200915345

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：96135217

※ 申請日期：96.9.20　　※IPC 分類：G21C 19/42 (2006.01)

一、發明名稱：（中文/英文）

用過高輻射金屬鈾燃料棒安定化處理方法

二、申請人：（共 1 人）

姓名或名稱：（中文/英文）

行政院原子能委員會-核能研究所

代表人：（中文/英文）林立夫

住居所或營業所地址：（中文/英文）

桃園縣龍潭鄉佳安村文化路 1000 號

國　籍：（中文/英文）中華民國

三、發明人：（共 13 人）

姓　名：（中文/英文）

1. 曹正熙
2. 王嘉寶
3. 林俊良
4. 朱德文
5. 胥耀華
6. 劉允輝
7. 林堂益
8. 林盛裕
9. 曾伸嶽
10. 胡展榮
11. 陳育英

12.徐汶彬

13.劉清士

國　籍：(中文/英文)

1. 中華民國
2. 中華民國
3. 中華民國
4. 中華民國
5. 中華民國
6. 中華民國
7. 中華民國
8. 中華民國
9. 中華民國
10. 中華民國
11. 中華民國
12. 中華民國
13. 中華民國

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：

☐ 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。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種金屬鈾（metal U）燃料安定化（即氧化成 U_3O_8 態）處理方法，尤指一種可將所需之照射過高輻射性金屬鈾燃料棒去除其燃料棒護套及外包裝保護容器（稱燃料罐），並收集鈾粉末，這些均在安全操作下，再以穩定之加熱溫度進行氧化使其轉化成為最安定態氧化鈾（U_3O_8），而具有長期貯放之安定及安全特性者，最後應用於核燃料貯存技術，此外由於其具高輻射強度故該處理方法，須具有在高放射性實驗室內操作的條件，安定化之鈾粉也被貯存在雙重罐及惰性氣體的保護環境裝置中。

【先前技術】

按，一般之金屬鈾係具有高化學活性極易與儲存環境中之微量水氣等物質產生化學反應而產生氫氣（易產生燃燒和脹破貯存或保護容器之危險），較一般商用之發電核反應器中之二氧化鈾燃料安定性質差異甚大，故金屬鈾之不穩定特性將造成不易於長期容器貯存；並且當鈾金屬在與貯存環境中之水／水氣作用時，其產生之氫和氧氣也會與鈾金屬作用而產生 UO_X 及 UH_3（極不穩定）之鈾粉末，UH_3 會再與氧氣作用產生高熱之急速氧化而增加貯存危機；為了日後核燃料長期安全貯存，須將金屬鈾轉化成氧化鈾 U_3O_8（即

稱安定化），世界上至今尚無照射過金屬鈾燃料安定化之前例，本處理方法在設計和應用為世界首創；目前世界上尚無法克服金屬鈾在儲存期間所造成的容器損害問題，本處理方法先建立將危險的鈾燃料棒在去護套後分離出金屬鈾燃料，再將核燃料安定化成穩定形態，最後裝入雙重罐並加入保護氣體，作為幾到安全貯存防護，使此問題得以解決，並且在實驗室內也驗證其可行性。

故，本案之發明人特潛心研究，設計出一種可將照射過高輻射鈾金屬棒及其外包裝之容器在高放射性實驗室內將其處理並氧化成最安定態之處理方法，最後再包封在安全的容器內，藉以消除貯存期間之風險。

【發明內容】

本發明之主要目的係在於，處理照射過鈾金屬鈾燃料棒（含相關容器護套）並將分離出之鈾燃料高溫轉化為安定之鈾氧化物，以消除貯存期間因化學變化產生風險，最後安定化後之粉末裝入雙重罐及氦氣保護環境裝置以供長期貯存用。

為達上述之目的，本發明係一種燃料安定化處理方法，至少包含燃料罐移至高放射性實驗室（熱室）、外觀檢測、燃料研判分類、截斷並去除燃料棒護套（脫鞘）、高溫燃料安定化處理以及裝罐密封（含抽氣、測漏及填充氦氣）等步驟；係先將內含照射過金屬鈾燃

料棒之燃料罐送入熱室並平置於作業平台上；再以攝影機以及高輻射加馬偵檢器作軸向移動掃描，查看燃料罐之外觀和研判燃料罐內之燃料棒鋁護套及破損燃料之分佈情形；依檢測結果研判欲處理之金屬鈾燃料外貌及破損情形分為第一、二及第三類燃料；配合噴出氬氣形成保護層進行切開燃料罐取出燃料棒，將燃料棒截斷後進行鋁護套脫鞘等動作；將脫鞘之金屬鈾燃料收集後裝入高溫反應器反應成為鈾氧化物（U_3O_8）；將鈾氧化物置入收集粉末罐中，再將各收集粉末罐置於一外罐中，封銲該外罐蓋體後進行抽真空、測漏及填入保護用氦氣。

