

核一廠二號機餘熱移除系統（RHR） 泵 A 台線上維修作業安全管制報告

行政院原子能委員會核能管制處
中華民國九十二年九月十九日

目 錄

壹、 前言.....	1
貳、 設備維修相關運轉規範規定.....	1
參、 線上維修工作整體規劃.....	2
肆、 本次審查過程與視察結果.....	3
伍、 結論與建議.....	7
附件一、 線上維修工作整體規劃.....	8
附件二、 本次線上維修之相關照片.....	15

壹、前言

核能電廠線上維修係指機組於例行大修前之運轉階段，先予執行安全有關設備組件之維護保養作業，其目的在於分散大修階段設備維修之時程，且透過妥善的維修排程規劃與行政管理，降低大修工作亂度，減少人員作業疏失，提升設備維修品質及可靠度。

台電公司核一廠首次選定二號機餘熱移除系統(RHR) A 串之 A 台泵及馬達執行線上維修，並於二號機第十九次大修(EOC-19)前執行。經本會審查結果確認 RHR 泵 A 台執行線上維修對機組風險之增加量極微，符合本會制訂之「核能電廠執行線上維修案實施要點」的要求。

貳、設備維修相關運轉規範規定

核一廠餘熱移除系統(RHR)設計上有兩個各自獨立的迴路(A 串及 B 串)，各迴路由二台水泵、一個熱交換器、管路及相關隔離閥所構成，本次線上維修之設備，為 A 串之 A 台泵及馬達。RHR 屬於反應爐安全冷卻系統，其主要設計功能有反應爐停機冷卻、低壓注水 (LPCI)、抑壓池(Suppression Pool)冷卻及圍阻體噴灑等之熱移除功能。

核一廠運轉規範有關 RHR 泵不可用時之運轉限制條件如下：

1. 運轉規範 3.5.1.A 節：一台低壓注水系統(LPCI)泵不可用時，應於 30 天內恢復可用。
2. 運轉規範 3.6.2.3.A 節：一串抑壓池(Suppression Pool)冷卻支系統不可用時，應於 7 天內恢復可用（註：一串 Suppression Pool 冷卻支系統包含二台 RHR 泵，但僅需一台可用，此支系統即為可用，因此本次線上維修並未進入本項規定）。
3. 運轉規範 3.6.2.4.A 節：一串圍阻體噴灑支系統不可用時，應於 7 天內恢復可用（註：一串圍阻體噴灑支系統包含二台 RHR 泵，但僅需一台可用，此支系統即為可用，因此本次線上維修並未進入本項規定）。
4. RHR 泵 A 台線上維修期間，相關重要安全系統及設備包括：RHR 泵 C 台及 A 串其他相關組件、RHR B 串、緊要海水系統 (ESW) A、B 串、聯合廠房冷卻水系統 (CSCW) A、B 串、高壓注水系統 (HPCI)、爐心隔離冷卻系統 (RCIC)、125 V 直流電源、緊要電源匯流排、爐心噴灑系統 (CS) 等，均須維持可用狀態。

參、 線上維修工作整體規劃

為確保線上維修期間機組之運轉安全性及設備維修品質，核一廠依據程序書 125「線上維修作業程序」，成立線上維修小組，由該

系統之專業人員及評估專才組成，並由主要維修課課長擔任組長，統籌線上維修之規劃，本次線上維修之整體計劃，例如：權責區分、應變計畫、補償計畫、以及相關工安與輻安措施等，詳如附件一。

本次二號機 RHR 泵 A 台線上維修之工作項目，係在儘量縮短安全系統不可用時間之前提下執行，因此本項工作之人力安排（含維修、測試等）均為每日二十四小時三班制持續進行。為有效掌握與管制作業品質與時程，線上維修小組於實際進行線上維修兩週前，即開始進行相關作業的討論協調及分工，使各相關課相互瞭解彼此間之介面及其對工作的影響，並及早解決或找出可能衍生的問題。線上維修期間，則由當值值工師負責機組風險組態的監測。

肆、本次審查過程與視察結果

從過去的大修經驗可知，餘熱移除系統於大修期間維修，由於工作量大，時程、人力緊迫，工作亂度增大，而有礙於維修品質的提升。基於此項因素，台電公司核能一廠首次選定二號機於 EOC-19 前進行餘熱移除系統（RHR）A 串之 A 台泵及馬達之線上維修。本次線上維修之相關審查及作業時程如下：

1. 本(九十二)年二月二十五日核一廠機械課依程序書 125 「線上維修作業程序」，提出 RHR 系統組件線上維修需求申請。
2. 三月五日核技課完成線上維修初步定性評估及各項定量風

