

分段 γ 扫描标样的非破坏性分析法检验

何丽霞, 吕峰, 赵学军, 隋洪志, 刘亨军, 李泽

(中国原子能科学研究院 核保障重点实验室, 北京 102413)

摘要: 利用非破坏性分析法检验用于刻度分段 γ 扫描(SGS)装置的标样。采用分段 γ 扫描技术测量了 8 个装有 U_3O_8 的铀标样、8 个装有 PuO_2 的钚标样。检测铀标样和钚标样装钚量的准确性以及铀标样中 U_3O_8 和钚标样中 PuO_2 与介质混合的均匀性。检测结果表明: SGS 标样的装料量的准确性好于 1%, 标样中料样和介质混合的均匀性好于 3%。

关键词: 非破坏性分析法; 分段 γ 扫描技术; 刻度标样

中图分类号: TL275

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)02-0248-04

Non-destructive Assay for Segmented Gamma Scanning Calibration Standards

HE Li-xia, LU Feng, ZHAO Xue-jun, SUI Hong-zhi, LIU Heng-jun, LI Ze
(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-48, Beijing 102413, China)

Abstract: The quality of a series of uranium calibration standards and a series of plutonium calibration standards for the segmented gamma scanning(SGS) was verified. It is important to analyze the proper quality of the special nuclear material in the standards and its homogeneity in the matrix was measured by gamma ray non-destructive assay (NDA). As a result, the measured values of each series standards are agreeable with declared within 1%. And the measured results of the material uniformity in matrix for both series of the standards are better than 3%.

Key words: non-destructive assay; segmented gamma scanning; calibration standards

核材料控制与衡算过程中常用到非破坏性分析(NDA), 分段 γ 扫描(SGS)技术是其中之一, 它主要用于分析中、低密度非均匀分布介质中的核材料。在分析过程中, 必须首先采用一系列不同质量的刻度标样对 SGS 测量装置进行刻度。因此, SGS 测量所用标样的准确性将直接影响测量的准确性。

SGS 测量装置是美国洛斯阿拉莫斯国家实验室在 20 世纪 70 年代研制开发的 NDA 测量装置^[1,2]。20 世纪 90 年代, 美国洛斯阿拉莫斯国立实验室与国家标准局合作研制了专用于 SGS 刻度的铀标样和钚标样。标样除了使用传统的化学分析方法(DA)进行定值以外, 还使用分段 γ 扫描技术对标样的定值进行了检

验^[3]。

本工作在 S. T. Hue 等^[2]对 SGS 标样进行 NDA 检验的经验基础上,结合我国 SGS 标样的制作实际情况,对已研制的 8 个 SGS 铀标样、8 个 SGS 钚标样的 DA 定值用非破坏分析法进行实际检验。

1 检测装置

SGS 标样的检测装置是我国自行研制的可移动式分段 γ 扫描(SGS)测量装置^[4]。该装置由以下 3 部分组成:

- 1) 旋转和升降样品的扫描设备;
- 2) γ 探测器和准直器组成的探测设备;
- 3) 透射源支架、挡束开关及屏蔽体组合的屏蔽设备。

探测器使用美国 EG&G ORTEC 仪器公司生产的 GEM-13180-P 型弯头同轴型高纯锗(HPGe) γ 射线探测器,其相对(NaI)效率为 15%。数据获取系统由 EG&G ORTEC 公司生产的 919 型多道缓冲存储器和计算机组成。

装置的自动控制系统采用美国太平洋公司生产的 SX 型步进马达,它用以实现样品的轴向分段扫描。

装置的自控软件和各种校正计算系统软件均采用中国原子能科学研究院核保障技术重点实验室自行研制的软件。

装置的自控软件和各种校正计算系统软件均采用中国原子能科学研究院核保障技术重点实验室自行研制的软件。

2 检测及结果

两套标样外包装均采用外径 $\phi 78$ mm、内径 $\phi 76$ mm、高 300 mm 的不锈钢封闭筒,内部填充介质为硅藻土。铀标样基体为 U_3O_8 粉末,钚标样基体为 PuO_2 粉末。每个标样均采用 V 型混合器处理数小时,以达到介质与基体的均匀化分布。标样依所含物料的绝对量依次编 1~8 号。铀标样在制作过程中因制作工人的失误,并未按以上规则排序,含量最少的标样编为 3 号,其它的依次改编,为不影响相应的文本档案,测量中沿用了原编号。

