

感知入微 精算循理 预判于先

——基于多维环境感知与数理模型预测的博物馆藏品预防性保护系统

唐铭

文化遗产数字化案例

博物馆藏品作为人类文明记忆的物质载体，是连接过去与未来的文化纽带，其保存状态关系到文明根脉的赓续与传承。预防性保护的核心在于依托系统化监测、科学化评估和前瞻性干预，将藏品环境风险识别、量化与调控前置化，从而使藏品在安全稳定的保存环境中得以“延年益寿”。文物保护由“抢救性保护”向“预防性保护”转型、管理模式由“经验主导型”向“数据驱动型”升级，已成为新时代博物馆高质量发展的重要方向。长期以来，传统的博物馆环境监测存在“单点离散、重测轻预、被动响应”等问题，即孤立的监测点导致环境分布特征未知，系统可超限报警但缺乏趋势预判，保护工作往往陷入“风险发生、被动处置、再发再治”的循环。

针对上述问题，中国国家博物馆预防性保护研究团队立足行业共性需求，联合国内多所高校及科技企业开展攻关，构建起基于多维环境感知与数理模型预测的藏品预防性保护系统，助力藏品保护从“被动应对”到“主动防控”、从“局部监测”到“全域感知”、从“经验判断”到“模型推演”的转变，为博物馆环境风险智能感知和科学管控提供了新的技术路径。

全域感知，重构空间环境认知

传统的博物馆环境监测系统犹如盲人摸象，依赖有限监测点位获取数据，无法反映全空间环境的连续分布，空间覆盖不足与可视化效果不佳相互叠加，导致藏品环境态势认知碎片化。

该系统采用“感知—网络—数据—算法—应用”技术体系，以建筑技术学、传质学、流体力学等学科理论为根基，融合物联网、大数据与三维可视化技术，搭建覆盖“藏品保存与展示”全场景的环境感知网络，实时监测温湿度、光照、污染物等多维环境参数。在此基础上，将监测数据、历史环境数据、文物本体信

息、建筑信息及展陈方案信息等进行整合归集，为环境评估、风险预测和科学决策提供数据支撑。

该系统建立三维可视化环境场景模型，融合计算流体力学(CFD)模拟与数据同化算法，将离散传感器数据重构为连续、动态的空间场势图谱。通过子空间剖切、剖面对比和坐标联动分析，实现环境参数空间分布的直观呈现与风险源的精确定位，管理人员可据此识别环境时空变化规律，为空调运行优化、展陈布局调整及环境调控提供量化依据。环境管理从局部监测升级为全域认知，从离散数值转向连续场感知，切实解决测点有限导致全域环境难掌握、“监测盲区”使调控缺乏依据的行业难题。

因材施教，从“经验控制”迈向“科学评估”

光照是影响丝织品、古画等有机质文物保存的关键因素。传统照明管理依赖经验，缺乏对不同材质在特定照度、光谱和照射时间下损伤程度的量化方法，“照度达标即安全”的粗放做法普遍存在。例如，一件丝织品能展多久？一幅古代纸质书画年损伤量多少？这些问题过去只能凭经验估算，难以给出科学答案。

该系统建立光照损伤测算模型，结合材质特性、光照度、光谱和曝光时间，实现损伤量精确计算与安全展期科学评估。以纸质书画为例，模型可输出其在给定照明下的损伤速率和总限值，为展陈照明设计、文物展示利用和展期管理提供科学照明方案。在保障观展效果的同时，将光老化风险控制在安全范围内。

馆藏文物照明管理从经验驱动向数据驱动转变，使得藏品光环境控制不再是“差不多”的模糊控制，而是“算得清”的精细化管理，藏品预防性保护决策也因此更加科学和精准。

循数预判，从“事后治理”迈向“前置预防”

展陈空间污染物来源多样，如展柜和装

饰材料散发物、温湿度变化引发的化学变化产物等，会损害文物保存微环境。传统管理模式通常在污染物浓度超出安全阈值后采取处置措施，对于污染风险的形成过程缺少提前研判，预防性保护工作滞后。