險評估，評估結果確認 RHR 泵 A 台執行線上維修對機組風險之增加量極微，可符合原能會的準則。

- 3.三月十一日核一廠召開線上維修作業第一次會議，隨後即依原能會制訂之「核能電廠執行線上維修案實施要點」編寫核能一廠二號機 RHR 泵 A 台線上維修申請計畫書，並於四月十五日提送台電總處審查。
- 4.五月三十日經台電總處審查修訂後，專案提報原能會申請核備。
- 5.六月三日邀請核研所陳博士詩奎、廖博士俐毅、以及楊副研究員友信等三位專家成立專案查小組，以協助本案之審查。
- 6.六月三十日原能會針對本案提列第一次審查意見，並要求台電公司回覆審查意見前先至原能會說明。
- 7.七月二十二日台電公司赴原能會說明線上維修及審查意見之處理情形。
- 8.八月十二日原能會同意本案。
- 9.八月二十二日 09:00 核一廠正式開始實施二號機 RHR 泵 A 台線上維修作業，預定期 107 小時。

10.八月二十五日 23:00 即提前完成所有維修作業及測試，系統恢復正常可用狀態（實際工期 86 小時），結束本次線上維修作業。

本次線上維修作業之範圍為二號機 RHR A 台泵及馬達，並不影響 RHR A 串或系統之低壓注水模式、圍阻體冷卻模式、抑壓池冷卻模式及停爐冷卻模式之各種功能，規劃時程遠低於運轉規範規定不可用之允許停用時間（即 AOT，限值為 30 天），實際維修作業均能在規劃時程內如期完成（實際工期約為規劃時程之 80%）。

本次線上維修作業之申請計畫書，訂定有各項應變計畫、暫態與不當跳機之預防措施、補償計畫、監測計畫、相關訓練需求、其他維修或測試之管制措施、掛卡洩水管制、動火管制及其他工安管制措施、ALARA 計畫及其他輻安相關之要求。此次作業核一廠均能確實依申請計畫書之規劃、要求及各項管制措施執行，作業前由品質課、運轉課及儀控課針對本次線上維修作業期間之偵測試驗進行調整，運轉課亦將本申請計畫書及作業排程送交運轉值班同仁傳閱並作成紀錄，各維護部門則做好備品之準備及人員訓練等作業前之準備工作。

為避免作業期間之疏漏，線上維修小組並於年八月十二日、八月十五日、八月二十一日由副廠長主持召開線上維修作業前會議，

詳細討論各項工作細節。作業開始前值班部門依程序書 602.6.7 執行機組風險組態之核對，且每值均依此程序書執行機組風險組態之核對與監測。作業期間之隔離掛卡確實依程序書 105.3（核能一廠保護卡掛卡程序）、1114.3（禁止操作卡管制程序）執行掛卡、切電等作業，重要隔離閥之控制開關於控制室內均掛卡、切電且加蓋保護，現場馬達控制中心(MCC)切電後掛卡亦加鎖保護，現場手動閥於隔離後掛卡亦加鎖保護。對於洩水及動火作業則分別依程序書 308.11、105.17 提出申請與管制。輻安管制方面亦確實依本次線上維修作業之 ALARA 管制計劃執行，成效良好。

此外，對於時程、進度及品質之管制追蹤，則每日召開會議進行討論（假日亦同），以隨時掌握線上維修作業情況，總處駐廠安全小組每日派員至現場稽查，核安處亦多次派員至現場查核，本會並派員赴核一廠視察施工現況與安全及品質管制執行情形。本次線上維修之相關照片，詳如附件二。

另有關本會對於本次線上維修特別關切事項，即 RHR 泵 A 台線上維修期間，爐心冷卻水或抑壓池冷卻水潛在經由維修之 RHR 泵 A 台流出而造成意外洩水之現象，核一廠亦特別加強防範，於 RHR 泵 A 台拆離管路後，並未發生洩漏，而顯示其隔離狀況良好之情況下，仍隨即加裝盲板，以多一層防護，防止可能發生之洩漏。

伍、結論與建議

本次線上維修在核一廠及台電總處同仁共同努力下踏出核能部門線上維修的第一步，各項維修作業包括計畫、執行及管理，均依規定執行且圓滿完成任務，本次作業實為台電公司核能電廠執行線上維修之良好典範，台電公司應將此經驗回饋至爾後之線上維修作業。

