

基于三维激光扫描技术的文保构筑物测绘及建模适用性探讨

杨 敏, 方 林, 陈志强

上海房屋质量检测站有限公司, 上海

收稿日期: 2024年5月30日; 录用日期: 2024年6月19日; 发布日期: 2024年6月27日

摘要

根据文物保护的勘察需要, 针对文保构筑物测绘的技术难点, 采用三维激光扫描技术, 以碉堡和城墙构筑物为例分别进行应用介绍, 基于点云数据现状还原的特点, 大大提高了测绘成果的深度和准确性。另一方面, 对于文保构筑物的三维建模, 通过分析多种主流三维建模软件的功能, 结合不同类型构筑物的特点, 最终在碉堡建模上推荐Geomagic系列, 在城墙建模上推荐Sketchup, 上述软件在操作和文化表达上均有较好的适配性。

关键词

三维扫描, 三维建模, 碉堡, 城墙

Discussion on the Applicability of Mapping and Modeling of Cultural Preservation Structures Based on 3D Laser Scanning Technology

Min Yang, Lin Fang, Zhiqiang Chen

Shanghai Housing Quality Inspection Station Co., Ltd., Shanghai

Received: May 30th, 2024; accepted: Jun. 19th, 2024; published: Jun. 27th, 2024

Abstract

According to the investigation needs of cultural relics protection, aiming at the technical difficul-

ties of mapping cultural preservation structures, 3D laser scanning technology is adopted to introduce the application of blockhouses and city wall structures respectively. Based on the characteristics of point cloud data status reduction, the depth and accuracy of surveying and mapping results are greatly improved. On the other hand, for the 3D modeling of cultural preservation structures, by analyzing the functions of a variety of mainstream 3D modeling software, combined with the characteristics of different types of structures, I finally recommend the Geomagic series on bunker modeling and Sketchup on city wall modeling. The above software has good adaptability in terms of operation and cultural expression.

Keywords

3D Scanning, 3D Modeling, Blockhouse, City Wall

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来，散落在城市各个角落的文保构筑物越来越多的受到人们的关注，文物保护工作不仅仅是保护而保护，而是以传承文明为目的，对文保构筑物进行合理的利用，赋予充分展示的平台，这样才能更好地发挥文物的历史价值[1]，文物的保护、管理和展示是一个有机的整体，是一项全新的课题。

随着文物普查、文物勘察等一系列工作的开展，文保构筑物的测绘成为一个必须的工作内容，由于构筑物不像建筑一般会有部分图纸资料，其形状较为多样化，且存在不同程度的损伤，因此给测绘工作带来了一定难度。另一方面，数字化文物归档是大势所趋，以高保真度的三维模型展现文物的颜色、纹理、形态等特征，既增强文物的保存性和展示效果，又可以通过数字化的手段传承和共享文物文化遗产，成为了必不可少的基础资料[2]。

三维激光扫描技术是近年来兴起的新型测绘技术，它是测绘领域继 GPS 技术之后的一次技术革命，实现了传统单点测量进化到面测量的技术突破，在历保建筑中有着突出的测绘效果。本文将以文保构筑物中的碉堡和城墙为例，详细介绍采用三维激光扫描技术，在此类测绘项目中的优越性，并针对两种不同类型构筑物三维建模的适用性进行探讨，为后续类似的项目提供参考借鉴。

2. 三维激光扫描及建模技术简介

三维激光扫描采用非接触式高速激光测量方式，利用向被测对象发射激光束和接收由被测物发射回的激光信号获取被测对象的空间坐标信息，得到所需的海量“点云数据”。该技术可直接将各种大型、复杂、不规则实体或实景的三维数据完整地采集到电脑中，进而快速重构出目标的三维模型及线、面、体、空间等各种制图数据[3]。与传统测绘方法相比有不可比拟的优势，为勘察和测绘提供了更加便捷有效的技术手段，目前已在多个领域有着突破性的测绘表现。

