

**中国测绘学会文化遗产保护专业委员会
第一届“文保尖兵”案例集**

案例集案例排名不分先后

2025年10月

目录

一、测绘应用示范类	4
(一) 晋江南天寺保护修缮工程	4
(二) 融合多源空间信息技术的文化遗产精细化建档与应用	10
(三) 新型测绘技术赋能“南海 I 号”数字考古	19
(四) 《斗拱修缮古法新作》课程成果	27
(五) 数字化赋能“长江口二号”古船考古与文物保护	31
(六) 大运河为代表的线性文化遗产	36
(七) 实景三维赋能宜兴善卷洞风景区保护利用和数字文旅建设	45
(八) 庐山世界遗产物候景观智能监测与应用	52
(九) 翠云廊古树激光雷达测绘	67
(十) 桂林市兴安县灵渠·湘江战役文化遗产长廊——构建文化遗产数字化保护新格局	71
(十一) 云岩寺塔预防性保护与监测	76
(十二) 从数字化存档到数据价值挖掘反哺文物保护	91
(十三) 华堂王氏宗祠和履坦徐氏民居的创新实践	91
(十四) “数字楼兰”项目案例	113
(十五) 明长城烽传体系研究	125
(十六) 齐长城实景三维场景制作	133
二、测绘创新研究案例	146

(一) 点云与影像融合的世界文化遗产精细化测绘及数字重建——以柬埔寨吴哥古迹为例	147
(二) 激光雷达测量技术 (LiDAR) 在考古遗址保护中的典型研究案例	153
(三) InSAR 技术在历史建筑保护中的深入应用	159
(四) 面向石窟造像的多模态测绘智能与应用验证 ..	163
(五) 基于分布式光纤传感的古城墙智能监测保护 ...	176
(六) 龙山至二里岗文化时期河东盐池分布范围研究 .	181
(七) 多模态叙事整合技术下的“丝绸之路”甘肃段石窟寺景观价值解构与重构	191
(八) 藏羌彝走廊空间范围数据集	202
三、文旅融合创意案例	212
(一) “空中光影·文护传承”文化遗产数字化展示系统	213
(二) “保护与开发并重”的数字文旅新模式	235
四、宣传推广贡献案例	245
(一) 数字赋能·智绘剡境高新测绘技术赋能嵊州“四普”数字新基建与宣传推广	246
(二) 科技赋能守护千年遗址——西安市大遗址数字化保护技术工程重点实验室的文保实践》	267
(三) 宣传集	272

一、测绘应用示范类

（一）晋江南天寺保护修缮工程

申报单位：清华大学建筑设计研究院有限公司

案例详情：

晋江南天寺位于福建省晋江市东石镇的岱峰山南麓。2013年国务院公布为第七批全国重点文物保护单位。南宋嘉定九年，高僧守净就崖雕刻石佛造像，创建石佛寺。南天寺建筑群经元、明时期多次损毁重建。现建筑群重建于清康熙三十六年（1697），改称南天寺，由自在佛殿、下落（山门）及两侧回廊组成。近些年来，南天寺建筑群逐渐出现柱子糟朽严重、梁架歪闪、屋面下沉变形等病害情况。建筑残损状态严重威胁到自在佛殿内的石佛造像，而且也严重威胁举行佛教活动僧众与信众的安全。



图 01 南天寺整体航拍图

为了消除石佛造像与文物建筑的安全隐患，2017年，晋江市文物保护中心委托清华大学建筑设计研究院文保中心对南天禅寺进行详细勘察并修缮设计。2019年8月所报方案获得国家文物局审批同意。南天寺保护修缮工程由泉州市刺桐古建筑工程有限公司负责施工，福州市古代建筑设计研究所承担监理工作，2021年5月正式开工。2022年7月，保护修缮工程竣工，南天寺建筑群恢复其原有使用功能。工程完成后，得到社会各界的广泛认可，本项目获得2022年联合国教科文组织亚太地区文化遗产保护优胜项目奖。



图 02 南天寺保护修缮项目获奖照片

南天寺保护修缮工程成功之处主要体现了在以下两方面：

一、严谨而全面的现场勘察与传统营造修缮技术的大量应用。

南天寺项目采用了测绘图与影像相结合的方式记录建筑构件的残损现状，按照不同类型的构件如梁、柱、檩、椽等进行编号，对所有重要构件的残损情况进行列表分析。此外，采用建筑数字模型的方法

法标识残损构件位置，直观标识残损构件的位置以及准确统计构件的残损量。

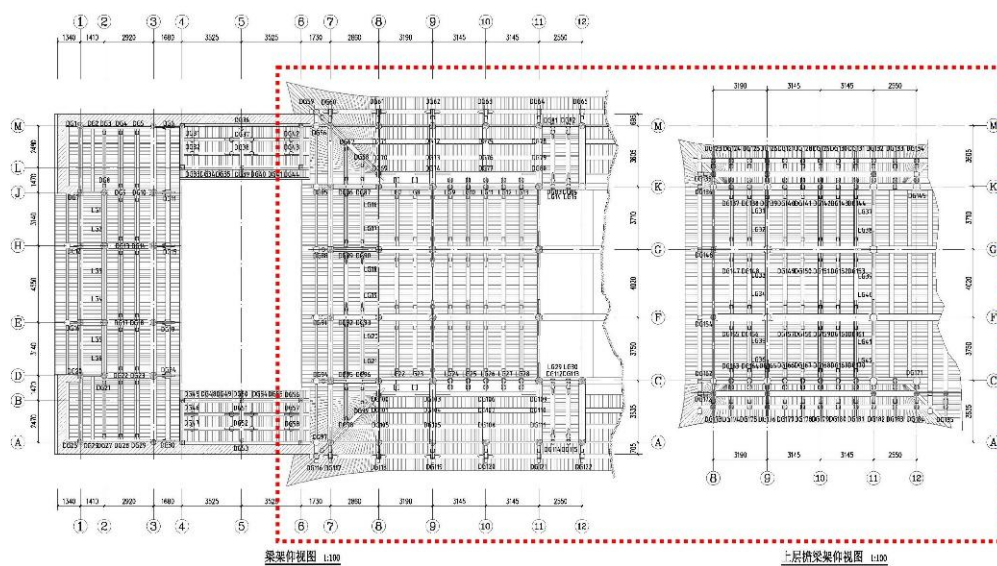


图 03 南天寺自在佛殿斗拱编号示意图

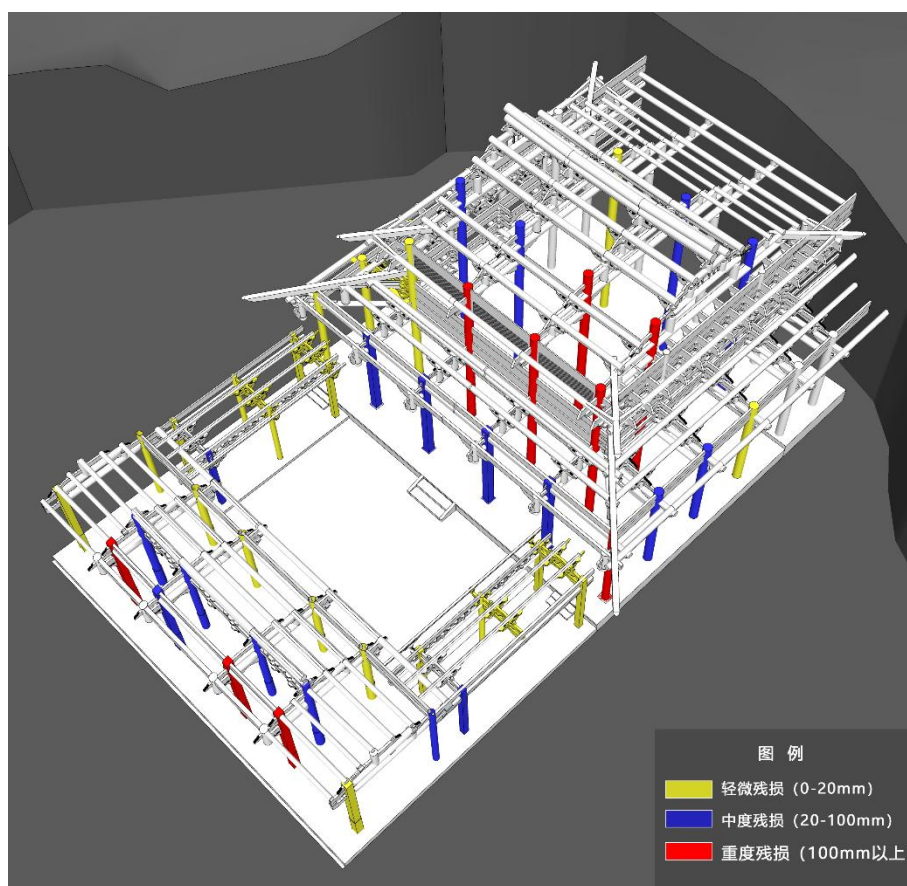


图 04 南天寺建筑立柱歪闪情况分级数字模型

该项目应用了大量传统的营造与修缮技术手段，以延续当地的建造文化。对于歪闪的梁架和立柱，采取传统的打伞拨正进行校正。对于建筑屋顶瓦件破损、松动、滑动而导致屋面漏水，进行更换、补配瓦件，按原做法重做屋面。对糟朽的檩、椽进行更换，更换的建筑构建在隐蔽部位做了标识以达到可识别。自在佛殿天棚彩绘存在空鼓、起甲与剥落等现象，设计方案采用可逆性回贴技术进行修复。



图 05 南天寺自在佛殿天棚彩绘可逆性回贴修复

二、施工过程中注重参与各团队的紧密合作，建成之后强调社区的参与使用。

修缮工程的整个过程中，设计团队、施工团队、业主方和使用方紧密合作，经常根据随时出现的新情况调整修缮方案与工艺做法。通常是施工团队在施工过程发现与设计方案相冲突的情况，汇报到业主方。业主方组织设计团队、施工团队与使用方共同讨论解决方案，得出初步解决方案，由业主方组织专家会进行论证，设计团队按照专家

意见修改深化解决方案，各方均无异议之后，再由交为施工团队负责实施落实。



图 06 施工过程中各方会议



图 07 施工过程中各方联合现场指导

修缮工程竣工以后，寺院举行了盛大的重新开光洒净仪式，并且恢复了日常的礼佛功能，这里再次成为僧众和信众们的活动场所。此

外，在晋江文保中心的组织和指导下，南天寺多次组织文物保护知识普及、消防知识宣传与消防演习、爱国主义教育等社区活动，为古老的文物建筑群赋予了新的活力。



图 08 南天寺重建落成洒净仪式



图 09 南天寺举办中学生文物保护知识普及活动

（二）融合多源空间信息技术的文化遗产精细化建档与应用

申报单位：武汉市测绘研究院/自然资源部实景

三维建设与城市精细化治理工程技术创新中心

案例详情：

为落实国家文化数字化战略关于"推动文化遗产资源数字化保存、传播与预防性保护"的部署，本案例于 2024 年 6 月正式启动，以武汉市江汉关大楼、鄂军都督府、汉口水塔、盘龙城遗址等 31 处重点历史保护建筑（涉及面积逾 30 万平方米）为对象，成功应用并示范了一套"数字孪生 + 智能建模 + 精细化建档"的数据驱动型文化遗产保护模式，有效解决了传统文物保护中"数据维度单一、建档效率低下、信息孤岛严重"等痛点。

项目的核心成果是构建了高保真数字孪生档案体系，通过 AI 辅助的语义化建模技术，将静态的数字档案升级为信息富集、可查询、可分析的"数字资产"，使文物保护管理实现了从传统单一档案向多维语义化信息模型的根本性转变。本案例的应用成果获长江日报、极目新闻、楚天都市报等主流媒体报道，支撑基于历史形制复原的宋代黄鹤楼数字模型登上央视春晚，在行业内成功塑造了可复制、可推广的"武汉模式"。



图 1 案例相关报道（从左至右顺序，楚天都市报、极目新闻、长江日报“大武汉”板块，及实景三维黄鹤楼登上央视春晚的相关画面）

主要工作内容

本案例围绕文化遗产保护的核心需求，构建了“数字孪生 + 多源融合 + 智能建模 + 精细化建档”的技术路径。通过整合多源数据采集、数字化建模、档案编制与成果转化，形成了全流程的文化遗产数字化保护体系。案例技术路线图如下所示：

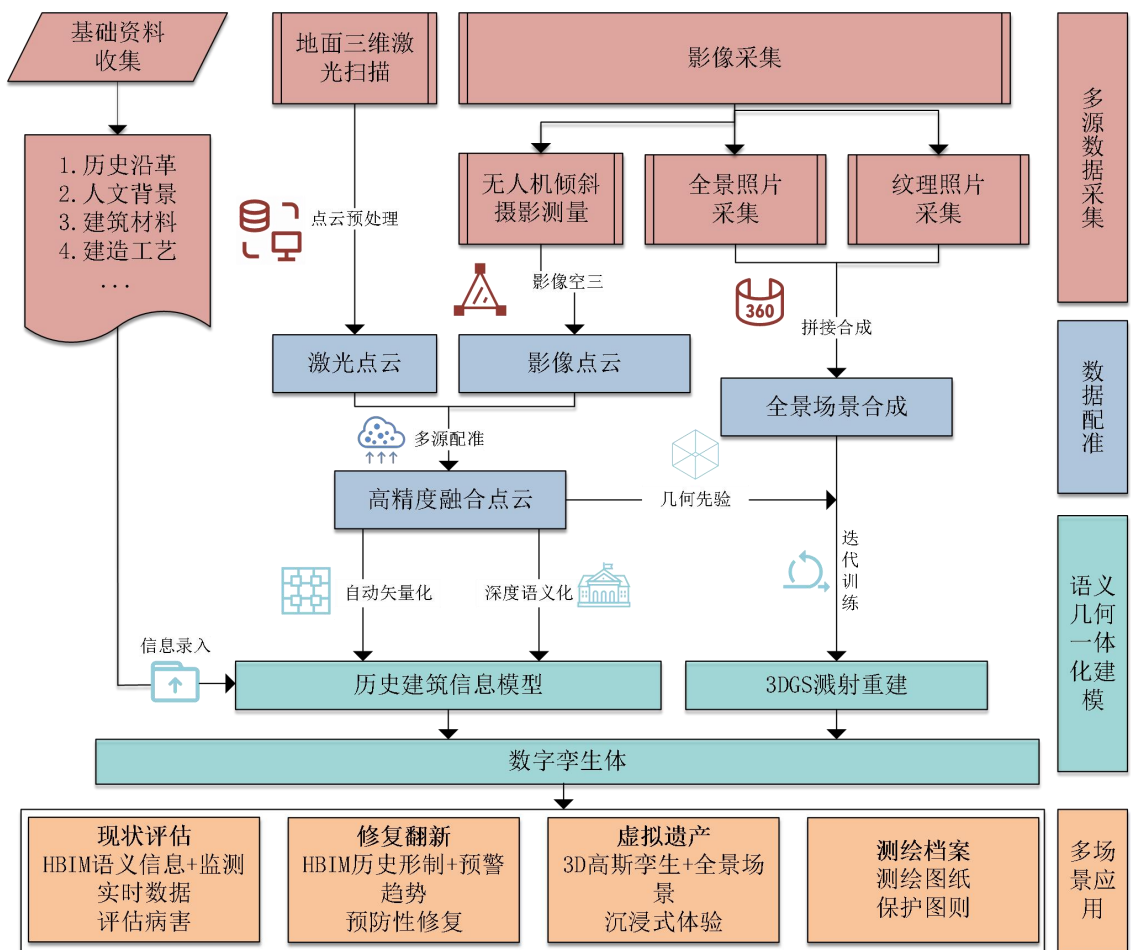


图 2 案例技术路线图

(1) 多源数据采集与融合

针对文化遗产保护的复杂需求，项目采用了多种先进测绘技术，获取高精度、多维度的原始数据：

室外数据采集： 利用无人机倾斜摄影技术和厘米级三维激光扫描技术，对建筑外部及周边环境进行精准采集，生成高分辨率倾斜影像和点云数据。

室内数据采集： 应用地面激光扫描与高清影像技术，对建筑内部结构、关键构件及装饰细节进行全面记录。

数据融合： 将多源数据进行高精度校准与融合，为后续建模和分析提供可靠的数据基座。

（2）高保真数字孪生模型构建

基于采集的多源数据，项目通过 AI 辅助的语义化建模技术，构建了信息富集的数字孪生模型：

几何骨架构建：应用自动矢量化技术提取建筑轮廓及结构特征，生成高精度平面图和三维几何骨架。

语义信息挂载：在几何模型基础上，自动识别并精细化建模标准化与复杂构件，同时挂载建筑年代、材料属性、病害记录等多维语义信息。

视觉孪生体生成：利用 3D 高斯溅射技术进行纹理重建，确保模型在视觉上高度逼真，与几何结构严格对齐。

（3）测绘档案与保护图则编制

针对文物保护的科学需求，项目编制了详尽的测绘档案与保护图则：

测绘档案：生产总平面图、平面图、立面图、剖面图及典型构件详图，全面记录建筑现状与历史信息。

保护图则：结合建筑历史、艺术及现状保存情况，制定详细的保护范围、修缮要求与合理利用建议，为科学保护提供依据。

（4）成果转化与社会化传播

为推动技术成果的社会化应用与传播，项目开展了一系列成果转化工作：

数字化宣传片制作：依据项目成果制作数字化宣传片《溯光》，直观展示科技助力文物保护的创新价值。

公众体验与文化传播：将成果转化为交互式、沉浸式体验内容，如数字黄鹤楼模型登上央视春晚，为公众提供文化遗产的数字化体验。

行业示范推广：项目成果获主流媒体广泛报道，并形成了可复制、可推广的“武汉模式”，为行业提供了技术应用的典范。

三、关键技术应用

本案例的价值在于将前沿测绘技术体系化地应用于文化遗产保护一线，形成了一系列可量化、可验证的示范性成果。

(1) 成果一：实现了高效率、富信息的数字化建档，建模效率提升超 60%

为解决传统三维建模信息维度单一、效率低下的应用难题，本案例应用 AI 辅助的语义化数字孪生模型构建技术，实现了从原始点云到智慧 HBIM（Heritage Building Information Modeling）模型的高效转化。

技术应用路径：应用“自动矢量化”技术替代人工勾勒，通过墙线检测与追踪算法自动提取建筑轮廓，快速生成平面图；在三维层面，系统自动提取角点、交线等结构特征，快速构建几何骨架。这一系列自动化工具的应用是实现效率提升的关键。在几何骨架基础上，应用“深度语义化”人机协同路径，通过深度学习模型自动识别标准化构件，并对复杂构件精细化建模，最终将构件的建造年代、材料属性、历史病害等多个维度的专业数据进行语义挂载。

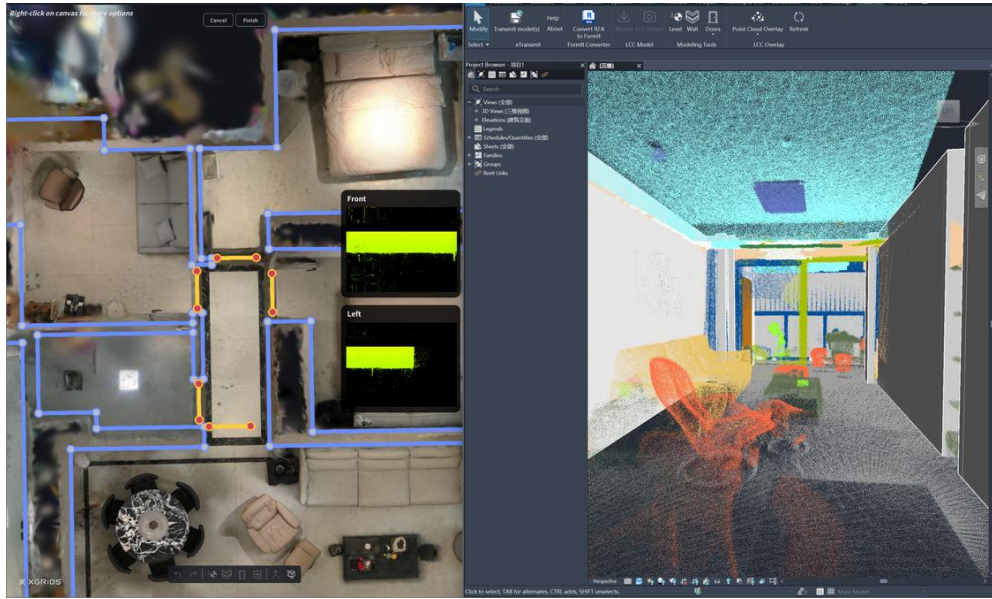


图 3 自动矢量化与语义化识别

应用成果：综合建模效率提升超过 60%，成功构建了信息富集、可查询、可分析的 HBIM 模型，为后续所有预防性保护工作提供了高质量、可计算的数据基座。

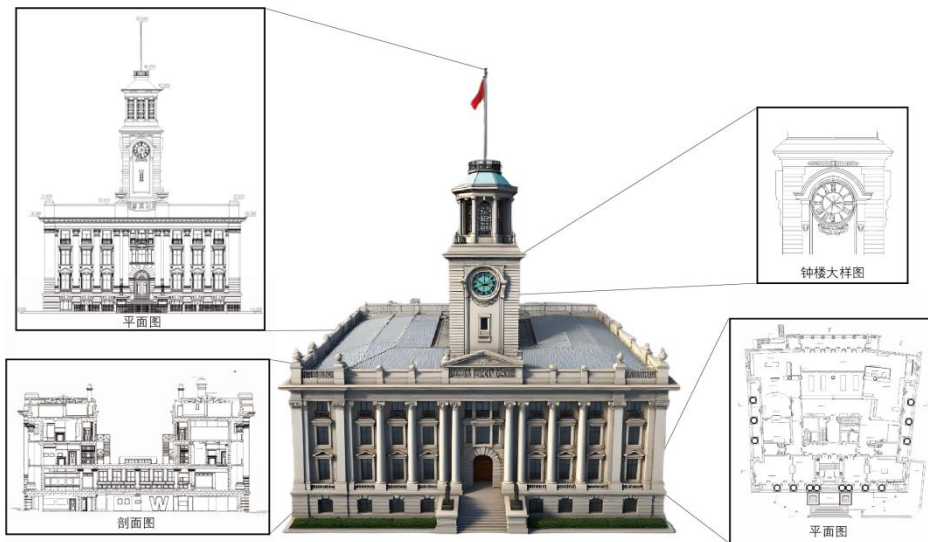


图 4 武汉文保地标建筑（江汉关大楼）HBIM 模型

成果二：基于 3D 高斯溅射（3DGS），实现了高保真的视觉孪生重建

为突破传统网格建模在精细纹理、复杂构件及渲染效率上的应用

瓶颈，案例成功引入并应用 3D 高斯溅射（3DGS）重建技术。

技术应用路径：以项目采集的厘米级三维激光点云、高清航拍影像及室内地面视频流等海量数据为基础。应用中的关键一步在于，在 3DGS 的训练过程中，创新性地融合三维激光点云数据作为高精度几何先验信息，对高斯基元的位置分布进行初始化与优化约束。

应用成果：该应用路径确保了重建模型在视觉上高度逼真，同时在空间几何精度上与点云严格对齐。最终在无需复杂几何重建与贴图流程的情况下，直接生成了由海量三维高斯基元构成的场景模型。这一成果将承载结构和语义信息的 HBIM 模型（几何骨架）与视觉孪生体（表观纹理）深度有机统一，为专家提供了高保真的远程视觉评估依据，也为公众交互式、沉浸式体验提供了专业的数字内容基础。

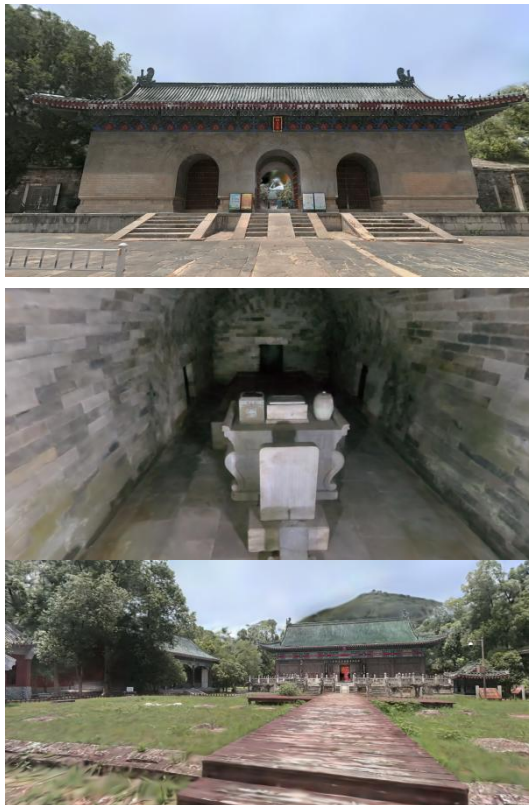




图 5 武汉龙泉山明楚王墓 3D 高斯溅射效果图（左上：外门，右上：地宫 左下：外神道遗址，右下：配殿内部）

四、创新亮点

（1）建档范式革新：实现从“单一档案”到“智慧资产”的转变

本案例通过在 31 处重点文博建筑的应用实践，成功验证了“AI 建模+多源融合+数字孪生+语义挂载”技术路径的有效性。其中，AI 辅助 HBIM 建模效率提升超 60%（注：提供作业对比视频），实现了几何、物理、历史等多维信息的深度语义挂载，标志着文物建档工作实现了由传统单一档案向智慧数字资产的根本性转变。

（2）数据体系重构：构建多维语义化信息模型

本案例的应用成果突破了传统单一模型的局限，构建了“语义化 HBIM 模型（骨架）+ 3D 高斯孪生体（纹理）”的二位一体数字资产体系。3D 高斯技术复现了文物的色彩、材质与光影，二者有机统一，实现了从传统静态档案向“形神兼备、虚实共生”的可计算数据资产的根本性转变，为行业提供了可复制的数字资产建设标准。

（3）生产流程优化：实现文化遗产数字化的高效交付

本案例通过引入 AI 辅助建模技术，重塑了文化遗产数字化的传统生产流程。应用“自动矢量化”技术替代人工勾勒，“深度语义化”路径实现信息自动挂载，将过去依赖人工、周期长、成本高的劳动密集

型工作，转变为人机协同的高效智能化生产模式。综合建模效率超60%的提升，不仅突破了行业效率瓶颈，更为大规模、高标准的文化遗产数字化工程提供了可行的技术方案。

五、应用效益

项目核心成果为江汉关大楼等 31 处重点历史保护建筑，建立了兼具“保护价值与精度”的高保真数字孪生档案——这些档案不仅为建筑后续的修缮、研究提供了精准数字基底，更在 2025 年“文化和自然遗产日”武汉主会场活动中正式发布，凭借对历史建筑细节的精准还原，获现场观众、文化保护机构及业界的一致认可，初步形成良好社会反响。

依托这一系列数字化成果，团队进一步延伸价值：创作数字化宣传片《溯光》，通过可视化叙事直观呈现“科技如何赋能文化遗产活态保护”的创新路径，让专业成果更易被公众感知；该路径及档案成果随后获长江日报、极目新闻、楚天都市报等主流媒体深度报道，进一步扩大项目在区域内的影响力与示范意义。

在应用深化层面，项目成果实现“高阶应用突破”——成功支撑基于历史形制复原的宋代黄鹤楼数字模型登上央视春晚。借助国家级传播平台，“历史建筑数字化复原”成果得以面向全国观众展示，既推动文化遗产以创新形式融入大众视野，更显著放大科技赋能文化遗产保护的社会价值，最终形成从“基础保护”到“公众传播”再到“全国示范”的多层次积极影响。

（三）新型测绘技术赋能“南海 I 号”数字考古

申报单位：广州欧科信息技术股份有限公司

广东省文物考古研究院

案例详情：

1、案例背景

1987 年发现于广东省江门市川山群岛海域的“南海 I 号”南宋沉船，恰似一座深海中的“文化鲸落”，以沉船本体及 18 万件（套）船载文物为核心，持续释放历史、文化、科学与艺术的“养分”，滋养着海上丝绸之路研究中历史学、考古学、材料学、艺术史等多学科的交叉生长。三十余年来，其工作历程完整覆盖偶然发现、水下调查、整体打捞、“考古发掘—现场保护—展示利用”三位一体的全面保护发掘等阶段，成为我国水下遗产保护实现历史性跨越的鲜活注脚。其中，整体打捞与异地搬迁的创举，将“让沉船入住现代‘水晶宫’”的奇思异想变为现实，既标志着我国水下文化遗产保护理念的颠覆性跨越，更实现了保护技术的突破性创新。

“南海 I 号”是迄今世界海上出水历史文物中，历史最早、体积最大、文物最多、保存最好、价值最高的文化遗存。针对这艘满载繁杂文物的沉船，考古发掘中同步推进数字化保护，让这一“文化鲸落”在数字时代延续生命力，成为文化遗产科学保护的典范。

“南海 I 号”沉船全面保护发掘过程中，面临以下核心难

点：

（1）密集文物分布与恶劣保存环境导致发掘困境：船舱内文物数量庞大且密集，各类器物层层叠放，考古人员操作空间狭小；加之数百年海水浸泡使文物质地脆弱，常规发掘手段难以施展。

（2）文物与船体的动态保护面临挑战：经过 800 多年海水浸泡，船体木

质结构已严重受损，脆弱不堪，已出现收缩、变形现象。同时，发掘中频繁

频繁的数据采集，会造成文物的二次损害。

（3）考古成果与历史文化内涵挖掘、呈现不足：发掘过程中获取到的数据类型混杂，缺乏统一标准，导致“数据孤岛”现象，难以实现船体与文物的时空关联分析，同时也面临如何将复杂、专业的考古成果与历史文化内涵以生动、易懂的方式呈现给普通观众的难题。

针对上述难点，拟重点解决以下具体问题：

（1）如何设计出灵活、便捷且能适应狭小空间的发掘工作平台与工具，保证考古人员能够安全、高效地开展工作，同时确保脆弱文物的有效保护，是需要攻克的难题；

（2）如何构建动态监测与更新体系，实时捕捉船体微小变形并预警，避免进一步变形、垮塌。定期增量更新船体空间数据，确保分散高频的数据高效更新，解决传统保护与管理模

式的滞后性，支撑文物保护修复与研究工作；

(3) 如何突破考古成果转化、传播瓶颈，解决发掘数据类型混杂、无统一标准导致的“数据孤岛”及“船体-文物-环境”数据融合面临的时空分析难、文化内涵挖掘难等问题，同时创新传播形式，实现数据价值最大化与历史文化大众化传播。

2、案例创新实践

2.1 实施路径

(1) 考古发掘

构建工业级精密控制网，设置4个强制观测墩作为基准点，采用0.5"全站仪保证测量精度。研发集成双向天车、激光扫描、摄影测量等多传感器的空中智能测绘平台，通过轨道实现纵横移动与多视角数据采集，实现对保护发掘现场、船体、出土器物、凝结物、天车轨道和沉箱形变等进行全方位、多角度、完整、快速的数字化采集，准确记录文物和遗迹现象的三维坐标和层位关系，实现非接触式数据采集。针对舱内密集文物，创新采用“成组提取+批量记录”模式，通过三角高程测量实现多层货物的精准定位，实现文物三维坐标的毫米级记录。

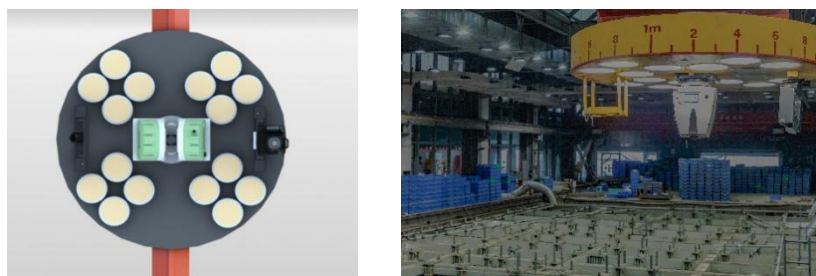


图1 空中智能测绘平台

(2) 现场保护

构建船体变形监测系统，实时采集船板应变数据，动态追踪结构变化，超阈值时自动预警，为文物保护与研究提供技术支撑。在“南海 I 号”持续发掘中，应对频繁数据变化，建立数据增量更新机制，采用基于格网检索及分类识别的变化检测方法结合三维模型纹理自动映射技术，实现局部新旧时相三维模型增量更新和二维影像数据增量更新，减少因数据采集对沉船本体及脆弱文物的干扰，在保障数据实时性与完整性的同时，最大限度降低考古操作对遗存的二次损害。

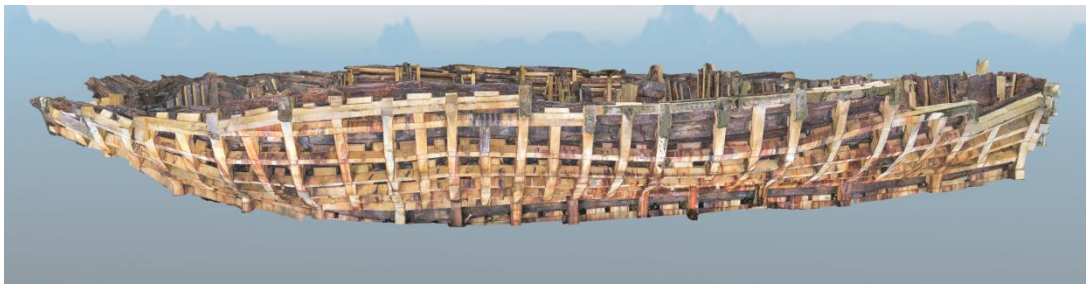


图 2 船体三维纹理模型

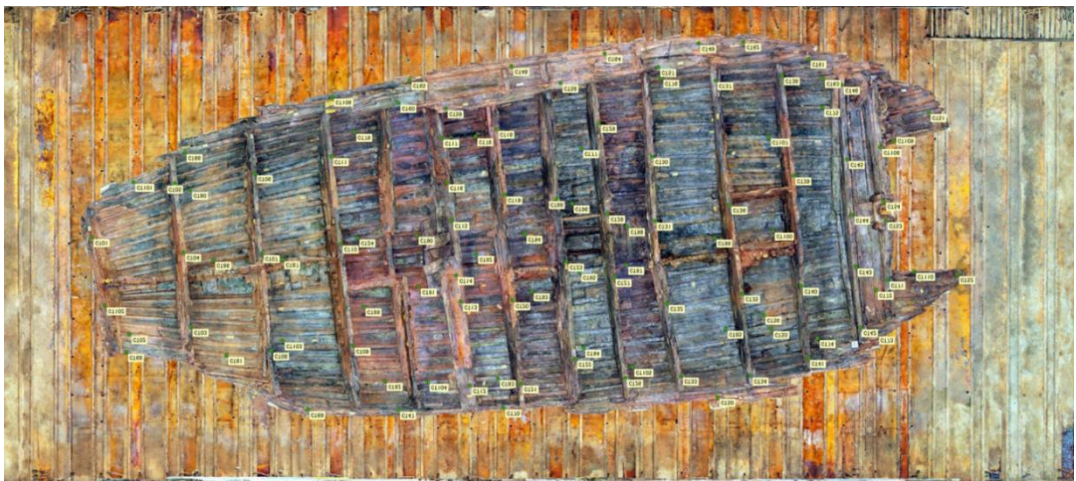


图 3 船体变形监测

(3) 展示利用

构建多源融合的考古语义数据库，整合田野记录、器物三

维模型、环境监测等数据，按时空维度与属性标签分类存储。通过语义关联技术，实现跨类型数据智能检索与互动，加强文化内涵挖掘，让管理效率与查询精准度显著提升。基于数据库成果，构建考古一张图，整合多源信息实现全域可视化管理，同时利用 VR 技术还原虚拟考古现场，支持沉浸式观察舱内货物堆叠形态。



图 4 虚拟考古

2.2 创新突破

（1）技术创新：搭建非接触式空中智能测绘平台

研制了国内外首个集成双向天车、激光扫描、摄影测量等多传感器于一体的空中智能测绘平台，基于高精度工业级控制网的统一坐标基准，实现了毫米级、非接触、多视角、智能化的空间数据快速获取与构建，提升了考古发掘的精细化作业效率。

（2）模式创新：创新“整体打捞+室内发掘+实时数字化”

模式

以“南海 I 号”沉船整体迁移规避原址风险，室内可控环境精细发掘，全程实时数字化记录，及时捕捉文物堆积层位变化，快速生成时序空间数据，完整留存了考古全程信息，为后期回溯研究与虚拟复原、利用提供精准数据支撑。

(3) 应用创新：构建“数据关联-动态保护-场景重现”三维体系

语义关联数据库突破了数据孤岛，以“时空坐标+文物属性”为纽带，实现了多源异构数据的智能联动。变形监测系统构建起了“智能感知-动态识别-精准响应”的保护闭环，实现了从“被动监测”到“主动保护”的升级，为沉船结构安全筑起数字化防线。基于数据库，通过 VR 技术还原从“沉船原貌-发掘过程-文物堆积”的动态场景，可沉浸式追溯某件文物的原始位置与层位关系，为考古叙事提供“可交互”的数字载体。

2.3 可推广经验

“南海 I 号”的实践为水下考古提供了可复制的经验。

(1) 构建全面保护发掘全流程数据闭环，形成“考古发掘、现场保护和展示利用”的完整数据链条，确保遗存信息的全程可追溯。

(2) 创新多学科协同模式，打破考古与技术的壁垒，组建考古学家与工程师共研团队，让技术研发精准对接考古需求，避免“技术过剩”或“需求错配”。

(3) 在长期协同实践中培育出兼具考古专业素养与数字技术能力的复合型人才——“数字考古技工”，为未来考古发掘、活化利用奠定坚实人才基础。

3、案例实践效果

“南海 I 号”作为我国水下考古的标志性项目，其保护与利用在经济效益和社会效益上均取得显著成效。

3.1 社会效益

(1) 保护成效

“南海 I 号”的考古遵循“整体打捞、原址保护、就地展示”的原则，“南海 I 号”推动了我国水下考古学科的成熟与规范化，不但打造了中国水下考古的行业标杆，更是为世界水下文化遗产的沉船总体保护提供了中国方案。项目培育的“数字考古技工”等复合型人才团队，为我国水下考古储备了核心力量，目前已参与国内外 20 余个水下考古项目，推动我国从水下考古“追随者”成长为“引领者”。

至今，“南海 I 号”沉船已出水文物总量为 18 万余件(套)，涵盖瓷器、金银器、铜铁器、漆木器等多种类别，其中一级文物达 198 件。获得“一种智能测绘平台及其实现方法”、“遥控水下声纳考古设备”等 7 项国家专利，推动行业技术升级。

(2) 传播效果

“南海 I 号”的发现与整体打捞，不仅是中国水下考古的“起点工程”，更将阳江这座南海之滨的城市推上了国际文化

视野，让其成为中国古代海上丝绸之路的实物见证地。“南海 I 号”成为传播海洋文明与海上丝绸之路文化的重要载体，其“南宋商船”形象强化了公众对古代海洋贸易的认知，提升了国民海洋文化自信。此外，“南海 I 号”的国际影响力持续扩大，通过与英国、荷兰、马来西亚等国的考古机构合作，举办‘南海 I 号’相关国际展览，其文物多次在海外亮相，向世界展示了中国古代海洋文明的开放与包容。这种文化交流不仅增进了国际社会对中国历史的理解，更在“一带一路”倡议背景下，为海上文明互鉴搭建了桥梁，彰显了我国文化遗产保护的 国际担当。

（3）教育普及

“南海 I 号”构建了“沉浸式考古体验+系统性科普教育”的模式，成为全国首个水下考古主题教育基地，推动海洋文化教育纳入国民教育体系。

3.2 经济效益

依托“南海 I 号”这一核心 IP，海陵岛整合沉船遗址、广东海上丝绸之

路博物馆等资源，通过完善文旅设施、提升服务能级，助力其成为首批国家海滨 AAAAA 级旅游景区，在产业链协同方面，“南海 I 号”带动形成了“考古科研-博物馆运营-文旅消费-文创开发”的完整产业链，促进了考古、文化、旅游、教育等多业态融合，推动文旅融合迈向新高度。

综上，“南海 I 号”通过技术创新实现了文物保护与文化传播的双赢，既创造了显著的经济价值，又通过文化浸润提升了社会文明素养，为水下文化遗产的活化利用提供了可复制的范例。

（四）《斗拱修缮古法新作》课程成果

申报单位：广州城市职业学院智慧城建学院

案例详情：

广州城市职业学院古建筑工程技术专业教学团队积极响应国家职业教育发展战略，立足岭南地区丰富的历史文化资源，以“全国重点文物保护单位”佛山祖庙灵应牌坊修缮工程为真实项目载体，创新性地将高精度三维激光扫描、无人机倾斜摄影、BIM 建模、数字孪生等先进测绘技术全面应用于文物本体保护、病害监测、数字化展示及教学转化全过程，打造了具有行业先进性、示范性和代表性的“文保+教育”融合典范——《斗拱修缮古法新作》课程成果。

该案例不仅荣获 2023 年全国职业院校教学能力比赛一等奖，并接受中国教育电视台专题采访报道，还在中央广播电视总台、人民日报、新华网、中国青年网、中华网等 8 家主流央媒，高等教育网、中国教育信息网等 9 家权威教育媒体，以及搜狐、今日头条、腾讯号等 19 家自媒体平台广泛传播，影响力辐射全国。同时，该项目获得 2024 年广州市质量工程“课堂革命”典型案例立项、一流课程建设立项，徐炳进副教授主持多项省市级教改课题并设立“教师教学能力技能大

师工作室”，充分彰显其在文化遗产保护与职业教育融合发展中的引领作用。

一、测绘技术全链条嵌入，构建可复制推广的文物保护新模式

本案例首次实现了从“文物现场勘测—数据采集—病害分析—修缮设计—施工还原—成果教学转化”的全流程闭环管理，开创了“以真实修缮促教学改革、以数智技术强文保实效”的新路径。团队联合佛山市祖庙博物馆，依托灵应牌坊这一典型岭南广府风格木构牌楼建筑，系统开展多源测绘作业：

高精度三维激光扫描：对整座牌坊进行毫米级点云数据采集，精准记录构件形变、裂缝、沉降等微小病害；

无人机倾斜摄影测量：完成高空多角度影像拍摄，生成正射影像图和实景三维模型，实现屋面瓦作、脊饰、斗拱层等难以接近部位的可视化诊断；

BIM（建筑信息模型）逆向建模：基于测绘数据建立包含材料属性、构造层次的数字档案库，支持后续维护决策与预防性保护策略制定。

上述测绘技术的应用，使团队能够精准掌握文物病害的发展趋势，识别出传统肉眼难以察觉的隐性损伤，如榫卯松动、木材内部腐朽、基础不均匀沉降等问题，真正实现了由“被动抢救”向“主动预防”的转变。这种基于客观数据的科学干预，极大提升了修缮工作的精准度与安全性。

二、数智赋能文化传承，推动文化遗产信息传播现代化

除了服务于实体修缮，测绘成果还被深度转化为数字化展示内容，助力文化遗产“活起来、走出去”。团队利用三维模型开发交互式微课资源，制作 VR 虚拟漫游程序，学生可通过手机或头戴设备沉浸式体验祖庙建筑的空间布局与细部工艺，有效提高学生对岭南古建的认知与兴趣。

三、产教深度融合，打造“古法新作”育人新范式

作为职业教育领域的标杆案例，《斗拱修缮古法新作》的最大亮点在于将真实的文物保护工程转化为系统的课程资源，实现了“项目即课程、工地即课堂、成果即教材”的深度转化。

教学团队以修缮过程中的关键技术节点为核心，重构《古建筑修缮》课程体系，开发活页式校本教材、实训指导书、微课视频共计 32 个模块，涵盖测绘操作规范、病害识别图谱、传统工艺流程、现代工具应用等内容，极大增强了教学的实用性与前沿性。同时，依托徐炳进副教授领衔的“教师教学能力技能大师工作室”，引入多位国家级非遗传承人与文保专家协同授课，构建“双师型”教学团队，提升人才培养质量。

值得一提的是，该项目已产生一系列科研反哺成果：包括广东省哲学社会科学规划 2025 年度常规项目、三类研究专项《融名匠大师·创古法新作：《古建筑修缮》数智化教学改革与创新研究》获准立项，广州城市职业学院教学成果奖二等奖：三师融合、数智赋能、古法新做：高职古建筑修缮技术技能人才培养的探索与实践；发表两篇相关论文：《古建筑修缮数智化教学改革与创新》、《基于 PBL 模

式馆校合作教学设计暨教学能力比赛实践浅析》；相关研究成果正逐步应用于更多古建修缮项目中，形成“研—用—教”良性循环。

四、社会影响深远，树立行业示范标杆

本项目的成功实施得到了各级主管部门的高度认可。除获全国职业院校教学能力比赛一等奖外，还先后入选教育部学校规划建设发展中心第十届产教融合发展战略国际论坛“一校一课”展示项目，2024广东省高职院校课程思政示范课程立项建设，获评2024年广州市质量工程“课堂革命”典型案例与一流课程立项建设单位，充分体现了其在政策引导、行业发展和教育创新方面的多重价值。

更为重要的是，该项目激发了青年学子投身文化遗产保护事业的热情。近年来，团队指导学生在全国及省级技能大赛中屡获佳绩，如建筑工程识图

赛项国赛三等奖、省赛一等奖，建筑装饰技术应用竞赛多次获奖，显示出扎实的专业素养与创新能力。许多毕业生已进入潮州市建筑安装总公司中山分公司等单位从事古建保护工作，成为新一代“文保尖兵”。

此外，郑榕玲、侯夏娜等教师围绕岭南城市特色风貌、历史文化街区保护等主题承担多项省市级哲学社科与科技计划项目，出版专著入选《羊城学术文库》，持续拓展测绘技术在城乡历史空间治理中的应用场景。

五、经验总结与推广前景

本案例的成功经验可归纳为“三个融合”：（1）技术融合：集

成多种先进测绘手段，构建全方位、高精度、可持续的文物监测体系；

（2）产教融合：打通高校与文博机构合作通道，实现资源共享、人才共育、成果共创；（3）传统与现代融合：尊重古法工艺精髓，运用数智工具赋能，做到“修旧如旧、守正创新”。

未来，该模式可在全省乃至全国具备类似条件的历史文化名城推广应用，尤其适用于广府、潮汕、客家三大民系聚居区的古村落、祠堂、书院等中小型文物建筑群的保护与活化利用。同时，建议政府部门加大支持力度，推动建立区域性古建筑数字资源平台，促进跨区域数据共享与协同保护。

综上所述，广州城市职业学院《斗拱修缮古法新作》项目是测绘技术深度服务文化遗产保护的生动实践，也是职业教育服务国家战略需求的典范之作。它不仅守护了一方古建的真实与完整，更点燃了年轻一代守护文明薪火的信念之光，真正做到了“让文物说话、让历史延续、让教育发光”。

（五）数字化赋能“长江口二号”古船考古与文物保护

申报单位：上海市测绘院、上海博物馆

案例详情：

一、案例简介

习近平总书记指出，要“探索文物和科技融合的有效机制，实现文化建设数字化赋能、信息化转型，把文化资源转化为文化发展优势”。党的二十届三中全会提出，要“探索文化和科技融合的有效机制，加

快发展新型文化业态”。这一战略方向为文化遗产的保护与传承提供了新路径。

长江口二号古船是目前国内乃至世界上发现体量最大、保存最为完整、预计船载文物数量巨大的古代木质沉船之一，具有极其重要的历史、科学和艺术价值。作为中国水下考古重大项目，长江口二号古船已被列入国家《“十四五”文物保护和科技创新规划》，古船博物馆被列为“十四五”上海市重大公共文化体育设施建设项目。考古发掘作为不可逆的过程，对发掘过程的全面真实记录和复原对于考古研究和文物保护具有重要意义。作为科技赋能文化的重要组成部分，测绘新技术的全面运用能够赋能考古、文物修复等文化遗产保护和文化传播工作，有力推动中华优秀传统文化传承发展。

面向长江口二号古船文化遗产复杂场景和脆弱文物的精细化记录、智能化保护、多场景展示等重大需求，本案例集成精密工程测量、摄影测量、地理信息系统、地图学等多学科方向，以六个“数字化”（数字化采集、数字化建模、数字化制图、数字化统计、数字化建档、数字化展陈）为一体，开展长江口二号古船考古发掘时空信息与文物资源的全生命周期数字测绘和实景三维数据建设，实现复杂环境协同时空信息采集，研发面向海量数据的三维建模和可视化技术，打造实景三维微观场景建设的上海方案。以数字化转型赋能和创新考古发掘与文物保护，构建古船文化遗产多维度、高精度、全要素的数字化呈现，助力文化遗产保护传承和活化利用，服务文物考古数字文化建设。

二、案例创新点

1.实现复杂环境协同时空信息采集

长江口二号古船考古现场环境复杂，保护舱室内作业空间和光照条件有限、存在支护等施工视线遮挡、多学科交叉作业干扰等，利用传统的采集方式难以满足数据的完整性和精准性需求。本案例在确保文物安全的前提下，以非接触测量为核心，集成无人机倾斜摄影、架站式、跟踪式、手持式扫描、摄影摄像等多种技术手段，研发复杂环境协同时空信息采集技术，解决考古现场观测环境复杂、多源海量点云数据融合等难题，实现多源点云数据的精准配准与无缝融合，及时快速、安全无接触、高精度、全要素采集考古发掘现场和各类出土文物的全方位时空信息。

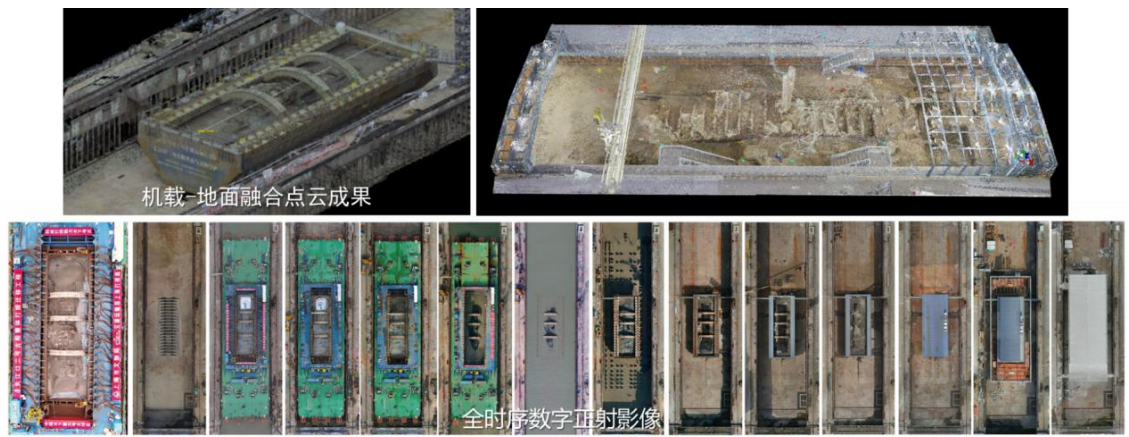


图 1 文物时空信息采集

2.研发面向超大体量文物的古船数字孪生关键技术

长江口二号古船预估出土文物数十万件，涵盖门类丰富。在全面快速考古发掘进程中，考古现场和出土文物的海量时空信息为数据的全过程即时处理与时序化表达带来了多重技术挑战。本案例根据船坞、船木零构件、船载器物等不同尺度对象的应用场景，针对海量多源异构数据，提出多尺度智能三维建模技术，攻克超大体量文物数字化难

以兼顾效率和精度的难题，大幅提升文物三维建模和纹理映射效率。同时，自主研发支持超大体量模型数据的三维场景渲染，搭建实用、便捷、高效的数字孪生平台，实现各类数据的高效精准建档、管理、检索、展示，构建古船高精度数字孪生体。



图 2 文物数字化建模成果

3.打造实景三维微观场景建设的上海方案

长江口二号古船是世界首个考古发掘、整体迁移、文物保护与博物馆建设同步实施的古船考古与文物保护项目。本案例从古船入坞后即开始全过程、全要素记录古船考古发掘与文物保护，通过古船高精度实景三维微观场景建设的构建，可逆向再现古船考古发掘与文物保护全过程。案例以上海科技创新赋能考古和文物保护的示范引领作用，实现考古现场全面记录、船体实时监测、出土文物修复、发掘场景还原、文化遗产科普宣传等文化遗产保护和活化利用的全链条应用，打造实景三维微观场景建设的上海方案。

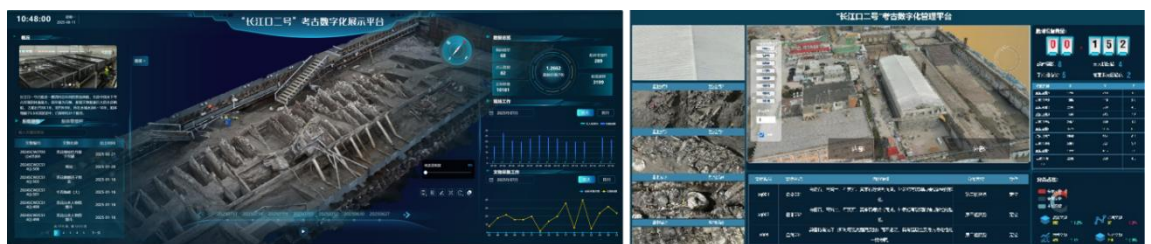


图 3 考古发掘与文物保护数字化场景展示

三、案例应用成效

长江口二号古船项目是深入贯彻习近平总书记关于建设“中国特色、中国风格、中国气派的考古学”重要指示精神的一次卓越实践，也是上海践行“人民城市”理念、推进文旅融合发展的生动体现。古船船体和船用属具保存较好，船载器物丰富，是弥足珍贵的文化遗产，可望为研究中国近代经济贸易史、长江黄金水道航运史和近代海上丝绸之路提供重要资料。本案例将测绘技术全面应用于古船考古与文物保护的全过程，把古船实物形态转化为数字形态，构建古船文化遗产多维度、高精度、全要素的数字化、可视化档案，实现古船数字资源库建设和全过程数字孪生，推进文化遗产数字化沉淀和保护。

数字化再现文化遗产。本案例以实时、高效、高精度的多维度、多类型文物时空信息为古船文化遗产保护和利用提供了全方位坚实的数据支撑，助力文物修复、场景还原等应用场景，赋予文物数字新生，服务艺术宣传、科普记录、文教宣传、新媒体互动等，营造沉浸式文旅体验场景，让历史的碎片重新焕发光彩，助力古船文化遗产的活化利用和古船考古专题博物馆建设。

服务数字文化传播。长江口二号项目自启动以来，受到广泛关注，多次获中央广播电视总台、新华社、人民日报、上海广播电视台、文汇报、新民晚报、中国文物报等重点媒体及国家文物局、上海市文物局等部门专题报道和纪录片记录。案例以多种形式向观众展示文化遗产数字化保护的最新成果，拉近文物考古与观众之间的距离，促进文化遗产保护和文化传承，丰富公众的数字文化消费体验，也为数字经

济的发展注入文化动力。

测绘赋能文化遗产保护。本案例将多学科测绘技术全面应用于长江口二号考古发掘和文物保护的全过程，2025年成功入选自然资源部和国家数据局联合发布的“2025年实景三维数据赋能高质量发展创新应用典型案例”，是测绘技术与文化遗产保护跨界合作的典型应用，以测绘技术助力数字文化建设，丰富测绘在各行各业的赋能场景，形成可移植、可推广的“上海方案”，为行业发展提供了重要借鉴。

（六）大运河为代表的线性文化遗产

申报单位：河北省地质测绘院（河北省地质矿产勘查开发局空间信息技术应用研究中心）

案例详情：

一、案例背景

文化遗产是人类文明传承的重要载体。以大运河为代表的线性文化遗产，因其跨越多区域、分布范围广、保护难度大的特点，成为文化遗产保护领域的重点与难点。

历史建筑是历史文化的载体，是城市“历史记忆的符号”和“文化发展的链条”，它见证了城市的沧桑变迁，一旦遭到破坏便难以恢复。历史建筑能够激发爱国热情与民族自信心，也是研究历史的实物例证，能反映同一时期其他科学的发展水平。此外，它还是新建筑设计和艺术创作的重要参考，在艺术和技术方面成就斐然，其在多方面积累的经验，对专业人员具有极大的启迪和示范作用。

2018年，武汉大学张祖勋院士针对滑坡和危岩的数据获取提出了贴近摄影测量解决方案。后续相关技术不断应用于城市精细重建、古建筑重建、水利工程监测等领域。单位积极参与相关技术培训，并参与相关成果的推广应用。2020年，单位将贴近摄影测量应用到雄安新区“明月禅寺”记住乡愁工作中，并以该项成果，代表河北省住房和城乡建设厅向住建部汇报河北省历史建筑工作开展情况，得到专家组的一致肯定，引领相关技术在全省的推广和应用。

二、大运河线性文化遗产概况

大运河世界遗产分布于8个省（直辖市）的27个城市，由31处独立的遗产

区构成，连通了海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系。2014年6月22日，第38届世界遗产大会宣布，中国大运河项目成功入选世界文化遗产名录，成为中国第46个世界遗产项目。

大运河河北段作为大运河的重要组成部分，开凿始于东汉末年，连通海河和黄河两大水系，涵盖北运河、南运河、卫运河、卫河及永济渠遗址，依次流经廊坊、沧州、衡水、邢台、邯郸五市的17个县（市、区）。

2019年，河北省文物局公布大运河河北段文化遗产名录，其中水利工程遗产及相关历史文化遗产共计74处。其中，连锁谢家坝、华家口夯土险工以及南运河沧州—衡水—德州段“两点一段”被列入世界文化遗产名录；全国重点文物保护单位有19处，省级文物保护单位11处，县级保护单位6处，其他保护单位38处。据河北省气象局

统计，历史上 1963 年 8 月 1—10 日、2016 年 7 月 18—21 日、1986 年 8 月 2—5 日、2012 年 7 月 21—22 日以及 2023 年 7 月 27 日—8 月 2 日的几场大暴雨，致使漳卫南运河、子牙河、大清河、拒马河等水系水势普遍上涨，河道超出泄洪能力，进而引发洪水泛滥，道路被冲毁，农田被淹没，农业、水利、交通、通信、电力等遭受严重损失。受持续特大暴雨等极端天气影响，大运河及其沿线不可移动文物等因洪灾遭到不同程度的损毁。

