引文格式：李志华,楼亨庞,刘勤,等. 三维激光扫描技术在异形建筑表面积测绘中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22(6): 97-100. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2024.06.023

三维激光扫描技术在异形建筑表面积测绘中的应用

李志华[1,2]，楼亨庞[2]，刘　勤[2]，楼益康[2]，金志刚[2]，赵天才[3]
（1. 义乌市大地数字测绘有限公司，浙江 义乌 322000；
2. 义乌市勘测设计研究院，浙江 义乌 322000；
3. 北京天拓斯特科技有限公司，北京 100192）

摘　要：三维激光扫描技术在异形建筑表面积测绘中有着传统测绘方式无法比拟的技术优势，能快速准确地获取异形建筑表面点云数据。本文以义乌市梅湖体育中心体育馆项目为例，对激光点云数据采集、数据配准、模型封装与表面积测算等关键技术进行了系统化研究，在实现异形建筑表面积测绘的同时，提出了按颜色进行异形建筑表面积分类与计算的新思路，并对测绘成果进行了精度评定，经计算，三维点云模型的点平面均方根差为±0.04 m，粗差率为3.3%，三维点云模型的边长均方根差为±0.03 m，粗差率为0.0%，数据成果符合数字地形图测绘相关规范。研究和分析结果表明，使用三维激光扫描技术完成异形建筑物表面积测绘是可行的，具有一定的理论意义和应用价值。

关键词：三维激光扫描技术；异形建筑；表面积分类计算；精度评定
中图分类号：P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）06-0097-04

Application of 3D Laser Scanning Technology in Surveying and Mapping of Irregular Building Surface Area

LI Zhihua[1,2], LOU Hengpang[2], LIU Qin[2], LOU Yikang[2], JIN Zhigang[2], ZHAO Tiancai[3]
(1.Yiwu Dadi Digital Surveying and Mapping Co., Ltd., Yiwu 322000, China;
2. Yiwu Survey and Design Research Institute, Yiwu 322000, China;
3. Beijing Titest Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China)

Abstract: 3D laser scanning technology has an incomparable technical advantage in the surveying and mapping of irregular building surface area, which can obtain the point cloud data of irregular building surface quickly and accurately. Taking Yiwu Meihu sports center gymnasium project for example, we systematically studied the key technologies such as laser point cloud data acquisition, data registration, model packaging and surface area calculation. While realizing the surveying and mapping of irregular building surface area, we proposed a new idea of classifying and calculating irregular building surface area by color, and evaluated the accuracy of surveying and mapping results. The calculation result shows that the root mean square difference of point plane of 3D point cloud model is ±0.04 m and the gross error rate is 3.3%. The root mean square difference of side length of 3D point cloud model is ±0.03 m and the gross error rate is 0.0%. The data results are in line with the relevant standards of digital topographic map surveying and mapping. The research and analysis results show that it is feasible to use 3D laser scanning technology to survey the surface area of irregular buildings, which has certain theoretical significance and application value.

Key words: 3D laser scanning technology, irregular building, surface area classification calculation, accuracy evaluation

近年来，国内外一些学者对三维激光扫描技术在工程测量等领域的应用进行了相关研究，取得了一些成果[1-2]。吕磊[3]等运用地面三维激光扫描技术进行异形建筑竣工测量，介绍了技术流程，并对数据成果进行了精度分析，但相对表面为曲面的异形建筑物，该文研究对象断面较为规整，具有一定的局限性。袁峥[4]等采用三维激光扫描技术对垃圾填埋场封场覆膜表面积进行测绘，若遇到分颜色计算表面积，本研究则有待深入。梁智勇[5]等探讨了三维激光扫描技术在异形建筑物立面测量中的应用，但未对表面积测绘进行研究，也未对数据成果精度进行评定。谢宏全[2]等使用徕卡C10扫描仪采集异形建筑物表面点云数据，并运用Cyclone与CAD软件获取该异形建筑物外轮廓的截面信息，该文主要是研究截面的面积测绘相关问题，未对异形建筑物表面积测绘进行探讨。Avar [6]等探讨了扫描对象与三维激光扫描仪站点的距离、数据文件大小等因素对点云精度的影响，对提高数据质量具有一定的参考意义。综合国内外研究进展，可以得

