

科技保护

# 水下考古脆弱文物提取技术研究与实践

王昊 黄琦钧 王新鑫

水下考古作为考古学的一个特殊分支,是陆地考古面向海洋的延伸。水下考古工作环境的复杂性意味着这门学科在诞生之初便有着较高的技术门槛,涉及潜水物理、潜水医学、海洋物理、海洋化学、海洋生物、遥感物探、水下工程等相关领域技术。关于水下文化遗产的保护方式,虽是以原址保护作为首选,但是受限于人类活动的影响,以及现阶段原址保护技术研究还处于起步阶段,水下脆弱文物的原址保护存在很多无法解决的复杂难题。为了防止水下脆弱文物由于腐蚀等作用受到损害甚至消失,考古人员需要将其发掘、提取出水后再加以保护研究。如何将脆弱文物安全提取出水,是水下考古与文物保护研究需要首先解决的一个关键问题。

目前水下考古工作对于脆弱文物的提取,通常是使用不同器具来支撑或盛装,包括使用有内衬防护泡沫的带盖容器、聚乙烯盒、自封袋等,对于体量较大的水下凝结物等脆弱文物,主要使用金属框架装载的方式提取。针对水下脆弱文物的原状提取技术研究,丹麦国家博物馆近些年在实施SASMAP项目中,设计使用了绷带包裹法、碳纤维/环氧树脂包裹法和液氮冷冻法等方式对文物进行加固,在水下文物保护研究中进行了一些创新性的尝试。国家文物局考古研究中心在其承担的国家重点研发计划项目“海洋出水木质文物保护关键技术研究”中,专门设立课题“脆弱木质文物水下固型提取技术研究”,针对目前脆弱木质文物原状提取的难题,研究水下临时固型材料和打包搬运出水技术。与浙江大学、北京科技大学共同研发了藜芦醛加固材料和水下环氧树脂多层材料固型体系等新技术,突破提取过程中水下原状固定、整体加固、出水搬运以及可控去除等关键科学技术问题,填补了目前国际上水下考古脆弱文物原状固型提取、人为可控去除材料和技术的空白。

## 藜芦醛水下加固材料

近年来,临时加固方法已广泛应用于陆地考古发掘过程中。因为所使用的材料具备凝固快、易挥发的特点,可以完成脆弱文物的原位提取,且该过程是可逆的,不会对文物本体造成破坏。但目前使用的材料密度均小于水,无法在水下完

成从液态到固态的转变。研究者们筛选了大量的材料,最终发现藜芦醛这种材料符合水下临时固型提取的要求。自然界中的藜芦醛存在于爪哇香茅油中,常温下呈淡黄色结晶状,是一种食品级的香料分子。它的熔点较低(40-43℃),密度大于海水(1.1708g/cm<sup>3</sup>),几乎不溶于冷水,常温下易溶于乙醇等常见的有机试剂。根据其理化特点,可以使用该材料在水下结晶固化来加固脆弱文物,并且易于去除无残留。

通过在实验室中完成藜芦醛在水下对不同材质基质的提取量、渗透深度、抗压强度等测试,以及盐度、静水压力、温度对藜芦醛结晶速率的影响等研究,对材料的各项性能指标有了较为充分的认识。根据藜芦醛的结晶固化特点设计了脆弱文物的水下加固方案。同时,由于藜芦醛易溶于乙醇的特性,在水下提取后可使用乙醇/水的混合溶剂浸泡清除藜芦醛,并且去除速率可以通过调节乙醇的添加比例进行调控,该方法对出水文物的影响小,可以保证出水文物后续的脱盐、脱水、凝结物的清除和文物修复工作的安全性。

研究者在实验室条件下完成了水下陶罐、漆盘等样品的提取实验。在此基础上,开展了平静水域脆弱文物水下提取实验,在淡水环境下7米深的水池中,以南宋沉船南海1号饱水船木为文物样本进行水下加固提取。验证了藜芦醛在水下大环境中加固提取脆弱文物的可行性,整体操作也可应用于海洋沙底或泥底水下埋藏环境中考古文物提取。同时,根据提取实验操作中所遇到的问题,研究者们也对水下加固技术进行了改进,使之更加贴合水下考古实地应用。

## 水下环氧树脂多层材料

SASMAP项目曾设计了一种利用环氧树脂固化来实现水下文物临时固型的装置,主要为内部包含经过环氧树脂浸渍的碳纤维纤维,吸收多余树脂并作为软接触层的充气毡以及两个脱模布构成真空袋。该方式由于环氧树脂固化过程中会释放热量并且需要与水隔绝的固化环境,对真空度及外包材料密封性有相对严格的要求,主要适用于水下相对小型文物的提取。相比较而言,我国水下考古工作主要集中在近海海域,水下能见度较