该系统基于材料散发特性和传质理论，研发污染物浓度模拟模型，可预测污染物在展陈空间中的扩散。通过模拟不同材料和空间下的浓度变化趋势，可在展陈设计、施工选材等前期环节提前识别潜在风险，为材料选择、空间布局优化和环境调控提供科学支撑。

模型推动污染风险管理由“事后治理”转向“事前预防”，将保护关口前移至展陈施工与材料选型阶段。管理人员可在展陈方案确定之前就能预判风险、优化决策，藏品保护的主动性和靶向性得到显著提升。

闭环智控，推动保护模式变革

感知与预测的最终落脚点在于支撑科学决策与实现精准调控。传统文物保护模式以事后响应为主，缺少融合文物本体状态、环境调控机理及多学科知识的智能推理引擎，亦未建立基于历史干预效果评估的闭环学习机制，导致系统缺乏持续迭代与自我优化能力。

该系统提出建立面向文物保护目标的协同决策模型，统筹兼顾环境稳定性、能源利用效率与工程可实施性等关键约束条件。在面对环境调控需求时，可生成最优调控策略，并联动各类环境调控设备协同响应。与此同时，系统建立基于历史调控日志与效果反馈的闭环学习机制，实现决策模型的自适应更新与持续优化。

综上，系统实现从“单点监测”到“全面感知”、从“经验处置”到“模型驱动”、从“被动响应”到“主动预判”、从“独立控制”到“系统协同”的多重跃升，形成覆盖“风险预判—分级预警—智能调控”的预防性保护体系，探索形成了可复制、可推广的文保实践路径，藏品保护工作的科学性、系统性与前瞻性得到实质性增强。

面向未来，藏品预防性保护前景广阔、潜力深厚。系统将持续迭代优化三大核心算法，在文物材质光、热、湿敏感性建模，多源数据融合分析，环境风险动态预判等关键技术方向取得突破；同步加快核心技术专利布局与行业标准研制进程，促进技术能力提升与标准体系建设协同并进；应用范围亦将由博物馆逐步拓展至纪念馆、档案馆、文物修复实验室等多元场景，探索形成适用于不同类型文化遗产的预防性保护解决方案。与此同时，深化与国际一流文博机构及科研组织的合作，联合开展基础研究与技术攻关，共享实证应用案例与工程实践经验，推动中国文物保护智能技术走向世界。

感知入微，精算循理，预判于先。从精准感知环境变化，到科学预测潜在风险，再到智能辅助保护决策，科技创新正在不断赋能文物预防性保护，推动博物馆环境管理迈向更加精准、高效、智能的新阶段。

(作者单位：中国国家博物馆)



愿将一生献宏谋

——纪念于敏诞辰 100 周年生平事迹展亮相科学家博物馆

李端

8月16日，正值“两弹一星功勋奖章”、国家最高科学技术奖、“共和国勋章”获得者于敏同志诞辰100周年，中国科学技术协会联合中国工程物理研究院举办的“愿将一生献宏谋——纪念于敏诞辰100周年生平事迹展”在科学家博物馆正式开展。

于敏（1926年8月16日—2019年1月16日），中国共产党优秀党员，中国科学院院士，核物理学家。中国核武器理论研究和国防高技术发展的杰出领军人物之一，为氢弹突破作出了重大贡献，在核物理、中子物理、爆轰物理和辐射流体力学等方面取得多项重要研究成果，为中国核武器事业和国防高技术发展作出不可磨灭的历史性贡献。

本次纪念于敏诞辰100周年生平事迹展以四个篇章为线索，首次全方位、多角度地展现于敏为国铸核盾的一生。第一章“志存高远 科学报国”追溯于敏少年成长历程与求学求索之路，着重体现其少年立志、笃学求真的科学报国初心与远大理想；第二章“献身宏谋 核盾卫国”是展览核心篇章，以时间为脉络，全景展现于敏毅然投身原子核理论研究、攻坚克难主导氢弹研制的壮阔历程，细致呈现其后续在第二代核武器研发、国家高技术事业发展等领域作出的开拓性、引领性卓越贡献；第三章“功勋卓著 国之干城”集中陈列于敏荣获的各类国家级重磅荣誉与表彰嘉奖，全方位展现党和国家、社会各界对其彪炳史册科研功绩、为国奉献崇高品质的高度肯定与庄严礼赞，直观彰显其作为国之栋梁的



