中華民國

核能電廠壓力測試國家報告

民國 102 年 6 月 25 日

目錄

圖目錄 ..... **vi**

表目錄 ..... **vii**

1. 廠址/電廠說明 **1**

1.1 廠址特性 1

1.2 機組主要特性 3

1.3 機組間安全設計之差異 10

1.4 安全度評估結論 11

1.5 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論 12

2. 地震 **16**

2.1 設計基準 16

2.1.1 電廠的設計基準地震(DBE) 16

2.1.1.1 設計基準地震(DBE)的特性 16

2.1.1.2 評估設計基準地震的方法 16

2.1.2 電廠防禦設計基準地震的方法 20

2.1.2.1 地震後安全停機所需之關鍵結構物、系統及組件 20

2.1.2.2 避免地震後反應器或用過燃料池受損的主要操作規定 22

2.1.2.3 其他因地震造成之間接影響的考量 24

2.1.3 電廠承諾的持照基準 29

2.1.3.1 一般程序 29

2.1.3.2 廠外機動設備/資源 30

2.1.3.3 已知之承諾偏差事項、其可能影響及矯正規劃 31

2.1.3.4 福島核一廠事故後業主自主確認的持照承諾 31

2.2 現行設計基準之餘裕評估 33

2.2.1 地震導致燃料的嚴重受損的範圍 33

2.2.1.1 弱點及地震嚴重強度之瀕危效應 33

2.2.1.2 強化防護能力的措施 46

2.2.2 可承受不喪失圍阻體完整性的地震強度 48

2.2.3 超過設計基準地震及伴隨超過設計基準洪水之水災 48

2.2.3.1 考量電廠地理位置與設計，發生此情境的可能性 48

2.2.3.2 弱點、故障模式及瀕危效應 49

2.2.3.3 強化防護能力的措施 50
2.3 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論 51
3. 洪水 54
3.1 設計基準 54
3.1.1 能抵抗的洪水 54
3.1.1.1 設計基準洪水(DBF)的特性 54
3.1.1.2 評估設計基準洪水的方法 55
3.1.1.3 設計基準洪水適切性的結論 58
3.1.2 保護電廠防禦設計基準洪水的方法 61
3.1.2.1 確認洪水後安全停機所需 SSC 可用 61
3.1.2.2 主要用來防範廠址水災的方法 64
3.1.2.3 警示並減緩水災後果的主要操作規定 66
3.1.3 電廠承諾的持照基準 68
3.1.3.1 一般程序 68
3.1.3.2 電廠用以確認承諾的移動設備/補給 69
3.1.3.3 偏離現行持照基準事項及矯正規劃 70
3.1.3.4 業主已開始檢視的特定承諾 71
3.2 現行設計基準之餘裕評估 74
3.2.1 視預警時間所設想或實施的額外防護措施 74
3.2.2 弱點與瀕危效應 75
3.2.3 強化防護能力的措施 76
3.3 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論 79
4. 極端天然災害之威脅 81
4.1 極端惡劣天候情況（暴風雨、豪大雨） 81
4.1.1 事件組合及選擇為設計基準的原因 81
4.1.2 極端自然威脅的弱點與瀕危效應 90
4.1.3 阻止瀕危效應或增加電廠強固性的方法 92
4.2 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論 95
5. 喪失電源與最終熱沉 97
5.1 反應爐 97
5.1.1 喪失廠外電源 97

5.1.1.1 廠內後備電源供/配電設計要求 99
5.1.1.2. 廠內電源供應的運轉時間 100
5.1.2. 喪失廠外電源及廠內後備電源 102
5.1.2.1. 設計要求 102
5.1.2.2. 電池容量及運轉期長 105
5.1.2.3. 增加電廠強韌性擬採取之措施 105
5.1.3 喪失廠外電源、正常備用電源及其他多樣備用電源 110
5.1.3.1 設計要求 110
5.1.3.2. 電池容量及運轉期長 112
5.1.3.3 燃料劣化前廠內的自主運轉能力 113
5.1.3.4 防止燃料劣化的外部支援措施 114
5.1.3.5 強化電廠強韌性的預期措施 118
5.1.4 喪失最終熱沉 121
5.1.4.1 燃料劣化前廠內自主能力設計要求 121
5.1.4.2 可阻止燃料劣化的外部支援措施 125
5.1.4.3 強化防護能力的措施 128
5.1.5 廠區全黑下喪失最終熱沉 132
5.1.5.1 燃料劣化前廠內的自主運轉能力 132
5.1.5.2 可防止燃料劣化的外部支援措施 132
5.1.5.3 強化電廠建全性的預期措施 134
5.2 用過燃料池 135
5.2.1 喪失廠外電源 135
5.2.1.1 後備電源供/配電設計基準 135
5.2.1.2 廠內電源供應的運轉時間 140
5.2.1.3 延長廠內自主供電時間的方法 140
5.2.2 喪失廠外電源及廠內後備電源(EDG) 141
5.2.2.1 設計要求 141
5.2.2.2 電池容量及運轉期長 141
5.2.3 喪失廠外電源、後備電源(EDG)及其他多元備援電源 142
5.2.3.1 設計要求 142
5.2.3.2 電池容量及運轉期長 143

5.2.3.3 燃料劣化前廠內自主運轉能力 143
5.2.3.4 可防止燃料劣化的外部支援措施 145
5.2.3.5 強化防護能力的措施 148
5.2.4 喪失最終熱沉(由海水灌水) 152
5.2.4.1 燃料劣化前廠內自主能力設計要求 152
5.2.4.2 可防止燃料劣化的外部支援措施 154
5.2.4.3 強化電廠防護能力的措施 156
5.2.5 廠區全黑下喪失最終熱沉 157
5.2.5.1 燃料劣化前廠區自主能力設計要求 157
5.2.5.2 可防止燃料劣化的外部支援措施 158
5.2.5.3 強化電廠防護能力的措施 160
5.3 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論 163
6. 嚴重事故處理 166
6.1 持照者事故處理之組織與準備工作 166
6.1.1 事故處理之組織 166
6.1.1.1 組織架構 166
6.1.1.2 事故處理的廠外技術支援 167
6.1.1.3 事故處理程序、訓練及演習 169
6.1.2 使用現有設備的可能性 169
6.1.2.1 移動式儀器/設備的使用 175
6.1.2.2 後勤供應管理 177
6.1.2.3 輻射外釋管理的準備 177
6.1.2.4 通訊設備及資訊系統 179
6.1.3 可能妨礙事故處理之因素與偶發事件的評估 182
6.1.3.1 廠周邊基礎設施受到廣泛破壞 182
6.1.3.2 廠區局部高劑量、輻射汙染及部分設施受損影響工作效率 187
6.1.3.3 事故處理策略在外部危害下的可行性及有效性 190
6.1.3.4 電力供應的不可用性 193
6.1.3.5 儀控系統失效的可能性 195
6.1.3.6 廠址內其他鄰近機組可能造成的影響 196
6.1.4 電廠改善工作與斷然處置指引(URG)程序書 202

6.2 因應喪失爐心冷卻功能的事故處理策略 210
6.2.1 爐心燃料受損前 210
6.2.2 爐心燃料受損後 212
6.2.3 瀕危效應與時機 212
6.2.4 現行事故處理策略的適切性 215
6.3 維持圍阻體完整性的事故處理策略 219
6.3.1 圍阻體內氫氣風險管理 219
6.3.2 防止圍阻體過壓 220
6.3.3 防止再臨界 222
6.3.4 防止圍阻體基座熔穿 223
6.3.5 保護圍阻體完整性之設備所需 AC 電力、DC 電力與壓縮空氣的供應 224
6.3.6 瀕危效應與時機 225
6.3.7 現行事故處理策略的適切性 227
6.4 控制輻射外釋的事故處理策略 228
6.5 喪失用過燃料池冷卻功能之事故管理措施 232
6.5.1 喪失適當輻射屏蔽 232
6.5.2 燃料池水位低於燃料頂端 234
6.5.3 用過燃料池燃料劣化情況 235
6.5.4 瀕危效應及發生期限的風險 236
6.5.5 現行管理措施之適切性及可能增加防備措施 237
6.6 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論 240
縮寫對照表 242

圖目錄

圖 1-1 顯示台灣四座核電廠的地理位置 1
圖 1-2 龍門核能發電廠廠區鳥瞰 3
圖 1-3 ABWR 反應器廠房 9
圖 2-1 核能電廠強震後緊急處理步驟流程圖 52
圖 2-2 強震停機檢查、測試、機組再起動評估流程 53
圖 5-1 核一廠輸配電系統單線圖 97
圖 5-2 龍門電廠之電力配線圖 99
圖 5-3、核三廠第三電源 104
圖 6-1 廠內緊急計畫作業組織 – 緊急控制大隊(ECT) 166
圖 6-2 核子事故緊急應變組織 168

表目錄

表 1-1、龍門電廠基本資料 8
表 2-1a 山腳斷層參數 18
表 2-1b 山腳斷層引發最大可能最大加速度 18
表 2-2a 恆春斷層參數 19
表 2-2b 恆春斷層可能導致最大尖峰加速度值 19
表 3-1 海嘯設計基準高度及電廠高程設計 59
表 6-1 核一廠 URG 205
表 6-2 核二廠 URG 206
表 6-3 核三廠 URG 207
表 6-4 龍門電廠 URG 208

1. 廠址/電廠說明

台灣現在正在運轉中的核電廠有 3 座，分別是核一、核二、核三廠，核四廠目前正在建造中。每一座核電廠擁有 2 部機組，目前是由國營事業台灣電力公司擁有及經營。

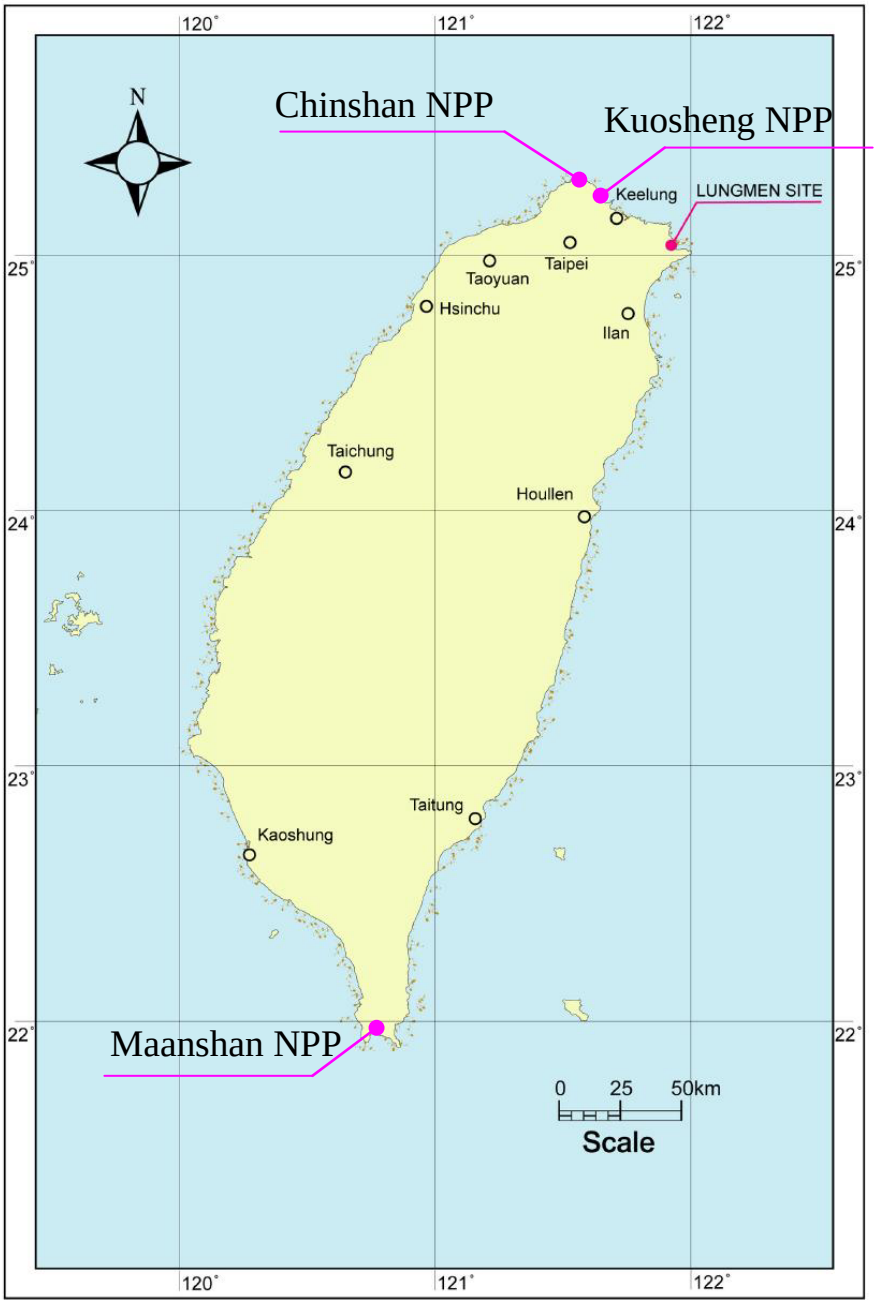


圖1-1 顯示台灣四座核電廠的地理位置

1.1 廠址特性

核一廠

核一廠位於台灣北端，離台北市約 28 公里，北臨東海，西傍乾華溪。廠址東西向寬約 200 公尺，南北向長約 1.5 公里，面積約 20 公頃，海拔高度自 5 至 20 公尺不等，

東西兩側均有與廠址平行之山脊，南側為大屯山系。

核二廠

核二廠位於台灣北部海岸面臨東海，廠址為海拔高度 10 至 20 米以上的沿海平原。廠址靠近基隆，於台北東北方約 22 公里，並於金山核電廠東南 12 公里。廠內並無溪流通過，而最接近廠址區之兩條溪流（廠區西側約 1.5 公里外之員潭溪及東側約 4.5 公里外之瑪鍊溪）均與核二廠間有山丘相隔，並分別流向大海。

核三廠

核三廠位於台灣島的南端，距離海邊約 300 公尺。廠址佔地 329 公頃，距恆春鎮約 5 公里，南距鵝鑾鼻約 15 公里，北距高雄約 110 公里。廠址內及周邊無溪流、水壩，龍鑾潭位於電廠北邊，距離小於 1 公里。

龍門電廠

龍門電廠位於台灣東北角一內凹海灣之海濱，東臨太平洋，廠房區大部分位於海平面以上 12 至 30 公尺，離岸邊約 600 公尺，廠址約在台北市東方 40 公里處。龍門核電廠廠區半徑 50 公里內海水域約佔 68%。廠區東部平均海平面（MSL）約 8 至 15 米之間；廠區西部則是多山的地區，海拔高度從 15 到超過 170 米以上。龍門核能發電廠廠區之佈置，如圖 1-2 所示。

內含：

（1）反應器廠房

（2）進出控制廠房

（3）控制廠房和相關設施

（4）汽機廠房

（5）廢料處理廠房

（6）輔助燃料廠房

（7）反應器設施水泵室

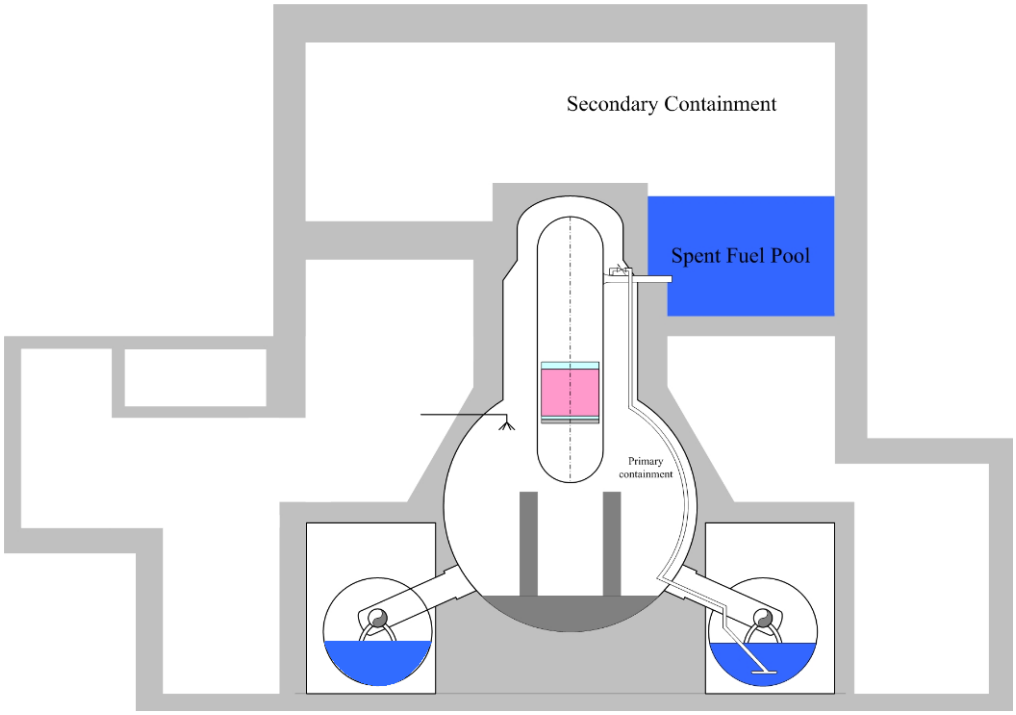
（8）循環水泵室

（9）開關場

圖1-2 龍門核能發電廠廠區鳥瞰

1.2 機組主要特性

核一廠



裝有兩部 GE 奇異公司設計製造的 BWR-4 沸水式反應爐，額定功率為 1775MWt。初次臨界日期一號機為 1977 年 10 月 16 日，二號機為 1978 年 11 月 9 日。另一號機於

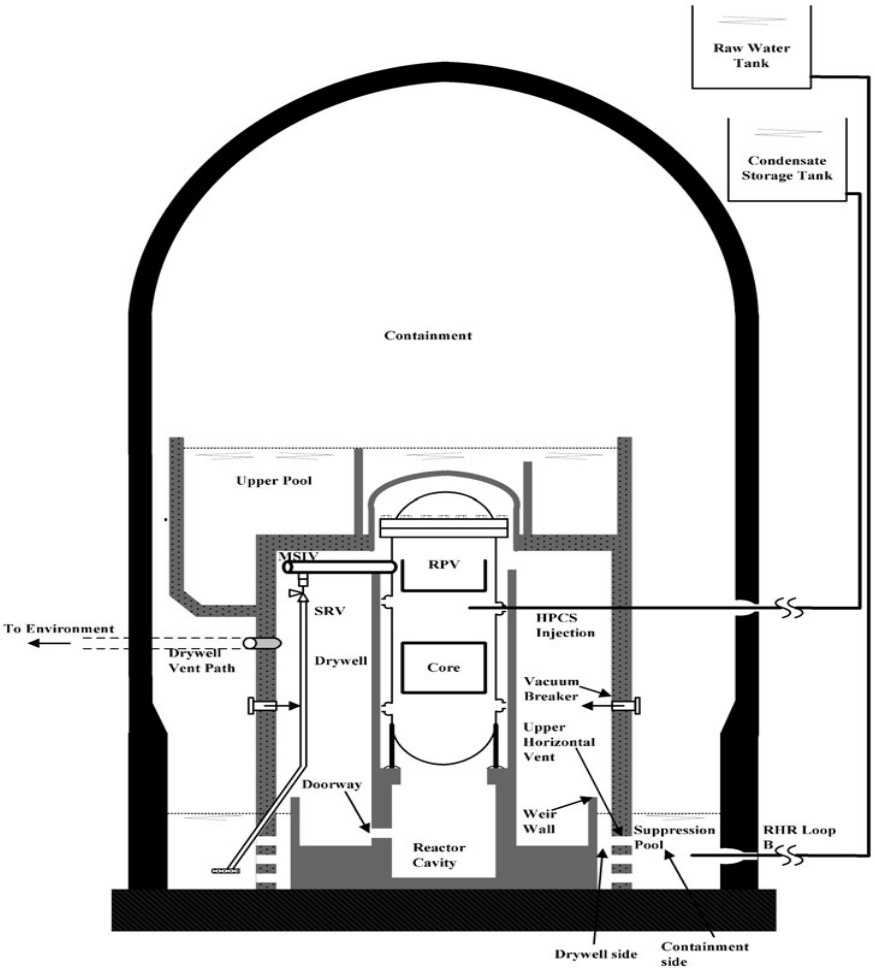
2009 年 2 月 24 日、二號機於 2008 年 7 月 9 日完成飼水流量不準度校正之小幅功率提升，提升後功率為 1804 MWt。

機組設計運轉參數如下：

裝填燃料數目束	408
控制棒數目支	97
RPV 壓力槽內部高度 in	815
RPV 壓力槽內部直徑 in	203

CONTAINMENT	
種類	Mark I, Steel Drywell and Pressure Suppression Pool
洩漏率, % vol/day	0.5
乾井: Construction 內部設計溫度, °F 最大內部壓力, psig 總體積, ft^3	 Light Bulb Shape, 鋼鐵容器 340 56 130,000
抑壓池: Construction 內部設計溫度, °F 最大內部壓力, psig 容量, ft^3 總體積, ft^3	 Torus, 鋼鐵容器 340 56 78,000 87,200

核二廠



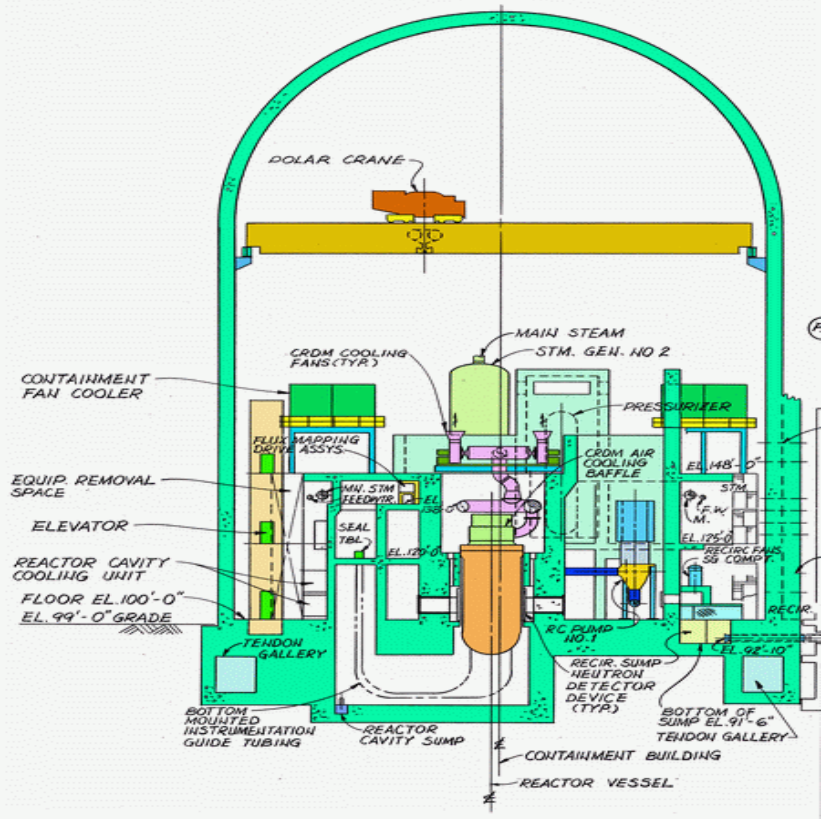
裝有兩部 GE 奇異公司設計製造的 BWR-6 沸水式反應爐，額定功率為 2894 MWt。初次臨界日期一號機為 1981 年 2 月 1 日，二號機為 1982 年 3 月 26。另一號機於 2009 年 2 月 24 日、二號機於 2008 年 7 月 9 日完成飼水流量不準度校正之小幅功率提升，提升後功率為 2943 MWt。

機組設計運轉參數如下：

裝填燃料數目	624 束
控制棒數目	145 支
壓力槽內部高度	838 in
RPV 壓力槽直徑	218 in

CONTAINMENT	
種類	Mark III, Reinforced Concrete Containment with Pressure Suppression and Reactor Building Enclosing Drywell and Suppression Pool
洩漏率, % vol/day	0.45
反應器廠房結構	Reinforced Concrete Cylindrical Structure with Hemispherical Head and Steel Liner
內部設計溫度, °F	200
設計壓力, psig	15
總體積, ft^3	1.43 x 106
乾井: 結構 內部設計溫度, °F 設計壓力 , psig 內部 外部 總積體, ft^3	 Reinforced Concrete Unlined; Basically Cylindrical; Steel Head 330 27.5 21 238,000
抑壓池: 結構 內部設計溫度, °F 設計壓力, psig 容積, ft^3	 Reinforced Concrete, Steel Lined and Cylindrical 200 15 113,950

核三廠



裝有兩部西屋公司設計製造的三迴路壓水式反應爐，額定功率為2775MWt/951MWe。初次臨界日期一號機為1984年3月30日，二號機為1985年2月1日。一號機於2009年7月7日、二號機於 2008年12月2日執行小幅功率提升，提升後功率為2822 MWt/960MWe。

RCS 設計運轉參數如下

正常運轉壓力, Psig	2235(157 kg/cm2)
系統全部容積包括 PZR 和調節管 9410, ft^3	9410(266.3 m3)
最高保証功率運轉下系統液體容積, ft^3	8833(250 m3)
調壓槽(PZR)最大噴灑率, GPM	700(44.1 l/s)
調壓槽(PZR)加熱器容量, KW	1400
一次側熱功率, MWt	2834
反應爐熱功率, MWt	2822
RCP 運轉下一迴路的流量(thermal design flow), GPM	97600 (unit 1) 92600 (unit 2)

反應爐出口溫度, ^{o}C	327.4
反應爐入口溫度, ^{o}C	290.1
蒸汽產生器飼水溫度, ^{o}C	228.1

CONTAINMENT	
種類	Steel-Lined Pre-Stressed Post-Tensioned Concrete Cylinder, Hemispherical Dome
洩漏率, % vol/day	0.1 (24 hr), 0.05 (after)
內部設計壓力, psig	60
總體積, ft^3	2.0 x 106
直徑, ft	130
高度, ft	195

龍門電廠

龍門核能發電廠配置有兩部 GE 奇異公司設計製造的進步型沸水式反應爐，核島區供應商為 GE、汽機/發電機廠家為 MHI、廢料系統供應商為 Hitachi。相關機組設計之基本資料如下：

表 1-1、龍門電廠基本資料

反應爐型式		ABWR
圍阻體型式		鋼筋強化混凝土包封容器（RCCV）
額定功率		3926 MWt
燃料束		872 束
控制棒數目		205 支
反應爐壓力容器		內部高度：1770.3 公分，內徑：711.2 公分
一次圍阻體		高約為 36 公尺(自圍阻體基礎層面上至乾井蓋頂部高程)，內徑約為 30 公尺
用過燃料儲存容量		反應器廠房燃料填換樓：3081 個儲存格架 輔助燃料廠房輔助燃料池：預計可規劃約一萬個儲存格架
安全設備	反應度控制相關系統	控制棒及微調控制棒驅動機構 (控制棒 205 支) 備用硼液系統 (2 台泵)
	緊急爐心冷卻 相關系統	高壓爐心灌水系統 (2 串) 爐心隔離冷卻系統 (1 串) 自動釋壓系統 (安全釋壓閥 8 只) 餘熱移除系統低壓爐心注水模式 (3 串)

	防止放射性物質外釋相關系統	一次圍阻體 圍阻體熱移除系統，包括 RHR 的抑壓池冷卻模式與乾濕井噴灑模式
	支援系統	緊急柴油發電機 (3 台) 反應器廠房冷卻水系統 (三串，每串 3 台泵) 反應器廠房海水系統 (三串，每串 3 台泵)

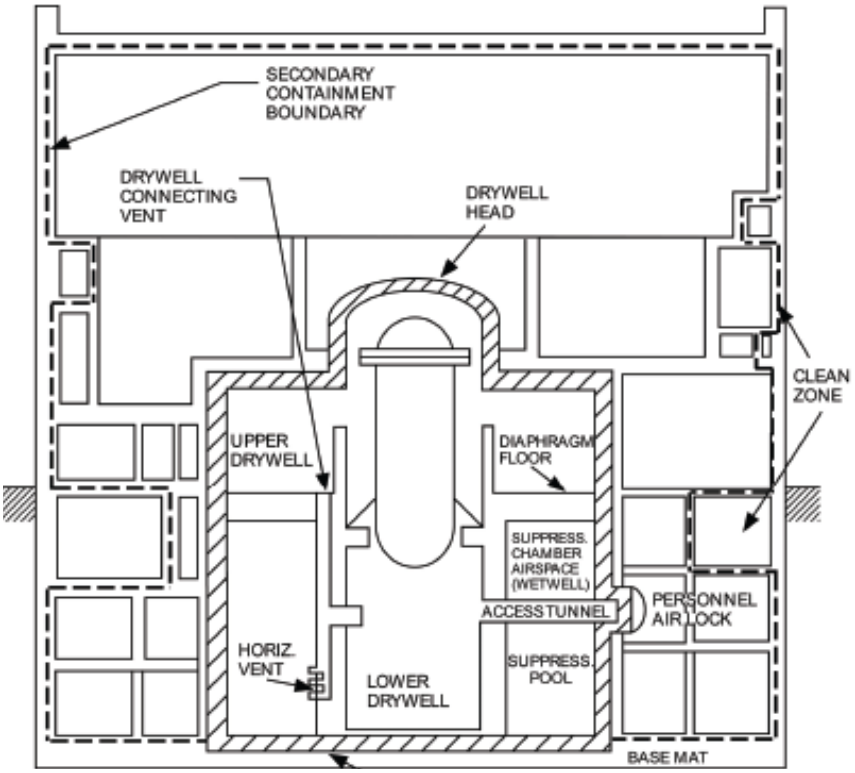


圖1-3 ABWR反應器廠房

1.3 機組間安全設計之差異

核一廠

每部機安全相關系統均為雙重設備的設計，分為 A、B 串。佈置方面互相隔開，在電氣方面相互隔離。如此，任何單一元件故障或失靈，將不致影響到整個系統的功能。設計上只要任一串功能正常，就能達到安全停機的目的。二號機主要設備均複製一號機。因此兩部機的安全相關設備，設計是完全相同，但實體相互隔離。以下設備為兩部機共用之安全相關設備：

一台氣冷式 4.16kV/4000kW 緊急柴油發電機（5^{th} EDG），可完全取代機組的水冷式緊急柴油發電機。但 5^{th} EDG 僅能取代任一台緊急柴油發電機。日本福島事故後，廠區全黑程序書 535 已做修改，經過適當的管控，第 5 台柴油發電機（5^{th} EDG）可同時供應兩個安全相關 4.16kV 匯流排。

核二廠

每部機安全相關系統均為雙重設備的設計，分為 A、B 串。佈置方面互相隔開，在電氣方面相互隔離。如此，任何單一元件故障或失靈，將不致影響到整個系統的功能。設計上只要任一串功能正常，就能達到安全停機的目的。二號機主要設備均複製一號機。因此兩部機的安全相關設備，設計是完全相同，但實體相互隔離。以下設備為兩部機共用之安全相關設備：

一台氣冷式 4.16kV/ 3920kW 緊急柴油發電機（5^{th} EDG），可完全取代機組的水冷式緊急柴油發電機。但 5^{th} EDG 僅能取代任一台緊急柴油發電機。日本福島事件後，新增程序書 1451，經過適當的列置後可將 5^{th} EDG 同時供應兩部機緊要匯流排之必要電力（足供兩部機組各運轉一個 DIV 的基本需求）。

核三廠

每部機安全相關系統均為雙重設備的設計，分為 A、B 串。佈置方面互相隔開，在電氣方面相互隔離。如此，任何單一元件故障或失靈，將不致影響到整個系統的功能。設計上只要任一串功能正常，就能達到安全停機的目的。二號機主要設備均複製一號機。因此兩部機的安全相關設備，設計是完全相同，但實體相互隔離。以下設備為兩部機共用之安全相關設備：

1.一台氣冷式 4.16KV/7000KW 緊急柴油發電機（5^{th} EDG），可完全取代機組的水冷式緊急柴油發電機。但 5^{th} EDG 僅能取代任一台緊急柴油發電機。日本福島事件後，新增 SOP1451，經過跨接信號後，5^{th} EDG 可同時供應兩個安全相關 4.16kV 匯流排。

2.兩部機共用 NSCW 廠房，但廠房內部每部機、每串設備維持實體隔離設計。

龍門電廠

每部機安全相關系統均為三區獨立的設計，分為 A、B、C 串。佈置方面互相隔開，在電氣與機械方面相互隔離。如此，任何單一元件故障或失靈，將不致影響到整個系統的功能。設計上只要任一串功能正常，就能達到安全停機的目的。二號機主要設備均複製一號機。因此兩部機的安全相關設備，設計是完全相同，但實體相互隔離。以下設備為兩部機共用之安全相關設備：

一台氣冷式 4.16 kV/ 7500 kW 緊急柴油發電機（7^{th} EDG），可完全取代機組的水冷式緊急柴油發電機。但 7^{th} EDG 僅能取代任一台緊急柴油發電機。201 年 3 月 11 日福島一廠事故後，新增程序書 1451，經過適當的列置後可將 7^{th} EDG 同時供應兩部機緊要匯流排之必要電力（在作好負載管理的前提下，足供應兩部機組各運轉一個 DIV 的基本需求）。

1.4 安全度評估結論

核一廠

核一廠於 1995 年完成電廠活態 PRA 報告，台電公司以三年一期為原則，執行 PRA 的更新計畫。核一廠建立有功率運轉安全度評估模式及大修停機安全度評估模式，功率運轉安全度評估模式又細分為廠內事件、地震、颱風、水災及火災五類分析，最近一版的安全度評估結論為：

(1) 功率運轉 CDF 總和為 1.8E-5/RY，大修停機 CDF 總和為 6.2E-6/RY。

(2) 功率運轉 LERF 總和為 6.5E-6/RY。

(3) 功率運轉 CDF 中廠內事件佔 14.2%(2.6E-6/RY)，地震佔 30.6%(5.6E-6/RY)，颱風佔 0.2%(3.0E-8/RY)，水災佔 54.7%(1.0E-5/RY)，火災佔 0.2%(4.1E-8/RY)。

(4) 功率運轉 LERF 中廠內事件佔 12.3%(8.0E-7/RY)，地震佔 53.6%(3.5E-6/RY)，颱風佔 0.2%(1.4E-8/RY)，水災佔 33.7%(2.2E-6/RY)，火災佔 0.2%(1.1E-8/RY)。

核二廠

核二廠於 1995 年完成電廠活態 PRA 報告，台電公司以三年一期為原則，執行 PRA 的更新計畫，迄今共歷經 4 期的 PRA 更新。核二廠建立有功率運轉安全度評估模式及大修停機安全度評估模式，功率運轉安全度評估模式又細分為廠內事件、地震、颱風、水災及火災五類分析，最近一版的安全度評估結論為：

(1) 功率運轉 CDF 總和為 2.549E-5/RY，大修停機 CDF 總和為 9.55E-6/RY。

(2) 功率運轉 LERF 總和為 1.617E-6/RY。

(3) 功率運轉 CDF 中廠內事件佔 37.90%(9.659E-6/RY)，地震佔 32.29% (8.231E-6/RY)，颱風佔 12.27% (3.128E-6/RY)， 水災佔 1.23%(3.144E-7/RY)， 火災佔 6.30% (4.155E-6/RY)。

(4) 功率運轉 LERF 中廠內事件佔 12.42%(2.008E-7/RY)，地震佔 76.07%(1.230E-6/RY)，颱風佔 0.83%(1.345E-8/RY)， 水災佔 0.12%(1.956E-9/RY)， 火災佔 10.56% (1.708E-7/RY)

核三廠

核三廠於 1987 年 10 月完成核三廠的第一版安全度評估(PRA)報告，台電公司以三年一期為原則，執行 PRA 的更新計畫，迄今共歷經 4 期的 PRA 更新。核三廠建立有功率運轉安全度評估模式及大修停機安全度評估模式，功率運轉安全度評估模式又細分為廠內事件、地震、颱風、水災及火災五類分析，最近一版的安全度評估結論為：

(1) 功率運轉 CDF 總和為 1.8E-5/RY，大修停機 CDF 總和為 2.5E-5/RY。

(2) 功率運轉 LERF 總和為 1.2E-6/RY，大修停機模式未分析 LERF。

(3) 功率運轉 CDF 中廠內事件佔 27.2%(4.9E-6/RY)，地震佔 44.4%(8.0E-6/RY)，颱風佔 8.3%(1.5E-6/RY)，水災佔 19.4%(3.5E-6/RY)，火災佔 0.8%(1.4E-7/RY)。

(4) 功率運轉 LERF 中廠內事件佔 56.2%(6.6E-7/RY)，地震佔 10.2%(1.2E-7/RY)，颱風佔 0.9%(1.1E-8/RY)，水災佔 31.5%(3.7E-7/RY)，火災佔 1.1%(1.3E-8/RY)。

龍門電廠

龍門電廠於 2007 年完成龍門廠的 PRA 模式建立與結果報告，目前針對前述已完成之龍門電廠 PRA 模式執行後續同行審查及 PRA 模式精進計畫。龍門電廠建立有功率運轉安全度評估模式及大修停機安全度評估模式，其中功率運轉安全度評估模式細分為廠內事件、地震、水災及火災四類分析，大修停機安全度評估模式則針對低功率運轉及大修停機下的廠內事件進行評估，最近一版的安全度評估結論為：

(1) 功率運轉 CDF 總和為 7.93×10-6/RY。大修停機 CDF 總和為 1.61×10-7/RY。

(2) 功率運轉 LERF 總和為 5.69×10-7/RY。

(3) 功率運轉 CDF 中，廠內事件佔 19.16%(1.55×10-6/RY)、地震佔 70.46% (5.70×10-6/RY)、水災佔 7.59%(6.14×10-7/RY)、火災佔 0.80%(6.46×10-8/RY)。

(4) 功率運轉 LERF 中，廠內事件佔 1.58% (9.00×10-9/RY)、地震佔 97.54% (5.55×10-7/RY)、水災佔 0.08%(4.76×10-9/RY)、火災佔 0.03%(1.80×10-10/RY)。

1.5 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論

根據壓力測試的結果及其他國家採取對策的洞識，原能會已針對強化措施之實施，

建立清楚明確的之要求，這些要求已具體收錄在原能會於2012年11月5日發函台電公司的管制案。滿足管制案要求之具體作法或替代方案，由原能會及台電公司進行溝通討論，並由原能會進行最後之審查核可。管制案編號及內容說明如下：

1. **10101**：依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項2.1重新評估地震、水災危害，要求實施地震危害的重新評估
2. **10102**：依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項2.1重新評估地震、水災危害，要求實施水災危害的重新評估
3. **10103**：要求模擬地震、海嘯危害的機制及其導致的風險(原能會高階審查會議之意見)
4. **10104**：要求強化廠房建物水密性，或建海牆、擋牆其高度達現行持照基準以上再加6公尺(參考日本核電廠採行對策及依美國核管會NTTF報告，採加高6公尺防護以處理原設計基準海嘯高度所伴隨較大不準確度的議題)
5. **10105:**依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項2.3執行地震、水災履勘，要求實施地震、水災及其他外部事件危害的履勘
6. **10106:**依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項4.1廠區全黑管制措施，要求實施對策以處理廠區全黑的議題
7. **10107:**要求台電公司機組於所有狀態（包括大修或停機時）需維持兩部備用之緊急柴油發電機可用，故第五部柴油發電機僅為大修或停機機組而不得為運轉中機組之備用，即限制第五部柴油發電機之備用
8. **10108:**要求台電公司建立安全相關電池組24小時運轉能力，電池組容量之要求為至少在前8個小時不得採計來自卸去不必要負載所節省的電池容量，其後至24小時得採計來自卸去不必要負載所節省的電池容量
9. **10109:**在美國核管會(USNRC)管制導則1.155要求中並未涵蓋地震、海嘯之影響，基於國內特殊環境要求台電公司建立24小時全黑之因應能力(Coping Time)
10. **10110:**要求台電公司每座核能電廠增設一台耐震等級氣冷式柴油發電機，以處理電力系統深度防禦之特定議題
11. **10111:**要求台電公司參照ENSREG行動計畫之建議設置替代最終熱沉(UHS)
12. **10112:**依據美國核管會(USNRC)因應911恐怖攻擊對策(B.5.b)，要求台電公司備妥因應設施於鄰近廠區，以因應極端外部事件之反應(參見美國核管會10 CFR 50.54(hh)(2))

13. **10113:**依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項4.2，要求台電公司實施10 CFR 50.54(hh)(2)處理雙機組廠外危害防護的對策
14. **10114:**依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項5.1，要求台電公司對馬克I型及其他型式圍阻體增置可靠且強固的過濾排氣系統
15. **10115:**依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項7.1，要求台電公司增置用過燃料池儀器
16. **10116:**依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項8，要求台電公司強化並整合廠內緊急應變能力相關之緊急運轉程序書(EOPs)、嚴重事故處理指引(SAMGs)及大範圍廠區受損救援指引(EDMGs)，並須納入精進後之「機組斷然處置程序指引」與EOPs、SAMGs及EDMGs整合之考量
17. **10117:**要求台電公司執行核電廠之火山風險評估(PRA)，並研究火山爆發導致火山灰堆積的影響(行政院高階審查會議之意見)
18. **10118:**要求台電公司提昇重要設備防火門、穿越孔填封的防水或水密能力(參考日本管制機關對核電廠要求)
19. **10119:**參照歐盟同行審查優良實務及我國特定議題之處理，要求台電公司提昇電廠消防隊之建築耐震能力能因應超過設計基準地震
20. **10120:**要求台電公司強化外電系統並提昇核能電廠之外電可靠性(參考日本管制機關對核電廠要求)
21. **10121:**要求台電公司強化生水池儲水耐震能力，並考量裝置不透水層以提昇可靠性(參考日本東京電力公司核電廠採行之對策)
22. **10122:**參照歐盟ENSREG行動計畫之建議，要求台電公司安裝被動式自催化再結合器(PAR)避免氫氣爆炸
23. **101101:**要求台電公司檢討金山廠採用與其他運轉電廠相同耐震能力(設計基準值由0.3g強化為0.4g)之後續補強作業規劃與評估(行政院之命令)
24. **101301:**參照歐盟ENSREG行動計畫之建議，要求台電公司馬鞍山廠處理反應器冷卻水泵軸封喪失冷卻水洩漏之議題

原能會除了上述核能管制處的管制案外，另由核能技術處發出3個管制案：

1. 依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項9.3緊急應變管制措施，要求台電公司處理與緊急應變有關之人員、通訊議

題。

2. 要求台電公司強化現有非耐震一級用於緊急應變之技術支援中心(Technical Support Centre, TSC) 之結構以處理核電廠特定之地震議題。
3. 參照日本已實施之實務及國際原子能總署提供之建議，要求台電公司考量興建具有隔震效果之技術支援中心(TSC)。

此外，台電公司必須依照 ASME 的 PRA 標準完成整體 PRA 分析模型。

2. 地震

2.1 設計基準

2.1.1 電廠的設計基準地震(DBE)

2.1.1.1 設計基準地震(DBE)的特性

核一廠

核一廠係將最具災害性的 1909 年發生於板橋規模 7.3 的地震，假定是發生在距核一廠最近距離約 8 公里處的新莊斷層(或稱金山斷層)上。新莊斷層雖為非活動斷層，但為保守計，仍假定其為活動斷層，參考台灣歷史地震之距離震度衰減關係，推定設計基準地震(DBE)基準值為 0.3g，運轉基準地震(OBE)取 DBE 之一半為 0.15g。

核二廠

核二廠設計基準地震分別為 OBE 之最大加速度值為 0.2g 及 SSE 之最大加速度值為 0.4g。建廠當時係參考 1909 年芮氏規模 7.3 地震在核二廠位置的感受強度約是 Modified Mercalli 震度 VIII+級，推導其相對應之最大加速度約在 0.25g～0.35g 間。為保守起見，選定為 0.4 g 為合理假設之最大加速度值。

核三廠

核三廠設計基準地震分別為 OBE 之最大加速度值為 0.2g 及 SSE 之最大加速度值為 0.4g。此設計基準地震之決定係以 Tectonic Province Method 找出 1941 年 12 月 17 日規模 7.1 的東南外海地震為最具影響核三廠址之地震，並推定該震源可能發生的最大地震為規模 7.5 而定出 SSE＝0.4g，並取其一半值為 OBE，即 OBE＝0.2g。

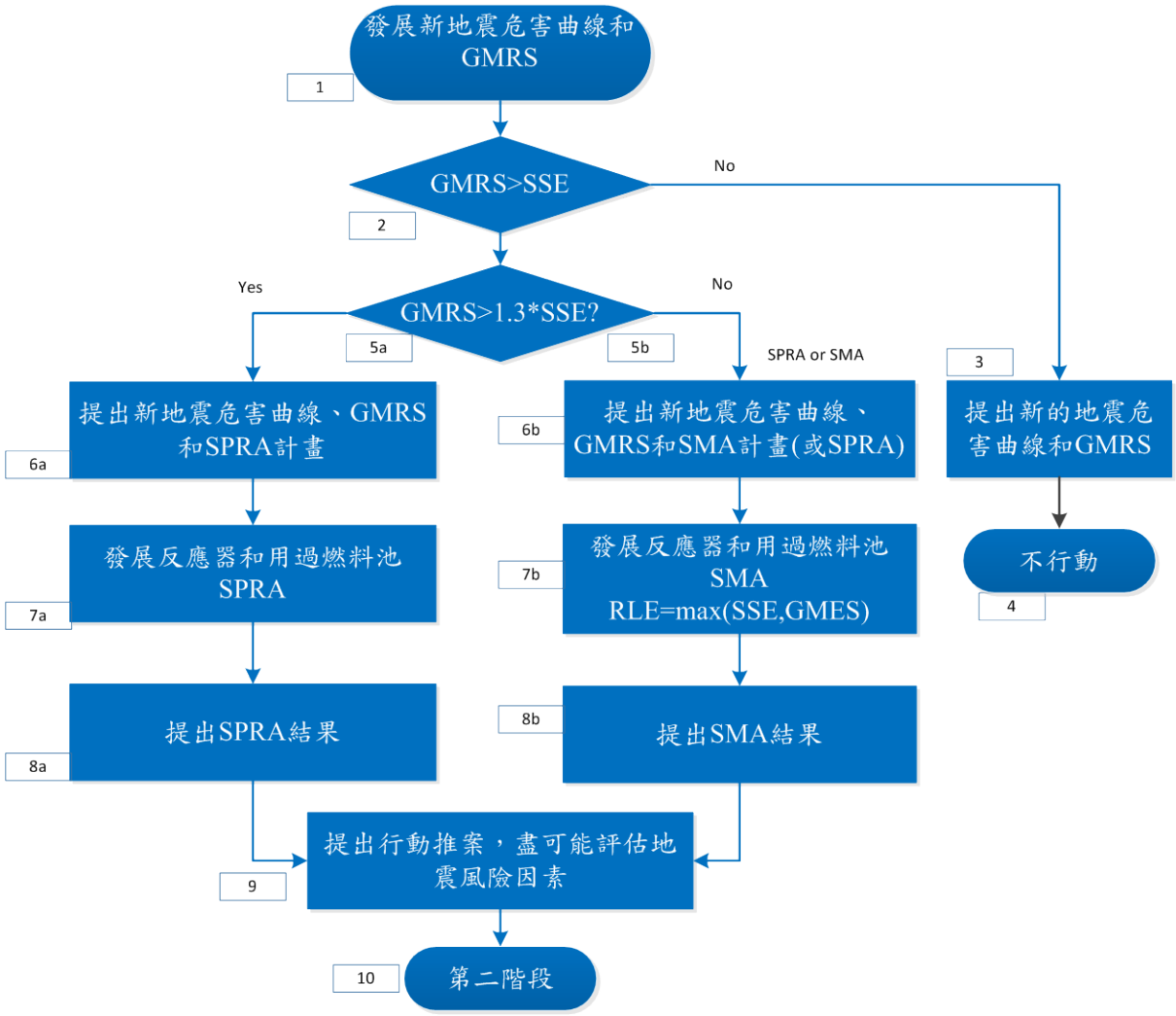
龍門電廠

龍門電廠之耐震設計係依據美國核能法規規定，採用美國核能電廠耐震設計基準，蒐集廠址半徑 320 公里範圍內，截至 1992 年過去 400 年間所發生之地震紀錄，按地質構造、地震分布情形，劃為多個不同的孕震區。最後係以 1908 年發生在台灣東部規模 7.3 之地震，並假定其發生在距龍門廠址最近距離（5 公里），保守計算推定出設計基準地震之最大加速度為 0.4 g。運轉基準地震則取其一半為 0.2 g。

2.1.1.2 評估設計基準地震的方法

依照美國聯邦法規 10CFR100 附錄 A 的定義，活動斷層係在近 35,000 年來曾經活動至少一次，或者是 50,000 年來活動超過 1 次。核電廠的安全停機基準地震 SSE 係由廠址週圍 320km 內的活動斷層所決定，以該等活動斷層歷史的最大規模或最大潛能值用來評估電廠位置之最大地震動。

經濟部中央地質調查所於最近的報告將北部的山腳斷層及南端的恆春斷層歸類為第二類活動斷層，可能影響斷層附近的三座核電廠安全，因此台電依照美國核管會在福島核災後對核電廠所採取的處理方式(NTTF，如下流程表)，重新評估核一、核二和核三廠目前的 DBE 適切性。



<u>核一和核二廠</u>

依據經濟部中央地質調查所的公佈資料(2007 年 7 月)，「山腳斷層」(正斷層)屬於第二類活動斷層，在陸域的斷層長度為 34km，在連接的海域部分其長度也至少延伸 16.6km，距今最近的一次活動約在 10,000 年前。根據前述經濟部中央地質調查所的公佈數據，台電已完成其對核一和核二廠的初步影響評估，結果顯示地震傳遞至核一廠反應器廠房基礎時，地震加速度為 0.19g，小於核一廠之設計基準地震值 0.3g；傳遞至核二廠反應器廠房基礎時，地震加速度為 0.30g，亦低於之核二廠 FSAR 評估分析之電廠設計基準地震值 0.4g(詳見表 2-1 和 2-2)。

表 2-1a 山腳斷層參數

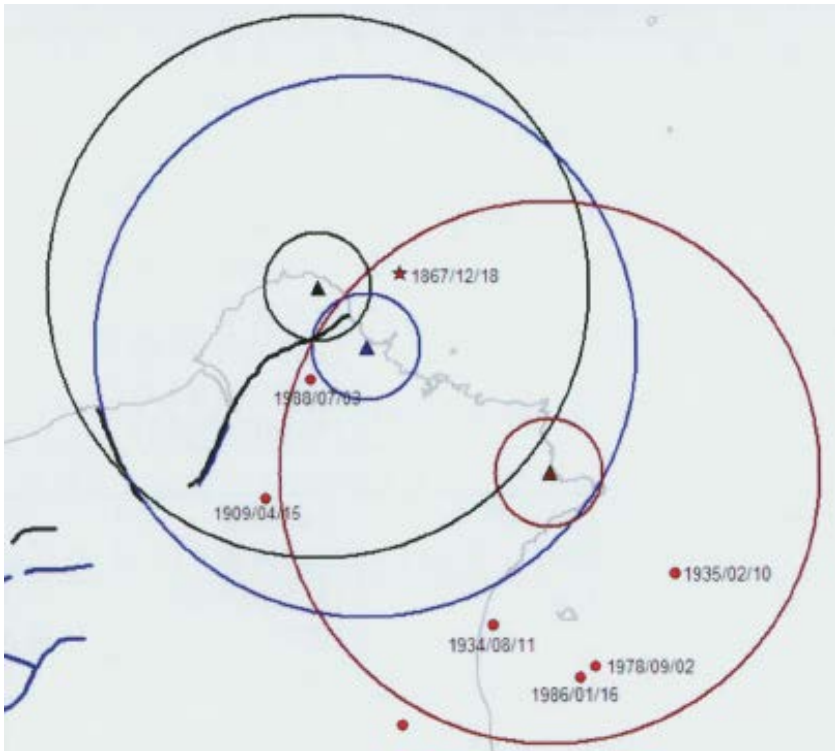
斷層	陸域長度	海域長度	震源深度	規模(M_L)
山腳斷層	34 km	16.6 km	10 km	6.8

表 2-1b 山腳斷層引發最大可能最大加速度

位置	核一廠	核二廠
推算出之地表最大加速度值	0.34g	0.56g
推算出之基礎位置自由場之最大加速度值	0.19g	0.30g
基礎位置自由場之設計最大加速度值	0.30g	0.40g

因此，核一和核二廠的設計基準地震值 0.3g 和 0.4g 仍是適切的。

下圖顯示核一廠(黑色三角形)和核二廠(藍色三角形)與山腳斷層的位置關係，圖中亦包括廠址半徑 8 公里及 40 公里內的主要歷史災害性地震的位置。



核三廠

核三建廠後，經歷兩次很具代表性的強烈地震(全島有感的 1999 年 921 規模 7.32 的集集地震和 2006 年 12 月 26 日台灣西南外海的規模 7.0 地震)，然而廠區的地震強度皆未達到設計基準地震一半值，即運轉基準地震 OBE(0.2g)。

2009 年 12 月中央地調所將其原本認為係存疑性斷層的恆春斷層重新歸類為第二類活動斷層。根據前述經濟部中央地質調查所的公佈數據，台電已完成其對核三廠的初步影響評估，結果顯示恆春斷層引發的地震傳遞至核三廠反應器廠房基礎岩盤時，地震加速度為 0.22g，小於核三廠之設計基準地震值 0.4g。

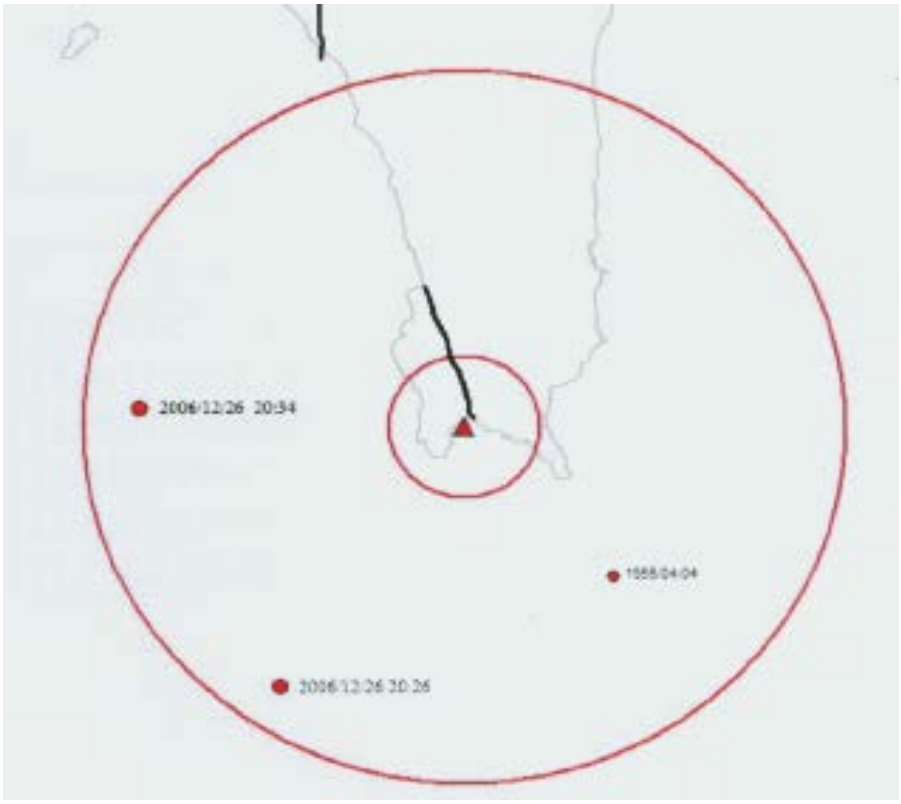
表 2-2a 恆春斷層參數

斷層	陸域長度	海域長度	震源深度	規模(M_L)
恆春斷層	16 km	--------	10 km	6.4

表 2-2b 恆春斷層可能導致最大尖峰加速度值

	核三廠
推算出之地表最大加速度值	0.38 g
推算出之基礎位置自由場之最大加速度值	0.22 g
基礎位置自由場之設計最大加速度值	0.4 g

下圖顯示核三廠(紅色三角形)與恆春斷層的相對位置關係，圖中亦包括廠址半徑 8 公里及 40 公里內的主要歷史災害性地震的位置。



龍門電廠

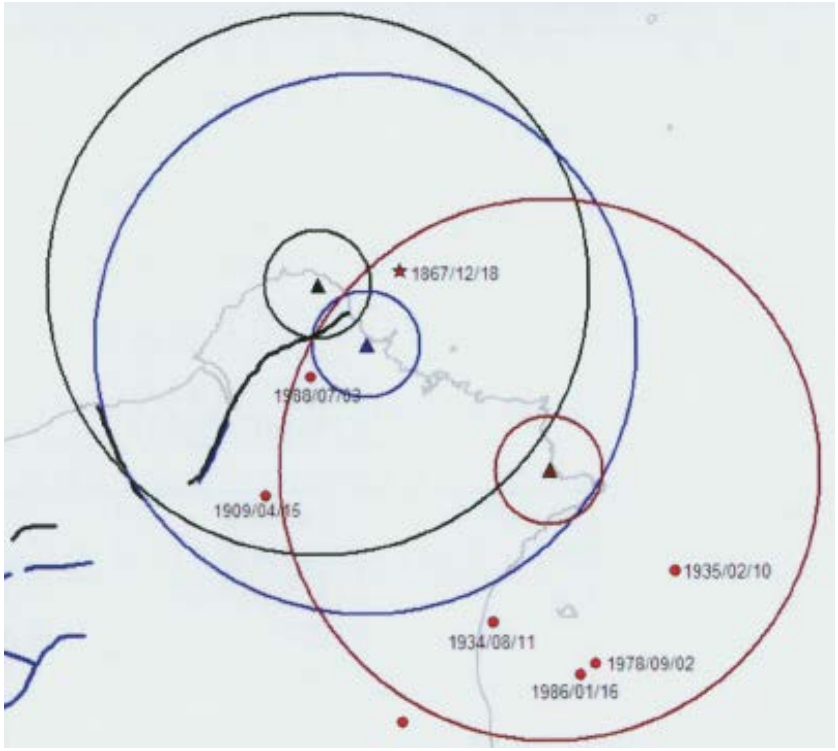
龍門廠的設計基準地震 SSE 為 0.4g，係由地體構造區法推估龍門核電廠廠址的最大地表加速度介於 0.23~0.41g，平均值為 0.33g，採用 0.4g。