差,水下环境复杂,工作中需要材料制备与水下提取操作更为简便的固型方式。为此,项目组研发了可以在海水中固化使用的水下环氧树脂多层材料及相应的打包固型技术体系。

研究者通过对数十种环氧树脂、固化剂、稀释剂和促进剂进行实验筛选和对水下考古工作具体需求的调研,最终研发出一套可以对环氧树脂材料固化后刚性和柔韧性进行调节的水下环氧树脂固型体系。在实验室中,从凝胶时间、环氧树脂的固化时间、玻璃化转变温度和应力-应变曲线这四个方面研究了不同稀释剂、固化剂和促进剂比例对环氧树脂多层材料性能的影响,如稀释剂的添加量一方面会影响涂布性能,另一方面也会影响固化物的玻璃化转变温度,进而影响到材料固化后的刚性。在使用时,将根据环境温度等地域差异及水下脆弱文物的多样性,对固化剂和稀释剂的含量进行调整,最终影响水下提取包裹的整体固型效果。

在平静水域水下固型提取实验中,不仅使用水下环氧树脂多层材料完成了对脆弱木质文物整体打包提取,对成组堆叠瓷器试样也进行整体打包提取,实验效果较为理想。多层材料外壳对于文物包裹的随形性,固化后的硬度、拉伸性能和弯曲强度都可以满足文物提取工作需要,能够对文物起到良好保护效果。研究者们在实际操作过程中也对提取方式多次进行优化,为海洋环境水下考古发掘工作的实际应用积累了宝贵经验。

## 水下考古文物提取应用示范

根据水下考古工作需要,水下脆弱文物提取技术在2022年福建漳州圣杯屿元代沉船遗址考古发掘工作中进行了实际应用。考古调查中发现有成堆的碎裂瓷器堆积、糟朽船木和锚绳等脆弱有机质文物。对于这些特殊堆积结构、脆弱文物以及沉船内部的特殊遗迹,如采用以往水下考古

平静水域水下提取实验

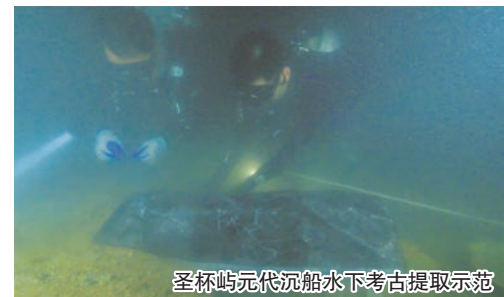
圣杯屿元代沉船水下考古提取示范

的一般提取方式,势必会破坏文物结构,对脆弱文物造成损伤甚至是遗失。为此,项目组使用水下环氧树脂多层固形材料,根据文物的不同保存状况设计打包方案并进行了整体提取。圣杯屿元代沉船遗址位于福建省漳州市雷港圣杯屿海域,水深27~31米,海底环境表层为砂石底质,水温约为26摄氏度,水下能见度较差,多数情况下只有不足1米的可视范围。为了能以最大限度获取待提取遗存的完整信息,考古工作者使用小型水下吹泥设备对表面覆盖的泥沙进行精细清理,确定整体提取范围之后,首先使用准备好的包装材料对文物的上表面及四周做包裹固形,随后根据文物尺寸使用拼接钢板进行底切处理。为保持水下环氧树脂在固化过程中包装材料对待提取文物包裹的紧密性,使用软性钢条在表面做随形加固并以沙土压实。待环氧树脂完全固化后,水下考古队员再次下水将包裹进行捆扎加固,最后使用吊机或浮力袋将文物提取至工作平台。

水下环氧树脂多层固形材料不仅在水下考古发掘工作中对文物起到了保护作用,同时,在将文物从工作船运输到陆地实验室的过程中也

起到了文物包装的作用,文物保护者在实验室内完成包裹内文物的清理提取和保护。相比在水下进行的零散提取,整体打包提取后的实验室考古工作可以更为详细地记录瓷器原始的堆积状态和层叠关系,完整地保存了碎裂瓷器的各部分细小残片。对锚绳与糟朽船构件这类经过数百年的水下埋藏,已呈饱水状态,质地松软,结构强度极低的脆弱文物,水下固型提取技术也能在最大程度上保持文物的完整性。

