

發明專利說明書

(本申請書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：97144359

※申請日期：97 年 11 月 17 日

※IPC 分類：G21C 3/30 (2006.01)

一、發明名稱：

(中) 無故障燃料束組件

(英) Fail-free fuel bundle assembly

二、申請人：(共 1 人)

1. 姓 名：(中) 奇異－日立核能美國有限責任公司

(英) GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC

代表人：(中) 1. 托普 芭芭拉

(英) 1. TOOP, BARBARA

地 址：(中) 美國北卡羅萊納州威明頓海尼城堡路 3 9 0 1 號

(英) 3901 Castle Hayne Road, Wilmington, NC 28401, U.S.A.

國籍：(中英) 美國 U.S.A.

三、發明人：(共 7 人)

1. 姓 名：(中) 小羅素 威廉

(英) RUSSELL, II, WILLIAM EARL

國 籍：(中) 美國

(英) U.S.A.

2. 姓 名：(中) 蒙那提 克里斯多弗

(英) MONETTA, CHRISTOPHER J.

國 籍：(中) 美國

(英) U.S.A.

3. 姓 名：(中) 富勒 約翰

(英) FULLER, JOHN DEAN

國 籍：(中) 美國

(英) U.S.A.

4. 姓 名：(中) 圖曼 路卡斯

(英) TROSMAN, LUKES

國 籍：(中) 美國

(英) U.S.A.

5. 姓名：(中) 史密斯 大衛
(英) SMITH, DAVID GREY
國籍：(中) 美國
(英) U.S.A.

6. 姓名：(中) 克拉克 卡爾頓
(英) CLARK, CARLTON W.
國籍：(中) 美國
(英) U.S.A.

7. 姓名：(中) 詹姆斯 羅勃特
(英) JAMES, ROBERT BRYANT
國籍：(中) 美國
(英) U.S.A.

四、聲明事項：

◎本案申請前已向下列國家（地區）申請專利 ☐ 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 美國 ; 2007/11/28 ; 11/946,272 ☒ 有主張優先權

五、中文發明摘要

發明之名稱：無故障燃料束組件

本發明提供一種用於核反應器核心之燃料束。燃料束可包括複數由核燃料棒及/或同位素生產棒組成之棒。每一棒包括複數互連的棒段，其中至少一棒的該等棒段的至少二者具有不同外徑。燃料束附加地包括複數棒分隔柵，其堅固地保持在軸向相鄰互連的棒段之間。互連在軸向相鄰棒段之間的棒分隔柵形成一陣列實質等距分隔棒。燃料束可另包括伸長管形通道，形成陣列的棒係容納於該伸長管形通道。

六、英文發明摘要

發明之名稱：

Fail-free fuel bundle assembly

A fuel bundle for a nuclear reactor core is provided. The fuel bundle may include a plurality of rods comprised of nuclear fuel rods and/or isotope production rods. Each rod includes a plurality of interconnected rod segments, wherein at least
5 two of the rod segments of at least one rod have different outside diameters. The fuel bundle may additionally include a plurality of rod spacer grids securely retained between axially adjacent, interconnected rod segments. The rod spacer grids interconnected between axially adjacent rod segments form an array of substantially
equally spaced rods. The fuel bundle may further include an elongate tubular
10 channel in which the arrayed rods are housed.

七、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第(2)圖

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

14A：燃料束

18：燃料棒

20：同位素生產靶棒

22：通道

26：上繫板

30：下繫板

34：分隔柵

38：水棒

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】

本教導係關於核反應器燃料束組件。

【先前技術】

此段中的敘述僅提供有關本揭示之背景資訊，且可能不會構成習知技術。

諸如沸水式反應器之核反應器通常包括由許多燃料束組成之反應器核心，液態緩和劑或冷卻劑（例如，液態水）流經該等燃料束且繞著該燃料束流動。當冷卻劑通過核心時，燃料束內之核反應產生用於將冷卻劑轉換成蒸汽之熱。然後使用蒸汽來產生電力。每一燃料束典型地包括複數密封且垂直直立的燃料棒，其容納於伸長的管形通道內。於該通道內，每一燃料束的燃料棒係藉由兩個或更多由複數互連間隔件組成之分隔柵以隔開配置而固持，該等互連間隔件複數行列的開放單元。每一單元具有延伸穿過其中之不同的長且撓性燃料棒的各別一者，且供作在反應器內之冷卻劑流的動態下防止該等燃料棒相互磨耗接觸。間隔件附加地保持用於最佳核性能之指定燃料棒對燃料棒間距，且促成緩和劑的混合。

燃料棒通常是具有實質等於各別束的全部長度的長度之統一結構。附加地，每一燃料棒典型地包括延伸大約各棒的整個長度之內軸孔徑。核燃料（例如，鈾 235）係沉積於內徑內以產生核反應。因此，每一此種燃料棒之燃料

的濃化位準沿著棒的長度通常是一致的。

附加地，最熟知的間隔件具有非常複雜設計，其可阻止冷卻劑流經各別束，且常使流經該束之殘渣入陷。由於冷卻劑流，此種入陷的殘渣可能對著燃料棒而振動、拍擊或發出聲音且破壞燃料棒，其造成燃料對反應器中的水的可能暴露。

【發明內容】

依據各種形態，提供用於核反應器核心之燃料束。於不同實施例，燃料束可包括複數由核燃料棒及/或同位素生產棒組成之棒。每一棒包括複數互連棒段，其中至少一棒的該等棒段的至少兩個具有不同外徑。燃料束可附加地包括複數堅固地保持在軸向相鄰互連棒段之間之棒分隔柵。互連至軸向相鄰棒段之棒分隔柵形成一陣列實質等距間隔棒。燃料束可另包括容納形成陣列的棒之伸長的管形通道。

於其它不同實施例，燃料束可包括複數由核燃料棒及/或同位素生產棒組成之棒。每一棒包括複數互連棒段，其中每一棒段具有用於保持核燃料或複數同位素生產靶之內穴。至少一棒的該等棒段的至少兩者可具有不同外徑、不同軸向長度、不同核燃料濃化值及/或不同同位素靶。燃料束可附加地包括複數棒分隔柵，其堅固地保持在軸向相鄰互連棒段之間以形成一陣列實質等距間隔棒。

依據其它形態，提供用於核反應器核心的燃料束之

棒。該棒可包含燃料棒或同位素生產棒。於不同實施例，該棒可包括複數互連棒段，其中每一棒段包括用於保持核燃料或複數同位素生產靶之內穴。該棒可附加地包括實心第一端部，其具有足以防止該內穴由於入陷在各別軸向相鄰棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂之軸向長度。該棒可另包括部份實心第二端部，其具有足以防止各別中央本體的該內穴由於入陷在各別軸向相鄰棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂之軸向長度。於不同實施例，該棒可包括該等棒段的至少兩者，其具有不同外徑、不同軸向長度、不同核燃料濃化值及/或不同同位素靶。

