



基于三维激光扫描技术的建筑物地下室测量方法

徐尚政, 朱日俊

(浙江省金华市测绘院, 浙江 金华 321000)

摘要: 现行建筑物地下室测量方法在实际应用中效果不佳, 其测量值与实际值相差较大。针对现行方法存在的不足与缺陷, 提出基于三维激光扫描技术的建筑物地下室测量方法。通过对建筑物地下室进行三维激光扫描, 获取地下室空间点云数据, 采用统计滤波算法处理地下室点云数据滤波, 利用两站配准方法处理地下室点云数据, 建立建筑物地下室三维空间模型, 实现基于三维激光扫描技术的建筑物地下室测量。试验表明: 该设计方法皮尔逊相关系数大于0.9, 能够实现对建筑物地下室的精准测量。本文成果可为地下室测量效率和精度的提升提供一定的借鉴与参考。

关键词: 建筑物地下室; 三维激光扫描技术; 测量方法

中图分类号: TP274.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)05-0063-04

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.05.066

Measuring method of building basement based on three-dimensional laser scanning technology

XU Shangzheng, ZHU Rijun

(Zhejiang Jinhua Surveying and Mapping Institute, Jinhua 321000, Zhejiang, China)

Abstract: The current measuring method of building basement is not effective in practical application, and its measured value is quite different from the actual value. In view of the shortcomings and defects, a measuring method for building basement based on 3D laser scanning technology is proposed. Through the three-dimensional laser scanning of the basement of the building, the basement space point cloud data is obtained, the statistical filtering algorithm is used to process the basement point cloud data filtering, the two-station registration method is used to process the basement point cloud data, the three-dimensional space model of the building basement is established, and the measurement of the building basement based on the three-dimensional laser scanning technology is realized. The test proves that the Pearson correlation coefficient of the design method is greater than 0.9, which can achieve accurate measurement of the basement of the building. The results can provide a certain reference for improvement in the efficiency and accuracy of basement measurements.

Key words: building basement; three-dimensional laser scanning technology; measuring method

随着城市化进程的加速和建筑科技的不断发展, 建筑物地下室的测量变得越来越重要。传统的测量方法存在测量效率低下、精度难以保证等问题, 已经无法满足现代建筑测量的需求^[1]。当前, 使用无人机倾斜摄影和机器视觉测量方法的应用较为广泛, 但这两种方法容易受环境光线和建筑结构角度的影响, 在建筑物地下室测量中应

用效果不佳, 测量值与实际值存在较大出入, 皮尔逊相关系数较低。近年来, 有关建筑测量技术的研究有了显著进展。文玉玉等^[2]研究发现, 将手持激光扫描仪应用于地下车库中可有效获取地下空间信息, 为信息化管理提供支持; 高元鹏^[3]通过在地下车库测绘项目中使用移动三维激光扫描设备, 验证了测量结果与点云数据的高度一致

收稿日期: 2023-10-25

作者简介: 徐尚政(1974—), 男, 工程师, 从事工程测量工作。

性；王博^[4]通过研究车载三维激光扫描技术在高速公路改扩建中的应用，强调了该技术在大型基础设施项目中的潜力。综上，将三维激光扫描技术应用于建筑物地下室的测量中，可获得建筑形态、尺寸、结构等较为全面的建筑物信息。

为进一步提高建筑地下室测量数据的准确性，本文提出一种基于三维激光扫描技术的建筑物地下室测量方法，通过采用统计滤波算法处理地下室点云数据滤波，利用两站配准方法处理地下室点云数据，建立建筑物地下室三维空间模型，以期对地下室测量效率和精度的提高提供一定的借鉴。

1 地下室三维激光扫描

建筑物地下室测量内容为地下室所有空间信息，包括角度、距离以及每个点的空间坐标。根据建筑物地下室测量需求，采用三维激光扫描技术对建筑物地下室进行扫描，获取到地下室的空间信息。三维激光扫描技术主要利用三维激光扫描仪对实物进行扫描，采集物体的点云数据，通过对该数据的预处理、配准，实现物体三维空间信息模型的建立。

