

三维激光扫描及放样机器人与 BIM 技术在旧建筑改造中的结合应用分析

文 / 李宏宇 天津华汇工程建筑设计有限公司

摘要: 随着城市发展和建筑行业的进步,旧建筑改造项目日益增多。本文深入探讨了三维激光扫描、放样机器人与BIM技术在旧建筑改造中的结合应用。详细阐述了这些技术的原理和 workflows,通过实际案例分析了其在旧建筑改造中的具体应用,包括现场测量、模型建立与校对、深化设计、碰撞检测、施工交底等方面。同时也指出了应用中存在的问题,如数据处理难度大、设备成本较高等,并提出了相应的解决措施,旨在为相关项目提供参考,推动这些技术在旧建筑改造中的更广泛应用,提高改造效率和质量。

关键词: 三维激光扫描; 放样机器人; BIM技术; 建筑; 改造

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.043

引言

在城市更新的大背景下,旧建筑改造成了建筑领域的重要任务之一。我国的建筑设计行业对旧建筑的改造与再利用的研究刚刚起步,而旧建筑由于建造年代各异,原始资料可能不全,且存在结构安全、功能及用途改变等问题,给改造工作带来了诸多挑战。为了更高效、精确地进行旧建筑改造,三维激光扫描、放样机器人和BIM技术等先进技术手段逐渐得到应用。

一、相关技术阐述

(一) 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术作为一种非接触式快速测量手段,其主要是通过向物体发射激光束、接收反射激光束,通过测量激光束返回时间和角度,从而获得目标物体表面大量密集的三维坐标、反射率、颜色等方面。运行原理与激光雷达相似,但测量精度、分辨率更高。测量期间,使用三脚架、移动平台,安装扫描仪,采用垂直、水平旋转的方式对物体全方位扫描。每次扫描都会产生大量的“切片”数据。将切片数据进行处理和拼接,搭建完整的物体三维点云模型。

三维激光扫描技术具有速度快、精度高、密度高等特点,可在短时间内获取大量空间数据,精度可达到毫米级别。从而高精度获取物体复杂形态以及细微特征,因此在大型建筑、工业设备、文物古迹等方面都能适用,可真实、详尽的以数字化形式重现。但该项技术也存在一定缺陷,例如在透明、反光物体表面,激光反射效果较差,影响测量精度。再者,扫描期间可能会受到灰尘、光线等因素影响,造成部分数据缺失或增大误差。

(二) 放样机器人

放样机器人是一种基于高精度测量、定位技术的智能化工业设备(施工设备),主要结构包括机器人本体、控制器、激光发射器、接收器、测量传感器。在运行期间,需要在BIM模型中标定放样控制点坐标,将坐标数据导入到和机器人配套的专业软件当中。在施工现场对已知现场控制点进行测量、定位,建立和BIM模型相对应的坐标系。

在放样操作当中,操作人员可在终端上选取BIM模型中的放样点,机器人根据程序逻辑、智能算法,调节自然的位置与姿态,发射红外激光照射到现实点位。施工人员根据激光指示的具体位置进行标记、施工,这样就实现了将BIM模型设计转化为现场实际施工。

放样机器人的优点为效率高、精度高、自动化程度高,可有效减少人为因素影响、减少劳动力投入,提高施工的一致性和精准性。再者,机器人还可以实时对设计模型、施工结果偏差进行监测,第一时间调整偏差,保障施工质量达标。

(三) BIM 技术

BIM技术是指建筑信息模型技术,是一种基于数字化建筑设计、管理的方法。BIM可根据数据信息打造建筑三维模型,但也并非仅是三维图形展示,而是涵盖了建筑项目全生命周期的各类综合信息数据库。在BIM模型中,各个建筑构件都被赋予了属性信息,如材料、尺寸、施工工艺、造价等。这些信息相互联系、影响,形成了动态、完整的建筑信息系统。

