

千年微笑在数字世界永放光彩

本报记者 赵永宏



工作人员对云冈石窟进行数字化采集

1600年前，北魏高僧昙曜和数万名工匠在武周山南麓的砂岩断崖上，挥锤开凿了一座皇家石窟。2001年，当云冈石窟以全票通过的业绩跻身世界文化遗产名录时，申报文本中采用的依然是考古工作者手持测绘尺、伏在脚手架上勾勒的手工测绘图。那些浸透着汗水的线条，既凝聚着几代文保人的心血，也隐约透露出传统方法的局限：面对高达17米的露天大佛，手工测绘的误差难以避免；面对风雨剥蚀的脆弱岩体，单纯的描摹无法留存其全部信息。

正是从申遗成功的那一刻起，云冈人敏锐地意识到：要让这一文明瑰宝永续流传，必须引入全新的记录与保护手段。25年来，云冈石窟与重庆大学、浙江大学、北京建筑大学等高校深度合作，开启了一场漫长而坚定的数字化征程。如今，云冈研究院已完成了大部分洞窟的高精度数据采集，积累了大量三

维数据，构建起目前国内石窟寺领域最庞大、最精细的数字资源库。这些数字档案，正以前所未有的方式，重塑着云冈石窟的保护、研究与传播生态。

精密采集：捕捉毫米级的印记

在云冈石窟第18窟内，一场无声的“对话”正在进行。一台手持式三维激光扫描仪发出肉眼不可见的红外光束，以每秒数十万次的频率掠过东壁千佛造像的表面，每一道光点都忠实记录着佛陀袈裟的褶皱、供养人面部的微笑、甚至砂岩颗粒间最细微的裂隙。与此同时，一架架设在轨道上的站式三维激光扫描仪从更宏观的视角捕获洞窟的整体结构，无人机在洞窟外盘旋，通过近景摄影测量为外立面造像建立模型。三种技术手段相互补充，最终将整个洞窟转化为一个由数百万个点构成的虚拟空间，最高精度达到惊人的0.03毫

米——这意味着，肉眼难以分辨的细微纹理，在数字世界里纤毫毕现。

“距今已有1600年历史的云冈石窟，开凿在侏罗纪砂岩层上，地质情况复杂，遭遇风化、冻融、渗水等多种病害侵袭。多年来，云冈文保工作者围绕这些病害，积极探索解决途径。”云冈研究院一位技术人员指着屏幕上实时跳动的监测数据说，“过去我们只能凭经验判断哪些岩石有坍塌风险，现在通过定期三维扫描对比，岩体哪怕发生0.1毫米的位移，系统都会自动报警。数字化监测让保护工作从被动抢险走向了主动预警。”

这套精准的监测体系，正是建立在海量数据基础之上。从站式扫描仪到手持式设备，从无人机倾斜摄影到近景摄影测量，云冈研究院已构建起全方位数据采集矩阵。每一次扫描，不仅记录着文物当下的状态，更为后代留下可供对比的“数字标本”——当未来的技术手段更加先进时，今天的原始数据将成为回溯历史、诊断病害的珍贵依据。

碎片重生：西立佛的数字拼图

来到云冈石窟第20窟前的游客，大多会被露天大佛庄严的微笑所震撼。他们热衷于在佛前击掌拍照，留下与大佛“隔空击掌”的趣味瞬间。但鲜有人知，在这尊标志性大佛的西侧，千年前曾立着一尊与之对称的西立佛。那尊佛像在北魏延昌元年（公元512年）的一次大地震中轰然坍塌，残骸被岁月掩埋，逐渐从人们的记忆中消失。

1992年，考古工作者在第20窟西侧坡地的考古发掘探方内，发现了130多块佛像纹饰石块。这些石块被红烧土覆盖，堆放无序，大多为方形。仔细观察，纹饰雕刻手法娴熟，线条流畅，纹理清晰，与第20窟东立佛纹饰一致。

