

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號： 97111330

G21C 1/04 (2006.01)

※ 申請日期： 97.4.01

※IPC 分類： G21C 3/17 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

G21C 3/18 (2006.01)

在核子設備中操作反應器的方法

G21C 7/08 (2006.01)

A method for operating a reactor of a nuclear plant

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

西屋電器瑞典股份有限公司 /

WESTINGHOUSE ELECTRIC SWEDEN AB

代表人：(中文/英文)

安德斯 傑克森 / JACKSON, ANDERS

住居所或營業所地址：(中文/英文)

瑞典 SE-721 63 華斯特拉斯

SE-721 63 Vaesteras, SWEDEN

國 籍：(中文/英文)

瑞典 / SWEDEN

三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 史都爾 海默森 / HELMERSSON, STURE

2. 麥格內斯 林拜克 / LIMBÄCK, Magnus

3. 強那森 瑞特 / WRIGHT, Jonathan

國 籍：(中文/英文)

1. 瑞典 / Swedish

2. 瑞典 / Swedish

3. 英國 / British

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，
其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

瑞典、2007.04.10、0700868.3

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

一種操作核子反應器之方法，該反應器(1)包圍住一爐心，該爐心具有數個燃料棒(9)。各燃料棒(9)包括一包覆層及具有核子燃料的多個燃料丸。這些燃料丸係設置於該包覆層的一內部空間中，而留下一自由容積，該自由容積包含一上空間、一下空間、及一燃料丸/包覆層間隙。該反應器在正常狀態期間是以正常功率操作，且進行正常的入口過冷卻。監控該反應器，用以偵測在任何燃料棒的包覆層上之缺陷。在偵測出缺陷之後，將該反應器的操作改變至一特殊狀態，此特殊狀態能允許在缺陷的燃料棒中增加自由容積。在一有限的時間週期期間，以該特殊狀態操作該反應器。之後，以該正常狀態操作反應器。

六、英文發明摘要：

A method of operating a nuclear reactor is disclosed. The reactor (1) encloses a core having a plurality of fuel rods (9). Each fuel rod (9) includes a cladding and fuel pellets of a nuclear fuel. The fuel pellets are arranged in an inner space of the cladding leaving a free volume comprising an upper plenum, a lower plenum and a pellet-cladding gap. The reactor is operated at a normal power and a normal inlet sub-cooling during a normal state. The reactor is monitored for detecting a defect on the cladding of any of the

fuel rods. The operation of the reactor is changed to a particular state after detecting such a defect. The particular state permits an increase of the free volume in the defect fuel rod. The reactor is operated at the particular state during a limited time period, after which the reactor is operated at the normal state.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(一)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1	反應器
2	排放導管
3	公用裝置
4	進水導管
6	反應器容器
7	燃料元件
8	控制棒
13	驅動構件
14	預熱裝置
15	逸氣導管
16	感應器
17	循環泵

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種在核子設備中操作反應器的方法，其中，此反應器包含一個包圍住爐心的反應器容器，此爐心具有數個燃料元件及多個控制棒。其中，各燃料元件包括多個細長燃料棒，其中，各燃料棒具有一上端及一下端，且包括一包覆層及核子燃料。核子燃料是以燃料丸的形式出現且被包圍在此包覆層所形成的內部空間內。其中，燃料丸係被配置於此內部空間中而在此內部空間中留下一自由容積，其中此自由容積包含一上空間、一下空間、及一燃料丸/包覆層間隙。上空間不含任何核子燃料且設置於燃料棒的上端附近，下空間不含任何核子燃料且設置於燃料棒的下端附近，而燃料丸/包覆層間隙則是位於燃料丸與包覆層之間。其中，在反應器的操作期間，反應器冷卻劑以流經接觸燃料棒的爐心之冷卻劑而再次循環，且透過一條進水導管而添加至反應器以作為進水，此進水具有正常的進水溫度且提供反應器冷卻劑的過冷卻(sub-cooling)。其中，各控制棒可以移動一段控制棒距離，以便插入爐心內的個別燃料元件之間的個別位置內且從這些個別位置抽出。

【先前技術】

反應器是一輕水式反應器，且更準確地說是一種沸水式反應器(Boiling Water Reactor，以下簡稱之「BWR」)，

或者是一種壓水式反應器(Pressurized Water Reactor，以下簡稱之「PWR」)。根據此技術領域的先前技術之方法係揭示於 WO 2005/122183 號。

在這種反應器中，各燃料棒包含一包覆層及核子燃料，而核子燃料是以一堆主要為二氧化鈾的燃料丸之形式出現。這些燃料丸並未填滿整個內部空間，而在此內部空間中仍有一自由容積，在此自由容積中可允許燃料丸產生膨脹(亦即：透過熱與輻射而膨脹)。根據先前技術，自由容積包括或者是由一個介於燃料丸與包覆層內側之間的間隙以及一上空間所形成。此自由空間(亦即：並未被燃料丸所填滿的內部空間)係被氬氣所填滿，以改善操作時的熱傳效果並促進製造時的缺陷偵測。各控制棒可以插入 BWR 之間的個別位置或 PWR 爐心中的個別燃料元件之間，或者從該處抽出，以影響反應器的功率，亦即控制反應器的功率及或關掉反應器的操作。

在不幸的情形下，可能會在燃料棒的包覆層上發生較小的缺陷，其稱之為主要缺陷(primary defect)，這樣的主要缺陷可能是由於外來物體的磨損而引起的。小磨損缺陷通常並不會導致從燃料棒的燃料丸中產生任何顯著的溶解與洗掉。然而，小主要缺陷可能導致次要降級且產生較大的第二缺陷(secondary defect)。

