

基于三维激光扫描技术的建筑工程测量研究

文 / 胡希丽 菏泽市测绘院
唐文德 菏泽市测绘院

摘要：对于建筑工程而言，测量是一切工作开展的基准所在。文章从这个角度入手，对三维激光扫描技术概况进行探究，结合建筑工程实践，对三维激光扫描技术在建筑工程中的测量方法进行探讨，还结合对应的工程案例，展现出该技术高效、精准、非接触的优势，从而使建筑工程的测量效率和质量不断提升。

关键词：三维激光扫描；扫描技术；建筑工程测量

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.023

引言

在建筑结构复杂化的背景下，传统测量技术的不足不断呈现出来，三维激光扫描技术有着非接触性、高密度、高效率的特点，因此可以成为现代建筑工程测量的重要工具。由此，在新形势下，探讨三维激光扫描技术在建筑工程测量中的应用问题是有必要的。

一、三维激光扫描技术基础

(一) 三维激光扫描原理

三维激光扫描，是以激光测距为基础，向目标物发射激光束，并且接收其反射的信号，据此精准计算激光往返的时间或者相位差，可以对目标点的空间位置进行界定。从本质来讲，该技术属于坐标系，激光测距获取的距离信息、扫描角度信息在融合之后，可以转化为三维直角坐标系下的点云数据。在实际扫描期间，仪器可以通过高速旋转的反射镜，实现多角度、高密度的采样，由此让海量空间点形成的三维点云模型得以构建。这样非接触式测量方式，有着高效、高精度的特点，可快速捕获复杂表面几何形态，让建筑工程测量能够有着更加全面的基础信息。下图1为三维激光扫描原理图。

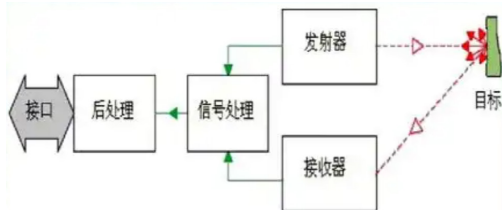


图1 三维激光扫描原理图

(二) 三维激光扫描仪类型与特点

不同的搭载平台，会使用不同类型的三维激光扫描仪，主要可以将其归结为：其一，地面类型的。操作灵活，比较适合室内外中小型建筑的精细测量场景，精度可以达到毫米级别，但可能会受到视场角限制，需进行多站拼接；其二，机载型的。依靠无人机或者直升机平台，能快速获取大范围地形以及建筑群数据信息，比较适合大型工地的整体规划场景，但是可能会受到天气因素的影响。下图2为具备三维激光扫描功能的无人机。其三，移动型的。多数将其安装在车辆或轨道设备上，可进行

动态连续扫描，多用于施工进度监测和变形观测场景。



图2 三维激光扫描功能的无人机

(三) 点云数据处理基础

点云数据处理，是三维激光扫描技术的关键性环节所在。在此期间，需要注意的有：预处理环节，要进行去噪、抽稀操作，使用统计滤波剔除离群点，依靠体素栅格，让数据朝着精简化的方向转变，在保留关键特征的基础上，让处理时间不断缩短。多站点云，会通过ICP算法进入精确配准状态，利用重叠区域的几何特点，让坐标朝着统一的方向发展。在特征提取期间，能使用RANSAC算法进行平面拟合、圆柱等操作，继而识别对应建筑构件。在高级处理环节，要关注点云分割、曲率分析、拓扑重建等环节，继而实现结构化模型的生成。

二、基于三维激光扫描的建筑工程测量方法

(一) 数据采集方案设计

1. 项目需求分析

数据采集前，要搞清楚工程类型、测量目标、精度要求等信息。如果是异形曲面建筑，还需要关注局部扫描密度；对于历史建筑修缮场景而言，必须考虑文物保护的特殊诉求。在研读设计图纸和施工规范的基础上，界定关键测量区域，继而设定分级采集方案。对于核心区域，可以采用高密度扫描方法，次要区域可以降低采样率。另外，还需要评估现场环境干扰因素，分析电磁场、振动源对仪器稳定性的影响，据此提前规划应对方案。

