

# 九十一年度核能機組自動急停事件 檢 討 報 告

行政院原子能委員會  
核能管制處

中華民國九十二年八月二十五日

# 目 錄

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 一、前言.....                 | 01 |
| 二、核二廠一號機四月二十七日自動急停事件..... | 03 |
| 三、核三廠二號機六月六日自動急停事件.....   | 08 |
| 四、核三廠二號機六月十六日自動急停事件.....  | 11 |
| 五、核一廠二號機九月二十六日自動急停事件..... | 15 |
| 六、總結.....                 | 19 |
| 附表.....                   | 20 |
| 附圖.....                   | 21 |

## 一、前言

自動急停（俗稱跳機）係核能機組之一種確保運轉安全之保護動作，當核能機組於運轉中，一旦反應器保護系統偵測到運轉參數偏離正常運作範圍，達到預設之設定點時，即使其離反應器設計之安全限值尚有甚大差距，保護系統仍會保守地送出信號將控制棒快速插入爐心中，使爐心中核燃料之分裂連鎖反應中止，短時間內即能迅速且大幅降低爐心釋出之熱能，因此自動急停動作係核能機組設計上用以確保安全之第一道也是最重要之手段，就其性質而言，可以說是一種趨向安全保守之動作。

誠如前述，核能機組之自動急停是確保機組趨向安全的作為，故基本上自動急停事件的發生，只會造成機組暫時停止發電，並不致對安全上產生負面影響，然而由另一方面而言，急停事件之多寡，卻可作為反映出核電廠維修制度、運轉作業或行政管理等方面良窳指標之一；由自動急停事件之檢討，亦可透露出核電廠維護運轉制度中可以再強化之空間，足堪作為日後改善方向之參考。

基於前述理由，長期以來，原能會對國內核能機組發生自動急停事件，均視為重要事件且進行機組再起動之管制，當核能機組發生自動急停事件後，原能會除要求台電公司必須深入追查事件原因，由設

備維護、人員操作、行政管理，乃至於操作環境等多方面進行深入及廣泛之檢討外，並必須針對事件肇因提出具體之預防及改善措施，經報原能會審查同意後機組方可再起動運轉。針對機組自動急停事件檢討結果，如確認涉及人為疏失，原能會將依據情節輕重，發出違規或注意改進事項要求核電廠進行改善。而對於台電公司所提出之改善措施中，如有涉及較長時程之改善方案，原能會亦將視需要成立管制追蹤案件，由專人負責追蹤至全案執行完成為止。有關原能會針對核能機組自動急停事件之管制措施及流程詳如附圖一。

民國九十一年國內核能電廠六部核能機組總計發生四次自動急停事件，其中核能一廠及核能二廠各發生一件，核能三廠則發生二件，就事件發生之原因歸類，其中涉及人為因素者計有二件，另二件則為設備故障造成，有關民國九十一年各次自動急停事件之簡述詳見附表一，而歷年來核能機組急停件數統計及因廠內因素所造成機組急停件數統計詳見附圖二及附圖三。九十一年國內核能機組自動急停事件之經過及改善措施執行現況等，將於本報告後續章節中詳述。

## 二、核二廠一號機四月二十七日自動急停事件

### 事件說明

九十一年四月二十七日凌晨二時許，核二廠一號機由滿載開始降載，以檢修主汽機高壓油管路漏油問題。至三時二十分，機組負載已降至三十七萬瓩左右，當時機組係使用飼水泵 A/B 台執行反應爐補水功能，飼水泵 C 台置於備用狀態。此時飼水主控制器之輸出已降為 0，反應爐水位逐漸上升，運轉員以調整主制器水位設定及各台飼水泵個別控制器(M/A Station)之偏壓信號等方式，藉以改變飼水流量來控制反應爐水位。於操作過程當中，因飼水流量過低，兩台再循環泵自動切換至低速運轉，機組功率降至二十二萬瓩左右；值班主任因水位上升而將飼水泵 A 台手動跳脫。隨後運轉員因水位下降而快速提昇水位設定點之操作，造成飼水泵 B 台因控制信號與轉速需求信號相差過大而自動切換至手動控制模式，此時該台泵已不接受主控制器之控制，但運轉員未察覺，仍持續調整主控制器水位設定點，以期降低飼水流量。由於飼水流量未降低，反應爐水位繼續上升至反應爐保護系統高水位跳脫設定點，反應爐自動急停。

