

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

功率階中子監測系統更新改善工程

台灣電力公司

服務機關：第一核能電廠

出國人 職 稱：儀控課長

姓 名：黃正富

出國地區：美國

出國日期：91.06.16~91.06.27

報告日期：91年08月7日

G3/c0910>638

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：功率階中子監測系統更新改善工程

頁數 27 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃正富/台灣電力公司/核一廠/儀控課長/(02)26383501 轉 3350

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：自 91 年 06 月 16 日至 91 年 06 月 27 日 出國地區：美國

報告日期：91 年 08 月 07 日

分類號/目

關鍵詞：中子監測系統；PRNM

內容摘要：(二百至三百字)

美國核管會以全面通告 GL-86-02 要求其各沸水式核電廠改善爐心穩定度之問題，不少核電廠選擇了 OPTION III 解決方案，將功率階中子監測系統更新為 NUMAC-PRNM 系統，除原有之 APRM 外，另增加 OPRM 之監測功能，並將原設計之六個控道整併成四個控道，採四選二之跳脫邏輯設計，一併改善了原有單一 LPRM 短路故障即會造成反應爐急停之嚴重缺失。為預做核一廠做本系統之改善準備，本案除赴美國原設計廠實習 NUMAC-PRNM 新系統之出廠前接收測試，藉以了解新系統之設計，並赴剛施工改善此系統完成之 BRUNSWICK 核電廠擷取其回饋之經驗。鑒於 BRUNSWICK 電廠改善之順利成功，且核一廠大修時可利用爐心燃料全出之時機來做改善施工，無 RPS 系統須保持可用之顧慮，改善之成效定可如預期。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網(<http://report.gsn.gov.tw>)

## 目錄

## 頁次

壹、任務內容-----	1
貳、行程-----	2
一、觀摩 Laguna Verde 2 PRNMS 之出廠前接收測試-----	2
A、新舊系統之設計差異-----	2
B、NUMAC-PRNM 出廠前接收測試之項目-----	8
二、BRUNSWICK 1-PRNM 系統之安裝測試實習-----	9
A、NUMAC-PRNM 系統之更新-----	10
B、施工之經驗回饋-----	11
參、感想與建議-----	13
肆、總結-----	18

## 圖面目錄

圖一 爐心振盪之 PBA 判定

圖二 爐心振盪之 PBA、ABA、GRBA 圖示

圖三 爐心振盪之 PBA 判定

圖四 爐心振盪之 PBA 判定

圖五 新 PRNM 系統架構圖

圖六 2/4 VOTER 模組

圖七 新 PRNM 系統之盤面佈置圖

圖八 H11-P603 盤 PRNM 新系統之 ODA

圖九 BRUNSWICK 核電廠新 PRNM 系統之主盤面

## 壹、任務內容

美國核管會以 Generic Letter 86-02 要求其各 BWR 電廠業主檢驗每一爐心填換，並實施適當之運轉限制，以確保符合 10CFR50 APP.A 之要求：

GDC 10 各種正常運轉及可預期之暫態下均不違反燃料限值

GDC 12 爐心功率振盪不會發生或能可靠地予以偵測並抑止

本廠亦據此向原能會承諾將執行功率階中子監測系統 (POWER RANGE NEUTRON MONITORING SYS, PRNMS) 之改善。惟因本改善系統之架構龐大，費用亦不低，更與爐心營運之安全性關連重大，故有必要於改善施工前赴國外原系統設計/製造廠及已施工改善之 BWR 電廠了解其新系統之設計、施工、測試之規畫，以擷取其經驗。

## 貳、行程

### 一、 觀摩 Laguna Verde 2 PRNMS 之出廠前接收測試 (6/17~6/22)

Laguna Verde 2 採購之新功率階中子監測系統為美國奇異公司(GE)核能部門開發之 NUMAC 系列的數位化設備，並採用 Option III Detect and Suppress 長程爐心穩定度之解決方案，簡稱為 NUMAC-PRNM 系統。其新系統已計畫將於 91.9 月安裝，出廠前之接收測試則安排於 91.6.10~91.6.21 間在奇異公司執行。

#### A、新舊系統之設計差異

Laguna Verde 2 之 NUMAC-PRNM 新系統與本廠現有 PRNM 設計上不同之處在於：

1、將六控道之 APRM 整併成四控道，每控道有完全分離之 22 支 LPRM 偵檢器輸入，根絕現有設計上單一 LPRM 短路即可能造成二控道 APRM 同時跳脫，而導致反應器急停之嚴重缺失。

2、四控道之 NUMAC 模組除原有 APRM 監測爐

心平均功率之功能外，另依 OPTION III 長程  
爐心穩定度解決方案增設了

OPRM(OSCILLATION POWER RANGE  
MONITOR)之功能，當再循環流量 $<60\%$ 及爐  
心熱功率 $>25\%$ 時即自動併入，使當爐心功率  
產生振盪時，自動產生急停信號以抑止之，而  
使燃料不致超出 MCPR 之安全限值。

各 OPRM 控道係接收分配之 OPRM CELL 及  
再循環流量信號，每一 OPRM CELL 最多包含  
4 支 LPRM 之信號，再依三種不同之運算式來  
判定爐心功率是否有振盪現象並產生跳脫信  
號：

(1) 以振盪之週期為基準(PERIOD BASED  
ALGORITHM, PBA)

參考圖一，OPRM 模組監測各 CELL 之 LPRM  
信號的峰、谷值，若此峰、谷值出現的週期時  
間正落於爐心振盪特性頻率  $0.3\sim 0.7\text{HZ}$  之間  
的話，則此 CELL 之振盪確認計數器

