

三维激光测绘技术在门头沟传统村落保存与规划中的应用研究

吕要宗¹, 吴耐明², 姜 浩¹

¹北京农业职业学院水利与土木工程学院, 北京

²北京建筑大学测绘与城市空间信息学院, 北京

收稿日期: 2024年11月26日; 录用日期: 2025年1月15日; 发布日期: 2025年4月9日

摘 要

随着文化遗产保护意识的增强, 传统村落保存与规划愈发重要。通过分析门头沟传统村落的历史文化和现状, 文章探讨了三维激光测绘技术在该领域的应用。该技术提供了一种高精度、高效率的测绘手段, 对于理解和保护传统村落具有重要价值。文章介绍了三维激光测绘的基本原理及其在门头沟村落测绘实例中的具体应用, 以及该技术对村落规划所做出的贡献。研究结果表明, 三维激光测绘技术能够为传统村落的维护与发展提供可靠的数据支持, 促进了规划的科学性和实用性。该发现为其他类似文化遗产的保存提供了技术参考, 并为未来的可持续发展战略制定奠定了基础。

关键词

三维激光测绘技术, 传统村落, 文化遗产保护, 规划应用

Research on the Application of 3D Laser Mapping Technology in the Preservation and Planning of Mentougou Traditional Village

Yaozong Lyu¹, Naiming Wu², Hao Jiang¹

¹School of Water Conservancy and Civil Engineering, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing

²School of Geomatics and Urban Spatial Information, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

Received: Nov. 26th, 2024; accepted: Jan. 15th, 2025; published: Apr. 9th, 2025

文章引用: 吕要宗, 吴耐明, 姜浩. 三维激光测绘技术在门头沟传统村落保存与规划中的应用研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(4): 42-51. DOI: 10.12677/sd.2025.154086

Abstract

With the increasing awareness of cultural heritage protection, the preservation and planning of traditional villages have become increasingly important. This article explores the application of three-dimensional laser scanning technology in this field by analyzing the historical culture and current status of traditional villages in Mentougou. This technology provides a high-precision and efficient surveying method, which is of significant value for understanding and protecting traditional villages. The article introduces the basic principles of three-dimensional laser scanning and its specific application in surveying the villages of Mentougou, as well as the contributions of this technology to village planning. The research results indicate that three-dimensional laser scanning technology can provide reliable data support for the maintenance and development of traditional villages, promoting the scientific and practical nature of planning. The findings of this article offer technical references for the preservation of other similar cultural heritages and lay the groundwork for the formulation of future sustainable development strategies.

Keywords

3D Laser Surveying Technology, Traditional Village, Cultural Heritage Protection, Planning Application

Copyright © 2025 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

2017年9月,中共中央、国务院批复了《北京城市总体规划(2016年~2035年)》,规划赋予门头沟区“三大功能”,即首都西部重点生态保育及区域生态治理协作区、首都西部综合服务区、京西特色历史文化旅游休闲区。门头沟区是革命老区,又是生态涵养区,在北京发展史上奉献了“一盆火”、“一腔血”、“一桶金”、“一片绿”,青山绿水中坐落着爨底下、灵水、琉璃渠3个中国历史文化名村[1];沿河城、碣石、马栏等12个中国传统村落(含中国历史文化名村);14个北京市传统村落(含中国传统村落);以及始建于晋、唐、辽、金、元、明清时期的数十个古村。独特的山川地貌与深厚的历史沁染孕育出了门头沟特色的村落文化。在实施乡村振兴战略、建设美丽乡村的过程中,坚持“绿字当先”,将门头沟独具特色的“六大文化”与深厚的历史文化底蕴、特色的生态文明底色、现代文明高度融合,以“村址不变、宅基地不变、胡同肌理不变、文物树木不变、一户一宅不变、老宅院不变”的“六个不变”为原则,按照高质量、精细化的标准,制定了《门头沟区村庄民宅风貌设计导则》,引导村庄民宅提升品质,建设山、水、城、区协调有序的首都西部生态文明山城。