【實施方式】

請參閱『第１圖』所示，係本發明之基本步驟方塊示意圖。如圖所示：本發明係一種燃料棒安定化處理方法，其至少包含有 1.燃料罐移至熱室，2.外觀檢測，3.依燃料受損現況分類，4.截斷脫鞘或分段切割以分離燃料罐、燃料棒護套及收集燃料，5.高溫安定化處理以及 6.裝罐密封、抽氣、測漏及填入氦氣等步驟，可將照射過鈾金屬燃料轉化為安定之鈾氧化物，以消除儲存期間因化學變化產生風險。如是，藉由上述之結構構成一全新之燃料安定化處理方法。

請參閱『第２～６圖』所示，係分別為本發明使用狀態之方塊流程示意圖、本發明之使用狀態示意

圖、本發明鋁護套與金屬鈾棒分離之示意圖、本發明油壓剪斷器與支撐架之截斷示意圖及本發明之裝罐密封示意圖。如圖所示：本發明燃料安定化處理方法，其至少包含有下列所述之各步驟：

1.燃料罐移至熱室：將儲放使用過金屬鈾燃料棒之燃料罐７放入重裝罐（燃料罐之外包裝罐，用於降低一旦燃料罐受損後造成的損害）７０中，再以長桿工具１０１於傳送燃料罐７尾端和熱室１０中之機械手臂１０２、熱室內吊車１０３及傳動鏈條１０４相互配合把重裝罐７０送入熱室１０中，當重裝罐７０拉進熱室１０中之後，需平置於作業平台１０５上，並配合開蓋桿件鬆開重裝罐蓋７０將燃料罐７取出。

2.外觀檢測：將平置於作業平台１０５上之燃料罐７，以熱室１０中之機械手臂臂１０２抓取，利用攝影機２１以及高輻射加馬偵檢器２２貼近燃料罐７，並沿燃料罐７之頭端至尾端作軸向移動掃描，進行檢測及外觀目視錄影，以當時檢測之第一面定義為0°面，而後再以機械手臂臂１０２、熱室內吊車１０３相互配合把燃料罐７以順時針方向分別旋轉 90°、180°、270°各攝影一次，於檢測過程中機械手臂臂１０２須嚴密控制以2分30秒之行走速度走完燃料罐７全長約３ｍ之距離，速度不可過快，以確實檢驗燃料罐７之外觀完整性以及加馬輻射之軸向強度分布，查看燃料罐７外觀和研判其內之鋁護套７１是否破裂造

成金屬鈾燃料粉末在燃料罐７內局部累積(若有累積情形發生時，將致輻射量軸向掃描局部偏高)。

3.依燃料受損現況分類：依檢測後之情形把欲處理之燃料分為三類：第一類燃料３１為燃料罐７內之金屬鈾燃料呈完整之燃料棒(即大致呈金屬鈾塊狀)；第二類燃料３２為金屬鈾燃料在燃料罐７中完全不完整，由於水氣侵入燃料罐內且長期與燃料起反應作用以致燃料呈現部份金屬鈾塊和部份粉末狀(粉末組成：氧化鈾、氫化鈾及金屬鈾)，且鋁護套７１已經完全破裂，導致金屬鈾燃料粉末外洩出鋁護套７１至燃料罐７內，而使得燃料粉末在燃料罐７中有局部累積或固化導致金屬鈾燃料塊及粉末無法抽出之現象；第三類燃料３３為金屬鈾燃料在燃料罐７中部份完整，燃料受損情形較第二類燃料輕微，其中燃料組成物質和外貌與第二類燃料３２相同，鋁護套７１僅有部份破裂，但金屬鈾燃料粉末仍留滯在鋁護套７１內，並無在燃料罐７內有局部累積現象，而金屬鈾燃料棒仍可抽離出燃料罐７，依此三種不同類型情形分別訂定對應之燃料棒安定化作業程序。

