

· 信息技术 ·



航电枢纽施工三维动态可视化系统 设计与实现^{*}

耿 敬, 张 洋, 李明伟, 陈志远
(哈尔滨工程大学 船舶工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对航电枢纽施工动态管理的特点, 基于数字地形构建原理, 运用 CityEngine 技术, 构建航电枢纽研究区段的数字地形和三维水工建筑物, 提出三维场景融合方法。基于 ArcSDE+SQL Server 空间数据库技术, 以内部代码和用户标识码为公共数据项, 将属性数据与空间数据进行连接, 建立三维场景动态展示方法, 完成航电枢纽施工过程三维动态可视化仿真, 设计工程施工三维动态展示与施工过程信息同步更新机制, 实现航电枢纽施工动态可视化管理。基于建立的系统功能框架, 以依兰航电枢纽施工管理为例, 开发施工动态三维可视化管理系统, 为航电枢纽工程施工可视化、精细化管理提供技术支持。

关键词: 水利工程; 施工; 管理; 数字化

中图分类号: TP 391.9; TV 512; U 64

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)02-0115-08

Design and realization of 3D dynamic visualization system for construction of navigation-power junction

GENG Jing, ZHANG Yang, LI Ming-wei, CHEN Zhi-yuan

(Ship Engineering College, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: In view of the characteristics of the dynamic management for the navigation-power junction construction, we build the DEM and 3D hydraulic structures of the navigation-power junction and propose a fusion method of 3D scene based on the construction principle of digital topographic map (DEM) and applying “CityEngine” technology. Then, on the basis of the spatial database technology of ArcSDE and SQL Server, we realize the connection of the attribute data and spatial data by taking the advantage of the internal code and the user identification code as the common data item, establish the 3D scene dynamic display method to accomplish 3D dynamic visual simulation for the construction process of navigation-power junction, and design the 3D dynamic display of engineering construction and information synchronization update mechanism for the construction process to achieve dynamic visual management of the navigation-power junction construction. Finally, based on the established systemic functional framework and taking the construction management of Yilan navigation-power junction for example, we develop a 3D visual management system of the dynamic construction, expecting to provide a technical support for the visualization and delicacy management of the navigation-power junction construction.

Keywords: hydraulic project; construction; management; digitization

航电枢纽工程施工条件复杂, 施工期内雨季多发, 特别是为了保证工程进度, 多家承包商同

时进场, 平行作业和作业面狭窄导致互相干扰, 为施工过程中的工期、质量等控制带来诸多不确

收稿日期: 2016-07-06

***基金项目:** 交通运输部信息化科技项目 (2014364554050); 黑龙江水利厅科技项目 (SLKYG2015-92)

作者简介: 耿敬 (1968—), 女, 教授, 从事河海及水利工程设计理论与建造技术、水利工程信息化研究。

定因素。同时，航电枢纽水工建筑物种类多，其内部各部分之间既相互联系又相互制约，关系错综复杂，涉及到工程施工的各个方面，难以用简单图表或数学模型来描述^[1]。因此，通过对航电枢纽相关信息进行分类、变换、整合，以图形、图像、动画的方式，更加直观、科学地表达施工对象的各部分信息，开发一个交互友好的航电枢纽动态可视化管理系统，已成为提高施工效率、解决施工决策问题的重要途径^[2-3]。

本文面向航电枢纽工程建设管理问题，基于地理信息系统 (GIS)^[4-6]、三维建模技术和施工动态管理技术，研究基于 GIS 的工程施工三维动态可视化仿真技术，建立航电枢纽工程建设动态管理实现方法，研发航电枢纽工程建设动态可视化管理系统。基于三维动态展示技术，呈现复杂施工过程中各施工单元的时空关系，描述和分析复杂工程施工监管过程，揭示施工系统内部动态行为特征，实现施工现场总体布置的全过程三维动态演示。通过对各分部分项工程施工计划与实时成果的直观显示，达到全面、准确、快速管控枢纽建设全过程的目的，实现航电枢纽工程建设的可视化、精细化、可追溯管理。

