第二十九章　燃料之裝換與儲運

# 壹、反應爐廠房上燃料池

## A、設置目的

1. 燃料添換與傳送時，提供蒸汽乾燥器和汽水分離器之儲存空間。
2. 反應爐功率運轉或燃料更換期間，乾井頂部燃料更換區域須有足夠的屏蔽，以降低輻射強度，保障工作人員安全。
3. 為壓力抑制池後備水源。

## B、構造

1. 水池重量，包括池水，皆由乾井混凝土結構所承受，後者分散其負荷至反應爐廠房基座。
2. 混凝土結構水池，池內襯以不鏽鋼板，以確保最佳水質。

## C、水池佈置

上燃料池依功用可分為：

1. 反應爐穴(Reactor Cavity)
2. 汽水分離器儲存池
3. 蒸汽乾燥器儲存池
4. 燃料儲存池(臨時儲存用)
5. 燃料傳送池(Fuel Transfer Pool)

## D、汽水分離器儲存池

1. 汽水分離器存放在牆壁後面。
2. 牆壁作為輻射屏蔽，使工作人員能在反應爐壓力槽法蘭處工作(分離器因接近燃料，長久受照射後，帶有極強放射性，故需屏蔽)。

## E、蒸汽乾燥器儲存池

1. 蒸汽乾燥器存放在汽水分離器正對面。
2. 蒸汽乾燥器之放射性較低，故不必一定在水中運送。

## F、燃料儲存池

1. 可供新、舊燃料元件和控制棒等之臨時存放。
2. 設有燃料儲存架及其他組件儲存架。
3. 燃料池與反應爐穴間，可用雙重水池閘門隔離，如此可將反應爐穴之水放乾，以利裝卸反應爐蓋或乾井蓋。
4. 燃料池水位經常維持滿水。(高水位75呎4吋，低水位75呎2吋)。

## G、燃料傳送池

1. 專供燃料廠房與反應爐廠房間之燃料傳送用。
2. 與燃料儲存池間，設有隔離閘門，萬一斜面燃料傳送系統漏水時，仍可維持燃料儲存池水淹蓋燃料。

## H、反應爐穴

1. 位於燃料池與分離器儲存池之間，裝拆反應爐或乾井之頂蓋時可以洩水。
2. 裝拆反應爐或乾井之頂蓋時，反應爐穴約有30,000ft3之水須排放至CST、 ACST、抑壓池、廢料收集槽或調節槽。

## I、池水冷卻與淨化

1. 為了避免燃料更換區域的空浮放射性，以及水中作業便利起見，與燃料廠房用過燃料池(下燃料池)共用燃料池冷卻與淨化系統，包括過濾器與除礦設備，保障適當水溫與供水無缺。
2. 若有大量用過燃料存放時，也可利用RHR系統熱交換器，協助維持水温。

# 貳、燃料添換設備

## A、燃料添換台(Refueling Platform)，又稱燃料添換橋(Refueling Bridge)

1. 功用：可在反應爐及水池上方，藉水為屏蔽，處理水中燃料元件或其他組件。
2. 跨越整個上燃料池，可在地面上鐵軌上移動。
3. 燃料添換台計有三台吊車：

a.燃料鉤(Fuel Grapple)，又稱主吊車

b.固定副吊車(Frame Mounted Hoist)

(1)能吊起1000磅，吊高85呎。

(2)兩種上升或下降速度─10呎/分和30呎/分。

c.單軌副吊車(Monorail Hoist)

(1)能吊起1000磅，吊高85呎。

(2)兩種上升或下降速度─10呎/分和30呎/分。

1. 各吊車均有負載感測裝置及安全煞車。
2. 燃料添換台和燃料鉤有電腦自動定位系統，藉觸控螢幕操作，利用軌道旁齒條(燃料鉤是靠鏈條)及解碼器，將燃料添換台、控制站位置及燃料鉤深度編碼送至中央控制單元解讀計算，由PLC驅動控制燃料添換台、控制站及燃 料鉤直流馬達，並提供電氣聯鎖，依事先設定的燃料添換位址自動操作至定位，其有兩套相互比較，相差大於±0.03CORE UNIT或POOL UNIT時立刻限台車移動，但可先關閉其中一組解碼器，手動模式動台車；準確度上池為±0.03吋，下池為±0.01吋。(上池為0.01 CORE UNIT又一個CORE UNIT為3吋，所以準確度上池為±0.03吋。下池為一個POOL UNIT又一個POOL UNIT為1吋，所以準確度上池為±0.01吋)。
3. 燃料添換台位置可由下列各處控制(皆在燃料添換台上)：

