

历史文化街区三维激光扫描建模及空间分析应用

肖志高

江西方德工程勘察测绘有限公司 江西南昌 330000

摘要:历史文化街区作为城市记忆的重要载体,其保护与可持续发展日益受到重视。本文以历史文化街区为研究对象,探讨了三维激光扫描技术在该类区域建模及空间分析中的应用。通过阐述三维激光扫描技术的工作流程,包括数据采集、点云处理与三维模型构建,重点分析了基于高精度三维模型开展的空间形态分析、历史建筑结构评估、文化资源数字化建档以及街区空间利用优化等应用方向。研究表明,三维激光扫描技术能够快速、准确地获取街区复杂的空间信息,为历史文化街区的精细化保护、科学管理和合理开发提供了可靠的技术支撑与决策依据,有助于实现文化遗产保护与城市发展的和谐统一。

关键词:历史文化街区;三维激光扫描;三维建模

引言

历史文化街区是城市在长期发展过程中形成的,集中反映了特定历史时期的社会文化、经济生活和建筑艺术,承载着不可再生的历史信息和文化价值。随着城市化进程的加速,如何在快速发展中有效保护这些珍贵的文化遗产,同时满足现代生活的需求,已成为城市规划与管理领域面临的重要课题。传统的历史文化街区调查与记录方法多依赖人工测绘和影像拍摄,不仅效率低下、劳动强度大,而且难以全面、精确地捕捉街区复杂的三维空间形态和细节特征,尤其对于结构复杂、年代久远的历史建筑,传统方法往往存在数据精度不足、信息完整性欠缺等问题,难以满足精细化保护与管理的要求。近年来,随着测绘地理信息技术的飞速发展,三维激光扫描技术以其非接触、高效率、高精度、高密度数据获取等显著优势,在文化遗产保护、古建筑测绘、城市规划等领域得到了广泛应用。该技术发射激光束快速扫描目标物体表面,获取海量三维坐标点(点云数据),构建目标物体高精度三维模型,为后续空间分析等工作提供数据基础。将三维激光扫描技术用于历史文化街区建模与空间分析,可突破传统方法局限,实现对街区整体风貌、建筑单体细节和街巷空间关系的全面数字化记录与精准表达。

一、三维激光扫描技术概述

(一) 技术原理与设备类型

三维激光扫描技术是一种非接触式主动测量技术,通过发射激光束并接收目标表面反射信号,获取高精度三维空间坐标信息。其核心原理基于激光测距与角度测

量系统,通过高速旋转扫描镜实现水平与垂直方向的角度控制,结合时间飞行法(Time of Flight, ToF)或相位差法(Phase Shift)计算激光脉冲从发射到返回的时间差或相位差,进而确定目标点与扫描仪之间的距离。设备类型主要分为地面激光扫描仪(Terrestrial Laser Scanner, TLS)、移动激光扫描系统(Mobile Laser Scanning, MLS)及机载激光扫描系统(Airborne Laser Scanning, ALS)。地面激光扫描仪适用于静态高精度测量,单站扫描精度可达毫米级,常用于建筑立面、细部构件等精细结构的数据采集;移动激光扫描系统通过搭载在车辆或背包上的扫描设备实现动态数据采集,适用于街巷、院落等连续场景的快速扫描;机载激光扫描系统则通过无人机或固定翼飞机搭载,适用于大范围区域(如整个街区)的地形与建筑轮廓获取。不同设备类型在扫描范围、精度、效率等方面各有特点,需根据历史文化街区的空间尺度与精度要求选择合适设备^[1]。

(二) 数据采集与处理流程

三维激光扫描技术的数据采集与处理流程包括现场踏勘、扫描方案设计、数据采集、点云配准与去噪、数据分割与分类等环节。现场踏勘阶段需对历史文化街区的建筑布局、空间结构及遮挡情况进行详细调查,确定扫描站点位置与数量,确保覆盖所有关键区域(如建筑立面、街巷转角、院落内部)。扫描方案设计需明确扫描参数(如分辨率、采样率),通常建筑立面扫描分辨率设置为5 mm以内,地形扫描分辨率设置为10 cm以内;同时需考虑控制点布设(如靶标或全站仪测量点),用于后续点云配准。数据采集阶段需按照设计方案依次进行各

站点扫描, 确保相邻站点间重叠区域不低于30%, 以提高配准精度; 同时需采集辅助数据(如数码影像、GNSS坐标), 用于后续纹理映射与地理配准。点云配准采用迭代最近点(ICP)算法或基于控制点的配准方法, 将多站点数据统一至同一坐标系下, 配准误差需控制在3 mm以内; 点云去噪通过统计滤波(如半径滤波)或手动编辑消除由行人、车辆等动态目标产生的离群点。数据分割与分类基于几何特征(如平面、曲面)或语义信息(如墙体、屋顶、地面)将点云划分为若干子集, 为后续建模与空间分析提供结构化数据。整个流程需严格遵循《三维激光扫描测量技术规范》(GB/T 35767), 确保数据质量满足建模与分析需求^[2]。