2001 年經濟部能源委員會曾委請國立中央大學地球科學院蔡義本院長於完成「核四廠廠址附近地質與地震資料之彙整及評估研究」，該研究以 921 地震強震資料與龍門廠及其附近強震站資料進行分析，結果顯示龍門廠當初所採用之耐震設計值仍是適當的。

2004 年台電公司也另委請國家地震工程研究中心於完成「龍門計畫廠址地震危害度重新分析暨地震威脅評估工作」，研究結果也顯示原來 0.4g 的設計最大加速度及其設計地震反應譜仍可以適用。

另外，依內政部 2005 年 7 月施行之建築物耐震設計規範，龍門廠址當地之設計地表水平加速度值為 0.28 g，亦明顯低於龍門廠安全停機地震值 0.4 g。

下圖廠址半徑 8 公里及 40 公里內的主要歷史災害性地震的位置。



2.1.2 電廠防禦設計基準地震的方法

2.1.2.1地震後安全停機所需之關鍵結構物、系統及組件

核一廠

1.安全相關之結構物、系統及組件總結如下

A. 廠房結構：聯合結構廠房、緊要海水泵室廠房、第五號柴油機廠房、EDG 日用貯油槽、冷凝水貯水槽

B. 系統及其支援系統：

a. 緊急爐心冷卻系統：包括低壓注水、高壓注水、自動洩壓及爐心噴灑系統、b.爐心隔離冷卻系統、c.緊急柴油發電機、d.聯合廠房冷卻水系統、e.緊要海水系統、f.緊急冰水系統、g.餘熱移除系統。

2.反應器廠房五樓用過燃料池檢視如下：

(1)反應器廠房五樓起重機(overhead crane)為 90 公噸(主吊車荷重)固定式具有確保單一失效準則功能的吊車，是所謂的 II over I 設計，也就是在設計上會確保在 SSE 地震下該吊車不會墜落而影響到附近安全相關之設備。

(2)燃料池構造為內襯不銹鋼板之鋼筋混凝土池體結構。依池體設計資料，池內水位維持在燃料元件頂部 7.88 英呎以上，故可確保用過燃料有足夠的水覆蓋，使不致因受地震影響而曝露在空氣之中進而喪失應有的屏蔽。

核二廠

1. 機組為達到安全停機所需關鍵的結構物、系統及組件如下：

(1) 廠房結構：控制廠房、輔助廠房、柴油機廠房、反應器廠房、緊急循環水泵室

(2) 系統及其支援系統：緊急柴油發電機、緊急爐心冷卻系統(包括餘熱移除系統、高壓注水系統、低壓注水系統等)、爐心隔離冷卻系統、自動洩壓系統、緊急冷凍水系統、緊急循環水系統

(3)重要儲水槽：冷凝水儲存槽、輔助冷凝水儲存槽

2.用過燃料池最少尚可保持高於貯放燃料元件 8 呎以上的水位，確保地震破損時用過燃料有適足的屏蔽。

用過燃料池運轉相關之設備皆為耐震一級，用過燃料池冷卻系統雖不是耐震一級，但若因地震事故而損壞，可藉由耐震一級餘熱移除系統之用過燃料池冷卻模式進行必要之冷卻，將不會導致用過燃料池喪失冷卻系統。

核三廠

安全停機所需關鍵的結構物、系統及組件條列如下：

(1)廠房結構：控制廠房、輔助廠房、柴油機廠房、圍阻體、廠用海水泵室、燃料廠房

(2)系統及組件：

1.緊急柴油發電機、2.緊急爐心冷卻系統、3.反應爐冷卻水系統、4.圍阻體噴灑系統、5.核機冷卻水系統、6.緊要寒水系統、7.廠用海水系統、8.化學與容積控制系統、9.輔助飼水系統。

龍門電廠

機組為達到安全停機所需關鍵的廠房結構、系統及組件如下：

一、廠房結構：控制廠房、反應器廠房、反應爐(器)廠房冷卻海水泵室、輔助燃料池廠房

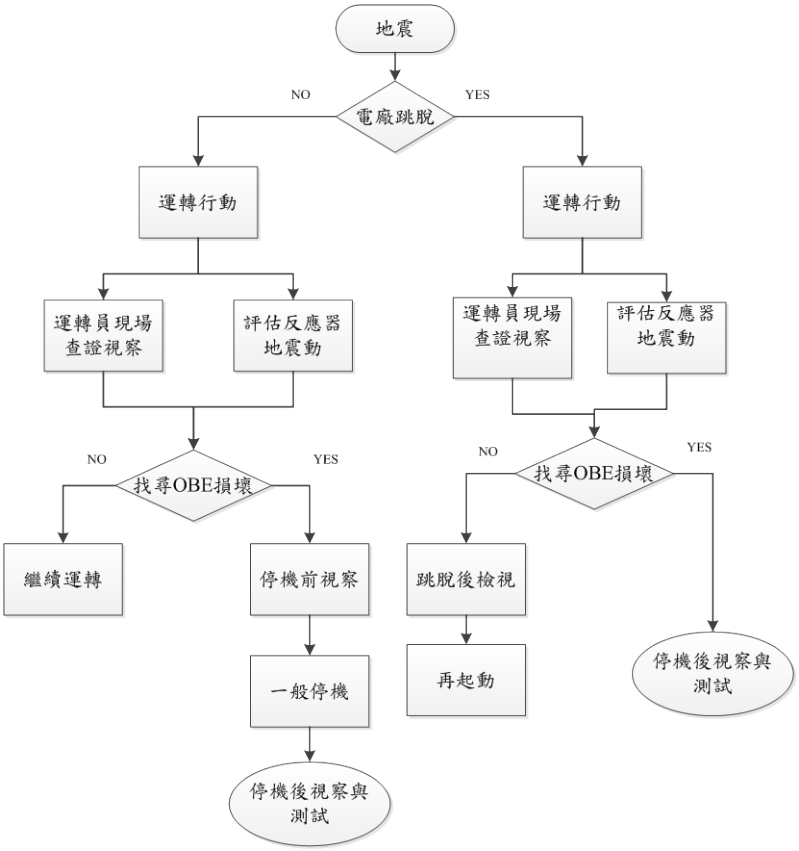
二、系統及其支援系統：

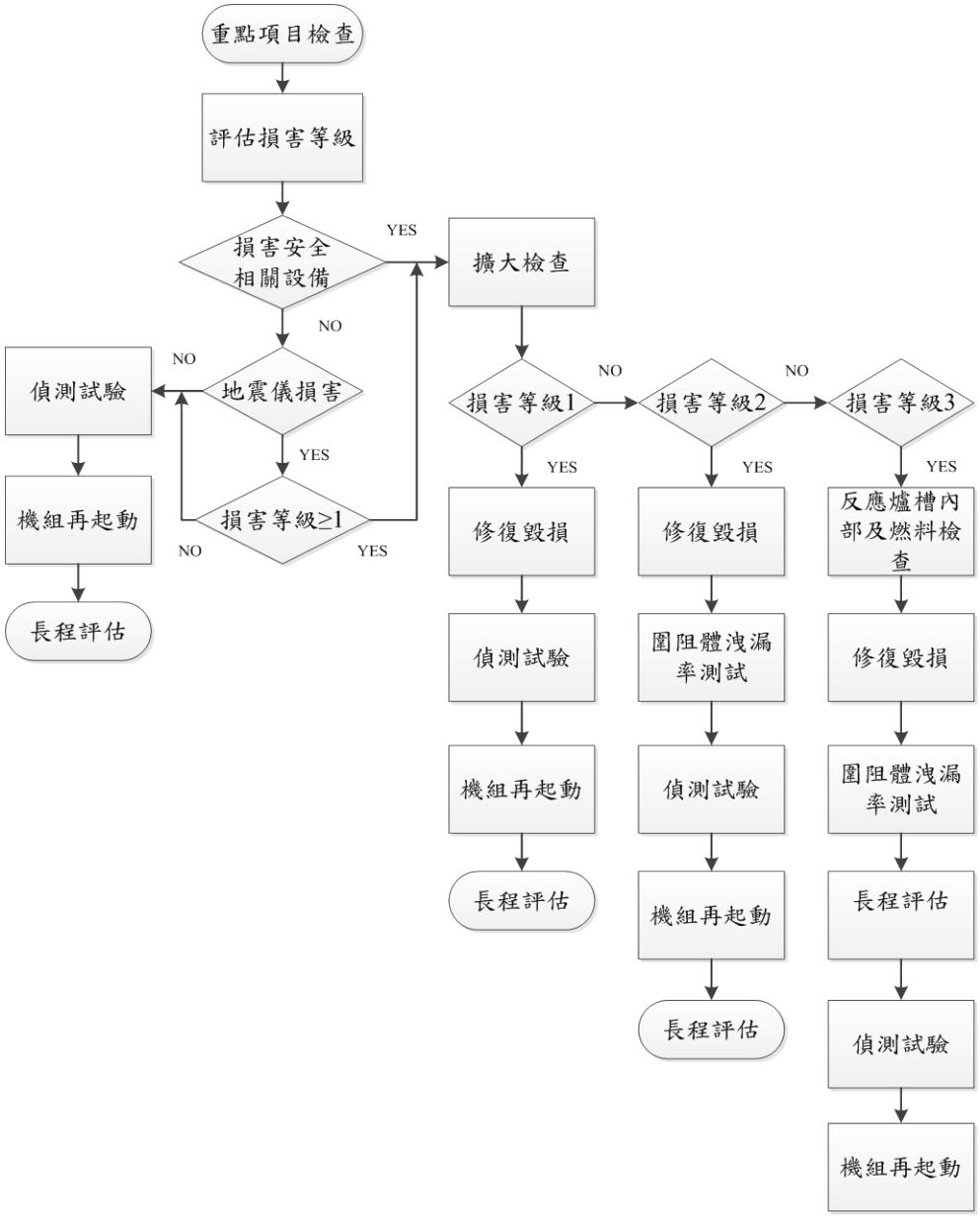
1.緊急柴油發電機及其子系統、2.緊急爐心冷卻系統、3.爐心隔離冷卻系統、4.自動洩壓系統、5.反應器廠房冷卻水系統、6.反應器廠房冷卻海水系統。

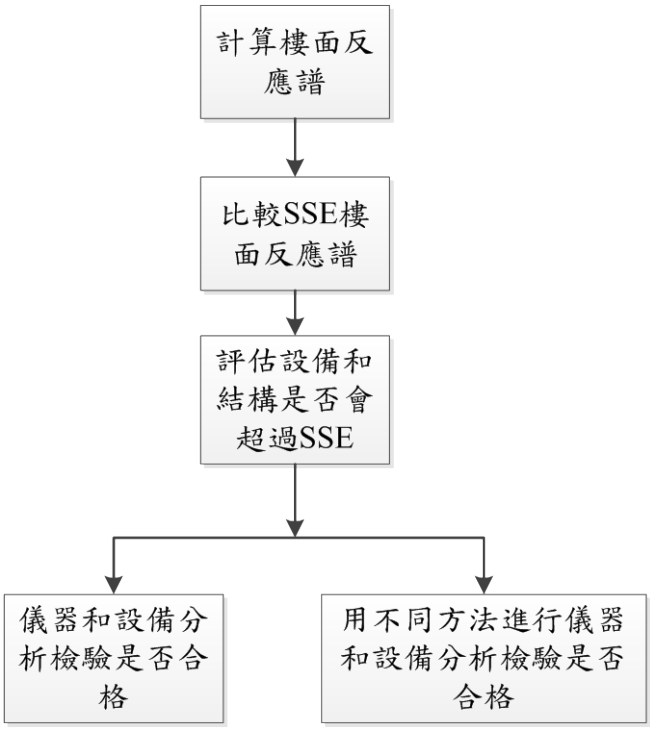
2.1.2.2避免地震後反應器或用過燃料池受損的主要操作規定

在強震來襲後，我國 4 座核電廠係依據美國核電廠所採之地震後處理程序，詳如下列 EPRI NP-6695 流程圖，以確保地震後之電廠安全。此 NP-6695 流程並已經被美國核能管制委員會背書，並據以引用在該委員會的相關管制導則 NRC RG1.166「Pre-Earthquake Planning and Immediate NPP Operator Post Earthquake Actions」及 RG1.167「Restart of a NPP Plant Shutdown by earthquake.」。

此外，每部核能機組皆比照日本經驗，有安裝自動地震急停系統，可在偵測到地震強度約是設計強度之一半即將反應器自動停止運轉。




重點項目檢查
評估損害等級
損害安全相關設備
YES
NO
擴大檢查
地震儀損害
NO
偵測試驗
YES
損害等級≥1
NO
YES
機組再起動
長程評估
損害等級1
NO
損害等級2
NO
損害等級3
YES
YES
YES
修復毀損
修復毀損
反應爐槽內部及燃料檢查
偵測試驗
圍阻體洩漏率測試
修復毀損
機組再起動
偵測試驗
圍阻體洩漏率測試
長程評估
機組再起動
長程評估
偵測試驗
機組再起動



核一廠

先前所述的 EPRI NP-6695 流程圖清楚說明核電廠在遭受地震後之步驟，核一廠另有對應的程序書如下：

(1)程序書 512.1『核能電廠強震後緊急處理步驟』

(2)512.2『強烈地震後全廠檢查』

(3)512.3『強烈地震停機後再啟動前全廠重要設備結構物查核表』

核二廠

核二廠依據程序書 575『地震緊急程序書』進行強震後重點項目檢查，程序書是依據 EPRI 6695 報告。

核三廠

核三廠程序書 582/582.1 係參照 EPRI 報告編號 NP-6695，條列如下：

(1)AOP582 強震處理程序

(2)AOP582.1 強震停機後機組重要設備詳細檢查程序書

(3) 核三廠每個機組皆有安裝自動地震跳脫系統。

龍門電廠

核四廠對於地震後之機組處置亦透過程序書 528.01.01『地震緊急作業』、528.01.02『地震大於運轉基準地震再起動評估作業』規範相關之應變及檢查作業。

2.1.2.3 其他因地震造成之間接影響的考量

核一廠

1.若發生因地震致廠區淹水：

核一廠廠區淹水事件主要造成原因為管線、水槽槽體破裂等，台電已據此等可能之淹水執行廠房事故淹水分析，分析範圍包括聯合結構廠房及汽機廠房，分析結果不會影響機組之安全停機功能。

鑒於福島事件之經驗，核一廠已在廠房強化排除淹水保護設施，保護緊急柴油發電機不會受到因地震導致淹水而破壞。

2.若因地震致發生火災：

核一廠與安全停機有關區域之消防設施為耐震一級，且他們分隔在不同的防火區和防火屏障，至於非耐震一級設備核一廠強化措施簡述如下：

a. 將原本生水消防管路在地下的部分進行明管化的改善

b. 進行生水池結構體及管路耐震能力的提升

c. 將合計有 10 萬噸生水的上池與下池加裝連通管，並與機組的環形生水管連通，以做為備援水源

d.增購大型消防泵 8 台，可從各救援水源取水滅火。

3. 若喪失廠外電源時：每一部機有配置 2 台安全等級之緊急柴油發電機，另有配置一台兩部機共用之氣冷式第 5 台安全等級之緊急柴油發電機，可隨時接替任一台機組緊急柴油發電機。

4.若發生因地震致廠外之情況可能阻礙或延遲人員及設備到達廠區時：

(1)若事件發生於正常上班時段：

模中有訓練班人力、機動支援班、平時長期合約駐留廠區承包商之維護人力及廠內消

防班人力，可接替及協助機組運轉處置。

(2)若事件發生於非正常上班時段：

居住在廠區附近備勤宿舍的人力超過 100 人，可通知協助機組運轉工作，另電廠維護協力商之技術人力，且維護合約中，均列有緊急搶修項目，遇有緊急事故時，可洽協力廠商就近人力支援。消防班人力及駐廠保警人力，亦可協助救災事宜。

<u>核二廠</u>

1.地震引起之廠區內部淹水影響：

淹水事件分析結果發現，除反應器輔助廠房底層之數處安全有關的隔間(HPCS、LPCS、RCIC 及 RHR 等)有淹水 0.78 呎～1.71 呎的可能性，可能影響 Leg Pump 運轉外，其餘廠房淹水高度皆小於 6 吋或不會發生淹水狀況。有可能發生內部淹水的設備室，皆

設有防水門及地板集水坑抽水泵，正常運轉時控制室隨時監視集水坑水位，若有水位異常現象發生，將自動啟動集水坑抽水泵排除，可適當因應異常進水所需。

此外，新增程序書 577.1「廠房緊急排水作業程序」明定在各廠房發生淹水事件時，立即派員查看集水池泵是否正常運轉中，如集水池水位大於「最大 SAFE 運轉水位」，則依緊急操作程序書 EOP-500.6 將機組降載並維持在安全停機狀態。

2、地震導致喪失廠外電源：

若因地震導致喪失廠外電源，核二廠原本設計上各機組均配置 2 台耐震一級之緊急柴油發電機供給安全停機所需之各系統電源，此外，若上述之任一台緊急柴油發電機喪失正常功能時，電廠另配置上仍有 1 台兩部機組共用氣冷式之第五台緊急柴油發電機，可隨時替換取代上述任一柴油發電機。

另核二廠已將安全有關之蓄電池共四組的容量由原設計的 8 小時供電能力提昇至 24 小時的供電容量。

核二廠已對地震災害如超出設計基準時之電廠電力配置因應措施完成檢討，其內容詳參閱「第 5 章:喪失電源與喪失熱沉」，相關之部份內容。

3、因地震導致廠外之情況阻礙或延遲人員及設備到達廠區：

對於災害發生時間可區分為正常上班時段及非正常上班時段，分別說明如下：

(1)若事件發生於正常上班時段：

模中有訓練班人力、機動支援班約 10 人(大部份為持照人員)、長期合約駐留廠區承包商及廠內消防班人力，可作為維持運轉人力和緊急後備人力支援機組運轉。

(2)事件發生於非正常上班時段：

立即依程序書 1407 TSC 動員與應變程序及 1409 HPC 動員與應變程序緊急動員，若因地震導致廠外道路不通，將向中央政府主導之「核子事故中央災害應變中心」申請工兵支援搶通道路或利用直升機載送人員與物資設備搶修，以及人員緊急送醫。居住廠區單身備勤宿舍維護人員(機、電、儀、修)人員，可緊急動員進行設備搶修工作，消防班人力，亦可協助救災事宜。

4.火災防護/消防設施能力：

設備現場佈置亦採分離(例如不同房間)之原則，對於不同安全分區設備，其亦以不同防火區劃或包覆予以隔離，不會因消防設施故障而造成不同分區之安全設備同時燒毀。

核二廠另已在消防蓄水池至 14 英吋主消防水環管閥門增設一條供水管及相關隔離閥，在既有供水管破裂時，可藉由人工關閉閥門，再由此新管路提供主環管消防水，並

開立設備修改申請書 DCR 將保護區內之 12"消防水及生水管路由鑄鐵埋管改為碳鋼明管，設計為耐震一級，可確保發生地震不致影響廠房消防水供應。

福島事件後，現有電廠皆提昇消防能力，核二廠與新北市消防局第六大隊訂定消防救災支援協定書，支援核二廠救災。在消防設施上，配置有大型推車式乾粉、CO_2 及海龍滅火器、消防水庫車及化學消防車，油槽依不同區域及類型，均設有防溢堤或防火牆等阻擋火勢延燒之設計，防止發生火災時損及鄰近設備。

核三廠

1.地震喪失廠外電源供應：

喪失廠外電源時，核三廠特殊安全措施之匯流排將由耐震一級之 A、B 串緊急柴油發電機供電。

若兩部機之任一台 A、B 串緊急柴油發電機因故失效，則可由耐震一級之第五台緊急柴油發電機替代，以提供安全停機設備所需電力。如前述備援之所有 AC 電源均喪失，機組將跳機進入標準處理程序 570.00 後再導入 570.20 廠區全黑緊急處理程序。

2.廠外的情況可能因地震導致道路運輸中斷，造成阻礙或延遲人員及設備到達廠區：

(1)使用任何可能方法排除道路運輸問題

(2)事件發生於正常上班時段：

模中有訓練班人力，維護部門人力及消防班人力可供支援。

(3)事件發生於非正常上班時段：

(a)附近備勤宿舍維護人員（機、電、儀、修）、消防班人力及駐廠保警人力，可協助救災事宜。

3. 若因地震致發生火災：

油槽均設有防溢堤或防火牆等阻擋火勢延燒之設計，防止發生火災時損及鄰近設備。

鑒於日本 2007 年 NCO 地震經驗，核三廠正進行機組生水消防管路地下管線部分明管化的改善，並將進行生水池槽體及管路耐震能力的提升。

核三廠編置有消防隊及消防車，可迅速從各救源水源取水滅火。

4.重要廠房內的吊車，雖然未在程序書內詳述停用期間的停駐點，但實務執行面上皆已有停駐點的作法。經全面重新檢討與規劃這些停駐點，確認即使因地震導致吊車墜落，也不會使其下方或附近的重要安全相關設備/設施受損，因而造成安全停機上的重大衝擊。重新檢視後的停駐點已明訂於相關程序書內容來規範。

5. 開挖與回填

建廠時期將表面堆積層及風化泥岩層挖除使廠房結構直接座落於新鮮泥岩層，無結構座落於回填區，以確保結構耐震能力；商轉後，廠區或廠房周邊新、舊管線埋設、更新之開挖、回填皆確保不因開挖回填影響廠房結構及管線耐震能力；依據核三廠長期進行之廠房沉線測量結果顯示，各廠房經年來並無沉陷或不均勻沉陷之現象。

龍門電廠

1.地震造成之廠區淹水影響：

(1)廠房內部的防淹水並不需動力設備，廠房內淹水時可由樓層、區域地板洩水孔沿洩水管路集水進入集水坑。若進水量超過洩水孔排放量，廠房各樓層將會淹水，但依原有設計，淹水可匯集至廢料廠房底樓各收集槽，可緩衝蓄積大部份淹水，延長其他廠房重要設備搶救時間，降低災害嚴重性。

(2)反應器廠房底層 6 間緊急爐心冷卻系統(ECCS)的泵室，其地面排水洩入之集水池，屬該區單獨專用，未與其他區域連通，且設計有防水門，可避免房間內淹水漫延，亦可避免外來淹水入侵，確保 ECCS 之重要設備完整可靠性。

(3)反應器廠房若因循環水管路洩漏(例如：抑壓池取水管路之斷管)，經由集水坑警報及洩漏偵測系統之提示，即可將洩漏之系統隔離，進而限制水的洩漏量。安全設備基座高度至少 20 公分即可防止設備浸水。手動的消防設備引動及管路/水槽內存水總量的限制也限制了廠內淹水。

2.地震引起喪失廠外電源：

(1)龍門電廠每一部機有配置 3 台安全等級之緊急柴油發電機，供廠外電源喪失後提供緊急冷卻系統所需電源。

(2)龍門電廠另有配置一台兩部機共用之氣冷式第 7 台安全等級之緊急柴油發電機，可隨時接替任一台機組緊急柴油發電機。

(3)以上安全等級之緊急柴油發電機均依據安全停機之設計地震基準值設計；另為防範伴隨之水災影響緊急柴油發電機，已依福島案經驗，規劃於各主要設備廠房之廠房進出門或鐵捲門前裝設擋水板/或門隙強化橡皮軟墊。當判斷廠區淹水有侵入廠房之虞時，事先裝設。

3.因地震導致廠外之情況阻礙或延遲人員及設備到達廠區：

(1)事件發生於正常上班時段：

a.若運轉值班人員無法抵達電廠接班，此時模中有訓練班人力，另有機動支援班 (大部份為持照人員)，可接替及協助機組運轉處置。

b.各部門維護人力均在廠內，另有長期合約駐留廠區承包商，維護人力可達百人，應可滿足緊急情況設備維護需求。

c.廠內消防班人力於二值時段配置 8 人，而正常上班時段依緊急計畫組織，編組緊急後備消防隊人力有 45 人，可協助消防工作。

(2)事件發生於非正常上班時段：

a.大部分運轉員及維護人員居住在廠區單身備勤宿舍，可協助機組運轉工作及緊急動員進行設備搶修工作，龍門電廠已有規劃於貢寮、雙溪地區籌建眷屬宿舍，必要時可召喚值班人員先行進廠協助。

b.若因廠外道路不通，將向中央政府主導之「中央災害應變中心」申請工兵支援搶通道路或利用直升機載送人員與物資設備搶修，以及人員緊急送醫。

c.消防班人員支援

4.龍門廠備有耐震一級消防設施及廠內消防站。

5.開挖與回填：

龍門廠無任何結構物興建於開挖並回填之土方上，且廠址內安全有關之結構物因基座全座落在岩層上，無土壤液化的問題，故地震時不會因為土壤液化而影響廠區之安全。

廠區西側與南側山坡進行開挖整地的工區，依程序書 1208「開挖與回填工程」規範廠區相關開挖與回填工程之施工及品質管制，以確保任何開挖回填作業不會影響到廠房結構及管線的耐震能力。

2.1.3 電廠承諾的持照基準

2.1.3.1 一般程序

核一廠

核一廠耐震一級之系統/設備/結構，其定期之結構檢查、評估及修補，以及設備測試及維護，核一廠程序書 512.1、512.2、512.3、600 系列「定期測試程序」及 700 系列「維護作業程序」均已涵蓋。

核二廠

1、系統、設備，其定期測試週期均依照運轉規範要求，條列測試步驟及接受標準詳述於 600 系列「偵測試驗程序書」，並依照運轉規範所要求之測試頻率訂定測試週期。

2、系統、組件維護檢查方法及週期則詳述於 700 系列「維護保養程序書」，說明檢查內容，如分解、檢查、潤滑、更換消耗性組件（如油封、墊片）、安裝、鎖磅等程序，並依照十年長期維修計劃於每次大修進行檢查作業。

3、結構檢查/維護方法則規範於 173.7-「維護法規結構檢查及監測」，依結構、被動組件與土木工程設施定期檢查的實施與文件要求，將檢查結果分級且訂定後續處理措施；對於高安全重要結構每 5 年檢查一次，低安全重要結構則每 10 年檢查一次。

核三廠

1.核三廠平時均定期依 600、700 系列程序書執行安全相關系統、結構之維護、檢查及測試，以確認承諾的持照基準。

2.在地震後則依程序書 582 檢查及測試

龍門電廠

1.系統、設備，其定期測試週期均依照運轉規範要求，條列測試步驟及接受標準詳述於 600 系列「偵測試驗程序書」，並將依照運轉規範所要求之測試頻率訂定測試週期。

2.系統、組件維護檢查方法及週期則詳述於 700 系列「維護保養程序書」，說明檢查內容，如分解、檢查、潤滑、更換消耗性組件（如油封、墊片）、安裝、鎖磅等程序，並將依照十年長期維修計劃於每次大修進行檢查作業。

3.結構檢查/維護方法，未來將於「維護法規結構檢查及監測」152.07 程序書中規範，依結構、被動組件與土木工程設施定期檢查的實施與文件要求，將檢查結果分級且訂定後續處理措施；對於高安全重要結構將每 5 年檢查一次，低安全重要結構則將每 10 年檢查一次。

2.1.3.2 廠外機動設備/資源

核一廠

鑒於福島事故經驗，核一廠增購了兩部大型的 4.16kV/1500kW 貨櫃電源車及 12 部中型 480V/500kW、480V/200kW 等之柴油發電機，多部輕便型汽/柴油發電機、空壓縮機、內燃機抽水泵等已經採購，上述設備皆條列於程序書 113.5。

上述設備置放地點之安排以器材備品的性質或運用分散佈置等方式皆有相當的安全高程以確保不受颱汛及海嘯之影響且又易於取用之地點。核一廠亦為此修訂 113.5 程序書，增加儀器設施定期檢查及測試。

核二廠

如同核一廠，核二廠亦具有充足之一般性救援設備如移動式吊車、移動式抽水泵及移動式發電機。

核三廠

如同核一廠，核三廠亦具有一般性救援設備如移動式抽水泵及移動式發電機。

龍門電廠

龍門廠已依程序書 186.01「災害防救重點」佈置一般性救援設備如移動式抽水泵及移動式發電機。

2.1.3.3 已知之承諾偏差事項、其可能影響及矯正規劃

台電公司核能電廠已依美國聯邦法規第 10 篇第 50 款附錄 B 建立完整之品保制度。核能發電之種種作業，從組織、設計、採購、製造、安裝、運轉、維護等，均遵循該品保制度予以監督與控制，俾使核能電廠之各項結構、系統或組件皆能發揮其應有功能。對於偏差事項，亦可透過此一制度及時發現，並評估其影響以及執行必要之改正、矯正行為，以降低、消彌偏差事項對機組安全之衝擊。

核一廠

依目前之設計，並無偏離安全分析報告 FSAR 之承諾。若發生任何偏離，核一廠依據下列相關程序書進行安全評估及矯正措施：

1.值班人員依照程序書 1102.01 開出請修單，並判定是否進入運轉規範/技術手冊之運轉限制條件(LCO)、若影響安全系統則依狀況宣告不可用，並進行通報(程序書 113.1 異常事件立即通報作業程序、程序書 113.2 異常事件書面報告作業程序)。

2.依程序書 1115.01 不符合品質案件處理管制程序準則填發 NCD 品質不符通知、若涉及 10CFR21 事項則依規定進行通報。

核二廠

核二廠各安全有關 SSC 耐震設計，並無偏離 FSAR 之承諾；倘若發生任何 SSC 偏離承諾狀況，電廠將依品保制度及其規範之相關管制書，進行對機組影響之安全評估及必要之矯正措施。

核三廠

1. 依據程序書 192 救災用器材維護及管理程序書，移動設備包括移動式柴油發電機、汽油引擎抽水機等每週或每月執行自動檢查、測試及維護，以維持在可用的狀態。

2. 若固定裝設之安全保護系統設備發生任何偏離,核三廠將依據相關程序書進行安全評估及矯正措施之執行。

龍門電廠

依目前之設計，龍門電廠並無偏離 FSAR 之承諾。若發生任何偏離，龍門電廠將依據相關程序書進行安全評估及矯正措施。

2.1.3.4 福島核一廠事故後業主自主確認的持照承諾

核一廠

1.因應日本福島事件，核一廠已經完成耐震提昇相關改善如下：

(1)將機組生水消防管路地下管線部分增設一明管迴路

(2)將緊急柴油發電機日用油槽，油罐車，油管路提昇為耐震一級

(3)將 SFPACS 冷卻水塔 CT-15A/B 之相關管路提昇為耐震一級，作為複合式緊急事故發生時，有 SFPACS 作為反應器、乾井、抑壓池及用過燃料池的熱能移除替代系統。

2.其他規劃部分：

1.因應山腳斷層及恆春斷層新事證發現，台電已加速進行地質調查及核電廠耐震能力評估，包括廠址附近海陸域地質調查、地球物理探測、耐震餘裕評估(SMA)、耐震安全度評估(SPRA)。此外，建置與中央氣象局地震與海嘯預警系統連線。

核二廠

1. 因應福島事件，核二廠規劃執行之改善案如下：

(1)「生水管路強化」：確保山上之 3 萬七千公噸生水池可供應額外水源。

(2)「增設 RHR 系統之後備注水管路及關斷閥」：透過 ECW 渠道管路、生水池或用移動式抽水泵或消防車在廠區附近任何水源取水，以提供 RHR 系統額外的注水路徑。

(3)「增設 A/B 渠道之擋水閘門」：以提供 A、B 渠道圍堰功能，儲存渠道上游流下之河水及由出水口以移動式抽水泵抽取之海水,供給地震後廠內各項緊急冷卻用水/補水之水源。

(4)「增設固定輸送水管由臨海橋至核二廠大門」：以利用移動式抽水泵將出水口之海水泵送至渠道 A 新增設之檔水閘門內，供給地震後廠內各項緊急冷卻用水/補水之水源。

2. 因應山腳斷層新事證發現，台電已加速進行地質調查及核電廠耐震能力評估，項目包括：廠址附近海陸域地質調查、地球物理探測、耐震餘裕評估(SMA)、耐震安全度評估(SPRA)，此外，已建置與中央氣象局地震與海嘯預警系統連線。

核三廠

1. 因應恆春斷層新事證發現，台電已加速進行地質調查及核電廠耐震能力評估。項目包括：廠址附近海陸域地質調查、地球物理探測、耐震餘裕評估(SMA)、耐震安全度評估(SPRA)，此外，已建置與中央氣象局地震與海嘯預警系統連線。

2.檢討地震後，可能因而導致喪失廠外電源所採行之強化措施如下：

(1)若兩部機 A、B 串緊急柴油發電機均因故失效，則可於拆除電氣連鎖後，由第五台緊急柴油發電機同時供應至兩部機之其中一串 ESF 匯流排電力。另外，A、B 串緊急柴油發電機若可用，亦可於拆除電氣連鎖後，同時支援供電至另一部機組之 ESF 匯流排。

(2)當所有 AC 電源均無法恢復，且預期短期內無法恢復供電時，同時進入程序書 1451 機組斷然處置程序指引，利用移動式柴油發電機引接至 AC、DC 所需之緊急電源。

3.檢討地震後，可能因而導致廠外道路交通中斷且非正常上班時段時，所採行之強化措施為：(1)已登錄居住恆春地區各類專長人員 103 人（含運轉），事故時可優先通知進廠協助機組運轉工作；(2)各類專長協力廠商亦比照列冊，於徵得其同意進廠協助設備搶修維護工作。

4. 重要廠房內的吊車,除了檢視其停用期間的妥當停駐點並明訂於相關程序書內容來規範之外，同時，核三廠亦已完成加裝該吊車在水平軌道方向的固鎖裝置，使其於地震時不會因水平軌道方向的位移而離開停駐點。

5.檢討地震後，伴隨衍生其他複合式災害時，需增購用以減緩事故或搶救機組的備援設備、物資(移動式發電機、消防車、柴油引擎抽水泵)。

龍門電廠

1.因應日本福島事件，龍門電廠已增強下列行動方案處理相關設備耐震能力及可用度之改善如下：(1)RAP-LM-04-03-002：為確保在 SSE 下，消防水水源及消防水系統能維持可用；(2)RAP-LM-04-03-001：將生水池補水至消防系統之管路規劃設計為明管，斷管時易於發現及修復；(3)RAP-LM-03-04-001：於反應器廠房增設耐震一級之用過燃料池專用補水管路及灑水管路，直接由反應器廠房地面樓層外連接適當水源，補水及灑水至用過燃料池；(4)RAP-LM-03-05-001：修改用過燃料池超音波水位計型式，使監測範圍至少可達有效燃料高度，並由緊要交流電力(R13)供電；另外，修改溫度計量測點深度，使監測範圍至少可達有效燃料高度。

2.除了一般性救援設備整備外，為了完善救援設備之完整性，另整合本次福島事故將增購救援設備及其他龍門廠既有之資源。

2.2 現行設計基準之餘裕評估

經由 PRA 分析所發展的地震事件樹分析，可作為地震餘裕和瀕危效應的評估工具。

2.2.1 地震導致燃料的嚴重受損的範圍

2.2.1.1 弱點及地震嚴重強度之瀕危效應

本項評估目的為透過安全度評估（PRA）之事件樹的方法，藉由評估各項設施/設備耐震程度，找出地震發生時，能夠成功維持機組安全停機所需各項設備/設施之最小承受值。即一旦震度達到此種級數，上述無法承受此種震度之設備/設施假設其喪失功能，並進而影響機組安全停機目的之達成。此種應用事件樹的方法，於救援成功的路徑上，找出需使用之救援設備，耐震度最低者，為本節定義之瀕危效應(Cliff Edge)。

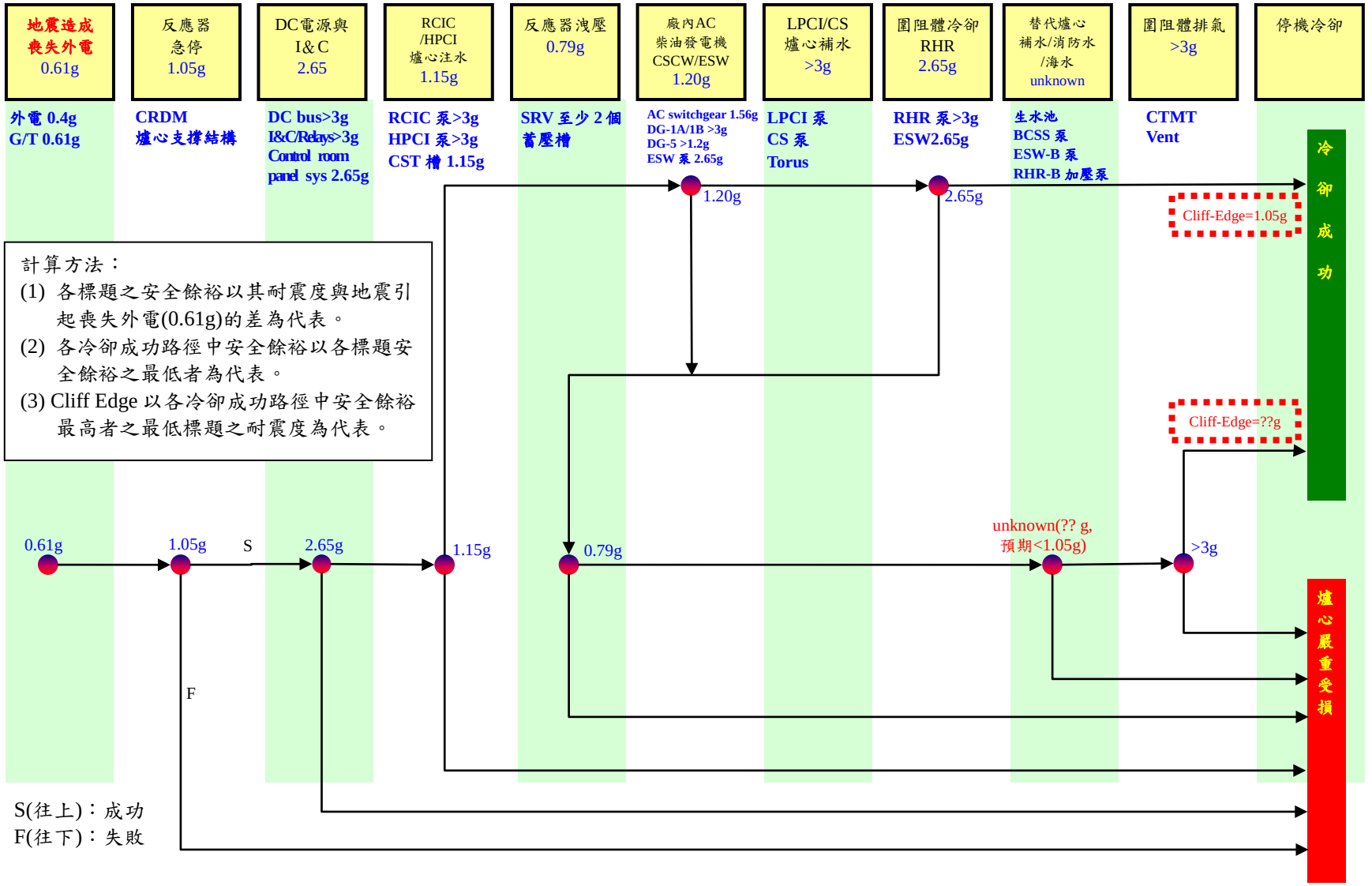
核一廠

地震餘裕分析用於本評估之工具，電廠以事件樹分析尋找瀕危邊緣和安全餘裕，假設地震後已經喪失廠外電源，找出可以達成爐心停機冷卻之兩種路徑，包括：

(1)地震造成喪失外電下，反應器急停及高低壓爐心補水(含圍阻體最終冷卻)均成功之序列。

(2)地震造成喪失外電下，反應器急停成功，高低壓爐心補水雖然失敗但長期之替代爐心補水(含圍阻體排氣)成功之序列。

地震餘裕及瀕危評估之地震事件樹如下圖，2 種可以成功達成爐心停機冷卻的安全路徑其瀕危值分別為 1.05g 及 0.79g。


地震造成喪失外電 0.61g
反應器急停 1.05g
DC電源與I&C 2.65
RCIC/HPCI爐心注水 1.15g
反應器洩壓 0.79g
廠內AC柴油發電機CSCW/ESW 1.20g
LPCI/CS爐心補水 >3g
圍阻體冷卻RHR 2.65g
替代爐心補水/消防水/海水 unknown
圍阻體排氣 >3g
停機冷卻
外電 0.4g
G/T 0.61g
CRDM
爐心支撐結構
DC bus>3g
I&C/Relays>3g
Control room panel sys 2.65g
RCIC 泵>3g
HPCI 泵>3g
CST 槽 1.15g
SRV 至少 2 個蓄壓槽
AC switchgear 1.56g
DG-1A/1B >3g
DG-5 >1.2g
ESW 泵 2.65g
LPCI 泵
CS 泵
Torus
RHR 泵>3g
ESW2.65g
生水池
BCSS 泵
ESW-B 泵
RHR-B 加壓泵
CTMT
Vent
冷卻成功
1.20g
2.65g
Cliff-Edge=1.05g
Cliff-Edge=??g
計算方法：
(1) 各標題之安全餘裕以其耐震度與地震引起喪失外電(0.61g)的差為代表。
(2) 各冷卻成功路徑中安全餘裕以各標題安全餘裕之最低者為代表。
(3) Cliff Edge 以各冷卻成功路徑中安全餘裕最高者之最低標題之耐震度為代表。
0.61g
1.05g
S
2.65g
1.15g
0.79g
unknown(?? g, 預期<1.05g)
>3g
F
爐心嚴重受損
S(往上)：成功
F(往下)：失敗

以上各成功路徑之安全餘裕及其 Cliff Edge 說明如下：

(1)成功路徑 1 之安全餘裕須以各標題安全餘裕之最低者為代表，即為 1.05g。

(2)成功路徑 2 之安全餘裕預期低於 1.05g，因替代爐心補水之設計耐震強度數值最低，且其地震中值小於 0.79g，所以預期最低瀕危值小於 0.79g。

因此，安全餘裕值為 1.05g，因地震事件之瀕危邊緣依定義為各冷卻成功路徑中(共有 2 條路徑)安全餘裕最高者，亦即當地震強度為 1.05g 時。

下表條列核一廠地震事件樹分析之重要設備／結構物耐震強度，係作為電廠的瀕危評估之用

重要設備／結構	耐震強度中值 (pga,g)
廠外電源	0.4
氣渦輪發電機	0.61
空氣蓄壓器	0.79
負載中心變壓器	1.03
爐心支撐結構	1.05
氣渦輪發電機馬達控制中心	1.08
冷凝水儲存槽	1.15
第五部柴油發電機	1.20
反應槽支撐裙鈑	1.22
4.16-KV 開關設備	1.56
燃料元件	1.7
再循環泵	1.77
柴油儲存槽	2.1

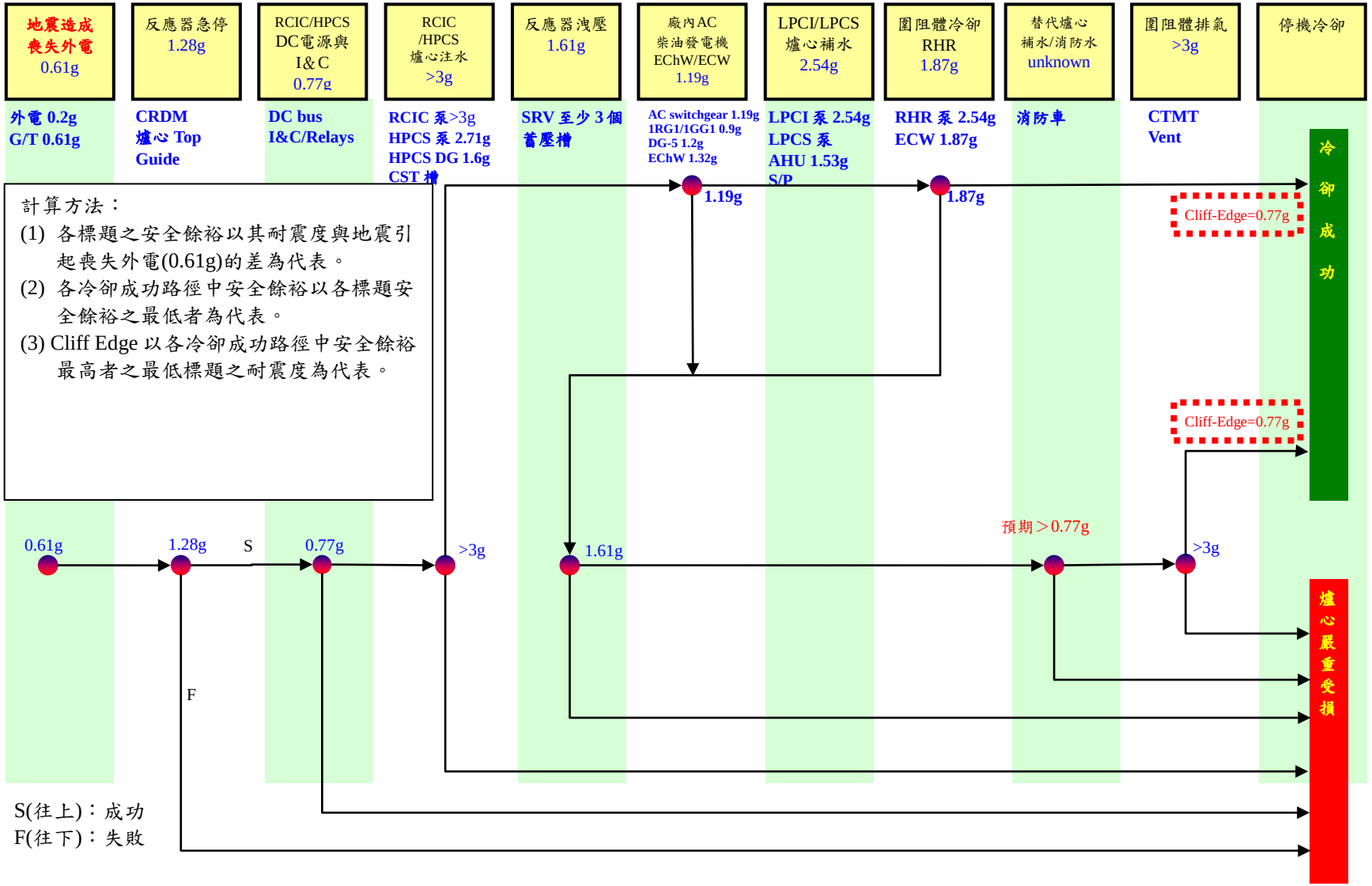
<u>核二廠</u>

地震餘裕分析用於本評估之工具，電廠以事件樹分析(參考 1995 年活態 PRA 報告)尋找 cliff edge 和安全餘裕，假設地震後已經喪失廠外電源，共有 2 種情況可以達成爐心停機冷卻之最後目的，包括：

(1) 地震造成喪失外電下，反應器急停及長期之高壓爐心補水(含圍阻體冷卻)均成功之事故序列。

(2) 地震造成喪失外電、反應器急停成功但長期之高壓爐心補水失敗下，長期之替代爐心補水(含圍阻體排氣)成功之事故序列。

地震餘裕及瀕危評估之地震事件樹如下圖，成功達成爐心停機冷卻之瀕危值為 0.77g。


地震造成喪失外電 0.61g
反應器急停 1.28g
RCIC/HPCS DC電源與I&C 0.77g
RCIC /HPCS 爐心注水 >3g
反應器洩壓 1.61g
廠內AC 柴油發電機 EChW/ECW 1.19g
LPCI/LPCS 爐心補水 2.54g
圍阻體冷卻 RHR 1.87g
替代爐心補水/消防水 unknown
圍阻體排氣 >3g
停機冷卻
外電 0.2g
G/T 0.61g
CRDM
爐心 Top Guide
DC bus
I&C/Relays
RCIC 泵>3g
HPCS 泵 2.71g
HPCS DG 1.6g
CST 槽
SRV 至少 3 個蓄壓槽
AC switchgear 1.19g
1RG1/1GG1 0.9g
DG-5 1.2g
EChW 1.32g
LPCI 泵 2.54g
LPCS 泵
AHU 1.53g
S/P
RHR 泵 2.54g
ECW 1.87g
消防車
CTMT Vent
計算方法：
(1) 各標題之安全餘裕以其耐震度與地震引起喪失外電(0.61g)的差為代表。
(2) 各冷卻成功路徑中安全餘裕以各標題安全餘裕之最低者為代表。
(3) Cliff Edge 以各冷卻成功路徑中安全餘裕最高者之最低標題之耐震度為代表。
1.19g
1.87g
Cliff-Edge=0.77g
冷卻成功
Cliff-Edge=0.77g
0.61g
1.28g
S
0.77g
>3g
1.61g
預期＞0.77g
>3g
爐心嚴重受損
F
S(往上)：成功
F(往下)：失敗

其中各成功路徑之安全餘裕及其 Cliff Edge 說明如下：

(1) 成功路徑 1Cliff Edge 依定義為各標題耐震度之最低者為代表，即為 0.77g。

(2) 成功路徑 2 之安全餘裕因替代爐心補水尚待查且預期最低(<0.77g) ，由於長期替代爐心補水尚待檢查，故其 Cliff Edge 預期最低<0.77g。

因此，成功路徑安全餘裕為 0.77g，因為 cliff-edge 定義為各冷卻成功路徑中安全餘裕最高者，故即為成功路徑(1)之 0.77g。

下表條列核二廠地震事件樹分析之重要設備／結構物耐震強度，係作為電廠的瀕危評估之用

重要設備／結構	耐震強度 中　值 (pga,g)
1. 廠外電源	0.20
2. 備用硼液系統加熱器	0.39
3. 備用硼液系統儀表板	0.39
4. 備用硼液系統變壓器	0.58
5. 靜態換流器(5KV)	0.67
6. 125 VDC 開關設備	0.77
7. 潤滑油集水槽(Main D/G System)	0.90
8. 4.16 KV 開關設備(Turbine &Control Bldg)	0.91
9. 480 V 馬達控制中心(Auxiliary Bldg)	0.93
10. 480 V 馬達控制中心(Diesel Generator Building)	1.05
11. 4.16KV 開關設備(Aux. Bldg)	1.19
12. 反應爐內組件上導板	1.28
13. 緊急寒水系統泵	1.32
14. 餘熱移除系統增壓泵	1.32

15. 反應器再循環泵	1.42
16. 主控制室緊急冷卻單元	1.42
17. 備用硼液系統測試槽	1.51
18. 低壓爐心噴灑泵室冷卻單元	1.53
19. 高壓爐心噴灑柴油發電機輔助設備	1.60
20. 自動洩壓系統蓄壓器	1.61
21. 柴油發電機廠房(Silencer Room Walls)	1.70
22. 燃油槽(Main D/G System)	1.80
23. 燃油槽(HPCS D/G System)	1.80
24. 緊急循環水系統水閘	1.87
25. 緊急循環水系統刺網閘門	1.87
26. 緊急泵室	1.90
27. 反應器廠房	2.00

<u>核三廠</u>

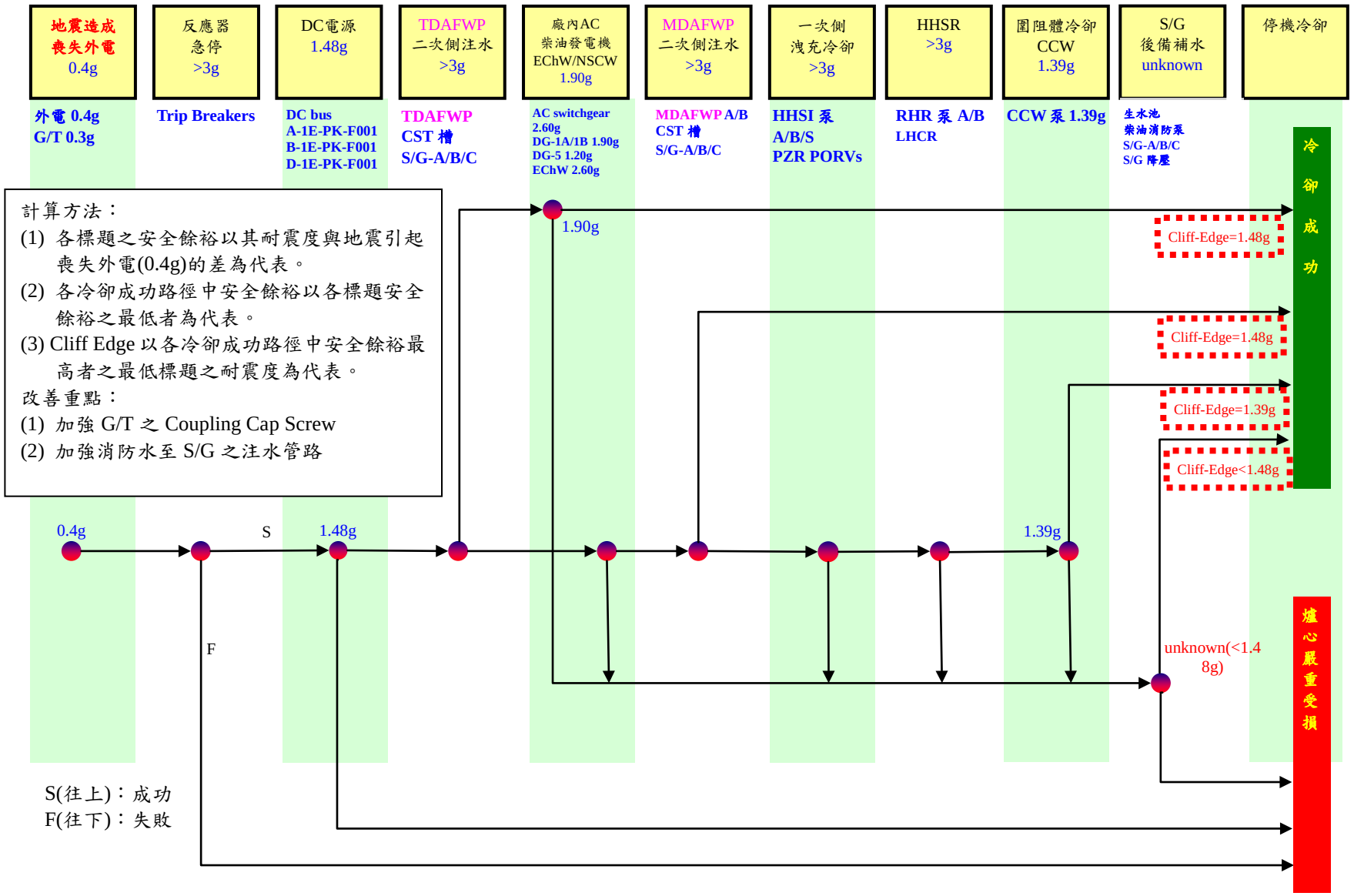
地震餘裕分析為本評估之工具，電廠以事件樹分析(參考 1995 年活態 PRA 報告)尋找 cliff edge 和安全餘裕。

假設地震後已經喪失廠外電源，共有 2 種情況可以達成爐心停機冷卻之最後目的，包括：

(1) 地震導致喪失外電 ➔ 反應器急停 ➔ 以 DC 控制之汽機帶動輔助飼水泵移熱 ➔ 若廠內 AC 電源成功建立(可持續 DC 電源)➔ 冷卻成功。

(2)若廠內 AC 電源成功建立 ➔ 以 AC 馬達帶動輔助飼水泵移熱 ➔ 冷卻成功。

地震餘裕及瀕危評估之地震事件樹如下圖，共有 4 條路徑成功達成爐心停機冷卻，瀕危值分別為為 1.48g、1.48g、1.39g 及未知。


地震造成喪失外電 0.4g
反應器急停 >3g
DC電源 1.48g
TDAFWP二次側注水 >3g
廠內AC柴油發電機EChW/NSCW 1.90g
MDAFWP二次側注水 >3g
一次側洩充冷卻 >3g
HHSR >3g
圍阻體冷卻CCW 1.39g
S/G後備補水 unknown
停機冷卻
外電 0.4g
G/T 0.3g
Trip Breakers
DC bus
A-1E-PK-F001
B-1E-PK-F001
D-1E-PK-F001
TDAFWP
CST 槽
S/G-A/B/C
AC switchgear 2.60g
DG-1A/1B 1.90g
DG-5 1.20g
EChW 2.60g
MDAFWP A/B
CST 槽
S/G-A/B/C
HHSI 泵
A/B/S
PZR PORVs
RHR 泵 A/B
LHCR
CCW 泵 1.39g
生水池
柴油消防泵
S/G-A/B/C
S/G 降壓
冷卻成功
計算方法：
(1) 各標題之安全餘裕以其耐震度與地震引起喪失外電(0.4g)的差為代表。
(2) 各冷卻成功路徑中安全餘裕以各標題安全餘裕之最低者為代表。
(3) Cliff Edge 以各冷卻成功路徑中安全餘裕最高者之最低標題之耐震度為代表。
改善重點：
(1) 加強 G/T 之 Coupling Cap Screw
(2) 加強消防水至 S/G 之注水管路
1.90g
Cliff-Edge=1.48g
Cliff-Edge=1.48g
Cliff-Edge=1.39g
Cliff-Edge<1.48g
0.4g
S
1.48g
1.39g
F
unknown(<1.48g)
爐心嚴重受損
S(往上)：成功
F(往下)：失敗