愿将一生献宏谋——纪念于敏诞辰 100 周年生平事迹展

卓越地位与不朽功勋；第四章“淡泊明志 宁静致远”立足人文视角、聚焦精神内核，深入挖掘于敏高洁纯粹的个人品德、严谨求真的科学精神、通透深邃的人生哲思与赤诚热烈的家国情怀。

展览主标题“愿将一生献宏谋”取自于敏在庆祝中华人民共和国成立50周年的诗作《抒怀》。

“离乱中寻觅一张安静的书桌，未曾向洋已经砺就了锋锷。受命之日，寝不安席，当年吴钩，申城淬火，十月出塞，大器初成。一句嘱托，许下了一生；一声巨响，惊诧了世界；一个名字，荡涤了人心。”这段文字是2014年度“感动中国”组委会授予于敏的颁奖词，亦是對他毕生为国铸重器、默默守家国的最好诠释。

展览内容涵盖珍贵档案、手稿、信件、著

作等文字资料，以及大量工作照、生活照、纪录片片段等影像资料和奖章、证书、计算机等实物展品，并通过场景还原再现于敏的工作和生活场景。其中，30多份存于中国工程物理研究院档案馆的手稿、讲义、书信等为首次展出。

展品设置与于敏生平事迹紧密结合，通过珍贵历史档案、解密文献回溯于敏爱国奋斗的人生轨迹，记录他把个人理想同祖国命运紧密相连，为我国核武器事业铸就了不朽功勋的峥嵘岁月；通过科研手稿、工作简报，再现其迎难而上、锐意创新、严谨求实、无私奉献的攻关历程；通过讲义、论著、音视频素材，展现他发扬学术民主、奖掖后学的高风亮节。

展览特设中国计算设备发展陈列区，系统展示20世纪60年代计算机、手持计算机至80年代大型计算机的迭代发展历程。在科研条件艰苦、计算设备匮乏的特殊年代，于敏与科研团队依托简陋的传统计算工具，完成海量复杂、精准严谨的运算推演，攻坚克难、突破瓶颈，接连攻克多项核心科学难题。展区不仅直观还原了当年艰苦的科研硬件条件，更生动致敬了老一辈科研工作自力更生、艰苦奋斗的崇高科研精神。

展览同步设立荣誉勋章专题展区，集中陈列于敏荣获的“共和国勋章”“两弹一星功勋奖章”、国家科学技术奖励、劳动模范、道德模范等一系列国家级重磅荣誉。通过一件件珍贵荣誉实物，生动诠释老一辈科学家的科研生涯始终与党和国家命运同频共振、紧密相连。



“融·云冈艺术高校巡展”首展在北京科技大学逸夫科技馆举办

云冈石窟矗立千年，是融合草原、中原、西域文化，见证古代民族交融的石刻史书。云冈研究院联合北京科技大学共同实施国家艺术基金2026年度传播交流推广资助项目——“融·云冈艺术高校巡展”，立足高校文化育人阵地，突破传统石窟展览偏重艺术展示、忽视科研价值的局限，以“融”为核心，围绕民族交融、古今匠艺、文理交叉、数字虚实四大维度，整合石窟历史、古建营造、文物保护、数字化传播等内容。此文以北京科技大学首展落地实践为基础，梳理完整策展逻辑、展区架构与展陈创新模式，阐释巡展多元时代价值，为大型不可移动文物进校园打造可复制、可推广的实践范本。

