

# 接口软件 CITA TOOL 在中国先进研究堆物理分析中的应用

王思广, 柯国土, 吕征, 辛锋

(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:**本工作针对中国先进研究堆(CARR)的堆工程需要,研制开发了 CITA TOOL 接口管理软件。该软件的主要功能是:为国际通用的 CITA TION 软件提供参数输入文件;对  $k_{\text{eff}}$ 、中子注量、燃耗等的计算结果进行分析处理,并给出所需图表。

**关键词:**  $k_{\text{eff}}$ ; 中子注量; 燃耗; CITA TION 软件

**中图分类号:** TP274      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2002)02-0121-04

## Interface Code CITA TOOL Applied in China Advanced Research Reactor Physics Analysis

WANG Si-guang; KE Guo-tu; LU Zheng, XIN Feng

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-33, Beijing 102413, China)

**Abstract:** CITA TOOL, a nuclear parameters management interface code needed by China advanced research reactor(CARR) physics analysis, is presented. It's used to supply cross-section parameters for CITA TION code, which is an international famous code among nuclear reactor designer. With CITA TOOL, special useful data,  $k_{\text{eff}}$ , neutron fluence, burr-up, etc., can be drawn from the complex result file of CITA TION code.

**Key words:**  $k_{\text{eff}}$ ; neutron fluence; burr-up; CITA TION code

WIMSD-4 是国际著名且广泛使用的带燃耗栅元的计算程序,用它可得到扩散程序所需的反应堆各物质区均匀化的少群截面参数。CITA TION 程序是国际著名的基于有限差分方法求解中子扩散方程的堆芯稳态物理分析程序,它能提供堆芯本征值、三维分群的点中子注量率分布和堆功率分布。因 WIMSD-4 并非专为 CITA TION 提供参数而设计,故其截面参数

输出文件与 CITA TION 所需参数输入文件在格式上不相匹配,用户需进行大量的手工处理,工作效率低,易出差错,且无法对可燃毒物进行燃耗计算。另外,CITA TION 程序的输出文件庞杂,欲从中获取所需信息极为困难。鉴于上述状况,本工作自行开发接口管理软件 CITA TOOL,该软件将可驱动 CITA TION 对反应堆核特征参数进行计算,并对计算结果进行处理。

收稿日期:2001-05-09;修回日期:2001-06-28

作者简介:王思广(1971—),男,江苏丰县人,助理研究员,硕士,原子核物理专业

## 1 功能简介

利用 CITA\_TION 程序计算核特征参数时,需要 2 个输入文件:1) 几何描述控制文件,该文件提供反应堆的空间几何材料信息、反应堆运行功率水平及迭代精度等控制参量;2) 计算所用的各物质区所对应的少群参数。本工作使用 Delphi 开发的接口软件 CITA\_TOOL 运行于 Win95/98 操作平台,其主要目的是生成 CITA\_TION 程序所需的少群参数文件,并对计算结果按需要进行处理。

### 1.1 提供少群参数文件

按运行中的反应堆内各种材料的核子密度变化程度的不同,物质区可分为 A、B 两类:A 类,基本不变化;B 类,有不可忽略的变化。在本工作研究的中国先进研究堆(CARR)中,燃料和可燃毒物镉丝属 B 类材料,其余可视作 A 类材料。

对于 A 类材料,因其核子密度在反应堆运行过程中可认为保持不变,故在利用 WIMSD-4 提供少群参数时,提供一组参数即可。

对于 B 类材料中的燃料,由于其核子密度随运行天数增加(燃料的加深)而不断变化,因此,须提供对应于不同燃料下的少群参数。在进行燃料计算时,用各活性区间的实际燃料进行内插得到所需的少群参数。对于可燃毒物镉丝,对应不同的中子注量,其核子密度各不相同。在提供参数时,给出一系列不同中子注量下所对应的少群参数。实际使用时,用实际的中子注量内插得到对应物质区在某一中子注量下的少群参数。

