

# 科技赋能 古器新生

## ——武王墩楚式青铜礼器的科学修复

近日，在中国国家博物馆展出的“遇见英烈王——安徽淮南武王墩一号墓考古成果展”引发观展热潮，一批承载着战国楚文化精髓的青铜瑰宝向世人展现千年风范。这些历经沧桑重焕光彩的文物背后，凝结着国家文物局考古研究中心、湖北省文物考古研究院、安徽博物院三方的匠心与科技智慧。团队秉持“科学研究贯穿全程、最小干预文物承载信息”的理念，探索出一套“考古、科技、伦理”深度融合的青铜器保护修复新模式。

### 考古先导:为修复确立历史坐标

2025年5月，湖北省文物考古研究院文保部青铜器保护修复技术团队正式进驻武王墩考古整理与保护工作站。修复工作启动前，团队与考古学者建立了深度联动机制。通过结合墓葬形制、器物组合、出土层位等系统性考古信息，与器物自身的铸造工艺痕迹、使用烟炳附着物相互印证，系统阐释每件文物的历史定位与文化价值。如通过分析青铜鼎足部的残缺形状与烟炳痕迹，推断其损坏机制；通过研究纹饰风格、形制、组合关系判断礼器制度中的等级与功能。这种深度互证，为制定“一案一策”的精细化修复方案奠定了坚实的学术根基。

### 科技透视:在微观世界精准诊断

科学检测被确立为修复工程的“第一道防线”与决策依据。团队构建了一套从宏观到微观的立体化检测体系。成分与工艺解密。利用扫描电子显微镜能谱仪(SEM-EDS)与金相显微镜,精准分析青铜的合金成分、铅锡铜分布;X探伤观察揭示典型的楚式“分铸接铸”技术奥秘,即器身与耳、足等附件分别铸造后再连接,直接指导了后续的整形与连接工艺。腐蚀产物活性及表面附着物的评估。采用X射线荧光光谱(XRF)、X射线衍射(XRD)和拉曼光谱等技术,对锈蚀产物、表面附着物、硬结物进行定性与定量分析,精准评估青铜器腐蚀活性的程度与范围、附着物和硬结物的物理化学性质,为选择局部封护或深度处理提供精确数据。烟炳加固攻关。针对鼎壁及底部附着的印证器物为考烈王生前用器的关键烟炳痕迹,团队面临其质地疏松、易脱落的难题。为此,团队创新性



烟炳加固保存文物历史信息



铸造工艺痕迹及纹饰风格、形制

构建双重材料筛选体系:一是筛选能渗透烟炳内部形成支撑骨架的低黏度加固剂;二是筛选能与青铜基体稳定结合的超薄附着层材料。经过上百组对比与老化实验,最终采用“先渗透自加固,后界面附着”的复合方案,将这一历史痕迹完整、牢固地保存下来。

### 材料适配:严守伦理的筛选标准

在保护修复材料筛选环节,团队严守“兼容性、可再处理性、稳定性、可识别性”四大标准,建立了严格的实验室验证流程。团队从数十种国内外常用材料中,根据武王墩青铜器的具体特性(如高铅含量、存在烟炳等)进行初筛。对于关键材料,进行系统测试:物理性能测试。如固化收缩率、热膨胀系数,确保与青铜基体力学匹配。化学兼容性测试。通过模拟老化环境,观察材料是否引发新的腐蚀或变色。可再处理性评估。测试固化后材料是否易于安全去除,为未来修复留有余地。

“我们拒绝‘一刀切’。”团队技术骨干谭畅强调。因此,对于承重的鼎足补配,会选用改性环氧树脂与金属骨架、碳纤维复合的高强度材料;而对于仅需粘接的薄壁残片,则使用固化应力更低的高分子树脂,实现差异化的精准适配。

### 匠心实施:微创手术式的修复技艺

在修复实施阶段,“最小干预”与“可再处理”原则贯穿于每一个技术动作。精细化整形。摒弃传统强力敲击,采用自制柔性矫形工具与3D打印的随形模具,配合C型钳进行缓慢、可控的顶推复位,全程监控压力,防止金属疲劳断裂。结构连接与补配。确立“机械固位优先”原则,优先设计内部微型纤维卡扣或榫卯结构实现物理锁定,仅在关键点辅以毫米级微创点焊或微量粘接。补配部分采用数字模型翻模铸造与手工修刻纹饰相结合,做到视觉和谐又可辨识。表面处理。奉行“尊重历史痕迹”的伦理观。对稳定的无害锈炳做清理予以保留;仅在清洁表面涂覆极薄层丙烯酸类封护材料,实现“润物细无声”的保护。

