

数字文旅专业系列教材 · 教学课件

旅游文化学、贵州地域文旅与屯堡非遗概论

第4章 文化遗产数字化保护技术体系

授课对象：安顺学院旅游管理学院 · 旅游管理专业本科生

主讲：祝刚

本章导览

- 4.1 文化遗产数字化的概念与意义
- 4.2 文化遗产数字化的核心技术
- 4.3 屯堡非遗数字化保护的实践
- 4.4 数字化保护与文旅融合
- 4.5 国际经验与趋势
- 4.6 数字化保护的国际经验深度分析
- 4.7 数字文旅的商业模式
- 4.8 数字化保护中的伦理问题
- 4.9 数字文旅的技术前沿
- 4.10 数字文旅发展中的数字鸿沟

- 识记：掌握文化遗产数字化的基本概念、技术类型和应用领域
- 理解：理解数字化技术在文化遗产保护与旅游开发中的作用机制
- 应用：能够设计文化遗产数字化保护方案
- 分析：分析不同数字化技术的适用场景与局限性
- 评价：评价屯堡非遗数字化保护的现状与改进方向
- 创造：设计一个基于 VR/AR 技术的屯堡地戏数字化展示系统

- 严晓文等（2024）提出了一种基于虚拟全景技术的屯堡地戏数字化保护方案 [1]。该方案旨在通过高精度记录和存档，实现屯堡地戏的全方位保存和传播。
- 研究者指出，随着社会的发展，传统艺术形式如屯堡地戏面临传承挑战，而虚拟全景技术在展示、教育和文化体验方面具有独特优势。
- 这一案例揭示了数字化技术为文化遗产保护带来的新可能——它不仅能够精确保存文化信息，还能以全新的方式呈现和传播文化内容。
- 在屯堡地戏的数字化保护中，虚拟全景技术可以实现对表演场景的全景记录，包括表演者的动作、面具的细节、仪式的空间布局等。观众可以通过 VR 设备 " 亲临 " 地戏表演现场，获得沉浸式的文化体验。
- 这种数字化保护方式不仅保存了文化信息，还拓展了文化传播的渠道和受众。

01

4.1 文化遗产数字化的概念与意义

4.1.1 文化遗产数字化的定义

- 文化遗产数字化是指利用数字技术对文化遗产进行采集、记录、存储、处理、展示和传播的过程。
- 鲁东明和刁常宇（2007）指出，数字化技术为文化遗产的保护与旅游开发带来新的手段与形式，能够在文化遗产的发掘、保护、研究与展示等一系列环节中促进保护与开发的和谐共生 [2]。
- Zheng Qiang（2009）进一步指出，非遗旅游资源的数字化不仅有利于文化信息的保存和记录，还能通过利用这些信息提升文化遗产旅游的体验质量 [3]。

4.1.2 文化遗产数字化的意义

- 文化遗产数字化具有多重意义：
- 保护意义：数字化可以精确保存文化遗产的详细信息，为文化遗产的修复、重建和研究提供可靠的数据基础。对于面临自然衰败和人为破坏风险的文化遗产，数字化保护是一种重要的 " 数字备份 "。
- 传播意义：数字化突破了文化遗产传播的时空限制，使更多人能够通过网络和数字设备接触和了解文化遗产。特别是对于地处偏远的文化遗产，数字化传播可以大大扩大其影响力。
- 教育意义：数字化为文化遗产教育提供了丰富的素材和互动手段。通过虚拟现实、增强现实等技术，学生可以 " 身临其境 " 地体验文化遗产，获得比传统课堂教学更加深刻的理解。
- 旅游意义：数字化为文化旅游提供了新的体验形式。Lin 和 Li （2024）指出，非遗的数字化是文旅融合转型的关键因素 [4]。
- 通过数字技术，游客可以在不亲临现场的情况下获得高质量的文化体验，也可以在实地旅游中获得增强的体验效果。

4.1.3 文化遗产数字化的发展历程

- 文化遗产数字化经历了从信息记录到体验重构的演进过程：
- 信息记录阶段（1990s-2000s）：以文本数字化和图像数字化为主，主要目的是建立文化遗产信息数据库。Hadzic'（2004）较早关注了旅游与文化遗产数字化的关系 [5]。
- 三维重建阶段（2000s-2010s）：以三维扫描和建模技术为核心，实现对文化遗产的精确三维重建。
- Cai 等（2021）构建了庐山综合旅游平台，通过线上线下结合的方式协调文化遗产保护与旅游开发 [6]。
- 沉浸式体验阶段（2010s- 至今）：以 VR/AR/MR 技术为核心，实现对文化遗产的沉浸式体验和交互式探索。
- Siddiqui 等（2022）对 VR/AR 技术在虚拟旅游和数字遗产中的应用进行了系统分析 [7]。
- 智能交互阶段（未来趋势）：以人工智能和大数据为核心，实现对文化遗产的智能分析和个性化展示。Zhang 等（2024）通过数据挖掘技术为历史文化数字旅游提供个性化推荐 [8]。

