

反應爐保護系統 (RPS Reactor Protection System)



模擬中心
104.07



課程內容

- 壹、反應爐保護系統介紹
- 貳、反應爐保護系統動作邏輯
- 參、反應爐保護系統急停信號
及急停理由

壹、反應爐保護系統介紹

功能

- 利用各種感測元件偵測反應爐各種重要之運轉參數，如**功率、溫度、壓力、水位、放射性強度**等，萬一運轉情況異常，達到或超過感測元件的設定點時，**立即將所有控制棒插入爐心**，使反應爐急停，阻止爐心功率繼續產生，確保電廠的安全

設置目的

- 1.防止**燃料溫度**過高，使燃料護套穿孔或燃料熔化
- 2.防止**過高之壓力**，使冷卻水壓力邊界破裂
- 3.防止危及**反應爐安全**的各種情況發生，以保護反應爐及限制放射性物質外洩

壹、反應爐保護系統介紹

控道安排

- 1.**兩組獨立**作用，特性完全相同的邏輯控道**A&B**，每一控道又分兩支邏輯作用完全相同的支控道**A1、A2&B1、B2**，以符合重複性及可靠性的要求
- 2.此四個支控道安排成**重複二選一**的急停邏輯
- 3.邏輯電路經常處於**Energized**狀態，以達到**故障時安全**的特性(即電驛斷電時，會使反應爐急停)
4. RPS由下列設備所組成：
 - (1) 馬達發電機組(M-G Set)及後備電源
 - (2) 電驛、旁通電路和感測元件(Sensor)
 - (3) 使所有控制棒急速插入而達到急停目的之各種閥類和開關

壹、反應爐保護系統介紹

急停定義

●急停導引閥斷電

- 使急停進/出口閥的空氣洩放而開啟，控制棒於2.5秒左右插至全入

●後備急停閥通電

- 使後備急停閥動作而將集管內的空氣洩放，控制棒將於約15秒後插入，約25秒左右全入

●急停洩放容器隔離導引閥斷電

- 使SDV洩水閥及通氣閥自動關閉，限制爐水流失

註:替代插棒系統(ARI)閥動作時，亦會將集管中的空氣洩放

壹、反應爐保護系統介紹

設計基準

1.安全設計基準

- (1) RPS須能準確可靠地將反應爐急停，俾能防止或限制足以使燃料損害的異常運轉暫態防止反應爐冷卻水壓力邊界損壞，限制NS³(Nuclear Steam Supply System)壓力在安全規定值以下。燃料屏障及冷卻水壓力邊界發生重大故障時，防止或限制失卻控制的放射性物質外洩

壹、反應爐保護系統介紹

1.安全設計基準

- (2) 確保RPS的可靠性(即任何單一故障，不能引起或阻止反應爐急停)

- a. 任何急停情況發生，如某一支控道因故未作用，則另一支控道仍能發揮其功能
- b. 失去單一電源，不致引起或阻止急停
- c. 一旦發生急停，無法中止，直到完成全部急停。若要復原，應依週詳操作程序(如急停後復歸要領或Pro.248急停復原)處理
- d. 重複設備及配置位置，應充分的加以分離
- e. 地震所引起的振動，不致影響RPS能力

壹、反應爐保護系統介紹

1.安全設計基準

- (2) 確保RPS的可靠性(即任何單一故障，不能引起或阻止反應爐急停)

- f. 沒有任何單一故障能阻止RPS動作
- g. 下列各種情況，不會影響或損害RPS能力：
 - (a) 計劃性旁路
 - (b) 維護工作
 - (c) 儀器校正工作
 - (d) 運轉中試驗
- h. RPS有高度確實性，當一偵測參數超過急停設定值時，會自動急停，但並不影響由其他參數引起急停的能力

