

## 倾斜摄影与 BIM 融合的建筑检测技术研究

康凯<sup>1</sup> 韩莉莉<sup>1</sup> 孙静<sup>1</sup> 刘孟龙<sup>2</sup>

1. 无锡城市职业技术学院, 江苏 无锡 214153
2. 无锡机电高等职业技术学校, 江苏 无锡 214400

**[摘要]**随着信息技术的飞速发展,数字化与智能化已成为建筑行业转型升级的核心驱动力。倾斜摄影技术以其高效、直观、高精度的三维实景建模能力,与建筑信息模型(BIM)所承载的全生命周期结构化数据相结合,为建筑检测领域带来了革命性的变革。本研究旨在系统探讨倾斜摄影与 BIM 技术融合在建筑检测中的应用理论、关键技术流程、应用场景及性能评估。

**[关键词]**倾斜摄影; BIM; 建筑检测; 三维实景建模

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18785

中图分类号: P231

文献标识码: A

## Research on Building Inspection Technology Based on the Integration of Oblique Photography and BIM

KANG Kai<sup>1</sup>, HAN Lili<sup>1</sup>, SUN Jing<sup>1</sup>, LIU Menglong<sup>2</sup>

1. Wuxi City College of Vocational Technology, Wuxi, Jiangsu, 214153, China
2. Wuxi Mechanical & Electrical Higher Vocational and Technical School, Wuxi, Jiangsu, 214400, China

**Abstract:** With the rapid development of information technology, digitization and intelligence have become the core driving forces for the transformation and upgrading of the construction industry. Oblique photography technology, with its efficient, intuitive, and high-precision 3D real-scene modeling capabilities, combined with the full lifecycle structured data carried by Building Information Modeling (BIM), has brought revolutionary changes to the field of building inspection. This study aims to systematically explore the application theory, key technical processes, application scenarios, and performance evaluation of the integration of oblique photography and BIM technology in building inspection.

**Keywords:** oblique photography; BIM; building inspection; 3D real-scene modeling

### 引言

进入 21 世纪第三个十年,我国建筑业正处于从劳动密集型向技术密集型转变的关键时期。传统的建筑检测方法,如人工现场勘查、接触式测量等,不仅效率低下、成本高昂,而且在数据获取的全面性、精确性和可追溯性方面存在显著不足,难以满足现代工程对精细化、智能化管理的需求。与此同时,以无人机倾斜摄影和建筑信息模型(BIM)为代表的新兴数字化技术,正以前所未有的深度和广度渗透到建筑项目的全生命周期中<sup>[1,2]</sup>。

倾斜摄影技术通过无人机或有人机搭载多个不同角度的传感器,能够快速获取地表及建筑物的多视角、高分辨率影像,并自动生成具有真实纹理的厘米级精度三维实景模型。这种技术提供了“所见即所得”的宏观地理环境和建筑外部形态的真实复刻,极大地提升了现场信息的获取效率和直观性。然而,倾斜摄影模型本质上是基于影像

纹理的“空壳”模型,缺乏建筑内部结构、材料属性、设备管线等深层次的语义信息,难以直接用于精细化的工程分析与管理。

BIM 技术则是一种应用于工程设计、建造、管理的数据化工具,它通过创建和管理建筑项目的三维数字化模型,集成了贯穿项目全生命周期的几何信息和非几何信息(如构件材质、厂商、成本、维护记录等)。BIM 的优势在于其强大的信息集成、协同工作和模拟分析能力,但 BIM 模型通常与真实地理环境脱节,缺乏对施工现场复杂环境的真实反映,导致在规划、施工和运维决策中可能出现“信息孤岛”和模拟失真问题。

因此,将倾斜摄影的“实”与 BIM 的“虚”进行有机融合,实现宏观实景与微观信息的无缝对接,已成为测绘、建筑和智慧城市领域的重要发展方向。这种融合技术不仅能为 BIM 模型提供真实、精确的地理环境上下文,

还能利用 BIM 丰富的语义信息对实景模型进行解构、分析和赋能，从而在建筑检测领域催生出新的技术范式。

### 1 倾斜摄影与 BIM 融合的关键技术

倾斜摄影与 BIM 的融合并非简单的模型叠加，而是一个涉及数据采集、处理、配准、集成与应用的多阶段、跨学科的复杂技术过程。其核心目标是建立一个几何精确、语义丰富、虚实统一的集成化三维数字模型。