依 Cliff Edge 定義為各冷卻成功路徑中安全餘裕最高者之最低標題之耐震度為代表，故即為成功路徑(1)或(2)之 1.48g。

總結核三廠地震案例之各成功路徑之安全餘裕及其 Cliff Edge，改善重點包括：

(1) 加強 G/T 之 Coupling Cap Screw，提升肇始事件耐震度。

(2) 加強消防水至 S/G 之注水管路，增加成功路徑(4)的安全餘裕。

下表條列核三廠地震事件樹分析之重要設備／結構物耐震強度，係作為電廠的瀕危評估之用

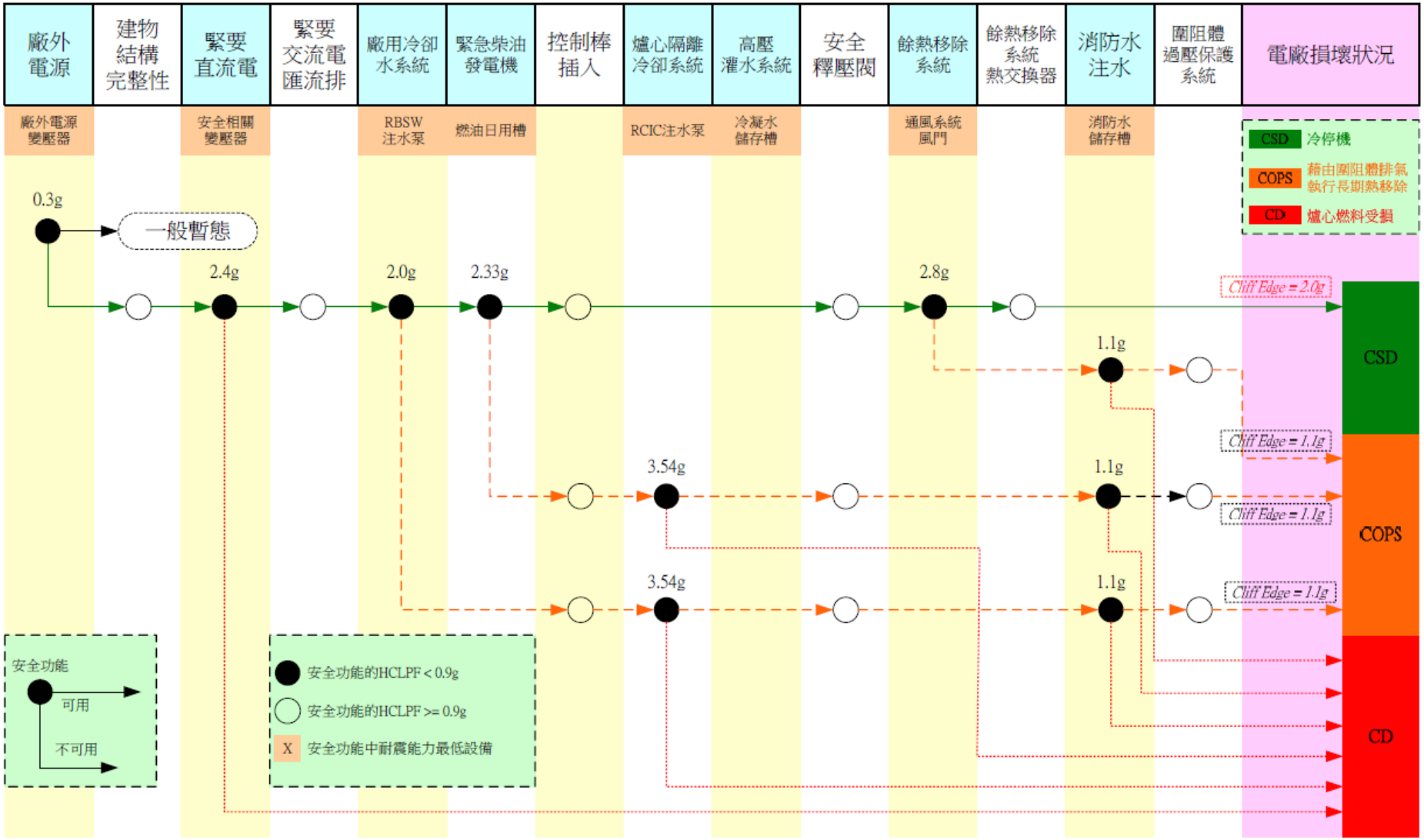
重要設備／結構	耐震強度 中值 (pga,g)
氣渦輪發電機	0.30
廠外電源	0.40
第五台柴油發電機	1.20
核機冷卻水泵	1.39
125-V DC 配電盤	1.48
480-V 馬達控制中心	1.55
柴油儲存槽	1.90
480-V 負載中心	1.96
輔助/控制廠房	2.00

<u>龍門電廠</u>

依據龍門電廠 FSAR 附錄 AC.3 的設備耐震能力評估資料，龍門電廠在地震發生後對於爐心燃料完整性可能有影響的結構、系統及設備共計有 97 項，並依據設計、安裝以及空間相互影響的特性，執行個別的耐震能力評估，各項設備的耐震能力(相對於岩盤地表加速度(PGA)的震度)中值由廠外電源的 0.3 g 到空調系統風管的 13.13 g 不等，由於地震設備清單中的設備數量多且耐震能力高低不一，因此在進行地震瀕危效應分析前先執行設備耐震能力篩濾分析，以期將分析集中於對維護燃料完整性有顯著影響的設備上。

EPRI-1002988 要求以 HCLPF=0.5(具彈性設備)或 0.57(無彈性設備)作為設備耐震能力之篩濾值，但也要求座落於高地震風險地帶的核能電廠，應引用更保守的篩濾值。由於龍門核能發電廠位於高地震風險地帶，其設計安全停機地震為岩盤地表加速度 0.4 g，分析時保守以超過 7 級地震兩倍的地表加速度(HCLPF=0.9g)作為篩濾值，配合地震瀕危效應事件樹的發展。

依據前述的篩濾分析要求，僅有 13 項設備必須納入後續的瀕危效應分析中，詳細的設備清單以及在 FSAR 所評估的耐震能力相關參數，如下表所示。


廠外電源
建物結構完整性
緊要直流電
緊要交流電匯流排
廠用冷卻水系統
緊急柴油發電機
控制棒插入
爐心隔離冷卻系統
高壓灌水系統
安全釋壓閥
餘熱移除系統
餘熱移除系統熱交換器
消防水注水
圍阻體過壓保護系統
電廠損壞狀況
廠外電源變壓器
安全相關變壓器
RBSW注水泵
燃油日用槽
RCIC注水泵
冷凝水儲存槽
通風系統風門
消防水儲存槽
CSD 冷停機
COPS 藉由圍阻體排氣執行長期熱移除
CD 爐心燃料受損
0.3g
一般暫態
2.4g
2.0g
2.33g
2.8g
Cliff Edge = 2.0g
1.1g
Cliff Edge = 1.1g
3.54g
1.1g
Cliff Edge = 1.1g
3.54g
1.1g
Cliff Edge = 1.1g
CSD
COPS
CD
安全功能
可用
不可用
安全功能的HCLPF < 0.9g
安全功能的HCLPF >= 0.9g
X 安全功能中耐震能力最低設備

地震瀕危效應包括詳細的設備分析，係作為電廠的瀕危評估之用

建物、系統、設備	耐震強度 中值(pga, g)
廠外電源變壓器	0.3
冷凝水儲存槽	1.1
消防水槽	1.1
消防水泵	1.9
反應器廠房海水泵	2
埋管	2
消防水埋管	2
消防保護室	2.3
EDG 燃油日用槽	2.33
SDG 燃油日用槽	2.33
安全相關變壓器	2.4
HVAC 阻尼	2.8
空氣處理機組	2.95

龍門電廠依據現有安全功能之設計及運轉方式，利用上表所列之耐震強度中值進行地震瀕危效應評估，所發展之龍門電廠地震瀕危效應事件樹。當發生大於 0.3 g 地震，造成電廠喪失廠外電源後，爐心能達到長期熱移除目的之成功路徑有四條：

成功路徑(1)：機組正常冷停機途徑中所必要的安全功能均成功之事故序列。相關安全功能包括：緊要直流電用以起動緊急柴油發電機、廠用冷卻水系統用於冷卻運轉中的緊急柴油發電機與安全注水系統並提供餘熱移除系統熱交換器冷卻水、緊急柴油發電機用於提供各重要設備運轉所需的交流電、餘熱移除系統用於執行安全注水以及各種熱移除功能等。

成功路徑(2)：當餘熱移除系統受地震影響而不可用時，機組靠消防水系統長期提供爐心冷卻，並藉由圍阻體過壓保護系統所提供的圍阻體旁通途徑，釋放累積於圍阻體內的能量，以達到爐心長期熱移除之目的。

成功路徑(3)：當緊急柴油發電機受地震影響而不可用時，爐心透過 RCIC 建立短期補水功能後，機組依靠消防水系統長期提供爐心冷卻，並藉由圍阻體過壓保護系統所提供的圍阻體旁通途徑，釋放累積於圍阻體內的能量，以達到爐心長期熱移除之目的。

成功路徑(4)：當廠用冷卻水系統受地震影響而不可用時，透過與成功路徑(3)相同之救援路徑達到爐心長期熱移除之目的。

其中各成功路徑之安全餘裕及其 Cliff Edge 說明如下：

成功路徑(1)：以廠用冷卻水系統的耐震能力最低，其中以 RBSW 泵及埋設於地下的管路為關鍵設備，其耐震能力中值為 2.0 g，此即為地震頻危效應值。

成功路徑(2)、成功路徑(3)、成功路徑(4)：以消防水系統耐震能力最低，其中的關鍵設備為消防水儲水槽，其耐震能力中值為 1.1 g，此即為地震頻危效應值。

由於此案例之 Cliff Edge，依定義為各冷卻成功路徑中安全餘裕最高者之最低標題之耐震度為代表，彙整分析結果後，龍門核能發電廠因地震發生爐心燃料受損的 Cliff Edge 為成功路徑(1)之 2.0g。

2.2.1.2強化防護能力的措施

<u>核一廠</u>

1.依據地震事件樹之肇始事件，核一廠之地震造成喪失外電之中值為 0.61g，其關鍵設備為氣渦輪機之 Skid Anchor Bolt，將列入氣渦輪機耐震提升案的強化重點。

2 依據地震事件樹，Cliff Edge 為 1.05g，原因為燃料支撐結構受震損壞，造成反應器無法急停，核一廠 ATWS 將自動引動，立即注入硼液，相關設備電源為緊要電源。福島事故後，並已加購硼砂，規劃機動注硼的方法，納入程序書。經此強化措施可將反應爐帶入次臨界狀態，核一廠 Cliff Edge 將由燃料支撐結構 1.05g 轉移至 CST 槽 1.15g。

3. 依據地震事件樹成功爐心冷卻的路徑之一，反應爐必須能夠洩壓，確保低壓注水能夠提供足夠冷卻流量。反應爐洩壓耐震度為 0.79g，其關鍵設備為蓄壓槽。核一廠已於第一階段總體檢中規劃充足氮氣瓶及移動式空壓機，可因應蓄壓槽地震後損壞提供 SRV 後備緊急氣源，維持反應爐洩壓功能。

4.依據地震事件樹成功爐心冷卻的路徑之一，生水、消防水泵或消防水車透過 BCSS、RHR 系統執行機動注水，相關注水途徑與水源已於總體檢第四項「最終熱沉檢討」規劃完成，相關操作已列入機組斷然處置程序書中規範。另外，除進行生水池耐震提升及生水管明管化外，針對山腳斷層新事證亦已進行 BCSS 及 RHR B 注水路徑耐震提升評估中。

<u>核二廠</u>

1. 依據地震事件樹之肇始事件，核二廠之地震造成喪失外電之中值為 0.61g，其關鍵設備為氣渦輪機之 Skid Anchor Bolt，將列入氣渦輪機耐震提升案的強化重點。

2. 依據地震事件樹成功爐心冷卻的路徑之一，蒸汽驅動之 RCIC 系統之控制電源(DC 電源)或其儀控(I&C)、及 HPCS D/G 驅動之 HPCS 泵之 HPCS D/G 之控制電源(DC 電源)或其儀控(I&C)為 Cliff Edge 所在(0.77g)；核二廠擬定之強化措施包括因應山腳斷

層新事證，已選定 RCIC 系統(含括儀控設備及控制電源)全面提升耐震能力。另已於「機組斷然處置程序指引」擬定 RCIC 控制電源喪失時，手動啟動 RCIC 運轉程序，並已測試驗證可行。經由相關強化方案後，耐震之餘裕將由 0.77g 增加至 1.19g。

3. 依據地震事件樹成功爐心冷卻的路徑之一，生水、消防水泵或消防水車透過 RHR B 系統執行機動注水，相關注水途徑與水源已於總體檢第四項「最終熱沉檢討」規劃完成，相關操作已列入機組斷然處置程序書中規範。另，除進行生水池耐震提升及生水管明管化外，針對山腳斷層新事證亦已進行 RCIC 及 RHR B 注水路徑耐震提升評估中。

4.購買移動式空壓機 3 台，供氣動閥（AOV）緊急操作使用。另外，為能提供 SRV 緊急操作所需之壓縮空氣，另已採購 2 台移動式柴油驅動空壓機及高壓增壓器 2 組。並於適當之空氣管線，增設緊急充氣管路及接頭至廠房外備用，以使移動式柴油驅動空壓機/高壓增壓器組，能經由此提供壓縮空氣供 SRV 開啟使用。

<u>核三廠</u>

為強化各種複合式災害之防禦與救援能力，核三廠進行程序書及硬體改善措施，氣渦輪發電機組耐震評估與補強，補強完成後，期望可提升肇始事件的耐震能力。

<u>龍門電廠</u>

●縮短建立消防水流徑的時間

依據現行系統設計，運轉員建立消防水系統至少必須手動開啟兩個隔離閥(位於反應器廠房 C 串設備通道，廠房編號 335)，當喪失交流電源時，運轉員還必須手動開啟位於反應器廠房 ECCS C 串閥室，廠房編號 431，正常運轉時上鎖)的電動閥，這三個閥的位置都不是位於開闊空間，且現場手動開啟時都會有相當的阻礙，導致運轉人員必須耗費較多的時間，若能進行適度的改善，相信能縮短建立流徑的時間。此外控制室值班人員下決策開始建立流徑的時機，在事故過程中也是重要的關鍵，若有明確的程序書指引再加上平時的訓練，對於縮短建立流徑的時間亦有幫助。

●提升生水系統耐震能力

生水池的設計功能非常多樣，主要應著重於提供消防水系統水源相關的管閥以及生水池與廠區邊界相鄰的山坡等處之耐震能力提升，以使生水系統在地震發生後，能提供消防水系統穩定的水源。

●消防水泵直接自生水系統供水管路取水

有鑒於消防水儲存槽的耐震能力較低，且實質改善的可行性亦低，為了使消防水系統在儲存槽失效後仍可發揮其功能，將考慮修改消防水系統與生水系統的介面，以固定或非固定式管路在必要時將生水直接引入消防水泵取水管路。

2.2.2 可承受不喪失圍阻體完整性的地震強度

核一廠

根據耐震強度分析，核一廠反應器廠房之耐震強度中值大於 5.6g。

核二廠

根據耐震強度分析，核二廠反應器廠房之耐震強度中值大於 3.5g。

核三廠

根據耐震強度分析，核三廠反應器廠房之耐震強度中值大於 5.8g。

龍門電廠

根據耐震強度分析，核四廠反應器廠房之耐震強度中值大於 5.5g。

2.2.3 超過設計基準地震及伴隨超過設計基準洪水之水災

2.2.3.1 考量電廠地理位置與設計，發生此情境的可能性

核一廠

核一廠廠區可分為西側乾華區與東側小坑區兩大區塊，兩大區塊之間有山丘相隔，並以乾華隧道相連通。東側小坑區為小坑溪河谷谷地，小坑溪由南向北流經小坑區注入東海，本區主要設施有備品倉庫、改善組辦公大樓、放射實驗室等。西側乾華區為乾華溪下游河谷谷地，乾華溪於建廠時以構築堤岸、護坡方式將廠區段之乾華溪改道，建構為人工排放渠道，由南向北流經乾華區注入東海，而核一廠主要廠房與設施即座落於本區。核一廠於建廠當時經填土整地，地勢由南至北呈高往低，另機組廠房地面及乾華溪出口河堤於建廠時曾填高至海平面以上 12 公尺，主要乃防範發生天然災害時，不致於造成主要廠房淹水。

東側之煙囪區內有 2,000 噸、1,000 噸及 600 噸生水池各 1 座，若因強震發生水池損毀，儲水漫流至廠區內，評估結果認為其不致造成淹水。

小坑溪和乾華溪經評估，並無發生土石流之潛勢。

核二廠

核二廠對地震伴隨之引發的水災來源為海嘯，將在「第 3 章水災(包括海嘯)」詳細說明。

因核二廠廠區並無溪流通過，惟廠址附近之溪流有二，與核二廠間有山丘相隔，且核二廠附近之溪流過去並無發生土石流之歷史紀錄。

核三廠

廠址內及周邊無溪流、水壩、土石流之潛勢溪流；鄰近之龍鑾潭最高水位（溢流口）16.5 公尺，雖然較核三廠房區地面的 15 公尺高出 1.5 公尺，但兩地之間有高程約 30 公

尺自然高地屏障、隔離。因此，地震時也沒有因該潭潰堤而造成潭水淹入廠區或土石流之疑慮。

廠址西北角設置兩座五萬噸生水池，地面高程約 51 公尺。雖然較核三廠房區地面的 15 公尺高出 36 公尺，但兩地之間有自然高地屏障、隔離，且水池西側地形低於水池基地。因此，地震時也沒有因該生水池崩潰而造成池水淹入廠區或土石流之疑慮。

東側 5000 噸消防水槽遠在 500 公尺外，地震時亦無因該消防水槽崩潰而造成生水淹入廠區之疑慮。

因此核三廠不會有因為超過設計基準地震及伴隨超過設計基準洪水之水災。

龍門電廠

龍門電廠廠區屬貢寮區石碇溪及雙溪流域範圍，石碇溪穿過廠區北側之倉庫區與宿舍區，廠內段為經整治之複合式明渠；雙溪位於廠區南側與電廠廠址間有高逾 50 公尺之山丘阻隔，雙溪水位之上漲不致影響龍門電廠之運作。2 條溪流均未列入行政院農委會水土保持局所訂定之土石流潛勢溪流。廠區歷經多年的颱風、暴雨及地震，並無發生嚴重的土砂災害；另開挖整地的區域業經水土保持工程之處理與維護，故依現地之自然條件，石碇溪及雙溪發生土石流災害或改道的機率甚低。故二者均非為可能因地震而導致廠區廠房淹水之來源。

龍門電廠生水池位於廠區西側標高 116 公尺之平緩山丘上，長 112 公尺，寬 63 公尺，底版高程為 EL.116.6 公尺，滿水位為 EL.124.6 公尺，蓄水體積為 48,000 立方公尺，以鋼筋混凝土結構建造池底及牆面，其槽體結構耐震等級為 IIA，可耐震至 0.4 g 而不崩損，且槽體內部設有隔間板，可分散並減低強震時內部存水晃動造成之衝擊力道。生水池基礎係建置於岩盤上，其承載力遠高於水池本體自重加上蓄水之總荷重，故無土壤承載力不足或液化之疑慮。另外，生水池上池所在山坡之岩層位態屬南北向、向南傾斜約 14。順向坡，為消減順向坡的安全疑慮，使坡面呈自然穩定，將生水池區上池上邊坡及上、下池間邊坡坡面以層面傾角(1V：4H)修坡，清除可能沿層面滑移之所有岩塊，並使層面不致出露，岩層延伸至下邊坡時，無邊坡砍腳順向滑動之疑慮，全坡段邊坡屬安全穩定。因此，當發生超過生水池結構可承受範圍的地震時，生水池可能因結構裂損造成潰堤事件而影響電廠。

2.2.3.2 弱點、故障模式及瀕危效應

核一廠

溢流之池水不致造成乾華區之淹水，故不會對主要廠房設施造成影響。此外，經檢視乾華溪及小坑溪之土石流狀況，核一廠亦不受土石流災害之影響。

核二廠

若西池發生潰堤事件，水將沿著山谷線傾瀉而下，對著氣渦輪機廠房及其全黑起動柴油發電機而來。

核三廠

無因地震引發水災之弱點或瀕危效應。

龍門電廠

雖然「生水池裂損池水洩漏分析」報告顯示，生水池池壁裂損之洩漏水量，於壁裂損後水流傳遞方向為往龍門廠區，其最大尖峰出流量為 46.6 cms。池壁裂損行程之漫地流傳遞至龍門廠區 III-1 號排洪支渠時流量衰減至 31.58 cms，小於 III-1 號排洪支渠上游端設計流量為 57.03 cms 足以容納壁裂損之洪水輸送至下游出海口，故無因地震引發水災之弱點或瀕危效應。

2.2.3.3 強化防護能力的措施

核一廠

針對生水池可能因地震使槽體毀損而導致池水溢流的弱點，以及土石流的防範，核一廠已採取下列措施強化防護能力：

1.生水池槽體毀損：

(1)台電公司營建處已著手進行 10 萬噸及 2 座 3,000 噸生水池槽體耐震評估及補強設計，以提升槽體之耐震能力。

(2)為避免萬一因生水池槽體毀損，淹水漫流廠區入侵重要廠房，核一廠仍將於重要廠房出入口增設擋水設施以強化阻水功能。

2.土石流的防護：

(1)修改 104.37 程序書，將乾華溪及小坑溪納入土石流監測範圍。

(2)根據「中央氣象局」發布豪大雨特報，若達 500mm/日警戒值，即發布土石流潛勢溪流警戒警訊，依據相關程序書執行。

核二廠

核二廠已於氣渦輪機廠房西側及南側門口及全黑起動柴油發電機廠房門口加裝檔水板，以減少潰堤後大水直接衝進廠房，造成設備損壞。

核三廠

雖然核三廠無須因為地震引發水災而採行強化防護能力，但仍已對兩座五萬噸生水池及 5000 噸消防水槽、2000 噸生水池進行結構補強，強化其結構強度，提高耐震能力。

龍門電廠

龍門電廠雖然無須因為地震引發水災而採行強化防護能力，但若發生超出設計基準之洪水高度(大於 12.0 公尺)，則各廠房地面樓對外門因無水密功能設計，將使廠房淹水。此時除利用各廠房原有之集水池泵抽水外，尚可利用預先備妥之臨時抽水泵排水，以儘速恢復各廠房底樓設備之功能。另外，核四廠將於重要廠房地面樓對外門處加裝防水擋板，來提升各重要廠房地面樓對洪水之防範能力。

2.3 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論

基於 2007 年日本 NCO 地震經驗、山腳斷層和恆春斷層新事證及 311 福島核災，原能會已經要求台電依照 ENSEREG 壓力測試之要求，重新並更透徹的進行地震評估。

目前運轉中的六部機組，更新地震危害和評估電廠地震安全的方法(SMA 和 SPRA)都符合 USNRC 所採用之評估方法，台電也正在進行核四廠的地震危害曲線再評估工作，檢驗目前 SSE 的年超越頻率是否適足。

台電公司也採用「斷然處置措施」以應付類福島事件之極端複合式災害。

原能會審查台電公司的報告及證明文件後，在技術會議上，原能會認為耐震再評估的行動方案結果內容適切，但時程上應該更積極有效率，原能會還提出幾點建議，以增進電廠設施耐震的強韌性：

1.雖然初步結果顯示三座電廠的設計基準地震仍有餘裕，但山腳斷層和恆春斷層分別在三個電廠附近，其最大可能地震仍要審慎評估。

2.用過燃料池裡放置太多的用過燃料，用過燃料間距過小以至於地震時會發生碰撞，容易受地震影響，台電應該盡快將這些燃料移置獨立用過燃料貯存(ISFSI)。

3.原能會要求台電依照USNRC NTTF報告第一階段的建議事項2.1和2.3，提出耐震強化項目。

4.因應日本福島事件的國際核能安全行動，原能會要求台電達成下列事項：

(1)地震/海嘯危害和事件情境模擬

(2)電廠內非耐震的技術支援中心結構需強化

(3)核一廠 SSE 從 0.3g 提升至 0.4g，安全相關之結構/系統/組件需依此補強評估

(4)緊急應變設施結構建築要採包括用隔震或減震裝置等以進一步進行功能性之升級

(5)電廠消防隊建物結構耐震升級

(6)提升生水池耐震度和可靠度

(7)地震監測器的電源耐久性強化

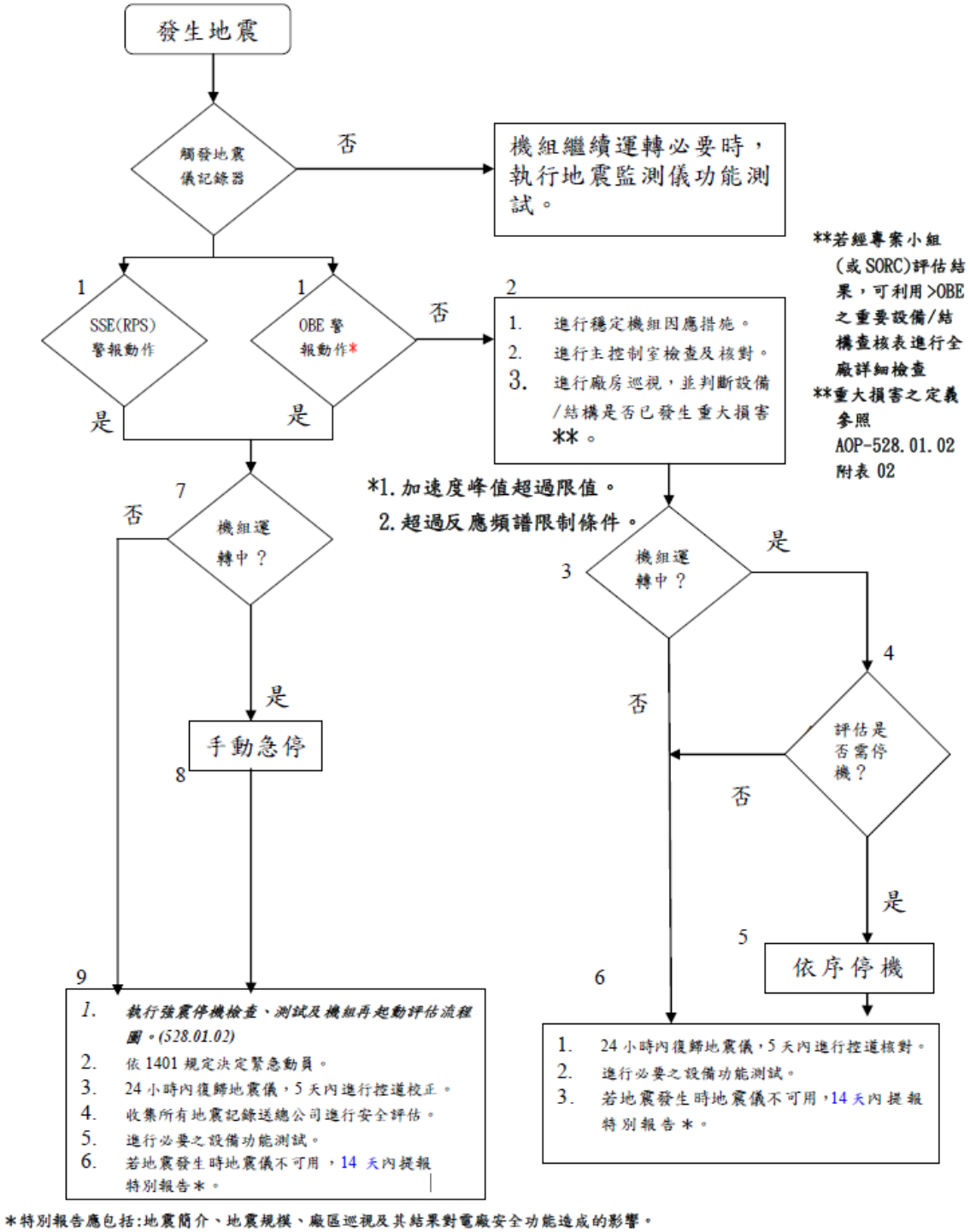


圖 2-1 核能電廠強震後緊急處理步驟流程圖

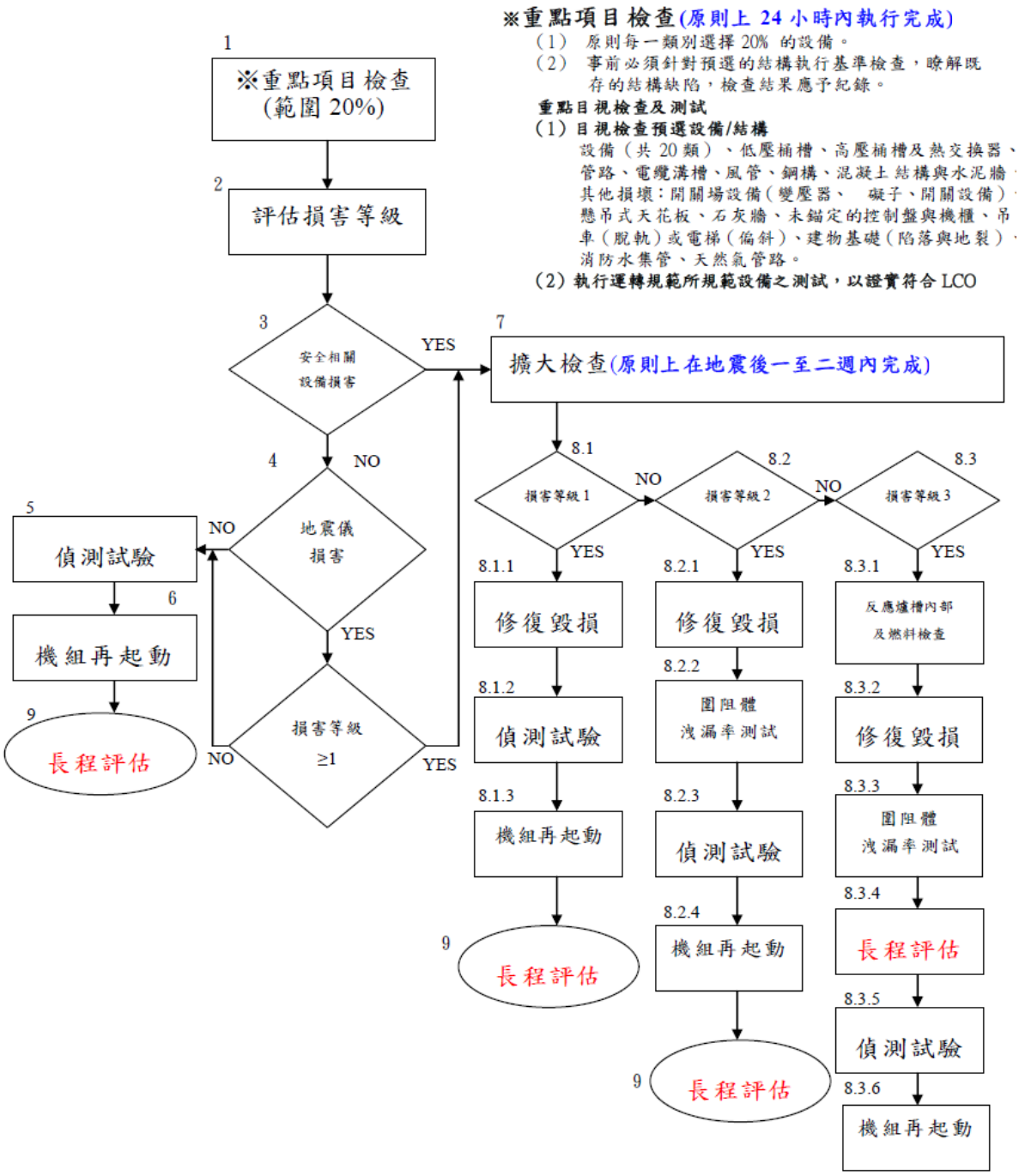


圖2-2 強震停機檢查、測試、機組再起動評估流程

3. 洪水

3.1 設計基準

3.1.1 能抵抗的洪水

3.1.1.1設計基準洪水(DBF)的特性

核一廠

核一廠設計基準洪水主要需考慮海嘯及暴雨對電廠的影響。

1. 海嘯：

根據終期安全分析報告(FSAR) 2.6.11 節，核一廠最大可能海嘯溯上高度為 9 公尺，加上高潮位 1.73 公尺，總高度為 10.73 公尺。

2. 暴雨洪水：

核一廠設計基準洪水(DBF)係以廠址 10,000 年重現可能最大降雨量 297 mm/h 為設計基準。該數值係由淡水與鞍部測站在 1943～1972 間共 30 年的歷史紀錄統計計算得出，該兩測站在此期間的可能最大降雨量分別為 252.7 mm/h (下限)及 325.2 mm/h (上限)。

核二廠

核二廠依據廠址的特性，其設計基準洪水的設計主要需考慮海嘯與暴雨對於電廠的影響。

1. 海嘯：

核二廠在建廠之初即參考歷史文獻海嘯紀錄，並同時考慮天候及地形等因素對於電廠的影響，合理推估最大海嘯高度的設計基準。依據核二廠 FASR 評估結果，最大海嘯高度為 7.78 公尺，加上潮汐及地形因素影響，評估最高溯上高度為 10.28 公尺，此值低於核二廠主要廠房區地面高程之 12 公尺。

2. 暴雨洪水：

核二廠依據建廠前 30 年期間鄰近區域的歷史資料，經統計學分析，推算廠址 10,000 年重現期之可能最大降雨量(PMP)為 241 mm/h，並據以規劃建置電廠暴雨排洪能力，分別為渠道 A 河口處 138 cms 及渠道 B 河口處 114 cms(cms：立方公尺/秒)。

核三廠

依據核三廠終期安全分析報告(FSAR)所述，設計基準洪水(DBF)需考慮海嘯及極端豪大雨的影響。

1.海嘯：

廠址高程位於海平面上 15 公尺。核三廠鄰近海域有紀錄之最大潮差為高雄港的

4.03 公尺，依鄰近區域海嘯高度紀錄及鄰近海域地層結構推算出最大海嘯溯上高度為 12.53 公尺，因此無海嘯引發廠區水災之虞。

2. 暴雨洪水：

(1)核三廠建廠之初參考恆春、大武、台東與高雄測站 1940 至 1975 年的降雨資料，估算 100 年的最大降雨，其平均值為 120 mm/h。

(2)核三廠採用的 10,000 年重現期的最大降雨係從前述四個測站中降雨最大的大武站估算的 228 mm/h。

龍門電廠

依據廠址的特性，龍門電廠設計基準洪水的設計主要需考慮海嘯與暴雨對於電廠的影響。

1.海嘯：

龍門電廠對於海嘯的設計，係參考歷史文獻紀錄並考慮天候及地形等因素的影響來推估合理之海嘯浪高。依據龍門電廠終期安全分析報告(FSAR)的評估結果，廠址的最大海嘯高度為 7.5 公尺，再加上基水位(以超越機率百分之十所對應之高潮位，高程 0.57 公尺)，亦即至少需在高程 8.07 公尺以上。保守起見，另加上 0.5 公尺之出水高(freeboard)，將海嘯的設計基準高程訂為高程 8.57 公尺，低於龍門電廠主要廠房區地面高程之 12 公尺。

2.暴雨洪水：

龍門電廠對於設計基準洪水，主要依據西元 1901 年至 1982 年基隆水文站的降雨紀錄，來推導廠址的可能最大降雨量(PMP)，計算所得之廠址最大降雨量為 310 mm/h。主要廠房區的排水系統，採 100 年重現期的設計水準，來排除廠區降雨所產生之地表逕流。廠區周邊兩條主要排洪渠道：排洪渠道 II 及排洪渠道 III 的設計排洪能力分別為 81.57 cms 及 137.2 cms。

3.1.1.2 評估設計基準洪水的方法

核一廠

1.設計基準海嘯

依據核一廠終期安全分析報告(FSAR)之敘述，最大可能海嘯溯上高度為 9 公尺，加上高潮位 1.73 公尺，總高度為 10.73 公尺。FSAR 建議廠房地面高程應大於 11 公尺，最終主廠區高程設計為 12 公尺。

2.設計基準洪水

核一廠廠區可分為西側乾華區與東側小坑區兩大區塊，兩大區塊之間有山丘相隔，

並以乾華隧道相連通。東側小坑區為小坑溪河谷，小坑溪由南向北流經小坑區注入東海，本區主要設施有備品倉庫、改善組辦公大樓、放射實驗室等。西側乾華區為乾華溪下游河谷，乾華溪於建廠時以構築堤岸、護坡方式將廠區段之乾華溪改道，建構為人工排放渠道，由南向北流經乾華區注入東海，主要廠房與設施即座落於本區。建廠當時經填土整地，地勢由南至北呈高往低，另反應器廠房地面及乾華溪出口河堤於建廠時曾填高至 12 公尺(經中興工程顧問公司重測仍大於 11 公尺)，主要乃防範發生天然災害時，不致於造成主要廠房淹水。

核一廠主要廠區(乾華區)之排水系統可分為二個部分:

(1)主要廠房區(Power Block)內之廠區：地面排水採重力排水。本區域滙集地表雨水排放之路徑計有五條排水管往西排入乾華溪，以及一條排水溝往北排至 Power Block 外，總排水能力共計為 5.6 cms (立方公尺/秒)。

(2)乾華廠區：包含 Power Block 在內之乾華廠區，其地面排水皆採重力排水模式，有往西流排至乾華溪以及往北排至廠界外之東海二種途徑。依據 FSAR 2.4 節，核一廠排洪設計係以 10,000 年重現可能最大洪水(PMF)764 立方公尺/秒(27,000 CFS)及可能最大降雨量(PMP) 297mm/h (公釐/小時)為考慮，由乾華溪人工渠道匯集排放，並將佔用乾華溪流水設計截面積 87 平方公尺中的 80 平方公尺，尚有 7 平方公尺約 8%之餘裕空間。故乾華溪人工渠道的排放能力可涵蓋設計考慮之最大洪峰量及最大時雨量。

(3)台電公司委託中興工程顧問公司完成廠區高程測量，依據其所繪製之圖面，可研判廠區易遭受淹沒之區域為 Power Block 北側牆以北至貨櫃區間之區域，惟本區域設有排水溝將積水排入乾華溪及東海，如上述乾華溪排放能力說明，本區域不致淹水。

<u>核二廠</u>

1.設計基準海嘯

由於經驗判斷，太平洋中部及西部所引發的海嘯對於台灣北部海岸不會有破壞性的效應。因此核二廠 FSAR 對於海嘯的設計基準，主要考量台灣北部海嘯對廠址可能造成的威脅。依據中央氣象局，台灣分別於 1867 年級 1918 年發生了二次較嚴重的海嘯，其中又以 1867 年於基隆北方 134 公里處之海底火山引發造成之海嘯較為嚴重，並造成了基隆地區嚴重的破壞。依文獻紀錄估計當時的海嘯浪高約有 7.5 公尺。

1867 年發生的嚴重海嘯，加上因季風影響潮汐可能產生的最高潮位 1.28 公尺，估計其最大溯上高度為 10.28 公尺，但由於核二廠主要廠房區地面高程為 12 公尺，依現有資料將不會受海嘯威脅。

2.設計基準洪水

核二廠對於設計基準洪水，主要考量廠區可能之最大降雨量，並據以規劃設計電廠之暴雨排洪能力。

根據 FSAR 敘述，降雨係與高度及地理環境直接相關，考量歷史數據取得之完整性及合理性，核二廠區之可能最大降雨，以與核二廠地形相仿，且距離接近之基隆測站為基礎，並收集建廠前溯 30 年期間(1947- 1976)之紀錄，作為評估依據。根據統計學分析，核二廠區以基隆測站之 10,000 年重現期之 241mm/h 最大時降雨量，作為廠區之最大可能降雨 PMP，並據以規劃設計電廠之暴雨排洪能力。

核二廠排水系統分為主要廠房區、廠房東區及廠房西區三個主要部分：

(1)主要廠房區的排水，此系統由廠房邊溝、幫浦、人孔及管路所組成。

(2)廠房西區的排水，匯集倉庫區、開關場及主要廠房區西邊山丘等地區的降雨所造成的地表逕流，經由渠道 A 排出。

(3)廠房東區的排水，匯集主要廠房區東邊山丘等地區的降雨所造成的地表逕流，經由渠道 B 排出。

上述渠道 A 及渠道 B 都是開放式的人工渠道，以 0.2%至 0.5%不等的斜率排放至大海。在最大雨量考量下，推算核二廠渠道設計最大排放容量，分別為渠道 A 河口處 138 cms 及渠道 B 河口處 114 cms。

<u>核三廠</u>

1.海嘯的設計基準：

因廠址所在面向南方，其海嘯威脅來自巴士海峽、呂宋海峽及南中國海，且為一淺震源高規模地震所伴生。因此，假設瑞氏規模 8.0 地震引發海嘯，又震源位置之海嘯波高為 5 公尺時，則馬鞍山海岸之海嘯波高約 11 公尺，致使廠區海嘯溯上高度約 8 公尺，加上暴潮水位 4.03 公尺之影響，再加上 0.5 公尺的餘裕考量，核三廠最大海嘯溯上水位訂定為 12.53 公尺。據此，核三廠主廠房區基地高程定為 15 公尺以避免海嘯侵襲。

2.設計基準洪水：

(1)廠房區高程位於海平面上 15 公尺，高於原建廠前評估可能最大海嘯高度 12.53 公尺，因此無海嘯引發廠區水災之虞；

(2)廠址內及周邊無溪流、水壩；

(3)附近龍鑾潭最高水位 16.5 公尺雖然較廠房區地面的 15 公尺高出 1.5 公尺，但兩地之間有高程約 30 公尺自然高地屏障、隔離，潭水無淹入廠區之疑慮；

(4)廠址內兩座五萬噸生水池，其地面高程 51.5 公尺，雖較廠房區地面高程 15 公尺高出 36.5 公尺，但兩地之間有自然高地屏障、隔離，生水無淹入廠區之疑慮；

(5)廠房區域周邊高程，除南方臨海側外皆較廠房區高，形成自然的隔水屏障。因此，廠房區域的排水系統只需處理侷限於廠房區域內的降雨量即可。

龍門電廠

1.設計基準海嘯

依據台灣東北部附近海底地殼的變動資料，以地震規模 7.2、斷層距岸邊 20 公里、斷層範圍 50 公里 ×20 公里、斷層上升高度 4 公尺之地殼變動等參數，經數值模擬推算得廠區海嘯的溯上高度為 7.5 公尺，再加上基水位 0.57 公尺之影響，故龍門電廠海嘯溯上水位訂為 8.07 公尺。為保守起見，另加上 0.5 公尺之出水高，將龍門電廠設計海嘯之溯上高程訂為 8.57 公尺。而主要廠房區的基地高程為 12 公尺，足以避免海嘯侵襲。

2.設計基準洪水

依據 FSAR 2.4.3.1 節的說明，龍門電廠設計基準水災的評估方法，主要考量廠區可能最大降雨，透過水文演算來規劃暴雨排洪能力。

龍門電廠位於台灣東北角，一年四季雨水相當充足，其雨量來源主要有東北季風、梅雨及颱風所帶來之豪雨。由於廠址附近設立水文氣象觀測站的時間甚短，故選用基隆測站 1901 年到 1982 年的降雨紀錄，來推導龍門電廠廠址的可能最大降雨，所得之關係式為 R = 1.74 D0.475，R 為 PMP(吋)，D 為降雨延時(分鐘)。根據關係式計算所得之廠址每小時最大降雨量為 310 mm，並據以規劃、設計電廠之暴雨排洪能力。龍門電廠依廠址地形，規劃四條主要的排洪渠道 I、II、III、IV

第一部分:主要廠房區(Power Block)的排水，降雨在主要廠房區造成的地表逕流，是由主要廠房區內的排水系統(Yard drainage system)排出；此系統包含廠房邊溝、收集池、人孔、管路及箱涵暗渠(如、排洪渠道 IV)等，用來排除主要廠房區降雨的排水(100 年重現週期之最大暴雨)。

第二部分:靠近 1 號機南側圍籬外、1 號機及 2 號機部份廠界區域，開關場區域的排水及主要廠房區南側、西南側，西側山丘等地區的降雨所造成的地表逕流是經由排洪渠道 III 排出的。

第三部分:開關場東側的排水及主要廠房區西側山丘區的降雨所造成的地表逕流則由排洪渠道 II 排出的。

3.1.1.3 設計基準洪水適切性的結論

2011 年 8 月 19 日國科會海嘯模擬研究小組公布「潛在大規模地震所引發的海嘯對核電廠之影響」報告，針對可能影響台灣之 22 種最大海嘯震源進行評估。結果顯示各核電廠潛在海嘯溯上高度均低於設計基準海嘯溯上高程。然而，由於海嘯模擬在海嘯源的定義上仍有許多不確定性，相關分析結果仍待進一步研究。我國核電廠海嘯設計基準高度及電廠高程如下表。

表 3-1 海嘯設計基準高度及電廠高程設計

廠別	核一	核二	核三	龍門電廠
FSAR 分析海嘯溯上高度	10.8m	10.3m	12.6m	8.1m
廠房基地高程	11.2m	12.0m	15.0m	12.0m

註 1：這些分析結果是電廠建廠前，由國內外專業人士所完成。

核一廠

1.設計基準海嘯之適切性

福島事故發生後，台電公司已完成核電廠附近海陸域地形地貌調查，並重新檢視核電廠終期安全分析報告(FSAR)的設計基準海嘯及電廠設施的安全性。依據調查及檢視結果，核一廠廠址高程為 11.2 公尺，高於可能最大海嘯高度 10.7 公尺，所以電廠重要廠房及設備不受海嘯淹溢。台電公司並承諾增建海嘯牆以涵蓋海嘯溯上分析的不準度。

2. 設計基準洪水之適切性

(1) 核一廠一號機於 1978.12.10，二號機於 1979.07.15 開始商轉迄今已逾 30 年。依據氣象局提供資料，在 1979.01.01～2011.08.30 期間，鞍部、淡水與富貴角測站所測得之最大時雨量為 2001 年 9 月 5 日鞍部測站之 136 mm/h，遠低於核一廠之設計最大時雨量 297mm/h。

(2) 中央氣象局於 2011.12.05 提供 1979～2011 年(正式商轉迄今共 33 年)之淡水及鞍部測站之每年最大日降雨量記錄，將此記錄數據導入「對數皮爾遜 III 型」公式分析計算，求得淡水區 10,000 年重現可能最大降雨量為 231.54mm/h；鞍部區則為 358.61mm/h。依 FSAR 所述，取兩者之平均值，則核一廠 10,000 年重現可能最大降雨量為(231.54 mm/h +358.61 mm/h) /2 = 295mm/h，仍小於核一廠之設計最大時雨量 297mm/h。

核二廠

1. 設計基準海嘯之適切性

核二廠 FSAR 依據 1867 年海底火山引發的海嘯、廠址地形與氣候條件設計之海嘯基準高度，仍足以涵蓋廠址可能發生的海嘯高度。由於電廠重要廠房及設備高程均高於 12 公尺，將不受海嘯淹溢影響。另外台電公司將成立專案，針對 FSAR 有關可能海底火山及海底山崩進行評估。核二廠並承諾增建海嘯牆以涵蓋海嘯溯上分析的不確定性。

2.設計基準洪水之適切性

核二廠近期根據中央氣象局過去 30 年基隆測站統計每年單日最大降雨量紀錄資料，推算單日最大時降雨量為 123.1mm/h。並經水文學常用雨量分析法-對數皮爾遜 III 型，重新計算 10,000 年重現期雨量為 208 mm/h，仍小於核二廠 FSAR 2.4.3.1 節所述之 PMP 之 241 mm/h，故核二廠設計基準之排洪能力仍屬適切。

<u>核三廠</u>

1.設計基準海嘯之適切性

核三廠評估其 FSAR 設計基準海嘯高度仍足以涵蓋廠址可能發生的海嘯高度。NSCW 泵室的外部出入口高度為 12.6 公尺，仍高於可能發生的海嘯溯上高度，不會受海嘯威脅。然而，核三廠承諾增建海嘯牆以涵蓋海嘯溯上分析的不確定性。

2.設計基準洪水之適切性

利用中央氣象局恆春測站過去 30 年的每日最大降雨歷史紀錄，核三廠重新計算重現期 100 年與 10,000 年的最大降雨量分別為 169 mm/h 與 303 mm/h。此兩數字仍低於設計基準的可能最大降雨量 325 mm/h，因此，電廠的 A、B 兩條排水渠道仍可應付因為氣候變遷而日益加劇的豪大雨。

<u>龍門電廠</u>

1. 設計基準海嘯之適切性

如前述說明，龍門電廠對於海嘯的設計基準，係以歷史文獻紀錄之最嚴重情況(1867 年海底火山引發造成之海嘯)，推估合理之海嘯浪高，並同時考慮天候及地形因素對於電廠造成的影響，加入合理餘裕，以作為電廠設計之基準。

2. 設計基準洪水之適切性

儘管年最大降雨量在這幾年有略微增加的趨勢，在過去 40 年的最大年降雨量之數據(發生在 1980 年 9 月 23 日)是 107 mm/h，這仍遠低於電廠洪水設計基準(PMP 310 mm/h)，故龍門電廠設計基準之排洪能力仍屬適切。

3.1.2 保護電廠防禦設計基準洪水的方法

3.1.2.1 確認洪水後安全停機所需SSC可用

核一廠

1.核一廠之主要設施分為與核能安全有關之設施(Safety Related)及與核能安全無關之設施(Non-Safety Related)兩大類，其中與核能安全有關之設施均為耐震一級結構(以下簡稱一級結構)，包括聯合結構廠房、冷凝水貯水槽、第五台柴油發電機廠房、緊要海水泵室廠房、85 萬加侖油槽及廢氣煙囪；其餘與核能安全無關之設施則非屬一級結構，如汽機廠房、循環冷卻水抽水機廠房、廢氣廠房、防波堤等。與核能安全有關之設施在各項災害發生時必須能順利運轉，係首要之檢核項目。因此所有與核能安全相關之設施需在 FSAR 海嘯溯上水位條件侵襲下，皆能運轉無礙，方可初步確保核能電廠之安全性。至於與核能安全無關之設施，則可允許在海嘯侵襲下受損，而不危及核能電廠之安全性。

核一廠於遭遇設計基準水災之狀況下，安全停機所需之 SSC 是否皆能保持可用，確保機組可安全停機無虞，茲檢視如下：

(1) 因核一廠廠區地勢南高而北低，經檢視核一廠重要廠房設施之地面高程，除循環海水泵室(Normal Intake Pump House)，其餘重要廠房設施(包括一號機及二號機汽機廠房及聯合結構廠房、緊急抽水機房、第 5 台緊急柴油發電機廠房等)之地面高程均大於 11 公尺。當發生設計基準海嘯時，除循環海水泵室以外，其餘廠房設施均足以因應現行設計基準之要求。惟循環海水泵室雖會遭受海嘯之侵襲，然而其建物及相關設備並非安全有關，其失效並不影響機組之安全停機功能。

(2) 核一廠重要儲水槽及儲油槽之高程，除 DST 儲水槽外，其餘儲槽均高於海嘯溯上水位。DST 儲水槽雖位於聯合結構廠房之地下二樓(EL. - 0.25 公尺)，但是因為聯合結構廠房不受設計基準海嘯之侵襲，故 DST 儲水槽亦不受海嘯之危害；而 CST 儲水槽之地面高程為 11.2 公尺，其周邊有圍牆環繞，圍牆之地面高程大於 11 公尺，且高度為 3.2 公尺，故可發揮阻隔功能，使不受設計基準海嘯之危害。

(3) 根據前述排水能力之探討，核一廠乾華區之排洪能力足以應付豪大雨而不致造成廠區淹水，因此廠房內各相關設備均不受影響。另核一廠自建廠以來遭逢最大暴雨侵襲的係發生於民國 89 年 10 月 30 日至 11 月 1 日的象神颱風侵台時，當時累積雨量已達超大豪雨標準，而當時乾華溪排放渠道並未滿溢，乾華廠區廠房亦無淹水情形而造成 SCC 設備受損。

2. 於福島事件後，核一廠已立即依據 WANO SOER 2011-2 Recommendation 3：「Verify the capability to mitigate internal & external flooding events required by station

design」，檢視防洪保護措施及執行相關設備/設施現場查證。現場查證結果顯示一切正常，電廠的設計足以抵擋設計基準水災。

核二廠

1. 由於核二廠主要廠房區地面高程為 12 公尺，高於前述評估之各項海嘯可能高度，包括核二廠 FSAR 以海底火山引發的海嘯為依據之設計基準高度。因此依現有地質狀況，核二廠廠區內各項設施將不會受到海嘯威脅。
2. 根據 FSAR 所述，核二廠主要廠房以外區域係藉由渠道 A、B 的排洪設計，來防範因豪大雨所造成之淹水情況(主要廠房區排水系統，係以 100 年重現期之降雨量設計)。於前述說明，電廠重新檢視近年來之雨量統計結果，並沒有超過原始設計之可能最大降雨量(PMP)，因此核二廠的排洪設計能力仍有足夠容量及能力，因應豪大雨所衍生之洪氾情況，各項設施將不會因為暴雨而受到影響。
3. 此外，核二廠於福島事件後，立即依據 WANO SOER 2011-2 Recommendation 3：「Verify the capability to mitigate internal and external flooding events required by station design」執行現場查證，完成驗證減緩外部及內部水災事故所需物料及設備的適足性。範圍包括：

   (1) 廠房地面層及地面層以下之管線穿越孔填封。

   (2) 輔機廠房緊要設備區之集水坑排水泵及防水門。

   (3) 廠房地面層對廠區之防火門、緊急逃生門及鐵捲門。

   (4) 廠房排水功能及淹水備用排水設備。

   (5) 廠房排水途徑。

   現場查證結果顯示一切正常，電廠的設計足以抵擋設計基準水災。

核三廠

1. 為確認水災後安全停機所需關鍵結構物、系統及組件(SSC)可用，必須確保停機所需關鍵結構物、系統及組件(SSC)在面對設計基準海嘯(溯上高度 12.53 公尺)與可能最大降雨(PMP)時有足夠的保護。清查結果顯示，除廠用海水系統的 SSC 位於泵室(出入口高程為 12.6 公尺)外，其餘系統的 SSC 皆位於廠房區(高程為 15 公尺)內。雖然這些位於廠房區內的廠房底層有部份低於 15 公尺，但必須發生超過設計基準且高於 15 公尺的海嘯，或超過可能最大降雨(PMP)且高於 20cms 逕流量的暴雨，才會因廠房區排水系統無法負荷，致使廠房開始進水，進而使這些 SSC 遭受淹水衝擊。廠用海水系統的 SSC，在發生超過設計基準且高於 12.6 公尺的海嘯時，才會遭受淹水衝擊。

2. 此外核三廠於福島事件後，立即依據 WANO SOER 2011-2 之建議事項 Recommendation 3：「Verify the capability to mitigate internal and external flooding events required by station design」執行現場查證，完成驗證減緩外部及內部水災事故所需物料及設備的適切性。

(1) 廠房地面層及地面層以下之管線穿越孔填封。

(2) 緊要設備廠房區之集水池排水泵及防水門。

(3) 廠房地面層對廠區之防火門、緊急逃生門及鐵捲門。

(4) 廠區排水途徑。

現場查證結果顯示一切正常，電廠的設計足以抵擋設計基準水災。

<u>龍門電廠</u>

1. 由於龍門電廠主要廠房區的地面高程為 12 公尺，高於前述評估之各項海嘯可能高度，包括龍門電廠 FSAR 以海底火山引發的海嘯為依據之設計基準高度。因此，依現有廠房的高程設計，廠區內各項設施將不會受到海嘯威脅。

2. 根據 FSAR 2.4.2.2 所述，龍門電廠主要廠房以外之區域係藉由排洪渠道 II、III 的排洪設計，來防範因豪大雨所造成之淹水情況。此外，電廠重新檢視近年來之雨量統計結果，並沒有超過原始設計之可能最大降雨(PMP)之紀錄，因此排洪設計能力仍有足夠的餘裕，以因應豪大雨所衍生之洪氾情況，龍門電廠各項設施將不會因暴雨而受到水災影響。

3. 龍門電廠於福島事件後，立即依據 WANO SOER 2011-2 Recommendation 3：「Verify the capability to mitigate internal and external flooding events required by station design」執行現場查證，完成驗證減緩外部及內部水災事故所需物料及設備的適足性。 依據 FSAR 3.4 所述，安全相關結構、系統及組件之淹水防治設計可分為兩部份，一為外部水源造成廠房淹水、另一為廠房內設備損壞洩水造成廠房淹水，說明如下：

(1) 屬耐震一級設計且低於地表的基礎與外牆其防水功能，基本上利用止水設計來達成。大體而言，提供安全相關系統、組件的結構以及穿越孔的防水設計皆高於地面層樓板 30 公分以上。龍門電廠防洪設計亦考量了廠區內儲水槽破裂可能引發之水災，廠區內建築出入口皆高於地面 30 公分以上，廠區內儲水槽破裂引發之充放水皆會被引導洩放出廠區不會對廠內設備直接造成傷害。

(2) 針對反應器廠房、控制廠房、廢料廠房、進出管制廠房、反應器廠房海水系統泵室、汽機廠房及輔助燃料廠房等廠房內設備故障洩水，已採取防護措施避免廠房

內部淹水。

由於龍門電廠尚未燃料裝填，目前正進行 PCT(施工後測試)或 POTP(試運轉測試)以確認上述設備之可用性及功能性符合設計要求，將來商轉後亦會依品保制度納入定期測試、保養，並由 MMCS 進行管控。

