

# 緊急爐心冷卻系統 (ECCS)



核二廠模擬中心

104.07



## 課程內容

- 壹、系統概論
- 貳、高壓噴洒系統(HPCS)
- 參、自動釋壓系統(ADS)
- 肆、低壓噴洒系統(LPCS)
- 伍、餘熱排除系統(RHR)
- 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)
- 柒、熱待機(Hot Standby)
- 捌、緊急爐心冷卻系統之破管保護

## 壹、系統概論

### 一、概述

- 1、反應爐一次系統破管時，爐水將由破管處沖放流失，若無 ECCS 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、ECCS系統在Rx發生LOCA時，可迅速補水，維持爐心燃料冷卻淹覆，再配合乾井及包封容器有關設備，限制放射性物質外洩，保護周圍環境及民眾，並符合AEC規定。  
本系統依反應爐額定出力**105%**容量設計。

## 壹、系統概論

### 二、系統設計標準

1. 採多種冷卻系統，具可靠性、重複性與多樣性，發生LOCA時，能迅速自動起動，淹蓋爐心燃料，以免護套過熱受損。
2. 系統流量及壓力，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. 在任何爐壓下，至少有兩個獨立系統能自動補水至反應。
4. 喪失廠外電源時，可用廠內自備電源完成保護之功能。
5. 正常運轉下，各支系統須能例行測試。

## 壹、系統概論

### 三、核能法規對ECCS要求

- 1.最高燃料護套溫度:分析結果，護套溫度不會超過 $1205^{\circ}\text{C}$  ( $2200^{\circ}\text{F}$ )
- 2.最壞氧化程度:少於其氧化前總厚度17%。
- 3.最多氫氣產生量:應少於燃料周圍護套完全氧化，氫氣產生量之1%。
- 4.爐心變形:爐心可能變形，不會影響爐心水流冷卻功能。
- 5.長期冷卻效果:發生LOCA，且ECCS已成功完成爐心淹覆後，能長期維持爐心於安全之低溫，直到半衰期最長之同位素衰變熱已不足危害護套為止。

## 壹、系統概論

### 四、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(Spray)與灌水(Flooding)
  - (1)噴灑—有兩種：HPCS與LPCS
    - a.高壓噴灑系統(HPCS)
      - 由凝結水槽取水，經噴水環(Spray Sparger)噴灑於燃料上方。
      - 額定流量：水泵差壓 $26.4 \sim 80.8 \text{ kg/cm}^2$ 時，流量為 $19,000 \sim 5,300 \text{ lpm}$  ( $375 \sim 1147 \text{ psid}$ ， $5010 \sim 1400 \text{ gpm}$ )。

## 壹、系統概論

### 四、系統簡述及冷卻原理(cont.)

- b.低壓噴灑系統(LPCS)
  - 由LPCS由抑壓池取水，經噴水環噴灑於燃料上方
  - 額定流量：差壓 $20 \text{ kg/cm}^2$ 時，流量為 $19,000 \text{ lpm}$  ( $284 \text{ psid}$ ,  $5010 \text{ gpm}$ )
- c.來登發斯效應(Lieden-frost Effect)
  - 當液體放在高於沸點的物件上，表面會產生一層有隔熱作用的蒸氣，令液體暫時停留半空，減慢蒸發速度。
- (2)灌水—低壓注水系統(LPCI)
  - 三個相同且獨立之支系統，由抑壓池取水至爐心
  - 三個支系統總額定流量：水泵差壓 $7.7 \text{ kg/cm}^2$ 時，總流量為 $57,300 \text{ lpm}$  ( $15,150 \text{ gpm}$ ， $5050 \text{ gpm/台}$ )
- 2.洩壓—自動釋壓系統(ADS)
  - 小破管時，若HPCS無法補回水位，且爐壓仍高，低壓系統無法補水，ADS將開啟七只安全釋壓閥，使反應爐降壓，以便LPCI及LPCS迅速補水。

## 壹、系統概論

### 五、ECCS保護燃料護套之設計標準

ECCS須在護套達 $1205^{\circ}\text{C}$  ( $2200^{\circ}\text{F}$ )前，將冷卻水噴灑或注入爐內，冷卻爐心。

#### 1.護套溫度

- (1)LOCA發生後，護套溫升熱源，除來自燃料積熱及衰變熱外，尚有銳與水作用所生之熱能。
- (2)銳與水作用為放熱化學反應，將隨溫度上升而加快，故護套溫度亦將升得更高。
- (3)護套溫升至 $1205^{\circ}\text{C}$  ( $2200^{\circ}\text{F}$ )時，銳、水作用所產生之熱能不容忽視。
- (4)產生氫氣將進入乾井與空氣混合，太多氫氣有引起爆炸可能。

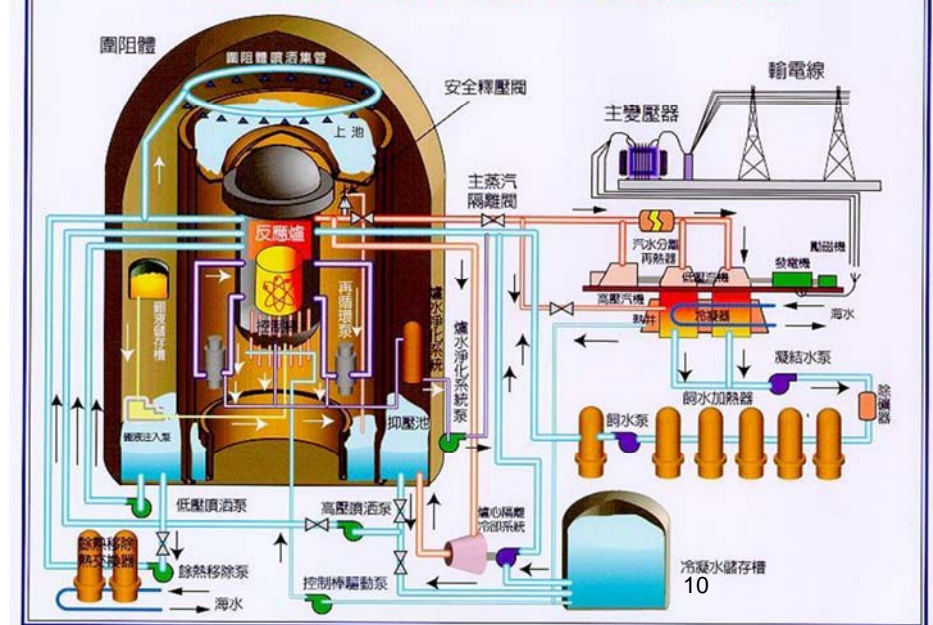
## 壹、系統概論

### 五、ECCS保護燃料護套之設計標準(續)

#### 2.護套脆化(Embrittlement)

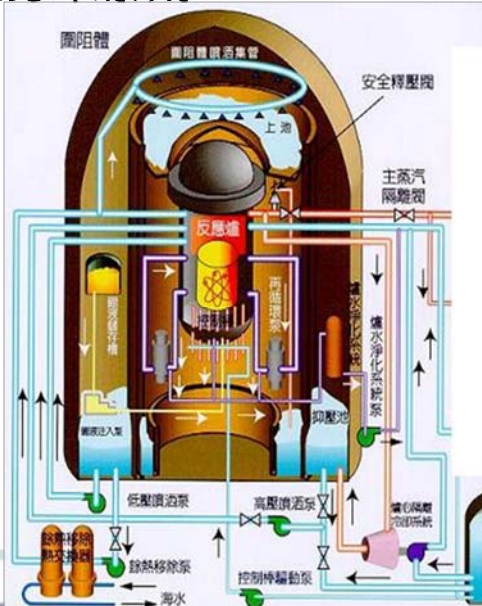
- (1)護套金屬正常運轉下是貝他相(Beta Phase)，具有相當的延展性。
  - (2)銦、水作用後，護套與水接觸面將產生一層較脆的二氧化銦( $ZrO_2$ )，而其層內之一層銦金屬，將因高溫而變成較脆阿爾發相(Alpha phase)。
  - (3)若這兩個脆化層太厚，則護套可能無法忍耐冷卻時熱應力而破碎。
- 3.由上可知，ECCS要保證護套之完整性必須達到：
- (1)LOCA後，護套溫度不超過 $1205^{\circ}\text{C}$  ( $2200^{\circ}\text{F}$ )
  - (2)護套最大氧化厚度應少於原厚度之17%

核二廠沸水式反應爐系統簡要流程圖



## 核能電廠安全設備設計原則

- 具有「深度防禦」的概念
  - 同樣保護功能有多重設備重複保護的設計理念，防止單一故障引致該項保護功能全部喪失
  - 例如：  
緊急爐心補水即有多個重複的補水系統



## 貳、高壓噴灑系統(HPCS)

### 一、系統設計目的

- 1.LOCA時，維持燃料護套溫度低於 $1205^{\circ}\text{C}$  ( $2200^{\circ}\text{F}$ )。
- 2.RCIC故障時，能代替該系統，維持反應爐水位。
- 3.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、高壓馬達帶動之水泵，正常由CST取水，抑壓池為後備水源。
- 2、水泵出口有最小流量，試驗及注水管路，由爐心側板上之噴嘴環直接噴灑於燃料上方。
- 3、充水泵保持管路充水，防止泵起動注水時發生水槌，且能快速打入反應爐。
- 4、閘類操作及控制用之交/直流電源與其他系統分離以確保可靠性。



