

## 数字考古的理论与实践

刘建国(中国地质大学中国社会科学院考古研究所)

我国的文物考古工作经历数十年的发展,取得了丰硕的成果,积累了极为丰富的实物和资料,为了适应信息时代的要求,综合运用各种信息开展考古学研究和文物保护工作,必须充分发挥现代测绘技术、遥感(Remote Sensing)、地理信息系统(Geographic Information System)技术、VR(Virtual Reality即虚拟现实)技术、数据库(Database)技术和网络(Internet/Intranet)技术等考古学研究中的综合运用,这不仅是充分应用各种考古信息的重要手段,更是信息时代对考古学研究提出的要求。

## 一. 现代测绘技术

现代测绘技术是信息产业中的重要组成部分,在文物考古工作中同样具有重要的地位。测绘技术的分支学科很多,涉及面较为广泛,我们的工作中主要运用其中的数字摄影测量、电子全站仪测绘和卫星定位技术。

卫星定位系统(Satellite Positioning System)是以人造卫星网为基础,以无线电为通讯手段,依据天文大地测量学的原理,实行全球连续导航和定位的高新技术系统,具有全球性、全天候、高精度、快速实时的三维导航、定位、测速和授时功能,以及良好的保密性和抗干扰性。一般包括空间卫星系统部分、地面控制部分和用户接收部分。卫星定位系统通过空间卫星向地面接受设备发送特殊定位信息的无线电信号来实现定位测量工作,地球上任何地点和任何时刻,能同时接收到至少4颗全球定位系统的卫星发出的信号,达到连续定位的要求。目前正在运行和建设的有美国、俄罗斯、欧盟和中国等的卫星定位系统。

美国的全球定位系统(GPS-Global Positioning System)于1994年投入使用,测量型GPS能够达到毫米级的平面精度,在田野考古测绘中具有很多优点:(1)高精度三维定位GPS点是直接从GPS卫星信号中获取三维定位信息,因此各点之间不存在误差积累。(2)设计和布点方便灵活。GPS定位精度同PS点的几何图形基本无关,不受地面点间必须相通视的限制,从而使控制网图形设计和点间距离不受限制,选点比较方便灵活。(3)对地理条件和作业条件要求低。在沙漠、高山,在孤岛、礁滩等处都可以进行GPS定位观测。(4)工作效率高。导航型GPS的平面定位精度可以达到10米左右,可以在野外调查中确定遗址的位置和边界,但不能满足考古发掘中细部测绘工作的需要。

卫星定位系统也存在一些缺陷,无法在沟槽、洞穴、地下墓葬中测量,而且测量型GPS的定位时间往往很长,在考古测绘中还受到很多的局限。实际工作中还需要使用电子全站仪、数字摄影测量等设备和技术才能完成考古测绘与成图方面的工作。

电子全站仪是近年普遍使用的一种新型测量仪器,能够方便、快捷地进行高精度的角度、距离、高程、坐标等测量工作,能够满足各种文物考古测绘工作的需要,并可以与电子计算机联机作业,配合相应的测量软件,自动将电子全站仪测量数据传输到计算机中进行成图。测量的图形能够根据需要以多种形式和多种比例尺打印输出,还能够输入到地理信息系统中作为基本数据底图使用。有的电子全站仪还带有激光测距功能,不使用棱镜就可以测量出点的坐标,便于测绘石窟、古建筑等不便架设反射棱镜的场所。

摄影测量技术是在物上空或前面的两个已知位置(摄站)分别拍摄左影像和右影像,同时在测量区域内实地测量一定数目控制点的三维坐标,根据左右影像和控制点坐标,在室内利用摄影测量仪器或数字摄影测量软件量测左右影像上同名像点(空间同一个点在左右影像上的像点)的影像坐标,再运用测量学中的前方交会方法,计算出空间点的三维坐标。然后根据大量空间点的三维坐标,建立数字高程模型(DEM),并由DEM提取等高线和制作正射影像图,进而可以生成三维影像图,进行多图像的无缝拼接。这项技术能够对遗址、发掘区域、石刻、造像、古建筑乃至器物进行测绘,提供地面或石刻、造像、古建筑立面的各种线划图、高程模型、正射影像图和三维影像图等产品,满足各种文物考古工作的需要。