1 航电枢纽区段可视化系统构建

三维可视化仿真技术^[7-9] (three-dimensional visual simulation, 简称 3DVS) 结合计算机仿真技术和建模技术，采用图形或图像方式对仿真计算过程与结构进行后处理。为了将科学计算中产生的数据及结果转化为图形或图像，本文结合 GIS 与 3DVS，选取适当的图形与图表表示方式，显示三维场景中各水工建筑物的分布情况，对场景进行交互操作、动态显示。航电枢纽区段可视化系统主要包括两部分：数字地形系统与三维水工建筑物模型系统。

1.1 航电枢纽研究区段数字地形子系统构建方法

数字地形是整个航电枢纽三维场景的重要组成部分，数据来源复杂且格式迥异，涉及纸质地形图、纸质报告、CAD 电子图纸和工程设计图纸

等。针对数据信息量较大、处理过程繁琐的问题，利用 GIS 工具将地形数据转化为一系列不相交的三角形，并按照一定的规则构成一种 DEM 矢量数据，即 TIN 模型。TIN 模型可以真实地表现航电枢纽研究区段的地形高低起伏，形象地反映河流、山脉等地貌特征，以不同层次的分辨率来描述地形表面，有效避免平坦处的数据冗余^[9]。数字地形子系统构建主要分为 DWG 地形图数据处理、纸质地图的处理和数字地形子系统生成 3 部分：

1) DWG 地形数据处理。通过对地形图在 CAD 中拼接处理、删除无关图层、填充符号等冗余数据的基础上，利用 ArcMap 工具转换得到注记数据、点数据、线数据、面数据和多面体数据等地形图数据。使用 ArcGIS、CASS9.0 将提取的等高线与高程点数据转化为具体值的高程点和等高线的属性表，根据 TIN 地形与等高线数据的拟合对数据进行修正细化。实现原始 DWG 数据转换为 ArcGIS 数据库格式数据。

2) 纸质地形数据处理。通过对地形图的地理配准、拾取控制点、剪裁与拼接，创建“等高线”要素类，跟踪一条等高线并根据高程点判读其高程，获取等高线的高程，将流域地形数据转换为 Geodatabase 中高程点与等高线数据，实现人工矢量化。

3) 数字地形子系统生成。利用提取获得的等高线数据和高程点数据，生成 TIN 数据，设置等高线的高程值、高程点的值，然后对获得的河道数据进行高程重新配色、渲染与光照调整等操作，完成数字地形子系统构建。

1.2 航电枢纽水工建筑物建模技术

针对枢纽水工建筑物形式多样、结构复杂的特点，在对航电枢纽进行三维可视化仿真的过程中，如何高效、快速地构建三维模型显得尤为重要。综合考虑精确度和效率等方面因素，建立基于 3ds Max 软件的水工建筑物三维模型系统。主要步骤如下：

1) 采用 CAD 平面设计图作为设计底图，针对原始的 CAD 平面图存在没有闭合、连线有隔断

等问题,对导入前的原始平面设计图进行优化,然后确定需要构建的三维模型,保留需要建造模型的数据并将多余的数据删除,为后期三维建筑物、装置模型和场景的创建提供正确的位置和大小等基础信息,保证构建的各种模型与平面设计地图充分叠合,降低地物融合的难度。

2) 将设计图导入 3ds Max 中,使用连接工具将没有闭合的顶点连接起来,确保导入设计图中的样条线闭合,适当放大、缩小设计图至适当比例尺。

3) 以建筑物及各类机械装置的底面边界为依据,通过 3ds Max 软件进行挤出、拉伸等不同的建模方式,构建水工建筑物及各类机械装置粗糙三维模型。通过布尔运算,细化建立的粗糙模型,最终完成三维水工建筑物和各类装置的建模。

为提高模型的真实感,在建模过程中,通过从现有照片、录像提取纹理和地面拍照获得纹理图片相结合的方式获取模型纹理图片。基于纹理映射技术和灯光、图像混合等技术,完成与实际形态相似的航电枢纽三维水工建筑物的建立。

