

# 基于 BIM 的长距离引调水工程三维参数化智能设计研究及应用

张社荣<sup>1</sup>, 刘婷<sup>1</sup>, 朱国金<sup>2</sup>, 王超<sup>1</sup>

(1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300350;

2. 中国电建集团 昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000)

**摘要:** 为了摆脱以往三维设计中效率低下的重复性工作, 提高长距离引调水工程三维设计的水平和效率, 从建筑物建模之初就融入参数化设计理念。首先建立引调水工程典型建筑物 BIM 模型, 再基于组件对象技术 (COM) 与 Inventor API (应用程序接口) 技术, 采用 C# 编程语言开发出一套基于 C/S 框架的三维参数化智能设计平台。通过研究引调水工程的 BIM 标准化关键技术, 建立存储各类模型及其信息的数据库, 并对 Navisworks 可视化仿真软件进行二次开发, 融合基于云平台的协同设计技术, 实现工程图纸的高效快速生成、施工进度仿真以及协同办公等功能。该系统已经应用于某长距离引调水工程中且效果显著, 应用前景广泛。

**关键词:** 长距离引调水工程; 三维参数化; BIM; 协同设计; Inventor; Navisworks

中图分类号: TV67

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)03-0139-07

## Research and application of intelligent design of three-dimensional parameterization in long-distance water diversion engineering based on BIM

ZHANG Sherong<sup>1</sup>, LIU Ting<sup>1</sup>, ZHU Guojin<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300350, China;

2. PowerChina Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming 650000, China)

**Abstract:** In order to get rid of the inefficient and repetitive work in the previous three-dimensional design and to improve the level and efficiency of the three-dimensional design of long-distance diversion and water diversion engineering, the parametric design concept was integrated into the building from the beginning of modeling. First, the BIM model of typical buildings for water diversion project was established, and then a set of C/S framework based 3D parametric design platform is developed with C# programming language based on component object technology (COM) and Inventor API (application program interface) technology. By building a database to store all kinds of models and information, and integrating cloud platform based collaborative design technology, the project drawings can be generated efficiently and quickly and the functions of collaborative office are realized. The system has been applied to a long distance diversion and water diversion project with remarkable effect and wide application prospect.

**Key words:** long-distance water diversion engineering; three dimensional parameterization; building information modeling (BIM); collaborative design; Inventor; Navisworks

## 1 研究背景

长距离引调水工程规模大、地形多样、地质复

杂、输水线路长、影响范围广、输水建筑物种类庞杂<sup>[1]</sup>, 传统的三维设计已经无法满足提高工程建设效率的需求, 而参数化设计可以大大提高模型的生

收稿日期: 2018-12-17; 修回日期: 2019-02-17

基金项目: 云南省重点研发计划项目 (2017IB014); 国家重点研发计划项目 (2018YFC0406905)。

作者简介: 张社荣 (1960-), 男, 天津人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为水工结构工程。

通讯作者: 王超 (1986-), 男, 天津人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为水工结构工程。

成和修改速度。国外大量研究人员均开展了参数化建模设计的研究, Yu Yanyun 等<sup>[2]</sup>通过在平台搭建过程中融入参数化设计技术, 开发出了具有高效进行有限元的预处理、结构设计等功能的模块, 有效地缩短了设计时间; Liu Qiaosheng 等<sup>[3]</sup>利用数据库技术存储设计的规范和设计参数, 设计出了一套针对转动台的参数化设计系统, 可实现自动匹配预先构建的案例库精准完成相似任务的功能; Hernandez<sup>[4]</sup>提出了一种参数化建模的思想, 即把组件作为变量, 并通过实例对其进行了验证, 证明该建模方法的高效性和可行性。