## 二. 遥感考古研究

遥感考古技术是从航天飞机、卫星、飞机等不同空间位置上,运用摄影机、扫描仪、雷达等成像设备,获取考古遗址的影像资料,然后运用计算机图形图像处理技术,对影像数据进行增强和处理。同时,根据遗址范围内地表特征及其光谱成像规律等的相互关系,对影像的色调、纹理、图案及其时空分布规律进行研究,判定遗迹或现象的位置、形状、深度等特征,进行遗址探查、考古测量等工作,为考古勘探和研究提供重要线索,并开拓考古研究的新领域。

考古遗址的遥感影像中包含有丰富的地面信息,通过对其中植被、水体、土壤、岩石等图案特征的分析,可判读出地面或浅表地层中的遗迹情况。这是因为遗迹与其周围环境的土壤等的结构方面的差异,导致土壤色泽与含水量的差异、植被生长分布异常、土壤侵蚀差异、特殊的微地貌特征等等,它们在遥感影像中都会以特定的图案显示出来,形成考古遗迹的影像标志,为遥感影像的解译工作提供了依据。遥感考古研究中,常见的影像标志有阴影标志、土壤标志、植被标志等。

阴影标志常常出现于高台地域的遗址中,这类遗址受到地表水流的侵蚀较少,地面上往往会留下墙基、台基一类的夯土或石基残迹,构成考古遗址中特殊的微型地貌,这种微地貌在倾斜太阳光线的照射下,地形起伏就会产生明显的阴影,由此可以判断出遗迹的形状、范围、布局等属性。新疆高昌故城的航空影像上,城墙、马面等遗迹与其阴影并存,边缘清晰,易于辨认。

遗迹的土壤标志,出现于遗迹的埋藏深度较浅,而地面平坦且裸露,地表没有残存痕迹的遗址中。古代道路、夯土、淤土等遗迹的色泽、结构、湿度等与其周围环境有一定的差异,这些差异能够在某些遥感影像上显示出来,作为判读考古遗迹的重要标志。土壤标志在比较干燥的季节效果最好,所以这时的遥感影像能反映出地下稍深地层中

的遗迹, 探查诸如墓葬、城墙、古河道、夯土台基等遗迹。安阳殷墟的TM影像上可以判读很多建筑基址、墓葬群等遗迹。

遗迹植被标志在遥感考古中的应用最为普遍。地下古代遗迹的土壤与其周围环境的土壤在含水量的多少、板结与疏松、贫瘠与肥沃等方面有着较大的差异, 导致灌木丛等生长与分布出现特定的规律, 或使农作物、野草的色泽、密度、高度产生异常, 在遥感影像上形成特殊的图案。西安汉长安城5月底和6月初的航空影像上, 很多夯土建筑位置的影像色调较浅, 很容易从周围环境中分辨出来。

考古遗迹的影像标志很多, 对不同的遗址的反映情况各有特色, 在不同的遥感影像上形成的图案也有很大的差别。所以, 在具体工作中, 要收集与遗址有关的历史、考古、遥感、地理、地貌等资料, 了解遗址的类型、范围、残存状况、埋藏深度以及遗址范围内地貌特征、土壤类型、植被覆盖与生长情况等等, 然后才能对遥感影像进行综合解译, 准确地判读遗迹的形状、位置等属性。最后再根据影像解译的结果, 到实地进行必要的钻探等验证, 解决一些模棱两可的问题, 提高解译结果的准确性。

遥感影像的视野开阔, 信息丰富, 资料规范, 适合于计算机的分析和处理, 从而使遥感考古工作具有速度快, 周期短, 方法灵活的特点, 能够对考古遗迹进行无损勘探、测绘成图、动态分析、三维模拟等工作。同时, 光谱特征丰富的卫星影像的分辨率正在不断提高, 遥感考古技术的应用前景将更为乐观。