自本文所提供之說明，本教導的可應用性的進一步領域將更為清楚。應瞭解到，該說明及特定實例被預期僅為解說目的，且不被預期限制本教導的範圍。

【實施方式】

不同例示性實施例的以下說明本質上僅為例示之用，且決不預期用來限制本揭示、其應用或使用。附加地，不同實施例所提供之利益，如以下所述，本質上係例示用，且不是所有實施例都提供相同利益或相同程度的利益。

參照圖 1，提供發電核反應器核心 10 的例示部份的立體剖面圖，例如，沸水式核反應器核心的一部份。發電核反應器核心 10 的例示部份包括 4 個燃料束組件 14A、14B、14C 及 14D，當燃料束 14A、14B、14C 及 14D 被安裝以及反應器作用時，液體緩和劑或冷卻劑流過該等燃料

束組件 14A、14B、14C 及 14D 及其周圍。為簡潔起見，燃料束組件 14A、14B、14C 及 14D 在本文中將簡稱為燃料束 14A、14B、14C 及 14D。每一燃料束 14A、14B、14C 及 14D 的核反應產生使用來將冷卻劑轉換成使用來產生電力之蒸汽之熱。每一燃料束 14A、14B、14C 及 14D 實質上具有相同的結構、形式及功能。因此，為簡化及清楚起見，在此將僅說明燃料束 14A。

亦參照圖 2，燃料束 14A 通常包括複數燃料棒 18 及，於不同實施例，複數同位素生產棒 20。燃料束 14A 附加地包括包圍上繫板 26 及下繫板 30 之外通道 22。該複數燃料棒 18 及同位素生產棒 20 係藉由複數分隔柵 34 以陣列方式縱向地配置在燃料束 14A 內，或沿著燃料束 14A 的長度軸向地相互隔開。燃料棒 18、同位素生產棒 20 以及典型地一或更多水棒 38 係藉由分隔柵 34 以相隔方式（亦即，陣列方式）保持在燃料束 14A 內，以界定用於燃料棒 18 及同位素生產棒 20 間的反應器冷卻劑流之通路。通常，燃料束 14A 可包括任何數的分隔柵 34，其沿著燃料束 14A 的全部軸向長度而隔開，若需要的話，用於將燃料棒 18、同位素生產棒 20 及水棒 38 保持於想要陣列，例如，3 至 10 個分隔柵 34。

通常，燃料棒 18 含有核燃料，例如，鈾，其產生中子通率，而同位素生產靶棒 20 含有照射靶，其被中子通率照射以產生想要放射同位素。照射靶可由任何想要同位素製成，諸如鎘、鈷、銥、鎳、鉈等。於不同實施例，燃

料及同位素生產靶棒 18、20 具有實質上相同的架構，除了燃料棒 18 含有核燃料而同位素生產靶棒 20 含有照射靶。因此，為簡化起見，以下將僅進一步說明燃料棒 18 的架構、功能、組件、元素、組合、特徵、屬性等。

現在參照圖 3 及 4，於不同實施例，燃料棒 18（及同位素生產靶棒 20）可以是包含複數互連棒段 40 之多段棒。每一多段燃料棒 18 包括一或多個棒段 40，該棒段 40 係互連使得每一各別多段燃料棒 18 通常可產生具有任何想要軸向長度。例如，可互連複數棒段 40 以構成全長度分段燃料棒，諸如圖 3 所示之分段燃料棒 18A，及/或可互連一或多個棒段 40 以構成部份長度分段燃料棒，諸如圖 3 所示之分段燃料棒 18B 及/或 18C。更特別地，每一全長度分段燃料棒 18A 係由複數具有集成軸向長度的棒段 40 所構成，該集成軸向長度大約等於上及下繫板 26、30 間的距離（圖 2 所示）。每一全長度分段燃料棒 18A 可附加地包括連接至集成全長度燃料棒 18A 的各別上及下端之上端銷 42 及下端銷 46。上及下端銷 42、46 係架構成與各別上及下繫板 26、30 配對，以使通道 22 內之每一各別全長度分段燃料棒 18A。

更者，每一各別部份長度分段燃料棒 18B 及 18C 係架構成具有小於上及下繫板 26、30 間的軸向長度之任何想要軸向長度。例如，可將每一部份長度分段燃料棒 18B 及 18C 架構成具有大約等於上及下繫板 26、30 間的距離的 $3/4$ 、 $1/2$ 、 $1/4$ 等之軸向長度。每一部份長度分段燃料棒

18B 及 18C 可附加地包括連接至各別集成部份長度燃料棒 18B 及 18C 的各別上及/或下端之上端銷 42 及/或下端銷 46。上及下端銷 42、46 的每一者係架構成與上及下繫板 26、30 的各別一者與分隔柵 34 的一者配對，以使通道 22 內之每一各別部份長度分段燃料棒 18B 及 18C 的端穩定。替代地，每一部份長度分段燃料棒 18B 及 18C 可包括連接至各別集成部份長度燃料棒 18B 及 18C 的各別上或下端之上端銷 42 或下端銷 46 及連接至各別多段部份長度燃料棒 18B 及 18C 的對置上或下端之第一連接器 50（以下詳述）。因此，上或下端銷 42 或 46 係架構成與上或下繫板 26 或 30 的各別一者配對，且第一連接器 50 係架構成與分隔柵 34 的一者配對以使通道 22 內之每一各別部份長度分段燃料棒 18B 及 18C 的端穩定。

現參照圖 4 及 5，每一棒段 40 可具有任何想要的軸向或縱向長度及/或外徑 D。因此，可藉由互連不同長度棒段 40 而將每一多段燃料棒 18（及同位素生產棒 20）組裝成具有任何想要的集成或累積長度。附帶地，可藉由互連各種直徑棒段 40 沿著各別集成分段棒 18（或 20）的的軸向長度而將多段燃料棒 18（及同位素生產棒 20）組裝成具有一或多個外徑。因此，將瞭解到，圖 4 解說例示性燃料及/或同位素生產棒段 40，以及不管每一各別棒段 40 的長度及/或直徑，在此伴隨說明關於每一多段燃料及/或同位素生產棒 18 及/或 20 的每一棒段 40。

特別參照圖 4，每一棒段 40 通常包括中央本體部

54、第一端部 58 及對置的第二端部 62。於不同實施，第一及第二端部 58、62 的至少一者係與中央本體部 54 分開的組件（僅第一端部 58 被顯示），以提供中央本體部 54 的內穴 66 之入口。內穴 66 係架構成保持核燃料（或複數照射靶）於同位素生產靶棒 20 的情況。因此，在第一及/或第二端部 58 及/或 62 連接至棒段 40 的各別端之前，內穴 66 係可進入的。特別地，一旦具有想要濃化之想要核燃料及/或同位素靶被置於內穴 66 內時，第一及/或第二端部 58 及/或 62 係連接（亦即，焊接）至中央本體部 54 的各別端以使核燃料及/或同位素靶密封於棒段 40 內。

