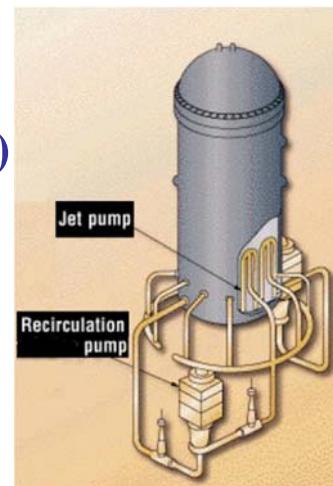


再循環水系統 (Recirculation System)

模擬中心
103. 09



再循環系統課程綱要

1. 再循環系統的功能
2. 再循環系統的流程
3. 泵與馬達的運轉與監測
4. 封水裝置(Pump Seal Assembly)
5. 再循環迴路流量控制閥與液壓動力單元(HPU)
 - 15Hz(低頻M/G組)/60Hz的馬達
 - 每一控制閥另具有高壓操作油設備
6. 再循環的電源與跳脫信號
7. 再循環泵的運轉限制
8. 再循環泵的運轉功率/流量圖

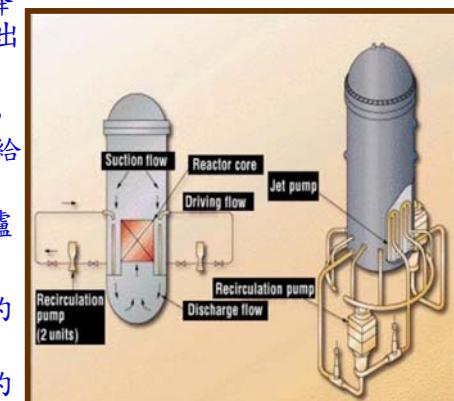
再循環系統的功能

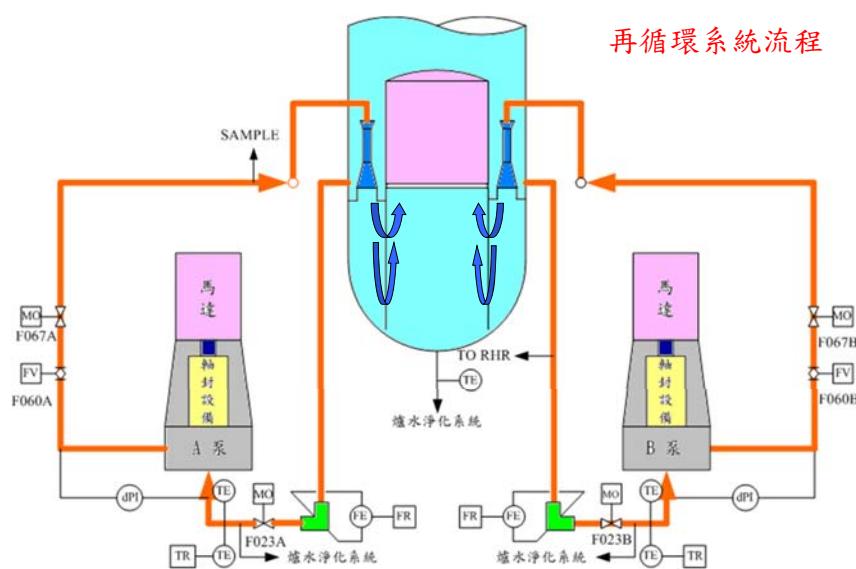
再循環系統(Recirculation System)供給強制循環水通過爐心。

使電廠設計能有較高的出力密度。

再循環系統流程

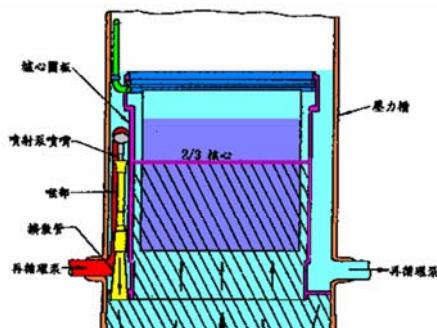
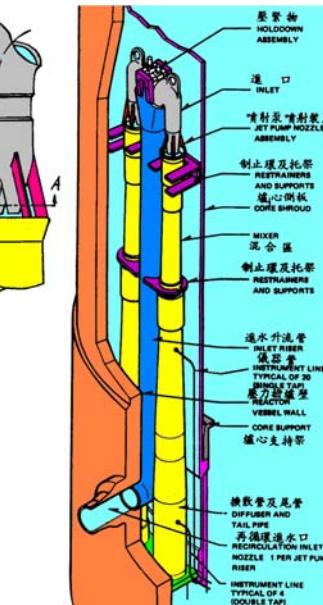
- a. 自壓力槽內部噴射泵間之環狀降流區的兩個獨立的迴路A和B引出
- b. 泵出口管路，連通至環形集管
- c. 爐水藉再循環泵送至環形集管，再經五支升管進入壓力槽，供給兩台噴射泵噴嘴之水流
- d. 驅動水流與吸入水流混合進入爐心進水區(1/3 : 2/3)
- e. 約90%之流量經過燃料匣內，約10%之流量則流經燃料匣外
- f. 蒸汽流量與再循環水流的比例約為七比一