主汽機高壓油管路漏油之原因為其 O 型封環損壞所致。此次急停事件之肇因經事後調查研判，係於降載過程中，控制室運轉人員未能適時調整飼水泵之運轉參數，使飼水主控制器之輸出維持在一定值以

上，以確保適當之控制餘裕，因而造成反應爐水位上升；隨後之操作又未能有效控制水位，包括未察覺飼水泵控制模式之變換，終而造成反應爐水位上升至高水位而自動急停。顯示目前相關之運轉操作程序書內容須再檢討增列操作上之注意事項，及運轉人員在飼水控制之操作能力上仍有待加強。

## **安全系統動作狀況**

此次自動急停事件中，因反應爐水位達八階高水位設定點，故引起反應爐保護系統動作，經查保護系統動作正常，自動急停時所有控制棒均依設計快速插入使反應爐安全停機；由於機組急停時反應爐功率已降低至全功率之四分之一左右，因此急停後之暫態過程中之反應爐壓力、水位等參數，皆未達到其他安全系統之動作設定點，故均未動作。

本次急停事件中，安全系統均依設計正常發揮其功能，有效確保機組於暫態下之安全性。

## **急停事件之改進方案**

本次自動急停事件，主因係設備故障及程序書內容與運轉員操作能力不足所造成，核二廠對此提出之改善方案如下：

1. 平行檢查其他此類接頭之 O 型封環是否已有受損情形，以防止運轉中再發生洩漏，並將本次發生損壞之 O 型封環送驗，以確定是否有材質問題。
2. 修訂程序書 245 及 246，增加下列操作指引：
  - a. 當飼水泵汽機控制系統跳到手動時，立即將該台泵之 M/A Station 切換至手動並調整輸出，以將飼水泵汽機切回自動控制。
  - b. 增訂降載過程需維持主控制器輸出至少保持 10% 以上之餘裕。
3. 除原有警報外，另在 ERF 電腦增加三點顯示，飼水泵汽機轉速、控制信號(Internal Speed)及兩者的差值，以提醒值班員注意。
4. 開立 DCR 設計變更案，增設當主控制器輸出小於 10% 時產生警報，以提醒值班員注意。
5. 擬定中程計畫，評估將飼水泵轉速與內部控制速度需求信號差值之控制模式切換動作設定由 1000RPM 提高之可性，以減少暫態時因控制模式切換而增加操作之複雜性。
6. 由訓中安排有關本次事件之模擬器演練，並請每值值工師宣導本案例，使運轉員熟悉暫態變化及相關應變操作。

原能會於審查此次事件中亦要求台電公司針對本案相關缺失加以改善，要求事項如下：

1. 本次造成主汽機高壓油洩漏之 O 型環已存放核二廠倉庫數年，係最

近一次大修(九十年十一月)才安裝使用,然未滿半年便產生劣化,故請核二廠未來確實做好備品保存期限及倉儲之管理工作。

- 2.本次機組急停原因係運轉人員執行既定之降載作業時,疏於注意反應爐水位控制系統之參數變化所致,故要求台電公司核發處儘速就本次操作上之待加強改進部分,執行核二廠運轉員之再訓練,並擬定訓練查核計劃,同時將查核計劃及時程通知本會,俾便派員瞭解訓練之成效。

## 改進方案追蹤結果

本次事件相關之改善方案,目前執行現況說明如下:

- 1.本次發生損壞之 O 型封環經送橡膠公司及核研所試驗,所獲致之結論為損壞之 O 型封環與新品,在硬度、密度及成份方面均相似,另受限於試樣尺寸及數量不足因素,故 O 型封環損壞之確切原因難以判定,僅推測可能係製程上產生之個別瑕疵所造成。
2. O 型封環之儲存部份,電廠已於九十一年六月底前確實依相關程序書 1102.04/1102.04 之規定完成包裝、標示及儲存工作,並經電廠品質課及台電公司駐廠安全小組派員檢視合格。
- 3.有關程序書 245 及 246 之修改,核二廠已於九十一年四月三十日完成相關修訂。

- 4.電廠已在 ERF 電腦增加飼水泵轉速、控制信號及其差值等參數顯示，以提醒值班員注意。
- 5.有關於控制室警報窗增加當主控制器輸出小於 10%時警報之設計變更案，及將飼水泵轉速與內部控制速度需求信號差值之控制模式切換動作設定由 1000RPM 提高之可行性評估兩項，經研議後合併提出 DCR-3073/3074 修改。二號機已於九十一年十月 EOC-15 大修期間完工結案，一號機則於九十二年三月 EOC-16 大修期間施工完成。
- 6.有關人員訓練部份，為提昇運轉人員對飼水控制系統操作之熟悉度，核二廠提出「核二廠反應爐水控制系統運轉人員再訓練計劃」，於九十一年七月針對各班執行訓練，並於同年八 九月，由台電公司核發處組成評核小組，進行各班之訓練成效評估，原能會亦派員進行查核，查核結果顯示，再訓練課程內容、訓練實施方式或是學員之操作訓練方面，皆有相當不錯之表現。

