Gen-Diaolou：用于开平碉楼历时性理解与保护的集成式人工智能辅助交互系统

Lei Han
计算媒体与艺术，香港科技大学（广州） 广州，广东，中国
lhan229
@connect.hkust-gz.edu.cn

Yi Gao 计算媒体与艺术，香港科技大学（广州） 广州，广东，中国
ygao201
@connect.hkust-gz.edu.cn

Xuanchen Lu 计算与软件技术，香港浸会大学 香港，中国
22257896@life.hkbu.edu.hk

Bingyuan Wang
计算媒体与艺术，香港科技大学（广州），中国广东省广州市
b
wang667@connect.hkust-gz.edu.cn

Lujin Zhang
计算媒体与艺术，香港科技大学（广州），中国广东省广州市
lzhang930
@connect.hkust-gz.edu.cn

Zeyu Wang
计算媒体与艺术，香港科技大学（广州），中国广东省广州市
zeyuwang@hkust-gz.edu.cn

David Yip*计算媒体与艺术，香港科技大学（广州），中国广东省广州市
daveyip@hkust-gz.edu.cn

arXiv:2602.03095v1 [cs.HC] 3 Feb 2026

摘要
开平碉楼与村落是联合国教科文组织世界遗产，体现了由迁徙文化塑造的中西建筑。然而，建筑遗产参与往往面临真实性争议、资源限制以及参与方式有限等问题。本研究探讨了利用人工智能（AI）保护建筑遗产所面临的当前挑战，以及AI 辅助交互系统如何促进对文化遗产的理解并提升保护意识。我们开展了一项形成性研究（N=14），从遗产利益相关者处获取实证见解，为设计提供依据。这些见解促成了*Gen-Diaolou*的设计。这是一个集成式人工智能辅助交互系统，旨在支持人们理解和保护遗产。一项试点研究（N=18）和一项博物馆实地研究（N=26）提供了相互印证的证据，表明*Gen-Diaolou*或能帮助游客形成历时性理解并提升保护意识；这两项研究还共同为未来数字文化遗产参与领域的人机协作系统提供了设计启示。更广泛而言，本研究弥合了人机交互领域被动式遗产系统与不受约束的创意工具之间的研究鸿沟。

*通讯作者。

本作品采用知识共享署名 4.0 国际许可协议。*CHI '26*，西班牙巴塞罗那© 2026 版权所有：所有者/作者。ACM ISBN 979-8-4007-2278-3/2026/04
https://doi.org/10.1145/3772318.3790720

CCS 概念
•**以人为中心的计算 → 以用户为中心的设计**；**交互式系统与工具**。

关键词
生成式人工智能，数字文化遗产，用户界面，共创设计

ACM 参考文献格式：
Lei Han、Yi Gao、Xuanchen Lu、Bingyuan Wang、Lujin Zhang、Zeyu Wang 和 David Yip。2026年。*Gen-Diaolou*：面向开平碉楼历时性理解与保护的集成式人工智能辅助交互系统。载于*2026* 年 *ACM* 人机交互大会论文集（*CHI '26*），*2026*年*4*月*13*日至*17*日，西班牙巴塞罗那。ACM，纽约，NY，美国，25 页。https://doi.org/10.1145/3772318.3790720

1 介绍
开平碉楼与村落被列入联合国教科文组织世界遗产名录，是中西建筑传统融合的独特见证。它们最初由海外侨民出资兴建，兼具防御与居住功能 [6, 63, 77]。这些建筑犹如实体档案，记录着离散社群的联系与对现代性的憧憬 [6, 52, 58]。然而，尽管碉楼具有重要的历史意义，它们在保护和可持续发展方面仍面临挑战，当地社区的参与也有限 [56]。在实践中，围绕真实性的争论、资源限制和政策不协调，与过度修复及奇观化展示的风险交织在一起，使持续且具有参与性的方式难以实现 [17, 24, 71]。

近年来，在人机交互（HCI）领域，文化遗产（CH）已成为一个多面向的研究领域，探讨数字技术如何影响人类参与 [20, 49, 54]。作为提升参与度的一种潜在途径，人工智能（AI）日益应用于文化遗产领域，通过多语言阐释和数字化提升可及性。它还催生了生成式内容和交互式讲故事等新的创作实践 [72, 80]。生成式人工智能（GenAI）通过增强知识留存 [59, 67, 75] 并支持观众共创，在文化遗产参与中发挥着重要作用，从而拓展参与途径 [28, 39, 46, 49, 66]。

尽管生成式人工智能能够加速非专家的创作过程，但也带来了历史准确性不足、多模态不稳定性和审美同质化等风险 [36, 48, 50, 72]。此外，建筑遗产在以往研究中大多遭到忽视。因此，在遗产地和博物馆等真实场景中部署基于生成式人工智能的系统所面临的具体挑战，以及未来系统设计的相应策略，仍未得到充分探索。

为弥补这一研究空白，我们首先开展了一项形成性研究（**N=14**），将准备工作（包括碉楼数据收集和早期原型设计）与利益相关者研究相结合，后者包括专家访谈和两场协同设计工作坊。此过程梳理出碉楼的关键文化主题，揭示了用户面临的挑战，并发掘出设计机会，最终归纳出五项设计目标。

基于这些设计目标，我们开发了*Gen-Diaolou*，这是一个集成式人工智能辅助系统，旨在支持文化遗产学习，并提升人们对开平碉楼的保护意识。

我们开展了两阶段评估。首先，在受控环境下于一所大学开展了一项**试点研究**（N= 18），评估系统的可用性和工作负荷，并为后续的设计改进提供依据。基于这些研究发现，我们改进了系统，随后在博物馆开展了一项**实地研究**（N = 26），以进行被试间比较。

结果表明，*Gen-Diaolou* 有效帮助参与者加深了对碉楼的了解，这一效果在即时测量和延迟测量中均有所体现；生成式人工智能增强系统能够提升人们对遗产保护的意识，同时促进创意探索。我们探讨了人工智能辅助文化遗产系统的设计考量，指出了当前的局限性，并概述了未来的研究方向。总而言之，本研究作出了以下贡献：

- 一项**形成性研究**，将碉楼相关的前期数据收集和早期原型设计与利益相关方研究相结合，通过专家访谈识别挑战和需求，并通过参与式协同设计工作坊探索设计目标。
- ***Gen-Diaolou***是一种集成式人工智能辅助交互系统，通过知识模块和生成式人工智能模块支持主题式构思、以历史为依据的创造性探索，以及对文化遗产保护的反思。
- 一项分两阶段的**实证研究**从可用性、理解程度和遗产保护意识等方面评估了*Gen-Diaolou*，并总结出呈现多元视角的设计原则，以及对未来人机协作遗产学习系统研究的启示。更广泛而言，这项工作弥合了被动遗产系统与不受约束的创意工具之间的研究空白。

本文始终围绕两个关键构念展开。

历时性理解 是指用户如何通过联系过去的状态、当下的影响和面向未来的情景，跨越时间理解建筑遗产。在*Gen-Diaolou*中，我们通过系统设计中明确的过去—现在—未来 关联来为这一过程提供引导，旨在帮助用户解释发生了什么变化、变化的原因，以及早期条件如何影响当前的风险与价值。我们通过以下方式衡量历时性理解：（i）时间关联知识题项的前测—后测增益；（ii）考查时间推理而非孤立事实回忆的延迟保持测量。

保护意识 是指对保护遗产所持有的知情且经过反思的态度，包括认识到风险、利益相关者责任，以及支持保护的可行个人或集体行动。在*Gen-Diaolou*中，我们通过以风险为导向的任务和未来规划任务来支持这一过程，促使用户阐述对遗产保护的关切及可能的应对措施。为更全面地衡量这一构念，我们采用了混合方法：研究*1*通过深度访谈定性探讨参与者对遗产脆弱性和保护的反思；而研究*2* 则使用结构化的遗产保护意识量表，对这种意识的强度进行定量评估。在各项研究中，我们观察到的模式与参与者保护意识的提升相符。

2 背景与相关工作

2.1 文化遗产与开平碉楼

文化遗产是指一个群体或社会从历代继承而来的物质遗存与无形属性的遗产 [7, 64]。此类遗产是塑造文化认同与延续性的关键要素，其本质深深交织于有形与无形两个维度之中 [29, 44]。

历史上，开平碉楼建于社会动荡与不安全的时期，作为在海外艰辛谋生后归国的华侨的防御性住所 [58]。这些多层塔楼跨越19世纪末至20世纪初，融合了居住功能、防御功能与审美功能，以满足社区的复杂需求 [6, 52, 77]。除实体结构之外，碉楼通过融合因迁徙与全球交流而引入的中西建筑元素，承载着丰富的社会文化叙事 [41] 。这种混杂性展现了该地区独特的文化认同，并构成中国近代史中适应与跨文化互动的重要篇章 [79]。

然而，开平碉楼在保护与文化传承方面面临着诸多挑战。快速城市化、人口结构变化以及现代发展带来的压力，威胁着这些遗产建筑的完整性与真实性 [62, 77]。此外，社区参与度降低以及公众对其历史意义的认知减弱，进一步加剧了文化保护面临的风险 [79]。与此同时，目前缺乏有效的方法来引导游客理解碉楼并参与其保护工作。

2.2 借助人工智能促进文化遗产参与

人工智能技术日益广泛地应用于文化遗产（CH）领域。在人机交互（HCI）领域，研究者探索了以用户为中心的人工智能设计，使公众能够以更沉浸、更具互动性的方式参与文化遗产，从而加深理解并提高保护意识 [20]。目前的应用包括虚拟重建、互动叙事、数据分析和沉浸式博物馆体验 [2, 9, 22, 27, 47]。

近期研究利用生成式人工智能为文化遗产 [66, 67, 74, 78] [59] 设计创意工具；例如，Tao 等人推出了 AIFiligree，这是一种人工智能驱动框架，可借助文化导向标签和定制训练参数生成真实的花丝结构，从而提高设计效率并促进文化传播。

在文化遗产领域实施人工智能增强系统，可为用户提供易于使用且沉浸式的交互体验，促进合法的边缘性参与 [34], , 使用户能够在博物馆或遗产地中获取知识，并培养与文化遗产 [20, 54] 相关的实践。先前研究表明，基于生成式人工智能的工作流能够加深用户对文化遗产的理解，鼓励反思，并促进更深层次的情感联结，从而提高他们对文化遗产保护 [20, 28, 42, 69]的认识。

尽管人工智能发展迅速，目前文化遗产领域的人工智能实践在平衡历史准确性与算法创造力方面仍存在显著局限 [11, 50, 51, 60]。将生成式人工智能用于文化遗产教育的核心挑战，在于降低幻觉和文化误呈现所带来的固有风险 [8]。在文化遗产语境中，这类系统往往难以捕捉语言细微差别、呈现地方艺术与建筑形态，并准确反映社会与文化多样性 [35, 48, 72]。这些不足还可能导致在伦理和文化层面存在问题的输出，歪曲历史事实或与普遍的社会规范相冲突 [48, 77]。

例如，He 等人发现，未经定制便使用生成式人工智能会导致文化特征缺失和偏见，尤其是在面对不熟悉的遗址时 [28]。为应对这些挑战，近期研究探索了多种方法，包括领域特定模型训练、增强用户控制 [66], , 以及将语境知识或文化知识融入生成工作流程 [18]。值得注意的是，Ferretti [18]采用检索增强生成（RAG），在教育语境中实现基于遗产的动态叙事。然而，针对将此类定制人工智能系统直接融入博物馆场景以促进公众参与的系统性研究仍然鲜少。

为应对这一问题，我们以开平碉楼为案例，考察人们在使用人工智能工具进行文化遗产图像创作时所面临的挑战。基于这些洞见，我们提炼出设计目标，并开发一个集成式人工智能系统，以增强用户的理解并培养保护意识。

2.3 通过生成式人工智能促进历时性叙事创作

遗产并不仅仅是物品、遗址或事件等物理实体，而是一个动态的文化与社会叙事过程 [20]。然而，将非物质历史要素传递给公众仍然面临挑战 [47]。现有的文化遗产参与方式，从传统的实地参观——通常受时间和空间限制——到数字博物馆 [54], 、在线讲座 [31], 、交互式游戏 [43], 和虚拟现实体验 [38, 54]等数字化替代方案，形式多样。然而，这些方法大多以第三人称视角传递知识，忽视了用户与文物之间的情感联结，并限制了情感沉浸的可持续性 [10, 22],，因而无法捕捉将人物与文化遗产联系在一起的更深层次的非物质关系 [20]。

鉴于叙事是人类经验的核心，也是意义建构的基本机制 [3, 45], , 它是传达复杂概念的有效工具。这种能力在互动数字叙事中得到进一步增强 [5], , 后者促成了从被动消费到主动参与的范式转变。在这一背景下，受众可以参与由其选择和输入驱动的个性化内容，从而培养他们对文化遗产 [3, 26, 40]的兴趣并加深情感联结。

例如，Antony 和 Huang 引入了 ID。8 [3], 该方法允许用户定制视觉故事的共创过程。Trichopoulos 等人近期开展的一项研究 [61] 将基于大语言模型的聊天机器人整合到多样化的博物馆场景中，展示了其提供个性化叙事体验并显著提升参观者参与度的能力。研究表明，情境化故事和场景能够将个人经历与文化和社会议题联系起来，帮助人们更直观地理解潜在的未来，而这反过来又有助于提升保护意识 [30, 55]。

强调文化遗产的时间意义，并构建一条贯穿过去、现在直至未来的叙事，已被证明能够增强用户与文化遗产之间的情感联结 [20, 28]。Fu 等人 [20], 的研究是一个显著案例，他们使用文本生成图像工具 MidJourney，引发人们对文化遗产未来的思考。他们的研究表明，生成式人工智能辅助共创体验能够促进个人叙事和批判性反思。然而，此类尝试仍然有限，因为大多数研究依赖现有生成工具 [20, 28],，且主要关注生成过程或定性反馈 [36, 50],，缺少验证参与式讲故事与理解提升及保护意识增强之间关联的实验研究。

为弥补这一空白，我们旨在运用生成式人工智能，将静态的碉楼建筑及其知识转化为动态的文化叙事，从而加深人们的理解并增强保护意识。

3 形成性研究

形成性研究包括前期准备工作（第 3.1 节）、专家访谈（第 3.2 节）和两场协同设计工作坊（第 3.3 节）。研究旨在获取一手洞见和可行的创意，并将其提炼为设计洞见，进而转化为设计目标（第 3.4 节）。

本研究经第一作者所在机构的伦理委员会审查并批准，所有参与者均提供了书面知情同意；工作坊参与者获得了60人民币（约合8.4美元）的报酬；所有音频录音、草图和生成图像均经过匿名化处理，并在限制访问的条件下存储，仅用于



图1：数据采集中纳入的典型开平碉楼景点示例。

研究。转录和分析过程中删除了可识别身份的信息，以保护隐私。

3.1 准备工作

3.1.1 碉楼数据采集。 我们对开平碉楼开展了档案研究和数据整理，依据包括档案资料、主要聚落群的实地记录以及既有学术研究 [6, 13, 76, 77]。碉楼图像集的筛选标准为：(i) 能代表主要聚落群（例如三年里村、自力村和方氏碉楼、马降龙村落群以及锦江里村）、不同功能类型，并展现具有代表性的风格特征（印英风格、巴洛克式、新古典主义式、折衷主义风格）；(ii) 便于记录和公众参观（档案与摄影资料可获取，且已取得使用许可）；(iii) 摄影资料完整，且保护状况良好。

用于编码的图像语料库由从地方文化遗产机构和政府部门运营的公开平台获取的高分辨率照片组成。随后，我们采用分层目的抽样，选取了十处具有代表性的碉楼地点，以最大限度地提高覆盖面和可识别性（见图1）。我们将其属性分为三类：功能、风格惯例和结构构件[1]。

