

# 控制棒控制系統

- 壹. 功能
- 貳. 控制棒及控制棒驅動系統
- 參. 控制棒控制系統

## 壹. 功能

- A. 在壓水式反應爐中，控制棒擔任多方面的功能：
  1. 在反應爐急停或正常停機時，提供抑制與中斷核子分裂連鎖反應。
  2. 反應爐起動時，藉控制棒之抽出，使反應爐達到臨界，並維持適當的功率上升率。
  3. 在反應爐正常運轉時，控制RCS(Reactor Coolant System)之溫度。
  4. 調節爐心中子通量分佈，減低尖峰因數。
  5. 補償因氬毒瞬態或功率升降等，所引起的反應度變化。
- B. 控制棒控制系統
  1. 因應來自反應爐操作員（手動）或反應爐控制單元（自動）之訊號，控制控制棒之動作。
  2. 維持爐心冷卻水系統（RCS）溫度於預定溫度程式 $\pm 0.83$ 之內。此 $\pm 0.83$ 包括 $\pm 0.56$ 之無效帶（Dead Band）。
  3. 當反應爐功率在15%至100%之間時，能自動控制反應爐應付下列暫態變化： $\pm 10\%$ 功率階變（Step Change），5%/min功率上升或下降率，或95%功率棄載（Load Rejection），後者須與蒸汽排放系統（Steam Dump System）協同動作。

## 貳. 控制棒及控制棒驅動系統

- A. 設計基準
  1. CRDM係一級防震設備，須能在地震情況下，承受ASME所規定之各種靜態或動態應力，其跳脫能力亦不受地震之影響。
  2. CRDM須能以1.6cm為一節，作全長381cm之上下移動，最大負荷163.4kg（包括爪形控制棒元件及驅動桿等），並能以每分鐘114.3cm，即72節/分鐘之最大速度抽插。
  3. 無論在任何反應爐功率或溫度為何或控制棒正執行動作的任一階段，其反應爐跳脫延遲時間（Trip Delay Time）不得超過150毫秒，意即反應爐跳脫斷路器動作後0.15秒內，控制棒須能自由墜入爐心。
  4. 須能維持四十年壽命。
- B. 本廠反應爐爐心共有爪形控制棒元件五十二支。分為兩種類組，一種是停機棒組（Shutdown Bank），一種是控制棒組（Control Bank）。
- C. 停機棒組共有二十四支爪形控制棒元件，分為A、B、C、D四個棒組。A棒組及B棒組各有八支爪形控制棒元件，C、D棒組則各有四支爪形控制棒元件。本廠控制棒組共有二十八支爪形控制棒元件，分為A、B、C、D四個棒組。A、B及C棒組各有八支爪形控制棒元件，D棒組有四支爪形控制棒元件。以上各棒組所屬之爪形控制棒元件均位於爐心對稱的位置。
- D. 停機棒組之作用在提供足夠之負反應度，以迅速切斷核反應。反應爐起動之前，應將停機棒組全部抽出到全出位置，以備爐心事故時，能急速插回爐心。所以停機棒組無須自動控制線路，只能手動抽插。另，控制棒組之作用在因應負載變化，以控制爐水溫度，故除手動控制外，尚有自動控制系統做為相關調節工作。
- E. 在控制棒抽插時，是以棒群為單位，棒群所屬各爪形控制棒元件一起動作。為使控制棒抽插時，所加入之反應度均勻細微，避免一次加入太多反應度起見，爪形控制棒元件數較多的棒組（如停機棒組A、B）以及必須控制爐水溫度的控制棒組（如控制棒組A、B、C、D），每組再分為兩棒群（Rod Group）。控制棒抽插時，第一群先動作，而後第二群才動作。
- F. 棒組抽插對反應度影響之程度，依控制棒尖端之中子通量大小而定。因此雖是同樣一節控制棒之移動，當棒組之位置在爐心頂部或底部時，所產生的反應度變化小，而位置在爐心中央時，產生的反應變化大。為了改善這種情況而使抽插一節控制棒之反應度約略相等，將控制棒組抽插次序首尾互相重疊114節，譬如控制棒組A抽至第115節，控制棒組B就開始一起往外抽，A棒組抽一節跟著B棒組抽一節，待控制棒組A抽至229節時，棒組B抽至114節，而棒組B抽至115節時，棒組C跟著一起往外抽，餘類推。
- G. 控制棒驅動系統（CRDM），以一驅動桿（Drive Rod）與爪形控制棒元件相連接。CRDM包括四個主要組件，分別為壓力管室（Pressure

