

Intelligent Museum Construction Driven by 3D Digital Outcrop Technology: A Case Study of Chengdu Museum of Natural History (Chengdu University of Technology Museum)

Yao Guo¹ Jin Xiao² Jinya Hu² Zongqi Lin¹ Lei Zhou²

1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610000, China

2. Chengdu Museum of Natural History (Chengdu University of Technology Museum), Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

With the rapid development of technologies such as digital twins, 3D modeling, and artificial intelligence, the construction of intelligent museums has evolved from single-mode digital displays to multidimensional, interactive, and intelligent formats. Taking the Hall of Geological Environment, Hall of Life Origins, and Hall of Dinosaurs Found in Sichuan Basin in the Chengdu Museum of Natural History (Chengdu University of Technology Museum) as case studies, this research paper integrates high-precision 3D real-scene outcrop digitization technology to establish an intelligent museum system that combines high-precision modeling, dynamic interaction, and science communication. Through technological empowerment, the project achieves immersive presentation of exhibition content, offering an innovative solution for the digital transformation of geological museums.

Keywords

Digital Outcrop Models; Intelligent Museum

三维实景数字露头技术驱动智慧博物馆展厅建设——以成都自然博物馆（成都理工大学博物馆）为例

郭垚¹ 肖瑾² 胡瑾娅² 林宗祺¹ 周磊²

1. 成都理工大学, 中国·四川成都 610000

2. 成都自然博物馆（成都理工大博物馆），中国·四川成都 610000

摘要

随着数字孪生、三维建模、人工智能等技术的快速发展，智慧博物馆的建设已从单一的数字化展示向多维度、交互式、智能化的方向演进。本文以成都自然博物馆（成都理工大学博物馆）地质环境厅、生命探源厅、龙行川渝厅等展厅为实践对象，结合高精度三维实景数字露头技术，构建了集高精度建模、动态交互、科学传播于一体的智慧博物馆体系。通过技术赋能，实现了展陈内容的沉浸式呈现，为地质类博物馆的数字化转型提供了创新性解决方案。

关键词

三维实景数字露头；智慧博物馆

1 引言

进入 21 世纪，数字孪生、三维建模、人工智能、虚拟现实（VR）与增强现实（AR）等信息技术快速发展，并在工业、文旅、文化遗产保护等领域广泛应用。三维实景建模作为连接物理与数字世界的核心手段，因其可高精度、全视角、交互式复原现实场景，在自然科学博物馆智慧化建设中

展现出巨大潜力。

地质学研究对象具有空间复杂性与时间延展性，地质露头是研究地球历史与结构的重要载体，但有不可移动、易受风化、观测受环境制约等局限。传统博物馆展陈难以完整还原野外露头的空间形态、地层结构与地质背景，观众难以获得接近野外科考的体验。三维实景数字露头技术（Digital Outcrop Models, DOMs）便应运而生。该技术通过多视影像采集、摄影测量（SfM）、激光扫描（LiDAR）等方式，将真实露头转化为可交互数字模型，既能高精度保存空间信息，又可在虚拟环境中灵活展示并嵌入多媒体，实现科研、教学与科普价值。近年来，DOMs 已从地质科研拓展至公众科普，并与智慧博物馆建设融合，推动展陈从“静态物理”

【基金项目】成都市科技项目（2024年度）（项目编号：2024-YF05-01344-SN）。

【作者简介】郭垚（1993-），女，中国江苏扬州人，硕士，研究实习员，从事自然科学博物馆科普教育研究。

向“沉浸交互”转型。

智慧博物馆是信息技术与博物馆业务融合产物，旨在通过数字化、网络化和智能化提升文物保护、展陈、服务与传播能力。在国际上，卢浮宫、大英博物馆等世界知名机构已建有较成熟的虚拟展览平台。如，大英博物馆依托高精度三维激光扫描与摄影测量技术，对部分珍贵文物及展厅进行全景建模，并通过 WebGL 等技术实现在线交互。国内方面，故宫博物院率先开展数字孪生技术应用，对紫禁城主要宫殿群进行毫米级精度的三维建模，并结合 VR、全景漫游和虚拟讲解，实现历史建筑与文化情境的沉浸式体验¹。然而，地质类博物馆智慧化仍有两大短板：其一，展陈内容静态、抽象，难以呈现地质现象的空间结构与动态演化；其二，交互体验不足，观众缺乏主动探究过程。

成都自然博物馆（成都理工大学博物馆）作为西南地区重要地质类自然博物馆，馆藏标本超过 6 万件，涵盖古生物化石、矿物岩石、现代动植物等多个领域，形成鲜明展陈特色。博物馆常设展项却面临两个突出问题：一是地质展品来自野外，其真实空间环境与地质背景难以完整呈现；二是部分地质现象动态性强，传统静态展品难以表现其形成演化过程。

三维实景数字露头技术正好可弥补不足。本研究基于 DOMs 的智慧博物馆建设架构，构建“数据采集—高精建模—交互设计—多平台部署—公众教育”的闭环体系，并结合其在博物馆常设展厅的应用，探讨该技术在提升展陈效果、丰富互动方式及促进科学传播方面的成效与前景。

