

科技保护

编者按:在新时期文物保护工作系统谋划、整体推进的背景和要求下,科技对文物工作的支撑引领作用日益显著。近年来,中国文化遗产研究院以打造文物领域“国家队”为使命担当,着力加强文物保护领域科技攻关,通过聚焦不可移动文物的结构探测和监测等关键问题,在光纤技术、缪子探测技术、信息提取技术等方面取得重要进展。本报特开辟专栏,对这些新技术新方法在文物保护领域的应用进行介绍,敬请关注。

光纤技术在石窟监测中的应用

石窟寺经历了长期自然营力作用,不断受到自然界和人类工程活动的影响,具有岩体结构发育、岩石强度低、影响因素复杂的显著特点,几乎不可能在实验室中开展石窟寺的原型试验,也几乎无法复制石窟复杂的结构特征。因此,要精准、真实地获取石窟岩体在多场作用下的演化过程和劣化机理,加强原位观测是唯一的基础途径。

事实上,不可移动文物的原位检测、探测和监测工作一直受到文物保护领域的高度重视,监测工作已经成为预防性保护的重要内容。但由于石窟寺岩体的高度损伤、结构复杂且随机隐蔽,以及在多场作用下石窟岩体结构变化的多样性,当前对于石窟岩体结构变形的监测技术,在时间和空间上还很难完全覆盖石窟岩体内部错综复杂的物质、状态和运动界面的定位与动态观测。同时,洞窟的形制多样,建筑学、岩体力学、水文地质学特征显著,石窟壁画、彩绘、贴金等脆弱,极易受微环境扰动的影响。因而,诸多成熟的监测手段的应用受限且效果有限,同时,受石窟开凿条件、赋存环境、洞窟形制、病害特征等因素的影响,整体监测不易实施。

20世纪80年代,随着光纤传感及光纤通讯技术的发展,光纤技术因其长距离、无源、耐久性好、抗干扰性强等优点,在地质与岩土工程防灾减灾领域中得到广泛应用和快速发展。光纤传感技术是利用光为载体,以光波参数如频率、波长和相位的变化来反映周围环境变化的新型传感技术,具有分布式、长距离、长寿命、多量程、高分辨率等显著优势,且能根据实际监测需求形成复杂的串联或并联结构,且传感与传输共用一条光纤的特点,很大程度上克服了传统电磁传感器电磁干扰、易腐蚀、尺寸过大等局限。

石窟寺岩体结构变形兼具渐进性与瞬时性特点,石窟岩体因其岩材性质、岩体结构和赋存环境等复杂因素的影响,岩体变形具有显著的非线性特点,这就导致石窟岩体变形的计算和现场实际测量数据存在很大的一致性。同时,由于石窟本体的脆弱性和赋存环境的复杂性,传统的点式或电测类传感技术难以满足石窟复杂岩体结构的无损、高精度、多场感知的长期安全监测要求。2019年,科技部布设了石窟领域首个国家重点研发计划项目“石窟寺岩体稳定性预测与加固技术研究”,主要围绕石窟寺岩体失稳破坏机理,岩体结构探测与变形监测技术,岩体稳定性评估与预测,岩体加固材料与技术等方面开展系统研究。其中,石窟岩体结构变形的监测是岩体稳定性评估和预测的重要基础。

中国文化遗产研究院研究团队选取了中国西南地区的安岳石窟圆觉洞为研究对象,开展了光纤技术在石窟顶板岩体结构变形监测中的应用性研究(图1)。经现场调查,圆觉洞顶板岩体共发育166条中、小尺度的岩体结构面,并呈现明显的空间差异性分布特征。受顶板右侧卸荷裂隙和中部卸荷裂隙切割,顶板岩体结构呈现出3级台阶式分布,顶板中间发育一条南北走向的构造裂隙,控制着顶板的整体稳定性。因此,本次岩体结构变形的监测主要选取顶板

