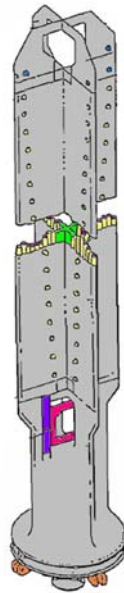


控制棒及驅動機構 液壓系統 棒位資訊及控制系統

核二廠模擬中心
104.07



1

課程綱要

- 控制棒
- 控制棒驅動機構(控制棒+驅動機構)
- 控制棒液壓系統
- 棒控制及資訊系統(RC&IS)
- 棒位型式控制系統(RPCS)

2

概述

- 反應爐爐心反應度之控制，包括含有
 - (1)可燃性毒素的氧化釷(Gd_2O_3)燃料棒
 - (2)再循環水流量
 - (3)控制棒---(本課程介紹)
 - (4)備用硼液

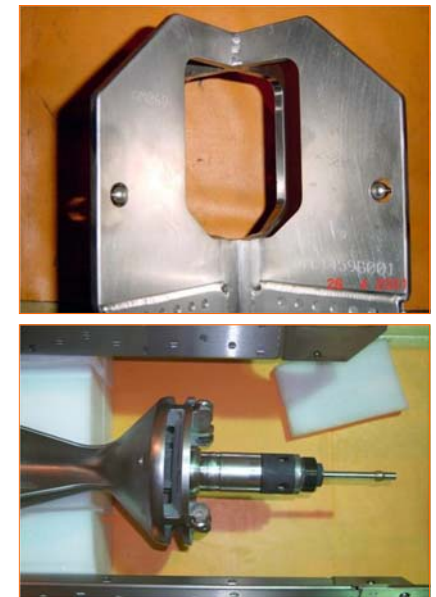
氧化釷(Gd_2O_3)燃料棒為一種可燃性毒素，用於抑制初期反應度，以提供足夠的SDM並增長燃料循環週期。

3



控制棒

十字形葉片和速度限制器



概述(續)

- 控制棒之抽出、插入或停妥須依賴其驅動機構來達成，除維修外，控制棒與其驅動機構均偶接在一起，故又簡稱為控制棒驅動機構(CRD)。

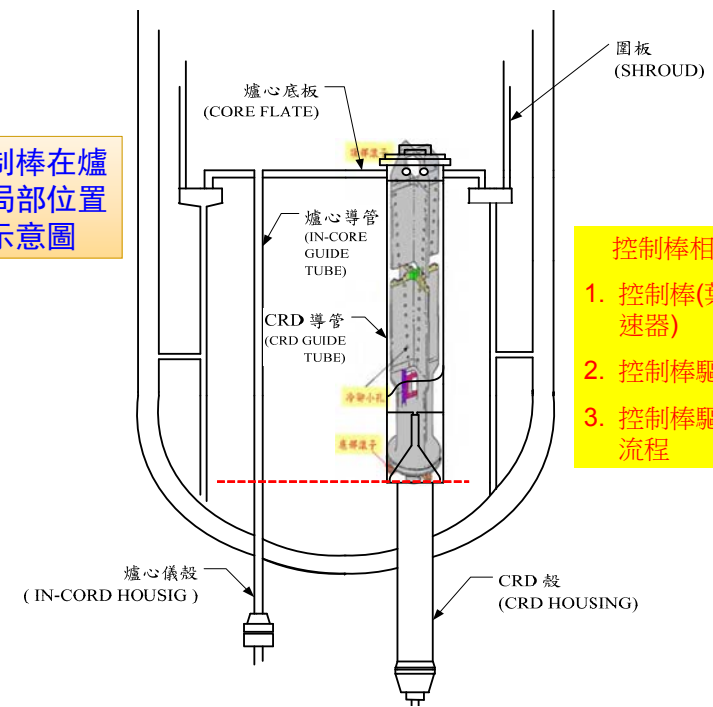
CRD:Control Rod Drive Mechanisms

■ 本廠CRD(控制棒+驅動機構)

- 計有145支十字形控制棒葉片。
- 葉片毒素有效長度為3.66米(144吋)。
- 控制棒由其驅動機構所控制，行程為3.6米(144吋)加少許超程。
- 行程中每隔6吋有一扣鎖(Latch)，以利控制棒可以扣住在任一溝道而定位。

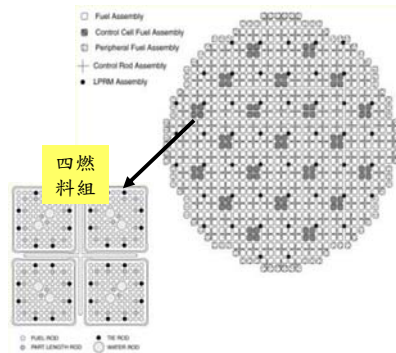
5

控制棒在爐心局部位置示意圖



6

控制棒及燃料組的關係



7

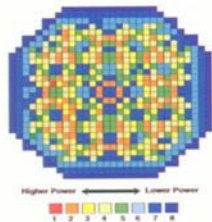
燃料墊塊與控制棒



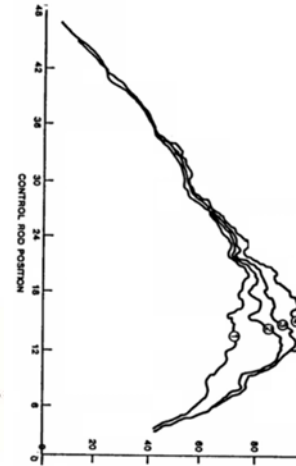
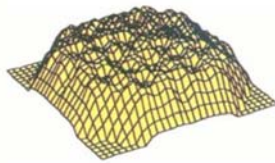
8

控制棒的功能

- 抑制爐心初期多餘反應度
- 控制及調整反應爐的功率
- 用以調整爐心軸向及徑向的中子通量形狀，以達到爐心燃料之最佳運用
- 具有足夠的負反應度，能使爐心在正常或異常反應度最強的情況下將反應爐停機



中子徑向通量分佈

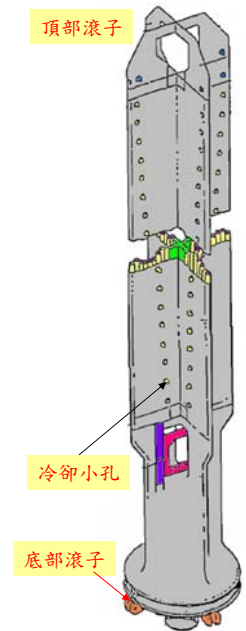


相對功率

控制棒的構造

包括：十字形葉片和速度限制器

- 十字形葉片
 - 每一葉片有多根內含碳化硼的不鏽鋼小管
 - 葉片之頂部及底部均各裝置四個引導滾子
 - 頂部滾子(燃料匣表面上滾動)
 - 底部滾子(沿導管內面滾動)



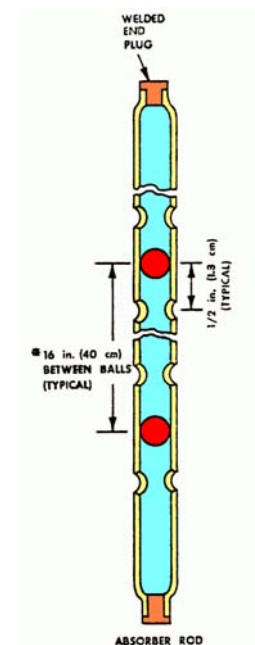
速度限制器(Velocity Limiter)

- 速度限制器係沸水式反應爐(BWR)特殊安全設施之一，位於葉片下方。
 1. 設計目的是在限制控制棒自由掉落的速度小於5.0呎/秒。
 2. 實際試驗數據指示，在正常運轉情況下，其自由掉落的速度為3呎/秒。
 3. 控制棒掉落時，速限器將水流方向急速改變，產生很大的壓力差，故可減緩掉落速度。

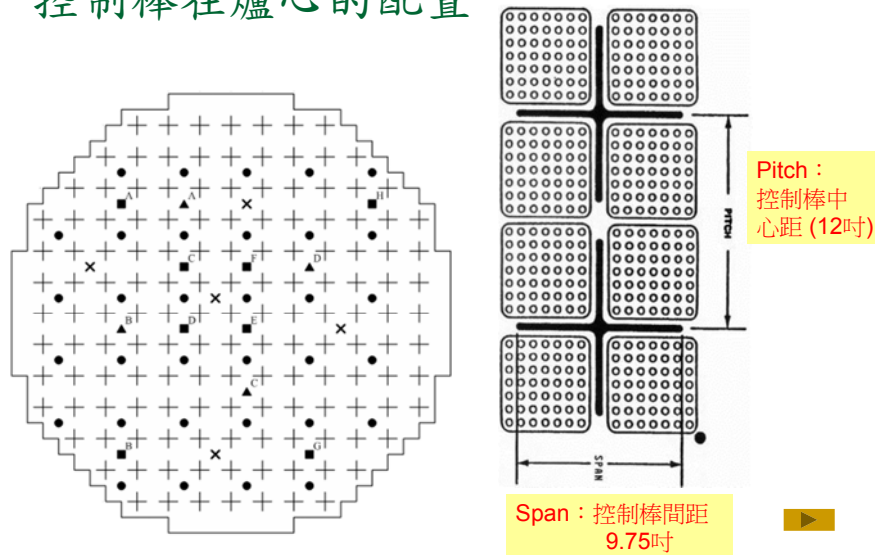


控制棒的葉片

- 中子吸收棒
 - 每一不鏽鋼的中子吸收管內填 B_4C 粉粒的毒素(天然硼)
 - $B-10$ 吸收中子後，產生 ${}_3Li^7$ 與 ${}_2He^4$
 - 小管每間隔有縮孔與分隔球，防止 B_4C 燃耗後向下沉積
- 毒素的有效長度為144吋
- 中子吸收棒的熱量經爐心旁通水流冷卻



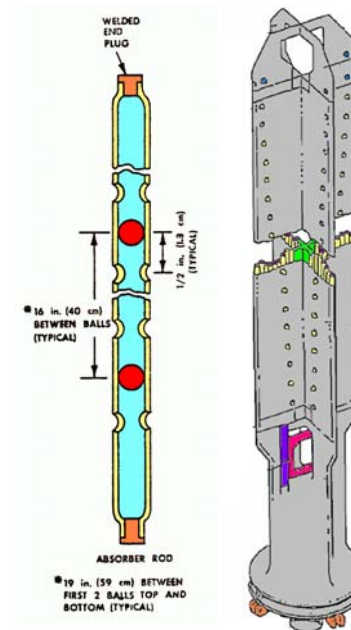
控制棒在爐心的配置



13

控制棒的使用壽命

- 由下列兩者之低值決定
 - 機械壽命
 - B-10吸收中子後，產生 ${}^3\text{Li}^7$ 與 ${}^4\text{He}^4$
 - 機械壽命取決於中子吸收管內產生的氣體壓力
 - 核子壽命
 - 如次頁說明



14

控制棒壽命評估程序書

- 格式 1013.1-4 本廠目前所用各型控制棒葉片之壽命表

控制棒型式	核子壽命 (1/4節段最高燃耗)		機械壽命 (4節段平均燃耗)		備註
	B-10 損耗 (%)	中子通量 (SNVT)	B-10 損耗 (%)	中子通量 (SNVT)	
D-100	25	1.789			【a】仍在使 用庫存
D-230	47	3.781			裂紋問題
Marathon-S	66	6.790	52	5.350	只剩爐心使 用，無庫存
CR-99	86-87	6.6-6.7			【b】未來均 更換此型

【a】本廠目前處理措施為針對B-10 損耗大於18% (1.288 SNVT) 且欲繼續使用者，檢查最上排水流孔處硼管狀況，若正常則繼續使用。

【b】頂端節為86%B-10等效損耗(6.6 SNVT)。其餘三節為87%B-10等效損耗(6.7 SNVT)。

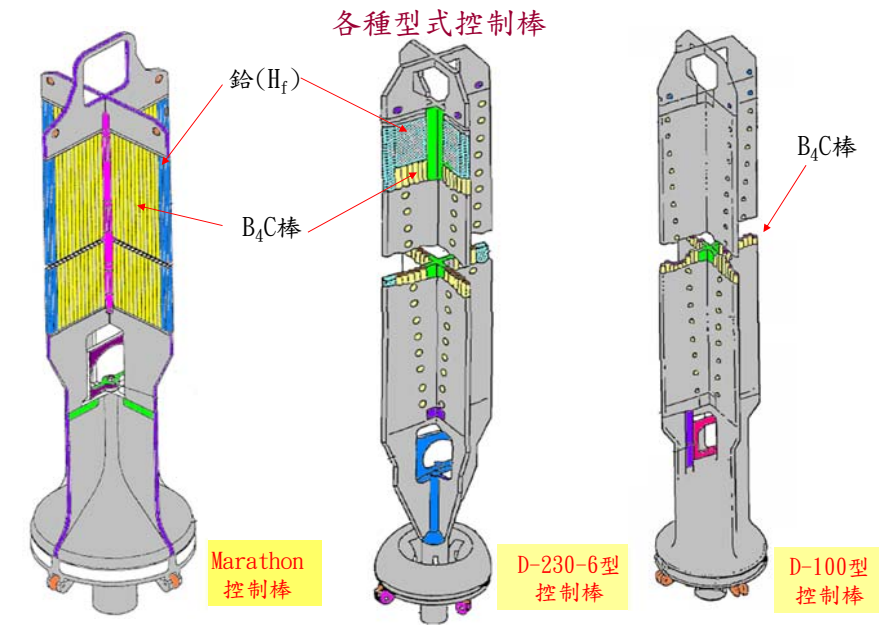
目前爐心仍有4種控制棒，#1EOC23更換15根，均為已達核子壽命，換成CR99-12根，D100-3根。

15

壹號機EOC-24 CRB檢查及更換說明

- 依據本公司「沸水式核能電廠控制棒長程處理計畫」第5版訂定「核二廠壹號機 EOC 24 大修控制棒檢查及更換計畫」，檢查4支及更換10支，其中：
 - 抽樣檢查1支D230、1支Marathon及2支CR99，共計檢查4支控制棒葉片。
 - 控制棒葉片燃耗達使用期限：共計以10支CR99更換10支燃耗達使用期限之D100。
- 檢查結果：
 - 全部正常。

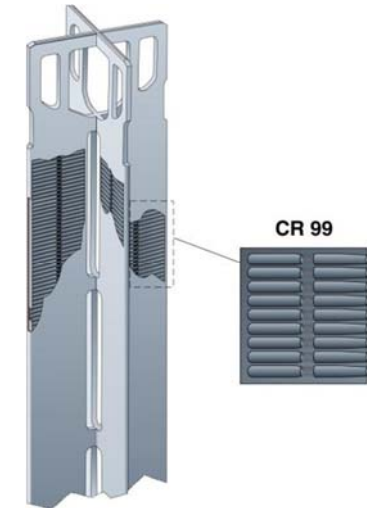
16



17

西屋 BWR 控制棒(CR99)

- 西屋 BWR控制棒，是將4片不銹鋼板焊接在一起，形成一個十字形的葉翼。每片不銹鋼板有457個橫向鑽孔，用以包含吸收材料。



18

控制棒由底部插入之優缺點

優點：

- 爐心上部發生大量汽泡，如由頂部插入，上部燃料無法充分燃耗，造成爐心下半部尖峰功率過高
- 燃料添換時，無須移動控制棒驅動機構
- 汽水分離器和乾燥器不受控制棒系統干擾

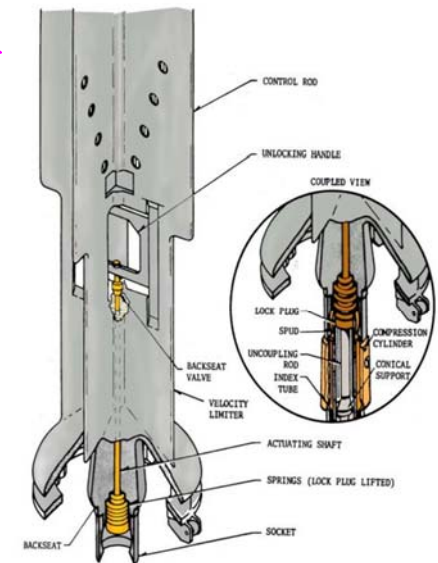
缺點：

- 可能發生控制棒掉落事故

19

控制棒與CRD之連接

- ❖ 靠驅動機構偶接短柄(Spod)，及控制棒端插座(Socket)連接
- ❖ 速度限制器上方為偶接釋放把手，可由爐心頂部操作，將控制棒與其驅動機構脫接



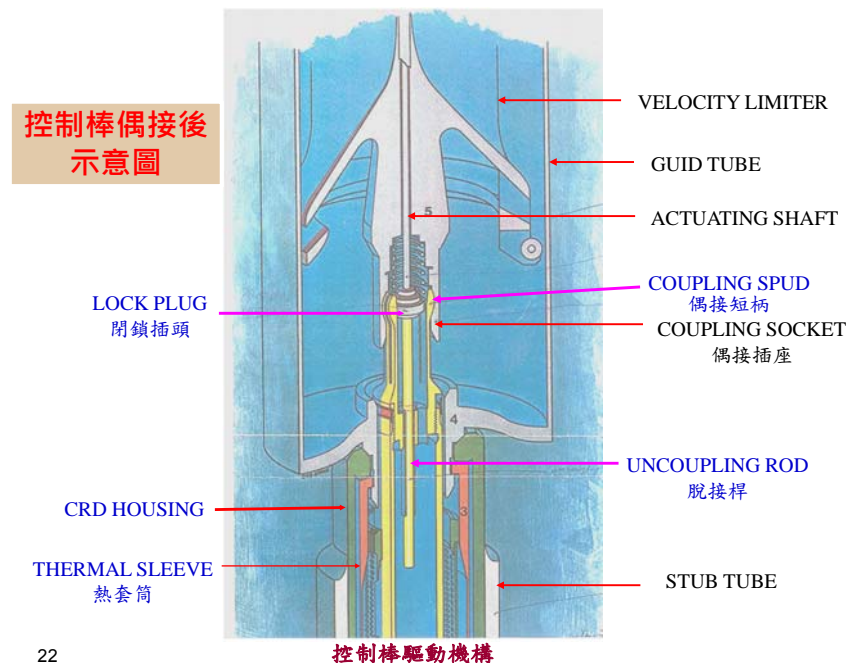
插座 插頭 鎖 2種解鎖

控制棒組合裝置

20



21



22

控制棒運轉驅動模式(Drive Mode)

- ❖ 單根運轉模式(Individual Mode)或棒群運轉模式(Gang Mode)
- ❖ 利用Insert或Withdraw按鈕，驅動裝置每次插入或抽出一個節距(Notch)6吋。
- ❖ 控制棒位置需做較大變動時，亦可將控制棒連續插入(連續壓INSERT按鈕)，或連續抽出(同時壓WITHDRAW和CONT. WITHDRAW按鈕)。

盤面

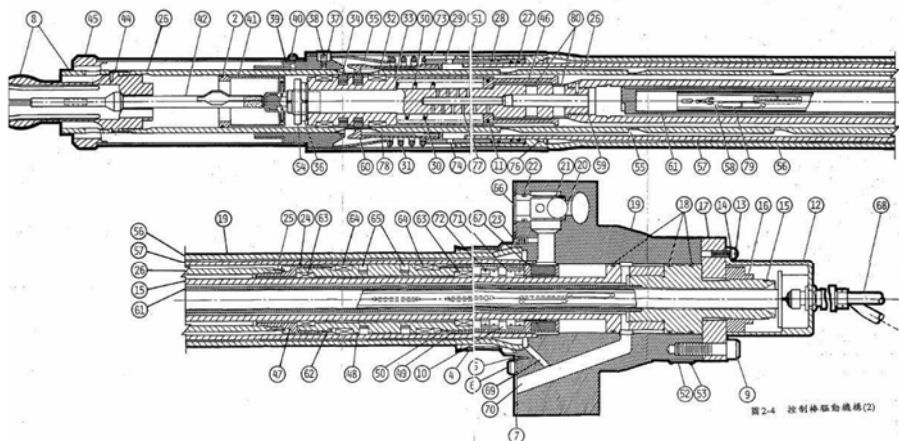
23

控制棒運轉驅動模式(Drive Mode)

- ❖ 在反應爐保護系統(Reactor Protection System，簡稱RPS)的要求下，可以將控制棒急速地插入，使反應爐急停(Scram)。
- ❖ 棒群式之控制棒移動，是依照事先選定的棒位型式(Predetermined Rod Pattern)，同時移動同群之1支、3支或4支控制棒。