国内目前的参数化设计技术在机械建筑等领域均应用广泛, 王帅<sup>[5]</sup>基于 Inventor 环境将参数化设计思想运用在皮带运输机系统的开发中, 使皮带运输机的运行效率显著提高; 赵一帆等<sup>[6]</sup>开发了一套基于 SolidWorks 平台的起重机参数化设计与管理信息系统, 对缩短各种机械产品的开发周期具有重要的现实意义; 于彦伟<sup>[7]</sup>基于 CATIA 平台采用 CATIA 二次开发技术开发了一套参数化设计系统, 可实现重力坝的参数化设计和参数化模型创建等功能, 提高了重力坝的设计效率和设计水平; 王宽<sup>[8]</sup>提出了一种预应力渡槽的参数化联动设计思想与数值优化方法, 实现了渡槽的参数化设计和配筋设计; 苏梦香等<sup>[9]</sup>通过采用 Autodesk Inventor 软件进行了零件的组装建模和干涉检查等操作, 论述了 Inventor 软件在参数化建模中的强大优势; 于智光<sup>[10]</sup>在桥梁设计中通过在 Rhino 环境下运行 Grasshopper 插件并与 AutoCAD 二次开发技术证明了参数化设计使得景观桥梁的建模过程更加高效, 并解决了批量生成施工图的技术难点, 但该参数化设计方法在与 BIM 平台信息交互功能方面不够完善。

随着 BIM (Building Information Modeling, 建筑信息模型) 技术的深入发展, 将参数化设计与 BIM 技术的可视化、模拟性、可出图性等特性相结合可满足高效率高精度<sup>[11]</sup>的设计要求。杨凯镜等<sup>[12]</sup>通过构建接触网的参数化族库系统以及其零部件的参数化设计过程, 提高了设计人员对接触网零部件的管理功能, 同时实现了接触网的快速成图等可视化功能; 孙中秋等<sup>[13]</sup>通过对 Revit 进行二次开发, 研究了连续钢构桥梁 BIM 模型的参数化成图方法, 对模型创建的效率和精确度影响显著; 林金华等<sup>[14]</sup>以盾构的 BIM 模型为实例, 采用 Dynamo 进行可视化编程对其进行参数化建模, 证明了编程技术在 BIM 模型参数化建模中无可比拟的优越性。

整体上来看, 参数化设计在水利行业应用尚未普及, 结合 BIM 技术与参数化驱动设计思想<sup>[15]</sup>的设计平台更是缺乏系统性的研究及实际应用。本系统依托于滇中引水工程, 在该长距离跨流域引调水工程的设计过程中引入三维参数化设计环境, 融合 BIM 技术将参数化设计概念贯穿到设计的整个周期之中, 从而达到关联设计过程中所有关键信息的目的<sup>[16]</sup>, 有效地降低了建筑物设计过程中工程信息缺失的问题, 提高了模型创建和设计出图的效率和精确度。

## 2 长距离引调水工程 BIM 标准化

### 2.1 数据库设计

数据库是支撑整个系统安全、高效运行的核心模块, 长距离引调水工程 BIM 模型的数据库主要由包含几何参数、构件、模型信息、装配关系、整体模型和工程图等数据库组成。

其中几何参数库存储设计过程中所使用构件模型的尺寸参数和特征参数; 构件库存储引调水工程中指定沿线建筑物的构件三维模型; 模型信息库中存储每个建筑物模型各类信息, 如基本信息和扩展信息等; 装配关系库用来存储设计过程中使用的构件模型文件、子模型文件、中心模型文件的相互引用关系以及构件之间的装配约束参数<sup>[17]</sup>; 整体模型库存储装配完成后的完整构件模型; 工程图库存储系统设计的图纸模板, 也可存储操作者自行设计的二维三维工程图。

### 2.2 引调水工程 BIM 建模技术标准

引调水工程建筑信息模型 (BIM) 数据规范和标准主要包含引调水工程 BIM 信息分类的标准化、信息存储的标准化、构件划分的标准化、参数划分的标准化及工程图输出的标准化, 实现信息在空间、时间、主体、类型、版本等 5 个维度的集成。

首先要明确引调水工程沿线 BIM 模型的信息分类的标准。引调水工程 BIM 模型的信息分类主要体现在空间维、主体维、时间维等维度的集成, 按照信息的内容及分类要求, 将引调水工程 BIM 模型信息划分为 14 种类型, 详见图 1。其中材料信息指存储构件的材料类型、价格、物理性能 (如密度、导热性、热膨胀性) 和力学参数 (如弹性模量、泊松比、内摩擦角、抗压强度、抗拉强度); 物理信息指存储构件的体积、表面积、重心和偏心距等物理特性; 性能信息指存储构件的功能特性, 如挡水、防渗、泄流、导流以及通风等特性。

