

燃料棒中铯活度比 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 的轴向分布测量与分析

孙刚, 闫进元, 周兆仙, 张兵

(中国原子能科学研究院 反应堆工程研究设计所, 北京 102413)

摘要:在热室中,用扫描装置对秦山核电厂 3×3-2 考验组件中辐照历史、燃耗及冷却时间不同的两根燃料棒中的铯活度比 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 的轴向分布进行了测量,并利用自行开发的压水堆燃料棒破损特性分析程序 FCAC 进行了理论计算。结果表明:辐照和停堆冷却过程中燃料棒中铯原子的轴向迁移可以忽略,燃料棒中铯活度比的轴向分布由燃耗的轴向分布决定。

关键词:燃料棒;铯活度;轴向分布

中图分类号: TL385 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2000)04-0364-03

燃料棒经堆内辐照后产生 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 。燃料芯块内部温度较高,铯部分扩散到燃料棒的芯包间隙,并在温度较低的包壳壁上冷凝。棒中积存的铯原子活度比 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 与燃耗有关,而燃料棒包壳发生水侧破损时,泄漏到回路中的铯原子的活度比与燃料棒中积存的铯原子的活度比相同^[1]。因此,通过测量回路冷却剂中的铯活度比,可以确定破损燃料棒的燃耗。当堆中不同燃耗区燃料棒燃耗差异较大时,又可根据破损棒的燃耗确定破损燃料棒在堆芯所处分区^[2]。

由于燃料棒轴向功率因子的影响,燃料棒中的燃耗呈现轴向分布。轴向分布使得不同分区的燃料棒的燃耗值可能出现交叉重叠,即低燃耗区燃料棒的中心部位的燃耗可能与高燃耗区燃料棒活性区两端位置的燃耗相同。因此,通过测量冷却剂中铯活度比进行破损定位时,应对不同分区的燃料棒在轴向分段进行燃耗和 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 计算。

1 扫描测量装置和测量方法

1.1 扫描测量装置

扫描测量装置布置图示于图 1。

该装置主要由以下几部分组成:1) 燃料棒及其传动装置 传动装置将燃料棒传送至准直器狭缝处,并精确定位;2) 准直器 铅准直器装在不锈钢管中,热室内的准直器狭缝宽度为 2 mm,位于探测器前的狭缝宽度为 3 mm;3) 谱仪系统 该系统的探测器为 EG&G 公司生产的 GMX-30195 型同轴 HPGe,安装在热室前区,由铅室屏蔽。获取数据用的多道分析器为

收稿日期:1998-11-04;修回日期:1999-12-07

作者简介:孙刚(1970—),男,河北献县人,助理研究员,实验核物理专业

4096 道。

1.2 测量方法

移动燃料棒,使准直器狭缝对准燃料棒不同高度进行谱扫描测量,解谱获得 $E(^{134}\text{Cs}) = 604 \text{ keV}$ 、 $E(^{137}\text{Cs}) = 661 \text{ keV}$ 能峰净面积,经探测效率及分支比校正后,得到 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 的轴向分布。

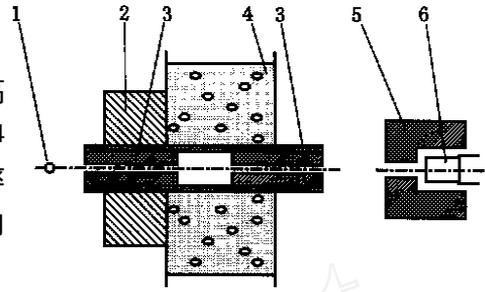


图1 扫描测量装置布置图

Fig. 1 Schematic diagram of scanning equipment for fuel rod
1—燃料棒及其传动装置;2—铅屏蔽;
3—准直器;4—热室墙;
5—探测器铅屏蔽;6—HPGe探测器

2 实验测量结果

对秦山核电厂 3 ×3 - 2 考验组件中装载的两批燃料棒中具有代表性的两根燃料棒进行谱扫描测量。第 1 根燃料棒以 230 kW 平均功率辐照 2 a,堆外冷却 9 a 后又回堆考验 215 d,积累燃耗(以金属铀计)为 30 770.2 MWd/t;第 2 根燃料棒在第 1 根燃料棒回堆考验时装入,考验 215 d 后随同第 1 根燃料棒取出,积累燃耗为 6 544.2 MWd/t;堆外冷却 1 a 后进行谱扫描测量。

