



# 从石刻到云端：云冈石窟的数字化“永生”密码



山堂水殿

走进大同市云冈石窟景区，工作人员运用近景摄影测量设备和三维激光扫描仪等现代科技“神器”，小心翼翼地捕捉着石窟的每一处印记，犹如一场跨越时空的对话。从高达17米的洞窟到仅有几厘米高的小佛像，每一处细节都逃不过他们的“慧眼”。近日，国家知识产权局公布了“数据知识产权登记第二批十大经典案例”，云冈研究院“云冈石窟本体三维模型数据”案例成功入选。

5月23日，《科学导报》记者在采访中了解到，该院凭借优质资源条件、政策环境优势，把数据作为新时代发展新质生产力的关键要素，深化产业转型，大力发展战略经济，率先利用云冈石窟“数据要素”资源，实施“数据资源汇聚融合，赋能文物保护利用”数字化实践工作，采用三维激光扫描与近景摄影测量技术，采集并生成了云冈石窟第13窟本体三维模型数据，取得了山西省首张数据知识产权登记证书。数字化技术为云冈石窟的保护和修复提供了强大支撑，让古老的文化遗产从线下延伸到线上，让更多人

看见云冈之美。

“云冈石窟的数字化保护，是我们团队面临的一次巨大挑战。”武汉大学文化遗产数字化保护团队黄先锋教授说。2015年，云冈研究院（时称云冈石窟研究院）与武汉大学合作，依托三维重建技术攻克了石窟复杂结构建模的难题。在对云冈第13窟进行整窟数字化的过程中，团队运用三维激光扫描和近景摄影测量等技术，采集了28.34万张高清影像，构建了误差小于0.1毫米的三维模型，首次实现了主佛衣纹、力士托举臂等砂岩雕刻的毫米级还原，在数字时空中实现“青春永驻”。

据了解，数智技术还为石窟美术考古研究提供全新方法论与工具。云冈石窟第20窟立佛在北魏发生了坍塌，原貌不得而知。如今，基于人工智能的造像聚类研究，让北魏石雕艺术与当代数据矩阵产生跨越时空共振，133件排列有序、朝向各异的造像残块在虚拟空间实现重组，为开展石窟虚拟修复和流失海外石窟数字化复原积累有益经验。

云冈研究院党委书记刘建勇表示，

展览是石窟艺术传播的优质载体，三维激光扫描、3D打印等技术的融入，为丰富展览艺术叙事带来更多可能。按原比例复制的第12窟“音乐窟”，以方便拆装的积木式拼接，成为全球首例可移动3D打印复制洞窟，在各地巡展中广受好评。“芥子纳须弥：云冈石窟艺术特展”上，第38窟复制洞窟与沉浸式多媒体相结合，让观众身临其境，实现云冈美学的创新传播。数智时代，云冈石窟的保护和研究，机遇与挑战并存，不仅要留住形，更要守住魂，以文化之美、艺术之美、科技之美，照亮文明共生之路。

在云冈石窟绵延一公里的崖壁上，第7、8窟犹如镶嵌其中的两颗璀璨明珠，承载着北魏王朝最华美的艺术想象。为推动文物保护与科技深度融合，云冈研究院宣布于5月13日—9月30日对这组双窟实施临时封闭，启动高精度数字化信息采集工程。此次计划通过构建全息数字档案、建立颜色光谱数据库等前沿技术，为千年石窟打造永不褪色的“数字孪生体”。据项目负责人介绍，这些数据将经过专业处理，生成从原始高精度

模型到轻量化网络版本的多等级数字成果。高精度模型将用于学术研究和预防性保护，而轻量化模型则可通过AR、VR等技术，以更亲民的方式走进大众。未来，即使远隔千里，观众也能通过数字平台“走进”洞窟，360度欣赏精美的雕刻细节，聆听专家的深度解读。