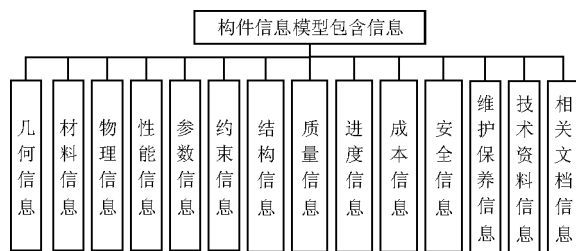


图1 引调水工程BIM模型的信息分类

通过对模型信息的详细分类明确各类信息的存储路径及存储格式,便于后期快速组装并生成模型,以引调水工程中倒虹吸模型的构件划分示意图(见图2)为例。具体来说,倒虹吸按其结构可划分成进口段、管道段和出口段,其中进口段可划分成进水口、渐变段、拦污栅、闸门、挡水墙等构件;管道段可划分成镇墩和管身等构件,其中管身形式包括圆形和方形;出口段可划分为消力池和水井等构件。可以看出构件是组成引调水工程主要建筑物的最基本单元,因此可以认为构件是作为引调水工程BIM模型的最小信息存储单元。

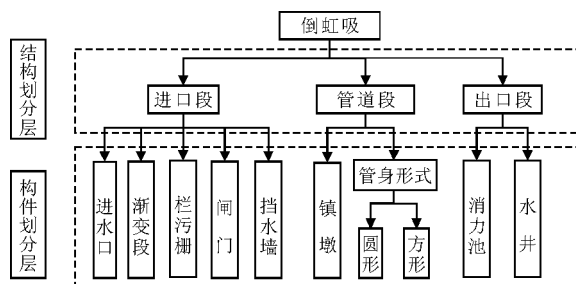


图2 倒虹吸构件划分示意图

通过各类模型信息的分类存储,将结构化信息存储在BIM数据库中,非结构化信息存储在电子文档库中,同时在BIM数据库中建立各构件与非结构化信息的关联关系表,以实现构件信息模型的完整、统一<sup>[18]</sup>。

该平台将模型各构件的参数分成3类:使用参数、随动参数、无效参数。使用参数是指需要在组件装配中设置的尺寸参数,可用于更改每个组件的形状。随动参数是指可随使用参数的改变而自动改变的参数,即该参数可以表示为使用参数的函数表达式。无效参数是指一些不使用的参数,如拉伸的角度,通常默认是0,将此类固定不变的参数设置为无效参数。

最后通过建立各类工程图的输出模板使工程图输出标准化,可以在Autodesk Inventor的“样式和标准编辑器”中创建自定义绘图样式<sup>[19]</sup>,并将所有绘

图信息(如这些样式和标准)保存到模板文件中,以便操作人员可以共享所有已建立的模板,实现高效快速出图功能。

### 2.3 基于云平台的引调水工程BIM协同设计组织结构

基于云服务器的BIM协同设计可在各专业的同一部门内部和不同部门之间进行,在同一部门内部,设计人员基于局域网内部的信息管理系统实现各专业部门的信息共享,通过分工与合作,完成模型的建立,实现协同工作。在不同部门间进行BIM协同设计的目的是通过专业设计人员的相互配合共同完成工程枢纽布置以及信息模型的建立;在同一部门内部进行的BIM协同设计可以看作是不同部门间BIM协同设计的子流程,各单位的项目参与人员通过互联网登录协同工作云平台,通过云平台进行跨地区的协同工作和信息共享。

在云平台上进行引调水工程BIM协同设计需将不同专业各部门间协同创建的核心模型文件存储在核心服务器上,并按照工作集子模型文件进行划分,各设计人员不仅能够将自己工作集下的子模型文件通过签出、签入的方式进行修改,也可协同更新核心服务器下的各模型文件,以水工专业模型与地质专业模型的协同设计过程为例,展示有关不同专业之间协作设计的流程,详见图3。

