

敦煌莫高窟北窟。

千年古文化遗址 如何抵御岁月侵蚀

深瞳工作室出品

采写：本报记者 矫阳
策划：刘恕 李坤

第三次全国文物普查显示，我国有不可移动文物逾76.67万处，其中全国重点文物保护单位5058处。

不可移动文物是指古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、石刻、壁画、近现代重要史迹和代表性建筑等。

由于历史跨度时间长、材质多样、保存环境复杂等特殊，不可移动文物保护一直是文物保护界的难题。

这些历经沧桑的遗址，如何抵御岁月侵蚀？

6月8日，中国文化和自然遗产日。科技日报记者现场走访了部分石窟、古城遗址和砖石古塔，了解这些遗址目前的状况及保护背后的科技密码。

银杏叶探查乐山大佛渗水点

大渡河、青衣江和岷江三江交汇处，坐落着有1300年历史的乐山大佛像。它通高71米，依山凿成，临江危坐，神势肃穆，大气磅礴。

蜀道蜿蜒、石窟密布。

2020年国家文物局组织的全国石窟寺专项调查显示，全国共有5986处石窟造像文物。其中，川渝两地共有石窟造像文物2800余处，约占全国的一半；两处世界遗产乐山大佛和大足石刻更是远近闻名。

著名石窟考古专家丁明夷在《四川石窟杂记》一文中这样评价川渝石窟：“就造像题材内容而言，不仅有弥足珍贵的各种密宗造像，而且有隋唐时期的佛、道造像并作，两宋时期的三教合一造像问世，还有唐宋雕刻的佛经，这些均为国内翘楚，极富特色。”

川渝石窟及摩崖造像相对集中在嘉陵江、岷江、涪江和长江流域沿江河岸崖壁，大多利用四川盆地侏罗系和白垩系砂岩雕凿而成。

已故著名文物保护专家、故宫博物院文保科技部原主任陆寿麟在《摩崖石刻石窟保护理论基础的思考》中，将乐山大佛这类石窟归为“仍依附于原来的山体，经过人工开凿和雕刻的洞窟和摩崖石刻，完全处于自然环境中的不可移动文物”。

“相比北方干旱、多风沙的气候，川渝地区石窟保护面临的难题是高温、潮湿、多雨等导致的浅表部劣化、渗水及生物病害等。”6月7日，在乐山大佛石窟研究院内，中国中铁研究院文化遗产保护研究院（以下简称中铁文保）院长、国家文物局石窟寺文物保护技术重点科研基地主任王逢睿告诉记者，对这些裸露在大自然中的石窟进行保护修复，最大的难题是既要保护修复，又要保持原貌。迄今，对这类涉及地质、气象、材料、生物以及水文等多学科的石窟保护，文物部门正持续进行综合研究，并有了一定理论基础研究。

对乐山大佛的保护，最大的难点是体内渗水问题。

其实，很多石窟在凿刻时，都会考虑通风排水等因素。具体到乐山大佛，古人在建造大佛之初就设计出一套科学完善的排水系统，使之尽量免遭雨水侵蚀。

“在大佛的耳部、肩部和胸部建造了一套设计精巧、隐而不见的相互贯通的排水排湿通风廊道，有效阻隔了山体渗水对大佛的影响。”乐山大佛石窟研究院院长范元元说，清代诗人王士禛有关乐山大佛的诗句“泉从古佛髻中流”，讲的正是这套排水系统。

然而，因长久裸露在户外，特别是受自然环境的影响，乐山大佛这类石窟随着时间的推移，结构失稳、材质劣化、渗水侵蚀和生物污染等多重病害日益严重。

资料记载，自乐山大佛建成后，历代均对其进行过修缮。早期修缮主要针对大佛本体，近年来对于其赋存的岩体环境也予以关注。

范元元告诉记者，目前对不可移动文物的保护修复，文物界有一个共识，即“最小干预，强度匹配，外观协调”，而要达到这个目标非常困难。

“在长期自然环境因素作用下，佛像脸上长了很多苔藓和杂草，维修保护工作稍有不慎，很容易导致过犹不及的‘保护性破坏’。”王逢睿说。

针对乐山大佛体内渗水，中铁文保团队首创一种荧光碳点示踪技术，以银杏叶为前驱体，现场制备碳量子点作为示踪剂。通过合理布置示踪剂投放点和取样品点，精细探测石窟寺渗流路径及来源。

