZ 文件的加载接口,将三维模型加载与融合到数字地球平台中,从而呈现完整的水利工程模型,实现三维模型的可视化仿真。三维可视化建模流程如图 1 所示。

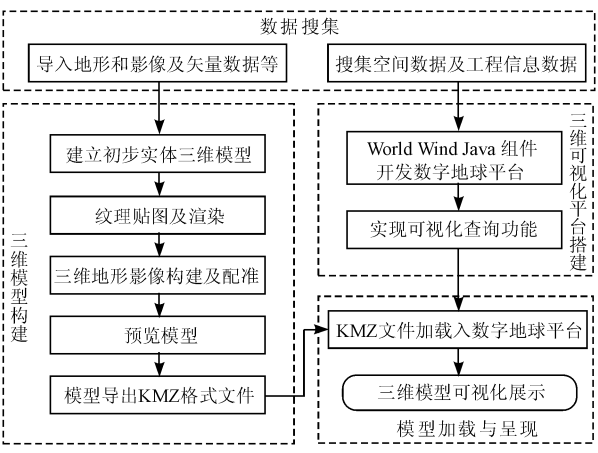

图 1　三维可视化建模流程

2　关键技术

通过对 WorldWind 和 SketchUp 软件的研究,由二维矢量图向三维模型转换的这种自下而上的建模思想对水库进行建模。基于 WorldWind 的三维模型可视化仿真关键技术包括三维模型构建、三维可视化平台搭建、三维模型加载及管理。

2.1　三维模型构建

目前,国内外流行的三维设计软件有:3dsMax、AutoCAD、Civil3D、CATIA、MultiGen Creator/Vega、SketchUp 等。对比这些建模软件的特点,如 3dsMax、Creator/Vega、Civil3D 等可以构建比较逼真的三维模型,但它们的建模过程却比较复杂,学习时间较长,不容易掌握;而另一些设计软件构建的三维模型又太过于简单,效果不理想;与同类型设计软件相比,发现 SketchUp 方便易用,当处理数目比较庞大的三维建模工程时,能有效提高建模速度和质量[10]。总结 SketchUp 具有以下特点:简单易学、方便易用、兼容性好、高效精准、功能齐全、应用广泛[11]。

Sketchup 是一套直接面向设计方案创作过程的设计工具,SketchUp 中创建三维模型就像使用铅笔在图纸上作图一般,为三维设计提供了全新的方式,它使得设计者可以直接在电脑上进行十分直观的构思。设计者只需在三维空间中画出物体的边界,SketehUp 便可识别这些线条和形状,所以它的建模流程简单快捷。SketchUp 对比传统的建模方式完全不同,在三维空间中绘制草图,推拉成三维模型,这是贯穿于整个的建模环节。在三维表现方面,提供了的材质、组件、样式以及实时的三维空间虚拟漫游、硬件渲染等表现功能。本文采用 SketchUp2015 构建水库三维模型。

2.2　三维可视化平台搭建

本文基于 WorldWind 搭建三维可视化数字地球平台。WorldWind 是由美国国家航空航天局(NASA)的科研人员开发的开放源代码的三维 GIS 平台,它是一个三维的可视化虚拟地球仪,它可以将 Landsat7、SRTM、MODIS、USGS 等多颗卫星的数据以及其他 WMS 服务商提供的图像通过一个三维的地球模型展现。WorldWind 有.NET 和 Java 两个版本,源代码全部免费开放,其中 WWJ 版本可以支持 Windows、Linux 和 Mac 平台。WorldWind 具有极好的适用性和可扩展性,也具有良好的框架设计和几乎无限的数据扩充能力,同时也具有强大的缓存技

术。WorldWind 应用于不同行业领域，由用户需求自己定制组件[12]。

基于 WorldWind 开发的数字地球平台体系结构由数据层、服务层、应用层和客户层四个逻辑层组成如图 2 所示。数据层是为平台提供基础的数据服务，主要包括卫星影像数据、GIS 空间数据、工程信息数据、三维模型数据，其中 GIS 空间数据主要有数字高程模型数据、MODIS 数据及卫星影像等数据，工程信息数据主要有工程统计信息、影像资料、及其他相关数据。WorldWind 采用金字塔模型对高程和影像数据进行切片处理后以瓦片形式存储，再通过本地服务器访问接口，构建高辨率的三维地形，在此基础上采用 Tomcat 和 GeoServer 服务器，构建网络地图服务，实现空间数据与工程信息数据的融合应用。服务层高于数据层，基于 WorldWind 提供的基础组件及三维模型加载接口 KMLviewer，采用应用服务器将工程数据与三维模型数据与系统进行融合展示，以支持应用层可视化查询。应用层包括可视化查询等功能模块，应用层依据数据层提供的数据及服务层的组件与应用接口，再通过应用服务器来支持应用。客户层是系统的最高层，通过数字地球平台客户端为用户提供人机交互的操作与浏览环境。

