

Controlled Archaeological Test Site: Concept and Design

可控考古试验场理念与设计研究

铁付德 陈建立 张 海 Tie Fude, Chen Jianli, Zhang Hai

134

内容提要：

我国历史悠久、文明灿烂，历史文化遗产极为丰富。在探索中华民族文明源流和发展的过程中，考古学及其他相关学科发挥了重要作用，同时带动了许多探测技术在考古实践中的应用。随着时代的发展，实验考古与公众考古在考古学研究中愈发重要，可为诸多田野考古所不能解决的问题提供实际操作方法，模拟复原或重构古代物质文化面貌；并可以此为平台，将考古学研究成果以丰富的形式回馈于社会。然而国内相关研究及设施相当缺乏。另外，由于地面资料与地下资料之间的关系是复杂的，地表线索以及技术探测数据与地下遗存分布情况的关联度与准确度越来越受到关注，开展探测技术适用性和应用成效评测技术攻关，建立可控考古试验场，是当前我国考古探测领域进步与发展的迫切任务。

关键词：

可控 考古 物探 试验场

Abstract: In the exploration of the emergence and development process of the Chinese civilization, archaeology and related academic disciplines have played important roles and facilitated the application of various surveying technologies in archaeological practices. The rise of experimental archaeology and public archaeology in archaeological studies offers new practical solutions for field archaeology and helps to restore or reconstruct ancient material culture, which builds up a platform for presenting the fruits of archaeological studies to the public. Nevertheless, researches and facilities are still insufficient in China. Furthermore, because of the complicated relations between aboveground and underground data, more emphasis has been placed on the connections between the clues above ground and survey data and the distribution of underground remains and their preciseness. It seems an urgent task to explore new frontiers in the availability of surveying technologies and their application effect and to establish controlled archaeological test site (CATS).

Key Words: Control; archaeology; physical prospection; test site

— 引 言

当前，田野考古工作愈来愈追求工作的效率、科学性和系统性，考古学研究的理念也不断更新。田野考古工作不仅能够为考古学家提供系统诠释古代社会和文化的物证，而且为全面评估物质文化遗产的价值和保护策略，为开展公众教育提供大量珍贵的资料。在这个背景下，需要借入地质学、冶金学、地理与环境科学、物理学、化学、生命科学和计算机技术等自然科学的方法，进行多学科综合研究。由此带动了考古学从田野考古操作技术到实验室分析技术的全面发展，形成了多学科

铁付德 / 中国国家博物馆 / 北京 · 100006
陈建立 张 海 / 北京大学考古文博学院 / 北京 · 100871

科共同探讨考古学问题的局面。这正成为现代考古学的发展趋势。

现代科学技术在田野考古调查、勘探与评估中起到重要作用。田野考古调查与勘探的目的在于发现古代遗存。通过对这些遗存空间分布的研究,以探索古代社会结构和人类行为。通过对古代遗存分布现状的考察,探索这些遗存的埋藏和保存状况,为文化遗产的管理和保护提供依据。

随着全球经济发展、环境变化和多极化的趋势,人类文化遗产所遭受的破坏和不确定性因素日趋增加,通过现代科技支持的考古调查与勘探,为文化遗产的价值评估、管理和保护提供依据的需求大大增加,推动了现代无损勘探技术在田野调查中的应用。从上世纪50年代初开始,国外的聚落考古得以迅速发展,经过“新考古学”的推动,包括航空和航天遥感、现代物理和化学探测方法等在内的现代科学技术在考古调查中得到迅速和广泛的应用,由此也引发出“考古学纯洁性的丧失”的讨论。从80年代开始,现代科技在田野考古调查和勘探中应用的广度和深度都大大增加。考古学研究开始从对单个考古遗址的研究扩展到“遗址外”和“非遗址”的范围,从对单纯的人类社会关系网络的研究扩展到对人类与其生存环境之间互动关系的研究,从实践上对田野考古调查和勘探工作所需获取的信息量提出了新的要求,推动了田野考古调查和勘探工作进入新的阶段。

田野考古第一步要发现并记录遗址和遗迹,进而对遗址的范围、类型和布局作出判断。由于地面现象与地下文物遗存及埋藏环境之间关系的复杂性,近年来,考古界越来越关注这样一个问题,即地表调查的线索与地下遗存的存在和分布情况的关联度与准确度。因此,在地表对地下遗存的探测方法则成为更为全面地了解地下遗存的重要手段。

但是,由于地面资料与地下资料之间的关系是复杂的,开展地表线索以及技术探测数据与地下遗存分布情况的关联度与准确度研究,开展探测技术适用性和应用成效评测技术攻关,是当前我国考古探测领域进步与发展的迫切任务。

二 考古勘探技术的应用现状分析

传统意义上的田野考古调查主要是对古代文化遗存的发现,但从上世纪50年代初美国学者威利在秘鲁河谷的聚落考古调查实践开始,将田野考古的调查方法逐步引入到考古学聚落形态研究的重要领域,由此包括航空和航天遥感、现代物理和化学探测方法、以定量统计学为基础的空间统计抽样和数学建模技术以及现代信息管理技术等在内的现代科学技术在考古调查中得到迅速和广泛的应用。