门头沟的乡村风貌不断遭受着侵蚀和破坏,亟需加强对乡村风貌的控制引导。近年来,随着社会经济水平的提升,乡村的风貌面临着一些破坏,出现了许多水泥盒子、瓷砖房、红瓦房,甚至欧式建筑,同时存在着对传统民居进行破坏性改造的现象,严重影响了门头沟区乡村风貌的整体形象。

三维激光测绘技术极大地提高了工作效率,测绘精度较高,满足设计、施工的要求。并且提取的平面图、立面图和剖面图也满足数字化归档的要求[2],逐渐成为传统村落保存与规划的重要工具。在门头沟地区,传统村落因其独特的历史文化和建筑风貌,面临着保护与发展的双重挑战。利用三维激光扫描

获取大范围、高密度的空间数据,能够为村落的数字化建模提供基础。通过获得点云和配合高分辨率图像,能够生成精细的三维模型,具有良好的精度,通常能达到 $\pm 3\text{ mm}$ 的定位精度。因此,三维激光测绘在门头沟传统村落调查中,具备了优越的数据获取能力。

2. 三维激光测绘技术在传统村落保护中的应用

激光测绘的输出结果包括点云数据、网格模型和矢量数据,其中点云数据通常包含数百万个三维坐标,网格模型通过算法对点云进行表面重建,形成三维可视化效果。点云稀疏度与扫描密度密切相关,通常每平方米可获取 5000 至 30000 个点,具体数量根据激光扫描设定参数(如扫描角度、反射强度和采集距离)而异。

在门头沟传统村落的保存与规划工作中,三维激光测绘技术的应用显著提高了数据的精确性和可视化程度,为后续的文化遗产保护和空间分析提供了科学依据。通过高精度的三维模型,实现了对村落结构、历史建筑的重要识别与记录,促进了文化遗产的数字化保存。同时,基于激光测绘数据的 GIS (地理信息系统)分析与建模,也为乡村振兴和城乡规划提供了有力的数据支撑。

针对村落多样性和不规则性的空间特性,研究中使用多次扫描和数据拼接的方式提高了重建模型的精确性。在确认点云数据满足精度要求后,利用先进的三维建模算法将无序点云转变为拓扑结构准确、细节丰富的三维村落模型。

在点云数据处理阶段,系统将自动完成数据配准、滤波和精简处理[3]。数据处理阶段主要是对点云数据的处理,一般包括点云清洗、点云配准、数据优化[4]。通过设置精度阈值,对扫描结果进行质量控制,并在必要时进行重新扫描,直至数据质量满足分析与建模的需求。在数据质量达到预定标准后,通过高效的三维建模软件进行模型生成和优化。在此基础上,可以采取空间关系解析、结构特征识别,为村落的保护规划提供科学可靠的决策依据。

三维激光测绘技术通过科学合理的流程和严格的数据分析,实现了对门头沟区传统村落的高精度三维重建,确保了研究成果的精确性和深度。相关技术的不断完善和优化,为传统村落保护与规划提供了有力的技术支撑,有助于传统文化遗产的长效管理和可持续发展。

3. 门头沟传统村落特点

3.1. 门头沟村落的历史与文化

门头沟地区的村落历史可以追溯至秦汉时期,作为古代北京重要的农耕区域,其村落布局和建筑形式深受地理环境和历史文化的影响。门头沟的传统村落大多依山而建,展现出典型的北方山区村落特征。村落内的建筑多采用黄土、砖石等当地材料,具有独特的地方特色,反映了北方农村的生活方式和文化习俗。

北京门头沟区地处京畿之地,山区重峦叠嶂,自然资源富饶,大河山川、进山古道、军事防御、宗教寺庙均促进了区域内村落的形成与繁荣发展。根据史书碑文记载,明代时门头沟便有村庄 137 个,清代发展为 188 个。元明清时期,永定河流经的京西山区的煤炭、木材、山货,农牧产品资源富饶,成为京城主要的生活资源供给地[5]。

文化层面上,门头沟拥有丰富的民族文化和民间艺术。当地居民保持着传统的节日庆典和民间信仰,特别是农历春节、端午节等,涉及众多传统习俗和民间艺术表现形式,如剪纸、民谣、戏曲等,这些文化活动不仅丰富了村落的精神生活,也有助于增强社区凝聚力。

