

外推-周期法测量 ADS 模拟装置的次临界度

夏 普, 史永谦, 李义国, 朱庆福, 郑伍钦, 朱国盛

(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 ADS 次临界中子学研究中, 将次临界外堆法和超临界周期法相结合, 实验测量了模拟 ADS 次临界装置中心布置不同缓冲区材料时的有效增殖因子 k_{eff} 和缓冲材料所相当的反应性。实验结果与其它实验方法的结果进行了比较, 相互符合较好。

关键词: ADS 模拟装置; 周期法; 外推法; 次临界度

中图分类号: TL375.51

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2003)04-0294-03

Sub-criticality Measurement With Extrapolation-period Method on ADS Model Facility

XIA Pu, SHI Yong-qian, LI Yi-guo, ZHU Qing-fu,

ZHENG Wu-qin, ZHU Guo-sheng

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-75, Beijing 102413, China)

Abstract: The sub-criticalities of ADS model facility with water, Pb and stainless as buffer region are measured by the use of extrapolation period method. The reactivity of buffer region are also given. The results between this method and other experiments are well agreement

Key words: ADS model facility; period method; extrapolation method; sub-criticality

ADS^[1] (accelerator-driven sub-critical system) 是加速器驱动的次临界组合系统, 它包括加速器、质子束管、散裂中子靶及其缓冲区和次临界反应堆, 缓冲区是慢化散裂中子及与堆耦合的部件。在 ADS 次临界中子学研究中, 缓冲区材料对次临界堆的影响和次临界反应堆的有效增殖因子 k_{eff} 的测量是一个重要工作。据分析, 当 $k_{\text{eff}} = 0.98$ 时, 反应堆的 k_{eff} 若变化 1%, 则要求有同样功率输出时的质子束流强度应变化 50%。因此, 提高反应堆 k_{eff} 的测量精度是

ADS 次临界反应堆研究的重要内容。

本工作将外推法与周期法^[2]相结合, 在次临界外推时, 添加某些特定位置的元件, 进行外推临界和刻度不同缓冲区材料的反应性当量。然后, 在反应堆微超临界情况下, 用周期法来测量这些特定位置的元件效率, 从而得到次临界反应堆的 k_{eff} 和不同缓冲材料的反应性当量值, 以实验研究反应堆不同装置下的 k_{eff} 和不同缓冲材料对 k_{eff} 的影响。

收稿日期: 2002-09-19; 修回日期: 2003-02-17

基金项目: 国家重点基础研究规划项目 (G19990226)

作者简介: 夏 普 (1965—), 男, 四川威远人, 高级工程师, 在读博士研究生, 反应堆物理专业

1 实验装置^[3]

ADS 次临界实验装置包括堆芯容器、核燃料、堆芯结构材料、慢化剂和反射层。

反应堆堆芯容器为铝制圆形容器的壁厚 5 mm,高 1 000 mm,内径 1 000 mm。燃料元件长 455 mm,直径 6 mm,铝管壁厚为 1 mm,铝管内松装²³⁵U 富集度为 20%的 U₃O₈ 粉末,燃料元件活性长 400 mm。

元件盒尺寸为 48 mm ×48 mm,一个元件盒内装有 18 根元件。在堆芯结构的框架内可装 90 个元件盒,排成 9 ×10 的长方形。实验时,燃料元件可排成方形或准圆形。元件位置以 X_xY_y 表示,X、Y 为元件盒的水平、垂直位置,x、y 为元件盒内元件的水平、垂直位置。

图 1 为堆芯结构及布置图。

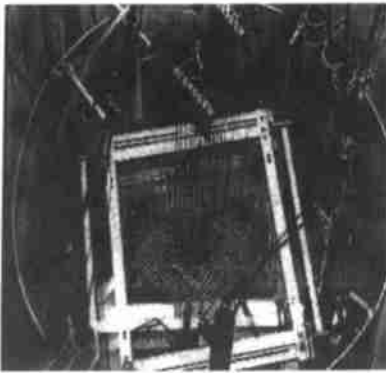


图 1 堆芯结构及布置图

Fig.1 Core structure and arrangement

反应堆堆芯的慢化剂和反射层为轻水,活性区周围的水反射层均大于 150 mm。反射层周围布置监测中子水平的中子计数管和监测功率的补偿电离室,用于测量和反应堆控制。从堆芯中央取出 4 根元件作为缓冲区,缓冲区可用水,也可用不锈钢、铅填充,不锈钢缓冲区和铅缓冲区均为 φ25 mm ×420 mm。

2 实验结果

2.1 外推临界实验

实验时,燃料元件为准圆形布置,堆芯中心为缓冲区材料,堆芯元件数为 512 根时,中子计数为 N₁;然后,加入特定位置的 4 根元件,堆芯元件数为 516 根时的中子计数为 N₂。由 N₁ 和 N₂ 的倒数与相应的燃料元件数外推得到反

应堆装载的临界质量。将不同材料的缓冲区置放到堆芯中心,得到 4 种与之相对应的次临界装载,即缓冲区为 4 根燃料元件,缓冲区材料分别为水、铅、不锈钢,通过外推得到 4 种不同反应堆装载的临界质量 n_c。

