

科技考古学进展

李 士

(中国科学院高能物理研究所)

[摘要] 本文介绍了由自然科学与社会科学交叉而形成的新兴边缘学科——科技考古学的内容、国内外发展概况和目前的研究进展，并对我国科技考古学研究提出了一些建议。

一、引言

考古学是运用科学的方法去发掘或整理古代人类活动遗留的实物，并据以研究人类古代社会历史的一门科学。早期考古学主要以田野发掘为对象的田野考古学和以遗物遗址记载为研究对象的文献考古学为主，通过对这些研究对象作客观描述和分类排比的工作方式开展研究工作。但是，在考古工作中有时由于缺少历史记载或旁证，会使许多考古问题成为无法解释的悬案^[1]。所以早期的传统考古工作方式远不能适应飞速发展的考古工作需要。

随着科学技术的发展，一些新的实验方法和新的仪器设备的出现，促进了自然科学各领域的发展。同样，传统考古学也正在逐渐吸收自然科学技术之成就来解决考古学中的问题，从而大大促进了考古学的发展。

二、国内外发展概况

科技考古学建立的历史虽然不长，但其发展历史可以追溯到本世纪20年代。随着考古学的迅速发展和深入，20年代初期人们就已创立了树轮断代方法，到了50年代创立了¹⁴C断代方法，60年代又建立了热释光断代方法，70年代至80年代是大发展阶段，在这个时期，各种现代实验技术竞相在考古学中应用和进行试探性研究，为科技考古学的建立奠定了基础。目前科技考古学已发展成为专门的学科，国际上已出版了几种专门的学术刊物，如牛津大学出版的《考古测量》，法国列尼大学出版的《考古测量杂志》，日本出版的《古文化才科学》等。此外，日本和西方几个发达国家还成立了全国性的学会。但是到目前为止，这门学科在国际上还没有统一的名称，例如日本将这门新兴学科称为“文化才科学”，西方称为“物理考古学”、“科技考古学”或“实验考古学”等。严格地说，该学科应称为“科技考古学”为最恰当，但在考古学词典中对“科技考古学”这一名词解释为“对古代科技发展史进行研究的学科”。而我们现在定义的“科技考古学”则是利用现代实验技术(包括元素分析技术、结构分析技术、断代技术、遗址勘探技术和文物保护技术等)对古代文物和遗址遗物进行研究，这样可将考古学的研究推向严格的定量化，为考古学提供更为可靠的依据，以弥补传统考古学方法的不足，达到认识古代社会之目的。所以目前的“科技考古学”与过去提到的“科技考古学”虽然名称一样，但还是有本质区别的。

* 国家自然科学基金资助项目

三、研究内容

科技考古学这门新兴学科的研究内容可概括为五大方面：即利用现代实验技术和分析方法对考古文物和遗址进行年代认证的断代分析；文物或遗物材料的结构分析和元素（包括常量、微量和痕量元素）分析；遗址遗迹的勘探和发掘；文物保护；计算机应用和古代环境的模拟等。本文将考古学中比较常用的现代实验技术及研究内容归纳如下：

1. 断代分析技术

断 代 分 析 技 术	根据文字记载和考古学家经验确定年代	墓志记载	
		文献史料记载(地方志, 野史)	
		铭文、年号(古钱币)、碑文	
		文物的工艺特点	
	根据自然规律或现象(利用仪器)确定年代	树木年轮	
		玻璃风化层(玻璃、岩石)	
		水扩散层厚度(黑曜岩)	
		淤泥层厚度	
		花粉、地衣生长	
	利用现代(核)分析技术确定年代	热释光(TL)	
		考古磁学	
		¹⁴ C	常规 ¹⁴ C
			加速器质谱 ¹⁴ C
		电子自旋共振(ESR)	
		裂变径迹	
氨基酸消旋			
穆斯堡尔谱学			
同位素方法		钾-氩(K-Ar)	
		铷-锶(Rb-Sr)	
	铀-钍-铅(U-Th-Pb)		
	铍(¹⁰ Be)		
	钐-钕(Sm-Nd)		