## 高壓噴洒系統(HPCS)

### 三、機件說明

#### 1.取水口過濾器:

濾網防止堵塞，50%網目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，設計最高運轉水溫170°F，水封及軸承由水泵出口水冷卻。
- (2)水泵差壓80.7kg/cm<sup>2</sup>時，額定流量為5,280upm(1400gpm at 1147psid)。水泵差壓26.4kg/cm<sup>2</sup>時，額定流量為18,960upm(5010gpm at 375 psid)。在這兩點間之數值，可用線性內差法求得。

#### 3.馬達:

- (1)直立4.16KV交流感應馬達，轉速1800RPM，由ESF電源或緊急D/G供電

#### 4.緊急柴油發電機

#### 5.噴水環:兩個半圓形環組成，於爐心側板上直接噴灑於爐心燃料。

## 高壓噴洒系統(HPCS)

### 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)系統在備用狀況下此閥關閉，防止凝結水槽水流往抑壓池。
- (2)當水泵起動出口壓力建立125psig後，且流量少於設定值時，該閥自動打開，流量超過設定值35.3l/s時，即自動關閉。

### 8.出口管路充水系統

- (1)有一低流量、低壓力(5.3kg/cm<sup>2</sup>)水泵，由HPCS之吸水管路取水(凝結水槽水)，注入HPCS水泵之出口管路。
- (2)目的保持出口管路經常充水，使在LOCA發生時，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(CST)

## 高壓噴洒系統(HPCS)

### 四、啟動方式

下列任一信號將起動HPCS(LOCA):

- (1)反應爐低水位:L-2(-101CM)
- (2)乾井高壓力:0.122kg/cm<sup>2</sup>(1.74psig)
- (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

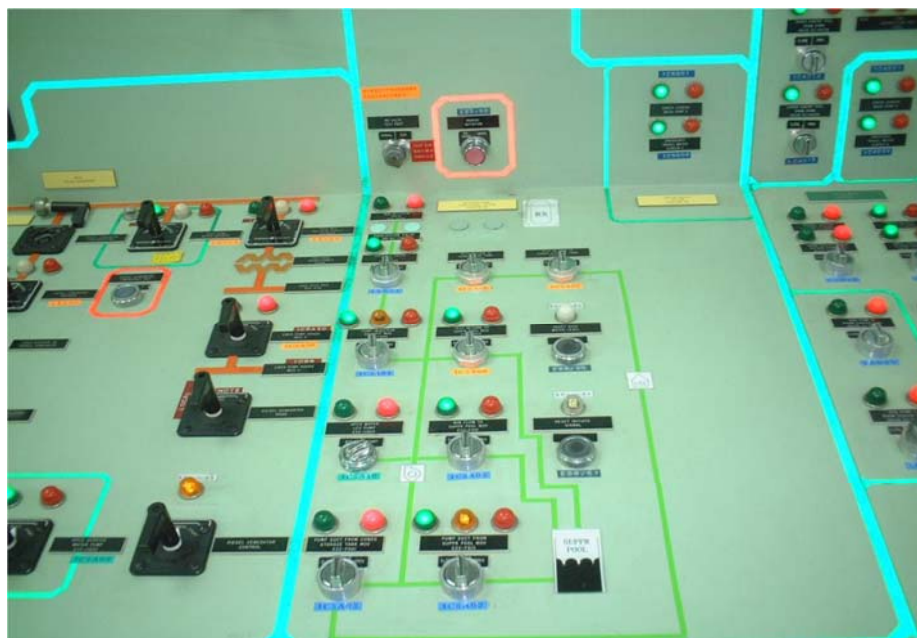
- (1)凝結水槽之吸水閥全開，水泵出口至凝結水槽二只串聯閥HV-147及HV-148全開，其他閥關閉。
- (2)起動水泵後，徐徐開啟另兩只通往凝結水槽之流量試驗閥F010及F011，直到流量及壓力符合標準為止。
- (3)HPCS柴油發電機亦可做起動並聯試驗，並可供電給本系統試驗運轉。

### 3.試驗運轉—抑壓池迴路

- (1) 通往抑壓池之吸水閥全開，泵起動後，通往抑壓池之試驗閥徐徐開啟，直至流量及壓力符合設計標準為止。
- (2) 本廠每三個月執行HPCS Pump額定流量測試，先執行CST到CST迴路測試，再執行抑壓池抑到壓池迴路測試。

### 六、與其他緊急爐心冷卻系統之關聯

- 1、高壓噴洒系統可做爐心隔離冷卻系統(RCIC)之後備。本系統無須其他 ECCS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4.16KVAC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HPCS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HPCS 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(ADS) 😊

#### 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(LPCI)和低壓噴灑系統(LPCS)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。

## 參、自動釋壓系統(ADS)

### (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。

## 參、自動釋壓系統(ADS)

### 1、安全釋壓閥

安全(Safety)與釋放(Relief)功能，已詳述於蒸汽系統，不再贅述。

- 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，其安排如表1所示。
- 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。

## 參、自動釋壓系統(ADS)

### 2、排放管路

- 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。
- 管路上有伸縮接頭，以吸收管路熱脹冷縮之位移。
- 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。

NUCLEAR SYSTEM SAFETY/RELIEF SET PRESSURES AND CAPACITY

NO OF VALVES	SPRING SET PRESSURE (PSIG)	ASME RATE CAPACITY AT 103% SPRING SET PRESSURE★ (LB/HR EACH)Kg/HR		RELIEF PRESSURE CONTROLLER SET PRESSURE (PSIG)
1	(1190)	(895,000)	407,000	(1103)
3	(1190)	(895,000)	407,000	(1113)
5	(1180)	(906,000)	412,000	(1113)
7	(1165)	(895,000)	407,000	(1123)

★925,000 LB/HR AT 103% OF 1205 PSIG。

## VALVE LOCATION

STEAM LINE	RELIEF VALVES	ADS FUNCTION
A	2	(1) #9
B	5	(2) #2, #4
C	6	(3) #11, #13, #16
D	3	(1) #6

(Numbers in parenthesis is the number of valves listed under "Relief Valves that have the additional ADS function.")

## 參、自動釋壓系統(ADS)

### 3、閥開啟原理(圖8)

- (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

→ (圖9) 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 (圖8)，連桿拉開釋放閥沖放蒸汽。

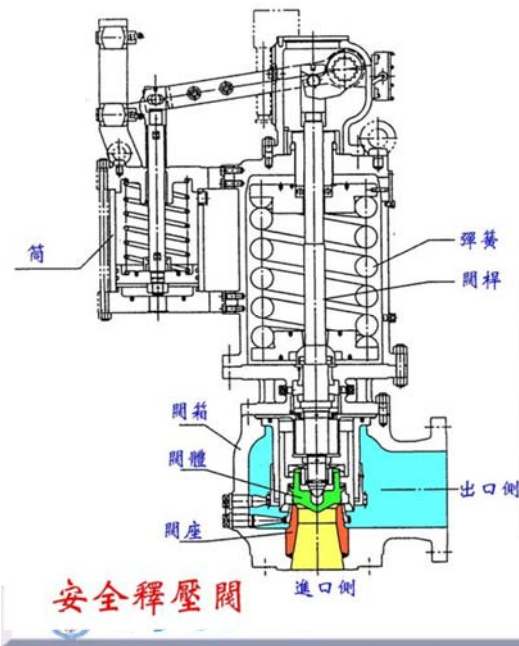
b、供給儀器空氣管路上，設有止回閥及蓄壓器，如儀用空氣發生低壓力，止回閥可防止蓄壓器內空氣回流，這時蓄壓器仍足以開啟安全釋放閥五次。

c、釋放功能亦可在控制室用遙控開關開啟。

## 參、自動釋壓系統(ADS)

- 自動釋壓功能: 七只具此功能，二只電磁閥另接受 ADS之信號而開啟，#1號機 ADS功能的安全釋壓閥各另增設一個蓄壓器，#2號機則共用一個蓄壓器 (容量較大)。
- 七只自動釋壓閥各有獨立的開啟控制邏輯回路
- 邏輯動作程序
  - ◆ 兩獨立的邏輯控道 A+E 和 B+F
  - ◆ 左列信號存在時，A支控道輔助電驛A動作(賦能)
  - ◆ 右列信號存在時，E支控道輔助電驛E動作(賦能)
  - ◆ A和E或B和F支控道都賦能，則自動釋壓系統動作
  - ◆ 自保(Seal in)與復歸
  - ◆ B和F與A和E支控道相同



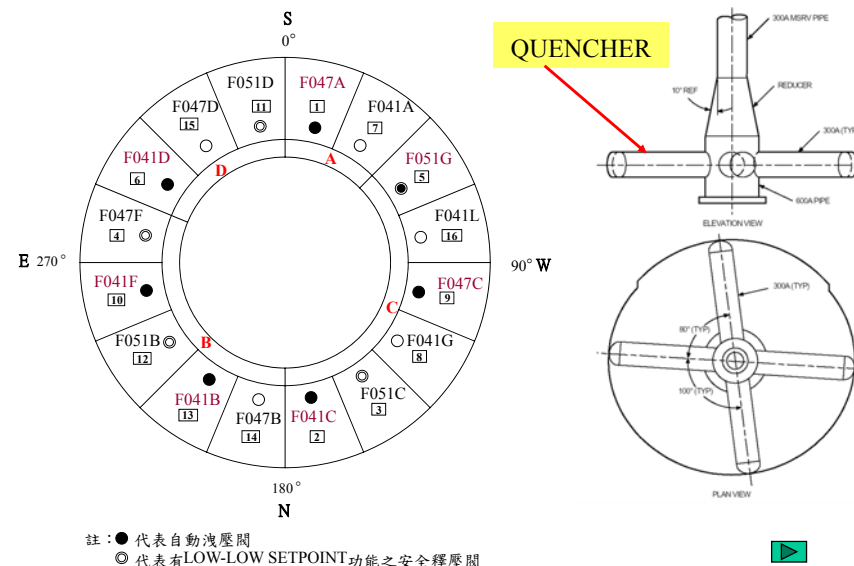


- No. of SRVs : 16
- Opening Time :
  - Power Actuation :  $\leq 0.15$  sec
  - Spring Actuation :  $\leq 0.3$  sec