### 三、核三廠二號機六月六日自動急停事件

#### 事件說明

九十一年六月六日核三廠二號機滿載運轉中，於十二時二十分，功率階高中子通量及中程階高中子通量反應器跳脫突然動作，反應器因而急停。

事後檢查發現於固態邏輯保護系統(SSPS)萬用邏輯卡 A412 第 6 腳處有一接線套環，經儀控人員分析電路，若有金屬異物附著於萬用邏輯卡 A412 之第 6 腳，將會造成其接地，而該點接地則會造成功率階高中子通量及中程階高中子通量反應器跳脫 P-10 閉鎖信號喪失。研判事件發生當時，該接腳套環受到週遭環境影響，諸如通風、微塵、微震動及溫濕度變化等因素，致該卡片之第 6 腳有導通接地現象，使得 P-10 閉鎖信號喪失，因而造成急停事件。該金屬接腳套環應為早期廠家進行盤內配線施工時所殘留，近年電廠早已不再使用該型接腳套環。

本次事件發生後，電廠已立即更換該萬用邏輯卡片 A412，並全面清查二號機 SSPS A 串及 B 串盤內接線及接腳是否有異物卡住。相關工作於九十一年六月七日清查完畢，結果盤內接線及接腳均無異物，一號機部分則預定於 EOC-14 大修全面清查。

## 安全系統動作狀況

本次自動急停事件，因蒸氣產生器已達低-低水位，產生馬達帶動輔助飼水泵需求信號，相關安全設備均依設計自動起動，同時汽機及發電機亦在反應器急停後依邏輯分別跳脫。

## 急停事件之改進方案

本次急停事件起因於金屬異物造成萬用邏輯卡誤動作，除事件當時即將異物清除、並更換邏輯卡及全面清查 SSPS 盤內是否有異物外，本會亦立即以備忘錄 MS-會核-91-18-0 要求核三廠儘速澄清固態邏輯保護系統卡片維護相關事宜，包括：

- 1.每部機組之固態邏輯保護系統卡片之張數及配置情形。
- 2.固態邏輯保護系統卡片之維護方式、更換週期。
- 3.本次故障卡片何時使用？是否為修復品？前次維修之時間與狀況為何？此次大修中維護情形為何？若有更換，是否更換為新品？
- 4.此次卡片故障之肇因為何？

此外，本會亦同步以備忘錄 MS-會核-91-19-0，要求台電公司核能安全處針對前述備忘錄之要求事項以及本次跳機事件，提出獨立之審查報告，併跳機後再起動申請文件陳送本會。

## 改進方案追蹤結果

台電公司回覆固態邏輯保護系統卡片之數目、配置情形、維護方式、更換週期，並說明本次故障卡片為裝機時使用至今，未曾有故障檢修記錄，亦非修復品；而此次卡片故障之肇因為金屬套環碰觸在卡片接線腳與腳座間，使 P10 信號線產生接地現象所致。

至於備忘錄 MS-會核-91-19-0，台電公司核安處說明前述內容已經該處駐廠小組查證無誤外，此次二號機跳機原因經查明，係屬異物造成跳機。核三廠亦已於九十一年六月六、七日全面清查二號機 SSPS A 串及 B 串盤內接線及接腳是否仍有類似異物，並經該處駐廠安全小組派員現場查證無誤。上述台電核安處之獨立審查評估報告，經本會審核後同意備查。另二號機再起動前需查證項目共有三項，包括：

- 1.更換功率階高中子通量及中程階高中子通量反應爐跳脫閉鎖電子卡片及清除金屬異物。
- 2.緊要寒水機 A 台壓縮機自動停止後又自動起動原因說明。
- 3.控制棒控制系統馬達發電機檢修作業。

上述項目亦經台電公司核安處現場查證確認符合要求。

## 四、核三廠二號機六月十六日自動急停事件

### 事件說明

九十一年六月十六日核三廠二號機滿載運轉中，發電機激磁系統第三組 C 相負極整流器保險絲之冷卻水軟管有一裂縫，致冷卻水外噴，波及第四組整流器左半部，將盤內表面雜質沖下滴到整流器絕緣材料，造成接地，引起發電機磁場接地電驛(64GF3)動作，致汽機跳脫、發電機跳脫。因汽機跳脫且反應爐功率大於 30%(P-8 信號成立)，導致反應器急停。