(三) 技术在文化遗产保护中的优势

三维激光扫描技术在文化遗产保护中具有高精度、非接触、全要素记录、数据可重复利用等显著优势。高精度方面, 该技术可获取毫米级三维坐标数据, 能够精确记录历史文化街区中建筑构件的几何特征(如砖缝宽度、木雕纹路), 为文物修复与数字化存档提供可靠依据; 非接触方面, 扫描过程无需接触文物表面, 避免了对脆弱结构(如壁画、彩绘)的物理损伤, 符合文物保护“最小干预”原则; 全要素记录方面, 可同步获取建筑、地形、植被等多要素数据, 全面反映历史文化街区的空间格局与环境特征, 为整体保护规划提供基础数据; 数据可重复利用方面, 获取的点云数据可长期存储, 用于不同时期的变形监测(如墙体倾斜、基础沉降)、虚拟修复(如缺失构件重建)及数字化展示(如虚拟漫游、三维打印)。这些优势使三维激光扫描技术成为历史文化街区保护的重要技术手段, 为文化遗产的记录、研究、修复与传承提供科学支撑。

二、历史文化街区三维建模方法

(一) 点云数据获取与预处理

点云数据获取是三维建模的基础环节, 其质量直接影响后续建模精度。数据获取需根据历史文化街区的空间特征(如建筑密度、街巷宽度)制定扫描方案, 包括设站位置、扫描分辨率与重叠度控制。设站位置需覆盖所有目标区域, 避免盲区(如建筑转角、院落深处), 通常采用多站扫描方式, 相邻站点重叠度不低于30%; 扫描分辨率根据目标尺寸设定, 建筑立面扫描分辨率不大于5mm, 细部构件(如木雕、砖雕)分辨率不大于2mm; 重叠度控制通过靶标或特征点匹配实现, 确保不同站点数据可精确配准。数据预处理包括点云去噪、坐标配准与数据分割。点云去噪采用统计滤波(如半径滤波、统

计离群值移除)消除由环境干扰(如行人、车辆)产生的离群点, 保留有效数据; 坐标配准采用迭代最近点(ICP)算法或多站配准技术, 将不同站点的点云数据统一至同一坐标系, 配准误差控制在3mm以内; 数据分割基于几何特征(如平面、曲面)或语义信息(如墙体、屋顶、地面)将点云划分为若干子集, 为后续建模提供结构化数据。预处理后的点云数据需满足《三维激光扫描测量技术规范》(GB/T 35767)要求, 确保数据完整性与准确性^[3]。

(二) 三维模型构建流程

三维模型构建是将预处理后的点云数据转化为具有几何与语义信息的三维模型的过程, 主要包括曲面重建、拓扑优化与语义建模三个阶段。曲面重建采用三角网格建模(如Delaunay三角化、泊松重建)或参数化建模(如B样条曲面)方法, 将点云数据转化为连续曲面。三角网格建模适用于复杂几何结构(如屋顶、斗拱), 通过调整网格密度(如每平方米不少于10000个三角面)平衡模型精度与数据量; 参数化建模适用于规则构件(如柱、梁), 通过提取几何参数(如直径、长度)生成标准化模型。拓扑优化通过修复网格缺陷(如孔洞、自相交面)与简化冗余数据(如重复顶点)提升模型质量, 孔洞修复采用基于曲率插值或邻域点补充的方法, 自相交面通过网格分割与重建消除, 冗余数据通过网格简化算法(如边折叠)减少, 简化率控制在10%以内。语义建模通过赋予模型构件语义信息(如墙体、门窗、屋顶)实现结构化表达, 语义信息基于点云分类结果或人工标注生成, 模型需符合CityGML或IFC标准, 支持后续空间分析与应用。构建完成的三维模型需包含几何信息(如坐标、尺寸)、拓扑信息(如连接关系)与语义信息(如构件类型), 形成完整的三维表达。

(三) 模型精度与质量控制

模型精度与质量控制是确保三维模型真实反映历史文化街区空间特征的关键环节, 需贯穿建模全过程。精度控制通过多指标验证模型几何准确性, 包括尺寸误差(如构件长度误差不大于5mm)、位置误差(如坐标偏差不大于10mm)与形状误差(如曲面偏差不大于3mm)。尺寸误差通过对比模型尺寸与实测数据(如全站仪测量结果)验证, 位置误差通过检查模型坐标与控制点坐标的一致性验证, 形状误差通过计算模型曲面与点云数据的平均距离验证。质量控制通过多维度评价模型完整性、拓扑正确性与语义一致性。完整性检查确保模型覆盖所有目标区域(如无遗漏建筑、构件), 拓扑正确性检查确