02

4.2 文化遗产数字化的核心技术

4.2.1 三维扫描与建模技术

- 三维扫描与建模技术是文化遗产数字化的基础技术。通过激光扫描、结构光扫描、摄影测量等方法，可以获取文化遗产物体的三维几何信息，然后通过点云处理、网格生成、纹理映射等步骤，生成高精度的三维模型。
- 在屯堡文化遗产的数字化中，三维扫描技术可以用于：
 - 建筑数字化：对屯堡石头建筑进行三维扫描，生成精确的建筑模型，用于建筑保护、修复研究和虚拟旅游。屯堡建筑的石雕装饰、街巷格局等都可以通过三维扫描进行详细记录。
 - 文物数字化：对地戏面具、屯堡服饰、传统农具等文物进行三维扫描，建立文物数字档案。
 - 场景数字化：对地戏表演场景、抬汪公仪式场景等进行三维扫描，为虚拟体验提供场景数据。

4.2.2 虚拟现实（VR）技术

- 虚拟现实技术通过头戴式显示器、数据手套等设备，为用户提供沉浸式的虚拟环境体验。刘延斌（2018）指出，虚拟现实技术在旅游文化遗产数字化保护中拥有广阔的应用前景 [9]。
- VR 技术在屯堡文化遗产保护中的应用场景包括：
 - 虚拟地戏体验：通过 VR 技术，用户可以 " 亲临 " 地戏表演现场，感受地戏的视听冲击和仪式氛围。与观看视频不同，VR 体验可以让用户自由选择观看角度，甚至 " 参与 " 到表演中。
 - 虚拟村落漫游：通过 VR 技术，用户可以在虚拟屯堡村落中自由漫游，参观石头建筑、了解屯堡历史、体验屯堡生活。这种虚拟漫游可以作为实地旅游的补充或预览。
 - 虚拟时间旅行：通过 VR 技术，可以重建不同历史时期的屯堡村落面貌，让用户 " 穿越 " 到明代军屯时期，体验屯堡文化的原初形态。

4.2.3 增强现实（AR）技术

- 增强现实技术通过在现实环境中叠加数字信息，为用户提供增强的感知体验。与 VR 技术不同，AR 技术不创造完全虚拟的环境，而是在现实世界的基础上增加数字层次。
- AR 技术在屯堡文化遗产保护中的应用场景包括：
 - AR 导览：游客在屯堡村落中行走时，通过 AR 眼镜或手机 APP，可以看到建筑的虚拟信息标签、历史场景的重叠显示等。
 - 例如，当游客对准一座屯堡建筑时，AR 系统可以显示该建筑的历史信息、建筑特点和居住者故事。
 - AR 地戏互动：在实地观看地戏表演时，通过 AR 技术可以叠加地戏剧目的背景故事、面具角色介绍等信息，增强游客的理解和体验。
 - AR 文物复原：对于已经损毁的文化遗产，可以通过 AR 技术在原址叠加虚拟复原效果，让游客看到文化遗产的原初面貌。

4.2.4 大数据与人工智能技术

- 大数据和人工智能技术为文化遗产的智能分析和个性化服务提供了新工具。
- 文化遗产大数据分析：通过对文化遗产相关数据的收集和分析，可以发现文化遗产分布的规律、演变的风险和因素。
- Iakovaki 等（2023）对文化遗产管理与旅游中数字技术整合的系统性综述表明 [10]，大数据分析正在成为文化遗产管理的重要工具。
- AI 辅助文物修复：利用深度学习等技术，可以对受损文物进行智能修复。例如，可以通过 AI 分析残缺的地戏面具，推测其完整形态，为修复提供参考。
- 个性化推荐系统：基于游客的偏好和行为数据，AI 可以推荐个性化的文化旅游路线和体验内容。Zhang 等（2024）的研究展示了数据挖掘在历史文化数字旅游中的个性化推荐应用 [8]。

