

# 浙大团队破解文物保护技术瓶颈

顾春

匠心独运

习近平总书记在四川考察时指出：“文物保护修复是一项长期任务，要加大国家支持力度，加强人才队伍建设，发扬严谨细致的工匠精神，一件一件来，久久为功，做出更大成绩。”通过“黑屋”和“气相补水”等方法保护南方潮湿环境中的土遗址，将传统细金工艺技法运用到贵金属文物保护修复中，借助数字图像处理等技术让简牍“显影”……本版刊发的几个案例，是文物保护利用技术传承和发展的生动缩影。

—编者

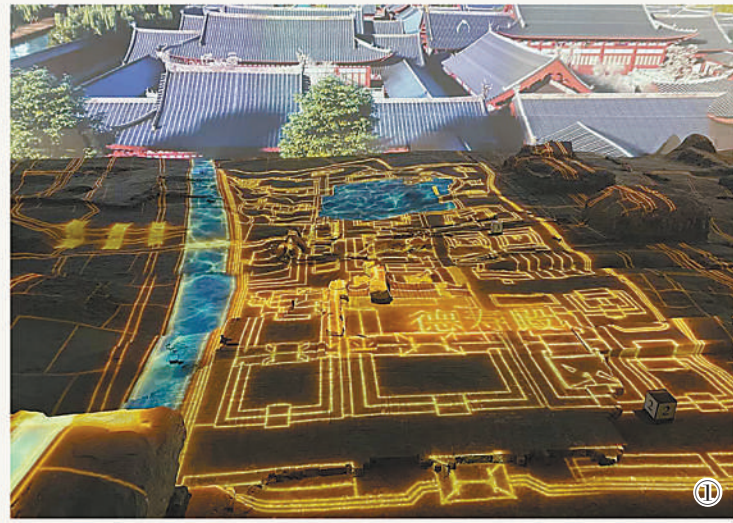
暑期，杭州的南宋德寿宫遗址博物馆游客如织。博物馆建在遗址之上，每到设定时间，遗址四周垂下帷幕，播放“一眼千年，德寿重华”全息影片。沉浸于千年之前的繁华兴衰，“今夕是何年”的感慨在游客心中油然而生。

“为了不让土遗址表面生长绿色植物，更好保护遗址，我们采取‘黑屋’措施。这个创意，为德寿宫的沉浸式展示提供了良好的环境条件，这是意外之喜。”浙江大学（以下简称“浙大”）艺术与考古学院文物保护材料实验室教授张秉坚对于“黑屋”的举措钟爱有加。

2014年至2017年，浙大文保团队与杭州萧山跨湖桥遗址博物馆合作，在遗址大厅连续监测3年。这是一个水下6米的遗址，遗址大厅无窗，无自然光线照射。监测结果显示，土遗址表面没发现有绿色生物，避光的“黑屋”可以抑制生物生长。

南方潮湿环境土遗址的保护，被称为“世界级难题”。2016年至2017年，宁波发现一段城墙基址，总长79.5米，主要由唐末时期的土基槽和铺垫层、唐宋至元代夯土墙、宋代包砖墙和护坡、元代至明清包石墙等构成。这段城墙遗址，体现了宁波1000多年的城墙建造发展脉络，具有唯一性、稀缺性和不可再生性。但是，日晒、台风、生物、地下水及地下盐分等，都会破坏遗址，在自然环境下只要一两个月，土遗址就会明显损坏。2019年3月，浙大文物保护材料实验室研究制定这段城墙遗址公园的原址保护方案，最终提出5条原则措施：在遗址周边建立地下止水帷幕，形成封闭的防水体系；借助跨湖桥遗址的保护实践，建一个遮光的“黑屋”，以抑制绿色生物的生长和破坏；在“黑屋”里再用电加热玻璃罩封闭土遗址，模拟埋入地下的高湿度的“回填”环境，以避免土遗址泛盐和开裂，同时可以在玻璃罩雾时加热去雾；建立喷雾系统，喷出温度稍高于土遗址的纳米级水雾，在需要时给土遗址“气相补水”；建立监测系统，自动启动并控制玻璃罩加热和“气相补水”的操作。