第二次世界大战结束不久,考古地球物理勘探技术即诞生。如1958年Martin Aitken首次报道了利用新的质子磁力仪成功定位一座前所未知的“陶窑”,然而这一结果的考古价值尚不明显,如令他失望的是,这并非真正的“陶窑”^[1],而只是一个灰坑。其原因在于地磁勘探技术人员缺乏考古背景知识,这既阻碍了考古地球物理技术的发展,也可能导致考古学家在利用新技术研究成果时存在误解。上世纪70年代末是考古地球物理勘探研究的低谷,因为在当时看来,有关考古地球物理勘探的很多“大”问题已经解决,另外考古科学其他领域存在更多的、更根本的问题需要研究,需要投入更多的精力。到80年代后期,随着考古地球物理勘探仪器和软件设计越来越强大,

地球物理技术在考古调查与勘探中的应用日益活跃。但根据考古学的要求选择什么样的物探方法更为合适才是问题的关键。其根本原因在于,考古学有一个快速而准确地获取遗址绘图的需要,并且出于规划目的,也需要一个适当的微创技术以替代昂贵的和破坏性的考古发掘,不仅考古挖掘费用越来越高,在一些国家和地区,基于保护和道德的考虑,这种传统考古发掘已经很难获得许可^{2]}。但物探方法可部分填补这一空白。随着设备的小型化、集成化和软件的更新,目前在欧美国家,地球物理技术的使用呈爆炸性增长。这虽然是技术的因素,但更多地是出于使用非侵入性、非破坏性的技术规划之目的。我们有理由相信,这种设备通常可在世界各地越来越多的考古勘探工作中使用。

国内的田野考古调查和勘探工作开展得相当早,几乎与中国现代田野考古学的诞生同步。但受制于考古学学科发展的层次和不同历史时期考古学学术研究需求的不同,现代科技在中国田野考古调查和勘探中所受重视的程度,以及在调查和勘探技术方法中所占有的比例也不尽相同。现代科学技术在田野考古调查中的广泛应用,以及由此而带来的中国田野考古调查的真正意义上的进步,开始于区域系统调查的理论和实践。1995年,山东大学、美国耶鲁大学和芝加哥自然历史博物馆联合开展了对日照地区的调查,这是中国大陆第一次完整地按西方区域系统调查模式开展的工作。1996年,中国社科院考古所、内蒙古考古所、吉林大学在赤峰半支箭河中游也自主开展了接近于区域系统调查模式的调查。1997年以后,区域系统调查在全国各地开展起来,见诸报道的有河南洹河流域、伊洛河流域、灵宝和洛阳盆地、颍河上游、内蒙古赤峰和岱海、山西垣曲盆地、陕西周原七星河流域、陕西岐山周公庙、四川成都平原等等。这些调查一部分属于真正意义上的全覆盖式的区域系统调查,有的则仅仅运用了区域系统调查的方法,但并不系统全面。在它们的带动下,中国的田野考古调查中采用区域系统调查的方法已经有了普及之势,而新颁布的《田野考古操作规程》已明确将区域系统调查作为将来考古工作的一个组成部分。这些区域系统调查与传统的调查方法最大的不同之处在于其都整合了一系列现代科技手段,特别是3S技术、物理勘探技术、抽样调查和采集方法的推广使用。

我国田野考古勘探主要依赖探铲进行钻探,但这种方法可能对考古遗址造成一定破坏,因此,如何根据遗址实际情况,在数学统计的基础上,降低对遗址的破坏,提高钻探效率和工作水平是值得重视的。基于这一现状,一些无损探测技术得到了应用和发展,如大地遥感、探地雷达、电阻率法、磁力测量等都有了较多的应用,积累了一定的经验。而磁光泵技术、瞬变电磁勘探技术、高分辨率的雷达探测技术、超声成像技术在我国其他行业和领域已广泛应用,比较成熟,但在考古勘测方面却鲜有涉猎。此外,放射性分析、中子探针、地球化学分析等方法虽不常用,但是未来可能有应用前景。随着科技发展,一些新兴的地下探测技术将会不断出现,它们将在我国考古领域的地下遗迹遗址探测方面发挥重要的作用。

我国的地球物理勘探技术也取得较大收获。自上世纪50年代,地球物理勘探技术在我国已经得到尝试。80-90年代,我国学者对安徽亳县古墓、开封宋代城墙遗址、西安秦始皇陵、湖北黄石冶炼遗址、北京故宫地基等多种类型的遗址进行的磁法、电法和地球化学的探测,取得较为丰富的成果。进入新世纪以来,地球物理勘探技术在考古中的应用越来越多,值得总结经验,为确定学科发展方向提供可靠的保证。特

别需要指出的是,在国家“863”计划的支持下,段清波等于2002年综合应用高密度电法、地震波法、高精度重力、磁力测量、地质雷达等诸多地球物理方法,对秦皇陵区各类地下遗存进行了勘察方法的有效性试验,提出了有效而相对轻便的探测地宫及其陪葬坑、陪葬墓等的物探和化探方法的组合,取得了重要成果。该项工作为进一步的物探考古提供了实践经验和理论基础,系首次对举世瞩目的秦始皇陵封土及墓室作了科学性的数据描述,为我们更深入地了解秦始皇陵、制定文物保护规划提供了丰富的经验。但这些组合对其他遗址或地下文物种类是否有效,仍需要做进一步的试验。