應瞭解到，如本文所使用的，用辭“濃化”，當應用於核燃料及同位素靶時，係界定成總括地意指核燃料類型、核燃料濃化值、同位素靶類型及同位素靶濃化值。

於不同實施例，第一端部 58 具有軸向長度 M 且包括具有軸向長度 X 的公連接器 70，例如，螺栓或螺柱，其延伸自具有軸向長度 Y 的底座 72。於不同實施，包括公連接器 70 及底座 72 之第一端部 58 係由固體材料製成。例如，於不同實施例，第一端部 58 係由諸如鋯、鋯合金（zircaloy）-2、鋯合金-4 之固體低核截面材料或任何其他適合低核截面材料製成。更者，於不同實施例，第二端部 62 具有軸向長度 N 且包括具有軸向長度 A 的母插座 74，例如，具有實心壁 75 的螺紋內孔，及具有軸向長度 B 的實心底座 76。於不同實施，包括實心底座 76 及實心壁 75 之第二端部 62 係由諸如鋯、鋯合金-2、鋯合金-4 之

低核截面材料或任何其他適合低核截面材料製成。

公連接器 70 及母插座 74 係架構成可配對用於互連各別棒段 40。更特別地是，於不同實施例，公連接器 70 及母插座 74 係經由各別分隔柵 34 的孔 78（圖 6 所示）而互連，如以下詳述。雖然本文中說明且顯示之公連接器 70 為第一端部 58 的一部份以及本文中說明且顯示之母插座 74 為第二端部 62 的一部份，可想像到，於不同實施例，第一端部 58 可包括母插座 74 以及第二端部 62 可包括公連接器 70。再者，可將任何組合的多段燃料棒 18 的各別最上及最下棒段 40 的公連接器 70 及母插座 74 連接至各別上及下端銷 42、46。更者，雖然公連接器 70 及母插座 74 被解說成包括可接合的螺紋（亦即，螺接一起）以互連各別棒段 40，應瞭解到，公連接器 70 及母插座 74 可包含適於經由各別分隔柵孔 78 互連之任何可配對連接裝置或組件，且保持於本揭示的範圍內。例如，於不同實施例，公連接器 70 及母插座 74 可分別包含柄腳與接受器、內鉤與環等。

現在參照圖 6 及 7，於不同實施例，燃料束 14A 的分隔柵 34 包含複數互連的環盤 82。每一環盤 82 具有厚度 T 且包括各別分隔柵孔 78。於不同實施例，每一環盤 82 可由諸如鋯、鋯合金-2、鋯合金-4 之低核截面材料或任何其他適合低核截面材料製成。例如，於不同實施，分隔柵 34 可由單片低核截面材料製成，該材料藉由機器衝壓以形成互連的環盤 82 及孔 78。

然後互連所選擇的棒段 40 使得各別集成的多段燃料棒 18 (或同位素生產靶棒 20) 將具有想要累積軸向長度及想要序列之沿著累積軸向長度的直徑 D 與濃化。亦即，為組裝燃料棒 18 (及同位素生產靶棒 20)，特別的棒段 40 係基於其各別長度 L 而選擇、直徑 D 及以各別內穴 66 保持之燃料 (或同位素靶) 的濃化。更特別地，複數棒段 40 可架構或製造以提供一大類之具有各種不同長度 L 、直徑 D 及 / 或濃化的棒段。然後，為組裝燃料棒 18 (或同位素生產靶棒 20)，複數特定棒段 40 可基於其各別長度 L 、直徑 D 及濃化而選擇。因此，可容易且快速地組裝集成的多段燃料棒 18 (及同位素生產靶棒 20) 以具有軸向變化的直徑 D 及濃化，亦即，沿著各別集成的燃料棒 18 (或同位素生產靶棒 20) 的軸向長度變化之直徑 D 及濃化。

並且，於不同實施例，為互連軸向相鄰的每一對棒段 40，具有長度 L 、直徑 D 及濃化之第一棒段 40 的公連接器 70，例如，圖 7 中的棒段 40A 被插入穿過所選擇的環盤孔 78。具有長度 L 、直徑 D 及濃化之第二棒段 40 的母插座 74，例如，圖 7 中的棒段 40B，然後與第一棒段 40B 的公連接器 70 固定地互連。因此，各別環盤 82 係固定地保持在第一及第二棒段 40A、40B 之間。具有各別想要具有長度 L 、直徑 D 及濃化之後續棒段 40 可然後與第一及 / 或第二棒段 40A 及 / 或 40B 及 / 或其它後續棒段 40 互連，該其它後續棒段 40 以相似方式保持其它分隔柵環盤 82 於

其間。因此，每一多段燃料棒 18（或同位素生產靶棒 20）可被組裝成具有軸向變化的直徑 D 及軸向化核燃料（或同位素靶）濃化。

每一各別棒段 40 的濃化可能與各別棒段 40 的直徑 D 、及 / 或保持於各別內穴 66 內之燃料（或同位素靶）的量及 / 或各別燃料或同位素靶有關。亦即，較大直徑的棒段 40 可容許多的核燃料（或同位素靶）被保持在內穴 66 內。然而，具有相同直徑 D 之二個不同棒段 40 的內穴 66 可保持不同量的核燃料（或同位素靶）及 / 或不同品質，亦即，不同的濃化，以提供具有相同直徑 D 然而不同濃化之棒段 40，或者，具有不同直徑 D 且不同尺寸內穴 66 之棒段 40 可保持具有相同濃化值之核燃料（或同位素靶），然而保持較少核燃料（或同位素靶）之較小直徑的棒段 40 將具有較低濃化。或者，具有第一直徑 D 之棒段 40 可保持具有第一濃化值之核燃料（或同位素靶），以及具有較小的第二直徑 D 之第二棒段 40 可保持具有較大的第二濃化值之核燃料（或同位素靶）。因此，第一棒段 40 將具有較大直徑 D ，而比第二棒段 40 較低的濃化。

更者，為改善反應器核心 10 的效率，在燃料束 14A 的下部附近具有較大直徑與較高濃化的棒段 40 可以是有利的，亦即，在反應器核心 10 的下部，在該處，冷卻劑的氫鈾比（ H/U ）是最大的。更有利的是，沿著每一各別惰段燃料棒 18（及或 20）的軸向長度具有漸減的較小直徑與較低濃化的棒段 40 以降低 H/U 比的減小，其可能由

於冷卻劑對蒸汽的轉變而沿著燃料束 14A 的長度而發生。

因此，除了提供控制各別棒段 40 的濃化之機構外，亦即，提供較低的濃化，每一棒段 40 的直徑 D 可提供沿著燃料束 14A 的軸向長度保持更一致的 H/U 比之能力，亦即，沿著反應器核心 10 的軸向長度。亦即，組裝燃料棒 18（及/或同位素生產棒 20）以具有漸減較小直徑的棒段 40 容許自核反應器核心的底部至頂部之冷卻劑的漸增較大面積。漸增沿著發電核反應器核心 10 的軸向長度之冷卻劑面積提供沿著每一各別燃料束 14 的長度之更多氫，藉此依據 H/U 比減小冷卻劑自水轉換成將具有蒸汽之效應。