a.在操作站(類似一吊籃，可在鐵軌垂直方向移動)內控制盤操作。

b.可利用固定副吊車操作器(懸掛吊籃旁)控制。

c.可利用單軌副吊車操作器(工作人員走道上)控制。

7.控制站位置可在吊籃內控制盤或固定副吊車操作器控制。

8.燃料鉤

a.功用：主要用作反應爐燃料之裝卸。

b.包括水底攝影機、投射燈、由鋼纜帶動的方形吊架以及裝在吊架末端的吊鉤。吊鉤利用壓縮空氣操作閉鎖或釋放，吊架有數層，以供伸長或縮短，水底攝影機由CCU控制，藉投射燈光源可自電視螢幕上檢視燃料號碼或吊鉤是否確實閉鎖吊起燃料，並可由錄影機紀錄。

c.在添換台軌道地面下22呎到50呎水中上下移動(最高限度為22呎，以確保吊鉤上燃料永遠浸在水中，利用水作屏蔽，保障人員安全)。

9.固定副吊車

a.功用：用來移動反應爐內組件，如燃料墊塊等，或傳遞水中作業工具。

b.在添換台軌道地面8呎以下使用，由懸掛在吊籃旁之操作器控制。

c.操作器有三個位置─HOIST RAISE、HOIST LOWER及HOIST OVERRIDE。

d.上升或下降按鈕，有雙重速度控制10呎/分和30呎/分。

e.如果同時壓RAISE及OVERRIDE按鈕，鋼纜能升高與添換台人行道齊平，以利結繫補助工具。

10.單軌副吊車

a.功用─可與固定副吊車配合運用，功用同固定副吊車一樣，如移動控制棒葉片等。

b.單軌副吊車之操作方式，也和固定副吊車一樣，只是操作地點不同，單軌副吊車在燃料添換台人行道上操作。

11.燃料添換台連鎖

a.若反應爐主開關在START-UP位置，而燃料添換台在爐心上方，則引起阻棒。

b.反應爐主開關在REFUEL位置時，只容許抽出一支控制棒，否則引起阻棒。

c.反應爐主開關在REFUEL位置，而燃料添換台在爐心上方，且燃料鉤載物時， 則引起阻棒。

d.反應爐主開關在START-UP位置時，燃料添換台如駛向爐心，將自動切斷燃料添換台電源，使燃料添換台不能駛近爐心上方。

e.若有控制棒未完全插入爐心，而燃料添換台正在爐心上方，此時若燃料鉤載物，將自動切斷其相關電源及燃料添換台電源。

## B、反應爐廠房起重機

1. 功用：裝卸或輸運大件機具，如乾井頂蓋、反應爐蓋、蒸汽乾燥器和汽水分離器等。
2. 載重125噸，附有5噸輔助起重機，載重是根據最重的反應爐蓋設計。
3. 如果起重操作中引起燃料更換區域高輻射時，自動切斷上升控制電源，限制起重機吊高。

## C、斜面燃料傳送機構

1. 功用─負責反應爐廠房(上燃料池)與燃料廠房(用過燃料池)之間，燃料和控制棒等傳送工作，避免輻射外洩。
2. 簡述：

a.包括一個內徑23吋之不鏽鋼斜管，斜管外部以保護管封閉之。

b.在反應爐廠房及燃料廠房水池處，均設有裝卸站。

c.燃料之傳送，利用直徑約16吋之不鏽鋼斜管(Tilt Tube)，以兩條鋼纜牽引，由電動絞車操作升降。

## D.裝換燃料雜項設備

1.伸臂起動機(Jib Crane)