近年来，积极我单位积极开展相关技术研究，先后利用 3S 技术、倾斜摄影测量、激光三维扫描、贴近摄影测量、三维建模、数据库等地理空间信息技术，进行线性文化遗产数据收集、数据建库、平台展示的集成应用研究，建立场景化、精细化、一体化的线性文化遗产保护平台，为线性文化遗产档案建设、遗产修缮、虚拟修复、展览展示发挥重要作用，对线性文化遗产保护提供科技支撑，为文物保护事业节省人力、物力、财力，为政府管理部门决策起到促进作用，显著提升线性文化遗产保护水平。积极融合测绘、地理信息、地质、气象、社会、人文等数据，利用风险评估理论结合 GIS 空间技术，开展大运河河北段不可移动文物洪涝灾害风险评估研究，创建大运河河北段洪涝灾害风险评估理论模型，建立大运河河北段洪涝灾害风险评估数据集，实现大运河河北段洪涝灾害风险评估，提升地理空间信息服务水平，为各级人民政府防灾减灾规划与监测防范提供科学参考。

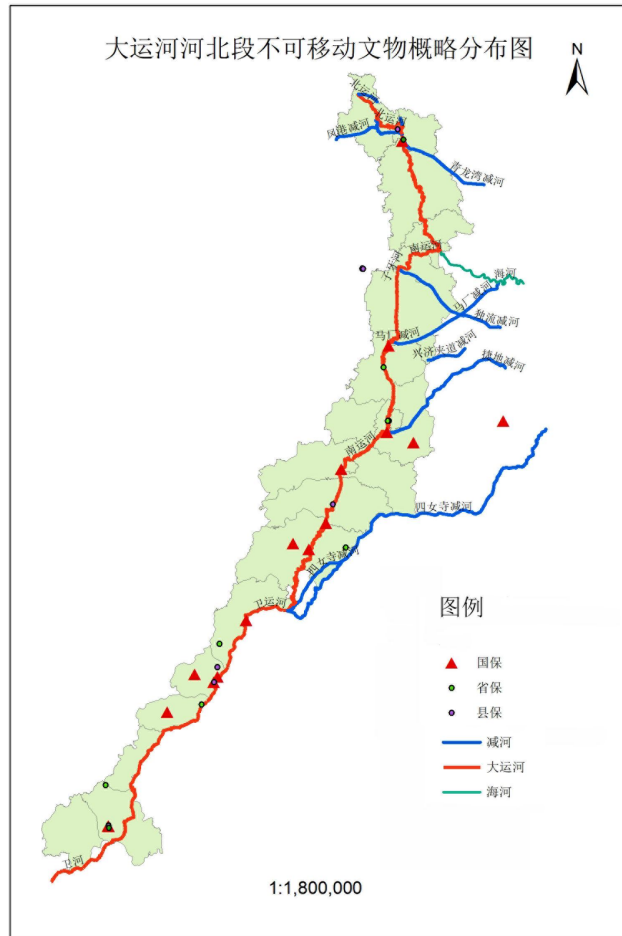


图 1 大运河河北段不可移动文物概略分布图

三、技术方法与实施过程

(一) 技术路线设计

本项目构建“数据采集—多源融合—信息提取—管理应用”的全流程技术路线，以现代空间信息技术为核心，实现线性文化遗产数字化保护闭环：

1.数据采集：整合倾斜摄影测量、三维激光扫描、卫星定位测量与野外调研，获取影像、点云、地理坐标及实地记录等多类型数据，确保数据覆盖的全面性与多样性；

2.多源数据融合：重点融合三维扫描点云与多角度影像密集匹配

(DIM) 点云数据，消除单一数据源误差，为后续建模与信息提取奠定高精度数据基础；

3.信息提取：基于融合数据开展三维重建，生成实景三维模型，并从中提取正射影像、数字线划图、数字高程模型（DEM）、土地利用现状图及历史建筑图件等关键信息；

4.数据管理与应用开发：整合二维地理信息、三维场景与遗产属性信息，建立地理空间信息数据库，开发展示、查询、分析功能模块，实现遗产数字化应用落地。

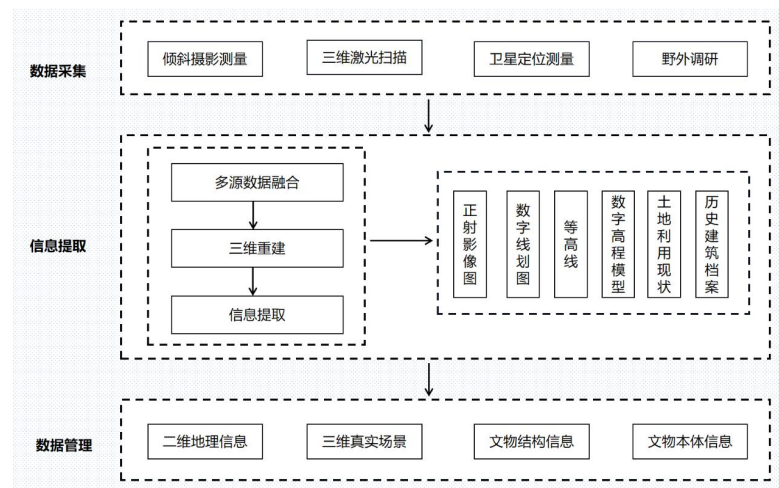


图 2 技术路线图

（二）数据采集实施

1.北运河区域采集：采用大疆 M300 RTK 无人机平台，搭载 202S 全画幅五镜头倾斜摄影相机，在 170 米飞行高度开展作业，设置航向与旁向重叠度均为 80%，最终获取地面分辨率 2cm、覆盖面积 7.8 平方千米的带状多角度影像，共采集相片 16288 张，完整覆盖北运河香河段核心区域，为宏观场景建模提供基础数据；

2.金门闸与土门楼采集：针对水利设施细节需求，采用大疆

精灵 Phantom4 RTK 无人机，在 50 米高度进行倾斜摄影，重叠度保持 80%，获取地面分辨率 1cm 的多角度影像 10877 张，清晰呈现闸体结构、泄洪通道及周边环境细节，满足水利遗产精准建模需求；

3.宝庆寺采集：考虑古建筑结构复杂性，分区域差异化采集：屋顶区域采用大疆 M300RTK，30 米高度作业，获取地面分辨率 8mm 的影像 847 张，捕捉瓦当、屋脊等精细构件；近地面区域采用 FAROFocusPlus350 三维激光扫描仪，设站 21 处，拼接后生成*.las 格式点云数据（点云数量 2331307 个），记录墙体纹理、门窗形制等细节；针对房檐下沿等数据盲区，通过环绕飞行补拍 213 张相片，确保数据完整性。

（三）信息提取与处理

1.实景三维模型构建

北运河、金门闸、土门楼：采用重建大师软件处理影像，通过空中三角测量确定影像空间姿态，经密集匹配生成三维点云，构建三角网几何框架后进行纹理映射，生成实景三维模型，清晰还原河道形态、闸体布局及水利设施全貌；

宝庆寺：融合倾斜摄影（847 张+补拍 213 张）生成的 DIM 点云与激光扫描点云，通过坐标配准消除数据偏差，构建高精度实景三维模型，可清晰呈现斗拱、雕花等古建筑细微构件，模型精度满足文物修复图纸绘制需求。

2.关键信息提取

基础地理信息提取：基于北运河实景三维模型输出高分辨率正射

影像图，结合 EPS 软件对地形、植被、交通等要素进行数字化，生成数字线划图，同步统计用地类型面积（如道路 0.4 平方千米、建筑 4.2 平方千米）；通过特征点线采集构建三角网，生成 DEM 模型，直观反映区域地形起伏，为防汛分析提供地形数据；

精度检测：采用极坐标法检测模型精度，结果显示：北运河平面中误差 $\pm 2.01\text{cm}$ 、高程中误差 $\pm 2.63\text{cm}$ ；金门闸平面中误差 $\pm 1.63\text{cm}$ ；宝庆寺因多源数据融合，平面中误差 $\pm 2.00\text{cm}$ 、高程中误差 $\pm 1.52\text{cm}$ ，精度显著高于单一数据源模型，验证技术方案可靠性。

建筑图纸绘制：将融合后的点云数据分割切片，通过专业软件完成数据格式转换，以点云为底图绘制宝庆寺平、立、剖面图，精确标注构件尺寸（如柱径、梁长、檐高），为古建筑修复提供标准化技术图纸。

（四）数据管理与应用平台建设

数据集成管理：采用软件整合多类型数据，包括矢量数据（数字线划图、建筑平立剖图）、栅格数据（正射影像、DEM、坡度图、土地利用图）、三维模型数据（四大遗产点实景模型）及描述性数据（建筑材料、历史沿革、保存状态），实现数据可视化管理，同时保留地形、交通、植被等环境关联信息，构建完整数据生态；

一体化展示平台开发：平台具备三大核心功能：一是空间场景展示，支持三维场景流畅浏览，可缩放、旋转查看遗产细节；二是单体化查询，点击建筑构件即可调取历史背景、结构参数、保存状态等信息；三是空间分析，包括文物本体风险评估（如结构变形模拟）、大

运河动态淹没分析（模拟不同水位淹没范围）、航道视野调节与视觉分析，为防汛指挥、景观规划提供决策支持。

四、案例成果与价值

（一）主要成果

依托相关技术推进和应用，成功申报并完成河北省重点研发计划项目“地理空间信息技术在线性文化遗产保护中的集成应用研究与示范”1项，成功申报河北省地矿局地质科技项目5项，完成廊坊市、沧州市、张家口市等多地相关生产项目6项；成功申报省级技术创新平台2个，市级技术创新平台4个，主持参与3项标准的制定，发表专业论文7篇，申请软件著作权2项，出版专著2部，申请实用新型专利1项，取得市厅级一等奖2项、二等奖5项，三等奖1项，入围奖1项，相关项目、研究成果先后多次被自然资源报、i自然、中国测绘学会公众号、河北省自然资源厅公众号、河北省地矿局公众号宣传报道。

1.数字化表达体系：通过空地联合数据采集，构建“点（宝庆寺、金门闸、土门楼）—线（北运河）—面（周边区域）”串联的数字化模型，直观呈现遗产空间关联与整体风貌，实现线性文化遗产“碎片化”遗产点的系统整合；

2.全尺度数字化产品：区域尺度输出正射影像图、数字线划图、土地利用图，支撑宏观保护规划；本体尺度输出建筑平立剖图、构件细节模型，满足微观修复需求，形成覆盖“宏观—中观—微观”的数字化产品体系；

3.地理空间信息数据库：整合二维、三维、属性数据，涵盖地形、影像、模型、历史档案等内容，实现数据标准化存储与共享，为遗产研究、保护提供数据支撑；

4.一体化应用平台：集展示、查询、分析于一体，打通“数据—应用”链路，为文保人员、研究学者、公众提供多元化服务入口，推动遗产保护从“线下静态”向“线上动态”转型。

（二）案例价值

1.技术示范价值：创新性地融合倾斜摄影、三维激光扫描等技术，构建可复制的线性文化遗产数字化保护技术方案，为长城、古丝绸之路等同类遗产的保护提供技术参考，推动测绘技术在文化遗产领域的规模化应用。

2.文化保护价值：达成遗产的数字化永久存档，即便遭遇自然侵蚀或人为破坏，仍能借助数据还原其原始风貌，为修复工作提供依据。该平台突破时空限制，通过线上展示推广运河文化，提升公众对文化遗产的保护意识。

3.社会经济价值：在社会效益层面，为当地居民提供了了解本土文化的渠道，增强文化认同感，同时培育一批兼具测绘技术与遗产保护知识的复合型人才。在经济效益方面，依托数字化成果开发文化旅游产品，吸引游客，带动周边餐饮、住宿、交通等产业的发展，实现“保护—开发—收益”的良性循环。

五、未来展望

当前技术方案已在多级尺度验证有效，未来将从三方面深化拓展：

1.尺度拓展：推进大运河河北段省级尺度的数字化保护工作，优化跨区域数据采集方案（例如采用多无人机协同作业模式或低空无人机巡检），完善省级数据融合技术，构建覆盖全河段的数字化保护体系，以实现遗产的整体管控。

2.数据完善：整合历史地图、文献记载、老照片等历史数据，并与现势数据进行关联分析，构建“历史—现状”对比数据库，还原遗产的演变轨迹，为遗产价值研究提供更为丰富的维度。

3.监测与评估强化：引入物联网传感器，实时采集遗产结构应力、环境温湿度、水文水位等数据，实现动态监测与风险预警；融合水文气象数据，建立自然灾害风险评估模型，提升遗产的防汛、防侵蚀能力，推动线性文化遗产保护从“被动修复”向“主动防控”转变。

大运河线性文化遗产数字化保护案例，充分印证现代空间信息技术在文化遗产保护领域的应用潜力。未来，随着技术的迭代更新与保护理念的升级，线性文化遗产数字化保护将实现更精准的数据采集、更深入的信息挖掘、更广泛的应用落地，为中华优秀传统文化的传承提供坚实的技术支撑。

（七）实景三维赋能宜兴善卷洞风景区保护利用和数字文旅建设

申报单位：江苏省测绘工程院

案例详情：

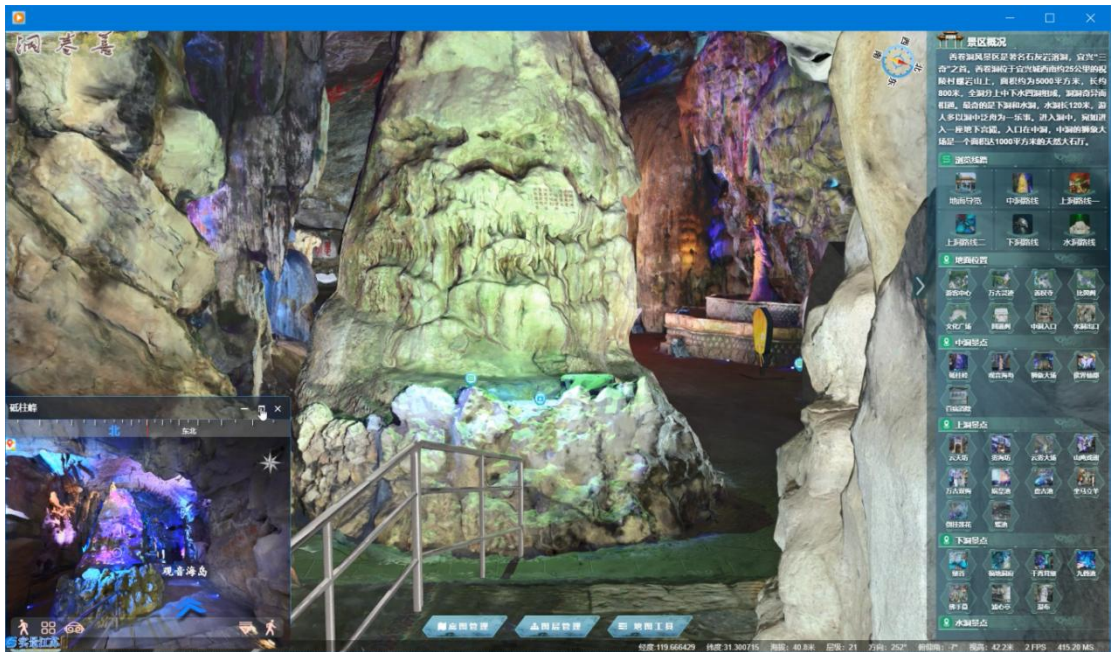
一、基本情况

宜兴善卷洞作为典型的喀斯特溶洞景观，既有“山清水秀、洞奇石美”的独特自然风貌，更承载着梁祝文化、西游记传说等深厚人文底蕴，是江苏乃至全国极具代表性的自然与文化双重遗产，也是宜兴重要的旅游名片，近年来，宜兴市高度重视文化旅游产业发展，积极推动文旅融合，着力打造“中国陶都·陶醉中国”城市品牌。

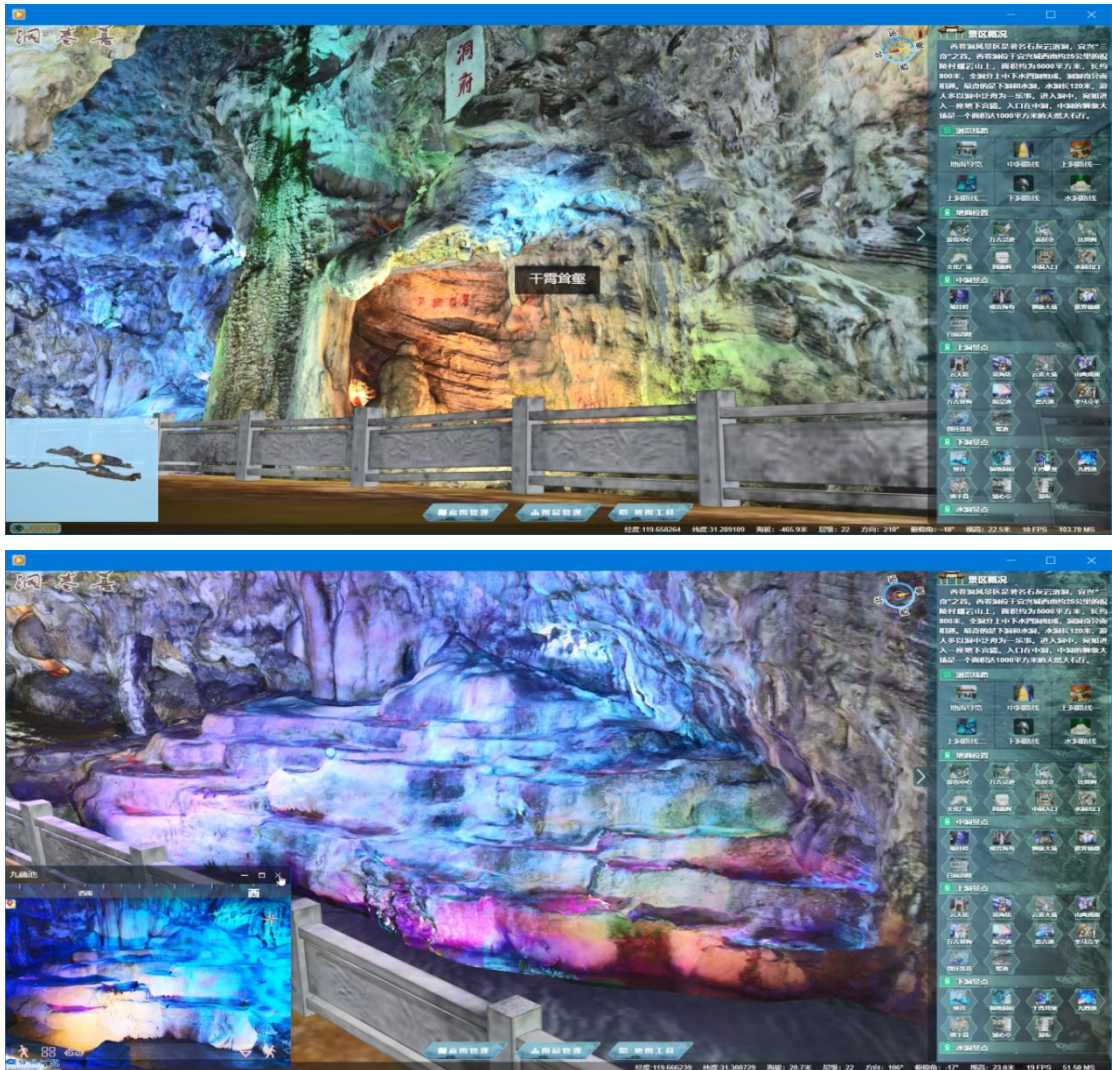
2024年，江苏省测绘工程院联合文旅部门在宜兴善卷洞景区开展实景三维赋能应用，运用实景三维多模态数据融合手段，生成善卷洞数字“克隆体”，挖掘文化元素，搭建实景三维智能导览应用，为景区管理、修缮保护、游客服务等场景提供数字化支撑，打造“实景三维+文旅”的示范标杆，是宜兴市推动智慧旅游建设、提升景区管理服务水平的重要举措，也是我市实景三维赋能文化旅游产业数字化转型的积极探索。

二、具体做法

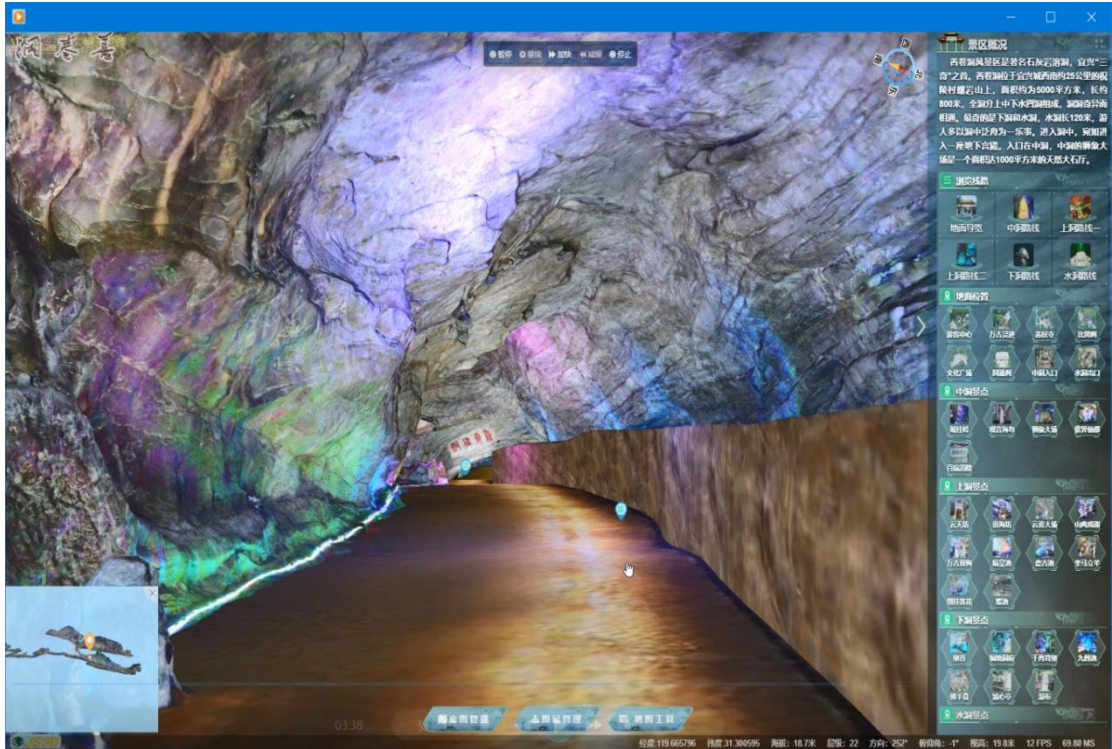
1、构建景区洞内外一体化数字“克隆体”。善卷洞风景区具有独特的喀斯特地貌和深厚的文化底蕴，作为国家级风景名胜区，是宜兴文旅的一张靓丽名片。本案例在国内首次完成了地上洞内实景三维多模态数据一体化采集、匹配和精细化建模，运用激光点云、倾斜摄影、贴近摄影、视频影像等多种采集方法，实现多模态数据空间匹配和联合空三建模，构建善卷洞高精度数字“克隆体”，实现从物理空间到数字空间的“时空穿越”。

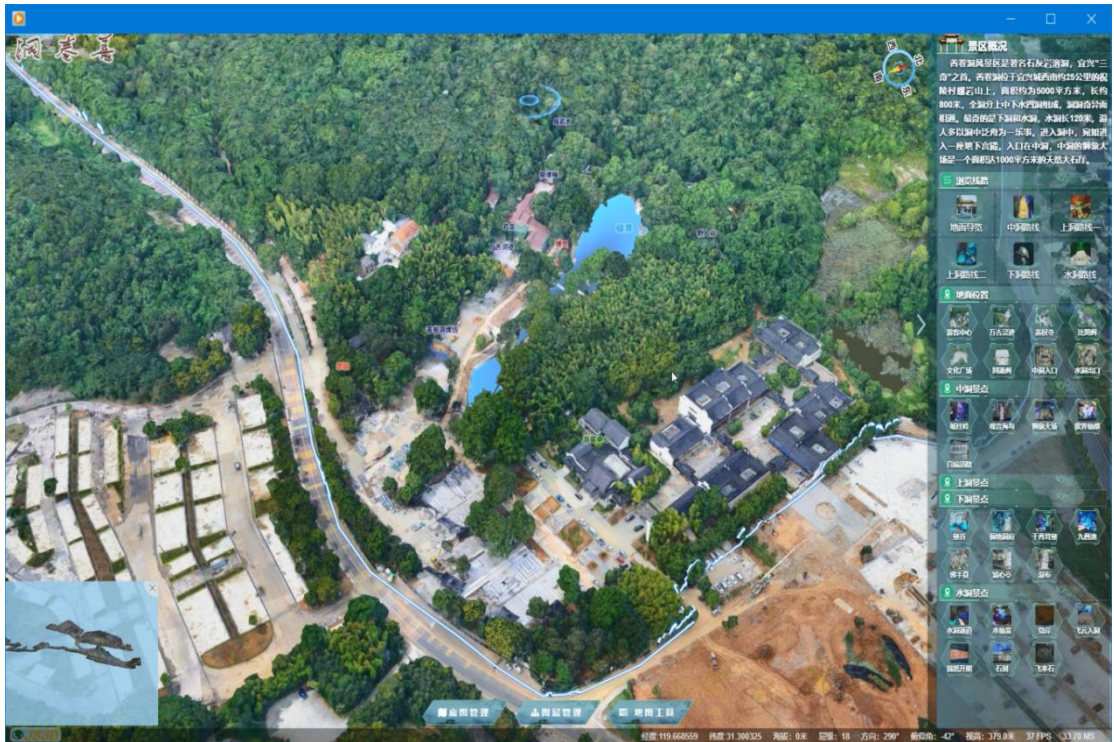


2、多源信息聚合建立景区数字底座。基于实景三维洞内洞外一体化实景三维地理场景，聚合景区自然资源、人文资源、客流量、保护管理等多源信息，并在景区关键点位布设高精度传感器，实时捕捉环境数据细微变化，监测溶洞温湿度、岩石风化程度等生态指标，建立景区数字底座。同时结合 AI 算法进行地质隐患预测、溶洞修复模拟，让溶洞保护和管理更智能。



3、赋能文旅实景化体验应用场景。基于善卷洞景区洞内外一体化高精度实景三维场景，创新建立实景三维智能导览系统，接入DeepSeek自然语言大模型，搭建实景三维智能体，构建智能导游机器人，根据不同类型游客需求，个性化定义游览路线和导游词，实现在线语音讲解和实景三维虚拟场景智能浏览；结合VR眼镜，为游客提供真三维一虚拟现实游览体验；结合梁祝、西游记等文旅IP，挖掘实景三维场景中文化元素，推动文旅资源从“静态展示”到“动态叙事”。





探索和总结洞内外实景三维模型数据生产和融合的技术流程，帮助溶洞的保护和宣传，为智慧旅游服务提供有力支持，同时进一步扩大实景三维产品覆盖度、提升实景三维产品丰富度，积累相关技术建设经验，实景三维多样化应用场景提供可复制、可推广的工程实践经验。

三、应用成效

善卷洞风景区洞内外实景三维数据采集与融合应用研究有利于形成数字治理新格局，促进经济社会绿色低碳转型，赋能文旅产业高质量发展，为地上、地下一体化三维模型建设提供研究方向。

景区保护与管理。为景区的规划、维护和保护提供了时序化实景三维精准数据支持，全面反映善卷洞改造焕新，通过三维模型，管理者可以清晰地了解景区内各个部分的现状，及时发现潜在的安全隐患和环境问题，制定更科学合理的保护措施，以溶洞修复模拟为例，景

区工作人员可以在溶洞修缮前，通过数字模型提前模拟修缮过程，使实体修缮效率提升 40%。

游客体验提升。基于三维数据开发的实景三维数字孪生应用平台，让游客在到达景区前就能通过互联网提前了解景区全貌和特色景点。在景区内，游客还可以通过触摸屏导览设备利用三维数据进行实时定位和导航，更好地游览景区，善卷洞风景区将打造虚拟展厅，新增旅游站点，游客们可戴上 VR 眼镜，“穿越”至步行无法到达的溶洞深处，在虚拟场景中观摩钟乳石千年生长过程，还可通过 VR 眼镜，看到叠加在现实景象上的数字信息，比如某块石头的形成过程、历史故事等，不仅破解了传统溶洞导览光线暗、讲解难的问题，更能大大提升参观互动性和趣味性，预计提升整体门票收入增长 10%。

文化传播与推广。精美的三维模型和相关数字化成果可以吸引更多的人关注善卷洞风景区，提升景区的知名度和影响力，促进当地文化旅游产业的发展。

四、创新点

洞内外坐标联合解算和坐标框架统一技术方法探索。利用洞外图根点，进行洞内二级图根导线测量，联合解算实现洞内外坐标系的统一。

弱光源、高湿度环境下的激光点云和视频图像采集技术方法探索。通过多人手持照明灯，在采集员周边建立动态移动光源散射环境，形成采集区域稳定光源，同步沿着设计好的路线，确保空间视觉环境的一致性，照明设备需同时对洞顶和路面实现散射光源照明，尽量减少

灯光投影造成影子、光影斑驳、光源抖动等现象，弥补洞内光线昏暗、地面和墙壁潮湿环境的不足，提高数据采集的质量。

基于彩色点云和视频数据联合解算建模技术方法探索。首先对采集好的彩色点云进行去噪、简化、配准和拼接处理。通过配准后的影像点云数据进行控制点数据采集并用于影像数据像控点转刺，然后进行影像约束平差解算，从而获得与三维激光点云位置相似的影像点云数据，加入彩色点云数据再次进行空中三角解算，通过联合解算方式，大大提高自由网连接强度。

多源数据融合生成地理场景。通过网络获取一些景点文字信息、图像信息、视频信息以及洞内动态灯光和动态视频数据等，利用多源数据融合技术，将这些信息进行空间化、三维化无缝集成，构建成一个完整、连贯的数字三维游览空间。

（八）庐山世界遗产物候景观智能监测与应用

申报单位：清源（北京）文化遗产保护发展中心有限公司

案例详情：

庐山位于江西省九江市，素有“匡庐奇秀甲天下”之美誉。庐山是中国第一个以文化景观类型列入的世界遗产。1996年12月联合国教科文组织世界文化遗产委员会根据文化遗产遴选标准将庐山以“世界文化景观”列入《世界遗产名录》，对庐山的世界性价值给予了充分的评价：“庐山的历史遗迹以其独特的方式，融汇在具有突出价值的自然美之中，形成了具有极高的美学价值、与中华民族精神与文化

生活紧密相联的文化景观！”。



庐山国家公园世界文物遗产

庐山文化景观的价值核心是自然山水对人的美学启迪，这种美不是静态的，而是动态的，从中感悟出来的中国山水画和诗词歌赋也特别强调气韵生动这一特点。对山岳景观动态美的体验其实是公众感受遗产价值的重要途径，而呈现动态美的物候景观的保存状态，也就关乎此类遗产在长时段周期中价值的真实性和完整性。

近年来，伴随全球气候变暖，极端气象灾害多发，气候变化下的遗产保护成为重要议题，气候变化使直接依托气象条件存在的文化景观受到影响更为严重。云海、雾凇等庐山典型的物候景观是庐山文化景观的重要组成部分，同时也是遗产价值重要的体现部分之一。因此，本案例通过利用高新技术和监测手段评估这些动态的自然要素的保存状态和发展趋势，以及研究监测成果在价值传播方面的应用场景。



庐山国家公园气候景观

文化景观监测是一个综合性监测，首先是对景观核心构成元素进行监测，根据核心要素的不同属性，制定针对性的监测内容。其次是需要将景观全部构成要素，真实反映在一个观测结果中，通过对监测数据进行比较、分析，揭示景观变化规律及形成因素，为采取进一步的保护措施提供科学的技术支撑。

在这样的目标下，我们和庐山遗产地、气象管理部门以及工程技术团队合作，在前期资料研究和实地勘察研究基础上，从顶层设计到末端落实，已对庐山世界遗产具有代表性典型文化景观的物候现象（云海、雾凇）进行试点片区监测以及监测预警系统建设，该系统是一个全平台、多功能的遗产监测系统，充分利用大数据、云计算、人工智能、卫星测绘、高清摄影等现代技术，其最具创造性的功能之一即是对庐山物候景观的监测，也是我国首次将物候类型文化景观监测纳入日常遗产监测内容之中。现阶段已完成对部分特殊物候景观如云雾、云海景观和雾凇、雨凇景观的影像监测数据和气象环境监测数据

积累，对物候景观的延续状态和未来发展趋势以及影响其形成的因素等内容进行了探索性分析，利用总结的规律，明确指导物候景观的下一步监测、保护和管理工作，并将结果反馈展示和指导游客管理，这一探索性尝试能够在提升遗产价值认知、科学研究、保护管理、价值传承等方面取得更实际的成效。



可推广的应用模式

适用于大型文化景观物候景观预测的交互式监测系统：以中国庐山文化景观为例。

文化景观是附着在自然物质之上的人类活动形态，是人类社会聚居环境演变的例证。因此，文化景观是不断发展变化的，其发展变化服从于其自身的发展规律。文化景观与人类活动密切相关，如何对随时都在发展和变化着的人与自然进行合理的保护管理，是文化遗产工作者的重要课题。庐山作为大型遗产地，自然现象多样。庐山世界遗产文化景观监测，能够在多样化或极端气候条件下工作，对多学科研究和日常管理都有好处。

1、遗产认知：有利于人们对庐山云海等物候景观形态特征的理

解认识。

结合科学的监测数据与大场景拍摄捕捉图像的感官体验能够帮助人们更完整、深入地理解云海景观在气象要素作用下的形态特征，及其审美和文学艺术作品的关系。深入对庐山云海的形态、规模定性-定量的认识。

科学研究：基于数据积累开展对庐山云海等物候景观与各气象要素关系更深入的研究及拍摄设备后台内置图像算法识别云海的准确性研究。

基于对积累的监测数据分析，能对各类云海的形成机制、影响因素等做更深入研究，并提升预测准确度。

运用 AI 算法对物候景观图像进行分类学习，增强其对各类物候景观不同表现形式的判断和捕捉记录，通过人工智能在后期积累中提升判断的准确性。

通过监测将实时影像记录和气象数据进行匹配，有助于对庐山千姿百态的云海形态进行更准确的识别和分级分类。基于长期数据积累，预报与实况、捕捉图像进行及时对比查证，及时对原有预报模型算法进行修正、优化，未来有可能将云海的预测细化到各类具体形态，从而为公众体验提供根据个性化的选择。这其实也是对遗产价值更积极有效的传播。



监测设备识别并捕捉到的云海图像

保护管理：切实回答物候景观类遗产要素的保存状态和变化趋势，及其可能的缓解措施，唤起公众对气候变化大问题的理解和关注。

近年来国际社会普遍意识到气候变化给遗产带来的影响，通过对庐山文化景观年际变化、年代际变化趋势特征分析，完善对物候景观类价值特征要素保存状态和发展趋势的评估，结合形成机制和影响因素研究，采取必要的可行的保护管理及缓解措施。

使监测系统成为公众沟通重要渠道，传播遗产保护理念和科学方法，提高公众对气候变化问题的理解和关注，有助于推动社会各界采取行动应对气候变化对文化遗产的影响。

价值传承：让更多的公众有更好的渠道获得对庐山文化景观蕴含的美学价值的高品质体验，使遗产成为价值创造的源泉。

游客、访客可以通过遗产监测平台或推送平台对景观出现的实时播报及预报获得更好的游览指导，更有机会置身于文化景观场景，体会到庐山最具魅力的时刻和景象，通过现实体验深刻理解文化景观和历史文化。

通过准确的实时播报及预报为游客提供更好的游览指导，如提供当日云海最佳观测点推荐、最佳观测时间预测等，为公众提供更具个

性化的导览服务。

基于气象数据的物候景观分析，在监测平台的支持下，实现在终端进行可视化结果的展示，也可以在便携式交互平台上显示，甚至可以进行互联网直播。游客和当地社区都可以通过该平台获得物候预测信息，以便更好地制定旅游或工作计划，也可享受到线上同步的观赏服务。

案例经验：

1、建立物候景观形成的相关监测设备及系统

基于前期对庐山物候景观形成的相关要素研究，在原有气象监测设备基础上加装一套从山脚到山顶七座 6 要素气象站，形成完整的一组梯度气象数据采集，将监测数据接入系统平台，实现对实时监测数据的查看、导出、处理和分析功能。

2、建立物候景观影像捕捉及实时识别系统

在特征物候景观观测区域设置配备机器图像算法识别的大场景图像捕捉，并打通和气象部门、“直播中国”影像采集系统的数据共享，实现全山较大范围的气象、物候景观气象数据采集和实景记录。



气象景观监测工作路线

3、建立庐山物候景观的预测模型

采用气象设备和高清影像联动的方式监测物候景观，气象设备对物候景观的形成条件进行分析和判定，同时，专业的监控设备对物候景观的影像进行动态捕捉、记录和播报。通过长期的数据分析，建立庐山物候景观的系统模型，用大量数据验证模型，对不同的物候景观按照规模进行分类，对庐山云雾景观预测软件算法进行定期修正，提升预报的准确率。

庐山云雾景观预测软件

	02时	08时	14时	20时
天气形势	台风 <input type="checkbox"/>	台风 <input type="checkbox"/>	台风 <input type="checkbox"/>	台风 <input type="checkbox"/>
	冷空气 <input type="checkbox"/>	冷空气 <input type="checkbox"/>	冷空气 <input type="checkbox"/>	冷空气 <input type="checkbox"/>
	低槽 <input checked="" type="checkbox"/>	低槽 <input checked="" type="checkbox"/>	低槽 <input type="checkbox"/>	低槽 <input type="checkbox"/>
	切变 <input type="checkbox"/>	切变 <input type="checkbox"/>	切变 <input type="checkbox"/>	切变 <input type="checkbox"/>
锋面 <input type="checkbox"/>	锋面 <input type="checkbox"/>	锋面 <input checked="" type="checkbox"/>	锋面 <input type="checkbox"/>	
850mb湿度	大于90 <input checked="" type="checkbox"/>	大于90 <input checked="" type="checkbox"/>	大于90 <input checked="" type="checkbox"/>	大于90 <input type="checkbox"/>
925mb湿度	大于90 <input checked="" type="checkbox"/>	大于90 <input type="checkbox"/>	大于90 <input checked="" type="checkbox"/>	大于90 <input type="checkbox"/>
850mb风向	NE-SW <input type="checkbox"/>	NE-SW <input checked="" type="checkbox"/>	NE-SW <input type="checkbox"/>	NE-SW <input checked="" type="checkbox"/>
有无降水	有降水 <input checked="" type="checkbox"/>	有降水 <input type="checkbox"/>	有降水 <input type="checkbox"/>	有降水 <input type="checkbox"/>

确定，输出预报结果

预报结论：
明日有短时的云雾景观，或散片的云海。
具体预报如下：
20-02时有大雾的概率超过90%；
02-08时有云雾景观的概率较高，70%；
08-14时有云雾景观的概率较高，70%；
14-20时有云雾景观的可能性较小。



4、建立遗产地、管理人员和游客之间的互动系统

通过气象学上的准确判定和预报，能准确的将物候景观的发生时间与地点推送给游客，同时也可以通过视频联动系统进行记录和实时影像直播。

庐山的游客通过监测平台对物候景观的及时推送和预报，能够很好的体验到庐山的文化景观。同时监测系统也可以通过互联网将文化景观的影像与图片进行传播与回放。

媒体宣传报道

2022 年“学习强国”APP 在线推送监测系统景观监测影像直播视频：江西九江庐山五老峰迎接 2022 年第一缕曙光。

2022 年 4·18 国际古迹遗址日“遗产与气候”研讨会上，项目设计团队在“气象灾害应对气象景观监测——鼓浪屿和庐山的保护实践”报告中对“庐山气象景观-云海监测”阶段性的监测成果进行了分享。



魏青：气象灾害应对与文化景观监测——鼓浪屿与庐山的保护实践

ICOMOS CHINA 中国古迹遗址保护协会 2022年08月03日 19:47 北京

//

各位领导、专家、线上线下的各位同仁下午好！非常感谢协会组织，有机会参与“遗产与气候”的讨论。在此我想通过两个实践案例，跟大家分享我对“遗产与气候”之间关联关系的理解，以及基于这种关系在遗产保护和管理中的应对方式。这两个案例分别来自于鼓浪屿和庐山。

背景-两个视角

探讨案例之前，让我们先从两个视角来看文化遗产领域对气候要素的普遍性理解。

第一个视角，是将气候要素作为影响因素来认识。在世界遗产中心官网对全球世界遗产面临的影响因素里，气候变化与极端天气是十四大类影响因素中的一类，暴风、洪水、干旱等气象灾害是其中的主要子类¹。以暴风为例，可以从近年来世界遗产保护状况数据（SOC）统计中看到每年遭受到这类灾害影响的遗产地数量²。世界遗产第三轮定期报告亚太区的统计分析显示，气候与极端天气在所有对遗产造成负面影响的因素中排名第二，仅次于影响物质形态的本地环境。定期报告的统计分析还展现出一个事实，尽管从第二轮定期报告开始，世界遗产领域对影响因素的定义就从以往仅关注威胁破坏作用发展到同时关注负面和可能的正面影响作用，但气候变化与极端天气在负面与正面影响作用的比例上是所有因素中最为悬殊的，很少被认为有正面的影响作用。同时，如果对比定期报告和保护状况报告这两类分别关注长周期变化和聚焦具体案例事件的报告统计结果，会发现在长期视角下气候变化与极端天气的影响作用会得到更高关注³。

1 <https://whc.unesco.org/en/factors/>

2 https://whc.unesco.org/en/soc/?action=list&id_threats=126&

3 以上结论基于对亚太地区第三轮定期报告遗产地问卷报告对影响因素的统计分析。

第二个案例来自庐山。庐山是中国第一个以文化景观类型列入的世界遗产，遗产区300多平方公里。作为一个山岳型景观，庐山的核心价值在于其对中国传统山水精神和山水审美的启迪与推动。因此我们以从古至今人们对庐山景观资源的探索开辟为线索，用景观廊道和片区的形式对庐山的文化景观构成进行梳理和认定。在这些廊道、片区中，具体的文化景观要素除了古遗址、古建筑、摩崖题刻、近现代建筑等人文积淀与山林沟谷、湖潭溪瀑组成的景物，还有一类非常重要，就是赋予庐山气韵生动美学特质的气象、物候景观。对山岳景观动态美的体验其实是公众感受遗产价值的重要途径，而呈现动态美的气象、物候景观的保存状态，也就关乎此类遗产在长时段周期中价值的真实性和完整性。因此在为庐山做遗产监测系统策划设计时我们开始考虑如何通过监测手段评估这些动态的自然要素的保存状态和发展趋势，以及监测成果在价值传播方面的应用场景。云海是其中重要的研究对象。

首先是尽可能回溯历史数据。我们和江西省气象服务中心与庐山气象局合作，对以往观测研究进行回顾分析。已有工作大致可以分为两个阶段。第一阶段1980年到1982年，通过人工观测记录了一百多次云海景观。依据气象观测规范，通过这些观测记录对庐山的云海形态做出基本分类，此阶段云海统计中以云状为层积云的频率占比最多。同时也能结合气象数据分析判断云海形成的基本机制——总体上和逆温层的形成有较密切的关联，但逆温层并不是云海景观的充分必要条件，还有一些其他因素（如相对湿度的情况）影响云海的形成。

2022 国际古迹遗址日主题报告·遗产与气象

庐山-气象景观的监测 | 庐山云海历史观测及研究工作1980-1982

25

人工观测历史资料研究

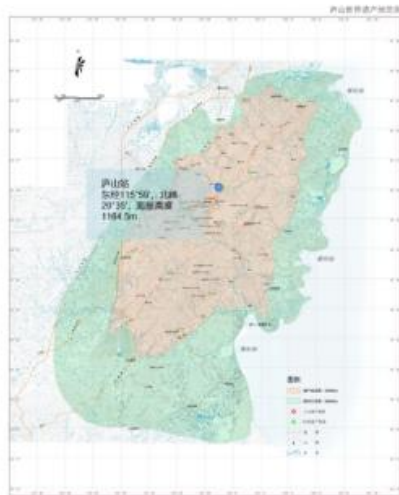
庐山台（站）建于1954年，位于庐山牯牛背山顶，海拔高度1164.5m，九江观测站位于庐山脚下，海拔32.3m。

云海定义

在每天02、08、14、20时地面观测资料中，庐山观测到云海(云量>7)九江观测低云量>7时 作为一次云海。低于这个标准的云雾，均作为散片的云雾景观。

云量为云遮蔽天空视野的成数。云海中的云基本上都属于低云族（云海一般在100m-2500m）。

1980-1982年气象站工作人员3年共观测121次云海



第二个阶段从2005年至2019年。相比1980年到1982年，2005-2015年气象台对庐山云海的定义有所变化（主要体现在云量），这个阶段庐山云海云状出现频次统计结果显示出现次数最多的为碎积云⁵。这种云海的整体形态虽然较为破碎，视云量不高，但和庐山“横看成岭侧成峰、远近高低各不同”的山水地形结合，会产生形态的多样变化和小范围瀑布云，因此是庐山非常典型也较为普遍的云海形态。这一阶段的记录总结出庐山云海全年的分布规律，也反映出年平均大体呈下降趋势，但致因方面还没有明确结论。

5 肖雯, 刘春, 汪如良, 等. 2005-2015年庐山云海时间变化特征及气象条件分析[J]. 2020.

庐山云雾及云海2005-2015年研究

庐山气象站人工观测位置与观测频率与1980-1982相同

云海定义与之前不同: 当庐山气象站逐日4次定时 (02、08、14、20) 观测中至少有一次观测到云海(云量≥0)时, 即为一个云海日

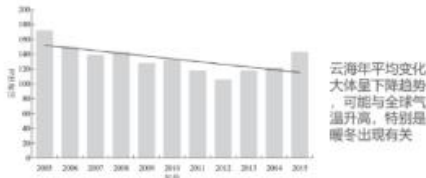


图1 2005-2015年庐山云海年平均出现次数(单位:次)

Fig.1. Distribution of annual mean size of cloud deck occur during 2005-2015 in Lushan Mountain. Unit: 次

云海年平均变化大体呈下降趋势, 可能与全球气温升高, 特别是暖冬出现有关

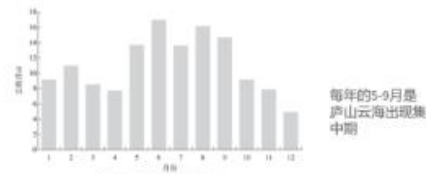


图2 庐山云海逐月出现频率(单位:次)

Fig.2. Distribution of monthly occurrence of cloud deck occur in Lushan Mountain. Unit: 次

每年的5-9月是庐山云海出现集中期

表2 2005-2015年庐山云海观测频次月平均分布
Table 2 Monthly distribution of occurrence frequency of cloud form in deck exist during 2005-2015 in Lushan Mountain

月份	Sc	Fc	Cu	St	Fn
1	4.73	7.09	0.00	0.00	1.27
2	5.09	8.91	0.00	0.18	1.54
3	1.09	0.54	0.09	0.09	1.00
4	0.91	9.00	0.18	0.00	0.73
5	2.18	17.27	0.54	0.00	2.45
6	1.45	20.91	2.45	0.18	1.73
7	0.82	16.91	1.73	0.00	2.09
8	1.18	23.73	3.09	0.09	0.54
9	1.55	19.45	2.54	0.09	0.27
10	1.00	11.55	0.54	0.00	0.82
11	2.36	9.00	0.00	0.00	1.27
12	1.45	4.73	0.00	0.00	0.54
总计	23.82	158.09	11.18	0.64	14.27

碎积云(Fc) 主要出现在5-9月。庐山受地形影响, 夏季容易出现由热力抬升、地形抬升等垂直运动明显时易产生积云属类的云状。碎积云(Fc)虽然破碎, 视云量不高, 但是结合庐山地形, 同样可以出现小范围瀑布云, 可观赏性很好。

层积云(Sc) 主要出现在冬季1月和2月。大气层结在冬季较稳定, 层积云常形成于逆温层下部。层积云(Sc)云顶较平, 常成行、成群或波状排列, 分布较广, 形成云海后视觉效果极佳。

碎雨云(Fn) 主要出现在4月和5月。当大范围的锋面及辐合抬升等明显天气系统影响时, 则易形成包含碎雨云(Fn)在内的雨层云。

2014年至2019年, 气象部门对碎积云做了更深入的研究, 并且基于庐山云雾、云海历史资料及气象数据记录研究了预报方程, 开发了预测软件, 科学预测具有了一定的有效性。

2014-2019庐山云海纪要分析

庐山气象站人工观测位置与1980-1982、2005-2015相同

云海纪要中只有庐山最常见云海类型碎积云 (Fc) 的观测记录, 记录中显示, 2016年与2019年数据大幅减少 (减少接近一半)。但2014年-2019年庐山气象历时资料的数据 (年气温、降水、湿度、气压等) 较为稳定, 只有2019年降水比气候值偏少三成, 显著偏少。

2014-2019年各月庐山碎积云 (Fc) 云海出现天数统计 (单位: 天)

月份	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1月	/	9	16	8	12	1
2月	8	11	3	6	3	6
3月	5	12	9	14	7	6
4月	6	9	11	6	5	7
5月	8	19	12	13	9	7
6月	14	15	15	5	5	5
7月	17	12	11	4	3	7
8月	24	15	12	12	11	8
9月	19	10	10	13	2	4
10月	8	9	19	10	3	6
11月	13	15	/	6	3	2
12月	/	7	/	7	6	5
总计	122	143	120	104	69	64



但以往的观测记录工作存在一些重要问题, 主要在于每个阶段不同专业人员的人为观测视角、重点、甚至认定云海的标准都有不同。而且以往观测主要是以数据和文字的形式记录, 没有相应的影像记录匹配, 这导致以往观测对云海形态的记录是较为主观、模糊也无法追溯的。因此**加强监测的连贯性、监测手段的科学性、标准的统一性、数据的完整性**, 是本轮遗产监测在气象景观要素方面可以作出的一系列重大改进。

庐山的地理位置、山岳形态和总体规模, 促成了庐山云海形态的多样性。通过监测将实时影像记录和气象数据进行匹配, 还有助于对庐山千姿百态的云海形态进行更准确的识别和分级分类。基于长期数据积累和机器, 未来有可能将云海的预测细化到各类具体形态, 从而为公众体验提供根据个性化的选择。这其实也是对遗产价值更积极有效的传播。



在这样的目标下，我们和庐山遗产地、气象管理部门以及工程技术团队合作，在庐山世界文化遗产监测预警系统的一期、二期做了一些实践探索。在遗产监测专项经费支持下，在原有气象监测设备基础上加装了一套从山脚到山顶七座6要素气象站，形成完整的一组梯度气象数据采集，在剪刀峡、含鄱口、五老峰、如琴湖设置配备机器图像算法识别的大场景图像捕捉，并打通和气象部门、“直播中国”影像采集系统的数据共享，实现全山较大范围的气象、物候景观气象数据采集和实景记录。



在监测数据的分析和利用方面，目前在气象专家的支持下，内部测试对云海预测已经提升到近80%的准确率，可以较好的指导对云海的观测。同时，影像采集在一定程度上可以弥补数据推算没有能预测到的云海，使得整体的云海记录更加完整。

在监测数据的分析和利用方面，目前在气象专家的支持下，内部测试对云海预测已经提升到近80%的准确率，可以较好的指导对云海的观测。同时，影像采集在一定程度上可以弥补数据推算没有能预测到的云海，使得整体的云海记录更加完整。

2022 国家非物质文化遗产 - 遗产与气象

庐山-气象景观的监测 | 气象监测数据与影像记录数据的匹配印证

35

2021年4月20日-2022年4月初气象局云海预报、人工观测实况记录与系统捕捉云海图像（含鄱口、剪刀峡和五老峰）对应情况

- 云海预报与实况记录相符率2022年较2021年略微提升；
- 未捕捉到云海图像出现的情况主要是预报和实况记录描述为云雾及少量或散片云海时；
- 也存在预报和实况记录无云海但图像捕捉到明显云海景观的情况

年份	预报和实况均有云海 (单位:天) A	仅预报有云海 (单位:天) B	仅实况有云海 (单位:天) C	均无云海 (单位:天) D	预报和实况均有但没捕捉到云海图像 (单位:天) E	预报或实况有但没捕捉到云海图像 (单位:天) F	预报和实况均无但捕捉到云海图像 (单位:天) G	预报与实况相符率	预报和实况均有但图像未捕捉率	预报和实况均无但图像捕捉云海概率
2021 (256日)	100	4	1	72	50	1	10	67.19%	50.00%	13.89%
2022 (96日)	54	12	8	21	37	17	1	78.13%	68.52%	4.76%

*预报与实况相符率=(A+D)/当年记录资料时间段内总天数
预报和实况均有但图像未捕捉率=E/A
预报和实况均无但图像有云海概率=G/D

场景拍摄设备基础拍摄频率是1次/小时，机器图像算法识别到云海时会增加拍摄频率至5次/分钟或10次/分钟，当有云海预报描述也会增加拍摄频率，拍摄频率后台也可人为调整

2022 国家非物质文化遗产 - 遗产与气象

庐山-气象景观的监测 | 气象监测数据与影像记录数据的匹配印证

36

2021年4月20日-2022年4月初气象局云海预报、人工观测实况记录与系统捕捉云海图像（含鄱口、剪刀峡和五老峰）对应情况

- 云海预报与实况记录相符率2022年较2021年有可见的提升趋势；
- 未捕捉到云海图像出现的情况主要是预报和实况记录描述为云雾及少量或散片云海时；
- 也存在预报和实况记录无云海但图像捕捉到明显云海景观的情况

年份	预报和实况均有云海 (单位:天) A	仅预报有云海 (单位:天) B	仅实况有云海 (单位:天) C	均无云海 (单位:天) D	预报和实况均有但没捕捉到云海图像 (单位:天) E	预报或实况有但没捕捉到云海图像 (单位:天) F	预报和实况均无但捕捉到云海图像 (单位:天) G	预报与实况相符率	预报和实况均有但图像未捕捉率	预报和实况均无但图像捕捉云海概率
2021 (256日)	100	4	1	72	50	1	10	67.19%	50.00%	13.89%
2022 (96日)	54	12	8	21	37	17	1	78.13%	68.52%	4.76%

*预报与实况相符率=(A+D)/当年记录资料时间段内总天数
预报和实况均有但图像未捕捉率=E/A
预报和实况均无但图像有云海概率=G/D

场景拍摄设备基础拍摄频率是1次/小时，机器图像算法识别到云海时会增加拍摄频率至5次/分钟或10次/分钟，当有云海预报描述也会增加拍摄频率，拍摄频率后台也可人为调整

目前我们从文化遗产视角在庐山对云海的监测还在起步探索阶段，希望这些尝试能在以下方面取得更实际的成效。第一是遗产价值的认知层面，监测能帮助我们更完整、深入地理解庐山的云海景观在气象要素作用下的形态特征，及其与审美和文学艺术作品的关系。第二是科学研究方面，基于对积累的监测数据分析，能对各类云海的形成机制、影响因素等做更深入研究，并提升预测准确度。第三是在保护管理方面，通过年际变化和年代际变化，切实回答气象类遗产要素的保存状态和变化趋势，及其可能的缓解措施，包括通过基于数据实施的传播，唤起公众对气候变化大问题的理解和关注。第四是价值传承方面，遗产的价值要通过特征去表达，特征要通过人们的体验去理解和认识，监测系统应用于导览服务，能够让公众更充分地欣赏到文化景观最直观的价值，获得更深切的体验。



2022年首个日出影像记录



庐山遗产监测系统的气象监测和云海以及物候景观预报

（九）翠云廊古树激光雷达测绘

申报单位：北京数字绿土科技股份有限公司

案例详情：

案例背景与意义

剑门蜀道是中国古代进入四川的重要通道，见证了文明交流、军旅往来和区域开发的悠久历史，属全国重点文物保护单位。位于其间的翠云廊，两侧古柏成行，紧伴古道，被称为“蜀道奇观”和“森林活化石”，具有重大的文化魅力、历史价值和科研价值。随着时间推移，

古树面临衰老、病虫害、风折、倾斜、中空和根部受扰等多重风险；若没有系统、全面的古树资源普查与精准记录，就难以厘清资源底数与空间分布，无法建立完整档案并开展客观评估，更难以支撑后续的科学养护、修复治理与公众展示。因此，对蜀道古柏资源进行全面的体检调查工作具有重要意义

传统普查技术依赖目测和二维记录，主观性强、信息不完整，且攀爬测量或近距离接触存在对古树造成二次损伤的风险，难以稳定支撑隐患识别与前后对比。为此，数字绿土采用激光雷达测绘技术对蜀道古柏资源进行全面的体检调查，围绕翠云廊古树群进行激光雷达数据采集和三维建模：以非接触方式获取树体及周边环境的高密度三维数据，关键指标可量化、成果可复核，可通过复测实现时间序列对比与预警，并为“一树一档”的长期管理提供统一底座。该数字化路径有效弥补了传统手段的不足，具有“数据调查方式便捷”、“数据准确性高”、“数据类型丰富”“数据可追溯性强”的特点。

项目实施与成果

数字绿土公司对蜀道古柏资源进行全面的体检调查，分为激光雷达设备采集数据和数据成果分析。外业阶段，利用公司自主研发的LiBackpack DGC50H 背包

激光雷达扫描系统、LiGrip H300 手持激光雷达扫描系统对古蜀道两侧各 10 米范围进行数据采集，同步获取古树点云和全景影像数据实现近景高密度点云获取，清晰捕捉树干、主枝细节；利用 LiAir 220N 无人机激光雷达系统对蜀道两侧 50-70 米范围内进行数据采集，有效

