



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109599197 B

(45)授权公告日 2020.05.19

(21)申请号 201811345538.0

(22)申请日 2018.11.13

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109599197 A

(43)申请公布日 2019.04.09

(73)专利权人 中国原子能科学研究院

地址 102413 北京市房山区新镇三强路1号  
院

(72)发明人 李淞 周志伟 冯预恒 林超

刘光耀 马晓 薛秀丽

(51)Int.Cl.

G21C 19/04(2006.01)

审查员 孙福洲

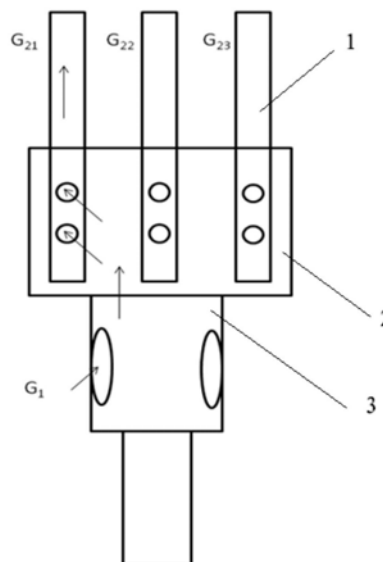
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

### (54)发明名称

一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法

### (57)摘要

本发明属于钠冷快堆技术领域,公开了一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法。该方法是通过压降补偿使得冷却剂流经各组件的组件压降与小栅板联箱压降之和一致来实现流量分配的。该方法具有既能保证一定的冷却效果又能降低反应堆运行成本的有益效果。



1. 一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法,其特征在于,该方法是通过压降补偿使得冷却剂流经各组件的组件压降与小栅板联箱压降之和一致来实现流量分配的,其主要包括以下步骤:

(1) 统计小栅板联箱的数量,并从中间到外围依次编号为1~K;

每个小栅板联箱上有7个组件,每个小栅板联箱上的组件记作K-1~K-7;

(2) 做出外燃料区堆芯组件与最小冷却剂流量的关系曲线

根据外燃料区每个组件的功率计算出该组件所需的最小冷却剂流量;以组件编号为横坐标,最小冷却剂流量为纵坐标,做出外燃料区堆芯组件与最小冷却剂流量的最小冷却剂流量曲线;

(3) 分别计算出步骤(2)所述的外燃料区最小冷却剂流量曲线中相邻流量的差值并将差值按从大到小的顺序排列,差值排列后便于选取差值较大的流量;

若需要将反应堆流量分为N个流量区,则从上述差值中按照差值从大到小的顺序选取N+M-1个差值,形成N+M个区;在这些N+M-1差值所在的最小冷却剂流量曲线的间隔中,插入N-1个差值,一共有 $C_{N+M-1}^{N-1}$ 种组合方式;N+M个区中每个区内每个组件的流量值为该区中最热组件所需的流量,然后计算出 $C_{N+M-1}^{N-1}$ 种组合方式中何种分区方式下的总流量最小,即得到了N个流量区,该分区方式即为所需要的流量分区方式,进而得到外燃料区内每个流量区内各组件所需流量;其中最热组件为功率最大,需要冷却剂流量最大的组件;

(4) 按照步骤(2)、步骤(3),得到中燃料区和内燃料区中各组件所需冷却剂流量;

(5) 分别将K个小栅板联箱上的7个组件的流量加和得到每个小栅板联箱上的流量,找出其中流量最大的一个小栅板联箱,并将其记为 $Q_i$ ;该小栅板联箱上每个组件的流量分别为 $Q_{i-1} \sim Q_{i-7}$ ;

(6)  $Q_i$ 流量流过小栅板联箱产生的压降记为 $\Delta P_{1-i}$ ,流过组件产生的压降为记为 $\Delta P_{2-i}$ ;  
 $\Delta P_{1-i} + \Delta P_{2-i} = \Delta P$ ,  $\Delta P$ 记为堆芯压降;

(7) 识别各流量区的最热组件;

(8) 除流量最大的小栅板联箱外,将第j号小栅板联箱产生的压降记为 $\Delta P_{1-j}$ ,流过组件的压降记作 $\Delta P_{2-j}$ ,其中 $1 \leq j \leq K$ ;该小栅板联箱的压降修正值 $P_{jx} = \Delta P - (\Delta P_{1-j} + \Delta P_{2-j})$ ,并依据此公式计算出每个小栅板联箱的压降修正值;

(9) 由于同一个流量区内的组件可能包含若干个小栅板联箱节流件,第(8)步中得到的结果中会出现同一个流量区对应多个组件压降修正值的情况,此时,选择该流量区内最热组件的流量偏差为正且流量偏差值最小的压降修正值。

