

[2] 谢海洪等, 原子能研究所年报(1981), 原子能出版社, 1982年, 141页。

[3] 仲水, 核动力工程, 2(4), 1(1981)。

(编辑部收到日期: 1983年3月31日)

## 东风3号零功率堆H方案绝对通量测量

高雅云 杜呈瑞 赵文军

**关键词** 零功率堆, 绝对通量, 符合, 活化性。

### 一、引言

绝对中子通量测量用于刻度反应堆功率和提供堆内热中子水平, 另外可与统计法相结合, 测量反应堆的动态参数。

在绝对通量测量中, 放射性核素的衰变率是其主要的测量量。4 $\pi\beta\gamma$ 符合方法测定简单衰变纲图核的衰变率是目前最准确的方法之一。文献[1]已对这种方法和实验装置进行了描述, 文献[2]提出了改变 $\epsilon_\beta$ 并外推到 $\epsilon_\beta=1$ 的效率外推法, 文献[3]进一步研究了通过效率外推法消除衰变纲图的修正。以上的研究是用自吸收或外吸收法改变 $\beta$ 计数管的效率。文献[4]用改变 $\beta$ 计数管的几何形状来改变其效率。文献[5]提出用 $\beta$ 计数管坪曲线高压的上升段, 测量在不同电压下的 $N_\beta$ ,  $N_\gamma$ 和 $N_c$ , 利用 $N_\beta$ 和 $N=N_\beta \cdot N_\gamma / N_c$ 对 $N_c/N_\gamma$ 作图, 外推到 $N_c/N_\gamma=1$ , 就得到衰变率。本实验采用文献[5]提出的方法, 并与坪区单点测量进行比较。

### 二、实验原理

在Westcott系统中, 用金箔活化法测量中子绝对通量时, 绝对中子通量可以表示为:

$$nv_0 = \frac{N_0 \left(1 - \frac{F_c}{R_{ca}}\right)}{F \cdot g \cdot N_m \cdot \sigma_0 \left(1 - \frac{1}{R}\right)}, \quad (1)$$

式中 $F_c$ 是镉切割能以上的中子穿过镉盒后减弱的修正因子(此量与金箔和镉厚度有关)。本实验采用0.5毫米厚的镉盒,  $F_c=1.01$ 。 $R_{ca}$ 是测得的Au箔的镉比,  $R_{ca}=1.49$ 。 $F$ 是由于样品引起中子场降低和自屏的修正因子,  $\frac{1}{F}=1.01$ 。 $g$ 是截面与 $\frac{1}{v}$ 分布律偏离的修正因子, 本实验用 $g=1.0097$  ( $T=373^\circ\text{K}$ )。 $N_m$ 是金箔的总核数。 $R$ 是截面服从 $\frac{1}{v}$ 分布律样品的镉比, 实验中应用 $R=16.3$ 。 $N_0$ 是Au箔的饱和衰变率:

$$N_0 = C \cdot N \cdot \frac{e^{\lambda t_w} \cdot \lambda \cdot t_m}{(1 - e^{-\lambda t_r})(1 - e^{-\lambda t_m})}, \quad (2)$$

式中的 $C$ 是修正量。因实验样品是在提升功率前放入堆内, 然后按一定周期提升功率达预定值进行照射, 所以 $C$ 是提升功率段的修正量。

$$C = \left\{ 1 + \frac{\lambda e^{-\lambda t_1} [1 - e^{-(\lambda + \lambda_1)t_1}]}{(\lambda + \lambda_1)(1 - e^{-\lambda t_1})} \right\}^{-1} \quad (3)$$

