

核三廠一號機三月十八日喪失廠內外

交流電源事件調查報告綜合摘要

壹、前言

三月十八日凌晨 00 時 46 分，楓港、恆春地區季節性的鹽霧害導致超高壓 345KV 輸電線路跳脫，引發台電核三廠喪失廠外電源，在廠內安全交流電源系統故障且緊急柴油發電機亦無法供電下，造成一號機兩串緊要電源匯流排同時失電，機組進入 3A 事故。由於現場工作人員及時處理，並未造成輻射外洩的核子事故，整個事故於當日凌晨 02 時 54 分第五台柴油發電機成功供電後解除。

雖然核三廠一號機的核反應器在本次事故中並沒有受到影響，但兩串安全系統有二個小時又八分鐘的時間同時喪失功能，可說是國內使用核能發電二十多年來，最值得重視的一次緊急事故。原能會在事故發生後，由各業務單位組成的聯合調查小組便即展開事故肇因與影響的調查。此外，為能確實深入瞭解事故的肇因，原能會胡主任委員特委請清大陳國誠教授，另成立十人獨立調查團，平行追查事故肇因。本摘要報告即為二項調查作業結果的綜合說明。

貳、事故過程

此次核三廠一號機於三月十八日所發生的喪失安全交流電源事故，過程概要為：

一、三月十七日 03 時 23 分

核三廠一號機因喪失廠外 345KV 電源而自動停機後，即一直處在停機檢查的狀態，其後 345KV 外電雖陸續恢復，惟其供電仍處於不穩定狀態。

二、三月十八日 00 時 41 分

核三廠再度發生四條 345KV 外線喪失的情況，A 串匯流排自動打開 17 號斷路器並關上 15 號斷路器，改由 161KV 電源受電。

三、三月十八日 00 時 43 分

核三廠 345KV 輸電系統的大鵬一路恢復可用，此時第 17 號斷路器仍為開啟狀態。

四、三月十八日 00 時 45 分

在 45 分 06 秒時，開關廠工作人員關閉 3620 斷路器，準備將 A 串匯流排的電源由 161KV 手動切換為 345KV，但尚未執行此部份之手動切換。

五、三月十八日 00 時 45 分

在 45 分 07 秒時，一號機 A 串匯流排發生接地故障，並造成 3510 斷路器跳脫，在 09 秒之後又發生 1670 斷路器跳脫，使得二串緊要電源完全喪失廠外電源，一號機的兩台緊急柴油發電機亦無法供電，造成一號機兩串緊要電源匯流排同時失電，該機組此時進入緊急戒備狀態。

六、三月十八日 00 時 49 分

值班人員發現控制廠房二氧化碳消防系統動作，且現場回報控制廠房 80 呎（緊要匯流排所在之樓層）有濃煙冒出。

七、三月十八日 00 時 51 分

嘗試經由 1670 斷路器試送 161KV 電源，但 1670 斷路器無法關閉。

八、三月十八日 00 時 56 分

廠內消防班接獲通知至現場處理失火事宜，但抽風及照明設備不足。嘗試由 3510 斷路器試送 345KV 電源，但試送失敗。

九、三月十八日 00 時 57 分

運轉人員手動將 A 台緊急柴油發電機併入 A 串緊要電源匯流排，蒸汽驅動輔助飼水系統自動起動成功。A 台緊急柴油機供電 40 秒後，因 A 串緊要電源匯流排故障信號產生而跳脫。

十、三月十八日 00 時 58 分

運轉人員依據緊急操作程序書 570.20，開始執行喪失廠內外交流電源狀況的操作程序。

十一、三月十八日 01 時 06 分

電廠人員設法恢復 B 台緊要柴油發電機，但因現場濃煙瀰漫，照明不足，而人員無法進入操作。

十二、三月十八日 01 時 41 分

連絡恆春消防隊，請求支援照明設備及排煙器材。

十三、三月十八日 02 時 15 分

電廠決定將第五台緊急柴油發電機置入至 B 串緊要電源匯流排，02 時 50 分完成置入作業，隨即在控制室手動起動，惟因低潤滑油壓力而跳脫，電廠研判原因為潤滑油恆溫泵失電停轉所致，並非設備故障，乃立即再手動起動，並起動成功。

十四、三月十八日 02 時 54 分

第五台緊急柴油發電機成功併入 B 串緊要電源匯流排供電，一號機喪失安全交流電源的緊急狀態解除。

十五、三月十八日 12 時 50 分

為了解 B 台緊急柴油發電機自動起動失敗的原因，現場人員於 12 時 50 分再次嘗試起動該柴油發電機，結果功能正常。

十六、三月二十日 22 時 12 分

現場人員將兩串緊要電源匯流排完成隔離，一號機 B 串緊要電源匯流排電源改由二號機 161KV 變壓器置入，並停用第五台柴油發電機，一號機恢復使用廠外交流電源。

參、緊要電源匯流排故障之調查

核三廠交流電力系統之配置如圖一，一號機發生事故的起始點是緊要電源匯流排。基本上二串緊要電源匯流排的設計，是在滿足安全系統應具有多重設置的要求，如有任何一串故障，供電的任務可以由另一串來承擔，不致於因此而危害到安全。從核能安全的觀點，這次事故最需要檢討的便是何以二串緊要電源匯流排會同時喪失廠外交流電源，而當時 161KV 的廠外電源並沒有異常現象。

根據事故後對 A 串匯流排現場的檢查，第 17 號與第 15 號斷路器都明顯嚴重受損(請參見照片一、二、三)。再由事故前的斷路器受電狀況看來(請參見圖二)，00：41~00：45 之間的 161KV 電源是正常的，因此 15 號斷路器應非第一個故障點，因此在 00：45：06 秒時關閉 3620 斷路器，而在 00：45：07 秒時便發生 3510 斷路器跳脫，因此第一個故障點應該是第 17 號斷路器。

另外由 A 串匯流排的現場可以發現，第 17 號斷路器的匯流排端沒有明顯受損，再由電源側的接點狀況看來，造成第 17 號斷路器毀

損的因素應該是過電壓破壞而非過電流破壞，這個結果與第 17 號斷路器在事故前是處在開啟狀態，而關閉 3620 斷路器便發生事故的時序來看，是合理的。

根據以上的判斷，三月十八日事故發生的可能過程為，A 串緊要電源匯流排上，由 345KV 受電的 17 號斷路器發生接地故障，引起電弧燃燒並波及到第 15 號斷路器，使得第 15 號斷路器也發生電源側接地故障。斷路器故障後導致 A 串匯流排接地，使得 A 串匯流排無法受電，另外也造成斷路器 3510 與 1670 跳脫，使得廠外 161KV 和 345KV 交流電源都無法送至 B 串緊要電源匯流排。

第 17 號斷路器是在開啟狀態下發生事故，並且現場狀況類似於過電壓破壞看來，第 17 號斷路器絕緣劣化可能是事故的肇因。而由毀損的 17 號斷路器看來，其受電端 B 相受損最嚴重，因此 17 號斷路器故障的可能主因，應為 B 相接點在事故發生前已經有絕緣劣化，於三月十八日 00：41 之 345KV 中斷時，當時的電壓突波可能便已造成局部電弧的現象，此局部電弧再造成接點附近空氣發生離子化，由於開關箱內部為密閉空間，空氣離子化的現象不易立即消失。到 00：45 關閉 3620 斷路器進行 345KV 復電時，電壓暫態終於使得該斷路器毀損。此外，現場因電弧而嚴重毀傷，實體證據蒐集不易，故也不能完全排除 17 號斷路器有機械故障的可能性。

廠外 345KV 輸電系統的不穩定(請參見圖三)，應為第 17 號斷路器絕緣劣化之可能原因。根據分析，每當 345KV 線路發生暫態，對 17 號斷路器受電端會造成電壓突波的現象，電壓範圍大約在 7KV 到 9KV 之間，這種隨時間累積的電壓突波效應，可能便是絕緣劣化之原因。

造成第 17 號斷路器絕緣劣化的另一個可能原因為線路共振（或

稱鐵磁共振，Ferro-Resonance)，根據原能會邀請參與調查之專家學者發現，三月十七日 20：38 時發生 345KV 龍崎山線跳脫(請參見圖四)，當時該線路在核三廠端所對應的斷路器(3520 與 3530)並沒有跳開，由於龍崎山線線路相當長，經由線路之等效電容、等效電感、核三廠起動變壓器電抗等的交互作用，出現線路共振的現象。在三月十七日 20：38 分龍崎山線跳脫後，因當時核三廠二部機都是在停機狀態，因此 345KV 系統應該沒有任何電源，但核三廠開關場暫態記錄器卻顯示，在龍崎山線跳脫後，345KV 線路曾有約二秒鐘的電壓讀數記錄，並且該電壓超出記錄器的範圍。

造成線路共振的另一個重要成因，是核三廠反應器冷卻水泵(RCP)的飛輪轉動。在三月十七日 20：38 喪失 345KV 外線時，核三廠一號機的三台反應器冷卻水泵因飛輪的慣性而仍在轉動，此時由於電動機轉變為發電機的效應，導致向 13.8KV 系統逆送電力，經由起動變壓器而造成 345KV 線路電壓上升的現象，因而對 17 號斷路器的絕緣形成高電壓衝擊，傷及 17 號斷路器的絕緣。

此次 A 串緊要電源匯流排故障，卻導致 B 串緊要電源匯流排無法接受 345KV 外電與 161KV 外電，因此核三廠此部份設計，以及各電氣系統間的電氣保護協調分析，應有重新驗證的必要。此外，在 A 串緊要電源匯流排已發生事故的情形下，將緊急柴油發電機或 3510 號斷路器併入該匯流排，可能使匯流排受損更形嚴重，亦有可能造成緊急柴油發電機的受損，此部份在操作上值得檢討。

肆、柴油發電機故障之調查

核三廠之緊急柴油發電機係採用美國 DELAVAL 公司所出品，出力約 7000KW 之柴油發電機組。為了確保緊急柴油發電機的可靠度，

核三廠均會配合機組定期更換核燃料的大修期間，針對緊急柴油發電機的各部分零組件，依廠家說明書、設備實際運轉情況，進行必要的維修作業。這些作業均須依程序書規定，並予以紀錄留存，測試結果必須經電廠品質人員查証。此次核三廠一號機事故發生後，原能會調查人員即趕赴核三廠，再次清查該廠一號機 A、B 台緊急柴油發電機最近一次大修(EOC-12)所執行之維修紀錄，經查相關紀錄均符合接受標準。

