



備用硼液及 重複反應度控制系統 (SBLC&RRCS)

模擬中心
講師：陳 震 川
104.07



台灣電力公司

第二核能發電廠

壹、設置目的

備用硼液控制系統(SLCS)

- 1.不具有使反應爐急停之功能。
 - 2.雙重、獨立的(包括泵及爆破閥)後備系統。
 - 3.當反應爐保護系統動作
 - a.控制棒無法全入爐心
 - b.發生預期暫態未急停事故
 - c.反應爐功率又無法抑制，使反應爐安全停機，維持冷爐次臨界狀態。
- SLCS 是電廠特殊安全設施(Engineered Safety Feature，簡稱ESF)之一。

課程內容

- 壹、設置目的
- 貳、設計基準
- 參、設備及流程
- 肆、五硼酸鈉
- 伍、備用硼液之系統運轉及限制
- 陸、重複反應度控制系統
- 柒、相關程序書

台灣電力公司

第二核能發電廠

貳、設計基準

備用硼液控制系統必須符合下列之安全設計基準：

- 一、做為反應爐反應度的後備控制設備，與正常使用
的反應度控制設備(即控制棒等)分立，互不關連。
一旦正常使用的反應度控制設備失效(Inop)時，
須能將反應爐安全停機。
- 二、系統須能將反應爐自其含有空泡的各種額定出力，
自穩定運轉情況抑制到冷爐停機情況，並且具有
足夠的停機餘裕，以保證確能將反應爐於其爐心
使用壽命期間，可能出現的最高反應度情況(Most
Reactive Condition)下，隨時完全停機。

台灣電力公司

第二核能發電廠

第二核能發電廠

貳、設計基準(續)

三、啟用時，其達成有效抑制所需之運轉時間，須與反應爐自額定運轉情況降到冷爐停機情況之預估反應度變化率配合。本系統並不擔任反應爐之快速急停(Fast Scram)或反應度急速瞬變(Fast Reactivity Transients)的控制任務。

四、備用控制系統各部分組成機件的功能，須能定期以近似於實際使用要求的情況來試驗證明；並以除礦水代替真正中子吸收劑溶液，泵入反應爐，來證實整個系統的運轉性能。

參、設備及流程

本系統由儲存槽(Storage Tank)、試驗槽(Test Tank)、兩台各為100%排量式泵(Positive Placement Pumps)、兩個爆破閥(Explosive Type Valves)、注液管路及閥、例行試驗管路、儀控系統和其他附屬設備所組成，為耐震強度第一類設計。

本系統主要設備均在反應爐廠房四樓東側。

貳、設計基準(續)

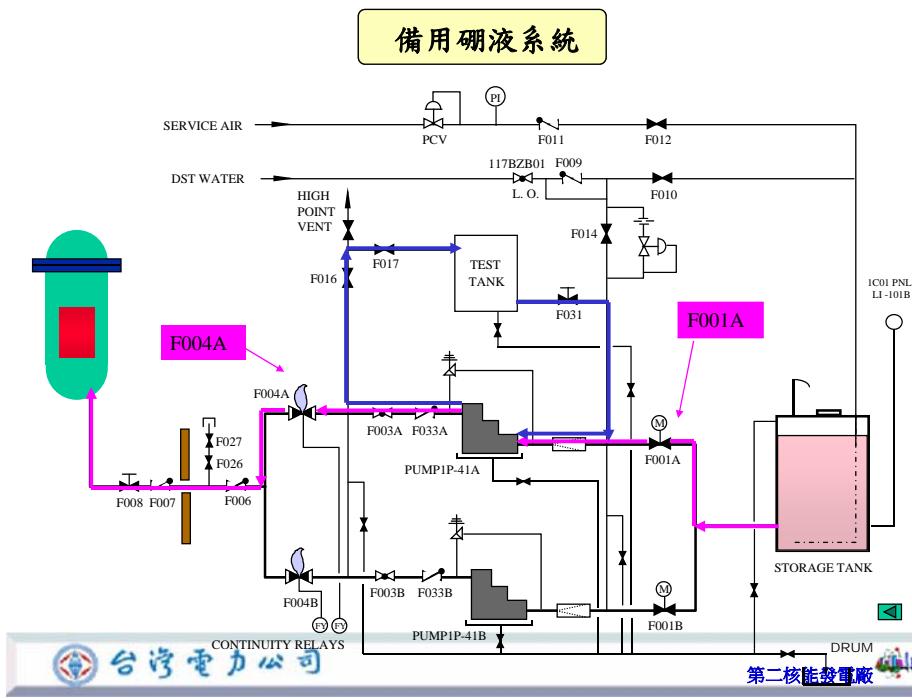
五、打入反應爐心的中子吸收劑的劑量，必須足夠，並具有合理的餘裕，以補償漏洩或不完全混合之影響。

六、本系統必須具有充分合理的可靠性，以配擔當特殊安全系統的任務，並使反應爐受到本系統非故意或意外事件所引起的停機或然率減到最低程度。

參、設備及流程(續)

一、設備(圖1或P & ID M-19) ▶

1. 儲存槽： ▶
2. 注入泵(Injection Pumps) ▶
3. 爆破閥 ▶
4. 試驗槽 ▶
5. 注入噴嘴(Injection Sparger) ▶



肆、五硼酸鈉

一、組成：

- 五硼酸鈉溶液是以含濃縮B-10($55 \pm 0.8\%$ atom)之 $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 溶解於適量的除礦水而成。為了要使硼液於反應爐中的濃度為1000ppm，故需：
1. 儲存槽出口閥保持關閉，槽內充以除礦水，水位恰在低液位警報設定點之上。
 2. 水溫維持在 $7.2^\circ\text{C} \sim 43.3^\circ\text{C}$ ，以確保硼液在飽和溫度以上。
 3. 起用空氣噴嘴(Air Sparger)。



肆、五硼酸鈉(續)

一、組成(續)：

4. 經混合均勻後，其重量百分比為8.0~9.0%。

利用化學分析法，證實於槽淨體積內之硼溶液其濃度必須在運轉技術規範SR 3.1.7.3 規定，用化學分析法證實於曹靖體積(Net Tank Volume)內之濃縮五硼酸鈉重量應大於或等於1796磅。

5. 加水入槽直到正常液位後，停用空氣噴嘴及保持儲存槽溫度於 16°C (60°F)。

6. 此硼液吸收中子之反應式為：



肆、五硼酸鈉(續)

二、濃度要求：

1. 240ppm的硼液用來抵消空泡(Void)、溫度、都卜勒效應和控制棒本領(Control Rod Worth)減少等的反應度係數正向變化效應。
2. 180ppm硼液用來克服氙毒(Xe)完全衰變時所引起之正反應度增加。
3. 240ppm作為 $0.05\Delta K/K$ 的停機餘裕。



肆、五硼酸鈉(續)

二、濃度要求(續)：

4. 另須加25%($660 \times 25\% = 165\text{ppm}$)的劑量，以備可能發生之不完全混合和漏失。
5. 額外再增加部份濃度175ppm，以應付餘熱排除系統(RHR)停機冷卻模式運轉時之稀釋作用。
6. 綜合所需總濃度最少應為1000ppm。

伍、備用硼液之系統運轉及限制(續)

3. 使用時機

- (1)依營運程序書，若抑壓池水溫升至硼液注入起始溫度43.3°C(圖9)硼液注入起始溫度曲線之溫度以前，而反應爐無法停機(即控制棒無法全入)，則由值班經理下令手動起動備用硼液泵。
- (2)發生ATWS事故，且兩分鐘內無法將反應爐功率降至5%以下之額定功率，將自動起動備用硼液泵。

伍、備用硼液之系統運轉及限制

2. 例行測試

- (1)泵壓力/流量測試(每3月)：在現場起動泵A(B)，在泵出口壓力85.7kg/cm²(1220psig)時，可從試驗槽吸取每秒2.62公升(41.3gpm)的除礦水，然後送回試驗槽。
- (2)泵流程驗證：每18個月，可將試驗槽出口閥C41-F031全開，並在主控制室將備用硼液泵A(B)的鑰匙開關SIA(B)(圖6)置於“RUN”位置，以引爆開閥及使泵A(B)起動，把除礦水打入反應爐，以試驗系統之可靠性。

伍、備用硼液之系統運轉及限制(續)

(2)注入速率(Injection Rate)

- A. 正常爐壓：2.72公升/秒(43gpm)。
- B. 最小濃度：每分鐘6ppm。(係假設硼液在2小時內注入反應爐)。
- C. 最大濃度：每分鐘25ppm，以確保硼毒有良好之混合，不會在反應爐內形成塊狀(Slug)(因有均勻之硼液濃度)而造成功率震盪現象(Power Oscillation)。

陸、重複反應度控制系統

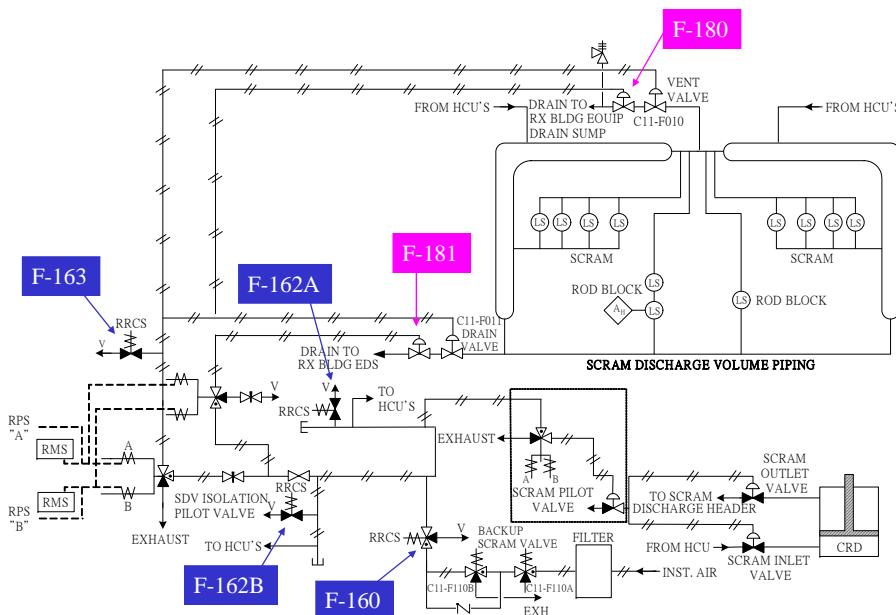
RRCS由下列四支系統所組成

●控制棒替代插入(Alternate Rod Insertion,ARI)系統

●再循環跳脫(ATWS-RPT)系統

●飼水回退(Feedwater Runback)系統

●備用硼液自動起動系統



一、控制棒替代插入(ARI)系統

參閱GE圖105E1147/1148

(1) 動作信號：

- 反應爐高壓力(1115psig)
- 反應爐二階水位(-76cm)
- 手動引動

(2) 動作設備: (TD 30 Sec)

開啟急停儀用操作空氣集管上之四只電磁操作閥(F160,F162A,F162B,F163)，將儀用操作空氣洩放，再次將控制棒插入。



二、再循環泵跳脫系統(續)

b. ATWS-RPT跳脫迴路

B. 動作信號：

- 反應爐高壓力(1115psig)
- 反應爐二階水位(-76cm)
- 手動引動

C. 動作設備：

反應爐高壓力或反應爐二階水位跳脫再循環泵#2、#5斷路器以跳脫再循環泵；但於手動引動的情況則只跳脫再循環泵#5斷路器。



二、再循環泵跳脫系統(RPT)

