

# 基于 WebGL 三维引擎的轨道交通工程 BIM + GIS 平台研究

杨 喆 付功云 袁文祥 王震宇 王恰时

(中铁第六勘察设计院集团有限公司,天津 300308)

**【摘要】**摘要:针对 BIM + GIS 集成架构平台方式的不足,本文提出基于 WebGL 三维引擎 BIM + GIS 集成平台技术架构方案。本文以 WebGL 三维引擎为主要集成容器,利用网络服务接口对相应数据进行传递,以 GIS 为骨架将 BIM IFC 模型数据的分级集成,最终形成面向城市轨道交通工程的 BIM + GIS 平台整体技术架构。该技术架构经过轨道交通工程实践应用,具备可行性并且技术领先,在城市轨道交通工程领域具有广泛推广价值。

**【关键词】**WebGL; BIM; GIS; 轨道交通工程

**【中图分类号】**TU17 **【文献标识码】**A

**【版权声明】**本文被《土木工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

## 引言

轨道交通工程涉及车站、隧道、桥梁等子工程<sup>[1]</sup>,建设过程中存在不良地质条件、风险源众多等复杂工况,传统信息化管理存在信息孤岛、不直观等问题,往往形成信息化管理与现场管理“两张皮”现象<sup>[2]</sup>。

根据当前 BIM 和 GIS 技术水平、软硬件水平及 5G 等新技术应用,以立足当前展望未来为原则,科学、有前瞻性预测,轨道交通工程从二维信息化管理向三维可视化管理升级是技术发展和复杂工况工程管理需求的必然趋势。

轨道交通工程中利用 BIM + GIS 技术进行平台技术架构已经成为当前主流的技术趋势。从 BIM 与 GIS 的基础特性分析,BIM 侧重于内向微观领域,GIS 侧重于外向宏观领域。BIM 与 GIS 结合应用,不仅发挥了各自优势特点又对微观与宏观结合应用进行探索,使轨道交通工程规划、设计、施工、运营维护管理全生命周期的三维可视化管理更加合理、高效<sup>[3]</sup>。

目前 BIM 与 GIS 融合,主要研究软件交互层次领域及数据信息模式领域<sup>[4]</sup>。软件交互层次为 BIM 与 GIS 软件兼容文件方式及集成软件接口应用获取数据信息。如 ArcGIS 应用数据拓展模块可以对 BIM/IFC 格式数据进行支撑,Autodesk InfraWorks 支持 CityGML、IFC 等不同类型的文件格式结合数据库已有数据信息整合并构建基本信息模型。此种 BIM 与 GIS 融合方法需业主单位及实施单位采购昂贵的专业软件,同时需软件厂商提供系统集成技术支持且业主单位自身具备二次开发能力,局限性高、推广性低;数据信息模式通过几何及数据文字信息差异性构建的信息模型,此种 BIM 与 GIS 融合方法需实施单位具备底层数据模型分析与工具软件研发能力,同时需大量人力来进行实施工作,产品化及自动化程度均不高,已有成果无法直接应用于其他项目。

软硬件集成技术成熟,如 API 接口、Web Service 消息推送、共享数据库、硬件 SDK 二次开发包等,可以将互不关联的平台、不同语言、不同硬件进行数据交换与集成,为 BIM + GIS 平台信息共建、共享、

**【基金项目】** 中铁第六勘察设计院集团有限公司重点科研课题(编号:KY-2020-13)

**【作者简介】** 杨喆(1982-),男,工程师,主要研究方向:BIM 平台研发、轨道交通工程;通讯作者:付功云(1981-),男,工程师,主要研究方向:BIM、轨道交通工程。

集成提供解决方案。

目前市场主流商业系统 BIM 平台,一种采用 ActiveX 控件模式,存在只能应用于 IE 浏览器、需配置复杂环境、易崩溃、易闪屏、移动端需使用新框架重新开发等问题,技术路线不适应未来发展方向;一种采用 WebGL 引擎无 GIS 系统模式,该模式只能应用于点工程如房建单体工程,而轨道交通工程是车站、隧道、桥梁等单体工程、线路线性工程、多条线路组成的线网工程,不仅需要宏观的整体管控,还需要单体微观精细化管控,需采用 BIM + GIS 技术架构实现轨道交通工程宏观与微观的融合可视化。