## (OSCILLATION CONFIRMATION COUNTER)

會變為 1，並將此振盪週期值儲存於記憶內。若下一峰、谷之振盪週期又落於前一週期之許差範圍內，則振盪確認計數器再變為 2，並將此兩振盪週期平均後存入記憶內。若再下一峰、谷之振盪週期又落於其之前平均週期之許差範圍內時，振盪確認計數器再變為 3，並將此三個週期平均後存入記憶內。依前述每逢 CELL 之峰、谷信號時，經計算其週期後振盪確認計數值會加 1，或是被復歸為 0。當振盪確認計數值達 12 時，會先產生一個 RPS 跳脫前之警報；若一 CELL 之振盪確認計數達到 16 或以上，且此 CELL 之參考信號振幅大於 PBA 之高振幅跳脫設定值(1.15)時，即會產生 RPS 之跳脫信號，詳圖一、二。每一 CELL 之 LPRM 的高頻信號係經由一低通濾波器(LOW PASS FILTER)過濾，此過濾之 LPRM 信號再經平均運算處理成 CELL 之特性中子通量值。這一 CELL 平均通量(CELL AVERAGE FLUX)再經



另一6秒鐘時間常數之低通濾波器處理成對時間平均之 CELL 通量 (TIME-AVERAGED VALUE OF THE CELL FLUX)，CELL 之平均通量對平均之 CELL 通量的比值稱為 CELL 之參考值(CELL REFERENCE VALUE)，即圖一縱座標之數值。圖二之右圖為 PBA 之圖示。

(2) 以振盪之振幅為基準 (AMPLITUDE BASED ALGORITHM, ABA)

任一 CELL 達下列所有狀況時即產生一 RPS 跳脫信號：

- CELL 之參考信號振幅達高振幅跳脫值  $S1(>1.10)$
- CELL 參考信號振幅之下一波谷在預設時間內即達低振幅跳脫值  $S2(<0.92)$
- CELL 參考信號振幅之再下一波峰在預設時間內即達另一高振幅跳脫值  $S_{max}(>1.30)$ ，另詳圖二左上圖之 ABA 圖示及圖三。

(3) 以振盪增長率為基準(GROWTH RATE BASED

### ALGORITHM, GRBA)

任一 CELL 達下列所有狀況時即產生一 RPS

跳脫信號：

- CELL 之參考信號振幅達高振幅跳脫值

$S1(>1.10)$

- CELL 參考信號振幅之下一波谷在預設時間內

即達低振幅跳脫值  $S2(<0.92)$

- CELL 參考信號振幅之再下一波峰在預設時間

內即達另一高振幅跳脫值  $S3$ ：

$S3=[(\text{前一波峰之參考信號振幅} - 1) \times 1.3] + 1$

另詳圖二左下圖之 GRBA 圖示及圖四

- 3、PRNM 之跳脫邏輯自重複三選一改為四選二，每一 NUMAC 控道並配合增設一台四選二之 VOTER(圖五、六)，但送至 RPS 之跳脫邏輯仍維持為重複二選一。四個 VOTER 1、2、3、4 個別對應 RPS 控道 A1、B1、A2、B2，且 VOTER 不允許旁通。任二個 APRM 信號跳脫或任二個 OPRM 信號跳脫均會產生 RPS 急停信號，但一個 APRM 跳脫加上一個 OPRM 跳脫則不會急停反應爐。

- 4、新系統取消了 APRM 低讀數之跳脫連鎖，因事故分析並未假設依靠此邏輯，且各廠之操作程序書皆有在切到 RUN MODE 之前須核對 APRM 可用之要求，再加上新系統為數位化設計，且具隨時自我診斷，確保其功能正常之能力，故並無必要保留原設計中之低讀數跳脫。
- 5、新系統取消了 APRM 之非耦合急停設計，但仍保留 WRNM 之非耦合急停設計，因當更換燃料或特殊測試時若爐心暫態發生，雖可能僅為局部性現象，但因 LPRM 偵檢器配屬各 APRM 控道之安排，各 APRM 控道應可同時感測到此暫態，更何況 WRNM 偵檢器之靈敏度更高，對此種局部爐心暫態之偵測而言，LPRM 僅為 WRNM 之後備量測而已。
- 6、新系統取消了 LPNM 低輸入數目造成 APRM INOP 跳脫 RPS 之連鎖，僅保留其警報功能。
- 7、新系統取消了再循環流量互比差值大時之阻棒連鎖設計，僅保留其警報功能。
- 8、新系統嚴格區分了安全等級 (APRM、OPRM、FLOW

UNIT) 及非安全等級(RBM)之支系統，彼此不混於同一盤架內，如圖七所示。

- 9、H11-P603 垂直操作盤上增裝四個 OPERATOR DISPLAY ASSEMBLY (ODA)，以顯示 APRM/OPRM/RBM 之資訊，如圖八所示。

#### B、NUMAC-PRNM 出廠前接收測試之項目

出廠前接收測試(FACTORY ACCEPTANCE TEST, FAT)之目的為獨立驗證系統所有之輸出確與設計需求相符，而不依靠任何先前之 V & V 查證。

本系統 FAT 之項目詳如下：

- 1、 VERIFICATION OF ELECTRICAL FEEDS
- 2、 VERIFY PARAMETERS AND CHASSIS CALIBRATION
- 3、 LPRM SIGNAL SIMULATION
- 4、 APRM COUNT TEST
- 5、 APRM GAIN ADJUSTMENT TEST
- 6、 VERIFICATION OF RECIRCULATION FLOW INPUTS

- 7、 VERIFICATION OF THE RBM SELECT MATRIX
- 8、 RBM COUNT TEST
- 9、 RBM AUTO BYPASS VERIFICATION
- 10、 TEST OF OPRM TRIP ENABLED AND OPRM  
INOP
- 11、 TEST OF APRM DOWNSCALE AND UPSCALE  
FLUX TRIPS
- 12、 TEST OF RBM TRIPS
- 13、 TEST OF OPRM TRIPS
- 14、 TEST OF 2/4 VOTER LOGIC
- 15、 TEST OF APRM INOPERATIVE TRIP
- 16、 RBM ROD INHIBIT SIGNAL TO RMCS
- 17、 CAL/MONITOR OPERATION

## 二、BRUNSWICK 1-PRNM 系統之安裝測試實習(6/23~6/24)

BRUNSWICK 核電廠位於北卡羅萊納州南港市  
(SOUTHPORT)，與本廠同屬 GE BWR-4 之設計，商轉  
日期較本廠約早 4 年，原設計功率為 2436MWTH，但