Safety/Relief Valve

第二核能發電廠



註：●代表自動洩壓閥  
○代表有LOW-LOW SETPOINT功能之安全釋壓閥

SRV QUENCHER在抑壓池內的位置分佈

第二核能發電廠

## 肆、低壓噴洒系統(LPCS)

### 一、系統設計目的：

大或中型破管時，爐壓迅降，可迅速打入爐內淹蓋燃料。

### 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。

台灣電力公司

第二核能發電廠

## 肆、低壓噴洒系統(LPCS)

### 三、組件概述：

直立、多級式離心泵，額定流量為差壓20kg/cm<sup>2</sup>時為18,960Lpm (5010gpm at 284psid)，零差壓時超流(Runout)為24,200Lpm(6,400gpm)。

### 四、儀器

- 1、控制室儀表
- 2、現場儀表
- 3、下列任一信號、將起動LPCS：
  - (1)反應爐低水位：L-1
  - (2)乾井高壓力：0.122kg/cm<sup>2</sup>(1.74psig)
  - (3)手動起動

台灣電力公司

第二核能發電廠



## 肆、低壓噴洒系統(LPCS)

### 五、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。

## 肆、低壓噴洒系統(LPCS)

### 3、注水噴洒試驗

- 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。
- 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。
- 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。

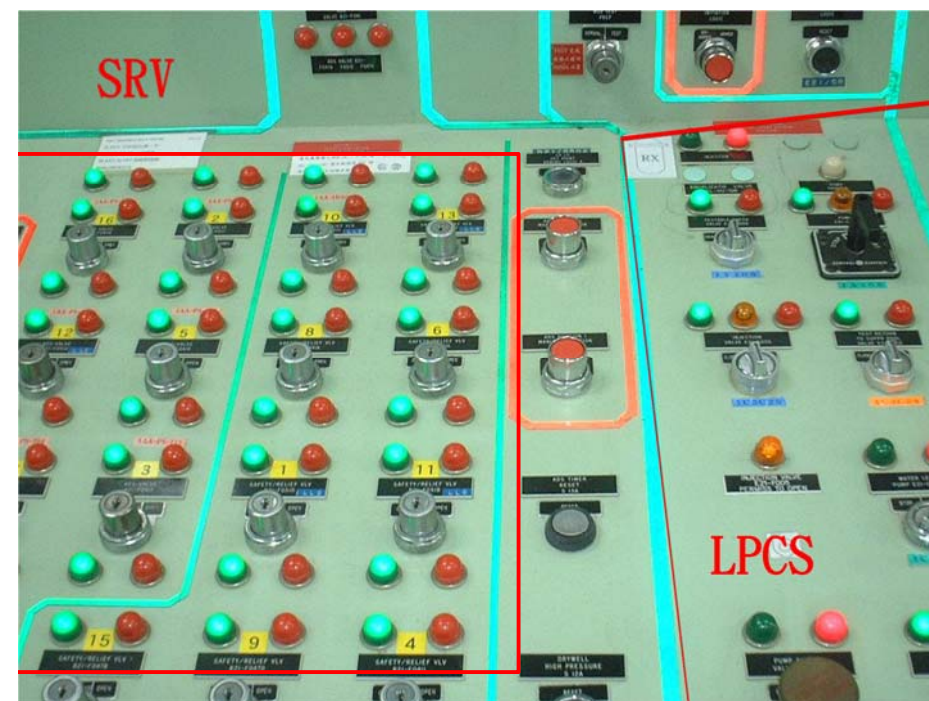
### 4、系統自動起動—有正常電源

### 5、系統自動起動—喪失廠外電源

柴油發電機投入斷路器，供給LPCS系統用電。

### 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(RHR)

### 一、設計目的:

RX發生LOCA時，提供爐心緊急冷卻水外，尚具協助反應爐安全停爐功能。

### □ 六(舊七)種運轉模式：

- 1.低壓注水模式(LPCI)
- 2.包封容器噴水模式(Containment Spray Mode)
- 3.抑壓池冷卻模式(Supp.Pool Cooling Mode)
- 4.停爐冷卻模式(Shutdown Cooling Mode)
- 5.燃料池冷卻模式(Fuel Pool Cooling Mode)
- 6.試驗運轉模式(Test Mode)
- 7.蒸汽冷凝模式(Steam Condensing Mode)(已不用廢除)

## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 二、功率產生設計標準

- 1、能協助燃料池冷卻系統冷卻燃料池。
- 2、停機冷爐時，可用噴水冷凝爐頂汽室(Vessel Dome)之蒸汽，防止反應爐上、下水溫差太大。
- 3、停機後20小時內，將反應爐冷卻至 $52^{\circ}\text{C}$  ( $125^{\circ}\text{F}$ )。

### 三、安全設計標準

- 1、任何情況，能維持抑壓池水溫低於 $85^{\circ}\text{C}$  ( $185^{\circ}\text{F}$ )。
- 2、發生LOCA時配合其他ECCS系統，挽回水位並防止燃料護套溫度超過 $1205^{\circ}\text{C}$  ( $2200^{\circ}\text{F}$ )。
- 3、本系統設備之耐地震強度，採第一類設計。

## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 四、系統主要設備(圖1-13) ➡

- 1、抑壓池吸水管及過濾網:1/8吋網目之不鏽鋼濾網，防止雜物堵塞噴水嘴，有 50% 濾網被堵塞，仍能供給正常流量。
- 2、三個注水迴路，每迴路一台RHR水泵:各支系統有一直立多級式離心泵，額定流量為19,110 Lpm ( $5050\text{gpm at } 110\text{psid}$ )
- 3.充水泵目的:同LPCS
- 4.兩組熱交換器:設計流量係假設LOCA發生後，抑壓池長期冷卻保持水溫低於 $85^{\circ}\text{C}$  ( $185^{\circ}\text{F}$ )為基礎。

## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 5、注水管路及閥類

- ※所有馬達操作閥，關閉時間應少於39秒
- ※最低流量控制閥，泵起動後20秒開啟

- 6、停爐冷卻之管路及爐頂噴水設備。
- 7、試驗管路。

## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 五、系統概述

- 1、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
- 2、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。
- 3、水泵之容量，依照低壓注水模式所需水量為設計基礎。

## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 六、設備說明

#### 1、抑壓池吸水集管(Suction Header)

吸水處有1/8吋網目之不鏽鋼過濾網，50%堵塞，仍能供給水泵正常流量，釋壓閥，防止管路在充水時過壓。

#### 2、RHR水泵

- (1)直立多級式離心泵，設計水溫為4℃～182℃，吸/出水壓力為14kg/cm<sup>2</sup>/35kg/cm<sup>2</sup>。位於A/B 1F，保證有足夠的NPSH。
- (2)差壓7.7kg/cm<sup>2</sup>時，流量為19,110lpm。爐壓小於26.94kg/cm<sup>2</sup>(383psig)時，才能注水至反應爐內。
- (3)電源
- (4)泵出口管路充水，充水泵維持止回閥至注水閥間管路充水：
  - 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內。
- (5)泵水封及馬達軸承冷卻水由ECHW供給，平時由NCHW供給

### 3、熱交換器

- (1) Hx流量，以LOCA後，S/P保持低於85℃所設計。
- (2) S/P水量，須吸收LOCA後之熱能；水溫仍能低於77℃。
- (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S/D CLG運轉，20小時內能將爐水冷卻至52℃

### 4、閥類

- (1) 所有MOV，及乾井內各閥，控制室內都有指示。
- (2) 低壓管路上有釋壓閥，防止RPV水漏入造成過壓。
- (3) MOV電源分成DIV I/II，來自不同的ESF BUS。
- (4) S/D CLG自Recirc取水及回RPV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。  
(A/B TD 20秒)

## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 七、各種運轉模式介紹

#### 1.RHR系統正常備用狀態



#### 2.低壓注水(LPCI)模式

※自動起動信號(圖1-14)



- 反應爐低水位：L-1(-330cm，-130in)
- 乾井高壓力：0.122kg/cm<sup>2</sup>(1.74psig)

#### 3.停機冷卻模式(包括爐頂噴水)

※隔離信號

- 反應爐壓力大於9.34kg/cm<sup>2</sup>(133psig)。
- 停機冷卻管路附近溫度升高(管路漏)。
- 反應爐低水位—第三階水位。



## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 七、各種運轉模式介紹(續)

※隔離信號發生時，自動關閉下列各閥：

- 停機冷爐包封容器內外隔離閥(F009及F008)。
- 停機冷卻注水閥(F053)及爐頂噴洒閥(F023)。
- 停機冷卻取樣閥(F060A、B及F075A、B)。

