

核技术在海洋环境、地质中的应用

田 宇 斌

前 言

核技术是一个范围相当广泛的技术领域，它已经深入到工农业生产、环保、考古、医疗卫生、天文、地质等各个领域，成为一种不可缺少的有力工具。

本文介绍了常规核技术，主要是分析技术，同位素断代技术在海洋环境和海洋地质应用中可供选择的方法及其优势；着重介绍在海洋环境中天然 γ 谱测量技术，中子活化分析技术，X荧光分析技术用于海洋现场分析的现况和趋势。并在此基础上对我国应用前景进行了评述。

一、常规核技术的应用

1. 核分析技术

包括X荧光分析，快中子活化分析，慢中子活化分析，带电粒子活化分析等以及天然放射性测量技术已经或正在开始应用于包括海洋样品的分析中，由于核分析技术的高灵敏度、快的分析速度以及非破坏性等优越性使其各领域的元素含量分析中占有越来越大的比重，其中应指出的下列分析方法对海洋环境分析是有利的：快中子活化分析方法由于利用 $(n, p)(n, \alpha)(n, 2n)(n, n')$ 反应，产物核半衰期短，快中子贯穿能力强，因此是一种进行快速、无损体分析的好方法，其灵敏度在目前国内条件下达ppm级。并且在分析费用上已达到或低于常规化学分析方法。由于高强中子源的发展以及快速样品传输系统的出现，目前利用快中子活化分析已

可做到每8小时分析近1000个样品（多元素分析），可分析短至15毫秒的核素、因此大大拓广了可分析核素范围。分析灵敏度可达ppb级、对于大面积海洋样品的分析而言，快中子分析无疑是一项难得的重要分析手段。

堆中子活化分析具有高的灵敏度（ \leq ppb级），因此这种方法已广泛的被世界各国应用。在我国许多地质海洋样品的分析也采用了这一分析方法。这一方法的应用由于象Slowpoke这样小型安全、廉价、无开放性污染，并可随时开停堆并不需专人操作的反应堆的出现，则更显示了这一分析方法的广泛前景。

其他核分析技术在常规地质大量样品的分析中由于技术特点我们的应用将会受到一定限制。无论那种分析技术，在国内一些单位均有与微计算机相联的探测器以及完整的分析软件系统等。

2. 同位素断代技术

由于海洋的特殊环境了解洋流的运动规律，水团寿命，海洋沉积物的组成，沉积过程，形成环境，同位素断代技术是非常重要的。但就目前所应用的衰变法断代技术而言，其所能利用的元素及由方法本身所决定能断定的年限，都很难满足上述海洋科学的要求。因此就必须利用那些半衰期能明显反映海洋沉积，海水循环，水团寿命及人类活动等有关信息，其半衰期在 10^3 年—10年间的元素，并采用新的断代方法以解决研究海洋所遇到的问题。例如，利用对研究沉积学有重要意义的 ^{10}Be ，其半衰期配得上人类进化和冰层年令的时间算尺。测量海底沉积物和锰块中的

^{10}Be ，就能知道各层历史，确定他们是一直在海底还是周期的被埋藏。 ^{10}Be 浓度不仅与年代有关还与沉积率相关，用 ^{26}Al 进行双重定时就更有意义。而对海团的循环寿命的研究 ^{32}Si 和 ^{39}Ar 比用 ^{14}C 更有意义， ^3H 对研究现代地下水有重要作用。

