

第六章

爐心功率提升對喪失外電之下的人為誤失機率之影響

6.1 喪失廠外電源[12]

發生喪失廠外電源的情況下，兩部供電到特殊安全系統(Emergency Safety Feature System, ESFS)的緊急柴油發電機會自動啟動運轉並供電至相關之匯排流。因此，喪失廠外電源時，對於事故序列發生造成影響的主要因素為：

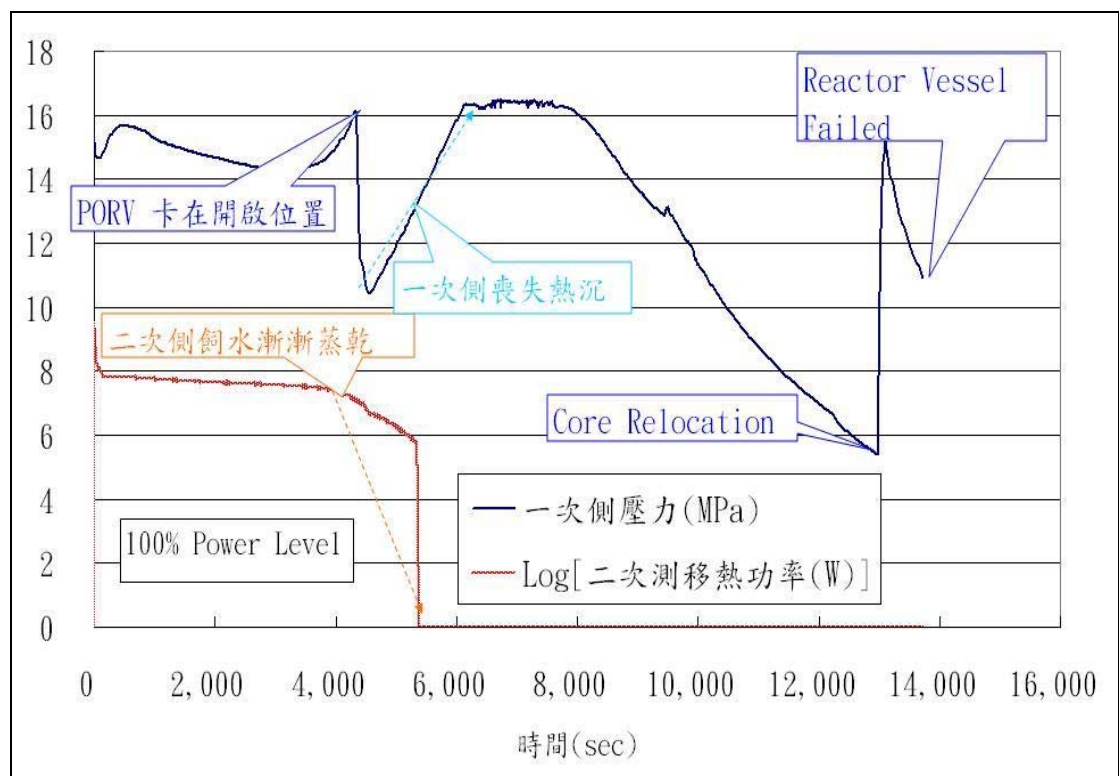
(1)緊急柴油發電機的失效機率；

(2)當緊急柴油發電機失效後，恢復外電的時間及緊急柴油機的修復時間。
而經事件樹分析結果顯示，由此肇始事件造成的爐心熔損頻率為 1.37×10^{-7} 。

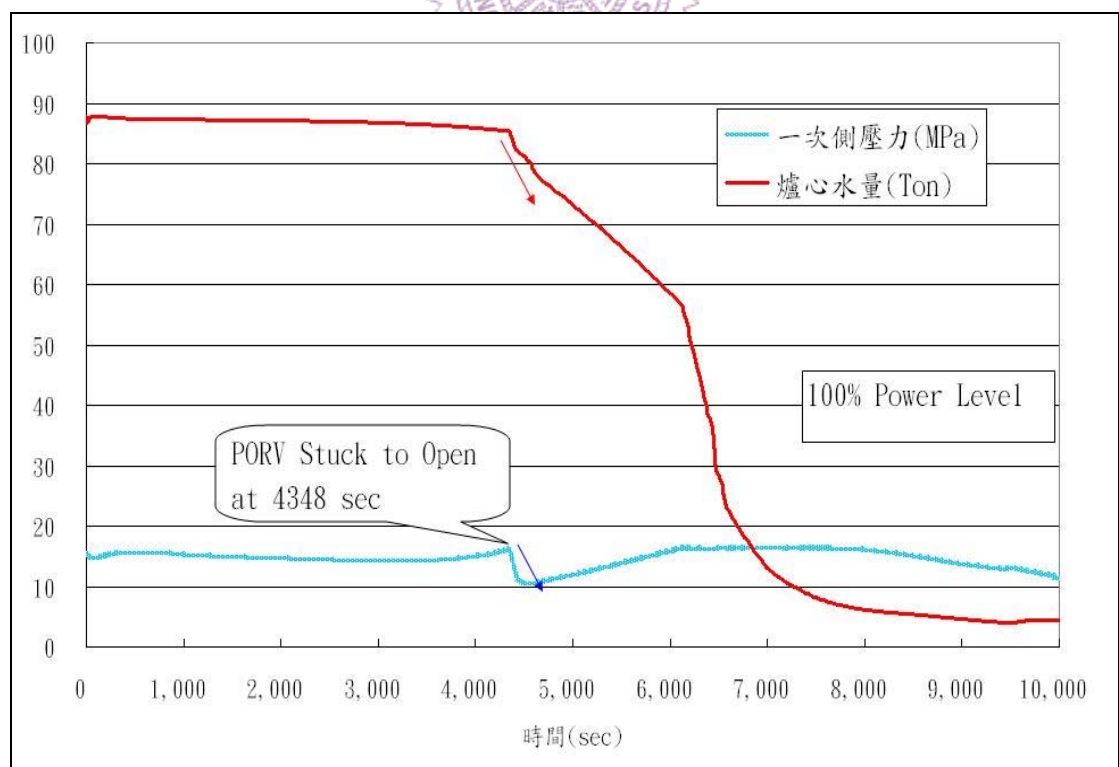
汽機驅動的輔助飼水泵在接獲 ESFS 的匯排流低電壓信號或蒸汽產生器低水位信號時，汽機驅動的輔助飼水泵會自動啟動，將飼水輸送至蒸汽產生器。若汽機驅動的輔助飼水泵失效則會使蒸汽產生器蒸乾，而一次側冷卻水會因此而喪失熱沉。在此情況之下，爐心予一次側的熱量會使一次側壓力攀升而頂開調壓槽的釋壓閥，爐心冷卻水將會由動力釋壓閥大量地離開爐心，提早爐心裸露的發生時間。假如動力釋壓閥在喪失廠外電源的初期(第 15~200 秒)便失效而卡在開啟位置，則會加劇爐心裸露的事件。NRC 報告指出，在喪失外電的初期動力釋壓閥便會開啟的機率是 0.1；而動力釋壓閥失效而卡在開啟位置的機率值約為 0.001。

功率提升前，喪失外電時且輔助飼水系統失效、動力釋壓閥卡在開啟位置的事故序列之下，MAAP4 的分析結果如〈圖 6.1〉。動力釋壓閥在第 4348 秒失效卡開啟位置，爐心冷卻水迅速經由動力釋壓閥將熱量帶離一次側系統而使一次側壓力迅速降低(參照〈圖 6.2〉)。但由於輔助飼水泵的失效，蒸汽產生器水位逐漸降低而失去對一次側的移熱能力(參照〈圖 6.3〉)。因此，一次側壓力又逐漸上升至動力釋壓閥的開啟點，而爐心冷卻水持續流失，一次側壓力則因水量的減少逐漸下降。最後，一次側冷卻水也蒸乾而面臨爐心裸露，致使爐心熔損。

