

# 核三廠二號機第十六次大修圍阻體廠房碘-132 污染 事件調查報告

## 一、前言

核三廠二號機第十六次大修，自 95 年 10 月 16 日開始預定至 11 月 24 日結束，工期為期 40 天。10 月 22 日至 10 月 24 日燃料吊運作業期間，圍阻體廠房內空氣中 I-132（半衰期 2.26 小時）濃度明顯升高，雖仍遠低於法規限值，但 50 餘位工作人員受到體外輕度污染，需於清洗除污後始得離開輻射管制區，導致若干員工與包商情緒不滿，甚至訴諸媒體。

核電廠大修期間本會均派員駐廠稽查並加強安全管制，本會自始即已密切掌握本事件之發展與處理情形，並未發現違反法規或輻射安全問題。本會輻防處於媒體批露前獲得核三廠保物課及本會駐廠視察員電話通知，隨即發備忘錄要求核三廠加強圍阻體空氣之監測、過濾，以及水質淨化，加強工作人員之防護裝備且應積極與員工溝通說明。此外，為徹底瞭解本事件之原委，澄清社會大眾疑慮，輻防處奉示進行事件調查。

## 二、事件經過：

1. 10月16日 01:57 核三廠二號機停機進行第16次大修。
2. 10月20日 14:00 完成反應爐水除氣及除碘作業 ( $Xe-133 < 5 \times 10^{-2} \mu Ci/ml$ ,  $I-131 < 5 \times 10^{-3} \mu Ci/ml$ ), 進行反應爐開蓋。
3. 10月22日 15:30 開始進行燃料吊運作業。
4. 10月23日 03:00 圍阻體廠房輻射偵檢器 (RT-423) 之 I-131 量測值達  $1.5 \times 10^{-8} \mu Ci/ml$ , 超過警戒值  $1.26 \times 10^{-9} \mu Ci/ml$ 。現場抽氣取樣空氣濃度 I-131 及 I-132 分別為 17 貝克/立方公尺及 138 貝克/立方公尺, 低於戴碘濾罐呼吸防護面具之標準(推定空氣濃度 DAC 限值, I-131: 700 貝克/立方公尺, I-132:  $1 \times 10^5$  貝克/立方公尺)。當日及 10月24日吊運燃料人員出輻射管制站時, 發現輕便型防護衣有污染, 部份人員進行洗澡除污。
5. 10月24日 21:30 燃料棒全部移出後, 大量工作人員進入圍阻體工作, 工作結束後遭到 I-132 污染, 需洗澡除污人數大幅增加, 且工作人員留置處理的時間拉長, 致使工作人員的情緒浮躁。
6. 10月25日至 10月26日中央寒水系統 (chilled water system) 停止運轉, 執行例行的大修維修工作, 但廠房通風系統之活性炭床及高效率過濾器 (HEPA) 仍持續運轉。圍阻體通風系統因無寒水冷卻, 只能維持通風而無冷氣, 造成圍阻體內溫度上升, 工作人員情

緒受影響外，吸附於工作人員防護衣表面之 I-132 隨汗水滲透進入皮膚毛細孔，而造成污染，需洗澡除污人數也隨之增加。

7.10 月 26 日媒體以電話向核三廠詢問相關人員污染訊息，核三廠隨即發布新聞稿說明。

8.10 月 27 日寒水系統檢修作業完畢，恢復圍阻體冷氣供應，此時廠方要求進入圍阻體工作人員需著不透氣之防護衣及配戴碘濾罐呼吸防護面具。完成以塑膠布覆蓋燃料更換池，另以用過燃料淨化系統淨化燃料更換池水，降低水中 Te-132 活度。

9.10 月 30 日 08:00 圍阻體 I-132 空氣濃度已降至 500 貝克/立方公尺以下。統計本次事件，污染值大於 30cps 需登錄者有 72 人，其中需洗澡除污者有 59 人。

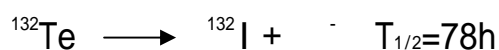
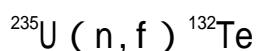
### 三、事件調查分析

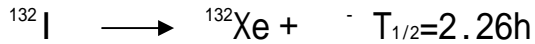
#### 1. I-132 生成機制：

二號機於 94 年 6 月機組運轉中，即發現並評估有一根燃料棒發生破損，依核三廠以往經驗，燃料棒有破損時，反應爐開蓋前需將爐水中 I-131 濃度除至  $5 \times 10^{-3} \mu\text{Ci/ml}$  以下，以確保工作人員劑量合理抑低。大修時依照作業程序書進行爐水除氣及除碘作業，I-131 濃度已依規定除至標準以下。

