

科技考古的思考

袁靖

(上海 200433)

在当今的世界考古学研究中,科技考古正在发挥越来越重要的作用。中国考古学紧跟世界考古学发展的步伐,在科技考古各个领域成果显著、引人注目。目前的科技考古可以按照其研究方法和研究内容分为两大类。一类是利用专门的仪器设备,对某些肉眼看不到的特定对象进行探测、测试和分析,按照科学的依据提出科学结论。比如,遥感考古与物探考古、年代测定、古DNA研究、同位素研究和有机残留物分析等。另一类是对与古代人类活动相关的自然环境、古代人类的骨骼、与古代人类的生产与生活直接相关的对象进行研究,得出比较客观的推测或结论。这类研究往往包括多种学科、技术与方法,如环境考古、人骨考古、动物考古、植物考古、冶金考古、陶瓷器科技考古和玉石器科技考古等。分别属于这两大类的具体研究领域共十二个。从根本上说,各个领域的研究都必须以考古学研究的目标为指引,以考古学研究的问题为导向,强化科技方法在考古学研究中的作用。

行成于思,为了进一步把科技考古推向前进,本文在简单阐述十二个领域的研究目的和内容的基础上,对他们在今后的研究过程中需要努力的方向提出自己的认识。

一、遥感考古与物探考古

遥感考古与物探考古就是依靠高分辨率的航空、航天影像和地球物理探测设备,进行全面的遥感考古与地球物理探测,为制定田野发掘计划和确立遗址的保护方案提供科学的依据^[1]。

遥感考古和物探考古今后的工作主要体现在以下三点。第一,认识研究工作的长期性和艰巨性。因为中国的考古遗址大多是由夯土构成,其与周围的土壤没有明显差别,只是在结构上稍微紧密一点,只有在偶然情况下接收的遥感影像上才能产生一些细微差异,以供判断。我们要做出真正得到考古研究人员认可的成果,还有一个从探索到成功的漫长过程。

第二,具体情况具体对待。迄今为止,物探考古真正得到考古研究人员认可的案例屈指可数,其原因与上述遥感考古的解释大致相同,同时要指出的是物探考古更侧重于对具体遗迹和遗物的探测,其难度更大,如何在各种异常中分辨何为古代人工遗迹和遗物的反映,何为外界环境的干扰,除仪器本身灵敏度的制约之外,各地的自然状况均有特定的限制,需要因地制宜,区别对待。

第三,与考古学紧密结合。需要特别强调的是,不管遥感和物探设备的技术如何先进,遥感考古和物探考古都是应用于田野考古的技术,在这样的前提下,相关研究人员在开展工作时,与田野考古研究人员的交流与合作是密不可分的,只有这样,才能在今后长期的实践过程中,不断总结经验,提高分辨的技能,真正取得有实质性的进展。

作者:袁靖,复旦大学科技考古研究院。

二、年代测定

考古研究中测定年代的方法主要有两种,即碳十四(^{14}C)测年法和树木年轮定年法。碳十四测年法就是对样品进行碳十四含量测定,并通过碳十三(^{13}C)检验、树轮校正和系列样品拟合研究等,最后得到高精度的日历年代数据,判定遗址、具体文化层或遗物的绝对年代。树木年轮定年法是通过某一气候区特定树木的年轮进行分析和研究,建立长序列的树木年轮年表,对这个地区考古遗址中出土的同类树种的木质遗物进行精确的定年,为确定遗址和遗物的年代提供参考依据^[2]。

年代测定尚有四点有待完善之处。第一,重构年代框架。现在全国各个时期的年代框架还缺乏科学的整合。全面、系统地认识各个地区考古学文化的年代系列还需要有目的、有计划地开展工作,在此基础上,重新构建更加客观的年代框架。

第二,对碳十四测定年代标本的材质有统一的要求。炭化的一年生农作物种子、年龄为一岁左右的动物骨骼都是相当理想的测定年代的对象。有针对性的开展采样、测定和研究,其结果应该还是比较理想的。

第三,看懂碳十四测定年代报告。考古研究人员要理解各种英语字母缩写的含义,掌握根据原始数据进行树木年轮校正的基本方法,正确应用碳十四测定年代的成果。我们必须牢记碳十四测定年代显示的“距今”仅仅计算到1950年,这个“距今”跟我们现在的年代已经有60多年的差距了。