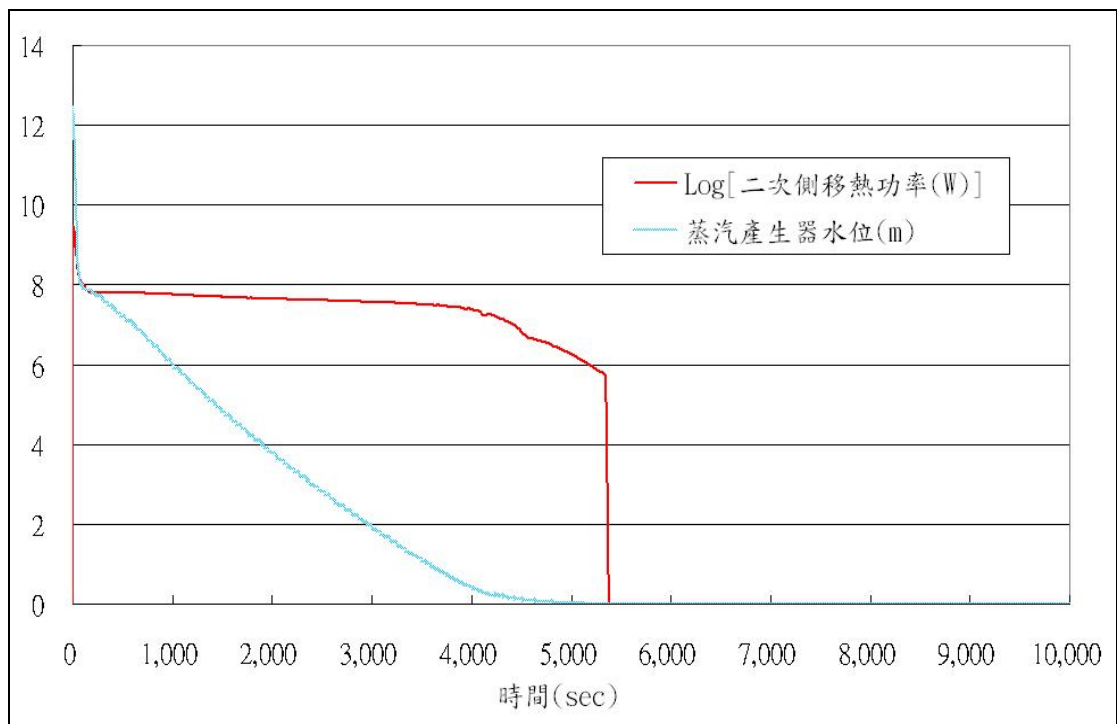
爐心功率提升後，經 MAAP4 模擬結果如〈圖 6.4〉所示，並不會有新的事故序列發生。但是，明顯得縮短所有事故發生的時間，其時間縮短的比較參照〈表 6.1〉。而如〈圖 6.5〉所示，PORV 開啟的時間則與爐心功率的提升約呈線性關係。



