

AI 驱动下的文物“永生”：人工智能赋能文物保护的路径、挑战与未来

崔玉坤¹, 张臻郁^{2*}, 汤婷婷³, 张佳慧⁴, 刘哲宇⁵

(¹ 兰卡斯特大学 计算与通讯学院, 德国 莱比锡 04109; ² 兰卡斯特大学 管理学院, 德国 莱比锡 04109; ³ 南充科技职业学院, 四川 南充 637000; ⁴ 兰卡斯特大学 计算与通讯学院, 英国 兰卡斯特 LA1 4YW; ⁵ 西南大学 美术学院, 重庆市 400715)

摘要: 文物作为承载人类文明记忆的贵重载体, 其保护工作面临着自然侵蚀、意外碰撞受损、修复棘手等不少挑战, 以人工智能(AI)为核心的数字技术浪潮在文物保护领域引发了革命性革新, 本文试图系统探索人工智能在文物保护里的核心应用渠道, 涉及高精度数字化文档的产出、基于AIGC(人工智能生成内容)的智能虚拟修复进行、文物知识图谱的搭建与关联评鉴, 以及病害识别和预防性保护做法^[1]。文章打算把数字文博平台“山海”APP作为前沿典范, 深入探索AI集成技术在文物数据精确采集、细节真实还原以及价值活化传承方面的实际操作, 凭借这个基础, 本文进一步针对AI赋能文物保护时所面临的技术伦理、数据安全等挑战进行分析, 进而对其跟物联网、增强现实等技术融合所形成的未来趋势进行展望。人工智能正引领文物保护从以往的被动、抢救性模式, 向重视主动、预防、研究与共享特性的新范式过渡, 为实现人类文化遗产“数字永续”状态提供了核心推力。

关键词: 人工智能; 文物保护; 数字化修复; AIGC; 3D 建模; 知识图谱; 数字文博

AI-Driven “Immortality” of Cultural Relics: Paths, Challenges, and Future of AI-Empowered Cultural Relic Conservation

Cui Yukun¹, Zhang Zhenyu^{2*}, Tang Tingting³, Liu Zheyu⁴

(¹ School of Computing and Communications, Lancaster University Leipzig, Leipzig, Germany, 04109; ² School of Management, Lancaster University Leipzig, Leipzig, Germany, 04109; ³ Nanchong Vocational College of Science and Technology, Nanchong, China, 637000; ⁴ School of Fine Arts, Southwest University, Chongqing, China, 400715)

Abstract: As precious carriers of human civilization's memory, cultural relics also meet many challenges in the process of protection, such as natural erosion, accidental collision damage and difficulty in recovery. The AI based digital technology wave has triggered a series of disruptive innovations in the protection of cultural relics. This article will try to explore the core application road of artificial intelligence in the protection of cultural relics. It includes producing high precision digital documents, intelligent virtual restoration based on AIGC (Artificially Intelligent Generated Content), cultural relic knowledge graph construction and evaluation,

作者简介: 崔玉坤 (1999-), 男, 德国莱比锡, 硕士, 研究方向: 应用数据挖掘, 模型可解释性

张臻郁 (1999-), 男, 德国莱比锡, 硕士, 研究方向: 社交媒体交互, 消费者行为, AI 素养。

汤婷婷 (1996-), 女, 中国南充市, 硕士, 研究方向: 文物保护与新闻传播

张佳慧 (1999-), 女, 英国兰卡斯特, 硕士, 研究方向: 生物信息学

刘哲宇 (2003-), 男, 重庆北碚, 大学本科, 研究方向: 艺术学, 传统文化

通讯作者: 张臻郁, 通讯邮箱: z.dexter@outlook.com

disease identification and preventive protection[1]. This article aims to take the digital cultural relics platform "Shanghai" APP as a cutting-edge example, and discuss the specific implementation of AI integration technology in the protection of cultural relics data collection in a precise way, the real restoration in detail, and the activation and inheritance of value. On this basis, this article further analyzes the challenges faced when cultural relics protection is empowered by AI in terms of technical ethics and data security, and prospects the future trends formed by its integration with other technologies such as Internet of Things and augmented reality. Artificial intelligence will promote the development of the protection of cultural relics from the previous passive and rescue mode to a new model of proactive, preventive, research and sharing, which provides a core driving force for the "digital sustainability" state of human cultural heritage.