利用支架将三维激光扫描仪固定住，通过激光发射器将激光点投射到被测物体上，经过漫反射，投射在物体上的点在三维激光扫描仪上成像。根据三角测距原理，可以得到激光投射点在三维激光扫描仪坐标系中的坐标，具体公式如下。

$$\begin{cases} X = \frac{b \tan \alpha}{f + u \tan \alpha} \\ Y = \frac{b \tan \alpha}{f + u \tan \alpha} f \\ Z = \frac{b \tan \alpha}{f + u \tan \alpha} \beta \end{cases} \quad (1)$$

式中： X 、 Y 、 Z 分别为扫描点在三维激光扫描仪坐标系中的横、纵、斜坐标； b 为激光发射器与测点的基准距离，mm； α 为激光线出射角度，(°)； f 为三维激光扫描仪内部参数； u 、 β 分别为像素点的横、纵坐标。

根据脉冲测距法得到扫描仪与测点之间的距离，其计算公式如下。

$$b = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (2)$$

式中： c 为激光发射速度，m/s； Δt 为激光脉冲信号往返的时间长度，s。

将式(2)代入式(1)中即可得到扫描点在相机坐标系中的位置。建筑物地下室测量是对真实空间坐标的测量，因此需要进行坐标转换，得到测点在世界坐标系中的位置，其转换公式如下。

$$\begin{cases} x = X \cdot \sin \theta \cdot \cos \lambda \\ y = Y \cdot \sin \theta \cdot \sin \lambda \\ z = Z \cdot \cos \theta \end{cases} \quad (3)$$

式中： x 、 y 、 z 分别为建筑物地下室测点在世界坐标系中的横、纵、斜坐标； θ 、 λ 分别为纵、横向扫描角度^[5]，(°)。

通过对坐标转换，获取到建筑物地下室点云数据，通过 USB3.0 将点云数据上传到计算机上，用于后续处理和三维空间信息模型建立。

2 三维点云滤波

因地下室存在孔洞结构，扫描得到的点云数据中会存在与被测物无关的离散点云数据。为确保测量精度，采用统计滤波算法对地下室点云数据进行降噪滤波处理，剔除数据集中的离散点^[6]。统计滤波原理是根据每个点与邻域点集的远近关系，筛选出超出距离阈值的离散点，将其剔除掉^[7]。假设点 p 的邻域为 J ，利用式(4)计算出该点与邻域中点的平均距离。

$$h = \frac{1}{g(J)} \sum s \quad (4)$$

式中： h 为任意一点到邻域点的平均距离，mm； $g(J)$ 为邻域中点的总数量，个； s 为该点到邻域点的距离^[8]，mm。

根据考察点到邻域点的平均距离，确定用于识别离散点的距离阈值，其计算公式如下。

$$\bar{h} = u + m \cdot h \quad (5)$$

式中： $\bar{h}$ 为距离阈值； u 为点云正态分布的均值； m 为点云正态分布的标准差^[9]。

将 h 与距离阈值比对，如果大于阈值，则表示该点为离散点，将其删去；如果小于阈值，则表示该点为正常点，对其保留。按照上述步骤剔除点云中所有离散点，以此实现建筑物地下室三维点云滤波。

3 地下室三维空间信息可视化

建筑物地下室点云数据来源于不同的测站, 在上述基础上通过点云数据配准, 将所有点云数据整合到同一坐标系中, 建立建筑物地下室三维空间信息模型。采用两站配准方法对其进行配准, 即根据两个点云数据之间的位置对应关系, 将两个点云数据转换到相同坐标系下。假设分布在不同坐标系中的点云为 A 、 B , 从中任意选取一个作为基准, 将另一个转换到该点坐标系下。两站配准过程实际是两个点云刚体转换过程。利用式(6)对点云进行平移。

$$a(x,y,z) = A(x,y,z) + T \tag{6}$$

式中: $a(x,y,z)$ 为平移后的点云坐标; $A(x,y,z)$ 为平移前的点云坐标; T 为平移矩阵^[10]。参照点云 B , 对平移后的点云坐标进行旋转, 具体如下。

$$a(x,y,z)' = B(x,y,z)a(x,y,z) + U \tag{7}$$

式中: $a(x,y,z)'$ 为旋转后的建筑物地下室点云坐标; $B(x,y,z)$ 为基准点云坐标; U 为旋转矩阵。

按照上述步骤将所有点云配准, 使所有地下室测点空间信息映射到三维空间坐标系下, 建立建筑物地下室三维空间信息模型。模型中包含地下室所有点的位置、角度和距离等信息, 以此实现基于三维激光扫描技术的建筑物地下室测量。