直接元素测量法（即加速器法）提出于1970年，其原理是测量放射性元素本身，而不是测量其衰变产物。这点优越性是明显的，例如对 ^{14}C 每分钟有一个衰变，其总 ^{14}C 则有 4×10^9 个原子。直接法就是利用 $4 \times 10^9/1$ 这一大比值，对10万年的碳每mg中尚有335个 ^{14}C 原子，这样用几十mg碳在2.5%的精度内即可测得十万年的年代。具体测量过程简单可以说：“将含有待分析元素的样品放入加速器离子源、电离后被加速。对回旋加速器而言，其本身就是一台超灵敏质谱计，符合其荷质比共振的粒子被加速，经粒子鉴别器鉴别后被收集。从收集的量即可推知样品的年代。对静电加速器而言，道理是一样的，只对加速后的粒子进行荷质比选择即可。由此对研究人类历史及海洋环境有重要意义的年代通过对 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{32}Si 、 ^{36}Cl 、 ^{39}Ar 、 ^{81}Kr 、 ^{14}C 、 ^3H 的快速准确分析就会被得到。

目前，世界上许多实验室在进行这一工作如：奥尔赛，牛津，巧克河，罗彻斯特等对 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl 、 ^{10}Be 都做了许多工作，国内上海原子核所也利用直接断代法成功的分析了地下水的年代。人们认为：直接断代法已经走出了探索阶段而进入利用阶段，并且分析费用也将优于衰变法。

二、核技术在海洋环境和海洋地质学方面的应用

许多危险性的和具有潜在危害的元素存在于海洋底沉积物中，人们期望研究它们的分布得出有关这种公害对人类危害程度的评价，而又不因取样而可能歪曲沉积过程的信

息；由于陆地矿产资源的日见短缺和人类对矿产资源的日益增长的需要之间的矛盾导致了人们对海洋沉积矿物、海底矿床重要性的认识，而对如此广阔的海洋底部的元素分析测量，最适宜的方法无疑是对海底直接进行快速逐点测量分析或拖曳式的连续测量，核技术在这一领域的应用具有解决这一问题的明显优势。

1. 天然 γ 射线谱的连续测量或逐点测量

事实上，所有的石头上都辐射 γ 射线，它们产生于石头中存在的放射性元素，这些元素在岩石中的浓度和种类是不一样的，花岗岩中，海洋粘土中相对浓度是高的，在玄武岩，溶岩和石英沙中是低的，比较不同岩石结构所发射的 γ 射线的能量和强度就提供了它们之间的区别并导出它们的分布区间和浓度。铀和钍在海底象沙沉积床那样，也能同通常的放射性元素相共生，如磷沉积通常被富集于铀上，浓度可达150ppm，含铀锆土能伴生于沙性沉积中，从这里锆和钛能被发现，又如钍和锡能共生。当处于放射性平衡时测定这些元素的 γ 射线的强度和能量就能确定它们目前的浓度和分布的特征。

确定这些 γ 射线的能量和强度是容易的，比如铀链的1.764MeV，钍链的2.614MeV和钾的1.460MeV用NaI(Tl)就足以很好的将它们分开。在海洋环境中，即将包括NaI(Tl)的晶体、光电倍增管、前置放大器等在内组成的探头系统密封于钢管内，通过电缆与母船相连接。探头的一般结构如图1。

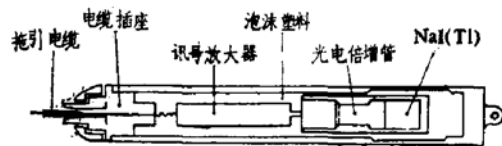


图1 拖引式天然 γ 谱探头

它是大约长1米、直径12.5厘米的圆筒，将这种探头配以前边所述的多道微处理机系统，再与导航资料结合即能用于现场快速得到元素的分布图。英国利用这种仪器以每小

时7海里的速度进行连续测量,在欧洲大陆架利用这种系统连续拖引了16000公里没有发现丢失、损坏或其他不安全事故。苏联也在波罗的海根据沉积物中V、Th、K的拖引测量进行了地质添图。例如,在Haig Fras地区,(在Land, Znd以西150公里处)一个花岗岩外露的海底,花岗岩及包围它的母系岩是一个海底山脊,比周围高60米,离斯里特克海面40米,被泥盆纪和石炭纪的粘板岩所包围,东南被超白垩沙和石灰岩覆盖,现场测量表明其这一特征与 γ 射线拖引式测量结果的结论是相符合的,其 γ 测量结果如图2,文