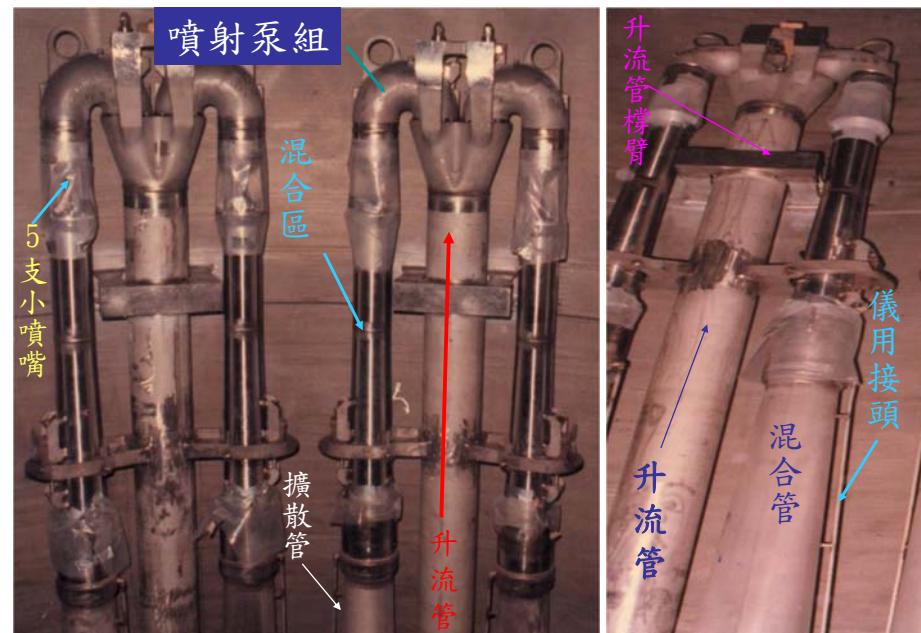
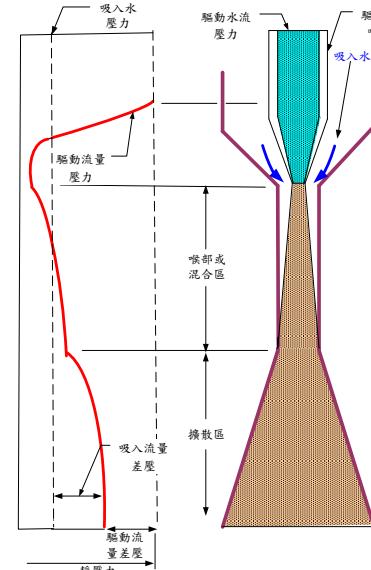
噴射泵

- 共有10組(每組由兩台噴射泵組成)，每台噴射泵內有五支小噴嘴
- 強迫冷卻水通過爐心，以產生較自然循環更多的反應爐功率
- 做為爐心流量的量測
- LOCA時，用以維持爐心2/3高度的水位(為其安全功能)



噴射泵：

1. 可將再循環泵的水流降壓並放大，減少泵的數量
2. 可在基準事故下，維持2/3高度的水位



再循環泵馬達

1.直立，空氣—水冷式，全密閉鼠籠式感應馬達。

2.泵馬達數據

- (1) 額定電壓 13.2KV (60Hz)
- (2) 相 3ψ
- (3) 頻率 60Hz或15Hz
- (4) 馬力 60Hz時為6300HP,15Hz為300HP。 →
- (5) 同步速率 60Hz時為1780RPM，15Hz時為450RPM
- (6) 附件及其特性：康銅熱電偶(裝置於繞組及軸承內)、空間加熱器(Spare Heater保持馬達高於周溫5°F)、比流器(附防水保護箱)、震動測量開關、及震動監測系統(軸位移，馬達震動速度、泵震動加速度)、潤滑油位開關。

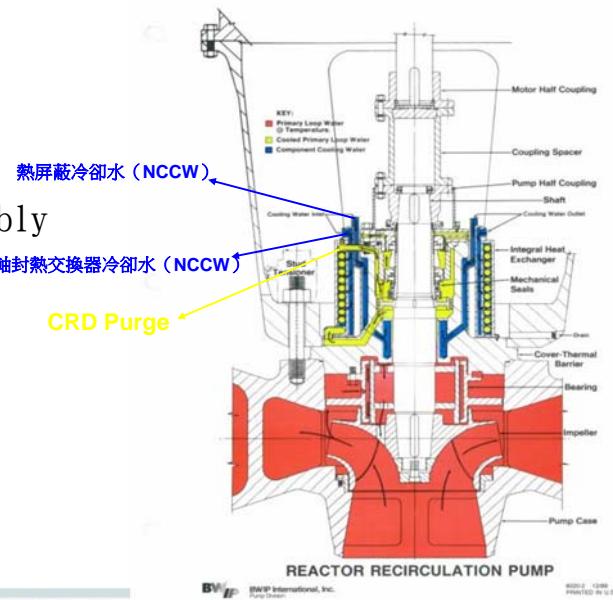
泵為固
定轉速

再循環泵馬達現場圖



主要組件如下：

- Mount
- Rotor assembly
- Cover
- Pump casing



Mount (馬達承座)

- 主要功用為固定再循環馬達。
- Mount上端有四支彈簧拉伸器接合處（承受馬達重量），下端有兩支限制器接合處。



Rotor assembly (轉子組件)

- 包含泵軸、葉輪、液壓軸承轉動件 (Journal)。
- 泵軸為中空式，便於執行UT檢測。
- 葉輪是以螺栓固定方式與泵軸連接。
- 液壓軸承是以焊接方式與泵軸連接。



Pump casing (泵殼)

- 包含磨耗環、泵殼墊片。
- 泵殼底部有四支彈簧避震器接合處。



Cover (泵蓋)

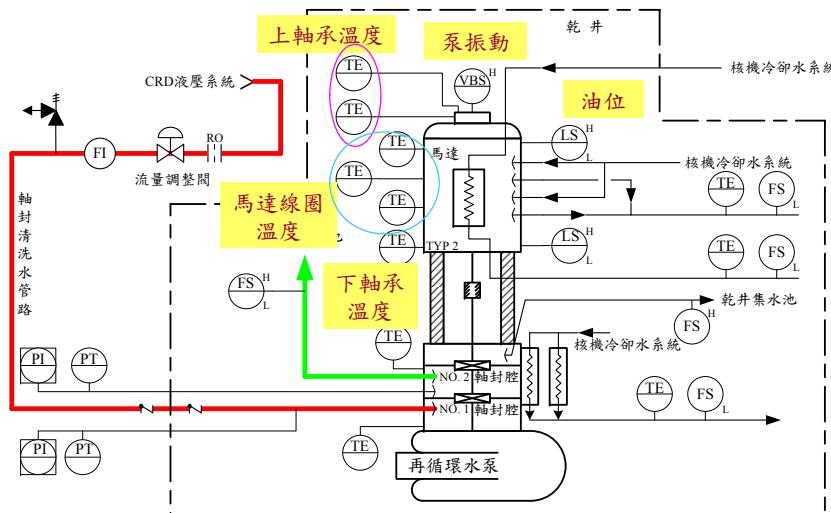
- 包含軸封熱交換器、熱屏蔽區 (Thermal barrier) 、液壓軸承固定件。
- 軸封熱交換器及熱屏蔽區與泵蓋是一體成型式，液壓軸承與泵蓋是以螺栓固定之。