荧光碳点

示踪技术成本低、效率高，填补了石窟寺渗流探测领域技术空白，突破了示踪剂在此领域应用的技术瓶颈。技术成果在乐山大佛的水害治理工作中得到了成功应用。

与此同时，项目团队采用地质聚合物改性传统捶灰材料，对潮湿环境下石质文物实施精细化修复，形成了文物病害信息采集分析、无损探查与微损检测、文物赋存环境监测预警、石窟浅表层岩体劣化修复等成套关键技术。

“乐山大佛修复项目被国家文物局列为川渝石窟保护性示范项目。”王逢睿说。

数字技术守护楼兰古城

中国科学院西北生态环境资源研究院（以下简称西北研究院）研发了一套数字楼兰综合信息系统。

点击系统，可查询许多关于楼兰古城遗址的内容，包括遗址周边地貌环境变化的高精度大尺度远程监测、多参数气象状况的实时自动监测、遗址景观三维精细展示、遗址区720度全景虚拟漫游、楼兰古城历史行政区域演变与相关文化资料。

这套信息系统由中铁文保联合西北研究院开发。

国家文物局有关专家认为，这套系统为楼兰古城遗址的保护、管理、监控提供了科技支撑，可在万里之外守望千年楼兰，是极端环境下遗址预防性保护监控、相关历史资源挖掘和文化遗产要素多元化展示的一种有益探索。

我国目前发现的76.7万处遗址中，土遗址占1/3。

楼兰古城遗址，便是我国数量庞大的土遗址之一。

100多年前，瑞典人斯文·赫定在罗布泊探险时，首次发现楼兰遗址并将其公之于众，由此掀起长达一个多世纪的楼兰考古热。近几十年来，中国科学家深入罗布泊考察、研究，让淹没在历史浮尘下的辉煌文明重现于世。

“土遗址是文物保护行业中一个世界级难题。”敦煌研究院副院长郭青林认为，土遗址是土做的，本身比较脆弱，大多数都在露天保存，坍塌、风化等因素容易导致其快速消失，一旦消失将无法证明过去的历史。同时，按照文物保护最小干预的原则，许多岩土工程新方法无法直接采用。

王逢睿告诉记者，岩土工程领域比较成熟的锚固及灌浆技术，于20世纪末被引入到土遗址保护中，通过与化学防风化相结合，初步形成了土遗址保护加固的成套技术。

2006年，我国第一批文化遗产领域国家科技支撑计划项目启动，使我国在土遗址的建造技法、制作材料、病害分类、加固材料、遗址稳定性、加固效果评价、监测及预防性保护等方面取得了丰富成果，成功抢救了一大批濒危遗址。

“如今，我国对土遗址的保护已由抢救性保护逐步向预防性保护过渡。”中铁文保西北片区负责人周鹏说。

以近期抢救修复楼兰为例，新时代背景下，中铁文保团队结合全新的勘测理念及技术，探索出一条将数字化技术与传统文物保护充分结合的路径。

楼兰古城遗址所处环境极为恶劣，位于罗布泊沙漠沟壑相间的雅丹地貌中，周围上百公里渺无人烟。常年吹刮的东北风不断风蚀，而年均8级大风天数则高达80天，浮尘天气115—193天，七八月期间，地表温度可达65摄氏度。

