

# 三维激光扫描应用于古建筑测绘的关键技术研究

徐亚军<sup>1</sup>, 袁小军<sup>1</sup>, 程亮<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 南通市测绘院有限公司, 江苏 南通 226006; <sup>2</sup> 南京大学 地理信息科学系, 江苏 南京 210097)

**摘要** 本文以江苏省南通市光孝塔为例, 介绍了应用三维激光扫描技术进行古建筑测绘的数据采集、数据处理、建筑制图与精度验证等关键技术。该案例研究表明, 三维激光扫描技术可以精确、精细、快速地进行古建筑信息采集, 在古建筑的资料存档、保护恢复等方面具有独特的优势, 为古建筑测绘工作提供了一种新的途径。

**关键词** 三维激光扫描 古建筑测绘 数据拼接 建筑制图

中图分类号: P234

文献标识码: B

文章编号: 1672-4097(2012)06-0033-02

## 1 引言

在目前广泛开展的古建筑保护中, 需要对古建筑进行精细信息采集和建筑制图, 以便进行资料存档与保护恢复。在这一方面, 地面三维激光扫描技术具有独特的优势, 其是一种新型的测绘技术<sup>[1-2]</sup>, 采用非接触式高速激光测量方式, 能快速对所感兴趣物体或区域获取精确、精细的三维坐标, 并以点云的形式表达复杂物体或地形的三维表面<sup>[3-5]</sup>。

本研究案例之光孝塔, 位于江苏省南通市天宁寺内。并“先有光孝塔, 后有南通城”, 它是南通的一个标志性古建筑。此塔建于公元 864 年, 为五级八面砖木结构, 塔高 30 m, 须弥座式塔基。塔檐用砖砌成迭涩平座, 上檐用角梁, 下存擎檐柱, 腰檐向上反翘, 绕以雕板木栏。塔刹较高, 承露盘上装相轮七重, 刹顶上安置绕以光焰的宝珠。

本研究基于三维激光扫描技术, 对光孝塔进行古建筑测绘, 关键技术主要为: (1) 数据采集: 根据光孝塔及其周边环境情况, 规划布设外业扫描测站, 进行精细的三维激光扫描。(2) 数据处理: 通过内业数据预处理与数据拼接, 将各个测站获取的激光点云数据统一到同一坐标系下。(3) 建筑制图: 根据获得的光孝塔三维点云数据, 进行其平面、立面和剖面制图。

## 2 数据采集

### 2.1 布站规划

由于要全方位完整的扫描光孝塔, 在扫描之前需要规划和布设扫描测站。测站需要选择地面平

坦且通视效果好的位置; 标靶的摆放将影响到后续匹配两站之间的数据, 一般选择固定不变的位置。外业作业需要绘制详细的测站规划图, 现场注释和扫描日志, 这些信息能够有序的记录扫描过程, 将有助于后期的点云数据拼接和 AutoCAD 绘图。如图 1 所示, 在光孝塔周边共设置了 5 个测站, 16 个标靶, 每个测站有 4 个标靶作为拼接的同名点。



图 1 扫描测站与标靶平面分布图

### 2.2 扫描作业

根据测站规划图的测站位置依次放置三角架, 安置架设 Leica Scanstation 2 型三维激光扫描仪, 并对中整平。将三维激光扫描仪与仪器驱动软件 (Leica Cyclone) 相连接, 定义扫描的视场角, 拍摄光孝塔照片。Leica Scanstation 2 将自动获取视场角内的  $20^{\circ} \times 20^{\circ}$  的照片, 将这些照片拼接组合, 可形成被扫描区域的  $360^{\circ}$  全景照片。由于光线的照射, 视场角内的不同区域需要设定不同的曝光。最后设

定点云的采样间距,决定范围内按显示的距离扫描点的间距。扫描仪将自动获取视角范围能所选取范围的点云数据。扫描作业还需要扫描该测站的标靶,以用于两站点云数据的拼接。

### 3 数据处理

#### 3.1 噪声去除

原始三维激光点云数据包含了大量的无关信息和粗差,即所谓的噪声点。这些噪声点产生原因是多方面的,如运动目标反射信号产生的数据、局部的跳变数据、前景遮挡数据以及无回波信息的局部空洞(如激光穿透玻璃)等。噪声的存在严重影响对点云数据的理解和建筑制图。根据对作业使用的三维激光扫描仪的研究,将其噪声分为以下 4 类:(1)明显远离点云的,飘浮于点云上方的稀疏、离散的点。(2)远离点云中心区,小而密集的点云。(3)扫描区不可能完整控制,通常比需要扫描范围大,从而形成了多余的点云。(4)和正确点云混在一起的噪声点。

