

反應爐保護系統

INER PWR班

2015/10/14

1

學習目標

- 使學員瞭解反應爐保護系統之功能
- 使學員瞭解反應爐保護系統之運作
- 使學員瞭解反應爐保護系統之邏輯
- 使學員瞭解特殊安全設施之邏輯信號
- 使學員瞭解允許信號之邏輯

2015/10/14

2

課程大綱

- 反應爐保護系統流程
- 反應爐保護系統控制邏輯
- 特殊安全設施動作信號
- 允許信號

2015/10/14

3

一、設計目的：

- 為了確保反應爐一次系統之完整及避免危害電廠工作人員及附近民眾的健康與安全

2015/10/14

4

二、系統設計原則

- (一). **多重性**(Redundancy)：A/B串保護功能, 允許單一串故障，另任何重要參數均有多個儀器測定
- (二). **獨立性**(Independence)：測定的每個控道及保護的每個邏輯串，其所在位置及電氣設備均相互獨立，用以確保單一故障時，只能中斷或影響相關一個控道或邏輯串，不致影響整個保護系統功能
- (三). **互異性**(Diversification)：以 ΔT 與NIS測定反應爐功率

2015/10/14

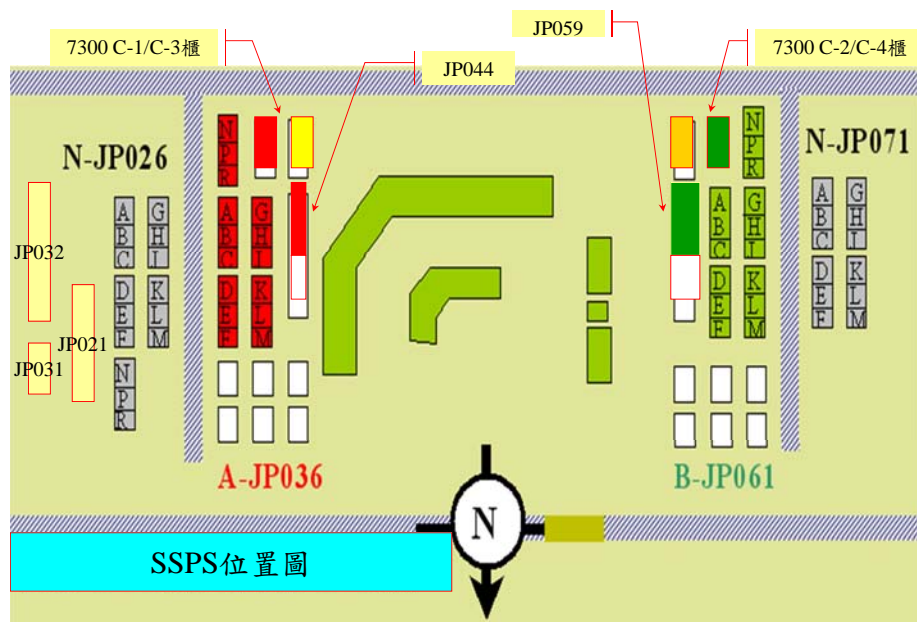
5

二、系統設計原則

- (四). 故障時趨向於安全之動作(Fail Safe):保護系統的設計，故障時會發出一安全訊號。例如，雙穩態電路(Bistable)斷電時，送出一跳脫訊號至保護邏輯電路
- (五). **可測試性**:測試不會跳機及失去保護功能
- (六). 控制系統不致影響保護系統之可靠性

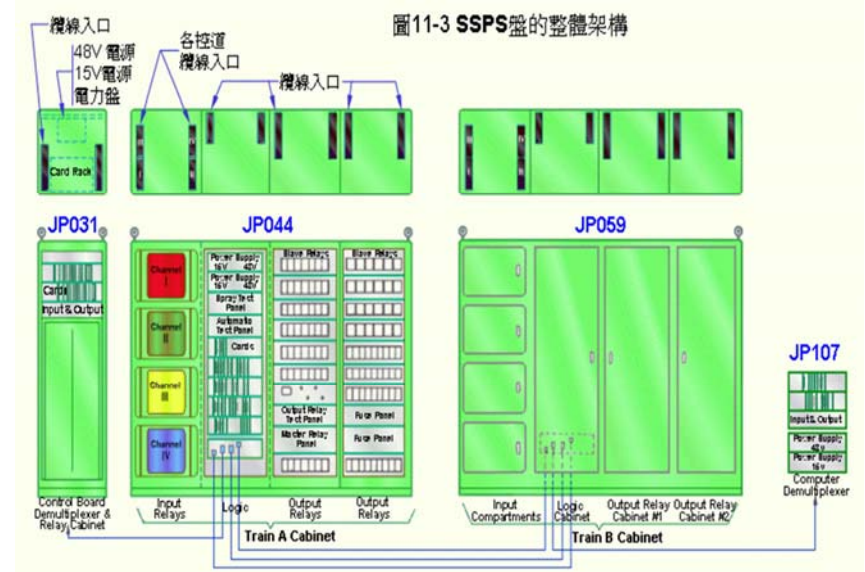
2015/10/14

6

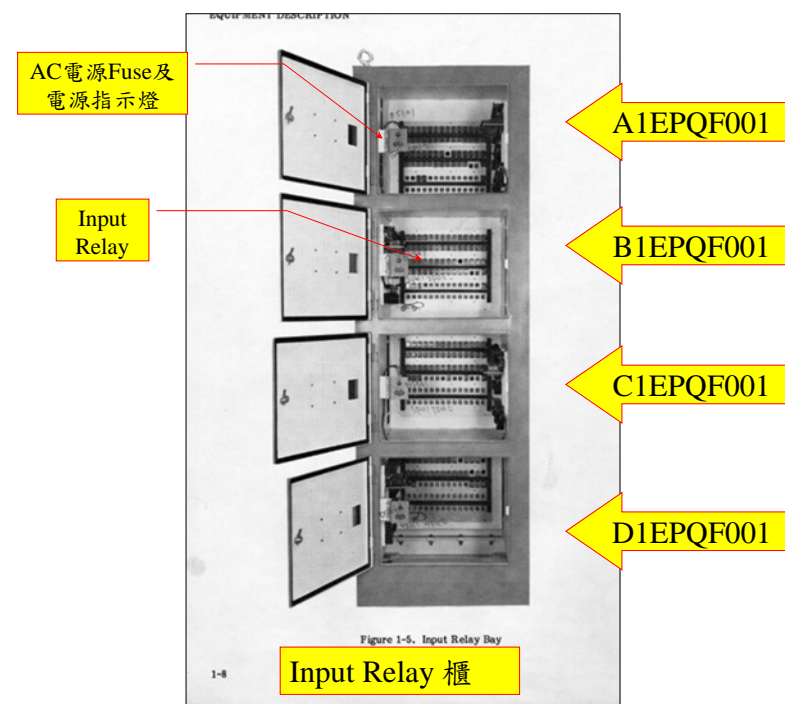
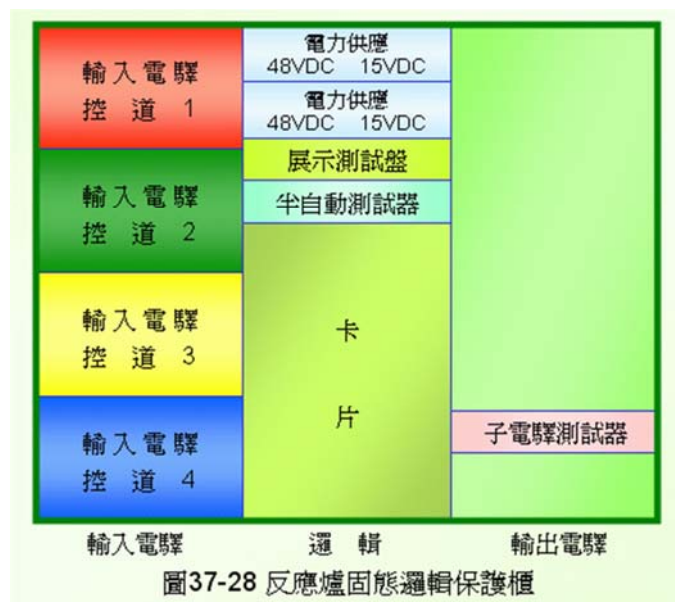
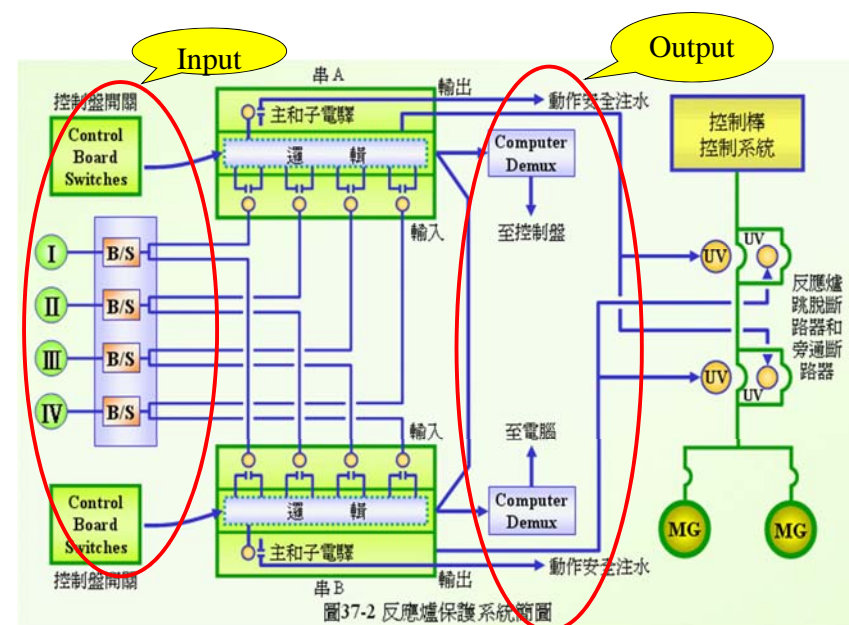
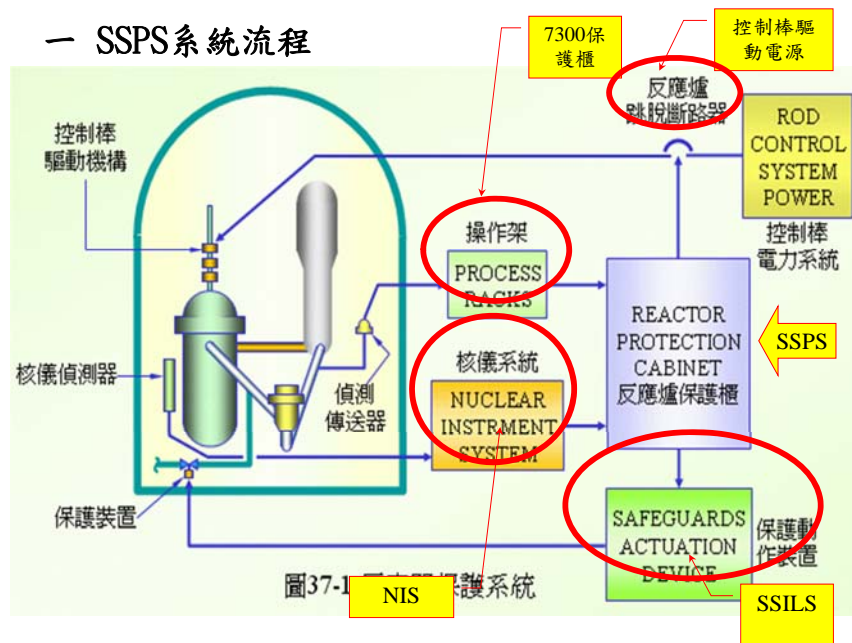