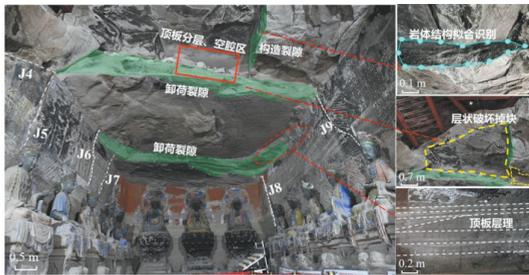


图1 安岳石窟洞顶板岩体多尺度结构

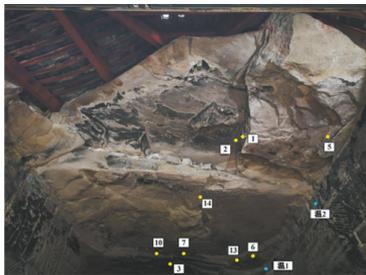


图2 现场传感器布设位置图

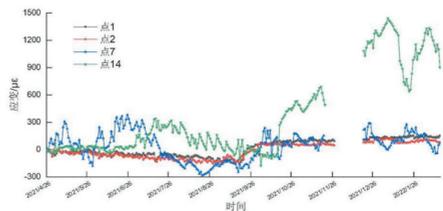


图3 顶板中间裂缝采集的微小应变信号

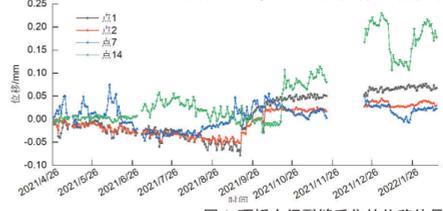


图4 顶板中间裂缝采集的位移信号

北侧、顶板中部和顶板南侧的结构面为监测对象。

在光纤监测的实施中,传感器的开发与标定、光纤的封装、信号的解调是不可回避的问题。为了使光纤光栅位移传感技术适用于石窟岩体结构的监测,研究团队对传感器进行了开发设计,主要包括对传感器性能指标筛选,工程适用性评估,稳定性和重复性检验,以及耐久性评估方面开展了系统论证和研发。在四川安岳石窟圆觉洞顶板岩体进行安装和长期监测中,成功安装了9个高精度裂缝传感器和3个温度传感器。

图2显示了传感器的位置,以及铠装光纤走线的方式和光纤走线位置,铠装光纤均喷涂油漆,尽量使铠装光纤颜色和圆觉洞岩体颜色保持一致,以保证安装现场光线隐蔽。光纤走线位置的套管采用了灰色热缩套管,黑色热缩套管以及灰色伸缩管,并根据不同的位置与岩体的颜色选择套管。现场传感器与采集设备布设完成后,按照1s的采

集频率,分别采集了2021年4月26日至2022年2月16日四个阶段共计296天的数据。

温度监测结果表明圆觉洞内部温度整体随时间呈波浪式变化,与安岳地区气温变化表现出一致性。各传感器的整体变化趋势一致,但存在差异。传感器1和传感器2温度波动较小,而传感器3的温度波动较大,这主要是传感器位置不同,传感器1和传感器2位于洞窟内部,温度相对稳定,而传感器3位于洞窟外侧,受洞窟外温度影响较大,这与实际情况相符。应变方面,单就一幅图而言,微应变和位移变化明显受到温度影响,随着一年四季温度的变化,其裂缝的活动也有规律的变化,这是由岩体热胀冷缩的性质引起的。

对比同一位置微应变和位移的图像,微应变和位移变化趋势相同,并呈现一定的关系。其中,图中有部分点发生突变,这可能由于外界因素导致的,例如2021年九月中旬安岳附近发生了地震,所有传感器的位移及微应变都发生了突变,但是这并不影响总体趋势。比较不同传感器的微应变及位移图(图3、4),发现微应变和位移并不相同,这是由于传感器布设的位置不同,不同位置产生的沉降、裂缝的时间以及速度也不相同。同时,微应变和位移大小、正负并不相同,这和前期传感器安装过程有一定的关系,传感器安装过程对洞窟顶以及传感器本身都有一定的影响。

本项目工作采用3D FDM封装技术对光纤进行了喷涂、熔结和涂色,确保了封装光纤的打印精度和耐久性,同时在外观上隐蔽,符合石窟岩体监测的最小干预和长期监测需求。针对石窟岩体变形渐进性和瞬时性的不同特点,筛选出高性能传感器,并通过复合压力、振动和位移一体化测量模块,实现压力单元的灵敏度达到0.01mm/kPa,同时可检测1-4Hz的低频振动信号和1-4mm的位移。根据石窟岩体变形阈值和石窟赋存环境,进行传感器位移、温度标定试验,确定性能参数与适用范围。采用有限元分析模型,研发了中小石窟多尺度岩体变形分布式光纤信号解调技术和设备,实现了12通道连续采集以及数据的远程采集和实时5G传输。

(供稿:中国文化遗产研究院)

