

第十六章 燃料更換、輸送與儲存

- 壹、概述
- 貳、安全設計準則
- 參、系統敘述
- 肆、更換燃料操作

1

壹、概述

- 燃料儲存設備，係供新燃料元件或用過燃料元件在廠內儲存之用。其儲存的排列方式，在正常情況及假定事故的情形下，都不致於達到臨界。
- 此燃料裝卸系統包含更換燃料時所使用的設備及機具。在燃料驗收、檢查、儲存、更換和裝箱時，這些設備和機具都能使燃料安全的裝卸和運送。

2

貳、安全設計準則

一、新燃料儲存設備

- 新燃料儲存設備能接受和儲存新燃料元件和控制棒，設計以乾式儲存。設計上考慮當池內存滿最高可能濃縮度燃料，且充滿最佳緩和物質如純水或水霧等情況下，其燃料排列方陣仍可保持反應度 (K_{eff}) ≤ 0.98 的次臨界狀態。
- 新燃料儲存設備，可提供儲存於其中新燃料實質的保護。

3

貳、安全設計準則

一、新燃料儲存設備

- 新燃料儲存池的鋼筋水泥結構和燃料架之設計，須於安全停機地震(SSE)發生時及以後仍能維持設計功能。
- 新燃料儲存池與儲存架的設計，排除於同一儲存單元置入超過一束燃料，或者以垂直以外的方式置入。
- 新燃料儲存池設計上能確保在假想燃料操作事故及最惡劣環境下，都不可能發生臨界事故。

4

貳、安全設計準則

二、用過燃料儲存設備

- 用過燃料池在設計上，假定裝滿臨界分析所預期最大可能濃縮度的燃料，區域1在充滿未加硼的純水情況下，而區域2則加硼至650 ppm狀況下，其燃料安置的方陣排列，必須仍能維持 $K_{eff} \leq 0.95$ 的次臨界狀態。
- 與用過燃料儲存設備相連結之所有管路，設計上必須能防止用過燃料池的冷卻水流失，以避免燃料曝露。

5

貳、安全設計準則

二、用過燃料儲存設備

- 用過燃料儲存設備和燃料架之設計，應考慮在安全停機地震(SSE)強度下仍能維持其功用。
- 儲存台架的設計，根本上排除了兩個用過燃料元件，同時插置在一個台架上的可能性，且用過燃料元件吊放的位置及方向不對時，用過燃料架會阻止其放入。

6

貳、安全設計準則

二、用過燃料儲存設備

- 用過燃料池設計在假想用過燃料裝卸事故及最惡劣環境下，都不可能發生臨界事故。

7

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- ◆ 新燃料儲存設備位於燃料廠房內（圖16-1A）。
- 新燃料儲存在完全封於襯有不銹鋼板的鋼筋水泥牆和鐵製頂板的地窖裡。
- 頂部具有可移動的鐵板蓋，用來保護燃料架，同時防止落物損壞架上的燃料。
- 頂部不得有管路經過，且其高度必須高出地面約14.5公尺（47.5呎），以避免管路破裂和自然因素所造成淹水事故。
- 應具有良好的洩水措施，以防止在新燃料地窖內積水。

8

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- ◆ 新燃料之儲存架 (圖16-1)
- 垂直連續的排列，並且使用基礎螺栓固定在地窖的牆面和地板上。
- 總共可儲存60個燃料元件（每排15個共4排）。每燃料元件都須存放在排列方格內，其中心對中心的距離為53公分（21吋）。
- 在淹水的情況下（既使在沒有加硼的除礦水淹蓋下）其Keff仍小於等於0.95。
- 新燃料儲存架在設計上能承受1364公斤（3000磅）的舉力和一掉落的燃料元件100%的直接撞擊。

9

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- ◆ 用過燃料池可裝138705公升（525000加侖）水的容積，池內充滿2000 ppm \pm 50 ppm的硼酸溶液。
- ◆ 用過燃料儲存架 (圖16-2a) 供作儲存用過燃料元件之用，可容納2160根燃料元件，足夠40年運轉所需。
- 儲存架分為二區(Region)：第一區 (圖16-2b和圖16-2c) 可儲存208根新燃料元件或用過燃料元件，第二區 (圖16-2d和圖16-2e) 可儲存1952根用過燃料元件。

10

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- 可燃毒物棒、套管塞和控制棒組件通常儲存在用過燃料元件裏。另外，用過燃料池尚有三只存放損壞燃料元件之燃料鐵箱(Fuel Container)。
- 第一區儲存架每個燃料元件的中心對中心距離為11.28吋(28.65公分)，第二區儲存架則為9.02吋(22.90公分)。儲存架設計的分隔空間為維持儲存燃料元件在任何狀況下都不會達到臨界。

11

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- 用過燃料儲存架由經退火過的沃斯田不銹鋼造成，在硼酸溶液中有高度的耐腐性，用過燃料儲存架，係屬自由站立式模組化設計，並為耐震一級之設計。在正常的裝卸燃料元件的作業中，儲存架的結構經得起掉落燃料元件的撞擊。
- 用過燃料池除與燃料桶裝卸池和除污池相鄰外，與圍阻體燃料更換池間有一燃料傳送水道。燃料傳送水道內有新燃料輸送升降梯和燃料傳送系統。

12

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- ◆ 新燃料元件係用燃料裝卸機 (Fuel Handling Machine)，從新燃料儲存池移到燃料傳送水道。新燃料輸送升降梯 (圖16-3) 包括一箱形的升降梯結構，其頂部有一開口，大小剛可容納一燃料元件，專用來降低新燃料元件到燃料傳送水道的底部。然後，新燃料元件即由燃料裝卸機傳送，並裝載到燃料傳送系統。如果使用再循環鈾燃料，則在裝填燃料時先儲存在用過燃料儲存架上。

13

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- 一個攜帶式沈水泵，用來從傳送水道或燃料桶裝卸池，打水到用過燃料池；如果用過燃料池的水質合乎要求時，即可打到RWST。用過燃料池的水，也可以用燃料池淨化泵打到硼回收滯留槽中。
- 用水密性閘門便可將用過燃料池和傳送水道以及燃料桶裝卸池隔離。該閘門是用不銹鋼板和合成橡膠質封環組成，可以防止洩漏。桶除污池 (Cask Decon. Pit) 係供用過燃料護箱(Cask)運送到廠外前除污之用。

14

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- ◆ 其他用來支持用過燃料儲存的相關系統，分別說明如下：
- 用過燃料池冷卻和淨化系統可在正常運轉時，限制池水溫度不超過48.8°C (120°F)。同時除去不純物和雜質以增加可見度，且降低輻射強度到2.5mr/hr以下或在燃料更換操作時10mr/hr以下。
- 具有控制和偵測功能的通風設備，用來除掉用過燃料池上方大氣之放射性氣體。先經過HEPA過濾器及活性炭吸收體後排到外面，以維持燃料廠房空氣的潔淨。

15

參、系統敘述

一、燃料儲存設備

- 用過燃料池區域輻射偵測系統，用以保護在燃料廠房工作人員之安全，以及測定該區之輻射強度。該系統設有連續偵測、記錄、讀數指示和高輻射警報裝置。
- 洩漏槽溝和集水系統，用來偵測用過燃料池牆面與池底襯板的洩漏。本系統用槽溝收集從池內鐵板焊接處洩漏之水，並流至設備洩水槽系統，以便偵測和處理。