4. 截斷脫鞘或分段切割以分離燃料罐、燃料棒護套及收集燃料：

當燃料罐７內之燃料判斷為第一類燃料３１時，先利用切管器將燃料罐７頭端截斷 30 cm 後，拉出內部之燃料棒７２後再以油壓剪斷器４１配合支撐架４

２，以約 30 公分為一單位，分別截斷燃料棒７２，因每根燃料棒７２之長度為 3.05 m，故每根燃料棒７２可截斷為十單位，在每一單位截斷時要持續以氬氣噴槍４３緩慢噴出氬氣在截斷部位形成氬氣保護層，每單位截斷完成時須以熱室１０中之機械手臂１０２抓取截斷之燃料棒７２放入預先噴有氬氣以形成氬氣保護環境之盛裝箱中，才可進行下一單位之裁切，裁切完成後每單位分別利用脫鞘機４４將鋁護套７１分成四面逐步進行切割作業，並仍然全程使用氬氣噴槍４３向被脫鞘鋁護套７１表面噴氣(噴口固定朝向定點)以形成氬氣保護層和局部冷卻鋁護套７１表面，每次下刀深度約 0.5 mm，總共約需下刀之總深度為 2.0 mm，慢慢把鋁護套７１切開並剝離，使成為金屬鈾棒７３，此時，因為金屬鈾棒７３和空氣之接觸面積大，因此，更需注意安全操作程序，所以每單位之金屬鈾棒７３脫鞘完成後，依然要放置入有氬氣保護環境之盛裝箱中，作業時需注意下刀深度不可過大，以防止鈾棒表面被脫鞘機局部切割產生過大火花，避免進而造成火災，因所處理的為受損的照射過之金屬鈾棒７３，故金屬鈾棒７３極可能有局部變形彎曲，故於脫鞘變形之金屬鈾棒７３，宜分段分次進行，以避免因變形量過大造成下刀過深，進而裁切到金屬鈾棒７３表面產生劇烈反應。

當燃料罐７內之燃料判斷為第二類燃料３２時，先利用切管器截斷燃料罐７，以60公分為一單位切開並將該段分離取出後，把沾附於燃料罐７內側之燃料粉末倒入有氬氣保護環境之粉末盛裝箱中，然後把其內破裂之鋁護套７１以每 30 公分為一單位用切管器切開，基本上裁切一段燃料罐７其內破裂之鋁護套７１需裁切兩段，重覆此動作逐次切割燃料罐７、破裂之鋁護套７１，切割直至粉末局部累積固化處，使得燃料罐７和破裂之鋁護套７１卡住情形解除而順利拉開分離，如仍無法順利分離時，縮短距離至 15 公分以下再裁切直至順利分開。

當燃料罐７內之燃料判斷為第三類燃料３３時，雖然金屬鈾棒７３可以拉出燃料罐７，但是其內之燃料已局部轉變為粉末狀，所以依照處理第一類燃料３１時之油壓剪斷器４１剪斷金屬鈾棒７３，再以熱室１０內機械手臂１０２抓取一單位之金屬鈾棒７３段，之後把鈾粉粉末倒入粉末盛裝箱中，待鋁護套７１使用油壓剪斷器４１整根截斷完成後，需再用機械手臂１０２抓取每一單位之鋁護套７１，用脫鞘機把鋁護套７１切開取出燃料塊，並用毛刷刷淨護套內表面，使殘留於鋁護套７１內表面之粉末得以充分被收集入粉末盛裝盒，待切割完成後，再以毛刷刷淨熱室之作業平台１０５，以收集切割時所掉落於作業平台１０５上之燃料粉末碎片等，使得物料損失率(loss

rate)能降至最低之狀況。在執行第二、三類燃料切割時，應特別以熱室１０內之機械手臂１０２抓取氬氣噴槍頭４３，邊轉動切割邊噴氬氣，以防止氫化鈾造成局部燃燒致粉狀物四處噴灑。

在操作第二類燃料３２和第三類燃料３３時，作業過程中應特別注意操作安全注意事項，所以特別於熱室中設計四道安全防護措施：(１) 操作程序修改成從一開始切割時，利用機械手抓取氬氣噴槍４３從切口噴氬氣體入燃料罐７罐內，然後利用設計好的程序使燃料外表形成一層氬氣保護層(Ar blanket)，然後使燃料操作期間尚未處理的燃料，已收集好的燃料及處理中之燃料具有一層氬氣保護層，作第一道防線，(２) 並且利用燃料罐７及盛裝箱當防護罩(留滯氬氣體並阻擋粉末發生反應後粉末濺出)作為第二道防線；(３) 另外我們也利用關閉熱室１０之進風，降低熱室１０之排氣率，讓該氬氣噴槍４３(整天都保持開的狀態)不斷注入氬氣體，使整個熱室１０在幾天後呈現低氧濃度狀態，此為第三道防線，基本上當我們清除所有的熱室１０內易燃物品，則在假想的粉末內氫化鈾最嚴重急速氧化現象發生時，其所造成的損害均在可控制下，(４) 熱室１０內裝設有氬氣緊急滅火系統，用於熱室１０內發生不可控制之火勢時，作強制完全排氧之滅火，此為第四道防線，有此四道防線更增加了操作過程之安全性。

5.高溫安定化處理：將上述各類燃料之金屬裸鈾棒７３以五單位量(每單位棒長約 30cm，約 5 公斤鈾金屬)或粉末碎片約 25 公斤為一批次量，放入控制氧氣氣氛(Oxygen atmosphere)之高溫反應器５１中，經高溫 72 hrs 氧化後使金屬裸鈾棒７３或粉狀燃料粉末反應成為鈾氧化物７４，即安定成為最穩定之 U_3O_8 態。