2. 结构分析技术

结 构 分 析 技 术	核磁共振(NMR)		结 构 分 析 技 术	显 微 分 析 技 术	光学显微镜
	穆斯堡尔谱学(MS)				场离子显微镜
	红外吸收光谱(IRAS)				金相显微镜
	X射线衍射(XRD)				电子显微镜
	拉曼(RAMAN)散射谱				激光显微镜
	低能电子衍射(LEED)				X射线成像
	反射式高能电子衍射(RHEED)				红外成像
	热分析技术	差热分析(DTA)			扫描隧道显微镜
		热重分析(TG)			
		综合热分析			

3. 遗址(迹)勘探技术

遗址 遗迹 勘探 技术	航空照相(空中摄影)	遗址 遗迹 勘探 技术	磷酸盐勘探
	遥感技术		热红外线法
	地质雷达技术		地震折射波法
	热勘探		自然电磁法
	引力勘探(重力法)		电阻率法
	γ射线谱仪(放射性法)		电磁勘探法
	感应极化技术		磁性勘探

4. 元素分析技术

元素 分析 技术	原子吸收(AAS)	单光束型原子吸收分光光度计
		双光束型原子吸收分光光度计
	原子发射(AES)	激光显微发射光谱
		电感耦合等离子体发射光谱
		火花源发射光谱
	X射线荧光分析(XRF)	能量色散
		波长色散
	离子束分析(IBA)	卢瑟福背散射(RBS)
		核反应分析(NRA)
		质子激发X射线分析(PIXE)
		质子激发γ射线分析(PIGME)
		α粒子弹性反冲(ERD)
	X射线光电子谱(XPS)	
中子活化分析(NAA)		
俄歇电子谱(AES)		
质谱和色谱		
同步辐射(SR)		

5. 文物保护技术

文物 保 护 技 术	防腐 防霉 防风化 防褪色	纺织品(棉、麻、绸)	硅橡胶保护
		字画、手稿	防腐处理
		皮革	防腐处理
		竹、木器、漆器	醇醛法脱水保护等
		骨制文物	防腐处理(密封保护)
		青铜器	Ag ₂ O保护法 苯骈三唑保护法等
		金银器	
		石窟、壁画、雕像	化学灌浆、喷锚加固、 高分子材料加固等
	图象 再现	字画	红外成象
		钱币	
铭文			

四、研究进展

1. 结构分析方面的研究

(1) 热分析技术

热分析技术是测量物质和参比物之间温度差与温度关系的一种技术。它能研究相变、结晶、熔化、蒸发、脱氢、氧化或还原等反应。

热分析技术可用于鉴别中世纪玻璃、纸张、文物遗址处的土壤、古代炼铁基地的矿石、铁块和炉渣以及陶器等。例如,通过对粘土和陶瓷样品的差热曲线的对比,则可推断陶瓷原始材料和制造工艺中的烧结温度,根据峰的位置和形状可以推断陶器所使用的粘土种类。

(2) 扫描电镜

在考古学中,利用扫描电镜可以对考古样品(古陶瓷、钱币、燧石工具、石器、牙齿等)进行图象观察,并能对元素和晶体进行结构分析。如可以研究古陶的表面形貌、晶粒大小及相互结合的状况以及内气孔的形状分布,估计古陶的玻璃化程度,推断烧结温度。对古铜镜的研究可以分析不同朝代铜镜表面的含锡量,这对于鉴别铜镜的制作朝代有重要的意义。对燧石工具磨损痕迹的研究可以得到该燧石工具的使用情况。例如, Keeley 等人分析了肯尼亚 150 万年前的旧石器工具。根据磨损痕迹,可推断有四件工具已切过肉,有两件割过草或芦苇,有三件加工过木头^[2]。此外,利用扫描电镜还可以研究古钱币的制造过程。Darling 等人根据钱币中含金量不均匀(中心比边缘高)认为该金币制造时经过两道工序完成的,即先浇铸成球状,然后再冲压制成金币^[3]。