3.1.2 原型开发。 我们构建了一个早期原型，使用户能够借助生成式人工智能探索开平碉楼的视觉主题。该原型支持根据自然语言提示词进行文生图和图生图，并在 ComfyUI 中采用透明的基于节点的工作流[2]。其中还纳入了一个经过整理的碉楼分类图像语料库，参与者可在探索过程中引用或导入其中的参考图像。

3.2 专家访谈

3.2.1 参与者与流程。我们访谈了两位资深专业人士：**E1**，一位专攻开平碉楼保护的遗产学者；以及**E2**，一位在组织文化遗产参与的参与式活动方面经验丰富的当地博物馆馆长。两人均拥有超过 20 年的专业经验[3]。我们通过在线视频会议进行了两次半结构式访谈（每次约 50 分钟）。经参与者同意，所有访谈均录音并转录。

两位作者共同对初始子集进行编码，基于主题分析 [14]，制定并统一编码手册，随后将其应用于其余数据；分歧通过讨论解决，并定期开展同行讨论。访谈提纲见补充材料。访谈期间，我们还向专家展示了早期原型生成的图像，以征求他们对文化真实性和设计相关性的反馈。

3.2.2 设计洞见（*DI1–DI3*）：专家访谈中发现的挑战与需求。

DI1：生成式人工智能输出的历史准确性需求。专家访谈揭示了保护和传播开平碉楼与村落面临的双重挑战：如何协调创新与历史真实性（*E*1）。在保护方面，只有少数碉楼受到正式保护，而过度商业化和不准确的历史呈现会损害真实性并歪曲历史。在传播方面，专家指出生成式人工智能工具经常产生不准确的内容，并强调该领域的任何应用都必须优先保障文化遗产准确性，以免加剧这些失真（*E*1）。

DI2：游客体验的局限与沉浸式叙事的潜力。 关于游客体验，专家指出了当前游览模式的主要局限。有关碉楼历史的展览仍局限于博物馆，而碉楼遗址则散布于开平村落各处。每处遗址都缺乏互动式阐释形式和游客参与，游客只能被动地观看建筑外观，因此难以深入理解这些建筑所蕴含的深厚文化价值（*E*1， *E*2）。为解决这一局限，专家倡议探索沉浸式体验，将历史场景重建与真实的人物故事讲述相结合，同时确保历史准确性（*E*1， *E*2）。

DI3：碉楼知识的规模化与传播挑战。 在当前的博物馆实践中，人们引入了各种游戏化元素，将现场博物馆体验与在领域专家协作下开发的碉楼文化教育项目相结合，其中包括主题手绘等创意活动。然而，由于人力和资源需求较高、参观时间较短，大规模推广和传播仍受到限制，这显著制约了沉浸式文化体验的可扩展性以及更广泛的公众参与（*E*2）。

3.3 协同设计工作坊

随后，我们按照以用户为中心的设计原则 [1] 开展了用户协同设计工作坊，以收集反馈并迭代完善原型，确保体验兼顾教育目标与参与度目标。

3.3.1 参与者与流程。 我们通过学生群聊和社交媒体转发招募了12名大学生（6名女性、6名男性； $M = 23.33$、 $SD = 3.04$），参加两场校内工作坊（WS-A 场次 和 WS-B 场次；每场6名参与者）[4]。每场

[1]关于分类示例的更多细节已汇总于补充材料中 [2]ComfyUI，访问地址：https://www.comfy.org/zh-cn/[3]关于参与者人口统计信息的更多细节请参见附录A

[4]有关参与者人口统计信息的更多详情，请参阅附录A

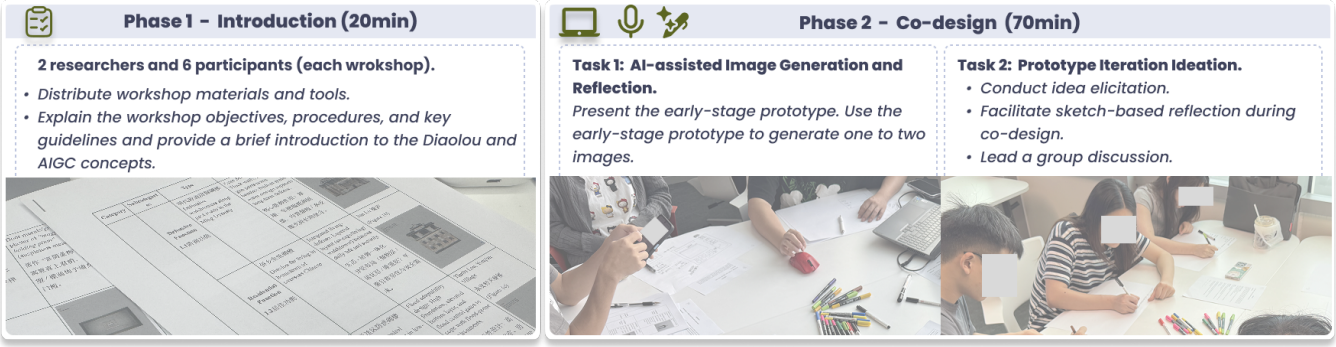


图 2：协同设计工作坊流程。本次活动包括第一阶段"介绍"（20 分钟）和第二阶段"协同设计"（70 分钟）。参与者完成了两项任务：任务 1，人工智能辅助图像生成与反思；任务 2，原型迭代与构思。

均有一名具有设计背景的参与者和一名具有技术开发经验的参与者，以便在协同设计活动中平衡技术、创意和用户视角。

我们使用了一个早期原型和一份碉楼参考资料分类表（参见补充材料）。我们为参与者提供了 A3草图纸、便利贴和马克笔，以便他们表达想法并协作开发设计概念。每场在校园内举行的 90 分钟面对面工作坊均分为两个阶段（见图 2）：

第一阶段：介绍（***20*** 分钟）。在获得知情同意并完成简短的人口统计调查后，参与者接受了统一的介绍，内容包括：（i）开平碉楼的历史与文化意义；（ii）原型的基本概念；以及（iii）所提供的材料和工具。

第二阶段：协同设计（***70***分钟）。参与者完成了两项任务。任务一：人工智能辅助图像生成与反思。参与者使用原型生成了一至两张开平碉楼图像，并尝试了文生图和图生图工作流。随后进行了小组讨论，参与者展示了各自的成果，并就遇到的挑战、主题偏好和建议交换了意见。任务二：原型构思。在前述讨论的基础上，参与者概述了潜在的用户界面、系统功能及其他附加功能，随后分享这些构想，以征求反馈并进行比较。此步骤旨在使前面的讨论更加具体且便于付诸行动。

3.3.2 设计洞见（*DI4–DI6*）：协同设计工作坊带来的设计机会。

DI4：通过第一人称叙事视角增强参与度。参与者建议加入第一人称叙事，使学习体验更加身临其境。例如，*C7* 指出，由历史人物角色进行引导，会让这一过程不再那么单调，也更具个人化色彩。同样，*C10* 和*C12* 建议引入一个能够向他们提出相关问题的角色。这些反思凸显了嵌入叙事驱动的角色和故事线的必要性，以保持注意力并促进文化学习。

DI5：在真实性与创作自由之间取得平衡.参与者（例如，*C1, C3, C5, C7, C8, C11, C12*）强调，创造力应当不 以牺牲碉楼的建筑主体为代价。即使提供了参考图像，模型有时仍会弱化或遗漏显著特征，从而产生不合理或怪异的建筑立面。另一些人（*C2, C6, C9*）表示，当输出结果与历史事实相矛盾时，反复优化提示词收效甚微，这令他们感到挫折。这些关切共同揭示了真实性与用户控制两方面的局限，并凸显了对参考图锁定、基于文化遗产的约束，以及超越纯文本提示的更透明编辑机制的需求。

DI6：通过脚手架式支持扩展内容多样性。参与者希望拓展创作范围，并获得更强的系统参考支持。他们希望能够选择室内元素选项（例如喜鹊、梅花、松鹤、福字），而不只是建筑立面（*C4*、*C7*、*C10*、*C11*）；但他们也承认自己缺乏关于建筑元素的详细知识（例如窗饰、结构构件）。再加上难以拟定精确的提示词，这表明系统需要提供模块化范例、纹样库和结构化脚手架，帮助用户将意图转化为有效输入。

3.4 设计目标

基于形成性研究，我们为集成式人工智能辅助交互系统制定了五项设计目标，以支持用户了解碉楼历史，并促进其对遗产保护的认识：

- **DG1. 确保生成输出的历史准确性**。系统应提供相应机制，尽量减少对碉楼及相关遗产内容的事实性错误或误导性呈现（*DI1*）。
- **DG2. 实现沉浸式、叙事驱动的参与**。系统应支持第一人称和故事化互动，以提升用户体验，并促进用户对遗产叙事产生共情（*DI2,DI4*）。
- **DG3. 平衡真实性与创作自由**。设计应在保障文化真实性的同时，为用户的创意探索和个性化留出空间（*DI5*）。

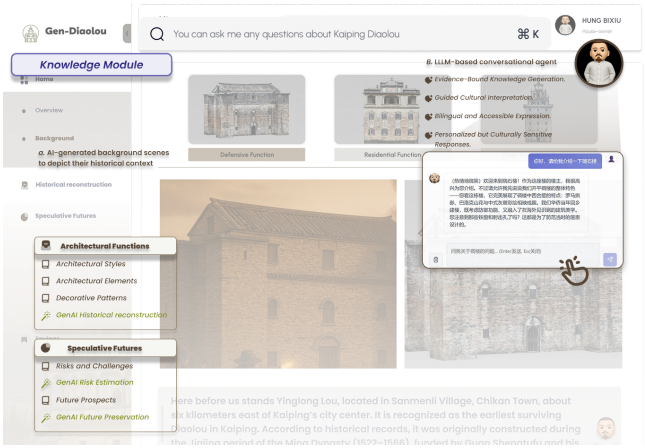


图3：*Gen-Diaolou* 知识模块的用户界面。

• **DG4. 支持可扩展的知识传播**。系统应促进碉楼相关知识传播给本地以外的多元受众（*DI3*）。

• **DG5. 提供多样化内容和循序渐进的指导**系统应提供丰富的内容资源，并配合支架式策略，帮助用户探索、反思并共同创造有意义的内容（*DI6*）。

4 系统设计

基于设计目标（第3.4节），我们开发了*Gen-Diaolou*，这是一个集成式人工智能辅助交互系统，通过"先学习、再创作"的流程支持文化遗产学习并增强保护意识。系统由知识模块（见图4）和生成式人工智能模块（见图3）组成。全局控件包括语言切换（中文/英文）以及辅助功能选项，如放大文字和高对比度显示。

4.1 设计目标

该系统架构提升了碉楼遗产知识的可及性，使其传播不再受地理限制，能够触及更广泛的受众（*DG4, DI2*）。用户旅程被设计为一种叙事体验，由一位历史人物角色引导，为游客指引方向并增强沉浸感（*DG2*）。在生成式人工智能模块中，创作过程始于结构化选择，这些选择呈现多样化内容，并在用户阐述自由形式的想法之前提供循序渐进的引导（*DG5*）。随后，该模块应用输出约束和检查机制，促使生成内容既植根于历史，又富有想象力，帮助系统在准确性与创作自由之间取得平衡（*DG1*，*DG3*）。

4.2 系统组件

4.2.1 知识模块。该模块通过三个子章节支持准备性学习：背景、历史重建和推想未来，共同提供基于叙事和分类体系的访问方式，供用户浏览我们先前工作（第 3.1 节）整理的材料（**DG1**）。

首先，背景概述开平碉楼，包括展示其地理分布的地图，以及一个利用人工智能生成的背景场景来呈现其历史背景的交互式叙事界面（见图 3）。在此，黄碧秀——瑞石楼 [6], 的建造者——以基于大语言模型的对话智能体身份出现，为各个章节讲述故事，并介绍碉楼的起源和社会背景（**DG2**）。

其次，历史重建 通过分类导航器提供模块化学习资源，包括建筑功能与风格的分类，以及室内装饰纹样，以便梳理关键概念（见图3）。最后，推想未来 介绍碉楼遗产当前面临的主要保护挑战，并将后续的创意探索置于真实的遗产情境中，使之后的设计工作立足于实际的保护问题（**DG4**）。

4.2.2 生成式人工智能模块。 该模块由三个创作子章节构成——历史重建、风险评估和未来保护 （**DG5**）——三者共用一套交互流程，用户界面如图 4 所示。

首先，用户根据当前子章节，从定制的预设和效果选项中进行选择。这些控件提供推荐内容、情境知识和说明（例如不同的视角、历史时期或视觉重点），帮助用户做出知情选择。随后，用户向提示词–脚手架智能体提供基于文本的创意描述。该智能体从精选遗产知识库中检索相应的类别描述，并生成结构化提示词，再将其展示给用户，以便用户检查其是否符合最初意图。

在此过程中，真实性护栏 会调整或约束提示词，使其更好地符合关键历史事实（第 4.3.2 节）。用户确认后，最终确定的提示词将发送至图像–合成后端，以生成图像集（第 4.3.3 节）。

4.3 设计特点

4.3.1 角色设计。 为支持探究式学习与沉浸式参与（**DG2**），该系统设有一个基于大语言模型的对话智能体：黄碧秀，即瑞石楼 [6]的历史建造者。在知识模块中，黄碧秀 讲述各章节内容，并介绍碉楼的起源与社会背景。在生成式人工智能模块中，他回答用户关于开平碉楼的问题，使用户能够通过自然对话寻求澄清，并辅以植根于精选遗产知识的对话引导。

4.3.2 真实性护栏。 我们提出一种如图5所示的三层真实性护栏流程，并将其集成到提示脚手架智能体中；该流程将用户的简要想法系统性地展开为详细的场景描述，同时使输出在历史上有据可依，并在文化上契合开平碉楼背景（**DG1**、**DG3**）。

一级 — 遗产不变量。不可妥协的规则保护碉楼的结构身份（建筑形式、比例、立面细节、窗户位置、屋顶轮廓）。仅可修改周边环境；所有场景必须设定在中国广东开平，所有人物形象和文化元素都必须符合中国文化遗产。



图4：*Gen-Diaolou* 生成式人工智能模块的界面：（i）预设和效果，（ii）带有大语言模型支架的创意转提示词转换器，以及（iii）带有优化和保存控件的画布。

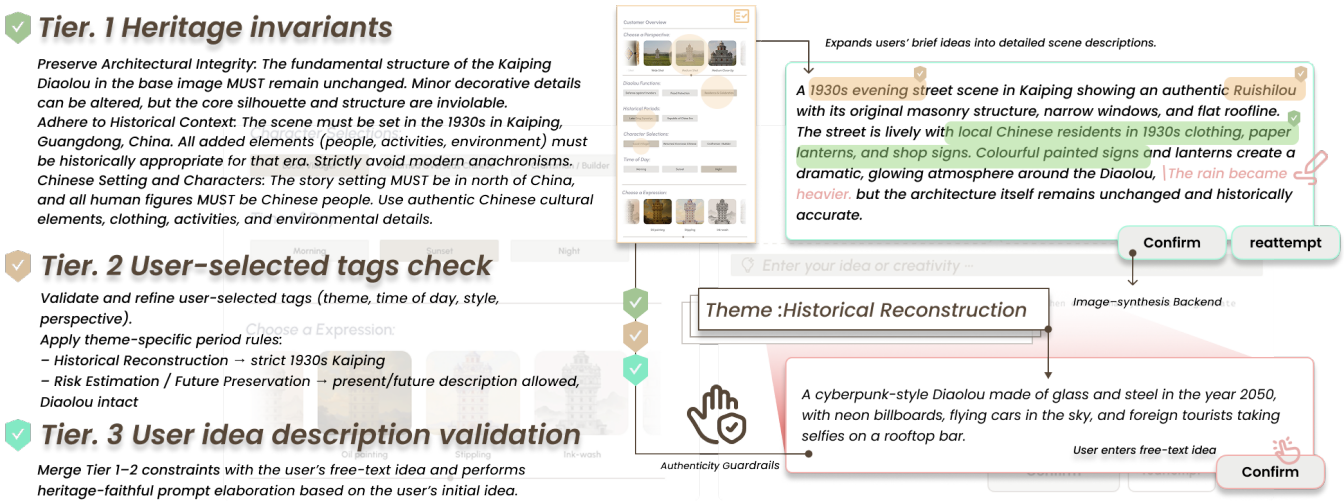


图5：详细示例　　，展示了历史重建 在生成式人工智能模中的真实性约束工作流　　*le.*

第2级——验证用户选择的标签。预设标签（例如，　　硬性要求，并直接指导提示词组装（见附录中的表7）。碉楼范例、视角、一天中的时段、季节；均视为

第3层 — 用户构想验证。系统会检查并规范化用户以自由文本描述的构想，使其符合第1至第2层的要求，然后再将其纳入系统。如果构想描述与标签冲突，则以标签为准。如果任何输入违反特定主题的规则，系统会根据一级约束自动进行规范化；不符合要求的描述将被改写或移除。

