



CN9701125

CNIC-01125
FRDINI-0011

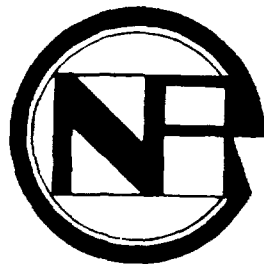
中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

元件²³⁵U 丰度检查中子体年龄校正的研究

STUDY OF CORRECTING THE EFFECT OF
DAUGHTER AGE ON DETERMINING ²³⁵U
ENRICHMENT OF FUEL RODS

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



邓景珊：核工业第五研究设计院工程师，中国核学会核材料分会专业委员会委员。1987年毕业于郑州大学物理系，1990年获硕士学位。

DENG Jingshan; Engineer of Fifth Research and Design Institute, CNNC. Member of the Council, Nuclear Material Division of Chinese Nuclear Society. Graduated from Physics Department, Zhengzhou University in 1987 and received MS degree in 1990.

CNIC-01125
FRDINI-0011

元件²³⁵U 丰度检查中子体年龄校正的研究

邓景珊 周呈方 罗敏轩

(核工业第五研究设计院, 郑州)

刘 筠

(北京大学)

摘 要

利用 γ 射线无源法检查核电站燃料元件的²³⁵U 同位素丰度是一个非常有效的方法。但是该方法存在一个缺点,即必须在 UO_2 芯块铀同位素子体达到平衡后才能检查丰度,使这种方法的应用受到很大限制。为此,研究出一种方法,采用双峰、双窗技术校正元件棒的²³⁵U 同位素丰度检查中放射性衰变的干扰,取得了满意的结果,使无源法更臻完善。该法在无源法 γ 射线元件棒²³⁵U 丰度检查中将会起重要作用。

**Study of Correcting the Effect of Daughter Age on
Determining ^{235}U Enrichment of Fuel Rods**
(*In Chinese*)

DENG Jingshan ZHOU Chengfang LUO Minxuan
(The Fifth Research and Design Institute, CNNC, Zhengzhou)

LIU Yun
(Peking University, Beijing)

ABSTRACT

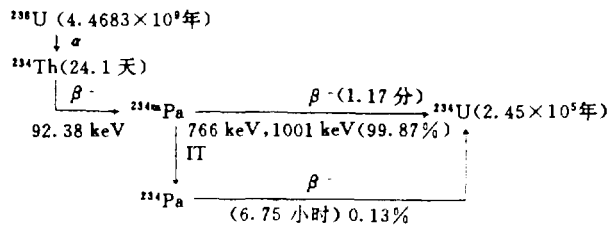
Gamma-ray passive technique is a very effective method to assay and determine ^{235}U enrichment of nuclear power plant fuel rods. There is a weakness in this passive method, i. e. only after the uranium isotope daughters of UO_2 pellets have reached to equilibrium with uranium parent, then the ^{235}U enrichment can be determined. This weakness greatly restricts the application of the method. A new two-peak and two-window technique is developed that can overcome the interference of uranium daughter decay in determining ^{235}U enrichment of nuclear fuel rods, and the results are very satisfactory. The new technique will play an important role in the gamma-ray passive technique for determining ^{235}U enrichment of fuel rods. This new technique also makes the gamma-ray passive method perfectly.

引言

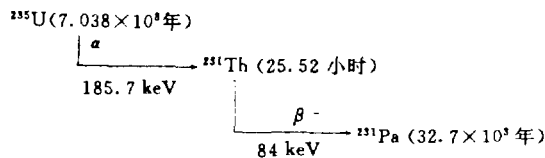
利用 γ 射线无源法检查核电站燃料元件的 ^{235}U 同位素丰度是一个非常有效的方法，在燃料元件质量检查中十分重要。我国自行研制的四路和八路无源 γ 射线燃料元件 ^{235}U 丰度仪就是利用这个原理。该仪器在元件生产厂已正常运行多年，成功地完成了秦山电站元件和大亚湾电站元件的 ^{235}U 同位素丰度检查。但是该方法存在一个缺点，即必须在 UO_2 芯块铀同位素子体达到平衡后才能检查丰度，使这种方法的应用受到很大限制。为了解决这个问题，我们研究出一种方法，采用双峰双窗技术，校正元件棒的 ^{235}U 同位素丰度检查中放射性衰变的干扰，取得了满意的结果。

1 UO_2 芯块放射性衰变对丰度检查产生干扰的原因

UO_2 芯块主要是由同位素 ^{235}U 和 ^{238}U 所组成。当它们衰变时，有许多子体生成。在放射性平衡过程中，由于子体产物的存在，用 NaI 探测器测量 ^{235}U 同位素丰度时， γ 射线的强度不仅是 ^{235}U 同位素含量的函数，而且也与时间有关，即与子体的年龄有关。图 1 是铀系的衰变纲图。



