

基于 CITATION-ORIGEN2 球床堆 平衡态计算程序的实现

戴明^{1,2}, 朱贵凤^{1,3}, 戴叶^{1,3}, 邹杨^{1,3}, 余笑寒^{1,3}

(1. 中国科学院 上海应用物理研究所, 上海 201800; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院 核辐射与核能技术重点实验室, 上海 201800)

摘要: 基于确定论中子扩散软件 CITATION 和点燃耗软件 ORIGEN2, 编写了球床堆分析程序 COBBLE, 以实现指定燃料球加载策略下的球床堆平衡态燃耗计算。COBBLE 程序采用谱区能谱修正方法, 通过迭代求解得到球床堆堆芯平衡态参数。本文选取简化的球床模块高温气冷堆 (PBMR) 堆芯进行建模, 计算其功率分布及燃耗分布, 并使用基于蒙特卡罗方法的球床堆燃耗计算程序 PBRE 进行了验证与分析。结果表明, COBBLE 程序适用于球床堆的平衡态燃耗计算。

关键词: 球床堆; 平衡态; 燃料球加载策略; 谱区

中图分类号: TL32 文献标志码: A 文章编号: 1000-6931(2017)01-0113-07

doi: 10.7538/yzk.2017.51.01.0113

Burnup Calculation for Equilibrium Cycle of Pebble-bed Reactor with CITATION-ORIGEN2 Codes

DAI Ming^{1,2}, ZHU Gui-feng^{1,3}, DAI Ye^{1,3}, ZOU Yang^{1,3}, YU Xiao-han^{1,3}

(1. Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Key Laboratory of Nuclear Radiation and Nuclear Energy Technology,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract: Pebble-bed reactor analysis code COBBLE was developed by coupling deterministic neutronic calculation code CITATION and depletion code ORIGEN2 for the purpose of searching for equilibrium state of pebble-bed reactor with specified recirculation scheme. The spectra of all zones were calculated to modify the cross sections at different places of the reactor core. The equilibrium cycle was searched by an iteration procedure. A simplified version of pebble-bed modular reactor (PBMR) model with 6-pass random recirculation scheme was referred to as a benchmark test. Power and burnup distributions were calculated by COBBLE and compared with those obtained by PBRE code based on Monte Carlo neutronic transport program. Results show that COBBLE is suitable to analyze the equilibrium cycle of pebble-bed reactor.

收稿日期: 2016-03-17; 修回日期: 2016-05-06

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项资助项目 (XDA02010200)

作者简介: 戴明 (1988—), 男, 湖南常德人, 博士研究生, 核技术及应用专业

Key words: pebble-bed reactor; equilibrium cycle; recirculation scheme; spectrum zone

球床堆中球形燃料元件在堆芯活性区堆积成多孔的球床,冷却剂在球床孔隙中流动带走热量,燃料球的流动性使得在线换料方案可行。如果以某种燃料球加载策略稳定运行,球床堆堆芯将达到燃耗分布不随时间改变的平衡状态。平衡态的研究可用于优化球床堆的堆芯燃料管理。

球床堆采用石墨基质球形燃料元件,其堆芯燃料管理计算方法与压水堆的存在差别。主要表现在3个方面:1)球形燃料采用石墨慢化,中子徙动长度约达到燃料球直径的4倍,球床堆中的燃料球能谱受环境影响很大^[1];2)在线换料模式下活性区某处同时存在不同通过次数的燃料,燃料球的环境存在多样性和不确定性^[2-3];3)在线换料的特性决定了其燃耗计算具有空间和时间耦合效应。所以,球床堆燃料管理计算需采用不同于压水堆中已成熟的方法,并要求能准确计算堆芯功率分布和流动的燃料球在堆芯内的燃耗分布。

