

# 核二廠一號機備用硼液控制系統硼液 流失事件調查報告

行政院原子能委員會

核能管制處

中華民國九十年十月九日

# 目 錄

- 一、前言
- 二、背景說明
- 三、事件經過
- 四、肇因分析與檢討
- 五、事件影響之評估與查證
- 六、結語

## 附圖：

- 一、備用硼液控制系統流程圖
- 二、備用硼液控制系統硼液流失路徑圖
- 三、備用硼液控制系統硼液儲存槽出口管路栓塞

## 附件：

- 一、程序書 SP-93-01
- 二、程序書 612.5.1
- 三、九月十八日備用硼液泵 A 台底盤洩水閥  
BH-104WB01 閥位驗證結果
- 四、系統水質追蹤硼酸濃度分析結果

## 一、 前言

台電公司核能二廠一號機自今年九月八日起進行機組第十  
五次大修，九月二十四日依大修計畫，擬執行備用硼液控制系  
統之硼液儲存槽出口閥 C41-F001A/B 及備用硼液泵 A/B 台出口  
止回閥 C41-F033A/B 之分解檢查。是日約九時卅分，先由奇異  
公司人員執行硼液儲存槽出口管路栓塞隔離，再由電廠值班人  
員之洩水小組執行系統管路殘水洩水作業。

九月二十五日晨約八時卅分電廠值班人員發現硼液儲存槽  
內之硼液已完全流失。事件本身依國際原子能總署之異常事件  
分級標準，雖屬未達異常事件標準之 0 級事件，但由於社會大  
眾之關切，乃針對此一備用硼液控制系統硼液流失事件，進行  
較深入之調查。本調查報告除探討事故肇因外，更將檢討事件  
影響及安全防範措施，以杜絕類似事件再發生。

## 二、背景說明

### 1. 備用硼液控制系統之功能

備用硼液控制系統，為反應爐停機的第二道防線，當反應爐保護系統動作需要反應爐停機時，萬一控制棒故障無法發揮停機功能，反應爐功率無法抑制時，可利用本系統將硼液注入反應爐內，使反應爐安全停機，並維持冷爐次臨界狀態，故本系統是電廠特殊安全設施之一。

### 2. 系統簡介

備用硼液控制系統(參見圖一)，係由一個硼液儲存槽、一個試驗槽、兩台各為 100%排量式泵、兩個爆破閥、注硼管路及閥、例行試驗管路、儀控系統和其他附屬設備所組成，分成獨立之兩串迴路，執行其設計功能，為耐震強度第一類設計。

### 3. 使用時機

(1) 當機組發生預期暫態未急停事故，且於兩分鐘內無法將反應爐功率降至 5%額定功率以下時，備用硼液泵將自動起動，進行反應爐注硼工作。

(2) 依電廠營運程序書編號 500.4 之說明，若抑壓池水溫升高至接近硼液注入起始溫度 43.3 時，且反應爐控制棒無法全入使機組停機，則由值班工程師下令手動起動備用硼液泵，進行反應爐注硼動作。

#### 4. 運轉規範規定

(1) 在機組運轉期間，當一串獨立之備用硼液控制系統不可用時，須於 7 日內修復，否則於另 12 小時內機組至少達熱停機狀態。當兩串獨立之備用硼液控制系統均不可用時，須於 8 小時內修復，否則於另 12 小時內機組至少達熱停機狀態。