已獲美國核管會核准提升至 2923MWTH(120%)，為執行功率提昇最成功之典範核電廠之一，尤其近幾年之營運績效穩定進步，已自早期之核電排名後段躍進至 WANO BEST QUARTILE 之列，令人油然敬佩。

BRUNSWICK 電廠之功率提升共計更新了飼水泵汽輪機、主變壓器、高壓汽機，並做了主發電機之線圈重繞，尚餘飼水泵之更新仍續執行中。

#### A、NUMAC-PRNM 系統之更新

BRUNSWICK 電廠之一號機剛於今年初大修之初期(3/3~3/14 日之間)更新安裝了 NUMAC-PRNM 系統(圖九)，主要分為幾個外包合約：

- 1、由 GE 負責整個系統儀器及施工材料之設計提供、訓練及施工、測試之指導。
- 2、程序電腦與爐心監測 POWERPLEX 程式之間介面軟硬體之配合修改工程，約美金 40 萬元。
- 3、主系統之施工安裝工程。
- 4、模擬器在大修前三個月由 EXITECH 公司負責修改完成，約美金 24 餘萬元。

本項工作之 DESIGN CHANGE PACKAGE(含安全

評估)是由電廠之 POWER UPRATE 部門指派一組專人負責，並於大修前赴 GE 公司接受新系統之職前訓練，然後於前述之大修期間每日 24 小時分二班工作，每班有電廠檢驗員三人及 GE 指導一人共同督導承包商之裝機工作。由於電廠在大修前之規畫工作明確具體，鉅細靡遺，且除在 GE 公司之出廠前接收測試外，更在儀器運抵電廠後又在儀控工作間各組裝了一套 APRM/OPRM 及 RBM，供施工及各種程序書編寫之實體參考用，故得能在大修規畫之 12 天緊要路徑工時內有條不紊地如期完成整個系統更新之繁雜工作，其專案人員之心力投注及專業負責、積極之態度絕對是居首功，此在職與彼等討論之過程中可明顯地感受出來。

#### B、施工之經驗回饋

BRUNSWICK 電廠於其一號機之 PRNM 系統施工後，鉅細靡遺地將施工當中遇見之種種問題均記錄下來做經驗回饋，供其二號機明年初做同樣改善施工時之改進參考。茲將其中可供本廠借鏡者摘錄如下：

- 1、 新系統接線至 H11-P603 盤反應器模式開關之接線箱時，須特別留意選擇合適之端點，否則會造成須切割／鑽打接線箱內各端板排之間的厚隔離鐵板，工作上極為不便。
- 2、 在 H11-P608 盤停電修改 PRNM 系統接線之期間，保持 RPS C72-K12 電驛賦能之短路線的跨接點要考慮週延，避免施工期間須牽就改線之需求而變動跨接處而造成 PRS 動作。
- 3、 H11-P608 盤原有之日光燈不能保留，會佔去太多緊要位置，使新設備無法裝入盤內。
- 4、 大修前要先找一較大之空間，將 APRM、RBM 安裝所須用到的設備及材料依各控道分別整理集中起來，除可大幅節省施工時之找料時間，縮短 CRITICAL PATH 工時，更可供事先編寫施工程序書之重要參考之用。
- 5、 拆下之舊 APRM、RBM 設備及材料也要予以整理收存，除可供另一部機改善前之維修備品外，也可能可挪供新系統安裝臨時發現缺少之材料。



## 參、感想與建議

- 1、 本次有機會赴 GE 公司及 BRUNSWICK 核電廠研習，除對 NUMAC-PRNM 系統有更深一層之認識外，對相關人員之專業及施工規畫之嚴謹，致整個改善施工得以完全成功，實覺印象深刻。

BRUNSWICK 電廠本專案團隊專職工作之工程師有 6 人，其它部份時間參與的人還有十餘人。此核心成員 6 人並非儀控維護人員，而係抽調自廠裏的 POWER UPRATE 部門，除在大修前集體赴 GE 公司參加 PRNM 新系統之訓練，然後參與出廠前接收測試外，並一路負責一號機之所有細部設計及施工事宜。他們甚至認為以 PRNM 如此大的改善案，投入之專職人力還應更多，抽調至專案工作組的時間還應更早些。本廠以往的類似改善案大抵多是由維護課本身負責主辦，且限於組織人力，能被指派担任專職的工程師最多每案也不會超過 3 人，所以我們想仿效 BRUNSWICK 電廠自行經辦的做法恐有困難，較可行的方式應是採統包方式發包(程序電腦之介面修改另詳第

2 項建議),但主辦課之工程師仍須先接受新系統之專業訓練後在大修時輪班督導承包商之施工及測試。

- 2、本廠之爐心監測程式因剛從#2 EOC-18 大修起更換燃料供應廠家之故，配合自 GE 之 3D-MONICORE 變更為 FRAMATOME-ANP 之 POWERPLEX 系統，而又因 GE 與 FRAMATOME-ANP 處於彼此競爭之立場，雙方均已表明不願對方接觸其私密性資訊，故若本廠擬改善 NUMAC-PRNM 系統的話，NUMAC-PRNM、程序電腦 (PPCRS) 及 POWERPLEX 之間介面軟硬體之配合修改建議採行下列兩種方式之一：

- (a)全案仍統包予 NUMAC-PRNM 之廠家奇異公司，奇異公司再將此部份工作分包予 FRAMATOME-ANF 指定認可之第三家廠商修改，此方式目前已獲 FRAMATOME-ANF 同意。
- (b)因 BRUNSWICK 電廠爐心監測系統亦與本廠同樣為 POWERPLEX，故應亦可考慮將此部份介面

軟硬體之修改工作循 BRUNSWICK 電廠之方式  
另案委請第三家廠商負責，甚或直接與  
BRUNSWICK 電廠合作亦應可行。採行本方式的  
話，本廠電算課要投入較多的人力，但費用應可  
稍降低，取捨之決定有待廠內進一步評估。