4 试验论证

4.1 试验准备与设计

为验证本文提出的基于三维激光扫描技术的建筑物地下室测量方法(以下简称新方法)的实际应用性能, 选择某艺术园区作品展览馆作为研究对象。该建筑物为地上二层、地下一层结构, 地下室结构为钢筋混凝土结构, 高度为 16.25 m, 长度为 26.35 m, 宽度为 21.42 m, 面积约为 1 026.15 m², 以该建筑物地下室为试验环境。在地下室架设三维激光扫描仪, 共布设 10 个测站。三维激光扫描仪型号为 IYFA-A4F77, 其扫描参数如表 1 所示。三维激光扫描仪实测现场如图 1 所示,

建筑物地下室扫描测量如图 2 所示。



图 1 三维激光扫描仪实测现场

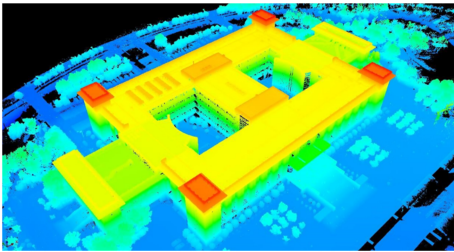
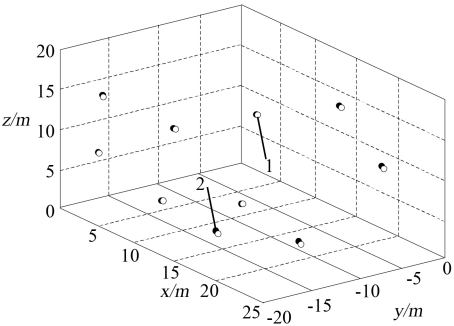


图 2 建筑物地下室扫描测量

4.2 试验结果与讨论

随机抽取 10 个测量点, 利用 IYRFAH 全站仪进行现场测量, 获取每个点对应的坐标值, 并将其作为参考, 与实际点的坐标位置用三维坐标图表示, 如图 3 所示。由图 3 可知: 利用三维激光扫描技术测量到的地下室点坐标与实际坐标位置基本一致, 说明基于三维激光扫描技术测量的建筑物地下室空间信息可信度较高。



1—实际点; 2—测量点。

图 3 建筑物地下室测量点与实际点

为了进一步检验新方法的精度及可靠性, 选择两种主流方法与研究方法对比, 分别为基于倾

表 1 三维激光扫描参数

扫描方式	基准工作距/mm	扫描速度/(点·s ⁻¹)	空间点距/mm	扫描幅面/mm ²	扫描景深/mm	扫描精度/mm
多线交叉/单线	300	1 390 000	0.01 ~ 3.00	600 × 550	520	0.01

斜摄影技术的测量方法和基于机器视觉的测量方法。随机选取 10 个测区, 每个测区抽取 1 个测点, 测算其测量值与实际值的皮尔逊相关系数。皮尔逊相关系数是评价测量方法性能的重要指标, 可以反映出测量结果与实际情况的相似度, 其计算公式为

$$\gamma = \frac{K - K_x}{\delta_k \delta_R} \quad (8)$$

式中: γ 为建筑物地下室测量结果皮尔逊相关系数; K 为测量平均值; K_x 为实际平均值; δ_k 为测量标准差; δ_R 为实际标准差。

皮尔逊相关系数取值范围为 0 ~ 1, 数值越接近 1, 则说明测量结果与实际情况相符程度越高, 对于该指标试验结果如表 2 所示。

表 2 建筑物地下室测量皮尔逊相关系数

测区点 位编号	新方法	基于倾斜摄影技 术的测量方法	基于机器视觉 的测量方法
W ₁	0.97	0.56	0.68
W ₂	0.96	0.57	0.67
W ₃	0.98	0.55	0.66
W ₄	0.94	0.53	0.68
W ₅	0.92	0.59	0.63
W ₆	0.98	0.57	0.67
W ₇	0.97	0.55	0.69
W ₈	0.91	0.52	0.62
W ₉	0.94	0.56	0.69
W ₁₀	0.94	0.54	0.66