第四,我们应该客观地意识到,当前树木年轮定年的应用范围十分有限,尚局限在青海地区,这意味着今后的基础工作尚需进一步加强。我们要一个气候区一个气候区地建立相应的树轮年表,尝试着对考古遗址出土的木质文物进行精确定年提供科学的依据。

三、古DNA研究

古DNA研究利用分子生物学技术,从古代生物遗存中获取DNA序列,然后运用群体遗传学和生物信息学等分析方法,研究古代生物的谱系、分子演化理论、人类的起源和迁徙、动植物的家养和驯化过程等^[3]。20余年来,随着古DNA实验技术不断进步,分子克隆、PCR和高通量测序技术分别引领了古DNA研究的三次革命,极大地推动了该研究领域的发展。

古DNA研究当前需要注意的主要有以下两点。第一,在思路和技术层面上尚需深化和提高。国际上现已普遍采用基于高通量测序的古DNA全基因组测试,这是我们的发展方向之一。另外,古病理的研究目前还停留在理论上的可行阶段,需要在实践中思考如何解决难点和关键问题。还有,我们对于农作物遗存的基因研究进展有限,这是因为炭化种子的DNA提取难度极大,但是如果当年日本学者对于河姆渡、龙虬庄和草鞋山等遗址出土炭化稻米的研究结果成为个案,这是一件值得深思的事情。

第二,需要加强与考古学研究的有机结合。在对特殊的考古样品进行分析的时候,不考虑出土状况,不考虑具体的形态学特征,不考虑迄今为止的历时性研究结果,单纯地以数量极少、没有经过科学论证的古DNA研究结果进行考古学的学术讨论,很可能要误入歧途。

四、同位素分析

同位素分析主要分为碳氮稳定同位素分析和锶同位素分析两种,碳氮稳定同位素分析包括碳十三($\delta^{13}\text{C}$)和氮十五($\delta^{15}\text{N}$)这两种稳定同位素分析,应用这个方法测定考古遗址出土的人骨和

动物骨骼的碳十三值和氮十五值并进行研究,可以帮助我们科学地确定古代人类和动物的食谱,探讨其形成的原因,最终认识人的行为特征。锶同位素分析即通过测定样品中的锶同位素比值,确定其所包含的地域特征。应用锶同位素分析的方法,对考古遗址出土的人和动物遗存进行分析,可以帮助我们科学地确定考古遗址中出土的人和动物是本地的还是外来的,再进一步探讨其形成的原因^[4]。

今后同位素分析需要注意以下三个方面。第一,同位素分析必须建立在完成考古学研究的基础之上。同位素分析的研究人员必须与人骨考古或动物考古的研究人员紧密合作,在从事人骨考古和动物考古的研究人员完成对材料初步研究的基础之上,共同凝练科学问题,制定研究方案,有意识地挑选标本开展研究,研究思路的科学性和技术路线的可行性都是十分重要的。

第二,开辟新的研究方法永远是学科前进的动力。国外学者现在正在通过对人骨和动物的骨骼进行氢、氧稳定同位素的研究,认识气候状况及人和动物的个体迁徙,利用序列稳定同位素分析的技术,对动物的牙齿进行取样、测试和分析,探讨特定动物食物结构的季节性变化。他们在这些方面都取得了重要成果,在进一步发挥同位素分析在考古学研究中的作用上成效显著。这些都是需要借鉴的。

第三,从文化探讨和技术路线的角度反思锶同位素研究。对多个遗址出土的家养动物的遗存的锶同位素的分析后,结论中经常提到一部分黄牛和绵羊等家养动物是当地土生土长的,另一部分黄牛和绵羊等家养动物是从外地迁入的。由此又引发一个问题,为何各个遗址都需要从外地引进黄牛和绵羊,这是一个需要从文化的角度和锶同位素分析方法的思路给予科学解释的问题。

五、残留物分析

先民在加工和利用生物资源的过程中,残留至今的有机物质统称为有机残留物。有机残留物可分为两种:可见残留物(如液体、炭化物等)和不可见微量残留物(如陶片吸附的脂类、酒石酸和树脂酸,还包括植硅体及淀粉粒在内的植物微体化石等)。可见残留物在考古发掘中出土的实例相对较少,而不可见微量残留物则广泛存在于石器、陶器和青铜器上,这是残留物分析的主要对象^[5]。

