



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103617351 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 20

(21) 申请号 201310581679. 3

CN 1684203 A, 2005. 10. 19, 权利要求 1-12,

(22) 申请日 2013. 11. 19

说明书摘要.

CN 103117100 A, 2013. 05. 22, 全文.

(73) 专利权人 国核(北京)科学技术研究院有限公司

审查员 林亮亮

地址 102209 北京市昌平区北七家镇定泗路
北侧雅安商厦 C 号 4 层 401 室

(72) 发明人 胡啸宇 刘占权 陈义学 王常辉
王苏 闫宇航

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 王波波

(51) Int. Cl.

G06F 19/00(2011. 01)

(56) 对比文件

CN 103150424 A, 2013. 06. 12, 权利要求
1-4, 说明书摘要, 说明书 0193 段-0416 段.

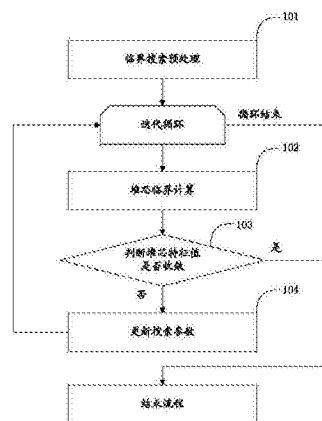
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

搜索堆芯临界成分的方法及系统

(57) 摘要

公开了一种搜索堆芯临界成分的方法和系统。在该方法中,根据初始搜索参数值和搜索斜率确定特征值指标、燃耗指标、和/或收敛指标;基于初始搜索参数值进行迭代计算,得到最新的堆芯特征值;在所计算的堆芯特征值不满足收敛指标的情况下,使用特征值指标、燃耗指标、和/或收敛指标确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值;以及使用确定的临界成分搜索倍增因子的值进行下一次迭代搜索,直到确定堆芯临界成分。利用上述实施例的方案,在搜索过程中使用了临界搜索倍增因子,使得临界成分的搜索加速收敛,减少了程序的计算时间。



1. 一种搜索堆芯临界成分的方法, 包括步骤:

根据初始搜索参数值和搜索斜率确定特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} ;

基于初始搜索参数值进行迭代计算, 得到最新的堆芯特征值;

在所计算的堆芯特征值不满足收敛指标的情况下, 使用特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} 确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值; 以及

使用确定的临界成分搜索倍增因子的值进行下一次次迭代搜索, 直到确定堆芯临界成分,

其中确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的步骤包括:

对于反应堆寿期初工况, 如下确定第 k 次搜索的临界搜索倍增因子的值:

$$f^{(k)} = \begin{cases} b_1, & I_{keff} > 100 \\ b_2, & 10 < I_{keff} < 100 \\ b_3, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, b_1 、 b_2 、 b_3 为系数, 根据特征值指标 I_{keff} 的大小而不同,

临界搜索倍增因子的值的取值范围是: $b_1 \in [2.0, 2.5]$, $b_2 \in [1.5, 2.0]$, $b_3 \in [1.0, 1.5]$, 随特征值指标 I_{keff} 的增大而增大, 并且

确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的步骤包括:

对于除反应堆寿期初工况之外的其他工况, 如下确定第 k 次搜索的临界搜索倍增因子的值:

$$\begin{cases} f^{(k)} = f^{(k-1)} - c_1 [\ln(I_{conv}) + 1] \\ f^{(0)} = c_2 [\ln(I_{conv}) + 1] \end{cases}$$

其中, c_1 、 c_2 为系数, 根据燃耗指标 I_{BU} 的大小而不同。

2. 如权利要求1所述的方法, 其中只在第 I_{conv} 次前使用临界搜索倍增因子加速, 当迭代次数大于 I_{conv} 时, 不再使用临界搜索倍增因子。

3. 一种搜索堆芯临界成分的系统, 包括:

根据初始搜索参数值和搜索斜率确定特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} 的装置;

基于初始搜索参数值进行迭代计算, 得到最新的堆芯特征值的装置;

在所计算的堆芯特征值不满足收敛指标的情况下, 使用特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} 确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的装置; 以及

使用确定的临界成分搜索倍增因子的值进行下一次次迭代搜索直到确定堆芯临界成分的装置,

其中确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的装置包括:

对于反应堆寿期初工况, 如下确定第 k 次搜索的临界搜索倍增因子的值的装置:

$$f^{(k)} = \begin{cases} b_1, & I_{keff} > 100 \\ b_2, & 10 < I_{keff} < 100 \\ b_3, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, b_1 、 b_2 、 b_3 为系数, 根据特征值指标 I_{keff} 的大小而不同,

临界搜索倍增因子的值的取值范围是: $b_1 \in [2.0, 2.5]$, $b_2 \in [1.5, 2.0]$, $b_3 \in [1.0, 1.5]$, 随特征值指标 I_{keff} 的增大而增大, 并且