2. 测站布置原则

测站布置期间，要坚持全覆盖、少盲区、多冗余的基本原则。为此，需要注意以下几点：其一，采用螺旋式或交叉式布站法，使相邻测站之间保持一定的重叠率，

从而提升拼接精度。其二，如果是超高建筑场景，还需要分层设立控制点，结合强制对中装置消除累计误差。其三，在复杂结构区域，最好增加临时测站，使用便携式扫描仪补充盲区的数据信息；其四，选择测站高度时，要处理好视角、广度、点云密度之间的关系，选择合适的制高点，避免因遮挡导致数据缺失。图3为某项目测量布置流程图。

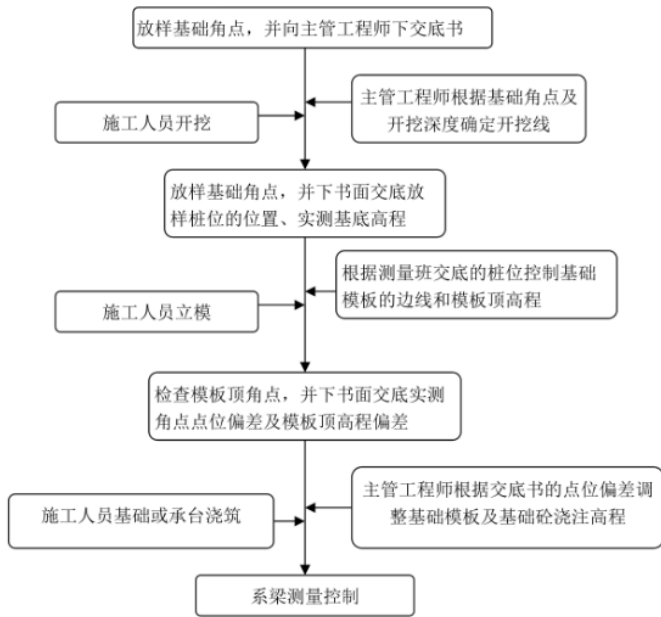


图3 某项目测量布置流程图

3. 扫描参数设置

其一，结合对象特征，动态调整对应的扫描参数。对于精细雕刻部分，可以采用微米级高精度模式；对于大面积平整墙面，可以采用快速扫描方案，以提高效率。其二，设置合理的扫描线间距和点间距，一般建筑立面建议点间距小于等于5mm，复杂节点区域降至2mm以内。其三，开启双轴补偿功能，可针对性修正仪器倾斜带来的系统误差。其四，为确保有一定的冗余空间，单站扫描时间应控制在总时长的80%以内，以便后续进行针对性调整。

(二) 建筑实体建模与测量

1. 建筑构件识别与分割

基于点云密度突变特征进行自动分割，最好采用人工交互手段，修正边界模糊区域。其次，使用区域增长算法，提取连续同质表面，结合法向量夹角判定构件分界面。对于梁柱交接等复杂节点，可以使用随机抽样一致性算法拟合几何基元，构建拓扑关系树。再者，可以引入BIM模型进行语义标注，将点云数据映射到设计方案中，实现构件的精准定位。

2. 尺寸测量与形位公差计算

通过最小二乘法拟合点云集生成理想几何要素，在此基础上计算实际尺寸与设计值的偏差。另外，在检测

平面度时，采用三点平面法；检测垂直度时，可以通过构建基准轴系进行矢量投影分析。此外，在计算形位公差时，可以引入对应的GD标准，使用迭代最近点算法优化匹配精度。

3. 体积与表面积计算

基于 α -shape算法重构建筑表皮，通过三角剖分生成网络模型。在计算体积时，可以使用蒙特卡洛积分法，在封闭空间内随机投点统计命中率。此外，计算表面积时要区分材质特性，对于幕墙系统可以单独计算透光率，进而折算对应系数。经过对比验证，点云法计算的建筑体积与传统清单工程量的误差不超过1.5%，明显比传统估算方法更有效。