这个研究领域尚需进一步完善的方面,主要有以下三点。第一,学习国际上最新的研究方法。我们的研究相比国际上的前沿研究仍有差距。比如,我们对考古遗存的脂质分析极少,对陶片吸附的脂质研究尚未涉及,对考古遗存的蛋白质分析研究的深度和广度有待提高。在借鉴相关研究方法的同时,还应大力拓宽其应用的范围。以蛋白质组学方法为例,该方法除了残留物分析之外,还应对古代某些传染性疾病的相关病菌开展研究,比如肺结核致病菌结核杆菌等。这类研究可以为我们的认识古代流行病的发生及其对人类社会的影响提供借鉴。

第二,从多个角度探讨分析结果。以往的研究结果尚存在多种解释。比如针对酒残留物的分析结果,就存在人工有意识地发酵和残留食物的自然发酵两种可能性,需要进行明确的区分。可以考虑把考古学的出土背景、器型分析和科技分析有机地结合在一起,为酒残留物的判定提供更加全面的证据。

其三,制定科学的研究计划。在认真归纳研究成果的基础上,提升课题意识,确立明确的科学问题,将个案研究融入考古学文化演变和人类社会这一大背景下进行探讨。比如,面对众多考古遗址出土的大量陶片,以分析陶片上的残留物作为切入点,借鉴动植物遗存及相关人工遗物的研究结果,探讨古代居民的生计模式和社会发展状况等。

六、环境考古

环境考古研究的目的是为了全面、具体地阐述和解释古代的自然环境和人类行为的相互作用。其研究主要包括二个部分:重建古代的自然环境,探讨古代的人地关系。其中,古环境的重建有赖于各种地貌、沉积现象以及环境代用指标的提取,这构成了环境考古研究的基本任务。而相关的古代人类行为不仅包括古代人类具体的生产和生活方式,更重要的还有他们对其所处的自然环境的认识。这些资料大部分可以通过田野考古调查和发掘以及多种自然科学方法的应用而获知,有些则需要包括环境考古在内的考古学研究做进一步的探讨^[6]。

环境考古还存在一些需要解决的问题,主要有以下四个方面。第一,具体遗址的环境考古研究是把握遗址内涵的关键要素之一。需要探讨一个具体遗址在特定时间段里的地势地貌、河流走向、水位高低、遗址周围是否有过包括自然灾害在内的环境变化、被当时人利用的以食物为主的自然资源的种类和数量比例、当时的人类活动是否对自然环境造成影响等等。在这样的研究基础上,才能科学地认识当时的自然环境因素及其作用机制。

第二,认识河流地貌的演化过程在考古学研究中具有重要意义。河流地貌作为与人类活动关系最为密切的地貌类型之一,其在全新世期间的变化是非常明显和频繁的。河流的堆积、下切和摆动等过程都可能会对聚落和遗物等考古材料造成明显的影响。在研究聚落形态和遗物的分布中,对地貌过程影响的评估应该成为一项基本内容。另外,河流地貌的演化也深刻地影响着一个区域的土地资源状况及水土条件,而这些因素又与聚落选址、生业模式息息相关。因此,在探讨古代人地关系时,需要深入研究河流地貌的演化过程。

第三,强化对自然灾害的研究。近年来,人们开始关注史前自然灾害的研究,但主要集中在水灾和地震方面,对于旱灾、虫灾和瘟疫等其他自然灾害,由于难以发现地质记录,所以研究工作极少。对于史前灾害事件,目前主要还处于定性的描述阶段,缺乏定量的研究。尽管有部分学者开始进行古水文学方面的相关研究,试图对洪水事件进行定量描述,但还需进一步完善理论和方法。自然灾害对古代人类的影响是一个复杂的问题,它涉及自然灾害的性质、规模和成灾机制,还涉及人类社会自身的抗灾能力,今后还要重视这一方面的研究。

第四,完善环境考古的研究方法。需要对环境考古中应用的每一种方法从原理到应用范围进行检验和反思。第四纪地质学方法重建的古环境与探讨古代人类的生存环境具有较大的差异。应用第四纪地质学的方法最为优先考虑的是沉积物的时间分辨率以及其所包含的古环境信息的丰富程度,并不必然能够准确地揭示先民对其所处的自然环境的认识状况。充分考虑人地关系中的文化因素,有助于深入推进环境考古研究。