16

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

- 燃料裝卸系統（Fuel Handling System）主要由四組裝卸起重機，與附屬的反應器頂蓋和內部組件的吊具，可燃毒物棒，控制棒舉吊工具和介於圍阻體燃料更換池與燃料廠房用過燃料儲存池間的燃料傳送系統所組成。
- A. 燃料更換的整個過程，有下列四種吊裝機具共同完成，分別說明如下：

17

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

1. 旋轉式起重機（Polar Crane），位於圍阻體內之上方
- 旋轉式起重機運用不同的吊具，即可吊動反應爐槽上蓋和反應爐槽上內部組件與下內部組件。
- 旋轉式起重機的裸電索圍繞圍阻體頂部內側，以傳送電力供給可旋轉橋式高架吊車之動力，傳動鐵輪繞著軌道轉動。

18

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

- 旋轉式起重機的主吊鉤額定承吊容量為175噸，當配合適當的起重機架時，可以吊移反應爐槽的飛射物保護體（Missile Shield），爐槽頂蓋，反應爐上內部組件，反應爐下內部組件。
- 另有一30噸輔助吊鉤，用以協助例行的維護工作及法規要求的檢驗工作（Inservice Inspection）。

19

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

2. 燃料更換機（Refueling Machine，又稱 Manipulator Crane）（[圖16-4](#)），位於圍阻體內燃料更換層。
- 這是一個直進長橋式並具有垂立柱可伸長到燃料更換池內的起重機。橋長跨過燃料更換渠道和燃料更換池；橋兩端之輪組可在燃料更換池邊緣的軌道上移動。橋（Bridge）和吊運裝置系統（Trolley Crane）能夠將垂立柱（Vertical Mast）（[圖16-6](#)）定位在爐心內燃料元件上方。

20

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

- 垂立的長管尾部有一用壓縮空氣操作的吊鉤。絞盤可垂直向下伸出垂立柱抓夾燃料元件。當夾鉤接觸到燃料元件時，由於夾鉤管(圖16-5)有足夠長度所以其上端點還在垂立柱內，當裝置在吊運車上的絞盤升起夾鉤管時，燃料元件即會上升進入垂立柱管內。收容在垂立柱管內的燃料元件，即由燃料更換機運送到燃料傳送系統。

21

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

- 所有操作控制，由裝置在吊運車上的控制盤操作。橋形吊運車的位置指示，係利用爐心之X-Y軸方向之位置信號器傳送信號，指示在預先建立的方陣模板上。一組含有望遠伸縮鏡頭監視器和電視錄影器的電視系統，可使操作員能看到6英尺範圍的燃料元件位置和燃料移動情形。
- 燃料更換機之橋架、吊運車、垂立之升降柱絞盤驅動系統，係設計成可變速的方式，橋架的最高速度為18.3m/min (60 ft/min)，而吊運車之速度為6.1m/min (20 ft/min)。

22

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

3. 燃料裝卸機 (Fuel Handling Machine) (圖16-7)，位於燃料廠房用過燃料池上方。
- 西屋公司製造的15噸橋式起重機，其兩端備有動輪跨越在用過燃料池和燃料傳送水道。另有電動吊鉤 (Hoist) 裝置在單軌道的吊運車上面。燃料元件在燃料池內移動時，使用吊鉤配合長柄工具 (Long-Handled Tools) 操作。

23

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

- 在設計上已考慮，當吊運器在最高吊起位置再加上吊具長度後，用過燃料仍然浸在加硼水中安全屏蔽深度(水面下10呎)，以保護工作人員。
- 橋的移動採間歇式 (以jogging方式)，但亦可連續移動，連續移動時最低3m/min，最高可達10m/min，吊鉤上下之速度為可調式，最低速度為2.3m/min，最高速度為6.9m/min。

24

參、系統敘述

二、燃料裝卸系統

4. 燃料桶裝卸起重機 (Cask Handling Crane)，位於燃料廠房
 - 用來運送燃料桶於卡車，除污池及燃料桶裝卸池之間。該起重機係一電動，單吊運車高架橋式起重機，載重容量125噸。

25

參・二、燃料裝卸系統

- B. 於準備更換燃料時，要用圍阻體廠房旋轉式起重機，吊開反應器壓力槽槽蓋和其內部結構組件到爐槽的旁邊安置後，即可看到燃料元件。
 - 用於燃料更換準備工作的工具有：反應器壓力槽槽蓋吊具，反應器槽螺栓鎖緊器 (Stud Tensioners)，反應器內部結構組件吊具和控制棒驅動軸脫扣工具等。

26

參・二、燃料裝卸系統

1. 反應器壓力槽槽蓋吊具 (Reactor Vessel Head Lifting Device) (圖16-8)
包括一藉焊接與栓接方式組成的鋼架結構物。本結構物固定於爐槽槽蓋，上蓋吊具備有纜索，剛好可讓旋轉式起重機 (Polar Crane) 將上蓋吊起。上蓋吊起後，即置於圍阻體廠房內指定之專用台架上。連接於上蓋吊具的設備有環形單軌 (Circular Monorail) 及相關的吊車 (Hoist)。

27

參・二、燃料裝卸系統

2. 螺栓鎖緊器 (Stud Tensioner) (圖16-9)
冷停機後，用以拆卸爐槽上蓋的螺栓，而在燃料裝填完畢後，再藉本鎖緊器將上蓋鎖緊於爐槽法蘭。
 - 共有三個螺栓鎖緊器呈相隔120度安裝，且藉單軌支持。本鎖緊器係利用液壓操作裝置，藉一液壓泵單元操作。每一鎖緊器上備有一釋壓閥，可將超量的油壓釋放，以防止螺栓受到過度拉張。螺栓拆開後，將鋁製塞子置於螺紋孔內；如此在燃料更換池充水期間，可防止水份及雜質侵入螺紋孔。

28

參・二、燃料裝卸系統

3. 反應爐內部結構組件吊具 (圖16-10)

該吊具係一鋼結構支架，平時儲存於燃料更換池以外之指定地點。當爐槽準備更換燃料的期間，本內部結構組件吊具，即懸吊於旋轉式起重機上。然後下移與上部支持板 (Upper Support Plate) 嚙合，吊起支架上有三個旋轉式鎖梢 (roto-lock) 機構，藉人力使之與上部支持板嚙合。三枝引導螺栓，安裝於爐槽法蘭面相隔120度的三個螺栓孔。當吊起內部結構組件時，該吊具的支架即利用所引導螺栓作為對心引導。

29

參・二、燃料裝卸系統

4. 控制棒驅動軸脫扣工具 (Drive Shaft Unlatching Tool) (圖16-11)

係供將爪型控制棒元件與控制棒驅動軸分離之用。當內部結構組件吊起後，爪型控制棒元件和驅動軸乃留在燃料元件中，藉此工具懸吊於輔助吊鉤上 (Auxiliary Hoist)，可使驅動軸和控制棒元件脫離。輔助吊鉤係裝於燃料更換機 (Refueling Machine) 上，藉氣缸的空氣壓力來動作輔助吊車的夾鉤 (Gripper)，且備有後備彈簧，當氣缸失去氣壓時能關閉夾鉤。

30

參・二、燃料裝卸系統

C. 燃料更換期間，為避免操作人員曝露於燃料、控制棒或可燃毒素棒組件的輻射，特別設計了下列各種操作裝置：

1. 新燃料元件裝卸夾具 (New Fuel Assembly Handling Tool) (圖16-12)

- 亦稱為短柄裝卸工具，長63.5公分 (25吋)，重45.5公斤 (100磅)，懸吊於燃料裝卸機上。係用來將新燃料從運輸用鐵箱吊出，以便新燃料之檢驗和儲存。也可以用此夾具將新燃料吊進儲存地窖或新燃料升降梯。