由表 2 可知: 新方法的皮尔逊相关系数值最低为 0.91, 最高可达 0.98, 平均值为 0.951; 基于倾斜摄影的测量方法的皮尔逊相关系数值最低为 0.52, 最高可达 0.59, 平均值为 0.554; 基于机器视觉的测量方法的皮尔逊相关系数值最低为 0.62, 最高可达 0.69, 平均值为 0.665。从整体数据来看, 新方法测量结果的皮尔逊相关系数均高于对比的两种方法, 并且能够始终保持在 0.9 以上, 说明整体测量结果与实际值较为相似, 测量准确度较高。

通过对比表 2 数据发现, W₈ 点位的测量误差最大, 结合建筑地下室实际环境可知, 该点位对应的测区属于复杂结构区域, 包含较多的支柱、梁、墙体等, 该点位正好处于较多支柱围绕的狭

窄区域, 光线不佳, 阴影较重, 从而影响了测量精度。但是在此条件下, 新方法通过点云数据处理和配准, 建立地下室三维空间模型, 在一定程度上提高了测量精度, 将 W₈ 点位测量结果与实测值的皮尔逊相关系数保持在 0.91。这说明新方法性能良好, 其测量精度能够满足建筑物地下室测量的要求, 适用于建筑物地下室测量。

5 结 语

本文基于三维激光扫描技术的原理和优点, 结合建筑物地下室的特点, 设计了一种新的基于三维激光扫描技术的测量方法。通过对测量结果的精度分析和验证, 证实了该方法的测量精度能够满足建筑物地下室测量的要求。同时, 该方法具有操作简单、安全可靠等优点, 能够适应不同的地下室环境和测量需求。但是, 这种方法还存在一些局限性, 例如对于不同材质和颜色的地下室表面, 点云数据的获取和处理可能存在差异, 未来需要进一步探讨和研究如何提高点云数据的获取和处理效率和质量, 以更好地适应不同的地下室环境和测量需求。

参考文献:

- [1] 邹江. 三维激光扫描技术在矿山巷道断面测量中的应用[J]. 山西建筑, 2023, 49(20): 184 - 187; 198.
- [2] 文玉玉, 冯绍海, 丘仲锋, 等. 手持激光扫描仪获取地下车库三维模型的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2022(22): 156 - 159.
- [3] 高元鹏. 移动三维激光扫描设备在地下车库测绘中的应用[J]. 北京测绘, 2023, 37(7): 964 - 968.
- [4] 王博. 车载三维激光扫描技术在高速公路改扩建中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(9): 56 - 59.
- [5] 高瑞金. 基于三维激光扫描技术在地铁竣工检测方向上应用及研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(26): 85 - 87.
- [6] 姜鑫, 杨校辉, 贺新元. 基于三维激光扫描的堆积体滑坡变形机理及阈值模型试验研究[J]. 甘肃地质, 2023, 32(3): 64 - 73.
- [7] 杨昊, 周锦为, 宿文姬, 等. 基于三维激光扫描的 BIM 技术在城市老旧建筑改造的应用[J]. 华南地震, 2023, 43(3): 183 - 188.

(下转第 72 页)

护成本。

3.2 经济效益分析

高架桥海绵设施蓄水池蓄水量为 32.592 m^3 , 雨水收集箱蓄水量为 600 m^3 。按照每年循环 10 次, 使用年限 30 a 计算, 可节省 $(32.592 + 600) \times 10 \times 30 \times 3 = 56.933$ 万元。雨水收集措施及下沉式绿地、生态植草沟等绿色空间, 既是控制雨水径流、源头减排的设施, 又是吸收消化 CO_2 的主力。据统计, 每节约 1 t 水可减少 CO_2 排放约 0.91 kg, 通过蓄水池及雨水收集箱蓄水可减少 CO_2 排放量 $(32.592 + 600) \times 10 \times 30 \times 0.91 = 172.7 \text{ t}$ 。