6.裝罐密封、抽氣、測漏及填入氦氣：將經高溫處理之鈾氧化物７４冷卻後，將鈾氧化物７４置入粉末收集罐６１中，為使鈾氧化物粉末７４充分填充於收集罐６１，應於置入一定量之氧化物粉末後，使用機械手臂１０２挾持輔助工具壓實，在收集罐６１盛裝鈾氧化物７４後，將七個粉末收集罐６１放入一粉末外罐６２中，然後加上鉛端塞６３後加蓋體６４封銲，該外罐６２之蓋體６４封銲方式採取惰性氣體遮護鎢極電弧銲接(Gas Tungsten Arc welding，簡稱 GTAW)，待銲接完成後，將該外罐平放且於蓋體６４處抽氣至抽真空後，噴灑氦氣於封焊處外部以便測漏，再測定蓋體６４封銲處是否洩漏，待測定合格後，灌入一大氣壓之氦氣於外罐６２內部，封堵測漏及充氣之孔後，再執行密封螺絲孔銲接作業。

綜上所述，本發明燃料安定化處理方法可將用過鈾金屬燃料棒處理後，再將燃料與護套分離並高溫轉化為安定之鈾氧化物，以消除貯存期間因化學變化產

生之風險，最後將安定化粉末裝入雙重罐加上氦氣惰性氣體保護環境，以利更長期安全貯存，進而使本發明之產生能更進步、更實用、更符合使用者之所需，確已符合發明專利申請之要件，爰依法提出專利申請。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍；故，凡依本發明申請專利範圍及發明說明書內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆應仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【圖式簡單說明】

第１圖，係本發明之基本步驟方塊示意圖。

第２圖，係本發明使用狀態之方塊流程示意圖。

第３圖，係本發明之使用狀態示意圖。

第４圖，係本發明鋁護套與金屬鈾棒分離之示意圖。

第５圖，係本發明油壓剪斷器與支撐架之截斷示意圖。

第６圖，係本發明之裝罐密封示意圖。

【主要元件符號說明】

燃料罐移至熱室１

熱室１０

長桿工具１０１

機械手臂１０２

熱室內吊車１０３

傳動鏈條１０４

作業平台１０５

外觀檢測２

攝影機２１

高輻射加馬偵檢器２２

依燃料受損現況分類３

第一類燃料３１

第二類燃料３２

第三類燃料３３

截斷脫鞘或分段切割以分離燃料罐、燃料棒護套及收集燃料４

油壓剪斷器４１

支撐架４２

氫氣噴槍４３

脫鞘機４４

高溫安定化處理５

高溫反應器５１

裝罐密封、抽氣、測漏及填入氦氣６

收集罐６１

外罐６２

鉛端塞６３

蓋體６４

燃料罐７

重裝罐７０

鋁護套７１

燃料棒７２

金屬鈾棒７３

鈾氧化物７４

五、中文發明摘要：

一種用過高輻射金屬鈾燃料棒在熱室(高放射性實驗室)內安定化的處理方法，係將中子照射過而具有高輻射性之金屬鈾燃料棒及其外層保護裝置（稱鋁燃料罐）置於熱室內之工作平台上；先以攝影機及高輻射加馬偵檢器對燃料罐作軸向掃描，進行燃料罐外觀目視及非破壞性檢測其內鋁護套和核燃料分佈之情形；將欲處理之金屬鈾燃料依外貌及分佈特性研判後分為第一、二或第三類型燃料；配合對其噴氫氣以形成表面氫氣保護層同時進行切開燃料罐，而後取出燃料棒，將燃料棒截斷後進行鋁護套去除（或稱）脫鞘等動作（針對第一類型燃料）；或利用氫氣保護層將燃料罐和燃料棒護套分段逐次切開（針對第二或第三類型燃料），整個從燃料罐切開至鈾粉收集過程是極危險過程，為了安全操作及將可能之損害降至最低，故過程中加入四道安全操作防線，然後將去護套後之金屬鈾燃料收集並送入高溫反應器施以氧化反應（亦稱為安定化）使其轉換成為最安定態之氧化鈾（U_3O_8）粉末；將氧化鈾產物收集置入粉末罐中，再將多個粉末罐置於一粉末外罐中，封銲外罐蓋體後進行抽真空及測漏，最後填入氦氣，此為雙重罐保護及惰性氣體保護安定化後之氧化鈾粉末，作為多道貯存安全保護防線，以符合日後長期貯存的安全標準。

