

爐外核儀系統

- 壹. 概述
- 貳. 核能偵檢器動作原理
- 參. 核能偵檢器系統及位置
- 肆. 源階 (N31和N32) 核儀系統
- 伍. 中程階 (N35和N36) 核儀系統
- 陸. 功率階 (N41 N42 N43 N44) 核儀系統
- 柒. 輔助儀器

壹. 概述

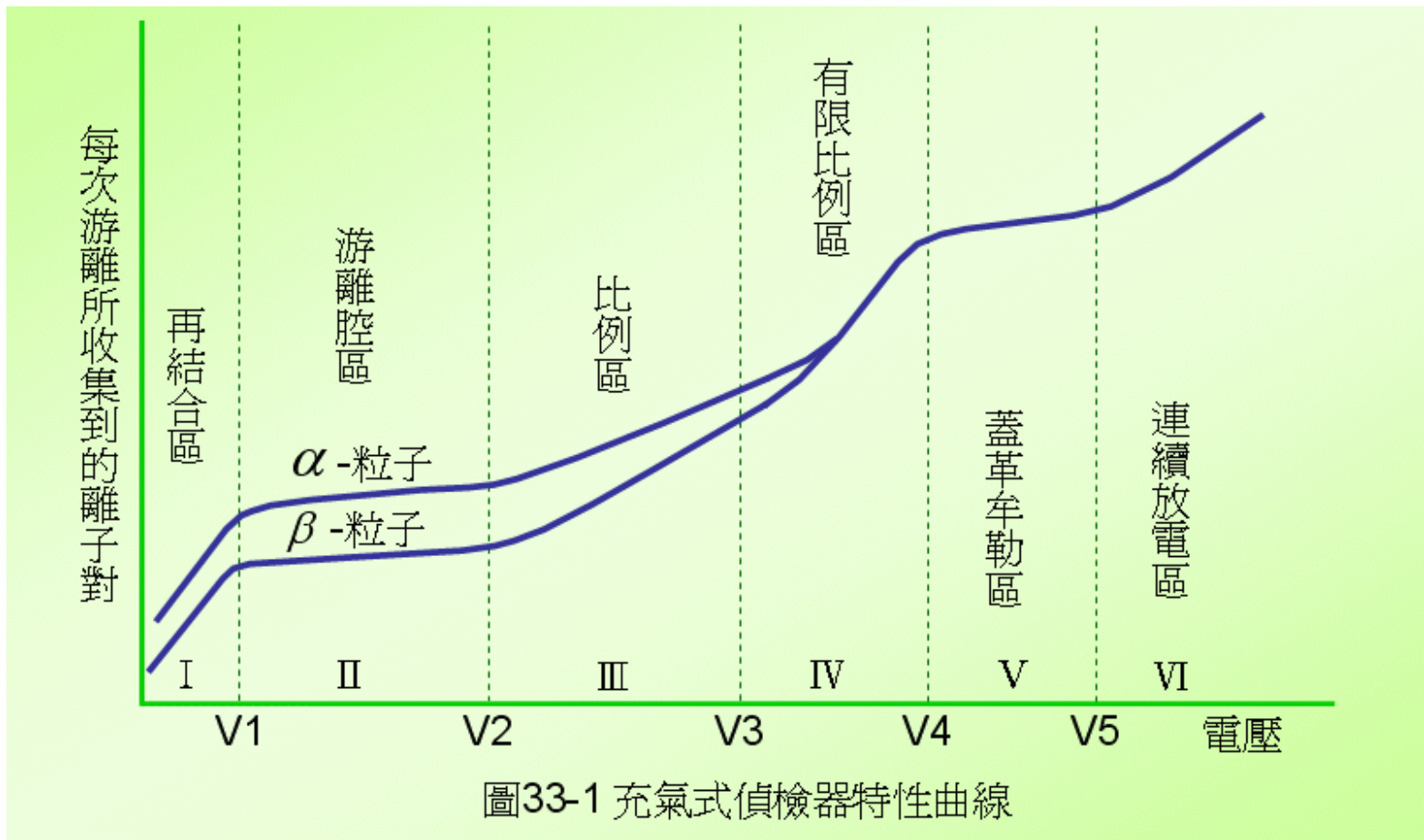
爐外核儀系統 (Excore Nuclear Instrumentation System) 提供各種偵檢器及電子處理設備，隨時偵測自爐心漏出之中子通量，反應爐不正常時，可即時提供警報或控制訊號。由於中子通量幅度極為廣泛，必須藉源階 (Source Range)，中程階 (Intermediate Range)，和功率階 (Power Range) 三種中子通量偵檢器，分別偵測不同功率階位之中子通量，且此三種偵測範圍相接部份都有重疊，以期對爐心各種運轉模式之中子通量變化都能偵測控制。

