

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.04.008

基于 BIM 的输水工程安全监测信息集成与可视化分析

刘东海,胡东婕,陈俊杰

(天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室,天津 300072)

摘要: 为了提高长距离输水工程安全监测信息的可视化表达效果,实现海量动态安全监测信息的高效管理,并用以辅助安全分析,提出了基于建筑信息模型(bulding information modeling, BIM)的输水工程动态安全监测信息集成与网络可视化方法。首先,根据输水工程三维虚拟场景元素构成分析,建立输水工程三维 BIM 模型;然后,应用关键字段映射的方法建立 BIM 模型与安全监测信息间的动态耦合;最后,基于 WebGL 图形加载技术,使用 Forge Viewer 实现 BIM 模型的 WEB 显示。结合天津南水北调工程,开发了相应系统并进行应用,实现了网络环境下工程安全监测动态信息与 BIM 的可视化集成,为输水工程安全分析提供了支撑平台。

关键词: 输水工程;BIM;安全监测;动态信息集成;网络可视化

中图分类号:TV672 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2019)04-0337-08

BIM-based integration and visualization for dynamic safety monitoring information of water diversion project

LIU Donghai, HU Dongjie, CHEN Junjie

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Safety monitoring is an important means to ensure the operational safety of long-distance water diversion project, which dynamically generates a large amount of multi-source data. How to organize and display theses data in a vivid way so as to assisted the safety analysis is an essential technical issue. A BIM (Building Information Modeling) - based network method for water diversion project is proposed, which can dynamically integrate and visualize the safety monitoring information. First, the constituent elements of 3D virtual scene for a water diversion project are analyzed to build a 3D BIM model. Then, the BIM model is dynamically coupled with safety monitoring information by the method of key field mapping. Finally, Forge Viewer is used to realize the WEB browsing of the SMI-coupled BIM model based on WebGL. Using the proposed method, a prototype system is developed and applied in the Tianjin South-to-North Water Diversion Project, and the results indicate that the system can realize visualized integration of the safety monitoring with BIM under network environment, which provides support for the engineering safety analysis of water diversion project.

Key words: water diversion project; BIM; safety monitoring; dynamic information integration; network visualization

长距离输水工程沿线涉及的地域较广,沿程输水建筑物及各类设施种类复杂、数量繁多,沿途与河流、公路、铁路交叉处存在许多穿越设计,对输水工程进行安全监测是保证结构安全和正常供水的重要手段^[1-2]。

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(2017YFC0405105)

作者简介:刘东海(1974—),男,教授,博士,主要从事大型工程系统仿真与优化、数字化施工与质量实时评估研究。E-mail: liudh@tju.edu.cn

引用本文:刘东海,胡东婕,陈俊杰. 基于 BIM 的输水工程安全监测信息集成与可视化分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2019,47(4):337-344.

LIU Donghai, HU Dongjie, CHEN Junjie. BIM-based integration and visualization for dynamic safety monitoring information of water diversion project[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2019, 47(4): 337-344.

自动化监测技术的逐渐成熟大幅度提高了数据采集效率,缩短了数据采集周期,但也产生了海量的安全监测信息。如何处理海量监测数据,提高可视化表达效果,实现安全监测数据的高效管理与安全分析成为亟待解决的问题。一些研究^[3-5]在输水工程中实现了安全信息数据的采集、处理分析和报表输出等功能,但是数据表现不直观,可视化集成效果较差。基于工程三维虚拟场景,动态集成安全监测信息,可提高海量监测数据的管理效率和直观性^[6]。金森等^[7]在建立隧道监测系统的基础上加入三维显示模块,实现监测数据三维交互查询,提高了监测数据的表达能力。孟永东等^[8]借助三维可视化分析平台提供的监测数据管理和三维云图绘制等功能,可直观分析边坡各区域的变形趋势和稳定状态。钟登华等^[9]利用 CATIA 三维数字建模模拟建筑物信息,构建了心墙堆石坝三维可视化交互系统,对施工和运行阶段管理进行仿真模拟。Wong^[10]建立了结构健康监测系统,结合三维虚拟场景辅助查询,在监测现有健康状况的同时还能对未来荷载条件下的桥梁性能进行评估。Liu 等^[11]利用 3D Max 软件建立了三维模型,基于 3D-GIS 技术集成三维模型和地面实景等构建供水工程三维虚拟场景,建立了供水管道安全管理可视化集成框架。