31

參・二、燃料裝卸系統

- 工具下方伸出之部份，備有用凸輪操作之指形閉鎖器 (Cam-actuated Latching Fingers)。此閉鎖器與燃料元件頂部管嘴的底側邊緣嚙合；於閉鎖後，藉一安全螺釘鎖入工具操作把手，以防止燃料元件搬運時，發生意外脫離。
- 在吊移再循環鈾燃料組件時，本工具與一沿縱向四方開口的圓柱遮蔽搭配成一體。設計檢驗燃料時，該屏蔽設備能沿燃料旋轉。旋轉截面包括一透明窗，照明和測孔檢驗 (Boroscopic Examinations) 用的出入口。

32

參・二、燃料裝卸系統

2. 用過燃料裝卸工具 (Spent Fuel Handling Tool) ([圖16-13](#))
 - 亦稱為長柄裝卸工具，用以吊移用過燃料組件，長9.2公尺 (30呎) 重175公斤 (385磅)。本工具懸吊於燃料裝卸機的2噸吊車上。
 - 藉操作本工具頂部的操作把手，使利用凸輪操作的指形閉鎖器與燃料元件頂部管嘴的底側邊緣嚙合。閉鎖後，藉一安全梢插入操作把手，以防止燃料元件於搬運時引起工具與燃料元件的脫離，發生燃料元件掉落事故。

33

參・二、燃料裝卸系統

3. 可燃毒物棒裝卸工具 ([圖16-14](#))
 - 係一長柄裝卸工具，使用於用過燃料池和燃料輸送水道內，用以輸送可燃毒物棒元件。本工具係懸吊於燃料裝卸機上，橋架上的操作人員控制操作。該操作人員一方面控制起重機之行動，另一方面可以人力手動調整吊具的位置。

34

參・二、燃料裝卸系統

4. 更換燃料時所使用的其它裝卸工具 ([圖16-18](#))，尚包括套管塞裝卸機具 (Thimble Plug Handling Tool)，RCC裝卸裝置 (RCC Handling Fixture)、照射樣品裝卸工具 (Irradiation Sampling Handle Tool) 和初次中子源插入導管 (Primary Source Insertion Guide)。

35

參・二、燃料裝卸系統

5. ~~RCC~~套管塞裝卸機具 ([圖16-15](#)) 係一長柄工具，藉手動操作。本裝置用以移除或更換燃料元件內的套管塞。
6. 新RCC裝卸裝置 ([圖16-18](#))
係一短柄工具，於檢查新RCC或在燃料廠房欲將新RCC插入新燃料時使用。

36

參・二、燃料裝卸系統

7. 照射樣品裝卸工具（[圖16-18](#)）
係一長柄工具，懸吊於圍阻體廠房旋轉式起重機上，欲將安置於中子屏蔽懸籃的照射樣品移出時使用。該工具可從燃料更換機桁樑處操作。使用此項工具的長柄，可以穿入設在爐心筒體法蘭面（Core Barrel Flange）的出入口。因此當裝卸照射樣品時，就可以免除吊起爐心筒的麻煩。
8. 初次中子源插入導管（Primary Source Insertion Guide），其用途係當初次燃料裝填時，用以引導初次中子源棒，插入可燃毒物棒元件的選定位置。

37

參・二、燃料裝卸系統

- D. 燃料傳送系統係由燃料傳送管穿過圍阻體牆壁，傳送燃料元件之用。本系統係由傳送管結構和水中傳送車系統組成（[圖16-19](#)）。
 1. 燃料傳送管
 - 係一大約6.1公尺（20呎）長的鋼管，水平貫穿圍阻體鋼筋水泥牆。此傳送管介於燃料傳送水道和燃料更換水道之間。傳送管道分成數段，其間設有伸縮接頭，以容許該管道之膨脹和收縮。

38

參・二、燃料裝卸系統

- 除更換燃料期間外，在燃料更換池側有盲板（Blind Flange），以螺絲封閉該管道之燃料更換池之管口。以確保圍阻體不洩漏的完整性。有兩個封環位在法蘭面的周圍；阻止洩漏。
- 在燃料廠房側之傳送水道和傳送管間，有一閘閥EC-V102，它的操作器，柄甚長突出水面，所以在充水的狀況下，乃能開關此閥。

39

參・二、燃料裝卸系統

2. 傳送車
 - 一個電動馬達驅動的傳送車和燃料搬運容器，沿著傳送管輸送。
 - 傳送車之移動係利用一滾子扣鏈齒輪元件（Roller Chain Sprocket Assembly）由一推動臂帶動。扣鏈齒輪驅動軸，係由燃料傳送水道上面的馬達帶動之。另有一緊急拉出纜索；當傳送車在傳送管道內發生故障不動時，可利用該纜索將傳送車拉出。

40

參・二、燃料裝卸系統

- 在傳送管的兩端，各有一組使用液壓帶動的豎立機構（Upending Mechanism）。豎立機能將傳送車容器的中心軸，由水平位置豎立成垂直位置。
- 燃料裝卸機，可以在燃料傳送水道將新燃料元件吊進豎立機之傳送容器或從豎立機之傳送容器將用過燃料元件吊起。
- 燃料更換機亦同樣情形；可以在燃料更換池將燃料元件吊進、吊出該豎立機之傳送容器，以進行下一步驟之工作。
- 在反應器正常運轉時，該傳送車係存放在燃料傳送渠道。

41

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

A. 燃料更換系統

所有燃料裝卸之機具、輸送容器和工具都裝設有機械或電氣的連鎖，以防止事故損壞燃料、可燃毒物棒或控制棒元件，或吊入開蓋的反應爐槽和燃料儲存設備。最主要的連鎖如下：

42

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

1. 燃料更換機之橋架和吊運車、主、副絞車之間驅動時有電氣連鎖，防止同時操作兩個驅動裝置。
- 藉幾對的引導滾子（Guide Roller）限制起重機橋架和吊運車在軌道上的水平移動。每一個車輪位置都備有一對的引導滾子。此引導滾子裝於橋架和吊運車車架，且與軌道任一邊的垂直面接觸，以防止水平側向位移。

43

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 位於橋架和吊運車車輪的限制桿（Restraint Bar），係用來限制垂直方向的位移。這些桿係用螺栓固定於橋架和吊運車的軌道上，橋架的導桿更深伸入軌道凸緣固定，吊運車之限制桿，則伸入支持吊運車的橋架上樑的凸緣下方。
- 這些引導滾子和限制桿之設計強度都可承受得起安全停機地震（Safe Shutdown Earthquake），此保護連鎖裝置為只當吊鉤管全部退入垂立管內且其位置限制開關動作的情況下，操作員才能操作橋架或吊運車。

44

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

2. 燃料更換機主吊車 (Refueling Machine Main Hoist)
 - 夾鉤管懸掛於主吊車上，且備有多重鋼纜，此鋼纜繫於獨立的絞車鼓上。每一鋼纜系統能承受五倍燃料元件重量加上夾鉤的重量，以防止由於單一鋼纜斷裂引起燃料元件之掉落事故。
 - 燃料元件加夾鉤的重量共約1134.3 kg (2500 lb)，此重量低於燃料架支持元件的結構設計負載。

45

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 主吊車亦備有兩個獨立的制動系統，一為電氣制動器安裝於馬達主軸上，當馬達賦能時，此電氣制動器即釋放；當馬達失能時，電氣制動器夾緊。
- 另一個制動器係一以機械式動作的負載制動器，裝在主吊車齒輪箱內。當超量負載拖引吊車時，將引起制動器夾緊。此機械式制動器在某一情況下從馬達失去轉矩時也會動作，此時並不需要經過電氣線路就能動作制動器。