(a) 铀系衰变图



(b) 钍系衰变图

图 1 铀、钍系衰变纲图

从 UF_6 转换成 UO_2 粉末，经过水解-沉淀-干燥-还原化工处理过程，从铀中除去部分放射性子体产物。因此新生产的 UO_2 粉末所制成的 UO_2 芯块的放射性强度较低，随着时间延长，放射性强度增加。图 2 是新生产的 UO_2 芯块的放射性强度随时间变化的曲线。

从衰变纲图可知， ^{238}U 放出 α 粒子，生成 ^{234}Th 。 ^{234}Th 的半衰期为 24.1 天，放出 β 射线，生成 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 。 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 的半衰期为 1.17 分钟，放出 β 射线，同时放出能量为 766 keV 和 1001 keV 的高能 γ 射线，生成 ^{234}U 。由于化工处理破坏了放射性平衡，所以从 ^{238}U 衰变到 ^{234}U 子体达到平衡，主要受 ^{234}Th 的影响。因为 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 的平衡时间只需几分钟，而 ^{234}Th 在新制备的 UO_2 芯块中建立起放射性平衡的时间为 5 个月。

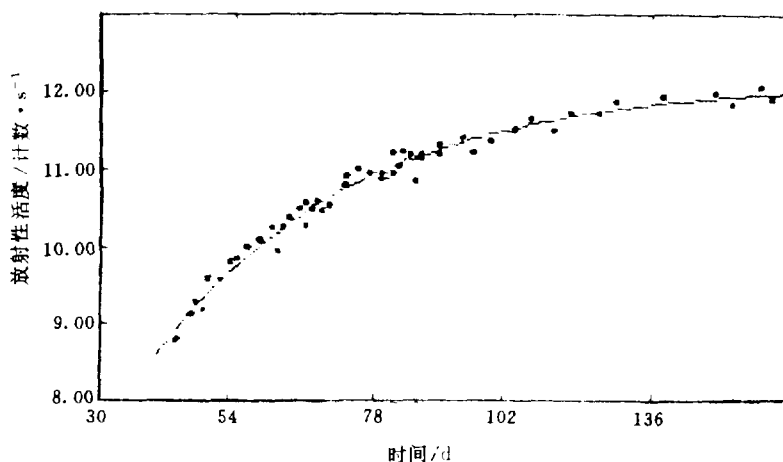


图2 新生产的 UO_2 芯块的放射性强度随时间变化的曲线

UO_2 芯块中的 ^{235}U 同位素放出 α 粒子生成 ^{231}Th ，其半衰期为 25.52 小时，它的平衡时间为 7 天。因此，对于 ^{235}U 丰度低的 UO_2 芯块所制成的元件，在丰度检查中， ^{235}U 子体衰变不会产生干扰。根据上述分析，对于 ^{235}U 丰度低的核电站燃料元件丰度检查中必须考虑 ^{238}U 子体衰变所产生的干扰。

图3是用低本底 NaI 探测器所测的不同年龄的 UO_2 芯块的 γ 射线能谱。可以看出 ^{235}U 同位素所产生的 γ 射线特征峰是叠加在一个连续的本底谱上，这个连续的本底谱主要来自 ^{238}U 同位素中高能 γ 射线 (766 keV 和 1001 keV) 所产生的康普顿本底。未平衡之前，本底谱的幅度随时间而增长。由于这个变化的本底谱是比较平滑的，所以计算机可以用许多数学处理方法减去本底面积，只留下 ^{235}U 同位素全能峰的净面积 (净面积中的计数率正比于 ^{235}U 同位素丰度)，从而消除子体年龄干扰。

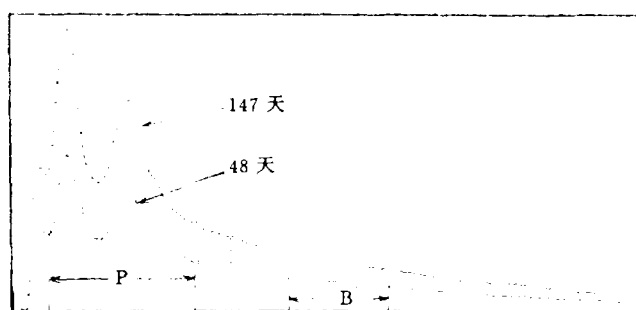


图3 带孔 NaI 探测器所测的 UO_2 芯块的 γ 射线能谱

2 校正子体年龄干扰的原理

2.1 HPGe 半导体探测器校正方法

高纯锗半导体探测器能量分辨率很高，可以精确分析 UO_2 芯块中所含的放射性元素成

分。图 4 是秦山核电站元件 UO_2 芯块的 HPGe γ 射线能谱。我们对元件厂不同时间生产的十几批 UO_2 芯块作了 γ 射线能谱分析, 认定 UO_2 芯块的主要放射性同位素为 ^{235}U , ^{238}U , ^{231}Th , ^{234}Th 和 ^{234m}Pa , 不存在其它放射性核素。