综合这些技术创新,针对脆弱文物的水下提取工作现已做到从临时加固材料,到内部软性缓冲材料填充,再到最终的整体固形打包提取技术,全部环节都具备了相对完善的文物保护措施。未来该技术也将逐步应用于各类型水下遗存的考古调查和发掘工作中,为水下文物的提取与保护保驾护航。(作者单位:国家文物局考古研究中心 北京科技大学 浙江大学)



圣杯屿元代沉船水下考古提取示范

遗产观察

# 山西古建筑保护利用路径探索与思考

李强 路易

山西是中华文明的发祥地之一,因2.8万余处古建筑的巨大存量,被誉为“中国古代建筑宝库”。古建筑作为文物本体原真性呈现,是山西区别于他省最靓丽的文物优势名片,更是推动从文物大省迈向强省的法宝。

## 保护第一,更高站位统筹规划,打造立足山西、对接全国的“中国(山西)古建筑博物馆”

在15.6万平方公里省域,从陶寺遗址到夏商遗迹,从晋国都城到秦汉墓地,从佛光寺东大殿到永乐宫,从晋祠圣母殿到千年应县木塔,从金元双台到明清晋商大院,特别是五台山宗教建筑群、大同云冈石窟、平遥古城等世界文化遗产,山西古建筑承载着几千年的中华文化实证。只有坚持保护第一、更高站位统筹规划、全面系统梳理,才能够更好彰显山西担当。

可以借鉴采用“区块化协调、类型化梳理、博物馆化引导”方式,对山西古建筑进行资源整合,将山西庞大的古建筑群落打造成立足山西、对接全国其他古建体系,在世界范围内拥有较强影响力且特色鲜明的国家级古建专题博物馆。继而在在此基础上,采取“1+N”的模式,构建“中国(山西)古建总馆+地区特色分馆”机制。保护好、利用好山西古建,就是传承和弘扬中华优秀传统文化,就是讲好中华文明故事,这是山西古建工作的一篇文章。

## 建立古建活化利用示范区,形成省市一盘棋联动格局

量的积累可以助推质的提升,山西省辖11个地市,每个地区都拥有大量历史遗存和精美的古建筑。运城、临汾、长治的尧、舜、禹早期文明和大量古建遗存,大同云冈石窟、悬空寺和晋商大院、朔州应县木塔、太原晋祠和双塔地标等,大多早已蜚声海内外。由于点多、面广、线长、交通不便、经济发展不平衡等因素,2.8万多处古建筑犹如散落的明珠,缺少连缀在一起的主线。各地市在摸清家底基础上,可以借鉴将本辖区内古建的数量、年代、位置、现状等信息梳理好,依据古建保护与利用实际情况,编制方案,优先建成以古建为基础的“活化利用示范区”。如此,中国(山西)古建博物馆将不再是一个具象而单一的建筑物或博物馆,而是在山西全域概念下,依托各市特色,形成十余个“古建活化利用示范分馆”,既独立成篇,又可成为中国(山西)古建博物馆总馆坚实的基础。

“区块化”协调,强调尊重和尊重古建筑的行政区域属性,即强化在一定行政区域内文物保护管理职责,在此责任主体的基础上,制定市级行政区域的古建保护利用示范区方案。特别是需要提前协调,避免可能的同质化和千篇一律,倡导各级政府与文物部门、社会力量共同参与。

活化利用示范区主体,以各地市全国重点文物保护单位为重点,以有影响、有示范性质的古

建为补充,它可以更大范围地唤醒当地百姓参与文物保护的热情,主动担当本地区历史文化脉络“品牌代言人”。示范区还可以积累珍贵的第一手保护与利用经验,再及时运用于更广泛的古建保护利用中,推动更多山西古建焕发新生,为当地民生和经济发展贡献力量。

## 挖掘价值,类型化梳理山西古建历史脉络和文化属性

古建筑是有文化属性的,“类型化梳理”即根据历史文化属性、建筑年代、类别,按照不同地区、功能、建筑风格、精神内涵等,充分依托山西古建数量多、种类全、品质高的特点,编制出系统而全面的山西古建知识表达体系。山西古建记录和传承了中国古建筑,特别是北方建筑的风格,不仅拥有中国现存最早的唐代建筑,更有完整的唐宋元明清系列遗存。从文化属性上讲,它还承载着中华民族的建学艺术史、宗教信仰、民俗、营造技术及建筑环境等多方面的理念和智慧。

古建所表达的,不仅是通常概念下,受各式礼制约束的大屋顶、四梁八柱、榀卯和斗拱,更是人类历史长河中的文化符号。从华夏始祖之祭祀庙宇,到儒释道宗教建筑,再到官衙和民居建筑,无不蕴含着浓郁的地方文化特色。如晋东南地区众多的“汤王庙”“崔府君庙”“二仙庙”等,不见或罕见于其他地区,却代表了当地独特的文化传统和信仰习俗。千百年来,每一座古建,乃至长城、古堡等,都曾上演过一幕幕“敬天祭祖”的生动场景,这些大量的同类型古建不应作为孤立的不可移动文物来看待,而应成为某类文化遗产的组成部分。

从建筑分布、地理信息,到历史秩序、工匠体系乃至传播过程,挖掘历史和属性价值,核心还是要挖掘整理好古建所承载的民族文化基因。这一体系建设不仅可为普通游客提供参观线路,还可为专业研究者提供样本建筑,继而在中华文明探源工程中找到山西古建应有的历史定位。

## 推动古建“博物馆化”,在“抬头赏古建,低头看展览”中创新利用形式

古建筑“博物馆化”,不是将古建筑改成博物馆,而是借鉴博物馆职能,将藏品研究、陈列展览、公众服务、宣传教育等功能,全方位融合于古建文化表达之中。目的在于使二者相融,打通不可移动文物和可移动文物的固化理念。每一座古建筑,由于建造历史不同,工艺、材料不同,文化背景不同,本身就是世界上独一无二的存在,是一个最大、最真、最美的展品。如果仅将古建筑孤立、静态地展示给公众,古建筑只不过是一堆不会说话的土木工程而已,普通游客看不懂,专业人士不感兴趣,老百姓没热情。想要古建真正“活起来”,就要做到保护、研究、利用、展示、管理、服务六位一体。我们要做的,就是挖掘每一座古建筑的文化内涵,依托古建筑的构造特点,结合属地民俗、非遗、传统文化等,在古建场馆内设立与之



遍布山西的文庙、关帝庙



“栋梁”展览展示山西古建与梁思成先生的渊源

相匹配的特色展览。如文庙的“博物馆化”:首先要结合建筑的历史渊源和表达方式,匹配与儒家文化相关的展品作为展览基础;其次要介绍星门、状元桥、泮池、大成殿等文庙主体建筑的相关知识,进而拓展至砖瓦、琉璃、壁画、雕塑、石刻等古建筑构件和传统工艺工匠传承体系,真正实现“抬头赏古建,低头看展览”的活化利用形式。

在古建筑“博物馆化”背景下,古建筑将逐步成为当地特色文化的展示窗口。比如:依托佛光寺唐代表建筑文化博物馆,依托应县木塔塔塔类文化博物馆,依托大同云冈石窟博物馆等等。如此,各级特色博物馆、省市县博物馆可互为补充,彰显不同的文化特色,将保存完好或修缮完成的古建筑,通过“博物馆化”展示出来、解读出来,让更多百姓用起来。

## 多学科跨界联合,推动社会力量参与

国家文物局在《关于鼓励和支持社会力量参与文物建筑保护利用的意见》中指出:鼓励和支持社会力量参与文物建筑本体保护修缮、历史风貌维护、旅游文创开发、文化传承发展等保护利用全过程……推动文物建筑“有人管、在利用、出效益”。因此,应深入推进文物与旅游、科技、教育、传媒、文化等各行业领域的深度融合,积极协调政府、企业、民间社团,形成资源对接,探索出一条社会力量参与文物建筑保护的“跨界”之路。

数字化、微视频、新媒体平台等展示宣传方式;文物保护志愿者进校园、进社区;爱心企业认领人养古建;“游山西 读历史,就从古建出发”古建研学,均是实现社会力量广泛参与文物事业发展的有效路径。山西得天独厚的历史文化和古建资源,不仅是老祖宗留给山西的宝贵财富,更是激励我们开创未来的文化自信之源。破除观念壁垒,构建供需对接、支撑有力、模块化、系统化、规范化的文物保护利用科研新机制,势在必行。

大道至简,实干为要。让深厚的山西古建底蕴,转化为强大的文化自信,为加快构建中国话语和中国叙事体系贡献山西力量,奋力走好符合山西省情的古建筑保护利用之路。

(作者单位:山西省古建筑与彩塑壁画保护研究院)

# 科技创新赋能长城保护

石亚卿

随着科技的发展,文物保护工作迈上了新台阶,嘉峪关丝路(长城)文化研究院作为国内首个围绕长城保护研究的政府职能机构,承担着嘉峪关市文物保护、管理和研究工作。自建院以来,始终以筑牢文物安全底线为原则,以科技保护创新为手段,多措并举,积极探索建立符合嘉峪关文化遗产资源特点的科学保护体系,推进长城保护由看守性保护向科技保护转变,经过几年接续努力,在科技保护理念引领下,长城保护工作取得良好成绩。

## 筑牢安全底线

在日常文物保护管理工作中,加大安防、消防、技防项目建设及维护力度,升级了嘉峪关关城安全技术防范系统、消防系统、防雷系统,严格对入侵报警、视频监控、出入口控制、声音复核装置、安防专用通讯、电子巡查、安全管理、网络广播等安防系统和消防报警设施、灭火设施及防雷设施进行日常保养维护和月检查,确保了文物安全“零事故”。

## 搭建监测平台

通过建设嘉峪关关城安全技术防范系统,最大限度地预防各种风险因素对长城本体和赋存环境的危害。利用文化遗产监测中心平台,针对长城本体和环境进行监测、实验和数据分析,完成了《嘉峪关关城遗址病害调研及保护与监测技术研究》《嘉峪关关城世界文化遗产监测需求研究》等课题。启用无人机对嘉峪关市境内的长城保护区进行巡查,减少了巡查时间,提高了科学数据精度和工作效率。

## 实时保护监测

采用三维扫描仪、风速仪、悬挂式测斜仪、土压力计、裂缝监测仪、全站仪、墙体水分仪等高科技设备对长城进行专业监测,采集整理监测数据,创建“日常监测—综合预报—提前预警—及时保护”的长城保护模式。积极开展监测研究课题,2018年,与天津大学、兰州大学合作实施了《嘉峪关关城楼现状结构分析与状态评估研究》《嘉峪关关城三维激光扫描建模及人员培训》《嘉峪关关城历史文献档案收集整理与营建史、修缮史研究》《嘉峪关关城遗址病害监测研究》等监测研究课题,并将研究成果应用于长城保护工作。

## 开展价值研究

通过对长城建筑艺术、文化价值等方面的梳理研究,编撰了《长城历史文化读本》《嘉峪关特色文化》等刊物,进一步阐释嘉峪关长城历史文化。出版了《我在嘉峪关修长城》《嘉峪关筑城史》等专著,丰富了长城文化研究内容。制定了长城文化创意产品研发办法,合作研发设计了几十种文创产品和农产品,举办了嘉峪关市旅游(文创)产品展览会,提升了长城文化产品知名度。

## 加强机构队伍

积极与中国社会科学院、中国艺术研究院、中央民族大学、敦煌研究院、甘肃省丝绸之路研究会等科研院所建立合作关系,邀请相关领域知名专家举办培训班、讲座等学术交流活动。重视人才培养,鼓励在职专业技术人员参加继续教育、文博人才提升计划,先后引进高层次专业技术人员。

## 建设文化公园

按照长城国家文化公园(嘉峪关段)建设规划和关城景区核心改造提升项目年度实施计划,积极推进景区文化标识系统提升、景区内改造提升等子项目建设。已完成方案设计、初步设计及施工图设计招标工作,中国市政工程西北设计研究院有限公司已完成项目现场勘查、场地测绘和社会稳定风险评估工作。

## 开展技术攻坚

围绕长城文化遗址防、保、研、管、用等重点领域,兼顾文物本体和载体的共同保护,提升长城保护工作中的科技含量和研究水平,开展共性技术攻关,攻克重点难题。申报科技课题无人机倾斜摄影技术在土遗址赋存环境监测中的应用——以“万里长城——嘉峪关”为例。即将完成与天津大学、兰州大学合作实施的基于三维扫描技术和数字图像处理技术的嘉峪关关城独立墩台监测研究课题的结项工作。

## 进行数字建设

开展长城文化遗产数字化,是新时期文化遗产保护的必然要求。嘉峪关丝路(长城)文化研究院通过与敦煌研究院开展全方位、多领域合作,借鉴敦煌研究院莫高窟数字化保护经验,加快数据库系统建设,采用航空遥感影像航拍、三维激光扫描与建模、数据库管理系统构建、三维展示系统研发等科技手段,以数字化技术为基础,对嘉峪关长城进行数字化扫描、存档和展示,建立永久、真实、完整的三维数字档案。计划开展长城文化遗产数字展示工程建设,开发观众数字交流互动展示平台,把丰富厚重的长城历史文化再现于数字世界中,通过走进“数字建筑”触摸“数字长城”,提升长城文化影响力,讲好长城故事。

(作者单位:嘉峪关丝路(长城)文化研究院)