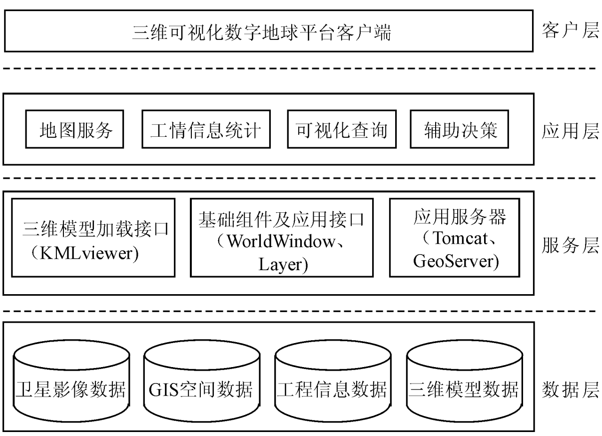

图 2　数字地球平台体系结构

2.3　三维模型加载及管理

KML 是一种文件格式，用于在地球浏览器中显示地理数据。KML 也是一种采用 XML 语法与格式的语言，用于描述和保存地理信息（如点、线、图像、多边形和模型等）。KML 数据用 < kml >、< Document >、< Folder >、< Placemark > 这些根标签作为文件的组织数据，Document 是 KML 文档的根元素，同时也是一个目录；Folder 用来对所有的标注进行树形分类；Placemark 用来描述一个地名标注，一般以经度、纬度、高度来指定一个地理坐标[13]。

KMZ 则是经过格式压缩的 KML 文件，KMZ 文件解压缩后，则包含 3 个文件分别是图像、模型、KML 文件。其中图像文件中存储了三维模型的纹理和背景图片等；模型文件则包含了三维模型点线面构造信息的 DAE 文件；KML 文件的主要作用是调用 DAE 文件，并提供三维模型的坐标位置、大小比例等属性。

WorldWind 在加载模型时只提供了 KML 文件的加载接口。所以加载 KMZ 文件时，首先提取 KML 文件中的地理信息，然后通过 KML 中的链接找到所对应的 DAE 文件，提取三维模型的具体信息，最后呈现出完整的三维模型。

基于 WorldWind 开发可视化查询应用，实现了三维模型统一管理，将三维模型按类别划分，并将模型基础信息展示在列表中，包括名称、尺寸、图层、类别、所在流域、地理位置、备注等。选定某一模型便将其加载入数字地球平台中并渲染，并在三维模型上弹出信息供用户查询，给用户提供更真实的三维可视化仿真效果。

WorldWind 批量加载 KMZ 三维模型以及模型运行管理的主要程序如下：

```
private void addKMLLayer(KMLRoot kmlRoot) {
KMLController kmlController = new KMLController(kml-
Root);
RenderableLayer layer = new RenderableLayer();
layer.setName((String) kmlRoot.getField(AVKey.DISPLAY_NAME));
layer.addRenderable(kmlController);
this.wwd.getModel().getLayers().add(layer);
mainFrame.addTempLayer(layer);
KMLLayerTreeNode layerNode = new KMLLayerTreeNode(layer, kmlRoot);
this.layerTree.getModel().addLayer(layerNode);
this.layerTree.makeVisible(layerNode.getPath());
layerNode.expandOpenContainers(this.layerTree);
layerNode.addPropertyChangeListener(AVKey.RETRIEVAL_STATE_SUCCESSFUL, new PropertyChangeListener() {
    public void propertyChange(final PropertyChangeEvent event) {
    if (event.getSource() instanceof KMLNetworkLinkTreeNode) {
```

```
        SwingUtilities.invokeLater(new Runnable() {
        public void run() {
          ((KMLNetworkLinkTreeNode) event.getSource()).expandOpenContainers(layerTree);
            wwd.redraw();}});}}});
}
```