这些残石都是在北魏文化层发现的，因此考古专家认为西立佛早在北魏

时期就坍塌了。从小在云冈石窟长大的云冈研究院研究员小中介绍说，“西立佛身躯部分有一层泥质岩层，比较疏松、脆弱，在开凿完成不久后工匠们剔除泥质岩层又重新用好的石块雕出西立佛，然后挂到后面的岩石上，这一点可以从西立佛残石上人为的凿痕和卯口看出。但可惜后来又倒下了，人们就把它从窟内运到窟外就地掩埋了。”

这批碎石20多年来一直在库房保存着，2014年，拼对工程正式启动。研究人员在体积庞大、形态各异的石块中，寻找着细微的拼对线索。

回忆起这项工作，曾主持整理和拼对工作的小中表示，这是世界上最累人的“拼图游戏”，“无论是线图、拓片或是照片都是平面的，而石块是立体的，又大又重，很难拼起来。所以更多的时间里，我们就是对电脑看照片、找原石、反复观察、寻找规律。”经过一年半的工作，终于把这尊立佛所有的石块拼了起来。

虽然石块拼了起来，但佛头一直下落不明。云冈研究院借助现代数字技术，对每一个残块进行三维扫描、数据计算，再通过人工智能辅助，2021年对西立佛做出了虚拟修复和缩小比例的3D打印形象。

数字技术的引入，为西立佛的重生带来了转机。云冈研究院的数字化团队对每一块残石进行高精度三维扫描，将它们转化为虚拟空间的数字模型。在计算机中，技术人员可以不受任何物理限制，反复尝试拼对：两块边缘是否吻合？纹饰的走向是否连贯？色彩与质感的过渡是否自然？算法甚至能够根据表面纹理的连续性，为拼对方案提供概率建议。经过数千次虚拟排列与比对，原本散乱的碎片逐渐聚合——佛足、腿部、衣摆、身躯、头部依次归位，一尊身姿挺拔、衣纹流畅的立佛形象终于在屏幕上完整呈现。

“如果没有数字技术，这尊佛像可

能永远只能躺在库房的架子上。”云冈研究院数字化团队成员感慨道，“数字复原不仅让西立佛重新站立起来，更重要的是，拼对过程中的每一次成功与失败，都加深了我们对北魏雕刻工艺、石材特性乃至地震破坏机制的理解。这种知识的积累，比单纯的复原本身更加宝贵。”

如今，这尊数字化的西立佛已经走进国内多家博物馆的展厅，通过投影与AR技术，向观众讲述西立佛从坍塌到重生的传奇经历。而它的实体依然安静地保存在库房中，等待着某一天，当实体拼对技术足够成熟时，也许能够真正恢复原貌。

跨时空传播：当云冈“走”出山西

“云冈石窟的艺术价值是世界性的，但过去只有亲自来到大同的人才能感受到它的震撼。”云冈研究院数字化中心主任宁波介绍，“现在，通过高精度数据采集和3D打印，我们可以将洞窟分解为数百个模块，打印后运输到任何地方进行组装。误差控制在2毫米以内，普通观众完全察觉不到这是复制品。云冈石窟数字化技术让各地游客看到了不一样的石窟之美。”

近年来，云冈石窟的“数字分身”已先后走进北京、上海、深圳、杭州等城市，甚至走出国门，行走世界。每一次亮相都引发观展热潮——人们排着长队，只为一睹这座“可以移动的世界文化遗产”。宁波说，数字化让云冈突破了地理的藩篱，在更广阔的空间里传递着东方文明的魅力。

智慧云冈：算力支撑的未来图景

在云冈研究院院内，有一个在文博界堪称“顶配”的设施——云冈超级算力中心。数十台服务器昼夜运转，处理着来自各个洞窟的海量数据，支撑着三维建模、AI分析、虚拟修复等繁重计算任务。



