

核三廠一號機再起動申請案 綜合查證摘要報告

行政院原子能委員會

中華民國九十年五月十六日

前 言

本(九十)年三月十八日凌晨，楓港、恆春地區季節性的鹽霧害使得超高壓 345 仟伏輸電線路不穩定，先後發生多次超高壓 345 仟伏輸電線路跳脫之狀況，導致核三廠一號機於 0 時 46 分發生安全交流電源系統 A 串緊要匯流排故障，連帶使得當時供電至一號機之另一廠外交流電源 161 仟伏外電亦隨之跳脫。一號機配置之兩台緊急柴油發電機中，A 台緊急柴油發電機雖起動正常，但卻因 A 串緊要匯流排故障信號存在而無法供電，B 台緊急柴油發電機起動後因無法建立電壓而未能發揮正常功能，最後造成一號機兩串緊要電源匯流排同時失電的事故。

此次核三廠一號機在發生事故前，由於三月十七日輸電線路已持續有不穩定現象，超高壓 345 仟伏四條線路於凌晨三時許一度全部跳脫，當時已引發機組自動急停，故當次日一號機喪失廠內外交流電源事故發生時，核反應器已停爐達二十一小時以上，爐心餘熱降低至約僅全功率的千分之六左右，而在事故發生後，運轉人員即依緊急操作程序，利用不依賴交流電源的蒸氣驅動輔助飼水泵以及蒸氣產生器動力釋壓閥，建立二次側熱沉移除爐心餘熱，並逐步將反應器降溫降壓帶往安全之方向。事後經各個調查團隊檢視各項紀錄資料，均確認在此次事故過程中，反應器之安全無虞。

雖然在本次事故過程，核三廠一號機反應器安全並未受到影響，但在電氣設備部分，A 串緊要匯流排本身及部分相關設備如斷路器、開關箱及電纜等，因受到故障斷路器電弧波及受損，而必須加以更換。為確保更換之設備符合品質要求，並預防一號機其它類似之電氣設備發生相同故障，原能會乃

要求一號機於起動前，必須執行相關電氣設備之驗證及檢查工作，並根據事故的肇因與事故處理過程所顯示的缺失，進行必要之設計或作業改善，以確保機組起動後之安全性。針對其中重要的項目，原能會則另組工作團隊前往核三廠現場查證，此份報告即為工作團隊之綜合查證摘要。

此次核三事故涉及兩串安全系統有二個小時多的時間同時喪失功能，可說是國內利用核能發電二十多年來，最值得重視的一次緊急事故。為能確認核三廠一號機的安全性，查證與評估工作除比照二號機，延請台灣科技大學顏世雄教授與吳啟瑞教授、清華大學陳士麟教授、中山大學曹大鵬教授、成功大學陳建富教授及光武技術學院李尚懿教授等六位學者組成技術顧問團，提供在電力系統專業上的協助，此外，由於一號機修復工作必須更換部分電氣設備，而用以更新 A 串安全等級 4.16 仟伏開關箱及其組件，必須符合核能同級品檢證之要求，本會為確認該項檢證工作之完整與正確，特別聘請台灣大學郭茂坤教授、中央大學陳惠慈教授及龍華技術學院丁鯤教授等三位結構力學專家，參與評估小組，提供本會耐震評估部分之技術指導，承蒙前述九位教授積極投入並全程參加查證工作，本案乃得以順利完成，謹此致謝。

目 錄

壹、背景說明.....	01
貳、起動前應完成之管制事項.....	03
一、受損設備更換與清理.....	03
二、電氣系統檢查.....	05
三、緊急柴油發電機檢查.....	10
四、反應器系統檢查.....	12
五、負相序電壓（電流）影響評估.....	16
六、其他事項.....	17
七、鹽霧害之防範.....	21
八、緊要電源匯流排之供電策略.....	21
九、鐵磁共振之防範.....	21
十、緊要匯流排 A 串與 B 串之獨立性.....	21
十一、消防設施.....	22
十二、高聲電話聯絡改善.....	22
參、後續改善措施.....	23
肆、綜合結論.....	26
附表一 核三廠一號機再起動申請案審查過程概要.....	42
附表二 核三廠一號機起動前應完成改善事項摘要表.....	43

壹、背景說明

核三廠一號機在三月十七日因為廠外電力系統受到鹽霧害影響，跳脫頻繁，首先於當日凌晨三時許造成機組因電力無法外送而自動急停，隨後於三月十八日凌晨又因廠外電力系統之暫態，引起廠內 A 串緊要匯流排電氣設備故障，加上緊急柴油發電機未能發揮預期功能，導致發生喪失廠內外交流電源之三 A 等級之緊急事故。雖然事故發生二小時八分鐘後，核三廠運轉人員成功起動第五台柴油發電機，及時中止事故進一步演變之可能，但由於這是國內首次發生三 A 等級緊急事故，故在事故發生後，引起政府相關部門及社會大眾極度之關切，國科會、原能會獨立調查小組及原能會業務單位均先後成立調查團隊進行事故之調查工作，並分別發表調查報告。針對事故肇因部分，三組調查團隊均認為廠外電力系統不穩定是造成此事故之初始肇因，而對於事故過程中，運轉人員之緊急應變，多認為處置得當，而給予正面之肯定。

在此次事故發生後，原能會即要求台電公司必須查明此次事故肇因，除受損設備需完成修復工作外，並應針對肇因完成必要的檢查、改善及評估，確認安全無虞後，核三廠一號機方得再起動運轉。而包括修復、檢查、改善與評估的範圍，基本上是按以下原則執行：

- 一、 針對事故後的受損設備清單，進行設備修復及相關之檢證與測試作業。
- 二、 依據事故肇因調查結果，研擬並執行各項防範措施。
- 三、 針對事故過程中可能受影響之設備，進行安全檢查與測試。
- 四、 針對事故處理過程中所發生的缺失，例如 B 台柴油發電機未激磁成

功，提出對應改善措施。

五、根據各調查團隊在調查報告中所提到的檢討改善建議，進行評估並據以執行。

原能會專案稽查小組、六人技術顧問團及三人耐震驗證評估小組，在一號機組復建過程中，為深入瞭解核三廠一號機受損設備修復狀況，於四月二十八日及二十九日赴核三廠，除審查相關文件資料及於現場查證修復作業執行狀況外，並於核三廠多次召開討論會議（參見附錄一及附錄二），提出許多管制建議事項。五月四日台電公司正式提出核三廠一號機再起動申請後，本會更針對該廠一號機硬體設備的檢查及相關紀錄進行深入研討評估，相關查核評估過程，請參閱附表一。

綜合查證結果，對於設計或作業的改善建議，原能會依據在安全方面的影響層次，並諮詢技術顧問團成員之意見，在執行面上區分為起動前應完成事項與後續追蹤管制事項二部分，其各部分之內容，謹摘述如後。

貳、起動前應完成之管制事項

經綜合評估發生事故之肇因、事故處理過程的缺失、受損設備之範圍、以及各調查報告之建議改善事項，原能會認為核三廠一號機再起動前，應完成之安全檢查與改善事項共計有十二項，摘要列於附表二，有關鹽霧害之防範、緊要電源匯流排之供電策略、鐵磁共振之防範、緊要匯流排 A 串與 B 串之獨立性、消防設施及高聲電話聯絡改善等六項，因為在四月廿五日核三廠二號機起動管制時，已完成查証，並述明於該機組再起動安全查證報告中，故本報告不再贅述，這裡謹就受損設備更換與清理、電氣系統檢查、緊急柴油發電機檢查、反應器系統檢查、負相序電壓(電流)影響評估及其他相關事項，簡要說明如下。

一、受損設備更換與清理

問題背景

今(90)年3月18日核三廠一號機，發生外電345仟伏經起動變壓器供電至廠內A串4.16仟伏緊要電源匯流排(A-PB-S01)之17號斷路器故障，所產生的故障電流及電弧，造成開關箱(A-1E-PB-S01-14~19)及內部零組件損壞或部分損壞；除喪失原有的功能外，且無法局部整修，台電公司乃重新建造開關箱及以對等方式裝置內部相關零組件，並委託核能研究所執行檢證工作。

