

文章编号: 1007-4627(2004)01-0070-03

## ADS 系统中少钶系核素的灵敏度分析\*

刘 萍, 赵志祥

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

**摘 要:** 为了确定加速器驱动系统中少钶系核素的核数据的不确定性对此系统中积分参数的影响, 选择一铅-铋冷却次临界系统来进行分析, 选择不同的微观评价库 CENDL-3.0, JENDL-3.2 及 ENDF/B-VI.6, 并只考虑 20 MeV 以下的中子产额, 来计算次临界系统的积分参数. 以 ENDF/B-VI.2 库的计算结果作为参考结果, 依次用 CENDL-3.0 库及 JENDL-3.2 库中相应的钶系核素替换 ENDF/B-VI.6 库中的钶系核素, 计算了次临界系统的  $K_{\text{eff}}$  值及反应率, 并就变换主要钶系核素时所计算的  $K_{\text{eff}}$  值及反应率的影响进行了分析、对比. 在堆芯处, 当改变钶系核素时  $K_{\text{eff}}$  值总的变化为 30%, CENDL-3.0 的  $^{238}\text{Pu}$  的弹性散射反应率比 ENDF/B-VI 库的结果高出 10%, ENDF/B-VI 库的  $^{242}\text{Am}$  的裂变率超过了 CENDL-3.0 库的 15%.

**关键词:** 少钶系核素; 微观评价库; 加速器驱动系统;  $K_{\text{eff}}$ ; 反应率

**中图分类号:** O571 **文献标识码:** A

### 1 引言

近年来, 加速器驱动次临界系统(ADS)的概念越来越受到人们的关注, 并在国际上形成了一个研究热点, 特别是欧洲、俄罗斯、日本和美国都已进行了一些研究计划. 与传统的临界堆相比, 由加速器驱动的次临界系统可进行废物嬗变, 避免了反应性的诱发瞬变现象, 因此, 它具有良好的环境效益和安全效益.

在反应堆中子学计算时, 对于一个给定的反应堆系统, 当它的材料成分和几何结构都已确定时, 主要的积分参数(如有效增值因子  $K_{\text{eff}}$ )便确定了. 就反应堆中子学计算的不确定度而言, 主要由两个方面的因素引起: 一是计算用的程序和工具, 二是所使用的核数据本身的误差. 随着计算机技术的不断更新以及一些最新方法的广泛应用, 如 Monte-Carlo (M-C) 方法的广泛应用, 使得反应堆中子学计算程序日趋完善, 因此, 计算用的程序和工具已不是影响反应堆物理计算精确度的主要原因, 而计算用的材料的核数据的误差引起的反应堆物理计算的不确定度就显得很重要.

由于次临界堆是靠散裂中子源维持其链式反

应, 反应堆自始至终处于次临界状态, 在反应堆的整个寿命期,  $K_{\text{eff}}$  值在 0.90 — 0.98 之间变化, 因此, 与临界堆相比, 加速器驱动的次临界堆对有效增值因子  $K_{\text{eff}}$  和反应率等参数的确定提出了更高的要求, 而核数据的不确定性引起的积分参数的不确定度也远比常规反应堆系统的要大.

为了评价嬗变计算时的少钶系核素的数据, OECD/NEA 特别推荐了一些基准问题. 本文介绍了分别基于美国的 ENDF/B-VI.2 库及中国的 CENDL-3.0 库和日本的 JENDL-3.2 库, 用 M-C 程序 MCNP4C<sup>[1]</sup> 计算了一个基准问题的  $K_{\text{eff}}$  值及反应率, 从而评估部分钶系核素的核数据的不确定度对次临界系统的积分参数的影响.

### 2 数据处理

采用国际上公认的群常数处理程序系统 NJOY<sup>[2]</sup>, 将微观评价库处理成 M-C 程序 MCNP4C 接口的连续点截面数据, 截面共振重造和 Doppler 展宽时的薄化误差为 0.2%. CENDL-3.0 库中的 4 个钶系核素  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  和  $^{242}\text{Am}$  及 JENDL-

收稿日期: 2003 - 04 - 30; 修改日期: 2003 - 06 - 27

\* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G1999022603)

作者简介: 刘 萍(1966-), 女(汉族), 辽宁庄河人, 副研究员, 从事核数据研究.