某种装载的次临界度 由式(1)计算得到,并用式(2)转换为 k_{eff}:

$$= (n_2 - n_c) \frac{\partial}{\partial n} \quad (1)$$

$$k_{eff} = \frac{1}{1 - \dots} \quad (2)$$

其中:n₂ 为中子计数率 N₂ 对应的装载燃料元件数;∂ / ∂n 为在周期法中测得的单根燃料元件的效率。

中心为燃料元件,外推临界质量和以元件数计算的 k_{eff} 值的实验结果列于表 1;中心为水、铅和不锈钢作缓冲区,外推临界质量和以元件数计算的 k_{eff} 值的实验结果列于表 2。

表 1 中心为燃料元件装载的外推临界质量和 520 根元件的 k_{eff}

Table 1 Criticality mass and k_{eff} of reactor (fuel as buffer material)

材料	探测器	外推临界质量	平均临界质量	k _{eff}
元件	定标 1	525.08	525.88 ±0.80	0.997 59
	定标 2	526.68		

表 2 缓冲区为水、铅和不锈钢时的外推临界质量和相应的 k_{eff}

Table 2 Criticality mass and k_{eff} of reactor (H₂O, Pb, stainless as buffer material)

材料	探测器	外推临界质量	平均临界质量	k _{eff}
水	定标 1	527.55	528.90 ±1.35	0.994 74
	定标 2	530.25		
铅	定标 1	540.31	541.36 ±1.05	0.989 71
	定标 2	542.40		
不锈钢	定标 1	564.15	565.00 ±0.84	0.980 31
	定标 2	565.82		

2.2 元件效率

临界实验时,燃料元件为准圆形布置。缓冲区内为燃料元件时,实验得到的临界质量为 531 根。用周期法测量活性区外围特定位置的 4 根元件的效率,这 4 根元件的位置相对于活

性区中心是相同的。测量结果列于表 3。

表 3 外围燃料元件效率

Table 3 The worth of fuel elements

燃料元件位置	反应性/ mk		元件效率/ mk
	添加元件前	添加元件后	
1 (X3.x1 Y2.y1)	1.44	1.85	0.41
2 (X7.x2 Y3.y2)	1.06	1.87	0.41
3 (X1.x6 Y6.y2)			
4 (X6.x1 Y6.y3)	1.09	1.52	0.43
			(0.41 ±0.01)

注:括号内为平均值

2.3 缓冲区的效率

由表 1 和 2 所列数据可得到缓冲区不同材料的效率,即缓冲区为水、铅、不锈钢时,缓冲区所带来的反应性损失。结果列于表 4。

表 4 不同缓冲区当量测量值

Table 4 Worth of buffer

(H₂O, Pb, stainless as buffer material)

缓冲区材料	反应性当量/ mk	反应性当量相当 已知位置的外围元件数
水	2.87	7.00
铅	5.11	12.46
不锈钢	9.69	23.63

2.4 与跳源法实验结果^[4]的比较

为与跳源法的实验结果^[4]进行比较,用式(1)和(2)计算了反应堆装载为 436 根燃料元件、堆芯中央放置不同缓冲区材料的 k_{eff} 。不同缓冲区材料所相当的反应性与跳源法的测量结果比较列于表 5。

表 5 与跳源法测量结果的比较

Table 5 Comparison between this method and source-jerk method

缓冲区 材料	k_{eff}		相对偏差/ %	反应性当量/ mk	
	本方法	跳源法		本方法	跳源法
水	0.961 7	0.960 3	+ 0.15	2.87	
铅	0.956 5	0.958 0	- 0.15	5.11	2.50
不锈钢	0.946 8	0.949 5	- 0.27	9.69	9.34

比较表明:跳源法中,水由铅代的反应性当量与本实验结果间的偏差较大,而铅由不锈钢代时的反应性当量相互符合较好。

3 讨论和分析

在本实验方法中,缓冲区尺寸相对较小,堆芯尺寸相对较大,堆芯元件为准圆形布置,缓冲区材料的改变对最外围燃料元件的效率影响不大。本方法在外推时所加的元件和周期法测量的元件位于堆芯的最外围,且次临界度不深,可以认为,外推时的元件效应等于临界时周期法测量的元件效应。用本方法得到的堆芯中央不同缓冲区的效率当量值能满足实验要求。用该方法可较好得到堆芯不同缓冲区装载下的 k_{eff} 和缓冲区材料引起的反应性变化。

计算深次临界度的 k_{eff} (436 根元件) 时,相当于将 516 根元件装载布置的最外围元件拔出,且认为拔出元件的效率相同。实际上拔出元件效率有些差别,效率将增大些,但因均为最外围元件,因此,差别不大。

采用外推-周期法测量反应堆的次临界度和部件反应性不需专用设备,可利用堆上已有实验设备和仪器,只需精心安排实验方案,方法简单可靠。

参考文献:

- [1] 丁大钊. 未来核能利用的方案探讨——加速器驱动放射性洁净核能系统[A]. 加速器驱动放射性洁净核能系统概念研究论文集[C]. 北京:原子能出版社,2000. 3~16.
- [2] 罗璋琳,罗安仁. 实验反应堆物理[M]. 北京:原子能出版社,1987. 9~87.
- [3] 史永谦,夏普,李义国,等. ADS 反应堆物理研究中的堆芯布置及控制系统[A]. 加速器驱动放射性洁净核能系统物理及技术基础研究成果汇编(2000-2001)[C]. 北京:中国核工业音像出版社,2002. 83~89.
- [4] 朱庆福,史永谦,李义国,等. 跳源法在 ADS 中子学研究中的应用[J]. 原子能科学技术,2003,37(3):246~249.