



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107093467 B

(45)授权公告日 2019.02.05

(21)申请号 201710193424.8

(22)申请日 2017.03.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107093467 A

(43)申请公布日 2017.08.25

(73)专利权人 中山大学
地址 510220 广东省广州市海珠区新港西
路135号

(72)发明人 袁岑溪 陈胜利

(74)专利代理机构 广州骏思知识产权代理有限
公司 44425

代理人 吴静芝

(51)Int.Cl.
G21C 3/328(2006.01)
G21C 19/48(2006.01)

(56)对比文件

- CN 1961380 A,2007.05.09,
- CN 103827039 A,2014.05.28,
- CN 102376376 A,2012.03.14,
- CN 102831939 A,2012.12.19,
- CN 103106939 A,2013.05.15,
- CN 103093836 A,2013.05.08,
- KR 100963472 B1,2010.06.17,
- US 6652661 B2,2003.11.25,

审查员 韩光皓

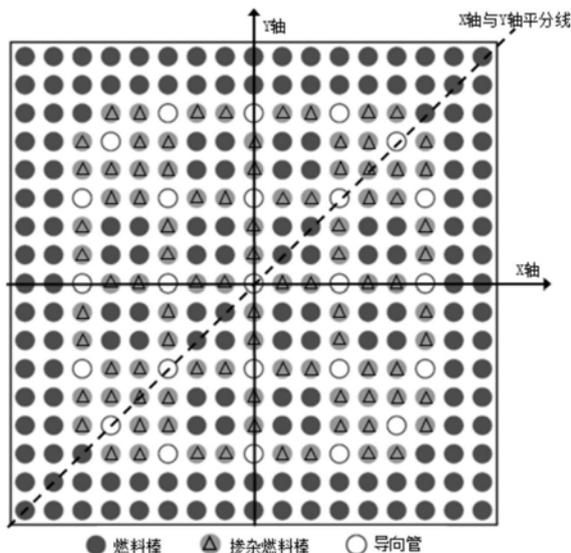
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件及展平功率的方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件及展平功率的方法。一种用于嬗变的和展平功率MOX燃料组件,包括掺杂燃料棒、燃料棒和导向管,所述掺杂燃料棒为掺杂长寿命次锕系核素的燃料棒;所述掺杂燃料棒、所述燃料棒和所述导向管构成阵列,每一掺杂燃料棒均与一导向管相邻。本发明用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,将与导向管相邻的燃料棒设置为掺杂燃料棒,掺杂燃料棒中的长寿命次锕系核素在中子场中被嬗变,从而减小乏燃料最终处理的成本与难度。同时,掺杂燃料棒的裂变反应率被减弱,以降低MOX燃料组件中导向管周围原本较高的功率,从而达到展平MOX燃料组件的功率、增强堆芯安全性的效果。



1. 一种用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,包括燃料棒和导向管,其特征在于:还包括掺杂燃料棒,所述掺杂燃料棒为掺杂长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 中的一种或几种的燃料棒;所述掺杂燃料棒、所述燃料棒和所述导向管构成阵列,每一掺杂燃料棒均与一导向管相邻。

2. 根据权利要求1所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其特征在于:所述掺杂燃料棒及导向管的分布相对于MOX燃料组件的对称轴和中心均对称。

3. 根据权利要求1所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其特征在于:对于 17×17 阵列的MOX燃料组件,所述掺杂燃料棒的数量在32~152根之间。

4. 根据权利要求1-3中任意一项权利要求所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其特征在于:所述掺杂燃料棒为只掺杂长寿次锕系核素 ^{237}Np 的燃料棒;所述长寿次锕系核素 ^{237}Np 占所述掺杂燃料棒的质量百分比为0.5%~3%。

5. 根据权利要求1-3中任意一项权利要求所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其特征在于:所述掺杂燃料棒为掺杂长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am 的燃料棒;所述长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am 三者之和占所述掺杂燃料棒的质量百分比为0.5%~3%。

