

NRD-SER-115-07

核一廠除役用過燃料池燃料吊運事故(FHA)分析

安全審查報告

核能安全委員會

中華民國 115 年 5 月

目 錄

前言.....	1
第一章 簡介.....	2
一、概述.....	2
二、審查依據與範圍.....	2
第二章 核一廠除役過渡階段燃料移出爐心後之 FHA 分析評估.....	3
一、概述.....	3
二、審查發現.....	3
2.1 適用時機、定義與法規接受準則.....	3
2.2 分析程式之驗證、節點設定與品質保證.....	4
2.3 事故情境假設與源項衰變計算.....	4
2.4 釋放路徑與系統過濾功能.....	5
2.5 大氣擴散因子評估.....	6
2.6 輻射劑量計算結果與方法論.....	6
三、審查結論.....	7
第三章 審查總結.....	8

前 言

核能安全委員會(以下簡稱本會)於113年8月29日接獲台電公司提出「核一廠除役技術規範(Defueled Technical Specification, DTS)及除役安全分析報告(Defueled Safety Analysis Report, DSAR)」持照基準文件送審，原除役過渡階段前期安全分析報告(PDSAR)第十五章事故分析已包含爐內仍有核子燃料可能發生燃料吊運事故(Fuel Handling Accident, FHA)內容，本次為因應除役過渡階段後期爐心核子燃料全部退至用過燃料池之事故分析，因此，台電公司再針對僅用過燃料池有核子燃料可能發生相關事故提出FHA分析報告送審。

本次台電公司所提「核一廠除役用過燃料池燃料吊運事故(FHA)分析」報告乃考量核一廠1、2號機已進入除役過渡階段後期，其反應爐爐心核子燃料已全數移至用過燃料池。為評估在此特定組態下，發生FHA對環境及人員之影響，並參考國外核能電廠於永久停止運轉進入除役過渡階段期間之管制作法，以因應核一廠除役過渡階段安全管制之需要。

核安會為周延「核一廠除役用過燃料池燃料吊運事故(FHA)分析」報告審查，本會邀請核能安全分析、核能電廠系統及核子反應器安全管制相關領域的學者專家及本會同仁，共同組成審查專案小組，針對分析方法、程式品質保證、氣象資料更新、輻射源項及劑量計算邏輯等進行嚴格審查。

經本會程序審查確認其送審文件之完整性後，進入實質審查程序。審查專案小組檢視內容是否適用於除役過渡階段後期，核一廠FHA分析報告歷經三回合審查會議及5次審查意見嚴密審查後，專案小組共計提出25項審查意見，依法規標準及專業判斷，確認台電公司已針對各項提問進行詳細說明並適當修正報告。綜合審查專案小組審查結果，台電公司已就核一廠除役過渡階段核子燃料移出爐心後之FHA分析提出適當評估與說明，分析結果亦符合相關法規要求，經審查可以接受。

第一章 簡介

一、概述

本案燃料吊運事故(Fuel Handling Accident, FHA)分析報告係因應核一廠於除役過渡階段後期，爐心核子燃料全部退出，移至用過燃料池存放期間，發生 FHA 之輻射劑量分析進行審查。台電公司為模擬用過燃料池所在之燃料台車吊運 1 束核子燃料發生墜落意外時，在二次圍阻體未封閉且備用氣體處理系統(Standby Gas Treatment System, SGTS)不可用，以及控制室為正常通風取氣之最保守情況下，對廠外民眾及控制室人員之輻射劑量是否符合法規標準。

二、審查依據與範圍

台電公司核一廠除役期間用過燃料池 FHA 分析報告，主要參考美國之標準審查計畫(Standard Review Plan, SRP)15.7.4 及法規指引(Regulatory Guide, RG)1.195 的規定，FHA 造成的禁制區(Exclusion Area Boundary, EAB)與低人口密度區(Low Population Zone, LPZ)外圍邊界人員劑量接受標準為美國聯辦法規 10 CFR 100.11 劑量限值的 25%，也就是體外曝露之全身劑量小於 62.5 毫西弗，來自放射性碘之吸入性甲狀腺等價劑量小於 750 毫西弗。在控制室包封(Control Room Envelope, CRE)輻射劑量分析方面，事故期間接受之輻射劑量則應符合美國聯辦法規 10 CFR 50 Appendix A GDC-19、標準審查計畫 SRP 第 6.4 節及「核子反應器設施安全設計準則」的劑量接受標準。審查範疇包含：

1. 輻射源項(Source Term)之衰變計算。
2. 近五年(108-112 年)廠址氣象數據與大氣擴散因子(χ/Q)之法規符合性。
3. 廠外民眾及控制室人員之輻射劑量計算方法論。