爐心中子通量與反應爐功率成正比，功率愈高，中子滲漏至爐外也愈多，因此利用偵檢器偵測這些滲漏之中子通量，即可得悉反應爐運轉情況，爐外核子儀器的功用可歸納為：

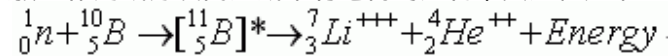
1. 保護爐心及提供爐心運轉數據。
2. 偵測中子滲漏量即時產生警報或跳脫訊號，以免反應爐功率過高。
3. 提供指示、記錄器和計算機之輸入訊號，協助運轉人員偵測控制反應爐運轉狀況。
4. 提供其他允許或連鎖訊號。

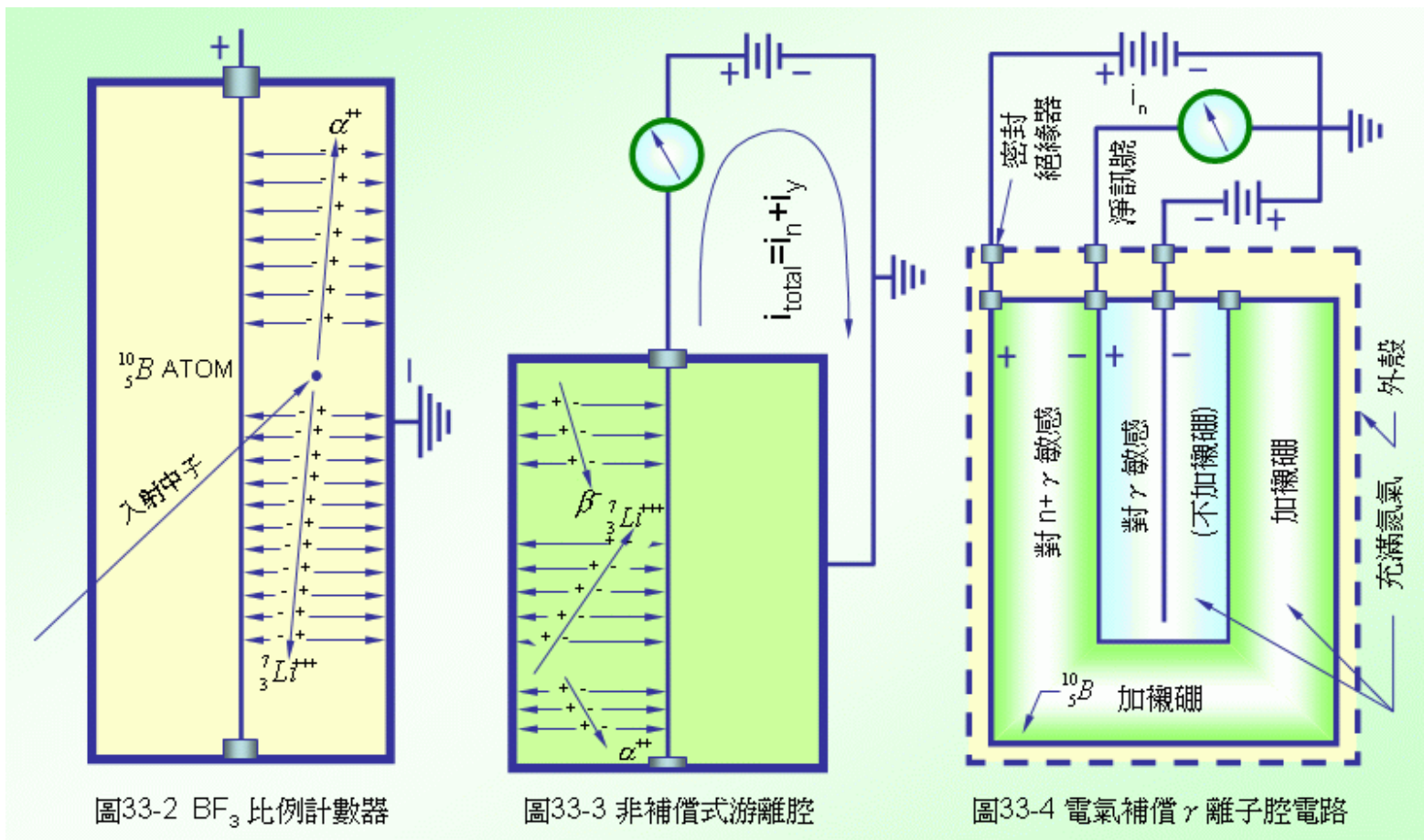
貳. 偵檢器動作原理

- A. 爐心內之核燃料由於核子反應所產生的各種輻射線，只有伽瑪射線和中子才有足夠的穿透力，穿過反應爐壓力槽，反應爐運轉所需之資料即可得自偵測這些滲漏之輻射線。利用充氣式偵檢器腔內的氣體效應，即可測定上述輻射。
- B. 因為中子是不帶電荷之中性粒子，偵檢器必須先經過適當的處理後才能測出中子。一般中子依其能階可分為熱中子及快中子兩種，熱中子可認為是存在於周溫環境下之中子，因此這些熱中子的能量都很低，而快中子則具有較高能量，因其具有較高的能量及速度，大都可滲漏到爐外，因此偵檢器所偵測到的是自反應爐漏出之快中子。
- C. 伽瑪射線在一充有氣體之腔內，也會隨著伽瑪射線所具有之能量大小，發生光電效應、康普頓效應或成對發生等現象而造成氣體間接游離。因此伽瑪射線在偵檢器產生之訊號與中子通量所產生的訊號有相對關係，如果伽瑪訊號與反應爐功率無關，則偵檢器之中子通量讀數即受其影響而不準確，故必須把伽瑪訊號消除，才能得到準確的中子通量讀數。具有去除伽瑪訊號的偵檢器，吾人稱之為補償式偵測器。
- D. 所有爐外核儀充氣式偵檢器之基本原理，是測量入射輻射線造成游離化現象所產生之電流，一般偵檢器構造和動作原理如下：
偵檢器由一個或一個以上之充氣容器和兩個同心電極組成。通常在充氣腔容器腔壁接負極，在中央接正極，在兩極間供給一外加電壓，使在充氣腔內產生足夠的電場，如此，游離輻射 (荷電粒子或伽瑪射線) 穿過腔室內之氣體時，將氣體游離成帶正負電的粒子，正粒子被腔壁之負極所吸引，負粒子被中央正極所吸引，若外接一電流錶時，即有電流產生，由電流錶指示的大小，可知入射輻射線之強弱。充氣式偵檢器之反應游離曲線為六個不同區域，每區之特性不同，使得應用之範圍對象亦不同。