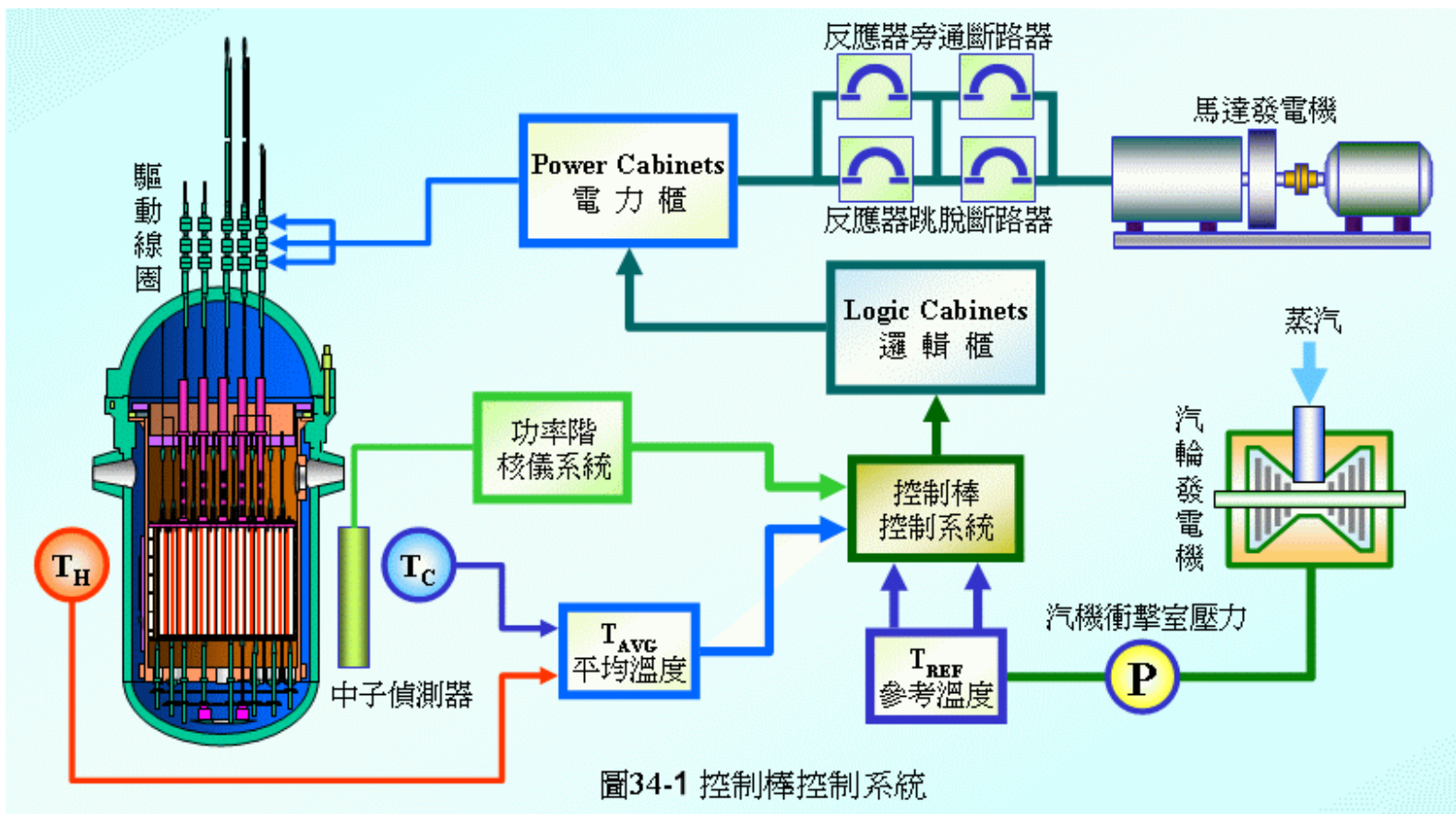
Housing)，夾鉤組（Latch Assembly），驅動桿（Drive Rod）以及操作線圈（Operating Coils）。