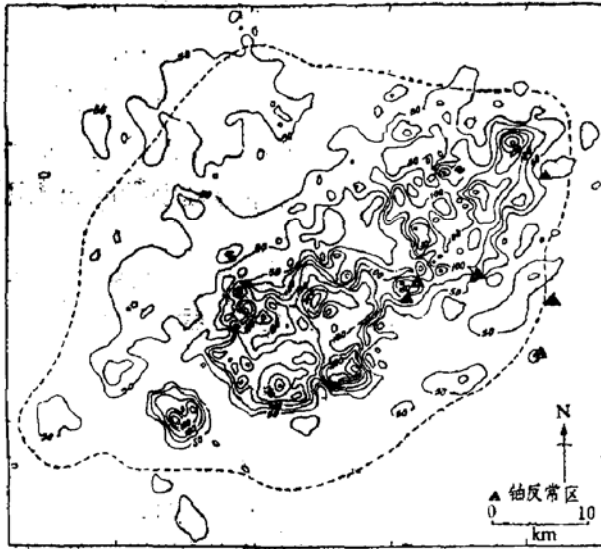


图2 Haig Fras海区海底总 γ 活性

献还给出了对Lynt湾Brndgewate湾的测量结果和所进行的分析。所有这些都说明这种技术已变为一种常规的核测量技术,由于我国目前拥有小型的微处理机多道解 γ 谱手段,探头是廉价的常规探头,因此这种技术在我国海洋调查中将不存在技术问题。

2. 中子及X荧光技术在海洋调查中的应用

常规的 γ 放射性对海底的分析只限于这些矿物中含有放射性元素,而一个宽阔的元素区间和由这些元素所形成的矿物是非放射性的,这就需要现场的核分析技术,主要是中子活化、中子俘获、中子非弹性散射,X荧光分析,一些国家已于70年代开始了这

一工作。例如美国地质调查所,乔治亚大学,太平洋西北实验室联合进行了中子活化、中子俘获实验,在西长岛海区用Ge(Li)探头, ^{252}Cf 源,船上配了小型计算机控制的4096多道分析器。卡尔斯鲁厄核研究中心研制了海底探测和海底锰结核的勘探与开发联合装置,使用 $1\text{mg}^{252}\text{Cf}$ 源,装在抽取锰结核管道中心,管道外放置经屏蔽的Ge(Li)探测器,当管道抽入海底锰结核即可测出Mn, Fe, Cu, Co等的含量,英国哈威尔核研究中心对此也有详细研究。

探头的工作原理是当中子源在海底产生的快中子被海水强烈慢化后(水为强慢化剂)形成热中子,大量元素对其高俘获截面,所产生的 γ 射线又具有强的穿透力,容易为探测器所探测。

所选用的 ^{252}Cf 源具有高中子产额,低的中子能量,易慢化。小型中子管需电源供应,但其不用时可以关掉以及可以脉冲化使用,对核测量是有利的。由于热中子产生复杂的 γ 谱,因此高分辨率的探测器是必须的,一般均选用高纯锗,原因是其有低的中子损伤灵敏度、及由低温恢复到常温时性能不变影响的特性。要保持探测器于高的分辨状态,必须保持探头于低温下,一般选用液氮或固态氟里昂,丙烷等。当然在海底条件下,低温的使用就必须与探头的设计综合加以考虑。探头内部结构如图1。这种探头使用于100—200米水深时,讯号及电源经电缆的传输的衰减稍加补偿即可,而在深海作业时,则必须考虑采取进一步措施予以补偿。当船以每小时5节速度航行时对含量1—2%的一元素的连续测量精度在目前电子学条件下不会受到影响。

哈威尔核研究中心对不同海底类型,如沙、泥、粘板岩等进行了实验,图3为 $2.5\mu\text{g}^{252}\text{Cf}$ 源在含铁2.9%,钛2.5%的海底,测量120分的 γ 谱,从图中可以看出主要干扰来源于Cl,这可以采取一些具体措施予以缩减以提高探测极限。实验结果与理论计算(蒙