Keywords: Artificial Intelligence (AI); Cultural Relic Conservation; Digital Restoration; AIGC; 3D Modeling; Knowledge Graph; Digital Cultural and Museum

引言

承载着历史回声与文明智慧的文物，是勾连过去、现在与未来的纽带，这些无法再生的文化宝贝一直都面临着严峻考验，材质的老化征兆、环境的侵蚀影响、光线的损害后果以及不可预见的物理撞击，都在侵害它们的留存局面，以前采用的文物保护方式，恰似物理修复、化学加固及环境管理，虽然在放缓文物走向消亡的速率方面功劳明显，但往往是存在一些很明显的局限，物理修复的操作进程不可倒转，对修复师的工艺技艺水平要求极其高，还或许会掺入主观意见；化学方法也许存在着长期的潜在隐患；只做环境控制仅仅是一种被动的防御方式，难以对付已出现的损伤情形。

在这样的情形里面，数字技术的崛起为文物保护铺就了一条全新的道路，从起初的二维数字化扫描，到后来采用三维激光建模，科技的每一步前进都为文物的“信息永存”增添一份保障，我们正处在由人工智能（AI）促动的智能化变革时代。AI 并非仅仅作为记录和存储信息的工具，它凭借强大的学习、分析、推理以及生成能力，开始深度涉足文物保护的全链条，从“贮存”到“懂得”，之后到“修治”与“采用”，流露出以往所没有的潜力。

人工智能技术，特别是深度学习、计算机视觉、自然语言处理（NLP）和人工智能生成内容（AIGC）等分支，正以前所未有的方式解决着文物保护中的核心难题^[2]。它能够以亚毫米级的精度复刻文物的每一个细节，让最脆弱的瑰宝得以在数字世界中永存；它能够学习古代工匠的技艺与风格，为残缺的器物提供科学、无损的虚拟修复方案；它还能读懂浩如烟海的史料，构建出连接不同文物、人物与事件的宏大知识网络。

本文旨在系统梳理并深入探讨人工智能在文物保护领域的革命性作用。我们将首先剖析 AI 在文物高精度数字化建档、智能化虚拟修复、知识图谱构建及病害监测等方面的核心应用路径。随后，文章将以引发广泛关注的数字文博平台“山海”APP 为具体案例，解构其如何集成 AI、3D 采集、区块链等前沿技术，将理论应用付诸实践。最后，本文将审慎地审视 AI 技术应用背后潜藏的伦理、数据与安全挑战，并对其未来发展趋势进行展望，以期为新时代下的文化遗产保护事业提供有价值的理论参考与实践启示。

1 人工智能在文物保护中的核心应用路径

人工智能并非只是单一技术，而是一组技术集合，它凭借模拟、延伸以及扩展人类智能，为文物保护找出了四条关键的应用途径，其中涉及了从数据采集、分析、修复直至预防的全流程。

1.1 高精度数字化建档：构建起文物的“数字孪生体”

文物保护的首要职责是全面、精准地记录其现有状态，如图纸测绘、文字描述以及实施二维摄影。在传统模式中，信息维度单一，精度的局限性较大，借助 AI 驱动的三维重建技术可以从根本上改变了这一情形。三维重建技术把计算机视觉、机器学习跟计算机图形学组合到了一起，为每一件文物设立一个高保真的“数字孪生体”，相关流程如图 1 所示^[3]。该流程一般以运动恢复结构（Structure from Motion, SfM 相关算法，依靠从不同角度拍摄的大批二维照片，基于机器学习的 SfM 算法可自动对图像间的特征点进行匹配，反向得出每张照片的拍摄位置（相机姿态）和空间中的稀疏三维点云状况，这一步给后续的精细建模打下了基础。

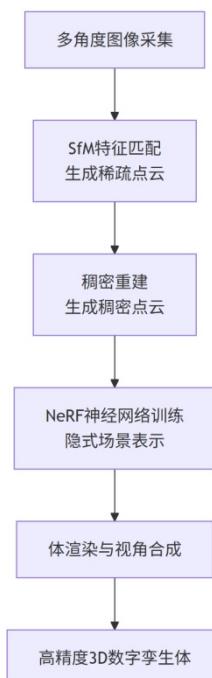


图 1 高精度数字化建模流程图 (SfM + NeRF)