### 科技融合:贯穿全程的数字化流程

修复深度整合前沿技术,构建了完整的数字化工作流程:高精度三维数字化。通过三维激光扫描与摄影测量数据加工,建立毫米级精度的永久数字档案,用于虚拟修复模拟、3D打印模具及数字化展示。过程动态监测。在矫形等关键操作中,使用应变片、位移传感器实时监测文物应力与形变,确保操作安全。修复信息管理系统。为每件文物建立独立的“修复病历”,全程记录检测、操作、评估信息,实现过程可追溯与研究复用。从安徽淮南修复现场的科技攻坚到中国国家博物馆展厅的璀璨亮相,国家文物局考古研究中心、湖北省文物考古研究院、安徽博物院青铜文物保护修复专家,以科技破解修复难题,以匠心守护文化根脉,不仅让这批楚文化瑰宝得以永续保存,更贡献了一份融合了严谨考古学解读、前沿科技化手段与审慎保护伦理的“中国智慧”。这一实践生动证明,科技赋能是在深刻理解文物价值基础上的精准与克制,其最终目的是让文物以其最本真、最尊严的姿态,传承文明,启迪未来。

(作者及单位:谭畅 湖北省文物考古研究院;宋佳航 张治国 国家文物局考古中心)

# 数字赋能文脉永续 奏响文化“两创”新乐章

## ——德州市博物馆数字化实践打造区域智慧文博新标杆

### 曲亚楼

在数字技术重塑文化传播生态的今天,博物馆正从“文物库房”向“活态文化空间”加速转型。作为承载德州地域精神的核心载体,山东省德州市博物馆以政策为引领、技术为支撑、受众为中心,系统性推进数字化实践探索,构建起覆盖线上线下的贯穿保护传播、融合体验教育的数字化体系,让千年文脉在数字时代焕发新生机,既打造了“没有围墙的博物馆”,更为中小型博物馆数字化转型提供了可复制的实践样本。

### 政策护航与技术赋能双轮驱动,筑牢数字化发展根基

近年来,随着三维扫描、虚拟现实、人工智能等技术的成熟应用,博物馆数字化已实现文化资源从“静态保存”向“动态活化”、从“馆舍空间”向“公共空间”的跨越。德州市博物馆馆藏文物兼具燕赵之风与齐鲁之韵,是区域文化传承的核心载体,依托《德州市文物保护条例》《大运河文化带遗产保护利用条例》等法规保障,积极争取专项资金支持。在技术应用上,联合专业团队打造全景VR项目,通过专用设备高精度拍摄序厅、基本陈列厅等核心区域,实现360度沉浸式浏览、热点交互查询、多端兼容访问等功能,观众扫码即可“云游”展厅,随时随地触碰文物细节与历史脉络。

### 文化活化与服务创新深度融合,拓宽传播辐射边界

德州因黄河而名、因运河而兴,大禹治水、董子献策、漕运繁华等文化元素构成独特的文化谱系。传统展陈模式下,这些厚重的历史文化难以被年轻群体感知,文物背后的深层价值未能充分释放。德州市博物馆打破单一展示模式,推动数字化从“技术应用”向“内容创新”升级。红色文化传播中,分别于2024年、2025年创新推出“光影流转 红色记忆——经典电影回顾展”“光影流年 世纪华章——纪念中国电影诞生120周年特展”,将电影海报、老式放映机与数字放映、场景复原相结合,经典影片循环播放,让观众在沉浸式观影中感受中国电影事业发展 and 传承的精神。针对未成年人群体,2025年落地的“AI心灵驿站”服务项目,平台搭载自主研发“AI心灵伙伴”机器人,创新采用卡通形象隐私保护技术,能识别120余种青少年常见负面情绪,在未成年入咨询时实时转化为虚拟形象,有效消除心理顾虑,提供个性化疏导方案,实现文化教育 with 民生服务的数字化融合。数据显示,转型前博物馆互动与沉浸式体验项目占公共展区比例不足10%,年接待游客中参与数字化互动体验项目的游客仅为24%。面对这一现状,博物馆确立“数字化赋能文化传播、科技化提升服务效能”的核心战略。截至目前,观众