收稿日期：2023-02-28。
第一作者简介：李志华（1987—），硕士研究生，工程师，研究方向为地理空间数据获取与处理的理论和应用，E-mail：952366054@qq.com。

出，现阶段针对使用三维激光扫描技术进行异形建筑表面积测绘的研究较为少见，而按颜色进行异形建筑表面积分类与计算的研究则为空白。本文以义乌市梅湖体育中心体育馆项目为例，对异形建筑表面积测绘的关键技术和理论进行系统化研究，成功实现了异形建筑表面积分类与计算，填补了国内外现阶段该应用的技术空白。

1 工程概况与技术路线

1.1 工程概况

义乌市梅湖体育中心坐落于义乌市宾王路299号，由主体育场、体育馆和中心广场组成。体育馆建筑面积3.18万m^2，概算投资1.39亿元，建筑造型为弧型平面，外轮廓呈现为曲面、剖面为曲线，其外廓带有曲面、斜面和退层，并有一定的倾斜角度，整体建筑风格极富个性，是一座标志性的现代建筑[1,7]、也是典型的异形建筑，具有研究的代表性。

1.2 技术路线

本文以义乌市梅湖体育中心体育馆异形建筑为例，提出了基于三维激光扫描技术的异形建筑表面积测绘工作流程，技术路线如图1所示[5]。

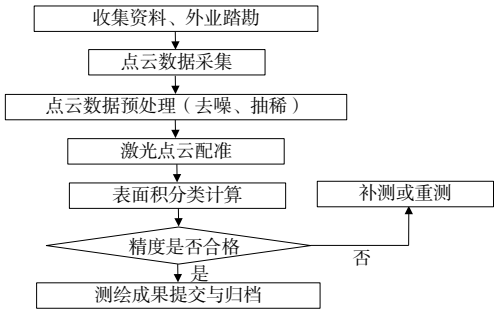


图1 异形建筑表面积测绘技术路线图

2 点云数据采集

2.1 三维激光扫描技术测量原理

三维激光扫描仪是一种非接触式的主动测量装备，可进行大面积、高密度的空间三维数据采集，具有数据采集精度高、密度大、速度快等特点[8]。基于较为成熟的激光测距技术，三维激光扫描仪通过内置的激光发射组件产生多组光束，以该光束为测量媒介，通过仪器内部的计时装置，记录光束在出射点与反射点之间往返时间 ΔT ，从而计算出测距观测值 S ，并解算横向扫描角度观测值 α 和纵向扫描角度观测值 θ ，从而得到目标点的三维坐标信息。通常情况下，三维激光扫描仪内部已存在坐标系，把光束出射点作为坐标系的原点，X轴在横向扫描面内，Y轴在横向扫描面内与X轴垂直，纵向扫描面内的Z轴与横向扫描面垂直[9]。由此得出目标点P坐标的计算公式如下：

$$\begin{cases} P_X = S\cos\alpha\cos\theta \\ P_Y = S\sin\alpha\cos\theta \\ P_Z = S\sin\theta \end{cases} \quad (1)$$

2.2 三维激光扫描数据采集

为确保异形建筑表面积测量的精度，在体育中心场馆周边利用连续运行基准站系统下的网络RTK完成平面控制点的布设，高程控制测量采用数字水准仪进行二等水准观测，并以其中一个控制点RTK观测下经精化后的正常高作为高程起算点，进行闭合水准平差得到各控制点的高程[10]，控制测量成果满足相关技术规范要求[11]。

外业数据采集使用Trimble TX8三维激光扫描仪，TX8融合了高精度的测角测距技术，具有360°×317°的视场角，扫描速率高达100万点/s，测程可达340 m，并内置HDR相机，可获取扫描对象高分辨率的纹理信息，为实景三维模型的构建及数据处理提供了较好的数据支撑。

