

微型反应堆辐照座内中子温度和 超热指标的测定

陈绍能 李德江

(中国原子能科学研究院, 北京)

关键词 微型反应堆, 中子温度, 超热指标, Ge(Li)探测器。

一、引言

对于高浓铀燃料、金属铍反射层, 主要作为中子活化分析用的微型反应堆而言, 对有关辐照座内的能谱和谱参数必须有所了解, 中子温度是重要的谱参数, 它基本上反映了反应堆热谱的特征。

本文采用积分技术方法, 以 ^{176}Lu - ^{164}Dy 和 ^{115}In - ^{55}Mn 配对的“双探测片法”和金的“镭比法”测量照射座内的中子温度和超热指标。

在 Westcott 系统, 对于热区有共振峰的探测器与 $1/v$ 探测器配对, 在堆谱和参考谱上测得的活性比为 K , 则:

$$K_T = \left[\left(\frac{A_{\text{共}}}{A_{1/v}} \right)^{(f)} / \left(\frac{A_{\text{共}}}{A_{1/v}} \right)^{(k)} \right]_T = \left[\frac{(g + \gamma s)^{(p)}_{\text{共}}}{(1 + \gamma s)^{(p)}_{1/v}} / g(T_k) \right] \quad (1)$$

上式中, 左边活性比可以测量求得, 右边 $g(T_k)$ 为室温下值, g 和 s 为中子温度 T_n 的函数。超热指标 γ 和 T_n 均为未知数, 它们两者的关系可通过铀或金的镭比测量求得, 也可通过另一组探测器获得与上式相类似的公式, 从中解出 γ 与 T_n 。对于“双探测片法”将超热区有共振吸收的与热区服从 $1/v$ 吸收律的两种探测器配对, 测出活性比为:

$$K_R = \left[\left(\frac{A_{\text{共}}}{A_{1/v}} \right)^{(p)} / \left(\frac{A_{\text{共}}}{A_{1/v}} \right)^{(k)} \right]_R = \left[\frac{(g + \gamma s)^{(p)}_{\text{共}}}{(1 + \gamma s)^{(p)}_{1/v}} / g(T_k) \right] \quad (2)$$

式中 p 表示堆谱或待测谱, k 表示标准谱或参考谱, g 和 s 为探测器的截面在热区和超热区偏离 $1/v$ 的修正因子, 下标“T”表示探测器的共振峰在热区, “R”表示共振峰在超热区。

在“镭比法”测量中, 考虑了有关的修正之后, 镭比测量值 $R_{Cd}^{(e)}$ 与 T_n 和 γ 有如下关系式^[2]。

$$\gamma \sqrt{\frac{T_n}{T_0}} = \frac{G_i(1 - h R_{Cd}^{(e)})}{(F R_{Cd}^{(e)} - 1) G_i S_0 / g + R_{Cd}^{(e)} [(1/k) - W]} \quad (3)$$

式中 G_i 、 G_r 为探测器对于热中子和共振中子的自屏因子, $R_{Cd}^{(e)}$ 为金的镭比测量值, h 、 F 为镭套对于热中子和共振中子的穿透率, $1/k$ 是超热中子穿过镭套的修正因子, 它取决于镭套厚度和中子场性能, W 为镭切割能以下非 $1/v$ 截面对共振中子的响应^[2]。本文将两种方法同时使用, 以便作比较。

二、实验方法和测量结果

本实验是在原型微型堆和模拟巴基斯坦微型堆的零功率装置上辐照座内进行的。微型堆采用高浓铀燃料元件，同心圆布置。它们的活性区布置见图1和2。原型堆的活性区半径为12.00cm，高度为25cm，H与 ^{235}U 的核子数比为238，零功率装置的活性区半径为11.50cm，高度为23cm，H与 ^{235}U 的核子数比为197，反射层均为铍，其它情况大同小异。

