

·学科进展·

核技术与考古学

方勤学

(国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100083)

徐安武

(中国科学技术大学科技考古研究室, 合肥 230026)

[摘要] 介绍 ^{14}C 测年、中子活化、离子束和核磁共振等核技术在考古学主要领域的应用现状和成果。核技术的应用从根本上改变了考古学的面貌,使之逐渐成为定量表达的科学。

[关键词] 考古, 中子活化, ^{14}C 测年, 核磁共振, 食谱分析

考古学是通过研究人类社会各阶段的物质遗存,探索人与自然的关系以及人类古代社会历史发展的科学。核技术一经应用于考古学,便不断地揭示出古代遗存的丰富潜信息,使考古研究提高到一个新的层次,从根本上改变了它的研究面貌,因而从某种意义上讲,核技术对考古学的发展有着特殊重要的意义。

1 断代测年

核技术对考古学发展的重要意义首先体现在 ^{14}C 测年方法的建立及其在考古学领域的成功应用。众所周知,古代遗存产生的时间是考古研究的首要问题。最初,人们根据考古层位学和考古器型学为考古遗存的相对年代关系提供科学依据^[1],但无法给出遗存的绝对年代。1949年,美国W. F. 利比教授根据放射性碳素衰变规律建立年代测定方法,并将它成功地应用于考古学,解析出遗存的绝对年龄^[2],将考古学从定性描述提高到定量表达的水平,使考古学发生了质的变化。利比博士在对宇宙射线中子研究的过程中,逐渐形成了用放射性碳素测年的巧妙构思,即由宇宙射线中子和 ^{14}N 的 $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ 核反应生成 ^{14}C , ^{14}C 很快氧化成 $^{14}\text{CO}_2$,空气的对流循环使之在大气圈内的分布达到平衡,植物通过光合作用将它存入体内,人与动物消化植物时也就摄入了 ^{14}C ,故其体内碳的比度与大气基本相同。生物体一旦死亡,便立即中止了和大气的碳交换,于是,按生物体内 ^{14}C 的减少量,就可根据放射性碳素的衰变规律计算出其死亡时间。为表彰利比教授对考古学所作的具有划时代意义的贡献,1960年,他被授予诺贝尔化学奖。

树轮年代学与 ^{14}C 年代学的交叉结合,为大气 ^{14}C 比度变化研究提供了精确的定量依据,

本文于1997年10月8日收到。

从而深化了地球物理学、地球化学和日地关系等的研究。而其最直接、最重要的结果是明显提高了 ^{14}C 测年的精确度,使之成为考古学中最可靠的测年方法^[3]。1977年以来,加速器质谱仪 ^{14}C 测年法逐渐成熟,其所需样品量仅为常规法的0.1%,即只需几毫克纯碳,如单颗种子、一小片骨头等都可以成为测年对象,从而明显拓宽了测年样品的范围,而测量所需时间比原来缩短了10—20倍,显著提高了效率。随着研究的深入,其测定精度可望进一步改善,测年范围也可望进一步扩展。有人估计,AMS ^{14}C 的测年上限有可能达到7万年,而传统方法精确测年,难以超过2.5万年。因而可以肯定,加速器质谱计 ^{14}C 测年法将从根本上改变 ^{14}C 测年的面貌,将考古学研究提高到一个崭新的水平。

我国 ^{14}C 测年研究虽然起步较晚,但在夏鼎和刘东生院士的关心支持下,以中国社会科学院考古研究所仇士华、蔡莲珍和北京大学陈铁梅、原思训等教授为首的科技考古学家,经过长期不懈的努力,测定了数千个年代数据,为我国新石器时代的考古学确立了年代序列,有力地推动了我国考古事业的发展。目前,他们正和陈佳洱、李学勤、席泽宗和李伯谦等著名专家学者紧密合作,利用AMS ^{14}C 等测年手段,结合考古与天文等方面的研究,攻克“夏商周”三代的测年难题,预计几年后,他们将以具体的成果向世人展现我国的测年水平。