緊急柴油發電機係屬重要安全設備，因此核能電廠運轉規範均對緊急柴油發電機之各項測試有明確地規定。經清查近三年來核三廠一、二號機共四部緊急柴油發電機的測試紀錄，除八十七年十月十九日一號機 B 台緊急柴油發電機因第三汽缸回油管路漏油致起動測試失敗及八十九年四月二十二日一號機 A 台因燃油管漏油而起動測試失敗外，其餘測試均成功。

三月十八日事故發生時，B 串 4.16KV 緊要電源匯流排喪失廠外電力供應時，B 串緊急柴油發電機依原先設計自動起動，惟因未激磁而無法建立電壓(請參見圖五)，致使緊急柴油發電機雖起動卻無法供電。事件後，三月十八日中午電廠在維持 B 串緊急柴油發電機原狀下，重新起動，結果起動成功，激磁亦正常動作。

本次事件後，電廠依緊急柴油發電機激磁控制回路將 R_1 、 K_1 等設備分段隔離，逐一反覆多次測試。在多次測試中，將柴油發電機安全訊號的 A 串、B 串隔離，分別測試，結果發現：單獨執行 A 串時，引動壓力開關 PS-32A1 及 32B 的電磁閥 141-2A 有輕微空氣洩漏現象。單獨執行 B 串時，引動壓力開關 PS-32A1 及 32B 的氣動電磁閥 142-2B 無法動作(請參見圖六)，但將原可同時產生 A 串、B 串分支訊號的柴油發電機安全訊號依原設計正常模擬，同時產生 A 串、B 串分

支訊號，結果激磁仍能正常動作(此部分共執行兩次測試)。

依現行規定電磁閥 141-2A 及 142-2B 之更換週期為每三次大修（即約五年）須予以更換。經清查該二電磁閥在 89 年 5 月 2 日已定期更換過，並經測試功能正常。因此本次事件中，B 串緊急柴油發電機無法激磁現象，應屬激磁回路上氣動電磁閥 141-2A 及 141-2B 動作不順，但亦不能完全排除因 R1 之 6 組接點隨機性失效所致。

伍、反應器安全與人員作業

在反應器安全部分，由於事故發生時，反應器已停爐達二十一小時以上，爐心餘熱已降低至相當低之程度，加上蒸汽驅動輔助飼水泵正常發揮功能，配合蒸汽產生器動力釋壓閥之操作，反應器在事故過程中，均在適當控制下逐漸降溫及降壓(請參見圖七)，而事後觀察反應爐冷卻水洩水槽及圍阻體集水池之水位變化，顯示反應器冷卻水泵軸封亦無洩漏現象。

在人員作業部分，核三廠操作人員能在多串安全系統失效之情形下，依序起動安全設備，將反應器帶往安全方向，並於二小時又八分鐘後，在惡劣之操作環境下，成功啟動第五台柴油發電機，終止緊急狀況，將事故消弭，現場操作可稱適當。另外，本次事故過程中亦顯示電廠之消防輔助設備、高聲電話系統、蒸汽驅動輔助飼水泵啟動時機等，仍有值得再檢討改善之空間。

陸、緊急應變作業之調查

台電公司緊執會緊急應變計畫係依據「台灣電力公司核能電廠緊急計畫準則」規定執行，依該準則 2.2 緊執會之緊急應變行動：第二類(含)以上之緊急事故，緊執會應立即將電廠目前狀況通報原能會，

而有關事故類別，經緊執會事故評估組依據電廠傳送之資訊，加以評估確認後，於緊急指揮中心成立後一小時內以電話通報原能會。

原能會緊急應變科於三月十八日凌晨二時十九分接獲台電公司緊執會執行秘書通報核三廠一號機組因「喪失廠外電源及所有廠內交流電源」而進入核子事故緊急應變計畫中之 2A 類「緊急戒備」事故狀況後，立即執行通報與動員作業，動員人員分從新竹、埔心、中壢、基隆等地趕赴原能會，並於一小時內即召開會議研判事故狀況，接獲通知二小時內動員十七人。另於接獲台電緊執會通知事故解除，仍持續監控機組安全無虞方解除任務，並增派資深視察員趕赴核三廠，掌握機組狀況與瞭解事故肇因，並召集相關人員召開專案會議，立即進行初步檢討，將事故資訊公開予社會大眾。

有關緊急事故通報程序作業，原能會曾於八十九年七月六日邀集台電公司及各核能電廠等相關單位召開會議，要求台電緊執會及各核能電廠針對緊急事故之通知與動員作業程序加以檢討，並加強緊急應變作業人員之通報（知）訓練，以確保通報（知）作業之順暢與確實。經查此次緊急事故之通報作業，發現有下列二項缺失：

一、未即時通報：

依現有規定事故發生後，核三廠應立即通知台電緊執會，緊執會並應立即將電廠目前狀況通報原能會。本次事故發生於零時四十六分，緊執會於一時三十三分接獲核三廠通知後，遲至二時十九分方通報原能會。

二、未正確通報事故類別：

依事故分類判定規定，喪失廠外電源及所有廠內交流電源為第二類緊急事故，持續達十五分鐘以上，則為第三類緊急事故。惟本會二時十九分接獲緊執會通報之事故類別為第二類緊急事故。

