

文章编号: 0258-0926(2014)S2-0173-03; doi: 10.13832/j.jnpe.2014.S2.0173

SONG 多群数据库的设计及制作

卑 华, 赵金坤, 陈其昌, 司胜义

上海核工程研究设计院, 上海, 200233

摘要: 多功能栅格计算程序 (SONG) 是为适应新型反应堆的研发需求而开发的。在制作与之适应的多群数据库时, 需要考虑新型反应堆在燃料、结构材料、冷却剂、慢化剂、能谱、燃耗深度方面的特性。应对新的需求, 从燃料链、能群结构、反应通道、共振参数等方面给出设计方案; 利用经评定的核数据文件 (ENDF)、核数据加工程序 (NJOY)、核数据辅助加工程序 (RUNBAT)、多群数据库管理程序 (MANLIB), 开展多群数据库的制作; 针对该多群数据库进行了初步测试, 结果表明数据库具备一定的可靠性。

关键词: 栅格计算; 多功能栅格计算程序 (SONG); 多群数据库; 新型反应堆

中图分类号: TL31 **文献标志码:** A

Design and Processing of Multi-Group Cross Section Library for SONG

Bei Hua, Zhao Jinkun, Chen Qichang, Si Shengyi

Shanghai Nuclear Engineering Research and Design Institute, Shanghai, 200233, China

Abstract: Multi-functional lattice code SONG is now being developed, to meet the research demand of new type reactors. So it is necessary to consider the new specifications on these reactor in fuel, structure, coolant, modulator, spectrum and depletion depth, in building the new multi-group cross section library. In the presence of these new characteristics, the library is specially designed in dealing with burp-up chain, energy structure, reaction path, resonance parameters and so on. Using the Evaluated Nuclear Data File (ENDF), the nuclide date processing code (NJOY), nuclide date auxiliary processing code (RUNBAT) and library management code (MANLIB), the multi-group cross section library is built. With this library, a series of verification work is preliminarily carried out. The calculated results show that the library is reliable and meets the requirement of lattice code

Key words: Lattice calculation, SONG, Multi-group cross section library, New type reactors

0 引 言

多群数据库是反应堆物理中子输运计算和光子输运计算的基础和先决条件, 它为栅格程序提供了必要的核数据参数。目前开发的多功能栅格计算程序 (SONG)^[1-2], 主要应用于第四代反应堆的计算分析。新型反应堆采用的燃料、冷却剂、结构材料等与传统压水堆有较大差异; 为实现燃料增殖, 除铀-钚循环外, 还包括钍-铀燃料循环; 增殖堆增殖慢、燃耗深, 寿期末较高质量数的次

铀系核素的积累不可忽略; 第四代增殖反应堆能谱通常为快谱 (熔盐堆除外), 高能区的共振反应及阈能中子反应 $[(n, 2n)$ 、 $(n, 3n)$ 等反应]对结果有一定的影响。鉴于以上特性, 有必要配套开发适用于栅格计算程序 SONG 的多群数据库 (简称为 SONG 多群数据库)。

SONG 多群数据库包含 310 个核素, 能量范围为 0~20 MeV, 群能划分为 293 群, 散射阶数为 1 阶。文章将从多群数据库的设计、制作、测试 3

收稿日期: 2014-12-01; 修回日期: 2014-12-21

作者简介: 卑 华 (1979—), 男, 工程师, 现从事新概念反应堆堆芯分析研究

个方面分别展开论述,最后给出结论。

1 SONG 多群数据库的设计

1.1 核素表

核素表为多群数据库核素总表,可分为非可燃核素及可燃核素两大类。

1.1.1 非可燃核素 非可燃核素包括冷却剂、慢化剂、结构包壳材料、控制棒及探测器材料(不考虑燃耗)等。

1.1.2 可燃核素 可燃核素分为铀系核素、裂变产物及可燃吸收体 3 类。可燃核素历经中子辐照或者发生衰变反应生成新的可燃核素,这种父代与子代的关系形成燃耗链,确定了燃耗链也就确定了可燃核素。第四代反应堆通常具有较大的卸料燃耗,由于燃耗的加深,一方面铀系核素有可能向更高的超铀核素(Am、Cm、Bk、Cf等)累积,另一方面裂变产物由于俘获及衰变子代的累积使得燃耗链变得更长。此外,熔盐堆由于采用Th-U循环,其燃耗过程与U-Pu体系不一样,需做相应的调整。鉴于上述原因,需要对铀系、裂变产物、可燃吸收体 3 类燃耗链进行优化分析。