根据三维点云数据，可以进行各种后处理工作(如：测绘、计量、分析、仿真、模拟、展示、监测、虚拟现实等)，而三维建模是点云成果转化的重要媒介，目前点云数据主要通过三种形式进行三维建模，(1) 基于扫描(逆向设计)的 3D 建模软件，即该软件是专门开发用来处理点云的三维建模，较为主流的如 Geomagic 系列、PolyWorks 等；(2) 基于扫描仪专业插件的 3D 建模软件，即将点云数据通

过插件导入三维建模软件中进行建模，主要有 Revit、3Dmax 等；(3) 基于图形的 3D 建模软件，即先根据点云数据绘制成平、立、剖等矢量图形，随后根据图形或图纸进行建模的三维软件，主要有 Rhino、Sketchup 等。点云建模技术分类见图 1 所示。

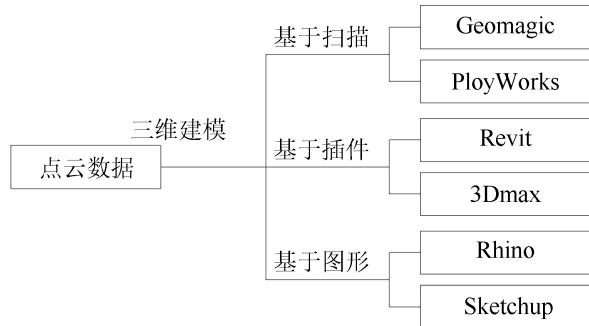


Figure 1. Classification of point cloud modeling techniques
图 1. 点云建模技术分类

3. 碉堡构筑物

碉堡是具有端口或洞口的防御性结构，防御者可以通过这些端口或枪口直接射击。整体用砖、石、钢筋混凝土等建成，具有极高的防御强度，可以起到容纳和保护内部人员的作用。碉堡也被视为一种战争建筑，其建造和维护都需要耗费大量的人力和物力资源。

碉堡的结构设计以其防御功能为主线，主要包括以下防御性结构特点：(1) 墙体：碉堡的墙体通常很厚，用优质混凝土或砖石材料建成，具有较强的抗攻击能力。(2) 入口：碉堡通常有 1~2 个入口，除盖板上普遍的入口外，往往还会有一个侧入口与地道相连，主要作为人员和物资转移的通道。(3) 枪眼：碉堡中枪眼的形状构造很特殊，从外看是一个喇叭形，在最里面的口径较小，而最外面口径较大，在这种情况下，内部的人可以全方位进行观察、瞄准和射击^[4]。此外碉堡还包括观察哨、掩体、通讯设施等防御性结构。

3.1. 案例碉堡测绘

某碉堡位于上海市徐汇区，规划徐汇区旧城区改建项目内，单层钢筋混凝土圆形建筑为主，已公布为该区文物保护点。碉堡修建年代为抗日战争时期，占地面积约 9.1 平方米，军事建筑及设施，起掩蔽防御作用。碉堡现状存在局部破损、钢筋裸露锈蚀等情况，侧壁表面局部有弹孔痕迹，目前处于荒置状态，亟待保护修缮。由于碉堡建造的特殊历史背景，作为城市发展的历史遗迹以及革命历史教育的实物见证，具有较高的文化价值及爱国主义宣传意义。

建筑结构图纸是文物保护的必备资料，对于该类型构筑物而言，图纸测绘本身就是一个技术难题，采用传统测绘手段，只能粗略的进行量测，外部轮廓、内部结构特征及细部尺寸均难以准确的反应。因此尝试采用三维激光扫描技术，由于碉堡长期处于户外，首先需要对碉堡本体的室内外进行必要的清理工作，随后由于碉堡的顶部盖板已被封堵，考虑需要进行室内扫描，继而对碉堡的周边及入口侧进行一定范围的深度开挖，上述均为尽可能全面的采集构筑物数据提供必要条件。

随后根据室内外的环境和特征部位合理的布置测站，扫描过程中选取合适的分辨率，通过平台侧面的入口进行室内外的拼接组合，共布置 5 个测站，将数据进行拼接、去噪后得到整体三维点云模型，见图 2 所示。