(2) 和 (3) 式中的  $\lambda$  是金的衰变常数,  $\lambda_1$  是功率上升的倍增周期,  $t_1$  是照射时间,  $t_2$  是提升功率段的时间,  $t_w$  是停堆到开始测量的时间间隔,  $t_m$  是每次测量所取的时间间隔,  $N$  是在  $t_m$  测量时间内的平均衰变率。  $N$  是用  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  符合技术测得的。对具有简单衰变图的样品, 可以近似地写出下面的关系式:

$$\begin{aligned} N_\beta &= N \cdot \varepsilon_\beta, \\ N_\gamma &= N \cdot \varepsilon_\gamma, \\ N_c &= N \cdot \varepsilon_\beta \cdot \varepsilon_\gamma. \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 式中  $N_\beta$ ,  $N_\gamma$  和  $N_c$  分别表示  $\beta$ 、 $\gamma$  和符合道经过死时间、本底和偶然符合校正后的各道计数率;  $\varepsilon_\beta$  和  $\varepsilon_\gamma$  分别表示为  $\beta$  和  $\gamma$  射线的探测效率。由 (4) 式可以很容易求得衰变率  $N = N_\beta \cdot N_\gamma / N_c$ 。但这种简单的关系只适用于  $\beta$  探测器有 100% 效率的条件。在这种条件下, 几乎所有的修正量变得很小或可以忽略, 而实际上  $\beta$  计数管的效率总是达不到 100%, 因此  $N_\beta$ ,  $N_\gamma$  和  $N_c$  与放射性核的衰变率  $N$  有如下的关系:

$$\frac{N_\beta \cdot N_\gamma}{N_c} = N \left\{ 1 + \frac{1 - \varepsilon_\beta}{\varepsilon_\beta} (\varepsilon_{\beta\gamma} - \varepsilon_c / \varepsilon_\gamma) \right\}, \quad (5)$$

式中  $\varepsilon_\beta$  是  $\beta$  计数器对  $\beta$  粒子的效率,  $\varepsilon_{\beta\gamma}$  是  $\beta$  计数器对  $\gamma$  射线的效率,  $\varepsilon_\gamma$  是  $\gamma$  计数器对  $\gamma$  射线的效率,  $\varepsilon_c$  是当  $\beta$  粒子没有被探测到而获得符合的几率。在  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  符合测量中,  $\gamma$  道甄别阈或窗宽放置在与这个  $\beta$  分支相关联的  $\gamma$  射线的光电峰上测量时  $\varepsilon_c / \varepsilon_\gamma \ll \varepsilon_{\beta\gamma}$ , 则 (5) 式就可以写成:

$$\frac{N_\beta \cdot N_\gamma}{N_c} = N \left\{ 1 + \left( \frac{1 - \varepsilon_\beta}{\varepsilon_\beta} \right) \varepsilon_{\beta\gamma} \right\}. \quad (6)$$

假如  $\varepsilon_\beta$  ( $\varepsilon_\beta = N_c / N_\gamma$ ) 能够在相当大的范围内变化, 则  $N_\beta \cdot N_\gamma / N_c$  对  $(1 - \varepsilon_\beta) / \varepsilon_\beta$ ,  $N_\beta$  和  $\frac{N_\beta \cdot N_\gamma}{N_c}$  对  $\frac{N_c}{N_\gamma}$  分别作图, 当  $\varepsilon_\beta \rightarrow 1$  或  $\frac{1 - \varepsilon_\beta}{\varepsilon_\beta} \rightarrow 0$  时, 就可以得到  $N_\beta \cdot N_\gamma / N_c$ , 即  $N$ 。