采用分段实现的方法,轴向分段扫描,步长 10 mm。每个标样各段测量时间相同,视标样放射性强度大小,在保证总计数统计性的前提下,各标样的测量时间不尽相同。

2.1 U_3O_8 或 PuO_2 与硅藻土混合均匀性

分段 γ 扫描平台载带样品径向匀速旋转,轴向分段扫描。逐段扫描测量得到样品自发射以及有透射源存在时的透射两种情况下的 γ 射线能谱。以铀标样为例,两种情况下所测得的 γ 射线能谱示于图 1、2。

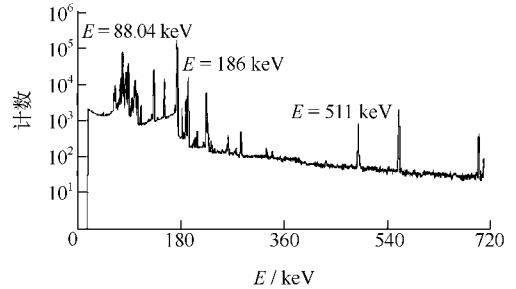


图 1 自发射 γ 射线能谱

Fig. 1 Spontaneous γ -spectrum

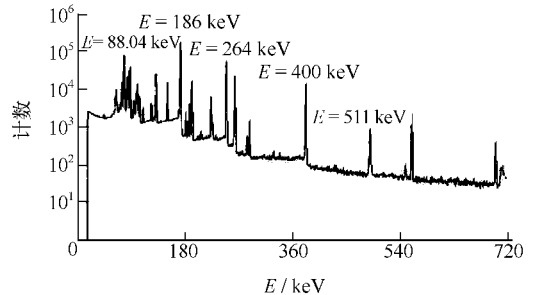


图 2 透射测量 γ 射线能谱

Fig. 2 Transmission source γ -spectrum

测量中,选用放射性同位素 ^{75}Se 作为透射源,透射能谱分析所用特征 γ 射线能量分别是 136、264、279 和 400 keV;选用放射性同位素 ^{109}Cd 作为死时间校正源,其特征 γ 射线能量为 88.04 keV。对铀标样的自发射 γ 射线能谱分析,选用能量为 186 keV 的 ^{235}U 的特征 γ 射线;对钚标样的自发射 γ 射线能谱分析,选用能量为 413 keV 的 ^{239}Pu 的特征 γ 射线。

对每个标样实施分段扫描,获取各段的自发射以及透射 γ 射线能谱。之后,用能谱解析软件进行分析,获取样品自发射和透射源 γ 射线能谱中的感兴趣能峰(186 或 413、88.04、136、264、279 keV)的峰面积,并计算各感兴趣能量全能峰的计数率。对各感兴趣能峰的计数率进行死时间校正和放射性衰变校正计算。然

后,计算各段透射 γ 射线能谱各感兴趣能峰的透射率,将所得结果进行二次曲线 $T(E) = B_0 + B_1E + B_2E^2$ 拟合,再运用曲线内插法求得自发射 γ 射线能谱中感兴趣的 γ 射线(186、413 keV)的透射率。最后,采用近立体角三维自吸收校正模型,对每一段自发射 γ 能谱中能量为186或413 keV的 γ 射线的透射率实行校正处理,由此即可获得各段自吸收校正后的计数率。根据计数率分布计算出装料 U_3O_8 或 PuO_2 与硅藻土介质的混合均匀性。

8个SGS铀标样经分段 γ 扫描测量,并作各种校正计算之后,所得各标样各段计数率分布示于图3。

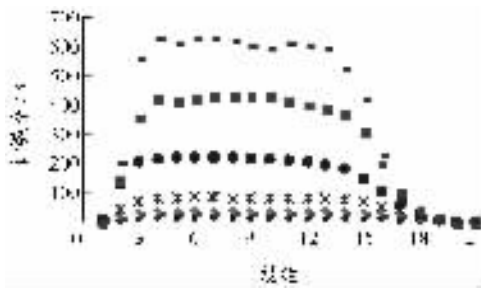


图3 铀标样基体分布均匀性

Fig. 3 Homogeneity of uranium calibration standards
不同标识符对应8种不同标样

8个SGS钚标样经分段 γ 扫描测量,并经过各种校正,所得各标样各段计数率分布示于图4。

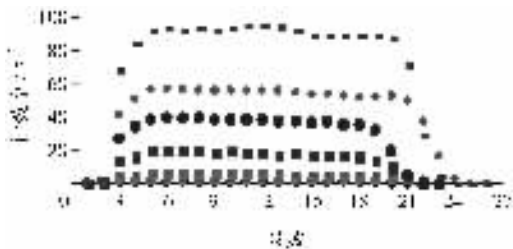


图4 钚标样基体分布均匀性

Fig. 4 Homogeneity of plutonium calibration standards
不同标识符对应8种不同标样

从图3和图4可以看出,每个标样从第4段到第14段(属样品中部)的计数率间的最大偏差小于3%。如果用V型混合器再次进行混合处理,标样的均匀性将会更好。

2.2 U_3O_8 或 PuO_2 装料质量的相对准确性

SGS标样装料质量的准确性是标样制作水平的重要指标。对8个铀标样和8个钚标样每一段测得的 γ 射线能谱进行数据处理和校正计算,所得计数率总和与其所对应的装料质量的比值,即比计数率列于表1和2。