然因此次燃料棒破損可能較為顯著，於燃料吊運過程，受損燃料受到擾動導致積存在燃料棒內的分裂核種 Te-132 大量釋出，造成其子核 I-132 之空氣濃度升高。核三廠以往無此經驗，故未追蹤掌握 I-132 及其母核種 Te-132 在爐水中的變化情形。由於爐水中 Te-132 活度偏高，且 Te-132 半衰期達 78 小時，故 I-132 和 I-131 比較，會有延遲釋出現象，因此反應爐開蓋後，圍阻體內空氣的 I-132 濃度即逐漸升高(最高 3068 貝克/立方公尺)，雖未達戴碘濾罐呼吸防護面具標準，但因附著在工作人員防護衣及身體皮膚表面而造成污染。

Te-132 為 U-235 分裂核種，經  $\beta^-$  衰變成 I-132，半化期為 78 小時，I-132 半化期 2.26 小時，經由  $\beta^-$  衰變成 Xe-132(穩定核種)。





## 2. 反應爐水質分析 ( I-131、Te-132、 I-132 濃度 )

大修自 10 月 16 日解聯後，10 月 17 日上午 11 時 30 分依照程序書 861 規定開始進行除鈷作業，此時水中 I-131、Te-132 及 I-132 濃度分別為  $5.34 \times 10^{-4}$ 、 $1.04 \times 10^{-3}$  及  $1.23 \times 10^{-2}$   $\mu\text{Ci/ml}$ 。10 月 18 日開始依照 866 程序書進行除放射性氣體及碘作業，此時水中 I-131、Te-132 及 I-132 濃度分別為  $9.61 \times 10^{-2}$ 、 $8.03 \times 10^{-4}$  及  $6.51 \times 10^{-3}$   $\mu\text{Ci/ml}$ ，水中 Te-132 及 I-132 濃度與以往大修前數值比較偏高。10 月 20 日下午 2 時水中 I-131 濃度達  $4.98 \times 10^{-3}$   $\mu\text{Ci/ml}$ ，已符合程序書規定小於  $5 \times 10^{-3}$   $\mu\text{Ci/ml}$ ，即進行反應爐開蓋作業。10 月 21 日開蓋後，水中 I-131、Te-132 及 I-132 濃度分別維持在約  $10^{-3}$ 、 $10^{-5}$  及  $10^{-4}$   $\mu\text{Ci/ml}$  以下。

## 3. 圍阻體 I-132 空浮濃度變化情形

二號機第十六次大修於 95 年 10 月 15 日開始降載，10 月 16 日解聯，10 月 22 日至 10 月 24 日進行燃料吊運作業。圍阻體 148 呎處之 I-132 空浮濃度，從 10 月 16 日開始維持在 100 貝克 / 立方公尺以下，到了 10 月 23 日空浮濃度突然間升高至 3068 貝克 / 立方公尺(仍低於推定空氣濃度值  $1 \times 10^5$  貝克 / 立方公尺)，此時正值燃料吊運期間，吊運之工作人員數十人因而受到體外污染。10 月 27 日後因實施

燃料更換池覆蓋塑膠布及用過燃料池淨化系統來淨化燃料更換池水措施，I-132 空浮濃度於 10 月 28 日降到 1000 貝克 / 立方公尺以下，11 月 2 日時碘-132 達 100 貝克 / 立方公尺以下。在這段時間內，I-131 之空浮濃度並未隨著燃料吊運而升高，始終維持在小於 100 貝克 / 立方公尺。

#### **4. 圍阻體內 I-132 濃度之抑低措施**

圍阻體廠房爐穴附近地面及設備擦拭後，使用多頻道分析儀（MCA）定性分析結果，未發現 Te-132 核種，顯示空浮應來自水中 I-132 所致。核三廠於 10 月 26 日開始在燃料更換池上方以塑膠布覆蓋，並加裝一組小型高效率過濾器，且以用過燃料池淨化系統來淨化燃料更換池水，空浮濃度從 1000 貝克 / 立方公尺降至 11 月 2 日之 100 貝克 / 立方公尺，恢復燃料吊運前之數值，故確認空浮來源為水中 I-132 揮發所致。

#### **5. 圍阻體廠房通風系統運轉**

核三廠圍阻體通風系統（HVAC）之空氣淨化分為高容積排氣系統（風量 40000CFM）與小容積排氣系統（風量 4000 CFM），其中高容積排氣系統之設計目的係當機組停機時大量人員進入圍阻體進行燃料更換或維護工作時，供給適當之通風，然經查核三廠於早年機組大修時曾於廠區內量到少量人工放射性核種，為避免造成環境影響與