依托此基础，神经辐射场 (Neural Radiant Fields, NeRF) 等前沿技术把模型精度提升到新的层级，NeRF 不会去生成传统的多边形网格模型，而是训练一个深度神经网络来隐式说明整个三维场景，此网络充当一个连续函数，输入是空间中的一个点坐标 (x, y, z) 和观察视角 (θ, φ)，输出是该点的颜色 (R, G, B) 和体密度 (σ)。借助查找空间中大量的点，且沿着光线开展体渲染，模式如图 2 所示。NeRF 可以生成任意视角且极度逼真的新图像，这种连贯的场景呈现模式，让其在处理包含玉器、琉璃的半透明材质以及包含青铜器的复杂反光表面时，效果大大超过传统方法，可以捕捉到文物最细微的纹理跟光影的变化。



图 2 NeRF 技术原理示意图

以 DUST3R 框架在博物馆级文物数字化项目中的实践作为例子，这项技术采用仅从 2 张手机照片起始的高精度三维重建算法，把传统方式中单件文物采集所需的数小时缩短到几分钟，综合成本下降至原有数值的 1/20，精度达到 0.1 毫米这样的级别，这种借助 AI 赋能达成的数字化建档，其意义远远超出了“展示”的层面，它给文物搭建起一个长久、可追查、能量化的数字档案，为后续一切保护研究工作打造了最可靠的数据根基。

1.2 AIGC 与智能化虚拟修复：让历史“无损”再现

文物修复是世界层面的难题，它要在“修旧如旧”跟“保持现有的状态”之间找平衡，而且该过程是不可反转的，AIGC（人工智能生成内容）技术的诞生，为“虚拟修复”或“推测性复原”提供了强大的工具，实现了真正的“无损”修复，其背后主要是两类生成式模型在起驱动作用。第一种是生成对抗网络 (Generative Adversarial Networks, GANs)。GANs 由一个“生成器”和一个“判别器”构成。在文物修复任务中，生成器负责根据文物的残损部分“脑补”出修复后的图像；判别器则负责判断这张图像是真实的文物，还是由生成器伪造的。二者在对抗博弈中共同进化，最终生成器能创作出让判别器真假难辨的、高度逼真的修复结果。特定变体如 CycleGAN，更擅长处理非成对的图像转换，例如在缺少直接参照物的情况下，为褪色的古画进行色彩还原。第二种是扩散模型 (Diffusion Models)。扩散模型是近年来更为强大的生成模型。其原理分为两步。首先在“前向过程”中，通过成千上万步，逐渐对一张完好的训练图像添加高斯噪声，直至其变为完全无

序的噪点。然后在“反向过程”中，训练一个神经网络来学习如何一步步地“去噪”，从纯粹的噪声中恢复出原始图像。在修复应用中，模型以文物的残损部分作为条件引导，从随机噪声出发，逐步生成出缺失部分的内容。由于其生成过程是渐进式的，扩散模型在图像的细节、纹理和整体一致性上往往表现更优，修复结果也更具多样性。

在实际操作应用里，湖南博物院“T形帛画”数字化色彩还原表现出这些技术的综合特质，应用时首先让AI对帛画上残留的微量色素进行精细分析，并且让AI针对能找到的大量汉代画作风格数据进行学习，最终打造出最贴合其出土时鲜艳原本形象的数字版本，这不仅为修复专家们提供了科学可视化的修复参考，躲开了直接在脆弱的真实文物上进行有风险的探索，而这也能让普通观众，有机会冲破千年界限，亲眼见证汉代那鲜活灵动的艺术世界。

1.3 文物知识图谱构建：激活信息孤岛，揭示文明脉络

历史文物背后都连接着一个巨大而复杂的历史网络。人工智能技术，特别是自然语言处理(NLP)与知识图谱，恰好就是理清这些脉络、打破信息孤岛的强大工具。其技术流程主要有以下内容，如图3所示：