46

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 電氣式制動器之容量為運轉負載的百分之三百五十，而機械式制動器則為百分之三百。另有一超載懸重連鎖，在負荷超過燃料元件重量的110%時，即可使吊車向上驅動線路開啟。
- 另外，裝有第二個連鎖裝置，該裝置僅容許當燃料元件完全被夾鉤夾緊或釋放時始得操作吊車，這種情況可藉夾鉤關閉或開啟指示開關指示出。所有燃料更換機具和吊車連鎖皆具備多重，且能承受單一失靈 (Single Failure) 的情況。

47

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

3. 燃料更換機夾鉤 (Refueling Machine Gripper)
 - 備有四個指形夾鉤 (Fingers)，夾緊於燃料元件頂部管嘴的下方。任何兩個指形夾鉤，即能承受燃料元件的全重量。此夾鉤機構包括一以彈簧動作的機械連鎖，以防止夾鉤開啟。這種情形除非夾鉤空氣氣缸受到操作空氣時，方能開啟夾鉤。

48

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 另設有一連鎖，可防止空氣供給管路上的電磁隔離閥開啟。此管路係供給操作空氣到夾鉤。此閥僅當荷重儀表指示夾鉤為零負荷時方能打開，本連鎖另有一後備保護，利用負荷的動作鎖緊夾鉤。此目的係當夾鉤承受到燃料之負荷時，雖有空氣壓力供給到操作用氣缸時，亦能防止夾鉤打開。

49

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 4. 燃料裝卸機
 - 該起重機備有連鎖以防止橋架和吊鉤同時帶動運轉。吊鉤亦備有過載保護裝置，以限制吊鉤上移的力量，本保護裝置限制吊鉤負荷到達額定2噸容量的125%；
 - 吊鉤的最大預期負荷為一組燃料元件的重量725.7公斤（1600磅）、一故障燃料的鐵箱重量455公斤（1000磅）和用過燃料裝卸工具的重量總和，其總重約為1360公斤（3000磅）。
 - 各種燃料裝卸機連鎖皆為多重性（Redundant）且能承受單一失靈情況。

50

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 5. 燃料傳送車控制站
 - 該站係位於燃料廠房的燃料輸送水道上方。由於操作人員不能目視到圍阻體內的一切情況，因此在圍阻體內亦設有一控制裝置，當傳送車在圍阻體內停駐時，將該控制裝置上的控制選擇開關切至關閉位置，則燃料廠房側不能操作傳送車，容許在圍阻體內的操作員能控制傳送車的豎立或倒下之操作。

51

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 傳送車連鎖裝置係僅當在燃料更換池及燃料傳送渠道兩者之豎立機械結構在向下位置，及燃料容器在水平位置的重量將機械式停止裝置的連鎖解除時，方能允許傳送車沿著軌道移動。此即防止燃料容器處於垂直位置時不小心操作傳送車，以致損害燃料及設備。
- 在燃料傳送渠道端、傳送管上的隔離閥有一位置指示燈，如該指示燈未指示此隔離閥已在全開位置時，也會禁止傳送車之傳送操作。

52

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

6. 豎立機械結構 (Upending Mechanism)

- 位在傳送管的兩端，設有一連鎖，只允許傳送車在軌道的各端時，該側之豎立器才能單獨操作。
- 其第一道連鎖裝置是設在該機械結構迴路的位置極限開關(L.S)接點，其後備連鎖係一種機械式的閉鎖裝置，當傳送車移動，抵達末端壓到這接頭就打開。另有些連鎖，當確信燃料元件已完全吊起後，才容許豎立器降下。

53

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

- 另有一連鎖用於燃料傳送渠道的豎立器，除非燃料裝卸機已離開豎立器區域，否則無法操作。這是利用橋軌的位置極限(L.S)開關接點動作控制迴路，這接點同時用在指示燈上。
- 同樣的，燃料傳送渠道的豎立器，除非燃料更換機在爐心上或燃料更換機夾鉤管已完全放鬆或完全抓緊，而收納到垂立管內時，否則無法操作。

54

參・三、燃料裝卸系統與燃料更換系統的連鎖保護

B. 燃料裝卸系統

- 燃料裝卸系統亦設有連鎖，以防止在用過燃料傳送過程中，不小心引起人員的過量曝露。
- 燃料更換機具吊鉤裝有機械停止器 (Mechanical Stop)，以限制燃料元件頂部上升到正常燃料更換池水面下的3.05公尺 (10呎) 範圍內。
- 燃料裝卸機具吊鉤也有一機械式停止器，以防止在裝卸過程中，燃料元件頂部上升到水面下3.05公尺以內範圍，如此才能將燃料池水平面上之 γ 輻射劑量率降低至2.5mr/hr以下。

55

肆、更換燃料操作

一、新燃料之裝卸和儲存

- 裝在鐵箱容器的新燃料元件，用拖車運到廠內後，以燃料廠房燃料桶裝卸起重機吊到驗收區域，拆除包裝後用強背 (Strong Back) 支架將新燃料直立。然後用燃料裝卸機單軌吊鉤，將新燃料元件吊到檢查區域之台架上。當新燃料元件在這區域檢查時，要把包覆燃料元件的塑膠套拿掉，然後檢查其乾淨程度。最後用肉眼檢查燃料元件有無受損。如果是在驗收回收鈾燃料元件時則必須應用圓柱形屏蔽工具，配合新燃料元件裝卸器具實施檢查。

56

肆、更換燃料操作

一、新燃料之裝卸和儲存

- 檢查新燃料元件後，由燃料裝卸機的單軌吊鉤，吊到新燃料元件儲存池的新燃料儲存架上。假如在吊運回收帶銻燃料，傳送過程必須使用屏障，用燃料裝卸機單軌吊鉤吊到新燃料升降梯，該新燃料升降梯即把燃料元件降到傳送渠道底部，隨之即可移除屏蔽。用長柄的用過燃料裝卸工具，配合燃料裝卸機的吊鉤，將回收銻燃料元件，吊到用過燃料儲存池的用過燃料儲存架上做更換燃料前的水中儲存。

57

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

A. 燃料更換的操作

- 燃料更換操作過程當中；更換燃料池水和反應器冷卻水的硼濃度，必須維持於週期再填換安全評估報告(RSE)要求的濃度以上。這種濃度即使所有的RCCA被移除，也有足夠的裕度使爐心保持在10%的次臨界狀況。
- 燃料更換池和燃料儲存池的水位，必須保持足夠的高度，使得高輻射性的用過燃料吊出爐心以及輸送的過程中，仍可維持其輻射強度在規定限值內。

58

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

B. 燃料更換操作的過程可分為五個階段：

(1) 準備 (2) 反應爐拆卸 (3) 燃料拆卸 (4) 反應爐組合 (5) 一般清潔

1. 準備階段

- 首先將反應器停機，加硼後冷卻到冷停機狀態，以達到當所有控制棒插入的情況下， K_{eff} 低於0.90
- 在進入圍阻體之前，先起動圍阻體大氣控制系統，以減少圍阻體內之放射性污染物。

59

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

- 當圍阻體氣體碘放射強度減低到廠區外之標準以下後，即可使用圍阻體除氣系統 (Containment Purge System)，將惰性氣體 (Noble Gas) 沖放到大氣。經過輻射偵測鑑定後，工作人員即可進入圍阻體。
- 在此時，反應爐槽水位稍低於壓力槽凸緣 (Vessel Flange)。所有的燃料裝卸工具此時必須經過操作性檢查，然後排列在指定地點以便取用。

