**第二十二章 緊急爐心冷卻系統**

1. 緊急爐心冷卻系統概論

一、概述

1、當反應爐一次系統破管時，爐水將由破管處沖放流失，若無緊急爐心冷卻系統，爐心燃料將因爐水流失而失去冷卻，護套因過熱而破損，燃料丸中之分裂產物外洩，對環境及民眾產生危害且違反核能法規的規定。

2、緊急爐心冷卻系統在反應爐發生爐水流失事故時，可迅速補水入反應爐，維持爐心燃料經常被冷卻水淹覆，再配合乾井及包封容器有關設備，可限制放射性物質外洩，保護周圍環境及民眾，以符合原子能委員會之規定。

二、系統設計標準

1、採用多種的冷卻系統，具有可靠性、重複性與多樣性，發生爐水流失事故時，能夠迅速地自動起動，淹蓋爐心燃料，以免護套過熱受損。

2、系統之流量及壓力，須足以應付一次系統任何大小管路破管所引起之爐水流失事故。

3、在任何反應爐壓力下，至少有兩個獨立系統能自動補水至反應爐。

4、喪失廠外電源時，本系統可用廠內自備電源完成保護之功能。

5、在電廠正常運轉情況下，各支系統須能例行測試。

三、系統簡述及冷卻原理

1、冷卻水進入反應爐有兩種方法：噴灑與灌水。

（1）噴灑─採用噴灑方式有兩種：

a、高壓噴灑系統

b、低壓噴灑系統

（2）灌水─低壓注水系統

2、洩壓─自動釋壓系統

五、緊急爐心冷卻系統保護燃料護套之設計標準

緊急爐心冷卻系統之設計必須在護套達到1205℃(2200℉)之前，將冷卻水噴灑或注入爐內，冷卻爐心。

1、護套溫度爐水流失事故發生後，護套溫度升高之熱源，除來自燃料積熱及衰變熱外，尚有鋯與水作用所產生之熱能。

2、護套脆化

（1）護套金屬正常運轉情況下是貝他相，具有相當的延展性。

（2）鋯、水作用發生後，護套與水接觸面將產生一層較脆的二氧化鋯，將因高溫而變成較脆之阿爾發相。

（3）若這兩個脆化層太厚，則護套可能無法忍耐冷卻時之熱應力而破碎。

3、緊急爐心冷卻系統要保證護套之完整性必須達到：

（1）LOCA發生後，護套溫度應不會超過1205℃(2200℉)。

（2）護套最大氧化厚度應少於原厚度之17％。

**六、一次系統漏水概述**

1. 乾井內有兩個洩水收集槽

1.乾井機件洩水收集槽，收集乾井內可預知的洩漏。

2.乾井地面洩水收集槽，收集其他不知來源之洩漏水。

1. 洩漏量之限制

運轉規範規定乾井內允許之漏水量如下：

1. 總洩漏量(可辨別加不可辨別)應少於25gpm (由任何24

小時內收集槽積水增加量之平均值)，其中不可辨別之漏

水應少於5gpm。

1. 不可辨別的洩漏增加量在任何四小時內應小於2gpm。

3.爐水流失事故

（1）定義

再循環泵進口管路突然完全斷開，爐水由斷管之兩個開口

沖放流失。此為設計基礎事故，為發生爐水流失之最嚴重情形。除此項破管發生外，尚有下列各項偶合事件同時發生：

a、喪失廠外電源。

b、喪失飼水系統，不能補水。

c、發生事故前反應爐在105％額定功率運轉中。

緊急爐心冷卻系統即按照以上情形設計。

貳、高壓噴洒系統

**一、系統設計目的**

1、爐水流失事故發生時，能維持燃料護套溫度低於1205℃。

2、爐心隔離冷卻系統故障時，能代維持反應爐水位。

3、本系統可在緊急情況下迅速起動，不必預先暖機或潤滑。

**二、系統說明**

1、本系統使用一馬達帶動之高壓力、高流量水泵，馬達電源可由正常交流電源或柴油發電機供給。

2、水泵正常由冷凝水槽取水，也可自抑壓池取水，做為後備水源。

3、水泵出口管路有最小流量管路、試驗管路及注水管路。

4、注水管路，有一可試驗之止回閥，注入水由爐心側板上方之噴嘴環直接噴洒於燃料上方。

5、水泵出口管路有充水泵保持管路充水，防止水泵起動注水時發生水槌；且能快速打入反應爐。

6、閥類操作及控制用之交流及直流電源與廠內其他電源供應系統分離以確保其可靠性。

**三、機件說明**

1、取水口過濾器

濾網可以防止雜物堵塞噴嘴細孔，濾網本身若有50％網目被堵塞時，仍可維持水泵全載正常運轉。

2、水泵

（1）直立多級式離心泵，水封及軸承由水泵出口水冷卻。

（2）水泵額定流量為5,280ιpm。

3、馬達

（1）直立4160V交流感應馬達，轉速1800RPM。

（2）由4.16KV ESF電源或緊急柴油發電機供電。

4、緊急柴油發電機

（1）供給高壓注水系統馬達及閥類之後備電源，附有四組起動壓縮空氣，冷卻水由緊急循環水供給。

（2）廠區內燃油存量至少能供給連續滿載運轉柴油發電機組七天。

（3）發電機為三相交流4160V、60Hz。