1.3 三维场景融合技术

数字地形系统与水工建筑物模型系统构建之后,并不能立即组合构成航电枢纽研究区段的三维场景,因为数字地形与水工建筑物模型并不完全匹配,存在相互遮挡或相互分离,不能真实反映研究区段的实际情况,需进行全视景融合处理来集成为整个三维场景。考虑 CityEngine 对 GIS 数据的支持,基于 GIS 理论、3ds Max 和 CityEngine

的三维场景融合技术主要包括:

- 1) 按照地形中高清影像的相应平面位置摆放数字建筑物;
- 2) 针对数字建筑物摆放平整合理无悬空或陷入的特点,对集成的场景进行修正优化;
- 3) 根据施工总体布置图要求,对局部地形进行填挖,即 TIN 模型的修改。

利用 3ds Max 的 UV 贴图功能,对建好的三维水工建筑物模型进行纹理贴图,用图片纹理代替模型凹凸与材质渲染,将这些贴图赋予导出的低面模型上作为细节的补充,使三维水工建筑物模型更加真实。地形开挖采用了如下方法:将地理配准后的建筑物布置图与原始地形 TIN 进行融合相交,利用 GIS 工具编辑生成地形开挖的相交边界,然后根据需要开挖地形区域的等高线与高程点数据,从 TIN 模型上沿相交线切去初始形体面所包含的地形区域,构成经开挖后新的地形 TIN 模型。

1.4 ArcSDE+SQL Server 空间数据库集成技术

实现航电枢纽工程 3DVS,将航电枢纽的所有相关数据录入到数据库中是构建系统的关键,此过程亦称数据采集,主要通过数据库管理系统来完成属性数据与空间数据的存储和管理。在航电枢纽可视化数据库系统中,利用 ArcGIS 下 Personal Geodatabase,通过 ArcGIS SDE 存储空间数据,利用 SQL Server 数据库存储属性数据^[10-11]。本文建立的航电枢纽数据库结构如图 1 所示。

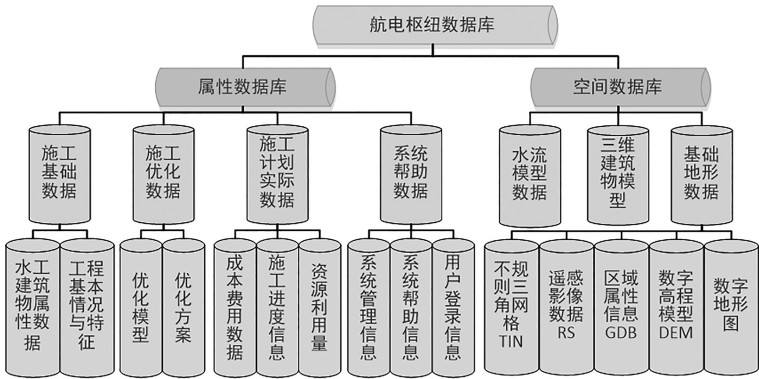


图 1 航电枢纽数据库结构

2 航电枢纽施工动态可视化仿真方法

2.1 基于 GIS 的三维动态演示方法

三维动态演示的核心是水工建筑物当前关键信息查询和二三维场景联动。以 GIS 为载体开发和建立数据库，然后与系统仿真模型库和方法库建立连接，形成一个完整的可视化图形仿真系统，用以研究对各种地理空间信息进行采集、存储、检索、综合分析和可视化表达的信息处理和管理等功能。通过内部代码和用户标识码作为公共数据项将空间数据和属性数据连接起来，使得描述图素的属性数据与其图素和三维模型建立一一对应关系。描述实体要素 $F(i)$ 、三维模型 $M(i)$ 及属性信息 $P(i)$ 的关联标识，空间数据和属性数据通过系统编码 ID 和标识码作为相互贯通方式连接起来，使得构成空间对象的每一个实体要素、三维模型、描述该图元的属性相互建立一一对应关系 $F(i) \leftrightarrow M(i) \leftrightarrow P(i)$ ，高亮显示图元对应模型要素。具体关系如图 2 所示。空间数据组织结构为数字地形与三维水工建筑物模型的可视化空间操作和分析提供了条件，从而为施工动态仿真奠定基础。观察者可以绕 X 、 Y 、 Z 三轴任意旋转、缩放、改变视点的位置和观察方向、透视显示，或选取一定的线路进行穿越漫游，并可按需要灵活显示专题图层，从而增进对工程施工系统的全局理解。

