

# 基于“BIM+GIS+IOT”的数字孪生技术在某航电枢纽项目建设中的运用

陈刚<sup>1</sup> 王泽敏<sup>2</sup> 耿宗信<sup>3</sup> 钟涛<sup>4</sup>

1. 贵州图云测绘产品质量检验有限公司; 2. 山东省地图院;  
3. 山东省国土测绘院; 4. 广州南方测绘科技股份有限公司重庆分公司

**摘要:**近年来,随着5G、物联网、人工智能、虚拟现实、云计算、大数据等新一代信息技术的发展,数字孪生应用层面和理论层面均取得了快速发展。通过将GIS、BIM、物联网等信息技术互相融合构建的数字孪生工地智能化管理平台,将工程建设过程中涉及的“人、事、物”等地理实体的结构、状态、属性等映射到数字化的虚拟世界,通过实时传感、连接映射、精确分析来实现对工程建设全过程、全要素、全生命周期闭环优化管理。从而提高工程建设项目管理的智能化、实时化、规范化。因此,文章主要结合项目实践经验,从GIS、BIM、物联网技术为基础的数字孪生技术,构建基于三者先进技术的智慧工地管理平台,从数据管理、工程管理、设备管理、智慧工地、安全管理等多个细节层面出发进行深入分析和研究,从而有效解决当前工程建设项目管理过程中存在的诸多问题。

**关键词:**数字孪生; 数字工地; 智慧工地; GIS+BIM; IOT; 工程管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.16.086

## 一、基于“BIM+GIS+IOT”融合的数字孪生技术

### (一) BIM建筑信息模型

在我国的国家标准《建筑信息模型应用统一标准》中指出,BIM是在建设工程及设施全生命期内,对其物理和功能特性进行数字化表达,并依此设计、施工、运营的过程和结果的总称。

BIM建筑信息模型包含丰富的建筑信息,信息是BIM模型的灵魂,其信息具体来讲可分为以下两类:

①尺寸、定位、空间拓扑关系等几何信息;

②名称、规格型号、材料和材质、生产厂商、功能与性能技术参数以及系统类型、施工段、施工方式、工程逻辑关系等非几何信息。

### (二) GIS地理信息系统

GIS地理信息系统是随着地理科学、计算机技术、遥感技术和信息科学的发展而发展起来的一个学科。是将计算机硬件、软件、地理数据以及系统管理人员组织而成的对任一形式的地理信息进行高效获取、存储、更

新、操作、分析及显示的集成。

空间数据是地理信息系统的基础,其包括地理数据、属性数据、几何数据、时间数据。GIS对空间数据的管理与操作,是GIS区别于其他信息系统的根本标志。GIS独特的地理空间分析能力、快速的空间定位搜索和复杂的查询功能、强大的图形处理和表达、空间模拟和空间决策支持等,可产生常规方法难以获得的重要信息。

### (三) IOT物联网技术

物联网(Internet of Things,简称IOT)是指通过各种信息传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器等各种装置与技术,实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程,采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息,通过各类可能的网络接入,实现物与物、物与人的泛在连接,实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。物联网是一个基于互联网、传统电信网等的信息承载体,它让所有能够被独立寻址的普通物理对象形成互联互通的网络。

### (四) “BIM+GIS+IOT”的融合技术

通过Revit软件建立的BIM三维建筑数据信息模型能够精细的表达建筑对象由内到外的全部构件,同时给每个构件附上其属性信息,可实现对各构件的精细化管理,并在建筑的全生命周期内发挥作用。GIS技术可以建立真实世界三维实景地理信息模型,为BIM模型、物联网智能传感器提供空间数字底座以及空间分析能力。但是,精确的地理模型、精细的BIM模型都无法感知真实世界实时变化的信息,因此基于智能传感设备的物联网技术正好弥补这一缺陷。将BIM、GIS与物联网技术结合起来,充分发挥各自的特点和优势实现互补。因此,在BIM精细模型以及GIS三维实景模型基础上,利用物联网技术感知对象实时动态变化数据,进而打造出空间一体化的数字孪生平行世界。

## 二、项目概况

某航电枢纽项目位于涪江干流重庆境内,开发任务以航运为主,兼顾发电、河道生态修复等综合利用,是

国家交通运输部“十四五”重点项目，国家高等级航道建设重点项目、全国交通重大工程之一。建成后可渠化航道约28公里，其中重庆境内15公里，航道等级为内河IV级，船闸等级为IV级，可通行1000吨级船舶，单向年通过能力近期481万吨、远期611万吨。