核技术在测年断代领域,除放射性碳素测年技术外,尚有热释光、光释光、顺磁共振、裂变径迹、铀系和钾-氩法等多种技术的成功应用^[4]。

2 产地探索

核技术对考古学另一重要应用是分析确定文物产地及其矿料来源。人们知道,矿物的形成条件与形成时间不同,其微量与痕量元素、同位素比值及岩相结构也不同,分析文物的微量与痕量元素、同位素比值或岩相结构,就可望探索其产地及矿料来源。一般来说,分析陶瓷器和石器的微量与痕量元素,是研究其产地与矿料来源的常用方法。其中,应用最多、效果最佳的当属中子活化分析。

所谓“活化分析”,就是用相当能量和相当流强的中子、带电粒子或高能 γ 光子轰击待分析样品,使其所含核素发生核反应,生成放射性核素。对这些放射性核素衰变产生的缓发辐射或瞬发辐射进行测定,利用标样和计算程序,给出样品所含元素的定量数据。轰击粒子为中子的活化分析,即为中子活化分析。活化分析方法最早由匈牙利化学家冯·赫维西和莱维于1936年提出并作了尝试。1938年,美国学者西博格和利文古德进行了带电粒子活化分析。核反应堆的建立和NaI(Tl)闪烁探测器的研制,使中子活化分析方法显示出了优越性,并先后应用于材料、环境、地质和考古等领域^[5]。最初将中子活化分析应用于文物研究的工作有:阿姆伯乐希诺等人对硬币的分析以及对铅顶砖内银的探测;依默脱关于一把朝鲜剑上镶嵌金片内银成分的测试^[6]。1956年3月31日,美国著名核物理学家、“原子弹之父”奥本海默教授邀请布鲁克海文国家实验室化学部主任道德顿教授和化学家塞耶教授,与有关考古学家一起商讨利用中子活化技术探索文物产地问题,不久,两位化学家就发表了地中海地区古陶器产地的研究成果。需要指出的是,塞耶和道德顿教授的工作不仅开创了中子活化技术研究文物产地的先河,而且首次将Ge(Li) γ 探测器应用于中子活化分析中^[7]。Ge(Li) γ 探测器的分辨率远胜于NaI(Tl)闪烁探测器,它与计算机在中子活化分析中的成功应用,使这一技术成为一种高灵敏度、高选择性、高效率的元素分析方法。中子活化技术的发展,

有力地推动了文物产地及其矿料来源的研究。现在，美国布鲁克海文国家实验室等每年平均用中子活化方法测试3 000多个文物样品，始能勉强满足文物产地研究的需要。去年5月在美国伊利诺依大学召开的国际第30届科技考古学术讨论会上，有关文物产地与矿料来源的工作几乎占到整个大会报告的3/7，其中绝大多数都与中子活化技术有关。不难看出，核技术的应用，特别是中子活化技术的应用，在目前文物产地研究中起着举足轻重的作用。

产地研究是我国科技考古的薄弱环节，已有的研究工作主要有：北京大学陈铁梅教授和美国G. R. 拉普教授关于中国原始青瓷产地的分析，中国科学技术大学王昌燧教授与日本帝京大学山梨文化财研究所等单位对花厅遗址古陶器产地的合作研究等。

除中子活化分析以外，离子束分析技术在产地探索领域也越来越显示出其优越性。以低能加速器为基础的离子束分析主要包括核反应分析、背散射和沟道技术、质子X射线荧光(PIXE)、弹性反冲分析等技术。而应用最多、最有效的方法为质子X射线荧光(PIXE)方法。PIXE技术同样可进行多元素同时分析，其灵敏度和精度虽略低于中子活化方法，但它不破坏样品，可直接分析文物，因而受到文物与考古学家的特别青睐。1979年，复旦大学杨福家院士等利用PIXE方法对我国古代越王勾践剑进行无损分析，发现剑的表面含有硫，认为古代工匠曾用硫或硫化物处理了剑表面，使之生成黑色硫化铜保护层。之后，他们在完善PIXE方法的同时，深入研究了景德镇青花瓷器的钴料来源及汝窑青瓷的产地，并探索了鉴定古画、邮票真伪的方法，取得了一系列重要的阶段性成果。