六、英文發明摘要：

十、申請專利範圍：

1.一種燃料安定化處理方法，其至少包括下列步驟：

燃料罐移至熱室：將儲放使用後金屬鈾燃料之燃料罐放入重裝罐中，再將重裝罐送入熱室中，並平置於工作平台上；

外觀檢測：將燃料罐由重裝罐中取出，以攝影機以及高輻射加馬偵檢器沿燃料罐之頭端至尾端作軸向掃描，查看燃料罐之外觀和研判燃料罐內鋁護套及燃料分佈情形；

依燃料受損現況分類：依據檢測結果將燃料罐內之鋁護套及金屬鈾燃料完整度及受損情形，將欲處理之金屬鈾燃料至少分為第一、二及第三類燃料；

截斷脫鞘或分段切割以分離燃料罐、燃料棒護套及收集燃料：將燃料罐切開後，取出燃料棒，且將燃料棒以預定長度截斷後，將各燃料棒外之鋁護套進行脫鞘，而取得金屬鈾燃料，並於進行前述動作時配合噴出氬氣，以形成氬氣保護層以及局部之冷卻；

高溫安定化處理：將脫鞘好之金屬鈾燃料以預定之數量放入高溫反應器中進行高溫氧化，使金屬鈾燃料反應成為鈾氧化物；以及

裝罐密封、抽氣、測漏及填入氦氣：待高溫反應器溫度冷卻後，將鈾氧化物置入多數收集罐中，再將各收集罐置於一外罐中，並於外罐之開口封銲一蓋體，之後再進行抽真空及測漏。

2．依申請專利範圍第1項所述之燃料安定化處理方法，其中，該燃料罐移至熱室之步驟中係以長推桿工具、熱室內機械手臂、熱室內吊車及傳動鏈條，把重裝罐送入熱室中。

3．依申請專利範圍第1項所述之燃料安定化處理方法，其中，該外觀檢測之步驟係將當時檢測燃料罐之第一面定義為0°，之後將燃料罐體以順時針方向分別旋轉90°、180°以及270°各攝影一次進行檢測。

4．依申請專利範圍第1項所述之燃料安定化處理方法，其中，該第一類燃料為完整之燃料棒。

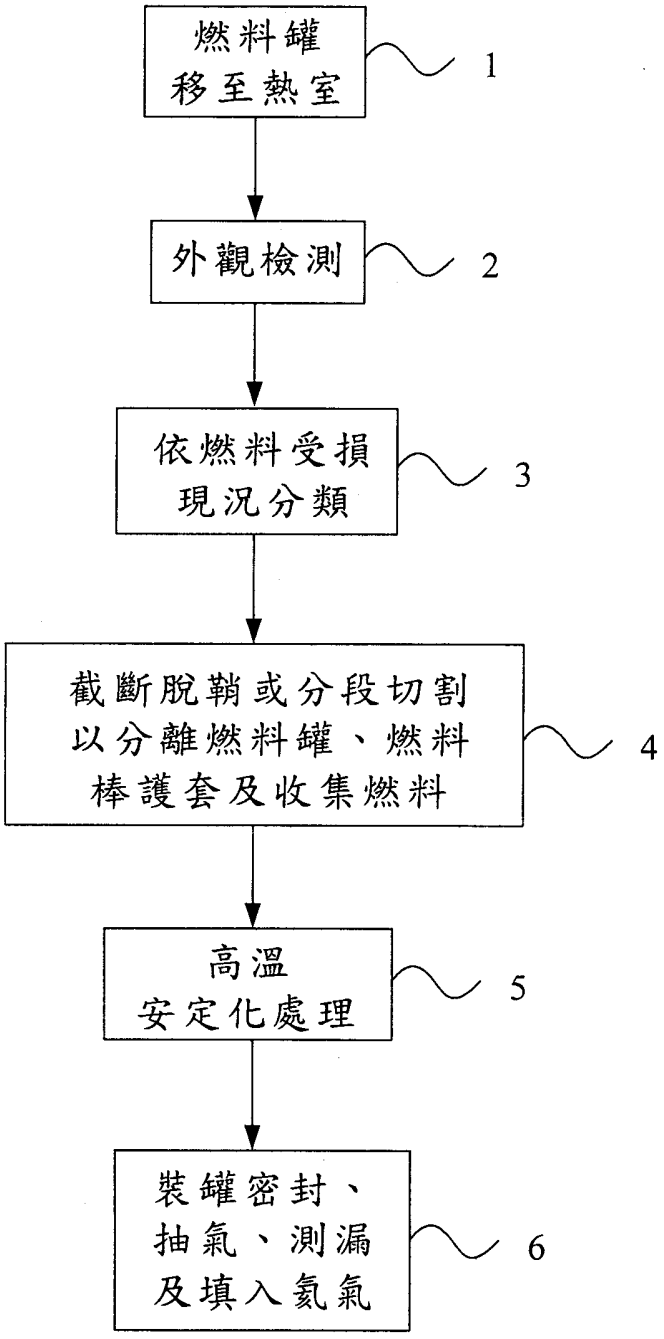
5．依申請專利範圍第1項所述之燃料安定化處理方法，其中，該第二類燃料為燃料罐內燃料棒之鋁護套完全破裂，使燃料粉末由鋁護套外洩至燃料罐內，且該燃料粉末於燃料罐中有局部累積或固化導致燃料棒無法抽出。