註：若對本報告有任何疑問，請洽本會黃智宗科長，電話：(02)22322160。

線上維修工作整體規劃

壹、責任區分

本次線上維修，核一廠指派機械課為線上維修主辦課。各相關課之責任區分如下：

一、機械課

(一)線上維修規劃階段各工作項目之規劃及彙總，(二)召開線上維修討論會議及擬定討論事項，(三)線上維修執行後之作業檢討與經驗回饋。

二、大修小組

(一)彙整審查維護課所提線上維修工作項目、預定期程、人力規劃及安排線上維修作業時程，(二)線上維修前，彙總編製工作項目之計畫書，(三)線上維修相關工作申請及異動之審核，細部工作排程之制定，(四)線上維修預備執行階段統籌協調支援人力，(五)線上維修執行階段工作進度之追蹤與管制，(六)彙整提報線上維修完工報告。

三、核技課

(一)執行線上維修作業之定性與定量安全評估，編寫安全評估報告，(二)擬訂線上維修之重要管制監測措施及應變計畫，(三)彙總完成線上維修計畫報告書，(四)協助線上維修工作排程之規劃，(五)線上維修期間機組安全評估。

四、運轉課/值班(支援班)

(一)審查線上維修工作項目，(二)擬訂線上維修之重要管制監測措施及應變計畫，(三)執行系統操作、掛卡及系統復原，(四)執行線上維修後之功能試驗。

五、各維護課

(一)規劃線上維修工作項目，並指定各工作項目負責人，(二)現場查證設備檢修之可行性，(三)編定線上維修工作單及發包工作，(四)線上維修工作前程序書、工具、備品之準備與檢查，(五)線上維修工作之執行，(六)完工後協助執行功能試驗，(七)線上維修作業之檢討與經驗回饋。

六、品質課

(一)於規劃階段提供線上維修系統程序書、請修單資料、承諾及追蹤事項等，(二)審查工作項目是否符合運轉規範或相關法規規定，(三)負責線上維修工作項目管制等級及品質查證計畫之確認與執行，(四)蒐集線上維修定期偵測試驗執行情形及相關管制規定，(五)線上維修成套品質文件初審及送安全小組備查，結案後整理歸檔，(六)重要定期測試項目時程之重新規劃。

七、保健物理課

(一)審查工作項目是否有輻射防護問題，(二)配合線上維修現場作業，擬訂 ALARA 計畫並執行輻射偵測及防護措施，(三)執行人員/工具進出輻射管制區之管制。

八、改善課

線上維修系統相關設計變更(DCR)資料之彙整提供。

九、供應課：

提供必要的線上維修備品。

十、工安課

(一)審查工作項目之工安問題，(二)督導工作人員工安、消防及環境衛生之檢查與實施。

十一、廢料處理課

負責廠房清理工作。

十二、訓練中心

線上維修之相關人員訓練。

十三、安全小組

(一)負責線上維修工作執行時之安全查證，(二)審查線上維修成套文件品質。

貳、應變計畫

一、遇有突發狀況，致本次線上維修工作無法於規劃的時程內完成，則依下列情況採取應變措施：

(一)經審慎評估後應儘量於 18 天內完工，完工之定義為 RHR 泵 A 台恢復且經測試證實可用，(二)經審慎評估判斷仍無法在 AOT 內完工者，則應停止維修並儘速將 RHR 泵 A 台恢復正常功能，剩餘之項目則留待大修時繼續，(三)若在 AOT 內無法將 RHR 泵

A 台恢復正常功能，則宣佈此 RHR 泵 A 台不可用，並依照相關運轉規範處理，同時儘速完成維修工作，恢復 RHR 泵 A 台為可用。

二、當線上維修期間機組若發生暫態時，運轉員可將機組置於熱停爐（Hot Shutdown）狀態，先以主冷凝器移除爐心的熱量，再以 RHR B 串或 A 串（RHR 泵 C 台）停爐冷卻模式移除爐心餘熱。

三、線上維修期間不可維修或測試之系統或設備之管制

(一) 線上維修小組應確認定期測試時間是否會落在線上維修期間。若是，則於線上維修執行前，由品質課調整這些測試之執行時間，以避開線上維修期間，並由品質課執行查證，(二)若發現系統不可用時，值班人員應依運轉規範規定及相關程序書處理，線上維修小組並應立即評估，以決定是否停止線上維修，恢復 RHR 泵 A 台為可用。

四、掛卡洩水管制

RHR 泵 A 台執行線上維修掛卡作業前依下列相關程序書管制，避免造成不當洩水事件：

(一)程序書 105.3 核能一廠保護卡掛卡程序，(二)程序書 1114.3 禁止操作卡管制程序，(三)程序書 308.11 洩水管制程序，(四)明訂 RHR 泵 A 台維修隔離邊界閥 E11-F004A&E11-F006A MOV 掛卡、切電、操作開關並加蓋保護，E11-F034A & E11-F018A 手動閥掛卡並加鎖保護，以防止誤操作。