本文将基于 WebGL 三维引擎,探索 BIM + GIS 平台技术架构,利用 WebGL 作为容器构建出建筑、结构、风水电、设备、地质、环境等模型数据信息与地理信息相结合的轨道交通工程 BIM + GIS 三维交互平台,对 BIM + GIS 数据信息集成及可视化分析,辅助轨道交通工程全生命周期管理及决策<sup>[5]</sup>。

## 1 基于 WebGL 容器 BIM + GIS 数据集成原理

新一代基于 Web 的 3D 图形引擎 WebGL 自 2006 年诞生到 2017 年逐步完善,WebGL (Web Graphics Library) 是一种 3D 绘图协议,OpenGL ES 2.0 与 JavaScript 绑定,可通过 HTML5 Canvas 调用显卡硬件实现 3D 加速渲染,直接在浏览器中实现 3D 场景、3D 模型、3D 结构定位导航的流畅访问与操作。基于 WebGL 容器可实现 BIM + GIS 平台三维可视化应用及数据融合。

WebGL 充当固定容器承载 GIS 数据,在此基础上利用 BIMServer Web Service 接口加载调取 BIM 信息模型,从而将 BIM 与 GIS 信息模型在 WebGL 三维引擎中实时渲染展示并输出管理应用。

BIM 由 IFC 及相应数据端口构成<sup>[6]</sup>,BIM 模型依据 IFC 标准建模及输入数据信息,依照等级层次进行不同级别构建,相应数据信息表纳入对应数据库,Web Service 接口基于 Web Upload 方式将 BIM 模型及数据信息传输到 BIM 平台,集成轨道交通工程区域的高程及影像数据,BIM 信息模型与 GIS 数据整合共同构成 BIM + GIS 平台。

高程及影像数据由天地图、百度地图、高德地图、Google Map 等服务器接口获取,采用 WebGL 容

器将几何模型、模型承载信息、高程及影像数据融合,将多细节层次的相关数据及模型所在的 WGS84 坐标数据信息、轨道交通工程参数,通过模型与数据分层 LOD 加载方式实现流畅浏览与管理操作,提高 BIM + GIS 融合贯通性。

## 2 基于 WebGL 容器 BIM + GIS 平台实现方法

### 2.1 几何可视化

基于 WebGL Primitive 实体对象,对具有顶点属性和定义图元的几何图形,通过 geometry 类将描述阴影的几何图形和外观分配给图元实现可视化,通过 appearance 类使用材质定义着色,两者结合增强可视化效果。

轨道交通工程地铁车站按照 IFC 标准建模,使用模型轻量化工具转换并上传到基于 WebGL 容器的 BIM + GIS 平台,在 BIM + GIS 平台中地铁车站构件通过 geometry 类、appearance 类实现几何模型的可视化,如图 1 基于 IFC 标准的地铁车站几何可视化模型。

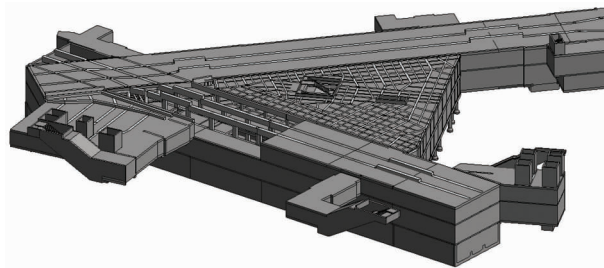


图 1 基于 IFC 标准的地铁车站几何可视化模型

### 2.2 模型渲染

BIM + GIS 平台模型与信息展示需要外形美观又能准确表达,基于 WebGL 三维引擎能够在浏览器中制作 Web 三维交互场景、驱动 Html 脚本 JavaScript 程序,充分利用显卡等底层图形加速硬件来进行三维模型渲染。

渲染流程为构建 WebGL 环境、更新场景 Scene 与相机 Camera 的世界坐标变换矩阵、渲染对象投影变换、渲染背景、渲染场景、输出渲染结果,如图 2 WebGL 三维引擎渲染流程<sup>[7]</sup>。