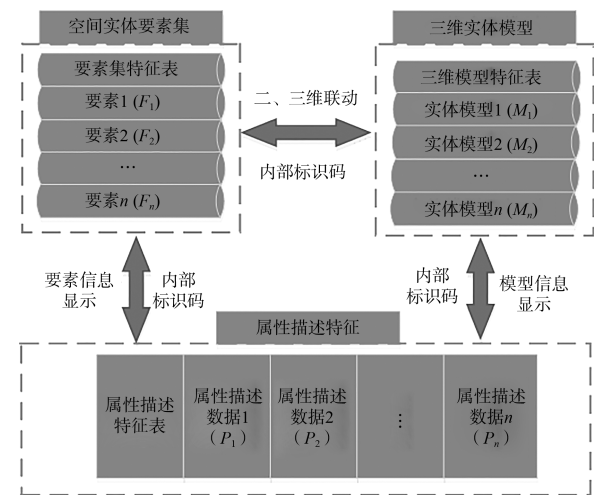


图 2 二、三维动态演示方法

2.2 航电枢纽施工过程三维仿真技术

航电枢纽施工过程三维仿真主要包括施工过程的动态仿真和施工信息的动态更新。1) 施工过程的动态仿真是基于 GIS 的三维动态演示，采用“全程仿真钟”的方法，利用 ArcGIS Engine 二次开发工具，加载得到水工建筑物和水流子模型的系统动态仿真信息，包括仿真工序、工序时间、建筑物空间坐标位置及其属性等，实现任意时刻下水工建筑物面貌及水流模型耦合状态再现。基于 GIS 中生成的水工建筑物子模型与水流动态变化子模型 i 对应任意时刻的面貌 $W_i(t)$ ，则 t 时刻的工程施工整体面貌可表示为 $W(t) = \sum_{i=1}^n W_i(t)$ ， n 为子模型总数。总体模型面貌随时间的变化而变化，把水工建筑物施工任意时刻的整体面貌贮存在模型库中，并与其时间属性数据进行关联，在动画演示时，按时间顺序读取模型库中的模型数据及相对应的属性信息，不断更新属性数据变量，刷新屏幕显示。在动态仿真过程演示时，通过对模型数据库的循环，逐条读取属性数据库中每条子模型数据及其他相关信息，最终以图层的形式将子模型数据显示在三维场景中^[12]。2) 施工信息动态更新包含项目起始时间、当前项目进行数目、计划完成的时间节点、总工程与单位工程的实际与计划的航道图与施工 S 曲线图。通过信息传递、集成分析，实现航电枢纽施工全过程的三维动态管理。

3 依兰航电枢纽施工三维动态可视化管理系统

以依兰航电枢纽建设为例，建立依兰航电枢纽施工三维动态可视化管理系统。面向施工动态可视化管理系统总体要求，基于 ArcGIS Engine 二次开发技术、SQL Server 数据库技术、空间数据库技术以及数据库连接及应用技术，完成系统研发。建立的三维动态可视化管理系统，同时具备二三维场景联动下水工建筑物及环境要素的查询、定位、漫游、放缩和鹰眼等功能；GIS 三维场景下的施工过程的动态仿真、施工进度可视化管理；施工过程的智能推进与优化；目标工程基础数据的采集、