為評估核三廠各項改善措施之執行情形，特針對核三廠一號機修復後之開關箱及其相關設備進行查證，以確保安全系統緊要匯流排(A-PB-S01)的安全性及可靠度。

台電作法

1. 遵循核三廠開關箱技術規範 3-E-006 要求，重新建造開關箱，並依據核三廠程序書 90-PP-02 執行核三廠 ESF 電源匯流排設置完工測試。
2. 以對等方式裝置內部相關零組件，並委託核能研究所「核能同級品零組件檢證中心」，依據檢證程序書 CGID-DP-90003 執行檢證工作。
3. 依據核三廠程序書 700-E-1000 “電氣設備維護表格管制程序書” 執行檢查。
4. 依據核三廠標準作業程序書 1221、1229、1235 及 1236，執行安裝、接地及檢驗作業。
5. 依據核三廠程序書 90-PP-03，執行一號機 ESF 電源 A-1E-PB-S01 送電前靜態測試。
6. 依據核三廠程序書 90-PP-04，執行一號機 A-PBS01 復建後加壓對相測試。

原能會評估

1. 經審查台電公司 NCD-90008 處置報告，核三廠一號機 4.16 仟伏 A 串緊急匯流排 A-1E-PB-S01-14~19 開關箱之結構勁度與內部之支撐均符合原設計規範，且內部所有更換之 Q 級零組件和各零組件的安裝位置、固定方式及配接線，經檢證單位核對並審查相關 SQ 文件結果，確定其耐震能力且各零組件的安裝位置、固定方式及配接線與原開關相同，故新開關箱和其內部各組件整合後之整體耐震能力能符合其原設計之需求(參見照片一至照片八)。
2. 經本會查證有關開關箱內部零組件對等更換作業情形，雖然仍有 5 項問題尚待澄清，然經檢證單位進行檢證評估後，確認以備品及新購品所更換之零組件規格均與原安裝規格相同，且經相關測

試後，亦證實其功能符合原設計之需求，而以替代品更換之零組件修復後之開關箱內部零組件亦經測試後，證實其功能亦符合原設計之需求。

- 3.雖然核三廠一號機 4.16 仟伏 A 串緊急匯流排 A-1E-PB-S01-14~19 開關箱之耐震能力，經修復後所執行之各項測試及檢證單位評估，符合原設計之需求，但品質文件不完整之處，仍應依規定程序進行改善與管制。

二、電氣系統檢查

(一)斷路器檢查

問題背景

一號機的喪失廠內外交流電源事故，最起始之故障點，係 345 仟伏起動變壓器供電至 A 串緊要匯流排的第十七號斷路器，根據目前的調查結果，認為可能之原因有三項：(一)機械故障；(二)廠外電力系統不穩定產生突波影響；(三)鐵磁共振產生之瞬間高壓影響。由於外電系統突波或鐵磁共振效應影響所及之斷路器分布在廠內各個匯流排上，該等斷路器是否受到波及而有負面影響，應是此次核三廠一號機申請再起動過程中必須澄清之重點。此外，由於事故發生時，A 串緊要匯流排十七號斷路器產生電弧，引起消防系統動作，使得控制廠房地下一樓煙塵瀰漫，有鑑與此，本會查證小組要求位於該樓層之其它斷路器，亦須進行必要之清理及檢測作業，以證實其功能之正確性。

台電作法

- 1.依據電廠程序書 700-E-032 及 700-E-1000 執行 A、B 兩串緊要匯流排所有斷路器及非安全相關匯流排電源斷路器之電氣特性及操作特性檢查（參見附圖一、二）。
- 2.依廠家建議對斷路器絕緣套管執行 HI-POT 測試（參見附圖三），測試範圍同前項。
- 3.事故中受損之 A-PB-S01-17 及 A-PB-S01-15 二只斷路器，分別以原來用於 A-PB-S01-04 及 A-PB-S01-05 之斷路器加以更換。
- 4.將六只可能受到鐵磁共振影響之 345 仟伏起動變壓器供電至各匯流排斷路器，移至暫態電壓較不易發生之處使用（參見附圖四）。
- 5.調閱原始品質文件，以瞭解斷路器之製程是否有品質缺陷。

原能會評估

- 1.根據查證核三廠一號機事故後所執行檢測之紀錄，斷路器之電氣特性及操作特性檢查結果，除 B 串緊要匯流排備用斷路器（第二十號，參見附圖二）絕緣略低外，其餘在線上使用之斷路器均符合標準。未合格之備用斷路器目前以開關箱加熱器改善其絕緣，但由於其並不在線上使用，並無安全問題，且未來若欲使用該斷路器時，仍須依照一定程序處理並檢查合格後才可使用。
- 2.斷路器絕緣套管 HI-POT 測試結果，均符合廠家標準。
- 3.用以更換替換至 A-PBS01-17 及 B-PBS01-15 之兩只斷路器，為原

用於 A 串緊要匯流排負載側的斷路器，判斷應沒有受到事故暫態影響，此作法可接受。

4.將 345 仟伏起動變壓器供電與輔助變壓器供電至各匯流排斷路器對調之作法，可以接受，惟對於原用於 345 仟伏起動變壓器供電斷路器應於運轉中加強監測。

5.綜合而言，核三廠一號機斷路器測試結果均符合程序書及廠家標準，可以接受。

(二) 匯流排檢查

問題背景

核三廠一號機 A 串緊要匯流排因斷路器故障，導致在事故中發生損傷，而事故後一號機 A-PB Bus 部份非隔離相匯流排亦發現有少數區段絕緣不佳及受損之狀況。為確保受影響組件修復之品質符合品質要求，因此一號機部分於啟動前，必須執行完相關匯流排及非隔離相匯流排之更換、清理及檢驗。

台電作法

1.345 仟伏起變至緊要匯流排 A-PB-S01-17 側非隔離相匯流排，執行清潔整理、絕緣測試、受損部份更新並執行接觸電阻及 HI-POT 測試。

2.161 仟伏起變至緊要匯流排 A-PB-S01-15 側非隔離相匯流排，執行清潔整理、絕緣測試、受損部份更新並執行接觸電阻及 HI-POT 測

試。

3.輔變至 A-1E-PB-S01-19 側非隔離相匯流排，執行清潔整理、絕緣測試、靠近 A Bus 部分執行接觸電組及 HI-POT 測試。

4.檢查 A-PB Bus 各斷路器絕緣套管(bushing)頭與匯流排間之接觸電阻。

5.檢查 B-PB Bus 各斷路器絕緣套管(bushing)頭與匯流排間之接觸電阻。

原能會評估

經查證核三廠針對匯流排所執行之各項清理及測試等工作，均符合程序書規定及品質要求，可以接受。

(三) 變壓器檢查

問題背景

核三廠一號機喪失廠內外交流電源事故發生前，345 仟伏廠外電力系統曾多次發生過電壓警示，除了高電壓警示外，事故期間也曾出現過電流警示。雖然當時這些過電壓及過電流的狀況，時間都很短暫，但為了確認沒有對變壓器產生安全上的影響，核三廠遂對廠區供電系統主要變壓器進行檢查。由於二號機起動前，已完成兩部機公用之 345 仟伏起動變壓器之檢查作業，故此次一號機相關變壓器檢查範圍為一號機 161 仟伏起動變壓器、主變壓器及輔助變壓器。

台電作法

- 1.針對一號機 161 仟伏起動變壓器、主變壓器及輔助變壓器取絕緣油樣，進行油中氣體分析。
- 2.執行一號機 161 仟伏起動變壓器、主變壓器及輔助變壓器絕緣測量工作。
- 3.進行一號機 161 仟伏起動變壓器變形測試。
- 4.執行一號機 161 仟伏伏起動變壓器遞升加壓試驗。

原能會評估

- 1.此次核三廠一號機相關之變壓器中，除 345 仟伏起動變壓器已於二號機起動前即已完成檢查，其餘之一號機 161 仟伏起動變壓器、主變壓器及輔助變壓器，均在本次之檢查範圍中，在範圍上可以接受（參見圖五）。
- 2.事故發生時，機組已於前一日先行解聯，故主變壓器及輔助變壓器與電力系統已完全隔離，未受事故影響。但本會查證小組專家於機組起動前，鑒於兩部機組停機已有一段時日，為慎重起見，仍要求針對主變壓器及輔助變壓器執行絕緣量測，此次一號機主變壓器及輔助變壓器比照二號機執行絕緣量測及油中氣體分析，在測試項目上可以接受。
- 3.查證變壓器部分所執行之各項測試，符合品質要求。
- 4.綜合而言，一號機相關變壓器檢查之結果，可以接受。

三、緊急柴油發電機檢查

問題背景

今(90)年3月18日核三廠一號機發生喪失廠外電力事件時，A串4.16仟伏緊急電源匯流排(A-PB-S01)熔損，致緊急柴油發電機在無廠用海水(NSCW)支援下，起動空轉一段時間，且B台緊急柴油發電機出現無法激磁現象。經事故後測試顯示：緊急起動控制線路上之電磁閥141-2A及142-2B有動作不順現象，同時激磁線路上R₁繼電器之6個串接接點亦有失效情形。為確保爾後緊急柴油發電機之可靠度，特針對一號機緊急柴油發電機所顯現之缺失，評估核三廠所執行之檢查、測試及改善措施。