除了航空航天遥感外, 考古磁法与电法勘探也具有重要的意义。磁法与电法勘探是运用磁力仪等地球物理勘探设备, 探测和分析考古遗迹或现象与周围地层之间的磁性差异和磁场特征, 由此来研究考古遗迹或现象的分布特征。磁法勘探的点阵间隔可以定为0.5米甚至更小的数值, 能够对建筑基址或墓葬等考古遗迹进行高分辨率的勘探。涇北商城的城墙埋藏在2.5米左右的地下, 而且墙体保存情况很差, 但是在磁法勘探结果图中可以清晰地显示出来, 高磁强异常值的连线清晰地显示出城墙两侧的走向, 这是由于城墙墙体内部的磁强值比较一致, 墙体之外的磁强值是另外一个数值, 城墙两侧是磁强数值变化的地方, 所以磁强异常值最大。

### 三. 考古地理信息系统研究

地理信息系统是由计算机硬件、软件、地理数据和人设计的有效地获取、存贮、管理、更新、操作、分析和显示所有地理信息的集成应用系统。它作为计算机技术、地理、遥感、测绘、统计、规划、管理学和制图学等学科交叉运用的产物, 代表了现代计算机应用技术和其它学科相互渗透的发展方向。GIS技术是以地理空间数据库为基础, 在计算机软件和硬件的支持下, 运用系统工程和信息科学的理论, 对整个或部分地球表面(包括大气层)与地理空间分布有关的数据进行采集、操作、分析、模拟和表达, 为地理研究和地理决策服务提供多种空间地理信息的技术系统。

考古调查和发掘中获得的资料都具有空间属性, 一个考古遗址的位置和范围可以使用空间数据来表示, 考古遗址内的遗迹、现象乃至一件器物或陶片也都可以用准确的数据来表示各自的空间位置。地理信息系统技术正是从考古遗迹或现象的空间位置出发, 建立多重空间信息与属性信息并存的数据库和图形图像库, 从而能够方便地进行分层或综合显示、查询、模拟各类数据信息, 直观、简洁地复原当时的社会状况。

运用地理信息系统技术能够建立局部区域、全国乃至全球范围内的考古信息系统。考古信息数据包括考古遗址的空间数据和属性数据, 及其相互间的连接, 空间数据是指各种遗迹所处的空间位置, 属性数据是指遗迹的内容、说明等。空间数据包括地形图、专题地图、遥感影像等等, 空间数据的输入就是将这些图形或影像运用数字化仪、扫描仪等设备输入到计算机中的过程。考古研究中的空间数据往往很多, 因此需要对空间数据分层放置, 比如山西襄汾县考古信息系统中, 设置有不规则三角网、卫星影像、等高线、河流以及仰韶至汉代时期聚落分布等图层。空间数据的分层方法多种多样, 工作中应根据项目的具体情况而定。属性数据包括现有的各种考古资料, 即考古钻探、发掘的所有记录等。

考古信息系统具有空间信息显示和查询、图文互访、修改编辑、图形图像生成与输出、多重数据的访问和显示等功能, 同时还具有多重空间分析功能, 特别是在区域考古研究中, 可以分析一个完整区域中考古聚落的分布与演变特征, 探究古人与自然环境之间的依赖与改造关系。

缓冲区分析是地理信息系统中重要的距离分析项目, 主要研究根据信息系统中的点、线、面实体, 自动建立其周围一定宽度范围内的多边形实体, 从而分析特定专题的空间数据在水平方向上的分布规律。在陕西七星河流域、河南涇河流域、伊洛河流域、山西襄汾县境内等区域的缓冲区分析中, 发现聚落基本上都是分布于小型河流两侧大约600~700米的范围内, 反映人们的生活与水源有着密切的依赖关系)。也许可以推测, 古代人们为了旱季也能够在这些区域生存, 就必须在小型河流上修建水坝, 以便在雨季中能够存贮足够的生活用水。大型河流沿线分布的聚落则非常稀少, 其原因应该是大型河流的河床宽阔, 雨季中水量很大而无法修水坝加以控制, 对聚落也会构成很大的威胁, 人们也就无法沿大型河流居住。