當已經產生出主要缺陷時，反應器冷卻劑到燃料棒的內部空間便具有一連通通道。如此意味著水與蒸汽可能會滲透到燃料棒的內部空間，直到燃料棒的內部壓力等於反

應器的系統壓力為止。在此過程期間，包覆層的內側以及燃料丸會發生氧化，同時從反應器冷卻劑中的水分子釋放出氫。氫的釋放會導致在距離主要缺陷一段距離之處會產生很高的氫分壓，亦即所謂的缺氧(oxygen starvation)或缺蒸汽(steam starvation)現象。在這樣的環境下，包覆層的內側傾向於吸收氫，亦即所謂的氫化(hydridding)，這是鋁以及鋁為主的合金等的基本材質特性。吸收氫會導致在包覆層中產生局部相當高的氫濃度，如此一來，將嚴重破壞包覆層的機械特性。然後，包覆層變得很脆弱，這一點可歸因於自行感應的應力或外部負荷，而引起裂縫發生、裂縫生長、以及第二燃料缺陷的發展。

在理論全功率條件下的反應器正常操作期間，從上方看來，主要缺陷可以產生於燃料棒中。可以假設缺陷燃料棒具有例如 20kW/m 的平均負荷，具有例如 5-20 μ m 的燃料丸/包覆層間隙，以及例如 5 至 100(bars)的內部壓力。BWR 的燃料棒中之內部壓力在操作期間係位於此間隔的下方區域，反之 PWR 的燃料棒中之內部壓力在操作期間係位於間隔的上方區域。當產生主要缺陷時，介於燃料棒的內部壓力與系統壓力之間的壓力差將會消失，亦即燃料棒的內部壓力將會等於系統壓力。BWR 中的系統壓力一般大約為 70(bar)，反之 PWR 中的系統壓力一般大約為 150(bar)。當產生主要缺陷時，通常主要由氫氣及燃料丸的裂變氣體(fission gas)所構成之填充氣體將會被運送至燃料棒的兩端。蒸汽將被引進直到燃料棒的內部壓力等於系統壓力為

止。

在燃料棒被納入操作且開始輻射之前，燃料棒的填充氣體實質上是由氫氣所構成，且燃料棒的內部壓力在室溫下一般為 1 至 40(bar)。用於 BWR 的燃料棒中之內部壓力一般是位於此間隔的下方區域，反之用於 PWR 的燃料棒中之內部壓力一般則是位於此間隔的上方區域。在操作期間，一些裂變氣體是從燃料丸中釋放出來且與填充氣體相混合。然後，總壓力會增加，而且在壽命尾聲時一些燃料棒可能會超過系統壓力。假如發生主要缺陷的話，在這些情形下壓力也會均等。所釋放出來的裂變氣體亦包括惰性氣體(例如：氫、氬、氙)也是很重要的。

如上所述，在發生主要缺陷且引進了水之後，在水分子釋放出氫氣的期間，蒸汽將會與包覆層及燃料丸產生反應，如此將會與包覆層或燃料丸產生反應。如此意味著可以在與主要缺陷相隔一段距離之處獲得具有非常高氫分壓的區域。因此，在發生主要缺陷之後立刻可能在燃料棒兩端上各已經形成了具有填充氣體的區域。直接出現於尾端附近的自由容積起初可能主要含有純氫氣，其混合有惰性氣體，但是毫無蒸汽。由於在發生主要缺陷之後在這些區域中的氫分壓相當高，所以，第二降級的風險很高。然而，假如氫的分壓減少且蒸汽的分壓增加的話，則將會降低局部大量氫吸收現象，因而降低局部第二降級的風險。氫吸收現象可以更均勻地發生於包覆層壁體的整個內側上。

相較於氫氣而言，蒸汽具有較差的熱傳特性。因此，

在發生主要故障以及相關的蒸汽進入之後，燃料丸正常情形下會溫度上升。與燃料丸的溫度升高有關之熱膨脹將會進一步縮減燃料丸/包覆層間隙，且降低燃料棒內的氣體交流。藉由形成具有較低密度及較大體積的氧化物，使得包覆層與燃料丸的氧化具有類似的限制效果。

WO2005/122183 號揭示一種方法，根據此種方法，可以減少第二降級的風險。更明確地，WO 2005/122183 揭示一種在核子設備中操作反應器之方法，其中，反應器包圍一爐心，此爐心具有多個燃料元件及多個控制棒。各燃料元件包括多個燃料棒，這些燃料棒各包括一包覆層及核子燃料，其中核子燃料是以多個被包圍在包覆層所形成的內部空間中之燃料丸的形式出現。各控制棒可以插入爐心中的個別燃料元件之間的個別位置內，或從該處抽出，以影響反應器的功率。此方法包含以下步驟：在正常狀態下以正常功率操作反應器；監控反應器，用以偵測在任何燃料棒的包覆層上之缺陷；在偵測出缺陷之後，降低反應器的功率；在特殊狀態期間，在一有限的時間週期內操作反應器，在此期間反應器至少週期性地以相較於正常功率為降低的功率進行操作；以及，在該時間週期之後，抽出該插入的控制棒，用於在實質上正常的狀態下繼續操作反應器。

由於當已經偵測出主要缺陷時，根據 WO2005/122183 號的反應器是以降低的功率下進行操作，所以將會降低燃料中的核子反應，如此亦降低了燃料丸的熱膨脹。因此，