策划初心：以“融”破局，找准展览时代定位

当前国内石窟类校园展览普遍存在三类短板：一是内容割裂，大多仅聚焦石窟艺术与北魏历史，缺少岩体风化、砂岩修复、地质监测等文物保护理工专业内容，割裂文化遗产历史、艺术、科学三位一体的完整价值；二是展陈形式陈旧，进校园巡展多采用图片、拓片静态陈列，难以适应该代大学生沉浸式、数字化观展需求，文化育人成效有限；三是传播范围受限，云冈石窟地处山西大同，很多青年未能实地参观，蕴藏民族交融内核的石窟文化难以广泛普及。巡展紧扣中华文明探源、铸牢中华民族共同体意识两大时代命题，依托北京科技大学文理交叉科研平台，构建三层递进式“融合”策展主线。

民族交融之“融”是展览的历史底色。平城时期各民族在此交往通商、杂居共处。云冈造像完整留存文化交融脉络，早期昙曜五窟气势雄浑，兼具鲜卑风貌与健陀罗西域艺术特征；中期洞窟汉化特征凸显，十二窟音乐窟中原古琴、西域箏琴、琵琶，直观展现文明互通互鉴。展览摒弃理论说教，通过石窟复刻造像、萨珊鎏金银盘、胡人造像影像等展品，让观众从器物、纹样细节直观感知中华文明多元一体的发展脉络，同时阐释“云冈模式”对河西、河南地区石窟的深远影响，彰显中华文明兼容并蓄、和合共生的鲜明特质。

古今技艺之“融”是遗产守护的核心主线。北魏匠人依据山体岩层特性开凿洞窟，通过增设窟檐、疏导河道等方式规避水患，蕴藏着古人因地制宜的营造智慧。时至今日，石窟长期受岩体失稳、风化、渗水、盐析等病害侵蚀。70余年来，云冈文物保护团队持续开展抢险加固、洞窟防水、病害监测等工作，同步引入微生物矿化加固、洞窟微环境调控等前沿技术，为石窟长效防护提供科技支撑。展览将古代营造技艺与现代保护技术对照呈现，完整梳理了1500余年持续不断的守护历程，让观众体悟历代匠人一脉相承的文物守护初心。

数字虚实之“融”是全国巡展的传播载体。云冈石窟历经20余年数字化建设，已完成80%洞窟三维数据采集。依托完整数字档案，展览展出60余件3D打印的复刻塑像及出土文物，突破不可移动文物的地域限制；搭配VR洞窟漫游、AI造像生成等数字化交互手段，以年轻化、沉浸式形式活化云冈石窟文化，契合青年线上分享、互动体验的行为习惯。

三条主线层层递进，展览方案明确划分三类受众：一是学术育人，配套专题研讨活动，兼顾大众观赏与专业学术研究；二是青年赋能，全部交互设备、文创打卡设计结合学生使用习惯，降低传统文化专业知识理解门槛；三是流动传播，以北京科技大学首展为样板，后续巡展将走进清华大学、武汉大学、中央美术学院等高校，搭建覆盖全国的云冈文化传播网络。

四大展区：层层递进构建完整叙事闭环

展览遵循“溯源—营造—守护—新生”递进逻辑划分四大板块，形成“文物实证—科技解码—数字转译—青年传承”的完整叙事链条，循序渐近解读云冈完整发展脉络。

平城汇流：实物见证民族交融历史。本板块为展览开篇，核心阐释云冈石窟作为中华民族共同体实物丰碑的历史价值。展区分为图文阐释、石刻复制展品两大单元：展板还原平城丝路商贸图景，展示萨珊波斯鎏金童子葡萄纹银器、罗马玻璃器、粟特南队石刻等文物资料，再现“商胡贩客、日款于塞下”的繁荣景象；实物区陈列北魏石刻供养人残件、莲花纹建筑复刻构件等，器物纹样融合西域忍冬纹与中原莲花纹，每件展品都是多元文明交融的直观物证。板块以微观实物还原历史场景，避免空洞理论宣讲，引导青年建立多元一体的历史认知，为后续展区内容奠定基础。

匠造山河：文理交融解读古代工程智慧。承接民族交融叙事，本板块聚焦北魏石窟开凿工艺，落地文理学科交叉策展理念。展区借助洞窟模型还原古人施工流程，结合北京科技大学工程力学专