6. 根据权利要求5所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其特征在于:在所述掺杂燃料棒中,掺杂的长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am 三者之间的质量比为 $m(^{237}\text{Np}) : m(^{241}\text{Am}) : m(^{243}\text{Am}) = 43 : 48 : 9$ 。

7. 根据权利要求1-3中任意一项权利要求所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其特征在于:所述掺杂燃料棒掺杂长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm ;所述长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 五者之和占所述掺杂燃料棒的质量百分比为0.5%~3%。

8. 根据权利要求7所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其特征在于:在所述掺杂燃料棒中,掺杂的长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 五者之间的质量比为 $m(^{237}\text{Np}) : m(^{241}\text{Am}) : m(^{243}\text{Am}) : m(^{244}\text{Cm}) : m(^{245}\text{Cm}) = 42 : 47 : 9 : 2 : 0.1$ 。

9. 一种展平MOX燃料组件功率的方法,其特征在于:将MOX燃料组的导向管相邻的燃料棒替换为掺杂燃料棒;所述掺杂燃料棒为掺杂长寿次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 中的一种或几种的燃料棒。

用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件及展平功率的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核工程技术领域,特别是涉及一种具有嬗变次锕系核素和展平功率功能的MOX燃料组件。

背景技术

[0002] 随着我国经济的快速增长,对能源的需求大大增加,特别是在签署巴黎协议之后,发展绿色能源已成为重中之重。核能具有高效、清洁和稳定的特点,其符合我国的能源需求。近年来,我国压水堆核电站快速增长,但因此产生的乏燃料积累量也快速增加。这些乏燃料寿命长、放射毒性大,长期威胁人类的生存环境。

[0003] 乏燃料处理问题,尤其是乏燃料中半衰期较长的次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 的处理问题,是长期困扰人们并且存在大量争议的难题。面对这种严峻的局面,如何妥善处理、处置乏燃料,以确保子孙后代的环境安全和我国核能的可持续发展,是一个必须解决的重大问题。目前,国际上对乏燃料的处理主要有两种方案。一种是以美国为代表的开式循环方案,另一种是以欧盟为代表的闭式循环方案。开式循环方案即填埋,是将乏燃料经过几年冷却之后,再用玻璃或者混凝土包裹直接深埋在地下。但是乏燃料中含有较高的可裂变同位素,直接填埋无法充分利用这些可裂变资源;另外,由于乏燃料中部分次锕系元素的半衰期非常长,包裹乏燃料的容器是否能够承受足够长的时间也无定论。闭式循环方案,是将乏燃料中的铀和钚回收,再制成钚、铀混合的MOX燃料,然后置于反应堆中进行核反应。这既能减少乏燃料中的长寿命放射性产物,也能充分利用乏燃料中的铀和钚资源。

[0004] 我国未来将要采取的乏燃料处理方案是闭式循环方案。闭式循环方案利用嬗变来处理乏燃料中的长寿命次锕系核素。嬗变是指将长寿命高放核素在中子场中进行中子照射,长寿命高放核素发生裂变、俘获等核反应后被转化成其他短寿命或稳定的核素,从而消除长寿命放射性核素对生态环境的危害。

[0005] 闭式循环方案常用的是MOX燃料组件,它是由燃料棒和导向管构成的组件。燃料棒由 PuO_2 (氧化钚)与 UO_2 (氧化铀)混合而成,其作用是发生裂变以提供能量。在 17×17 的燃料组件中,中心处的导向管供物理参数测量使用,其余24根导向管的作用是提供控制棒插入的空间。MOX燃料组件包含的类型有 17×17 用于压水堆的组件,也有用于快堆的六边形组件。

[0006] 图1为现有的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图,其包括264根燃料棒和25根导向管,它们构成 17×17 的正方形阵列。其中1根导向管占据阵列的中心位置,其他24根导向管相对于该中心处的导向管辐射排布,相邻两根导向管之间基本均间隔2根燃料棒。