本文以某航电枢纽工程建设项目为例，详细介绍以GIS地理信息大场景实景三维模型为地理空间底座，BIM精细模型为基础，物联网智能传感器为依托的可感知的数字孪生工地平台建设，展示该平台运用的优势。

### （一）BIM模型构建

本案例BIM模型构建采用Autodesk公司的Revit系列软件。以施工CAD图纸作为底图，导入到Revit里，分别搭建了混凝土结构模型、钢筋结构模型，并对模型分部结构进行了编码以及非几何属性信息录入，为后期模型管理，质量、进度管理以及其他施工管理做好准备。分别如图1混凝土结构模型、图2钢筋结构模型。

### （二）实景三维模型构建

采用飞马D2000无人机飞行平台，搭载飞马D-0P3000五目相机进行外业数据采集，地面分辨率优于5cm。飞行主要参数如表1。

表1 飞行参数表

序号	内容	参数
1	飞行速度	13.5m/s
2	飞行高度	300m
3	航向重叠度	85%
4	旁向重叠度	65%
5	地面分辨率	4.7cm
6	飞行面积	7.24km <sup>2</sup>

外业共采集11730张航片，内业采用Context Capture (CC) 实景建模软件进行空三计算以及模型重建。

实景三维模型数作为BIM模型、物联网智能设备等空间依附的数字底座，其数学基础为：

- (1) 平面坐标系：2000国家大地平面坐标系；
- (2) 高程坐标系：1985国家高程基准。

### （三）物联网智能传感器布设

根据项目特点及工程建设管理需要，该水利枢纽建设工程项目分别布设了GPS定位设备、环境监测设备、音视频采集设备、方向传感设备、力距传感设备等。所有智能设备均由自带4G网络传输模块，采用MQTT消息协议上传至网络平台，MQTT协议是一个基于客户端-服务器的消息发布/订阅传输协议。MQTT协议是轻量、简单、开放和易于实现的，这些特点使它适用范围非常广泛。

项目物联网智能传感器设备使用情况见表2物联网智能设备安装统计表。

表2 物联网智能设备安装统计表

类型	数量	用途
GPS定位设备	25套	用于车辆等工程设备定位
AI摄像头	42套	用于现场音视频监控；人员、车辆识别等
大气环境监测设备	2套	监测空气质量、噪声等
塔基监测设备	2套	监测塔吊运行安全状态

## （四）数字孪生平台建设

### 1. 数据中心建设

按照统一建库标准，将BIM模型数据、项目管理数据、工程档案数据、物联网设备数据等建库存储，为资源共享、业务管理、分析决策，前端调用等提供数据支撑。

### 2. 平台建设

结合传统GIS服务的技术需求，并根据四个统一——“统一底图、统一规划、统一平台、统一标准”的GIS行业新标准，系统平台建设架构主要涉及数据获取、数据融合、数据引擎以及数据运用以下四个层次。

#### ①数据生成层

通过多技术手段逆向建模，实现多源空间数据融合，全过程、自动化的一体化数据融合与管理；另一方面，通过IOT平台，感知数据在线化连接，与空间模型智能化匹配，虚实映射。

#### ②数据融合层

通过数据管理平台，实现空间数据、业务数据、感知数据多源异构数据的汇集、整理、入库、分析等管理；基于图数据库，建立空间管理，形成与实体工地映射的数字孪生工地模型作为数据模拟、分析的基础。

#### ③数据引擎层

通过多源空间数据融合，三维大体量模型轻量化，GIS融合全构件化、对象化，实现海量空间数据高效、逼真、全构件化管理。

#### ④数据应用层

基于平台微观宏观一体的、动态增长的、可支撑业务应用的、可更新和可追溯时空信息模型，实现多源数据融合展示，分析、预测、评估，工程管理综合运用，数据访问服务等。

### 3. 主要技术

系统平台的建设主要采用的技术包括：Unreal Engine 5虚拟引擎技术、IOT物联网云服务技术。

其中，平台采用最新的Unreal Engine 5作为前端渲染引擎，能够搭建高拟真的虚拟实景环境，对目标场景的周围环境进行高精度还原，并实时将收集到的各项

数据反馈至客户端进行渲染。让使用者能够直接通过平台了解并管理目标场景，从而实现数字化的空间管控和治理。并且，依托Unreal Engine 5渲染引擎技术，平台能够结合当前例如Material-PBR材质、程序化生成模型、Nanite和Lumen等热门技术，从而实现在虚拟场景中构建现实环境的数字孪生体。