使用参与数字魔墙、3D影院厅、全息展示柜等数字化体验项目的比例提高至68%,通过技术手段实现文化资源的解码、转译与活化,让千年文脉可感、可触、可传。

### 资源整合与体系构建协同推进,探索长效发展路径

数字化转型不仅是展示方式的革新,更是对博物馆核心功能的全面升级:在保护层面,通过数字化采集实现文物信息的永久保存;研究层面,以数字化采集数据为基础,建立文物数据库,搭建了文物数据管理系统,为学术研究和探索利用提供技术支撑;教育层面,打造线上线下多平台多元化互动场景提升公共文化服务质量;在传播层面,借助多终端自媒体平台,利用文字、视频等多种互动形式扩大文化辐射力。这种全方位的功能重构,使博物馆从单纯的文物存放场所,转变为区域文化传播与公共服务的数字枢纽。德州市博物馆夯实数字化转型的基础设施保障,构建了“硬件支撑+数据采集+平台搭建”的三位一体基础体系。硬件配置上,升级网络环境与终端设备,配备数字魔墙、瀑布流展示台、360度全息展示柜等多媒体设备,为沉浸式体验提供技术支撑。数据采集方面,联合专业力量,运用高精度三维扫描、全景拍摄等技术,对550件珍贵文物进行数字化采集,建立包含文物高清影像、三维模型、历史背景等信息的数字资源库,实现文物信息的标准化存储与管理。平台搭建上,形成“自媒体(公众号、抖音)+线上展厅+VR全景系统”的矩阵式布局。观众通过关注“德州市博物馆”微信公众号或登录官方网站,即可便捷访问数字博物馆板块,实现线上观展、文物查询、预约预约等功能;同时,与权威数字化机构合作,2024年加入了由中国文物报社、腾讯SSV数字文化实验室联合主办的“中小博物馆数字助力繁星计划”,开展了数字化建设、运营人才培养和文化传播工作。截至2025年底,德州市博物馆文物数字资源库已收录文物数据30892条,并通过官方网站向社会开放查询。同时,德州市博物馆与知网联合开发了“德州市博物馆数字业务服务平台”,平台提供展览、社教、学术等多方面论文和期刊的查询和阅读,真正实现“足不出户游博物馆”。

### 线上赋能与线下深耕双向联动,拓展活化服务边界

德州市博物馆打破线上线下壁垒,在线上公众号、抖音等多媒体宣传的同时,积极推动文创直播带货与文博线上课程等活动,吸引文创粉丝与学术爱好者。将数字化服务贯穿参观全流程,入口处的智能入馆核验系统,提供身份证、社保卡、外国人永居证等多证件多语种入馆核验和人流统计功能;智能导览系统支持语音讲解、展品

定位等功能,观众不论是租借导览器还是使用手机扫码,均可听讲解、看文物、懂历史;展厅配备数字魔墙、360度全息展示柜、瀑布流展示台等智能设备,将数字化采集的文物数据以三维动态模型、多媒体投影等技术解析文物具体信息和历史背景,并针对青少年群体设计了文物拼图、知识竞答等一系列数字化展示和娱乐项目;3D影院厅每日免费轮播《儒风水韵 有德之州》主题3D影片,让静态展览和文物变得可感可触。

2025年,德州市博物馆累计开展线上直播、信息、视频、活动326次,服务公众近100万人次,线下开展讲解700余场次、社教活动45场次,服务游客34万人次。这种“线下体验+线上延伸”的模式,使博物馆服务突破时间与空间限制。

### 基建提质与业务创新同频共振,夯实文博工作根基

德州市博物馆在建设时期已进行了基础设施数字化、智能化管理设计规划,智能照明控制、暖通系统智能化控制管理等均由中控系统集中管理,实现了降低人工成本和减少用电能耗的效果。近年来,积极开展基础设施的智能化、节能化改造,对电梯开展变频改造,增加了智能化运行维保报警系统,安装了56.7kW的光伏发电系统,年节省电耗3.2%。同时,对安防系统开展智能化提升改造,升级后的安防系统实现了全域高清覆盖、智能分析预警、多系统联动响应等功能,全面提升博物馆文物安防、客流管理、运维效率等核心能力,满足博物馆智慧化建设与文物安全防护的高标准要求,助力博物馆向数字化、精细化管理转型。

在基础建设逐步夯实的基础上,在德州市文化和旅游局的领导下,德州市博物馆积极推进中小博物馆帮扶工作,对苏禄王墓博物馆、宁津县博物馆、德城区博物馆、梁子黑陶博物馆等国有、非国有中小博物馆文物保护、宣传教育、数字化建设等多方面开展手拉手帮扶,推进全市文博行业水平整体提升。同时,向主管部门汇报,沟通开展区域文物资源集约化研究和利用,共同开发策划一批特色展览、活动和文创。其中,“听党指挥 永葆信念——山东渤海军区教导旅革命历史文化展”于2024年走进新疆,受到了社会各界的一致好评,既突出了各场馆文化特色,又实现了跨馆资源互补共享。未来,德州市博物馆将进一步深化AI、区块链等技术应用,在政策支持下策划联动黄河文化博物馆群、大运河文化展示中心等场馆,打造“德州数字文博矩阵”,让地域文化资源在数字时代实现更广泛的传播与传承。

