

核物理百花园中的一朵奇葩

——活化分析

施义晋

活化分析是一种灵敏度极高的分析方法,已经获得了相当广泛的应用。在法医学和“罪犯学”中也发挥了独特的作用,例如在《尼罗河上的惨案》电影结尾,在其它人、证据确凿的情形下,大侦探说要对付凶手做蜡模试验而最后制服了凶手。影片中所说的蜡模试验就是化学分析蜡块中有无硝基化合物(火药是硝基化合物)。

今天由于有了活化分析技术,我们不仅能分析出硝基物,而且还能分析出铈、钡这一类在火药中含量甚微、但又是必有的元素,这样判断嫌疑犯是否开过枪就更确定了。现在的蜡模试验不仅能确证罪犯,而且还能确证罪犯使用的是什么型号的枪支,是大口径的还是小口径的,是自动手枪还是左轮手枪。因为这些枪支使用后,铈、钡的沉积量是不一样的。更为有意思的是,通过其他元素的同时测定,可以准确无误地判定罪犯所使用的弹药是哪家火药厂的产品。

活化分析之所以有这么神奇的效能,主要在于它能同时测定样品中含量极微的几十种元素分布情况,通常它可测量微克、毫微克的含量,有时甚至达到微微克。例如,一根头发不过0.02—0.2毫克/厘米,利用活化分析至少可测出它所含的12—14种微量元素分布情况。而要使这十几种元素含量分布完全相同,这种机会只有千万分之一到百万分之一,因此可说,在北京城里,

只要用活化分析,没有一个人的头发是会跟另一个人的相同,因此它同指纹一样成为鉴别每一个人的鲜明特征。此外由于人的营养、健康状况及健康状况各个时期是不一样的,因此不同时期的同一人头发可以成为相当可靠的“病历卡”。有一个有趣的例子,距拿破仑去世一百多年后的1962年,有人拿了拿破仑的头发作了活化分析,发现头发里含有过量的砷,因此提出了拿破仑是由于食物慢性中毒而死亡的猜想,以后又拿了他死前五年中的不同时期的头发做分析,测出了他不同时期砷的进食量。

活化分析还有一个很大的特点是它可以不破坏样品而进行分析,由于这一点,使得它在考古学上得到了充分的应用。我国马王堆汉侯夫人的墓葬及尸体分析,有的就是采用了活化分析技术。

由于几乎所有元素都能“活化”,而且活化分析迅速准确,因此活化分析在今天已成了一种强有力的分析手段,广泛应用于:地质科学、物理学、化学、生命科学以及需要超高纯材料的技术科学如电子学、激光等科学技术领域。如本文开头所谈的,它也广泛地应用于社会科学领域如考古学、法医学、罪犯学等。

活化分析原理是由丹麦科学家G.海维赛和R.莱维在1936年首先提出的。他们根据约里奥·居里发现的人工放射性,认为:只要选择

合适的核反应,每种元素都可以成为放射性元素——“活化”,“活化”了的元素按一定的寿命衰变并放出一定的射线如 γ 射线, β 射线或 α 射线,人们可以通过测量放射性的寿命及射线的能量来识别元素,可以测量射线的强弱来判定该元素的含量多少。

但在当时条件下,由于没有强有力的“活化源”及射线的精确探测设备,活化分析原理提出之后经历了一段很长时间的停滞状态。

到了1953年,含铈碘化钠 γ 探测器问世了,再加上反应堆热中子可以用作强大的“活化源”,活化分析技术进入了实用阶段。特别到了60年代,锗(锂)探测器的出现, γ 射线探测技术面貌为之一新,再加上高速电子计算机数据处理的配合,活化分析同时测定样品中20—30种微量元素的含量已很通常,这样,活化分析技术就进入了广泛应用的阶段,成为核技术百花园中开放得特别鲜艳的一支奇葩。

目前“活化”大部分是用反应堆热中子作为活化源通过 (n, γ) 反应来实现的。 (n, γ) 反应即被检测元素的原子核吸收了热中子,放出 γ 光子后转变成人工放射性元素。只要这个放射性有适当长的寿命便于测量,就可认为这种活化方式可行。如果这个元素的 (n, γ) 反应截面(一种量度这个反应发生可能性大小的量)足够大的话,活化所需的反应堆照射时间就不用太长,那就更理想了。但这两个条件对较轻的元素(一般轻于铁,即原子序数小于26)常常不具备。因此也常用高压离子源产生的14百万电子伏特的中子作活化源,通过 (n, p) 、 (n, d) 和 $(n, 2n)$ 反应来活化被测元素。 (n, p) 这个符号表示用中子轰击被测元素的原子核,并被吸收、放出一个质子的反应, (n, d) 则放出一个核核, $(n, 2n)$ 则放出二个中子。

对有些元素,当用中子达不到

合适的活化要求时，也常用加速器的质子束、氘束、氚束、 α 粒子束甚或 ^3He 束作活化源。其中 $(^3\text{He}, p)$ 反应对一些很轻的元素如铍、硼、氧等的活化特别有用。

活化分析技术与其他分析技术的结合使用，更使今天的分析技术达到了一个高度的水平，目前已经实

物体内的痕量元素”组成。这些元素量虽少，但它们担负着重要的生理功能。例如镉，大鼠实验证明它可引起高血压，左心室肥大，也可引起心、肾等器官中小动脉的硬化。从不同国家的调查资料中发现，婴儿肾中的镉浓度几乎为零，而随着年龄增加，这浓度逐年增加。

现已查明有十五种痕量元素是人 和 动物所必需

现了的活化分析应用范畴已可列举出几百个。

我们可以再举出一个例子来看看活化分析的能力，并以此作为本文的结束。

我们知道碳、氮、氢、氧四种元素在生物体中占了总重量的 96%，而另一些元素钙、磷、硫、钾、钠、氯、镁也占去了 3.6%，剩下的 0.4% 则由几十种被称为“生

的：铁、碘、铜、锰、锌等，而有二十多种如：银、铅、汞、镉、金、稀土等元素是“有毒的”，而还有些元素如钡、铝、硼等在生物体中也查到了它们的踪迹，但它们的生理功能尚不清楚。这以上 55 种已测到的元素中有 47 种，人们曾用活化分析法测定过，而其中的 22 种，则已表明活化分析是最适宜的方法。（题头：微力）