經研判，該裂縫之軟管應為八十三年三月十六日二號機因發電機磁場接地而急停之事件後，電氣維護人員在整理整流盤時，因備品不足，向儀控課調撥一條認為是同級品的軟管更換。該裂縫軟管顏色(藍色)與其他軟管(黑色)不同，其管壁厚度(0.068" ~0.071" )亦較其他軟管(0.085" ~0.090" )為小；原設計軟管為 PTFE 材質(俗稱鐵弗龍)，而產生裂縫之軟管為 PE 材質，其機械性質與化學穩定性皆較原設計軟管差。當時更換時未經過適當的品質程序評估，更換後也未留下記錄，以致喪失日後追蹤管理的機能；且運轉、維護人員的定期巡視因質疑態度不足、沒有追根究底，因此也未能及早發現問題。事件後，電氣維修人員將故障之軟管更換為符合規範之軟管，另將各整流盤滴水清理乾淨，並以酒精擦拭各組件外表後再以熱風機吹乾。同時也將

冷卻水管以儀用空氣持續送氣以便將溼氣吹乾，經測量各整流盤之絕緣，四個整流盤之絕緣值皆在 15 百萬歐姆以上，符合標準。

## 安全系統動作狀況

本次自動急停事件，因有兩台以上之蒸汽產生器已達低-低水位，馬達及汽機帶動輔助飼水泵均產生需求信號，相關安全設備均依設計自動起動。主汽機及發電機亦依設計自動跳脫。

## 急停事件之改進方案

本次急停事件後，核三廠採取下列改正措施：

- 1.執行整流盤整體壓力試驗，將壓力加至運轉壓力之 1.2 倍(111psig)，維持 30 分鐘並目視檢查冷卻水各管路及接頭，確認無洩漏。測試完畢後，導入定子冷卻水，以運轉壓力持續觀察，並確認無洩漏為止。
- 2.再度對一、二號機所有發電機整流盤之冷卻水軟管檢查，確定目前所用的軟管皆為符合規範的黑色較厚型之軟管，並無使用其他型式軟管之情形。
- 3.平行檢查一、二號機各軟管狀況，發現二號機第三整流盤有四條較長之軟管其表面因與銅管接觸，有輕微磨耗痕跡，此次亦以符合規

範的軟管更換。

- 4.依據工材所分析結果之建議及廠家奇異公司之技術文件 GE TIL1027-3 內容，修改 700-E-095 程序書，每次大修檢查發電機整流盤冷卻水管及每 5 次大修更換冷卻水軟管。
- 5.舉辦「強化核安文化及工作品質訓練」，並由廠長/副廠長主持，宣導強調落實各項核安文化方案及品質作業程序之重要性。

除上項改正措施外，鑒於本次跳機係起因於勵磁機冷卻水系統採用不合規格之產品，且無品質記錄可資追查，本會要求核三廠全面水平展開查察是否有類似情形存在；另亦請台電公司核安處就備品管制與設備維修品質文件記錄及不符品質案件（NCD）管控等，對核一、二、三廠進行專案稽查。

## 改進方案追蹤結果

電廠之改正措施之第 1 至 3 項已於機組起動前完成，本會並要求台電核安處駐廠安全小組查證無誤；第 4 項，台電公司已依據工材所分析結果之建議及 GE TIL1027-3 技術文件內容，修改 700-E-095 程序書，每次大修檢查發電機整流盤冷卻水管與每 5 次大修更換冷卻水軟管；至於第 5 項，核三廠已針對維護人員開班，並於九十一年八月十九日完成訓練；運轉人員部分則於九十一年九月二十日完成訓練。

本會要求事項部分，經核三廠全面水平展開查察機械、電氣、儀控及修配等維護單位，除儀控類數量多、範圍廣，運轉中重要設備或圍阻體內設備執行上有困難而預定於一、二號機 EOC-14 大修後兩個月內完成外，其餘均已清查完畢，清查結果僅有修配類之非安全相關設備，因變更廠牌或改變材質而品質文件不齊全需補齊文件外，餘均符合要求。