### 三、实验装置和测量条件

实验样品在东风 3 号零功率反应堆 H 方案上进行辐照。东风 3 号堆是用浓缩铀作为燃料, 水作为慢化剂的铀水临界装置, 其元件为铝管填充  $\text{U}_3\text{O}_8$  粉末, 铝管外径 6 毫米, 壁厚 1 毫米,  $\text{U}_3\text{O}_8$  中  $\text{U}^{235}$  的浓缩度为 20.2%, 每根元件工作长度为 40 厘米, 含  $\text{U}_3\text{O}_8$   $22.5 \pm 0.1$  克, 元件两端用铝棒塞住后焊接密封, 总长度为 45.5 厘米。元件插在边长 4.8 厘米的正方形元件盒中, 每个元件盒可插入 36 根元件, 元件之间孔距 8 毫米。H 方案即每个元件盒插入 18 根元件, 均匀布置, 整个活性区由  $9 \times 10$  个相同的元件盒组成, 全部元件盒装在直径 100 厘米、高 90 厘米、壁厚 0.5 厘米的铝桶内, H 方案的氢原子核数对铀-235 原子核数之比为 270, 照射样品时堆芯总装载 534 根元件。

活性区两旁有 4 根直径 55 毫米铝管放置中子计数管和电离室, 活性区外围有大于 10 厘米的水反射层, 另外在铝桶外有  $\gamma$  剂量监测探头。活性区详细布置如图 1 所示。

本实验中用厚 0.0075 毫米的金箔作辐照样品, 厚 0.1 毫米 Mn-Ni 合金作功监片和钽

片作 $\frac{1}{\nu}$ 吸收样品, 三种片的直径均为 12.5 毫米。

本实验用 FH-424 G<sub>2</sub> 4 $\pi\beta$ - $\gamma$  符合装置作为计数系统, 对此装置的性能进行了校验, 其指标见文献[6]。

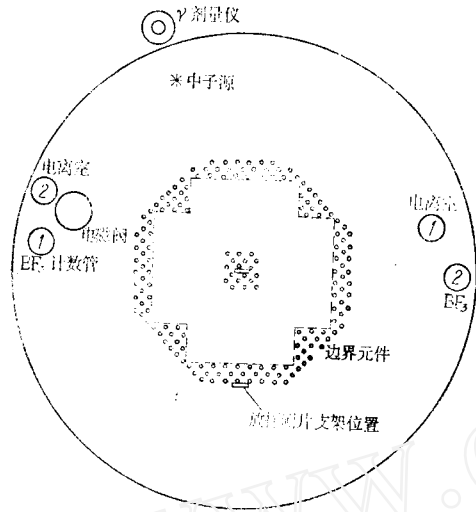


图 1 东风 3 号堆 H 方案活性区布置示意图

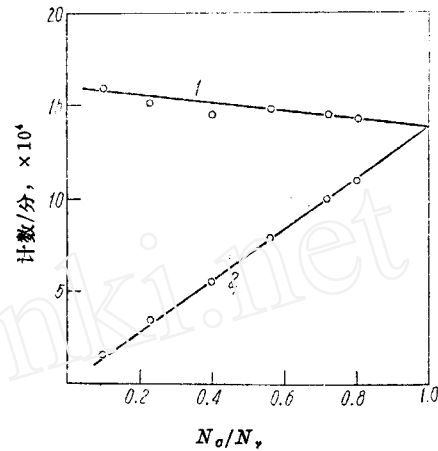


图 2  $N_{\beta} \cdot N_{\gamma} / N_c$  (1) 和  $N_{\beta}$  (2) 对  $N_c / N_{\gamma}$  曲线

#### 四、测量结果

东风 3 号零功率堆 H 方案测得的数据见表 1。外推法的图例见图 2。用外推法作  $N = N_{\beta} \cdot N_{\gamma} / N_c$  对  $(1 - \epsilon_{\beta}) / \epsilon_{\beta}$  和  $N_{\beta} \cdot N_{\gamma} / N_c$  对  $N_c / N_{\gamma}$  的曲线, 外推到  $\epsilon_{\beta} = 1$  或  $(1 - \epsilon_{\beta}) / \epsilon_{\beta} \rightarrow 0$  时的  $\frac{N_{\beta} \cdot N_{\gamma}}{N_c}$  即得  $N$ 。可用最小二乘法符合处理。假定实验上测得的数据满足方程  $y = ax + b$ , 最小二乘法符合处理得两个常数  $a$  和  $b$ , 其中  $b$  对应衰变率  $N$ ,  $a/b$  对应  $\epsilon_{\beta\gamma}$ ,

