

同位素中子源活化瞬发分析装置

吴松茂 茅云 宋玲根

(复旦大学, 上海)

关键词 同位素中子源, 瞬发 γ 射线, 活化分析。

一、基本原理

自六十年代中期以来, 中子活化瞬发 γ 射线元素分析技术(PNAA)得到人们广泛重视^[1-3]。与通常的中子活化分析(NAA)技术相比, 它分析的是样品中的主要成分, 若用同位素中子源, 还可进行实时在线连续测定及现场分析。

PNAA技术是用热中子与待测元素发生中子俘获反应, 处于激发态的产物核在瞬间($<10^{-16}$ s)退激时释放出特征 γ 射线。这种 γ 射线称为瞬发 γ 射线, 不同的元素有其特征能量的 γ 射线, 能量可从几十keV至8MeV。通过测量特征 γ 射线的活度来确定样品中待测元素的含量。

原则上除了少数元素, 如He, Li, F, O, Bi, Sn等的热中子俘获截面极低之外, PNAA技术可用于元素周期表中的所有元素分析。对由于俘获中子后生成稳定核, 或生成半衰期极长、极短的元素, 如H, B, N等, 在不能用NAA技术分析时, 也可用PNAA技术进行分析。对B, Sm, Gd, Cd等元素, 由于探测灵敏度高, 可用PNAA技术进行微量分析, 一般PNAA技术能分析的重量百分比大于0.1%。

二、实验装置

实验装置如图1所示, 它由18.5 GBq的²⁴¹Am-Be中子源, 中子慢化体, 热中子引出井, 以及探测器组成。中子慢化体是圆柱体和空腔为锥形的井两部分组成, 它和空腔为圆柱的引出井一样, 由石蜡浇铸而成。中子源置于锥形井底部石蜡1cm的深处。样品放在引出井的井口。探测器置于井口的一侧, 防止中子束的直接照射。实验中应用Ge(Li)探测器进行测量。该探测器的体积为130 cm³, 对于1.33 MeV的 γ 射线的分辨率为2.3 keV。为降低中子源引起的 γ 本底, 在中子源和探测器的连线上, 置有铅屏蔽。

三、实验结果与讨论

用有限活度的同位素中子源时, 重要的问题是得到最佳的热中子注量率, 根据Flayard^[4]提出的无限大慢化介质内热中子的分布公式, 在中子源近表面处的热中子注量率最高, 所以在实验装置中将中子源置于1cm的石蜡深处, 以获得较高的中子注量率。为改善辐比和热中子注量率的均匀性加了空腔为锥形的井。

在慢化体装置的选择中, 比较了直形井和锥形井的两种情况, 实验结果以锥形井为最好, 这与文献[4, 5]是一致的。若用20cm厚的石蜡块盖住井口(示于图2), 测得井内中

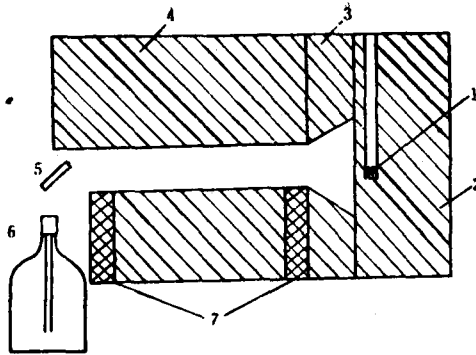


图 1 实验装置示意图

1—中子源；2—慢化体（石蜡）；3—锥形井；4—引出井；5—样品；6—Ge(Li)或 NaI 探测器；7—铅屏蔽体。

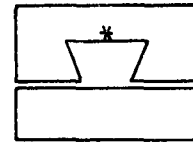


图 2 井口盖有石蜡块的示意图

表 1 有盖和无盖锥形井内热中子注量率($n/cm^2 \cdot s$)

离井底高度/cm	无石蜡盖	有石蜡盖
1	1.1×10^5	1.4×10^5
2	5.1×10^4	1.3×10^5

子场分布，并与无石蜡块盖住时进行比较，结果列于表 1。

由表 1 可见，在井底部热中子注量率变化不大，而在锥形井口处，则变化较大。这说明石蜡块不仅是良好的中子慢化体，而且也是良好的中子反散射体。

为降低中子源对探测器的影响，实验比较了两种引出装置。在锥形井口设置横向通道，或在锥形井口再接一个竖井（示于图 3）。

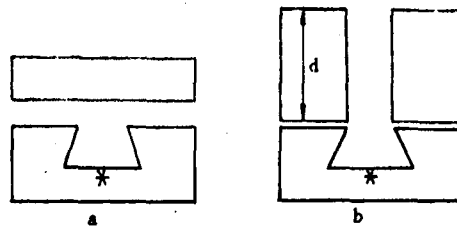


图 3 两种热中子引出装置

a—横向引出装置；b—直形引出井。

实验测量了两种引出装置中不同位置处的热中子注量率，其结果列于表 2 和 3 中。横向引出装置的测量结果表明，随着横向距离的增加，热中子注量率迅速递减；而纵向装置的测量结果，热中子注量率递减速度没有这样快。

在纵向引出装置中，为确定合理的井的深度，实验测量了一个钢样品，比较了不同的井的深度，样品计数与本底的比值，并定义为品质因子 Q

$$Q = (N_{总} - N_{本}) / N_{本}$$

Q 值的测量结果列于表 3。实验表明，在我们的实验条件下，石蜡井的深度在 7—10 cm 为最佳。

表 2 横向引出装置的各点注量率分布

与井口中心距离/cm	钢片活度/Bq·g ⁻¹
0	6.1
6	2.3
10	6.1

表 3 纵向引出装置各点品质因子值 Q

井深度/cm	1000 s 本底计数	1000 s 总计数	品质因子
0	2964	5977	1.02
5.0	1867	3940	1.10
7.0	1357	3115	1.30
10.0	1105	2445	1.21
15.0	661	1316	0.92