第二章 核一廠除役過渡階段燃料移出爐心後之 FHA 分析評估

一、概述

本案主要針對台電公司所提「核一廠除役用過燃料池燃料吊運事故(FHA)分析報告」，包括簡述、事故分析結果可接受條件、分析方式、假設條件、FHA 之 RADTRAD 分析模式、FHA 之 RADTRAD 輸入參數、CRE 人員劑量計算模式、輻射劑量計算結果等八大要項，有關除役過渡階段於用過燃料池發生 FHA 分析評估內容進行審查，以確保廠外民眾及控制室人員之輻射劑量能符合法規要求。

本案分析基準為參考美國核管會 RG 1.25、RG 1.195，及核一廠 PDSAR 15.1.30.2.2、Chinshan Fuel Handling Accident Analysis for ATRIUM-10 專題報告、「核一廠設計基準事故輻射劑量分析方法論(圍阻體外主蒸汽管破裂事故、燃料吊運事故、控制棒掉落事故)」及「核一廠除役過渡階段控制室包封內漏率允許限值分析報告」相關內容。

本案分析結果，在停機時間超過 3 年，若發生 FHA，並保守假設二次圍阻體未封閉且備用氣體處理系統(SGTS)過濾功能不可用及控制室為由正常通風系統取氣，即未考慮控制室緊急通風過濾系統運轉，控制室人員、廠外民眾事故劑量皆能符合法規限值。

二、審查發現

本章共提出 25 項審查意見，經審視台電公司所提答覆說明與報告修訂內容後，所有審查提問均已釐清且經委員複審同意結案。重要審查發現如下：

2.1 適用時機、定義與法規接受準則

本案就適用時機、定義與法規接受準則進行審查，審查意見為：(1)請台電公司確認本報告是否需待 2 號機於 115 年進入除役過渡階段後期才同時適用；(2)請台電公司明確定義「除役過渡階段後期」之具體範疇；(3)請

台電公司補充說明廠外與控制室人員劑量之具體接受準則。

台電公司答覆：(1)本分析係針對機組爐心核子燃料全數移出後之情境。若 1 號機先行完成，則 1 號機可先行適用；2 號機於核子燃料未完全移出前，仍須遵循原 PDSAR 規範。待兩機組皆完成移出後，始共同適用本分析；(2)台電公司澄清明確界定「除役過渡階段後期」，係指自運轉執照屆期後至核子燃料全數移入乾式貯存設施完成前，且特別限定於「爐心無核子燃料」之組態；(3)廠外 EAB(2 小時)及 LPZ(事故期間)之劑量準則依據 10 CFR 100.11(體外全身 250 mSv、甲狀腺 3000 mSv)之 25%；控制室人員則遵循 GDC-19 準則(總有效劑量 TEDE 50 mSv、甲狀腺 300 mSv)。

經審查台電公司答覆說明及分析報告修正之內容，審查結果可以接受。

2.2 分析程式之驗證、節點設定與品質保證

本案就分析程式之驗證、節點設定與品質保證進行審查，審查意見為：(1)請台電公司說明 RADTRAD、PAVAN、ARCON96 等程式之版本驗證與軟體品質保證；(2)請台電公司提供 RADTRAD 分析模式之節點分布細節。

台電公司答覆說明：(1)經確認採用之程式均為美國核管會(US NRC)開發之業界標準軟體(如 RADTRAD v3.03)，其方法論已獲本會核備(詳見 NRD-SER-106-12)，具備技術一致性與可靠度；(2)分析模型建立三個主要節點：環境、二次圍阻體、控制室，並詳細設定其間之傳遞體積流率與過濾效率，本案則保守假設為 0。

經審查台電公司答覆說明及分析報告修正之內容，審查結果可以接受。

2.3 事故情境假設與源項衰變計算

本案就事故情境假設與源項衰變計算進行審查，審查意見為：(1)請台電公司說明分析採停機後 3 年及 4 年，是否具備保守性；(2)請台電公司說明 186 根燃料棒損壞之假設依據，以及分析核子燃料墜落之位能計算位置為何。

台電公司答覆說明：(1)本案以停機時間較短(核種活度較高)的 2 號機為基準進行分析。由於 1、2 號機停機時間點接近，採此基準能獲得較高之衰變熱與源項活度，具保守性；(2)參考美國核管會 RG 1.183 並假設吊運中之 1 束燃料組件全數損壞。核一廠採用 Framatome 公司的 186 根 ATRIUM-10 燃料棒破損作為分析標的，此全損假設已遠高於實際力學評估之損壞比例；(3)本案保守評估燃料墜落於反應爐爐心上方之位置(位能最高處)，相較於墜落在用過燃料池底部，能產生最大之衝擊破壞能量與核種釋放。

經審查台電公司答覆說明及分析報告修正之內容，審查結果可以接受。

2.4 釋放路徑與系統過濾功能

本案就釋放路徑與系統過濾功能進行審查，審查意見為：(1)請台電公司釐清二次圍阻體是否維持負壓，若 SGTS 不可用，放射性物質如何釋放；(2)請台電公司說明核種外釋之時間假設；(3)請台電公司說明碘核種除污因子之計算基準。

