

美國 Crystal River 電廠 3 號機準備除役之綜合報導

2013 年 2 月 15 日

根據美洲核能學會網路部落格(ANS Nuclear Cafe)作者 Will Davis 於 2013 年 2 月 8 日發表專文指出¹，美國 Duke Energy 公司已於 2 月 5 日宣佈將位於佛羅里達州的 Crystal River 3 號機退役並開始後續之除役工作。此機組為 Babcock & Wilcox 所設計之壓水式核能機組，熱功率及發電容量分別為 2609



MWt 及 838 MWe。該機組於 2009 年 9 月停機更換蒸汽產生器，原預訂於 2011 年重新啟動，以執行後續之 20%功率提

圖 1: Duke Energy 旗下 Crystal River 電廠外觀，中後方圓柱狀

升及執照更新(或稱延役)到 2036 年之計畫²。唯在更換蒸汽產生器過程中，必須切除部分圍阻體的混凝土以利更換作業，該公司人員卻發現混凝土出現了層隙或脫層(Delamination)的現象。經過修補此區域缺陷之後，在 2011 年 3 月份之壓力試驗時，又發現其他的區域也出現同樣的狀況。

所謂混凝土層隙或脫層(Delaminating)，係指混凝土構件受氯氣或鹽水侵襲，構件內之鋼筋銹蝕體積膨脹，於混凝土內部形成隱藏式之裂紋，當裂紋長度與寬度逐漸增長時，導致鋼筋與外層鋼筋附近之混凝土分離，即產生剝離的情形³。Will Davis 也引用美國核管會的監管報告上的資料，描述 2011 年 3 月 14 日當 Crystal River 3 號機持照者修復完成受損區域混凝土，並施加圍阻體鋼筋之張力後，壓力計出現了不正常且超過刻度上限的情形，聲音監測的設備則出現了高度聲音活動的訊號，且此現象持續了約 20 分鐘之久。隨後再經過多次非破壞檢測(NDE)指示驗證後，確認其他部位混凝土也發生了層隙(脫層)的情形，隨後同年 7 月又

再發度發現更多同樣的缺陷，足見圍阻體的完整性受到了破壞。核能機組的圍阻體是用來防止外來的衝擊，以及在內部設備發生意外事故時，可以阻絕輻射物質被大量地外釋到大氣中。

在 2012 年被 Duke Energy 公司併購之前，Crystal River 電廠的原業主 Progress Energy 公司曾委請 Zapata 顧問公司規劃各種不同的修復計畫及選項，包括有系統地移除並更換受損結構區域的混凝土。世界核能新聞的報導即指出⁴，根據不同的修復方法，2011 年 6 月份時之費用估計可從美金 9 億元到 13 億元不等，Zapata 並評估若修復的範圍擴大，費用將可能再提高，工期也將隨之延長，其中最壞的狀況(worst case scenario)，是假設 3 號機圍阻體的頂蓋(dome)及低層(lower elevation)均出現了額外的損壞情形而必須更換時，此時將花費美金 34.3 億元及 96 個月的工期來執行修復作業。故 Progress Energy 公司當時評估的結論認為此修復計畫在技術上是可行的，唯仍需考量包含擴大修復範圍或工程延誤等其他風險因素。



圖 2: Crystal River 3 號機圍阻體施工搭架外觀

Crystal River 電廠現有業主 Duke Energy 公司董事長兼執行長 Jim Rogers 發表的聲明指出：「做出 Crystal River 3 號機退役的決定，相信是對於用戶、投資者、佛羅里達州、及該公司最好的抉擇」。Duke Energy 也打算讓目前在此核能機組工作的 600 名員工之多數，開始參與關閉機組及除役的先期作業，或是轉換到 Duke Energy 公司其他的單位工作。Crystal River 電廠廠址上仍有四部運轉中之燃煤火力電廠，其中兩部機組將於 2018 退役。Duke 目前正考量用燃氣電廠來取代 3 號核能機組電力供應之可能性。

