

国内空白，国家博物馆目前已使用这种装置进行文物扫描，速度在数量级上大幅提高，精度也达到了0.05毫米。举例而言，过去扫描一个兵马俑大概需1000分钟，现在仅用时48秒完成，这不是讲故事，而是真实的技术发展事实。”周明全教授自豪地向记者说。

而2012年投入使用的第四代三维扫描仪（XD-scanner4）是无人机大场景三维成像扫描系统，它的问世极大方便了不可移动文物数字化建模，使遗址大场景建模更加真实直观，已相继完成了秦始皇帝陵、布达拉宫、塔尔寺等遗址的建模作业。第五代三维扫描仪（XD-scanner5）则是于2022年研制出的机器人智能文物扫描设备，通过结合人工智能和大数据技术，可在文物的个体识别、属性提取上取得新突破，已被应用于兵马俑、石窟寺等文物的三维扫描。

复原“泡钉俑”

在兵马俑发掘过程中，陶俑破碎非常严重，而只有将这些碎片拼合起来，使秦俑站立起来，赋予其外在形象，兵马俑才能拥有最大价值。

“千万个兵马俑都被打碎了，碎片都混杂在一起。”周教授说，“修复工作要干的第一件事就是分类，需要判断这些碎片分别属于哪些俑，也就是说要从数以万计的碎片中找到属于同一个俑的碎片，这是个大难题。”

以前全人工拼接兵马俑碎片是一个极为复杂的过程，而现在利用三维虚拟可视化技术，通过观察文物碎片的纹理特征和边缘特征，使碎片分类变得精确、简单、直观，为后续的顺利拼接打下基础。

周教授解释说：“三维虚拟可视化技术，简而言之就是三个步骤：第一步，把每个碎片通过三维扫描仪进行数字化；第二步，通过计算机对所有被数字化的碎片进行计算，并找出相互相邻的碎片；第三步，进行完整拼接，形成完整的兵马俑模型。”基于三维虚拟技术形成的文物虚拟修复，即运用激光三维扫描仪对破碎文物进行精确数字化，将秦俑碎片及出土信息进行数字化管理，保存每个碎片的线划图及其三维模型，并以此为基础进行自动化虚拟拼接，对缺失碎片进行数字化修复，形成虚拟复原兵马俑。

2009年，兵马俑一号坑进行了举世瞩目的第三次发掘，在K9901陪葬坑百戏俑坑中，考古专家们发现了此前从未见过的新俑种。与以前出土的上身赤裸下身着裳的百戏俑不同，新俑身着式样独特的上衣，上面布满了排列有序、直径约3.5厘米左右的圆泡，泡钉周围还有彩绘



超高还原度3D打印泡钉俑

纹样，而其着衣方式与常见古人的右开襟也大不相同，开襟位于后方，专家们将其命名为“泡钉俑”。

为了尽早呈现“泡钉俑”的“庐山真容”，科研团队首先用三维扫描技术获得文物碎片的轮廓曲面数据，并利用软件将散乱的数据点进行网格化，得到三角网格数据，再在大量无规则的破损碎片中寻找碎片间的拓扑关系，同步利用空间曲线匹配搜索匹配确定匹配结果，最后进行拼接。通过使用这些技术手段，具有极大考古价值的“泡钉俑”虚拟复原模型鲜活地呈现在世人面前。

周教授告诉记者，“泡钉虚拟俑”先于实体复原，并能指导其后的实体复原过程，使实体修复更科学、更容易、更安全、更可靠。利用计算机这种超高的数据处理能力，一个破裂成数百块碎片的陶俑完成虚拟拼接只需一小时，再用虚拟复原结果指导人工实体修复，理论上能够达到一天修复一个秦俑的速度。

除成功复原“泡钉俑”实体外，科研团队还于2011年成功虚拟复原了一号坑的珍贵文物“右骖马”。虽然“右骖马”至今并未进行实体复原，但“虚拟右骖马”已被用于研究与展示。

虚拟复原的另一重要作用就是替代实体修复，以完成修复的兵马俑模型为基础，通过输入正视、定量尺寸标注等数据信息，计算机程序就能完整地对应文物剖面和三