表 1 H 方案测量数据 (举例)

电压, 伏	$N_{\beta}, \times 10^4$ 计数/分	$\frac{N_{\beta} \cdot N_{\gamma}}{N_c}, \times 10^4$ 计数/分	$N_c / N_{\gamma} = \epsilon_{\beta}$	$\frac{1 - \epsilon_{\beta}}{\epsilon_{\beta}}$
2700	1.6869	16.2016	0.1098	8.1075
2800	3.4326	15.3663	0.2355	3.2468
2900	5.6690	14.5851	0.4025	1.4847
3000	8.0619	15.0439	0.5649	0.7702
3100	10.0189	14.5953	0.7237	0.3818
3200	11.0279	14.3713	0.8089	0.2363
3300	11.2428	14.3913	0.8235	0.2143

代入以上公式即可得到绝对衰变率及绝对通量, 测量结果见表 2。

为了进行比较, 在 4 $\pi\beta$  计数管坪区进行了常规的单点测量, 结果也列在表 2 中。可以看出两种方法的差值小于 1%。从测量结果得知 (5) 式第二项是小于 1% 的量。此法对

表 2 测 量 结 果

	绝对衰变率 $N_0$ , 计数/分	绝对通量 $n\phi_0$ , 中子/秒·厘米 <sup>2</sup>
外推法测量结果	$(3.13 \pm 0.02) \times 10^7$	$4.81 \times 10^7$
坪区单点测量结果	$(3.15 \pm 0.04) \times 10^7$	$4.84 \times 10^7$

计数管坪斜较大或厚源的情况更为有利。

参加本工作的还有史永谦、赵郁森等同志。

## 参 考 文 献

- [1] P. J. Campion, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 4,232(1959).  
 [2] A. Williams & P. J. Campion, *ibid.*, 14,533(1963).  
 [3] R. B. Theus et al., *Nucl. Phys.*, 80,273(1966).  
 [4] Y. Kawada et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 61,117(1968).  
 [5] H. Menke & J. Fahland, *Standardization of Radionuclides*, IAEA, Vienna, 1967, p. 183.  
 [6]  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  符合测量装置仪器说明书 (北京核仪器厂).

(编辑部收到日期: 1983年3月19日)

## 钢的辐照脆化与积分快中子通量的关系

李 耀 鑫

关键词 延性-脆性转变温度, 贫化区。

## 一、引 言

众所周知, 钢材受快中子辐照后要变脆, 材料脆化程度的标志之一是延性-脆性转变温度。快中子辐照后, 转变温度要升高, 其增值( $\Delta T$ )与积分快中子通量( $\Phi$ )之间存在某种函数关系。国外通过大量实验证实  $\Delta T \sim \Phi^{1/2}$  或  $\Phi^{1/3}$  关系, 有些理论工作者从理论上也可推导出上述关系, 但一般讲比较复杂。本文试图用比较简单的方法来推导  $\Delta T$  与  $\Phi$  之间的关系, 并结合实际工作情况得出  $\Delta T = A(\Phi \times 10^{-18})^{1/3}$  的关系式。

## 二、公 式 推 导

Cottrell 认为, 材料中的裂纹发生非稳态扩展, 即发生脆性断裂时, 应满足下列关系<sup>[1]</sup>:

$$\sigma_y \geq \frac{A\mu\gamma}{K_y} d^{-1/2}, \quad (1)$$

其中  $\sigma_y$  为屈服强度;  $A$  为几何因子;  $\mu$  为切变模量;  $\gamma$  为表面能;  $K_y$  为钉扎位错的力;  $d$  为晶粒直径。

(1) 式右端是裂纹非稳态扩展时所需的应力, 以  $\sigma_c$  表示, 我们称之为裂纹介理力。因此, 上式也可改写为: