第二章 反應爐壓力槽和內部組件

壹、概要

反應爐壓力槽 (簡稱壓力槽或反應爐槽，又稱RPV)，用來容納產生核反應的爐心和淹蓋爐心的冷卻水，使燃料能充份發揮其功能，將爐水加熱成蒸汽，導出爐外作功。

核能二廠採用第六代沸水式反應爐。本章內容係在簡介壓力槽內部各元件名稱、結構、安裝概要和功用等。

貳、設計標準

2-1 安全設計標準

1.壓力槽須提供足量的爐水容積，使爐心能夠有效的冷卻。

2.防止內部組件變形，保證控制棒及緊急爐心冷卻系統都能發揮其安全功能。

3.內部組件之機械設計，須確保反應爐的安全停爐及衰變熱之排出。

2-2功率產生設計標準

反應爐爐心支持結構及內部組件之設計應符合：

1.任何預期正常運轉情況下，提供適當的冷卻水分佈，使爐心功率運轉而不損壞燃料。

2.燃料添換時，操作方便。

3.檢查方便。

參、壓力槽

構造

1.典型之壓力槽結構：

（1）頂蓋(Top Head)

（2）壓力槽凸緣(Flange)

（3）殼環(Shell Ring)

（4）底蓋(Bottom Head)

（5）支持裙板(Support Skirt)

2.貫穿孔

（1）蒸汽

（2）再循環水出口

（3）再循環水進口

（4）低壓注水(LPCI)、高壓噴洒(HPCS)、低壓噴洒(LPCS)

（5）儀器裝置

（6）備用硼液控制

（7）飼水進口

（8）控制棒驅動機構

（9）RPV底部洩水

（10）爐心殼儀(45支)

包括：a.寬範圍中子偵測系統(WRNM)8支

 b.局部能階偵測系統(LPRM)33支

 c.備用(原SRM)

3-4 壓力槽之支持

1.提供壓力槽縱、橫方向之支持

2.設計能承受地震和破管的噴射反作用力

3.組件：

（1）壓力槽支持裙板(Vessel Support Skirt)

（2）反應爐底座(Reactor Pedestal)

（3）承受板(Bearing Plate)

RPV 底部洩水管

圖2反應爐連接之管路高度

**肆、壓力槽內部組件(Vessel Internals)**

以下所討論的內部組件，依照正常安裝次序為討論次序。

4-1 阻板 (Baffle Plate)

1.又稱做爐心側板支持板(Shroud Support Plate)或擴散管封環(Diffuser Seal Ring)。

2.功用：

（1）供給噴射泵(Jet Pump)之擴散管安裝承面。

（2）分隔再循環水吸入區(亦即降流區Down comer Area)與爐心進水區(Core Inlet Plenum Area)。

3.裝置概要：

（1）焊接於RPV靠底邊之壁上。

（2）由焊接於RPV底蓋內壁之一些支持板柱(Support Column)支持，支持板柱支撐下列各件之重量：

a.噴射泵。

b.爐心側板與爐心噴洒噴嘴。

c.爐心底板(Core Plate)。

d.頂部導架(Top Guide)。

e.周圍燃料束(Periphery Fuel Bundle)。

（3）阻板另有通道孔，便於施工中進入爐心底部區域，完工後即予焊死。

4-2 噴射泵 (Jet Pump) (如右圖)