图3 文物知识图谱构建流程图

命名实体识别：通过BERT(Bidirectional Encoder Representations from Transformers)等预训练语言模型，同时结合文物领域的专业语料做细微调校，可以让模型精准识别如古籍、考古报告这类非结构化文本中各类实体的AI模型，模型会自动将文本中的“人名”“地名”“器物名”“朝代”“材质”等关键信息进行标记。

关系抽取(Relation Extraction, RE)表明，在该模型总，AI识别出实体后，会进一步分析它们在句子中的语法结构和上下文语境，以抽取实体间的关系。例如，从“司母戊鼎出土于安阳殷墟”这句话中，模型可以抽取出三元组(司母戊鼎，出土地，安阳殷墟)。

知识图谱的核心价值不仅在于构建，更在于其强大的查询、推理与可视化能力，这使得研究人员能够以一种全新的、非线性的方式与海量历史信息互动。当用户在“山海”APP的“中华历史文化大模型”中输入一个实体，例如“苏轼”，系统返回的不再是传统的文档列表，而是一个以“苏轼”为中心的可视化知识网络，如图4。

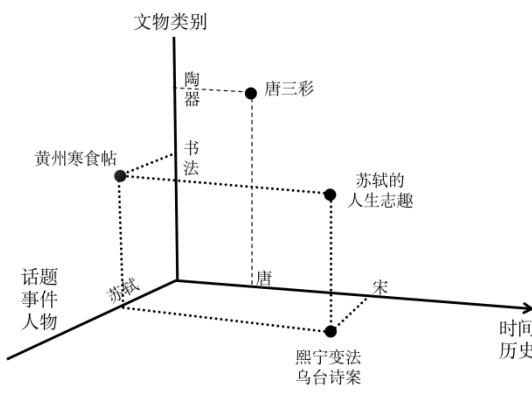


图4 可视化知识网络

1.4 病害识别与预防性保护：从被动响应到主动预警

文物保护的最高境界是“治未病”。基于计算机视觉的AI模型，能够成为文保人员不知疲倦的“眼睛”，实现对文物状态的精微监测和早期预警，其模式如图4所示。其核心技术是卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNNs)^[4]。

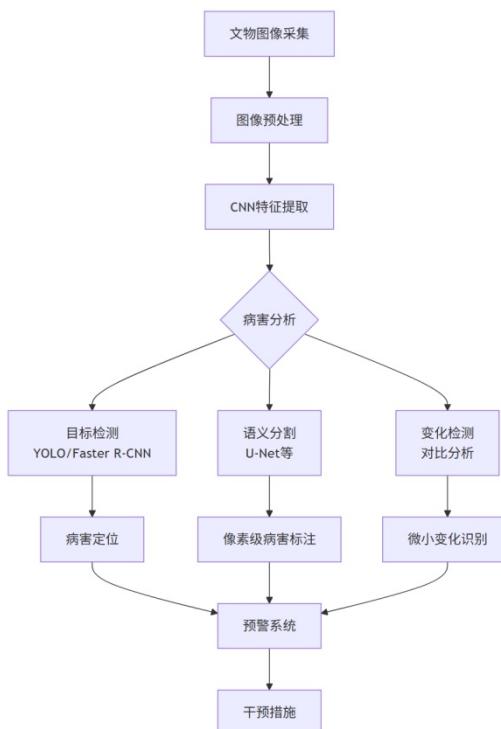


图 5 病害识别与预防性保护流程图

CNNs 通过模拟人类视觉皮层的层级结构，能够自动学习图像中的从低级（边缘、颜色）到高级（纹理、形状、物体）的各种特征。针对不同的保护任务，可以采用不同的 CNN 架构，常见的架构分为以下几种：

CNNs 通过模拟人类视觉皮层的层级结构，能够自动学习图像中的从低级（边缘、颜色）到高级（纹理、形状、物体）的各种特征。针对不同的保护任务，可以采用不同的 CNN 架构，常见的架构分为以下几种：

目标检测相关模型：如 YOLO, Faster R-CNN 相关模型，这类模型擅长在图像里快速找到位置并框选出特定目标，可实现自动识别且标注壁画上的裂隙、起甲、霉变区域。