IOT物联网云服务技术作为整个平台数据处理的技术支撑，将目标场景的各项数据进行整合并处理，包括空间网格计算、空间网格聚合、影像金字塔、空间网格索引、分布式数据存储等。通过搭建IOT物联网云服务系统，能够实现服务和软件的集合。从而，使用者能够直接通过平台对目标区域进行便捷化、数字化、智能化的数据管理。

### （五）数字孪生平台在项目建设中的运用

#### 1. 数字孪生平台在多源数据融合展示方面的运用

采用数字孪生技术打造的数字化平台，以大场景实景三维模型为空间基础，BIM模型为依托，借助物联网智能传感器，将真实的施工现场还原，大屏展示端集成了人员管理、设备管理、拌合站管理、生产管理等多个看板数据，将工程相关的“人、机、料、法、环”和工艺流程生动形象、立体直观地展现出来。实现了数据图表化、数据可视化，提升数据的质量和关联性，有效的提高管理效率、支持决策、辅助展示汇报。

#### 2. 数字孪生平台在工程管理方面的运用

数字孪生平台在工程管理方面的运用是指利用各种先进的信息技术手段和智能化设备，提升施工现场的管理水平和效率，改善工程项目的质量和安全，以实现施工管理的提质增效和质量安全进度可追溯。

##### ①进度管理

进度管理功能模块平台设计了当前进度、进度对比、历史进度三个功能板块，通过BIM模型构件堆叠着色统计图表等形式对项目施工进度进行可视化展示模拟，项目管理人员可以实时追踪项目的进度和里程碑，及时发现延误和问题，采取措施加以解决。此外，平台还可以提供预警功能，根据历史数据和模型分析，预测项目可能出现的问题和延误，为项目管理人员提供决策参考。

##### ②质量管理

质量管理功能模块实现了质量巡检、质量检验的信息化及闭环管理，实现数据留痕，质量可追溯，全程替代传统纸质文档的质量管理过程。

质量巡检功能，为质量管理员提供日常质量检查管理工作相关功能，配合移动端相应功能，实现对工地现

场质量检查工作，主要包括质量问题登记，整改通知单下发，整改结果上报，整改结果核查等功能。

质量检验功能，模块根据不同项目选择相应执行规范文件，对BIM每个构件检查依据属性取值，质量管理人员可随时点击查询每个部位质量控制标准及依据。

##### ③安全管理

该功能板块设计了上下游水文监测、安全监测、危大工程管理三个板块，实现安全风险点监测，危大风险点警示。

水文监测：在河流上下游分别布设一套水文监测设备，实时采集上下游水位高度，水质情况的信息，指导施工期间防汛安全生产。

安全监测：安全监测涉及高边坡、深基坑滑坡监测、结构主体土工监测两大类，实时获取智能传感器数据，实现数据存储、数据可视化显示、自动预警等功能。

危大工程管理：实现对危大工程点清单管理，形成项目部施工安全风险源识别清单，提供项目识别清单的审批流程。

##### ④档案管理

建立工程资料电子档案库，分别建立人员档案、施工日志档案、质量管理档案、安全管理档案，施工报验资料档案，实现纸质档案数字化，集中统一管理，可实时查看档案数量，资料完善比例，在线检索查询。

### 三、结论

运用先进的信息技术和通信技术，将传统建筑工地转化为智能化、数字化的“数字孪生工地”，通过实时监测和信息交互，有效提高了工地管理的效率和安全性，同时具备“了解”工地过去，“清楚”工地现状，“预知”工地未来的能力。

总而言之，“数字孪生工地”通过实时监测、信息交互、数据分析和可视化等手段，为工程管理提供了更高效、更安全、更智能化的解决方案。它不仅提高了工地的管理水平和工作效率，也为管理人员提供了更科学、更准确的决策依据。相信在未来，“数字孪生工地”的运用会越来越广泛，推动建筑行业向着数字化和智能化迈进。

### 参考文献

[1] 中国工程院于2020年12月18日发布《全球工程前沿2020》。

[2] 《建筑信息模型应用统一标准》 GB/T51212-2016。

[3] 刘陈，景兴红，董钢. 浅谈物联网的技术特点及其广泛应用[J]. 科学咨询，2011（9）：86-86。