6．依申請專利範圍第1項所述之燃料安定化處理方法，其中，該第三類燃料為燃料罐內燃料棒之鋁

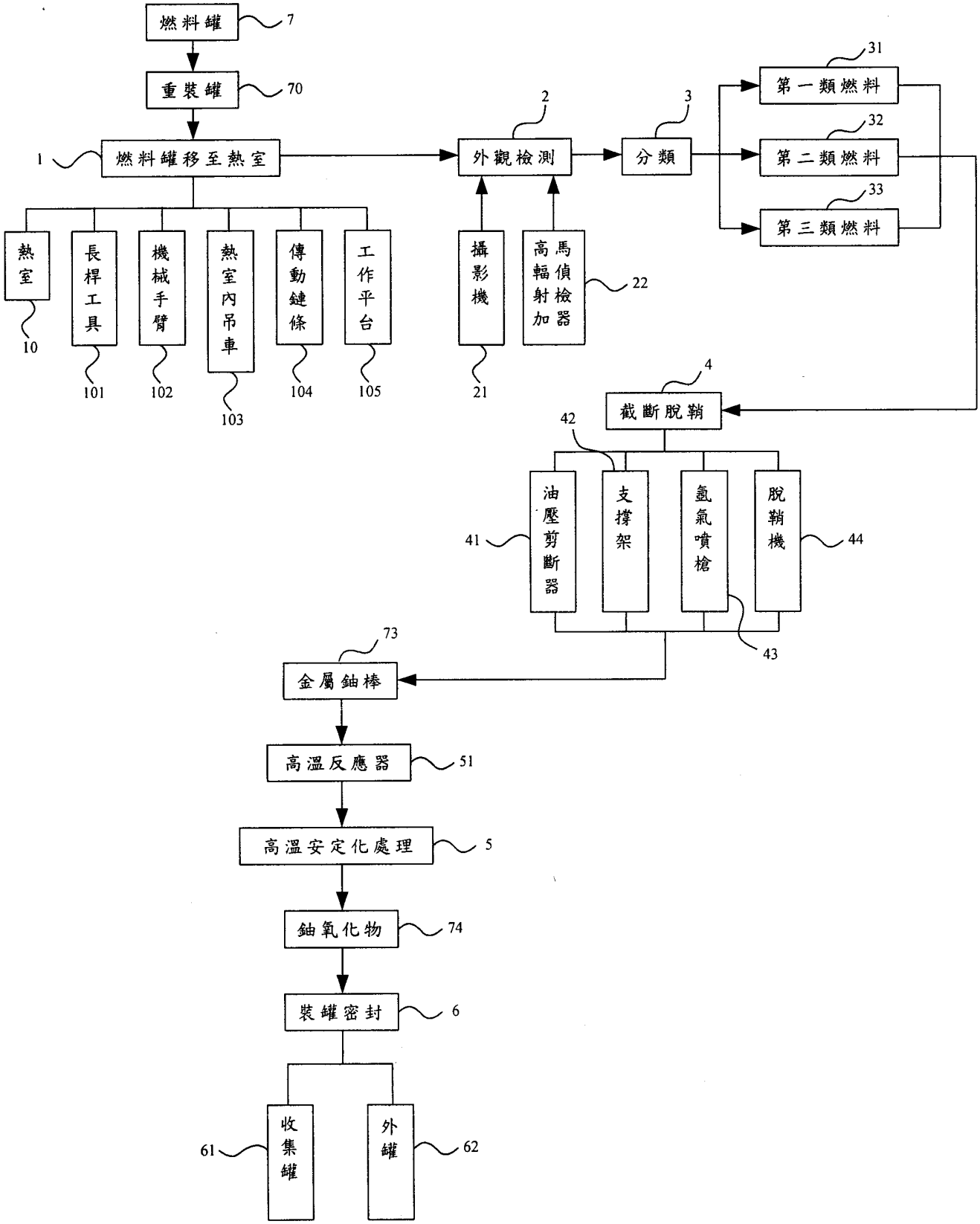
護套部份破裂，而燃料粉末仍留滯於鋁護套內，燃料棒可抽出。

7．依申請專利範圍第1項所述之燃料安定化處理方法，其中，該裝罐密封之步驟中係將各收集罐置入於外罐中，且配合置入一鉛端塞後，再將外罐之開口封銲一蓋體，之後再抽氣、測漏及填充入氦氣，以形成雙重罐及惰性氣體保護環境。