堆芯功率分布计算需要准确的少群截面,栅元计算只能提供无泄漏条件下的均匀化少群截面,在球床堆中一般采用谱区能谱修正方法^[1-3]。另外,由于在线换料使得谱区内同时存在不同通过次数的燃料,有效均匀化截面计算需采用加工高维度多群截面库^[4]或在线加工方法^[5]。燃料球在堆芯流动时的燃耗计算模型一般分为时空分离方法^[4]或平衡态搜索方法^[5-6]。平衡态搜索方法跳过对球床堆过渡态的模拟,能更快速得到堆芯平衡态相关物理参数。

本研究利用确定论软件 SRAC^[7]、CITATION^[7]和 ORIGEN2^[8],编写耦合程序 COBBLE,以实现球床堆在指定燃料球加载策略下的平衡态计算。基于 CITATION 的谱区能谱修正方法,设计 ORIGEN2 对流动燃料球燃耗的计算模型。最后使用基于蒙特卡罗方法的球床堆燃耗计算程序 PBRE^[6]进行验证与分析。

1 基础程序及工具介绍

COBBLE 基于 SRAC、CITATION 和 ORIGEN2 等程序,采用 SHELL 脚本完成程序间的

计算流程设计。SRAC 为 LINUX 系统下适用于各种热中子堆的中子学计算软件,包括多种输运计算和扩散计算程序模块。CITATION 为多维扩散计算程序,支持零维到三维多种几何模型,采用细网有限差分法求解中子扩散方程。ORIGEN2 是美国橡树岭国家实验室开发的计算放射性材料产生、衰变及处理的软件,它采用矩阵指数法求解耦合的常系数线性常微分方程组系统。SHELL 编程中 AWK 工具是一种模式扫描和处理语言,它的很多结构来自 C 编程语言,处理时不区分数字和文本,具有强大的关联数组功能。

2 COBBLE 程序设计思路

COBBLE 程序设计核心思路是在功率分布和燃耗分布都不随时间改变的平衡态假设下,耦合迭代求解中子扩散方程和燃耗方程。

2.1 主要假设与总体计算流程

COBBLE 计算过程中所做的假设和处理方法有:1)可将堆芯划分为不同谱区,谱区成分及截面为谱区内所有燃料球的平均值,即进行空间离散化和将不同通过次数的燃料球平均化处理,忽略同一谱区内不同通过次数燃料球的能谱差异;2)燃料球流动为沿流道的不可压缩的活塞流^[5],球床堆积率保持不变,流道间不混流,滞留时间可由谱区体积及谱区所在流道的燃料球流量计算得到;3)依靠调节燃料球流量维持堆芯临界状态;4)达到平衡态的堆芯功率分布和燃耗分布不随时间变化。

COBBLE 总体计算流程如图 1 所示。首先对平衡态谱区核素成分估值,SRAC 采取该成分进行栅元计算并得到栅元均匀化截面,CITATION 采用谱修正方法得到各谱区截面和通量。流动燃耗计算得到谱区平均成分,并反馈到栅元计算和堆芯扩散计算。这样经过若干迭代过程后,堆芯将收敛至平衡态, k_{eff} 、功率分布及燃耗分布都将收敛。COBBLE 选择 k_{eff} 作为平衡态收敛判据,并采用正相关法^[6]修正堆芯总流量使得平衡态 k_{eff} 达到临界。

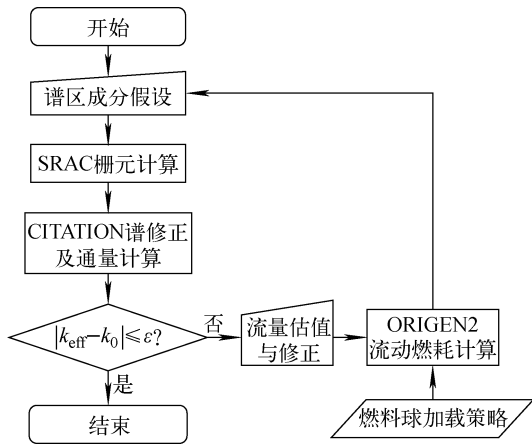


图1 COBBLE 总体计算流程

Fig. 1 Flow chart of COBBLE calculation

2.2 SRAC 栅元计算模块

该模块选取谱区内不同通过次数燃料的平均成分进行栅元计算,并得到栅元均匀化的燃料球多群常数和核素有效微观截面。本文采取两步法处理燃料球栅元的双重非均匀性,即先计算燃料球内燃料区的包覆颗粒 (TRISO) 栅元的均匀化截面,再计算燃料球栅元的均匀化截面。TRISO 栅元截面在超热能区^[9]和热能区分别计算。