查询、统计、报表输出等功能。系统基于动态更新机制,科学形象地展现工程建设的各阶段状况,为实现航电枢纽建设的精细、可视化管理提供技术支撑。

3.1 数字地形构建

利用依兰航电枢纽地形资料,基于 GIS 开发平台,运用数字地形构建方法,生成三维数字高程模型(DEM),如图 3 所示。对获得地形数据与河道数据进行垂直夸张,经过纹理贴图、光照等加工处理,融合研究区域卫星影像与数字高程模型,构建更为逼真的数字地形系统,如图 4 所示。

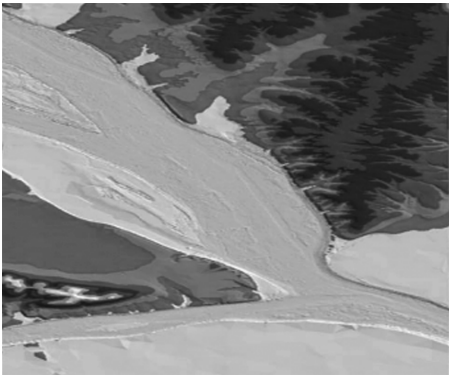


图 3 DEM 数字高程



图 4 数字地形系统

3.2 水工建筑物建模

基于航电枢纽工程水工建筑物的设计资料,利用实体 CAD 技术和参数化实体建模技术,采用 3D MAX 三维建模工具,交互式创建地物模型,通过纹理编辑和三维纹理贴图,恢复枢纽建筑物模型的纹理,其中厂房模型、泄洪闸模型及船闸模型如图 5~7 所示。

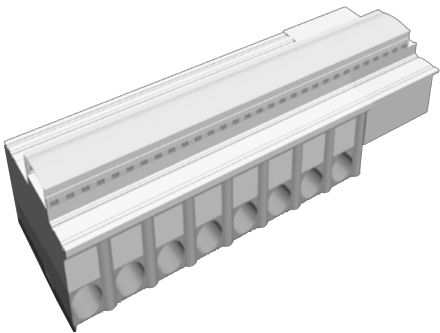


图 5 厂房模型

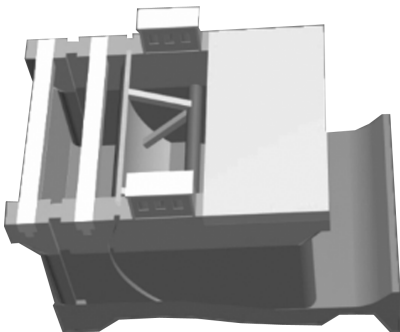


图 6 泄洪闸模型

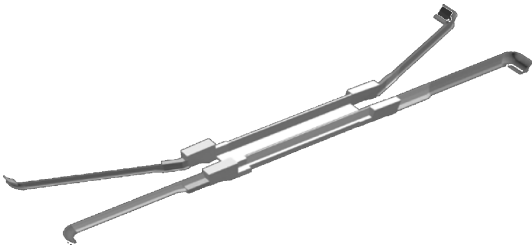


图 7 船闸模型

3.3 三维场景融合

数字地形系统和水工建筑物数字模型系统构建后,基于全视景融合处理技术,将数字地形系统和水工建筑物模型系统集成成为整个三维场景。将船闸、厂房和施工准备区等三维模型与数字地形系统进行融合,最终建立依兰航电枢纽三维虚拟现实系统(图 8)。

3.4 系统集成及功能

基于场景融合技术,搭建施工动态三维可视化系统平台,在 Visual Studio 平台下,运用场景控件 axSenceControl 与 axMapControl 接口,融入 ArcGIS 与 3Ds Max 建立的数字地形系统与水工建筑物模型系统,通过 C#语言开发,建立了依兰航电枢纽施工动态可视化管理系统(图 9)。