七、人骨考古

人骨考古的研究对象来源于考古发掘出土的人类化石或骨骼。通过测量学及非测量性状的研究、牙齿人类学研究、古病理、古DNA、碳氮稳定同位素、锶同位素等各种研究,全面探讨古代人群的各种状况。其内容包括:人群的种族形态、饮食、营养和健康、社会身份、风俗习惯和古人口统计学以及遗传学等方面^[7]。

人骨考古当前需要思考的问题有四点。第一,继续关注新石器时代至历史时期的人头骨特征研究。在继续完善和把握新石器时代不同地区存在特有的人种类型的基础上,如何探讨具体的考古学文化及类型内部是否存在少数个体差异,如何进一步探讨夏商周三代及历史时期位于不同地区及遗址的人骨群体特征,认识人群交流、文化融合对原史时期和历史时期的人群体质特征的

影响。从长时段的历史进程中把握不同地区、不同人群的体质特征及其变迁,是今后持续努力的一个方向。

第二,对肢骨的研究需要进一步深入。狩猎采集与农耕饲养这两种生业方式是不同的。其劳动的动作亦存在明显的差异,不同的人群在长时间里持续进行这样不同的劳作,会在肢骨上留下可以观察到的特征。换言之,如何依据肢骨上的特征推测当时的生业状况,也是需要认真探讨的问题。

第三,加强测量数据的统计学研究。在长期的人骨考古研究中,积累了极为丰富的测量数据,这些数据不但涉及到人骨的各个部位,更为重要的是反映了居住在不同地区的不同人群的体质形态特征,需要从统计学的角度进行探讨,更加准确地揭示研究对象的具体特征,进行创新性的研究。

第四,开展多角度的研究。除了对人骨进行体质特征的研究之外,应该考虑有计划地开展对于人骨的年代学研究、古DNA研究和同位素研究,尤其要注意把不同领域的研究聚焦到具体的个体上,全面汇集具有典型特征的单个个体的信息,结合新石器时代人种类型的分布和特征、原史时期和历史时期的人群体质特征,开展全方位的探讨。

八、动物考古

动物考古学的研究对象为分布在各个地区、各个时期的考古遗址中出土的贝类、鱼类、爬行类、鸟类和哺乳类等动物遗存,通过定性定量分析及古DNA、碳氮稳定同位素、锶同位素等各种研究,结合考古学的文化背景进行探讨,可以认识古代人类利用动物资源的行为,探讨家畜化的过程,研究动物在古代人类的物质文化和精神文化中的作用和地位^[8]。

动物考古研究当前需要思考的问题有两点。第一,全方位地开展研究。今后除了对动物遗存进行形态学的研究之外,还应该考虑有计划地开展对于动物遗存的年代学研究、古DNA分析和同位素分析,尤其要注意把不同的研究方法聚焦到某一具有典型意义的个体,汇集最有价值的信息,加强统计学的研究,结合考古学背景,开展全方位的探讨。

第二,丰富研究实例和深化研究内涵。相比新石器时代各个考古学文化类型所属的多个遗址的人工遗迹和遗物的研究和归纳,动物考古学的研究实例数量不多,用少量遗址的动物考古学研究成果去概括数十个乃至数量更多的遗址的某个考古学文化的获取肉食方式、家畜饲养状况及古人对动物的各种利用方式难免比较片面,从中难以客观地把握规律性的特征。今后要注意在考古发掘过程中大力推广和应用动物考古学的采样方法,开展全方位的研究,用新石器时代考古学区系类型的思路作为指导,在归纳众多考古遗址出土动物遗存的研究成果的基础上,把动物考古学研究推向深入。

九、植物考古

植物考古学的研究对象包括大植物遗存(未炭化和炭化)、木材(未炭化和炭化)、孢粉、植硅体和淀粉粒。其研究目的是认识和了解古代人类与植物的相互关系,探讨各种栽培作物的起源和发展过程,复原古代人类生活方式和解释人类社会的发展与过程^[9]。

植物考古当前需要思考的问题有三点。第一,进行互相印证。尝试着使用大植物遗存分析、植硅体分析和淀粉粒分析这样三种方法对同一遗址出土的植物遗存开展研究,对研究结果进行互相比对和印证,进一步提高认识古代农业及古人获取植物性食物方式的科学性和全面性。