2.3 CITATION 谱修正及通量计算模块

图2为CITATION谱修正及通量计算流程图。首先对曲率进行估值,并采用多群宏观

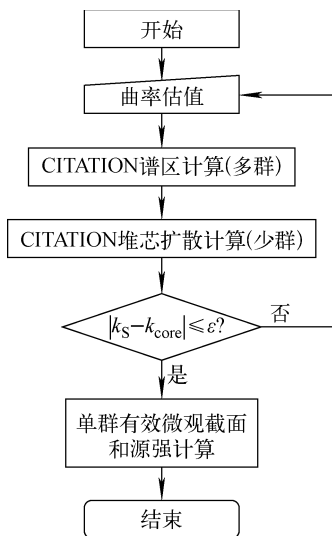


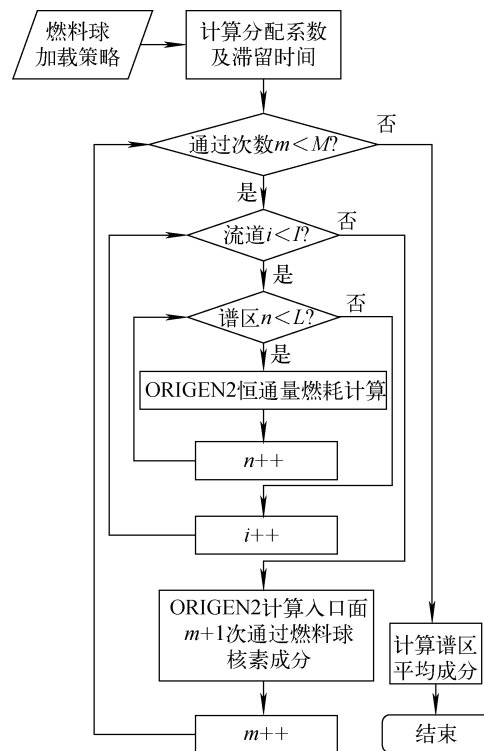
图2 CITATION 截面计算流程图

Fig. 2 Flow chart of CITATION cross section calculation

截面进行谱区能谱计算。CITATION 谱区计算模型为全反射边界条件下给定曲率的一维均匀化材料模型。谱区能谱计算得到修正的多群能谱和该能谱下并群得到的少群宏观截面,该少群宏观截面用于 CITATION 堆芯扩散计算,并计算谱区在堆芯内的曲率^[3]。该曲率反馈到谱区能谱计算中,这样在谱区能谱计算与堆芯扩散计算之间需要反复迭代。堆芯扩散计算得到反应堆有效增殖因数 k_{core} ,同一系统内每个网格点都满足中子扩散方程,所以每个谱区的有效增殖因数 k_S 均应等于 k_{core} 。如果不相等,说明谱区能谱计算所使用的曲率与该谱区在堆芯内的曲率不匹配,需要进一步迭代计算来修正曲率,直到所有燃料谱区的有效增殖因数 k_S 收敛于堆芯的 k_{core} 。

2.4 ORIGEN2 流动燃料计算模块

该模块实现在指定燃料球加载策略下的流动燃料球燃料计算,其计算流程如图3所示。本文使用再循环分配系数^[5]来描述燃料球在堆内的流动特性及加载策略。为了得到堆芯燃料