燃料棒的內部空間中之自由容積與連通路徑將會增加。如此意味著甚至更多的蒸汽可能會滲透到燃料棒的內部空間中，以維持燃料棒的內部空間與系統壓力之間的壓力均衡。此外，當反應器功率降低且燃料溫度下降時，包覆層及燃料丸的氧化反應速率將會減少。當功率下降時，由於缺陷燃料棒具有實質上較低的燃料丸溫度且在內部空間中具有實質上較大的自由容積，所以，由裂變氣體、氫氣與蒸汽所形成的氣體(亦即：填充氣體)將會透過擴散而互相混合。擴散也將會在較高的燃料丸溫度下發生，但是氧化與氫化的速率可能相當高，而導致相較於燃料棒的不同部件之間的壓力差所引起的氣體移動來說，擴散便不具有顯著的重要性。因此，根據 WO2005/122183 號，透過擴散所達成的氣體混合將是用於顯著地降低並分佈燃料棒中氫氣消耗的主控機制。在這些情形下，當氫化相當緩慢的時候，可以在內部空間獲得氣體混合。當在燃料棒的內部空間中已經獲得了氫與水分子的適當混合物時，在一繼續操作中的氫吸收將沿著整個燃料棒更加均勻地發生。因此，可以避免包覆層產生一個區域，此區域由於強力的局部氫化之緣故而導致顯著退化的機械特性。均勻的氫分佈能使得燃料棒明顯地不易受到裂縫發生、裂縫生長及第二缺陷生長的影响。因此，至少週期性地以降低功率操作反應器之有限的時間週期，會導致以下的可能性之顯著增加，就是具有同組燃料棒的反應器之後可以繼續操作，直到下一次排定的正常修訂停機為止，而不需要為了移除缺陷燃料而額

外停工，且不需要為了局部降低缺陷燃料所在的爐心區域中之功率而引進控制棒。

美國專利第 5,537,450 號揭示一種用於偵測是否有燃料缺陷的裝置。此裝置被設置成用以在反應器操作期間透過 γ 攝譜儀運送一部分來自反應器的逸氣(off-gas)而偵測出燃料缺陷，其中此 γ 攝譜儀連續地測量核素成分及此逸氣中的活性程度。已知可以藉由一種所謂的「流量傾斜」的方法，使燃料缺陷得以局部化，如此意味著控制棒是一根接著一根進行操作，致使在測量逸氣中活性程度的同時，可以局部改變爐心中的功率。逸氣中活性程度的增加可以與燃料缺陷附近的控制棒移動產生相互關連。以此方式，可以使燃料缺陷產生局部化。此方法相當費時，而且當產生此局部化操作時，反應器的功率會降低至全功率的 60%與 80%之間。

美國專利第 B1-6,298,108 揭示一種用於 BWR 的燃料棒。此燃料棒具有一上端及一下端，且包括一包覆層與核子燃料，此核子燃料是以燃料丸的形式出現且被包圍在包覆層所形成的內部空間中。這些燃料丸係被設置於此內部空間中，致使一個不含有核子燃料的上空間係設置於燃料棒的上端附近，而且一個不含有核子燃料的下空間係設置於燃料棒的下端附近。下空間的軸向長度大約是上空間的軸向長度之 50%。

【發明內容】

本發明之目的是要抵消由於可能的主要缺陷所引起之降級，且因此降低在反應器的繼續操作期間產生第二缺陷的風險。

上述目的係藉由本發明之方法而達成，其包含以下的操作步驟：

在正常狀態期間，以正常功率操作該反應器，且進行正常的過冷卻；

監控該反應器，用以在任何燃料棒的包覆層上偵測缺陷；

在偵測出缺陷之後，將該反應器的操作改變至一特殊狀態，其中，該特殊狀態被建構成能允許至少在其中偵測出缺陷的燃料棒中增加自由容積；

在一有限的時間週期內，以該特殊狀態操作該反應器；
以及

在該時間週期之後，以實質上該正常狀態而操作該反應器。

當已經偵測出主要缺陷時，反應器因此是以該特殊狀態進行操作，因而增加燃料棒的內部空間中之自由容積及氣體連通通道。在此特殊狀態期間，燃料中的核子反應以及燃料丸的溫度與熱膨脹將會增加。所增加的自由容積能允許更多蒸汽滲透到燃料棒的內部空間中，如此一來將會降低用於包覆層與燃料丸的氧化以及包覆層的氫化之反應速度。由裂變氣體、氫氣與蒸汽所形成的氣體(亦即，填充氣體)將透過擴散而互相混合。下空間增強了燃料棒的下端

中之氣體混合，同時上空間具有與燃料棒的上端中之相同效果。

在下空間中的氣體混合物中之蒸汽在此特殊狀態期間會產生冷凝，這是由於蒸汽分壓從大約 70 (bar)降低至大約 44 (bar)，且氣體混合物的溫度降低大約 30K。因此，比起 WO2005/122183 中提出的方法所能達成之量來說，甚至可以有更多的蒸汽滲透到燃料棒的內部空間中。

根據此方法的一種發展結果，下空間沿著此細長的燃料棒具有一縱向長度，且上空間沿著此細長的燃料棒具有一縱向長度，其中下空間的縱向長度明顯地小於上空間的縱向長度。特別地，下空間的縱向長度可能小於上空間與下空間的總縱向長度之 30%。

根據此方法的一種發展結果，此特殊狀態包含至少一個以下的操作步驟：在正常狀態期間，以相對於正常功率的降低功率而操作反應器；在正常狀態期間，相對於正常過冷卻，以反應器冷卻劑的增加過冷卻而操作此反應器，以便在燃料棒上獲得更大的溫度梯度。除了功率降低之外，在此特殊狀態，下空間將會被冷卻。BWR 的正常狀態包括 70(bar)的系統壓力，且反應器冷卻劑的溫度大約為 286°C(亦即：飽和條件)。爐心入口溫度正常情形下大約比此飽和溫度低了十度，已知為過冷卻。其中一種降低功率的方式是減少 BWR 中的爐心冷卻劑流，如此會增加過冷卻。可以藉由關掉在進水預熱裝置中的一個或多個預熱器，而進一步增加此過冷卻。