对云冈石窟的三维数据采集作业

“有了算力中心，我们不再依赖外部云计算平台，数据安全得到根本保障。”宁波说，“更重要的是，它让我们有底气开展更深层的研究。”目前，云冈研究院正尝试将人工智能引入洞窟研究，智慧景区规划设计围绕“智慧+文化+旅游”的核心内容开展，在数字化技术的推动下，云冈石窟更加绽放出绚烂的光彩。

从手工测绘到毫米级扫描，从物理修复到数字复原，从固定展陈到全球传播，云冈石窟的数字化之路已走过二十余载。这条路没有终点——随着技术的发展，今天的“前沿”终将成为明天的“传统”，但云冈人坚信：只要数据不断积累、技术不断迭代、理念不断更新，武周山南麓的佛陀微笑，必将在数字世界里永恒绽放，让千年之后的子孙后代，依然能够感受到这份来自北魏的庄严与慈悲。

塞纳河畔的云冈倩影

许玮

参观了第20窟露天大佛后，云冈雕刻艺术的精华部分便基本欣赏完了。第20窟以西的武周山崖壁上，集中了云冈晚期雕凿的绝大多数洞窟，虽规模较小，但分布密集，主要洞窟有25个。它们尽管不是北魏皇家雕刻，但同样呈现了那个时代的艺术风貌，与东中部的皇家窟区共同组成了云冈1公里的艺术艺术长廊，而第30窟就在这些晚期洞窟中。

置身第30窟前，西壁上层的一个硕大盗洞赫然入目，叹息之余，禁不住猜想，原本这里有一尊什么样的造像呢——是佛，还是菩萨、弟子？究竟有着怎样的容貌，竟至于被盗凿者无情掠



现藏巴黎吉美博物馆的云冈石窟第30窟西壁立佛

走？而盗洞两旁的造像，有的保存尚好，有的已风化严重，满眼沧桑。

原来，此处被盗前，本有一尊立佛，大约在1907年—1925年间被盗，现藏法国巴黎吉美博物馆。我在画册里看到过那尊佛像，神态安详，眉眼含笑，既呈现了佛国世界的静谧，也传达出1500多年前北魏工匠雕刻时的虔诚，但佛像胸部和脚腕处有明显切割黏合的痕迹。百多年前的盗凿，无情地破坏了这尊佛像的完整，致使佛像流落他乡，成了“不归宿”，也使游人无缘亲见那佛像的美。

我渴望见到那尊佛像在吉美博物馆的展陈现状，而机缘真的就是一种等待。

2025年1月，偶然的的机会，我结识了从法国回来过春节的游客尹衍鑫。他原籍山东青岛，后移居法国，但年年都要回来陪父母过春节，因为有充裕的时间，所以回国后开始了一次长途旅游，到国内的许多地方看古迹、赏名胜。山西的名胜古迹对他吸引最大，特别是云冈石窟，是他向往已久的。

正是腊月天，大同滴水成冰，但尹衍鑫还是冒着严寒参观了云冈石窟。参观结束后，他和我聊起对云冈的美好印象，既震撼于1500多年前古人的伟大创造，也为今日云冈保护与研究的成果点赞。当我提及云冈有许多造像被盗，并流散海外时，他表现出了深深的关切和忧思。他说：“我在参观的时候，留意到了洞窟内外那些被盗的痕迹，特别是一些很明显的盗洞。”当我告诉他有两尊造像目前就“落户”巴黎时，他顿时感到惊讶，便询问我都是哪几个窟的造像，说着，翻出了手机里的照片。

他拍的云冈照很有意境。隆冬的武周山下，荡漾着历史的气象，而这气象显得如此缥缈——云冈本来近在眼前，可离我们又如此遥远。我把几处明显的盗窟指给他看，他不时流露出惋惜之情。我说：“第16窟东附洞中层右壁的一尊交脚弥勒菩萨、第30窟西壁的一尊立佛被盗后，辗转流落，分别藏于巴黎的赛努斯基博物馆和鼎鼎有名的吉美博物馆”，还让他看了我手机里的照片。他再次表现出了兴奋，不是为造像被盗兴奋，而是因为他生活在巴黎，欣

