

HP-Si γ 射线计数器

丁洪林 唐祖梅

(中国原子能科学研究院, 北京)

HP-Si γ 射线计数器是目前室温条件下 γ 射线强度测量较为理想的探测器, 它具有工作偏压低、体积小、线性好、性能稳定等特点。

关键词 高阻硅, γ 射线计数器。

一、引言

核电站堆心热功率是核电站的一个基本参数, 这个参数在核电站运行期间必须始终如一地进行监测。核工业部一院二所研究了利用活化技术进行功率分布的测量, 测量系统中所用探测器为 NaI(Tl), HP-Si γ 射线计数器。HP-Si 探测器除了能在常温下使用这一特点外, 与 NaI(Tl) 相比还具有工作偏压低、体积小、探头所需供电电流小、稳定性好、线性好等优点。

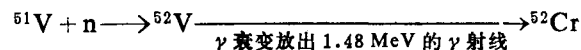
核反应堆监测用的半导体 γ 射线计数器, 国外进行了如下三个方面的研究和测量, 其结论如下^[1]:

1. Si(Li) 探测器不适宜于这方面的应用, 因为工作期间锂离子处在一个缓慢的连续漂移的状态(工作温度: 室温-50°C), 因此探测器会很快失效。另外, 测量过程的数据变化, 不能正确反映中子通量的变化。
2. CdTe 探测器可用于反应堆环境测量, 能否用于堆芯的监测, 目前还处于研究阶段。
3. 硅探测器(扩散结、表面势垒两种类型)是目前用于核电站监测中子通量的唯一有效的 γ 射线计数器, 薄窗结型硅探测器最适合于这方面的应用。

二、HP-Si γ 射线计数器的工作原理

在功率分布测量的气动球系统中, 钒球经过导管被高压气体吹入堆芯, 辐照一定时间后再从堆芯吹出经导管输送到测量台, 由设置在测量台上的高阻硅 γ 射线计数器测出钒球的 γ 活性, 经在线计算机进行处理, 从而得出堆芯的功率分布曲线。

钒球在被吹入堆芯后, 产生如下核反应:



由 HP-Si γ 射线计数器探测 γ 射线与硅相互作用产生的康普顿电子, 形成脉冲信号由电子仪器记录。这样从每一个探测器对 γ 射线的计数计算出相对的中子通量密度, 便可知道堆芯每一位置的中子通量密度。

三、方案的选择

根据国外报导的结果和实验用的探测器,我们认为用一个厚为 1.3 mm 左右的全耗尽高阻 P 型硅、高阻 N 型硅(包括高阻 NTD 硅)探测器要比用三个厚为 500 μm 的面垒探测器组装要好,其理由如下:

1. 可省去电子学仪器中的相加器,用一套前放、主放系统替代了三套前放、主放系统。
2. 稳定性好。
3. 探测器电容小,时间响应快。

为此,我们选用了高阻硅(NTD 硅和高阻 P 型硅)材料,研究了厚 1.3 mm 左右的高阻硅 γ 射线计数器。

四、作为 γ 射线计数器 HP-Si 探测器的性能测试测量方法

1. 伏安特性,见图 1。
2. 对 ²⁴¹Am 5.486 MeV 的 α 粒子的能谱响应见图 2。

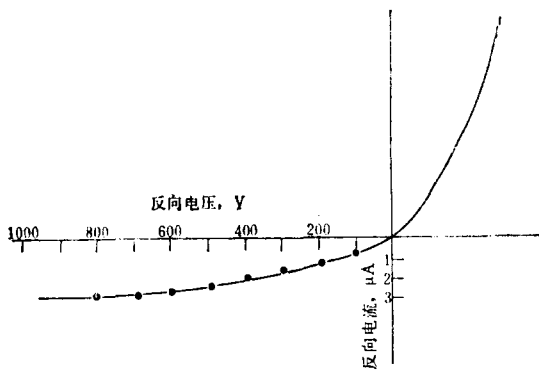


图 1 HP-Si γ 射线计数器的伏安特性

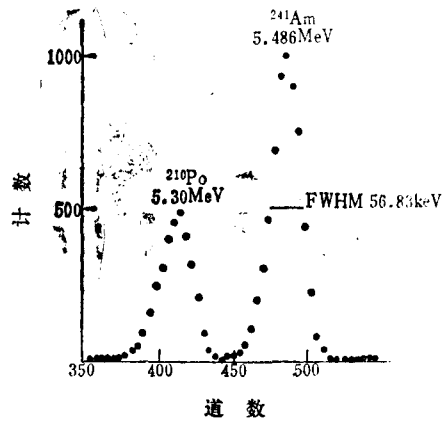


图 2 高阻硅 γ 射线计数器对 ²⁴¹Am 5.486 MeV α 粒子的能谱响应

3. HP-Si γ 射线计数器相对 NaI(Tl)测试系统的探测效率

由于 ⁵²V 的半衰期较短,仅为 226 秒,测量起来很不方便,所以在效率测量中选用 ⁶⁰Co γ 射线作为被测源。另外,由于 NaI(Tl)系统探测效率高,所以以该系统的效率为 100%,对 HP-Si γ 射线计数器的探测效率进行了相对测量。

