

数字化手段在大遗址考古工作中的应用

——以良渚古城为例

刘斌 王宁远 (浙江省文物考古研究所 浙江杭州 310014)

摘要: 良渚遗址和良渚古城是近年来中国史前考古进展最大的区域,也是典型的大遗址,其保护区红线范围即达42平方公里,而实际范围远大于此。在这样大的范围内,仅采取传统的大规模钻探和发掘等手段,完全无法满足学科研究的需要。发掘者围绕需要解决的学术问题,积极寻求多学科合作。其中数字化手段所起的作用尤其明显,借助“数字高程模型”(DEM平面图)在遗迹寻找上的重要指示作用,迅速扩大了良渚古城周边的测绘范围和分析手段,陆续发现良渚古城外围的水坝等遗迹,确定古城中心的宫殿区、城墙和外郭依次降低,共同构成了三重同心结构,取得了中国古代城市研究的重大突破。

关键词: 良渚古城; 文化遗产数字化; 大遗址; 数字高程模型 (DEM)

考古学提供了时空坐标和大量的遗迹遗物,这些遗迹遗物包含着各方面的信息,远远超出考古学本身的技术方法所能提取的范畴,可供各相关学科开展研究。因此通过多学科手段将资料信息最大化提取和分析,能更好地帮助考古学对古代社会进行全面恢复和研究。同时,现代考古学的诞生,即是吸收了地质学、生物学理论与方法,形成考古地层学、类型学及年代学的基本方法。随着自然科学的发展,各种技术和设备都以极快的速度被应用到考古研究中来,如C¹⁴等测年技术的引入,成为考古年代学的基本手段。所以从学科基因上来

说,考古学是一门具有极强学习能力、兼跨文理、充满朝气和生命力的学科。现代考古学的终极目的是全面恢复古代社会的方方面面,因此,大遗址理念指导下的考古工作,多学科合作成为极重要的研究模式和手段。

良渚遗址和良渚古城是近年来中国史前考古进展最大的区域,是中华五千年文明实证。良渚遗址是个典型的大遗址,其保护区红线范围即达42平方公里,而实际范围远大于此。在这样大的范围内,仅采取传统的钻探和发掘等手段,完全无法满足学科研究的需要。围绕良渚古城需要解决的学术问题,结合传统的考古学方法,我们积极采用多学科合作的手段开展大遗址工作,取得了不错的效果。其中数字化技术所起到的作用尤为明显。

一、DEM与良渚古城外围结构的探索

在良渚古城发现后,研究其空间框架结构成为考古队的首要目标。首要任务是要明确古城是否存在外郭城。在良渚古城发现之前,整个良渚遗址群内有根据现代地貌边界标定的135个独立遗址点。古城墙发现后,我们发现许多遗址点实际上是同一遗迹(如城墙)的不同位置,或者是城的不同功能区,只是因为后期的破坏导致彼此分离。因此以往基于遗址点的观察角度,显然已经无法适应对古城的整体研究需求。有了城墙这一明

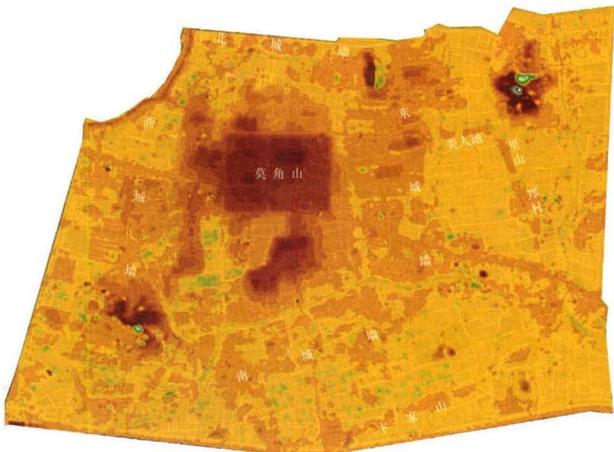


图1 良渚古城核心区的数字高程模型 (DEM)

