**第十二章中子偵測系統**

**壹、概要說明**

反應器從起動到滿載運轉核心功率能階的偵測全賴中子偵測系統，中子之多寡和功率階成比例，偵測中子亦即偵測反應器之功率，反應器從冷機(~103nv)至滿載(~1.4ｘ1014nv)需偵測之範圍極為廣泛，分別由遍佈核心內的各種偵檢器偵測，利用這些偵檢器及其它必要設備，組成中子偵測系統，藉以監視各種情況之核心中子通量，提供適當的保護功能，使反應器得以安全地運轉，此系統所含之支系統如下:

寬範圍中子偵測系統(WRNM)

局部能階偵測系統(LPRM)

平均能階偵測系統(APRM)

流量單元系統(FLOW UNIT)

核心探針系統(TIP)

這些支系統的偵測範圍，可偵測到核心內各部份，各種情況的通量，不論核心各部位超出容許運轉限度，都能提供適當的保護功能。

LPRM、APRM、及TIP系統，統稱為功率階偵測系統(POWER RANGE NEUTRON MONITER簡稱PRNM)，偵測反應器整個功率範圍，從約1%至125%額定功率。以實際應用範圍說明機組起動步驟其所擔負之角色。當抽出控制棒前，反應器主開關(Reactor Mode Switch)應置於"Start-up"位置。值班員依序抽控制棒，此時藉WRNM監視中子位階(Neutron Level)之遞增，在控制棒抽出過程，計數增加，至反應器達臨界後，配合控制棒適當的抽出，此時WRNM已進入MSV指示，為線性指示，分為十段。控制棒繼續依序抽出，反應器進入加熱功率範圍，水溫漸升，溫度，壓力達額定值時，APRM即有指示。APRM指示為額定功率的百分數，當達功率約7%(APRM DOWNSCALE消失後)，反應器主模式開關應轉至"RUN"位置，至此，反應器已進入功率運轉階，起動階偵測系統保護功能已被取代。

反應器功率階運轉中，由APRM指示平均功率輸出，兼負保護功能。LPRM係提供選定控制棒周圍之局部功率指示及供給APRM所需之信號。TIP系統用來校正LPRM數據及供作核心功率分佈計算。可以滿足安全目的:偵檢核心內情況，足以威脅燃料完整時，供反應器保護系統(Reactor Protect System)急停信號，以限制放射性產物從燃料屏障洩出。功率產生目的:提供反應器運轉及控制的情報。

**貳、寬範圍中子偵測系統(WIDE RANGE NEUTRON MONITORING SYSTEM)**

**一、系統功能簡介**

寬範圍中子偵測系統所偵測之中子通量範圍，由冷爐停機起至滿載功率運轉。寬範圍中子偵測系統共有八個控道(控道A~H)，每一控道包含一偵檢器，偵檢器經爐心中子撞擊產生的脈衝電壓波經前置放大器及計數(COUNTING)及均方電壓(MSV)電路處理後，產生與爐心功率及功率變化成正比之信號電壓。此信號電壓分別提供功率及週期之記錄及指示，供運轉人員監測起動階段的爐心功率及其變化率之參考。亦提供信號至反應器保護系統，在設定達到時產生阻棒及急停的功能，以確保爐心之安全。

**二、系統敘述**

每一偵檢器組包含一分裂腔聯接偵檢器電纜與三層屏蔽之電纜，傳輸分裂腔產生之中子通量信號在反應爐底部聯結經由乾井穿越器至偵檢器前置放大器，再送至數位微處理器處理。

寬範圍中子偵測系統共有八個控道，每一控道有一NUMAC處理信號，並有一顯示屏，能指示該控道之功率、週期，及其控道有關之參數，設定等。

寬範圍中子偵測系統的八個控道經由四組跳脫輔助單元(由電驛組成)和反應器保護系統連通。控道A,B,E,F提供阻棒信號至反應器阻棒A系統;控道C,D,G,H提供阻棒信號至反應器阻棒B系統。控道A/C/E/G提供急停信號至反應器保護A系統，控道B/D/F/H提供急停信號至反應器保護B系統。

每一寬範圍中子偵測器的指示分為"0"至"10"的11階段。單位為功率。

**三、設計基準:**

1.在源階及中階提供中子通量情報。

2.當反應器在啟動時，當爐心功率變化時提供自動的爐心保護信號;也就是從啟動到12.5%的額定功率的階段。

3.在爐心失水時或失水後提供由爐心啟動至100%額定功率的中子通量情報。

**參、局部能階偵測系統**

**圖6-4前置放大器**

**一、設計原則**

1.提供信號至APRM系統，信號和爐心內各部位之局部中子通量成比例。

2.局部中子通量過高或過低時，發出警報信號，提醒值班員注意。

3.提供局部中子通量之信號，供給指示儀表和輔助器具，俾供值班員評估功率分佈、局部熱功率、最小臨界熱功率比和燃料燃耗率。

4.有足夠數目的LPRM信號供給APRM的平均計算，以符合APRM之安全設計要求。

**二、概述**

33串LPRM，遍佈爐心平面各部位，每串包括四個固定偵檢器。

**三、元件敘述**

1.偵檢器組(LPRM偵檢器串)