#### 4.包封容器噴水模式：動作信號

- LOCA發生後10分鐘(B迴路11.5分鐘)且乾井高壓力(1.74psig, 0.122kg/cm<sup>2</sup>)且包封容器高壓力(9psig, 0.63kg/cm<sup>2</sup>)
- 乾井高壓力信號存在且手動引動

#### 5.抑壓池冷卻模式

#### 6.試驗運轉模式

#### 7.燃料池冷卻模式

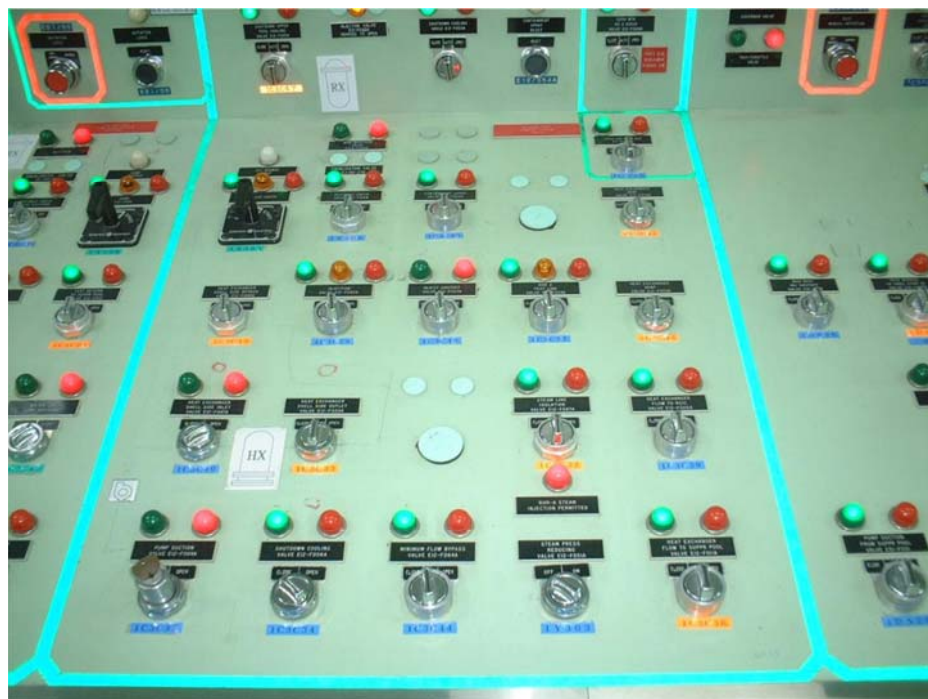


## 伍、餘熱排除系統(RHR)

### 八、儀器與連鎖

(1) 包封容器高壓力0.63kg/cm<sup>2</sup>(9psig)將RHR A和B兩支系統LPCI模式變為包封容器噴洒模式，其轉換時序為A支系統早B支系統九十秒(一分半鐘)。

(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，而飼水無法供至反應爐時，RCIC利用反應爐之餘熱蒸汽，推動RCIC汽輪機，補水至反應爐。

### 二、系統概述：

### 三、組件概述：

- 1.RCIC汽機:單級汽輪機，700馬力
- 2.RCIC泵:為水平、四級離心泵，滿載流量為 2365 Lpm (625pgm)，其中95 Lpm(25gpm)供給油冷卻器用
- 3.油冷卻器
- 4.管路充水系統:充水泵出口壓力約5.27kg/cm<sup>2</sup> (75psig)

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

### 四、RCIC汽機速度控制系統:(圖1-16) →

#### 五、儀器

##### 1、控制室

- (1) 水泵進口壓力指示及高低壓力警報。
- (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。
  - a. 轉速控制範圍為2300~4550RPM。
  - b. 當蒸汽供給閥離開全關位置時，調速閥即接受控制信號，開始關至控制信號所需求之開度。
  - c. 水泵出口有低流量警報。
- (4) 汽機進汽壓力指示。
- (5) 汽機排汽壓力指示和高壓力警報。
- (6) 汽機轉速指示(RPM)。
- (7) 汽機排汽管兩只保護膜間高壓力警報。

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

### 2、系統起動信號

◆L-2(-76cm, -30in)

◆手動按鈕起動

### 3、汽機跳脫原因

- 機械超速跳脫，120%轉速
- RCIC水泵吸水低壓力
- 汽機排汽高壓力 25psig
- 控制室手動按鈕停機
- RCIC系統自動隔離信號發生時

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

### 4、系統自動隔離信號

- 蒸汽管流量高 $\pm 0.47\text{kg/cm}^2$ 設定點為流量達278%
- 汽機排汽高壓力 $0.7\text{kg/cm}^2$ (10psig)
- 反應爐低壓力 $5.74\text{kg/cm}^2$ (81.62psig)
- RCIC設備室高溫及設備室冷卻器進口高溫 $43.3^\circ\text{C}$ (110°F)
- 主蒸汽管隧道高溫或主蒸汽管隧道冷卻器進口高溫度 $65^\circ\text{C}$ (150°F)+30分延遲。
- RHR設備室高溫或設備室冷卻器進口高溫 $48.9^\circ\text{C}$ (120°F)
- 手動按鈕隔離

### 5、系統運轉

- ◆備用狀態
- ◆流量試驗運轉
- ◆超速試驗
- ◆自動啟用
- ◆手動按鈕起動

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

### 6、電源供給

- (1) 除乾井內外隔離閥及蒸汽管路暖管閥(Warmup Valve)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。

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

### 六、系統運轉

#### 1、備用狀態

- (1) 管路洩水經自動洩水罐(Drain Pot)通主冷凝器，如此可保持管路暖管加壓。
- (2) 汽機及水泵在停止狀態，凝結水槽(CST)吸水閥全開，抑壓池吸水閥全關，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開。

#### 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。

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

### 3、超速試驗

- (1) 旋轉超速試驗電位調整器，產生一信號經加算器(Summer)加入汽機調速閥控制信號，使調速閥開大；汽機超速跳脫(正常設定在120%轉速)。
- (2) 試驗完畢後將超速試驗電位調整器歸零，汽機復歸。
- (3) 若為調整超速跳脫設定值而須要做多次之超速跳脫試驗時，水泵與汽機之聯接器宜拆開，以防損及水泵。

### 4、自動起動

- (1) 系統接受反應爐低水位(第二階水位)信號時，自動起動。第三階水位時，反應爐業已急停；而當發生MSIV隔離信號而隔離時，反應爐將因壓力升高而由安全釋壓閥沖放，使水位更為下降，此時，飼水泵已無法供水，反應爐須靠RCIC補水，此情形發生前值班員若能預測其情況，可先手動起動RCIC系統備用，因MSIV關閉後水位將很快下降。
- (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) 若無RCIC隔離信號存在，乾井內外隔離閥應在全開位置，若未全開時，則將自動打開。

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

- (4) 如汽機排汽閥已在全開位置，則汽機供汽閥將開啟(排汽閥並無自動連鎖開啟控制，備用中應經常保持全開)，供汽閥全開後且關斷閥也已在全開位置時(關斷閥在系統備用中應已在全開位置)注水閥即開始開啟。
- (5) 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。
- (6) 冷卻水供給閥即時自動開啟，供給油冷卻器；流量試驗閥若不在全關位置，即時自動關閉。
- (7) 由於抑壓池水溫，將因安全釋壓閥沖放及RCIC汽機之排汽注入而升高，值班員應使用RHR抑壓池冷卻運轉模式降低抑壓池水溫。

### 5、手動按鈕起動

值班員若預知需用RCIC補水時(即水位未降至第二階水位，尚未自動起動時)，可按下控制室之手動起動按鈕，系統即起動備用，程序與自動起動同。

## 陸、爐心隔離冷卻系統(RCIC)

### 七、與其他系統之關連

#### 1、RCIC為特殊安全設施之一

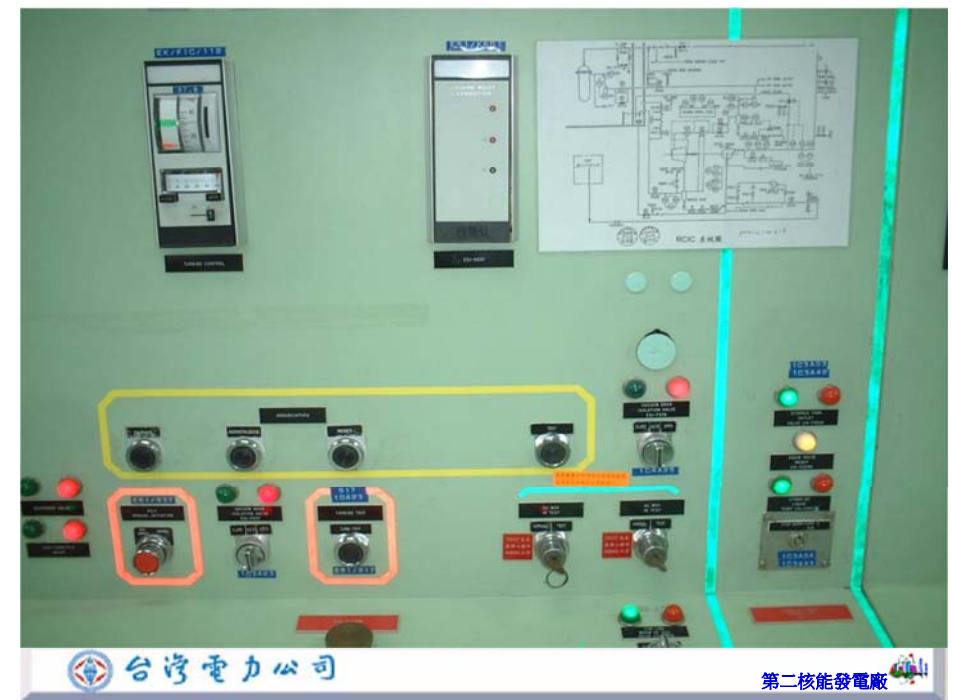
- (1) 並非應付一次系統破管爐水流失事故，但對小型破管本系統仍能有保護功能。
- (2) 主要功能是爐心隔離時(主蒸汽與飼水系統隔離)，用來反應爐補水及餘熱冷卻，直到RHR停機冷卻模式能夠運轉為止。

#### 2、HPCS可做RCIC爐心隔離補水功能之後備。

#### 3、RCIC與HPCS之關係：

- (1) 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。
- (2) HPCS使用電動馬達並有柴油發電機做後備電源，RCIC則使用小汽機帶動。





## 柒、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

- 最大蒸汽破管為主蒸汽管斷開，MSIV立即關閉，破孔面積為 $2.5\text{ft}^2(2355\text{cm}^2)(24")$
- 最大水管破孔為再循環水泵進口管路斷開，破孔面積為 $2.2\text{ft}^2(2072\text{cm}^2)。(20")$

#### 2、ECCS各系統保護破管範圍(圖1-18) ➡

- HPCS:無須其他系統協助，能保護所有大小破孔
- LPCS:蒸汽破管 $>0.23\text{ft}^2$ ，水管破孔 $>0.30\text{ft}^2$
- LPCI:蒸汽破孔 $>0.25\text{ft}^2$ ，水管破孔 $>0.40\text{ft}^2$
- ADS:不能單獨完成破管保護，須與其他ECCS系統配合。

## 柒、緊急爐心冷卻系統之破管保護

### 二、破管事故概述

- ◆設計基礎事故(Design Basis Accident, DBA)
  - ※乾井與包封容器DBA:一條主蒸汽管在限流器(Flow Restrictor)上游突然斷開。
  - ※乾井內空氣高溫度DBA:蒸汽管發生小破孔
  - ※ECCS之DBA:再循環水泵進口管路雙端斷破(Double End Break)。
- 同樣尺寸之破管，水管破管事故較為嚴重，其原因如下：
  - ◆蒸汽破管時，爐壓下降較快，低壓之ECCS系統能較快發揮其保護作用。
  - ◆蒸汽破孔時，爐內存水流失速率較水管破時慢。
  - ◆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。

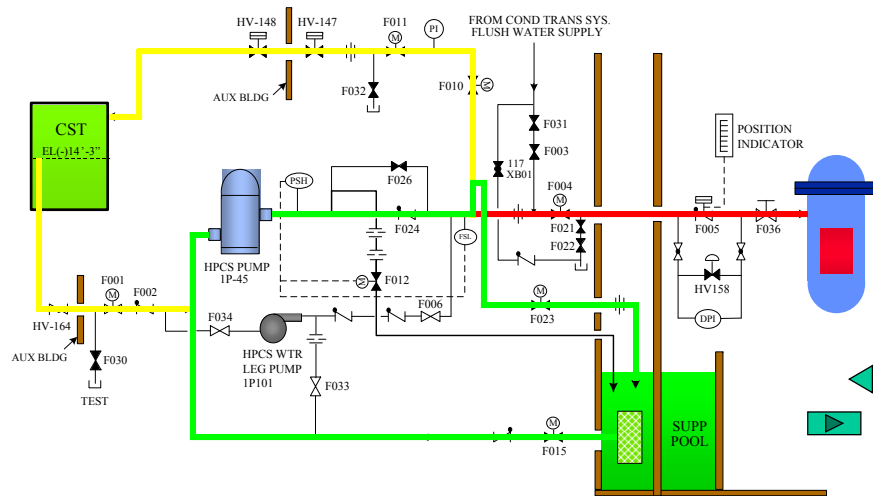


圖1-4 高壓噴灑系統

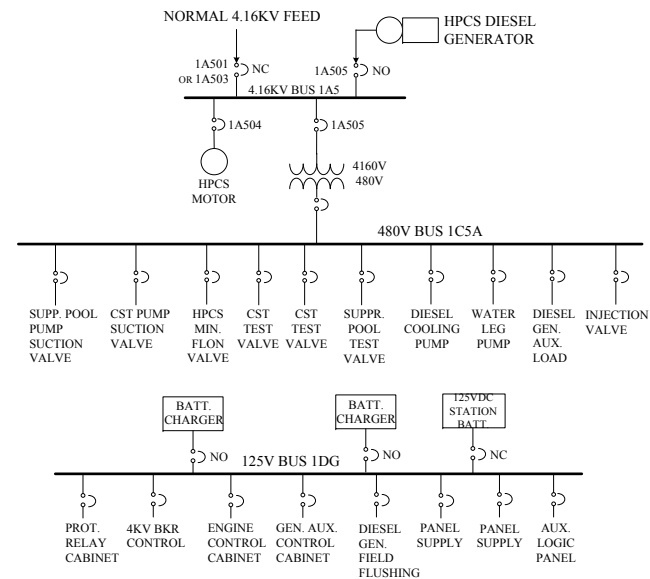


圖1-5 HPCS電源

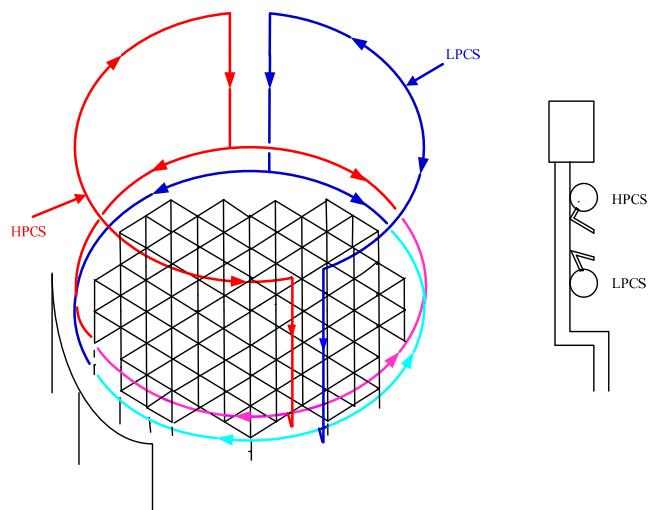


圖1-6 HPCS及LPCS噴水環

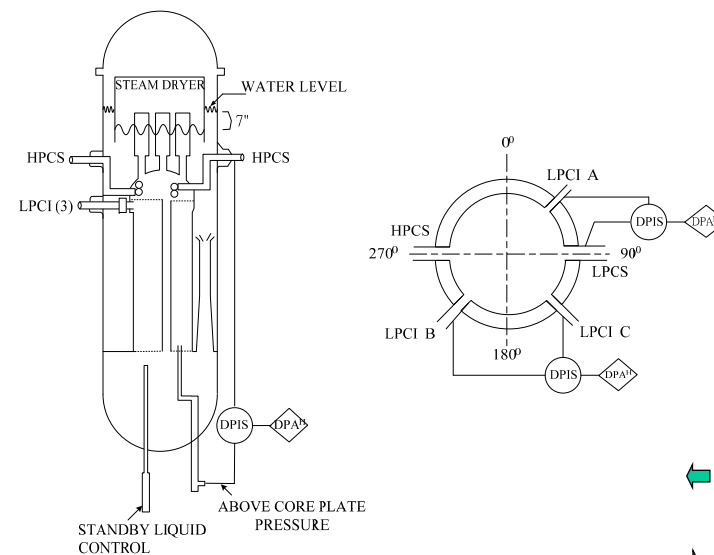
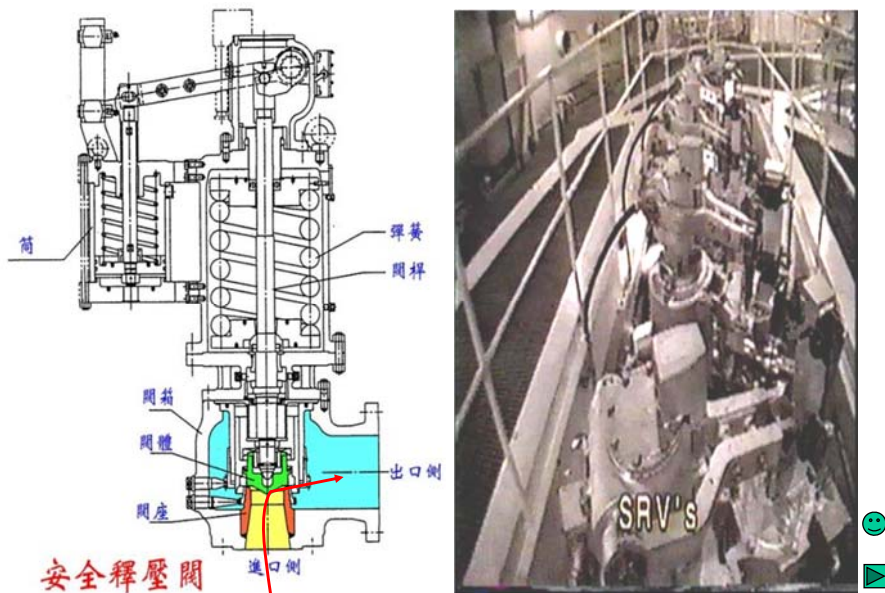