使用专业BIM软件,可在虚拟环境中进行建筑设计、优化,直观看到建筑工程的外观效果、空间布局、内部结构。再者,BIM技术还支持多专业协同设计,不同专业设计师均可在同一个模型中展开设计,及时发现并解决各专业之间的冲突与矛盾。施工阶段BIM模型可实现施工进度模拟、资源管理、成本控制等功能。可根据模型的仿真模拟制定施工计划,合理安排人、财、物等资源,从而提高管理水平和施工效率。运营维护阶段,BIM模型可为设施管理提供精准的建筑信息,方便各类设备维护、空间管理、能耗分析。

整个来看,BIM作为一种专门为建筑行业设计的一类软件系统,可实现建筑信息集成、共享、协同管理,为建筑行业带来了全新的工作模式、管理理念,为保障建筑项目质量、效率、可持续性带来了技术支撑。

二、应用流程与优势

(一) 现场测量与数据采集

在搭建BIM模型前,使用BIM放样机器人对待改造建

筑及其场地进行测量,对现场尺寸进行复核,采集模型创建所需的基本定位数据。该过程十分必要,是后续精准建立BIM模型的关键点。同时使用三维激光扫描技术对各个楼层进行激光扫描,从多个角度采集点云数据,点云数据丰富而详细,让BIM建筑模型精度进一步提升。通过全方位扫描可采集到建筑每个细节,包括独特装饰、复杂结构、破损变形等^[1]。

由此可见,通过技术结合可快速、精准采集到建筑工程尺寸和形状信息。相比传统人工测量,其有效降低了测量误差、减少遗漏,为后续搭建模型、方案设计奠定了基础。再者,多点扫描功能还可以覆盖建筑各个角落,保障数据的全面性、完整性,避免产生测量盲区造成设计误差偏大。

(二) 点云模型和BIM模型建立

将所采集的点云数据进行精心整合、处理,使用专业软件算法、功能,将各个站点扫描数据拼接形成各个楼层的高精度点云模型。点云模型可精准反映旧建筑现状,且每个数据都能够精准呈现。再者,根据原设计施工图搭建的BIM模型,将其与点云模型整合。综合应用两个模型的优势,其中BIM模型涵盖了设计规划与建筑信息,点云模型提供真实写照。

通过建立模型,设计师可直观看到旧建筑现状和原设计之间的差异性,有助于设计人员在早期旧找到潜在的问题与冲突,以免在施工期间大面积修改和调整,保障施工效率和施工成本。同时,通过模型设计的方式可激发设计师的创新思路,让设计师可根据实际情况展开更合理、更优化的调整。

(三) 碰撞检测与分析校对

模型整合后,使用先进软件工具进行全方位的碰撞检测与分析校对,该过程可精细判断模型是否存在冲突情况。通过对建筑结构、装饰构件、设备管线等各类元素空间关系的精准分析,对BIM模型空间位置、尺寸进行修正,让BIM模型和点云模型更加匹配,将潜在的碰撞冲突消除。

通过碰撞检测与分析校对有助于及时发现现场实际情况与设计图纸不一致的问题,如未完全按照图纸施工,在长时间的使用过程中,改造和装修改变了原有建筑构件等情况。尽早发现这些问题,可保障项目设计施工顺利进行,降低项目风险以及潜藏的不确定性。

(四) 改造设计BIM模型深化

根据改造设计进行各专业BIM模型搭建工作。该阶段需要根据最新的施工图纸,将各专业的设计数据输入到模型当中。随着项目推进、设计变更,根据最新信息对模型进行更新、维护,保障BIM模型始终都能精准反映最新、最精准的设计状态。

通过BIM模型深化,可更精准反映出设计变更、施工要求,为各专业协同作业提供一个实时更新的三维模型,为各专业施工提供指导。有助于避免各专业之间不协同、不统一产生的矛盾,保障各专业之间高效协作。通过实时更新模型,可提前发现潜在问题并加以解决,

优化施工方案,保障施工质量和效率。

(五) 模型整合和专业间碰撞检测

将各个专业建立的BIM模型全面整合,形成一个包含建筑结构、设备管线、装饰装修等元素的综合模型。模型整合之后再次进行深入碰撞检测,检查不同专家之间的交叉、衔接部分,及时记录、汇总碰撞问题,自动生成详细的问题报告,为后续协调、解决问题提供依据。