60

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

2. 反應爐槽之拆卸

- 首先移開爐槽上的飛射物/中子屏蔽 (Missile)。再從反應爐槽上蓋拆開控制棒驅動裝置和熱電偶電纜、通風管、絕緣材料。爐內中子儀器導管則在封板 (Seal Table) 處拆開，然後從爐底抽出。
- 其次準備燃料更換池充水，拆開燃料輸送管端盲板法蘭(Blind Flange)，然後檢查燃料傳送系統的組件、工具和水底照明等。

61

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

- 準備三個反應爐法蘭螺栓鎖緊器，用來拆除旋緊的螺栓；之後用旋轉式起重機吊起爐槽上蓋，並升起高於凸緣面大約一呎。將螺栓塞入螺栓孔內，以防止水之進入。
- 水從RWST，經由RHR系統，打水到RCS，使水溢流到燃料更換池。當水深到達安全屏蔽的深度後，爐槽上蓋即可吊起，放置在乾的儲存台，並用警告索加以隔離。

62

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

- 使用脫扣工具先將控制棒驅動軸與控制棒脫離，然後用旋轉式起重機懸吊反應爐內部組件吊具，將反應爐上內部組件吊開。反應爐上內部組件暫時存放在爐槽邊的燃料更換池的儲存台上 ([圖16-20](#))。此時燃料元件、控制棒、可燃毒物棒和套管塞元件由反應爐上方可見，爐心燃料更換即可開始。

63

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

- 在更換燃料階段，平時隔離燃料廠房側的傳送管道閘閥，此時必須全開。更換燃料的操作按順序開始進行。用過燃料元件則用燃料更換機，從爐心吊起，燃料更換操作員按照順序更換燃料，把用過燃料吊至用過燃料池。

64

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

3. 一般燃料吊出順序如下：
- 把燃料更換機定位在爐心的燃料元件上方。放下吊鉤低於垂立柱，夾住燃料元件後吊起，並收入到垂立柱內，昇高到一定高度。這高度恰使燃料元件下端，能越過反應爐槽上部，但仍然在足夠深的水中，以免除對工作人員的輻射傷害。
 - 用燃料更換水道內的豎立裝置，將傳送車和傳送容器旋轉成直立位置。

65

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

- 燃料更換機從爐心將燃料元件，移送到燃料容器上面而成一直線。當成一直線時，燃料元件即可安放入傳送車內，帶著燃料元件的容器，由豎立器旋轉成水平位置。此傳送車即經傳送管，回駛到燃料傳送渠道。
- 燃料元件容器旋轉成垂立一直線；此時，燃料裝卸機的吊鉤，配合用過燃料裝卸工具駛過來夾住燃料元件吊離該容器。燃料裝卸機吊送燃料元件，經一道水閘門到用過燃料池，儲存在用過燃料儲存架上。

66

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

- 當要從燃料廠房傳送核燃料到圍阻體，以相反順序操作。
4. 在燃料更換後，反應爐之組合，剛好和拆解過程相反的順序步驟來組合反應爐。

67

肆、更換燃料操作

二、燃料更換操作規程

5. 燃料更換池（Refueling Cavity）洩水，反應爐組合及燃料傳送管隔離後，即可開始除污階段。
- 當燃料更換池區域清潔後，反應爐穴封環和蓋住燃料更換池洩水孔的封塞法蘭面，即可以拆開收存在規定場所。
 - 任何燃料裝卸用機件、工具的維護檢查工作，也應在此除污階段完成。當一切工作完成後，飛射物屏蔽即可重新放回反應爐上面。最後，圍阻體起重機便可移到功率運轉位置。

68

肆、更換燃料操作

三、用過燃料的裝載

- 用過燃料元件儲存於廠內的用過燃料池內。用過燃料裝載桶由卡車送進燃料廠房的裝卸區域。125噸燃料桶裝卸起重機主吊鉤豎立該桶，置之於桶準備區域，經過徹底的清洗。然後將桶輸送到燃料桶裝填池，該池仍充滿池水。可開關的氣密水閘門用來隔離用過燃料池和燃料桶裝填池，以便桶裝填池之洩水。

69

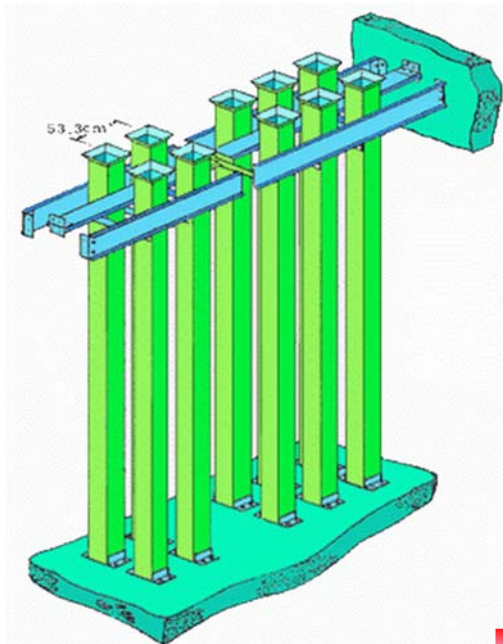


圖16-1 典型新燃料台架

71

肆、更換燃料操作

三、用過燃料的裝載

- 燃料裝卸機配合用過燃料吊具，將用過燃料元件從儲存架輸送到桶裝填池，並置入裝載桶。燃料桶裝載完後，在池中覆蓋桶頂蓋。然後輸送至桶除污池除污。在偵測桶外輻射強度，並確認低於限制值後，將桶放在卡車上準備運出。
- 請參閱核技組認養之相關程序書：
[SOP1308/1309/1314](http://10.143.15.205/qc_div/sop/P1300/1308.doc)
(http://10.143.15.205/qc_div/sop/P1300/1308.doc)

70

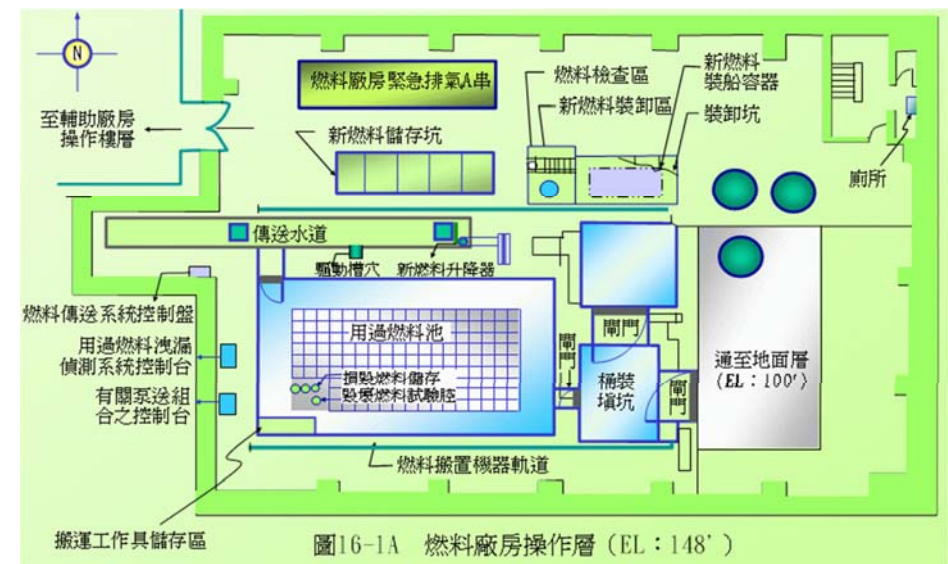


圖16-1A 燃料廠房操作層 (EL: 148')