语义分割模型：跟只进行边界框绘制相比，分割模型可对图像里的每个像素进行类别划分，这让 AI 得以用像素级精度勾勒出病害区域的清晰轮廓，为病害面积的量化评定和变化跟踪提供了精准资料。

变化检测相关模型：靠着对比同一文物在不同时间拍下的画面，这类模型可高效辨认出毫米级甚至微米级的细小改变，达成对文物病害的起始预警。

将 AI 监测系统跟博物馆的物联网（IoT）环境控制系统组合在一起，即可构建出一个智能的预防性保护闭环，暗示着文物保护正从被动向主动的、由数据推动的阶段迈进。

2 案例分析：“山海”APP 中的 AI 文物保护集成实践

上述理论框架的应用，需借助具体实践予以验证，“山海”APP 身为数字文博平台，达成了高精度数字化建档、AIGC 虚拟修复、知识图谱搭建以及病害识别与预防性保护等 AI 技术路径的系统整合^[5]。该平台凭借这些技术的融合，增进了文物数字化保护的效率水平，而且搭建了互动式保护架构，推动了文物资源的共享与利用。

2.1 高精度数字化建档与全链条智能化：从采集到云端存储的数字孪生闭环

“山海”APP 将文物三维数据采集、AI 处理、云端存储与多端应用的全链路整合在一起，其架构的样子如图 5 所示，该平台开发出的一体化采集设备跟算法，依靠神经核表面重建技术，改进了数字化进程里的效率，降低成本同时提高了质量^[6]。自研文物神经核表面重建算法让传统采集时间从数小时缩短到 30 分钟以内，精度实现毫米层级，综合成本削减了 80% 以上，该算法能让文物建模放大 6 - 8 倍后细节依旧清晰，到 2025 年这个节点，该平台已把超 6.1 万件文物的数

字化工作完成，这里面1万件采用了三维建模模式，还招来了近80家博物馆入驻，为实现数据完整性要求，该平台引入了区块链跟智能合约技术，为数字资产赋予唯一标识，实现对版权原创性的保障与可追溯，该机制为文物数字孪生搭建基础，而且支持后续开展修复、分析与预防事宜。

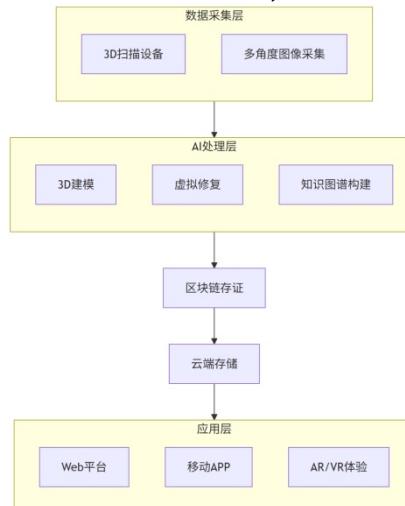


图 6“山海”APP 技术集成架构

2.2 AIGC 虚拟修复与知识图谱构建：深度解析与互动体验的融合

“山海”APP 将 AI 应用扩展至 AIGC 驱动的虚拟修复与知识图谱构建^[7]。以湖南博物院“T 形帛画”为例，该平台采用扩散模型与 GANs 变体，对褪色部分进行色彩复原，生成接近出土状态的数字版本。后台生成式 AI 模型分析残留色素，并基于海量汉代画作风格数据，提供无损修复参考。同时，该平台利用 BERT 微调的命名实体识别与关系抽取技术，构建文博知识图谱，生成“T 形帛画”与关联实体（如文物、历史概念、人物）的三元组网络，例如（T 形帛画，描绘主题，楚国神话）。该图谱支持智能分类与关联推荐，根据用户行为推送相关展品及文化背景，促进知识网络的系统构建。此外，该平台允许用户通过 AI 算法提取文物元素（如神兽图案、人物服饰）进行二次创作，确保生成内容的变异性。该功能整合虚拟修复与知识关联，实现文物的数字再现与历史脉络的揭示^[8]。