M 为总通过次数; I 为流道数; L 为流道 i 内谱区数

图3 ORIGEN2 指定燃料球加载策略下燃料计算流程图

Fig. 3 Flow chart of ORIGEN2 depletion calculation in specified recirculation scheme

分布,采用假设 2 将燃料球燃耗当成一种不可压缩的流体进行处理。由流体的连续性方程,可得:

$$\frac{\partial B(\mathbf{r},t)}{\partial t} = G(\mathbf{r},t) - \nabla \cdot (B(\mathbf{r},t) \cdot \mathbf{v}(\mathbf{r},t)) \quad (1)$$

式中: B 为燃耗; G 为燃耗产生率(即截面与通量的乘积); \mathbf{v} 为流动速度。

在假设 4 下,式(1)左边为零。为方便推导,取流动速度为沿轴方向常量,即:

$$\mathbf{v} = \omega \mathbf{z} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)并沿轴向积分,有:

$$B(x,y,z) = B_0(x,y) + \frac{1}{\omega} \int_{z'=0}^z G(x,y,z') dz' \quad (3)$$

式中, B_0 为入口面(如堆芯顶部)燃耗分布。在已知入口面边界 B_0 的情况下,堆芯内的燃耗分布便可由式(3)计算。假设 1 中堆芯在空间上被离散为不同谱区,每个流道由谱区组成。对流道 i 内第 m 次通过的燃料球的燃耗计算,将式(6)离散化,有:

$$B_{m,i,S}(z) = B_{m,i,S,inlet} + \frac{A}{\omega} \int_{z'=0}^z \left(\sum_j Q_j N_{j,S,m} \bar{\sigma}_{j,t,S} \right) \phi_S dz' \quad (4)$$

式中: A 为归一化因子; j 表示铀系核素类型; Q 为裂变产能; N 为核素原子浓度; $\bar{\sigma}_t$ 为核素均匀化有效单群裂变截面; $B_{m,i,S,inlet}$ 为第 m 次通过的燃料球在流道 i 内谱区 S 入口面处的燃耗,它取决于谱区所在的位置。如果该谱区不是位于流道入口,则它等于同一流道内前面谱区出口面燃耗,否则它与燃料球加载策略有关。式(4)右边第二项计算燃耗产生率时,核素成分的平均微观截面及归一化通量密度在谱区内为恒定值,可将其对空间积分等价于对时间积分,这样该项可用 ORIGEN2 进行恒通量燃耗计算得到。由式(4)得到的燃耗分布在反馈到栅元计算及堆芯扩散计算时,需要根据燃料球加载策略进行均匀化处理。

3 计算与验证

计算模型为简化的 PBMR(球床模块高温气冷堆)堆芯^[10-11]。本文使用 COBBLE 和 PBRE 程序对在 6 次通过再循环随机分布燃料

球加载策略下简化的 PBMR 堆芯进行了临界平衡态燃耗计算,对平衡态功率分布及燃耗分布进行了比较。计算时选取全新料装载堆芯为初始估值,并对全新料装载堆芯的功率分布及指定的谱区能谱进行了对比。PBRE 为蒙特卡罗软件与点燃耗软件耦合的球床堆平衡态燃耗计算软件,本文以该软件计算结果作为参考结果。

3.1 计算模型

简化的 PBMR 堆芯只含有圆柱形的活性区及径向与轴向的反射层,反应堆活性区高 10 m,直径 3 m,径向分为 5 个流道,轴向再分为 10 个节块, $r-z$ 几何堆芯模型如图 4 所示,堆芯的相关参数如表 1 所列。径向流道的流量为均一分布。再循环球与添加的新球在堆芯入口处是随机分布的。堆芯扩散计算采用 4 群能群结构(1.86 eV、29 eV、0.1 MeV、10 MeV)。

