从医学成像到考古学虚拟现实 Théophane Nicolas、Ronan Gaugne、Bruno Arnaldi 和 Valérie Gouranton

数字化对考古学的局限

物质文化与其历史背景及环境之间的联系，是考古学家的工作核心。考古遗物和沉积物是脆弱的见证，必须加以分析、阐释、保护和推广。在数字时代，这种复杂的关系正经历深刻变化，考古学家如今能够接触到物件的虚拟表示，甚至可以通过3D打印获得实体复制品。近年来，数字化方法（如摄影测量.....）蓬勃发展，为可移动与不可移动考古遗产的保护、分析和传播提供了有效且无损的解决方案。然而，这些技术仅适用于物件、纪念性建筑或遗址的可见表面。事实上，考古材料的结构信息（不限于其表面）和背景信息（与其环境之间的联系）对考古学家而言至关重要，数字技术同样可以为此提供解决思路。为弥补这些局限，医学成像技术也越来越多地应用于考古学领域，因为它们能够以无损方式探查往往十分脆弱的人工制品*内部结构。不过，这类应用大多仍局限于简单的可视化，且通常针对珍贵的特殊文物（木乃伊、高价值人工制品）。计算机断层扫描*等成像技术所获取的数据（可提供物件的断层图像）包含以视觉方式呈现的信息，而借助3D领域最新研究成果开发的技术，例如虚拟现实*、增强现实*、交互*和增材制造*，则可以更广泛地挖掘这些数据的内在价值。如今，这些技术的发展使相关流程有望得到普及，尤其是在预防性考古领域，其应用前景远不止于价值推广。

IRMA 项目（考古学多模态成像与交互）提出了创新方法，用于历史与考古遗产领域的研究。这些方法结合了医学成像技术与交互式三维重建方式，并以 IRISA（计算机科学与随机系统研究所）、CReAAH（考古学、考古科学与历史研究中心）和 Inrap（考古学研究所

预防性）以及 Image ET 公司的合作研究成果为基础。这些新方法面向文化遗产领域的专业人士，例如博物馆、文物保护人员、文物修复人员和考古学家。

超越数字化：虚拟现实中的交互

结合多种源自医学成像的数字采集技术，便可通过无损且高效的方法，对不可见的考古文物（如陶瓮中的烧骨）进行科学识别与分析；评估腐蚀的考古文物的脆弱性、保存状况及修复可能性；对无法触及和/或脆弱的物件进行可视化、分析和实体操作（计算机断层扫描、3D打印）；从而揭示隐藏的文化遗产，并在其所处情境中进行观察（虚拟现实、增强现实或混合现实、3D）。

计算机断层扫描结合不同的3D成像方式，能够呈现人工制品和物件的内部，并识别彼此交错的不同部分。通过三维重建计算机断层扫描数据所获得的体绘制，可为不同密度值赋予颜色和透明度，从而在屏幕上实现初步的空间可视化。结合分割*功能后，便可聚焦于待研究物件的特定部分，并从中虚拟提取某个元素。根据密度信息生成三维网格后，即可制作实体复制品，既可以复制特定部分，也可以复制整个研究对象。

由此生成的三维数据随后可以集成到虚拟现实或增强现实中的交互式应用里。这些应用能够为数字化物件关联背景信息，背景可以是技术性的，例如虚拟考古发掘的背景；也可以是功能性的，例如物件的使用或制作背景。在 IRMA 项目中，所采用的方法已应用于多个案例研究，这些研究展示并证明了该方法在两种主要用途上的价值：可视化与操作。

更好地可视化与操作

对 Guipry（位于伊勒-维莱讷省）的瓮进行研究（年代为1er 铁器时代或第二铁器时代），体现了考古学家所追求的这两种用途。借助计算机断层扫描（图1），研究人员得以迅速观察瓮内的内容，并辨认出其中的不同组成部分：骨骼碎片和两件金属物件，一把刀刃和一枚别针*（一种金属别针或扣件）。通过分割，可以从堆积物中虚拟取出别针，也可以虚拟去除覆盖在其上的腐蚀产物层。这一操作生成了该别针的三维模型，并在实体取出之前就制作出了该物件的3D打印件。一