****1.功用：

強迫冷卻水通過爐心，以產生較自然循環更多的反應爐功率。

2.說明：

10組噴射泵(每組由兩台噴射泵組成)，每組包含下列各件：

（1）一支進水升流管(Inlet Riser)及熱套管(Thermal Sleeve)。

（2）一個焊在進水升流管上方的

引升管((Transition Piece)。

（3）兩組噴嘴群─每台噴射泵內有五支小噴嘴。

（4）兩支混合段(Mixing Sections)。

（5）一個托架及制止環組合(Bracket and Restrainer Gate Assembly)。

（6）兩支擴散管(Diffuser)。

3.裝置概要：

（1）熱套管：

a.焊接於穿越壓力槽爐壁進水升流管一端。

b.熱套管的功用是減小進水與槽壁間的溫度差，防止反應爐槽貫穿孔承受過度應力。

（2）進水升流管撐臂(Riser Brace Arm)：

用來支持進水升流管上端，並在起動熱爐與停機冷爐時，應付爐水升流管與壓力槽之間垂直方向的膨脹差異。

（3）進水升流管(Risers)：

用以降低再循環水進口貫穿孔位置，使其不在爐心活化區，如此方不致使材料接受過多之快中子，材料的機械性質才不致改變。

（4）噴嘴組合(衝擊彎頭)(Nozzle Assembly ，Ram's Head)：

a.使驅動水流做180°轉向，噴嘴端有展開狀開口，俾使周圍水流能被吸入噴嘴中。

b.上端以螺栓鎖於引升管。

c.下端以鋼夾固定於筒形混合管上方。

d.水流由升流管經衝擊彎頭內的五支小噴嘴，進入噴射泵。

（5）擴散管(Diffusers)：

a.定位接頭(Adaptor)焊於阻板上。

b.擴散管對準後，焊於擴散管定位接頭上。

c.擴散管上方有導葉片(Vane)及一個可滑移接頭，以調節混合段。

d.導葉片在使混合段易於從反應爐凸緣區換出。

（6）噴射泵流量感測管：

a.功用：

提供各噴射泵之流量計測。

b.每一噴射泵擴散管上端有一儀器用接頭。

c.每個再循環水迴路有十條感測管，合經一個穿越器(Penetration)引出壓力槽外。

4-3 爐心側板 (Core Shroud)

1.功用：

（1）分隔降流區(Down comer)與爐心主流(Core Flow)。

（2）為爐心底板及頂部導架提供橫向支撐。

（3）在爐心失水事故(簡稱LOCA)發生時，作為重新淹沒爐心之容器圍板。

4-4 爐心噴洒噴嘴 (Core Spray Sparger)

1.功用：

爐心失水事故(LOCA)時，藉兩層噴洒圈(一為HPCS、一為LPCS)，交織成噴洒水網，罩住整個爐心上部。

2.說明：

（1）由進水管及有許多小噴嘴的噴洒圈(Sparger Ring)組成。

（2）噴洒圈固定安裝在爐心側板的上部。

（3）兩層噴洒圈，每層自成一迴路，每迴路均能供給百分之百的設計流量及充份容量籠罩爐心。

4-5 爐心底板 (Core Plate)

1.功用：

（1）作為44支外圍(邊緣)燃料元件的

垂直和橫向支持。

（2）作為控制棒導管之橫向支持，也提供了燃料元件和燃料墊塊之橫向支持。

（3）除了外圍燃料元件外，所有燃料之垂直支持，均由燃料墊塊、控制棒導管和反應爐底蓋提供。

（4）提供強迫水流通道，使其通過各燃料元件。

2.說明：

爐心底板由不銹鋼板加工製成，板上許多圓洞，用以容納145支CRD導管、45支爐心導管(Incore Guide Tube，33串(132個)LPRM、8支WRNM、4支備用)、9支中子源定位孔及44支外圍燃料元件。

4-6 頂部導架 (Top Guide)

1.功用：

（1）作為燃料元件上部之橫向支持。

（2）作為各中子偵測儀器 (WRNM、LPRM、備用)上部之橫向支持。

（3）作為中子源上部之橫向支持。

2.說明：

（1）頂部導架在爐心側板頂端，為不銹鋼板組成的格子形結構。

（2）每一中間方格，可容4支燃料元件及一支控制棒，這就是我們所稱的燃料組(Fuel Cell)。

（3）在外圍，有44個開口，各裝一支邊緣燃料元件。

4-7 爐心儀殼及導管 (Incore Housing & Guide Tube)

1.功用：

（1）由RPV底蓋延伸至爐心，以便安裝中子偵測儀器，如WRNM和LPRM，便於電纜和驅動管路由底部引出。

（2）防止因噴射泵水流衝擊引起的震動而損壞爐心儀器。

2.說明：

（1）爐心儀殼焊於壓力槽底蓋，底端為法蘭接頭，上端與導管焊接

（2）導管向上延伸到爐心底板內下方1.3cm(0.5")之滑動定位器止。

（3）數量：

|  |  |
| --- | --- |
| 局部能階偵測系統(LPRM) | 33串(132個)LPRM |
| 寛範圍中子偵測系統(WRNM) | 8支 |
| 備用爐心儀器導管(原SRM) | 4支 |
| 總 計 | 45支 |