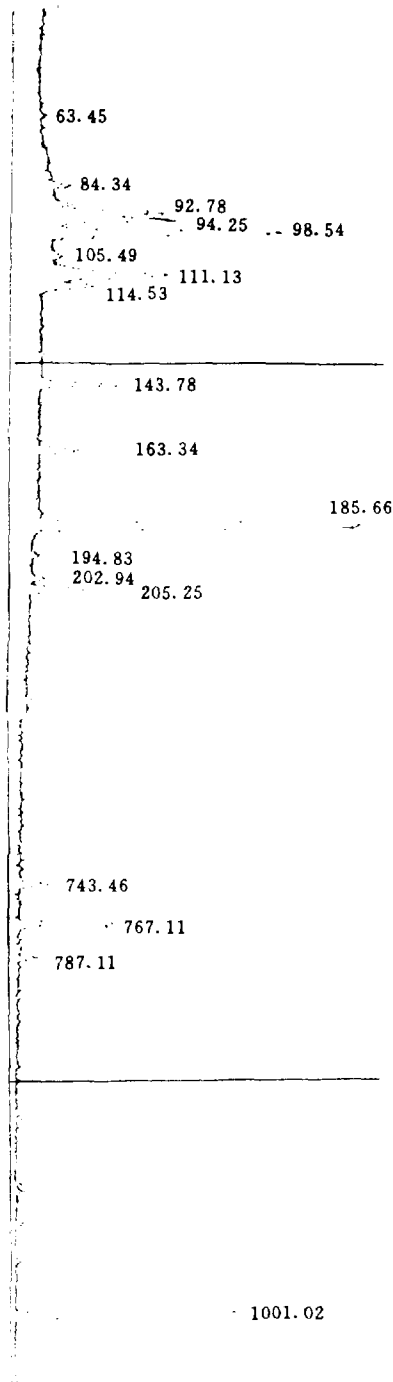


图 4 HPGe 探测器所测的秦山核电站元件 UO_2 芯块的 γ 射线能谱

NaI 探测器所测的 98 keV γ 射线峰在 HPGe γ 射线能谱中相当于能量从 84 keV 到 114.5 keV 中的 8 个峰。185.7 keV γ 射线峰在 HPGe γ 射线能谱中相当于能量从 143.78 keV 到 205.25 keV 中的 6 个峰。显然, 185.7 keV γ 射线峰座在一个很小幅度的本底上, 也就是说, 受子体年龄的干扰很小。我们用 HPGe 半导体探测器测量 UO_2 芯块的 ^{235}U 丰度 (丰度名义值为 3.0%), 精确度为 $\pm 0.058\%$, 可信度为 95%。表 1 列出丰度测量结果。

HPGe 半导体探测器对 γ 射线探测效率低, 这种方法检查 UO_2 芯块的 ^{235}U 丰度, 只能静态抽样检查。但是, 它是一个快速的、准确的、不受子体年龄干扰的无损检查方法。国外元件生产线中多处使用这种技术。当 UO_2 芯块丰度值品种较多时, 使用这种技术进行鉴定分析是很必要的。

表 1 HPGe 探测器所测的新生产的 UO_2 芯块的 ^{235}U 丰度值 (丰度名义值为 3.00%)

γ 法测量与还原相 距时间/d	计数率/ s^{-1} (185.7 keV 峰)	丰度值/%
46	104.9	3.0107
52	105.1	3.0218
60	105.3	3.0258
66	106.0	3.0089
82	105.9	3.0357
89	107.2	3.0564
107	103.2	3.0211
135	103.1	3.0134

2.2 低本底 NaI 探测器校正方法

我们所研制的核电站燃料元件棒 ^{235}U 丰度检查仪是采用双峰, 即图 3 中的 98 keV 和 185.7 keV 两个峰的面积总和来测量 UO_2 芯块的 ^{235}U 丰度。而国外只用 185.7 keV 峰来测量 UO_2 芯块的丰度。我们作了大量实验, 有充分证据说明双峰法是合理的。