圖1-7 破管偵測儀器



安全釋壓閥

圖1-8 安全釋壓閥

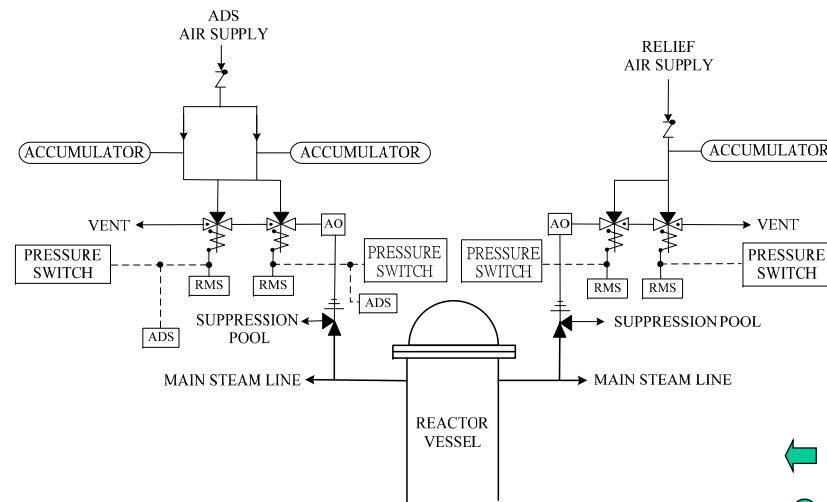


圖1-9 安全釋壓閥操作原理

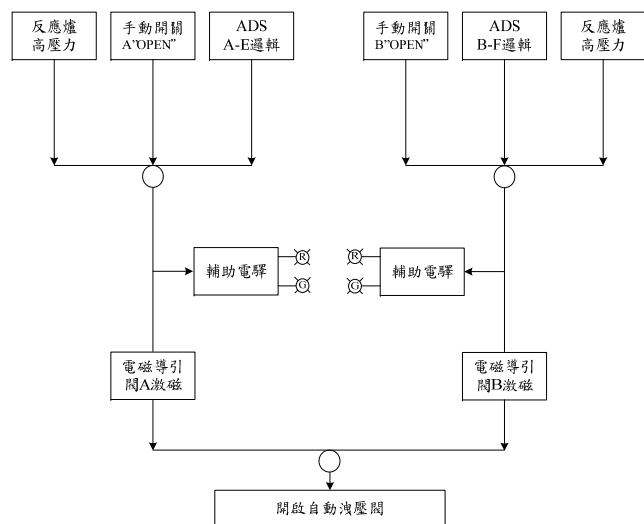


圖1-10 安全釋壓閥邏輯

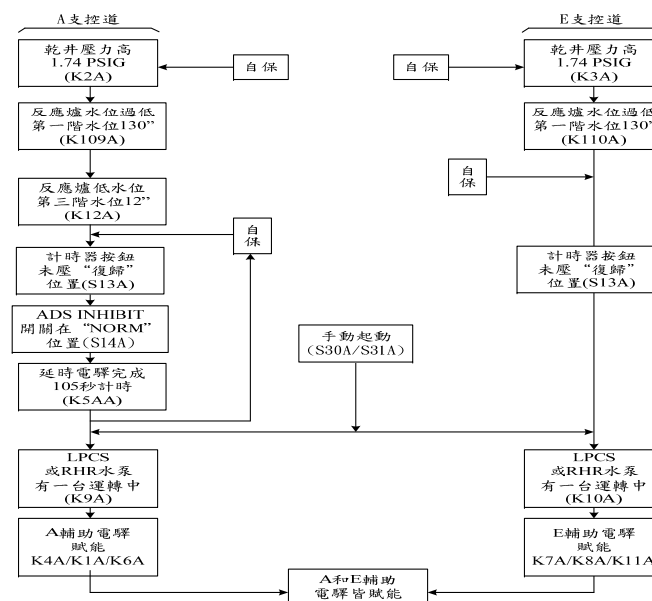


圖1-11 ADS邏輯圖



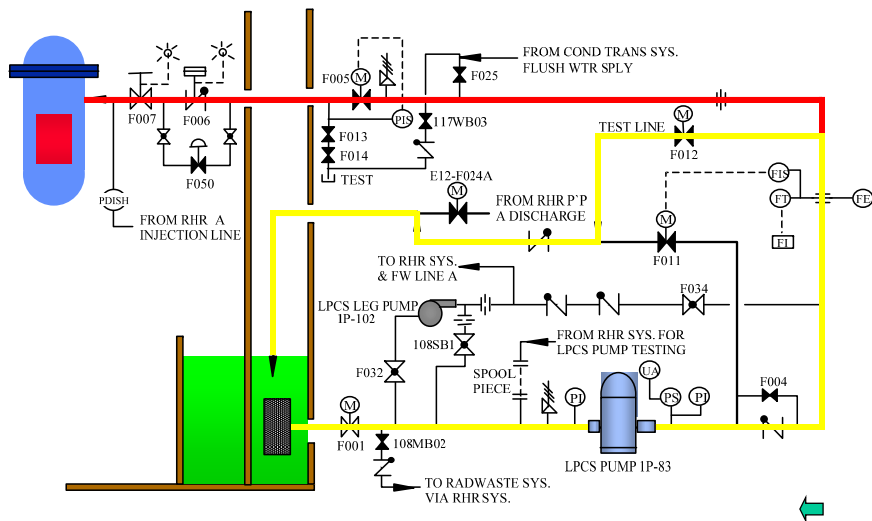


圖1-12 低壓噴洒系統

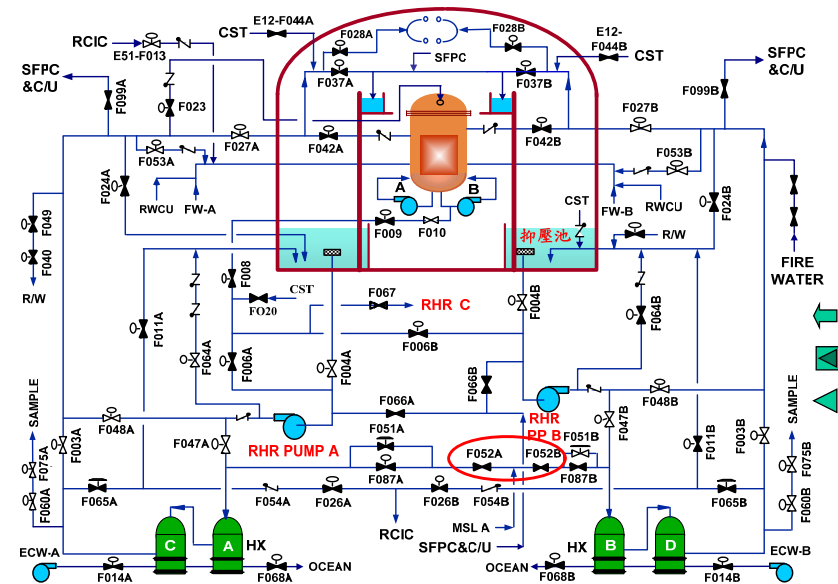


圖1-13 RHR系統

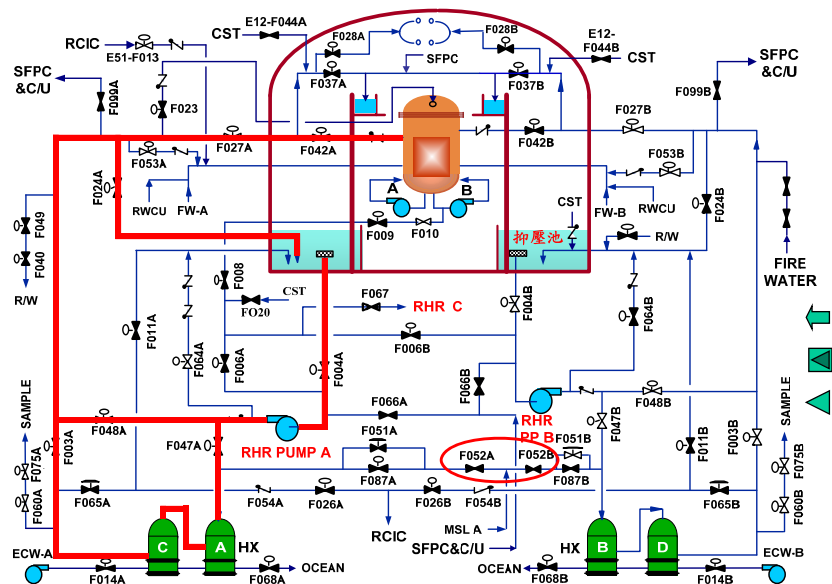