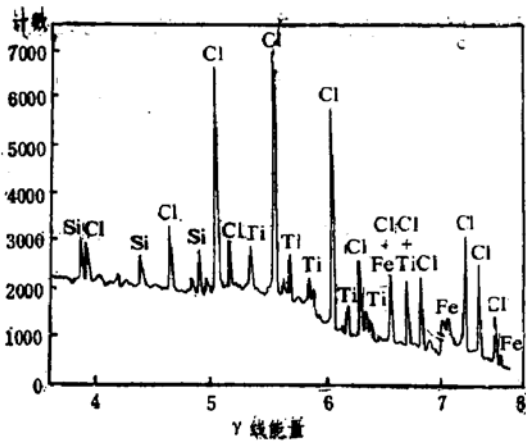


图3 ^{252}Cf 源测量Fe、Ti的 γ 谱

特卡罗方法)很好地符合,这也证明了拖引式海底中子反应谱仪在测量海底沉积矿、分析它们的经济潜力具有重要实用价值。美国太平洋西北实验室对此曾做出评论,对人们感兴趣的矿业中许多元素的浓度,现场的中子活化分析无疑是具有优秀的潜在能力。

在元素分析技术中,对较浅海底数百米之内的现场能量色散X荧光分析方法对多元素分析的速度、灵敏度具有优秀的竞争力,这也就是这种方法对海洋环境污染监测的实用性的依据。据报导在5—10分的测量时间内可以在2050ppm水平上现场分析30余种元素。分析点的水深度达100米。

能量色散X荧光分析技术对水底沉积物的分析与中子技术有相似之处。不同之点是激发源所射出的 γ 射线需经过密封系统照射到沉积物上而沉积物元素所产生的X线又需穿过压力密封装置进入探测器,因此必须经过一些结构设计,使之满足测量和压力密封的双重条件要求。另一点是他们的分析灵敏度区间和分析深度是不相同的,中子分析海底沉积物或岩的厚度为15~10厘米,而X荧光分析厚度为几毫米。美国设计了可下潜100米的探头,分别在纽约长岛湾、华盛顿巴格特湾和华盛顿淡水湖中进行测试,水深在

100英尺—25英尺。对沉积物表面厚1mm样品分析。

海底X荧光分析技术所能同时分析的元素和所能达到的灵敏度表明对海洋环境污染的调查是有利的,虽然由于铍窗厚度对X线吸收的影响和由于其承受压力之间的矛盾导致其所能潜入的水深有一定限制。但对整个渤海海域、黄海、东海、南海近海的海底沉积现场快速分析无疑是一种优良的工具。并且随着探头工艺的改革正在使其能深入到沉积物内进行体分析,也可以得知其沉积的历史、速率等有意义的信息。

综上所述,核技术,尤其是现场分析的核技术应用与海洋环境、海洋地质领域是具有其他技术所不能代替的重要作用,它对于加速海洋普查探测、开发无疑地是重要的。从我国目前核技术水平以及海洋考查、取样能力来讲,这一新的海洋调查手段的应用不会是遥远的问题。

参 考 文 献

1. INIS Atomindex Vol. 14 №7, №4 1983.
2. J. Radioanal. 57 (1980) 525
3. Scientific American Vol 242. №5 1980
4. 田宇絃、赵彦森等14MeV中子活化分析植物中N、P、K,土壤中Pb、Cd、Hg,第二次中日加速器及应用会议 1983.
5. IEEE Vol. NS-28. №2 1981 P 1665
6. Nuclear techniques and mineral Resources, IAEA Vienna 1977 P465
7. Nuclear techniques in geochemistry and geophysics 1976. p 75
8. Inter. J. Applied Radiation and Isotopes 1983. Vol 34. №3 p 437
9. Nuclear Instr. Meth. 128 (1975) p 561.