柒、廠區內外輻射安全調查

核三廠放射試驗室於電廠廠界共置有五部高壓游離腔，該高壓游離腔因屬電廠之緊急應變設備，故其讀值在事故期間可以正常紀錄，並傳送至管制站。根據該五部高壓游離腔之紀錄，均在 0.05 至 0.07 微西弗/小時之間，係在背景變動範圍內，故可以確證，電廠在此期間並無放射性物質外釋。

原能會輻射偵測中心在核三廠周圍之恆春、大光、墾丁與後壁湖等地點，都設置高壓游離腔加馬直接輻射監測站，可二十四小時連續自動偵測環境中輻射劑量率的變化。由三月十七日至十八日期間所測得的偵測數據顯示，核三廠周圍環境的加馬直接輻射劑量率於事件前後無顯著變動，並且均在環境背景輻射的變動範圍內(請參見圖八)。

為確實了解此次意外事件中氣態與液態排放對環境影響的情形，輻射偵測中心亦派員前往核三廠周圍進行環境樣品的取樣作業。取樣範圍除考慮位於核三廠下風向(西南方向)的大光國小，後壁湖及恆春等較具代表性地點外、並涵括位於不同方位的墾丁、南灣、員工宿舍及核三出水口等。取樣分析結果，均在環境背景的變動範圍內，顯示此次事故對環境無輻射安全的影響。

捌、調查總結

針對核三廠於三月十八日發生喪失廠內外交流電源事故，由原能會胡主任委員委請清大陳國誠教授主持之獨立調查團及原能會各業務單位聯合調查小組已分別完成調查工作。謹將兩份調查報告之結論，綜合摘要說明如下：

一、調查結論

1. 事件主因

核三廠一號機緊要電源匯流排 A 串的第十七號斷路器故障，為本次事故之主因。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。根據事故後調查證據顯示，核三廠廠外輸電系統不穩定，對斷路器的絕緣會導致不良的影響，而其中以三月十七日二十時三十八分廠外 345KV 龍崎山線跳脫，經由線路共振所產生的高電壓現象，應是引發十七號斷路器絕緣劣化的重要原因。

2. 事故影響

經檢查核三廠一號機反應器狀態參數，可以確認在本次事故過程中，反應器安全無虞，亦無放射性物質排放。且根據原能會輻射偵測中心在核三廠周圍監測資料顯示，事故前後並無顯著變動，均在環境背景輻射的變動範圍內。