3　应用实例

3.1　研究区概况

引汉济渭工程属于陕西省内大型 I 等跨流域调水工程,连通汉江、渭河两大水系,为解决关中地区水资源紧缺,优化水资源配置。在汉江干流黄金峡及支流子午河分别修建黄金峡水利枢纽和三河口水利枢纽蓄水,经秦岭隧洞自流输水至关中地区[14]。其中黄金峡水利枢纽坝址位于汉江黄金峡镇锅滩下游 2 km 处,由拦河坝、泄洪建筑物、泵站电站及升船机等组成,拦河坝为混凝土重力坝,最大坝高 63 m,总库容 2.21×10^8 m^3,正常蓄水位 450 m,死水位 440 m。三河口水利枢纽坝址位于汉江支流三河口村下游 2 km 处,由拦河坝、泄洪放空建筑物等组成。拦河坝为碾压混凝土拱坝,最大坝高 145 m,总库容 7.1×10^8 m^3,调节库容 6.5×10^8 m^3,正常蓄水位 643 m,死水位 558 m。

3.2　水库三维可视化模型应用

(1)地形和影像数据导入。首先是获取地形和影像基础图层,搜索黄金峡及三河口水库的具体位置,确定所选区域捕捉后将地形影像数据导入。而且 SketchUp 还支持 DEM 和 BMP 等格式文件的导入,也可以将已有的数据导入并构建地形及影像基础图层。本文主要由水利枢纽工程设计的位置,通过卫星图像搜索能更加快捷的精确定位水库所建位置。如无法搜索出所需地形和影像时,可通过制图软件将数据经过处理,再导入 SketchUp 中完成后续工作。导入效果如图 3 所示。

(2)三维模型构建及导出。在对黄金峡及三河口水库进行三维建模之前,可根据二维矢量图获取建筑物的长、宽、高等信息。而且 SketchUp 支持 JPG,CAD 等格式文件的导入,通过导入整理好的 CAD 图,经过拉伸变换快速构建简单的水库三维立体模型,或者由 3dsMax 构建模型导入后做进一步的修改,从而构建初步水库三维模型。进一步对三维模型渲染及精细化修正,通过搜集的水库设计资料,本文采用 SketchUp 提供的纹理及材质设计工具对模型的各部位进行渲染,尽量与设计图纸颜色材质保持一致,再对边线进行柔化与平滑,经过渲染后三维模型才具有真实感,可视化效果也更加逼真。最后将创建的水库三维模型导出为 KMZ 格式文件,渲染后效果如图 4 所示。

(3)三维模型加载与管理。通过对 WorldWind 组件和应用接口进行开发引汉济渭工程数字地球平台,设计实现可视化查询等功能。在业务应用中进入可视化查询功能界面,左侧展示三维模型的基础信息,包括水利工程的名称、地理位置、图层信息、尺寸、类别、流域范围等信息。选择黄金峡及三河口水库加载,便将其 KMZ 三维模型载入数字地球平台并渲染。WorldWind 通过 KMLviewer 接口调用 KMZ 文件并解析,将水库三维模型的地理信息及模型信息提取载入后,三维球体将自动旋转至 KMZ 文件所对应的地理位置。WorldWind 支持模型批量加载提高了处理速度,更迅速的为三维模型的可视化仿真提供服务。三维模型加载后选择模型,便可弹出模型的具体信息如设计库容、坝高、蓄水位、死水位、发电量及装机容量等。三河口水利枢纽及黄金峡水利枢纽三维模型加载到数字地球平台的效果如图 5 所示。