(一) 地磁勘探

考古地磁是考古勘探最常见的方法。目前,已利用地磁法完成许多大规模的调查项目,如对小规模的地磁异常^[3]、完整的城市^[4]以及多种景观考古^[5]。

在技术上,考古地磁勘探逐渐从单一传感系统发展到多传感器系统,现在更发展到利用移动式地磁测量车(无磁车)^[6]、超导量子干涉仪为基础的高度敏感的磁场测量系统^[7]。显然,现在的考古地球物理勘探可选择多种设备,所以对考古勘查而言,至关重要的不是哪种设备最好,而是哪种最合适。对于考古学而言,先进的地磁测量系统可以提供更具挑战性的数据集,但如何对数据进行解释并得出有考古意义的结果是进一步研究的方向。

我国张寅生曾报道利用差分式磁力仪测量多类考古遗存的情况^[8]。他对安徽绩溪县北宋瓷窑遗址测量所得到的反映磁异常的等值线,经考古发掘,确认磁异常区与一段残存的窑体相对应,因为窑体保存有较强的热剩磁。另外,他还利用磁力仪成功地探到南陵县江木冲一座东周到西汉时期的冶铜炉遗迹和霍丘县一座17m×12m的大型砖结构墓^[9]。钟建于也报道应用垂直梯度磁力仪成功探测山西陶寺和山东校场铺城墙遗迹和西安木塔寺遗址塔基的例子^[10]。

(二) 地表电阻/电阻率测量

随着数据处理能力的提高,电阻率测量在区域调查中有较大进展。考古勘探的一个持续期望是试图使用更加便捷的方式自动收集电阻率。RATEAU系统有着悠久的历史^[11],并在最近得到改造并用于田野调查^[12]。该系统由GPS控制,从而打破了小网格的限制。它配置移动装置,每天可以调查许多公顷的面积。此外,可测量三种不同深度的电阻率,这意味着对一些地下的考古遗存可进行更灵敏、更可靠的识别。目前商业生产的仪器不是为考古调查而是为农业土壤调查所设计的,但这将使未来跨学科合作成为可能。另外,关于电阻率与地层深度的关系(电阻率层析成像)的研究在地质地球物理方面有悠久的传统,但直到最近,在考古调查中这种形式的分析依然很少,所以从考古学的角度来看,这可能具有较大的发展前景。

Tsokas等利用电阻率测量方法勘察雅典卫城的大型纪念碑,从而得到有关遗址的电阻率层析成像数据^[13]。但在测量时,如何避免使用电极对所调查遗址表面的破坏是一关键问题。2009年,Tsokas等对平板电极进行凝胶处理,以使进行测量时电极与石材地面有良好的电接触。这使得因地面反射而导致的探地雷达调查可能不那么成功的地方(如在狭窄区域内)有可能进行电阻率测量。

电阻率测量在我国考古中也得到一定程度的使用。张寅生对安徽绩溪县北宋瓷窑遗址也曾同时用电阻率方法进行了勘探^[14]。测线与龙窑的窑体相垂直,在测线的中央部位显示出与窑体对应的高电阻率区,与前述对该龙窑遗址用磁力仪测量的数据相互印证。高立兵等曾利用电阻率方法来勘探商丘东周城址的城墙位置^[15]。王书民等和苏永军等分别利用高密度电法对秦始皇陵地宫^[16]和三星堆壕沟^[17]进行了勘探。沈鸿雁等采用高密度电阻率法与探地雷达相结合的手段对山西晋阳古城多处古文化层、古遗迹靶区进行试验性探测^[18],取得了丰富的地球物理特征认识,为考古研究提供了大量的有效信息,同时也为今后在晋阳古城遗址应用地球物理探测技术进行考古勘探打下了坚实的基础。

(三) 探地雷达

138

虽然使用雷达技术的时间较早,但直到1970年代中期,其在考古学上的应用才显著增多。探地雷达的分辨能力及其与考古研究目标的结合,使该技术在考古调查中曾得到应用。然而,随着现代雷达系统的轻量化和便携性,目前已得到较多的使用^[19],特别是多通道雷达系统也可用于大遗址调查,具有较好的运用前景。尽管商业软件带来了一些新的处理和可视化选项,使得结果更为容易地被考古学家解读,但对于如何与考古学研究结合而言,仍有许多根本性的挑战。