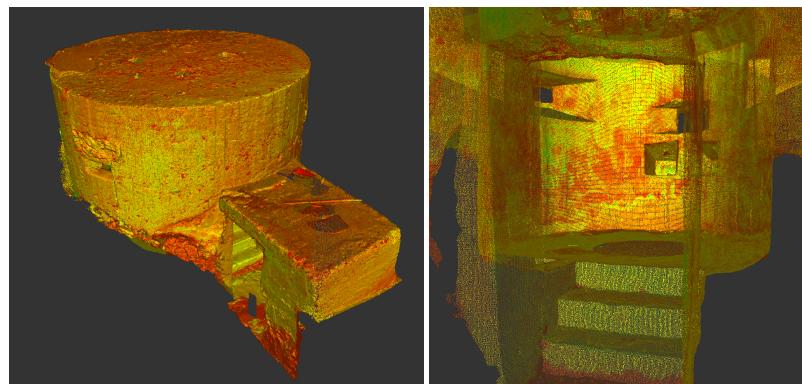


Figure 2. Bunker point cloud model

图 2. 碉堡点云模型

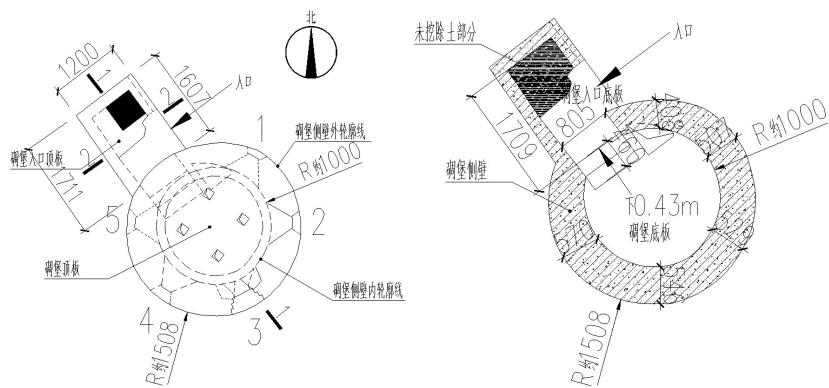


Figure 3. Plan of the bunker

图 3. 碉堡平面测绘图

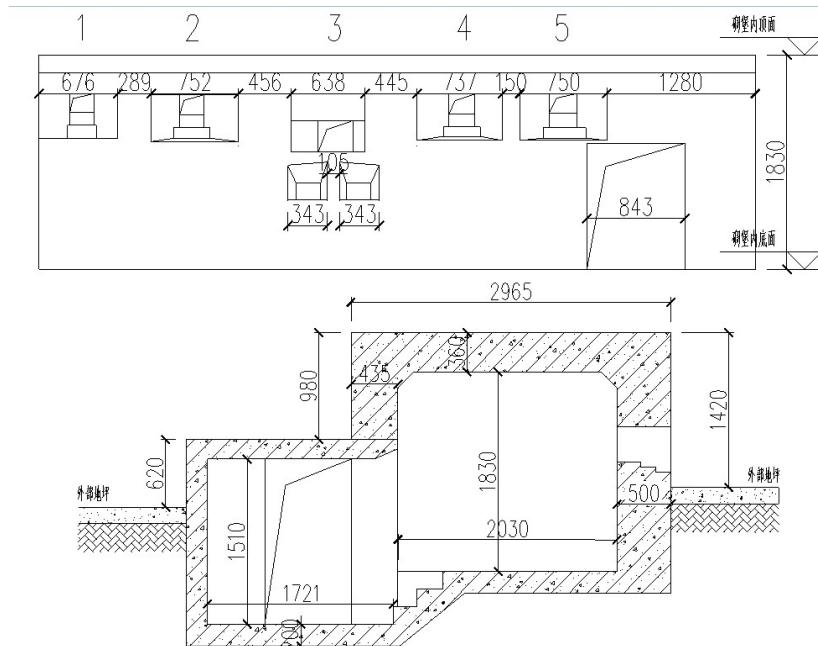


Figure 4. Bunker elevation, section view

图 4. 碉堡立、剖面图

将三维点云数据进行两个方向的剖切，基于点云数据在 CAD 中进行详细的绘制，得到碉堡完整的平、立、剖测绘成果，见图 3、图 4 所示，此版测绘成果相较于传统测绘手段具有以下技术突破点：(1) 对于碉堡的外部轮廓而言，绝对不可能是一个整圆，只能是由多段弧形组合的类圆，对于碉堡的内部构造及细节尺寸，可以进行准确的定位和量测；(2) 该碉堡墙体厚度并不均匀，实际厚度由 1 号枪眼附近开始顺时针逐渐增大，约为 400~580 mm；(3) 各枪眼外径大内径小，且内外构造完全不同，中间连接部位具有特殊的过渡；(4) 通过平面成果准确布置枪眼的实际位置，对于枪眼所在的弧线及枪眼间的弧线一一进行量测，进而精确绘制出碉堡的立面展开图。

3.2. 建模适用性