确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的装置包括:

对于除反应堆寿期初工况之外的其他工况, 如下确定第 k 次搜索的临界搜索倍增因子的值的装置:

$$\begin{cases} f^{(k)} = f^{(k-1)} - c_1 [\ln(I_{\text{conv}}) + 1] \\ f^{(0)} = c_2 [\ln(I_{\text{conv}}) + 1] \end{cases}$$

其中, c_1 、 c_2 为系数, 根据燃耗指标 I_{BU} 的大小而不同。

搜索堆芯临界成分的方法及系统

技术领域

[0001] 本申请涉及反应堆物理数值模拟领域,具体涉及一种堆芯临界成分搜索的加速收敛方法及其系统。

背景技术

[0002] 在反应堆临界问题的计算中,给定了反应堆堆芯有效增值系数后,反应堆临界成分计算是指:在给定反应堆尺寸条件下,计算燃料成分的富集度或者水中的硼浓度、控制棒或者吸收体(可燃毒物棒等)的数量和位置等,即临界成分搜索。堆芯临界成分搜索属于临界(特征值)搜索的范畴。

[0003] 临界(特征值)搜索(Criticality(Eigenvalue)Search)技术是指搜索某个参数使得反应堆堆芯达到临界,即使得堆芯特征值达到某个目标值(通常取1)的技术。这一方法在传统的堆芯物理分析程序中被广泛采用,可以用来搜索的参数有:硼浓度、相对功率水平、堆芯入口温度、堆芯曲率、堆芯压力和控制棒位置等参数。

[0004] 对于上述的某个特定搜索参数 $x^{(k)}$,其对应的第k次搜索的微分价值(搜索斜率) $\rho^{(k)}$ 为:

$$[0005] \quad \rho^{(k)} = \frac{k_{eff}^{(k)} - k_{eff}^{(k-1)}}{x^{(k)} - x^{(k-1)}} \quad (1)$$

[0006] 其中, $x^{(k)}$ 、 $x^{(k-1)}$ 是第k次、第k-1次迭代的搜索参数值, $k_{eff}^{(k)}$ 、 $k_{eff}^{(k-1)}$ 是对应的两个收敛的堆芯特征值。

[0007] 开始搜索时需要用户事先输入初始斜率或采用默认值。因为斜率在迭代过程中要被不断重新计算,初始值不影响计算结果。

[0008] 在斜率、当前数据和目前特征值的基础上,第k+1次迭代的搜索参数可以用下式表示:

$$[0009] \quad x^{(k+1)} = x^{(k)} + \frac{k_{eff}^{target} - k_{eff}^{(k)}}{\rho^{(k)}} \quad (2)$$

[0010] 当搜索出的堆芯特征值满足以下条件时,认为搜索迭代收敛,停止搜索,此时对应的搜索参数值就是所求的临界搜索参数值:

$$[0011] \quad |k_{eff}^{(k)} - k_{eff}^{target}| < \varepsilon^{search} \quad (3)$$

[0012] 其中 ε^{search} 为临界(特征值)搜索收敛准则。

[0013] 超松弛迭代法(Successive Over-Relaxation)是目前解大型线性方程组的一种最常用方法,是高斯-塞德尔(Gauss-Seidel)迭代方法的一种加速方法。

[0014] 对于线性方程组:

$$[0015] \quad Ax=b \quad (4)$$

[0016] 其中A为非奇异矩阵,且 $a_{ii} \neq 0 (i=1,2,\dots,n)$,如果已经得到第k次的迭代量 $x^{(k)}$ 及

第k+1次的迭代量 $x^{(k+1)}$ 的前i-1个分量:

$$[0017] \quad (x_1^{(k+1)}, x_2^{(k+1)}, \dots, x_{i-1}^{(k+1)}) \quad (5)$$

[0018] 在计算 $x_i^{(k+1)}$ 时,先用高斯-塞德尔迭代得到:

$$[0019] \quad \tilde{x}_i^{(k+1)} = \frac{1}{a_{ii}} \left[b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} x_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j^{(k)} \right] \quad (6)$$

[0020] 选取参数 ω ,取

$$[0021] \quad x_i^{(k+1)} = (1-\omega)x_i^{(k)} + \omega\tilde{x}_i^{(k+1)} \quad (7)$$

[0022] 于是有

$$[0023] \quad \begin{cases} x_i^{(k+1)} = (1-\omega)x_i^{(k)} + \frac{\omega}{a_{ii}} \left[b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} x_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j^{(k)} \right], (i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots) \\ \mathbf{x}^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \end{cases} \quad (8)$$