确的线索，考古工作的目标思路就豁然开朗，观察的焦点集中到城墙外围的区域，考古工作从某种意义上说进入了顺藤摸瓜、按图索骥的阶段。以城墙的基本形态作为参考，我们特别注意寻找那些同属于良渚时期、外形呈长条垄状的遗址点，以及能构成框型结构的若干遗址点的位置关系。但是这些遗迹因为受到晚期的破坏，可能已经变得断断续续，所以需要在平面图上去复原这些地点的原有关系。

这期间我们对古城东部区域进行了大规模的基础钻探。钻探获得了这个区域内古水系和文化堆积的翔实材料。但是我们发现这种基于传统考古手段形成的平面图，对于研究古城的外围结构所能提供的直观信息并不多。在这样的情形下，迫切需要找到另外的手段来进一步分析遗址。

作为一种尝试，我们利用良渚古城区域1:500比例的线划图在GIS软件中制作了数字高程模型（DEM），结果有惊人的发现。图1显示的是该数字高程模型（DEM）的截图，在这张图里，莫角山标准的长方形轮廓，以及其上大小莫角山和乌龟山这三个高台显示得非常清晰，更为重要的是，这张范围不大的图里，我们可以明确地发现良渚古城东南部外侧，存在着一个长方形的结构体，它由美人地、里山—郑村、卞家山分布构成北、东、南三面墙体，并和良渚古城的东墙和南墙相接续。结合之前钻探的信息，我们认为这一周框状的结构应和良渚古城密切相关，它可能是与古城不同阶段的另一墙圈，也可能是古城同期的外部附属结构。基于这样的认识，我们迅速开展了这周墙体上的美人地、里山两个地点考古工作，证实这些条垄状遗迹是由良渚晚期若干次的居址逐步加高形成现状的。作为良渚古城的附属平民居址的可能性很大。这种长条形框状聚落，与普通良渚基层聚落的形态完全不同。基层聚落都是呈散点状分布的小聚落，每个间距500—1000米，聚落面积4000—20000平方米左右，每个聚落都以自身土台为中心，周边围绕着该聚落的水域和耕地。这是水网平原地区和良渚稻作农业形式和水平结合形成的最优布局。而古城周边的这一框状长条聚落，相当于几十个散点式基层聚落的面积总和，其上居住的人口甚多，如果居民也是从事稻作生产，则围绕着它的稻田面积巨大，从居住地到稻田的距离会非常远。而我们的稻作专项研究调查显示，条垄周边并没有良渚稻田分布，而是一般的沼泽，所以这一圈居民应该不是从事稻作生产的农民，而应该是最早的城市居民。因此，这周条形的