E. 荷電粒子或伽瑪射線在穿透氣體時會造成游離，但不帶電荷的粒子，則無法造成游離。要使中子會造成游離的方法是用能與中子發生反應之硼或鈾235襯在腔室內，使之發生作用或分裂而造成帶有電荷的產物，其過程如下：





F. 偵檢器內充有含 BF_3 的氣體（參照圖33-2）作用於比例區，有高靈敏度，可用來感測伽瑪和熱中子，伽瑪的脈衝訊號較小因此可用鑑別器

（Discriminator）予以消去。有一種偵檢器稱為非補償式游離腔（Uncompensate Ion Chamber, UIC）（圖33-3），內部襯有固態硼（B-10）及充有氮氣的游離腔，其感測出之中子和伽瑪訊號的合成電流與入射輻射線強弱成正比，這種偵檢器對伽瑪射線的靈敏度比中子低很多，偵檢器測得的訊號大部份是中子通量電流訊號（ $i_r \sim i_n/100$ ）。另一種偵檢器稱為補償式游離腔（Compensated Ion Chamber, CIC），即是在UIC內部加裝一只不襯硼（B-10）的腔室（圖33-4），此不加襯硼之腔室僅感測伽瑪訊號，由此可知中子電流訊號為內外兩腔之電流訊號的差額。