从北魏工匠的凿刻斧痕，到现代科技的数字光影，云冈石窟第7、8窟的数字化工程，不仅是对历史文化的深情回望，更是对未来文明的郑重承诺。当古老的石窟艺术与前沿科技相遇，我们有理由相信，这些凝结着人类智慧的文化瑰宝，必将在数字时代绽放出更加璀璨的光芒。云冈石窟的数字化成果，不仅为考古学家、历史学家等学者提供了一座取之不尽的学术宝藏，更通过数字化展示和传播，打破了时空的限制，让世界各地都能领略到云冈石窟的绝世风华。数字化保护犹如一把神奇的钥匙，将为云冈石窟的保护、传承与发展开启一扇全新的大门，让这座千年瑰宝在数字时代的舞台上大放异彩。

《科学导报》记者 杨洋

## 让文物焕发新活力 绽放新光彩

—写在“文化和自然遗产日”到来之际

本报记者 赵永宏



讲解员耐心讲解

6月14日是2025年“文化和自然遗产日”，其活动主题是“让文物焕发新活力 绽放新光彩”，这一日，当我们再次凝望云冈石窟那于风霜中屹立千年的巍峨石壁，我们仿佛触碰到历史脉搏的深沉律动。那石壁上的千年微笑，那衣袂飘飞间的风姿神韵，早已超越了冰冷的岩石本身——它们是民族血脉的活态基因库，是文化自信的无声基石。加强以云冈石窟为代表的文化遗产保护传承利用，正是当代云冈人共同的责任与使命，更是书写中华文明的必由之路。

**筑牢根基，让千年瑰宝在科技守护中“活”得安稳**

云冈石窟与时间、风雨的无声较量从未停息。石窟渗水、石质风化、色彩剥落……这些岁月的侵蚀始终是悬在文物头顶的利刃。然而，现代科技之光、数字化重生正为守护这些无价瑰宝注入全新力量。高精度三维扫描如一双慧眼，将佛像的每一处微妙细节都悉数录入数字化档案，即便物理形态终将消逝，其虚拟影像却能永驻；环境监测

传感网络则如敏锐的神经末梢，实时感知洞窟内温湿度、微气候的细微波动变化，为科学调节保护措施提供精准依据；那些精心研发的微粒子灌浆材料，正如同无声的“文物医生”，悄然渗入岩石肌理深处，弥合历史裂缝，重续文化筋脉。这些尖端技术手段，正为云冈石窟披上无形的“科技金甲”，让“延年益寿”从梦想愿景变为可触可感的现实。铸牢根基，就是要让文物的物质本体在科技之翼的庇护下，真正“活”得安稳长久，为后续一切活化利用奠定坚实的基石。

**凝聚众志，让守护传承在全民参与中“活”得久远**

文化遗产的保护传承绝非少数人的事业，其真正的生命力扎根于全社会共同参与的沃土之中。公众的无私奉献与切实参与，是守护文化遗产最深厚的力量源泉。无论是云冈石窟专业讲解员细致入微的深度阐释，还是志愿者在文化遗产地默默奉献的热忱身影；无论是校园里生动有趣的“云冈文化进课堂”活动，还是借助新媒体平台让石窟艺术以更轻盈姿态“飞入寻常百姓家”——这些努力都在不断拓宽公众认知的边界，也在播撒着珍视文物的情感火种。当“保护成果全民共享、保护责任全民共担”的理念深入人心，当每一个普通人都能自觉成为文化遗产的守护者、宣传者、受益者，文化遗产的生命之树才能根深叶茂，生生不息。