3.1.2.2主要用來防範廠址水災的方法

核一廠

1. 廠區北側海岸公路之高程大於 11 公尺，可作為核一廠防範海嘯侵襲之屏障。
2. 乾華溪人工排水渠道設有防海嘯閘門阻隔海嘯，且主要廠房高程均在 11 公尺以上，並無淹水之虞。
3. 核一廠於建廠當時經填土整地，地勢由南至北呈高往低，另機組廠房地面及乾華溪出口河堤於建廠時曾填高至 12 公尺(經中興工程顧問公司重測亦大於 11 公尺)，主要乃防範發生天然災害時，不致於造成主要廠房淹水。
4. 核一廠主要廠區(乾華區)之排水管/溝及乾華溪排水渠道設計，均能充分處理最大可能之降雨，進而保護重要廠房設施不受洪水之危害。
5. 雖然小坑溪不屬土石流潛勢溪流，乾華溪(阿里磅溪)源頭上游約 1.5 公里長發生土石流潛勢為「中」，但近年來並無發生土石流之記錄。考量電廠的安全，核一廠仍已修改 104.37 程序書「乾華溪土石流監測」，將乾華溪及小坑溪均納入土石流監測範圍。

核二廠

1. 核二廠主要廠房設計高度(12 公尺)，即以最大可能海嘯溯上高度並增加適當餘裕進行建造規劃，此除可避免海嘯對於電廠的衝擊，並排除對於安全系統的直接影響。
2. 而對於最大潛在可能暴雨之因應，核二廠設計上則以改道、設計，建造排洪渠道，處理可能最大降雨，進而保護廠房不受洪水侵襲。
3. 核二廠用過燃料池所在之燃料廠房亦位於廠區高程 12 公尺處，高於前述評估之各項海嘯可能高度，因此將不會受到海嘯威脅。另燃料廠房內各樓層地板設有洩水孔，可收集廠房內包含設備及地板洩水至集水坑，並由 2 台各 50 gpm 容量之泵浦送至廢料系統，可適當移除異常進水。
4. 核二廠將於主要設備廠房門口加裝檔水板並加強門的防水功能。廠房內設有集水池與排水系統並配備 50 gpm 容量之泵浦，以排洩廠房異常進水。
5. 經查閱「行政院農委會水土保持局」所公佈之土石流資料及「中央氣象局」所公佈之降雨資料，核二廠遭受土石流及暴雨侵襲而可能形成危害之機率甚低，但為避免廠區附近有新增開發行為增加土石流發生之機率，已經新增程序書 577.3，定期檢視

廠區附近的開發行為。並依照「中央氣象局」所公佈之降雨資料及「行政院農委會水土保持局」所公佈之土石流警戒資料，將土石流的預警、防災、減災機制納入程序書，以避免山崩或土石流災害影響排洪能力，導致廠區淹水的情況。

核三廠

核三廠用來防範廠址水災的主要考量在處理侷限廠房區的降雨，概分為廠房內與廠房區(外)兩部份說明如下：

1. 廠房內：

(1) 所有地面下與外牆的穿越孔皆設計防水填封。

(2) 所有廠房的基礎底部及位於地面下的外牆皆施作防水處理(waterproofing)，伸縮縫、結構縫處設置有合成橡膠止水帶。

(3) 緊要設備房間設置門檻或水密門，防止該房間進水或內部的水溢出。

(4) 各樓層地面積水則由地面洩水孔收集至廠房集水池，再經由集水池排水泵排至不同的廢液處理系統進行處理及排放。

2. 廠房區(外)：

(1) 廠用海水泵室出入口設於高程 12.6 公尺處，高於最大可能海嘯高度，確保廠用海水泵不被淹水而故障。

(2) 廠房一樓樓地板高程位於 15 公尺高程處，所有位於外牆的門或地面上之開口至少皆距離地面六吋以上以防止累積之洪水(FSAR 3.4.1.1.2 節所述)浸入廠房，廠房室外地坪高程為海平面上 14.85 公尺。

(3) 廠房區周邊設計有足以輸送最大可能降雨(PMP)的地面排水系統、鋪面有足夠的斜率，以確保不積水，並足以宣洩最大降雨時來自屋頂排水管的水量。廠房區主排水渠道具備 20cms 排水能力，大於最大可能降雨(228mm/h)所形成之逕流量(14cms)。

(4) 廠房區外東側、北側及西側皆有高地與廠房區隔離，且有獨立的排水系統，使此等區域地表逕流不會進入廠房區域。

(5) 廠房區南(近海)側安全圍籬下方亦設有 6 個 70 ㎝高×235 ㎝寬底部高程在 14 公尺的緊急洩水口，其洩水能力約為 20cms，相當於東西兩側排水系統之總排水量，可更確保廠房區不致因氣候變異所造成之豪大雨量而發生淹水之疑慮。

龍門電廠

1. 龍門電廠主要廠房的設計高程(12.3 公尺)，即以可能最大海嘯溯上高度並增加適當餘裕來建造規劃，此除可避免海嘯對於電廠的衝擊外，並可排除對於安全系統的直

接影響。

2. 而對於最大潛在可能暴雨之因應，龍門電廠設計上則透過野溪改道、水理分析的方式來建造排洪渠道，以處理廠區最大可能降雨所造成之地表逕流，進而保護廠房不受洪水侵襲。
3. 龍門電廠屬貢寮區石碇溪及雙溪流域範圍，2 條溪流均未列入行政院農委會水土保持局所訂定之土石流潛勢溪流，故依現地之自然條件，石碇溪及雙溪發生土石流災害機率較低。廠區各開挖整地的工區皆依「水土保持技術規範」及「水土保持手冊」，規劃設計各項的水土保持設施，且經行政院農委會水土保持局審查核定。因龍門電廠區地勢平緩，附近山谷野溪的坡降亦緩，溪床無崩積料堆積，兩側坡面植被覆蓋良好無裸露現象，上游的集水區小且無土石崩塌的情形。加上開挖整地的區域業經水土保持工程之處理與維護，故龍門電廠應無發生土石流災害之虞。但為避免廠區附近有新增之開發行為，而增加土石流發生機率，將增編廠區附近土石流監視、預警、防災、減災等相關程序書來因應。

3.1.2.3警示並減緩水災後果的主要操作規定

核一廠

電廠在正常供電時，緊要設備區皆有地板集水坑排水泵，控制室隨時監視集水坑水位，若有水位異常現象發生時會自動啟動集水坑排水泵。但是為強化災害防救機制，俾減少災害損失，核一廠已訂定海嘯閘門啟閉、廠房內水災處理、廠區水災緊急操作規程等相關災害防救要點程序書以進行應變及處理，內有災害防救整備項目，包括抽水機、沉水泵、緊急發電機等救援水災之移動式設備。相關程序書如下：

項目	名稱	程序書
1	颱風災害預防與處理	104.22
2	乾華溪土石流監測	104.37
3	颱風警報期間運轉	513
4	海嘯警報期間之運轉	514
5	廠區水災緊急操作規程	515
6	廠房內水災處理程序書	515.2

核二廠

核二廠主要廠房四周設有地下水槽及排水泵，遇有異常進水狀況時，將於控制是的 OC99 盤出現警報通知值班人員前往處理，讓值班人員迅速得知是否有異常狀況，並依

程序書 577「豪大雨或洪水緊急操作程序書」處理。

各廠房及緊要設備區域皆有地板集水坑及排水泵，遇有異常進水狀況時，可由主控制室或廢料控制室隨時監視集水坑水位，並依據程序書 566.4「廢液超載」追蹤進水來源，適當加以隔離，立即處理任何可能形成淹水異常狀況。

核二廠於日本福島電廠 311 事件後進行主要廠區、各廠房內相關排水作業程序檢討，平時廢料值班員負責臨時抽水工作，可隨時處理廠房內部淹水事件。另為強化災害防救機制，減少災害損失，核二廠已訂定廠房內水災處理、廠區水災緊急操作程序、颱風警報期間運轉等相關災害防救要點予以因應，相關程序書如下：

項目	名稱	程序書
1	豪大雨或洪水緊急操作程序	577
2	廠房緊急排水作業程序	577.1
3	海嘯緊急應變程序書	577.2

核三廠

核三廠重要廠房及 ESF 設備房間皆在低點設置集水池，並配有水位偵測儀器，在主控制室設置集水池高水位警報窗。當高水位警報動作後，運轉員根據對應的警報窗回應程序書，指派人員至現場查明原因及採取適當的改正措施以排除故障，

若現場運轉員發現異常進水或其他異常現象，則執行程序書 583 緊急淹水程序處理與排除此異常現象。

龍門電廠

龍門電廠已訂定廠房內水災處理、廠區水災緊急操作、颱風警報期間運轉等程序書與其他指引以防制並減緩水災災害，相關程序書如下表：

項目	名稱	程序書
1	颱風期間豪大雨積水防範與處理	187.01
2	洪水之處理	528.03.01
3	淹水之處理	528.03.02
4	停電暨廠房進水時緊急排水作業	528.03.03
5	停電暨廠房進水時緊急排水作業	233

龍門電廠於日本福島電廠 311 事件後，進行主要廠區、各廠房內相關排水作業程序之檢討，透過相關程序書的修訂與新增，來降低淹水事件的發生機率與增加淹水事件的應變能力。如果主要廠房區地面，將因天然災害而嚴重淹水時，則依程序書 528.03.01「洪水之處理」，視現場實際狀況必要時依序將機組降載至安全停機狀態。若廠房內發

生淹水事件，可依程序書 528.03.02「淹水之處理」所提供之應變指引處理。另外，龍門電廠因應日本福島核電廠 311 地震海嘯經驗回饋，新增程序書 528.03.03「停電暨廠房進水時緊急排水作業」。模擬電廠在嚴重天然災害下，各廠房發生淹水、喪失外電事件時之因應措施，並規劃若遇廠區淹水且全面停電時，可採用移動式發電機提供沉水泵臨時電源或移動式汽油引擎抽水泵，將水排至特定收集處。

3.1.3 電廠承諾的持照基準

3.1.3.1一般程序

核一廠

1. 核一廠每年依照程序書 104.22「颱風災害預防與處理」及 795.12「廠區結構監測巡視作業程序」執行廠區內所有排水渠道例行性及天然災害後勘查，以確定排水暢通及結構穩固。核一廠於 100.03.15 完成整個廠區排水渠道暢通巡視，並訂定年度維護契約由專責單位清潔溝渠。
2. 程序書 792.1「防海嘯閘門關閉及開啟操作測試」，提供防海嘯閘門關閉及開啟操作測試之詳盡步驟，以確保防海嘯閘門於海嘯發生時之可靠性。
3. 穿越孔之檢查，係依據 791.1 程序書「穿越孔定期檢查程序」，周期為 18 個月，及 791.2 程序書「廠房外牆穿越管件及預留孔密封完整性檢查檢查程序」，周期為 18 個月，執行定期檢查。
4. 依 104.37 程序書，定期監測乾華溪及小坑溪之土石流狀況。

核二廠

為因應海嘯、暴雨、土石流等天然災害，核二廠除依 3.1.2.3 節「警示並減緩水災後果的主要操作規定」所列各項緊急操作程序書外(577、577.1 及 577.2)，對於正常運轉期間及預期可能遭受天然災害侵襲時，亦規範有相關程序書執行防災/減災以降低/減緩天然災害可能造成之危害：

1.程序書 576-「颱風警報下運轉」

2.程序書 576.1-「核二廠防颱作業程序書」

3.程序書577.3-「廠區周圍活動斷層、雨量、土石流、順向坡之監視、預警、防災、減災程序書」

核三廠

1. 平時均定期依 600、700 系列程序書執行安全相關系統、結構之維護、檢查及測試，以確認承諾的持照基準。
2. 對於廠房外部的防淹水，係在外牆穿越孔施以填封(630-S-015)，另廠房的必要開口

如門/窗(650-S-006)需維持其功能正常。

3. 對於廠房區防淹水，是以設置於廠房區四周的排水渠道排水並維持其通暢來達成。
4. 為了加強廠房內防淹水，則以廠房樓層洩水孔配合 ESF 泵室水密門(值班定期巡視)與穿牆穿越孔填封來達成，此外，對於廠房內的排水，則以廠房集水池配合集水池泵與相關管閥來達成。
5. 遭遇洪水或海嘯後，則依下列程序書執行檢查及測試：

(1)程序書 582.2 海嘯處理程序。

(2)遇廠房淹水警示時，執行程序書 583 緊急淹水程序書，過程如反應器急停及／或安全注水自動動作，則進入 EOP570.00，如喪失所有 AC 電源則進入 570.20。

(3)依程序書 700-A-001「廠區內外結構體檢查程序書」，執行結構檢查，包含排水渠道、管線之結構完整及暢通，周邊駁崁檢查預防發生土石流。本程序書要求每年 6 月間(汛期前)實施包含排水系統之結構體之定期檢查，並於颱風前、後及 4 級以上地震後進行排水系統之結構體。

龍門電廠

為因應海嘯、暴雨、土石流等天然災害，龍門電廠除依 3.1.2.3 節「警示並減緩水災後果的主要操作規定」所列之各項緊急操作程序書(187.01、528.03.01、528.03.02、528.03.03)外，並於正常運轉期間及預期可能遭受天然災害侵襲時，規範有相關程序書執行防災/減災以降低/減緩天然災害可能造成之危害：

項目	名稱	程序書
1	颱風期間作業	187
2	颱風警報期間機組之運轉	528.02.01
3	海嘯警報期間之運轉	528.04

3.1.3.2電廠用以確認承諾的移動設備/補給

核一廠

依據現行持照基準，於電廠設計基準下並不會因海嘯/水災造成廠區淹水，安全停機所需關鍵的結構物、系統及組件(SSC，包括反應器爐心、或用過燃料池)亦不致於受損，仍舊足以將機組安全停機。

核一廠除原先既有之一般性救援設備備品，並為檢討整合福島事故衍生救災複合性所需各類器材，增購了兩部大型的 4.16kV/1500kW 移動式貨櫃電源車及 12 部中型 480V/500kW、480V/200kW 等之柴油發電機，多部輕便型汽/柴油發電機、空壓縮機、

內燃機抽水泵等(部份尚未交貨)及其它充裕的救災器材或備品。所有設備都置放在安全高度以上並便於取用的地方，電廠也已增訂相關設備的整備與管理程序書。

另外，在緊急情況下，則以友廠(核二廠及龍門電廠)作為廠外移動設備/補給供給來源並相互支援。

核二廠

核二廠已整備因應任何意外狀況的移動式救災設備，如吊車、水泵、發電機與沙包等。而於福島事件後，核二廠在原能會指示下進行核能全面體檢之檢討，並進一步擴充規劃移動式設備(詳第 2 章)，以便因應任何意外狀況。

在緊急情況下,核二廠將另以核一廠及龍門電廠為廠外移動設備/補給供給及相互支應之來源。

核三廠

依據程序書 192「救災用器材維護及管理程序書」,核三廠已有移動設備包括移動式柴油發電機、柴(汽)油引擎抽水機等，並每週或每月執行檢查、測試及維護，以維持在全時可用的狀態。

龍門電廠

龍門電廠 2011 年 6 月 30 日前既有之因應任何意外狀況的移動式救災設備，規範於程序書 186.01「災害防救要點」中。而於福島事件後，已完成核能全面體檢之檢討，並進一步擴充規劃移動式設備，以便因應任何意外狀況。

3.1.3.3 偏離現行持照基準事項及矯正規劃

核一廠

即使最近核一廠廠房地面高程量測結果雖較原設計高程(12 公尺)略低約 80 公分，但它仍然是高於最大海嘯溯上高度(10.7 公尺)，電廠仍然有足夠的防洪和排水能力。

核二廠

福島事件之後，核二廠檢討各廠房結構，發現緊急循環水泵馬達所在樓板高度為 6.72 公尺，當海嘯上溯高度超過 6.72 公尺時，海水可能由緊急循環水進水渠道流入緊急循環水泵室，可能造成緊急循環水泵室相關電氣盤箱因而淹水受損。

為因應此疑慮，故於 100/06/30 完成增設緊急循環水泵室防水牆改善案，於現有 2 處進出設備區之防火門外增設水密門，並於抽水泵與迴轉攔污柵之間加設可拆式不鏽鋼防水牆 6 面，使防水牆高度達天花板且相關穿越孔皆填封封堵，讓主要機電設備周圍自成一防水區域，以封堵措施阻隔海水侵入 ECW 泵室，使整體防海嘯高程達 12 公尺，以維持緊要海水泵之運轉。

核三廠

核三廠目前無已知之承諾偏差事項，若發生任何偏離，核三廠依據相關程序書進行安全評估及執行矯正措施，詳請參閱前段 2.1.3.3 敘述。NSCW 泵室管線穿越孔之填封，將修改設計為鋼板配合矽利康膠方式填封。

龍門電廠

依台電公司核能技術處之「龍門發電廠防海嘯能力檢視報告」顯示，目前龍門電廠在防海嘯能力方面，初步認定足以承受設計基準海嘯之考驗，惟龍門電廠尚在興建中，部分施工缺失之改善，可提升龍門電廠之防水災能力。相關缺失摘要如下：

- 控制廠房結構物地面以下外牆電纜管線穿越處，發現有滲漏水之現象，改善作業已完成。
- 反應器廠房冷卻水抽水機房(RBSW pump house) 水密門之設計強度可抗 12,100 kg/m^2 之水壓，然泵室尚有配合管線進出之開孔，電廠必須確認這些開孔的封堵材料確可承受海嘯侵襲時之水壓力。
- 如海嘯溯上高度達高程 8.57 公尺，RBSW 抽水機房外牆，仍將額外承受約 3.3 公尺水頭高之壓力，而海嘯之作用除靜水壓外亦附帶有衝擊力，RBSW 抽水機房之結構完整性必須補強改善。

3.1.3.4 業主已開始檢視的特定承諾

核一廠

配合福島事件之檢視，核一廠已完成相關審查與改善如下：

項目	名稱	程序書
1	「因應海嘯突然來襲，增設防海嘯閘門快速關閉功能」	DCR-C0-3307
2	「ESW 泵取水暗渠上方所有開口換裝為耐海嘯格柵板，及第一道上方開口設固定欄汙柵，以防止大型垃圾進入暗渠」	DCR-C0-308
3	「ESW 沖洗泵地下二層樓板開口增設浮球閥，平常可洩樓板積水，海嘯來可抵擋海嘯」	DCR-C0-3283
4	「在 5^{th} EDG 廠房入口設水密門」	MMR-C0-0407
5	「ESW 泵室閥坑地下一樓及二樓、ESW 泵出牆處及沖洗泵出口穿牆處，設置管路穿牆密封之支撐加強板」	MMR-C0-0416

另外，台電公司已完成核電廠附近海陸域地形地貌調查，並重新檢視核電廠終期安

全分析報告(FSAR)的海嘯設計基準及電廠設施的安全性。依據調查及檢視結果，更新核一廠終期安全分析報告之廠址高程，確認重要廠房及設備不受海嘯淹溢。

核二廠

1. 雖經核二廠根據「中央氣象局」過去 30 年基隆測站統計每年單日最大降雨量紀錄資料，推算單日最大時降雨量 123.1mm/h 及可能最大降雨量(PMP)之 208.9 mm/h，評估核二廠之設計基準仍屬適切，然為因應極端氣候可能發生超過設計基準之降雨量，仍將於重要設備廠房對外之開口增設檔水板，使整體防水高程自廠區高程提升 1 公尺，以強化因應極端氣候之能力。
2. 因應福島事件，核二廠為避免地震伴隨之海嘯導致廠區喪失終極熱沉狀況，將陸續完成下列改善案，以確保事故後仍有足夠的冷卻水源做為補水至爐心或供給機組長期冷卻所需：

項目	名稱	程序書
1	「生水管路明管化」	DCR-K0-3886
2	「提升生水管路局部彈性」	DCR-K0-4057
3	「增設 RHR 系統之後備注水管路」	DCR-K1-4074/K2-4075
4	「ECW 渠道管路增設關斷閥及快速接頭以便利用可移動式引擎抽水機以水帶連接送水至 RHR 系統 HX」	DCR-K1-4043/K2-4044
5	「增設 A/B 渠道之擋水閘門」	MMR-K0-257
6	「增設固定輸送水管由臨海橋至電廠大門」	MMR-K0-259

核三廠

核三廠已開立或進行中的改善案與簡易改善案如下表所示：

編號		內容
DCR	M0-4275	NSCW 廠房增設水密門配合 PA 及照明改善
	M0-4276	NSCW 廠房增設水密門配合通風改善
	M0-4277	NSCW 廠房增設水密門配合消防改善
	M0-4285	NSCW 廠房各泵房間增設水密門及防水牆
	M0-4350	NSCW 泵坑北側牆高程 6’-6”至 22”之穿越孔全部改用不鏽鋼板封閉；人孔蓋改用浮板式蓋板。
MMR	M0-0672	保護區南側安全圍籬洩水孔上方鐵絲網修改成可向外掀起式。

	M0-0683	於廠用海水池上方增設防雜物蓋板。
	M0-0732	於廢料廠房/新廢料倉庫之對外開口處裝置簡易型擋水板設施。
	M1-0733 M2-0734	於燃料廠房/輔助廠房之對外開口處裝置簡易型擋水板設施
	M1-0735 M2-0736	於 EGD/EDG-5 廠房之對外開口處裝置簡易型擋水板設施
	M1-0737 M2-0738	於控制廠房/通道控制廠房之對外開口處裝置簡易型擋水板設施
	M1-0739 M2-0740	於 NSCW 廠房/CST 閥室之對外開口處裝置簡易型擋水板設施

龍門電廠

1. 經可能最大海嘯模擬分析後，主要廠房高程不受海嘯影響。然而，為加強深度防禦，避免異常氣候造成豪雨導致廠區淹水灌進廠房，龍門電廠透過增強行動方案進行之相關改善如下：

   (1)將反應器廠房高程 4.8 公尺之中壓 4.16kV 安全相關匯流排 A4、B4、C4 房間之房門改為防水門，以防止洪水流入。

   (2)於下列地方，安裝 1 公尺高之防水檔板(因龍門電廠已規劃新建混凝土海嘯牆，故原規劃加裝 1 公尺高防水擋板工程暫停施作)：

   ●將反應器廠房、控制廠房、柴油機燃油槽、輔助燃料廠房、消防泵室及 RBSW 泵室等，各廠房於地面樓對外門。

   ●於廢料通道進入輔助燃料廠房之通道處。

   ●於廢料通道進反應器廠房/控制廠房之通道處。

   ●於進出管制廠房高程 12.3 公尺進入反應器廠房通道處。

2. 已於增強行動方案 RAP-LM-01-12-001 中規畫，在開關場(高程 29.8 公尺)增設總容量 120 MW 之氣渦輪發電機，在廠區全黑時可併聯至 161 kV GIS，再經 161 kV RAT1、RAT2 變壓器，供應兩部機電源之應變能力。另外，為提升全黑事件時氣渦輪發電機電力送至機組安全系統之可靠度，規劃自龍門電廠開關場每部氣渦輪發電機電力輸出端，增設獨立之 4.16kV 輸電線路，將氣渦輪發電機之電力直接送達至安全相關之中壓開關箱，例如 4.16kV 之 S4 BUS。

3. 龍門電廠結論認為廠房內的排水能力(包括反應器廠房、控制器廠房及輔助燃料廠房)是足夠的。然而，各廠房除利用原有之集水池泵抽水外，尚可利用預先備妥之臨時抽水泵排水，以儘速恢復各廠房底樓設備之功能。

3.2 現行設計基準之餘裕評估

3.2.1 視預警時間所設想或實施的額外防護措施

核一廠

1. 為爭取海嘯預警時間，台電公司已建置與中央氣象局地震與海嘯預警系統連線，並建置警示與維護機制。
2. 防海嘯閘門平時即保持於全關位置以防海嘯，故不需考慮海嘯之預警。 於海嘯預警期間，電廠應遵守 515 程序書「廠區水災緊急操作規程」，必要時可加派人員，按規劃在各重要廠房地面樓層之出入口加強堆疊砂包，減緩海嘯可能入侵各廠房。
3. 若豪大雨/颱風時，警報發布至淹水尚有一定之時間，核一廠將持續監測乾華溪出水口水位，當水位達 1.0 公尺時開啟臨海側防海嘯閘門，當水位達 2.0 公尺時再開啟臨廠側防海嘯閘門，以防廠區淹水。
4. 根據「中央氣象局」發布豪大雨特報，若達 500mm/日警戒值即發布土石流潛勢溪流警戒警訊，操作人員則依據程序書 104.37 及程序書 106.9.4 去檢查是否有異常情況發生，如地面的變化、地面坡度的變化和土石流，並評估對電廠安全運轉可能產生的負面影響因素。
5. 於重要建築設施的入口/出口，安裝並加強防水設施。

核二廠

1. 海嘯預警時間及額外防護措施

   核二廠為爭取海嘯預警時間，已建置各廠與中央氣象局地震與海嘯預警系統連線，並已建置警示與維護機制。

2.豪大雨或洪水之預警和監測方式,以及適當的回應,詳見程序書第 3.1.2.3 節和第 3.1.3.1 節。

核三廠

核三廠在研判發現有海嘯跡象或接獲中央氣象局海嘯預警通報時，依據程序書 582.2 海嘯處理程序，視預警時間的長短，預先準備與處置，說明如下：

1. 研判有海嘯跡象時：

   值班經理通知泵室值班員檢查 NSCW 泵室各防海嘯門、水密門、人孔蓋板(高程 6′－6″)及細網蓋板，上述設施均保持關閉並鎖緊。

2. 接獲中央氣象局海嘯通報時之處置：

   當中央氣象局發佈海嘯警報，預測海嘯可能侵襲核三廠，則依程序書 1401「事故分類判定程序」研判是否進入 HU1(自然災變或破壞現象影響到保護區者)之異常示警

事件。若中央氣象局已預測海嘯可能侵襲核三廠且超過設計基準時，需同時執行程序書 1451〝斷然處置程序指引〞。若海嘯通報預告海嘯可能侵襲核三廠時，由運轉副廠長召集各技術組、供應組及政風組經理成立海嘯危機應變小組。

龍門電廠

1.海嘯預警時間及額外防護措施

為爭取海嘯預警時間，規劃與中央氣象局地震與海嘯預警系統連線，並建置警示與維護機制。此外為求能提早因應各項天然災害之衝擊，龍門電廠已將所有預防、應變及強化等防護措施納入程序書 528.04「海嘯警報期間之運轉」。當海嘯影響到廠區時，將針對其影響的程度，依據緊急應變計畫(1400 系列程序書)予以因應處理。

2.豪大雨或洪水之預警方式包括監視及防護因應等依據 3.1.2.3 節之程序書。

3.2.2 弱點與瀕危效應

核一廠

核一廠參考日本核能電廠之分析方式以事件樹尋找 Cliff Edge 及安全餘裕。依據「核一、二、三廠壓力測試評估事件樹分析」結果，顯示爐心停機冷卻成功者僅有一種情況，即為海嘯造成 LOUH(喪失海水最終熱沉)、反應器急停成功且高壓爐心補水成功，反應爐洩壓成功，廠內 AC 柴油發電機成功與 BCSS 注水成功之序列。

其中安全餘裕及其 Cliff Edge 說明如下：

因僅有成功路徑(1)，故其 Cliff Edge 即為本海嘯案例之 Cliff Edge。其安全餘裕須以各標題安全餘裕之最低者為代表，故為 0.64 公尺(39.83 呎–37.72 呎=2.11 呎)；其 Cliff Edge 依定義為各標題高度之最低者為代表，即為 12.14 公尺(或 39.83 呎)。

核二廠

依據「核二廠壓力測試評估事件樹分析」，有關核二廠海嘯案例之結論，爐心停機冷卻成功者僅有一種情況，即海嘯造成喪失最終熱沉(LOUH)、反應器急停成功但長期之高壓爐心補水失敗下，長期之替代爐心補水(含圍阻體排氣)成功之事故序列。

其中安全餘裕及其 Cliff Edge 說明如下：

因僅有成功路徑(1)，故其 Cliff Edge 即為本海嘯案例之 Cliff Edge。其安全餘裕須以各標題安全餘裕之最低者為代表，故為 0.3 公尺 (12.3 m-12 m)；其 Cliff Edge 依定義為各標題高度之最低者為代表，即為 12.3 公尺。

核三廠

依核三廠之 PRA 事件樹分析結果，核三廠海嘯評估之結論，爐心停機冷卻成功路徑僅有一種情況，即：海嘯導致喪失最終熱沉 ➔ 反應器急停 ➔ 以 DC 控制之汽機帶動輔助飼水泵移熱 ➔ 因喪失房間移熱能力，TDAFWP、MDAFWP、CCW 無法長期運轉 ➔SG 後備補水(柴油引擎消防泵)成功 ➔ 冷卻成功。

其中安全餘裕及其 Cliff Edge 因僅有一條成功路徑，故其 Cliff Edge 即為本海嘯案例之 Cliff Edge。其安全餘裕須以各標題安全餘裕之最低者為代表，故為 5.88 公尺 (15.0 m – 9.12 m)；其 Cliff Edge 依定義為各標題高度之最低者，即為 15.0 公尺。

<u>龍門電廠</u>

台電公司參考日本核能電廠之分析方式以事件樹尋找 Cliff Edge 及安全餘裕。依據「龍門電廠海嘯案例」探討由地震所引發的海嘯在機組急停後侵襲廠址，並造成電廠喪失最終熱沉。分析結果顯示，爐心停機冷卻成功的路徑為：當海嘯造成機組喪失最終熱沉，但 RCIC 系統起動執行短期補水功能，此舉提供運轉人員手動開啟 SRV 及建立 ACIWA 系統所需的時間，此後機組由 ACIWA 系統提供長期注水，並藉由 COPS 提供圍阻體長期熱移除功能，使得機組得以達到冷停機狀態。

因爐心停機冷卻成功者僅有一種情況，故其 Cliff Edge 即為本海嘯案例之 Cliff Edge。其安全餘裕為各標題安全餘裕之最低者，為 0.3 公尺 (12.3m-12m)；其 Cliff Edge 依定義為各標題高度之最低者，即為 12.3 公尺。

3.2.3 強化防護能力的措施

福島事故發生後，台電公司立即成立核能電廠防海嘯評估專案小組，進行核電廠附近海陸域地形地貌調查，重新檢視核電廠終期安全分析報告(FSAR)的海嘯設計基準及電廠設施的安全性。

<u>核一廠</u>

核一廠已完成下列強化措施：

1.完成核電廠附近海陸域地形地貌調查，並重新檢視核電廠終期安全分析報告(FSAR)的海嘯設計基準及電廠設施的安全性。依據調查及檢視結果，核一廠廠址高程為 11.2 公尺，確認重要廠房及設備不受海嘯淹溢。為涵蓋海嘯溯上高度分析的不確定性，核一廠並承諾建造海嘯牆。

2.現勘檢視防海嘯閘門、海水渠道溯上可能途徑、廠房穿越器防水功能、廠區排水功能及路徑、蓄電池室/開關箱室及柴油發電機廠房防水功能，確認相關防海嘯設施均具有足夠因應能力。

3. 6 扇防海嘯閘門為電動操作，全部可於 5 分鐘內關妥，符合程序書要求。

4.提升緊要海水系統防海嘯能力，完成核一廠緊要海水系統防海嘯能力評估作業，確認海嘯溯上水位不致造成結構與設備損壞，以確保海嘯侵襲後緊要海水的冷卻功能。

5.立即檢視颱風、豪大雨廠區防洪設計基準與排洪能力，確認核一廠有足夠的排洪安全能力。

6.已繪製廠區廠房易遭淹沒區域的圖面，並另建立廠區廠房各排放流徑及排放能力之列表，供核一廠更進一步強化廠區廠房排洪能力。

7.增購 8 台汽柴油動力排水泵，以因應超出設計基準的洪水侵襲，強化廠房機動排水能力。

8.完成修訂 104.37 程序書「乾華溪土石流監測」，將乾華溪及小坑溪均納入土石流監測範圍。

9.已規劃補強措施，檢討各重要廠房(含 ESW 泵室)對外出入口之防水能力，並提設計修改案 MMR-C0-0407 規劃在 5thEDG 廠房入口增設水密門，並在廠區北面增建海嘯牆以保護電廠。

<u>核二廠</u>

核二廠已完成下列改善措施：

1. 已重新評估完成海嘯可能溯上高度調查分析，確認建廠時 FSAR 所設定之海嘯溯上高度足夠保守，不會有因地震所引發海嘯侵害之疑慮。為涵蓋海嘯溯上高度分析的不確定性，核二廠並承諾建造海嘯牆。
2. 評估過程中發現 ECW 泵室防海嘯能力之弱點後，立即進行改正，完成 ECW 泵室水密牆等封堵阻隔措施，提升海嘯防護能力。完成後 ECW 泵室海嘯上湧防護高度與主要廠區地面一致，同為 12 公尺。
3. 已完成檢討廠區淹水及排水功能，重新檢視最近 30 年來最大單日降雨量之歷史紀錄，確認排洪渠道仍可承受氣候變異所造成之豪大雨量，並無淹水之虞。
4. 已對廠區環境地質及過去最大單日降雨量之歷史紀錄，進行廠區防範土石流發生之檢討。並完成新增程序書，定期檢視廠區附近的開發行為，依照「中央氣象局」所公佈之降雨資料及「行政院農委會水土保持局」所公佈之土石流警戒資料，將土石流的預警、防災、減災機制納入程序書。
5. 已繪製廠區廠房易遭淹沒區域的圖面，事先規劃排洪做法；增列廠區廠房的防洪圖面，以利更進一步強化廠區廠房排洪能力，並另建立廠區廠房各排放流徑及排放能力之列表。
6. 已檢討以往颱風、豪雨造成開關場電池室與汽機廠房底樓淹水之經驗。確認作業程序

書已詳細要求穿越孔施工後相關之回封作業管控機制之有效性,並不會再發生類似狀況。並完成廠房內防水門、屏蔽(包括井欄等)及穿越器填封設計及完整性之現場檢查，確認一切正常。

7. 為防因廠區淹水流入廠房,已規劃於各主要設備廠房之廠房進出門或鐵捲門前裝設擋水板/或門隙強化橡皮軟墊。
8. 在無電力供應下,將利用引擎帶動抽水泵對廠房淹水區域進行排水,相關作業已完成標準作業程序。並已增購 6 具引擎帶動機動性排水沉水泵，以強化機動排水能力。

<u>核三廠</u>

核三廠已完成下列改善措施：

1. 主要廠房區地面高程位於海平面上 15 公尺處,臨近海邊的廠用海水抽水機房屋頂出入口亦位於海平面上 12.6 公尺處，皆高於可能的最大海嘯溯上高度，因此若地震伴隨發生海嘯時，仍可無虞海水侵襲。惟為強化防護能力，目前已於 100 年 6 月 30 日完成廠用海水取水池加設格柵頂蓋工程,防止海嘯時大型污物自取水池頂部侵入取水池影響取水。另外，亦於 100 年 8 月 31 日完成廠用海水取水泵室馬達區的水密門與擋水牆設施，將其分機組/分串實體隔離保護，防止海嘯侵襲時同時喪失所有廠用海水泵。經此改善之後，可使肇始事件的海嘯防護高程從原來廠用海水泵馬達的 9.12 公尺，提升至該馬達室屋頂排風口最下緣的 12.9 公尺。
2. 利用近 30 年來最大日降雨量紀錄,推估回歸期百年及萬年的最大時降雨量，分別為 169.3mm/h 與 303mm/h，其所形成之逕流量仍小於核三廠東西兩側排洪系統排洪能力(20cms，相當於 325mm/h 之降雨強度)。為強化防水能力，在廠房區南側圍籬下方設有緊急洩水孔具有額外之 20cms 之排水能力。此外，廠三廠仍將在重要廠房開口加裝 1 公尺高以上之防水擋板，並定期巡視、清理廠房區西南角緊急洩水孔(20cms 排水能力)，使無雜物堵塞，提升排水餘裕。
3. 為防範因廠區淹水流入廠房，核三廠已提簡易改善案，就安全系統相關廠房對外進、出之門評估設置檔水板之可行性，以便當氣象局發布颱風加豪大雨或判斷廠區淹水有侵入廠房之虞時，可事先裝設；核三廠亦已提改善案，就安全系統相關廠房之重要關鍵防火門或防爆門提升其水密性，以阻隔廠區淹水入侵重要關鍵區域/房間，防止重要設備/設施故障或失效。未來若本改善案完成後，則重要廠房底層的重要電源(含 DC 電源)不致因淹水而喪失，則 Cliff Edge 可以從原來的 15.0 公尺提升至 SG 後備補水的 15.3 公尺。同時，本改善案完成後，則第五台緊急柴油發電機的關鍵高程，亦可從原來的 16 公尺，提升至該廠房通風口的 23.38 公尺

高程。

4. 為加速處理廠房淹水後的排水措施，除了原有的 20 台抽(沉)水泵外，另已購買 30 台柴油引擎抽水泵，以增強機動排水能力。
5. 檢討 SG 後備補水，加強以消防車機動運補方式，作為當柴油引擎輔助飼水泵及柴油消防泵失效後的替代補水措施。因此，核三廠除已增購一台消防泡沫車外，另將增購一台消防水庫車以加強其機動運補能力。由於現有消防車平時已妥備於消防隊部(高程 24 公尺)，故亦對加強消防水至 SG 注水能力有所幫助。

龍門電廠

龍門電廠已完成下列評估與改善措施：

1.已完成新增程序書，規定於中度以上颱風或豪大雨特報期間採取相關因應措施，派員定時監視廠區排洪渠道水位高度，以及每小時降雨量數值，預防廠區積水。此外，並規劃繪製廠區廠房易遭淹沒區域的圖面，事先規劃排洪做法，增列廠區廠房的防洪圖面，以利更進一步強化廠區廠房排洪能力。

2.完成廠房內防水門、屏蔽(包括井欄等)及穿越器填封設計及完整性之現場檢查，確認穿越器填封施作完成後一切防水機制可發揮正常功能。

3.為防因廠區淹水而流入廠房，已規劃於各主要設備廠房之廠房進出門或鐵捲門前裝設擋水板/或門隙強化橡皮軟墊。當判斷廠區淹水有侵入廠房之虞時，事先裝設。

4.在無電力供應下，將利用引擎帶動抽水泵對廠房淹水區域進行排水，相關作業已完成標準作業程序。已購置 6 具引擎帶動機動性排水沉水泵及 12 台電動式抽水泵(可配合汽柴油發電機使用)，將再採購 2 台引擎帶動機動性排水沉水泵及 20 台電動式抽水泵，以強化機動排水能力。

5.評估過程中確認安全相關 RBSW 泵室的高程雖為 5.3 公尺，但高程 12 公尺以下設備區域擁有防水設計，高於設計基準海嘯之溯上高程 8.07 公尺，已具備足夠海嘯防護能力。

3.3 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論

台電公司用以評估其核能電廠水災的方法符合管制單位原子能委員會(AEC)的要求。原子能委員會基本上同意台電公司的評估與所提供的資訊，尤其是持照基準方面的資訊。一般而言，安全餘裕方面的評估可以接受，且擬採取的改善計畫是足夠的。

然而，管制單位提出下述幾項要求與建議以進一步加強電廠的強健度以抵抗水災的風險：

1. 台電公司需要參考主要核能國家先進的海嘯分析方法、指引與結果重新檢視其

設計基準海嘯的適當性，並採取對應的改善措施。

2. 近年來氣象變遷加速，台電公司必須定期檢視其設計基準水災是否足夠？並採取必要的改善措施以加強核電廠對抗水災的能力。相關評估結果必須在十年定期安全評估時送管制單位審查與核准。
3. 經過重新測量，金山核電廠的廠房地面高程已低於原設計值 1 公尺(原設計高程為 12 公尺)，雖然仍大於設計海嘯的溯上高度(10.7 公尺)，但餘裕甚小，台電公司應儘快設法改善。
4. 台電公司應該依循 USNRC 的 NTTF 報告第一階段的建議事項，尤其是關於水災與海嘯的 2.1 與 2.3。
5. 建議台電公司參考主要核能國家的經驗，執行下述改善或評估：

   (1)詳細的地震與海嘯危害情境模擬；

   (2)建立海嘯牆、混凝土擋牆或其他設施水密性以抵擋海嘯侵襲；

   (3)提昇重要安全設備廠房的防水能力、升級防火門與加強管線穿管密封。

4. 極端天然災害之威脅

4.1 極端惡劣天候情況（暴風雨、豪大雨）

隨著地球的暖化，全球氣候變化越來越劇烈及難以捉摸。台灣本島天候主要是每年 5-6 月的梅雨季及 7-10 月的颱風季。從氣象局的資料顯示，颱風是影響台灣極端降雨之重要因素。

台電公司已將暴風雨列為其核能電廠的設計基準事件。日本福電廠事故之後，台電公司也全面檢查所有的核能電廠，並確認電廠的各項設備符合設計基準。同時台電公司也考量諸如颱風、豪大雨與土石流等台灣可能發生的極端氣候，執行最嚴重的「颱風與豪大雨/土石流」複合式天災與超出設計基準事件的壓力測試，以檢驗各核電廠的防護能力，並找出電廠的弱點與瀕危效應，進行強化各核電廠防護能力的措施。

4.1.1 事件組合及選擇為設計基準的原因

核一廠

核一廠位於台灣北端的新北市石門區，北臨東海，約在東經 121°35’、北緯 25°18’ 位置，廠址寬度約 200 公尺，縱長約 1.2 公里，佔地約 233 公頃。核一廠廠區可區分為東側小坑及西側乾華兩區，中間為南北走向的山丘所區隔，兩區之間設有乾華隧道作為聯通道路。小坑廠區東邊有小坑溪緊鄰，乾華廠區西邊則有乾華溪相鄰。

核一廠裝置兩部機，重要設備及廠房，諸如反應器所在的聯合結構廠房、蒸汽渦輪發電機所在的汽機廠房，第五台柴油機廠房，氣渦輪機廠房，開關場，緊要海水機房…等全部位於乾華廠區，其設計高程為 11.2m 以上，Power Block 之廠房區距海岸約 500 公尺。乾華廠區係位於乾華溪下游河谷，乾華溪長約 8 公里，流域面積(Drainage Area)約 9.5 平方公里。建廠時期經過評估設計後，將乾華溪下游段改建為人工排放渠道(以下稱為乾華溪人工渠道)，作為乾華溪流域及廠區主要的排洪排水渠道。

1. 廠區排洪能力

(1) 排水系統

廠區西側共有 5 支排水幹管，總排水能力為 4.4 cms，末端排入乾華溪人工排洪渠道；北側另有一支排水幹管，排水能力為 1.2 cms，末端排入東海。上述幹管總排水能力共計為 5.6 cms。依 FSAR 2.4.3.1 節所述設計最大降雨強度 297 mm/h 計算此區域最大降水量為 3.745 cms，仍小於幹管設計排水能力。

(2) 排洪能力

i. 依據 FSAR 2.4.3.1 可能最大降雨(Probable Maximum Precipitation, PMP)，建廠設計時，廠址附近之降雨歷史紀錄並不足夠，故以台北、淡水、基隆、鞍部、

竹子湖等測站之歷史紀錄做為分析考慮，最後以降雨量較大的鞍部及淡水兩地區做為評估分析依據，求得 10,000 年重現可能最大降雨量 297mm/h 做為核一廠的設計基準。

ii. 核一廠機組商轉迄今已逾 30 年。依據中央氣象局 1979.01.01～2011.08.30 過去近 34 年期間紀錄，最大時雨量為鞍部所測之 136.5 mm/h，均未達核一廠之設計最大時雨量 297 mm/h，故核一廠排洪排水之設計基準應屬適切，且仍具廣大餘裕。

iii. 台灣地區暴雨或山洪主要都是因颱風侵襲伴隨而來的，核一廠建廠以來遭逢最大暴雨侵襲係發生於 2000 年 10 月 30 日至 11 月 1 日的象神颱風侵台時，當時最大降雨強度為 116.0 mm/h(氣象局正式記錄)，遠低於核一廠廠設計之 297 mm/h，並未造成廠址淹水。累積雨量已達超大豪雨標準，而當時乾華溪排放渠道並未滿溢，乾華廠區廠房亦無淹水情形，可印證核一廠設計排洪防洪能力尚無問題。

2. 廠房內防洪設計

廠房內防洪設計包括汽機廠房、聯合廠房、反應器廠房、廢料廠房等，說明如下：

(1)安全有關的組件具有雙重性，獨立分隔及自然排放之設計。

(2)設計不透水緊密房間，裝有開關和電路提供警報給控制室。

(3)廠房中安全有關之重要設備的房間如 CORNER ROOM，其人員通道、穿越管路和其他經過牆壁的穿越孔，皆有不透水緊密設計。

(4)有關牆、門、(控制、電氣等)盤或者其他分隔間的封閉功能，係依據設計基準事故(DBA)而設計。

(5)廠房地面系統設計有淹水程(高)度的警報、在控制室有警報，如聯合廠房、汽機廠房等。

(6)廠房排水設計沒有直接連通暴雨排水系統，可阻隔洪水藉由排水系統倒流侵入廠房。

(7)汽機、聯合廠房間管路貫穿的結構是完全封閉防漏。

(8)對於淹水較小的房間之門皆設有高度 6 英吋止水堰(CURB)。

(9)反應器廠房底樓 CORNER ROOM 之集水池，均屬該區單獨專用，未與其他區域連通，避免外來淹水入侵，確保 ECCS 重要設備之完整可靠性。

3. 土石流防抗能力

(1) 根據農委會水土保持局所公佈之資料，乾華溪發生土石流潛勢為「中」，小坑溪

不屬土石流潛勢溪流，最接近乾華溪之廠房與之相隔約 50 公尺，乾華溪過去並無發生土石流之歷史紀錄。

(2) 整條溪流除「核能一廠用過核燃料中期貯存計畫」外，無大規模開發整地行為。乾華溪上游均按環境影響評估規定辦理定期「核能一廠用過核燃料中期貯存計畫施工期間環境監測」。每半年辦理衛星影像變異監測，但均未於計畫區乾華溪上游流域發現有明顯崩塌現象。

(3) 核一廠於 2002 年完成「小坑溪及乾華溪土石流危險度評估」一案，結果顯示小坑溪及乾華溪可歸納為低潛能、低危險度或中低處理等級，且即使上游發生土石流，土石流堆積起始點距核一廠乾華溪仍有 4.2 公里，小坑溪仍有 3.5 公里，故核一廠位於土石流土砂淤積區之外，應不受土石流災害之影響。

4. 順向坡滑動防抗能力

依據中央地質調查所調查得知，核一廠基地地層為沖積層及火山角礫岩，並無順向坡成立之條件。現場勘查可知電廠基地兩側(包括乾華區、小坑區)之山坡，植栽茂密，其間大型喬木林立，鮮少有開發行為。廠區部分區域山坡曾有局部岩屑崩滑災害，成因乃連續性豪大雨沖刷所造成，且對廠房無直接影響，故研判基地內應無順向坡平面滑動災害問題。

5. 外露設備對強風的承受能力

依據中央氣象局颱風強度分類，強烈颱風為蒲福風級 16 級以上，風速大於 51 m/sec 者。

(1) 廠房結構

依據耐震一級及耐震二級結構物之設計風速(design wind speed)距地表面 30 呎高度處為 134 mph (60m/sec)，瞬時最大風速為 148 mph (66 m/sec)。核一廠設計風速及設計風壓力如下表

高度(ft)	設計風速(mph)	設計風壓力(psf)
0~50	148	75
50~150	168	95

(2) 開關場結構

台電公司輸電線路鐵構早期設計之基準風速，為台灣東部 50m/sec 即 15 級風，台灣西部 40m/sec 即 12 級風，且仍具 0.3 倍餘裕可抗 52m/sec 陣風即 16 級風。1977 年台灣遭受賽洛瑪颱風侵襲，此颱風造成二戰以來臺灣最大的破壞事件，其後，台電公司進行提升線路鐵構耐風能力。新的設計基準風速為 44.9m/sec 即 14 級風，陣風可達

61.9m/sec 即 17 級風以上。另依據核能電廠開關場設計準則，CLASS A 之設備、結構等，其必須承受風力的部份設計風速為 70 m/sec，而耐風強度風速應達 100 m/sec，核一廠後期裝設設備如 GCB、GCS，即係遵循此一設計準則。

(3) 排氣煙囪設計風速

位於 EL.98.5 m 高度處，設計風壓力如下表：

高度(m)	設計風壓力(psf)
99~164	95
>164	105

核二廠

核二廠廠區座落在高程 12 公尺上，距海邊岸距約 500 公尺的岩盤上，在主廠區有排水系統排水，且建造人工緩斜坡開放式排洪渠道 A/B 供主廠區兩旁的西/東廠區排水。另廠內並無溪流通過，惟廠址附近之溪流有二：一為廠區西側約 1.5 公里外之員潭溪；一為廠區東側約 4.5 公里外之瑪錄溪。此二溪與核二廠間有山丘相隔，故均非為可能導致廠區廠房淹水之來源。

1. 廠區排洪能力

(1) 排水系統

核二廠排水系統分為三個主要部分：

i. 第一部分是主要廠房區(power block)的排水，降雨在主要廠房區造成的地表逕流，是由主要廠房區內的排水系統(yard drainage system)排出。此系統由廠房邊溝、幫浦、人孔及管路所組成，用來排除主要廠房區降雨及緊急冷卻水的排水。

ii. 第二部分是廠房西區的排水，從倉庫區、開關場及主要廠房區西邊山丘等地區降雨所造成的地表逕流，將經由渠道 A(Creek A)排出。

iii. 第三部分是廠房東區的排水，主要廠房區東邊山丘等地區降雨所造成的地表逕流，將由渠道 B(Creek B)排出。

以上三個排水系統最後皆排放至大海。

(2) 排洪能力

渠道 A 及渠道 B 都是開放式的人工渠道，以 0.2%至 0.5%不等的斜率排水。在最大雨量考量下，推算電廠渠道設計最大排放容量，分別為渠道 A 河口處 138 cms 及渠道 B 河口處 114 cms。另大門警衛室距岸邊約 100 m(高程 3.4 m)，依 FSAR 2.4.5.2 在颱風下外海湧浪約 1.2 m(含滿潮位)也不會影響排洪能力。

核二廠近期根據中央氣象局過去 30 年基隆雨量測站統計每年單日最大降雨量紀錄

資料，推算單日最大時降雨量為 123.1 mm/h。並經統計方式重新評估 10,000 年重現期雨量結果為 208.9 mm/h（低於建廠時 FSAR 所評估雨量 241 mm/h），因此核二廠排洪渠道可承受氣候變異所造成之豪大雨量並無淹水之虞。

2. 廠區承受土石流能力

依據農委會水土保持局 100 年 5 月公告資料，廠區內之土石流潛勢溪流之自然潛勢皆為「中」。主要廠房不在土石流潛勢溪流之影響範圍內，唯二號廢料倉庫及兩條廢料貯存壕溝在瑪鍊溪之影響範圍內，但由土石流潛勢溪流分類即可知瑪鍊溪之自然潛勢為「中」，過去並無發生土石流之歷史紀錄。農委會水土保持局尚有預警系統，每逢中央氣象局發布豪大雨特報時，若降雨量達警戒值（550 mm/日累積雨量）即發布土石流潛勢溪流警戒警訊。核二廠假設瑪鍊溪發生土石流時，因影響範圍不大，將可能僅阻斷排洪渠道 B 一小段（二號廢料倉庫及廢料儲存壕溝間）。因二號及三號廢料倉庫本身具有排水設施，應無溢流之虞。

3. 順向坡滑動保護能力

經中央地質調查所調查顯示於主要廠房東南方約 400 公尺處有順向坡地形，該區域位於二號及三號廢料倉庫之間，共有兩處順向坡，坡趾未開挖、層面未出露、植被茂密，滑動潛能不大。

4. 廠房承受暴風能力

(1) 廠房結構：

根據核二廠 FSAR 之敘述，所有結構物在高度 30 呎處須能抵擋由一般風力（最小設計風速 120 mph＝53.6 m/sec，相當於中央氣象局風力分級表之 16 級風。）而耐震一級結構物則另需能抵擋由颱風（最小設計風速 157 mph＝70.2 m/sec，相當於中央氣象局風力分級表之 17 級風以上。）所產生之風壓力（63 lb/ft^2＝307 kg/m^2）及由颱風所產生彈射物之撞擊力。耐震一級結構物在高度 175~200 呎處的最大設計風速為 206 mph (＝92.1 m/sec)所產生之風壓力（109 lb/ft2＝532.1 kg/m2）。

(2) 開關場結構

設計基準風速為 44.9m/sec（即 14 級風），陣風可達 61.9m/sec（即 17 級風以上）。

<u>核三廠</u>

針對最嚴重之複合式災害事件組合所產生之強風、豪雨與土石流，核三廠之設計考量說明如下：

1.廠房外防洪設計

(1) 幹管排洪能力設計：廠房區排水皆採重力排水，地面主排水系統計有:

a.東側管線渠道排水，排水能力為 11 cms（m^3/s，末端出水渠道為 180 ㎝寬×200 ㎝深，設有防闖入隔柵）。

b.西側管線渠道排水，排水能力為 9 cms（末端出水渠道為 180 ㎝寬×200 ㎝深，設有防闖入隔柵）。

東、西兩側幹管總排水能力共計為20 cms。依FSAR2.3.2.3 節所述設計最大降雨強度120 ㎜/hr計算此區域水量為7.22 cms，遠小於設計排水能力。另外廠房區南側有一自然洩水口，額外提供直接漫流至循環水取水區海域20 cms的排水能量。

(2) 廠房區外北側、東側及西側皆有高地，因此，廠房區外之區域落雨不會進入廠房區域。

(3) 廠房區周邊環境的設計考量：

a. 所有位於外牆的門或地面上之開口至少皆距離地面六吋以上，以防止累積之雨水浸入廠房，廠房室外地坪高程為海平面上 14.85 公尺。

b. 地面以下的基礎及牆於伸縮縫、結構縫處設置有合成橡膠止水帶，所有廠房的基礎底部及位於地面下的外牆皆施作防水處理。

c. 廠房周邊設計有足以輸送可能最大降雨量（PMP）的地面排水系統、鋪面有足夠的斜率以宣洩最大降雨強度時來自屋頂排水管的水量。所有可接近之防水門、屏蔽、及穿越器填封完整性皆已現場查證或檢查

(4) 依據 FSAR2.3.2.3，設計最大降雨強度 120 mm/h(百年一次大雨)所形成的廠房區暴雨量 7.22 cms 及最大降雨強度 228 mm/h(萬年一次大雨)所形成的水量 13.72 cms，兩者皆小於核三廠廠房外防洪設計排水能力 20 cms(相當於降雨強度 325 mm/h)。

2.土石流災害

(1) 農委會水土保持局公告資料顯示電廠所在地恆春地區並無土石流潛勢溪流。

(2) 先前北部國道發生邊坡崩塌事件時，電廠曾做邊坡調查，並無順向坡存在電廠周邊區域。

(3) 廠房區四周除臨海之南側地勢較廠房區低外，其餘東、北、西側皆較廠房區高，並在斜坡上皆設計施作完善駁坎磚，邊坡無崩落破壞之虞。

3.外露設備對強風的承受能力

(1) 345kV 線路可承受 61.9 m/s 風速(17 級風速: 56.1~61.2 m/s)。

(2) 161kV 線路可承受 45 m/s 風速(14 級風速:41.5~46.1 m/s)。

(3) 鐵塔可承受 70.7 m/s 風速(大於 17 級風速)。

(4) 防震 1 級結構物抗風強度為 70 m/s(大於 17 級風速)。

龍門電廠

可能侵襲龍門電廠的極端惡劣天候情況，包括颱風、豪大雨及土石流等天然災害，而考量最嚴重之複合式災害事件組合，為颱風、豪大雨及土石流同時發生之事件，故針對此方面，說明龍門電廠之相關設計如下：

1.廠區排洪能力

(1)排水系統

龍門電廠排水系統分為三個主要部分：

i. 主要廠房區(power block)的排水，降雨在主要廠房區造成的地表逕流，是由主要廠房區內的排水系統排出；此系統包含廠房邊溝、收集池、人孔、管路及導線管，用來排除主要廠房區降雨的排水(100 年再現週期最大暴雨)。

ii. 靠近 1 號機南側圍籬外、1 號機及 2 號機部份廠界區域，開關場區域的排水及主要廠房區南側、西南側，西側山丘等地區的降雨所造成的地表逕流是經由排水渠道 III 排出。

iii. 開關場東側的排水及主要廠區西側山丘區的降雨所造成的地表逕流則由(廠內石碇溪出口)排水渠道 II 排出。

以上三個排水系統最後各自以獨立水道排放到大海。

(2)排洪能力

i.龍門電廠排水渠道 II 及排水渠道 III 是開放式的人工渠道，兩者的設計排洪能力皆為 81.57 cms 及 137.2 cms。因開放式廠房和場地設施高於平均海平面高度 12.3 公尺，廠區最大深度的臨時積水（在 PMP 情況下）的估計為 12.1 公尺，亦即廠房平面樓高度距排水渠道堤頂尚有 0.2 公尺空間，不致發生溢流現象，故排水渠道 II 及排水渠道 III 在最大可能降雨強度下，仍保有排洪能力餘裕。

ii.檢視 FSAR 所列降雨資料(1961~2006 年)，雖然近年降雨量有稍微升高趨勢，但近 40 年的最大每小時降雨量為 1980 年 9 月 23 日之 107 mm/h，仍遠低於廠區排洪設計能力 310 mm/h。

2.廠房內防洪設計

龍門電廠安全相關結構系統及組件之淹水防治設計可分為兩部份，一為外部水源造成廠房淹水、另一為廠房內設備損壞洩水造成廠房淹水。

(1)外部水源造成廠房淹水的防治主要由下列特性來防治：

i.低於廠區設計防洪水位的外牆厚度大於 0.6 公尺。

ii.低於廠區設計防洪水位之各廠房結構連接處皆有止水塊。

iii.低於廠區設計防洪水位的穿越孔(門)裝設水密設備。

iv.位於低於廠區設計防洪水位以下外牆均具防水塗層。

v.廠房屋頂利用排水系統與堰牆高度設計避免大量積水。

防洪設計亦考量可避免廠區內儲水槽破裂引發之水災。廠區內建築出入口皆高於地面 30 公分以上，廠區內儲水槽破裂引發之冲放水皆會被引導洩放出廠區不會對廠內設備造成傷害。另外行政管理程序書亦提供防洪保護 (程序書 528.03.01 洪水之處理)。