（1）位於燃料束間無控制棒之水間隙處。

（2）每串包括四個分裂腔型偵檢器，計有33串偵檢器，總計有偵檢器132只。

（3）儀器管(Instrument Tube)

a.係不繡鋼管，偵檢器及連結同軸電纜皆固定於管內，另有TIP校正管(乾管)，用來容納TIP偵檢器。

b.管壁有許多小洞，反應爐冷卻水從管內流過，藉以冷卻各分裂腔。

c.底部藉護殼焊於反應爐槽，頂部以彈簧插銷固定。

d.在上、下法蘭接合處及下法蘭與儀器管間，有特殊水封帽(Special Water Seal Cap)，避免裝拆時反應爐水洩出或把電纜接頭處淹沒。

（4）每個儀器管內之偵檢器乾管和TIP乾管，皆為防水、耐壓單元。

2.偵檢器

（1）分裂腔～1"×0.16"φ

（2）由兩個同心圓筒組成，工作電壓約在100V，內層圓筒為正極，又稱集極，固定在絕緣體上，和外層圓筒相距極小空隙，充有氬氣，外層塗有濃縮鈾化物。

（3）當U235吸收中子產生分裂，釋出帶電粒子使電極間氬氣游離，負離子奔向集極，因而偵檢器電路輸出電流和中子通量成比例，分裂腔工作在游離區。

（4）在功率階，伽瑪信號可視為和功率成一定比例，無須鑑別伽瑪信號。

（5）中子信號和伽瑪信號之比率達5：1時，偵檢器應予更換，設計壽命為15年。

3.電力供給

（1）LPRM之電源供給，來自120VAC UPS BUS E 和 H 互為雙重電源。

（2）每個LPRM偵檢器，有其個別高壓電源，俾保持偵檢器之極性電壓，可在50～200V DC間調整。

4.校正

（1）滿載運轉時，約四十天須校正LPRM一次。

（2）利用RUN TIP確定偵檢器讀數。

（3）計算LPRM放大器正確增益。

（4）從Powerplex PC下載增益至NUMAC重新設定LPRM增益。

肆、平均能階偵測系統

**一、設計原則**

1.連續偵測反應爐功率階運轉時的爐心平均功率，提供連續性指示和記錄。

2.反應爐功率超過安全系統設定限值時，產生急停跳脫信號。

3.反應爐功率接近安全系統設定限值時，產生阻棒信號，阻止控制棒抽出。

4.發揮上述安全跳脫功能，應不受LPRM輸入信號旁路和LPRM偵檢器故障情況與單一元件故障。

**二、概述**

1.平均功率偵測系統，包括四個APRM控道(APRM-1、2、3和4)，各APRM控道把預先指定之LPRM輸入信號平均後，依再循環水流量信號計算，提供指示或跳脫功能。

2.輸入至APRM控道的信號，來自：LPRM、再循環水系統流量元件。

3.APRM控道輸出信號用作：

（1）指示核心平均熱功率。

（2）依再循環水驅動總流量為參數的可變跳脫信號─阻棒及急停。

（3）不受再循環水驅動總流量左右的固定跳脫信號─阻棒及急停。

（4）低指示(DOWNSCALE)或不可用(INOP)跳脫信號。

伍、核心探針系統

**一、概述**

1、TIP用來偵測和記錄爐心內軸向的相對中子通量分佈。利用裝置在可彎曲驅動電纜頂部的偵檢器，自爐心頂部掃描至爐心底部。

2、每套TIP系統設計上可偵測10串LPRM位置。本廠每部機組有四套TIP系統，偵測全部33個LPRM串位置，其中有一共同位置，每套都可偵測到(用作TIP本身相互校正用)。

3、TIP之功用：

TIP系統的主要功用為精確地測定中子通量信號，用來校正LPRM，同時可隨時提供軸向中子通量分佈曲線，俾供爐心功率分布評估。

（1）LPRM偵檢器，長期受中子照射，U235偵檢器塗料燃耗靈敏度漸低，以TIP測得準確信號，藉調整LPRM之放大器增益，校正LPRM輸出信號。

（2）隨時提供爐心軸向中子通量分佈，供作爐心功率分布評估。

（3）有效運用燃料循環，利用TIP隨時核對爐心功率分佈的對稱性，達到理想的功率分佈曲線。

（4）由TIP軌跡圖，可察知控制棒移動對爐心的影響。

**二、元件敘述**

1、偵檢器

（1）分裂腔運用於離子化區域。

（2）塗有濃縮鈾化物(U3O8)並充氬氣。

（3）工作電壓為100V DC。

（4）0.16〞外徑×1〞長。

（5）分裂腔體用鈦製成。

2、驅動電纜及導管

（1）電纜驅動機構驅使電纜進出導引管。

（2）驅動機構間導管，內壁表面塗有陶瓷潤滑物，以減少磨擦。

（3）反應爐槽內導管內壁經氮化處理，以增強耐磨特性。