

# 三维激光扫描技术在历史建筑保护测绘中的应用

王琛

江苏省地质局第一地质大队

DOI:10.12238/gmsm.v7i7.1914

**[摘要]** 本研究详细阐述了三维激光扫描技术的原理、设备类型及其在历史建筑现状测绘和结构安全性评估中的应用实例。分析表明,该技术具有高精度、高效率和非接触式测量的优势,但在数据处理和设备成本方面存在挑战。文章提出了结合BIM技术、人工智能算法和探索低成本设备的创新应用策略,以促进三维激光扫描技术在历史建筑保护领域的深入应用。

**[关键词]** 三维激光扫描技术; 历史建筑保护; 测绘应用; BIM技术融合

中图分类号: G267 文献标识码: A

## Application of 3D laser scanning technology in historical building protection surveying and mapping

Chen Wang

The First Geological Brigade of Jiangsu Geological Bureau

**[Abstract]** This study elaborates on the principle, equipment types, and application examples of 3D laser scanning technology in the surveying and structural safety assessment of historical buildings. Analysis shows that this technology has the advantages of high precision, high efficiency, and non-contact measurement, but there are challenges in data processing and equipment cost. The article proposes an innovative application strategy that combines BIM technology, artificial intelligence algorithms, and explores low-cost equipment to promote the in-depth application of 3D laser scanning technology in the field of historical building protection.

**[Key words]** 3D laser scanning technology; Preservation of historical buildings; Surveying and mapping applications; BIM technology integration

随着我国历史建筑保护意识的不断提高,传统的测绘技术已难以满足现代文物保护的需求。在此背景下,三维激光扫描技术作为一种新兴的测绘手段,逐渐在历史建筑保护领域崭露头角<sup>[1]</sup>。本研究旨在探讨三维激光扫描技术的原理、设备及其在历史建筑保护测绘中的应用,分析其优势与挑战,并提出相应的创新应用策略,以期为我国历史建筑保护测绘事业提供有益的参考。

### 1 三维激光扫描技术原理及设备

#### 1.1 技术原理

三维激光扫描技术通过发射高频激光束扫描物体表面,获取高精度的空间点云数据,这些数据包含物体表面的详细几何信息<sup>[2]</sup>。该技术由激光发射器、接收器和旋转机构组成,通过记录反射光的时间差和强度来计算空间坐标,形成完整的点云数据。在数据处理环节,经过去噪、滤波和配准等步骤,最终利用专业软件将点云数据转换为高精度的三维模型。这一技术在历史建筑保护测绘中的应用,不仅提高了测绘精度和效率,还避免了传统测绘方法可能造成的人为误差和对建筑的二次破坏。

#### 1.2 设备介绍

目前市场上主流的三维激光扫描设备主要包括地面式、手持式和无人机搭载式三种类型。

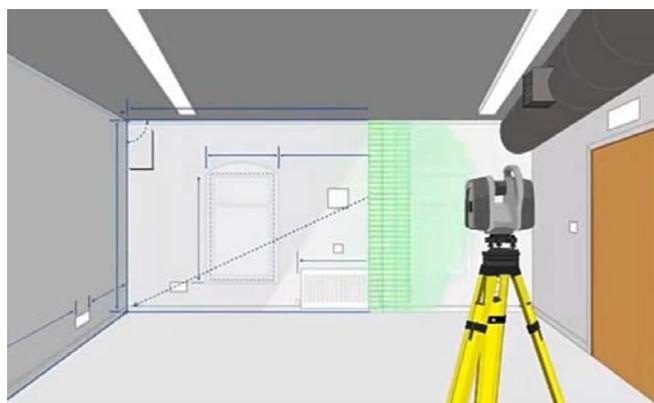


图1 地面式三维激光扫描

1.2.1 地面式三维激光扫描设备。地面式三维激光扫描设备通常安装在三脚架上,具有高精度和大范围扫描的特点,见图1。

此类设备适用于大面积、高精度的测绘任务,如城市建筑、桥梁和隧道等大型结构的扫描<sup>[3]</sup>。地面式扫描仪的精度通常可以达到毫米级,扫描范围可达数百米,能够在较短时间内获取大量高精度点云数据。然而由于其体积较大,便携性较差,通常需要专业人员进行操作和维护。

1.2.2手持式三维激光扫描设备。手持式三维激光扫描设备以其便携性和灵活性著称,适用于室内和复杂环境的测绘任务。手持式扫描仪通常重量轻、操作简便,能够在狭小空间内进行高效扫描。其精度虽然略低于地面式扫描仪,但仍能满足大多数应用需求,特别是在文物保护、室内建筑测绘和工业检测等领域。手持式设备的扫描范围相对较小,通常在几十米以内,但其便携性使其在现场测绘中具有显著优势。