（4）位於各燃料組之間之水隙中。

（5）核儀組件由反應爐上方裝入導管中，核儀組件向上延伸，固定於頂部導架之下端。

（6）冷卻孔(Cooling Holes)：

導管下端，每隔九十度鑽一直徑1/4吋圓孔，此四個冷卻孔，供給核儀組件冷卻水流通。

4-8 控制棒驅動殼 (Control Rod Drive Housing)

1.功用：

（1）由反應爐槽底向下延伸的圓管，用以安裝控制棒驅動機構。

（2）作驅動機構橫向及縱向支持。

（3）傳遞燃料、燃料墊塊及控制棒導管等之重量至反應爐底蓋。

2.說明：

（1）145支底端配有接合法蘭的不銹鋼管。

（2）底端法蘭之功用：

a. CRD液壓系統的插入、抽出管路的永久接頭。

b. CRD機構的螺栓鎖合。

（3）所有CRD殼的上端都在同一高度。

3.安裝概要：

（1）爐心底板裝置完竣後才能安裝控制棒驅動殼。

（2）對準爐心底板的圓孔穿越底蓋。

（3）焊於反應爐底蓋上。

4-9 控制棒導管 (Control Rod Guide Tube）

1.功用：

（1）作控制棒葉片及限速器橫向支持。

（2）將燃料及燃料墊塊的重量傳到CRD殼。

2.說明：

（1）145支不銹鋼管。

（2）上端有4個間隔90°的圓孔，讓冷卻水進入燃料區。

（3）底部表面經過加工，保持CRD殼密接。

3.安裝概要：

（1）導管由爐心底板上方裝入，藉導梢定位而坐在CRD殼上。

（2）CRD熱套管由RPV底之CRD殼裝入，螺牙鎖於導管而固定之。

4-10 節流孔式燃料墊塊 (Orifice Fuel Support)

1.功用：

（1）供燃料元件底部之橫向定位。

（2）傳遞燃料的重量經控制棒導管到反應爐底蓋。

注意：燃料重量並非全

由爐心底板支持，週邊

44支除外。

（3）經過節流孔，控制流經

每一燃料束的冷卻水流量。

（4）減少核心因徑向功率分

布不均，造成核心水流

不合理之分配。

2.說明：

（1）每個墊塊包含四個節流

孔。

（2）每個墊塊支持4支燃料元件。

（3）每一燃料元件坐於一節流孔上，冷卻水經此流入燃料元件。

3.安裝概要：

（1）燃料墊塊滑動裝配入控制棒導管。

（2）墊塊須對準爐心底板上之孔梢，以確保節流孔與控制棒導管之開口對正。

4-11 外圍燃料墊塊 (Peripheral Fuel Support Piece)

1.功用：

（1）其本體(Support)焊座於爐心底板之外側，作為44個外圍燃料元件(不屬四元件燃料組) 縱向及橫向支持。

（2）設計適當的限流板孔徑以調整外圍燃料元件冷卻水之流量。

2.說明：

（1）外圍燃料墊塊由其本體(Support)與節流孔(Orifice)組成，墊塊的本體是電焊固定在爐心底板上。

（2）節流孔可以特殊工具拆裝作必要的檢修。

（3）節流孔可依需要換裝不同的孔徑以調整適當水流。

4-12 飼水噴嘴 (Feedwater Sparger)