WebGL 三维引擎通过解析数据和着色器阵列来进行绘制、渲染三维场景。BIM + GIS 平台渲染效果如图 3 盾构区间风险源 WebGL 引擎三维场景渲染。

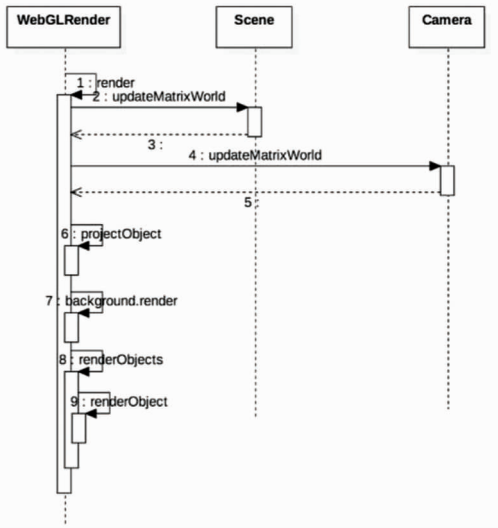


图2 WebGL 三维引擎渲染流程



图3 盾构区间风险源 WebGL 引擎三维场景渲染

### 2.3 信息检索

BIM + GIS 平台主要包含轨道交通工程 BIM 模型信息数据及 GIS 地理信息数据。BIM 具有微观特性,轨道交通工程中主要有车站、隧道、桥梁、轨道、设备等,通过 IFC 标准 700 多个实体对象进行解析,按照层级构成构件树索引表,如层级一工程定义如 IFCProject、IFCSite,层级二构建筑物轮廓如 IFC-Wall,层级三内部构建筑物如 IFCWindow 等,IFC 标准的模型导入 BIM + GIS 平台,形成如图 4 BIM + GIS 平台 BIM 模型构件树索引,可以在该构件树中按照层级查找并定位信息模型;GIS 具有宏观特性,主要有高程数据、影像图片,通过 WGS84 坐标体系支撑索引与信息查询<sup>[8]</sup>。

BIM 微观与 GIS 宏观特性差别,表达方式不同,如图 5 BIM 与 GIS 特性不同表达方式,因此信息检索也存在构件树导航、坐标体系索引、信息查询等不同方式<sup>[9]</sup>。



图4 BIM + GIS 平台 BIM 构件树索引

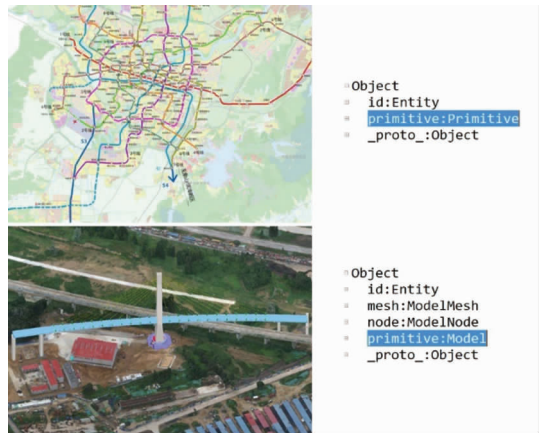


图5 BIM 与 GIS 特性不同表达方式

## 3 系统设计与研发

### 3.1 BIM + GIS 平台技术架构

基于 WebGL 三维引擎 B/S 框架进行 BIM + GIS 平台技术架构设计,采用三层技术架构,包含数据层、服务层与应用层<sup>[10,11]</sup>,如图 6 BIM + GIS 平台技术架构。

#### (1) 数据层

数据层为 BIM + GIS 平台底层支持,对数据进行人工录入、移动 APP 录入、系统集成接入、数据清洗、数据分析应用等,非线性文件数据库采用 MongoDB,线性数据库采用 MySQL,通过 JDBC 提供 Java API,供 Java 开发使用,对文件采用 HDFS 分布式存储。

#### (2) 服务层

服务层提供 BIM + GIS 平台前端应用所需底层框架技术接口,采用符合技术发展方向三维引擎 WebGL,使用 JavaScript 编写,支持浏览器利用底层图形加速硬件进行图形渲染,可创建三维场景,包

