为博物馆解一道『保护与展示』的方程

——文博科技企业如何解决馆方的真实之需

对今天的博物馆而言，“保护”与“展示”从来都是一体两面：保护措施越严密，展示效果往往越受限；而观众对观展体验的要求越高，对设备安全性、可靠性的挑战就越大。

恰似在“古代中国”基本陈列中，一件西汉错金银云纹青铜犀尊的展示案例颇具代表性。它造型生动，是古时犀牛曾在中华大地生存的有力证明，周身极尽工巧的错金银工艺、科学准确的合金比例与铸造技艺，处处彰显着古代工匠的智慧。然而在原有展柜灯光环境条件下，它的美并没有被充分“翻译”给观众。

如何破解这道“保护与展示”的方程？近年来，北京华源彤达科技有限公司（以下简称“华源彤达”）从展柜及照明的一体化定制改造入手，针对博物馆真实痛点给出自己的答案。



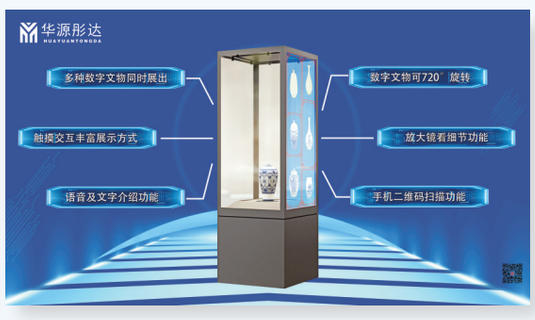
华源彤达数字化生产车间


犀尊展示改造前


犀尊展示改造后


独立四面玻璃柜现场展示效果


沉浸式文物体验



数字展柜

痛点直击：国宝“看不清”，文物“动不得”

承载犀尊的是一个长、宽各1米、高2.4米的独立四面玻璃柜，观众可从各个方向观看。但在馆方的日常观察中，原展示效果存在三个明显痛点：一是展品整体灯光较平，缺乏层次感；二是纹饰暗淡，错金银工艺的精美无法再现；三是青铜器的质感缺失，观众难以辨别其颜色属性。

想改，却面临极高难度的约束。2023年，在馆级科研项目“基于‘古代中国’重点文物展品照明与展柜一体化提升设计研究”的推动下，馆方对承接改造的华源彤达与Mayalit·玛雅照明提出两条刚性要求：一是整个改造过程中必须确保文物安全，绝不能移动文物本体；二是改造过程中不能让展柜发生任何位移和震动。

换句话说，这是一场必须在“零风险”前提下完成的“手术”——不移动文物、不震动展柜，还要让灯光脱胎换骨。这对展柜结构件的设计精度、生产工艺的稳定性提出了近乎苛刻的要求。

对症下药：一场“见光不见灯”的微创改造

面对难题，改造团队没有推倒重来，而是选择了“微创手术”式的思路：保留原展柜初始结构，置入新的展柜与照明一体化设计结构件。

在整体设计方案的统领下，各方从设计阶段就紧密配合：玛雅照明针对展柜底台和顶部结构如何衔接其独特的“月光宝盒”装置提出初步构想；华源彤达的产品设计师将结构件方案进行详细拆解、建模及渲染，交由生产部门完成实体制作与功能实验，再经过与玛雅照明及馆方的确认和适配性验证，最终完成展柜层面的改造。

灯光方案同样精准：针对犀尊造型的特殊性，照明分为顶部光与底部光两部分——顶光照亮头部、颈部、背部，底光点亮腹部、四肢、臀部与尾部。团队将迷你轨道射灯进行隐藏安装，并采用磁吸式轨道进行灵活的灯光布置，最终实现了“见光不见灯”的光环境展示效果。

改造后的效果立竿见影：犀尊周身的错金银云纹在光影中层次分明，青铜的质感与色泽得以真实呈现，工艺之美纤毫毕现。而全程文物本体分毫未动、展柜未发生任何位移震动，馆方的两条“底线”被严格守住，改造方案获得馆方高度认可。

同样的定制化理念，华源彤达也延伸到了“明孝端皇后九龙九凤冠”的展柜结构件改造中。凤冠工艺繁复、形制华美，定制化的结构件设计既满足了照明与结构安全的多重需求，也让凤冠的金饰宝珠在恰到好处的光线中熠熠生辉。