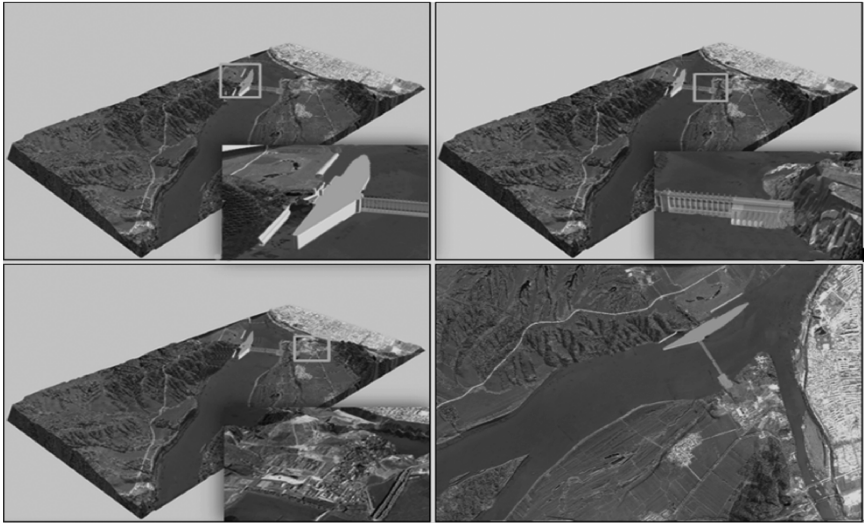


图 8 数字地形与水工建筑物融合过程

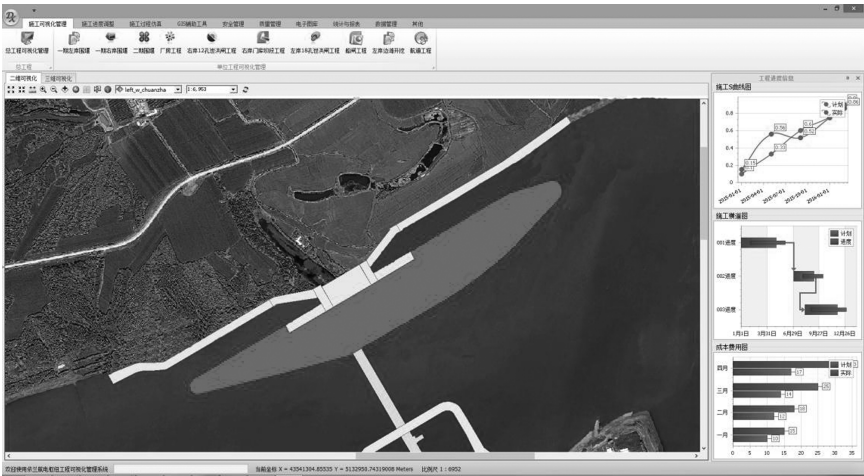


图 9 系统运行总界面

3.4.1 施工总体可视化管理

系统以二三维联动的方式呈现项目施工场景，基于施工对象闪烁的方式，采用不同颜色形象展示其当前不同施工状态。动态展示包括厂房、十

二孔泄洪闸、门库坝段、十八孔泄洪闸、土坝和船闸 6 大部分的水工建筑物模型的基本属性信息和当前施工进度信息（图 10）。

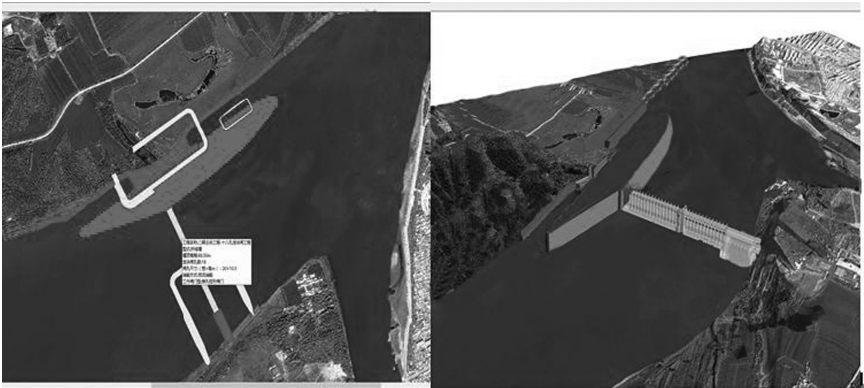


图 10 三维场景下施工可视化

3.4.2 施工场景可视化与漫游

系统可以提供互动式查询展示, 包括旋转漫游、鹰眼模式和平移缩放等漫游操作。可利用鼠

标操作控制点位置与视角高度, 完成场景下水工建筑物的拉近和远离。通过视角的任意调整, 实现不同角度、不同层面和不同视角的观察 (图 11)。