弥补林下视野受限带来的不足。通过多平台协同，古树群在整体和局部两个层面都得到了精准呈现。



LiBackpack DGC50H 背包激光雷达系统作业现场



LiAir 200N 无人机激光雷达系统作业现场

内业处理中，团队利用 LiDAR360 激光雷达点云数据处理和分析软件对采集的数据进行了高精度配准、噪声剔除与要素分类，形成了树体、枝系、冠层、地表及周边环境的分层表达。在此基础上，完成了参数化建模与指标提取，能够稳定输出树高、胸径、冠幅、倾斜度等核心数据，并将裂隙、中空、断枝等潜在隐患以要素化方式记录。对部分典型古树，还建立了高精度数字孪生模型，便于后续时间序列

比对。由此形成了数字档案、风险识别、可视化模型三类成果：既让古树状态实现了量化表达，又为科学修复与后续监测提供了基础。

本次工作成果目前已经顺利通过验收，形成的古树点位坐标、树高、冠幅、胸径、单木体积等，以及生成古树群落三维可视化模型完整规范，能够满足古树保护管理的需求。同时，成果也获得了主流媒体的报道，四川卫视新闻联播节目对激光雷达在古树保护中的应用进行了介绍，从现场作业到三维模型展示都有直观呈现；入选国家广播电视总局“记录新时代”精品纪录片项目的《文运中国》纪录片，在东方卫视《新纪实》时段播出，也对本项目进行了呈现，进一步扩大了社会覆盖面与专业影响力。这不仅提升了社会公众对“科技+文保”的理解和认同，也增强了成果的权威性和影响力。

在推广层面，本次实践验证了激光雷达技术在古树群落中的应用价值，特别是在翠云廊这种古树密集、地形复杂的场景下，既保证了精度，又提升了效率。随着成果不断积累，形成的数据档案将成为跨区域对比和多部门协同的基础。未来在其他国家级文保单位、自然保护区乃至城市历史风貌保护中，都可以借鉴这一模式，实现“数字化建档—科学养护—公众展示”的良性循环。

项目总结

翠云廊古树激光雷达测绘工作实现了从数据采集、模型建构到成果应用的全链条落地，展现了数字化在文化遗产保护中的巨大潜力。它将隐患识别从经验判断转化为数据证据，把一次性的治理提升为动态管理，并把专业成果延伸到公众展示和社会教育，形成了科技赋能

文保的示范案例。

除翠云廊古树测绘案例之外，公司已在地开展古树激光雷达测绘与三维建模，形成成熟的技术体系与现场组织能力：完成西藏林芝 102.3 米亚洲最高树——西藏柏木的激光雷达测高；对林芝 1600 年树龄“世界古桑王”与 3200 年“世界第一巨柏”开展三维扫描建模；在延安完成 5000 年以上树龄黄帝手植柏、保生柏、老君柏的数字化测绘；在北京完成 3500 年“九搂十八杈”与 580 岁“流苏王”的精细建模。上述案例覆盖极高树体、超长树龄、复杂冠形与多样生境，验证了激光雷达在不同类型古树中的适用性与稳定性。下一步，公司将把“激光雷达+三维建模+一树一档”作为常态化方案，在国家级文保单位、自然保护区和城市历史风貌保护等场景持续推广，完善数据标准与复测机制，形成可复制、可对比、可持续的数字化保护路径。

（十）桂林市兴安县灵渠·湘江战役文化遗产长廊—— 构建文化遗产数字化保护新格局

申报单位：广西壮族自治区自然资源遥感院

案例详情：

一、应用概况

灵渠·湘江战役文化遗产长廊，地处广西桂林市兴安县城区沿湘江至兴安县界首镇，区域内包含灵渠、湘江战役旧址等多个全国重点文物保护单位、国家 4A 级旅游景区、全国红色旅游经典景区。灵渠是世界灌溉工程遗产，不仅彰显古代水利科技典范，也见证了中华民

族走向大一统的历史进程；湘江战役作为长征国家文化公园建设体系重要组成部分，承载爱国主义教育、革命传统教育和党员干部培训的重要功能。两者已成为广西桂林打造世界级旅游城市的核心资源，展现了自然禀赋和人文精神交织的永恒魅力。

在自然资源部和广西壮族自治区自然资源厅指导下，广西壮族自治区自然资源遥感院综合运用无人机航空摄影、倾斜摄影三维建模、近景摄影测量等测绘技术，推进区域特色自然和人文资源调查工作，完成桂林市兴安县灵渠·湘江战役文化遗产长廊区域特色自然和人文资源调查、数字正射影像图采集、实景三维数据底座构建，为当地文化遗产保护提供详细、精准的自然与人文资源空间信息，多维立体展现当地历史文化底蕴，构建文化遗产数字化保护新格局。

二、经验做法

本项目采用内外业结合的方式，以现有的自然和人文数据为基础，套合高分遥感影像，遵循“数据集成为主、补充调查为辅”的原则开展工作。外业利用无人机航空摄影与近景摄影测量进行数据采集；内业采用倾斜摄影三维建模技术构建文物精细化三维模型，并通过实景三维可视化管理平台融合多源数据，实现了灵渠·湘江战役文化遗产长廊从“不可见”到“可见”、从“分散”到“联动”、从“静态保存”到“活态传承”的数字化跃迁。为文化遗产保护与利用提供了空间基底，助力灵渠与湘江战役全国重点文物保护等从“单体保护”到“区域协同”、从“技术探索”到“范式引领”的高质量发展。

三、创新驱动

（一）技术创新

1.创新区域特色自然和人文资源调查流程：采用自然资源和人文资源融合调查的工作方式，通过“数据分析-补充调查-数据整合-价值评估”的模式串联工作流程，形成一套综合资源评价技术体系，实现文物动态监测、保护修复和旅游推广共建的多维目标。

2.创新实景三维数据采集与融合生产体系：综合运用无人机航空摄影、倾斜摄影三维建模等测绘技术，完成灵渠·湘江战役文化遗产长廊 13.3 平方公里数字正射影像图、倾斜三维模型数据采集，为文化遗产的数字化提供了技术支撑。

（二）产品创新

1.创新制作多尺度实景三维地理场景：利用自研的实景三维可视化和三维实景辅助国土空间规划分析系统，构建集三维数字底座、空间分析、多源数据融合于一体的区域特色资源可视化管理平台，实现对湘江沿线水利文明与红色革命文化的复合型文化遗产廊道的动态展示，也为进一步推动成果深化应用，打造具有区域特色的文旅 IP 提供关键技术支撑。

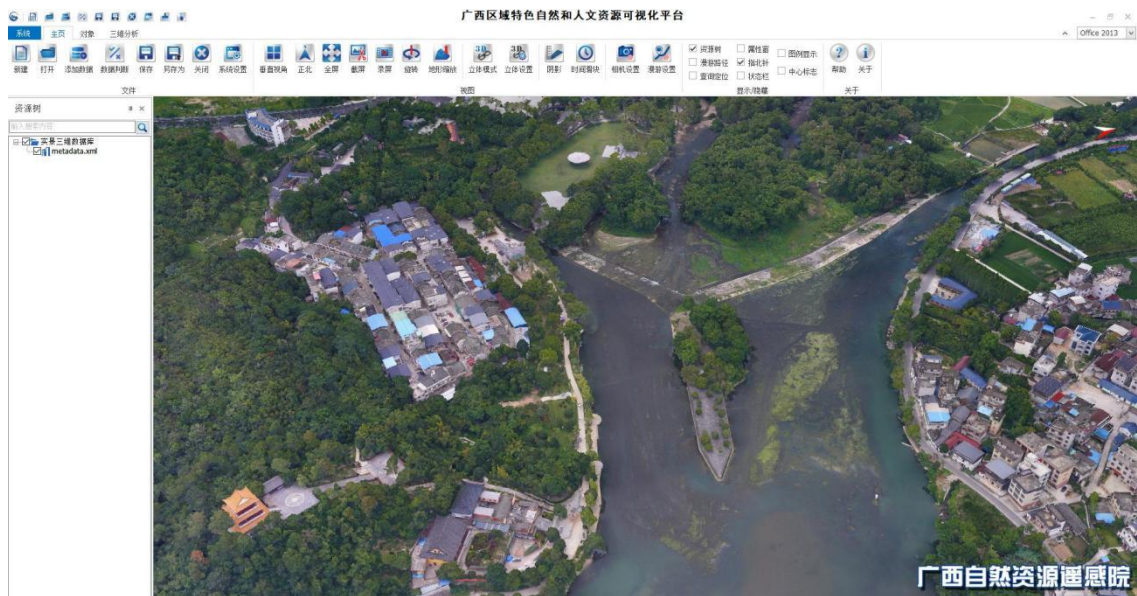


图 1 广西区域特色自然和人文资源可视化平台

2.创新制作专题图与历史变迁图：编制特色自然资源图、特色人文资源图、文物分布图和动态监测图、成果分析应用图等专题图，以及反映调查区域的历史演变过程沿革图，直观展现出项目区域各类资源分布和变化情况，服务文物保护规划、旅游宣传和科学传播等。

（三）应用创新

1.支撑文化遗产保护的可视化应用：充分运用灵渠·湘江战役文化遗产长廊自然和人文相关资源，支撑文物保护单位两线范围调查落界，为进一步建立健全文化遗产资源管理制度、健全不可移动文物保护单位机制提供数据和技术支撑，在支撑政府决策、文物管理效能提升等方面发挥积极作用。

2.支撑国土空间规划管制分析：关联文物普查工作，基于第四次全国文物普查成果，套合外业调查数据，以空间化直观表达文物保护单位的国土空间信息管制情况，支撑国土空间管控、历史文化名城名街保护规划编制与实施监督等工作。

3.支撑文物地类变化动态监测：依托灵渠·湘江战役文化遗产长廊自然和人文相关资源调查成果，结合文物保护单位两线范围落界成果，利用多时序遥感影像可开展违法违规建设动态监测工作。通过提取建设用地变化图斑，统计变化类型、范围、面积、变化原因等情况，为落实“保护第一、加强管理”的文物保护要求提供坚实的数据支撑。

四、应用成效

（一）推动文化遗产数字化保护发展。通过构建数字化保护体系，实现文化遗产从传统保护向数字化保护的跨越。项目形成的实景三维模型、专题图件等成果，为文物动态监测、保护修复方案制定提供精准数据支持，使文物保护工作更具科学性和前瞻性。同时，数字化成果有效服务于文旅融合发展，可进一步提升灵渠和湘江战役文化遗产的知名度与影响力，为区域经济社会发展注入文化动力。

（二）构建文化遗产数字化保护新格局。借助多尺度实景三维地理场景，完成文物从二维到三维的数字化存档，并为当下及今后的文物保护工作提供极为关键的“本底”数据。此外，整合多源数据能够方便构建文物保护综合数据管理平台，推动文物保护朝着“实体保护+数字更新”的方向迈进。

（三）促进测绘技术与文化遗产保护领域深度融合。为保证文物能“活起来”，通过引入无人机航空摄影、倾斜摄影三维建模、近景摄影测量等先进技术手段，大幅提升了文物测量的精度和效率，实现了对文物细微结构、纹饰特征的精准捕捉，推动了测绘技术在文化遗产保护中的深度应用。

(四) 助力灵渠申遗。成果在灵渠进行示范应用, 为 2026 年世界运河大会提供“科技护遗”中国样板, 显著提升灵渠申遗竞争力。

(十一) 云岩寺塔预防性保护与监测

申报单位: 苏州市测绘院有限责任公司

案例详情:

1. 案例背景与实施必要性

(1) 案例背景

古建筑是我国历史文化的重要载体, 加强古建筑保护、管理和合理利用, 对传承和弘扬中华民族优秀传统文化、增强民族凝聚力, 具有重要意义。随着科学技术水平飞跃提升, 古建筑保护也逐渐由传统保护方式向数字化保护、预防性保护方向转变。苏州市是我国首批历史文化名城之一, 文物古迹数量众多, 文保工作责任大、任务重, 亟待引入测绘高新技术缓解文保工作压力, 提升文保科技水平。

(2) 文物概况

云岩寺塔是苏州古城的地标之一, 具有极高的历史、科学和艺术价值, 1961 年被国务院列为第一批全国重点文物保护单位。由于地基沉降, 塔尖倾斜 2.34 米, 塔身最大倾斜度为 $2^{\circ}49'$, 云岩寺塔也被称为“中国的比萨斜塔”。

(3) 案例实施必要性

新中国成立后, 虽对云岩寺塔进行了 3 次大规模维修, 保障了塔体基本稳定。但是, 云岩寺塔仍不断遭受着自然社会不利因素的侵蚀,

塔体不断出现了风化、裂缝、渗漏、植被生长等多种显性隐性病害，当这些病害不断积累，势必由量变转向质变，继而危及塔身整体稳定性。鉴于此，始建于 1979 年的监测系统已无法满足当今监测需求，亟待建设新型监测系统，应对多重显性隐性病害监测预警，有效提升云岩寺塔保护能力。

为适应文物保护新形势，提升文保科技水平，苏州市测绘院有限责任公司以强劲的测绘技术实力为基础，以苏州古城范围内的古建筑为实践土壤，以文物数字化保护与预防性保护为导向，组建了测绘技术与文化保护相融合的关键技术攻关团队，并以云岩寺塔为载体，开展了文物预防性保护与监测的案例实施。

2.案例建设目标

以现代测绘技术与文物预防性保护相结合的理论为基础，建立云岩寺塔“新一代”综合性监测预警体系，实现“变化可监测、风险可预报、险情可预控、保护可提前”的预防性保护目标，并以此为示范，提升苏州地区文物保护水平，同时为其他地区提供宝贵的“测绘技术的跨行业应用”、“文物预防性保护”工程实践经验。

3.案例总体设计

以测绘技术的转化应用、预防性保护理论为核心思想，以古建筑保护、利用和传承面临的病害监测和精细化监管需求为导向，结合传感器监测、三维激光扫描等技术手段，通过对关键技术的研究与应用转化，构建一套包含采集、分析、预警、精细化管理“四位一体”的古建筑预防性保护与监测技术体系。

1) 以古建筑安全评估为导向，建设多维立体监测技术体系

(1) 依托多元化数字化测绘技术，构建多元变形监测技术体系。综合应用三维激光扫描技术与沉降、倾斜、裂缝、振动等周期性多元变形监测技术，构筑“定点-定线-定面”的多维变形监测技术体系，将古建筑一维变形监测拓展至二维及三维监测。

(2) 面向古建筑关键部位应用材料性能检测技术，建设古建筑承载能力监测体系。如采用无损检测技术，对砖石和砂浆强度、木材含水率、砖墙弹性波速等关键项进行检测。同时，采用动态信号采集分析系统及拾振器，根据古建筑布局特点，对古建筑周边场地及本体的动力特性进行测试，对结构动力特性进行分析，获取古建筑前四阶自振频率。将古建筑的点位变形监测拓展至包含承载能力特性的综合性变形检测。

(3) 基于物联网监测技术的集成与应用，构建古建筑多风险因子动态监测系统。为掌握古建筑安全状态，以及病害发生机理和发展规律，对各类自然、社会、本体风险因子进行有效监测。根据各类监测因子的特点，充分发挥新型测绘、物联网等技术优势，适宜性采用监测技术。同时，制定了古建筑多风险因子的动态监测技术方案，实现相应风险因子的自动化、定量化监测。古建筑监测因子及监测技术方案如表 1 所示。

表 1 古建筑监测因子及监测技术

序号	监测类别	监测因子	监测技术	监测设备
1	本体监测	粉刷层空鼓脱落	测绘	三维激光扫描仪

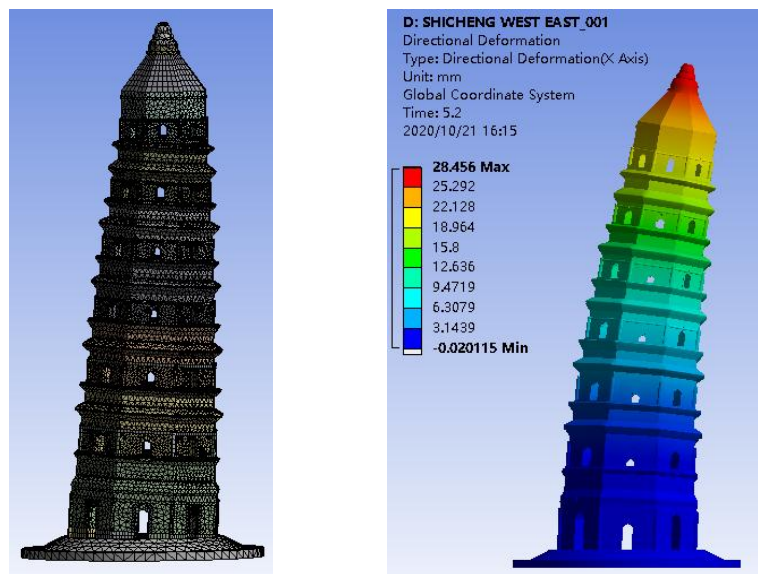
序号	监测类别	监测因子	监测技术	监测设备
2		砖块风化脱落	测绘	三维激光扫描仪
3		壁面堆塑（壁画）退化	测绘	三维激光扫描仪
4		黄泥灰缝流失	测绘	三维激光扫描仪
5		材料含水率	材料检测	水份测定仪
6		砌体强度	材料检测	测砖回弹仪 砂浆贯入仪
7		雨水入侵	遥感	热红外成像仪
8		倾斜、振动、变形、沉降	物联网监测	专用传感器
9		裂缝发育	物联网监测	裂缝计
10		自然环境 监测	温湿度、粉尘、雨量、风速风向、光照度	物联网监测
11	地面不均匀沉降		物联网监测	土体分层沉降监测仪
12	植物生长		测绘	无人机
13	社会环境 监测	非入侵	物联网监测	门磁感应装置

2) 以古建筑变形预警为导向，构筑多元变形分析机制

(1) 基于统计特征和承载力因素，建设高精度、高符合性“双重”预警分析模型。首先，对于各监测因子数据，利用 3σ 准则进行预警限值的确定。其次，当触发预警后，利用构建的古建筑力学模型反演结构应力分布情况，并对关键结构的实际承载能力与反演应力进行对比分析。最后，依托“一处一方案”确定古建筑预警指标，识别

监测值是否触发预警。该“双重”预警模型，极大地简化了模型构建的复杂性，同时保证了监测预警的有效性。

(2) 基于有限元数值模拟技术，构筑古建筑结构安全性等级评定机制。采用有限元分析原理，利用 SolidWorks 三维建模软件及 ANSYS Workbench 有限元软件建立古建筑结构数值模型，建模时充分考虑建筑既有缺损、变形以及维修加固等情况。利用数值模型，对古建筑结构在恒、活、风、地震工况及其组合作用下的承载能力及变形进行复核分析，根据复核结果对古建筑主要结构的安全性等级进行评定。有限元模型及变形复核如图 1 所示。



(a) 有限元模型

(b) 变形复核分析

图 1 古建筑有限元模型及变形复核

(3) 基于多时相点云偏差分析技术，实现古建筑结构缺损变形分析。依托多时相点云成果，引用泊松曲面重建方法，应用“配准-比对-分析”的一体化流程，将多时相点云的几何变化量转化为色谱图，直观定位古建筑的结构破损、梁架歪扭、墙体空鼓等病害信息，

实现文保整体性监测由定性分析向量化分析的转变，实现文保措施的制定由“经验驱动”向“数据驱动”的跨越。

3) 以古建筑应急防护为导向，打造横向联通、纵向贯通的等级预警分发机制

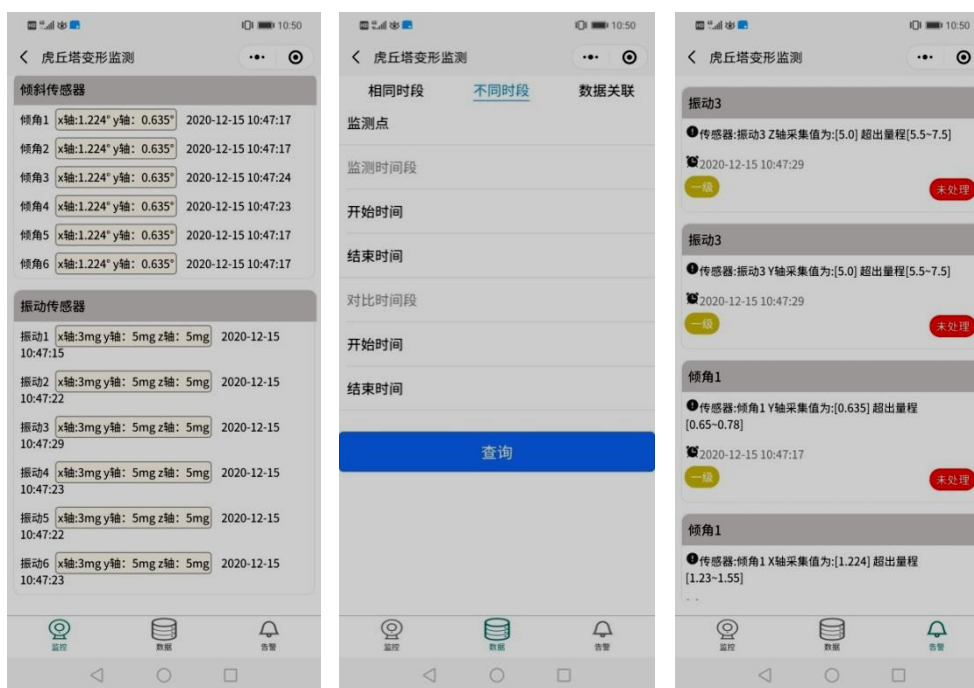
综合考虑古建筑的结构特征、综合工况下的受力情况、周边环境影响等因素，以古建筑的实时监测数据为基础，以古建筑的承载能力分析模型为媒介，依托各监测因子的阈值指标，构筑古建筑“三级”预警响应机制。一方面，将实时预警信息发送至古建筑主管部门、相应街道及社区、文物保护责任人手中；另一方面，预警信息由监测预警中心发布，及时发送至领导小组办公室和应急预警处置中心，然后根据预警等级进行逐级上报。为防护措施的制定提供及时的数据支撑和机制支持。

4) 以古建筑安全管理为导向，打造多元监测成果精细化管理模式

以精细化模型为载体，汇聚周期性监测成果和实时监测成果，形成古建筑变形监测立体“一张图”。研制“大屏监控指挥、中屏业务管理、小屏移动监测”多终端监测预警平台，打造多元监测成果的精细化管理模式，形成“监测-预警-控制”的预防性保护长效机制。相关成果如图 2、图 3 所示。



图 2 大屏监控指挥系统



(a) 实时监控

(b) 数据分析

(c) 实时告警

图 3 移动端平台功能

4. 案例的创新性

本案例从测绘技术与文物预防性保护相结合的角度出发，基于对古建筑风险因素的深入分析，通过测绘地理信息高新测绘、物联网、人工智能预测等先进技术的开发与集成应用，总结、建立了具备“实

时感知、实时分析、实时预警”能力的古建筑预防性保护与监测的成功案例。本案例具有以下创新点：

(1) 基于振动监测及材料强度专项监测的安全性综合评估技术

针对古建筑存在材料退化、结构变形，且影响其结构稳定性的因素较多，古建筑安全评估难问题，提出了一种兼顾监测与结构力学特性模拟分析的综合性评估方法。首先采用专业监测技术，对古建筑主体材料性能进行实地检测，从而确定古建筑的实际承载能力。其次，利用有限元数值模拟技术，构建古建筑力学模型，充分考虑古建筑材料退化、结构变形以及维修情况等因素，通过结构力学特性复核分析，反演古建筑的应力分布情况。最后，结合古建筑承载力及应力分布特征，对古建筑安全性等级进行评定。

(2) 基于多风险监测元素的“统计特征-承载力”监测预警技术

针对单一监测因子无法准确反映古建筑实际安全现状的问题，构建了一种基于监测统计特征和结构承载力的“双重”预警模型。首先，基于监测因子的静态监测数据的正态分布特性，利用 3σ 准则确定预警限值；其次，利用构建的古建筑力学模型反演结构应力分布情况，并对关键结构的实际承载能力与反演应力进行对比分析；最后，依托“一处一方案”确定的古建筑预警指标，结合应力分布、变形发展趋势确定是否触发预警。

(3) 基于多时相点云的古建筑结构缺损变形监测技术

针对常规监测技术以点监测为主，难以反映古建筑局部结构的变形缺损问题，提出了一种基于多时相点云的古建筑结构缺损变形监测

技术。该技术充分利用三维激光扫描点云的高密度、高精度特点，采用多时相点云的偏差分析技术，获取局部结构缺损变形数据，从而实现古建筑局部结构的缺损变形监测，弥补了常规点监测技术的局限性。

(4) 多终端可视化预警分析技术

对文物古建风险因素深入分析，通过新型测绘、物联网、人工智能等先进技术的开发与集成应用，按照变形成果历史库、现状库、预测库模型，构建立体监测“一张图”成果体系。同时，以一张图成果为基础，研制“实时感知、实时分析、实时预警”文物多终端监测预警平台，实现古建筑多维立体监测的全生命周期管理。

通过测绘地理信息高新技术与文物预防性保护理论的结合与应用，提高了文物保护科技水平，获取了 16 项自主知识产权，包括专利 4 项、软件著作权 6 项、论文 6 篇。

5. 案例的可复制性

本案例是在江苏省苏州地区首次将测绘地理信息高新技术与文物预防性保护理论相结合，以苏州古城范围内的古建筑为载体，建立古建筑智能化综合监测预警体系的研究与实践案例。案例实现了变化可监测、风险可预报、险情可预控、保护可提前的监测目标，降低了文物安全风险，提高了文物保护效益。以下内容和方法具有较强的可复制性。

(1) 融合周期性及实时监测成果的古建筑安全性评估技术。首先，对振动监测等周期性监测成果、材料强度等专项监测成果，以地

理空间位置为约束，实现监测成果汇聚融合；其次，对古建筑安全性评估相关技术进行研究，形成古建筑病害评估及变形发育分析的技术方法；最后，以监测数据及变形发展趋势分析成果为依据，构筑包含古建筑变形分析及预警的安全性评估技术体系。

(2) 以古建筑精准保护为导向的文物实时动态多维度监测技术体系。以古建筑安全评估为基础，对材料检测、动力特性测试、三维激光扫描等技术进行开发与集成应用，将本体因子、自然环境因子、社会环境因子等安全影响因素纳入监测范围，研究并构建周期性监测与实时物联监测于一体的文物实时动态多维度监测技术体系。

(3) 基于统计特征和承载力“双重”预警模型的三维可视化监测技术。依托多元监测成果，以古建筑的结构特征及受力特征为约束，构筑“统计特征-承载力”预警决策模型，反演结构应力分布情况。同时，研制“大屏监控指挥、中屏业务管理、小屏移动监测”多终端监测预警平台，实现多维立体监测“一张图”成果的可视化分析与应用。

(三) 案例实施成效

测绘地理信息高新技术在文化遗产保护中的作用日益凸现，文化遗产保护理论和技术手段都随之发生着深刻的变化。预防性保护理念的提出，为文化遗产保护打开了一扇新的大门。本案例以云岩寺塔为载体，将测绘地理信息高新技术与文物预防性保护理论相结合，打造的“云岩寺塔预防性保护与监测”案例，具有以下实施成效。

1) 实施成效

(1) 打造了面向文化遗产预防性保护的多维立体监测解决方案。以实现文物预防性保护为目标，综合运用多元化监测技术手段，建成具备“实时感知、实时分析、实时预警”能力的现代化监测预警系统。同时，系统总结项目实施进程的经验教训，形成一套切实可行的项目实施方案，为其他类似项目提供借鉴。

(2) 实现了测绘地理信息技术的应用突破，获取了多项技术成果。案例通过解决项目实施进程中遇到的“兼顾历史修缮加固、现状病害信息的综合受力分析模型建设”、“一栋一方案”的物联感知监测设备部署等技术难题，发表论文或申请专利，获取了共计 16 项自主知识产权。

(3) 打造了一个可供推广、借鉴的成功案例。通过前期技术与积累，成功完成云岩寺塔预防性保护与监测预警体系建设案例，并通过相关部门的认证，实现古建筑的变化可监测、风险可预报、险情可预控、保护可提前的预防性保护与监管管理目标。

(4) 形成了一套基于测绘地理信息高新技术的预防性保护技术推广应用机制。本案例获得了荔枝网、新华报业网、苏州文旅等多家社会媒体的宣传报道。依托社会大众媒体等渠道，将项目研究成果推广应用，为文物保护工作提供新的技术途径，提升文物保护工作的科技化水平。

2) 案例产出

通过本案例的实施，获取了以下成果：

(1) 技术资料（技术设计、技术总结、科技评价报告等）。

(2) 古建筑有限元模型、精细仿真模型（古塔类有限元模型包括地基及塔身的有限元模型）。

(3) 古建筑周期性监测成果（包括三维激光扫描监测、振动监测、沉降监测、位移监测、倾斜监测等）。

(4) 物联感知监测数据（包括自然环境、社会环境、本体三个方面）。

(5) 监测预警系统（包括监测硬件设备、监测预警软件平台）。

(6) 见刊论文 6 篇。

(7) 授权专利 4 项。

(8) 授权软件著作权 6 项。

3) 社会评价

依托本案例形成“古建筑预防性保护与监测关键技术”研究课题，获江苏省测绘地理信息行业协会认定，达到国内领先水平。科技成果评价小组认为案例应用的技术解决了复杂古建筑安全评估难题、实现监测预警指标的精准量化、通过协同预警平台实现古建筑全方位保护监测与预警，成果突破了预防性保护与监测的多个技术难点，总体达到国内领先水平。

(四) 案例相关荣誉与相关报道

1) 案例相关荣誉

(1) “云岩寺塔预防性保护与监测预警体系建设”项目获 2021 年度江苏省优秀测绘地理信息工程一等奖；

(2) “云岩寺塔预防性保护与监测预警体系建设”项目获中国

城市规划协会.2021 年度优秀城市规划设计奖；

(3) “古建筑预防性保护与监测预警体系关键技术研究与应用”获 2021 年度江苏省测绘地理信息科技进步二等奖。

2) 社会报道

(1) 苏州文物“体检”用上国内最先进“医疗”技术，荔枝网；

(2) 虎丘塔也玩起了“黑科技”，名城苏州新闻中心；

(3) 数字化建设，为文化遗产保护插上科技的“翅膀”，苏州文旅；

(4) 千年古塔如何做“体检”？44 枚传感器实时监测“健康状况”，新华报业网。

(五) 案例应用及推广成效

1) 案例应用情况

本案例提出的技术体系及其形成的数字化成果已在文保、住建、资规、园林、大数据等 11 个部门或单位中应用或共享，取得了良好的经济社会效益，得到了用户的广泛认可。具体应用情况如下：

(1) 预防性保护与监测技术体系运行情况

本案例以“云岩寺塔预防性保护与监测预警体系建设”系列实体项目为载体，完成了云岩寺塔安全性评估、现代智能化监测系统建设、监测预警平台建设等工作内容。建成的“云岩寺塔预防性保护监测预警平台”交付使用至今，系统运行稳定、无异常，发挥了实际监测预警作用，总体运行效果良好。

(2) 技术推广应用

本案例提出的“基于多时相点云的建筑结构缺损变形监测技术”已成功应用至“苏州市区国保单位精密三维数字化建设”、“轨道交通沿线国保单位变形监测”等古建筑监测项目中，助力变形监测采集、处理、分析、管理及应用全环节科技水平的提升。同时，“基于多风险监测元素的“统计特征-承载力”监测预警技术”等多项技术已应用至“姑苏区城市生命线安全工程（危旧房屋）”等项目中，通过多监测因子的实时综合监测技术体系的建设，助力“一栋一方案”传感器监测方案的落地与实施，显著提升了相关项目的科技水平，减少了关键技术攻关的研究投入，提升了项目建设效率与建设成效。

（3）宣传推广应用

本案例产出的部分监测预警模型、精细化仿真模型等数字化成果，已链接至数字苏州城市驾驶舱、苏州市文物保护管理所公众号、“苏周到”门户网站等平台中，点击浏览人次已达 **17.93** 万人次，起到了良好的文化保护与文化价值宣传作用，得到了文旅、大数据等众多部门和社会大众的广泛认可。

2) 推广的经济效益

测绘地理信息高新技术与文物预防性保护理论相结合，在古建筑预防性保护、利用和传承中发挥了重要的作用，创造了良好的经济效益。

（1）直接经济效益

①研发的“基于多时相点云的结构缺损变形监测技术”已成功应用至云岩寺塔植物灭生项目中。通过云岩寺塔表面特征的缺损分析，

精确指导塔身植被的灭生作业。现已有效指导 2 年度的植被灭生作业，节约云岩寺塔管理经费约 40 万元。

②微环境物联感知监测数据已应用至古建筑内部彩绘的保护、研究工作中，为彩绘保护与微环境等因素的关系模型、彩绘在典型江南环境中的发展演变模型建设提供了详实的数据支撑，节约研究数据采集成本约 20 万元。

（2）间接经济效益

①建设的新型监测预警系统，具有实时自主运行特点，代替了部分常规人工监测，大大降低了长期持续监测成本。

②实现了云岩寺塔的预防性保护目标，能够有效避免文物严重损毁及大修情况发生，从而显著降低了文物维修成本。

③成果可为本地区及国内其他地区文物保护提供借鉴经验、文物保护新思路和新方法，促进文物保护能力提升。同时，降低保护成本，从而产生巨大的间接经济效益。

3) 推广的社会效益

（1）实现了科技创新。首次在苏州地区将测绘地理信息高新技术与文物预防性保护理论融合并落地应用，解决了一些工程技术难题，一定程度上推动了测绘技术的应用转化能力的提升。

（2）实现了文保能力提档升级。项目实现了云岩寺塔由被动抢救性保护向主动预防性保护的巨大转变，由“经验驱动”保护向“数据驱动”保护的转变，科技文保能力得到了显著提升。

（3）实现了文保病害防控。通过项目研发，根据“基于多时相

点云的结构缺损变形监测技术”、“实时物联感知监测技术”等研发技术可以进行古建筑的病害分析，及时发现并预警古建筑的健康状况，为古建筑的维修和保护提供精准的数据支撑，提升古建筑保护的科技化水平。同时，可为其他文化遗产的保护提供借鉴，促使不可再生文物资源实现良好的系统性保护。

(4) 建设了可供推广的成功案例。本案例的成功实施，为本地区及其他地区树立了测绘地理信息高新技术与文物预防性保护理论相结合的典型示范案例，将对推动国内文物保护工作向前发展起到了一定积极作用。

(5) 拓展了学科应用领域。本案例是测绘学科与文保、力学、通信等学科深入交叉应用，且具有一定代表性的工程案例。不仅进一步拓展了测绘学科的应用领域，同时对测绘学科的影响力传播起到了一定推动作用，值得在行业内进行推广借鉴。

(十二) 从数字化存档到数据价值挖掘反哺文物保护

华堂王氏宗祠和履坦徐氏民居的创新实践

申报单位：浙江省文物考古研究所

浙江风土工程设计有限公司

武义县文物保护管理所

华堂王氏宗祠文物保护管理所

案例详情：

一、科技赋能：数字化测绘引领文物保护新范式

文物保护工作事关文化传承与民族记忆的延续，是一项功在当代、利在千秋的伟大事业。随着科技的发展，传统的文物保护手段已难以满足对文物信息高精度、高效率、全方位记录与分析的需求。文物因其形制独特、结构精巧，但历经风雨侵蚀、材料老化，脆弱性日益凸显。传统依赖人工的勘察方法不仅作业风险高、效率低，更难全面覆盖，致使数据获取不全，决策多依赖于经验推断，为修缮工程埋下了不确定性和隐患。

本申报旨在以华堂王氏宗祠、履坦徐氏民居修缮工程的创新实践为例，展示数字测绘技术如何系统性解决文物保护中的痛点与难点。通过技术创新与跨学科融合，我们不仅为文物建立了可量测、可分析的“数字身份证”，更实现了对结构变形、木构内部腐朽等疑难杂病的精准诊断与科学决策，显著提升了保护工程的科学性、精准性与安全性。

二、技术集成：构建全流程数字化保护闭环

以数字化测绘技术为核心，集成三维激光扫描、贴近摄影测量现代测绘技术手段，构建“数据采集—精准诊断—动态调控—科学验收—预防监测”五位一体的技术框架，实现了文物保护从测量、勘察、设计、施工、验收、监测、展示传播的全流程数字化闭环。

1. 天空地室内外一体化高精度数据采集与数字存档

在测绘阶段，采用固定站式三维激光扫描仪对文物本体进行全方位高精度数据采集，获取毫米级精度的点云数据，并结合无人机贴近摄影测量技术，构建天空地一体化、室内外一体化的真彩色实景三维

模型。这些数字化测绘技术体系全面记录了从宏观布局到灰塑、壁画、油漆等细部现状，形成带地理信息的可视化三维档案，取代了传统拍照记录方式，实现了文物信息的完整、精准与科学存档。以华堂王氏宗祠为例，修缮后实景三维模型在未采用控制点和尺寸约束时其现场测量的检查尺寸与模型平均误差 4.55mm，采用尺寸约束后提高至 1.871mm。三维激光扫描点云模型配准精达度 1.79mm（图 1-4）。

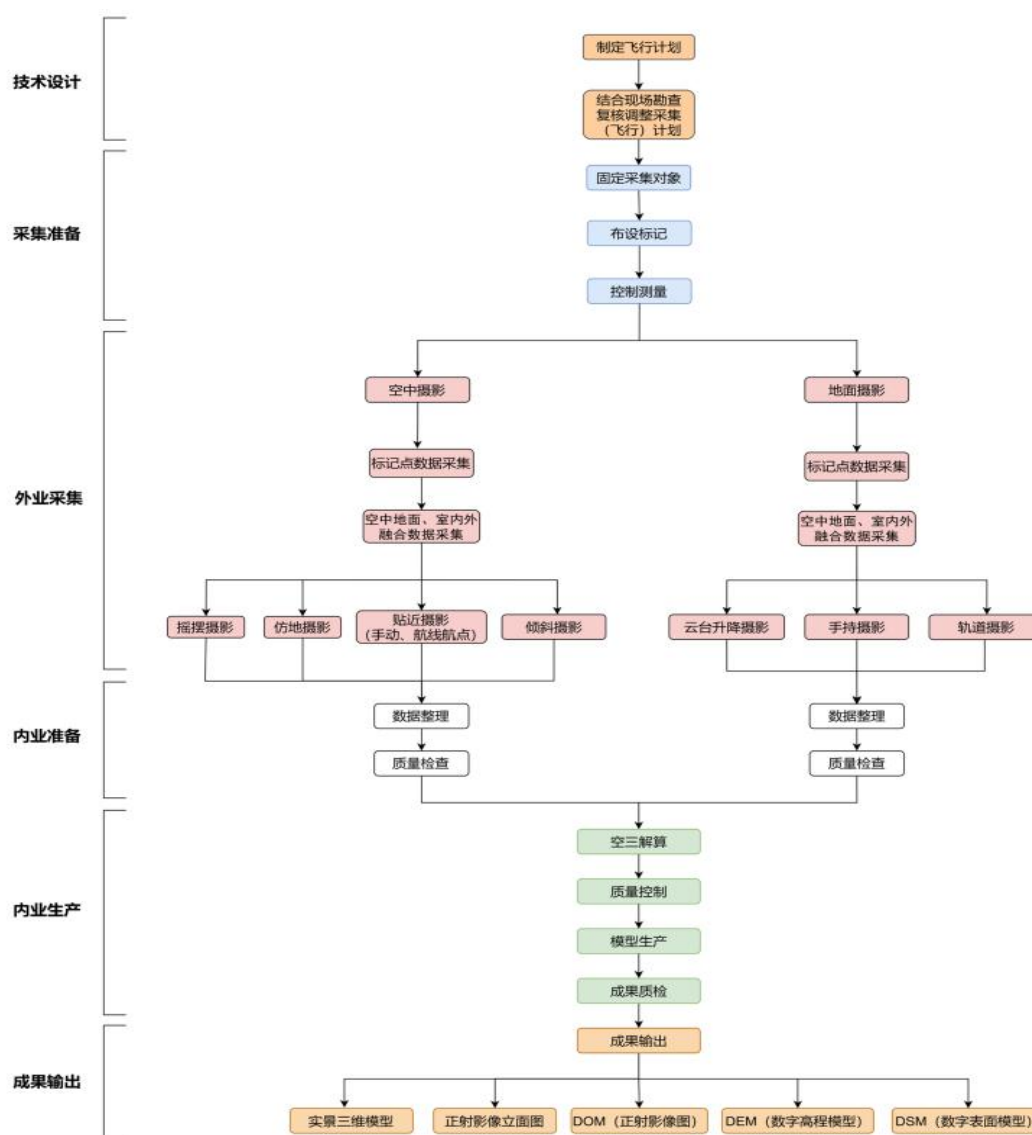


图 1 天空地室内外一体化高精度实景三维模型技术流程

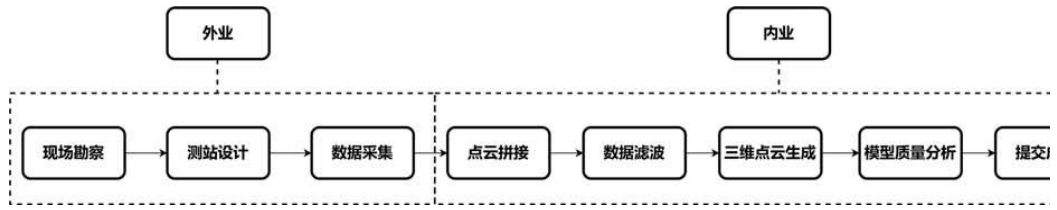


图 2 三维激光扫描技术流程

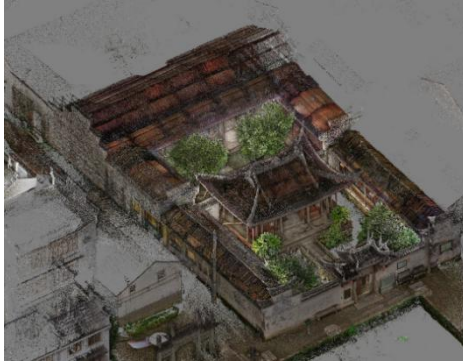


图 3 华堂王氏宗祠三维激光点云模型



图 4 华堂王氏宗祠实景三维模型

2. 数据驱动的精准确诊与决策路径

勘察设计阶段，在结构病害诊断方面，华堂王氏宗祠修缮项目和履坦徐氏民居修缮项目中基于三维激光扫描高精度点云数据建立了木结构建筑变形勘察方法体系（图 5），能够精准诊断基础沉降、木柱倾斜等变形病害以及建筑侧脚（图 6-12），并为后续的打伞拨正提供依据。基于该决策体系的诊断结果华堂王氏宗祠节孝祠和履坦徐氏民居四家头民居需进行打伞拨正，履坦徐氏民居佑启良模大厅无需打伞拨正干预。

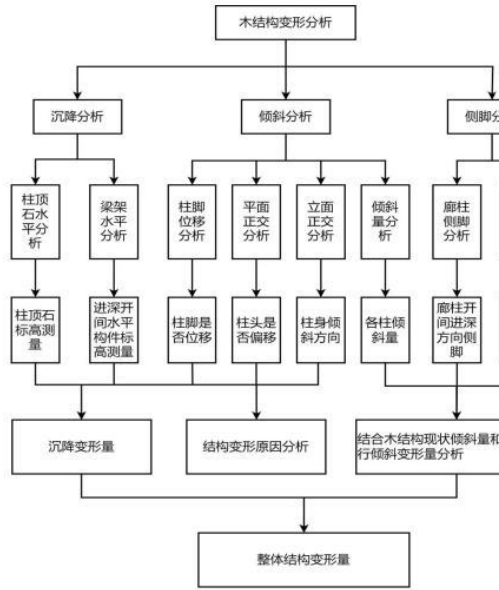


图 5 木结构变形勘察方法

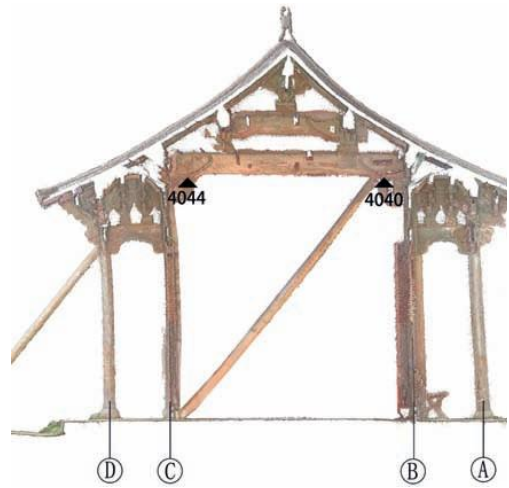


图 6 梁架标高获取

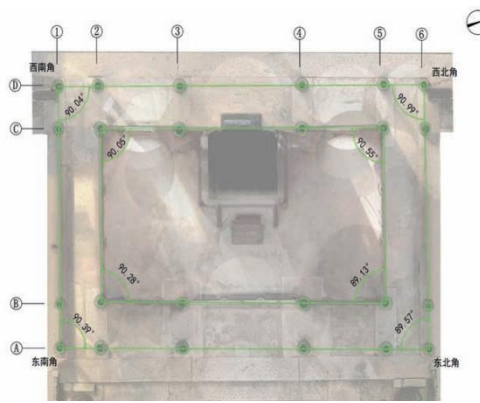


图 7 柱脚位移分析

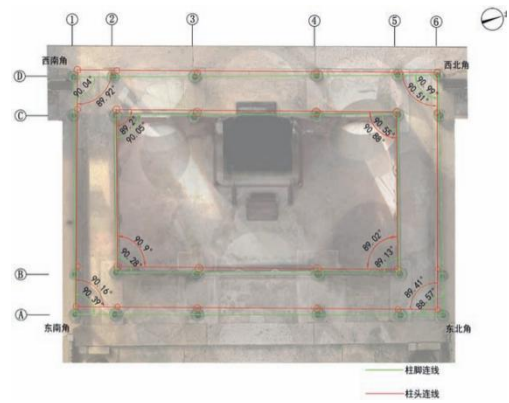


图 8 平面正交分析

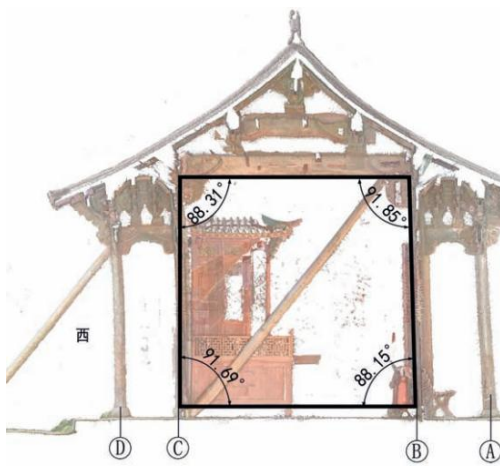


图 9 立面正交分析

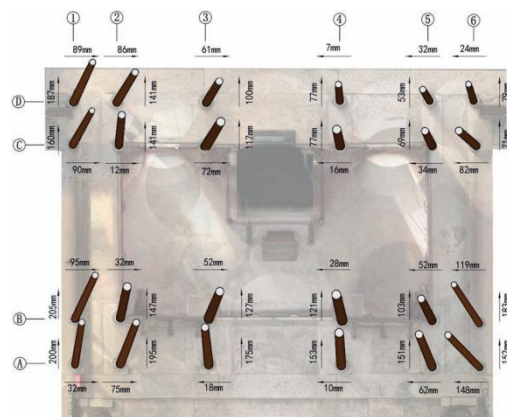


图 10 柱头柱脚相对位移图

(柱身倾斜状态以柱底为基)

准，柱顶偏移距离放大 5 倍)

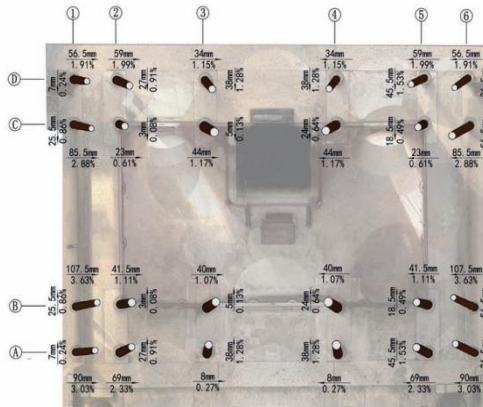


图 11 侧脚图

(柱身倾斜状态以柱底为基

准，柱顶偏移距离放大 5 倍)

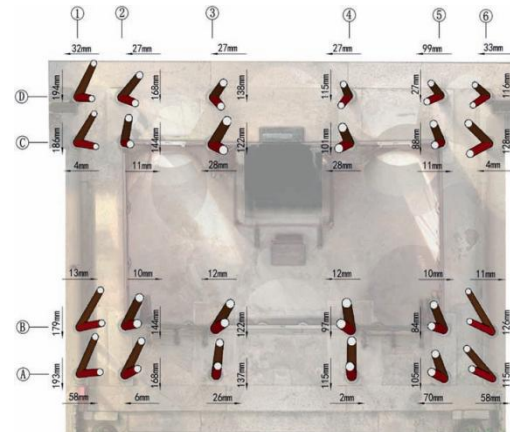


图 12 各柱纠偏位移量

(柱身倾斜状态以柱底为基

准，柱顶偏移距离放大 5 倍)

针对木构大梁内部隐蔽性腐朽这一行业难题，在履坦徐氏民居修缮项目中创新地将木材应力波检测与三维激光扫描技术相融合，通过应力波初步定位腐朽区域，再利用三维扫描高精度重构异形构件几何形态，通过截面切片实现数据对齐配准与布尔运算，从而精确定量腐朽范围与残损截面面积，为后续承载力验算提供可靠参数，从根本上解决了传统敲击法、内窥镜法存在的主观性强、可视范围有限的痛点，并研发了三维激光扫描与应力波检测融合的木构件内部腐朽量化安全评估方法（图 13-19）。四家头民居前厅左大梁和佑启良模大厅正厅左大梁经单个残损截面的承载力计算后，四家头民居前厅左大梁满足承载能力要求，但是由于该计算过程只对已测的截面进行承载能力计算，而其他未测的截面腐朽情况仍然未知，为了确保文物结构安全，基于计算结果，考虑非破坏性的静载试验，结果满足要求，最终支持保留原构件的决策，避免了过度干预。佑启良模大厅正厅左大

梁承载力计算后不满足要求，采用传统的“芯梁置换法”进行修缮。

同样华堂王氏宗祠折断木柱，受限于传感器数量，木材声波检测检测结果仅能呈现截面腐朽情况，无法精准界定截面尺寸。同样采用三维激光扫描仪构建毫米级精度的点云模型。将三维激光扫描与应力波检测技术融合，通过截面切片与布尔运算，精确量化木材糟朽范围与残损截面面积，提升安全评估准确性，经该方法评估验算后，需进行加固。

通过点云数据的剖面切片与距离分析功能，可快速识别墙体倾斜、基础沉降等结构性病害。以履坦徐氏民居墙体为例，墙体较高，历史图纸缺失导致收分构造无据可循，人工无法直接测量倾斜度，项目采用三维激光扫描技术获取墙体点云模型，基于墙体点云剖面提取的厚度数据与垂直度偏差分析，可计算墙体的收分值及精确的倾斜量。

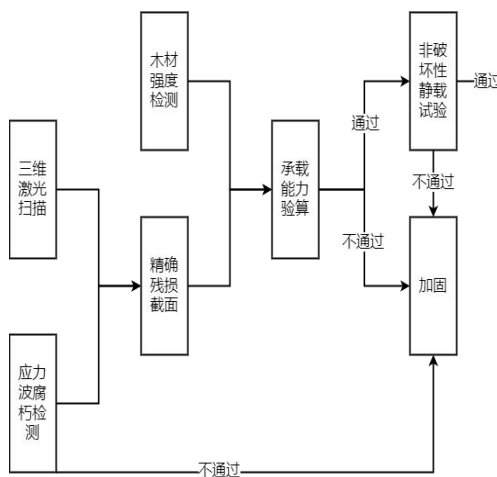


图 13 多维技术融合保护决策

路径



图 14 履坦徐氏民居大抬梁检

测位置

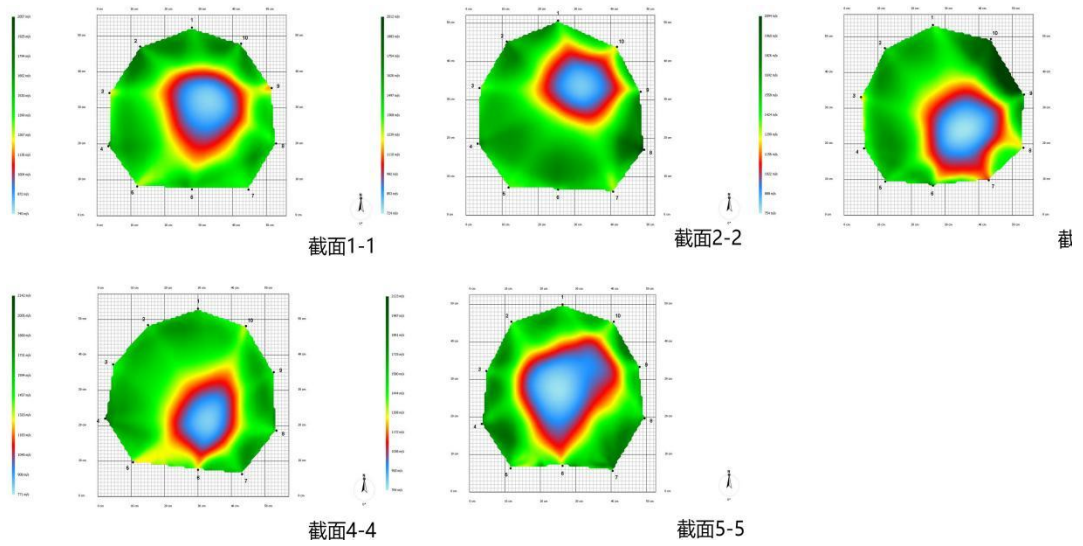


图 15 应力波检测结果

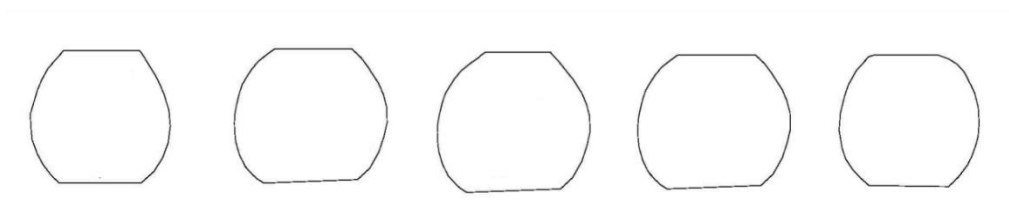


图 16 三维激光扫描拟合截面

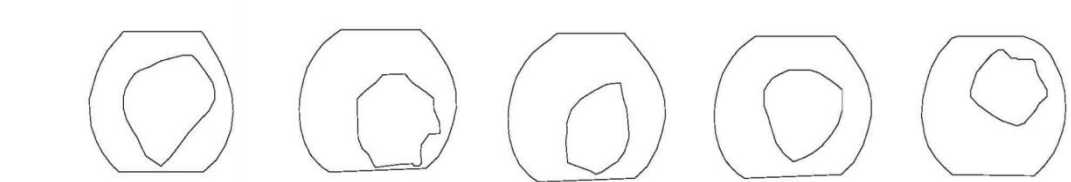


图 17 大梁腐朽精确截面



图 18 承载力试验

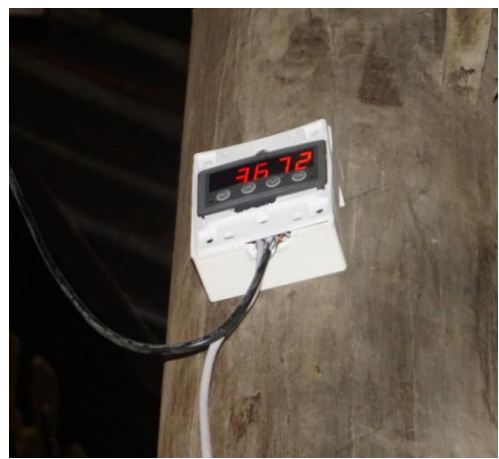


图 19 大梁变形监测

3. 数据引导的施工动态调控与精准干预

在施工阶段，华堂王氏宗祠修缮项目中依托三维点云与实景模型，实时指导构件复位与修复工艺。创新采用“原位保护式打伞拨正”工艺，在不拆卸屋面的前提下，结合横向张拉体系，将三维激光扫描技术与物联网数字测量设备（倾角仪、测距仪、裂缝传感器等）融合赋能传统打伞拨正施工，实现单次位移 $\leq 10\text{mm}$ 的分级纠偏，动态调控施工过程，杜绝二次损伤（图 20-27）。

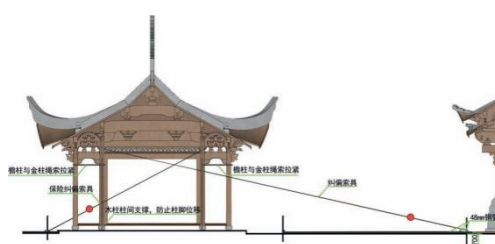


图 20 纠偏装置



图 21 倾角仪木柱倾斜测量



图 22 屋脊位移测量



图 23 屋脊裂缝测量



图 24 匀速牵拉

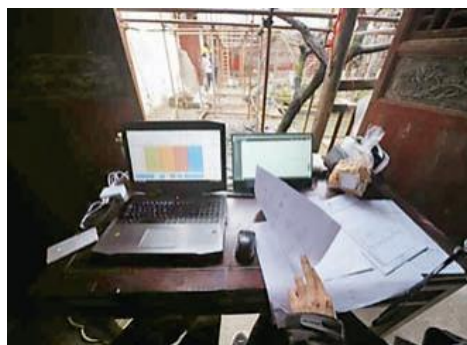


图 25 测量数据记录



图 26 横向纠偏三维激光扫描

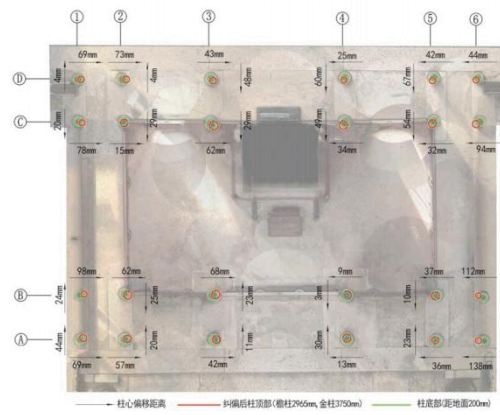


图 27 纵向纠偏三维激光扫描

复核

复核

针对华堂王氏宗祠残损木构件，基于三维点云进行逆向建模，将现代增材制造技术（金属 3D 打印）应用于文物保护修缮工程，对高位折损的柱子进行应力波检测，运用金属 3D 打印、碳纤维、高分子橡胶形成复合加固构件进行补强加固，尽可能的减少对文物的干预，同时保持加固措施的可逆和可识别（图 28-37）。