(3) X 射线衍射(XRD)

X 射线衍射方法可以进行晶体结构分析和物相定性、定量分析,它具有快速准确的特点。在考古学中它可以对古陶、古铜镜、古代金属制品、大理石制品、油画中的颜料、彩釉、彩漆等进行研究。例如 Maggetti 等人对某一遗址 CSG 发现的“不同类型”的陶器进行了研究。早期人们认为该遗址的陶器大部分属于 CSG 型(当地制造的),只有少部分属于 H 型(从外地移入的)。XRD 结果表明,CSG 型陶器含有较多的斜长石和钾长石,而“H 型”也主要含有这两种矿物,所以推断该遗址发现的陶器均为当地制造的 CSG 型陶器,所谓的“H 型”陶器是外观有些差别的 CSG 型陶器。

(4) 红外吸收光谱(IRAS)

红外吸收光谱是一种分析物质结构的有效工具,它具有灵敏度高,测量时间短、样品用量少、不破坏样品、不受样品状态的限制等优点。红外吸收光谱定性的依据,主要根据光谱的吸收线位置、形状和相对强度。其谱线位置与组成分子中的某基团各原子质量和化学键性质有关。相对强度与分子的对称性、跃迁几率和分子结构有关。在考古学中利用红外吸收光谱,可以对古陶、古瓷、铜器进行研究,还可以用来分辨和识别青铜器铭文、书画等。利用红外吸收光谱还可以对考古样品进行物相分析、定量分析、研究古陶制造原料粘土的矿物类型及其性质,对确定制造工艺和原料来源都是很有意义的。此外通过结构分析还可以判断矿物的生成条件,鉴别真伪。利用红外成像技术可以对一些年代太久和保存不善的古画进行研究,使其模糊不清的部分再现,如宋代名画“仙人楼阁图”和唐摹王羲之的“上虞贴”的研究等^[1]。

(5) 核磁共振(NMR)

核磁共振是利用物理的原理来分析物质结构的一门学科。它有许多优点,如非常高的分辨本领,可以不破坏样品,应用领域非常广泛等。该方法是通过谱线的许多特征量,如谱线宽度、形状、面积、共振频率等来研究被测样品原子核的性质和环境、样品的结构等方面问题。在考古学中,它能补充光谱和色谱的不足。它主要研究有机考古样品,如公元前的水解植物油、水解动物脂肪、琥珀的结构、黑曜岩、宝石、陶瓷、骨头、古代的封蜡、出土容器中的残留物等等。Cassar等人利用NMR确定了英国几种古代封蜡的制造原料。他们发现,所有封蜡都是用蜂蜡制作的,古代封蜡氧化成分较多,此外还含有一种松香成分,他们认为这是变质的松香成分^[5]。

(6) 穆斯堡尔谱(MS)

MS在考古中的应用始于1969年,由于其具有高能分辨本领,样品用量少,非破坏性分析,能获得原子核附近物理状态和化学环境方面的信息,到目前为止,有关MS研究考古问题的论文已有数百篇,所涉及的考古样品有古陶、古瓷、粘土原料、铜器、兵器、化石、颜料、古画、艺术品等等。对古陶的研究可以分析原料的来源、烧制技术和工艺、断代等等;铜器的研究主要集中于铜镜和钱币;瓷器的研究主要集中于瓷釉。例如在断代方面,Eissa等人认为陶器长期埋在地下会不断受到周围环境放射性的辐射,会使其晶格缺陷随埋藏年代而增加,而古陶MS中中间峰的比例与所受剂量存在一定的关系,故可用于断代。他们对已知年代的古埃及陶片在700℃温度下退火,然后用不同剂量的 γ 射线辐照。从结果中可以看出,随着剂量的增加, Fe^{2+}/Fe^{3+} 两组四极双峰比率呈线性关系。由于古埃及陶片年代已知,根据此曲线可得出未知年代希腊陶片的年代为 2690 ± 90 年^[6]。

2. 元素分析方面的研究

(1) 原子吸收光谱(AAS)