1. ATWS說明

(1)機組壓力/水位，應於1063 psig 〈74.76kg/cm²〉 /L-3 〈30.56cm〉急停，控制棒全入，補水系統〈F.W / RCIC/ HPCS〉正常，則反應爐功率下降〈APRM/ WRNM指示〉，壓力依衰變遞減而降低，水位終將恢復正常。如機組於任一暫態，接收到RPS急停信號，而控制棒未全插入，假設此暫態已使發電機跳脫或反應爐之飼水輸入蒸氣輸出不平衡，則反應爐之壓力/水位之異常顯示可能較RPS動作點更為嚴重，當壓力達到1115psig或水位下降至L-2 〈-76cm〉，即稱之為預期暫態未急停

Anticipated Transient Without Scram。



第二核能發電廠

三、飼水回退

1.信號：

- (1)反應爐高壓力(1115psig)，且
- (2)反應爐功率大於5%額定功率，且
- (3)經2分鐘延遲。

2.動作設備：

將三台飼水泵之M/A控制器切換至手動，並將其輸出速度需求信號降至“0”，致使飼水泵轉速降至速度(約2700RPM)。

註：上述信號可視實際狀況需要手動中止
(Manual override)。

二、再循環泵跳脫系統(續)

1. ATWS說明(續)

(2)當機組發生ATWS之嚴重情況，則壓力上升，空泡減少，加入正反應，功率上升，壓力再上升，如無法抑制，最後應使SRV動作。反應爐蒸汽經由 SRV Blow Down 至抑壓池，抑壓池溫度上升，圍阻體壓力上升，乃至於圍阻體損壞，輻射線外洩。

台灣電力公司

第二核能發電廠

四、備用硼液自動起動

1.信號：

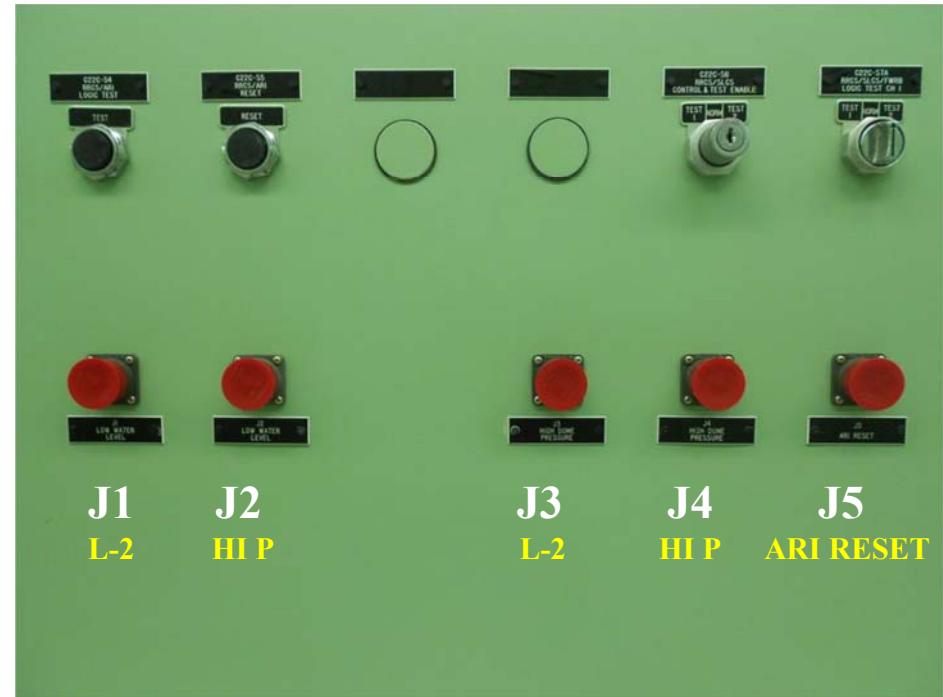
- (1)反應爐高壓力(1115psig)或反應爐二階水位(-76cm)或手動引動，且
- (2)反應爐功率大於5%額定功率，且
- (3)經2分鐘延遲。