#### 1.1 数据采集与预处理

融合技术流程的起点是高质量的多源数据获取。倾斜摄影数据主要采用搭载五镜头（一个垂直、四个倾斜）相机的专业级无人机（UAV），按照预设航线对目标建筑及周边环境进行数据采集。采集过程中需合理规划航高、航速、重叠度等参数，以保证影像质量和覆盖完整性。采集到的影像数据通过专业软件进行一系列处理，包括空中三角测量加密（空三加密）、密集点云生成、模型构建与纹理映射，最终生成 OSGB、S3M 等格式的高精度实景三维模型。BIM 模型通常基于设计图纸，使用 Revit、MicroStation 等软件进行正向设计构建。为便于后续融合，需对 BIM 模型进行轻量化处理和格式转换，如导出为通用的 IFC（Industry Foundation Classes）格式，并剔除不必要的细节，优化模型面数，以确保在三维平台上的加载和渲染效率。

#### 1.2 坐标系统统一与空间配准

坐标系统的统一是实现倾斜摄影模型与 BIM 模型精确融合的首要前提和核心技术难点。由于两者的数据来源和生成方式不同，其坐标系统通常存在差异。BIM 模型多采用相对独立的工程坐标系，而倾斜摄影模型则基于地理坐标系（如 WGS84 或 CGCS2000）。实现二者统一的技术路径主要包括：（1）基于控制点的坐标转换，在测区内布设若干高精度地面控制点（GCPs），通过 GPS-RTK 等设备精确测量其地理坐标和工程坐标。在倾斜摄影模型和 BIM 模型中找到这些同名控制点，建立坐标转换参数（如七参数或四参数模型），将 BIM 模型从局部坐标系转换至地理坐标系下，实现与实景模型的空间对齐。（2）特征点自动配准，对于已有建筑，可利用算法自动或半自动提取 BIM 模型与实景模型中共有的几何特征（如角点、边缘线），通过点云配准算法（如 ICP 算法）计算二者间的空间变换矩阵，实现自动对位。这种方法对算法的鲁棒性要求较高。

#### 1.3 模型融合与信息集成

在完成空间配准后，需要通过专业平台将两种模型进

行深度融合与集成。由于 BIM 模型代表了建筑的精确设计或竣工状态，当它与代表现状的实景模型融合时，需要对实景模型中对应 BIM 模型所在位置的区域进行“挖洞”处理，然后将 BIM 模型精确地“镶嵌”进去，形成一个无缝集成的整体，避免模型重叠和冲突。为了实现对 BIM 模型中单个构件的交互式操作（如查询、高亮、隔离），需要对融合后的 BIM 模型进行“单体化”处理。这意味着平台能够识别并独立操作每一个 BIM 构件（如一根梁、一扇窗）。同时，将 BIM 模型原有的属性信息（如材质、规格、供应商、施工日期等）与单体化后的三维几何体进行动态挂载，用户点击实景环境中的 BIM 构件，即可弹出其详细信息面板，实现“点哪里、查哪里”的可视化信息查询。

### 2 融合技术在建筑检测中的应用

倾斜摄影与 BIM 的融合，为建筑检测提供了从宏观到微观、从外部到内部、从几何到语义的全方位数据支持，极大地拓展了检测的广度和深度。

#### 2.1 施工阶段的质量、安全与进度检测

在建筑施工阶段，融合技术构建的“数字孪生工地”为项目管理提供了强大的可视化决策支持。

**施工进度可视化监测：**通过定期（如每周或每月）对施工现场进行无人机倾斜摄影，生成反映当前施工状态的实景模型。将此实建模型与 BIM 模型的设计模型及施工计划进行叠加对比，管理人员可以一目了然地发现实际进度与计划进度的偏差。例如，通过颜色编码差异部分，可以快速定位哪些区域施工超前、哪些区域滞后，为进度调整提供直观依据。