5、噴水環

由兩個半圓形環組成，位於爐心側板上方，噴嘴裝於環上，向下直接噴於爐心燃料上方。

6、可試驗止回閥

（1）位於注水管路在乾井內部分，防止注水管路在乾井外破管時，使反應爐水沖放流失。

（2）可例行試驗其開啟功能，供試驗之空氣引動器不妨礙該閥之正常開啟。

7、最低流量閥

（1）系統在備用狀況下關閉，防止凝結水槽水流往抑壓池。

（2）當水泵起動出口壓力建立後，流量超過設定值時，即自

動關閉。

8、出口管路充水系統

 目的保持出口管路經常充水，使本系統可將水很快地打入爐內，並防止發生水槌。

9、凝結水槽

凝結水槽為本系統之主要水源，該水槽供給高壓噴灑及爐心隔離冷卻系統用水。

**四、儀器**

1、控制室儀錶

1. 水泵進口壓力警報。
2. 水泵出口壓力指示。
3. 水泵出口流量指示。
4. 流量試驗閥開度指示。

2、現場儀錶

1. 水泵進口壓力錶。
2. 試驗管路出口壓力錶。
3. 凝結水槽及抑壓池水位與水泵進口閥連鎖。
4. 充水泵出口壓力錶及低壓力警報開關。
5. 破管偵測差壓指示器

偵測在反應爐槽內之高壓噴洒管路是否破管，由測定噴嘴處與爐心底板間之差壓變化而知。

3、下列任一信號將起動高壓噴灑系統：

1. 反應爐低水位。
2. 乾井高壓力。
3. 手動起動。

**五、系統運轉**

1、備用狀態

1. 水泵由凝結水槽之吸水閥(泵進口閥)保持全開，水泵在停止狀態。
2. 水泵出口管路由充水泵保持充壓狀況。
3. 流量試驗閥、最低流量閥和注水閥保持全關。

2、試驗運轉─凝結水槽迴路

3、試驗運轉─抑壓池迴路

4、系統自動起動─有廠外電源供給

1. 自動起動信號發生後，柴油發電機馬上起動備用。
2. 水泵馬達起動並加速。
3. 水泵將一直保持運轉，欲停止泵馬達時，必須自動起動信號消失且手動將水泵控制開關轉至"停止"位置，馬達才會停止。

 5、系統自動起動─無廠外電源

1. 匯流排低電壓，自動起動HPCS柴油發電機，同時，匯流排低電壓信號將自動跳脫廠外電源之斷路器，柴油發電機轉速及電壓達到額定時，柴油發電機斷路器將自動關閉，供給高壓噴洒泵馬達、HPCS廠用海水泵及閥操作電源。柴油發電機之起動、控制及激磁電源由125VDC緊急匯流排供給。
2. 設計上水泵必須在自動起動信號發生後27秒內達到全速。

**六、與其他緊急爐心冷卻系統之關連**

1、高壓噴洒系統可做爐心隔離冷卻系統之後備。本系統無須其他系統之支援，即能應付各種預測之破管事故，使爐心冷卻達到安全設計準則。

2、高壓噴洒系統有其獨立自用之匯流排，可由正常廠用電

或備用之柴油發電機組供電，匯流排並供電至水泵馬達及閥類用電之480V匯流排。

3、所有控制和柴油發電機之激磁電源由125VDC匯流排供電，其蓄電池組之充電仍由上述之480V電源供給。

參、自動釋壓系統

**一、系統簡介**

1、若一次系統發生中、小程度破管而HPCS無法應付或HPCS不動作

時，自動釋壓系統動作，以降低反應爐壓力，使低壓注水系統和低壓噴灑系統能注入反應爐內，以保護爐心燃料在安全標準規定範圍之內。

（1）中等程度破管

若破孔大至高壓噴洒及爐心隔離冷卻系統無法維持反應爐水位時，自動釋壓系統將協助反應爐降壓，以便使低壓系統能及時注水。

（2）管路小破

高壓噴洒系統將足以應付小程度破管事故。若高壓噴洒系統發生故障，無法注水入反應爐，若無自動釋壓系統降壓，則反應爐壓力將無法下降，低壓系統也因此無法注水入爐內，最後爐心燃料將由於爐水流失過多而無水覆蓋，使事故惡化，故自動釋壓系統是高壓噴灑系統之後備。

2、安全釋壓閥

四條主蒸汽管上共有十六只安全釋壓閥，其中七只具有自動釋壓系統之功能。

**二、機件說明**

1. 安全釋壓閥

(1)十六只安全釋壓閥都具有安全與釋放功能，其中七只另具有自動釋壓功能。

(2)自動釋壓系統接獲信號時，將開啟指定的七只安全釋壓閥降壓，以便低壓之緊急爐心冷卻系統能注水入爐內。該七只閥之開啟係使用與釋放功能相同之氣缸。

2、 排放管路

1. 每一安全釋壓閥都有個別的排放管路，使蒸汽排入抑壓池，其排出口深入水池至最低水位以下。
2. 管路上有伸縮接頭，以吸收管路熱脹冷縮之位移。
3. 每條排放管路都有一個真空破壞閥。當安全釋壓閥沖放後，排放管內將因蒸汽凝結而變成真空，這時真空破壞閥將被差壓開啟，由乾井內吸取空氣，破壞真空，以免管內由於真空吸入抑壓池水。若無真空破壞閥，排放管內可能積水，安全釋壓閥再度開啟時，易引起排放管超壓及發生水槌現象。