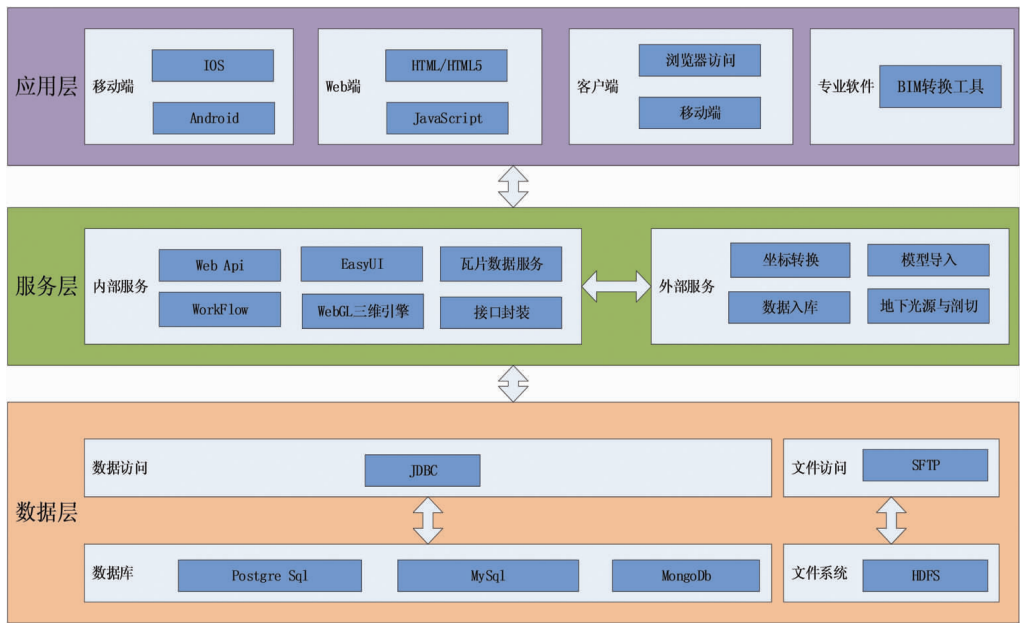


图 6 BIM + GIS 平台技术架构

表 1 主要工具及框架选型表

序号	分层	名称	类型	作用
1	应用层	Google Chrome 78.0. x 及以上	免费软件	Web 访问与维护
2		移动 APP	自主研发	移动访问、上报
3	服务层	Cesium. js 1. 64 (WebGL)	开源框架	三维引擎及 GIS 底层支持
4		天地图 API	免费服务	瓦片数据服务
5		BigEMap 地图下载器 15. x	商业软件	瓦片数据下载
6		Vue. js	开源框架	前端页面产品化开发支持
7	服务层	Flowable 6. x	开源框架	工作流应用支持
8		WebApi	自主研发	数据交换与集成
9		超图 idesktop9	商业软件	坐标转换、模型导入、数据入库等
10	数据层	IFC Exporter	开源软件	模型导出与导入
11		MySQL 5. x	免费软件	线性数据存储
12		MongoDB Community Server 4. x	免费软件	非线性数据存储
13		JDBC	开源框架	数据库输出 Java 开发接口
14		HDFS	开源框架	文件分布式存储

括了摄影机、光影、材质等,基于 WebGL 三维引擎实现 B/S 模式访问、移动端访问,可广泛应用于铁路、地铁等轨道交通工程建设施工阶段。同时服务层集成瓦片数据服务、工作流、前端框架等,结合线下的坐标转换、BIM 模型转换导入、数据导入等工具,实现 BIM + GIS 平台底层驱动及数据转换融合。

### (3)应用层

应用层直接面向用户实现工程管理与信息展示,采用 Html5、JavaScript、WebGL 等技术实现移动端 (Android、IOS) 及 PC (Windows、Linux、MacOS) Web 端访问与维护。

### 3.2 研发工具及框架选型

研发工具包含工具软件、平台框架等两大类,总体选型原则为免费、开源为主,自主研发、商业软件为辅。BIM + GIS 平台底层采用 Java 编程、前端采用 Vue. js 框架、中间工具采用 C#编程、移动端采用 H5 与原生框架,依据 BIM + GIS 平台三层技术架构展开说明,具体如表 1 主要工具及框架选型表。

### 4 技术局限性的解决方案概述

以 WebGL 作为轨道交通工程 BIM + GIS 平台三维引擎底层支撑,存在一定的技术局限性。

(1) 浏览器内存限制

本平台以 Google Chrome 为主要浏览器, Google Chrome 限制了所能使用的内存极限, 其中 64 位为 1.4GB, 32 位为 1.0GB。一条 20 公里的轨道交通工程场景原始 BIM 模型大小可达到 10G 以上, 浏览器内存限制导致大场景加载存在局限<sup>[12]</sup>。