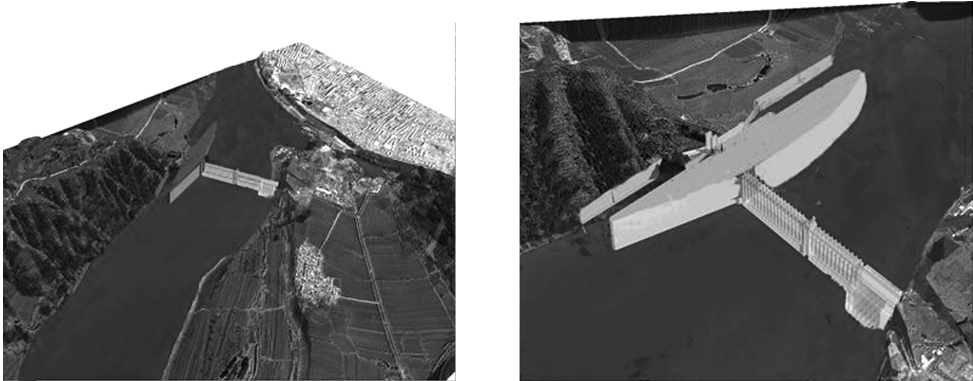


图 11 场景漫游

3.4.3 施工进度调整可视化

系统一方面以施工横道图、施工强度曲线和施工网络图的方式, 在二三维场景中, 对于建筑物模型赋予不同颜色来表示未开工、已开工、已完工 3 种状态, 根据当前系统数据库更新的进度信息, 利用高亮闪动的方法, 展示不同颜色的建筑物模型, 展现航电枢纽工程当前施工进度总体状态情况, 实现当前施工动态三维可视化监测; 另一方面, 对当前施工项目的精细化管理, 一是展示工程的进度信息与工程资源信息, 包括施工

工期、开始与结束时间、停工与复工日期、施工强度与资源利用的信息; 二是当前工程不符合规定开始时间、规定结束时间、施工强度上限的要求情况下, 选取计划工期完工、期望工期完工、提前完工和保证施工强度的不同优化条件, 考虑施工工期、施工强度、资源使用、人员分配、机械利用的综合因素, 利用施工优化模型对当前工程进行进度调整, 保证施工工期与当前施工强度满足要求。当前工程系统施工进度调整见图 12。