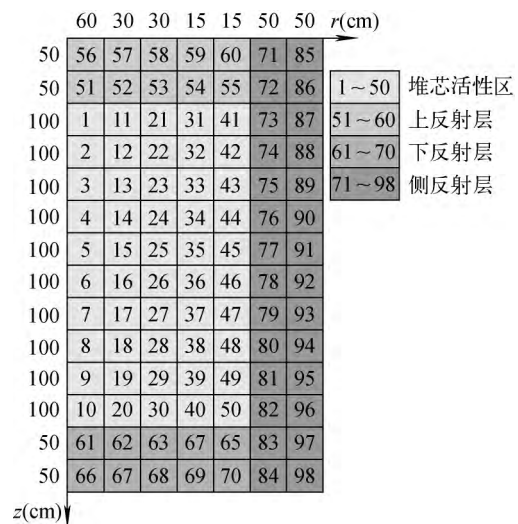


图 4 简化的 PBMR 堆芯模型
Fig. 4 Simplified version of PBMR core model

3.2 全新料装载堆芯功率分布比较

COBBLE 对全新料堆芯功率分布的计算结果与作为参考解的 PBRE 计算结果的比较如图 5 所示,其中 COBBLE-N 为未采用谱修正的模型。计算结果显示,采用谱修正后结果改善明显,有效增殖因数与 PBRE 结果相比由偏低 460 pcm 变为偏低 70 pcm,节块功率的最大差异由 -6.37% 变为 0.89%。这说明,本文所采用的处理双重非均匀性的栅元计算方法和谱修正方法可行。

表1 简化的 PBMR 堆芯模型参数

Table 1 Parameters of simplified version of PBMR model

包覆颗粒燃料参数	数值	燃料球参数	数值	堆芯参数	数值
燃料颗粒半径	250 μm	燃料区域直径	5.0 cm	功率	200 MW
UO ₂ 密度	10.4 g/cm ³	燃料球直径	6.0 cm	活性区半径	150 cm
²³⁵ U 含量	9.6%	燃料球填充因子	61%	活性区高度	1 000 cm
包覆层材料	PrC/PyC/SiC/PyC	石墨壳密度	1.74 g/cm ³	径向反射层厚度	100 cm
包覆层厚度	95/40/35/40 μm	石墨壳温度	857.79℃	轴向反射层厚度	100 cm
包覆层密度	1.05/1.9/3.18/1.9 g/cm ³	平均氦气温度	766.74℃	反射层石墨密度	1.74 g/cm ³
包覆颗粒填充因子	9.34%			上反射层温度	488.1℃
石墨基体密度	1.74 g/cm ³			径向反射层温度	766.74℃
燃料颗粒温度	876.08℃			底反射层温度	997.3℃
包覆层及石墨基体温度	857.79℃			径向流道外半径	60/90/120/135/150 cm

0.676	0.634	0.588	0.584	0.651	PBRE($k_{eff}=1.32638$) COBBLE ($k_{eff}=1.32568$)-PBRE COBBLE-N ($k_{eff}=1.32175$)-PBRE
-0.76%	-0.89%	-0.78%	-0.42%	-0.46%	
-0.87%	-1.02%	-1.12%	-2.09%	-4.85%	
0.881	0.834	0.788	0.801	0.919	
0.09%	-0.26%	-0.26%	0.26%	0.15%	
1.81%	1.31%	0.86%	-0.73%	-5.03%	
1.095	1.037	0.980	0.998	1.144	
0.09%	-0.22%	-0.18%	0.41%	0.27%	
2.77%	2.26%	1.70%	-0.33%	-5.60%	
1.244	1.179	1.115	1.136	1.303	
0.35%	-0.10%	-0.12%	0.52%	0.36%	
3.77%	3.07%	2.35%	0.01%	-5.97%	
1.324	1.256	1.118	1.209	1.386	
0.43%	-0.15%	-0.18%	0.55%	0.49%	
4.25%	3.39%	2.61%	0.16%	-6.08%	
1.327	1.257	1.191	1.213	1.390	
0.60%	0.10%	-0.09%	0.58%	0.48%	
4.42%	3.64%	2.70%	0.18%	-6.12%	
1.260	1.193	1.129	1.149	1.319	
0.02%	-0.32%	-0.38%	0.33%	0.04%	
3.46%	2.86%	2.10%	-0.20%	-6.37%	
1.112	1.053	0.996	1.014	1.164	
0.42%	-0.02%	0.01%	0.60%	0.42%	
3.12%	2.47%	1.90%	-0.18%	-5.59%	
0.906	0.858	0.811	0.825	0.946	
0.22%	-0.21%	-0.25%	0.23%	0.14%	
1.96%	1.39%	0.88%	-0.81%	-5.20%	
0.704	0.660	0.612	0.606	0.677	
0.00%	-0.26%	-0.21%	0.16%	0.04%	
-0.13%	-0.41%	-0.58%	-1.60%	-4.57%	