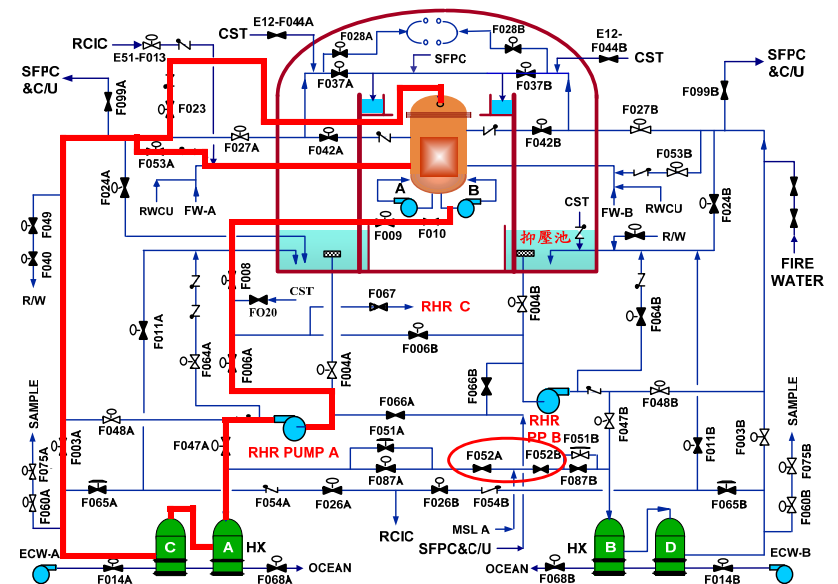
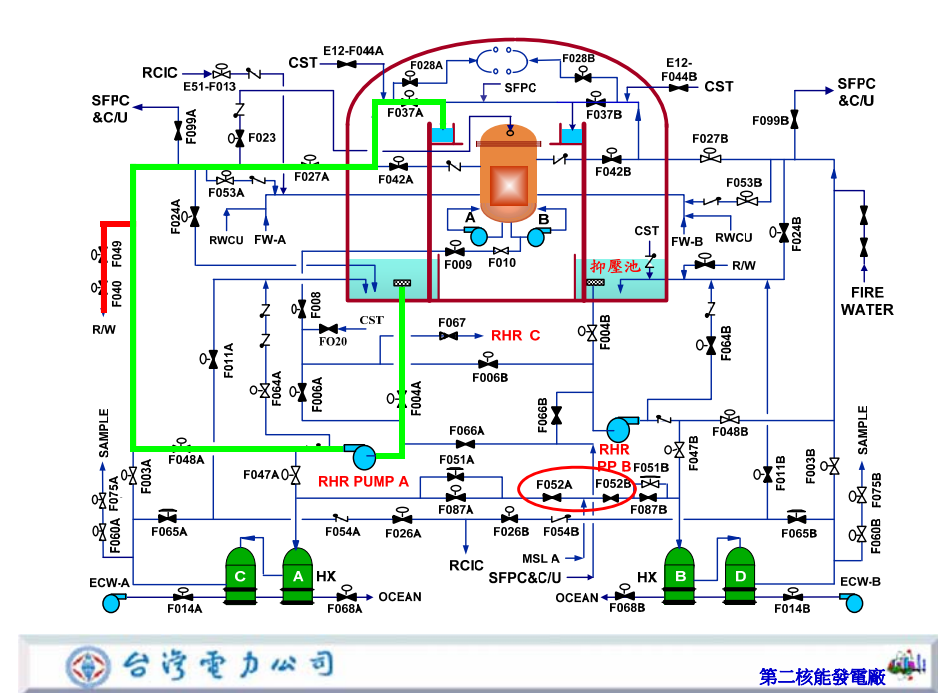
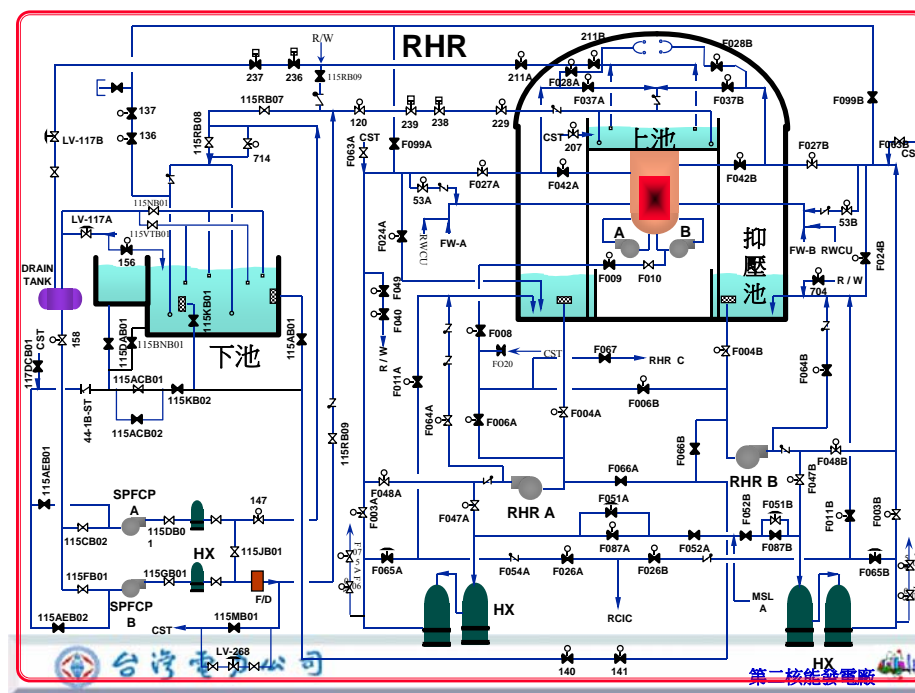
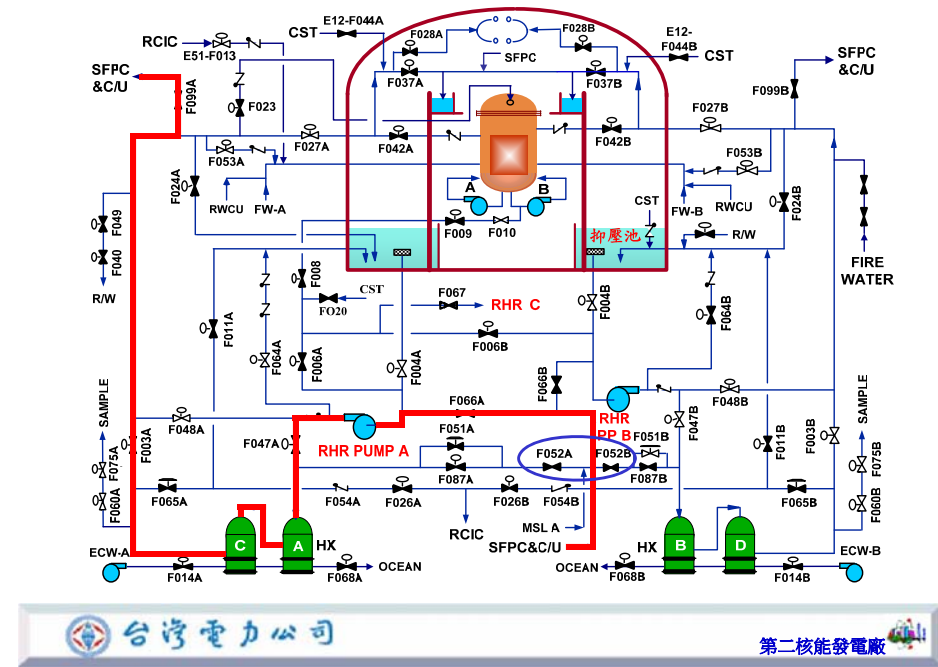
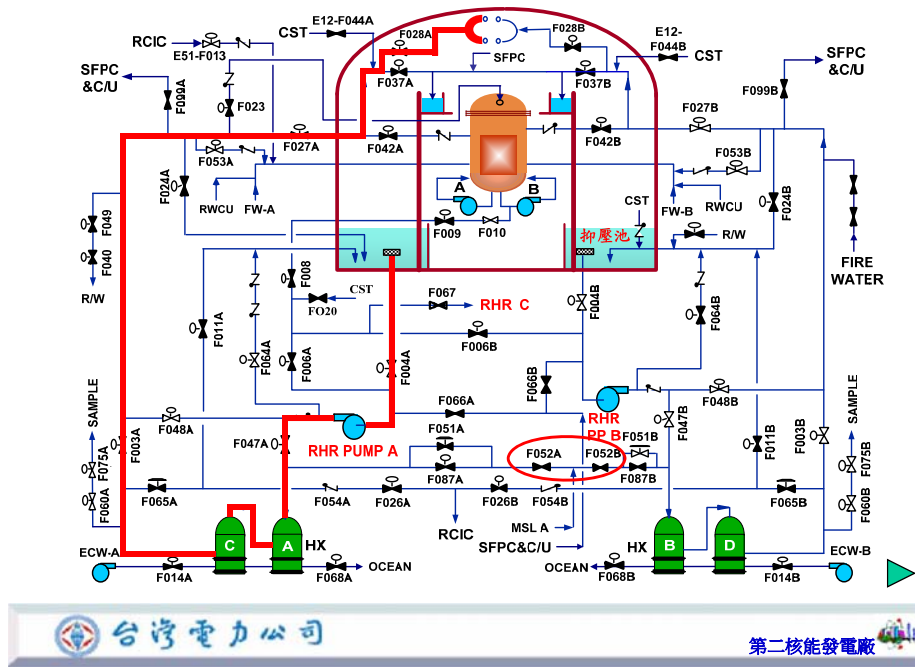
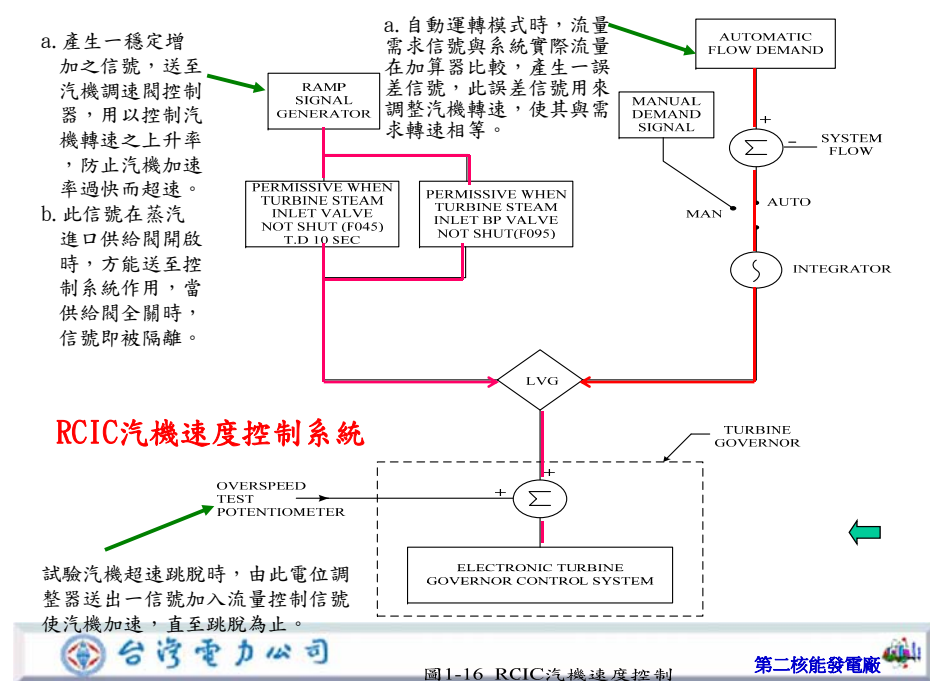
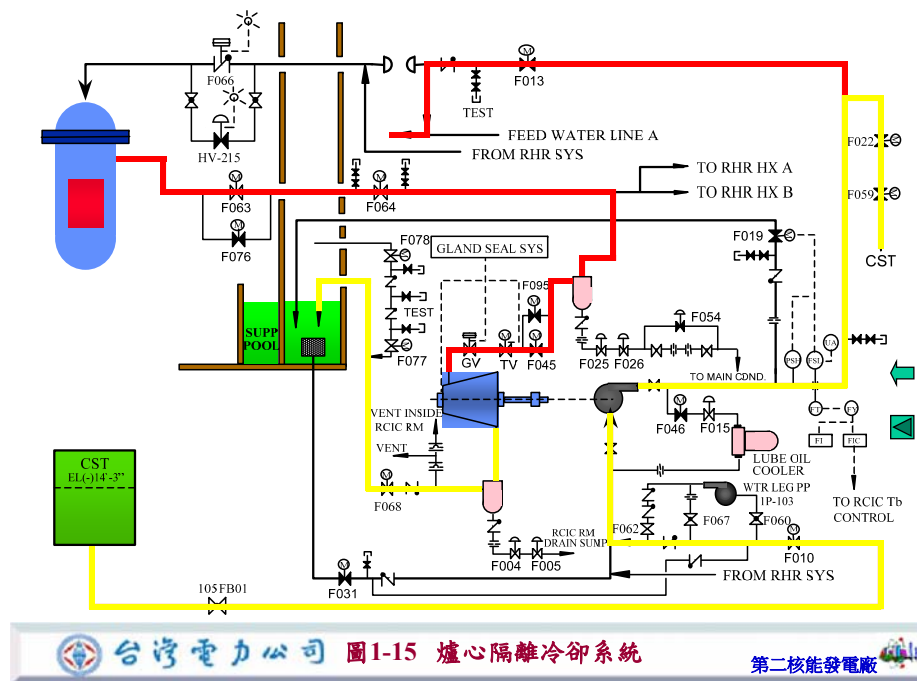
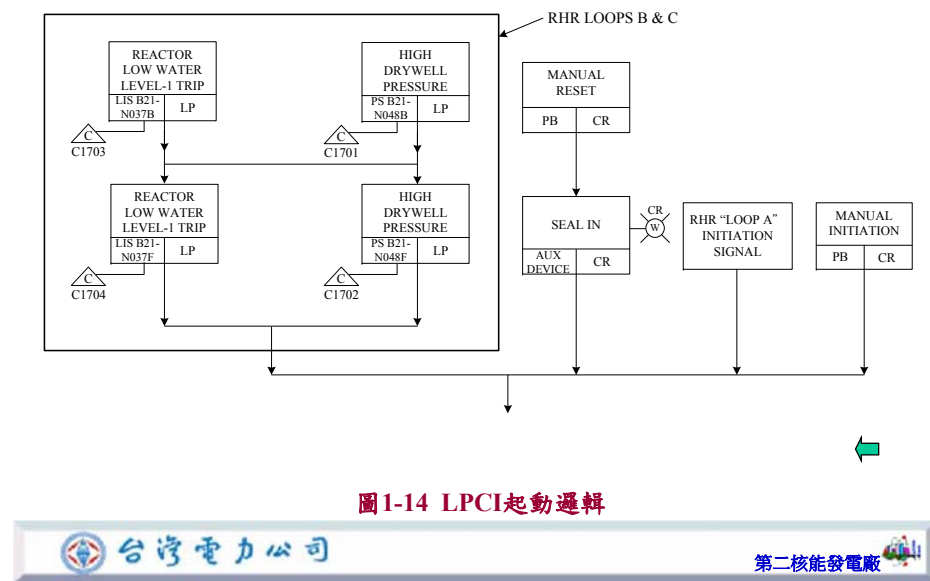
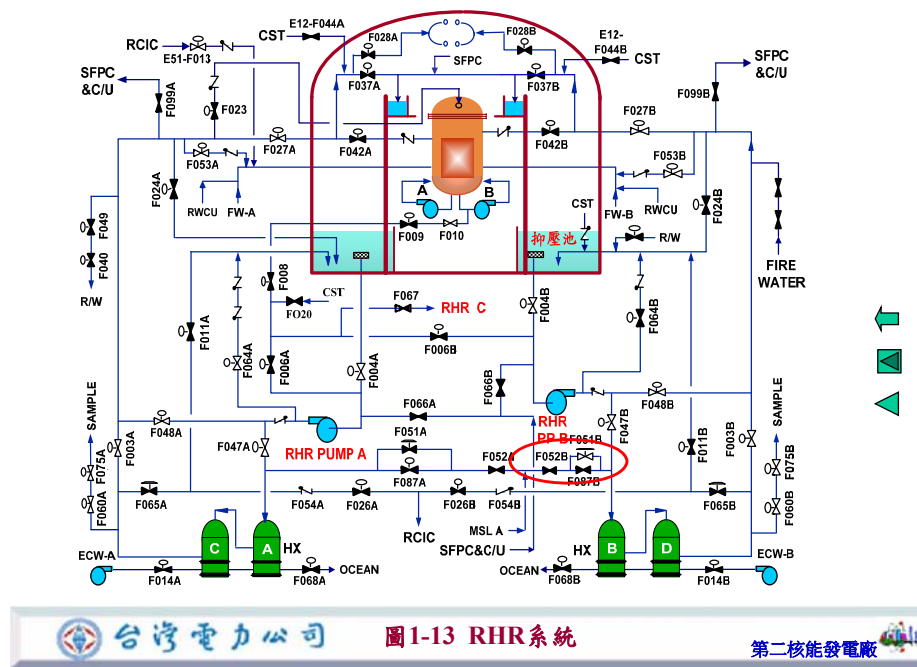