青铜器经矿物冶炼后已面目皆非，但其同位素比值仍保持不变，利用同位素质谱分析青铜器的铅同位素比值，就成为探索其产地的主要方法。美国史密森国立博物院弗利尔艺术馆的W. T. Chase博士和日本东京国立文化财研究所的马渊久夫教授都曾根据铅同位素比值系统研究了中国与日本青铜器的产地与矿料来源。中国科学技术大学的彭子成教授等结合实地调研，探索了广西和云南铜鼓的产地与矿料来源。

在产地研究领域，涉及的核技术还有等离子体光谱与质谱联用谱仪(ICP-MS)、X射线荧光以及同步辐射X射线荧光光谱等分析方法。

3 食谱分析

生物考古是当前考古研究的又一热门领域。古代先民食谱分析在生物考古中占有十分重要的地位。荣获1961年度诺贝尔化学奖的美国卡尔文教授发现光合作用固定天然碳的“卡尔文途径”。哈奇和斯莱克揭示出一部分植物的固碳和转化遵循“哈-斯途径”，之后，人们又认识到植物固碳还有一种“CAM途径”。一般说来， C_3 类植物通常遵循卡尔文途径， C_4 类植物遵循哈-斯途径，而少数多汁植物遵循CAM途径。和 ^{14}C 一样，稳定同位素 ^{13}C 也因光合作用而进入植物体内。植物固碳的途径不同，进入植物体内的 $\delta^{13}C$ 值也相应不同。一般说来，以上三类植物的 $\delta^{13}C$ 值的范围依次分别为： -2.3% — -3.0% ， -0.8% — -1.4% 和 -1.2% — -2.3% 。由此可见， C_3 类植物的 $\delta^{13}C$ 值明显低于 C_4 类植物，而CAM类植物的 $\delta^{13}C$ 值往往与其他两类植物相重叠，加之CAM类植物与人类日常食物的关系不甚密切，故在人类食谱研究中可不予考虑。人与动物摄取植物的种类和比例不同，其吸收后存人体内的 $\delta^{13}C$ 值也将有所区别，人与动物死亡后，这一 $\delta^{13}C$ 值仍将保存在他们的毛发与骨骼中。同样，人与动物的毛发和骨骼中的 $\delta^{15}N$ 也与他们的食谱有着密切的联系。研究发现，鱼肉的 $\delta^{15}N$ 值通常

高于植物,特别是鱼,由于它们所食的水生植物能富集氮,故含有相当高的 ^{15}N ^[8]。因此,利用气体质谱分析人与动物的毛发和骨骼中的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值,便可获取古代人与动物的食谱信息,进而了解当时的生态环境。

近年来,核磁共振谱(NMR)分析成功地应用于古代食谱研究中,引起人们的浓厚兴趣。众所周知, ^{13}C 核磁共振谱是分析溶解状态下有机化合物结构的成熟方法,而粉末固体样品由于各向异性相互作用,其化学位移值被展宽,所得NMR是一个不可解的共振包裹宽谱。这时,需利用魔角自旋,使粉末样品自旋与磁场成 54.7° 夹角,在这一条件下,上述相互作用将以各向同性为主,其化学位移值便对应于NMR的线性窄峰。含量仅为碳同位素1.1%的 ^{13}C ,其NMR信噪比很低,采用交叉极化技术可明显增强 ^{13}C 谱的信噪比,于是 ^{13}C 交叉极化魔角自旋核磁共振谱仪(^{13}C CP MAS NMR)就成为研究固态有机化合物结构的有效手段。

类脂体、蛋白质和碳水化合物是食品的主要有机成分。利用 ^{13}C CP MAS NMR技术分析古代食品残存,可探测到残存中有关类脂体、蛋白质和碳水化合物的相应NMR谱,从而得到残存的原始食物组成。倘若结合 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 等分析数据,则可望深入研究古代人类的食谱及古人类的生态环境。加拿大B. L. 谢里夫等人利用 ^{13}C CP MAS NMR技术,对Manitoba北部遗址出土的古陶器上食物碳化层进行了深入研究,测定了 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 和C/N比值,结果发现圆形陶罐曾用于煮鱼,而平底陶盘则可能用作煎锅或油灯^[9]。