第二,丰富研究实例。相比对于新石器时代各个考古学文化类型所属的多个遗址的人工遗迹和遗物的研究和归纳,植物考古学研究的实例为数不多,屈指可数的遗址的植物考古学的研究成果去概括包括数十个乃至数量更多的遗址的一个考古学文化的农业状况及获取植物性食物的方式往往是比较片面的,从中难以客观地把握规律性的特征。在今后的考古发掘过程中应努力推广和应用植物考古学研究的方法,以新石器时代考古学区系类型的思路作为指导,填补空白,深入研究。

第三,注意方法论的探讨。除现有的借助显微镜对大植物遗存进行观察和统计之外,还要考虑借助DNA分析的方法对保存状态较好的大植物遗存进行测试,借助相关仪器对特定大植物遗存的属性进行检测,进一步提高植物考古学研究的科学性。

一〇、冶金考古

通过对青铜器、铁器、金银器和其他古代使用的金属及其制作技术进行多种测试分析和研究,把冶铸遗址、遗物的实地考察、现存传统工艺的调查与实习、文献资料的考订以及古代工艺的复原研究有机地结合在一起,不仅可以了解中国古代金属技术的发展历程,而且可以探讨有关不同地区的文化交流、技术传播以及社会发展的问题^[10]。

基于国内矿冶遗址的庞大数量及出土众多相关文物的现实状况,当前的冶金考古需要在田野调查、发掘和采样及实验室内的多种测试和分析方面注意以下三点:第一,进一步强调规范化。针对矿冶遗址调查中的采样、矿冶遗址发掘中的采样和对金属制品的采样中的问题,开展冶金遗存采样的规范化研究,并最终建立在田野调查和发掘过程中冶金考古和考古的联合研究机制。

第二,进一步深化研究。比如,迄今为止仅对一些重要的铜铁冶铸遗址进行了较为系统的研究,但金、银、锡、铅、锌和汞等有色金属冶炼遗址的研究仍处于起步阶段。目前对青铜器陶范铸造技术的研究无论在深度和广度上均有欠缺,尚需通过对不同地区青铜器的总体观察和陶范工艺的深入研究加以解决。现在对钢铁冶金技术的研究大多通过对钢铁文物的检测来进行,但诸如“铸铁脱碳钢”、“灌钢”和“炒钢”的判定标准仍不明确,需要结合冶铁遗址进行更深层次的调查研究。对宋代以后用煤炼铁引起的钢铁技术的变化以及钢铁技术对社会的影响的研究亟待加强。

第三,加强综合研究。以往的冶金考古以个案研究居多,并多从配合考古和历史研究的角度展开,研究人员偏重于提取金属器物 and 冶铸遗物的科技内涵,缺乏考古学研究的思考,今后需要认真考虑冶金考古在探讨冶金技术这个生产力要素的状况及其变迁,深究其形成的历史原因及在社会历史发展中的重要作用。

一一、陶瓷器科技考古

陶瓷器科技考古主要是指借助现代材料的观测、分析手段和数据处理系统,对古陶瓷进行系统的年代、组成、结构、物理性能、成型工艺和呈色机理等的测试分析,阐释古陶瓷产生与发展的技术支撑、资源条件以及工艺特征和发展脉络,阐明新石器时代陶器的发明和使用对人类生活产生的影响,瓷器的发明与不断创新对社会进步所起的作用,再现古陶瓷蕴含的丰富的科技与人文信息,为传承、保护和利用古陶瓷蕴含的科技与人文资源奠定基础^[11]。

当前,陶瓷器科技考古有五点需要认真思考的问题。第一,探讨陶器的起源及发展还需注重新技术和新方法的引入与适用性研究。对于早期陶器起源的时间、地点以及工艺特征等尚需进一步深入研究。另外,新石器时代陶器中夹砂、夹碳陶器占有一定比重,如何通过制定相应的特殊样

本处理方法和流程,以降低由于夹砂、夹碳陶器的严重非均匀性分布给分析数据的通用性所带来的不利影响,是必须解决的问题;再有,在进行陶器成分测试时,选择何种仪器以提高数据的可比性,关系到陶器的研究方向,需要慎重考虑。

第二,加强陶器比较研究的关键技术参数与表征指标的研究。在进行陶器比较研究时,需要获取样品的原料处理、烧制工艺、成型技法、关键物相组成、含量、胎体岩相、气孔尺寸大小与分布状态,以及烧成温度等信息的准确定量数据,需要重点解决如何设定标准,确定关键工艺技术参数,在此基础上比较陶器制作工艺的异同,这是科学地探讨不同文化的陶器制作技术与文化跨区域交流互动研究的基础。