台電公司核安處於九十一年七月十六日至九月十五日針對核三廠之反應器冷卻水系統、緊急柴油發電機、主汽機潤滑油、EHC 高壓油、發電機氫氣封油系統等結案之設備請修單及大修成套文件（審核表）上有註明更換組件備品之維修紀錄進行查核，其結論為：整體而言，核三廠在維修備品之管理上，除少部分因為疏忽致管登記錄不確實而須再加強改善外，對維修品質、文件紀錄及品質不符合案件之處理，均能遵照程序書執行。

## 五、核一廠二號機九月廿六日自動急停事件

### 事件說明

九十一年九月廿六日，核一廠因 345KV 外電線路（汐止白線）載波控制信號截取器組件故障，維護人員因此停用斷路器 GCB-3550 及 GCB-3560 進行維修作業。完成相關工作後，運轉人員於復電操作時，87T2 差動保護電驛動作，使得斷路器 GCB-3540 打開，二號機發電機因電力無法輸出而跳脫，導致反應爐保護系統動作，機組隨即自動自停。

本次急停事件之肇因，經查運轉人員依程序書 301.1「345KV 開關場操作規程之步驟」執行復電操作過程中，於插回 GCB-3550 PK2(RP22)時有輕微火花產生。GCB-3550 PK2(RP22)為裝設於 345KV 開關場電驛盤(RP22)上之 GCB-3550 的比流器(CT)測試端子，該端子係供比流器迴路活路測試及隔離操作之用。事後電廠維護人員查證發現，該 PK2 端子三相中之 B 相接點接觸不良，研判當運轉人員插回瞬間，比流器迴路受到 PK2 短路火花影響，產生三相不平衡，以致斷路器 GCB 3550 87T2 差動保護電驛動作，使得斷路器 GCB-3540 跳脫開啟，進而造成本次急停事件。

### 安全系統動作狀況

本次事件過程中，由於機組棄載而引發反應爐保護系統動作，經查控制棒均依設計快速插入爐心，使反應爐安全停爐；暫態過程中反應爐壓力曾上升，使得 Throttle Pressure Transducer 量測到超過 1017 psig，因此汽機 DEH 控制邏輯由自動轉為手動，但因反應爐壓力下降快速，運轉員雖曾嘗試手動關閉旁通閥(BPV)，但為避免反應爐降溫率過快超過限值，因此運轉員手動關閉主蒸汽管隔離閥(MSIV)；至於緊急柴油發電機部分，則因外電 345KV 與 69KV 未喪失，因此順利供電至機組，所以緊急柴油發電機未起動供電至所屬緊要匯流排；另外由於暫態過程中反應爐曾達到高水位設定點，造成飼水泵 A、C 跳脫，隨後因飼水泵跳脫，造成反應爐低水位(L-3)及一次圍阻體隔離系統動作自動隔離，但隨後水位恢復正常，即由運轉人員將其隔離信號復歸，恢復正常配置。

本次急停事件中，安全系統均依設計正常發揮其功能，有效確保機組於暫態下之安全性。

## 急停事件改進方案

本次急停事件經檢討主要肇因，係 GCB-3550 比流器測試端子故障所造成，台電公司檢討後提出改進方案如下：

- 1.將 345KV 開關場電驛盤 RP-22 上之 GCB-3550 的比流器測試端子更

新。

- 2.核一廠 345KV 開關場比流器測試端子之 plug 及 Socket，電廠準備於機組起動前完成相關編號，以避免因端子之 plug 及 Socket 匹配不當，再次造成類似事件。
- 3.核一廠計劃當 345 斷路器有可靠的後備跳脫功能時，於需要抽插 87 差動電驛之 PK2 前，預先隔離關鎖電驛開關部分，並將相關步驟修改於程序書中。

本次急停事件主要肇因，雖然台電公司判定係 GCB-3550 比流器測試端子故障所造成，但由於缺乏直接證據證實真正肇因，因此本會於核能機組管制決行表中，請台電公司對其改善措施涉及後備跳脫功能隔離部分，應再審慎研議。

## 改善方案追蹤結果

本次事件相關之改善方案，目前執行現況說明如下：

- 1.345KV 開關場電驛盤 RP-22 上之 GCB-3550 的比流器測試端子，已於機組起動前完成更新。
- 2.核一廠 345KV 開關場比流器測試端子之 plug 及 Socket，電廠已於機組起動前完成相關編號。
- 3.有關 345KV 斷路器有可靠的後備跳脫功能時，於需要抽插 87 差動