在生成少群参数文件前,需要做好如下准备工作:

1) 将 A、B 两类材料的少群参数送入数据库,以备查询;

2) 提供“物质区号~材料成分”对应表,如 100~307 为镉丝区,308~568 为标准组件活性区等;

3) 设置一些控制选项,如序号、步长、几何描述控制文件名等;

4) 如果不是首燃料步运行,则将上一步 CITA\_TION 运行的结果文件名告知程序,程序将所需要的各物质区中子注量和功率密度读入数据库。

在少群参数文件生成过程中,程序首先根据几何描述文件中所涉及的物质区号,按照“物质区号~材料成分”对应表确定该物质区的材料种类。对于 B 类属镉丝区的材料,根据步长和中子注量率计算出该步末的中子注量。对于属 B 类材料的燃料区,用同样的方法计算出燃料值,内插出各物质区所对应的中子注量或燃料下的少群参数。对于 A 类材料,可直接从数据库中提取。

以上为单步操作生成参数输入文件的原理和方法。单步操作适用于方案选取阶段,每一种方案仅制造一个参数文件。对于既定方案,进行模拟燃料过程时,其每步运行之末必须由操作人员进行干涉,将功率和中子注量率信息送入数据库。

对于自动燃料计算,则仅需操作人员提供:1) 开始序号;2) 结束序号;3) 步长;4) 几何描述文件路径;5) CITA\_TION.EXE 路径;6) “物质区号~材料成分”对应表;7) WIMSD-4 所提供的少群参数。完成以上各步准备工作后,按“开始运行”按钮,CITA\_TOOL 即可全自动进行燃料计算。

CITA\_TOOL 首先根据几何描述文件和“物质区号~材料成分”对应表,利用数据库中的少群参数制造出少群参数输入文件,然后启动 CITA\_TION.EXE 程序,当 CITA\_TION.EXE 运行结束后,在磁盘上写一文本文件作为标志。CITA\_TOOL 在 CITA\_TION.EXE 运行期间,持续产生中断信号,检查结束标志是否存在。如存在,则将 CITA\_TION.EXE 的计算结果进行处理,将中子注量率和功率密度入库,根据步长计算出中子注量和燃料值。按上述单步操作的原理和方法生成该燃料状态下的少群参数文件。将结束标志删除,再一次启动 CITA\_TION.EXE,进行下一步计算。如此循环,直到满足预定的模拟天数(结束序号所代表的天数)。

### 1.2 处理 CITA\_TION 的计算结果

CITA\_TION 的输出内容很多。有些信息,如  $k_{\text{eff}}$  可直接输出,但更多的信息必须经过处理。根据实际应用的要求,在 CITA\_TOOL 中增加了对 CITA\_TION 计算结果进行处理的功

能。

1) 计算功率不均匀因子(当前,仅适用于处理  $x-y-z$  几何描述文件的计算结果)。在 CITATION 输出结果文件中,含有各网格块的几何长度信息和功率密度信息,因此,可计算任意空间内的体积、总功率和平均功率密度,进而可计算功率不均匀因子。本程序可给出径向和轴向功率分布不均匀因子、局部功率分布不均匀因子和全堆最大功率分布不均匀因子。操作人员只需填写程序所要求的选项,按“功率峰因子”按钮,即可得到以上所列数值。

2) 为二维、三维作图提供数据。CITATION 的多种计算结果共存于同一文件中,欲以图形显示出某一结果,可将感兴趣的数据提取出来,本软件则提供绘制各层中子注量率三维图形、各层点功率三维图形所需数据,轴向中子注量率和点功率二维分布图所需数据。对于二维数据,CITA TOOL 软件本身还可给出图形;对于三维数据,则需用 MATLAB 进一步处理。