[0024] 其中,参数 ω 叫做松弛因子。当 $\omega=1$ 时,超松弛迭代法即等价于高斯-塞德尔迭代; $\omega>1$ 时为超松弛迭代; $\omega<1$ 时为低松弛迭代。

[0025] 超松弛迭代的矩阵形式:

$$[0026] \quad B_\omega = (D - \omega L)^{-1} [(1-\omega)D + \omega U] \quad (9)$$

[0027] 其中:D为对角矩阵,L为单位下三角矩阵,U为上三角矩阵。

[0028] 根据收敛定理,超松弛迭代收敛的充分必要条件是 $\rho(B_\omega)<1$,充分条件是 $\|B_\omega\|<1$,由此可以推出超松弛迭代法的收敛必要条件是 $0<\omega<2$ 。

发明内容

[0029] 本申请的目的是提供一种堆芯临界成分搜索方法及其系统,其能够使得临界成分的搜索加速收敛,减少了程序的计算时间。

[0030] 在申请的一个方面,提出了一种搜索堆芯临界成分的方法,包括步骤:根据初始搜索参数值和搜索斜率确定特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} ;基于初始搜索参数值进行迭代计算,得到最新的堆芯特征值;在所计算的堆芯特征值不满足收敛指标的情况下,使用特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} 确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值;以及使用确定的临界成分搜索倍增因子的值进行下一次次迭代搜索,直到确定堆芯临界成分。

[0031] 优选地,确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的步骤包括:对于反应堆寿期初工况,如下确定第k次搜索的临界搜索倍增因子的值:

$$[0032] \quad f^{(k)} = \begin{cases} b_1, & I_{keff} > 100 \\ b_2, & 10 < I_{keff} < 100 \\ b_3, & \text{其他} \end{cases}$$

[0033] 其中, b_1 、 b_2 、 b_3 为系数,根据特征值指标 I_{keff} 的大小而不同。

[0034] 优选地,临界搜索倍增因子的值的取值范围是: $b_1 \in [2.0, 2.5]$, $b_2 \in [1.5, 2.0]$, b_3

$\in [1.0, 1.5]$, 随特征值指标 I_{keff} 的增大而增大。

[0035] 优选地, 确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的步骤包括:

[0036] 对于除反应堆寿期初工况之外的其他工况, 如下确定第 k 次搜索的临界搜索倍增因子的值:

$$[0037] \quad \begin{cases} f^{(k)} = f^{(k-1)} - c_1 [\ln(I_{\text{conv}}) + 1] \\ f^{(0)} = c_2 [\ln(I_{\text{conv}}) + 1] \end{cases}$$

[0038] 其中, c_1 、 c_2 为系数, 根据燃耗指标 I_{BU} 的大小而不同。

[0039] 优选地, 只在第 I_{conv} 次前使用临界搜索倍增因子加速, 当迭代次数大于 I_{conv} 时, 不再使用临界搜索倍增因子。

[0040] 在本申请的另一个方面, 提出了一种搜索堆芯临界成分的系统, 包括: 根据初始搜索参数值和搜索斜率确定特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} 的装置; 基于初始搜索参数值进行迭代计算, 得到最新的堆芯特征值的装置; 在所计算的堆芯特征值不满足收敛指标的情况下, 使用特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、和/或收敛指标 I_{conv} 确定下一次迭代所用的临界成分搜索倍增因子的值的装置; 以及使用确定的临界成分搜索倍增因子的值进行下一次迭代搜索直到确定堆芯临界成分的装置。

[0041] 利用上述实施例的方案, 在搜索过程中使用了临界搜索倍增因子, 使得临界成分的搜索加速收敛, 减少了程序的计算时间。

附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案, 下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍, 显而易见地, 对于本领域普通技术人员而言, 在不付出创造性劳动性的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0043] 图1是临界(特征值)搜索的示意性流程图;

[0044] 图2是计算特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、收敛指标 I_{conv} 等参数的示意性流程图;

[0045] 图3是应用临界搜索倍增因子更新搜索参数的示意性流程图。

具体实施方式

[0046] 下面将详细描述本发明的具体实施例, 应当注意, 这里描述的实施例只用于举例说明, 并不用于限制本发明。在以下描述中, 为了提供对本发明的透彻理解, 阐述了大量特定细节。然而, 对于本领域普通技术人员显而易见的是: 不必采用这些特定细节来实行本发明。在其他实例中, 为了避免混淆本发明, 未具体描述公知的结构、电路、材料或方法。

[0047] 在整个说明书中, 对“一个实施例”、“实施例”、“一个示例”或“示例”的提及意味着: 结合该实施例或示例描述的特定特征、结构或特性被包含在本发明至少一个实施例中。因此, 在整个说明书的各个地方出现的短语“在一个实施例中”、“在实施例中”、“一个示例”或“示例”不一定都指同一实施例或示例。此外, 可以以任何适当的组合和/或子组合将特定的特征、结构或特性组合在一个或多个实施例或示例中。此外, 本领域普通技术人员应当理解, 这里使用的术语“和/或”包括一个或多个相关列出的项目的任何和所有组合。