2.3 病害识别与预防性保护：参与者主导的文博生态与预警机制

文物保护的最高境界在于预防性干预，即“治未病”。基于计算机视觉的 AI 模型可作为文物监测系统的一部分，实现对文物状态的精细监测和早期预警，其核心技术为卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNNs）。该应用并非限于图像识别，而是形成从数据分析到主动干预的闭环流程。

AI 模型进行病害识别的前提是利用大量标注数据进行训练。文物保护专家与算法工程师需合作，在数万张文物图像上，对裂隙、起甲、霉变、盐析等病害区域进行像素级标注。这一过程为模型提供标注数据集，相当于构建病害识别的训练语料库。

训练完成后，AI 的识别流程包括以下步骤：

自动化巡检与目标检测，系统可定期分析高精度文物图像。采用 YOLO 或 Faster R-CNN 等模型，AI 能在图像中定位并框选疑似病害区域，例如识别壁画上的新增微小裂缝。

精细化分割与量化评估，针对定位的病害区域，系统调用语义分割模型（如 U-Net），以像素级精度勾勒病害轮廓^[9]。该过程不仅实现病害检测，还支持量化评估，生成数字化病害报告，例如：“A 区域裂隙长度为 5.2 mm，平均宽度为 0.1 mm；B 区域霉变面积较上月扩大 3.5%，颜色变化指数增加 8%”。此类数据提供病害发展速率的客观评估依据。病害识别仅为初始步骤，其价值在于指导预防性保护措施，从而从被动响应转向主动预警。

实现环境数据的关联，建成风险模型，AI 系统对图像识别结果跟物联网（IoT）传感器网络数据做关联研判，此传感器网络实时监控温湿度、光照强度、紫外线辐射以及诸如 SO₂、NO_x 等空气污染物等环境参数，借助对病害变化与环境数据的长期分析，AI 构建环境因子跟病害诱因的预测模型，该模型可达成量化目的：若展柜内湿度连续 72 个小时高于 65%，青铜器表面产

生锈蚀问题的概率增大 40%。

触发智能预警与前瞻性干预，基于风险模型，系统实现主动预警机制。当环境参数接近安全阈值，或根据天气预报预测环境变化时，系统发出警报并提供干预建议，例如：“预计未来 24 小时展厅湿度升至 70%，丝质文物纤维脆化风险增加，建议启动除湿设备并将湿度设定值调整至 50%”^[10]。

构建智能调控的闭合循环，处于高级应用的情境下，AI 预警系统可跟环境控制设备达成联动状态，造就自适应的闭环结构，一旦对风险做出预测，系统自行向恒温恒湿空调、新风系统以及电动遮光帘等设备发出调控指令，实现环境精准微调，从而在潜在损害出现前加以干预，实现依靠数据的预防式保护。

“山海”APP 依靠 AI 技术把用户参与门槛调低了，变革博物馆跟公众的互动样式，为用户开展策展、研究及创作活动给予一定支持，该平台把基于 CNN 的目标检测与变化检测模型（如 YOLO 变体之类）集成进来，并跟物联网环境控制模式相契合度更高，实现对数字文物的实时监测管控。依靠比对文物图像，该模型能对毫米级裂隙、霉变以及环境产生的变化进行探测，进而生成预警报告，支撑预防性干预事宜的开展，此机制协助从响应式保护到数据驱动的主动监测的过渡，用户被赋予收藏数字文物的权限，在个性化虚拟博物馆开展布展方面的事宜，而且把内容分享至社交网络；AI 生成的作品可跟电商平台对接，推出相关文创衍生产品，进而降低中小型博物馆开发成本的支出。该模式形成了文博社区跟创意产业生态架构，该平台首期打造的“中华历史文博大模型”（聚焦于秦汉这一阶段）可完成智能讲解与内容变现，实现院校跟博物馆资源的整合^[11]。