燃耗链优化分析采用燃耗计算程序ORIGEN2.1,在全核素链的基础上做减法,剔除短寿命核素和反应性贡献小的核素。铀系链针对Th-U循环及U-Pu循环分别进行优化,并进行合并;裂变产物链采用相似的方法进行优化。可燃吸收体包括Ag-In-Cd、Hf、W等控制棒材料,Sm、Gd、B、Er等可燃毒物材料,V探测器材料,以及Co链中的 ^{59}Co 、 ^{60}Co 。

通过优化,燃耗相关的核素中铀系包含 40 个核素,裂变产物包含 122 个核素,可燃吸收体包含 71 个核素。

1.2 能群结构

SONG 定位为能够处理包括热谱、超热谱、快谱的广谱问题,因此多群数据库在能群结构划分时需要在全能量范围内做细致考虑。一方面需要对重要核素(强吸收体、铀系核素、结构材料、冷却剂等)的共振峰进行刻划,另一方面应尽量保证共振峰的独立,避免不同核素之间共振干涉。

SONG 多群数据库能群划分考虑了钍-铀燃料循环涉及的 ^{232}Th 、 ^{233}U 、 ^{233}Pa 等重要铀系核素,铀-钚燃料循环的 ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Pu 等重要

铀系核素,以及可能作为熔盐堆冷却剂的F、Li、Be等轻核,参考了SHEM-361^[3-5]能群结构划分,形成SONG多群数据库293群能群结构。

1.3 共振参数

SONG 栅格程序采用基于等价理论的共振计算方法,需要数据库提供核素的共振积分插值表。共振积分插值表为不同能群的共振截面与背景截面、温度的对应表。

由于能量自屏效应,共振核素的共振截面随背景截面发生变化,其中变化显著的能量段称为共振能量段。不同核素的共振能量范围是不一致的,而常见的多群数据库,其共振能量范围均是固定的。SONG 多群数据库对于单个核素采用独立的共振能量范围,一方面可以降低总的共振数据量,另一方面能够更好地描述某些核素(如Fe同位素)在 高能或低能段存在的共振效应。

1.4 反应通道

散射处理方面考虑轻水、重水、聚乙烯、氧化铍、石墨、氯化锆以及氧化铀中氧的非相干热化效应,并给出勒让德 0 阶(P0)及 1 阶(P1)散射矩阵及截面;其他核素采用自由气体模型,只给出经过 P1 修正的散射矩阵及截面;所有散射矩阵,除了考虑弹性、非弹性散射,还考虑了(n, 2n)、(n, 3n)反应的贡献。为了平衡中子,需要对散射截面进行调整。

吸收截面应考虑(n, γ)、(n, f)、(n, p)、(n, d)、(n, T)、(n, α)等反应;裂变截面为总裂变截面,包括一次裂变、二次裂变等;裂变中子数及裂变谱考虑了瞬发裂变及子代缓发释放的中子。SONG 多群数据库对需要考虑辐照损伤效应的材料(Fe、Zr等核素)增加了离位损伤(DPA)截面。

燃耗相关的反应通道除了裂变截面外,还包括消失截面、俘获截面、(n, 2n)截面、(n, 3n)截面。

另外,SONG 多群数据库还为堆芯计算程序提供缓发中子谱、缓发中子份额等通道。

2 SONG 多群数据库的制作

2.1 评价核数据文件

评价核数据文件(ENDF)是数据制作的基础。目前美国、日本、俄罗斯、中国以及欧洲均拥有自己的评价数据库,不同库之间差别较大。本文采用ENDF-B/VII.0作为评价数据库输入。