由上述分析可知,目前研究中三维模型创建均是基于传统建模软件,其所构建的三维模型偏重表现造型,数据承载能力较差,而且多仅限于集成安全监测等类型的数据,难以与工程其他方面(如结构设计、机电设备等)信息进行更广度的集成。BIM 技术的出现为解决上述问题提供了新的思路,该技术以三维数字信息为基础构建工程数据模型,可综合集成项目实施过程中的多源信息^[12-14],实现项目全生命周期内的数据存储、交换和共享^[15]。将输水工程 BIM 模型与动态安全监测数据进行耦合,可将与安全监测相关的结构设计信息、机电设备信息等多源数据一并集成,能更好地辅助安全监测及工程决策。为此,本文研究输水工程的 BIM 建模方法,以及 BIM 模型与安全监测信息的动态耦合方法,探索网络环境下基于 BIM 的输水工程动态安全监测信息的可视化分析的实现路径。

为达到以上目的,本研究需要解决的技术难点如下:(a)输水工程 BIM 建模:常用 BIM 建模软件大多以房屋建筑、结构工程、机械构造为构造模板,建模软件自带的族库不适合线性长距离输水工程的模型特点,故需根据输水工程组成元素的具体情况建立输水工程建筑物族库,方便参数化建模;(b)监测数据动态集成:监测数据种类多、数量大,需要合理设计数据库对多源异构数据进行储存,并实现 BIM 模型和动态监测数据的集成;(c)可视化管理:由于 BIM 模型携带大量信息,故模型数据量大,模型可视化需要对 BIM 模型轻量化处理,进而实现大体量的 BIM 模型在 WEB 端的展示。

1 输水工程的 BIM 建模

建立输水工程三维 BIM 模型,反映工程区域三维场景,是实现输水工程 BIM 模型和动态安全信息动态耦合以及安全监测可视化管理的基础。

1.1 输水工程三维虚拟场景元素组织分析

输水工程存在纵坡、转弯等结构形式,所跨区域范围较大,与其他建筑工程相比,结构差异明显。对输水工程 BIM 建模首先要对三维虚拟场景元素构成进行分析,可将输水工程 BIM 场景分为以下几类:(a)水工建筑物:钢管、渡槽、明渠、气阀、蝶阀等输水工程建筑物;(b)地形:体现输水工程沿线区域地形起伏及周边环境;(c)安全监测布置:渗压计、测缝计、沉降仪等输水建筑物上布置的各类监测仪器。

对场景元素分类,将不同类型的场景元素采用合理的方式组织在一起,可发挥 BIM 软件参数化建模特性,提高建模效率。

1.2 输水工程 BIM 模型建模方法

采用 Autodesk Revit 作为建模平台,可以同 AutoCAD、3d max、civil 3d 等 Autodesk 公司其他软件在图形信息传递时有较好的连接方式。各类元素按 1:1 实体建模,并按照空间坐标集成在一起。

1.2.1 水工建筑物建模

输水工程 BIM 模型水工建筑物建模可以分为 3 步:
第一步,完善项目族构件库。建立水工建筑物和安监布置模型时,应充分发挥 Revit 建模过程中基于“族”的图元特性,然而 Revit 软件中自带的系统族并未涵盖输水工程所有构件模型。对于系统族中已经包含的族类型,可直接在项目中载入使用。对于系统族中未包含的族类型,需要在 Revit 中使用族编辑器自主建立族文件(.rfa),创建建筑物基本构件,定义不同类型构件的相应属性参数,比如几何尺寸、材料特性等,

