

科技助莫高窟“容颜不老”

到过莫高窟的人,都会赞叹其精美。

开凿于公元366年的敦煌莫高窟,历经十个朝代1000多年不间断营建。这里不仅保存有4.5万余平方米壁画,藏经洞中还出土了6万多件文物。1987年,敦煌莫高窟被联合国教科文组织世界遗产委员会批准列入世界文化遗产名录。

历经千年、地处大漠,此处人类文明瑰宝不可避免面临风吹雨蚀。如何让饱经岁月沧桑的文化遗产得到更好保护传承,是全人类的共同课题。

20世纪40年代以来,一代代莫高窟人持续接力,尝试以科研之力助千年莫高窟“跑赢时间”。

从防风治沙到病害成因分析,从被动的抢救性保护到主动的预防性保护,敦煌研究院探索出一套较为完善的科学保护体系。如今,相关技术已经应用在全国20余个省区市的500余项全国重点文物保护单位保护工程。

与此同时,文物数字化技术,让莫高窟的古老壁画走出昏暗洞窟、走出大漠戈壁,实现了全球共享、永久保存和永续利用。

留住莫高窟

被誉为“沙漠中的艺术殿堂”的敦煌莫高窟,东临三危山、西接鸣沙山,身处沙漠怀抱中。

这里一年有一半以上时间在刮风。就地而起的沙子落在莫高窟崖顶、堆积在栈道上,也会进入洞窟,污染、磨蚀壁画和彩塑。

沙害治理最早开始于上世纪40年代。清理窟区积沙是常书鸿等第一代莫高窟文物保护者的日常工作之一,每年要清理的沙子达3000到4000立方米。他们通过修筑挡沙墙、开挖输沙沟、扎设防沙栅栏等,起步探索可行的防沙措施,为莫高窟风沙防治奠定坚实基础。

20世纪80年代末,莫高窟的风沙危害防治步入科学研究与防治阶段。研究人员在窟顶安装全自动气象站,开始对莫高窟区域环境特别是风况进行长期监测,查明沙的物质来源和迁移特点,总结窟顶戈壁风沙流运动规律,从人工清沙迈向科学治理。

2008年,敦煌莫高窟保护利用工程启动,其中投资1381万元的莫高窟崖顶风沙治理项目有效缓解了风沙对莫高窟的侵蚀。在这套综合防护体系中,114万平方米草方格沙障和119万平方米砾石压沙解决就地起沙问题,10万平方米沙生植物人工林带挡风固沙,长6000米的高立式尼龙网栅栏形成最后的防护。项目于2011年完工。

监测数据显示,项目实施后,进入莫高窟窟区的年积沙量较实施前减少了85%。

一年四季不再“下沙”的莫高窟换了模样,绿色的面积由最初一小片逐渐向北面延伸。盛夏时,窟区前林木郁郁。

游客数量连年增长,给莫高窟文物保护带来了新课题。

在敦煌研究院敦煌石窟监测中心,每个开放洞窟的温度、湿度、二氧化碳浓度、客流量等数据,正被集中显示在一整面墙的大屏幕上,甚至几百公里内的降雨、洪水、风沙情况,也在大屏幕上实时更新。

这套预防性保护监测预警体系,依靠在窟区范围内投放的600多个不同类型传感器,实现了莫高窟大环境、洞窟微环境、文物本体、崖体、展陈和游客承载量等数据的实时采集和交互分析。它在及时预警潜在风险的同时,为开展预防性保护提供可靠数据支撑。

“如果我们通过系统发现洞窟中的相对湿度、二氧化碳等监测数据超过预警值,洞窟就会停止开放并自然通风,最

大限度确保文物安全。”敦煌研究院助理馆员柴鹏飞说。

保护既要关注莫高窟文物本体,也要注重探寻文物病害生成机理。

2020年底,历经多年建设的国家古代壁画与土遗址保护工程技术研究中心多场耦合实验室在敦煌投运。“多场耦合,简言之就是同时模拟多种不同的环境条件。”敦煌研究院副院长郭青林说。

在实验仓内,放置着重达数吨的大型土遗址样品。工作人员操作设备,实验仓内就能模拟出刮风、下雨、飘雪、太阳照射等各种气象条件。样品中间层铺设了系列温度、含水率传感器,用来监测温度高低、降雨大小变化对样品劣化影响规律,以期揭示土遗址表面风化病害的发育机制。

据介绍,多场耦合实验室具有时间可控、变量可控、条件可重复、能进行足尺模型试验等优点。文物保护工作者可通过实验研究揭示病害发育机理,再对保护加固的技术进行验证,从而采取相对应的保护措施。从多场耦合实验室走出来的研究成果,也将投入到全国不同环境下文物的保护应用中。

再造莫高窟

在探索彩塑、壁画数字化保存上,莫高窟走在前列。

上世纪80年代,敦煌研究院的文物工作者看到莫高窟被侵蚀前后照片对比,意识到了数字化保存的必要性。

上世纪80年代末,敦煌研究院首次尝试利用计算机数字化技术永久保存敦煌壁画、彩塑等珍贵资料。文物工作者们进入洞窟,将摄影机架在了壁画前。最初,他们用柯达胶卷拍照、洗照片,后来用高保真数码相机拍摄,再用计算机技术拼接还原。从提出构想,到真正做成高保真数字档案,花了20年。