2.動作設備：如果被預選的備用硼液泵之控制開關置於“AUTO”，則備用泵自動起動。

3.上述信號可在2分鐘內手動中止；但是備用硼液泵一經起動，則除了手動停止或備用硼液槽低液位(液位零點)外，才能中止硼液注入爐心。

台灣電力公司

第二核能發電廠



- 326 備用硼液控制系統
- 329 重複反應度控制系統

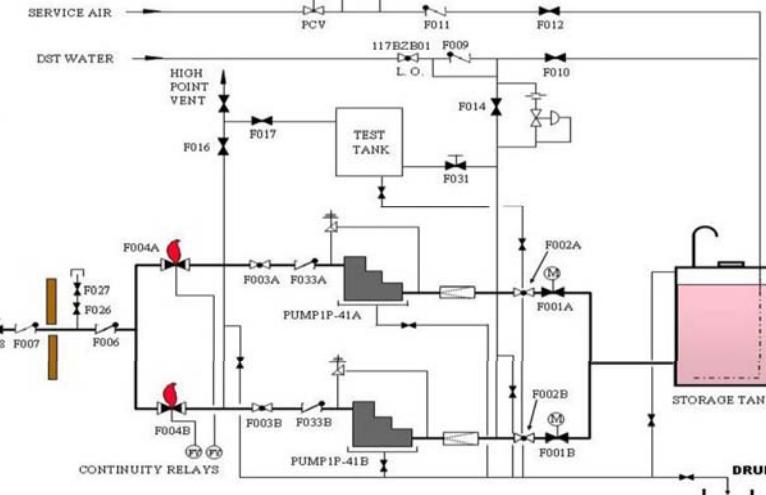
柒、相關程序書

- 500.4 反應爐控制 (ATWS)
- 500.7 替換硼液注入
- 574 ARP(警報系統)
- 574.88 SBLC B LOOP 盤琥珀色狀況警示燈處理程序
- 612.5.1 備用硼液控制系統每個月可用測試/三個月之可用測試
- 612.5.2 備用硼液控制系統18個月可用性核對
- 604.1.1~4 備用硼液控制系統 ATS 有關儀器功能及校正測試
- 604.1/.2 SBLC Level/P. 傳送器校驗(18M)程序書
- 706 備用硼液控制泵浦內部組件的移除與回裝
- 706.1 備用硼液槽出口管路栓塞安裝及移除
- 777.4 備用硼液控制系統儀器維校程序書
- 777.8 RRCS ARI, FWRB, SLC, 邏輯及功能測試程序書