对于前三类噪声,可以利用 Leica Cyclone 软件直接删除噪声点。第四种噪声由于对后续制图影响不大,这里不再对其进行去噪处理。使用 Cyclone 软件人工交互修正和处理点云数据中的噪声,剔除多余和粗差点,并修正遗漏的信息。

#### 3.2 数据拼接

要获取对象的完整三维点云数据,往往需要环绕该对象设置多站,获取其不同视角下的点云数据。不同站点初始的坐标系统是由其独立的扫描仪位置和方向决定的。不同视角获取的点云数据必须借助于重叠信息融为一体,即将不同测站的点云数据归并到某一个测站坐标体系里,这个过程即为点云的数据拼接。

在扫描过程中设置标靶,即两个不同测站中的重叠信息构成同名点对,进行两两配准。当同名点对不能找到时,则需要目视解译相同的点云进行人工配准法。由此,可以将数据拼接分为以下 4 类:(1)标靶拼接:拼接两站数据至少要有 3 个共同的标靶构成 3 对同名点对;(2)手动拼接:无标靶,通过两站点云数据的公共点拼接;(3)混合拼接:处于标靶拼接和手动拼接之间,由于标靶数量不够,需要手动添加公共点;(4)基于控制点的拼接:确定绝对坐标的准确性,在基于控制点的情况下进行拼接,此方法适合场景较大的区域。光孝塔的点云数据拼接采用靶标拼接的方式。在拼接过程中,相邻重叠区域的取值依据两个测站的重叠区域数据重新采样获得。

已拼接点云数据的参考系统是后续的数据处理和数据分析的前提。主要有两种形式:归并到局部坐标系和统一到某绝对坐标体系。前一种方式是归并到某一指定的测站系统中,通过数据拼接即可完成;后一种实际上是坐标投影变换,需要转换到某地方或国家坐标系中,需要足够数量的控制点才能实现相应的变换。本研究采用归并到局部坐标系的方式。

#### 3.3 数据精简

通过三维激光扫描技术获取的点云数据,具有精确、密集的优势;但也存在高度冗余、离散、散乱分布的特点。同时,点云数据也是一个海量数据的集合,以光孝塔为例,拼接后得到的完整点云数据超过 1000 万个点。为了提高运算的效率,需要对点云数据进行一定程度上的简化和平滑。本研究采用了对同质区域的合并及重采样的方法,其原理是原始数据集内的同质区域(如某建筑物的立面)明显存在巨大的数据冗余,通过一定的算法对该区域进行合并,用少量的采样点替代原来的众多采样数据,以达到数据简化的目的。这种方法既达到了数据简化的目的,又能有效保留有用的特征信息。

## 4 建筑制图

#### 4.1 数据格式转换

Leica Scanstation 2 采集的三维点云数据,并不能直接加载到 AutoCAD 中,需要利用 Leica Cyclone 软件中的 Cloudworx 工具对其进行数据格式的转换。

#### 4.2 坐标系的构建

在野外数据采集时,往往要求仪器严格对中、整平,这就保证了 AutoCAD 中的用户坐标 UCS 中的 Z 轴是指向天顶的。但是由于环境限制或种种人为因素对仪器摆放位置的影响,X、Y 方向往往会存在偏差,因此需要测量三维点云数据中发生偏转的一条直线和对应的正确方向的另一条直线,获取发生偏转的角度进行坐标轴的旋转。

#### 4.3 建筑制图

在利用 AutoCAD 进行制图前,需分析建筑物的结构特征,针对不同的建筑部分绘制方法也有所不同。光孝塔是古式建筑,共有 5 层,结构复杂,具有中国典型的斗拱等结构,需要分层绘制,且局部结构需要放大精细绘制。分析光孝塔的对称结构,将点云数据根据对称轴进行分块,再利用镜像操作得到建筑物的整体视图。在点云数据三维视图下,可能会存在部分点云数据干扰,此时可以通过 Leica

