

浙大团队以数字化赋予文物永恒生命,让不可移动的文化瑰宝活起来

# 石窟寺,从崖壁上走来

本报记者 李娇伊 曾福泉

1000多年前,众多唐朝工匠云集五台山,在一座北魏佛寺的废墟上,一斧一凿重建名刹。

1937年7月,梁思成和林徽因风尘仆仆登上五台山,他们通过精细的考古工作,让这座唐代佛光寺重现世人眼前。

2022年7月,一批来自浙江大学的专家学者与当地文保工作者组成联合团队,携带先进的设备来到五台山佛光寺,为其建立可永久保存、持续再现的数字文物档案。

今天,佛光寺穿越历史烟尘,跨过重山大河,“走”到江南:在杭州良渚文化核心区“中国历代绘画大系”典藏馆,游客戴上VR头显,便可身临其境体验佛光寺唐代建筑魅力,欣赏其中的斗拱、塑像、壁画……

自2010年以来,浙大文化遗产研究院文物数字化团队与全国各地文物界精诚协作,运用3D高保真数字测量与重建技术,完成了220项文物数字化考古调查工作。许多珍贵的文化遗产,特别是大量石窟寺遗址,都如佛光寺一样,拥有了数字形态的永恒生命。

“石窟寺的数字化永生,是以我们这个时代的技术和使命感,向中华民族千百年生生不息的文化遗产和创造致敬。”浙江大学文化遗产研究院副院长李志荣教授说。

## 相机快门一天要按1万次 建立矿藏级数字档案

前不久,“中国历代绘画大系”典藏馆迎来了一群特殊的客人——全国各大石窟寺保护研究单位的有关负责人。他们守护的遗迹大名鼎鼎:敦煌莫高窟、龙门石窟、云冈石窟、大足石刻、安岳石窟、麦积山石窟、甘肃炳灵寺、天龙山石窟、龟兹石窟、杭州飞来峰、山西佛光寺……

在这里,大家看到了各自“家门口”的石窟寺瑰宝,它们经过1:1高精度还原,以数字化重建的形态汇聚于此。回望来路,大家感慨良多。

“十多年前刚起步的时候,数字化技术在考古界远没有得到今天这样的重视和广泛应用。”浙江大学文化遗产研究院副院长刁常宇告诉记者,这是一条从无到有的道路。

当时,遍布中国的石窟寺亟须完成基础、全面的考古工作,保全因时间推移不断受损的文物信息。但石窟寺文物遗迹复杂,实测记录十分不易。

数字化手段或许可成为破解法门。2010年,浙江大学文化遗产研究院成立,为考古和计算机领域的人才搭建了学科交叉平台,瞄准的正是推进文物数字化。

成立之初,这支队伍只有寥寥几人。他们迈出的第一步,踏在宁夏固原须弥山石窟的陡峭台阶上。

2012年初夏,李志荣等浙大文物数字化团队成员和宁夏考古所有关专家踏遍了须弥山圆光寺周遭的群山。在狭小的石窟中,数字化工程师手握相机,面对有上千年历史的雕塑和壁画,怀着深沉的敬意,拍下数以千计的照片。只要有足够充分的多角度照片,刁常宇领衔开发的计算机软件就能提取文物的“特征点”,重新构建高保真三维模型。

一个个文物的三维模型在电脑屏幕上转动,带给浙大和宁夏考古所的专家们巨大惊喜。

“我们都意识到,这项技术不仅能解决测绘问题,还能全面系统记录文物基础信息,以数字化的形式将不可移动文物保存下来。”李志荣说。

一场由高校和考古界合作引领的技术创新应用由此铺开。怎样让数据更加精准?三维模型的误差如何尽量缩小?怎样用更高分辨率记录文物细节?刁常宇说,每完成一个合作项目,文物数字化技术就向前推进了一步。比如,浙大与西安碑林博物馆的合作项目,催生了综合三维模型与照片图像数据的自动纹理映射技术,古老碑文的凿刻纹理得以逼真重现。

现在,李志荣和刁常宇为带头人,浙大文物数字化团队扩大到54人,一半以上是负责田野调查和数字化的工程师,还有15位是从事文物考古研究和数字化技术研发的专家。站在这支队伍背后的,则是全国石窟寺的保护研究者。