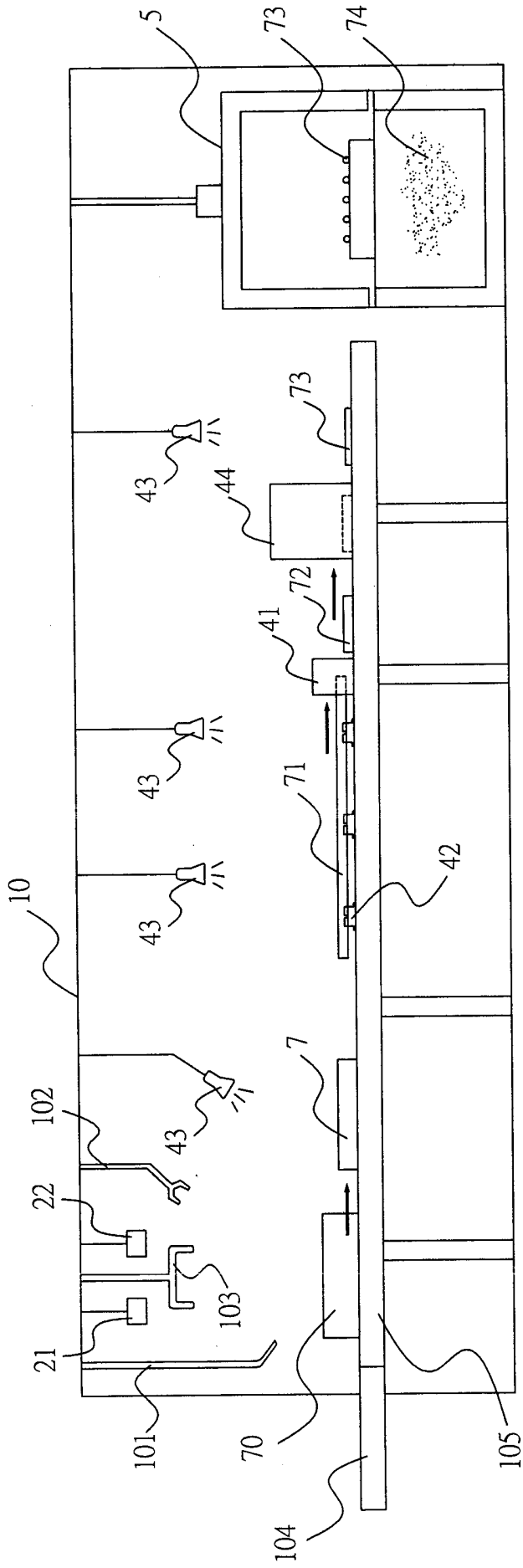
8．依申請專利範圍第1項所述之燃料安定化處理方法，其中，該蓋體封銲時，係以惰性氣體遮護鎢極電弧銲接(Gas Tungsten Arc welding GTAW)。


燃料罐
移至熱室
1
外觀檢測
2
依燃料受損
現況分類
3
截斷脫鞘或分段切割
以分離燃料罐、燃料
棒護套及收集燃料
4
高溫
安定化處理
5
裝罐密封、
抽氣、測漏
及填入氦氣
6

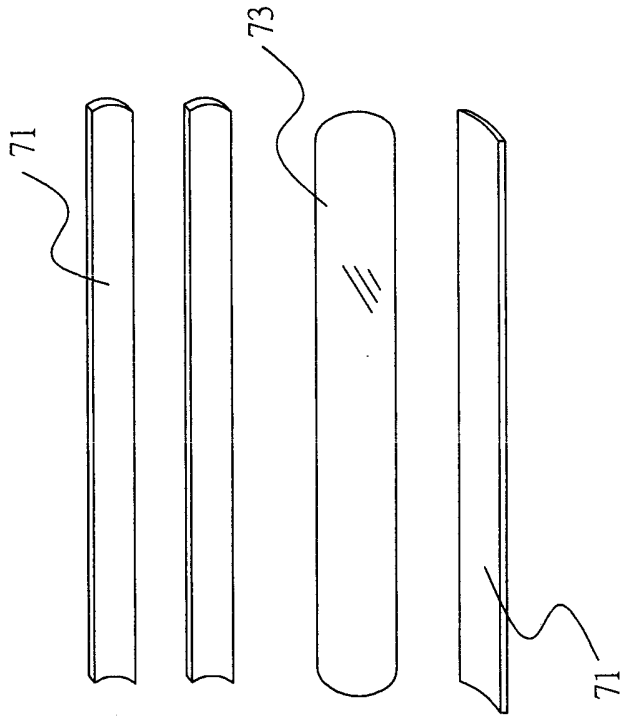
第1圖


燃料罐
7
重裝罐
70
1
燃料罐移至熱室
外觀檢測
2
分類
3
第一類燃料
31
第二類燃料
32
第三類燃料
33
熱室
10
長桿工具
101
機械手臂
102
熱室內吊車
103
傳動鏈條
104
工作平台
105
攝影機
21
高馬偵檢器
高輻射加
22
截斷脫鞘
4
42
油壓剪斷器
41
支撐架
氫氣噴槍
43
脫鞘機
44
金屬鈾棒
73
高溫反應器
51
高溫安定化處理
5
鈾氧化物
74
裝罐密封
6
收集罐
61
外罐
62