1. 壓力管室：壓力管室螺栓鎖於反應爐槽頂蓋上，並加以焊接，故實際上構成為反應爐壓力邊界（Pressure Boundary）的一部份。壓力管室內有夾鉤組及驅動桿，外有操作線圈及控制棒位置指示系統之感測線圈。
  2. 夾鉤組：位於壓力管室內下端，包括三組磁極塊（Magnetic Pole Pieces）以及靜止夾鉤（Stationary Gripper）和可動夾鉤（Movable Gripper）。
  3. 驅動桿：驅動桿表面有許多凹槽。凹槽形狀與夾鉤吻合，以便夾鉤組可以支持驅動桿與爪形控制棒元件的重量。
  4. 每支爪形控制棒元件各有三個操作線圈，位於壓力管室之外，與夾鉤組高度相同，由上而下，依序是提升線圈（Lift Coil），可動夾鉤線圈（Movable Gripper Coil）及靜止夾鉤線圈（Stationary Gripper Coil）。當線圈通過電流時即產生磁場，磁通量通過非磁性的壓力管室，而作用於夾鉤組之磁極塊。磁極塊受磁化而相吸，所產生之力足以壓迫彈簧並引動夾鉤夾住驅動桿。當線圈電流停止，磁力即消失。
- H. 正常運轉時，若功率及爐水溫度保持不變，則控制棒停止抽插，此時靜止夾鉤線圈通過電流而賦能（Energize），使靜止夾鉤夾住驅動桿，並支持爪形控制棒元件之重量，稱為夾住模式（Hold Mode）。若此時電流中斷，夾鉤鬆開，控制棒將因其本身重量墜入爐心。
- I. 完成一次抽或插動作約需3/4秒，最大抽插速度為72節/分即每分鐘114.3cm，最小速度為8節/分。停機棒組手動抽插時，速度固定為64節/分（無自動控制）；控制棒組手動抽插時，速度固定為48節/分，在自動控制時，速度自8節/分至72節/分不等，依訊號之強弱而定。
- J. 各操作線圈之電源均來自兩部馬達發電機組（M-G set），馬達自廠內非緊急480V匯流排受電，帶動發電機發出260V，三相，58.5Hz交流電，經過反應爐跳脫斷路器（Reactor Trip Breaker），送到五個電力櫃（Power Cabinet）整流後，分送到每一根爪形控制棒元件之操作線圈。當反應爐跳脫時，跳脫斷路器打開，電流中斷，所有線圈失能，各夾鉤均鬆開，爪形控制棒元件遂以本身重量墜入爐心。

## 參. 控制棒控制系統

### A. 系統組件

控制棒控制系統包括反應爐控制單元（Reactor Control Unit）邏輯櫃（Logic Cabinet）、電力櫃（Power Cabinet）以及棒組選擇開關，手動抽插手柄，阻棒（Rod Stop）和相關的警報訊號等。當棒組選擇開關於"自動"位置時，反應爐控制單元比較爐水平均溫度和參考溫度之差，並比較反應爐功率與汽機負載兩者差之變化率，來決定控制棒抽插方向及速度。當棒組選擇開關放在"手動"位置時，由反應爐操作員操作抽插手柄，來決定控制棒抽插方向，無論自動或手動，均須經過邏輯櫃，在邏輯櫃中產生各程序控制訊號。這些控制訊號隨後送至相關電力櫃，電力櫃依控制訊號之指令將電流送至相關控制棒之操作線圈來抽插控制棒。詳見圖34-1。



## B. 反應爐控制單元

反應爐控制單元接受三面的訊號，分別是爐水平均溫度，參考溫度（Reference Temperature）以及預期反應爐汽機功率不匹配訊號（Anticipatory Power Mismatch）。

1. 爐水平均溫度訊號來自RCS溫度感測儀器，三個迴路的Tavg經過中值選擇程式，選出第二高值的Tavg信號（Second High Tavg），此訊號經過補償、濾波後，送至相加程式。
2. 參考溫度（Tref），也就是相對於汽機負載的程式溫度（Programmed Temperature）。汽機功率大小和高壓汽機第一級衝擊室壓力成正比，故以其代表汽機負載，汽機衝擊室壓力有三個感測元件（PT450、PT446及PT447），選擇三個信號之第二高值作為輸入訊號。汽機衝擊室壓力信號轉換為參考溫度程式值（Tref Programmer）產生Tref的訊號，在相加器中Tref信號減去Tavg信號，若為正值表示實際爐水溫度小於理想爐水溫度，反應爐控制系統就指令控制棒抽出，若Tref減Tavg信號為負值，表示實際爐水溫度大於理想爐水溫度，則指令控制棒插入。
3. 預期功率不匹配程式，當汽機負載變化時，首先影響爐水溫度，然後反應爐功率再由負溫度係數，跟隨汽機變化。由於RCS管路有一定的長度，因此反應爐的功率變化往往落在汽機之後，因而造成不穩定暫態，為了避免這種現象，此線路比較汽機和反應爐功率兩者之變化率的大小，當汽機功率上升得比反應爐快時，本線路預知爐水溫度可能過低而使控制棒往外抽，當汽機功率下降得比反應爐快時，控制棒插入，以免爐水溫度過高。
4. 相加程式將Tref信號減去Tavg信號，加上預期功率不匹配程式信號，將輸出信號送至速度控制程式。
5. 速度控制程式（Speed Controller）依相加器輸出訊號之正負大小決定控制棒之抽插方向及速度。當Tref與Tavg溫度差在 $\pm 0.83$ 以內時，控制棒不動作，是為無效帶。當溫差在 $\pm 0.83$ 至 $\pm 1.7$ 之間，控制棒以8節/分速度抽插，當溫差增至 $\pm 2.8$ 時，控制棒以72節/分速度移動，直到溫差小於 $\pm 0.56$ 才停止動作，速度控制器之信號送至邏輯櫃。