根据碉堡构筑物的形状特征，结合三维点云数据，在建模时从两方面进行考量。首先是建模的可操作性，因此在该类型模型中先排除了适用于规则形体的 Revit 和 3Dmax，继而在 Rhino、Sketchup 和 Geomagic 系列软件中进行选择。随后，基于已经绘制好的平、立、剖测绘图纸，可以较为容易通过 Rhino 和 Sketchup 建立一个规整完好的碉堡三维模型，但这样的三维模型太过于“完美平滑”，完全无法体现出文保的历史沧桑和文化底蕴。综上所述，认为 Geomagic 才是最适用于碉堡构筑物的三维建模软件，Geomagic 系列的最大特点在于可以基于点云数据快速生成三角面片模型[5]，并可进行适当的局部修补和曲面过渡处理，如需进一步重构出的整体面的模型则需要 DesignX 系列进行二次建模，但由于碉堡本身就存在战争和历史所遗留的如破损、弹孔等损伤，且其混凝土中石子较多，粒径过大，表面较为粗糙，因此面片模型的精度已经可以满足其建模的需要，亦可以完全反映历史遗留的残缺特征，进一步展现其文物气质和历史价值。

将处理好的点云数据导入 Geomagic 软件中，主要操作步骤为：(1) 对点云进行清理、过滤，将其坐标系进行转正；(2) 对点云数据进行封装处理(面片化)，可以通过不断调试三角面片的数量来提升模型的整体效果，此步骤也与现场扫描时的采集分辨率息息相关；(3) 对初步形成的面片模型进行必要的修复工作，如孔洞、针状凸起物等等，以提高模型的表面质量；(4) 对网格进行简化，或采用网格医生或网格重构来提升网格排布的合理性。Geomagic 面片模型见图 5 所示，案例碉堡面片模型渲染效果见图 6 所示。