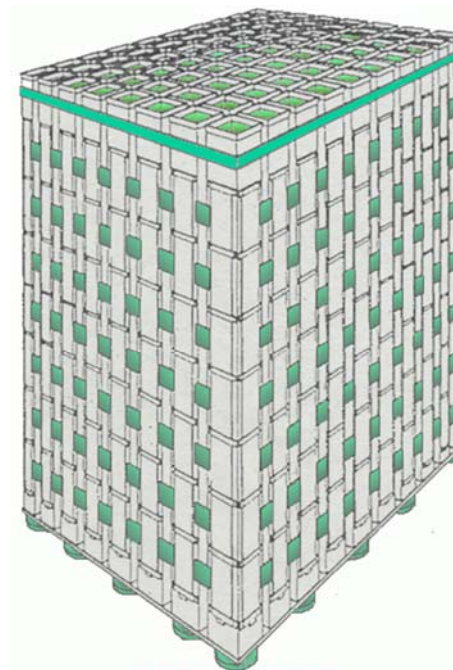
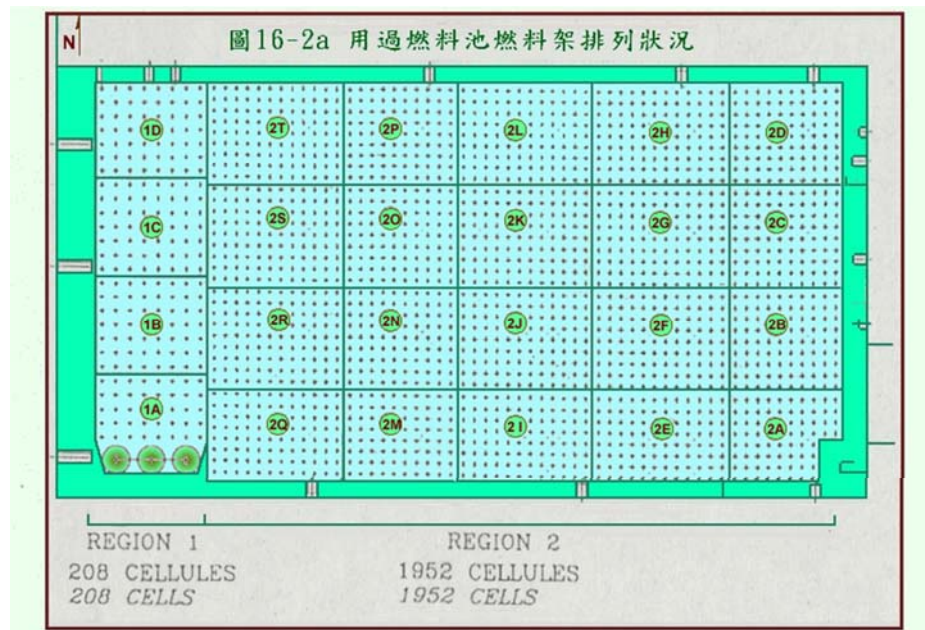
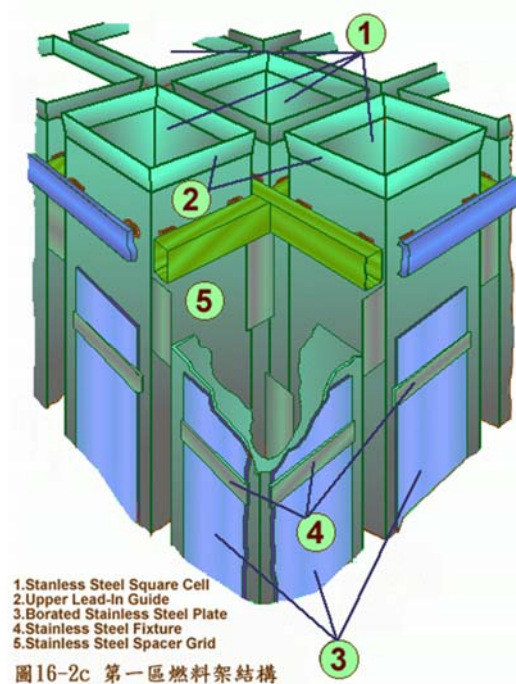


圖16-2b 第一區燃料架

74



75

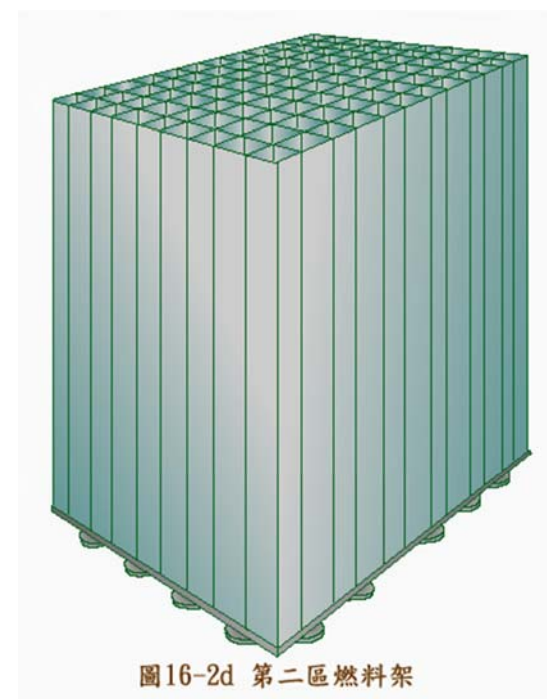


圖16-2d 第二區燃料架

76

1. Stainless Steel Square Cell
2. Location Borated Stainless Steel Sheet
3. Stainless Steel Flat Spacer
4. Weld Blad
5. Borated Stainless Steel Sheet