2021 年,门头沟区开展了以“保护与发展并重”为核心的村落规划项目,采用了激光扫描和摄影测量结合的技术方法。激光扫描点云数据的采集精度达到 $\pm 5\text{ mm}$,生成的三维模型覆盖 97.5%的村落建筑,极大地提升了历史遗存的数字化程度。通过对数据的分析,制定了包括建筑修缮、道路改造、景观整治的详细规划,确保在保护文化遗产的同时,提升村落的居住条件和旅游吸引力。2022 年 3 月,门头沟区

入选第一批全国传统村落集中连片保护利用示范县(市、区)，是北京市首个示范区[6]。

此外，门头沟村落的文化遗产也被纳入规划考量。通过建立文化展示中心，组织非遗文化传承活动，如陶艺、民谣、传统饮食等，让公众在参与中了解和保护当地文化。这些措施有效促进了社区居民对于本土文化的认同感，并在一定程度上带动了地方经济的发展。

3.2. 门头沟村落现状分析

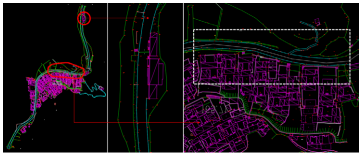
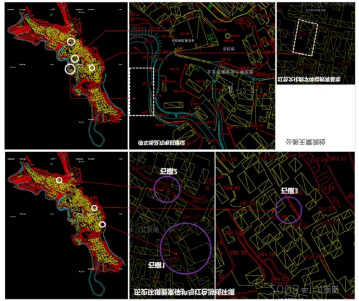
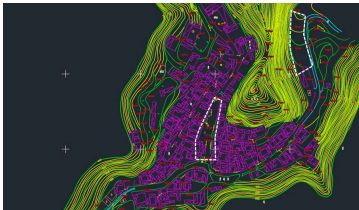
在对门头沟区域内的传统村落展开研究时，综合运用 3S 技术，其中三维激光测绘技术成为了关键技术之一。三维激光扫描(LiDAR)技术，以及高分辨率的数字表面模型(DSM)和数字地形模型(DTM)，精确获取村落及其周边地形的详细信息。利用村落地形的高准确度模型，进一步洞察地形对村落布局、建筑形式及文化特征的影响。

GNSS 为项目提供整体控制系统及数字地形图。通过 GIS 软件对三维测绘结果进行分析，从全局整合度、局部整合度、可理解度、最近邻指数、核密度及高程分析等多种研究结果[7]，能够对村落的土地利用模式、建筑布局、甚至历史演变过程进行可视化模拟和重现，为传统村落的保护与规划提供依据。

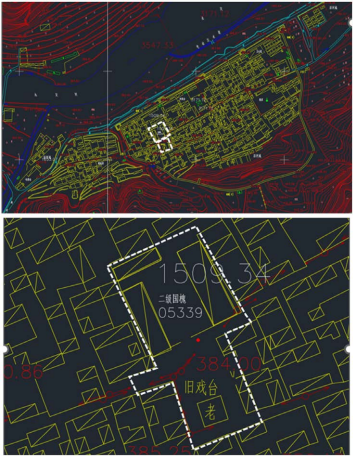
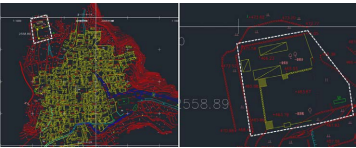
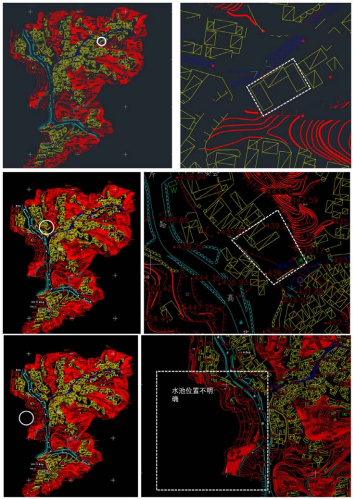
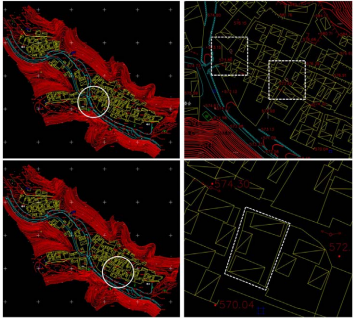
通过现场测绘配合历史文献比对，构建起关于村落保存状况、土地使用与地形特点间细致而深入的数据库。统计分析和模型结果都显示，村落保存现状与三维测绘覆盖率、土地面积等因素密切相关。古建筑的数量和保存条件对于村落文化遗产保护的重要性不言而喻。同时，地形特点也是影响村落发展和保护的重要因素之一，丘陵和水源丰富的区域往往有更多有价值的历史遗迹待挖掘与利用。