台電作法

- 1.增加緊急起動控制線路之測試頻度。
- 2.改善激磁線路上R₁繼電器6個接點之串接方式。
- 3.檢查引擎部分之組件。
- 4.檢查發電機部分之組件。
- 5.檢查激磁線路上K1、R1及K2接點之接觸電阻。
- 6.更換13只緊急柴油發電機控制線路的13只電磁閥。
- 7.驗證測試緊急柴油發電機的功能。

原能會評估

- 1.經審查600-0-052A及600-0-052B程序書，核三廠已於90年4月

10 日發行程序書變更通知書，將緊急柴油發電機每月定期測試之起動訊號，改由緊急起動控制線路執行，A 台緊急柴油發電機分別於 90 年 4 月 28 日及 29 日執行完 600-0-108A 及 600-0-109A 程序書之測試，B 台則於 4 月 18 日執行完 600-0-052B 程序書之測試。此項增加緊急起動控制線路之測試頻度，應可提高此部分之可靠度。

2. 經審查核三廠設計修改申請書 M1-2237，電廠已將 R1 繼電器之 6 個串聯接點改為參組串聯，每組兩個接點方式為之，新的串接方式可允許每組一個接點失效，應可避免原先一個接點失效即造成開路之缺失。

3. 經審查相關作業程序書 700-W-004，A、B 台緊急柴油發電機引擎部分之檢查分別於 90 年 4 月 28 日及 4 月 25 日完成，檢查結果一切正常。

4. 經審查 A 台緊急柴油發電機於 90 年 3 月 30 日依程序書 700-E-097 所執行之絕緣試驗 軸承檢查及 90 年 4 月 4 日執行之遞昇加壓測試，結果正常。B 台緊急柴油發電機於 90 年 4 月 4 日完成遞昇加壓測試，並無發現異常洩漏電流，顯示結果亦正常。

5. 根據核三廠最新版之緊急柴油發電機電氣大修作業程序書 700-E-097，K1、R1 及 K2 接點之接觸電阻，均須小於或等於 0.3 歐姆，以避免接點接觸不良之情形。經查核三廠此項檢查，檢查

結果可接受。

6.以新採購之電磁閥更換緊急柴油發電機控制回路上的 13 只電磁閥,並且 A 台緊急柴油發電機分別於 90 年 4 月 28 日及 29 日執行程序書 600-0-109A 及 600-0-108A 之測試, B 台則於 4 月 18 日執行完 600-0-052B 程序書之測試, 結果成功。可確認該 13 只新電磁閥功能正常, 可以接受。

7.核三廠一號機 A、B 台緊急柴油發電機於進行維修與檢查工作後, 已分別執行緊急起動激磁迴路測試、程序書 600-0-052B、600-0-108A 及 600-0-109 等測試項目, 測試結果正常, 可以接受。

四、反應器系統檢查

(一) 反應器冷卻水泵之檢查

問題背景

今(90)年3月18日核三廠一號機生喪失廠外電力事件時, 反應爐冷卻水泵(RCP) A、B、C 三台因此喪失軸封注水及熱障壁交換器(TBHX)冷卻水, 造成 290°C 高溫反應爐冷卻水經 RCP 泵之徑向軸承、軸封回流至容積槽(VCT), 使徑向軸承及一號軸封曝露於高溫狀態, 為確保爾後 RCP 運轉之可靠度, 因此針對一號機 RCP 之可用性與其軸封完整性進行檢查及查證, 以確保 RCP 運轉之可靠度及避免軸封洩漏的發生。

台電作法

- 1.執行 RCP A/B/C 分解檢查前之靜態功能測試，以確認 RCP A/B/C 是否有受損。
- 2.執行 RCP A 台軸封分解檢查，並更新一號軸封 O 型環及更換二、三號軸封，以確認 RCP 內部一、二、三號軸封的完整性。
- 3.執行 RCP 加壓動態測試，以確認 RCP A/B/C 台振動值及其一、二、三號軸封之動態洩漏值。

原能會評估

- 1.經查證核三廠針對 RCP 之完整性與可用性所執行之各項檢查與測試，其結果均符合規定及品質要求，可以接受。
- 2.為確保三台 RCP 軸封之完整性，電廠應於反應爐壓力達 157 kg/cm² 時，再次確認軸封洩漏符合規定值。

(二) 反應器壓力容器結構完整性評估

問題背景

核三廠一號機於三月十八日凌晨喪失廠內外交流電源，運轉人員依緊急操作程序執行降溫降壓之操作，其中在 01:47 至 02:47 之一小時期間內，爐水溫度由 273.84 降至 198.50 ，冷卻速率達 75 /hr 已超過運轉規範 55.6 /hr 之運轉限制，雖然在緊急操作期間可以不受運轉規範之限制，但在機組再起動前，仍須依運轉規範之要求，執行反應爐爐體結構完整性之評估，以確證機組起動之安全性。

台電作法

台電公司就事件過程反應爐承受之載荷，包括爐水內壓力和爐內外壁溫度差，依 ASME SEC. XI APP. G 建議，假設反應爐壁有 1/4 壁厚深度之半橢圓型表面裂縫，並進行事件過程對反應爐脆裂及疲勞影響分析。

原能會評估

根據台電公司所提供評估報告及針對本會審查意見之答覆，事故當時反應爐承受最大內壓為 124.5 kg/cm^2 及反應爐爐壁因冷卻產生溫度差 $T_w=86$ 之熱應力，經台電公司計算裂縫之應力強度因子，在保守估算下求得安全係數為 3.49，大於 APP. G 要求之 2.0。另外，在報告中已考量爐水因冷卻速率過高而產生高熱應力，此尖峰應力對結構疲勞特性的影響，所增加累積疲勞使用因子與容許值相比，對反應爐之使用壽命影響甚小。

因此，本次事件依台電公司的評估報告，應對反應爐結構完整性並無太大之影響。

(三) 蒸汽驅動輔助飼水泵之檢查

問題背景

此次核三廠一號機發生事故時，由於其二串安全交流電源均喪失，二台馬達帶動輔助飼水泵當然無法作用，因此使得蒸汽驅動輔助飼水泵在事故過程中扮演了極為重要之角色。蒸汽驅動輔助飼水泵由三月十八日 00:57 起動後持續運轉至三月十八日 15:20，事故期間各只蒸汽產生器之水位大都維持在 50 % 以上，提供充足之冷卻能力。但值得注意的是，該泵之泵室通風系統仍須依賴交流電源方能

正常運作，故在喪失交流電源之二個多小時期間，泵室室溫是否曾因喪失通風而導致室溫過高，進而影響相關組件，是必須釐清之問題。

台電作法

- 1.事故過程中，當蒸汽驅動輔助飼水泵起動運轉後，核三廠運轉人員即依緊急操作程序 570.20 之步驟，派員至現場將泵室房門打開，以避免室溫過高，而在該泵運轉期間，控制室亦未曾出現泵室高溫警報。
- 2.蒸汽驅動輔助飼水泵之功能驗證，仍有待機組起動進入熱待機模式後進一步確認。

原能會評估

- 1.據核三廠終期安全分析報告所述，蒸汽驅動輔助飼水泵可於泵室溫度低於 40℃ 下連續運轉，蒸汽驅動輔助飼水泵泵室設置有二只溫度偵測儀器，當任一儀器偵測到室溫高於 40℃ 時，即會引發泵室高溫警報。查證事故過程中警報點之電腦記錄，該警報未曾動作過，顯示泵室溫度均保持在正常狀況，蒸汽驅動輔助飼水泵功能應未受到影響。
- 2.有關蒸汽驅動輔助飼水泵之功能，仍待機組升溫升壓後執行測試進一步驗證。

五、負相序電壓（電流）影響評估

問題背景

核三廠一號機於三月十八日發生喪失安全交流電源事件後，經各方調查認為事件之主因是一號機緊要匯流排 A 串的第十七號斷路器故障。而斷路器故障原因，係 B 相接點在事故發生前已經有絕緣劣化的現象。針對絕緣劣化的成因，相關專家、學者有不同的看法，但究竟是否與負相序電壓（電流）的影響有關？是本次事故後必須澄清之問題。