(2) 已建立防治措施以防止由於廠房內部設備損壞漏水所造成的廠房內部淹水。反應器廠房、控制廠房、反應器廠房海水系統泵室等都安裝有水密門或半水密門。其他如廢料廠房、輔助燃料廠房、進出管制廠房、汽機廠房及等廠房也都有類似的防治措施。在建造過程中，各廠房於高程 12.30 公尺下之穿越孔均有臨時填封，待施工完成並施作穿越孔永久填封之後，將執行完整性查證。

3.土石流防抗能力：

龍門電廠廠區位於新北市貢寮區，屬石碇溪及雙溪流域範圍。此 2 條溪流未列入農委會水土保持局所訂定之土石流潛勢溪流，故依現地之自然條件，石碇溪及雙溪發生土石流災害機率較低。

廠區東側臨台 2 線道路約 110 公頃土地，屬高程 9~12 公尺已完成開挖整地之平坦地；西側山坡已進行開挖整地的工區包括：生水池區、開關場西南側土石堆積場、開關廠區、廠內低放射性廢料貯存倉庫區、低放射性廢料貯存倉庫區北側土石堆積場、生水池維護道路、石碇溪上游南岸土石堆積場等；而南側山坡預定進行開挖整地的工區包括倉庫區及場區南側海砂堆積，山坡各開挖整地的工區皆依「水土保持技術規範」及「水土保持手冊」規劃設計各項水土保持設施，且經農委會水土保持局審查核定。廠區內貯存較多土石碴料之土石堆積場，其碴料填築採階梯式，每 5 公尺高即設置寬度 2 公尺以上平台藉以穩定邊坡，碴料填築前沿山谷底部埋設 RC 管涵以導排上游集水區逕流水及碴料地表入滲水，場區周界及坡面佈設截排水系統，並於裸露面進行植生綠化，以避免雨水直接沖蝕，降低發生土石流失之機會。

廠區內已沿西側山坡坡腳的平坦地共設置 4 條主排洪渠道(Ⅰ~Ⅳ號主渠)及 7 條支渠，設計洪水量採重現期 100 年之降雨強度計算，Ⅱ號主渠(含Ⅱ-1~Ⅱ-3 支渠)及Ⅲ號主渠(含Ⅲ-1 支渠)之設計洪水量則採 PMP(可能最大降雨量)，排洪渠道主要為順利導排廠

區內及西側山坡遇暴雨產生之洪水及挾帶之泥砂，以確保核能機組及設備的安全。龍門電廠區 480 公頃範圍土地，東側地勢平坦緊臨太平洋，西側及南側山坡坡度平緩，坡高最高約 170 公尺。山坡未開挖整地區域植被茂密，無崩塌的情形，已開挖整地的區域則設置截排水設施、邊坡擋土設施及植生綠化工程。廠區歷經多年的颱風、暴雨及地震，除有局部的坍落現象，並無發生嚴重的土砂災害。因龍門電廠區地勢平緩，各山谷野溪上游集水區小且無土石崩塌的情形，山谷野溪坡降緩，溪床無崩積料堆積，兩側坡面植被覆蓋良好無裸露現象，另開挖整地的區域業經水土保持工程之處理與維護，故廠區應無發生土石流災害之虞。

4.順向坡滑動防抗能力

龍門電廠廠區無發生順向坡滑動疑慮，若發生超出設計基準之災害造成土石流發生，其順向坡坡向為由北向南，亦不會對廠內 1 號及 2 號機組區域造成影響。

5. 外露設備對強風的承受能力

(1)廠房結構

耐震 1 級廠房(反應器廠房、控制廠房、開關箱廠房、輔助燃料廠房、廠房共同通風塔) 距地表面 9 公尺高度處可抗拒設計風速為 121 mph (54 m/sec)，瞬時最大風速為 157 mph (70 m/sec)。其他非耐震 1 級廠房(汽機廠房.廢料廠房、水廠、消防泵室、開關場) 距地表面 9 公尺高度處可抗拒設計風速為 121 mph (54 m/sec)。（附註：依我國中央氣象局颱風強度分類，強烈颱風為蒲福風級 16 級以上，風速大於 51 m/sec 者。）

(2)開關場結構

台電公司輸電線路鐵構早期設計之基準風速，為台灣東部 50 m/sec 即 15 級風；台灣西部 40 m/sec 即 12 級風，且仍具 0.3 倍餘裕可抗 52 m/sec 陣風即 16 級風。1977 年台灣遭受賽洛瑪颱風侵襲，此颱風造成二戰以來臺灣最大的破壞事件，其後，台電公司進行提升線路鐵構耐風能力。新的設計基準風速為 44.9m/sec 即 14 級風，陣風可達 61.9m/sec 即 17 級風以上。另依據核能電廠開關場設計準則，CLASS A 之設備、結構等，其必須承受風力的部份設計風速為 70 m/sec，而耐風強度風速應達 100 m/sec，核一廠後期裝設設備如 GCB、GCS，即係遵循此一設計準則。

(3)廠房共同通風塔設計風速

位於高程 60 公尺高度處，設計風壓力如下

高度(公尺)	設計/最大風速(公尺/秒)	設計/最大風壓 (公斤/平方公尺)

60	54/70	282.06/473.97

4.1.2 極端自然威脅的弱點與瀕危效應

核一廠

經由「颱風+豪大雨/土石流廠內壓力測試」結果評估，推演核一廠極端情況之弱點與瀕危效應如下：

1.如果豪大雨超出預期而發生土石流，致洪水改道淹進乾華廠區（Power Block 區域），機組將會落入危險情境。

2.發生超出設計基準暴雨侵襲下，導致排洪渠道無法排洩超過設計基準之暴雨所產生的漫地流，而淹進乾華廠區（Power Block 區域），可能導致機組受到危害。

3.若因外部天然災害，水量超過設計基準，造成廠房淹水，聯合廠房及反應器廠房高程 39.8 呎以下樓層為水災弱點。

4.主要的水災弱點、瀕危效應是反應器廠房最底樓高程 0.83 呎的淹水，因該樓層各 CORNER ROOM 內有安全相關包含高壓爐心注水系統(HPCI)、低壓爐心注水系統(LPCI)、爐心噴灑系統(CS)等之緊急爐心冷卻系統，以及爐心隔離冷卻系統(RCIC)，如全部淹水將造成所有高、低壓緊急注水系統(含電動水泵及蒸汽驅動水泵)不可用，會完全喪失緊急安全系統對反應爐補水之功能，將僅剩下後備圍阻體噴灑水泵(BCSS PUMP)。

5.BCSS 為非安全有關系統，連接消防水系統及圍阻體噴灑管路，可後備提供反應爐及圍阻體之冷卻水源，此後備水泵在背壓小於 110 psig 下，可泵送 250 GPM 以上的水量至反應爐，惟若萬一供給 BCSS PUMP 之消防水源發生問題(低於 153 GPM)時，即可能衍生嚴重後果。

6.其次是聯合廠房平面樓 39.83 呎淹水，因內有安全相關電氣開關箱室，包括 4.16kV 緊要匯流排 3 號及 4 號，如全部淹水將造成 A/B 串安全相關交流電氣設備不可用，造成廠區全黑及喪失最終熱沉，將僅剩直流電蓄電池系統，而直流電蓄電池系統容量設計上僅足以支撐 8 小時。

7.若緊要海水(ESW)進水口被大量雜物堵塞，造成細網受雜物阻塞而影響泵浦取水，將使機組喪失最終熱沉。

核二廠

經由「颱風+豪大雨/土石流廠內壓力測試」評估結果，推演核二廠極端情況之弱點與瀕危效應如下；

1. 核二廠高程 12 公尺，距海岸距約 500 公尺是一個很易排洪地形，但主要廠區位於東/西廠區間，其高程較東/西廠區高程低，且主要廠區內的較低勢之北側以圍牆隔離外界形成人造凹地。如東/西廠區排洪道 B/A（排洪能力 241 mm/h），在假設的豪大雨情境下，應不會出現土石流，惟如果超出預期而發生土石流，致洪水改道淹進主要廠區，機組將會落入危險情境。
2. 發生超出設計基準的暴雨侵襲下，導致排洪渠道 A、B 無法排除因超過設計基準之暴雨所產生的漫地流，而淹進主要廠區，可能導致機組受到危害。

<u>核三廠</u>

1. 若因外部天然災害，水量超過設計基準造成廠房淹水，控制廠房 80 呎為水災弱點。
2. 主要的水災弱點、瀕危效應是控制廠房最底層 80 呎淹水，因內有安全相關電氣設備，包括 A/B 緊要匯流排及 A/B/C/D 安全串電池室、充電機等，如全部淹水將造成所有安全相關電氣設備不可用，等於喪失所有交流電源/直流電源，將衍生嚴重後果。
3. 其次是輔助廠房 74 呎淹水，且造成安全相關泵淹水不可用。
4. 此外，若緊要海水(NSCW)進水口被大量雜物堵塞，造成細網受雜物阻塞而影響泵浦取水，將使機組喪失最終熱沉。

<u>龍門電廠</u>

經由「颱風+豪大雨/土石流廠內壓力測試」評估，推演龍門電廠極端情況之弱點與瀕危效應如下：

1.如果發生超出預期豪大雨導致土石流，致洪水改道淹進廠區 Power Block 區域，機組將會落入危險情境。
2.發生超出設計基準暴雨侵襲下，導致排洪渠道無法排洩因超過設計基準之暴雨所產生的漫地流，而淹進廠區 Power Block 區域，可能導致機組受到危害。
3.若發生超出設計基準之洪水高度(大於 12.0 公尺)，則各廠房地面樓對外門因無水密功能設計，將使廠房淹水。反應器廠房高程 4.80 公尺以下樓層為水災弱點。反應器廠房淹水，因有安全相關電氣開關箱，包括 4.16 kV 緊要匯流排 A4、B4 及 C4，如全部淹水將造成 3 區域安全相關交流電氣設備不可用，造成廠區全黑及喪失最終熱沉。
4.主要的水災弱點、瀕危效應是反應器廠房最底樓-8.20 公尺的淹水，因該樓層有安全相關高壓爐心灌水系統(HPCF)、低壓爐心注水系統(LPFL)、爐心隔離冷卻系統(RCIC)等之緊急爐心冷卻系統，如全部淹水將造成完全喪失緊急安全系統對反應爐補水之功能。

5.若反應器廠房海水泵室進水口被大量雜物堵塞，造成細網受雜物阻塞而影響泵浦取水，將使機組喪失最終熱沉。

4.1.3 阻止瀕危效應或增加電廠強固性的方法

核一廠

1. 因應極端惡劣天候之應變與處置

(1)中央氣象局發佈海上陸上颱風警報，可能危害電廠時，進入 104.22 程序書「颱風災害預防與處理」及 513 程序書「颱風警報期間運轉」。

(2)依據程序書 104.37「乾華溪土石流監測」執行巡查工作。

(3)廠房或廠區淹水時，進入 515.2 程序書「廠房內水災處理程序書」或 515 程序書「廠區水災緊急操作規程」。

(4)超出設計基準的情況發生時，機組喪失廠內外交流電源或反應爐補水需求，必須採取決斷行動做好廢棄反應爐之準備，則進入 1451 程序書「機組斷然處置程序指引」。

2. 補強措施

(1) 因應海嘯改善案，ESW 泵取水暗渠上方所有開口已換裝為耐海嘯格柵板，及第一道上方開口設固定攔污柵，以防止大型垃圾進入暗渠，影響 ESW 抽水泵之取水功能。

(2) 廠區內所有排水渠道除了每年執行程序書 104.22「颱風災害預防與處理」及 795.12「廠區結構監測巡視作業程序」，於每年六至九月間進行例行性及天然災害後勘查，以確定排水暢通及結構穩固外，尚有相關部門年度契約定有專人專責清潔溝渠。

(3) 依據 113.5 程序書，除原先既有之一般性救援設備備品，並為檢討整合福島事故衍生救災複合性所需各類器材，兩部大型的 4.16kV/1500kW 移動式貨櫃電源車增購中，而 12 部中型 480V/500kW、480V/200kW 等之柴油發電機已增購並備妥，另再添置多部輕便型汽/柴油發電機、空壓縮機、內燃機抽水泵等(部份尚未交貨)及其它充裕的救災器材或備品。

(4) 聯合結構廠房底樓為較易淹水區域，若 Sump Pump 來不及排水，Seeped Tank 有二台傳送泵，可切換當作地面積水抽水泵，直接泵送經由循環海水渠道排放。另外，核一廠已增購大型汽油引擎抽水泵 8 台，強化廠房機動排水能力。

(5) 已成立簡易改善案 MMR-C0-0407，於重要廠房設施之出入口增設擋水設施，強化廠房阻水能力。

(6) 已增購之 8 台固定式柴油發電機及 4 台移動式柴油發電機，提供緊急補水泵、空調設備、監控儀器及緊急照明/通訊等備援電源。

(7) 辦理增購之 2 台 4.16kV 移動式柴油發電機，將用來提供長期冷卻相關設備之備援電源。

(8) 透過「535 廠區全黑」程序書所列的負載管控，以及 125VDC SWBD#6 轉供至 DC SWBD #2 的機制，直流電源至少可支撐 24 小時，以維持 RCIC 之運轉所需。

核二廠

電廠評估遭遇極端氣候又超出設計基準的複合災害情況下的排洪系統功能，目的在找出發生淹水時的可能廠區、廠房入侵點。廠房的淹水可能入侵點為主警衛室大門、東南角大門及各廠房出入口。

1. 因應極端惡劣天候之應變與處置

(1)在發生超乎預期的土石流時，可遵循程序書 576.1「核二廠防颱作業程序書維持排洪道 A/B 暢通，將災害降低至最低。

(2)執行新增程序書 577.3「廠區周圍活動斷層、雨量、土石流、順向坡之監視、預警、防災、減災程序書」，每年並於颱風季節前定期評估氣候及地質方面的災害變化。

(3)修改程序書 576「颱風警報下之運轉」及程序書 577「豪大雨或洪水緊急操作程序」加入程序書 577.3「廠區周圍活動斷層、雨量、土石流、順向坡之監視、預警、防災、減災程序書」以避免山崩或土石流災害影響電廠排洪能力

2. 補強措施

(1)在主警衛室及東南角大門建立擋水板，阻隔主要廠區與東/西廠區，使主要廠區阻擋東/西廠區漫地流或排洪道改道入侵威脅。

(2)在主要廠房進出口處建立 1 公尺高擋水板，阻擋主要廠區淹水後入侵主要廠房。

(3)救援器具(如動力排水泵)已設置在不易被地震損壞的高處，也讓使用人迅速易於取用。

核三廠

1. 因應極端惡劣天候之應變與處置

(1)當中央氣象局發佈海上陸上颱風警報可能危害電廠時，進入程序書 154「颱風期間作業程序書」。

(2)海嘯警報發佈後及海嘯侵襲電廠時，進入程序書 582.2「海嘯處理程序書」。

(3)廠房淹水，進入程序書 583「緊急淹水事件程序書」。

(4) 超出電廠設計基準的情況發生時，機組喪失廠內外交流電源或反應爐/蒸汽產生器補水需求，必須採取決斷行動做好廢棄反應爐之準備，則進入程序書 1451「機組斷然處置程序指引」程序書。

2. 補強措施

(1)因應海嘯改善案，廠用海水泵室取水池池頂已增設攔污格柵蓋板，防止海嘯可能挾帶之大型垃圾、雜物掉入取水池。另外，已完成廠用海水泵馬達室實體隔離改善，以防止海嘯侵襲造成喪失所有廠用海水泵馬達。

(2)依據程序書 700-A-001，執行結構體檢查包含排水渠道、管線之結構完整及暢通，並執行周邊駁崁檢查，適時整備以預防駁崁崩塌。

(3)依程序書 582, 582.1, 582.2 作好地震/海嘯後處理程序和設備檢查及處理。

(4)依據程序書 192 使救災用器材平時保持可用狀能，適時提供廠內緊急救災時使用。緊急救援設備有汽油引擎抽水泵 12 台、電動動力沉水泵 8 台、緊急電力(柴油發電機 1 台、多功能工作機 3 台、汽油排煙用發電機 18 台)可提供相關抽(沉)水泵後備電力。

(5)重要廠房(如控制廠房/輔助廠房)淹水時，若集水池排水泵來不及排水，可增設臨時抽(沉)水泵，提高排水功能。

(6)原控制廠房 80 呎 A/B BUS 及 A/B/C/D 充電機室對外門戶設計有 10 吋門檻與外界隔離。另開立改善案 DCR-M1-4249/M2-4250 提升關鍵防火門/防爆門的水密性。

(7)已增購 30 台柴油引擎抽水泵，以增加機動排水能力。

(8)已增購 10 台 480VAC 移動式柴油發電機，提供緊急補水泵、空調設備、監控儀器及緊急照明/通訊等備援電源。

(9)購置 2 台 4.16 kV 移動式柴油發電機，以提供長期冷卻相關設備之備援電源。

<u>龍門電廠</u>

1. 因應極端惡劣天候之應變與處置

(1)當中央氣象局發佈海上陸上颱風警報，可能危害電廠時，進入 187 程序書「颱風期間作業」。

(2)當中央氣象局預測颱風警報之警戒區域涵蓋龍門電廠，進入 528.02.01 程序書「颱風警報期間機組之運轉」。

(3)當中度以上颱風及豪大雨來襲，成立廠內防颱小組，依程序書 187.01 颱風期間豪大雨積水防範與處理。

(4)廠房或廠區淹水時，進入 528.03.01 程序書「洪水處理」，或 528.03.02 程序書「淹水之處理」，或 528.03.03 程序書「停電及廠房進水時之緊急排水作業」。

(5)超出電廠設計基準的情況發生時，如果機組喪失廠內外交流電源或反應爐補水需求，必須採取決斷行動做好廢棄反應爐之準備，則進入 1451 程序書「機組斷然處置程序指引」。

2. 補強措施

(1)因應海嘯改善案，於 RB、CB、DG 燃油槽、AFB、消防泵室、RBSW 泵室、ACB 高程 12.30 公尺進入 RB 處、廢料通道高程 12.30 公尺進入 RB/CB 及 AFB 處加裝防水擋板。

(2)在每年颱風季節前，依程序書 187「颱風期間作業」巡視廠區及石碇溪排水渠道是否暢通。每 18 個月，依程序書 769 目視檢查廠區電纜穿越區及通風管道之防水填塞密封性。

4.2 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論

台電公司用以評估核能電廠在極端氣候條件下的風險的方法符合管制單位原子能委員會(AEC)的要求。原子能委員會基本上同意台電公司的評估與所提供的資訊，尤其是持照基準方面的資訊。一般而言，極端氣候條件（颱風、暴風與豪大雨等）的潛在後果可涵蓋在第 3 章所討論的水災裡面。大部分的自然危害在核能電廠設施的設計基準已經考量，不至於影響電廠機組的安全功能。

然而，在評估台電公司的報告以及後續的現場檢查與技術會議之後，管制單位提出額外的要求與建議以加強電廠抵擋極端氣候條件的強健度。

1.過去數年來屢有強烈颱風侵襲台灣。台電公司必須確認重要安全設備廠房可以承受超過設計基準颱風（風力超過 17 級，風速 70.2m/s）的衝擊，包括拋射物的撞擊。

2.氣候變遷造成颱風或熱帶風暴帶來豪大雨，台電公司必須再確認其設計基準雨量（可能最大雨量，PMP）是否足夠。排水系統與相關設施的強健度必須定期評估與加強，相關評估結果必須在十年定期安全評估時送管制單位審查與核准。

3.防火門的水密能力與管路穿管密封情形必須再檢查與澄清。

4.台電公司必須系統化的評估極端氣候條件組合效應。

5.台電公司應該依循 USNRC 的 NTTF 報告第一階段的建議事項，尤其是關於外部自然災害的 2.3。

6.建議台電公司參考主要核能國家的經驗，執行下述改善或評估：

(1)潛在火山危害的量化風險評估；

(2)安裝備用的最終熱沉。

5. 喪失電源與最終熱沉

為了提供一本獨立之國家報告，以供後續的同行審查過程，首先將總結台電公司之壓力測試報告中所提供之相關訊息，最後在本章最後一節提出管制機關(原能會)之評估與結論。

5.1 反應爐

5.1.1 喪失廠外電源

廠內電力系統概分為核能安全相關及非核能安全相關電力系統。安全相關電力系統用以提供反應器保護及緊急冷卻相關負載電源，以確保反應爐安全停機。電廠相關之供/配電系統設計說明如下：

安全相關電力系統應符合耐震一級及電器類一級之分類要求。非安全相關系統用以提供機組運轉所需之各輔助負載電源。機組正常運轉時，廠用電力可由機組輔助變壓器自行供給。

<u>核一廠</u>

核一廠輸配電系統單線圖如下(見附圖 5-1)：

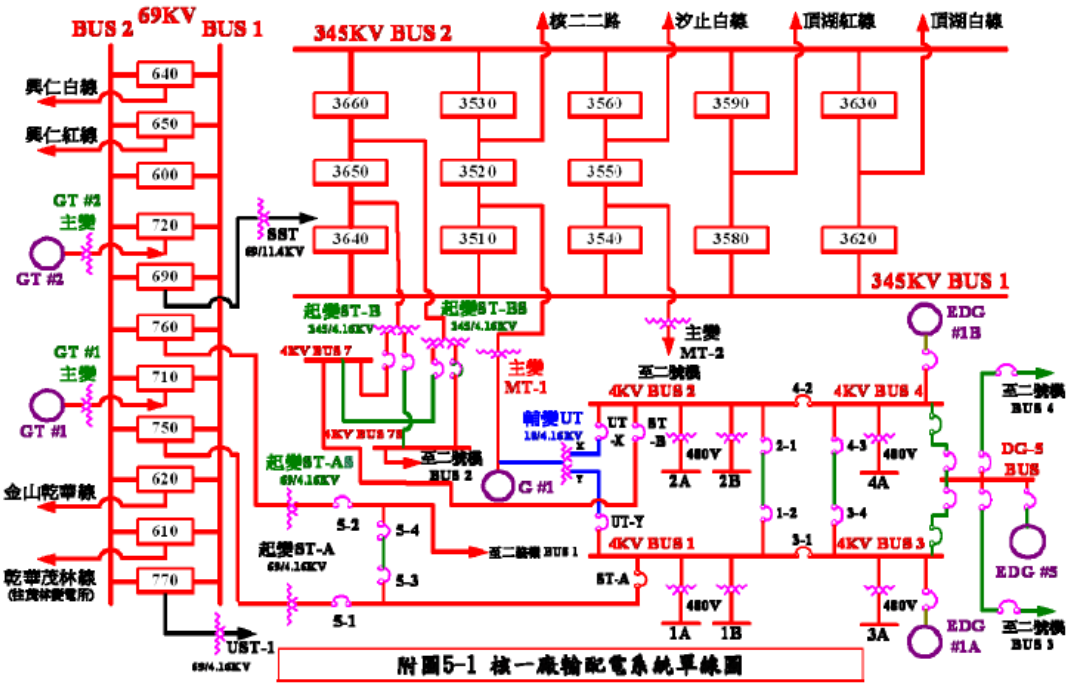


圖5-1 核一廠輸配電系統單線圖

1. 輔助變壓器跳脫時，變電站將自動切換至啟動/備用變壓器。
2. 共有4條345kV廠外電源(二條來自頂湖超高壓變電站，一條來自汐止超高壓變電站，另一條來自核二廠)，這些線路都是雙迴路，每一迴路可以傳輸2000MVA，任何一條

線路結構上的損壞不會導致其他線路失效。廠外電源共有4條69kV，二條來自興仁二次變電站，其餘二條來自金山二次變電站。因此，即使其中任一線路或斷路器跳脫，69kV起動變壓器仍維持有用狀態。且廠內有2台氣渦輪機也能供應電力至69kV開關場。

3. 正常運轉時，每一個安全相關的電力配電匯流排都由主發電機供電，並能夠被切換至由345kV或69kV電網系統或由緊急柴油發電機（EDG）供電，當低電壓被偵測到時，該切換功能已自動地被初始化，並於幾個交流電波週期內完成。
4. 非核能安全相關之廠用電力系統(4.16kV Bus #1 /Bus #2)，電源可選擇來自於輔助變壓器或起動變壓器。在反應器急停的情況下，電源將自動切換到345kV或69kV之啟動變壓器。

<u>核二廠</u>

核二廠電廠相關之供/配電系統設計說明如下：

1. 2部機組特殊安全設施(ESF)匯流排之電力，除了由柴油發電機組供應外，也可由345kV或69kV廠外電力系統供應。
2. 從傳輸電網到開關場之電力是由2個實體獨立之傳輸系統(345kV及69kV)所提供，4條345kV傳輸線(2條來自汐止，1條來自核一廠及1條來自協和)及2條69kV傳輸線(來自金山線與中幅線)連接至電廠。
3. 安全相關電力系統來自於廠外345kV起動變壓器或廠外69kV起動變壓器。藉由這些變壓器，345kV/69kV可以降壓至4.16kV，並饋送至緊要匯流排。每一個緊要匯流排同時連接一組獨立緊急柴油發電機，當廠外電力喪失時，可以提供電力至緊急冷卻系統。

<u>核三廠</u>

1. 核三廠廠外電源區分為345kV與161kV系統。345kV系統有兩個匯流排（Bus NO1和NO2），藉四迴路345kV輸電線與電力網相聯，其中三條迴路連接到大鵬超高壓變電站，一條迴路連接到瀰力超高壓變電站。161kV系統只有單一匯流排（161kV BUS）及2條迴路，一迴路與楓港變電站直接相聯，另一迴路經墾丁變電站再回到楓港變電站。
2. 核三廠有二組345kV起動變壓器及2組161kV起動變壓器，以提供2部機組起動及停機時所需要之電力。

<u>龍門電廠</u>

龍門電廠電力配電系統如圖 5-2：

1. 安全相關 4.16KV/480V 匯流排設計

每部機有三個 4.16KV 匯流排(A4/B4/C4 BUS)和下游相關 480V 負載中心/馬達控制中心(PC/MCC)，每一個 4.16KV 匯流排都連接緊急柴油發電機(EDG)。龍門電廠另有一 4.16KV 匯流排(S4)配置一台二部機組共用之第七台緊急柴油發電機(SEDG or 7th EDG)。

2. 正常供電

345KV 廠外電力是由深美紅/白線、龍潭紅/白線等四條傳輸線所提供。

161KV 廠外電力是由南港-坪林線、澳底線等二條傳輸線所提供。

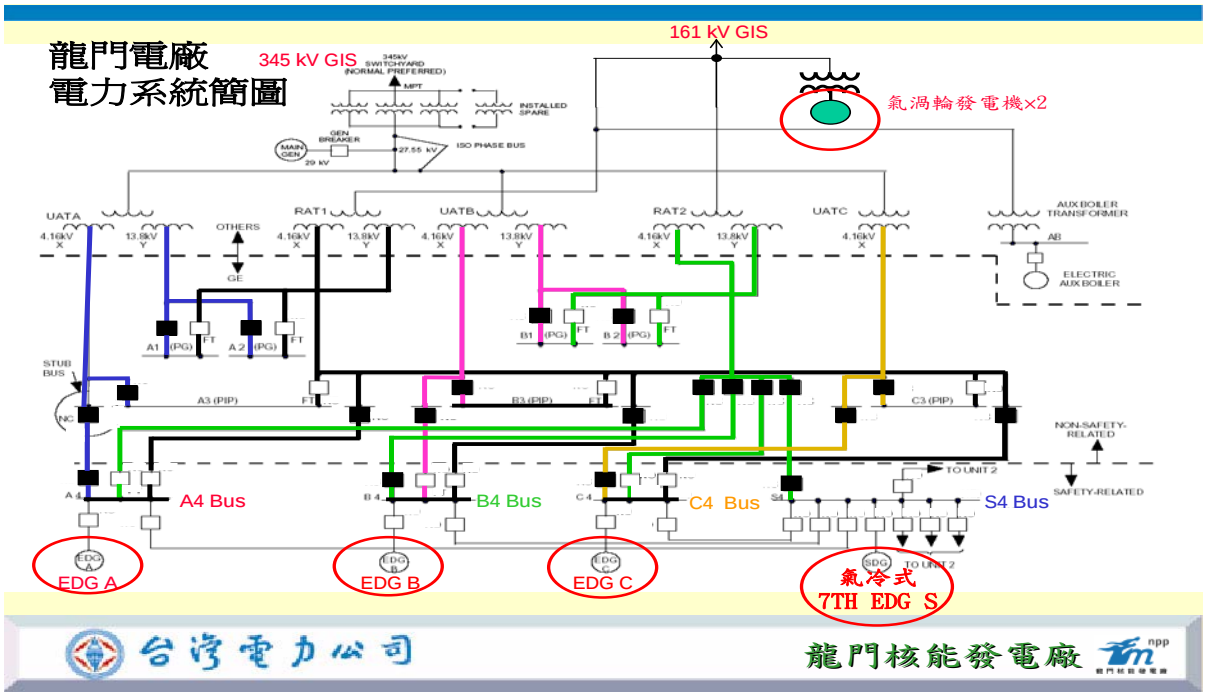


圖5-2 龍門電廠之電力配線圖

5.1.1.1 廠內後備電源供/配電設計要求

於設計基準事件(DBE)期間，柴油發電機組提供備份電力供反應器安全停機及冷卻時所需要之電力負載。當供應廠內電力系統之正常電源喪失時，每部柴油發電機將自動地被啟動並投入廠內供電。萬一廠外電力以及緊急柴油發電機(EDG)都失效時，第七台緊急柴油發電機及二台汽渦輪發電機可以當作緊急電源來使用。

<u>核一廠</u>

1. 每一部機組配置2台完全獨立且相同型式3600kW容量之緊急柴油發電機(EDG)，彼此可以相互備援，這些緊急柴油發電機(EDG)屬耐震一級設計，座落於聯合廠房內11.2公尺高程。2台緊急柴油發電機分別獨立供電至各區緊要匯流排(DIV Ⅰ/Ⅱ)。於廠外電源喪失後，緊急柴油發電機會自動起動且於10秒內達額定轉速及電壓，並使柴油發電機斷路器自動投入，每一區皆有足夠容量讓反應器安全停機。

2. 當反應器跳脫時，4.16kV匯流排將於10個交流電波週期內，自動切換到緊要匯流排。

核二廠

電廠相關之供/配電系統設計說明如下：

1. 緊急柴油發電機共分為三區（DIV I/II/III），緊急柴油發電機(EDG)屬耐震一級設計，座落於海平面上12公尺高程。每一區的4.16 kV緊要匯流排由相對應之EDG供電，緊急柴油發電機將於10秒內達額定轉速及電壓，並使柴油發電機斷路器自動投入，DIV I及II之EDG之型式及容量皆相同，每一區皆有足夠容量讓反應器安全停機，彼此間能相互備援，DIV III和緊要匯流排僅提供電源至高壓爐心噴灑系統(HPCS)。
2. 安全相關之480V負載中心(LC)及馬達控制中心(MCC)經降壓變壓器由緊要匯流排供給其電源。氫氣點火系統(HIS)正常電源由安全相關之480V負載中心提供，另有一台專用後備柴油發電機作為備援。

核三廠

每一機組有 2 組安全相關匯流排，每一匯流排配有一組 4.16kV，7000kW 緊急柴油發電機。每一 EDG 連接至安全相關 4.16kV 負載群。一旦喪失電壓(LOV)時，緊急柴油發電機將自動起動並依加載時序供電給各特殊安全設施(ESF)設備，提供電廠安全停機的必要電源。EDG 屬耐震一級設計，其廠房高程為海平面以上 15 公尺，高於核三廠防淹水的設計基準線(取最大海嘯溯上值)12.5 公尺。廠房外門為一般通行門及防爆門，沒有防水設計。

龍門電廠

龍門電廠每部機組有 3 台耐震一級緊急柴油發電機(EDG- A/B/C)位於反應器廠房標高 12.3 公尺三個角落，任一台 EDG A/B/C 故障時都可由第七台 EDG 接管供電，第 7 台 EDG 屬防震一級之設計，位於 12.3 公尺標高之輔助燃料廠房。

5.1.1.2. 廠內電源供應的運轉時間

核一廠

緊急柴油發電機(EDG A /B)：

1. 油料：每一個柴油發電機組都有一個獨立的燃料供給系統，每一日用油槽在最小容量下可供柴油發電機組於滿載下運轉一小時，此日用油槽設有室外緊急補油口，萬一無法正常由 85 萬加侖柴油儲存槽補油時，尚可由此補油。廠內配置 85 萬加侖柴油儲存槽一只，平時存量保持在 45 萬加侖以上，可同時供給四台柴油發電機連續使用約 17 日。輔助鍋爐及氣渦輪機之柴油儲存槽可支援緊急柴油發電機所需柴油。此柴油儲存槽平時保持 12000 公秉柴油(油槽容量為 35000 公秉) 以上存量。

2. 冷卻方式：由聯合廠房冷卻系統強制循環水冷，海水為其最終熱沉。

3. 支援系統：

(1) EDG 之起動及控制電源由 125VDC 供給，來源可為 125V SWBD #1 或 125V SWBD #2，互為後備，以支援柴油發電機運轉。

(2) 每台柴油發電機都有一個獨立的空氣起動系統，各有兩台由電動馬達帶動的空氣壓縮機將空氣壓縮後，經空氣乾燥器組送到四個空氣槽，每台柴油發電機起動空氣槽之儲存容量，可供其 6 次冷機起動之用。

核二廠

每部緊急柴油發電機配備一個燃料儲存槽，每部機組之 Div. I/II EDG、第五台柴油發電機之燃料儲存槽容量大約是 210 公秉，Div. III EDG 燃料儲存槽容量大約 114 公秉，在無廠外支援下，廠內電源（緊急柴油發電機）的運轉時間可達 7 天。啟動第 5 台柴油發電機以提供電力至緊要匯流排約需花 20 分鐘時間。必要時，可利用廠內移動式油槽從輔助鍋爐油槽及氣渦輪發電機油槽運送柴油至柴油發電機油槽，以延長柴油發電機之運轉時間。氣渦輪發電機油槽儲油超過 12,336 公秉，可供廠內二部氣渦輪發電機連續滿載運轉達 72 天以上。本項操作已於 2011 年模擬演練，並確認機動性補油可行性。

核三廠

1. 緊急柴油發電機燃油儲存及傳送系統：

緊急柴油發電機燃油儲存及傳送系統屬耐震一級設計。每部緊急柴油發電機各配備一只燃油日用槽、一座燃油儲存槽及兩台燃油傳送泵。燃油日用槽及燃油儲存槽之容量分別是1950加侖及94000加侖，分別可以提供緊急柴油發電機在額定負載下連續運轉4小時及7天。燃油日用槽及燃油儲存槽依據運轉規範要求，其最少油量分別需大於533加侖及81420加侖。除此之外，輔助鍋爐及氣渦輪機之燃油也可以提供EDG運轉。輔助鍋爐油槽及氣渦輪機之燃油油槽之容量分別是1155公秉及35000公秉，可供應EDG於額定負載下分別連續運轉14天及140天(假設氣渦輪燃油貯存槽正常填裝11000公秉燃油以上)。

2. EDG 冷卻水是由電廠廠用冷卻水系統所供應。

3. 緊急柴油發電機起動空氣系統：除空氣壓縮機外，緊急柴油發電機皆為耐震一級。每台緊急柴油發電機配備兩套獨立的起動空氣系統，每一只空氣儲存槽容量在空氣壓縮機不運轉的情形之下，可以提供緊急柴油發電機 5 次起動。

龍門電廠

緊急柴油發電機(EDG A /B/C)：

1. 油料：每部緊急柴油發電機各有一只日用槽（儲存量 12 公秉）及儲存槽（儲存量 450 公秉），可以分別提供每部柴油發電機連續運轉 5 小時及 7 天，此燃油儲存槽設有室外補油口，油罐車可由此開口補油。
2. 冷卻方式：冷卻方式為水冷式。
3. 支援系統：
   (1) 每部緊急柴油發電機之直流控制電源分別由其相對應安全分區直流系統供給。
   (2) EDG 係利用起動空氣系統提供壓縮空氣以起動引擎，起動期間，並不需要依藉外電。每一只空氣儲存槽容量在空氣壓縮機不運轉的情形之下，可以提供緊急柴油發電機 5 次起動。
   (3) 冷卻水由安全相關之反應爐廠房冷卻水系統(RBCW)供給，而 RBCW 之熱量再由反應爐廠用水系統(RBSW)移除到最終熱沉。

5.1.2. 喪失廠外電源及廠內後備電源

在喪失廠外電源和廠內後備電源的情況下，電廠有一部兩機組共用緊急柴油發電機和兩台氣渦輪發電機來因應電廠全黑(SBO)狀況。這些發電機都屬氣冷式，這些系統之設計要求描述如下：

5.1.2.1. 設計要求

在電廠全黑(SBO)情況時，反應爐水位可藉由運轉爐心隔離冷卻系統(RCIC)來維持，RCIC 的運轉主要依賴 125V 直流電源。不考慮兩機組共用緊急柴油發電機和氣渦輪機的可用性下，電池組能提供 8 小時直流電源。

<u>核一廠</u>

1. 第 5 台緊急柴油發電機(5th EDG)：容量 4000kW，為氣冷式，位於標高 11.2 公尺處，作為一、二號機組 4 台緊急柴油發電機之後備替代，當其佈置於替代位置時，與原有之柴油發電機功能相同，接受該代替匯流排之緊急自動起動併聯信號。佈置替代於何台柴油發電機須事先加以選定，且同時間只允許替代一台，當滿載出力時，足以應付緊急時 ECCS 系統所需電力之供給，第 5 台緊急柴油發電機的啟動與控制電源為 125VDC 由獨立的電池組供應。日用燃油槽容量為 1300 加侖，可供 4 小時連續運轉，另配置 52000 燃油儲存槽，連續運轉可長達 8 天。燃油儲存槽外部有油箱蓋可供補充油料。第 5 台緊急柴油發電機可以在控制室手動操作以取代任何一部緊急柴油發電機之功能。

(1) 2部氣冷式氣渦輪發電機，具有全黑起動能力，位於標高22.4公尺處，每部機組容量69600kVA，當喪失廠外電源(LOOP)或電廠全黑(SBO)情況發生，這2部氣冷式氣渦

輪發電機可以提供交流電力。氣渦輪發電機組從開始啟動到併聯發電之時間約10分鐘，提升負載至滿載（50MW）約七分半鐘。正常啟動電源來自69kV系統(69kV會降壓至4.16kV)，氣渦輪全黑時之電力由2組附屬1100kW 4.16kV柴油發電機所提供，該柴油發電機由24VDC電池組來啟動。氣渦輪發電機之控制電源是由獨立之DC電池組所供應，氣渦輪發電機組有一只35000公秉之貯存槽，柴油燃料被輸送到3只日用槽，每只容量600公秉(158 $x10^3$ 加侖)，正常時柴油燃料維持在12000公秉以上，這足夠一部氣渦輪發電機連續運轉30天，每只日用槽都有一外部油箱蓋以補充燃料。

核二廠

1. 第五台柴油發電機：

第五台柴油發電機為氣冷式，容量為3,910 kW，安裝位置高程為海平面上12公尺，可做為兩部機組第一區或第二區緊急柴油發電機之後備柴油發電機。通常第五台柴油發電機備用，當任何一個機組的第一區或第二區緊急柴油發電機無法擔負緊要供電功能時，可直接在主控制室手動切換第五台柴油發電機完全替代故障之第一區或第二區柴油發電機，只要其中任何一區緊要匯流排負載有電，就能提供機組保持在安全停機狀態所需之電源。

2. 氣渦輪發電機：

核二廠配置有兩台具備全黑啟動能力之氣渦輪發電機，容量為50MW、安裝高程為海平面上22公尺，只要其中一台氣渦輪發電機，就足以提供兩部機全部非核能安全有關匯流排及緊要匯流排負載供電，維持機組在安全停機狀態。從啟動氣渦輪發電機到可供應69kV系統之時間約需要20分鐘。

核三廠

經由 11.4KV 電網饋線提供安全相關匯流排電力，可視為核三廠第三個廠外電源供應來源。

1. 第 5 台緊急柴油發電機

第5台緊急柴油發電機為氣冷式，額定負載為7,159 kW，激磁電源獨立於廠內輔助AC電源。燃油儲存槽上方有開口，儲存容量為118,730加侖，可供柴油發電機在額定功率下持續運轉7天。另輔助鍋爐燃油儲存槽容量為1,155公秉，可以傳送到第五台緊急柴油發電機燃油儲存槽，如此第5台緊急柴油發電機持續運轉時間即可延長到14天。此外，第五台緊急柴油發電機燃油儲存槽也可以由氣渦輪發電機油槽補充，該油槽設計容量為35,000公秉，平常存量為11,000公秉，可以供應第5台緊急柴油發電機全功率持續運轉140天。

起動空氣系統由兩套雙重性獨立的壓縮空氣子系統組成，任一套壓縮空氣子系統都可以獨立啟動第五台緊急柴油發電機，壓縮空氣存量可以供5次啟動之需求。控制

室中可以手動啟動第5台緊急柴油發電機，以取代2部機組中任何一台緊急柴油發電機。第5台緊急柴油發電機為耐震一級設計，安裝高程在海平面上15公尺，高於核三廠的海嘯設計基準(取最大海嘯溯上值)12.5公尺，第5台緊急柴油發電機的廠房外門為一般通行門及防爆門，沒有防水設計。

2. 氣渦輪發電機組

氣渦輪發電機具備全黑啟動功能，額定功率為51.48MW，燃料油槽容量為35,000公秉，另有2個600公秉日用油槽。燃料油槽平時儲存約11,000公秉柴油(低於10,000公秉時就必須補充)，可提供2組氣渦輪發電機全功率持續運轉14天。氣渦輪發電機並不是耐震一級設計，安裝高程在海平面上35公尺，遠高於12.5公尺設計基準海嘯高度，同時亦無豪暴雨淹水疑慮。每一部氣渦輪發電機都配置有具備全黑啟動功能之1,100kW柴油發電機，氣渦輪發電機啟動供應電源優先使用廠外電源，當廠外電源無法供應時，即由全黑啟動功能之柴油發電機供應啟動電源。

3. 第三電源(詳見附圖 5-3)

從氣渦輪發電機供應之 11.4kV 系統電源降壓到 4.16kV，可以視為供應安全相關 4.16kV 匯流排之第三電源備援電力。

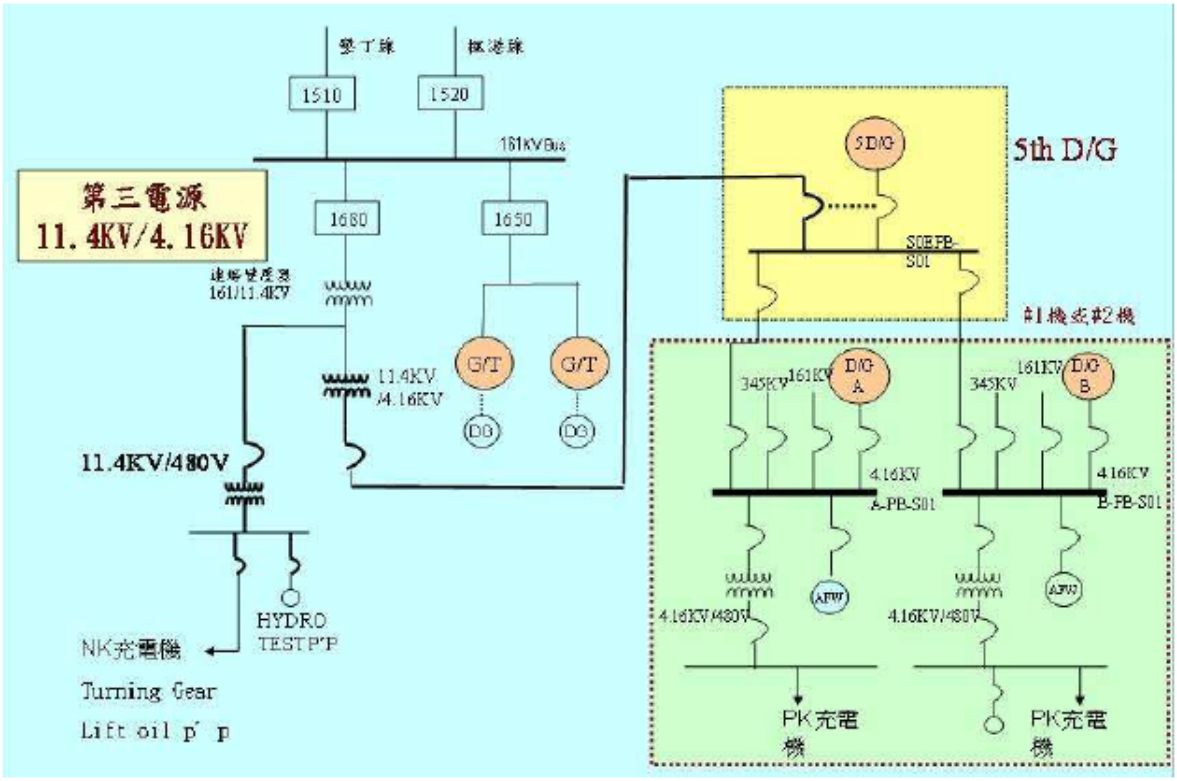


圖5-3、核三廠第三電源

<u>龍門電廠</u>

1. 第 7 台緊急柴油發電機(7th EDG)：容量 7800kW，為氣冷式，其功能及油槽容量與

設定取代之柴油發電機完全相同。在全功率運轉時，可以供應所有緊急爐心冷卻系統(ECCS)需要的交流電力。第 7 台緊急柴油發電機以及廠房與其他 6 台緊急柴油發電機完全分開獨立，啟動與控制電源為 125VDC，由獨立電池組供應。

2. 氣渦輪發電機：龍門電廠將規劃設置 2 台氣冷式氣渦輪發電機組，總發電容量為 12MVA，供應安全相關以及非安全相關 4.16kv 匯流排電力，做為全部外電喪失情況下緊急後備電源。
3. RCIC 系統汽機調速閥為機械式操作，並不需要電力供應，水源來自抑壓池或冷凝水儲存槽。系統電動閥的控制與操作電源在第一分區為直流 120V 與交流 480V，在第二分區為直流 120V。

5.1.2.2. 電池容量及運轉期長

核一廠

第 5 台緊急柴油發電機所有之 125V DC 蓄電池容量為 410AH，能夠供電至緊要負載至少 8 小時，以確保核能系統安全。各氣渦輪發電機所有之 125V DC 蓄電池容量為為 400AH，亦能維持負載運轉至少 8 小時。

核二廠

由於任一台氣渦輪發電機或第五台柴油發電機，均能供電至廠內緊要匯流排，提供必要之負載用電，其負載亦包括該匯流排供應之各緊要與非緊要直流充電機之電力。因此只要氣渦輪發電機或第五台柴油發電機持續運轉，電池容量將不致耗竭，可以長期供應必要之直流電力。

核三廠

第五部緊急柴油發電機的蓄電池組容量為 125VDC/220AH，能夠提供緊要電力 2 小時。氣渦輪發電機的全黑啟動柴油發電機的電池組為 6 顆 200AH 蓄電池，供應啟動全黑起動柴油發電機所需的 24 VDC 電力，但只要第五部緊急柴油發電機啟動後，即可回頭對該蓄電池組進行充電。

龍門電廠

第 7 台緊急柴油發電機所需之 125V DC 蓄電池容量為 1800AH，依 FSAR 分析負載需求，應能夠供給維持負載運轉至少 3.5 小時。

5.1.2.3. 增加電廠強韌性擬採取之措施

核一廠

1. 加強建築物防水措施：所有EDG、燃料貯存槽、4.16kV開關場及MCC皆位於地面以上，除了低壓MCC在角落間(位於地面下)。設計修改包括防洪屏蔽板將被安裝在1號

機組、2號機組、第5台EDG及緊要海水泵(ESW pump) 等廠房之門及開口處，以確保EDG及4.16kV開關廠房之完整性。

2. 核一廠最近安裝一個額外的氣冷式用過燃料池冷卻系統（SFPACS），該系統被視為替代餘熱移除系統(RHR)系統，應該可以幫助電廠解決瀕危效應。目前，SFPACS還沒有被連接到RHR。

3. 電源復原程序書：

程序書 535 已被修正，將具有以下的電源救援行動：

- 從另一部機組之EDG來供應緊急電源

程序書 1451 具有以下的電源救援行動：

- 由480V移動式柴油發電機供應電力
- 1號機組與2號機組由可全黑啟動之4.16kV氣渦輪發電機供應電力
- 由4.16kV移動式柴油發電機供應電力

4. 在SBO情況下，加強提供緊急4.16kV/480V交流電力之措施：

(1) 在緊急情況下，只需要一台RHR、ECWP、E-chiller以維持反應器長期冷卻，三台上述設施的總馬力為1,275千瓦，第5台柴油發電機容量為3,910kW，在部分卸載的情況下，足夠同時提供4.16kV緊急電源至2部機組。

(2) 氣渦輪組之2台4.16kV全黑啟動柴油發電機已完成設計修改，可以提供電力至4.16kV安全相關之緊要匯流排。

(3) 電廠將會增加8台480V 500kW移動式柴油發電機，該移動式柴油發電機將會連接至電池充電器以提供DC電源至125VDC匯流排、緊要不斷電系統(vital UPS)及480V負載。

(4) 台電將採購6台4.16kV 1500kW移動式柴油發電機，其中二台將配置在核一廠，目前一台在核一廠內，一台暫時放在龍門電廠，預期新增接頭，讓這些柴油發電機可以提供電力至4.16kV安全相關緊要匯流排。

(5) 技術支援中心(TSC)廠房照明系統之電源變壓器，將由戶外一樓遷移到較高位置，並新增連接到移動式柴油發電機的快速接頭。

5. 爐心隔離冷卻系統(RCIC)緊急直流電源

在電廠全黑(SBO)情況下，如採用部分卸載方式，直流電源可以維持 RCIC 運轉 24 小時，SBO 程序書已經據以完成修訂改版。此外，前述任何的直流電源改善措施，都可以確保 RCIC 和自動降壓系統(ADS)所需要的直流電源的可用性及耐用性。

6. 移動式注水設備

核一廠已經提出採購 8 部移動式大容量消防車。餘熱可以藉由主冷卻水蒸發及消防車之注水來移除。消防車容量：38.2kW 2000 lpm@6kg/cm^2, 1500 lpm@10kg/cm^2

核二廠

1. 增強 EDG 廠房之防水措施：EDG 廠房之人員及設備出入口將安裝防洪屏蔽板。
2. 加強緊急循環水(ECW)泵廠房之防水措施：ECW 泵廠房之防水牆已完成，並達到天花板的頂部，且所有的穿牆孔都被密封。改善之後，海嘯浪湧防護高度將與地面高度相同（12 公尺），ECW 及緊急柴油發電機 EDG (Div. I, II, III)都可以達到防止海水入侵之目標。
3. 加強電力供應：當廠外及廠內交流電源喪失時，下列措施將能夠提供緊急 4.16kV/480V 交流電力：
   (1) 2 部機組都提出設計變更，要求將氣渦輪組之 2 台 4.16kV /1,100kW 全黑啟動柴油發電機提供電力至緊要匯流排，這部分已經完成。
   (2) 核二廠規劃將 4.16kV 緊急電源直接供電至緊要開關箱匯流排，以強化非隔離相匯流排(NPB)故障應變措施與增強系統之強韌性。
      (a). 核二廠已修改程序書 1451，新增操作指引，在限定負載條件下，一台緊急柴油發電機可同時支援兩部機組緊要匯流排的電力供應。
      (b). 核二廠已修改程序書 1451，第五台氣冷式柴油發電機能夠同時支援 2 部機組，且不受非隔離相匯流排(NPB)故障影響。
      (c). 兩項設計變更已經完成，緊急時來自全黑起動柴油發電機或 1500kW 移動式電源車的電力可以直接提供至緊要匯流排，不受 NPB 故障影響。若中壓系統開關箱故障，可以藉由開關箱間內電纜以跨接方式將電源提供至安全相關設備，8 小時內可以完成此項電纜跨接動作。
   (3) 技術支援中心(TSC)/OSC 的 2 台 480V/200kW 柴油發電機將可供電到負載中心(LC)。
   (4) 增加四台 480V 200kW 移動式柴油發電機，提供電力至負載中心(LC)，並能提供電力供應 125V DC 充電器及緊要 480V 負載，如:不斷電系統(UPS)、氫氣點火系統(HIS)等，二部機組上述建置已於 2012 年完成。
   (5) 台電已經採購 6 台 4.16kV 1500KW 移動式柴油發動機。

   只要上述4.16kV電源之任何一項完成連接操作時，即可供電至緊要匯流排，長期提供所需電力，假如所有的4.16kV柴油發電機都無法使用，技術支援中心(TSC)/ OSC 柴油發電機或移動式480V柴油發電機仍可供電至480V緊要匯流排，該緊要匯流排能

提供所需之長期電力。

4. 增強爐心隔離冷卻系統(RCIC)及安全釋壓閥(SRV)之緊急操作能力：

(1) 增強直流電源供應

(a) 前述任何一項措施均可確保 RCIC 及 SRV 所需直流電源持續可用。

(b) 另已增購 5 台小型 120V 移動式發電機及電源供應器，在緊急狀況下可以提供直流電力供 RCIC、SRV 及其他緊要儀控電力使用。

(c) 程序書已完成修訂，指引如何以跨接方式提供電源供 RCIC 及 SRV 使用。

(2) 如果喪失直流電源，RCIC 可於現場手動重新啟動，相關聯的操作步驟已被證明是可行的，並已被納入程序書 1451。

(3) 已置購 2 台移動式柴油驅動空壓機及高壓增壓器 2 組，提供 SRV 緊急操作所需之壓縮空氣，此外，已開立設計變更，增設緊急充氮氣管路及接頭至廠房外備用，以提供壓縮空氣供 SRV 緊急使用。

(4) 加強反應爐水之補水能力：核二廠可以藉由重力，從山上消防生水池系統補水至反應爐，除此之外，電廠已經審查並計畫購買 5 台大型消防泵及 1 輛備有加壓泵之水庫車，以增強電廠之機動注水能力。在程序書 1451 中，反應爐補水可以透過上述各種替代水源來完成。

<u>核三廠</u>

1. 核三廠已針對防淹水措施提出設計變更申請改善，就安全系統相關廠房(包括第五部緊急柴油發電機)對外進、出之門評估設置檔水板之可行性，以便當氣象局發布颱風加豪大雨或判斷廠區淹水有侵入廠房之虞時，可事先裝設以防止洪水侵入廠房內；核三廠另亦已提出設計變更申請改善，就安全系統相關廠房之重要關鍵防火門或防爆門提升其水密性(包括第五部緊急柴油發電機)，以阻隔廠房淹水入侵到重要關鍵區域或房間，防止重要設備或設施故障或失效。
2. 台電公司「核能電廠耐震評估專案小組」已完成核電廠氣渦輪機及生水池初步耐震勘查，核三廠將依據評估結果，配合進行相關設施耐震補強。
3. 已完成(規劃)氣渦輪發電機廠房與第五台緊急柴油發電機廠房吊車在停用期間的停駐點規劃及水平軌道方向的固鎖裝置。指定停駐點是考量當吊車因地震而發生墜落時，其下方沒有安全相關的重要設備會因此損壞。而固鎖裝置則確保該吊車在地震時不會產生水平軌道方向的位移，以致於離開相對安全的停駐點。

4. 電池組容量可以確保連續供應直流電源 8 小時，相關負載卸載步驟已列入程序書 570.2，核三廠將購買 480V 移動式柴油發電機，且具有快速連接介面，480V 移動式柴油發電可以對電池組充電，以維持電池組具有長期供電能力。
5. 已完成第五台氣冷式柴油發電機同時提供兩部機緊要電源能力之可行性驗證，並設置相關端接點之快速接線端子以利跨接作業之執行，相關操作指引並已列入程序書 1451。
6. 各機組柴油發電機也可經由 S-0E-PB-S01 匯流排支援另一部機。已完成相關測試，並將操作程序納入程序書 1451。
7. 台電公司將購置 6 台 4.16kV/1500kW 柴油發電機電源車，其中兩台將配置於核三廠。兩台新電源車與現有設備連接之開關設備介面部分將配合改善設置。
8. 已購置 10 台 370kVA/480V 移動式柴油發電機，以供電至：
   (1)電池組充電機，以維持 125VDC 直流匯流排電力
   (2)緊要水泵，以補水至重要設備/設施
   (3)總機/技術支援中心(TSC)/控制室等重要 480V 負載，以維持必要之通信、指揮與適居系統。

   另亦提設計變更改善案，設置相關 480V 移動式柴油發電機供電介面，以利快速引接供電。
9. 已備整 24 台小型移動式發電機，緊急時可支援臨時抽(沉)水泵、排煙風扇、輻射偵測儀器等用電，以確保救援設備或儀器設備正常發揮功能。
10. 當廠內水源不夠時，可由消防車補水至冷凝水儲存槽(CST)、放射性廢水儲存槽(RWST)、用過燃料池(SFP)、反應爐冷卻系統(RCS)。另將新購消防泡沫車 1 台，容量 7 噸；新購消防水庫車 1 台，容量 12 噸。廠外水源可取自 2 號、3 號深水井、龍鑾潭、牡丹水庫、海水。
11. 已增購 3 台移動式空壓機以提供個別氣動閥之操作需求。

<u>龍門電廠</u>

1. 為確保緊急柴油發電機（EDG）及 4.16kV 開關廠房之完整性，強化措施已經實施，如安裝防水板、氣密門橡膠改善等。
2. 已提出下列強化措施，在發生廠區全黑事件下，可供緊急 4.16KV/480V 交流電源所需：
   (1) 增加氣渦輪發電機二台，供電至 4.16KV A4/B4/C4/S4 匯流排 (設計施工中)。
   (2) 利用氣渦輪發電機附屬之二台起動柴油發電機供電至 4.16KV 匯流排 (設計施