(2) 在備用硼液控制系統要求可用狀態下，應至少每 24 小時證實硼液儲存槽內之五硼酸鈉淨體積在 2404 加侖至 2880 加侖間。

#### 5. 維修規定

依據「核能電廠重要設備維修週期」之長期維修計畫，本系統之各項重要設備，均需定期執行簡單檢查、一般檢查或分解檢查。此次原擬執行之硼液儲存槽出口閥

C41-F001A/B 及備用硼液泵 A/B 台出口止回閥 C41-F033A/B  
之分解檢查，依規定分別為每三次大修執行乙次及每四次大  
修執行乙次。

### 三、事件經過

- 90.09.24 晨 依大修計畫工作項目及程序書編號 700.1, 準備執行備用硼液控制系統之硼液儲存槽出口閥 C41-F001A/B 及備用硼液泵 A/B 台出口止回閥 C41-F033A/B 分解檢查工作。
- 90.09.24 09:30 包商奇異公司人員執行硼液儲存槽出口管路栓塞隔離。
- 90.09.24 12:00 機械課通知值班掛卡小組，已完成硼液儲存槽出口管路栓塞隔離。
- 90.09.24 13:00 值班掛卡操作人員開始執行備用硼液控制系統掛卡隔離工作。
- 90.09.24 14:00 值班洩水小組第一次執行備用硼液控制系統管路及試驗槽管路之殘水洩水工作，將洩水排放至輔助廠房三樓之收集桶 (55 加侖× 2)。
- 90.09.24 16:00 收集桶之洩水經由化學課人員取樣分析合格  
20:00 後，洩水小組執行收集桶第一批排放。
- 90.09.24 20:30 值班洩水小組執行第二次備用硼液控制系統管

路及試驗槽管路之殘水洩水工作，將洩水再度排放至輔助廠房三樓之收集桶 (55 加侖x 2)。因化學課人員已下班無法配合執行洩水取樣分析，故值班洩水小組乃決定暫將洩水隔離閥 BH-104XBB01 關閉，待隔日化學課人員執行洩水取樣分析合格後，再行排放。

90.09.25 08:30 值班掛卡小組檢查發現硼液儲存槽內之硼液已完全流失，經值班工程師召集相關人員開會後，採取緊急處理行動。

## 四、肇因分析與檢討

### 1. 硼液流失路徑

備用硼液控制系統硼液儲存槽之硼液流失事件，經研判為硼液儲存槽出口管路栓塞隔離未能完全密閉，且事後查證備用硼液泵 A 台之底盤洩水閥 BH-104WB01 原為正常關閉狀態，卻不當被誤開啟，致硼液自硼液儲存槽經由備用硼液泵 A 台之底盤溢出，並流至反應器廠房地面洩水集水槽（硼液流失路徑，參見圖二）。由硼液流失路徑觀之，此次事件應是管路栓塞隔離未能完全密閉，且硼液泵 A 台之底盤洩水閥 BH-104WB01 同時開啟，方造成硼液流失。

### 2. 管路栓塞隔離未能完全密閉

硼液儲存槽出口管路栓塞隔離工作，係使用和管路相同尺寸之栓塞工具（參見圖三），藉橡皮墊之彈力予以密封防漏。此次硼液儲存槽管路栓塞隔離未能完全密閉，可能原因為栓塞工具失效或執行栓塞人員未落實栓塞之作業程序。

根據事後查證奇異人員執行栓塞工作時，將栓塞工具轉緊三圈半（依 SP-93-01 程序書之規定為約四圈，參見附件

一)。此外，十月六日電廠將栓塞工具拆解檢查並執行模擬測試，發現栓塞工具之驅動機構雖稍有磨耗情形，但仍能密封隔離。綜合上述事後查證結果，栓塞管路隔離未能完全密閉之肇因應是栓塞執行未落實所致。

深入追查，該栓塞工具購買於 1992 年，此次栓塞工作係第六次使用，雖說該工具本身沒有使用年限之規定，但依核能安全文化之精神，此次備用硼液控制系統硼液儲存槽出口管路栓塞隔離作業，於栓塞隔離後仍應執行洩漏驗證測試，以確保栓塞作業確實達到隔離目的。

### 3. 備用硼液泵 A 台之底盤洩水閥 BH-104WB01 不當開啟

備用硼液泵 A 台之底盤洩水閥 BH-104WB01 正常運轉時，該閥處於關閉狀態，僅在硼液泵底盤需要洩水時，方會打開。根據程序書 612.5.1 規定（參見附件二），該閥每個月及每三個月均需驗證其處於關閉狀態，最近一次之驗證為今年九月十八日，該閥仍處於關閉狀態（參見附件三）。

再查證該閥之維修狀態，九月十八日至九月二十四日之間並未有維修作業在執行，因此可確認該閥不應處於開啟狀態，但事件發生時，該閥係處於開啟狀態。由於硼液儲存槽

栓塞隔離未完全，加上此閥之開啟，才導致硼液外洩，顯見電廠在閥門狀態管制上有所缺失，應檢討改善。

#### 4. 未依程序書落實作業

奇異公司人員依程序書 SP-93-01 執行硼液儲存槽出口管路栓塞隔離後，依程序書第 5.0 節安裝之步驟中要求，必須以水下攝影機執行管路栓塞正確安裝之確認，但經查此次管路栓塞安裝，係以手電筒代替水下攝影機，執行管路栓塞正確安裝之確認，未依程序書之要求，落實作業。

