

考古学中的核物理分析方法

Ю. В. Сивинцев

最先把物理学方法引进考古学的是加里和克拉普洛特,前者在1720年用岩石学验证了英国南部史前遗物巨大石柱群的石板的矿床和年令,后者在1796年通过以显象密度测量法对罗马帝国时代的玻璃密度和成分的测量,确定了古硬币的成分。核物理方法在考古学中的应用开始于1947年,当时利比研究了放射性碳确定年代的技术^[1]。在随后二十年中这方面发展得十分迅速,以致事实上形成了一个新的科学分支,叫做考古测量学。就这门学科已进行了几次国际会议和专题讨论会(其中后者的论文已于1982年发表^[2]),英国牛津大学出版的国际杂志《Archaeometry》(《考古测量》)从1958年问世,法国列尼大学出版的《Revue d'Archaeometry》(《考古测量评论》)1975年问世。

下面的核物理方法在考古学中的运用,是以在某种程度上不同的材料对象为特征的。1977—1980年发表的有关这方面科学资料分布如下:金属—38%,陶瓷—30%,石器—8%,玻璃—7%,颜料和色彩—6%,骨物—6%,其他—5%。

黑曜岩 在1981年曾有人指出^[3],在地中海地区发现的黑曜岩工具,其原料的矿床用铯-钷法可能测定。该方法的根据是黑曜岩总是含有浓度(1—150) $10^{-4}\%$ 的铯。从原子量为84, 86, 87, 88的四种自然铯同位素中只有⁸⁷Sr是放射产生的——它是在 $T_{1/2} = 4.88 \times 10^{10}$ 年的⁸⁷Rb衰变时产生的。因此自然铯的同位素组成是不固定的,而且⁸⁷Rb/⁸⁶Sr之比与矿物的地质年令和⁸⁷Rb/⁸⁶Sr的初始比有关。然而,铯的同位素分析不能给出清晰的图象,因为黑曜岩工具和原始的黑曜岩很少不同。在共同利用关于黑曜岩样品中

铯和钷含量的数据时,取得了成功。查清了地中海黑曜岩矿床之间的准确差别。

许多微量元素浓度的测定也成功地用于验证黑曜岩样品及其矿床。1971年公布了加拿大原子能协会的一篇报告,其中包括应用中子活化分析,研究不列颠哥伦比亚省的黑曜岩工具的结果^[4]。令人信服地表明,这些工具就是用该省出产的黑曜岩制成的。后来正是为了这些目的采用了PIXE (proton-induced X-ray emission)和XRF(X-ray fluorescence)方法,即质子照射下的特征辐射激发和X射线照射下的荧光发射方法。其中用PIXE方法从危地马拉领土上49个黑曜岩样品中顺利地测量了11种元素的浓度,并从全部已知矿床中指出它们每个样品来自哪一矿床。

在1978年发表了用PIGE (proton-induced γ -ray emission),即质子照射下的 γ 辐射激发方法,对太平洋西南诸岛屿的700个样品的辐照结果。表明用这一方法能够测出三种元素(氟、钠、铅)的含量,误差2—5%。查明95%的观测样品取自一个矿床。中子仪器活化分析所固有的灵敏度和精确度可从中美洲马雅时代的黑曜岩样品的几种研究中说明其特征。在哥伦布发现新大陆以前时代的这些样品的大多数曾被认为是两个矿床造成的。在这些工作中研究了大约五十种元素含量。

同黑曜岩矿床定位一样,还制定了一种依据水化层厚度确定黑曜岩年代的方法,即用光学和核物理的方法就可确定它的年代。在后一种情况下,从1974年就用¹¹H(¹⁰F, $\alpha\gamma$)¹⁶O反应^[5]。如果把能量稍微超过共振能的单能¹⁹F⁺离子束聚焦在黑曜岩的表面上,

则离子能量因电离损失而逐渐减小。在某一深度 X_R 上共振能量可达16.45MeV,并产生辐射通量,其强度与 X_R 层的氢浓度成正比。假设全部氢以水化层中的水分子为条件,那末根据 γ 辐射的强度就可估算出水化层的厚度。用这一方法所达到的分辨为 $0.02\mu\text{m}$,而光学方法给出的分辨为 $0.1-0.2\mu\text{m}$ 。

陶瓷 用粘土造型和烧制陶器,是原始人最早的技术成就之一。包括在粘土中的大多数矿物都含有铁原子作微量杂质,这就能够利用穆斯堡尔效应来研究粘土在烧结作用下的结构变化^[6]。根据文献^[6]资料,这样变化的最可能的原因,是加热至 400 和 600°C 时失去羟基和加热至 800°C 时变成玻璃状。这方面最有成效的工作之一,就是如何辨认古希腊和古印度黑白釉陶瓷的烧制方法^[7]。