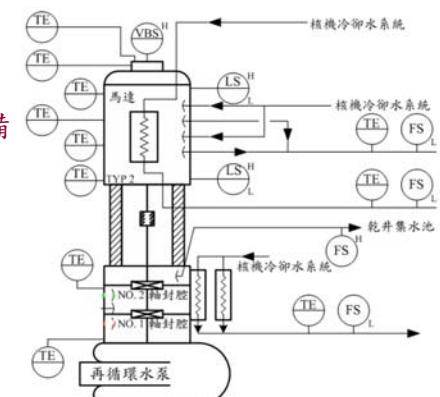


再循環泵與馬達的運轉監測

1. 泵與馬達的運轉溫度監測
2. 泵封環完整性的監測

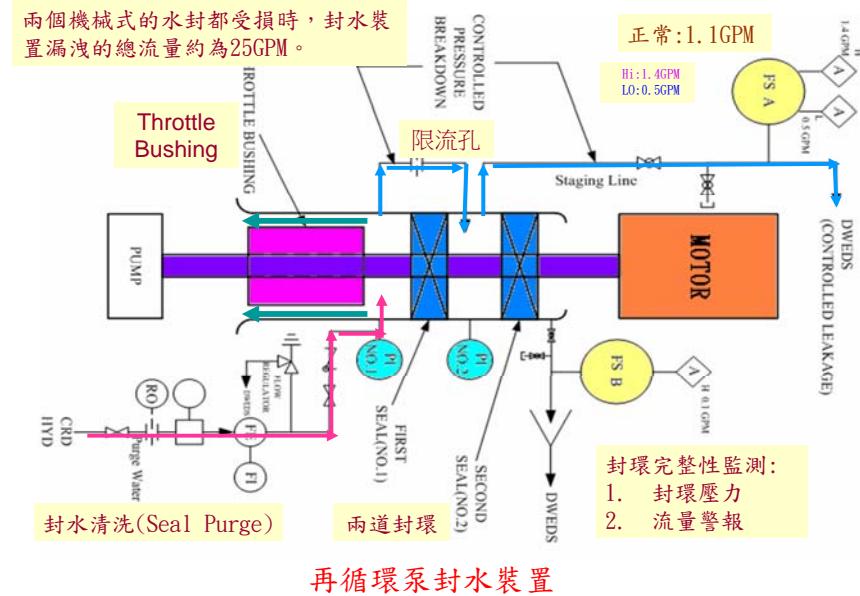


- 再循環泵馬達冷卻器**
- 繞組：軸帶動風扇使空氣循環，熱空氣由NCCW冷卻，冷卻水流量約95GPM。
 - 軸承：在馬達上下部，裝有自備全套潤滑油系統，由NCC W冷卻，流量上軸承約為12GPM，下軸承約5GPM。
 - 馬達及軸承的高溫度與NCCW回水溫度，超出限制值時，警報出現。
 - NCCW回水有低流量警報
 - 馬達上、下部軸承，有高低油位警報。



泵封水裝置

- a. 兩道封環: #1 / #2 封環。
- b. 於正常運轉情況下，各封水承面應無漏水，但為了維持封環間各受510psig之壓力，在裝置內設一通路，通過少許流量(此即所謂分級流量，Staging Flow)，有流量開關和警報。
- 1. 於正常運轉中每一套封水承面所承受的壓力約為 510 psid。
- 2. 封水承面由兩個腔室測得壓力：第一腔室為1020 psig，第二腔室為510 psig。
- c. 節流襯套能於兩封水承面失去作用時，限制冷卻劑流失。



泵封水故障之判斷

- 僅No.1 Seal故障:
 - No.2 Seal cavity壓力會趨近No.1 Seal，Seal staging 流量增加。
- 僅No.2 Seal故障:
 - No.2 Seal cavity壓力下降，Outer seal leakage 流量增加。
- 二個Seal同時故障:
 - 二者壓力均下降(外側視故障情況)，Seal staging/ Outer seal leakage 流量增加。

再循環流量控制閥與液壓動力單元

再循環流量控制

1. 泵的轉速與流量控制閥
2. 控制閥的操作動力—液壓動力單元

再循環流量控制閥 (Flow Control Valve, FCV)

由於再循環泵只具450/1780rpm兩種固定轉速，無法以泵來調節爐心流量，故於兩迴路泵出口各設一流量控制閥(FCV)由各自的流量控制器→引動器(Actuator)來調節FCV的開度以調節爐心流量。

- ▲型式：球形閥 (Vee-Ball) 和電動液壓引動器。
- ▲尺寸：20"(實際流孔為10.28")
- ▲材料：沃斯田不鏽鋼。
- ▲引動器(Actuator)：為電動液壓式。