根据体育馆外形特征，为确保成果数据符合统一的测量基准要求，本次三维激光扫描采用单站绝对定位的方法进行体育中心场馆表面点云数据采集，即将扫描仪设置在控制点上，输入扫描密度等参数后进行扫描[12]。在得到包括被测对象三维坐标、斜距、纹理图像等地理空间信息的基础上，通过相应的数据处理软件，构建激光点云数据模型，基于点云模型，可以开展诸如面积测绘、地形测量等相关测绘工作[9]。

3 内业数据处理

3.1 点云数据预处理

1）数据去噪。去噪是对点云最基础的优化，是将有效点保留、无效点剔除的数据处理方式。在使用三维激光扫描仪采集点云数据的过程中，由于周围其他对象的干扰，会产生许多异常点、孤立点。这些噪点与目标建筑物的表面元素无关，影响后续点云模型的构建质量和表面积计算精度，通常采用滤波和人工软件裁切的方式加以剔除。使用滤波的方式进行去噪时，对于有序点云可通过平滑滤波的方法进行去噪，对于散乱点云则可采用空间单元格法、八叉树法等方法进行去噪处理[5,10,12]。

2）数据抽稀。由于在不同测站进行点云数据采集，扫描得到的部分区域会出现多次重叠，导致整个扫描对象的点云密度不统一，影响激光点云数据模型构建的精度，因此需要对点云数据进行抽稀处理，提高底座数据质量。调用三维空间数据处理软件Geo-

magic Control的“等距采样”功能，设置抽稀间距为1 cm对已经完成去噪的点云数据进行抽稀处理[2]。

3.2　激光点云配准

激光点云配准是构建三维点云模型的必要步骤，通过一定的约束条件将经预处理的点云数据拼接到统一的坐标系下，拼接完成后得到完整的激光点云数据模型。配准的基本原理是利用空间相似变换公式将不同测站观测的同名点转换到统一的坐标系下，数据转换公式如下。

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \boldsymbol{R} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \boldsymbol{T} \tag{2}$$

式中，(X_1, Y_1, Z_1)、(X_2, Y_2, Z_2)为同名点在不同测站下的三维坐标；$\boldsymbol{R}$、$\boldsymbol{T}$分别为旋转正交矩阵和平移矩阵[10]。

调用三维激光点云处理工具Trimble Real Works（TRW）的“数据配准”功能，TRW通过不同测站同名点自动求解转换参数，从而实现各测站点云数据自动拼接并统一到绝对坐标系下。配准后的点云三维模型如图2所示。

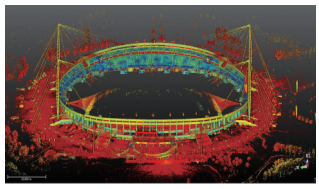


图2　三维激光点云数据模型

3.3　表面积分类计算

实现体育中心场馆黄色、白色涂装表面积分类与计算是本研究的重点，对场馆的外立面进行分析可以得出，黄色、白色涂装总体呈现纵横交错的分布特征，在激光点云数据模型处理的过程中，可结合该分布特征辅助外业调绘的形式，调用TRW软件采用手动分割的方式对黄白墙体进行分割处理，然后进行点云封装处理，再计算分类面积和总涂装面积。

点云封装是根据狄洛尼三角网的曲面重建等算法来构建多个细小的空间三角形，各三角形面片通过曲面拟合算法拼接组合得到点云实体模型[10,13]。因此，体育中心场馆黄色、白色总涂装表面积$S_{总}$与黄色、白色涂装表面积$S_{黄}$、$S_{白}$以及三角形面片表面积$S_{i,j}$的逻辑关系为：

$$S_{总} = S_{黄} + S_{白} = \sum s_{i,j}$$
$$(i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n) \tag{3}$$

使用Geomagic Control软件的点云封装功能，可以使同特征的点云数据封装为多边形模型数据，部分开间实体模型图及相应经分割、点云封装处理得到的黄白色涂装分类如图3所示。