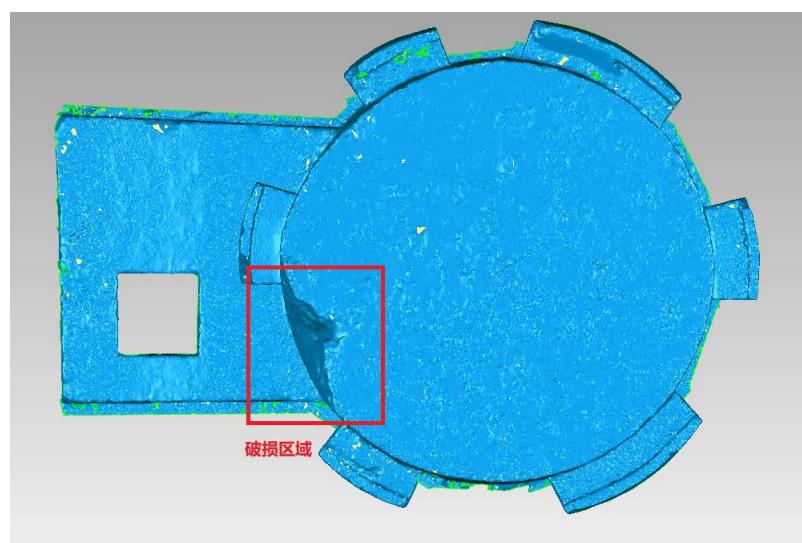


Figure 5. Bunker sheet model

图 5. 碉堡面片模型

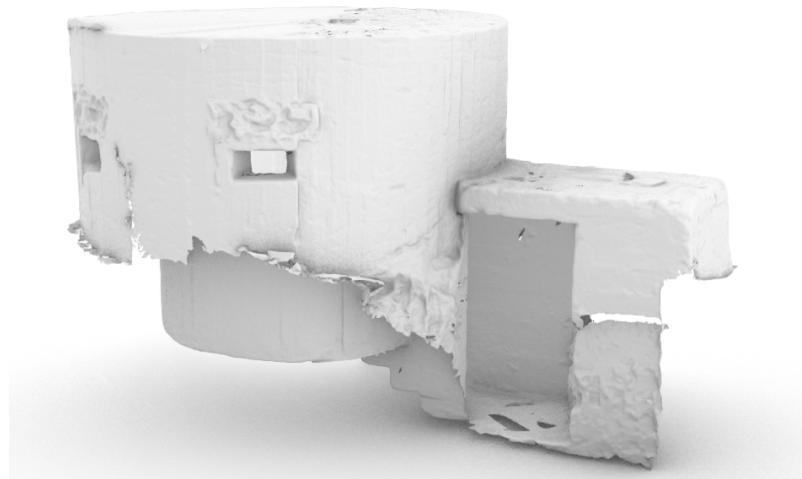


Figure 6. Model rendering effect
图 6. 模型渲染效果

4. 城墙构筑物

城墙作为城市、城池和城堡的抵御外侵防御性建筑，中国古代城市的城墙从结构和功能分，主要由墙体、女墙、垛口、城楼、角楼、城门和瓮城等部分构成，绝大多数城墙外围还有护城河。从建筑的原材料分，分为版筑夯土墙、土坯垒砌墙、青砖砌墙、石砌墙和砖石混合砌筑多种类型[6]。我国古代城墙的广泛应用与丰富内涵，是世界其他各国所远莫能及的，因此对于可以保存的城墙，应进一步将它们合理组织到今后新的城市建设规划中去，以充分发挥它们在历史文化和城市风貌中的价值和作用。

4.1. 案例城墙测绘

南城墙位于嘉定南水关公园内，始建于元代至正十八年(1358 年)，为一座 2 层的小型水门城楼，长 15 米、宽 9.2 米，前拱跨度 7 米、高 4.5 米，后拱跨度 5.7 米、高 3.5 米，有上关台阶、平台、御敌楼、城堞、望凤眼等，城墙下部为条石、上部为砖墙。古时候为抵抗倭寇而建，南城墙在嘉定古城墙中是保存得较为完整的一段，具有非凡的历史意义，目前已为上海市文物保护单位。