1.功用：

平均分配飼水到噴射泵及再循環泵的進水區，使較冷的飼水不致直接噴在RPV壁上。

2.說明：

（1）4組噴嘴，進口由反應爐槽外穿入，每隔90°一組。

（2）穿入處有熱套管，以減少RPV上管口的熱應力。

3.安裝概要：

（1）熱套管插入飼水進口貫穿孔。

（2）利用RPV壁上的托架固定噴嘴環。

（3）以上設備可拆下檢修。

4.材料：

不銹鋼。

4-13 LPCI/RHR 穿越管

1.功用：

當LOCA發生時，把水注入爐心側板內，冷卻燃料。

2.說明：

有三支穿越管，每支有一熱套管及一撓性聯接器，以吸收反應爐槽與爐心側板的熱膨脹。

4-14 備用硼液控制系統穿越管

1.功用：

(1）作為五硼酸鈉溶液之進口及分配管。

（2）作為爐心底板下方壓力的偵測，其信號可供給噴射泵流量之測量。

（3）提供爐心底板兩側的壓力測定，供給爐心差壓偵測器的輸入信號。

 (4)作為HPCS LINE BREAK的量測。

2.說明：

（1）為永久固定管。

（2）此穿越管為備用硼液系統的注入管，且用來感測爐心底板下方的壓力。

（3）用來偵測噴洒管路破裂、爐心壓差及噴射泵流量部份，細節將在以後的章節中討論。

4-15 壓力槽底部洩水口 (Vessel Bottom Drain)

1.功用：

（1）為反應爐最低洩水點。

（2）連接爐水淨化系統進口，排出爐底雜質。

（3）反應爐底蓋區域的水溫由此洩水管處測定。

（4）為防止冷水停滯於反應爐底蓋區域，可保持此洩水管少許流量。

（5）用作起動時之沖放。

2.說明：

（1）洩水管為5cm(2吋)固定管。

（2）通往爐水淨化系統與放射性廢水系統。

**4-16 側板蓋(Shroud Head)**

1.功用：

封閉爐心出口，迫使所有的水及蒸汽流經汽水分離器。

2.說明：

（1）由下列機件組成：

a.側板蓋(Shroud Head)。

b.直立管(Stand Pipe)。

c.汽水分離器(Steam Separator)。

d.繫止螺栓(Tie Down Bolt)。

e.螺栓支持環(Bolt Support Ring)。

（2）組件在填換燃料時必須拿開。

（3）側板用英高鎳(Inconel)28支螺栓封合。

a.側板蓋是以螺栓鎖合於側板上部。

b.螺栓由操作者於分離器頂端操作。

c.以英高鎳螺栓與不鏽鋼側板蓋的熱膨脹差使螺栓拉緊，接面密封。

d.當不鏽鋼的汽水分離器蓋溫度上升時，英高鎳與不鏽鋼的膨脹差，使側板蓋壓的更緊。

4-17 汽水分離器 (Steam Separator)

1.功用：

（1）使蒸汽中的水份脫出，絕大部份的水分在此分離。

（2）使蒸汽乾度由15％增加到90％。

2.說明：

（1）有210個「旋風(Cyclone)」式分離器(外徑10吋，直立管外徑6吋)。

（2）直立管─引導汽水混合物到

汽水分離器。

（3）汽水分離器─分離器為離心式，焊死在直立管上。

（4）交叉拉條(Cross Bracing)構成一個剛性結構，以防止震動。

（5）進口處迴旋形導葉使進入的兩相流體產生旋轉。

（6）較高密度的水，被離心力拋到內管管壁，形成一連續水牆。

（7）有三條流徑流回降流區，再流至再循環泵及噴射泵的進口，壓力降約為0.28Kg/cm(4 psid)。

**4-18** **蒸汽乾燥器**

1.功用：

（1）將汽水分離器出來的蒸汽乾度提高至大於99.9％。

（2）將流往汽機的乾蒸汽與汽水分離器出口的濕蒸汽區分。

2.說明：

（1）整件一體，鎖緊機件之外，沒有其他可動部份。

（2）上段是由無窺式(Peerless Type)蒸汽乾燥器、水份收集槽及洩水管路所組成。

（3）上段切邊，使蒸汽導入主蒸汽管路。

（4）主蒸汽管路的出口並非相隔90°，目的在容納更多的蒸汽乾燥器板片(Steam Dryer Panel)於乾燥器中，使蒸汽通過乾燥器的壓力降減少。

3.安裝概要：

（1）乾燥器上的導槽套入RPV內壁上的兩根導桿，安置於汽水分離器上方。

（2）乾燥器置於RPV內壁的六個托器上。

（3）乾燥器再由反應爐頂蓋上的墊片壓緊，此墊片是與乾燥器上的起重螺栓配合的。

4-19 壓力槽的封合

1.說明：

（1）頂蓋為一半球形的圓蓋與法蘭焊接而成。

（2）頂蓋上有兩個用於連接管路的法蘭(儀器用管路和頂蓋噴洒管路)