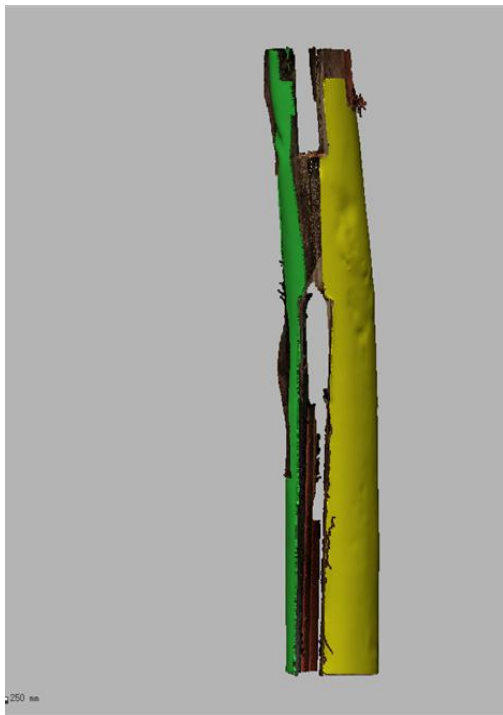


图 28 基于三维扫描点云数据



图 29 3d 打印后橡胶喷漆

逆向建模



图 30 内部打印构件试安装



图 31 外部打印构件试安装



图 32 金属分段打印完成



图 33 焊接前试拼装



图 34 碳纤维补强



图 35 喷涂橡胶



图 36 处理完成



图 37 安装完成

4.数据化的效能评估与科学验收

在验收阶段，华堂王氏宗祠修缮项目构建以“柱网复位精度—榫卯密合度—标高水平度”为核心的三维量化科学验收指标体系，通过施工前后三维激光扫描点云对比与分析（图 38-40），量化评价结构复位效果，突破传统经验验收局限。同时利用修缮前后实景三维模型同屏对比，直观呈现工程成效，为验收决策提供科学依据。

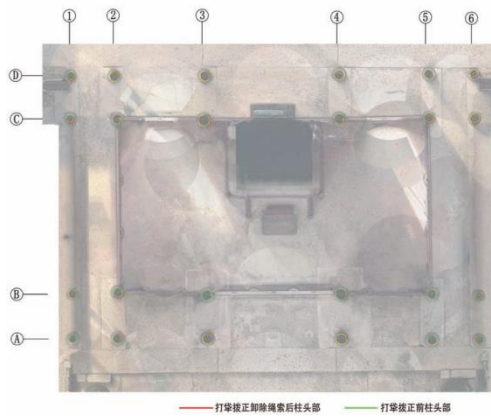


图 38 施工前后三维激光扫描

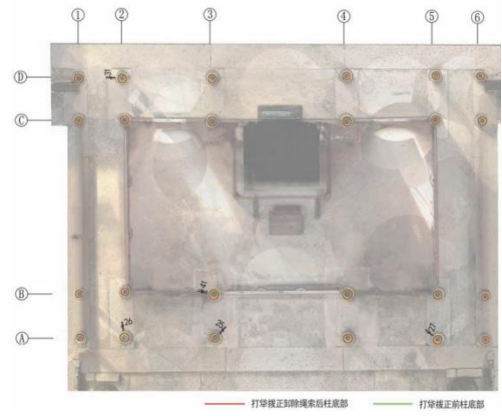


图 39 施工前后三维激光扫描

柱头位置对比

柱脚位置对比



图 40 梁架标高复核



5. 基于数据的预防性监测与风险预警

在工程竣工后进行持续监测，华堂王氏宗祠修缮项目建立“定期复核（三维激光扫描）+实时监测（物联网传感器）”的动静结合监测体系。竣工后三维激光扫描定期扫描复核长期变形趋势，结合倾角仪等设备实时监测关键构件状态，实现从“抢救性修复”向“预防性保护”的转变（图 41-42）。

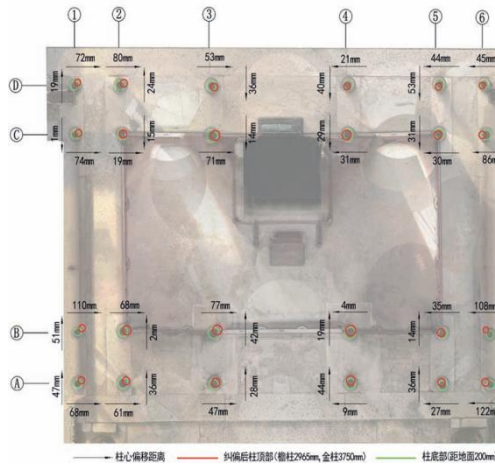


图 41 三维激光扫描复核

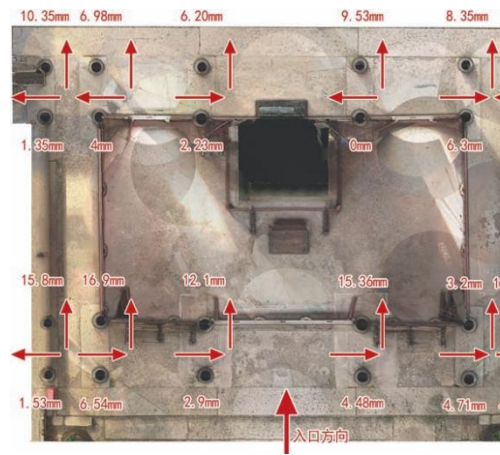


图 42 木柱倾斜倾角仪监测数据换算

6. 数据资产化管理与四维知识图谱构建

在履坦徐氏民居修缮项目将项目全过程产生的多源数据（全周期工艺影像、设计变更图等）归集至统一的数字化管理平台，建立时空索引，形成完整、可追溯的“文化遗产保护数据库”（图 43、图 44）。



图 43 履坦徐氏民居数字化档案平台



图 44 履坦徐氏民居修缮前后对比

7. 数据赋能的文化价值传播与活化利用

文化传播领域，通过线上三维展示系统，实现修缮前后模型的同屏对比，生动呈现保护成效，拓展了文物价值传播途径。如华堂王氏

宗祠的保护中，通过三维扫描与摄影测量，完成木构建筑的数字化采集与建模，解析传统构造奥秘，并借助三维可视化动态呈现营造术语与榫卯工艺等，展现中国古建筑无钉无铆的千年智慧(图 45-49)。



图 45 大祠堂西立面-修缮前点云切片

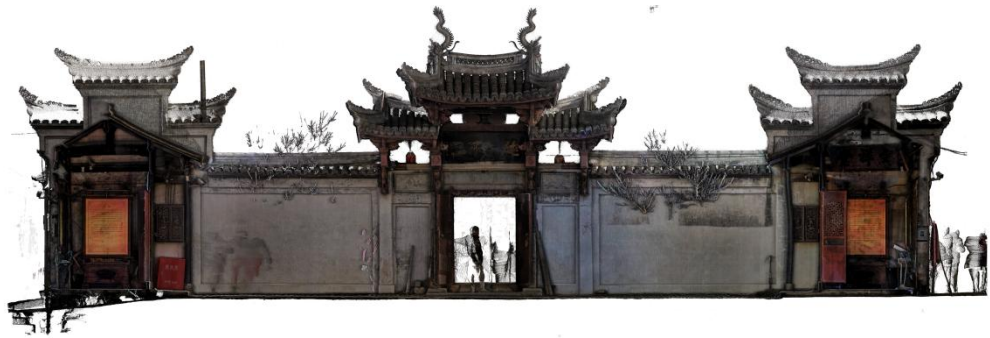


图 46 大祠堂西立面-修缮后点云切片

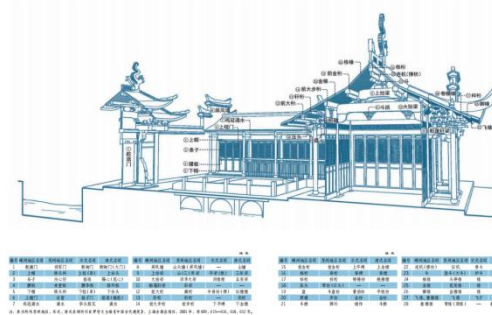


图 47 术语调查

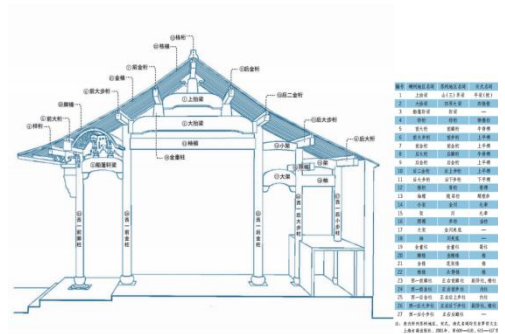


图 48 术语调查

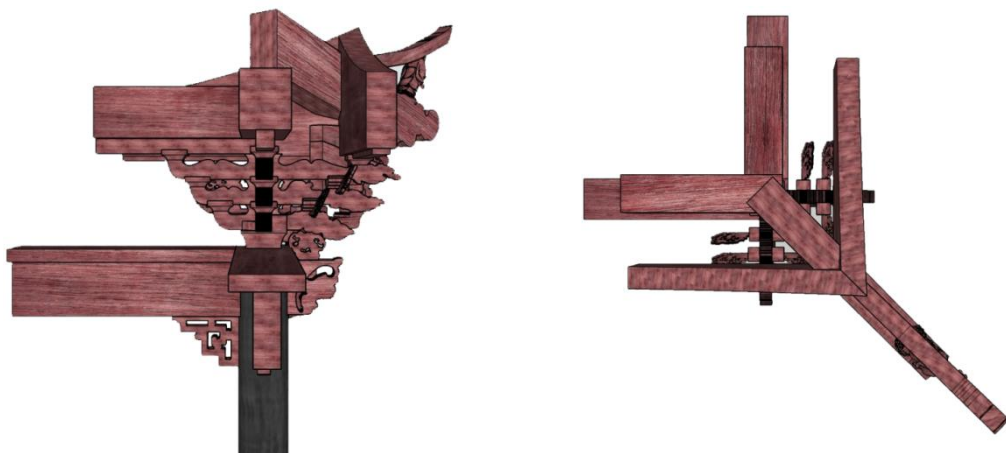


图 49 转角模型截图（基于点云的逆向建模）

三、应用成效：多维度价值实现与提升

项目通过系统化应用数字化测绘技术，为华堂王氏宗祠与履坦徐氏民居的保护与活化利用带来了多维度、多层次的显著成效，充分体现了测绘技术赋能文物保护的先进性与必要性。

1. 数据采集与数字化建档成果

在数据采集与建档方面，三维激光扫描与贴近摄影测量技术的综合运用，实现了文物信息采集从宏观到微观的全覆盖。不仅可取代传统手工测量与拍照记录方式，更以毫米级精度完整获取建筑整体形制与细部特征，建立起带地理信息的真彩色实景三维模型，形成科学、精准、可量测的“数字身份证”，为文物保护提供了完整、可信的数字档案基础。

2. 病害诊断与安全评估成效

在病害诊断与评估环节，项目实现了从“经验判断”到“精准量化”的跨越。通基于高精度点云数据建立的变形勘察方法体系，可准确识别基础沉降、柱身倾斜与侧脚变形等结构问题；针对木构件内部隐蔽腐朽的行业难题，通过应力波检测与三维激光扫描技术融合，实

现了腐朽区域的定量化诊断与截面残损面积精确计算，为结构安全评估与修缮设计提供了可靠依据，显著提升了决策的科学性与可靠性。

3. 工程施工与质量控制提升

在文物保护工程施工与质量控制中，数字化技术发挥了实时指导与动态调控的关键作用。华堂王氏宗祠项目中，结合物联网传感与三维扫描数据实现了“分级纠偏”和“过程可控”的打伞拨正施工，有效杜绝二次损伤；利用三维扫描逆向建模与金属 3D 打印技术，实现了残损构件的高精度、适配化、可逆性加固，体现了最小干预原则，全面提升修复工艺的质量与可控性。

4. 工程验收与长期监测价值

在工程验收与监测阶段，建立了以三维点云对比为核心的科学验收体系，从柱网复位、榫卯密合度到标高水平度实现多指标量化评价，彻底改变传统依赖主观经验的验收模式。竣工后，通过“定期扫描+实时传感”动静结合的监测机制，实现了文物结构健康的长期跟踪与预警，推动保护模式从“抢救性修复”向“预防性保护”转变。

5 文化传播与社会影响

在文化传承与价值传播方面，项目生成的精细化实景三维模型与可视化成果，不仅用于工程记录与管理，更通过线上对比展示、榫卯工艺动态解析、虚拟体验等多种形式，生动展现古建筑营造智慧与修复成效，增强了公众对文化遗产的认知与参与感，拓展了文物价值的传播维度和利用途径。

四、创新示范：技术成果与行业推广价值

关键技术突破与创新

项目在文物建筑数字化保护领域取得系列原创技术突破，构建了以数据驱动为核心的系统性方法体系，全面提升了文物保护的精准性、可控性与科学性。在数据采集层面，通过地面拍摄与无人机贴近摄影测量的协同作业，实现了复杂木结构建筑全景信息的高精度集成，构建了毫米级精度的室内外一体化实景三维模型。

在数据分析方面，基于三维激光扫描点云数据，研发了木构建筑变形诊断方法，建立起科学决策体系，显著提升了结构病害识别与评估的准确性与效率。针对木构件内部隐蔽病害的行业难题，项目创新融合应力波检测与三维激光扫描技术，实现了腐朽区域的精确定量评估，形成了一套完整的木构件安全评估与决策机制。

在施工环节，项目将实时监测数据与三维扫描成果与传统修缮工艺深度结合，构建了可量化、可调控的智能施工模式，实现了施工过程的动态优化与精准控制。在构件修复方面，探索基于数字化逆向建模金属 3D 打印的定制化加固技术，为文物构件可逆性保护提供了新的技术路径。

验收阶段，构建以“柱网复位精度—榫卯密合度—标高水平度”为核心的三维量化科学验收指标体系，通过施工前后点云对比分析，实现结构复位效果的客观评价。此外，项目依托数字化成果开展多维展示与传播，有效提升了文物保护工作的公众参与度与社会影响力。上述技术成果系统集成、环环相扣，共同推动了文物保护从传统经验型向现代数据驱动型的范式转变，为行业技术升级提供了创新的示范

实践。

技术成果的标准化与可推广性

基于上述应用实践，项目系统总结了多项创新技术方法，一是形成了基于三维激光扫描与天空地一体化摄影测量的室内外实景三维模型高精度构建技术方法；二是建立了基于数字测绘成果の木结构建筑变形分析评估路径，可实现基础沉降、柱体倾斜等结构病害的精准诊断；三是提出了融合现代测量技术与传统打伞拔正工艺的协同施工方法，通过物联网监测与三维扫描实现施工过程动态调控与分级纠偏；四是研发了三维激光扫描与应力波检测融合の木构件内部腐朽定量化安全评估方法，构建了“多源数据融合—力学模型迭代—实体试验验证”的可验证、可推广的安全诊断技术体系；五是创新的实践了基于三维点云逆向建模与金属 3D 打印的残损构件定制化加固方法。这些系统性的技术成果已凝练形成可复制、可推广的文物数字化保护应用模式与实践经验，并将通过《华堂王氏宗祠修缮工程研究报告》《履坦徐氏民居保护工程报告》的出版，为行业提供重要参考。

对行业发展的启示与影响

项目的创新实践为文物保护行业的发展提供了重要启示与深远影响。通过数字化技术与传统工艺的深度融合，项目验证了现代科技赋能文物保护的可行性与有效性，为行业技术升级提供了可复制的成功范式。在管理层面，项目推动了文物保护工作从依赖经验判断向数据驱动决策的转变，显著提升了工程管理的精细化与科学化水平。在人才培养方面，项目的跨学科实践促进了复合型人才的成长，为文物

行业输送了兼具技术能力与专业素养的新生力量。此外，项目所形成的技术方法与实践成果为相关标准的制定提供了扎实的实践依据，助力行业技术体系的规范化和标准化进程。整体而言，本项目不仅实现了技术路径的创新，更在管理机制、人才结构和行业生态等方面推动了文物保护事业的系统性提升。

五、社会影响：行业认可与公众传播

1. 行业权威认可与获奖情况

项目通过多渠道、多形式开展技术成果宣传与社会推广，取得了良好的行业反响与公众关注。华堂王氏宗祠修缮工程核心技术成果在《中国文物报》保护专刊发表，以“科技匠心：科技与传统融合赋能华堂王氏宗祠保护”为题，突出其在文物保护与数字化融合方面的创新价值。华堂王氏宗祠修缮工程与履坦徐氏民居修缮工程双双荣获2024年浙江省“匠心杯”优秀案例认证，体现行业权威机构对本案例的高度认可（图 50-52）。



图 50 华堂王氏宗祠-浙江省“匠心杯”优秀案例



图 51 履坦徐氏民居-浙江省“匠心杯”优秀案例

培育修复人才 共护丝路遗产

——甘肃省第一届文物行业职业技能竞赛回顾



甘肃、青海、宁夏、新疆维吾尔自治区是中国文明和中华文化的重要发祥地，也是丝绸之路文化的重要承载地。为深入贯彻落实《“十四五”文物保护和科技创新规划》，提升文物行业从业人员的专业技能和综合素质，甘肃省文物局、甘肃省人力资源和社会保障厅、甘肃省总工会联合举办了甘肃省第一届文物行业职业技能竞赛。此次竞赛旨在通过搭建技能交流平台，激发从业人员的学习热情，提升专业技能水平，为丝绸之路文化遗产的传承和保护培养更多高素质人才。

精心组织 周密部署 确保竞赛顺利实施
竞赛筹备工作启动后，省文物局立即成立竞赛筹备工作组，明确职责分工，细化工作措施。同时，广泛发动全省文物系统各单位积极参与，营造了浓厚的竞赛氛围。竞赛内容涵盖了文物保护、修复、监测、展示等多个领域，充分体现了文物行业职业技能的多样性和专业性。

高度重视 有力推进
竞赛过程中，省文物局和各参赛单位高度重视，精心组织，确保了竞赛的顺利进行。参赛选手们展现出了扎实的专业功底和精湛的操作技能，赢得了评委和观众的一致好评。竞赛不仅是一次技能的比拼，更是一次文化素养和团队协作能力的综合考验。

公平公正 严格评奖 确保竞赛公信力
竞赛评审工作严格按照竞赛规程进行，坚持公开、公平、公正的原则。评委们本着认真负责的态度，对参赛选手的作品进行了细致入微的评审。最终，竞赛评出了各赛项的一、二、三等奖和优秀奖，充分体现了竞赛的权威性和公正性。

成果丰硕 影响深远 竞赛取得显著成效
此次竞赛取得了丰硕成果，不仅检验了全省文物行业从业人员的技能水平，也促进了文物行业职业技能交流和学习。通过竞赛，参赛选手们相互学习、取长补短，提升了整体素质。同时，竞赛也引起了社会各界对文物行业职业技能的重视，为今后开展类似活动积累了宝贵经验。

广泛动员 积极参与 展现行业专业素养
竞赛得到了全省文物系统广大从业人员的积极响应和踊跃参与。各单位领导高度重视，精心组织，选派了最优秀的选手参赛。参赛选手们赛出了水平、赛出了风格，充分展现了甘肃文物行业的良好风貌和专业素养。

展望未来 持续发力 推动行业高质量发展
省文物局将以此次竞赛为契机，进一步加强文物行业职业技能建设，完善竞赛机制，提高竞赛水平。同时，也将加大对从业人员的培训力度，提升队伍整体素质，为推动甘肃文物事业高质量发展做出更大贡献。

广泛动员 积极参与 展现行业专业素养
竞赛得到了全省文物系统广大从业人员的积极响应和踊跃参与。各单位领导高度重视，精心组织，选派了最优秀的选手参赛。参赛选手们赛出了水平、赛出了风格，充分展现了甘肃文物行业的良好风貌和专业素养。



丝路文化遗产修复项目在保护修复的文物项目比赛

科技与传统融合 赋能华堂王氏宗祠保护

华堂王氏宗祠位于浙江省绍兴市嵊州市，是当地王氏家族的重要聚居地，也是浙东地区传统建筑文化的杰出代表。随着城市建设和人口流动，宗祠建筑面临不同程度的损毁和闲置。为有效保护这一珍贵的文化遗产，绍兴市文物局积极探索科技赋能文物保护新模式，通过引入先进科技手段，实现了对宗祠建筑本体、环境及文物的全方位监测和保护。

科技与传统融合 赋能文物保护
项目团队采用三维激光扫描、无人机倾斜摄影等技术，对宗祠建筑进行了高精度建模。通过建立数字模型，实现了对建筑结构的精准还原和虚拟展示。同时，利用物联网技术，对宗祠建筑的环境参数进行了实时监测，及时发现并预警潜在风险。

精准监测 实时预警 提升保护效能
项目团队利用无人机进行定期巡检，及时发现建筑本体和周边环境的变化。通过大数据分析，对监测数据进行了深度挖掘，为文物保护决策提供了科学依据。此外，还建立了线上展示平台，让公众可以随时随地了解宗祠的历史文化和建筑特色。

多方合作 协同推进 确保项目顺利实施
项目得到了政府、企业和社会各界的大力支持。通过多方合作，整合了各方资源，形成了合力。同时，还加强了与高校和科研机构的合作，引进了先进的技术和人才，提升了项目的科技含量。

成果丰硕 影响深远 项目取得显著成效
项目自实施以来，取得了丰硕成果。不仅实现了对宗祠建筑的全面数字化建档，还提升了监测预警的精准度和及时性。通过数字化展示，宗祠的知名度和影响力得到了进一步提升。项目也为其他传统建筑的保护提供了有益借鉴。

展望未来 持续发力 推动行业高质量发展
绍兴市文物局将以此次项目为契机，进一步探索科技赋能文物保护的新路径。通过持续投入和创新发展，不断提升文物保护的智能化水平，为中华优秀传统文化的传承和保护做出更大贡献。

广泛动员 积极参与 展现行业专业素养
项目得到了社会各界的广泛关注和积极参与。通过多方合作，整合了各方资源，形成了合力。同时，还加强了与高校和科研机构的合作，引进了先进的技术和人才，提升了项目的科技含量。

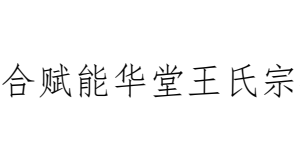
成果丰硕 影响深远 项目取得显著成效
项目自实施以来，取得了丰硕成果。不仅实现了对宗祠建筑的全面数字化建档，还提升了监测预警的精准度和及时性。通过数字化展示，宗祠的知名度和影响力得到了进一步提升。项目也为其他传统建筑的保护提供了有益借鉴。

展望未来 持续发力 推动行业高质量发展
绍兴市文物局将以此次项目为契机，进一步探索科技赋能文物保护的新路径。通过持续投入和创新发展，不断提升文物保护的智能化水平，为中华优秀传统文化的传承和保护做出更大贡献。

广泛动员 积极参与 展现行业专业素养
项目得到了社会各界的广泛关注和积极参与。通过多方合作，整合了各方资源，形成了合力。同时，还加强了与高校和科研机构的合作，引进了先进的技术和人才，提升了项目的科技含量。



华堂王氏宗祠保护项目



华堂王氏宗祠保护项目

图 52 中国文物报-科技与传统融合赋能华堂王氏宗祠保护

2. 多元文化传播与公众参与

在公众传播方面，项目围绕三维激光扫描、贴近摄影测量、物联网监测、应力波检测等关键技术，制作系列短视频并发布，涵盖技术

解说、现场实录与成果对比等多种形式，包括三维激光扫描技术应用

实录、贴近摄影测量精细化建模展示、现代监测设备在打伞拨正过程

中的动态监测实况、无损应力波检测技术解析以及修缮前后实景模型

同屏与拉幕对比等内容。同时，通过云展网构建专题数字展厅，系统呈现测绘技术在文物建档、诊断、施工、验收全流程中的应用成效，形成可互动、可传播的三维成果展示体系，有效提升公众对文物保护科技的认知与参与感。

3 技术推广与未来发展前景

项目技术成果具备系统性、可复制性强等特点，具有广阔的推广价值和深远的发展前景。团队将以现有成果为基础，持续推进技术创新与场景拓展，推动文物保护从“被动抢救”向“预防性、可持续”模式转型。

在技术层面，项目将深化数字化测绘与传统工艺的融合，重点推进三项核心突破与知识产权布局：基于三维点云与 BIM 融合的结构变形量化方法、融合多源技术的建筑木梁结构安全无损评估方法、融合实时监测的打伞拨正智能调控方法，以及基于逆向建模与金属增材制造的构件可逆加固方法，形成覆盖勘察、施工、修复全流程的专利技术体系，通过公益性授权（如向文保机构、施工单位无偿开放），推动技术在文物保护项目中的实际应用。

在推广方面，项目将通过《华堂王氏宗祠修缮工程研究报告》（已出版）《履坦徐氏民居保护工程报告》（出版社校核中）等专著的出版，推动成果在行业内的标准化应用。同时，依托高精度三维数据开展文创产品开发与实景研学体系建设，增强文化传播与人才培养，实现技术价值与社会效益的双重提升。

展望未来，项目团队将持续拓展技术应用的广度与深度，构建“技

术研发—标准输出—人才培养—社会参与”的良性生态，为我国文化遗产的预防性保护、活化利用与可持续发展提供系统性解决方案，助力文物行业向数字化、智能化、可持续化方向转型升级。

（十三）“数字楼兰”项目案例

申报单位：中国科学院西北生态环境资源研究院

中铁文保科创有限公司

案例详情：

1 项目背景与意义

楼兰遗址位于新疆若羌县罗布泊荒漠腹地，作为汉晋时期的丝路名城，是丝绸之路上的重要枢纽，承载着古楼兰王国的繁荣与辉煌。遗址基本呈正方形，边长约 330 米，其中有孔雀河为主的若干古河道穿城而过，故城东北区有残高约 10.4 米的佛塔遗址，不远处是被考古人员称作“三间房”的一处疑似官署遗存，对研究中西交通、东西方文化交流和中国古代边疆与内地的联系均具有重要价值。

然而，这一沉睡千年的神秘古老文明正面临着严峻的保护挑战。楼兰遗址陷入沙漠、雅丹劣地和坚硬盐壳的重重包围，环境荒凉而凶险，成为普通人望而却步的“生命禁区”。2019 年 11 月，若羌县文物部门发现楼兰古城主要遗址区“三间房”和佛塔遗址所在的台地出现不同程度坍塌，而且两座建筑物本体存在裂隙、孔洞等，遗址安全受到严重威胁。楼兰遗址属于不可移动文物中的土遗址，由于长期暴露在极端环境中，受到风蚀、温差变化等多种自然因素的侵蚀，需要

对其进行修复保护。

保护工作的紧迫性促使新疆维吾尔自治区文化和旅游厅牵头督办实施此项古城保护工作，联系对接中铁文保开展古城保护事宜。2020年6月，中铁文保开始对楼兰古城“三间房”和佛塔遗址进行抢救性修复，这项修复于当年11月30日完工。与此同时，文物保护工作者也意识到，在楼兰这样人迹罕至的极端干旱地区，传统的保护手段已经无法满足现代文物保护的需求。面对年均8级大风天数高达80天，7、8月地表温度可达65摄氏度的极端恶劣环境条件，仅依靠人工定期巡查和维护不仅成本高昂，而且效率低下。

数字化保护的必然性随着国家“一带一路”倡议的提出与发展，古丝绸之路再次焕发出新的生机。楼兰遗址作为丝绸之路上的重要节点，也受到了格外的关注。文物保护已从传统的抢救性保护向预防性保护转变，而《“十四五”文物保护和科技创新规划》又进一步提出了系统性保护的要求。对于楼兰这样重要的文物遗址，需要整体保护文物的本体和周边环境，这就需要引入更先进的技术手段。2020年10月初，中铁文保委托中国科学院西北生态环境资源研究院高分辨率对地观测系统甘肃数据与应用中心开展实地测绘与空间数据采集，并联合研发建设信息化平台，标志着“数字楼兰”项目正式启动。

2 项目概况

2.1 项目基本信息

“数字楼兰”项目由中国科学院西北生态环境资源研究院高分辨率对地观测系统甘肃数据与应用中心与中铁文保科创有限公司合作

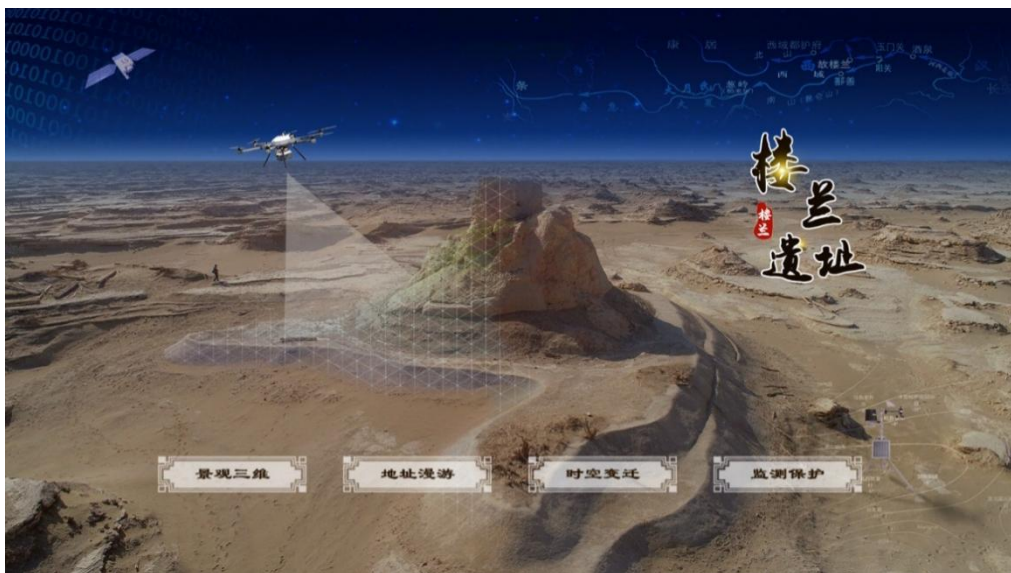
实施。项目于 2020 年 10 月正式启动，至 2021 年年底完成系统开发并通过验收，历时一年有余。项目组成立了由祁元研究员带领的科研团队，深入罗布泊荒漠腹地，开展野外综合调研和遗址空间数据采集工作。

2.2 项目基本构成

项目目标：研发一套面向楼兰遗址数字化保护与利用的“天空地”一体化空间信息系统平台，实现楼兰遗址的数字化档案建设、远程监测预警、虚拟展示体验等多重功能，为这一珍贵文化遗产的科学保护和有效利用提供技术支撑。

技术体系：项目综合运用了卫星宏观遥感、无人机精细测绘、地面实时监测等测绘技术，构建了“天空地”一体化的空间信息系统平台。

应用环节：项目将测绘技术全面应用于文物本体保护、监测、展示利用等各个环节，形成了完整的文物保护技术解决方案。



图：系统主界面

2.3 项目合作模式

项目采用了产学研用紧密结合的合作模式。其中，中铁文保作为文物保护工程实施单位，负责遗址抢救性修复和工程管理；中国科学院西北研究院高分甘肃中心作为科研机构，提供空间信息技术支撑和系统研发；若羌县文物部门则负责遗址日常维护和地方协调。这种强强联合的合作模式充分发挥了各方的优势，确保了项目的顺利实施。

3 技术方案与创新点

3.1 “天空地”一体化监测技术体系

“数字楼兰”项目核心创新是构建了一套完整的“天空地”一体化监测技术体系。这一体系通过多平台、多传感器的协同配合，实现了对楼兰遗址全方位、多尺度的监测与数据采集。

“天基”监测（卫星遥感）：系统充分利用了国内外卫星遥感资源，整合了从 1961 年至 2020 年的楼兰地区卫星遥感数据，以及自西汉至清代的历史地图数据，提供了一套研究楼兰古迹时空演变的空间数据库。值得注意的是，2013 年以前的卫星遥感数据采用了国外公开数据，而 2013 年后则主要使用我国自主获取的高分辨率数据，空间分辨率从传统几十米提高到 2 米甚至 0.8 米，大幅提升了监测的精细度。卫星遥感主要用于宏观监测遗址周边环境变化，如沙漠化进程、河道变迁等大范围环境因素。

“空基”监测（无人机测绘）：针对卫星监测在时间分辨率和空间分辨率上的局限性，项目团队采用了无人机遥感技术作为重要补充。工作人员在遗址区开展无人机作业准备，利用机载激光雷达、机载五镜头倾斜摄影设备、测绘无人机等设备，对遗址进行精细测绘。由于

楼兰遗址区域仅为 330 米见方，无人机能够快速完成全域的高精度数据采集。无人机获取的数据包括高分辨率正射影像、倾斜摄影模型、空中 720 度全景数据等，为遗址三维建模提供了丰富的数据源。

“地基”监测（地面监测）：为了弥补卫星和无人机在近距离监测方面的不足，项目在遗址地面部署了多种监测设备，包括地基雷达、地面全景相机等。同时，为了监测遗址区的气象环境变化，特别是风蚀对遗址的影响，项目团队还设置了地面传感器，采集气温、降水、风速和大气压等环境气象数据。

3.2 多源数据采集与处理

项目团队在数据采集过程中，针对楼兰遗址的特殊环境，采用了多种先进测绘设备和数据处理方法。

团队使用机载激光雷达进行遗址地形扫描，获取高精度地表三维信息；采用五镜头倾斜摄影设备获取遗址多角度影像，为三维建模提供丰富纹理；利用测绘无人机进行正射影像采集，确保影像的几何精度；通过地基雷达对遗址本体进行精细扫描，捕捉细微的结构变化；借助地面全景相机实现 720 度全景记录。

3.3 系统平台架构与功能

“数字楼兰”系统平台通过“三维、遗址漫游、时空变迁、监测保护”四个功能模块，实现了多项创新功能：

景观三维模块：通过精细二三维实景地图模型客观真实、身临其境地展示远在千里之外的神秘古城。用户可以通过该系统身临其境地感受楼兰的辉煌历史和文化内涵。

遗址漫游模块：设计了从若羌县城到楼兰遗址的“空—地”720度全景式漫游，起点设在若羌县楼兰广场，通过“空—地”720度全景三维技术对沿线景观拍摄，让用户能够直观了解“罗布泊究竟是什么样的地方”。

时空变迁模块：通过历史地图和卫星遥感数据的空间一体化，提供了一套研究楼兰古迹时空演变的空间数据库。这一模块集成了从1961年至2020年的楼兰地区卫星遥感数据，以及自西汉至清代的历史地图数据，使用户能够直观感受楼兰遗址的历史变迁。

监测保护模块：利用卫星、无人机和地面传感器技术，实现了“天空地”一体化的楼兰遗址生态环境因子系统监测与分析。该模块可实时观测当地气温、降水、风速和大气压等环境气象状况的变化，为遗址保护提供科学依据。

表：“数字楼兰”系统平台技术组成与功能

技术层次	主要设备	数据产出	应用功能
天基（卫星）	高分辨率对地观测卫星	多期遥感影像、环境变化数据	宏观环境监测、时空变迁分析
空基（无人机）	机载激光雷达、五镜头倾斜摄影设备、测绘无人机	三维点云、正射影像、倾斜摄影模型、720度全景	精细测绘、三维建模、遗址漫游
地基（地面）	地基雷达、地面全景相机、气象	精细三维模型、全景影像、气象	本体变化监测、微环境感知、虚

	传感器	监测数据	拟展示
--	-----	------	-----

4 应用成效

4.1 文物保护效果提升

文物本体精准监测与预防性保护：通过“数字楼兰”系统，文物保护人员首次能够实现对楼兰遗址文物本体的精准监测和量化评估。由于楼兰地区很难进入，对其文物本体的变化无法做到年年实地监测，一般都是时隔多年后才有机会进入。本次系统平台的建设为后续监测楼兰遗存文物本体和周边环境变化提供了一套高精细的二三维监测本底数据，使后续监测结果有了一套准确的对比依据。这种数字化档案的建立，使文物保护从传统的抢救性保护向预防性保护转变，能够在文物病害发生前或初期及时发现并采取措施，有效延长了文物寿命。

遗址抢险加固工程支持：在 2020 年对楼兰古城三间房和佛塔遗址的抢险加固工程中，数字楼兰系统发挥了关键作用。技术专家在楼兰古城内使用三维激光扫描技术为佛塔遗址建立数字化档案，为抢险加固工程提供了精准的数据支撑。该系统建成后有效支撑了中铁文保对楼兰遗址工程加固项目的专家查看与验收。通过系统生成的高精度三维模型，工程师能够准确判断遗址结构的薄弱环节，制定针对性的加固方案，大大提高了工程的质量和效率。

远程监测与智能预警：“数字楼兰”系统通过集成多种传感器数据和遥感监测信息，实现了对遗址状态的远程监测和智能预警。系统可以实时观测当地气温、降水、风速和大气压等环境气象状况的变化，特别是对风蚀这一楼兰遗址主要威胁因素的监测，为遗址保护提供了

科学依据。国家文物局有关专家认为，该系统为楼兰古城遗址的保护、管理、监控提供了科技支撑，可在万里之外守护楼兰古城，特别适合楼兰这种极端环境下的遗址预防性保护监控。

4.2 文化遗产信息传播与展示创新

沉浸式文化体验：“数字楼兰”系统通过创新的数字化展示手段，彻底改变了公众了解楼兰文化的方式。当用户打开系统，古城气息扑面而来，令人仿佛置身其中，佛塔、三间房……楼兰遗址及其附近标志性景观跃然眼前，720度全景展示。这种沉浸式体验大大拉近了公众与千年楼兰文化的距离，使那些因地理、环境限制而无法亲临遗址的人们也能感受到楼兰文化的魅力。

文物资源数字化共享：项目建立的楼兰遗址数字化档案，不仅为文物保护提供支撑，也为文化资源的共享与传播提供了便利。系统为在线游览查看楼兰文化遗址提供了平台支撑，增强了楼兰遗址研究保护与宣传利用的能力。类似的数字化手段也在山西省长城资源和甘肃省若干不可移动文物数字化保护工作中得到了迁移应用。这种数字化展示手段大大拓展了文物影响的时空范围，使文化遗址信息资源能够更加广泛地传播共享。

4.3 综合效益分析

文化遗产保护效益：“数字楼兰”项目通过引入先进测绘技术，显著提升了楼兰遗址的保护水平和效率。系统集成的多种监测手段，可以全面掌握遗址保存状态及变化趋势，为保护决策提供科学依据；高精度数字化档案的建立，为后续遗址变化研究提供了本底数据支撑；

远程监测能力的实现，克服了楼兰遗址地理位置偏远、自然环境恶劣带来的保护困难，降低了人工巡检的成本和风险。

社会文化效益：项目通过数字化展示手段，使楼兰文化从神秘的罗布泊走向大众，增强了公众对中华优秀传统文化的认同和自信；创新的文化传播方式，特别是对年轻群体有着更强的吸引力，有利于培养青年一代的文化保护意识；系统还为学术研究提供了丰富的数据资源，推动了楼兰文化研究和丝绸之路研究的深入。

技术示范效益：作为文物保护领域测绘技术应用的典范，“数字楼兰”项目为同类文化遗产的保护提供了可复制、可推广的技术模式和经验；项目建立的“天空地”一体化监测技术体系，不仅适用于楼兰遗址，也可应用于其他大型考古遗址和文化遗产地；项目还推动了空间信息技术在文物保护领域的应用和发展，促进了不同学科之间的交叉融合。

5 示范性与推广价值

5.1 技术先进性与行业代表性

多技术融合创新应用：项目将卫星遥感、无人机测绘、地面传感网等多种技术融为一体，构建了完整的“天空地”一体化监测技术体系。这种多技术的深度融合，在文物保护领域具有领先地位。项目采用的卫星遥感技术空间分辨率达到 2 米甚至 0.8 米，远高于传统遥感监测的精度；使用的无人机搭载了先进的机载激光雷达和五镜头倾斜摄影设备，能够获取高质量的三维数据；地面监测则采用了地基雷达、全景相机等多种设备，形成了立体的监测网络。

预防性保护理念的实践：项目体现了文物保护从抢救性保护向预防性保护的转变，通过对遗址环境的系统监测和数据分析，实现对潜在风险的早期识别和预警。这种对土遗址的预防性保护比抢救性保护更为重要，可以高效及时地预防诸如山洪泥石流、风沙掩埋等自然侵害。这种预防性保护理念的实践，为整个文物保护行业提供了新的思路和方法。

5.2 荣誉认可与媒体评价

“数字楼兰”项目自实施以来，获得了行业专家和媒体的高度认可：

专家评价：国家文物局有关专家认为，该系统为楼兰古城遗址的保护、管理、监控提供了科技支撑，可在万里之外守望千年楼兰，是极端环境下遗址预防性保护监控、相关历史资源挖掘和文化遗产要素多元化展示的一种有益探索。这一评价从行业权威角度肯定了项目的技术水平和应用价值。

媒体宣传：项目受到了多家市级以上媒体的广泛宣传报道，包括人民日报客户端、科学网、兰州晚报等知名媒体。这些媒体报道从不同角度介绍了“数字楼兰”项目的技术特点和应用成效，扩大了项目的社会影响力。例如，《兰州晚报》开设的“创新领航”专栏对项目进行了详细报道，肯定了项目的创新性和示范价值。

行业认可：项目承担单位为中铁文博科创有限公司和中国科学院西北生态环境资源研究院高分甘肃中心，前者有着丰富的文物保护经验，完成了多项世界遗产保护在内的数百项文物保护任务，后者是经

国家国防科技工业局批准于 2014 年 8 月成立的专门机构，由中国科学院西北研究院和中国航天科技集团五院 510 所建设实施，具有权威的行业地位和技术实力，两者的合作为项目的成功提供了有力保障。

5.3 推广潜力与应用前景

“数字楼兰”项目所形成的技术模式和经验具有广泛的推广潜力：

类似环境遗址保护：项目针对极端环境下文化遗产保护开发的技术方案，特别适用于我国西北干旱、半干旱地区的土遗址保护。这些地区分布着大量的古代遗址，如敦煌莫高窟、交河故城、高昌故城等，都面临着类似的环境挑战和保护难题。“数字楼兰”项目提供的“天空地”一体化监测和数字化保护方案，可以为这些遗址的保护提供借鉴。

“一带一路”文化遗产保护：未来，在“一带一路”共建国家文物遗址的保护方面，“数字楼兰”中应用的技术手段也将大有可为。丝绸之路经济带上分布着大量的文化遗产，其中许多处于极端环境中，保护工作面临巨大挑战。项目团队已经参与了乌兹别克斯坦希瓦古城的修复项目，积累了国际文化遗产保护的经验和，为技术在更广阔范围内的应用奠定了基础。

智慧文博建设：项目开发的数字化采集、存储、展示技术，可以应用于各类博物馆和文化遗产地，推动智慧文博建设，促进文物资源的数字化保护和活化利用。

技术迭代升级：随着技术的不断发展，“数字楼兰”项目也有进一步的提升空间。今后随着卫星遥感技术不断进步，对偏远而重要的不可移动文物进行常态化监测成为可能。通过综合遥感技术空间分辨率、

光谱分辨率和时间分辨率，以及人工智能技术的不断提高，可为文物保护提供更加精细和智能的数据应用，结合生态环境、土木工程、岩土工程等相关模型，可不断提高在此基础之上的文物保护数字化和智能化水平。这表明项目所建立的技术体系具有良好的扩展性和升级能力。

6 结语

“数字楼兰”项目通过综合运用卫星遥感、无人机测绘和地面监测等现代测绘技术，构建了“天空地”一体化的空间信息系统平台，成功实现了对楼兰遗址的数字化保护、监测和展示。项目将测绘技术全面应用于文物本体保护、监测、展示利用等各个环节，形成了可推广的应用模式与经验，不仅在精准掌握文物病害发展、实现预防性保护方面取得了显著成效，也在文化遗产信息传播和数字化展示方面发挥了重要作用。

项目的技术先进性和创新性得到了行业专家的高度认可，国家文物局有关专家认为该系统为楼兰古城遗址的保护、管理、监控提供了科技支撑，是极端环境下遗址预防性保护监控的有益探索。项目还获得了多家市级以上媒体的宣传报道，扩大了社会影响力，增强了公众对楼兰文化和文化遗产保护的认识。

“数字楼兰”项目作为文保尖兵测绘应用的示范案例，不仅为类似环境下的文化遗产保护提供了可复制的技术模式和经验，也为“一带一路”沿线国家的文化遗产保护展示了中国方案和中国智慧。随着技术的不断进步和文物保护政策的不断完善，“数字楼兰”系统的

建设将会更加完善并发挥更大的作用，为保护文物、延续文脉、繁荣文化提供坚实的科技支撑。

（十四）明长城烽传体系研究

申报人：李明帅

案例详情：

一、案例背景

长城作为我国最重要的世界文化遗产之一，遗址类型复杂，分布范围极广。以往长城资源调查多聚焦于墙体、烽火台、敌台等显著遗迹，而对细节设施缺乏系统认知和测绘。

燧体就是其中的代表性案例，作为明长城燃烽的载体设施，仅在青海、甘肃等地区的长城资源调查报告中零星提及，大量遗存未被登记、被排斥在长城文物护栏之外（图 1）。这些燧体遗存在自然、人为影响下面临逐步消失的风险，亟待全面测绘、研究与保护。



图 1 燧体排斥在护栏之外，被误认古墓而人为破坏

二、可推广的模式与经验

1. 长城燧体遗址测绘难点

· 遗存数量多，沿明长城全线广域分布，需要全面的发掘、定位

工作。

·遗址所处环境复杂，大多位于戈壁、荒漠、高山等无人居住区，难以抵达。

·遗址体量小、大多已坍塌，地面人工难以辨认。

面对上述调研挑战，如果按照传统的地面人工测绘方法，需要耗费大量人力、物力及时间，且很难产生较好的调查成果。本项目开展了以下方法更新、探索。

2.数据库建设：中国长城全线实景三维数据库

申请人深度参与了中国长城全线实景三维数据库（天津大学长城研究中心）建设，操控微型无人机沿长城线逐段进行三维扫描，目前采集数据已覆盖超过 6000 公里精华段中国长城墙体及烽燧、戍堡等。

依托数据库进行长城全线筛查，在中国长城资源调查登记的 12785 座敌台/烽火台等类型遗址中，完成了 1452 处疑似燧体遗址的图像普查与位置标定，划定全区域搜索范围。

3.高效测绘：无人机低空遥感技术方法

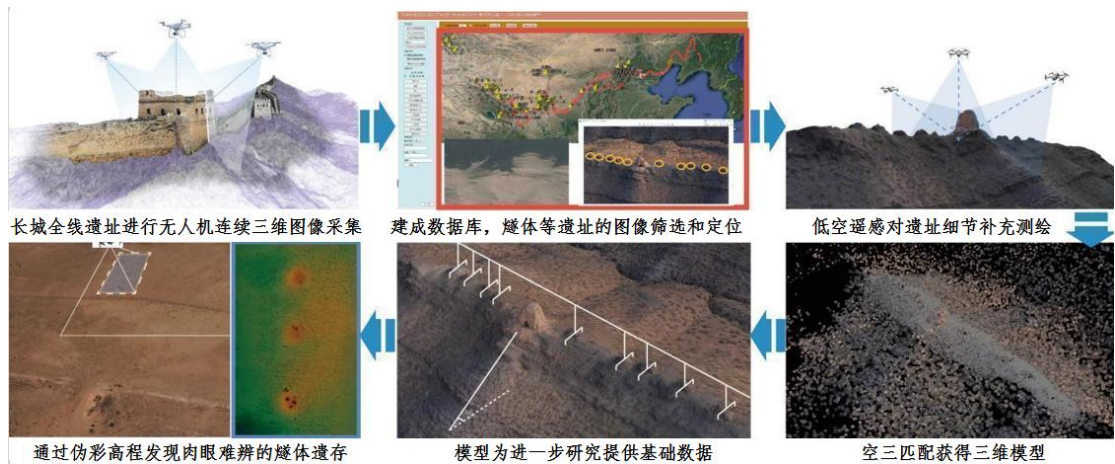
相比于传统的人工烽火台遗址调查，低空遥感技术具有以下技术优势：

抵达速度快：大量遗址位于高山、戈壁或沙漠环境，无人机可以克服地形限制，迅速到达遗址附近并展开测绘，有效的提升了测绘效率。例如踏勘宁夏贺兰山小石墩烽燧登山往返步行路程约 3.6 公里，垂直海拔落差 120 米，耗时约 5.5 小时。与之对比，于山脚下操控无

人机前往山顶测绘，全程仅耗时 15 分钟。

遗漏率低：低空遥感视角全面，相比于地面测绘更易于发现、辨别燧体遗存（图 3）。

三维数据获取完整：通过无人机在 1-30 米的相对高度对遗址和周边地形进行摄影测量。根据实践测试，单个烽传遗址的数据获取时间约为 10 分钟。



依托“数据库+低空遥感”测绘方法，申请人在新疆、甘肃、宁夏、陕西、辽宁等 10 省/自治区/直辖市开展了燧体测绘工作（图 4）。



图 4 2021-2025 年申请人燧体调查的百度地图足迹

本项目发现、测绘了 504 处燧体遗存，首次实现了长城燃烽遗址的全面认知与观察。与中国长城资源调查相比，新补充测绘燧体遗址 356 处，补充长城资源调查盲区。每个遗址的三维点云测绘成果可建

立毫米级实景模型（图5）。

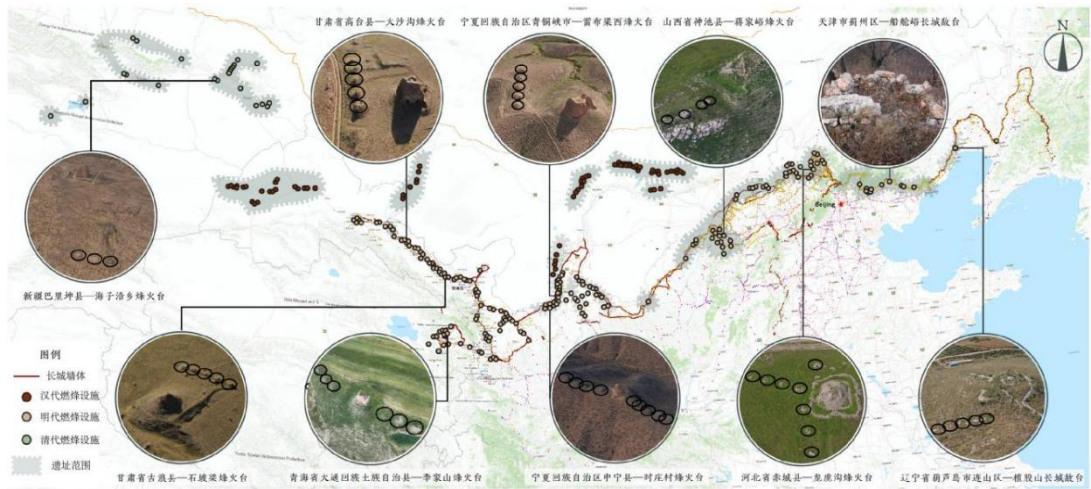


图5 燧体遗址分布及实景三维模型图

4.可借鉴模式

以“数据库+低空遥感技术”为技术依托,克服了遗迹空间尺度广阔、地理分割相当多的限制,能够开展细小设施的精细化全面测绘,将遗产信息的处理量级和观察研究精度、效率提升到一个新的高度,从而跨越信息瓶颈,能够加速文化遗产价值的发掘和科学保护策略的制定。该方法可在长城等大型文化遗产研究中进行参考借鉴。

三、保护效果提升

实现长城全线燧体遗址情况的全面测绘和数据掌握后,能够根据遗址类型分析病害过程(图6、图7)、绘制病害分布地图,这些工作是精准掌握燧体病害发展、实现预防性保护的重要基础性研究。

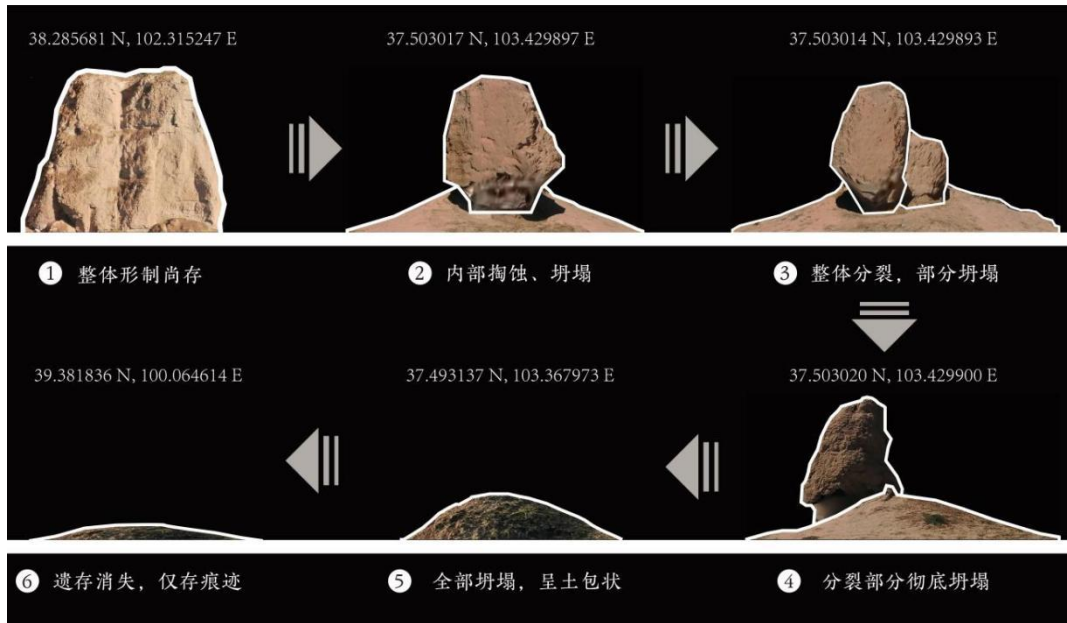


图 6 夯土燧体的病害原因及坍塌过程

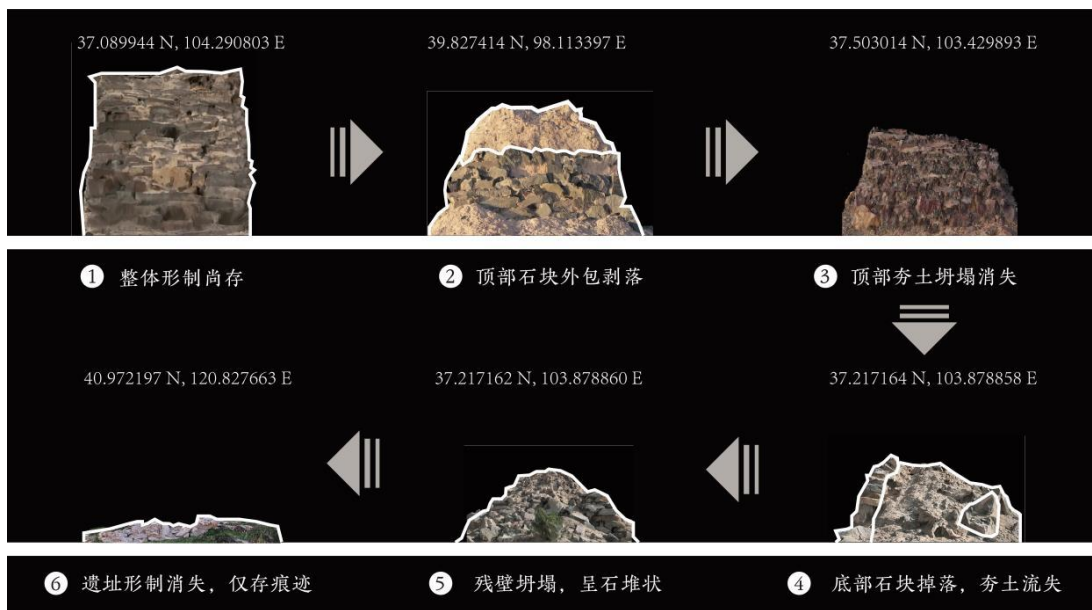


图 7 石砌燧体的病害原因及坍塌过程

四、文化遗产展示信息传播

1. 博物馆展陈

燧体系列测绘、研究成果目前已获博物馆评审专家认可，主要内容陈列于 2025 年新建设的山海关中国长城博物馆（唯一长城主题的

国家一级博物馆) (图 7)。



图 7 山海光中国长城博物馆附燧展陈区域及相关内容

除了常规的图文、模型展出，团队依托虚拟现实技术，在天津市博物馆长城展的 3D 打印模型上实现了 AR 增强特效模型，进行了燧体燃烽预警的历史场景复原 (图 8)。



图 8 基于燧体遗址模型的 AR 增强特效展陈

五、行业先进性体现

1、国家奖励及资助

燧体全面测绘是中国长城国家文化公园建设的重要基础研究，申请人获得了国家、省部多级资助与奖励：

[1]李明帅.2024 年中国科协青年人才托举工程博士生专项计划，

托举单位：遥感应用协会（国家级，资助金额 4 万元）

[2] 李明帅，项目主持。2022 年天津市研究生科研创新项目“明长城烽传场景复原及相关建筑研究”，2022BKY068（省部级，资助金额 1 万元，已结题）

[3] 李明帅，项目主持。2021 年天津大学研究生文理拔尖创新奖励计划重点项目“中国古代传烽建筑与场景复原研究”，A1-2021-007（校级，资助金额 9.6 万元，已结题）

2、学术成果与认可

申请人以第一作者（包含博导李哲教授一作、本人二作）、通讯作者发表了 4 篇 SSCI/CSSCI/CSCD 等高水平核心论文。

[1] 李哲,李明帅,陈知行,张玉坤,李严.清代附燧考——中国军事预警建筑核心要件拾遗[J].建筑学报,2023,(S2):7-11.（CSSCI/北核，博导一作/本人二作）

[2] Zhe Li, Mingshuai Li(通讯作者)*, Yan Li. A Digital Survey Approach for Large-Scale Landscape Heritage Resource Exploration: Auxiliary Beacons, the Uncharted Signal Structure of the Great Wall in China[J]. Land.2024, 13, 2: 192. <https://doi.org/10.3390/land13020192>（SSCI，通讯作者，博导一作/本人二作）

[3] 李哲,李明帅,李严.基于附燧遥感考古调查的明长城烽传场景新识[J].航天返回与遥感,2023,44(01):1-12.（CSCD/北核，博导一作/本人二作）

[4] 李哲，李明帅，孔祥铮.基于附燧调查的明代“烽火相传”场景

揭示[J].建筑史学刊,录用待刊(核心期刊,博导一作/本人二作)

申请人作为第一作者,在国内外历史、建筑、文化遗产等多领域高水平学术会议上进行宣讲,获得学界广泛认可。

[1] 李明帅.第二届文化遗产保护青年学者论坛,《遍野珠玑拾遗——明长城附燧及分布考》,主办单位:故宫博物院、中国文物保护技术协会、中国紫禁城学会,四川省乐山市, 2023.03

[2]李明帅.2024年中国文物保护技术协会第十二次学术年会,汇报题目:《基于数字化方法调查的清代烽传体系新识》,主办单位:中国文物保护技术协会、敦煌研究院,甘肃省敦煌市, 2024.11(会议汇报)

[3] 李明帅.2024年中国历史地理学术年会,汇报题目:《基于遥感调查的清代地图“燧体”符号研究》,主办单位:中国地理学会、中山大学,广东省珠海市, 2024.07(会议汇报)

[4]李明帅.Perspectives on the Materiality of City Walls in China and Europe,汇报题目:Guards on the Periphery of Walled Cities: Rediscovering the Watchtower and Signal Networks of Qing Cities,主办单位:鲁汶大学,比利时鲁汶市, 2024.06(会议汇报)

六、媒体报道与奖励

项目成果具有较高的科普推广价值,获得《人民日报》海外版、《光明日报》、《中国文物报》等主要官方媒体报道,产生了广泛的社会影响。

[1] 李明帅.长城资源挖掘及数字化保护的新探索.《中国文物报》
2024.4.19.