2.2 基础库制作

基础库是最终产品多群数据库的前身，利用核数据加工程序 NJOY^[6]对 ENDF 评价数据进行加工，产生基础库。

本文采用 MATXS 格式作为基础库的输出格式，MATXS 格式具有可扩展性、全面性、通用性、完备性、紧凑性、高效性等优势。

本文编写了核数据辅助加工程序 RUNBAT，根据用户提供的核素清单及处理要求(温度点值、背景截面点值、共振处理开关、高阶散射处理开关等)，自动准备 NJOY 程序输入控制文件并调用运行 NJOY 程序，逐个生成核素清单中每个核素 MATXS 格式的多群微观截面数据文件。

2.3 多群数据库制作

多群数据库是基于基础库进一步制作生成的可供组件程序使用的数据库，制作过程如下：

数据结构的调整：使其更方便栅格程序的调用；

数据的中间处理：剔除大量冗余数据，并将中间通道数据转换为目标通道数据；采用去零数据压缩及二进制输出，减少存储量，提高读取效率。

多群数据库制作采用多群数据库管理程序 MANLIB^[7]，实现了数据库构造、数据库修改、衍生库制作、数据访问等功能，不同功能通过读取用户输入或外部库文件实现，具体流程见图 1。

3 多群数据库测试

为了测试并验证数据库数据的可靠性，利用

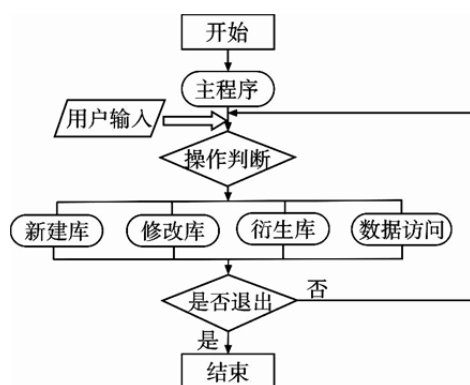


图 1 MANLIB 程序流程

Fig. 1 Flow Chart of MANLIB

SONG，分别对压水堆 UO₂ 燃料/正方栅格及快堆 UPuZr 燃料/六角形栅格燃耗问题进行求解，并将结果与 HELIOS 程序及 MVP-BURN 程序进行对比。对比结果表明，3 种程序计算的燃耗反应性曲线基本一致，SONG 多群数据库数据可靠，达到初步测试要求。

4 结束语

SONG 多群数据库开发基本完成，该库从设计的角度充分考虑了新型反应堆在燃料、结构材料、冷却剂、慢化剂、能谱、燃耗深度方面的特性。为了便于多群数据库的制作、管理和维护，开发的批量处理程序 RUNBAT 及管理维护程序 MANLIB 其功能也得到实现。针对多群数据库初步测试的结果表明，数据库具备一定的可靠性，但仍有大量细化工作需要进一步展开。

参考文献：

- [1] 司胜义, 陈其昌, 赵金坤, 等. SONG—多功能栅格物理程序概述[C]. 第15届反应堆数值计算与粒子输运学术会议暨2014年反应堆物理会议, 成都.
- [2] 陈其昌, 司胜义, 赵金坤, 等. SONG-输运模块程序开发[C]. 第15届反应堆数值计算与粒子输运学术会议暨2014年反应堆物理会议, 成都.
- [3] Hfaiedh N, Santamarina A. Determination of the optimized SHEM mesh for neutron transport calculations[C]. Conference on Mathematics and Computation M&C 2005, Avignon, France.
- [4] Hebert A, Santamarina A. Refinement of the santamarina-hfaiedh energy mesh between 22.5eV and 11.4 keV[C]. International Conference on Reactor Physics, Interlaken, Switzerland, 2008.
- [5] Hfaiedh N. Nouvelle methodologie de calcul de l’Absorption(in French)[D]. Strasbourg, France: Louis Pasteur University, 2006.
- [6] MacFarlane R E. RSICC peripheral shielding routine collection : NJOY99.0, Code system for producing pointwise and multigroup neutron and photon crosssections from ENDF/B Data[R]. USA: Oak Ridge National Laboratory, 2000.
- [7] 赵金坤, 司胜义, 陈其昌, 等. SONG—截面库管理程序开发[C]. 第15届反应堆数值计算与粒子输运学术会议暨2014年反应堆物理会议, 成都.

(责任编辑：尚作燕)