3、閥開啟原理

1. 沖放時，蒸汽由底下進入，經閥座向右排至排放管路。
2. 關閉情況時，閥盤受彈簧壓力緊閉於閥座上。
3. 安全沖放原理

當反應爐壓力上升，作用於閥盤之蒸汽推力大於彈簧壓力時，閥盤被向上推，反應爐蒸汽便由閥盤與閥座間沖放。

(4)釋壓沖放原理

a、所有十六只安全釋壓閥，都有安全與釋放二種功能。

每只釋放閥，有二個反應爐壓力開關 ，反應爐壓力上升至設定值時，壓力開關動作，開啟二只直流電控制之電磁閥，使儀用空氣進入氣缸 ，連桿拉開釋放閥沖放蒸汽。

b、供給儀器空氣管路上，設有止回閥及蓄壓器，如儀用空氣發生低壓力，止回閥可防止蓄壓器內空氣回流，這時蓄壓器仍足以開啟安全釋放閥五次。

c、釋放功能亦可在控制室用遙控開關開啟。

（5）自動釋壓功能

1. 十六只安全釋壓閥中，七只具有自動釋壓功能。
2. 二只電磁閥另接受自動釋壓系統之信號而開啟，

且空氣供給管路及蓄壓器多一組。

4、空氣導引閥(Air Pilot Valve)動作程序

1. 七只自動釋壓閥各有獨立的開啟控制回路。
2. 另兩只電磁閥(A和B)可由自動釋壓動作邏輯(A＋E和B＋F)，反應爐壓力開關或遙控開關A和B動作，引入自動釋壓儀用空氣動作自動釋壓功能。

5、邏輯動作程序

（1）自動釋壓系統有兩個獨立的邏輯控道：

 A＋E控道，B＋F控道完全相同。

1. A＋E控道由125VDC電池組A供電，控制電磁線圈A之動作，

B＋F控道由125VDC電池組B供電，控制電磁線圈B之動作。

1. A＋E控道由A支控道和E支控道組成，

B＋F控道由B支控道和F支控道組成。

（4）當下列五信號都存在時，A支控道之輔助電驛A動作(賦能)。

1. 乾井高壓力(破管信號)。
2. 反應爐低水位─第一階水位(破管信號)。
3. 反應爐低水位─第三階水位(確實反應爐低水位)。
4. 104秒計時完畢，在此延時內，若高壓噴洒系統能將水位補至

高於一階水位時，自動釋壓即不必動作，計時器同時歸零。

1. 一台低壓注水泵(RHR)或低壓噴洒泵運轉中─確定低壓系統已

起動備用中，方允許動作自動釋壓功能。

（5）當下列三信號都存在時，E支控道之輔助電驛E動作(賦能)。

1. 乾井高壓力。
2. 反應爐低水位─第一階水位。
3. 一台低壓注水泵(RHR泵)或低壓噴洒泵運轉中。

（6）A和E支控道電驛都賦能，或B和F支控道都賦能時，則動作自動釋壓系統。

（7）若自動釋壓系統動作，安全釋壓閥故障未能開啟時，可由下列二法開啟：

1. 用二個手動開關之一開啟。
2. 按下MANUAL INITIATION按鈕，手動引發釋壓邏輯，但必須

確定至少有一台低壓注水泵或低壓噴洒泵運轉中方能釋壓。

（8）自保與復歸

1. 乾井高壓力信號發生後，信號為自保，即乾井壓力回

復正常後，信號仍然存在，必須按下"復歸"按鈕，才能復原。

1. A支控道計時104秒後，兩個低水位信號(第一、三階水位)會

自保；C支控道之第一階水位也是自保，有按鈕供作復歸用。

（9）B和F支控道原理與A和E支控道同，僅設備名稱以B、F代替A、E。

肆、低壓噴洒系統

**一、系統設計目的**

一次系統發生破管時，用作爐心燃料重新淹覆之安全系統。大或中型破管時，反應爐迅速降壓，本系統可迅速打水入爐內，管路小破而高壓噴灑系統無法維持水位時，本系統即在自動釋壓系統降壓後

，打水入爐內淹蓋爐心燃料。

**二、系統簡介**

1、正常由抑壓池取水，水泵出口注水至爐心上方之噴水環，經噴嘴直接噴洒於燃料上方。

2、水泵性能及流量試驗管路由抑壓池取水，泵水返回抑壓池。

3、最低流量管路通至抑壓池，最低流量控制閥受水泵出口流量開關控制，低流量時開啟。

4、充水泵維持出口管路經常充水。

5、停機時，擬做實際噴洒試驗，可利用短管(Spool Piece)接自RHR A系統取水，如此可自反應爐取水，噴洒爐心上方。

**三、組件概述**

1、濾網

水泵吸水先經濾網，防止雜物進入系統而堵塞噴嘴。

2、水泵

（1）低壓噴洒泵為直立、多級式離心泵，裝置位置低於抑壓池之最低水位。

（2）額定流量：

額定流量為5010gpm。

（3）泵之水封由泵出口經Cyclone Seperator至Mechanical Seal。

3、馬達

馬達為直立式感應馬達，由4.16KV緊急匯流排供電，並有緊急柴油發電機為後備電源。

4、噴洒環

與HPCS相同，由兩個半圓形之噴嘴環組成，噴嘴將水直接噴灑於燃料上方。

5、可試驗止回閥

可試驗止回閥位於乾井內，在注水管穿越反應爐之前，當注水管在乾井外破管時，此閥可防止爐水沖放流失，閥可在控制室試驗開啟

，試驗用之空氣引動器，並不妨礙閥之正常開啟。

6、出口管路充水系統

（1）充水系統可保持出口管路經常滿水，系統起動注水時，可在最短時間內將水注入反應爐內，並可防止發生水槌現象。

（2）一台低壓力之充水泵由LPCS泵吸水管路取水，注入LPCS泵出口管路。

**四、儀器**

1、控制室

（1）水泵出口流量指示。

（2）水泵電流表。

2、現場

1. 水泵進口壓力錶。
2. 水泵出口壓力錶。
3. 水泵出口流量指示開關，用來控制最低流量閥之開啟與關閉。
4. 水泵出口壓力開關，供作ADS邏輯之容許信號，表示水泵是否在運轉。
5. 壓力槽內破管偵測管

LPCI A與LPCS在壓力槽內設有一差壓偵測儀器，正常情況下此差壓應為零，若LPCI A或LPCS破管，則偵測儀器將測得差壓信號，動作控制室警報。

3、系統起動信號

1. 反應爐低水位─第一階水位。
2. 乾井高壓力。
3. 手動起動。

**伍、系統運轉**

1、備用狀態

1. 抑壓池吸水閥全開和最低流量閥全關。
2. 試驗閥和注水閥在關閉位置。
3. 充水泵運轉中，出口管路少許加壓。

2、流量試驗運轉

1. 抑壓池吸水閥在全開位置，注水閥全關。
2. 水泵起動後，徐徐開啟流量試驗閥直到流量達系統設計值為止。
3. 最低流量閥在水泵出口低流量時開啟，流量達設定值後自行關閉。

3、注水噴洒試驗

1. 本試驗僅在反應爐頂蓋拆除後才做，試驗用水必須合乎反應爐水質要求。
2. 關閉抑壓池吸水閥，接上連通RHR A泵進口管路之短管(Spool Piece)，利用停機冷卻管路，吸取反應爐水經LPCS泵打回反應爐，則反應爐水位在試驗中保持不變。
3. 試驗時，流量試驗閥全關，注水閥全開，注水經噴洒環噴洒於爐心上方。

4、系統自動起動─有正常電源

1. 抑壓池吸水閥必須在全開位置，自動起動信號不會自動開啟該閥。
2. 水泵馬達接受自動起動信號後立刻起動，由最低流量閥保持最低流量。
3. 流量試驗閥若在開啟位置時，立即自動關閉。
4. 壓力槽由破管處或自動釋壓系統降壓，當反應爐壓力降至26.94

kg/cm2時，注水閥自動打開，反應爐壓力降至20kg/cm2時，系統流量可達額定值。

1. 水泵一旦自動起動後，必須自動起動信號消失，且將水泵控制開關轉到"停止"位置，水泵才會停止。

5、系統自動起動─喪失廠外電源

1. 柴油發電機接受信號後，立即起動，電壓達到額定值後，自行投入斷路器，供給LPCS系統用電。
2. 水泵在匯流排電壓建立後立即起動，在自動起動信號發生後40秒內，水泵達到全速，這短暫的時間包括柴油發電機起動、加速、並聯及水泵起動加速所需時間。

**六、與其他系統之關連**

1、發生大型與中型破管時，反應爐降壓很快，LPCS可不必依賴其他系統即能單獨完成注水功能，淹蓋爐心。

2、發生小型破管且反應爐飼水系統無法補水時，反應爐將靠HPCS補水(RCIC也可同時補水) ，若水位仍無法恢復高於第一階水位時，ADS動作釋壓，壓力降低後，LPCS(以及LPCI)即迅速注水。

3、儀器與控制電源使用125V DC。

伍、餘熱排除系統

**一、設計目的**

本系統設計有六種不同的運轉模式：

1、低壓注水模式。

2、包封容器噴水模式。

3、抑壓池冷卻模式。

4、停爐冷卻模式。

5、燃料池冷卻模式。

6、試驗運轉模式

因此，本系統除了在反應爐發生爐水流失事故時，充分供給爐心緊急冷卻水外，尚具有協助反應爐安全停爐的功能。

**二、功率產生設計標準**

1、須能協助燃料池冷卻系統冷卻燃料池。

2、停機冷爐時，可利用噴水冷凝爐頂汽室之蒸汽，以防止反應爐上、下水溫差太大。

3、在停機後20小時內，將反應爐冷卻至52℃。

**三、安全設計標準**

1、任何情況下，必須能維持抑壓池水溫低於85℃。

2、配合其他ECCS系統，在反應爐發生LOCA事故時，能挽回水位並防止燃料護套溫度超過1205℃。

3、本系統設備之耐地震強度，係第一類設計。

**四、系統主要設備**

1、抑壓池吸水管及過濾網。

2、三個注水迴路，每迴路一台RHR水泵。

3、兩組熱交換器。

4、注水管路及閥類。

5、停爐冷卻之管路及爐頂噴水設備。

6、試驗管路。

7、管路充水泵。

**五、系統概述**

本系統包括三個支系統(三個迴路)，各支系統有其個別的水泵、閥、管路、儀器及控制設備，A和B支系統設有熱交換器，其冷卻水由緊急或外部循環水系統供給，C支系統因無熱交換器，僅執行低壓注水和試驗運轉模式。水泵之容量，依照低壓注水模式所需水量為設計基礎。

**六、設備說明**

1、抑壓池吸水集管

各支系統有獨立的抑壓池吸水管，吸水處有不繡鋼過濾網，防止雜物堵塞於包封容器噴水嘴，濾網稍離池底，以減少阻塞機會；若有50％的濾網面積被堵塞，仍能供給水泵正常流量。吸水管上裝有釋壓閥，防止管路在充水時過壓，釋壓排水回至抑壓池。