24

控制棒驅動機構



控制棒驅動機構

25



26

控制棒 驅動機構

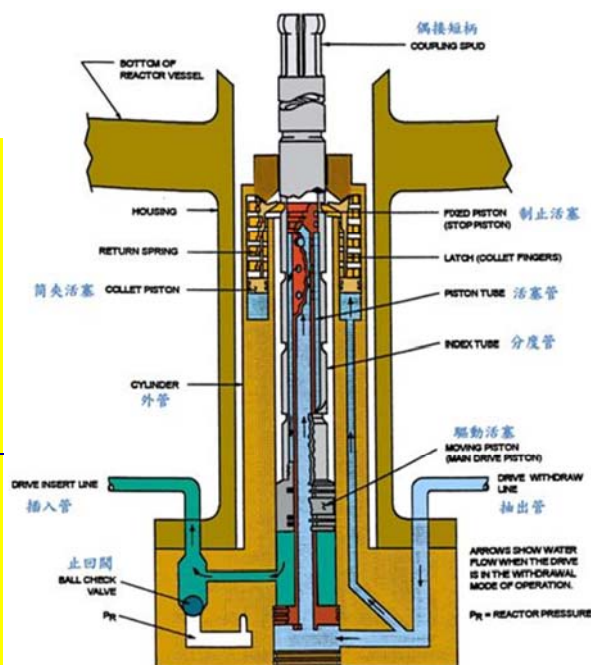
CRD housing內，由外至內，有五個同心管

外管：焊於驅動機構底部凸緣上

內管：焊於凸緣上，和外管形成到筒夾活塞之水流通路

分度管：刻有溝槽，為驅動裝置唯一可動之管，有25個溝道

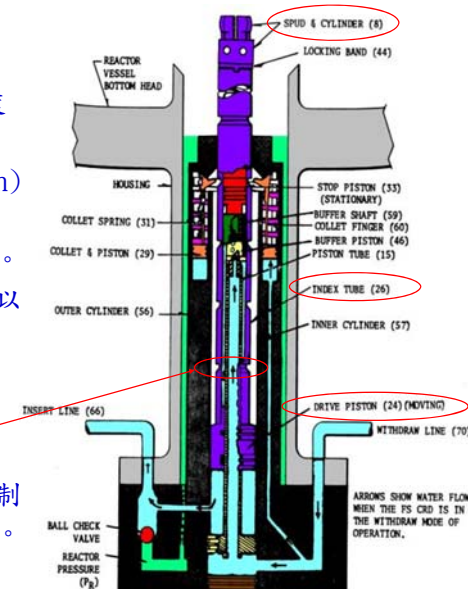
活塞管：係固定之管筒
指示管：焊於活塞管內底座上，指示管外(活塞管內)為水流之通道



27

分度管 (Index Tube)

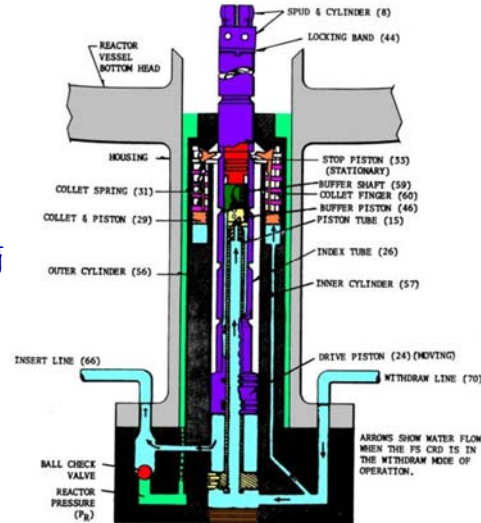
- 上刻有溝槽(Notch)，為驅動裝置唯一可以活動的部份。
- 底端與驅動活塞(Drive Piston)以螺紋連接。
- 驅動活塞包括上、下驅動封環。
- 驅動活塞亦包括永久磁鐵，用以動作控制棒位置指示簧片開關(Reed Switch)。
- 上端則與偶接短柄(Coupling Spud)以螺紋連接。
- 分度管上有25個溝道，可將控制棒扣住在任一溝道(00到48)上。



28

控制棒驅動機構的筒夾活塞與指扣

- 筒夾活塞位於內外管之間
- 和筒夾指扣(Collet Finger)及筒夾彈簧(Collet Spring)組成筒夾組件(Collet Assembly)
- 筒夾指扣可扣於分度管溝道的直角肩面上



29

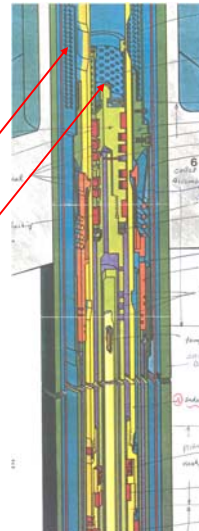
筒夾活塞與指扣



30

控制棒驅動機構的過濾網

- 功用：阻止外來雜物進入驅動機構內，導致封環受損
- 包含：
 - 外部濾網：外管上方導帽上端
 - 內部濾網：分度管內，固定於制止活塞上端
 - 底部濾網：底部凸緣內，在外管和CRD殼(CRD Housing)間



31



32

內濾網



內部濾網固定於制止活
塞上端

33

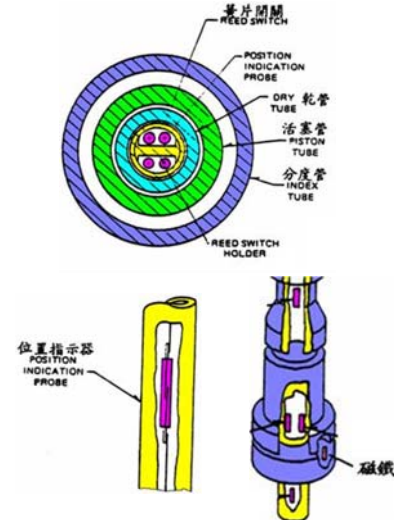
活塞管本體(尚未裝制止活塞，正常要先裝)
撐開LOCK PIN套入凹槽後固定內部濾網



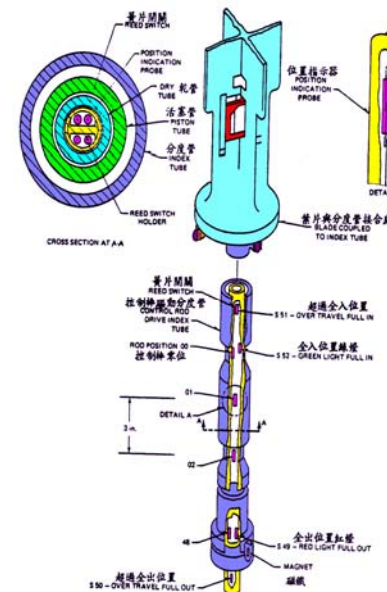
34

控制棒的棒位指示與溫度量測

- 裝置指示管內，包含：
 - 106支簧片開關
 - 由裝置於驅動活塞的磁鐵觸動簧片開關接合，送出棒位信號，給予控制及資訊系統(Rod Control & Information System, 簡稱RC&IS)
 - 一只克銘美/亞鋁美爾(Chromel/Alumel)熱電偶
 - 用以探測驅動機構溫度，確保封環適當冷卻



35

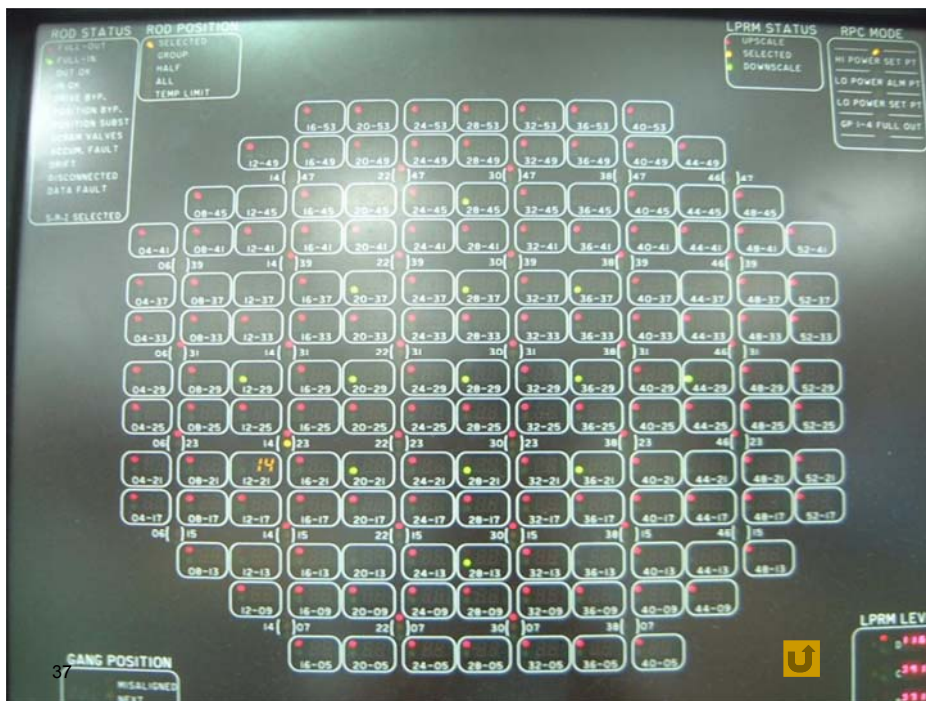


開關號碼		離全插入位置之吋數	控制室之顯示	控制棒位置
	S51	$-1 \frac{9}{16}$	綠燈	超過全插入
註 一	S52	0	綠燈	完全插入(定位)
	S00	0	00	完全插入(定位)
	S01	3	若按下 RAW DATA 時，則顯示 —— 否則仍顯示前一個偶數位置	"00"和"02"之半
	S02	6	02	定位在 02 位置
	:	:	:	:
	:	:	:	:
註 二	S48	144	48	正常全抽出(定位)
	S49	144	紅燈	正常全抽出(定位)
	S50	146	OVERTRAVEL 警報	超過全抽出

註一：開關 S52 和 S00 幾乎同時動作，以便看到“00”讀數且綠燈亮。

註二：S48 和 S49 同時動作，故可以看到“48”讀數且紅燈亮。

36

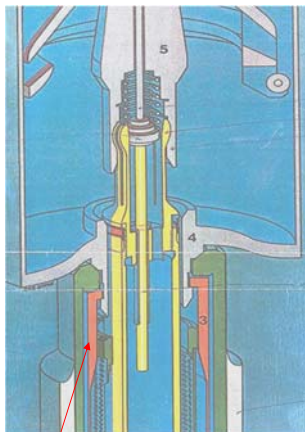


驅動機構與反應爐壓力槽間的裝配

- (一) CRD殼焊接於壓力槽。
- (二) 控制棒導管(Guide Tube)接於CRD殼上端。
- (三) 熱套筒(Thermal Sleeve)由下方插入CRD殼。
- (四) 控制棒驅動機構由下方穿過熱套筒鎖在CRD殼法蘭並與控制棒連結。