国内方面,高立兵分别用探地雷达测量商丘县城西南东周古城墙、西安唐大明宫含元殿遗址的夯土基址和基址、偃师商城宫殿遗址和滕州前掌大商周墓的工作,取得较大成功^[20]。含元殿遗址是建在一个小山丘上的夯土台基,目前保存状况很差,考古人员选择了GPR技术作为无损探测手段,以帮助了解含元殿的承础石分布情况。考古人员根据承础石的分布特征,用GPR对殿阶进行探测。经过试验分析,该遗址干燥、密实夯土的电磁波速为0.08纳秒每米,这样的设计大致反映4米深度是承础石埋深的2-3倍。测线沿东西向布置,间距1米,覆盖整个夯土台基面,以便寻找承础石。另外,在殿址两侧布设南北向测线,以了解散水的分布。勘探取得了理想的效果,并详细绘制了雷达影像图。但是,高立兵也指出,GPR不适宜于“寻找”小尺度的遗迹和遗物,其工作效率较低,仅适宜在已知的遗址范围内工作。姚萌等研究了探地雷达对古墓遗址的探测技术及数据后处理方法^[21]。刘敦文等也对探地雷达技术在古墓完整性探测中的应用进行了讨论^[22]。王亮等利用探地雷达对金沙遗址进行了考古探测,其研究成果与开挖验证结果相吻合,肯定了探地雷达方法在科学考古中的应用效果^[23]。

(四) 电磁调查方法

利用电磁调查方法对考古遗址进行勘探取得一定进展,并得到许多检测数据^[24]。诚然,作为一个研究项目或社会的需求,我们需要更多的数据,但我们也需要对更多的环境背景等多种因素的揭示,以提高我们对数据所进行的考古学解释的可信度。总之,我们使用的一些技术,有可能在其他技术缺乏的条件下进行使用,但对于每个调查地区而言,需要认真而专业的分析是否十分必要。目前多频道电磁系统已开始出现在市场,但它们在考古领域的使用,尚未得到充分开发。

(五) 其他物探技术

当然还有其他一些勘探技术用于考古调查之中,但常常因为技术发展过于缓慢、价格昂贵或在考古领域没有较大需求的原因,应用尚不普及。但这并不排除其中有的技术可能具有应用前景。如时常使用重力测量以确定建筑物或绿地下潜在的重大裂隙^[25]。最近有学者试图利用地震研究中的超浅层反射波探测洞穴^[26]和古河道^[27]遗址。几种重要的刊物,如 *Near Surface Geophysics, the Journal of Applied Geophysics* 和 *Archaeological Prospection* 均有这类文献发表。如 Gaffney 等在分析收集的北海石油和天然气勘探地震资料之后,揭示了中石器时代景观要素,而这项研究尚没有其他技术可以媲美^[28]。在一个小的范围内,可以使用激发极化法对埋藏在地下的古道路或工业遗址进行调查。

三 考古勘探技术存在的问题与对策

在考古学研究中,考古调查成为重要手段之一。考古调查强调工作方法的科学性:无论区域系统调查还是诊断式调查,都严格按照统计学的要求,设计调查取样和记录的方法,并严格按照数学的方法评估调查的结果。除了调查考古遗存的分布之外,还要系统调查记录古代和现代景观环境、资源生态,通过 GIS 的支持构建土壤侵蚀模型、遗址预测模型等,为考古学的区域系统研究和文化遗产价值评估和保护提供科技支持。另外,多种新技术支撑下的考古勘探得到了迅猛的发展:一方面基于无损的以探地雷达、地震波等为代表的物理探测技术以及化学探测技术都得到了普遍的试用;另一方面根据不同遗址特征和不同探测方法的信号特征的相关性专题研究也在广泛开展,并建立了系列可控性考古实验场和实验考古研究基地。

就 20 世纪 50 年代以来的地球物理调查在考古中的应用而言,地球物理学的许多技术,包括仪器仪表、应用和数据处理方法等等,均发生了巨大变化。种种迹象表明,这一势头将继续下去。如在已有或新一代地球物理分析设备上与实时定位系统联用,将直接导致检测数据具有更高精度。随着数据的越来越密集,数据库也变得越来越大,可视化将变得越来越重要,对这些数据的加工处理将给出更多可靠的考古意义上的解释,而这又要求加强对数据的统计分析。例如, Benech 的工作是基于磁强计数据的一个复杂的社会空间分析,充分说明了技术方法、数理统计和考古学解释技能综合考虑的重要性^[29],这点也是地球物理技术在考古中应用得到充分承认的要求。

根据国内外考古勘探技术应用的情况,发现虽然各种无损探测技术已经在考古勘探中得到应用,但个案研究较多,考古与物探人员的交流不够,物探效果及精度、勘察技术及其相应的数据处理软件还较为落后,导致使用的广度和深度还十分有限,同时缺乏进行探索性研究的实验性场地,以致田野考古研究人员对物探技术充满了不解或不信任的态度,在一定程度上影响了考古调查工作的深入开展。

对国内考古研究而言,受国内现代探测技术的应用规模、应用强度方面的限制,我国对地下文物遗存探测科学技术应用中的精度、准确度和抗干扰能力还需要进一步提高,对一些新兴技术的实用性和应用效果的科学评价也急需加强。在地下遗迹遗址的弱信号获取和识别、探测信号和干扰信号的辨识和分离、探测技术的适用性和能

力的界定方面存在技术瓶颈,探测数据与地下遗迹遗址的逻辑对应关系有时是模糊的和多解的,无法有效形成对探测到的可能存在的遗迹遗址是否进行发掘的决策支撑。

20世纪70年代,为了评价不同的物探技术和仪器在考古探测中的探测能力、适用范围和准确度,美国军方的建筑工程试验室(CERL),在华盛顿州和伊利诺伊州人为建造了两个可控式考古试验场,分别针对土壤和干风沙漠地区埋藏环境,进行考古探测试验CATS,也可面向社会其他行业提供服务。