目前采用模型轻量化、LOD 分层加载减少内存资源占用, 在浏览器内存机制内进行优化。而问题的根本在于解决 Google Chrome JavaScript V8 引擎的机制问题, 基于 BIM + GIS 平台底层研发内存释放回收机制, 或者依赖于 JavaScript V8 引擎的升级。

(2) 网速及流量限制

BIM + GIS 平台, PC 端 10M 带宽、移动端 4G 即可流畅访问, 但是移动端每次访问流量耗费 300Mb 以上, 对于目前移动端流量超限后降速到 3G 或 2G 来说, 存在移动端应用局限。

BIM + GIS 平台 BIM 模型是信息承载与应用的基础, 可提高轻量化比例、使用 LOD 分层加载模式减少加载、采用 Vue.js 前端框架不重复加载等方式减少移动端流量使用, 而根本解决方案为移动 5G 技术的普及应用。

(3) 轻量化限制

BIM 模型轻量化主要技术为参数化几何描述转换与相似性图元合并<sup>[13]</sup>, 由于轨道交通工程涉及车站、隧道、桥梁、设备等多种类型模型。其中隧道模型相似性图元多, 如隧道管片可以用一般管片与楔形管片两种图元代替, 多个空间位置重复引用, 轻量化比例能达到 1:120 以上。而施工设备如盾构

机, 曲面多、结构复杂、相似图元少、减面比例低, 轻量化比例一般只能达到 1:20 左右。

可通过研究 WBS、EBS、CBS 等多码合一体系加强相似图元提取与引用提高轻量化比例, 解决轻量化瓶颈的根本方法同样为 5G 技术的普及应用。

5 轨道交通工程应用

基于 BIM + GIS 平台, 集成轨道交通工程 BIM 设计模型成果、安全监控设备数据、施工设备数据、人工施工报表、施工日志、监理日志、运维设备数据及移动 APP 录入数据等<sup>[14]</sup>, 以全生命周期管理理念实现轨道交通工程 BIM + GIS 平台应用。设计阶段 BIM 成果协同与导入 BIM + GIS 平台, 实现方案展示、线路比选、技术交底等应用; 施工阶段集成多方数据, 实现安全、进度、质量、成本管理等应用; 运营维护集成多方设备与维护流程, 实现资产数据库、资产维护、知识库建设等应用。

以某轨道交通工程海底盾构隧道工程为例, 该工程建设规模大, 海底隧道长 13 公里, 是目前国内最长的铁路水下隧道; 环境条件复杂, 沿线港口、码头密集, 航道等级高; 河床水深变化大、地质条件复杂多变; 技术难度大, 无论采用什么工法修建, 技术上都存在很大的难度。为解决工程中的风险, 引入 BIM + GIS 平台进行施工过程可视化管理, 实现基于 BIM 信息化集成支撑的动态盾构安全风险管目标的海底隧道环境的可视化展现、施工现场的安全风险管控、指导施工等。