Cloudworx 提供的 Slice x/y axis 工具在正视图中保留需要的点云数据,隐藏其他部分,以免引起干扰。同时,激光扫描存在一些“死角”需要外业补测数据。各类建筑图的绘制方法如下:

(1) 平面图的绘制:将视图窗口转换到立面视角,切除建筑物上部点云,保留建筑物底部需要投影的部分,而后转换视图窗口到俯视图界面,就会得到相应建筑物的平面点云图,结合外业补测数据、现场照片完成平面图的绘制。

(2) 剖面图的绘制。剖面图反映了建筑内外部结构特征,需在绘制剖面草图、拍摄照片等。内业需要剖切线位置将点云数据进行切片处理,转换视图窗口进行剖面图的绘制。

(3) 立面图的绘制。切除多余点云后,墙面结构可通过点云数据直接绘制,塔顶需要配合照片绘制。

(4) 大样图的绘制。斗拱、柱础等大样图可以通过对点云数据进行切片处理,将多余点云数据切除,只保留斗拱的点云数据,配合照片和补测数据进行绘制。

利用激光点云数据绘制的光孝塔建筑图。

## 5 精度评价

建筑制图的结果,将作为古建筑档案资料保存,直接用于古建筑的形态描述、保护修复、原样重建等方面,具有重要的价值,因此有必要对制图精度进行评价。

本研究采用了局部误差评价和整体误差评价两种方式。局部误差评价:选择比较具有代表性的一些几何体从不同的角度进行几何精度评估(如边长误差、内角误差等),对比图件中建筑物组成几何

体的边长、角度(利用 AutoCAD 中的量测工具量得)与实际测量结果,进行统计分析。整体误差评价:在模型中选取一定数量且分散在图件四周具有代表性的点,提取其坐标,将其值与全站仪坐标进行比对,获取各个点的误差,由每个点的误差可以分析平立剖制图的整体误差。综上,光孝塔的平面、立面和剖面制图精度检测结果,距离和坐标的中误差均在 $\pm 5$  cm 之内。

## 6 结论

本研究采用三维激光扫描技术,对南通标志性古建筑光孝塔进行了古建筑测绘作业,得出以下结论:(1)相比较于传统古建筑测量手段,三维激光扫描技术具有精度高、细节丰富、速度快的明显优势;(2)利用三维点云数据进行古建筑制图,具有准确、方便的优势,提高了整体的工作效率。

### 参考文献

- 程亮,龚健雅,李满春,刘永学,宋小刚.集成多视航空影像与 LiDAR 数据重建三维建筑物模型[J].测绘学报,2009,38(6):494-501.
- 程亮,龚健雅. LiDAR 辅助下利用超高分辨率影像提取建筑物轮廓方法[J].测绘学报,2008,37(3):391-393+399.
- Cheng Liang, Gong Jianya, Li Manchun, Liu Yongxue. 3D Building Model Reconstruction from Multi-view Aerial Imagery and Lidar Data[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2011, 77(2): 125-139.
- 赵小平,刘文龙,高绍伟.基于三维激光扫描技术的校园可视化[J].测绘通报,2011,(8):45-50.
- 胡少兴,查红彬,张爱武.大型古文物真三维数字化方法[J].系统仿真学报,2006,18(4):951-954+963.

## Key Technologies of Ancient Building Survey By Using Terrestrial Laser Scanning

XU Ya-jun<sup>1</sup>, YUAN Xiao-jun<sup>1</sup>, CHENG Liang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nantong Surveying and Mapping Institute co. Ltd, Nantong Jiangsu 226006, China;

<sup>2</sup> Department of Geographical Information Sciences, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093, China)

**Abstract** This study uses Guangxiao Tower in Nantong, Jiangsu Province. As an example to introduce a practical technical framework, including a set of key technologies from laser scanning, laser scanning data processing, architectural drawing to accuracy evaluation. The experiment illustrates that this terrestrial laser scanning technology can quickly result in final products with high accuracy and fine details. This study is of great important reference value for the protection of ancient architecture with extremely complex structure and urgent need for documentation

**Key words** terrestrial laser scanning; ancient building survey; laser scanning data registration; architectural drawing