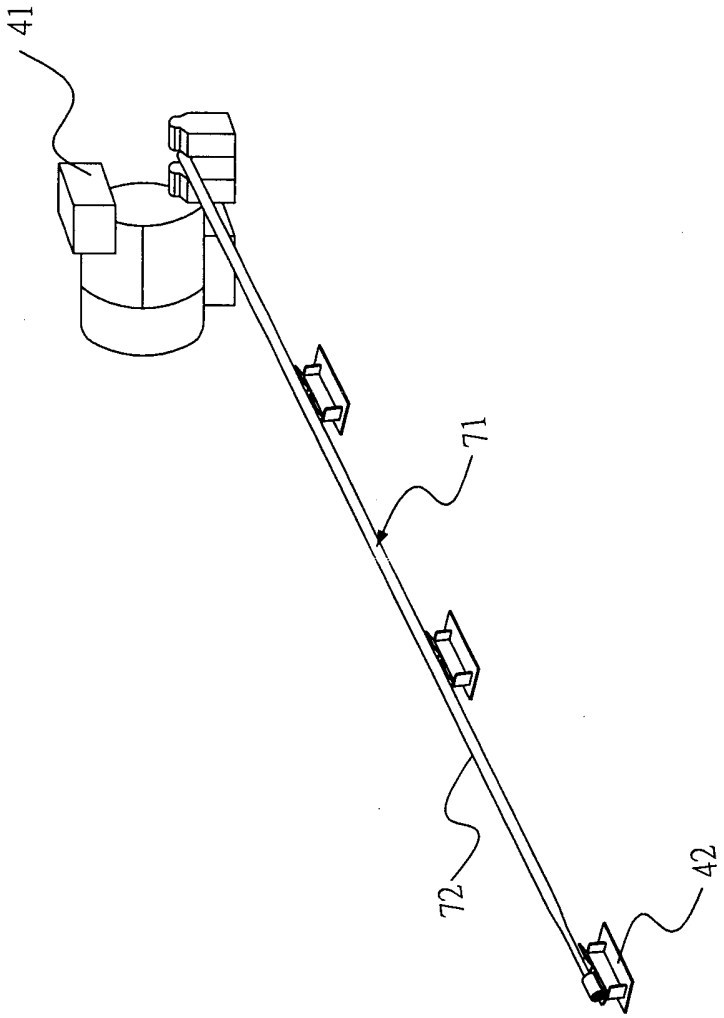
第2圖



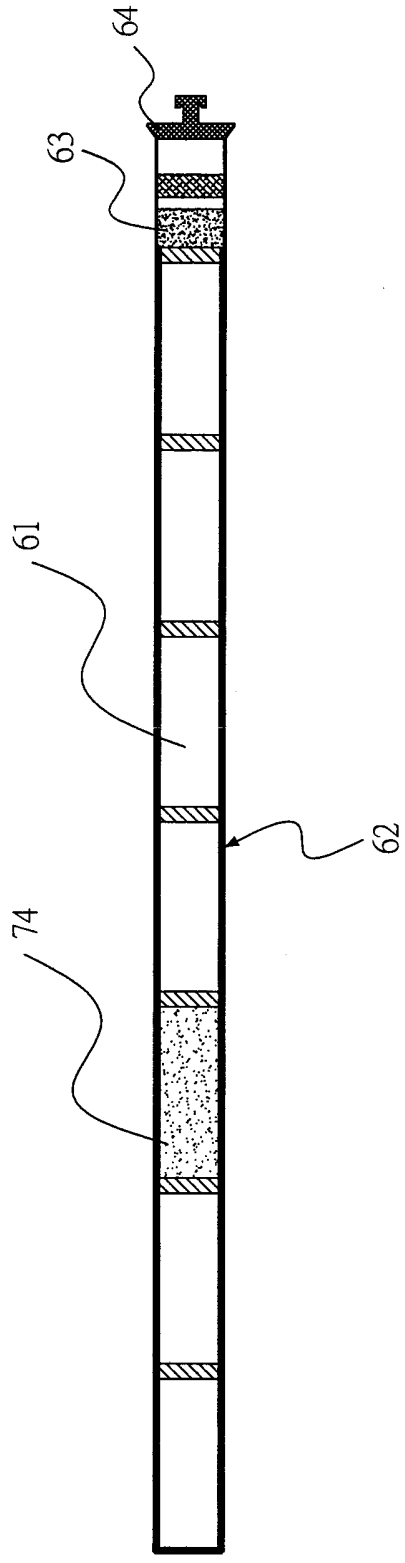
第3圖



第4圖



第5圖



第6圖

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明:

燃料罐移至熱室 1

外觀檢測 2

依燃料受損現況分類 3

截斷脫鞘或分段切割以分離燃料罐、燃料棒護套及收集燃料 4

高溫安定化處理 5

裝罐密封、抽氣、測漏及填入氦氣 6

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：