壹、反應爐保護系統介紹

1.安全設計基準

(2) 確保RPS的**可靠性**(即任何**單一故障**，不能引起或阻止反應爐急停)

i. 為了減少因人員失誤，致減低RPS功能，應遵照下列各款：

- (a) 接近跳脫設定，校正及測試其他接點時，應由值班人員監視控制
- (b) RPS之旁路應由值班人員管制；任何旁路須能使控制室內警報或警示燈連續指示

2.發電設計基準

RPS設定點、電源、控制及儀器等，應適當排列，以防止無謂的急停

貳、反應爐保護系統動作邏輯

一.設備說明

1. RPS的控道電源

RPS的電源有兩種：

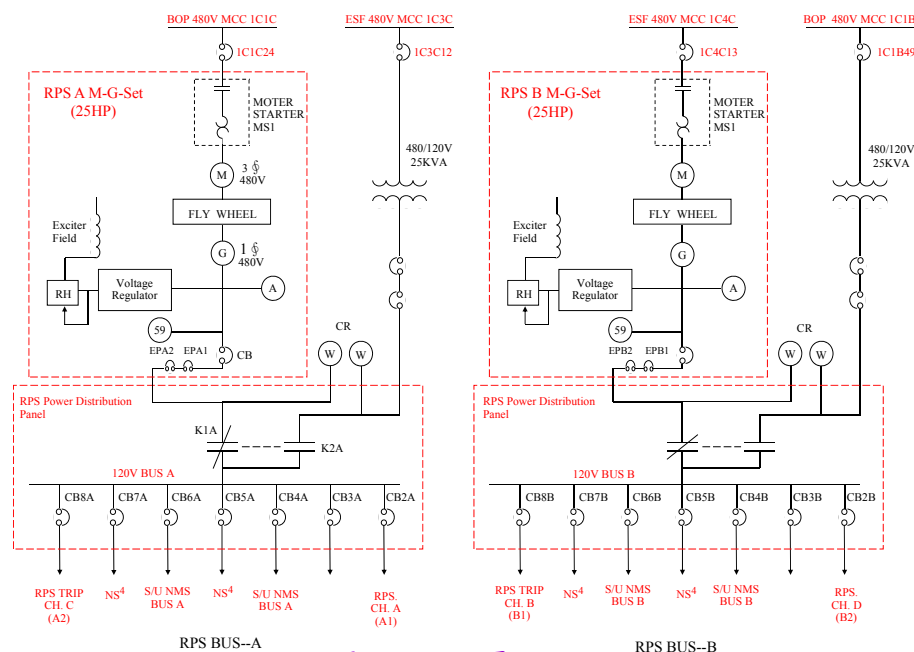
◎正常運轉電源：

- A(1C1C24)，B(1C4C13)
- 馬達發電機組(M-G Set)

◎後備電源

- ATL A(1C3C12)
- ATL B(1C1B49)