“气相补水”的灵感来自生活。张秉坚



图①：德寿宫遗址“黑屋”场景展示效果。



图②：良渚老虎岭水坝遗址剖面植物精油配方抑制苔藓。

图③：杭州西泠印社印泉摩崖石刻修复前后对比。

以上图片均为张秉坚提供  
版式设计：赵德汝



说，南方潮湿的春天，放在柜子里的衣服会发潮。因为柜子外面温度高、里面温度低，湿度增大，湿空气就会钻入柜子内部，在较冷的衣物上凝结成水。实验室经过反复试验，逐步摸清土遗址在不同含盐率、不同湿度和温度差时，单位面积土体会吸收多少水量，并建立了数学公式。这样，只要在玻璃罩里加装空气加湿器，并使湿度高于土体，土遗址就可自动吸水。“气相补水”通过控制环境条件，使土遗址中的水分增加，达到水分平衡状态，这样土体就不会收缩开裂，泛盐问题得到解决，也避免出现喷洒液态水使土遗址表面结垢的问题。

“黑屋”和“气相补水”都是南方潮湿环境土遗址保护的首创，良渚老虎岭水坝遗址和德寿宫遗址的保护，都借鉴了这些成功经验。

## 简牍文物保护中的“显影”科技

魏栋

20世纪以来，中国境内已出土简牍30余万枚，这些简牍是记载早期中华文明的“百科全书”。保护好、研究好简牍文物，对于赓续历史文脉、坚定文化自信、推动文化传承发展具有重要的学术和现实意义。

简牍是先秦至魏晋时期文字书写的主要载体，从物理形态上看，主要包含细长条状的竹木简和片状的竹木牍。但简牍特别是南方地区饱水简牍，在出土后很快会出现变色病害，妨碍文字的肉眼辨识，对其进行显影处理，是简牍整理出版和数字化保护的必然要求。

简牍显影的技术手段包括简牍胎体脱色、光学成像技术与数字图像处理技术的运用等。

饱水简牍刚出土时往往字迹清晰可辨。但在空气中暴露数分钟后，简牍胎体的颜色会迅速变暗，最终呈现出黑褐色，使得简

牍字迹变得不清晰甚至难以识别。通过研究简牍胎体的变色机理，目前已经研发了草酸脱色法、连二亚硫酸钠脱色法等一些比较可靠且有效的脱色处理方法。草酸脱色法在物理和化学层面可综合发挥作用。连二亚硫酸钠脱色法是利用连二亚硫酸钠的还原性，将简牍胎体中的一些化学基团还原，使之呈现出无色状态。有时，为了提高脱色效果，还会采用两段脱色法，通过选取合适的脱色剂并调节脱色剂的浓度、脱色时间、脱色液温度等工艺参数便可获得较为满意的效果，使简牍字迹与胎体颜色反差增大，变得清晰可辨。

对于胎体变色简牍，采用特殊的光学成像技术，并辅以数字图像处理技术，也可获得良好的墨迹显影效果。比如红外拍照、扫描。竹木简牍胎体与墨迹对红外光的吸收程度不同，当红外光照射到简牍上，墨迹和简牍胎体的色彩对比会在可见光条件下更加强

解决这一光学问题？等等。实现这样的设想，要研究的内容很多。

田螺山遗址的勘测，需要做生物的采样和鉴定、木质文物的各种性质分析、土遗址病害的定量调查、周边环境及遗址的无损检测等。文物保护本身就是一门交叉学科，需要不同学科背景的研究者分工合作。”张秉坚所在的文物保护材料实验室就是负责解决这些难题的部门。