再者，核能電廠凡是發包工作，均需指派檢驗員，以負責指導或監督包商人員工作及檢驗工作品質。當包商（奇異公司人員）未依程序書之要求，使用水下攝影機執行管路栓塞正確安裝之確認，而以手電筒代替時，未能負起應有職責予以糾正，亦有再檢討之必要。

## 五、事件影響之評估與查證

### 1. 流失硼液之處理

事件發生前，備用硼液控制系統之管路洩水係經回收至輔助廠房三樓之收集桶(55加侖×2)，因水質乾淨並且未含其他活性物質，核二廠將回收後使用。

至於事件發生後，經由反應器廠房地面洩水集水槽排放至廢液處理系統調節槽之硼液，因其混合雜質，不宜回收，必須透過廢液處理系統之化學中和槽，加鹼中和後，再利用廢料鍋爐，將硼酸液濃縮後固化裝桶。其蒸餾出來的水，經廢料除礦系統過濾硼酸後，若硼酸濃度降至50ppb以下，才回收至冷凝水儲存槽，供機組運轉再使用，硼液不致於有不當排放至外界環境之情形。由於備用硼液系統不具有放射性，故亦沒有輻射安全之影響或顧慮。

### 2. 事件之安全評估

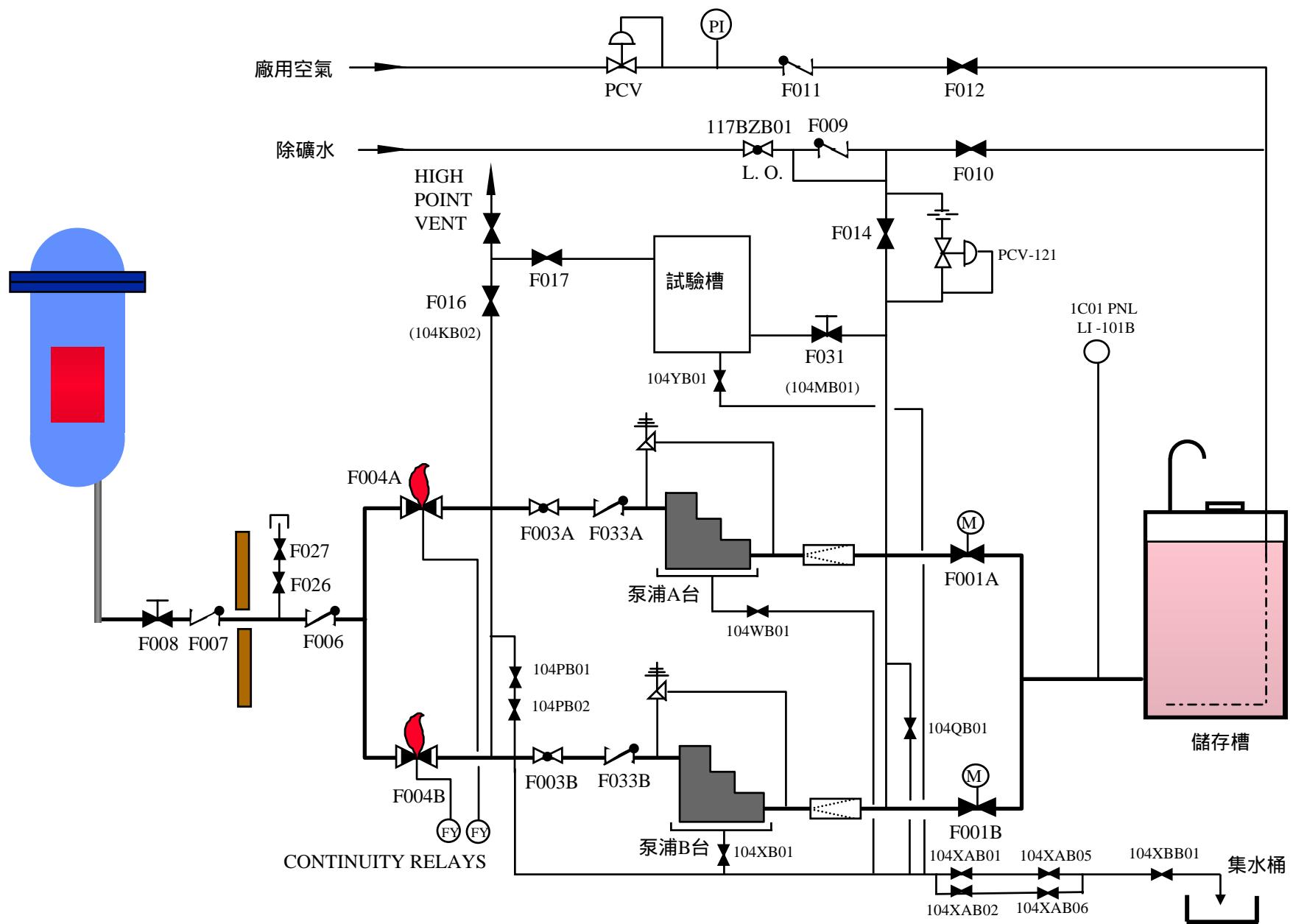
(1) 依核二廠運轉規範之要求，機組於功率運轉期間，備用硼液控制系統硼液儲存槽之硼液淨體積必須維持在2404加侖至2880加侖之間。此次核二廠備用硼液控制