[2] 李明帅.我在欧洲走长城.《人民日报》海外版.2024.03.18.

[3] 韩梅（记者）.黄崖关附燧遗存“上演”多烟传烽.《北京日报》
2023.2.9.

本人长期致力于中国长城附燧调查及保护工作，受邀参加国家广电总局 2022 年重点项目《长城长》，获年度总冠军，直播于人民日报客户端等官方平台，获新闻联播等媒体报道（图 9），长城文化遗产从业者的测绘、保护行动正在被更多人所熟知。



图 9 《长城长》节目及本人获新闻联播报道、人民日报客户端转播

（十五）齐长城实景三维场景制作

申报人：贾凤

案例详情：

案例情况说明

一、案例简介

党中央、国务院历来重视长城的保护和管理工作，尤其是党的十

八大以来，习近平总书记多次就长城保护利用作出指示和批示。2022年9月21日，《山东省齐长城保护条例》经山东省第十三届人民代表大会常务委员会第三十八次会议通过，自2023年1月1日起施行。2022年起，山东省文化和旅游厅联合山东省自然资源厅，开展齐长城卫星遥感监测工作，每半年监测一轮，及时发现齐长城保护区划内的违法工程建设或文物破坏行为，并依法进行处置，有效保护了齐长城的安全。2024年8月，国家文物局批复同意《山东省齐长城遗址保护规划》。为高质量完成第四次全国文物普查中的齐长城调查，进一步摸准齐长城资源分布和保存状况、落实落细齐长城保护区划，夯实齐长城保护和管理水平，2024年10月，山东省组织开展齐长城专项调查工作，山东省国土测绘院作为技术支撑单位参与其中。

齐长城西起济南市长清区孝里街道广里村，东至青岛市黄岛区于家河庄入海，经济南、泰安、淄博、潍坊、临沂、日照、青岛7市17个县（市、区），总长度641.32千米，遗产总量高达260处。本次调查利用实景三维技术与外业调绘相结合的方式，对我省境内齐长城相关遗存，包括墙体、烽火台（烽燧）、关、堡、壕堑以及其他类型相关遗存的名称、位置、年代、边界、面积、保护级别、类别、权属、使用情况、保存状况、周边环境、保护工程等基本信息进行调查。

二、主要工作内容

（一）齐长城实景三维场景制作

目前我院率先构建起省级全域多层次遥感监测体系，创新实现了"2-0.5-0.2米"分辨率、月-季-年频次的多源遥感数据融合，即每月获取2米级全要素卫星影像，每季度更新0.5米分辨率卫星数据，每年完成0.2米航空影像全域采集，形成全国首个省级尺度高频次动态覆盖能力。在此基础上，利用倾斜摄影自动化建模技术，结合多源遥感数据中最新获取的倾斜航空摄影影像，通过数字摄影测量技术，制作齐长城遗址地形级实景三维模型。

（二）外业调查

基于SDCORS的网络RTK技术进行特征点空间位置采集，包括点位名称、经度、纬度、高程，并记录相关类型；特征定位点主要包括长城本体走向的折点、拐点、断点、不同材质变化点、保存现状变化点以及长城本体的主要设施、附属设施及相关遗存的平面几何中心点或范围点。无法采集其几何中心点或范围点时，记录测点与被测物某具体部位的相互关系（方位、距离），以及周边的典型地物，如河流、道路以及其他典型参照物。

（三）齐长城地理空间数据库建设

以资源调查底图数据库为基础，根据外业采集的特征点位，形成长城专题数据，建立齐长城资源“时空+属性”地理空间数据库。数据库统一采用CGCS2000坐标系进行空间数据整合，包含了齐长城本体、新发现点段、变化段、标志类地物及其他相关遗存的空间位置、要素形态和属性信息，形成了齐长城遗址专题数据库。

三、主要特色

1.创新应用了“三维立体+实地校核”技术。在齐长城三普调查工作中，主要通过田野调查的方式，结合 1:10000 影像图、地形图等二维用图，对被调查对象进行现场标绘，并进行文字记录。从 2007 年全面启动，到 2008-2010 年田野调查完成，2012 年进行长城本体的认定，投入了较多的人力、时间和经费成本，对于地形险峻的位置，难度较大，可能存在某中程度的遗漏。本案例利用 RTK 技术进行外业特征点的空间位置采集，属性信息直接记录在仪器中，节省了人力物力，提高了作业效率。在内业数据生产时，利用 0.2 米分辨率高精度实景三维模型，对山脊山险、陡崖山险等地形险峻的地段，通过三维模型直观判断本体类型，形成齐长城专题要素。利用“三维立体+实地校核”技术，历经八个月的协同攻关，摸清了家底，完成了对已认定的齐长城遗存进行复核、对国家文物局已公布的齐长城遗存进行补充调查、对新发现齐长城遗存开展调查等工作，极大提高了四普调查的效率。以科学的手段和技术最大限度保证了齐长城本体、附属设施、相关遗存的完整性和全面性，为文物资源监测提供了可推广可复制的经验。

2. 创建了齐长城资源大数据库。在齐长城专项调查过程中，利用测绘数据详细记录界桩、风机、电杆等特征点的点位名称、经度、纬度、高程以及类型，形成齐长城标志地物类点和标志地物类面。对不同类型的外业采集的特征点位，采用差异化处理方法，在实景三维场景下记录现状、认定本体、补登新发现点段，比如将 TYPE 类型为墙体、新建、豁口、通道、坍塌、冲沟、缺失的点位连接为城墙边线，

并生成城墙中心线；将 **TYPE** 类型为山险的依靠地貌数据、实景三维模型、资源调查长城中心线综合确定山险处长城中线位置；将所有类型的中心线段开处由西向东进行合理连接，山险的中心线、消失点位的中心线根据特定规则生成城墙边线，并处理所有城墙边线连接处拓扑关系；根据长城实际保存线状增加 **NWALLFUNC** 属性及 **NKEEPQUALITY** 属性；填写各段中心线的长度、中心线的起止点位置，分别填写在 **NLENGTH**、**START_X**、**START_Y**、**END_X**、**END_Y** 属性。通过实景三维技术，改变了传统图纸、非量化的二维记录模式，实现二维与三维数据的融合，真实还原了齐长城遗址的墙体类型、空间形态、纹理特征，构建了可量测、可分析的“点（标志地物类点）-线（段落墙体、变化段）-面（本体、标志地物类面）”三级实景三维档，为相关遗存提供数字备份，方便随时调取、查询和追溯，解决了传统纸质档案分散、难更新的问题。同时为文旅融合以及国家文化遗产保护工程提供高精度、可视化的数据，有效提升了齐长城遗址的数字化展示，为文物遗产信息传播起到了良好的示范效果。

3.率先实现了齐长城遗址的精准监测和风险评估。齐长城作为中国现存最早的长城形态之一，其遗址分布范围广、地貌环境复杂，遗存病害多样，以文字、调查表、二维图片为主的档案，无法完成记录其线性分布特征、三维形态细节，因此难以实现全面、动态的精细化管理。本次调查利用专业软件，对影像数据进行处理，融合地理信息数据，形成包含几何、纹理、属性的高精度实景三维模型，精准校正了长城走向偏差、识别墙体类型、解析空间形态，为齐长城的预防性

保护提供了从被动修复到主动预防的技术支撑。齐长城全线根据风险评估划分为 3 个类型，把人为破坏风险较大及人们生产生活活动频繁的点段划分为“红段”，把有生产生活活动存在人为干扰的点段划分为“黄段”，把位于崇山峻岭、人迹罕至的点段划分为“绿段”。根据调查情况，结合齐长城遗址图斑遥感监测情况与涉建项目汇总情况，本着动态调整的原则，对齐长城的风险评估进行了动态调整，同时建议对部分红段进行重点监测，为山东省齐长城遗址保护规划以及齐长城保护管理工作奠定坚实的基础。

四、技术工艺

根据 1:2000 的成图精度，采用内外业结合的生产模式，基于实景三维与测绘技术相结合的方法，进行特征点测量、外业调绘与内业数据采集；开展齐长城基础地理信息与专题要素数据的生产任务并完成长度测量。总体技术流程如下所示：

1.实景三维模型制作：采用倾斜摄影自动化建模技术，使用 **Mirage 3D**、**ContextCapture Center** 等集群式处理系统，利用最新获取的倾斜航空摄影影像，通过数字摄影测量技术，完成倾斜影像空三加密，通过软件自动生产符合精度要求的三维模型，自动从多角度影像中筛选出最适合的影像作为纹理，对三维模型进行纹理贴图，模型修饰，从而获得城市级实景三维模型成果。

2.RTK 测量点位测量时，卫星空间分布均匀（ $PDOP < 6$ ），截至高度角 15° 以上的同一系统卫星个数不低于 5 颗，并保持 1 分钟以上，导航定位精度不低于 0.03 米。观测开始前应对仪器进行初始化并得

到固定解，当长时间不能获得固定解时，宜重新获取服务，再次进行初始化操作，作业过程中如出现固定解丢失，应重新初始化。观测应得到 RTK 固定解，并收敛至毫米级、水平精度（HRMS）小于 0.02 米、垂直精度（VRMS）小于 0.03 米且稳定后开始记录，记录的数据为固定解结果。形成外业特征点记录表如下图：

NAME	TYPE	X	Y	高程
峨眉山标志碑	标志	117.8529	36.48439	255.801	
老虎头岭山墙	墙体	117.8529	36.48439	255.809	
老虎头岭山墙	墙体	117.8529	36.48438	255.094	
.....					

3.齐长城资源数据库建设。根据外业采集的特征点位，结合实景三维模型、数字正射影像以及资源调查数据进行内业数据的转换生产，对外不同类型的外业采集的特征点位，采用差异化处理方法，建立齐长城资源复查 GIS 数据库，形成长城专题（长城本体、附属设施、相关遗存）数据，工艺流程图如下。以资源调查底图数据库为基础，新增

本次齐长城专题调查需要的属性，参考外业调查的结果，对内业编辑后的齐长城本体及标志地物进行属性挂接、赋值，建立齐长城资源复查 GIS 数据库。根据对齐长城的数量、类型、分布和保存情况，以及齐长城沿线的自然和人文环境情况的掌握要求，对齐长城资源数据库组织图层结构包括齐长城中心线、齐长城边线、齐长城范围面、齐长城标志地物类面、齐长城标志地物类点、齐长城变化段，属性结构如

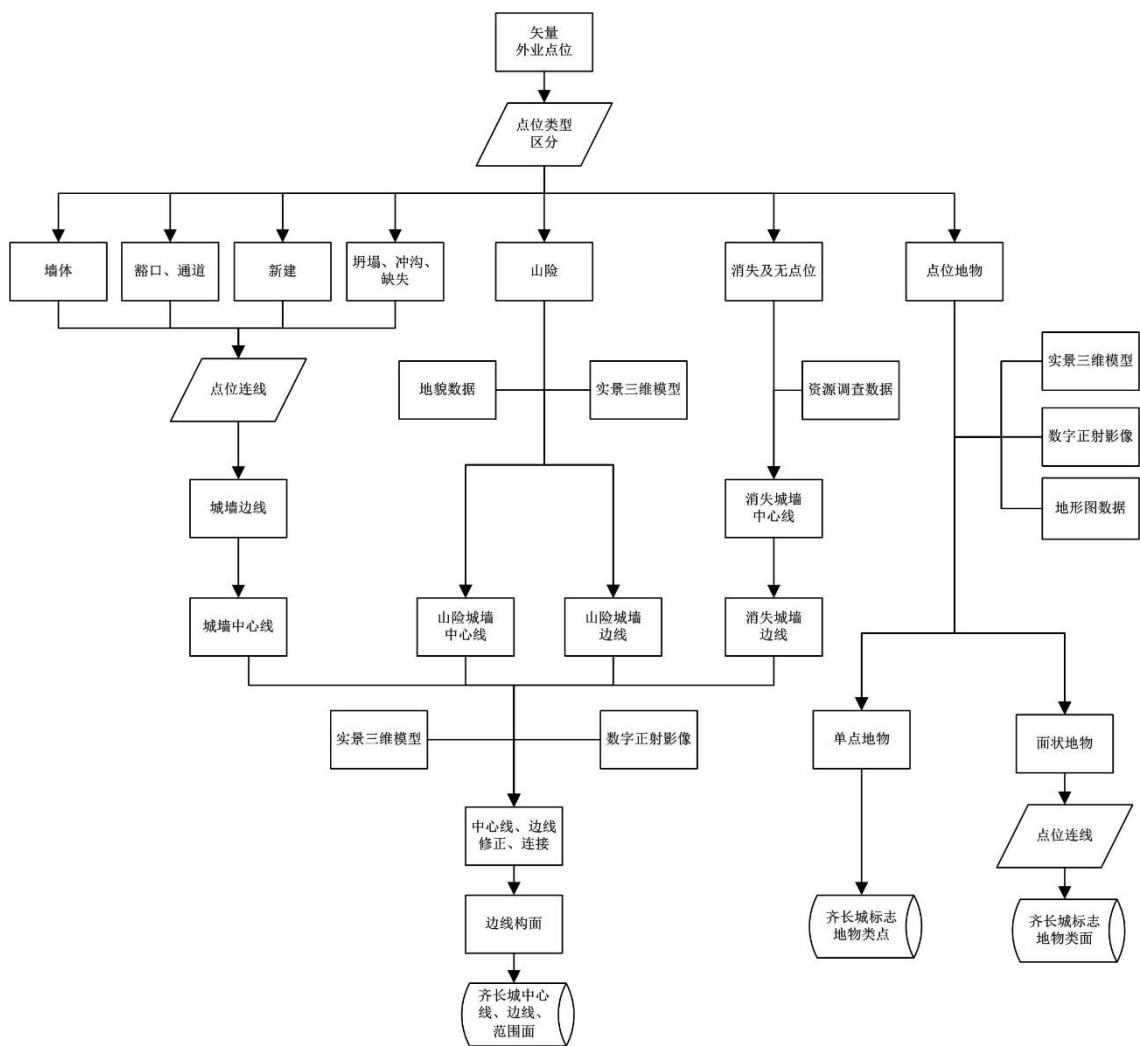


表 1、2、3 所示。

表 1 长城中心线、边线、面属性表

字段来源	序号	字段名称	字段类型	字段长度	填写示例
资源调查	1	CRCODE	字符串	20	
	2	COUNT_	长整型		
	3	NAME	字符串	80	
	4	WALLTYPE	字符串	10	382101/382102/382105/382106/382201/382301
	5	WALLFUNC	字符串	10	山险、石墙……
	6	KEEPQUALITY	字符串	10	差、较差、较好、消失、一般
	7	SD	字符串	10	
	8	BM_LENGTH	双精度		
	9	TY_LENGTH	双精度		
	10	BM_AVE	双精度		
	11	TY_AVE	双精度		
新增	12	NWALLFUNC	字符串	50	依据资料填写
	13	NKEEPQUALITY	字符串	50	依据资料填写
	14	NLENGTH	双精度		中心线必填
	15	START_X	字符串	50	中心线必填 118° 09' 32.2206"
	16	START_Y	字符串	50	中心线必填 36° 23' 22.2394"
	17	END_X	字符串	50	中心线必填
18	END_Y	字符串	50	中心线必填	

表 2 标志地物类点属性表

序号	字段名称	说明	字段类型	字段长度	填写示例
1	NAME	外业点位名称	字符串	254	

序号	字段名称	说明	字段类型	字段长度	填写示例
2	高程	外业点位高程	双精度		
3	X	点位 X 坐标	双精度		
4	Y	点位 Y 坐标	双精度		
5	TYPE	点位类型	字符串	50	依据外业填写，界桩、监控、电杆……
6	TypeGroup	所属类别	字符串	50	依据建筑功能分类表填写，市政设施、防护设施、界桩中心点……

表 3 标志地物类面属性表

序号	字段名称	说明	字段类型	字段长度	填写示例	备注
1	TYPE	标志地物类型类型	字符串	254	电塔、配电箱、碉堡、亭子……	依据外业填写
2	TypeGroup	所属类别	字符串	50	居住建筑、公共建筑、工业建筑……	依据建筑功能分类表填写
3	NAME	名称	字符串	254		外业点位名称
4	MATRL	道路铺面材料	字符串	50	沥混/沥青/泥混/沙石/石块/加固土	道路必填
5	RN	等级道路编码	字符串	50		填写铁路、道路的编号

五、社会经济效益

（一）全方位高精度的监测，提升文物数字化精度与效率

通过本案例可以发现实景三维技术能够对齐长城进行全方位、高精度的数据采集，构建出逼真的三维模型。通过这个模型，文物保护单位可以清晰地观察到齐长城墙体的细微裂缝、风化状况以及周边地形地貌的变化，从而及时发现潜在的安全隐患，制定针对性的保护措施

施。相较于传统的人工巡查和简单的测绘手段，大大提高了监测的准确性和全面性，减少了人力物力的投入，提高了保护工作的效率。例如，通过对不同时期实景三维模型的对比分析，能精准定位墙体位移、砖石脱落等病害的位置和程度，为及时修复提供科学依据。

（二）为大型遗址和线性文化遗产的全方位监测提供可推广的经验

案例为大型遗址和线性文化遗产的全方位监测提供可推广的经验。对于大型考古遗址、长城等线性文化遗产，其分布范围广、地形复杂，传统监测手段难以实现全面覆盖。实景三维技术通过倾斜摄影测量，快速获取大范围的三维数据，构建遗址和线性文化遗产及其周边地形地貌的三维场景模型。利用该模型能够对遗址的整体布局、建筑结构、地层变化等进行宏观监测，及时发现因自然沉降、水土流失、非法建设等原因导致的遗址破坏情况，实现对大型文物资源的全方位、常态化动态监测，为遗址的整体性保护和可持续利用提供有力支持。

（三）数字化建档实现文物资源的永久数字化保存与共享

案例形成的文物数字基因库实现了文物资源的永久数字化保护与共享。文物面临着自然灾害、战争等不可抗力因素的威胁，一旦遭受破坏，其承载的历史文化信息将难以复原。实景三维技术能够将文物以数字化的形式永久保存下来，形成永不消逝的“数字文物”。这些数字化文物资源可以存储在安全可靠的数字档案库中，不受时间和物理空间的限制，便于长期保存和管理。同时，通过建立文物数字化资源共享平台，不同地区、不同机构的文物保护工作者、研究人员以及

公众都可以便捷地获取和利用这些资源，促进文物研究的深入开展和文化遗产的传承与交流，为全人类共同守护和传承珍贵的文物资源提供了有力保障。

（四）开辟文化传播新途径，促进文物数字化展示与传播

实景三维技术为文物的数字化展示与传播开辟了新的途径，通过构建文物的三维模型，后续结合虚拟现实、增强现实和互联网技术，打造沉浸式的文物展示体验平台。可以在虚拟环境中近距离观赏文物的每一个细节，了解文物背后的历史文化故事，既满足了公众对文物的认知需求，还能突破时间和空间的限制，让更多人能够领略文物的魅力，提升文物的社会影响力和文化传播力。

（五）为文物预防性保护提供全新的技术范式，推动文物预防性保护策略的制定结合山东省全域多层次遥感监测体系，“2-0.5-0.2米”分辨率、月-季-年频次的多源遥感数据，建立“三维时空立方体”监测体系：在病害预防阶段，对文物进行风险评估和监测预警；在病害发生时，遥感技术可以持续监测灾害的发展态势，通

过对比灾害前后的遥感影像，直观地评估文物的受损程度和范围，为救援和抢修工作提供指导；恢复阶段，遥感可以获取灾后文物所在区域的详细地形地貌信息，为重建规划提供基础数据。通过对文物本体及其环境的长期动态监测数据进行深入挖掘和分析，可准确识别文物面临的主要风险源和风险等级，制定针对性的预

防措施，如改善文物保存环境、设置防护设施、限制游客流量等。同时，利用实景三维模型持续跟踪预防措施的实施效果，及时调整优

化策略，形成一个闭环的预实景三维技术作为一种新兴的数字化技术手段，在文物资源监测和保护方面展现出了巨大的应用潜力和广阔的发展前景。它不仅能够实现对文物本体及周边环境的精细化监测，及时发现文物病害和安全隐患，为文物修复和预防性保护提供科学依据，还能通过数字化展示与传播，促进文物文化价值的传承与弘扬，实现文物资源的永久保存与共享。实景三维技术已成为文物资源监测和保护工作不可或缺的重要工具，为历史文化的传承与发展做出积极贡献。

二、测绘创新研究案例

（一）点云与影像融合的世界文化遗产精细化测绘及数字重建——以柬埔寨吴哥古迹为例

申报单位：广州市城市规划勘测设计研究院有限公司

案例详情：

点云与影像融合的世界文化遗产精细化测绘及数字重建——以柬埔寨吴哥古迹为例项目以世界濒危文化遗产柬埔寨吴哥古迹群为例，针对吴哥古迹数字化保护过程中面临的“数据采集覆盖不全、多源数据融合不准、场景解译粒度不足、重建模型冗余不真”等难题，项目从“协同感知-异构融合-智能语义-深度应用”四个方面进行深入研究推广实践，构建了一套面向大规模文化古遗迹群的非接触式全息测绘采集技术体系。项目成果不仅为吴哥古迹的结构健康监测、精准修复和考古研究提供了科学依据，还通过数字化展示推动了文化遗产的国际传播与文旅融合，彰显了中国测绘技术在“一带一路”文化遗产保护中的创新应用与国际合作价值。

1. 案例背景

在人类文明发展的历史长河中，文化遗产不仅承载着民族记忆，更是促进国际理解与和平的重要纽带。习近平主席指出，应“把跨越时空、超越国度、富有永恒魅力、具有当代价值的文化精神弘扬起来，推动收藏在博物馆里的文物、陈列在广阔大地上的遗产真正活起来”。这一理念为全球文化遗产保护与合作指明了方向。柬埔寨与中国传统友好，关系源远流长，位于柬埔寨暹粒市的吴哥古迹更是中国建设“一带一路”的重要文化枢纽，现存的 600 多处遗迹被称为世界七大奇迹

之一，见证了东南亚文明的高峰。然而，吴哥古遗迹群长期面临自然侵蚀与人为破坏的威胁，于 1992 年被联合国教科文组织列入世界文化遗产名录和濒危遗产名单。

高精度数字重建是文化遗迹监测、修复、研究和展示的科学基础，已成为世界濒危文化遗产永久性数字化存续的核心手段。然而在实际操作过程中，仍面临数据采集覆盖不全、多源数据融合不准、场景解译粒度不足、重建模型冗余不真等技术难题。本项目围绕吴哥古遗迹群构建了一整套文化古迹数字化保护传承技术体系及多项关键技术，通过创建毫米级精度的结构化三维模型，为吴哥古迹结构健康监测、精准修复干预、考古研究及数字化展示提供了核心数据支撑。本项目体现了中柬开放友好的区域合作精神，也是中国政府自 2000 年以来援助吴哥文化遗产保护修复工程的重要组成部分，展现出在“一带一路”框架下推动文明互鉴的坚定承诺。

主要技术特点

项目综合运用全息感知、异构数据融合、细粒度智能分割、轻量化重建等关键共性技术，从“协同感知-异构融合-智能语义-深度应用”四个方面进行深入研究与推广实践，构建了一套古遗迹群综合保护传承关键技术体系，为大规模濒危文化古遗迹群的保护、修复与利用提供了创新性理论支撑与关键技术保障：

(1) 多传感器协同的全息立体测绘感知技术：针对文化古迹“宏观场景”和“微观构件”数字化的双重需要，提出结合低空无人机摄影测量技术、地基激光雷达技术、SLAM 移动扫描技术、近景摄影测

量技术的空地跨平台多源空间数据采集方法，支持复杂文化古迹与历史建筑的全面精细数据获取。

(2) 海量多源异构数据的一体化融合技术：面向文化古迹常见的低特征与弱纹理环境，针对跨传感器数据间的特性差异，设计兼顾高适应性与强稳健性的对象级虚拟特征基元，提出顾及位置约束的高效全局匹配算法，实现海量异视异构多模态数据的全自动高精度融合。

(3) 大规模古遗迹场景的细粒度智能分割技术：面向文化古迹与历史建筑的关键结构提取需求，设计无训练权重的隐式编码网络模块，提出激光强度值和点云密度值的定量改正与利用方法，构建图卷积神经网络架构，实现细粒度智能化语义分割与场景关键结构提取，为文化古迹和历史建筑的结构评估、修缮保护等提供了关键支撑。

(4) 精细实景模型的轻量化重建与高性能渲染技术：提出区域自适应的点云精简算法，实现多尺度三维模型构建，在保持模型主要几何特征的同时，大幅减少模型的面片数，提高了模型的可用性。建立虚拟引擎驱动的海量数据高效调度技术与数字孪生系统，实现了大规模古迹场景模型的高逼真渲染与仿真应用分析。



图 1 总体技术路线

3. 关键技术创新及成果体系

项目构建了面向大规模文化古遗迹群的非接触式全息测绘采集技术体系，实现了多传感器协同、多模态数据一体、全方位多层次的柬埔寨吴哥世界文化古遗迹群保护与利用数字化立体感知。

项目突破了低特征、弱纹理的古遗迹场景多源数据融合关键技术，实现了海量异视异构多模态数据的全自动高精度融合，提高了古遗迹场景数据融合的效率与稳健性，显著提升了古遗迹场景数据融合的效率与稳健性。

项目开创性地提出了无训练权重的隐式特征编码网络模块，突破了显式离散点云与隐式连续场这两种三维场景表达之间的数据结构差异，在此基础上研发了面向大规模场景点云的图卷积神经网络架构，实现了文化古遗迹群的细粒度智能化语义分割与关键结构提取。

项目构建了基于逐点曲率自适应分级压缩的轻量网格模型三维

重建技术，解决了大型文化古迹场景精细化表达与模型高冗余面数之间的矛盾难题，重建了吴哥文化古遗迹的精细轻量多细节层次模型，实现了大规模古迹场景模型的高逼真渲染与仿真应用分析。

项目形成了技术标准 5 项，国家发明专利 11 项（受理 5 项、授权 6 项），学术论文 17 篇，其中 SCI 收录 12 篇（1 区顶刊 7 篇）、EI 收录 5 篇。

2024 年 3 月 28 日，广东省工程勘察设计行业协会为本项目组织科技成果评价会，评价委员会认为：该成果构建了一整套古遗迹群综合保护传承技术体系及关键技术，为大规模濒危文化古遗迹群的保护、修复与利用提供了技术支撑，项目研究成果在柬埔寨吴哥古迹数字化等项目中得到成功应用，取得了较好的经济效益和社会效益，达到了国际领先水平。

4. 应用推广情况

在“一带一路”倡议的引领下，本项目积极践行数字技术赋能文化遗产保护与国际人文交流的理念，逐步构建了“扎根中国、辐射东盟、影响全球”的开放式、国际化市场格局。通过将先进数字化手段应用于文化遗产的监测、修复与传承，项目成果不仅深度服务于国内智慧城市与名城保护工作，更为柬埔寨吴哥古迹等“一带一路”沿线人类共同遗产的可持续管理提供了关键技术支撑与系统性解决方案，有效促进了亚洲文明对话与共建国家间的技术协作。

自 2017 年 5 月至 2023 年底，项目团队已在全球范围内承接文化遗产数字化保护及城市信息模型类项目 34 项，完成包括 170 多处历

史建筑及遗迹在内的高精度三维测绘与数字化建档，累计实现销售收入 **7534.3** 万元。项目连续四年承担广州市历史建筑测绘建档工作，并成功将技术服务拓展至广东河源、重庆、安徽黄山等国内多省市，以及柬埔寨等东盟地区，实现了从技术输出到标准合作的跨越。

项目总投资 **342.18** 万元，聚焦于文化古迹数字化保护传承技术体系的构建、关键技术研发、国际标准研制及智能化平台开发，资金来源于政府财政与承担单位自筹。近三年项目成果已应用于 **21** 个项目，累计新增利润 **5067.3** 万元，新增税收按利润 **15%** 计，节支总额按利润 **30%** 计算，经济效益显著。

项目组主导的柬埔寨女王宫遗迹数字化项目事迹，在《广州日报》《中国测绘网》等媒体平台得到了题为“广州测绘师为吴哥窟‘画’高清数字图像”的报道，展现了中方团队运用先进数字化技术助力全球文化遗产保护的卓越成果。并在联合国教科文组织国际协调保护与发展吴哥古迹委员会（UNESCO ICC Angkor）第 **24** 届国际会议上作技术报告，赢得文物保护、测绘行业及国际社会的高度关注与广泛赞誉，彰显了中国技术在“一带一路”文化遗产合作中的创新贡献与引领作用。



图 2 中柬合作方合影及项目成员在 UNESCO ICC Angkor 24 届国际会议上作技术报告

（二）激光雷达测量技术（LiDAR）在考古遗址保护中的典型研究案例

申报单位：南京师范大学

案例详情：

考古遗址是古代人类生活的集中地，是最能深刻反映人地关系的

区域，是文化遗产的重要内容。对考古遗址的保护、记录、利用和传承是考古学的首要任务。

激光雷达测量技术（Light Detection and Ranging, LiDAR）具有高精度、高分辨率、高效率和非接触作业等优势，在遗址考古现场有重要的应用前景。本案例以长江下游新石器及先秦时期的典型考古遗址为研究区，通过在考古现场，针对遗迹、遗迹群和遗址等不同尺度遗存的 LiDAR 技术的应用，为定量考古研究提供了坚实的技术支撑，有助于更科学的理解环境变化和文明演化的规律。具体研究案例包括：

1、遗迹

（1）遗迹堆积形态点云的空间分析与行为推理

2016 年在安徽凌家滩遗址的发掘过程中发现了大量的红烧土堆积，红烧土是古代人类居址的重要遗存。运用 LiDAR 技术获取红烧土遗迹发掘前后的 LiDAR 点云数据，通过两期数据计算得到红烧土三维模型，并对模型进行地形因子计算与分析，发现其堆积形态具有明显的方向性，从而推断其堆积过程是从西向东（图 1），这是通过考古遗存进行古代人类微观行为推理的重要案例。

（2）考古遗迹三维修复与重建

2021 年在南京薛城遗址发掘过程中，发现了形似“龙”型的堆塑遗迹。结合发掘现场的实际情况和遗迹修复重建的目标，融合 LiDAR 技术、无人机航测和近景摄影测量技术，获取该遗迹及其所在遗址精细、完备的几何和影像（纹理）数据，数据融合处理后获得遗迹完整、高精度的融合点云和正射影像。为了最大程度地保留原始考古数据，

基于“原始特征为主，加工修复为辅”的原则，即以现有的发掘数据为遗迹体修复的空间基准，结合对遗迹属性的判断从考古材料和专业文本中提取缺失部位的修补信息，设计了“实体—文本信息抽取—构建三元组—模板匹配分析—结构线绘制”的修复方案和基于样条曲线 NURBS 曲面绘线构面的遗迹建模方法（图 2）。相关成果：期刊论文“中国史前“龙”形遗迹时空分异研究：以南京薛城遗址为例”（附件 4）

（3）基于激光点云的考古遗迹制图

针对传统考古遗迹制图基于人工采集，精度和效率较低的现状，本案例以考古现场 LiDAR 数据为基础，设计了符合考古制图规范的考古遗迹点云的数字化考古遗迹制图方法。首先通过自适应的 α -shapes 算法和欧式距离约束法获取遗迹点云中的平剖面点集；其次对散乱点集进行有序化；然后采用 D-P 算法对点集进行优化；最后选用三次 B 样条曲线对点集进行插值拟合，从而获得平滑的考古线图（图 3）。相关成果：第七届江苏省高校测绘地理信息创新创业大赛研究生组创新开发类二等奖：“基于广义点云的田野考古制图方法”（2022）（附件 9）。

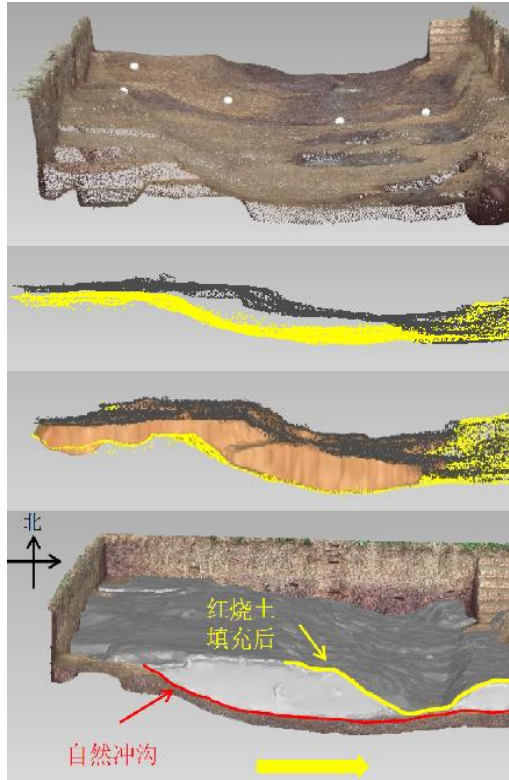


图1 遗迹堆积形态点云的空间分析与行为推理 (a.发掘)

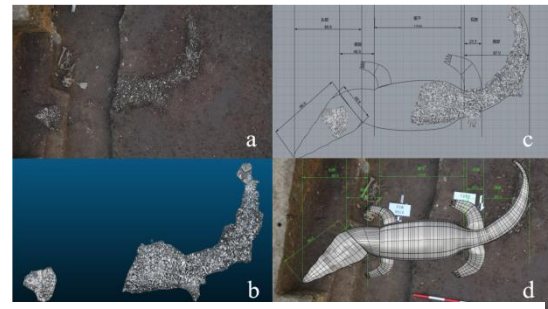


图2 基于 LiDAR 点云的遗迹三维复原重建(a.)

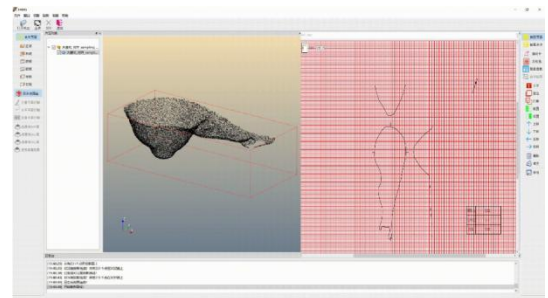


图3 基于 LiDAR 点云的考古遗迹制图

2. 遗迹群

(1) 宁镇地区土墩墓向心结构的定量计算方法

针对商周时期流行于长江以南地区的区域性文化遗存——土墩墓，具有“一墩多墓”的特点，而且目测墓葬具有向心结构形态。本案例对位于江苏寨花头土墩墓进行 LiDAR 点云数据采集。通过提取各墓葬点云的朝向，提出确定墓葬几何方位集中区域的算法，并通过与发掘数据比对，科学地、定量验证了向心式理论。运用空间数据聚类方法分析推导出墓葬空间分布特征，论证了该墓葬体系呈现家族氏族聚合形态（图 4），这对推进区域性墓葬研究具有重要意义。实验数据表明，该方法为空间分析如何促进大规模精准田野考古发掘提供了

创新范例，对研究各类古墓具有重要价值。相关成果：期刊论文“3D Spatial Morphological Analysis of Mound Tombs Based on LiDAR Data”

（附件 2）；发明专利“基于 LiDAR 点云数据的多墓墩向心结构计算方法”，专利号：ZL201910129392.4（附件 5）。

（2）考古墓群遗址的时空关系解析与推理方法。

针对墓葬类型遗址，基于 2018 年江苏句容孔塘遗址考古现场采集的墓葬 LiDAR 点云，进行多期墓葬点云数据的配准、单体化、几何特征提取（面积/体积、朝向、圆度计算等）、空间聚类、演化方向计算等处理（图 5），为理解古代丧葬习俗提供了科学的解释。开发了“基于 LiDAR 点云的考古墓葬管理及空间特征提取系统”，是针对考古遗址中的墓葬对象而开发的可视化管理、自动提取软件。可以为墓葬点云数据提供可视化管理服务，为墓葬空间特征的自动提取技术支持。系统主要功能包括墓葬可视化管理（加载墓葬点云、墓葬属性编辑、墓葬编号标注等功能）、墓葬空间特征自动提取（墓葬朝向提取、墓葬圆度提取、墓葬面积提取、墓葬范围提取、墓葬聚类分组功能）、墓葬值量化（器物类型值量化、墓葬值量化功能）三大功能模块。相关成果：期刊论文“多时相三维激光扫描技术在考古发掘过程中的应用-以江苏孔塘遗址为例”（附件 1）；软件著作权“基于 LiDAR 点云的考古墓葬管理及空间特征提取系统”，登记号：2017SR453773（附件 6）。

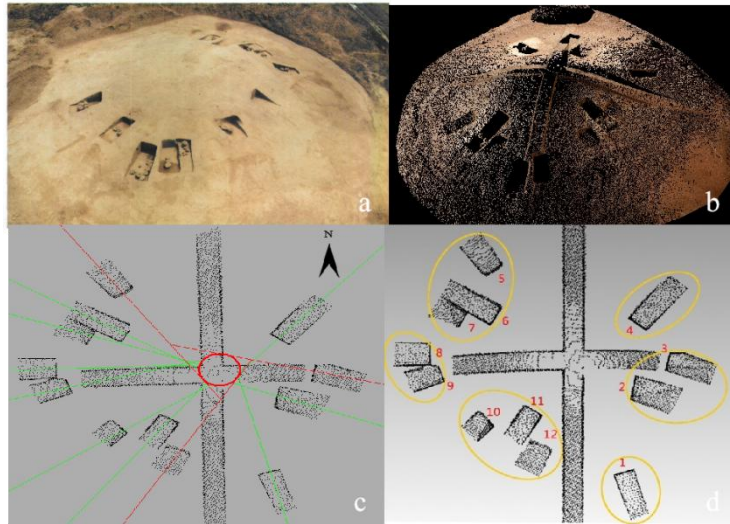


图 4 基于 LiDAR 点云的墓群时空分析 (a.考古现场, b.十墩墓群点云, c.向心点计算, d.墓群聚类)

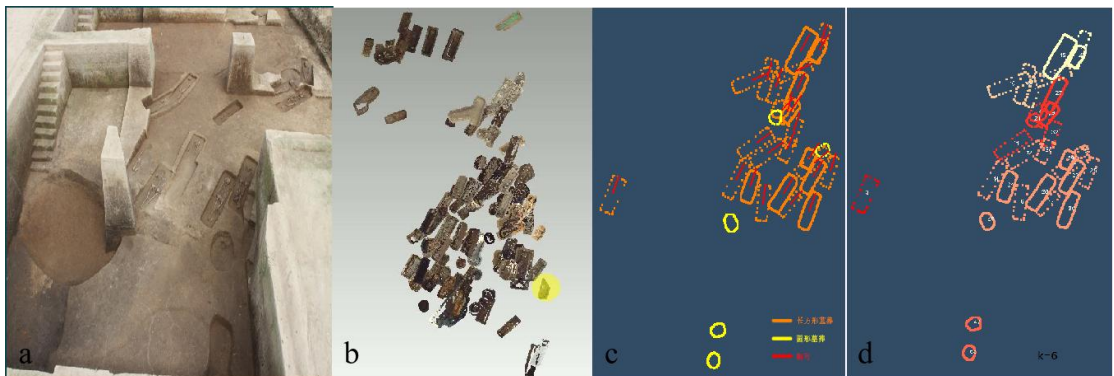


图 5 考古墓群点云的时空关系 (a.考古现场, b.墓群点云, c.墓葬朝向特征提取, d.墓葬聚类)

3. 遗址

面向考古遗址场景的三维重建：按照田野考古发掘的操作流程，每揭露一层进行一层数据采集（现场工作照见附件 10），即获得多期多时相的 LiDAR 点云数据，通过点云去噪、去冗、配准、拼接、分割、建模等处理过程，为重建遗址形成的过程提供了完备的、精准的时空数据，为考古遗址场景/成果的直观展示、考古数据分析/应用提供了科研平台(图 6)。相关成果：期刊论文“Processing of Multitemporal

3D Point Cloud Data for Use in Reconstructing Historical Geographic”（附件 3）；软件著作权“面向遗址自然场景构建的多源（点云）数据融合建模系统”，登记号：2019SR0871244（附件 7）；获得中国考古学会田野考古奖二等奖（201605）（附件 8）

以上基于激光雷达测量技术（LiDAR）在考古遗址保护过程中的一系列案例研究，表明了新型测绘装备和传感器用于文化遗产保护在效率、精度、科学计算和推理上的优势性，相关的方法、算法、实施流程及其在期刊论文、发明专利、软件著作权以及获奖上取得的成果，为数字考古提供了创新的研究范式。

（三）InSAR 技术在历史建筑保护中的深入应用

申报单位：天津华北地质勘查总院

案例详情：

历史建筑作为城市历史文化遗产的重要载体，为城市发展与文化延续作出了不可替代的贡献。然而，受自然环境和人类活动的持续影响，这类建筑常面临不同程度的损伤风险，其保护工作亟需科学、精准的技术支撑。传统监测手段在连续性与覆盖范围上存在局限，难以满足大范围、高精度形变监测的需求。星载干涉合成孔径雷达（InSAR）技术，特别是多时相 InSAR（MT-InSAR）方法，具备大范围、毫米级形变监测能力，近年来在历史建筑健康诊断中逐步得到关注。然而，其在建筑遗产保护领域的深入应用仍面临评估指标单一等问题。

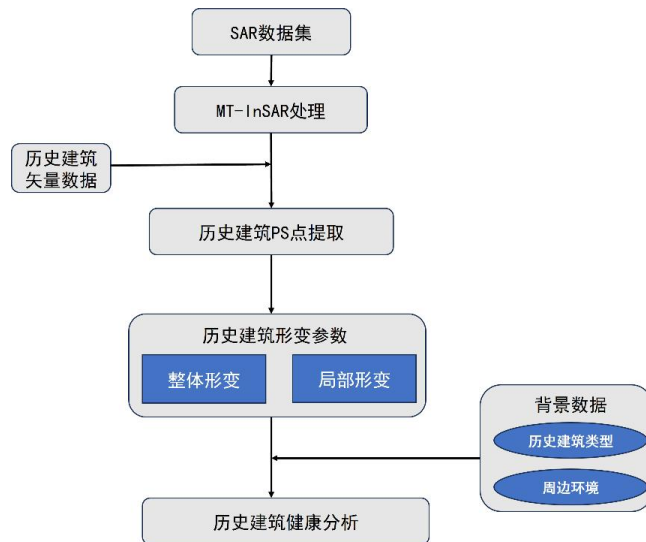


图 1.历史建筑健康评估方法流程

为推动 InSAR 技术在历史建筑保护中的深入应用，本案例基于合成孔径雷达 (SAR) 数据集与历史建筑资料，提出了一种基于 MT-InSAR 成果的历史建筑形变精细监测与健康评估方法，如图 1 所示。首先，通过 MT-InSAR 处理获取区域形变监测结果，并借助 PS 点云与建筑矢量数据的粗匹配与筛选，提取与目标建筑相关的形变点；随后，计算整体与局部形变参数，并与预设阈值进行对比，从而完成建筑健康状况的评估。

为推动 InSAR 技术在历史建筑保护中的深入应用，本案例基于合成孔径雷达 (SAR) 数据集与历史建筑资料，提出了一种基于 MT-InSAR 成果的历史建筑形变精细监测与健康评估方法，如图 1 所示。首先，通过 MT-InSAR 处理获取区域形变监测结果，并借助 PS 点云与建筑矢量数据的粗匹配与筛选，提取与目标建筑相关的形变点；随后，计算整体与局部形变参数，并与预设阈值进行对比，从而完成建筑健康状况的评估。

相对于传统的评估指标，案例创新性地从整体形变与局部形变两个维度构建评估指标：整体形变涵盖最大/最小累积形变、不等形变速度及角变量；局部形变引入“相对倾斜角”参数，有效识别建筑墙体局部形变。在评估阈值上，案例结合《建筑形变测量规范》等规范，设定了角变量、不等形变速度等参数阈值，并建立四档损伤等级，为历史建筑的健康状态判定提供量化依据。

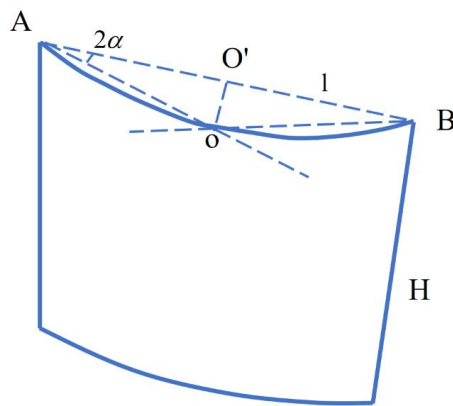


图 2. 相对倾斜角度示意图

以天津市文物保护单位——渤海大楼为例，阐述该方法的具体应用。渤海大厦位于天津市和平区，建于 1933 年，是天津租界时期遗存的重要建筑，现已被列为文物保护单位及天津市特殊保护等级历史风貌建筑（图 3a）。该建筑为砖砌结构，监测期间受到周边基坑施工影响。基于 2014.5-2015.5 的高分辨率 TerraSAR 数据集获取形变监测结果后；利用其建筑矢量边界，通过空间匹配与高程滤波，从初始 135 个 PS 点中剔除非建筑反射点，最终保留 117 个高质量 PS 点用于形变分析（图 3b）。监测数据显示，2014-2015 年间渤海大楼整体形变较大，累计形变位于 -28.5 mm 至 -16.4 mm 之间，整体表现为向西北方向的倾斜形变趋势。为验证 InSAR 监测和提取结果的可靠性，将

其与现场水准测量数据进行比较。如图 3c 显示，二者形变表现出一致性，均方根误差（RMSE）为 1.66 mm。

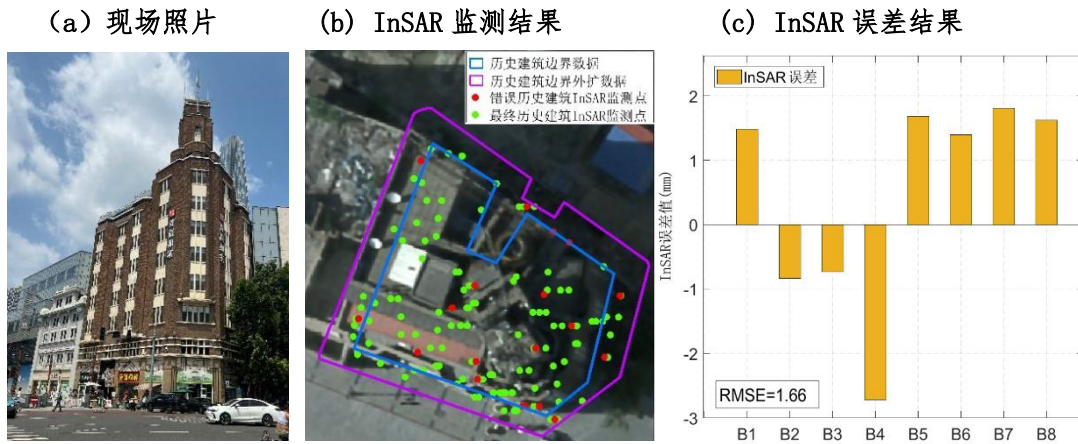


图 3. 渤海大楼现场照片及 InSAR 监测结果

在此基础上，提取渤海大楼整体的倾斜角与不均匀形变速率这两项参数进行分析。监测期内，西北角最大形变为-28.5 mm，东南角最小为-16.4mm，两点间距 30 米，监测时间 374 天。其值分别为 0.0004 和 0.032mm/d，均低于预设报警阈值，说明在整体形变上渤海大楼在监测期内处于稳定状态。

表 1.渤海大楼的整体形变评估参数和阈值

整体形变参数	阈值	InSAR 分析结果
倾斜角	0.002	0.0004
不均匀形变速率	4.5 mm/d	0.032mm/d

进一步，选取图 4 所示建筑四个简化边（BH1-BH4）作为分析对象，来开展渤海大楼局部形变分析。以 BH1 边为例，高度 45 米，一级损伤阈值为 0.67；其端点与中点的形变值分别为 28.5 mm、17.6 mm 与 25.6 mm，边长度为 25 米，相对倾斜角的计算值为 0.408，小于损伤阈值，因此判定该边缘处于安全状态；但是该值已经接近损伤阈值，

存在轻微潜在风险。BH2、BH3 与 BH4 的相对参考角分别为 0.364、0.289 与 0.146，均低于相应损伤阈值。局部形变分析结果表明渤海大楼整体安全，仅 BH1 边缘存在轻微潜在风险。同期最大差异沉降位于 B6 与 B2 点之间，高差为 13.82 mm，基于该数据计算得到的倾斜角、不均匀形变速率和相对倾斜角均低于阈值，整体及局部分析均表明渤海大楼结构健康状态良好，验证 InSAR 结论的准确性。



图 4. 渤海大楼简化分析边

综上，本案例形成了一套融合 MT-InSAR 技术与多源建筑信息的历史建筑形变监测与评估方法，具备不依赖地面测点、覆盖范围广、可回溯分析等优势，为建筑遗产的预防性保护与风险防控提供了可靠的测绘技术支撑。研究成果已经被《Heliyon》期刊录用，授权发明专利 1 项。

（四）面向石窟造像的多模态测绘智能与应用验证

申报单位：浙大城市学院

案例详情：

第一部分：意义、大背景与痛点

石窟造像作为宗教艺术的重要物质载体，集中体现了不同历史时期的社会文化和技术变革，具有突出的历史、艺术与宗教价值。当

前，其保护与传承工作亟需现代科技赋能支撑。国家“十四五”规划明确提出，要推动我国从文物资源大国向文物保护利用强国跨越，这为石窟文化遗产的数字化保护与研究指明了方向。

然而，石窟造像等文化遗产仍面临诸多现实挑战。气候变化、环境退化以及人为破坏正导致不可逆转的历史文化知识流失。同时，具备相关领域经验的专家日益稀缺，新生代接续不足，识别与研究进展迟滞。加之文物标注工作依赖高度专业的知识结构与伦理考量，高质量注释数据匮乏，进一步加剧了专业知识断层。

在研究方法上，传统石窟造像的风格与年代鉴定主要依赖考古与艺术史学者通过视觉分析、文本解读与类型学进行。这类方法虽体系成熟，但在处理日益增长的图像数据时效率有限，难以适应大规模数字化分析的需求。

现有技术模型亦存在明显局限。卷积神经网络（CNN）虽可完成图像分类等基础任务，却因其“黑箱”特性缺乏可解释性与领域扩展能力；而通用多模态大语言模型（MLLM）对考古术语与历史语境的理解尚显薄弱，复杂任务下人工核验成本高。更值得注意的是，现有研究多聚焦于通用技术路径，针对如江南地区杭州飞来峰元代汉藏融合风格石窟造像等具有鲜明区域文化特征的对象，尚缺乏具备领域自适应能力的专用模型。这一系列痛点凸显了构建面向石窟文物造像的多模态大模型——ChronoStyleNet 的迫切性与重要意义。

本案例以“测绘技术链 + 多模态智能”为核心路径，按数据采集、控制网与基准、空三与重建、精度评定（RMSE/量测误差）、最小

可判读尺度、成果入库 的流程实施，并在此基础上完成编年/风格要素判读与跨遗址泛化验证。该模型的 开发将有助于填补特定区域石窟造像智能识别的技术空白，推动文物保护与研究 迈向深度数字化、智能化新阶段。

第二部分：团队介绍、项目内容以及技术工作

本团队是由浙大城市学院任伟团队牵头，聚焦人工智能在文物识别、分类与 知识建模中的应用及大模型架构评估分析的研究小组，长期围绕数字考古与文化 遗产数字化研究开展系统性研究，已研发全球首个多模态石窟文物造像大模型 **ChronoStyleNet** 的完整研究链路，与本次中国测绘学会文化遗产保护专业委员会“文保尖兵”案例征集活动高度契合。

共建单位：在产学研深度融合的框架下，学院作为“全国文物修复与保护利用”产教融合共同体的核心成员，联合 52 家行业机构共同推动文物保护技术的创新实践。浙大城市学院与浙江省文物局是联合共建单位，先后与浙江省考古所、 杭州市考古所、宁波市考古所、绍兴市考古所、西湖风景名胜管委会、良渚遗址 管委会等多家考古文博单位签订了相关科研教学合作协议。学院与浙江省博物馆、郑州博物馆、宁波博物院、绍兴博物馆、新昌博物馆、温州博物馆等省内 11 个地级市 20 余个博物馆有数字化项目合作。通过与浙江省文物局、浙江省考古所 等单位的深度合作，学院在二维平面文物与丝织类文物数字化保护领域实现了多项突破，学院主持了 20 余项国家和省部级纵向科研项目，承接文保单位相关课题 50 余项，

通过这些合作，团队提升了资源整合能力，强化了与共建单位的协同效应，为项目推进奠定基础。

团队近 3 年围绕课题方向已形成扎实研究积累，为 ChronoStyleNet 的研发提供全方位支撑：

I 学术成果方面：发表论文四十余篇，代表作见载国际文化遗产顶级刊物、Nature 子刊及 SJR 考古学一区期刊，其中该案例在文化遗产科学领域 TOP 期刊《npj Heritage Science》发表代表性论文《Multimodal AI for Yuan Buddhist sculpture chronology and style》聚焦代佛像编年与风格的多模态人工智能研究。



图 1 在《npj Heritage Science》发表代表性论文

I 课题支撑：团队纵向课题 13 项，其中省部级及以上项目 7 项（含国家社科基金、浙江省社科冷门绝学、上海市社科、中国博士后基金、教育部“春晖计划”等），并承担浙江省文旅厅等地厅级课题多项，浙江省“十四五”研究生省级教学改革工程教育专项核心课题包括：

1. 2022 年国家社科基金后期资助项目，《文化遗产：可持续评价与活化利用》（22FKGB004），2023.1-2024.12，结题。

2. 浙江省“十四五”研究生省级教学改革工程教育专项，《基于石窟造像文物大模型的研究生教育资源库构建与共享机制研究》（JGCG2024479），2025.1.1-2026.12.30，在研；

3. 2022 年度教育部春晖计划合作科研项目，《基于人工智能技术对流失海外石窟寺造像文物数字复原研究》（HZKY202220194，2022200384），2023.5.22-2025.5.21，在研；

4. 2023 年度浙江省哲学社会科学规划冷门绝学课题，《基于人工智能技术对浙江石窟寺和摩崖石刻人物造像整理归类研究》（23LMJX15YB），2023.1-2024.12，在研；

5. 浙江省自然科学基金探索一般项目，《基于 ResNeS 模型对佛教造像文物三维模型识别归类的研究》（Y22D010489），2022.1-2024.12，经费 10 万元，在研。

其中，本案例正是浙江省“十四五”第二批研究生省级教学改革工程教育专项（JGCG2024479）的在研项目核心成果。

I 专利技术：授权发明专利 7 项，核心专利直接服务于项目数据采集、模型研发与文物保护落地，包括：

1. 任伟，杨程，柳钦云，王祉恒，王慕华.《一种佛教造像文物三维模型识别归类方法》（发明专利，专利号 ZL202210035667.X，授权公告号 CN114359894B，2024.4.30 授权）：为造像模型智能分类提供核心算法，解决传统人工归类效率低的问题；

2. 周晓萍, 米小强, 杨程, 任伟. 《一种用于摩崖窟龕、碑刻传拓的上纸装置》(发明专利, 专利号 ZL202310157859.2, 授权公告号 CN116100942B, 2025.3.25 授权): 提升实地调研中碑刻、窟龕数据的采集质量, 为模型提供更精准的文本与图像素材;

3. 朱俊玮, 任伟, 吴光华, 张家强, 杨程, 陈旖旎, 孙铭聪. 《一种可以初步鉴定文物年代的便携式扫描系统》(发明专利, 授权公告号 CN116443395B, 2025.8.19 授权): 实现造像现场快速扫描与年代初判, 辅助样本数据库的高效构建;