安全护栏针对不同任务主题采用不同的验证策略。在历史重建中，该框架严格要求所有场景元素（人物、活动、服饰、物件、环境）符合开平20世纪30年代的时代特征，并采用保守验证以强制落实符合时代的细节。在风险评估 与未来保护中，该框架放宽时间要求，允许呈现当下或未来情景，同时保留可识别的碉楼形态，从而允许场景构成有更大的差异。

最后，经过验证的提示词会在图像生成前呈现给用户审阅和编辑；任何编辑都会在同一层级下触发重新验证。与静态模板不同，这些安全护栏会根据任务情境调整约束强度，将领域知识落实为结构化、自适应的规则，在准确性与创作自由之间取得平衡，并把原始用户构想转化为一致且忠于遗产的提示词（完整规范见附录E）。

4.3.3 图像合成后端。 图像合成后端将*ComfyUI*[5] 与FLUX.1 Kontext Pro模型相结合，用于图像到图像生成。*ComfyUI*通过基于节点的界面编排生成工作流，对流程提供程序化控制，并使我们能够注入源自安全护栏的真实性约束。

在这一工作流程中，*FLUX.1 Kontext Pro* 模型充当核心合成引擎：给定受安全护栏约束的提示词和碉楼基线渲染图，它会保留整体结构布局，同时支持有针对性的局部编辑，最终生成图像。每当生成式人工智能模块 确认提示词后，便会调用这一可控后端，以支持基于史实的重建，以及上文所述的推测性风险与保护情景。

4.4 实现细节

我们的系统采用解耦的客户端—服务器架构，后端基于 Python 和 FastAPI [53] 构建，前端则使用 Vue 3 和*Vite*实现。前端被打包为渐进式 Web 应用 (PWA) [16, 19], ，通过 Service Workers [65]缓存应用程序外壳和静态教育内容，以便离线访问，同时保持网络连接以使用生成式人工智能功能。

我们选择渐进式 Web 应用而非原生移动应用，以兼顾跨平台可访问性（基于浏览器使用）与类似应用的功能（安装到主屏幕、离线模式）。对于网络连接可能不稳定的博物馆及遗产现场，这一点至关重要。客户端与服务器通过 RESTful API 通信，后端则提供代理端点来传送生成图像，以缓解跨源资源共享（CORS）限制 [70]。对于基于大语言模型的功能，系统集成了 DeepSeek v3 6，以在真实性护栏范围内，为对话代理和提示词支架代理提供支持。

ł

我们开展了一项分两阶段进行的实证评估研究。首先，我们在一所大学开展了**试点研究** ($N = 18$)，在受控环境中评估可用性和工作负荷，并据此提出可行的设计改进（第 5 节）。

基于这些研究发现，我们改进了系统，随后在一家博物馆开展了**实地研究** ($N = 26$)，招募了更多元的参与者，以初步评估外部效度，并通过比较**基线** 条件（不含生成式人工智能模块）与**学习+生成式人工智能** 条件（知识模块 + 生成式人工智能模块），评估生成式人工智能模块 带来的增量效果（第 6 节）。

本研究经第一作者所在机构的伦理委员会审查并批准。所有参与者均提供了知情同意，并可随时退出研究而不受处罚。我们仅收集与研究相关的数据（问卷、交互日志、草图、访谈）；个人身份信息未与研究数据一同存储。音视频材料仅用于分析，并在转录和报告过程中进行去标识化处理。我们使用商业自动语音识别系统（科大讯飞）[7], 对中文音频进行了逐字转录[14], , 采用自下而上的方法进行主题编码，并由两名双语研究人员通过回译将其译成英文，以确保概念等效。

5 研究1：试点研究

我们开展了一项试点研究（N=18），收集反馈并逐步完善原型，使其与学习和文化遗产保护目标保持一致，同时评估主观工作负荷（*NASA*任务负荷指数）和用户体验（用户体验问卷）。参与者获得了60人民币（约合8.4美元）作为报酬。

5.1 参与者与流程

共有18名参与者参加了此次试点研究（7名女性、11名男性；$M = 24.17, SD = 3.81$）[8], 。参与者通过大学社交媒体发布的招募信息招募，并提供了自我报告的人口统计信息。参与者需满足以下条件：年满18岁、具备基本数字素养，并对文化遗产感兴趣。

试点研究的流程如图6所示。参与者提供知情同意并填写人口统计信息后，首先完成一份包含15道题的测验（最高分 = 15），以测量其对开平碉楼的初始了解。随后，参与者自由探索系统，从学习环节转向创作环节。他们按需查阅知识模块的分类导航器，然后在生成式人工智能模块中完成三项内容创作任务（见图7），反复生成 2×2 图像网格，直至每项任务至少获得一个满意的结果。完成所有任务后，参与者参加研究后的知识测验，并填写用户体验问卷和NASA任务负荷指数。最后，由第一作者开展半结构式访谈，收集参与者对系统体验的反思。

5.2 评估维度

我们使用一份基于测验蓝图、包含15道题目的前测/后测测验来评估**学习成果**，该测验题目源自有关开平

[5]ComfyUI。访问地址：https://www.comfy.org/zh-cn/ [6]DeepSeek v3。访问地址：https://github.com/deepseek-ai/DeepSeek-V3

[7]科大讯飞。网址：https://www.iflyrec.com/zhuanwenzi.html（访问于2025年5月）。[8]参与者人口统计信息的更多详情见附录A

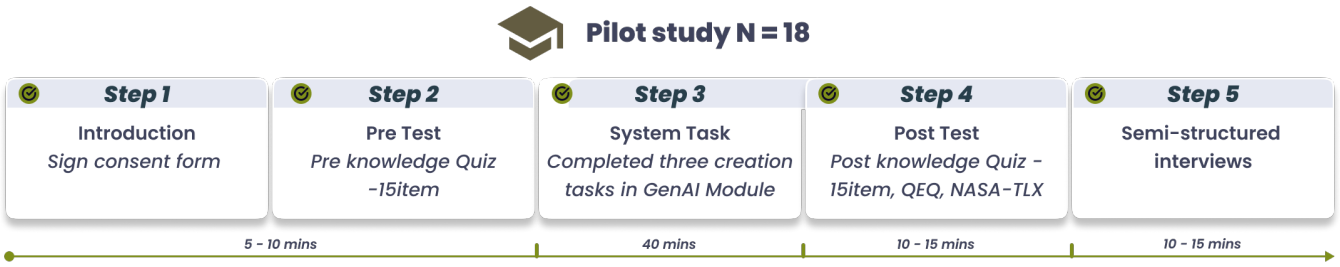


图 6：试点研究流程图。

碉楼的权威资料。测验蓝图和题目池的详细信息见补充材料。我们使用**用户体验**问卷用户体验问卷（UEQ） [33]，通过7点李克特量表进行测量。**系统工作负荷**采用*NASA*任务负荷指数（NASA-TLX） [25]进行测量，包括：心理需求、身体需求、时间需求、表现、努力程度和挫折感（见附录中的表3）。在本研究中，受试者使用 7 1 点李克特量表作答（最佳， 7 = 最差）。**任务表现**根据系统日志（任务ID、输入/参数、迭代次数、保存的图像）量化为接受前迭代次数、总迭代次数和保存图像数量。**定性反馈**来自时长10–20分钟、围绕可用性、创造力支持和遗产参与开展的半结构式访谈。访谈方案见补充材料。

5.3 研究发现

5.3.1 学习成果的影响。使用系统后，我们评估了参与者在碉楼知识方面的即时学习成果。所有参与者的得分均有所提高，平均增加了 6.11 题（见图 8）。参与者的知识测验得分从 $M_{\text{pre}} = 7.78$ $(SD = 3.81)$ 提高到 $M_{\text{post}} = 13.89$ $(SD = 1.08)$，平均增加了 6.11 题（$SD = 4.17$）。配对样本 t 检验证实，这一提升在统计学上具有显著性，$t(17) = 6.22, p < .001$。然而，有六名参与者（$P1$、$P3$、$P5$、$P8$、$P12$ 和 $P13$）达到了后测最高分（15/15），这表明存在天花板效应，并限制了该测验对高水平参与者额外学习成果的敏感度。

因此，我们主要将这些结果解读为参与者在事实性学习方面取得显著成效的证据，而非参与者之间存在细致差异；在研究2中，我们改进了题目设计（见第6节），以提高难度并缓解此类天花板效应。

5.3.2 对系统体验的影响。系统可用性。我们检验了用户体验问卷的各个维度是否超过7点李克特量表的中性中点4（见图9b）。所有五个维度均显著高于4（单样本 t检验； $n = 18$）：明了性（$M = 6.17$, $SD = 0.87$）， $t(17) = 10.51$， $p < .001$， $d = 2.48$；效率（$M = 5.69$, $SD = 0.75$）， $t(17) = 9.58$， $p < .001$， $d = 2.26$；可靠性（$M = 5.64$， $SD = 0.61$）， $t(17) = 11.33$， $p < .001$， $d = 2.67$；刺激（$M = 5.81$， $SD = 0.79$）， $t(17) = 9.72$， $p < .001$， $d = 2.29$；以及新颖性（$M = 6.11$， $SD = 0.87$）， $t(17) = 10.33$， $p < .001$， $d = 2.44$。以维度为被试内因素的重复测量方差分析显示，维度存在主效应， $F(4.68) = 4.13$， $p = 0.005$， $\eta_p^2 = 0.20$ 。

配对样本 t检验表明，明了性 和新颖性的评分高于效率 （明了性 > 效率： $t(17)$ = 2.72 > t 17 = 2.29 ，$p_{\text{adj}} = 0.029$；新颖性 效率：( )， $p_{\text{adj}} = 0.035$）；经邦费罗尼校正后，其余所有成对比较均不显著（$p_{\text{adj}} > 0.05$）。结果表明，参与者认为该系统易于学习且具有创新性，同时也表明响应性仍有改进空间。

认知负荷。我们针对量表中点（1–7分量表中的4分）进行了单样本 t检验，以评估参与者是否认为该系统在认知或身体方面要求较高（$N = 18$）。NASA任务负荷指数的六个维度均显著低于中点，表明感知到的工作负荷始终较低。

身体需求极低（$M = 1.44, SD = 0.78$），时间需求也较低（$M = 2.00, SD = 1.03$）；二者均显著低于中点4分（身体需求： $t(17) = -13.83$, $p < .001$；时间需求： $t(17) = -8.25, p < .001$）。心理需求（$M = 2.56, SD = 1.46$ t 17 = −4.19 $p < .001$ ；( ) , ）和自评绩效（得分越低表示表现越好； $M = 2.61, SD = 1.33$；$t(17) = -4.42, p < .001$）的数值高于其他子量表（即更接近中点），但仍显著低于中性水平。努力程度（$M = 2.17, SD = 1.04$； $t(17) = -7.46, p < .001$）和挫折感（$M = 1.94, SD = 0.94$； $t(17) = -9.30, p < .001$）同样较低，且显著低于中点，表明总体认知与情绪负荷较轻（见表 9a）。

对六个 NASA–TLX 维度进行的重复测量方差分析显示，维度的主效应显著， $F(5, 85) = 4.29$, $p = .002$ $\eta_p^2 = .20$ 。使用配对样本 t-检验进行的事后两两比较表明，经过邦费罗尼校正后，没有任何成对差异仍达到显著水平（均为 $p_{\text{adj}} > .05$）。总体而言，参与者认为该系统所需的认知、时间与身体努力程度较低，挫折感极小，表明交互仅带来了较轻的工作负荷。

5.3.3 基于探究的体验。几位参与者表示，基于大语言模型的历史对话代理使体验更加愉悦和沉浸；他们的知识增长伴随着与系统进行积极的、基于探究的参与。

多位参与者（$P2$、$P3$、$P5$、$P9$、$P10$、$P13$）积极向智能体提问，以消除疑惑并探索历史细节。例如， $P13$ 向智能体询问更多备选方案，并尝试创作融合中文与西方元素的壁画，加入汉字“*XI*”（双喜）和植物纹样，以达到理想效果（见图 7(a)）。正如 $P8$ 所述，

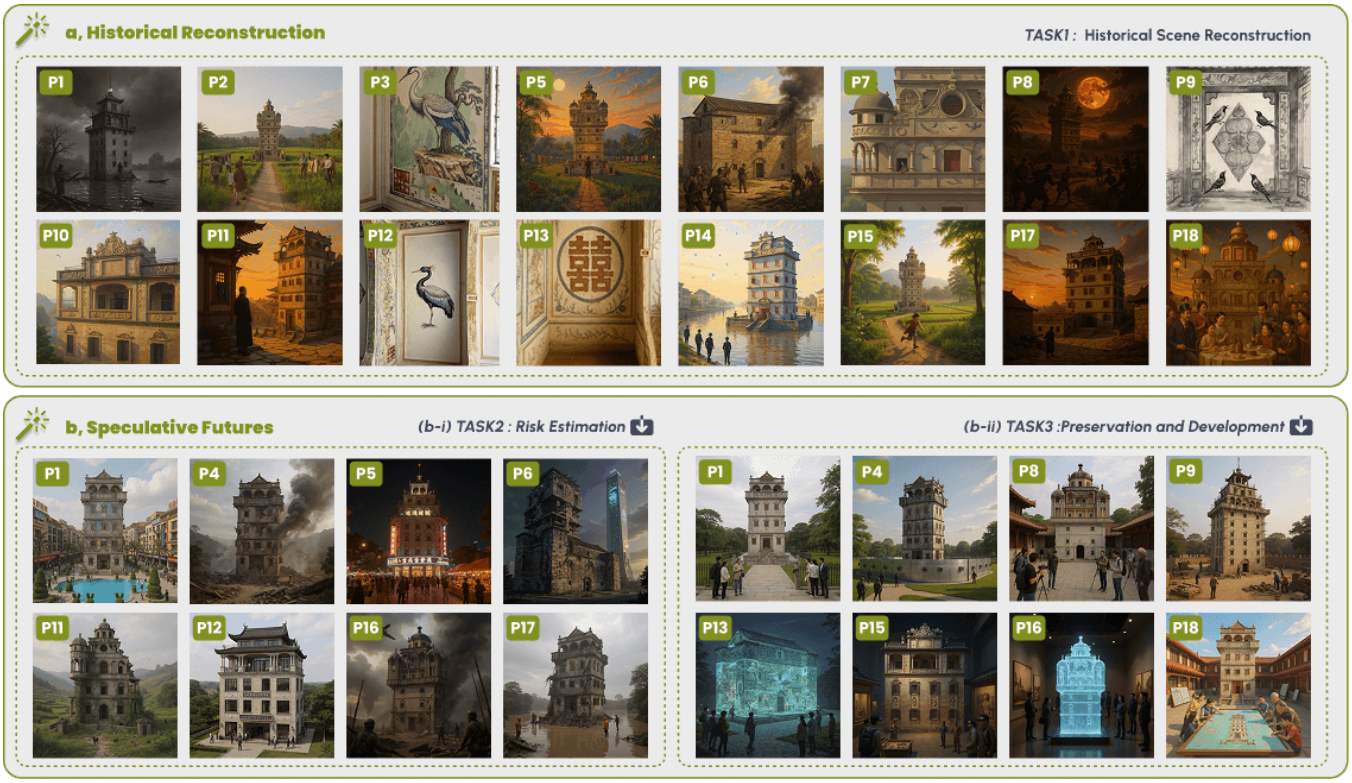


图7：以下插图展示了参与者在用户研究期间使用*Gen-Diaolou* 生成的图像，并展现了两个主题：a. 历史重建 **和 b.** 推想未来。

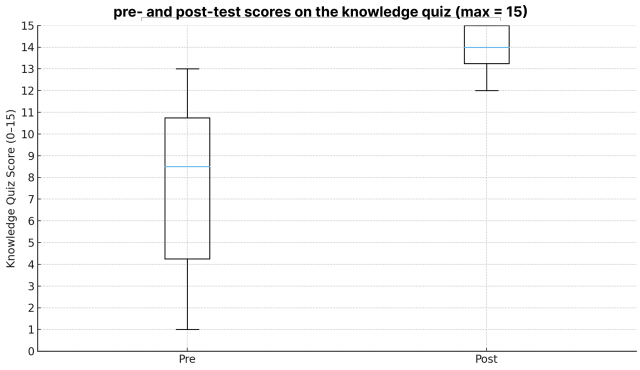


图8：15题知识测验前测和后测得分的分布。

> “在背景介绍部分，通过黄碧秀的故事引导我，让我借助他的亲身经历更好地了解开平碉楼背后的故事。”