註：若運轉中需做電源切換時，會造成控道斷電引發半急停



(圖 1) RPS 電源

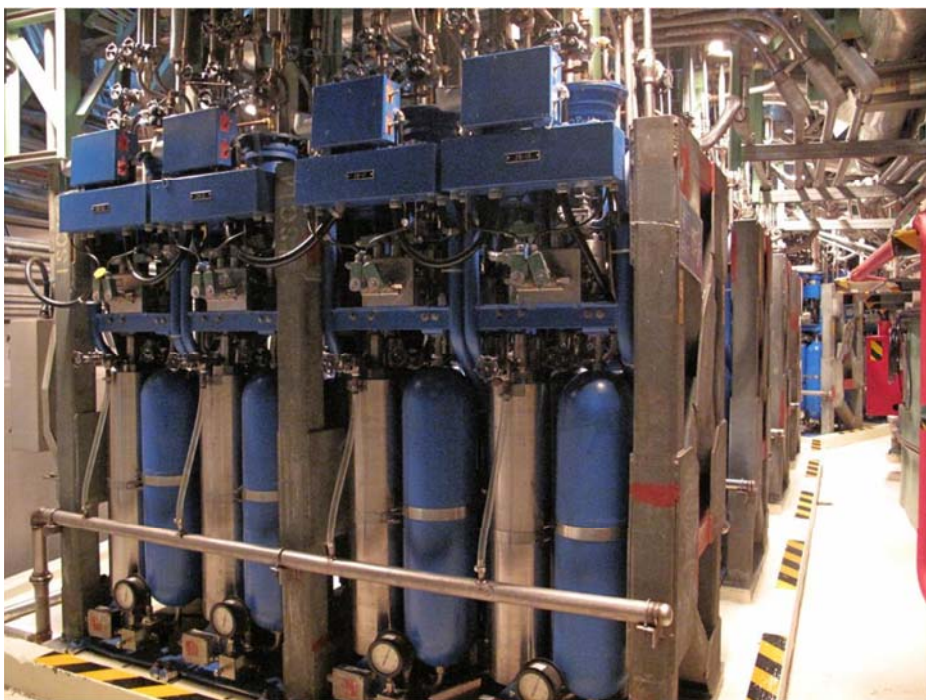
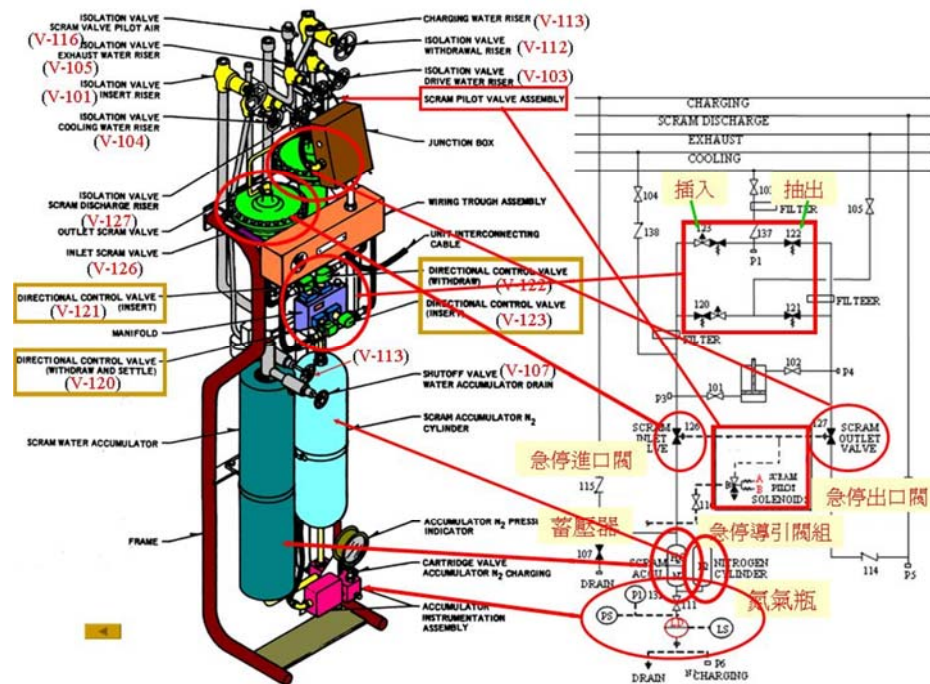
RPS 電源切換開關





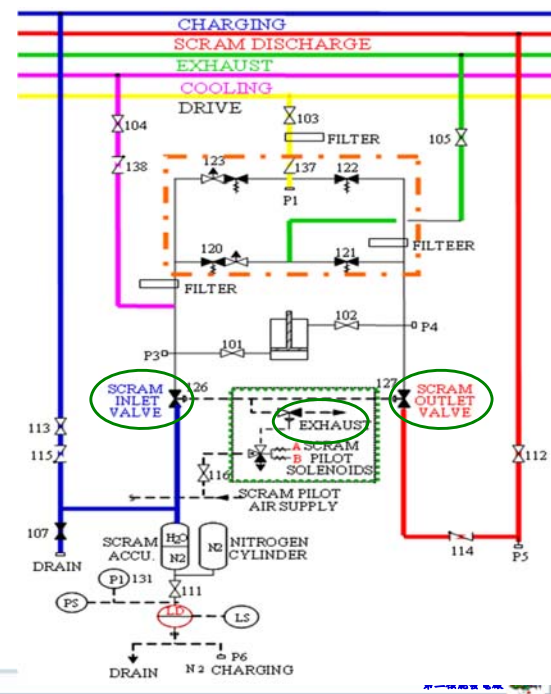
2. 急停閥

- ◆ 有急停進口閥和急停出口閥之分
- ◆ 無氣壓時以彈簧力開啟
- ◆ 利用儀用空氣之壓力關閉之
- ◆ 儀用空氣係藉急停導引閥操作
- ◆ 急停時，急停出口閥(127)開啟較快
- ◆ 每支控制棒都有一個液壓控制單元(HCU)
- ◆ 儀用空氣經一壓力控制閥調壓為5.8kg/cm²