五、暫態與不當跳機之預防措施

RHR 泵 A 台屬於安全設備，機組功率運轉時處於備用狀態。為防止暫態及不當跳機，採行下列措施：

(一)線上維修期間維持機組穩定運轉，避免須降載方能執行之工作及測試，(二)線上維修期間應避免計劃性潛在跳機作業之執行，(三)線上維修執行前，對於維修場地周圍，須先經過現場巡視確認，有引致跳機之虞的裝置與設備，應有適當的警示或保護。

參、補償計畫

- 一、於線上維修執行前，核對不可維修或測試的系統（含對應之複置串／設備）均可用並進行管制。
- 二、線上維修期間，若發現系統不可用時，依運轉規範規定及相關程序書處理，並應立即評估是否停止線上維修，恢復 RHR 泵 A 台為可用。
- 三、工作前應召開工具箱會議並依現場工作評估之結果將可能影響機組運轉及核安、工安、輻安等問題，列入本次 RHR 泵 A 台線上維修應注意事項，作為工作人員遵循之依據。
- 四、若在線上維修執行前，經確認有不適合線上維修執行的狀況發生時（例如颱風即將來臨），為安全起見，則順延此線上維修案，必要時取消此線上維修案。

五、工安要求

(一)本次線上維修檢修內容(相關程序書 706.1、755.1、606.2.1)

並無潛在危害工作，(二)此次線上維修並無預期工安問題，若維修期間發生臨時涉及潛在危險(如高架作業)應依據程序書105(人員與設備安全)申請核可，涉及動火作業應依據程序書105.17(動火許可申請)申請核可，(三)一般工安注意事項如下：

- 1.工程檢驗員及承攬商之安衛管理員應確實執行安全檢查及掌握輪班人員身心狀況，並督促所屬依作業需求使用相關安全護具。
- 2.高架作業應架設施工架，並配帶安全帶，補助繩等適當防護措施。
- 3.電氣作業應確實停電，並做檢電、確認，無電時方可作業，必要時要做好接地保護措施。
- 4.因維修需求，移開欄杆、鐵格板等固定物時，應採取警戒圍籬措施；完工後需立即回裝復原。

六、輻安要求

依據程序書 125「線上維修合理劑量抑低(ALARA)作業規範流程」對本項工作可能接受之劑量進行評估，以確保本次線上維修符合 ALARA 的精神。相關作業事項如下：

(一) 線上維修作業期間，將 RHR 泵 A Corner Room 列為管制專區，避免非工作人員進入，(二) 系統洩水時，禁止直接洩至地面，防止污染擴散，(三) 泵拆解時，須逐件除污，以降低輻射及污染，並保持工作區乾燥及低污染，(四) 設備之開口及管閥之開口須封閉，以防異物入侵及污染擴散，(五) 若須電焊、

研磨或加熱時，須搭設工作棚，人員須配戴呼吸防護面具，(六)現場背景輻射稍高，非必要不得逗留現場，(七)配合廢棄物減量，發包作業時須依核一廠作業程序書 977 提送表 977-1 「乾性放射性廢棄物產生量控制及防治污染計劃表」。

七、其他事項

本次線上維修之人力規劃，同時亦針對相關維護人員及承包商，以加強其訓練或檢定其資格。相關人員的訓練及要求分述如下：

(一)運轉人員：經由定量安全評估的結果，顯示本次線上維修工作對各種風險指標如：爐心熔毀機率 (CDF) 及爐心熔毀機率增量 (CDP) 等之影響非常小，因此運轉人員並無增加額外訓練之需求，但仍將由值班工程師加強宣導。

(二)維護人員：本次作業因屬機組正常運轉期間，人力調配較為充裕，故優先選擇最近大修曾執行 RHR 相同維修之人員執行此次線上維修，並視需要事先執行現場查看與工作模擬。

(三)承包商之維修人員：依核一廠 133 程序書「核一廠承包商各類技術工作人員資格檢定程序」檢定合格。

本次線上維修之相關照片



工作現場舉行工具箱會議



工作人員進入現場，拆卸馬達與泵間之 COUPLING



工作人員除污



拆除第一級動葉輪



封進出口盲板



泵出口管焊道及第一級葉輪進口頭支件 PT 檢測



量測各零件運轉間隙及泵上、下軸直度(一)



量測各零件運轉間隙及泵上、下軸直度(二)



回裝第一級動葉輪



包商自行召開工具箱會議



組裝上軸及連軸器



泵與馬達之連軸器組裝及機械軸封壓縮量設定完成