表1 SGS铀标样测量结果

Table 1 Measurement result of uranium calibration standards

标样号	测量结果/ $(s^{-1} \cdot g^{-1})$	与平均值的相对偏差/%
1	62.3	-0.5
2	62.4	-0.3
3	62.8	0.3
4	62.8	0.3
5	63.1	0.8
6	62.4	-0.3
7	62.3	-0.5
8	62.5	-0.2
(62.6)		

注:括号内为平均值

表2 SGS钚标样测量结果

Table 2 Measurement result of plutonium calibration standards

标样号	测量结果/ $(s^{-1} \cdot g^{-1})$	与平均值的相对偏差/%
1	19.14	0.9
2	18.93	-0.2
3	18.92	-0.2
4	18.95	-5×10^{-2}
5	18.86	-0.5
6	19.06	0.5
7	19.01	-0.3
8	18.87	-0.5
(18.96)		

注:括号内为平均值

表1、2的数据表明:8个铀标样计数率与其质量之比的平均值为 $62.6 s^{-1} \cdot g^{-1}$,与平均值的相对标准偏差小于1%;8个钚标样计数率与其质量之比的平均值为 $18.96 s^{-1} \cdot g^{-1}$,与平均值的标准偏差小于1%。

3 结论

每个标样中部的计数率间的相对偏差小于3%,说明标样混合均匀。标样使用前进行二次三维混合,可以满足使用要求。实验方案得到认可,方法可以作推广应用。

实验得出,铀标样的比计数率平均值为 $62.6 \text{ s}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$; 钚标样的比计数率平均值为 $18.96 \text{ s}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$; 与平均值相对标准偏差小于1%,处于该测量方法的测量误差范围之内。各铀标样装料(U_3O_8)的量值和钚标样装料(PuO_2)的量值在测量误差范围之内均是准确的。

参考文献:

[1] PARKER J L. The use of calibration standards and the correction for sample self attenuation in gamma-ray nondestructive assay: LA-10045 Rev [R]. US: Los Alamos National Laboratory,

1986.

- [2] DONG R, NORBERT E. Passive nondestructive assay of nuclear materials: NUREG/CR-5550 LA-UR-90-732 [R]. US: Nuclear Regulatory Commission, 1990.
- [3] HSUE S T, STEWART J E. Guide to nondestructive assay standard preparation, criteria, availability, and practical considerations: La-13340-Ms[R]. US: Los Alamos National Laboratory, 2000.
- [4] 吕峰,曹斌,辛标,等. 可移动式高分辨率分段 γ 扫描现场测量装置的研制[J]. 原子能科学技术, 1998, 32(3): 239-244.
- LU Feng, CAO Bin, XIN Biao, et al. Development of transportable segmented γ -ray scanning system for measuring on site[J]. Atomic Energy Science and Technology, 1998, 32(3): 239-244 (in Chinese).

一种高放射性废物固化处理基材的制备方法

【公开日】2006.05.03

【分类号】G21F9/00

【公开号】CN1767077

【申请号】CN200510-021423.2

【申请日】2005.08.06

【申请人】西南科技大学

【文摘】一种高放射性废物固化处理基材的制备方法,其特征包括:1) 配料。以天然锆英石、 CaCO_3 和 TiO_2 为原料,按天然锆英石 26~32 重量份、 CaCO_3 29~35 重量份、 TiO_2 35~42 重量份的比例取各原料;2) 细磨。将各原料装入细磨设备内,添加磨球后,振磨 30~60 min;3) 煅烧。将物料在 1 150~1 350 $^\circ\text{C}$ 的温度下煅烧 20~60 min,即制得产物。采用本发明制备钙钛锆石和榍石的人造岩石固化体,原料成本低廉,工艺简单(可以减少或避免固化处理过程中的二次污染),反应温度较低,得到的目标矿物纯度高,为钙钛锆石、榍石基人造岩石固化高放废物的工程化应用奠定了良好的基础。

摘自中国原子能科学研究院《核科技信息》