原子吸收具有灵敏度高($10^{-10} - 10^{-13}$)、测量误差小(1—2%, 0.1—0.5%),可测定的元素范围广(70种元素)、测量速度快等优点。在考古学中它可对铜、铅、银、金、硅酸盐、燧石、铁器、陶器、玻璃等古文物进行研究。例如Tenent等人分析了苏格兰中世纪的着色玻璃中常量和微量元素成分,证实了制做玻璃时使用了蕨类植物和山毛榉植物灰^[7]。

(2) 原子发射光谱(AES)

AES也具有灵敏度高(相对:0.1—10ppm;绝对: 10^{-9})、检测限低、多元素同时测量、“无损分析”(测量直径只有几十至几百个微米等优点。考古学中应用比较多的有电感耦合等离子体发射光谱(ICP),它可以分析古陶瓷,古代人的骨头、头发和其它组织等;可以判断古陶瓷的产地,年代,制作工艺水平,鉴别赝品等等。例如,古代人的尸体中,Hg的含量较多,在排除人为或其它加入的因素之外,可说明这个古人可能热心于炼丹术,以求长生不老。如含Pb高,排除其它因素外,可考虑该古人曾长期使用Pb制品,或从事大量接触Pb的工作,导致过量的Pb留在体内。

(3) X射线荧光分析(XRFA)

XRFA具有非破坏性,分析元素多,分析的浓度范围宽(从常量—痕量杂质)、成本低等特点。它对考古样品可进行定性或定量分析。研究对象涉及到金、银、铜、古陶器、玻璃、釉、颜料、硬币、宝剑等等。研究深度也从对考古样品的元素组成测定,向探讨年代、产地和

真伪等方向发展。例如 Florkowski 等人利用 XRFA 对六种古钱币进行了研究。他们发现, 六种钱币的银含量有明显的差别, 六种钱币清洁前后其表层的银含量也有差别^[8]。在真伪研究方面, Craddock 等人报道了对英国博物馆收藏罗马时代铜镜的分析结果, 该铜镜看起来象廉价的金属青铜所制成的, 但 XRFA 结果证明, 其主要组成元素是银及少量的铜^[9]。

(4) 离子束分析 (IBA)

离子束分析在考古学中的应用可以分为四大部分: 即文物的制造原料和起源的研究(包括骨头、牙齿、毛发、粘土、陶瓷、金属器物等), 工艺技术方面的研究, 艺术品的研究和古铜器的研究。例如我国科技工作者利用 PIXE 分析的“野人”(特殊灵长类)和普通灵长类动物(猿和猴)及现代人的毛发, 发现“野人”毛发的 Fe/Zn 值是现代人毛发的 50 倍, 是普通灵长类的 7 倍, 其结果似乎支持“野人”存在的说法^[10]。Hyvonen-Dabelk 已证实 PIGME 技术很适合进行骨头样品的测定, 他采用该方法测定骨头中 F, Na 和 P, 其统计误差可达 0.5%, 而对 N, O, Mg, Ca 可达 2%。此外, 还观察到现代骨头中 F 含量的变化比较大, 而 N 含量变化比较小^[11]。Saleh 等人利用 PIXE 技术分析约旦两遗址的陶器, 在所确定的 18 种元素中, 利用 Zn, Rb, Sr, Zr, Ba 元素能将两遗址陶器区分开, 而其它元素(Si, K, Ca, Ti 和 Fe)不能用于分类^[12]。

离子束分析技术用于陶器的研究具有速度快、用途广, 明显优于岩相分析、中子活化、甚至 XRFA。

Williams 等人利用了 MeV 的质子束对一古代油画蓝色区域进行了 PIXE 分析, 证实油画中含有 Fe, Co, Zn 和 Pb 元素, 很强的 Co 峰表明使用了钴蓝, Pb 是颜料的底色。由于钴蓝是 1804 年才使用的一种颜料, 所以证实了这幅油画是 1804 年以后画成的^[13]。