2、RHR水泵

（1）每一支系統有一直立多級式離心泵，水泵位於反應爐輔機廠房底層，以保證經常有足夠的淨正壓吸水頭(NPSH)。

(2)水泵額定流量為5050gpm。反應爐降至爐壓小於26.94kg/cm2時，本系統才能注水至反應爐內。

(3)電源

正常時RHR A泵及LPCS泵由4.16KV緊要電源

DIV I供電，RHR B和C泵由ESF BUS DIV Ⅱ供電；

喪失正常電源時，RHR A泵及LPCS泵由DIV I緊急柴油發電

機供電，RHR B及C泵由DIVⅡ緊急柴油發電機供電。

(4)水泵出口止回閥可防止逆流，且維持出口管路充水，充水泵維

持止回閥至注水閥間管路經常充水，其目的有二：

a、防止水泵起動時發生水槌，損壞設備。

b、在LOCA發生時，可使水儘快地注入爐心。

(5)水泵水封及馬達軸承冷卻水由緊急冷凍水系統供給，平時備用泵測試及馬達軸承冷卻由正常冷凍系統供給。

3、熱交換器

（1）熱交換器之流量，以假設LOCA發生後，抑壓池長期冷卻保持水

溫低於85℃所須流量為設計基礎。

（2）抑壓池之存水量標準，須足以吸收LOCA發生後爐水及蒸汽之熱

能；而池水溫度仍能低於77℃為原則。

（3）熱交換器容量須能符合下列三項要求：

a、包封容器冷卻運轉所需容量。

b、停爐後採用停爐冷卻模式運轉，在20小時內能將爐水冷卻至52℃。

4、閥類

（1）本系統所有馬達操作閥，以及所有乾井內各閥，控制室內都有

指示燈指示其開關狀態。

（2）低壓管路上都有釋壓閥，防止因反應爐之高壓水漏入低壓管路

而引起過壓。

（3）馬達操作的隔離閥電源，分成包封容器內、外兩組，其電源各

來自不同的緊要交流電源。

（4）停爐冷卻模式自再循環水系統取水閥；以及送回反應爐之回水

閥，關閉時間應少於39秒。

（5）各RHR泵最低流量控制閥之啟閉時間，應少於8秒。

（6）除以上之時間限制，本系統各馬達操作閥之關閉速度，依照廠家標準：

a、閘閥 30cm/min

b、球閥 10cm/min

（7）各閥由其他運轉模式自動轉換成低壓注水模式所需之時間，應不影響低壓注水系統之可靠性。

**七、各種運轉模式介紹**

1、RHR系統正常備用狀態

（1）抑壓池進口閥全開，停機冷爐進口閥全關。

（2）水泵停止狀態。

（3）最小流量閥全關，流量試驗閥全關。

（4）熱交換器進、出口閥及旁通閥全開。

（5）海水加壓泵停止狀態，出口閥全關。

（6）所有注水閥及可試驗止回閥在關閉位置。

（7）管路充水泵運轉中，管路稍許加壓。

2、低壓注水(LPCI)模式

發生LOCA時，RHR三支系統皆自動起動，待反應爐壓力降低時，注水入反應爐內儘快淹蓋爐心。

（1）下列之任一信號將自動起動低壓注水模式

a、反應爐低水位。

b、乾井高壓力。

（2）以上之起動信號，由重複二選一邏輯組成，系統水泵接受信號後起動程序如下：

a、有正常外來電源時，C泵馬上起動(以及LPCS水泵)，A和B泵經5秒延時後起動。

b、喪失廠外電源時，待兩台緊急柴油發電機自動起動，加壓至各ESF匯流排後，C泵立即起動，A和B泵延時5秒後起動，延時之目的在避免匯流排電壓變動過大。

（3）熱交換器旁通閥自動開啟且閉鎖於開啟位置10分鐘，10分鐘後值班員確定熱交換器進、出口閥已全開時，可手動關閉旁通閥。

（4）其他運轉模式自動隔離。

（5）當水泵出口壓力達7kg/cm2時，送一允許信號至自動釋壓系統。

（6）注水閥自動開啟至全開位置，反應爐由破孔處沖放或由自動釋壓系統降壓，當反應爐壓力降至低於LPCI水泵出口壓力時，推開止回閥注水入反應爐。

（7）水泵流量大時，最低流量閥自動關閉。

（8）反應爐水位恢復後，只留一台水泵即可保持水位，在事故發生10分鐘後，且包封容器壓力>9psig時A和B支系統將自動切換為包封容器噴灑模式備用狀態。

3、停機冷卻模式(包括爐頂噴水)

目的在冷卻停機後爐心產生的衰變餘熱，容量必須能在停爐後20小時內，將爐水冷卻至52℃以內。僅A支系統有爐頂噴洒。

（1）正常停機冷卻程序

a、反應爐正常停爐時，冷凝器尚有正常真空度，可將蒸汽由蒸汽旁通閥導入冷凝器，凝結成水，以降低反應爐溫度與壓力。

b、反應爐之降溫率應保持小於55℃/hr。

c、繼續運轉飼水泵維持水位，保持冷凝器真空，並開啟主蒸汽管洩水閥。

d、使用CST的水清洗S/D Cooling所要用到的管路，直到水質符合要求，當反應爐壓力降至9.34kg/cm2以下時，開始暖管後置入使用。

（2）設備之安排

1. 抑壓池吸水閥關閉。
2. 停機冷卻包封容封容器內外隔離閥全開。
3. 停機冷卻吸水閥開啟。
4. 海水通到熱交換器，ECW Pump起動。
5. 起動RHR水泵，將爐水經由熱交換器後，送回反應爐內。