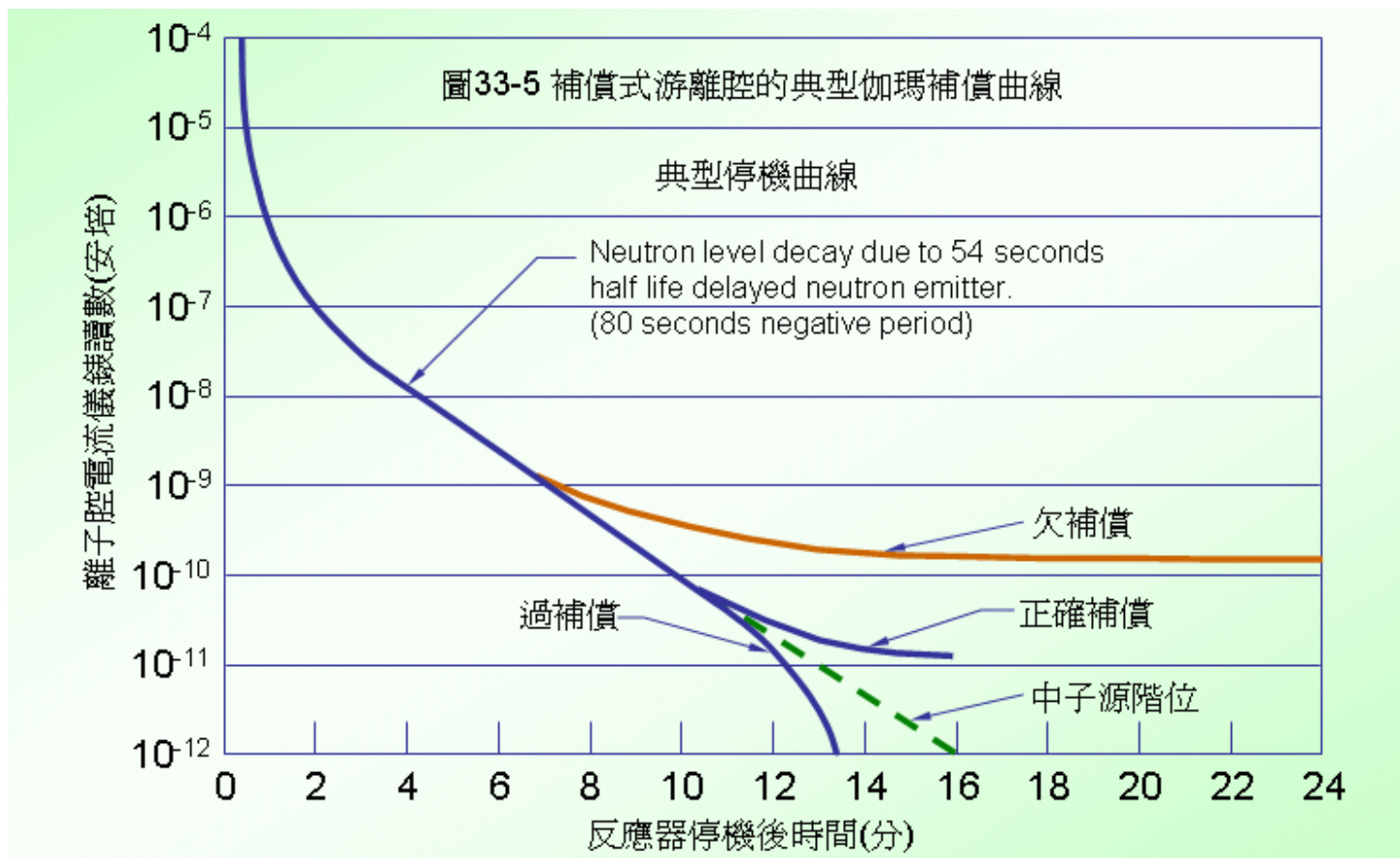
外部離子腔電流 = $i_n + i_{r0}$

內部離子腔電流 = i_{ri}

中子通量訊號 = （外部離子腔電流）減（內部離子腔電流）

$i_{TOTAL} = (i_n + i_{r0}) - i_{ri} = \text{中子通量電流訊號}$

為了使內腔在再結合區能適當的工作，要有適當的腔之設計和正確的電壓補償方能使伽瑪通量在各腔內有相同的反應。若是補償訊號不足時，所得電流訊號會比實際的為高，若是補償過多時，所得電流訊號會比實際為低。（如圖33-5）



參. 偵檢器系統及位置

- A. **爐外偵檢器** 必須要能偵測到從反應器壓力容器漏出之中子通量。從完全停機到120%全功率時，這表示中子通量變動範圍由 10^{-1} 至 10^{11} 中子數/平方公分一秒或12個十進位 (Decades)。因此沒有任何單一的偵檢器能適用於整個範圍。實際應用上，則使用三種不同中子偵檢器分別測定之，但各種偵檢器之偵測範圍都有相當重疊，在切換至另一種偵檢器之前後，兩種偵檢器系統都會有指示。
- B. 在**中子通量**很低的起動階段，則使用最靈敏的BF₃偵檢器偵測之。此時，大部份偵測到的訊號是分裂產物衰變的背景伽瑪輻射線。BF₃偵檢器指