電驛之 PK2 前，預先隔離關鎖電驛開關部分，本會要求台電公司對此改善措施，應再審慎研議。台電公司經審慎評估後，決定修改相關程序書，並於九十二年三月底前完成。

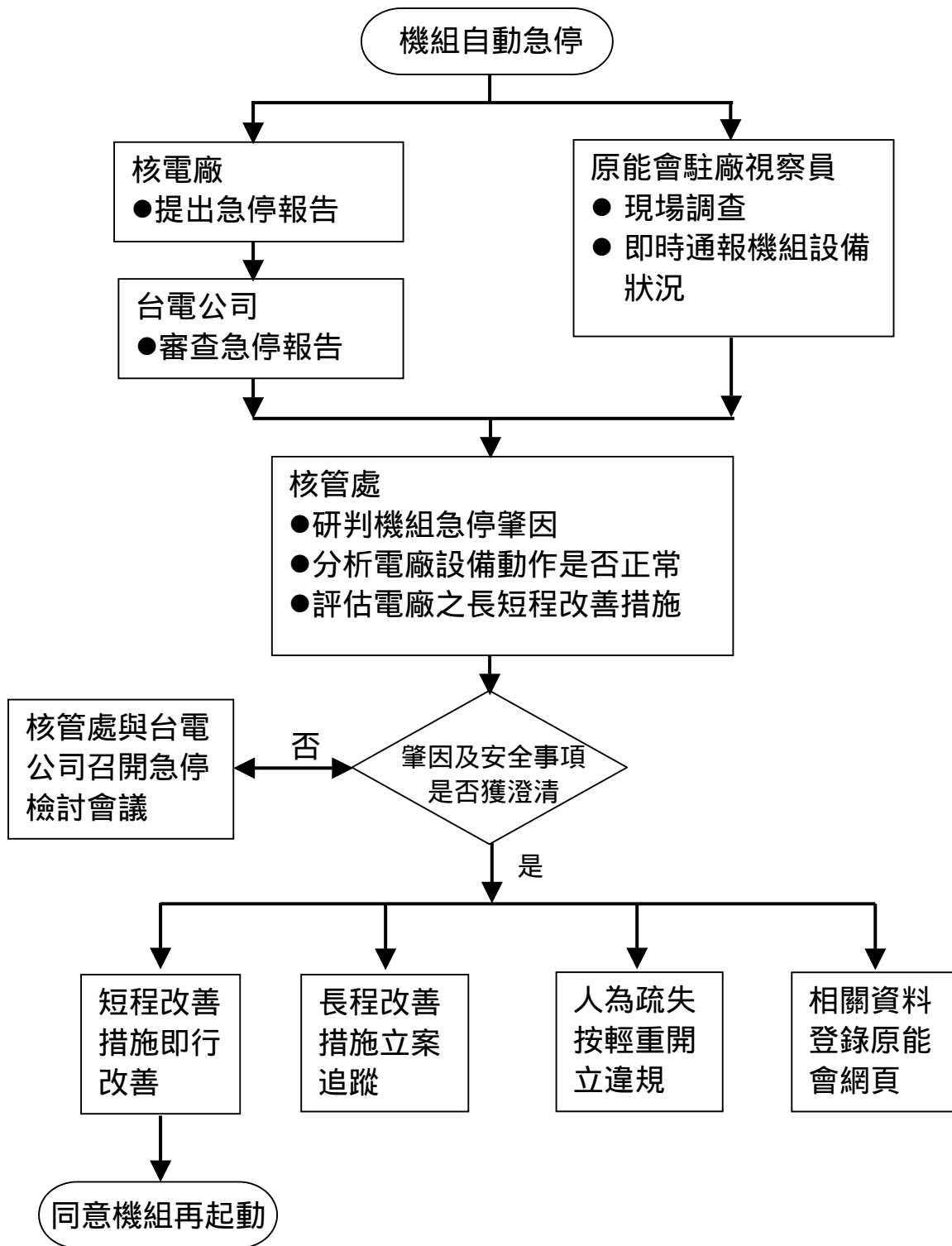
## 六、總結

九十一年度國內核電廠發生之四件自動急停案例，在件數上與九十年相同。就整體之趨勢而言，近幾年來因廠內因素造成之自動急停事件件數，均已能穩定維持每年每機組平均低於一件之短期目標，未來仍有賴管制單位及營運單位持續努力，針對過去發生之案例落實檢討及改善，並將經驗充分回饋至各核能電廠，以進一步抑低急停件數。