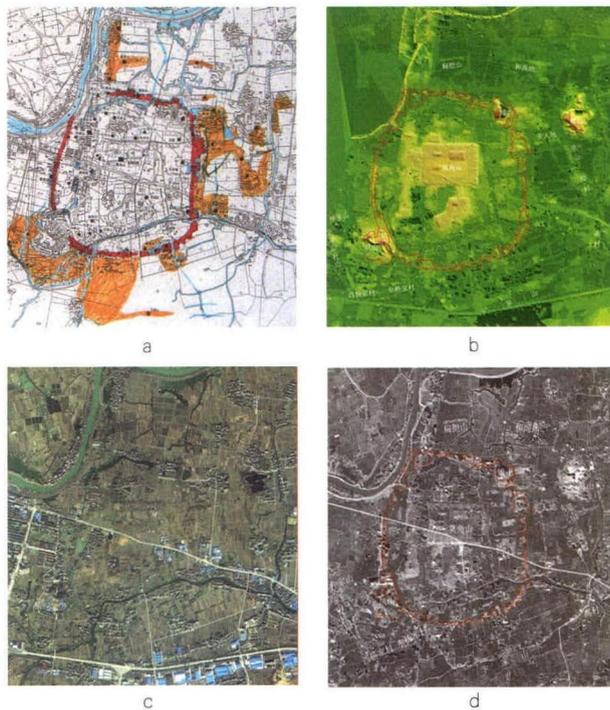


图2 不同数字形式对良渚古城的表现效果

居住地，当是古城的外郭。

所谓“数字高程模型”，通俗地说，就是把地图上不同高程的范围，依照某种色系的变化，涂上不同的颜色。这样，即使一道城墙被破坏后呈若干分散的小段，其基本高程一致的话，在DEM平面图上就显示为相同的颜色，这样就很容易顺着某种几何位置关系把它们联系起来（图2b）。而前述那张钻探形成的水系和文化堆积分布图（图2a），实际上并没有反映出高程信息，它反映的文化堆积范围，既包括了地面上的人工堆筑高地，还有外围河道等低地区的废弃堆积，所以，该图标示的遗存范围较大，没有反映最重要的高程信息，对于寻找墙状的结构很不直观。另外，良渚遗址群还有分辨精度高达8厘米的数字正射影像（图2c），谷歌地球（Google Earth）也提供了本区分辨率达60厘米的高清影像（图2d）。但是因为建筑和植被的干扰，这些影像对地面高程的变化反应也不敏感，从而使遗迹不能清晰显现。而相反地，DEM反应的是单纯的地表高程变化，所以能从复杂的地表植被和建筑的视觉干扰中，将遗存信息直观反应出来。因此我们发现，在本地区寻找城墙结构，DEM是最有效的方法，优于线划图和高清卫片。

因为DEM在遗迹寻找上具有重要的指示作用，因此我们迅速扩大了古城周边1:500地图的测绘范围，并根据新的地图，制作了新的DEM。结果发现在古城的北边，

还有两条长条形的结构，与美人地—里山—下家山共同构成外郭结构。同时，我们发现良渚古城中心的宫殿区、城墙和外郭依次降低，构成了三重同心结构（图3），是中国历史时期都城的宫城、王城、外郭三重结构的滥觞。这个重要的认识是中国古代城市研究的重大突破。

良渚古城区域数字线划图分别有1:10000、1:2000、1:500三种比例。其中以1:500的图制作数字高程模型效果最好。这是与良渚遗址的堆积性状、保存状况密切相关的。比例不同的图，其等高线密度不同：1:10000的图，等高线间距为5米；1:2000的图，等高线间距为2米，1:500的图，等高线间距为0.5米。良渚地区的人工堆积，包括城墙遗迹，目前和周边平原农地的相对高程，大体都在3—4米，另外还有些相对高程只有1—2米。这样，如果使用1:10000的地图，除了莫角山这种相对高程8—9米的巨型遗迹外，其他地点因为相对高程过小，几乎无法从农田中辨识出来。所以，1:10000比例的地图用于寻找城墙构造显然是不合适的。同理，因为存在着不少相对高度2米以下的遗址，所以1:2000的图制作DEM，也会有大量的信息漏失。而1:500的图具有的0.5米的等高线密度，无疑是制作DEM理想的素材。实际上，我们感觉到在DEM制作中，最重要的因素在于地图的高程分辨率，而非平面精度。地图的比例即使是1:10000，只要其等高线能够加密，达到0.5—1米的密度，也应该可以满足需要。

DEM在本地区的考古工作中能发挥较大的作用，应该和良渚以及整个太湖地区聚落分布形态密切相关。水乡平原地带植物繁茂，人口密集，因此从遗址现场和卫片等角度观察，干扰因素很多。但是太湖平原地区史前遗址多为人工堆筑的高墩，墩外多为水域和稻田，这种模式从良渚时期开始形成，一直延续到今天都没有发生大的变化。所以，早期的人工高墩往往会被晚期继续加高沿用，而不会推倒重起炉灶，从而使早期的遗址格局得以保留。因此通过DEM剔除了建筑和植被的干扰之后，遗址的原有格局就能比较好地得到反映。