研究采取了几何建模、空间分析和多变量统计等多种方法，确保了研究设计的科学性和合理性。通过这一深度的研究不仅可以指导门头沟传统村落的保存与规划，还能够为相似地区提供参考模式。门头沟区村落保护规划范围见表 1。

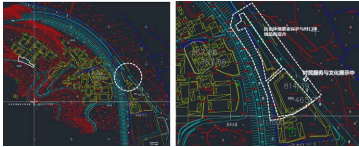
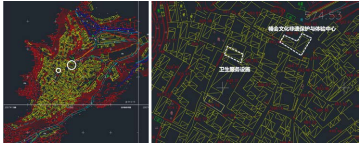
Table 1. Statistical table of village planning protection area in Mentougou district
表 1. 门头沟村落规划保护范围统计表

村落名称	测绘项目	测绘位置和范围
爨底下村	(1) 非遗传习馆 (2) 历史环境要素保护与主街环境品质提升	
马栏村	(1) 红色文化数字体验教育基地 (2) 2 处公共厕所 (3) 停车场及充电桩建设 (4) 历史环境要素保护与红色游线环境品质提升	
黄岭西村	(1) 历史环境要素保护与英雄广场环境品质提升 (2) 停车场及充电桩建设	

续表

沿河城村	(1) 长城文化基地 (2) 历史环境要素保护	
灵水村	文化研学基地	
苇子水村	(1) 村史馆文化展陈提升项目 (2) 旅游驿站项目 (3) 梯田农耕文化景观保护与配套设施提升	
碣石村	(1) 历史环境要素保护 (2) 文化体验馆	

续表

东石古岩村	(1) 历史环境要素保护与村口环境品质提升 (2) 村民服务与文化展示中心	
千军台村	(1) 幡会文化非遗保护与体验中心 (2) 卫生服务设施	

4. 三维激光测绘的应用实践

4.1. 三维激光测绘技术在门头沟传统村落保护改造中的应用

在实施门头沟村落的三维激光扫描过程中，遵循了一套科学严谨的工作流程。首先，对目标村落地形进行精确的三维控制测量，高精度的激光扫描仪进行数据采集，确保点云数据的密度和精度满足历史建筑保护与村落规划的需求。在实地采集过程中，设置扫描点位达 200 余个，能够全面覆盖整个村落区域。

数据采集完成后，采用专业三维处理软件对原始点云进行预处理，包括点云配准、降噪、滤波等基础处理步骤。配准精度控制在 2 mm 以内，以确保测绘数据的整体一致性和精确对接。进一步，对特定历史建筑实施细节加工，利用三维建模软件如 3ds Max 和 Revit，根据点云重建精确的建筑模型，复原其历史风貌。

在三维建模的基础上，运用 GIS 技术与建筑信息模型(BIM)理论，不仅重现了门头沟村落的立体空间结构，更为村落空间分析提供了可靠的数据支持。我们针对村落的空间结构特点，开展空间格局与功能布局的优化研究，结合历史背景与现状调研，提出空间保护与更新策略。

通过空间句法(Space Syntax)分析方法[8]，研究了村落内部通达性与视觉开放性对社区活动的影响，定量评估了各类空间节点在村落社交网络中的重要性。依据上述研究结果，我们对门头沟村落的传统与现代功能进行了科学分区，制定综合保护与发展规划，旨在实现村落历史价值的传承与地区经济的可持续发展。