最后载入模型项目中,这样就组成了参数化的族构件库。图 1 列出了输水工程部分水工建筑物的族构件模型。

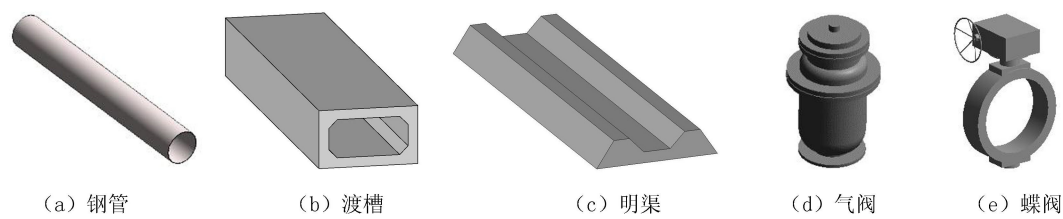


图 1 水工建筑物模型图例

Fig.1 Model legend of hydraulic structures

第二步,创建输水工程轴网系统。Revit 采用将构件放置在项目中的建模方法,所以需要根据工程实际情况建立轴网系统,以确定构件放置的起末位置,对模型尺寸基本情况进行描述,构成结构框架。本项目各类元素按照实际空间坐标集成在一起,故先在 AutoCAD 中按照实际坐标建立构件的尺寸边界,再导入 Revit 中建立标高轴网系统,以此确保坐标的准确性。

第三步,构件模型放置与调整。将创建的族构件根据工程实际修改其构件参数,放置在标高轴网系统中,图 2 即根据轴网建立的构件模型。将构件的基本信息、结构属性、尺寸信息、安装状态等添加到对应的模型中,对每个构件模型设置特定的 ID,BIM 模型自动整合属性信息,建立集成信息的 BIM 模型,便于后期安全监测信息和模型的动态耦合。

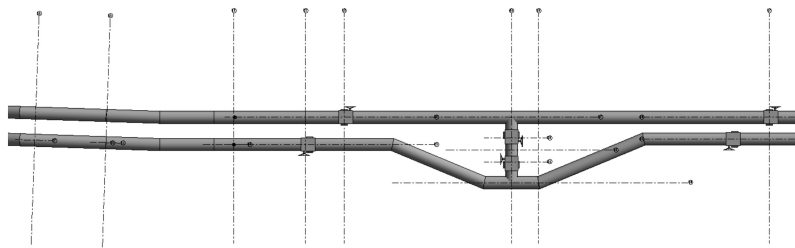


图 2 构件模型的放置

Fig.2 Placement of model component

1.2.2 地形建模

Revit 中地形属于场地建模,建模方法区别于上述构件模型建模步骤。在 Revit 中导入等高线 CAD 文件,应用“体量和场地”选项卡中“地形表面”工具,选择导入的等高线即可创建地形表面。图 3 表示地形建模过程,其中图 3(a)为 Revit 中导入的等高线,Revit 中还可以对地形表面进行开挖处理(如图 3(b)所示对地形表面某部分开挖后的效果)。

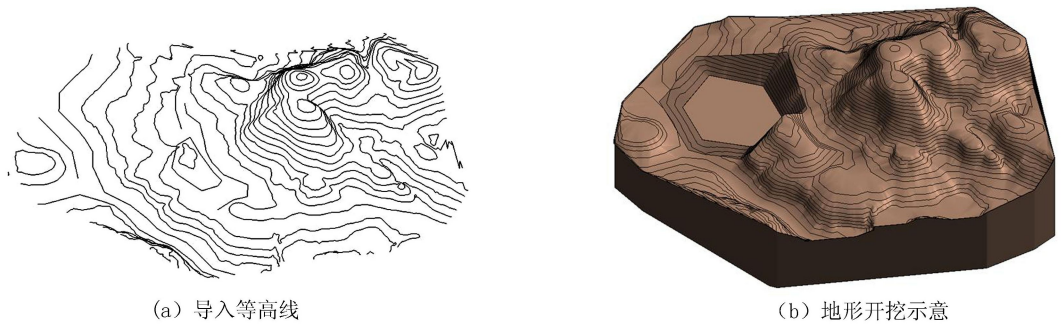


图 3 地形建模过程

Fig.3 Procedure of terrain modeling

1.2.3 安全监测仪器建模

对于各类安全监测仪器,由于其外观特征并非输水工程安全监测关注的重点,因此采用符号化的方式进行建模,用不同形状和颜色的模型来区分仪器类型。

2 BIM 模型与动态安全监测信息集成及可视化方法

2.1 输水工程安全监测数据采集与集成

输水工程安全监测数据采集分为监测仪器采集和人工巡检采集 2 种形式。沉降变形、连接缝开合度、外水压力、内水压力等这些监测数据由监测仪器自动远程采集并自动传输。工程沿线设标高测量点,工程人员巡检时通过水准测量监测沉降,人工巡检现场手持 PDA 或平板电脑,通过手动录入的方式对监测数据进行补充采集和现场照片上传,为实现数据分析、照片查询和安全监测可视化管理提供支持。