二、遥感（RS）与GIS手段在良渚古城西北侧水利系统探索中的应用

随着近年的良渚古城考古工作的推进，我们又确认良渚古城外围存在一个庞大的水利系统。在这个系统整体结构的寻找中，遥感手段提供了关键的线索。而在分析这个系统的作用中，GIS发挥了重大作用。同时我们



图3 数字高程模型（DEM）反映的良渚古城的三重结构



图4 谷歌地图上的水坝形态

在制作大区域的DEM时，也针对一般的制作方法的缺陷，进行了探讨和改良，取得了满意的效果。

2009年夏，良渚古城西北部约8公里的彭公岗公岭，因为偶然的施工发现了大型人工堆筑遗迹。通过调查，发现此处遗迹系在两山之间的沟谷位置由人工堆筑大型坝体。坝体规模极为宏大，复原其堆筑高度可能近20米，宽度上百米。其内部中心由草裹淤泥的小土包垒砌，外围覆以纯净黄土。这种堆筑方法与反山等良渚时期很多台墩遗迹相同。在遗址现场发现有零星的良渚文化陶片，台墩上部则有汉墓叠压，因此推测此处遗迹可能属于良渚时期。顺此线索，我们在周边山谷内又发现了秋坞、老虎岭等几处类似的坝体。当时我们的观察，还是基于单体水利设施的角度对这些坝体进行解读，推测可能是用于阻拦山谷的来水，使其改变流向，汇入山系北侧的德清下渚湖，避免洪水冲击遗址群。2010年



图5 塘山水坎与良渚古城位置关系 (美国corona卫片, 1969)

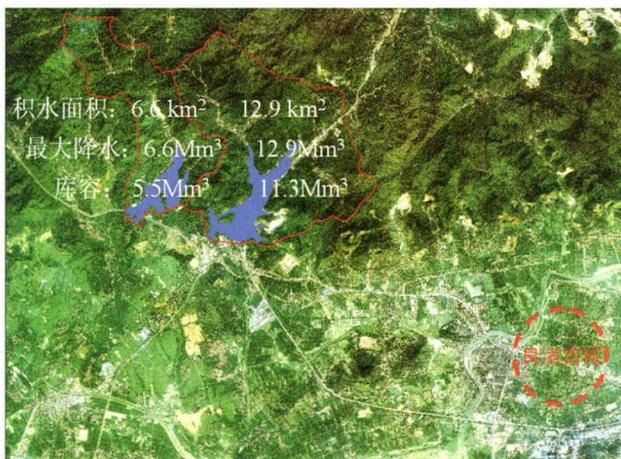


图6 谷口高坝的集水区和库容

夏, 岗公岭的3个草叶样本经北京大学考古年代学实验室C¹⁴测定, 其树轮校正年代距今约4800—5000年, 证实了我们前期对此处遗迹的年代判断。因此其重要性进一步引起我们的重视, 继续在周边进行调查。

我们使用谷歌地球 (Goole Earth) 的高分辨率卫片对这一区域进行观察, 2011年年初, 意外地发现, 在岗公岭这组坝体南面的鲤鱼山也存在着一处明显具有人工痕迹的大型坝体。现场钻探调查证实此处300米长的坝体是人工堆筑的。同时发现在鲤鱼山的东侧狮子山也是一段已经被道路截断的坝体。这次调查的意义并非仅仅增加了坝体的数量, 关键在于鲤鱼山和狮子山通过其东面的小山, 连接到了良渚遗址群西侧规模巨大的水利工程——塘山。