根據此方法的一種發展結果，該降低功率及/或增加過冷卻，是藉由降低通過爐心的反應器冷卻劑之冷卻劑流而獲得。可以非常快速地執行此種功率降低，且導致快速降低燃料丸的溫度，如此可減少其容積，因而增加此缺陷燃料棒的內部空間中之自由容積與氣體連通路徑。

根據此方法的一種發展結果，在正常狀態期間，藉由一預熱裝置，而在反應器外側預熱所添加的反應器冷卻劑，其中該反應器冷卻劑的增加過冷卻係藉由減少上述添加的反應器冷卻劑(亦即，進水)之預熱而獲得。可以相當快速且有效地執行這樣的增加過冷卻。在操作的正常狀態下，正常的進水溫度大約是在 180 至 240°C 的範圍內。藉由增加過冷卻，透過分離此預熱裝置的一個或幾個預熱器而減少進水溫度。

根據此方法的一種發展結果，藉由使至少一些控制棒移動至爐心中達到至少一部分控制棒距離，而獲得該減少的功率。而且，可以非常快速且有效地執行這樣的功率減少。

根據此方法的一種發展結果，實質上所有的控制棒在此特殊狀態期間至少週期性地移動至少一部分控制棒距離。在此情形下，對於燃料棒的重要下部來說，可以獲得特別顯著的功率降低。這一點對於結合上述增加的過冷卻來說是特別有效的。

根據此方法的一種發展結果，可藉由使不同組的控制棒相繼地移動至少一部分控制棒距離，而獲得該降低功

率，其中各組控制棒界定出爐心的個別特定部位。因此，此特殊狀態可以在相繼的週期中被建立起來，以用於爐心的不同部位。然後，個別的控制棒或幾組控制棒可以被用於功率降低。如此能允許辨識缺陷燃料棒的位置，且限制所需的功率降低。

根據此方法的一種發展結果，在此特殊狀態的整個時間週期內，反應器是以降低的功率進行操作。有利地，在此特殊狀態的整個時間週期內，實質上所有的控制棒可以移動至少一部分的控制棒距離。

根據此方法的一種發展結果，在偵測出缺陷之後，此特殊狀態至少在 72 小時內開始實施，較佳地是在偵測出缺陷之後 48 小時內實施，更好地是在偵測出缺陷之後 24 小時內開始實施。有利地，此特殊狀態實質上是在偵測出缺陷之後立刻開始實施。假如功率降低發生得很快，使得在發生缺陷之後盡可能快速地獲得內部空間中的想要混合物，這樣是很有利的。

根據此方法的一種發展結果，此特殊狀態涉及至少一些控制棒是交替地插入個別位置內或從該處抽出，用以獲得功率的交替增減。當已經辨識出缺陷燃料棒時，這一點可能很有利。

根據此方法的一種發展結果，該監控步驟包括在反應器的操作期間連續地監控。然後，此監控步驟可以有利地包括感測放射活性，或者感測來自反應器的氣流中是否存在一個或幾個裂變氣體。

根據此方法的一種發展結果，燃料棒包含一個設置於上空間內的氫吸收元件，及/或一個設置於下空間內的氫吸收元件。藉由這樣的一個氫吸收元件，可以進一步降低氫化的風險，這是因為在填充氣體內存在至少一定程度的氫，可以被此氫吸收元件所吸收，因此，可以降低包覆層的內部空間中氫的百分比。

根據此方法的一種發展結果，氫吸收元件包含一氫吸收本體，其具有一表面，此表面塗有一層非氧化且可供氫滲透過去的物質。假如此元件處於氫分壓很高的環境下，亦即其中氫化風險很高的區域，則在至少一空間中這樣的一個氫吸收元件將會吸收掉氫，反之，由於非氧化性塗層的緣故，此元件並不會與環境中的水或蒸汽產生反應。

根據此方法的一種發展結果，吸收本體係被包圍於一個具有實質上凸面狀外表面的虛擬本體內，且其中此吸收本體的表面顯著地大於虛擬本體的外表面。藉由氫吸收元件的表面擴大，可以進一步增加吸收能力。

根據此方法的一種發展結果，塗層物質包含由鈮、銻、銻等所構成的群組中之至少一金屬，以及含有這些金屬其中一種或多種金屬的合金。

根據此方法的一種發展結果，吸收本體包含由鋅、鈦、鎳所構成的群組中之至少一金屬，以及含有這些金屬中的一種或多種的合金。

根據此方法的一種發展結果，燃料棒包含一個設置於上空間中的距離元件，及/或一個設置於下空間內的距離元

件。

根據此方法的一種發展結果，該等距離元件的至少其中之一形成該吸收元件。

根據此方法的一種發展結果，該等距離元件的其中至少之一可產生變形，以允許燃料丸的膨脹。

【實施方式】

圖 1 顯示一核子設備，其包含一反應器 1、一條來自反應器 1 的排放導管 2、一公用裝置 3、及一條從公用裝置 3 回到反應器 1 的進水導管 4。反應器 1 可以是沸水式反應器(BWR)，或者是壓水式反應器(PWR)。在所顯示的範例中，雖然本發明也可以應用至 PWR，但是在說明書中係提及關於 BWR 的應用。

反應器 1 包含一個包圍爐心的反應器容器 6，此爐心具有多個燃料元件 7 及多個控制棒 8。各燃料元件 7 包括多個細長燃料棒 9，如圖 2 所示，其沿著上端 9' 與下端 9'' 之間的縱向軸線而延伸。各燃料棒 9 包括一包覆層 10 及核子燃料，核子燃料是以一堆燃料丸的形式出現，這些燃料丸係被包圍在包覆層 10 所形成的內部空間 12 中。由於燃料丸 11 並未佔據整個內部空間 12，所以在此包覆層 10 的內部空間 12 中形成了一個不含核子燃料的自由容積。自由容積的尺寸係隨著燃料丸 11 的溫度改變，且因此會隨著燃料丸 11 的熱膨脹而改變。