台電作法

- 1.進行核三廠 345 仟伏線路側電壓不平衡率模擬分析，並根據事件後之現場量測顯示，核三廠電力系統三相不平衡率遠低於 IEC/IEEE 之 2% 標準，並且 13.8 仟伏匯流排裝設之負相序電壓/電流線上監測紀錄系統分析亦顯示，應無負相序電流之問題。
- 2.清查核三廠於事故前，並沒有任何發電機、反應器冷卻水泵馬達之負相序電流電驛動作，或是馬達斷路器因過電流跳脫，馬達高溫警報亦未曾出現。

原能會評估

根據事件後台電公司在核三廠現場的量測數據、台電公司電綜所以 EMTP 程序的模擬分析結果、原能會延聘顏世雄教授等六位電力系統專家一致的意見，以及加拿大李廷祥博士的來函，認為負相序電壓及電流應非核三事故之原因，但若未來 345 仟伏幹線網路結

構改變，台電公司仍須注意該結構改變對負相序電壓與電流的影響。

六、其他事項

(一) 廠外電源穩定性

問題背景

三月十八日核三廠一號機發生喪失廠內外交流電源事故，初始肇因應為鹽霧害問題導致廠外電源不穩定所引發，過去在民國八十五年初，核三廠亦曾因鹽霧害造成兩部機組先後急停，故在此次事故後，廠外電源系統之穩定性，以及未來核三廠在遭遇廠外電源系統不穩定時之運轉對策，厥為本次核三廠兩部機組再起動之重要安全考量因素。

台電作法

- 1.澈底清洗廠外超高壓線路礙子。
- 2.提出未來防範核三廠廠外輸電線路鹽霧害之對策。
- 3.核三廠廠外電源不穩定之改善對策，其重點如下：
 - (1)發現有鹽霧害導致任一 345 仟伏迴路跳脫，核三廠即進入戒備狀態。
 - (2)任二 345 仟伏迴路於一小時內相繼因鹽霧害跳脫時，機組應於半小時內儘量降至 50% 功率以下，並視情況將機組解聯或進入次臨界狀態。

(3)於每年一月底前，與高屏區供電區處進行防範鹽霧害演習。

原能會評估

- 1.二號機起動前，經查證運轉紀錄，確認四月一日至四月二十二日間，核三廠廠外電源系統穩定性已有效改善。此次再查證四月二十三日至五月六日之運轉紀錄，核三廠六條廠外電源迴線在此期間，同樣未有自動跳脫之情況發生，廠外電源系統穩定性再度得以確認。(參見附圖六)。
- 2.核三廠除已將廠外輸電線路鹽霧害之對策及核三廠廠外電源不穩定之改善對策，列入程序書中，並調整二串緊要匯流排電源之配置，考慮電源獨立性，避免電源不穩定時，由同一廠外電源受電。
- 3.綜合而言，目前核三廠廠外輸電系統的穩定性應可確認。

(二)人員訓練

問題背景

原能會經詳細查核運轉人員在事故過程之作業，發現操作過程仍有少數遺漏之處，固然運轉人員在緊急事故情況下，所承受之壓力可以體諒，但亦顯示在整體操作上仍有再強化之空間。原能會乃據此要求核三廠應再針對緊急操作程序，加強再訓練工作，期使未來運轉人員對緊急操作能更為沉穩熟練。

台電作法

- 1.安排運轉人員各班針對核三廠一號機之事故及相關假設重大事故，進行緊急操作模擬器訓練(四月十八日已完成)。

- 2.整理所有緊急操作程序書中之立即行動，並將列入後續之再訓練課程中。
- 3.每年六月（颱風季節來臨前）及十二月（鹽霧害季節來臨前），將安排二次全黑操作訓練。
- 4.緊急柴油發電機故障時之因應措施，列入後續之再訓練課程中。

原能會評估

此次核三廠一號機事故中，運轉人員之所以能迅速應變，處置適當，相信應與平常訓練之落實有相當大之關係。此次核三廠針對事故所獲得之經驗，將其反映在訓練課程安排及其教材內容上，相信對應付緊急事故之能力有正面的幫助。有關人員訓練部分，核三廠所提出之強化措施，經評估認為可以接受。

(三)廠區全黑及喪失二次側熱沈之對策

問題背景

此次核三廠一號機發生喪失廠內外交流電源之廠區全黑事故後，運轉人員利用不依賴交流電源之蒸氣驅動輔助飼水泵及蒸汽產生器動力釋壓閥，建立二次側移熱方式，將反應器逐步降溫降壓帶往安全之方向，惟在此狀況下若蒸氣驅動輔助飼水泵因故未能起動，或起動後又跳脫，則將造成廠區全黑及喪失二次側熱沉事件，此狀況將使事故之處理變得更為困難及複雜。雖然此次事故中並未發生此種情形，但針對此種極端之狀況，為防萬一，原能會仍要求電廠應預作因應，及早研提對策，以備不時之需。

台電作法

- 1.針對一次側部份，遵照現行緊急操作程序書 570.20，操作重點在儘量減少反應爐爐水之流失，延緩核燃料裸露之時間。
- 2.針對二次側部份，依據現行緊急操作程序書 570.45 利用蒸汽產生器動力釋壓閥，將蒸汽產生器降至大氣壓力，並配合建立蒸汽產生器補水機制。
- 3.清查電廠可能提供補水之低壓力水源(如：除礦水、消防水)，來建立蒸汽產生器補水管道，只要蒸汽產生器補水機制可建立，則「爐心安全」即可確保。

原能會評估

- 1.廠區全黑且喪失二次側熱沉之情況，已超出現行緊急操作程序書所假設之事故範圍，台電目前正積極研擬核三廠專用版之「嚴重事故處理指引」，本會已另案追蹤。
- 2.在「嚴重事故處理指引」尚未完成前，核三廠應就現有緊急操作程序書之架構下，研擬可行之道：

軟體方面---研擬發生廠區全黑且喪失二次側熱沉時，運轉員應如何應用現有緊急操作程序書。

硬體方面--- 緊急操作程序書提及之所有硬體設施，如需要低壓力水源時如何配置，配置所須之臨時性管路設備之準備及儲存位置等，並將其使用方法詳列於相關程序書內。

軟硬體完成後，運轉員及相關人員更應有配套之訓練計畫。
- 3.本案核三廠已初步檢討提出廠區全黑及喪失二次側熱沉之緊急操

作對策，並清查廠內所有可資利用之水源，執行情形應可接受，但未來在實務之執行及整備，仍待後續追蹤辦理。

七、鹽霧害之防範

(本項為二部機共同事項，已於核三廠二號機四月廿五日再起動申請時完成改善與查證，詳請參見核三廠二號機再起動申請案綜合查證摘要報告)。

八、緊要電源匯流排之供電策略

(本項為二部機共同事項，已於核三廠二號機四月廿五日再起動申請時完成改善與查證，詳請參見核三廠二號機再啟動申請案綜合查證摘要報告)。

九、鐵磁共振之防範

(本項為二部機共同事項，已於核三廠二號機四月廿五日再起動申請時完成改善與查證，詳請參見核三廠二號機再啟動申請案綜合查證摘要報告)。

十、緊要匯流排 A 串與 B 串之獨立性

(本項為二部機共同事項，已於核三廠二號機四月廿五日再起動申請時完成改善與查證，詳請參見核三廠二號機再啟動申請案綜合查證摘要報告)。

十一、消防設施

(本項為二部機共同事項，已於核三廠二號機四月廿五日再起動申請

時完成改善與查證,詳請參見核三廠二號機再啟動申請案綜合查證摘要報告)。

十二、高聲電話聯絡改善

(本項為二部機共同事項,已於核三廠二號機四月廿五日再起動申請時完成改善與查證,詳請參見核三廠二號機再啟動申請案綜合查證摘要報告)。

參、後續改善措施

針對此次核三廠一號機事故後之調查，除了前節所述的機組起動前應完成檢查或改善之事項外，亦有部分項目有必要納入長程改善而予以追蹤管制，例如加強核電廠運轉人員緊急操作訓練、鹽霧害之長期追蹤研究、以及全台電力網之安全評估等，此部分將列入原能會管制追蹤事故體系。此部分項目總計有二十項，簡述如下：