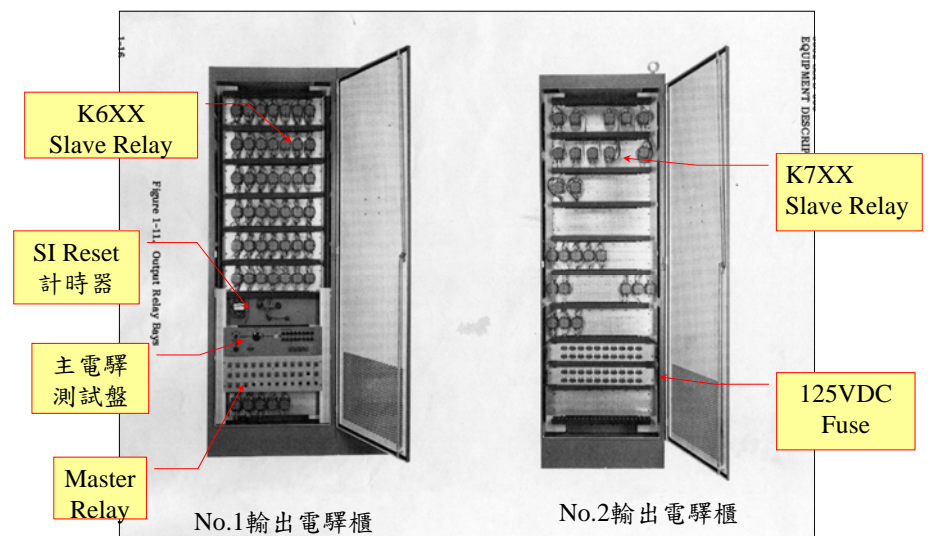
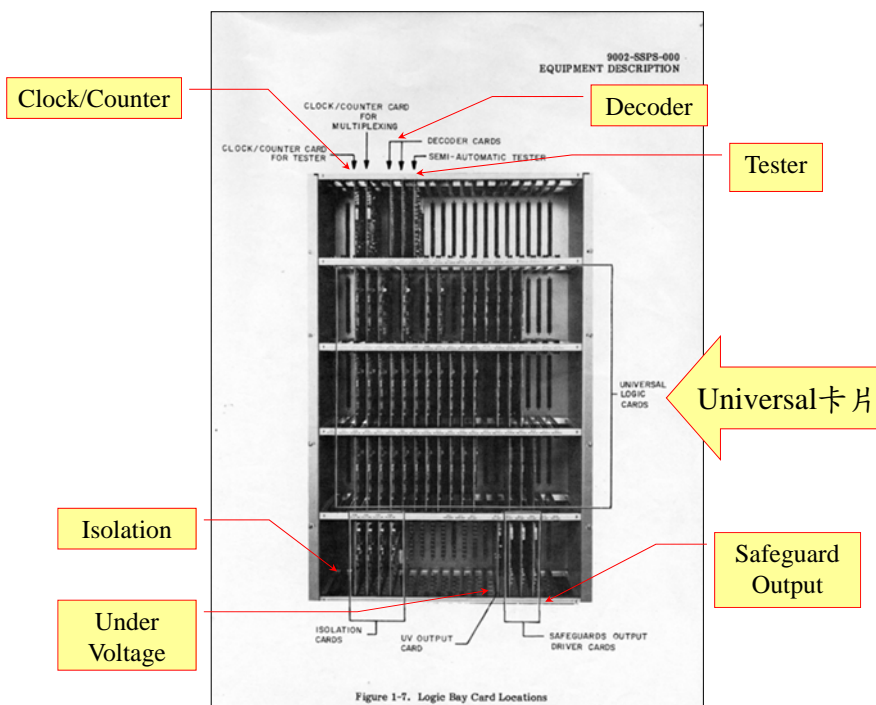
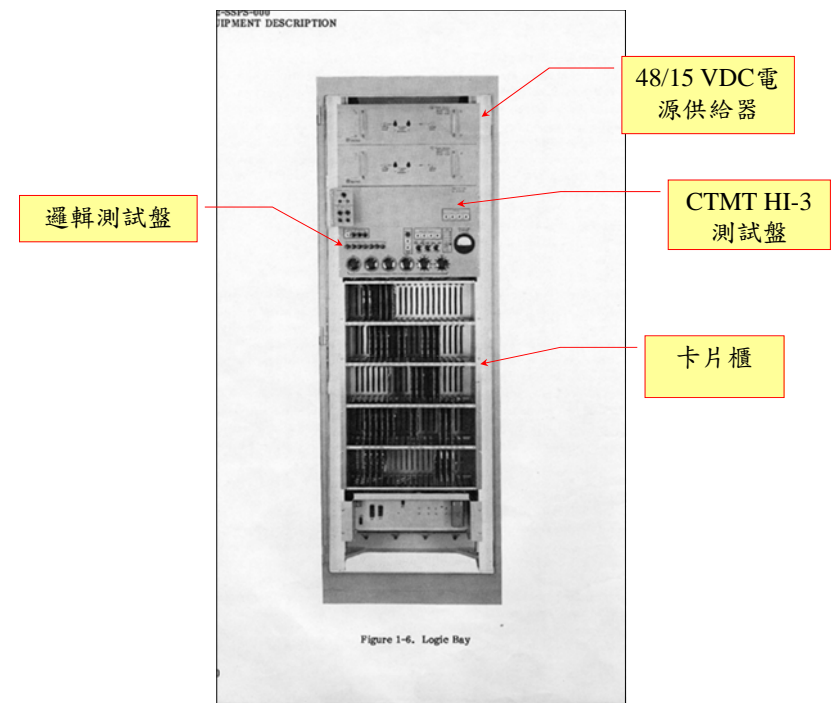
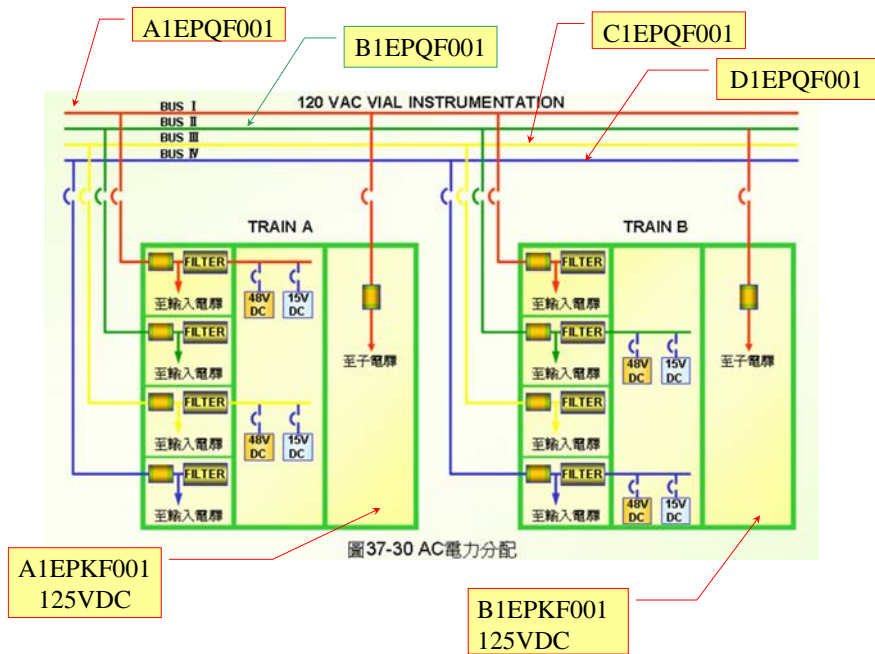
2015/10/14