最佳地如圖 7 所示，於不同實施例，直徑 d 或每一各別分隔柵 34 的每一各別環盤 82 係實質等於或小於將各別分隔柵 34 保持於其間之棒段 40 的下部的直徑 D 。亦即，每一環盤 82 的直徑 d 係實質等於或小於保持最接近反應器核心 10 的底部之各別環盤 82 之該對棒段 40 的一者的直徑 D 。因此，沒有自較低棒段 40 的外表面至各別環盤 82 的周圍外表面之”上升”偏移，亦即，直徑的增大。此實質地減小冷卻劑流沿著棒段 40 的外表面、跨過環盤 82 的周圍外表面及穿過燃料束 14A 的阻抗。附加地，使每一環盤 82 的直徑 d 實質等於或小於各別較低棒段 40 的直徑 D 實質地減小分隔柵 34 使殘渣入陷在環盤 82 及較低棒段 40 的接合處之可能性。如上述，由於冷卻劑流經燃料束 14A，入陷的殘渣可對著燃料棒 18（及/或同位素生產棒

20) 振動、拍擊或發出聲音。入陷殘渣的此種振動、拍擊或發出聲音可造成燃料棒 18 (及/或同位素生產棒 20) 的磨損或磨耗，且接著對棒 18 及/或 20 的關鍵損壞，亦即，使棒段內穴 66 破壞或破裂。

附加地，為實質地消除各別棒段 40 由於入陷殘渣之磨損或磨耗的關鍵損壞的風險，每一棒段 40 包括第一及第二端部 58 及 62。更特別地，如上述，每一棒段 40 的第一端部 58 可由實心材料製成，例如，實心低核截面材料。附加地，如上述，第二端部底座 76 及內孔壁 75 係自實心材料製造，例如，實心低核截面材料。更特別地，如圖 7 所示，當軸向相鄰的棒段 40 (例如，棒段 40A 及 40B) 係保持各別分隔環盤 82 於其間而固接一起時，實心公連接器 70 係接合於母插座 74 內。因此，一旦軸向相鄰的棒段 40 互連時，各別第二端部 62 包括實心底座 76、母插座 74 及實心的公連接器 70 接合於母插座 74 內的一部份。因此，一旦軸向相鄰的棒段 40 互連時，各別第二端部 62 係實質地實心。

再者，清楚地如圖 7 所示以及熟習此項技藝者隨時可瞭解到，一旦軸向相鄰的棒段 40 互連時，各別第二端部 62 的整個長度 N 係定位鄰接各別環盤 82 的第一或頂、面 86，而僅各別第一端部底座 72 的長度 Y 係定位鄰接各別環盤 82 的相對第二或底、面 90。於不同實施，棒段 40 及分隔柵 34 係使公連接器 70 定位向上而互連，亦即，指向反應器核心 10 的頂部的方向。因此，關於反應器核心 10

內的方位，一旦軸向相鄰棒段 40 互連時，各別上棒段 40 的實質實心第二段部 62 係定位在各別環盤 82 上方，且各別較低棒段 40 的實心第一段部底座 72 係定位在各別環盤 82 下方。因此，相對於反應器核心 10 內的方位，相鄰棒段 40 的每一各別互連將具有第一段實心材料，亦即，實質實心的第二段部 62，其具有長度 N 在每一各別分隔柵環盤 82 上方，及第二段實心材料，亦即，第一段部底座 72，其具有長度 Y 在每一各別分隔柵環盤 82 下方。長度 N 及 Y 可以是適於防止入陷殘渣對任何棒段 40 的中央本體部 54 造成磨損損壞之任何想要長度。如果內穴 66 由於此種磨損而被破壞，對中央本體部 54 之磨損損壞可能造成核反應材料的外洩，亦即，核燃料或放射性同位素靶。例如，於不同實施例，長度 N 及 Y 可以是大約 1/2 英吋至 1-1/2 英吋或更大。

因此，可能入陷在各別分隔柵 34 且被流經燃料束 14A 的冷卻劑致使磨損或磨耗各別軸向相鄰棒段 40 的一或二者之任何殘渣，將僅磨損或磨耗各別實心第一段部底座 72 及/或各別實質實心第二段部 62。並且，因為冷卻劑向上流經反應器核心 10，由於冷卻劑流，入陷殘渣更可能對著上棒段 40 的實質地實心第二段部 62 而) 振動、拍擊或發出聲音。因此，於不同實施例，其中每一各別棒段 40 的實質實心第二段部 62 係定位在各別環盤 82 上方，第二段部 62 的長度 N 係大於各別第一部底座 72 的長度 Y。因此，比起在每一各別分隔柵環盤 82 下方，相鄰棒段 40 的

每一各別互連在每一各別分隔柵環盤 82 上方將具有更大軸向長度。例如，於不同實施例，長度 N 可以是大約 1/2 英吋至 1-1/2 英吋或更大，且長度 Y 可以是大約等於 N 長度的 1/8 至 7/8，例如，大約 1/4 英吋至 1-1/4 英吋。

本文中的說明本質上僅為例示用，且因此，不會背離上述說明要點的變化被預期在教導範圍內。此種變化將不被視為離開此教導的精神及範圍。

【圖式簡單說明】

本文中所示之圖式僅為解說的目的，且未預期以任何方式來限制本教導的範圍。

圖 1 係依據本揭示的不同實施例來解說複數燃料束整件之核反應器核心的一部份的立體剖面圖，該燃料束整件包括燃料棒、同位素生產靶棒、繫板、分隔柵及通道。

圖 2 係依據本揭示的不同實施例之包括於圖 1 所示的核反應器核心的該部份之例示性燃料束整件的部份分解剖面圖。

圖 3 解說依據本揭示的不同實施例之可包括於圖 2 所示的燃料束整件內之各種多段燃料及/或同位素生產靶棒。

圖 4 係依據本揭示的不同實施例之包括於圖 3 所示的多段燃料及/或同位素生產靶棒之燃料及/或同位素生產靶棒段的例示性解說圖。

圖 5 係依據本揭示的不同實施例之圖 3 所示的多段燃

料及 / 或同位素生產棒的例示性解說圖，該同位素生產棒包括圖 4 所示具有不同軸向長度及直徑之棒段。

圖 6 係依據本揭示的不同實施例之圖 2 所示之例示性燃料束的一部份的等角示意圖，其解說固定地保持於互連桿段之間的分隔柵。

圖 7 係依據本揭示的不同實施例之固定地保持於圖 6 所示的互連桿段之間之分隔柵的一部份的側視圖。

【主要元件符號說明】

10：核反應器核心

14A：燃料束

14B：燃料束

14C：燃料束

14D：燃料束

18：燃料棒

20：同位素生產靶棒

20A：同位素生產靶棒

20B：同位素生產靶棒

20C：同位素生產靶棒

22：通道

26：上繫板

30：下繫板

34：分隔柵

38：水棒

- 40 : 棒 段
- 42 : 上 端 銷
- 46 : 下 端 銷
- 50 : 第 一 連 接 器
- 54 : 中 央 本 體 部
- 58 : 第 一 端 部
- 62 : 第 二 端 部
- 66 : 中 央 本 體 的 內 穴
- 70 : 公 連 接 器
- 72 : 底 座
- 74 : 母 插 座
- 75 : 母 插 座 壁
- 76 : 底 座
- 78 : 分 隔 柵 孔
- 82 : 分 隔 柵 環 盤
- 86 : 環 盤 第 一 面
- 90 : 環 盤 第 二 面