- 3、 BRUNSWICK 電廠之專案人員強烈建議除在廠  
家做出廠前接收測試外，在大修前幾個月，至少  
要在電廠先各組裝好一套 APRM/OPRM 及 RBM  
控道，輔連上 GE 提供之 LPRM、再循環流量之  
模擬器構成完整之迴路，既可供運轉人員之操作  
訓練及儀控人員之維護訓練，更可做大修前編寫  
施工程序書及測試程序書最有用的參考工具。衡  
酌本公司之公營型態及組織人力，欲仿效國外各  
民營電力公司均事先派遣持照運轉團隊及儀控  
維護人員赴 GE 接受職前訓練，並做出廠前接收  
測試實有相當大的困難，變通的方式應可考慮要  
求承包商將全部設備運到電廠 OFF-LINE 組裝起  
來，然後就地訓練電廠人員，最後再執行接收測  
試，如此應可在大修前即同時兼顧到人員訓練、

施工準備（含施工材料）、設計功能核對及人力調度之各種問題。

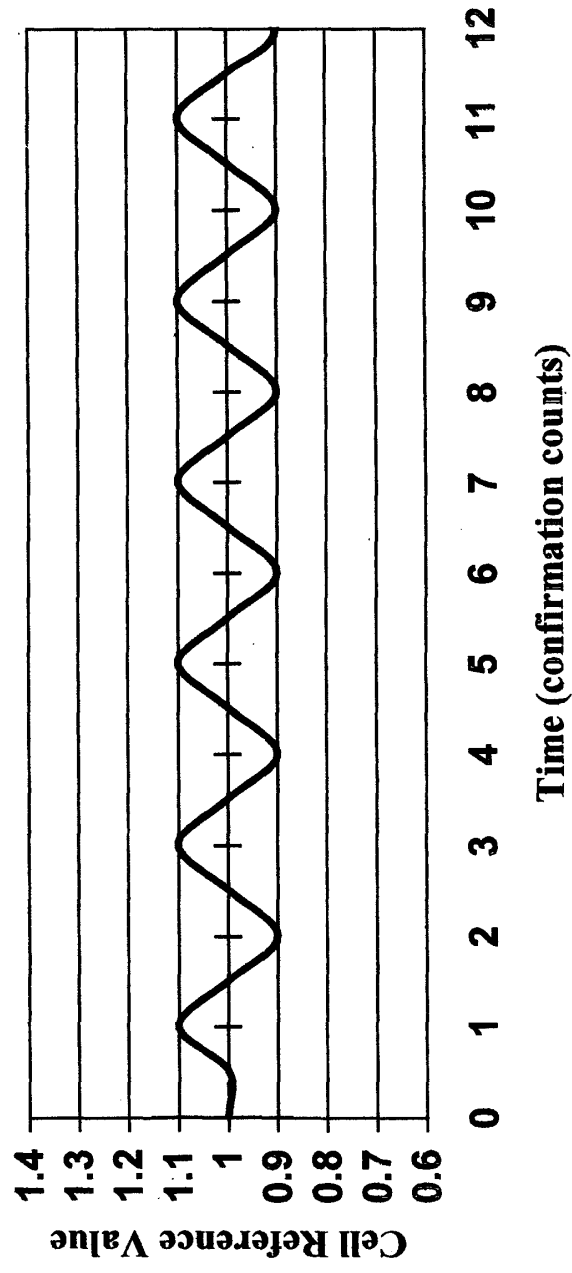
- 4、 BRUNSWICK 電廠之模擬器在其一號機大修前三個月即事先完成 NUMAC-PRNM 新系統之修改，並安排所有持照運轉員接受訓練，以使機組在大修中期施工修改完成 PRNM 系統後，運轉員立即能勝任新系統之操作及爐心監控之工作。較特殊地是 BRUNSWICK 電廠找到一家 EXITECH 公司開發出專利之 NUMAC MONITOR 之介面卡片，使模擬器主電腦能以 SIMULATION 方式與 NUMSC MONITOR 同步運算，突破了以往僅能以 EMULATION 方式模擬 NUMAC MONITOR 之缺點，故在模擬器 FREEZE、BACKTRACK、REPLAY... 等各種特殊模式下，NUMAC-PRNM 新系統仍能完全保持與其它系統同步。既然已有此新技術，此種 SIMULATION 模擬方式應列入本廠模擬器 PRNM SYS 之規範要求內；另本廠模擬器現有之 NUMAC-WRNM 因受限於幾年前之技術，也是