台電公司答覆說明：(1)本案分析假設二次圍阻體不具備負壓功能，即 SGTS 不可用，放射性物質由二次圍阻體之「地面排放路徑」直接釋出。此情境不考慮二次圍阻體之圍阻效果，係屬最惡劣之釋放條件；(2)依據美國核管會 RG 1.183，假設所有由池水中釋出之核種在事故發生後 2 小時內完全外釋至環境；(3)依據美國核管會 RG 1.195，在兩條件下，碘核種之總除污因子(包含元素碘與有機碘之比例加權計算)可設為 200。本次送審 FHA 分析符合上述兩個條件，然而，台電公司依據美國核管會 RG 1.25，將碘核種除污因子設為 100。對劑量分析而言，較小的除污因子較保守，因此，FHA 分析中碘核種除污因子的假設符合法規要求。

經審查台電公司答覆說明及分析報告修正之內容，審查結果可以接受。

2.5 大氣擴散因子評估

本案大氣擴散因子(χ/Q)評估進行審查，審查意見為：(1)請台電公司確

認氣象資料是否包含風速、風向及大氣穩定度；(2)請台電公司補充說明控制室在建築物尾流效應下之最高 χ/Q ；(3)請台電公司確認 EAB 及 LPZ 之具體計算距離。

台電公司答覆說明：(1)本案分析已依審查意見修正採用民國 108 年至 112 年之近 5 年數據，已包含完整的地面與高空風場資訊，符合美國核管會 RG 1.23 對時效性之要求；(2)本案利用 ARCON96 程式，考慮電廠建物之橫截面積與高度，計算出控制室各個入風口之 χ/Q 。分析結果採各時段中之最高值作為劑量評估輸入；(3)經本案確認採用電廠現行之地理邊界，EAB 與 LPZ 距離均符合現行執照基礎。

經審查台電公司答覆說明及分析報告修正之內容，審查結果可以接受。

2.6 輻射劑量計算結果與方法論

本案輻射劑量計算結果與方法論進行審查，審查意見為：(1)請台電公司詳列廠外人員劑量之計算公式及參數；(2)請台電公司確認在無 SGTS 過濾下，控制室人員接受到劑量是否符合法規要求；(3)分析報告表 8、表 9 之劑量單位及核種代碼有誤植情形。

台電公司答覆說明：(1)本案分析採用廠外人員劑量之計算公式及參數包含甲狀腺等價劑量及體外全身劑量，其中甲狀腺等價劑量計算公式所使用參數包括累積活度(A)、劑量轉換因子(DCF)，大氣擴散因子(χ/Q)及呼吸率(BR)。另體外全身劑量計算公式，則考慮核種在空氣中對人員之照射影響；(2)本案分析顯示，停機 3 年狀況下，控制室人員 TEDE 劑量為 0.0195 mSv，遠低於 50 mSv 之法規限值，主要原因是機組長期停機，核子燃料內放射性核種活度已降低許多；(3)已依審查意見修正劑量單位及核種代碼。

經審查台電公司答覆說明及修正之內容，審查結果可以接受。

三、審查結論

綜合以上審查結果，針對台電公司所提送審報告包括前述八大要項，有關除

役過渡階段發生 FHA 分析評估內容進行審查，以確保廠外民眾及控制室人員之輻射劑量能符合法規要求。

經就台電公司送審報告內容及對審查小組提問之答覆內容進行審查，審查結果可以接受。

第三章 審查總結

綜合本會審查專案小組就台電公司因應除役過渡階段後期之機組狀態，以及仍暫存於核一廠核子反應器設施內核子燃料安全需求，修訂所提送之核一廠除役過渡階段核子燃料移出爐心後之FHA分析報告，台電公司已針對25項審查意見補充說明，並提供佐證資料或修訂報告內容，審查結果可以接受。以下摘述重要審查結果如下：

- 一、分析方法與程式之法規符合性：台電公司採用之 RADTRAD、PAVAN、ARCON96 分析模式及近五年氣象資料更新，均符合所參照美國核管會相關法規指引與標準審查計畫，其軟體品質保證符合要求，審查結果可以接受。
- 二、假設條件之保守性：本案分析假設二次圍阻體未封閉、SGTS 不可用且採地面排放之情境。同時，輻射源項計算與核子燃料損壞根數(186 根)之設定，已涵蓋除役過渡階段之最大風險態樣，審查結果可以接受。
- 三、輻射劑量之符合性：所有計算結果，包含控制室人員及廠外民眾劑量，均低於法規劑量限値之 25%以下，證明核一廠在核子燃料全部移出爐心，置於用過燃料池期間，其 FHA 意外事故之輻射影響符合規定，審查結果可以接受。

綜上所述，本會認為台電公司所提「核一廠除役用過燃料池燃料吊運事故(FHA)分析報告」及修正內容已提出適當評估與說明，FHA安全分析結果亦符合相關法規要求，審查結果可以接受。