

主題視察報告

核四廠接地系統之探討

行政院原子能委員會核能管制處
中華民國九十三年十月二十六日

目 錄

壹、前言	1
貳、接地系統之概述	1
參、核四廠接地系統之規劃	2
肆、結論	5
附圖	6
附件 核四廠發電廠區接地網設計圖	8

核四廠接地系統之探討

壹、前言

台電公司於八十八年三月十七日取得原能會核發之核四建廠執照後，於同年即全面展開核四建廠工程，其後歷經核四再評估、停建及復工。在此期間，並造成核四工程進度落後，使得電氣設備之採購及安裝時程之延宕。整體上，主要電氣設備仍在設計、圖說之審查及製造中，預定於明（九十四）年陸續交運並展開安裝作業。由於電氣設備尚未進行安裝作業，本次乃就核四廠接地系統之規劃及設計進行探討。接地系統為非安全有關之系統，且依品質等級分類為G級，但其規劃、施作是否周延，潛在影響人員安全及日後電氣與儀控設備運轉之穩定性，本次主要以初期安全分析報告（Preliminary Safety Analysis Report, PSAR）之承諾、接地系統設計文件及現場施作之品質文件查證等項目進行探討。

貳、接地系統概述

接地之目的在防止人員發生感電並穩定電力系統之運作功能，接地系統之設計基於人員安全，必須考慮發生最大故障電流時，人員所能承受之接觸電壓（Touch Voltage）與步間電壓（Step Voltage）。人體所能承受之接觸電壓係指被接地之結構物若通過接地電流時，其接地電極所產生的異常電壓，在人體接觸下不會造成危害。而人體所允許之步間電壓則指在雷擊突波或故障電流導致接地電極產生之異常電壓，於人體兩足間所產生之電位差，不會危害人員安全。至於設備安全則必須考慮接地電位上升（Ground Potential Rise, GPR），以避免雷擊或開關突波導致接地電位上升，而危及設備安全。

核四廠接地系統分為系統接地、設備接地、儀控（信號）接地及避雷接地等系統，系統接地主要為發電機及變壓器之中性點接地，以防止高、低壓之混觸，避免危及人員及設備之安全；設備接地主要為結構體、機械設備及電氣設備等外殼鐵構非帶電部份之接地，以防止電氣設備絕緣劣化發生漏電時，產生之異常電壓造成人員感電；儀控接地系統主要將雜訊能量釋放至大地之接地系統，以隔離雜訊避免影響儀器及電腦系統之運作；避雷接地系統為防止發生雷擊突波時，因接地電位上升，而造成電氣設備絕緣破壞及危害人員安全。

核四廠接地系統由系統接地、設備接地、儀控（信號）接地及避雷接地等

組成並連接至廠區接地網，廠區接地網依據 IEEE Std-80（交流變電站接地安全指引）、IEEE Std-665（電廠接地網指引）及 IEEE 1050（電廠儀控設備接地指引）規劃設計。全廠區接地網由發電廠區及開關場區接地網所組成，發電廠區及開關場區之接地網係環繞一、二號機廠房及開關場四周深 60 公分處，由裸銅線及接地棒以矩形方式鋪設形成接地網，並依據 PSAR 要求將二區接地網連結一起，使全廠區形成一共同接地網，以降低全廠區接地網之總接地電阻值。

參、核四廠接地系統之規劃

一、接地系統 PSAR 之承諾

核四廠接地系統分別由儀控接地、設備接地、避雷接地及接地網所組成，龍門計畫 PSAR 第八章 8.A.1 節中對個別系統之要求敘述如下：

（一）儀控接地部份

儀控接地系統由一匯流排及電纜構成輻射網路，必須以單點方式連接至廠區接地網，且在未連結至廠區接地網前須與其他接地系統相互絕緣，儀控接地主要提供類比元件（電熱偶、轉換器、RTD）及數位元件（電驛）之接地。

（二）設備接地部份

設備接地係將主要設備、結構物及貯存槽等非帶電部份進行接地，並使用對角方式接地。至於開關設備、馬達控制中心及控制盤等，必須至少使用二條電纜連結至接地網。另，廠區之電氣管道必須連接至接地網。