原因之一, 从大量的实验数据确认, 图 3 中的 P 能量区间 γ 射线主要来自 ^{235}U 同位素。84.17 keV 峰是由 ^{231}Th 所产生, 但在丰度测量时, 能量下阈放在高于这个峰, 因此对丰度测量没有影响。92.78 keV 峰是 ^{234}Th 所产生, 它在 P 能量区间总计数率中所占比例小于 10%, 当减去本底后, 所占比例更小。

原因之二, 实验证明 98 keV 峰中计数率与 UO_2 芯块 ^{235}U 同位素丰度呈正比相关。(数据列于表 2)

表 2 98 keV 峰中计数率与 ^{235}U 丰度值的关系

^{235}U 丰度值/%	98 keV 峰中计数率/ $(6\text{s})^{-1}$
1.80	7232
2.40	7643
2.67	8015
3.00	8423

原因之三, 实验证明不同批料的 UO_2 芯块 (包括 U_3O_8 粉末) 的放射性同位素成分相同。对 1982 年到 1995 年元件厂生产的 14 批料, 抽样对其进行了 HPGe γ 射线能谱分析。物料

有天然料和浓缩料（见表3），其丰度值从0.7%到10%。把HPGe能谱中各个峰中的计数率作比较，结果列于表4。对于平衡料丰度相同，各个峰位和峰面积均相同，说明不同批料 UO_2 芯块在 ^{235}U 丰度检查中不会产生测量误差。因此可以得出结论，用98 keV峰和185.7 keV之和来测量 ^{235}U 同位素丰度是合理的。计数率可以提高一倍，从而使 ^{235}U 丰度在线检查的精确度大大提高。

表3 1982~1995年元件厂所提供的 UO_2 芯块

元件名	物料状态	数量/块	丰度值/%	来源
泰山核电站元件	UO_2 芯块	1	0.70	812厂
泰山核电站元件	UO_2 芯块	1	1.80	812厂
泰山核电站元件	UO_2 芯块	1	2.40	812厂
泰山核电站元件	UO_2 芯块	1	2.67	812厂
泰山核电站元件	UO_2 芯块	1	3.00	812厂
大亚湾核电站元件	UO_2 芯块	2	3.20	812厂
潜艇	UO_2 芯块	1	3.00	812厂
潜艇	UO_2 芯块	1	10.00	812厂
	U_3O_8 粉末	重量约1g	3.20	814厂

注：丰度值均用质谱法鉴定

表4 丰度相同，不同批料 UO_2 芯块，各个峰面积中计数率比较

样品号	峰位/keV (6s) ⁻¹													
	63	84	92-94	98	111	115	143	163	185	205	743	766	787	1001
1	18.6	29.4	59.5	53.4	47.9	20.3	29.2	25.2	108.2	19.9	3.75	7.09	2.80	12.1
2	19.1	30.0	60.6	54.4	49.1	20.3	30.0	25.8	110.7	20.5	3.83	7.37	2.95	12.5
3	18.6	29.5	59.4	53.1	48.2	20.2	29.4	25.2	108.7	20.0	3.69	7.05	2.83	12.1

元件棒 ^{235}U 丰度检查是在线检查，必须解决动态条件下的子体年龄干扰校正问题。从图3可以看出， ^{235}U 的98 keV和185.7 keV γ 射线特征峰座在一个变化很大的本底谱上。为了减去这个变化的本底，在高于P能量区间的高能区取一个本底B能量区间，用如下校正方程式求丰度值，则丰度值不受子体年龄的干扰。

$$\text{校正方程式：} \quad ^{235}U \% (\text{丰度}) = aP - bB$$

P ——A窗中的计数率；

B ——B窗中的计数率；

a 、 b ——校正常数。

B窗的位置通过大量实验选择，选在计数率变化小的能量区间。 a 、 b 校正常数用二种或三种不同丰度，相同年龄或丰度相同，不同年龄的标准样品求出。

国外也用这种校正方程式解决 UO_2 粉末丰度检查中的子体年龄干扰问题，他们是在 UO_2 粉末在缓冲器中流动很慢的条件下实现的。当我们用于元件棒 ^{235}U 丰度检查中校正子体干扰时，不能解决元件棒中混入一个异常丰度芯块挑选的子体年龄干扰校正问题。

本研究所建立的校正方程式虽然形式上与国外相同，实质上则完全不同，比如 P、B 能量区间的选择， a 、 b 校正常数的求出都与国外不同。尤其是能谱的数据处理都有我们的独到之处。