## C. 邏輯櫃（Logic Cabinet）

邏輯櫃接受反應爐控制單元之自動訊號或操作員之手動信號，產生各種程序信號及電流指令給電力櫃（Power Cabinet）來控制控制棒之動作。邏輯櫃包括脈波產生器（Pulsar）、主環算器（Master Cyclar）、子環算器（Slave Cyclar）及棒組重疊單元（Bank Overlap Unit）

#### D. 電力櫃 ( Power Cabinet )

電力櫃接受來自邏輯櫃子環算器的指令訊號，利用矽控整流器 ( SCR Silicon Controlled Rectifier ) 控制輸往CRDM操作線圈的電流以操作控制棒。

1. 電源：來自兩個馬達發電機 ( M-G set ) 的兩部150匹馬力的感應馬達，其分別自廠內480VAC匯流排NG-S05及NG-S12受電。馬達發電機組並帶有飛輪 ( Fly Wheel )，以增加慣性，故馬達電源瞬時斷電時，不致使控制棒線圈失能而墜落。兩部發電機採並聯方式運轉，因此任一個M-G set故障，皆不影響電源的供應。在M-G set與電力櫃之間，有兩個串聯的反應器跳脫斷路器 ( Reactor Trip Breaker )，任何一個跳脫皆足以使反應爐急停。反應爐跳脫斷路器由反應爐保護系統 ( Reactor Protection System ) 之信號來動作。旁通斷路器 ( Bypass Trip Breaker ) 通常在拖出 ( Rack out ) 的位置，當跳脫斷路器要檢修、或測試時，才推入 ( Rack in ) 代替其作用。
2. 電力櫃一共有五個，1AC、1BD、2AC、2BD、SCD及直流固持電源 ( DC hold )。除DC hold以外，其餘五個電力櫃都分別直接承受其所屬子環算器的指示，將電流送往控制棒的操作線圈。1AC供給控制棒組A第一棒群 ( 四支 ) 控制棒組C第一棒群 ( 四支 )，及停機棒組A第一棒群 ( 四支 ) 合計十二支爪形控制棒元件所需的電力。1BD則供給控制棒組B、D第一棒群，停機棒組B第一棒群電力。2AC供給控制棒組A、C第二棒群，停機棒組A第二棒群電力。2BD供給控制棒組B、D第二棒群，停機棒組B第二棒群電力。SCD則供給停機棒組C、D八支爪形控制棒元件電力。
3. 每個電力櫃最多可控制三個棒群 ( 十二支爪形控制棒元件 ) 的動作。每個電力櫃內有五組矽控整流橋組 ( SCR ) 用以將260V交流電源整流，並控制輸往操作線圈的電流大小。
4. 電力櫃中有故障偵測線路以偵測可能發生的故障，故障類別分為緊急故障 ( Urgent Failure ) 及非緊急故障 ( Nonurgent Failure ) 兩種。緊急故障發生時，靜止及可動夾鉤線圈同時通過電流，兩個夾鉤同時夾住驅動桿，使控制棒「鎖」在原位置，並有警示燈及警報。無論手動或自動均無法移動控制棒，不過不在此電力櫃的控制棒可在棒組選擇開關選擇個別棒組時移動。非緊急故障為任一儀器電源故障，由於電源有兩個來源，故不致馬上影響控制棒操作。
5. 直流夾住電力櫃 ( DC Hold ) 可提供直流電給任何爪形控制棒元件之靜止夾鉤線圈，正常運轉時 DC HOLD是在OFF位置，當電力櫃故障時，欲檢修控制棒控制線路時，將DC HOLD內之操作開關ON。

#### E. 其他元件

1. 棒組選擇開關 ( Bank Select Switch )，一共有十個位置可以選擇八個棒組中的任一個棒組，也可選擇自動或手動。
2. 抽插手柄，有抽一停一插三個位置，操作此手柄可決定控制棒移動的方向。
3. 棒速指示錶，指示控制棒及停機棒組A、B移動的速度，指示範圍由零至七十二節/分。
4. 方向指示燈：指示送往邏輯櫃的棒動作方向信號。
5. 方向需求指示燈：指示反應爐控制單元送出之方向信號。
6. 起動復歸旋轉開關 ( Start up Reset switch )：將所有控制棒控制系統之計數器記憶等全部復歸為零。此旋轉開關僅能在反應爐起動(停機棒組抽出前)轉動，若是控制棒移動以後，轉動此開關，將使棒組重疊單元、主環算器、子環算器、棒位節數器、脈波類比轉換器全部錯亂。
7. 警報復歸按鈕 ( Alarm Reset Pushbutton )，可復歸緊急故障及非緊急故障警報，要復歸控制室之警報窗，須先復歸現場之警報，故須先按此按鈕。