環保爭議，因而採此取保守措施，長期停用高容積排氣系統，目前圍阻體通風僅使用有高效率過濾器及活性炭床放射性核種處理設備之小容積排氣系統。本次大修開始後圍阻體廠房通風系統之小容積排氣系統維持穩定運轉，其過濾串出風口量測平均風量統計約為4250CFM。10月25日8時起至10月26日22時止，進行寒水系統大修維修工作，圍阻體通風系統因無寒水冷卻，只能維持通風而無冷氣，圍阻體內溫度上升。圍阻體廠房氣體排放口於空浮事件發生該週（10月23日至10月29日）測得惰性氣體 Xe-133（ $3.45 \times 10^{10}$  貝克）及碘-131（ $10^5$  貝克）外釋於廠房外，與機組正常運轉時外釋數據相當。

## 6. 工作人員體內污染分析

該事件發生後，10月23日至10月25日間經清洗仍超過門框偵檢器登錄值30cps工作人員共計15人，立即進行全身計測及生化分析，全身計測結果皆未達紀錄基準；尿樣氙活度之生化分析共有3人略超過17.86千貝克/升之紀錄基準。

## 7. 污染工作人員體外劑量

72位於圍阻體廠房受到污染之工作人員，經調查當日電子劑量計最大讀值為0.7毫西弗，未達廠內日行政管制限制2毫西弗。

## 四、調查發現

### 1. 機組解聯前之爐水分析出現 Te-132 及 I-132 且濃度偏高

此次爐水之放射性核種分析發現分裂產物核種 Te-132 濃度較高，此與過去燃料破損時之分析數據不同，解聯前之水中濃度已達  $7.08 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$ 。此外，水中 I-132 濃度亦高於過去分析數據，達  $3.25 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/ml}$ 。

### 2. 二號機 EOC-16 與一號機 EOC-15 (燃料亦有破損) 之比較

從二號機 EOC-16 次大修前爐水分析結果可知，降載前水中已測得 I-132 及 Te-132，與過去一號機第十五次大修(燃料亦有破損)比較，本次大修前水中 I-131 與 I-132 活度比值為 0.04，一號機 EOC-15 活度比值為 0.2，故本次大修水中 I-132 活度較以往高十倍。除氣作業完成後 I-131 與 I-132 活度比值約等於 5，一號機 EOC-15 活度比值為 40，本次大修 I-131 與 I-132 水中濃度比值，不論是除氣前或除氣後，皆高於過去燃料破損分析數據 10 倍左右。過去燃料破損曾於水中量測到微量 Te-132，但本次大修測得之 Te-132 濃度偏高，推測此次燃料破損情形可能與以往不同。

### 3. 破損燃料吊運與空浮發生之關係

11 月 2 日執行燃料啜吸 (sipping) 檢查時，發現 Q148, M15 燃料測得分裂氣體計讀值較以往高，經超音波檢測並拍得照片，證

實該束燃料有破損，如圖 2。該束燃料之吊運時間為 10 月 23 日 11 時 30 分左右，而廠房 I-132 濃度陡升發生在 10 月 23 日三值(下午 4 時至 12 時)，從發生時間來看相當吻合。推測該束燃料吊運時造成水流擾動，Te-132 自燃料破損處外釋水中而使 I-132 釋放至圍阻體廠房空氣中。此可由燃料更換池覆蓋塑膠布後，空浮情形獲得明顯改善佐證之。

#### 4. 圍阻體通風系統空氣淨化系統功能未完全發揮

核三廠圍阻體通風系統之空氣淨化多年來均只使用小容積排氣系統(風量 4000CFM)，而未啟用高容積排氣系統(風量 40000 CFM)，圍阻體通風系統未正常使用充分發揮原設計功能。高容積排氣系統雖無高效率過濾器及活性碳床處理外釋氣體，但排放口之輻射監測器如量到高於警報值之放射性物質排放，即會關閉該系統之排放，改由小容積排氣系統處理後排放，防止輻射外釋於廠外，核三廠長期停用高容積排氣系統以避免可能之環保爭議，是否過於保守值得加以檢討。本次事件中，圍阻體內 I-131 與其他核種濃度並未偏高，而 I-132 濃度仍遠低於法規限值且為短半衰期，若能正常使用高容積排氣系統，依其每 1 小時完全更換廠房空氣之通風量，應有助於廠房空氣之淨化，進而有效降低工作人員污染之數量與程度。