社会力量参与文物保护事业的思考

鲜汪娟

社会力量参与文物保护事业的基本现状

长城保护开启社会力量参与
1984年7月5日和6日,《北京晚报》和《北京日报》分别在1版刊登了一则消息——为了保护历史文物,加速修复长城重点地段,举办“爱我中华,修我长城”社会赞助活动,开启了社会集资修复国家重点文物的先例,邓小平、李先念等中央领导同志作为活动题词,在全国乃至全球华人中掀起了保护长城、修复长城的热潮。倡议发出,社会参与踊跃,工人、学生、个体户等各界人士纷纷捐款,各企事业单位也积极行动。到1994年,活动已开展10年,成为新中国成立后影响最大、规模最大、成效最好的社会集资活动。共收到海内外修复长城赞助款6000余万元,文物部门用赞助款修复了八达岭长城北八至北十城台、慕田峪长城三座城楼、司马台长城、沿河城长城等共计14处长城重点地段。

多元探索形成中国特色
各地出台政策支持。党的十八大以来,中办、国办出台的《关于加强文物保护利用改革的若干意见》《关于在城乡建设中加强历史文化保护传承的意见》明确提出,要健全社会参与机制,支持社会力量合理利用文物资源。国家文物局相继印发《关于促进文物保护利用的若干意见》等文件,尤其是2022年7月出台的《关于鼓励和支持社会力量参与文物建筑保护利用的意见》。正在修订的《中华人民共和国文物保护法》也将在合理利用、扩大文物事业参与等方面作出明确规定。

社会组织积极引导。1990年,为更好引导社会力量参与文物保护,在国家文物局支持下,中国文物保护基金会正式设立。30余年来,中国文物保护基金会承担了文物领域拾遗补缺的角色,推出了保护长城加我一个、拯救老屋行动、古籍保护与活化利用、丝绸之路沿线石窟数字化保护等多个具有影响力的文物保护项目。2023年,山西省文物保护基金会正式成立,山西省财政厅计划每年向山西省文物保护基金会拨款500万元,保障基金运作。山西省文物保护基金会的设立,调动和吸收社会资本参与文物保护的积极性,构建起多元、稳定、可持续的文物保护资金投入保障机制。

社会力量踊跃参与。在党和国家对文物工作的高度重视下,人们对文化消费的意愿和能力增强,在享受文物之美的时候,社会力量参与文物保护工作的意识不断提升,热情整体高涨。文物保护志愿者、志愿组织快速发展;公众对文物的关注度、参与度空前,文物主题游火热出圈,西安、洛阳等历史底蕴深厚的城市成为网红打卡地;与文物相关的自媒体传播、视频创作、文艺创作等层出不穷。越来越多的企业也自觉将文化纳入企业社会责任,积极出资、出力,助力文物保护与活化。即便在疫情影响下,中国文物保护基金会募资仍逆势上扬,项目持续丰富。腾讯、泰康、信德集团、字节跳动、三峡集团、茅台、中国银行等多家企业都给予很大支持。文物公益事业对于社会参与方也给予良好回报,云游长城的点击量超8亿人次,古籍保护带动字节跳动传统文化板块的热潮,等等,初步形成良性循环和互动。

新时代社会力量参与文物保护事业发展的路径思考

一是加快政策法规落地实施。在宏观层面,国家已经建立了法规政策保障基础。下一步,各地方政府、文物单位等需要围绕这些法规政策细化举措,配套办法,大胆实践,让利好政策落地生根。如针对低级别文物建筑保护利用,山西、福建、安徽等地鼓励引导社会力量参与文物保护的认知不断提升,苏州先后出台了《苏州市古建筑保护条例》《苏州市古建筑抢救保护实施细则》,实行产权多元化、抢救保护社会化、运作市场化;为支持博物馆发展,多地明确社会力量参与博物馆设立和发展可享受税收、财政资金、专业指导等方面的支持政策等。政府在积极引导的同时,应及时回应社会关切,在法律法规制度层面予以保障;行业机构要进一步开放,公开共享文物资源,积极引入社会力量。

二是推动组织运行更加规范。文物事业本身就属于公共文化事业范畴,公益慈善事业需要高信誉、两者结合对于组织规范运行具有较高要求。如中国文物保护基金会这类国家社会组织,要打造平台型机构,就要以规范运营为制度保障,从规范管理、项目运作、资金募集、机构扶持等多方面,都要起到示范引领作用。长期以来,中国文物保护基金会一方面深耕重点品牌项目,与腾讯公益慈善基金会合作成立长城保护专项基金、石窟寺保护专项基金、考古价值阐释与弘扬专项基金,与字节跳动公司合作成立古籍保护专项基金等。另一方面,对于下专项基金和项目,进行严格的制度管理和资金管理,规范化、系统化、流程化、标准化、制度化运作,保证资金的安全性、保证公益项目的公开、公平、公正,为各方提供参与保障。