具体测得的数据随探测器的有效面积和耗尽层厚度的不同而有差别,相对于 NaI(Tl)系统的效率为 1.08%—4.81%。

4. HP-Si γ 射线计数器与工作偏压的关系

为了保证 HP-Si γ 射线计数器的计数稳定可靠,因此要求 HP-Si γ 射线计数器能在 500 V 左右的偏压下使厚为 1.3 mm 的探测器全耗尽。为此,用于 HP-Si γ 射线计数器的 HP-Si(N 型)材料要求其电阻率 ≥ 10000 Ωcm,例如 13 号计数器,在 450 V 偏压下全耗尽,厚为 1.30 mm 左右,它对 ⁶⁰Co γ 射线的计数随偏压的增加基本上保持不变,出现了

类似于气体计数器的“坪长”特性。这也是用于核动力堆控制用的 HP-Si γ 射线计数器所必须具备的特性。

5. HP-Si γ 射线计数器对 ^{52}V 半衰期和 ^{52}V 放射性强度变化特性的测量。

通过测 ^{52}V 的半衰期便可求得 γ 射线计数器对 ^{52}V 放射性强度的线性关系。 ^{52}V 半衰期的理论值为 226 秒，而实验测量的值为 228 秒，与理论值符合得很好。HP-Si γ 射线计数器对 ^{52}V 放射性强度的线性很好，可达到 $\leq 1\%$ (见图 3)。

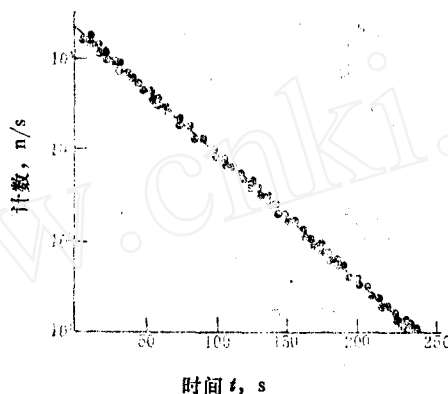


图 3 HP-Si γ 射线计数器对 ^{52}V 衰变放射出的 γ 射线(强度)随时间的线性关系
辐照 ^{51}V 系, $500 \mu\text{R}$, 照射 10 分钟; 0—900 秒, 每 10 秒测 3 秒一次记数; 900—1600 秒, 每 20 秒测 10 秒一次记数; 1600—2400 秒, 每 60 秒测 30 秒一次记数; ^{52}V 半衰期理论值 226 秒, 实验测量值为 228 秒。

6. HP-Si γ 射线计数器的温度特性

HP-Si γ 射线计数器与温度的关系如下, 在 $17\text{—}36^\circ\text{C}$ 的温度范围内计数率变化为 $0.014/^\circ\text{C}$, 在 $9\text{—}13^\circ\text{C}$ 的温度范围内计数率变化为 $0.008/^\circ\text{C}$ 。因此在实际应用中, 要通过空调等方法在温度比较稳定的环境下工作, 以确保计数率不随时间变化。另外, 这也说明 HP-Si γ 射线计数器在室温下性能是良好的。

7. HP-Si γ 射线计数器计数率的稳定性。在试验中, 连续工作 3 小时, 计数率变化 $\leq 2\%$ (在连续工作 3 小时内, 环境温度的变化为 1°C)。

8. HP-Si γ 射线计数器的耐辐照性能。在试验中对 HP-Si γ 射线计数器进行了较长时间的辐照试验, 辐照时间从 45 到 410 小时, 累计辐照计数为 1.6×10^{12} γ 计数时, 计数器性能变坏, 以致失效。

五、结 论

HP-Si γ 射线计数器用于反应堆堆芯功率分布系统中对活化球的活性测量是能满足实际测量要求的, 而且是目前在室温条件下作为 γ 射线强度测量的较为理想的 γ 射线计数器。

它与 NaI(Tl) γ 射线计数测试系统相比具有如下优点:

1. HP-Si γ 射线计数器除了能在常温下使用外, 还具有工作偏压低、体积小、探头所需的供电电流小。

2. 对高压的稳定性要求不是很高, 一个高压可供几个 HP-Si γ 射线计数系统同时使

用。

3. 在辐照损伤剂量范围内, 计数器本身没有老化问题, 计数率稳定。
4. 在控制全耗尽工作条件下, 计数稳定性好。

六、结 束 语

本工作是从实验角度提供 HP-Si γ 射线计数器进行可行性试验, 而真正要用于实际测量时在选择 HP-Si γ 射线计数器时要注意以下几个方面:

1. 外形尺寸、结构要合适, 电极结构要牢固。
2. 探测器厚度 1.3 mm 左右为最佳, 并要求在 500 伏左右全耗尽, 在 600 伏反向偏压时漏电流 $\leq 20 \mu\text{A}$ 。
3. 配成一套的 10—15 个 γ 射线计数器其性能要基本上一致。

本工作在测试过程中得到了陈国柱同志的帮助, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

[1] Mallory, P. G., IEEE Trans. NS-17-(1), 520—523(1970).

(编辑部收到日期: 1984 年 7 月 16 日)

HP-Si γ -RAY COUNTER

DING HONGLING TANG ZHUMET

(Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing)

ABSTRACT

HPSi γ ray counter is rather ideal detector for measuring γ ray intensity at room temperature at present. It is provided with low operation voltage, small volume, fine linearity, stable performance and so on.

Key words HP-Si, Gamma ray counter.