## 5. 輻射管制作業檢討

10月24日發生數十位工作人員體外污染，未能通過管制站門框偵檢器之登錄值，當日該等工作人員於管制站進行除污，唯管制站工作空間狹小，且大部份工作人員清洗數次後，仍未能符合規定標準，導致工作人員大量滯留於管制站，引發其情緒不滿，顯示出核三廠應變經驗與能力不足。

## 6. 國外壓水式核能電廠 I-132 空浮之案例分析

國外壓水式核電廠發生 I-132 空浮之案例不多。根據英國核能主管機關 (HSE) 報告，壓水式核能電廠大修停機及酸性水質環境下，Te-132 氧化還原反應仍需深入研究，並與國際間相類似案例進行比較。核三廠此次 I-132 空浮發生時爐水正處於酸性狀態 (pH<5)，是否因此而加速誘發 I-132 之空浮情況值得注意。此外，美國加州 Diablo Canyon 核電廠 2003 年亦曾發生蒸汽產生器有 I-132 釋出，造成約 52 位工作人員輕微污染事件，該電廠未能及時在蒸汽產生器排放管路附近採取空氣樣品，以發現 Te-132 衰變為 I-132 機制。雖然工作人員之劑量均在 10mrem (0.1mSv) 以下，但美國核管會 (NRC) 認為電廠未執行輻射偵測以保障員工安全，故要求其提出改善措施。

## 五、結論與建議

1. 此次核三廠 I-132 空浮事件，72 位工作人員雖受到輕微污染，其中有 59 位需洗澡除污，但其輻射劑量很低並無安全顧慮，屬於輕微污染事件。惟因污染人數較多，且造成工作人員心理不安，仍應予以重視。
2. 圍阻體發生空浮濃度之最高值為 3068 貝克 / 立方公尺，仍遠低於法規之推定空氣濃度限值，核三廠輻射管制作業依程序書規定執行，未違反相關規定。然而本次事件突顯核三廠之輻防管理及應變能力仍需加強，例如事件初期應評估局部或暫時停工、加強人員防護衣物穿戴之要求、除污方式應有多元化處理以避免強力刷洗造成皮膚紅腫或破皮、考慮在不違反安全原則下訂定更有彈性之人員放行標準、提供更有人性化之輻防服務並加強與工作人員之溝通宣導。
3. 研判圍阻體廠房 I-132 之空浮主因為 Q148, M15 燃料破損，且燃料破損較為顯著，燃料吊運時因爐水擾動，造成 Te-132 釋出而使子核 I-132 揮發產生空浮。
4. 國外壓水式核能電廠之營運經驗相當豐富，發生燃料破損案例也不少，然大多數燃料破損空浮係以 I-131 (半化期 8 天) 為主要現象，但卻很少發生 I-132 空浮問題。燃料破損是否為本次 I-132

空浮事件的全部因素，尚難論斷，不宜排除是否有其他因素存在之可能性。

5. 英國 HSE 研發規劃之資料顯示，壓水式電廠停機期間之 Te-132、I-132 反應機制，仍待深入瞭解。擬要求台電公司就此次 I-132 空浮問題繼續深入研究評估分析，以確認是否另有其他影響因素存在。
6. 最近 10 年來核三廠共有 4 根燃料棒破損，燃料棒破損率為每 100 萬根 16 根破損，較目前西屋公司製造之核燃料棒破損率（每 100 萬根約 5-10 根破損）為高。未來核三廠除應加強確保燃料完整性防止放射性物質外釋，並應於研判爐心燃料有可能破損時加強監測分析 Te-132 及 I-132，並採取必要之防範措施，例如針對停機大修時如何防範 I-132 空浮，加強工作人員訓練溝通及相關作業程序等，應於大修計畫中提出具體說明。
7. 此次圍阻體 I-132 空浮期間，圍阻體通風系統因寒水系統停止運轉，執行例行的大修維修工作，只能維持通風而無冷氣，大量工作人員因溫度過高流汗而使沾附於輻防衣上之 I-132 滲透到皮膚，需經過洗澡除污才能離開輻射管制站。寒水系統之例行維修排程之規劃，值得檢討改進，以期能於大修期間全程提供冷氣，改善人員工作環境並降低身體污染之可能。

8. 核三廠早年為避免可能之環保爭議而長期停用高容積排氣系統，是否過於保守值得加以檢討，建議核三廠重新評估其圍阻體通風系統之空氣淨化系統功能，並更確實評估氣體排放造成之環境影響，以提供機組停機時大量人員充足之淨化空氣，同時確保環境安全。