全面检查不同专业之间的冲突、不协调情况,以免在施工阶段产生问题,减少施工期间协调时间、成本浪费。通过提前发现问题、解决问题,可保障项目施工顺利进行,从而降低施工成本、施工风险,保障施工效率和质量。

(六) BIM例会协调

定期召开BIM协议会议,将碰撞检测分析中发现的问题在会议上集中讨论。在现场直接展示模型,让各方看到问题所在,共同提出解决方案。这种直接的沟通方式打破传统信息沟通不畅、问题回复不及时等问题,让各专业协同作业,施工效率大大提升。

例会协调改变了传统项目信息共享速度慢的问题,快速、有效解决问题,避免影响项目进度。定期例会加强各专业沟通,加强各方的合作与信任,共同推进项目进度^[2]。

(七) 优化处理

根据深化设计的施工图纸,借助BIM模型的强大仿真模拟、分析能力,优化处理装饰面板,如面板分缝、排版精心设计等,既要实用又要美观。将复杂造型平板化处理,降低施工成本与难度;合理安排龙骨,提升结构稳定性、安全性;弯曲构件拉直处理,提升材料利用率。通过模型导出优化后的图纸和轻量化模型,在现场用移动终端直接查看,指导现场施工。

三、实际应用案例

某旧厂房改造项目始建于20世纪80年代,建筑面积约为5000m²,由于厂房建设年代久远,原始资料严重缺失,且厂房内部结构十分复杂,空间布局缺乏合理性,极大增加了项目改造的难度。为了保障建筑改造项目顺利完工,在设计阶段决定采用三维激光扫描及放样机器人、BIM技术。其主要应用方法为:

(一) 三维激光扫描获取点云数据

使用三维激光扫描仪对旧厂房全方位扫描,技术人员在厂房建筑商选择了20个以上的扫描点,实现厂房的全方位覆盖。通过高频率激光脉冲发射与接收,采集速度为100万个/s,获取到大量点云数据信息,包含了厂房的每个细微信息,如墙壁的平整度最大偏差为5cm、部分梁柱存在3°倾斜;基础尺寸与原设计存在10cm偏差等。

(二) 点云数据处理和模型建立

将所采集到的点云数据导入到点云模型软件当中处理,通过去噪、拼接、优化等方式,建设场厂房现状的三维点云模型。该模型精度达到10mm,可精准反映厂房的实际情况。

（三）模型对比与校核

将点云模型导入到BIM软件当中，和预创建的BIM模型进行对比、校核。借助软件的强大分析功能，即可快速找出多处明显差异。如原设计模型中一根宽度为8m的钢梁位置与实际的厂房立柱发生了冲突，导致安装空间不足50cm；部分设备管线的走向与实际的结构孔洞不匹配，偏差达到30cm，需要重新调整布局。

（四）BIM模型深化与调整

根据现场具体情况、优化建议，重新布局和调整结构与管线。针对上述提出的钢梁、立柱冲突情况，设计团队通过反复论证，决定将钢梁位置与跨度进行调整，跨度从之前的8m缩短至6m，加强与相邻构件连接，增设2根加强筋，提高结构的整体稳定性。针对设备管线、结构孔洞不匹配等问题，对管线走向重新规划，避免预留孔洞，减少弯头、交叉，将管线长度缩短约20cm，提高了系统运行效率和维护便利性。

（五）装饰装修中应用BIM

借助BIM模型对墙面、地面装饰面材料进行精心的排版设计，如厂房大面积墙面进行BIM分析，决定采用1.2*2.4m的大块铝板装饰，优化铝板分缝位置与尺寸，原设计的分缝宽度为10mm，后调整为15mm，让整体装饰效果更加大气、美观。地面处理中根据厂房功能区分和人流走向，选择不同颜色、类型的地砖，通过优化设计将地砖损耗率从原计划的9%降低到了5%，通过精心排版，提高了材料利用率，避免资源浪费。