这次实践不仅提升了“古代中国”重点文物展品的照明效果，更为博物馆照明设计如何从展柜设计与生产角度切入，提供了新的思路和方法。

延伸解题法：数字展柜，让“看不到”成为“看不够”

展柜照明改造解决的是“看得见却看不清”的问题。而在博物馆的日常运营中，还有另一类普遍困扰：

文物本体因保存状况、展陈条件等原因无法直接展示；

重点文物多而展示空间不足，难以同时呈现；

传统展示方式已不能满足对文物的多重解读；

借展流程复杂、周期冗长，跨地域展示愿望常常落空。

为回应这些痛点，华源彤达研发了“文物裸眼3D数字展示平台”，包含透明屏、四面屏、九面屏、智能魔墙等多级定制化系列产品。研发的初衷，正如馆方所言：“将数字与展柜结合，更好地增加交流互动，使博物馆具有多交互、多元化等优点，起到更深刻、生动的教育意义。”

该平台运用人工智能三维数字化技术高清还原真实展览，在有限的展示环境下，全方位、多角度展示文物，配合文字、语音、视频等信息实现交互。落到实际应用中，它逐一化解了上述难题：文物本体不便展出时，数字替身可以“上岗”；一台展柜可展示多件文物，多屏联动支持多人同时交互，围合空间营造沉浸式体验；线下互动、线上扫码分享，文物内容灵活更换，解读生动鲜活；只需提取文物数字信息，即可快速展示，借展难题迎刃而解。

后续的实际使用反馈显示，孩子们告别了枯燥的传统学习方式，通过启发式、探索式的方式，在动手互动中与文物“零距离”接触；对各类成年观众而言，这种双向交流的传播方式也更具全民化、终身化的教育意义。该产品先后亮相“数字中国建设峰会福建省博物馆数字化成果展”“第九届中国博物馆及相关产品与技术博览会”，多次获得业界及观众的高度认可，并作为重点创新产品被推介。最终，“文物裸眼3D展示平台”入选第八届“全国十佳文博技术产品及服务”优秀项目。

正如业界评价的那样：数字展柜更重要的是一种理念——面对不同博物馆的具体情况，需要技术团队因地制宜地给出解决方案，而非单纯销售产品。

结语

从“犀尊”与“凤冠”的展柜焕新，到数字展柜的互动创新，这些实践背后有一个共同的逻辑：从博物馆的真实难题出发，以技术创新回应需求，以文物安全守住底线。

成立20年来，华源彤达已为文博单位的展陈及文物保护建设提供了解决方案。未来，期待有更多这样的协同探索，以精良之技术赋活文物蕴藏之美，让中华民族的瑰宝，在新时代的展厅里绽放绚丽光彩。

（北京华源彤达科技有限公司）

新材料新技术在文物包装中的应用

文物包装是文物预防性保护体系中的关键环节。一件文物从入库、陈列、提调到外出巡展，往往需要经历多次搬运、存储和环境变化，而包装正是阻隔外界不利因素、降低文物损伤风险的第一道防线。随着材料科学、传感技术和数字测量技术的快速发展，文物包装领域涌现出一批新材料、新技术，推动着这一古老技艺向科学化、精准化、智能化方向转型。

2024年的新版《文物包装与运输规范》，对阻隔包装材料、缓冲包装材料和运输包装的技术要求做出了系统规定，为文物包装的标准化、规范化提供了依据。在此背景下，各类新型材料和技术手段加速进入文物包装领域，为文物的安全存储与运输提供了更可靠的保障。

新材料：从被动缓冲到主动防护

柔性海绵与环氧树脂复合材料：脆弱文物的临时固化

柔性海绵与环氧树脂复合材料近年来开始应用于临时固化与包裹，该材料体系以柔性发泡材料为内层贴合文物表面，外层通过环氧树脂固化形成刚性保护壳，既能灵活包裹异形文物的复杂轮廓，又能在固化后提供足够的结构支撑。

2024年，某祭祀坑出土象牙的现场保护中，科研团队开发了一种聚（丙烯酰胺-丙烯酸）水凝胶与聚二甲基硅氧烷（PDMS）弹性体双层材料，通过硅烷偶联剂在水凝胶表面构建疏水层，有效抑制水分流失，为刚出土的饱水象牙提供了长达数周的保湿保护，也为同类脆弱文物的提取包装提供了可借鉴的技术路径。

