

三维激光扫描技术在城市古桥保护中的应用探讨 ——以渭源灞陵桥为例

山 岚¹, 张 龙¹, 洪生辉², 马力鹤¹, 安德龙¹, 李凤娟¹

(1. 甘肃交通职业技术学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州交通大学, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 随着科技的发展, 三维激光扫描技术在对建筑物进行数据采集工作中体现出一定优势。甘肃省渭源县灞陵桥是全国独一无二的纯木质伸臂叠梁拱桥, 因其高超的建构艺术和科学价值而久负盛名。以渭源县灞陵桥为例, 基于三维激光扫描技术对古桥进行点云数据的采集与处理, 并依托点云数据对该古桥的数字化保护进行应用与探讨。

关键词: 三维激光扫描; 古桥保护; 灞陵桥

中图分类号: TB22; P208

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)09-0205-04

0 引 言

城市桥梁作为城市交通的组成部分, 是连接城市道路的重要纽带。中国是桥梁大国, 在古代无论是建桥技术还是桥梁数量, 都处于世界领先地位。位于甘肃省渭源县的灞陵桥, 是全国独一无二的纯木质伸臂叠梁拱桥。2006年6月, 渭源灞陵桥和兰州的标志性建筑物——黄河铁桥并列为国务院公布的第六批国家重点文物保护单位名单之中。渭源灞陵桥是一座古典纯木结构卧式悬臂拱桥, 俗称“卧桥”, 桥身全长40 m, 跨度29.5 m, 高15.4 m, 宽4.8 m, 始建于明代洪武年间, 后遇洪水被毁。1919年仿兰州卧桥再建成纯木悬臂式拱桥, 后兰州“握桥”被毁, 渭源灞陵桥遗世独立。灞陵桥所具有的高超建构艺术和科学价值在中国乃至世界桥梁技术史上都起着非常重要的承上启下的作用。茅以升对灞陵桥的评价仅次于河北赵州同济桥^[1-2]。因而, 对渭源灞陵桥的保护工作意义重大。本研究以渭源灞陵桥为例, 应用三维激光扫描技术对该古桥进行数据采集与处理, 得到灞陵桥高精度的三维点云数据, 并对该古桥数字化保护应用进行探索。

1 技术运用优势

三维激光扫描技术的特点在于“所见即所得”, 在古建筑保护工作之初可对其进行无接触、高效性的数据采集工作。与传统的人工量取古建及其构件尺寸的方式相比, 三维激光扫描技术具有非接触式获取数据的特点和优势。在数据采集工作中, 能快速获取古建筑精度很高的点云数据。这些点云数据包含被测物体的三维几何信息, 改革了传统的人工测量方式。外业工作合理设站, 扫描安全性高、效率高、灵活性好; 内业工作对点云数据的处理精度高、速度快、后期利用度高。因渭源灞陵桥年代久远, 古桥部分木质结构存在变形, 现已禁止通行。结合本研究对象现状情况, 利用三维激光扫描技术对古桥进行点云数据的获取, 获得较高精度的古桥点云数据, 并应用该三维扫描点云数据对古桥进行数字化保护应用与探索, 能为文保部门提供新的工作技术方案与保护思路^[3]。

2 研究思路与实施过程

本研究主要工作以“前期调研—现状分析—数据采集—数据处理—数字化保护”来实施展开, 技术路线如图1所示。本研究主要工作基础在于外业数据采集和内业数据处理。此类工作是后期对灞陵古桥实现数字化保护的基础。

2.1 外业数据采集

基于前期调研中对古桥周边环境的现场踏勘分析, 本研究选用徕卡 RTC360 三维激光扫描仪完成数

收稿日期: 2021-01-31

基金项目: 基于三维激光扫描技术的古桥数字化保护研究
(2020B-340)

作者简介: 山岚(1987—), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为城市规划与设计。

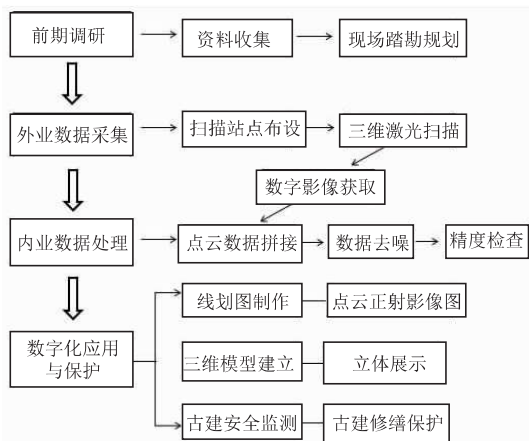


图1 主要工作技术路线图

据采集和部分数据处理工作。

2.1.1 扫描站点布设

结合该古建所处环境,对灞陵桥进行实地调研分析后,在古桥所在区位共计9个方位多视角进行设站,如图2所示。各站点在进行布设时考虑到相邻站点的通视性、各站点之间的互补性、所有站点的覆盖全面性等多方要素。多视角的扫描方式同时可在后期为采集所得的点云数据进行精确配准。外业数据采集依托黑白标靶来实现绝对坐标的配准和点云坐标系修正。