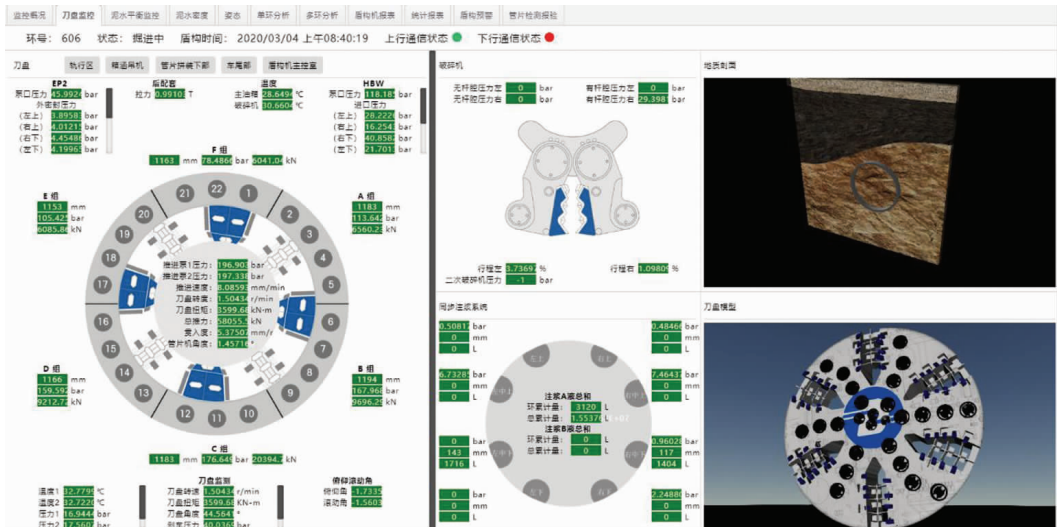


图 7 基于 BIM + GIS 平台盾构管理模块

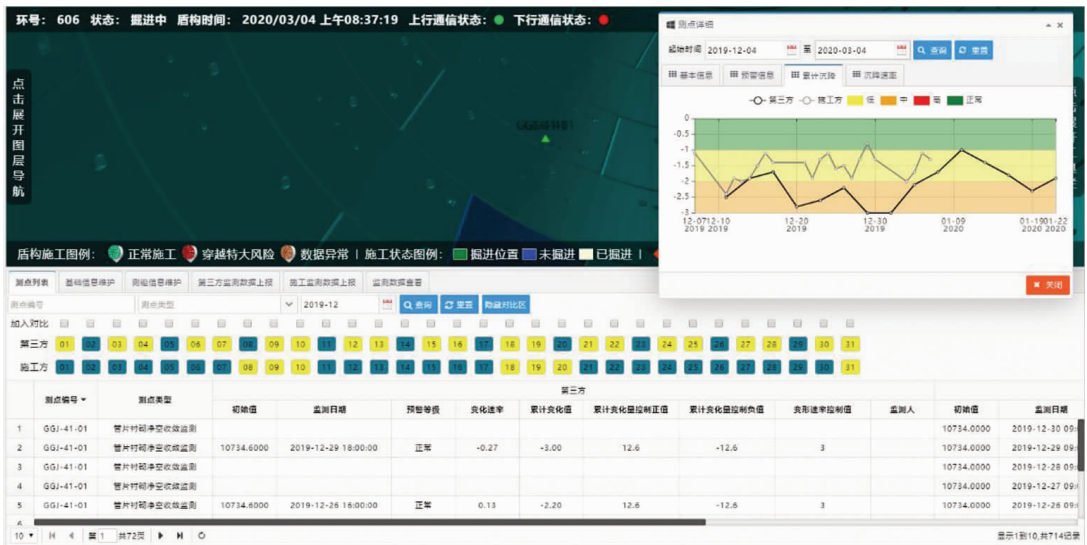


图 8 基于 BIM + GIS 平台监控量测模块

基于 BIM + GIS 平台系统集成盾构机数据、摄像头监控数据、智能监测数据(沉降、变形、位移、应力、压力、地下水位等)<sup>[15]</sup>, 提供人工监测报表数据导入接口, 巡检接口。通过二三维关联定位, 三维方式展示, 进行分析预警, 发起处置流程。

海底盾构隧道施工 BIM + GIS 平台安全管控模块应用如图 7 基于 BIM + GIS 平台盾构管理模块、图 8 基于 BIM + GIS 平台监控量测模块。目前海底盾构隧道施工 BIM + GIS 平台应用已通过专家评审验收, 验收意见为“满足应用需求、技术先进、成果完善、具有普遍推广价值”。平台应用过程中, 三维可视化交底, 提高效率, 节约工期 72 天; 精确定位岩溶, 节省岩溶处置材料 5%, 约为 1150 万元。平台应用大大降低掘进误差、岩溶特大风险源引起的轨道交通工程盾构机陷落等导致 10 亿多项目成为废弃工程的风险。

我方研发的 BIM + GIS 平台, 相较于其他商业系统, 拥有技术领先的优势, 主要体现在先进 WebGL 三维引擎实践应用、轻量化比例高、支持主流 BIM 建模软件 IFC 标准导入、二三维通用关联工具解决二维向三维管理升级的关键瓶颈。BIM + GIS 平台在研发与实践应用过程中, 已取得 7 项软件著作权、已申报 11 项发明专利。