可控式考古试验场(Control Archaeological Test Site,简称CATS),是以考古学的理论、实践和研究成果为基础,所建立的内部构造、遗迹分布、遗物埋藏等情况已知的具有可操控性的考古勘探技术试验场地。它可以排除干扰因素、辨识有效信号,建立被测物体、探测信号和探测技术之间的定量关系,以验证探测技术和探测结果的有效性和探测精度,其目的在于推动考古探测技术和装备的研究和提高。

其中,位于美国伊利诺伊州的可控式考古试验场紧临伊利诺伊大学的校园,占地2500平方米^[30]。在地下1米处,建设了4处相邻的房址,此外还有炉子、灶坑、垃圾坑以及成堆的人工遗物,在土堆中、房址下以及不相邻的坑中埋有猪和狗的遗骨,自不同深度埋下含有各种成分的黏土砖,还有一个地炉,内有煮好的鸡及甘薯等物,还有蛤壳、栅栏、柱洞、壕沟、堤坝等。这个人造遗址复制了美国中西部常见遗址的堆积状况。因为CATS中的每一遗迹的位置和深度都是已知的,其对应的地球物理参数是可以测量的,因此无须通过发掘来对结果进行检验。根据实验计划将非破坏性的探测技术应用到该“遗址”,以寻求确定及识别地下遗迹的更为精确的方法。

CATS设施提供了一个系统的、可反复试验的场地。它为测试或比较地球物理仪器和软件提供了一个很好的探测试验平台。同时也可培训、评估地球物理勘探技术人员。CATS的建立可避免在真正的遗址上进行考古挖掘带来的高昂成本和对遗址造成的破坏。

CATS这一新方法已被多项研究用于测试地球物理。加利福尼亚大学的研究团队已在CATS完成了浅层地震反射和地震层析成像技术的测试。在CATS强有力的支持下,丹佛大学的研究者进行了探地雷达的勘察工作。2002年和2003年,丹佛大学的研究者在CATS为战略环境研究和发展计划(SERDP)项目补充收集了相关数据。2003年,美国工业测量系统公司在CATS完成了低频声波成像系统的测试工作。

实践证明,这种试验场CATS在试验探索考古地下探测技术的应用方面发挥了重要的作用,极大地推动了考古物探技术的提高,也对考古学本身的发展起到了极大的推动作用。CATS或类似试验场的建立,标示着国际社会考古物探技术的应用逐渐深入,其试验技术趋于精细化和科学化的一种发展趋势。

四 我国可控考古试验场的前期设计研究

(一) 设计理念

地球物理勘探方法观测到的是探测目标引起的异常地球物理场,即地球物理现象在空间中的分布,如地磁场、重力场等。这称之为“异常”。但这种异常可能不单是目标本身所引起的,地球物理勘探的方法实际上就是排除一个个假异常的过程。因

为任何文物遗迹均是由一系列彼此相关的文物要素组合成的有机整体，构成文物遗迹的环境条件由一个个具备不同物性特征的因子组成，这些因子在物探遥感中能被适度地反映出来，它们的密度、磁性、电阻率、温湿度、极化率、介电常数、波速、热传导能力等物性特点各不相同。正是由于对这些客观因素和文物遗存本身之间存在的互动关系认识不够或者不全面，导致过去国内采取物探遥感方法对文物遗存的探查进展不大，效果不明显。

近年来，我国考古领域对现代科学技术的应用取得了快速的发展，取得了许多新的令人振奋的成果。“十一五”期间实施的“文化遗产保护关键技术研究”之“文物出土现场保护移动实验室研发”、“大遗址保护关键技术研发”之“空间信息技术在大遗址保护中的应用研究(以京杭大运河为例)”等文化遗产领域国家科技支撑计划项目，均取得了一批重要成果。现代探测技术领域本身也有了极大的发展，未来的十年将是这些现代探测技术在文物考古以及发掘保护领域密集应用的年代。然而，就目前而言，这些探测技术的应用尚显零散，缺乏系统性，缺乏对这些探测技术能力、效果、精度和准确度的系统评价。加之资金和观念上的限制，尚未形成现代探测技术在考古研究中的系统应用。这种状况阻碍了考古领域现代科学技术的进一步发展。

时至今日，国际考古界正日渐意识到发掘的高成本性和破坏性。遗址的地面调查以及运用物探、遥感等现代化设备进行无损地下探测已显现出其重要性，从而呈现出地面调查和地下探测可避免不必要的发掘和引导有选择性发掘的发展趋势。基于这样的理念，地面调查和地下探测技术得以发展。基于不同探测技术的特点，每种探测方法均会有自身的优点和不足，同样，各种探测仪器也都有自身的应用对象和适用范围。为了评价这些探测技术和仪器在考古探测中的探测能力、适用范围和准确度，美国军方的建筑工程试验室，分别针对土壤和干风沙漠地区埋藏环境，在华盛顿州和伊利诺伊州建造了两个可控考古试验场所，进行考古探测试验，也可面向社会其他行业提供服务。CATS 设施提供了一个系统的、可反复试验的场地。它为测试或比较地球物理探测仪器和软件提供了一个很好的探测试验平台。同时，也可培训、评估地球物理勘探技术人员。