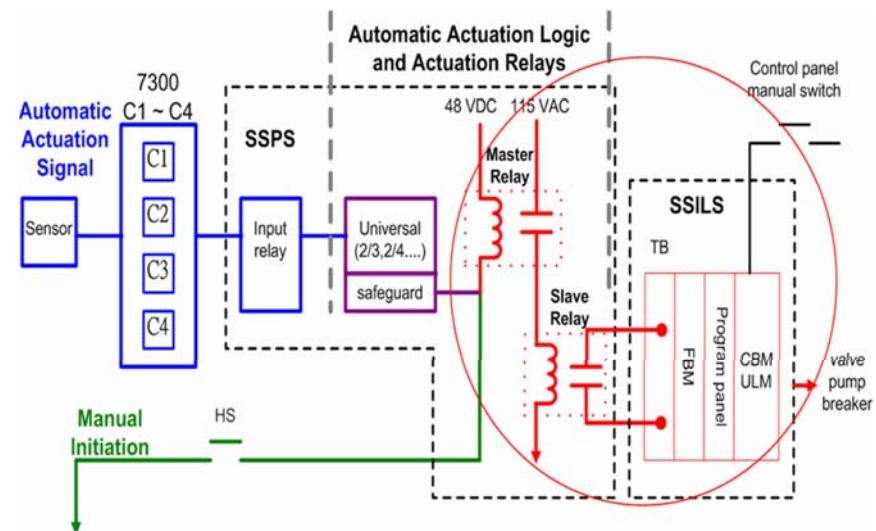
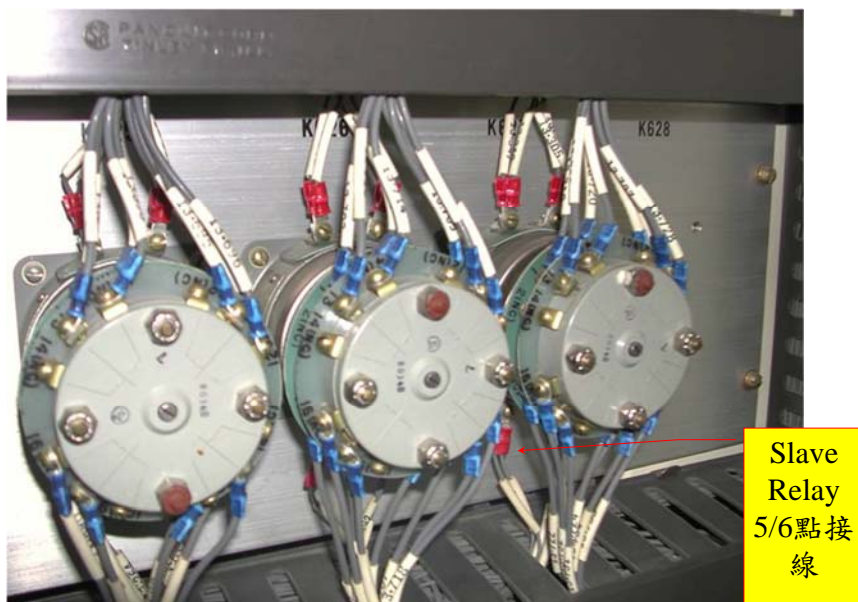
7



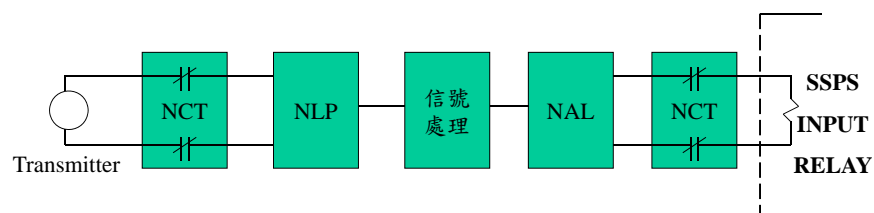
一 SSPS系統流程







7300流程處理



SSPS的輸入信號:

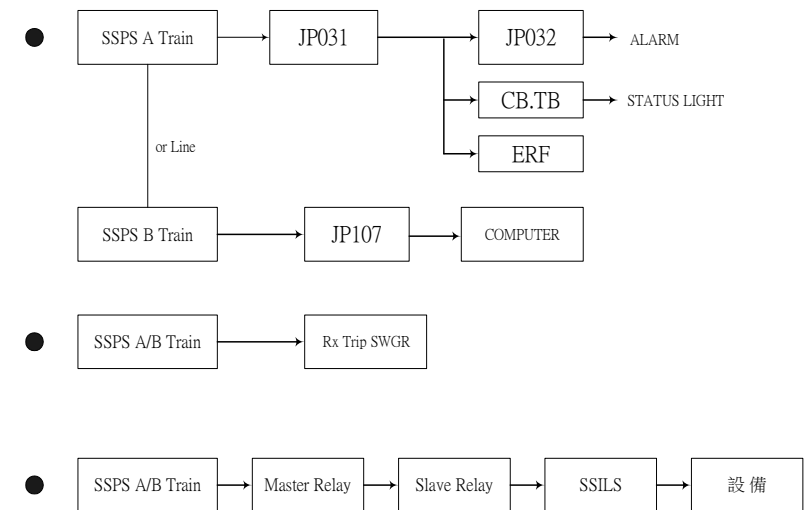
- a. 電廠流程儀器的雙穩態輸出信號 (7300 保護櫃NAL卡片)
- b. 爐外中子偵測儀器的雙穩態輸出信號 (NIS Bistable)
- c. 現場接點 (如RCP低電壓、低頻率動作電驛接點、MSV開關接點)
- d. 控制盤開關 (如SA-HS-313/314...等)。

- 固態保護系統(SSPS)保護的輸出功能分成三類：
 - a. 反應器跳脫。
 - b. 特殊的保安設施 (engineered safety feature)
如SI、MSIS等信號
 - c. 設備的保護及控制
- 固態保護系統(SSPS)監視的輸出功能(邏輯櫃)
由多工線傳送到：
 1. 控制盤解多工器櫃 (JP031) 的解多工器
 2. 電腦盤解多工器櫃 (JP107) 的解多工器。

2015/10/14

21

4. OUTPUT



- 邏輯櫃的邏輯卡片，把由輸入電驛傳來的信號，經過邏輯判斷，而產生適當的輸出控制信號後，送出信號動作輸出電驛櫃的主電驛、或動作反應器跳脫斷路器。

2015/10/14

23

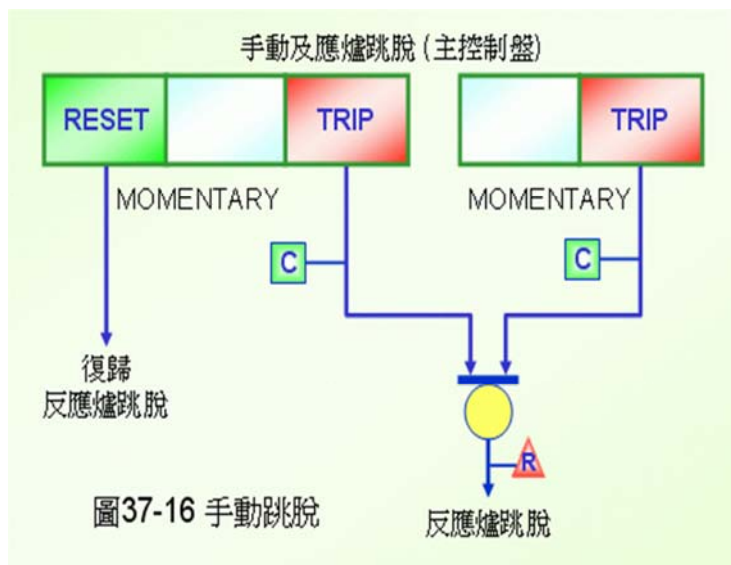
A、反應器跳脫信號

一、手動跳脫(Manual Trip)

- 運轉員判斷:依機組運轉狀況需要,及時跳脫

2015/10/14

24



二、安全注水(Safety Injection)訊號

- 訊號來源：
 - 1) 調壓槽低壓力,設定值是129.7 kg/cm² 或
 - 2) 圍阻體高壓力,設定值是0.22 kg/cm² 或
 - 3) 手動動作訊號
- 安全注水訊號產生時,意味著一次或二次管路有較大破裂事故,跳脫反應爐可確保爐心燃料之完整性,防止事故擴大

2015/10/14

26

三、固態保護系統一般警告訊號(General Warning)

- 若兩串固態保護系統(SSPS)同時產生一般警告,即跳脫反應爐
- 兩串保護系統保護功能故障,跳脫反應爐可確保運轉安全

2015/10/14

27

- 若下列的情況發生於任一串固態保護系統(SSPS),則一般警告產生：
 - a. 在測試模式
 - b. 失去AC電源
 - c. 拔出了電路板
- 若另一串亦隨後發生一般警告,則兩串的UV線圈失電,造成反應器急停。

2015/10/14

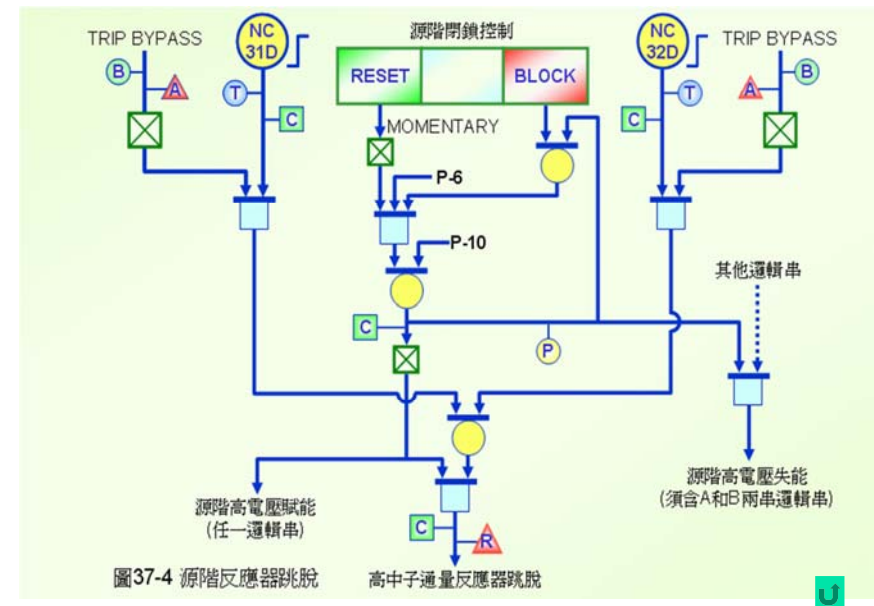
28

四、源階高通量跳脫

- 設定點: 10^5 cps
- 防止不明的反應度增加造成反應爐功率突升
- 二選一邏輯
- 反應爐跳脫信號可以手動閉鎖(與P-6連鎖)
- 反應爐跳脫信號將自動閉鎖(與P-10連鎖)