## 6 结语

BIM + GIS 交融平台实现地理数据信息为骨架整合 BIM 信息模型, 基于宏观领域与微观领域共同

分析处理, 更全面、直观的实现轨道交通工程三维可视化分析与管理。轨道交通线网工程特质与 WebGL 三维引擎先进性, 未来基于 WebGL 三维引擎 BIM + GIS 平台应用将成为轨道交通工程 BIM 应用的主流方向。

本文所提出理论均已在工程中实践通过, 存在多个技术完善方向, 如轻量化、大场景加载、空间坐标系转换、多码合一等, 未来我们将继续针对存在的问题进一步完善。

## 参考文献

- [1] 何海健, 项彦勇, 刘维宁, 周书明. 地铁车站隧道群施工对邻近桥桩影响的数值分析[J]. 北京交通大学学报, 2006(4): 54-59.
- [2] 王言. 关注施工管理“两张皮”现象[J]. 施工企业管理, 2005(11): 31.
- [3] 胡林峰. 轨道交通项目 BIM + GIS 云平台建设研究[J]. 工程建设与设计, 2018(16): 254-255.
- [4] 武鹏飞, 刘玉身, 谭毅, 李建锋. GIS 与 BIM 融合的研究进展与发展趋势[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(1): 1-6.
- [5] 陈海丽, 李敏, 陈少波, 史剑, 马西峰. BIM 技术在城市轨道交通 PPP 项目全生命周期中的应用研究[J]. 市政技术, 2019, 37(5): 125-129.
- [6] 陈远, 逯瑶. 基于 IFC 标准的 BIM 模型空间结构组成与程序解析[J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(4): 162-167, 194.
- [7] 任晓春. 铁路勘察设计中 BIM 与 GIS 结合方法讨论[J]. 铁路技术创新, 2014(5): 80-82.

- [8] 汤圣君,朱庆,赵君峤. BIM 与 GIS 数据集成:IFC 与 CityGML 建筑几何语义信息互操作技术[J]. 土木工程信息技术,2014,6(4): 11-17.
- [9] 彭志兰. 基于 GIS 和 BIM 联合应用的三维数字小区建模[C]. Scientific Research Publishing. Proceedings of the 7th Conference on Engineering and Business Management (EBM 2016). Scientific Research Publishing:美国科研出版社,2016,70-75.
- [10] 胡磊. 农情监测地理信息服务关键技术研究[D]. 武汉大学,2018.
- [11] 青舟,付功云,张佩竹,蒋卓鹏. 轨道交通工程 BIM 总体咨询服务框架初探[J]. 工程经济,2020,30(1): 45-48.
- [12] 李丹. 面向移动终端的增强现实浏览器关键技术的研究[D]. 北京邮电大学,2019.
- [13] 马金忠,田彦山. 基于云计算的 BIM 模型轻量化及应用研究综述[J]. 宁夏师范学院学报,2019,40(7): 72-78.
- [14] 王孟钧,廖娜,秦岭. 城市轨道交通项目 BIM + GIS 技术集成探索与思考[J]. 科技进步与对策,2018,35(24): 102-106.
- [15] 胡仲春. 软土基坑支护体系监测的自动化管理[C]. 中国岩石力学与工程学会工程安全与防护分会. 第 2 届全国工程安全与防护学术会议论文集(上册). 中国岩石力学与工程学会工程安全与防护分会:中国岩石力学与工程学会,2010,21-24.

## BIM + GIS Platform for Rail Transit Engineering Based on the WebGL 3D Engine

Yang Zhe, Fu Gongyun, Yuan Wenxiang, Wang Zhenyu, Wang Qiashi

(China Railway Liuyuan Group Co., Ltd., Tianjin 300308, China)

**Abstract:** For the shortcomings of the BIM + GIS integrated architecture platform, this paper proposes a technical architecture solution of the BIM + GIS integrated platform based on the WebGL 3D engine. This paper transfers the corresponding data through the web service interface by using the WebGL 3D engine as the main integration container. Then it hierarchically integrates the BIM IFC model data with the GIS as the framework, and finally forms the overall technical architecture of the BIM + GIS platform for urban rail transit engineering. After being applied in rail transit engineering, the technical architecture has been proved to be feasible with an advanced technology, which is of extensive promotion values in the field of urban rail transit engineering.

**Key Words:** WebGL; BIM; GIS; Rail Transit