（三）接地網部份

廠區接地網由發電廠區及開關廠區之接地網所組成，接地網則由接地棒及裸銅線以矩形方式埋設於地面深 60 公分處，且必須在廠區發生最大故障電流時，其步間電壓及接觸電壓均能符合安全值。另對廠區接地網外環接地導線必須使用 500MCM（ 253mm^2 ）之裸銅線。

（四）系統接地部份

系統接地主要有發電機中性點接地、345kV/161kV 系統及中、低壓系統之接地，核四廠發電機中性點採用阻抗接地方式，以限制最大故障之相電流小於三相故障之電流值。345kV/161kV 系統之變壓器則採用避雷器接地方式，中、低壓之變壓器使用低電阻接地或直接接地方式，降低系

統之故障電流，以利系統保護協調之設定。

(五) 避雷接地部份

核四廠結構體必須裝置避雷設備以避免電氣及儀控設備遭受雷擊，避雷系統使用避雷針 (Air Terminal) 及接地電極等須與接地系統隔離，儀控電纜連接至戶外需裝設突波吸收器 (Surge Suppression Devices)，以防止雷擊之感應電壓。

(六) 反應器廠房、汽機廠房、控制廠房、開關設備室及廢料廠房接地電阻值之目標值應 $\leq 1\Omega$ ，且電廠接地網、開關場接地網及接地棒等之接地電阻值必須綜合計算，若綜合值未達目標值則須適當改善以符合要求，另須依據 IEEE 81 (接地系統土壤電阻、接地阻抗及接地電位量測指引) 準則，就廠區接地網進行量測接地電阻值。

二、核四廠接地網之規劃及設計

核四廠接地系統係由石威 (Stone & Webster) 公司進行規劃設計，該公司依提送審查核可之「06888-OR41-3000 接地及避雷系統設計準則 (Grounding and Lightning Protection Criteria)」進行接地設計之依據。廠區接地網之設計石威公司依據 IEEE 665-1995 指引進行發電廠區及開關場區之接地網設計，並提送「06888-OR41-3103 電力站接地網設計計算書 (Station Ground Grid Design Calculation)」供台電公司接地系統安裝參考。其計算書之設計依據如下：

- (一) 因廠區接地網埋設於地下 60 公分處，所以大地土壤電阻係數採用深 1.5 公尺之電阻係數設計，其發電廠區電阻係數為 $55.96\Omega\cdot m$ ，開關場區電阻係數為 $40.15\Omega\cdot m$ 。
- (二) 廠區最大故障電流以 345kV 斷路器之額定啟斷電流容量為 63kA 設計。
- (三) 故障電流通過期間，以台電公司 345kV 及 161kV 系統之保護協調的後衛保護清除期間 19cycle 為設計依據，所以電流通過期間以 0.32 秒設計。
- (四) 廠區接地網之接觸電壓及步間電壓，以人體 50 公斤重所能承受之經驗公式設計。
- (五) 全廠區接地網由發電區及開關區二處所組成，為降低接地電流所引起二接地網間之電位差，將全廠區保持相同接地電壓上升 (GPR) 值，以確保設備安全。

接地網計算書之設計結果如下：

(一) 依計算書全廠區總接地電流為 63kA，發電廠區接地網接地電流約為 42kA，開關場區接地網接地電流約為 21kA。各接地網及全廠區接地網之接地電壓上升均為 1306V。

(二) 發電廠區接地網設計值

1. 接地網由長 465 公尺× 寬 387.5 公尺，且分別由 31 根（長邊）導體及 26 根（寬邊）導體以間隔 15.5 公尺矩形網狀方式組成，接地網導線採用 4/0 AWG (107.2 mm^2) 裸銅線設計。
2. 接地棒使用 57 支，直徑為 19mm、長 3 公尺。
3. 依接地電流 (42kA) 及通過期間 (0.32 秒) 人體所能承受之接觸電壓為 222V 及所能承受之步間電壓為 273V。
4. 接地電阻為 0.063Ω 、網路電壓為 218V、步間電壓為 87V。