2015/10/14

29

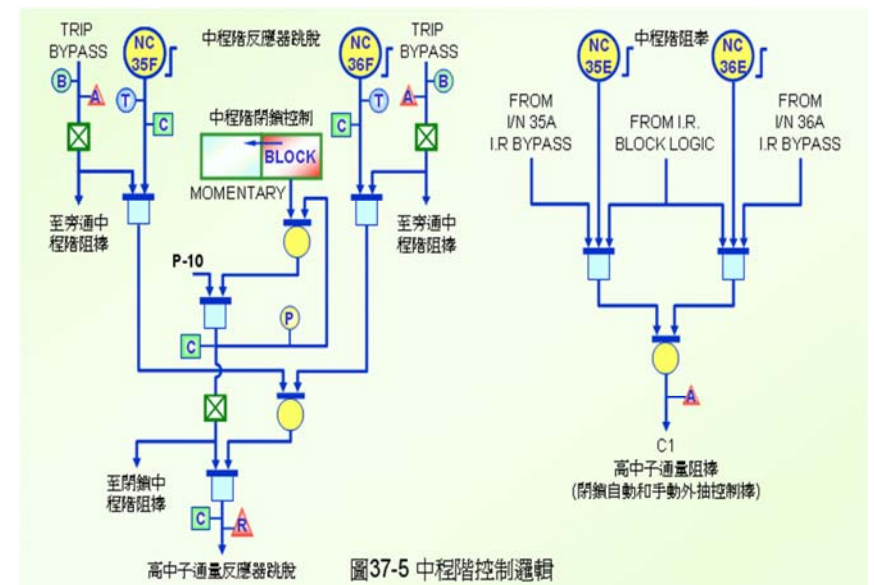


五、中程階高通量跳脫

- 設定點:相當於25%功率之電流(相當於 6×10^{-5} amp)
- 防止不明的反應度增加造成反應爐功率突升
- 二選一邏輯
- 反應爐跳脫信號可以手動閉鎖(與P-10連鎖)

2015/10/14

31



六、功率階高通量(低設定點)

- 設定點: 25%功率
- 防止反應爐起動升載過程反應度突然增加造成過功率
- 四選二邏輯
- 反應爐跳脫信號可以手動閉鎖(與P-10連鎖)

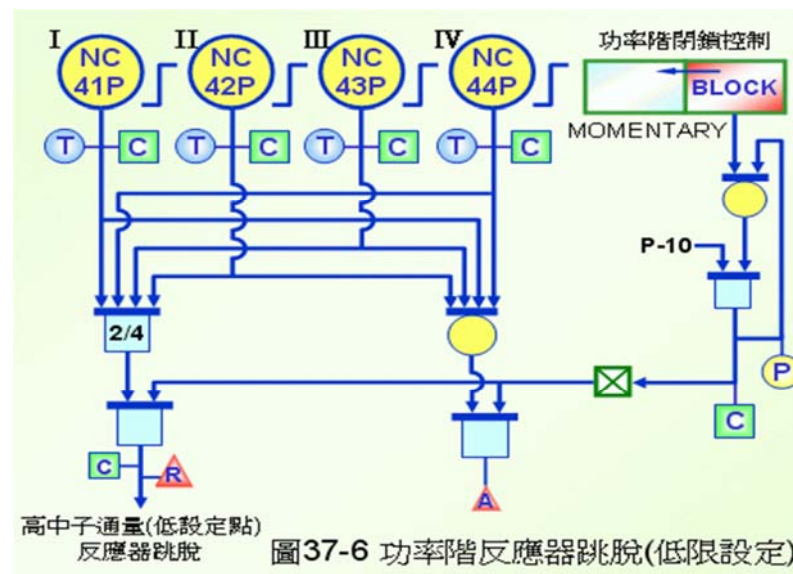


圖37-6 功率階反應器跳脫(低限設定)

七、功率階高通量(高設定點)

- 設定點: 109%功率
- 防止反應爐滿載功率運轉時反應度突然增加,爐心因過量熱通量導致沸騰現象
- 四選二邏輯
- 不能被閉鎖

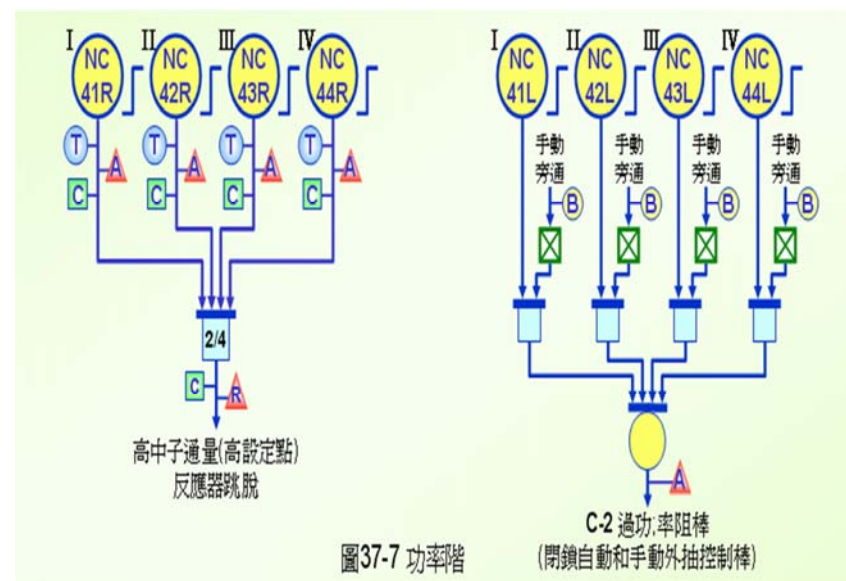


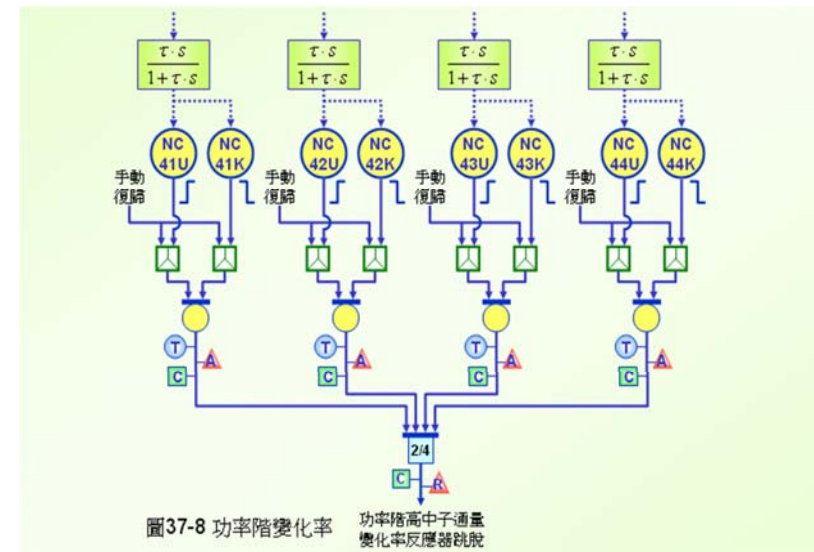
圖37-7 功率階

八、功率階高通量正變化率

- 設定點: +5% / 2sec
- 用以保護因控制棒射出造成正反應度突增之事故
- 四選二邏輯
- 此跳脫訊號一旦產生,運轉員需轉動復歸開關至復歸(Reset)位置,跳脫訊號才會消失

2015/10/14

37



九、功率階高通量負變化率

- 設定點: -35% / 2sec
- 保護因多支控制棒掉落造成負反應度突增之事故
- 四選二邏輯
- 此跳脫訊號一旦產生,運轉員需轉動復歸開關至復歸(Reset)位置,跳脫訊號才會消失

2015/10/14

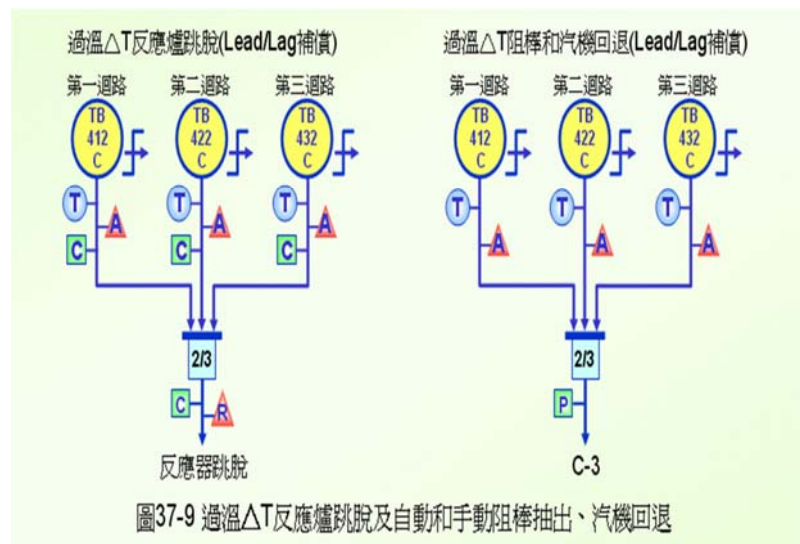
39

十、反應爐過溫 $\Delta T(OT\Delta T)$ 跳脫邏輯

- 設定值:為一變數值(依 T_{AVG} 壓力與 ΔI 而異),即是 137.8% \pm Penalty
- 保護功能:防止爐心溫度過高,產生沸騰現象
- 三選二邏輯
- 若計算出設定值達低於 $OT\Delta T$ 跳脫設定點3%,則產生 C-3阻棒(手動或自動)及汽機回退(Run Back)訊號,預先防止爐心過溫跳脫

2015/10/14

40

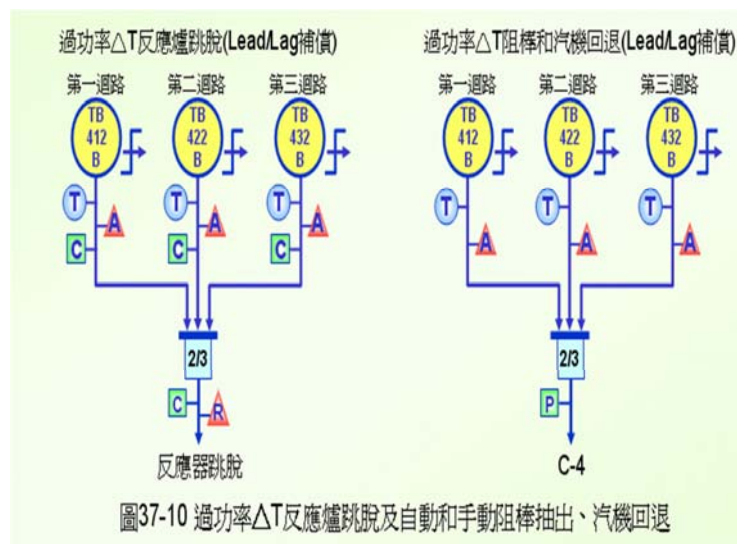


十一、反應爐過功率 ΔT (OP ΔT)跳脫邏輯

- 設定值是一變數值(依 T_{AVG} 與 ΔI 而異，但 ΔI 項設定為零)即是109.2% - Penalty
- 保護功能:防止燃料棒功率密度(KW / ft)過高,損害燃料棒或其護套
- 三選二邏輯
- 若計算出設定值達低於OP ΔT 跳脫設定點3%,則產生C-4阻棒(手動或自動)及汽機回退(Run Back)訊號,預先防止爐心燃料過功率跳脫