图2 渭源灞陵桥点云强度显示数据中扫描站点的分配图

2.1.2 扫描站点布设

对各站点实施扫描过程中,尽量避免周围行人走动的干扰。扫描设备调整至200万点/s的扫描速率,单站扫描26s,以最佳130m的测程进行测量。系统集成成了1200万像素,3个相机共4.32亿的全景像素彩色相机,最终得到精细的照片级三维彩色影像。扫描分辨率设置考虑到灞陵桥各细部构建,将分辨率设为12mm低分辨率。

2.2 内业点云数据处理

外业扫描结束后,依次进行点云数据预览、拼接、精度检查等工作。内业点云数据处理环节工作所依托的数据处理软件已较为成熟,一定程度上满足了古建筑保护管理的实施要求。

2.2.1 点云预览

将设备扫描所得的数据转存至徕卡点云处理软件Cyclone中进行数据处理。在点云处理软件Cyclone中创建一个数据库,来进行数据导入后的点云数据预览。

2.2.2 点云拼接

RTC360拥有VIS视觉追踪系统,可以实现点云自动拼接。因此,数据在导入过程中也进行着点云拼接的流程。数据导入完成后,得到一幅拼接完整的点云数据图。点云导入后选择Register进行优化,外业扫描所得的灞陵古桥点云数据如图3所示。



图3 渭源灞陵桥三维激光扫描后彩色点云数据图

2.2.3 精度检查

点云整体拼接完成之后,需要对其进行拼接精度检查。初始数据整体的拼接精度都应保持在项目允许的范围之内,以保证在后期数据使用过程中的相对精度。精度检查有以下两种流程:

(1)目视检查。通过预览拼接好的点云数据,对其进行整体的、细致的目视检查。通过目视观察,检查在点云数据中是否存在拼接问题,如明显可见的错层、错位等。

(2)精度表检查。在目视检查结束后,再通过点云数据的拼接精度表对拼接精度进行检查,对误差较大的测站链接进行重新检查拼接。确保无误后,将数据生成整体数据。

2.2.4 点云去噪

在对古桥进行外业数据采集时,扫描设备以130m测程进行数据扫描与采集,所得的点云会将古桥本体及其周边环境囊括其中。受周围行人、树木等影响而出现的噪点,都是不属于古桥本身数据的部分。为保证后期对古桥进行三维建模时数据的真实性,既要提高点云数据的精度,还要做好对点云数据的去噪等方面的工作。

点云数据去噪是在内业数据处理中人工将整体数据中影响后期数据处理和进一步数据利用的噪点数据进行剔除和处理的工作流程,主要工作为大范围去噪与精细化去噪,如图4、图5所示。

以上步骤完成之后,导出渭源灞陵桥的整体点



图4 渭源灞陵桥点云数据大范围去噪示例



图5 渭源灞陵桥点云数据精细化去噪示例

云数据影像图,如图6所示。该数据是经过影像配准之后形成的点云整体模型。只有经过整体配准之后的点云数据,才能为后期古建筑保护利用等项目提供精确的基础数据资料。



图6 渭源灞陵桥立面彩色点云图

3 数字化保护应用与探索

灞陵古桥的点云数据包含一定密度的建筑三维空间信息与颜色属性,可作为最主要的三维激光扫描实施的成果。本研究将三维激光扫描技术与城市古桥保护相结合,得到高精度的点云数据后,继续探究如何较好地应用点云数据进行城市古桥数字化保护工作

3.1 线划图制作

基于扫描得到的灞陵桥点云数据整体模型包含了该古建筑完整的几何信息、内部结构和周边的环境信息。经整体配准后的这部分数据即可作为正射点云图,适合继续进行该古桥现状图的记录与绘制。依托 RTC360 自带的插件,快速读取外业获得的点云数据,利用 CloudWorX 插件的裁剪工具对点云数据进行切片处理,在 Auto CAD 软件中对切片后的古桥数据进行绘制,得到如图7所示的灞陵桥立面图。