塘山遗址长6.5公里, 1990年代发现后曾进行多次发掘, 一般认为是良渚遗址群外围的挡水坝。但是当时

是以单体遗迹的角度对其进行研究的, 对塘山西侧向南拐弯后的去向, 考古队曾在毛元岭一带多次找寻, 但是一直不得要领。而鲤鱼山和狮子山坝体的发现, 证实塘山在向南拐之后, 连接自然山体, 复又向西南侧延伸发展。因此, 包括塘山在内的这些大小坝体, 并非单体起作用, 而是构成了一个极其庞大的复杂的防洪水利系统, 塘山只是这个系统内最长的单体。

目前显示, 水利系统由11条堤坝组成, 是良渚古城建设之初, 统一规划设计的城外有机组成部分。这些堤坝根据形态和位置的不同, 可分为山前长堤、谷口高坝和平原低坝3类。

山前长堤即指塘山, 全长约5公里, 呈东北西南走向, 是水利系统中最大的单体。从西到东可将其分成三段。西段为矩尺形单层坝结构。中段为南北双层坝体结构, 北坝和南坝间距约20—30米, 并保持同步转折, 形成渠道结构。从corona卫片里可以清楚看见它的结构和与良渚古城的密切关系 (图5)。

谷口高坝: 位于西北侧较高的丘陵的谷口位置, 包括岗公岭、老虎岭、周家畈、秋坞、石坞、蜜蜂弄等6条坝体。可分为东、西两组, 各自封堵一个山谷, 形成一级水库。

平原低坝: 建于高坝南侧约5.5公里的平原内, 由梧桐弄、官山、鲤鱼山、狮子山4条坝将平原上的孤丘连接而成, 坝顶高程大约在10米左右。坝长视孤丘的间距而定, 在35—360米间不等。高坝与低坝之间的库区略呈三角形, 面积约8.5平方公里。库区东端与塘山长堤相接, 共同组成统一的水利体系。

良渚水利系统的功用如何? 我们和中国社科院考古研究所科技考古中心合作, 通过GIS手段对这一系列遗迹进一步分析研究。首先我们发现, 原来认为岗公岭等高坝系统是将洪水导引到北侧德清 (县) 的认识是错误的。因为这些山谷上部的分水岭远远高于坝体的高度, 甚至高于坝体两侧的山体, 所以, 高坝系统实际上是能滞留洪水, 形成两个谷口水库。刘建国研究员等通过对美国科罗纳 (CORONA) 间谍卫星1970年代的卫片观察, 并结合地形数据的GIS分析, 计算出它们现存的坝高可以抵御约870毫米的降水量, 而本地区最高的降水量大约就在900毫米左右, 因此这一水坝系统足以抵御百年一遇的洪水袭击, 保护遗址群的安全 (图6)。

最近通过GIS分析, 推测该系统在运输上也应具有重要作用。天目山系可以为遗址群提供丰富的石料、木材及其他动植物资源。天目山古称“浮玉之山”, 地质

学家认为其具备玉器的成矿条件。塘山和德清杨墩等地点发现与制玉相关的遗存，百亩山则发现有石器的半成品，显示良渚时期的玉、石料可能就是就地取材于天目山系内。遗址群内如美人地、卞家山、莫角山、马金口等各地点都发现大量的木材。因此如何运输是良渚人必须解决的问题。在轮式交通及配套的道路系统形成之前，水运是一种最经济便捷的运输方式。美人地木桩板上多次发现的有牛鼻穿，这是木材放排水运时用来穿绳，方便拖动的装置，表明是用放排的方式运来。卞家山和莫角山的码头设施、出土的木浆等说明水运在当时的重要地位。与平原区发达的水网不同，本地区的山谷陡峻，降水季节性明显，水量变化大，夏季山洪爆发，冬季则可能断流，大多时候不具备行船的可能，通过筑坝蓄水形成的库容，可以形成连接各个山谷的水上交通运输网络。如高坝系统的岗公岭、老虎岭和周家畝3坝，以坝顶高程最低的海拔25米计，根据谷底高程推算，满水水面可沿山谷上溯1500米左右。低坝系统鲤鱼山坝群海拔约9米，依据GIS的分析，蓄满水时水面可北溯3700米左右，直抵岗公岭坝下方；东北面可以与塘山渠道贯通。

