



图 2 无人机测量与传统验收测量数据比对分析流程图

参考文献

[1] 白丹丹. 无人机遥感技术在海域动态监测中的应用探究 [J]. 科技与创新, 2025, (18): 131-134.

[2] 汪娇. 利用无人机倾斜摄影测量技术构建城市三维实景模型的关键问题研究[C]// 河南省豫商经济文化交流协会. 2025中国建

筑经济研讨会科技与管理分论坛论文集. 江苏宏信地理信息技术有限公司; 2025: 262-263.

[3] 赵博, 闫吉顺, 王鹏, 等. 填海项目竣工海域使用验收测量关键技术探讨 [J]. 海洋信息技术与应用, 2021, 36 (04): 32-36.

Application of 3D Scanning Technology in the Assembly of Special-shaped Steel Structure Building

Ning Xin

Nostel Measurement Technology (Beijing) Co., Ltd., Beijing, 100025, China

Abstract

With their flexible designs and superior structural performance, irregular steel structures have become the predominant structural form for modern public buildings and landmark constructions. However, the non-standardized components, complex spatial surfaces, and stringent assembly precision requirements pose significant challenges to traditional manual inspection and manufacturing processes. To enhance assembly accuracy and construction efficiency in irregular steel structures, this study focuses on 3D scanning technology to analyze its technical compatibility with structural assembly. It systematically explores key applications in factory prefabrication, on-site hoisting and positioning, and component splicing. The research also clarifies quality control measures for point cloud data acquisition, processing, model comparison, and on-site construction. A practical application case study of an irregular steel structure cultural venue project is conducted to validate the technology, aiming to provide valuable references for industry professionals.

Keywords

3D scanning technology; irregular steel structure; building assembly; precision control; point cloud data; BIM model

三维扫描技术在异型钢结构建筑装配中的应用

辛宁

诺斯顿测量技术(北京)有限公司, 中国·北京 100025

摘要

异型钢结构以其灵巧的造型和优良的结构性能,已成为现代公共建筑和地标建筑的主要结构型式,但由于其结构部件的非标化、复杂的空间曲面以及对装配精度的苛刻要求,使得传统的手工检测和装配制造面临着许多困难。为提升异型钢结构建筑的装配精度与施工效率,本研究以三维扫描技术为核心,分析其与异型钢结构装配的技术适配性,系统探究该技术在工厂预制、现场吊装定位、构件拼接装配的应用关键技术,同时明确点云数据采集、处理、模型比对及现场施工各环节的质量控制要点,并以实际异型钢结构文化场馆工程为对象开展应用验证。以期为行业内相关人员提供参考。

关键词

三维扫描技术; 异型钢结构; 建筑装配; 精度控制; 点云数据; BIM模型

1 引言

异型钢结构因其在空间形态上的灵活多变和材质上的高强度,在大型公共建筑如体育馆、文化中心、机场航站楼等中得到了越来越多的应用。异型钢结构是一种典型的非标准曲面构件,其空间几何关系复杂,装配时对构件尺寸精度和空间定位精度提出了很高的要求,而传统的手工丈量、全站仪测量方法存在着效率低、测点有限、精度低、难以还原复杂表面形貌等问题,容易造成构件装配偏差超标、拼接间隙过大、返工率高等问题,极大地制约了工程的质量和进度。三维扫描是一种高精度、无接触、无接触的数字化测量方法,

能够快速获得目标点云,并将其从实物到数字模型的精确转换,使其能够很好地适应复杂外形的检测和装配要求。当前,异型钢结构3D扫描技术缺少对整个装配过程的系统研究。为此,本研究系统梳理三维扫描技术在异型钢结构装配各阶段的应用关键技术,构建配套的质量控制体系,通过工程实例验证技术应用效果,为异型钢结构装配施工的数字化升级提供技术支撑。

2 三维扫描技术与异型钢结构装配的技术适配性

三维扫描技术与异型钢结构装配的技术需求形成高度适配,从技术层次上解决传统的装配式建造的关键痛点。面向异型钢结构构件的非标化和复杂曲面特性,通过三维点云获取,实现构件的真实几何形状的数字还原,弥补了传统二维图无法准确描述复杂空间关系的缺陷。面向高精度装配需

【作者简介】辛宁(1978-),男,中国陕西人,本科,从事工程测量领域三维测绘核心技术的优化与成果转化,三维空间信息可视化等关键技术研究。

求,本项目提出的高精度测量特征,可在毫米尺度上实现零件尺寸和装配空间的精确测量,为精确下料安装提供数据支持。三维扫描具有快速获取功能,可以将以往数小时繁琐的人工测量工作减少到几十分钟,极大地提高了工程的效率。本项目以三维点云为研究对象,以其为基础,通过对多个工艺过程的高度协作,解决多个过程之间的相互协作,降低多个工序之间的误差传递。在此基础上,将点云和 BIM 模型相结合,实现异型钢结构装配过程的数字仿真和装配质量控制,促进装配式建造由“经验施工”到“数据驱动建造”的发展。