数据集成技术路线如图 4 所示。数据库服务器上搭载 2 个数据库平台 ACCESS 和 SQL Server,两者间开发数据接口,自动定期从 ACCESS 数据库读取更新数据并集成到 SQL Server 数据库内。自动远程采集的监测数据通过 GPRS 网络传输到 ACCESS 数据库管理平台,再无缝集成到 SQL Server 数据库平台。人工巡检时读取沿程沉降数据,将数据手动录入手持 PDA 或平板电脑中,通过仪器编号保存相应的监测信息,现场数据和工程巡视照片通过 GPRS 网络发送至数据库中,进行下一步应用。监测仪器数据采集以及人工巡检得到的监测数据按照不同的存储方式耦合到数据库中,使用数据前对数据进行预处理,保证数据采集频率相同,解决监测仪器和人工巡检时间不一致的问题。

2.2 BIM 模型与安全监测信息动态耦合

输水工程安全监测信息为多源异构数据,包括原始监测数据和现场巡视照片等,需要合理设计数据库,对这些数据进行储存并关联到 BIM 模型。采用 SQL Server 作为数据库平台,统一集中管理安全监测信息,以文件的形式存储安监信息和三维模型,在数据库中只存储文件路径。三维模型与安全监测信息动态耦合组织结构如图 5 所示。每个安全监测仪器都有唯一的仪器编号,运用关键字段映射的方法,在安全监测仪器