## 3 系统设计与实现

### 3.1 系统设计

系统采用C/S(客户机/服务器)架构的开发模式,结合数据库管理软件SQL Sever进行模型信息的存储和管理,并对Inventor和Navisworks等软件预留接口便于调用,系统工作流程如图4所示。

系统首先确定长距离引调水工程典型建筑物所采用的常用型式,包括结构型式和断面型式,分析各种型式建筑物的组成结构,进行建筑物构件的划分,再确定各部分构件的基本特征和其建模顺序,最后确定各构件的全尺寸约束,即同时考虑形状和尺寸的影响,通过对尺寸的约束控制其几何形状。接着借助三维参数化辅助设计软件Inventor创建构件模型,依托数据库技术将各构件模型存储于构件库中,并将模型的几何参数存储到几何参数库中,将其扩展属性信息存储在模型信息库中。最后在参数化构件库建立的基础上,实现了基于装配关系的典型建筑结构设计和三维参数化设计,确保组件可以根据正确的装配关系组合形成整体模型并输出标准化工

程图纸。通过上述设计步骤完整实现了长距离引水工程参数化智能设计平台的 5 大功能模块,即三维

参数化设计、结构设计、干涉检查、BIM 管理和应用以及工程图纸输出。

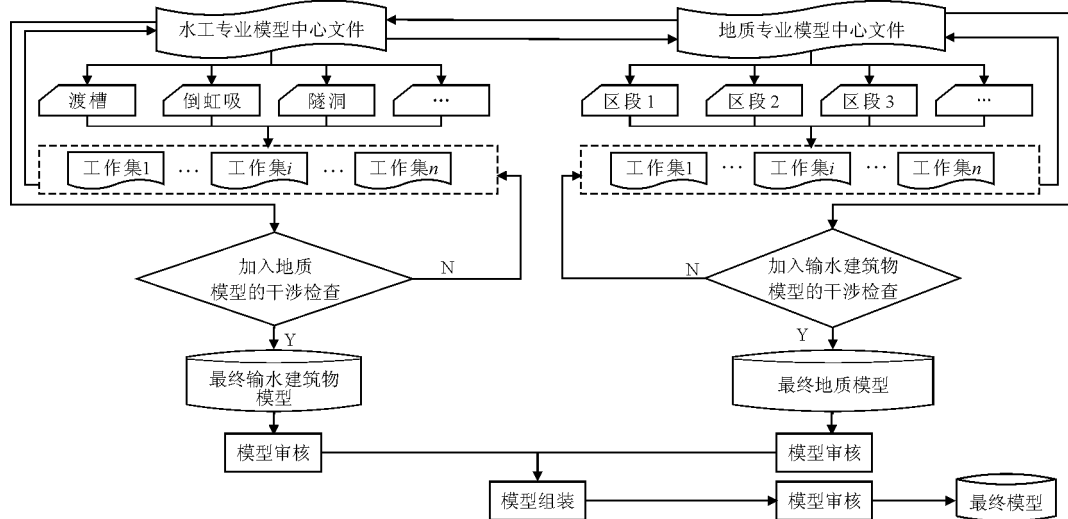


图3 不同专业协同设计方式示例

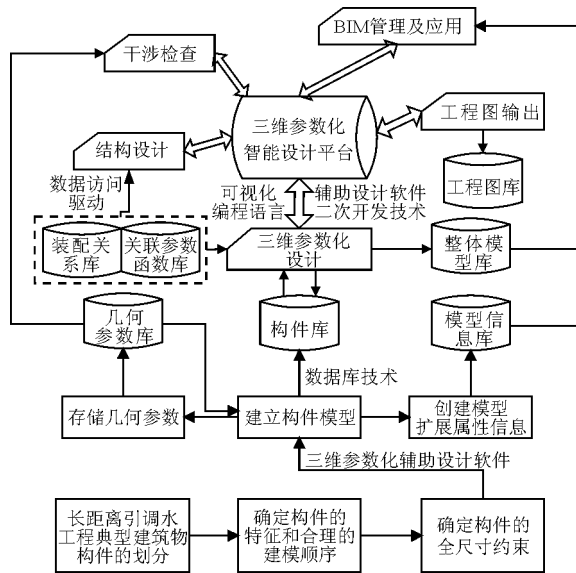


图4 三维参数化智能设计系统工作流程

### 3.2 系统运行环境

(1)服务器端运行环境。操作系统布置在 Windows XP Professional 或 Windows 7 上,软件配置采用 SQL Server 2008 进行数据库管理,采用 Itanium 处理器或速度更快的处理器进行硬件配置,内存最小 512MB,硬盘空间大于 30G。

(2)客户端运行环境。操作系统布置在 Windows 7 上,采用 Autodesk Inventor 2014、Autodesk Design Review 2013、Autodesk Navisworks 2014 等软件配置进行图形信息的处理,采用 Pentium 处理器或速度更快的处理器进行硬件配置,内存最小 2GB,硬盘空间大于 60G,显示器分辨率至少为 1024 × 768 像素。