3) 计算各组件燃耗分布。在计算燃耗时,由于在各步结束时对各组件的燃耗值都进行计算且按材料号进行分类存于数据库,故可方便地将燃耗分布曲线表示出来。

4) 计算每根组件的平均燃耗值。在几何描述控制文件中存有几何长度信息,程序可据此计算所涉及燃料块的体积,然后根据该燃料块的燃耗值及每一根组件所包含的燃料块区域,计算出各组件的平均燃耗值。

5) 提供各群中子注量率和点功率最大点所在位置。程序在数据库中搜寻出最大中子注量率和点功率后,根据该数据所处的位置及几何描述文件所提供的几何长度信息,可计算出该点的坐标。

## 2 运行实例

将接口软件 CITA TOOL 应用于 CARR 净堆(无控制棒)的燃耗计算,计算方案如下。A:铀密度为  $4.3 \text{ g/cm}^3$ 、无隔丝;B:铀密度为  $4.8 \text{ g/cm}^3$ 、无隔丝;C:铀密度为  $4.8 \text{ g/cm}^3$ 、加隔丝。

图 1 给出上述 3 种计算方案的  $k_{\text{eff}}$  随运行时间的变化曲线。由图可见:方案 C 的堆芯既

有足够的剩余反应性,又加深了装料初期的停堆深度,提高了反应堆的安全性。

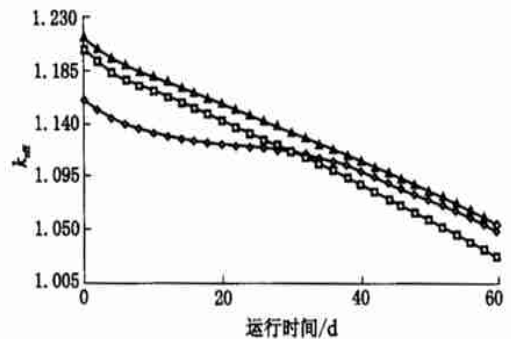


图 1 CARR 净堆  $k_{\text{eff}}$  随运行天数的变化

Fig. 1  $k_{\text{eff}}$  vs. running time

for CARR without control rod

—铀密度为  $4.8 \text{ g/cm}^3$ , 无镉丝;

—铀密度为  $4.3 \text{ g/cm}^3$ , 无镉丝;

—铀密度为  $4.8 \text{ g/cm}^3$ , 有镉丝

利用 CITA TOOL 对计算结果进行处理,并利用 MATLAB 作图。图 2a、b 分别示出净堆下铀密度为  $4.3 \text{ g/cm}^3$  及  $4.8 \text{ g/cm}^3$  经过最大功率点的  $x-y$  方向功率分布图。比较两图可知:CARR 净堆时,同功率(60 MW)、不同铀密度时的功率分布不尽相同。其原因是 CARR 为反中子阱型堆,热中子由堆芯外部向堆芯内部扩散过程中,由于铀密度的提高,对热中子自屏效应增大,使得中子注量率由外到内迅速下降,因此,堆芯表面功率增加较大,而堆芯内功率增大较小,有的位置甚至为负增长。为便于比较两图,现将图 2a、b 中数据之差示于图 3。由图 3 可知:堆芯内部区域中的确有不同部位点功率随铀密度的增加而减小(为负值)。

本软件不仅可提供点功率  $x-y$  各层的分布数据,对于各群中子也可提供各层分布数据。图 4 是利用 CITA TOOL 所提供的数据绘制的经过最大通量点的  $x-y$  层热中子分布图。由该图可以看出:CARR 为反中子阱型堆的特点——堆芯的中子注量率小于周边重水区的中子注量率。

设计工作实例表明,该软件的开发与应用大大提高了工作效率。除成功应用于 CARR 的  $x-y-z$  几何模型外,该软件已在微堆的  $R-z$  几何模型和  $R-r-z$  几何模型的计算中得到了检