- 一、 驅動輔助飼水泵於事故發生後未能於第一時間自動起動，雖然符合設計邏輯，但此項起動邏輯之適切性，應再作深入探討。
- 二、 應於三個月內建立事故處理導則做為運轉人員之參考，俾能於事故過程中，可以從容將機組帶至穩定狀況。
- 三、 一號機事故發生後，系統仍長時間僅依賴單一電源（第五台柴油發電機），核能安全之深度防禦並未及早建立，為救援過程有可再改進之處。
- 四、 未來應繼續加強運轉人員的緊急操作訓練，俾能更有效地因應各種突發的意外狀況。
- 五、 核三廠第五台緊急柴油發電機連線作業所需時間，宜參考核一、二廠之經驗，再予縮短。
- 六、 A 串緊要匯流排事故後，按理應即瞭解事故狀況，並於排除故障後方能投入電源。台電公司應深入瞭解較佳之處理方式，並針對匯流排之系統保護，詳加檢討改進。
- 七、 台電公司應將核三廠到楓港溪這一段之鹽霧害，列入長期追蹤研究的區域之一。

- 八、 在不同程度鹽霧害下，半導體釉礙子與傳統絕緣礙子在安全可靠性、耐久性、電力損失、洩漏電流以及材質穩定性等方面之比較，需要詳細的研究及評估。
- 九、 台電應參考核能電廠安全度評估技術，作全台電力網之安全評估及相關研究，找出系統弱點並儘速改善。
- 十、 應檢討 13.8 仟伏與 4.16 仟伏系統，短路電流受電動機抗電動勢效應的影響。
- 十一、 事故斷路器以合成樹脂方式絕緣，受氣候環境影響，每年歲修僅量測絕緣電阻，無法測知其部分放電特性。宜考慮增加量測項目，並改善事故地點通風。
- 十二、 台電公司未來採購斷路器時，建議列入開關突波要求 (Basic Surge Level, BSL)。
- 十三、 台電應分析外電多次跳脫與斷路器的絕緣劣化間的關聯性，並根據分析結果進行必要改進措施。
- 十四、 核三廠兩台主發電機停機後，345 仟伏的一號及二號匯流排呈非接地系統狀態，起動變壓器的 345 仟伏側避雷器 (80% 避雷器) 遂無法和系統運轉條件相配合，調度指令應將絕緣協調納入考量。
- 十五、 由於斷路器投入或開啟會有突波出現，此暫態突波電壓會傳遞至 345 仟伏及 161 仟伏起動變壓器之低壓側，及與其連接之設備。建議低壓側加裝突波抑制設備。
- 十六、 核三、大鵬、龍崎 345 仟伏示波器的時間未同步，核三廠的示波器

與電腦紀錄時序亦未同步，應加以改善。另外，電腦紀錄時序監錄項目宜增加電流值紀錄。

十七、根據此次 B 台緊急柴油發電機的起動失敗經驗，台電公司應再深入瞭解柴油發電機的操作特性，俾能在緊急狀況需要而起動不順時，能迅速排除異常，恢復柴油發電機的功能。

十八、電廠消防隊及編組，有依計畫動員，惟其救災裝備應再加強。

十九、台電公司應檢討核電廠緊急事故通報程序及通報內容，以符合核電廠緊急事故通報的實際要求。

二十、核三廠緊急應變設施之信號可以連線至台北總公司，以供全國核子事故處理委員會瞭解現場狀況。此次台北總公司收到訊號斷斷續續，台電公司應檢討改進緊急應變設施傳送信號的穩定性。

肆、綜合結論

針對核三廠一號機於三月十八日發生 3A 事故之肇因,以及由該事故檢討所獲得之經驗與改善事項,原能會相關人員已於四月二十七日及二十八日會同六位電力專家及三位結構力學專家,赴核三廠現場,藉由審查文件紀錄、現場查證、召開討論會以及訪談工作人員等方式(參見照片九至照片十四),完成現場查證工作。另外,台電公司亦於五月四日來函申請核三廠一號機再起動運轉,並隨函檢附再起動安全評估報告。經由原能會業務單位相關專家對該報告深入評估後,亦已完成核三廠一號機再起動之安全審查。有關現場作業的安全查證以及再起動安全分析報告的安全審查,謹提出綜合結論如下:

一、事故肇因防範

- (一)廠外電源系統的穩定性部分,台電公司已提出對策,可以有效防範鹽霧害問題,並經查證四月一日至五月六日核三廠開關場運轉紀錄,顯示其穩定性確已有顯著改善。
- (二)關於輸電線鐵磁共振現象,由於核三廠已完成開關場斷路器的遙控跳脫設置,並且測試功能正常,故已有適當之防範措施。
- (三)負相序電壓及電流問題,根據台電公司在核三現場設備資料,如:馬達線圈未因過熱跳脫、馬達負序電驛未動作、事後現場負序量測資料,以及使用 EMTP 電腦模擬推算的結果,可以確認應非此次事故之主因。

二、受損設備更換

- (一)A 串緊要匯流排受損開關箱及相關設備，核三廠已以檢證合格設備加以更換。
- (二)事故中因受損而更換之電氣設備已完成檢修工作，並經驗證功能正常。

三、電氣設備檢測

- (一)經由對二串 4.16 仟伏緊要匯流排上所有斷路器與非安全匯流排上電源側斷路器（共 55 只）執行電氣特性、機械特性及 Hi-Pot 測試後，可以確認功能合乎標準。
- (二)二串 4.16 仟伏緊要匯流排執行絕緣電阻及絕緣套管頭接點接觸電阻量測，經查証其測試結果符合品質規定。
- (三)部分受損之非隔離相匯流排，核三廠已以備品換裝，並經絕緣電阻測試及耐壓測試驗證符合品質要求。
- (四)161 仟伏起動變壓器、主變壓器及輔助變壓器執行油中氣體分析、絕緣測試、變形測試及遞昇加壓等測試，測試結果可以顯示設備功能正常。