### 3.3 系统实现

系统基于数据库管理技术,采用可视化编程语言,基于组件对象技术 (COM) 与 Autodesk Inventor API(应用程序接口)技术,对 Inventor 进行二次开发,并进行人机交互界面设计<sup>[20]</sup>,搭建典型输水建筑物三维参数化智能设计系统,系统功能模块架构见图 5,其核心模块是 BIM 管理及应用的实现,该模块不仅可以对各类建筑物模型进行可视化仿真分析从而验证模型的可靠性,而且提供 CAD/CAE 接口,方便对构件模型进行修改。

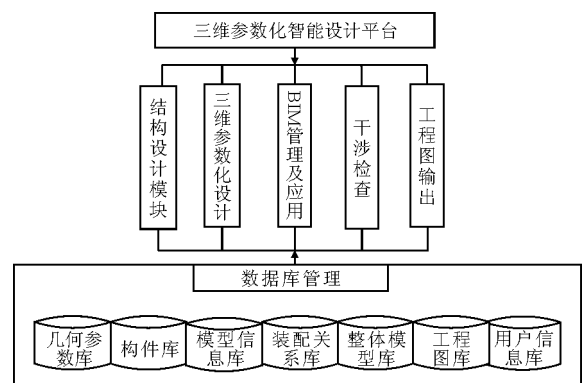


图5 系统功能模块架构图

BIM 管理及应用模块通过对 Autodesk Navisworks 可视化仿真软件进行二次开发,并将其以插件的形式集成到系统运行过程中,可实现计划施工进度实时查看和施工过程的仿真分析等功能。该模块功能实现的首要工作是建立用来存储各类模型信息的数据库,并在建筑物运行过程中不断进行更新。

和完善,从而实现模型信息的增删改查等基本功能。再借助于数据库开发技术扩充完善整体模型库,基本原理是把构件模型信息库中的信息集成到三维参数化模型中,实现通过模型某一部位查询基本信息、借几何和扩展属性信息查找模型特定部位的双向管理。最后,通过数据文件形式实现CAD与CAE之间的数据交换,实现了基于三维模型信息的数字集成、管理和应用,建立了典型输水建筑的BIM模型。

该模块的另一大功能是基于BIM对输水建筑物进行成本控制和施工进度模拟,即根据模型信息数据库中关于造价的信息,建立成本的5D(3D实体、时间、造价)关系数据库,通过将成本数据及时录入数据库,实现成本管理、核算与控制。同时借助融合了三维模型和项目的发展时间而建立的施工进度信息数据库,采用三维可视化技术进行4D施工模拟,从而直观的展示施工进度。

## 4 系统应用

某长距离引调水工程位于云南省境内,工程的作用是为了从根本上解决该地区水资源短缺、湖泊水环境治理难度较大等问题,是实现云南省可持续发展的战略性基础工程和民生工程,工程意义重大。该工程线路总长846.52 km,含200个建筑物,其中包括明渠、渡槽、隧洞、暗涵和倒虹吸5种类型,采用该三维参数化智能设计平台,将常规三维设计所需的周期10 d缩短到2 d,对该工程的设计效率的提高影响显著,降低了工程实施对当地百姓生活的影响。以该工程中典型建筑物倒虹吸模型的建立过程为例,阐述系统的应用过程。