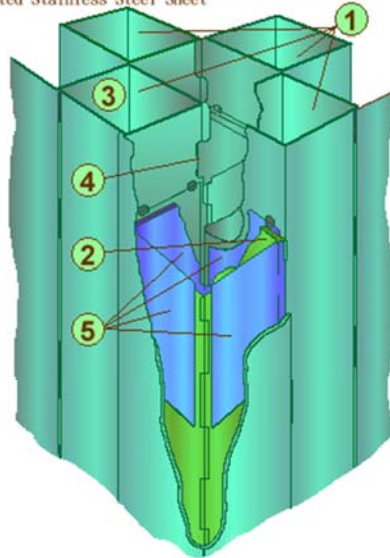


圖16-2e 第二區燃料架結構

77

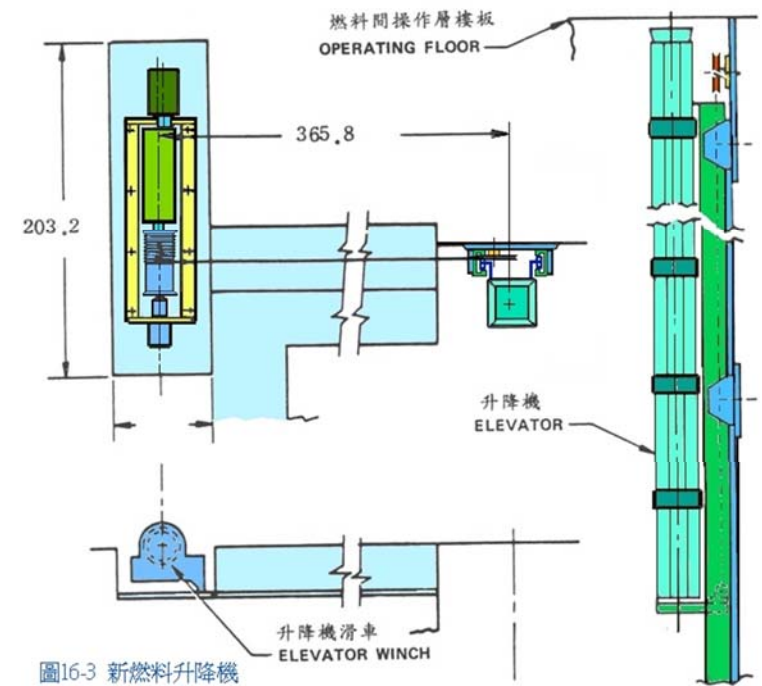


圖16-3 新燃料升降機

78

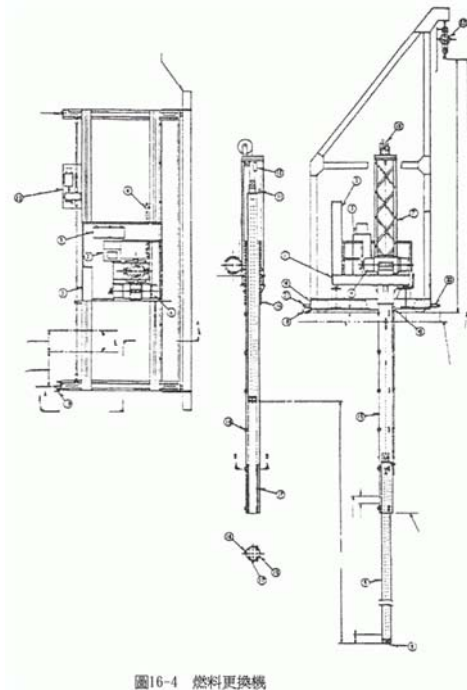


圖16-4 燃料更換機

79

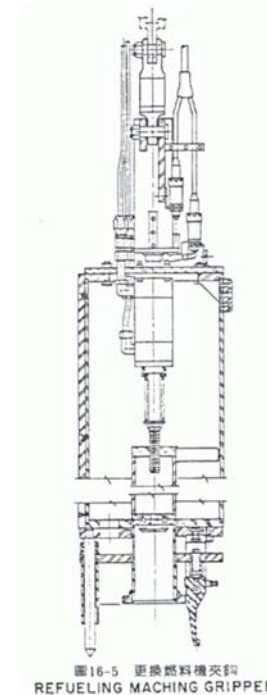
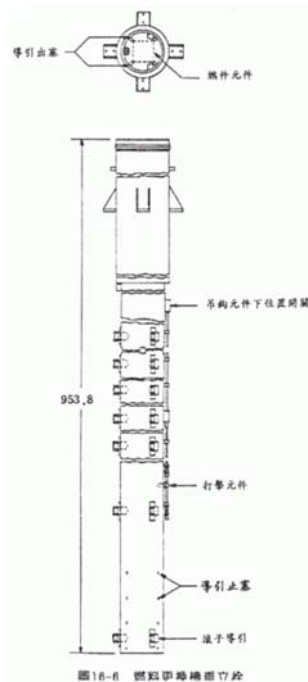
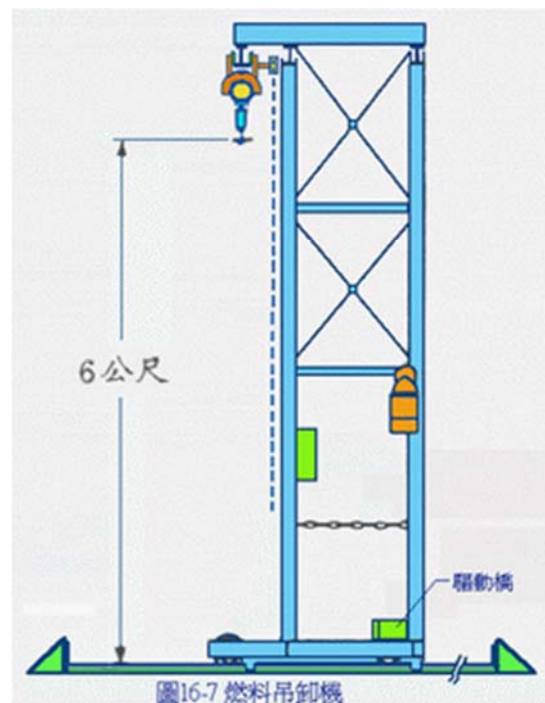
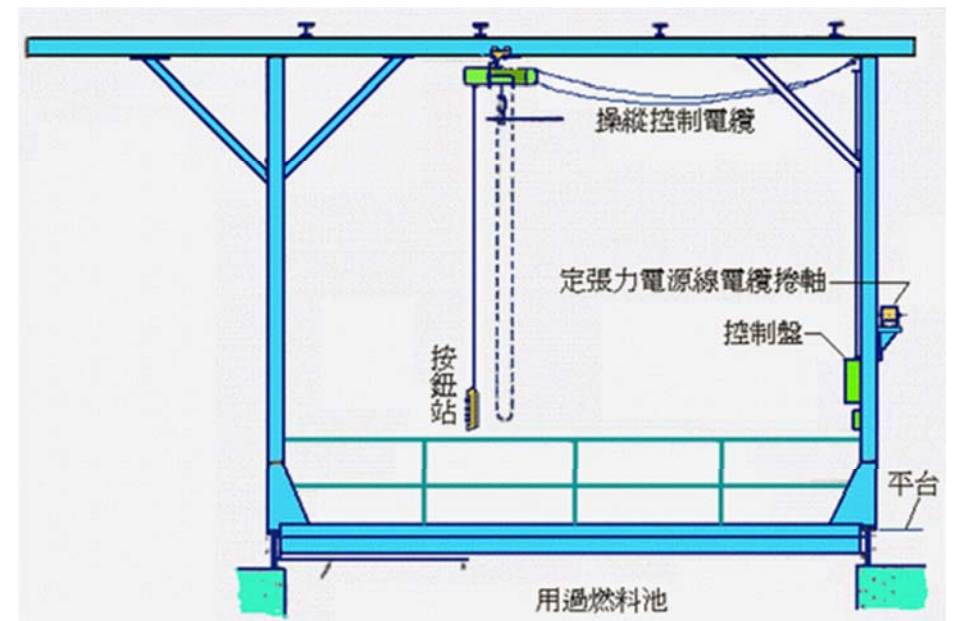