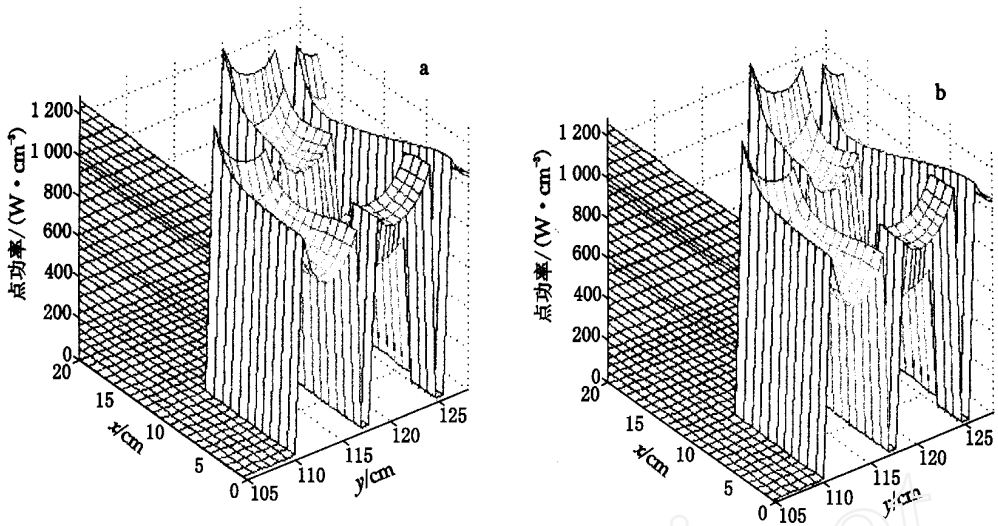


图2 净堆下不同铀密度经最大功率点所在层1/4堆芯  $x-y$  功率分布图

Fig. 2  $x-y$  distribution of power points through the hottest point

for 1/4 clear reactor core with different U density

(U),  $g \cdot cm^{-3}$ : a—4.3; b—4.8

验。

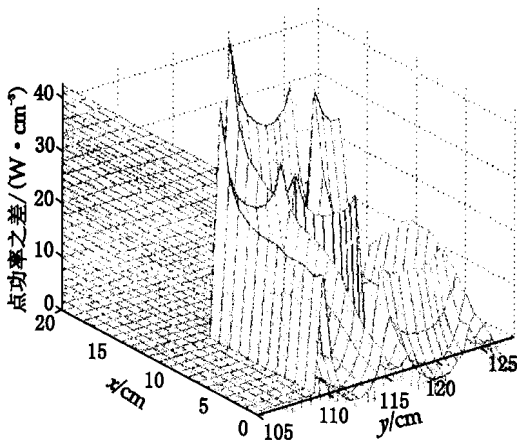


图3 图2中b、a对应点功率之差值分布图

Fig. 3 The  $x-y$  distribution of the power point's difference between b and a from Fig. 2

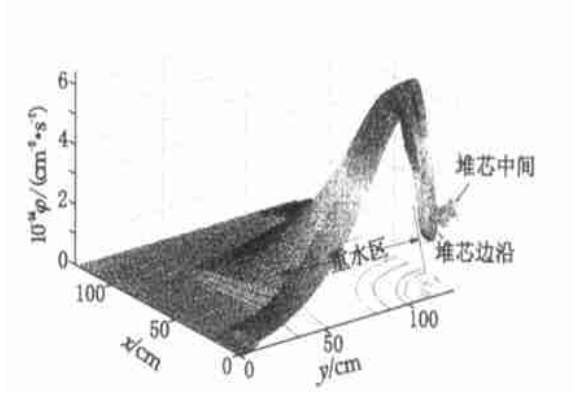


图4 铀密度为  $4.3 g/cm^3$ 、无控制棒、无氙、零燃耗经最大通量点的热中子  $x-y$  分布

Fig. 4  $x-y$  distribution of thermal neutron through the maximum flux point under no control rod, no Xe and no burn-up for  $4.3 g/cm^3$  U density