[0007] 具体地,以 17×17 的正方形阵列的中心为原点建立直角坐标系,坐标系的X轴、Y轴平行于正方形阵列的边,定义 17×17 的正方形阵列的行间距、列间距均为1。那么,有16根所述导向管位于坐标系的四个象限中,它们的坐标为 $(\pm 3, \pm 3)$ 、 $(\pm 6, \pm 3)$ 、 $(\pm 3, \pm 6)$ 和 $(\pm 5, \pm 5)$,剩余的9根所述导向管位于原点、 $(\pm 3, 0)$ 和 $(\pm 6, 0)$ 位置处。264根燃料棒则占据阵列中剩余的264个坐标位置。按照上述方式排布后,每根所述导向管与8根所述燃料棒相邻。

[0008] 当前,闭式循环方案中可提供中子源的嬗变设施包括热中子堆、快中子堆、和加速器驱动的次临界装置(ADS)及其它中子源等。其中技术最成熟、在运行最多的堆型是热中子堆中的压水堆,因此开展压水堆嬗变技术的研究具有重要意义。结合闭式循环的策略,现在主要考虑的方案为在氧化铀燃料压水堆中均匀添加长寿命次锕系核素。而MOX燃料为乏燃料的后处理产品,掺杂长寿命次锕系核素更为容易。同时,只在部分MOX燃料棒中掺杂长寿命次锕系核素,可以使组件中功率变化更为平缓,更有利于堆芯的安全运行。

发明内容

[0009] 基于此,本发明的目的在于,提供一种用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,其具有嬗变次锕系核素和展平MOX燃料组件功率的作用。

[0010] 一种用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,包括掺杂燃料棒、燃料棒和导向管,所述掺杂燃料棒为掺杂长寿命次锕系核素的燃料棒;所述掺杂燃料棒、所述燃料棒和所述导向管构成阵列,每一掺杂燃料棒均与一导向管相邻。

[0011] 本发明所述的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,将与导向管相邻的部分或者全部燃料棒设置为掺杂燃料棒,掺杂燃料棒中的长寿命次锕系核素在中子场中被嬗变为短寿命或稳定的核素,从而减小乏燃料最终处理的成本与难度,能解决乏燃料中的长寿命次锕系核素的处理问题。另外,本发明的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件包括长寿命次锕系核素掺杂的掺杂燃料棒,掺杂燃料棒在反应堆中反应的同时,掺杂燃料棒的裂变反应率被减弱,以降低MOX燃料组件中导向管周围原本较高的功率,从而达到展平MOX燃料组件的功率、增强堆芯安全性的效果。

[0012] 进一步地,所述掺杂燃料棒及导向管的分布相对于MOX燃料组件的对称轴和中心均对称。掺杂燃料棒呈对称分布,有利于整体上展平MOX燃料组件的功率。

[0013] 进一步地,对于 17×17 阵列的MOX燃料组件,所述掺杂燃料棒的数量在32~152根之间。MOX燃料组件包括适当数量的掺杂燃料棒,既有利于MOX燃料组件的功率展平,又有利于长寿命次锕系核素的高效嬗变。

[0014] 进一步地,所述掺杂燃料棒为只掺杂长寿命次锕系核素 ^{237}Np 的燃料棒;所述长寿命次锕系核素 ^{237}Np 占所述掺杂燃料棒的质量百分比为0.5%~3%。掺杂 ^{237}Np 的浓度太低,则不能达到减弱燃料棒裂变反应率的效果,且处理乏燃料中的长寿命次锕系核素效率低;掺杂 ^{237}Np 的浓度太高,则掺杂燃料棒的裂变反应率过低,影响反应堆正常运行;掺杂质量百分比为0.5%~3%的 ^{237}Np ,能适当减弱燃料棒的裂变反应率,有利于展平MOX燃料组件功率。

[0015] 进一步地,所述掺杂燃料棒为掺杂长寿命次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am 的燃料棒;所述长寿命次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am 三者之和占所述掺杂燃料棒的质量百分比为0.5%~3%。掺杂总质量百分比为0.5%~3%的 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am ,能适当减弱燃料棒的裂变反应率,有利于展平MOX燃料组件功率。