十、申請專利範圍

1. 一種用於核反應器核心的燃料束，該燃料束包含：

複數棒，其包括燃料棒及同位素生產棒的至少一者，每一棒包括軸向相鄰互連的複數棒段，該棒段至少具有第一棒段及第二棒段，每一棒段具有第一端部、第二端部及在該第一端部與該第二端部之間的中央本體部，該中央本體部包括內穴，該第一棒段及該第二棒段具有不同外徑；

棒分隔柵，其堅固地保持於軸向相鄰互連的每一對的棒段之間以形成一陣列之實質等距隔開的棒；及

伸長的管形通道，形成陣列的棒係容納於該管形通道，

其中

每一棒分隔柵包括複數環盤，該複數環盤的至少一者堅固地保持於該第一棒段與該第二棒段之間，至少一環盤具有上水平表面及下水平表面，

該第一棒段的中央本體部具有外徑 $D1$ ，且該第一棒段的第一端部包括接觸該至少一環盤的下水平表面之第一水平表面，且該第一棒段的第一端部具有定義為自該第一水平表面至該第一棒段的中央本體部的距離之長度 Y ，

該第二棒段的中央本體部具有外徑 $D2$ ，且該第二棒段的第二端部包括接觸該至少一環盤的上水平表面之第二水平表面，且該第二棒段的第二端部具有定義為自該第二水平表面至該第二棒段的中央本體部的距離之長度 N ，且

長度 $N >$ 長度 Y ，且外徑 $D1 >$ 外徑 $D2$ 。

2.如申請專利範圍第 1 項之燃料束，其中該內穴係用於保持核燃料及複數同位素生產靶的一者，使得每一棒段具有各別濃化值以及至少一棒的至少二棒段具有不同濃化值。

3.如申請專利範圍第 1 項之燃料束，其中每一棒段具有各別軸向長度以及至少一棒的至少二棒段具有不同軸向長度。

4.如申請專利範圍第 1 項之燃料束，其中該第一端部係實心的第一端部，且該第二端部係部份實心的第二端部，且該第一端部及該第二端部係可配對來互連軸向相鄰的棒段，使得該棒分隔柵的各別一者固定地保持於其間。

5.如申請專利範圍第 4 項之燃料束，其中該第一端部及該第二端部係由鋯、鋯合金-2 及鋯合金-4 中之一者製成。

6.如申請專利範圍第 4 項之燃料束，其中該第一端部包含公連接器而該第二端部包含母插座，該母插座係架構成與軸向相鄰的棒段的公連接器堅固地接合，以互連軸向相鄰的棒段。

7.如申請專利範圍第 6 項之燃料束，其中每一棒分隔柵包括互連的複數環盤，每一環盤包括按尺寸配置以接收該公連接器之孔，使得每一各別環盤可被堅固地保持於軸向相鄰互連的棒段之間。

8.如申請專利範圍第 7 項之燃料束，其中每一環盤係架構成具有實質等於或小於各別棒段的外徑之外徑，該各

別棒段關於該反應器核心內的定位係互連在每一各別環盤下方。

9.如申請專利範圍第 4 項之燃料束，其中該實心的第一段及該部份實心的第二段部係可配對使得軸向相鄰棒段的每一互連包含：

第一段實心材料，其鄰接各別棒分隔柵的第一側，該第一段實心材料具有足以防止各別中央本體的該內穴由於入陷在各別軸向相鄰的棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂之軸向長度；及

第二段實心材料，其鄰接各別棒分隔柵的相對第二側，該第二段實心材料具有足以防止各別中央本體的該內穴由於入陷在各別軸向相鄰的棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂之軸向長度。

10.如申請專利範圍第 9 項之燃料束，其中，關於該反應器核心內的定位，該第一段實心材料係位在各別棒分隔柵上方，且具有大於位在各別棒分隔柵下方之該第二段實心材料的該軸向長度之軸向長度。

11.如申請專利範圍第 1 項之燃料束，其中每一棒包括超過二個軸向相鄰互連的棒段。

12.一種用於核反應器核心的燃料束，該燃料束包含：

複數棒，其包括燃料棒及同位素生產棒的至少一者，每一棒包括軸向相鄰互連的複數棒段，該等棒段的至少二者具有以下的至少一者，

不同外徑，該等外徑係至少二棒段的中央本體部的外徑，且該等外徑的較大者係實質等於環盤的外徑，該環盤牢固於二個軸向相鄰互連的棒段且係組態成對該二個軸向相鄰互連的棒段提供側向和軸向支撐；及

不同軸向長度；以及

棒分隔柵，其堅固地保持於軸向相鄰互連的每一對的棒段之間以形成一陣列之實質等距隔開的棒，

其中

每一棒段包含中央本體、實心的第一端部及部份實心的第二端部，該中央本體具有各別內穴，該實心的第一端部具有第一水平表面及長度 Y ，該第一水平表面係組態成接觸該棒分隔柵的各別一者的下水平表面，該長度 Y 定義為自該第一水平表面至該棒段的內穴的距離，該部份實心的第二端部具有第二水平表面及長度 N ，該第二水平表面係組態成接觸該棒分隔柵的各別一者的上水平表面，該長度 N 定義為自該第二水平表面至該棒段的內穴的距離，該第一端部及該第二端部係可配對來互連軸向相鄰的棒段，使得各別棒分隔柵固定地保持於其間，

該第一端部包含公連接器而該第二端部包含母插座，該母插座係組態成與該公連接器堅固地接合以互連軸向相鄰的棒段，

每一棒分隔柵包括互連的複數環盤，每一環盤包括按尺寸配置以接收該公連接器之孔，使得每一各別環盤可被堅固地保持於軸向相鄰互連的棒段之間，且

堅固地保持該棒分隔柵的一者之二棒段具有不同的直徑，且該二棒段中的一者的長度 N 係大於該二棒段中的另一者的長度 Y 。

13.如申請專利範圍第 12 項之燃料束，其中該第一端部及該第二端部係由鋳、鋳合金-2 及鋳合金-4 中之一者製成。

14.如申請專利範圍第 12 項之燃料束，其中每一互連的環盤係架構成具有實質等於或小於各別棒段的外徑之外徑，該各別棒段關於於該反應器核心內的定位係互連在每一各別環盤下方。

15.如申請專利範圍第 12 項之燃料束，其中該實心的第一端及該部份實心的第二端部係可配對使得軸向相鄰棒段的每一互連包含：

第一段實心材料，其鄰接各別棒分隔柵的第一側，該第一段實心材料具有足以防止各別中央本體的該內穴由於入陷在各別軸向相鄰的棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂之軸向長度；及

第二段實心材料，其鄰接各別棒分隔柵的相對第二側，該第二段實心材料具有足以防止各別中央本體的該內穴由於入陷在各別軸向相鄰的棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂之軸向長度。