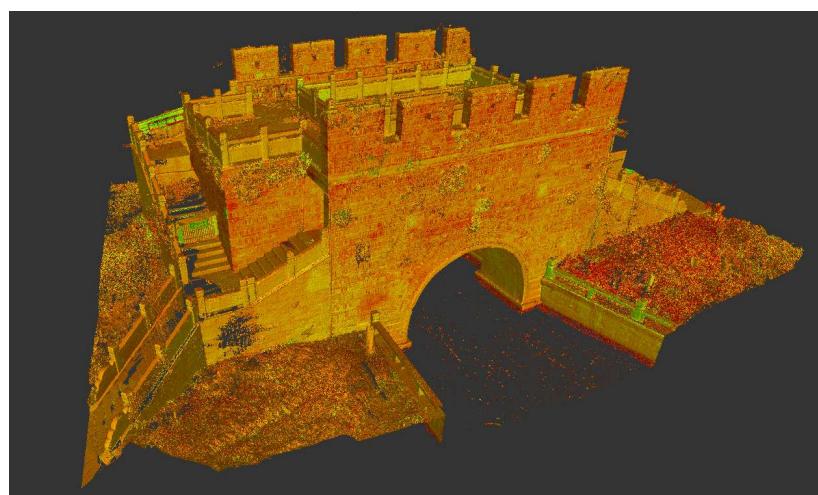
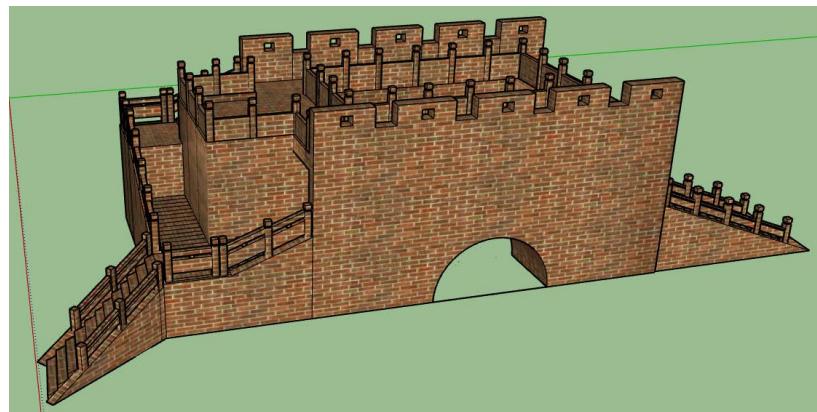


Figure 7. City wall 3D point cloud model
图 7. 城墙三维点云模型

**Figure 8.** Vertical brick drawing**图 8.** 立面砖砌绘制

采用三维激光扫描技术对南城墙进行全面扫描数据采集，共布置 15 个测站，范围覆盖双侧城墙、桥拱、台阶、通道及各种构造，经过拼接、去噪、校核、抽稀等处理等步骤后得到整体三维点云模型，见图 7 所示，通过点云模型，可以准确的绘制出城墙的平、立、剖及细部大样，对于此类露天的构筑物来说，河道、堤岸等周边环境同样需要反应到测绘成果之中，形成元素融合的总平面布置图。值得注意的是，城墙的砌筑工艺是独具匠心的，结合不同部位的功能和形状要求，形成一系列砌筑方法和技艺，因此点云数据的最大优势在于，通过导入 CAD 进行 1:1 的描绘，可以细致的把所有的砌筑表达出来，见图 8 所示，继而还原城墙构筑物的精髓所在。

4.2. 建模适用性

**Figure 9.** Wall brick mapping 3D model**图 9.** 城墙砖砌贴图三维模型

由于城墙的建筑形态较为规整，因此采用主流三维建模软件基本都可以将其建立出来，本次采用 Sketchup 软件建立南城墙的三维模型，采用软件自带的砖砌材质进行模型表面的填充，见图 9 所示，其他几款三维建模软件也都具有此类贴图的功能，然而这样的操作都无法体现出城墙构筑物的独特砌筑工艺，或只能说是看个大致的三维效果，且后期如进行 3D 打印成模后会与本体有明显的差异。在比对几款三维建模软件的建模特点和功能后，Sketchup 软件脱颖而出，通过前面描绘的带有砌筑方式的精细立面测绘图，利用 Sketchup 建模中可以快速表达立面元素前后关系的特点，形成砖与砂浆的凹凸关系，将城墙的砌筑形态准确的建立出来，见图 10 所示，以此更好的展现城墙的文化艺术价值，城墙模型贴图砌