赏这两尊造像很容易，便说：“等我回去后，一定要到这两家博物馆参观。”而这，也是我的心愿。

临近过年，尹衍鑫结束了旅游，但他没有忘记那两尊“落户”巴黎的云冈造像，一过年，便飞回法国，可因工作忙，没能立即去那两家博物馆，又不愿挤时间走马观花，所以一直到4月12日，巴黎春花绽放的季节，他才有了逛博物馆的充裕时间。他先去了吉美博物馆，从他住的地方到吉美不算远，半小时的地铁。

吉美博物馆位于巴黎第16区，最初由法国实业家埃米尔·艾蒂安·吉美于1879年在里昂创立，1889年迁至巴黎。一踏进吉美博物馆，尹衍鑫便寻找云冈第30窟西壁的那尊佛像。很快，佛像映入了他的眼帘。他赶紧拍照，发给了我，因为中国和法国有近七个小时的时差，所以，他参观吉美是在午后，而我欣赏照片却是在晚上。

佛像高132厘米，跏趺而立，肉髻高耸，脚趾残缺，头后有头光残留（明显修饰过）；左手下垂，四指弯曲，呈与愿印，右手高举，掌心向外，呈无畏印；瘦削削肩，笑容温婉，属于云冈晚期典型的“秀骨清像”风格；身着褒衣博带，衣纹呈阶梯状，褶皱舒缓，尤其是胸前的一条结带，自然搭于左腕，显得飘逸而灵动；脸部和脚面的包浆已然变黑，掩盖了砂岩原本的色彩，是沉淀了时间厚度的显证。

佛像静静地立于展台上，以千百年不变的微笑，迎接着南来北往的参观者。尽管132厘米的身高算不得高大，但当年漂洋过海、辗转运输，石质文物是沉重的，也是易碎的，所以，胸部和脚腕处留下了切割痕迹——可能是盗凿时有意分割，也可能是装箱时分割，抵达目的地后再黏合。

佛像旁，配有法文简介，告知观者造像的基本情况。尹衍鑫帮我作了翻译，大意是：“中国北部，山西云冈石窟，砂岩质地，北魏（386—534）雕刻，1926年由一个叫‘大卫·威尔’的人捐赠，编号是2730。”简介上说，这尊佛像出自云冈第26窟，但在“26”后面打了个“？”，大概不确定是不是这个窟，实则，他来自今日云冈的第30窟。

从尹衍鑫发给我的照片可见，在这尊佛像周围展陈的，皆是来自中国不同历史时期的石雕艺术品，但这尊佛像尤为显眼。他知道身在异国他乡吗？知道离开“云冈大家庭”已经一百多年了吗？在吉美博物馆数以万计的藏品和展品中，人们凝神驻足在他面前，被他的精美打动，也被他的微笑打动，但谁能感知到他无声的思乡之情呢？

不久，尹衍鑫又去了赛努斯基博物馆，为我拍了第16窟东附洞被盗的那尊交脚弥勒菩萨。

赛努斯基博物馆位于巴黎第8区蒙梭公园附近，是法国第二大（仅次于吉美博物馆）、欧洲第五大亚洲艺术博物馆。当尹衍鑫给我发来云冈第16窟东附洞中层右壁那尊交脚弥勒菩萨的照片时，我感觉到那微笑透着睽违千年的亲切。