4.2. 以灵水村某院落数字化改造为例

图底关系是格式塔心理学中的一个术语，即在一定的场合内，人们对图形与背景关系的认知，并不是对其中的所有对象都有明显的感觉，而总是有选择地感知一定的对象。有些凸显成为图形，而有些退居衬托地位的则成为背景，俗称图底之分与图底关系[9]。建筑设计与改造要与周边文化环境相适应，并相互依存达到和谐统一。

核心区传统建筑测绘工作主要是对村落核心区传统建筑的表达，不仅对其分布情况和周边环境进行描述，而且对其保存状况和格局形制进行表达。传统村落核心保护范围的院落、单体建(构)筑物及相关要素的测绘工作内容包括：建筑总图(平面大样图)、分层平面图、立面图、剖面图和重要建筑构件详图等[10]。

4.2.1. 院落数据

根据测绘数据提供现状地形图、无人机正射影像与数字地面模型、三维激光点云模型。数据采集可用数字地形测绘的方法和精确特征点方式，以 1:50~1:200 的测图比例尺和相应的采点密度，对传统建筑

进行详细测绘,全面获取其详细的保存和保护现状信息,并形成建筑总图(平面大样图)。按照建筑物的分层方式依据建筑总图比例还需进行分层平面图测绘。

无人机航测联合地面测量工作的开展能形成地空一体化的协同测量体系,促进整体村落民居建筑信息构成逐步完整化,实现从村域宏观信息到院落信息再到单体建筑信息的全面覆盖[11]。

1. 现状地形图

1) 控制点:采集 GPS 控制点坐标,转换北京地方坐标系;2) 要素数据:根据地形图要求对院落地形要素进行数据采集;3) 制作:制作院落现状地形图。现状图见图 1,院落现状地形图见图 2。

2. 无人机倾斜摄影与数字地面模型

1) 像控点:在院落周围布设像控点;2) 航飞:采集院落范围内航飞数据,飞行高度根据现场情况一般不高于 50 m;3) 建模:空三解算与模型生产。

3. 三维激光点云模型

1) 三维扫描:预先设定好扫描站点与站间距;2) 数据处理:数据拼接、去噪;3) 点云模型:整合形成现状点云模型。整合形成现状点云模型,点云图见图 3。



Figure 1. Current situation map

图 1. 现状图



Figure 2. Topographic map

图 2. 地形图

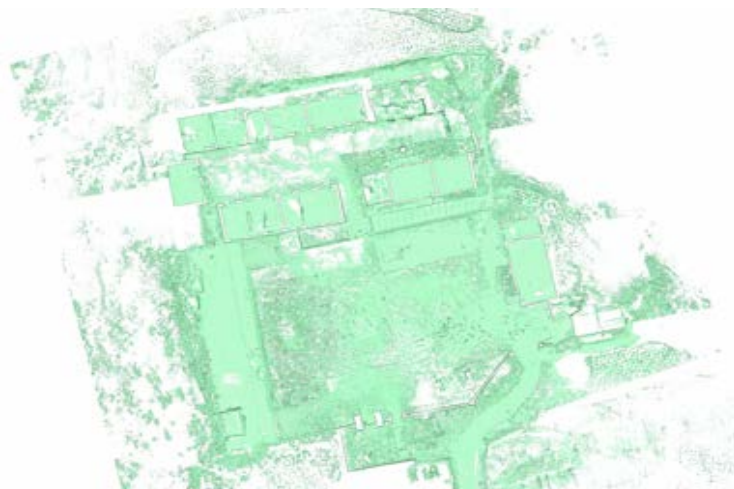


Figure 3. Point cloud map
图 3. 点云图

4.2.2. 建筑物

根据测绘数据，提供建筑现状三维点云、建筑现状图纸。立面数据采集利用地面三维激光扫描方法及近景摄影测量方法。多种数据采集方式方法的结合可全面展示传统建筑物立面形制、格局和保存状况。

传统建筑内部重要建筑构件和装饰测绘，一般采用绘制构造详图的方式。构造详图的数据采集使用三维激光扫描方式获取。彩画、木雕、石雕等较为复杂的纹样可不绘制构造详图。绘制构造详图，可以留存传统建筑重要建筑构件和装饰的现状信息，为资料存档和保护工程提供基础资料。