筑与现状砌筑的部分比对见图 11 所示。

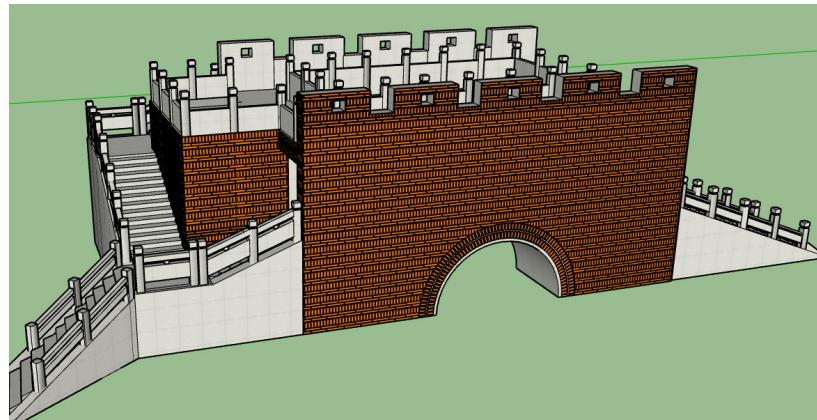


Figure 10. 3D model of brick construction of city wall
图 10. 城墙砖砌现状三维模型

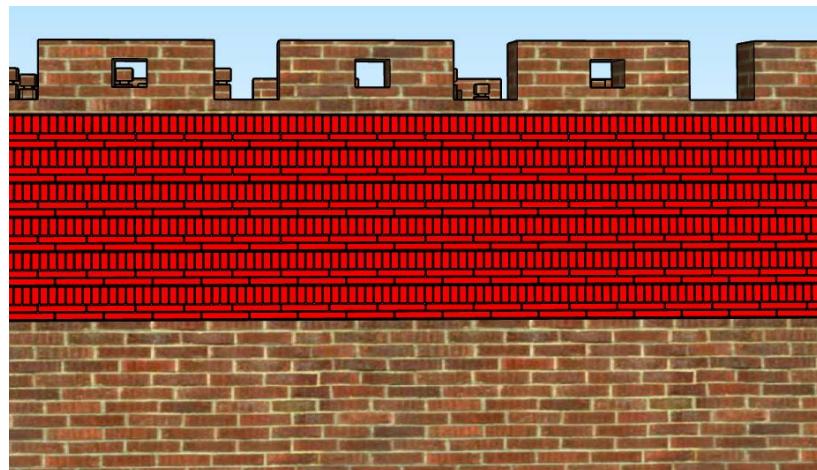


Figure 11. A partial comparison of texture masonry and current masonry
图 11. 贴图砌筑与现状砌筑的部分比对

5. 结论

(1) 针对碉堡构筑物不规则的主要特点,采用三维激光扫描技术,基于点云数据进行图纸绘制,同时导入 Geomagic 软件中进行三维建模,充分体现三维激光扫描现状还原的特点,大大提高了碉堡测绘图纸的深度和准确性,使得三维模型保留并展示其历史所赋予的特征。

(2) 对于城墙构筑物,采用三维激光扫描技术,除了能够形成平、立、剖以及包含周边环境元素的总平图之外,针对城墙构筑物具有非凡砌筑技艺的特点,基于点云数据精确描绘出墙体的砌筑工艺,利用 Sketchup 软件快速表达立面元素前后关系的功能特征,将整个墙体砌筑的细节充分还原到三维模型中,展示了古城墙的文化底蕴和艺术特色。

参考文献

- [1] 陈曦. 文物保护的公众宣传[J]. 文化产业, 2023(34): 34-36.
- [2] 姜宽舒, 于泓, 宋元山, 孟德伟, 丁皓, 何成勇. 基于三维扫描及 3D 打印的文物数字化保存与逆向修复技术研

- 究与应用[J]. 科学技术创新, 2024(2): 17-23.
- [3] 杨敏. 上海里弄建筑甄别中的三维测绘技术应用[J]. 住宅科技, 2022, 42(12): 61-64.
- [4] 闫文韬. 太原近代碉堡建筑防御性功能探析[J]. 山西建筑, 2017, 43(20): 1-3.
- [5] 杨敏, 马俊杰, 张俊. 三维激光扫描技术在复杂曲面中的应用[J]. 测绘科学技术, 2021, 9(3): 82-89.
- [6] 郑剑艺, 刘樵. 泉州历代城墙范围演变与砌筑方式[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2013, 34(2): 205-209.