**施工质量合规性检测：**将竣工或阶段性完工的实景模型与 BIM 设计模型进行高精度对位，可以进行几何尺寸、位置关系的偏差分析。例如，通过点云比对，可以检测外墙的垂直度、平整度，或者预制构件的安装位置是否符合设计要求。某研究表明，基于融合模型的建筑参数精度可达 95%。这种非接触式的检测方式，相比传统测量手段，效率和覆盖面都得到了极大提升。

**场地安全与环境管理：**高清的实景模型能够真实反映施工现场的复杂环境，包括临边防护、脚手架搭设、材料堆放、大型机械布局等。通过与 BIM 模型中规划的场地布置方案进行对比，可以快速识别出安全隐患，如临边防护缺失、安全通道被占用等。同时，还可以利用融合模型进行施工方案的虚拟推演，如塔吊吊装路径的碰撞检测，提前规避安全风险。

## 2.2 运营维护阶段的结构健康与性能检测

对于已投入使用的建筑,融合技术为长期、高效的结 构健康监测和设施管理提供了创新手段。

**建筑外观病害检测与评估:**利用无人机获取建筑外立 面的高分辨率影像和三维模型,结合深度学习等图像识别 算法,可以自动或半自动地识别和标注外墙的裂缝、空鼓、 渗水、饰面脱落等病害。通过将这些病害信息在三维实景 模型上进行精确定位和可视化,并与 BIM 模型中的构件 信息关联,可以建立起包含病害类型、位置、尺寸、发展 趋势的“三维病害档案”,为维修决策提供精确数据支持。 有研究将红外热成像与倾斜摄影融合,能有效识别外墙保 温层缺陷,其融合模型的平均误差仅为  $0.018\text{m}^{[3]}$ 。

**结构变形监测:**通过对建筑物进行多期次的倾斜摄影 测量,可以获取高精度的三维点云数据。通过对不同时期 的点云数据进行比对分析,可以监测建筑物的沉降、倾斜、 位移等整体变形情况。将监测结果与 BIM 模型中的结构 分析模型相结合,可以对结构的安全性进行评估和预警。 这种方法的优势在于能够实现对整个建筑表面的全覆盖 监测,而非传统监测的离散布点。

**设施设备管理与维护:**对于建筑外部的附属设施,如 空调外机、避雷设施、屋顶光伏板等,可以通过实景模型 进行快速盘点和状态核查。将这些设施的运维信息(如品 牌、型号、安装日期、维修记录)挂接到 BIM 模型中, 运维人员可以在虚实结合的模型上直观地进行设备定位、 信息查询和维修工单派发,极大地提升了设施管理的效率 和准确性。

## 2.3 历史建筑的保护性检测

历史建筑的测绘与检测工作对精度和非接触性要求极 高。倾斜摄影与 BIM 的融合为此提供了理想的解决方案。

**高保真三维数字化归档:**倾斜摄影能够以非接触的方 式,高效、精细地记录下历史建筑复杂的外部形貌、材质 肌理和病害现状,生成照片级的实景三维模型,为历史建 筑建立起永久性的高保真数字档案。

**精细化结构与病害分析:**在实景模型的基础上,结合 激光扫描等更高精度的技术,可以构建出包含内部结构、 构件细节的精细化 BIM 模型。在这个虚实结合的模型上, 可以对木构件的糟朽、石材的风化、砖墙的裂缝等病害进行 毫米级的量化分析,并与 BIM 中的历史文献、修缮记录等 信息相关联,为制定科学的保护和修复方案提供全面依据。

**修复方案虚拟仿真:**利用模型,可以对不同的修复方 案进行虚拟推演和评估,如构件替换、结构加固等,预测

修复后的效果,从而选择最优方案,避免对珍贵文物造成 不可逆的损害。

## 3 技术性能评估与挑战

### 3.1 性能评估

该融合技术的精度是其应用价值的核心。大量实践表 明,通过严格的作业流程控制,倾斜摄影模型的绝对精度 可以达到  $5\text{cm}$  以内,高程精度更优。与 BIM 融合后,用 于偏差分析的相对精度可达厘米甚至毫米级,完全满足大 多数建筑检测的需求。相比传统的人工测量方式,无人机 倾斜摄影的现场数据采集效率提升了数十倍甚至更高。在 数据处理和分析阶段,自动化和智能化的流程也极大地缩 短了检测周期,实现了从“天”到“小时”的跨越。尽管 初期在无人机设备、专业软件和技术人员培训方面投入较 高,但从项目的全生命周期来看,该技术通过减少人力成 本、提高决策准确性、避免返工和安全事故,能够带来显 著的长期经济效益。