保模型无几何缺陷（如孔洞、自相交面），语义一致性检查确保构件分类准确（如门窗类型标注正确）。质量验证需形成详细报告，明确模型精度等级（如一级精度适用于文物保护，二级精度适用于规划展示）与适用范围（如可用于数字化存档、虚拟修复或空间分析）。模型精度与质量控制的严格实施，可确保三维模型真实反映历史文化街区的空间格局与建筑特征，为文化遗产保护、规划与研究提供高精度数据支撑^[4]。

三、空间分析技术应用

（一）空间分析的基本方法

空间分析以三维激光扫描获取的高精度点云数据与三维模型为基础，核心采用空间句法、GIS空间叠加分析、三维缓冲区分析及空间可达性分析等方法。空间句法通过计算街区街巷的整合度、连接度与深度值，量化分析人流活动的潜在路径与空间渗透能力，明确街区内部流线的主次关系；GIS空间叠加分析将三维模型数据与历史保护等级图、用地性质图、基础设施分布图等矢量数据进行叠加，识别不同属性空间的重叠区域与冲突点；三维缓冲区分析针对街区内历史建筑、古树名木等保护要素，设定不同半径的三维缓冲范围，界定保护核心区与建设控制区；空间可达性分析基于三维模型中的路网数据与公共设施（如广场、商铺、公厕）坐标，计算各区域到达公共设施的最短路径与时间成本，为评估空间服务效率提供量化依据，这些方法的组合应用可实现对街区空间的多维度、精准化解析。

（二）街区空间结构特征提取

街区空间结构特征提取依托三维激光扫描建模获取的坐标、尺寸、纹理等高精度数据，重点提取街巷空间尺度、建筑布局模式与公共空间形态三类核心特征。街巷空间尺度提取需计算街巷段的平均宽度、两侧建筑平均高度及高宽比，同时统计街巷转折角度、坡度变化等细节参数，明确不同街巷的空间开合度与通行特性；建筑布局模式提取需统计街区内建筑的平面形态、占地面积、间距及朝向分布，分析历史建筑与现代建筑的空间分布规律，识别建筑集群的肌理特征；公共空间形态提取需测量广场、庭院等公共空间的面积、边界形态及与周边建筑的衔接关系，同时计算公共空间的视线通透率，判断其作为活动载体的适宜性，提取结果可直接反映街区空间的历史风貌特征与功能适配性。

（三）空间分析在保护规划中的作用

空间分析为历史文化街区保护规划提供科学决策支

撑，首要作用是明确保护优先级，通过空间句法识别的高整合度街巷、三维缓冲区分析界定的保护核心区，可作为优先保护对象，避免保护资源错配；其次可优化保护规划中的空间布局，基于空间可达性分析结果，调整公共设施的位置与规模，提升街区服务覆盖的均衡性，同时结合建筑布局模式提取结论，指导新建建筑的高度、形态设计，确保与历史肌理协调；再者能评估保护措施的实施效果，通过对比规划前后的空间句法参数、公共空间视线通透率等指标，判断规划方案是否维持或提升街区的历史空间特征与使用功能，避免过度商业化或建设性破坏，最终实现历史文化街区保护与利用的平衡，保障其历史价值与活态传承^[5]。

结语

综上所述，三维激光扫描技术及其在历史文化街区中的应用展现了显著的技术优势与实践价值。从数据采集到模型构建，再到空间分析的全流程方法体系，为文化遗产保护提供了科学、系统的解决方案。通过高精度点云数据获取与处理，能够真实还原街区的历史风貌与空间结构；依托先进的建模技术，可实现建筑构件的精细化表达与语义化管理；结合多维度空间分析，进一步挖掘了街区的空间特征与功能潜力，为空间优化与保护规划提供量化依据。未来，随着技术的不断进步与应用场景的拓展，三维激光扫描技术将在数据智能化处理、动态监测以及多源数据融合等方面展现出更大的发展潜力，助力历史文化街区保护工作向更加精准化、科学化的方向迈进。

参考文献

- [1] 吴才芬. 地面三维激光扫描应用于地下管线建设分析[J]. 城市情报, 2020(6): 110-111.
- [2] 贺磊, 孙灏. 三维激光扫描在地下空间测量中的应用研究[J]. 城市勘测, 2021(3): 4. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8262.2021.03.024.
- [3] 彭鹏, 陈斌, 王斌. 三维激光扫描技术在地下空间三维建模中的应用[J]. 视界观, 2021, 000(001): P.1-1.
- [4] 刘振国. 三维激光扫描在地下空间测绘中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(4): 4.
- [5] 陈超. 三维激光扫描技术在古建筑测绘建档与结构变形分析中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2022(005): 045.