(三) 開關場區接地網設計值

1. 接地網由長 348.5 公尺× 寬 61.5 公尺，且分別由 18 根（長邊）導體及 4 根（寬邊）導體以間隔 20.5 公尺矩形網狀方式組成，接地網導線採用 4/0 AWG (107.2 mm^2) 裸銅線設計。
2. 接地棒使用 22 支，直徑為 19mm、長 3 公尺。
3. 依接地電流 (21kA) 及通過期間 (0.32 秒) 人體所能承受接觸電壓為 691V 及所能承受之步間電壓為 2150V。
4. 接地電阻為 0.126Ω 、網路電壓為 364V、步間電壓為 19V。

(四) 發電廠區與開關場區接地網以並聯連接，全廠區總接地電阻為 0.042Ω 。

綜合上述及廠區接地設計圖（附件一），其接地網外環接地線以 500MCM (253 mm^2) 裸銅線及網內接地線以 107.2 mm^2 裸銅線埋設於地下 60 公分處，符合 PSAR 之要求。全廠區總接地電阻值為 0.042Ω ，符合 PSAR 要求各廠房接地電阻目標值小於 1Ω 以下之要求。

三、接地系統現場安裝查證

核四工程目前主要進行廠房結構體施作，廠區接地網尚未進行施工，施工處預定於九十三年底將「廠區接地網安裝工程」公告招標，明年六月展開相關安裝作業。依工程進度，接地系統工程之施作主要為配合廠房結構工程之設備接地之接地線預埋作業（照片一、二）。施工處依據「LMP-ELD-007 接地與避雷系統檢驗作業程序書」查驗承包商施作之接地線，該程序書主要檢驗項目有接

地電阻量測、接地線接頭火泥熔接處理、接地棒之埋設、接地墊板埋設及避雷系統等安裝檢驗。由於工程進度延宕，主要接地系統尚未展開，目前以檢查接地線接頭火泥熔接處理及接地墊板埋設等項目。查閱九十三年七月二十日一號機反應器廠房 EL+4800 之接地系統安裝檢驗之品質文件，由於該樓板混凝土澆置前必須完成接地線檢查，承包商新亞公司就接地線自主檢查於九十三年七月十九日完成後，經由電氣課及品質課在九十三年七月二十日就接地導線及連接接頭等進行檢驗合格。本次查閱之接地及避雷系統安裝檢驗表主要施作項目為設備外部未帶電之鐵構接地，並依規定以對角方式預埋接地線（照片二），其接地線使用 4/0 AWG (107.2 mm^2) 之裸銅線。承包商在混凝土澆置時，用帆布包紮裸銅線避免遭混凝土污染（照片三、四）。

肆、結論

核四廠之各接地系統均連接至共同接地網，由於全廠區總接地電阻值甚低，若發生短路故障時，其接地電壓上升應不致損壞設備絕緣。且全廠區二處接地網連結在一起，可避免接地網之間產生接地電位差（Ground Potential Difference）。而接地網設計計算書係依據 IEEE 665 提供之相關經驗公式進行規劃設計，由於該指引對於每一方向之平行導線超過 25 根以上，建議保守使用所提供之經驗公式。在發電廠區接地網之每一方向平行導線分別為 31 及 26 根導線組成，且廠區所能承受之接觸電壓為 222V，而接地網之網路電壓達 218V，其餘裕略顯不足。此外，該計算書之接地電流係以 345kV 斷路器額定啟斷電流值（63kA）為基準而設計，且並未考慮未來系統之成長，故日後更換斷路器時，必須重新評估接地系統之相關設計值，建議台電公司應再考量預留餘裕。

核四接地系統主要工程尚未進行施作，為確保接地系統達到安全防護之目的，對於接地電阻之量測施工處應規劃完整測試計畫，以達設計之要求。另，對於雷擊和開關突波含有高頻成分，無法以傳統接地電阻分析，必須以接地線之分佈電感及電容分析高頻之影響，而分佈電感及電容之參數與接地網幾何配置有關。所以未來接地網施工，除確保接地電阻值符合設計值外，其接地網之幾何配置亦是相當重要。

註：如對本報告有任何疑問，請洽本會黃智宗科長，Tel：02-2232-2140



照片一：一號機反應廠房東側牆之預埋接地線



照片二：一號機反應廠房 EL-1700 之預埋接地線



照片三：一號機反應廠房 EL+4800 之預埋接地線（一）



照片二：一號機反應廠房 EL+4800 之預埋接地線（二）