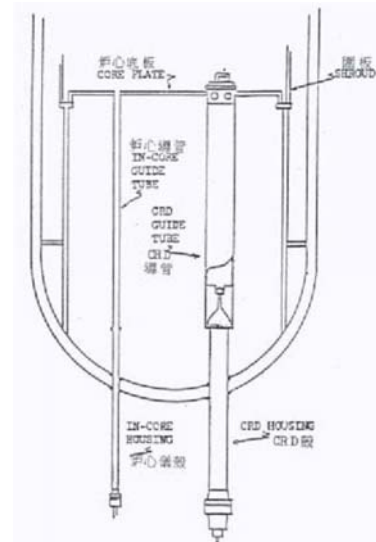
38

CRD導管經由熱套筒鎖扣住



熱套筒

39



控制棒驅動液壓系統

- 控制棒驅動液壓系統的功用
- 系統組件及流程
- 液壓控制單元(HCU)組件及功能
 - 一、管路組件(Piping Assembly)
 - 二、急停液壓部份
 - 三、急停蓄壓器(Scram Acc.)及儀器

40

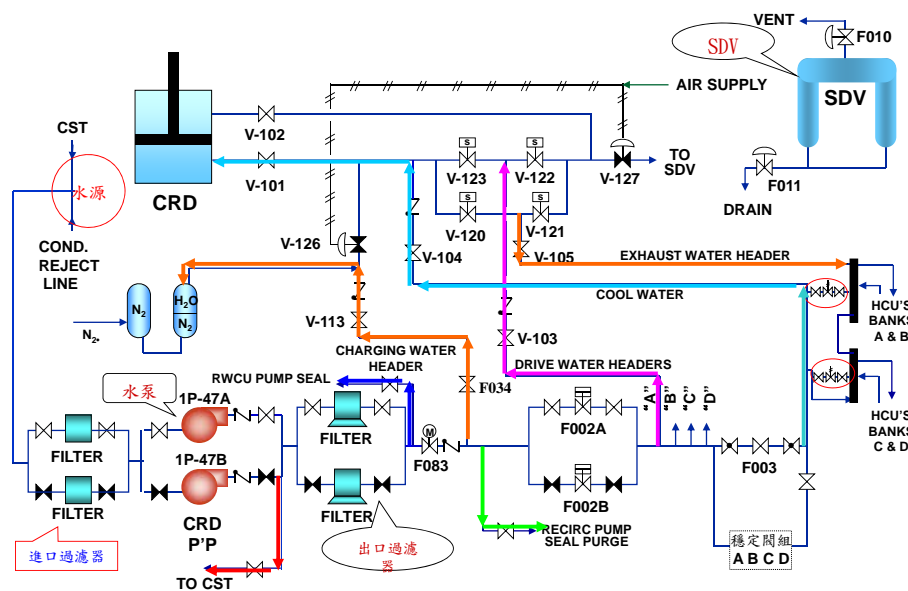
控制棒驅動液壓系統的功用

(一)機組正常運轉時

- 接受RC&IS之控制棒抽插信號，提供驅動之液壓，控制爐心反應度
- 同時持續提供下列之設備用水
 - 爐水淨化水泵之機械軸封沖淨水
 - 再循環泵封環沖淨水
 - 控制棒驅動機構冷卻水

(二)機組異常急停時

- 接受反應爐保護系統之急停信號，提供使控制棒快速插入爐心所需要的蓄壓器液壓，以保護反應爐之安全
- 並於急停原因消失復歸後，重建蓄壓器之液壓



控制棒驅動液壓系統

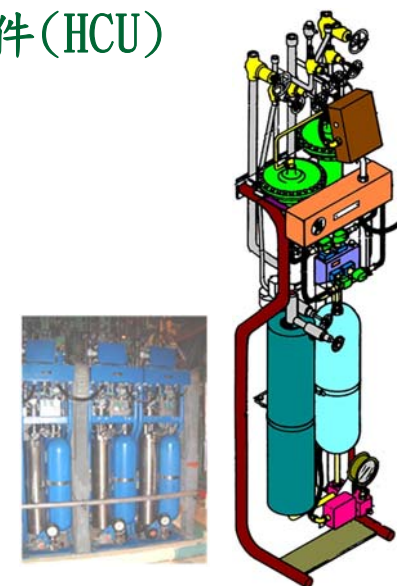
系統主要流程組件

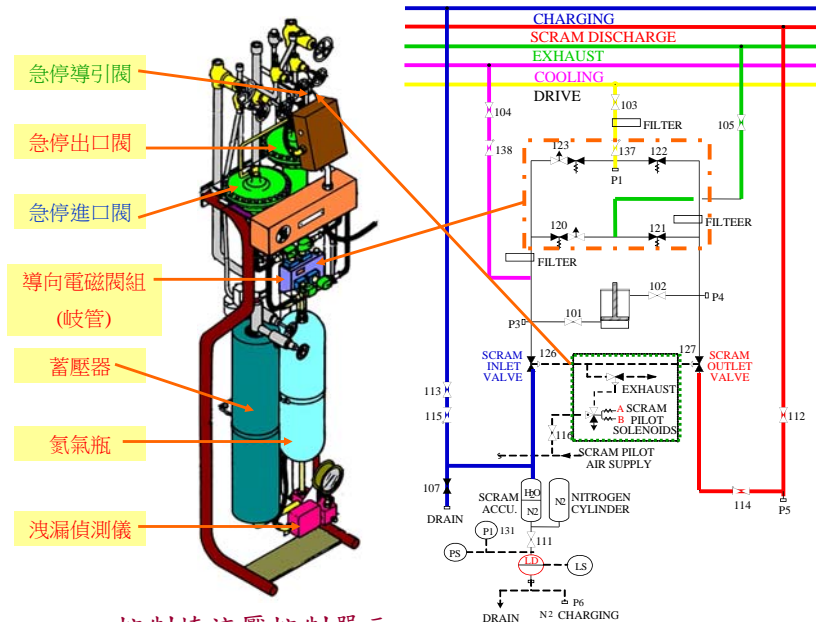


- 水源
 - 凝結水泵(優先)
 - CST
- CRD泵進口過濾器
- CRD泵
- CRD泵出口過濾器
- 最低流量閥與管路
- 爐水淨化泵的機械軸封沖淨水管
- 再循環泵封環沖淨水管
- 蓄壓器充水集管
- 系統流量及壓力控制站
- 驅動水集管
- 穩定閥
- 冷卻水集管
- 管內釋壓閥
- 排水集管
- 急停洩放容器
- 145組液壓控制單元(HCU)

液壓控制單元組件(HCU)

- HCU上有七支液壓升管
 - 插入管：
 - 到CRD活塞下方之液壓管
 - 冷卻水管：
 - 接自冷卻水集管端
 - 排洩管：
 - 到CRD液壓系統排水集管
 - 急停排水管：
 - 接到急停洩放容器
 - 驅動管：
 - 接自驅動水集管
 - 充水管：
 - 接自充水集管到蓄壓器
 - 抽出管：
 - 接到CRD活塞上方之管路

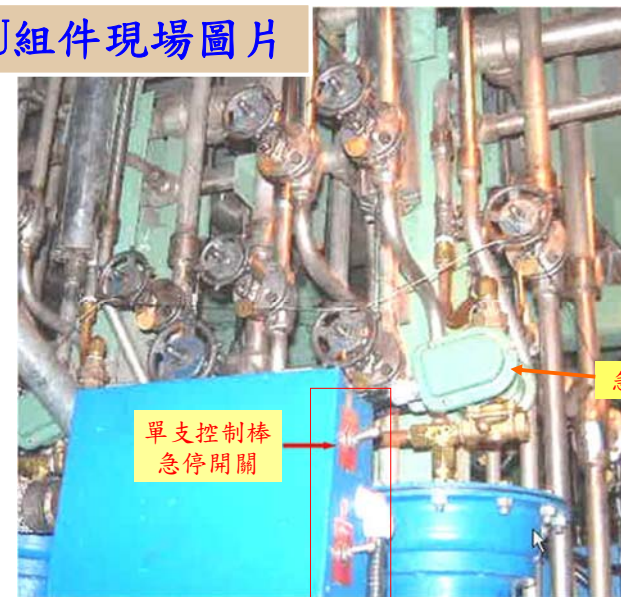




控制棒液壓控制單元

45

HCU組件現場圖片



HCU上之單支急停開關

46



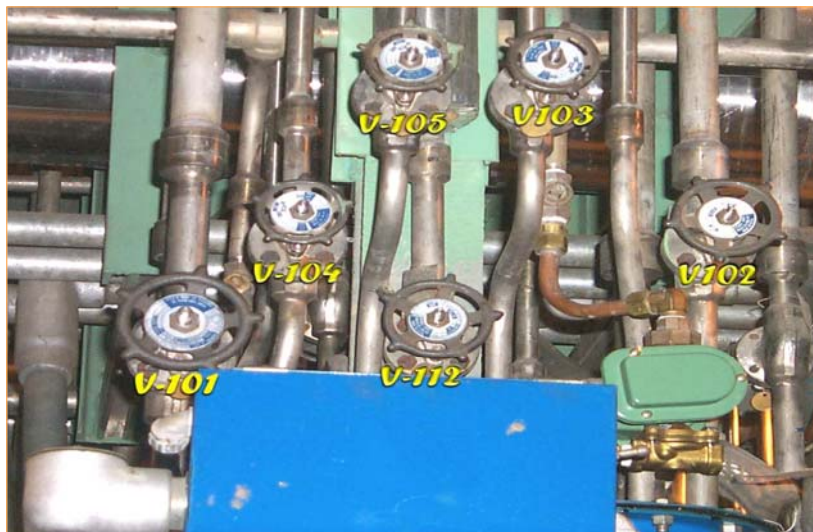
HCU

47



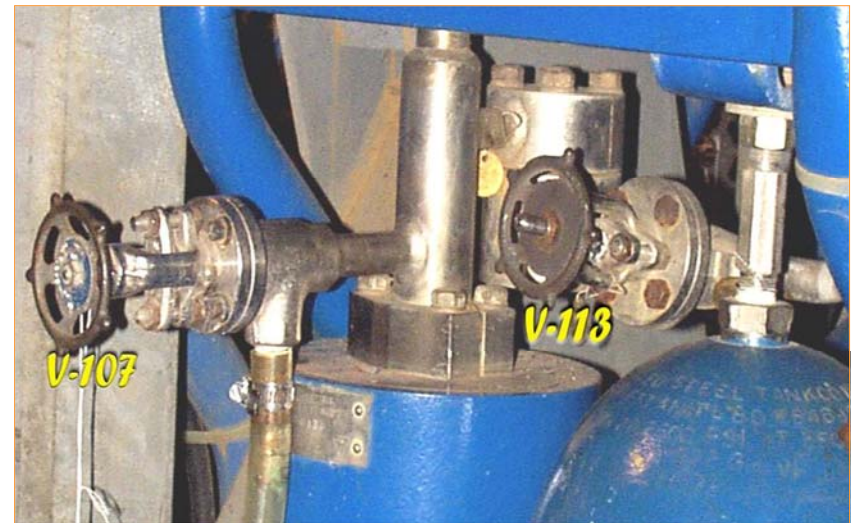
48

液壓控制單元組件(HCU)