自由容積是由一個介於燃料丸 11 與包覆層 10 的內側

之間的燃料丸/包覆層間隙(例如為 5 至 20 μm)、上空間 12' 以及下空間 12'' 所形成。不含核子燃料的上空間 12' 係設置於燃料棒 9 的上端 9' 之附近。不含核子燃料的下空間 12'' 係設置於燃料棒 9 的下端 9'' 附近。細長燃料棒 9 的總縱向長度大約是四米。空間 12'、12'' 的總縱向長度大約是 25 至 40cm。下空間 12'' 之縱向長度是顯著地小於上空間 12' 的縱向長度。例如，下空間 12'' 的縱向長度小於空間 12'、12'' 的總縱向長度之 30%、較佳地小於 20%，且最好是小於 10%。

要注意的是各燃料棒 9 或一些燃料棒也可以包含一個或多個不含核子燃料的中間空間(未顯示)。這樣的一個或多個中間空間係設置於上空間 12' 與下空間 12'' 之間。此一個或多個中間空間彼此隔開，且藉由一些燃料丸而與上空間 12' 和下空間 12'' 隔開。空間 12'、12'' 以及此一個或多個中間空間的總縱向長度大約仍舊是 25 至 40cm。

各個控制棒 8 可以移動一段控制棒距離，以便藉由驅動構件 13 而插入爐心內的個別燃料元件 7 之間的個別結束位置，且從該處抽出。這些控制棒 8 可以在 BWR 內用於影響或控制反應器 1 的功率。當控制棒 8 被抽出時，便進行核子連鎖反應。而且，當控制棒 8 插入爐心內的個別結束位置內時，至少在插入的控制棒 8 附近會停止核子連鎖反應。在反應器的正常操作期間，比較圖 1 可以看出，大部分的控制棒 8 是抽出的。在 BWR 中，控制棒 8 係沿著控制棒距離而移動至結束位置與抽出位置之間的位置，

以允許控制反應器的功率。在 PWR 中，控制棒可以移動至完全插入結束位置，或者移動至完全抽出位置，藉此影響反應器的功率。

在 BWR 中，反應器冷卻劑是在一個主要系統中再次循環。主要系統的反應器冷卻劑係被轉換成反應器 1 中的蒸汽，此蒸汽與水隔開且被輸送至含有蒸汽渦輪與冷凝器的公用裝置 3。從其中蒸汽被轉換成水的冷凝器開始，反應器冷卻劑透過一個預熱裝置 14 及進水導管 4 而供應回到反應器 1 以作為進水。進水在透過進水導管 4 而被輸送回到反應器 1 之前，它可以在此預熱裝置 14 中被預熱成大約 180 至 240°C。預熱裝置 14 可以包含一個或多個熱交換器。

核子設備亦包含一個用於捕捉且移除反應器 1 中所產生的逸氣之裝置。此裝置可以包括一個逸氣導管 15。在此逸氣導管 15 中，例如，可以設置一個感應器 16。感應器 16 係被設置成能夠偵測出在燃料棒 9 反應時所形成的放射性核素。假如在一包覆層 10 上產生缺陷的話，則裂變氣體將會外漏，且透過逸氣導管 15 而從主要系統輸送出去。這些裂變氣體包含放射性核素，這些放射性核素可以被偵測出來，且提供實質上立即的資訊，以便指示已經偵測出主要缺陷。

在操作期間，反應器冷卻劑也作為冷卻劑流動而透過與燃料棒 9 相接觸的爐心再次循環於反應器 1 內，藉此影響反應器 1 的功率。反應器冷卻劑的再次循環係藉由很多

循環泵 17 而完成，這些循環泵一般係設置於反應器 1 的底部附近。在圖 1 中，僅概略顯示兩個這類的循環泵 17。也可以使用除了上述所顯示的以外之其他循環泵配置方式，例如設置在外部迴路中，或者在反應器內的噴射泵，這些是藉由外部供應泵所驅動。

各燃料棒 9 亦包含一個設置在上空間 12' 內的距離元件 20'，以及一個設置於下空間 12'' 內的距離元件 20''。在所揭示的實施例中，上空間 12' 中的距離元件 20' 係被建構成一個氣室彈簧。在上空間 12' 中的距離元件 20' 之用途是要使燃料丸 11 在包覆層 10 的內部空間 12 中維持在適當位置。而且，上空間 12' 的距離元件 20' 係被建構成能允許氣室彈簧的變形或壓縮，以便吸收在反應器 1 的操作期間燃料丸 11 的膨脹。下空間 12'' 中的距離元件 20'' 之用途是要將燃料丸 11 在包覆層 10 的內部空間 12 中維持於正確位置，且更加精確地承載整堆燃料丸 11 的重量。在所揭示的實施例中，下空間 12'' 中的距離元件 20'' 係被建構成一個堅硬本體，且更精確地說是被建構成一個短管(請參考美國專利第 B1-6,298,108 號)。下空間 12'' 的距離構件 20'' 可以不同的方式建構成具有任何適當形狀的堅硬本體。也許，下空間 12'' 的距離元件 20'' 也可以被建構成允許氣室彈簧的變形或壓縮，以便吸收在反應器 1 的操作期間燃料丸 11 的一部分膨脹。在燃料棒 9 包含一個中間空間的情形中，一個距離元件亦設置於此一中間空間內。