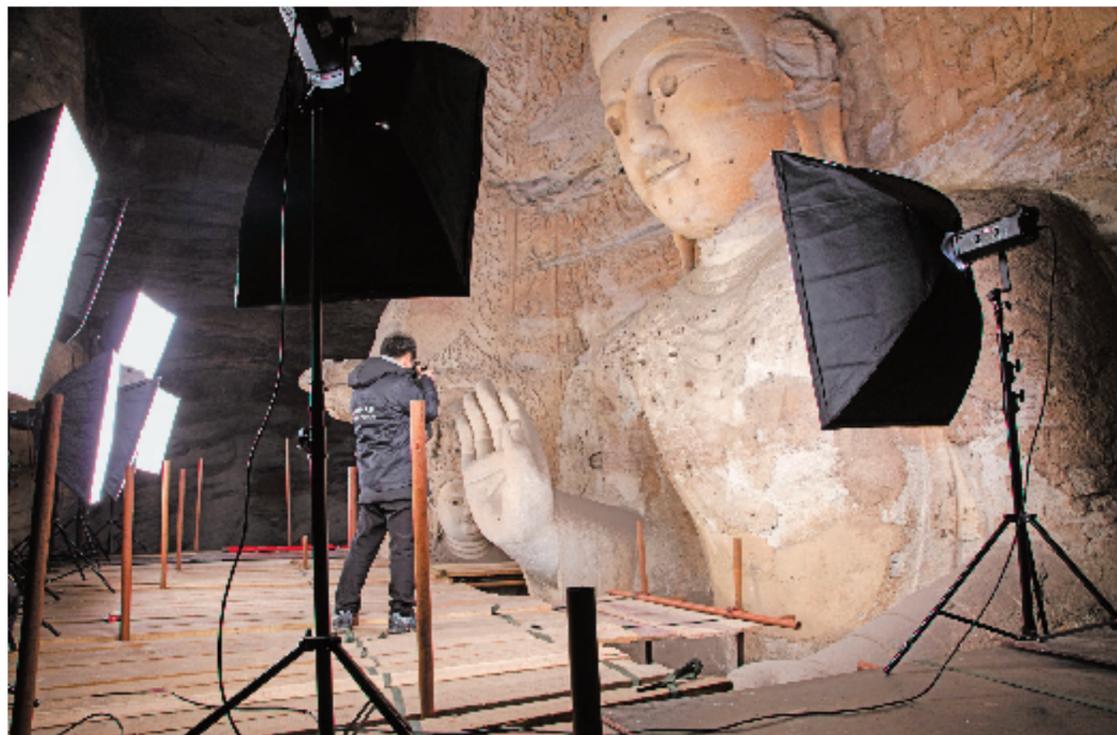
“回想起多年前,和浙江大学团队的第一次接触,也是我对文物数字化工作的第一次接触。他们的敬业精神,还有对文物保护的热爱与倾心付出,都让我心生敬佩。”甘肃炳灵寺文物保护研究所所长丁万华说。

这是一群脚踏实地的实践派。2022年,在龙门石窟奉先寺,浙大团队爬在脚手架上拍摄,留下了7.5万张高清照片,一位工程师为此克服了自己的恐高症。2016年,在云冈石窟,他们掏出各种姿势,把相机伸到佛像的耳后、侧面拍摄此前几乎无人观察的死角,一台单反相机每天大约要按一万次快门,几天下来就按到几近失效。

2015年,在青藏高原深处的托林寺,团队一位工程师为了解决壁画表面不平整和壁画材料本身导致的特殊反光,为每一个拍摄角度反复调整布光,次数难以计量。还有一位计算机专家,三个除夕夜都在电脑前处理数据,最终实现三维重建误差小于2毫米,色彩还原度逾95%的数据模型,攻克了多照度下的颜色校准难题。