[0016] 进一步地,所述掺杂燃料棒中,掺杂的长寿命次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am 三者之间的质量比为 $m(^{237}\text{Np}) : m(^{241}\text{Am}) : m(^{243}\text{Am}) = 43 : 48 : 9$ 。该核素种类和比例,是1000MW电功率反应堆燃耗达到33MWd/kg时卸料冷却10年后乏燃料中长寿命次锕系核素的情形,这有利于统一嬗变反应堆的乏燃料中这三种长寿命次锕系核素。

[0017] 进一步地,所述掺杂燃料棒为掺杂长寿命次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 的燃料棒;所述长寿命次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 五者之和占所述掺杂燃料棒的质量百分比为0.5%~3%。掺杂总质量百分比为0.5%~3%的 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm ,能适当减弱燃料棒的裂变反应率,有利于展平MOX燃料组件功率。

[0018] 进一步地,所述掺杂燃料棒中,掺杂的长寿命次锕系核素 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm 五者之间的质量比为 $m_{(237\text{Np})} : m_{(241\text{Am})} : m_{(243\text{Am})} : m_{(244\text{Cm})} :$

$m_{(245\text{Cm})} = 42 : 47 : 9 : 2 : 0.1$ 。该核素种类和比例,是1000MW电功率反应堆燃耗达到33MWd/kg时卸料冷却10年后乏燃料中长寿命次锕系核素的情形,这有利于统一嬗变反应堆的乏燃料中这五种次锕系核素。

[0019] 另外,本发明还提供了一种展平MOX燃料组件功率的方法。

[0020] 一种展平MOX燃料组件功率的方法,将MOX燃料组的导向管相邻的燃料棒替换为掺杂燃料棒;所述掺杂燃料棒为掺杂长寿命次锕系核素的燃料棒。

[0021] 本发明所述的展平MOX燃料组件功率的方法,利用掺杂燃料棒中的长寿命次锕系核素在中子场中被嬗变,来减弱掺杂燃料棒的裂变反应率,以降低MOX燃料组件中导向管周围原本较高的功率,从而达到展平MOX燃料组件的功率、增强堆芯安全性的效果。

[0022] 为了更好地理解和实施,下面结合附图详细说明本发明。

附图说明

[0023] 图1为现有的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图;

[0024] 图2为本发明包含32根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图;

[0025] 图3为本发明包含92根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图;

[0026] 图4为本发明包含152根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图。

具体实施方式

[0027] 本发明的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件,包括掺杂燃料棒、燃料棒和导向管,所述掺杂燃料棒为掺杂长寿命次锕系核素的燃料棒;所述掺杂燃料棒、所述燃料棒和所述导向管构成阵列,所述导向管均匀分散于所述阵列中,所述掺杂燃料棒与所述导向管相邻。

[0028] 掺杂燃料棒中的长寿命次锕系核素在中子场中被嬗变为短寿命或稳定的核素,从而减小乏燃料最终处理的成本与难度,能解决乏燃料中的长寿命次锕系核素的处理问题。由于慢化剂的作用,将裂变反应产生的快中子慢化为热中子。一般而言,慢化后的中子与原子核反应率更高,比如, ^{239}Pu 等易裂变核的热中子裂变截面比快中子截面大,从而使位于MOX燃料组件的导向管周围的燃料棒的功率较高,导致反应堆功率不均匀,进一步展平功率可使反应堆运行的安全性提高。本发明将导向管周围的部分或者全部燃料棒替换为掺杂燃料棒,利用掺杂燃料棒中的长寿命次锕系核素在中子场中吸收中子被嬗变,来减弱掺杂燃料棒的裂变反应率,以降低MOX燃料组件中导向管周围原本较高的功率,从而达到展平MOX燃料组件的功率、增强堆芯安全性的效果。

[0029] MOX燃料组件常见的型号为 17×17 阵列的MOX燃料组件。本发明以 17×17 阵列的MOX燃料组件为例,在现有 17×17 阵列的MOX燃料组件的基础上,将与导向管相邻的至少1根