[0048] 临界(特征值)搜索是堆芯临界问题计算的一个部分, 包含有热工迭代、群常数计

算、三维扩散/输运计算等步骤,因此一次迭代所需要的时间较长。同时当堆芯状态离临界较远的时候,需要搜索的次数更多,这样就延长了整体计算时间。

[0049] 为了满足日益增长的软件计算速度需求,本发明在满足计算精度要求的前提下,在一定的约束条件下可以有效减少临界(特征值)搜索的次数,从而减少程序的计算时间,提升用户体验。

[0050] 1.临界搜索倍增因子基本概念

[0051] 将临界(特征值)搜索的第k+1次的搜索参数表达式改写成:

$$[0052] \quad x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \quad (10)$$

[0053] 其中

$$[0054] \quad \Delta x^{(k)} = \frac{k_{eff}^{target} - k_{eff}^{(k)}}{\rho^{(k)}} \quad (11)$$

[0055] 为搜索参数增量。

[0056] 为了加速收敛,使堆芯目标特征值更快逼近目标特征值,根据超松弛迭代法的基本思想,引入临界搜索倍增因子f,使得第k+1次的搜索参数为:

$$[0057] \quad x^{(k+1)} = x^{(k)} + f \times \Delta x^{(k)} \quad (13)$$

[0058] 2.影响临界搜索速度的因素

[0059] 临界(特征值)搜索的目的就是搜索特定参数,强制使堆芯到达临界状态,因此影响临界搜索速度的因素主要是当前堆芯偏离临界状态的程度和临界搜索的收敛准则。

[0060] 表征堆芯偏离临界状态的程度的一个最常用的参数是堆芯有效增值系数 k_{eff} ,即堆芯特征值。当 $k_{eff}=1$ 时则堆芯处于临界状态;另一个相关的参数是燃耗。若当前状态点的燃耗深度和上一个状态点的燃耗深度相差(ΔBU)较大,则堆芯更易偏移临界状态。

[0061] 临界搜索的收敛准则对临界搜索次数的影响是显而易见的。当收敛准则较高时,迭代结果越难逼近目标值,搜索次数更多;反之亦然。一般工程要求收敛准则在 10^{-4} 数量级。大量实验计算表明,当收敛准则 $\epsilon^{search} < 10^{-4}$ 时,计算精度没有显著提升,计算效率则下降很多。

[0062] 3.临界搜索倍增因子值的确定

[0063] 根据上述影响临界搜索速度的因素,为确定临界搜索倍增因子值,首先引入几个辅助量。为了简化,省略迭代次数上标。

[0064] (1)特征值指标 I_{keff}

[0065] 表示当前堆芯特征值 k_{eff} 与目标特征值 k_{eff}^{target} 差异的量级:

$$[0066] \quad I_{keff} = \frac{|k_{eff} - k_{eff}^{target}|}{10\epsilon^{keff}} \quad (14)$$

[0067] 其中: ϵ^{keff} 为扩散计算中特征值收敛准则。

[0068] (2)燃耗指标 I_{BU}

[0069] 表示当前燃耗增量的大小的度量:

$$[0070] \quad I_{BU} = \begin{cases} 1, & \Delta BU < 500(MWD/TU) \\ 2, & 500 < \Delta BU < 1000(MWD/TU) \\ 3, & \Delta BU > 1000(MWD/TU) \end{cases} \quad (15)$$

[0071] (3)收敛指标 I_{conv}

[0072] 表征当前临界搜索收敛准则大小的度量:

$$[0073] \quad I_{conv} = \begin{cases} 1, & \varepsilon^{search} < 10^{-4} \\ 10^{-4} / \varepsilon^{search} \end{cases} \quad (16)$$

[0074] 这三个辅助参数对确定临界搜索倍增因子值的大小起到约束作用。

[0075] 初始堆芯装料不含有可燃毒物,由于起堆后可燃毒物的累积效应,在寿期初的倍增因子值与其余工况下的值有所区别。对于反应堆寿期初(BOL)工况,由于搜索参数变化较剧烈,第k次搜索的临界搜索倍增因子也可以相对较松:

$$[0076] \quad f^{(k)} = \begin{cases} b_1, & I_{keff} > 100 \\ b_2, & 10 < I_{keff} < 100 \\ b_3, & \text{其他} \end{cases} \quad (17)$$

[0077] 其中: b_1 、 b_2 、 b_3 为系数,根据 I_{keff} 的大小而不同。推荐的取值范围是: $b_1 \in [2.0, 2.5]$, $b_2 \in [1.5, 2.0]$, $b_3 \in [1.0, 1.5]$,随 I_{keff} 的增大而增大。