工中)。

(3) 增加二台 4.16KV/1500KW 移動式柴油發電機連接至 4.16KV 匯流排，可提供任何一串餘熱移除系統(RHR)、反應器廠房廠用水系統(RBSW)、反應器廠房冷卻水系統(RBCW)馬達電源。

(4) 利用 11.4KV/1250KW 保安系統緊急柴油發電機，供電至 4.16KV 匯流排和下游 480VAC。

(5) 緊急應變時，第七台緊急柴油發電機可同時提供兩部機組用電。

(6) 緊急應變時，一號機機與二號機個別之緊急柴油發電機可互相救援。

(7) 增加 5 台 480VAC 移動式柴油發電機供電至 480VAC 負載中心/馬達控制中心(PC/MCC)(包含安全相關與非安全相關)，如此交流電源將可供電給電池組充電器，持續維持 DIV.I 125VDC 匯流排及 DIV.I 定壓定頻(CVCF)系統直流電源可用性。

3. 爐心隔離冷卻系統(RCIC)持續運轉可消耗反應爐內蒸汽，又可補水進入反應爐內，維持系統運轉可達到多面效能。RCIC 渦輪機之調速閥操作需使用直流電源，原設計可連續使用 8 小時。電廠全黑(SBO)情況下，直流電源供應 RCIC 及安全釋壓閥(SRV)/自動降壓系統(ADS)之持續時間，於負載管控下，可以延展至 24 小時。此外，上述交流電源之強化方案可確保 RCIC 及 ADS 所需直流電源之可用性及耐用性。

4. 電廠全黑(SBO)時，若預期緊急爐心冷卻系統（ECCS，包含 RCIC）即將不可用，反應爐之控制降壓將會被執行(當 ECCS 仍有用時)。一旦 ECCS 失能後，藉由開啟安全釋壓閥(SRV)將反應爐迅速降壓，當反應爐壓力降至 0.6MPaG 以下，餘熱移除系統(RHR)之獨立（不使用交流電）消防水補水模式(ACIWA)模式將被使用，並直接注入生水至反應爐，生水也可藉由重力將位於 116 公尺高處之 24000 噸×2 生水池生水經由消防管路至 ACIWA 管路，最後補水至反應爐中。

5. 上述相關之緊急操作步驟均已加入 1451 斷然處置程序書內。

5.1.3 喪失廠外電源、正常備用電源及其他多樣備用電源

本節將考慮所有電源喪失的情況下，包括外部或內部、第一層及第二層等情況下。

5.1.3.1 設計要求

在全黑情況下，且伴隨第 5 台/第 7 台緊急柴油發電機（EDG）及氣渦輪發電機失能時，直流電源將成為唯一可用電源。反應爐水位和壓力可以藉由 RCIC(沸水式反應爐)至少維持 8 小時，備份電池充電機將可對每一獨立之電池系統充電，只要電池充電機維持可用，電池組電力即可持續維持，則重要直流及交流電源也會維持可用性。

核一廠

直流電源及儀用電源之配電描述如下：

1. 廠內安全相關直流設備負載及安全有關設備控制電源

安全相關直流電源由三個125VDC開關面板所組成。其中之一供電給ECCS-A串負載群；其他二個對ECCS-B串負載群供電。此種設計係確保任一個系統發生故障，仍不影響反應爐保護及特殊安全設施(ESF)系統執行其安全功能。

2. 120VAC 儀用電源

每一機組配備二組不斷電系統(UPS)輸出電源，且其電池容量為8小時，在SBO情況下，一般非UPS之儀用電源將會喪失。

3. 爐心隔離冷卻系統(RCIC)/高壓爐心注水系統(HPCI)直流電源的設計：

在SBO情況下，反應爐補水須靠RCIC或HPCI系統之運作，RCIC或HPCI系統僅需直流電源及汽機蒸汽源即可啟動，不須依賴交流電源，而RCIC及HPCI之直流電源分別由二組獨立之125V DC開關面板供電。

核二廠

爐心隔離冷卻系統(RCIC)主要依賴 125V 直流電供應必要電力，其設計基準可維持 8 小時，若將不必要的負載隔離卸載，則電池容量可供 RCIC 連續運轉 24 小時。直流電源並可提供安全釋壓閥(SRV)作動所需之控制電源。

1. 安全相關直流電源：由五個 125V DC 支系統(A/B/C/D/G) 所組成。其中 A 與 C 支系統屬於 DIV I 負載群；B 與 D 支系統屬於 DIV II 負載群；G 支系統屬於 DIV III 負載群。此種設計設特色係確保任一支系統發生故障仍不影響反應爐保護及特殊安全設施(ESF)系統執行其安全功能。
2. 三組安全相關 120V 交流儀用電源配電盤，可提供電源至特殊安全設施(ESF)系統儀器，每一配電盤由其專屬 480/120 降壓變壓器供電，120V 交流不斷電系統(UPS)則分別由 3 個電池組供電，每一電池充電器分別由相互隔離的 480V ESF 之馬達控制中心(MCC)供電。

核三廠

1. 電廠全黑(SBO)事故演變

廠外電力喪失時，將導致反應爐及停及汽機跳脫、主蒸汽隔離閥(MSIV)關閉、蒸汽產生器(SG)之 動力釋放閥(PORV)作動、SG水位降低，並啟動蒸氣驅動輔助飼水泵。飼水泵將補水至SG以維持其水位並消耗部份蒸汽，電廠程序書570.20將被用來處理SBO事件。依據 NUMARC-87-00，於 SBO 前8小時期間，假設每台反應爐冷卻泵

(RCP)每分鐘有25加侖的洩漏流量，FSAR分析指出，在此期間內，只要輔助飼水系統及蒸汽產生氣(SG)之動力釋放閥(PORV)可以執行其設計功能，爐心燃料仍可維持爐水覆蓋狀況(不會發生爐心燃料暴露的情況)。

2. 事故緩和系統之容量及設計限制之評估

冷凝水儲存槽、壓縮空氣系統、儀控系統、電池組、通信系統和照明系統，上述系統容量評估工作都已完成，確認發生SBO後，前8小時之內，每一個系統都有足夠的能力去完成其設定功能。

龍門電廠

若喪失廠外電源、備用電源(EDG A/B/C)及第 7 台緊急柴油發電機(7th EDG)，電廠設計上將僅剩下直流電力系統可用，爐心隔離冷卻系統(RCIC)主要依賴 125V 直流電供應必要電力。定壓定頻(CVCF)系統及直流電力之設計如下：

1. CVCF System

安全級緊要 AC 電力系統包括 3 組電器一級(CLASS 1E)定壓定頻(CVCF)子系統，正常輸入為三相 480VAC 電源和備用 125VDC 電源，CVCF 輸出為不中斷之單相 120V 交流電力，且具有穩定之電壓及頻率。

定壓定頻(CVCF)系統設計容量至少 8 小時，安全級緊要 CVCF 480V 電源緊急時可由緊急柴油發電機 EDG A/B/C 和 7 台緊急柴油發電機供電。

2. DC System **直流系統：**

(1) 安全級直流電力系統包括 3 組電器一級(CLASS 1E) 125VDC 子系統，可提供可靠之直流電源以確保反應爐停機。

(2) 正常運轉時，DC 匯流排由正常充電器(Normal Charger)受電，電池充電器由 480V 匯流排供給。

5.1.3.2. 電池容量及運轉期長

核一廠

爐心隔離冷卻系統(RCIC)直流電源 125V DC 來自 125V 開關面板#1，高壓爐心注水系統(HPCI)直流電源 125V DC 來自 125V 開關面板#6，設計上各蓄電池組額定容量至少可維持 8 小時運轉。

核二廠

1. 核二廠已提出設計變更，計畫將安全相關蓄電池組 A、B、C 及 D 的容量由原設計的 8 小時供電能力提昇至 24 小時的供電容量。

2. 除 24 小時供電容量外，台電公司核安處於 100 年 6 月進行之進一步評估顯示，在無

廠外支援下，電廠能承受全黑事件之運轉期也可長達 24 小時。相關非緊要負載之卸載操作程序，也已列入程序書 500.15，以利運轉人員執行。

核三廠

電池組 A、B、C、D 串之容量及運轉時間已完成評估，該評估顯示：以現有電廠全黑(SBO)所需最低負載估算，電池容量設計上至少可維持 8 小時。

龍門電廠

在電廠全黑(SBO)及第 7 台緊急柴油發電機失效情況下，反應爐水位可由爐心隔離冷卻系統(RCIC)來維持。直流電源設計容量足以供應 RCIC 負載所需電力至少八小時，另依據安全分析報告(FSAR)分析結果，RCIC 應可至少運轉 21 小時以上(若以部分卸載方試運轉，估計可達約 24 小時)。

5.1.3.3 燃料劣化前廠內的自主運轉能力

核一廠

反應爐水位及壓力可以由爐心隔離冷卻系統(RCIC)維持至少 8 小時。若以生水系統維持反應爐水位及用過燃料池水位（斷然處置措施），生水總存量可連續提供 9 天，若再考慮自動降壓系統(ADS)/安全釋壓閥(SRV)連續操作，氣源供應可支撐 11.2 小時，因此保守估計電廠可以承受全黑事件的運轉時間，至少為 11.2 小時（RCIC 運轉+生水注水操作）。另有高壓爐心注水系統(HPCI)於迫切性需要時，可運轉以協助反應爐補水及降壓，但因機組全黑喪失最終熱沉，HPCI 運轉會造成抑壓池水溫快速上升衝擊較大，須審慎視狀況決定是否使用。

核二廠

在廠區全黑情況下，且喪失氣渦輪發電機及第五台柴油發電機時，可由爐心隔離冷卻系統(RCIC)維持反應爐水位，RCIC 直流電供應設計容量可維持 8 小時（如隔離部分不必要的負載後可維持 24 小時所需）。

核三廠

1. 發生電廠全黑(SBO)事件，首先應立即執行緊急應變程序書(EOP) 570.20操作程序，為確保電器一級(CLASS 1E)電池組能維持SBO之需求，需要在30分鐘內卸除暫不需要的負載。
2. 若喪失所有直流電源，汽機帶動輔助飼水泵(AFP)和蒸汽產生器動力釋放閥(PORV)仍可現場手動操作，進行蒸汽產生器的補水和蒸汽排放，以控制反應爐冷卻系統(RCS)之溫度、壓力，維持爐心冷卻能力。
3. 當汽機帶動輔助飼水泵(AFP)不可用時，另有一台柴油引擎帶動輔助飼水泵可對蒸汽

產生器補水。

4. 機組由熱待機冷卻至熱停機約需16小時，整個過程需用水量約1,041噸。冷凝水儲存槽(CST)可用容積2,680噸約可供使用40小時，除礦水儲存槽(DST)可用容積378.5噸約可供使用6小時。若輔助飼水泵(AFP)改由生水池取水，10萬噸生水池約可供兩部機同時使用32天。

龍門電廠

(1) 藉由反應爐降壓和圍阻體排氣，可以有更多的時間來恢復交流電源。

(2) 爐心隔離冷卻系統(RCIC)泵的操作，也可以用手動方式開啟一個蒸汽進氣閥及一個洩水閥，這 2 個閥門安裝位置在於圍阻體外面，供運轉人員接近操作。

5.1.3.4 防止燃料劣化的外部支援措施

核一廠

1. 廠內現有設備支援，例如其他機組的設備

(1) 建立電廠全黑(SRO)時直流電24小時供電能力

依據安全分析報告(FSAR)所列之SBO負載，計算每一電池組之放電容量(安培-小時，AH)，這些電池組之間，有3個125V DC電池組預估不夠24小時所需，另一方面，有一電池組卻有1867AH多餘電力，如藉由負載操控，提供24小時直流電源供應的目標可以完成，且尚有473AH之餘裕。

藉由隔離部分直流負載及移轉負載，爐心隔離冷卻系統(RCIC)可以保持反應爐之水位及壓力至少 24 小時。目前在 SBO 情況下，125V DC Battery-1, -2, -6, -7 之間的移轉須依靠非耐震 1 級電路來完成。將以設計變更方式修改電路讓 Battery-6 直接提供電源到 SWGR-1、-2、-7 使用。

(2) 在電廠全黑535程序書中，任一機組之緊急柴油發電機(EDG)可藉由第5台EDG之配電盤來供電至另一機組，程序書也描述負載控制及節電等操作步驟。

(3) 核一廠已規劃配置移動式柴油發電機，連接送電至蓄電池充電機使用，以延長蓄電池供電能力。

(4) 廠內現有數輛消防車，這些消防車可接用生水、抽取乾華溪水或海水，連結至備用圍阻體噴灑系統(BCSS)，將水注入爐心或用過燃料池，以防止燃料劣化。

2. 假設廠內所有設備都受損，從廠外提供可用的設備

(1)若所有的事故減緩系統都因喪失最終熱沉(因失去電源供應)而導致失能，可用的廠外支援包括從核一廠內、核二廠，以及從石門區、金山區、三芝區可提供之消防設備。

(2)廠外供電支援包括一台4.16 kV 1500kW移動式柴油發電機，及4台從核二廠支援移動式柴油發電機，此外，核四廠之移動式柴油發電機也可以參與支援。

(3)核一廠及新北市政府已簽訂消防支援協議，並視事件的特性，新北市消防局將支援人力、車輛及相關設備至現場，以減輕緊急狀況。

3. 臨近電廠(如水力、氣渦輪機組)專用配線直接供電：

核二廠及林口火力發電廠屬於臨近的兩個電廠，惟目前並無專用輸配電線路直接配置。

4. 上述任一系統操作運轉所需時間

(1) 核一廠消防車自生水泵室取水經已列置好的備用圍阻體噴灑系統(BCSS)、餘熱移除系統(RHR)管路到補水進入爐心所需總時間約25分鐘。

(2) 假設消防車已載水待命中，且若爐心補水路徑已列置完成，則所需操作時間為消防車開車進入廠區時間。石門區消防隊消防車進廠時間約10分鐘，三芝區或金山區消防隊消防車進廠時間約20分鐘，萬里區消防隊消防車進廠時間約30分鐘，核二廠消防隊消防車進廠時間約25分鐘。

(3) 核二廠及龍門電廠之移動式柴油發電機調用支應分別預計需2小時及5小時。

5. 執行上述動作合格人員的可用性

系統、設備之操作由運轉值班人員執行，其他人力須由廠外支援。消防車之操作由消防人員為之。操作之人員都經充分訓練以符合任務之需要。

6. 假設情境損壞發生前關鍵時間的確認

若直流電源亦不可用，則：

(1)反應爐壓力將會被自動降壓系統(ADS)/安全釋壓閥(SRV)安全性功能所釋放。若考慮ADS/SRV連續操作，設計變更完成後，上述設備工作所需之壓縮空氣供應將可延長至48小時。綜合上述，若系統改善完成，在無廠外支援下，電廠能承受全黑事件的運轉時間至少在48小時以上（合併爐心隔離冷卻系統(RCIC)運轉與生水注水）。在設計變更改善完成前，暫時於反應爐廠房一樓設置連接軟管及接頭，必要時可快速接用40瓶液壓控制單元(HCU)備用氮氣瓶，提供ADS/SRV所需操作氣源，可支撐43.2小時。此外，尚可節流開啟一次圍阻體充氮系統之旁通閥，可長期繼續供給SRV/ADS操作氣源。

(2)利用生水系統維持反應爐水位（斷然處置措施），以雙機組複合式災變下補水計算（包括反應爐、用過燃料池總需補水量為1600gpm(363.4噸/小時)，生水總存量(以80%計約8萬噸）可連續提供220小時（9.17天）。若再從溪流取水，可補水

之時間可以更久。

(3)反應爐洩壓及注水併行策略執行約40小時候，抑壓池水位將上升到抑壓池排氣管口高度，會造成抑壓池無法進行排氣洩壓，將以乾井排氣洩壓操作來取代。

核二廠

1. 廠內現有設備支援，例如其他機組的設備

當電廠發生全黑狀況，可利用安全釋壓閥(SRV)將反應爐洩壓，並以山上消防生水池系統，靠重力長期供應反應爐補水，以避免燃料劣化。

2. 假設廠內所有設備都受損，從廠外能提供之可用設備

(1) 核二廠已與新北市政府消防局簽訂支援協定，若廠內設備皆受損，即可通知新北市政府消防局第六大隊，支援車輛包括水庫車（或水箱車）、化學泡沫車及高空噴水車、雲梯車，提供緊急應變及反應爐緊急補水之用。

(2) 台電公司已採購 6 台 4.16kV 1500kW 移動式柴油發電機電源車，核二廠配置有 1 台，另有 3 台在核一廠及龍門電廠，必要時可提供核二廠使用。

3. 臨近電廠專用配線直接供電：

核二廠目前尚無專用配線與核一廠、協和火力電廠等鄰近電廠直接連結配置。

4. 上述任一系統操作運轉所需時間

山上消防生水池系統靠重力補水，盲板操作開啟需約40分鐘

5. 執行上述操作合格人員的可用性

上述執行操作之人員均經訓練及演練測試，可完全勝任操作要求。

6. 確認主要瀕危效應發生的時間：

用以維持爐心隔離冷卻系統(RCIC)及安全釋壓閥(SRV)運轉的直流電源喪失時，且沒有任何對策被採用時，反應爐降壓與與反應爐補水將無法進行，同時低壓注水系統亦因反應爐高壓力而無法注入反應爐，反應爐爐心將面臨無法補水情況，終至爐心燃料裸露而劣化。

核三廠

當廠內水源不夠時，可由消防車補水至冷凝水儲存槽(CST)、放射性廢水儲存槽(RWST)、用過燃料池(SFP)、反應爐冷卻系統(RCS)。電廠現有消防水箱車 1 台，容量 7 噸。屏東縣消防局之消防車配置有水庫車 10 噸 2 台、12 噸 2 台、水箱車 3 噸 1 台、3.5 噸 4 台、小水車 1 噸 4 台。廠外水源可取自 2 號、3 號深水井、龍鑾潭、Modan 蓄水池、海水。電廠另有訂定合約以提供包商支援人力。

假設情境損壞發生前關鍵時間的確認：

冷凝水儲存槽(CST)可用容積 2,680 噸約可供使用 40 小時，除礦水儲存槽(DST)可用容積 378.5 噸約可供使用 6 小時，共約 46 小時。若輔助飼水泵改由生水池取水，10 萬噸生水池約可供兩部機同時使用 32 天。

龍門電廠

1. 廠內現有設備支援，例如其他機組的設備

(1) 建立電廠全黑(SBO)時直流電 24 小時供電能力：

依據計算過之電池組放電容量(安培-小時，AH)，SBO 時，以部分卸載操作方式，電池組可以供應直流電源至爐心隔離冷卻系統(RCIC)至少 24 小時，以維持 RCIC 之運轉所需。

(2) 廠內有消防車數台，這些消防車可接用生水池、龍門情人湖/石碇溪/雙溪或海水等替代水源，連結至餘熱移除系統(RHR)系統、獨立（不使用交流電）消防水補水模式(ACIWA)進行爐心或用過燃料池補水冷卻，以防止燃料劣化。

2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

除龍門電廠自有消防設備之外，廠外可用的消防設備(如消防車、消防水泵、消防水帶)可由貢寮區、雙溪區、瑞芳區等消防分隊支援提供。

廠外提供可用的設備有:核二廠的一台 4.16kV 1500kW 移動式柴油發電機及四台 480V 200kW 移動式柴油發電機，以及核一廠的一台 4.16kV 1500kW 移動式柴油發電機及八台 480V 500kW 移動式柴油發電機。龍門電廠已與新北市政府消防局簽訂「消防救災支援協定書」，依事件特性，消防局將支援人力、車輛、機具，進入廠區支援降低災害。

3. 鄰近電廠專用配線直接配置供電

距離最近的電廠有核二廠、協和火力發電廠，惟目前並無專用輸配電線路直接配置供電。

4. 上述任一系統操作運轉所需前置作業時間

(1) 消防車自生水泵室取水，經由餘熱移除系統(RHR)管路到補水進入爐心所需總時間約 30 分鐘。

(2) 貢寮區消防隊消防車（假設已載水待命中）進廠時間約 10 分鐘，若爐心補水路徑已列置完成，則爐心補水所需時間只有進廠時間 10 分鐘。

(3) 雙溪區或瑞芳區消防隊消防車（假設已載水待命中）進廠時間約 30 分鐘，若補水路徑已列置完成，則所需時間只有 30 分鐘。

(4) 以山上 48000 噸生水池之生水補水需時 30 分鐘，以消防車經新增設之用過燃料池抗震等級之常備硬式管補水需約 25 分鐘。

5. 執行上述操作合格人員的可用性

系統設備如何操作已在斷然處置程序書 1451 中說明，廠外支援人力由值班主任統一指揮；消防車、消防設備的操作仍由消防隊消防人員為之。操作人員均經合格訓練以符合任務需求。

6. 確認主要瀕危效應發生的時間

若直流電源喪失時，則：

(1) 若 DC 電源喪失時，自動降壓系統(ADS)/安全釋壓閥(SRV)之安全性功能可以釋放反應爐壓力。正常運轉時，由空氣控制系統(ACS)氮氣槽供應工作氣體，異常情況時，可由 2 組氮氣瓶(DIV. A and DIV. B)供應工作氣體。每一分區氣體容量可以維持 SRV/ADS 於開啟位置至少持續 7 天，每只 SRV/ADS 都有一蓄壓器，有足夠能力在乾井設計壓力下開啟一次，在乾井正常壓力下開啟五次。

(2) 依據斷然處置措施，用生水系統維持反應爐水位，以雙機組複合式災變下，總補水量包括反應爐、用過燃料池總需補水量為 1974 gpm(442.2 噸/小時)計算；生水總存量 3.84 萬噸，可連續提供 86.84 小時（3.62 天）。

(3) 然而在反應爐洩壓及注水併行策略凱使執行約 15.6 小時後，抑壓池水位上升將達抑壓池排氣管口高度，因此溼井無法排氣洩壓，將以乾井排氣洩壓操作來取代。

5.1.3.5 強化電廠強韌性的預期措施

<u>核一廠</u>

1. 爐心隔離冷卻系統(RCIC)/高壓爐心注水系統(HPCI)喪失直流電源運轉方案(手動啟動運轉)

若直流電源喪失，RCIC將被手動重新啟動，該操作的步驟已被證明是可行的，並已被納入程序書中。

2. 第 5.1.2.3 節中所描述的大部分措施也可以適用。

<u>核二廠</u>

1. 強化爐心隔離冷卻系統(RCIC)及安全釋壓閥(SRV)緊急操作能力：

(1) 強化直流電力供應：

(a) 5 台小型 120V 移動式發電機及電源供應器將另外購買，在緊急狀況下可以提供直流電力供 RCIC、SRV 及其他緊要儀控電力使用。

(b) 程序書已完成修訂，指引如何以跨接方式提供 RCIC 及 SRV 電源。

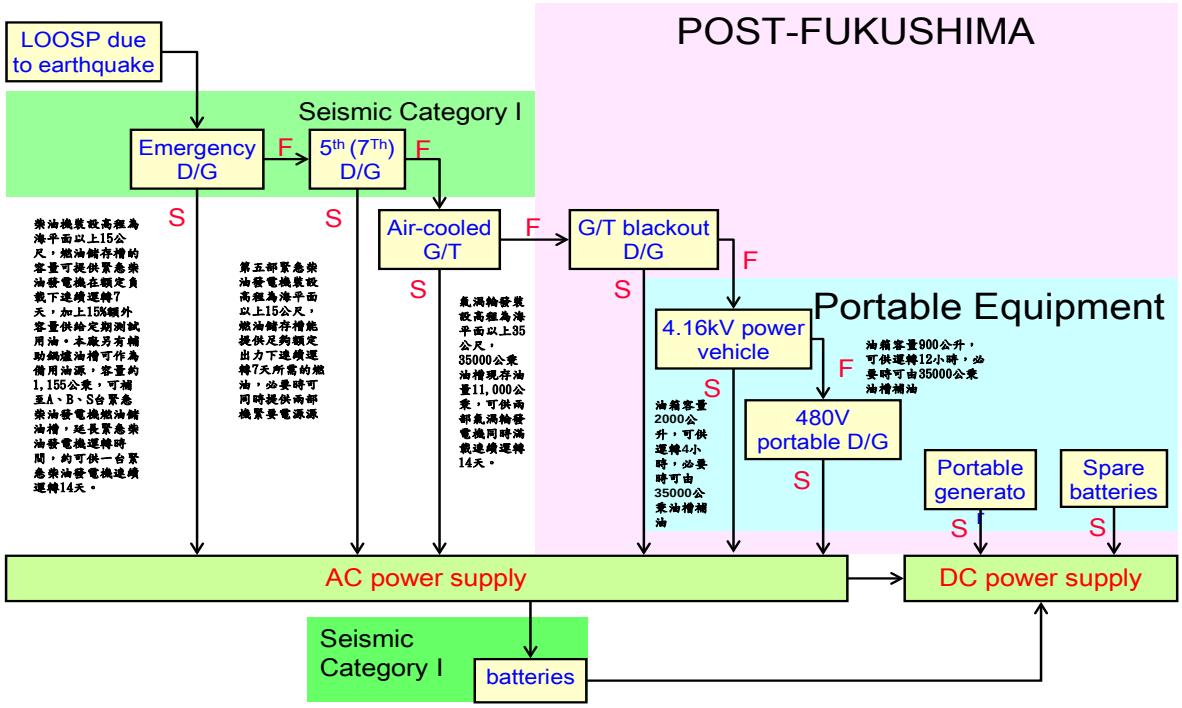
(2) 如果喪失直流電源，RCIC 將會被手動重新啟動，相關聯的操作步驟已被證明是可行的，並已被納入程序書。

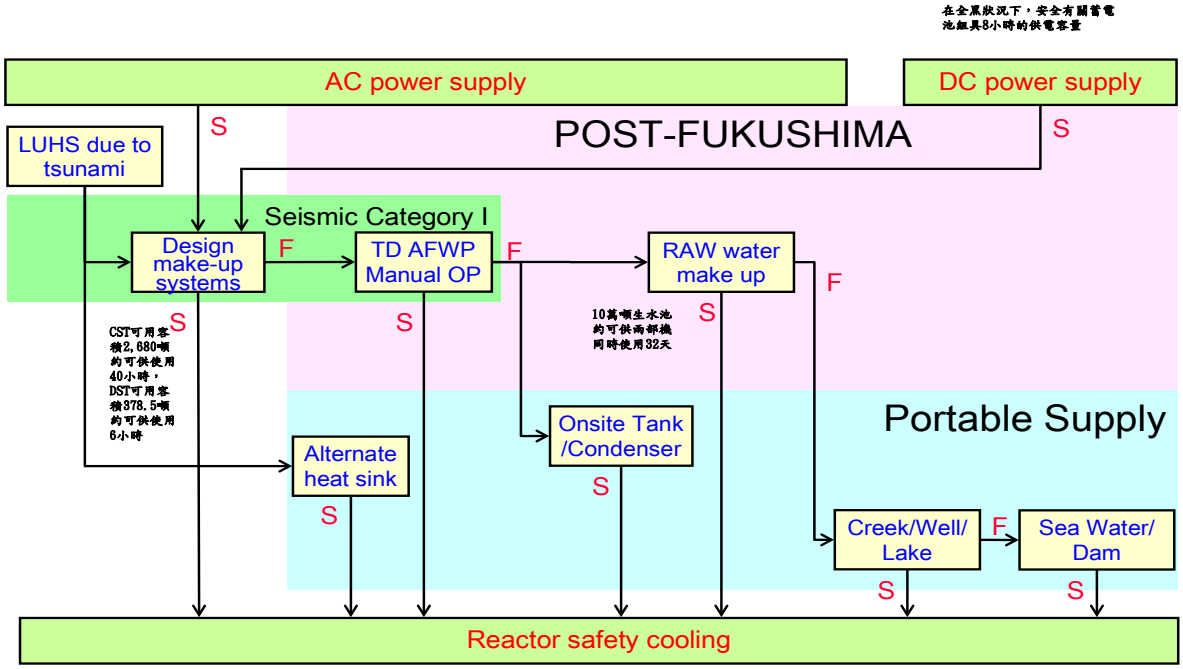
(3) 已置購 2 台移動式柴油驅動空壓機及高壓增壓器 2 組，提供 SRV 緊急操作所需之壓縮空氣，此外，已開立設計變更，增設緊急充氮氣管路及在廠房外之接頭，以提供壓縮空氣供 SRV 緊急使用。

2. 第5.1.2.3節中所描述的大部分措施也可以適用。

<u>核三廠</u>

1. 已確認在全黑狀況下，安全相關蓄電池組具 8 小時的供電容量，相關操作隔離部分非緊要負載部分之步驟，也已列入程序書 570.2。電廠將新購之 480V 移動式柴油發電機與快速接頭可以充電至該電池組，維持該電池組長期的供電能力。
2. 已完成檢討電廠全黑(SBO)時主控制室必要之監控參數，包含蒸汽產生器、反應爐、調壓槽、圍阻體的水位及壓力，以及反應爐溫度、圍阻體輻射強度、用過燃料池水位及溫度、爐外核儀指示、蒸汽產生器的輔助飼水流量及放射性廢水儲存槽(RWST)/BAT/冷凝水儲存槽(CST)水槽水位指示等，藉由廠區全黑時緊急備援交流電源之強化措施，可確保蓄電池組可用，達成強化儀控電源供給。
3. 第5.1.2.3節中所描述的大部分措施也可以適用。





龍門電廠

1. 爐心隔離冷卻系統(RCIC)喪失直流電源運轉方案(手動啟動運轉)

   若直流電源喪失，RCIC 將被手動重新啟動，該操作的步驟已被證明是可行的，並已被納入程序書中。

2. 電源強化措施

   在蓄電池放電耗盡前，以 480VAC 移動式柴油發電機或保安柴油發電機供電至 480V 負載中心/馬達控制中心(PC/MCC)再轉供至定壓定頻(CVCF)系統和直流電池充電機。大部分描述於 5.1.2.3(包括 4.16kV/480V 交流電源強化方案)之措施方案，也可適用。

3. 若超出設計基準事件(DBE)，導致安全釋壓閥(SRV)喪失操作氣體及電源時，可以使用下面方法：

   a. 若 SRV 喪失操作氣體時，可將臨時空氣壓縮機裝配至至位於反應器廠房 7 樓東北角及東南角之氮氣系統，因此儀用空氣可以供應這些具有自動降壓系統(ADS)功能之 SRV。在現有的設計中，有 20 個氮氣缸可以維持 SRV/ ADS 於開啟位置至少 7 天。

   b. 若 SRV 喪失操作電源時，啟動移動式柴油發電機供應交流電源至定壓定頻(CVCF)系統，然後再供給 SRV 電源。

c. 直接攜帶可攜式直流電源提供電源供 SRV 使用。

5.1.4 喪失最終熱沉

5.1.4.1 燃料劣化前廠內自主能力設計要求

核一廠

1. 正常熱沉

反應器正常停機時，由耐震二級的正常循環海水進水口結構，用四台循環海水泵（137000 加侖/台）從大海抽取海水提供停機所需的冷卻水做為最終熱沉。進水口結構設計上可承載 75 lb/ft^2 的風力、海嘯、最高或低潮汐。此一結構尚有防波堤抵抗風浪及保護水道。

2. 最終熱沉

每部機組包括了兩台立式緊要海水泵，每台緊要海水泵足以提供反應器安全停機時所需的冷卻水，做為最終熱沉。電廠事故後，正常海水取水口若受損、阻塞無法取水，可利用緊急進水口結構抽取海水連續供給冷卻水，而緊要海水系統（ESW）座落在乾華溪上，為耐震一級結構體。最終熱沉是由大海（東海）和乾華溪提供混合冷卻水，緊急進水口結構設計上能在所有惡劣天氣下運作。ESW 立式水泵每部機組的水泵由水泥結構牆彼此分開，每部機組耐震一級的緊要海水管路分佈在乾華溪的兩側地下，以保護並防範系統多重的失效。

(1)系統容量

每部機組有 2 台緊要海水泵，其容量為每台 8,000 加侖/每分鐘。廠房高程 11.2 公尺，各台水泵馬達及配電盤箱位於緊要海水泵室內，當發生設計海嘯時，不致淹水受損。

(2)支援系統

a.電源

各區之水冷式緊急柴油發電機及第 5 台緊急柴油發電機設計規範如 5.1.1.1。

b.通風

緊急泵室設有四台屋頂排風扇。平時保持其中二台在運轉，以避免緊急泵室內過於悶熱潮濕。

(3)進水口結構物檢視與海嘯防護評估

a. 核一廠海嘯防護設計，是以1867年發生於基隆的海嘯資料為經驗作為設計基礎。推估當時的最大波高為7.5米。假設海岸斜率1/5時，海嘯加風力所造成之浪高可達9公尺，再加1.73公尺高之最大暴雨洪峰，推估浪高可遡上到10.73公尺。

b. 核一廠設有防海嘯設施(含閘門)，建於乾華溪床，頂部高程約11.34公尺，其設計

為用以阻擋海嘯造成廠區淹水，閘門關閉時，底部與乾華溪床仍有1.57公尺高之空間，以供機組滿載時之冷卻水排放。已完成增設防海嘯閘門電動快速吊門機構，在接獲海嘯預警時，5分鐘內即可關閉之。同時因應防範海嘯來襲，平日將原本常開之防海嘯閘門保持在常關位置，並建立開啟機制以防汛。

核二廠

核二廠最終熱沈系統在設計上有循環水系統(CW)與緊急循環水系統(ECW)兩個系統。循環水系統負責機組正常運轉時之最終熱沈，而緊急循環水系統則負責提供機組緊急狀況下安全停機所需之最終熱沈。此兩系統之評估說明如下：

1. 循環水系統

循環水系統主要功能為提供主冷凝器熱移除所需，並提供外部循環水系統下游負載所需之熱沉（NCCCW、TPCCW 及 Normal Chiller）。當緊急循環水系統因故不可用時，循環水系統亦可經由外部循環水系統，經 RHR Booster pump 在所有運轉模式下提供 RHR 系統所需之冷卻海水。然本系統為非安全相關設計，電源來自非安全相關匯流排，其耐震等級為 SEISMIC Ⅱ。

2. 緊急循環水系統

核二廠是以緊急循環水系統(ECW）提供移除衰變熱之終極熱沉，以供安全停機及冷停機所需。ECW 系統需提供 RHR 熱交換器，緊急柴油發電機護套冷卻水、緊急寒水機及 HPCS 泵室、開關室冷卻器(DIV)Ⅲ所需之冷卻水源。

廠房位於海拔 12 公尺高，緊急循環水泵馬達及配電盤箱位於緊急泵室內高程 6.6 公尺處，核二廠已於 100 年 6 月 30 日完成相關水密牆之建置，使緊急循環水泵室之海嘯上湧防護能力與主要廠房區一樣同為 12 公尺，足以因應現行設計基準之要求。此外，另依 100 年 6 月 30 日「國科會海嘯模擬研究小組」公布「潛在大規模地震所引發的海嘯對核電廠之影響」報告(18)，核二廠潛在海嘯溯上高度低於設計基準海嘯溯上高程。然而，由於海嘯源的定義所產生的影響很大，海嘯溯上高度預測有顯著的不確定性，緊急循環水系統廠房需要考慮如何不被海嘯淹沒的保護機制。

ECW 系統為安全等級設備，因此，其系統設計，包括支援設備含電源、通風設施，均為安全相關設計，耐震等級為 SEISMIC I。並且對進水口結構在海嘯時之防護，及其進水口取水堵塞預防（緊急循環水進水口在設計上，包含防波堤圍阻，共有四道防護措施，以阻擋海中垃圾、雜物進入）等方面，均充分考量。因此，整個緊急循環水系統，在運轉上其可靠度非常高。

3. 設計上之替代最終熱沈

核二廠現行以循環水系統及緊急循環水系統提供移除衰變熱之終極熱沉，其可靠度已非常高。然若當循環水系統及緊急循環水系統均因故喪失時，則現行設計中之替代熱沈則是補水至反應爐，再以 SRV 排放的方式將被反應爐加熱後之蒸氣排出，藉此方式將衰變熱由反應爐帶出至抑壓池。而當抑壓池/圍阻體熱量累積，致使溫度、壓力逐漸上升時，則再由圍阻體 Venting 管道排放至環境（大氣），形成一個替代最終熱沈之途徑。

<u>核三廠</u>

1. 核三廠最終熱沉為海水，廠用海水系統(NSCW)即是抽取南灣海水作為冷卻水。正常的衰變熱移除方式是將水注入蒸汽產生器，水受熱產生的蒸汽，利用主蒸汽管路的蒸汽排放閥排放至冷凝器,如 RCS 壓力降至 30kg/cm^2 以下時，可由 RHR 系統經核機冷卻水系統(CCW)搭配廠用海水系統(NSCW)移除餘熱。
2. 核三廠廠用海水泵與取水攔污設備均安裝在耐震一級結構體內。

(1)機組 NSCW 取水池的容量為 350382 ft^3 （取水池池底 EL.-28’，抽水機房底 EL.-36.5’），以此容量足以供應兩部機組運轉 30 分鐘所需水量，可應付海嘯退水期及退潮期。

(2)支援系統-電源、Travel Screen、備品狀況(含支援系統)

a.迴轉攔污柵是垂直迴轉，由鏈條帶動，必要時，也可以手動迴轉。電源從 2 個安全串受電。

b.均定有維護週期，備品如迴轉攔污柵鍊輪，迴轉攔污柵鍊條，迴轉攔污柵網片足以供應三次大修。

(3)廠用海水結構物內含取水隧道、取水池及抽水機房皆為耐震一級（Seismic Category I structures），設計基準為地表水平加速度 0.4g，因此取水隧道不至於因為地震而崩落堵塞進水口，影響進水量。

(4)進水口結構現況(最新檢測日期與結果)與檢測週期

進水口結構每 5 年檢查一次。一號機組和二號機組已個別於 2010 年及 2009 年檢查。檢查結果發現有部份片塊狀混凝土剝落並已修復完成。

喪失最終熱沉時，機組可由輔助飼水泵補水，維持蒸汽產生器補水及蒸汽排放能力(二次側熱沉)即可將 RCS 降溫降壓。

1.蒸汽產生器產生的蒸汽，經由主蒸汽管路 PORV(動力釋放閥)排放至大氣，可將熱量釋放至大氣。

2.蒸汽產生器可由馬達帶動輔助飼水泵或汽機帶動輔助飼水泵補水，水源來自 CST、DST 及生水池。

3.當只是喪失所有 NSCW 系統，而 CCW 系統流量及泵仍可正常運轉之情況下，CCW 系統能充分冷卻 CCP（因 CCW 系統再循環時，其水流會被環境周溫所冷卻）。CCP 持續運轉對 RCP 軸封和 RCS 提供注水，則可防止 SEAL LOCA 發生，進而避免爐心燃料裸露 。

龍門電廠

1.正常熱沉

正常操作下，循環水系統之水泵(CWP)，將冷凝器熱量移除至大海。反應爐停機後，啟動餘熱移除系統(RHR)之停機冷卻模式，利用反應器廠房冷卻水系統(RBCW)水泵，提供冷卻水至餘熱移除系統(RHR)熱交換器，再將熱移到 RBSW，最後將衰變熱移除至大海。

2.最終熱沉

(1) 龍門電廠移除各系統所產生熱量分別由汽機廠房冷卻水系統(TBCW)、反應器廠房冷卻水系統(RBCW)與主冷凝器移除，上述各系統藉由熱交換器將熱量排放至大海當作最終熱沉，分別由汽機廠房冷卻海水系統(TBSW)、反應器廠房冷卻海水系統(RBSW)與循環水系統(CCW)提供海水做為熱交換使用。其中僅反應器廠房冷卻海水系統(RBSW)被設計執行安全功能，其分析如下：

a. 於喪失冷卻水事件的緊急事故時，設計上僅需兩串能獨立移除設計基準事件熱負載 RBSW systems(每串 50%)即可移除喪失冷卻水事件所需移除的熱量。

b. 反應爐廠房冷卻海水系統(RBSW)進水池設計容量足夠兩部機組三串六台反應器廠房海水泵連續運轉 23.2 分鐘~28.1 分鐘，由於海嘯退潮不到 18 分鐘，海水會再湧進水池圍堰牆之內而使池內水位上升，因此應無海水泵吸不到水的問題。

(2) 反應器廠房冷卻海水系統(RBSW)、反應器廠房冷卻水系統(RBCW)與餘熱移除系統（RHR），各有 3 串，任一串均可維持機組所需最終熱沉，其支援系統分析如下

a.三系統電源皆為安全中壓匯流排(R11-MSWG-0000A4/B4/C4)，除外電 345KV 與 161KV 外另有緊急柴油機為其後備供電系統。

b.反應器廠房冷卻海水系統(RBSW)安全相關通風系統可供給足夠通風使 RBSW 水泵室室溫不超過 40℃。

c.控制廠房安全相關設備區（Safety-Related Equipment Area，SREA）之通風及空調系統供給足夠通風使 RBCW 水泵室室溫不超過 40℃。ESF 之建築物足以承受正常或異常狀況下產生之最大正壓或負壓。在廠房吸氣與排氣口葉片外具有颱風、飛射物屏蔽，以防

止颱風時所捲起之飛射物體由開口侵入。

d.在發生 LDBE（執照有關設計基礎事件-License Design Basis Events）時及導致系統隔離之後，控制廠房安全相關設備區通風及空調系統提供安全有關設備區域可靠的通風。空調設備組使 RHR、HPCF、RCIC 室內空氣循環並以反應器廠房冷卻系統（RBCW）之水來冷卻。

5.1.4.2 可阻止燃料劣化的外部支援措施

核一廠

1.廠內現有設備，例如其他機組的設備

喪失最終熱沉事件，核一廠規劃策略如下

(1)最終熱沈路徑

a.如果喪失最終熱沉，將反應器經 ADS/SRV 的開啟洩壓後，將低壓救援生水或海水注入爐心，低壓救援生水被爐心的燃料加熱蒸發後，透過 ADS/SRV 的開啟將蒸發蒸汽排至抑壓池冷凝，其他氣體及蒸氣則經由圍阻體排氣系統排至大氣。

b.海水當做冷卻水移除聯合廠房冷卻水系統(CSCW)、餘熱移除系統(RHR) 所帶出的熱能。

c. 水冷式柴油發電機(A/B)變通運轉供電模式: 發生複合式災情時，造成緊要海水系統(ESW)不可用, EDG 運轉所產生的熱移除可經由 CSCW 帶到用過燃料池(SFP) ，SFP 所吸收的熱則經由燃料池冷卻系統(SFPACS)帶走，經由其冷卻水塔棄之於大氣。核一廠每部機組燃料池冷卻系統（SFPCS）及燃料池冷卻系統(SFPACS)的冷卻能力足夠去移除 EDG 運轉所產生的熱。以此種方式，可以不需要 ESW 而可保持 EDG 連續操作。

(2)反應爐補水

a.延長/增強爐心隔離冷卻系統(RCIC)補水至爐心運轉期長

爐心隔離冷卻系統(RCIC)是一可同時消耗反應爐內蒸汽(熱量)，又可補水進入反應爐內的系統。RCIC 蒸氣驅動泵之調速器控制需使用直流電源，原設計可使用 8 小時，經切離一部份非必要之負載後可達 24 小時。發生廠區全黑時加強直流電源系統之負載管控，將可增加爐心隔離冷卻系統(RCIC)及安全釋壓閥(SRV)使用時間。

b.喪失RCIC 補水時替代爐心補水強化因應措施

當發生廠區全黑狀況致使緊急爐心冷卻系統（ECCS）不可用，且高壓爐心注水系統(HPCI)與爐心隔離冷卻系統(RCIC)尚可使用時，必須立即進行反應爐控制性降壓。若高壓爐心注水系統(HPCI)與爐心隔離冷卻系統(RCIC)亦失效時，開啟釋壓閥(SRV)將反應爐迅速降壓至小於 0～6 kg/㎝ 2，以使低壓之替代水源，如消防水(生水)、移動式抽

水機或消防車注水。RHR 系統管路可拿來當注水流徑。電廠現行設計有替代注水流徑，可將位於 78 公尺高處之 3000 噸(X2) 生水池生水靠重力方式灌水進入反應。

(3)圍阻體熱移除與逸氣

發生喪失最終熱沉時，需將反應爐緊急洩壓，將大量之反應爐內熱量移至一次圍阻體內，抑壓池水溫會急速上升，在燃料裸露過熱的情況下會產生氫氣，並可能造成抑壓池溫度與一次圍阻體壓力高於設計限值，因此必需將一次圍阻體內壓力釋放，以保護一次圍阻體完整。

2.確認主要瀕危效應發生的時間

事故發生後，至抑壓槽壓力上升至壓力限值前，一次圍阻體氣體控制系統(PCACS) ，可先從抑壓槽進行逸氣排放，抑壓池水可吸收過濾放射性物質及減少其釋放量)；再經備用氣體處理(SBGT)系統抽氣處理後排放至廠界。若無效再從乾井進行排放。另核一廠機組裝設有圍阻體洩壓系統(Direct Torus Venting System)，在一次圍阻體內壓力上升達到 50psig 時，可利用本系統洩放一次圍阻體壓力，避免超過壓力限值，維持一次圍阻體的完整性。

若反應爐洩壓及注水併行策略執行至約 40 小時，抑壓池水位上升將達抑壓池排氣管口高度，會造成抑壓池無法進行排氣洩壓，如果不採行任何措施，圍阻體完整性將受衝擊。

<u>核二廠</u>

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備

當電廠發生喪失最終熱沉，但仍有電力狀況，廠內另部機組支援的設備有：

(1) 消防水經 RHR-B 系統注水至反應爐。

(2) 透過另一部機組之冷凝水系統(CST)，補充反應爐蒸發之水量。

2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

(1) 核二廠 345kV 系統與核一廠及協和電廠均各有一路專線直接連結配置。

(2) 由台電採購 6 台 4.16kV 1500kW 移動式柴油發電機電源車，核二廠配置有 1 台，其餘 3 台在核一廠及龍門電廠，必要時可提供核二廠使用。

3. 上述任一系統操作運轉所需時間

消防水補水入反應爐方式約 40 分鐘。

4. 執行操作合格人員的可用性

執行操作之人員均經訓練及演練測試，可完全勝任操作要求。

5. 確認主要瀕危效應發生的時間

在廠區仍有電源但卻喪失最終熱沉時，(如同前述 5.1.3.5 之評估說明，經由補強措施)，亦即透過 RCIC 或其他 ECCS 系統補水。再以 SRV 排放的方式將被反應爐加熱後之蒸氣排出，藉此方式將衰變熱帶出反應爐至抑壓池。再經過各種操作，包括持續從其他水源補水至抑壓池，或是進行圍阻體 Venting 等，可持續處理由反應爐帶出之餘熱，因此不會發生燃料劣化之瀕危效應。

核三廠

1.當馬達帶動輔助飼水泵與汽機帶動輔助飼水泵皆不可用時，另有一台柴油引擎帶動輔助飼水泵可對蒸汽產生器補水。

2.當所有型式輔助飼水泵皆不可用時，另可安排柴油引擎消防泵對蒸汽產生器補水。

3. 假設廠內另部機組未受損，從另部機組提供可用的設備：

另部機冷凝水儲存槽 CST、DST 可連通，提供輔助飼水泵水源。

另部機柴油引擎帶動輔助飼水泵可連通，提供蒸汽產生器補水。

4. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備：

消防車補水至 CST、RWST、SFP、RCS，現有消防水箱車 1 台容量 7 噸。屏東縣消防局配置有水庫車 10 噸 2 台；12 噸 2 台；水箱車 3 噸 1 台；3.5 噸 4 台；小水車 1 噸 4 台。廠外水源可取自#2、#3 號深水井、龍鑾潭、牡丹水庫、海水。

5.上述操作運轉所需時間：

(1) 柴油引擎帶動輔助飼水泵起動：1 小時，每部機各 2 人。

(2) 連接消防水系統，進行蒸汽產生器補水：30 分鐘，2 人。

(3) CST 連通：15 分鐘，1 人。

(4) DST 連通：15 分鐘，每部機各 1 人。

(5) 消防車由龍鑾潭取水：1 小時，3 人。

6.執行操作合格人員的可用性：

(1) 針對平時運轉及緊急搶修人力，包含電廠人員、外單位支援人員、協力廠商人員等，其相關之輻射防護訓練，已有完整的規範，並適當的訓諫。

(2) 各維護組依緊急計劃任務編組，並依專長、証照建立支援人員連絡名冊，包括連絡電話、地址，可先徵召恒春地區人員，做為緊急時任務分配之依據。

7.確認主要瀕危效應發生的時間：

CST 可用容積 2,680 噸約可使用 40 小時。DST 可用容積 378.5 噸約可供使用 6 小時，共約 46 小時。若輔助飼水泵改由生水取水，10 萬噸生水池約可供兩部機同時使用 32 天。

龍門電廠

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備

對電廠喪失所有最終熱沉事件，規劃有因應措施如下：

(1)反應爐熱移除

a.RBSW 系統功能若因海嘯來襲而喪失，其因應措施首先將反應爐洩壓至濕井，濕井逸氣至外界來作為被動式熱沉能力；同時，利用廠內各種可取得之水源經由 ACIWA 持續補水至反應爐。

b.喪失 RBSW 海水冷卻時，但 RBCW 仍可用時則利用下列之一方法：

(a)利用充放(Feed & Bleed)RBCW 方式供應冷卻水至 RHR/EDG 熱交換器，而補充水來源由消防水或 Makeup Water System 系統提供至 RBCW Surge Tank。

(b)臨時泵於出發井抽取海水並由臨時管接至 RBCW 熱交換器。

(2)反應爐補水

如 5.1.2.3 項下第三第四點敘述

(3)圍阻體熱移除與逸氣

發生喪失最終熱沉時，需將反應爐緊急洩壓，將大量之反應爐內熱量移至一次圍阻體內，抑壓池水溫會急速上升，在燃料裸露過熱的情況下會產生氫氣，並可能造成抑壓池溫度與一次圍阻體壓力高於設計限值，因此必需將一次圍阻體內逸氣，以保護一次圍阻體完整。

而龍門電廠之大氣控制系統(ACS)，在事故發生後，至抑壓槽壓力上升至壓力限值前，可先從抑壓槽進行逸氣排放，經抑壓池水吸收過濾可減低放射性物質釋放量。再經備用氣體處理(SBGT)系統抽氣處理後，將氣體排出，降低一次圍阻體壓力，若無效再從乾井進行排放。另龍門電廠機組裝設有圍阻體過壓保護系統(COPS)，在濕井壓力上升達到 652kpaG 時，Rupture Disk 會破裂洩放一次圍阻體壓力，避免超過壓力限值，維持一次圍阻體的完整性。

2. 可採行的措施以預防燃料熔毀適用 5.1.3.4 項下 2,3,4,5,6(3)。

5.1.4.3 強化防護能力的措施

<u>核一廠</u>

1. 強化最終熱沈

在設計基準下，緊要海水系統只要有一迴路運作，就足以應付緊急狀態下爐心燃料衰變熱及安全有關機件冷卻的熱移除，核一廠已建立萬一緊要海水泵馬達受損時迅速更換之機制，目前緊要海水泵僅有一台備用馬達，為確保充足備品，正辦理增購一台備用馬達儲放在高處倉庫。

2. 增加熱移除路徑

核一廠既有之新增燃料池冷卻系統(SFPACS)廠房結構耐震 1 級且設備為安全等級 1（除冷卻水塔外），座落在海平面 100 英呎(30.48 公尺)以上，不受地震、海嘯影響，可靠度高。大修時用過燃料的衰變熱經由冷卻水塔將熱移除至大氣，最終熱沈即為大氣。SFPACS 系統於反應器停機約 12 小時後，可完全移除爐心的總衰變熱，惟目前此系統並未和 RHR 系統連接，已辦理改善設計。待相關改善完成後，即能應付並減緩甚至終止類似福島複合式災變的衝擊。

另新增燃料池冷卻系統仍需電力供給，為確保可靠的電力來源，已規劃配置移動式備用 480VAC 柴油發電機，供給備用電源。並規劃在 RHR 系統迴路分別加裝一台增壓水泵及管路。一旦改善設計落實，可由反應爐、抑壓池水取水，打至 SFPACS 系統熱交換器冷卻後，再打回反應爐、抑壓池或乾井；另新增用過燃料池冷卻系統(SFPACS)一次及二次側已進行設計修改案，規劃配置移動式備用 480VAC 柴油發電機，以有效提升其可靠度。反應器及爐水熱移除路徑已於先前的報告中指出。

3. 反應爐補水

4 種不同反應爐補水路徑已於先前的報告中指出。核一廠已成立 10 萬公噸生水池增設管路之設計改善案，使不需動力即可由 10 萬公噸容量的兩個大生水池靠落差補充水源至廠內。目前台電正進行"核能電廠之生水池耐震評估及補強工程"，並包含生水池耐震評估及生水池供水系統耐震評估。

4. 爐心隔離冷卻系統(RCIC)運轉時，其排放蒸汽係排放至一次圍阻體之抑壓池，長期運轉將使得背壓上升，最終導致爐RCIC無法運轉。因此，核一廠已研擬如何加強一次圍阻體內逸氣，以降低一次圍阻體內壓力，延長RCIC之運轉期長來針對發生喪失熱沉或電廠全黑事故。規劃增設旁通備用氣體處理系統(SBGT)之增壓風扇、閥及管路，並配合增購之移動式480VAC柴油發電機供電配置，可有效發揮逸氣、氫氣稀釋、排除作用。並降低一次圍阻體的壓力及延長RCIC的操作使用時間。

5.補水水源結構體評估、強化

因應強震帶來之損傷，核一廠已著手評估各項耐震等級提升之作業

(1)核一廠現正執行消防管路明管化改善工程，此改善工作可增加生水主管路之可靠度及災後維護及管路更換之效率，預訂 102 年 07 月 31 日前完成。

(2)已辦理設計改善案評估、改善生水主管路的局部彈性，於特定地點連接撓性管路，以吸收地震錯位造成之位移，讓管路不致輕易被扯壞。

<u>核二廠</u>

1.一次圍阻體熱量移除能力強化

(1) 經由移除連鎖操作，可由圍阻體排氣系統或備用氣體處理系統(SGTS)排氣。

(2) 手動引動上池洩水(DRAWDOWN)、或引用凝結水儲存槽(CST)、輔助凝結水儲存槽(ACST)、除礦水儲存槽(DST)、輔助除礦水儲存槽(ADST)，補水至抑壓池，增加抑壓池熱沉容量。

2.緊急循環水(ECW)系統強化因應措施

(1) 替代冷卻水至餘熱移除系統

電廠已建置（程序書 1451）當 ECW 熱沉喪失時，以消防水槽提供替代冷卻水至餘熱移除系統(RHR)熱交換器，以移除抑壓池熱量或反應爐餘熱之操作流程。

(2)馬達之緊急更換作業

備用 ECW 馬達已添購。電廠已建置完成人員進行緊急搶修 ECW 馬達之作業機制，並經實際驗證可於 4 小時內恢復一部機之一台緊急循環水泵可用。核二廠目前緊急循環水泵馬達已有二台備用馬達，足以提供兩部機組均可有一台緊急循環水泵馬達作為緊急更換之用。

(3) 防海嘯能力強化

ECW 馬達廠房已增加防水牆至天花板且相關穿越孔皆填封封堵，經改善完成之 ECW 海嘯上湧防護高度與地面同為 12 呎。

(4) 緊急循環水進水口集水池堆積物緊急清理。

如果 ECW 入口夾雜大量碎片，使得格網阻塞影響泵取水，導致機組喪失最終熱沈。核二廠現有 10 噸/13.5 噸/20 噸/30 噸移動式吊車四台、大卡車二台，可緊急清理與移除「第一道固定攔污柵」前端淤積雜物，同時段擬申請軍方挖土機與大型機具及所需人力等，協助清理集水池。

相關之緊急操作步驟均已加入程序書內，說明在發生上述狀況時如何處置。

<u>核三廠</u>

1. 已完成增設鐵格板設施於原廠用海水泵進口取水池頂部，以防止海嘯侵襲時所挾帶之大型垃圾、雜物等入侵該取水池，因而減低廠用海水泵受到異物造成損壞的機會。
2. 避免因海水侵入已完成水密牆及水密門等封堵措施，實體分隔廠用海水泵馬達及相關電氣設備以預防因海水侵入而使所有的馬達同時故障。經改善完成之廠用海水泵馬達室海嘯上湧防護高度與主體泵室排風設備層高度相同，同為12.6公尺。
3. 廠用海水取水口較大之雜物(樹枝、垃圾)由人工在取水口攔污柵打撈。
4. 如迴轉攔污柵失效，則利用人工在集水池和固定攔污柵前打撈雜物，以確保NSCW

泵水源乾淨。(核三廠現有20噸/60噸吊車各1台，15噸大卡車1台可支援清理作業，並於SOP 1451建立緊急進水口垃圾清運程序。)

6. 核三廠已備儲5台廠用海水泵馬達可供緊急更換之用，已於SOP1451建置人員進行緊急搶修廠用海水泵馬達之作業機制，以期可於7小時內完成廠用海水泵馬達之更替作業。(搬運2小時，更換5小時)

7. 電廠將新購消防泡沫車1台，容量7噸；消防水庫車1台，容量12噸。

<u>龍門電廠</u>

1.強化最終熱沉

在設計基準下，反應器廠房海水系統只要有一迴路運作，就足以應付緊急狀態下爐心燃料衰變熱及安全有關機件冷卻的熱移除，龍門電廠已規劃緊急海水冷卻系統復原計劃，並購妥 RBSW 及 RBCW 備用馬達供緊急更換。萬一反應器廠房海水泵馬達受損時可迅速更換受損馬達。