(三) 变形监测与施工质量控制

1. 变形监测原理与方法

形成多期点云时空数据库，使用标志点匹配法，可以追踪特征点位移。在此期间，可关注以下两点：其一，通过Hough变换提取稳定特征线，将其作为参考基准，由此计算出各期点云相对变形量；其二，开发预警阈值系统，关联速率、不均匀沉降差值，若该差值大于规定标准，则启动自动报警。依靠上述措施，可以检测出微小变形，在深基坑支护场景、大跨度钢结构吊装场景中切实发挥实时监测效能。

2. 施工质量控制应用

在模板安装环节，依靠点云与CAD模型对比，可快速定位偏差超标的部位；接着在混凝土浇筑完成后，扫描表面获取平整度色谱图，在此基础上可指导打磨作业有效开展。在预制构件拼装期间，实时校验接缝间隙、错台量等，实践表明，构件安装合格率处于理想状态。更为重要的是，在数字化质检报告的帮助下，自动标注超差点位坐标，这些可以为后续质量追溯工作的开展奠定良好基础^[1]。

三、测量精度分析与验证

(一) 精度影响因素分析

三维激光扫描技术的测量精度，会受到多种因素的影响：其一，仪器自身误差。主要涉及激光测距模块的定时器分辨率、扫描电机的角度控制精度、光学系统的像差畸变。经过诸多试验发现，高端设备的标称测距精度可达到2mm，实际作业中可能会因为机械磨损、温度漂移等因素，让局部区域误差不断扩大；其二，环境干扰。比如大气湍流，会使激光束散射，粉尘颗粒会使信号不断衰减，如果处于户外强光或者雨雪天气场景中，有效回波率会下降，继而使得数据空洞数量不断增加；其三，目标物特性。该特性会直接影响反射效果，比如深色吸光材料容易出现弱回波，镜面反射会出现多路径效应，这些都会产生一定影响。其四，数据处理。数据处理过程中会产生误差，且该误差不断累积。点云配准常使用ICP算法，初始对齐偏差会通过迭代放大。

网格化重建时的插值方法会对最终模型精度产生各种影响。

（二）精度验证方法与实验

构建科学的验证体系，需要多维度交叉印证。在此过程中，需要考虑的要点如下：其一，采用标准件对比法，选择阶梯轴、正方体等精密量具，在可控环境中进行重复扫描，获取均值、标准差、置信区间等。经过实验发现，对边长 500mm 的标准立方体进行 20 次扫描，三轴方向的平均测量误差都处于技术标准范围内。其二，采用现场对比验证法，选择典型工程场景，使用全站仪、水准仪等仪器对关键特征点进行复测。其三，开展重复性实验，在同一个测站连续采集 5 组点云数据，计算相邻两期数据的坐标变换矩阵，确定平移向量标准差、旋转角标准差，它们都处于合理范围内，这意味着该系统在短期内足够稳定^[2]。

（三）精度提升策略

在精度提升的环节，需要注意的节点有：其一，硬件维度，可以选择有自动温度补偿功能的扫描仪，配备防抖支架，使振动噪声处于被压制的状态。如果是大型工程，往往会采用多台设备组网观测手段。其二，数据采集环节，要设定严格的实测方案，控制单站点云密度不低于每平方米 4 个点。对于复杂曲面区，可以采用螺旋式扫描轨迹方案，依靠 BIM 模型进行语义校正。比如对于某超高建筑项目，植入 AR 二维码人工靶标，可以将幕墙安装定位精度提升到理想状态。其三，在质量控制体系建设期间，要建立三级校验机制。在数据勘察初期，以剔除粗差为主要内容；在精细化处理阶段，以闭环检验为主要任务。最后通过第三方检测机构认证，获取对应结果^[3]。