4 结 语

本文结合临沂市双岭路高架路海绵城市改造提升建设工程, 研究开发了一种新型高架桥雨水收集利用系统。该系统利用雨水收集箱和塑料模块蓄水池收集高架桥面的雨水。需要时, 将蓄存的水“释放”并加以利用, 大大提升了环境效益和经济效益, 可以用于景观建设、绿化区灌溉, 更可起到蓄水、保水功能, 缓解了高架桥雨水系统压力, 而且改善了该区域沿线生态景观环境, 实现了桥梁的生态节能和绿色环保, 助力节能降碳。

参考文献:

- [1] 孙明亮, 李一鸣, 刘超, 等. 高架桥排水设施优化探讨[J]. 市政技术, 2023, 41(2): 53–58; 97.
- [2] 孟媛. 城市快速路高架桥附属空间景观规划设计研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.
- [3] 徐明明. 住宅小区污水、雨水利用设计[J]. 工程建设, 2020, 52(1): 36–40.
- [4] 程瑞; 方韬. 城市高架桥绿化自动滴灌系统设计探讨[J]. 建材与装饰, 2020(9): 59–60.
- [5] 赵寒雪, 吴竞雄, 丁冉. 某人文绿道规划建设初探: 以武汉市环汉口人文绿道为例[J]. 工程建设, 2023, 55(11): 47–51; 57.
- [6] 方韬, 程瑞. 城市高架桥桥面雨水收集利用探索[J]. 低碳世界, 2020, 10(1): 173–174.
- [7] 刘级, 邵昊. 高架桥雨水收集利用系统研究[J]. 城市道桥与防洪, 2018(9): 162–164; 19.
- [8] 费宇婷, 郭霄宇, 解明媛. 高架桥下雨水收集利用案例[J]. 中国给水排水, 2016, 32(14): 103–106.
- [9] 张斌, 胡晋茹. 干旱区路面雨水集流与综合利用技术研究[J]. 公路工程, 2019, 44(5): 53–56.
- [10] 陈庆泽, 茅炜挺, 李骏豪. 结合城市立交体系的雨水生态收集利用系统设计: 以合肥金寨路高架为例[J]. 安徽建筑, 2016, 23(3): 217–219.
- [11] 唐细彪. 旧桥桥面应急排水与收集系统设计[J]. 城市道桥与防洪, 2021(1): 107–109; 13.
- [12] 范潇潇, 姚雅. 基于 LID 的天津市立交桥附属空间雨水综合利用研究: 以卫昆桥为例[J]. 艺术与设计(理论), 2021, 2(4): 65–67.
- [13] 陈国华, 郑二洋, 郭欣欣. 海绵城市理念在城市道路建设中的应用[J]. 湖南交通科技, 2021, 47(4): 83–86.
- [14] 蒋振欣, 张琦, 戴国俊. 城市道路雨水径流综合利用研究: 以南京市赛虹桥立交桥为例[J]. 国土绿化, 2021(1): 54–57.
- [15] 张红, 乔玲敏, 沙广宁, 等. PPB 模块雨水收集回用系统施工案例分析[J]. 施工技术, 2017, 46(S1): 1039–1043.
- [16] 刘林. 大体积模块化雨水收集系统施工技术要点[J]. 石材, 2023(9): 81–83.
- [17] 刘伟, 李永峰, 董斌, 等. 火神山医院配套雨水系统调蓄池建造技术[J]. 施工技术, 2020, 49(12): 90–92.

(上接第 66 页)

- [8] 赵玉霞, 王宗年, 周美川. 三维激光扫描技术在建筑物表面平整度检验中的应用[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(17): 89–92.
- [9] 赵磊, 毛芳芳. 三维激光扫描技术在城市地标建筑三维模型重建中的应用[J]. 黑龙江科学, 2023, 14(16): 78–80.
- [10] 陈筱妹. 在建工程地下室上浮专项检测鉴定与加固措施[J]. 工程技术研究, 2020, 5(13): 41–43.