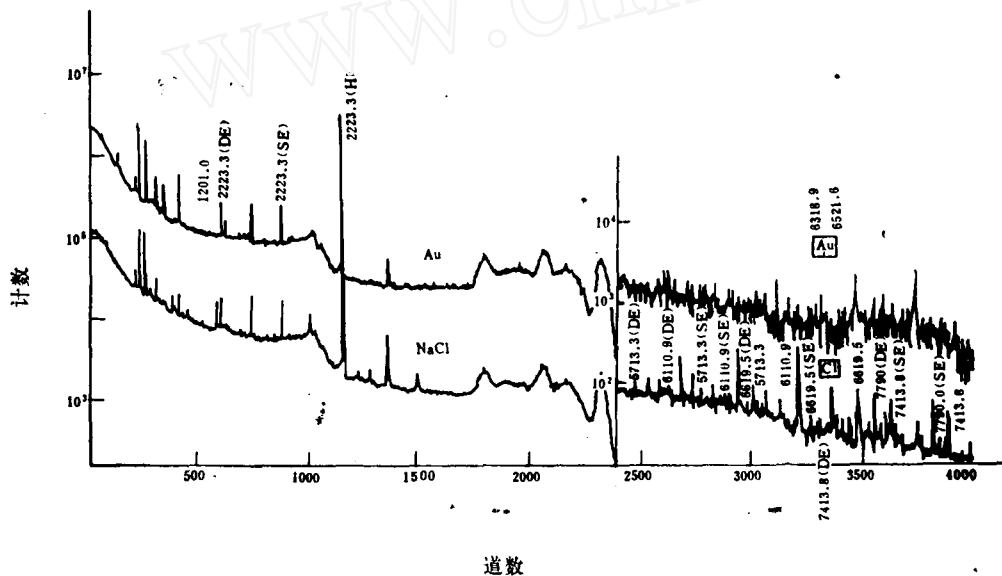


图 4 NaCl 和 Au 中子活化瞬发 γ 射线谱
SE——单逃逸峰；DE——双逃逸峰；H——氢的 γ 峰。

用图 1 的实验装置，实测了 NaCl 和 14 K 金样品的活化瞬发 γ 谱(示于图 4)。NaCl 和金的质量分别约为 50 和 10 g。从 γ 谱中可见，Cl 和 Au 在高能区的瞬发 γ 射线大部分能被检出。实验表明，用该装置进行 PNAA 技术元素分析是完全可行的。若适当增加样品的数量，提高中子源的活度，可望得到更好的结果。

我们用 ²⁴¹Am-Be 源测量，这种源半衰期为 433 年，但有较高的 γ 本底，在相同的中子活度下，它的本底比 ²³⁸Pu-Be 高 2 倍，比 ²⁵²Cf 裂变中子源高 10 倍。另外 Be(α , n)¹²C 源中都伴随有 ¹²C 第一激发态跃迁的 4.430 MeV γ 射线，以及在探测器内产生的单、双逃逸峰的贡献。因此，在实际测量中，在 3.4—4.4 MeV 能区内，很难作待测元素的 γ 射线测

量。若用 ^{252}Cf 中子源或其它中子源就可避免这种情况。

一般常选用含氢材料, 如石蜡、聚乙烯、水等作中子慢化体。由于 $^1\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$ 反应释放很强的 2.22 MeV γ 射线, 所以影响样品中氢含量的分析。若用碳等作慢化体就可以分析样品中的氢含量。因此, 用中子源作活化瞬发 γ 射线元素分析, 多以高能区的特征 γ 射线进行分析, 但是探测效率较低。

总之, PNAA 技术可用于样品主要元素成分的快速无损分析, 如测定金饰制品的真伪和含量, 开采金矿时的采掘方向指示。在采掘煤炭、石油时, 可连续在线测定其含硫量、灰分、水分等, 也可对各种矿藏的丰度、品位等测量。

作者感谢吴治华先生有益的帮助。

参 考 文 献

- [1] Gladney, E. S., LA-8028-MS (1979).
- [2] Hassan, A. M. et al., *Nucl. Instrum. Methods.*, 192(2,3), 595(1982).
- [3] Greenwood, R. C., *Inter. Conf. on Industrial Application of Radioisotopes and Radio Activation*, 1981, Grenoble.
- [4] Flagard, P. L., *Nucl. Eng. Design.*, 5, 311(1967).
- [5] 王述新等, *核仪器与方法*, 3(1), 50(1983)。

(编辑部收到日期: 1985年9月20日)

A SYSTEM FOR PROMPT NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS WITH ISOTOPE NEUTRON SOURCES

WU SONGMAO MAO YUN SONG LINGEN

(Department of Nuclear Science, Fudan University, Shanghai)

ABSTRACT

A system for Prompt Neutron Activation Analysis (PNAA) with isotopic neutron sources is established. The fast neutrons from ^{241}Am -Be neutron sources are moderated by a paraffin moderator and neutron capture gamma rays spectra are measured with a Ge(Li) detector. The optimum experimental configuration are determined. Some samples are measured using the PNAA technique.

Key words Isotope neutron sources, Prompt gamma rays, Activation analysis.