3. 通報缺失

本次事故發生於十八日零時四十六分，台電公司緊急計畫執行委員會於一時三十三分接獲核三廠通知後，遲至二時十九分以二 A 事故通報原能會，在通報作業上有所缺失。

4. 違規等級

根據原能會訂定之「核能電廠違規事項處理作業要點」，本次事故屬於二級違規，台電公司應追究失職人員之行政責任。

二、 改正措施

1. 鹽霧害問題

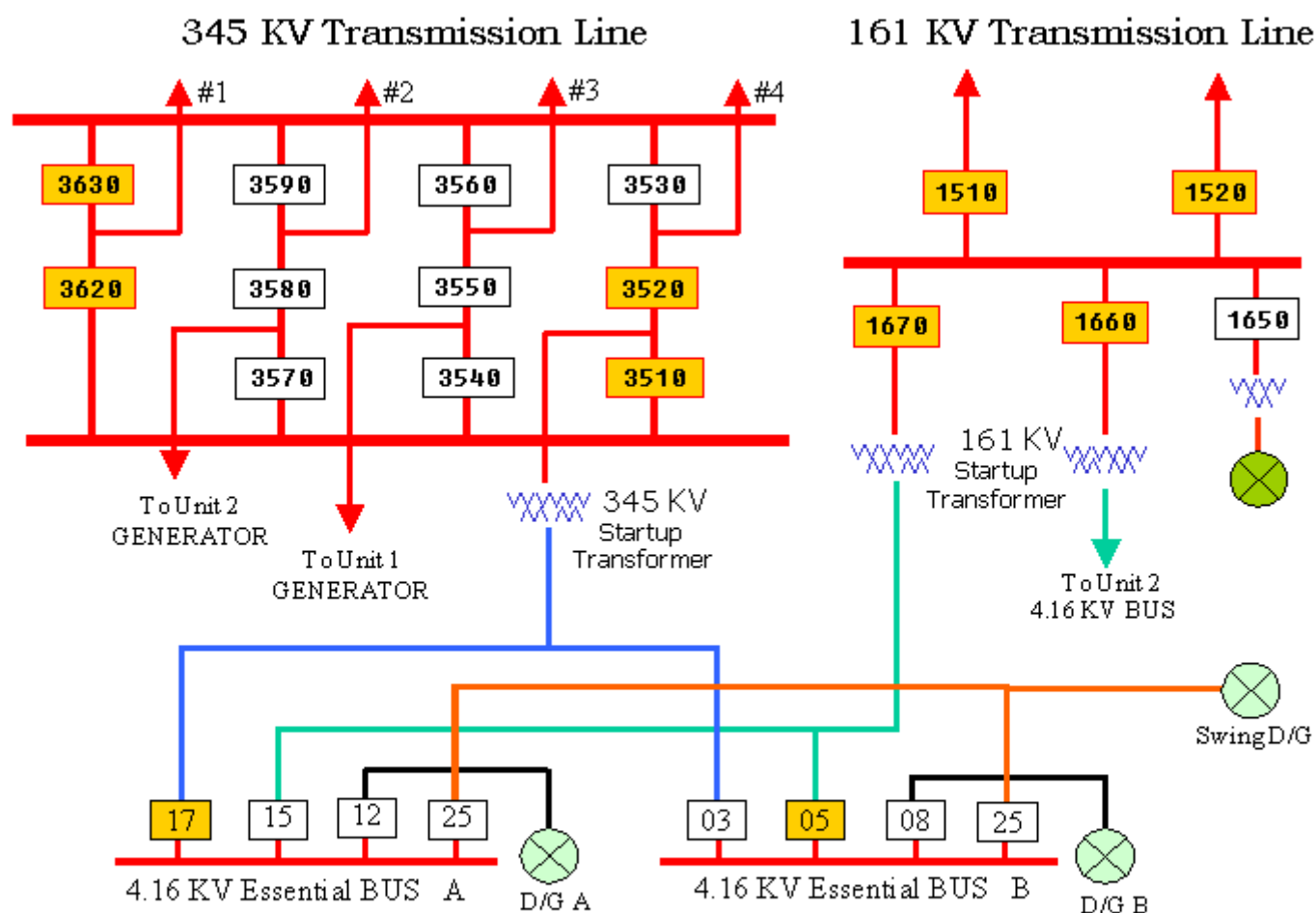
核三廠廠外輸電線路鹽霧害問題，台電公司應儘速澈底解決。

2. 緊要電源及電器設備問題

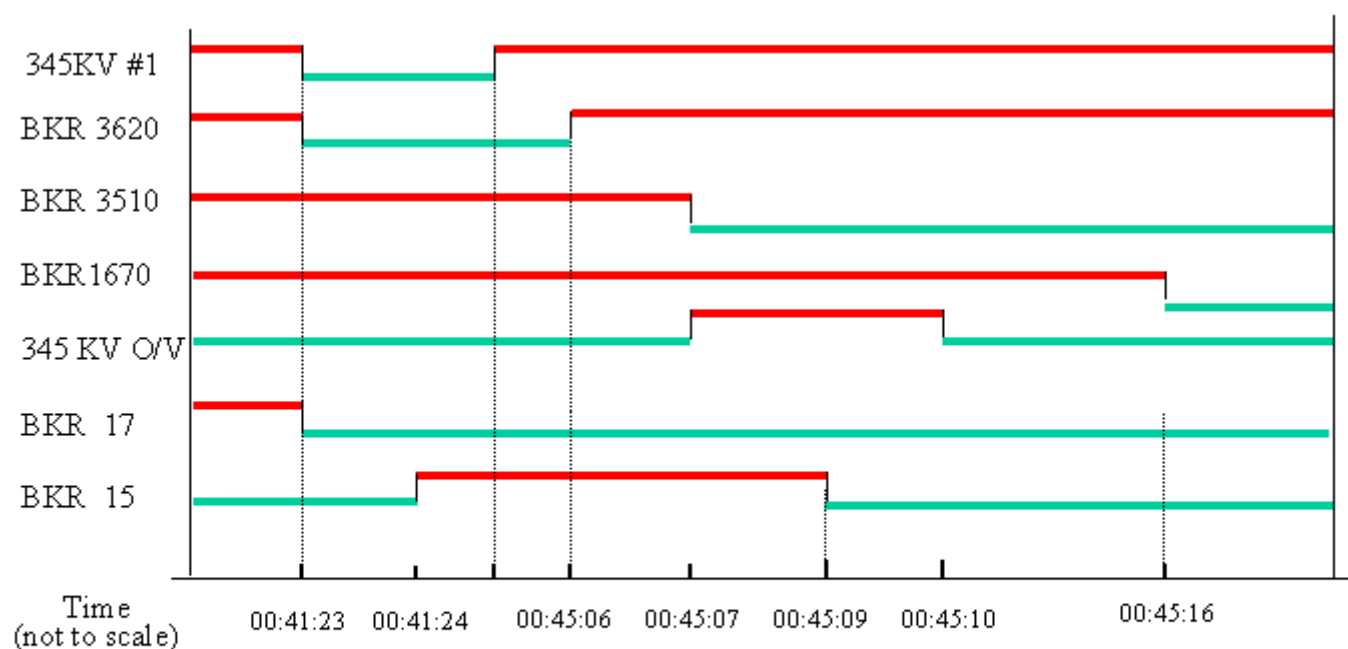
- (1) 應儘速檢討改善核三廠內緊要電源之供電策略，以確保其獨立性及多重性。
- (2) 應檢討改善各核能電廠斷路器的檢測作業。
- (3) 應檢討改善核三廠內各電氣系統保護設計之妥適性。

3. 緊急救援設備及通報問題

- (1) 應儘速檢討改善廠內消防輔助設備之功能，例如排煙設施、照明等，以因應緊急狀況所需。
- (2) 各核能電廠應強化事故狀況下現場之通訊聯絡。
- (3) 台電公司應檢討改善事故狀況下之資訊掌握與通報。