由于石窟特殊的结构、布局,且必须遵从诸多文物保护原则,敦煌文物数字化过程繁复。影像采集时,人员在逼仄的窟内空间小心腾挪,以确保不会伤害壁画;进入窟内后,要不断测气,避免最终成像有阴影;必须采用恒温冷光源,将对文物本体的影响降到最低……

采集完成后,还要将照片拼接还原成高保真的壁画图。拼接误差要控制在毫米级,根根发丝都要做到“无缝衔接”。

“一个十几平方米的壁画,需要拍摄几千张照片。经过拼接,数码生成的壁画是原作的四倍大,在银幕上看远比在洞窟看更清晰。”敦煌研究院文物数字化研究所所长俞天秀说。

近年来,随着三维激光扫描技术的开发应用,洞窟数据采集精度和效率大大提升。图像精度从75DPI提升到300DPI,处理能力从一年一两个洞窟提升到一年二三十个洞窟……

截至2022年底,敦煌研究院已完成289个洞窟的数字化摄影采集,178个洞窟的图像处理,45身彩塑、140个洞窟、7处大遗址的三维重建,162个洞窟的全景漫游节目制作,以及5万余张档案底片的数字化。

同时,敦煌研究院持续推进文物数字化成果应用,服务于考古研究、文物保护、大众传播等。

2014年,伴随着莫高窟数字展示中心的试运营,活化利用敦煌文物数字资源的8K球幕电影《梦幻佛宫》上线。这部20分钟的电影对莫高窟7个经典洞窟进行了全方位展示。观众坐在影厅,如同置身实景,甚至比在莫高窟现场参观看得更加清晰。

除了《梦幻佛宫》,敦煌研究院还制作了主题电影《千年莫高》。敦煌研究院名誉院长樊锦诗说:“游客们抵达敦煌,在一睹莫高窟真容前,先在莫高窟数字



在敦煌莫高窟正在保护修缮的第55窟内,文保工作者对采集的数据进行整理(2023年8月3日摄)。



在敦煌莫高窟正在保护修缮的第55窟内,文保工作者对现场模拟试块进行对比测试(8月3日摄)。



在敦煌研究院文物数字化研究所内,工作人员展示对莫高窟彩塑进行三维重建后的成果(8月3日摄)。

新华社记者 李智 摄

展示中心看完这两部电影,了解敦煌的历史和文化价值,然后进入实体洞窟参观,体验会更好。”

传扬莫高窟

2022年底,全球首个基于区块链的数字文化遗产开放共享平台——“数字敦煌·开放素材库”正式上线,来自莫高窟等石窟遗址及敦煌藏经洞文献的6500余份高清数字档案面向全球开放。

“以前老先生们在莫高窟做研究,窟里都是全黑的,榜题上的字都看不清。他们就搭起梯子,拿着手电、望远镜去够着看。”俞天秀说。现在,世界各地的学者、文化爱好者只需坐在家中轻点鼠标,就可高速浏览超高分辨率的窟内图像。

在“数字敦煌·开放素材库”平台上,每一份高清图像都是对莫高窟数字化采集后生成的第一手资料,且每一张都备注了相应的学术介绍说明。“素材库以开放、共创、共享模式,实现了文物数字资源的有效利用和可持续发展。”敦煌研究院院长苏伯民说。

2023年4月,在国家文物局指导下,“数字藏经洞”也正式上线。这个“沉浸式”线上博物馆通过数字照扫、三维建模等技术,高精度重现敦煌藏经洞。

“数字藏经洞”力求“好玩”。用户只需登录“云游敦煌”小程序,便可进入高清还原的藏经洞中,近距离观赏洞窟细节,还可通过人物角色扮演,穿越到不同时代与历史人物互动,“亲历”藏经洞从晚唐到清末的面貌变迁。

从“飞天”专题游览线路带给人虚实结合的体验,到超过2亿人次参与“云游

敦煌”微信小程序线上互动,再到虚拟人“伽瑶”问世……在“云端”,敦煌文化正通过信息化技术,以更丰富的形态,与更广大范围的受众互联互通。

在线下,敦煌文物保护技术也在进一步提升其世界范围内影响力。

作为世界上最大的石窟寺保护科研机构,敦煌研究院在壁画保护、土遗址保护、文物数字化研究、开放利用等方面在全国乃至全世界具有领先优势。其大量创新型成果已经推广应用于甘肃、西藏、新疆、宁夏、青海、山西、河北等20余省(区)500余项全国重点文物保护单位的保护工程。

以敦煌石窟为代表的“中国特色·敦煌经验”文物保护模式已基本形成,其影响扩散至阿富汗、尼泊尔、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦等共建“一带一路”国家。

敦煌研究院也为全球文物保护人才培养作贡献。苏伯民介绍,敦煌研究院先后与美国、日本、英国、澳大利亚、法国等10多个国家和地区的30多家机构以及国内40多家科研院所、大专院校持续开展多种形式的交流与合作,全方位探索文化遗产的科学保护问题,培养了一大批在石窟、壁画、土遗址和文物数字化保护方面的专业技术人才和管理人才。

“文物保护,永远在路上。”苏伯民表示,未来将持续聚焦国际前沿和国家文化遗产保护领域的重大需求,以文化遗产科学保护和有效利用为使命,积极与共建“一带一路”国家开展国际合作与交流,不断推进研究成果推广应用,奋力开创文化遗产保护、研究、弘扬的新局面。

文《瞭望》新闻周刊记者 宋常青 任延昕 张玉洁