a.功用：可在水底輔助更換燃料匣等工作。

b.兩部伸臂起重機，分別裝在上、下燃料池。

2.燃料準備機械(Fuel Preparation machine)

a.功用：拆卸或更換燃料匣也可在水中以水底電視檢查用過燃料。

b.40呎長鋁架，裝於燃料池牆上。

c.以鍊條操作升降。

d.反應爐廠房與燃料池廠房之燃料儲存池，各裝兩套(平行並排裝置)。

3.控制棒葉片護架(Control Rod Blade Guide)

a.裝換燃料或更換控制棒時，以此護架填補爐心內燃料元件空位，支持控制棒葉片不致傾斜受損。

b.由兩個Sing Blade Guide頂端聯結而成。

4、燃料儲存架(圖12)

a.上、下燃料儲存池都裝有燃料儲存架。

b.上燃料池之儲存架，為臨時儲存性質，長期性儲存應利用燃料廠房用過燃料池(下燃料池)。

c.儲存架之設計，須有高度抗震力。

5、一般操作台(Service Platform)

a.目的─作為反應爐內部檢修時之工作台。

b.使用時，利用高架起重機裝在反應爐頂部，比燃料添換更接近爐心。

# 參、初次燃料裝填

## A、先備條件

1.將控制棒葉片護架置於爐心適當位置(燃料元件空位，每個燃料組用一個護架)，以支持控制棒葉片。

2.所有控制棒必須實際操作試驗，證實其可用。

3.燃料檢查包括：

a.刻在燃料束把手上的編號。

b.以視力詳細檢查燃料是否有瑕疵。

c.將燃料束裝入燃料匣入。

d.準備移送至上燃料池。

4.規定放燃料前，必須完成之系統試驗運轉項目，已順利完成，如控制棒驅動系統、備用硼液系統、緊急冷卻系統及核儀器系統等等。

5.反應爐保護系統正常使用中。

6.控制室與燃料添換樓(Refueling Floor)之間，通訊須完備。

7.控制室及Refueling Floor均須設備標示板(Tag Board)，以便隨時展示燃料、中子源及燃料裝填偵檢器之位置。

8.中子源放入爐心。

9.保持反應爐廠房及燃料廠房負壓(-1/4" H2O)。

10.建立輻射防護作業程序。

11.關文件皆須齊備。如運轉執照、運轉規範及操作規程等等。

12.爐內水質保持純淨，水位至少須高出爐心頂部格架六呎以上。

## B、所需儀器設備

1.WRNM，APRM等偵測系統均須裝妥，且測試完畢正式啟用。

2.區域輻射偵測器正式啟用。

## C、人員控制

1.反應爐廠房列入管制區，除了裝填燃料工作人員外，非經值班經理許可，不得擅入。

2.反應爐廠房只留一個門出入，並設置檢查站，其餘均應封鎖。

3.工作用防護衣物，須供應充裕，除非必需，私人物品禁止攜入。

4.裝填燃料工作人員，須先接受假燃料裝填操作訓練。

5.工作人員須先接受緊急措施訓練。

6.做次臨界或停機餘裕試驗時，所有燃料添換樓人員，必須撤離現場，以防萬一。

7.若高輻射警報出現，所有反應爐廠房人員必須疏散。

8.控制室須有一個高級反應爐運轉員(SRO)；燃料添換樓須 有一個高級反應爐運轉員(SRO)負責裝填燃料作業，燃料移動中兩人連續保持通話。

## D、燃料裝填步驟

1.燃料裝填有多種方法，但通常均由爐心中央開始放置，除了中央四個燃料組(Cell)外，每次放滿一個燃料組，才再放另一燃料組，由內而外逐步對稱放置，燃料裝填偵檢器應配合變更位置，控制棒護架也配合取出，詳細步驟須由核子工程師事先填妥燃料裝填單。

2.次臨界核對(Subcritical Check)

在爐心擬裝燃料附近區域，完全抽出一支四周均有燃料之控制棒，觀察爐心在次臨界狀態，再完全插入，每個欲裝燃料之附近區域都須先後做次臨界核對。  
附註：燃料裝填期間，同一時間只容許操作一支控制棒，但做停機餘裕試驗時例外。