2015/10/14

42

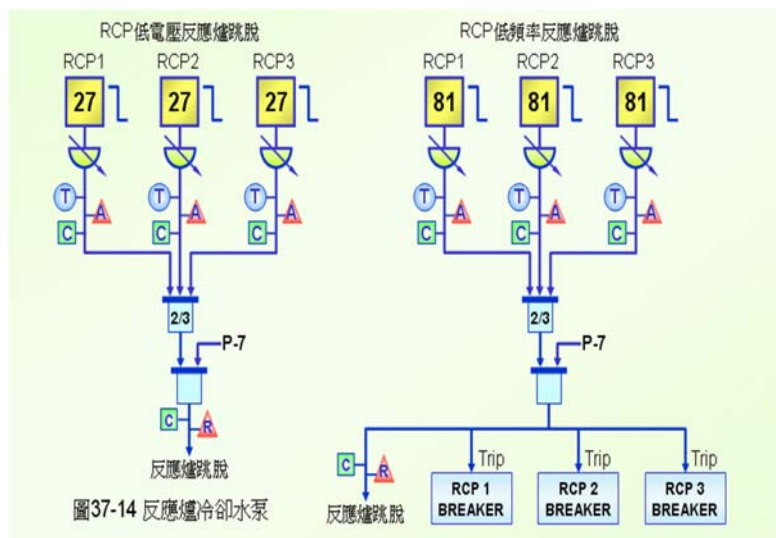


十二、R.C.P馬達電源低電壓

- 設定值: R.C.P馬達電源匯流排喪失,電壓降低至正常電壓之76%且超過0.7秒
- 保護目的:防止爐心DNB
- 三選二邏輯,三台RCP匯流排低電壓電驛(27)
- 功率在P-7(10%)以下時,自動旁通該跳脫信號

2015/10/14

44



十三、.R.C.P馬達電源低頻率

- 設定值: R.C.P馬達電源匯流排頻率降至低於57.5赫且超過0.2秒
- 保護目的:馬達運轉在低頻下,整個轉動慣量在水泵因故跳脫後造成減速時間縮短,未能移除爐心熱量
- 三選二邏輯,三台RCP匯流排低頻率電驛(81)
- 功率在P-7(10%)以下時,自動旁通該跳脫信號

2015/10/14

46

反應爐冷卻水低流量跳脫

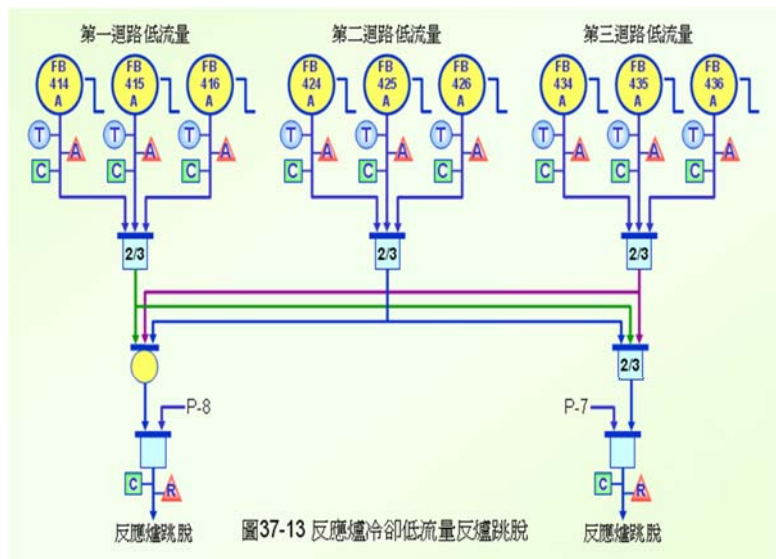
- 保護目的:防止爐心產生沸騰現象
- 三種方法感測低流量:
 - 測定反應爐冷卻水迴路之流量
 - 感測R.C.P馬達電源低電壓
 - 感測R.C.P馬達電源低頻率
- 當功率10%以下時均由P-7自動旁通,因在10%功率以下時,RCS自然循環足以冷卻反應爐之爐心

2015/10/14

47

十四、RCS迴路低流量

- 設定值: 任一RCS迴路流量低於90%
- 三選二邏輯,流量控道:FT-414,415,416(LOOP-1); FT-424,425,426(LOOP-2); FT-434,435,436(LOOP-3)
- 功率在P-7(10%)以上時,任二迴路有低流量跳脫訊號,即跳脫反應爐
- 功率在P-8(30%)以上時,任一迴路有低流量跳脫訊號,即跳脫反應爐

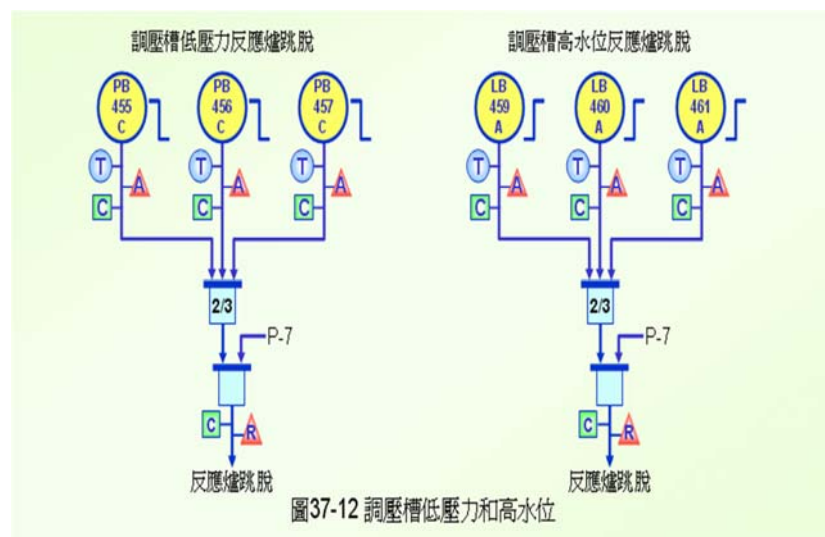


十五、調壓槽低壓力跳脫

- 設定值: 136.8 kg/cm^2
- 目的: 防止反應爐冷卻水系統(RCS)因低壓力造成沸騰，低壓力保護亦用來限制OTΔT跳脫範圍
- 三選二邏輯, 壓力控道是: BB-PT455, PT-456, PT-457
- 當反應爐功率低於10%時, 跳脫控道由P-7允許訊號自動旁通, 使不致影響正常停機

2015/10/14

50

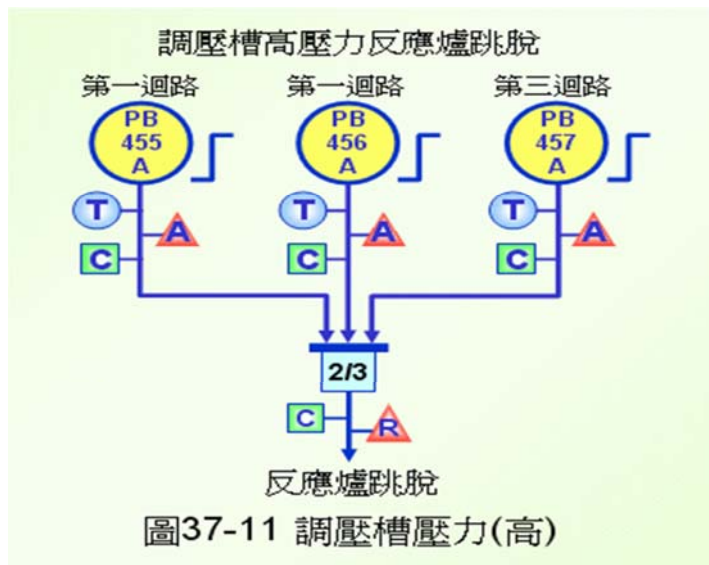


十六、調壓槽高壓力跳脫

- 設定值: 167.7 kg/cm^2
- 保護反應爐冷卻水系統及其附屬設備免於過壓力受損
- 三選二邏輯, 壓力控道是: BB-PT455, PT-456, PT-457
- 設定值比PORV自動開啟設定值(164.2 kg/cm^2)高, 係為避免反應爐不必要的跳脫

2015/10/14

52



十七、調壓槽高水位跳脫

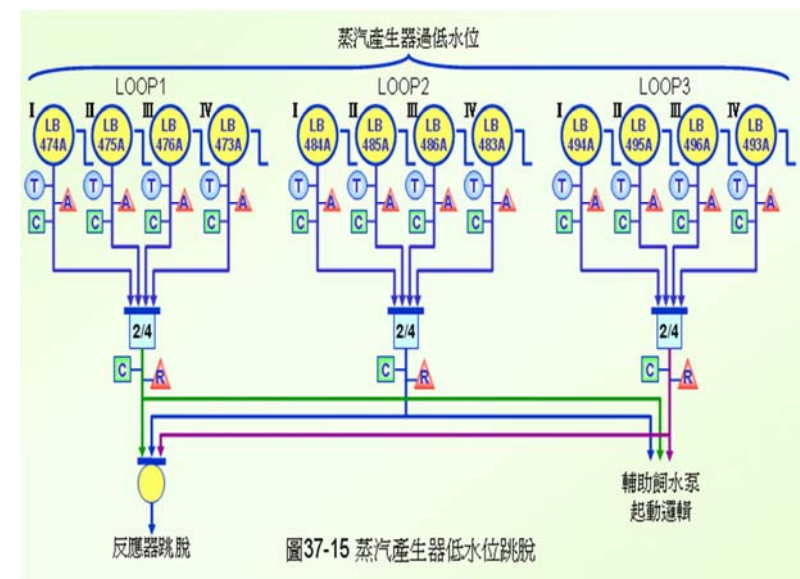
- 設定值: 92%水位
- 目的:保護調壓槽汽泡空間太小時,壓力突變引起安全釋放閥開啟,損壞閥座或釋放管路,安全閥自動開啟設定值是 174.7 kg/cm^2
- 三選二邏輯,水位控道是:BB-LT459,LT-460,LT-461
- 當反應爐功率低於10%時,跳脫控道由P-7允許訊號自動旁通,容許冷爐時反應爐試驗工作