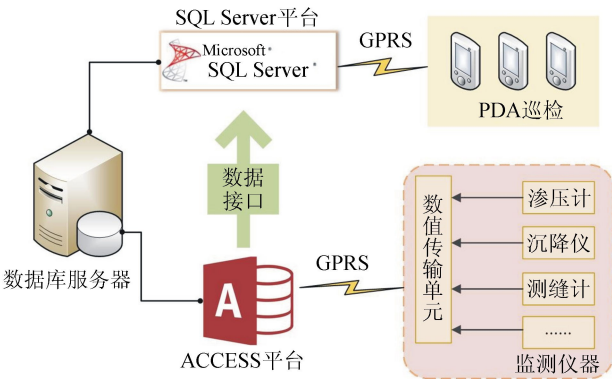


图 4 安全监测数据集成技术路线
Fig. 4 Technical route of safety monitoring data integration

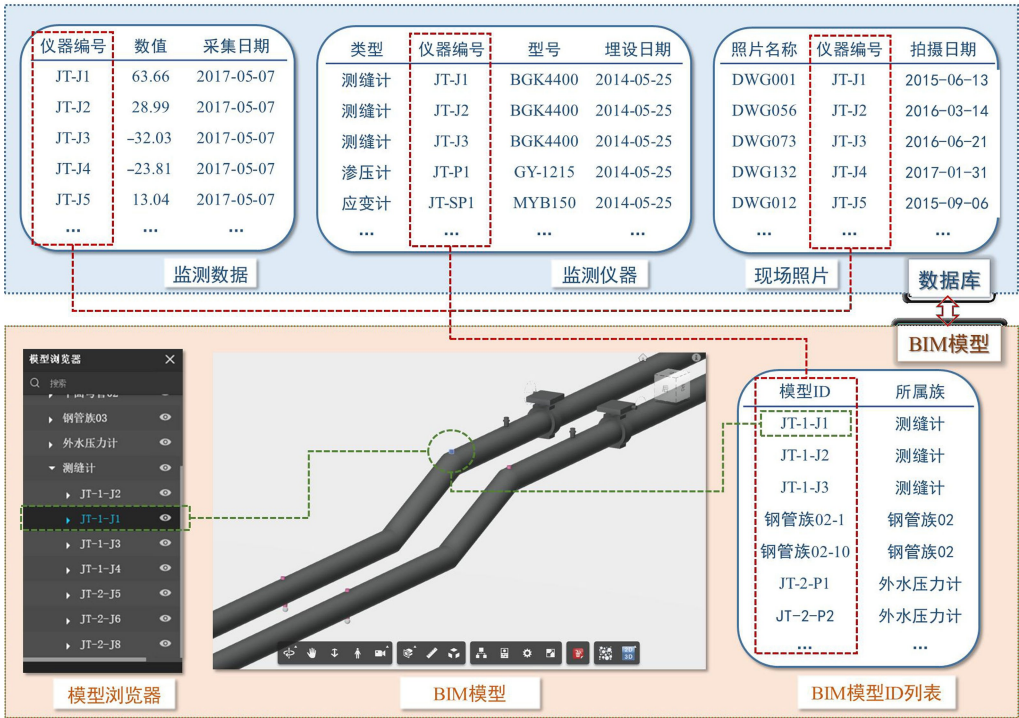


图 5 BIM 模型与安全监测信息动态耦合实现方法
Fig. 5 Dynamically coupling method between the BIM model and the safety monitoring information

编号和监测仪器 BIM 模型 ID 间建立一一对应的关系,原始监测数据、仪器信息、现场照片都可以通过监测仪器编号字段关联到 BIM 模型,从而实现 BIM 模型和安全监测信息的动态耦合。

2.3 输水工程 BIM 模型的网络可视化

由上述可知 BIM 模型建模中将构件基本信息、结构属性、尺寸信息、安装状态等集成到 BIM 模型中,使得 BIM 模型数据量很大,实现 BIM 模型网络可视化需要对 BIM 模型轻量化处理。网络技术的快速发展使基于 WEB 的 BIM 显示研究逐渐展开,WebGL 技术是一套 JavaScript API,可以解决硬件加速技术的不足,能够实现 BIM 模型在 WEB 浏览器的三维渲染问题^[16],Three.js 作为一款 JavaScript 编写的 WebGL 第三方库,提供了相当多的 3D 显示功能。Forge Viewer 是由 Autodesk 公司提供的 Three.js 框架的高级封装,是一个基于 WebGL 的网页端模型查看器,它与 Revit 建立的 BIM 模型之间有良好的数据接口,可以在线浏览.svf 格式的三维模型,具备模型场景浏览、图层控制、信息查询等功能。图 6 显示了使用 Forge Viewer 实现 BIM 模型网络可视化的技术路线,将 Revit 建立的三维模型上传至 Forge 平台,通过 Forge 云服务对模型进行解绑和转换,转换为浏览器支持的.svf 格式后提取到本地,实现了 BIM 模型的轻量化处理,通过 Forge Viewer 加载转换后的轻量化 BIM 模型,即可实现 WEB 环境下输水工程 BIM 模型的浏览。