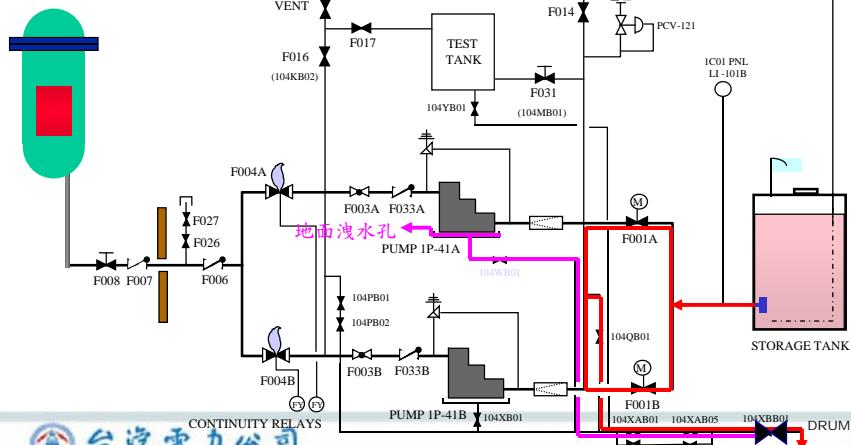
第二核能發電廠

備用硼液系統



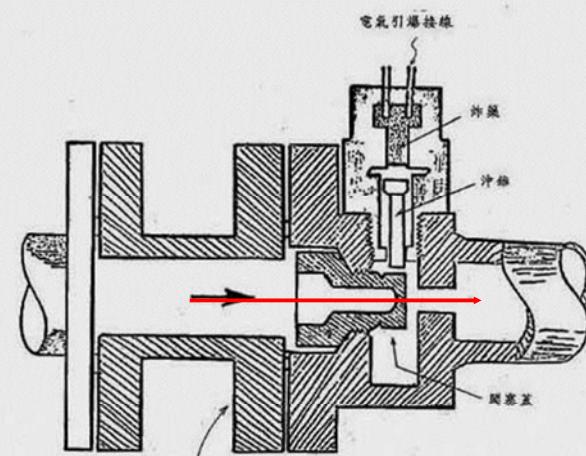
台灣電力公司
第二核能發電廠

備用硼液系統

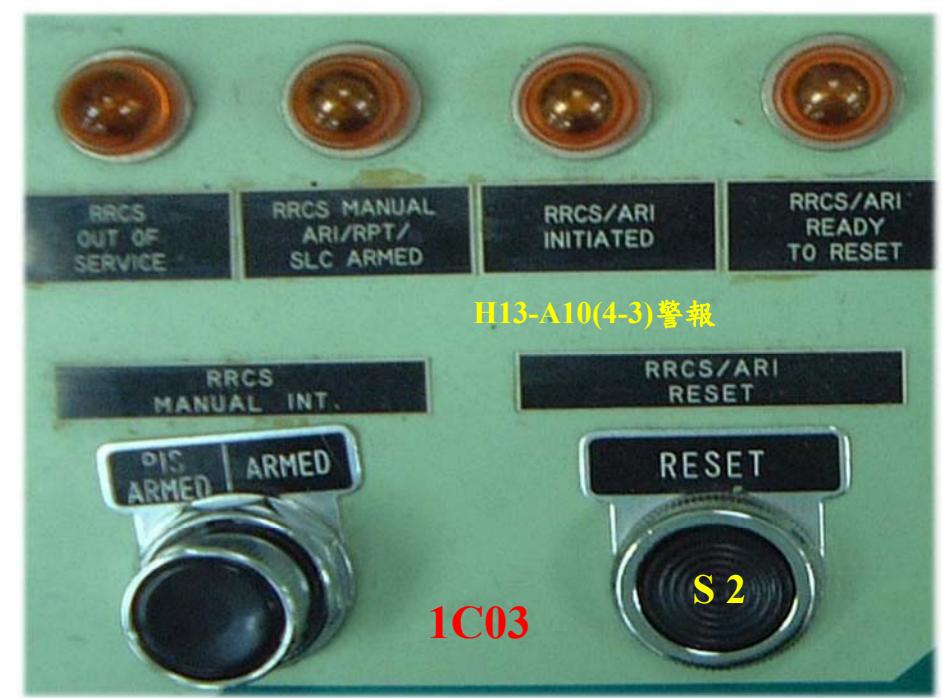
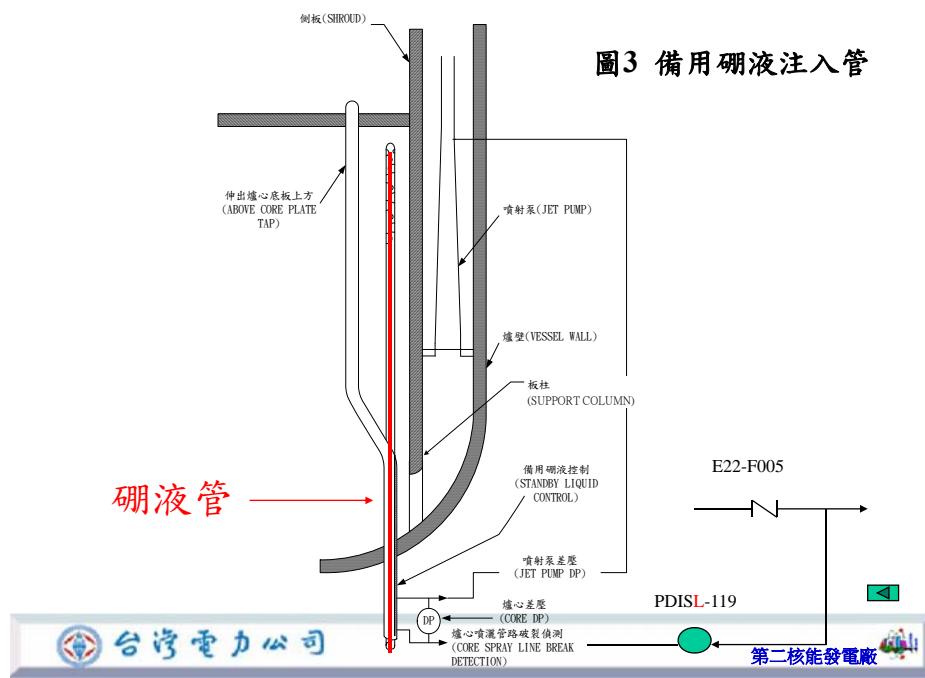