2015/10/14

54

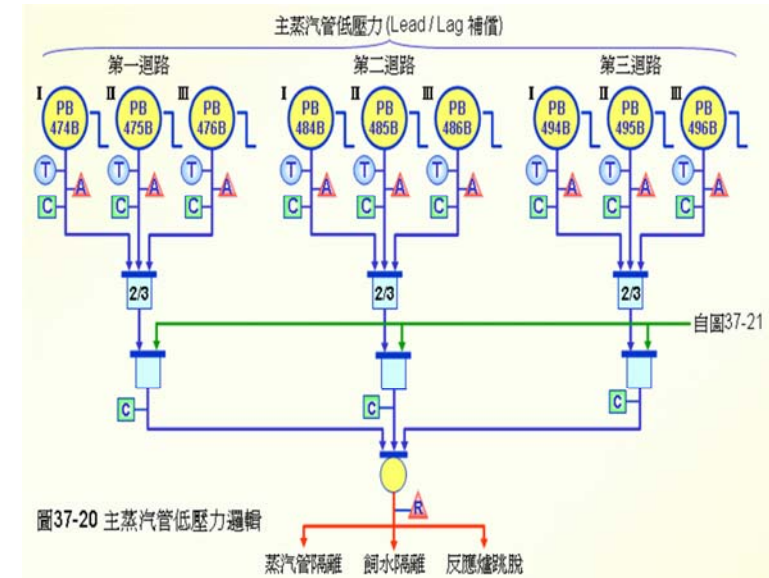
十八、蒸汽產生器過低水位跳脫

- 設定值: 任一S/G(1/3 LOOP)水位低於17%(窄幅)
- 保護目的:確保S/G仍有相當熱沉,可移除一次系統餘熱
- 四選二邏輯,水位控道:LT-473,474,475,476 (LOOP-1);LT-483,484,485,486 (LOOP-2);LT-493,494,495,496 (LOOP-3)
- 任一S/G(1/3 LOOP)產生過低水位跳脫訊號時,除跳脫反應爐外,同時亦送到輔助飼水泵起動邏輯



十九、主蒸汽管低壓力跳脫

- 設定值: 任一MSL(1/3 LOOP)41.14 kg/cm²
- 目的: 防止因主蒸汽管路破裂時引起主蒸汽壓力急遽下降;而造成一次側RCS之溫度與壓力過度變化
- 三選二邏輯, 壓力控道: AB-PT474,475,476(LOOP-1); PT-484,485,486(LOOP-2); PT-494,495,496(LOOP-3)
- 任一MSL(1/3 LOOP)產生低壓力時除跳脫反應爐外, 同時亦動作MSIV與FWIV隔離訊號
- 當調壓槽壓力低於137.1 kg/cm²(P-11賦能), 可手動閉鎖該動作訊號, 便於計劃性降壓/降溫。



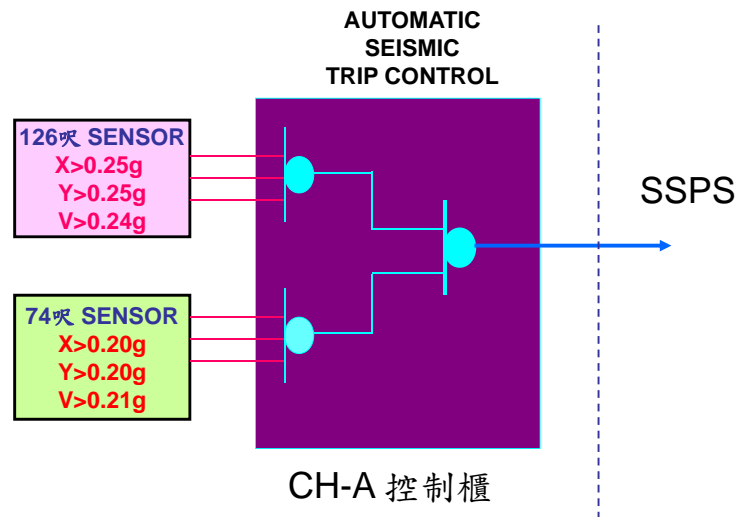
二十、汽機跳脫訊號

- 汽機跳脫訊號來源
 - 1) 取自汽機緊急跳脫液壓油系統(ETS), 油壓低於42.2 kg/cm²(三選二邏輯) 或
 - 2) 主汽機關斷閥(MSV)全關閉(四選四邏輯)
- 汽機跳脫訊號產生時, 若反應爐功率大於30%即跳脫反應爐, 以防止反應爐發生瞬間變化引起熱暫態問題

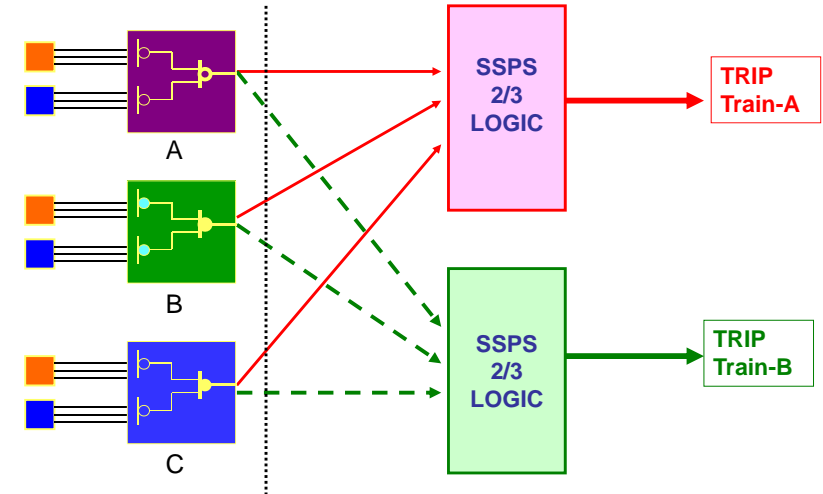
二十一. 強震急停:

- 強震急停系統為2/3邏輯
- 有3組監視儀器(每組含X、Y、Z方向各一個SENSOR)
- 信號分別送至A、B、C控制櫃
- 控制櫃輸出信號分別輸出到RPS的A串及B串
- 跳脫設定值為運轉基準地震(OBE)-0.05g

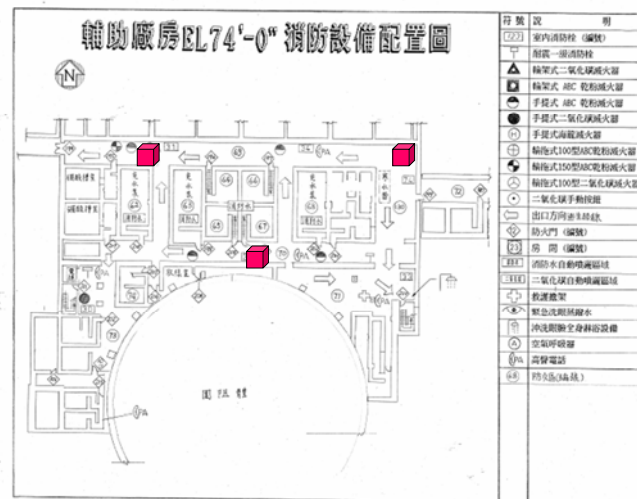
Channel A/B/C 方塊圖



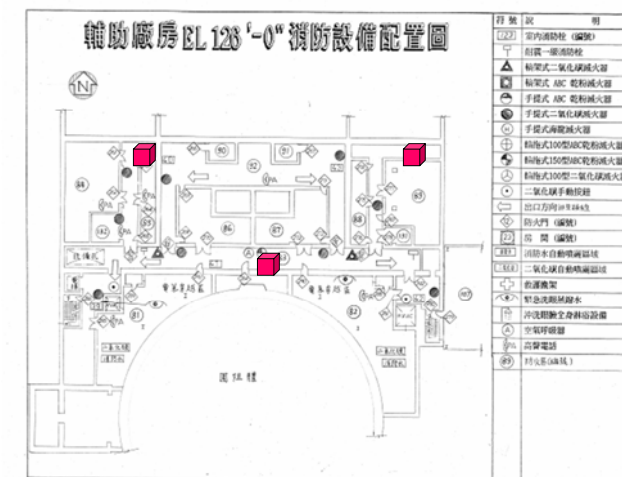
SSPS use 2/3 Logic to TRIP Rx.



A/B 74'



A/B 126'



B.特殊安全設施(ESFAS)動作訊號

1.圍阻體高壓力

- 圍阻體高壓力(HI-1)
 - 1) 設定壓力 0.22 kg/cm^2 ,三選二邏輯
 - 2) 產生S.I.和CIS-A訊號
- 圍阻體高壓力(HI-2)
 - 1) 設定壓力 0.92 kg/cm^2 ,三選二邏輯
 - 2) 產生主蒸汽隔離訊號

2015/10/14

65

- 圍阻體高壓力(HI-3)
 - 1) 設定壓力 1.27 kg/cm^2 ,四選二邏輯
 - 2) 產生圍阻體噴灑系統動作和CIS-B訊號
- 圍阻體設計壓力為 4.22 kg/cm^2
- 壓力訊號取自圍阻體壓力控道GN-PT950,951,952,953

2015/10/14

66

- Phase A圍阻體隔離(CIS-A)，功用是防止分裂產物外洩（將通至圍阻體與反應爐保護無關的的管路一律隔離。）
- Phase B圍阻體隔離(CIS-B)，功用是發生爐水流失事故（LOCA）或圍阻體內蒸汽或飼水高能管路斷裂時，防止放射性物質外洩。

2015/10/14

67

安全注水(SI)

- 跳脫反應爐。
- 開啟反應爐冷卻水系統各迴路冷端(Cold leg)管路注水隔離閥，以使硼液注入。
- 發生爐心失水事故時，起動各充水泵(Charging Pump)，各餘熱移除泵(RHR Rump)各相關之管閥，俾能緊急由RCS各迴路冷端管路注入補水。
- 起動圍阻體風扇冷卻器，提供事故後冷卻圍阻體內溫度及降低圍阻體內壓力以減少分裂產物自圍阻體外洩之衝擊。