2 三维实景数字露头技术对智慧博物馆建设的核心优势

三维实景数字露头技术（DOMs）起源于 20 世纪末期摄影测量与地形建模技术在地质学中的初步应用。早期露头数字化依赖全站仪测量和二维摄影，精度有限。进入 21 世纪，高分辨率数字影像传感器、全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）、计算机图形学和空间数据处理算法的快速发展，使 DOMs 技术迎来了快速演进期。

目前，DOMs 核心流程已趋于成熟，主要包括多视影像采集、多视影像平差、点云构网、纹理映射及可视化优化五个环节²：

（1）数据采集：广泛采用无人机航摄、地面摄影测量与激光雷达（LiDAR）扫描等方式，以获取高重叠度、多角度露头影像或三维点云数据；

（2）多视影像平差（SfM）技术可自动提取影像特征点并完成匹配，从而实现相机姿态恢复与高精度空间定位；

（3）点云构网环节通过密集匹配生成高密度点云并进行三角网构建，获得完整几何结构；

（4）纹理映射利用原始影像生成高真实感表面纹理，保留露头色彩与细节特征；

（5）可视化优化通过场景裁剪、LOD（Level of Detail）

多层次细节管理、纹理压缩等技术，提升渲染效率和多平台适配性。

在发展趋势上，DOMs 技术正呈现出多源数据融合化、处理流程自动化、模型轻量化与应用场景多元化的特点³。一方面，无人机、LiDAR 与多光谱影像融合，使得露头建模不局限于表面几何形态，还可提取矿物组成、风化程度等多维信息；另一方面，基于深度学习的影像识别与点云处理算法，正大幅提高建模自动化程度与精度；同时，轻量化模型与 WebGL、Cesium 等在线三维引擎的结合，使 DOMs 可在网页、移动端、VR/AR 等多终端流畅运行；此外，DOMs 应用场景已从野外科研、教学实习扩展至博物馆展陈、地质公园解说、灾害监测与文化遗产保护等多个领域。

与传统二维影像或实体模型相比，DOMs 在地质信息记录与传播方面具有以下显著优势：（1）在厘米甚至毫米级精度下完整还原露头细节；（2）可在虚拟环境中操作模型，突破展厅物理空间与展示角度的限制；（3）数字模型可跨平台部署，实现线上线下融合传播。

智慧博物馆建设核心目标是利用数字化、网络化、智能化手段提升展陈服务与科学传播的整体水平。地质类博物馆展陈对象多为古生物化石、矿物岩石标本和地质模型，这些展品虽科学价值较高，但缺乏直观情境信息，难以让观众理解时空背景。例如，仅呈现采集自绵阳江油马角坝的腕足类化石，无法直观呈现其生存环境和四川盆地海陆演化历史。地质类博物馆展陈智慧化转型关键在于如何将静态、抽象的科学信息转化为动态、可感、可交互的学习体验。在此之下，由三维实景数字露头技术驱动的智慧博物馆建设，可采取以下模式：

（1）沉浸式展示模式：将地质景观或化石产地的三维模型与大屏幕投影或 VR 头显结合；

（2）交互式探究模式：在触控屏或桌面交互平台上提供可旋转、缩放的模型，嵌入科学解说与探究任务；

（3）混合现实模式：通过 AR 眼镜或移动终端，将数字露头模型叠加在展品实物上，实现虚实融合的多维信息呈现；

（4）线上虚拟展厅模式：将 DOMs 模型嵌入博物馆官方网站或小程序，实现远程访问与社交媒体传播。

这些模式既丰富了展陈表达手段，还为博物馆提供跨时空的科普传播能力，使其教育功能突破实体空间限制。

3 三维实景数字露头技术驱动的智慧博物馆建设的实践

基于 DOMs 驱动的智慧博物馆展厅建设遵循“数据采集—建模处理—交互呈现—教育传播”的闭环体系，实现路径有四个步骤：

数据采集层，通过无人机航摄、地面摄影测量及 LiDAR 扫描等多源手段，获取高重叠度、多视角露头及化石产地影像与点云数据，以完整保留几何精度与纹理细节。

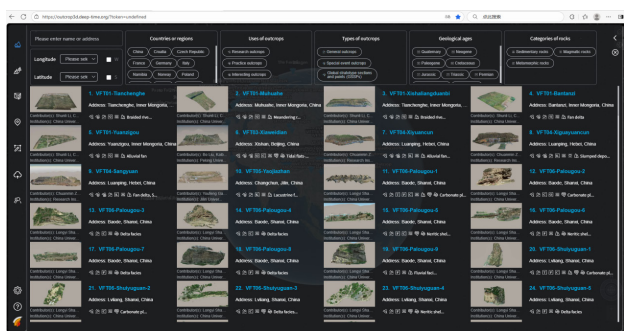


图1 应用于博物馆展陈的三维实景数字露头数据库

建模处理层,利用 SfM 及多视影像匹配算法进行多视影像平差,生成高密度点云;再通过三角网格重建与高分辨率纹理映射,实现几何结构与外观高度还原;并结合场景裁剪与 LOD 技术进行模型优化,以提升跨平台渲染性能。