4. 任伟, 杨程, 方华, 丁丹丹, 侯哲, 吴光华, 张萌芯等. 《一种具有 3D 打印功能的文物修复一体机》(发明专利, 专利号 ZL202210491913.2, 授权公告号 CN114986649B, 2023.10.24 授权)。

为后续造像文物修复与数字化复原提供技术支撑, 延伸模型应用场景。

I 研究支撑: 依托于浙大城市学院所拥有的超算中心——这是在浙江省内公办高校中首个建立的超级计算中心, 为项目提供了高效、强大的数据处理和分析能力, 确保了研究工作的顺利进行和科研成果的高质量产出。



图 2 浙大城市学院超级计算中心

本项目的核心在于研发全球首个专门为石窟造像设计的多模态大型模型 ChronoStyleNet (CSN)。在数据层面，对飞来峰的造像进行了系统性调研和实地摄影测绘，为每尊造像采集一个正面和两个侧面图像，以建立一个全面的样本数据库，其中，飞来峰造像数据标注 295 尊造像；杭州周边数据标注 213 尊造像。

数据整理从杭州飞来峰现存 115 龕 (345 件) 造像的历史沿革与现状入手，梳理佛像、菩萨、罗汉等多种造像类型，并从中筛选出 295 件保存状况良好、历史信息清晰的样本 (该样本数量占西湖景区雕刻总量的 49%、浙江省已知造像数量的 13%)。同时，根据考古本体论对每尊造像的属性进行了详细标注，包括名称、朝代、题记、开脸、束发、衣着、手势或法器、坐姿、侧面腹部、头与身子的比例、莲座和身光等要素。此外，补充佛教术语词典、地方志、图像术语等辅助文本，结合 2.46GB 的考古文献构建领域知识库；运用图像归一化、质量筛选以及随机旋转、水平翻转等数据增强技术对图像进行预处理，并设计结构化提示词以引导模型完成考古推理。

在本项目的数据生产与质量控制方面，综合采用近景摄影与无人机倾斜摄影相结合的影像采集方式，并辅以地面激光扫描以提升几何约束；影像采集满足航向与旁向高重叠度($\geq 80\%/70\%$)，现场建立统一的坐标与高程基准，布设并以 RTK/ 全站仪复测控制闭合差；通过独立检查点评估平面与高程 RMSE。在空三解算与稠密重建环节，形成高精度模型，LOD 与纹理分辨率满足风格细节的业务判读需求。



图 3、4、5 飞来峰的造像数据标注、系统性调研和实地摄影测绘数据



图 6 精细化文物视觉表示与细粒度文物知识对齐

在模型架构方面，以 `llava-onevision-qwen2-7b` 为基础架构，该架构在中文理解能力方面表现突出，且支持高分辨率图像输入，通过 19708 组指令-响应对模型进行微调。其中，包含 10731 个来自 13 个开源数据集且经过质量验证的通用领域样本，以及 8977 个结合专家标注、Qwen2-VL-72B 提示合成技术生成的文化遗产及佛教造

像领域样本。

在评估工作方面，构建六维评估框架涵盖断代、风格分类、视觉细节描述、术语准确性、文化解读、语言连贯性。选取 22 件元代造像作为测试样本，其中域内样本 18 件，来自训练集中的飞来峰；域外样本 4 件，为杭州其他遗址中未参与训练但风格相似的样本。以 GPT-4o、Claude3.5、Gemini1.5Pro、LLaMA3.370B、Grok3Beta 五款主流多模态大语言模型（MLLM）作为基准模型，于 2025 年 3 月 30 日通过对应应用程序编程接口（API）统一输入测试数据与提示词开展测试。采用 GPT-4o 作为中性评分员对模型输出进行匿名评分，再由独立的石窟造像专家小组进行校准，通过独立样本双尾 t 检验开展统计分析，并结合定性分析考察模型的推理逻辑与术语使用情况。

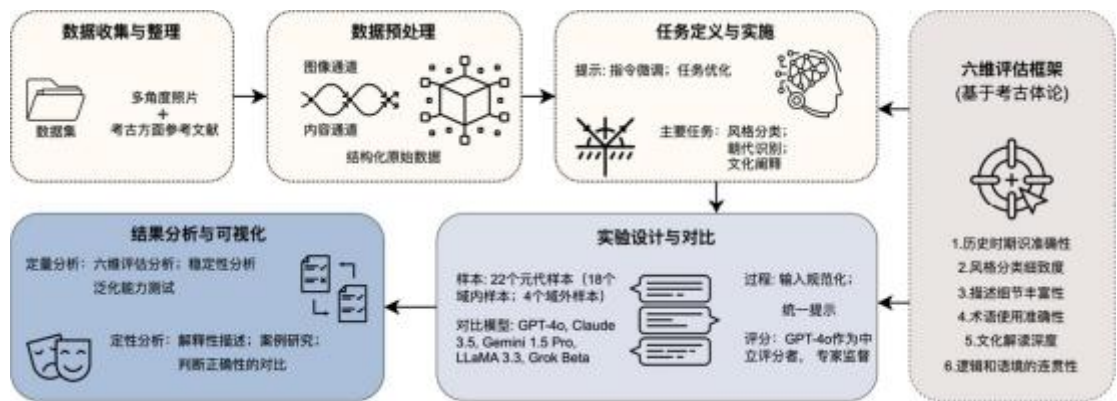


图 7ChronoStyleNet 的完整实验框架

大量的实验表明，ChronoStyleNet 在多项专业评估中展现出卓越性能，尤其在断代准确性和风格分类等核心任务上显著超越现有通用多模态大模型，验证了其在文化遗产专业领域的实用性与技术领先性，为后续推广应用奠定了坚实基础。

第三部分：CNS 的优势与应用

CSN 的核心优势体现于其领域自适应能力，能够在数据匮乏的条件下实现高精度解读，突破传统方法与通用 AI 模型的局限。从定量分析结果来看，在以 22 件元代样本开展的六维评估中，CSN 在五个维度的得分位居首位：历史时期识别准确率达到 3.95 分，能够精准提取元代金刚乘元素以及地域面部造型特征，有效规避通用模型因训练语料中唐代材料占主导地位而导致的朝代误判问题；语言连贯性得分为 4.18 分，输出内容逻辑清晰；术语准确性为 3.14 分、文化解读为 2.77 分，能够规范运用考古术语，并深入阐释元代汉藏艺术融合的交互作用；仅视觉细节描述得分为 2.50 分，略低于 Claude3.5 (3.00 分) 与 GPT-4o (2.73 分)，这是由于 CSN 聚焦于考古推理的关键特征，而非通用模型所关注的场景渲染冗余信息。CSN 在整体性能上显著优于现有的多模态大型语言模型，平均提升幅度约为 45%-50%。其中，在视觉理解与多模态推理等关键维度上表现尤为突出，性能提升超过 50%。相较之下，语言理解与创意生成方面的提升幅度相对较小，但依然显著领先于主流模型，展现出更为均衡且卓越的综合能力。

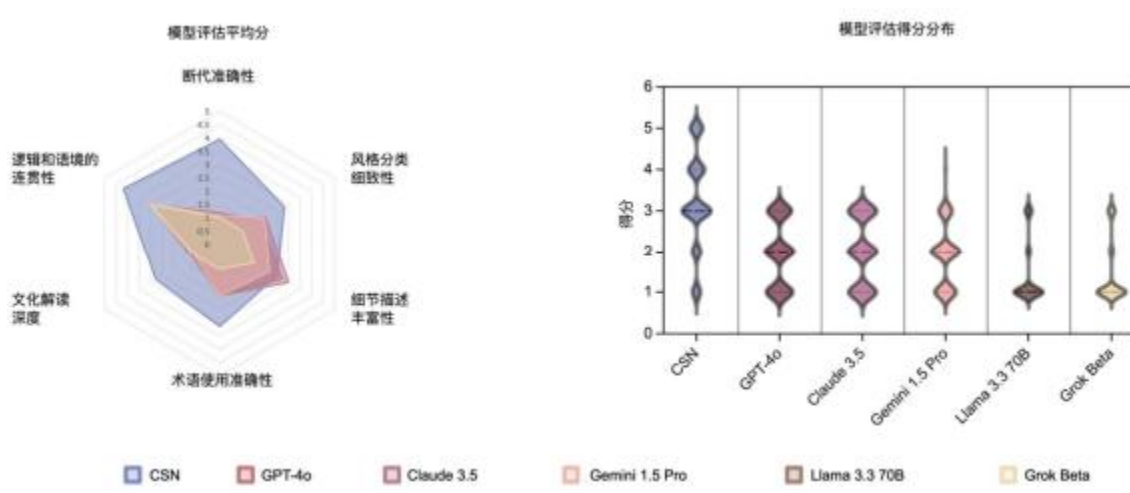


图 8 CSN 与五款基线多模态大型语言模型的评估维度对比

在应用层面，CSN 可辅助开展大规模造像图像处理、风格识别以及学术描述生成工作，降低非专业用户的使用门槛，具有教育应用价值。同时，它能为全球濒危古迹构建可复制的方法模板与基准数据集，突显了 AI 在弥合专业知识差距、重塑脆弱文化遗产保护实践方面的价值。相较于通用多模态大语言模型（MLLM），CSN 在捕捉领域内样本特征方面更具优势。通用模型存在同质化现象（如 GPT-4o 各维度得分稳定但缺乏差异），难以识别域外样本的细微区域差异。而 CSN 在域内样本上的表现显著优于域外样本，在领域内的专业准确性方面优势明显。

相较传统人工编年与风格判读流程，本方案在相同任务口径下实证显示人均分析时长显著下降、批处理吞吐水平明显提升、单件成本趋于降低；在平面/高程 RMSE 与量测误差明确约束下，最小可判读尺度达到业务阈值，风格细节判读稳定可靠；在域外与跨遗址样本上，准确率提升与误判率下降的趋势明确，体现出较好的泛化能力；并已沉淀为可复用的数据管线与教学案例库，服务课程教学与展

陈传播。

第四部分：应用案例（元代佛教造像的年代与风格大模型）

CSN 作为元代佛教造像的年代与风格大模型，已在杭州飞来峰及周边遗址的元代佛教造像研究中实现落地应用。该案例聚焦于中国元代佛教造像保存最完整、分布最集中的飞来峰区域，其造像艺术呈现显著的汉藏融合风格特征，对年代认定与风格分类提出了较高专业要求。在实际应用中，CSN 处理了来自飞来峰的 18 件域内样本及宝城寺遗址的 4 件域外样本。

针对域内样本，在年代认定上，CSN 能精准提取元代造像的金刚乘元素、地域面部造型等关键时间特征，历史时期识别准确率达 3.95 分，有效避免 GPT-4o、Claude3.5 等通用模型因训练语料中唐代材料占比高而将元代样本误判为唐代的问题，显著提升了元代造像编年研究的准确性；在风格分类上，CSN 可区分元代汉藏风格与其他时期、区域风格，清晰解读汉族艺术元素与藏传佛教艺术技法的融合逻辑，文化解读维度得 2.77 分，能关联“袒右式袈裟”等特征与藏传佛教的影响，规范使用“游戏坐”等考古术语，术语准确性 3.14 分，体现出深厚的领域知识理解。

针对未在训练集中出现的域外样本，如宝城寺遗址的大黑天造像，CSN 仍能识别出与飞来峰造像一致的风格元素，如火焰纹背光、骨饰细节及踏地姿态等，为研究元代江南地区密教意象的视觉统一性提供了有力支持。这一应用案例有效缓解了传统人工分析效率低、专家资源稀缺的瓶颈，为文化遗产的数字化保存与跨区域风格比较

研究提供了创新方法工具。

第五部分：社会认可与荣誉

本项目在“石窟文物数字化保护与 AI 技术融合”领域的创新成果，受到了光明日报、中国网、中国教育在线、央视新闻、杭州新闻、橙柿互动等众多权威媒体的高度关注和广泛报道。这些报道不仅提升了项目的社会关注度和影响力，还充分彰显并认可了项目的实践价值和社会公共意义。通过报道，更多人得以了解项目的创新成果，为其推广应用奠定了坚实基础，同时也提升了项目团队的社会声誉和影响力，为团队进一步的研究探索提供了有力的动力支持。总而言之，权威媒体的报道有效展示了项目的创新价值，推动了项目的进一步发展，显著提升了其社会影响力。



图 9 光明日报、中国网、中国教育在线、央视新闻、杭州新闻、橙柿互动等众多媒体广泛报道

团队的核心成果《文化遗产：可持续评价和活化利用》是一项重要的研究成果，它得到了国家社科基金后期资助项目 22FKGB004 的支持。该研究成果在 2024 年获得了重要的奖项认可：

第十四届钱学森城市学（文化遗产）金奖提名；

第九届两宋论坛征文评选铜奖。

这充分证明了团队在文化遗产可持续评价和活化利用领域的研究成果的学术价值和实践意义。该研究成果不仅为文化遗产保护提供了理论指导和实践路径，也为文化遗产的活化利用提供了新的思路和方法。这一成果的获得，不仅是对团队过去努力的肯定，更是对团队未来研究方向的鼓励和激励，进一步强化 CSN 模型的权威性与推广基础。

（五）基于分布式光纤传感的古城墙智能监测保护

申报单位：光保科技（深圳）有限责任公司

案例详情：

曲文¹，马骏德¹，钟志东¹，周军²，宋秋衡²，谭伟²

（1 深圳市大鹏新区博物馆，2 光保科技（深圳）有限责任公司）

一、光纤传感技术

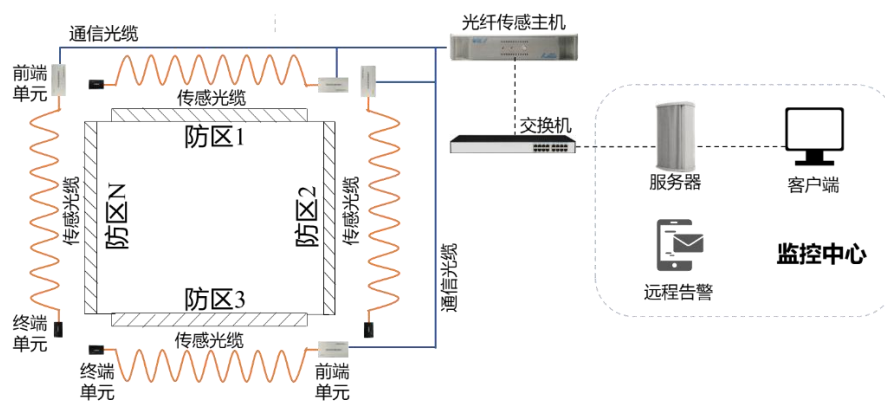
光纤传感是以光纤作为传感元件和信号传输媒介，把外界被测量（振动、温度、应变、压力等）转换成光波特征量（强度、相位、散射、偏振等）的变化，再进行解调获得测量值的新一代传感技术。优点是可作为分布式传感器进行长距离或大范围的监测；而且光纤既是传感介质，又是测量信号的传输介质，监测区域无需供电，工程方案简化且安全。

本方案采用分布式光纤多参量传感技术，在深圳大鹏所城南门和东门的古城墙关键部位布设传感光缆，通过分布式应力和振动传感对古城墙进行监测。当光纤受到拉伸、振动或挤压时，光信号的传输模

式和相位将发生改变，光纤传感主机接收光信号并对其相位进行处理，分析计算得到光缆形变和振动情况。当传感光缆与被测物体紧耦合时，就得到被测物体的形变长度。通过分布式光纤多参量传感实现两个核心功能：一是监测古城墙的低频变化，如裂缝等形变；二是监测古城墙的高频振动，如局部垮塌。

二、分布式光纤多参量监测系统

对古城墙的监测是将城墙划分为多个监测区，每个监测区布设一根传感光缆，每个监测区作为一个整体来测量。系统拓扑结构如下图，整个系统主要包括传感光缆、通信光缆、光纤传感主机和监控中心，以及光处理前端单元和终端单元。一个光纤传感主机支持多个监测区。

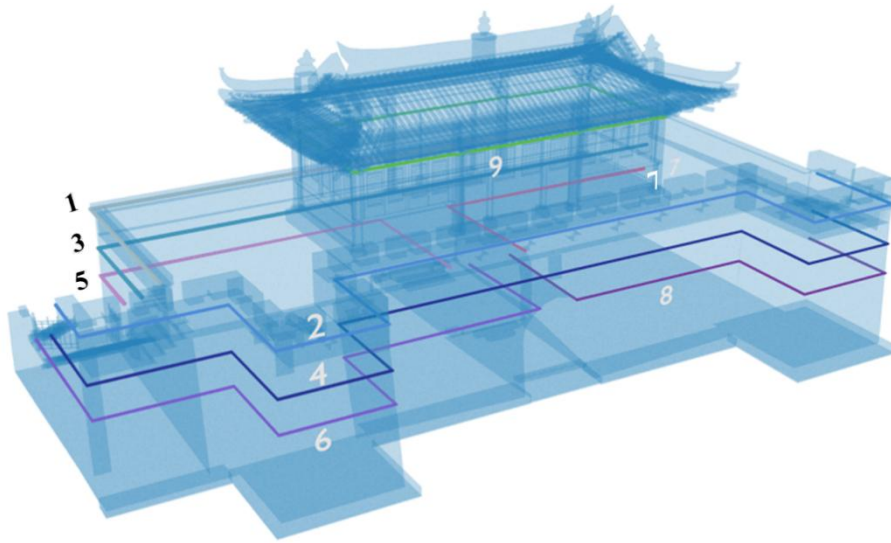


系统拓扑图

传感光缆将监测光信号送入光处理前端单元进行预处理，再经通信光缆送到光纤传感主机做干涉处理，分析出形变和振动数据。通信光缆具备拉远能力，使光纤传感主机远离监测区部署。形变和振动数据经传输设备（如交换机或无线路由器）发送到服务器，服务器上安装有系统平台。服务器可接收多个光纤传感主机的形变和振动数据，存入数据库，并做分析处理。如果形变或振动超过设定条件时，将产

生告警。服务器可私有化部署，或部署到云端。系统采用 BS 架构，客户端通过浏览器访问系统平台。系统平台主要提供用户管理、系统管理、配置管理、数据管理和告警管理等功能。

国内明代城墙一般是内部用土夯筑、外部用砖包砌而成，它的一些建筑部分，如城楼、角楼等是用木材建造。裂缝是常见的对古城墙结构影响较大的病害和威胁。主要成因是城墙地基下沉，顶部城砖开裂，墙体出现裂缝，雨水下渗破坏墙体。因此古城墙裂缝主要集中在城墙的顶部和外侧，且以纵向为主，从几十厘米到几米，甚至从城墙顶一直到墙底。根据相关数据，以西安古城墙为例，城墙上的大裂缝达到 65 条，主要分布在城墙的顶部和外侧。另外，古城墙是不可移动的文物，而非普通建筑，需尽量减少安装监测设备对结构和景观的影响。因此监测区设计的总体原则是：有效覆盖，内外结合，兼顾景观。具体而言，在城墙和城楼上设计了四层，共 9 个监测区。如下图所示，最上层为监测区 9，沿大梁环绕城楼一周；第二层分前后两区域，分别为监测区 1 和 2；第三层亦分前后两区域，分别为监测区 3 和 4；最下层按左右、前后分四个区域，分别为监测区 5、6、7 和 8。



监测区分布图

三、主要功能和实施效果

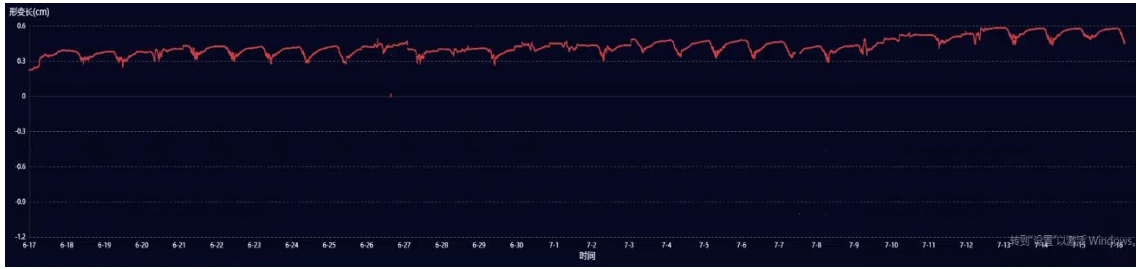
1. 低频形变实时监测

下图为某个监测区的实时形变监测数据（最近十多分钟）和一天的历史数据。



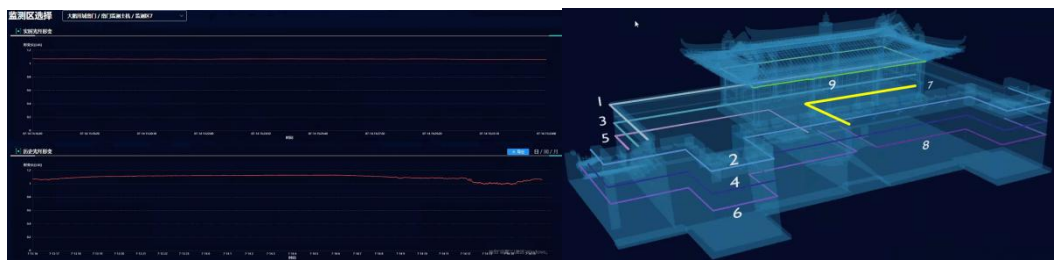
2. 形变趋势监测

下图为某个监测区近一个月的形变趋势监测数据。



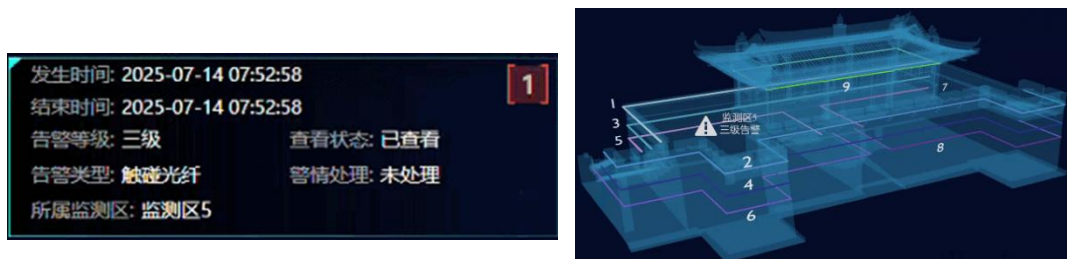
3.形变超阈值告警

下图为某个监测区形变超过阈值时的告警图，黄色表示告警的监测区。



4.高频振动监测及预警

当光缆被拉动或触碰时，达到一定强度会产生告警，并可根据需要回放告警时的声音。下图为某个监测区振动超过阈值时的告警图。



四、系统优势

分布式光纤多参量监测系统在古城墙的应用具有以下优势：

1. 线面监测，监测区域大；
2. 以光测量，精度高（毫米级），功耗低；

3. 连续实时全天候监测；
4. 监测区无需供电，安装维护简便；
5. 低频形变和高频振动监测相结合。

五、总结

本方案是分布式光纤传感新技术在智能化文博领域的创新应用。通过光纤多参量监测系统对古城墙形变和振动的实时在线监测，实现了监测的自动化、数字化和智能化，帮助文物保护单位提升效率，为智慧文博夯实基础。

下一步将在两个方面进行拓展：

一是继续优化分布式光纤多参量监测系统，并融入其它点式传感器，实现点、线、面监测相结合；

二是将其它光纤传感技术应用于文物保护和测绘领域，如大型文保区域的监测保护和定位、分布式温度监测和定位。

（六）龙山至二里岗文化时期河东盐池分布范围研究

申报单位：

案例详情：

一、案例基础信息

案例周期：2021 年 4 月至 2022 年 5 月

二、案例背景与需求

河东盐池位于晋南运城盆地南部边缘，南依中条山，西望关中盆地，东邻河洛地区，所盛产的食盐是支撑中华文明形成与发展的重要

战略资源，故其向来受到学术界重点关注。河东盐池最早产盐之年代已难稽考。从新见霸伯簋的铭文来看，至迟在西周中期，王朝已经设立专门的盐官管理河东盐池，并且派出井叔这样的王室重臣往返盐池视事。河东盐池在当时的重要地位可见一斑。春秋早期的晋姜鼎、戎生编钟的铭文说明，当时的河东池盐被运往南方，用于换取铜料，可见当时的池盐产量十分巨大。

目前还未看到出土文献对周代以前河东盐池产盐的直接记载，但这并不说明周代以前河东盐池就不产盐。因为在西周时期，河东盐池的产量已经很大，生产管理也较成熟。这种情况必然是因为西周之前的人们已经对河东盐池进行过充分的经营。事实上，学术界大都相信河东盐池产盐的时间可以追溯到史前时期。2007年，山西省考古研究所中条山南侧的芮城凉寺墓地及附近的寺里一坡头遗址开展考古工作，根据发掘所获遗存，推测至迟在龙山时代，河东盐池的盐已经得到了充分利用。

河东盐池生产食盐的方式与其他地区有所不同。如海岱、峡江等地多是使用尖底器煮盐，可以留下丰富的产盐遗存。而河东盐池采用的是辟地为畦，将卤水引入其中，再以日光晒干卤水出盐的生产方式，故基本不见（或难以辨识）与产盐相关之遗存。近年来，中国国家博物馆、吉林大学等单位先后在靠近盐池的夏县辕村、师村遗址开展发掘工作，并未发现明确与产盐相关的物质遗存。可见通过考古工作寻找早期河东盐池产盐遗存十分困难。这限制了对河东盐池的深入研究。如此背景下，考虑是否可以通过对既有临近盐池的早期遗址进行研究，

借助考古地理信息系统等科技手段，从中发现一些可能与盐池有关的线索。利用这些信息，进一步向盐池探寻，搞清早期盐池的大体范围，或许可以对今后与河东盐池有关的考古工作有所裨益。为运城盐池文化遗产保护提供“源头性”支撑，填补遗产认知区域的空白，让文化遗产保护工作“有据可依”，更能激活遗产的当代价值，让保护工作“有魂可传”。

三、 案例内容

1. 研究范围

研究范围为中条山以北、孤峰山稷王山以南、黄河以东范围内的运城盆地，其属于华北古地台，在秦岭纬向构造的北缘，主要呈东北—西南走向。运城盆地是涑水河及黄河冲积而形成的高阶盆地，所处范围为东经 $110^{\circ}21'11''$ — $111^{\circ}33'47''$ ，北纬 $34^{\circ}44'17''$ — $35^{\circ}31'48''$ ，东西长约 117 千米，南北宽约 45 千米，海拔 500—700 米。盐池处于运城盆地的东南角，南依中条山，东西长南北狭。地质资料表明，早更新世早期，中条山的山前断层强烈活动将上新世形成的台地连同中条山一起抬高，运城盆地下陷形成河湖，这是地质上的“运城古湖”时期，后在几次大的地质变迁当中，中条山系主体不断隆起，运城盆地内湖泊面积迅速缩小，堆积了巨厚的河湖相地层，且含盐度日益增加。全新世时期，“运城古湖”的面积进一步缩小，湖泊周边区域长期水流内泄，逐渐成为盐池的主体。

2. 研究数据

主要数据来自于《运城盆地东部聚落考古调查与研究》《中国文

物地图集（山西卷）》。研究涉及区域内的遗址点数量较为丰富，其中龙山文化时期为 38 个，二里头文化时期为 20 个，二里岗文化时期为 27 个。数字高程模型（DEM）数据采用 ASTER GDEM 数据，分辨率精度为 30 米，投影坐标系采用 WGS_1984_UTM_Zone_48N。

古代遗址的选址与自然环境密切相关，时代越早，受自然环境影响越大。分析盐池周边古代遗址的地理信息，可以推知当时盐池的大体范围（详后）。选取哪个时期作为研究的切入点，是需要提及之问题。龙山时代，晋南地区被认为是广义中原政治中心之所在，区域内已经发现襄汾陶寺、绛县周家庄这样的大型中心聚落。这一时期，盐池周边已经存在较多遗址，其中不乏永济晓朝这样的较大型聚落，已经具备通过遗址点考察盐池范围的材料基础。盐池周边二里头、二里岗文化时期的聚落数量也较多，同样具备研究盐池范围的材料基础。另需提及的是，殷墟一期以后，商文化分布范围向东退缩，退出了晋南盆地的核心区。即使到了西周时期，晋南地区的古代遗址数量也远不及龙山至二里岗文化时期。因此，选择龙山至二里岗文化时期作为此次研究的重点，其他时期的资料仅在必要时予以提及。

3.研究方法

为了确定盐池的大体范围，主要考虑以下三个因素：

（1）盐池的水平面应低于遗址点的海拔高度，以防遗址点被淹没。

（2）盐池的水平面高度应低于历史时期淡水水系的高度，以防“客水（淡水）”与“主水（盐水）”相交汇，影响成盐效率和质量。

(3) 遗址点到盐池的距离与水道交通及生活用水的距离都不应太远, 以免增加运盐和生活成本。

在以上三个因素当中, 盐池水平面海拔距离最低遗址点高度差的确定是盐池范围最主要的参考指标。依据国内对洪水淹没冲毁痕迹的考古调查结果发现, 长江流域吴江梅埭遗址在良渚文化层之上堆积厚达河流淤土层厚达 0.4—0.9 米, 环境学者认为我国东部公元前 2000 年左右发生的空前大洪水造成了良渚文化层上 0.5 米左右黑色淤泥堆积, 这给先民们几乎带来了灭顶之灾。因此盐池的水平面高度离遗址点最低海拔的高度不应低于 0.5 米。在此基础上使用 ArcGIS 软件模拟盐池范围, 计算遗址点距离盐池的最短时间距离与路程距离进行验证。

4. 结果分析

(1) 龙山时期盐池范围分析

研究范围内龙山时期的遗址点共 38 个, 面积大小范围概为 700—1800000 平方米, 海拔分布为 337.67—570.51 米, 平均海拔高度约为 417.56 米。经过计算龙山时期盐池面积约为 292.4 平方千米。

通过成本距离分析与近邻分析计算可知, 38 个遗址点中距离盐池水平距离较近的有 11 个(图 1 中 18、19、21—26、28—30), 水平距离范围大致为 2687—8397 米, 平均距离约为 5693 米。在 11 个遗址点当中又有距离最近的 3 个点分别为 26、28、30, 都为运城的遗址点, 分别为运城汤里遗址、运城一家山遗址和运城磨河遗址, 高程值分别为 354 米、361 米与 475 米。其余 27 个遗址点距离淡

水水系的水平距离更近。离盐池距离较近的遗址点到龙山时期盐池的时间距离成本约为 0.48—1.72 小时，平均时间为 1.04 小时左右，即距离龙山时期盐池较近的遗址点到盐池边采盐的路程时间大概在 62.4 分钟左右。

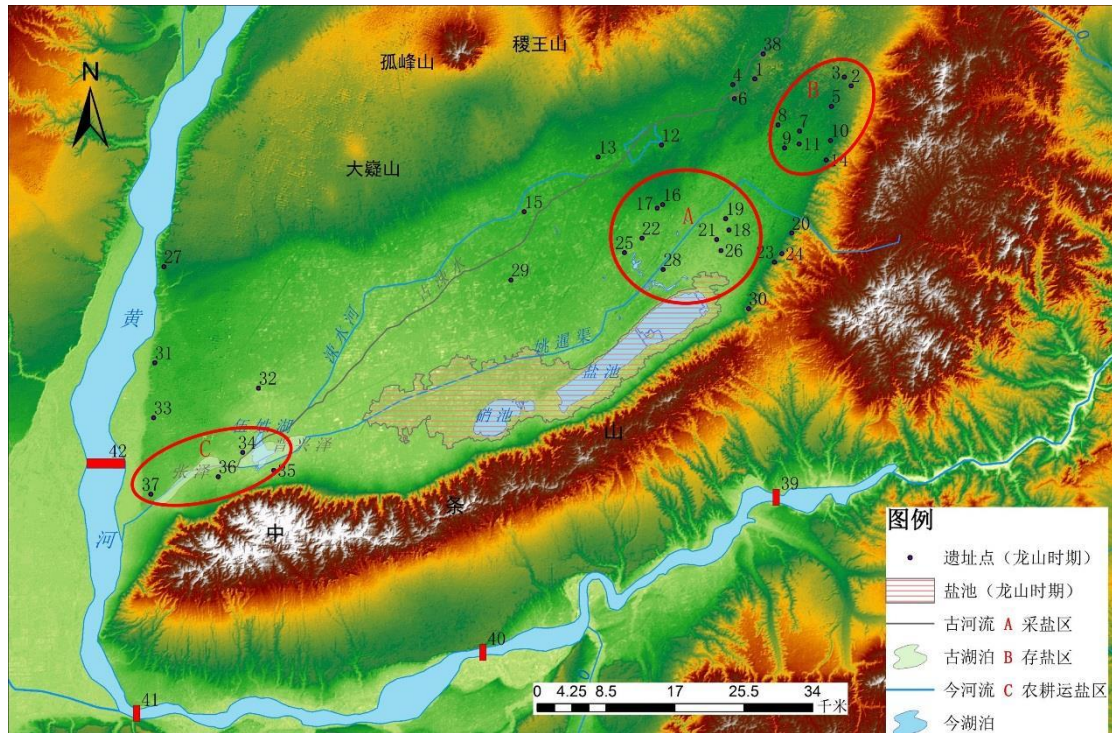


图 1 龙山时期盐池范围分布

遗址：1.夏县西晋东遗址 2.夏县东下冯遗址 3.夏县埕掌遗址 4.夏县仪门遗址 5.夏县郭牛遗址 6.夏县水南遗址 7.夏县东阴遗址 8.夏县阴庄遗址 9.夏县白张遗址 10.夏县大洋遗址 11.夏县尉郭遗址 12.运城王范遗址 13.运城中阳遗址 14.夏县陈村遗址 15.临猗东三里遗址 16.运城东纽遗址 17.运城西纽遗址 18.夏县南卫遗址 19.夏县裴介遗址 20.夏县上渰底遗址 21.夏县轅村遗址 22.运城下王遗址 23.夏县南吴遗址 24.夏县史家遗址 25.运城吕儒遗址 26.运城汤里遗址 27.临猗浪店遗址 28.运城一家山遗址 29.临猗黄仪遗址 30.运城磨河遗址 31.永济诸冯遗址 32.永济东信昌遗址 33.永济南苏遗址 34.永济晓朝遗址 35.永济马铺头遗址 36.永济小张遗址 37.永济仁和堡遗址 38.夏县沙流遗址黄河渡口：39.茅津渡 40.大禹渡 41.风陵渡 42.蒲津渡

(2) 二里头文化时期盐池范围分析

研究范围内二里头文化时期的遗址点为 20 个，面积大小范围概为 7200—1800000 平方米，海拔分布为 327.93—543.53 米，平均海拔高度约为 420.46 米。推测二里头时期的盐池水平面高度大致为 327 米，经计算其面积约为 143.76 平方千米，如图 2 所示。

通过成本距离分析与近邻分析计算可知，20 个遗址点中距离盐池水平距离较近的只有 5 个（图 2 中 11—15），水平距离范围大致为 6240—8789 米，平均距离约为 7951 米。这些遗址点中有 4 个为夏县遗址点（夏县南卫遗址、夏县裴介遗址、夏县辕村遗址、夏县史家遗址），1 个为运城遗址点（运城吕儒遗址）。这几个遗址到二里头文化时期盐池的时间距离约为 1.14—1.74 小时，平均时间为 1.44 小时左右，即二里头文化时期的采盐的路程时间大概在 86.4 分钟左右。

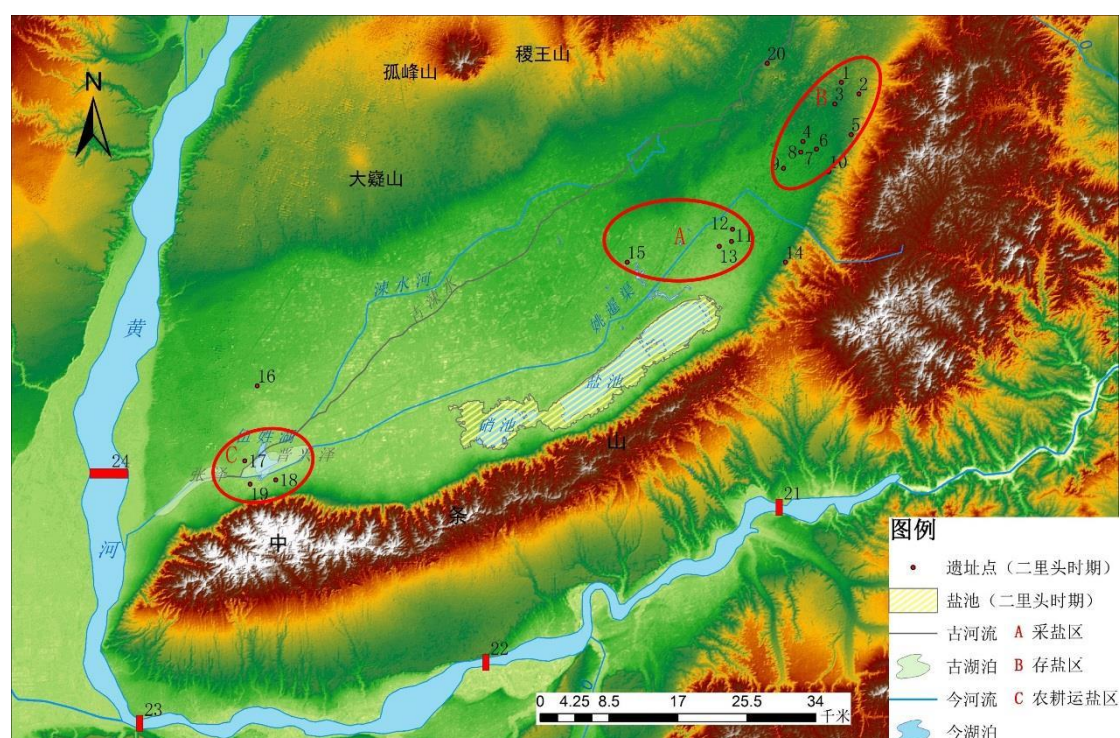


图 2 二里头文化时期盐池范围分布

遗址：1.夏县埕掌遗址 2.夏县埕掌-东下冯遗址 3.夏县崔家河遗址 4.夏县东阴遗址 5.夏县小王遗址 6.夏县苏庄遗址 7.夏县尉郭遗址 8.夏县尉郭遗址 9.夏县大台遗址 10.夏县陈村遗址 11.夏县南卫遗址 12.夏县裴介遗址 13.夏县轅村遗址 14.夏县史家遗址 15.运城吕儒遗址 16.永济西下遗址 17.永济晓朝遗址 18.永济马铺头 19.永济孙李南遗址 20.夏县沙流遗址黄河渡口：21.茅津渡 22.大禹渡 23.风陵渡 24.蒲津渡

(3) 二里岗文化时期盐池范围分析

研究范围内二里岗文化时期的遗址点为 27 个，面积大小范围概为 5000—500000 平方米，海拔分布为 330.59—634.50 米，平均海拔高度为 409.72 米。推测二里岗时期的盐池水平面高度大致为 330 米，比二里头文化时期有所回升，经计算其面积约为 157.16 平方千米，如图 3 所示。

通过成本距离分析与近邻分析计算可知，27 个遗址点中距离盐池水平距离较近的只有 8 个（图 3 中 16—21、23、27），水平距离范围大致为 2282—8750 米，平均距离约为 6222 米。其中距离盐池最近的为运城东郭遗址 2282 米，高程值最低的为永济清华遗址 330 米。

这些遗址点到二里岗时期盐池的时间距离约为 0.40—1.60 小时，平均时间为 1.12 小时左右，即二里头文化时期的采盐的路程时间大概在 67.2 分钟左右。

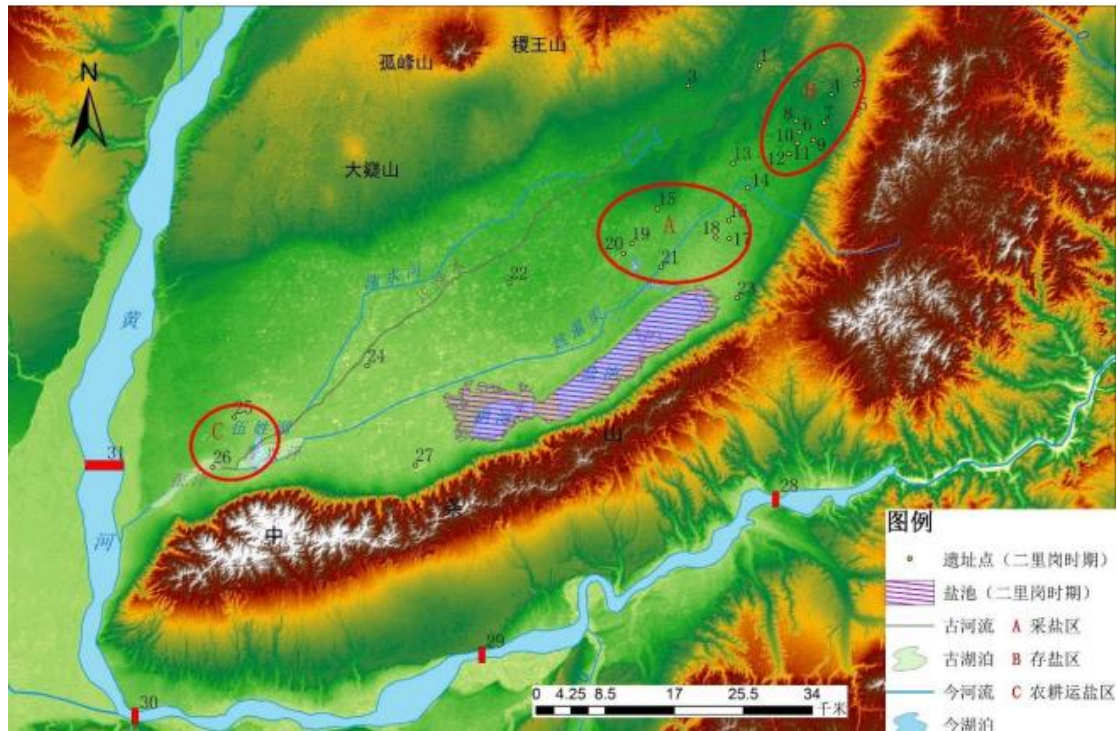


图 3 二里岗文化时期盐池范围分布遗址

1.夏县大里遗址 2.夏县捻掌-东下冯遗址 3.夏县月牙堡遗址 4.夏县崔家河遗址 5.夏县北晋遗址 6.夏县东阴遗址 7.夏县上董遗址 8.夏县西阴村遗址 9.夏县苏庄遗址 10.夏县尉郭 I 号遗址 11.夏县尉郭 II 号遗址 12.夏县中卫遗址 13.夏县中秦遗址 14.夏县高家捻遗址 15.运城西纽遗址 16.夏县裴介遗址 17.夏县师村遗址 18.夏县辕村遗址 19.运城壕头遗址 20.运城吕儒遗址 21.运城安邑遗址 22.临猗黄仪南遗址 23.运城东郭遗址 24.永济高淮遗址 25.永济下高市遗址 26.永济东麻社遗址 27.永济清华遗址 黄河渡口：28.茅津渡 29.大禹渡 30.风陵渡 31.蒲津渡

四、 科研成果与成效

案例分析表明，龙山、二里头、二里岗文化时期盐池的范围分别约为 292.4 平方千米、143.76 平方千米、157.16 平方千米。因为气候变化，二里头、二里岗文化时期的盐池面积较龙山时期有所减小。在中原乃至整个华北地区，盐资源并不十分丰富，运城盆地的盐池范围广阔而成盐量大，早在新石器时代，盐池所产出的食盐就可能远销外地。

在历史进程中盐池的发展变化对先民们的生活及文化的形成起着十分重要的作用，探讨早期盐池分布范围以及周边聚落功能，及其与盐池的关系是研究早期王朝开发、控制、利用盐业资源的重要基础，有着较为积极的学术意义。本案例在已有发掘资料的基础上对龙山、二里头和二里岗三个时期的运城盐池大小进行了空间分析上的预测，可辅助进行运城盐池遗址的规划与保护。本研究成果具有推论性质，有待以后考古新发现的检验。

同时测绘地信技术的引入，为复原运城盐池早期分布范围，丰富遗产展示内容提供了帮助。数据支撑下的“盐池与文明”，可形成创新型文化符号，助力区域文化认同，提升盐池文化遗产的旅游价值，强化当地民众的文化认同，为遗产活态传承提供更广泛的社会支持。于《中原文物》（中文核心，CSSCI，AMI 扩展）发表论文：

姜湾,田伟. 龙山至二里岗文化时期河东盐池分布范围研究 [J]. 中原文物, 2023, (01): 89-95.五、科研佐证材料说明

科研成果由国家社会科学基金一般项目“晋南地区商代聚落考古研究（批准号：21BKG023）”支持。

科研成果由公众号“中国社科院考古所中国考古网”刊出，并得到三千余阅读量，引起了学术界广泛的讨论与分享。提供了由测绘地信技术为文化遗产保护、古环境还原、古人地关系研究等方面提供数据支撑的可能。

科研成果得到搜狐网站的刊出

https://www.sohu.com/a/673306065_121119016

三更听历史
742万
总阅读

0
文章

查看TA的文章>

龙山至二里岗文化时期河东盐池分布范围研究

2023-05-06 17:26 发布于：河北省

摘要：河东盐池是中原地区规模最大的盐产地，堪称支撑中华文明形成与发展的重要战略资源。因缺乏早期文献资料，学术界对河东盐池的早期历史缺乏研究，迄今仍不清楚早期盐池的分布范围。本文从考古资料入手，考察盐池周边龙山至二里岗文化时期古代遗址点的高程信息、盐池与淡水水系，以及遗址点同盐池及淡水水系的水平与时间或本距离分析这三个因素，推测这一时期河东盐池的大致分布范围。

一 选题缘由

河东盐池位于晋南运城盆地南部边缘，南依中条山，西望关中盆地，东邻河洛地区，所盛产的食盐是支撑中华文明形成与发展的重要战略资源，向来受到学术界重点关注 [1]。河东盐池最早产盐之年代已难稽考。从新见霸伯簋的铭文来看，至迟在西周中期，周王朝已经设立专门的盐官管理河东盐池，并且派出共叔这样的王童重臣往返盐池视事 [2]，河东盐池在当时的地位可见一斑。春秋早期的晋姜鼎 [3]、戎生编钟 [4] 的铭文说明，当时的河东池盐被运往南方，用于换取铜料，可见当时的池盐产量十分巨大。

目前还未看到出土文献对周代以前河东盐池产盐的直接记载，但这并不说明周代以前河东盐池就不产盐。因为在西周时期，河东盐池的产量已经很大，生产管理也较成熟。这种情况必然是基于西周之前的人们已经对河东盐池进行过充分的经营。事实上，学术界大都相信河东盐池产盐的时间可以追溯到史前时期 [5]。2007年，山西省考古研究所在中条山南侧的芮城清凉寺墓地及附近的寺里一坡头遗址开展考古工作，根据发掘所获遗存，推测至迟在龙山时代，河东盐池的盐已经得到了充分利用 [6]。

河东盐池生产食盐的方式与其他地区有所不同。如海岱、峡江等地多是使用尖底器煮盐，可以留下丰富的产盐遗存。而河东盐池采用的是辟地为畦，将卤水引入其中，再以日光晒干卤水出盐的生产方式，故基本不见（或难以辨识）与产盐相关之遗存。近年来，中国国家博物

点赞

评论

1

分享

扫码打开手机搜题网
无图下载APP

（七）多模态叙事整合技术下的“丝绸之路”甘肃段石窟寺景观价值解构与重构

申报人：陈月莹

案例详情：

本案例创新性地将空间叙事理论融入地理信息系统、空间句法、大语言模型、数字建构等数智化技术，提出多模态叙事整合技术，应用于“丝绸之路”甘肃段的石窟寺景观研究中。从“自然景观-文化景观-精神景观”等维度对石窟寺景观价值进行解构，从“本体价值-使用价值-精神价值”对石窟寺景观价值进行建构与评价，从“物象诠释-虚实整合-公众参与”对石窟寺景观价值进行重构展示。从而构成石窟寺景观

价值“解构-建构-评价-重构”的一体化发展体系。

研究成果打破了传统发展中，石窟寺景观在时空、主客观、虚实维度的二元对立，解决石窟寺景观在解构、建构过程中存在的历时性景观价值未能得到有效挖掘、现时性景观零散分布、历时性与现时性景观耦合难以引发精神共鸣等问题。从而为有效保护石窟寺营建后形成的独特精神氛围，实现石窟寺遗产景观的活态传承与全面认知、保护奠定坚实基础。

一、研究背景

2024年11月颁布的《石窟寺开放管理导则（试行）》规定：“石窟寺开放应当坚持保护第一、加强管理、挖掘价值、有效利用、让文物活起来的工作要求”。目前，有关石窟寺价值研究成果逐渐增多，但聚焦景观价值的较少。而当前数智技术的飞速发展，也为景观价值研究带来新机遇。

“丝绸之路”甘肃段是我国古代东中部腹地通往西北地区乃至西方各国的天然走廊和必经要道，是整个丝绸之路所经的黄金路段、枢纽地带、文化走廊，具有重大的历史地位。这一区段保留下了丰富且独特的地域文化遗产，其得天独厚的地理位置和悠久历史，使得文化遗产具有强烈的过渡色彩，显得内容丰富而意蕴深厚。在丝绸之路上，佛教建筑发挥着重要作用，佛教建筑中又以石窟寺较为突出。但对于石窟寺来说，它们的地质地貌、造像、壁画、历史源流脉络已逐渐清晰，但将其放于该地区的历史文化脉络中，从地理空间、遗产景观的角度对包括物质、非物质文化在内的整体脉络、景观价值阐释、表征

和不同主体对其价值感知却鲜少涉及。且沿线文化遗产因气候变化、过度旅游等自然人为原因，躲不开时间的追逐，遗产地可持续性保护面临巨大压力，如何从时间之手留住千年绚烂，与时间赛跑，刻不容缓。

石窟寺景观是基于佛教信仰这一特殊需求，为维护宗教、政治权利，保留了典型的符号而逐步形成。具有文化空间的表现形式，承载着聚落的内涵、社会结构以及人的行为模式。石窟寺景观产生于特定的地理时空与经济文化背景中，独立于日常生活，又逐渐融于日常。通过启示、象征、神灵显现，让信徒感知到不同于日常生产生活空间的地点，也因人、神、佛的交融并居，而加入了不同层次的神圣化与世俗化。石窟寺遗产的景观价值即在某一特定条件下，主体在对这一空间体验的过程中，形成的对其有用性的感知。

多模态叙事整合技术的应用，以虚、实结合的方式，将石窟寺景观价值按照一定的叙事脉络与手法，进行有序、科学、完整、直观地解构、建构、评价、重构。既满足最小限度破坏遗产的物质空间，最大限度增添活力，又通过虚实空间的结合，跨越时空界限，引发情感共鸣。

基于以上背景，本案例以“石窟寺景观价值全面认知与活态传承”为目的，通过多模态叙事整合技术，构建一套有关于石窟寺景观较为完整的研究体系，为“丝绸之路”甘肃地区的石窟寺遗产保护，乃至其他宗教类型遗产的保护与发展提供可借鉴、可推广的思路。

二、研究数据

本案例核心数据是“丝绸之路”甘肃段的石窟寺遗产及摩崖造像。据第三次文物普查结果统计，“丝绸之路”甘肃段共有石窟寺二百二十九处，摩崖造像七处。分布在除甘南藏族自治州外的十三个市州、五十三个县区内。

除此之外，本案例数据还包括石窟寺景观价值建构的指标。邀请了考古学、建筑系、规划学、地理学、文化遗产学等不同领域专家共12人进行专家打分，确定指标及其权重。再选择“丝绸之路”甘肃段典型石窟寺——莫高窟、炳灵寺、麦积山、北石窟寺，各发放景观价值评价问卷500份，进行石窟寺景观价值的主观感知评价。再在网上收集四处石窟寺的相关景观评论共7421条，进行语义分析，作为客观感知评价的核心数据。

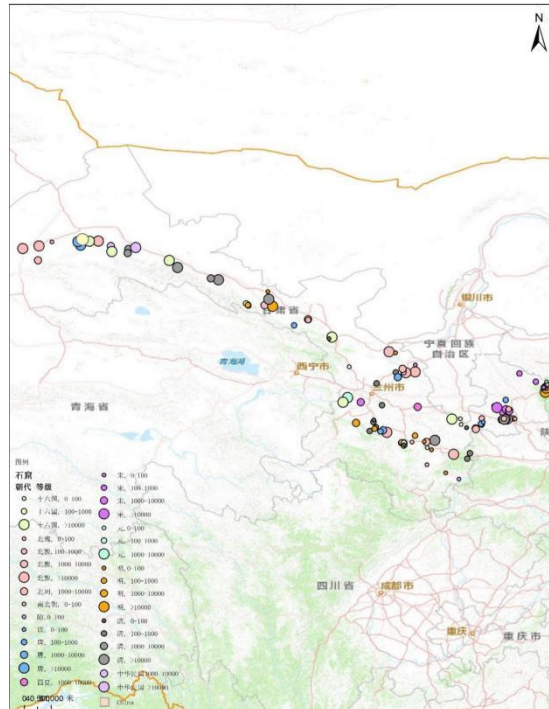


图1 “丝绸之路”甘肃段石窟寺总体分布

三、研究方法

本案例运用多模态叙事整合技术，构建石窟寺景观价值的“解构-建构-评价-重构”的一体化研究框架。其中，石窟寺景观价值利用地理信息系统和空间句法，从“自然景观-文化景观-精神景观”三个维度进行解构。结合文献、历史影像、实地调研，从“本体价值-使用价值-精神价值”三个维度进行价值建构。利用专家打分、问卷与大语言模型，从“主观-客观”两个度对石窟寺景观保护成效进行评价。再利用统计学中的多元回归等方法，将各项评价指标进行有效耦合。利用 AR、VR、BIM、三维扫描等数字建构技术，针对石窟寺所存问题，从“物象诠释-虚实整合-公众参与”等方面，重构、展示石窟寺景观价值。

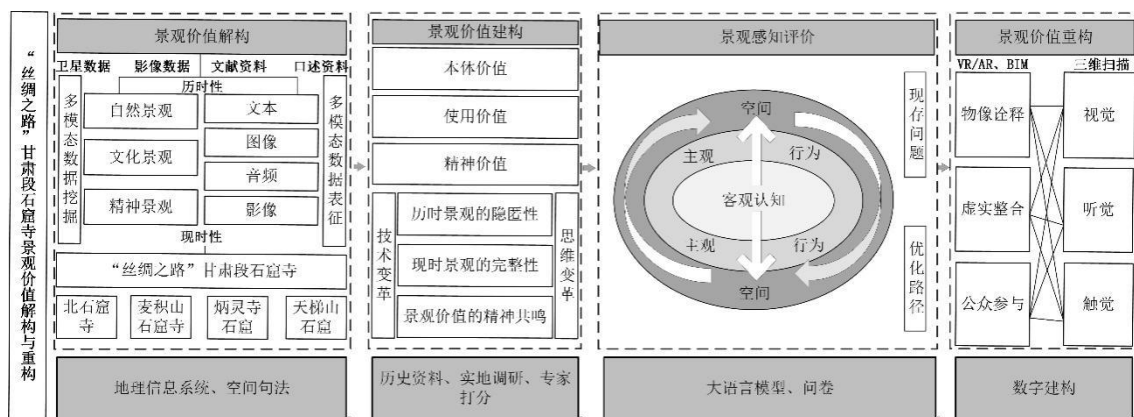


图 2 案例框架

四、研究结果

研究结果显示，石窟寺景观价值中，精神价值最为重要，其次是本体价值和使用价值。在所选的典型案例中，莫高窟的景观价值保护的最好，其次是麦积山石窟和炳灵寺石窟，北石窟寺的景观保护则需要提升。而通过语义分析可知，公众在体验石窟寺时，对其树木、山、泉等自然元素，以及佛像、造型、衣饰、展览等文化元素最感兴趣。对石窟寺普遍感觉较为震撼，以及作为佛教圣地的氛围，但也看到了

洞窟等受损严重。数字化偶有提及，但占比不大。通过综合对比可知，对于“丝绸之路”甘肃段中的石窟寺，目前存在历时性景观价值未能得到有效挖掘、现时性景观零散分布、历时性与现时性景观耦合难以引发精神共鸣等问题。

针对石窟寺景观目前存在的问题，提出利用数字技术映射石窟寺景观、整合石窟寺资源、实现主客体交互等策略，从而实现石窟寺遗产的活态保护。

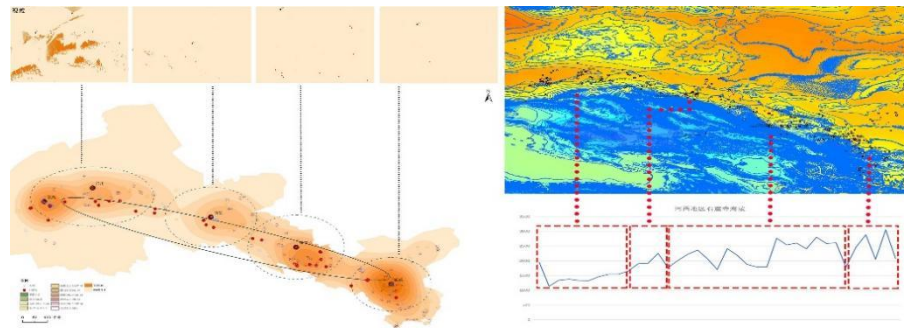


图 3 地理信息系统分析石窟寺景观



图 4 语义分析评价石窟寺景观感知

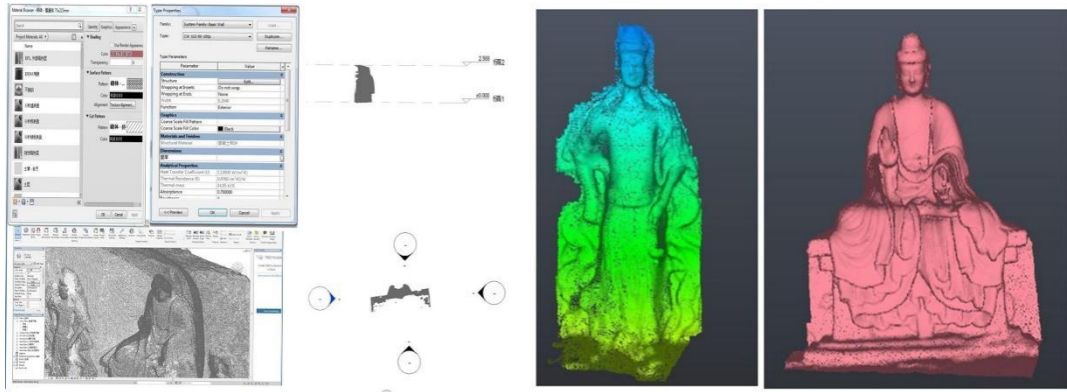


图 5 BIM 技术进行石窟寺景观重构

五、研究创新点

研究视角创新：本案例运用多模态叙事整合技术，通过“虚实、主客观、时空”结合方式，从“自然-文化-精神”三个维度，挖掘石窟寺景观的“本体价值、使用价值、精神价值”。创新性构建石窟寺景观价值的“解构-建构-评价-重构”的一体化发展体系。

研究技术创新：本案例创新性将数智技术与传统研究方法、空间叙事理论相结合，提出多模态叙事整合技术，融入石窟寺景观价值的解构、建构、评价与重构中。实现文字、影像、图片、视觉、听觉、触觉等不同模态信息间的有效耦合。

研究应用创新：本案例创新性地着眼于“丝绸之路”甘肃段的石窟寺，利用多模态叙事整合技术，对其景观价值进行挖掘与展示。为“丝绸之路”甘肃段乃至整个丝绸之路的保护与发展提供支持。同时，为其他类型文化遗产的景观研究与保护提供了可借鉴、可推广的思路。

六、研究应用

目前，该案例主要应用在学术、实践与教学三个方面。

1. 学术

目前出版专著 1 部，发表论文 6 篇，其中 SSCI/CSSCI 论文 5 篇（2 篇被《人大复印报刊资料》索引），主持省部级项目 2 项，中央高校基本科研业务费项目 1 项，参与国家社科基金 2 项：

科研项目：

(1) 2021.08-2023.07 主持“‘丝绸之路’甘肃段石窟寺景观价值阐释及其管理”，甘肃省敦煌文物保护研究中心开放课题(GDW2021YB16, 甘肃省 B 类研究计划)；

(2) 2025.05- 主持“数智技术视野下闽南地区记忆场所活化设计研究”，福建省社会科学基金青年项目（FJ2025C212）

(3) 2025.04- 主持“多模态叙事视角下历史街区活化设计研究”，中央高校基本科研业务费项目（20720251004）

(4) 2016.6-2021.6 参与国家社科基金西部项目“丝绸之路甘肃段石窟寺类文化遗产价值研究”（项目编号：16XKG006）（第一参与者）

(5) 2018.6-2020.6 参与国家社科基金项目“甘肃南石窟寺的三维重建与虚拟展示”(项目编号：18BKG024)（第二参与者）

专著：

魏文斌，陈月莹，杨博皓：《河陇地区石窟寺类文化遗产价值研究》，兰州：兰州大学出版社，2024 年

学术论文：

(1) Chen, Y.; Wu, H. and Wei, W*. 2024. Different Patterns of Religious Settlements Based on the Historic Landscape Approach: Cases

of Buddhist Grottoes in Hexi Corridor. Religions, 15, 1531(A&HCI, Q1).

(2) Chen, Y. * and Wei, W.* 2022. Alterations of Historic Rural Landscape Based on the Multifunctional Approach: The Case of Coastal Fishing Villages in the Yangtze River Basin. Sustainability, 14,7451 (SSCI&SCIE, Q2).

(3) 陈月莹, 陆邵明: 《空间叙事设计理论在中国的移植与实践》, 《文化研究》第 43 辑, 2021 年, 第 207-227 页 (CSSCI, 2022 年被《人大复印报刊资料》索引)。

(4) 陈月莹, 魏文斌: 《利用 BIM 技术对麦积山第 44 窟虚拟复原初探》, 《华夏考古》, 2021 年第 2 期, 第 131-141 页 (CSSCI)

(5) 魏文斌, 陈月莹: 《帛法祖兄弟与 3-4 世纪初的北方佛教》, 《西北民族大学学报(哲学社会科学版)》, 2019 年第 4 期, 第 50-61 页 (CSSCI, 2020 年被《人大复印报刊资料》索引)

(6) 陈月莹, 张铭: 《麦积山第 74、78 窟复原初探》, 《石窟艺术研究》第六辑, 2022 年, 第 3-17 页。

2. 保护实践

将多模态叙事整合技术应用到石窟寺和其他类型的文化遗产保护中。目前主持国家民族博物馆委托课题 1 项, 搭建“丝绸之路石窟寺数字化教学资源及信息管理平台”, 扫描“丝绸之路”甘肃段的 3 个代表性石窟寺及其周围的古遗址、古城址和重点长城段, 进行数字化建档, 部分实现了数字复原(与兰州大学考古与文化遗产研究院、武汉熠腾科技有限公司合作)。

(1) 2024.11- 主持“最是人间烟火气：上海新华路街道的空间变迁与集体记忆”，中国民族博物馆委托项目（第四届青年策展人）



图 6 石窟寺景观数字资源信息平台搭建



图 7 三维激光扫描重构石窟寺景观

3. 教学

将莫高窟 285 窟进行实体复原，搭建在兰州大学秦岭堂，进行现场教学（与兰州大学考古与文化遗产研究院、武汉熠腾科技有限公司合作），得到凤凰网、搜狐、兰州大学历史文化学院、兰州大学考古与文化遗产研究院等媒体报道。而多模态数字技术也应用于学生“Nothing but an illusion”展览的策展中（参与指导），吸引了英国创意艺术大学联合执行校长、副院长、厦门大学创意与创新学院院长等学

者前来参观。

相关报道：

(1) 李江萍,兰州大学历史文化学院. 把莫高窟搬进校园 兰大别有“洞”天.2024年5月18日.

<https://gs.ifeng.com/c/8ZfPYrQbWPr>.

(2) 刘宝丽,李江萍. “兰大秦岭堂” 遇见敦煌.2024年5月28日. https://www.sohu.com/a/782105650_120801.

(3) 兰州大学考古与文化遗产研究院. 敦煌莫高窟第285窟复原窟面向全校师生开放.2024年5月12日.

<https://whyc.lzu.edu.cn/portal/article/index.html?id=266&cid=6> (点击量2620次) .

(4) 兰大历史院. 兰州大学秦岭堂：我们在敦煌莫高窟285窟复原窟中“沉浸式”上课.2024年4月20日.

<https://mp.weixin.qq.com/s/0m50LWVJ5IgkuMCFU1FoCw>.

(5) Tina, Y., Thompson, B., Pan, F. and Chen, Y. (Tutors). “Nothing but an illusion”展览，厦门大学创意与创新美术馆，2025.09.15-2025.09.28.

(6) 厦门大学创意与创新学院. 不过是幻觉 Nothing but an illusion. 2025年9月14日

<https://mp.weixin.qq.com/s/DPI15P1ZA9HVU5-JKjBkdw>.

(7) 厦门大学创意与创新学院. “不过是幻觉”：媒体实验中的构建与解构.2025年9月19日.

<https://mp.weixin.qq.com/s/zf8ezBfE5bGL4b5f8MeZmw>.



图 8 教学实践

（八）藏羌彝走廊空间范围数据集

申报人：张扬

案例详情：

依托主持的教育部人文社会科学研究一般项目（中国非物质文化遗产流布网络构建与保护区划研究）、四川省高等学校人文社会科学重点研究基地青藏高原及其东缘人文地理研究中心年度重点项目（《藏羌彝走廊非物质文化遗产地图集》编研），申请人近年来主要致力于非物质文化遗产数据集研发、非物质文化遗产与文旅产业融合发展研究、非物质文化遗产保护人才培养与科普工作。取得的主要业绩如下：

（一）非物质文化遗产数据集研发

1.藏羌彝走廊空间范围数据集。从藏羌彝走廊概念出发，综合考虑自然地理条件和人文特点，基于非物质文化遗产流布、全国人口普查等多源数据，构建少数民族文化交流指数作为范围识别的关键指标，研发得到基于县级行政区的藏羌彝走廊空间范围数据集。

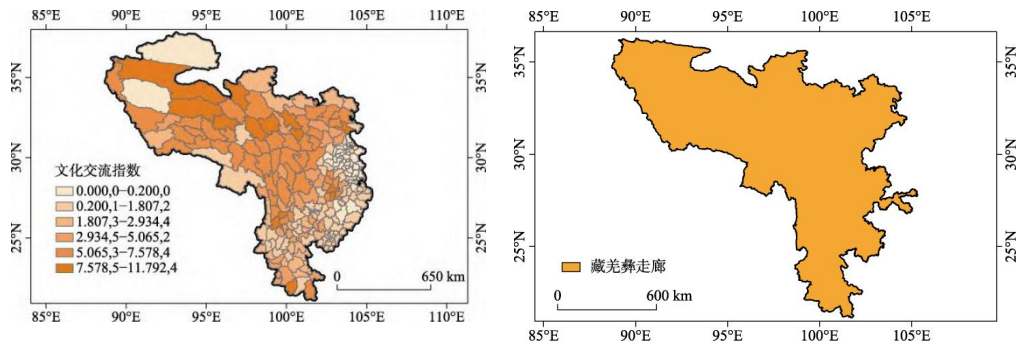


图 1 初选区少数民族文化交流指数 图 2 藏羌彝走廊空间范围识别结果

2. 中国历史文化名城数据集。基于国务院 1982 年、1986 年、1994 年先后公布的第三批国家历史文化名城名单和后续增补的历史文化名城名单（截至 2023 年，全国共有 142 座国家历史文化名城），通过 Google 地图对 142 座城市的空间点位进行采集、编辑和验证，补充历史文化名城的属性信息，得到中国 142 座历史文化名城空间分布数据集。

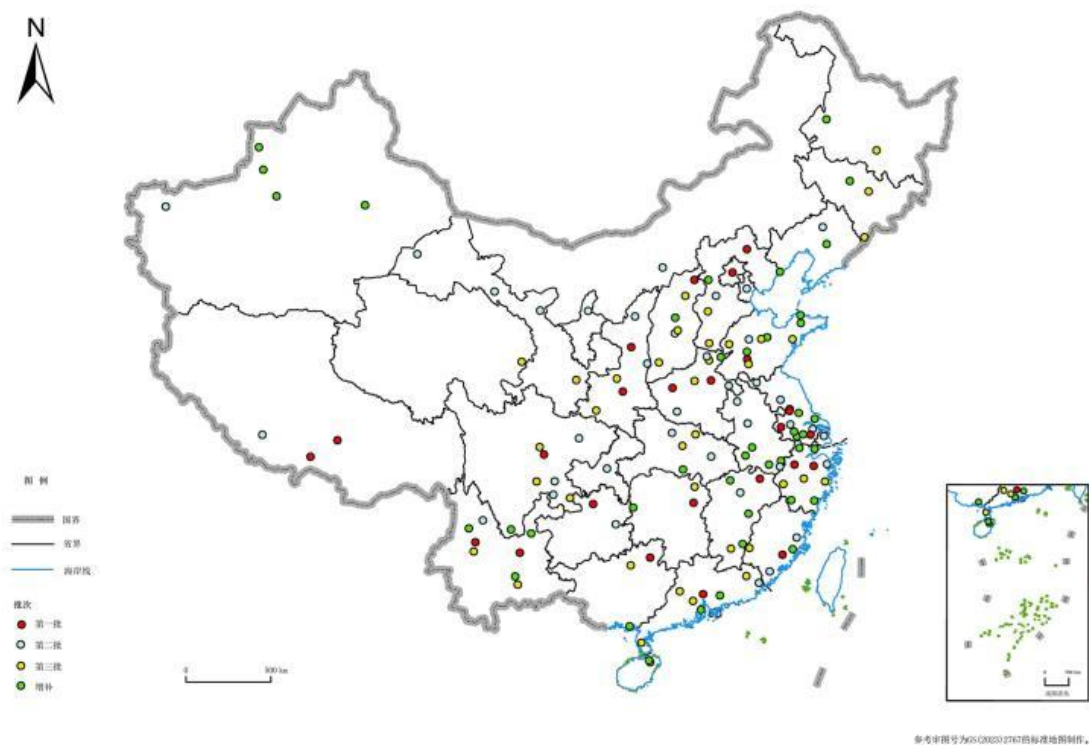


图 3 中国 142 座历史文化名城空间分布

3. 中国省级非物质文化遗产代表性项目与传承人数据集。基于 2005-2024 年间我国各省级行政区文旅部门公布的各批次省级非遗代表性项目与传承人名录（香港、澳门、台湾没有数据），根据申报地区或申报单位所在省、市级行政区研发。该数据集内容包括 20924 个省级非遗代表性项目、22361 个省级非遗代表性传承人空间分布、项目类别、项目名称、公布时间、批次、省级行政区、市级行政区等。

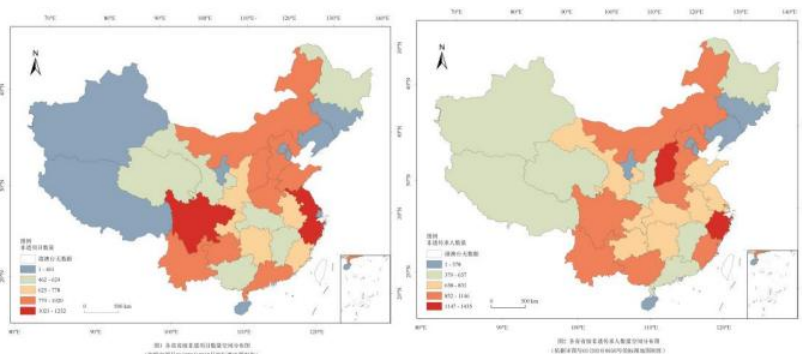


图 4 省级非遗项目空间分布 图 5 省级非遗传承人空间分布

4.文化生态保护区空间范围数据集。基于 2025 年及此前文化与旅游部以及各省级行政区文旅部门公布的文化生态保护（实验）区项目名录，整理得到中国省级及以上文化生态保护（实验）区项目空间分布数据集。包括 23 个国家级文化生态保护（实验）区和 240 个省级文化生态保护（实验）区项目的项目名称、级别、公布时间，以及其所在的省级行政区等空间分布及属性信息。

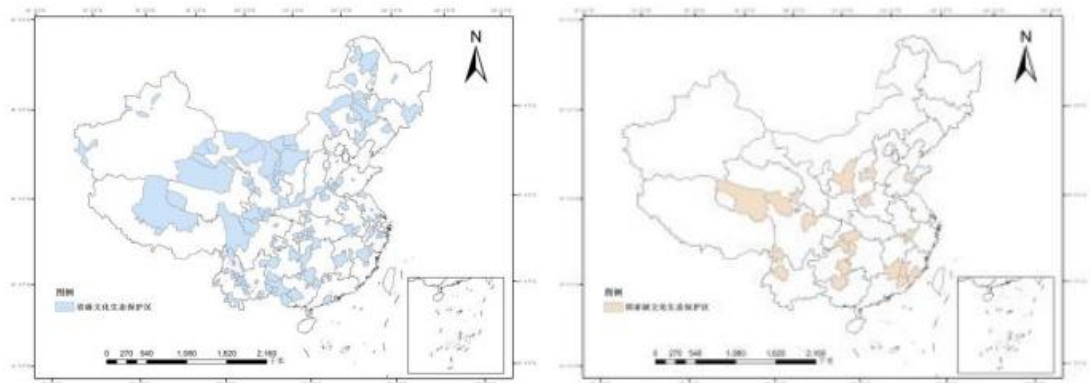


图 6 省级、国家级文化生态保护区空间分布

5.藏羌彝走廊非物质文化遗产地理图谱构建。作为青藏高原东缘藏彝走廊非遗文化景观调查与图谱构建骨干成员，历时三年搜集青藏高原东缘藏彝走廊非遗文化景观信息，参与藏羌彝走廊地区非物质文化遗产人文地理摄影数字库、非物质文化遗产音乐数字库、非遗传播展示 VR 平台与影像资料库等平台建设。



图 7 采访羌笛的省级传承人、茂县文化馆副馆长何王全 图 8 茂县黑虎鹰嘴河碉群祭祀广场考察



图 9 建设全国首家川剧传播数字博物馆 图 10 筹建文旅部重点实验室

(二) 非物质文化遗产与文旅产业融合发展研究

1. 藏羌彝走廊非遗资源丰度分析评价。构建非遗资源丰度评价指标，根据国家级非遗项目、国家级非遗传承人、省级非遗项目、省级非遗传承人的数量，进行藏羌彝走廊非遗资源综合评价；探讨其空间格局特征，识别非遗资源水平的影响因子及其空间异质性。

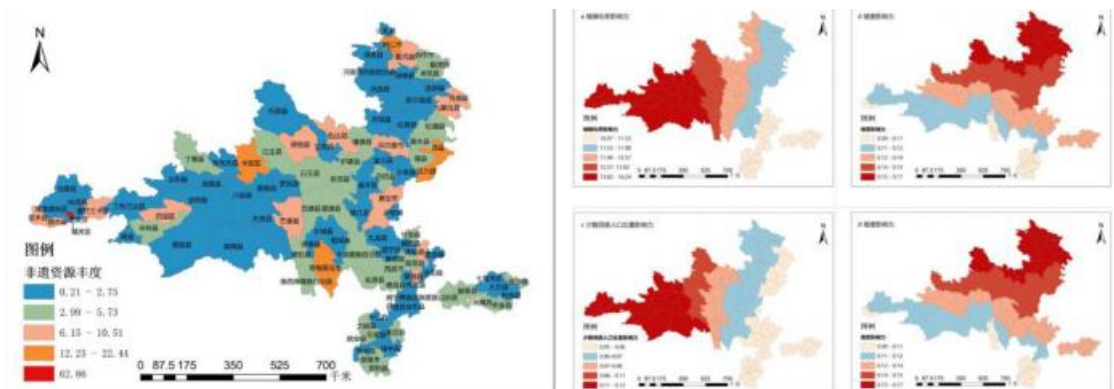


图 11 藏羌彝走廊非遗资源丰度空间分布及其影响因素

2.藏羌彝走廊非遗与文化产业融合发展研究。通过熵权法构建指标体系评价藏羌彝走廊文化产业发展。借助耦合协调度模型分析藏羌彝走廊文化产业与非遗耦合协调关系，划分融合发展类型，解析非遗与文化产业融合发展的影响因子及其之间的交互作用机制。

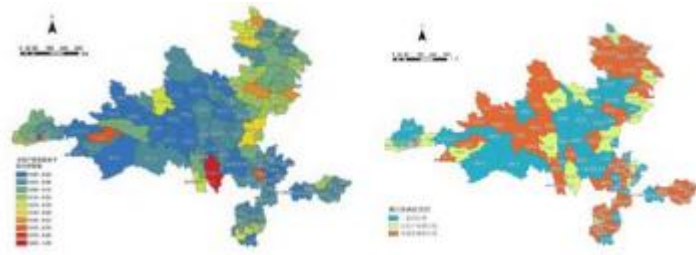


图 12 藏羌彝走廊非遗与文化产业耦合协调度与融合发展类型

3.藏羌彝走廊非遗与旅游发展耦合协调研究。基于层次分析法与熵权法，构建涵盖旅游资源禀赋、服务质量与产出效益的旅游发展水平双系统指标体系。借助耦合协调度模型分析藏羌彝走廊旅游发展与非遗耦合协调关系，划分融合发展类型，解析非遗与旅游发展耦合协调的影响因子及其之间的交互作用机制。

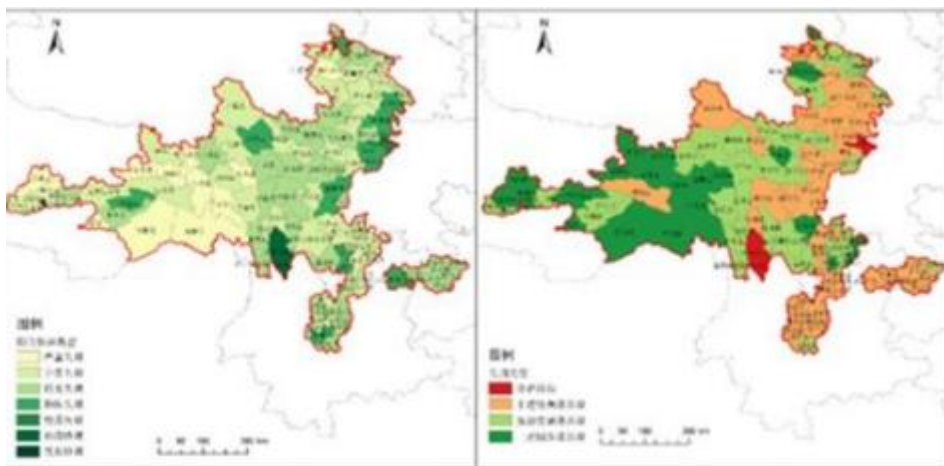


图 13 藏羌彝走廊非遗与旅游发展耦合协调度与融合发展类型

4.在各类空间规划项目中落实非物质文化遗产保护。参与清华同衡牵头的《泉州西街中山路街区保护规划》，围绕泉州西街与中山

街区域，系统梳理了包括簪花、泉州花灯、南音等在内的非物质文化遗产现状，并在此基础上制定了具有针对性的保护规划措施。通过串联多个文化节点，进一步构建出特色文化展示线路，有效推动非物质文化遗产的保护传承与活化利用。

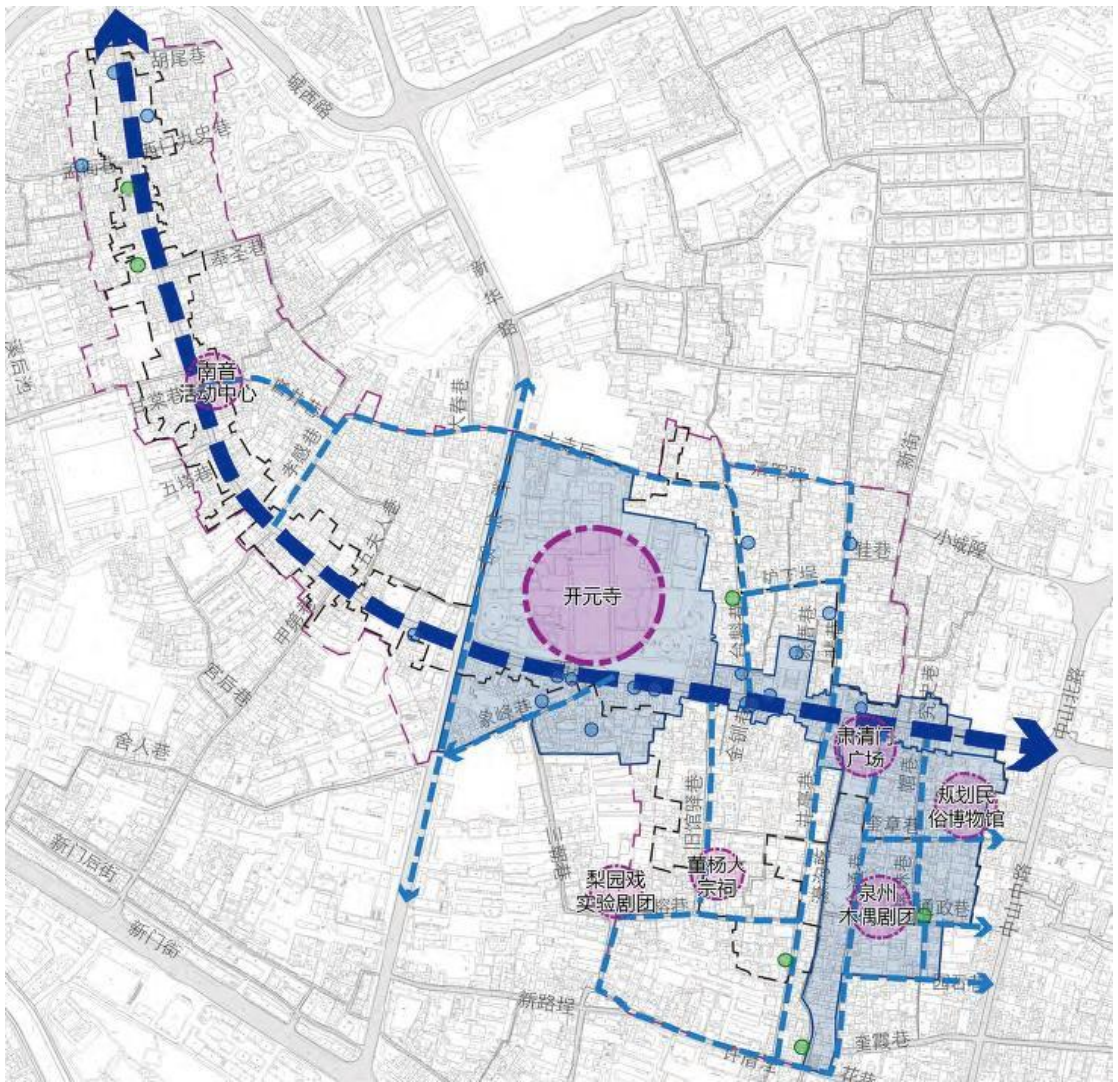


图 14 泉州市非遗保护与展示线路设计

（三）非物质文化遗产保护人才培养与科普工作

1. 带队开展非遗研学活动。近五年来先后带领团队研究生及本科生参观四川省非遗馆、中国羌族博物馆、中国非物质文化遗产馆，参加相关单位组织的非遗体验活动，对多名非遗传承人进行访谈，增

强非遗保护意识，深度了解璀璨星河的非遗文化。



图 15 组织的非遗研学活动

2. 组织非遗研修活动。参与组织由四川省文旅厅主办，四川省中国四川省非物质文化遗产传承人研修培训基地（成都理工大学）承办的四川省非物质文化遗产传承人研修培训项目。



图 16 四川省非物质文化遗产传承人研修培训

3. 编制《走廊遗韵——藏羌彝走廊非物质文化遗产地图集》。采用叙事地图的形式，遵循“总-分-总”的叙事结构，从走廊概览到民族特色，最终落脚于非遗的当代发展。设计上，统一的浅卡其底图配以各具特色的主色调，使图集既风格统一又内容呼应，旨在系统性地引导读者领略藏羌彝走廊的非遗文化全景。该地图集获得第二十一届 SuperMap 杯高校 GIS 大赛三等奖。



图 17 编绘的非物质文化遗产地图



图 18 非遗地图集获奖证书

(四) 非物质文化遗产整体性保护分区

1. 中国非物质文化遗产保护分区。基于五批国家级非物质文化遗产项目的流播空间关系，构建非物质文化遗产流播网络，运用定量分析法、空间分析法和网络分析法等方法，深入探讨国家级非物质文化

遗产项目的数量结构特点以及资源丰度的空间分布差异，剖析非物质文化遗产流播网络结构特征。

在此基础上，开发适用于非物质文化遗产保护区划的空间邻接约束下的聚类方法，研发我国非物质文化遗产保护区划的参考方案

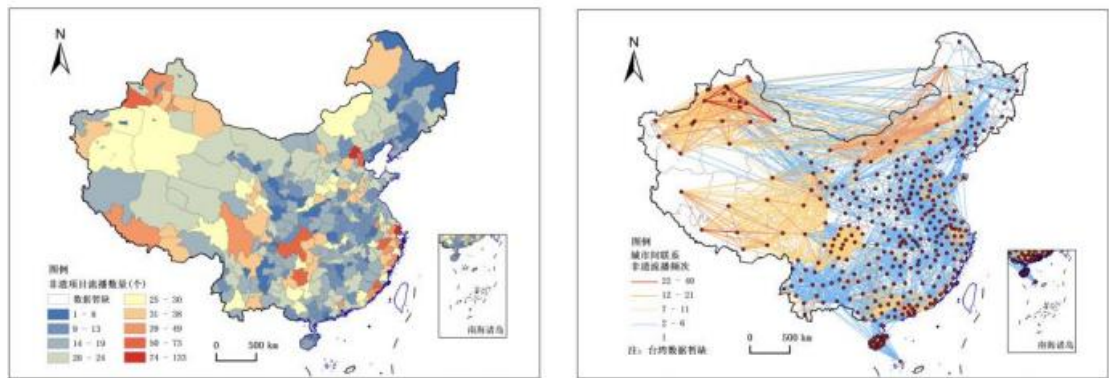


图 19 中国非物质文化遗产丰度与流播网络

2.文化生态保护区政策评估（进行中）。以 S-CAD 政策评估法为核心工具，从政策支持群体（文旅部门、非遗传承人、文化保护机构）、反对 / 质疑群体（部分地方政府、开发企业、受保护区域居民）的利益诉求差异切入，结合政策设计的目标匹配度、执行可行性、资源保障机制、风险规避措施四大维度，对《国家级文化生态保护区管理办法》的实施效果展开系统评估。

3.文化生态保护区空间范围优化（进行中）。融合多源数据与实地调研信息构建非遗流播网络，借助优势流约束下改进 DBSCAN 聚类对文化生态保护区识别，并提出四川省文化生态保护区建设方案及非遗整体性保护策略。

三、文旅融合创意案例

（一）“空中光影·文护传承”文化遗产数字化展示系统

申报单位：北京传火者人工智能科技有限公司

案例详情：

近年来，随着文化遗产数字化保护工作的持续推进，测绘遥感、实景三维建模与人工智能等新一代信息技术在文博领域加速落地，为文化遗产的保护、展示与传播开辟了全新技术路径。无人机技术的迅猛迭代，使高精度空间数据采集与空中视觉表达成为常态，为文化遗产的数字化记录与创意呈现提供了坚实支撑。

在陕西，文旅融合步伐持续加快。作为中国革命圣地和中华民族发祥地之一，陕西拥有黄帝陵、宝塔山、杨家岭、枣园等丰富的红色文化与历史文化遗产，公众对“可看、可感、可互动”的体验需求日益增长，传统静态展陈已难以满足多样化、沉浸式消费场景的需要。2023年

，陕西省图书馆落地的“数字黄河”沉浸式四折幕项目，首次将测绘级三维数据与多媒体交互深度融合，实现了黄河文化“活态化”传播，为全省文化遗产数字化体验提供了有益借鉴。

在此背景下，本项目依托陕西文保地物“厘米级”倾斜摄影成果，构建以“空中光影·文护传承”为核心的无人机光影秀系统，已在延安宝塔山、黄帝陵文化园区完成试点：通过 GIS 坐标精准复刻古建轮廓，AI 路径规划演绎《轩辕祭典》《宝塔晨曦》等主题故事，既保留遗产历史真实性，又赋予其现代传播活力，实现“保护+传播+体验”三位

一体升级，助力陕西文保事业向数字化、智能化、可持续化加速跃迁。

01 无人机测绘，无接触扫描助力古建筑建模与存档



- 目前我国古建筑测绘主要还停滞在比较传统的人工阶段。
- 此类测绘建模依赖工作人员具有一定程度的建筑学综合素养，熟悉测绘对象的相关形式历史、结构、特征及其构造知识
- 接触式的手工测绘可能会对历史建筑造成不可逆的损害。



- **高效采集+实景三维模型建设**
- 传火者无人机可进行多角度的图像数据采集，积累数万张照片数据，基于多角度图像数据得到厘米级精度的实景模型。



- **高精度三维建模**：获取古建筑毫米级精度三维模型，用于数字化存档、修复参考及虚拟展示。
- **全景数字档案建设**：组建专业团队，运用倾斜摄影+激光雷达技术，对13处全国重点文物保护单位进行毫米级三维建模
- **文化遗产活化**：生成虚拟导览、AR互动等文旅衍生内容，助力文化传播。

工业和信息化部等十一部门联合下发《关于推动新型信息基础设施协调发展有关事项的通知》，提出全面建设实景三维中国，搭建数字中国时空基座和数据融合平台。

二、解决方案

（一）思路目标

本项目以“测绘数据+光影科技+文化叙事”为核心路径，构建“空中光影·文护传承”文化遗产数字化展示系统，打造集遗产保护、沉浸体验、公众教育、文旅消费于一体的文保新场景。通过倾斜摄影、三维建模、无人机集群控制等数字技术，全面挖掘文化遗产的空间特征与文化内涵，实现“让遗产飞起来、让历史亮起来、让文化传开来”，推动文化遗产从“静态保护”走向“活态传承”。

（二）主要举措

技术方面：

1. 技术创新性突破传统边界

项目以技术融合为核心驱动力，深度整合人工智能、虚拟现实、增强现实、5G、北斗导航等前沿技术，构建适配全域文旅场景的技术体系，这一体系主要体现在三个方面。

(1) 无人机应用所实现的多维文化服务能力。灯光秀依托自主研发的人工智能集群编码算法，通过大规模迭代优化，实现千架级无人机编队的毫秒级精准控制。同时结合雷达、激光雷达、红外等多传感器融合技术实时分析环境数据，像济南“鲲鹏智飞”系统那样以厘米级实景三维建模为基础，完成地域特色图腾、历史场景等复杂动态队形变换，让夜空成为文化叙事幕布。无人机航拍则借鉴低空信息化平台的“天-空-地”立体感知网络技术，捕捉景区全貌民俗活动细节，为文旅宣传提供鲜活素材。无人机在古建筑测绘方面也具有广阔前景，通过激光扫描生成高精度点云数据，构建数字孪生模型，既为文物保护提供精准数据支撑，又让历史建筑的细节得以数字化留存。

(2) 传火者广泛采集优秀案例，效仿南京平台借助数字孪生技术模拟场景的创新性思路，通过大数据平台实现全链路智能监管，整合低空飞行数据，构建覆盖飞行计划、空域调度、安全监控的全流程管理体系，采用广西“1+N”分级管理模式，以省级中枢统管全域飞行数据，地市节点执行本地化监视，打通数据孤岛。传火者在方案设计中还借助了南京平台的数字孪生推演技术，模拟复杂场景下的飞行冲突，预演应急预案；同时接入气象、地形、游客流量等多源数据，通过类似《低空飞行数字化监管平台解决方案》中 **Kafka** 数据总线的实时传输机制，动态调整无人机飞行参数。比如依据风速优化灯光秀高度，参考人群热力图规划航拍路径，确保每一次飞行既安全高效又贴合文旅场景需求。

(3) 通过大模型构筑动态数据仓库，深度整合低空飞行数据、

景区运营数据、游客行为数据和地域文化数据，依托低空信息化平台的开放生态，如浩鲸科技的低代码工具和行业算法商城，让模型具备更强的场景适配能力。通过类似《低空飞行数字化监管平台解决方案》中 LSTM 异常检测、图神经网络的智能分析技术，实现数据的深度挖掘与应用，比如动态调整飞行计划，在节庆时段自动增加表演频次，在极端天气前提前预警调度，让技术始终服务于文化传播与游客体验的提升。

02 无人机建模，以高精度三维建模实现文物保护



01方案：与北科大文化遗产保护研究团队协作

• 宏观扫描层

传感器类型	检测对象
高光谱成像仪	颜料褪色/微生物分布
三维微变形雷达	结构裂缝/酥碱病害
太赫兹波探测	内部空鼓/隐蔽裂隙

• 微观诊断层（实验室端）：材料衰变分析、损伤机理研究

02方案预期效果：

- 病害监测与评估：识别建筑表面裂缝、风化、倾斜等结构隐患，建立动态监测数据库。
- 遗址监测系统：通过日间巡检与夜间安防部署无人机自动巡航网络
- 环境评估矩阵：构建多光谱遥感监测平台实时监测温湿度、紫外线强度等多项微环境指标，建立文物风化预警模型，数据对接国家文物局监测平台

内容方面：

围绕文化遗产核心价值，选取具有代表性的历史场景、建筑符号、非遗元素，设计“空中故事脚本”，通过光影变化、队列变换、色彩演绎等方式，讲述遗产背后的文化故事。演出内容经文保专家审核，确保历史真实性与文化尊重性，实现“科技表达”与“文化内核”有机统一。

（三）具体做法

本项目以精准测绘数据为基础，以无人机集群智能控制为核心，构建了从数据采集到创意展示的完整技术闭环，具体实施步骤如下：

（1）高精度数字底座构建：实现文物“毫米级”数字化存档

首先，运用无人机搭载倾斜摄影相机与激光雷达，对宝塔山、黄帝陵等核心文物本体及周边环境进行全方位、高精度数据采集。通过自动建模技术，生成厘米级甚至毫米级精度的实景三维模型，精准记录文物的几何形态、纹理信息与空间关系。这一数字孪生模型不仅构成了光影秀的“空中舞台”，更重要的是为文物建立了可永久保存、可精确测量的数字化档案，为后续的监测、研究与保护工作提供了无可替代的数据基石。

（2）数据智能分析与预防性保护：从“被动修复”到“主动预警”

在三维数字底座上，引入 AI 算法模型进行深度分析。通过对比不同时期的数据，系统可自动识别并量化文物本体存在的表面风化、裂隙发育、微生物侵蚀等病害及其发展趋势。同时，融合多光谱、高光谱传感器数据，对肉眼难以察觉的早期隐患进行识别。这套分析体系构建了文物“健康档案”，可实现变化预警，为文物保护单位制定精准的干预和修复方案提供科学依据，显著提升了文物保护工作的前瞻性和科学性。

（3）文化内容的精准映射与创意生成：让数据“讲故事”

基于高精度三维模型，利用 GIS 空间定位技术，将设计好的文化叙事内容与文物实景进行精准的空间匹配。通过自主开发的 AI 路径规划算法，将历史故事、建筑轮廓、文化符号转化为无人机集群的飞行轨迹、队形变换指令和灯光色彩参数，确保数百架无人机在夜空中构成的图案与地面古建轮廓高度重合，实现科技艺术表达对文化内涵

的精准阐释。

(4) 自适应智能执行与安全保障：应对复杂环境的可靠演出

在演出执行阶段，无人机集群依托 5G/北斗通信网络，实现毫秒级指令同步与厘米级定位。系统实时接入气象、空域及现场人流数据，通过预设的智能算法动态调整飞行高度、路径和表演节奏。例如，遇突发阵风可自动提升编队稳定性，确保在复杂环境下表演的安全性与可靠性。这套自适应机制保障了每次演出都能在充分尊重文物环境的前提下高质量完成。

(5) 成效评估与持续优化：构建数据驱动的闭环迭代

通过采集现场观众的热力图、社交媒体反馈、问卷调查等多维度数据，对每场演出的传播效果、观众 Engagement 进行量化评估。利用这些反馈数据，持续优化光影剧本的叙事节奏、互动环节设计以及演出时间安排，形成“数据采集-效果分析-内容优化”的持续迭代闭环，使得文化传播活动不断贴近公众需求，保持长久的生命力。



(四) 模式

本项目围绕“科技赋能文化、数据驱动运营、多方协同共赢”核

心逻辑，构建可持续模式，实现文化遗产保护、文旅体验升级与产业价值转化的深度融合，具体可从以下四方面展开：

1. “保护-研究-展示”一体化闭环模式

本项目构建了以精准测绘数据为统一底座的“保护-研究-展示”一体化工作闭环。传统文保工作中，勘察监测、学术研究、公众展示往往相互分离。本项目通过同一套高精度三维模型，既服务于文物本体的健康监测与病害分析（保护），也支撑考古研究与文化价值挖掘（研究），更直接作为无人机光影秀的“数字舞台”进行创意表达（展示）。这种模式打破了业务壁垒，实现了从数据采集到价值释放的全流程贯通，极大提升了工作的整体效率和资源利用率。

2. “数据驱动、智能运营”的预防性保护模式

项目将文物保护从“事后修复”的被动模式，转变为“事前预警、事中监控”的主动预防性模式。通过周期性航拍与 AI 变化检测算法，构建了文物健康的动态数据库与风险评估模型，能够自动识别并预警细微的结构变化或潜在病害。该模式将文物保护建立在对客观数据的科学分析与预测之上，显著提升了管理的科学性、前瞻性和决策的精准性，为延长文物寿命提供了技术保障。

3. “标准模块、在地内容”的可复制推广模式

在技术实现上，项目采用“核心技术标准化、文化内容在地化”的模块式架构。无人机集群控制、数据治理平台、智能算法等核心模块形成标准化工具包，可快速适配不同地区的文保单位。而具体的光影叙事内容、文化符号选择则深度结合当地文化遗产特色进行定制创作。

这种“技术普适性+文化独特性”的模式，既保证了技术方案的成熟可靠与快速落地，又确保了每一项成果都具有鲜明的地域文化标识，具备了在全国同类文化遗产地推广复制的潜力。

4. “社会效益与经济效益”协同的可持续发展模式

项目探索了一条以社会价值带动经济价值，反哺文物保护事业的可持续发展路径。无人机光影秀作为吸引公众的亮点，直接提升了遗产地的知名度、游客停留时间和夜间消费，产生了直接的经济效益。这部分收益可为持续的文物监测、数字化建档等保护工作提供资金支持，同时，项目带来的广泛社会关注也提升了全社会对文物保护的重视程度，形成了“文化保护吸引公众参与，公众参与带动消费增长，经济增长反哺文化保护”的良性循环。

三、建设情况

本案例以“光影延安”为核心内容，以无人机集群光影系统为技术支撑，打造了延安红色文化遗产的沉浸式空中体验场景。项目通过测绘级三维建模与 AI 光影编排技术，重构了宝塔山、黄帝陵等文化地标的空间脉络与精神符号，以“空中光影”雕刻延安之魂，赋予红色文化新的时代表达。

往期案例——延安市：革命圣地的文化传承与创新实践

延安市是中华民族五千年文明的重要发祥地之一，是中国优秀旅游城市，也是国务院最早公布的24个首批国家历史文化名城之一。

延安革命纪念地管理局（延安市文物局）负责管理延安地区的革命文物和历史文物保护利用工作，通过实施革命旧址维修、环境整治、陈列布展、“互联网+VR”展示等一系列举措，整合红色文化资源，推动革命文物的保护和利用，为弘扬延安精神和传承革命文化发挥了重要作用。



中国革命的摇篮：文化资源丰富

- 革命旧址445处
- 国重点文物保护单位23处
- 省级文物保护单位146处
- 馆藏革命文物43673件（套）
- 一级文物189件，二级文物2462件，三级文物9061件

通过科技赋能文旅融合，项目拓展了红色文化传播新场景，利用数字化手段创新展示延安精神，打造“红色文化公园”沉浸式空中剧场，全时空、立体式再现延安作为革命圣地的历史记忆与文化魅力，增强游客的情感参与与文化共鸣，让红色文化资源“活”起来，推动红色文旅多领域、全链条融合发展。

地延安宝塔山、黄帝陵、杨家岭革命旧址等重点区域，形成覆盖文物监测、智慧巡防、光影展示的综合应用体系。宝塔山作为延安的城市象征，是红色文化传播的重要窗口；“光影宝塔”项目的落地，不仅实现了文化价值与旅游体验的双重输出，也助目前，该成果已落力延安打造“科技+红色+夜游”融合发展的全国示范标杆。



宝塔山（国家5A级景区）

- 宝塔山，古称“嘉岭山”，位于延安城东，延河之滨。山上宝塔始建于唐，现为明代建筑，高约44米，九层八角形。
- 宝塔山先后被评为国家红色旅游经典景区、省级平安景区和省级文明风景旅游区。
- 宝塔山是革命圣地延安的重要标志和象征，山上文物古迹星罗棋布，如宋代摩崖石刻、明代大铁钟等。它见证了中国革命的光辉历程，是游览延安的必去之地，也是进行革命传统教育的好课堂。



摩崖石刻群



直岭书院



烽火台

黄帝陵是中华文明的精神标识，是海内外华人寻根祭祖的重要场

所。项目在此打造的“光影祭典”篇章，以空中光影演绎“中华文明源远流长”的文化叙事，增强了文化仪式的现代感与传播力，实现了传统文化与数字科技的深度融合。

此外，本项目还深度参与了冬奥会崇礼太子城遗址文物保护与利用工作。太子城遗址作为金代中后期皇家行宫遗址，在2017年考古确认其价值后，通过规划调整、科学保护和创新展示等措施，实现了文物保护与冬奥场馆建设的和谐统一。项目采用细黄沙覆盖结合原土回填的保护方式，有效防止了冻融破坏；建设遗址公园重点展示南门、9号大殿、三号院落等中轴线格局，西院落保护设施成为地标建筑；建立考古、设计、施工三方协调机制，确保在冬奥紧迫工期下完成保护展示工作。遗址公园在冬奥期间成为展示中华文明的重要窗口，赛后持续免费开放，为京津冀协同发展和京张体育文化旅游带建设作出贡献。

在杨家岭革命旧址，无人机系统同样应用于建筑群的日常巡检与安全防控，为这一重要革命旧址的数字化保护提供了支撑。

未来，我公司将继续以延安红色文化为核心，围绕黄帝陵、宝塔山、杨家岭、枣园等重要文化节点，打造“延安红色文化光影走廊”，构建覆盖延安安全区的沉浸式空中体验网络，将红色历史转化为可感、可视、可传播的文化场景，打造“主客共享”的学习、体验与传播空间，生动演绎“延安故事”，以“现场感”和“亲历感”推动红色文化的全民感知与时代传播，全面提升延安文旅的吸引力、传播力和影响力。

四、应用成效

本项目在延安宝塔山、黄帝陵等核心文化遗产地的成功落地，取得了显著的应用成效，项目创新了红色文化传播方式，通过科技手段让革命文物'活起来'，增强了爱国主义教育的感染力和传播力，具体体现在以下方面：

（一）文物保护精度与效率提升

通过引入无人机倾斜摄影与激光雷达技术，项目实现了对宝塔山、黄帝陵等重点文物的毫米级高精度三维数字化建档，全面提升了文物保护的精度与效率。相比传统人工测绘方式，该技术不仅将数据采集效率提升 5 倍以上，更通过无接触式测量彻底避免了测绘过程中对文物本体的潜在损害。系统生成的三维模型可清晰呈现文物细节特征，为修复工作提供精准的数据支持，同时建立的数字化档案可实现文物状态的长期跟踪与比对，为文物保护工作从“被动修复”向“主动预防”转型奠定了坚实基础。

（二）病害监测与预防性保护能力增强

项目创新运用多光谱与高光谱传感器技术，结合 AI 变化检测算法，构建了完善的文物病害监测体系。该系统能够精准识别建筑表面风化、裂缝发育、微生物分布等潜在风险，通过定期航拍与数据比对，实现病害的自动识别与动态监测。在此基础上建立的文物健康数据库，可对病害发展趋势进行智能预测与评估，为文物保护单位提供科学决策依据，支持早期干预与精准修复。这一技术体系极大延长了文物寿命，将文物保护模式从传统的“事后修复”提升为“事前预防”，显著提升了文物保护工作的科学性与前瞻性。

（三）文化传播与旅游体验升级“空中光影·文护传承”无人机光影秀已累计演出 50 余场，通过线上线下全渠道传播，总观演人次突破 300 万，显著提升了延安红色文化的传播广度与影响力。项目成功打造了“宝塔晨曦”“轩辕祭典”等具有鲜明地域特色的文化 IP，以科技化、艺术化手段再现革命历史场景和中华文明源流，极大增强了游客的情感共鸣与文化认同。在旅游体验方面，光影秀有效延长了游客平均停留时间约 1.5 小时，带动了周边夜间消费业态发展，黄帝陵园区夜间客流量同比增长 30%，景区综合收入显著提升，形成了“以文化引领消费，以科技赋能体验”的良性循环。

（四）智慧管理与社会效益凸显

“空中光影·文护传承”无人机光影秀已累计演出 50 余场，通过线上线下全渠道传播，总观演人次突破 300 万，显著提升了延安红色文化的传播广度与影响力。项目成功打造了“宝塔晨曦”“轩辕祭典”等具有鲜明地域特色的文化 IP，以科技化、艺术化手段再现革命历史场景和中华文明源流，极大增强了游客的情感共鸣与文化认同。在旅游体验方面，光影秀有效延长了游客平均停留时间约 1.5 小时，带动了周边夜间消费业态发展，黄帝陵园区夜间客流量同比增长 30%，景区综合收入显著提升，形成了“以文化引领消费，以科技赋能体验”的良性循环。

（五）技术复用与行业影响力扩大

项目成果获陕西省文物局、延安革命纪念地管理局高度认可，已被列为省级文物数字化示范项目，相关技术标准与解决方案正推广至

陕西省内其余文保单位，具备较强的行业复制性与影响力。

传火者空域管理平台



五、创新点

本项目在技术融合、应用模式与传播机制等方面实现多项创新，具体包括：

（一）技术集成创新：

首次实现无人机高精度测绘、AI 病害智能识别与大规模集群光影控制三大核心技术的深度耦合与系统集成，构建了“数据采集-智能分析-创意展示”全链路一体化数字文保平台。该平台不仅能够完成文物本体毫米级三维建模与高精度数字化存档，还可通过 AI 算法自动识别结构裂缝、表面风化和生物病害等隐患，并依托集群控制技术实现以文物为舞台的大型空中光影演绎，真正实现了从精准化保护到活态化展示的全链条科技赋能，突破了文物保护与文化传播的技术边界。

（二）数据驱动的内容创新：

以厘米级实景三维模型为数字基底，结合 GIS 空间定位与路径规划算法，实现光影秀演出内容与文物建筑结构的精准匹配。通过提取

文化遗产的历史脉络、文化符号和精神内涵，构建“文化—数据—叙事”的创作闭环，形成以文物本体为主角、空中无人机为载体的沉浸式视听表达。该创新将文化遗产转化为可参与、可感知、可传播的文化 IP，摆脱传统舞台空间限制，实现从“静态展示”到“动态活化”的跨越，开创了文化表达的新范式。

（三）“空天地一体”监测预警创新：

构建融合无人机遥感、地面物联网传感器和卫星遥感的多源协同监测体系，实现文物本体、周边环境与游客负载等多维度数据的实时采集与智能融合。通过建立文物健康评估模型和风险预警算法，系统可对结构变形、微环境变化、人流超限等风险进行分级预警与趋势研判，形成“天—空—地”协同、平战结合的监测预警能力，显著提升文物保护的主动性、系统性和智慧化水平。

（四）商业模式与传播机制创新：

打造“文旅体验+夜间经济+数字文创”三位一体的融合发展模式，通过线下光影秀带动景区夜间消费业态，借助线上云展播、短视频营销等新媒体渠道扩大传播半径，并开发基于文物 IP 的数字藏品、虚拟互动等文创产品，形成“线下体验、线上传播、数字消费”的完整商业闭环。

该模式不仅提升了文化遗产的大众传播效能，更实现了文化价值向经济价值的可持续转化，为文物资源的创新利用提供了新路。

（五）标准化与可复制性创新：

围绕低空数字化技术在文保领域的应用，系统总结并形成包括数

据采集规范、AI 病害识别标准、无人机集群表演技术规程等在内的技术标准体系，涵盖数据、技术、管理、安全等多个维度。该标准体系兼具先进性与实用性，可适配不同规模、不同类型的文化遗产保护与展示需求。

六、商业模式

项目能为运用数据要素价值释放带动行业发展提供可参考、可复制的解决方案，可作为示范项目大规模推广。

（一）推广示范价值

项目构建的“科技+文化+数据”解决方案具有高度的可复制性与可推广性，能够适配多元文旅场景。其他文旅目的地可借鉴这一模式，结合自身的地域文化特色和数据资源，定制专属的无人机光影秀项目。在数据治理方面，项目形成了一套涵盖数据采集、存储、处理、共享等全流程的标准和规范，这套标准具备在全域文旅场景推广的普适性；同时，通过与各地景区、文旅部门、文化机构等的合作，正逐步构建跨区域的文旅数据流通生态，实现文化数据的共享与增值，为全域文旅的协同发展提供数据支撑，具备在更大范围构建数据流通生态的能力。

1. 未来市场潜力

1.1 文旅市场整体向好



文化和旅游部于7月至8月举办2025年全国暑期文化和旅游消费季。其间，各地将围绕消夏避暑、滨海度假、观演赏剧、赶集看展、亲子游乐、夜间消费等暑期文旅消费热点，推出丰富多彩的应季文旅产品和活动，举办超4300项约3.9万场次文旅消费活动。消费季期间，各地还将推出消费券、票价优惠、消费满减、折扣套餐等惠民措施，发放超5.7亿元消费补贴，加大消费惠民力度，更好满足人民群众暑期美好生活需要。

1.2“科技+”文旅市场规模迅速扩充

文旅与科技的融合是大势所趋，不仅是全球文化产业升级的重要方向，而且发展前景广阔，充满创新潜力。这种融合一方面能显著提升传统文旅产业的效率与体验，另一方面还能催生新业态、新模式，甚至重塑人们的消费习惯。

政策推动行业复苏，收并购、“科技+”文旅带来新增长。政策端持续加码，助力国内游、入境游稳健恢复。国内游方面，2024年，国内旅游人数56.2亿人同比+14.9%，国内旅游收入5.8万亿元/同比+17.0%，近年来，与文旅行业相关的收并购等资本支持政策、低空经济政策频出，多地国资完成文旅上市公司实控；多地推出文旅+低空合作项目，已实现多次成功试飞，有望为文旅企业带来新增长点，

1.3 行业“低空+”文旅头部上市企业营收增速飞升 2022 年开始，公司大股东祥源控股集团逐步将旗下旅游相关核心资产注入上市公司体内，聚焦文旅资产运营，文旅产品所在景区分布在大湘西、大黄山、泛渝片区等，资源禀赋优异，形成了集旅游观光、科普教育、沉浸式演出为一体的综合性休闲度假区，并通过 IP 运营与数字化管理大幅提升景区运营水平，形成了“文化 IP+旅游+科技”为特色的产业模式。2023 年，公司实现营业收入及归属于净利润分别为 7.22 亿和 1.51 亿元，盈利能力较此前显著提升。2023 年旗下核心景区资产百龙天梯、凤凰祥盛、黄龙洞旅游、齐云山股份等利润均显著超出业绩承诺，核心稀缺景区资产盈利能力突出。

财务摘要	2022A	2023A	2024E	2025E	2026E
营业收入(百万元)	464	722	827	1,242	1,332
YoY (%)	5.2%	55.8%	14.6%	50.1%	7.3%
归母净利润(百万元)	23	151	176	384	427
YoY (%)	-33.4%	572.1%	16.2%	118.4%	11.1%
毛利率 (%)	43.0%	52.0%	52.9%	61.0%	61.6%
每股收益 (元)	0.02	0.14	0.17	0.36	0.40
ROE	0.7%	5.5%	6.2%	11.9%	11.7%
市盈率	434.50	62.07	52.11	23.86	21.47

(二) 模式可持续性

1.技术迭代驱动的核心竞争力持续强化

技术创新的持续性是模式存续的根基。项目以“算法优化-场景适配-功能拓展”为迭代路径，形成自我进化的技术生态：

1.1 算法持续升级

基于海量表演数据与多场景环境参数，不断优化集群编码算法与

避障逻辑——例如针对山地强风环境迭代路径规划模型，使无人机在6级风以下的队形稳定率保持99.5%以上；通过用户互动数据训练AI内容生成系统，实现光影剧本的半自动创作，将定制周期从15天缩短至7天，降低技术门槛的同时提升响应速度。

1.2 硬件适配扩展

无人机设备采用模块化设计，支持传感器、电池等核心部件的快速升级，目前已实现将续航时间从20分钟提升至30分钟，满足大型景区长时段表演需求，避免因硬件淘汰导致的系统性替换成本，延长设备生命周期30%以上。

1.3 功能边界延伸

在现有光影秀基础上，叠加AR交互，使得游客可通过手机镜头与空中光影实时互动同时配备多语种语音解说，使国际游客也能领略到光影的魅力还新开发了碳中和监测功能，通过搭载碳排放传感器的无人机，联动景区实现绿色运营，传火者始终致力于持续拓展技术应用场景，保持对文旅市场的创新吸引力。

2.数据资产沉淀形成的增值闭环

数据作为核心生产要素，其持续积累与深度挖掘构建了不可替代的壁垒：

2.1 地域文化数据资产化

通过与各地景区、非遗机构的长期合作，逐步沉淀涵盖“建筑轮廓数据库”“非遗纹样数据库”“民俗符号数据库”的全国性文化数据库，目前已收录300+地域特色符号。这些数据经标准化处理后，可跨场

景复用，例如将苏州园林的亭台纹样适配至其他江南古镇，降低新场景内容创作成本 **40%**，形成“数据越用越值钱”的增值效应。

2.2 用户要求数据的动态反哺

依托“反馈-分析-优化”的闭环机制，将如互动偏好、文化共鸣点等典型游客行为数据，转化为产品迭代依据。传火者团队之前在数据统计时发现，亲子客群对“光影拼图”互动参与度较高，因此快速开发简易手势控制功能，使该群体复游率提升 **20%**。数据的实时应用让项目始终贴合市场要求，避免产品同质化。

2.3 跨区域数据协同的规模效应

通过构建“文旅数据联盟”，整合不同地区的游客流量、消费习惯、文化偏好等数据，形成如北方古城与南方水乡的客群差异图谱等的跨区域分析模型，为联盟成员提供精准运营建议，如北方景区冬季增加夜间暖场互动，南方景区雨季调整表演时段，以更好地拟合当地景区与游客人群的内在需求，该项数据共享的规模效应降低单场景运营成本 **15%-20%**。

3.多元主体协同的生态化运营

下图所示的产业协同生态以低空数据平台为中枢，通过构建“政府-景区-企业-用户”的四方协同网络，分散成本压力，共享发展红利。

打造强大的IP矩阵，整合景区资源



3.1 政企联动降低落地门槛

与各级文旅部门建立战略合作，将项目纳入地方“文旅升级工程”“夜间经济规划”等政策支持范畴，通过政府购买服务、专项补贴等方式覆盖 30%-50%的前期投入，提升景区引入动力。具体案例为某古城项目通过文旅专项资金补贴，景区自有资金占比从 60%降至 35%，大大减轻了该项目的落地压力，极大地提升了其抵御风险的能力与经营优势。