在山西襄汾县境内的坡度与坡向分析中, 通过GIS软件生成坡度分析模型之后, 显示出坡度在1°以内和超过3°的地带几乎没有聚落分布。其原因可能是河流在坡度较大的地带中水的流速很快, 搬运泥沙的能力很强, 流到平坦地带中时, 河流中水的流速变得缓慢, 搬运泥沙的能力降低, 大量的泥沙沉积在河道之中, 导致河道淤塞, 使河流的稳定性降低, 山洪爆发的时候经常发生河流改道等事件, 所以坡度在1°以内的平坦地带, 不适合人类的生存。西部吕梁山沿线坡度很大, 河流的落差很大, 雨季中水的流速也很快, 不适合修建堤坝用来贮水, 人类无法在这里生存。而1°至3°的地带中, 河道下切很深, 河流较为稳定, 便于筑坝贮水, 适合人类的生存。

其它的三维空间分析功能, 诸如通视与可视域、预测模型、区域模拟等分析都能够在考古研究中得到很好的应用, 解决区域考古、聚落考古等研究中的很多问题。

### 四. 虚拟现实技术

虚拟现实就是使用计算机技术生成一个逼真的视觉、听觉、触觉及味觉等三维感观世界, 用户可以直接用人的技能和智慧对这个生成的虚拟实体进行考察和操纵。虚拟现实技术在考古研究中的应用(姑且称为“虚拟考古”)就是使用计算机技术生成逼真的三维古代环境、古代城市、考古遗址、考古发掘现场、考古博物馆等等, 并配合相关的声音等信息。如同很多博物馆中制作一些考古遗址、墓葬的沙盘一样, 虚拟考古可以根据考古调查、发掘的数据对当时情况进行虚拟, 通过计算机动态地重现当时的历史片段或考古发掘现场等等场景;也能够根据考古学家的假设或推断进行虚拟, 检验假设或推断的可靠性。从十三陵遗址的三维模型中, 可以观察到帝王的陵墓都是位于小山脉的前面, 清晰地显示出皇家陵园中的风水特征。

虚拟考古的用户不仅可以显示和观察考古数据, 而且可以与虚拟考古的对象进行交互, 具有从外到内或从内到外观察和操纵考古数据空间的特征。比如用手(通过传感器或跟踪装置)或其他三维工具来操纵古代模型、感知虚拟考古对象的触觉乃至气息, 从而感受文化层、夯土、路土等的硬度或者陶器、瓷器、青铜器等的质感等等。这样, 考古学家可以充分地利用考古数据, 从不同的角度使用不同的方式来研究考古学的问题, 提高了效率, 更会节省大量的时间;非考古专业的人士则可以非常直观地感知考古研究的内容, 领略考古学家所揭示的古代社会的“真实”面貌, 走进视听触味效果十分逼真的虚拟考古世界, 真正体验身临其境的感觉。

虚拟考古是一种多技术多学科相互渗透和集成的技术, 研究难度非常大, 需要投入大量的时间和人力。虚拟考古技术的实现需要专业的技术人员、功能强大的计算机设备、成熟的虚拟现实软件和雄厚的财力等因素的支持, 才能产生高质量的虚拟考古的题材, 为考古学研究和教学服务。

## 五. 数据库技术

考古数据库即考古数据的仓库，是一个由考古空间的相关信息组成的多媒体混合物。考古信息的数字化将是必然的趋势，考古调查、发掘和研究中的各种信息都需要按一定的方式输入到数据库中，才能够进行高效的管理和应用研究。考古数据库的概念我们并不陌生，中国社会科学院考古研究所等开发的文物数据库、吉林大学考古系开发的三峡考古数据库等都是比较成功的实例，广东省文物考古研究所开发的田野考古2000 软件则是从田野调查、发掘资料的录入开始，系统地将各种考古资料输入到数据库中进行有效的管理和应用，提高工作效率。

考古数据库的信息量将会非常庞大，为了使用户能够迅速得到自己想要的信息，必须建立目录索引，通过它可以了解有关考古遗址数据的名称、位置、年代、调查发掘日期、次数、数据格式以及影像分辨率等等信息。考古数据库中将会包含考古调查、发掘和研究中的各种记录、图表、图形、图像、声频、视频、论文、报告、数据等，同时还要求记录数据的来源、投影方式、坐标系统、数据质量、编码方案、采用的标准以及数字化方式、时间、人员等一系列描述信息。