(1)倒虹吸结构设计。倒虹吸结构设计包含水力学计算及结构设计,系统中包含了几种常见的倒虹吸结构形式:钢制倒虹吸管、预应力钢筋混凝土管(PCCP)、箱型倒虹吸管的设计。水力学设计主要是输入相关的断面设计参数以及进出口参数,即可进行水力学的计算,系统还提供相关设计手册的查看等功能。钢制倒虹吸管的结构设计界面见图6,包含跨中截面管壁应力分析、支承环及旁管壁应力校核、加劲环及旁管壁应力校核、加劲环抗外压稳定校核和管壁抗外压稳定校核等功能。

(2)三维参数化建模。该模块的主要功能是借助于已经建立的构件信息模型库进行三维参数化设计,首先在系统中创建参数化构件模型,接着进行各构件的自动装配和交互式装配创建出每一个部件模型,如有需要也可将建立的参数化构件模型存储在

构件数据库中,丰富构件库中的模型种类;同时也可借助于系统中预先建立的子模型模版库,自行设计模板中的构件装配过程中的各种关系参数和各构件的尺寸参数,可实现自动生成预期子模型的功能,如有需要也可实时更新中心模型文件。该模块还可为各部门内部及不同部门之间的设计人员提供协同设计环境,通过各项目参与人员的协同工作提高工作效率,减少工作过程中的重复率。图7以倒虹吸模型为例展示其构件加载示意图。

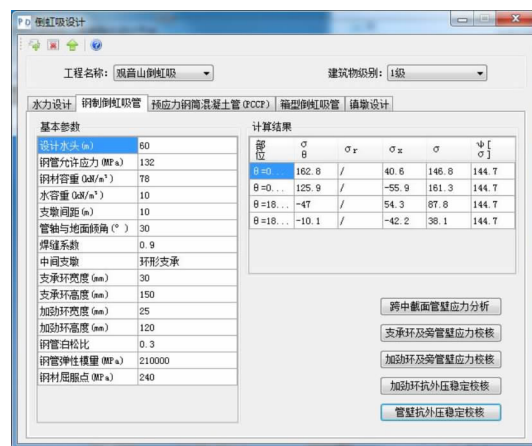


图6 钢制倒虹吸管结构设计界面

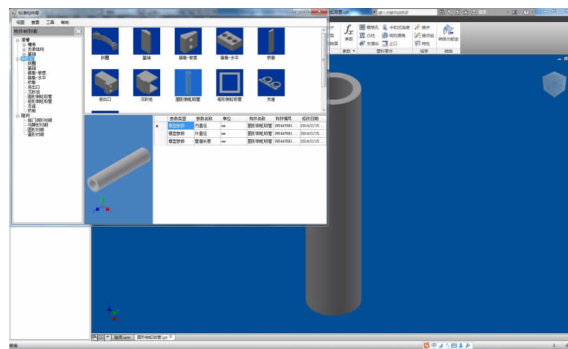


图7 倒虹吸模型构件加载示意图

(3)BIM管理。通过BIM模块中的对施工进度和施工过程仿真的分析可实现施工进度信息与模型中单元工程相关联、场景动画与单元工程施工进度关联等功能,精细化更新BIM模型并完成装配生成整体模型,见图8。

(4)干涉检查模块。模型整体装配完成后需要进行干涉检查保证其实用性,以倒虹吸模型为例的干涉检查示意图如图9所示。

(5)工程图输出。以倒虹吸三维参数化模型为例,可自动批量输出各构件模型或经干涉检查合格后的整体模型的三维或二维工程图,并且可以通过改变整体模型的参数实现所输出的工程图的动态更