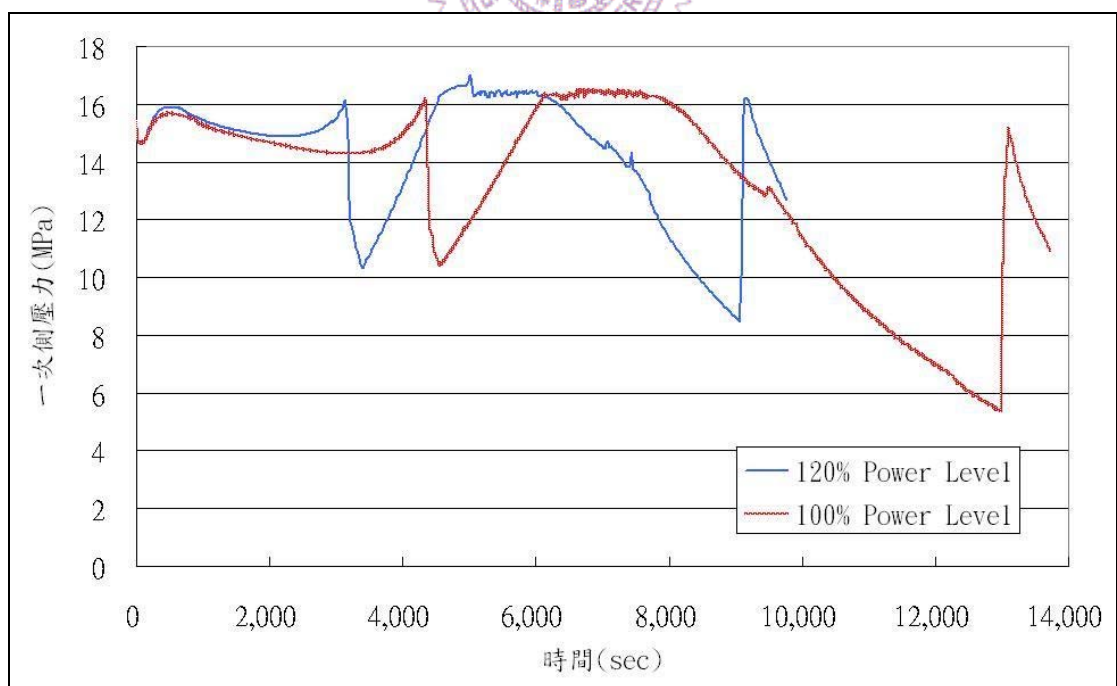
〈圖 6.1〉功率提升前，喪失廠外電源之下，一次側壓力與二次側移熱之關係。



〈圖 6.2〉功率提升前，喪失廠外電源之下，一次側壓力與爐心水量之關係。



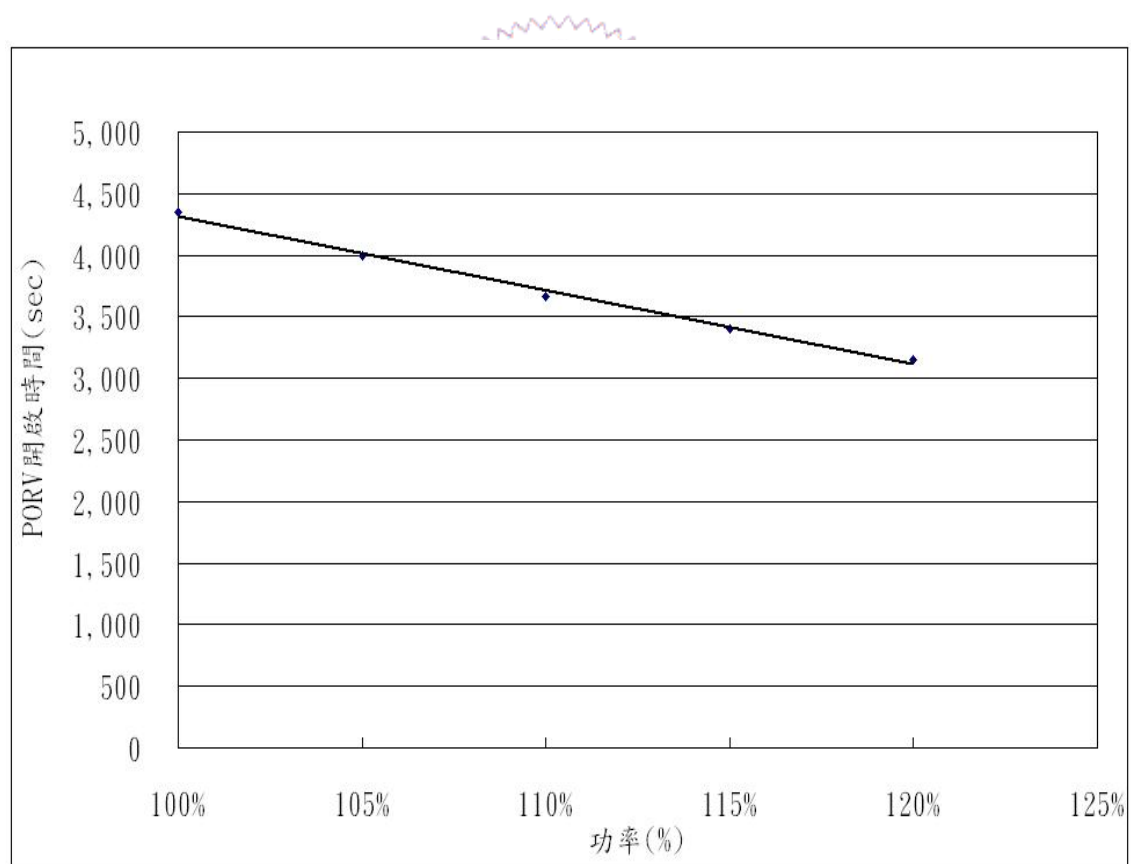
〈圖 6.3〉功率提升前，喪失廠外電源之下，蒸汽產生器水位(Broken Loop)與二次側移熱之關係。