这样的环境，令楼兰古城遗址的保护工作十分艰难。几年前，楼兰古城主要遗址区“三间房和佛塔”所赋存的台地发生危及本体安全的坍塌。

自2020年6月13日开始，周鹏带领项目团队对楼兰古城三间房和佛塔遗址进行勘测并进行抢救性修复。通过实地勘测分析，团队成员认为，在极端气候环境下，最好的保护是进行预防性保护监控监测，为将来保护修复提供科学数据支撑。

项目团队通过对遗址区环境影响因素开展不间断监测，对风沙侵蚀与遗址损毁模式开展研究，对遗址本体结构残损与表层劣化实施了精细修复，并首次借助“天一空一地”一体化监测和三维全景数据采集建立仿真模型，将技术成果集成在定制研发的数字楼兰综合信息系统之中，“数字楼兰”在科技保护与文化展示中发挥了重要作用。

2022年6月1日，楼兰古城遗址抢险项目通过竣工验收。

验收会上，对中铁文保项目团队进行的多项新技术探索研究，国家文物局专家给予了高度评价。

“精确纠偏加固手术”扶正奎光塔

西安大雁塔、杭州六和塔、登封嵩岳寺塔、苏州虎丘塔……

这些耳熟能详的古砖塔，是我国乃至世界的重要文化遗产，也是我国古代高层建筑的典范。据不完全统计，我国现存古塔有3000余座，其中砖结构的塔存世数量最大，具有极高历史价值和文化价值。

对这些古塔的保护，存在哪些主要难题？

东南大学教授淳庆在其所著《典型古建筑保护技术》中指出，对砖石古塔的保护，重点是倾斜纠偏和地震引起的灾害。

6月8日，在四川省都江堰市城南处，记者看到了一座国家一级文物——奎光塔。其通高52.67米、总共17层，四面被青城、灵岩、玉垒诸山环绕，又有岷江水绕，雄秀万状。“奎光塔是国内层数最多的古砖塔，重达3460吨，始建于明代，初为石塔，明末毁于洪水，清道光年间重修。”王逢睿告诉记者。

“水走山飞去未休，插天一塔锁江流。”清代文人郭维藩曾这样赞美它。据都江堰市文旅局工作人员介绍，奎光塔为振兴文风而建，古时“奎”通“魁”，取名“奎光塔”有魁星点斗、文运光大之寓意。

奎光塔是近年来我国古砖塔保护在倾斜纠偏方面的典型案例。奎光塔因采用

砖砌、地理位置属于岷江河滩及层数高等原因，经历百余年后，塔基开始倾斜。上世纪80年代初，倾斜更加明显。“看当时资料，塔底东侧、西侧被拉伸开裂，塔身达到26‰的倾斜率，大大超过了国家规范允许的4‰。”王逢睿说。

虽然我国在古砖塔维修方面已积累一些经验和科技，但面对这座国内最高密檐砖塔，文物修复专家普遍感觉没有十足把握。

遍寻业内专家，都江堰文物管理部门找到了有几十年岩土力学技术积累的中铁文保。

1999年，中铁文保专家团队赶到都江堰，对奎光塔所处地质环境、病害情况展开调查，并首次提出迫降、顶升组合协调的方法，给奎光塔做了一次“精确纠偏加固”手术。

迫降，就是将地基再挖深，扩大填充原基础，再用顶升方法扶正奎光塔。

修复后的奎光塔，成功抵御住了2008年汶川特大地震，晃而不倒，仅结构受损。

震后，中铁文保再次承接了奎光塔震后抢救性保护的勘察设计。经技术论证，确定对古塔进行竖向贯穿钢筋，塔体外部钢带围箍等多种工程措施综合修复。

奎光塔的成功修复，被誉为传统工艺和现代科技有效结合的典范。“通过奎光塔项目，我们形成了古塔健康诊断、可靠性鉴定及修缮加固的成套技术，通常涉及测量测绘、无损检测、结构性能评价、地基基础加固与塔体扶正、塔身加固及构件修缮等多学科。”王逢睿说。