图5 全新料装载堆芯功率分布

Fig. 5 Power distribution of fresh fuel core

图6为全新料装载堆芯中谱区1、5和41的能谱计算与PBRE的比较。谱区1靠近上反射层,谱区5位于堆芯活性区中心,而谱区41同时与上反射层和侧反射层相邻。由图可知,堆芯内不同谱区能谱差异明显,靠近反射层谱区能谱较堆芯中心谱区能谱更软,对于未采用谱修正的COBBLE-N模型,其靠近反射层谱区功率密度便会明显偏低。图7为堆芯活性区600 cm高度下中子通量密度径向分布对比。由图可知,采用谱修正后热群(<1.86 eV)和超

热能群(1.86~29 eV)的中子通量密度有明显改善。COBBLE得到的谱区能谱及指定高度下的通量分布与PBRE结果符合很好,进一步说明了谱修正方法对球床堆计算的有效性。

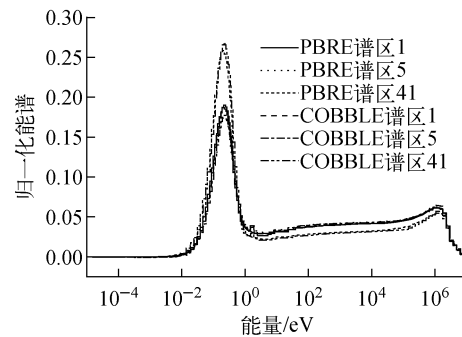


图6 全新料装载堆芯不同位置谱区能谱对比
Fig. 6 Spectra comparison of different spectrum zones for fresh fuel core

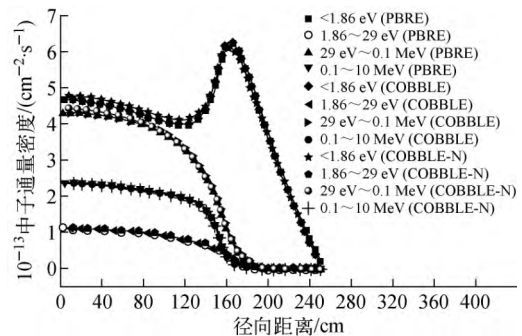


图7 全新料装载堆芯在600 cm高度下
径向中子通量密度分布

Fig. 7 Flux distribution at height of 600 cm for fresh fuel core

3.3 6次通过再循环随机分布策略下堆芯功率及燃耗分布比较

图8为6次通过再循环随机分布策略下临界平衡态堆芯功率分布对比。由图可知,6次通过再循环随机分布策略下堆芯平衡态功率峰向顶部偏移,COBBLE结果与PBRE结果相比能够符合,两者相对于平均功率密度的最大差异为3.15%。该最大差异较全新料装载下变大的原因与燃耗计算有关。COBBLE在燃耗计算时根据核素的中子吸收份额比例选取了37个铀系核素及89个裂变产物,这与PBRE的选取基本一致,但COBBLE计算时使用的截面库加工于JENDL-3.3,而PBRE使用的截面库加工于ENDF/B-VII,由图9易知,不同的评价数据库会对燃耗产生一定的影响。