而且，各燃料棒 9 或一些燃料棒可以包含一個設置於

上空間 12' 內的氫吸收元件 21'，及/或一個設置於下空間 12'' 內的氫吸收元件 21''。氫吸收元件 21'、21'' 包含一氫吸收本體，此氫吸收本體包含由鋅、鈦、鎳所構成的群組中之至少一金屬，以及含有這些金屬中的一種或多種的合金。這些金屬具有很強的吸收氫能力。此吸收本體具有一表面，此表面塗有一層能夠允許氫滲透過去的物質，但是卻不允許比氫分子更大的分子所組成的物質通過。此層的物質包含由鈹、銻、銻所構成的群組中之至少一金屬，以及含有上述金屬的其中一種或多種金屬之合金。

在所揭示的實施例中，吸收本體具有一圓柱形形狀。要注意的是吸收本體可以具有任何適當的形狀，例如，球形或立方體形狀，或者是具有相當大表面積的外部輪廓之更複雜形狀。為了達成如此的一個大表面積，吸收本體可以被包圍在一虛擬本體內，此虛擬本體具有一個實質上凸面狀的外表面，且其中此吸收本體的表面顯著地大於虛擬本體的外表面。

在另一實施例中，至少一個距離元件 20'、20'' 可形成此吸收元件。尤其，下空間 12'' 的距離元件 20'' 可以被形成為一個氫吸收元件。假如燃料棒 9 具有一個中間空間的話，則氫吸收元件可以設置於此中間空間內。

根據一實施例，反應器 1 可以在正常狀態期間以一個正常的功率(亦即，正常的完整功率)進行操作。在此正常操作期間，藉由感測器 16 而經常或連續地監控反應器 1，用以偵測在爐心中的任何燃料棒 9 之包覆層 10 上的可能

缺陷。此可能的缺陷可以是一個主要缺陷，其例如可以由機械磨損所引起。此缺陷在圖 2 中係標示為元件符號 30。

假如已經偵測出這樣的一個缺陷 30 的話，反應器的操作則會改變成一特殊狀態，包含一個反應器 1 的降低功率及/或反應器冷卻劑的增加過冷卻。此操作的改變至少是在偵測出缺陷之後的 72 小時之內產生，較佳地是在 48 小時之內產生，更好的是在 24 小時之內產生。有利地，改變至特殊狀態的操作盡可能在一偵測到缺陷 30 之後立刻產生比較好。

因此，可以透過以下的幾種方式之其中一個或其組合而獲得特殊狀態。

1. 可以藉由降低通過爐心的反應器冷卻劑之冷卻劑流動，而減少 BWR 內的功率。可以藉由減少一個或多個循環泵 17 的功率或速度，而獲得冷卻劑流動的減少。

2. 可以藉由插入至少一些控制棒到爐心中的個別位置內，而降低 BWR 或 PWR 中的功率。

3. 可以例如藉由關掉預熱裝置 14 的一個或多個熱交換器，而減少進水的預熱，藉此增加 BWR 或 PWR 中的反應器冷卻劑之過冷卻。

尤其是在 BWR 中，可以藉由使至少一些控制棒移動至爐心內達到至少一部分控制棒距離而降低功率。例如，控制棒 8 可以移動一段較小的距離，致使他們可以從燃料棒 9 的底部覆蓋住燃料棒 9 至少大約 15cm，至少大約 30cm，或者至少大約 50cm。

在控制棒 8 移動到爐心內時，藉由驅動構件 13，可減少連鎖反應，且因此燃料棒 9 中的燃料丸 11 之功率與溫度均減少。假如控制棒 8 完全插入個別結束位置的話，則可獲得所謂的熱關機，如此意味著連鎖反應實質上停止了，但是反應器 1 中的系統壓力以及反應器 1 中的冷卻劑水溫度實質上均被保持成從裂變產物產生殘餘熱能。

然後，根據上述第 1 至 3 項方法的一項或更多項方法，例如插入控制棒 8，在特殊狀態期間，反應器 1 係以一個降低的功率及/或增加的過冷卻而進一步操作。此特殊狀態係存在於一段有限的時間週期內。此有限的時間週期之長度可以根據許多不同的因素而有所改變，例如：反應器 1 的尺寸，已經插入的控制棒 8 之數目等。在此時間週期內，此功率實質上相對於正常完全功率而降低，且在整個燃料棒的全長上建立起一個較大的溫度。此時間週期至少具有使燃料丸的溫度顯著降低的長度。例如，此有限的時間週期可以停留在幾十分鐘或幾小時，直到一天、二天、三天或四天。例如，此有限時間週期可以至少為 10、20、30、40 或 50 分鐘，或者 1、2、3、4、5、6、7、10、14、20 或更多小時。此有限的時間週期最大可以為四天、三天、二天或一天。

在此特殊狀態期間，燃料丸 11 的熱膨脹將會減少，且因此缺陷燃料棒 9 的內部空間 12 中之自由容積與氣體連通路徑將會增加。此容積增加意味著更多的蒸汽將會滲透到內部空間 12 內，致使能夠維持內部空間 12 與系統壓力

之間的壓力均衡。而且，燃料丸 11 的較低溫度意味著包覆層 10 及燃料丸 11 的氧化反應速度以及包覆層 10 的氫化反應速度將會減少。

實質上在此時間週期立即之後，當已經發生壓力均衡時，反應器 1 可能會再度以同組燃料棒 9 而以實質上完全的功率而進行操作。因此，缺陷燃料棒 9 可以被固持於爐心內，直到下一個排定好用於更換燃料的停機為止。

要注意的是在所界定的時間週期內，可以僅插入其中一些控制棒 8 到個別位置內。此特殊狀態也可以被建立起來用於相繼連續的週期內的一些爐心部位，其中，透過將不同組控制棒相繼插入爐心中的個別位置內，而獲得功率降低。然後，每組控制棒有利地界定出爐心的一個特定部位。也可以想像插入超過一半的控制棒 8，以便獲得能夠影響反應器中更大部分的燃料元件之功率降低。