至於 Crystal River 3 號核能機組的除役作業，目前將採用安全貯存 (SAFSTOR) 的方式，先移除核燃料並以有限之人員去監視反應器設施的狀態，最多可長達 40-60 年之久，待放射性衰變減弱到一定程度後，到時候需要處理或移除的輻射物質將大為降低。部分支持繼續運轉人士認為，Duke Energy 並沒有立即決定拆除此機組，似乎留下未來可再裝填燃料並重新啟動的一線希望，這是基於前業主 Progress Energy 公司已做了大量投資並完成了相當多的改善，例如：小功率提升(MUR)及大功率提升(EPU)，可增加近 20% 的發電容量，且已向美國核管會提出執照更新(或延役)到 2036 年的申請。然而若圍阻體安全的問題不能解決，Will David 形容這種狀況就像西方諺語所言：「A fly in the Ointment」，接近我國俗語「一粒老鼠屎壞了一鍋粥」，Crystal River 3 號機基本上是沒有機會再繼續運轉的。

在 Duke Energy 宣佈 Crystal River 3 號核能機組退役及開始除役之後，Charlotte Business Journal 的資深作者 John Downey 認為⁵，儘管 Duke 公司需在 2012 年第四季的財報中提列美金 1 億 9 仟 5 佰萬元的損失，但華爾街基本似乎滿意這項決定，並沒有對市場造成太多的波折，債券分析師也認為這項決定對於該公司是有利的。另有信用評等 Standard & Poor Ratings Service 公司認為在 2012 年所訂下 20 年回收美金 16 億 5 仟萬的計畫下，Crystal River 3 號機之退役對於 Duke Energy 公司信用平等之影響是持平的(neutral)。

佛羅里達州公共資議員 J.R. Kelly 則認為 Duke 公司的決定⁶，將對於用戶造成傷害，主要是未來將面臨因使用更為昂貴的替代能源，而造成用電費率的增加，也有人認為 Duke 公司因不再運轉 Crystal River 3 號機而從保險公司所得到的補償費美金 5 億 3 仟萬元，事實上是低於當時所推估最低修復的費用。然而位在田納西州的南方乾淨能源聯盟(South Alliance for Clean Energy)卻讚揚 Duke Energy 公司的決定，該聯盟的執行長 Stephen Smith 認為 Crystal River 核能機組的例子顯示過度依賴高風險

核電的脆弱性，並會讓用戶大眾曝露高財務風險中，而居民則是陷於不必要的健康與環境的風險中。

綜合以上的報導，可歸納以下四點結論及心得：

1. Duke Energy 公司讓 Crystal River 3 號機退役的決定，最主要是經濟因素的考量，雖然其子公司 Progress Energy(即 Crystal River 3 號機前業主)之評估認為修復圍阻體在技術上是可行的，但在後續財務風險的考量下，Duke Energy 最後做出了準備開始除役的決定。對佛羅里達州的消費用戶而言，短期內可得到保險公司之回饋，然長期來看，是否會因使用其他替代能源而造成電費匯率的增加，只能由時間來證明。
2. Crystal River 3 號機的案例對於我國運轉中的核能電廠亦是一個很好的啟示，在多層防禦的應用中，圍阻體扮演者防止大量輻射放釋以維護民眾健康的重要角色，各電廠必需持續嚴謹地監測圍阻體的狀況，務必確認其完整性。
3. 由於日本福島事件後我國能源政策之變化，目前運轉中核能電廠之執照到期後即不再延役，美國除了 Crystal River 3 號機即展開除役的規劃及作業外，核管會網站上亦有其他 12 個廠址(共 13 部機組)之除役現況，可做為我國電力公司及管制單位在規劃電廠除役作業之參考。預期台美間未來之間的交流主題，也將逐漸走向除役相關的內容。
4. 此次 Crystal River 3 號機之退役，係美國自 2007 年 5 月 Browns Ferry 1 號機重新啟動後，首次有電力公司決定永久停止運轉核能機組，目前雖然美國運轉中核能機組的總數降至 103 座，但對於整體的供電比率影響尚輕。在新型 AP-1000 核能電廠 Vogtle 3&4 號機及 Summer 2&3 號機完成以前，預期總數將維持在此數字一段時間。

參考新聞報導

1. Will Davis, "Crystal River-3 to be retired, placed in SAFSTOR", ANS Nuclear Cafe, February 8, 2013.
2. World Nuclear News, "Duke Gives Up on Crystal River", February 5, 2013.
3. 正修科技大學土木與資訊工程系網路教材
4. World Nuclear News, "Costly Estimamtes for Crystal River Repairs", October 2, 2012.
5. John Downey, "Report, Analysts Welcome Dke Energy's Crystal River Decision", Charlotte Business Journal, February 8, 2013.
6. Emergy Dalesio, "Crystal River Nuclear Plant, Owned by Duke Energy, Closing Due to Bothched Repairs", Huff Post Green, February 11, 2013.