- 示單位是計數/秒 (CPS)，範圍由100至 10^6 CPS，大約涵蓋六個十進位，而 10^5 CPS為反應爐高計數跳脫之設定值。因為反應爐在起動階段，大部份的中子通量是分佈在爐心底部，所以源階偵檢器是裝在靠爐底之儀器槽 (Instrument Well)。計數率依中子源強度和爐心次臨界增殖因素而定，故有兩支源階偵檢器是分佈在爐底外0°至180°對稱位置。偵檢器與一次中子源均座落在離爐心底部1/4高處。兩個相同的源階 (SR) 核儀供給兩個獨立控道。
- C. **中程階偵檢器** 有2½個十進位與源階偵檢器重疊，此處之偵檢器靈敏度不需很高，但是必須具有大量消除伽瑪射線通量之能力，因此使用補償式離子腔核儀最為適合。
中程階偵檢器是以電流 (Amps) 為中子通量單位。
中程階有八個十進位指示，中子通量為 10^{-11} ~ 10^{-3} (Amps)，中程階提供相當25%功率之電流訊號作為反應爐跳脫之訊號。
在反應爐起動階段，部份控制棒仍插在爐心內，中子通量仍以分佈在爐心一半高度較多，因此中程階偵檢器乃裝設在與源階偵檢器同一儀器槽之上方離爐心底部1/2高度處，兩個相同之中程階 (IR) 核儀供給兩個獨立控道。
- D. **功率階偵檢器** 約有三個十進位與中程階偵檢器的最高範圍部份完全重疊，在正常功率運轉，功率階偵檢器供給一線性指示。即在功率階運轉所偵測的中子通量訊號與功率指示成一線性關係，在功率階運轉不必補償伽瑪，因此時之中子通量遠大於伽瑪通量，可以忽略，故功率階可使用非補