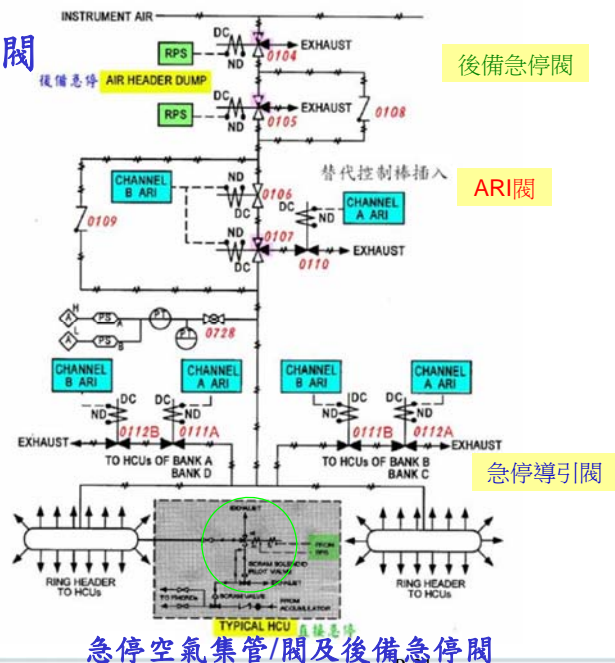
急停閥及液壓

- ◆ 急停信號會使急停進出口閥上方的空氣立即洩放而開啟
- ◆ 蓄壓器之液壓，經急停進口閥到CRD，迅速將控制棒插入
- ◆ CRD之排水，經急停出口閥洩至SDV
- ◆ 急停時：急停出口閥會先開啟較急停進口閥快，避免驅動機構損害



3. 急停導引閥

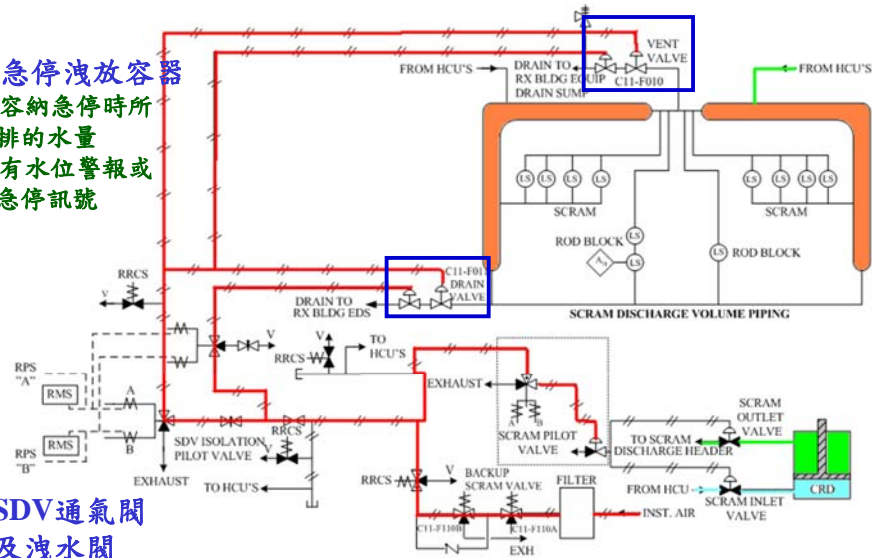
- ◆空氣壓力由此閥加壓到各急停閥
- ◆電磁操作三通閥有兩組獨立電磁線圈，同時斷電時，才動作
- ◆兩組電磁線圈電源分別由RPS BUS A及B供給。
- ◆每一RPS控道上的電磁線圈分成四組，藉以限制流經各電驛及接點之電流