燃料棒替换为掺杂燃料棒而得到。

[0030] 图2是本发明包含32根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图。其可以通过如下方式得到,选择坐标位于(3,3)、(5,5)、(3,6)和(6,3)的导向管,将这4根导向管周围的位于(4,3)、(3,4)、(5,3)、(3,5)、(5,4)、(4,5)、(6,4)和(4,6)的8根燃料棒替换为掺杂燃料棒;然后将与上述8根掺杂燃料棒相对于X轴、Y轴、原点对称位置上的燃料棒也替换为掺杂燃料棒,即得到图2将 $(\pm 4, \pm 3)$ 、 $(\pm 3, \pm 4)$ 、 $(\pm 5, \pm 3)$ 、 $(\pm 3, \pm 5)$ 、 $(\pm 5, \pm 4)$ 、 $(\pm 4, \pm 5)$ 、 $(\pm 6, \pm 4)$ 和 $(\pm 4, \pm 6)$ 坐标处的32根燃料棒替换为掺杂燃料棒的排布方式。

[0031] 相似地,图3是本发明包含92根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图。其可以通过如下方式得到,将第一象限中导向管周围的总共19根燃料棒替换为掺杂燃料棒,所述19根掺杂燃料棒相对于X轴与Y轴的平分线对称;然后将与上述19根掺杂燃料棒相对于X轴、Y轴、原点对称位置上的燃料棒也替换为掺杂燃料棒;最后将X轴上 $(\pm 1, 0)$ 、 $(\pm 2, 0)$ 、 $(\pm 4, 0)$ 、 $(\pm 5, 0)$ 位置上的8根燃料棒、Y轴上 $(0, \pm 1)$ 、 $(0, \pm 2)$ 、 $(0, \pm 4)$ 和 $(0, \pm 5)$ 位置上的8根燃料棒都替换为掺杂燃料棒,即得到图3的排布方式。

[0032] 相似地,图4是本发明包含152根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的示意图。其通过如下方式得到,将第一象限中导向管周围的总共33根燃料棒替换为掺杂燃料棒,所述33根掺杂燃料棒相对于X轴与Y轴的平分线对称;然后将与上述33根掺杂燃料棒相对于X轴、Y轴、原点对称位置上的燃料棒也替换为掺杂燃料棒;最后将X轴上 $(\pm 1, 0)$ 、 $(\pm 2, 0)$ 、 $(\pm 4, 0)$ 、 $(\pm 5, 0)$ 和 $(\pm 7, 0)$ 位置上的10根燃料棒、Y轴上 $(0, \pm 1)$ 、 $(0, \pm 2)$ 、 $(0, \pm 4)$ 、 $(0, \pm 5)$ 和 $(0, \pm 7)$ 位置上的10根燃料棒都替换为掺杂燃料棒,即得到图4的排布方式。

[0033] 本发明的掺杂燃料棒对称分布,有利于整体上展平MOX燃料组件的功率。对于 17×17 阵列的MOX燃料组件,替换燃料棒的数量在32~152根之间。如果掺杂燃料棒的数量太少,则要达到同样的嬗变长寿命次锕系核素效率,须对掺杂燃料棒进行高浓度长寿命次锕系核素掺杂,进而导致掺杂燃料棒的裂变反应率过低,影响反应堆的正常运行;同时也会因为掺杂燃料棒裂变反应率低于原MOX燃料组件中最低裂变反应率,导致无法展平功率甚至增大功率分布的不均匀性;掺杂燃料棒的数量太多,则相当于所有燃料棒均为掺杂燃料棒,导致掺杂燃料棒不能起展平MOX燃料组件功率的作用。

[0034] 需指出的是,除了图2-4的替换方式外,其他替换燃料棒数量在32~152根之间,且替换后掺杂燃料棒相对于原点、X轴和Y轴都对称的替换方式,同样能起到展平 17×17 阵列的MOX燃料组件功率的作用。

[0035] 本发明所述掺杂燃料棒,掺入的总长寿命次锕系核素占所述掺杂燃料棒的质量百分比为0.5%~3%。如果长寿命次锕系核素掺杂太低,则不能达到减弱燃料棒裂变反应率的效果,且处理长寿命次锕系核素的效率低;如果长寿命次锕系核素掺杂太高,则掺杂燃料棒裂变反应率过低,影响反应堆正常运行。本发明中,所述掺杂燃料棒的具体掺杂方式有三种:

[0036] 1、只掺杂 ^{237}Np 。

[0037] 2、掺杂 ^{237}Np 、 ^{241}Am 和 ^{243}Am ,其中三者之间的质量比为 $m(^{237}\text{Np}) : m(^{241}\text{Am}) : m(^{243}\text{Am}) = 43 : 48 : 9$ 。该核素种类和比例,是1000MW电功率反应堆燃耗达到33Mwd/kg时卸料冷却10年后乏燃料中长寿命次锕系核素的情形,这样掺杂可以降低乏燃料后处理的难度,如考虑其他功率的反应堆在其他燃耗时产生的乏燃料,此比例亦可改动。

[0038] 3、掺杂 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am 、 ^{244}Cm 和 ^{245}Cm ，其中五者之间的质量比为 $m(^{237}\text{Np}) : m(^{241}\text{Am}) : m(^{243}\text{Am}) : m(^{244}\text{Cm}) : m(^{245}\text{Cm}) = 42 : 47 : 9 : 2 : 0.1$ 。该核素种类和比例，是1000MW电功率反应堆燃耗达到33MWd/kg时卸料冷却10年后乏燃料中次锕系核素的情形(^{244}Cm 的半衰期为18年，不是长寿命核素，这里被一起考虑是因为单独使其分离增加成本)，这样掺杂可以降低乏燃料后处理的难度，如考虑其他功率的反应堆在其他燃耗时产生的乏燃料，此比例亦可改动。

[0039] 以下以图3所示的 17×17 阵列的MOX燃料组件为例，说明本发明的技术效果。

[0040] 对现有 17×17 阵列的MOX燃料组件的功率分布进行计算，计算结果列于表1中的第一行。

[0041] 例1、对含有92根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的功率分布进行计算，其中每根燃料棒和掺杂燃料棒的钚含量均为9.8%，所述掺杂燃料棒为掺入质量百分比为3%的 ^{237}Np 的燃料棒，计算结果列于表1中的第二行。

[0042] 例2、对含有92根掺杂燃料棒的 17×17 阵列的MOX燃料组件的功率分布进行计算，其中每根燃料棒和掺杂燃料棒的钚含量均为9.8%；所述掺杂燃料棒为掺入质量百分比为3%的长寿命次锕系核素的燃料棒，所述掺入的长寿命次锕系核素的种类和质量比例为 $m(^{237}\text{Np}) : m(^{241}\text{Am}) : m(^{243}\text{Am}) : m(^{244}\text{Cm}) : m(^{245}\text{Cm}) = 42 : 47 : 9 : 2 : 0.1$ ，计算结果列于表1中的第三行。

[0043]

MOX 燃料组件	0MWd/kg 燃料棒功率方差	0MWd/kg 燃料棒功率最大值与最小值之比	50MWd/kg 燃料棒燃耗方差	50MWd/kg 燃料棒燃耗最大值与最小值之比
现有	7.3%	128.0%	6.2%	123.4%
例 1	5.4%	120.1%	5.0%	117.8%
例 2	3.8%	114.2%	4.7%	116.2%

[0044] 表1

[0045] 计算表明，在寿期初，即燃耗（燃耗是衡量核燃料中单位质量重金属总能量的释放量）为0MWd/kg时，本发明组件的所有燃料棒（燃料棒和掺杂燃料棒）功率的方差、功率的最大值与最小值之比都小于现有MOX燃料组件的相应结果。在寿期末，即燃耗为50MWd/kg时，本发明组件的所有燃料棒燃耗方差、最大值与最小值之比都小于现有MOX燃料组件的相应结果。由此可见，无论是寿期初，还是整个运行过程中，本发明的MOX燃料组件的功率分布都要比现有MOX燃料组件更平滑。

[0046] 另外，计算表明，在平均燃耗50MWd/kg时，例1中约有47%的 ^{237}Np 被嬗变，例2中约有55%的长寿命次锕系核素被嬗变（计算时需考虑不掺杂时MOX燃料组件本身生成的长寿命次锕系核素）。

