

## ADS“启明星”次临界实验平台 物理方案初步设计

于涛<sup>1</sup>, 史永谦<sup>2</sup>, 夏普<sup>2</sup>, 廖义香<sup>1</sup>

(1. 南华大学核科学技术学院, 湖南衡阳 421001;

2. 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:** 使用 MCNP 程序对几种堆芯均匀化布置进行了临界计算,  $k_{\text{eff}}$  在 0.92~1.00 之间。计算结果为加速器驱动的次临界系统(ADS)的次临界实验平台物理方案设计提供了初步设计方案。

**关键词:** 加速器驱动的次临界系统; 次临界实验平台; 快-热耦合; MCNP 程序

**中图分类号:** TL329      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2004)06-0530-03

### Preliminary Design of Physics Project for the Sub-critical Experiment Facility “Venus” of Accelerator Driven Sub-critical System

YU Tao<sup>1</sup>, SHI Yong-qian<sup>2</sup>, XIA Pu<sup>2</sup>, LIAO Yi-xiang<sup>1</sup>

(1. School of Nuclear Science and Technology, Nanhua University, Hengyang 421001, China;

2. China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-45, Beijing 102413, China)

**Abstract:** The critical calculation was carried out with 3-D M-C(MCNP) for the sub-critical experiment facility “Venus” of accelerator driven sub-critical system(ADS). The preliminary calculating result ( $k_{\text{eff}} = 0.92 \sim 1.00$ ) shows that the facility design is reliable.

**Key words:** accelerator driven sub-critical system(ADS); sub-critical experiment facility; fast-thermal coupling; MCNP code

核能是一种高效、洁净和安全的能源,目前已被广泛应用于商业发电。商业应用的核能系统还存在高放射性废物的安全最终处理和铀资源利用率不高等若干阻碍裂变核能发展的问题。因此,近十余年来,科学界一直在寻求可克服这些障碍的路线,加速器驱动的次临界系统

(ADS)就是其中之一<sup>[1]</sup>。ADS 是用于嬗变放射性核废物、有效利用核资源及产出核能量的装置,它包括中能强流质子加速器、散裂中子源和次临界反应堆三大部分<sup>[2]</sup>。作为焚烧核废物及产生洁净核能的新型核能系统,ADS 已取得国际核能科技界的共识,我国业已将其列入国

收稿日期:2003-06-04;修回日期:2003-07-17

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G1999022602)

作者简介:于涛(1972-),男,山东乳山人,副教授,博士研究生,反应堆物理专业

国家重点基础研究发展规划项目。

次临界反应堆的运行工况要求有持续供给的外中子源维持其链式反应,这种外中子源由中能强流质子加速器提供。根据次临界度的不同,在次临界反应堆内,除维持链式反应外,还有一部分“中子余额”,可用于“焚烧”自生或外加乏燃料中所含的长寿命核废料。次临界运行工况及加速器的快速响应为 ADS 运行提供了更高的核安全性保证。“启明星”次临界实验平台是我国在建的用于 ADS 实验研究的次临界反应堆。

## 1 设计目标与要求

根据“启明星”次临界实验平台物理方案设计计算书的要求,由天然金属铀构造快中子能谱区,低浓铀元件构造热中子能谱区,组成快-热耦合的次临界反应堆系统。

对“启明星”次临界实验平台有如下设计要求:次临界反应堆的有效增殖系数为 0.90~0.98,至少在 0.95~0.98 间可调;用于嬗变研究的中子场的平均中子能量为 100~800 keV;选择几种可行的栅距供机械设计时参考;快中子能谱区的几何尺寸应大于 15 cm(约相当于快堆中子的 1 个徙动长度),从内到外依次为靶区(源区)、快区、热区、反射层、屏蔽层。“启明星”实验装置结构简图示于图 1。

1) 源区:靶位于堆芯中心,由高压倍加器通过  $T(d,n)^4\text{He}$  反应产生外源中子,靶管直径 40 mm,放在 1 根 Al 制六角形导管内,六角形

外角点到中心 31.08 mm,六角形内角点到中心 28 mm,长为堆芯高加前后反射层和屏蔽层厚,约 1 800 mm。外源中子能量为 14 MeV,中子通量密度为  $10^9\sim 10^{10}\text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2) 快区:燃料元件为天然金属铀,由燃料元件堆砌成一六角形快区,芯体直径 20 mm,长 1 000 mm,元件包壳为 Al,壁厚 1 mm,元件直径 22 mm,芯体密度为  $18.6\text{ g/cm}^3$ 。