第二核能發電廠

爆破閥



台灣電力公司
第二核能發電廠





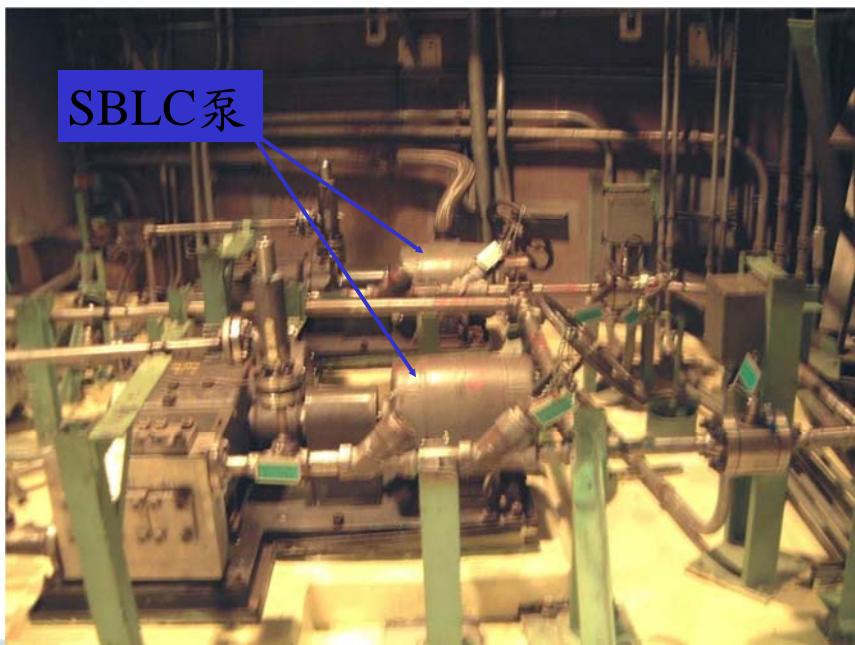
硼液儲存槽



測試槽



台灣電力公司
第二核能發電廠



台灣電力公司
第二核能發電廠