2. 根据权利要求1所述的一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法,其特征在于,所述冷却剂为钠。

3. 根据权利要求1所述的一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法,其特征在于,步骤(3)中 $2 < M < 2N$ 。

## 一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于钠冷快堆技术领域,具体涉及一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法。

### 背景技术

[0002] BN系列(BN系列为中国及俄罗斯研发的钠冷快堆)快中子反应堆中,热工水利结构设计采用独特的大栅板联箱-小栅板联箱-组件的结构形式。其中中间区域的组件功率大,需要分配的流量大;外围的组件功率小,分配的流量小。小栅板联箱也是从中间向周围进行排布,一个小栅板上对应七个组件,所以小栅板联箱的流量也是中间位置的大,外围位置的小。

[0003] 在进行堆芯热工水力设计的时候,液态钠从流量最大的小栅板联箱的节流件流至小栅板联箱的压降 $\Delta P_1$ 和从小栅板联箱流过该小栅板联箱上的组件的压降 $\Delta P_2$ 之和 $\Delta P$ 记为堆芯压降。在进行传统设计热工水力设计的时候,是根据修正后的组件压降 $P_j$ (第j流量区进行水力试验的压降,也就是设计压降)进行组件的水力特性试验,进而确定组件管脚的开孔形式。

[0004] 在反应堆堆芯较小,组件较少的时候该方法没有问题。但是,如果当反应堆的堆芯较大,组件较多的时候,由于外围组件功率较小,分配到的流量 $Q_w$ 较小,对应位置的小栅板联箱压降也较小。这种情况下,为了保证主管道出口处和堆芯出口处的等压面,将导致处于外围的组件实际分配到的流量要比设计值 $Q_w$ 大,造成外围组件的过渡冷却,造成反应堆的经济性下降。因此,目前急需一种既能保证堆芯和外围组件冷却效果又能尽量降低成本的流量分配方法。

### 发明内容

[0005] (一)发明目的

[0006] 为了解决现有技术所存在的问题,本发明提供了一种基于各流量区小栅板联箱内组件压降补偿的钠冷快堆堆芯冷却剂流量分配方法,该方法既保证了一定的冷却效果又能降低反应堆运行成本。

[0007] (二)技术方案

[0008] 根据现有技术所存在的问题,本发明提供的技术方案如下:

[0009] 一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法,该方法是通过压降补偿使得冷却剂流经各组件的组件压降与小栅板联箱压降之和一致来实现流量分配的,其主要包括以下步骤:

[0010] (1)统计小栅板联箱的数量,并从中间到外围依次编号为1~K;

[0011] 每个小栅板联箱上有7个组件,每个小栅板联箱上的组件记作K-1~K-7;

[0012] (2)做出外燃料区堆芯组件与最小冷却剂流量的关系曲线

[0013] 根据外燃料区每个组件的功率计算出该组件所需的最小冷却剂流量;以组件编号

为横坐标,最小冷却剂流量为纵坐标,做出外燃料区堆芯组件与最小冷却剂流量的最小冷却剂流量曲线;

[0014] (3) 分别计算出步骤(2)所述的外燃料区最小冷却剂流量曲线中相邻流量的差值并将差值按从大到小的顺序排列,差值排列后便于选取差值较大的流量;

[0015] 若需要将反应堆流量分为N个流量区,则从上述差值中按照差值从大到小的顺序选取N+M-1个差值,形成N+M个区;在这些N+M-1差值所在的最小冷却剂流量曲线的间隔中,插入N-1个差值,一共有 $C_{N+M-1}^{N-1}$ 种组合方式;N+M个区中每个区内每个组件的流量值为该区间中最热组件所需的流量,然后计算出 $C_{N+M-1}^{N-1}$ 种组合方式中何种分区方式下的总流量最小,即得到了N个流量区,该分区方式即为所需要的流量分区方式,进而得到外燃料区内每个流量区内各组件所需流量;其中最热组件为功率最大,需要冷却剂流量最大的组件;

[0016] (4) 按照步骤(2)、步骤(3),得到中燃料区和内燃料区中各组件所需冷却剂流量;

[0017] (5) 分别将K个小栅板联箱上的7个组件的流量加和得到每个小栅板联箱上的流量,找出其中流量最大的一个小栅板联箱,并将其记为 $Q_i$ ;该小栅板联箱上每个组件的流量分别为 $Q_{i-1} \sim Q_{i-7}$ ;

[0018] (6)  $Q_i$ 流量流过小栅板联箱产生的压降记为 $\Delta P_{1-i}$ ,流过组件产生的压降为记为 $\Delta P_{2-i}$ ;  $\Delta P_{1-i} + \Delta P_{2-i} = \Delta P$ ,  $\Delta P$ 记为堆芯压降;