3 挑战与展望：通往“数字永生”之路的审慎思考

尽管人工智能给文物保护带来了显著的机会，不过其应用同样伴有潜在风险，在让文物实现数字化档案化的进程里，必须系统评估这些相关挑战。

3.1 当前面临的挑战

技术伦理与真实性的边界是迫切需讨论的核心话题，从本质上讲，AI 虚拟修复依托的数据驱动的“推测”，并非是那种绝对的“事实”，这引起了针对历史真实性的怀疑，在凭借 AI 开展古迹重建的当口，若模型依靠有限的数据集来形成方案，说不定会放大历史里的不平等情形，就像欧洲中心主义数据起主要作用时对非西方文物的边缘化对待，造成修复结果与真实的历史描述相背离。研究显示，要弄清楚这种推测的合理性，需要把考古证据和伦理评估相融合，不然也许会引发历史误读以及文化篡改的风险，与此同时，算法“黑箱”问题进一步增大了挑战的规模：深度学习模型的决策次序一般不透明，用户追溯修复逻辑不太容易，普遍存在训练数据的偏见，仿佛现有的数据集大多围绕精品文物展开，导致模型对非典型、罕见文物进行处理时准确率下降 20%-30%。

数据版权跟知识产权归属已成为全球性的难题，文物数字化数据的归属权界定模糊：博物馆数字化扫描的 3D 模型是否可以自由拿去做 AI 训练？用户使用 AI 工具进行二次创作（比如虚拟重构），原创性要怎么去界定？英国研究宣称，文化遗产研究中 AI 的版权风险涉及数据透明度与偏见放大问题，现行的法律框架（就如欧盟 GDPR）难以覆盖生成式 AI 的产出结果，平台、博物馆跟用户之间权益分配无统一标准，随着 AIGC 工具普及范围扩大，这类纠纷的规模已上升 15% 以上，好比国际组织 UNESCO 呼吁去制定全球性指南，让数据共享协议明确权利与义务。

技术隔阂与人才短板阻碍了 AI 的普及应用，每年高精尖 AI 设备的采购与维护费用高达数万美元，进一步增大了大型博物馆跟中小型机构的“数字鸿沟”差异，后者的数字化覆盖范围占比不足 30%，复合型人才短缺状况恶劣：全球大概只有 5% 的文保专业人士掌握 AI 技能，培训需求上的人数缺口达数万，这造成技术应用被局限在少数机构，UNESCO 报告说明要凭借国际合作来弥补这一差距。

3.2 未来发展展望

AI + 物联网（IoT）= 全天候智能监测体系：

首先，在遗址或展厅部署低成本 IoT 传感器网络，结合 AI 视觉识别模块（如 YOLO 算法）

实时采集数据。其次，利用边缘计算处理数据，避免云端延迟，实现自适应调控（如自动调整湿度阈值）。将AI视觉识别系统与遍布于遗址、展厅，视觉系统同时和温湿度、光照、气体等物联网传感器相结合，可以构建一个覆盖宏观环境与微观病害的全天候、自适应智能监测与调控系统，将预防性保护提升到新高度。

AI + AR/VR = 沉浸式历史场景再现：

采用AI生成对抗网络(GAN)复原历史场景数据，导入Unity引擎构建AR/VR模型，支持移动设备访问。观众可通过手机APP“互动”文物，如虚拟触摸青铜器查看祭祀动画。通过AI对历史场景和文物使用方式的复原，结合增强现实(AR)和虚拟现实(VR)技术，观众将不再是隔着玻璃看展品。他们可以“走进”历史场景，虚拟地“拿起”一件青铜器，看到它在祭祀中的使用情景，实现真正身临其境的文化体验。

从“辅助修复”到“预测性保护”：

构建AI“病变模型”通过长期数据集(材质、环境变量)训练LSTM神经网络，预测老化风险。集成多模态数据(图像+传感器)，输出干预建议。未来的AI模型或将能够通过对文物材质、结构及其环境数据的长期学习，建立精准的“老化模型”或“病变模型”。这些模型能让AI将不仅能修复已有的损伤，更能预测一件文物在未来特定环境下可能发生的病变，从而指导文保人员采取最具前瞻性的干预措施。

技术的平民共享与协同保护架构：

依托开源框架(如TensorFlow)和云计算平台(AWS或阿里云，免费额度支持中小机构)，开发API接口允许远程数据分析。建立全球协作数据库，采用区块链确保数据安全与共享。伴随云计算与开源AI框架的进步，相关技术门槛将逐步下降，更多中小型单位甚至个人研究人士，都有机会借助云端AI平台投身文物的数据分析与保护工作，构建一个跨越地域与机构约束的协同保护网络。