古建筑测绘是古建筑保护和管理工作的基础,通过对点云数据的绘图利用,可以进行古桥所需二

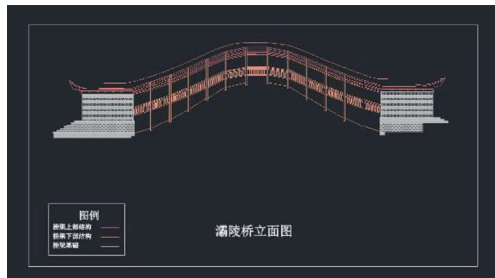


图7 渭源灞陵桥立面图

维图线的绘制、标注和输出等工作,获得的线划图为古建筑后期的修缮、管理等工作提供了最基础的图纸资料。

此外,在绘制提取的线划图表达方式上可以进行创新,如将传统的 CAD 图纸结合点云数据的现状正射影像图进行结合^[4-5]。我国古建筑历经几千年的发展,建筑结构、建筑形制、建筑风格逐渐统一,并具有地方特色。为更好地展现渭源灞陵桥这样一座古典纯木结构的卧式悬壁拱桥,在图纸表现方式上可将古桥点云正射图作为背景,将 CAD 绘制出的古桥主体部分线条进行突出显示,两者融合映衬,将成果合成输出,如图8所示。这样既满足了传统建筑制图的要求,又能够对灞陵古桥的建筑材料、建筑细部、建筑环境色彩等准确、直观地表现出来。



图8 渭源灞陵桥立面二维线划图与彩色点云融合图

3.2 三维建模

在内业点云数据处理工作之后,可依托 3ds Max、Revit、Context Capture 等第三方建模软件对灞陵桥进行基于点云数据的三维建模工作。也可利用点云数据与 BIM 相结合,建立灞陵古桥参数化模型,对古桥进行真实尺寸、建筑材料、外貌和历史文化等各项属性信息的记录。这样便可以满足文保部门古桥数字化保护信息存档、数据库建立、多部门配合等工作需求。此次研究工作利用 Context Capture 实景三维建模软件对古桥进行建模,并进行效果匹配,建模正面图,如图9所示。就三维模型应用来说,可根据文保部门的需求完成古桥正射影像图、平面工程图的制作。通过对比以往图件,来进行梁柱变形等研究分析。

3.3 立体展示

二维图纸的平面呈现形式使得大众对古桥的认知具有一定的局限性,而三维立体化的展示则有利



图9 渭源灞陵桥三维建模立面效果图

于人们对古桥进行更多信息的解读与研究。可利用三维建模后的古桥模型,结合现代化信息技术,采用多视角、动态交互式的展示方式,对古桥进行任意角度的浏览,如翻转、拖动、放大、缩小、剖切等。也可利用VR技术开发互动程序,对古桥进行立体化展示,如对现场环境、古桥上下进行虚拟漫游,使得人们更直观地观察到古桥的建筑细部、结构特征等。同时也可展示古桥残损变形等信息,方便文物保护者对其情况进行把控研究。

3.4 变形监测

传统测绘数据细碎繁杂,三维激光扫描对古桥数据的采集工作效率高、安全性好。其特点是“所见即所得”,通过设置高分辨率采集得到的高密度点云数据能够直观地把握古桥整体尺度,展现病害残损等信息。同时,对于古桥点云数据可以进行一定周期的采集更新工作,将每个周期得到的点云数据进行对比分析,用来把握古桥本体的形变、古建筑残损等情况,从而实现古桥保护的实时监测。这对古桥安全监测、保护防范等管理工作具有重大意义。

4 结 语

从三维激光扫描技术应用于渭源灞陵桥的保护

研究项目来看,三维激光扫描技术为外业数据采集工作提供了方便、高效的技术手段与实现途径。另外,三维激光扫描本身的工作方式,便是对古建筑保护的一种形式体现。内业数据处理快速、便捷、精度高,数据处理软件已较为成熟;高精度的点云数据拓展应用性高,为古桥的保护管理工作提供了现代化、信息化、数字化的思路。

本项目的实施也存在一些欠缺。古桥三维建模效果还不够精细,一方面是因为古桥周围树木的遮挡,对古桥进行扫描时未能全面地采集到古桥本体的所有数据;另一方面,三维激光扫描所进行的地表扫描缺失建筑顶部的数据。在扫描站点布设时,对古桥顶部无法进行设站,导致古桥顶部点云数据量有限,三维建模后效果欠佳。为提升古桥数据采集的全面性,后期可将三维激光扫描技术与无人机贴近摄影测量技术进行结合,内业对所得数据进行比对与补充,可在一定程度上完善古桥数据采集工作。而高精度的点云数据是后期对古桥进行数字化保护的数据基础。

参考文献:

- [1] 茅以升. 中国古桥技术史[M]. 北京:北京出版社,1986.
- [2] 渭源灞陵桥[EB/OL]. (2020-07-24). <https://baike.so.com/doc/6072060-6285133.html>.
- [3] 王莫. 三维激光扫描技术在故宫古建筑测绘中的应用研究[J]. 故宫博物院院刊, 2011, 6(6): 143-163.
- [4] 李雪. 基于三维扫描点云数据的古建筑数字化保护技术[J]. 城市建筑研究, 2018(1): 34-35.
- [5] 卜亚平, 任智龙. 木质古建筑三维数字化保护探讨[J]. 科技风, 2019(2): 111, 115.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com