3.功能試驗(Functional Test)

每個燃料組放置燃料前，該組控制棒須完全抽出然後再插入，以觀察控制棒移動是否正常、位置指示是否正確，以及葉片與驅動機構是否偶接良好等等，此項試驗完畢後，必要時可更換燃料裝填偵檢器位置。

4.裝入燃料

每個燃料組在放入兩個燃料元件後，移出支持控制棒葉片護架後，再放入另兩個燃料元件。

5.次臨界核對

如第2步驟，將第2項選擇的控制棒再抽出，核對剛剛裝入燃料區域仍在次臨界狀態。這時也可做控制棒急停試驗。

6.功能試驗

每個燃料組放入燃料後，再完全抽出與插入該組燃料棒，以證實活動自如，同時也可做控制棒摩擦試驗(Friction Test)。

7.爐心情況應隨時利用標準示板標示。

## E、程　序

1.記錄裝填燃料前各種狀況。

2.記錄爐水溫度。

3.所有控制棒均完全插入，未放燃料前，記下各中子偵檢器讀數。燃料裝填期間，必須做到：

a.逐項核對燃料裝填單(Fuel Loading Sheet)上各操作步驟。

b.確定燃料元件裝填位置無誤。

c.每個燃料元件放入後，須注意中子偵檢器之反應。現場負責之SRO或燃料鉤操作員，可視現場需要，隨時中止燃料裝填作業。

d.自最初裝入十六個燃料元件起，記錄全部控制棒插入之計數率讀數，爾後每放入一燃料組，即記錄之。繪出計數率倒數與裝入燃料元件數目關係圖，用來預測到達臨界之燃料元件數目，供作參考。

e.放入十六個燃料元件後，SRM讀數應增加兩倍左右，否則須檢查偵檢器及其電子系統。

f.爐心放入部份燃料後，如燃料裝填單註有＊號，表示須做停機餘裕試驗。

4.所有操作順序，皆依〞燃料裝填單〞為準，逐項操作。

5.燃料全部放入爐心後，須做停機餘裕試驗。

# 肆、一般更換燃料順序

A.燃料循環期限

1.第一次添換燃料，視放入燃料之濃縮度而定，約為初次起動後第12～22個月添換之。

2.第二次以後，視使用情形，約為每12～18個月添換一次。

B.燃料添換量添換燃料時，包括：

1.自爐心移出25％到33％燃料組。

2.放入爐心25％到33％新燃料組。

3.重新安排爐心內燃料組之位置。

C、其他項目(視需要而定)

1.更換約7％之控制棒。

2.反應爐壓力槽及一次冷卻水管路檢查。

3.反應爐壓力槽內部檢查。

4.燃料元件完整性檢查。

D、操作程序

1.反應爐廠房燃料池閘門必須關緊。

2.反應爐穴水(約30000ft3)送回CST或ACST。

3.鬆開乾井蓋螺栓，將乾井蓋移至儲存位置。

4.裝置乾井與壓力槽間封水裝置(Refueling Bellow)。

5.鬆開RPV頂蓋儀器管及頂部噴水管螺栓，儲存在RPV頂蓋絕緣體上。

6.通風口及其他隔框(Bulkhead)開口處，均須防止漏水。

7.移去RPV頂蓋絕緣體，存放在預定位置。

8.放下RPV頂蓋之加強吊架(Carousel)及螺栓拉力器(Stud Tensioner)，鬆開RPV蓋螺栓，將加強吊架和RPV頂蓋吊至儲存位置。拆下之RPV頂蓋螺帽墊圈，有專用架存放。