生物基高分子与环保材料：低腐蚀、可降解

近些年，以生物基高分子为代表的环保材料加速替代传统材料，成为文物包装领域的一个重要趋势。聚乙烯醇（PVA）作为一种水溶性、无毒无味的生物友好型聚合物，因其良好的化学稳定性和成膜性，被广泛应用于纸质文物加固和包装胶粘剂领域。

2024年的一项研究将银掺杂二氧化钛（Ag-TiO_2）和氧化锌（ZnO）纳米颗粒分散于PVA和丙烯酸树脂（Paraloid B72）中，涂覆于纤维素和Tyvek聚乙烯纤维包装材料表面，开发出具有抗菌功能的新型包装材料，可有效抑制霉菌和细菌对纸本文物的侵蚀。此外，基于淀粉、壳聚糖、纤维素纳米纤维等可再生原料的生物基缓冲材料也在逐步推广，其低VOC释放、可降解的特性与文物保护的“最小干预”原则高度契合。

棉网与高性能黏合剂：纸质文物加固新方案

双面印刷报纸、期刊等近现代纸质文物，普遍存在脆化、酸化、掉渣等病害。2021年某研究团队提出的棉网加固方法，以纯棉纱网和PVA217水溶性胶粘剂为加固材料，经系统实验验证，可使模拟报纸样品的耐折度提高50%—150%，抗张强度显著提升，且色差ΔE低于1.5（肉眼不可察觉）。与传统日本和纸加固相比，棉网加固在耐折度改善和耐久性方面表现更优，且材料来源广泛、成本低廉。

这一技术虽然最初面向纸质文物本体加固，但其材料体系——棉网与PVA217黏合剂——同样适用于纸质文物包装中的内衬增强和局部补强。在博物馆馆藏报纸、期刊的囊匣包装中，对已有轻度脆化但尚未达到修复标准的藏品，可采用棉网进行预防性加固包装，延缓劣化进程。

紫外线防护与杂化聚合物：长效仓储的光学屏障

近些年，紫外线吸收剂杂化聚合物涂层开始应用于文物包装材料表面，通过在丙烯酸或聚氨酯涂层中引入纳米二氧化铈、氧化锌或有机紫外线吸收剂，可有效阻隔90%以上的紫外辐射。

这类涂层兼具透明性和柔韧性，涂覆于无酸纸板或纺织品表面后不影响外观，同时可减缓氧化和水解反应。对于需要长期仓储、偶尔外展的文物，采用紫外线防护涂层的囊匣包装可显著降低光照对文物的累计损伤。

防水型囊匣：传统工艺与现代涂层的融合

囊匣的主要材料为植物纤维纸板，纤维之间存在大量毛细管结构，极易吸收水分。在南方潮湿地区或运输途中遭遇冷凝水、轻微泼溅时，普通无酸纸囊匣难以抵御水汽渗透。针对这一问题，西安玳复工贸有限公司（以下简称“西安玳复”）开发了防水型文物囊匣，采用高强度层压硬纸板为基材，在表面涂布文保级水性丙烯酸涂层。经检测，其表面吸水性（可勃值）为7.0g/㎡，防水性能优异；pH值为8.1，呈弱碱性，满足文保无酸存储要求。

从技术路线看，实现纸板防水主要有三种方案：一是表面覆膜，防水性强但透气性差，覆膜易老化；二是表面涂布防水涂层，透气防潮但靠物理附着，摩擦后性能衰减；三是纸浆内部添加防水剂，通过纤维共价接枝实现拒水，耐久性好但存在施胶逆转，仅防潮不耐浸泡。西安玳复的防水纸板选择了第二条技术路线，并通过涂层配方优化实现了防水性与透气性的平衡，兼具防尘、防污、防光的综合防护效果。与进口无酸纸板相比，该材料综合性能略低但成本显著下降，适合批量配置馆藏囊匣。

新技术：从经验驱动到数据驱动

三维扫描与结构光测量：精准取型、定制包装

文物囊匣的核心要求是“随型”——内囊必须与文物外形紧密贴合，才能在运输中起到缓冲固定作用。传统工艺依靠人工测量、手绘轮廓，效率低且精度有限，对脆弱文物还存在接触风险。近些年，三维扫描和结构光测量技术逐步进入文物包装取型环节。

基于结构光的非接触式三维测量系统，可在数分钟内获取文物表面的高精度点云数据，精度可达毫米级甚至更高。通过点云数据生成的三维数字模型，设计人员可以在计算机中“量体裁衣”，快速设计随型内囊的形状和尺寸，再通过数控切割机或3D打印设备加工缓冲内衬。故宫博物院在文竹双莲蓬式盒等囊匣制作中，采用计算机三维建模辅助设计，将传统宫廷囊匣技艺与现代数字技术相结合，实现了展陈与储存一体化的囊匣结构优化。