进入浙大西溪校区的一栋大楼，一个个实验室走过去，就像揭开一个个“盲盒”。一块块方方的“石块”色彩斑斓，深灰、浅灰、白、褐……从外观看，同天然岩石没啥差别，实际上，它们是无机仿石材料、仿古代灰浆材料。实验室的任务，是进行耐盐、耐干湿、耐冷冻等系列干循环实验。

做古代灰浆研究的实验人员还承担北京故宫、曲阜孔庙、钱塘江海塘、长城等几十处著名古建筑灰浆的检测任务。“我们发现了世界上最早将黏性淀粉添加到石灰灰浆的案例，掺3%左右的淀粉，糯米灰浆的黏结性和强度最好。对南京明城墙等处取样检测后，发现一些高强度古代灰浆所掺糯米的量，同实验室研究的最佳点基本吻合，说明中国古代传统工艺蕴含了代代传承的智慧。”实验人员介绍。

隔壁实验室，做的是防生物破坏等实验。5000多年前的良渚遗址，水坝是人工用一捆捆草裹泥堆筑而成。草裹泥是什么成分、结构？发菌暴露后，风化、老化速率怎么样？微生物群落作用后表面会生成什么？实验人员在良渚遗址取样后，正在进行化学成分、微观结构、降解变化机理和保护策略研究。

微生物防治实验在另一个实验室，天然植物精油是环保生物防治材料。植物精油容易挥发，不会损害文物。“要先搞清楚是哪一类微生物，然后进行实验模拟，再应用相应的植物精油杀灭微生物。”张秉坚说，“用植物精油防治，新问题是精油的挥发速度太快。为了控制精油的释放速率，我们采用纳米碳管做载体，先把管内径腐蚀得大一点儿，装入植物精油并适当封闭后，涂布在遗址表面，因为纳米碳管非常细，涂布后不会改变遗址的外观和颜色，附着力也好，这样就能比较长久地抑制表面微生物生长。这是比较前沿的科学技术问题。”

进入下一个实验室，能闻到一股香味。“这种特殊香料叫藜芦醛，约四五十摄氏度就能熔化成液体，比水重，是一种先进的‘黑科技’。”张秉坚说。发掘古代沉船时，潜水员打捞过程中容易搞乱文物的原始形态，现在把装有熔融藜芦醛的瓶子带到水下，先做好围栏，再将藜芦醛倒在文物表面，整体凝固后再取，文物就能完整出水。藜芦醛加热后会完全挥发，文物可完整展现在水下的原始形态。这项技术应用在福建漳州一个30米深的水下考古现场，沉船上包裹瓷器的脆弱竹片等，都能整个固型提取上来。

在另一个专门研究灯光的实验室，张秉坚介绍，在标准灯光照射下，大概10天到15天，土遗址就会生长霉菌、藻类等微生物。这个实验把灯光分成7个不同波长，发现有一种波长范围的光照下不长生物。团队打算下一步到遗址博物馆去做试验。

“目前在文保领域，文物保护力量正在不断增加，喜欢文物保护的年轻人越来越多，未来可期。”张秉坚说。

这是一个南宋包银漆枕。近800年的地下深埋让它完全变了形。如意云头的枕面开裂出一个横贯的大口，内部的漆胎断裂起翘，表面原本光亮服帖的装饰银片变得乌黑黯淡、糟朽破碎。通过打光，人们可以模糊看到表面纹样已经完全被锈蚀覆盖，碰一下就粉化掉渣。屏住呼吸，用毛笔轻轻拂去表面的土粒与锈粉，对照X光成像寻找银枕边缘铆接的银钉，用镊子和手术刀小心分离银钉，对银片进行外部临时加固后整体揭取，小心展开、细致清理……修复后的漆枕终于露出真容，0.15毫米厚的银片上通体满饰精美的篆刻花纹，凤鸟、牡丹、石榴、莲花、祥云，精雕细琢，栩栩如生。