[0078] 对于其他工况,第k次搜索的临界搜索倍增因子为:

$$[0079] \quad \begin{cases} f^{(k)} = f^{(k-1)} - c_1 [\ln(I_{conv}) + 1] \\ f^{(0)} = c_2 [\ln(I_{conv}) + 1] \end{cases} \quad (18)$$

[0080] 其中: c_1 、 c_2 为系数,根据 I_{BU} 的大小而不同。推荐的取值范围是: $c_1 \in [0.005, 0.02]$, $c_2 \in [0.1, 0.3]$,随 I_{BU} 的增大而增大。

[0081] 需要说明的是, c_1 是一个较小的数值,相当于对上一次迭代值的微小扰动,这样做的目的是为了防止迭代反复在同一个值震荡。

[0082] 当临界搜索启动,第一次开始迭代计算时,必须用初始值来作为搜索参数值,迭代计算堆芯特征值,检查是否收敛。若收敛则退出,否则更新搜索参数值,直到特征值收敛为止。

[0083] 在更新搜索参数时,应用临界搜索加速方法使参数值逼近临界参数值。但是为了数值稳定,只在第 I_{conv} 次前使用临界搜索倍增因子加速,当迭代次数大于 I_{conv} 时,不再使用临界搜索倍增因子。

[0084] 现有临界(特征值)搜索技术没有加速的效果,所需迭代的次数较多,从而使得整体计算时间较长。本发明可以在不影响计算精度的前提下显著加速收敛,整体计算时间可以减少约37%,临界搜索计算时间可以减少约60%。

[0085] 下面以一组测试结果定性说明本发明的效果。测试某电厂压水堆某循环全寿期计算,分别取3组不同的临界搜索收敛准则,测试使用了和未使用本发明的临界搜索次数。比对结果如下表所示:

收敛准则 燃耗点	5×10^{-3}		5×10^{-4}		5×10^{-5}	
	A	B	A	B	A	B
1	4	9	4	11	7	13
2	4	2	5	2	8	3
3	1	1	2	6	6	7
4	1	1	3	6	6	7
5	2	3	2	6	6	7
6	2	1	3	6	5	7
7	2	1	2	6	5	7
8	1	3	2	6	6	7
[0086] 9	2	1	2	6	6	7
10	2	1	2	6	6	7
11	1	3	2	6	6	7
12	2	1	3	6	6	7
13	1	1	3	6	6	7
14	2	1	3	6	6	7
15	1	3	2	5	6	7
16	2	3	3	5	5	7
17	2	3	3	5	6	7
18	3	3	4	5	6	7
平均搜索 次数	1.9	2.3	2.8	5.8	6	7.1

[0087] 注:A为使用了本发明的临界(特征值)搜索次数,B为未使用了本发明的临界(特征值)搜索次数。

[0088] 由上例的比对可以看出,使用了本发明的临界(特征值)搜索次数少于未使用了本发明的临界(特征值)搜索次数。

[0089] 下面提供了一种带有堆芯临界搜索加速收敛方法的临界搜索实施例。

[0090] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请实施例中的技术方案,并使本申请实施例的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本申请实施例中技术方案作进一步详细的说明。

[0091] 图1是临界(特征值)搜索的简单流程图:

[0092] 步骤101:对临界搜索所需要的参数预处理,并计算特征值指标 I_{keff} 、燃耗指标 I_{BU} 、

收敛指标 I_{conv} 等参数,图2是计算这些参数的流程图:

[0093] 步骤201:变量初始化:

[0094] 需要判断用户要求搜索的参数,确定之后针对所要求的参数赋初始值,这些初始值包括初始搜索参数值和搜索斜率。如果在输入文件中用户没有填写对应的初始值,则采用程序内置的默认值;

[0095] 步骤202:计算首次迭代搜索参数值:

[0096] 根据初始搜索参数值和搜索斜率值计算第一次迭代的搜索参数值,为进入搜索迭代循环做准备。

[0097] 步骤203:判断当前燃耗步长:

[0098] 当用户选择采用本申请所述的临界搜索加速收敛方法时,需要根据传入本模块的变量判断当前燃耗节点所对应的燃耗步长;

[0099] 步骤204:根据燃耗步长确定燃耗指标;

[0100] 确定好当前燃耗步长后,根据前文提到的计算过程,根据当前燃耗步长确定燃耗指标 I_{bu} 参数;

[0101] 步骤205:根据前文提到的计算过程及临界搜索收敛准则计算收敛指标 I_{conv} 参数:

[0102] 步骤102:当完成变量初始化后,进入临界搜索迭代循环。在迭代循环内,由于改变了搜索参数值,即改变了堆芯材料成分,需要重新计算堆芯热工水力特性,进而更新少群常数,计算最新的堆芯特征值。该步骤包含热工水力迭代、少群常数更新、三维扩散/输运计算等一系列步骤,这些模块对于核工程及设计人员来说都是较为熟悉的,并且不在本发明所涉及的范围之内,因此不再赘述;

[0103] 步骤103:在计算好新的堆芯特征值之后,需要判断是否满足收敛准则,若满足则退出搜索,否则执行步骤104,继续搜索直到满足收敛准则;

[0104] 步骤104:当不收敛时需要继续对搜索参数进行更新,图3是参数更新的流程图:

[0105] 步骤301:根据前文提到的斜率计算公式,计算下一次迭代搜索参数斜率;

[0106] 步骤302:根据前文提到的搜索参数增量计算公式,计算下一次迭代搜索参数增量;

[0107] 需要指出的是,由于斜率可能较小,根据前文提到的搜索参数增量计算公式,导致增量会较大,这样如果直接增加在上一步的搜索参数值上,会引起迭代的震荡,对程序产生不利后果。为防止此现象发生,通常在程序中设置一定的限制条件,避免过大的增量引起的不稳定。这些限制条件不同的程序有不同的方案,不在本发明所涉及的范围之内,因此也不再赘述;

[0108] 步骤303:判断是否是首次迭代同时当前工况是不是寿期初;

[0109] 步骤304:根据上述判断和之前算好的指标参数以及前文提到的计算过程确定临界搜索倍增因子的值;

[0110] 步骤305:判断当前工况是不是寿期初;

[0111] 步骤306:根据上述判断和之前算好的指标参数以及前文提到的计算过程确定临界搜索倍增因子的值;

[0112] 步骤307:根据上述判断和之前算好的指标参数以及前文提到的计算过程确定临界搜索倍增因子的值;

[0113] 步骤308:更新下一次迭代的搜索参数值。

[0114] 以上的详细描述通过使用示意图和/或示例,已经阐述了搜索堆芯临界成分的方法及系统的众多实施例。在这种示意图和/或示例包含一个或多个功能和/或操作的情况下,本领域技术人员应理解,这种示例中的每一功能和/或操作可以通过各种硬件、软件、固件或实质上它们的任意组合来单独和/或共同实现。在一个实施例中,本发明的实施例所述主题的若干部分可以通过专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)、数字信号处理器(DSP)、或其他集成格式来实现。然而,本领域技术人员应认识到,这里所公开的实施例的一些方面在整体上或部分地可以等同地实现在集成电路中,实现为在一台或多台计算机上运行的一个或多个计算机程序(例如,实现为在一台或多台计算机系统上运行的一个或多个程序),实现为在一个或多个处理器上运行的一个或多个程序(例如,实现为在一个或多个微处理器上运行的一个或多个程序),实现为固件,或者实质上实现为上述方式的任意组合,并且本领域技术人员根据本公开,将具备设计电路和/或写入软件和/或固件代码的能力。此外,本领域技术人员将认识到,本公开所述主题的机制能够作为多种形式的程序产品进行分发,并且无论实际用来执行分发的信号承载介质的具体类型如何,本公开所述主题的示例性实施例均适用。信号承载介质的示例包括但不限于:可记录型介质,如软盘、硬盘驱动器、紧致盘(CD)、数字通用盘(DVD)、数字磁带、计算机存储器等;以及传输型介质,如数字和/或模拟通信介质(例如,光纤光缆、波导、有线通信链路、无线通信链路等)。

[0115] 虽然已参照几个典型实施例描述了本发明,但应当理解,所用的术语是说明和示例性、而非限制性的术语。由于本发明能够以多种形式具体实施而不脱离发明的精神或实质,所以应当理解,上述实施例不限于任何前述的细节,而应在随附权利要求所限定的精神和范围内广泛地解释,因此落入权利要求或其等效范围内的全部变化和改型都应随附权利要求所涵盖。