在制作图7这张DEM时，我们对常规的制作方法进行了一些改进。与图1、图3的DEM不同，整个良渚古城和外围区域面积达百余平方公里，地面有山地丘陵和平原，海拔范围从0米到500米。这个区域内我们有1:2000的数字线划图，其等高线密度为2米，理论上足够满足我们在整体表现古城和水利系统在整体区域内的显示要求。但是我们发现，按照一般的方法制作DEM时，因为软件默认的颜色差值，都是等距的。比如本区高程范围为0—500米，分成50个颜色等级，它就自动以每10米为一种颜色。而实际上我们所有的遗迹，高程都集中在2—35米的范围内，其中很多遗迹相对高度只有2—5米，如果以10米间距区分颜色，绝大部分遗迹都淹没在相同色块中，无法发现。如果以2米的精度区分颜色，则需要手动设置250个色级，而这么多色级的颜色区别在视觉上几乎是不可辨识的。因此，我们考虑采取不等距的色级设置，即在有遗迹的高程范围内加密

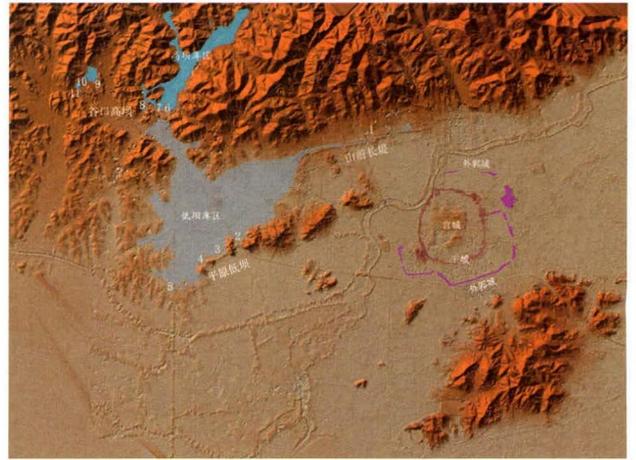


图7 数字高程模型显示的良渚古城及外围水利系统结构图

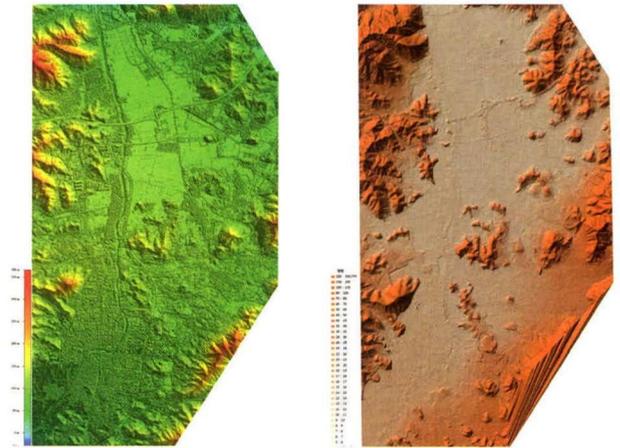


图8 全数据制作和仅选择等高线高程点数据的DEM效果对比

设置，在没有遗迹的高程范围内消减色级。我们将遗迹集中的0—40米范围内以1米为一个色级，40米高程之上，逐步将高程范围加大，最后设置约60个色级，进行制作（图8）。这个效果我们认为比较符合我们需要的。根据我们的观察，目前大部分的考古项目在委托测绘单位进行DEM制作时，都是按照软件默认设置的高程平均值进行制作的。在高程悬殊的区域，这种DEM就很可能完全无法显示出遗迹，达不到需要的效果。因此我们认为这是遗址GIS处理中需要关注的一个重要方面。●

（责任编辑：孙秀丽）