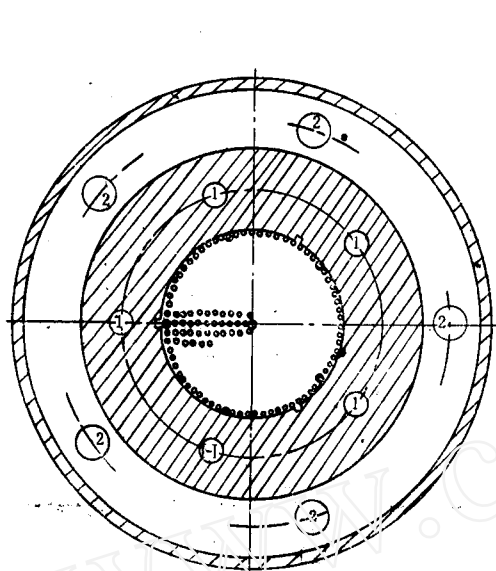


图1 堆芯区布置图

Fig.1 The schematic of the prototype reactor

比例1:3; 1——小跑兔; 2——大跑兔; I—I——Tn和 γ 测点。

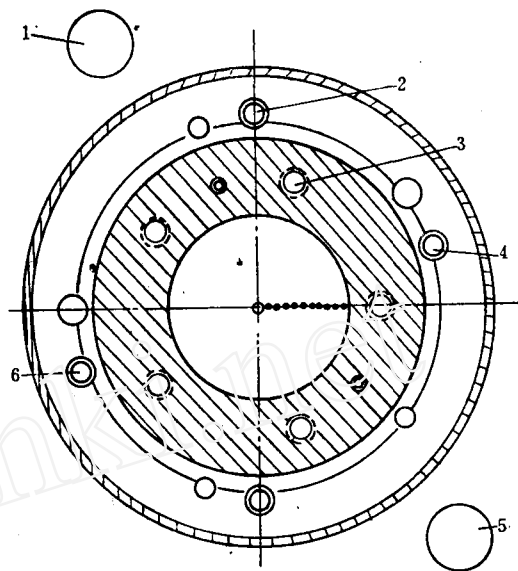


图2 PARR-II 零功率装置活性区平面示意图

Fig.2 The Schematic of zero power reactor of the PARR-II

1——电离室1 $^{\circ}$, BF $_3$ 5 $^{\circ}$; 2——电离室3 $^{\circ}$; 3——镅源; 4——BF $_3$ 3 $^{\circ}$; 5——电离室2 $^{\circ}$, BF $_3$ 4 $^{\circ}$; 6——中子源。

在用“双探测片法”测量时，要求探测片之一共振峰突出，另一片具有 $1/\nu$ 吸收性能。所用探测器的种类和性能见表1。

实验时在堆谱和参考谱上分别照射3—5次，每次10~15 min。照射功率、照射时间、等待时间和测量时间的选择由探测片的活性大小和半衰期的长短决定。用Ge(Li)探测器测量探测片的 γ 活性。待测的 γ 峰能量见表1。

两个堆上照射座内的中子温度 T_n 和超热指标 γ 的测量结果见表2。

三、讨 论

由于模拟巴基斯坦微型堆的零功率装置活性区氢原子数与 ^{235}U 核子数之比比原型堆小，而且实验时慢化剂温度也高，所以零功率装置上测得的中子温度和超热指标比原型堆的高，这是很自然的。

在“双探测片法”测量中， T_n 多次测量的相对误差为 $\pm 1.22\%$ ，在“镅比法”测量中， T_n 多次测量的相对误差为 $\pm 3.4\%$ 。两种方法的 T_n 在1.2%内相符合， γ 在9.1%内相符合。