件完整的透明瓮体3D打印件，能够在瓮被毁后，仍保留其内部空间布局的实体呈现（图2）。

3D打印使我们能够在不损坏原件的情况下操作物件。我们通过一件可拆卸的高卢砝码复制品，展示了这项技术的价值；它帮助我们更好地理解砝码的组成和制造技术。此外，我们还制作了不同尺寸的复制品，以便操作过小的物件；也制作了仅存阴模的物件复制品（图3）。结合虚拟现实，物件复制品可以充当界面，帮助人们更好地理解原件的使用情境。我们还提出了罗马天平的复原方案，并可交互式地操作砝码；该方案曾在一项科学传播活动中展示（图4）。

考古学家的范式转变

这些工具为考古学家带来了诸多优势。借助无损方法，在事先进行预防性干预（例如物件聚集体、氧化物件）或考古发掘（例如瓮中的火化遗存堆）之前，他们便能以科学方式研究脆弱和／或不可见的物件：既可以通过数字模型进行观察，也可以使用由3D打印制成的仿制品开展工作，而不必直接操作原件。这些工具还使人们能够以剖面或三维数字模型的形式观察、分析和操作考古文物，并可进行测量。建立三维模型能够对物件进行长期数字存档，不受后续干预的影响（例如对容器或聚集体进行考古发掘）；多个操作人员还可远程观察和分析模型。计算机断层扫描有助于确定一种或多种材料的密度、评估考古文物的脆弱性或保存状况，并为处理措施的选择提供依据。

尽管这些工具日益普及且发展迅速，但设备的可及性以及技术和工艺方面的限制仍然存在。通过借助扫描仪进行数据采集时，物件的材质或几何形状可能会产生伪影，妨碍甚至阻止正确判读。我们的经验也表明，调整扫描仪参数的能力至关重要，而只有工业设备才能实现这一点。第二个关键因素是操作人员进行三维重建的能力，这样才能获得最佳图像。计算机断层扫描的精度受传感器物理特性的限制；为弥补这一不足，可以采用微型计算机断层扫描来提高分析精度。不过，计算机断层扫描能够采集大型物件的图像，微型计算机断层扫描却无法做到这一点，

它仅适用于尺寸较小的物体。至于3D打印，其限制更多属于技术层面：打印本身的精度、成品的尺寸，以及用于打印的三维模型所面临的限制；制作这类模型需要较高的技术能力。虚拟现实的应用同样受到三方面因素的限制：技术的可及性、所需技能以及设备的局限性。最后还要考虑考古学家使用这些新工具时所处的特殊位置，以及这些工具如何改变其对考古遗物及其背景的认知。

结论

这些技术为研究和方法论开辟了新的视野。它们可为考古发掘或修复操作提供有益的辅助和支持，通过将人工制品置于其原有语境中，并借助虚拟现实或增强现实与之进行自然交互。然而，这些技术源自医疗或工业领域，仍需调整，才能适用于考古学的特定用途。无论如何，这些三维工具为考古学家带来了范式转变，毫无疑问，未来也将影响他们感知考古遗物及其环境的方式。

参考文献

NICOLAS T., GAUGNE R., TAVERNIER C., GOURANTON V., ARNALDI B. 2014. « 研究封装考古人工制品的保护性方法》，载于：EUROMED 2014文化遗产国际会议论文集，利马索尔，塞浦路斯，2014年11月。计算机科学讲义，8740：332-341。

NICOLAS T., GAUGNE R., TAVERNIER C., PETIT Q., GOURANTON V., ARNALDI B. 2015. « 触摸并交互不可接触的文化遗产 », 《临场感、远程操作与虚拟环境》, 麻省理工学院出版社, 第24卷，第3期。

NICOLAS T., GAUGNE R., TAVERNIER C., GOURANTON V., ARNALDI B., 2016, « 复杂结构的内部3D打印 », 载于：EUROMED 2016文化遗产国际会议论文集, 计算机科学讲义, 利马索尔，塞浦路斯

NICOLAS T., LE GOFF I., 2020年, 考古学中的断层成像：人工制品与微型遗址的内部探查。《考古学新讯》, 159, 人文科学之家出版社, 64页。