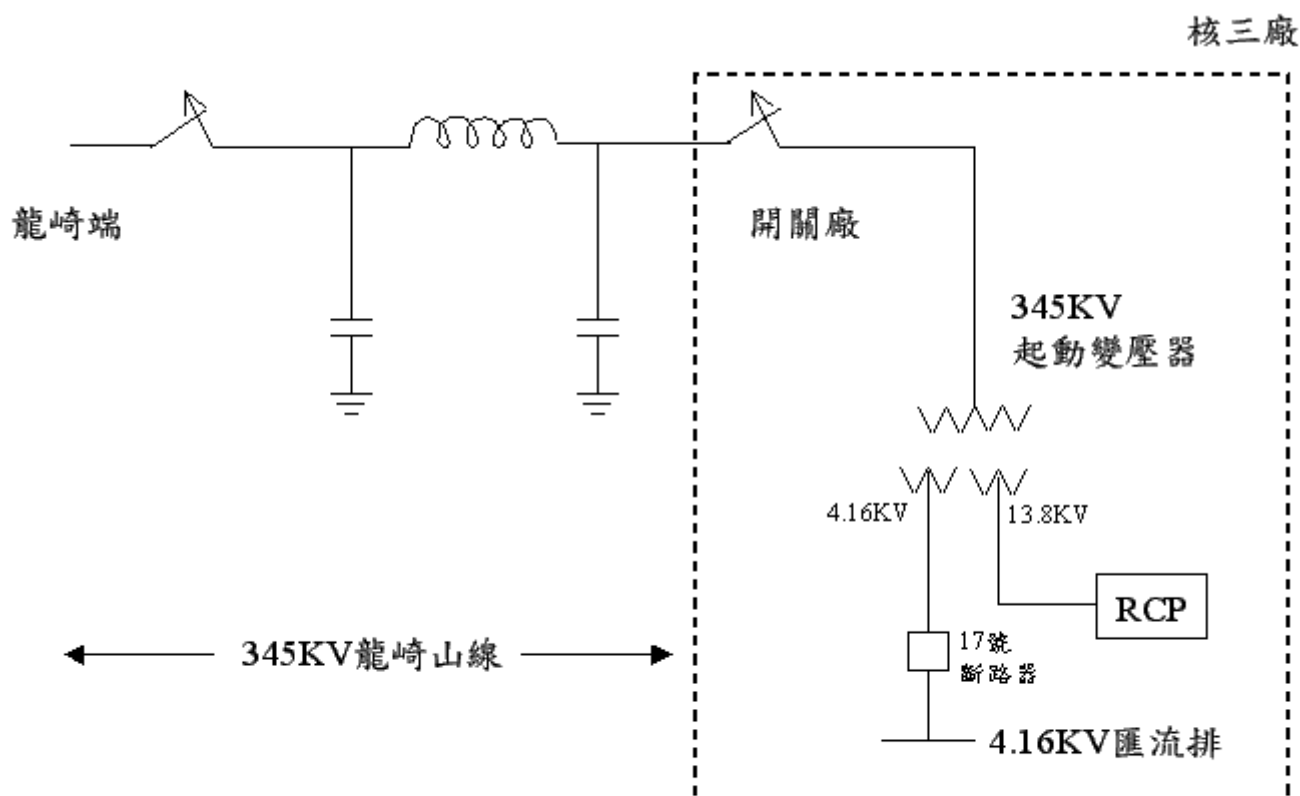
圖一 核三廠交流電力系統配置圖



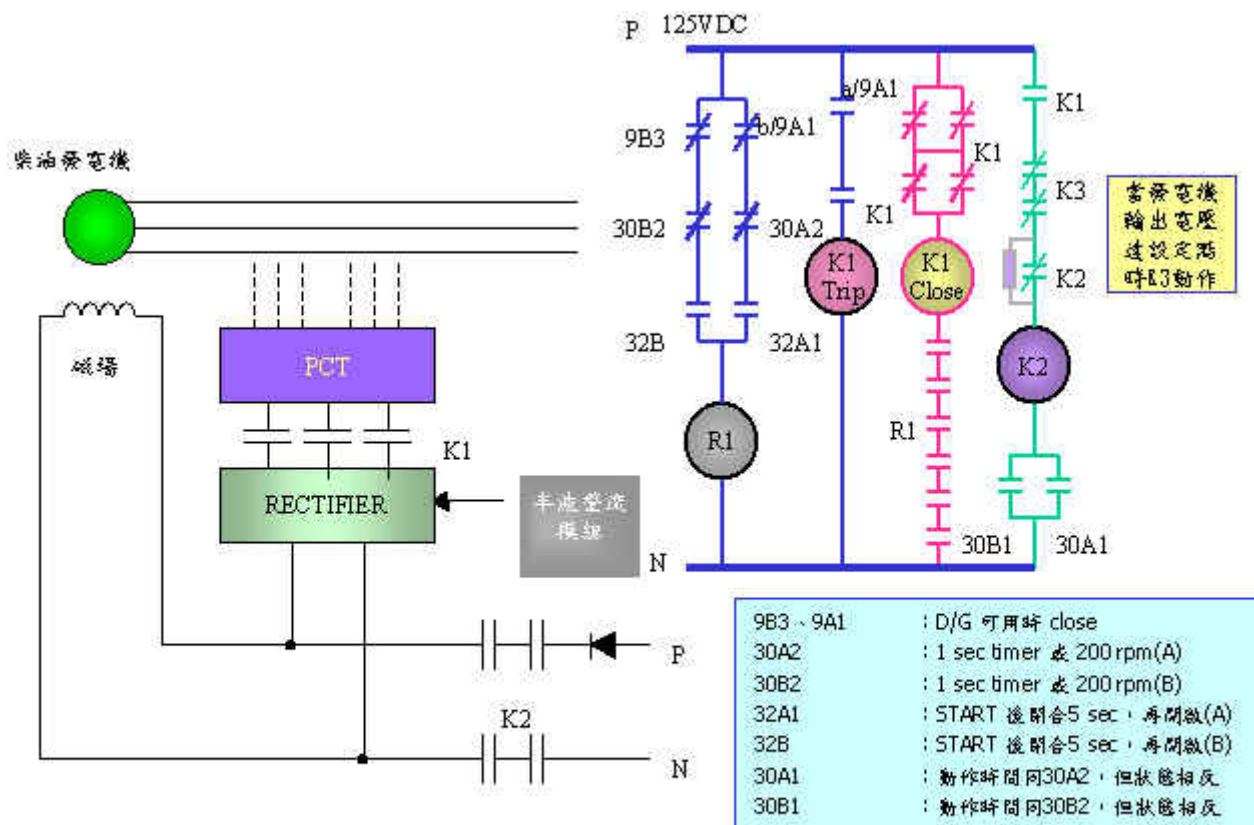
圖二 3月18日相關斷路器啟閉時序圖

[illegible]