採 EMULATION 方式模擬，應也可考慮如前述  
比照提升為採 SIMULATION 方式模擬之。

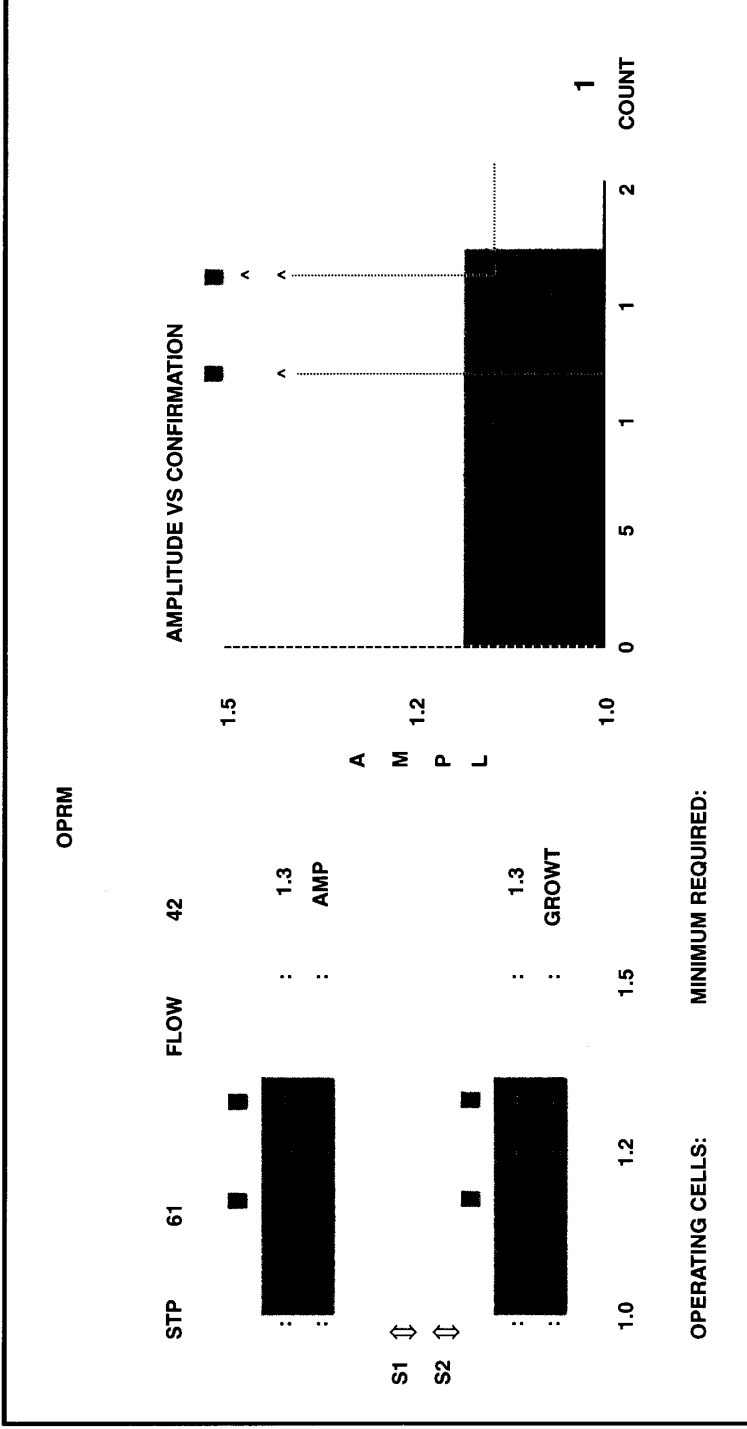
#### 肆、總結

- 1、美國沸水式核電廠執行爐心穩定度之改善是強制性的，大多數的電廠也都已或即將改善完成，本廠仍未進入發包階段，步調已落後不少，實有必要積極規畫，以提升爐心運轉之安全性。
- 2、BRUNSWICK 電廠在大修時是採 FUEL SHUFFLE 方式更換燃料，RPS SYS 保持可用之考慮比本廠採用 FULL CORE DISCHARGE 方式還要複雜。有了 BRUNSWICK 電廠施工經驗的回饋，本廠若擬做同樣改善的話，成效應是絕對可如預期。