从线上虚拟展馆到线下全感体验,从红色文化传播到志愿服务创新,德州市博物馆的数字化实践,不仅让文物“活”起来,更让文化“走”出去。这座浸润着“儒风水韵”的文化地标,正以数字化为笔、以创新为墨,书写着文化“两创”的德州答卷。

(作者单位:德州市博物馆)

考古遗址公园有别于普通城市公园或生态公园,一般以重要考古遗址为主体,在考古发掘工作基础上,通过地面模拟、绿化标识以及环境营造来展示和传达历史信息。由于其“重保护”的特点,在公园建设时必须遵循“轻量化”和“最小干预”原则,同时还要采用可逆化设计方便未来开展考古工作,造成一些考古遗址公园观赏性、可玩性不足,且对普通观众的吸引力不够,历史教育、文化传承方面的潜力激发不足。

那么,如何破解这种局面呢?数字化导览系统不失为一种两全其美的解决手段。数字化技术不会改变现有遗址公园的保护格局和状态,无需在遗址上增加额外的陈列和展示设施;能够实现更好地参与性和互动性,变“静态展示”为“动态展示”,将与遗址相关的更多知识传达给观众,增强遗址展示和阐释的传播功效。洛阳隋唐大运河文化博物馆实施的回洛仓遗址数字化展示利用项目,即是对这种方式的生动实践。

### 回洛仓遗址公园概况

回洛仓是隋代营建东都洛阳时建造的大型国家粮仓,其位于隋唐洛阳城以北约1.5公里,《隋书·食货志》记载:“炀帝即位……始建东都……新置兴洛及回洛仓”。回洛仓具有完整的仓城格局和众多仓窖,《资治通鉴》中提到回洛仓“仓城周回十里,穿三百窖。”经考古发掘已知,回洛仓城呈长方形,东西长1140米,南北宽355米,仓窖排列整齐有序,勘探确定的仓窖数量达222座。出土的铭文文书记载,仓城的管理机构为“太仓署”,还记录有储粮的数量、粮食的来源和人窖日期等详细信息。回洛仓遗址作为隋唐大运河漕运的直接实物例证,成功入选“中国大运河”遗产点并列入《世界遗产名录》。

为了有效保护遗址,也为了向大众展示这处珍贵的世界遗产,2013年洛阳市在回洛仓已考古勘探和发掘的190亩遗址范围内规划建设考古遗址公园。采用环形绿篱标识仓窖位置和尺度,用地面铺装方式标识仓城内道路,用卵石和三七灰土夯筑的矮墙模拟展示仓城围墙,遗址信息得到了一定程度的展示,但这种符合考古遗址公园标准的“原生态”建设模式,也造成大量出土信息的流失,导致观众走入近乎平地化的遗址公园后,难以想象这片土地曾经的景象,不利于他们对遗址价值的深入理解。

### 数字化导览分析策划

观众需求分析。数字化技术仅为一种赋能手段,并不代表知识内容本身,在项目实施前必须从观众角度做好需求分析,才能有针对性解决短板问题。

考古遗址公园具有公园属性,首先应满足观众的游览需求。面对偌大的公园面积,沿怎样的路线行进并快速找到观览重点,是需要解决的第一个问题。其次,观众大多不喜欢说教式的知识灌输,遗址蕴含的丰富知识如果全部转化为文字输出,极易引起精神疲劳,如何主动和持续地抓住观众注意力,是需要解决的第二个问题。此外,近年来观众对于身心体验感的需求越来越高,特别是儿童和青少年观众,更乐于参与和挑战,如何让观众建立起遗址与自身之间的新关系、新体验,是需要解决的第三个问题。

总体框架策划。上述三个问题,其实对应的是观众从低到高三个层次的不同需求。一是导览需求,往哪走、看什么;二是讲解需求,听得懂、看得明白;三是体验需求,获得一定的情绪价值。