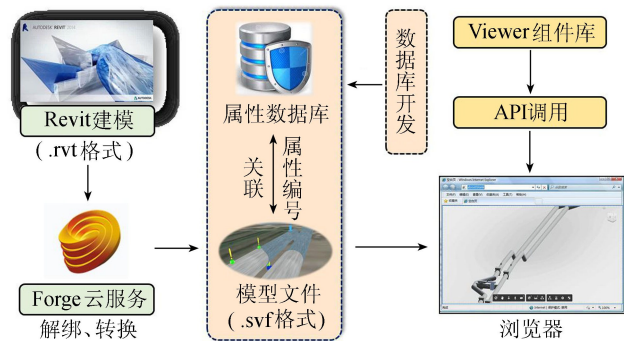


图 6 BIM 模型网络可视化实现的技术路线

Fig.6 Technical route of the web-visualization of BIM model

2.4 动态安全监测的可视化分析

根据 BIM 技术及网络可视化平台,建立三维模型展示工程构造及虚拟场景等信息,通过浏览器控件对 BIM 模型和工程三维虚拟场景的操作控制,实现放大、缩小、平移、旋转等基本视图操作。点击监测仪器模型或通过条件筛选查询监测仪器,可在三维虚拟场景内对监测仪器位置聚焦,同时显示 BIM 模型建立时输入的模型属性信息,实现构件的基本信息、结构属性、设计编号、安装状态等信息可视化表达。根据 BIM 模型与安全监测信息的动态耦合可实时查阅监测数据,帮助管理者迅速决策。相关设计文档(安全监测布置图、设备安装图等)提供下载接口,方便对输水工程安全监测进一步分析,同时可对安全监测数据做进一步的统计分析、报表输出、时序图绘制等处理,实现安全监测信息三维可视化管理。

3 工程应用

基于上述研究内容,以天津市南水北调工程为例,研发了安全监测信息集成平台。该工程是承接南水北调中线一期工程天津干线末端的引江配套输水工程,线路总长约 100.44 km,主要采用 PCCP 管及钢管供水,沿线布置沉降仪、测缝计、渗压计、钢板计等安全监测仪器来自动采集安全监测信息。

利用上文所述方法,建立工程三维 BIM 模型。通过谷地地球软件获取工程区域航拍实景影像,对航拍影像和地形数据进行集成,将建立的三维 BIM 模型按照实际坐标集成到平台上,可以直观展现工程区域的实际地貌形态,如图 7 所示,图中红色线路即为南水北调输水管道。

利用可视化集成平台,可实现南水北调工程安全运行的可视化分析。图 8 展示了安全监测信息查询过程:使用 Forge Viewer 自带模型浏览器以及特性查看工具可以查看项目的模型列表和仪器信息。通过直接点击监测仪器模型或点击左侧模型浏览器模型名称均可以在三维虚拟场景内对该模型聚焦,并可以查看监测仪器监测时间、当前监测数据物理量和近期时间内时序图。由于监测仪器结构形状并非输水工程安全监测的重点,故采用不同形状及颜色的模型代替监测仪器模型,模型图例如图 8 中所示。人工巡检拍摄的现场



图7 工程项目区域三维虚拟场景

Fig. 7 Three-dimensional virtual scene of the project area



图 8 安全监测可视化管理

Fig. 8 Visual management of the safety monitoring

照片通过手持 PDA 传入系统中,可以实现三维虚拟场景和现场实景的结合分析。

另外,平台提供对监测数据处理和分析功能,可以对监测信息预处理(处理供水管道监测数据中含有的系统误差、随机误差和粗差),识别输水管道监测信息异常并提供预警信号,按照监测数据的异常程度将警情分为黄色预警、橙色预警和红色预警3种类别。如图9所示,当监测仪器数据异常时,在监测仪器上方会出现报警标识,点击标识可以显示该监测仪器的具体信息,时序图以及警情描述可以看出异常数据的具体情况,帮助管理者下一步决策。