償式離子腔。

在功率階有低功率（25%功率）和高功率（109%功率）兩個反應爐跳脫設定值。四組相同的功率階核儀供四個獨立控道，每個控道由上下兩個偵檢器組成。各偵檢器測定爐心一半高度的軸向中子通量，各分佈在反應爐槽四周方位450，1350，2250與3150。

肆. 源階（N31和N32）核儀系統

- A. **源階電路**是特別設計提供單獨偵測反應爐由停機到反應爐初期起動階段，和最後反應爐停機階段之滲漏中子通量。
- B. **各源階**控道偵測訊號，除提供給操作員警報和指示外，並提供反應爐保護系統輸入和記錄器訊號，另外隔離放大器輸出訊號是專供指示和記錄用。
1. **源階櫃**上裝有一個電壓錶（0～2500VDC刻度）以指示偵檢器使用的高壓電源。若是電源電壓低於正常設定值約100V時，由雙穩態動作發出一警報，一般使用之電源電壓為1450VDC。另有一隔離輸出訊號供給一可聽音頻訊號，音頻計數率的變化可在盤面作任意控道選擇。
 2. **反應爐**操作盤JP002上有兩個源階控道計數率指示錶，刻度範圍是100-10⁶ CPS，作為源階之計數率變化之指示，源階控道亦供給訊號至ERF電腦。
 3. **源階偵檢器**之隔離放大器輸出訊號，也供給到起動率（Start Up Rate）電路，即把計數變化率轉換成起動率。每控道各有一只起動率，其指示範圍是-0.5至+5DPM，在操作盤JP002上可以直接讀出，也可選擇在NIS盤源階櫃指示。
 4. **源階控道**之所有訊號均不作控制用，但有警報發生，當反應爐停機時，如果反應度發生不應有之改變時用以提醒操作員，所以有一停機高中子通量（High Flux Level At S/D）警報，其設定值為10倍之背景中子通量或1000cps，更換燃料時5000cps。另在圍阻體內亦可聽到警報聲，告知圍阻體工作人員應迅速離開，這警報在反應爐起動前，必須用手動閉鎖。
 5. **源階偵檢器**階位放大器之輸出電路，供給另一雙穩態，以提供反應爐保護系統源階高中子通量反應爐跳脫（High Level Reactor Trip）訊號，其設定值是10⁵ CPS。這跳脫訊號可用允許訊號P-6和旋鈕開關來閉鎖。