(5) 质谱和色谱

质谱和色谱在考古学中的应用是近些年才开展的工作, 目前的研究集中于对考古容器中残留物、有机颜料、香料、粘接剂和矿源等方面的研究。此外, 相当多的工作集中于质谱同位素分析。如碳同位素比率在骨头中的应用可提供过去人类饮食方面的信息, 因为在人体中 ^{12}C 和 ^{13}C 的比率不是恒定的。通常植物有三种光合作用的路径, 即 C_3 , C_4 和 CAM 路径, 通过 C_3 路径的植物有树、灌木和草; C_4 路径的植物有玉米、黍、甘蔗, 等; CAM 路径的植物有仙人掌等。这三种路径产生的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比率 $\delta^{13}\text{C}$ 会不同, 对于 C_3 植物, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -26.5% ; C_4 为 -12.5% ; 而 CAM 为 -16.5% 。当植物和动物被人吃掉后, 这些值的差别会保持在食物链中, 所以对人类骨头中 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比率的测定, 可以提供人类饮食的重要信息。此外, 根据氮稳定同位素 (^{14}N 和 ^{15}N) 也可提供饮食方面的信息; 根据氧同位素 (^{16}O , ^{17}O 和 ^{18}O) 分析可以分析古代气候。因为三种稳定同位素的自然丰度是一定的 (99.76% , 0.037% , 0.204%), 所以可以认为海水中这些同位素比率也是恒定的。然而, 当甲壳动物在海水中形成甲壳时, 有分馏现象发生, 甲壳中氧同位素比率取决于海水的表层温度, 当这些动物死亡和沉入海底, 掺入沉积物中, 这些沉积物以稳定的速率积累, 所以在沉积物中取出的不同深度层次样品(甲壳动物)的 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比率的测定, 可以描绘出过去温度变化的情况。

(6) 中子活化分析 (NAA)

中子活化分析在考古学中的应用最早是在美国几个实验室开始的。当时主要工作集中在

陶器和瓷器的微量成分分析，而后又逐步扩大到玻璃、银币、青铜器、铁器、燧石等考古样品。对于石器来说，NAA是研究其原料化学成分的有效方法，它可以鉴定燧石和黑曜岩的原料产地。对陶器、铜器、铁器文物来说，可以用来表征所用不同矿源之间的差别，确定古代合金成分的演变及冶金史。对于古钱币，能提供不同时期钱币所用合金成色的直接信息，据此可以提供矿源，反映王朝的兴衰及对样品的鉴别等。

例如 Kraay 等人利用 NAA 分析了公元前希腊银币中铜和银的含量，结果发现钱币中含铜量小于 1—2%，是一种高纯度的银，而且这不同年代的银币有很大的差别，如 15 世纪银币中铜含量有系统波动，而公元前 474—450 年内的银币中铜含量很高，这反映了当时的政治经济形势，可能与公元前 460 年被驱逐之前摇摇欲坠的 Syracusan 专制统治有关，而随后的银币几乎全部是纯银，这可能是由于后来取胜的国内政权的影响的结果。

五、科技考古学在中国

近年来国际上科技考古学的研究发展很快，越来越多的自然科学工作者正在关注和进入这个领域。我国是一个具有几千年悠久历史的文明古国，在漫长的历史年代中，我们的祖先给我们留下了大量的珍贵文物和古迹，这些古代文化遗产反映了中华民族各个历史时期科学技术水平及对人类文明发展所作出的贡献。利用自然科学中的某些实验技术来研究考古学问题，这在我国已有了几十年的历史，但是形成专门的学科还是近年来的事情，1991 年成立了全国性的科学技术考古组织，全国性的科技考古学术会议已举办过三次。