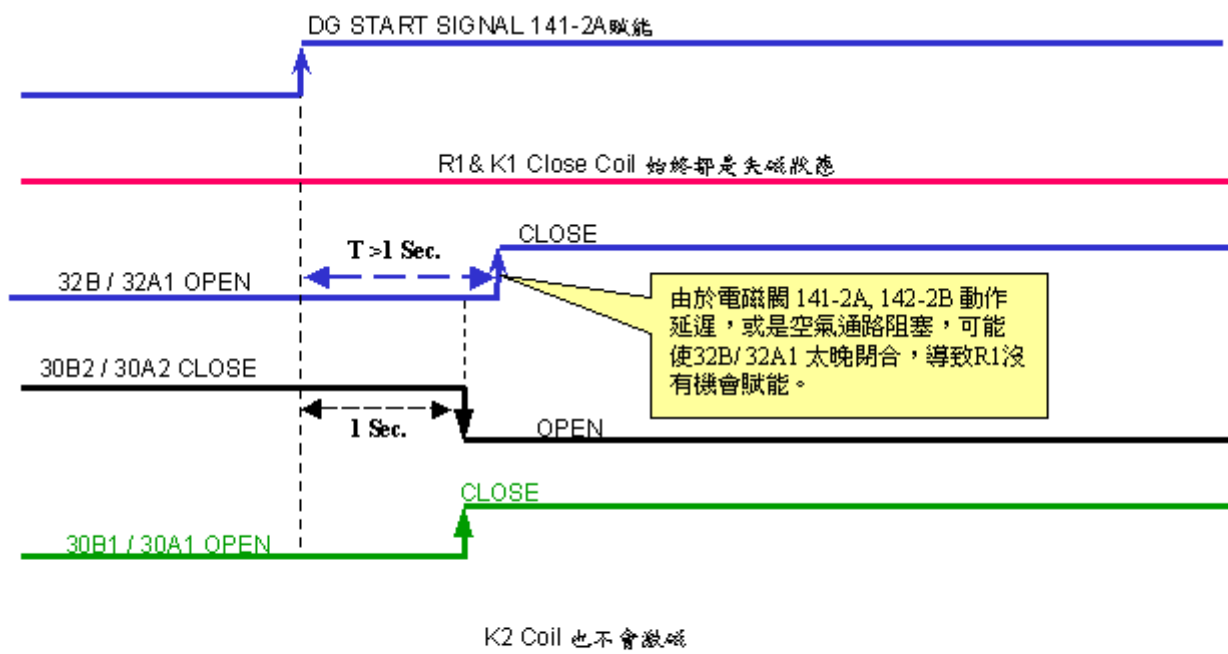
圖三 核三廠廠外輸電系統於事故前之狀況



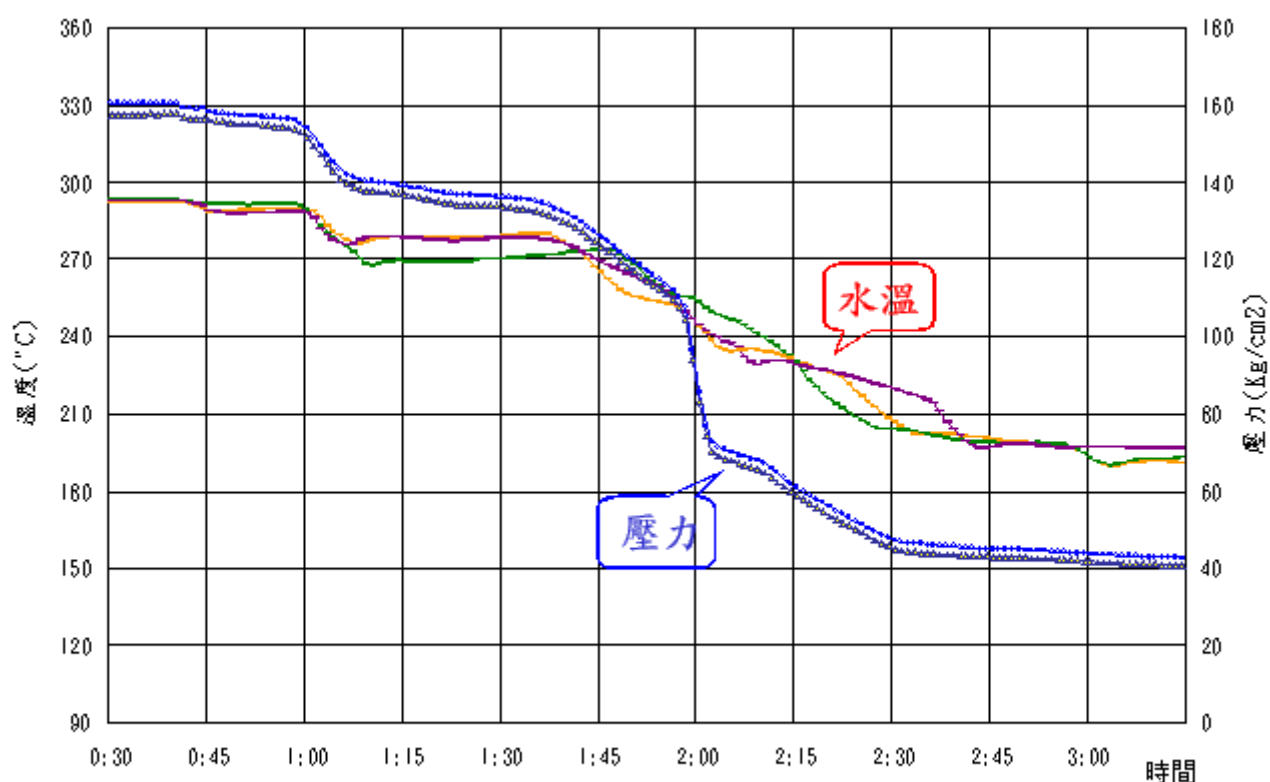
圖四 線路共振簡要說明圖



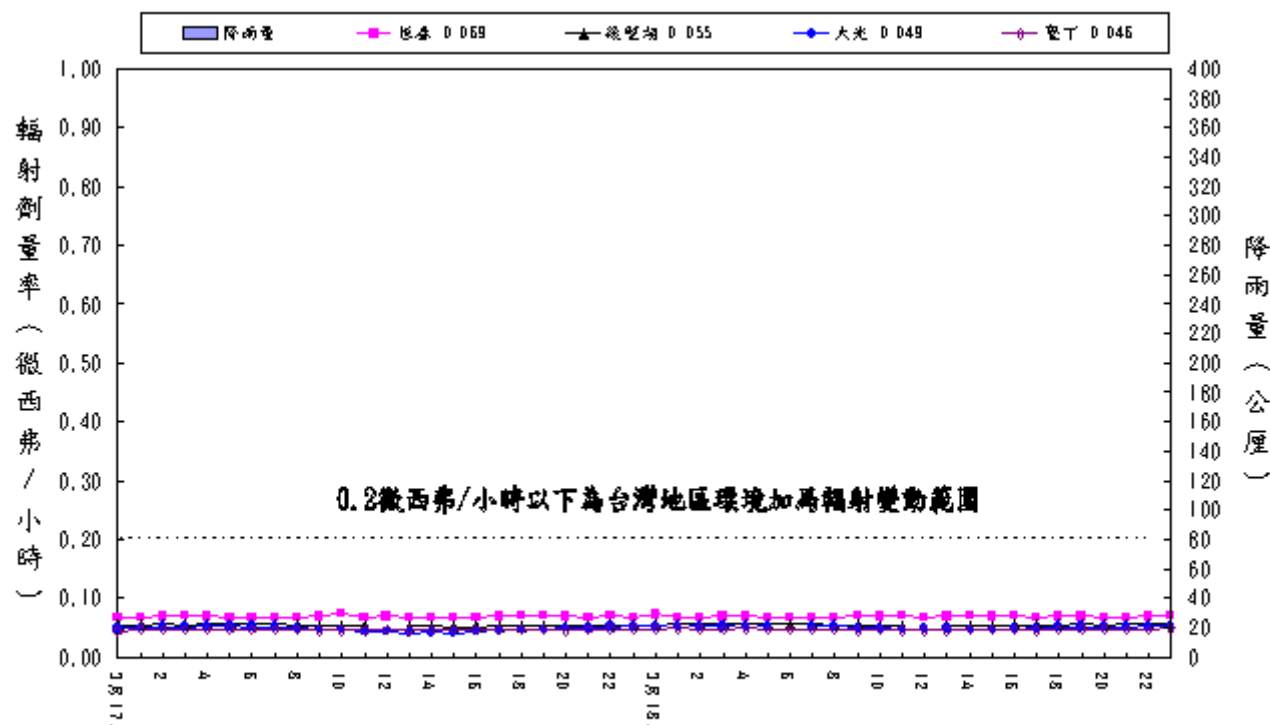
圖五 緊急柴油發電機的激磁回路



圖六 B台柴油發電機激磁失敗信號時序圖



圖七 核三廠一號機三月十八日反應器壓力及水溫趨勢圖



核能三廠環境加馬輻射自動監測時平均劑量率



正常斷路器外觀



17號斷路器損壞情形

照片一 17號斷路器正常與損壞情形比較



15號斷路器插入匯流排之連接頭損壞情形



15號斷路器匡架損壞情形

照片二 15號斷路器損壞情形



正常斷路器插入匯流排情形



匯流排盤面損壞情形

照片三 匯流排盤面正常與損壞情形比較