4 结语

本文综合分析了人工智能在文物保护领域的应用模式、面临的难题以及未来发展走向，看到文物保护传统方法在精度、不可逆性和被动性等方面的现实局限，本文钻研了AI技术在高精度数字化建档、AIGC驱动的虚拟修复、知识图谱构建以及病害识别与预防性保护四个关键线路上的作用。这些路径采用整合计算机视觉、生成式模型以及自然语言处理等技术的途径，达成了对文物状态的精准记录、损伤的无损害还原以及历史关联的结构化揭示，以“山海”APP作为一个实例，该平台显示出AI跟3D采集、区块链等技术集成应用的实例，明显增强数字化效率且削减了成本支出。高精度数字化建档凭借SfM和NeRF算法生成数字孪生体，采集所占用的时间缩短到几分钟，精度实现处于0.1毫米量级；知识图谱构建把BERT和关系抽取技术作为支撑要素，创建三元组网络，呈现文物彼此的关联；病害识别凭借CNN架构达成，达成像素范畴的监测和预警^[12]。这些应用路径从数据采集到预防保护的全链条，标志着文物保护向智能化转型。

研究为文物保护与数字文博行业发展呈上了理论与实践方面的指导，设计了伦理跟技术融合的评估架构，有利于博物馆与文保机构制定标准化的政策，含有针对算法审计及偏见评估的流程；选用开源框架(比如TensorFlow)并采用云端共享模式，带动全球合作网络的组建，预计会让数字化成本产生20%-40%的减少，还可填补复合型人才储备的空白，就像运用在线培训模块去覆盖数万人的规模。

综上所述，本文通过理论分析、案例验证和解决方案设计，证实了AI在文物保护中的核心价值，并为克服现有挑战提供了系统路径。该研究不仅强化了数字技术的普惠性，还奠定了可持续发展的基础，推动文化遗产从物理存续向数字永生的转型。

参考文献：

- [1] Boboc R G, Băantu E, Gîrbacia F, et al. Augmented reality in cultural heritage: an overview of the last decade of applications[J]. Applied Sciences, 2022, 12(19): 9859.
- [2] He K, Gkioxari G, Dollár P, et al. Mask r-cnn[C]//Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. 2017: 2961-2969.
- [3] Hutson, James; Weber, Joe; and Russo, Angela, "Digital Twins and Cultural Heritage Preservation: A Case Study of Best Practices and Reproducibility in Chiesa dei SS Apostoli e Biagio" (2023). Faculty Scholarship. 453. <https://digitalcommons.lindenwood.edu/faculty-research-papers/453>.
- [4] Li X, Ren Y, Jin X, et al. Diffusion models for image restoration and enhancement: a comprehensive

- survey[J]. International Journal of Computer Vision, 2025: 1-31.
- [5] Lou Y. Human creativity in the AIGC era[J]. She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation, 2023, 9(4): 541-552.
- [6] Gao K, Gao Y, He H, et al. Nerf: Neural radiance field in 3d vision, a comprehensive review[J]. arXiv preprint arXiv:2210.00379, 2022.
- [7] 马乐存, 詹希旎, 朱齐宇, 等. AIGC 驱动的 GLAM 数智融合创新发展研究[J]. 农业图书情报学报, 2023, 35(5): 4-15.
- [8] Gîrbacia F. An analysis of research trends for using artificial intelligence in cultural heritage[J]. Electronics, 2024, 13(18): 3738.
- [9] 曹建芳, 彭存赫, 陈志强, 等. 基于改进 ResNet 深度学习的古代壁画分类方法[J]. 电子测量技术, 2025, 48(01): 186-196.
- [10] Pavlidis G, Koutsoudis A, Arnaoutoglou F, et al. Methods for 3D digitization of cultural heritage[J]. Journal of cultural heritage, 2007, 8(1): 93-98.
- [11] Wang X, Chang W, Xu T. Representing and linking Dunhuang cultural heritage information resources using knowledge graph[J]. Knowledge Organization: KO, 2020, 47(7): 604.
- [12] 李永卉, 刘沁凡. 基于知识图谱的南朝陵墓石刻信息资源开发研究[J]. 图书馆杂志, 2023, 42(389): 86.