系統硼液儲存槽硼液流失，係經由備用硼液泵 A 台底盤之洩水閥 BH-104WB01，溢流至備用硼液泵 A 台底盤之堰牆內，並經由洩水孔排放至反應器廠房地面洩水集水槽。當集水槽高水位時，集水槽泵則將自動起動，將集水槽內之廢液抽至廢液處理系統。經電廠化學課於九月二十五日進行系統水質追蹤硼酸濃度分析結果（參見附件四），可以看出，大部份之硼液係因高導電度，而被排放至廢液處理系統之調節槽，調節槽之設計容量約為 4400 加侖，故應可印證硼液無外洩之虞。

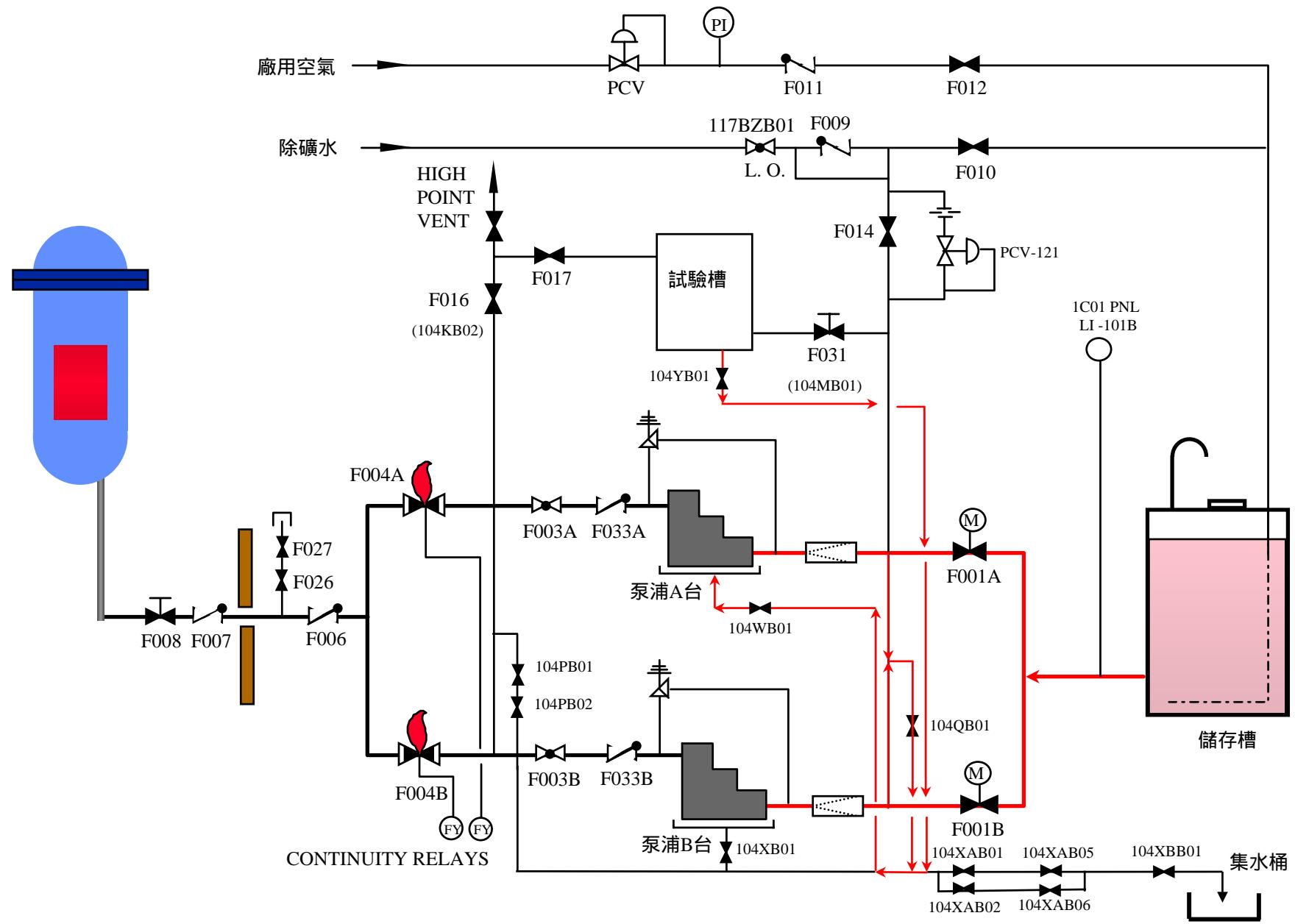
(2) 核二廠為配合全面性進行控制棒葉片檢查，於此次一號機第十五次大修時，即已計畫將一號機爐心內之燃料，全部挪移至反應爐外，經查證一號機爐心燃料於九月二十六日二十時五十分完成爐心燃料全部挪移，而本次事件發生當時，機組爐心尚未完成燃料挪移工作，其附近之控制棒位置均在全入狀態，依運轉規範之規定，備用硼液控制系統可以不可用，故當時之狀況，對機組安全應無影響。