2.增加熱移除路徑

同 5.1.4.2 Item 1 (1)所述。

3.反應爐補水

(1)可移動式柴油發電機供電給 CSTF 浮動充壓泵將 CST 儲水由 ECCS 管路打入反應爐或利用重力補水。

(2) 可移動式柴油發電機供應 SLC 馬達由測試槽取水打入反應爐。

(3) 以臨時泵於出發井取海水經飼水管路或消防管路打入反應爐。

4.一次/二次圍阻體之排氣

針對發生喪失熱沉或電廠全黑事故時，龍門電廠已進行規劃配合增購之移動式 480VAC 柴油發電機及必要措施以強化一次/二次圍阻體之排氣功能。本措施可精進排氣功能，及稀釋、排除一次圍阻體內累積的氫氣。相關措施如下：

(1) 一次圍阻體排氣路徑

A.可移動式柴油發電機供應 SGTS 風扇電源及 FCS 加熱器電源。

B.圍阻體隔離閥皆位於 CTMT 外側，事故發生後人員可接近操作設備開啟後固定於全開位置。

(2) 二次圍阻體排氣路徑：兩個二次圍阻體逸氣路徑已確定

5.補水水源結構體評估、強化

為因應強震帶來之損傷，龍門電廠已著手評估各項耐震等級提升之作業。

(1)新增一套生水池輸送管路為明管且為耐震 IIA 級之設計。新增管路完成後現輸送管路

不移除但關閉水池出口隔離閥，避免該管路損壞時造成池水流失。

(2)新增明管生水主管路需具備局部彈性，於特定地點連接彈性管路，以吸收地震錯位造成之位移，讓管路不致輕易被扯壞。

5.1.5 廠區全黑下喪失最終熱沉

5.1.5.1 燃料劣化前廠內的自主運轉能力

核一及核二廠

廠區全黑（喪失所有交流電源）所導致爐心熔毀的速度快於喪失主要最終熱沉。因此，5.1.3 的結果也可代表廠區全黑下喪失最終熱沉的結果。

核三廠

1.核三廠發生廠區全黑(SBO)時，最終熱沉也同時喪失，因此，有關廠內自主能力設計的要求，參考上述 5.1.3.3 敘述(唯柴油引擎帶動輔助飼水泵並非原設計即有，而是核三廠在 2001.3.18 發生廠區全黑事件後新增的設備)。此時，機組係由二次側熱沉移除熱量，持續將一次側降溫、降壓。

2.若機組滿載運轉時，發生全黑事件且同時喪失二次側熱沉（SG 無法移除熱量，無法復電以致 CCP 無法維持 RCP 軸封注水），則爐心可能在 2 小時內受損。

龍門電廠

5.1.3 的結果也可代表廠區全黑下喪失最終熱沉的結果。

5.1.5.2 可防止燃料劣化的外部支援措施

核一及核二廠

5.1.3 的結果也可代表廠區全黑下喪失最終熱沉的結果。

核三廠

1. 發生廠區全黑(SBO)時，最終熱沉已同時喪失，因此，有關防止燃料劣化的外部支援措施，參考上述 5.1.3.4 與 5.1.4.2 敘述。此時，機組係由二次側熱沉移除熱量，持續將一次側降溫、降壓。
2. 在發生廠區全黑事件後，對於維持二次側熱沉之正常運作以移除一次側熱量議題上，有所檢討與改善措施如下：

(1)每部機各裝置一台 480HP、轉速 1800rpm 的六缸柴油引擎帶動輔助飼水泵，泵出口壓力在 860psig 以上，額定流量為 360gpm。水源可來自 CST、DST 及生水，且兩部機組泵互相連結。若蒸汽產生器壓力降至 60kg/cm^2 以下即可進行補水作業。

(2)連接至消防水系統，可由柴油引擎消防泵補水。該消防泵額定流量 1500gpm，蒸汽產生器壓力須降至 9kg/cm^2 以下進行補水至作業。

(3)用消防車可以補水，流量約 250gpm，出口水壓約 6-10kg/cm^2。蒸汽產生器壓力須降至 6kg/cm^2 以下進行補水作業。(操作程序依 1451 斷然處置指引程序處理)

(4)以上之三項之蒸汽產生器降壓方式，可現場手動開啟 SG PORV(動力釋放閥)將蒸汽排放至大氣。

3. 若無法由蒸汽產生器或 RHR 系統執行一次側降溫降壓時，則進行反應爐洩壓以利進行反應爐直接補水作業：

(1)由調壓槽動力釋放閥洩壓至壓力釋放槽。

(2)由反應爐頂部排氣閥排放至壓力釋放槽。(規劃 480V 移動式柴油發電機供至安全串充電機以提供直流電源)

(3)依程序書 1451 斷然處置指引程序執行。

4. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備：

若萬一無法自廠用海水取水隧道取得海水，核三廠可考慮列入後援熱沉的水源如下。

備註

(1)1~~3 項消防水槽/生水池原設計耐震等級僅依內政部建技規則要求設計。

(2)#2、#3 深水井總出水量為 2.56 噸/分。

(3)消防水車可赴牡丹水庫(其他更遠或更高程淡水源)抽取生水

(4)消防水車或臨時抽水泵可於泵室碼頭抽取海水。屏東縣消防局消防車配置：水庫車 10 噸 2 台，12 噸 2 台。水箱車 3 噸 1 台，3.5 噸 4 台。小水車 1 噸 4 台。

5. 確認主要瀕危效應發生的時間

CST 可用容積 2,680 噸約可使用 40 小時。DST 可用容積 378.5 噸約可供使用 6 小時，共約 46 小時。若輔助飼水泵改由生水取水，10 萬噸生水池約可供兩部機同時使用 32 天。

台電公司核安處於 100 年 9 月完成核三廠斷然處置分析報告。本報告的分析目的在於利用先進之 RELAP5-3D 系統事故分析程式模擬斷然處置措施執行時之情境與步驟，藉由量化計算出在不同情境下所需注入生水或海水之最小流量，以確保爐心燃料溫度不高於燃料護套明顯開始氧化之溫度(1500°F)。由分析結果可得以下結論：

(1) 假設在電廠全黑發生之前(事件發生 10 分鐘內)，包含 MDAFW 與 TDAFW 之輔助飼水系統皆可運作，那麼二次側蒸汽產生器水位即可維持在接近正常水位。倘若事件發生之後一小時內，TDAFW 仍可持續運轉，如此二次側便可先執行控制降壓動作，當 TDAFW 失效必須啟動緊急降壓操作時，二次側蒸汽產生器即可維

持在低壓力(12kg/cm^2)高水位之有利狀態。由此狀態執行 SG PORV 緊急洩壓後，爐心冷卻水仍可維持自然循環之流量(約為事件發生前初始流量之 4.36%)，且燃料完全被爐心冷卻水所覆蓋，最高燃料護套溫度亦遠低於開始氧化之溫度(1500°F)。

(2) 假設當 SG 壓力降至 60psia 時開始注入生水或海水，分別以注水流量為 500gpm 至 2000gpm 等五組流量進行分析，得到使 SG 窄幅水位開始上升所需之最長與最短時間分別為 24.3 小時(500gpm)及 2.8 小時(2000gpm)，使水位升至正常水位(50%)之時間則為 38.2 小時(500gpm)及 3.2 小時(2000gpm)。

(3) NSSS 之長期平衡壓力約 500psi，NSSS 之自然對流流量則約為 4.3%，Accumulator 於降壓時注水量約為原始存量之 24%，而最高燃料護套溫度為 441°F。

(4) 如假設事件發生後 0 小時發生 RCP 軸封洩漏狀況(Seal LOCA)，一次側會有 75gpm 之冷卻水量流失。分析結果顯示由於爐心冷卻水將持續流失，因而造成燃料未能被冷卻水長期覆蓋而使得燃料護套溫度竄升； SBO 發生後 8 小時爐心水位(collapsedwater level)降至燃料頂部，軸封洩漏發生後 9 小時燃料溫度開始迅速竄升。

<u>龍門電廠</u>

5.1.3 的結果也可代表廠區全黑下喪失最終熱沉的結果。

5.1.5.3 強化電廠建全性的預期措施

<u>核一及核二廠</u>

5.1.3 的結果也可代表廠區全黑下喪失最終熱沉的結果。

<u>核三廠</u>

1. 後備補水路徑

3 種 RCS 後備補水路徑已於先前報告中說明

2. 圍阻體後備灌水

3 種圍阻體後備灌水路徑已於先前報告中說明。現有消防水箱車 1 台容量 7 噸；新購消防泡沫車 1 台容量 7 噸；消防水庫車 1 台容量 12 噸(10.12.31 前到貨)。屏東縣消防局第四大隊消防車配置水庫車 10 噸 2 台，12 噸 2 台；水箱車 3 噸 1 台，3.5 噸 4 台；小水車 1 噸 4 台。

3. RWST 及 CST 後備補水路徑

RWST 及 CST 後備補水路徑已於先前報告中說明。

4. 蒸汽產生器補水後備水源

從後備水源 50000 噸生水池、2000 噸生水池、5000 噸消防水槽進入蒸汽產生器補水路徑已於先前報告中說明。

5. 蒸汽產生器洩壓：如無電、無儀用空氣可用手動開啟蒸汽產生器 PORV

6. RCS 洩壓：由(PZR) PORV 或爐頂排氣閥洩壓，DC 電源需 480V 移動式柴油發電機提供給 PK 充電機。

7. 圍阻體洩壓

上述操作與電源(480V 移動式柴油發電機供電給 MOV)、氣源及支援系統操作的步驟與決策機制，依 1451 斷然處置指引程序處理，已訓練完成。

8. 檢視生水池槽體管路的耐震能力及完整性

(1)依地震小組評估再進行補強或改善措施。

(2)將生水管路明管化，增加生水主管路之可靠度及災後維護或更換管路之效率。(預定 101 年 12 月 31 日完成)

(3)配合生水管路明管化，研究改善生水主管路的局部彈性，於特定地點連接彈性管路，以吸收地震錯位造成之位移，讓管路不致輕易被扯壞。(預定 103 年 12 月 31 日完成)

(4)配合生水管路明管化，研究於生水 A/B 池與主管路間增設斷管超流控制閥，以因應萬一管路破斷造成生水完全洩漏之衝擊。

(5)生水管斷管處置措施，依 1451 斷然處置應變準則處理。(隔離避免水源流失，土石流與修護，已完成演練)

<u>龍門電廠</u>

由 5.1.3 也可知廠區全黑下最終熱沉損失。

5.2 用過燃料池

5.2.1 喪失廠外電源

5.2.1.1 後備電源供/配電設計基準

<u>核一廠</u>

1. 用過燃料池補水系統

(1) 凝結水貯存槽 (Condensate Storage Tank, CST)容量為 50 萬加侖，屬耐震一級設計，CST 系統為耐震一級設計，其電源為非緊要電源，包含兩台泵，每台額定 500 gpm，馬達 60HP(480V MCC 1A-2 或 2A-2)。於正常運轉中至少維持可用水量 25 萬加侖以上。

(2) 除礦水貯存槽(Demineralized Water Storage Tank , DST)容量為 5 萬加侖，屬耐震

二級設計，其電源為非緊要電源，包含兩台泵，每台額定 275 gpm，馬達 40HP(480V MCC 1A-2 或 2A-2)。於正常運轉中至少維持可用水量 1 萬加侖以上。

2. 用過燃料池系統電源

(1) 用過燃料池冷卻系統(Spent Fuel Pool Cooling System, SFPCS)冷卻水泵由緊要電源供電(480V MCC 3A-1 或 4A-1)。

(2) 新增用過燃料池冷卻系統(Spent Fuel Pool Additional Cooling System , SFPACS)冷卻水泵由緊要電源供電(480VMCC 3A-7 或 4A-7)，其後備電源為非緊要電源(480V POWER CENTER 2A 或 1A)。

(3) 用過燃料池水位/溫度儀器監控電源為控制室 120VAC 儀用電源(IDP-120V-1 及 2，分別來自緊要電源之 480V MCC 3A-1 及 4A-1)。

其電廠相關之供/配電系統設計說明如 5.1.1.1 節，當喪失廠外電源時，用過燃料池冷卻設備及水位/溫度之監控系統可由 4.16kV 匯流排之緊急柴油發電機/第 5 台柴油機發電機/氣渦輪發電機供電，繼續達成其冷卻之功能，但此緊急 AC 電源將不供應用過燃料池補水系統所需電力。然而，在喪失廠外電源時，用過燃料池水位與溫度應不致立即變化至有安全顧慮之地步，補水作業可有較充裕的時間進行處理。

核二廠

廠內配電系統概分為核能安全有關緊要供電及非核能安全有關廠用供電系統。非核能安全有關廠用供電系統(供給 CST 傳送系統、用過燃料池冷卻淨化系統及外部循環水系統)配合安全有關緊要供電系統用以提供正常用過燃料池內的用過核子燃料冷卻所需之負載電源，而安全有關緊要供電系統（供給用過燃料池緊急補水系統、RHR 替代用過燃料池冷卻系統及緊急循環水系統）亦提供各用過燃料池內的用過燃料緊急冷卻相關負載電源，以確保用過燃料池內的用過核子燃料安全。電廠相關之供/配電系統設計說明請參閱第 5.1.1.2 節說明。

提供用過燃料池內的用過核子燃料緊急冷卻及緊急補水相關負載電源之緊急柴油發電機共分為兩區，分別獨立供電至各區緊要匯流排。

核三廠

核三廠兩部機組各有一個位於燃料廠房內的用過燃料池，為耐震一級鋼筋混凝土牆結構，表面襯以不鏽鋼板。池內設置亦為耐震一級不鏽鋼燃料架以貯存用過燃料。依現行設計基準，核三廠用過燃料池冷卻及補水系統說明如下：

1. 冷卻系統

每部機組各有兩串獨立用過燃料池冷卻系統。每串具有 100%流量的冷卻水泵、熱交

換器及相關管路，均為耐震一級設計。冷卻水泵電源分別由安全有關電源匯流排 A/B-PB-S01 供電，喪失廠外電源時可由緊急柴油發電機或氣渦輪發電機供電。核機冷卻水(CCW)提供熱交換器之冷卻水，然後將熱量轉給廠用海水系統(NSCW)，再轉交給最終熱沉(南灣)。CCW 及 NSCW 相關水泵電源亦由安全有關電源匯流排 A/B-PB-S01 供電。設計上，每一串支系統在正常運轉時，能移除整個爐心在停機後 150 小時的熱負載，加上前一次更換下來已冷卻一年的 72 支燃料組件之熱負載，再加上以前所更換下來的，總共 2160 支燃料組件的熱負載，而能維持水溫小於 140℉。而本系統設計的最大熱負載是能移除整個爐心在停機後 150 小時的熱負載，加上 72 支停機 36 天後的燃料組件，再加上以前所更換下來的燃料組件，總共 2160 支燃料組件的熱負載，而水溫能維持在 150℉以下。

2. 補水系統：

(1) 正常補水是來自除礦水儲存槽(DST)，貯水量是 10 萬加侖，補水流量率 215 gpm。若有補充硼酸水的需求時，則由燃料更換水儲存槽(RWST)，經用過燃料池池水淨化系統補水。RWST 硼酸水的硼濃度為 2400~2500ppm，貯水量約 46 萬加侖，補水流量率 100 gpm。

(2) 緊急時以兩台獨立、耐震一級設計之 CST 傳送泵(各 210 gpm)補水，自冷凝水儲存槽(CST)(為耐震一級水槽，貯水量為 75 萬加侖)取水，CST 傳送泵電源分別由安全有關電源匯流排 A/B-PB-S01 供電，喪失廠外電源時可由緊急柴油發電機或氣渦輪發電機供電。

用過燃料池之冷卻，平常時由兩串獨立具 100%容量之用過燃料池冷卻系統(Spent Fuel Pool Cooling System , SFPCS)迴路擇一執行冷卻功能。平時池水因蒸發或者管閥洩漏而使水位下降，或者當 SFPCS 兩迴路均無法執行冷卻功能，導致池水因溫度上升加速蒸發甚至沸騰而使水位下降時，可利用相關補水系統進行補水，避免用過燃料池內用過核子燃料劣化。

當喪失廠外電源時，由 A、B 台緊急柴油發電機組供給安全有關電源匯流排 A/B-PB-S01，並由 A/B-PB-S01 供電給用過燃料池之冷卻及緊急補水系統相關泵，此時用過燃料池之冷卻及緊急補水功能可由運轉員在需要時起動運轉，則用過核子燃料不致劣化。

<u>龍門電廠</u>

1. 用過燃料池補水系統

(1)反應器廠房

a. 用過燃料池冷卻與淨化系統(Fuel Pool Cooling and Cleanup, FPCU)具有2個100％容量的skimmer-surge水箱，2個100％循環水泵，2個100％過濾-除礦（F/ D），及2個50％的熱交換器。用過核子燃料衰變熱移除則是由具有2迴路的RBCW和RBSW系統執行。

b. 除了過濾-除礦相關的管路與馬達為耐震二-A 級設計外，其餘 FPCU 系統元件皆為耐震一級設計。

c. 用過燃料池補水有下列方式： (A)自抑壓池或冷凝水儲存槽(CST)經由液壓池淨化系統(Suppression Pool Cleanup System, SPCU)補水； (B)自抑壓池經由餘熱移除系統(RHR) A/B/C 補水；(C)自消防水系統、消防水車或生水池經由餘熱移除系統(RHR) -C 管路系統補水; (D)自冷凝水儲存槽(CST)取水，利用冷凝水儲存與傳送系統(Condensate Transferring System, CSTF)經由餘熱移除系統(RHR) A/B/C 或燃料池冷卻與淨化系統(FPCU) surge tank 補水。

d.利用 SPCU 泵(480VAC/75kW、電力來源：R12-LSWG-0100B1-5C、額定容量：250 m^3/h)自用過燃料池補水池或 CST(4340 噸)抽水，或利用 CSTF 上充泵(480VAC/22.5kW、電力來源：R12-MCC-5020A1-5A、額定容量：30 m3/h) 自 CST 抽水經由 SPCU/CSTF/RHR 管路與 FPCU 至用過燃料池。.

(2) 輔助燃料廠房

a. 輔助用過燃料池冷卻及淨化系統(Auxiliary Fuel Pool Cooling and Cleanup, AFPC)為耐震二-A 級設計。此系統具有 2 個 100％容量的 skimmer-surge 水箱，2 個 100％循環水泵，1 個 100％過濾-除礦（F/D），及 2 個 50％的熱交換器。電力由非安全相關匯流排提供。

b. 根據現有設計，輔助用過燃料池補水是由冷凝水儲存與傳送系統(CSTF)提供。

2. 用過燃料池冷卻與淨化系統電力來源

(1)反應器廠房之用過燃料池

a. 燃料池冷卻與淨化系統(FPCU) 泵由非安全有關電源中心((480VAC/93.3kW, R12-LSWG-0200A2-5B or R12-LSWG-0300C3-5A)供電。

b. 燃料池冷卻與淨化系統之冷卻水是由 DIV I/II RBCW 提供，其電源是由安全相關匯流排 A4/B4 及下游 MCC 提供。

c. 餘熱移除系統(RHR)用過燃料池冷卻模組有三串，大修期間可由其中任一串模組冷卻移至用過燃料池的燃料。

d. 用過燃料池水位/溫度監控儀器(G41-LT-0012A/B/ G41-TE-0013)是由控制室

120VAC 儀器電源及 120 V ICP 提供。(這些電力是由非安全性 CVCF 電源, R14-PPL-0220A3 與 R13-PPL-0110A3/0110B3 提供)。

(2) 輔助燃料池冷却能力

a. AFPC 泵由 0R12-LSWG-1200B2-4B / 2200B2-4B 供電

b.燃料池水位/溫度儀器監控 0G42-LT-0010A/B/ G41-TE-0013 電源為 120VAC 儀用電源(1/2R13-PPL-0130C3 及 0R12-FUBX-1212B2)。.

3. 龍門核能電廠的配電設計特點請參閱第 5.1.1.1 節。根據設計描述，龍門核能電廠每一個 4.16KV 緊要匯流排皆連接一台緊急柴油發電機。若發生廠外電源喪失情況，緊急柴油發電機將會自動啟動且於 20 秒內達到額定轉速及電壓而後斷路器自動投入供電，以提供緊要匯流排必要之電力。如果 DIV I/II/III 緊急柴油發電機其中任何一個成功地提供電力，反應器將會維持在安全停機狀態。龍門核能電廠在設計上亦備有第 7 台柴油機做為兩部機第 I/II/III 區之後備柴油機，當任何一個機組之緊急柴油機無法擔負緊要供電功能時，均可以第 7 台柴油機即時替代供電。

5.2.1.2 廠內電源供應的運轉時間

核一及核二廠

當喪失廠外電源時，電廠設計上仍有緊急柴油發電機會自動投入運轉維持電廠各項緊要系統之電力供應，緊急柴油發電機自備燃油儲存槽可供運轉時間。請參閱第 5.1.1.2 節之內容說明。

核三廠

用過燃料池冷卻及緊急補水系統之電源，主要由 A、B 台緊急柴油發電機供電，故冷卻及緊急補水系統可運轉時間，取決於 A、B 台緊急柴油發電機可運轉時間。

有關 A、B 台緊急柴油發電機燃油與起動空氣等支援運轉期，請參閱第 5.1.1.2 節說明。

核三廠用過燃料池水位及溫度儀器由非安全相關系統供電，當喪失廠外電源時，尚可由非安全相關系統的 DC 電池供電約 2 小時。在此期間內，運轉員可將電力供應來源切換至安全有關匯流排 A/B-PB-S01 以維持相關設備之監控功能。若運轉員未能於 2 小時內進行切換動作，控制室將喪失監控用過燃料池水位及溫度之能力。

龍門電廠

在喪失廠外電源情況下，非安全相關匯流排將無法提供交流電源。燃料池冷卻與淨化系統(FPCU) 將無法正常運轉且無法提供冷卻水至用過燃料池。在此情況下，餘熱移除系統(RHR) FPC 模組將會運轉以執行用過燃料池補水與冷卻功能。緊急柴油發電機的燃料與冷卻方式請參閱第 5.1.1.2 節說明。其支援系統描述如下：

(1)啟動與控制電力由 DIV 125VDC 提供。

(2)每台柴油發電機都有一個獨立的空氣起動系統，各有兩台由電動馬達帶動的空氣壓縮機，壓縮空氣經由空氣乾燥機傳送至空氣貯存槽。壓縮空氣自貯存槽傳送至緊急柴油發電機共有 2 個路徑，每一個路徑具有兩個空氣啟動馬達。空氣貯存槽可提供連續 5 次之壓縮空氣給緊急柴油發電機而無須啟動空氣壓縮器。

(3)冷卻水是由 Div. I & II 安全相關反應器廠房冷卻水系統(RBCW) 所提供。被反應器廠房冷卻水系統(RBCW)吸收的熱量將由反應器廠房廠用海水系統 (RBSW)移除，此系統被視為最終熱沉。

5.2.1.3延長廠內自主供電時間的方法

核一、核二及核三廠

可由各廠輔助鍋爐油槽或氣渦輪機油槽補充燃油方式來延長廠內緊急電源(柴油發電機)運轉時間，詳細資訊請參閱第 5.1.2 節。

龍門電廠

每部緊急柴油發電機(EDG A/B/C)各有一只日用油槽，此日用油槽設有室外緊急補油口，可由此補油。

5.2.2 喪失廠外電源及廠內後備電源(EDG)

5.2.2.1 設計要求

當喪失廠外電源及廠內後備電源時，四座核能電廠均配置有兩部機組共用之緊急柴油發電機與氣渦輪發電機來提供必要的 AC 電力來源。除此之外，馬鞍山核能電廠另具有第三電源供電給安全有關電源匯流排。

核一及核二廠

當電廠喪失廠外電源及廠內後備電源(EDG)，電廠仍具有另樣式備用電源（第五台緊急柴油發電機與氣渦輪發電機）可以提供各項緊要設施之電力供應，其設計要求請參閱第 5.1.2.1 節之說明。

核三廠

當喪失廠外電源及廠內後備電源時，可由氣渦輪發電機、第五部緊急柴油發電機或第三電源供電給安全有關電源匯流排 A/B-PB-S01，並由 A/B-PB-S01 供電給用過燃料池之冷卻及緊急補水系統相關泵，此時用過燃料池之冷卻及緊急補水功能可由運轉員在需要時起動運轉，則用過燃料不致劣化。

有關氣渦輪發電機、第五部緊急柴油發電機及第三電源此三種多元性備援資源的詳細說明請參閱第 5.1.2.1 節之說明。。

龍門電廠

當喪失廠外電源及廠內後備電源時，第 7 台緊急柴油發電機(EDG)可提供緊急備用電源，其為氣冷式 7800KW 發電機。它同時可用來取代 6 部緊急柴油發電機之其中一部。在全功率運轉下，第 7 台緊急柴油發電機足以應付緊急時 ECCS 及 RBCW 系統所需電力之供給。

5.2.2.2電池容量及運轉期長

核一、核二及核三廠

關於氣渦輪發電機與第五部緊急柴油發電機的蓄電池組及運轉期長之說明，請參閱第 5.1.2.2 之說明。

龍門電廠

第 7 台緊急柴油發電機(7th EDG)電池容量為 1800AH。根據龍門電廠 FSAR 表 8.3-6 及 FSAR 8.3-7 S4，此容量可以提供至少 3.5 小時直流電力以確保核能系統之安全。

5.2.3 喪失廠外電源、後備電源(EDG)及其他多元備援電源

5.2.3.1 設計要求

核一廠

若喪失廠外電源、備用電源(EDG)及其他多元樣式備用電源即喪失用過燃料池正常補水及強制冷卻功能，池水表面之溫度最終將上升至攝氏 100 度，但仍有足夠的時間以替代的方式進行補水。

核二廠

燃料池內的用過燃料冷卻或補水所需之水泵，其負載電源皆為交流電源，故只要於同時喪失廠外電源、備用電源(EDG)及其他另樣式備用電源，燃料池內的用過燃料冷卻或補水的能力便會喪失。因此，維持交流電源可用對於用過燃料池冷卻系統是必要的。

核三廠

當喪失廠外電源、後備電源(EDG)及其他多元備援電源時，機組將進入長期廠區全黑(SBO)事件，此時用過燃料池之冷卻及緊急補水系統相關泵因無電力而全部失效。

1. 用過燃料池喪失冷卻之設計描述如下：

   依據核三廠之用過燃料池儲存容量擴充工程熱水流分析報告（Reracking Thermal Hydraulic Analysis Report），假設停機後 150 小時退出 157 束燃料，且前一批次退出之 72 束燃料已冷卻 1 年，且燃料退出後達到燃料池最大的燃料儲存容量(即 2160 束燃料)，計算完全喪失用過燃料池冷卻後，池水溫升率為 5.94℃/Hr，池水達到沸騰時間約 6.7 小時(池水起始溫度為 60℃，正常運轉時，池水溫度約為 30℃)，沸騰後池水降至燃料頂部上方 10 呎時間約 40 小時。

2. 電廠全黑(SBO)事故評估：

   依據核三廠 FSAR 15.9 評估，假設 SBO 發生之 8 小時期間無任何 AC 電源可用，在此假設下，電廠 SBO 事故之連續演變，基本上是決定於電廠「EOP570.20 喪失所有緊要交流電源程序書」所訂之運轉措施之執行成效。

依上述保守假設，AC 電源於 SBO 8 小時後恢復可用，進而恢復用過燃料池冷卻及補水功能；而用過燃料池水位降至燃料頂部上方 10 呎時間約 40 小時。因此，依據設計基準，當發生廠區全黑(SBO)事件時，有足夠的因應時間，可避免用過燃料池儲存之用過核子燃料劣化。

在此情況下，用過燃料池水位與溫度等儀器可提供 2 小時的監視能力(非安全相關的電池組供電)。在此情境下，藉由下述兩種方法，可避免用過燃料池之燃料劣化：

1. 新增 4.16KV 1500KW 柴油發電機電源車(詳見第 5.2.3.5 節第 2 項所述)供電給安全有關電源匯流排 A/B-PB-S01，並由 A/B-PB-S01 供電給用過燃料池之冷卻及緊急補水系統相關泵，則運轉員可於需要時起動運轉相關設備。
2. 利用池水沸騰蒸發來帶走用過燃料產生的餘熱，並搭配強化用過燃料池補水能力的措施(詳見第 5.2.3.5 節第 3 項至第 8 項所述)，適時補充用過燃料池水位。

龍門電廠

當喪失廠外電源、後備電源(EDG)及其他多元備援電源時，用過燃料池將會喪失強制冷卻及正常補水功能。

5.2.3.2 電池容量及運轉期長

核一廠

此系統無使用直流電源及電池。

核二廠

當同時喪失廠外電源、備用電源(EDG)及其他多元樣式備用電源時，燃料池內的用過燃料冷卻循環及補水的能力便會喪失。此時用過燃料產生之衰變熱，僅能透過原本淹蓋燃料之池水自然對流方式保持冷卻。

核三廠

用過燃料池冷卻及補水系統不需使用 DC 電池。但用過燃料池水位及溫度儀器尚可由非安全相關之 DC 電池供電約 2 小時。當 2 小時過後，控制室將喪失監控用過燃料池水位及溫度之能力。

龍門電廠

此系統無使用直流電源。

5.2.3.3 燃料劣化前廠內自主運轉能力

核一廠

當喪失用過燃料池冷卻系統時，對於大修期間全爐心退出的安全性及適當性進行評估工作。若 SFPCS 及 SFPACS 皆喪失功能，則用過燃料池池水溫升速率為每小時 6.25℃，若用過燃料池池水初始溫度為 57℃，池水將會於 6.9 小時候沸騰；或初始溫度為 30℃，則將於 11.2 小時後沸騰。

當同時喪失廠外電源、備用電源(EDG)及其他多元樣式備用電源時，用過燃料池正常補水及強制冷卻功能隨之喪失。然而，電廠仍保有緊急補水能力，反應器廠房五樓設有消防水系統，可拉水帶從消防箱取水(正常容量為 3600 公噸、可與 2 只 3000 公噸生水池連接，其後備水源為 10 萬公噸生水池)補入用過燃料池。

用過燃料池亦可利用新增設之用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，以至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量補水。若燃料池水溫持續上升則可依 1451 斷然處置程序進行二次圍阻體換氣或排氣程序將熱量排放至大氣。

核二廠

當喪失燃料冷卻及補水能力時，原本淹蓋燃料之池水將持續被加溫及蒸發。一旦水位下降造成燃料裸露且無法維持冷卻，燃料將會有劣化的情況發生。此時評估各種瀕危時間（廠內必須引動救援的最短時限）尤為重要。

用過燃料之衰變熱隨著機組停機時間增加而降低，於一特定燃料週期用過燃料池衰變熱以剛完成爐心燃料移動，用過燃料全部退出爐心（624 根用過燃料）存放於用過燃料池時衰變熱最大。以一號機 EOC-21 大修為例，分別以下列 3 種情況分析，評估燃料池於喪失冷卻及補水情況下之各種瀕危時間：

1. 電廠大修前用過核燃料池之情況，其總衰變熱約 1.5MW：
   - ●用過燃料池溫度上升至沸騰時間：90.3 hr
   - ●水位降到不能維持適當輻射屏蔽的時間(燃料頂端 8 呎)：438.9 hr.
   - ●水位降至燃料元件頂部的時間：587.2 hr
   - ●燃料開始劣化的時間：602.2 hr.
2. 在爐心燃料挪移時，保守假設用過核子燃料於第三日退出存放於用過燃料池，本例假設共有 160 根用過核子燃料，估計總衰變熱約為 3.0MW：
   - ●用過燃料池溫度上升至沸騰時間：45.3 hr.
   - ●水位降到不能維持適當輻射屏蔽的時間(燃料頂端 8 呎)：219.5 hr.
   - ●水位降至燃料元件頂部的時間：293.6 hr.
   - ●燃料開始劣化的時間：308.6 hr.
3. 假設全爐心退出,於停機後第 10 天退出所有爐心燃料(共 624 束)存放於用過燃料池，總衰變熱估計為 6.6MW：
   - ●用過燃料池溫度上升至沸騰時間： 20.4 hr
   - ●水位降到不能維持適當輻射屏蔽的時間(燃料頂端 8 呎)：99.0 hr
   - ●水位降至燃料元件頂部的時間：132.4 hr
   - ●燃料開始劣化的時間：147.4 hr.

   註: 根據核研所以 CFD 程式估算，燃料護套約於裸露後 15 小時後達到劣化（迅速氧化而產生氫氣）的溫度（2200℉）。

核三廠

1. 當喪失用過燃料池冷卻能力或池水流失時，電廠將依據程序書 597.1 用過燃料池喪失冷卻能力或池水流失時之處置與恢復程序執行。若用過燃料池水位或冷卻能力一直無法恢復，將評估池水溫升率及達到沸騰時間，若能補充冷卻水時，視狀況建立冷卻水“feed and bleed”的冷卻方式，以延長池水達到沸騰的時間。
2. 電廠將依據程序書 570.20 執行，除設法恢復安全有關電源匯流排電源外，並監控用過燃料池水位，若水位(EC-LI109)＜35%，則通知 TSC 設法補水。

龍門電廠

雖然在此情況下，用過燃料池正常補水及強制冷卻功能喪失，但電廠仍保有緊急補水能力。反應器廠房七樓有消防水系統補水進入用過燃料池或利用新增設抗震等級之常備硬管式消防水管，以至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量補水，其後備水源為 4 萬 8 千公噸。若燃料池水溫持續上升則可依 1451 斷然處置程序進行二次圍阻體換氣或排氣程序將熱量排放至大氣。

5.2.3.4 可防止燃料劣化的外部支援措施

核一廠

請參閱第 5.1.3.4 節說明。

核二廠

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備
   (1) 至消防水帶箱，拉出水帶，直接注水至用過燃料池。(利用山上消防生水池水源，靠重力補水)。
   (2) 開啟燃料廠房車道間鐵門，用移動式抽水機，抽取廠內正常水源或後備救援水源，直接注水至用過燃料池。
   (3) 開啟燃料廠房車道間鐵門，消防車進入燃料廠房注水至用過燃料池。
2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

   詳如第 5.1.3.4 節說明，緊急補水可由下列廠外支援提供(1)新北市政府消防局支援水庫車（或水箱車）、化學泡沫車及高空噴水車，(2)由金山核能電廠及龍門核能電廠提供三台 4.16kV 1500kW 之移動式柴油發電機電源車，提供電力支援。
3. 臨近電廠(如水力、氣渦輪機組)能經專用配線直接配置供電

   國盛核能電廠之 345kV 系統與金山核能電廠及協和火力電廠均各有一路專線直接連結配置。
4. 上述任一系統操作運轉所需時間
   (1) 至消防水帶箱，拉出水帶，直接注水至用過燃料池約 40 分鐘。

(2) 開啟燃料廠房車道間鐵門，用移動式抽水機，抽取廠內正常水源或後備救援水源，直接注水至用過燃料池約 60 分鐘。

(3) 開啟燃料廠房車道間鐵門，消防車進入燃料廠房注水至用過燃料池約 60 分鐘。

5. 執行特殊引接(line-up)合格人員的可用性

上述執行操作之人員均經訓練及演練測試，可完全勝任操作要求。

6. 確認主要瀕危效應發生的時間

於第 5.2.3.3 節分析最嚴重的情況下(全爐心退出,於停機後第 10 天退出所有爐心 624 束用過核子燃料存放於用過燃料池)，用過核子燃料約於喪失補水及冷卻後 147.4 小時（約 6 天後）開始劣化。

<u>核三廠</u>

1. 假設廠內另一部機組未受損，可相互支援減緩事故後果的設備/操作時間/人力說明如下：

(1) 補水水源：

a. 兩部機組之冷凝水儲存槽 CST 可連通，提供用過燃料池補水水源：#1 CST←→ 1-AP-V698←→#2 CST。

b. 兩部機組之除礦水儲存槽 DST 可連通，提供用過燃料池補水水源： #1 DST←→ 1-AN-V739←→ Backup DST←→ 2-AN-V739←→ #2 DST。

(2) 硼酸水：

a. RWST 可經由用過燃料池淨化系統連通至另一部機組，提供 ECCS 或用過燃料池水源。

b. 用過燃料池可經由用過燃料池淨化系統連通至另一部機組，提供部份存水給 ECCS 或用過燃料池水源。

c. 如燃料傳送渠道或桶裝填池有水時，可經由用過燃料池淨化系統連通至另一部機組，可提供 ECCS 或用過燃料池水源

以上兩部機組相互支援現場查證部份，已於民國 100 年 4 月 25 日完成。

(3) 上述操作運轉所需時間與人力：

a. CST 連通：15 分鐘，1 人。

b. DST 連通：15 分鐘，每部機組各 1 人。

c. RWST 連通：

●操作連通閥門：需 30 分鐘，每部機組各 1 人。

●裝設可移動式柴油發電機：需 1 小時，每部機組各 4 人(分 2 組)。

註：分 2 組為 1 組負責移動式柴油發電機搬運安裝，1 組責責操作閥包括移動式空壓機搬運安裝

●裝設移動式空壓機：需 1 小時，每部機組各 2 人。

d. 用過燃料池連通：

●操作連通閥門：需 30 分鐘，每部機組各 1 人。

●裝設可移動式柴油發電機：需 1 小時，每部機組各 4 人(分 2 組)。

e. 燃料傳送渠道或桶裝填池：

●操作連通閥門：需 30 分鐘，每部機組各 1 人。

●裝設可移動式柴油發電機：需 1 小時，每部機組各 4 人(分 2 組)。

f. 消防車由龍鑾潭取水：1 小時，3 人。

(4) 執行操作合格人員的適切性：

a. 核三廠已針對平時運轉及緊急搶修人力，包含電廠人員、外單位支援人員、協力廠商人員等，其相關之輻射防護訓練，已有完整的規範，並適當的訓諫。

b. 各維護組依緊急計劃任務編組，並依專長、証照建立支援人員連絡名冊，包括連絡電話、地址，可先徵召恒春地區人員，做為緊急時任務分配之依據。

2. 假設廠內所有機組都受損，當廠內水源不夠時，可由消防車補水至 CST、RWST、SFP。電廠現有消防水箱車 1 台，容量 7 噸。屏東縣消防局第四大隊共四分隊(恒春、車城、滿州、枋山)消防車配置有水庫車 10 噸 2 台；12 噸 2 台；水箱車 3 噸 1 台；3.5 噸 4 台；小水車 1 噸 4 台。廠外水源可取自#2、#3 號深水井、龍鑾潭、牡丹水庫、海水。包商支援人力可來自各維護組訂定合約之包商人力。

3. 台灣電力公司為綜合性電業，本身有發電、輸配電及售電系統，核三廠緊急事故發生後，如有必要，公司即可評估需求，採取適當的救援措施，盡速恢復廠外 345KV 或 161KV 輸電系統供電至廠內安全相關系統。

龍門電廠

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備

(1) 廠內程序書 1451 定義了緊急應變步驟為使用第 7 台 EDG 來提供兩部機組所需之交流電源。它亦描述了負載預估與負載節約操作。

(2) 消防系統請參閱第 5.1.3.4 節第 1(2)項說明。

2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

請參閱第 5.1.2.4 節第 2 項說明。

3. 臨近電廠(如水力、氣渦輪機組)能經專用配線直接配置供電

請參閱第 5.1.2.4 節第 3 項說明。

4. 上述任一系統操作運轉所需時間

請參閱第 5.1.2.4 節第 4 項說明。此事件瀕危時間大約 9.5 小時，在此刻，TSC、AMT、OSC、HPC 及 EPIC 成員應於現場且準備完畢。.

5. 執行特殊引接合格人員的可用性

請參閱第 5.1.2.4 節第 5 項說明。

5.2.3.5 強化防護能力的措施

核一廠

1. 機組大修期間燃料池和反應爐穴連通時，可使用備用圍阻體噴灑系統(Backup Containment Spray System, BCSS)、水庫車引擎或移動式消防泵經由餘熱移除系統(Residual Heat Removal, RHR)管路補水到燃料池或爐心。
2. 非大修期間燃料池和反應爐穴不連通時，用 BCSS(後備圍阻體噴灑系統)系統管路以水庫車引擎或移動式消防泵打水經由 RHR 餘熱移除系統管路補水到燃料池（須拆盲板 SSF-116-200）。
3. 反應器廠房五樓設有消防水系統，可拉水帶從消防箱取水(正常容量為 3600 公噸、可與 2 只 3000 公噸生水池連接，其後備水源為 10 萬公噸生水池)補入用過燃料池。
4. 生水經由補充水除礦器旁通管借重力補入 DST(原貯存水量平時至少 1 萬加侖以上)，DST 泵由 480V 移動式發電機接入 MCC 1A-2 或 2A-2 提供電源。因用過燃料池溢流緩衝槽之反應爐穴溢流口蓋板不密合會漏水至反應爐穴，故非大修期間須經由 Service Box 接臨時軟管補水。
5. 若喪失所有直流電源時，可由新增購之 480V 柴油發電機接入 MCC (馬達控制中心)提供新增燃料池冷卻系統電源，支援燃料池冷卻。
6. 完成燃料池冷卻異常時之緊急補水應變程序(程序書 503.6『燃料池冷卻和淨化系統故障』及 1451「核一廠斷然處置程序指引」) 之建立，並已完成運轉人員訓練。
7. 依 Nuclear Energy Institute 發佈的 NEI 06-12 文件建議， 成立 DCR-C1-3292/C2-3293 增設用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，額外增加至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量，以強化當用過燃料池或廠房嚴重受損，用過燃料池無法以正常補水的方式獲得適當冷卻時，燃料池冷卻及補水能力。
8. 增購 480V 柴油發電機供給新增燃料池冷却系統緊急應變使用，並提升此系統冷卻管路耐震程度，增加用過燃料池冷卻之多重深度防禦。
9. 修訂程序書 1024 規定大修中用過燃料池內由爐心剛移出之退出燃料及再使用較高

衰變熱之燃料，與舊有用過燃料池內退出時間較久之低衰變熱燃料及不發熱的新燃料、以棋盤式方式擺放，符合衰變熱較低燃料作為衰變熱較高燃料之「熱沉」，或將衰變熱較高燃料分散擺放之原則，以延緩燃料護套達到或超過限值的時間。

核二廠

考量福島事故複合式災害之電源應變能力，同時若氣冷式電源設備（含氣渦輪發電機）再完全喪失時之狀況，核二廠提出之深度防禦補強措施如下：

1. 電力強化防護能力措施：如第 5.1.3.5 節說明；包括第 5 台緊急柴油發電機、氣渦輪機的 2 台 1100kW 柴油發電機、移動式 4.16kV 1500kW 柴油發電機、TSC/OSC 柴油發電機供電至 1B3/2B3 或 4 台移動式 480V 200kW 柴油發電機等之各項強化改善方案。
2. 強化燃料池補水能力：
   (1) 核二廠已檢討規劃將購買 5 台大型消防泵，並增添一輛備有加壓泵之水庫車，以增強機動注水能力。
   (2) 已完成於一/二號機 CST 上方人孔蓋增設一直徑 6 英吋可移除的孔蓋,以利用引擎抽水機抽取 CST 的水送至系統使用。
   (3) 自燃料廠房外增設常備硬管式消防注水管路注水到用過燃料池以及於燃料廠房外增設常備硬式消防管線到廠房內, 再針對用過燃料池裝設噴灑設備的更新施工完成後，即可以移動式引擎抽水機抽取一或二號機 CST 的水源，視需要相互支援補充至一號機或二號機用過燃料池冷卻用過核子燃料。

核三廠

1. 新增程序書 1451「機組斷然處置程序指引」，對於各類超過設計基準狀況的應變有詳細規劃，包括用過燃料池的緊急救援措施，足以保護用過燃料池內用過燃料的安全。相關應變之操作已完成運轉人員訓練。
2. 配合廠區全黑事件檢討改善，將購買 4.16KV 1500KW 柴油發電機電源車(預定 102 年 4 月到貨)，作為安全有關電源匯流排之備援電氣設備，另與現有設備連接之開關設備介面部分已成立 DCR-M0-4325 改善案，以強化用過燃料池的長期冷卻及補水能力。
3. 已購買 480V 的移動式柴油發電機，提供 CST 傳送泵及耐震一級消防泵備援電源，強化由 CST 取水進行用過燃料池長期補水能力。另亦提 DCR- M1-4245/M2-4246 改善案設置相關 480V 移動式柴油發電機供電介面，以利快速引接供電。

4. 已購買 480V 的移動式柴油發電機，提供用過燃料池池水淨化泵之備援電源，且亦已增購移動式空壓機以提供氣動閥之操作需求，強化由 RWST 取水進行用過燃料池長期補充硼酸水之能力。另亦提 DCR- M1-4245/M2-4246 改善案設置相關 480V 移動式柴油發電機供電介面，以利快速引接供電。
5. 已購買移動式柴油引擎泵，配合管路配置改善，作為替代 CST 傳送泵之備援水泵，以增強由 CST 取水進行用過燃料池的補水能力。相關必要的硬體修改或設置，已開立 DCR-M1-4304/M2-4305 評估設計(預定於 101 年 12 月 31 日前完成)
6. 已規劃由消防水槽取水經柴油引擎消防泵，藉由燃料廠房室內消防水站連接消防水帶補水至用過燃料池。
7. 已規劃由消防車或室外消防栓經消防水帶補水至用過燃料池。另提用過燃料池冷卻系統管路配置改善案(DCR-M1-4269/M2-4270)，由消防車或室外消防栓取水，經此冷卻系統改善管路補水至用過燃料池。
8. 為避免事故後，燃料廠房因輻射或其他環境因素致人員無法進入廠房內，已提用過燃料池常備硬式消防補水管路改善案(DCR-M1-4273/M2-4274，已完成)，可利用消防車或室外消防栓經消防水帶連接廠房外常備硬式補水管路直接進行用過燃料池的補水。因不需操作任何閥門及不需進入廠房內，可強化事故後用過燃料池緊急補水之能力。
9. 為避免事故後，用過燃料池結構損壞，任何補水方式無法建立水位，致用過核子燃料無法被水淹蓋，可能使用過核子燃料劣化，已提用過燃料池常備硬式噴灑管路評估改善案，利用消防車或室外消防栓經消防水帶連接廠房外常備硬式噴灑管路直接進行用過燃料池的噴灑，藉由噴灑方式使用過核子燃料降溫，避免用過核子燃料劣化。
10. 已備整小型移動式發電機，緊急時可支援排煙風扇、輻射偵測儀器等用電，以確保救援設備或儀器設備正常發揮功能。
11. 已完成檢討全黑時主控制室必要之監控參數，包含用過燃料池水位及溫度，藉由廠區全黑時緊急應變後備交流電源之強化措施，達成強化儀控電源供給。
12. 當廠內水源不夠時，可由消防車補水至 CST、RWST、SFP。電廠將新購消防泡沫車 1 台，容量 7 噸；新購消防水庫車 1 台，容量 12 噸。廠外水源可取自#2、#3 號深水井、龍鑾潭、牡丹水庫及海水

13. 已完成檢討主控制室必要之監控參數，包含用過燃料池水位及溫度，藉由儀控組的儀器以提供傳送器 24VDC 工作電壓，來量測迴路電流值。再轉換為工程值，進而得出用過燃料池目前水位及溫度。
14. 已提新增用過燃料池水位及溫度儀器改善評估案(E-M1-100125/M2-100126)，將各新增水位及溫度儀器，預計將由安全串不斷電系統供電，事故發生後，將可有 8 小時由控制室監控的能力。
15. 已完成燃料廠房 Cask Crane 及 Fuel Handling Crane 吊車在停用期間的停駐點規劃及水平軌道方向的固鎖裝置。該停駐點是考量當吊車因地震而發生墜落時，其下方沒有安全相關的重要設備會因此損壞。而固鎖裝置則確保該吊車在地震時不會產生水平軌道方向的位移，以致於離開相對安全的停駐點

<u>龍門電廠</u>

1. 移動式注水系統：龍門核能電廠已採購 4 個移動式消防水泵及充氣式水槽(15 頓)作為備用消防水源。
2. 燃料耗盡：緊急柴油發電機(EDG)A/B/C 與 Swing 緊急柴油發電機：每一個緊急柴油發電機都有一個獨立式燃料貯存槽，燃料可經由補油口自貯存槽內補充。
3. 已新增反應器廠房、輔助燃料廠房與緊急柴油發電機廠房之防水措施，例如確保機組運轉將不受洪水影響。
4. 當機組大修期間，用過燃料池和反應爐穴連通時，可利用消防水泵、水庫車引擎或移動式消防泵經由餘熱移除系統進行用過燃料池或爐心之補水作業。.
5. 當機組非處於大修期間，用過燃料池與反應爐穴不連通時，可利用消防水泵、水庫車引擎或移動式消防泵打水經由餘熱移除系統(RHR-C)管路進行用過燃料池補水作業。。
6. 若喪失廠內電源，消防水系統之柴油驅動泵(耐震一級設計)可經由 RHR-C 管路自消防水槽或直接由消防水系統補水至用過燃料池。反應器廠房 7 樓配置有消防水系統。消防水可經由位於用過燃料池側面之消防水帶或永久特定管路注入用過燃料池(消防水馬達容量為 3000 gpm，兩個消防栓流量為 500gpm)。備用生水池容量為 48,000 噸。
7. 生水可由 116 公尺高的生水池經由 RHR-C 或消防管路藉重力注入用過燃料池。
8. 若喪失電力，連接移動式柴油發電機至電源中心(PC)可提供用過燃料池冷卻系統電力以維持冷卻功能。
9. 完成用過燃料池緊急補水程序書 (程序書515.5 “用過燃料池冷卻與淨化系統故障”

與 1451 “龍門核能電廠機組斷然處置措施”)。這些程序書包含：(1) 移動式柴油發電機提供補水相關系統電力；(2)消防水系統補水；(3)生水池重力補水；(4) 消防車補水。

10. 依 Nuclear Energy Institute 發佈的 NEI 06-12 文件建議，龍門核能電廠將採取下列強化措施。增設用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，額外增加至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量，以強化當用過燃料池或廠房嚴重受損，用過燃料池無法以正常補水的方式獲得適當冷卻時，燃料池冷卻及補水能力。
11. 安裝平面上管路系統深及提升生水池管路系統耐震等級。
12. 準備燃料卸載規劃指引。定義用過核子燃料在大修與非大修期間的棋盤式佈局。例如：將衰變熱較低燃料作為衰變熱較高燃料之「熱沉」，或將衰變熱較高燃料分散擺放之原則，以延緩燃料護套鋯融化的時間。

5.2.4 喪失最終熱沉(由海水灌水)

5.2.4.1 燃料劣化前廠內自主能力設計要求

<u>核一廠</u>

喪失主要最終熱沉的事故，若僅假設最終熱沉為大海（東海）和乾華溪，此情境下用過燃料池冷卻及補水相關泵雖尚有供給電源，可發揮用過燃料池的冷卻及補水功能，但燃料池冷卻系統需要海水系統支援，仍將因喪失最終熱沉而影響此系統之冷卻功能；但核一廠已有之新增燃料池冷卻系統（SFPACS），係將用過燃料的衰變熱經由冷卻水塔移除至大氣中，形成一氣冷式的熱移除系統，不受喪失主要最終熱沉影響，可確保用過燃料池正常冷卻功能不受影響。

當 2 迴路 SFPACS 同時運轉時，能移除燃料池最大熱負載，停機後 150 小時一個全爐心燃料移置，加上 36 天前之前一週期退出之燃料移置，及歷次移置總共 3083 束燃料等的熱負載情況下，能維持池水溫度小於 65.5 ℃。系統包括 2 組熱交換器、生水/氣冷式冷卻水塔，由緊要電源(480V MCC 3A-7 或 4A-7)供電，其後備電源為非緊要電源(480V POWER CENTER 2A 或 1A)。熱移除能力 16.2E+6 Btu/hr x 2 @ 125℉燃料池水溫，管路為耐震一級設計，二次側(生水側)亦為耐震一級設計，但二次側之生水/氣冷式冷卻塔屬耐震二級設計。

若氣冷式的新增燃料池冷卻系統亦喪失，則僅能採取補水及自然冷卻(自然蒸發)方式移除用過燃料池內之熱量。

在此情況下，用過燃料池補水的方式：

1. 機組大修期間燃料池和反應爐穴連通時，可使用備用圍阻體噴灑系統(Backup Containment Spray System, BCSS)、水庫車引擎或移動式消防泵經由餘熱移除系統(RHR)管路補水到燃料池或爐心
2. 非大修期間燃料池和反應爐穴不連通時，用 BCSS(後備圍阻體噴灑系統)系統管路以水庫車引擎或移動式消防泵打水經由 RHR 餘熱移除系統管路補水到燃料池（須拆盲板 SSF-116-200）。
3. 反應器廠房五樓設有消防水系統，可拉水帶從消防箱取水(正常容量為 3600 公噸、可與 2 只 3000 公噸生水池連接，其後備水源為 10 萬公噸生水池)補入用過燃料池。
4. 生水經由補充水除礦器旁通管借重力補入 DST(原貯存水量平時至少 1 萬加侖以上)，DST 泵由 480V 移動式發電機接入 MCC 1A-2 或 2A-2 提供電源。因用過燃料池溢流緩衝槽之反應爐穴溢流口蓋板不密合會漏水至反應爐穴，故非大修期間須經由 Service Box 接臨時軟管補水。
5. 依 Nuclear Energy Institute 發佈的 NEI 06-12 文件建議，成立 DCR-C1-3292/C2-3293 增設用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，額外增加至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量，以強化當用過燃料池或廠房嚴重受損，用過燃料池無法以正常補水的方式獲得適當冷卻時，燃料池冷卻及補水能力。

此時之用過燃料池冷卻方式為自然冷卻(自然蒸發)，可依 1451 斷然處置程序將進行二次圍阻體排氣或換氣以移出熱量。

<u>核二廠</u>

如 5.2.1.1 節燃料池補水及熱移除設計說明，核二廠最終熱沉系統在設計上有循環水系統(CW)與緊急循環水系統(ECW)兩個系統。循環水系統負責燃料池正常運轉時之最終熱沉，而緊急循環水系統則負責提供緊急狀況下衰變熱移除所需之最終熱沉。當燃料池喪失最終熱沉時，若電廠尚有電源供應(或由第 5.1.3.5 節所列電力強化措施供電)時，可以下列方式，補充燃料池蒸發之水量：

1. 以 CST 傳送泵進行燃料池水水位調節。
2. 以 RHR 泵進行燃料池補水。
3. 以緊急補水泵(1/2P-56A/B)補水至燃料池。

<u>核三廠</u>

當僅喪失最終熱沉，雖然用過燃料池冷卻系統相關泵尚有電力，然而無法將用過燃料池的最終熱量轉交給廠用海水系統(NSCW)帶走，情況與喪失用過燃料池冷卻系統相

同，唯用過燃料池正常補水功能不受影響。此情境下，核三廠將依據程序書 597.1 用過燃料池喪失冷卻能力或池水流失時之處置與恢復程序執行，即若用過燃料池水位或冷卻能力一直無法恢復，將評估池水溫升率及達到沸騰時間，視狀況建立冷卻水“feed and bleed”的冷卻方式，以延長池水達到沸騰的時間。

龍門電廠

若僅喪失最終熱忱而交流電力仍可用，則用過燃料池冷卻系統可執行補水功能；但冷卻功能將受到影響。既然衰變熱無法移轉至最終熱沉，池水蒸發將是唯一的方式移除衰變熱。

用過燃料池可利用下列方式補水：

1. 當機組大修期間，用過燃料池和反應爐穴連通時，可利用消防水泵、水庫車引擎或移動式消防泵經由餘熱移除系統進行用過燃料池或爐心之補水作業。.
2. 當機組非處於大修期間，用過燃料池與反應爐穴不連通時，可利用消防水泵、水庫車引擎或移動式消防泵打水經由餘熱移除系統(RHR-C)管路進行用過燃料池補水作業。
3. 若喪失廠內電源，消防水系統之柴油驅動泵(耐震一級設計)可經由 RHR-C 管路自消防水槽或直接由消防水系統補水至用過燃料池。反應器廠房 7 樓配置有消防水系統。消防水可經由位於用過燃料池側面之消防水帶或永久特定管路注入用過燃料池(消防水馬達容量為 3000 gpm，兩個消防栓流量為 500gpm)。備用生水池容量為 48,000 噸。
4. 生水可由 116 公尺高的生水池經由 RHR-C 或消防管路藉重力注入用過燃料池。
5. 依 Nuclear Energy Institute 發佈的 NEI 06-12 文件建議，龍門核能電廠將採取下列強化措施。增設用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，額外增加至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量，以強化當用過燃料池或廠房嚴重受損，用過燃料池無法以正常補水的方式獲得適當冷卻時，燃料池冷卻及補水能力。

此時之用過燃料池冷卻方式為自然冷卻(自然蒸發)，可依 1451 斷然處置程序將進行二次圍阻體排氣或換氣以移出熱量。

5.2.4.2 可防止燃料劣化的外部支援措施

核一廠

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備

若氣冷式的新增燃料池冷卻系統仍可用、則可使用此系統移除用過燃料池內之熱量。若氣冷式的新增燃料池冷卻系統不可用，僅能採取補水及自然冷卻(自然蒸發)方式移除用過燃料池內之熱量。

核一廠在「535廠區全黑」應變程序書，明訂緊急時可由正常機組之緊急柴油發電機(EDG)，透過5th EDG配電盤同時提供另一部機組轉供電。

2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

請參閱第 5.1.3.4 節第 2 項說明。

3. 上述任一系統操作運轉所需時間

請參閱第 5.1.3.4 節第 4 項說明。

4. 執行特殊引接合格人員的可用性

請參閱第 5.1.3.4 節第 5 項說明。

5. 確認主要瀕危效應發生的時間

請參閱第 5.1.3.4 節第 3 項說明。

<u>核二廠</u>

1. 除以上述正常動力補水方式外，第 5.1.3.4 節之重力或機動式補水方式均可補充用過燃料池因衰變熱造成之水量蒸發，防止用過核子燃料劣化。
2. 於第 5.2.3.3 節分析最嚴重的情況下（全爐心退出,於停機後第 10 天退出所有爐心燃料存放於用過燃料池)，用過核子燃料約於喪失補水及冷卻後 147.4 小時（約 6 天後）始劣化。

<u>核三廠</u>

1. 假設廠內另一部機組未受損，可相互支援減緩事故後果的設備/操作時間/人力說明，請參閱第 5.2.3.4 節第 1 項。
2. 假設廠內所有機組都受損，當廠內水源不夠時，可由消防車補水至 CST、RWST、SFP。電廠現有消防水箱車 1 台，容量 7 噸。屏東縣消防局第四大隊共四分隊(恒春、車城、滿州、枋山)消防車配置有水庫車 10 噸 2 台；12 噸 2 台；水箱車 3 噸 1 台；3.5 噸 4 台；小水車 1 噸 4 台。廠外水源可取自#2、#3 號深水井、龍鑾潭、牡丹水庫、海水。包商支援人力，各維護組訂定合約之包商人力。

3. 確認主要瀕危效應發生的時間：

依據馬鞍山核能電廠之用過燃料池儲存容量擴充工程熱水流分析報告（Reracking Thermal Hydraulic Analysis Report）中，計算完全喪失用過燃料池冷卻後，池水溫升率為 5.94℃/Hr，池水達到沸騰時間約 6.7 小時，沸騰後水位降至燃料頂部上方 10 呎

的時間約 40 小時。(詳情請參閱第 5.2.3.1 節說明)

龍門電廠

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備

若喪失最終熱忱，用過燃料池衰變熱僅能透過補水及蒸發方式移除。電廠將按照機組斷然處置程序書 1451 由第 7 台緊急柴油發電機或其中一部機組之緊急柴油發電機來支援所需交流電力。

2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

請參閱第 5.1.3.4 節第 2 項說明。

3. 上述任一系統操作運轉所需時間

請參閱第 5.1.3.4 節第 4 項說明。此事件反應器廠房及輔助燃料廠房用過燃料池之瀕危時間大約 9.5 小時及 151.6 小時。在此刻，TSC、AMT、OSC、HPC 及 EPIC 成員應於現場且準備完畢。.