数据库技术也将应用到考古地理信息系统之中，形成空间考古数据库。空间考古数据库将根据一定的主题内容（如青铜器研究）集成来自不同考古数据库（如不同时代的考古数据库）中的数据，数据在结构上具有综合性。空间考古数据库将考古数据的时间属性和空间属性紧密地结合起来，通过构建面向分析的多维空间考古数据模型，利用多维分析方法从多个不同的角度对考古专题进行分析比较，提取隐藏在考古数据中的信息，实现面向考古数据和面向考古模型的分析方法的统一。

## 六. 网络技术

网络技术已经发展到了家喻户晓的地步，没有网络就无法谈论信息时代，也无法实现“数字考古”的很多功能。网上考古信息的发布、传送，网上考古论坛的开设等已经为考古研究人员提供了极大的便利，同时考古数据库中的数据只有通过网络连接才能够得到充分的利用和更为有效的管理。

一个国家数字考古的数据不可能通过单一的数据库来存储，而是由很多分散在各地的数据库通过高速网络连接而成。随着网络技术的不断发展，空间考古数据及考古多媒体、虚拟现实数据传输的带宽和延迟的问题将会逐步得到解决。网络技术将会为不同的访问对象设置各自的访问权限，兼顾考古数据的共享与保密问题。高速的远程通讯网络将允许考古人员或爱好者从远程考古GIS 数据库中调用非常庞大的数据文件进行分析研究和图形显示，查询重要的考古学研究数据，真正实现分布式计算，在全国乃至全球范围内实现GIS 数据共享。

网络传输方面，现在普遍采用超文本标记语言（HTML）页来描述和传输声频、视频、文本等所有的信息类型，页面固定，传输的文件较大，也影响传输的速度。下一步将广泛使用虚拟现实造型语言（VRML）来更加直观地表现所有的信息，VRML 正在把对网络的感受从以页面为中心的模式转变为人们更加喜爱的交互、三维、动态、逼真的世界，网络中传输的只是小型指令性数据集。客户端的计算机，应用自身的计算及图形资源就能对图形进行渲染、描述和显示三维的考古资源。所以网络技术的发展将为“数字考古”提供强有力的支持，各种考古数据都能够通过网络进行快速传输，使数字考古得以实现。

## 七. 结语

在“数字考古”研究中，GPS 等测绘技术或遥感成图技术能够精确获取考古遗迹的位置和图形、图像等数据，遥感技术可以对古代遗迹形状、分布等进行勘探和分析，GIS 则是录入、管理和分析考古图形数据和属性数据的有效工具。同时，考古遗址的GPS 等测绘数据能够直接输入到GIS 之中，各种遥感影像数据经过配准后也能够调入GIS 中，作为GIS 的基本数据，并且可以在GIS 中对考古遗址中获取的各种数据进行综合分析和集成研究，也能够使用虚拟考古技术对不同的考古现象进行虚拟。然后建立不同规模的考古数据库，并通过网络技术将各个考古数据库连接成一个有机的整体，再以不同的权限向全社会开放。

“数字考古”技术集考古调查、发掘、研究中的图形、图像、文本、声频、视频、光盘存储、电子印刷和计算机通信之大成，可望在考古研究中得到广泛的应用，并促使各种考古数据的采集和应用更加规范，为考古学研究提供新的手段，使考古学研究紧跟信息时代发展的步伐。然而，“数字考古”技术的很多方面现在尚未成熟，希望各界同仁能够共同努力，逐步实施和完善“数字考古”计划，推动考古事业的发展。

来源：南方文物2007.1

技术支持：陕西省文物信息咨询中心 版权所有：汉阳陵博物馆：2011年-2015年

地址：西安咸阳国际机场专线公路东段 传真：029—86030492 电话：029—86031470 邮编：712038

当前访问人数：

（浏览本网主页，最佳分辨率为1024\*768）版权与免责声明 留言信箱 [hy1ae2008@163.com](mailto:hy1ae2008@163.com)