针对上述我国考古调查勘探领域有待解决的技术问题，迫切需要以考古学的理论、实践和研究成果为基础，建立其内部构造、遗迹分布、器物埋藏方式方法以及埋藏环境等情况已知的可控考古试验场(CATS)，加强对各类探测技术的探测适用性、探测能力、探测范围、探测精度、探测准确性和探测效果的实验评测，排除干扰因素、辨识有效信号，建立被测物体、探测信号和探测技术之间的定量关系，以验证探测技术和探测结果的有效性、探测精度，以推动考古探测技术和装备的研究和提高，形成包含硬件应用、软件评测、评价指标和评价标准的评价体系。在CATS进行完备的特征记录，可避免在真正的遗址上进行考古挖掘带来的高昂成本和对遗址造成的破坏。可控考古试验场的研究和建立，不仅能促进常用地下探测技术的成熟和规范化，也有助于研发新兴考古地下探测技术的实效验证，有效释读探测数据，从而实现时间和物质资源的有效利用，通过对各类探测技术能力和特点的比较、探测案例的分析总结、探测技术的应用评价，实现数据积累，形成数据库，为改进和研发新的探测技术与装备提供科学数据。

(二) 技术难点

地下遗迹、遗址和各类文物的种类、状态和空间分布状况是十分复杂的。要在一个限定范围内(美国可控考古试验场面积为50×50m,本课题预计设计面积为100×100m)通过搬迁复原再现考古学上的遗迹、遗址类型和不同材质的文物以及其空间分布,必须严格按照考古学的方法和要求,实现对有代表性的遗迹、遗址和各类文物进行筛选和确定。

由于地下遗迹、遗址和各类文物的种类、状态和空间分布状况是十分复杂的,地下不同的埋存对象对同一种探测技术以及同一种埋存对象对不同的探测技术的响应是不同的,加之相近的埋存对象之间响应信号的相互干扰,均会影响到探测结果以及对结果的释读。因此,从考古学和现代科学技术层面,考虑上述地下遗迹、遗址和各类文物的埋存情况和空间分布,既要预设单纯信号源,又要预设相互干扰源,以加强弱信号的辨识和区分,尤其是对干扰信号的区分、辨识和排除,以提高探测信号的准确性和精度。

在特定情况下,地下遗迹、遗址和各类文物对探测技术的信号相应是清晰的,而在另一些情况下,探测数据与地下遗迹遗址的逻辑对应关系通常是模糊的,因此,在实地探测中常常会出现许多“疑似”的结果。对这些“疑似”结果的排除或确认,通常不能通过具有高昂代价的发掘进行验证,然而却可通过可控考古试验场的已知边界、种类、材质、埋深和分布状态,通过试验场测试,建立探测信号和上述对象之间的定量关系,从而实现对实地探测结果的校正、确认和排除。

可控考古试验场之所以可控,在于其内部遗迹、遗物和各类文物的预设状况是已知的。这就如同对化学分析和仪器分析不可缺少的标准物质,通过分析技术对标准物质响应建立的工作曲线,来实现对未知物的剖析。可控考古试验场相对于考古探测技术,本质上就是一个标准物质系统。这个标准物质系统的建立,既受考古学因素影响,也受探测技术的影响,如何设置这个考古探测技术的标准系统,具有较大的难度。

依据现有资料,可控考古试验场在国际上仅有两例,它们均位于美国。除此以外,未见有其他报道。美国这两处可控考古试验场,已有多项研究在这里进行并取得了丰硕成果,如低频声波成像系统的测试、探地雷达的勘察测试、战略环境研究和发展计划需要的测试和浅层地震反射和地震层析成像技术的测试等。我国尚未出现类似的研究,加之国际上的资料缺乏,均会对我国考古试验场的研究、设计和建立构成一定的难度。

(三) 研究与设计

根据以上问题及技术难点,我们要达到的研究目标是:以考古学研究和成果为基础,基于试验考古的理念和方法,结合现代科学技术的最新成果,研究实验考古的内容、形式;研究内部构造、遗迹分布、器物埋存及种类等情况已知而且边界清晰的可控考古试验场建立的方法;提出可控考古试验场建设初步框架设计;为可控考古试验场的实施奠定理论和技术基础;加快考古调查勘探技术装备与水平提高的进程。由此确定从五个方面开展研究工作。

1. 实验考古平台建设研究

根据现代考古发展趋势,结合已有实验考古的研究经验,开展实验考古平台内容遴选、形式设计及其延伸功能研究,为实验考古平台的构建,提出工程设计需求,形成相关的标准框架。目前取得一定进展,如在实验考古平台内容的遴选与构建研究方面,初步选定冶金、陶瓷、玉石器、建筑四种类型,逐步拓展到农业、造纸、骨器、纺织、编织和漆艺等;在实验考古的实验过程及其功能研究方面,从实验考古操作的场地、装置、周期,到实验考古过程的记录与检测和实验考古结果的解读等内容进行了初步厘定;在实验考古平台与可控考古试验场的联动功能研究方面,我们确定的原则是,基于埋藏学的理论,在可控考古试验场构建过程中需引入实验考古操作;并对实验考古平台的公众推广方式进行了探讨。