这支团队依然在和时间赛跑——为了追求最原真的文物记录;为了建立“矿藏级别的文化资源”;为了让千年以后的人仍可通过当代的记录回溯历史长河,与我们的祖先心灵相通。

如今,这支团队的足迹遍及全国24个省(区、市),实施220项珍宝级文物数字化工程,为国家珍存逾500TB完整、系统、科学的文物数字档案。



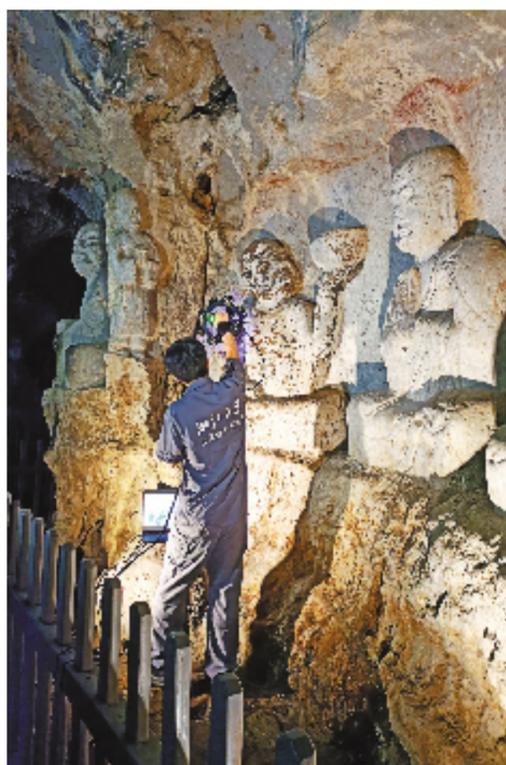
浙大团队在云冈石窟进行数字化采集工作。



“盛世修典——‘中国历代绘画大系’成果展”在北京中国国家博物馆亮相,“石窟长廊”令人震撼。



观众参观位于浙大紫金港校区考古实验基地的敦煌莫高窟第220号洞窟复制窟。



浙大团队为飞来峰十八罗汉像采集数据。

## 3D打印高精度复刻 石窟寺可“行走世界”

2022年9月29日,“盛世修典——‘中国历代绘画大系’成果展”在北京中国国家博物馆开幕,这是国家博物馆近年来展陈面积最大的展览之一,持续一年多时间,吸引海内外观众数百万人次。

展览中,一条穿越时空的“石窟长廊”,被精心安排在一处拐角之后,几乎所有和它相遇的观众,都会发出赞叹:中国五大石窟和甘肃炳灵寺石窟、四川安岳石窟、杭州灵隐飞来峰石窟群齐聚一堂,10组龕像的3D打印复制件,以逼真丰富的细节,传递跨越时空的神韵。

如何让石窟寺承载的中华优秀传统文化魅力走进更多当代人心中——这是为石窟寺文化构建数字档案后,紧接着而来的必然课题。

这就不能不提到石窟寺文物数字化工

作与“中国历代绘画大系”这一国家重大文化工程之间的密切关联。

2010年,《宋画全集》出版工作基本告一段落,更为恢宏的“中国历代绘画大系”随之启动。浙江大学文化遗产研究院也在彼时成立,并着手开展石窟寺文物数字化工作。

“大系”收录海内外260多家文博机构的纸、绢(含帛、绫)、麻质中国绘画藏品,建立起浩大的历代绘画精品图像数字资源库;石窟寺文物数字化,为地球上矗立的建筑、雕塑、壁画等建立了高清数字档案。二者都指向一个共同的原点:赓续文脉,国宝重生。

随着中国历代绘画迈向由“书”到“展”的传承转化新阶段,“活起来”的石窟寺文物也成为展览中不可或缺的部分,唤起无数人心中的人文温度。

早在2017年,浙大团队和云冈研究院合作,成功用3D打印技术复原云冈第3窟西后室,标志着中国文物数字化对文物的记录达到可复制的水平。2019年,“积木式”的云冈第12窟等比例3D复制研发取得重大成功。复原件可拆卸、拼装、运输——3D打印的石窟由高分子材料构成,乳白色。在

高分子材料上,团队喷涂了一层专门调制的云冈砂岩质感涂层,“石头”就这么制造出来了。由此,云冈石窟第一次具备了“行走世界”的能力。

云冈研究院数字化室的一位成员说:“有的人可能一辈子都没有机会到现场看云冈石窟。最好的方式,就是让文物走到大家身边。”

2021年9月,“大系”成果展来到位于重庆的四川美术学院美术馆,一座高近5米、宽近4米,人物500多尊,器物200余件,与原作毫无二致的造像矗立在展厅中。“这就是我们重庆著名的大足石刻啊!它从崖壁上走下来了。”观众无不赞叹称奇。

2022年3月,“盛世修典——‘中国历代

绘画大系’先秦汉唐、宋、元画特展”在浙江美术馆展出。敦煌、云冈、龙门、大足石窟,以及四川安岳石窟和浙江杭州西湖石窟中的若干个典型洞窟,等比例复制,汇聚于西子湖畔。

其中的杭州飞来峰布袋弥勒和十八罗汉大型组像,从数据采集到3D打印的时间不到4个月。团队日夜兼程迅速完成了拍摄与模型计算。两辆大货车满载3D打印模块在开展前驶入浙江美术馆,几个小时就完成了拼装。

在刁常宇看来,速度背后是对精度的绝对要求。3D打印机的精度可达0.03毫米,几乎能够精准还原石窟上每一颗沙粒的形状。通过后期的上色等处理,能准确还原文物的质感和历史感。在展厅中快速拼装时,每个区块之间的缝隙都精准对齐,完全隐匿……