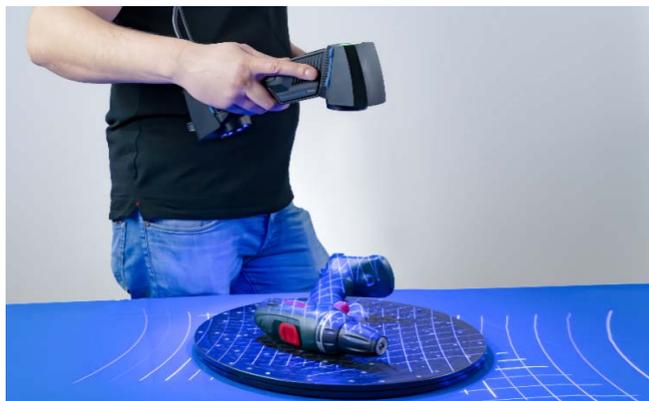


图2 手持式三维激光扫描

1.2.3无人机搭载式三维激光扫描设备。无人机搭载式三维激光扫描设备结合了无人机的灵活性和激光扫描技术的高精度,适用于大面积、复杂地形的测绘任务。无人机搭载的激光扫描仪能够在短时间内覆盖大范围区域,特别适用于地形测绘、森林资源调查和灾害评估等领域。无人机扫描设备的精度和扫描范围取决于具体型号和配置,通常可以达到厘米级精度,扫描范围可达数百米。无人机的使用大大提高了测绘效率,减少了人力成本,但其操作需要专业培训,并且受天气和环境条件的影响较大。



图3 无人机搭载式三维激光扫描

## 2 三维激光扫描技术在历史建筑保护测绘中的应用

### 2.1 建筑物现状测绘

三维激光扫描技术在历史建筑物现状测绘中具有显著优势,能够快速、精确地获取建筑物的详细数据,为保护和修复工作提供坚实的基础。以下为具体应用实例:

2.1.1某古建筑群测绘项目。在某古建筑群测绘项目中,采用了地面式三维激光扫描设备,对建筑物进行了全方位扫描。地面式扫描设备通过高频激光束对建筑物表面进行细致扫描,获取了高精度的点云数据,见表1。这些点云数据包含了建筑物的几何形状、表面特征和结构细节,为后续的三维建模和分析提供了丰富的信息。

表1 历史建筑三维激光扫描点云数据示例

点ID	X坐标 (mm)	Y坐标 (mm)	Z坐标 (mm)	反射率 (%)
1	1200.5	300.2	950.3	80
2	1201.1	300.8	950.6	85
3	1200.8	301	950.4	82
4	1201.3	301.5	950.9	78
5	1200.9	301.2	951	79

2.1.2通过对点云数据进行去噪、滤波、配准和网格化等一系列处理后,成功构建了建筑物的高精度三维模型。该模型不仅适用于建筑物的数字化存档,还广泛应用于虚拟现实展示、结构分析和修复规划等多个领域。

### 2.2 结构安全性评估

三维激光扫描技术在历史建筑的结构安全性评估中发挥着重要作用。通过获取高精度的点云数据,可以对建筑物的结构状况进行详细分析,识别潜在的安全隐患,并为后续的加固修复提供科学依据。以下为具体应用实例:

2.2.1某古塔的三维激光扫描。在某古塔的结构安全性评估项目中,采用了地面式三维激光扫描设备,对古塔进行了全面的扫描。通过高频激光束的扫描,获取了古塔表面的详细点云数据。这些点云数据包含了古塔的几何形状、表面特征和结构细节,为后续的分析提供了丰富的信息。

2.2.2点云数据分析与裂缝检测。通过对获取的点云数据进行分析,发现古塔塔身存在多处裂缝。点云数据分析包括去噪、滤波、配准和裂缝检测等步骤。去噪和滤波用于去除扫描过程中产生的噪声点,保留有用的点云数据。配准是将多个扫描位置的数据进行对齐,形成完整的点云模型。裂缝检测则通过分析点云数据的密度和分布,识别出塔身表面的裂缝位置和大小。在点云数据的配准过程中,常用均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)来评估配准的精度。假设有  $n$  对对应点  $(p_i, q_i)$ , 其中  $p_i$  和  $q_i$  分别是两组点云中的对应点,则配准误差的计算公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \| P_i - Q_i \|^2}$$

其中,  $\| P_i - Q_i \|^2$  表示对应点之间的欧几里得距离。

2.2.3 结构安全性评估与加固修复方案。基于点云数据的分析结果,对古塔的结构安全性进行了详细评估。评估结果显示,塔身的多处裂缝可能对结构安全性构成威胁,需要进行加固修复。根据裂缝的位置和大小,制定了科学的加固修复方案,包括裂缝填补、结构加固和表面修复等措施。这些措施不仅能够提高古塔的结构安全性,还能延长其使用寿命,保护其历史价值。