3 电子仪器

3.1 HPGe 半导体探测系统

图 5 是高纯锗半导体探测器系统，晶体是 P 型半导体，探测效率为 25%。UO₂ 芯块装在锗管中，放在探头上面，它们放在铅室中。探头所产生的信号经过放大送入 8192 道微机多道 γ 射线能谱仪中进行分析。计算机处理数据。能量刻度用标准源²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, 仪器能量分辨率在⁶⁰Co 的 1.33 MeV 峰处为 2.0 keV 或者 1.9 keV。

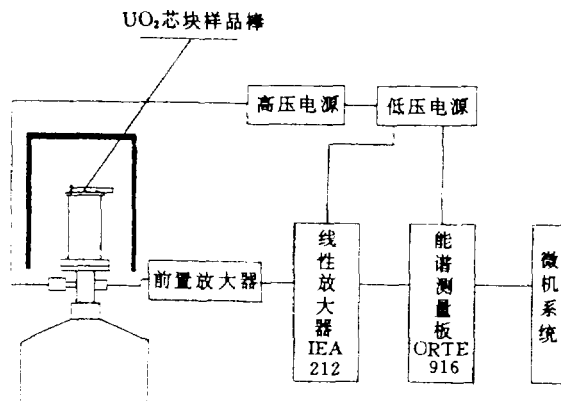


图 5 HPGe 半导体探测器系统

3.2 NaI 探测器系统

丰度检查中加入子体年龄校正，为了将来元件生产厂能直接应用这项研究成果，能够实现 8 根元件棒同时检查丰度，必须试制 16 通道微机多道 γ 射线能谱仪。实验证明所研制的 16 通道微机多道 γ 射线能谱仪性能很好，价格便宜。经过一年多运行，仪器稳定、可靠。图 6 给出了 16 通道微机多道 γ 射线能谱仪的方块图。仪器结构简单、操作方便。

每个 NaI 探头所产生的 γ 射线能谱如图 3。把能谱中的 P 区间的计数率送入 16 通道多道能谱板的第一通道中，把能谱中 B 区间的计数率送入 16 通道多道能谱板的第二通道中，第一、二通道所得信号来自第一根元件棒，反应第一根元件棒的丰度变化情况。依次把第二根元件棒到第八根元件棒的信号分别送入三到十六通道中，从而获得第二到第八根元件棒的丰度变化情况。

4 元件棒²³⁵U 丰度检查子体年龄干扰校正结果

为了校正秦山电站元件的子体年龄干扰，从许多 UO₂ 芯块中选择丰度相同，年龄相同，密度，外观和几何尺寸合格的芯块作为标准芯块，把他们装入锗管中，组成模拟标准元件棒。模拟棒中基体芯块丰度值为 3.0%，放入一块丰度值为 2.67% 的芯块，模拟为年龄不同的芯块。

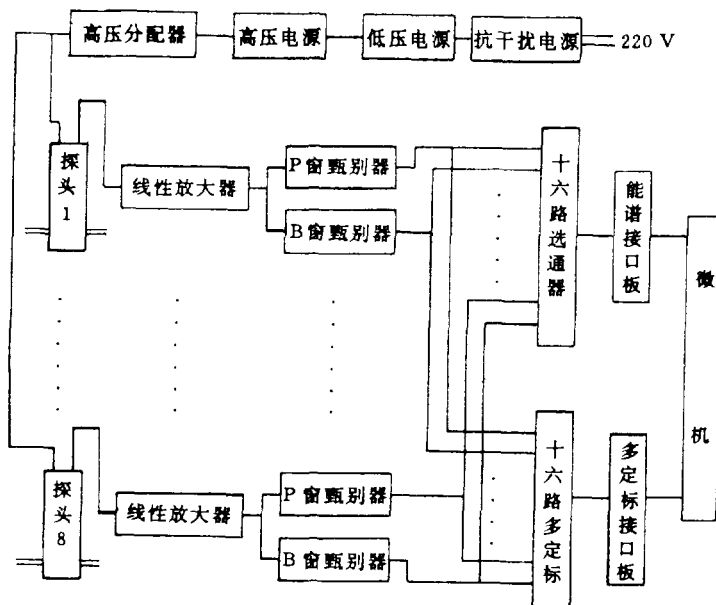


图 6 16 通道微机多道 γ 射线能谱仪方块图

为了校正大亚湾电站元件的子体年龄干扰，从 812 厂快速取回丰度相同，年龄不同的芯块，组成模拟标准元件棒。图 7 是模拟元件棒的示意图。

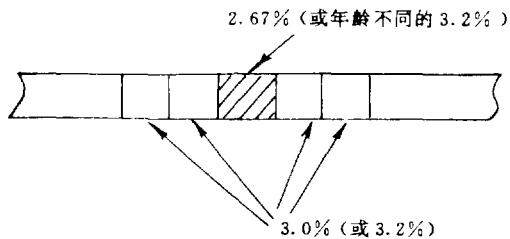


图 7 模拟标准元件棒示意图

合理选择校正方程中的 P 和 B 能量区间。P 能量区间的选择主要保证 ^{235}U 特征峰净面积不受损失。B 能量区间要尽量选择计数率变化小的区域，不能太靠近 P 窗，又要保证有足够的计数率。