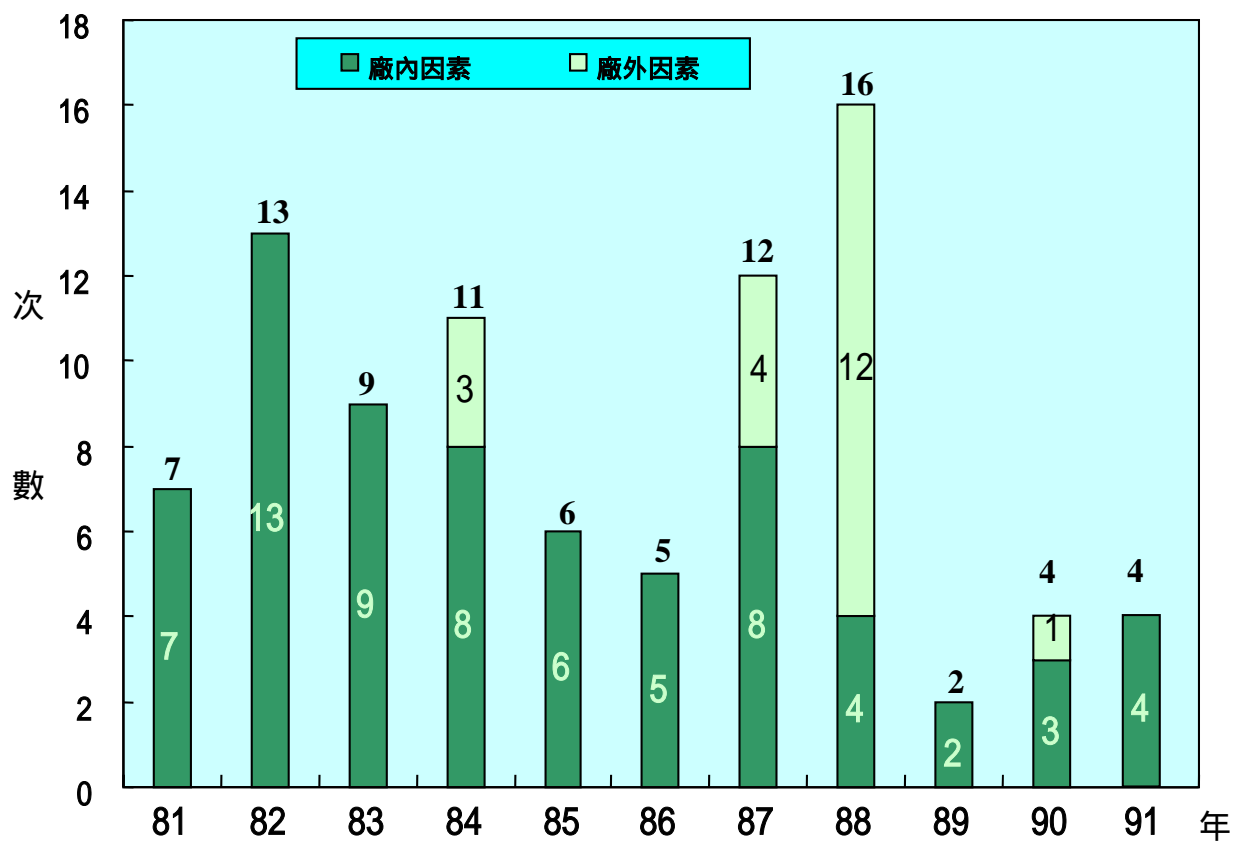
由九十一年度國內核電廠四件自動急停事件發生肇因來看，牽涉到核電廠在設備維護管理、人員操作等方面的疏失，均有值得再加強檢討改善之處。這些急停事件經過台電公司內部檢討及原能會審查過程中所提出之改善要求及建議，相信應足以使再發生類似事件之機率抑減至最低，未來原能會除將繼續要求台電公司落實各項改進措施之執行，並持續追蹤其進度外，針對核電廠運轉維護作業及人員訓練等方面也將持續以積極之態度執行管制，務期使未來國內核電廠之營運安全能在穩定中更為進步。