表 1 探测器的性能
Table 1 The characteristics of detectors

元 素	材 料	天然丰度 /%	百分含量 /%	直 径* /mm	厚度** /mm	重 量 /mg	共振能 /eV	半衰期	待测 γ 峰的能量 /keV
^{176}Lu	Lu-Al 合金	2.6	29.86	10	0.19	51.694	0.142	6.7 d	208.4
^{164}Dy	Dy-Al 合金	28.2	6.3	10	0.10	22.063	$\sim 1/v$	139.2min	94.7
^{55}Mn	Mn-Ni 合金	100	78	10	0.097	56.013	$\sim 1/v$	2.58 h	846.6
^{115}In	In-Al 合金	95.72	6.6	10	0.107	20.043	1.457	54.1min	1097
^{197}Au	金箔	100	100	10	0.005	6.19	4.906	2.696 d	411.8

* 为名义尺寸; ** 多次测量平均值。

表 2 T_a 和 γ 的 测 量 结 果
Table 2 Experimental results of T_a and γ

堆 型	方 法	堆内慢化剂温度 /°C	T_a /°C	γ	$R_{ca}^{(1)}$
原 型 堆	双探测片法	20.5~22.6	45.75 ± 0.56	0.030	2.96
	镅比法	20.7~22.6	45.22 ± 1.53	0.033	
零功率装置	双探测片法	26~27	55.13 ± 0.64	0.032	2.77
	镅比法		55.50 ± 0.91	0.035	

比较两种方法,“双探测片法”避免了“镅比法”中因加入镅套而引起热中子通量场的扰动以及有效镅切割能的不定性问题,特别是当待测位置空间很小,无法把镅套加入时,更显示出“双探测片法”的优越性。

在测量方法上,采用 Ge(Li)探测器测量样品的 γ 活性,能避免 β 活性或总 γ 活性测量时因杂质或其他同位素等引起的假信号,Ge(Li)探测系统效率高、分辨率好、能大大提高测量精度。

兰义正、史永谦、朱国盛、郑伍钦、李富民、夏普、李义国等做了不少工作,在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] Neutron Fluence Measurements, Technical Report Series, IAEA, VIENNA, 77-80, 1970.
- [2] Chidley, B. G. et al, Nucl. Sci. Eng., 16(1), 39(1963).
- [3] 陈绍能等,核动力工程,10(6), 84(1989).
- [4] DP-817, 37(1963).
- [5] ANL-5800, 668(1963).

(编辑部收到日期:1990年5月8日)

[下转第77页, Continued on p. 77]

参 考 文 献

- [1] Takumi, K. et al., *IEEE*, NS-15(1), 87(1968).
- [2] Takahashi, Y. et al., *IEEE*, NS-12(4), 355(1965).
- [3] Luopa, J. A. et al., *IEEE*, NS-17(1), 586(1970).

(编辑部收到日期: 1990 年 5 月 21 日)

THE DESIGN OF CONTROL ALGORITHM FOR AUTOMATIC START-UP MODEL OF HWRR

GUO WENQI

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

ABSTRACT

The report describes the design of control algorithm for automatic start-up model of HWRR, the calculation of μ value and the application of digital compensator. Finally The flow diagram of the automatic start-up and digital compensator program for HWRR are given.

Key words Reactor start-up, Control algorithm, Digital compensator.

[上接第 80 页, Continued from p. 80]

DETERMINATION OF NEUTRON TEMPERATURE AND EPITHERMAL INDEX IN THE IRRADIATION SITES OF MNSR

CHEN SHAONENG LI DEJIANG

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-75, Beijing)

ABSTRACT

In the paper the neutron temperature and epithermal index in the irradiation sites of CIAE MNSR and PARR-II (Pakistan MNSR) are determined with ^{176}Lu - ^{164}Dy and ^{115}In - ^{55}Mn by double foils method and Cadmium ratio method. The results obtained by both methods agree with each other. The agreements of both methods are 1.2% for neutron temperature and 9.1% for epithermal index.

Key words MNSR, Neutron temperature, Epithermal index, Ge (Li) detector.