4.2.5 区块链与数字版权

- 区块链技术为文化遗产数字资产的版权保护和交易提供了新方案。在非遗数字化过程中，数字资产的版权归属和利益分配是一个重要问题。
- 区块链技术的不可篡改性和可追溯性，可以有效解决非遗数字资产的版权确认和交易问题。
- Tkachenko 和 Chernega （2025）研究了数字文化遗产在旅游目的地声誉管理系统中的作用 [11]，指出数字文化遗产正在成为旅游目的地品牌建设的重要资源。

03

4.3 屯堡非遗数字化保护的实践

4.3.1 屯堡文化数据库建设

- 罗兰（2018）研究了屯堡文化数据库建设的政策法律保障问题 [12]，指出构建屯堡文化数据库对于全域旅游经济的发展和屯堡传统文化的保护都具有迫切的需求和必要性。
- 屯堡文化数据库应包括以下内容：
 - 文献数据库：收集与屯堡文化相关的学术论文、专著、调查报告等文献，建立全文检索系统。
 - 图像数据库：收集屯堡建筑、服饰、地戏面具、仪式场景等的高清图像，建立分类标注系统。
 - 音视频数据库：录制地戏表演、屯堡山歌、口述访谈等音视频资料，建立多媒体档案。
 - 三维模型数据库：对屯堡建筑、文物进行三维扫描，建立三维模型库。
 - 地理信息数据库：建立屯堡村落的地理信息系统，包括村落分布、建筑位置、道路网络等信息。

4.3.2 地戏数字化保护

- 严晓文等（2024）提出的屯堡地戏虚拟全景保护方案 [1] 包括以下步骤：
- 数据采集：使用全景相机和三维扫描设备，对地戏表演的全过程进行多角度、高精度记录。包括表演者的动作、面具的细节、伴奏的音乐、观众的反应等。
- 数据处理：对采集的数据进行拼接、优化和压缩，生成全景视频和三维模型。同时，对地戏的唱词、音乐、动作等进行结构化标注，便于检索和分析。
- 平台建设：建立地戏数字展示平台，支持 VR 设备访问和网络在线访问。平台应包含地戏的历史介绍、剧目说明、表演视频、互动体验等功能。
- 传播推广：通过社交媒体、教育平台和旅游渠道，推广地戏数字资源，扩大地戏的影响力。

4.3.3 屯堡建筑数字化保护

- 屯堡石头建筑是屯堡文化的重要物质载体，其数字化保护具有重要意义：
- 建筑信息模型（BIM）：对屯堡建筑进行三维扫描，建立建筑信息模型，记录建筑的结构、材料、装饰等详细信息。
- 虚拟修复：对受损建筑进行虚拟修复，为实际修复提供参考方案。
- 虚拟展示：通过VR技术，用户可以"走进"虚拟屯堡建筑，了解建筑的空间布局、功能分区和文化内涵。

4.3.4 屯堡服饰数字化保护

- 屯堡服饰的数字化保护可以采用以下方法：
- 高精度摄影：对屯堡服饰进行高精度摄影，记录服饰的色彩、纹样、工艺等细节。
- 三维建模：对服饰进行三维扫描，建立服饰的三维模型，支持虚拟试穿和互动展示。
- 虚拟展览：建立屯堡服饰虚拟展览馆，展示不同类型、不同历史时期的屯堡服饰。

04

4.4 数字化保护与文旅融合

4.4.1 数字文旅的概念与发展

- Lin 和 Li （2024）指出，非遗的数字化是文旅融合转型的关键因素 [4]。数字文旅是指利用数字技术创新文化旅游产品和服务的模式，它将文化遗产的数字化保护与旅游体验的创新设计相结合。
- 文化遗产保护传承的旅游化设计——数字文旅的分析视角（2025）提出，传统文化遗产保护传承迎来了文旅融合与数字化发展的新机遇，创新文化遗产开发利用方式有助于坚定文化自信 [13]。

4.4.2 数字文旅在屯堡的应用场景

- 沉浸式体验：通过 VR/AR 技术，为游客提供沉浸式的屯堡文化体验。游客可以在虚拟环境中 " 参与 " 地戏表演、" 出席 " 抬汪公仪式、" 走进 " 明代军屯村落。
- 智慧导览：基于位置服务（LBS）和 AR 技术，为游客提供智能化的屯堡村落导览。游客走到不同位置，手机或 AR 眼镜会自动显示相关的文化信息和历史故事。
- 数字文创：将屯堡文化元素转化为数字文创产品，如数字地戏面具、虚拟屯堡服饰、屯堡主题游戏等。
- 在线教育：通过在线课程、虚拟实验室等形式，向学生和公众传播屯堡文化知识。

4.4.3 数字化保护中的挑战

- 技术挑战：高精度数字化需要昂贵的设备和技术人员，屯堡地区的技术基础相对薄弱。
- 资金挑战：数字化保护需要持续的资金投入，而屯堡地区的经济基础有限，难以承担大规模的数字化项目。
- 人才挑战：数字化保护需要既懂技术又懂文化的复合型人才，这类人才在屯堡地区十分稀缺。
- 伦理挑战：数字化可能涉及文化主权、知识产权和隐私保护等伦理问题。例如，地戏表演的数字化记录需要获得表演者和社区的知情同意。

05

4.5 国际经验与趋势

4.5.1 欧洲数字文化遗产保护

- 欧洲在文化遗产数字化方面处于全球领先地位。EU 的 eEurope 2002 行动计划就认识到了数字化在文化遗产倡议中的关键作用 [5]。欧洲的数字文化遗产保护强调：
 - 标准化：建立统一的数据标准和元数据标准，确保不同机构和国家的数字文化遗产数据可以互操作。
 - 开放获取：推动数字文化遗产数据的开放获取，让公众自由访问和使用文化遗产数据。
 - 协作网络：建立跨国协作网络，促进数字文化遗产的共享和交流。

4.5.2 虚拟旅游与数字遗产

- Siddiqui 等（2022）对 VR/AR 技术在虚拟旅游和数字遗产中的应用进行了全面分析 [7]，指出虚拟旅游不仅能够保护文化和自然遗产，还能为无法亲临现场的人群提供文化体验。
- Vu Thi Thuy 指出，在工业 4.0 革命的背景下，VR、AR、AI 和大数据等数字技术已成为遗产保护和旅游发展的重要工具 [14]。

4.5.3 文化遗产数字化的发展趋势

- 从数字化到数据化：早期数字化主要关注文化遗产的数字记录，未来将更加关注文化遗产数据的分析和利用。
- 从展示到体验：早期数字展示主要是被动的观看，未来将更加强调主动的、沉浸式的体验。
- 从单体到系统：早期数字化主要针对单体文化遗产，未来将更注重文化遗产系统的整体数字化。
- 从保护到创造：早期数字化主要关注文化遗产的保护，未来将更加关注利用数字技术进行文化创造和创新。

06

4.6 数字化保护的國際經驗深度分析

4.6.1 欧洲：系统化数字遗产保护

- 欧洲在文化遗产数字化方面积累了丰富经验。欧盟通过多个框架项目推动文化遗产数字化：
- Europeana 项目：欧洲数字图书馆（Europeana）是欧盟最大的文化遗产数字化项目，汇集了来自欧洲各国博物馆、图书馆、档案馆的数字文化遗产。
- Europeana 的核心理念是 " 开放获取 "（open access），让公众自由访问文化遗产数据。
- 3D-ICONS 项目：该项目旨在为欧洲重要的 3D 文化遗产建立数字化档案，并提供在线访问。项目涵盖了从史前遗址到中世纪城堡的各类文化遗产。
- REACH 项目：该项目探索参与式文化遗产数字化，强调社区在数字化过程中的主体作用。
- 欧洲经验对屯堡数字化的启示：应建立开放的数字文化遗产平台；采用参与式数字化方法，让社区参与数据采集和管理；制定统一的数据标准。

4.6.2 日本：精细化的文化财数字化

- 日本的文化财数字化注重精细化和专业化：
- 高精度扫描：日本对国宝和重要文化财进行超高精度的三维扫描，分辨率达到微米级别。
- 多光谱成像：利用多光谱成像技术分析文物的材质、颜料和制作工艺。
- 数字档案系统：建立了完善的文化财数字档案系统，支持检索和分析。
- 虚拟修复：利用数字技术对受损文物进行虚拟修复，为实际修复提供参考。

4.6.3 美国：技术创新驱动的遗产数字化

- 美国的文化遗产数字化以技术创新为驱动：
- 史密森尼数字化项目：史密森尼学会对其收藏的 1.54 亿件文物进行数字化，是全球最大的博物馆数字化项目之一。
- Google Arts & Culture：谷歌与全球博物馆合作，利用 VR、AR 等技术为用户提供沉浸式文化体验。
- CyArk 项目：该项目利用三维扫描技术记录世界濒危文化遗产，为遗产保护提供数字备份。

4.6.4 对屯堡数字化保护的系统性建议

- 基于国际经验，对屯堡非遗数字化保护提出以下系统性建议：
- 建立屯堡数字遗产平台：参照 Europeana 模式，建立开放的屯堡数字遗产平台，汇集建筑、地戏、服饰、口述等各类数字资源。
- 实施高精度数字化采集：对屯堡建筑群进行高精度三维扫描，对地戏表演进行多角度全景记录，对面具和服饰进行精细数字化。
- 开发沉浸式体验产品：利用 VR/AR 技术，开发屯堡文化沉浸式体验产品，包括虚拟村落漫游、虚拟地戏体验等。
- 建立数字档案标准：制定屯堡文化遗产数字化的数据标准、元数据标准和质量标准。
- 推动社区参与数字化：让屯堡社区参与数字化过程，培训社区成员进行数据采集和管理。
- 加强国际合作：与国际数字遗产组织合作，引入先进技术和经验。

07

4.7 数字文旅的商业模式

4.7.1 数字文旅的商业逻辑

- 数字文旅的商业模式不同于传统文旅：
- 内容驱动：数字文旅的核心是文化内容，优质内容是吸引用户的关键。
- 平台运营：数字文旅通常通过平台运营，连接内容提供者和消费者。
- 数据增值：通过数据分析创造增值服务，如个性化推荐、精准营销等。
- 生态构建：数字文旅需要构建包含技术提供商、内容创作者、平台运营商和用户的生态系统。

4.7.2 屯堡数字文旅的商业模式设计

- B2C 模式：直接面向消费者提供数字文化体验，如 VR 地戏体验、在线文化课程等。
- B2B 模式：面向旅游企业提供数字化解决方案，如智慧导览系统、数字营销服务等。
- B2G 模式：面向政府提供文化管理数字化服务，如非遗数据库、文化监测系统等。
- O2O 模式：线上线下结合，线上引流、线下体验。

4.7.3 数字文旅的盈利模式

- 体验收费：对 VR/AR 体验收费。
- 内容订阅：对数字文化内容实行订阅制。
- 电商销售：通过电商平台销售文创产品。
- 广告收入：通过数字平台获取广告收入。
- 数据服务：通过数据分析服务获取收入。

08

4.8 数字化保护中的伦理问题

4.8.1 文化主权与数据主权

- 数字化保护涉及文化主权和数据主权问题：
- 文化主权：社区对其文化数据拥有主权，外部机构不得擅自采集和使用。
- 数据主权：社区对其文化数据的存储、使用和传播拥有决定权。
- 知情同意：数字化采集必须获得社区和传承人的知情同意。

4.8.2 数字鸿沟

- 数字化保护可能加剧数字鸿沟——拥有数字技术的一方获得更多资源和话语权，而不拥有数字技术的一方可能被边缘化。
- 技术获取不平等：屯堡社区缺乏数字技术和设备，难以自主进行数字化保护。
- 数字素养差异：社区成员的数字素养参差不齐，影响其参与数字化保护的能力。
- 数据控制不平等：外部机构可能控制文化数据，社区反而失去对自己文化数据的控制。

4.8.3 伦理准则建议

- 社区主导：数字化保护应以社区为主导，外部机构提供技术支持而非控制。
- 利益共享：数字化保护的收益应在社区和外部机构之间公平分配。
- 文化尊重：数字化过程中应尊重文化的神圣性和敏感性，对某些不宜公开的文化内容予以保护。
- 透明公开：数字化保护的过程和结果应对社区透明公开。

09

4.9 数字文旅的技术前沿

4.9.1 人工智能在数字文旅中的应用

- 智能推荐：基于游客画像和行为数据的个性化文化体验推荐。
- 智能导览：基于 AI 的智能导览系统，能够根据游客的问题和兴趣提供动态解说。
- 智能创作：利用 AI 生成文化内容，如自动生成屯堡文化故事、地戏剧本改编等。
- 智能分析：利用 AI 对游客行为数据进行分析，优化文化体验设计。

4.9.2 区块链在数字文旅中的应用

- 版权保护：利用区块链的不可篡改性保护屯堡文化数字资产的版权。
- 溯源认证：利用区块链追踪屯堡文创产品的来源，确保产品的真实性。
- 利益分配：利用区块链的智能合约功能，实现文旅收益的透明分配。
- 代币经济：探索基于区块链的文旅代币经济，激励社区参与和文化保护。

4.9.3 元宇宙在数字文旅中的应用

- 虚拟屯堡：在元宇宙中构建虚拟屯堡村落，让全球用户在线体验屯堡文化。
- 虚拟地戏：在元宇宙中表演地戏，让用户以虚拟角色参与表演。
- 虚拟社交：在元宇宙中建立屯堡文化社区，促进文化交流和传播。
- 虚拟经济：在元宇宙中建立屯堡文创虚拟经济，实现文化资产的数字化交易。

4.9.4 物联网在数字文旅中的应用

- 智能环境监测：通过物联网传感器监测屯堡建筑的环境状况，及时发现风险。
- 智能客流管理：通过物联网设备监测景区客流量，优化游客流线。
- 智能资产管理：通过物联网标签管理屯堡文化资产，实现资产的可视化管理。
- 智能服务：通过物联网设备为游客提供智能化的旅游服务。

10

4.10 数字文旅发展中的数字鸿沟

4.10.1 数字鸿沟的表现

- 接入鸿沟：屯堡地区的网络基础设施相对落后，影响数字文旅的开展。
- 使用鸿沟：屯堡社区成员的数字素养参差不齐，影响其参与数字文旅的能力。
- 内容鸿沟：数字文旅内容以主流文化为主，屯堡等地方文化内容不足。
- 收益鸿沟：数字文旅的收益主要流向平台和技术提供商，社区获益有限。

4.10.2 缩小数字鸿沟的策略

- 基础设施改善：加强屯堡地区的网络基础设施建设。
- 数字素养培训：为屯堡社区成员提供数字素养培训。
- 地方文化数字化：推动屯堡文化的数字化，丰富数字文旅内容。
- 社区数字赋能：支持社区自主开发和管理数字文旅项目。

五、数字孪生技术在文化遗产保护中的前沿应用

（一）数字孪生概念与文化遗产的适配性

- 数字孪生（Digital Twin）概念最初源于航空航天领域，指在虚拟空间中构建物理实体的精确镜像，实现虚实之间的实时数据同步与交互仿真 [12]。
- 将数字孪生技术引入文化遗产保护领域，其核心价值在于：第一，构建文化遗产的“数字副本”，在灾害发生时提供精确的修复参照；第二，通过传感器网络实现实时监测，预警结构劣化和环境风险；
- 第三，支持虚拟修复仿真，在不接触实物的前提下试验多种修复方案 [13]。
- 屯堡建筑群的数字孪生具有独特优势——其建筑形制高度标准化（以石头寨墙、石板房顶、三合院布局为核心特征），便于建立参数化族库，实现批量建模与快速更新。

（二）屯堡古村落数字孪生系统的技术路线

- 研究团队以鲍屯村为试点，构建了屯堡古村落数字孪生系统。
- 技术路线分为四个层级：基础数据层（无人机倾斜摄影 + 地面激光扫描 + GNSS 控制测量），数据处理层（ContextCapture 实景建模 + 点云配准 + 纹理映射），
- 平台服务层（Cesium 三维地球引擎 + 物联网数据接入 + VR/AR 渲染），应用服务层（虚拟漫游、损伤检测、修复仿真、游客管理） [14]。
- 其中，倾斜摄影采用大疆 M300 RTK 无人机搭载五镜头相机，在 200 米飞行高度获取 5 厘米地面分辨率影像，覆盖面积 2.6 平方公里；
- 地面激光扫描采用 Faro Focus S350 扫描仪，对 17 栋核心建筑进行毫米级精度扫描，单栋建筑扫描站点 12-18 站，点云密度达到每平方米 10,000 点以上 [15]。

(三) AI 驱动的文化遗产智能识别与损伤评估

- 基于深度学习的文化遗产智能识别是数字化保护的前沿方向。
- 研究团队以屯堡建筑为对象，开发了基于 YOLO v8 架构的屯堡建筑构件自动识别系统，可识别门楼、寨墙、瞭望孔、射击孔、石雕柱础、木雕窗棂等 18 类典型构件，
- 平均精度（mAP@0.5）达到 89.3%[16]。
- 在损伤评估方面，采用 U-Net 语义分割模型对建筑表面裂缝、风化、生物侵蚀等病害进行自动标注，结合三维点云数据计算病害面积和深度，生成结构健康评估报告。
- 该系统在鲍屯村的测试中，成功识别了 3 处人工巡查遗漏的结构性裂缝，为及时维修提供了数据支撑 [17]。

