

数字技术赋能石窟寺保护 融合创新激活共创新模式

王勇强

石窟寺是我国辉煌灿烂古代文明的集中体现,是中华文明交流互鉴的历史见证。新时代深入探索石窟艺术保护与现代科技融合的实践路径,是推动石窟寺保护利用迈向数字化赋能、信息化转型新阶段的关键举措,更是为中华优秀传统文化创造性转化、创新性发展注入新动能的有效途径,对于拓展文物数字化保护利用的新路径、新空间,助力文化强国建设具有重要作用。

石窟艺术是中华优秀传统文化的璀璨瑰宝

我国石窟寺分布广泛、规模宏大、体系完整、内涵深厚,在世界文化遗产中占有重要的地位。目前列入《世界遗产名录》中的石窟遗址共计20多处,主要分布在亚洲。其中,我国是拥有世界文化遗产石窟类最多的国家,莫高窟、大足石刻、龙门石窟、云冈石窟4项入选世界文化遗产。乐山大佛是世界文化与自然双遗产的组成要素,麦积山石窟、炳灵寺石窟、克孜尔石窟、彬县大佛寺石窟是世界文化遗产“丝绸之路:长安—天山廊道的路网”的组成部分;飞来峰造像是世界文化遗产“中国杭州西湖文化景观”的重要组成部分。有4处世界文化遗产,1处文化与自然混合遗产,另有6处作为其他遗产要素的石窟寺,其中就包含克孜尔石窟和苏巴什佛寺遗址。据专项调查显示,我国共有2155处石窟寺、3831处摩崖造像,共计5986处。其中,全国重点文物保护单位共288处,省级文物保护单位417处,市县级文物保护单位1285处,尚未核定公布为文物保护单位 of 不可移动文物3361处,另有新发现635处。

石窟艺术自公元3世纪沿丝绸之路传入我国,从西到东,由北向南,石窟连缀,一路绵延,与本土文化不断融合发展,融入中华民族的深厚血脉中。广泛分布在我国境内的众多石窟遗址,就像是一本本尘封千年的史书。每一尊造像,每一幅壁画,都仿佛是历史深情的凝视;每一道石刻、每一抹色彩,都宛如夜空中闪烁的星辰,组成了古代文明璀璨的星河。作为古代人类创作的艺术珍品,不仅记录了不同时期我国政治、经济、宗教和审美等多个方面的历史情况,而且对于了解古代社会的文化艺术发展具有极高的历史价值。

石窟寺作为我国文化交流与贸易往来的重要实物遗存,其保护利用工作事关我国优秀传统文化的传承与发展。石窟文化集建筑艺术、彩塑艺术、壁画艺术、佛教文化于一身,历史底蕴雄厚,文化内涵博大精深,艺术形象美轮美奂,享有“绘画博物馆”“雕塑博物馆”“石刻博物馆”等盛名,它们作为中国古代艺术的重要组成部分,翔实记录着各时代变化下我国艺术的发展过程,不仅承载着丰富的历史文化信息,还展现出了高超的艺术成就,具有极高的艺术价值。然而,受自然侵蚀和环境变迁等因素的影响,许多精美造像遭到不可逆的破坏,有的洞窟壁画受损残缺,像一位饱经风霜的老人,带着岁月的伤痕,却依然目光坚定地诉说着往昔的故事。

数字化赋能石窟寺保护实现“数字永生”

2020年11月,《国务院办公厅关于加强石窟寺保护利用工作的指导意见》明确的10项主要任务之一,就是要“加强石窟寺数字化保护利用”。



龙门全景

2021年12月,国家文物局印发的《“十四五”石窟寺保护利用专项规划》提出:“建设国家石窟寺资源数据平台”,“加强对石窟寺历史内涵、文化价值、现实意义的科学解读和阐释,充分利用融媒体平台、云展览、数字化等现代科技手段,创新拓展石窟寺展示利用”。

随着现代科技的进步,数字化技术为我国石窟寺的保存与保护提供了有效途径和手段。利用数字化手段不仅可以记录文化遗产全貌,避免文物在面面对各种负面因素时信息丢失,还可为后续研究提供必要的技术支持。敦煌研究院通过数字化技术,对千年壁画和洞窟进行高精度采集与1:1复原,建成了“数字敦煌”,使无法来到敦煌的观众,都可以线上看到莫高窟数字化洞窟、壁画、雕塑的身影,这让敦煌艺术变得不再遥远,突破时空限制“飞”向世界。基于采集的信息建立数据库,并运用人工智能技术对于已经受损或消失的文物,通过数字化手段重新呈现其形貌,有助于人们更好地理解文化遗产的真实面貌。云冈研究院依托三维重建技术攻克石窟复杂结构建模难题,构建了误差小于0.1毫米的三维模型,实现了主佛衣纹、力士托举臂等砂岩雕刻的毫米级还原,在数字时空中实现“青春永驻”。