### 3 三维激光扫描技术的优势与挑战

#### 3.1 优势

3.1.1 高精度。三维激光扫描技术能够获取毫米级精度的点云数据,这使得其在历史建筑保护测绘中具有显著优势。高精度的数据采集能够捕捉建筑物的细微结构和表面特征,为后续的三维建模和结构分析提供了可靠的基础。这种高精度测量不仅有助于精确记录建筑物的现状,还能为修复和保护工作提供科学依据。

3.1.2 高效率。相较于传统测绘方法,三维激光扫描技术大大提高了测绘效率。传统测绘方法通常需要较长时间进行现场测量和数据处理,而三维激光扫描技术能够在短时间内获取大量高精度点云数据。这种高效率的测绘方式不仅节省了时间和人力成本,还能在较短时间内完成大面积建筑物的测绘任务,极大地提高了工作效率。

3.1.3 非接触式测量。三维激光扫描技术采用非接触式测量方式,避免了对历史建筑的二次损害。传统测绘方法可能需要接触建筑物表面,存在一定的破坏风险,而三维激光扫描技术通过激光束进行测量,不会对建筑物造成任何物理接触。这种非接触式测量方式特别适用于脆弱或易损的历史建筑,能够在保护建筑物的同时完成高精度测绘。

#### 3.2 挑战

3.2.1 数据处理难度大。三维激光扫描技术获取的点云数据量大,处理过程复杂。点云数据的预处理、配准、去噪和网格化等步骤需要耗费大量计算资源和时间。此外点云数据的存储和管理也需要专业的软件和硬件支持,这对数据处理能力提出了较高要求。如何高效处理和管理大规模点云数据,仍是三维激光扫描技术面临的重要挑战。

3.2.2 设备成本较高。目前三维激光扫描设备价格仍较高,限制了其在基层保护单位的普及。高昂的设备成本使得许多小型保护单位难以负担,限制了三维激光扫描技术的广泛应用。

## 4 创新应用策略

### 4.1 结合BIM技术,实现历史建筑的信息化管理

建筑信息模型(BIM)技术在历史建筑保护中的应用,能够实现建筑物的全生命周期管理。通过将三维激光扫描技术获取的高精度点云数据与BIM技术结合,可以创建详细的三维模型,记录建筑物的几何形状、材料特性和历史信息。这种信息化管理方式不仅有助于建筑物的数字化存档,还能在修复和维护过程中提供精确的数据支持。

### 4.2 利用人工智能算法,提高点云数据处理效率

人工智能算法,特别是深度学习技术,在点云数据处理中的应用,显著提高了数据处理效率和精度。深度学习算法如PointNet和PointNet++,能够直接处理无序的点云数据,实现高效的三维形状分类、目标检测和点云分割。这些算法通过自动提取点云数据的特征,减少了人工干预的需求,提高了数据处理的自动化程度。

### 4.3 探索低成本、便携式三维激光扫描设备,降低应用门槛

目前市场上已有多款低成本、便携式三维激光扫描设备,这些设备在降低应用门槛方面具有重要意义。例如,HD-TLS360迷你便携三维激光扫描仪,重量仅约4公斤,操作简便,适用于高精度、高时效的三维激光应用场景。

## 5 结论

三维激光扫描技术在历史建筑保护测绘中具有显著的优势,如高精度、高效率和非接触式测量,为历史建筑的保护、修复和管理工作提供了强有力的技术支持。然而该技术在实际应用中仍面临数据处理难度大、设备成本较高等挑战。为充分发挥三维激光扫描技术的潜力,未来应继续探索结合BIM技术、人工智能算法,以及开发低成本、便携式设备等创新应用策略,以降低应用门槛,推动其在历史建筑保护领域的广泛应用。总之,三维激光扫描技术为我国历史建筑保护测绘事业注入了新的活力,具有广阔的发展前景。

### [参考文献]

- [1] 纵路. 三维激光扫描技术在古建筑测绘中的应用——以萧县师范礼堂为例[J]. 西部资源, 2023, (6): 68-7087.
- [2] 南守璠, 刘盟, 张俊峰. 三维激光扫描技术在古建筑测绘中的应用分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023, (8): 75-78.
- [3] 李敏. 三维激光扫描技术在古建筑测绘中的应用[J]. 北京测绘, 2014, 28(1): 111-114.

### 作者简介:

王琛(1990—),男,汉族,山东淄博人,本科,工程师,研究方向:工程测绘。