为同时满足这些需求,设计团队决定以“寻迹仓城”为主题,设计一款富含故事情节、遗产知识、趣味挑战的智慧导览系统。导览系统中,可爱的卡通形象——米小洛担任虚拟向导,负责向观众交代故事背景、讲解遗址内涵并发出挑战任务,引导观众完成全部参观游览过程。故事以寻找和收集“守仓令”为主线,米小洛作为回洛仓的守卫者,需要观众协助他集齐五块“守仓令”碎片,来守护仓窖免受风化与坍塌。

根据遗址公园布局和参观动线,导览系

统中设置有5个互动体验区域(即5处关卡),观众将在听取该位知识讲解后,接受答题和游戏挑战,只有全部完成才能成功解锁,开启下一阶段的游览。所有关卡解锁后,五块“守仓令”碎片将融合复原成一块完整的令牌,随着任务的达成,游览也画上了圆满的句号。

### 多元一体功能设计

实景导览与AR互动,让观众知道往哪走、看什么。智慧导览系统为观众定制了手持移动终端设备,大小与普通智能手机相当,采用1080p高清屏幕,集成有陀螺仪、指南针和重力传感器,支持GPS和北斗卫星定位,续航时间可达6小时。导览系统植入了实景AR引擎(VSLAM)技术,这一技术被普遍应用于自动驾驶、无人机、机器人等领域。依靠该技术,导览设备可以将实时定位、地图构建与增强现实技术相结合,通过摄像头扫描实景并进行三维视觉重建,进而把行进路线与公园实景重叠显示在一起,观众跟随屏幕上的线路指引游览即可。

当观众按照路线来到系统设置的互动体验区,导览设备将触发实景AR互动热点,提示观众点击获取讲解信息。如第1处互动体验区,观众透过屏幕扫描文物保护标志碑周边环境,导览设备会立即作出识别,在标志碑以及附近的仓城城墙、环形绿篱上就会跳出互动热点,观众点击后,“米小洛”会逐个向观众解说这些标识物背后的遗址信息。

动画短片与模型展示,让观众易于接受、看得明白。在每个互动体验的内容设计上,除了给观众提供互动热点,了解遗址信息这本“教科书”外,还加入了一段MG(Motion Graphics)动画短片,为观众讲述与运河、粮仓相关的历史故事,就像打开了一本“课外书”,让观众在生动有趣的动画中轻松愉快地获取知识。如在第2处互动区域内,观众在热点互动中了解完仓城的规模、布局这些“硬知识”后,会播放一段介绍隋代仓廩制度的MG动画,把隋代中央官仓、地方义仓的作用和区别向观众娓娓道来,利用这段“软知识”来平衡参观过程中的知识密度,舒缓观众高度紧张的情绪。

导览设备除了出土文物三维模型。比如在第5处互动区域介绍仓窖发掘的环节,观众可以查看在此出土的“仓窖刻铭砖”三维高清模型,对其进行放大、旋转,认真观察文物的每一处细节,借此建立遗址与出土物之间的联系,产生“1+1>2”的效果。

知识问答与游戏挑战,让观众收获多元感官体验。常规的导览解说大都将观众视为知识接收者,思维活跃的年轻人容易感到枯燥乏味。因此有必要创造观众能够参与的双向传播模式,激发观众持续探究的动力。导览系统在每一个互动关卡的设计上,会将知识讲解和问答结合在一起,先讲解后问答,立即检验学习成效并给予评价,以此显著加深观众的知识印象。问答结束后开发的小游戏能更进一步唤起观众的好奇心和挑战欲。如第2个关卡的知识问答结束后,是一个“栗入囊中”的套圈小游戏,观众通过触屏操作套取行走中的米小洛,成功后有机会与米小洛在回洛仓AR场景中一起合影留念。

“导航+讲解+问答+游戏”多元一体的互动导览模式,可以递进式激发观众的主动参与性,将单向的参观过程转变成为认知、发现、思考、娱乐于一体的多元感官体验过程。

虽然数字化导览能够为考古遗址公园展示和阐释赋能,但开展数字化工作必须以扎实严谨的内容研究为基础,厘清内容与形式的主次关系,让考古、历史、文学、科技等不同内容以最恰当的数字化展示形式呈现和表达。系统设计还应考虑不同年龄的观众群体,特别是对于数字设备操作不便的高龄人群增加适老化设置。当下,数字化导览与考古遗址公园的结合才刚刚起步,经过不断实践与探索,未来定能助力考古遗址公园焕发出新的生机与活力。

(作者单位:洛阳隋唐大运河文化博物馆)



寻迹仓城导览界面



AR互动热点



回洛仓遗址公园

本版责编:张 硕 何文娟 陈尚宇