[0019] (7) 识别各流量区的最热组件;

[0020] (8) 除流量最大的小栅板联箱外,将第j号小栅板联箱产生的压降记为 $\Delta P_{1-j}$ ,流过组件的压降记作 $\Delta P_{2-j}$ ,其中 $1 \leq j \leq K$ ;该小栅板联箱的压降修正值 $P_{jx} = \Delta P - (\Delta P_{1-j} + \Delta P_{2-j})$ ,并依据此公式计算出每个小栅板联箱的压降修正值;

[0021] (9) 由于同一个流量区内的组件可能包含若干个小栅板联箱节流件,第(8)步中得到的结果中会出现同一个流量区对应多个组件压降修正值的情况,此时,选择该流量区内最热组件的流量偏差为正且流量偏差值最小的压降修正值;

[0022] 优选地,所述冷却剂为钠。

[0023] 优选地,步骤(3)中 $2 < M < 2N$ 。

[0024] (三) 有益效果

[0025] 本发明提供的钠冷快堆堆芯内钠冷却剂的流量分配方法,该方法创造性地解决了堆芯内各组件的有效冷却,同时保障了整体流量的分配更加均匀。

[0026] 传统的流量分配方式是保持组件压降不变进行分配的,此种分配方法的弊端是当反应堆的堆芯较大,组件较多的时候,由于外围组件功率较小,分配到的流量 $Q_w$ 较小,对应位置的小栅板联箱压降也较小。这种情况下,为了保证主管道出口处和堆芯出口处的等压面,将导致处于外围的组件实际分配到的流量要比设计值 $Q_w$ 大,造成外围组件的过渡冷却,造成反应堆的经济性下降。

[0027] 本申请提供的分配方法是通过压降补偿使得冷却剂流经各组件的组件压降与小栅板联箱压降之和一致来实现流量分配的。先是根据本申请提供的最小冷却剂流量曲线及插值方法对堆芯内组件先进行分区,分区后得到各流量区内组件所需流量,每个流量区内的组件的流量是相同的。然后利用通过各组件的压降修正值对各组件的组件压降进行修正,修正后,各组件的 $\Delta P_{1-j} + \Delta P_{2-j}$ 之和与堆芯压降保持一致,保证了最热组件的有效冷却及

整体流量分配的更加均匀。

### 附图说明

[0028] 图1是小栅板联箱及组件的结构示意图;其中1是组件;2是小栅板联箱;3是节流件;

[0029] 图2是传统的流量分配方法中组件压降和小栅板联箱压降示意图;

[0030] 图3是本申请提供的流量分配方法中组件压降和小栅板联箱压降示意图。

### 具体实施方式

[0031] 下面将结合说明书附图和具体实施方式对本申请做进一步阐述。

[0032] 一种基于压降补偿的快堆堆芯冷却剂流量分配方法,该方法包括以下步骤:

[0033] (1) 统计小栅板联箱的数量,并从中间到外围依次编号为1~K;

[0034] 由于每个小栅板联箱上有7个组件,因此每个小栅板联箱上的组件记作K-1~K-7;

[0035] (2) 做出外燃料区堆芯组件与最小冷却剂流量的关系曲线

[0036] 根据每个组件的功率计算出该组件所需的最小冷却剂流量;以组件编号为横坐标,最小冷却剂流量为纵坐标做出堆芯组件与最小冷却剂流量的最小冷却剂流量曲线,分别得到外燃料区最小冷却剂流量曲线;

[0037] (3) 分别计算出步骤(2)所述的外燃料区最小冷却剂流量曲线中相邻流量的差值并将差值按从大到小的顺序排列,差值排列后便于选取差值较大的流量;

[0038] 若需要将反应堆流量分为N个流量区,则从上述差值中按照差值从大到小的顺序选取N+M-1个差值,形成N+M个区;在这些N+M-1差值所在的最小冷却剂流量曲线的间隔中,插入N-1个差值,一共有 $C_{N+M-1}^{N-1}$ 种组合方式;N+M个区中每个区内每个组件的流量值为该区间中最热组件所需的流量,然后计算出 $C_{N+M-1}^{N-1}$ 种组合方式中何种分区方式下的总流量最小,即得到了N个流量区,该分区方式即为所需要的流量分区方式,进而得到外燃料区内每个流量区内各组件所需流量;

[0039] (4) 按照步骤(2)、步骤(3),对中燃料区和内燃料区中各组件所需流量;

[0040] (5) 分别将K个小栅板联箱上的7个组件的流量加和得到每个小栅板联箱上的流量,找出其中流量最大的一个小栅板联箱,并将其记为 $Q_i$ ;该小栅板联箱上组件的流量分别为 $Q_{i-1} \sim Q_{i-7}$ ;