〈圖 6.4〉EPU 前後，喪失廠外電源之下，一次側壓力之變化比較。

〈表 6.1〉功率提升後，喪失廠外電源之下，重要事件之發生時間點。(單位：秒)

功率	PORV Stuck to Open	S/G Dry Out	Uncover	Relocation	Reactor Vessel Failed
100%	4348	5341	6906	12985	13752
105%	3992	4993	6403	11680	12385
110%	3670	4687	5957	10713	11442
115%	3402	4415	5582	10151	10863
120%	3150	4146	5236	9072	9771



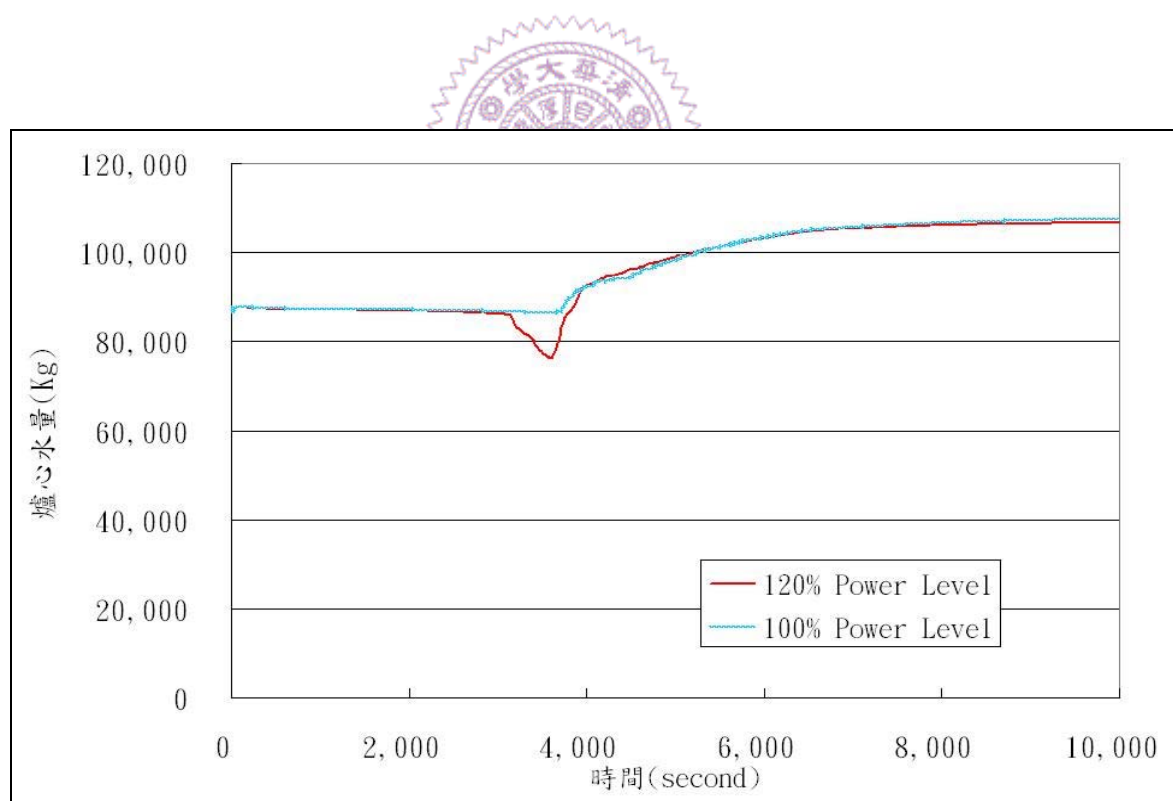
〈圖 6.5〉功率提升與 PORV 開啟時間之關係。

6.2 爐心功率提升對喪失外電之下的人為誤失機率之影響

6.2.1 HR-DG5/1H 之誤失事件分析

電廠全黑(Station Blackout, SBO)的狀況之下，輔助飼水系統失效且動力釋壓閥卡在開啟位置時會發生早期爐心裸露，最保守估計的估計為需要在 60 分鐘之內恢復電源，否則有發生早期爐心裸露的危險。HR-DG5/1H 人為誤失事件為在一小時之內運轉人員無法啟動第五台柴油發電機，HR-DG5/1H = 2.2×10^{-1} 。