这些研究发现表明，该系统不仅提升了事实回忆效果，还鼓励参与者围绕碉楼遗产开展开放式探索和意义建构。

5.3.4 真实性护栏确保了真实重建。在访谈中，参与者普遍对这些安全护栏持积极看法。例如，*P1* 指出，

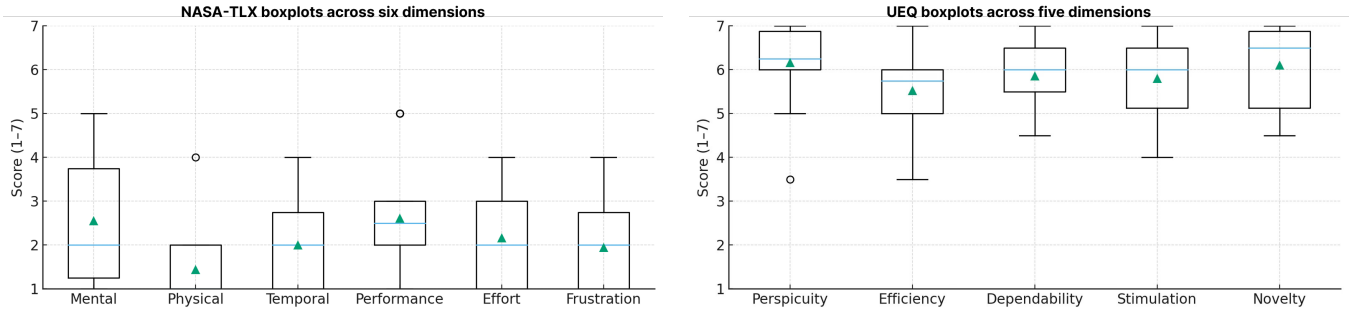
> “我能清楚地分辨哪些部分有证据支持，哪些部分是想象出来的；这些区分让我避免了轻率地作出断言。”

与此同时，一些参与者（例如 *P2, P4, P12*）也遇到了系统的真实性护栏限制其构想的情况。在历史重建过程中，如果提示词包含时代错置或奇幻元素，系统便会在不作说明的情况下将其过滤或删除；例如，*P12* 报告称，任务*1* 中的“外星人袭击”描述未能执行。同样，*P4* 指出，

> “我描述了一个有坦克和装甲车辆的战争场景，但提示词并未按照我的意图进行转换。”

大多数参与者承认，此类安全护栏保护了历史可信度，“尤其是对于涉及回顾过去的主题，我认为这一机制（真实性护栏）对某些主题是有效的；若没有此类约束，就可能在博物馆场景中引发文化冲突”（*P18*）。

在另一种情况下，*P1* 和 *P16* 建议主动标记超出历史设定的提示词，并解释这一约束：“有些用户可能没有意识到这是一项约束，因而可能认为人工智能出现了故障”（*P16*）。*P12* 补充道，该界面



(a) 六个维度的 NASA任务负荷指数评分（1=最佳， 7=最差）。三角形表示平均值。

(b) 五个维度的用户体验问卷评分（1=最差， 7=最佳）。三角形表示平均值。

图 9：不同条件下的工作负荷与用户体验评分。



图 10：参与者认为满意的试点研究生成图像：任务 2 风险评估 **场景**（*P*14、 *P*12、*P*4）**和任务3** 未来保护 **场景**（*P*11、 *P*13、 *P*17），**以及他们对结果的反思。**

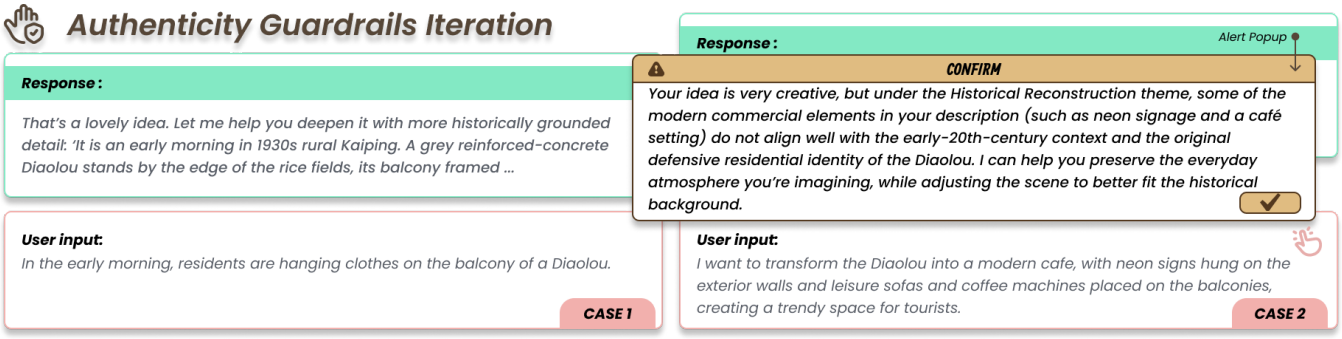


图11：迭代式真实性护栏的应用示例。系统将符合历史的创意深化为叙事场景描述（案例1），并通过弹出窗口提供解释性指导和建议的替代方案，以标记时代错置或不相容的文化元素（案例2）。

应针对每项任务提供更清晰、更具体的指导，以减少歧义并更好地支持用户决策。

5.3.5 迭代式脚手架同时支持对齐与细化。所有参与者均在规定时间内成功完成了所需任务。在三项任务中，每位参与者平均进行了4.7次提示词迭代，并生成了18.9张图像；每次迭代生成四张图像（见附录C中的表5）。访谈未显示提示词迭代次数与感知到的任务难度或系统难度之间存在明确关系；相反，迭代深度（即提示词迭代次数）因人而异，反映了个人的创意策略、期望的保真度和探索风格。图7展示了具有代表性的任务输出。

虽然许多参与者只用一轮提示就取得了满意的结果，但有些人选择进行多轮提示，以更好地描述时间、调整灾害强度并补充场景细节。六位参与者（*P*1、 *P*3、 *P*8、 *P*13、 *P*16、 *P*18）进行了两轮或更多轮提示，既让生成结果符合自己的意图，也进一步丰富了视觉和叙事细节。例如， *P*3通过三轮迭代完善提示词，描绘碉楼未来面临的城市化风险，并指出："我觉得提示词框架可以基于我之前的想法逐步完善，最终达到让我满意的效果。"正如 *P*13 补充道，

> "总的来说，我很满意提示词准确捕捉了我的核心想法，并有效地将其呈现出来；当我想尝试不同风格时，它也能及时提供反馈。"

5.3.6 模拟风险激发保护意识与用户主导的保护策略。参与者利用生成式人工智能模块创建他们认为贴近现实的风险情景（例如遗弃、结构坍塌、洪水灾害、城市化、过度商业化），并由此表达了对碉楼的强烈担忧。参与者认为，这些可视化呈现使潜在风险变得更加具体可感且引发情感共鸣（见图10，任务1）。

例如， *P*4 描绘了"一座碉楼轰然倒塌，烟尘与瓦砾在周围翻卷"，而 *P*16 和 *P*14 则想象了返乡场景：年迈的村民重访昔日故居，凸显了失落与记忆。正如 *P*14 所解释的，"我想象一对老夫妇站在自家门前，回望一生，满怀悲伤。"

参与者随后提出了一系列以行动为导向的碉楼保护建议，特别强调社区参与 的重要性，以及数字技术 在保护该遗产地文化价值方面的作用（见图10，任务 2）。例如，

> "碉楼历史可以以地方本位方式融入地方教育项目，例如在农村社区组织'拼图式历史'活动，使年轻一代能够从小了解碉楼的价值"(*P*17).

其他参与者则强调了数字技术的运用：（*P*11）增强现实投影映射（*P*13），以及基于扩展现实的数字重建（*P*16）。

值得注意的是，部分参与者（*P*5、 *P*11、 *P*14、 *P*18）建议整合其他世界遗产地的保护案例作为参考。总体而言，*Gen-Diaolou* 支撑了从风险意识 到可付诸行动的保护策略的递进过程，将切身的情境构建与具体的、由社区和技术赋能的干预措施联系起来。

5.4 反馈与迭代

基于参与者的反馈，我们确定了若干迭代建议，以进一步提升*Gen-Diaolou*的可用性、创意支持与教育价值（见附录D中的表6）。这些启示指出了具体方向：优化交互流程、加强知识与创作的整合、提升安全护栏的透明度（见图11），以及丰富多模态沉浸感。随后，我们据此得出了可付诸行动的设计改进，用于后续实地研究。

6 研究2：实地研究

为提升真实博物馆环境中的外部效度，我们在当地一家博物馆开展了被试间实地实验[9]

[9]面向江门五邑华侨博物馆的博物馆介绍：
https://www.prdculture.org.cn/ygawlzxwen/greater/202312/afc7dff327324cbcafbc805a3e4438eb.shtml。

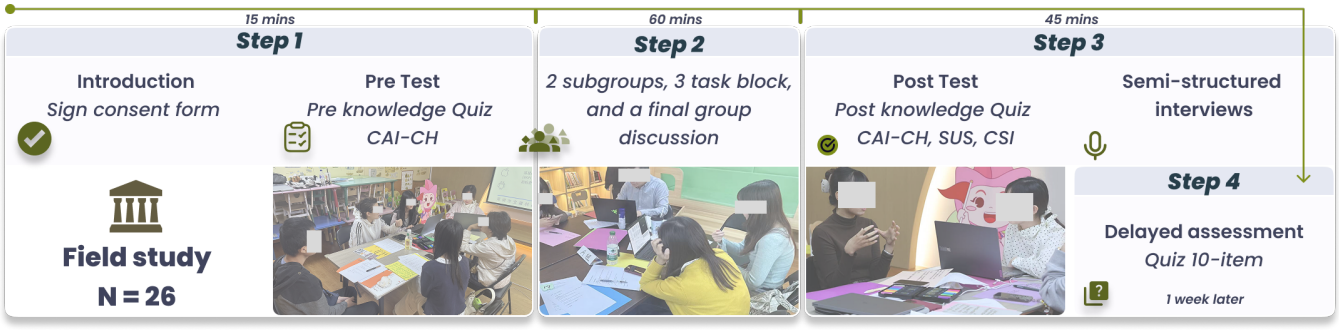


图 12：实地研究流程图及工作坊现场照片。

参与者构成多元（$N = 26$），包括当地社区成员和到访游客（参见第 6.1 节）。本研究在系统经过迭代改进后对其进行了评估（参见第 5.4 节），旨在单独考察生成式人工智能模块所带来的增量贡献。我们使用相同的*Gen-Diaolou* 界面和内容比较了两种条件：**基线** 条件和**学习+生成式人工智能** 条件。

博物馆管理方审查了研究流程和现场操作程序，以评估其在工作坊环境中的可行性及游客安全。博物馆的一名工作人员参与了现场环节，在招募和工作坊活动期间协助联系游客并处理后勤事宜。参与者获得了价值约100人民币（约合14.3美元）的纪念品，以及博物馆提供的文化遗产主题书籍作为补偿。

6.1 参与者与流程

我们通过社交媒体和博物馆现场张贴的海报招募了26名参与者（23名女性，3名男性；年龄20–43岁，$M = 30.08, SD = 8.03$）[10]。所有参与者均提供了知情同意。参与者的背景各不相同：12人为本地居民，10人为来自其他省份的游客，4人为来自同一省份其他城市的游客。

我们收集了基线调查数据，包括参与者背景、自评生成式人工智能熟练度、一道包含20个题项的碉楼知识测验，以及一份自编的10题文化遗产保护意识指数（CAI-CH）。

根据这些基线数据，我们采用分层区组随机化，将参与者分配到两个实验**基线**条件中：**基线**条件（禁用生成式人工智能模块；$F1 – F13$）和**学习+生成式人工智能**条件（同时启用知识模块和生成式人工智能模块；$F14 – F26$）。每个条件均安排在单独的场次中进行。

整个流程分为四个阶段（见图12）：介绍、任务环节、后测和延迟评估：

介绍（***15***分钟）。参与者了解了工作坊的背景、系统界面、任务目标、任务卡分发方式及环节时间安排。随后，所有参与者（每种条件下各13人）被分为两个小组，每组由一名研究助理协助，以确保进度一致并协助开展任务和讨论。每组都配备了彩纸、马克笔和笔记本电脑。

任务环节（***60***分钟）。开始任务前，参与者有时间自由探索系统，以熟悉界面并了解可用模块。初步探索结束后，参与者依次完成三个主题任务环节（历史重建、风险评估和未来保护）。在**基线**条件下，参与者首先使用知识模块探索相关内容，然后通过草图和简短的文字描述表达他们对三个主题情境的想法。在**学习+生成式人工智能**条件下，参与者完成相同的知识模块环节后，使用生成式人工智能模块为每个任务主题至少生成一张满意的图像。完成每个主题的创作任务后，所有参与者都参加了简短的小组讨论。

事后测量（***45***分钟）。参与者完成了碉楼知识测验，并填写了 SUS、CSI 和 CAI-CH。随后，两名研究人员进行了半结构式访谈（见第6.2节）。

延迟评估（***1***周后）。工作坊结束一周后，参与者通过群聊收到一份包含10道题的测验链接（含可选迁移题）。他们在线完成了测验。

6.2 评估维度

6.2.1 学习成果。在试点研究的基础上（见第5.2节），我们与两位领域专家协商，对定制的碉楼知识测验进行了完善和扩充。我们通过一项20题的选择题测试（10道**事实性**问题和10道**概念性**问题）评估**即时学习成果**，分别考查回忆和理解，并在参观前后施测。我们通过一项包含10道题的选择题**延迟评估**来评估知识保持，该测验以在线问卷的形式在参观一周后发放。所有测验题目均见补充材料。