这些技术背后,是一系列综合性的解决方案。2023年以来,“石窟长廊”又随“大系”展览进驻宁波美术馆,还增加了古代建筑等展品。第六届世界佛教论坛期间,“大系”佛教主题展以3D打印方式,再次为海内外嘉宾呈现佛教文化艺术的绚烂景观和中国致力于佛教文物保护的卓越成就。第二届“良渚论坛”期间,12件3D打印的石窟和佛光寺彩塑壁画落地于杭州的“中国历代绘画大系”典藏馆。

在“中国历代绘画大系”典藏馆参观时,山西省古建筑与彩塑壁画保护研究院的专家看得很慢,不知不觉落在了人群后面。

“‘大系’和石窟寺数字化成果中蕴涵的细节如此清晰丰富,引人入胜,常看常新。”山西省古建筑与彩塑壁画保护研究院副院长长安海说,“文物数字化成果的转化利用,让收藏在禁宫里的文物、陈列在广阔大地上的遗产、书写在古籍里的文字突破时空,重焕光彩,这是文物工作者的使命。”

## 拓展文物数字化版图 在相关文物点 设永久工作站

每一年,李志荣都有一大半的时间奔波在石窟寺数字化考古一线。她说:“石窟寺的保护利用正处于一个前所未有的黄金时期,大家都舍不得停下脚步。”

2020年,全国石窟寺保护与考古工作座谈会提出,石窟寺作为建筑、雕塑、壁画等艺术的综合体,是宝贵的文化遗产。要编制石窟寺保护利用专项规划,解决工作中存在的突出问题,推动石窟寺保护研究利用水平迈上新台阶。此后,《“十四五”石窟寺保护利用专项规划》《中国石窟寺考古中长期计划(2021—2035年)》等重要文件印发,石窟寺文物数字化技术“大展拳脚”的舞台搭好了。

一张照片定格下一群年轻学子笑脸,在2021年第七届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛上,由浙大文物数字化团队老师指导的“文物方舟”项目荣膺金奖,以科技考古为主要特色,这一项目把文物数字化团队研发的一系列相关设备与软件集于一体,将龙门石窟古阳洞北壁无名龕佛像搬到了现场,让评委为之震撼。

项目负责、浙大学生李敏在一年后正式成为浙江大学艺术与考古图像数据实验室的001号实验员,继续她的文物“活起来”之梦。

刁常宇有更多的期望,“文物领域与计算机学科的融合,仍需要双方共同努力,主动地拥抱变革。”

如今,浙大团队在文物病害调查与修复中,利用三维激光扫描和倾斜摄影测量技术,更新装备,文物数据信息的全面采集有了更大进步,文物数字化技术应用前景不断拓宽。

2020年以来,浙大文物数字化团队在全国各地举办的石窟寺考古和文物保护培训课堂上,不断宣传探索到的经验方法,让学生收获良多。

“数字化技术,有效勾连传统和当下,在遗产保护和文化建设方面发挥了不可或缺的作用。”云冈研究院副院长何建国说。

安岳石窟研究院副院长周驰翰说:“是时候集合大家的力量,成立合作联盟和研究平台,推出文物数字化的标准,让更多文物数字化的数据共享。”

与浙大文物数字化版图一同拓展的,还有遍布全国重要石窟寺遗址的工作站。2017年,石窟寺文物数字化保护国家文物局重点科研基地在浙江大学挂牌,现在,基地已经在山西、河南、浙江、甘肃、西藏、重庆等相关文物点设立了永久工作站。

岁月无声,石窟不语。依靠一群充满使命感的守护者,依托不断发展的现代技术,那些镌刻于石壁上历史情怀,今日依旧散发着迷人的魅力,并将久远流传。

我们在赓续文脉中前行,在前行中铺就新路。

链接

## 3D高保真数字测量与重建技术

浙江大学科研团队历经20余年探索,通过自主研发、全球领先的3D高保真数字测量与重建技术,实现对全国五大石窟等代表性龕像进行等比例复制。

3D高保真数字测量与重建,就是借助摄影测量、激光扫描、结构光投影等技术将石窟、造像、古建筑等文物进行全面调查、记录并呈现,为其建立可永久保存、持续再现的数字档案。通过文物高清三维模型,可实现文物等比例复制、仿真色彩还原,让不可移动的文物“可移动”,彰显数字文明时代独特的艺术魅力。

运用3D高保真数字测量与重建技术,在多个展览中,中国石窟艺术与众多海内外珍稀佛教绘画一起,穿越时空、汇聚一堂,生动呈现了中国古代美术“绘塑同源”的独特魅力和佛教中国化历程中波澜壮阔的艺术创造。



浙大团队在山西佛光寺开展数字化采集工作。本版图片均由浙江大学提供