3.2 景区深度参与的共赢机制

采用“基础服务费+收益分成”的合作模式——景区支付设备租赁与技术维护基础费用，项目方则按游客增量带来的餐饮、住宿消费提升给予额外收益，如每增加 1 名游客分账 5%-8%，将项目与景区的利益深度绑定，激励其配合内容迭代与市场推广。该模式与图 12 所示的文旅消费信用服务体系深度耦合——通过“星级商家评价”“在线赔付”等模块提升消费透明度，进一步强化游客信任，为收益分成机制

提供数据支撑。3.3 产业链协同降低边际成本联合无人机制造商、文旅内容创作机构、数据服务企业形成产业联盟——制造商按订单量给予 10%-15%的设备折扣，内容机构共享创意库降低剧本创作成本，数据企业提供云存储优惠，使单场表演的边际成本随规模扩大递减 20%，实现“多赢”的生态格局。



4. 合规安全保障的长期信任基础

传火者严格的合规体系与风险管控能力，可确保项目在政策监管与社会期待中稳定运营：

4.1 全流程合规适配

紧跟《数据安全法》《旅游法》等法规更新，动态调整数据采集范围，针对未成年人信息增加“监护人授权”环节，同时与当地政府在远离鸟类迁徙高峰期的时段进行表演，使用符合景区文物保护的电磁兼容要求的高标准设备，从制度层面规避政策风险，至今已累计获得 10 余个国家级文旅示范区的“合规示范项目”认证。

4.2 风险准备金机制

按项目收入的**5%**计提安全风险准备金，用于应对设备故障、极端天气等突发情况，对紧急取消表演时给予游客补偿同时进行设备方面的维修，在保障合作方权益的同时，维护品牌公信力。

4.3 社区与生态友好设计

通过静音电机、使用亮度低于**500**流明的低光污染**LED**灯，同时表演时段在晚**9**点前结束来避开居民休息时间等实用细节，降低对景区周边社区的干扰；在自然保护区表演前，联合环保机构开展生态影响评估，避免光影对夜行动物的惊扰，实现“科技文旅”与“生态保护”的共生，获得长期社会认同。

5. 社会价值反哺的可持续动能

项目通过“**文化传承+经济带动+就业赋能**”的多元价值输出，获得持续的社会支持：

5.1 文化传承的长效价值

为濒危非遗、小众民俗提供数字化传播载体，如为苗族银饰锻造技艺所制作的光影纪录片，该项目使传承人收徒数量增加**30%**，被多地政府纳入“文化保护工程”，获得税收减免、场地优先使用权等政策倾斜。

5.2 经济带动的乘数效应

单场表演可带动景区周边消费增长**40%**以上，具体案例如周庄项目使夜游时段餐饮订单量提升**55%**，形成“光影秀-流量-消费-税收”的正向循环，成为地方政府推动文旅经济的重要抓手，保障长期合作稳

定性。

5.3 就业与技能赋能

在落地景区培养包含无人机操控员、内容讲解员等的本地运营团队，通过“理论培训+实操考核”认证体系，已累计为县域文旅市场输送 500+专业人才，既降低项目异地运营成本，又为地方创造就业，强化与社区的利益联结。

（二）“保护与开发并重”的数字文旅新模式

申报单位：中煤航测遥感集团有限公司

案例详情：

一、项目简介

在国家大力推进文化数字化战略的时代背景下，中煤航测遥感集团依托陕西文旅资源富集、品位高、积淀深的优势，运用虚拟空间三维引擎、地理信息系统、数字人等先进技术，聚焦“景点”与“非遗”两大文旅核心内容，构建了文旅数字化平台，打造了“从秦岭到黄河边‘走’边‘唱’”“文化陕西华彩非遗”两大核心体验场景及数智惠三秦文旅沉浸式体验入口，开创性地构建了“保护与开发并重”的数字文旅新模式。

项目精准破解了陕西文旅“资源分散难集成、文化内涵挖掘浅、部分资源遭破坏”的行业痛点，通过构建文旅资源数据库，实现了资源集中呈现与深度活化。项目既为游客带来全新文旅体验，更通过数字化手段降低实体资源损耗，有力推动陕西文旅产业向数字化、智能

化、可持续化转型。



二、项目创新性

（一）技术创新：突破瓶颈，筑牢“保护+开发”双基础

项目通过 5G、人工智能、大数据、区块链、交互式虚拟现实等数字技术完成了文旅资源的数字化建设，以沉浸式数字多媒体四折幕进行文化旅游资源的身临其境式展示，打造了线上线下相结合的多主题沉浸式陕西文化旅游元宇宙数字化虚拟空间。

项目实现了五项关键技术和两项软件产品的自主研发，填补了国内技术空白，突破了文旅资源数字化建设普遍存在的卡脖子难题。提出了基于交互标记式的接触面识别和剔除的实景三维数据轻量化方法，保障场景真实体验流畅；提出了对场景划分优化和局部自适应剔除方法，有效提升了渲染效率；研发了“PBR 技术流程的多软件联合实景三维建模”技术，使建模和修贴图的作业难度降低效率极大提升；研发了“航飞影像动态匀光匀色处理”技术，增加了后期 Mesh 模型的精细度与单体化模型的美观度；优化了“大规模纹理映射智能贴图”

技术流程，实现了大规模高质量自动化建模；以上五项技术突破解决了数字化建设中切实存在的关键问题；自主研发了国内首款“全媒体时代数字地图软件引擎”以及“中煤导航定位平台”，经中国工程院院士等专家鉴定认为，以上技术整体处于国际领先水平，并多次荣获行业及省部级科技进步奖。

（二）模式创新：多元融合，打造“体验+保护+收益”新生态

首创“集约+开放+保护”服务模式。数智惠三秦文旅沉浸式体验入口如同一个智能“文旅向导”，全面整合陕西各地文旅资源，通过丰富的交互体验，为游客精准推荐旅游目的地、特色美食、非遗体验项目等，有效解决游客“去哪玩”的难题。

“线上云游+线下引流+保护反哺”商业闭环的打造，为文旅产业“经济效益与保护效益双赢”开辟新路径。游客通过线上平台进行“云游”，沉浸式体验陕西的壮美风光与深厚文化底蕴；“云游”过程中，平台巧妙植入线下景区门票预订、文创产品购买、非遗体验预约等功能，游客只需一键操作，即可完成线下行程安排。同时，线上“云游”减少了游客集中涌入热门文物景区的压力，降低实体文物的磨损率，实现文旅资源数字化“上载—共享—收益—反哺保护”的良性循环。

VR 沉浸式交互体验系统的推出，既赋予游客更大自主权，又深化文化遗产保护与传承。游客可根据自己的兴趣爱好，基于平台提供的景点数字模型（如古建筑），自主设计并构建数字文化资产，创作属于自己的数字文旅作品。同时，游客在创作过程中也可以深入了解文化遗产的历史背景与工艺细节，主动成为文化遗产的“传播者”与

“守护者”，进一步推动资源“保护—复制—开发—再保护”一体化良性循环，为全国文旅资源永续利用提供可借鉴、可推广的新路径。



三、项目典型性

该项目凭借“保护与开发并重”的卓越创新性与实践成效，成为陕西省文旅数字化发展的标杆之作，在众多重要场合崭露头角，充分彰显陕西数字文旅的实力与魅力。

作为陕西省代表作品，项目亮相北京“奋进新时代”主题成就展，吸引各级领导与国内外游客的广泛关注。展览期间，“陕西文化旅游沉浸式四折幕系统”成为展区的“明星展品”——系统不仅通过逼真

的裸眼 3D 视觉效果，让观众身临其境地体验秦岭、华山、大雁塔等陕西著名山水人文景观，还特别增设“数字保护成果展示模块”，通过对比“文物古建数字孪生体与实体现状”，直观呈现数字化保护对文物修复、损耗控制的作用，生动展现陕西文旅数字化建设“保护与开发双赢”的丰硕成果，成为向全国乃至世界展示陕西文旅魅力与保护决心的重要窗口。



在行业评选中，项目同样成绩斐然，荣获 2024 年“数据要素 x”全国总决赛文化旅游赛道二等奖及中国旅行社协会 2024 数字文旅十大创新案例。这些荣誉的获得，不仅是行业对项目创新性与实用性的高度认可，更体现项目在“推动文旅产业数字化转型”与“强化文化遗产保护”协同发展方面的引领作用，为行业发展树立优秀典范。



目前，项目已成功落地陕西省图书馆、文化馆等公共文化机构，日均客流达1万人次。在陕西省图书馆，“从秦岭到黄河边‘走’边‘唱’”沉浸式体验场景成为热门打卡地，每天都有大量游客排队体验——场景内设置“文化遗产保护互动问答”环节，游客在体验山水风光的同时，可通过答题了解文物保护知识，答对者可获得“非遗数字纪念徽章”。这种“体验+科普”的模式，既提升公共文化机构的吸引力与影响力，又强化游客的文化遗产保护意识，有力彰显陕西数字文旅“规模化落地+保护理念普及”的双重成效。



四、项目示范性

（一）地域推广：复制“保护+开发”经验，带动全省文旅可持续发展

项目凭借成熟的“数字化保护+体验化开发”解决方案，已在陕西多个地市成功复制推广，为当地文旅产业发展注入新动力，形成“以点带面、全域发展、保护优先”的良好态势。



基于项目文化旅游沉浸式体验的创新体验模式，先后于“数字孪

生青岛”、“国家黄河文化公园”、“陕西文化旅游沉浸式四折幕系统”、“汉风古韵大美汉中”汉中市博物馆“中国韵 汉中情”、“这就是延安”、“秦风十里 咸阳等你”、“秦巴明珠 生态安康”、“铜川烟雨 耀瓷流光”等全国多个地区的多个行业领域推广应用，服务于图书馆、文化馆、博物馆等公共文化服务机构、生态旅游园区等重大演出展览，为陕西发展文旅新业态做了有益的尝试和探索，具有很光明的推广应用前景，经济效益已达一亿两千万万元！



沉浸式体验场景的打造，不仅丰富博物馆的展陈形式，吸引大量游客前来参观，还通过“数字保护卡片”普及保护知识，有效提升汉中文旅的知名度与影响力，推动汉中文旅产业实现“体验升级+保护强化”的跨越式发展。还带动当地村民参与文旅资源保护，促进当地

经济增收与文化传承保护的双赢。



（二）跨区域拓展：输出“保护+开发”标杆，引领全国文旅转型

项目具有较好的可持续发展能力，可复制性非常强。可至北京、洛阳、南京、敦煌等文化氛围浓厚的城市进行推广应用，让全国各城市学有榜样，做有标尺，行有示范，赶有标杆；提高数字技术与各个行业的适配性，在工业制造业、教育培训、现代农业、交通运输、医疗健康等多个领域得到广泛应用，打造“文旅+数字经济”新模式；同时，响应国家“文化输出”的号召，通过“一带一路”向世界展示具有民族、地域特色的中华文化软实力。

同时，项目实现 B、C、G 端全覆盖应用——为消费者创造“体验+保护认知”的独特文旅体验，为企业提供“开发+保护”的盈利新模式，成为全国范围内文旅数字化创新发展的示范样本，为推动我国文旅产业高质量、可持续发展贡献重要力量。



四、宣传推广贡献案例

（一）数字赋能·智绘剡境高新测绘技术赋能嵊州“四普”数字新基建与宣传推广

申报单位：嵊州市文物保护中心

案例详情：

一、嵊州“四普”概况

嵊州市深刻认识到第四次全国文物普查是一项重大的国情国力调查，是坚定文化自信、传承中华文明的重大工程。面对辖区内文化遗产丰富但分布广泛、传统普查方式难以全面覆盖的挑战，嵊州积极响应《第四次全国文物普查宣传工作方案》和习近平总书记关于“切实加强文化遗产保护传承，更好赓续中华民族文化基因和血脉”的指示精，坚持“技术驱动、宣传引领、全民参与”核心策略。我们不仅将高新测绘技术作为提升普查精度与效率的核心手段，更将其转化为宣传创新的内容源泉与强大引擎，构建了线上线下结合、传统与现代融合的立体化宣传体系，显著提升了社会公众对文物保护的认知度和参与度，打造了“数字赋能·智绘文脉”的鲜明品牌。

高新测绘技术赋能嵊州“四普”数字新基建

嵊州市构建了“全面-重点-基本”三级空间信息化采集体系，这不仅为文物普查建立了高精度的数字档案，更为后续的宣传推广提供了丰富的数字化内容源泉。

全面采集树标杆：选取八处代表性不可移动文物，采用贴近摄影测量、三维激光扫描等技术，构建空天地一体化室内外一体化的实景三维模型和三维激光扫描点云模型，形成标准化作业流程。

重点文物保精细：对国保、省保及部分市保单位，

构建室外实景三维模型和室内外三维点云模型。 全覆盖存基底：对所有普查登录文物进行基本空间信息化，构建室外实景三维模型，并为所有文保单位采集空中全景影像数据。通过“边普查边数存”和“边普查边研究”，我们不仅完成了普查任务，更奠定了“四普”数字新基建的坚实基础，为“云游览”、“数字孪生”等宣传体验提供了数据核心。

其涉及的数字化空间信息化技术包括全景影像技术、贴近摄影测量技术以及三维激光扫描技术（图 1-图 6）。其中贴近摄影测量实现全覆盖。针对王羲之墓道、高山流水古道、古香榉种植园等特殊类别的文物，则融合无人机机载激光雷达、地面移动激光扫描、多光谱版无人机等采集多源数据，构建空地融合的三维点云模型及二维多光谱正射影像图。



图 1 贴近摄影测量

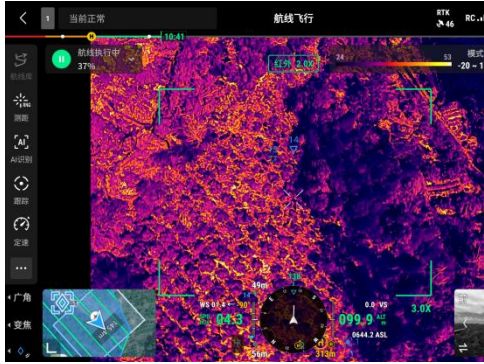


图 3 多光谱数据采集



图 5 移动式三维激光扫描

图 2 架站式三维激光扫描

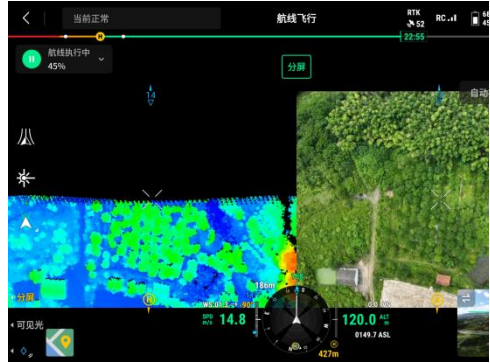


图 4 机载激光雷达

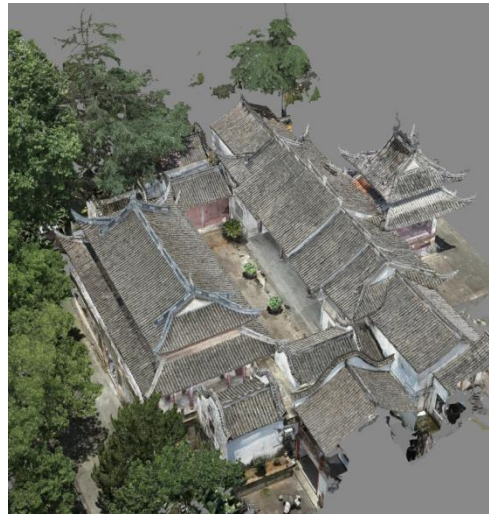


图 6 摄影测量成果

三、嵊州“四普”宣传实践

嵊州市构建了“线上线下结合、传统现代融合”的立体化“四普”宣传网络，全媒体覆盖广泛宣传高新文物测绘技术与文化遗产保护，有效提升公众文物普查的关注度和参与度。

全域数字化体验，打破时空限制

全景“云游览”：嵊州市建立了覆盖全市 91 处文物点、包含 455 幅全景图的文保单位全景影像在线浏览系统，公众通过扫码即可“云

游览”，利用全景技术让用户获得沉浸式体验，极大提升了文物资源的可及性和互动性（图 7）。

三维实景模型“数字孪生”：目前已完成三普复核 785 处，现场调查阶段新发现（未认定）271 处，共 1056 处不可移动文物的外业数据采集和内业实景三维模型生产。该成果不仅深度赋能文物普查工作，有效解决了传统普查中的难点痛点，显著提升了数据采集的精度与效率；更创新性地拓展了应用场景，借助实景三维建模、云渲染及虚拟现实技术，生成可在线访问的沉浸式数字空间。用户如身临其境般细致观赏文物结构、纹理及其环境风貌，可感知、可体验。



图 7 嵊县城隍庙及溪山第一楼全景影像在线浏览



图 8 华堂王氏宗祠实景三维建模在线浏览

多元化实体宣传，贴近公众生活

举办精品图片展：在 2024 年文化遗产日成功举办了《嵊州市"四普"宣传暨不可移动文物精品图片展》，以图文并茂的形式系统介绍普查背景、意义及流程，有效增强了公众的认知与责任感（图 9）。

编制宣传手册：精心编制了电子版与纸质版《嵊州市第四次文物普查宣传手册》，其中收录了习近平总书记重要讲话、普查公告及文保单位名录，内容详实、设计精美，便于传播与查阅（图 10）。

自制文创礼品：自制了具有嵊州文化特色的宣传团扇、文件夹等，融合小篆"嵊"字、地方诗句、传统印文等元素，在入户宣传及各类活动中发放，这些充满地方文化气息的礼品有效拉近了与群众的距离，提升了宣传的亲合力和感染力（图 11、图 12）。

学生参与社会实践：通过组织学生参与设计制作文创礼品与发放宣传资料社会实践，既增强了学生的社会实践能力，也为宣传工作注入了青春活力（图 13）。



图 9 图片展



图 10 宣传手册



图 11 精美小礼品之团扇



图 12 折扇、L型文件夹



图 13 学生社会实践



媒体矩阵联动，形成传播声势

纸质媒体： 2025 年 9 月 16 日，《今日嵊州》报纸头版报道：
我市通过高精尖测绘技术助力文物保护工作。

电视媒体： 2025 年 9 月 17 日，嵊州电视台《嵊州新闻》报道：
高精尖测绘技术助力嵊州文物普查工作（图 14）。

网络媒体：《今日嵊州》门户网站联动报道：我市通过高精尖测绘技术助力文物保护工作（图 15）。

移动媒体：爱嵊州 APP 新闻视频栏目联动报道：高精尖测绘技术助力嵊州文物普查工作。该条新闻报道首周阅读量达 4500 次，远高于同期其他新闻视频。

社交媒体：2025 年 9 月 21 日，小红书专业号发布“多维测绘技术助力嵊州市第四次全国文物普查”（图 16），3 日视频播放量超 10000 次，其点击率超过 99%同类的作者。2024 年 7 月 31 日，文旅嵊州微信公众号发布“四普”动态|省文物局专家指导嵊州四普工作，介绍浙江省文物局专家与嵊州市第四次全国文物普查队就北斗微型 RTK 在第四次全国文物普查中的具体应用方案进行了深入的技术探讨与交流（图 17）。



图 14 嵊州电视台《嵊州新闻》报道



图 15 《今日嵊州》报纸头版报道



图 16 小红书专业号视频笔记

记

会后，省文物局专家与嵊州市普查队赴溪山第一楼就微型RTK进行精度验证。专家团队分别在建筑角点和门口开阔区域对微型RTK在四普APP本体坐标采集及移动端拍照经纬度水印获取中的应用实地测试。通过现场坐标、影像信息采集等技术支持，指导推动“四普”工作进程。



微型RTK在四普APP中的应用在溪山第一楼进行实地测试

图 17 文旅嵊州微信公众号发布“四普”动态|省文物局专家指导

嵊州四普工作（局部截图）

视觉系统标准化，强化品牌识别

精心设计了包含工作马甲、遮阳帽、车辆标识、设备防雨罩等在内的全套视觉形象系统（图 18-19）。这些视觉元素统一采用“四普”专用标识和嵊州文化特色的设计风格，既体现了文物普查工作的专业性和权威性，又展现了地方文化特色，确保了整个普查团队视觉形象的高度统一。通过这些标准化、系统化的视觉形象建设，我们在全市范围内营造出支持文物普查的浓厚氛围，使普查工作成为街头巷尾可见、可感、可参与的民生工程，有效提升了普查工作的专业公众形象和社会认知度。



图 18 统一工作人员形象标识



图 19 统一车辆形象标识

四、嵊州“四普”宣传创新

嵊州市在“四普”宣传推广中展现了强烈的创新意识，灵活运用多种互联网技术和平台，推动了文化遗产的保护与传播。

技术驱动，赋能宣传新体验

技术亮点作为宣传内容：深度应用全景影像、贴近摄影测量、三维激光扫描等空间信息技术，其本身的高科技属性就成为宣传的亮点和内容来源，有效吸引公众关注。相关报道在爱嵊州 APP、小红书、政府官网、云展网等平台单周阅读量合计超 2 万，极大推动了高新测绘技术和文化遗产保护的传播。

技术成果转化公众体验：基于数字测量技术实现了从“数字化存档”到“数字化展示”的转化，公众通过扫码即可“云游览”文保单位全景影像、访问数字孪生实景三维模型，这种沉浸式、互动性的体验方式，极大提升了文物资源的可及性和趣味性。

跨界融合，激活宣传新动能

物质与非物质融合：创新性地将文物普查宣传与嵊州“乡村越剧联赛”这一国家级非物质文化遗产活动相结合，在赛事现场向演员、戏迷和观众普及文物知识，通过物质与非物质文化遗产的融合，实现“活态传承”（图 20）。

文物与旅游融合：2024 年 9 月 8 日，浙江省发布全省首批 11 条“跟着四普去旅游”精品线路，嵊州申报的越剧遗存游线路入选，嵊州新闻、绍兴文旅发布、浙江政协同心苑、浙江文旅政务、浙江发布等微信公众号平台，均推送“越剧遗存游”专题线路（图 14），通过文旅融合，探索文化遗产赋能经济社会发展的有效路径，使其在利用中进一步诠释和丰富其价值。



图 20 四普队员们在“村越”角逐赛现场进行四普宣传

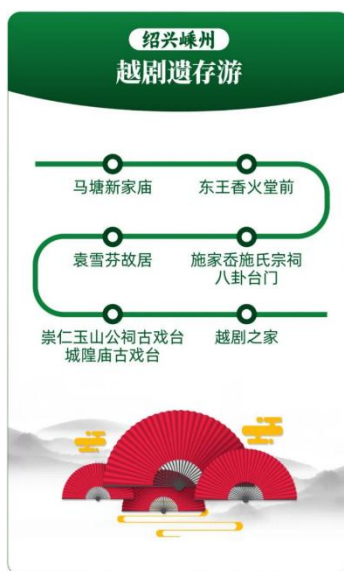


图 20 浙江省发布全省首批 11 条“跟着四普去旅游”精品线路
课件分享，拓展行业影响力

公开课直播分享：2025 年 5 月 29 日，大疆行业应用视频号，进行“贴近摄影测量守护文化遗产”的公开课直播，嵊州市文物保护中心受邀分享空间信息化技术在“四普”中的应用，分享期间直播观看人数超 1 万，有效扩大了在专业领域的影响力（图 21）。

乡镇干部培训课：注重基层宣传的全覆盖，利用乡镇干部培训等重要场合，同步开展四普专题宣传讲座（图 22），确保宣传工作无

死角、无盲区，有效提升了基层干部对普查工作的理解度和支持度，形成了上下联动的良好宣传态势。

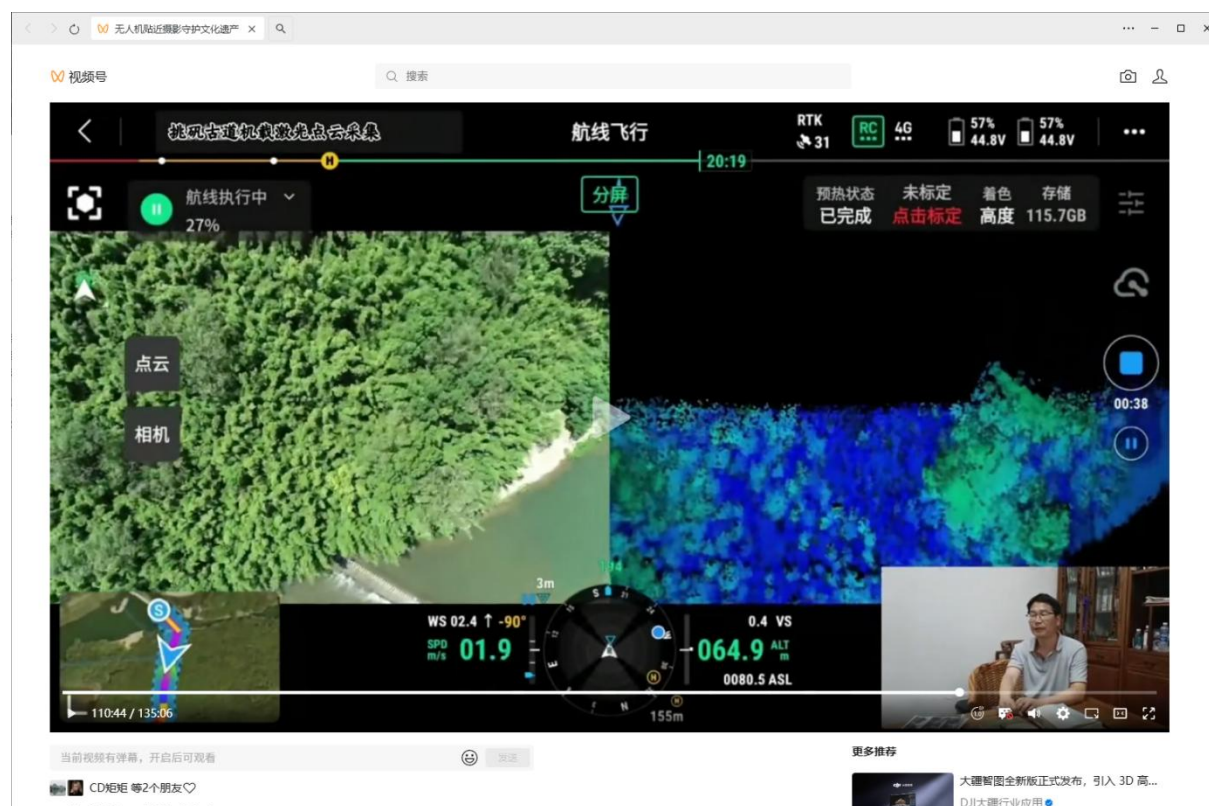


图 21 大疆行业应用公开课截图——介绍测绘技术在嵊州第四次全国文物普查中的应用



图 22 “嵊州市及贵门乡文物保护与利用”专题讲座宣传四普工作数字书橱，延展宣传生命周期

通过云展网平台建立的“嵊州市第四次全国文物普查书橱”（图23），实现了文物普查宣传从“动态传播”到“静态沉淀”的范式创新。整合了普查简报、研究论文、数字化存档、工作手册、宣传手册等多元资源，形成结构化、可持续更新的数字档案库，不仅保障了宣传内容的完整性与系统性，更通过“边普查·边研究”“边普查·边数存”等栏目设计，将普查工作全过程透明化向社会公开，增强了公众对文物普查的认知与参与感。同时，兼顾专业性与普及性，既为行业提供学术资源，又向公众提供通俗易懂的专题宣传内容，实现了专业赋能与公众教育的双向驱动。此外，云展网使宣传成果突破时空限制，转化为可长期访问、复用共享的数字资产，延展了宣传的生命周期，近1年访问次数达11253次，阅读时长达260课时，读者7875位，读者覆盖全中国，并有部分外国读者。



图 23 云展网“嵊州市第四次全国文物普查书橱”

学术引领，提升宣传深度

实践上升为理论与规范：积极申报并完成社科联课题“实景三维技术赋能浙东唐诗之路保护研究”（结题论文发表于《大众文艺》2025 年 16 期），将实践经验转化为学术成果和技术规范，为宣传注入了专业深度，也为行业提供了参考（图 24-25）。

成果输出引领专业交流：秉承“边普查边研究”理念，已在《中国文物报》（图 26）等权威刊物发表论文 4 篇。这些成果分享了多技术融合赋能文物保护的经验，不仅提升了嵊州“四普”工作的学术影响力，更通过国家级专业平台的传播，实现了宣传广度与深度的双重提升。

嵊州市社会科学界联合会

嵊社联〔2025〕6号

嵊州市 2025 年哲学社会科学研究立项通知书

各课题负责人：

2025 年哲学社会科学研究指南课题根据自愿申报，经绍兴市专家评审，《中国式现代化视域下传统文化“两创”路径研究——以越剧为例》等 14 个课题被批准立项为嵊州市 2025 年哲学社会科学研究课题。各课题负责人接到立项通知书后，请按照《关于做好嵊州市哲学社会科学 2025 年度课题研究工作的通知》（嵊社联〔2025〕1 号）要求组织研究，并将研究成果在 2025 年 10 月 31 日前报送市社科联。

特此通知

附件：2025 年嵊州市哲学社会科学研究立项课题



2025 年嵊州市哲学社会科学研究立项课题

序号	项目	负责人	单位职务	完成时间
1	中国式现代化视域下传统文化“两创”路径研究——以越剧为例	何洁宜	中共嵊州市委党校教育科副科长	2025.10
2	数字时代下制造业企业提升创新绩效的实现路径研究	相娇娜	中共嵊州市委党校教师	2025.10
3	新质生产力推动县域产业高质量发展的路径与机制研究——以嵊州市打造“中国丝高地”为例	何家浩	中共嵊州市委党校工作人员	2025.10
4	实景三维技术赋能浙东唐诗之路保护研究——以嵊州市高山流水古道为例	王鑫君	嵊州市文物保护中心主任	2025.10
5	乡村旅游介入下传统村落居民身份感知与参与意愿研究——以嵊州市小昆山村为例	赵乐铃	中共嵊州市委党校社会培训科副科长	2025.10
6	嵊州古村落传统建筑术语体系调查研究	汪沈伟	嵊州市文物保护中心副主任	2025.10
7	特色产业助力乡村共富的逻辑透视与动力机制研究——以嵊州市“共富工坊”实践为例	梁雨婷	中共嵊州市委党校科研室副主任	2025.10

图 24 社科联课题立项

五、嵊州“四普”宣传成效和社会影响

嵊州“四普”的创新实践获得了从地方到国家级的广泛认可，形成了显著的社会影响力。媒体关注与政府肯定：工作获《今日嵊州》、嵊州电视台等市级媒体专题报道，并被嵊州市、绍兴市人民政府官网及浙江省文物局转载（图 27）。行业影响与模式输出：高精尖技术应用和宣传模式吸引多地考察交流，其探索的北斗微型 RTK 等技术方案普查初期已在省内推广。受邀在全国性行业公开课分享经验，观看人数超 1 万，获得了专业领域的高度关注。社会反响与公众参与：系列宣传活动有效激发了公众的参与热情，累计收到的群众文物线索数量较上次普查有显著增加，形成了“全民关注、支持、参与

文物普查”的良好氛围，真正践行了“保护文物，人人有责”的理念。其所形成的“嵊州经验”为全国文物普查宣传工作提供了极具参考价值的创新范式。

MULU

·公共文化服务研究·				
基层文化场馆群众文化活动的策略研究.....	吴丹	1		
转型中华民族共同体意识视域下藏民族文化艺术发展的路径探析.....	廖子夏	4		
场景理论视域下公共文化设施发展路径探究.....	赵亮	7		
“非遗+”跨界融合模式在提升文化品牌塑造中的应用研究.....	陈祥宇	30		
——以广州天河为例.....				
·非物质文化遗产研究·				
民族地区乡村活动与民族交往交融研究.....	周世新	杨钰萍	11	
——以桂林恭城县乡村圩日活动为例.....				
·文艺评论·				
《大卫·科波菲尔》的音乐叙事研究.....	王景地	15		
·文博与数字化研究·				
实景三维技术赋能浙东唐诗之路保护研究.....	王嘉君	余琛	周社	18
——以嵊州百山岙水古道为例.....				
·美术与设计研究·				
《良友》画报的视觉表达与多元美学实践.....	马	70	22	
融合AI技术的服装流行元素提取及设计智能化策略研究.....	陈艺	李程	吴晓乙	25
乡村振兴视域下传统村落景观基因再生设计研究.....	刘	魏	28	
城市新视角下景观植物在城市公园中的应用研究.....	胡	宇	余莹	31
虚拟现实技术在文化遗产保护与传播中的应用研究.....	张	良	张	34
——以桂林雁栖岛为例.....				
豫东传统建筑装饰艺术的基因解码、数字赋能与旅游转化策略研究.....	解	小	云	37
·音乐理论研究·				
巴山子弟歌红色音乐文化研究.....	胡	旭	40	
意大利歌剧《图兰朵》中的东方元素研究.....	彭	景	43	
汉魏南北朝鼓吹乐研究综述.....	王	雨	45	
宋元词曲宫调与音乐形态异质析.....				
——基于文献统计与乐谱分析的双重考察.....	高	洋	49	
俗多首辨：年轻音乐的跨文化实践与身份建构.....	曹	芳	53	
罗城民歌的歌词特征研究.....	刘	自	56	
·影视传媒研究·				
短视频的“鬼比兴”叙事传统研究.....	杨	成	李	59
——以肇庆电影为例.....				
区域电影的媒介气象呈现研究.....	潘	62		
——以肇庆电影为例.....				
琼州电影《博兴之艇艇国殇》的传播学分析.....	荆	65		
以《夺冠》为例谈当下中国体育电影的现代性.....	吴	68		

实景三维技术赋能浙东唐诗之路保护研究

——以嵊州市高山流水古道为例

王鑫群¹ 余 峰² 高 翔³

(1. 嵊州市文物保护中心, 浙江嵊州 312400; 2. 浙江理工大学, 浙江杭州 311121)

摘要: 针对浙东唐诗之路线遗产保护中地形复杂、信息割裂、修缮科学性不足等现状, 文章以嵊州市高山流水古道为实证对象, 提出实景三维技术赋能的保护研究新模式。通过空地协同采集构建高精度实景三维模型, 精准量化古遗址遗迹分布方式和五大类残损病害分布; 融合历史文献与GIS分析, 在三维空间中复原古道历史格局、石笋形制及路亭布局, 实现文化系统的数字化解释; 依托感知建造环境数据修复与景观模拟性, 研究表明, 实景三维技术可有效辅助线遗产保护修复, 为浙东唐诗之路古遗址遗迹提供科学支撑。

关键词: 实景三维技术; 浙东唐诗之路; 线遗产保护; 高山流水古道

中图分类号: K872.C127
文献标识码: A 文章编号: 1007-5828(2025)14-0019-03
DOI: 10.20112/j.cnki.kssn1007-5828.2025.16.007

文化遗产作为历史文明的物质载体, 其保护与修缮承载着民族记忆、国家文脉的重要使命。浙东唐诗之路作为中国古代诗歌与文化传播的核心空间载体, 当前保护实践中, 基于二维线性的传统修复设计方法应用广泛, 但在面对线性遗产的复杂性、空间连续性及文化景观完整性时, 其局限性日益凸显: 二维设计在空间精度、信息传达准确性等方面, 难以精准表达古遗址遗迹形态、石笋层叠关系、摩崖石刻立体特征等, 更无法还原场景的空间逻辑。这导致设计方案在施工现场往往面临信息断层, 增加成本与文物风险, 甚至割裂文化场域的完整性。

近年来, 实景三维技术(如倾斜摄影、激光扫描)为文化遗产的精准记录开辟新路径, 实景三维模型凭借高精度、高真实感和信息承载特性, 能够建立物体与环境的“数字孪生体”^[1]。在遗产保护领域已应用于考古遗迹等线性遗产的数字化^[2]。然而, 针对浙东唐诗之路此类融合自然遗产与特殊文化线路, 现有技术尚未解决文化基因解码(三维模型多寡几何形态, 未关联重要景观的空间映射)与数据传承不足(方案设计缺

定历史背景支撑与公众沉浸式体验考量)两大核心问题。本文聚焦实景三维技术在浙东唐诗之路线遗产保护与活化应用, 以嵊州市高山流水古道为实证对象, 突破传统二维设计局限, 通过构建高精度实景三维模型实现文化基因数字化解码(普遍性量化、精准空间还原), 依托感知建造还原历史场景可行性, 形成“现状-设计-施工”全周期数字孪生链, 为线遗产保护提供兼具精准性与文化延续性的新模式。

一、高山流水古道概况

嵊州市高山流水古道作为浙东唐诗之路的重要实证, 承载最珍贵的文献与历史记忆。是唐代诗人杜甫、李白、岑参等名家的创作源泉, 也是研究唐诗的重要实物。古道全长约10公里, 由120米石阶、南渡石拱桥、石笋、石亭等遗迹组成, 古道全长566米, 遗迹高差54.89米, 如图1所示。

在文化价值层面, 高山流水古道是浙东唐诗之路的重要文化实证。现存唐代摩崖石刻, 以精湛的书法与深刻的诗思, 生动展现了不同时期文人墨客的情感与心迹, 是研究古代文学、书法艺术以及社会文化的重要实物

19

图 25 社科联课题结题论文发表

培育修复人才 共护丝路遗产

——甘肃省第一周秦汉瓦当修复班结业典礼

为深入贯彻落实《“十四五”文物保护和科技创新规划》要求, 提升文物修复人才专业技能, 7月15日至18日, 甘肃省第一周秦汉瓦当修复班在兰州圆满结业。此次培训由甘肃省文物局主办, 省文物研究所、省考古研究所、省博物馆等单位联合承办, 吸引了全省各地文博单位近百名业务骨干参加。

培训期间, 学员们通过理论授课、实操演练、现场观摩等多种形式, 系统学习了瓦当的考古学意义、制作工艺、病害类型及修复方法。省文物研究所专家围绕瓦当的纹饰特征、断代依据及修复材料选择进行了详细讲解, 并结合大量实物案例, 深入剖析了瓦当修复中的关键技术难点。在实操环节, 学员们分组进行瓦当的清洗、拼对、粘接、打磨等工序, 在导师的指导下, 逐步掌握了瓦当修复的完整流程。

结业典礼上, 省文物局局长对学员们在学习期间的辛勤付出和取得的优异成绩表示充分肯定, 并对大家今后继续钻研业务、提升专业素养提出了殷切期望。学员们纷纷表示, 此次培训不仅增长了见识, 更提升了实操能力, 为今后更好地开展瓦当修复工作打下了坚实基础。



以赛促学 培育更多“文物医生”

为激发青少年对文物保护的兴趣, 培养青少年文物保护意识, 7月10日至12日, 全省青少年文物修复技能大赛在兰州举行。来自全省各地的青少年选手参加了瓦当修复、陶器修复、玉器修复等多个项目的比赛。

比赛中, 选手们展现了扎实的专业功底和精益求精的工匠精神。他们在规定时间内, 严格按照修复流程, 对破损的文物进行了精细的修复。评委们根据修复的规范性、完整性和美观度进行了综合评判。

此次大赛不仅是一场技艺的较量, 更是一次知识的交流。选手们通过比赛, 相互学习, 取长补短, 进一步提升了自身的专业技能。大赛的举办, 对于普及文物知识, 弘扬工匠精神, 培养青少年文物保护人才具有重要意义。



科技与传统融合赋能华夏士氏宗祠保护

随着科技的飞速发展, 数字技术在文化遗产保护领域的应用日益广泛。在浙江省绍兴市, 一项名为“科技赋能宗祠保护”的创新项目正在稳步推进, 旨在通过数字化手段, 实现对传统宗祠建筑及其内部文物的精准记录、科学修复和有效展示。

该项目由绍兴市文物局牵头, 联合多家科技企业和高校共同实施。项目团队首先对宗祠进行了全面的数字化扫描, 建立了高精度的三维模型。这不仅有助于精确测量建筑的结构和尺寸, 还能清晰呈现其复杂的雕刻和装饰细节。同时, 团队还对宗祠内的珍贵文物进行了数字化建档, 详细记录了每件文物的来源、年代、材质和保存状况。

在修复方面, 团队利用3D打印技术, 精准复制了部分受损的构件, 确保了修复工作的精准性和一致性。此外, 团队还开发了专门的数字展示平台, 通过VR/AR技术, 为参观者提供了沉浸式的文化体验。参观者可以通过手机或电脑, 随时随地浏览宗祠的三维模型, 了解其历史文化背景, 甚至可以与虚拟文物进行互动。

“科技赋能宗祠保护”项目不仅提升了宗祠保护的科技含量, 也拓宽了宗祠文化的传播渠道。通过数字化手段, 宗祠的历史文化得以更好地传承和弘扬, 为中华优秀传统文化的创造性转化和创新性发展提供了有力支撑。





图 26 中国文物报刊登科技匠心-科技与传统融合赋能华堂王氏宗祠保护

嵊州市通过高精尖测绘技术助力文物保护工作

发布时间: 2025-09-18 来源: 今日嵊州

近日,在市文物保护中心,工作人员通过手机扫描专属二维码,朱熹笔下的“溪山第一”与雕梁画栋的城隍庙古建筑,精美的全景影像即刻在掌上呈现。通过沉浸式浏览,让人仿佛置身于这座江南古迹之中。

第四次全国文物普查是重大国情国力调查,我市以“四普”为契机,全面应用全景影像、摄影测量和三维激光扫描技术,助力文物保护工作。

据介绍,经过为期一年的野外调查工作,我市文物四普工作已进入第三阶段。目前,全市范围内的各级文物保护单位全景影像已经全面上线,其中包含91处“四普”文物登录点,455幅全景影像图,后续还将采用时空轴线串联各类四普文物登录点,构建嵊州文保数字云端全景漫游平台。

在摄影测量方面,目前我市普查队已完成近千处不可移动文物的外业数据采集和内业实景三维模型生产,并将不可移动文物实景三维模型导入GIS平台,在实景三维模型上精确绘制文物本体范围边界,全面提升数据精度。在此基础上,市文物普查工作还全面应用了三维激光扫描技术,以浙江省级文物保护单位嵊州城隍庙及溪山第一楼为例,工作人员通过采用架站式共扫描120站,采集32GB原始数据,构建出了毫米级三维点云模型。小黄山遗址、王羲之墓、古香榿种植园、高山流水古道、古城墙等等大范围或线形文物,则利用空中机载激光雷达进行了空间信息化数据采集,地面采用了移动式激光雷达进行了补充数据的采集。古香榿种植园还同时采用多光谱版无人机进行了“CT扫描”,揭示肉眼无法直接观察到的树木健康状况、种类属性等信息。

高精尖测绘技术助力嵊州文物普查工作的做法引发了文物、测绘等相关行业的关注,今年5月29日,深圳大疆公司进行“贴近摄影测量守护文化遗产”公开课直播,嵊州市文物保护中心还受邀分享了空间信息化技术在“四普”中的应用。

第四次全国文物普查期间,我市还将建立集普查数据、图件和文字成果的全市不可移动文物资源大数据库,通过不可移动文物实景三维模型与自然资源三维立体“一张图”结合,全面提升文物资源保护管理信息化水平。

嵊州融媒记者 费学军

通讯员 何情达

图 27 浙江省文物局官网编发:嵊州市通过高精尖测绘技术助力文物保护工作。

六、总结

嵊州市在第四次全国文物普查的宣传推广工作中,成功将高新测绘技术、融媒体传播、地方文化特色与学术研究有机融合,构建了多

层次、宽领域、立体化的宣传格局。其工作不仅极大提升了公众认知度与参与度，更探索出了一条技术赋能、文化引领、全民共享的文化遗产保护与传播新路径。所形成的“嵯州经验”通过媒体与行业交流获得了广泛的知名度，为全国提供了可资借鉴的创新范式，是为推动文化遗产系统性保护、更好赓续中华文脉所进行的一次成功的地方实践。

（二）科技赋能守护千年遗址——西安市大遗址数字化保护技术工程重点实验室的文保实践》

申报单位：西安文理学院生物与环境工程学院

西安市大遗址数字化保护技术工程重点实验室

案例详情：

一、案例背景：千年古都的使命与挑战

西安作为中华文明的重要发祥地，十三朝古都的历史积淀使这片土地遗存了极为丰富的大遗址资源。从秦始皇陵兵马俑到汉长安城遗址，从隋唐大明宫到明城墙，每一处大遗址都是中华文明的重要载体，也是世界文明的重要见证。然而，随着城市化的不断推进和自然环境的持续变化，大遗址保护面临着前所未有的压力：环境侵蚀、自然风化、地质灾害、城市建设与人类活动的干扰，都对遗址的安全和完整性构成挑战。

传统的文物保护方法在应对新形势下的复杂问题时已显不足，如何借助前沿科技手段实现大遗址的科学保护与活态利用，成为文化遗产保护领域的重大课题。在这样的背景下，西安市大遗址数字化

保护技术工程重点域的重大课题。在这样的背景下，西安市大遗址数字化保护技术工程重点实验室应运而生，肩负起以科技赋能文物保护的历史使命。

二、实验室建设与使命：科技赋能文化遗产保护

西安市大遗址数字化保护技术工程重点实验室依托西安丰富的大遗址资源和测绘科学与技术的学科优势，聚焦文化遗产保护中的重大科学问题，以大遗址的数字化保护与开发、活化利用与传播为目标，整合高校科研团队的学术力量与企业的工程技术优势，打造先进的数字技术研发与应用平台。

实验室确立了“科技引领、创新驱动、服务文博、面向社会”的发展定位，围绕文化遗产保护的全链条，形成了四大研究方向：

大遗址数字化保护理论与实践研究：探索数字孪生、空间大数据、虚拟现实等新技术在遗址保护中的应用路径，推动保护理念从“静态封存”走向“动态守护”。

2. 关键技术与平台研究：聚焦三维激光扫描、无人机遥感、BIM/GIS一体化平台等前沿技术，研发适用于不同遗址场景的数字化解决方案。

3. 文化产业链与人才培养研究：推动“产学研用”一体化发展，培养兼具人文素养与科技能力的复合型文博人才。

4. 综合解决方案与数字展示研究：构建“保护—管理—展示—传播”的全链条技术体系，提升公众的文化体验感和参与度。

通过这一战略布局，实验室不仅承担着科研攻关的重任，更承载

着文化遗产 保护社会化、普及化、产业化的使命。

三、科技赋能的路径与实践

1、产业需求牵引下的校企协同攻关

实验室紧密呼应“数字中国”战略和“智慧文博”建设的时代需求，坚持问题导向，聚焦文化遗产保护中的技术瓶颈，主动面向产业发展需求寻求突破。依托三维激光扫描、倾斜摄影测量、北斗高精度定位等先进技术，实验室在关中书院等项目中实现了成果的成功应用与验证，为遗址保护提供了坚实的技术支撑。

同时，实验室积极联合南方测绘、北京超图、中煤航测等行业龙头企业，搭建“科研+产业”的协同平台。通过技术研发与成果转化的双向联动，形成了一批“可落地、可推广、可复制”的文物数字化保护解决方案，为文化遗产行业提供了现实可行的技术路径。

2、多学科协同的数字化创新团队

实验室组建由考古学、计算机科学、测绘学等领域专家组成的文化遗产数字化创新团队，围绕高精度建模、智能修复算法等全链条关键技术开展协同攻关，实现跨学科优势互补，突破传统技术壁垒，推动文物保护数字化水平整体提升。这一团队不仅是科研与工程的结合体，更是“学科交叉+实践导向”的创新典范。他们提出问题、建模求解、工具研发到现场应用，实现了从理论研究到工程落地的无缝衔接。

3、项目驱动的人才培养

实验室在科研攻关的同时，注重人才培养与学科发展。通过“教

学+科研+项目”三位一体的融合模式，让学生走进真实的文物数字化保护工程。

在关中书院数字化建模项目中，学生全程参与三维重建、场景复原、数字展示等环节，不仅锻炼了动手实践能力，还在文化遗产保护中增强了责任感和使命感。这种项目驱动型人才培养模式，为文博领域输送了一批既懂技术又懂文物的复合型青年人才。

四、文化遗产保护与传播实践：让文物“活”起来

1、政策呼应与典型示范

实验室负责人鲍锋作为省市政协委员，始终关注文物保护数字化问题。在深入调研后，他指出陕西文物保护在活化利用和数字化水平方面仍存在不足。在2023年陕西省两会上，他提交了《关于我省加快文物保护与科技创新的建议》提案，呼吁：将文物保护范围与不可移动文物信息纳入国土空间规划体系；推进地理空间信息、大数据等数字技术在文物保护和利用中的应用；加快红色文化遗产的数字化保护与大数据库建设，助力红色基因传承。这一提案得到了社会各界的广泛关注，为陕西乃至全国的文物数字化保护提供了可借鉴的政策指引。

2、科研团队典型事迹：用前沿科技点亮文保之路

在实验室的建设与发展过程中，一支由“科学家+工程师”组成的跨学科团队逐渐脱颖而出，成为大遗址数字化保护的中坚力量。

团队长期致力于探索如何利用大数据、人工智能、虚拟现实、数字孪生等前

沿技术与理论方法，对文化遗产进行活化利用、内涵挖掘和基因提炼。他们不仅在技术层面不断突破，更在方法论层面总结出一整套可复制、可推广的实践路径在具体工作中，科学家负责提出学术问题、设计理论框架，工程师则承担算法研发、平台搭建与工具开发，通过“科研+工程”的深度融合，团队成功研发了多款具有自主知识产权的软件平台和应用工具，为文物保护提供了多样化的技术手段以关中书院项目为例：团队采用人工建模与照片贴图结合的方法，实现了书院的高精度还原模型；基于 GIS 数据与实景数据，构建了书院虚拟场景，开发了“沙盘查看+实景仿真”两种展示模式；针对二门建筑，研发了六视图查看、三方向剖切和结构拆解等功能，便于用户从多个维度理解遗产的结构与细节。

这些创新成果，不仅为优秀传统文化的创造性转化和创新性发展提供了有力支撑，也为文化遗产保护行业的数字化转型提供了新范式，团队的探索实践，标志着文物保护从“静态守护”迈向了“动态激活”的新阶段。

五、贡献与展望：文保尖兵的时代担当

作为西安市大遗址数字化保护技术的重要科研平台，实验室在推动文化遗产保护现代化进程中发挥了“尖兵”作用。它不仅为陕西文物事业的高质量发展提供了有力支撑，更为全国文物数字化保护探索出可复制的经验与路径。

未来，实验室将继续聚焦关键技术突破，完善数字化保护标准体系，深化跨学科协作，强化成果转化应用，同时，还将积极拓展社会

服务功能，通过数字展示、虚拟体验等方式，让公众更多地走近文物、理解历史、传承文明正如实验室负责人所言：“我们的目标，不仅是守护古迹，更是守护中华民族的根与魂。”这既是对历史的庄严承诺，也是对未来的责任担当。

（三）宣传集

申报人：姜湾

案例详情：

一、宣传行动：多渠道知识传播

在文化遗产保护领域，技术创新与学术研究是守护文明瑰宝的核心支撑，但让这些专业成果“飞入寻常百姓家”，唤醒更多人对文化遗产的珍视与参与，同样是文保事业的重要使命。本人长期深耕文保技术研发与应用，主要研究方向有深度学习在青铜器识别中的应用，应用 GIS 空间分析技术进行古代道路的还原，结合遥感地信技术提取古代遗址点的空间分布特征并构建预测模型。主要应用内容如下。

（1）深度学习在文物保护方面的应用

利用 TensorFlow 平台搭建相应深度学习模型对青铜器进行智能识别。以中国国家博物馆、故宫博物院和台北故宫博物馆的青铜器文物图片作为实验对象，利用图形工作站，建立 TensorFlow 深度学习模型，并在实验过程中依据具体情况设定相应的参数、阈值等对实验数据进行训练和测试，初步实现青铜器文物中的鼎、簋、镜、壶、尊这五类的自动识别与分类。实验的准确率（VOC2010）达 0.9641 以上，

得出基本可替代人工识别文物的初步结论,为博物馆文物数据库中的文物识别与归类问题提供了有力的参考,可成为专家鉴别文物的辅助手段,以便于提高其工作效率,同时也可为智慧博物馆建设中的图片查询功能提供一定的帮助。

(2) 空间分析方法在古代道路还原方面的应用

应用 ArcGIS 软件中的最小成本分析模块,结合人类步行速度与坡度的关系函数,在数字高程模型 (DEM) 的数据基础上,从行进过程中能量消耗最少的角度出发,构建古代交通路线的线路模型,对古代交通路线进行定量化表示。另外还采用天地图的二、三级公路数据进行了路线还原,并与文章提出的方法作相应的路程和时间损耗对比分析。结合实地调查对沿线遗存与道路的关系进行了定量分析,得到文章方法具有一定可靠度的结论。参考历史文献记载,提取古代团队行进时间数据,并获得古代团队行进的交通路线与时间损耗计算关系函数。结论为采用最小成本分析方法进行古代交通路线复原有助于在未有可靠公路数据时重建交通道路网格,此方法也可结合已有公路数据对历史上文化、政治、军事交流道路的时间损耗提供更为精细的定量化数据参考。

(3) 结合遥感地信技术进行遗址点的空间分析与预测模型的构建

结合遥感图像处理与地理信息系统空间分析等技术手段,构建喀什地区的遗址预测模型,缩小喀什地区田野考古的地域调查范围,实现对尚未被发现的文物与遗址起到前瞻性保护具有重要意义。利用

2008 年的 MODIS 遥感影像数据反演新疆喀什地区的土地覆被类型，结合研究区域的高程、坡度、朝向与距离水系的距离等地理环境因素，运用 GIS 空间分析方法，对喀什地区明清以前时期的遗址选址情况进行分析。随机提取研究区域内 90% 的遗址（492），采用变异系数法构建遗址选址偏好模型，利用剩余 10% 的遗址（55）进行模型验证，在所构建的遗址预测模型中测试遗址点的平均得分为 72.56, 96.35% 的测试遗址点位于中高等级区，遗址预测模型的可靠性较高。此研究表明，遥感与地理信息系统的结合可为田野考古发掘提供依据，也可为考古研究和文化遗产保护提供地理参考。

（4）应用地理信息空间分析技术对新疆哈密地区坎儿井的空间分布特征提取研究

以哈密地区坎儿井为研究对象，综合应用 Envi、ArcGIS 等软件，采取空间分布分析与数据统计相结合的研究方式，从高程差、地物类别、坡度、朝向和土壤砂粒含量等方面，对有水坎儿井与无水坎儿井的分布特点展开了系统性的分析研究。研究表明，分布在高程差 3984m~4100m，地物类别为戈壁/沙漠，坡度为 0°~1.8°，朝向为南向，地表土壤砂粒含量在 420g/kg~453g/kg 范围内的坎儿井应得到重点关注。此外，本研究运用层次分析法对各环境因子在坎儿井空间分布方面的影响进行了定量确定，进而为坎儿井的保护方向提供了具有重要价值的参考依据。

二、成果与影响：社会认可与行业赞誉

先后在国际权威学术会议、核心期刊发表多项研究成果。

(1) 会议论文：国际博协藏品保护委员会（ICOM-CC）第 19 届大会

ICOM-CC 第 19 届大会于 2021 年 5 月召开，受到了来自全球文化遗产和博物馆领域专家学者和有关新闻媒体、社会公众的普遍关注。据统计，有来自全世界 67 个国家的 1484 名文保专家、文物保护工作者及研究人员通过视频会议系统参加了本次大会的相关讨论环节，创下了国际博协历史上最大规模在线会议的纪录。共有 57 位来自全球各地的专家发表了专题演讲，大会还举办了 15 场在线互动问答。本人作为中国发言的 18 位学者之一，在第 17 专题：科学研究，发表《基于深度学习的青铜器自动识别技术》的报告并发表相关论文，得到了国内外专家的关注与讨论。

(2) 期刊论文：《自然与文化遗产研究》

对于古代道路的自动还原算法进行研究，并将其应用于民国时期晋商茶叶贸易手抄本《行商遗要》中办茶路线的还原。《行商遗要》手抄本目前馆藏于山西祁县渠家大院博物馆，共 77 页，2 万多字，详细记录了途径地点与通行距离。本人应用历史资料记载还原了办茶路线与所需时间，并进行了速度时间公式的纠正，让公众感受到技术与文化的结合互证。文章得到公众号的刊发，并邀请本人进行了视频解说的录制。

(3) 期刊论文：《航天返回与遥感》

应邀撰写《航天返回与遥感》专栏（文物遥感考古专用技术）论文，发表《基于 RS 与 GIS 结合的喀什地区遗址预测模型构建》。

对新疆开始地区的遗址保护提供了数据化建议。

(4) 学术会议：“多维度、多角度下的明清舆图研究”学术论坛

“多维度、多角度下的明清舆图研究”学术论坛于 2022 年 10 月在中国国家博物馆举行。该论坛由中国国家博物馆主办，国博研究院舆图研究所和中国科学院大学国家社科基金冷门绝学研究专项“中国传统地图绘制方法系统研究”课题组联合承办。共收到会议论文摘要 86 篇，分四场大会报告和六个小组报告进行。其中，四场大会报告，有 32 位学者做了主旨发言。我作为发言者之一，于会上作《基于 logistic 回归模型的遗址预测模型研究》报告。

(5) 学术会议：第三届地理信息与遥感技术国际学术会议 (GIRST 2024)

第三届地理信息与遥感技术国际学术会议 (GIRST 2024) 将在 2024 年 11 月 29 日-12 月 1 日于意大利罗马召开。大会旨在为从事地理信息与遥感技术的专家学者、工程技术人员、技术研发人员提供一个共享科研成果和前沿技术，了解学术发展趋势，拓宽研究思路，加强学术研究和探讨，促进学术成果产业化合作的平台。本人应邀投稿并刊发文章《Spatial distribution analysis of Karez in Hami region based on analytic hierarchy process》。

这些成果不仅为文保工作提供了技术支撑，更成为本人面向公众开展文保宣传的核心素材。通过将专业技术转化为通俗化、可视化的内容，借助多渠道传播，有效打破了文保领域的“专业壁垒”，让更

多人了解文保技术的价值、文化遗产的魅力，进而提升公众对文化遗产保护的关注度与参与度。

三、未来展望：持续守护文化遗产

未来，我将继续以学术研究为基础，结合新的文保技术成果，不断创新宣传形式，继续向公众传播文化遗产保护的意识，连接专业与大众，让更多人成为文化遗产的“守护者”，共同为传承人类文明瑰宝贡献力量。