3) 热区:由聚乙烯内插入燃料元件组成,燃料元件按三角形均匀排列,选取不同元件数,以形成不同栅距的热区,热区径向内为六角形,内紧靠快区,外径由计算结果而定;燃料元件直径为 8 mm,活性段高度为 700 mm,包壳材料为铅-2 合金,壁厚 0.65 mm,芯块为二氧化铀陶瓷体, $^{235}\text{U}$  富集度(按质量百分比)为 3%,芯块密度为  $10.465\text{ g/cm}^3$ ,约为理论密度的 95%,芯块为圆柱形,直径为 6.55 mm。

4) 反射层:由聚乙烯组成,密度为  $0.92\text{ g/cm}^3$ ,厚度为 15~25 cm,位于热区元件的外围,外为圆形,轴向在元件外面和屏蔽层之间,为圆柱体。

5) 屏蔽层:由含硼聚乙烯组成,厚度为 15~25 cm,位于反射层外面,径向内外均为圆形,形成圆环,轴向在反射层外,为圆柱体。

## 2 设计方案与计算结果

采用 MCNP/4C 程序进行设计计算。在堆芯设计上采用快-热耦合方式布置堆芯,分别采用不同的燃料元件排列方式,使用均匀化计

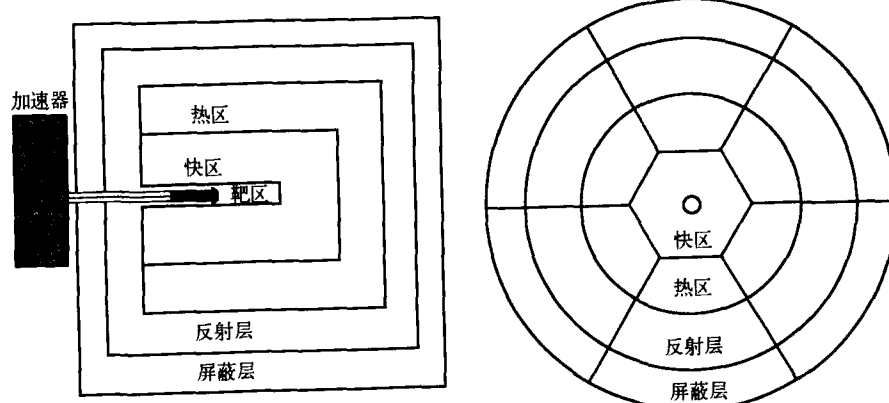


图 1 “启明星”次临界实验平台结构简图

Fig. 1 Structure of the sub-critical experiment facility “Venus”

算方案,径向由靶区、快区、热区、反射层、屏蔽层组成,轴向中心为活性区,上下各有反射层和屏蔽层。

进行了4种不同的设计方案计算。模型描述及计算结果如下:

1) 快区外径260 mm,热区栅距11 mm,热区厚度15.75 mm,反射层径向厚度15 mm,屏蔽层径向厚度15 mm,  $k_{\text{eff}}=0.92649$ ;

2) 快区外径216 mm,热区栅距11 mm,热区厚度15 mm,反射层径向厚度15 mm,屏蔽层径向厚度15 mm,  $k_{\text{eff}}=0.95574$ ;

3) 快区外径216 mm,热区栅距10.5 mm,热区厚度30 mm,反射层径向厚度25 mm,屏蔽层径向厚度15 mm,  $k_{\text{eff}}=0.96068$ ;

4) 快区外径216 mm,热区栅距11 mm,热区厚度30 mm,反射层径向厚度25 mm,屏蔽层径向厚度15 mm,  $k_{\text{eff}}=1.01724$ 。

由以上计算结果可知,通过调整快-热区尺寸、栅距、反射层和屏蔽层厚度,次临界装置的

$k_{\text{eff}}$ 介于0.92~1.00之间,可满足物理设计要求。

### 3 结论

该计算结果是基于堆芯均匀化描述而得出的,与精细描述的结果相比,精度差些,但计算结果仍可达到“启明星”次临界实验平台物理方案设计计算书中的设计方案与设计参数所寻求的物理结构目标与要求。

#### 参考文献:

- [1] 丁大钊. 未来核能利用的方案探讨——加速器驱动的放射性洁净核能系统[A]. 加速器驱动的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,2000.3~27.
- [2] Rubia C, Robio JA, Buono S, et al. Conception Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier; CERN/AT/95-44 (ET) [R]. Geneva; CERN, 1995.