数字化展示与传播突破了时间与空间的限制,使人们能更方便获取所需信息,各种展览方式也提高了观众的观赏兴趣。借助数字化手段,麦积山石窟“走”出天水,“行经千折水——丝绸之路上的麦积奇观”在千里之外的扬州中国大运河博物馆顺利展出,一场融合传统与现代技术的数字展览,让千年石窟的岁月痕迹触手可及。对于一些需要特定环境才能展现其真实语义的文物,借助虚拟现实技术重建其外观及所处环境,有助于深入了解其内涵。龙门石窟研究院运用数字技术,将3D打印的原比例佛首,严丝合缝地安放在一尊等身立佛的残损部位,在国内首次实现流散石质造像文物的“数字修复”,开创了无损文物虚拟复原及流散文物虚拟复位的新模式。

融合创新激活石窟寺数字化共创模式

新的信息技术迅猛发展,不断催生文物数字化领域的各类新业态、新应用、新模式,逐渐改变文物保护利用和研究传播方式。石窟寺数字化保护利用需要集合社会科技创新力量,通过构建多元融合的创新机制,充分激发各类主体的创新创造活力,持续

催生更多具有突破性、引领性的文物科技融合创新成果,探索文物数字化保护利用共创之路。

聚焦前沿科技、汇众智而攻坚。依托腾讯云“文化遗产数字资产平台”,敦煌研究院已完成230个洞窟、10万平方米壁画的高清数字化采集。采集过程采用8K摄影技术与三维激光扫描,生成分辨率达300DPI的数字图像,细微处如壁画颜料颗粒、裂纹纹理均清晰可见。这些数据通过区块链技术进行存证,不仅是文物保护的“安全备份”,更成为学术研究的“超级引擎”。全球学者可在线比对不同时期的壁画变化,分析颜料成分演变规律,甚至通过AI图像分析技术,发现肉眼难以察觉的艺术细节。借助“探元计划”,克孜尔石窟研究所正在与浙江大学、数字孪生团队展开深度合作,从众多精美的石窟中特别挑选了第38窟和第161窟进行数字化修复,用太赫兹时域光谱揭开烟熏的面纱,让大模型思维链技术补全残缺的故事。云冈研究院联合兰州大学借助缪子成像技术,精准识别石窟遗址本体内部结构地层,通过数据分析科学推断地质构造,探明“潜在危害”,为石质文物保护做“全面体检”。围绕石窟寺数字化关键技术创新议题,以代表性文化场景需求为试点,形成共创技术方案,有效解决文物数字化链路上的技术卡点,打造智慧连接、数实融合、价值再造的数字化共创形态,已成为文物数字化融合创新的新模式。

以科技为钥,启传统之锁。石窟寺数字化保护利用不是简单的技术工程,更是对“何以中国”的文化诠释。从克孜尔石窟壁画呈现西域风情,到敦煌莫高窟飞天衣袂翩跹、麦积山石窟的“东方微笑”泥塑、云冈石窟手捧乐器的“伎乐天”、龙门石窟“秀骨清像”“褒衣博带”造像,直至大足石刻世俗百态雕刻千年,无不彰显胡风汉韵交相辉映、多元文化相互交流、中华文明完美融合的盛景。加强石窟寺数字化保护利用,探索融合创新的新模式,三维结构光扫描洞窟,扫描的是历史的肌理,建立壁画数据库,存储的是文明的基因,数字技术使石窟艺术在崖壁上更加“恒久”,数字孪生让精美壁画在虚拟空间再获“新生”。数字化赋能不仅保护的是石窟建筑、彩绘、壁画艺术,也是在传承各民族共同创造的历史记忆,融合创新更是为传承弘扬中华优秀传统文化、坚定文化自信、建设社会主义文化强国、共建“一带一路”提供坚强支撑。

【作者单位:中国文物信息咨询中心(国家文物局数据中心)】

文物的保护传承应建立在价值的合理认知与深入挖掘基础之上,根据其价值来确定后续的保护目标、保护手段和活化方式,目前已经成为业界共识。尤其是当保护对象是建筑群或大遗址等构成复杂的群体性文物时,更需要对其进行多层次的价值判断与挖掘,基于其价值的独特性采取更有针对性的保护利用措施。这一理念和做法,在宁波镇海口海防遗址(江南部分)修缮项目实施过程中得到了充分体现。

镇海口位于浙江省宁波市甬江入海口,是我国东南沿海人民抗倭、抗英、抗法、抗日的主战场之一。镇海口海防遗址由威远城、明清碑刻、月城、安远炮台、吴公纪功碑亭、俞大猷生祠碑、泮池——裕谦殉难处、吴杰故居、戚家山营垒、金鸡山瞭台、镇远炮台、靖远炮台、平远炮台、宏远炮台等14处遗迹组成,1996年被公布为第四批全国重点文物保护单位。2017年起,为了做好镇海口海防遗址的保护利用,宁波市北仑区文物部门启动了镇海口海防遗址(江南部分)修缮项目,由浙江省古建筑设计研究院担纲,对镇远、靖远、平远、宏远四座炮台进行保护修缮和环境整治设计。为配合本项目实施,宁波市文化遗产管理研究院联合北仑区文物保护管理所于2018年和2024年先后两次对四座炮台遗址进行了考古发掘;浙江省文物考古研究所通过浙江省文物保护科技项目“浙江三合土炮台遗址保护修复关键技术研究”的研究,为本项目提供了技术支持。在各方的协同配合和共同努力下,项目于2023年初正式动工,目前已取得了良好的初步效果。

遗址的现状与原状

本项目的保护对象是位于北仑区的镇远、靖远、平远、宏远四座炮台,均始建于清光绪年间,主体结构为三合土筑成,其中宏远炮台留存有两座1936年建造的混凝土炮台遗迹。由于炮台原有的军事防御功能早已废弃,加之一直暴露在野外露天环境中,在自然和人为因素影响下,大部分建筑已坍塌或无存,现存遗迹也不不同程度地存在开裂、掏蚀、风化剥落、植物和微生物生长等病害现象,且周边环境杂乱,遗址被后期建筑占压、植被无序生长、场地排水不畅等现象较为普遍,文物本体结构安全和周边环境风貌都遭到了较为严重的破坏,需要立即采取保护措施,保护文物的完整性。

查明炮台的原始格局和形制构造,是开展保护修复和展示工作的重要前提。由于四座炮台残损病害较为严重,仅从地表留存的遗迹已经难以判断始建时的原状,因此需要结合文献资料和考古发掘成果进行研究。经项目组的调研,《南北洋炮台图说》等文献中记载了镇海口每座炮台的位置朝向、平面布局、形制尺寸、材料做法、人员装备等信息;《招宝山炮台图册》等文献中绘制了诸炮台的图像,为了解炮台的原状格局形制提供了重要依据。2018年和2024年宁波市与北仑区文物部门对四座炮台遗址的两次考古发掘,对后期遭到破坏和掩埋的炮室进行了清理,并揭露出了营门、弹药库、兵房、官厅、厨房等附属用房等遗迹,大大丰富了文物本体构成,同时也为了解其原状格局形制提供了重要的实物资料。

整体价值与单体价值

对文物价值的挖掘、判断和评估,是对文物进行保护利用的必要基础。作为一处构成复杂的群体性遗产的组成部分,对四座炮台遗址的价值认知,首先应当从整体的视角对镇海口海防遗址进行分析。在历史价值方面,镇海口海防遗址为研究明清时期的海防思想、海防制度、海防建设等提供了重要的实物例证,同时也见证了自明代到民国时期中华民族在镇海口抗倭、抗英、抗法、抗日的沧桑历史;在科学价值方面,镇海口海防系统的选址布设最大化利用了天然的地形优势,形成了易守难攻、整体防卫的局势,四座炮台用糯米三合土夯筑而成,反映了清末末年炮台营建技术的革新,同时也是我国传统有机复合三合土用作建筑材料的优秀范例;在社会价值方面,镇海口海防遗址是当地人民宝贵的精神财富,也是爱国主义教育的生动教材。1997年依托镇海口海防遗址建成了我国第一座海防历史纪念馆,目前已成为我国爱国主义教育的重要基地;在文化价值方面,镇海口海防遗址与当地的自然、人文景观浑然一体,形成“海天雄镇”文化意象,而海防文化也已经成为当地重要的文化标识。

对于四座相对独立的炮台遗址来说,其具体遗迹构成、形制格局和保存状况不同,经历的历史事件不同,也会导致各自的单体价值存在一定的差异。靖远炮台虽然附属建筑基本无存,但保留了规模最为宏大、格局最为完整的炮室建筑,且经过考古发掘基本可以复原其原有的形制构造。平远炮台虽然原始体量最小,留存的三合土墙体也较少,但考古发掘揭露出的遗迹最丰富,除了炮室地面保存较好之外,营门、兵房、官厅、弹药库等附属建筑遗址也已经全部探明,共同组成了较为完整的整体平面格局。宏远炮台的独特性在于除了三合土炮台之外,还保留有民国时期建造的混凝土炮台,并且在抗日战争中经历了“镇海要塞炮战”“七·一七”镇海保卫战等重要战役,是四座炮台中唯一一座见证了中法战争和抗日战争两段历史的遗存。此外,两种截然不同的炮台类型在同一位置的重叠,也成了军事技术发展的鲜明例证。镇远炮台虽然坍塌损毁严重,基本已经处于废墟状态,但这些残垣断壁以静默而深沉的方式,向社会公众诉说近代中国被侵略的历史,激发人们的爱国情感和民族自豪感,其独特的传达效果和教育意义是其他三座炮台遗址所不具备的。上述四座炮台的独特的单体价值,成为项目组制订差异化的保护展示策略的重要依据。

差异化的保护展示策略

在现状勘察、原状研究和多层次价值分析的基础上,项目组明确了四座炮台遗址的保护利用目标与指导思想,对四座炮台遗址现存病害进行治理,消解遗址的结构安全隐患,防止或减缓外界因素的破坏作用,改善遗址的本体保存状况和周边环境风貌。与此同时,还结合结构复原和辅助展示手段对遗址的价值进行阐释,充分发挥其在社会教育方面的作用。

在四座炮台遗址的保护修复过程中,首先要遵循文物保护原则,如不改变文物原状、真实性和完整性、最低限度干预、措施应具有可逆性等。考虑到四座炮台三合土材料方面的科学价值,在修缮时应尽可能采用传统三合土材料。项目组经过充分的前期分析检测和材料试验,分别明确了用于缺损部位修复、裂隙注浆加固和顶部牺牲性层的三合土材料配比。在此过程中充分利用了现场散落的无法归位的三合土碎块,将其作为骨料与天然水硬性石灰配合使用,经实验室试验和现场试验观察,在力学性能和外观上都体现出了良好效果。

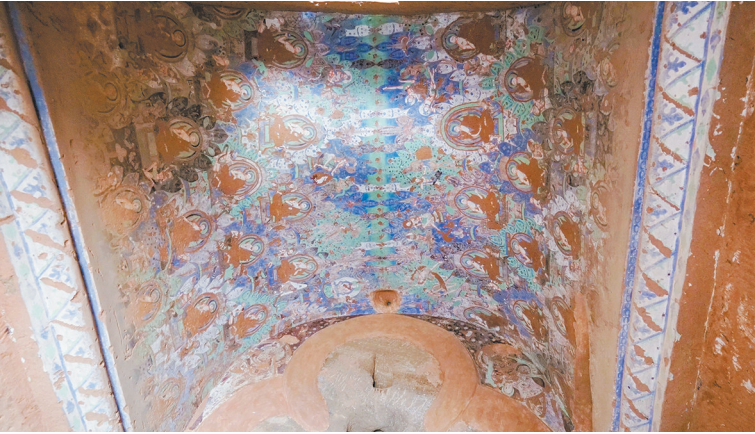
对遗址的阐释与展示是保护利用工作的重要内容。对于四座炮台来说,虽然地理位置和建造年代都很接近,在见证历史、营造技艺方面的价值也有很多相通之处,这就需要根据其价值的独特性,分别制订差异性的展示与阐释策略,从而从不同的角度为镇海口海防遗址的整体价值提供支撑。对于靖远炮台来说,其保留了相对最为完整的炮室建筑,充分体现了炮台宏大的规模和精巧的内部构造,为了更加充分地展示这一独特价值,需要在解决结构安全隐患的基础上有依据地对炮台原有构造进行局部复原;对于平远炮台来说,其保留了最为完整的炮台整体格局,因此在修缮过程中,需要在保护考古发掘遗迹真实性基础上对平面格局进行局部复原,使人们可以了解炮室、兵房、官厅、弹药库等不同功能分区的布局以及当时官兵的驻守方式;对于宏远炮台来说,其独特性在于清代三合土炮台和民国时期混凝土炮台的同時存在,因此需要充分展示炮台原有形制格局以及不同时期炮台的叠加关系;而对于镇远炮台来说,其独特性在于废墟状态营造出的沧桑历史感,因此在修缮过程中应以现状加固和场地环境改善为主,不对其采取大规模的修复措施。在上述策略的指导下,分别对四座炮台遗址制定了具体的保护修缮技术措施。2025年7月,保护修缮施工已进入尾声,从目前呈现出的实施效果来看,基本符合预期的保护利用目标。相信项目完工后,四座炮台遗址能够成为南方露天环境下三合土建筑遗址保护利用的典范,同时也能够成为向社会公众讲述海防历史、传承海防文化的重要场所。

(作者单位:浙江省文物考古研究所 中国港口博物馆 浙江省古建筑设计研究院)

基于价值认知的遗址差异化保护实践

——以宁波镇海口海防遗址(江南部分)修缮项目为例

崔彪 冯毅 谢欢欢



克孜尔石窟穹顶壁画



克孜尔研究人员开展数字化保护



龙门第1280窟(奉先寺)