3 三维扫描技术在异型钢结构装配各阶段的应用关键技术

3.1 工厂预制阶段的扫描应用技术

预制是异型钢结构装配质量的根源,三维扫描是其关键技术,其关键在于准确地将其与设计模型进行匹配,以避免不合格部件进场。下料过程中,针对曲面钢板和弯折型钢的成形影响,拟通过地基 3D 扫描仪对毛坯进行全尺寸扫描,设定扫描精度 0.5mm;扫描过程中,建立空间点云模型,进行点云拼接,去除噪声点,精简冗余点云;将点云模型与 BIM 设计模型进行匹配,并对曲面曲率、装配孔位、截面尺寸等的误差大小进行分析,如有偏离,则及时引导工艺装备进行参数修正。在构件加工过程中,并通过点云与设计模型的一一对比,保证孔位中心误差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$,并对焊接界面的坡口尺寸、空间角度等进行测试,并生成三维检测报告,只有通过了检验的部件才能出厂和发运,从源头上对构件的质量进行控制。

3.2 构件拼接装配阶段的扫描应用技术

零件拼接和组装是异型钢结构建造的关键步骤,采用三维扫描方法对其进行精确测量,并对其进行模型校正,以保证安装位置和法向满足精度需求。在拼接之前,先对装配好的零件和待拼件的对接表面进行精确的扫描,扫描精度设定在 0.3mm 以内;然后,通过三维光栅扫描测量技术,对装配表面的曲面轮廓、螺栓孔位、焊缝等点云数据进行采集,并通过工业检测软件,对对接表面的间隙尺寸、错边量、螺栓孔的同轴度等进行分析,如有间隙,则零件进行局部调节,如果螺栓孔位的同轴度偏差超过允许值,则通过扩孔、补孔等方法来解决,保证拼接前的对接面精度达到要求。针对焊接、螺栓连接等工作,在焊接结束后,对焊接、螺栓连接等工序进行实时扫描,监测焊接后构件的变形情况,以及螺栓连接后的空间位置变化,如果焊接应力引起的构件局部变形,则通过火焰校正、机械校正等方法解决,防止变形的积累对后续组装造成的影响,从而达到对拼接组装的精度控制。

3.3 整体验收阶段的扫描应用技术

整体验收阶段三维扫描技术主要用于异型钢结构整体

空间形态与尺寸精度的全面检测,取代了传统的取样检查方法,实现了对整个建筑物进行了整体的数字化验收。首先,通过地面 3D 扫描仪与工作站扫描相结合的方法,对装配后的异型钢结构进行分区扫描,将编码目标均匀分布于结构面,保证每个扫描区域内点云信息能够无缝连接,从而得到完整的全尺度点云模型。在此基础上,通过全点云模型与 BIM 总体模型的精确匹配,通过面域对比,对整个钢结构的空轴、标高、表面形态等与设计模型的偏离情况进行分析,并抽取构件节点、关键受力位置的偏差数据,并对其所占的比例进行统计。最终,基于点云对齐的数字验收报告,确定结构的合格性,偏差部位,提出修正意见,如果出现不符合要求的地方,则通过点云的精确定位,引导修正,修正结束后,再进行一次检测,直到验收合格。数字化验收报告可以以项目竣工数据的形式归档,为以后的结构维修和改造提供精确的数字化数据支持。

4 三维扫描技术在异型钢结构装配应用中的质量控制要点

4.1 点云数据采集的质量控制

点云数据获取是 3D 扫描技术应用的前提,其质量直接关系到数据处理和模型对比的精度,其中设备标定、扫描参数设定、扫描路径规划和环境干扰抑制是其关键环节。仪器在投入使用之前,必须经过一系列的标定,其中有激光测头标定,双目相机标定,摄影测量模块标定,以保证仪器在运行中保持良好的工作状态,并保存校正记录以备查;依据各工序的精度要求,对扫描参数进行最适配设定,在工厂内进行预制构件检测、拼接对接检测等精细测量过程中,将扫描分辨率设定在 0.3-0.5 毫米以内,而在宏观测量过程中,如整体基础复测和整体钢结构验收等,则需要将扫描分辨率设定为 2-5 毫米,在保证精度的基础上提高采集效率。在扫描之前,规划出一条合理的扫描路径;对于异形曲面零件,采用多视角多工位的扫描模式,保证零件表面不存在扫描盲区;同时,在零件和工件之间,安排足够的编码目标,目标排列距离为 5-20 米,保证点云的拼接精度。在现场采集的过程中,要注意对周围环境的干扰,要避免强光、振动、粉尘等对扫描仪造成的影响,在户外施工中,最好是在多云的天气或者是早上或者晚上,这样可以避免被太阳直接照射到的激光反射出现偏差,在吊装、焊接等工作暂停的时候,才能重新开始扫描,避免因为设备的震动而影响数据采集的准确性。

4.2 数据处理与模型比对的质量控制

点云数据处理和模型对比是实现点云数据向建筑设计规范转换的重要环节,其质量控制主要体现在点云数据预处理、模型匹配和偏差阈值设置等方面。本项目拟采用“降噪-精简-拼接”的方法对点云进行预处理,通过专用软件剔除噪声、设备误差等引起的噪声和孤立点,在对冗余点云进