急停空氣集管/閥及後備急停閥

4. 急停洩放容器

- ◆容納急停時所排的水量
- ◆有水位警報或急停訊號

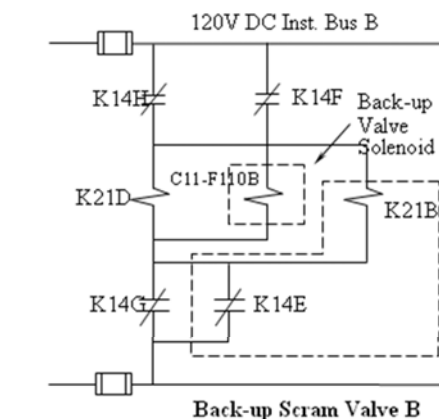


急停洩放容器

- 5.SDV通氣閥及洩水閥
- ◆防爐水流失

6. 後備急停閥(Back-up Scram Valve)

- ◆兩個後備急停閥，裝置於儀器用空氣供給集管與急停空氣集管之間
- ◆此兩閥主要功用是阻斷及排放空氣到大氣
- ◆為125VDC電磁三通閥
- ◆正常處於斷電狀態，於RPS A和B都跳脫時，接點閉合使兩閥的電磁線圈通電
- ◆任一後備急停導引閥通電，即產生急停



BACK-UP SCRAM VALVE LOGIC

6. 後備急停閥(Back-up Scram Valve)



圖6 後備急停閥

7. ARI替代插棒系統 (Alternate Rod Insertion System)

替代插棒系統由四只ARI電磁閥構成，簡稱為四閥結構，安裝在急停空氣管路上

- ◆ 一只三通ARI電磁閥安裝在空氣集管上，在接受到ARI動作信號(反應爐高壓力1115psig或二階水位-76cm)時，三通閥賦能動作，隔離供應空氣並將空氣集管中的壓力釋放掉
- ◆ 空氣集管連接HCU分為兩串分支管，在每一串分支各裝設一只二通ARI電磁閥，在接受ARI動作信號時，二通閥動作，加速將HCU處空氣管路中壓力釋放掉
- ◆ 在空氣集管供氣至SDV洩水閥及排氣閥之空氣管路上安裝一只二通閥，在接受到ARI動作信號時，二通閥賦能動作，加速將靠近洩水閥及排氣閥處空氣管中壓力釋放掉

替代控制棒插入(ARI)

為預期暫態未急停(ATWS)的功能

- 不具安全有關的功能，但喪失所有廠外電源時仍要能執行其功能

為液壓插入的另一種方法(與RPS是相互獨立)