6.2.2 主观体验。**遗产保护意识**在参观前后采用定制的10个题项、五维度文化遗产保护意识指数（CAI-CH）进行测量。题项的编制参照了联合国教科文组织的《实施世界遗产公约操作指南》[11] 以及de la Torre等人的 价值与遗产保护

[10]有关参与者人口统计信息的更多详情，请参阅附录A

[11]联合国教科文组织。《实施〈世界遗产公约〉操作指南》。网址：https://whc.unesco.org/en/guidelines/。

框架 [4, 15, 68], 强调对文化财产的保护、保护以及向后代的传承。 系统可用性量表 （SUS） [37] 评估整体**系统可用性**，而创造力支持指数 （CSI） [12] 则评估该系统对参与者**创作过程**的支持程度。我们将六项SUS题项改编为7 点量表，并按维度进行分析，而非计算标准SUS得分。所有细节均列于补充材料中。

6.2.3 定性数据。 我们通过课后小组讨论和半结构式访谈收集定性反馈。所有环节均录音、转录并匿名化。我们开展了反思性主题分析 [14]: 两位作者对初始子集进行共同编码，以校准统一的编码方案；随后迭代编码其余访谈文本，并通过定期讨论整合主题；分歧则通过讨论解决，并定期开展同行讨论。

6.3 研究发现

6.3.1 学习成果的影响。 为考察不同条件下学习成果的差异，我们分析了即时学习评估和延迟评估的得分。包含20个题目的知识测验表现出可接受的内部一致性（前测时 KR-20 = .83；后测时 .85）。包含10个题目的延迟评估也显示出可接受的信度（KR-20 = .79），表明这些题目在多次施测中能够一致地测量参与者与碉楼相关的知识。

即时学习成果评估。 我们首先分析了不同条件下知识测验的前后测变化。对于**事实性知识**，两种条件下都取得了明显的学习进步。**基线** 条件下的参与者平均多答对了2.77道题（SD = 1.09），而**学习+生成式人工智能** 条件下的参与者平均多答对了2.38道题（SD = 1.04）（见图13a）。独立样本 Welch's t 检验表明，两种条件在事实性知识提升方面的差异无统计学意义， $t(23.95) = 0.92$, $p = .368$ $d = 0.37$,。这表明，两种条件在帮助参与者回忆与碉楼相关的事实信息方面效果相近。

对于**概念性知识**，两种条件下同样都取得了积极进步，但**学习+生成式人工智能** 条件表现出明显优势（见图13b）。在**基线** 条件下，概念性知识得分提高了 $M = 1.31$ 道题（$SD = 0.75$）；而在**学习+生成式人工智能** 条件下，平均提高了 $M = 2.15$ 道题（$SD = 0.80$）。两种条件间的差异具有统计学显著性，且效应量较大， $t(23.88) = -2.78$, $p = .010$, Cohen's $d = 1.08$。因此，尽管两种条件下的基础事实性学习效果相当，但结合生成式人工智能模块 的交互式环境显著提升了参与者对碉楼的阐释性理解，这与我们支持更高层次、以阐释为导向的文化遗产学习这一目标相符。

延迟评估。 参观一周后，两组在包含 10 个题目的知识评估中均表现出良好的延迟保持，两种条件下的平均分都相对较高（见图 13(c)）。**Learn+生成式人工智能** 条件（$M = 8.77$, $SD = 0.93$）的得分高于**基线** 条件（$M = 7.46$, $SD = 1.05$）。独立样本 Welch's t 检验显示，这一差异具有统计显著性， $t(23.64) = 3.37$, $p = .003$，效应量较大（Cohen's $d = 1.32$），表明**Learn+生成式人工智能** 条件下参与者的知识保持效果更好。

6.3.2 保护意识的影响。*Gen-Diaolou* 交互体验提升了两种条件下**文化遗产保护意识**，这体现在**基线**条件和**学习+生成式人工智能**条件下，五个 CAI-CH 维度的访问后平均分均有所提高（见表 1）。在全部五个 CAI-CH 维度上，两种条件的前后测得分均有所提升，但**学习+生成式人工智能**条件下的增幅始终更大。

针对每种条件，我们对 CAI-CH 的五个维度进行配对样本 t检验，以比较前测和后测得分。在**基线**条件下，前后测差异均未达到统计显著性，但我们观察到非物质遗产与活态传统意识略有提升， $t(12) = 2.14$, $p = .054$ ；其余维度的提升幅度较小，且均未达到显著水平（均为 $p \geq .071$）。

相比之下，**学习+生成式人工智能**条件下，五个维度均显著提升：文化遗产价值认同， $t(12) = 3.93$, $p = .002$；遗产认同与归属感， $t(12) = 4.32$, $p < .001$；非物质遗产与活态传统意识， $t(12) = 3.43$, $p = .005$；参与意愿与公众参与， $t(12) = 3.33$, $p = .006$；以及文化可持续性与代际责任， $t(12) = 3.55$, $p = .004$。综合来看，这些结果表明，与基线条件相比，**学习+生成式人工智能**条件更有效地提升了游客的保护意识及相关态度。

6.3.3 对系统体验的影响。 我们使用 SUS 和 CSI 量表评估了参与者对*Gen-Diaolou*的感知，并比较了两种条件下的得分（见表 2）。为进一步详细考察组间差异，我们针对 SUS 和 CSI 的各个维度分别进行了独立样本 Welch t 检验，并计算了效应量（Cohen d），以量化这些差异的大小。

系统可用性。参与者认为两种条件都相对易于使用（所有评分 > 4 均采用7 点量表），其中 Learn+GenAI 条件的易用性评分（$M = 5.92$, $SD = 0.64$ $M = 5.54$ $SD = 1.20$ ）略高于基线条件（, ），但该差异未达到统计显著性（$t(18.34) = 1.02$, $p = .321$ $d = 0.40$ + , ）。相比之下，Learn GenAI 条件的功能性被评价为更加全面且整合得更好（$M = 5.85$, $SD = 0.80$），高于基线条件（$M = 4.62$, $SD = 1.12$ t 21.72 ），呈现出统计显著差异（ ( ) = 3.22 $p = .004$ $d = 1.26$, , ）。与基线条件（$M = 5.08$, $SD = 1.38$）相比，Learn+GenAI 条件的易学性评分也更高（$M = 6.08$, $SD = 0.95$），且该差异达到统计显著性（$t(21.32) = 2.15$, $p = .043$, $d = 0.84$）。此外，参与者认为 Learn+GenAI 条件的学习曲线明显不那么费力（$M = 1.85$, $SD = 0.90$），相比基线条件（$M = 3.62$, $SD = 0.96$），表明其更易于采用且用户友好性更高（$t(23.89) = 4.85$, $p < .001$, $d = -1.90$ ）。参与者还表示，他们会比使用基线系统（$M = 4.15$, $SD = 1.14$）更频繁地使用 Learn+GenAI 系统（$M = 5.92$, $SD = 0.95$）； $t(23.25) = 4.28$, $p < .001$, $d = 1.68$ $M = 6.15$ ），并且在使用过程中更有信心（, $SD = 0.80$ $M = 4.62$ $SD = 1.39$ t 19.20 $= 3.46$ $p = .003$ vs., ）； （）, $d = 1.36$ ）。

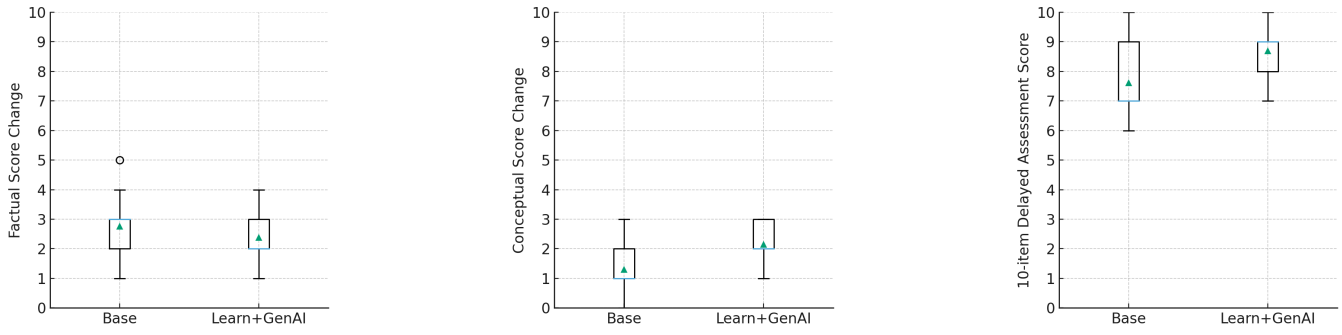


图 13：参与者的学习成效（续）：基线条件与 Learn+GenAI 条件下的学习成效：（a）事实知识得分变化，（b）概念知识得分变化，以及（c）延迟后测表现（所有得分均以 10 分为满分）。

表 1：按条件（基线与 Learn+GenAI）划分的 CAI-CH 维度前后测变化。

维度	条件	前测 *M*（*SD*）	后测 *M*（*SD*）	*p*-价值	Sig.
对……的价值认知	Base	5.23 (0.70)	5.54 (0.80)	.071	n.s.
文化遗产	学习+生成式人工智能	5.38 (0.68)	6.15 (0.75)	.002	**
遗产认同与	Base	5.04 (0.85)	5.46 (0.56)	.144	n.s.
归属感	学习+生成式人工智能	4.73 (0.63)	6.15 (0.80)	< .001	***
非物质文化遗产意识	Base	4.69 (0.83)	5.27 (0.67)	.054	n.s.
活态传统	学习+生成式人工智能	4.85 (0.97)	5.96 (0.56)	.005	**
参与意愿	Base	4.77 (0.73)	5.00 (0.71)	.337	n.s.
公众参与	了解+生成式人工智能	5.04 (0.83)	6.12 (0.68)	.006	**
文化可持续性与	Base	5.23 (0.86)	5.65 (0.55)	.128	n.s.
代际责任	学习+生成式人工智能	5.42 (0.57)	6.23 (0.70)	.004	**

注：**显著性代码：不显著** $p \geq .050$，***** $p < .050$，****** $p < .010$，******* $p < .001$。

创造力支持。被分配至 Learn+GenAI 条件的参与者倾向于报告比基线条件参与者更高的 CSI评分，且这一趋势体现在全部六个维度上（见表 2）。条件间 Welch 独立样本 *t*- 检验表明，两种条件在享受维度上的差异无统计显著性（ $M =$ 5.67 $SD = 0.96$ $M = 5.06$ $SD = 1.21$ t 23.77 $= 1.87$ $p = .074$，vs.，；（），，$d = 0.73$），这表明两种条件下的参与者普遍都认为该活动有趣且具有吸引力。相比之下，其他五个维度在条件间呈现出显著差异，且均有利于 Learn+GenAI 条件：探索，$t(21.32) = 3.38$，$p < .001$，$d = 1.33$ t 22.93 $= 5.99$ $p < .001$ $d = 2.35$；结果值得付出努力，（），，；协作，$t(19.18) = 3.78$，$p < .001$，$d = 1.48$；表现力，$t(17.98) = 6.96$，$p < .001$，$d = 1.03$；以及沉浸感，$t(16.12) = 6.87$，$p < .001$ $d = 1.40$，。这些效果表明，生成式人工智能增强系统更好地支持参与者尝试替代性想法、产出让人觉得值得付出努力的结果、与协作者进行协调、清晰地表达想法，以及沉浸于活动之中。总体而言，在所评估的 CSI维度上，Gen-Diaolou Learn+GenAI 条件展现出明显强于基线条件的创造力支持。

6.3.4 定性研究结果。 基于对访谈进行的主题分析，我们将参与者的访谈数据归纳为本节的四个维度：知识获取、创造力与任务完成、保护意识和可用性与改进。

知识获取。 在两种条件下，参与者普遍指出，*Gen-Diaolou* 帮助他们更深入地领会碉楼的历史意义和建筑特征。一些人将此归因于该系统的知识结构(*F*1, *F*11, *F*23, *F*24)、对话式智能体对话 (*F*4, *F*9, *F*13, *F*21)以及提示扩展 (*F*14, *F*20, *F*25 在Learn+生成式人工智能组中)，他们认为这些有助于建立过去、现在与未来视角之间的联系。

智能体引导的对话增强了知识整合。多位参与者指出，基于大语言模型的对话智能体促使他们从更符合历史的视角来接近碉楼，将注意力从外在美学转向内含的文化意义。例如，*F*13 说道：

表2：比较基线、学习+生成式人工智能条件下的用户统计测量。

类别	因素	基线 M（SD）	学习+生成式人工智能 M（SD）	p-值	Sig.
系统可用性量表（SUS） [37]	易于使用	5.54 (1.20)	5.92 (0.64)	.321	n.s.
	功能	4.62 (1.12)	5.85 (0.80)	.005	**
	学得快	5.08 (1.38)	6.08 (0.95)	.031	*
	学习曲线	3.62 (0.96)	1.85 (0.90)	.001	***
	频率	4.15 (1.14)	5.92 (0.95)	.001	***
	信心	4.62 (1.39)	6.15 (0.80)	.001	***
创造力支持指数（CSI） [12]	享受	5.06 (1.21)	5.67 (0.96)	.074	n.s.
	探索	4.88 (1.15)	5.90 (0.93)	.001	***
	结果值得付出努力	4.29 (1.05)	6.04 (1.15)	.001	***
	表现力	3.97 (1.24)	6.02 (0.99)	.001	***
	协作	4.05 (1.59)	5.15 (1.09)	.001	***
	沉浸感	3.88 (1.29)	5.98 (0.94)	.001	***
知识测验	事实性问题	2.77 (1.09)	2.38 (1.04)	.316	n.s.
C改进	概念性问题	1.31 (0.75)	2.15 (0.80)	.010	**
延迟评估	知识保持	7.46 (1.05)	8.77 (0.93)	.003	**

注。 **显著性代码：不显著** $p \geq .050$，* $p < .050$，** $p < .010$，*** $p < .001$。



图14：参与者认为满意的学习+生成式人工智能 条件下生成的图像，包括任务1历史重建 (*F17*， *F19*， *F22*， *F23*)、任务 2风险评估*g* (*F15*， *F24*)和任务3未来保护 (*F16*， *F20*)。

“与他（对话代理）交谈让我觉得这段历史故事生动得多。即使作为本地人，我之前其实也不知道瑞石楼曾经是谁的宅邸，而这段体验帮助我更深入地了解了碉楼。”

提示扩展作为一种微妙的学习辅助。一些参与者（*F14*、*F20*、 *F25*）指出，生成式人工智能模块的提示扩展

（见图 11）通过补充融入他们构想中的建筑细节来支持学习。正如 *F14* 所说：

> “当它把我的想法转化为详细描述，再生成图像时，我对过去场景的理解更加清晰了。”

F25 补充：“对我来说，这多少像是一种回顾。

创造力与任务完成。 处于**学习+生成式人工智能** 条件下的参与者就生成式人工智能功能提供了反馈。总体而言，他们对三项任务表示满意，但对不同方面的热情程度有所差异。大多数参与者（13人中的10人）表示对历史重建的满意度最高。

参与者普遍对系统拓展其初始创意的方式给予积极回应。数名参与者回顾了自己的想法被真实性安全护栏标记的时刻。

> “我想象碉楼位于一片空旷的沙漠中，而系统告诉我，它与历史村落环境不符，随后给出了一个包含田野、房屋和祠堂。” (*F21*).