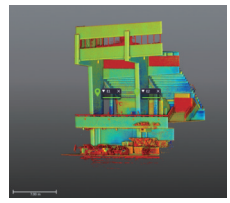


图3　体育中心场馆某开间实体模型图

然后使用Geomagic Control软件的“分析–计算面积”功能，可以快速计算出各开间黄白色涂装面积，从而实现表面积的分类与计算，面积计算结果如表1所示。

表1　义乌市梅湖体育中心体育馆表面积分类与计算成果

序号	研究内容	表面积或其他	是否完成
1	体育中心场馆及消防坡道外业扫描	约850 m	是
2	点云数据配准	约850 m	是
3	图纸绘制	84个开间	是
4	黄色涂装分类面积	23 260.176 3㎡	是
5	白色涂装分类面积	22 148.071 4㎡	是
6	总涂装面积	45 408.247 7㎡	是

4　精度评定

精度评定是确保测绘成果质量的有效方法，也是必要的工作内容。本研究利用传统的全站仪数字测图方法实测得到30个检查点和30条检查边，各检查点和边均匀分布在场馆表面，通过与三维点云模型对应测量对象进行精度对比分析，从而完成本研究测绘成果的精度评定。经计算，三维点云模型的点平面均方根差为±0.04 m，粗差率为3.3%，三维点云模型的边长均方根差为± 0.03 m，粗差率为0.0%，测绘成果精度符合数字地形图测绘相关规范[11]。平面和边长误差分布情况如图4、5所示。由实践结果可知，本研究提出的三维激光扫描技术应用于异形建筑表面积测绘的理论与方法是可行的。

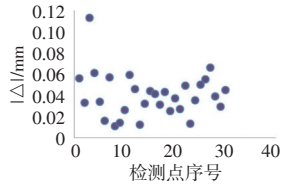


图4　体育馆三维点云模型平面误差分布

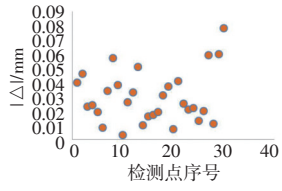


图5　体育馆三维点云模型边长误差分布

5　本研究创新点

1）现阶段，国内外针对三维激光扫描技术应用于异形建筑表面积测绘的系统化研究较为少见，即便有，其异形建筑也只是断面较为规整的建筑体，具有一定的局限性，而本文研究对象的体育馆造型为弧型平面，外轮廓呈现为曲面、剖面为曲线，其外廓带有曲面、斜面和退层，并有一定的倾斜角度，整体结构

十分复杂，是典型的异形建筑。本文以该场馆为研究对象，对激光点云数据采集、数据配准、模型封装与表面积测算等关键技术进行了系统化研究，成功完成异形建筑表面积测绘，具有研究的代表性。

2）本研究填补了国内外异形建筑表面积分类与计算的研究空白。对经预处理的点云数据，笔者从分析狄洛尼三角网曲面重建算法的原理出发，结合曲面拟合技术，选择调用Geomagic Control软件的点云封装功能，使同特征的点云数据封装为多边形模型数据，在实现体育中心体育馆异形建筑表面积测绘的同时，又进一步完成了表面积的分类和计算，填补了现阶段国内外研究空白。

6 结 语

使用三维激光扫描仪对异形建筑进行表面积测绘，具有无接触、全方位、高精度的特点，相对于传统测绘仪器，具有无法比拟的技术优势。本文以义乌市梅湖体育中心体育馆为例，验证了三维激光扫描技术在异形建筑表面积测绘中的可行性和可靠性，并对三维激光扫描数据采集、激光点云配准以及表面积分类计算等关键技术进行了分析研究。本研究不仅适用于三位激光扫描技术在异形建筑表面积分类与计算中的应用，也可为变形监测、建筑文物保护、三维不动产登记等研究热点提供理论和技术参考，对其他类似工程研究具有重要参考意义。

参考文献

[1] 李文国. 三维激光扫描技术和低空无人机在异形建筑竣工测量中的应用[J]. 城市勘测,2019(4):108-111

[2] 谢宏全,张镇,王嘉楠,等. 激光点云数据在异形建筑物竣工测量中的应用[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版),2020,29(1):67-70