- ARI的感測器與電源與RPS的部分相互獨立

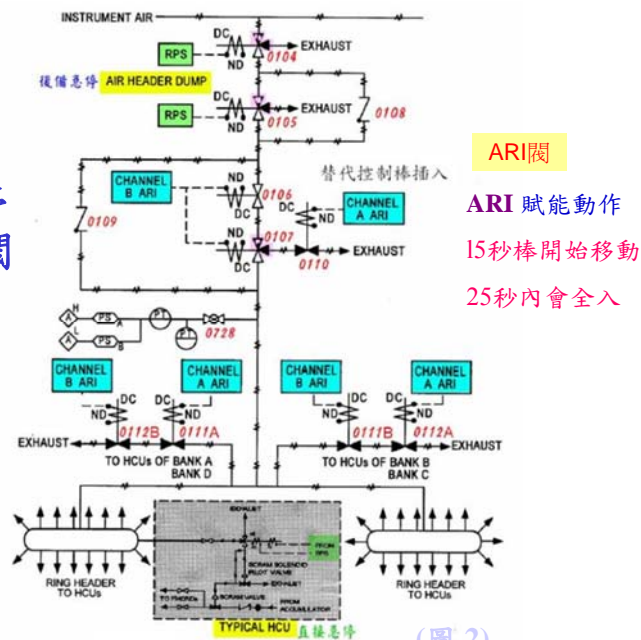
可自動或手動起動

- 自動信號為反應爐高壓力或低水位(L-2)
- 手動信號為“RRCS”動作按鈕

空氣集管上的ARI排氣急停導引閥為DC操作

動作開始，控制棒15秒開始移動，25秒內全入

RRCS 急停
空氣集管/閥



貳、反應爐保護系統動作邏輯

1. 重複二選一邏輯

- (1) 兩個RPS控道A及B，每一控道再分為兩個支控道即A1、A2與B1、B2
- (2) RPS A及B同時各有一支控道跳脫時，急停才能達成。否則只有各別的半急停
- (3) 每個能使反應爐急停的參數，最少應有四個相同的感測元件
- (4) 同一急停參數，在每個支控道邏輯電路上，都應有其感測元件的相關接點
- (5) 所有能造成急停的運轉參數，正常運轉時都在設定點以下，各感測元件電驛(Sensor Relay)均在通電狀態

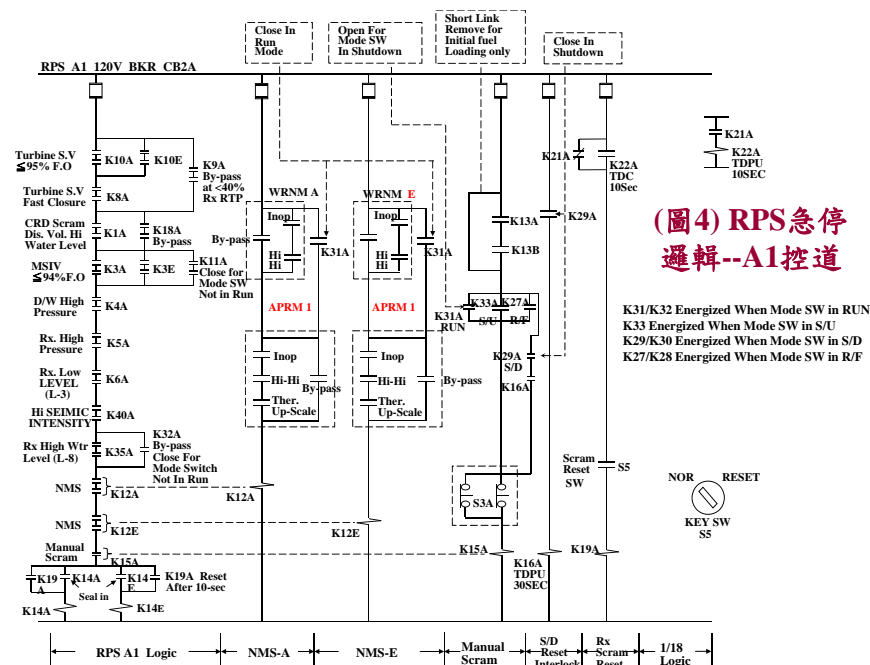
貳、反應爐保護系統動作邏輯

4. 反應爐保護系統的急停邏輯

兩組獨立特性全同的邏輯控道(RPS A&B)，
每一控道又分兩支控道A1、A2及B1、B2

□急停的自保(Seal-in)原則：

- ◆自保：急停電驛動作，其自保接點(K14A~H)開啟，維持在急停狀態，需手動復歸。
- ◆復歸限制：一對接點(K19A~D)與自保接點並聯，急停後反應爐最快10秒後，才能復歸急停電驛，以保障全部控制棒能完全插入