3.2 库中的<sup>243</sup>Am, <sup>244</sup>Cm 和 <sup>245</sup>Cm 核素被处理成连续点截面数据. ENDF/B-VI. 2 库中相应的核素的连续点截面数据来自于 MCNP4C 程序本身所带的库<sup>[3]</sup>.

### 3 基准计算

该基准问题为 1 GeV 的质子驱动的铅-铋冷却次临界系统<sup>[4]</sup>, 燃料元件芯体采用重金属(指 U+Pu+MA 的组合)和锆的合金, MA 为少钢系核素的简称. 文献<sup>[5]</sup>给出了此基准问题的 R-Z 模型及详细的描述.

采用 LCS 程序系统<sup>[6]</sup>模拟质子与靶核的相互作用, 即质子散裂的过程, 提供能量为 20 MeV 以下的散裂中子能谱分布作为 MCNP4C 程序计算时的中子源.

首先采用 MCNP4C 程序计算了基于 ENDF/B-VI. 2 库的次临界系统的  $K_{eff}$  值及反应率, 然后依次用 CENDL-3.0 库中的钢系核素<sup>237</sup>Np, <sup>238</sup>Pu, <sup>241</sup>Am 和 <sup>242</sup>Am 及 JENDL-3.2 库中的<sup>243</sup>Am, <sup>244</sup>Cm 和 <sup>245</sup>Cm 核素分别代替 ENDF/B-VI. 2 库中相应的核素, 再计算次临界系统的  $K_{eff}$  值及反应率, 并将替换核素后的计算结果与参考结果(基于 ENDF/B-VI. 2 库的计算结果)进行比较、分析.

### 4 计算结果和讨论

为了评估重要钢系核素的核数据对次临界系统的积分参数的影响, 分别计算了次临界系统  $K_{eff}$  值及反应率. 计算及比对结果在表 1 和表 2 中给出.

从计算结果可以看出, 对于不同微观评价库而言, 计算的次临界系统的  $K_{eff}$  值及反应率均有一定

程度的变化. 与参考结果相比, <sup>237</sup>Np 及 Am 同位素对  $K_{eff}$  值有负的影响; 而<sup>238</sup>Pu 及 Cm 同位素对  $K_{eff}$  有正的影响; 就绝对值而言, <sup>241</sup>Am 及 <sup>243</sup>Am 引起  $K_{eff}$  的变化最大, <sup>245</sup>Cm 引起  $K_{eff}$  的变化次之, 几个钢系核素总的的影响使得  $K_{eff}$  的变化超过 3%, 如果考虑到不同核素对  $K_{eff}$  影响的抵消,  $K_{eff}$  值的总的差别分别为 -1.41% (运行初期(BOC))及 -0.83% (运行末期(EOC)).

表 2 给出了次临界系统的钢系核素的各种反应率的计算结果. 从计算结果可以看出, CENDL-3.0 库的<sup>238</sup>Pu 的弹性散射反应率比 ENDF/B-VI 库的结果高出 10%. 与 ENDF/B-VI 库的参考结果相比, 采用 CENDL-3.0 库及 JENDL-3.2 库的相应的钢系核素时, 非弹散射率差别较大, 特别是<sup>242</sup>Am (5 倍多), <sup>245</sup>Cm (约 50%). ENDF/B-VI 库的<sup>242</sup>Am 的裂变率超过了 CENDL-3.0 库的 15%. ENDF/B-VI. 2 的<sup>238</sup>Pu 的俘获率比 CENDL-3.0 的要大 15%; 而 CENDL-3.0 的<sup>242</sup>Am 的俘获率则比 ENDF/B-VI 的高估了 50%. (n, 2n) 及 (n, 3n) 反应率也有差别, 由于它们对总反应率的贡献很小, 因此可忽略.

表 1  $K_{eff}$  值比对结果

元素	$\Delta K$	
	运行初期(BOC)	运行末期(EOC)
<sup>237</sup> Np	-297	-195
<sup>238</sup> Pu	95	698
<sup>241</sup> Am	-505	-310
<sup>242</sup> Am	-303	1 000
<sup>243</sup> Am	-620	-510
<sup>244</sup> Cm	-50	-15
<sup>245</sup> Cm	297	630

\*  $\Delta K$  = 替换核素后的计算结果 - 参考结果, 以  $10^{-5}$  为单位.