对于异形文物——如青铜器、瓷器、造像等曲面复杂的藏品，三维扫描取型的优势尤为明显。它不仅消除了人工测量的误差，还避免了测量过程中工具接触文物带来的安全风险。

智能包装与无线传感：从被动防护到主动预警

传统文物包装是被动式的——只能在一定程度上阻隔外界因素，无法感知内部环境变化。近些年，随着低功耗传感器和物联网技术的成熟，“智能包装”概念开始在博物馆领域落地。

将微型温湿度传感器、光照传感器甚至VOC传感器嵌入文物囊匣或展柜中，通过蓝牙、LoRaWAN等无线通信协议将数据实时传输到监控平台，可实现对文物微环境的全天候监测。澳门地区多家博物馆已在展柜中部署RFID温湿度标签，尺寸仅52毫米×30毫米×4.5毫米，电池供电，可连续工作数年，数据精度达到±0.3℃、±2%RH。国内多个省级博物馆的预防性保护项目中，无线环境监测系统已成为标配，传感器采样间隔可低至10分钟一次，电池寿命超过5年。

对于中小型博物馆而言，智能包装技术的价值在于：以较低成本实现了对珍贵文物微环境的持续监控，一旦温湿度超过预设阈值即可自动报警，避免了因环境突变导致的文物损伤。未来，将荧光传感器、自报告涂层等纳米传感材料直接集成到包装材料本身，将是智能包装的重要发展方向。

数字档案与虚拟复原：数字孪生赋能

在高精度摄影测量和激光扫描技术的支持下，为每件珍贵文物建立永久数字化档案已成为许多博物馆的常规工作。这些数字档案不仅用于研究和展示，也为文物包装提供了重要支撑。

一方面，数字模型可作为包装设计的精准依据——通过三维模型在虚拟空间中进行包装结构的模拟和优化，预判文物在包装中的受力状态，减少反复试装对文物的影响。另一方面，如果实体文物在运输或存储中遭遇不可抗力损坏，高精度数字模型可作为修复蓝图，为虚拟复原和精确修复提供参照。数字孪生技术的引入，使文物包装从“一次性”的物理容器，转变为与数字档案联动的系统性保护方案。

文物取型软件：AI辅助轮廓提取

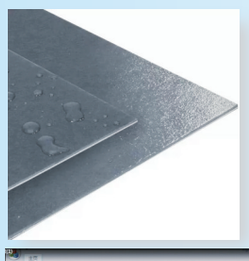
在三维扫描设备尚未普及的情况下，如何提升传统取型工艺的精度和效率？西安玳复开发了文物外形轮廓绘制的物体正射投影轮廓提取软件，用计算机图像处理技术替代人工手绘取型。

该软件以高分辨率图像为输入，通过算法自动提取物体正射投影的轮廓线，支持轮廓定量外扩、样条曲线快速拟合，可根据囊匣设计需求灵活调整。输出的轮廓线可直接用于数控切割设备加工内囊衬板，显著减少了人工测量误差，提高了生产效率。对于中小型文物和平面类藏品——如书画、文献、青铜镜等，这种基于图像处理的取型方案性价比高、操作简便，适合在囊匣批量生产中推广应用。

材料与技术双轮驱动文物包装升级

文物包装领域的发展呈现出“材料绿色化、技术数字化、监测智能化”三大趋势。材料层面，生物基高分子、纳米杂化涂层、防水纸板等新型材料逐步替代传统材料，在保证安全性的同时降低了对文物的化学风险；技术层面，三维扫描、图像处理、数控加工等数字技术正在改变传统手工取型和制作方式，提升了包装的精度和效率；监测层面，无线传感器和物联网技术使文物包装从被动防护走向主动预警。文物包装的本质是预防性保护，其终极目标是以最小的干预、最低的成本，最大限度地延长文物的寿命。新材料新技术的引入，不是对传统囊匣技艺的否定，而是在传承基础上的创新与升级。

（西安玳复工贸有限公司）


◀西安玳复使用的防水纸板



▶物体正射投影轮廓提取软件开机界面


◀文物轮廓提取软件应用


▶自动生成的文物外形轮廓线

四至七版责编：冯朝晖 何 薇 陈颖航 版式设计：焦九菊