2. 可控考古试验场地下文化遗存埋藏研究

在对地下考古遗存进行分类研究的基础上,结合传统考古勘探技术和现代探测技术进展,总结地下文化遗存埋藏的不同特征,研究可控考古试验场地下遗迹、遗物的类型和具体内容,以及试验场内部遗迹、遗物的分布和空间布局,为可控考古试验场地下文化遗存埋藏提出工程设计需求,形成相关的标准框架。现已初步根据我国土壤类型对可控试验场的地下文化遗存种类进行筛选,如开展了古墓葬(土坑类、砖石类、洞室类等)、古遗址(城址、居址、手工业作坊等)、遗迹(道路、灰坑等)、遗物(石器、陶器、金属器等)等类型的选择研究。

3. 可控考古试验场地上文化遗存构建研究

在对地上考古遗存进行分类研究的基础上,结合常用的考古遥感技术和空间信息技术的发展趋势,总结地上文化遗存的不同类型,研究可控试验场地上遗址、遗迹的类型和相应内容,以及试验场内部遗迹、遗物的分布和空间布局,为可控考古试验场地上文化遗存的构建提出工程设计需求,形成相关的标准框架。我们已开展了可控考古试验场内房屋居址、人类构造物(城址、沟渠、道路等)、遗物(石质、金属质等)等地上文化遗存的类型选择研究。

4. 实验考古及可控考古试验场建设工程技术研究

基于“可控考古试验场地下文化遗存埋藏研究”、“可控考古试验场地上文化遗存构建研究”以及“试验考古平台建设研究”三个方面的研究内容所确定的建设需求,开展相关的工程技术研究,为考古试验场的建设总体设计方案提供技术支撑。即根据建设实验考古及可控考古试验场的工程技术需求,提出试验场的建设规模及文化遗存的类型以及布局设计;进行实验考古及可控试验场建立的工程技术方法研究;设计试验场各功能模块的空间布局;初步建立实验考古及可控考古试验场的场地要求以及相关技术要求标准框架。

5. 实验考古及可控考古试验场建设设计综合研究

基于可控考古试验场地下文化遗存埋藏、地上文化遗存构建、实验考古平台建设等方面的研究,进行试验场建设需求分析,结合试验场建设工程技术研究,编写完成

实验考古及可控考古试验场建设设计方案,并在此基础上研制试验场展示模型。即综合研究分析试验场的建设需求,规划试验场的建设场地、确立各类文化遗存的组合设置、设计试验场各功能模块的空间布局;结合试验场建设工程技术支撑的研究成果,研究制定实验考古及可控考古试验场建设前期初步框架设计方案,研究提出实验考古及可控考古试验场建设的综合技术标准框架;研制试验场模块化示意模型或三维数字模型。

中国考古学经过数十年的实践,已经形成基本完整的理论框架和技术方法体系。文化链条完整的中国文明、丰富多样的古代文化遗存、遗物,为中国考古学的发掘与研究、理论创新和技术进步,提供了资源优势。考古学家们发掘了大量的古代不同时期人类居址、墓葬、构造物和人类本身活动的遗迹,这些资源是本项工作得以开展的坚实基础。我们相信,开展本研究,能够为建立评价探测技术的试验平台奠定理论和技术基础,促进考古探测技术向精细化和科学化发展。提高以探测数据对遗址的范围、类型和布局作出判断的准确性,避免或减少在真正的遗址上进行考古发掘带来的高昂成本和对遗址造成的破坏。对推动考古探测技术的提高,对中华文明探源的深入研究都将起到有力的推动作用。

注释:

- [1] Aitken, M. J., Magnetic prospecting I. The Water Newton survey. *Archaeometry* 1 (1958): 24 - 26.
- [2] C. Gaffney, Detecting trends in the prediction of the buried past: a review of Geophysical techniques tin *Archaeology*. *Archaeometry* 50, 2 (2008) :313 - 336.
- [3] Aitken, M. J., Magnetic prospecting. I. The Water Newton survey. *Archaeometry* 1 (1958): 24 - 26.
- [4] Gaffney, C. F., Gater, J. A., Linford, P., Gaffney, V. L., and White, R., Large-scale systematic fluxgate gradiometry at the roman city of Wroxeter. *Archaeological Prospection* 7 (2000) 81 - 99 Keay, S., and Millett, M., Falerii Novi: a new survey of the walled area. *Papers of the British School at Rome* 68 (2000): 1 - 93.
- [5] Sutherland, T. L., and Schmidt, A., Towton 1461: an integrated approach to battlefield archaeology. *Landscapes* 4 (2003) :15 - 25; Powlesland, D., Lyall, J., Hopkinson, G., Donoghue, D., Beck, M., Harte, A., and Stott, D., Beneath the sand—remote sensing, archaeology, aggregates and sustainability: a case study from Heslerton, the Vale of Pickering, North Yorkshire, UK. *Archaeological Prospection* 13 (2006) :291 - 299.
- [6] Becker, H., Duo- and quadro-sensor configuration for high speed/high resolution magnetic prospecting with caesium magnetometer, in *Magnetic Prospecting in Archaeological Sites*(H. Becker and J. W. E. Fassbinder) ICOMOS, Munich, 2001 : 20 - 25.
- [7] Chwala, A., Stolz, R., Ijsselsteijn, R., Schultze, V., Ukhansky, N., Meyer, H.-G., and Schüler, T., SQUID gradiometers for archaeometry. *Superconductor Science and Technology* 14 (2001): 1111 - 1114 ;Schultze, V., Chwala, A., Stolz, R., Schulz, M., Linzen, S., eyer, H.-G., and Schüler, T., A superconducting quantum interference device system for geomagnetic archaeometry. *Archaeological Prospection* 14 (2007) :226 - 229.
- [8] 张寅生 :《浅论电法、磁法在地下古墓葬探测中的应用》,《华夏考古》2000年第3期。
- [9] 张寅生 :《磁法在田野考古勘探中的应用研究》,《考古》2002年第7期。
- [10] 刘建国、钟建《遥感考古勘探技术》,《中国文物报》2005年2月18日。