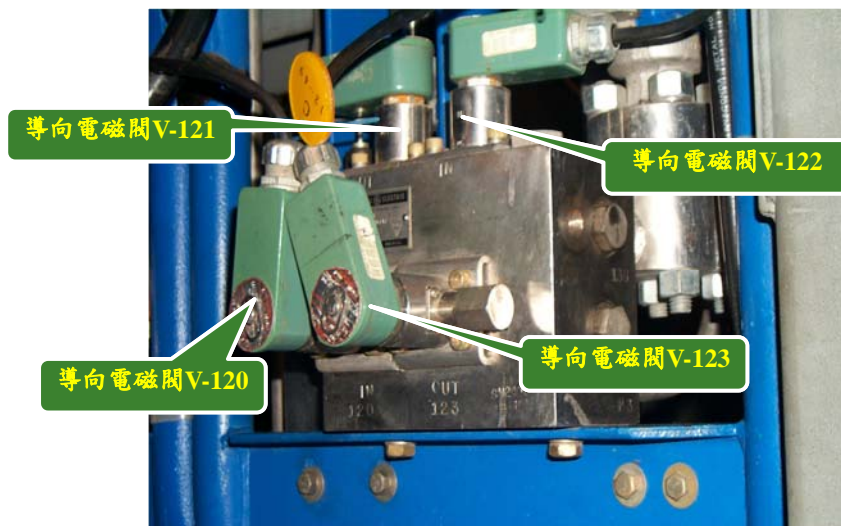
49

液壓控制單元組件(HCU)

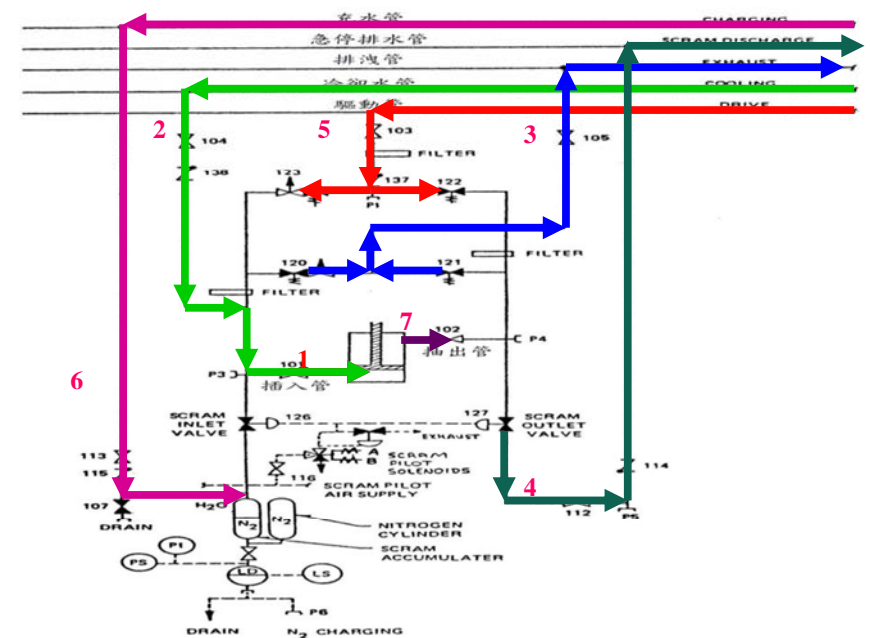


50

歧管(Manifold)



51



插入(Insert)

- (1) 水由液壓系統之驅動集管進入活塞下端進口(P-Under Port)，流到驅動活塞(Drive Piston)之下端，將活塞連分度管向上推動。
- (2) 驅動活塞上端分度管和活塞管間之積水，因分度管上移而被擠，經活塞緩衝流孔到活塞管和指示管間，向下流到排洩集管箱洩放。
- (3) 活塞上方與活塞下方由 “O” 形封環分隔。

插棒次序：

- a. V-121及V-123開啟。
- b. V-120開啟，讓控制棒停妥。
- c. V-121及V-123關閉。
- d. V-120關閉。

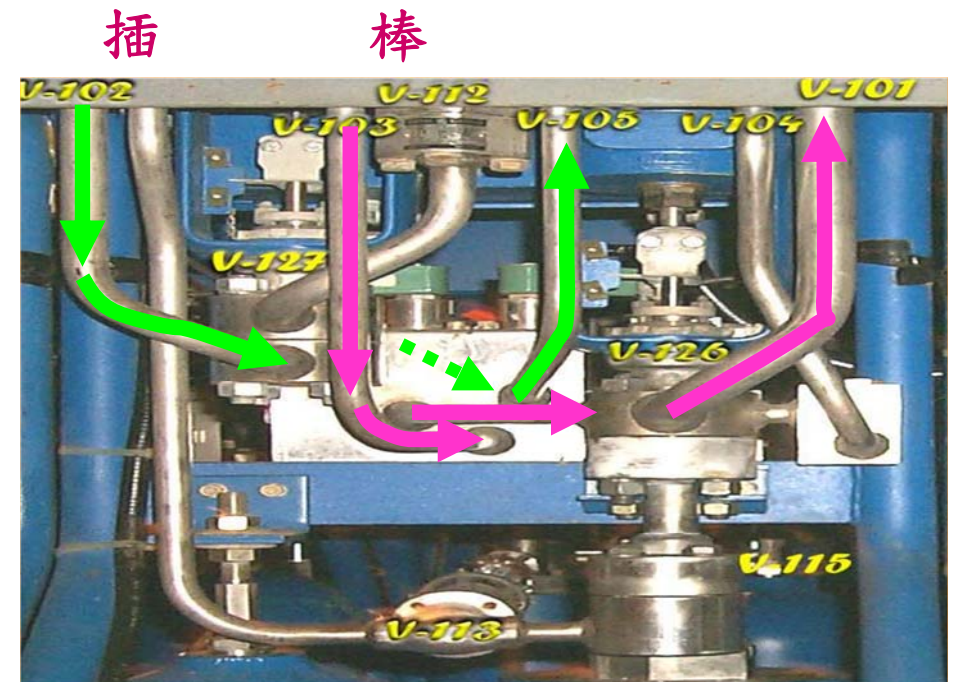
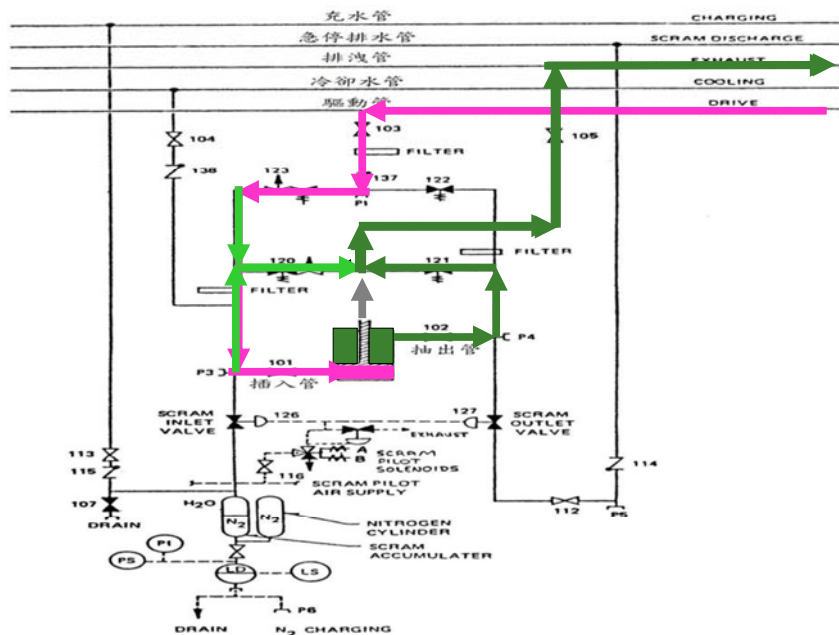
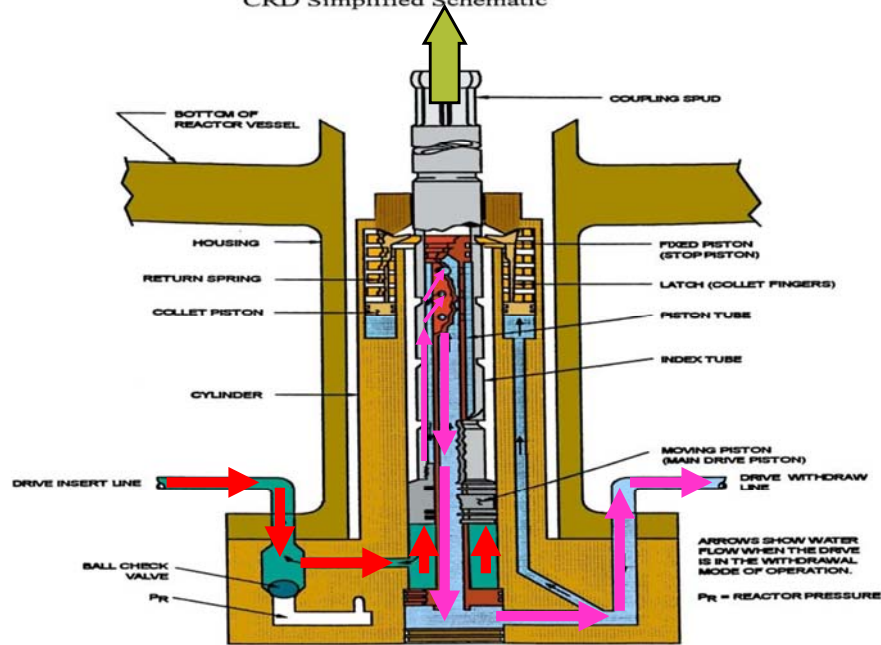