根據 MAAP4 模擬結果顯示，功率提升前，即使在 PORV 卡在開啟的狀況之下發生 SBO，假若能在一小時內恢復電源，是可以避免爐心裸露的。在執行 EPU 後，雖然 PORV 的開啟時間提早了 19.97 分鐘而在第 3150 秒中開啟(參照<表 6.1>)，且爐心水量會迅速減少(參照<圖 6.6>)，但是如果能在一小時後恢復電源供應，仍然可維持反應爐的滿水位而不會造成爐心裸露。因此，不需考慮爐心功率提升至 120%造成的影響，HR-DG5/1H 仍然為 2.2×10^{-1} 。



<圖 6.6>執行 EPU 前後，SBO 之下，第一小時恢復電源，爐心水量的變化關係。

6.2.2 HR-ECNDLOOP-E20 之誤失事件分析

喪失外電時，運轉員必須執行 RCS 的緊急降溫降壓以減少 RCS 冷卻水的溢失和避免 RCP 的軸封受損，執行動作包括開啟蒸汽產生器的 PORVs、或是將主蒸汽管路的洩水閥全開，以及開啟 MSIV 的旁通閥。根據參考資料，保守估計 RCP 會在失去軸封注水的 30 分鐘後發生軸封洩漏，因此，HR-ECNDLOOP-E20 的允許時間定義為 30 分鐘， $HR-ECNDLOOP-E20=3.3\times 10^{-1}$ 。

依據現有的文獻指出，RCP 軸封受損的機制並不會受到 RCS 狀態參數的影響。儘管爐心功率的提升會衝擊到 RCS 的熱水流狀態，但是並不考慮 RCS 的熱水流狀態對 RCP 軸封洩漏的影響，因此，在 120% 的爐心功率提昇之下，HR-ECNDLOOP-E20 依然為 3.3×10^{-1} 。