根據此方法之一變形，此特殊狀態包括至少一些控制棒 8 或實質上所有控制棒 8 均交替地插入個別位置內或從該處抽出，以便獲得功率的交替增減。同樣地，可以藉由改變進水的預熱，而交替改變過冷卻。以此方式，燃料丸 11 的溫度與熱膨脹將也會以交替方式增加與減少，如此意味著可加速內部空間中氣體的混合。

本發明並未侷限於上述實施例而已，且可以在稍後敘述的申請專利範圍所界定之範圍內改變與修改。

【圖式簡單說明】

以上係藉由揭示出本發明範例的較佳實施例以及附圖而詳細說明本發明。

圖 1 示意地顯示 BWR 核子設備。

圖 2 示意地顯示一個通過燃料棒的縱向剖面。

【主要元件符號說明】

1	反應器
2	排放導管
3	公用裝置
4	進水導管
6	反應器容器
7	燃料元件
8	控制棒
9	燃料棒
9'	上端
9''	下端
10	包覆層
11	燃料丸
12	內部空間
12'	上空間
12''	下空間
13	驅動構件
14	預熱裝置
15	逸氣導管

16	感應器
17	循環泵
20'	距離元件
20''	距離元件
21'	氫吸收元件
21''	氫吸收元件
30	缺陷

十、申請專利範圍：

1. 一種在核子設備中操作反應器(1)之方法，其中，該反應器(1)包含一個包圍住爐心的反應器容器(6)，該爐心具有數個燃料元件(7)及多個控制棒(8)，

其中，各燃料元件(7)包括多個細長燃料棒(9)，該等燃料棒各具有一上端(9')及一下端(9'')且包含一包覆層(10)與核子燃料，該核子燃料是以多個燃料丸(11)的形式出現且被包圍在該包覆層所形成的內部空間(12)中，

其中，該等燃料丸(11)係被配置於該內部空間中，而在該內部空間中留下一個自由容積，其中，該自由容積包含一上空間(12')、一下空間(12'')、及一燃料丸/包覆層間隙；該上空間不含核子燃料且係設置於燃料棒的上端附近，該下空間不含核子燃料且係設置於燃料棒的下端附近，該燃料丸/包覆層間隙係設置於該等燃料丸(11)與該包覆層(10)之間，

其中，在該反應器的操作期間，反應器冷卻劑係以流經與燃料棒(9)相接觸的爐心之冷卻劑而再次循環，且透過一條進水導管(4)而被添加至反應器內以作為進水，該進水具有正常的進水溫度，可提供反應器冷卻劑進行過冷卻；以及

其中，各控制棒(8)可以移動一段控制棒距離，以便插入爐心中個別燃料元件之間的個別位置內，且從該處抽出，該方法包含以下的操作步驟：

在正常狀態期間，以正常功率操作該反應器，且進行

正常的過冷卻；

監控該反應器，用以偵測在任何燃料棒的包覆層上之缺陷；

在偵測出具有包覆層上之缺陷的缺陷燃料棒之後，將該反應器的操作改變至一特殊狀態，該特殊狀態造成至少在其中偵測出缺陷的燃料棒中增加自由容積；

在一有限的時間週期內，以該特殊狀態操作該反應器；以及

在該時間週期之後，以實質上該正常狀態操作該反應器。

2.如申請專利範圍第 1 項之方法，其中，該下空間(12")沿著該細長的燃料棒(9)具有一縱向長度，且該上空間(12")沿著該細長的燃料棒(9)具有一縱向長度，其中，該下空間(12")的縱向長度顯著地小於該上空間(12")的縱向長度。

3.如申請專利範圍第 2 項之方法，其中，該下空間的縱向長度是小於上空間(12')與下空間(12")的總縱向長度之 30%。

4.如申請專利範圍第 1 至 3 項中任一項之方法，其中，該特殊狀態包含至少一個以下的操作步驟：

在正常狀態期間，以相對於正常功率的降低功率而操作該反應器；以及

在正常狀態期間，相對於正常過冷卻，以反應器冷卻劑的增加過冷卻而操作該反應器，以便在燃料棒上獲得更大的溫度梯度。

5.如申請專利範圍第4項之方法，其中，該降低功率及/或增加過冷卻係藉由降低通過爐心的反應器冷卻劑之冷卻劑流而獲得。

6.如申請專利範圍第4項之方法，其中，在正常狀態期間，藉由一預熱裝置，而在該反應器外側預熱所添加的反應器冷卻劑，且其中該反應器冷卻劑的增加過冷卻係藉由減少上述添加的反應器冷卻劑之預熱而獲得。

7.如申請專利範圍第4項之方法，其中，藉由使至少一些控制棒(8)移動到爐心中達到至少一部分該控制棒距離，而獲得該減少的功率。

8.如申請專利範圍第7項之方法，其中，實質上所有的控制棒(8)在該特殊狀態期間至少週期性地移動至少一部分控制棒距離。

9.如申請專利範圍第4至6項中任一項之方法，其中，可藉由使不同組的控制棒(8)相繼地移動至少一部分控制棒距離，而獲得該降低功率，其中，各組控制棒界定出該爐心的個別特定部位。

10.如申請專利範圍第4項之方法，其中，在該特殊狀態的整個時間週期內，該反應器是以降低的功率進行操作。

11.如申請專利範圍第4項之方法，其中，在該特殊狀態的整個時間週期內，實質上所有的控制棒可以移動至少一部分的控制棒距離。

12.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，在偵測出缺陷之後，該特殊狀態至少在72小時內開始實施。