1.700 0.52%	1.611 -0.29%	1.517 -0.33%	1.524 0.54%	1.707 0.98%	PBRE($k_{eff}=1.00029$) COBBLE ($k_{eff}=0.99992$)-PBRE
1.765 2.85%	1.686 2.55%	1.622 2.11%	1.669 2.70%	1.889 3.15%	
1.683 2.40%	1.614 1.88%	1.551 1.68%	1.583 1.84%	1.756 1.82%	
1.441 1.41%	1.385 0.75%	1.331 0.41%	1.348 0.32%	1.471 -0.02%	
1.160 -0.06%	1.114 -0.49%	1.069 -0.75%	1.077 -0.94%	1.157 -0.13%	
0.892 -0.34%	0.858 -0.74%	0.824 -1.01%	0.824 -1.16%	0.877 -1.45%	
0.676 -1.04%	0.649 -1.19%	0.622 -1.32%	0.620 -1.39%	0.656 -1.86%	
0.498 -0.68%	0.479 -0.93%	0.458 -0.95%	0.454 -0.92%	0.478 -1.22%	
0.359 -0.32%	0.345 -0.48%	0.331 -0.74%	0.328 -0.87%	0.343 -1.02%	
0.274 -0.46%	0.259 -0.52%	0.242 -0.60%	0.232 -0.68%	0.234 -0.72%	

图8 6次通过再循环随机分布策略下临界平衡态堆芯功率分布对比

Fig. 8 Power distribution of critical equilibrium core with 6-pass random recirculation scheme

图10、11示出COBBLE与PBRE计算的6次通过策略下平衡态堆芯轴向燃耗分布及各流道出口燃耗分布的比较。堆芯燃耗在轴向分布显示了燃料球6次通过堆芯时燃耗逐渐累积过程,各流道出口燃耗分布体现燃料球径向燃耗差异,由图可知,不同通过次数燃料的燃耗分布都符合良好。轴向燃耗分布最大相对偏差为1.54%,流道出口燃耗分布的最大偏差为0.92%。PBRE计算得到的临界平衡态堆芯总流量为1220.1燃料球/天,COBBLE的结果为1218.7燃料球/天,相对偏差为0.12%。以上

结果表明,本文所采用的ORIGEN2流动燃耗计算设计方案能处理空间与时间耦合的不同燃耗历史下流动燃料球燃耗计算。

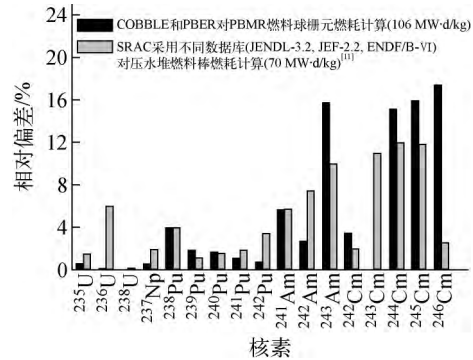


图9 栅元燃耗计算末期核素成分对比

Fig. 9 Comparison of number densities of evaluated nuclides at end of lattice burnup calculation