图

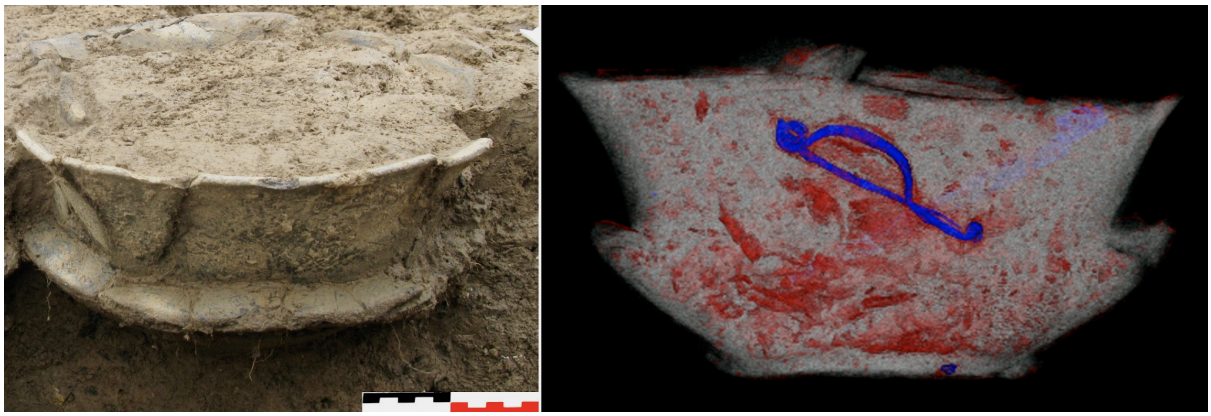

图1。 G auche : 吉普里陪葬骨灰瓮（伊勒-维莱讷省）。右：骨灰瓮的计算机断层扫描（其中的区域 es 红色对应骨骼，灰色对应沉积物，蓝色对应金属物品）。



图2。 左：从骨灰瓮中取出的别针及其3D打印复制品。右：完整骨灰瓮的透明图像。

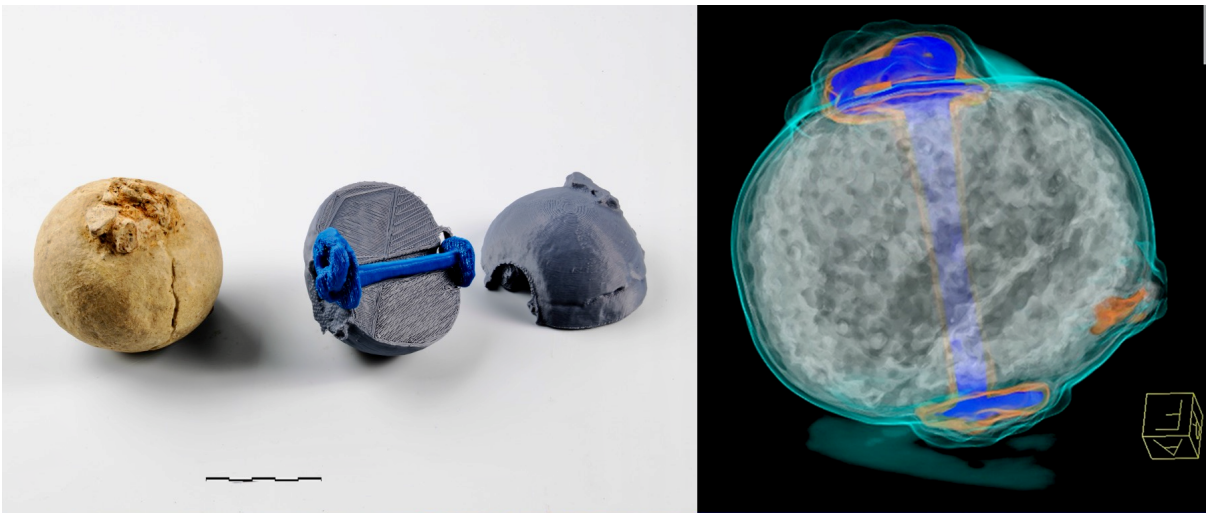

图3。 左：奥塞遗址（伊勒-维莱讷省）出土的高卢砝码及其可拆卸的3D打印复制品。右：砝码的计算机断层扫描图（灰色区域对应花岗岩，蓝色区域对应金属，橙色区域对应腐蚀产物层，青绿色区域对应沉积物。）