Figure 7-2
CRD Simplified Schematic

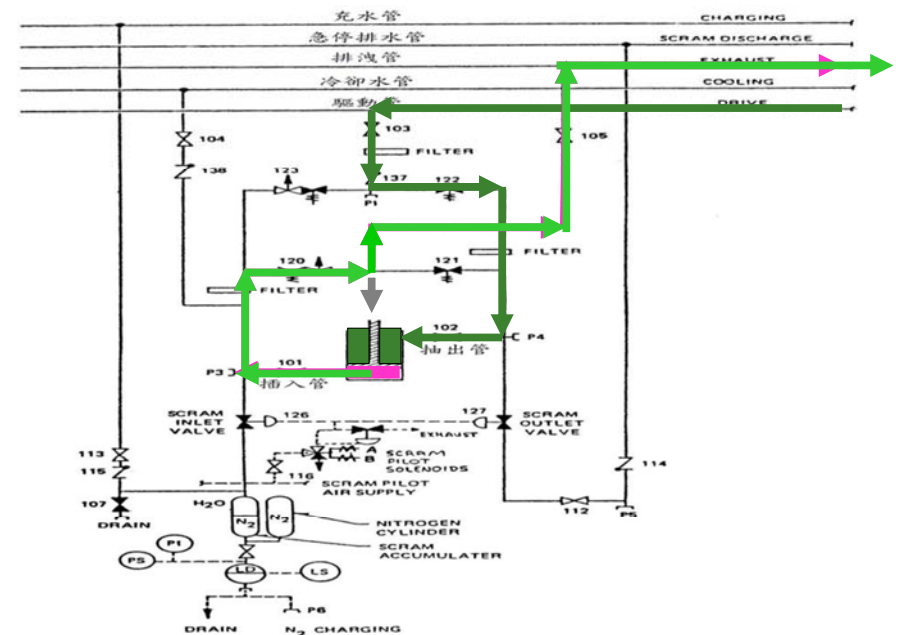


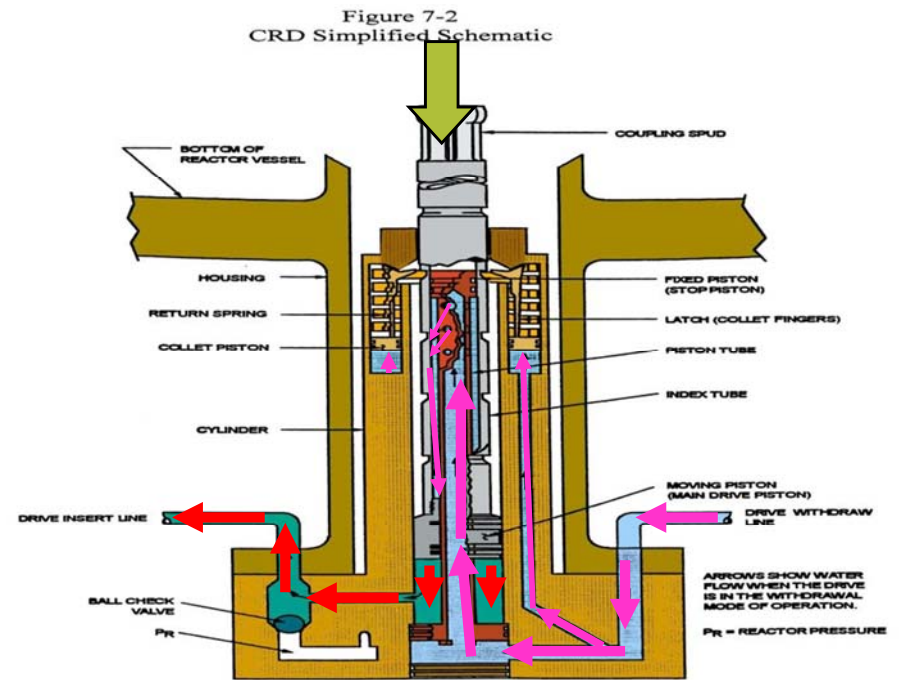
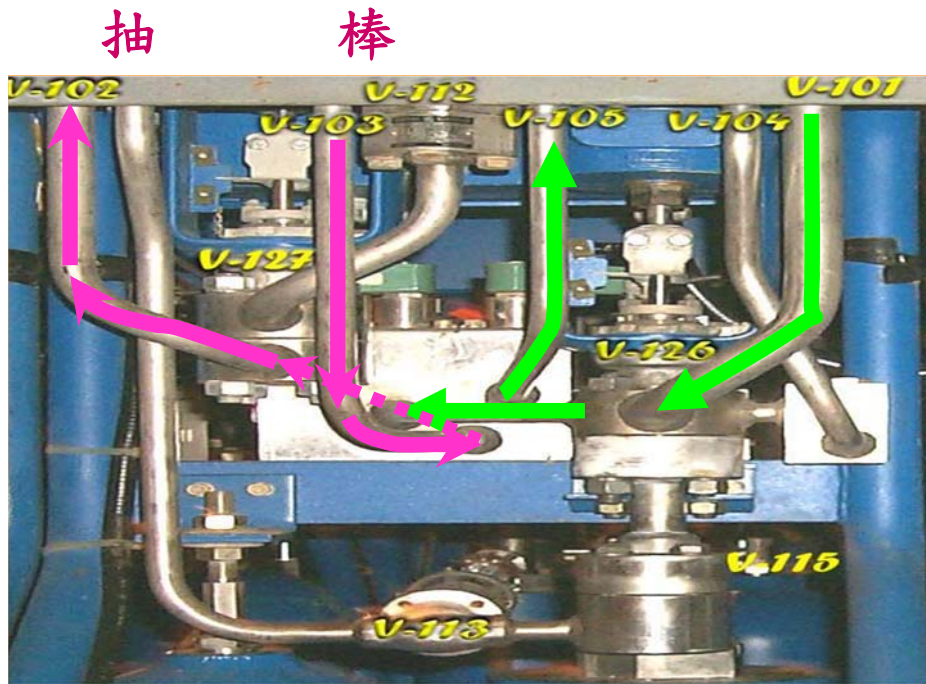
控制棒抽出

- ◆ 值班員由RC&IS送出抽出信號
- ◆ 插入閥V-123及V-121開啟1秒自動關閉
- ◆ 筒夾指扣脫離分度管溝槽
- ◆ 抽出閥V-122及V-120開啟，引導驅動水到驅動活塞上方控制棒抽出
- ◆ 控制棒抽出的正常速度為3吋 / 秒，流量約2gpm。

抽出次序：

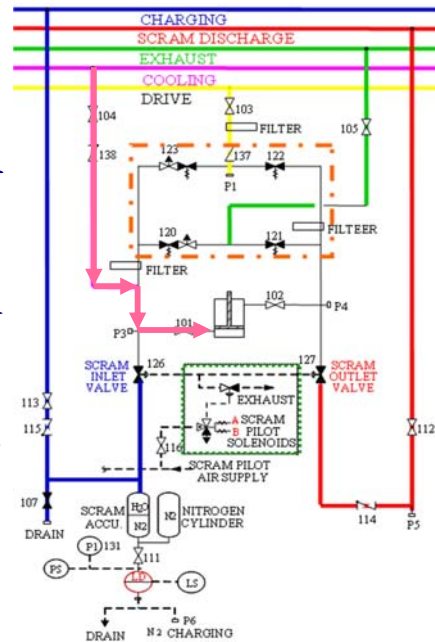
- V-121及V-123開啟，讓控制棒插進少許，以頂開筒夾指扣。
- V-121及V-123關閉。
- V-120及V-122開啟。
- V-122關閉，讓控制棒停妥。
- V-120關閉。



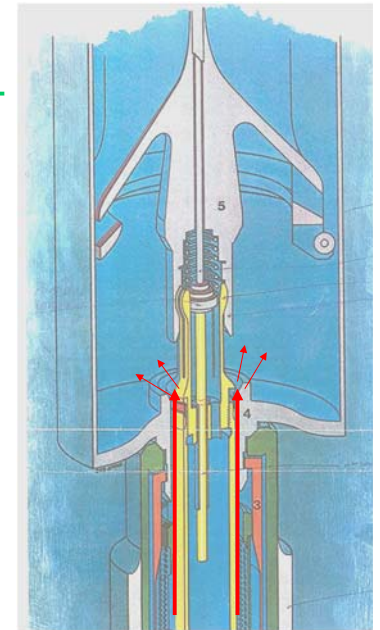
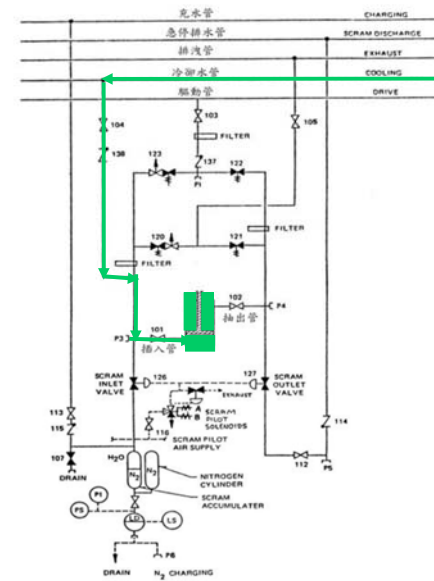


冷卻水

- 流程：由冷卻水集管經止回閥(V-138)到驅動機構插入管端
- 流量：高於爐壓15psi及0.2~0.34gpm
- 止回閥：防止插入時，驅動水流經冷卻水管回到CRD液壓系統

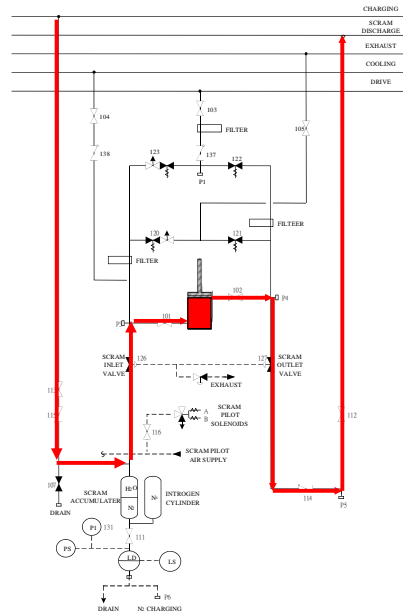


冷卻水



控制棒的急停插入

- 偵測到反應爐內有異常的情況時，反應爐保護系統動作急停導引閥斷電(為Fail Safe的設計)失磁，使
 - 急停導引閥失能
 - 後備急停閥賦能
 - 急停進/出口閥開啟(先開)
 - 同時關閉SDV的通氣閥及洩水閥
- 控制棒快速插入