- [11] Dabas, M., Decriaud, J. P., Ducomet, G., Hesse, A., Mounir, A., and Tabbagh, A., Continuous recording of resistivity with towed arrays for systematic mapping of buried structures at shallow depth. *Revue d'Archéométrie* 18 (1994): 13 - 19.
- [12] Dabas, M., Blin, O., and Benard, C., Les nouvelles techniques de résistivité électrique employées dans la prospection de grandes surfaces en archéologie. *Les Nouvelles de l'Archéologie* 101 (2005): 24 - 32.
- [13] Tsokas, G. N., Tsourlos, P., Papadopoulos, N., Manidaki, V., Ioannidou, M., and Sarris, A., Non destructive ERT survey at the South Wall of the Akropolis of Athens. in *Extended Abstracts of Near Surface* (2006), B040, Helsinki, Finland.
- [14] 张寅生:《磁法在田野考古勘探中的应用研究》,《考古》2002年第7期。
- [15] 高立兵、阎永利、底青云、王若:《高密度电阻率法在商丘东周城址考古勘探中的应用》,《考古》2004年第7期。
- [16] 王书民、孟小红、李汝传、雷达、方慧、孙鸿雁、赵富刚:《频率域高密度电法在秦始皇陵地宫探测中的试验效果》,《物探与化探》2004年第4期。
- [17] 苏永军、胡清龙、容娇君、刘英利:《高密度电阻率法技术与研究》,《西部探矿工程》2007年第10期。
- [18] 沈鸿雁、袁炳强、肖忠祥、宁忠华:《晋阳古城遗址考古地球物理特征》,《地球物理学进展》2008年第4期。
- [19] Leckebusch, J., Precision real-time positioning for fast geophysical prospection. *Archaeological Prospection* 12 (2005): 199 - 202.
- [20] 高立兵、王赟、夏明军:《GPR技术在考古勘探中的应用研究》,《地球物理学进展》2000年第1期;高立兵:《地面透射雷达(GPR)及其在考古勘探中的应用》,《考古》2000年第8期。
- [21] 姚萌、刘树人、杨燕:《基于探地雷达的古墓遗址探测及数据后处理方法》,《遥感学报》2001年第4期。
- [22] 刘敦文、徐国元、黄仁东:《探地雷达技术在古墓完整性探测中的应用》,《地球物理学进展》2002年第1期。
- [23] 王亮、王绪本、李正文:《探地雷达在金沙遗址考古探测中的应用研究》,《物探与化探》2008年第4期。
- [24] Tabbagh, A., Applications and advantages of the slingram electromagnetic method for archaeological prospecting. *Geophysics* 51 (1986): 576 - 584. Tabbagh, A., What is the best coil orientation in the slingram electromagnetic prospecting method? *Archaeometry* 28 (1986): 185 - 196.
- [25] Linford, N. T., Geophysical survey at Boden Vean, Cornwall, including an assessment of the microgravity technique for the location of suspected archaeological void features. *Archaeometry* 40 (1998): 187 - 216.
- [26] Metwaly, M., Green, A. G., Horstmeier, H., Maurer, H., Abbas, A. M., and Hassaneen, A. Gh., Combined seismic tomographic and ultrashallow seismic reflection study of an Early Dynastic mastaba, Saqqara, Egypt. *Archaeological Prospection* 12 (2005): 45 - 56.
- [27] Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., Driver, J. L., and Waters, M. R., Rapid seismic reflection imaging at the Clovis period Gault site in central Texas. *Archaeological Prospection* 14 (2007): 245 - 260.
- [28] Gaffney, V., Thomson, K., and Fitch, S. (eds.), *Mapping Doggerland: the Mesolithic landscapes of the southern North Sea*. Archaeopress, 2007: Oxford.
- [29] Benech, C., New approach to the study of city planning and domestic dwellings in the ancient Near East. *Archaeological Prospection* 14, (2007): 87 - 103.
- [30] John Isaacson, R. Eric Hollinger, Darrell Gundrum, Joyce Baird. A controlled Archaeological Test Site Facility in Illinois: Training and Research in Archaeogeophysics. *Journal of Field Archaeology* 2 (1999): 227 - 236.

(责任编辑 高 翠)