[0041] (6)  $Q_i$ 流量流过小栅板联箱产生的压降记为 $\Delta P_{1-i}$ ,流过组件产生的压降为记为 $\Delta P_{2-i}$ ;  $\Delta P_{1-i} + \Delta P_{2-i} = \Delta P$ ,  $\Delta P$ 记为堆芯压降;

[0042] (7) 识别各流量区的最热组件;

[0043] 该最热组件为功率最大,需要冷却剂流量最大的组件;

[0044] (8) 除流量最大的小栅板联箱外,将第j号小栅板联箱产生的压降记为 $\Delta P_{1-j}$ ,流过组件的压降记作 $\Delta P_{2-j}$ ,其中 $1 \leq j \leq K$ ;该小栅板联箱的压降修正值 $P_{jx} = \Delta P - (\Delta P_{1-j} + \Delta P_{2-j})$ ,并依据此公式计算出每个小栅板联箱的压降修正值;

[0045] (9) 由于同一个流量区内的组件可能包含若干个小栅板联箱节流件,第(8)步中得到的结果中会出现同一个流量区对应多个组件压降修正值的情况,此时,选择该流量区内

最热组件的流量偏差为正且流量偏差值最小的压降修正值。

[0046] 所述冷却剂为钠,  $2 < M < 2N$ 。

[0047] 通过步骤(1) ~ (9)得到的组件压降修正值后,可以对小栅板联箱上的组件进行管脚开孔或者设置节流片,以使得组件在该流量条件下达到该压降。

[0048] 利用本申请提供的方法创造性地解决了堆芯内各组件的有效冷却,同时保障了整体流量的分配更加均匀。

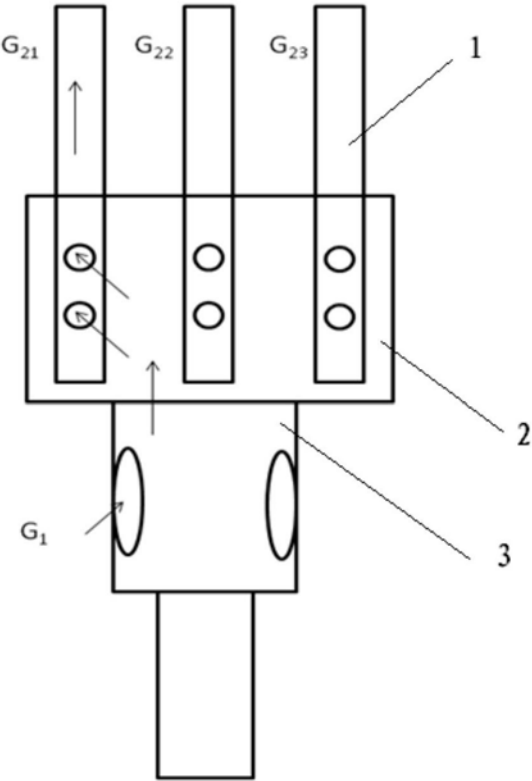


图1

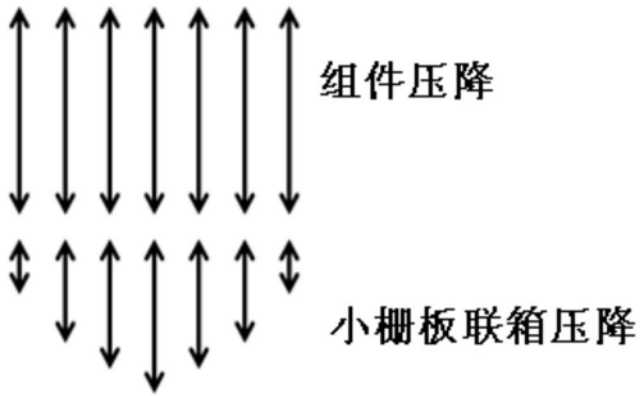


图2

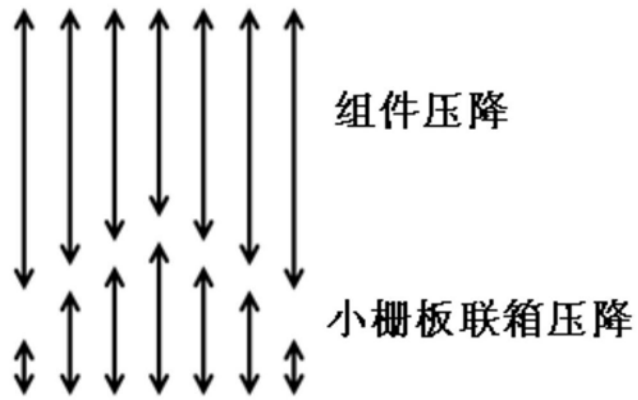


图3