交互呈现层,将优化后的模型部署至触控屏、大型互动投影、VR/AR 设备及 Web 端平台,配合剖切、缩放、信息标签点击等交互功能,构建多终端、多场景沉浸式体验,使观众可自主探索与发现知识点,提升参与度。

教育传播层,在模型中嵌入地质解说、剖面图、演化动画及化石发掘影像等多模态信息,并通过线上虚拟展厅、微信公众号及视频号等途径进行二次传播,实现展厅内外教育协同。

团队将 DOMs 技术应用于博物馆 3 个常设展厅中:

地质环境厅以四川及周边地质构造、地貌景观和典型剖面为核心,传统展陈多以岩石标本与二维展板为主,空间信息还原有限。DOMs 技术可将峨眉山、马角坝等地典型景观构建为厘米级精度模型,观众可在触控屏或 VR 中使用旋转、缩放、获取详细信息等功能,实现室内“野外考察”体验;

龙行川渝厅以恐龙化石及中生代生态为主题,传统展陈缺乏化石与发现环境的直观关联。利用 DOMs 技术将化石发掘地全景数字化,保留化石原位分布并引入交互系统,观众可查看化石分布与地层关系、模拟测量骨骼,展项实现恐龙化石与产地露头虚拟叠加,增强故事性与沉浸感。

生命探索厅以生命起源与演化为主线,现有展陈为化石展品与图文展板,缺乏对古生态演替的直观呈现。结合数字露头与动画模拟,可动态关联化石产地剖面与演化过程,如:在展示大竹重庆鱼化石时,同时呈现产地岩层与沉积成化石的过程,实现“化石—产地—环境—演化”的完整认知链条。

4 三维实景数字露头技术驱动下的博物馆展陈特色与公众教育效能提升

4.1 沉浸感:从“观看展品”到“进入场景”

沉浸感是衡量智慧展厅体验质量的重要指标,反映观

众在参观过程中对情境与内容的代入程度和专注度。传统地质类展陈多以二维图文与静态标本为主,观众感官刺激较为单一,难以形成强烈情境体验。引入 DOMs 技术,通过高精度建模与真实纹理映射,将野外露头、化石产地和古生态场景以三维可交互的形式还原到展厅中,显著增强了视觉真实度和空间沉浸感。例如,在地质环境厅的“四川盆地演化”展项中,观众可放大细节观察峨眉山玄武岩柱状节理,了解二叠纪峨眉山大火成岩省事件。

4.2 参与度:从“被动接收”到“主动探究”

参与度体现观众在展览中的互动频率与深度,是检验智慧展厅教育成效的重要维度。DOMs 展项为观众提供了自主探索的可能,观众可根据兴趣选择观察角度、缩放比例位置,在模型中查找信息标签,甚至完成设定的探究任务。例如,“龙行川渝厅”的虚拟发掘任务要求观众在数字剖面中找到并标注恐龙化石位置。这种从被动接受到主动探索的转变,是智慧展厅教育价值提升的重要标志。

4.3 传播延展性:从“展厅观众”到“线上共享”

智慧展厅建设的价值不仅体现在观众体验上,还应通过数字化资源的传播实现影响力延伸。博物馆将部分典型 DOMs 展项嵌入“成都理工大学博物馆”微信公众号中,观众可在手机或电脑端自由浏览模型、旋转观察并获取相关解说信息。据统计,数字露头模型上线后,相关网页访问量增至原有的 3.4 倍,相关地质露头科普短视频播放量超 200 万次,有效提升公众参与度和传播覆盖面。

此外,DOMs 数据可对接学校课程和在线学习平台,形成可复用的数字化教育资源。既延长了展项生命周期,也拓展了博物馆教育服务边界,使其成为区域性科教的重要数字资源中心。

5 总结

基于三维实景数字露头技术,成都自然馆构建了“数据采集—高精建模—交互呈现—教育传播”的智慧博物馆展厅建设体系。实践表明,DOMs 能够高精度再现野外地质景观的空间形态与地层结构,并通过多终端、多场景交互呈现,有效弥补传统展陈在真实感、动态性与参与度方面的不足。该模式为地质类博物馆数字化转型提供可复制、可推广的技术路径,对提升公众地学认知和科学素养具有重要意义。

参考文献

- [1] 贺琳,杨晓飞.浅析我国智慧博物馆建设现状[J].中国博物馆,2018,(03):116-126.
- [2] 陈建华,钟瀚霆,侯明才,等.数字露头实景三维Web平台研究与云端地质考察应用[J].地球学报,2024,45(02):232-242.
- [3] 徐琪,沈含笑,董少春,等.地质露头与标本的三维数字化现状与展望[J].高校地质学报,2023,29(03):403-418.