新。若想改变三维模型图纸及其模型信息,需在几何参数表和模型信息表中进行修改,从而实现工程

图信息的联动更新,倒虹吸模型三维工程图输出见图 10。

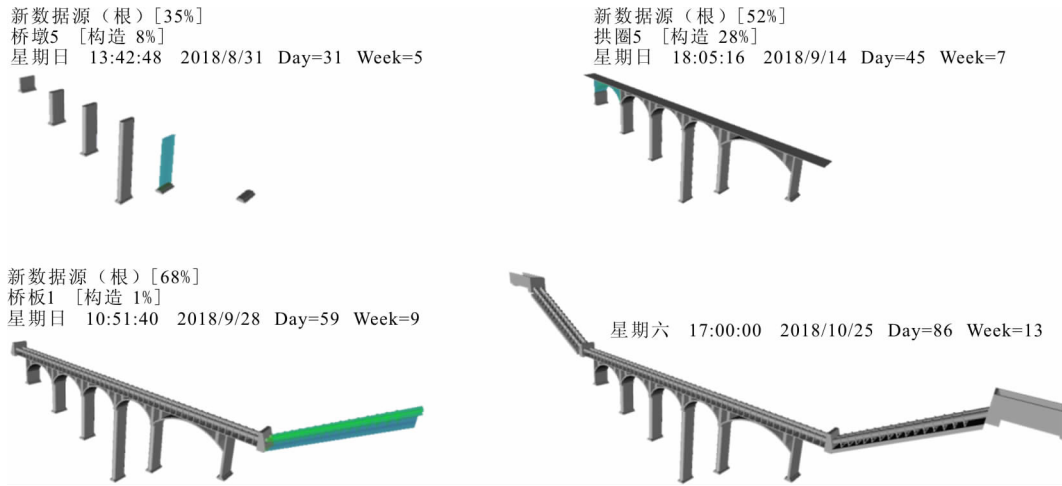


图 8 倒虹吸施工过程仿真分析

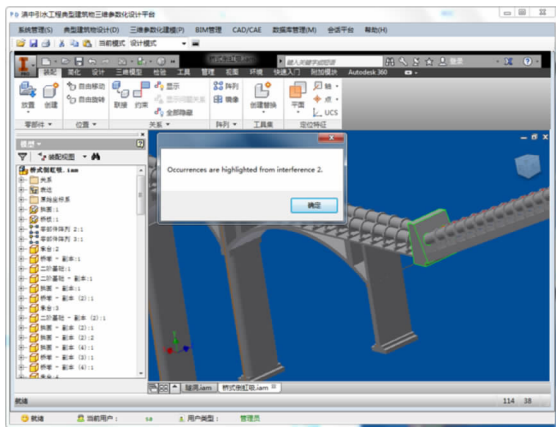


图 9 倒虹吸模型干涉检查示意图

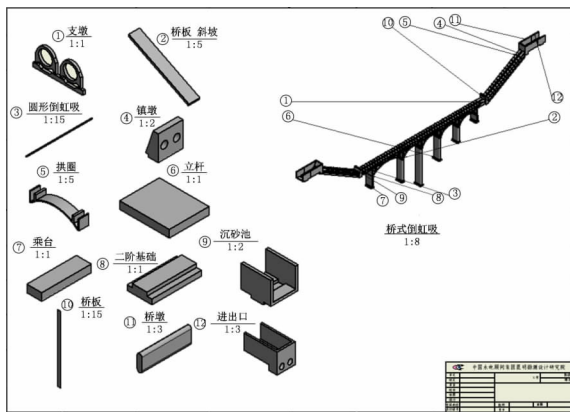


图 10 倒虹吸模型三维工程图输出

## 5 结 论

(1)通过研究长距离引调水工程建筑信息模型(BIM)建模技术标准,建立引调水工程典型建筑物

BIM 模型和协同工作云平台,实现了不同阶段之间的信息共享和协同办公等功能,使得建立的 BIM 模型更加灵活可变、重用性高且可进行并行设计。设计者可利用系统数据库中已经建立好的各种模型模板快速重建模型,由此不仅可通过改变参数来改变模型,也可根据后期需要将其存储在构件库中用以扩充。