## Oscillation Algorithms



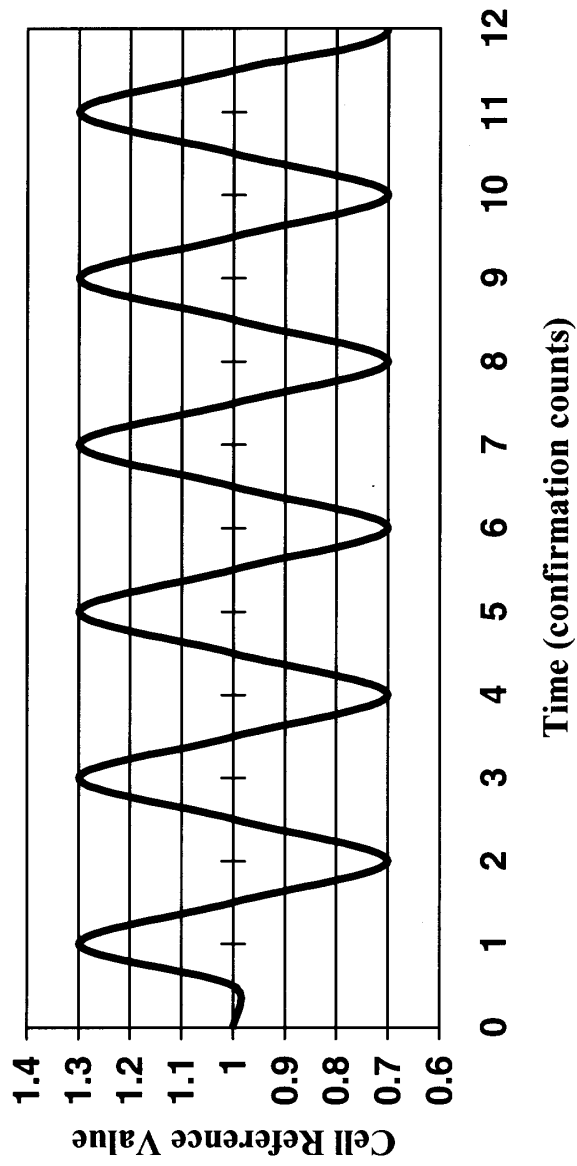
圖一 爐心振盪之 PBA 判定



**圖二 爐心振盪 PBA, ABA, GRBA 判定之圖示**

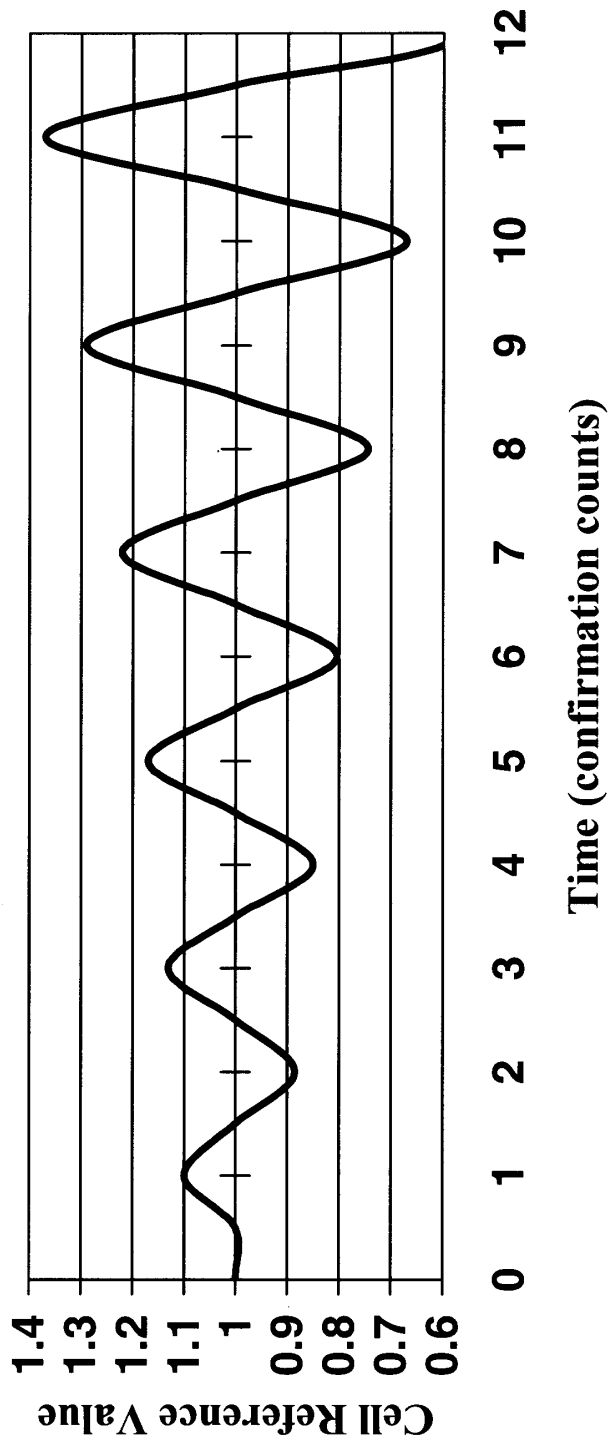


## Oscillation Algorithms



圖三 爐心振盪之 ABA 判定

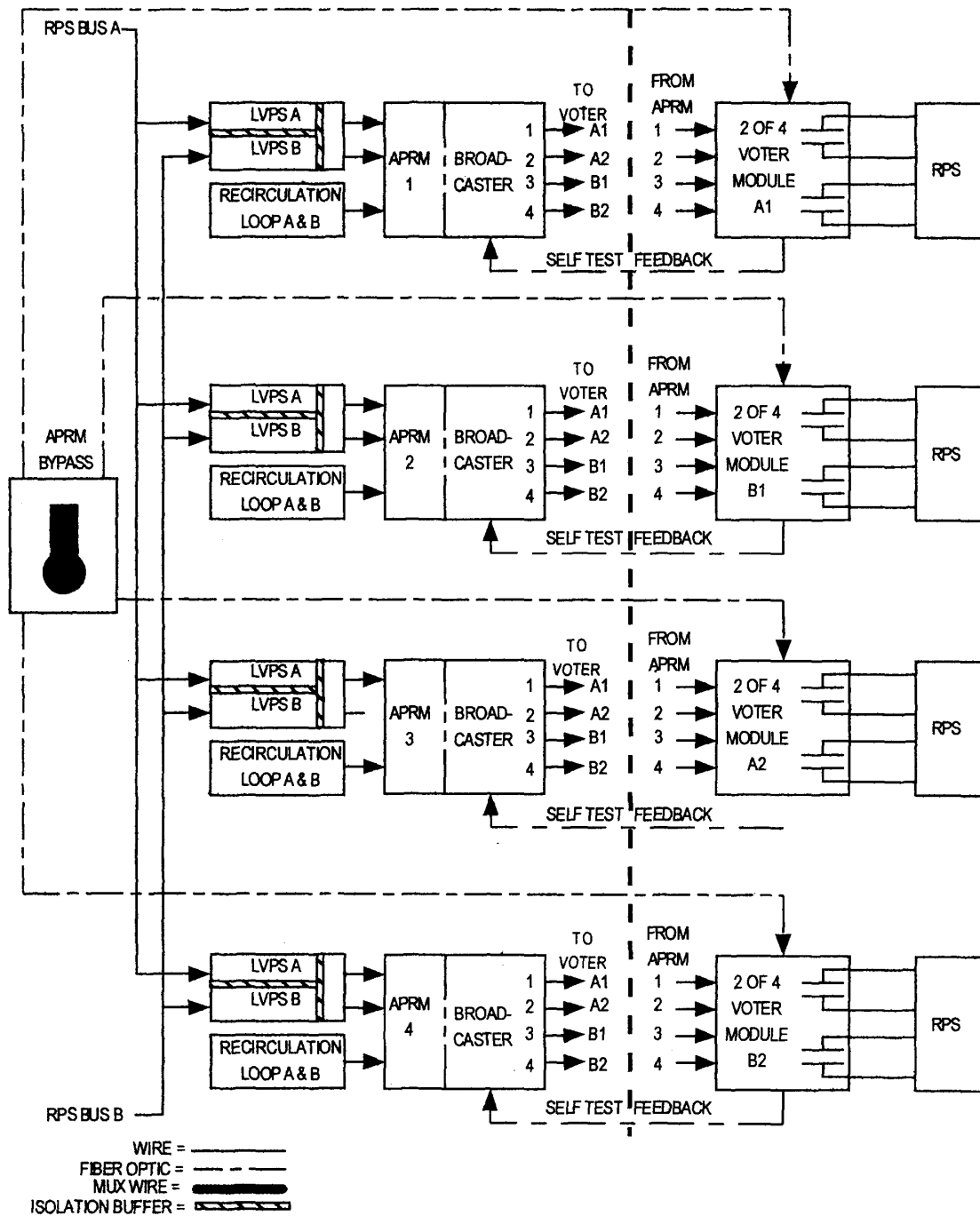
## Oscillation Algorithms



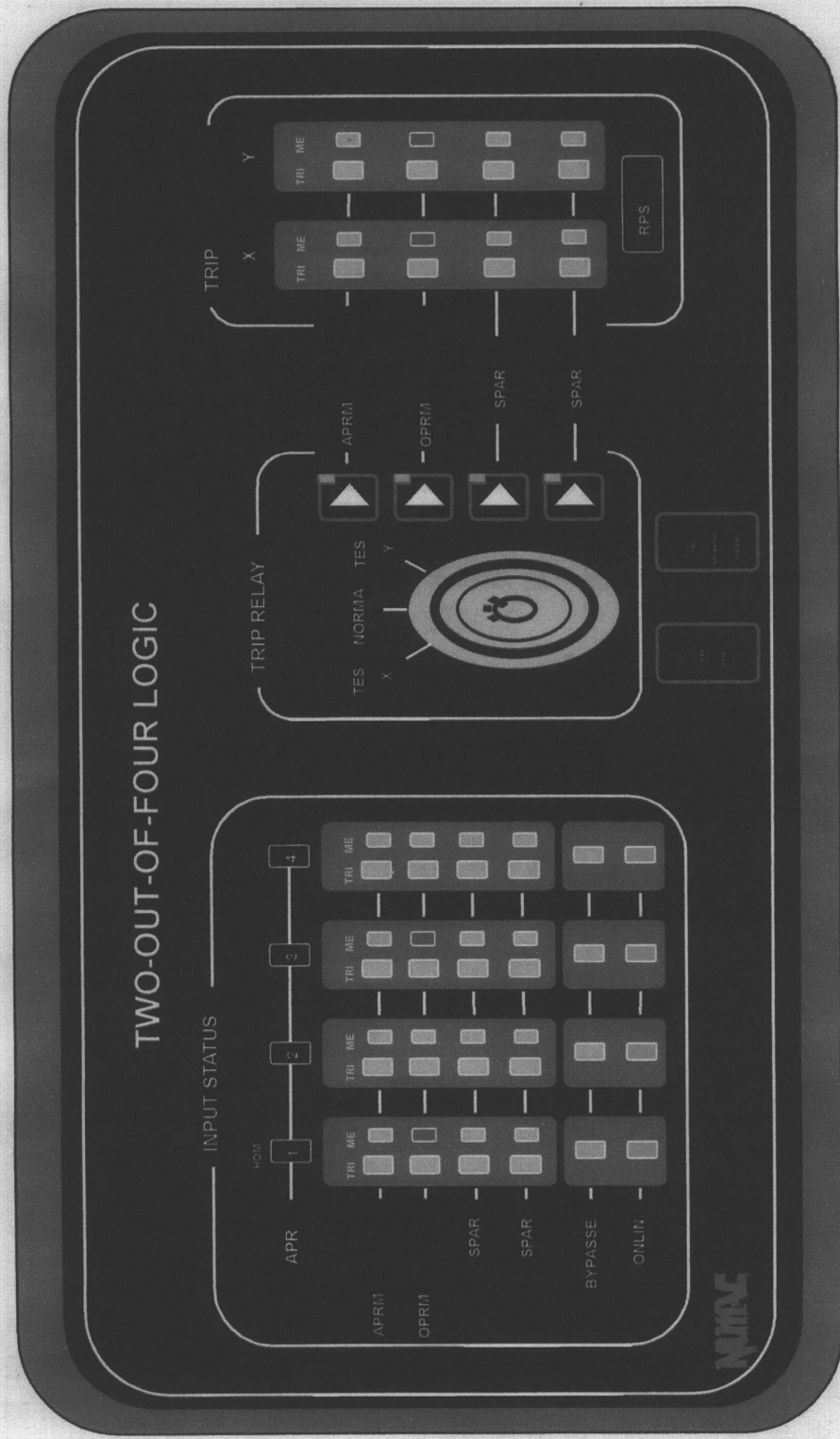