三是积极打造可持续模式。社会力量参与文物保护与活化,不能仅是简单的捐赠,应是积极有效且长效的。要提升合作韧性,就需要准确把握文物保护利益相关方的参与需求,获得更好参与体验。有激励性参与机制,建设专业、多元、规范的全面参与氛围。中国文物保护基金会非常重视与合作方的沟通与协作。如与腾讯合作的长城保护项目,已经持续开展七年多,合作方不仅是资金投入,更多还有技术、传播等全方位的投入,而且带动了更多企业的进入,形成社会力量共同助力长城保护的格局。在拯救老屋行动中,激发了地方党委政府、居民个人、社会各方的积极性,以多元参与来合作共享。同时,中国文物保护基金会借助各种机会宣传捐赠人的爱心善举,与新华网合作推出“文保会客厅”等栏目,宣传捐赠人的义举。

四是大力夯实能力建设。抓住“人才”和“创新”关键着力点。人才是社会力量参与文物事业发展的基础。山西、山东等省市已分别出台文物全科人才培养计划。中国文物保护基金会在公益项目设计中,非常重视人才培养。如长城保护项目持续关注长城保护员的建设,古籍保护一期项目培养了107位古籍修复师,以及在各类文物项目中,都加大了人才培养的比例。创新是文物事业高质量发展的重要推动力,科技创新和文化创意让文物在新时代焕发新的生机。特别是文物与技术的结合,更多科技企业的加入,新技术的推动,让文物在新的时代焕发新生。

社会力量参与文物事业发展还有很大空间,将为中国特色慈善事业高质量发展贡献独特力量。希望更多的公众关注文保,更多的社会力量亲身参与,更多的企业践行责任,助力文化遗产的保护和传承,助力弘扬优秀传统文化,推进中国特色社会主义文化建设,建设中华民族现代文明。(作者单位:中国文物保护基金会)

数字化技术在宁夏岩画保护中的应用实践

杨惠玲 李学军

岩画是古代先民借助石质或金属质工具,有意识留在岩石上的各类图像和符号,不仅体量庞大,而且分布广泛。这些岩画大多出现在山丘陡崖,人迹罕至之处,是一种具有跨文化及历时性的全球性文化现象。它弥补了当前文化研究所缺环的部分历史信息,以鲜活的视觉资料生动形象地反映了先民的生产、生活。我国岩画制作时间跨度逾两万年,空间分布跨度五千里,是具有鲜明文化传统、凸显地域特色、富有世界意义的文化资源。作为中国岩画北方体系的代表——宁夏贺兰山岩画,既是我国早期先民和不同历史时期游牧部落发展的历史见证,也是欧亚草原古老文明历史和多个族群生息不息的重要物证,1996年11月贺兰山岩画被公布为第四批全国重点文物保护单位。

数字化技术在我国岩画保护中的应用

近年来,数字化技术的发展推动了文化遗产保护理念的变革,因其可有效解决众多文化遗产难以保存、再现与推广、利用的难题,已成为一种必要且有效的科学保护手段,也逐渐被应用于岩画保护领域中。因岩画及其所依附的本体易受地理环境的外在作用产生劣变状况,加上一些人人为干预、旅游开发等因素的不良影响,已使其所携带的多种历史及艺术信息被损毁,处于消失的边缘。针对上述问题,数字化技术已逐年在各地岩画保护实践中增大了占比,多个地区先后实施了多项主动性保护工程,如被称为“东方天书”的江苏省连云港市将军崖岩画,就是较早早在实操中应用三维激光扫描技术的。而作为我国唯一入选《世界遗产名录》的广西左江花山岩画文化景观,也于2013年起开展数字化信息采集,并相继开发建设“左江花山岩画文化景观”展示平台与“广西岩画”展示平台,实现了公众对岩画保护的主动性参与和信息共享。2016年12月至2019年9月完成的“大兴安岭岩画数字化采集与研究支撑平台建设项目”,内容包括大兴安岭岩画数字化采集与制作、岩画数据库及综合管理系统建设,岩画综合展示系统建设三个板块。