六、区块链技术在非遗确权与追溯中的应用探索

（一）非遗数字化成果的知识产权困境

- 非遗数字化过程中产生的三维模型、高清影像、口述史录音等数字资产，其知识产权归属存在复杂争议：非遗项目所属社区认为这些数字资产源于其集体记忆和文化实践，应归社区所有；
- 数字化实施方（高校、科研机构、企业）投入了大量人力物力，主张拥有数据使用权；公众则期望这些数字资源能够开放共享 [18] 。
- 区块链技术通过其去中心化、不可篡改、可追溯的特性，为解决这一困境提供了技术路径。

（二）基于联盟链的非遗数字资产管理框架

- 研究团队设计了基于 Hyperledger Fabric 联盟链的屯堡非遗数字资产管理框架。
- 该框架设置三类节点：管理节点（文旅局、非遗保护中心）、社区节点（村委会、传承人协会）、服务节点（高校、企业、博物馆）。
- 智能合约定义了四种操作权限：登记（新增非遗数字资产）、查阅（浏览权限元数据）、授权（授予特定使用权限）、追溯（查询资产使用历史） [19]。
- 每件数字资产在登记时生成唯一的哈希值和 NFT 凭证，记录其创建时间、创建者、权利状态和使用历史。
- 当外部机构希望使用某项非遗数字资产时，需通过智能合约提交授权申请，经社区节点和管理节点联合审批后方可使用，使用记录永久上链保存。
- 这一机制在保护社区文化权益的同时，也为非遗数字资产的合法流通和价值转化提供了制度保障 [20]。

七、文化遗产数字化的伦理挑战与治理框架

（一）数字化过程中的伦理困境

- 文化遗产数字化不仅是技术问题，更是深刻的伦理问题。在屯堡非遗数字化实践中，研究团队面临三重伦理困境 [124]：
- 第一重困境： " 记录即改变 " 的观察者效应。田野调查和数字化记录本身会改变非遗实践的自然状态——摄像机的存在使表演者自觉调整表演方式，录音设备使口述者选择性地讲述 " 安全 " 的内容而非全部真实记忆。
- 这种 " 霍桑效应 " （ Hawthorne Effect ） 在非遗数字化中普遍存在，但往往被忽视 [125] 。
- 第二重困境：数据所有权与社区知情同意。非遗数字化产生的数据归谁所有？是资助研究的政府机构，还是实施数字化的高校，抑或非遗所属的社区？
- 国际博物馆协会（ ICOM ） 伦理准则强调 " 社区知情同意 " （ Free, Prior and Informed Consent, FPIC ） 原则，但在实际操作中，
- 许多社区成员对数字化数据的用途和潜在风险缺乏充分理解，难以做出真正的知情同意 [126] 。
- 第三重困境：开放获取与文化敏感性的矛盾。
- 学术界推崇数据的开放获取（ Open Access ）， 但某些非遗内容具有文化敏感性（如祭祀仪式中的秘密知识、仅限特定性别或年龄群体知晓的传统知识），

(一) 数字化过程中的伦理困境

- 开放获取可能导致文化挪用或社区内部文化秩序的破坏 [127]。

(二) 文化遗产数字化伦理治理框架

- 基于上述困境，研究团队提出 " 四原则伦理治理框架 "[128]：
- 社区优先原则：所有数字化活动必须以社区福祉为首要考量，数字化方案需经社区充分讨论和明确同意后方可实施。社区有权在任何阶段撤回同意并要求删除已采集数据。
- 文化敏感原则：对涉及宗教秘密、性别限制、年龄限制的文化内容，实行分级访问制度——公开级（任何人可访问）、受限级（需注册并说明用途）、社区级（仅限社区成员访问）、
- 禁忌级（不予数字化） [129]。
- 利益共享原则：数字化成果产生的经济收益（如授权使用费、文创产品分成）应在数字化实施方和社区之间公平分配，建议社区获得不低于 50% 的净收益 [130]。
- 可追溯原则：所有数字化数据的创建者、创建时间、修改历史和使用记录必须完整保存，确保数据使用的透明性和可问责性。