四、緊急柴油發電機

- (一)核三廠緊急柴油發電機的激磁控制迴路，已根據事故經驗將六只串聯接點改為三組串聯，並測試成功，可以有效提高激磁系統之可靠性。

(二)經由對一號機二台緊急柴油發電機執行引擎相關組件機械檢查，並執行試運轉，檢查與測試結果皆正常。

(三)核三廠緊急柴油發電機經執行緊急起動測試、持續廿四小時運轉測試等，測試結果均成功，符合安全要求。

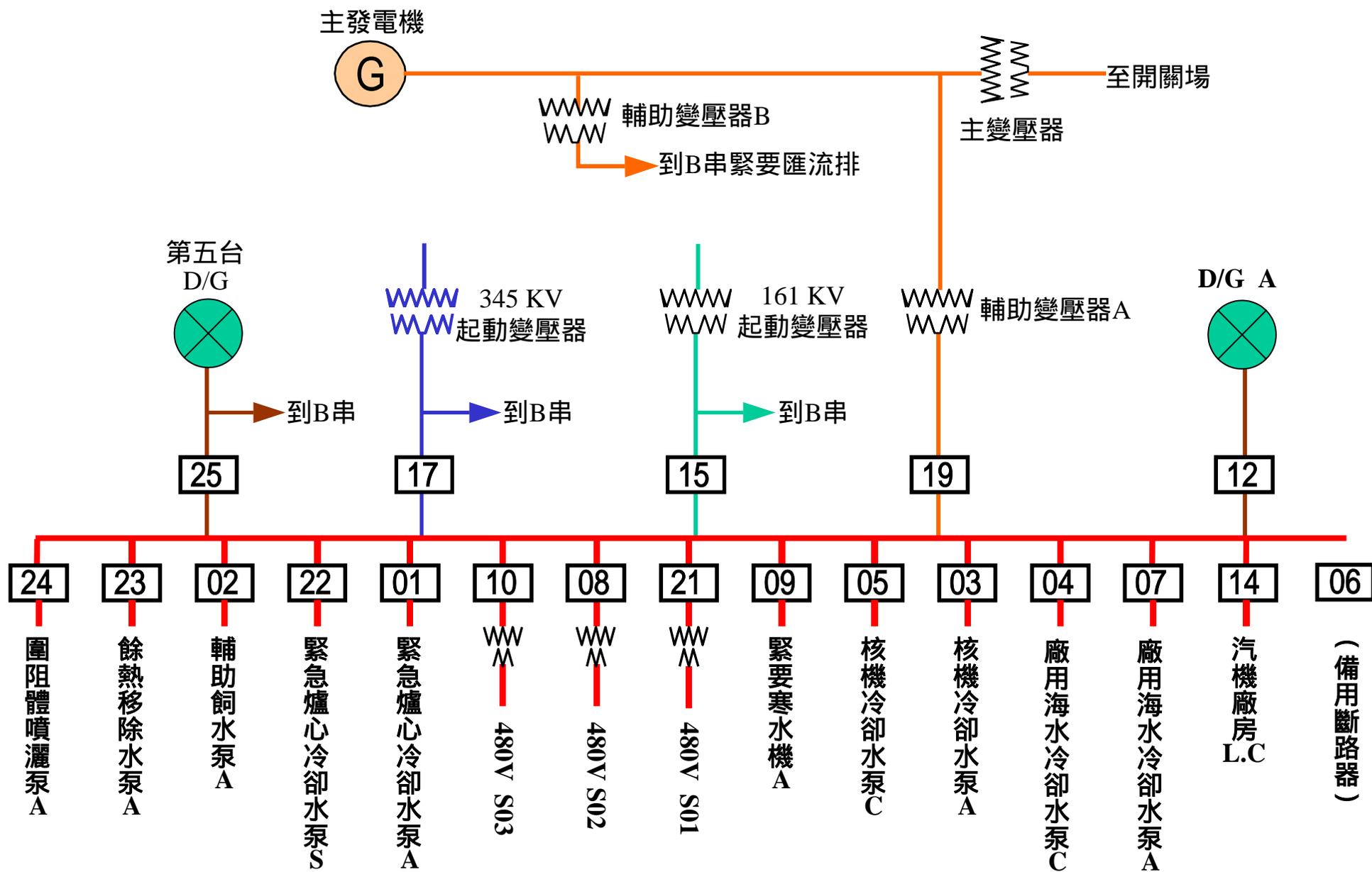
五、反應器安全

(一)經執行靜態功能測試、分解檢查及加壓動態等測試，可以驗證核三廠一號機三台反應器冷卻水泵軸封完整性良好。

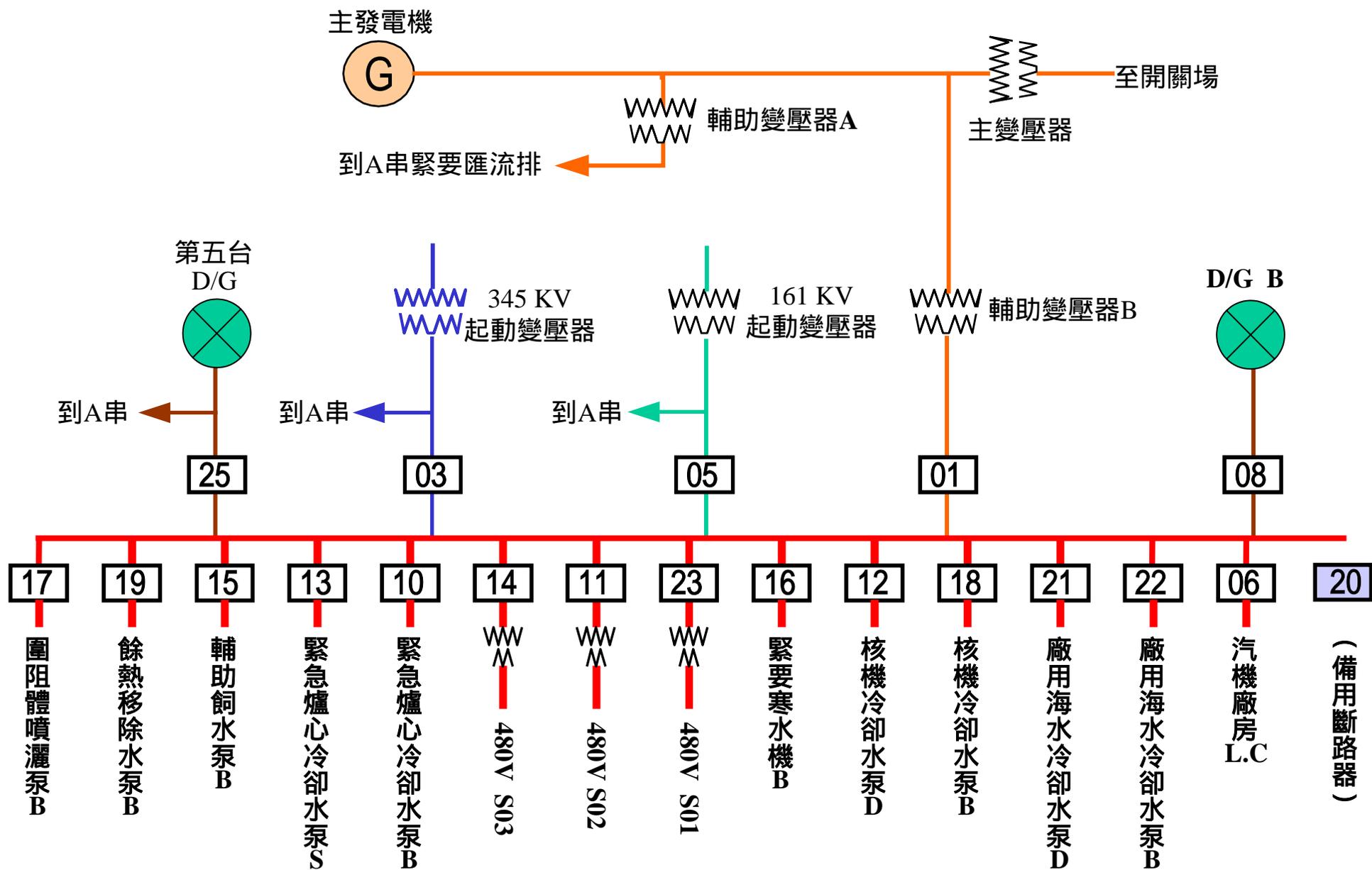
(二)根據分析評估顯示，此次事故對核三廠一號機反應爐結構完整性並無顯著之影響。

(三)根據一號機事故時控制室警報窗之電腦紀錄，並無蒸汽驅動輔助飼水泵高泵室溫度紀錄，顯示蒸汽驅動輔助飼水泵可靠性並未受到此次事故影響。

綜合以上結論，可以確認核三廠一號機在事故肇因防範、受損設備更換、電氣設備檢測、緊急柴油發電機及反應器安全等方面，都已完成必要之改善、檢查與評估，安全功能可以確認無虞，符合再起動運轉的安全要求。