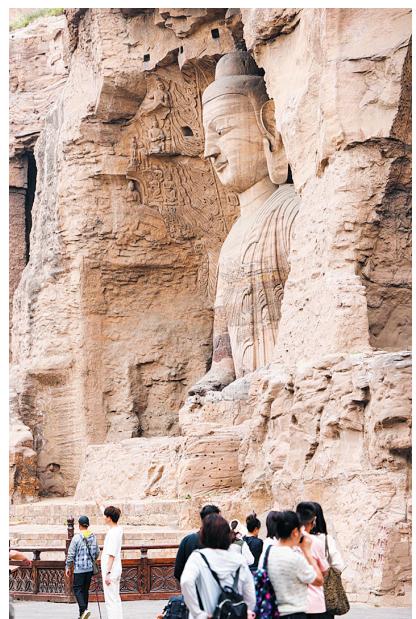
**以文铸魂，为文化建设汇聚磅礴力量**

守护好云冈石窟这样的文化遗产，其意义远不止于保护一处古迹本身，它更是构建中华民族现代文明、建设文化强国的关键支点。这些历经沧桑的文物，是无可替代的文化“身份证”，它们无声地诉说着“我们是谁，从何处来”的宏大命题，是文化自信最坚实的基石与最生动的教材。当我们成功激活这些沉睡的文化基因，使其在当代社会焕发出蓬勃生命力与巨大号召力，便能汇聚

成云冈文化的永生力量。

值此“文化和自然遗产日”到来之际，我们再次凝望云冈石窟那穿越千年的沉静面容，更加深知，守护文化遗产，是历史赋予我们的沉甸甸的考卷。唯有以敬畏之心铸牢保护根基，以创新之思激活历史文脉，以全民之力共担传承使命，方能让每一件沉默的文物都能成为跳动的文化火种，让它们承载的古老智慧与永恒之美在新时代真正“活”起来、“火”起来，最终绽放出无与伦比的新光彩。

当云冈的风拂过今日的面庞，那石壁上的千年微笑亦在无声诉说：守护文物并非一朝一夕之事，更是以历史之光照亮民族未来征程的壮举。我们精心修复的每一道历史刻痕，我们赋予的每一个崭新表达，都在为文化自信的大厦添砖加瓦。让每一处文化遗产成为民族复兴路上的永恒灯塔，当它们真正融入现代生活的血脉，那沉淀千年的智慧与美，必将焕发出永不褪色的时代新光，照亮我们通往文明之路的辉煌起点！



怀着敬畏之心参观云冈石窟

## 2025年石窟寺保护与传承学术研讨会部分发言选登（一）

**【编者按】**2025年石窟寺保护与传承学术研讨会已经结束，全国各地石窟寺和文物保护与传承研究领域的专家学者围绕石窟寺保护、研究、利用以及云冈建设的发言，给与会者留下深刻的印象。研讨会设置“石窟寺文化遗产保护”“石窟寺考古与研究”以及“文化遗产传承与利用”3个研究专场。与会者围绕相关议题展开了严肃激烈的讨论，各抒己见、深入交流，碰撞出思想的火花，最终收获了众多研究成果，在学术探讨与知识交流方面取得了显著成效。本期开始，“走进云冈”选登部分发言内容，以飨读者。

### 云冈石窟的保护成效及亮点

闫丁（云冈研究院党委委员、副院长）

作为公元5世纪中西文明交融的艺术典范，云冈石窟自1961年列入首批全国重点文物保护单位，至2001年入选世界文化遗产名录，其保护体系历经数十年探索日臻完善。2021年云冈研究院的成立，标志着云冈石窟专业化、科学化保护迈入新阶段。研究院整合文化遗产保护与监测、数字化研究、考古等多部门资源，统筹云冈石窟及周边3处国保单位，构建“保护优先、科技赋能、多学科联动”的科研模式。

云冈石窟的保护实践彰显了文化遗产可持续管理的中国智慧：以科技突破传统保护局限，以法治规范传承与利用，以开放合作凝聚各界共识。其经验为世界石窟类遗产管理保护提供了范本，在守护历史根脉的同时，激活文化生命力，让千年艺术在当代焕发新生，成为文明互鉴的永恒桥梁。