f.需要時，開啟爐頂噴水閥協助降壓。

（3）停機冷卻模式之連鎖

a、隔離信號

（a）反應爐壓力大於9.34kg/cm2。

（b）停機冷卻管路附近溫度升高。

（c）反應爐低水位─第三階水位。

b、隔離信號發生時，下列各閥將自動關閉：

（a）停機冷爐包封容器內外隔離閥。

（b）停機冷卻注水閥及爐頂噴洒閥。

（c）停機冷卻取樣閥。

c、發生時，本運轉模式將會被閉鎖10分鐘不許運轉，以供低壓注水系統優先注水至反應爐內。

4、包封容器噴水模式

當爐水流失事故發生，爐水沖放入抑壓池後，包封容器壓力將上升。本運轉模式使用RHR之A及B支系統噴水於包封容器內，以降低壓力，動作信號：

(1) a、LOCA發生後10分鐘(B迴路11.5分鐘)且

b、乾井高壓力且

c、包封容器高壓力

(2)在乾井高壓力信號存在且手動引動

上述信號動作後RHR A(B)、緊急循環水泵A(B)自動起動；RHR

熱交換器進出口閥及包封容器噴洒閥自動開啟，其它影響包封

容器噴洒的閥自動關閉。

5、抑壓池冷卻模式

安全釋壓閥沖放時，RCIC運轉過久或LOCA發生後，抑壓池水溫將會升高，水溫過高，不但失去冷卻能力，也導致RHR泵的NPSH不足，故有抑壓池冷卻運轉模式之設計，用來降低抑壓池水溫至安全值以下。

（1）本運轉模式之設計，保證抑壓池能安全地吸收LOCA發生時之沖放熱能，即爐水沖放後，抑壓池水溫仍可維持。

（2）RHR A和B兩支系統都可運轉於本模式。水泵經吸水閥

自抑壓池取水，經由熱交換器冷卻後，由試驗管路經回抑壓池。

（3）當本模式運轉中若發生LOCA，則將自動使低壓注水模式優先運轉。

6、試驗運轉模式

為保持本系統之可用性，系統之機件與流量須能在反應爐正常運轉中定期測試。

三個支系統都可單獨試驗運轉。由抑壓池取水，經水泵加壓後，輸水回抑壓池，試驗管路可供各支系統全流量試驗。

7、燃料池冷卻模式

燃料池本身有一冷卻系統，亦可利用RHR之A或B支系統協助冷卻燃料池水。

**八、儀器與連鎖**

1、控制室儀器

控制室儀器包括儀表及控制儀器。

2、其他連鎖

（1）包封容器高壓力將RHR A和B兩支系統LPCI

模式變為包封容器噴洒模式，其轉換時A支系統早B支系統

（2）水泵抑壓池吸水閥及停機冷爐吸水閥連鎖，僅能開啟一閥，以防止爐水流入抑壓池。

**陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)**

**一、設計目的**

當反應爐與主冷凝器間因故隔離，而飼水系統無法供給補充水至反應爐時，RCIC利用反應爐之餘熱蒸汽為動力，推動RCIC汽輪機，補水至反應爐，且配合RHR之停機冷卻模式及蒸汽冷凝模式運轉，可冷卻反應爐水及降低反應爐壓力。

**二、系統概述**

 反應爐爐心隔離冷卻系統，係由一部蒸汽所推動的汽機 - 水泵，以補水至反應爐槽。汽機之蒸汽來自反應爐之主蒸汽管，其排汽則排入抑壓池。RCIC 泵，其進口可由凝結水槽，抑壓池取水，其出口有一條最低流量之旁通管引水至抑壓池，一條試驗回流管引水至凝結水槽，以及一條注水管經飼水管路噴嘴注入反應爐槽，而汽機潤滑油之冷卻水亦取自水泵之出口。反應爐停機後，由於分裂產物的輻射衰變產生熱，致使蒸汽繼續產生。 通常蒸汽係經主汽機旁通閥排至主冷凝器，或若主冷凝器隔離時則經由安全釋放閥排至抑壓池，此時，反應爐所消耗的爐水可由飼水系統供給。 然而一旦飼水系統喪失其補水能力時，RCIC之汽機-水泵將於反應爐水位低至第二階水位時 自動啟動，或可由控制室手動啟動，此系統於正常由凝結水槽抽取除礦水，其後備水源為抑壓池。 而抑壓池之水，通常係未經除礦處理，故僅於所有除礦水源用罄時，方才使用。 凝結水槽之最低存量，供給 RCIC 系統及高壓噴洒系統 所需。 RCIC 系統啟動運轉所需的設備，僅須由廠內 125 VDC 之蓄電池供給，作為閥之操作，及系統之控制用電源，而汽機則以反應爐爐心因衰變所產生之蒸汽為動力，而抑壓池則為 RCIC 汽機排汽之熱沉。

RCIC 室係由以緊急冷凍水系統冷卻之設備區域冷卻器來冷卻。RCIC系統運轉期間，由於其汽機之排汽及釋壓閥之排汽皆於抑壓池中冷卻凝結，致使抑壓池之水溫上升，此時，可利用RHR熱交換器之運轉以保持池水溫度於可接受之限制值內。充水泵係用以保持 RCIC水泵出口管路充滿水，避免系統自動啟動時發生水鎚現象一台使用直流電源之空氣壓縮機，提供汽機關斷閥，控制閥及汽機格蘭軸封所需之軸封空氣，注水管路上之手動可試驗止回閥僅當系統於備用狀態才能試驗。