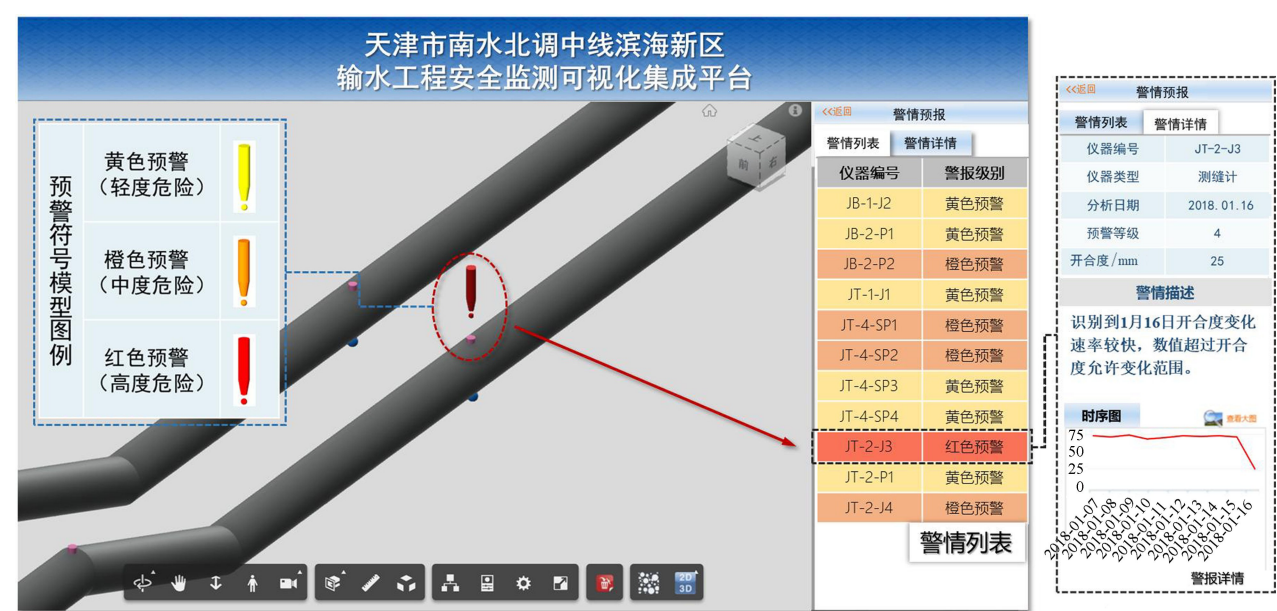


图 9 安全监测信息预警

Fig. 9 Early warning of the safety monitoring

4 结 语

输水工程沿途建筑物及监测设备种类复杂、数量繁多,对其进行安全监测会产生大量监测信息。现有的安全监测管理数据表达不够直观、可视化集成效果较差,没有实现对输水工程监测数据的动态可视化管理。针对上述问题,采用 BIM 技术建立输水工程三维 BIM 模型,阐述不同类型构件的建模方法及表达形式,并且通过建模中对构件属性的调整完成构件信息的集成;结合数据库技术实现安全监测信息集成,利用模型 ID 以及构件编号一一映射的方法实现 BIM 模型与安全监测信息的动态耦合,同时基于 Forge Viewer 实现 BIM 模型的 WEB 显示,对动态安全监测信息网络可视化分析开展了研究。结合天津市南水北调输水工程的具体情况开发管理平台,系统运行良好,实现了输水工程动态安全监测动态、直观、高效的管理与分析,为输水工程安全监测分析提供了决策平台。

参考文献:

[1] 夏军,翟金良,占车生. 我国水资源研究与发展的若干思考[J]. 地球科学进展, 2011, 26(9): 905-915. (XIA Jun, ZHAI Jinliang, ZHAN Chesheng. Some reflections on the research and development of water resources in China[J]. Advances in Earth Science, 2011,26(9): 905-915. (in Chinese))

[2] 赵志仁,郭晨. 国内外引(调)水工程及其安全监测概述[J]. 水电自动化与大坝监测, 2005, 29(1): 58-61. (ZHAO Zhiren, GUO Chen. Summarization on home & overseas water transfer projects and their safety monitoring[J]. Hydropower Automataion and Dam Monitoring, 2005, 29(1): 58-61. (in Chinese))

[3] 宋放,周林虎,贺杰. 大伙房输水(二期)工程安全监测系统的设计与应用[J]. 水利建设与管理, 2008, 28(5): 67-70. (SONG Fang, ZHOU Linhu, HE Jie. Design and application of safety monitoring system for Dahuofang Water Delivery Project (Phase II) [J]. Water Resources Development & Management, 2008, 28(5): 67-70. (in Chinese))

[4] 卢克,张仁贡,杨勇. 基于云技术的渠系引水工程安全监管平台的开发与应用[J]. 水电能源科学, 2016, 34(5): 187-190. (LU Ke, ZHANG Rengong, YANG Yong. Development and application of canal water diversion and safety supervision system based on cloud technique[J]. Water Resources and Power, 2016, 34(5): 187-190. (in Chinese))

[5] 杨进新,忽惠卿,王东黎,等. 南水北调中线 PCCP 管道工程安全监测方案研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(7): 55-61. (YANG Jinxin, HU Huiqing, WANG Dongli, et al. Study on safety monitoring scheme for PCCP of mid-route of South-to-North Water Transfer Project[J]. Water Resource and Hydropower Engineering, 2009, 40(7): 55-61. (in Chinese))