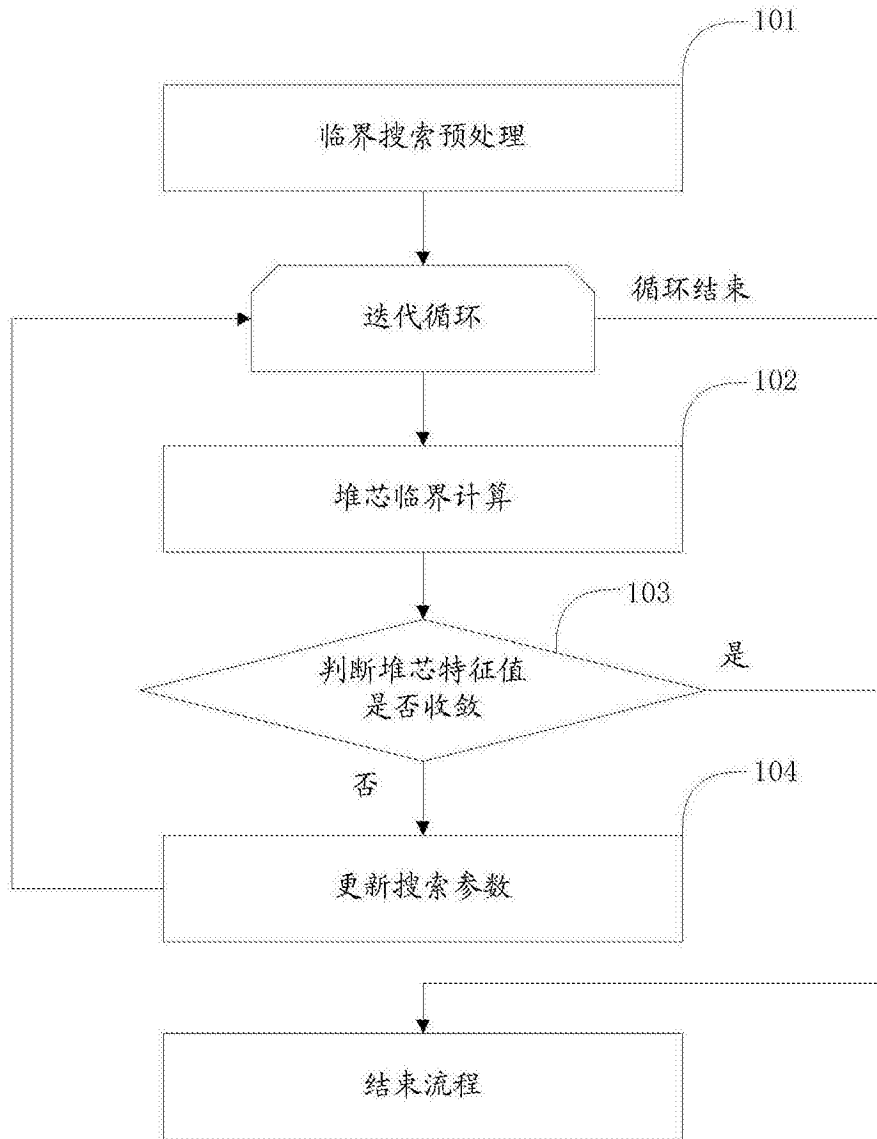


图1

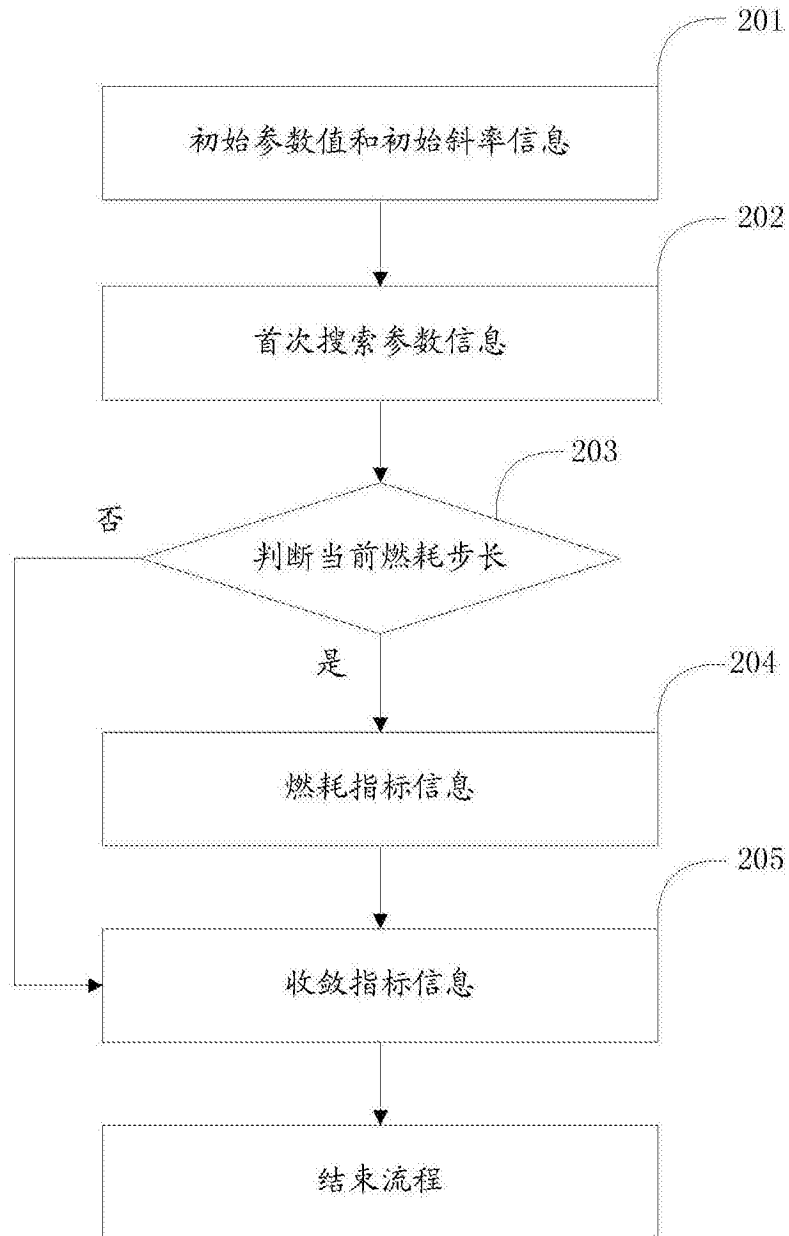