（3）頂蓋靠螺栓鎖緊於壓力槽法蘭。

2.組件：

（1）直徑16.5cm(6.5吋)螺栓。

（2）O型封環。

a.兩只同心鍍銀不銹鋼"O"型環。

b.建廠期間做冷機水壓試驗時，CRD法蘭使用橡皮封環。

c.使用O型封環防漏，若用其他方法則需增加螺栓負荷力。

3.螺栓鎖緊程序：

（1）八台拉力器，液壓操作鎖緊螺栓。

（2）測定每支螺栓鎖緊情形，利用測微器(Micrometer)測定螺栓伸長度。

（3）座止段(Seating Pass)(10％)(鎖緊過程中的一段)。

（4）最後鎖緊。

（5）拉力太小會洩漏，拉力過大會使內接面張開而導致封合處漏洩。

（6）由槽蓋放置到鎖緊螺栓完成，約須一日。

4.頂蓋附件：

（1）兩個法蘭接頭。

（2）聯接RPV頂蓋法蘭與乾井壁上的管路穿越器之短管(Spool Pieces)。

5.槽蓋封合處的漏洩偵測：

4-20 壓力槽的絕熱與屏蔽

1.絕熱：

（1）壓力槽頂蓋及四周，利用不銹鋼鏡片藉反射原理絕熱，外加熱絕緣材料。

（2）可移動部份

（3）整個RPV絕熱件均可拆下檢查。

（4）RPV的頂蓋絕熱架。

2.屏蔽：

（1）壓力槽下半部圍以高密度混凝土製成之生物屏蔽。

（2）減少乾井中機件受熱、輻射及活化(Activation)作用。

（3）RPV各貫穿孔處也有中子屏蔽。

4-21 CRD殼支架

1.說明：

（1）橫樑與支持夾，交互鎖成一個系統。

（2）殼支架以固定在RPV底座的橫樑支持。

（3）懸吊桿及彈簧墊圈吊著。

（4）為特殊安全設施之一。

2. 設計：

（1）冷間隙(由驅動殼底部到支架頂部)是2.54cm(1吋)。

（2）熱機時，間隙減至0.635cm(1/4吋)。

（3）萬一驅動殼破損，控制棒最大墜落距離為7.62cm(3吋)。

3.控制棒驅動殼支架，在下列情況下必須保持可用狀態：

（1）反應爐運轉模式1、2、3。

（2）若CRD殼支架未使用，則須在12小時內達熱停機、36小時內冷停機。

4-22 CRD殼的橫向支持

基於地震考慮，CRD殼的最下端有橫向支持：

1.在CRD殼與殼間，以及殼與外框架間有定位螺栓。

2.橫樑把外框架固定於底座上。

圖6爐心儀殼及CRD導管

伍、壓力槽內流體的路徑

5-1 再循環流量與爐心流量

1.冷卻水自再循環泵出口進入噴射泵噴嘴組。

2.噴射泵的總流量，由再循環泵供給之驅動水佔1/3，由降流區吸入水佔2/3。

3.冷卻水自噴射泵出口流經爐心，100％的爐心流量為84.5×106 1b/hr(38322T/hr)。

5-2 蒸汽流量

1.汽水混合流體離開爐心，經過汽水分離器分離後，其蒸汽乾度由15％增加到90％。

2.此蒸汽再經過乾燥器，出口為：

3.蒸汽乾度達99.9％以上。

4.100％蒸汽流量為12.45×106 1b/hr。(5634T/hr)。

5-3 飼水流量

飼水由噴嘴平均分配於降流區，在100％時流量為12.42×106 1b/hr(5534T/hr)。

5-4 洩水

由汽水分離器及蒸汽乾燥器分離出之水份，進入降流區與飼水混合。

陸、爐心的淹覆能力 (Floodability)

設計基礎事故 ：

1. 再循環泵進口管路破裂，降流區之水流光。

2. 噴射泵的位置能保持2/3爐心高度的水位。

3. 靠緊急爐心冷卻系統(ECCS)保持水位。