[6] 李博,马云东,王林峰. 基于 BIM 技术的隧道基坑施工安全信息化管理及应用[J]. 大连交通大学学报, 2017, 38(3): 83-87. (LI Bo, MA Yundong, WANG Linfeng. Safety information management and application of tunnel foundation pit

construction based on BIM technology[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2017, 38(3): 83-87. (in Chinese))

[7] 金森, 赵永辉, 吴健生, 等. 隧道三维可视化监测系统的研制与开发[J]. 计算机工程, 2007, 33(22): 255-257. (JIN Miao, ZHAO Yonghui, WU Jiansheng, et al. Development of 3D visualization tunnel observation system[J]. Computer Engineering, 2007, 33(22): 255-257. (in Chinese))

[8] 孟永东, 徐卫亚, 刘造保, 等. 复杂岩质高边坡工程安全监测三维可视化分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(12): 2500-2509. (MENG Yongdong, XU Weiya, LIU Zaobao, et al. Analysis of 3D visualization of safety monitoring for complicated high rock slope engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(12): 2500-2509. (in Chinese))

[9] 钟登华, 石志超, 杜荣祥, 等. 基于 CATIA 的心墙堆石坝三维可视化交互系统[J]. 水利水电技术, 2015, 46(6): 16-20. (ZHONG Denghua, SHI Zhichao, DU Rongxiang, et al. CATIA-based 3-D visualization interactive system for rock-fill dam with core-wall[J]. Water Resource and Hydropower Engineering, 2015, 46(6): 16-20. (in Chinese))

[10] WONG Kaiyuen. Design of a structural health monitoring system for Long-Span Bridges[J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2007, 3(2): 169-185.

[11] LIU Donghai, CHEN Junjie, LI Shuai, et al. An integrated visualization framework to support whole-process management of water pipeline safety[J]. Automation in Construction, 2018, 89: 24-37.

[12] 朱记伟, 蒋雅丽, 翟翌, 等. 基于知识图谱的国内外 BIM 领域研究对比[J]. 土木工程学报, 2018, 51(2): 113-120. (ZHU Jiwei, JIANG Yali, ZHAI Zhao, et al. Comparative research of BIM based on mapping knowledge domains at home and abroad[J]. China Civil Engineering Journal, 2018, 51(2): 113-120. (in Chinese))

[13] 孙少楠, 张慧君. BIM 技术在水利工程中的应用研究[J]. 工程管理学报, 2016, 30(2): 103-108. (SUN Shaonan, ZHANG Huijun. Research on the application of BIM technology in water conservancy project[J]. Journal of Engineering Management, 2016, 30(2): 103-108. (in Chinese))

[14] 王珩玮, 胡振中, 林佳瑞, 等. 面向 Web 的 BIM 三维浏览与信息管理的[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(3): 1-7. (WANG Hengwei, HU Zhenzhong, LIN Jiarui, et al. Web-oriented BIM 3D viewing and information management[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2013, 5(3): 1-7. (in Chinese))

[15] SUCCAR B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders[J]. Automation in Construction, 2009, 18(3): 357-375.

[16] 刘训房. 基于 BIM 和 Web 的隧道动态施工监测信息系统研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.

(收稿日期:2018-06-25 编辑:高建群)

• 简讯 •

长江保护与绿色发展研究院在河海大学揭牌成立

2019 年 6 月 29 日,长江保护与绿色发展论坛暨研究院成立大会在河海大学举行。研究院成立大会和专家报告会分别由河海大学校长徐辉、南京水利科学研究院院长陈生水主持。河海大学党委书记唐洪武代表共建单位致辞。江苏省人民政府副秘书长杨勇,中国长江三峡集团有限公司副总经理孙志禹,教育部科学与技术司副司长檀勤良,水利部国际合作与科技司副司长吴宏伟,江苏省发展和改革委员会副主任、江苏省长江办副主任赵建军分别致辞,祝贺研究院成立并表示将给予大力支持。与会领导、专家共同指导并见证研究院揭牌。

详情请关注:<http://www.hhu.edu.cn/2019/0629/c166a193896/page.htm>

(本刊编辑部供稿)