已故的考古学家夏鼐先生是我国在这方面最早的倡导者。他在 1979 年编写的《考古学和科技史》一书中就强调“考古工作者应该设法取得科技工作者协作，以解决考古学上的问题”。在夏先生的领导和组织下，一些科技工作者投入到科技考古学的研究工作中来。例如在马王堆汉墓的考古研究中，就曾组织了一些科技工作者参与，并取得了一些重要成果。如对墓主女尸的研究，证明她在世时曾患过多种疾病，推断她的死因可能是胆绞痛引起冠心病发作以致心肌梗塞而死。另一个较好的实例是“晋代金属铝”的澄清问题。1953 年南京博物院发掘了江苏宜兴的西晋周处墓，发现了 17 件镂空花纹的金属带饰和少许很小的残片，其中一件经分析为以铝为主要成分的合金，这一发现立刻引起人们的极大注意。我们知道，铝是一种难于冶炼的金属，到十九世纪才被提炼出来。这一发现如果能够确定的话，那么人类使用铝的历史就得改写。所以，这是一个亟需澄清的问题。我国科技工作者曾利用 X 射线衍射、电子探针、光谱分析等实验技术对这些金属带饰进行了研究。结果表明，全部 17 件较完整的金属带饰都是银，而不是铝，至于小块铝片它是有后世混入物的重大嫌疑，绝不能作为晋代已有金属铝的物证，这个结果澄清了冶金史上的一个重要问题^[16]。近年来，随着科技考古学的建立和发展，使越来越多的科技工作者投入到这一新兴领域中来，我国科技工作者利用各种现代实验技术曾对陶瓷、铜镜、钱币、化石、宝剑、金银器等文物进行了研究，得到了一些成果。但是与目前国际先进水平相比还有一定的差距，主要表现在：① 自然科学工作者与社会科学工作者缺少交流，更多的实验科学工作者还未涉及或进入科技考古学这一领域；② 实验手段比较单调，多种实验手段的综合研究还需加强；③ 选题不新，科学思想欠缺，表现在工作不够深入；④ 某些考古样品缺少交流；⑤ 新实验技术在考古学中应用的开拓性研究工作不多。笔者认为：在这种情况下，我国的自然科学工作者应积极主动

地与社会科学(考古学)工作者配合、协同工作,争取在这个我国有优势的新领域中走到世界的前列。今后应以地区为单位,建立地区科技考古学中心实验室,配备常用和必要的实验仪器和设备,加强科技考古学的科普宣传,鼓励更多的实验科学工作者关心、参与这个领域。在研究工作中要加强国内和国际上的合作和交流,开展国际上科技考古学还未涉及到的新发展的现代实验技术,如同步辐射、自由电子激光、扫描隧道显微镜、原子力显微镜等新技术,力争作出较多的独特的前沿性工作,以期形成我国独具特色的科技考古学研究领域。

参 考 文 献

- [1] 李士, 现代物理知识, 1(1991), 18.
- [2] Keeley, L. H., et al., *Nature*, 293(1981), 464.
- [3] Darling, A. S., et al., *Nature*, 231(1971), 443.
- [4] Maggetti, M., et al., *Archaeometry*, 24(1982), 21.
- [5] Parkes, P. A., *Current Scientific Techniques in Archaeology*, Groom Helm London & Sydney, (1986).
- [6] Eissa, N. A., et al., *J. Phys.*, 40(1979), C2-449.
- [7] Tennent, N. H., et al., *Archaeological Chemistry-III*, American Chemistry Society, Washington, D. C., (1984), 133.
- [8] Florkowski, I., et al., *Archaeometry*, 17(1975), 165.
- [9] Craddock, P. T., et al., *Archaeometry*, 25(1983), 135.
- [10] 杨福家、赵国庆主编, 离子束分析, 上海, 复旦大学出版社, (1985).
- [11] Hyvonen-Dabelk, M. J. *Radical Chem.*, 63(1981), 163.
- [12] Saleh, N., et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, 181(1981), 527.
- [13] Williams, E. T., *Archaeometry*, 21(1979), 177.
- [14] Titl, M. S., *Method of Physical Examination in Archaeology*, Seminars Press Ltd., London, (1975), 308.
- [15] 李士等, 物理, 9(1991), 559.
- [16] 夏鼐著, 考古学与科技史, 北京, 科学出版社, (1979).

ADVANCES IN ARCHAEOLOGY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Li Shi

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)