图2

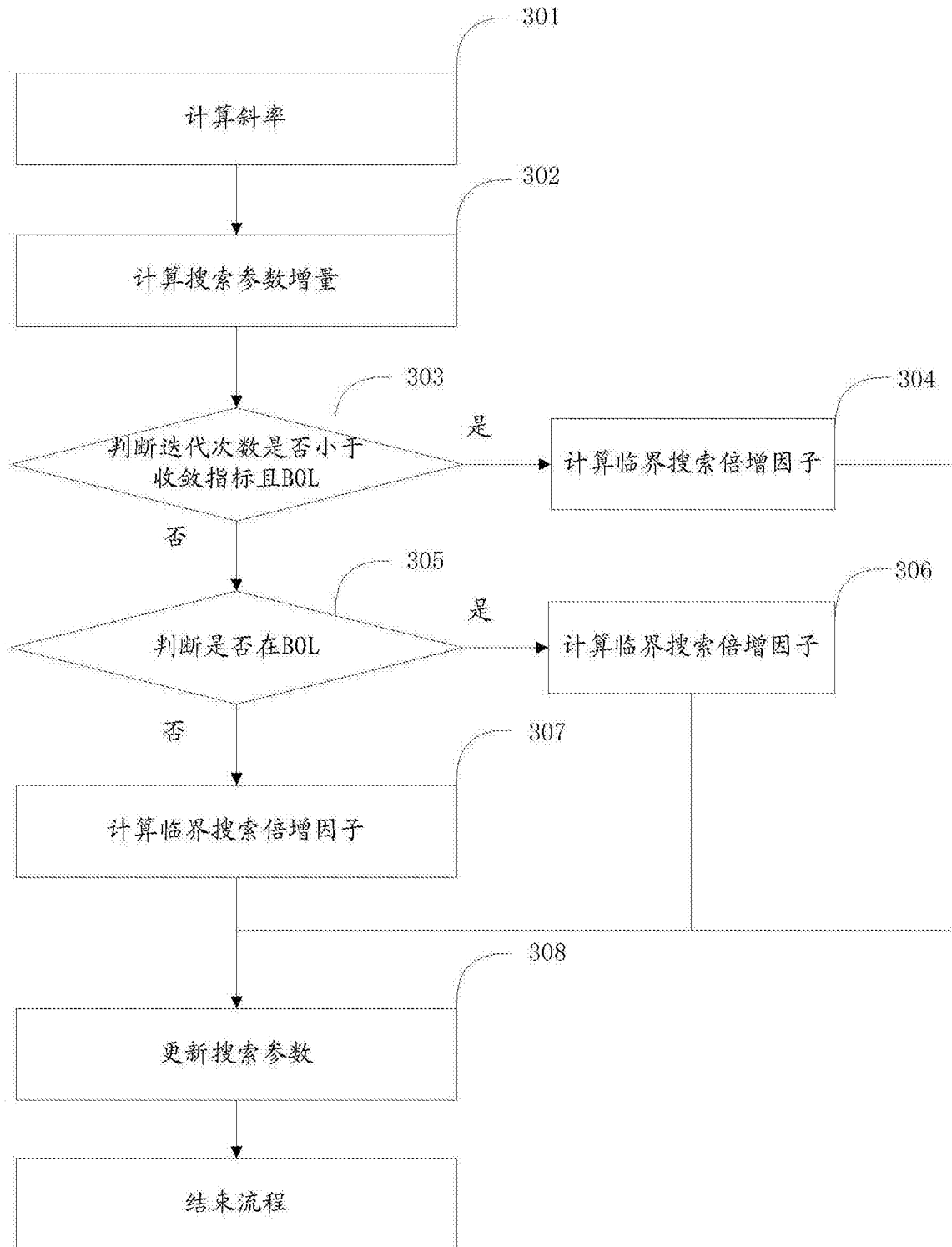


图3