16.如申請專利範圍第 15 項之燃料束，其中，關於該反應器核心內的定位，該第一段實心材料係位在各別棒分隔柵上方，且具有大於位在各別棒分隔柵下方之該第二段

實心材料的該軸向長度之軸向長度。

17.如申請專利範圍第 12 項之燃料束，其中該等棒段的至少二者具有不同核燃料濃化值及不同同位素靶的至少一者。

18.如申請專利範圍第 12 項之燃料束，其中每一棒包括超過二個軸向相鄰互連的棒段。

19.一種用於核反應器核心之燃料束的棒，該棒包含：

燃料棒及同位素生產棒的一者；

互連的複數棒段，每一棒段包括：

中央本體部，其具有內穴，用於保持核燃料及複數同位素生產靶的一者；

實心的第一端部，其具有第一水平表面及軸向長度 N ，該第一水平表面係組態成接觸分隔柵的下表面，該軸向長度 N 係足以防止該內穴由於入陷在各別軸向相鄰棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂，該軸向長度 N 定義為自該第一水平表面至該中央本體部的長度；及

部份實心的第二端部，其具有第二水平表面及軸向長度 Y ，該第二水平表面係組態成接觸分隔柵的上表面，該軸向長度 Y 係足以防止各別中央本體的該內穴由於入陷在各別軸向相鄰棒段的互連之殘渣的磨損破壞而斷裂，該軸向長度 Y 定義為自該第二水平表面至該中央本體部的長度，其中一棒段的實心的第一端部係組態成附接至另一棒段的部份實心的第二端部，使得該一棒段與該另一棒段之

間的分隔柵被保持；

該等棒段的至少二者具有

中央本體部，其具有不同的外徑，該等棒段的至少二者中具有較小直徑的一者之軸向長度 N 大於該等棒段的至少二者的另一者之軸向長度 Y ，且該分隔柵包括複數環盤，該複數環盤的至少一者具有實質等於該等外徑的較大者之外徑，及

以下的至少一者：

不同軸向長度；

不同核燃料濃化值；及

不同同位素靶。

20.如申請專利範圍第 19 項之用於核反應器核心之燃料束的棒，其中一棒段的部份實心的第二段部的軸向長度較組態成連接該一棒段的部份實心的第二段部之另一棒段的實心的第一段部的軸向長度為更長。