圖四 爐心振盪之 GRBA 判定

APRM /RPS Interface Diagram

APRM /RPS Interface Diagram



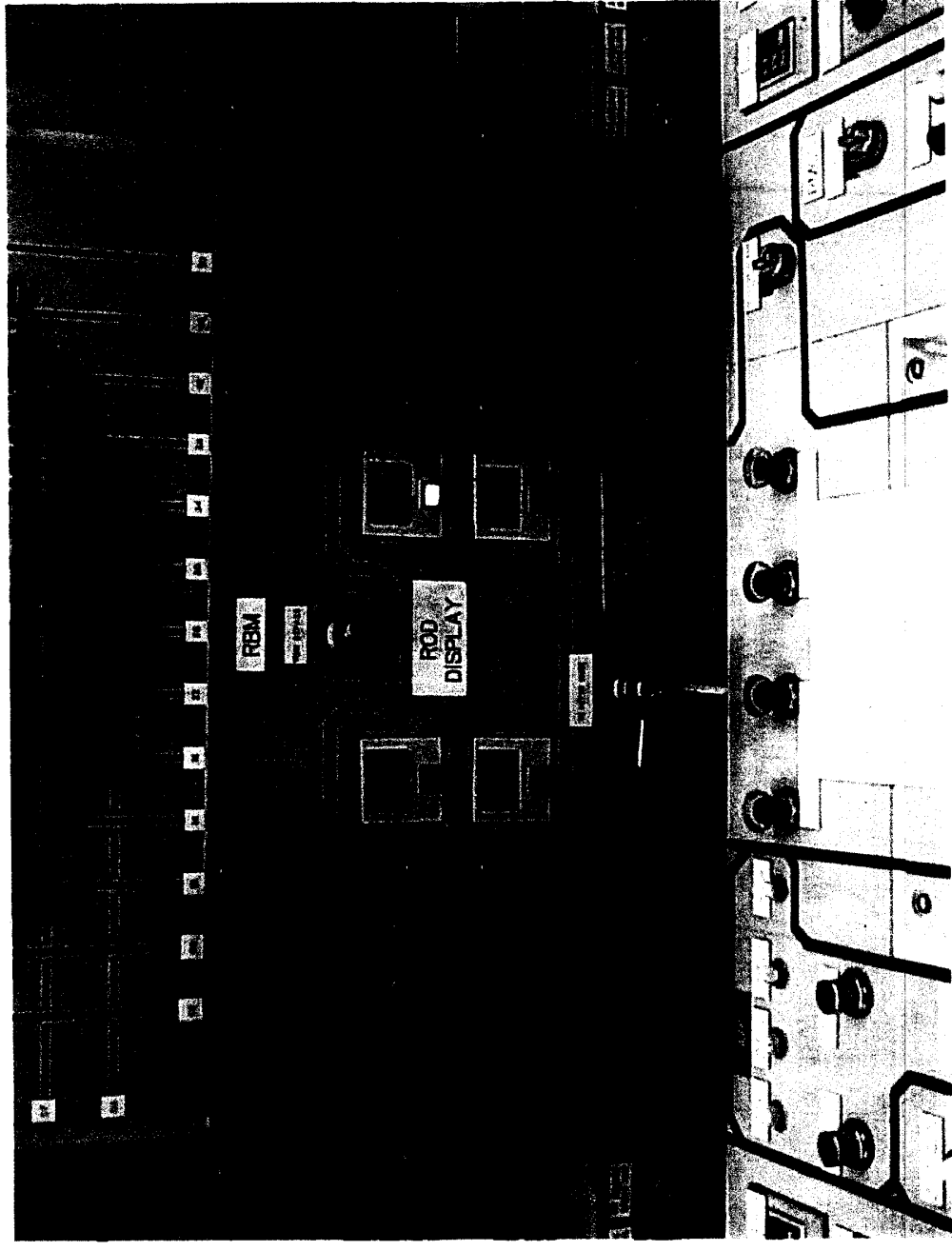
圖五 新 PRNM 系統架構圖



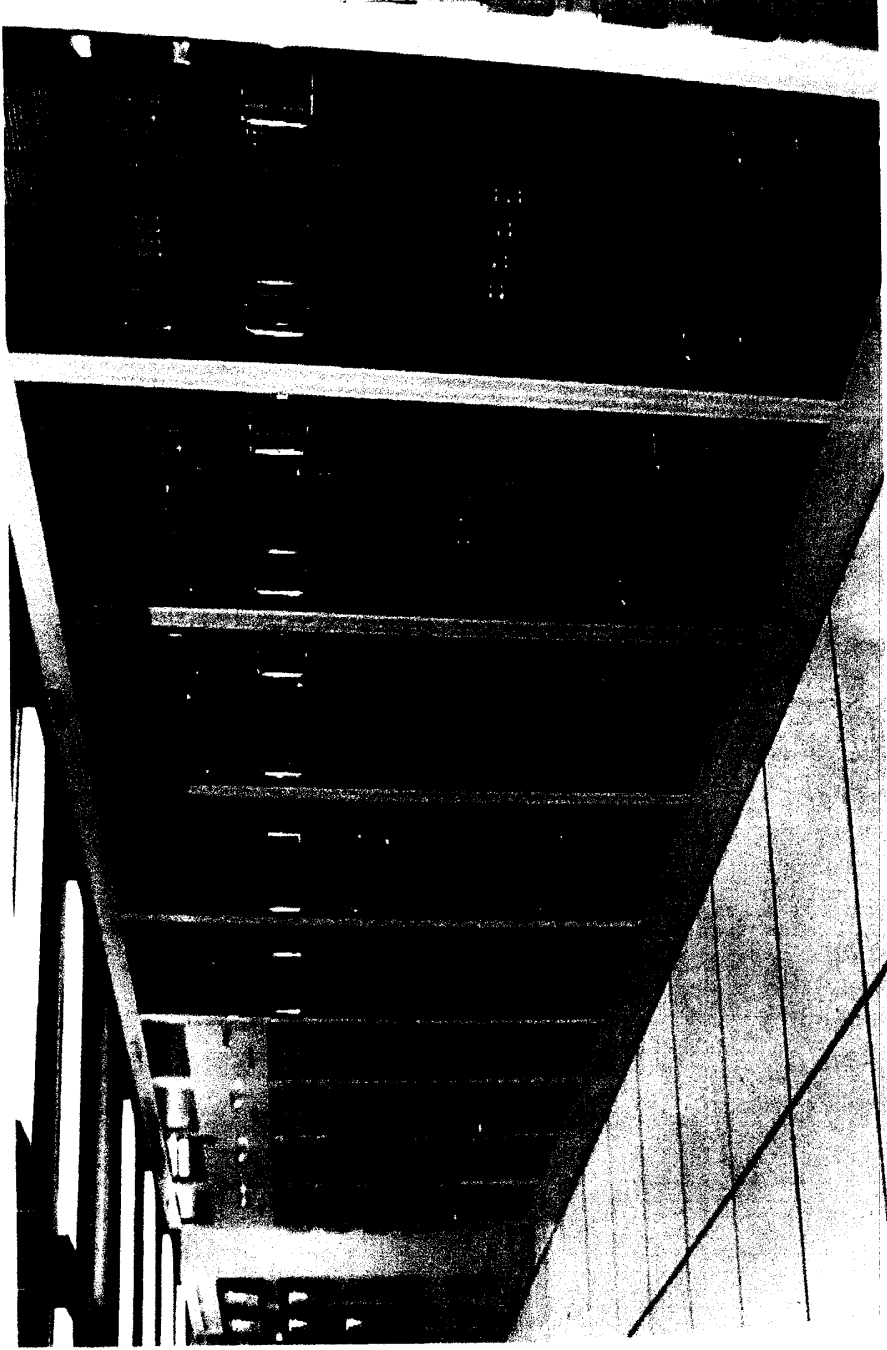
圖六 2/4 VOTER 模組

BAY 1	BAY 2	BAY 3	BAY 4	BAY 5
2/4 Logic Module (RPS Div B2)	RBM I/F Module (RBM A)	2/4 Logic Module (RPS Div B1)	2/4 Logic Module (RPS Div A2)	2/4 Logic Module (RPS Div A1)
APRM 4	RBM A	APRM 2	APRM 3	APRM 1
	RBM B			
APRM 4 Cal/Mon Panel	RBM Cal/Mon Panel	APRM 2 Cal/Mon Panel	APRM 3 Cal/Mon Panel	APRM 1 Cal/Mon Panel
	RBM I/F Module (RBM B)			
DLVPS	QLVPS	DLVPS	DLVPS	DLVPS

圖七 新 PRNM 系統之盤面佈置圖



圖八 H11-P603 盤 PRNM 新系統之 ODA



圖九 Brunswick 核電廠新 PRNM 系統之主盤面