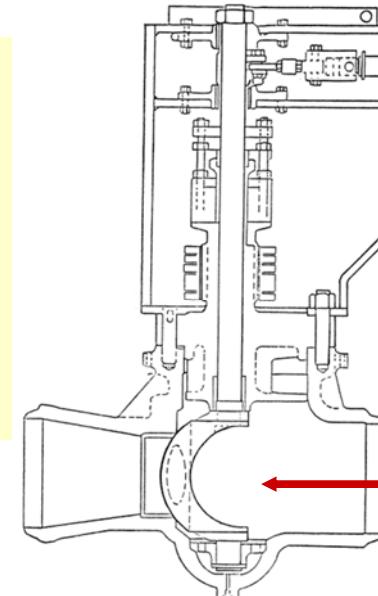


功能：

用以控制爐心流量，可手動或自動控制。

自動控制可為定功率或交調度人員控制。

目前只做手動控制。



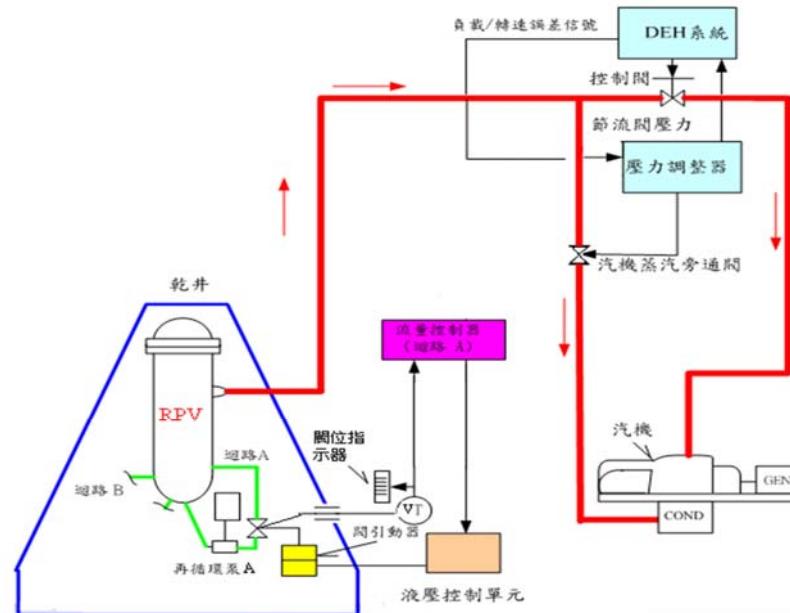
流量控制閥

控制閥為球形閥，具電動液壓引動器以調節開度



再循環流量控制系統組件

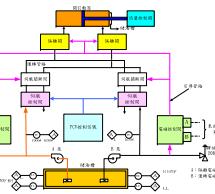
- 個別之手動流量控制站(Flow Control Station，簡稱流量控制站)。
- 液壓動力單元(Hydraulic Power Unit, HPU)。
- 閥引動器(Valve Actuator)。
- 流量控制閥(Flow Control Valve, FCV)。



再循環泵控制器



再循環液壓動力單元(HPU)



- 系統概述：
 - 液壓動力單元(Hydraulic Power Unit)
 - 提供精確定位FCV的動力，每只FCV都有一組HPU。
 - 每組HPU包括兩個單元(使用及備用單元，位於乾井外面)。

◆再循環泵液壓動力單元HPU之功用

- ★把電氣信號轉換為驅動液壓。
- ★提供精確定位FCV的動力
- ★驅動液壓直接送至FCV，以控制其開度。

HPU單元組件(1/2)

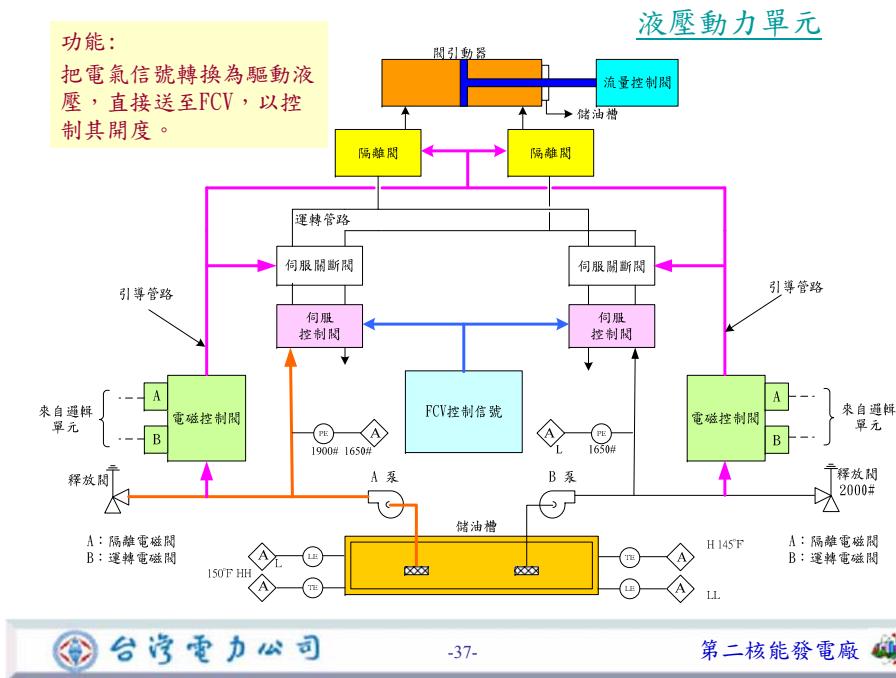
- 油槽(80Gal)：二單元共用
- 馬達驅動油泵
 - 壓力補償式軸向正壓位移泵。
 - 系統油壓保持在1900psig。
 - 馬達容量40HP。
- 電磁控制閥(Solenoid Control Valve)
 - 電磁控制閥決定使用那個單元。
 - 容許液壓供至伺服中斷閥(Servo Block Valve)及閉鎖閥(Lockout Valve)。
 - 喪失電力時，中斷供給液壓。

HPU單元組件(2/2)

- 伺服控制閥(Servo Control Valve)
 - 噴射管型式。
 - 油質不佳亦不致使此閥卡住。
 - 依來自伺服放大器的電流訊號決定操作油壓大小，操作油壓即決定FCV之速率。
- 伺服關斷閥(Servo Block Valve)
 - 把備用單元伺服閥之液壓輸出予以隔離。
 - 操作單元切換時，即予有效隔離。
- 隔離閥(Lockout Valve閉鎖閥)
 - 把兩個伺服閥供至流量控制閥之液壓隔離。
 - 這時流量控制閥鎖在原位。