(2)该三维参数化设计平台是首次将参数化技术应用用于引调水工程设计领域的系统级应用,完整地实现了引调水工程设计过程中各类建筑物快速生成及工程图输出的应用需求,在缩短工程周期、提高设计效率方面效果突出。

本系统成果不仅适应于长距离引调水工程项目,对于水利水电行业中的其他专业,也具有一定的推广价值。

(3)该软件虽然针对倒虹吸结构在 CAD 与 CAE 三维集成设计方面进行了初步研究,但其自动化使用程度仍然不够。针对复杂结构的 CAD/CAE/CAM 三者的集成,可深入研究基于构件的有限元建模,通过深入集成 CAD 与 CAE 从而实现其一体化建模,进而实现在结构多样、多工况等复杂条件下的联合分析。

(4)本系统主要用于三维建筑模型的建模设计过程,实际建模中应考虑地形地质等复杂自然条件的影响,因此下一步可进一步结合 GIS 大场景进行参数化建模,使得 BIM 技术的精细化建模与 GIS 技术的宏观场景进行深度融合,从而展示出更加全面的工程场景<sup>[21]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 蒋乐龙,张社荣,潘飞. 基于BIM+GIS的长距离引水工程建设管理系统设计与实现[J]. 工程管理学报, 2018,32(2): 51-55.
- [2] YU Yanyun, CHEN Ming, LIN Yan. A new method for platform design based on parametric technology[J]. Ocean Engineering, 2010, 37(5-6): 473-482.
- [3] LIU Qiaosheng, XI Juntong. Case-based parametric design system for test turntable[J]. Expert Systems with Applications, 2011,38(6): 6508-6516.
- [4] HERNANDEZ C R B. Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi[J]. Design Studies, 2006, 27(3):309-324.
- [5] 王帅. 基于Inventor的皮带运输机参数化建模系统的研究与开发[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [6] 赵一帆,沙玲,朱毅. 基于SolidWorks的起重机参数化设计与管理系统开发[J]. 信息技术, 2015,44(6): 125-128.
- [7] 于彦伟. 基于CATIA的重力坝参数化设计系统的研究与开发[D]. 郑州:郑州大学,2013.
- [8] 王宽. 预应力渡槽结构三维参数化配筋方法及实现[D]. 天津:天津大学,2013.
- [9] 苏梦香,郑超欣,王佳梅,等. 基于Autodesk Inventor的三维参数化设计方法[J]. 机械设计与制造,2007(6): 168-169.
- [10] 于智光. 参数化设计在景观桥梁工程中的应用研究[D]. 南京:东南大学,2016.
- [11] 何关培. BIM总论[M]. 北京:建筑工业出版社,2011: 10-13.
- [12] 杨凯镜,韩志伟,刘志刚,等. 基于BIM的接触网参数化零部件族库技术研究[J]. 铁道标准设计,2018,62(8):142-147.
- [13] 孙中秋,高超. 基于Revit的连续刚构BIM参数化建模研究[J]. 四川水泥,2018(12):349-350.
- [14] 林金华,林武,吴福居. 可视化编程在BIM参数化建模中的应用技术[J]. 工程建设与设计,2018(22):276-278.
- [15] 杨显刚,何玉林,杜静,等. 参数化零部件库建库技术研究与实践[J]. 图学学报,2013,34(2):153-158.
- [16] 朱国金,胡灵芝,潘飞,等. 长距离引调水工程智能辅助设计平台关键技术[J]. 水利与建筑工程学报,2016,14(6):190-194.
- [17] 杜成波. 水利水电工程信息模型研究及应用[D]. 天津:天津大学,2014.
- [18] 赵鹏. 基于Inventor的模具标准件库开发[J]. 计算机应用技术,2009,36(11):42-44.
- [19] 吴迪,祁建华. 基于Autodesk Inventor的平板钢闸门三维参数化建模方法[J]. 河南水利与南水北调,2012(24):6-8.
- [20] 王小玲,陈书剑. 基于Autodesk Inventor的工程剖视图的实现方法研究[J]. 制造业信息化,2010(1):29-30.
- [21] 徐斌,李佩成. 基于GIS的地下水环境演化分析系统的设计与实现[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(2):1-7.