9.移去六支RPV螺栓，作為燃料傳送池與壓力槽間之通道。

10.為了防止萬一高輻射燃料元件墜落時，造成乾井內工作人員輻射曝露，採用兩種方法預防：

a.在壓力槽與乾井間封水裝置下，加裝屏蔽。

b.添換燃料時，在爐心上方與傳送池間，裝置遮蔽跨板(Cattle Shute)作為屏蔽。

11.將蒸汽乾燥器移至儲存處

12.裝上蒸汽管塞，以備壓力槽灌水，同也可拆下安全/釋壓閥檢查，蒸汽管塞內充以儀器用空氣，以防漏水。

13.鬆開汽水分離器與壓力槽法蘭間螺栓。

14.上燃料池灌水，在水中吊運汽水分離器與側板蓋至儲存位置。

15.利用高架起重機將反應爐穴與燃料池間閘門開啟。

16.利用燃料添換台，將爐心用過燃料吊往燃料儲存池，回程時吊入新燃料。

17.吊送燃料進出壓力槽之同時，另一組人員擔任反應爐廠房與燃料廠房間，燃料傳送(用過燃料和新燃料)作業。

**伍、燃料廠房水池**

**A、燃料傳送渠(Fuel Transfer Canal)**

1.功用：接受來自反應爐廠房的用過燃料。

2.渠內襯以不鏽鋼板，與鄰近之燃料儲存池間以閘門隔離之。

3.容許單獨洩水，以便斜面傳送機構檢修維護。

**B、燃料儲存池**

1.功用：用來儲存用過燃料及用過控制棒等，在送至乾式儲存廠，放置一段時間任其衰變。

2.儲存池內襯以不鏽鋼板，兩套燃料準備機械垂直裝於牆壁。

**C、護箱裝載池(Cask Loading Pool)**

1.功用：提供用過燃料裝箱場地，與燃料儲存池分離而不影響用過燃料之儲存。

2.水池內襯以不鏽鋼板，空護箱放入後，水池即可灌水，然後開啟閘門，將用過燃料運入護箱水池裝箱。

3.水池由CST供給純淨之除礦水，排水經燃料池冷卻與淨化系統送回CST或排至廢料處理系統。

4.燃料裝入護箱後，裝回閘門，將護箱水池水放光。

5.護箱移出廠房前，先經護箱去污池(Cask Wash Down Pool)，利用除礦水沖洗之。

**D、新燃料儲存窖(New Fuel Storage Vault)**

1.在護箱水池兩側各有一儲存窖，混凝土結構，有防水蓋及洩水裝置，以確保儲存窖內乾燥，洩水直接通過燃料儲存廠房洩水槽。

2.功用：儲存新燃料用。

**E、護箱除污地(Cask Wash Down Pool)**

1.功用：運出護箱前，在此沖洗及除污。

2.地面舖以不鏽鋼板。

3.燃料護箱裝滿燃料後吊運到護箱除污池以高壓水噴灑清洗。

**F、上、下燃料池水之冷卻、淨化及水位調節：**

皆由燃料池冷卻與淨化系統負責。

# 陸、燃料廠房主要設備

## A、燃料處理台(Fuel Handling Platform)

1.功用：處理傳送渠與燃料儲存池內燃料，也可將燃料儲存池之用過燃料裝入護箱。

2.處理台有如反應爐廠房之燃料添換台，唯不同處是：

‧沒有精密定位裝置。

‧與反應爐保護連鎖無關。

## B、護箱起重機

1.功用─原則上專供燃料護箱之吊運。

2.150噸起重機，有軌道限制起重機移動位置，以限制護箱不能接近燃料儲存池，此為顧慮一旦護箱墜落會損及儲存池內燃料。

3.起動機有雙重保護設計，避免單一故障引起護箱墜落事故。

## C、新燃料檢查台(New Fuel Inspection Stand)

1.功用─用作新燃料的一般檢查，可同時豎立兩個燃料元件。

2.15呎高之垂直支架，周圍有人行走道。

3.靠近新燃料儲存庫裝置。

## D、燃料廠房一般起重機(10噸)

燃料廠房雜項設備輸運用。

# 捌、360度工作平台

‧工作平台可在上池輔助軌道上依工作需要來移動位置爐心工作用。  
延伸掛籃(Carriage)：供人員延伸至爐心檢修作業之用。  
高承載及高效能懸臂吊車(Jib Hoist) ：吊掛檢修機具之用，

‧荷重1000磅水面下工作槽(Trough) ：  
供爐心檢修人員可在燃料台車吊運燃料期間同時作業

‧工作平台開槽(Slot Section) ：  
開啟後可容許燃料吊車通行至爐心吊運燃料等，與檢修爐心工作並行作業。