功能：

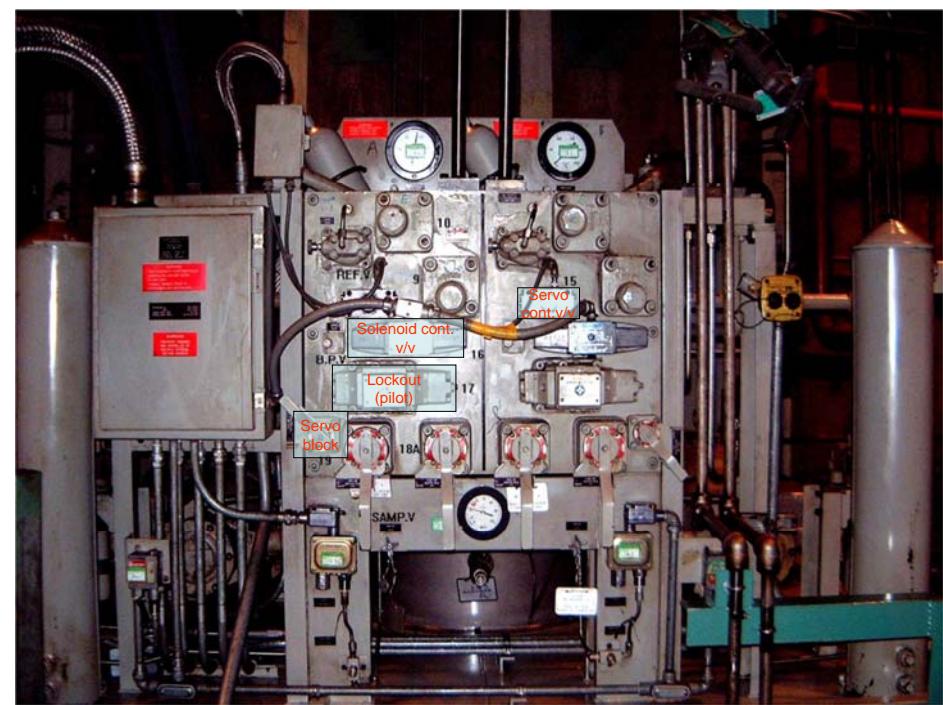
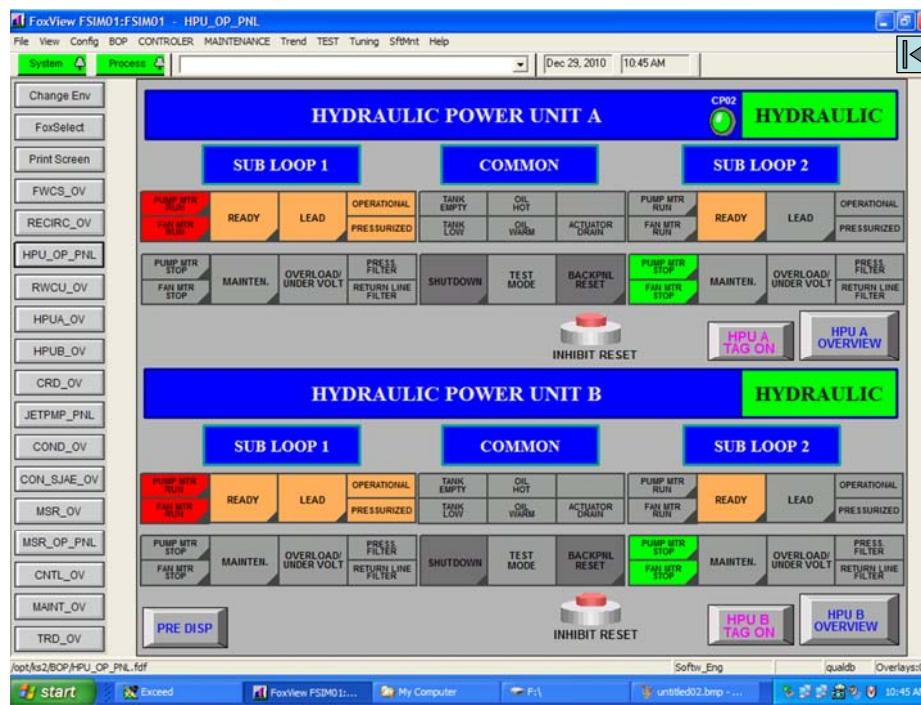
把電氣信號轉換為驅動液壓，直接送至FCV，以控制其開度。