1. 建筑现状三维点云

经过对建筑本体进行精细三维扫描，保证数据覆盖率 90%以上；数据处理：数据拼接、去噪；点云剖切：根据建筑情况剖切现状点云平立剖图。建筑物点云数据与立面图见图 4。

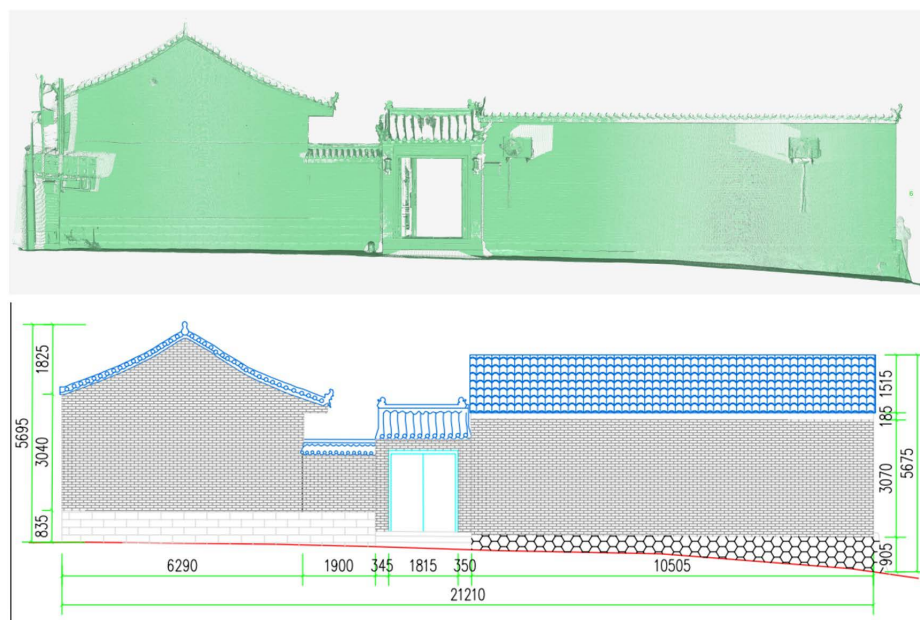


Figure 4. Point cloud data and elevation view of buildings
图 4. 建筑物点云数据与立面图

2. 建筑现状图纸

点云剖切，形成完全反应现状的点云，制作平面、立面、剖面图；当传统建筑结构复杂、细节多、数据获取过程繁杂时，可使用地面三维激光扫描的方式进行。成图比例尺按照传统建筑实际情况可设定为1:50~1:200。传统建筑剖面图可以展示结构特征、主要构件分布和建筑格局。