2023年11月，第四次全国文物普查启动，不可移动文物版图又将扩大，文物保护工作任重道远。

好风凭借力。针对不可移动文物保护难题，国家层面已形成科技保护的顶层架构。2023年底，中央宣传部、文化和旅游部、国家文物局等13个部门联合印发《关于加强文物科技创新的意见》，围绕文物保护利用重大需求，对文物领域的基础研究和应用基础研究、关键技术攻关、文物专用装备升级、深化考古重大课题研究、科技成果转化应用，以及文物领域标准化建设等方面进行了任务部署。

王逢睿表示：“作为中国文物保护队伍中的一员，我们将不断引入相关科学领域理论，充分发挥中国中铁技术与创新优势，进一步探索文物保护新技术。”

人物有约

王逢睿：让历史遗存容颜永驻

站在敦煌北窟前面，王逢睿向记者讲述着他与文保结缘的往事。

烈日下，一身书卷气的他没带任何防晒装备，白晰的脸被晒得黑里透红。学铁路勘察设计的他，竟在文物保护领域干了26年。

1998年，21岁的王逢睿从西南交通大学毕业后进入中铁西北科学研究院后，跟随院里的老专家行走在河西走廊沿线，跨界做起了石窟保护的勘察设计。

21年前的春天，王逢睿初遇莫高窟第57窟里的菩萨像，那一刻的震撼，至今深刻在他脑海里。57窟，被誉为敦煌莫高窟的“美人”窟，菩萨手托莲花，瓔珞覆体，沥粉堆金。自此，他下决心要竭尽所能保护好这些国宝。

不久后，王逢睿参与了敦煌莫高窟北区的保护项目，见证了前辈专家们创立的一座石窟保护史上的里程碑——在最大限度不改变历史风貌的基础上，运用精细化和柔性化创新技术，解决敦煌莫高窟北区岩体不稳定、风化和风沙侵蚀等病害，填补了相关保护技术的空白。

学习和实践中，王逢睿深深体会到，历史文化遗产是不可再生、不可替代的宝贵资源，文物的稀缺性与脆弱性相叠加，大大增加了保护工作的技术难度。

如何将文化遗产保护工作特殊要求和现代科学技术协调匹配，成为王逢睿不断思考的问题。

2004年，王逢睿第一次担任项目经理，负责甘肃庆阳北石窟寺岩体加固和渗水治理项目。面对软岩大跨度薄顶洞窟，王逢睿带领团队大胆创新，用新结构材料给洞窟做了一个刚性吊顶，并在洞外设置了两根斜梁。斜梁一直延伸到后部山坡上，把洞窟窟顶“提”了起来，防止洞顶的分层塌落。

2008年，王逢睿担任中铁西北科学院工程公司副经理，分管文保业务。除石窟，还要关注土遗址、古砖塔……文物保护范围更宽了。

一边研读古文物保护专业博士，一边研究更广泛的文物保护技术。这期间，他带领团队完成了敦煌榆林窟、乐山大佛、楼兰古城遗址、乌兹别克斯坦希瓦古城等诸多古遗址的修复，探索适合我国西北地区生土文物建筑的加固保护技术、首创荧光碳点示踪技术对潮湿环境下石质文物实施精细化修复、研发出一套深水环境下松散岩土体文物保护关键技术……

担任中国中铁研究院文化遗产保护研究院（简称中铁文保）院长后，王逢睿更忙了。目前，中铁文保拥有文保行业最高层次、最具权威性和影响力的国家文物局石窟寺文物保护技术重点科研基地，还建立了中铁研究院岩土文物保护工程重点实验室、甘肃省岩土文物保护工程技术中心等科技平台。

王逢睿说，文物是文化传承发展的重要依托，亦是滋养民族文化传承发展、建设中华民族现代文明的深厚根基。他的使命就是不断探索用新技术协调适配文物保护难题，让历史遗存容颜永驻。

乐山大佛

技术人员正在对楼兰古城佛塔遗址进行数据收集。

本版图片由中铁文保提供