參、急停信號及急停理由

一、汽機節流閥未全開

□急停信號：汽機節流閥 $\geq 5\%$ 關度

- ◆考慮熱膨脹會改變閥和開關的相對位置。
- ◆四個節流閥，每閥有兩個位置開關，任一位置開關，均可提供到RPS邏輯。

□急停理由：

- ◆熱功率 $\geq 40\%$ RTP時，T.V關閉，預期將失去熱沈而早點急停
- ◆緩和汽機跳脫後若無蒸汽旁通閥,亦不違反MCPR值，以保障燃料安全。

參、急停信號及急停理由

二、汽機控制閥快速關閉

□急停信號：汽機控制油降至 $< 70.3\text{kg/cm}^2(1000\text{psig})$ 。

- ◆正常運轉時，此四閥依爐壓調整汽機出力，故控制閥稍變就急停是不切實際
- ◆若油壓突降至此設定點，顯示汽機跳脫，在較高功率，預期反應爐將喪失熱沈

□急停理由：同汽機節流閥

參、急停信號及急停理由

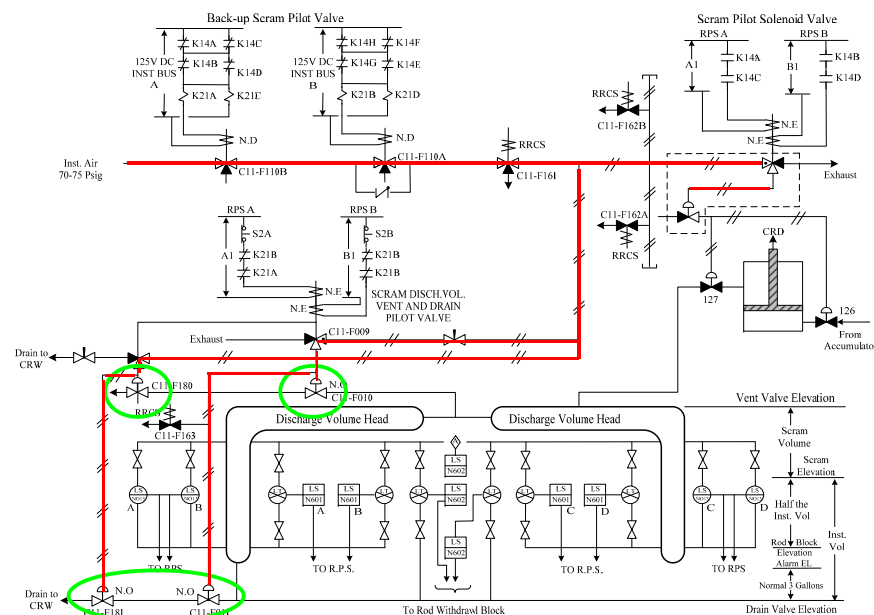
三、急停洩放容器過高水位

□ 急停信號：SDV水位相當於廠房高度

10.30ft(約41.2加侖)

□ 急停理由：

- ◆ 保障SDV有足夠容量容納急停之排水
- ◆ 如無足夠容量，將影響急停能力



急停閥及洩放容器圖

參、急停信號及急停理由

四、主蒸汽管隔離閥未全開

□ 急停信號：主蒸汽管隔離閥 $\geq 6\%$ 關度

◆ 考慮熱膨脹改變閥和開關相對位置

◆ 八個MSIV，每個閥有兩個位置開關

◆ 每個支控道有兩個併聯的接點，兩個接點皆通才會動作(半急停)

□ 急停理由：儘快抑制因閥關閉所引起之爐壓及中子通量急升，以保障燃料安全

參、急停信號及急停理由

五、乾井高壓力

□ 急停信號：乾井壓力 $\geq 0.122\text{kg/cm}^2$ (1.74psig)。

□ 急停理由：

- ◆ 表示乾井內管路已破漏
- ◆ 立即急停可降低燃料破損機會
- ◆ 減少加入冷卻水的能量

參、急停信號及急停理由

六、反應爐高壓力

□ 急停信號：反應爐壓力 $\geq 74.76 \text{ kg/cm}^2$ (1063psig)

□ 急停理由：

- ◆儘快抑制高中子通量和高溫。
- ◆爐壓上升,中子通量上升，當爐壓升至設定點時自動急停，確保RPV不超壓
- ◆兼作高中子通量急停之後備保護

參、急停信號及急停理由

七、反應爐低水位

□ 急停信號：反應爐第三階水位(L-3,30.5cm)

□ 急停理由：終止功率產生，以防在低水位運轉，無法保持足夠存水來冷卻及淹蓋爐心燃料，而超過安全分析界線。

八、反應爐高水位

□ 急停信號：反應爐第八階水位 (L-8, 132cm)