伍. 中程階（N35和N36）儀器系統

- A. **中程階**控道電路係提供兩獨立的中子通量階位之偵測（10⁻¹¹至10⁻³ Amp）。
1. 各中程階控道之訊號，均取自補償式離子腔(CIC)的電流訊號。可直接從NIS盤中程階櫃，供給高壓正電電源和補償用負電源到各偵檢器。供給補償用的負電壓之目的，在消除CIC偵檢器內產生游離效應之衰減伽瑪訊號，使偵檢器的輸出電流訊號是正確的中子訊號。
 2. 在補償式游離腔偵測到的電流訊號，只經過一支對數階位放大器，由輸入之電流訊號利用線性放大作用，並轉換為對數之輸出電壓訊號。
- B. **各中程階**控道輸出之訊號，除提供指示和警報外，亦送信號至反應爐保護系統，而隔離放大器之輸出訊號，只供指示用。
1. **偵檢器**正常供給之高壓電源為+800VDC，若供給電壓較設定電壓低100伏特時，有一雙穩態，會發出警報。當補償負電源之電壓較設定電壓低50%時，另一雙穩態動作提供之警報訊號，正常供給補償電壓是-35～-45VDC。
 2. **每一中程階控道**在操作盤JP002上各有電流錶指示，其中子通量指示階位在10⁻¹¹和10⁻³ Amp之間，中程階各控道之訊號亦供給到ERF電腦。
 3. **中程階偵檢器**隔離放大器的輸出訊號也供作起動率（SUR）指示，它把中子通量之變化率轉換成起動率，JP002盤上可直接讀出。
 4. 在**反應爐**起動階段，兩個中程階控道的其中一個讀數達到10⁻¹⁰ Amp（相當源階4×10⁴ CPS計數率）時，即產生P-6允許訊號，允許燈亮，允許手動閉鎖源階高階位跳脫訊號(10⁵ CPS)。當源階控道訊號被閉鎖後，則源階高壓電路自動斷電。
 5. **中程階**偵測訊號至相當於25%功率之電流值時，會造成中程階高中子通量反應爐跳脫訊號（1/2）。這跳脫訊號在允許訊號P-10出現後，可用手動閉鎖，P-10允許訊號取自功率階控道大於10%反應爐熱功率（2/4）。
 6. **中程階偵檢器**可觸發另一雙穩態產生C-1之控制訊號，作控制棒控制系統的輸入訊號，即高中子通量階位阻棒訊號。若是達到相當20%功率之電流，則控制棒將被阻止手動或自動抽出，其目的在於提醒操作員，中程階已達到高階位的中子通量，必須以手動閉鎖，以防止中程階高中子通量發生不必要的跳脫或功率階低功率高中子通量跳脫，阻止中程階高中子通量反應爐跳脫訊號，同時亦提供阻止控制棒阻棒(C-1)訊號。

陸. 功率階（N41、N42、N43、N44）儀器系統

- A. **功率階**電路有四只控道，分別用以偵測反應爐功率運轉時之中子通量階位（0～200%）。每只功率階之控道訊號取自兩個單獨的功率階偵檢器。
1. 功率階偵檢器是一支長形非補償式離子腔（UIC），由二個偵檢器（A、B）組成。因此一功率階控道接受二個偵檢器的輸入訊號。整個功率階共有八個輸入訊號。每一控道有一高壓電源電路供給其中所屬之二偵檢器。使用電壓+600VDC。偵檢器的輸出電流訊號提供控制室NIS核