大多数人认为，这一机制有助于保留历史准确性，但也有少数人觉得它有时会降低流程的灵活性。正如 *F19* 所指出的，

> “如果它触发得太频繁，我可能会失去耐心。” *F24* 建议增加一种自由度更高的模式。

在任务3（未来保护）中，参与者提出了多种面向未来的保护策略，例如利用节庆活动（*F16*）以及在现场设置互动大屏装置，以促进人们与碉楼互动（*F20*）；如图14所示。正如 *F17* 所言：

> “看到我的想法变成现实，我真的很激动——人们使用无人机扫描碉楼、*and* 测量土地的场景。”

保护意识。 在遗产保护意识方面，不同条件之间出现了显著差异。在**基线**条件下，许多参与者表示，难以在情感上与潜在风险产生共鸣，也难以想象自己能够以何种角色参与碉楼保护。正如 *F1* 所言，

> “我大多把碉楼保护理解为建筑修复和政策工作”。

F6 和 *F8* 认为，遗产保护应优先延续文化记忆和历史叙事，而非仅仅着眼于维护实体结构。 *F6* 指出：

> “说实话，比起建筑本身，我更在意它的历史和文化，如果有一天连我们自己的儿童都忘记了这些记忆，那才是真正的悲剧。. 至于建筑结构，我觉得只要它还能屹立不倒，就已经足够好了。”

相比之下，在**学习+生成式人工智能**条件下，大多数参与者（13 人中有 11 人）认为，任务 2风险评估 活动通过帮助他们直观呈现结构老化、环境威胁或不恰当的翻新情景，增强了他们对风险的敏感度。

不过，各方观点也各有 nuance。例如， *F22* 指出，将该场所改造为当地文化酒店“或许并非坏事，”这表明，某些形式的适应性再利用也可能被视为有意义的延续性，而非文化流失。

可用性与改进。 两个条件下的参与者都对*Gen-Diaolou* 的可用性给予了积极评价，并提出了各种改进系统可用性和交互功能的建议。在**基线** 条件下，参与者指出，在任务阶段需要更好的指导和交互。大多数参与者发现，用传统方式表达自己的想法很困难。例如， *F7* 和 *F11* 提到了传统方法的局限性。*F7* 指出：

> “说实话，我脑海中并没有清晰的概念。我觉得自己需要一些指导，因为我不太确定自己到底能为碉楼做些什么.”

在**学习+生成式人工智能** 条件下，参与者（如 *F15*、 *F16*）建议，系统可以通过提高主页内容的可见度，并引入用户投票或评论，更好地展示用户生成的内容，从而鼓励用户参与和反馈。此外，有人建议加入奖励系统（*F15*），以便在创作过程中提供动机。

F14、 *F18*、 *F21*和 *F24* 还建议加入语音交互功能，以便输入想法，因为他们认为打字对年长用户来说可能不太方便。

一些参与者提出了关于系统协作功能的建议，提议增加多用户协作（*F18*）和跨区域协作（*F16*、 *F23*）。

此外， *F15*、 *F16* 和 *F26* 还建议生成式人工智能模块增加更多社交功能，正如 *F16* 所说：

> “我们借助人工智能创作的内容应该展示在主页上，让人们点赞和评论。在某些主题下，我们的许多想法可能会相似，但今天我注意到，其他人提出了独特的表达方式，应该把这些内容保存并展示出来。”。

7 讨论

7.1 通过人工智能辅助共创促进对文化遗产的理解

基于我们的形成性研究和两项实证研究，我们将数字遗产参与概念化为一个由参与、学习、创作和想象构成的耦合循环。学习提供概念基础，创作将知识转化为阐释，而想象未来情景则能增强能动性并促进持续参与，使用户成为不断演变的遗产意义的共同创作者，而非被动的接受者。

先前研究凸显了利用创意创作促进学习与理解的价值，并提出了“以创作促学习”范式 [21, 23]。从活动理论视角来看 [32], ，这一范式强调学习者的主动参与，并将关注点从单纯的知识获取转向通过创作积极参与意义建构。形成性研究所确立的设计目标促成了知识模块 与生成式人工智能模块的分层架构，两者共同将游客定位为策展内容的接收者，更是 CH 的**积极阐释者** 。

试点研究（第 5 节）的结果表明，参与者能够将引导式学习转化为基于历史的创意视觉产出，知识回忆也显著提升。参与者使用系统探索不同的历史场景与推想未来；访谈显示，他们不仅是在“答对问题”，也围绕碉楼开展开放式意义建构。

在实地研究中，尽管**基线** 与**学习+生成式人工智能** 条件在事实性知识回忆方面取得了相当的结果，但生成式人工智能增强方法在概念理解和知识保持方面展现出显著优势。

7.2 促进文化遗产保护意识

我们的研究表明，*Gen-Diaolou* 将学习任务与风险可视化和面向未来的保护构想联系起来。参与者使用生成式人工智能模块描绘了合理的风险情景（例如遗弃、结构坍塌、洪水灾害、过度商业化），并表示这些可视化使威胁更加切实可感且引发情感共鸣。在这些场景的基础上，他们提出了社区与技术驱动的保护策略（例如公众教育、参与式项目、互动媒体），表明其从被动欣赏转向了更为积极的责任感。

这一模式与我们的CAI-CH结果一致：学习+生成式人工智能条件在价值认知、参与意愿和感知责任方面的提升强于**基线**条件，这表明生成式人工智能系统有机会明确支撑面向保护的反思，而非仅仅聚焦于参与或创造力。

这与先前的研究一致：研究表明，与传统的非人工智能交互相比，生成式人工智能体验能显著提升行为参与和反思性加工 [43]。

我们的研究发现通过实证拓展了先前关于历时性叙事对保护意识影响效果的讨论 [20, 36]，并可为未来用于教育和保护目的的交互式系统提供参考。

7.3 降低阐释门槛，增强文化归属感。

大语言模型能够在长时间的交互中有效扮演专家角色 [57, 61, 81]。这种整合代表了一种遗产阐释的新方法，突破了静态展示模式 [61, 73]。基于这些设计目标，我们开发了基于大语言模型的对话代理。

通过这一智能体，参与者能够按需获取情境化讲解，从而拓展对表层事实之外内容的理解，无需具备专业知识基础，也能形成更丰富、多维的阐释。这一设计选择有效降低了参与文化遗产讨论的门槛，让更多不同类型的游客能够参与了解开平碉楼，并表达自己的想法和问题。

与此同时，真实性护栏有效缓解了大语言模型幻觉问题，并通过过滤掉在历史上不合情理或在文化上不恰当的内容，降低了认知负荷使参与者能够专注于意义建构和讲述故事，而非提示词调试。这样一来，系统支持参与者讲述自己的经历、记忆和解读，同时确保这些内容扎根于地方遗产语境。

研究发现表明，将引导式解读与创造性表达相结合，可以增强参与者的身份认同感和归属感。几位参与者表示，使用 *Gen-Diaolou*后，他们对开平碉楼和“我的文化根源”的联结感更强了。这表明，集成式人工智能辅助交互系统不仅可以促进知识获取，也有助于引发与文化认同和地方归属感相关的反思。

7.4 设计启示

基于实证研究发现，我们提出五项设计启示，供未来研究设计支持文化遗产学习、反思与保护的人机协作系统时参考。

7.4.1 针对多样化的遗产语境，制定可灵活调整的真实性护栏。我们的真实性护栏是针对开平碉楼的建筑特点和任务限制量身定制的，而未来的系统应提供可配置的多层框架，以适用于其他遗产领域，包括非物质实践、文物、艺术品或考古遗址。

7.4.2 支持多种时间维度，助力构建历时性理解。鉴于 *Gen-Diaolou* 有效促进了对过去、现在与未来的想象和反思，类似的历时性策略也可推广至其他遗产语境。未来的设计应使用户能够跨越不同的历史轨迹和社会文化进程，探索遗产的演变、脆弱性及其未来可能性。

7.4.3 推动利益相关者群体参与以社区为中心的共同创作。除了吸引居民和游客，未来的系统还应纳入相应的界面和工作流程，让专家、从业者和侨民社群能够共同贡献叙事、诠释和保护理念，从而支持更具包容性的遗产意义建构。

7.4.4 将风险可视化拓展至教育和政策情境。 研究中的风险情景在促使人们与遗产威胁产生情感联结方面已被证明有效。我们建议利用类似的可视化呈现，支持学校课程、社区工作坊和市政规划讨论，让抽象的风险和保护权衡变得具体且可付诸行动，最终提升保护意识。

7.4.5 建立涵盖来源追踪、内容审核与治理的伦理流程。随着生成式人工智能的输出进入公共遗产话语，系统应实施透明的来源追踪、符合文化语境的内容审核以及共同治理的审查机制，以防止失实呈现、过度简化或无意造成文化伤害。

7.5 局限性与未来工作

博物馆实地研究的招募范围较试点研究有所扩大，但我们的研究发现仍主要反映普通游客的观点。未来研究应有针对性地招募具有专业背景或长期保护经验的参与者（例如保护修复人员、博物馆从业者、遗产规划者），以探讨他们的经验、期望和设计需求可能有何不同。

其次，试点研究中的测验主要考察短期事实回忆，未能充分反映叙事理解或跨时期推理。尽管我们在实地研究中改进了知识问卷，并加入了延迟后测，但仍需开展纵向部署，以完善这些测量工具，并追踪认知、身份认同和解释技能随时间的变化。

最后，未来研究应探讨不同的支架和约束如何影响用户的解释能动性，以及社区和专家如何协商在文化遗产人工智能辅助共创系统中实现更包容参与的适当范围。

8 结论

Gen-Diaolou 融合了人工智能辅助学习与创造力，以丰富文化遗产参与。在各项研究中，我们发现，将引导式历史探索与生成式共创相结合，不仅能提升游客的事实性知识，还能增强他们与遗产之间的个人联结，以及对保护遗产所负有责任的意识。我们的工作展示了博物馆场景中的人机协作如何将文化教育从以被动体验和推测为主的模式，转变为与过去和未来展开积极而富有想象力的对话。我们希望这一方法能为数字遗产领域未来的人机系统提供借鉴，启发设计者不只将游客视为学习者，也视为文化记忆潜在的守护者和共同创作者。

致谢

本研究得到了计算媒体与艺术实验室[12] 和江门五邑华侨华人博物馆的支持。我们感谢五邑大学教授、华侨历史与遗产保护研究者 Selia Tan Jinhua 教授提供的宝贵建议与支持。我们也感谢香港五邑同乡会通过大湾区未来实习计划*2025*给予支持。

参考文献

[1] Chadia Abras、Diane Maloney-Krichmar、Jenny Preece 等。2004。以用户为中心的设计。*Bainbridge, W.*《人机交互百科全书》。加利福尼亚州千橡市：*Sage Publications*37, 4 (2004), 445–456。[2] UCHECHUKWU C Ajuzieogu。2024。面向非洲语言保护的多模态生成式人工智能：语言记录与复兴框架。*Google Scholar* (2024)。[3] Victor Nikhil Antony 和 Chien-Ming Huang。2024。ID.8：与生成式人工智能共同创作视觉故事。*ACM Trans. Interact.Intell. Syst.* 14, 3, Article 20（8月 2024 29 10 1145 3672277），页码。doi: 。 / Gregory John Ashworth、[4] Brian Graham 和 John E Tunbridge。2007。复数化的过去：多元文化社会中的遗产、身份与地方。Pluto Books。[5] P.W. Atmaja 和 Sugiarto。2022。当信息、叙事与交互协同发力：为复杂议题设计和协同设计互动数字叙事。载于互动叙事：第*15*届互动数字叙事国际会议，*ICIDS 2022*，美国加利福尼亚州圣克鲁斯，*2022*年*12*月*4*日至7日，论文集。施普林格出版社，329–351。doi:10.1007/978-3-031-22298-6_20 1039 [6] Patricia R. S. Batto. 2006. 开平碉楼（1842–1937）：危险时代的建筑。China Perspectives 65 (2006), 2–13. https://journals.openedition.org/chinaperspectives/ [7] 2000 Janet Blake. . 论文化遗产的定义。International & Comparative Law Quarterly 49, 1 (2000), 61–85. [8] Stefania Boiano, Ann Borda, Giuliano Gaia, and Guido Di Fraia. 2024. 伦理人工智能与博物馆：挑战与新方向。载于 EVA伦敦 2024 会议论文集。BCS学习与发展，18–25。[9] Luciana Bordoni, Liliana Ardissono, Juan A Barceló, Antonio Chella, Marco de Gemmis, Cristina Gena, Leo Iaquinta, Paquale Lops, Francesco Mele, Cataldo Musto, et al. 2013. 人工智能对增进文化遗产理解的贡献。Intelligenza Artificiale 7, 2 (2013), 101–112. [10] Hongze Cai and 湖南大学设计学院. 2024. 基于人工智能生成内容的文物数字叙事设计方法研究与实践。载于 DRS 会议论文集。设计研究学会。[11] Zuona Chen and J ames She. 2025. 通过文化特定低秩适应为人工智能艺术注入文化真实性。载于第33届 ACM国际多媒体会议论文集（爱尔兰都柏林）（MM '25）。美国计算机协会，纽约，NY，美国， 6691 6699 10 1145 3746027 3755670 – 。 [12] 2014 doi: 。 /。Erin Cherry and Celine Latulipe. . 通过创造力支持指数量化数字工具对创造力的支持。ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) 21, 4 (2014), 1–25. [13] Bo-wei Chiang. 2021. 记忆的景观：中国广东开平跨地方中国文化遗产表征研究。Translocal Chinese: East Asian Perspectives 15, 1 (2021), 5–37. [14] Victoria Clarke and Virginia Braun. 2017. 主题分析。The journal of positive psychology 12, 3 (2017), 297–298. [15] Marta De la Torre. 2013 6, 2 2013 155 166 . 价值与遗产保护。Heritage & society ( ), – 。[16] Google Developers. 2015. 渐进式 Web 应用。https://web.dev/progressive-web-apps/。访问日期：2025-08-01。[17] Karina Rodriguez Echavarria, Myrsini Samaroudi, Laurie Dibble, Edward Silverton, and Sophie Dixon. 2022. 通过基于地点的叙事，以创意体验促进社区参与文化遗产。J. Comput. Cult. Herit. 15, 2, 33 2022 19 10 1145 3479007 文章（4月），页码。doi: 。 /。 [18] 2025 Sara Ferretti. . 人工智能赋能的文化遗产教育平台。载于会议论文集：《教育的未来 2025》。[19] Anthony Fu. 2020. vite-plugin-pwa. https://github.com/antfu/vite-plugin-pwa。访问日期：2025-08-01。[20] Kexue Fu, Ruishan Wu, Yuying Tang, Yixin Chen, Bowen Liu, and RAY LC. 2024. "逐渐被侵蚀"：通过展示生成式人工智能共创作品，提升文化遗产传播中的参与度与讲故事效果。载于 2024年 ACM交互系统设计会议论文集（丹麦哥本哈根）（DIS '24）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，2833–2850。doi:10.1145/3643834.3660711[21] Ka Yan Fung, Lik Hang Lee, Huamin Qu, Yuelu Li, Shenghui Song, and David Yip. 2024. 以创促学范式：一种激发儿童故事感与结构感的代理视觉叙事工具（PVST）。载于第17届视觉信息传播与交互国际研讨会论文集（VINCI '24）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，文章 12, 8 10 1145 3678698 3678699 页码。doi: 。 /。 [22] Fengsen Gao, Ke Fang, and Wai Kin (Victor) Chan. 2024. 让文物鲜活起来：一款运用生成式人工智能、介绍文化遗产文物与历史的教育游戏。载于2024年计算机与人类交互游戏年度研讨会论文集（芬兰坦佩雷）（CHI PLAY Companion '24）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，91–96。doi:10.1145/3665463.3678792[23] Frederic Gmeiner, Humphrey Yang, Lining Yao, Kenneth Holstein, and Nikolas Martelaro. 2023. 探索支持设计师学习与基于人工智能的制造设计工具共创的挑战与机遇。载于2023年CHI人机交互计算系统会议论文集（德国汉堡）（CHI '23）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，文章 226, 20 10 1145 3544548 3580999 页码。doi: 。 /。 [24] Kyungsik Han, Patrick C. Shih, Mary Beth Rosson, and John M. Carroll. 2014. 借助移动应用提升社区对当地遗产的认知与参与。载于第17届 ACM计算机支持的协同工作与社交计算会议论文集（美国马里兰州巴尔的摩）（CSCW '14）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，1144–1155。doi:10.1145/2531602.2531640[25] Sandra G Hart. 2006. NASA任务负荷指数（NASA-TLX）；20年之后。载于人因与工效学会年会论文集，第50卷。SAGE Publications，904–908。[26] H. Hashim. 2019. 叙事技术增强：数字视觉特效（dvfx）对创意叙事表现的影响。Jurnal Komunikasi: Malaysian Journal of Communication 35, 1 2019 17 28 10 17576 2019 3501 02 （），– 。 [27] 2024 doi: 。 /jkmjc- - - Xi He and Xing Sun. . 基于人工智能生成内容的明朝历史重构研究。载于第十一届中国人机交互国际研讨会论文集（印度尼西亚登巴萨、巴厘岛）（CHCHI '23）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，449–454。doi:10.1145/3629606.3629652