圖一 核三廠一號機4.16KV A串緊要匯流排斷路器配置示意圖



圖二 核三廠一號機4.16KV B串緊急匯流排斷路器配置示意圖

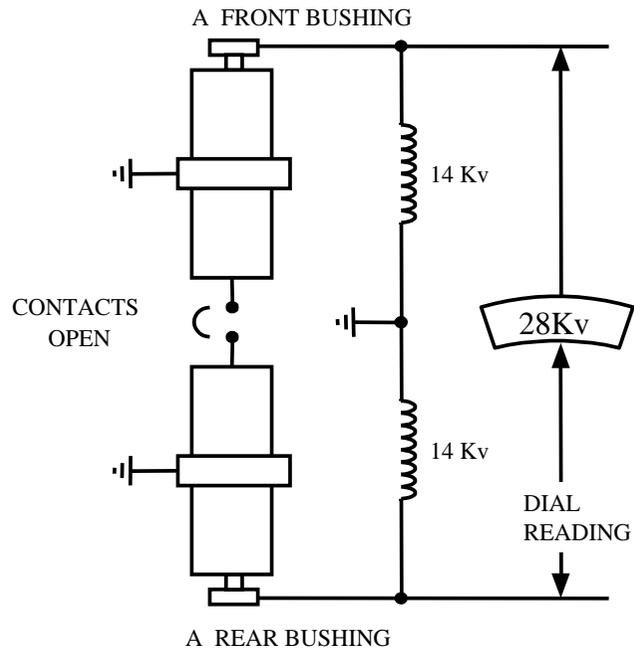


FIG 1

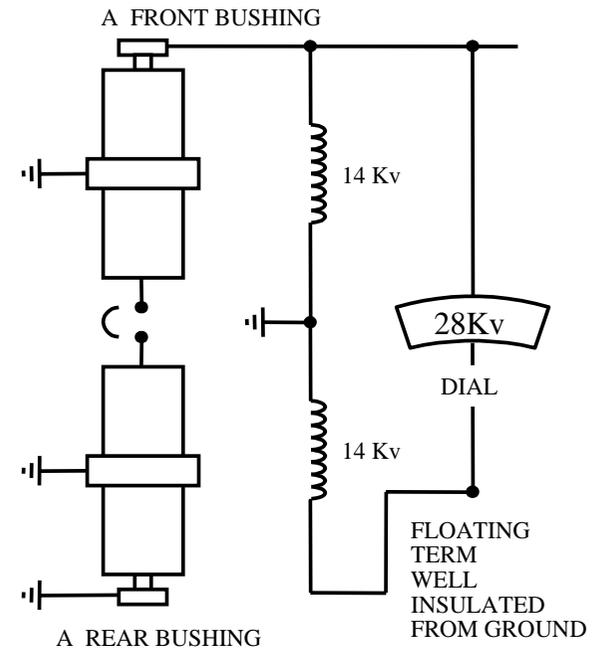
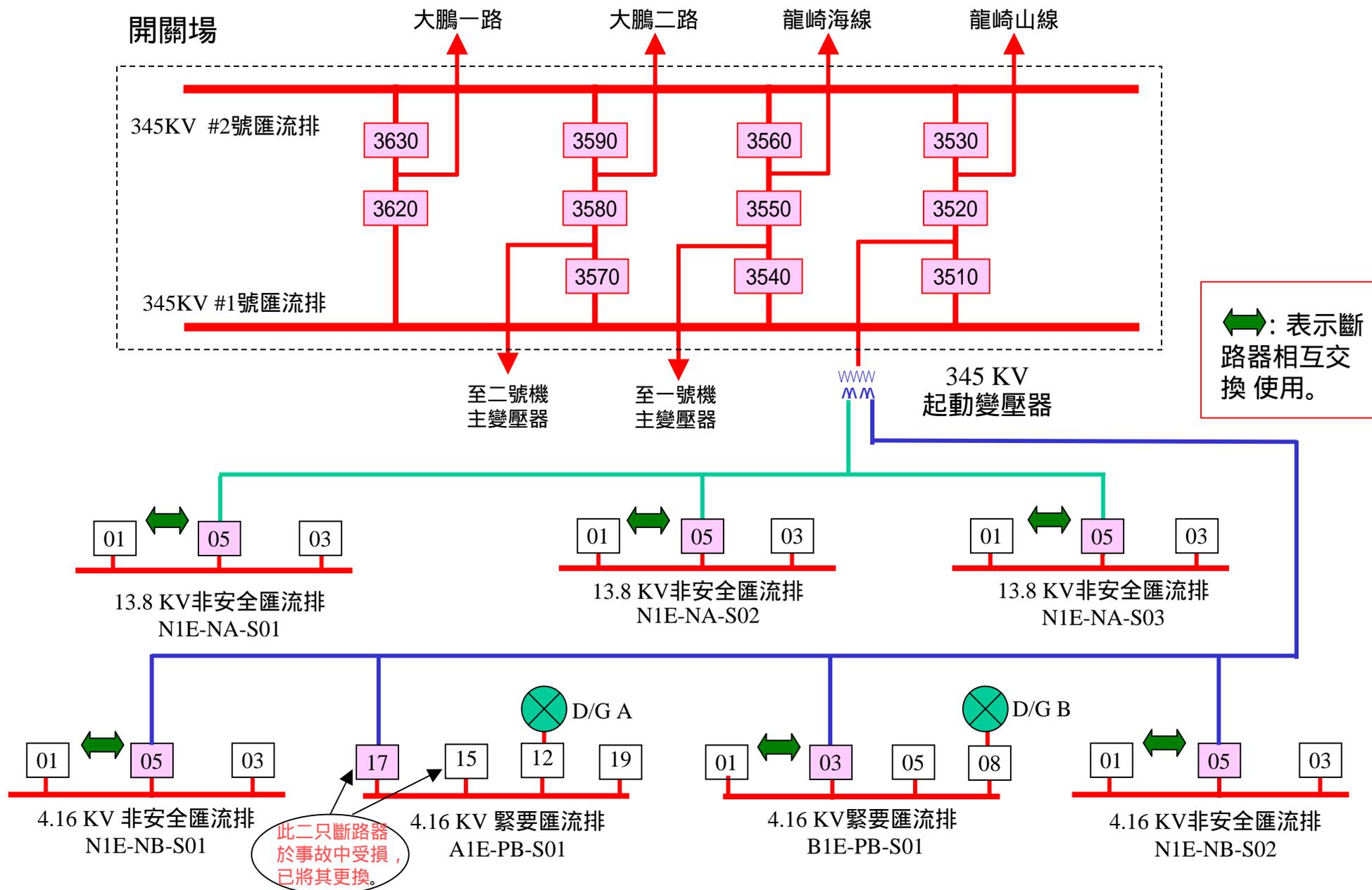
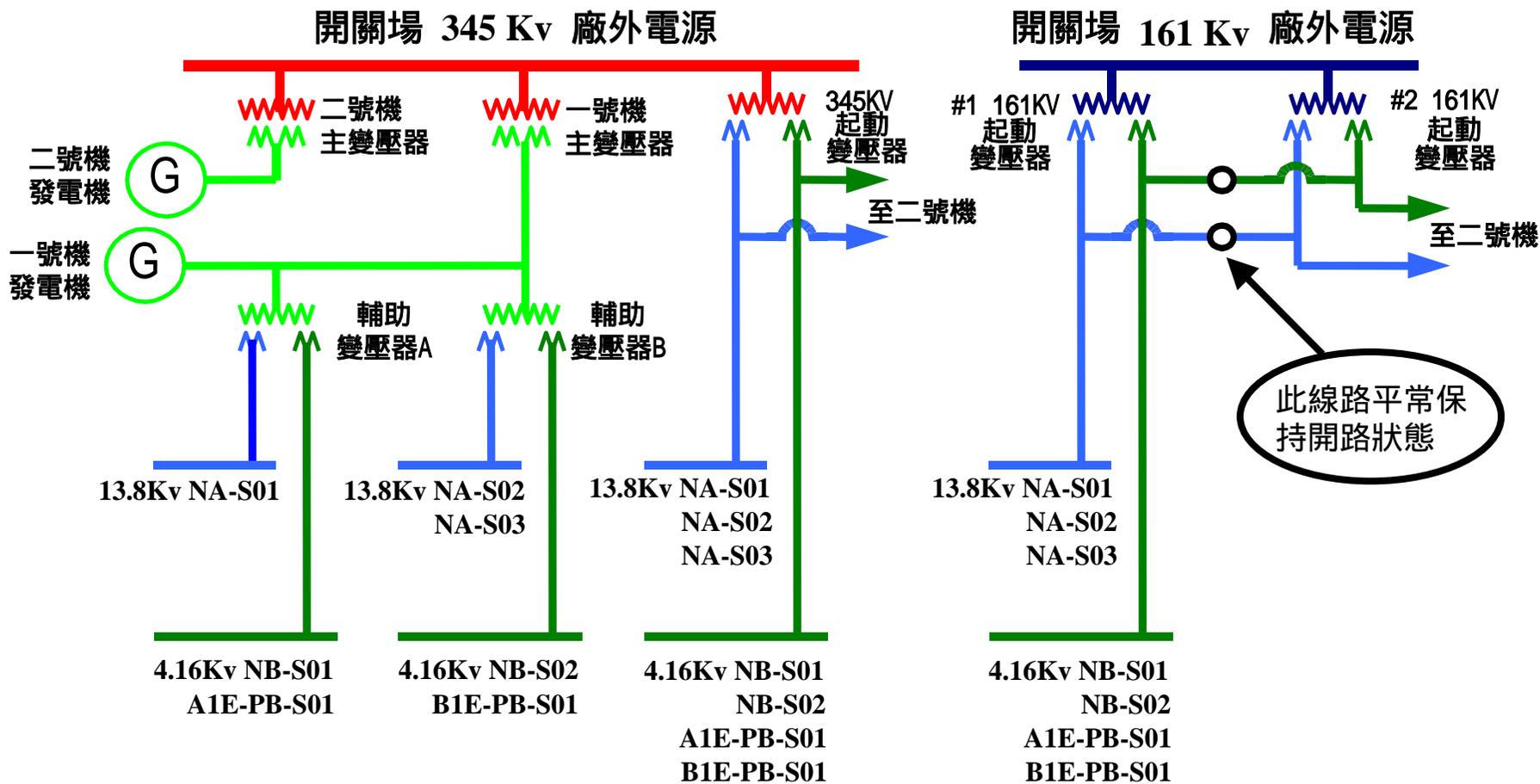