业视角，从岩层受力、洞窟承重角度解读石窟选址布局的科学逻辑，跳出单一赏析造像美学的传统思路。展厅陈列仿木窟檐、浮雕雕刻品，对比中西建筑与装饰纹样的融合运用，再次呼应民族交融核心主线。文史专业学生可品读石窟艺术内涵，理工专业学生可挖掘古代工程科学思维，实现双向科普，拓宽青年对传统文化认知维度。

千年守望：全景呈现跨学科文物保护成果。本板块补齐传统展览重展示、轻保护的短板，分为石窟病害治理、校地协同保护两大单元。病害治理单元梳理风化、水患、岩体失稳三大石窟病害，对比古代防护手段的局限性，凸显现代科技保护的必要性。1974年云冈石窟“三年保护工程”落地，基本解决洞窟整体稳定问题；“八五”期间通过环氧树脂灌浆、锚杆加固技术，治理西部洞窟及9、10窟崖壁裂隙、危石隐患。如今文物加固材料持续迭代，石窟石质微生物标本库建成投用。校地协同保护单元展示了云冈研究院与北京科技大学战略合作成果，涵盖石窟微生物标本数据库、崖壁微裂隙无损识别等前沿研究，推进校地人才联合培养。

数字新生：数字技术活化赋能文化传播。本板块为展览收尾升华，聚焦数字技术、学术研究与青年文脉传承。数字化展区展出38窟全息投影、VR洞窟漫游、AI造像设计、3D打印复刻成果，观众可扫码查阅石窟数字档案、现场定制专属文创产品，打造可参与、可留存的沉浸式观展体验；学术交流区设置专属研讨空间，陈列云冈石窟研究专著、学术论文，常态化开展跨学科研讨，实现观展、研学、学术交流一体化；青年传播区贴合青年社交传播特点，依托线上数字资源推动内容二次创作传播，激励青年主动传承云冈文脉。

展厅一体化创新：动线、媒介、视觉统筹设计

北京科技大学巡展从参观动线、展示媒介、视觉体系三方面统筹优化，兼顾专业严谨性与大众观赏性。整体采用单向闭环参观动线：序厅以石窟画册、展览前言铺垫观展氛围；一层集中陈列民族交融图文与石刻复刻展品；二层设立科技保护专题展区，采用棕底学术展板搭配微视科研影像，与一层艺术展区形成视觉区分；展厅中部设置独立会场，兼顾展品陈列与线下学术会议；末端数字交互区以趣味互动体验收尾，展线层次清晰、参观逻辑顺畅。

巡展带来的深层探索与文博发展新思路

这次全国高校云冈巡展，是文博机构与高校科研平台协同、人文理工学科互补、数字技术赋能遗产传播的完整实践样本，为石窟文化普及、文博进校园工作提供了新思路。从学术研究层面看，巡展打通考古、美术、地质、材料、计算机等多学科壁垒，将历史文物、微观科研影像、力学模型纳入统一叙事体系；人文史料与科技保护提供历史背景，实验数据反向佐证石窟发展演变脉络，实现文理双向赋能。

从高校育人层面看，巡展以石刻、金银器复刻实物为载体，具象化呈现北魏各民族交流交往交融历史。同时结合北京科技大学现有成果，再现云冈石窟开凿的科技性，从而实现了云冈石窟文化进校园，拓宽了云冈石窟文化普及传播途径，夯实文化自信根基。

从遗产传播层面看，展览依托文物复刻、3D打印、高精度数字存档等技术，搭建线上数字资源、线下实体展览、互动文创产品三位一体的立体传播网络，为大型不可移动文物异地普及提供全新解决方案。

这次巡展积累的实操经验，为文物活化利用传播带来全新启发，解读石窟文化遗产需紧扣民族交融核心，展览内容兼顾艺术审美与科研保护，展陈形式融合实体文物与数字交互，受众覆盖专业学者与青年学生。唯有打破学科、媒介、场地等多重壁垒，千年文化遗产才能适配当代传播语境，实现永续传承。

(作者单位：云冈研究院)

以科技守护千年石窟
以文脉培育时代青年

姚乐清