### 3.2 面临的挑战

倾斜摄影的 OSGB/S3M 等数据标准与 BIM 的 IFC/RVT 等标准之间存在天然壁垒,数据格式转换过程 中可能存在信息丢失或失真。行业内亟需建立统一的融合数 据标准和交换协议。目前的融合多停留在几何叠加和简单 的属性挂接层面。如何实现 BIM 的语义信息向实景模型 的自动传递与映射,以及如何基于融合模型进行更深层次 的智能分析(如自动化的结构损伤评估、能耗模拟等), 是未来研究的重点。对于具有大面积玻璃幕墙、复杂遮挡、 纹理单一的建筑表面,倾斜摄影的自动建模效果往往不佳, 容易出现模型空洞、拉花和变形,影响检测精度。这需要 融合激光点云等多源数据进行补充和修复。融合后的模型 数据量巨大,对硬件配置和网络带宽要求高,限制了其在 移动端和 Web 端的便捷应用。发展高效的模型轻量化技 术和云端流式加载技术是推广应用的关键。

## 4 未来展望

面向未来,倾斜摄影与 BIM 融合的建筑检测技术将 朝着更加智能化、自动化和一体化的方向发展。引入深度 学习、计算机视觉等 AI 技术,可以实现对融合模型中海 量信息的自动识别与分析。例如,自动识别裂缝、钢筋锈 蚀等病害并进行量化评估;自动比对施工现场实景与 BIM 模型,实时生成进度与质量偏差报告,实现无人化智能巡 检。构建动态数字孪生:将融合模型与物联网(IoT)传 感器采集的实时监测数据(如温度、湿度、应力、位移等) 相结合,构建一个能够实时反映建筑物物理状态、并能进行

模拟预测的动态数字孪生体。这将使建筑检测从事后的被动响应,转变为事中的实时监控和事前的预测性维护。未来的技术应用将更多地依托于云端一体化平台,集成数据采集、处理、融合、分析、可视化和协同管理等全部功能。用户无需安装复杂的专业软件,通过浏览器或移动 App 即可随时随地访问虚实结合的建筑模型,进行检测工作和协同决策,这将极大地降低技术应用门槛,促进其在更广泛范围内的普及。

## 5 结论

倾斜摄影与 BIM 技术的融合,通过构建一个高精度、信息丰富、虚实共生的三维数字底座,为建筑检测领域带来了深刻的变革。该技术不仅显著提升了检测工作的精度、效率 and 安全性,更通过可视化的数据管理和分析,优化了建筑项目从施工到运维全过程的决策支持能力。尽管当前在数据标准、融合深度、算法智能等方面仍存在挑战,但随着数字孪生、人工智能等相关技术的不断成熟和交叉赋能,倾斜摄影与 BIM 融合的建筑检测技术必将在推动建

筑行业数字化转型、实现智慧建造与智慧运维的宏伟蓝图中扮演愈发重要的角色。

本文受以下项目支持:江苏省教育科学规划重点课题(B/2025/02/26),江苏省职业教育教学改革研究课题(ZDZC66),中铁建(无锡)工程科技发展有限公司暑期访问工程师项目,无锡市科协软科学研究课题(高层建筑外立面无人机巡检平台建设)。

## [参考文献]

- [1]杨柳,侯苏伟,李东浩.基于无人机倾斜摄影和 BIM 的矿区三维模型建模[J].金属矿山,2025(11):295-300.
  - [2]郭润泽,孟凡超.基于 BIM 与倾斜摄影测量的模型精细化融合与可视化研究[J].智能城市,2025,11(6):39-41.
  - [3]孙保燕,莫春华,薛伟,等.红外成像和倾斜摄影三维融合在建筑检测中的应用[J].红外技术,2022,44(9):991-998.
- 作者简介:康凯(1990.3—),男,毕业院校:罗蒙诺索夫莫斯科国立大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:无锡城市职业技术学院,职称:讲师。