1、蒸汽側

（1）由乾井內主蒸汽管上游抽取蒸汽，送至RCIC汽機推動，蒸汽管路上有兩只馬達操作之隔離閥，汽機進口前有關斷閥及調速閥。

（2）汽機排汽至抑壓池，管路上存有真空破壞閥，以防止排汽管路吸水。

2、水側

（1）凝結水槽取水管路及抑壓池取水管路。

（2）吸水管路上有釋壓閥，排水至RCIC泵室洩水池。

（3）水泵出口經飼水管進入反應爐。

**三、組件概述**

1、RCIC汽機

（1）RCIC汽機為無排汽冷凝器之單級汽輪機，其排汽由排汽管直接注入抑壓池水面以下，排汽管上並有真空破壞閥，以防止汽機停機後排汽管吸水，影響下一次起動。

（2）排汽管上有兩只超壓保護膜，當排汽壓力高時，保護膜將破裂，將壓力釋放於大氣，以防止汽機殼超壓。

（3）汽機調速閥

a、控制汽輪機進汽量，進而控制轉速及水泵流量，三十秒之內汽機可由起動加速至水泵達設計運轉流量。

b、調速閥為電氣控制、油壓操作，由RCIC汽機轉速控制系統所控制。

c、控制油壓消失時，控制閥在全開位置。

（4）汽機關斷閥

a、汽機跳脫時，關斷閥迅速關閉進汽，防止汽機超速，並可做為汽機轉速控制之後備。

b、跳機時，節流閥靠彈簧力量關閉。

（5）主軸帶動之油泵，由油槽吸油經油冷卻器後，供給閥控制油壓及軸承潤滑油。

2、RCIC泵

水泵為水平、四級離心泵，滿載流量為625gpm。

3、油冷卻器

由RCIC泵出口抽出之冷卻水經過油冷卻器，冷卻閥操作油及汽機軸承潤滑油。

4、管路充水系統

（1）充水泵由RCIC自凝結水槽吸水管路止回閥上游吸水。

（2）功用與LPCS之充水系統同。

5、乾井穿越護管

在蒸汽與注入管路穿越乾井與包封容器間之管路段有護管，護管可引導洩漏之蒸汽或水流回乾井內。

**四、 RCIC汽機速度控制系統**

1、元件概述

（1）增值發生器

產生一穩定增加之信號，送至汽機調速閥控制器，用以控制汽機轉速之上升率，防止汽機加速率過快而超速。

（2）自動流量控制器

a、自動運轉模式時，流量需求信號與系統實際流量在加算器比較，產生一誤差信號，此誤差信號用來調整汽機轉速，使其與需求轉速相等。

b、手動運轉模式時，由手動調整產生一信號代替自動模式流量誤差信號。

c、超速電位調整器試驗汽機超速跳脫時，由此電位調整器送出一信號加入流量控制信號使汽機加速，直至跳脫為止。

2、控制系統運轉原理

（1）正常備用狀態

a、流量控制器置"自動"位置，設定值調至系統設計流量值。

b、蒸汽供給閥及旁通閥全關，關斷閥及調速閥在全開位置。

c、超速試驗電位調整器輸出為零，並且上鎖。

（2）自動啟用

a、當自動起動信號發生時，蒸汽供給旁通閥自動打開，10秒後蒸汽供給閥自動打開，增值發生器產生一信號到調速閥控制器，調整調速閥開度，汽機由停機開始加速。

b、系統流量上升後，汽機轉速將會被加速至系統流量與需求設定值相等為止

（3）功能試驗

a、系統閥在備用狀態。

b、設定流量需求值後，開啟蒸汽供給閥，汽機增值發生器信號開始加速汽機，使水泵流量上升至設定值，此時可改變設定值，流量控制器將調整汽機轉速至與設定值相等為止。

（4）超速試驗

a、超速試驗電位調整器平時上鎖不用，試驗時必須開鎖。

b、利用此控制系統知電位調整器送出一信號加入流量控制信號使汽機加速，測試汽機超速跳脫。

**五、儀器**

1、控制室

（1）水泵進口壓力指示。

（2）水泵出口壓力指示。

（3）水泵出口流量自動與手動控制器及流量指示。

（4）汽機進汽壓力指示。

（5）汽機排汽壓力指示。

（6）汽機轉速指示。

2、系統起動信號

（1）反應爐低水位。

（2）手動按鈕起動。

3、汽機跳脫原因

（1）機械超速跳脫。

（2）RCIC水泵吸水低壓力。

（3）汽機排汽高壓力。

（4）RCIC系統自動隔離信號發生時。

（5）控制室手動按鈕停機。

4、系統自動隔離信號

下列為隔離信號，隔離信號發生時，通RCIC汽機及RHR熱交換器之蒸汽管在包封容器內、外的隔離閥將自動關閉。

（1）蒸汽管流量高

（2）汽機排汽超壓保護膜間高壓力。

（3）反應爐低壓力。

（4）RCIC設備室區域高溫及設備室冷卻器進口高溫。

（5）主蒸汽管隧道高溫度或主蒸汽管隧道冷卻器進口高溫度。

（6）RHR設備室區域高溫度或設備室冷卻器進口高溫度。

（7）手動按鈕隔離

#### 本按鈕隔離信號僅當反應爐水位低於二階後才有效，亦即系統自動起動後，值班員判斷必須隔離時才按此按鈕隔離，此時僅關閉乾井外之隔離閥。

5、系統連鎖

（1）當RCIC水泵抑壓池吸水閥全開時，凝結水槽吸水閥將自動關閉。

（2）注回凝結水槽之流量試驗閥，在下列二情況下將自動關閉：

a、水泵抑壓池吸水閥全開時。

b、RCIC自動起動。

（3）RCIC注水閥

a、RCIC自動起動時，此閥將自動開啟。

b、將自動關閉。

（4）注回抑壓池之最小流量閥