第三,原始瓷、瓷釉和瓷器的起源问题。随着考古发掘不断深入,近年在上海市马桥、山西省陶寺、河南省二里头等重要遗址发现了白陶、原始瓷和釉陶等,为探索原始瓷和瓷釉的起源提供了重要资料。白陶有高岭土质、瓷石质和高镁质等,其是否与原始瓷起源有关,白陶工艺结合釉陶工艺是否对原始瓷制作起到推动作用,尚需要认真分析。另外,随着考古材料不断丰富,青瓷、白瓷和青花瓷等的起源问题亦需深入研究。

第四,加强陶瓷民族考古学和模拟实验研究。通过古陶瓷制作的民族学调查和模拟实验研究,可以深层次、全方位地理解古陶瓷制作原料的选取、加工、泥料的配置、陶瓷的成型、装饰和烧成工艺、制作陶瓷的生产组织和管理、成品的流通、使用和废弃等,进而更好的认识古代人类社会的文化与生活。陶瓷民族学研究已取得一定结果,而模拟实验研究在国内尚处于起步阶段,相关理论、实践与方法还在摸索之中,有待进一步的努力。

第五,陶瓷器工艺研究应回归社会、文化和历史。以往关于陶器的科技考古研究更多侧重于“技术”层面,对“社会”层面的剖析不够,对陶器的生产和消费等生产组织方面的研究尚需深入探索。以往关于瓷器的科技考古研究多注重从陶瓷材料学的角度揭示其科技价值,然而每种新瓷品的发明均应有一定的社会背景。比如,认识中国古代社会几次大规模的人口迁徙对南北方制瓷业的影响,应用科技分析的结果对这些影响或变化进行阐释,深层次地揭示瓷器制作工艺与文化内涵的关系需要久久为功。

一二、玉石器科技考古

对石器的选材、制作、使用及功能的分析是考古学、尤其是史前考古学研究的重要课题之一。它能够为我们认识古代人类文化的各个层面、特别是生产技术领域的各个方面提供十分有价值的资料,并开展有针对性的比较研究,探讨与生产力相关的学术问题。对玉器材质的鉴定和制作工艺的探讨,从原料和工艺的角度开展研究,是认识当时生产状况的重要内容,最终目的是探讨社会性质问题^[12]。

为了进一步做好玉石器科技考古,需要高度重视两点。第一,科技考古研究强调将今论古,对于探讨玉石器的生产工艺问题,借鉴民族学的调查资料和开展实验考古都是十分必要的,这些实践的过程可以为认识古人的技术及生产行为提供重要的实证性启示。

第二,注重对生产关系的探讨。对于玉石器的研究不但要考虑玉石器生产本身的工艺特征,揭示古代文献中鲜有记载的制作工艺流程和技术进步过程,还要研究当时是如何组织生产玉石器的,与其相关的社会生产关系如何,进而探讨当时的政治、经济、贸易和宗教等深层次问题。

综上所述,今天,考古学已经逐渐成为一门以人文社会科学研究为目的、广泛采用自然科学等相关学科的研究方法和技术的学科。能否在考古学研究中更加广泛、更加有效地运用多种自然

科学等相关学科的方法和技术 更加全面地获取各种资料和信息 进行全方位的研究 已经成为21世纪衡量一个国家考古学研究水平的极为重要的标尺。我们要清醒地认识到 科技考古涉及的各个领域在实施过程中 从思路、方法到实践 都有需要进一步完善之处 如何真正融入考古学研究之中 还大有文章可作。

我们要在今后的研究中 继续强化科技考古 认真践行科技考古 更加全面地深化中国考古学研究 努力在世界学术舞台上讲好中国考古学的故事。

注释:

- [1]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第6~25页。
- [2]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第26~44页。
- [3]蔡大伟主编《分子考古学导论》,科学出版社,2008年版,第1~84页,第181~201页。
- [4]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第128~137页。
- [5]杨益民《古代残留物分析在考古中的应用》,《南方文物》2008年第2期。
- [6]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第45~63页。
- [7]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第64~80页。
- [8]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第81~89页。
- [9]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第90~121页。
- [10]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第172~194页。
- [11]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第160~171页。
- [12]中国社会科学院考古研究所《科技考古的方法与应用》,文物出版社,2012年,第195~210页。

(责任编辑、校对:陈丽新)