[0047] 由此可见，本发明将导向管周围的部分或者全部燃料棒替换为掺杂燃料棒，掺杂燃料棒中的长寿命次锕系核素在中子场中被嬗变为短寿命或稳定的核素，从而减小乏燃料最终处理的成本与难度，能解决乏燃料中的长寿命次锕系核素的处理问题。另外，本发明的用于嬗变和展平功率的MOX燃料组件包括长寿命次锕系核素掺杂的掺杂燃料棒，掺杂燃料

棒在反应堆中反应的同时,掺杂燃料棒的裂变反应率被减弱,以降低MOX燃料组件中导向管周围原本较高的功率,从而达到展平MOX燃料组件的功率、增强堆芯安全性的效果。

[0048] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。

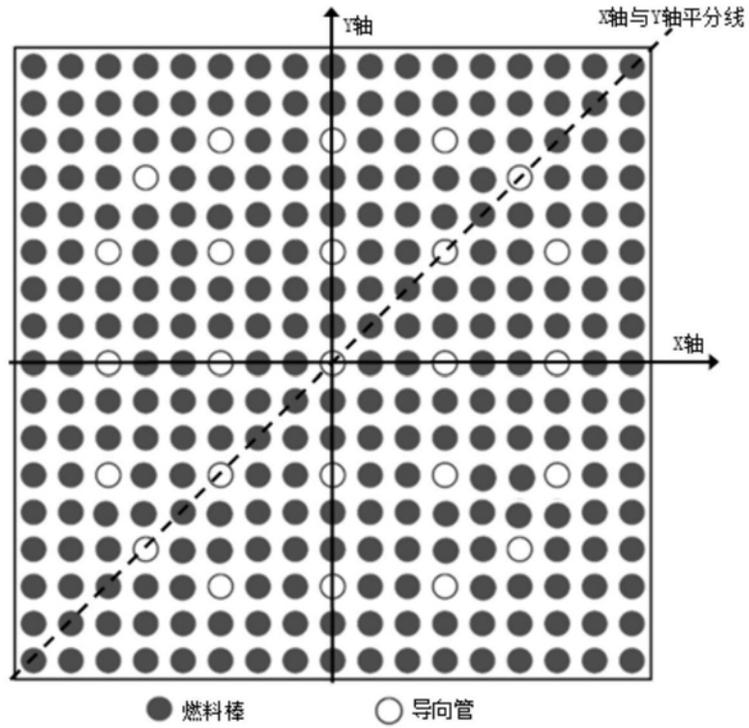


图1

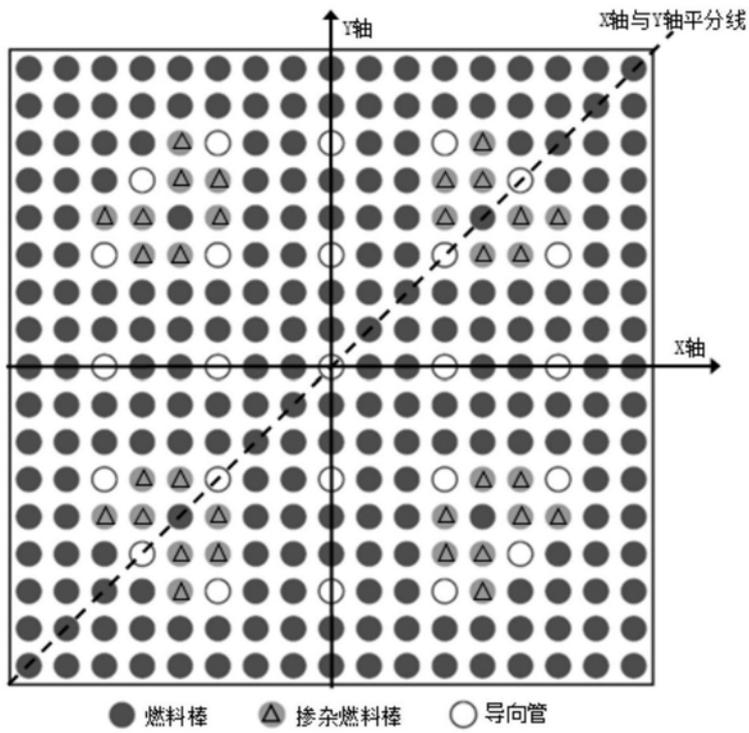


图2

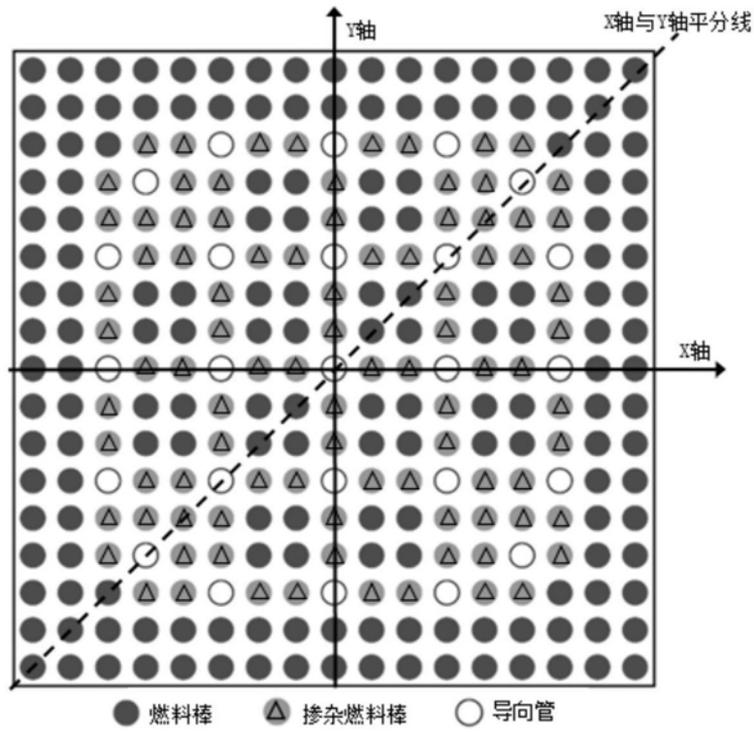


图3

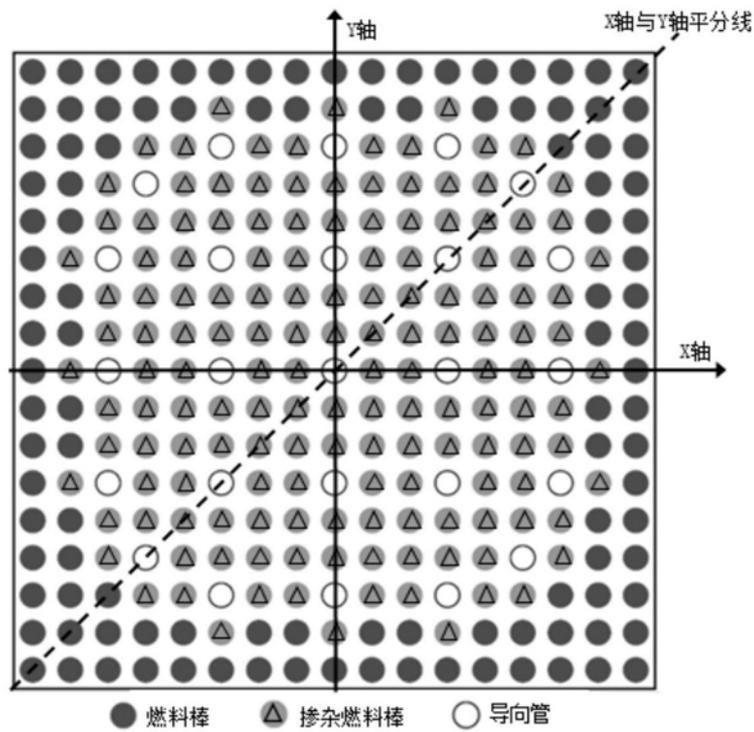


图4