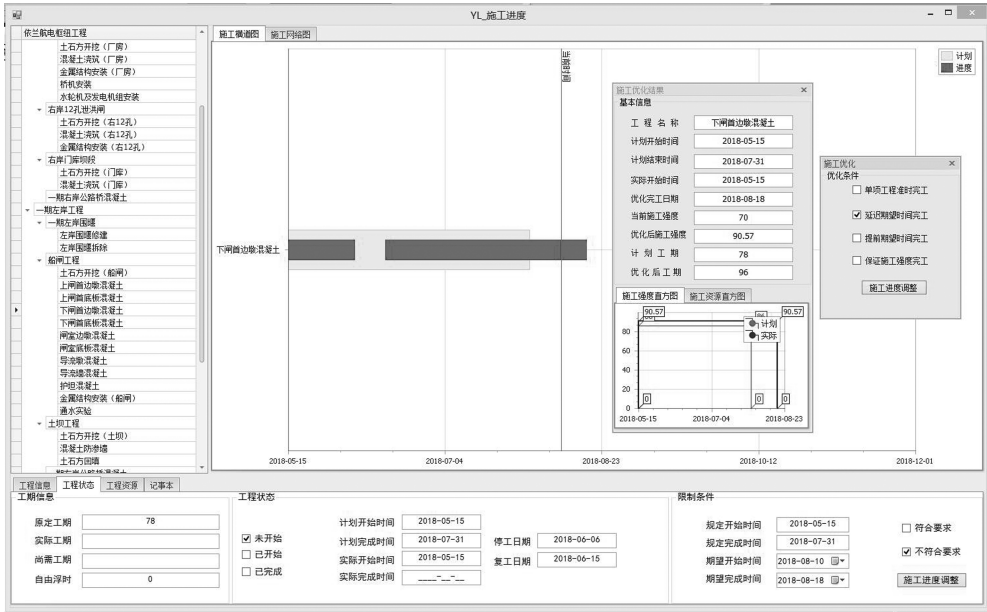


图 12 施工进度调整可视化界面

4 结语

- 1) 基于 GIS 技术和 3D MAX 软件, 完成航电枢纽研究区段的数字地形构建、水工建筑物精细化建模, 实现航电枢纽施工三维场景融合。
- 2) 结合 GIS 空间数据库技术与 SQL Server 属性数据库技术, 实现航电枢纽设计、施工、管理等数据资料的动态集成处理。
- 3) 本系统可实现航电枢纽施工场地布置、水工建筑物三维动态仿真、场景漫游、施工信息精细化管理及施工进度优化等功能。

参考文献:

[1] 吴澎, 张珊, 罗少桢, 等. 航电枢纽工程选址与布置[J]. 水运工程, 2013(S1): 28-32.

[2] 郭享, 苏志国, 崔峰, 等. 煤炭码头三维可视化管控系统研究与应用[J]. 水运工程, 2015(12): 128-132.

[3] 唐国磊, 王文渊, 李博名, 等. 3D 可视化海港航道辅助设计系统设计与实现[J]. 水运工程, 2014(9): 135-139.

[4] 陈述彭. 地理系统与地理信息系统[J]. 地理学报, 1991(1): 46.

[5] 钟登华, 宋洋. 基于 GIS 的水利水电工程三维可视化图形仿真方法与应用[J]. 工程图学学报, 2004, 25(1): 52-58.

[6] 钟登华, 宋洋. 大型水利工程三维可视化仿真方法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(1): 121-127.

[7] KAMIGAKI T, NAKAMURA N. An object-oriented visual model-building and simulation system for FMS control[J]. Simulation transactions of the society for modeling & simulation international, 1996, 67(6): 375-385.

[8] 钟登华, 段文泉, 张伟波, 等. 可视化动态仿真技术及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(8): 114-120.

[9] 刘东海, 钟登华, 周锐, 等. 基于 GIS 的水电工程施工导流三维动态可视化[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(11): 1 051-1 055.

[10] 邱洪钢. ArcGIS Engine 地理信息系统开发从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.

[11] 李崇贵. ArcGIS Engine 组件式 GIS 软件开发及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.

[12] 郑天驹, 耿敬, 李明伟, 等. 松花江依佳河段浅区特性分析及航道整治工程研究[J]. 应用科技, 2016(4): 66-69.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

中国交建签署意大利威尼斯离岸深水港设计咨询合同

2月3日, 由中国交建牵头、意大利 3TI 和 eAmbiente 公司参与的联合体, 与意大利威尼斯港务局在威尼斯市政厅签署了威尼斯离岸深水港一期设计咨询合同。该港口建设不仅让意大利和欧洲受益, 也将成为中意互利互惠的典范。

威尼斯市长路易吉·布鲁尼亚罗出席签约仪式并表示, 威尼斯政府努力将威尼斯港打造成亚得里亚海最大港口, 这一重大建设项目需要中国交建这样有实力的企业积极参与。中国交建签约代表表示: 中国交建将遵守欧盟和意大利法律法规, 积极响应业主需求, 配置优势资源, 分享在全球港口领域的经验, 紧密与当地伙伴合作, 力争按时提交高质量的设计成果。

http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201702/t20170207_87479.html (2017-02-07)