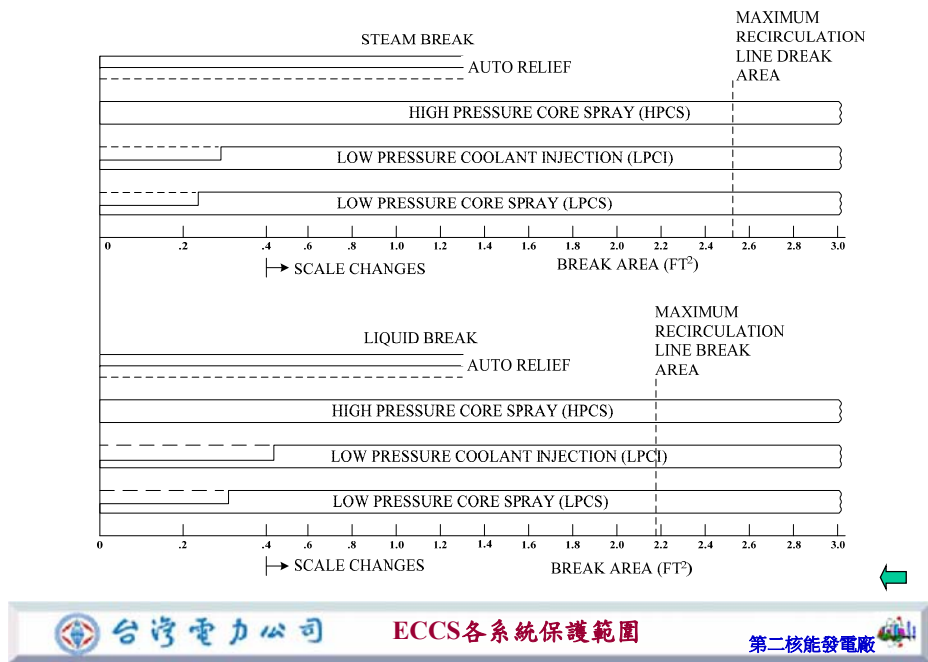
圖1-13 RHR系統











## RCIC TTV