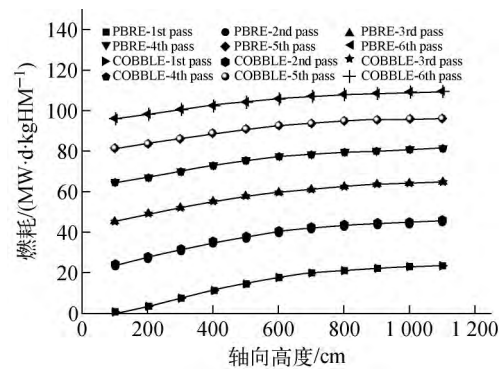


图10 流道平均堆芯燃耗的轴向分布对比

Fig. 10 Channel averaged burnup distribution in different axial heights

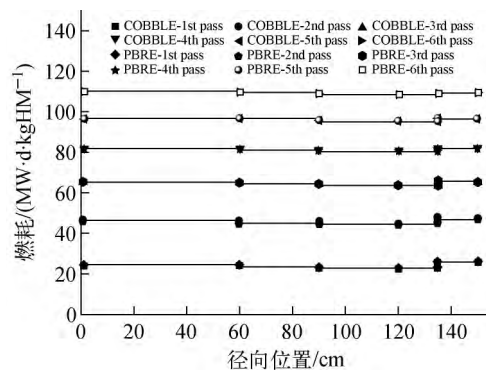


图11 各流道出口燃耗分布对比

Fig. 11 Burnup distribution in exit of all channels

4 小结

本研究采用 SHELL 脚本编写了基于确定论方法的球床堆平衡态搜索程序 COBBLE。COBBLE 实现了基于 CITATION 的谱区能谱修正方法和基于再循环分配系数燃料球加载策略描述方法的 ORIGEN2 流动燃耗计算设计。对 COBBLE 程序进行了计算验证,与 PBRE 相比,COBBLE 能准确得到流动球床堆在指定燃料球加载策略下的临界堆芯燃料球总流量、功率分布及燃耗分布,表明 COBBLE 适用于对球床堆进行平衡态搜索。

参考文献:

- [1] MPHAAHLELEA R, OUGOUAGB A M, DE-HAASJ B M, et al. Spectral zone selection methodology for pebble bed reactors[J]. *Annals of Nuclear Energy*, 2011, 38(1): 80-87.
- [2] HUDSON N H. The correction of pebble bed reactor nodal cross sections for the effects of leakage and depletion history[D]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2006.
- [3] HUDSON N H, OUGOUAG A M, RAHNE-MA F, et al. A pebble bed reactor cross section methodology[J]. *Annals of Nuclear Energy*, 2009, 36(1): 1 138-1 150.
- [4] RÜTTEN H J, HAAS K A. VSOP (99/05) computer code system for reactor physics and fuel cycle simulation[R]. Jülich: Forschungszentrum Jülich, 2005.
- [5] GOUGAR H D. Advanced core design and fuel management for pebble-bed reactors[D]. US: Pennsylvania State University, 2004.
- [6] 朱贵凤,邹杨,李明海,等. 球床堆平衡态燃耗计算程序的开发[J]. *原子能科学技术*, 2015, 49(5): 890-896.
- ZHU Guifeng, ZOU Yang, LI Minghai, et al. Development of burnup calculation code for pebble-bed high temperature reactor at equilibrium state[J]. *Atomic Energy Science and Technology*, 2015, 49(5): 890-896(in Chinese).
- [7] OKUMURA K, KUGO T, KANEKO K, et al. SRAC2006: A comprehensive neutronics calculation code system[R]. Ibarakiken: Japan Atomic Energy Agency, 2007.
- [8] CROFF A G. A user's manual for the ORIGEN2 computer code[R]. USA: Oak Ridge National Laboratory, 1980.
- [9] 戴明,朱贵凤,戴叶,等. 氟盐冷却球床堆球栅元少群截面计算[J]. *原子能科学技术*, 2015, 49(增刊): 65-71.
- DAI Ming, ZHU Guifeng, DAI Ye, et al. Generation of few-group cross sections for pebble-bed fluoride-salt-cooled high-temperature reactors[J]. *Atomic Energy Science and Technology*, 2015, 49(Suppl.): 65-71(in Chinese).
- [10] GOUGAR H D, REITSMA F, JOUBERT W. A comparison of pebble mixing and depletion algorithms used in pebble-bed reactor equilibrium cycle simulation[C]//International Conference on Mathematics Computational Methods & Reactor Physics (M&C 2009). La Grange Park: ANS, 2009.
- [11] OKUMURA K, UNESAKI H, KITADA T, et al. Benchmark results of burn-up calculation for LWR next generation fuels[C]//Proceedings of the Physics of Reactors 2002. La Grange Park: ANS, 2002.