## 六、 結語

1. 備用硼液控制系統於機組運轉時必須維持可用狀態，但對大修中之機組而言，若燃料仍置於機組爐心時，則其附近之控制棒只要保持在全入位置，備用硼液控制系統不需要維持可用狀態，故事件發生當時之狀況，對處於大修中之一號機而言，並不影響機組之安全。
2. 流失至反應器廠房地面洩水集水槽之硼液，經證實均被自動泵送到廢液處理系統調節槽中，由廢液處理系統進行處理，由於沒有輻射問題，亦無不當排放，故不致於對環境造成影響。
3. 由於硼液未打入反應爐內，並經進行一號機反應爐爐水水質取樣及相關儲存槽之化驗，化驗結果均顯示正常，並不影響未來一號機之運轉。
4. 有關本事件作業之疏失，電廠未依程序書規定落實作業及閥門管制不當等，本會將請台電公司嚴加檢討並提出具體改善對策，以防範事件再發生。



圖一 備用硼液控制系統流程圖



圖二 備用硼液控制系統硼液流失路徑圖



圖三 備用硼液控制系統硼液儲存槽出口管路栓塞

## 附件一

- e. If the visibility is not good enough to work on, set up underwater camera and light as required.
- f. All the personnel working on it should be aware the solution in the tank is acidic and required prection should be prepared, too.
- g. Assure that the integrity of the system is achieved prior to removing the plug.

### 5.0 INSTALLATION

- (1) Assemble the pole adaptor to a pole section.
- (2) Verify the nozzle drive nut has been rotated CCW so the main seal is not compressed. Apply only light hand torque.

Verified by \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

- (3) Engage the pole adaptor to the drive nut to ensure the ball retainer engages the groove.
- (4) Attach a safty rope to the nozzle plug.
- (5) With the pole adaptor engaged to the drive nut of the plug, lower the plug into the storage tank, attaching additional pole sections as required. Maintain tension on the safety rope to assure the plug does not disengage from the pole adaptor. Tie off safety line.
- (6) Insert plug into nozzle until face seal seats against the tank's wall.
- (7) ~~Rotate the pole adaptor CW (about 4 turns) until a click is felt from the torque release. It may be rotated additionally to verify this has occurred.~~

Verified by \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

- (8) Pull the pole adaptor assembly off the drive nut and remove it from the tank.