台灣電力公司

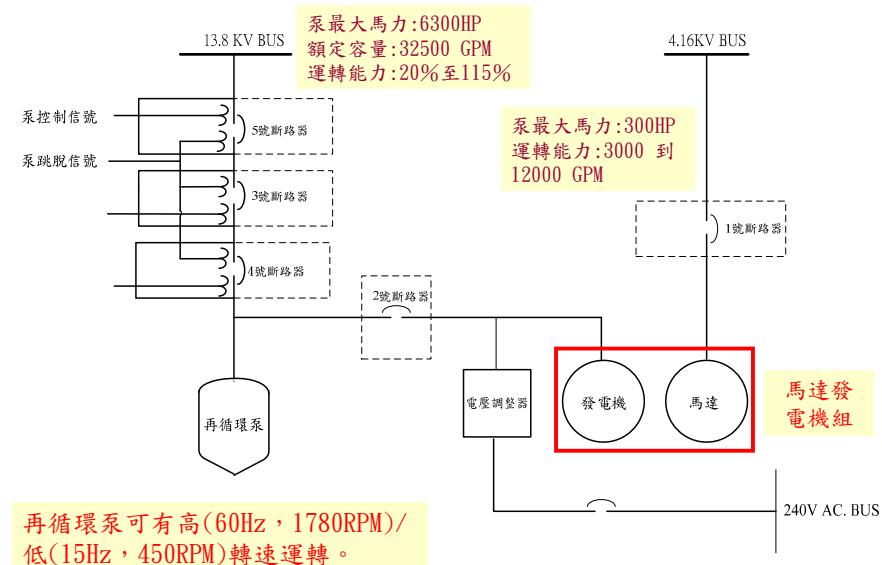
-37-

第二核能發電廠



再循環的電源與跳脫信號

1. 低頻的馬達發電機組:450rpm
2. 高頻的電源:1780rpm

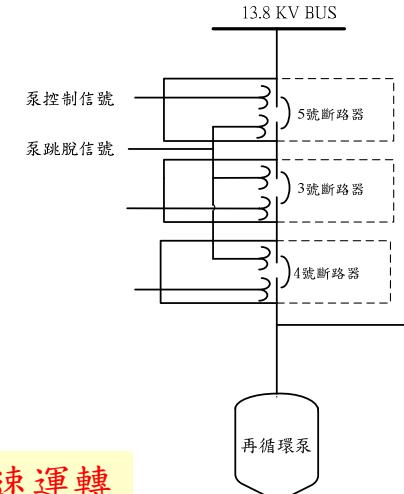


Recirc. M-G Set



斷路器#3、4、5跳脫信號

- 反應爐功率大於40%
- 爐心末期再循環泵跳脫(EOC RPT)
 - 汽機節流閥<95%開度，或
 - 汽機調速閥快速關閉
(End Of Cycle Recirculation Pump Trip)

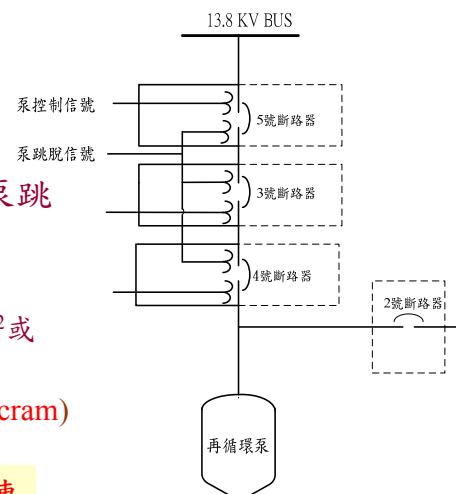


斷路器#5 and / or #2 跳脫信號

- 預期暫態未急停再循環泵跳脫(ATWS RPT)
 - 第二階水位(-76cm或-30")
 - 反應爐高壓力(78.4 kg/cm²或1115psig)

(Anticipated Transient Without Scram)

再循環泵會停止運轉



流量控制閥自動關小

- 又稱為控制閥自動回退(Run Back)，FCV會自動迴退至70%的流量(~37.2%開度)
- 原因:再循環泵運轉於高轉速
 - 發生一台反應爐飼水泵跳脫或低流量，且
 - 發生反應爐低水位警報(Level-4)

再循環泵的運轉限制

1. 運轉流量/功率的運轉範圍
2. 再循環泵高速運轉的保護範圍
3. 再循環泵起動限制及起動邏輯

再循環系統之運轉

- 系統運轉摘要：
- 再循環流量改變反應爐功率(一般觀念)
- 功率與流量圖
- 繪出棒位型式、泵速及FCV位置各種情況下，反應爐功率對爐心流量的綜合關係曲線。
- 藉圖面說明電廠各種運轉情況下，適當的操作範圍，使值班員能有所遵循。

再循環流量改變反應爐功率(一般觀念)

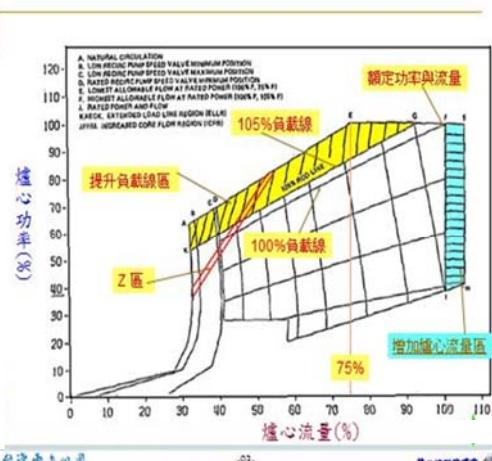
- 1、剛進爐心的水，其過冷度約20°F，在爐心底部區域，因汽泡沸騰(Nucleate Boiling)所生的汽泡，剛離燃料護套即遇過冷而消失(次飽和沸騰，Subcooled Boiling)。
- 2、水通過爐心後，加熱至正常運轉壓力之飽和溫度。
- 3、汽泡沸騰所生的汽泡，逐漸合併形成大汽泡(全面沸騰，Bulk Boiling)，介於全面沸騰與次飽和沸騰之界面，稱為沸騰邊界(Boiling Boundary)。
- 4、在穩定功率運轉中，蒸汽之產生與移出速率相等。

增加爐心流量，將產生下列效應：

- (1)水之流速增加，與燃料棒接觸時間縮短，達到飽和溫度前，水在爐心流動行程增長。
- (2)爐心由於沸騰邊界上移，部份空泡被緩和劑取代(等於增加緩和作用)。
- (3)增加緩和作用後，等於爐心增加正反應度。
- (4)反應度增加，使反應爐功率增加，亦即沸騰增加，此時沸騰邊界下移至原來(未增加流量前)的位置。
- (5)空泡含量增加，導致負反應度的介入，加上都卜勒效應，阻止功率繼續上升。
- (6)結果，反應爐運轉在較高的功率，空泡形成及移出率增加，以符合新的功率情況，但沸騰邊界和空泡含量，仍保持和功率變化前一樣，中子通量分佈亦然。
- (7)這是極有效的反應爐功率控制，利用流量控制閥控制調節爐心流量，能使平均功率變化率達到每秒1%額定功率

功率與流量圖(Power Flow Map)

- Power Flow Map 為棒位型式、泵速及FCV位置各種情況下，反應爐功率對爐心流量的綜合關係曲線。
- 藉圖面說明電廠各種運轉情況下，適當的操作範圍，使值班員能有所遵循



負載線

- 100% 負載線，是爐心流量和功率皆在100%時的棒位型式。
- 改變爐心流量，則負載依此曲線而變。
- 值班員要想把再循環泵改至60Hz泵速前，須將控制棒抽至約60%之棒位型式。