两根燃料棒 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 的轴向分布实验测量结果示于图 2。

3 程序计算及其结果

应用压水堆燃料破损分析程序 FCAC 计算了两根燃料棒的 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 轴向分布。

FCAC 程序的主要输入参数为:1) 燃料棒几何参数(活性区长度,芯块尺寸,包壳厚度等);2) 燃料棒功率历史数据(组件考验试验实测数据);3) 组件轴向中子通量分布测量数据(组件考验试验实测数据);4) 重同位素中子截面数据^[3]。

计算时假设:辐照和停堆冷却过程中燃料棒内铯原子无轴向迁移,棒中铯活度轴向分布主要由裂变产生率与衰变速率决定。

为方便比较,计算结果亦示于图 2。

由图 2 可看出: $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 轴向分布曲线呈中间高两端低的凸形,且高燃耗下的曲线曲率大,这一分布与燃耗分布趋势相符;计算结果与实测值符合很好,各测点的 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 理论值与实测值间的偏差小于 12 %。

从图 2 还可看到:第 1 根棒的实测值与计算值间的偏差比第 2 根棒稍大些。这

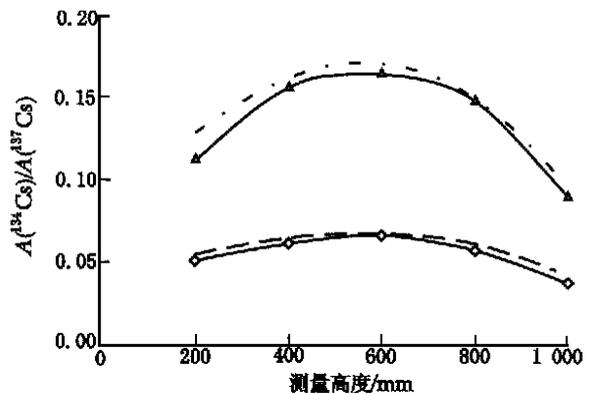


图2 秦山核电厂 3 ×3 - 2 组件燃料棒中铯活度轴向分布

Fig. 2 Axial distribution of $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$

in the fuel rod of 3 ×3 - 2 fuel assembly

—第 1 根棒测量值; —第 2 根棒测量值;
虚线—第 2 根棒计算值;点划线—第 1 根棒计算值

可能是由于第 1 根棒的功率历史较复杂,计算需要的一些输入数据难以精确确定所致。

4 讨论

1) 燃料棒中铯活度比轴向分布的计算结果与实验测量曲线符合很好,说明计算时所做的辐照和停堆冷却期间燃料棒中未发生轴向铯迁移的假设基本正确。

2) 两根燃耗水平不同的燃料棒中的 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 差别显著。因此,若在考验过程中发生燃料包壳水侧破损,则可根据回路冷却剂中的铯活度比测量结果判断破损棒是考验组件的哪批燃料棒中的燃料棒。

3) 根据铯活度比差异显著的两根棒的 $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ 的轴向分布,可由回路中铯活度比测量结果判断破口在燃料棒包壳上所处的位置高度。包壳破损后,冷却剂水将进入燃料棒芯包间隙,并向气腔移动,致使铯原子在燃料棒内随之发生轴向迁移,此迁移造成的误差尚待研究确定。

参考文献:

- [1] Leuthrot C, Brissaud A. Correlation Between Fission Product Activity in PWR Primary Water and Characteristics of Defects in Fuel Cladding[A]. Proceedings of a Technical Committee Meeting-dimitrovgrad[C]. Russian: Russian Federation, 1992. 67~72.
- [2] Beraha R, Beuken G. Fuel Survey in the Light Water Reactors Based on the Activity of the Fission Products [J]. Nucl Technol, 1980, 49: 426~434.
- [3] Genin JB. PROFIP 5.0—Calculates the Activity of Fission Products and Actinides in the Primary Circuits of Pressurised Water Reactors[R]. France, Cadarache: DRN, 1999.

Detection and Analysis of Activity Ratio $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ at Different Altitude of the Fuel Rod

SUN Gang, YAN Jin-yuan, ZHOU Zhao-xian, ZHANG Bing

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-64, Beijing 102413, China)

Abstract: Axial distribution of activity ratio $A(^{134}\text{Cs})/A(^{137}\text{Cs})$ along the fuel rod with different burnup level, irradiation history and cooling time is measured by the γ -scanning device. As a comparison, this distribution is calculated by the FCAC code used for the fuel rod failure analysis. The calculated values are in agreement with the measured values within a deviation of 12%.

Key words: fuel rod; activity of Cs; axial distribution