贺兰山岩画的数字化应用案例

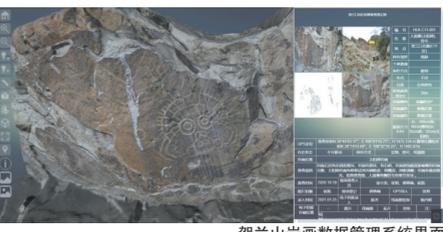
2014年,宁夏就开始了岩画数字化留存项目的研发,十年来,通过对岩画数字化保护的不断探索,特别是近年陆续开展的宁夏贺兰山岩画数字化保护工作已取得显著成效,数字资源开发与传播也初见成效,可为今后做好岩画资源活化利用提供借鉴及参考。例如2016年建成的我国第一个综合性岩画多媒体资料库——“宁夏岩画多媒体资料库”,以数字媒体为依托,以2万余张图片、2万多条数据、300多条视频的形式,实现了世界岩画与中国岩画资源的线上快速传播。



贺兰山岩画遗址公园 岩画修复加固新材料的运用



贺兰山数字化三维可视化平台界面



贺兰山岩画数据管理系统界面

2018年启动的“贺兰山岩画区域测绘与本体数字化留存项目”,其建设成果除对贺兰山岩画进行大规模数字化留存外,还建设有“贺兰山岩画三维可视化平台”,用于挖掘岩画资源、分析病害并开展岩画温度、湿度、病害程度检测,服务贺兰山岩画数字化保护与景区管理,目前二期工程已在进行中。

“贺兰山岩画区域测绘与本体数字化留存项目”具体实施内容分为三个部分。首先是对基础数据进行测绘。对贺兰山贺兰山岩画12平方公里规划范围进行航空遥感影像航拍,配合传统控制测量、地形图测绘,获取整体地形影像,取得1米分辨率遥感影像、1:500地形图数据、平面布设控制网、高程控制网;运用三维激光扫描仪及高清相机,形成精度达0.05米的三维实景模型,记录三维信息和纹理数据,构建岩画精细三维模型。

其次,构建多源数据管理系统。针对项目实施过程中产生的地形图数据、点云数据、纹理数据、模型数据及正射

影像图等文件数据,构建多源数据管理系统,实现多源数据的有效管理、修改和高效调用,以及对部分岩画病害的定量记录。

第三,对三维展示系统进行研发。运用三维可视化技术和软件系统开发技术,以高精度三维图像的形式直接模拟呈现贺兰山岩画保护区内景象,实现脱离时间与空间的限制,查看每一幅岩画及其赋存环境状况。同时对贺兰山岩画已形成的三维模型成果制作三维互动软件,将二维信息提升为三维信息进行直观的记录、查看、管理,结合VR、互动体验等手段,将岩画所表达的远古先民的生活、生产图景生动、真实地展示在观众眼前,使其能更深刻地感受到古岩画的魅力所在。

贺兰山岩画数字化保护的意义

首先是实现了科技化保护的既定目标。鉴于岩画的脆弱性和不可再生性,实施“病害调查记录建模”与“多源数据管理”,对岩画病害、岩体载体及所处环境的勘察,并就前期抢救性保护方案的实施效果追踪,以及对岩画保护材料的研发(具体包含了岩画病害特征调查与危害等级评估;岩画保存状态及本体岩体性能检测评估;岩画环境条件监测及本体岩体保存状态研究;岩画已实施保护项目保护材料应用及效果跟踪监测评估;岩画修复加固新材料、新技术试验研发),可查明导致岩画产生病害的环境因素,了解贺兰山地质因素对岩画的影响。通过对已实施项目的跟踪监测,可及时了解实施进度、环氧树脂等保护材料在一定时间后产生的变化,进而对岩画保护材料的研究提供新的依据。也能为今后开展岩画本体破坏程度数据记录、实施合理保护化管理提供科学支撑。

其次,为我国北方地区岩画的数字化保护提供了新思路。“贺兰山岩画区域测绘与本体数字化留存项目”(一期)的完成,推动了内蒙古阴山岩画和阿拉善右旗曼德拉岩画区域测绘及本体数字化进程,为日后进行中国北方岩画数字化标准建设提供了可能。我国北方地区分布的岩画具有诸多共性,如若建成中国北方岩画数字化标准体系,可避免各自为政和重复建设,实现岩画资源的广泛共享和开发利用。

除上述项目,2022年立项的宁夏岩画数字化保护(一期)项目,是以宁夏中卫大麦地岩画(全国重点文物保护单位)和七处自治区级文物保护单位为核心内容的数据采集与测绘,预计今年年底结束。

数字资源开发与传播在宁夏贺兰山的岩画保护与研究领域已初见成效。通过挖掘贺兰山岩画的资源,结合数字化技术,让其魅力得到展示、重现,从而体现出贺兰山岩画文化遗产的多重价值。

【作者单位:宁夏文物保护中心(岩画研究中心) 银川市贺兰山岩画管理处(银川市贺兰山岩画保护研究中心)】