2015/10/14

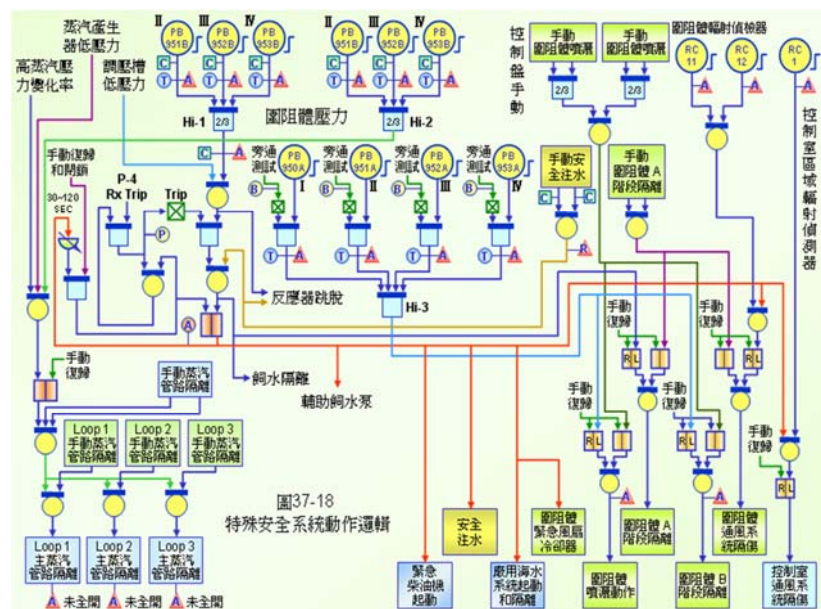
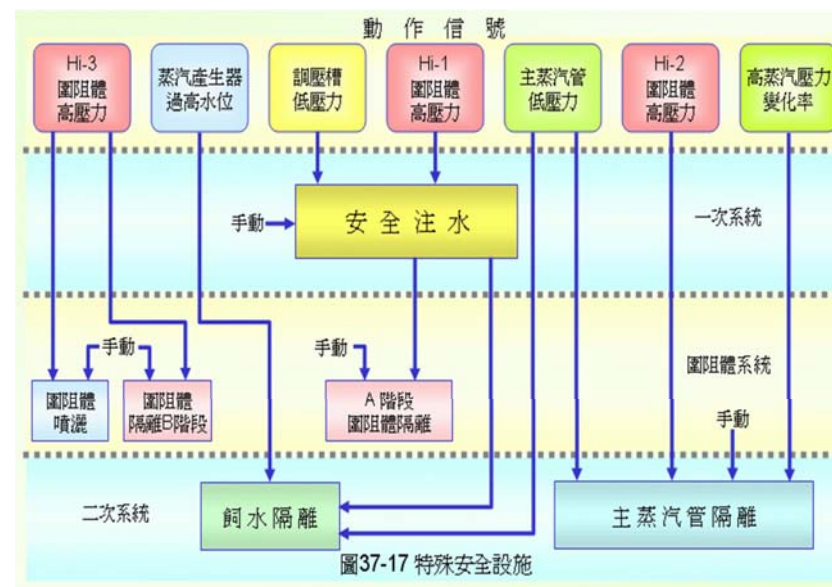
68

安全注水(SI)

- 起動每串核機冷卻水泵及廠用海水泵，供作圍阻體冷卻之熱沈。
- 起動兩台電動輔助飼水泵。
- 起動兩台緊急柴油發電機，作為緊急系統和相關設備組件之後備電源。
- 隔離控制室通風進口GK-HV124，以保證爐水流失事故（LOCA）發生後控制室的安全性。

2015/10/14

69

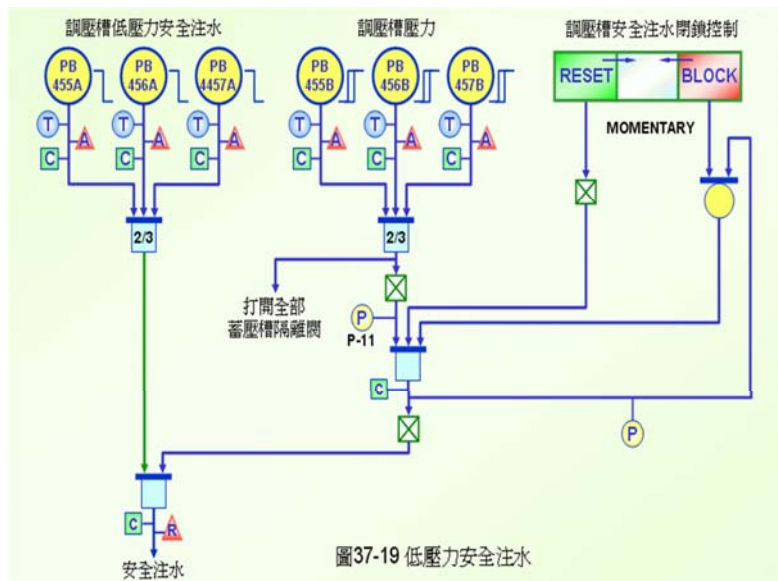


2. 調壓槽低壓力安全注水

- 設定值: 調壓槽壓力低達 129.7 kg/cm^2
- 目的: 保護發生爐水流失事故或主蒸汽大量排放事件(如主蒸汽管破裂等)
- 三選二邏輯, 壓力控道: BB-PT455, 456, 457
- 當壓力低於 137.1 kg/cm^2 時, 手動閉鎖 S.I, 以防止計劃性停機/降溫/降壓時產生不必要的安全注水動作

2015/10/14

72



3. 蒸汽壓力降壓率過高

● 設定值: 任一主蒸汽管路: $-7\text{kg/cm}^2/\text{sec}$

● 目的:

產生主蒸汽隔離閥(MSIV)隔離訊號, 俾防止主蒸汽管路破裂事件引起之暫態

2015/10/14

74

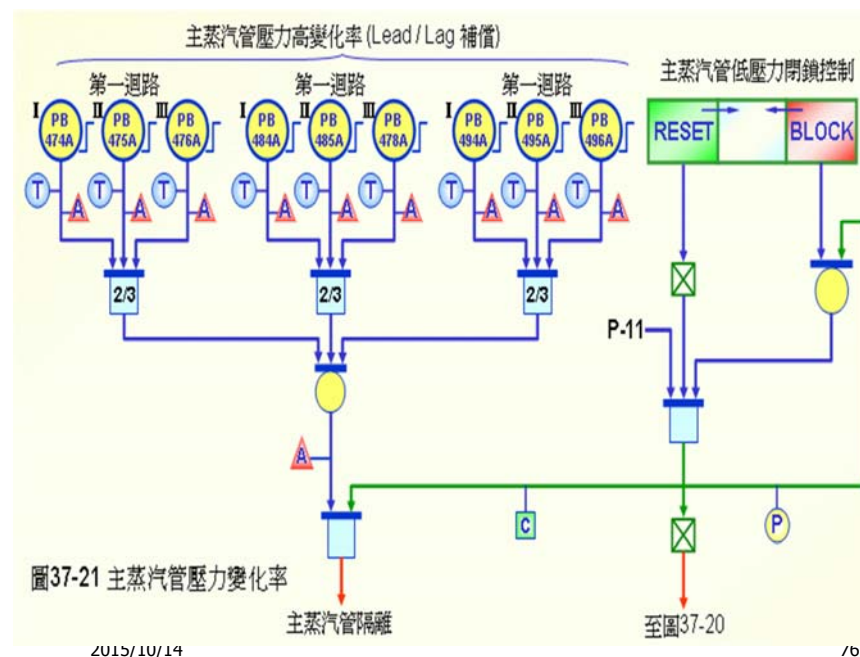
3. 蒸汽壓力降壓率過高

● 三選二邏輯, 壓力控道: AB-PT474, 475, 476 (LOOP-1); PT-484, 485, 486 (LOOP-2); PT-494, 495, 496 (loop-3)

● 當調壓槽壓力低於 137.1 kg/cm^2 (P-11賦能) 時, 已手動閉鎖主蒸汽管路低壓力隔離關閉主蒸汽隔離閥(MSIV)信號, 此後之主蒸汽管路破裂保護即依賴該裝置。

2015/10/14

75



2015/10/14

76

4. 蒸汽產生器過高水位(Hi-Hi)

- 設定值: 任一S/G水位高於78.1%
- 目的:
 - 防止S/G過高水位，造成主蒸汽挾帶水份，傷害主汽機葉片
 - 三選二邏輯,水位控道:AE-LT474,475,476(LOOP-1);LT-484,485,486(LOOP-2);LT-494,495,496(LOOP-3)
 - 跳脫主汽機與主飼水隔離閥關閉(FWIV)

2015/10/14

77

5. 主蒸汽管低壓力 (圖37-20)

- 設定值:任一主蒸汽管路壓力偵檢器(2/3控道)偵測到壓力低於41.14Kg/cm²
- 目的:
 - 主蒸汽管路破裂事故時，防止一次側冷卻水過度溫降
 - 計劃性停機/冷爐過程，會造成主蒸汽管路低壓力，故當調壓槽壓力低於137.1Kg/cm²，可手動閉鎖主蒸汽管路低壓力訊號

E. 其他安全功能

- 緊急柴油發電機自動起動訊號
 - 1) 供應之匯流排(Bus)低電壓 (LOV);或
 - 2) 安全注水 (S.I.)訊號時

2015/10/14

79

E. 其他安全功能

- 電動輔助飼水泵自動起動訊號
 - 1) 安全注水 (S.I.)訊號時;或
 - 2) 任一S/G過低水位; 或
 - 3) 四台主飼水泵皆跳脫;或
 - 4) A/B-PB匯流排低電壓+EDG BKR關閉;或
 - 5) AMSAC(預防ATWS動作線路)

2015/10/14

80

E. 其他安全功能

- 汽機驅動輔助飼水泵自動起動訊號
 - 1) 兩個或兩個以上S/G過低水位;或
 - 2) A/B-PB匯流排低電壓+EDG BKR關閉;或
 - 3) AMSAC

2015/10/14

81

五、允許訊號

- 提供手動或自動連鎖及旁通電路用。
- 允許訊號動作後，會顯示在允許訊號狀況顯示盤 (Permissive Status Panel)