圖16-5 更換燃料機夾鉗
REFUELING MACHING GRIPPER

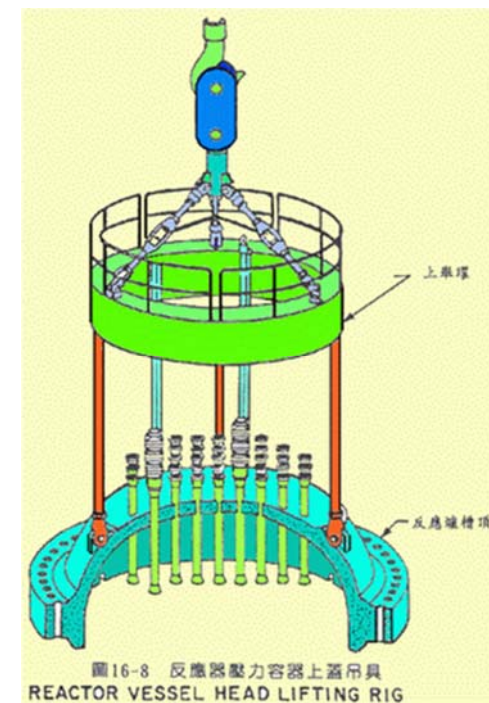
80



81



83



84



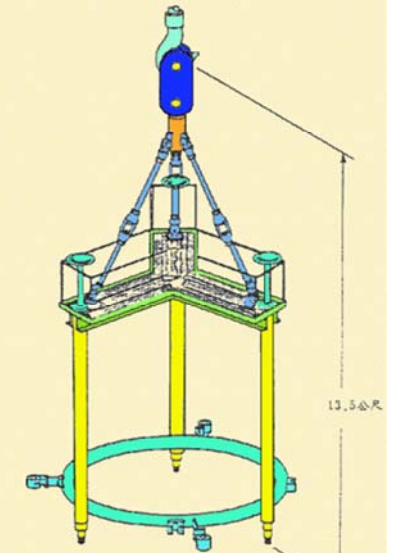
圖16-9 螺栓鎖緊器

85



控制棒驅動軸脫扣工具

圖16-10 反應爐內部結構組件吊具
CRDS SHAFT UNLATCHING TOOL

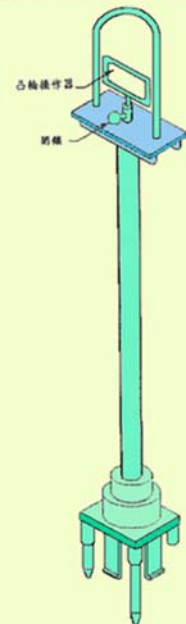


反應爐上內部組件吊具

圖16-11 控制棒驅動軸脫扣工具
REACTOR UPPER INTERNALS LIFTING RIG

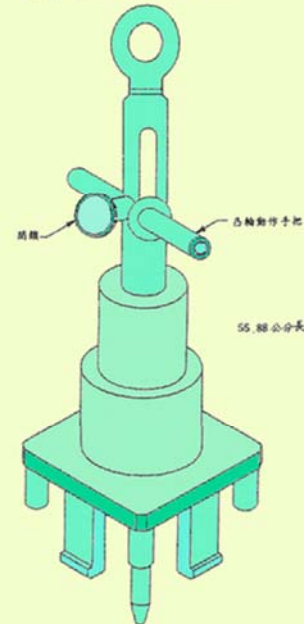


圖16-13 用過燃料裝卸工具



SPENT FUEL HANDLING TOOL

圖16-12 新燃料裝卸工具



NEW FUEL HANDLING TOOL

87



圖16-15 套管塞工具
THIMBLE PLUG TOOL

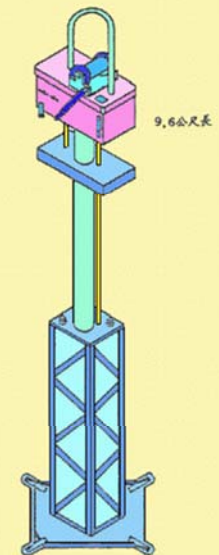
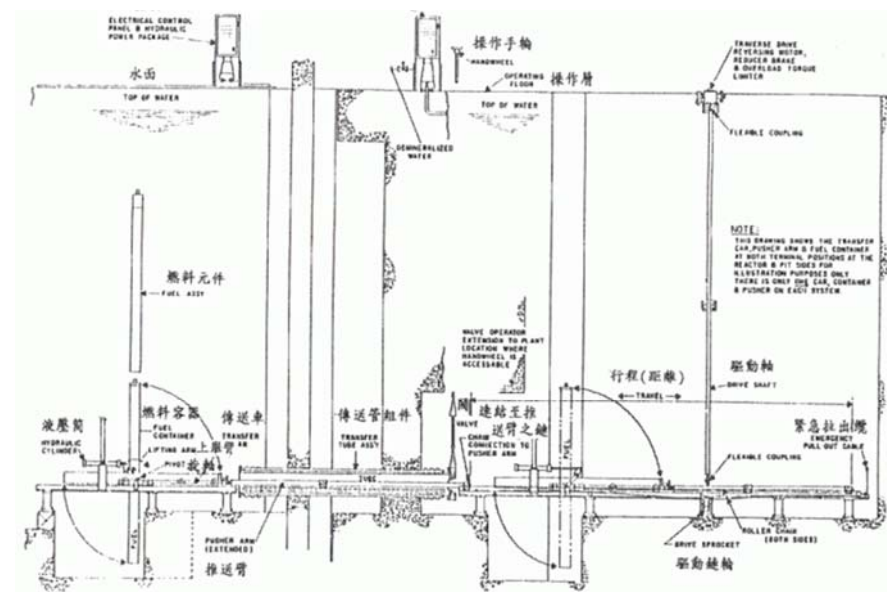
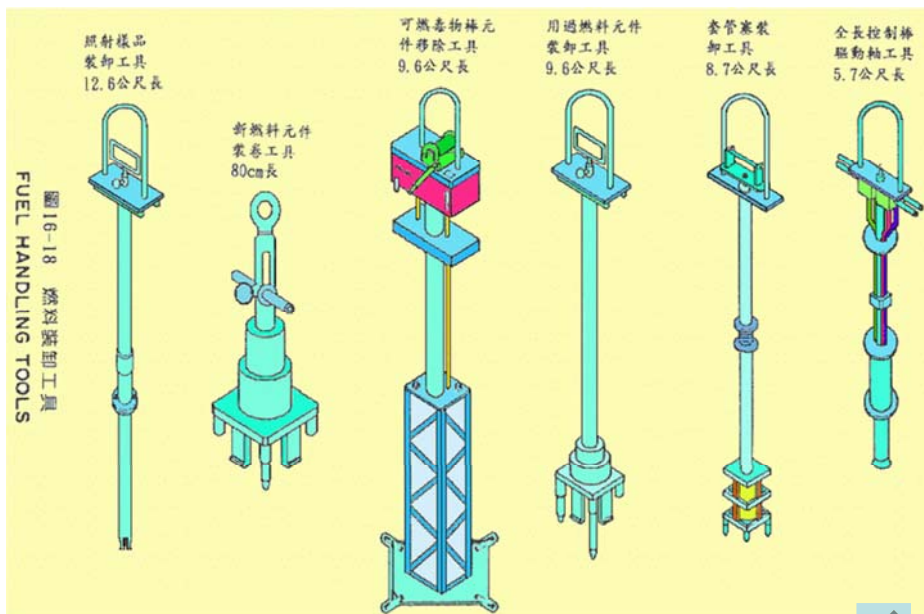


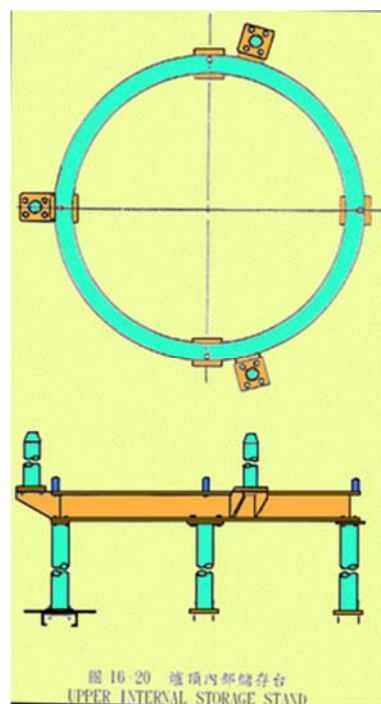
圖16-14 可燃毒物棒組件裝卸工具
BURNABLE POISON ASSEMBLY
HANDLING TOOL

88





90



91