**基于微渗流评估方法的石窟渗水病害精细水文地质学新理论研究**

王金华（复旦大学文物与博物馆学系教授）

石窟寺保护面临挑战，如岩体失稳、渗水病害等，基于微渗流评估方法的石窟渗水病害精细水文地质学新理论，旨在破解我国砂岩质石窟渗水治理的技术瓶颈：一是构建动态化、多尺度的水文地质场景分析系统，聚焦毫米级裂隙渗流通道的特征，突破传统理论对微小渗流网络评估的不足；二是提出“径流区关键区域”重点防治策略，将崖壁强卸荷带作为渗水治理的核心靶区，因其兼具垂直与水平水流交互作用；三是创新“微渗流系统”评估方法，通过划分微观地貌单元和独立水文地质单元，揭示渗流路径的空间分异规律。该理论不仅为石窟渗水病害防治提供了技术支持，更从交叉学科视角推动文物保护理论的范式革新。其将水文地质学与文物保护实践深度融合，兼顾自然科学的精密性与社会科学的文化价值考量，呼应了国家文化自信战略对文物“活态保护”的要求，标志着我国从经验性修复向科学化、精细化保护的跨越，为全球石质遗产保护贡献了中国智慧。

**文物 保护中的植物根系—岩土体相互作用机制研究**

仇文岗（重庆大学土木工程学院副院长、教授）

当前文物保护面临植物根系威胁，

现有研究在“根系—岩土体”系

统耦合作用机制、根系动态特性模拟及量化

评估方法等方面存在不足。其团队基

于离散元方法构建根系自主生长模

型，模拟根系生长路径与力学效应，发现根

系长度、直径、分布等参数对岩土体孔隙率、应力分布影响显著，且不同土体

级配、密实度等参数也会改变根系作

用效果。研究表明，根系通过挤压效

应增强土体力学性能，但不当发育会破

坏文物结构。未来研究将聚焦多尺度耦合

机制与动态建模，为遗址生态加固提供

精准策略，推动文物保护领域的科技创

新与应用。

评述：几位专家的研究从不同维

度深化了文化遗产保护的理论与实践，展

现了多学科交叉融合的创新思路与本

土化解决方案的独特价值，共同诠释了

文化遗产保护的科学性、系统性与人

文性，既需以技术创新攻克自然侵

胁，亦需以制度设计平衡保护与发

展的矛盾，更需以文化叙事激活遗产

的社会生命力。其成果不仅为我国石窟

类遗产的可持续管理提供了方法论支

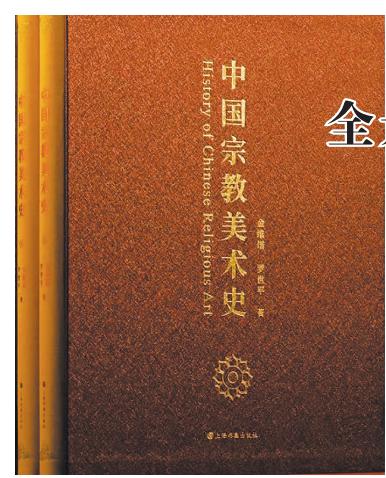
持，更从理论范式与实践路径上为全球

遗产保护贡献了中国智慧。

评述人：黄继忠

## 全景展现中华文明多元一体的精神审美图景

《中国宗教美术史》重磅发布



《中国宗教美术史》封面

本报讯（记者 赵喜洋）中国宗教美术的发展历程，生动诠释了中华文明多元一体的文化格局。从原始先民观

物取象萌发的宗教情结，到本土宗教的体系化建构，再到多元宗教的融合共生，宗教美术始终保持着鲜明的民族审美特质，形成了“立足本源、兼收并蓄”的独特发展路径。

随着考古发现与学术研究的持续推进，作者历经30载的学术积淀，全新版《中国宗教美术史》隆重出版！这部18章60万字、配图600余幅的鸿篇巨制，不仅填补了多项研究空白，更通过跨民族、跨地域、跨宗教的整合视角，重塑了传统艺术史的叙事范式。在全球文明对话的当下，新版《中国宗教美术史》以扎实的学术内涵和开阔的文化视