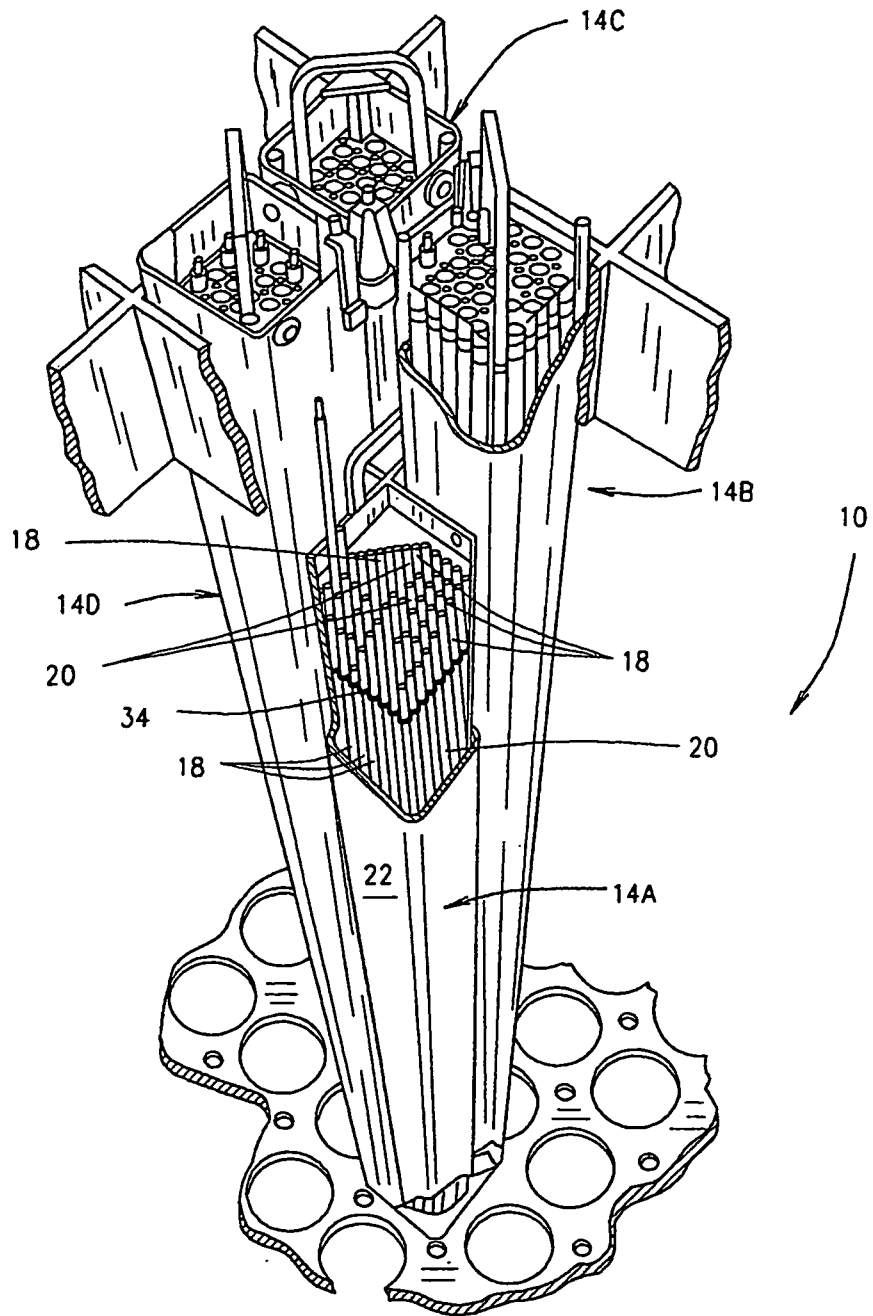


圖1

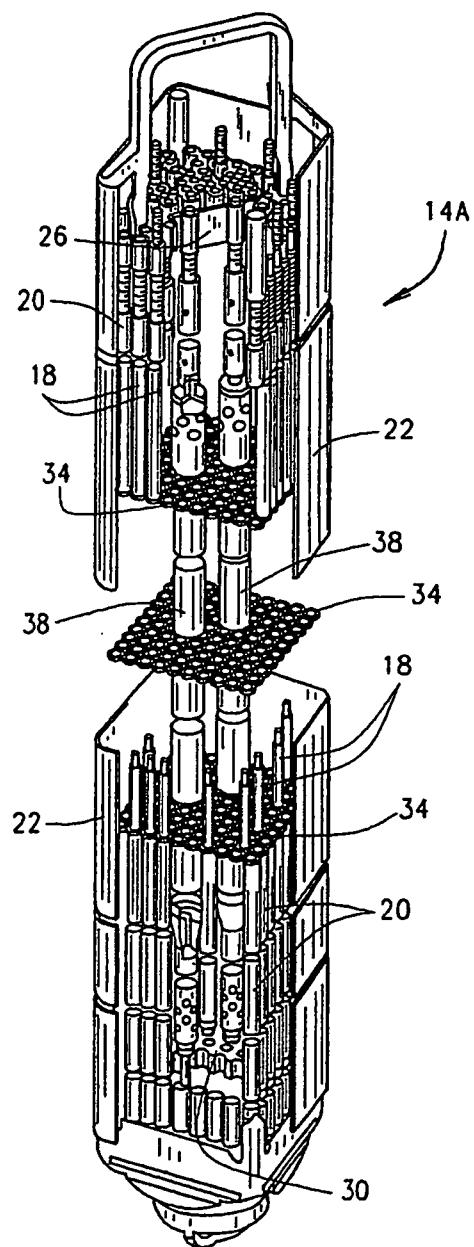


圖2

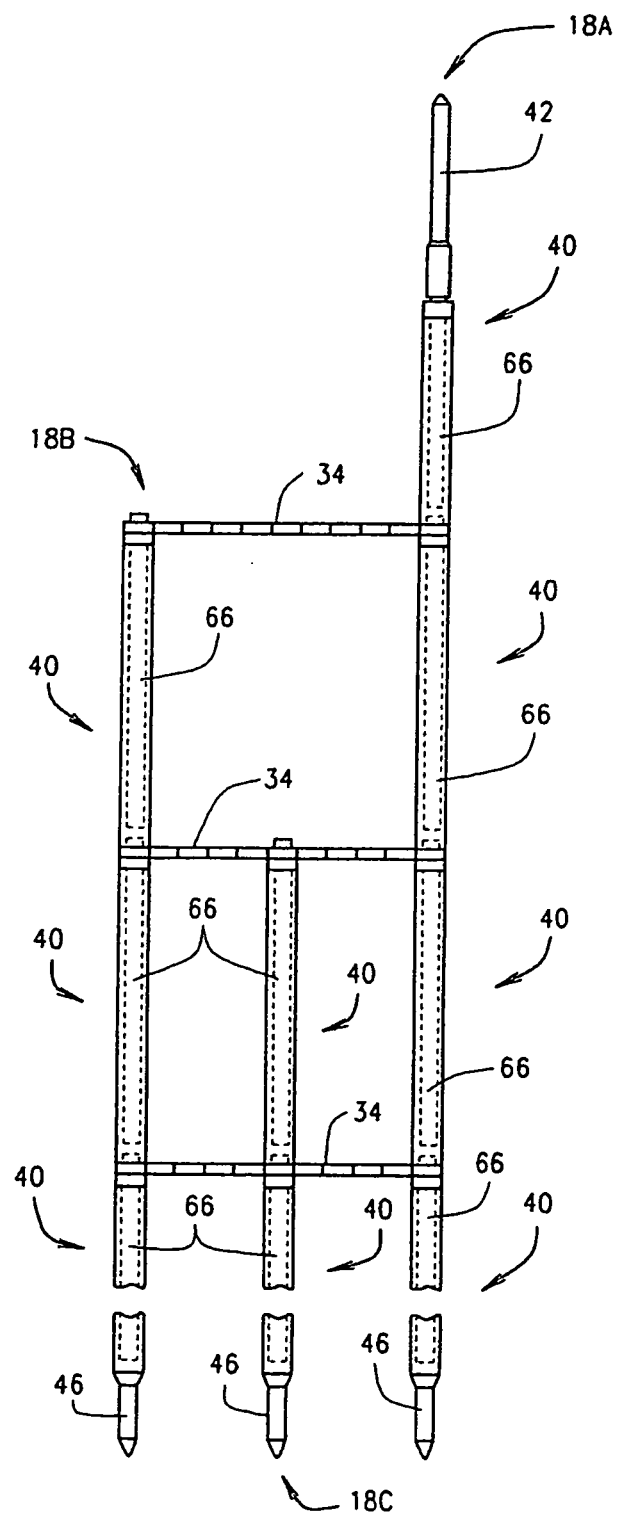


圖3

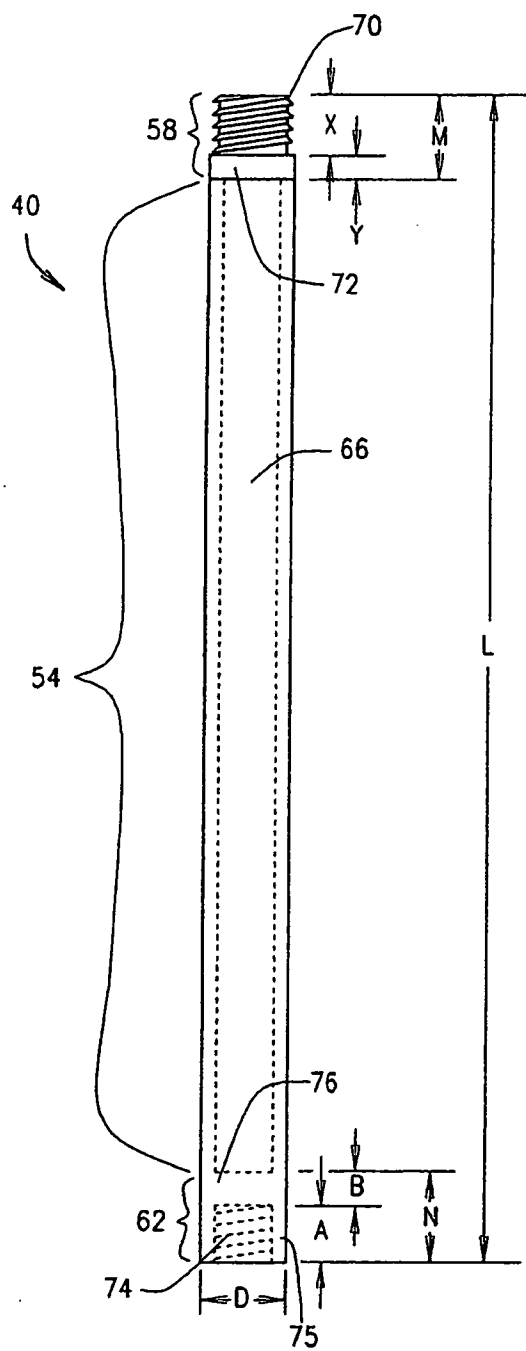