a、RCIC水泵運轉中，出口低流量時，此閥將自動打開。

b、RCIC水泵出口流量大於低流量設定值，或汽機蒸汽供給閥全關，或汽機關斷閥全關時，此閥將自動關閉。

（5）反應爐低壓力，自動隔離RCIC蒸汽管在乾井內外隔離閥。

6、電源供給

（1）除乾井內外隔離閥及蒸汽管路暖管閥使用交流外，其他均使用直流電。

（2）儀器使用之交流電，由直流系統經變流器供給。

（3）在沒有廠內交流電、儀器空氣及冷卻水情況下，RCIC仍可自動運轉。

**六、系統運轉**

1、備用狀態

（1）管路洩水經自動洩水罐通主冷凝器，如此可保持管路暖管加壓。

（2）凝結水槽吸水閥全開，注水閥最低流量閥及流量試驗閥全關，汽機節流閥復歸全開，調速閥全開。

（3）流量控制器置自動，設定於系統設計流量值。

（4）油冷卻器冷卻水進口閥全關。

2、流量試驗運轉

（1）水泵由凝結水槽取水，出口經流量試驗閥後回凝結水槽，流量由流量控制器控制汽機轉速，使達到設計全載流量。

（2）蒸汽隔離閥、供給閥及汽機排汽閥全開。

（3）注水閥全關。

（4）汽機轉速於2000RPM不宜運轉過久，因潤滑油系統由汽機主軸上之油泵供給，轉速太低時油壓不足，將影響軸承壽命。

3、超速試驗

旋轉超速試驗電位調整器，產生一信號經加算器加入汽機調速閥控制信號，使調速閥開大；汽機超速跳脫。

4、自動起動

（1）系統接受反應爐低水位信號時，自動起動。

（2）兩只水泵進口閥均未開啟時，凝結水槽之吸水閥將自動開啟。

（3）水泵出口壓力建立後，最低流量閥即開啟，直到系統流量達到最低流量設定值時，最低流量閥才關閉。

（4）由於抑壓池水溫，因RCIC汽機之排汽注入而升高，用RHR抑壓池冷卻運轉模式降低抑壓池水溫。

5、手動按鈕起動

若需用RCIC補水時，可按下控制室之手動起動按鈕，系統即起動備用。

**七、與其他系統之關連**

1、RCIC為特殊安全設施之一

（1）本系統設計並非應付一次系統破管爐水流失事故，但對小型破管本系統仍能有保護功能。

（2）本系統主要功能是爐心隔離時，用來反應爐補水及餘熱冷卻，直到RHR停機冷卻模式能夠運轉為止。

2、HPCS可做RCIC爐心隔離補水功能之後備。

3、RCIC與HPCS之關係：

兩個系統之管路、電源、設備及控制完全分離獨立，兩系統同時故障之機率很小。

柒、熱待機

**一、目的**

1、機組必須停機檢修，但反應爐可封爐而不必降壓時，可採用熱待機運轉，以便檢修完畢後，機組在較短時間內併聯發電。

捌、緊急爐心冷卻系統之破管保護

**一、可能發生破孔之大小**

1、最大破孔尺寸

（1）最大蒸汽破管為主蒸汽管斷開，MSIV立即關閉

（2）最大水管破孔為再循環水泵進口管路斷開。

2、ECCS各系統保護破管範圍

（1）HPCS

高壓噴洒系統無須其他系統之協助，能保護所有可能發生之任何大小破孔事故。

（2）LPCS

a、保護範圍：

●蒸汽破管大於0.23ft2(217cm2)。

●水管破孔大於0.30ft2(283cm2)。

B、同樣尺寸之破管，以水管破管事故較為嚴重，其原因如下：

1. 蒸汽破管時，反應爐壓力下降較快，低壓力之ECCS系統能較快地發揮其保護作用。
2. 蒸汽破孔時，反應爐內存水流失速率將較水管破時慢。
3. 蒸汽破管不妨礙再循環泵之運轉，破管發生後，核心冷卻水流量較穩定。

（3）LPCI

保護範圍：

1. 蒸汽破孔大於0.25ft2(235cm2)。
2. 水管破孔大於0.40ft2(377cm2)。

（4）ADS

自動釋壓系統不能單獨完成破管保護作用，必須與其他ECCS系統配合。

**二、破管事故概述**

1、設計基礎事故**(Design Basis Accident，DBA)**

（1）乾井與包封容器之設計基礎事故為一條主蒸汽管在限流器上游突然斷開。

（2）乾井內空氣高溫度之設計基礎事故為蒸汽管發生小破孔。

（3）緊急爐心冷卻系統之設計基礎事故為再循環水泵進口管路雙端斷破。

2、事故分析

（1）水管小破0.10ft2(9.4cm2)破管發生時，若HPCS故障未能發揮保護作用；而必須依賴自動釋壓及低壓系統保護時，則引起護套溫度之上升，將僅次於設計基礎事故。

（2）水管破孔之設計基礎事故

a、再循環水泵進口管路突然斷破。

b、僅HPCS注水入反應爐時，燃料護套溫度將可保持低於1205℃，因此護套可保持其完整性。

（3）蒸汽管小破

a、其定義為主蒸汽管破孔但並不斷開，小破孔使反應爐降壓緩慢。

b、根據分析結果，最低臨界功率比(MCPR)將可維持大於1.0，燃料護套可維持完整。

（4）乾井與包封容器設計基礎事故

a、此事故之定義為一條主蒸汽管在乾井內限流器上游斷開沖放。

b、爐心燃料將不會失去冷卻水覆蓋，因此對護套影響不大，爐心飽和溫度將隨反應爐壓力下降而減低。

（5）由以上事故分析，可確定護套溫度將不會上升至1205℃

限制值，而實際護套溫度更低。