[12]计算媒体与艺术。参见https://cma.hkust-gz.edu.cn/about-cma/

[28] Zhiting He, Jiayi Su, Li Chen, Tianqi Wang, and Ray Lc. 2025. “我回忆起过去”：探索人们如何与生成式人工智能协作创作文化遗产叙事。Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. 9, 2 (2025年5月), 30页。doi:10.1145/3711006[29] P. Hegediš, L. Anderlič, and V. Hus. 2023. 在初等教育中让当地社区参与文化遗产探索。Creative Education 14, 10 (2023 1965 1976 10 4236 2023 1410125), – 。doi: 。/ce. 。Linda Hirsch, Florian Hild, and Mohammad Obaid. 2022. 运用思辨设计为历史墓地制定设计建议。载于第25届国际学术 Mindtrek 会议论文集。147–157。[31] Ann Kraybill. 2015. 走得更远：在线学习与博物馆。Journal of Museum Education 40, 2 (2015), 97–101. [32] Kari Kuutti. 1996. 活动理论作为……的潜在框架。Context and consciousness: Activity theory and human-computer interaction (1996), 17. [33] Bettina Laugwitz, Theo Held, and Martin Schrepp. 2008. 用户体验问卷的构建与评估。载于奥地利人机交互与可用性工程组研讨会。施普林格，63–76。[34] Jean Lave. 1991. 情境学习：合法的边缘性参与。剑桥大学出版社。[35] RAY LC. 2024. 当下存在于未来：作为非物质文化遗产的参与式生成式人工智能共同创作愿景。载于第17届视觉信息传播与交互国际研讨会论文集（VINCI ’24）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，文章 45, 2 10 1145 3678698 3687200 页码。doi: 。/。Ray Lc and Yuying Tang. [36] 2023. 运用生成式人工智能进行思辨设计：应用 Stable Diffusion 和 ChatGPT 想象气候变化未来情景。载于第11届数字与交互艺术国际会议论文集。1–8。[37] James R Lewis. 2018. 系统可用性量表：过去、现在与未来。International Journal of Human–Computer Interaction 34, 7 (2018), 577–590. [38] Jia Li and Chan Lv. 2024. 探索用户对在线虚拟现实展览技术的接受度：良渚博物院案例研究。PLoS One 19, 8 (2024), e0308267。[39] Jingke Li, Guoyu Sun, Congyun Tang, Wenjuan Chen, Wenwen Yang, Wenxuan Kou, Zhonghe Ruan, Wanqing Ma, and Xuran Nie. 2024. 丝绸之路之旅：用于丝绸之路文化再现与体验的实时人工智能交互式艺术装置。载于CHI人机交互计算系统会议扩展摘要集（美国夏威夷檀香山）（CHI EA ’24）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，文章 418, 5 10 1145 3613905 3648655 页码。doi: 。/。S. Li. [40] 2023. 虚拟现实技术在非物质文化遗产纪录片制作中的应用研究。The Frontiers of Society, Science and Technology 5, 17 2023 10 25236 2023 051707 （）。doi: 。/FSST. 。X. Liu and Z. Xu. [41] 2012. 文化遗产保护中公众参与影响因素分析：以中国广东开平碉楼为例。载于2012年第3届电子商务与电子政务国际会议论文集——第04卷。IEEE计算机学会，207–210。doi:10.5555/2452576.2454671[42] Yishan Liu, Zhen Chen, Xin Xie, Yaodong Hu, Lie Zhang, Weiran Li n, and Shuangshou Li. 2024. “超摄影”文物：一种基于人工智能生成内容设计的交互式美育体验装置。载于2024年IEEE世界人工智能与物联网大会（AIIoT）。 435 443 10 1109 61789 2024 10579010 – 。doi: 。/AIIoT 。[43] 。Manlei Luo, Qi’ao Luan, Lin Yang, and Wei Li. 2025. 面向交互式游戏的生成式人工智能情感与文化参与。载于2025年生成式人工智能与数字媒体艺术国际会议论文集。110–115。[44] S. Lvping. 2021. 用于非物质文化遗产管理的区块链技术。Scientific Programming 2021 2021 1 7 10 1155 2021 2613656 （），– 。doi: 。/ / Krystyna Madej. [45] 2003. 面向儿童的数字叙事：从教育到娱乐的历史视角。Computers in Entertainment (CIE) 1, 1 (2003 10 1145 950566 950585)。doi: 。/。Shiran Magrisso, Moran Mizrahi, and Amit Zoran. [46] 2018. 混合木工的数字榫接。载于2018年CHI人机交互计算系统会议论文集（加拿大魁北克省蒙特利尔）（CHI ’18）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，1 11 10 1145 3173574 3173741 – 。doi: 。/。Irini A. Malegiannaki, Thanasis Daradoumis, and Symeon Retalis. [47] 2020. 通过叙事类游戏教授文化遗产。J. Comput. Cult. Herit. 13, 4, 文章27（2020年12月），28页。doi:10.1145/3414833[48] Nusrat Jahan Mim, Dipannita Nandi, Sadaf Sumyia Khan, Arundhuti Dey, and Syed Ishtiaque Ahmed. 2024. 图像与可见之物之间：文本生成图像的生成式人工智能工具对全球南方数字图像创作实践的影响。载于2024年CHI人机交互计算系统会议论文集（美国夏威夷檀香山）（CHI ’24）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，文章474，18页。doi:10.1145/3613904.3641951[49] Michael Muller, Lydia B Chilton, Mary Lou Maher, Charles Patrick Martin, Minsik Choi, Greg Walsh, and Anna Kantosalo. 2025. GenAICHI 2025：CHI 2025上的生成式人工智能与人机交互。载于CHI人机交互计算系统会议扩展摘要集（CHI EA ’25）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，文章 782, 9 10 1145 3706599 3707213 页码。doi: 。/。Michele Newman, Kaiwen Sun, Ilena B Dalla Gasperina, Grace Y. Shin, Matthew Kyle Pedraja, Ritesh Kanchi, Maia B. Song, Rannie Li, Jin Ha Lee, and Jason Yip. [50] 2024. “我希望它说话像达斯·维达”：借助生成式人工智能帮助儿童建立创造性自我效能。在 *2024*年*CHI*人机交互计算系统会议论文集（美国夏威夷州檀香山）*(CHI ’24)*。美国计算机协会，纽约，美国，文章117，18页。doi:10.1145/3613904.3642492[51] J. Oppenlaender、H. Johnston、J.M. Silvennoinen 和 H. Barranha。2025。艺术作品焕然新生：通过身体提示探索人机协同创作。在 *ACM*人机交互论文集，第9卷。ACM。doi:10.1145/3734189[52] L. V. Prott 和 P. J. O’Keefe。1992。“文化遗产”还是“文化财产”？国际文化财产杂志1, 2 (1992), 307–320。doi:10.1017/ S094073919200033X[53] Sebastián Ramírez。2018。FastAPI：一个使用 Python 3 构建 API 的现代高性能 Web 框架。6+。https://fastapi.tiangolo.com/。访问日期：2025-08-01。[54] Marcos Ribeiro、Joana Santos、João Lobo、Sílvia Araújo、Luís Magalhães 和 Telmo Adão。2024。虚拟现实、增强现实、游戏化与人工智能：迈向支持文化遗产的新一代系统——应对博物馆情境中的挑战。在 第*29*届*ACM*国际三维网页技术会议论文集（葡萄牙吉马良斯）*(Web3D ’24)*。美国计算机协会，纽约，美国，文章9，10页。doi:10.1145/3665318.3677172[55] Sarah Rüller、Konstantin Aal、Peter Tolmie、Andrea Hartmann、Markus Rohde 和 Volker Wulf。2022。将思辨设计作为一种协作实践：通过数字触控减轻文盲带来的后果。*ACM*计算机与人机交互汇刊 29, 3, 23 2022 58 10 1145 3487917 文章（1月），页数。doi: 。/ Chris Ryan、Zhang Chaozhi 和 Deng Zeng。 。中国联合国教科文组织遗产地的旅游影响——是否需要元叙事？开平碉楼案例。可持续旅游杂志19, 6 (2011), 747–765。[57] Mingyang Su、Chao Liu、Jingling Zhang、WU Shuang 和 Mingming Fan。2025。SimViews：一种交互式多智能体系统，通过模拟访客之间的对话模式，在虚拟博物馆中呈现文物的多元视角。在 第*33*届*ACM*国际多媒体会议论文集（爱尔兰都柏林）*(MM ’25)*。美国计算机协会，纽约，美国， 6740 6750 10 1145 3746027 3754593 – 。doi: 。/ 。Jiuxia Sun、Yi Zhou 和 Xueji Wang。 。世界遗产旅游背景下的地方建构：以“开平碉楼与村落”为例。旅游与文化变迁杂志17, 2 (2019), 115–131。[59] Ye Tao、Xiaohui Fu、Jiaying Wu、Ze Bian、Aiyu Zhu、Qi Bao、Weiyue Zheng、Yubo Wang、Bin Zhu、Cheng Yang 和 Chuyi Zhou。2025。AIFiligree：用于设计精美花丝艺术品的生成式人工智能框架。在 *2025*年*CHI*人机交互计算系统会议论文集 *(CHI ’25)*。美国计算机协会，纽约，美国，文章658，18页。doi:10.1145/3706598.3713281[60] Maryam Tohidi、William Buxton、Ronald Baecker 和 Abigail Sellen。2006。实现恰当的设计与设计得恰到好处。在 *SIGCHI*人机交互计算系统会议论文集。1243–1252。[61] Georgios Trichopoulos、Kostas Ordoumpozanis 和 George Caridakis。2025。评估基于大语言模型的聊天机器人对提升文化展品访客用户体验的作用。*J. Comput. Cult. Herit.*（2025年11月）。doi:10.1145/3775062 已正式录用。[62] 联合国教科文组织世界遗产中心。2006。《开平碉楼与村落保护与管理规划》（节选）。https://whc.unesco.org/en/documents/ 104657。访问日期：2025-08-01。[63] 联合国教科文组织世界遗产中心。2007。开平碉楼与村落。https: // whc.unesco.org/en/list/1112/documents/。访问日期：2025-08-01。[64] M. Vecco。2010。文化遗产的定义：从有形到无形。文化遗产杂志11, 3 (2010), 321–324。doi:10.1016/j.culher. 2010.01.006[65] 万维网联盟。2015。Service Workers。https://www.w3.org/TR/service-workers/。访问日期：2025-08-01。[66] Huanchen Wang、Tianrun Qiu、Jiaping Li、Zhicong Lu 和 Yuxin Ma。2025。HarmonyCut：通过形式与意蕴的和谐统一，支持中国剪纸创作设计。在 *2025*年*CHI*人机交互计算系统会议论文集 *(CHI ’25)*。美国计算机协会，纽约，美国，文章 661, 22 10 1145 3706598 3714159 页。doi: 。/ 。Yingna Wang、Qingqin Liu、Xiaoying Wei 和 Mingming Fan。 。时光交织的花朵：在虚拟现实非物质文化遗产体验中，通过多元艺术表达实现人工智能辅助的文化对话。在 计算机图形学与交互技术特别兴趣小组会议沉浸式展馆论文集 *(SIGGRAPH Immersive Pavilion ’25)*。美国计算机协会，纽约，美国，文章 3, 2 10 1145 3721245 3734052 页。doi: 。/ 。Emma Waterton 和 Laurajane Smith。 。社区遗产的承认与误认。国际遗产研究杂志16, 1-2 (2010), 4–15。[69] Wen Wen、Ziwen Ye、Xiangmeng Wang 等。2024。基于人工智能生成内容技术的沉浸式开平碉楼体验设计路径研究。在 *DS 136*：*2024*年亚洲设计与创新会议论文集 *(ADIC)*。223–232。

[70] WHATWG。2011。Fetch 标准 - 跨源资源共享。https://fetch.spec.whatwg.org/#http- cors。访问日期：2025-08-01。[71] Zongjie Wu 和 Song Hou。2015。遗产与话语。在《帕尔格雷夫当代遗产研究手册》。施普林格，37–51。[72] Jingfan Xu、Longquan Yan、Ruichao Zhang 和 Mingquan Zhou。2025。数字博物馆中生成式技术的发展与应用综述。*npj Heritage Science* 13, 1 (2025), 589。[73] Ningning Xu、Yue Li、Jiachen Liang、Kexiang Shuai、Yuwen Li、Jiaqi Yan、Cheng Zhang 和 Yiping Dong。2024。HeritageSite AR：面向中国遗产地的移动增强现实探索游戏的设计与评估。*J. Comput. Cult. Herit.* 17, 4, 67 2024 29 10 1145 3700881 文章[74]（12月），页数。doi: 。/ Zhihao Yao、Shiqing Lyu、Yao Lu、Qirui Sun、Hanxuan Li、Xuezhu Wang、Guan-hong Liu 和 Haipeng Mi。2024。ShadowMaker：数字皮影戏的基于草图的创作工具。在 *CHI*人机交互计算系统会议扩展摘要集（美国夏威夷州檀香山）*(CHI EA '24)*。美国计算机协会，纽约，美国，文章417，5页。doi:10.1145/3613905.3648657[75] Xiaojing Yuan、Xiang Yuan、Yuxiao He、Zixi Wang、Jia Ren 和 Nick Bryan-Kinns。2025。文化侵蚀还是创新？手工艺人对中国传统亚文化中人工智能生成图案的态度。在 *2025*年*ACM*交互系统设计会议论文集 *(DIS '25)*。美国计算机协会，纽约，美国，1107 1125 10 1145 3715336 3735808 – 。doi: 。/[76] 。Wang Yuxin 和 Wang Pohsun。2023。。广东省开平碉楼与村落民居建筑形式研究。南佛罗里达发展杂志4, 1 (2023), 551–566。[77] L. Zhang、S. Yang、D. Wang 和 E. Ma。2020。中国世界遗产地的感知价值与体验——以中国开平碉楼与村落为例。遗产旅游杂志17, 1 (2020), 91–106。doi:10.1080/1743873X. 2020.1820014[78] Wenxi Zhang、Nana He、Zhiqi Deng、Chao Huang 和 Jun Cai。2025。人工智能生成内容赋能的文创产品设计探索：以澳门非物质文化遗产舞龙元素为例。在 *2024*年第*3*届人工智能与教育国际会议论文集 *(ICAIE '24)*。美国计算机协会，纽约，美国，380–385。doi:10. 1145/3722237.3722303[79] W. Zhang 和 S. A. Sharudin。2024。世界文化遗产开平碉楼的建筑艺术特征研究。*Academic Journal of Science and Technology* 12, 2 2024 91 95 10 54097 5 798 ( ), – 。doi: 。/sw je E. Zhou 和 D. Lee[80]。2024。。生成式人工智能、人类创造力与艺术。*PNAS Nexus* 3, 3 2024 052 10 1093 052 ( ), pgae[81]。doi: 。/pnasnexus/pgae Zihao Zhu、Ao Yu、Xin Tong 和 Pan Hui。2025。。探索虚拟现实历史教育中由大语言模型驱动的角色与行动切换教学智能体。在 *2025*年*CHI*人机交互计算系统会议论文集 *(CHI '25)*。美国计算机协会，纽约，美国，文章1066，19页。doi:10.1145/3706598.3713109