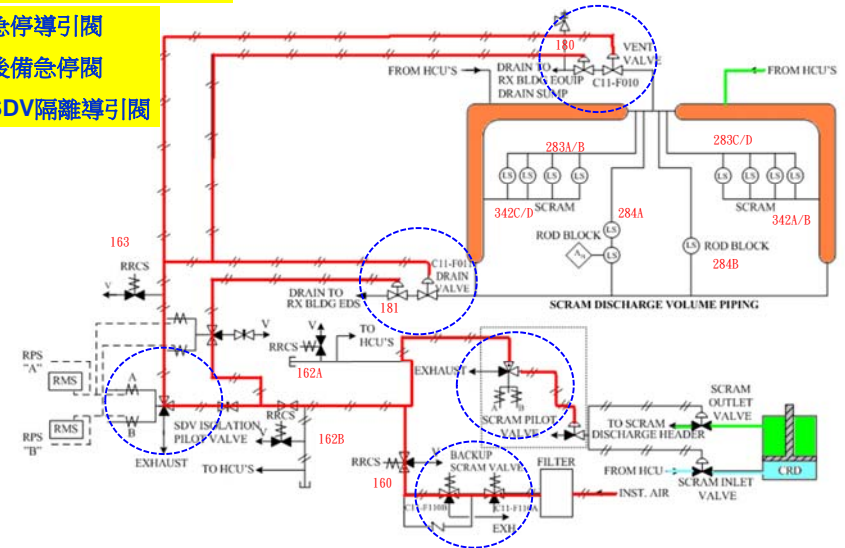
控制棒液壓控制單元

急停時哪些設備動作，完成控制棒插入？

急停導引閥

後備急停閥

SDV隔離導引閥

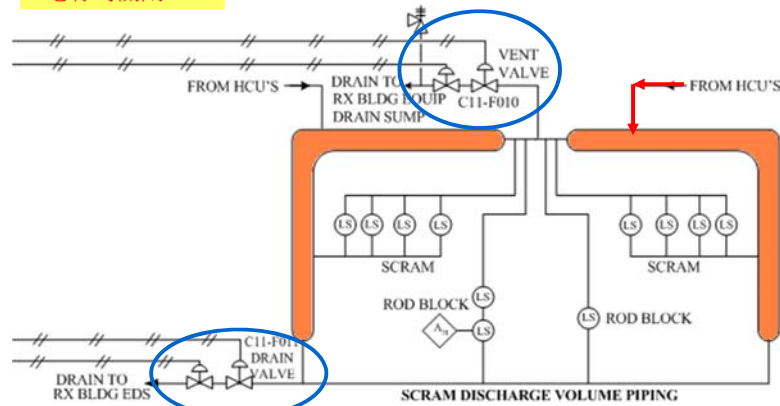


急停洩放容器

66

- SDV排氣閥/洩水閥正常開啟
- 急停時關閉

SDV排氣閥



SDV洩水閥

急停液壓水流至急停洩放容器(SDV)

67



水位儀器偵測管

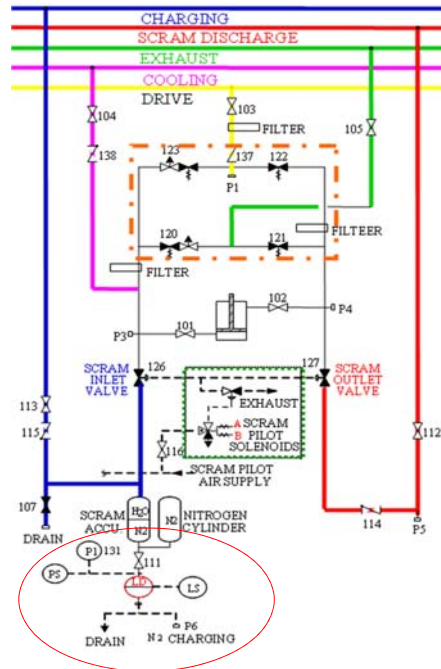
洩水通往Eq. Sump

急停洩放容器

68

急停蓄壓器及洩漏監測儀器

- 功用：供給急停時快速插入控制棒之獨立動能
- 每一HCU有一組：一只活塞式蓄壓器及一只氮氣筒
- 蓄壓器儀器監視其洩漏並發出警報
 - 漏水：浮標式水位開關，達37CC
 - 漏N₂：低於108kg/cm² (1535psi)



69

棒控制及資訊系統(RC&IS)功用 (Rod Control And Information System)

- 供給移動控制棒的控制信號。
- 強制值班員遵循預訂的棒位型式操作。
- 提供核心展示圖(Core Display Map)的控制棒位置信號。

70

RC&IS 分成下列幾個支系統：

- 控制棒界面系統 (Rod Interface System, RIS)。(C03盤)
- 棒動作控制系統 (Rod Action Control System, RACS)。(C15盤/C16盤)
- 棒群驅動系統 (Rod Gang Drive System, RGDS)。(C20盤)
- 控制棒位置資訊系統 (Rod Position Information System, RPIS)。(C15盤/C16盤/C03盤)，包括MULTIPLEXER (P071/P072盤)。
- 控制棒液壓控制單元(HCU)。

71

棒動作控制系統RACS(C15盤/C16盤) / 棒群驅動系統RGDS(C20盤)



72

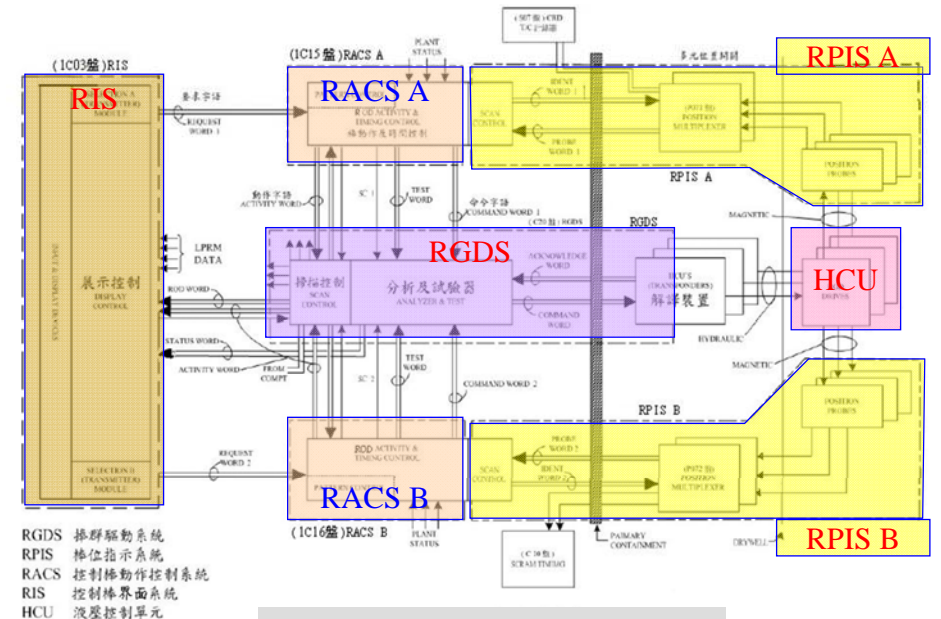
MULTIPLEXER (P072盤)



盤面外觀

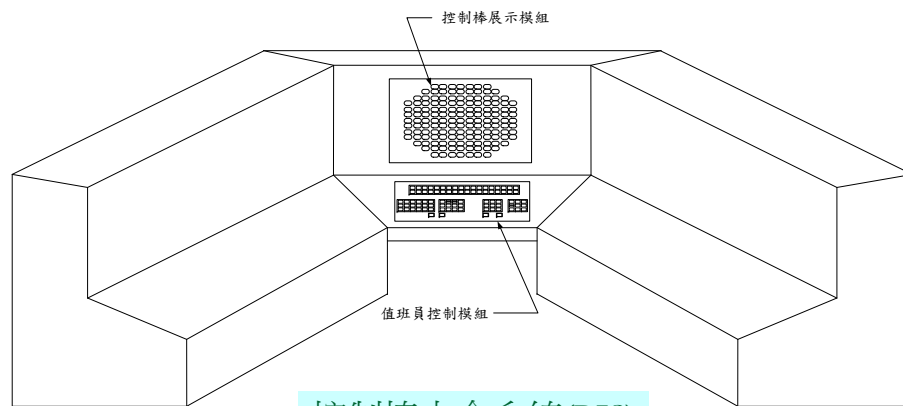


盤面內部



RC及IS方塊圖

74



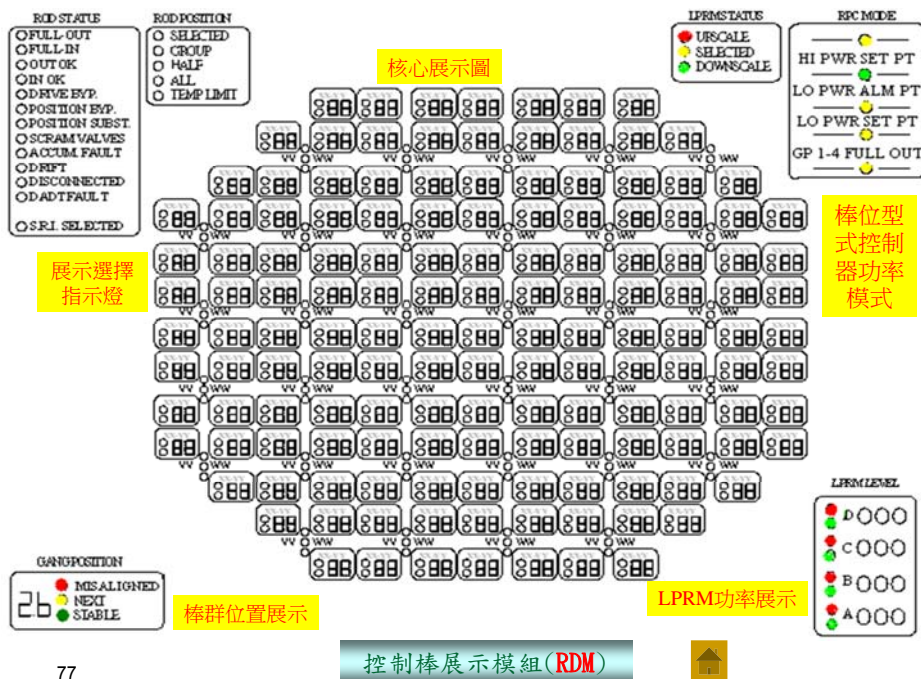
控制棒中介系統(RIS)

75

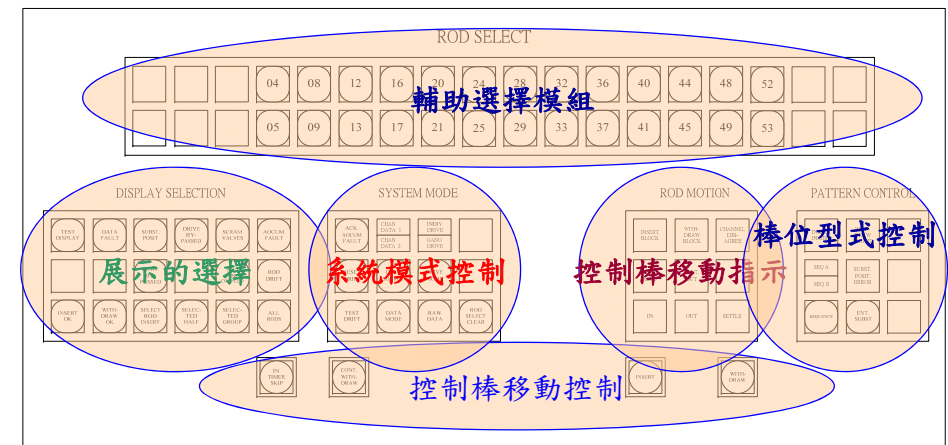
控制棒界面系統(Rod Interface System, RIS)。(C03盤)