（六）放样机器人的精准定位

使用BIM放样机器人精准定位可保障各类装饰安装精度，厂房入口处的大型标志牌施工中，通过机器人放样保障了各个部件安装精度。机器人可对标志牌安装点位精准定位，最大误差不超过5mm，角度误差不超过1°，保障了标识牌安装精度以及视觉效果^[3]。

（七）BIM例会解决问题

定期组织各个专业负责人召开BIM例会，其中某次例会上施工团队提出了问题：施工现场空间限制，原设计某个区域吊顶高度无法满足标准，实际施工要比设计低30cm。借助BIM模型仿真模拟，设计团队在短时间内就提出了设备布局、管线走向解决方案。在相邻空间重新排列大型设备，对管线爬升路径进行优化，在不影响功能前提下，保障了吊顶高度达标。

（八）施工交底与指导

借助BIM软件施工流程仿真模拟方法，对施工人员展开技术交底，特别是在复杂节点处理中，如钢结构、混凝土结构连接处，使用三维仿真模拟施工的方式，让施工人员直观掌控施工流程和工艺标准。例如在连接节点处需要安装预埋件，精度要求在2mm以内，之后焊接钢结构，质量要求达到二级标准，最后浇筑混凝土，强度为C30。每个施工步骤均有详细标注和说明，让施工人员对施工流程一目了然，降低错误发生概率。

（九）应用效果

借助三维激光扫描、放样机器人、BIM技术的合理

应用，本次旧厂房改造项目不仅保质保量完成了作业，还极大的缩短了施工周期。原设计方案预计改造周期为18个月，最终改造完成共用了15个月，提前3个月完成项目施工。同时，通过对设计方案、施工方案进行优化，降低了施工成本，减少了约15%预算，实际成本节省约200万元。竣工后厂房结构安全性、功能性、美观性均有保障，取得了非常高的综合效益。

四、现存问题与解决措施

（一）数据处理难度大

三维激光扫描所生成的大量点云数据、BIM模型中复杂信息，对数据处理与存储提出了非常高的要求。需同时有专业的软硬件作为支撑，且有专业人员操作。

对此需要加强系统处理能力，投入高性能计算机设备，更好、更快地应对大量点云数据、BIM模型复杂信息。除了硬件设施支撑外，还要采用专业、功能强大的处理软件，如 Leica Cyclone、Trimble RealWorks 等。这些专业软件可快速完成点云数据的拼接、去噪、分类等功能，提高三维模型生成效率。还需要优化数据处理算法，如采用并行计算技术，将数据处理任务分配给多个计算核心上同时计算，从而缩短数据处理时间^[4]。

（二）不同软件之间的兼容性问题

数据交互期间，不同三维激光扫描软件、BIM软件等并非采用统一标准协议，可能存在不兼容问题，影响数据的传输与共享。

对此，行业应推行建立统一的数据格式、接口标准，如 IFC (Industry Foundation Classes) 标准，保障不同软件间的数据共享和交换速率。还可以应用数据转换功率，将不同系统生成的数据格式转化为统一格式，再将其导入到软件当中。

结束语

综上所述，三维激光扫描及放样机器人与BIM技术在旧建筑改造中的结合应用，为解决旧建筑改造中的难题提供了有效的途径。通过应用新技术不仅能够提高旧建筑改造的效率和质量，还能够降低成本、减少资源浪费，实现建筑行业的可持续发展。在未来的城市更新和建筑改造项目中，应充分发挥这些技术的优势，为创造更美好的城市环境和建筑空间贡献力量。

参考文献

- [1] 王全, 张月, 王玉泽, 等. 三维激光扫描及放样机器人与BIM技术在旧建筑改造中的结合应用[J]. 施工技术, 2018 (1): 400-403.
- [2] 张锦源, 尹波, 雷瑞德, 等. BIM技术在老旧建筑改造工程中的应用分析[J]. 四川水泥, 2024 (1): 36-38.
- [3] 徐威城, 邓小环, 钟卫东, 等. BIM技术在老旧建筑改造中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023 (5): 522-524.
- [4] 南英. BIM技术在老旧厂房改造项目设计中的应用与思考[J]. 建设科技, 2021 (15): 33-36.