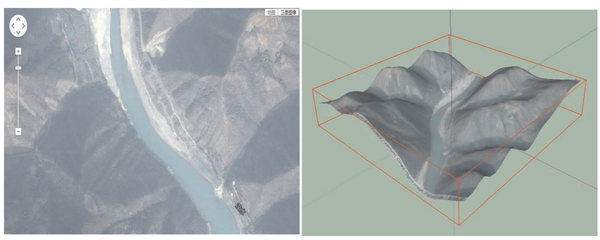

图 3　导入地形和影像图

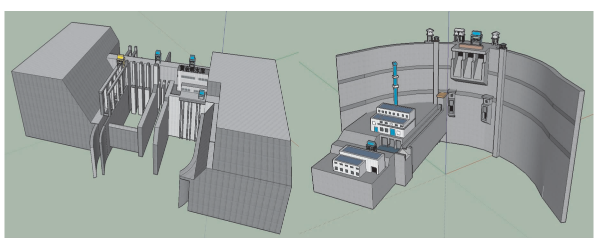

图 4　黄金峡及三河口水库模型图

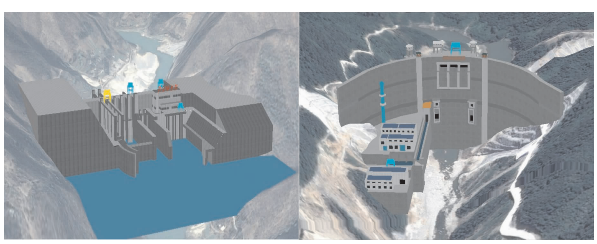

图 5　三维模型加载入数字地球平台

4 结 论

本研究基于 WorldWind 的三维可视化建模流程,采用 SketchUp 构建水利工程三维模型,介绍三维模型的 KMZ 文件解析与载入技术,并对 WorldWind 组件和应用接口进行开发扩展。最后以引汉济渭工程为例开发数字地球平台并构建可视化环境,实现了水利工程三维模型的可视化仿真。

基于 WorldWind 的水利工程三维可视化仿真研究应用,总结如下几点:

(1)基于 SketchUp 三维建模方法能够实现水利工程批量化建模,提高设计的效率和准确性;但本文只是站在整体建模的角度上,而不是具体到细节,而且许多参数也不能及时调整,这些是 SketchUp 对比其他设计软件的缺点。

(2)WorldWind 开发平台能批量加载入三维可视化模型提高读取速度,有较好的扩展性和三维可视化效果,更快地为三维可视化仿真提供服务。对比其他可视化仿真软件不能对模型进行实时修改。

(3)随着三维 GIS 及可视化仿真技术的发展,计算机技术辅助水利工程设计的模式,能更加高效、便捷、科学的为水利工程设计规划以及管理提供更为科学合理的思路和方法。基于 WorldWind 的水利工程三维模型可视化仿真研究应用,以及三维 GIS 结合三维模型的可视化仿真研究具有一定的推广应用价值。

参考文献:

[1]钟登华,李景茹,黄 河,等.可视化仿真技术及其在水利水电工程中的应用研究[J].中国水利,2003(1):67-70.

[2]刘东海,钟登华.基于 GIS 的水电工程可视化辅助设计理论与方法[J].水利水电技术,2003,34(9):8-11.

[3]高学平,唐朝阳,张 晨.大型景观湖三维仿真演示研究[J].南水北调与水利科技,2015,13(4):756-759+784.

[4]张社荣,顾 岩,张宗亮.水利水电行业中应用三维设计的探讨[J].水力发电学报,2008,27(3):65-69.

[5]唐松强,申明亮,丁 栗.多平台混凝土坝施工三维动态可视化研究[J].中国农村水利水电,2015(7):140-141.

[6]王宗敏,王 岩,杨海波,等.基于 CATIA 的土石坝原型三维建模研究[J].水利水电技术,2014,45(10):56-59.

[7]姜仁贵,解建仓,李建勋.面向防汛的三维预警监视平台研究与应用[J].水利学报,2012,43(6):749-755.

[8]姜仁贵,解建仓,李建勋,等.基于数字地球的洪水淹没分析及仿真研究[J].计算机工程与应用,2011,47(13):219-222.

[9]解建仓,姜仁贵,李建勋,等.面向突发性水污染事件的三维可视化系统[J].自然灾害学报,2012,21(3):217-223.

[10]童滋雨.SketchUp 建筑建模详解教程[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.

[11]范明华,杜甘霖,任家勇.SketchUp 大区域三维建模技术研究[J].测绘通报,2012(5):56-58.

[12]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.

[13]马立广,曹彦荣.Google Earth COM API 及 KML 技术在旅游管理信息系统开发中的应用[J].地球信息科学学报,2010,12(6):828-834.

[14]刘 斌.引汉济渭工程总体布局[J].中国水利,2015(14):76-79.