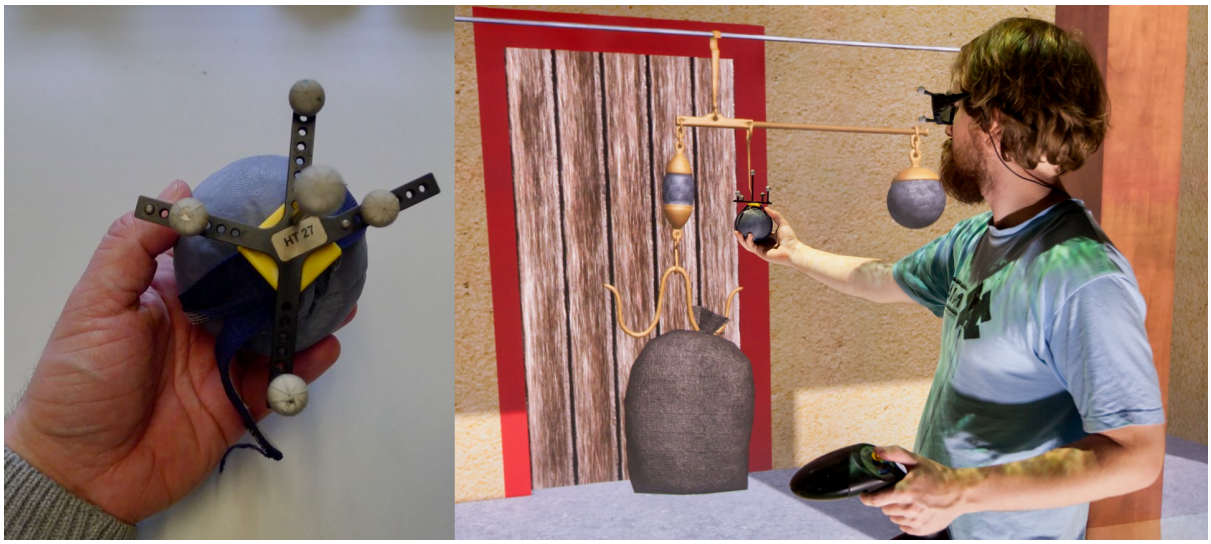

图4。 左：带有位置捕捉标记的砝码3D打印模型。右：在虚拟现实中与天平复原模型进行交互。

术语表

人工制品。 人类塑造并在考古发掘过程中发现的考古遗存。

增材制造。 增材制造或3D打印是一种根据数字文件创建有形三维物件的工艺。

别针。 别针是一种通常由金属制成的“扣针”，用于固定衣物的两端。

交互。 与虚拟世界物体的交互：用户可以抓取物体、操控物体并使其发挥作用；物体的特征会发生变化，并成为虚拟世界建模的一部分，旨在模拟现实世界。

虚拟现实。虚拟现实（RV）是一个科学技术领域，利用计算机科学和交互设备，在虚拟环境中模拟三维实体的行为，使它们通过感觉运动通道，以类自然沉浸的方式彼此之间以及与一个或多个用户进行实时交互。

增强现实。增强现实（RA）是计算机应用领域的一种技术，它将现实与虚拟相结合，并以实时方式呈现，使虚拟物件和现实物件看起来仿佛共存于同一个三维世界中。它通过数字数据增强现实的可视化效果，并使用户能够与环境交互

分割。计算机断层扫描后，可以进行一项操作，从物件中提取一个或多个感兴趣部分。这种虚拟分割是通过手动或自动选择一个或多个感兴趣区域，来构建独立的三维模型。这项技术可以虚拟地分离出一个物件。

计算机断层扫描。 计算机断层扫描是X射线扫描的科学名称。其目的是对物件进行轴向采集，从而避免扫描物件内部各元素相互重叠的问题；这种重叠可能造成遮挡，进而导致信息丢失。该采集过程会生成物件的断层图像，并由专用软件将这些图像叠加，用于生成三维重建。

所属机构

Théophane Nicolas。 考古学家，Inrap，UMR Trajectoires，塞松-塞维涅。

Theophane.Nicolas@inrap.fr

Ronan Gaugne。 计算机科学研究工程师，雷恩大学、IRISA、Inria，雷恩。

Ronan.Gaugne@irisa.fr

Bruno Arnaldi。 雷恩大学、雷恩国立应用科学学院、IRISA、Inria（雷恩）的计算机科学教师兼研究员。Bruno.Arnaldi@irisa.fr

Valérie Gouranton。 雷恩大学、雷恩国立应用科学学院、IRISA、Inria（雷恩）的计算机科学教师兼研究员。Valerie.Gouranton@irisa.fr