# 表一 九十一年度國內核能電廠自動急停概況

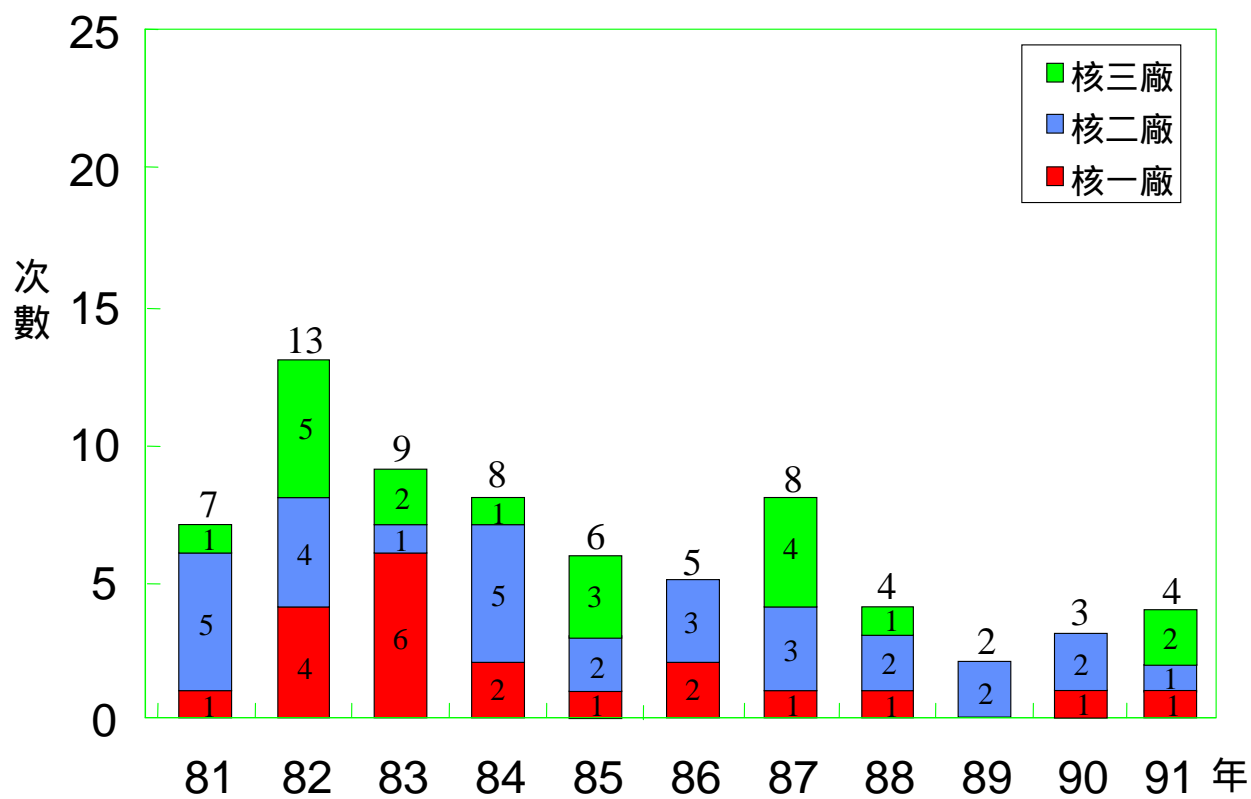
| 項次 | 日期   | 廠別、機組別 | 原因   |
|----|------|--------|--|
| 1  | 4/27 | 核二廠一號機 | 人為：<br>機組降載過程中，運轉員未能保持反應爐水位控制系統適當之控制餘裕，不慎造成反應爐高水位，致機組自動急停。   |
| 2  | 6/6  | 核三廠二號機 | 設備：<br>機組滿載運轉中，因固態邏輯保護系統萬用邏輯卡一接腳因套環卡住，造成接地，導致功率階高中子通量及中程階高中子通量反應器跳脫閉鎖信號喪失，致機組自動急停。   |
| 3  | 6/16 | 核三廠二號機 | 人為：<br>機組滿載運轉中，因主發電機激磁系統第三組 C 相負極整流器保險絲之冷卻水軟管材質不合規定而產生裂縫，致冷卻水外洩，將盤內表面雜質沖下滴到整流器絕緣材料，造成接地，引起發電機磁場接地電驛動作，致主汽機/發電機跳脫。因汽機跳脫且反應爐功率大於 30%，致機組自動急停。                      |
| 4  | 9/19 | 核一廠二號機 | 設備：<br>機組滿載運轉中，發電機一只輸出斷路器 GCB-3550 開啟以進行維護檢修，運轉人員於插回 GCB-3550 的比流器測試端子以便進行後續復電操作時，因測試端子接點接觸不良，致斷路器 GCB 3550 差動保護電驛動作，使得另一只發電機輸出斷路器 GCB-3540 亦跳脫開啟，發電機棄載，致機組自動急停。 |



圖一 核能機組自動急停事件處理流程



圖二 國內核能機組歷年自動急停次數統計圖



圖三 國內核電廠廠內因素自動急停次數統計圖