Note: Do not leave the pole adaptor inside the tank when it is not in use.

- (9) With the under water camera, confirm the plug is installed correctly, notify Operation/Mechanical divisions that the plug is installed and SBLIC lines can be drained for maintenance.

Verified by \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

附件二

第二核能發電廠營運程序書

第 17 / 27 頁

編號： 612.5.1-IST

版次： 18

104XAB02	鎖住於關閉	____ / ____
104XAB05	鎖住於關閉	____ / ____
104XAB06	鎖住於關閉	____ / ____
104XBB01	開啓	____ / ____
104XAB03	關閉	____ / ____
104XAB04	關閉	____ / ____
104WB01	關閉	____ / ____
104XB01	關閉	____ / ____
117BZB01	鎖住於開啓	____ / ____
104ABB04	鎖住於開啓	____ / ____
104ABB06	鎖住於開啓	____ / ____
104ABB09	鎖住於關閉	____ / ____

值班主任\_\_\_\_\_ 日期\_\_\_\_\_

值班工程師\_\_\_\_\_ 日期\_\_\_\_\_

程序書名稱: 備用硼液控制系統每個月可用測試／三個月之可用測試

列印日期: 10/09/01

## 附件三

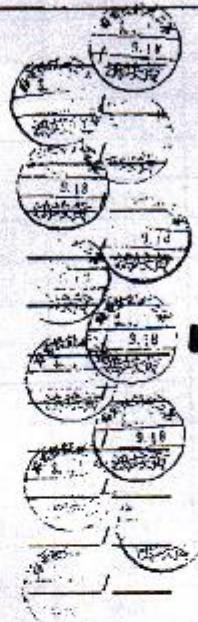
## 第二核能發電廠營運程序書

第 17 / 27 頁

編號： 612.5.1-IST

版次： 18

104XAB02	鎖住於關閉
104XAB05	鎖住於關閉
104XAB06	鎖住於關閉
104XBB01	開啓
104XAB03	關閉
104XAB04	關閉
104WB01	關閉
104XB01	關閉
117EZB01	鎖住於開啓
104ABB04	鎖住於開啓
104ABB06	鎖住於開啓
104ABB09	鎖住於關閉



值班主任 許衍輝 日期 90-9-18

值班工程師 蘇仁成 日期 90-9-18

程序名稱：備用凝液控制系統每個月可用測試／三個月之可用測試

列印日期:05/04/00

## 附件四

## 系統水質追蹤硼酸分析結果

日期	時間	樣品名稱	硼酸濃度 (ppm)	備 註
90.09.25	10:00	#1 Rx Water	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 Rx Water	< 0.01	
90.09.25	10:00	#1 Suppression Pool	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 Suppression Pool	< 0.01	
90.09.25	10:00	#1 CST	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 CST	< 0.01	
90.09.25	10:00	#1 Spent Fuel Pool	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 Spent Fuel Pool	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 Hot Well A	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 Hot Well B	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 Hot Well C	< 0.01	
90.09.25	10:00	#2 Hot Well D	< 0.01	
90.09.25	10:00	#1 R/A BLDG 3F Drain Tank	16300	
90.09.25	10:00	#1 Rx Floor Drain Sump	2930	
90.09.25	10:00	Surge Tank	998	
90.09.25	10:00	Collect Tank A	4.87	
90.09.25	10:00	Collect Tank B	6.41	
90.09.25	10:00	Sample Tank A	0.018	
90.09.25	10:00	Sample Tank B	0.013	
90.09.25	14:10	Chemical Tank A	16.3	
90.09.25	14:10	Chemical Tank B	56.1	
90.09.25	14:10	Sample Tank A	< 0.01	
90.09.25	14:10	#1 Rx Floor Drain Sump	116	
90.09.25	15:00	#1 ACST	< 0.01	
90.09.25	15:00	#2 ACST	< 0.01	
90.09.25	16:45	#1 Rx Floor Drain Sump	380	
90.09.25	18:10	#1 Rx Floor Drain Sump	80	
90.09.25	19:40	Sample Tank B	< 0.01	
90.09.25	19:45	#1 Rx Floor Drain Sump	21.4	
90.09.25	19:50	Collect Tank B	4.84	