負載線(LOAD LINE=ROD LINE)定義

102% ROD LINE:當某一棒位型式定位後，CORE FLOW加到100%，此時功率達到102%，則稱此棒位型式為102% ROD LINE，依此類推。

泵定速線

- 最初條件：100%功率，100%爐心流量，再循環泵在60Hz泵速運轉。
- 插入控制棒降低功率時，爐心流量反而增加。
 - 反應爐功率減低，爐心與汽水分離器間差壓降低，故爐心流量的阻力減少。
 - 因再循環泵驅動力未變，而爐心流量的阻力減少，故爐心總流量增加。



FCV在最小位置之低 泵速(15Hz)線

- 此線是FCV在最小位置及低泵速運轉時，不同的反應爐功率與爐心流量關係曲線。
- 功率增加，由於自然循環效應，使爐心流量增加。
- 在較高功率時，爐心流量增加現象並不明顯，這是由於蒸汽量增加，造成爐心上下的壓力降，抑制了爐心流量的增加。



自然循環線

- 藉抽出控制棒增加功率時，爐心流量因自然循環效應而增加。
- 功率增加，把水加熱和產生蒸汽。
- 密度小的水汽上升，經分離器和乾燥器將水份分離。
- 水份分離後，洩水落至環狀降水區與飼水混合。
- 混合水較爐心水為冷，且密度也大，經噴射泵向下流，進入爐心。
- 較冷的水進入爐心後被加熱，熱循環又重新開始。
- 不論爐心冷卻水是否強制循環，自然循環都存在，但低爐心流量時，自然循環效果更顯著。



最低功率線 (Minimum Power Line)

- 反應爐功率必須達到此最低功率以上，再循環泵速方能由15Hz切換至60Hz。
- 以飼水流量22.5%為控制連鎖，確保功率達到最低功率線，方能切換。
- 目的在防止流量控制閥發生孔蝕現象。