这尊菩萨于1918年—1922年间被盗，高167厘米，头戴山岳冠，左手抚膝，右手高举，掌心向外，呈无畏印，但手指均已破损，服饰风格与纽约大都会博物馆所藏那尊弥勒菩萨相同。从被盗至今拍摄的照片可见，菩萨脚旁原有两尊狮子，但现在已经没有了，可能在偷盗的时候被凿掉，也可能是“落户”博物馆后有意修掉，倒是保留了菩萨脚下的一排忍冬花纹，为造像增添了几分细腻和妩媚。这尊菩萨曾被赫赫有名的文物商王涅克收藏，关于王涅克，网上可以找到的一些介绍。他参与过民国时期大同浑源李峪青铜器的盗卖，而李峪青铜器的首次展出，便是1924年在赛努斯基博物馆。

与这尊交脚弥勒菩萨一道展出的，还有云冈石窟的一尊较小的持琵琶伎乐天，和云冈第21窟东壁第三层龛楣格内的琵琶伎相似，梳高发髻，面容温婉，怀抱曲颈琵琶，左手持颈，右手弹奏，表现“极乐世界”乐舞供养的欢乐场景，只是腿部以下残缺。

塞纳河蜿蜒流淌，河两岸的博物馆里，一定还有鲜为人知的云冈造像。尹衍鑫感慨，“人类靠虔诚创造了艺术，但又因贪念的驱使下破坏了艺术。”我感谢他让我一睹云冈流失造像的美，而那些倩影、那些久远的往事，等待人们拨开尘封的岁月，细细寻索、聆听。

中国科学院地质与地球物理研究所与云冈研究院举办学术交流



中国科学院地质与地球物理研究所与云冈研究院学术交流会场

本报讯（记者 赵喜洋）3月22日，中国科学院地质与地球物理研究所与云冈研究院学术交流会在云冈研究院一楼多功能厅召开。中国科学院地质与地球物理研究所科技处处长许晨曦、研究员张路青、董艳辉、王礼恒、张倩、安志国，中国地质大学教授蒋小伟应邀参会。云冈研究院文化遗址保护与监测中心主任卢继文、副主任闫宏彬及中心技术人员参加会议，会议由云冈研究院党委委员、副院长闫丁主持。

本次学术交流会聚焦云冈石窟保护核心需求，双方围绕石窟水害勘察和治理、地球物理勘探技术应用、石质文物保护项目等关键议题展开深度研讨和交流，提出了后续合作的内容和方向。会后，全体参会人员赴云冈石窟现场开展实地踏勘，细致考察石窟区域地质环境和水土现状，随后结合现场实际情况，进一步对拟合作的项目开展深入探讨。

此次学术交流，成功搭建起云冈研究院与中科院地质与地球物理研究所的科研合作桥梁，有效实现了文物保护与地质科学领域的知识共享、技术互通，为云冈石窟后续水害治理及相关文物保护项目的开展奠定了坚实的科研与合作基础。双方将以此次交流会为契机，持续深化产学研协同合作，整合双方优势资源，充分发挥地质与地球物理研究所地质科学专业的技术优势，为世界文化遗产云冈石窟的保护提供专业技术支撑。

“2026全国博物馆展览策划与实施培训班”开班

云冈研究院宁波作专题分享

本报讯（记者 赵永宏）近日，由中国文物交流中心指导，国文馆（北京）文化发展有限公司、文博联合主办的“2026全国博物馆展览策划与实施培训班”开班。本次培训班旨在以“打好基础、掌握流程、能做实操”为目标，聚焦博物馆展览策划与实施的核心环节，系统讲解展览全流程的基础方法与实践经验。

在培训班第六讲中，云冈研究院数字化保护中心主任、副研究员宁波以《数字技术在展览中的融合应用》为题作专题分享。他通过“博物馆文物的三大分类与数字化展示需求”“典型数字展览案例解析”“数字技术的特点与适用范围”“文物数字化数据的管理与应用”“数字化展览的策划要点与注意事项”五个方面系统讲解了近年来云冈石窟数字化展览展示的具体案例，他还介绍了主流数字技术类型及应用场景、技术应用原则，以及数字展与实体展的融合策略。