应用XRF方法分析阿提喀和厄立特里地区67个陶瓷样品的尝试,表明其中微量元素的频率分配是过分广泛的,在测定所用的粘土的矿床时不能用它作为诊断分配。这个问题用中子仪器活化分析法顺利地解决了。该方法的特点是对微量杂质的灵敏度特别高,而且有很强的选择性。根据36个分析样品的六种元素的结果,在 γ 射线谱中清楚地考查了两组相近浓度的基准元素的存在^[8]。尤其用这一方法证明了爱琴海诸岛屿的陶瓷样品就20种微量元素含量而言是相同的^[9]。这就可以作为主张在公元前七世纪在古希腊罗马世界就有巨大的陶瓷生产中心存在的假说的有力论据。

金属 对于确定金属的年代,并把它们同一定的金属矿床联系起来(如果金属不是再生的),对于合金的成分和冶炼工艺的研究,物理学研究方法能提供重要的情报。

为了确定铅制品的年代,人们成功地运用了同位素分析。这一方法也适用于杂质含铅的材料制品(例如银、青铜、玻璃^[10])。在格利多尼亚角(土耳其)青铜时代晚期的一次发掘工作中发现的铜铸件的研究表明,无论结构和成分,它们都无异于塞浦路斯

岛、希腊克利特岛和意大利萨丁岛上发现的那些铜器。

硬币 对于象硬币这样的很好鉴证的古物的客观分析,能提供关于经济动态和政治突变的特别重要的情报。根据硬币的成分和面额价值的变化,可以透彻地研究许多国家的经济史。特别给人以深刻印象的就是用中子活化分析法测定罗马古币迪那里的成分的例子^[11]。从公元前二世纪至公元54年,迪那里是一种具有稳定的成分和大小的银币。在三世纪开始往银里掺合不同数量的铜(有时质量达20%),很快迪那里几乎全成为铜的,并完全贬值了。新的银币——安尔尼阿纽斯等于1.5或两个迪那里,在三世纪末也逐渐被合金所代替,变成了在银表层的青铜币。

用中子活化分析伴随有剩余的长寿命放射性,它给被照射的硬币的以后的使用和保存造成困难。与此同时,人们常应用PIXE、XRF和原子发射谱学等方法来进行客观的分析。然而,后几种方法只能说明金属表层的特征。人们常用同位素,包括²⁵²Cf,静电发生器和核反应堆,作为中子活化分析的中子源。中子仪器活化分析在好些工作中随同仪器谱的处理程序的应用达到了完全自动化。在一篇文献^[12]中用这一方法研究了罗马帝国200个硬币的成分,其中也包括测定铜、锡、银的含量。表明至少在六年期间银含量从公元313年的25%降到了319年的4.5%。经过相继的十年之后,硬币一般不再含有银了。在这样一些研究中,中子活化分析达到了很高的灵敏度——银0.1%和铜0.5%,这有赖于应用了高密度的中子通量(量级为 10^{13} 中子/厘米²·秒)和长时间的照射(达4小时)。为了测定两个不大活化的元素——铅和铋,采用原子吸收分析法和硬币边缘选取微试样的同位素比例法。

对地中海银矿的研究和同客观分析的资料,也包括关于硬币的成分相对比的结果,表明雅典的全部古硬币和科林斯的一部分古币

的银都是开采自雅典附近的拉夫里昂银矿。在某些硬币有比较高的金和锡的含量，这可以解释为它们的金属源是“爱莱克特龙”——金和银的自然合金。

武器 在古代应用过的某些种类的钢，继续引起现代研究工作者的好奇心。其中，大马士革钢（一种有花纹的优质钢）就是这样的。尽管有许许多多的研究，但大马士革钢的配方仍然尚未揭晓。在一篇文章^[13]中报导了这种钢制品表面结构和成分的许多物理研究的结果，并试图把它特别坚固的结构形成同在严格控制条件下应用不是欧洲兵器匠所用的物质进行多次加热和冷却处理的工艺规程相联系。作者提出了一个设想：大马士革钢炼得的初始阶段是制成锭子，将铁和木炭混合加热到1200℃而成钢，含碳量约1.6%。铸件的缓慢冷却可产生两种金相：沿分界线被渗碳体包围的奥氏体粗大晶粒，

也就是“软”钢。在700—900℃锻造划分成奥氏体大晶粒和渗碳体椭圆体。中、小颗粒混合体的急剧冷却促使奥氏体转化为细针状的马氏体。冷却后退火（淬火）产生必要的复合性质——坚固性和韧性。再经过表面细加工就造成了“大马士革钢。”所以，“大马士革钢”——就是钢的优质的控制法。

在另一篇文章^[14]中提出一种意见，说大马士革钢的退火是采用浸入油中或者直接用气流吹风。

所举的例子证明了核物理方法在考古学各部门的成功的应用。一整套的有关方法是极其广泛的，而且在逐年地扩大。既然，这些方法基本上是没有破坏性的，所以它们最适宜于对考古学的独一无二的古器皿的分析。〔原图3表1参14从略〕

〔王学敏摘译自《Атомная Техника За Рубежом》，1985，№6〕