黄希

## 包银漆枕修复记

它来自贵州遵义市新蒲播州杨氏土司墓地杨价夫妇合葬墓。

2013年4月至2014年11月，为配合遵义中桥水库工程建设，贵州省文物考古研究所对遵义新蒲播州杨氏土司墓地进行了系统考古发掘，清理墓葬3座，其中杨价夫妇合葬墓是目前发现的杨氏土司墓中唯一未经盗扰的墓葬。这座形制特殊、保存完整的大型高等级大墓出土了大量造型精美的金银器及相关随葬品，是贵州土司考古继海龙屯遗址之后的重大突破，入选“2014年度全国十大考古新发现”。金银器胎体普遍较薄，造型结构复杂，表面多有篆刻、鎏金等装饰，但普遍出现严重的腐蚀问题。为了对文物进行及时保护并更深入地提取、保留文物历史信息，考古人员决定对杨价墓主棺部分进行整体打包提取，运送至中国社会科学院考古研究所进行实验室考古工作。

最大限度地记录、保留文物碎片的原始叠压关系信息，对于金银器的修复至关重要。我们在对杨价墓主棺中一件挤压变形、叠压关系非常复杂的严重腐蚀薄胎银器进行清理与保护修复的过程中，通过加强文物碎片的清理提取与保护修复环节的衔接，多次进行及时的应急保护处理。在对几百片不足一厘米大小的碎片进行了4个多月的清理、拼对与修复之后，最终根据叠压位置关系、残片拼对情况、银器工艺特点以及局部的关键衔接点等多方面证据，准确判断出银器的器型和口沿尺寸、深度尺寸。在此基础上保护修复的银盒恢复原始外形，如今在X光片中，可以看到焊接的数千余点状结构稳定、丝丝缝合。

出土矿化银器的科学修复是长期存在的保护难题。由于金银器由锤揲工艺制成，厚度极薄，使用有机黏剂进行修复无法保证稳定，传统修复使用锡焊处理，极易导致银器大面积的熔蚀破坏，产生“次生伤害”。我们首次将传统细金工艺运用到贵金属文物保护修复中，显著提升文物机械强度与韧性，使银器整形、焊接、修复工作得以实现。

杨价墓出土金银器制作精美，大量运用了细金工艺中的打胎、篆刻、鎏金、花丝、焊接等工艺，将传统篆刻工艺中的勾、台、采、丝等技法发挥到极致，方寸之间见天地，细微之处有功夫。杨价夫人田氏主棺内出土有一对金博鬓，做工精细，构思巧妙，在不足5厘米的范围内，使用花丝工艺将直径0.3毫米的扁方丝攒焊成凉亭、流水、行舟、渡桥等多种元素，所有纹样均满焊金珠装饰。研究表明，工匠在制作金博鬓时对使用的正反花丝、素圆丝、素扁丝、金珠、金片均进行了有意的成色控制，在攒焊成型过程中依据不同部位的焊接顺序、焊接范围和焊接对象有意识地使用了不同组分的焊药并调整用量，可见南宋时期工匠已经具有高超的贵金属加工技艺。

值得一提的是，在对田氏夫人包银漆枕进行保护修复时，意外发现漆枕内部下层漆皮中隐藏的文字痕迹。通过多光谱成像进行特征，提高简牍图像的对比度，使文字信息更加突出、简牍的色彩更符合人类的视觉心理特性。数字图像处理技术在简牍显影的优化处理方面也有待进一步开发运用。

简牍的显影处理，满足简牍文物数字化保护、整理出版的需要。显影处理产生的简牍数字图片有利于深入挖掘简牍文字承载的历史文化等学术价值，可避免简牍整理研究与展陈对简牍实物的依赖，有利于简牍本体的长期保护。随着科学技术的进步、学科间交叉融合的深入，相信未来还会有新的简牍胎体脱色技术、光学成像技术与数字图像处理技术应用于简牍显影领域。

（作者为清华大学出土文献研究与保护中心副教授）



图为修复后的包银漆枕。黄希供图