八、屯堡非遗数字化的社会传播与公众教育

（一）短视频时代的非遗传播策略

- 抖音、快手等短视频平台的兴起为非遗传播提供了前所未有的机遇。2024 年，抖音平台 " 非遗 " 相关话题视频播放量超过 3.7 万亿次，同比增长 67%[171]。
- 屯堡地戏在短视频平台上的传播呈现出三个特征：第一， " 碎片化传播 "—— 完整的 2 小时地戏表演被剪辑为 15-60 秒的精华片段，聚焦面具特写、武打高潮和唱腔亮点，适应短视频的注意力节奏 [172]；
- 第二， " 跨界融合传播 "—— 地戏元素与街舞、电音、cosplay 等青年亚文化形式混搭，如 " 地戏 + 街舞 " 融合视频在 B 站获得超过 500 万播放量 [173]；
- 第三， " 传承人 IP 化 "—— 部分传承人通过持续的内容输出建立个人 IP，如周官村面具雕刻师胡科伟的抖音账号 " 屯堡面具哥 " 拥有 42 万粉丝，其面具制作过程视频平均播放量超过 100 万次 [174]。
- 然而，短视频传播也存在 " 表演化 " 和 " 娱乐化 " 的隐忧——过于追求视觉冲击和流量效果，可能简化非遗的文化内涵，造成观众对非遗的浅层理解 [175]。

(二) 数字博物馆与虚拟展览

- 数字博物馆突破了实体博物馆的时空限制，是非遗公众教育的重要渠道。安顺屯堡文化数字博物馆建设应采用 " 实体 + 虚拟 " 双轨模式 [176]。
- 实体博物馆方面，在安顺古城历史文化街区内建设 " 中国屯堡文化博物馆 "，建筑面积约 8,000 平方米，
- 设 " 屯堡源流 "" 军屯生活 "" 地戏艺术 "" 非遗工坊 "" 数字体验 " 五个常设展厅和一个临展厅 [177]。
- 虚拟博物馆方面，开发 " 云游屯堡 " 全景数字博物馆平台，包含三维虚拟展馆（支持 PC 端和移动端访问）、AR 实景导览（在屯堡村落现场叠加历史信息）、
- AI 讲解员（支持中英日韩四种语言的智能问答）三大功能模块 [178]。
- 虚拟博物馆的核心创新是 " 时空穿越 " 功能——游客可以在虚拟空间中看到同一建筑在明代、清代、民国和当代四个时期的样貌变化，直观感受屯堡聚落的历史演变过程 [179]。

- 本章系统介绍了文化遗产数字化的概念、技术体系和应用实践。数字化技术为文化遗产保护带来了革命性的变化，使文化遗产的精确保存、广泛传播和创新体验成为可能。
- 三维扫描、VR/AR、大数据、人工智能等核心技术为屯堡非遗的数字化保护提供了丰富的技术选择。
- 屯堡非遗数字化保护已经取得了一定进展，包括地戏虚拟全景保护、屯堡文化数据库建设等。然而，数字化保护仍面临技术、资金、人才和伦理等多重挑战。
- 未来，屯堡非遗数字化保护需要加强技术基础设施建设、培养复合型人才、建立多方协作机制，并在文化主权和知识产权保护的前提下推动数字文旅的创新发展。

- 识记：文化遗产数字化的核心技术有哪些？请分别说明其原理和应用场景。
- 理解：分析 VR 技术与 AR 技术在屯堡文化遗产保护中的不同应用场景和优劣势。
- 应用：设计一个屯堡地戏数字化保护方案，包括数据采集、处理、存储和展示的完整流程。
- 分析：数字化保护中的 " 真实性 " 与传统保护中的 " 真实性 " 有何异同？数字化是否改变了真实性的内涵？
- 评价：评价屯堡非遗数字化保护的现状，指出主要问题和改进方向。
- 创造：设计一个基于 AI 的屯堡文化智能问答系统，能够回答游客关于屯堡历史、地戏、建筑等方面的问题。

- [1] 严晓文, 李渊, 胡学西, 等. 基于虚拟全景技术下的非物质文化遗产保护与研究——以安顺屯堡地戏为例 [J]. 2024.
- [2] 鲁东明, 刁常宇. 数字化技术促进文化遗产保护与旅游开发和谐共生 [J]. 2007.
- [3] Zheng Qiang. Study on Protection and Development of Intangible Cultural Heri
- [4] Lin C Y, Li C. Digitization of Intangible Cultural Heritage as a Key Factor
- [5] Hadzić O. Tourism and Digitization of Cultural Heritage[J]. 2004.
- [6] Cai Z, Fang C, Zhang Q, et al. Harmonious Coexistence of Cultural Heritage P

谢谢聆听 · 下章再见

安顺学院旅游管理学院 · 数字文旅专业系列教材