2015/10/14

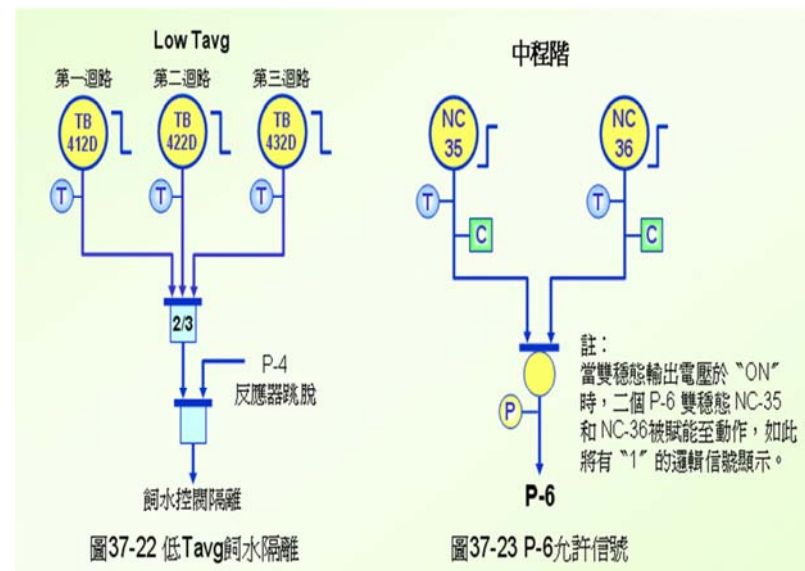
82

一、P-4允許訊號

- P-4允許訊號（訊號來自反應爐跳脫斷路器）有以下功能：
 - 容許手動復歸SI後閉鎖SI再自動動作。
 - P-4訊號來源，當任一反應爐跳脫斷路器及其旁通斷路器均打開時，P-4動作。

2015/10/14

83



二、P-6允許訊號（圖37-23）

- 允許閉鎖源階控道高中子通量反應器跳脫。
- 信號來自中程階控道之雙穩態。
- 任一中程階控道中子通量大於 10^{-10} Amp以上時，雙穩態電路即送出允許訊號，允許訊號狀態顯示盤“Power Above P-6”（功率高於P-6）燈亮。

2015/10/14

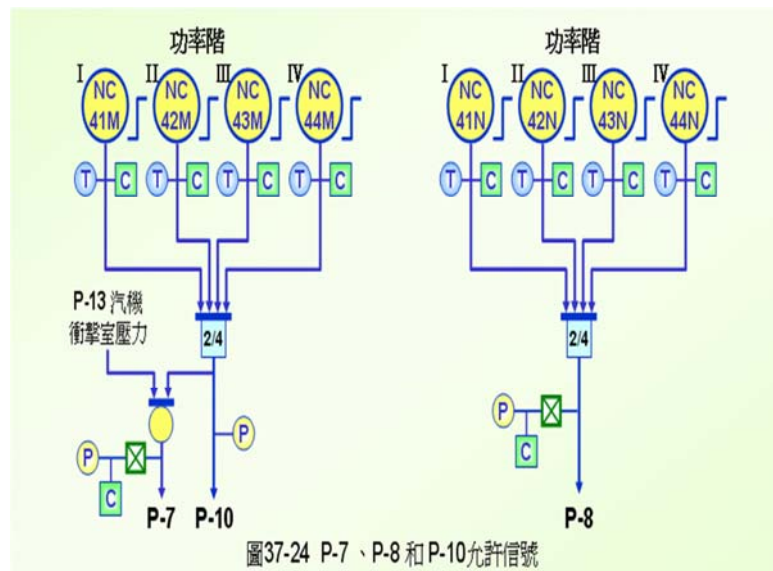
85

三、P-7允許訊號（圖37-24）

- P-7表示汽機功率(P-13)或反應爐功率(P-10)高於10%，訊號取自汽機第一級壓力(1/2)或功率階控道(2/4)。
- 反應爐起動或低功率運轉期間，有些反應器保護訊號不必開始作用以便機組起動/停機。
- 當機組功率超過10%，P-7允許訊號產生，則調壓槽高水位或低壓力，反應爐冷卻水低流量/RCP低電壓/低頻率跳脫反應爐之功能置於使用。

2015/10/14

86



四、P-8允許訊號（37-24）

- 當功率高於P-8設定點時，發生單一爐心冷卻水迴路低流量或汽機跳脫均會引起反應爐跳脫，設定點定在30%功率，訊號取自功率階控道（四選二邏輯）。

2015/10/14

88

五、P-10允許訊號（圖37-24）

- 反應爐起動過程，當功率階控道(2/4)達10%(P-10)，允許閉鎖中程階控道高中子通量跳脫，以及功率階控道高中子通量（低設定點）跳脫的信號。
- 作為P-6信號的後衛，自動閉鎖源階控道高通量跳脫信號。
- 提供信號至P-7。

2015/10/14

89

六、P-11允許訊號

- 因調壓槽低壓力會引起安全注水(SI)信號動作，因此，冷爐(降壓降溫)過程（當調壓槽壓力降至P-11設定點）可手動閉鎖安全注水及主蒸汽隔離信號。
- 訊號取自調壓槽壓力控道低於137.1Kg/cm²（三選二邏輯），可閉鎖安全注水及主蒸汽隔離信號
- 但若調壓槽壓力回復大於140.6Kg/cm²(三選二)，則先前已閉鎖之SI和主蒸汽隔離訊號會自動解除。

2015/10/14

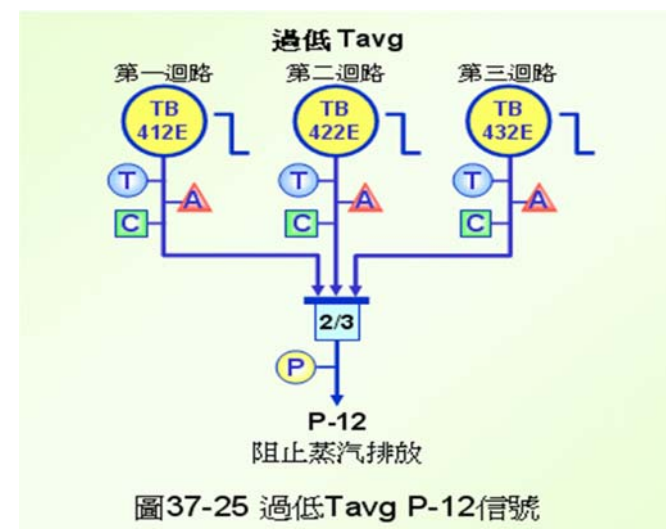
90

七、P-12允許訊號（圖37-25）

- 閉鎖各蒸汽排放閥(Steam Dump Valve)的開啟，避免一次系統水溫降至過低
- P-12訊號:取自各反應爐冷卻水迴路的溫度探測器(RTD)，當溫度低到Low-Low Tavg設定點287.8℃時（三選二邏輯），則產生P-12允許訊號。

2015/10/14

91



八、P-13允許訊號

- 汽機負載大於10%時，會提供允許訊號P-13作為P-7的另一輸入訊號。
- 該訊號取自高壓汽機進汽的第一級衝擊室壓力傳送器(AC-PT446/PT447)。

2015/10/14

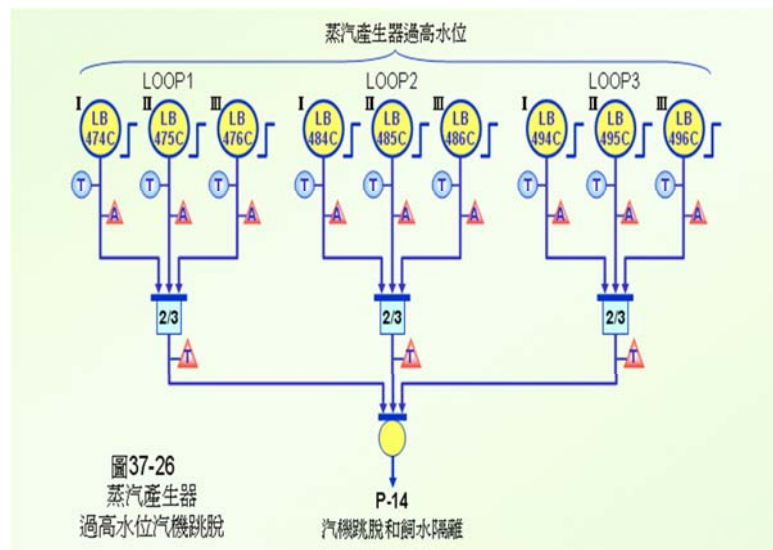
93

九、P-14允許訊號（圖37-26）

- 任一蒸汽產生器，其窄幅（Narrow Range）水位控道（三選二）高於78.1%時，“產生P-14允許訊號”以防止主蒸汽挾帶水份進入主蒸汽管傷害主汽機葉片，該訊號動作下列設備：
 - 所有蒸汽產生器的主飼水控制閥和旁通閥關閉
 - 跳脫全部主飼水泵
 - 跳脫主汽機
 - 所有蒸汽產生器的飼水隔離閥(FWIV)關閉。

2015/10/14

94



自我評估(一)

1. 試列出爐外核儀系統相關六個反應爐跳脫訊號，並寫出各個訊號之設定點？

答：

- (1) 源階高中子通量跳脫： 10^5 CPS
- (2) 中程高中子通量跳脫：相當於25%功率之電流
- (3) 功率階高中子通量跳脫（低設定點）：25%
- (4) 功率階高中子通量跳脫（高設定點）：109%
- (5) 功率階高中子通量正變化率： $+5\%/2\text{sec}$
- (6) 功率階高中子通量負變化率： $-35\%/2\text{sec}$

2015/10/14

96

自我評估(二)

2. 試列出爐外核儀系統相關三個允許訊號 (P) (Permissive)，並寫出各個訊號之設定點？

答：

- (1) P-6：中程階電流 $> 10^{-10}$ Amps
- (2) P-8：功率階功率 $> 30\%$ 功率
- (3) P-10：功率階功率 $> 10\%$ 功率

2015/10/14

97

自我評估(三)

3. 試列出爐外核儀系統相關兩個控制連鎖訊號 (C) (Control Interlock)，並寫出各個訊號之設定點？

答：

- (1) C-1：中程階高中子通量阻棒：相當於 20% 功率之電流
- (2) C-2：功率階高中子通量阻棒：相當於 103% 功率

2015/10/14

98

自我評估(四)

4. 請列出有那5個反應爐跳脫訊號，在P-7設定值以下時會自動閉鎖？

答：

- (1) RCP低電壓
- (2) RCP低頻率
- (3) RCS低流量
- (4) 調壓槽低壓力
- (5) 調壓槽高水位

2015/10/14

99

討論時間

2015/10/14

100