[3] 吕磊,邢汉发,王叙泉. 基于地面LiDAR技术的异形建筑竣工测量方法研究[J]. 测绘工程,2014,23(1):73-77

[4] 袁峥,李俊峰,朱元彪. 基于三维激光扫描技术的表面积测绘[J]. 测绘工程,2017,26(9):65-67

[5] 梁智勇,郭军. 基于三维激光扫描技术对异形建筑物立面测量的应用[J]. 测绘工程,2020,29(4):70-72

[6] Avar A,Zaid O,Henry A,et al. Reality Capture of Buildings Using 3D Laser Scanners[J]. Civileng,2021(3):214-235

[7] 义乌梅湖体育中心[EB/OL].(2014-12-29)[2023-02-01]. https://baike.baidu.com/item/% E4% B9% 89% E4% B9% 8C%E6%A2%85%E6%B9%96%E4%BD%93%E8%82%B2%E4%B8%AD%E5%BF%83/7521907?fr=aladdin

[8] 王超超,梁浩. 三维激光扫描技术在建筑测绘中的应用[J]. 建筑实践,2022(7):69-75

[9] 裴建隆. 基于三维激光扫描与无人机倾斜摄影技术对异形建筑三维建模的融合应用[J]. 江西科学,2021,39(6):1 060-1 064

[10] 王智,薛慧艳. 三维激光扫描技术在异形建筑竣工测量中的应用[J]. 测绘通报,2018(7):149-152

[11] 1:500 1:1 000 1:2 000 数字地形图测绘规范: DB 33/T 552-2014[S].

[12] 田泽海,杨友生,宋康明. 三维激光扫描技术在异形建筑规划条件核实测量中的应用[J]. 地理空间信息,2021,19(5):81-84

[13] 贾军辉,黄明,刘祥磊. 基于三维狄洛尼三角网的曲面重建算法[J]. 测绘学报,2018,47(2):281-290

（上接第96页）

28(4):587-598

[3] 卫新东,王筛妮,员学锋,等. 陕西省耕地质量时空变化特征及其分异规律[J]. 农业工程学报,2018,34(3):240-248

[4] 陈雨秋,尹峰,于婧. 湖北省耕地数量的时空变化及驱动力分析[J]. 湖北大学学报(自然科学版),2021,43(1):102-108

[5] 付乐,迟妍妍,于洋,等. 2000—2020年黄河流域土地利用变化特征及影响因素分析[J]. 生态环境学报,2022, 31(10):1 927-1 938

[6] Yang Jie，Huang Xin. The 30 MannualLand Cover Dataset and Its Dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(8):3 907-3 925

[7] 李丹,曲建光,王帅. 黑龙江省耕地非农化的空间格局与重心曲线分析[J]. 测绘科学,2021,46(2):171-177

[8] 陈海鹏,张莉,李森,等. 自然资源调查监测地表覆盖成果质检关键技术探讨[J]. 测绘通报,2022(1):96-99

[9] 刘穗,詹庆明,司瑶,等. 地理国情数据与国土调查数据的衔接对比研究[J]. 测绘科学,2020,45(9):132-140

[10] 李新萍,魏娜,张蕾,等. 地理国情与国土三调数据差异性分析与研究[J]. 地理空间信息,2022,20(12):76-80

[11] 祁信舒,董文清,闵天. 自然资源调查监测中的地理国情监测分类研究[J]. 地理空间信息,2020,18(5):26-28

[12] 徐锋,孙婷婷. 基于国土调查的地理国情监测研究[J]. 测绘通报,2021(增刊) :96-99

[13] 王旭,马伯文,李丹,等. 基于FLUS模型的湖北省生态空间多情景模拟预测[J]. 自然资源学报,2020,35(1):230-242

[14] 喻欣,张立亭,王建林,等. 地理国情普查与三调数据的共享探析[J]. 测绘科学,2021,46(6):150-155,173

[15] 谢克文,祖鹏蕾,于凤兵. 基于地理国情普查与“国土三调”的数据分类与共享[J]. 测绘与空间地理信息,2023,46(4):141-144