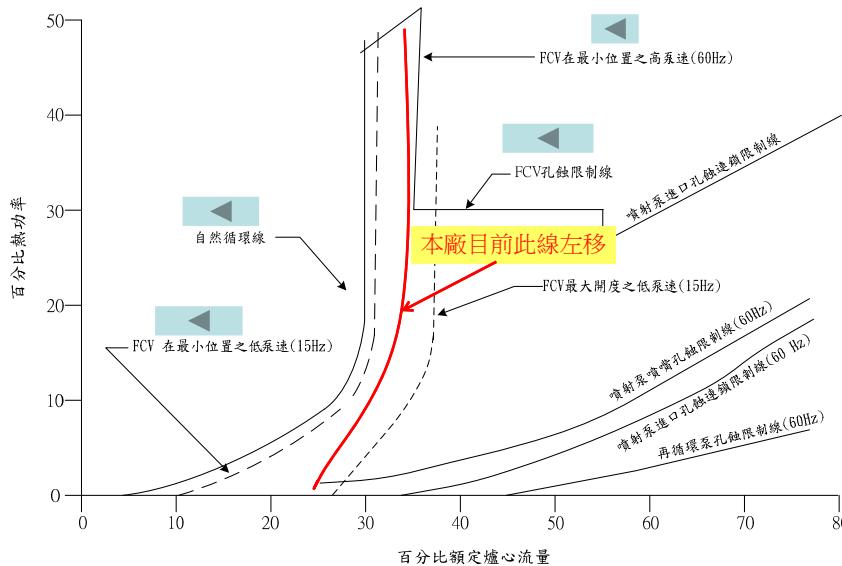
FCV在最小位置之高泵速(60Hz)線



各孔蝕限制線

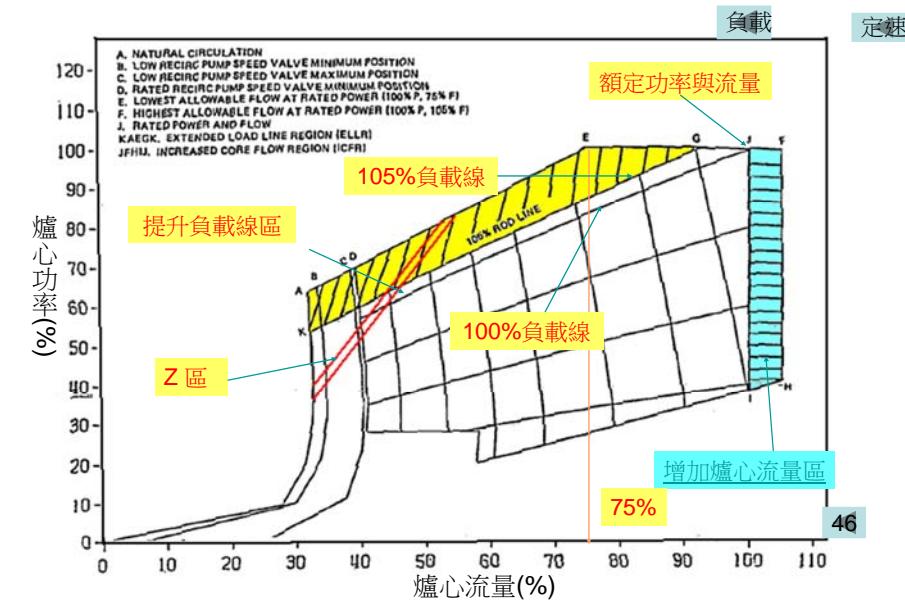
- 噴射泵噴嘴限制最嚴格。
- 噴射泵進口。
- 再循環泵。

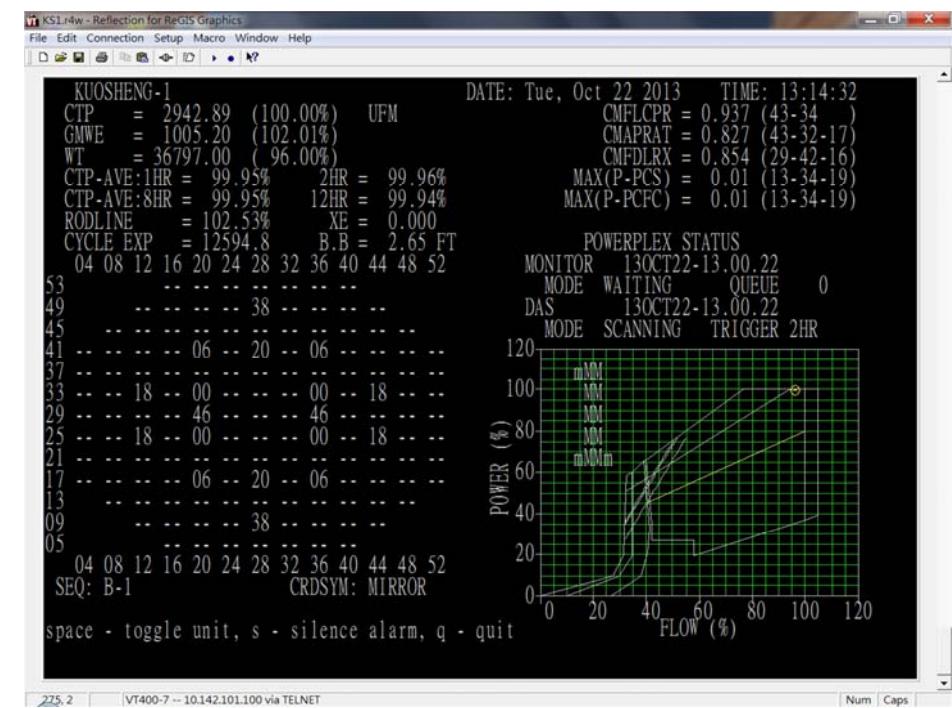
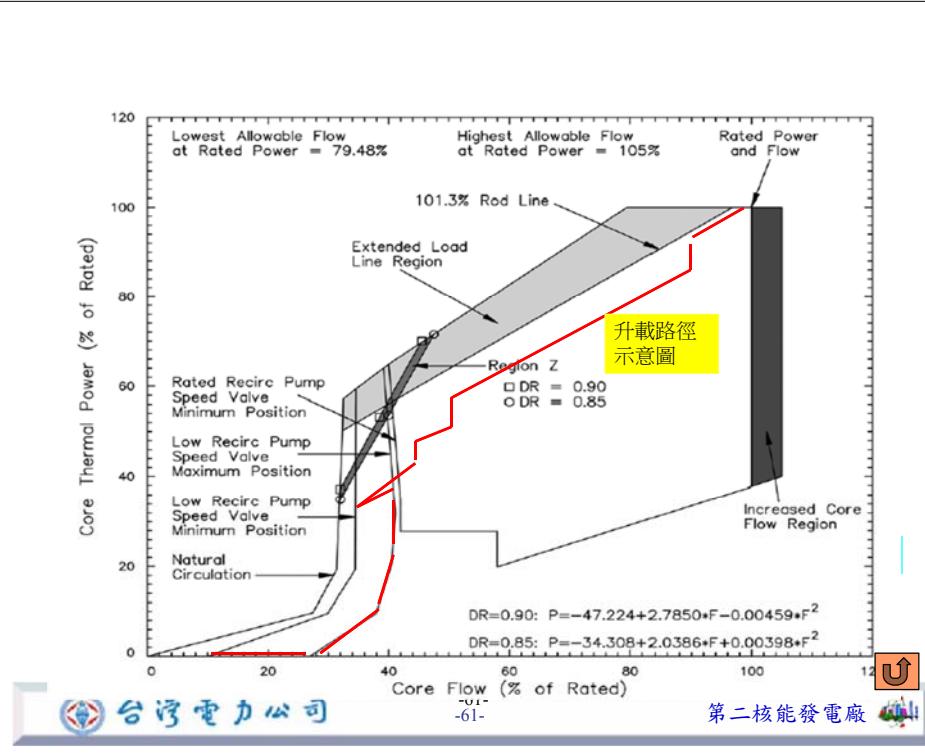
運轉流量/功率限制範圍



流量曲線圖的應用

- 反應爐起動順序，參見圖面。
- 功率改變：通常用下列二種方法，以改變反應爐功率：
 - 以流量來控制
 - 以控制棒來控制
- 用再循環流量改變功率，要比用控制棒快得多，因此，通常都先抽控制棒至100%棒位型式，然後，各種功率的改變，均以變更流量為之。





再循環泵靜止迴路的起動限制

- 靜止迴路與運轉迴路之溫度必須相差在 50°F 以內
 - 避免泵的葉輪膨脹可能比外殼外，使轉子卡住無法轉動
- 反應爐槽底部洩水溫度，與蒸汽室壓力相對的飽和溫度，必須相差在 100°F 以內
 - 限制CRD焊接部份的熱應力
 - 防止冷水進入爐心
- 要起動之迴路與反應爐蒸汽室之溫差應 $\leq 50^{\circ}\text{F}$
- 運轉中之迴路流量必須 $\leq 50\%$ 的額定流量，才可起動靜止中的迴路

以程序書管控

再循環泵的起動連鎖

高速、低速起動共同連鎖信號

- FCV Flow Controller 在手動位置。
- FCV在最小開度。
- 進口閥大於90%開度。(全開)
- 出口閥大於90%開度。(全開)
- #5斷路器直流控制電源正常。
- 兩台再循環泵進口 / 爐底洩水 / 爐頂蒸汽室間溫度連鎖電驛失磁。
- 程序不完全電驛復歸。
- ATWS信號未出現。
- #1及#2斷路器於推進定位。
- 低頻組閉鎖電驛已復歸。

再循環泵低轉速切換至高轉速的限制

- 主蒸汽溫度與再循環泵入口溫度差大於8.6°F。
- 反應爐功率高於設定值(以22.5%的飼水額定流量為準)。

再循環泵自動由高速切換至低速

發生下列任一事件

- a.主蒸汽溫度與再循環泵入口溫度差 $<8.6^{\circ}\text{F} + \text{T.D15秒}$
 - 防止再循環噴射泵發生孔蝕現象
- b.總飼水流量 $<22.5\% + \text{T.D15秒}$
 - 防止FCV發生孔蝕現象
- c.反應爐低水位(Level 3)
- d. EOC RPT



課程完畢！

請多指教

謝謝！！