野，彰显了中国宗教美术的独特魅力，为理解中华文明的连续性与创新性提供了重要的学术文本。新版《中国宗教美术史》由上海书画出版社出版，孙华、龙新江、杭侃、赵莉联袂推荐。

《中国宗教美术史》这部具有开创性意义的通史著作，通过聚焦中国宗教美术演变过程中各门类的本体类型，以中国源文化与外来文化间的互动为线索，整理出宗教义理与美术表现形态的互动关系，对中国宗教美术主题内涵的变迁、图像样式的演进、造像语言与审美形态的嬗变乃至各宗教美术的文化语境、地域特色、匠作群体等错综复杂的系列问题作出系统梳理，深入细致地勾勒出中国宗教美术从起源发端而至波澜壮阔的文脉传承，呈现了中国宗教“初若矛盾相向，后类江海同归”之于审美历程的多样化和丰富性。

全球223处遗产（占总数近20%）受

1277座水库直接影响，其中文化遗产占比超90%，集中分布于欧洲和亚洲。通

过整合UNESCO遗产数据、全球水库

数据库及地质灾害资料，构建多源数据

库，提出基于核密度分析的历史灾害本底风险（RD）、结合水库特征与灾害史的综合风险系数（R1），以及纳入气候变化预测的未来风险模型（R2）。研究结果表明欧洲遗产多数属中低风险，东亚如中国炳灵寺石窟等个别案例因泥沙淤积、水位波动被列为高风险；未来气候变化或使整体风险降低，但木质遗产、森林类自然遗产仍面临较高威胁。其价值在于通过量化模型为风险分级提供科学依据，强调需结合地理信息技术与跨学科方法实现动态监测。遗产保护不仅是技术问题，更是协调发展与文化传承的全球议题。面对气候变化与水利开发的双重压力，需以“韧性保护”理念平衡生态需求与遗产存续，推动国际合作机制，将遗产安全纳入可持续发展目标，守护人类共同记忆的物理载体。

**云冈石窟岩石含水率动态变化规律及盐风化机理**

蒋小伟（中国地质大学（北京）水资源与环境学院副院长、教授）

干旱气候下的水汽凝结是洞窟水分的主要来源，夏季高湿度环境导致壁面频繁出现凝结水，其动态变化直接影响岩石含水率。通过FDR传感器监测发现，洞窟浅层（5~40厘米）岩石含水率随深度增加而升高，但波动幅度递减，干湿循环深度通常小于1米，极端高湿条件下可达1.2米。风化机理方面，浅层岩石因反复干湿交替出现显著劣化：密度降低、大孔比例增加、易风化矿物（如白云石、黑云母）含量减少，Fe、Mg、Ca等元素流失明显。云冈石窟第4窟的严重风化区更检测到硫酸镁盐富集，结合历史酸雨数据证实酸雨输入的硫酸盐是盐风化的关键诱因。该研究为石窟水盐运移监测及风化防治提供了科学依据。

**文物保护中的植物根系—岩土体相互作用机制研究**

仇文岗（重庆大学土木工程学院副院长、教授）

当前文物保护面临植物根系威胁，现有研究在“根系—岩土体”系

统耦合作用机制、根系动态特性模拟及量化

评估方法等方面存在不足。其团队基

于离散元方法构建根系自主生长模

型，模拟根系生长路径与力学效应，发现根

系长度、直径、分布等参数对岩土体孔隙率、应力分布影响显著，且不同土体

级配、密实度等参数也会改变根系作

用效果。研究表明，根系通过挤压效

应增强土体力学性能，但不当发育会破