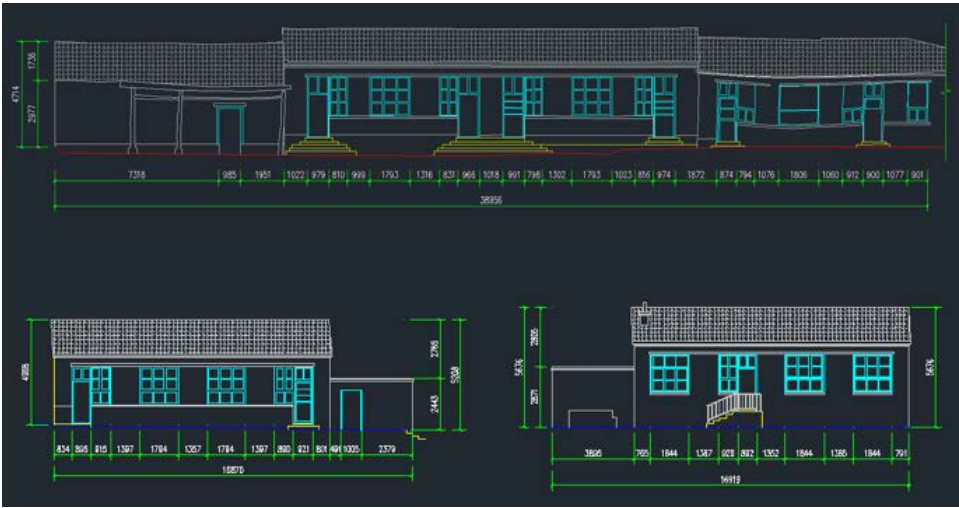


Figure 5. Comparison of elevation before and after renovation
图 5. 改造前后立面图对比

门头沟村落历史与文化的丰富性，不仅在于其独特的地理位置和历史背景，更体现在现代科技手段与传统文化保护的交融中。灵水村的传统文化以及测绘数据，对院落既进行传统环境的匹配，使得传统文化得以保留，又加入现代的设计理念、新材料、新设备等，让院落改造之后的建筑布局更合理、景观环境更适宜、地面铺装更舒适、外墙涂装更精美，并且对屋顶、地面铺装、建筑尺寸、门窗样式、室内装修进行了全新的设计。改造前后立面图对比见图 5。

5. 总结

三维激光测绘技术在门头沟传统村落的保存与规划中发挥了显著作用。研究采用了激光扫描仪和全景摄影结合的方法，扫描分辨率设置为 1 cm，精度达到毫米级，确保了数据的高保真性与高精度。通过对传统村落建筑、道路以及周边环境进行扫描，对历史遗迹及相邻结构进行全面记录。

结合平面地形图可以直观、准确地描述对象的保存状况；结合地质、消防、环境专业形成面向传统村落保护的专题数据，向环境整治、消防安全、地质灾害防治提供数据基础，形成全面的保护数据集。

数据处理环节，运用专业软件进行点云分类，提取出重要的建筑特征和文化元素，构建 3D 模型，模型精度为 1:1，极大地增强了对传统村落空间结构的理解。这些模型不仅为后续的保护措施提供了数据基础，也成为了村落规划的重要参考。

在具体应用中，通过分析 3D 模型中的空间关系与构造特点，制定出针对性的保护和修复方案。结合 GIS 技术，对村落分布、土地使用及文化遗产进行空间分析，明确保护区与开发区的划分，确保历史遗存的完整性及可持续利用。此外，利用虚拟现实技术(VR)，为村民和研究者提供交互式体验，加深了对传统文化的理解与认同。

总而言之，三维激光测绘技术在门头沟传统村落保存与规划中的应用，不仅为村落的数字化保护奠定基础，也为新形势下的文化遗产管理模式提供了重要借鉴。

参考文献

- [1] 李庆红, 庄子建. 京西古村落历史变革及地域特征探寻[J]. 山西建筑, 2020, 46(1): 14-17.
- [2] 杨军. 三维激光扫描技术在老旧小区改造中的应用[J]. 北京测绘, 2024, 38(10): 1449-1453.
- [3] 袁瀑淋, 刘林杰. 三维激光扫描技术在金属矿山大比例尺地形图测绘中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2024(18): 160-162.
- [4] 王荣. 三维激光扫描技术在古建筑保护中的应用探讨[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(12): 110-112.
- [5] 赵子晴. 北京门头沟区传统村落保护发展策略研究[J]. 城市建筑空间, 2023, 30(S1): 84-86.
- [6] 许超, 刘飞, 石炆. 传统村落文化遗产资源数字化保护方法研究——以门头沟区为例[J]. 建筑创作, 2024(3): 192-198.
- [7] 向晓航, 卢艺, 徐佳. 基于空间句法与 GIS 的传统村落空间形态研究——以捞车村为例[J]. 湖南包装, 2024, 39(3): 90-95.
- [8] 何冬琴, 周湘华. 多源数据下的历史街区形态与业态相关性研究——以广州市北京路历史文化街区为例[J]. 安徽建筑, 2024, 31(11): 38-41.
- [9] 宋言奇. 城市历史建筑周边环境的设计[J]. 城市问题, 2003(6): 8-11.
- [10] 任小强, 张圆, 徐西桂. 传统村落基本测绘成果形式及方法探讨[J]. 工程勘察, 2020, 48(10): 64-67.
- [11] 陈哲, 李江. 北京山区传统村落民居信息化采集及应用——以马栏村冀热察挺进军司令部院落为例[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S1): 147-150.