四、工程应用案例分析

（一）项目概况

某市历史文化街区改造工程中，有许多明清时期的古建筑群落，包括砖木混合结构的民居、祠堂、石构牌坊等各类文物建筑。由于建筑年代久远、形制复杂，使用传统测量手段往往无法获取完整的屋面曲线、雕花构件的精细特征，也难以发现墙体倾斜、梁架变形等问题。在项目开展过程中，需要高度关注现状测绘、结构安全评估、修缮方案科学设计、施工过程监测等环节，这样才能提高测量精度，确保获得完整的技术应用方案。

（二）三维激光扫描测量实施方案

对于该项目而言，使用的是地面型、移动式扫描仪结合方案。考虑到院落空间狭小、通视受限，在主要天井会设置 6 个固定观测站，配合手持扫描仪，让室内死角的信息得以获取。对于高耸的马头墙，使用的无人机搭载的轻型扫描模块，让顶部补扫成为可能。再者，在

扫描参数设置期间，会将关注点放在：点间距小于等于 3mm，单站扫描时间控制在 8 分钟，依靠靶标球，实现多站点云精准配置。在数据采集之后，会将 Cyclone 软件使用进去，完成去噪处理工作，使用随机抽样一致性算法，提取对应的屋脊线、柱础等关键特点，在此基础上可以生成正射影像图与三维模型。再者，同步建立动态监测系统，在重点构件上，还可以布置反光片，每周进行周期性扫描，对位移变化进行追踪^[4]。

（三）测量成果与应用效果

测量工作获取点云数据量达到 1.2 亿个，实现了对应建筑信息模型的构建。在修缮设计环节，设计人员通过截面切切功能，还原了月梁斗拱的榫卯节点，继而发现多数隐蔽的结构裂缝；施工团队会结合点云生成立面展开图，精准放样出门窗位置，让放样耗时不断缩减；变形监测数据呈现，厅堂东侧山墙最大偏移量为 4.7mm，及时触发对应预警，迅速采取了对应加固措施。相比较之前传统全站仪的方案，外业测量效率明显提升，内业建模周期也在不断缩短，整体成本也被降低。也就是说，该技术方案，完整保留了古建筑的历史信息，还为后续保护性开发工作开展提供了数据支撑，这意味着三维激光扫描仪，的确在文化遗址保护领域中发挥着多维度的价值^[5]。

结语

综上所述，三维激光扫描技术在建筑工程测量场景中的应用，可以发挥其在数据采集、智能化数据处理中的效能。经过上述的实践发现，无论是在建筑实体建模中、还是在形位公差计算场景中、亦或是在变形监测场景中，该技术都可以展现出独特的价值，尤其是对于古建筑保护与复杂结构施工而言，其价值更加多元，值得将其推广使用到同类型的诸多工程中去。

参考文献

- [1] 黄悦东, 张森原. 三维激光扫描技术在复杂工程测量中的应用及其精度优化 [J]. 科技视界, 2025, 15 (09): 66-69.
- [2] 王琨, 周长标, 王春涛, 朱泽汇. 三维激光扫描技术在建筑工程中的应用 [J]. 工程质量, 2024, 42 (12): 24-26.
- [3] 温奕杰. 三维激光扫描技术在城市建筑工程竣工测绘中的应用研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (34): 183-185.
- [4] 徐尚政, 徐立勇, 朱日俊. 三维激光扫描技术在建筑工程测量中的应用 [J]. 经纬天地, 2024, (04): 47-50.
- [5] 袁媛. 地面三维激光扫描技术在工程测量中的应用 [J]. 电子技术, 2024, 53 (06): 224-225.