4.1 元件棒 ^{235}U 丰度值的子体年龄干扰校正结果

元件生产中，必须报出每根元件棒的 ^{235}U 丰度值。当子体年龄干扰时，则丰度值产生误报。我们分别对秦山电站和大亚湾电站模拟元件棒进行了子体年龄干扰的校正，其结果列于表 5。图 8 是大亚湾电站模拟元件棒子体年龄干扰校正前、后丰度值的比较曲线。

表 5 模拟元件棒子体年龄校正前、后丰度值对比

秦山电站元件		大亚湾电站元件		
丰度值/% (名义值)	丰度值/% (加入子体校正)	与还原相距 时间/d	丰度值/% 子体校正前(参考值)	丰度值/% 加入子体校正
1.80	1.83	51	2.72	3.218
2.40	2.37	54	2.80	3.181
2.67	2.63	71	2.98	3.173
3.00	3.04	72	3.01	3.210
3.00	2.94	74	3.03	3.263
3.00	2.94	77	3.05	3.206
3.00	2.87	77	3.05	3.215
3.00	2.97	80	3.08	3.264
3.00	2.90	83	3.13	3.194
3.00	2.87	88	3.15	3.198
3.00	3.04	93	3.18	3.165
3.00	3.03	101	3.20	3.233
3.00	3.03	118	3.20	3.192
3.00	3.03	125	3.20	3.194
3.00	3.03	132	3.20	3.182
年龄相同、丰度不同。		丰度相同、年龄不同。		

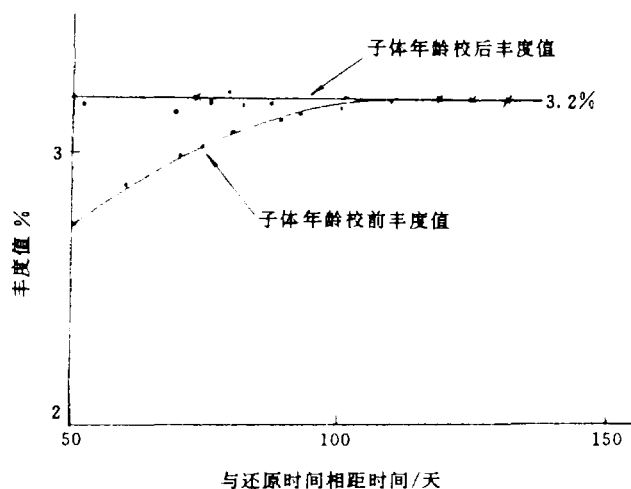


图 8 模拟棒子体年龄校正前、后丰度值曲线

元件棒的测量精确度是比较好的。秦山模拟棒的数据是在一个多月的测量中获取的，精确度为 $\pm 0.12\%$ ，最好时为 $\pm 0.015\%$ ，可信度为95%。大亚湾模拟棒的数据是在近三个月的测量中获取的，精确度为 $\pm 0.05\%$ ，可信度为95%。

4.2 元件棒中混入一块异常丰度芯块子体年龄干扰校正结果

(1) 混料情况分析：

如果元件棒中有两种不同丰度的芯块，比如分别为3.0%和2.67%；或者丰度相同，年龄不同的两种芯块，则可以产生六种混料情况，分别由图9表示。可以看出，1~4混料情况，只要丰度值相差大于 $\pm 10\%$ ，加入子体年龄校正后仍可以准确的挑选出混入一个异常丰度的芯块。5和6的情况，由于年龄影响，可能使丰度值差值小于 $\pm 10\%$ ，这时挑选混入