13.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，在偵測出缺陷之後，該特殊狀態至少在48小時內開始實施。

14.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，在偵測出缺陷之後，該特殊狀態至少在24小時內開始實施。

15.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，實質上在偵測出缺陷之後，該特殊狀態立刻開始實施。

16.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，該特殊狀態涉及至少一些控制棒是交替地移動到該爐心內，用以獲得功率的交替增減。

17.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，該監控步驟包括在該反應器的操作期間連續地監控。

18.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，該監控步驟包括感測來自反應器的氣流中之放射活性。

19.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，該燃料棒包含一個設置於上空間(12')內的氫吸收元件(21')，及/或一個設置於下空間(12'')內的氫吸收元件(21'')。

20.如申請專利範圍第19項之方法，其中，該氫吸收元件(21'、21'')包含一氫吸收本體，其具有一表面，該表面塗有一層非氧化且可允許氫滲透過去的物質。

21.如申請專利範圍第20項之方法，其中，該物質包含由鈮、銻、銻所構成的群組中之至少一金屬，以及含有這些金屬其中一種或多種金屬的合金。

22.如申請專利範圍第20項之方法，其中，該吸收本體包含由鋅、鈦、鎳所構成的群組中之至少一金屬，以及含

有這些金屬中的一種或多種的合金。

23.如申請專利範圍第1至3項中任一項之方法，其中，該燃料棒(9)包含一個設置於上空間(12')中的距離元件(20')，及/或一個設置於下空間(12'')內的距離元件(20'')。

24.如申請專利範圍第23項之方法，其中，該等距離元件(20'、20'')的至少其中之一形成該吸收元件。

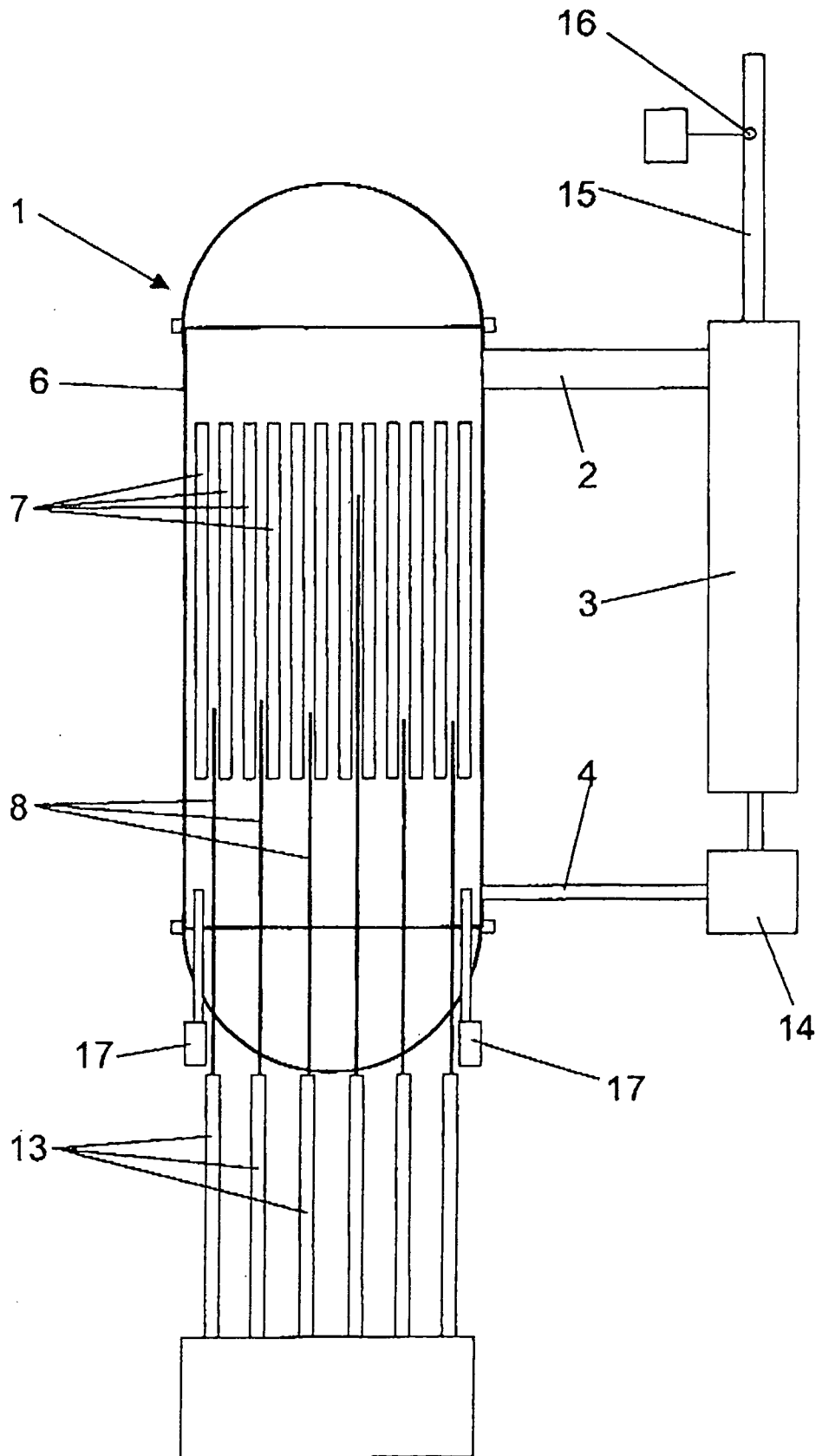
25.如申請專利範圍第23項之方法，其中，該等距離元件的其中至少之一可產生變形，以允許該等燃料丸的膨脹。

十一、圖式：

如次頁

1/2

圖 1



2/2

圖 2