□ 急停理由：抵消大量相當冷的飼水非預期打進反應爐，對反應度的影響。

參、急停信號及急停理由

九、中子偵測系統

□ 急停信號：參閱表1A/1B

□ 急停理由：

- ◆WRNM 週期過高：防止反應爐中子通量增加率過快
- ◆APRM中子通量過高($\geq 15\%$ of RTP)：在低爐心流量及壓力下，提供適當最小臨界功率比 (MCPR) 餘裕，保護燃料完整。
- ◆APRM中子通量過高：基於適當安全極限餘裕，提供適當的MCPR餘裕，保護燃料完整。
- ◆APRM以再循環驅動水流量偏壓：基於適當的安全極限餘裕，兼避雜訊引起不必要急停，故含六秒時間常數。

表.1A WRNM 跳脫功能一覽表

RANGE	R0			R1~R10			RUN
Function	ANN	阻棒	RPS	ANN	阻棒	RPS	ANN
PERIOD HI	√	√		√	√		√
PERIOD HI-HI	√			√		√	√
INOP TRIP	√	√		√	√	√	√
INOP ALARM	√			√			√
LCR D/S	√	√					√
LCR HI Non-Coin only	√	√					
LCR HI-HI Non-Coin only	√		√				

備註：1. RUN MODE 時 RPS 及阻棒訊號自動 BYPASS，僅有警報功能
2. LCR HI 及 LCR HI-HI 僅適用於 Non-Coin 模式
3. WRNM 自動切換 RANGE，故 LCR D/S 僅發生於 R0

表.1B APRM 支系統急停跳脫功能

支系統 (控道數)	跳脫單元	跳脫條件	跳脫 功能	自動 旁路
APRM(4)	INOP	1.LPRM輸入少於19 2.模組未插入 3.開關不在OPERATE位置	急停	無
	Neutron Flux-High (set down)	$\geq 15\%$ of Rated Thermal Power	急停	RUN
	Neutron Flux-High 1) Low Flow Configuration 2) High Flow Configuration 3) High Flow Clamped	(中子通量) 0.98W+51.1% of RTP 0.65W+69.8% of RTP 118% of RTP	急停	Rx主開 關不在 “RUN”
APRM(4)	Flow Biased Simulated Thermal Power-High(熱功率)		急停	Rx主開 關不在 “RUN”
	1) Low Flow Configuration 2) High Flow Configuration 3) High Flow Clamped	0.98W+49.2% of RTP 0.65W+62.9% of RTP 111% of RTP		

註:RTP(Rated Thermal Power):額定熱功率

參、急停信號及急停理由

十、反應爐主開關在“停機”位置(手動急停)

□ 急停信號：手動將反應爐主開關轉到 “S/D”位置。

參閱圖表

□ 急停理由：

◆提供後備手動急停

◆保障在S/D時，不能抽出控制棒

十一、手動急停按鈕(即手動急停)

□ 急停信號：RPS A及B各選一個按鈕，轉到 “Armed”位置並同時壓下。

□ 急停理由：運轉人員在預知反應爐不正常情況或自動急停失常時，可用手動急停。

參、急停信號及急停理由

十二、中子偵測系統(NMS)非偶合急停能力

□ 急停信號：

手動將急停電路上的短接鍵(Short Link)移除時及在1C35/1C36盤之BB-8/9及DD-8/9跨接移除，使LCR HI-HI動作邏輯恢復使用，NMS跳脫邏輯即變成為十四選一，即八個WRNM和六個APRM中，任一中子偵測支系統動作(包括WRNM及APRM的Hi Hi和INOP)，就會使反應爐急停。

□ 急停理由：

在爐心初次燃料裝填時，採用此種邏輯(取下短接鍵)，以確保燃料裝填工作人員之安全。

參、急停信號及急停理由

十三、強震急停系統

□ 急停信號：

位置	設定值	容許漂移上限 (OBE)
輔機廠房 一樓	H : 0.16G	H : 0.21G
	V : 0.17G	V : 0.22G
輔機廠房 三樓	H : 0.21G	H : 0.26G
	V : 0.19G	V : 0.24G

註：H水平向為L，T軸向；垂直向為V軸向。

跳脫設定值為震度5級。

□ 急停理由：

強化核能機組於強震時安全停機之可靠性，並增加民眾對核能電廠安全營運之信心。