76



77



78

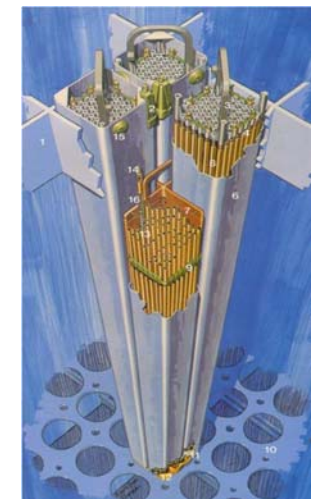
棒位型式控制(RPCS)

- 強制值班員依照預定的棒位型式操作，以限制萬一控制棒掉落事故所引起的不良後果。
- 限制控制棒的移動，使燃料棒內的熱通量不致到達過熱的程度。

棒位型式控制名詞解釋

控制棒掉落事故(Rod Drop Accident)

- 某一控制棒葉片，自核心掉下，導致局部功率及熱通量的增加。



79

80

棒位型式控制名詞解釋(續)

控制棒密度(Rod Density)

- 插入爐心之控制棒節數與全部控制棒之總節數比。當控制棒全入時，其控制棒密度為100%，反之當控制棒全部抽出時，控制棒密度為0%。

81

棒位型式控制名詞解釋(續)

幾個棒組依抽棒順序儲存於電腦磁鼓上，做為抽棒時的依據，稱為棒位序列。

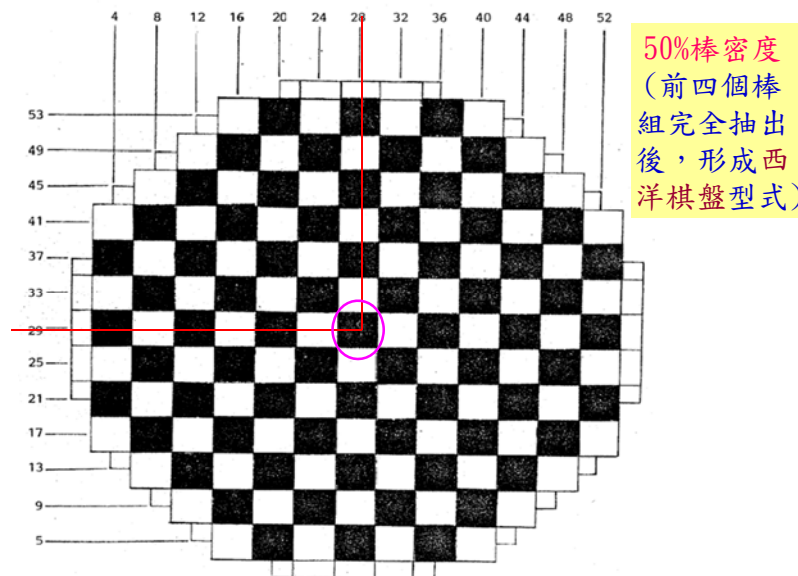
棒位序列A

- 係在50%控制棒密度(Rod Density)時，中央控制棒沒有抽出的棒位型式。

棒位序列B

- 係在50%控制棒密度時，中央控制棒業已抽出的棒位型式。

82



B序列，GROUP 1~4 全出(50%棒密度)

83

棒位型式控制名詞解釋(續)

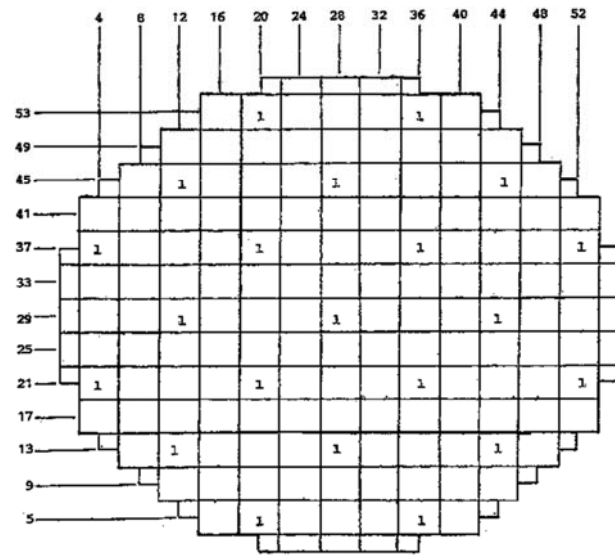
棒組(Rod Group)

- 所有的控制棒分成數個棒組。
- 目前，每一個棒位序列(SEQUENCE A或B)都有10個棒組。
- 最初四個棒組(GROUP 1 到 4)完全抽出後，所形成的棒型稱為西洋棋盤型式(Checker Board Pattern) (西洋棋盤的格式是黑白相間，各佔盤面的一半，而最初四個棒組所包含的控制棒密度，正好也佔一個棒位序列的一半，分佈情形也剛好是全入和全出相間，因而得名。)



84

B序列，GROUP 1



GROUP 1
共21支控制棒

85

棒位型式控制名詞解釋(續)

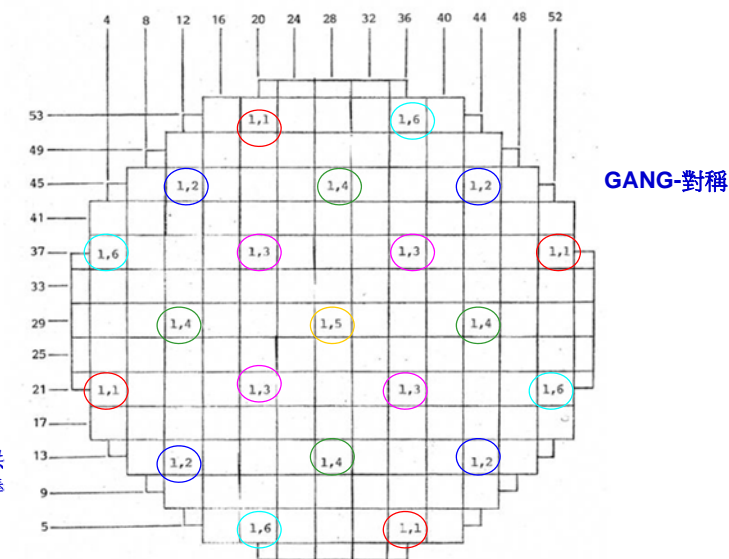
支棒組(Rod Subgroup)

- 每個棒組又區分為幾個支棒組。
- 支棒組是做為棒群(Gang Rod)抽出或插入之用。
- 支棒組由多少控制棒組成，並不一定，依控制棒在核心的位置而不同。



86

B序列，GROUP 1各支棒組(GANG)



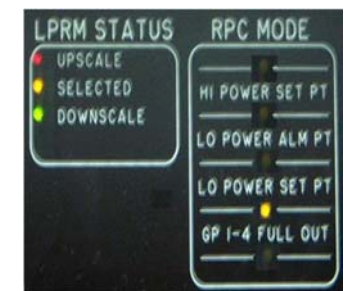
GROUP 1共
21支控制棒

87

有關棒位型式控制之名詞解釋(續)

低功率設定點(Low Power SetPoint, LPSP)

- 一項保守的儀器設定點(20%反應爐功率)，功率高於此點後，即使控制棒掉落事故發生，也不致引起燃料棒損壞。故功率高於此點後，抽、插棒順序不再強制執行。



有關棒位型式控制之名詞解釋(續)

低功率警報點(Low Power Alarm Point, LPAP)

- 設定點(25%反應爐功率)，告訴值班員棒位型式控制系統，反應爐功率正進入轉換區域(Transition Zone)。



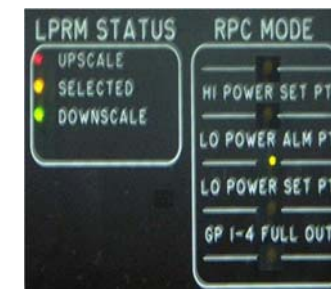
89

有關棒位型式控制之名詞解釋(續)

轉換區域

- 轉換區域的功率介於LPSP與LPAP之間(20%~25%)。

棒位型式控制系統只監視抽、插棒過程的型式變化，沒有違反棒位型式之阻棒，但抽棒不可超過 4 Notches/Selection。



目的：

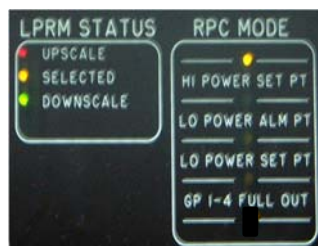
容許值班員在降載中，功率到達LPSP之前，做必要的棒位型式調整。而功率到達LPSP後，棒位型式控制(Rod Pattern Control)系統又恢復強制執行正確的抽、插棒順序。

90

有關棒位型式控制之名詞解釋(續)

高功率設定點 (High Power Setpoint, HPSP)

- 儀器設定點(=70%反應爐功率)，是為了避免單根控制棒一次抽出太多，造成局部過高的熱產生率。功率高出此點時，抽棒被限制在2 Notches/Selection。



91

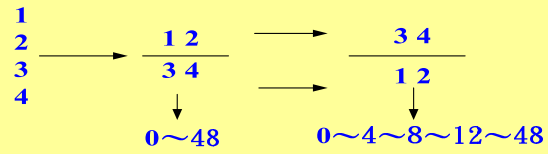
RPCS 控制功能

1. 功率低於LPSP時(RPC)—控制棒移動時的型式，由棒位型式控制系統加以管制。
2. 功率高於LPSP時(RWL)—控制棒移動時的型式不受管制，但仍須依照操作規程操作。
4 Notches/Selection 或
2 Notches/Selection

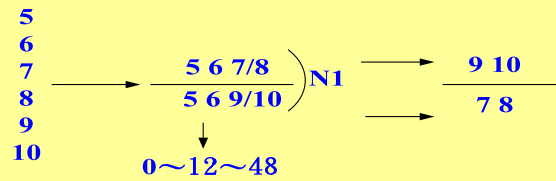
92

100%~50%

抽棒



50%~LPSP



N1=12

G7~G10 0~4~8~12~48

93

抽棒序列及降載策略



94

課程完畢！

請多指教

謝謝！！



95