一个异常丰度芯块是比较困难。但是这种情况在生产中出现的机率很小，甚至是不可能出现。

混料情况	P 窗中计数率分布	B 窗中计数率分布	校正后计数率分布
基体 3% 平衡芯块 混入一块 3% 非平衡芯块	<p>3% 平衡 3% 非平衡</p>		<p>3%</p>
基体 3% 非平衡芯块 混入一块 3% 平衡芯块	<p>3% 平衡 3% 非平衡</p>		<p>3%</p>
基体 3% 芯块混入 一块 2.67% 平衡 芯块	<p>3% 平衡 2.67% 平衡</p>		<p>3% 2.67%</p>
基体 3% 平衡芯块 混入一块 2.67% 非 平衡芯块	<p>3% 平衡 2.67% 非平衡</p>		<p>3% 2.67%</p>
基体 2.67% 非平衡 混入一块 3% 非平衡 芯块年龄小于 2.67% 的年龄	<p>2.67% 非平衡 3% 非平衡, 年龄 小于 2.67% 的年龄</p>		<p>3% 2.67%</p>
基体 3% 非平衡, 混入一块 2.67% 非 平衡芯块 年龄小于 3% 的年龄	<p>3% 非平衡 2.67% 非平衡, 年龄 小于 3% 的年龄</p>		<p>3% 2.67%</p>

图 9 元件中混入一个异常丰度芯块子体年龄干扰校正前、后的计数率分布

(2) 混料的检查结果

取大亚湾元件芯块组成模拟棒。棒的基体为平衡芯块，丰度名义值为 3.2%，棒中间放入一块非平衡芯块（丰度值相当于 2.72%）。模拟棒放在传动装置上，速度分别为 150 mm/min、200 mm/min、250 mm/min，求出三种速度下的总误报率，其结果列于表 6。

表 6 加入子体年龄校正后误报率与速度的关系

速度/mm·min ⁻¹	150	200	250
MCS 道步进时间 (s)	6	5	5
检查次数	150	171	90
总误报率 (%) (按检查次数计算)	3.3	13	44
总误报率 (%) (按芯块计算)	0.055	0.20	0.70

图 10 是模拟元件棒中混入一个异常丰度芯块的 γ 射线计数率扫描曲线。曲线 1 是 P 窗中计数率的分布，其中掉点是非平衡芯块（年龄为 50 d，丰度值相当于 2.72%）所产生的。

曲线 2 是 B 窗中的计数率分布。曲线 3 是加入子体年龄校正后的计数率分布，表明混入的这一个异常芯块的丰度值仍是 3.2%。它和基体芯体的丰度值相同。

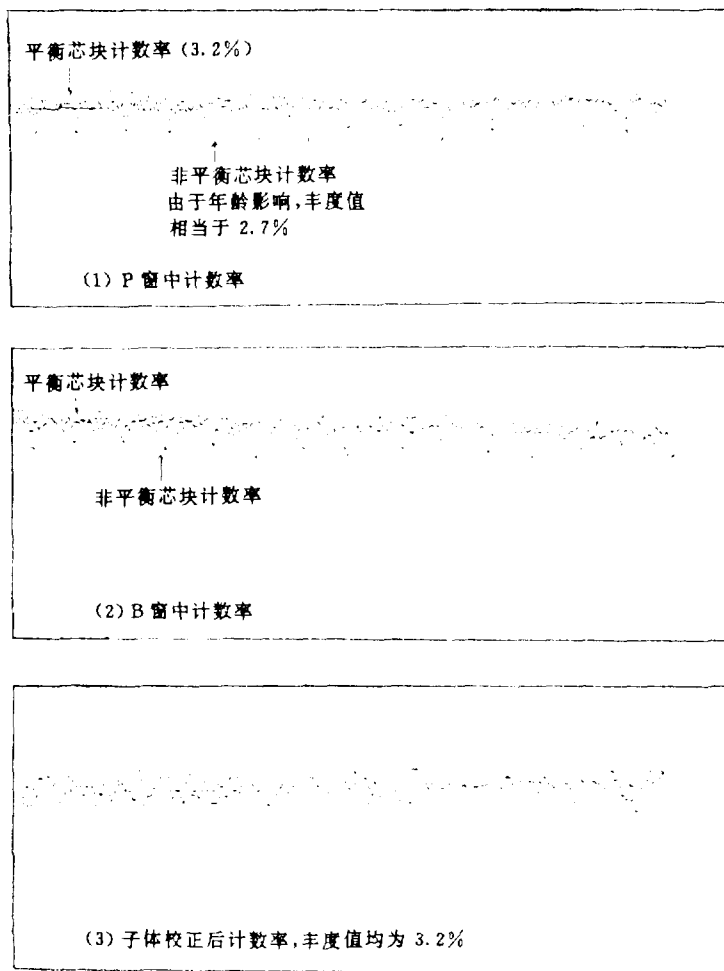


图 10 模拟元件棒的 γ 射线计数扫描曲线

4.3 数据处理

数据处理采用计算机。计算机选择 P 窗和 B 窗的上下阈值，P 窗下阈能量选在高于 84 keV，上阈能量选在低于 250 keV。B 窗上下阈值由实验确定。数据处理后，计算机打出每根元件棒经过子体年龄校正以后的真实丰度值，并且报出元件棒中是否混入一块丰度异常的芯块，如果有异常丰度芯块混入，并报出该芯块的丰度值。图 11 给出了计算机软件框图。