FIG 2

圖三 斷路器絕緣套管Hi-Pot 測試示意圖



圖四 核三廠一號機345 仟伏起動變壓器相關斷路器配置示意圖



圖五 核三廠一號機變壓器配置示意簡圖

日期 電壓 線路名稱	90 04 23	90 04 24	90 04 25	90 04 26	90 04 27	90 04 28	90 04 29	90 04 30	90 05 01	90 05 02	90 05 03	90 05 04	90 05 05	90 05 06						
345KV 核三-龍崎 山線	[Red line indicating outage]																			
345KV 核三-龍崎 海線	[Green line indicating operation]							19 : 07	[Red line indicating outage]											
345KV 核三-大鵬 一路	[Red line indicating outage]																			
345KV 核三-大鵬 二路	[Green line indicating operation]					07 : 06	[Red line indicating outage]													
161KV 核三-墾丁 線	[Red line indicating outage]								06 : 54	18 : 55	07 : 08	18 : 46	06 : 57	18 : 25	06 : 57	15 : 56	06 : 58	14 : 14	08 : 20	14 : 43
161KV 核三-楓港 線	07 : 00	19 : 10	07 : 16	19 : 02	07 : 02	18 : 47	06 : 57	18 : 47	07 : 01	16 : 35	[Red line indicating outage]									

註：4月23日至5月6日輸電線路停電，均係調度處調度要求。

圖六 核三廠廠外輸電線路4月23日至5月6日運轉狀況



照片一 一號機 A 串匯流排十四至十九號開關箱前盤外觀



照片二 一號機 A 串匯流排十四至十九號開關箱後盤外觀



照片三 十四號開關箱前盤內部配置



照片四 十五號開關箱前盤內部配置



照片五 十六號開關箱前盤內部配置



照片六 十七號開關箱前盤內部配置



照片七 十八號開關箱前盤內部配置



照片八 十九號開關箱前盤內部配置



照片九 查證小組赴現場查證設備修復狀況(一)



照片十 查證小組赴現場查證設備修復狀況(二)



照片十一 查證小組於核三廠召開討論會議(一)



照片十二 查證小組於核三廠召開討論會議(二)



照片十三 查證小組成員與電廠人員討論



照片十四 耐震驗證評估小組赴現場勘查

表一 核三廠一號機再起動申請案審查過程概要

項次	時 間	內 容 概 要
1	90.04.13	核三廠機組再起動安全審查六人技術顧問團成立
2	90.04.14	原能會稽查小組及六人技術顧問團邀集台電公司相關單位召開本案評估會議
3	90.04.15	原能會稽查小組及六人技術顧問團南下核三廠
4	90.04.16	原能會稽查小組及六人技術顧問團在核三廠現場評鑑並召開查核會議
5	90.04.17	原能會稽查小組及六人技術顧問團在核三廠現場評鑑並召開查核會議
6	90.04.20	原能會稽查小組及六人技術顧問團中顏世雄教授 吳啟瑞教授共同就相關技術問題召開討論會
7	90.04.21	原能會稽查小組及六人技術顧問團邀集台電公司相關單位再度召開本案評估會議
8	90.04.22	原能會稽查小組與台電公司核安處再進行討論會
9	90.04.23	原能會稽查小組邀集台電公司相關單位四度召開本案評估會議
10	90.04.27	核三廠 4.16kV 開關箱耐震能力評估小組成立
11	90.04.28	原能會稽查小組及六人技術顧問團在核三廠現場評鑑並召開查證討論會議
12	90.04.29	原能會稽查小組 六人技術顧問團及耐震能力評估小組在核三廠現場評鑑並召開查證討論會議
13	90.05.03	台電公司提出核三廠一號機起動申請報告
14	90.05.03	原能會提出第一批審查意見，請台電公司補充說明
15	90.05.04	台電公司函原能會正式提出核三廠一號機起動申請
16	90.05.05 至 90.05.06	原能會陸續提出三批次後續審查意見
17	90.05.10	召開核三廠一號機再起動待澄清事項會議
18	90.05.14	召開核三廠 4.16kV 安全等級開關箱耐震能力評估會議
19	90.05.16	召開核三廠一號機再起動申請案綜合查證檢討會議

表二 核三廠二號機起動前應完成改善事項摘要表

項次	項目	台電採行措施	管制評估
1	受損設備更換與清理	重新建造開關箱及以對等方式裝置內部相關零組件，並委託檢證單位執行檢證工作及完成相關測試。	重新建造之開關箱及以對等方式裝置之內部相關零組件經檢證單位檢證評估後均符合原設計功能需求，但部分品質文件不符案件，仍應依規定程序進行改善與管制。
2	斷路器檢查	執行 55 只斷路器之電氣特性與操作特性檢查，並依廠家建議執行只斷路器絕緣套管 HI-POT 測試。	台電採行措施可以接受。
3	匯流排檢查	1. 非隔離相匯流排執行清理、絕緣測試，受損部份更換並經執行接觸電阻及 HI-POT 測試確認符合品質。 2. 檢查 A B 串緊要匯流排各斷路器絕緣套管頭與匯流排間之接觸電阻。	台電採行措施可以接受。
4	變壓器檢查	一號機 161KV 起動變壓器 主變壓器及輔助變壓器進行油中氣體分析及絕緣測試。一號機 161KV 起動變壓器並進行變形測試及遞昇加壓試驗。	台電採行措施可以接受。
5	緊急柴油發電機檢查	1. 增加緊急起動控制線路之測試頻度 2. 改善激磁線路上 R ₁ 繼電器 6 個接點之串接方式。 3. 檢查引擎部分之組件 4. 檢查發電機部分之組件。 5. 檢查激磁線路上 K1, R1 及 K2 接點之接觸電阻。 6. 更換 13 只緊急柴油發電機控制線路的 13 只電磁閥。 7. 證測試緊急柴油發電機的功能。	台電採行措施可以接受。

表二 核三廠二號機起動前應完成改善事項摘要表（續）

6	反應爐冷卻水泵之檢查	1.執行三台 RCP 分解檢查前之靜態功能測試。 2.執行 RCP A 台軸封分解檢查，並更新一號軸封 O 型環及更換二、三號軸封。 3.執行 RCP 加壓動態測試，以確認 RCP A/B/C 台振動值及其一、二、三號軸封之動態洩漏值。	台電採行措施可以接受。
7	反應器壓力容器結構完整性	就事件過程反應爐承受之載荷，依 ASME SEC. XI APP. G 建議進行評估	評估結果顯示事故過程對反應爐結構完整性並無太大之影響。
8	蒸汽驅動輔助飼水泵之檢查	核三廠運轉人員事故過程中依緊急操作程序，派員至現場將蒸汽驅動輔助飼水泵泵室房門打開，且在該泵運轉期間，控制室亦未曾出現泵室高溫警報。	查證事故過程中控制室警報點之電腦記錄，泵室高溫警報未曾出現，判斷蒸汽驅動輔助飼水泵功能應未受到影響。
9	負相序電壓（電流）影響評估	1.以電腦程式模擬線路側電壓不平衡率，並根據現場量測顯示，核三廠電力系統三相不平衡率遠低於 IEC/IEEE 之 2%標準 2.清查核三廠於事故前，並沒有任何電氣設備之負相序電流電驛動作，或是馬達斷路器因過電流跳脫，馬達高溫警報亦未曾出現。	負相序電壓及電流應非核三事故之主因
10	廠外電源穩定性	清洗廠外超高壓線路礙子並提出防範廠外輸電線路鹽霧害對策及不穩定時之改善對策。	(1)查證核三廠廠外電源已趨於穩定。 (2)台電採行措施可以接受。
11	人員訓練	完成運轉人員各班針對核三廠一號機之事件進行緊急操作模擬器訓練。未來每年六月及十二月，將安排二次全黑操作訓練。	台電採行措施可以接受。
12	廠區全黑及喪失二次側熱沈之對策	由現行緊急操作程序書中檢討於廠區全黑及喪失二次側熱沈時可共遵循之步驟，並清查廠內現有可資利用之低壓水源。	台電採行措施可以接受，惟長期之實務做法仍待繼續追蹤辦理。

表二 核三廠二號機起動前應完成改善事項摘要表（續）

項次	項目	台電採行措施	管制評估
13	鹽霧害之防範	* 與核三廠二號機再起動審請案綜合查證摘要報告相同	* 已於核三廠二號機再起動申請時評估完成
14	緊要電源匯流排之供電策略	* 與核三廠二號機再起動審請案綜合查證摘要報告相同	* 已於核三廠二號機再起動申請時評估完成
15	鐵磁共振之防範	* 與核三廠二號機再起動審請案綜合查證摘要報告相同	* 已於核三廠二號機再起動申請時評估完成
16	緊要匯流排 A 串與 B 串之獨立性	* 與核三廠二號機再起動審請案綜合查證摘要報告相同	* 已於核三廠二號機再起動申請時評估完成
17	消防設施	* 與核三廠二號機再起動審請案綜合查證摘要報告相同	* 已於核三廠二號機再起動申請時評估完成
18	高聲電話聯絡改善	* 與核三廠二號機再起動審請案綜合查證摘要報告相同	* 已於核三廠二號機再起動申請時評估完成