形成性研究、试点研究与实地研究中的参与者人口统计信息概要

表9总结了参与者在我们的形成性研究、试点研究和博物馆实地研究中的人口结构。

B 用户体验问卷

在试点研究中，我们使用用户体验问卷（UEQ）评估参与者的主观体验，并使用NASA任务负荷指数评估工作负荷；表3将问卷条目与相应的评估维度进行了对应。在博物馆实地研究中，我们分别使用CAI-CH、SUS和CSI测量保护意识、可用性和创造力支持；表4将这些维度与本研究所使用的问卷条目进行了对应。

C 任务表现与迭代模式

在试点研究中，我们记录了参与者在生成式人工智能模块中的任务表现，包括任务1–3的生成图像数量和提示词迭代次数。表5报告了每位参与者的总数。

D 试点研究的反馈与迭代

表6总结了由试点研究得出的关键设计启示及相应的迭代建议。我们利用这些研究发现，在后续实地研究之前实施了可执行的改进。

E 真实性护栏系统提示词

我们为历史重建设置优先保真的默认选项，并为风险、挑战和保护主题采用更有利于探索的设置（见表7和表8）。

表7列出了八个类别的二级标签词汇：视角、一天中的时段、人物、建筑功能、建筑风格、窗户特征、装饰图案和渲染风格。这些可供用户选择的标签被视为硬性要求，并直接用于提示词组装，以确保生成图像符合所选属性。

表8详细说明了护栏约束如何根据三个生成式人工智能模块任务进行调整。任务*1*（历史重建）严格确保符合20世纪30年代的时代特征，对时代错置的容忍度极低；任务 *2*（风险评估）放宽时间约束，允许设定在当下或近未来，同时保持建筑完整性；任务*3*（未来保护）则鼓励围绕保护规划进行创造性构想，同时保留可辨识的碉楼形态。这种分层方法将领域知识转化为情境敏感约束，在历史保真度与符合任务需求的创作自由之间取得平衡。

在历史重建 主题中，一级会对历史上不准确的内容（例如“玻璃幕墙”“未来主义摩天大楼”）进行规范化处理，并改写为符合时代背景的替代方案（例如砌体立面、铁栅窗）；不符合文化习俗的图案则替换为真实的中国元素。

验证通过后，系统会从知识库中提取碉楼专用词汇（例如砖石立面、屋顶形制、女儿墙、防御性的“燕子窝”枪眼）来丰富提示词，从而提高建筑还原度。

表 3：UEQ 和 NASA-TLX 问卷条目与评估维度的映射。

乐器	维度	问题
UEQ	明了性	该系统易于学习和使用。 该界面清晰且结构良好。
	效率	该系统对我的操作响应迅速。 该系统支持我实现目标。
	可靠性	使用该系统时，我感到很有信心。 人工智能生成的结果符合我的预期。
	刺激	该系统帮助我表达自己的创意。 我很享受使用该系统的整体体验。
	新颖性	该系统提升了我对文化遗产的理解。 我希望今后使用类似的系统。
NASA任务负荷指数	心理需求	完成该任务需要投入多少思考、记忆和注意力?
	身体需求	完成该任务需要多少体力活动或手动操作?
	时间需求	在任务过程中，你感受到多大的时间压力?
	表现	你对自己完成任务的表现有多满意?
	努力程度	你必须付出多少努力才能达到自己的表现水平?
	挫折程度	在任务过程中，你感到多么不耐烦、紧张或恼火?

表4：CAI-CH、SUS 和 CSI 维度与相应问卷条目的对应关系。

测量工具	维度	问题
CAI-CH	价值认知	我能清楚地认识到开平碉楼文化遗产所蕴含的历史、文化和社会价值。 开平碉楼文化遗产值得保护，因为它代表着对社会而言不可替代的价值。
	遗产认同与归-属感	开平碉楼文化遗产有助于增强我对当地社区或文化的认同感。 参与开平碉楼相关活动时，我会更强烈地感受到自己与文化根源之间的归属感。
	非物质遗产意识——ness	我认为，保护非物质文化遗产（如口述传统、仪式和节庆活动）与保护实体遗址同样重要。参与或观察与开平碉楼相关的传统文化实践 会增强我对遗产保护必要性的认识。
	参与意愿	我愿意参与遗产相关活动（例如志愿服务、社区活动、 教育项目）。我认为，积极的公众参与对于成功保护文化遗产 至关重要。
	文化可持续性	我觉得自己有责任确保文化遗产得到保护，并传承给后代。我 担心如今未能保护文化遗产将给未来社会造成不可逆转的损失。
SUS	易于使用	我觉得这个系统易于使用。
	功能	我发现这个系统中的各种功能整合得很好。
	学得快	我想大多数人会很快学会使用这个系统。
	学习曲线	在开始使用这个系统之前，我需要学习很多东西。
	频率	我想我会经常使用这个系统。
	信心	我使用这个系统时感到非常自信。
CSI	享受	我很享受使用这个系统的过程。这段体验既有趣又引人入胜。使用 系统。
	探索	这个系统帮助我追踪不同的想法、结果或可能性。这个系统鼓励我 让我尝试新事物。我很容易尝试不同方案，并发现了新的可能性。
	协作	我能够与他人分享或讨论自己的想法。我很容易在他人想法的基础上继续拓展。 系统支持协作。
	结果值得付出努力	我能够与他人交流我的工作。取得的成果值得付出所需的努力。 成果质量足以证明所花费的时间是值得的。该系统帮助我取得了有价值的成果。
	表现力	该系统让我能够充分表达自己。该系统支持我的个人风格。我可以 创作出完全符合自己意图的内容。我可以有效地传达自己的想法。我觉得自己能够掌控最终结果。
	沉浸感	使用它时，我忘记了时间。我全身心投入到活动中。我沉浸在自己 正在做的事情中。界面没有分散我的注意力。我的注意力完全被吸引了。

表5：生成式人工智能模块各任务（P1–P18）的生成图像数量与提示词迭代次数。

阶段		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18		
任务1	生成图像	4	12	8	8	4	4	4	4	4	4	4	4	8	8	4	8	12	16	8	
	提示词迭代	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	3	4	2	
任务 2	生成图像	8	4	12	4	4	4	4	8	4	4	4	4	4	8	4	4	8	4	8	
	提示词迭代	2	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	
任务3	生成图像	8	4	4	12	4	4	8	4	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	提示词迭代	2	1	1	3	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
摘要（M/SD）																					
	生成图像	任务1：7.3 / 3.4　任务 2：6.0 / 2.5　任务3：5.6 / 2.4																			
	提示词迭代	任务1：1.8 / 0.9　任务 2：1.6 / 0.7　任务3：1.3 / 0.7																			

表6：基于试点后研究的研究发现提出的系统迭代建议。

Area	迭代建议	来自研究发现的动机
交互流程	通过简短的任务提示明确任务目标；可选择提供特定地点的背景音景，以增强沉浸感在探索和创作过程中。	一些参与者不确定每项任务的具体要求以及如何从知识探索迈向创意生成；一些人明确提到，背景音效可以提升整体氛围（*P*7, *P*12, *P*13）。
知识模块	加入更丰富的叙事内容（例如家族史、关键事件），并搭配精心策划的叙事路径，同时融入文化遗产保护案例研究融入推想未来 主题，以启发用户面向未来的构想。	一些参与者认可这种结构化分类体系，但希望内容更丰富、更具故事性，并加强遗产知识与生成式人工智能提示词之间的联系（*P*5， *P*9）。
生成式人工智能模块	提供特定于任务的提示模板和模块化插槽（例如组件、模式）；同时展示脚手架提示的结构化视图和自然语言视图。	一些用户难以将想法转化为有效的提示词，并希望更清楚地了解他们的输入内容正在被改写和扩充（*P*12, *P*16）。
真实性护栏	当输入触发安全护栏时，显示一个弹出窗口解释拦截原因，并提供符合历史背景的替代方案。	用户偶尔将安全护栏干预理解为模型错误，并表示希望平衡历史保真度与想象性探索（*P*1, *P*2, *P*4, *P*16, *P*18）。
输出与展示	增加对比视图和可导出的"展览卡片"，并使用系统分配的创作 ID 存储面向用户的视图以便用户按顺序回顾自己过去的创作。	参与者希望获得更好的支持，以反思设计随时间推移发生的变化，并分享或展示他们最喜欢的成果（*P*3、 *P*8、 *P*13）。

表7：第2级——生成式人工智能模块任务中提示词组装的标签规范。

标签类别	规格
视角	远景（100–200 m，　画面覆盖率为 20–30%）；中景（25–45 m，　画面覆盖率为 65–75%，平视）；特写（10–20 m，　画面占比 80–90%）。
一天中的时段	早晨（上午 6–9 点，低角度金色光线）；下午（12–4 点，顶光）；傍晚（下午 5–7 点，温暖的夕阳光）。
人物	无人物（无人场景）；单人（符合时代背景的人物）；多人（3–8 位人物身着传统服饰）。
建筑功能	防御功能（瞭望塔、枪眼）；防洪（高架地基）；居住功能（家庭生活场景）。
建筑风格	罗马式；巴洛克式；拜占庭式；英属印度式；新古典主义式。
窗户特征	檐户（巴洛克式）；长户（新古典主义式）；柳户（罗马式）；密集网格图案；临户（拜占庭式）。
装饰图案	植物纹样；动物纹样；几何图案（仅限内部视图）。
渲染风格	照片级写实；油画（古典欧洲）；水墨画；工笔（中国传统工笔画）；印象派；点彩派。

表 8：生成式人工智能模块任务中的任务特定的真实性护栏约束。

约束方面	任务1	任务 2	任务3
一级。时间约束	严格限定为20世纪30年代；所有元素必须符合该历史时期。	允许采用当代或近未来设定以描绘现实威胁。	鼓励推测性未来用于保护情景。
一级。建筑完整性	基本结构（形式，比例，立面，屋顶轮廓，窗户位置）必须保持不变。	基本结构必须保持不变；可呈现劣化。	可识别的碉楼形态必须保持完整；为未来的适应性再利用。
一级。文化背景	开平，广东，中国设定为强制要求；所有人物必须是中国人，且符合时代背景的文化；严格避免现代时代错置。	开平，广东背景，并包含真实的文化元素；允许出现时代错置，以便进行风险可视化。	中国文化背景得以维护；允许开展未来的社区参与情景。
第三级。验证层级	如果用户构想与标签冲突，则标签优先；如果输入违反20世纪30年代规则，则自动规范化；不合规描述重写或删除。	如果用户构想与标签，标签优先；放宽时间约束；严格维护建筑完整性。	如果用户构想与标签，标签优先；时间约束得到充分宽松；建筑形式仍须遵守；创造性允许推测。
允许的内容	仅限20世纪30年代的开平背景。对于内部视图：保留建筑结构（墙壁，布局、窗户，门，天花板，地板），仅修改装饰元素，排除家具和人物，使用中国历代装饰艺术。	允许风险相关内容：水损、风化，结构劣化，地基问题、游客影响、环境威胁。	鼓励提供保护相关内容：未来情景、社区参与，可持续发展，遗产保护策略。
示例规范化	输入：“未来主义玻璃幕墙墙”→输出：“砌体建筑立面配有铁栅窗户”；输入：“坦克和装甲车辆”→输出：移除或替换为符合时代背景的元素。	输入：“碉楼完全拆除”→输出：“碉楼带有可见的结构裂缝和风化”。	输入：“转变为科幻飞船”→输出：“遗产主题文化中心配备互动投影映射，保留原有塔楼形态”。

表 9：形成性研究、试点研究和实地研究中的参与者人口统计信息。列包括场次、ID、性别、背景、教育程度、年龄、参与者自我报告的生成式人工智能想法生成熟练度，以及碉楼知识前测分数。

场次	ID	性别	背景	教育程度	Age	生成式人工智能实验[1]	前测分数[2]
形成性研究	E1	女性	遗产学者	PhD	56	3	专家
	E2	女性	地方博物馆负责人	硕士	46	3	专家
	C1	女性	信息设计	学士	19	3	/
	C2	Male	计算机科学	学士	21	4	/
	C3	女性	计算机科学	PhD	27	3	/
	C4	Male	历史	学士	19	2	/
	C5	女性	信息设计	硕士	22	4	/
	C6	女性	电子工程	学士	23	3	/
	C7	女性	数据科学	硕士	24	4	/
	C8	Male	媒体艺术	PhD	25	5	/
	C9	女性	设计	硕士	27	4	/
	C10	Male	公共政策	PhD	25	3	/
	C11	Male	人工智能	学士	20	1	/
	C12	Male	生物科学	PhD	28	1	/
试点研究	P1	Male	设计	PhD	29	3	2
	P2	女性	公共政策	硕士	21	2	12
	P3	Male	生物工程	学士	22	1	4
	P4	Male	电影制作	硕士	23	3	12
	P5	Male	媒体艺术	PhD	30	2	3
	P6	女性	计算机科学	PhD	26	2	10
	P7	女性	工程学	硕士	24	2	5
	P8	Male	生物工程	PhD	28	5	13
	P9	女性	计算机科学	PhD	24	3	8
	P10	Male	智能制造	学士	20	1	11
	P11	Male	人工智能	学士	19	3	12
	P12	Male	公共政策	PhD	23	2	10
	P13	女性	计算机科学	PhD	29	3	1
	P14	Male	人工智能	学士	19	3	7
	P15	Male	公共政策	学士	23	1	9
	P16	女性	设计	PhD	31	2	7
	P17	Male	计算机科学	学士	21	3	4
	P18	女性	工业设计	学士	23	1	10
实地研究（基线）	F1	女性	当地居民	学士	20	3	10
	F2	女性	当地居民	职业学校	21	3	9
	F3	女性	省内访客	学士	35	3	15
	F4	女性	外省访客	学士	35	4	9
	F5	女性	省内访客	职业学校	20	4	15
	F6	女性	当地居民	学士	33	3	12
	F7	女性	当地居民	学士	28	4	11
	F8	女性	当地居民	学士	22	3	16
	F9	女性	外省游客	学士	25	5	13
	F10	女性	外省游客	学士	37	4	12
	F11	女性	外省游客	学士	28	1	11
	F12	女性	当地居民	硕士	23	4	14
	F13	Male	外省游客	学士	39	4	14
实地研究（学习+生成式人工智能）	F14	女性	外省访客	学士	43	4	12
	F15	女性	当地居民	硕士	25	4	11
	F16	Male	当地居民	学士	42	3	15
	F17	女性	外省游客	学士	27	3	8
	F18	女性	当地居民	学士	41	3	15
	F19	女性	当地居民	学士	30	4	13
	F20	女性	当地居民	学士	43	2	17
	F21	女性	省内访客	硕士	35	1	11
	F22	Male	外省游客	职业学校	24	2	12
	F23	女性	省内访客	学士	23	5	16
	F24	女性	外省游客	学士	23	4	9
	F25	女性	本地居民访客	硕士	40	3	14
	F26	女性	外省游客	硕士	20	3	16

[1] 生成想法时对生成式人工智能的自我报告熟练度：1（新手）至 5（专家）。[2] 前测分数表示使用系统/参观前测得的碉楼知识基线分数：试点研究（满分 = 15）；实地研究（满分 = 20）。形成性研究的专家未参加前测。