表 2 钢系核素各种反应率的计算结果\*

元素	裂变率			俘获反应率			非弹性反应率			弹性反应率		
	参考结果	CENDL	JENDL	参考结果	CENDL	JENDL	参考结果	CENDL	JENDL	参考结果	CENDL	JENDL
<sup>237</sup> Np	1.3	1.32		1.9	1.96		1.77	1.75		16.1	16.35	
<sup>238</sup> Pu	1.9	1.91		1.41	1.35		1.34	1.297		17.0	18.20	
<sup>241</sup> Am	1.25	1.255		1.91	1.910 4		1.65	1.648		16.2	16.25	
<sup>242</sup> Am	12.8	12.05		1.19	1.32		0.172	1.38		15.5	15.502	
<sup>243</sup> Am	1.18		1.175	1.90		1.901	1.85		1.850 2	16.4		1.640 3
<sup>244</sup> Cm	14.8		14.805	1.50		13.9	0.150		0.185	16.8		17.20
<sup>245</sup> Cm	11.65		11.95	1.13		12.0	0.185		1.41	16.1		16.11

\* 参考结果指基于 ENDF/B-VI. 2 库的计算结果, CENDL 指 CENDL-3.0 库, JENDL 指 JENDL-3.2 库. 表中数据均以  $10^{-5}$  为单位.

## 5 结论

从上面的计算结果及比对结果可以看出, 基于 CENDL-3.0 库及 JENDL-3.2 库的  $K_{\text{eff}}$  值与基于 ENDF/B-VI 库的计算结果有较大的差别, 这主要是由于 CENDL-3.0 库和 JENDL-3.2 库中的 Am 同位素和  $^{245}\text{Cm}$  与 ENDF/B-VI 库相应的元素的差别而造成的, 由几个锕系核素的变化引起的  $K_{\text{eff}}$  值

的总的变化约为 3.5%。与 ENDF/B-VI 库的计算结果相比, CENDL-3.0 库的少锕系核素对  $K_{\text{eff}}$  值有负的影响。可见, 选择不同的微观评价库对所计算的次临界系统的积分量还是有差别的, 因此, 在计算 ADS 系统的次临界系统的积分量时正确选择微观评价库还是很重要的。

## 参 考 文 献:

- [1] Briesmeister J F. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4C [Z]. LA-13709-M, Los Alamos National Laboratory, April, 2000.
- [2] MacFarlane R E, Muir D W. The NJOY Data Processing System Version 94 [Z]. LA-12740-M, 1994.
- [3] Hendricks J S, Frankle S C, Court J D. ENDF/B-VI Data for MCNP, and Errata [R]. Los Alamos National Laboratory Report LA-12891, 1994.
- [4] Takano H. Benchmark Problem on Transmutation Calculation by the OECD/NEA Task Force on Physics Aspects of Different Transmutation Concepts[A]. Proc of Inter Conf on the Physics of Nucl Sci and Tech[C]. Long Island, New York, USA. 5—8, Oct, 1998.
- [5] Na B C. OECD/NEA Comparison Calculations for an Accelerator-driven Minor Actinide Burner: Analysis of preliminary results[R]. OECD/NEA Report, France, 1999.
- [6] Prael R E, Lichtenstein M. User Guide to LCS: The LAHET code system [Z]. LANL Report LA-UR-89-3014, September, 1989.

## Nuclear Data Sensitivity of Minor Actinides on Accelerator-driven Burner System\*

LIU Ping, ZHAO Zhi-xiang

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of minor actinide data on integral parameter, the accelerator-driven minor actinide benchmark system was selected in this work. The library based on ENDF/B-VI.2 was used for the reference calculation. The sensitivities were examined by exchanging the minor actinides of CENDL-3.0 and JENDL-3.2 one after another. The  $K_{\text{eff}}$  values and reaction rates were calculated. According to the comparisons, the difference in  $K_{\text{eff}}$  from the reference is more than 3%, and the fission reaction rate of  $^{242}\text{Am}$  is about 15% lower than those of reference results. The elastic scattering reaction rate of  $^{238}\text{Pu}$  of CENDL-3.0 is about 10% larger than those of ENDF/B-VI.

**Key words:** minor actinide; evaluation library; accelerator-driven system;  $K_{\text{eff}}$ ; reaction rate