1984年,中国社会科学院考古研究所蔡莲珍、仇士华教授虽曾经采用 $\delta^{13}\text{C}$ 分析方法作了较为系统的研究工作,但未能进一步开展。因此,我国在这一领域还几乎是一片空白。

4 其他

核技术在考古研究中的应用领域是十分广泛的,在考古勘查方面,利用质子磁力仪可探测地下遗址的分布状况;可直接或间接应用于古环境、古地理和古气候研究领域;而在古器物结构、性能和加工工艺研究领域,几乎所有成果都离不开核技术的有效应用。

随着科学技术的发展,核技术在考古学领域的应用将进一步深化和完善。可以肯定,最尖端的技术与考古问题的有机结合,必将把考古学和科技考古学持续地推向新的更高的研究水平。

参 考 文 献

- [1] 俞伟超,张爱冰. 中国社会科学, 1992 (6): 147.
- [2] 仇士华主编. 中国 ^{14}C 年代学研究, 北京: 科学出版社, 1990, 1—12.
- [3] Sonett C P, Suess H E. Nature, 1984, 307: 141—143.
- [4] 李士. 中国科学基金, 1992, 3: 43—50.
- [5] 霍斯特, J. 等著, 伍任译. 中子活化分析, 北京: 原子能出版社, 1978, 1—3.
- [6] Harbottle G. Current Chemistry, 1978, 157: 60—61.
- [7] Neff H, Glasscock M H. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1995, 196 (2): 275—286.
- [8] 现代自然科学技术在考古学中的应用. 日本第三次“大学与科学”公开学术研讨会组委会编, 韩钊, 秦小丽, 王小庆译, 西安: 西北大学出版社, 1992, 87—97.
- [9] Sherriff B L, Tisdale M A, Schwarcz H P et al. Archaeometry, 1995, 37 (1): 95—111.

NUCLEAR TECHNIQUES AND ARCHAEOLOGY

Fang Qinxue

(Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC, Beijing 100083)

Xu Anwu

(University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract In this paper, it is summarized that the nuclear techniques such as ^{14}C dating, INAA, PIXE, NMR were applied in main archaeometry fields and its progress was obtained. The applications of nuclear techniques make archaeology gradually become a subject with quantitative expressions.

Key words archaeology, neutron activation, age estimated by ^{14}C , nuclear magnetic resonance, analysis of food menu

· 信 息 ·

国家高性能计算基金的由来与实施

国家高性能计算基金是在原国家科委的倡导下,为促进曙光1000系列大规模并行计算机的推广应用,改善我国科学研究和工程计算的实验环境和数字计算能力,在“九五”期间设立的专项基金。该项基金由原国家科委、国家自然科学基金委员会、中国科学院和原国家教委共同筹措,并组成管理委员会进行管理。管理委员会下设评审办公室和执行办公室。评审办公室挂靠国家自然科学基金委员会综合计划局,负责项目申请受理和评审组织工作;执行办公室挂靠国家智能计算机开发中心,负责组织各有关高性能计算中心具体实施。

国家高性能计算基金资助各类国家、部委项目(如国家自然科学基金项目、攻关、攀登、“863”计划等)在曙光1000系列大规模并行计算机上的上机费用(提供机时)和直接相关业务费用。目前,上机地点设在北京、合肥、成都和武汉的各国家高性能计算中心。申请者需填写“国家高性能计算基金申请表”,受理时间与国家自然科学基金面上项目同步。国家自然科学基金委员会综合计划局统一受理申请,并会商有关部门组织专家进行评审遴选。

1996—1997年度国家高性能计算基金共资助“生物大分子整体电子结构的量子化学计算”、“地震预测与救灾综合计算”、“淮河流域水库群优化调度模型计算”、“非线性光学晶体分子设计能隙计算”、“分子片化学和分子设计”等81个项目,资助经费324万元。

(综合计划局 沈新尹 供稿)