儀盤功率階櫃上之電流錶指示。

2. 偵檢器A與B的合計訊號 (Summing) 和階位放大器組件 (Level Amplifier Assembly) 所產生的中子通量訊號皆與反應爐功率 (0 ~ 120%) 成正比。而階位放大器的增益可以手動在各控道櫃上調整校正。使得到之功率訊號是真正代表反應爐熱功率。
- B. **每一偵檢器**之輸出電流訊號，是指爐心上部與爐心下部的功率階位訊號，各經兩隔離放大器 (I/A) 提供指示、記錄和保護訊號，而輸出階位訊號之總電流的大小與反應爐功率成正比。
1. **控制室NIS核儀盤之功率階A櫃**上有一功率錶。每一功率階控道在操作員控制盤 JP002上另有上下兩個偵檢器輸出電流差訊號 % I (A偵檢器電流減B偵檢器電流) 指示。每一單獨偵檢器的電流訊號，也送到NIS核儀盤之偵檢器電流比較器 (Detector Current Comparator)，作上下偵檢器分別對兩者平均電流訊號的比較。若是任一上或下偵檢器的電流訊號與平均電流訊號差值大於2%時，即觸發一雙穩態而發出警報。
 2. **功率階各控道之合計(Summing)電流**，表示反應爐之總功率，其功率訊號供作以下功用：第一隔離放大器輸出訊號可提供為：
 - a. 操作盤JP002上作四隻控道功率指示，其刻度範圍是0 ~ 120%。
 - b. 供給ERF電腦之輸入訊號作記錄和處理。
 3. **第二隔離放大器**輸出訊號，送往7300控制盤之中值選擇器，功率階核儀控道PR-42/43/44經中值選擇器，選出一中值信號後，再與汽機功率信號比較得出一差值信號，作為控制棒自動控制之功率不匹配信號。
 4. **第三隔離放大器**輸出訊號，供給控道電流比較器 (Channel Current Comparator) 電路，作為與其他三個功率階控道比較用，若有任一控道電流與其他的控道電流差值大於2%，即會觸發一雙穩態而發生警報。
 5. **合計訊號**的一只雙穩態是供給允許訊號P-8 (2/4)，當反應爐的功率在30%以上時，產生P-8訊號，其功用是容許在P-8設定值以下時，若喪失一個爐水迴路 (Single Loop) 不致造成反應爐跳脫，若汽機跳脫，反應爐亦不跳脫。合計訊號的第二只雙穩態是供給允許訊號P-10 (2/4)，當反應爐的功率在10%以上時，產生P-10訊號。
 6. **低功率高中子通量**(Low Range High Level)反應爐跳脫的雙穩態設定值是25%功率，為四選二偶合邏輯。若反應爐的功率高於10%(P-10賦能)，此跳脫訊號即可用手動阻止之。
高功率高中子通量 (High Range High Level) 反應爐跳脫的雙穩態設定值是109%功率，為四選二偶合邏輯 (Coincidence)。此跳脫訊號不能被阻止，以防止反應爐超功率運轉。
高中子通量控制棒阻棒連鎖控制訊號C-2，其雙穩態設定值是103%功率，以防止控制棒進一步抽出 (手動與自動)。
 7. **高中子通量變化率反應爐跳脫**可分為正負二類高中子通量正變化率跳脫 (Positive Rate Trip)，設定值為+5%/2 sec，為四選二偶合邏輯，作為控制棒射出事故 (Rod Ejection Accident) 之保護。
高中子通量負變化率跳脫 (Negative Rate Trip)，設定值是-35%/2 sec，為四選二偶合邏輯，作為控制棒掉落事故 (Rod Drop Accident) 之保護。

柒. 輔助儀器

- A. **比較器**和起動率組件 (Comparator and Rate Assembly) 處理來自源階，中程階和功率階三種階位的訊號，提供操作員所需的資訊和警報功能。起動率電路 (Start up Rate Circuit) 接收兩個源階控道和兩個中程階控道的個別隔離放大器 (I/A) 輸出訊號，每一起動率放大器訊號，取自每一控道之對數放大器之階位訊號，其輸出訊號之大小與輸入訊號變化率成正比。輸出訊號供給現場及控制室指示錶 (-0.5DPM ~ +5.0DPM)。
- 控道電流比較器電路 (Channel Current Comparator Circuit) 訊號取自各功率階控道，經其個別隔離放大器之輸出訊號。該輸出訊號之大小與反應爐功率成比例。控道電流比較器之輸入訊號用以監視反應爐功率是否分佈均勻，以各控道相互比較出最低控道之訊號，然後所有的控道訊號再和最低控道訊號比較，若差值超過2%時，會產生一輸出電壓訊號，觸發雙位器驅動組件 (Bistable Ry Driver Assembly)，發出控道偏差警報訊號。各功率階之控道若發生有浮動 (Drift) 或故障 (Failure) 時，控道比較器也會發出警報訊號。
- B. **偵檢器電流比較器** (Detector Current Comparator) 之輸入訊號，一取自爐心上部四個 (或下部四個) 偵檢器的個別隔離放大器訊號，另一取自平均放大器 (Average Amplifier) 之訊號，平均放大器供給比較器電路作以下功用：
1. 將四個偵檢器訊號與平均輸入訊號的1.02倍比較。
 2. 若是所有四個偵檢器輸入訊號皆低於50%功率，則會自動消除警報回路。