圖4

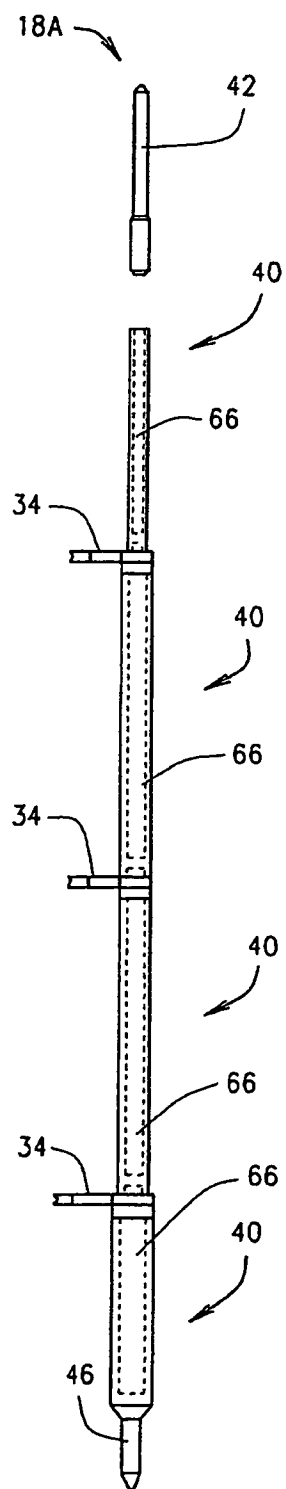


圖5

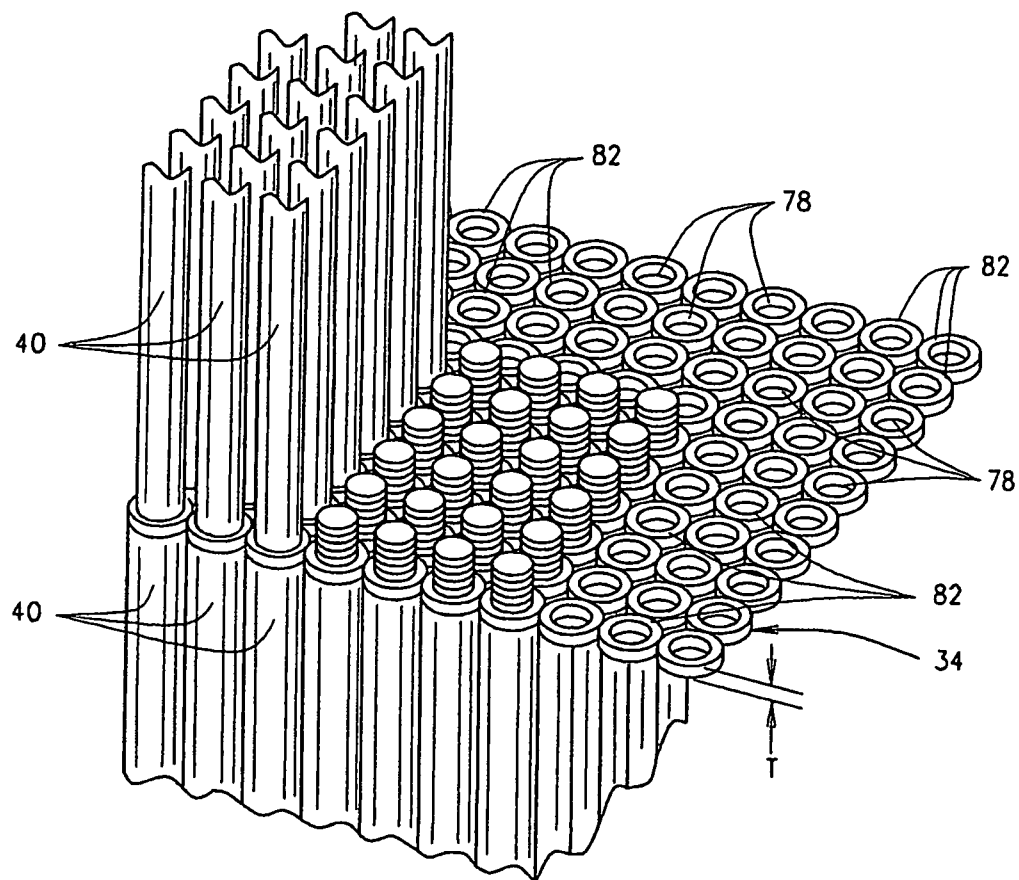


圖 6

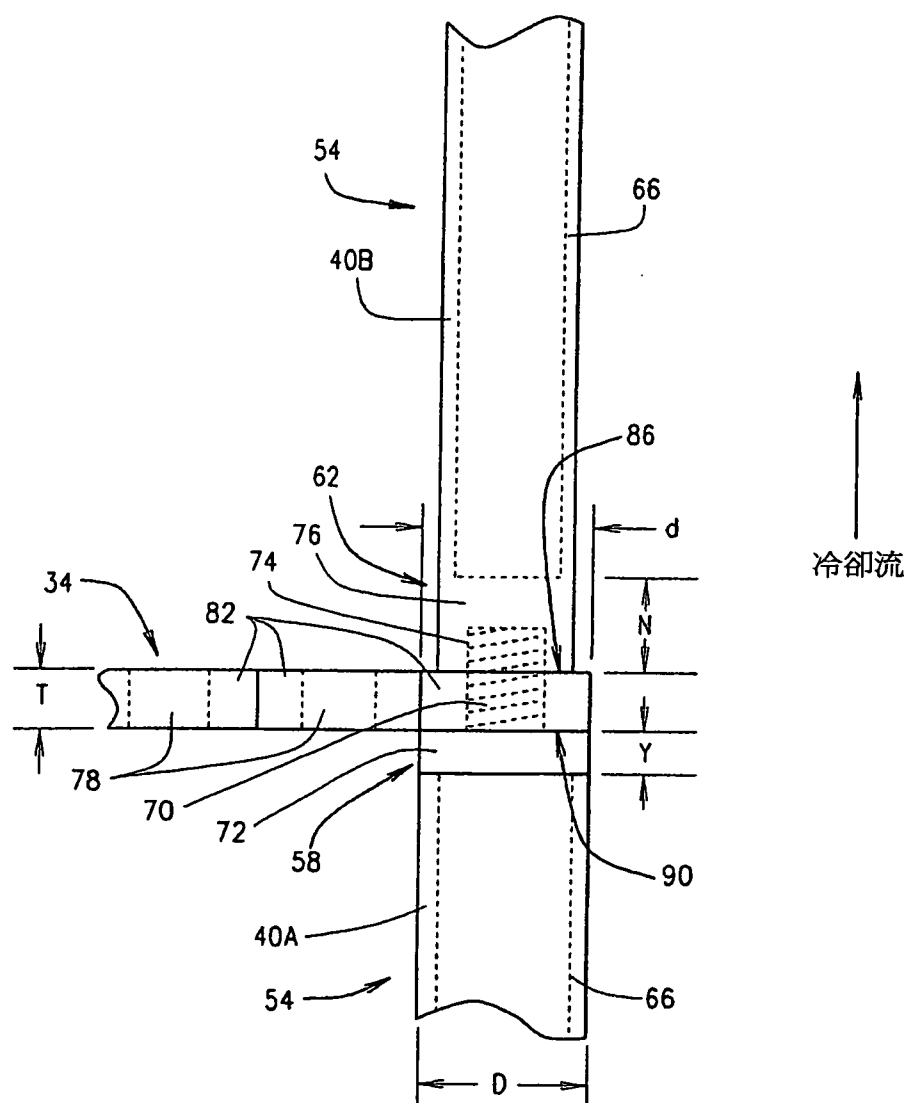


圖 7