5 结论

(1) 本研究所建立的双峰双窗技术，在无源 γ 射线能谱法检查元件棒 ^{235}U 同位素丰度中，对校正子体年龄干扰是个有效的方法。对于元件棒的 ^{235}U 同位素丰度检查，当元件棒传动速度为 150 mm/min 时，测量精确度好于 $\pm 0.12\%$ ，最好精确度为 $\pm 0.015\%$ ，可信度为 95%。对于元件棒中混入一块不同年龄或者不同丰度的芯块，采用子体年龄干扰校正后，可以准确挑出。元件棒检查速度为 150 mm/min 时，总误报率不大于 0.1%。检查速度为 200

mm/min 时，总误报率不大于 0.2%。检查速度为 250 mm/min 时，总误报率不大于 0.7%。

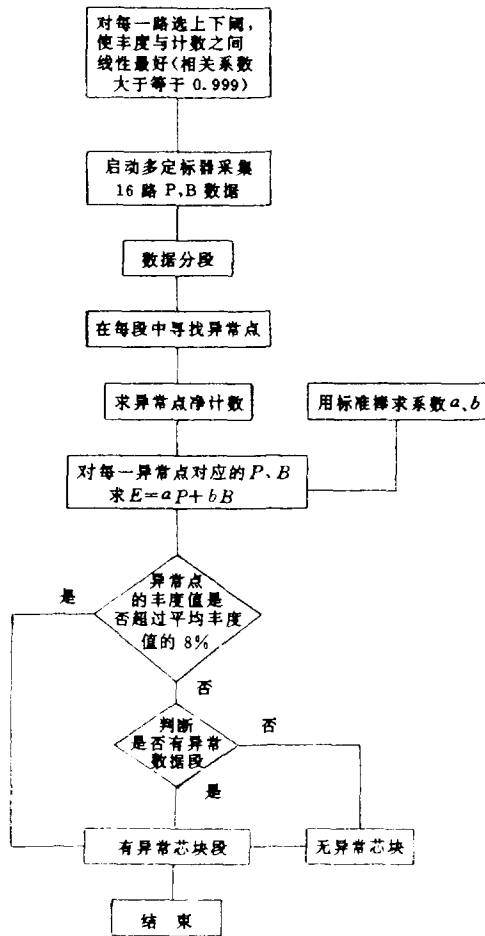


图 11 计算机软件框图

双峰双窗技术校正子体年龄干扰，在无源法 γ 射线元件棒 ^{235}U 丰度检查中将会起着重要作用。解决了目前国内外该方法无法解决的问题，使无源法更臻完善。

(2) 试制的 16 通道微机多道 γ 射线能谱仪，精巧、紧凑、使用简单、价格便宜。经过长时间运行，仪器性能良好、稳定、可靠。

(3) 高纯锗半导体探测器起着重要作用。它可以快速、准确的测出 UO_2 芯块的放射性元素的成分、含量等。实验证明，它是一个快速的、准确的、不受芯块子体年龄干扰的无损检查方法。

这项研究工作是在刘兰华和刘南陔两位老师指导下完成的，在此表示感谢。

参考文献

- 1 刘兰华等译. 燃料元件无损检查. 原子能出版社, p21
- 2 核电站燃料元件 ^{235}U 的丰度无损检查仪. CNIC-00420 FRP. IN004 北京: 原子能出版社 1990
- 3 Enrichment tester for 0.15 to 3.0 weight per cent ^{235}U uranium fuel. Material evaluation. 1966, 24: 8

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01125 FRDINI-0011: 元件²³⁵U
丰度检查中子体年龄校正的研究/邓景珊等著. —北京: 原
子能出版社, 1997. 1

ISBN 7-5022-1619-7

I. 中… I. 邓… III. ①核技术-研究报告-中国②铀
235-同位素比-中子年龄-研究 IV. TL-24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 21792 号

元件²³⁵U 丰度检查中子体年龄校正的研究

邓景珊等著

©原子能出版社, 1996

原子能出版社出版发行

责任编辑: 武洁

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

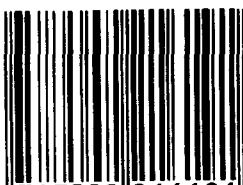
开本 787×1092 1/16·印张 1/2·字数 13 千字

1997 年 1 月北京第一版·1997 年 1 月北京第一次印刷

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1619-7



9 787502 216191 >