4. 執行特殊引接合格人員的可用性

請參閱第 5.1.3.4 節第 5 項說明。

5. 確認主要瀕危效應發生的時間

在停機時所有爐心燃料移出置用過燃料池情況下，分析計算結果顯示池水溫升率為每小時 5.4℃。若用過燃料池初始溫度為 49℃，用過燃料池水將於 9.5 小時後開始沸騰；若輔助燃料廠房之用過燃料池初始溫度為 49℃，輔助燃料廠房之用過燃料池將於 151.6 小時後開始沸騰。

5.2.4.3 強化電廠防護能力的措施

核一廠

1. 強化最終熱沉：

(1) 在設計基準下，緊要海水系統只要有一迴路運作，就足以應付緊急狀態下爐心燃料衰變熱及安全有關機件冷卻的熱移除，金山核能電廠已建立萬一緊要海水泵馬達受損時迅速更換之機制，目前緊要海水泵僅有一台備用馬達，為防淹水或故障受損，並確保充足備品，正辦理增購一台備用馬達儲放在高處倉庫，以因應馬達受損時可迅速更換。

(2) 將 SFPACS 冷卻水塔及其相關管路提升為耐震一級。

(3) 第 5 號緊急柴油發電機及 ESW 泵室等廠房對外之門及開口增設防止洪水入侵設施，防範發生淹水。

(4) 金山核能電廠將購入之 2 台 4.16kV 1500kW 柴油發電機，1 台配置於廠內，另 1 台暫置於龍門電廠，另尚有國聖核能電廠之同型柴油發電機可支援核一廠使用，均可增加 ESW 系統電力之供電能力。

核二廠

1. 當緊急循環水系統不可用，而致於喪失用過燃料池最終熱沉，國聖核能電廠強化方案如同第 5.1.4.3 節之第 2 點「ECW 強化因應措施」說明，迅速恢復緊要循環水系統（ECW）可用。
2. 而若用過燃料池仍無法恢復熱沉時，除電廠設計電力仍正常時，可依據原補水設計（含緊急補水系統）之功能進行補水，或如第 5.2.3.4 及第 5.2.3.5 節描述之多樣式機動補水方式，於電力系統喪失時，仍能持續補充用過燃料池蒸發的水量，確保用過燃料池之用過核子燃料為水覆蓋，不會發生燃料裸露而致劣化的瀕危情況。

核三廠

關於喪失最終熱沉的強化防護力的措施,請參考第 5.1.4.3 節第 2 項至第 6 項之說明。

龍門電廠

1. 強化最終熱沉：
   (1) 在設計基準下，反應器廠房廠用海水系統(RBSW)只要有一迴路運作，就足以應付緊急狀態下爐心燃料衰變熱及安全有關機件冷卻的熱移除。龍門核能電廠已建立萬一 RBSW 馬達受損時之緊急應變計畫,並已準備一個備用 RBSW 馬達因應迅速更換。此備用馬達儲放在 43.3 公尺之高處倉庫，當 RBSW 馬達受損時，立即更換可迅速回復這些系統。
   (2) 安裝平面上管路系統深及提升生水池管路系統耐震等級。
   (3) 已核准於反應器廠房、控制室廠房、柴油發電機燃料槽、輔助燃料廠房、FPH、RBSWPH pump room、ACB EL.12.3 m into RB 及 RWT EL.12.3m into RB/CB 和 AFB 等廠房對外之門及開口增設防水檔板與水密設備，以避免洪水入侵。
   (4) 龍門核能電廠將購入之 2 台 4.16kV 1500kW 柴油發電機，1 台配置於廠內，另 1 台暫置於金山核能電廠，另尚有國聖核能電廠之同型柴油發電機可支援龍門電廠使用，均可增加 RBSW 系統電力之供電能力。

5.2.5 廠區全黑下喪失最終熱沉

5.2.5.1 燃料劣化前廠區自主能力設計要求

核一廠

若廠區全黑(SBO)喪失所有電源及喪失主要最終熱沉時，用過燃料池正常冷卻及

補水功能將喪失，將依據程序書 1451『核一廠斷然處置程序指引』、用過燃料池冷卻緊急應變流程，監視及採取應變措施，恢復用過燃料池冷卻及補水能力。

核二廠

當喪失用過燃料池冷卻及補水能力時，原本淹蓋用過核子燃料之池水將持續被加溫及蒸發。一旦水位下降造成用過核子燃料裸露或無法維持冷卻，燃料將會有劣化的情況發生。而如第 5.2.3.3 節分析說明，在最嚴重的情況時，電廠於燃料開始劣化前，尚有充分的的因應時間(約 6 天)。

核三廠

有關用過燃料池喪失冷卻之設計與廠區全黑 (SBO) 事件之評估，請參考第 5.2.3.1 節說明。有關廠內自主能力設計要求，請參考第 5.2.3.3 節說明。

龍門電廠

當廠區全黑及喪失最終熱沉事故發生時，用過燃料池正常冷卻及補水功能將喪失，龍門電廠將依據程序書 1451『斷然處置程序指引』採取緊急應變措施，恢復用過燃料池冷卻及補水能力。

5.2.5.2 可防止燃料劣化的外部支援措施

核一廠

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備
   (1) 若氣冷式的新增燃料池冷卻系統仍可用，則由新購置之 480V 移動/固定發電機接入 MCC 提供新增燃料池冷卻系統電源，支援燃料池冷卻能力。或依「535 廠區全黑」應變程序書，緊急時可由正常機組之 EDG，透過 5th EDG 配電盤同時提供另一部機組轉供電。
   (2) 使用備用圍阻體噴灑系統(BCSS)以水庫車引擎或移動式消防泵經由 RHR 系統管路補水到燃料池。
   (3) 反應器廠房五樓設有消防水系統，可拉水帶從消防箱取水(正常容量為 3 座共 3600 公噸之生水池、另可與 2 座各 3000 公噸生水池連接，其後備水源為 10 萬公噸生水池)補入用過燃料池。
   (4) 生水經由補充水除礦器旁通管借重力補入 DST(原貯存水量至少 1 萬加侖以上)，DST 泵可由 480V 移動式發電機接入 MCC 1A-2 或 2A-2 提供電源，將 DST 水打入燃料池緩衝溢流槽再溢流至用過燃料池或經由 Service Box 接臨時軟管直接補水至用過燃料池。
   (5) 依 Nuclear Energy Institute 發佈的 NEI 06-12 文件建議， 成立 DCR-C1-3292/

C2-3293 增設用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，額外增加至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量，以強化當用過燃料池或廠房嚴重受損，用過燃料池無法以正常補水的方式獲得適當冷卻時，燃料池冷卻及補水能力。

2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

(1) 若氣冷式的新增燃料池冷卻系統仍可用，則廠外提供可用的設備有國聖核能電廠的一台 4.16kV 1500kW 移動式柴油發電機及四台 480V 200kW 移動式柴油發電機，必要時亦可調用龍門電廠的移動式柴油發電機支應。

(2) 金山核能電廠已與新北市政府消防局簽訂「消防救災支援協定書」，支援單位之人力、車輛、機具，將依災害之特性，進入災區支援搶救。

3. 上述任一系統操作運轉所需時間

請參閱第 5.1.3.4 節第 4 項說明。

4. 執行特殊引接合格人員的可用性

請參閱第 5.1.3.4 節第 5 項說明。

5. 確認主要瀕危效應發生的時間

請參閱第 5.2.3.3 節說明。

核二廠

當因區全黑下喪失最終熱沉情況時，可防止用過核子燃料劣化的多樣式機動補水，請參閱第 5.2.3.4 節（喪失廠外電源、備用電源及其他另樣式備用電源）之外部支援措施內容說明。

核三廠

1. 此情況下，機組狀況與第 5.2.3 節(廠區全黑)相同。有關外部支援措施，請參考第 5.2.3.4 節說明。

2. 確認主要瀕危效應發生的時間：

依據馬鞍山核能電廠之用過燃料池儲存容量擴充工程熱水流分析報告（Reracking Thermal Hydraulic Analysis Report）中，計算完全喪失用過燃料池冷卻後，池水溫升率為 5.94℃/Hr，池水達到沸騰時間約 6.7 小時，沸騰後水位降至燃料頂部上方 10 呎的時間約 40 小時。(詳情請參閱第 5.2.3.1 節說明)

龍門電廠

1. 廠內現有設備，例如其他機組的設備

(1) 連接 480 V 移動式柴油發電機至電力中心之用過燃料池冷卻系統電源。另外，按照程序書 1451(機組斷然處置措施)，利用第 7 台緊急柴油發電機或其中一部機組之

緊急柴油發電機來支援所需交流電力。

(2) 若喪失廠內電源，消防水系統之柴油驅動泵(耐震一級設計)可經由 RHR-C 管路自消防水槽或直接由消防水系統補水至用過燃料池。反應器廠房 7 樓配置有消防水系統。消防水可經由位於用過燃料池側面之消防水帶或永久特定管路注入用過燃料池(消防水馬達容量為 3000 gpm，兩個消防栓流量為 500 gpm)。備用生水池容量為 48,000 噸。

(3) 生水可由 116 公尺高的生水池經由 RHR-C 或消防管路藉重力注入用過燃料池。

(4) 依 Nuclear Energy Institute 發佈的 NEI 06-12 文件建議，龍門核能電廠將採取下列強化措施。增設用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，額外增加至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量，以強化當用過燃料池或廠房嚴重受損，用過燃料池無法以正常補水的方式獲得適當冷卻時，燃料池冷卻及補水能力。

2. 假設廠內所有機組都受損，從廠外提供可用的設備

請參閱第 5.1.3.4 節第 2 項說明。

3. 上述任一系統操作運轉所需時間

請參閱第 5.1.3.4 節第 3 項說明。

4. 執行特殊引接合格人員的可用性

請參閱第 5.1.3.4 節第 5 項說明。

5. 確認主要瀕危效應發生的時間

請參閱第 5.2.4.2 節第 5 項說明。

5.2.5.3 強化電廠防護能力的措施

<u>核一廠</u>

強化電廠防護能力的措施如弟 5.2.3.5 節第 1 項至第 9 項所述，除了下列措施之外：

1. 將 SFPACS 冷卻水塔 CT-15A/B 之相關管路提升為耐震一級。

<u>核二廠</u>

1. 對於廠區全黑造成喪失最終熱沉之情況，電源供應強化防護內容詳如本章第 5.1.2.5 節，及 5.1.3.5 節之強化防護能力的措施，可緊急提供 4.16kV / 480V AC（包括直流電）之需求電力，並恢復最終熱沉能力
2. 若廠內電力無法即時恢復（即上述各項電源強化防護行動均告失效），導致無法建立最終熱沉時，只要依照第 5.2.3 節中之第 5.2.3.4 節及第 5.2.3.5 節說明之各項機動式補水及強化方案。則可確保用過燃料池支用過核子燃料長期被水覆蓋，不會發生燃料劣化之瀕危情況。

上述建立電源策略進而恢復最終熱沉，或透過各種機動方式進行用過燃料池補水方式，可以維持用過燃料池之用過核子燃料為水覆蓋，確保燃料裸露導致受損之瀕危效應不致發生。

核三廠

在此情況下，機組狀況與第 5.2.3 節(廠區全黑)相同。有關強化防護能力的措施，請參考第 5.2.3.5 節說明。

龍門電廠

1. 當機組大修期間，用過燃料池和反應爐穴連通時，可利用消防水泵、水庫車引擎或移動式消防泵經由餘熱移除系統進行用過燃料池或爐心之補水作業。
2. 當機組非處於大修期間，用過燃料池與反應爐穴不連通時，可利用消防水泵、水庫車引擎或移動式消防泵打水經由餘熱移除系統(RHR-C)管路進行用過燃料池補水作業。。
3. 若喪失廠內電源，消防水系統之柴油驅動泵(耐震一級設計)可經由 RHR-C 管路自消防水槽或直接由消防水系統補水至用過燃料池。反應器廠房 7 樓配置有消防水系統。消防水可經由位於用過燃料池側面之消防水帶或永久特定管路注入用過燃料池(消防水馬達容量為 3000 gpm，兩個消防栓流量為 500 gpm)。備用生水池容量為 48,000 噸。
4. 生水可由 116 公尺高的生水池經由 RHR-C 或消防管路藉重力注入用過燃料池。
5. 若喪失電力，連接 480 V 移動式柴油發電機至電源中心(PC)可提供用過燃料池冷卻系統電力以維持冷卻功能。
6. 完成用過燃料池緊急補水程序書 (程序書515.5 “用過燃料池冷卻與淨化系統故障” 與 1451 “龍門核能電廠機組斷然處置措施”)。這些程序書包含：(1) 移動式柴油發電機提供補水相關系統電力；(2)消防水系統補水；(3)生水池重力補水；(4) 消防車補水。
7. 依 Nuclear Energy Institute 發佈的 NEI 06-12 文件建議，龍門核能電廠將採取下列強化措施。增設用過燃料池抗震等級之常備硬管式消防補水、噴灑管路硬體，額外增加至少 500 gpm 補水及 200 gpm 噴灑容量，以強化當用過燃料池或廠房嚴重受損，用過燃料池無法以正常補水的方式獲得適當冷卻時，燃料池冷卻及補水能力。

8. 安裝平面上管路系統深及提升生水池管路系統耐震等級。
9. 準備燃料卸載規劃指引。定義用過核子燃料在大修與非大修期間的棋盤式佈局。例如：將衰變熱較低燃料作為衰變熱較高燃料之「熱沉」，或將衰變熱較高燃料分散擺放之原則，以延緩燃料護套鋯融化的時間。

5.3 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論

台電公司（持照公司）的報告基本上符合 ENSREG 的要求。針對喪失電力和喪失最終熱沉之處理，台電公司進行再評估時所採用的方法，符合原子能委員會與反應器供應商所屬國家法規（我國法規的基礎）的要求。然而，針對台電公司的報告，原子能委員會發現了若干需要改進的地方：

1. 台電公司的分析係假設只有一個機組受到影響，同一廠址多機組同時受到影響的後果應該加以完整討論。
2. 如果在反應器停機幾天後，打開反應器壓力槽蓋（為了填換燃料），在電廠全黑且不採取任何對策的條件下，通常在一到三個小時的範圍內，反應器內的燃料溫度就會上升。然而，在台電公司的壓力測試報告中，並未針對反應器冷卻水系統處於開放的情況或反應器運轉於低冷卻水量的情況，進行討論。我們認為有必要將缺少的評估補上，以便得到一個完整的評估。
3. 極端外來事件（包括地震，洪水，海嘯等），可能造成電廠全黑與完全喪失最終熱沉，在此情境下，用過燃料池所受到的衝擊（包括池結構的完整性）必須加以評估。

基於對台電公司報告與相關證明文件的評估、技術會議的討論和現場檢查與視察，原子能委員會認為，由此產生的行動計劃算是恰當的。

然而，原子能委員會發現了一些可以進一步提高所有核能電廠強韌性的項目：

1. 因應福島事故，國際核能工業界已經提出了許多良好作為。根據這些良好作為，原子能委員會要求台電公司完成以下管制要求：

(1). 在2011年4月7日，東通核電廠發生全黑事故後，日本原子能安全保安院發出了一項指針，要求在任何運轉狀態下，核能電廠必須有2個以上的緊急柴油發電機處於可操作狀態，即使當反應器處於停機狀況也要符合此項規定。原子能委員會採用了相同的立場。目前，每座運轉中的核能機組配置了2個緊急柴油發電機。如果一個機組處於正常運轉狀態，而另一個機組處於停機狀態且1部緊急柴油發電機正在檢修，根據新的規定，共用之緊急柴油發電機將被分配給後者。因此，共用緊急柴油發電機作為正常運轉機組備援的能力受到了限制。台電公司應擬定措施，設法解決這個議題。

(2). 對全黑事故而言，原子能委員會要求台電公司建置設備、程序和必要訓練，針對反應器和用過燃料池的冷卻和反應器冷卻水系統和一次圍阻體完整性的需求，在“長期喪失所有的交流電”情境發生時，實施72小時應對時間的強化措施。針對系統功能範圍而言，支持72小時延長應對時間的系統，其設計應涵蓋支持至少24小時應對時間的系統的相同功能範圍，但可以根據實際狀況進行分析評估，分析時考量運轉員

使用便攜式或永久安裝設備的合理操作，（在程序書與訓練的約束下）。評估應包括87-00 NUMARC技術項目並考量所有運轉狀態(全功率運轉,低功率運轉和停機)。

(3). 當外部危害造成事故時, 同一廠址上所有機組可能同時受到影響。由於資源必須分配給所有機組，因應這樣的事故時，充分供應緊急交流電源是很重要的。 因此，原子能委員會要求台電公司進行一項有關增設一部氣冷式柴油發電機之評估，以強化電廠強韌性。

(4). 原子能委員會要求台電公司進行一項有關增設替代熱沉之評估，例如，由地下井提供冷卻水.

(5). 原子能委員會要求台電公司針對下列議題，擬定措施以強化電廠之強韌性：反應器冷卻水泵在電廠全黑情況下,因為軸封洩漏而造成冷卻水流失事故(僅限馬鞍山廠)。

(6). 參考日本緊急狀態之管理與要求，原子能委員會要求台電公司強化外電系統增加其可靠性

2. 針對廠區全黑的議題，原子能委員會要求台電公司依據美國核管會(USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)報告第一階段建議事項4，強化所有反應器（包括運轉中與興建中的反應器）之電廠全黑緩和能力，以應付設計基準事故以及外來超越設計基準事故。

3. 針對非傳統事故因應措施，原子能委員會之要求如下：

   (1) 非傳統事故因應措施的執行可行性，應在技術數據（設計，運轉，對心和連接，週期性檢測，預防性維護等）的基礎上進行合理性評估。

   (2) 應該針對非傳統的事故因應措施進行有系統的審查，聚焦於相關情況下（如：惡劣的工作環境下），電廠設備是否可用和是否能適當操作。考慮因素包括：引發事故之肇因事件，極端外部危害和在整個運作期間可能潛在的惡劣的工作環境。

   (3) 非傳統的手段，包括移動式設備，消防車等應存放在安全牢靠的位置，即使在事故（顯著）超過設計基準事故而造成全面破壞時，仍然安全牢靠。儲放移動式設備的設施應該加以評估，並於必要時予以補強。

4. 斷然處置正當性的評估很重要，如以下的例子所示：針對沸水式反應器，台電公司已申請了使用消防水泵以維持反應器低壓供水的措施。這些措施需要反應器的事先降壓。針對長時間電廠全黑，在斷然處置程序中已經採用兩階段降壓策略。在電廠全黑之早期階段，當RCIC仍然是可用時，執行緩慢而控制性的反應器降壓。在第二階段中，當RCIC不再可用時，執行快速而緊急的反應器降壓。與在慢而控制降

壓過程中，反應器可以被帶到並保持在一個相對安全的狀態（即，高水位和低壓力狀態），而在同一時間，將不會達到RCIC跳脫設定點。在這相對安全的狀態下，如果RCIC失效，則隨後執行的緊急降壓對反應器所造成的衝擊將最小，而反應器的水量可藉由各種低壓注水方法加以補充。反之，如果反應器是處於相對危險的狀態（即高壓力的狀態），即使降壓前反應器維持在高水位，執行反應器快速降壓仍可能導致燃料裸露。在這個例子中，微小的細節扮演舉足輕重的角色。控制降壓與緊急降壓不應該相互混淆。然而，這兩個術語在業主的壓力測試報告中並未清楚區隔。總之，原子能委員會要求台電公司，在嚴格有系統的審查和深入徹底的事故分析基礎下，針對斷然處置的有效性執行正當性評估。

5. 斷然處置中氫氣和圍阻體的壓力控制策略，應考慮到各種事故情境。
6. 原子能委員會要求台電公司針對增設移動式熱交換器以便從圍阻體和/或反應器中移除熱量之議題進行可行性研究。

6. 嚴重事故處理

6.1 持照者事故處理之組織與準備工作

6.1.1 事故處理之組織

6.1.1.1 組織架構

緊急控制大隊(Emergency Control Team，ECT)係電廠緊急計畫作業核心單位，由主控制室(Main Control Room，MCR)、技術支援中心(Technical Support Center，TSC)、運轉支援中心(Operation Support Center，OSC)、緊急民眾資訊中心(Emergency Public Information Center，EPIC)與保健物理中心(Health Physics Center，HPC)組成，ECT組織架構如圖6-1所示。

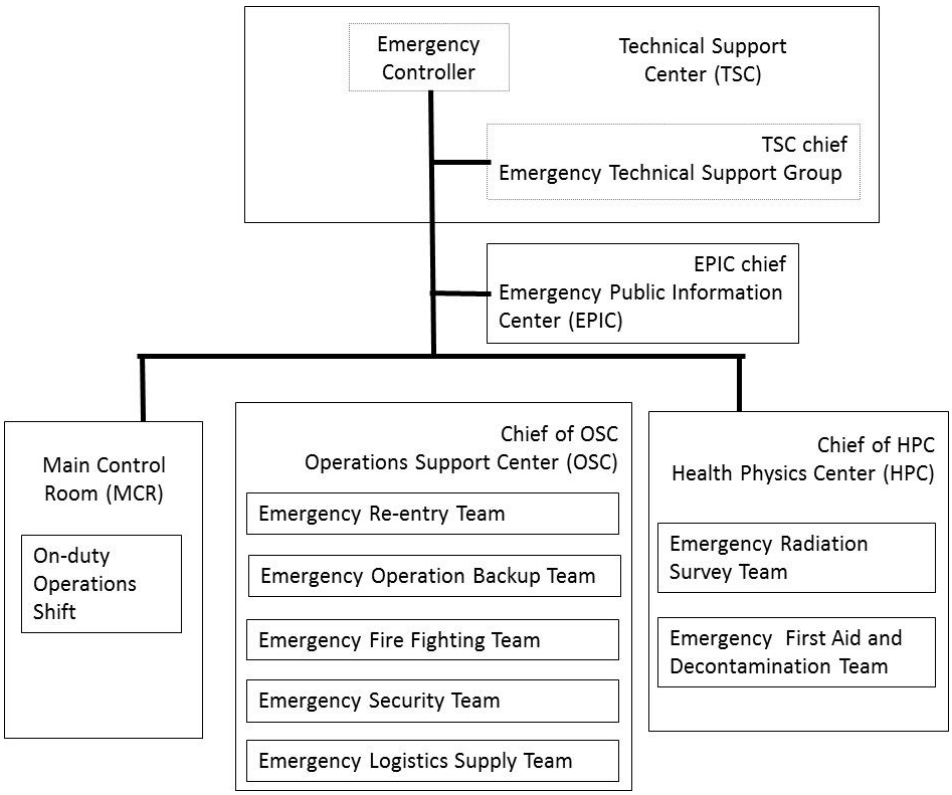


圖6-1 廠內緊急計畫作業組織 – 緊急控制大隊(ECT)

發生嚴重核子事故時將立即成立TSC，遵照緊急運轉程序書(Emergency Operating Procedure，EOP)與嚴重事故處理指引(Severe Accident Management Guideline，SAMG)執行相關策略，減緩事故的危害程度。嚴重事故處理小組(Accident Management Team，AMT)附屬於TSC，與MCR合作，做出事故處理的決策、執行救援措施、持續監視救援行動的有效性及視情況調整救援策略。

在TSC成立且AMT開始運作之前，MCR人員將依據SAMG監視並評估電廠狀況，防止爐心在TSC成立前受損。當TSC成立且AMT開始支援救援行動決策工作，事故救援的主控權將由MCR移轉至TSC，改由MCR支援TSC決定救援策略，並負責監視執行救援策

略可能發生的負面效應與考慮長期冷卻的需求，且定時回報給TSC。

為了因應類似福島之複合式災害、多機組嚴重事故，各電廠已加倍TSC與AMT各小組人力。如果TSC成員及機械工程、電力工程、儀器控制、修繕養護等專業人力因交通中斷或其他未預期原因而無法抵達廠區時，將以當地人力成立TSC，並按照個人專長進行編組，執行緊急應變計畫。另外，各廠已建立合約廠商與當地人力的名冊，名冊記載個人專長與聯絡方式，相信支援人力可以在最短時間內完成集結。

6.1.1.2 事故處理的廠外技術支援

電廠現況

我國的核子事故緊急應變組織(Emergency Response Organization)如圖6-2，其中，嚴重事故處理與應變的核心組織為ECT，由台電公司(Taiwan Power Company，TPC)之緊執會(Nuclear Emergency Planning Executive Committee，NEPEC)負責統整廠外技術支援，由政府中央災害應變中心(Central Disaster Response Center，CDRC)負責統一調度廠外的救援資源。

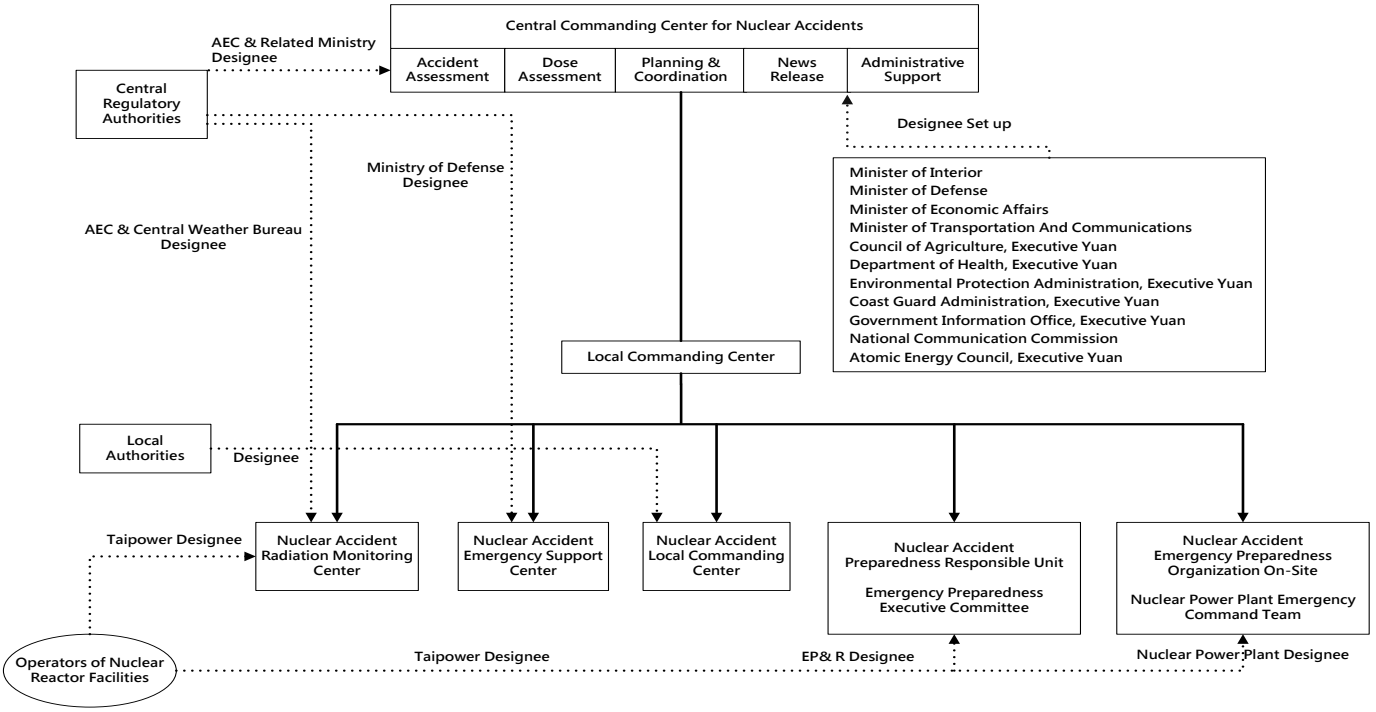


圖 6-2 核子事故緊急應變組織

ECT於發生嚴重事故時將立即研判事故所屬種類及影響程度，依照技術專長完成人力佈署以利執行相關程序。同時，ECT依規定向NEPEC報告事故之演變，NEPEC將盡速支援發生事故之電廠。如果廠外支援的需求提升，集結於NEPEC的所有外部資源將送到CDRC與前進指揮所(Forward Command Post，FCP)，所有資源及物料將由CDRC統籌分配與運用。來自於內政部消防署(Fire Department of Interior Ministry)、警方(Police Department)、國軍(Military Command Units)、其他政府部門與其他國家的救援資源都由CDRC調派。

福島事故後之強化措施

各核能電廠已與軍方、當地醫院與當地警察簽訂核子事故合作協議書，並有定期聯系以維持對協定內容與運作流程的了解。

6.1.1.3 事故處理程序、訓練及演習

電廠現況

台灣目前三座運轉中核能電廠，金山與核二廠係參考BWROG通用型EPGs/SAGs，核三廠係參考WOG通用型指引與程序書，並依照電廠特性完成各自的EOP與SAMG，並透過各種技術交流或研究發展不斷審視與更新這些程序與指引。各核能電廠定期舉行緊急應變與嚴重事故處理的訓練與演習。

福島事故後之強化措施

福島電廠受到超出設計基準的複合式災害襲擊，同時失去廠內/外AC電源及熱沉。從此次經驗學習中，TPC依據各電廠特性發展「斷然處置指引」(Ultimate Response Guideline，URG)程序書，編號為1451，其目的在於強化核能電廠的深度防禦能力。該程序書可以統整廠內、外資源，於第一時間控制事故進程，減緩事故的危害程度，如果有必要，將斷然決定採行替代注水策略以回復冷卻能力，維持反應器壓力槽(Reactor Pressure Vessel，RPV)、圍阻體與用過燃料池(Spent Fuel Pool，SFP)的完整性。TPC目前已正式施行URG程序書，本章6.1.4節將簡略介紹。

原子能委員會(Atomic Energy Council，AEC)已於法律及法規中明訂要求TPC必須定期舉行因應類似福島事故之緊急應變與嚴重事故的訓練與演習，由CDRC指揮的核安演習一年舉行一次，福島事故後也增加訓練及演習的內容，並提高演練頻率。

6.1.2 使用現有設備的可能性

核一廠

福島事故後，核一廠依據WANO的SOER 2011-2報告執行嚴重事故使用設備的可用性及功能性驗證，以嚴重事故處理程序(Severe Accident Procedure，SAP)(540.5 & 540.6)

及EOP輔助程序書(540.7)使用的設備為範圍，依主動式(Active)/被動式(Passive)屬性的設備進行必要測試(Test)，以現場踏勘(Walkdown)方式完成驗證與檢視(Inspect)，查驗結果均符合要求。

福島事故後，核一廠針對各種用於減緩嚴重事故相關程序書的設備進行清查，並分為兩大類，一為安全等級設備與系統，已固定裝置於電廠內，用於正常運轉或緊急狀況，第二種為支援緊急狀況之設備，固定、非固定、部分具有機動性存放於電廠內，通常是緊急狀況時使用。設備項目及清查結果分述如下：

(1) 安全等級的設備與系統

a. RPV/一次圍阻體注水：低壓爐心注水系統(Low Pressure Core Injection System，LPCI)、爐心噴灑系統(Core Spray System，CS)、高壓爐心注水系統(High Pressure Core Injection System，HPCI)、爐心隔離冷卻系統(Reactor Core Isolation Cooling System，RCIC)、冷凝水傳送系統(Condensate Transport system)、反應器飼水泵(Reactor Feedwater Pump，RFP)、消防水系統(Fire Water system)、圍阻體後備噴灑系統(Backup Containment Spray System，BCSS)、緊急爐心冷卻系統(Emergency Core Cooling System，ECCS)充水泵、備用硼液系統(Standby Liquids Control System，SBLC)及餘熱移除系統(Residual Heat Removal，RHR)海水連通管路；

b. 一次圍阻體排氣：一次圍阻體排氣系統、備用氣體處理系統(Standby Gas Treatment System，SBGT)、乾井噴灑系統、抑壓池噴灑系統；

c. 反應器功率控制系統：模式開關停爐(MODE SW S/D)、反覆反應度控制系統(Repetitve Reactivity Control System)(如控制棒替代插入系統，Alternate Rod Insertion，ARI)、控制棒(Control Rod)、SBLC；

d. RPV壓力控制：主汽機旁通閥、主蒸汽管路洩水閥、高壓注水系統測試模式(Test Mode)，RCIC測試模式、蒸汽抽氣器(Steam Jet Air Ejector，SJAE)、主汽機汽封蒸汽旁通閥、反應器爐水淨化系統(Reactor Water Cleanup System，RWCU)、RHR停爐冷卻模式、安全釋壓閥/自動洩壓系統(Safety Relief Valve/Automatic Depressurization System，SRV/ADS)；

e. 一次圍阻體氫氣控制：氫氧偵測系統、抑壓池排氣系統、乾井排氣系統、一次圍阻體空氣/氮氣沖淨系統、氫氣再結合器、乾井噴灑系統、抑壓池噴灑系統；

f. 一次圍阻體空氣控制：RHR抑壓池冷卻系統、乾井空調機系統；

g. 二次圍阻體控制系統/放射性物質釋放控制：SBGT、二次圍阻體內區域空調機、汽機廠房通風系統(Heating, Ventilating and Air Conditioning，HVAC)、廢料廠房HVAC；

h. 緊急電源：水冷式緊急柴油發電機(Emergency Diesel Generator，EDG)、氣冷式第5台EDG、氣渦輪發電機；

i. 熱移除系統(熱沉)：聯合廠房冷卻水系統(Combination Structure Cooling Water System，CSCW)、緊要海水系統；

j. 池水冷卻：SFP冷卻系統、抑壓池冷卻系統；

k. 其他：儀用空氣系統、CSCW、廠用海水系統(Normal Service Water System，NSCW)、緊要寒水系統。

經查證，上述設備均為可用狀態，且依品保制度定期測試、保養，並由電腦化維護管理系統(Maintenance Management Computer System，MMCS)進行管控。

(2) 緊急設備

a. AMT小組作業場所硬體(含各成員電腦)及運作軟體；

b. 事故處理所須參數的指示儀表(包括ERF及盤面儀表)；

c. 替代硼液注入設備；

d. 爐心注生水設備(包括生水池、相關管路及盲板)；

e. EOP程序書連鎖需跨接或拆除的接點部分，查驗跨接線數量、位置；

f. 移動式空壓機(備用EDG起動空氣)；

g. TSC/OSC柴油發電機；

h. 防火(含水源、CO_2存量、發電機、消防泵、取水泵、消防車等)。

上述緊急設備分為主動式、被動式，需定期進行測試或檢視/現場踏勘確認設備可用並可發揮功能，各項設備檢視結果均正常。原本極少不在預防保養範圍內的項目，已經過MMCS檢討修訂，加入定期預防保養範圍。

(3) 現場踏勘或檢查緩減事故後果之重要設備(如防火設備)等功能是否因地震、海嘯、水災之交互作用而喪失功能，並檢討潛在弱點：

核一廠已完成事故處理相關重要設備之所在位置、耐震等級、動力來源及目前維護措施的查證，包括：反應器注水、反應度控制、氫氣控制、圍阻體排氣、反應器排氣及壓力控制、SFP緊急補水、緊要海水系統及防火設備等。各重要設備防護火災、水災、地震、海嘯的設計基準現場踏勘或檢查結果如下：

a. 火災

核一廠已經依照消防系統維護作業，完成消防相關設施測試、維護和檢查，未發現異狀，包括自動消防水噴灑系統、CO_2自動噴灑系統、消防泡沫噴灑系統、海龍自動滅火系統、室內外消防栓。經查證，核一廠安全停機相關的消防設施(除源頭設備、管線外)都符合耐震一級的設計標準。

b. 水災

核一廠已提出緊要海水泵室水密不足的改善案，將於穿越孔加裝擋板(MMR-0416/0407)。

c. 地震

核一廠的反應器廠房、ECCS均採耐震一級之設計，反應器廠房燃料吊車亦同，且已增設機械煞車裝置，可防止吊車因滑移而墜落。「核能電廠耐震評估專案小組」已完成核一廠全黑(Station Blackout，SBO)啓動的氣渦輪機系統、儲油槽及生水池的勘查。核一廠的發電、變電相關設施廠房內，不屬於救援策略之系統的設備、器材、雜項物件都有安排臨時性或長時性存放的位置，確保這些物件在平時或地震時不會損壞安全相關的設備。

d. 海嘯

國科會(National Science Council)已召集國內學者進行海嘯模擬研究，評估國內核能電廠受海嘯侵襲的可能性，依據現有的資料與科學證據顯示國內四座核能電廠均無受到海嘯侵襲的影響。若地震發生在琉球群島附近，且地震規模達8.5時，最大溯上高度為2.8公尺，低於核一廠最終安全分析報告(Final Safety Analysis Report，FSAR)所述最大9公尺海嘯，加上暴潮水位1.73公尺，仍低於核一廠平面層實際高度的11.2公尺。然而，核一廠考量海嘯預測存有不確定性，未來仍將建立海嘯牆。

核二廠

電廠現況

福島事故後，核二廠立即遵照WANO SOER 2011-2的所有建議事項進行查證與因應，依據建議事項1.a，查驗現行規畫之減緩嚴重事故處理程序所需設備與儀表的功能性及可用性，範圍包括EOP、SAMG與SFP冷卻。查驗結果顯示反應器注水、反應器排氣及壓力控制、反應度控制、氫氣控制、圍阻體排氣、SFP緊急補水、緊急電源、緊急循環水系統、事故處理所需儀表(包括緊急應變設施ERF及盤面儀表)等功能性正常。運轉規範內之系統的可用性，採用測試或檢視方式驗證，非日常例行檢查之主動式項目則採用測試方式驗證，被動式項目則以檢視與現場踏勘方式驗證。

福島事故後之強化措施

核二廠的全面清查已於100年4月30日完成，現行規劃之減緩嚴重事故處理策略所需設備與儀表的可用性與功能性已經過查驗，查驗結果指出「消防水庫車」超過使用年限，但功能測試正常。核二廠已於檢討後增購數台消防水庫車(詳如本報告第2及3章)。上述設備清查後，均已依品保制度納入核二廠定期測試與預防保養項目，維持各項救援設備的可用性與功能性。

核三廠

電廠現況

核三廠發生嚴重事故時將遵循EOP及SAMG來處理事故狀況，並成立TSC與AMT，依事故狀態採取相對應救援策略，減緩事故的危害程度。如果SFP發生冷卻異常的狀況，運轉人員則依照程序書597.1「SFP喪失冷卻能力或池水流失時之處置與恢復策略」進行處理，確保用過燃料被冷卻水淹蓋，避免用過燃料曝露造成嚴重事故。

福島事故後，核三廠針對各種用於減緩嚴重事故相關程序書的設備進行清查，並分為兩大類，一為安全等級設備與系統，已固定裝置於電廠內，用於正常運轉或緊急狀況，第二種為支援緊急狀況之設備，固定、非固定、部分具有機動性存放於電廠內，通常是緊急狀況時使用。設備項目及清查結果分述如下：

(1) 安全等級的設備與系統

A. 反應器冷卻系統(Reactor Coolant System，RCS)/圍阻體注水：RHR、高壓注水系統(即透過離心式充水泵泵送高壓水)、中壓注水系統(即蓄壓槽，Accumulator)、冷凝水儲存及傳送系統(Condenser Storage and Transfer System)。

B. 蒸汽產生器(Steam Generator，S/G)補水與蒸汽排放：主蒸汽隔離系統(如MSIV)、輔助飼水系統、飼水隔離系統(如FWIV)。

C. 圍阻體冷卻：圍阻體氫氣分析儀、圍阻體風扇冷卻器(Fan Cooler)、事故後氫氣排放系統(Post-Accident Hydrogen Purge System，PAHPS)、氫氣再結合系統、圍阻體低容積排放系統(Low Volume Purging System)。

D. 緊急電源：EDG-A、EDG-B、第五台EDG、氣渦輪發電機。

E. 餘熱移除(最終熱沉)：NSCW。

F. SFP冷卻：SFP冷卻系統、SFP補水系統。

經查證，上述設備均為可用狀態，且依品保制度定期測試、保養，並由MMCS進行管控。

(2) 緊急設備

A. AMT小組作業場所的硬體設備(含個人電腦)；

B. 事故處理所須參數的指示儀表(包括ERF及盤面儀表)；

C. 硼酸備料；

D. 緊急狀態以生水進行爐心補水的系統與設備(包括生水池、相關管路及盲板)；

E. EOP程序書連鎖需跨接或拆除的接點部分，查驗跨接線數量、位置；

F. TSC柴油發電機；

G. 防火設施(含水源、CO_2存量、發電機、消防泵、取水泵、消防車等)。

緊急設備分為主動式、被動式，需定期進行測試或檢視/現場踏勘，確認設備可用並可發揮功能，各項設備查驗結果均正常。但是，如果發生地震/海嘯/水災之複合式災害，導致電廠長期喪失AC、DC電源及最終熱沉，則上述減緩事故後果之重要設備可能無法發揮其功能。

福島事故後之強化措施

針對上述重要設備可能因長期喪失AC、DC電源及最終熱沉而失去功能，核三廠推動下列改善措施：

(3) 建立斷然處置指引(URG，詳6.1.4節)程序書；

(4) 改善廠用海水泵室(Service Water Pump Room)防海嘯設計

A. 於廠用海水取水池加設格柵頂蓋，防止海嘯時大型污物自取水池頂部侵入取水池而影響取水(100年6月30日完成)。

B. 加裝廠用海水取水泵室馬達區的水密門與擋水牆，將其分機組/分串實體隔離保護，防止海嘯侵襲時同時喪失所有廠用海水泵。改善後可將海嘯防護高程從9.12公尺提升至12.9公尺(100年8月31日完成)。

(5) 強化電廠防淹水能力

A. 在重要廠房的開口加裝高1公尺以上之防水擋板，或將廠房的門改為水密設計(預計在101年11月31日完成)；

B. 原有20台抽(沉)水泵，另增購買30台柴油引擎抽水泵，提高廠房淹水後排水能力。

(6) 建立完全喪失 DC 電源時的監視及控制能力

A. 核三廠已建立一操作程序，可以利用儀器量測現場傳送器電壓，量測電流，轉換成為工程單位，將參數送到MCR；

B. 核三廠已建立一操作程序，可以在沒有DC電力下，於現場手動啟動與操作汽機帶動輔助飼水泵(Turbine Driven Auxiliary Feedwater Pump，TDAFWP)、開啟

S/G的動力釋放閥(Power Operated Relief Valve，PORV)。

(7) 強化 S/G 後備補水能力

A. 建立「建立柴油引擎帶動輔助飼水泵(Diesel Driven Auxiliary Feedwater Pump，Diesel Driven AFWP)」及「消防水帶連接消防車或消防栓」的S/G補水相關策略，並列入運轉人員訓練重點項目，每年訓練2次；

B. 增購1台消防水庫車，加強機動S/G補水能力。

龍門電廠

龍門電廠主要安全系統皆為耐震一級設計，並建置在海拔12公尺以上高度。有鑑於日本福島事故，龍門電廠已依AEC指示進行「電廠核能安全防護總體檢」，除了既有因應意外狀況的移動式救災設備，並一步擴充及規畫移動式設備。前述相關設施/設備已存放於廠內不易受複合式災害損害的場所，當發生超出基準事故時，可以由電廠編制人員迅速列置完成，成功達成緊急救援目的。

6.1.2.1移動式儀器/設備的使用

核一廠

核一廠已增購12台480V移動式柴油發電機、1台4.16kV柴油發電機電源車、2台移動式柴油空壓機、3台小型移動式空壓機、8台移動式大型消防泵等設備。針對電廠發生超出設計基準事故時，機組可能喪失廠內/外AC電源及反應器注水功能的風險，核一廠已建立URG程序書，該程序書包括各種因應方案，如後備動力、水源、氣源及灌水途徑、必要之圍阻體壓力控制、氫氣控制等，動員所有可能之人力及物力，最短時間內將所有可資運用的水源列置完成，經判斷短時間無法恢復設計基準之注水與冷卻功能，立即將可用後備水源注入反應器，確保燃料被水覆蓋，防止燃料受損及放射性物質外釋(2011年6月30日完成)。

當核一廠遭遇地震、海嘯等超出設計基準之複合式災害的襲擊，喪失緊急海水(Essential Service Water，ESW)及所有廠內/外AC電源情況下，URG程序書可以提供救援指引與操作步驟，詳細內容請參考6.1.4節核一廠URG介紹。

核二廠

針對電廠發生超出設計基準事故時機組可能喪失廠內/外AC電源、反應器注水功能及最終熱沉的風險，核二廠已建立URG程序書，藉由各種替代注水路徑、電源供應及水源的配置，在短時間內建立替代爐心注水路徑。若判斷預期短時間無法恢復原始的注水與冷卻功能，立即以替代注水路徑將水源注入反應器，確保燃料被水覆蓋，防止燃料受損。

當核二廠遭遇超出設計基準的事故(如複合式災害)，喪失ESW與所有廠內/外AC電源，URG程序書可以提供救援指引與操作步驟，達到以下目標，詳細內容請參考6.1.4節核二廠URG介紹。

(1) 維持反應器爐心冷卻；

(2) 維持MCR監控功能；

(3) 確保圍阻體完整和抑制放射性物質外釋；

(4) 維持燃料池冷卻及用過燃料的掩蓋；

(5) 積極修復救援設備並恢復長期冷卻能力。

核三廠

電廠現況

原有事故救援的移動式設備僅有提供TSC與消防車緊急電力的移動式柴油發電機，其他的救援操作均未使用到移動式設備。

福島事故後之強化措施

為因應類似福島電廠遭遇的複合式災害，核三廠建立URG程序書，使用移動式電源、氣源、替代水源執行事故緩和策略。各項策略執行程序、設備安裝/儲存位置、所需人力及列置時間詳述於URG程序書中。所有準備工作可以在預定時間內完成，必要時斷然執行替代爐心注水。

核三廠URG程序書有10項策略使用移動式設備：「生水(消防水)注水入S/G」、「生水(消防水)注入反應器」、「沉水泵排水操作」、「480V移動式柴油發電機引接」、「移動式空壓機/氮氣瓶供給圍阻體排氣閥」、「SFP緊急補水/噴灑」、「機動性水源對冷凝水儲存槽(Condensate Storage Tank，CST)注水」、「機動性水源對燃料更換水儲存槽(Refueling Water Storage Tank，RWST)注水」、「4.16kV電源車引接」、「緊急進水口垃圾清運」。

龍門電廠

當電廠遭遇地震、海嘯等超出設計基準之複合式災害的襲擊，機組可能喪失反應器廠房冷卻海水系統(Reactor Building Seawater，RBSW)/反應器廠房冷卻水系統(Reactor Building Cooling Water，RBCW)與所有廠內外/AC電源。由於前述設備無法使用，導致反應器注水功能喪失、SFP水位下降、衰變熱無法移除等情況。針對這些情況，龍門電廠的URG程序書可以提供救援指引與操作步驟，達到以下目標。

(1) 維持反應器爐心冷卻。

(2) 維持MCR監控功能。

(3) 防止(減少)放射性物質外釋。

(4) 維持燃料池冷卻及用過燃料的淹蓋。

6.1.2.2 後勤供應管理

核三廠的程序書1411「後勤與設備支援程序」明訂嚴重事故後勤供應管理的運作程序，其項目如下：

(1) 協調緊急應變組織第二梯隊人力，支援緊急應變組織；

(2) 車輛調度，材料供應，緊急備料與救援人力之食宿安排；

(3) 財務與會計支援；

(4) 評估目前及未來的設備要求；

(5) 收集、了解廠外情況(如風向、進出交通路線)，以便安排支援人力、物力；

(6) 支援資訊交換；

(7) 向NEPEC申請後勤支援。

如果事故期程延長，TPC將成立NEPEC，政府將成立CDRC。

6.1.2.3 輻射外釋管理的準備

<u>核一廠</u>

核一廠已針對緊急搶修之支援人力與其相關進廠程序及輻防管制程序，建立完備的程序書，但對於複合式災害可能需求之極少數特殊專業人員，仍要求編入緊急工作隊，再依現行程序書任務編組進行搶修作業。

在考量搶救時效之緊急情況下，而無法納入編組者，由HPC人員給予5~10分鐘搶修輻射安全講習，說明緊急曝露之法規規定、接受輻射之風險及現場輻防狀況、搶修輻射劑量警報限值，並徵得當事人之劑量授權同意簽名，會同支援人員前往現場，並指導相關輻防注意事項。

搶修人員進入輻射管制區前，由HPC人員發予佩章及輔助劑量警報計，並指導搶修人員輻防衣物穿著及輻防裝備使用等。搶修人員離開輻射管制區後，由HPC人員協助，前往指定之臨時管制站進行全身污染偵測及去污作業，依接受劑量多寡執行必要劑量查核及醫護照顧，確保搶修人員輻射安全。

<u>核二廠</u>

當發生嚴重事故時，核二廠對於輻射外釋管理及侷限輻射的準備，可分放射性氣體及放射性液體二部份，此部分的說明與6.4節是相同的。因應方案包含：

(1) 通知緊急輻射偵測隊加強廠區雨水下水道之輻射偵測與取水樣分析；

(2) 如果發現輻射廢水流出廠房；

A. 通知再入隊員先以沙包圍堵外流的廢水；

B. 另派出再入隊員以消防車/廢水車將外流的高輻射污水抽至消防車內運回廠房內待處理；

C. 派遣緊急後備運轉隊查探廢水洩漏來源。

(3) 派緊急再入隊員進行阻斷漏源工作，如：在圍阻體之漏源裂縫以高壓注入發泡止漏劑，或關閉閥門；

(4) 通報TPC的NEPEC與政府CDRC，必要時由CDRC協調輻射偵測中心派專業人員加強監測。

核三廠

電廠現況

目前嚴重事故時輻射外釋的管理係依據程序書1414「輻射偵測程序」，取得廠房、監測區與廠界輻射偵測數據，提供TSC決定最佳的放射性物質排放策略，並為搶修人員規劃較完善的輻射安全防護措施。

SAMG(程序書1450)中限制放射性物質排放策略有：SCG-1「減緩分裂產物外釋」、SCG-2「圍阻體降壓」、SCG-3「控制氫氣燃燒」、SCG-4「控制圍阻體真空」、SAG-5「降低分裂產物的外釋」、SAG-6「圍阻體溫度/壓力控制」、SAG-7「降低圍阻體氫氣濃度」，然而這些救援措施都必須要有電源或氣源才可以執行。

福島事故後之強化措施

(1) 改善執行圍阻體排氣之能力

福島電廠因廠房內累積大量氫氣，導致排放時發生嚴重氫氣爆炸的狀況。有鑑於此，核三廠已建立喪失所有AC及DC電源時執行圍阻體排氣的能力，即URG程序書的MS.2-01與MS.2-04策略，避免氫氣過度累積。

(2) 提高事故後放射性液體貯存容量

針對大量放射性液體排放的問題，核三廠已於程序書930.2妥善規劃事故時放射性液體貯存設施及處置時機，其貯存容量足以因應如福島電廠的事故。

(3) 增加侷限輻射搶修作業所需配備

福島事故後，核三廠已增加輻射屏蔽、防護衣等儲存量，廠內存量加上其他電廠的調度支援便可符合事故救援的需求。

龍門電廠

當發生嚴重事故時，龍門電廠對於放射性氣體與液體外釋的管理及侷限輻射的準備，將分別陳述於6.4節中。

6.1.2.4 通訊設備及資訊系統

核一廠

核一廠正常、緊急通訊設備的設計如下：

(1) PA (廣播通話系統)：由SUPS-1供電，並可在汽機廠房、反應器廠房及室外獨立運作，不會發生單一區域失效造成造成全廠不可用的情形；

(2) 衛星電話：附有電池，可待機48小時，可用為110V AC電源插座充電；

(3) 廠內電話：配置可獨立運作8小時的電池(48V DC/300Ah)，一次側的充電器為220V AC單相電源。電源來自11kV系統的不斷電系統(Uninterruptible Power Supply，UPS)/監控室UPS(後備)。替代停機盤(Alternate Shutdown Panel，ASP)系統之電話依安全等級配管敷設；

(4) 個人攜帶掌上無線電話系統(Personal Handyphone system，PHS)；

(5) 廠外電話：中華電信(除專線外)與廠內電話總機連結。公司微波通訊系統，配置可獨立使用8小時的電池(48V DC/300Ah)，一次側的充電器為220V AC單相電源。

針對超出設計基準的正常/緊急通訊設備因應措施與強化方案

(1) 核一廠已配置單相220V移動式柴油發電機，可做為總機充電器的後備電源，能確保廠內電話及PHS持續可用；

(2) 原本核一廠總機室設於主警衛室外之辦公大樓地下室，恐受海嘯淹水而喪失功能，目前已遷移至高處。

核二廠

電廠現況

(1) 衛星電話主機：附有電池，可待機48小時，主機設置於TSC廠長室。分機置於MCR，由主機供電。核二廠每月定期測試功能，必要時可移至戶外使用，其主機電池可使用120V AC電源充電；

(2) PA系統所需電源來自UPS，當廠區全黑時，可由電池模組持續供電，維持其功能；

(3) 核二廠的廠內電話系統、PHS交換機及核二廠專設長途電話(微波系統)交換機位於第一行政大樓平面樓，當廠區全黑時，自備的電池可維持10小時的功能。

(4) 中華電信電話外線電話不必外加電源，線路完整即可通話；

(5) 直通對講機(Straight-forward Walkie-Talkie)：主機附有電池，不需AC電源，由TSC對各支援中心、消防班、模中控制室及MCR之間直通對講；

(6) 資訊系統主要使用網路進行資料及視訊傳遞，其傳遞方式係利用核二廠專設長途電話(微波系統)與中華電信非對稱性數位用戶專線(Asymmetric Digital Subscriber

Line，ADSL)傳遞，微波系統交換機配有的電池，可維持10小時功能。

通訊強化方案

(1) 衛星電話主機：核二廠已完成TSC柴油發電機改善，如發生廠區全黑事故便會自動起動，供電給衛星電話主機。如TSC柴油發電機故障，則改用備妥的小型汽油發電機供電；

(2) PA系統：針對電池電力可能耗盡的情形，核二廠已增加額外的電源，可供電至1/2B3或1/2B4，即可供電至1/2DE的充電器。1/2DE匯流排有電的情形下，PA系統即可恢復其功能；

(3) 核二廠廠內電話系統、PHS電話系統交換機及核二廠專設長途電話(微波系統)交換機：當廠區全黑時，自備的電池可10小時運轉。核二廠已完成OSC柴油發電機改善作業，如發生SBO事故便會自動起動並供電，保持通訊可用；

(4) 網路資訊系統：核二廠已完成OSC柴油發電機改善作業，如發生SBO事故便會自動起動，供電給網路資訊系統，保持網路資訊系統可用。

[註]：相關電源強化方案，詳第五章說明。

核三廠

電廠現況

核三廠既有的通訊設備包含高聲電話廣播系統(PA)、微波電話系統、廠內電話系統、DECT(同PHS)電話系統、中華電信外線電話、直通對講機及衛星電話。

(1) 衛星電話主機：電池於待機狀態可以使用48小時，主機設置於TSC大隊長座位旁。分機設置於1、2號機的MCR，由TSC主機供電，必要時可移至戶外使用。每月定期進行功能測試。

(2) PA系統所需電源來自NH-E26-C2 (QF-UPS01)、NH-E25-C2 (QF-UPS02)、NH-E05-B2 (QF-UPS03)、NH-E12-B2 (QF-UPS04)，當廠區全黑時，可由UPS供電。

(3) 廠內電話系統及DECT電話系統間的交換機與核三廠專設長途電話交換機(微波電話系統)設置於行政大樓1樓，當廠區全黑時，可由自備的電池持續使用20小時。

(4) 中華電信外線電話不必外加電源，線路完整即可通話。

(5) 直通(熱線)電話係由TSC對各支援中心OSC、HPC、模中控制室、1及2號機MCR之間直通對講，其功能由微波交換機提供，當廠區全黑時，可由自備的電池持續使用20小時。

(6) 資訊系統，廠區內外網路資訊系統(internet)及視訊傳遞係利用核三廠自行建置之光

纖網路、微波系統及中華電信ADSL。其系統自備電池可提供10小時持續運轉；中華電信ADSL由TSC供電，線路完整即可正常運作。

福島事故後之強化措施

(1) 衛星電話主機：在發生廠區全黑事故時，若備用電池用罄，可由480V AC移動式柴油發電機供電，提供衛星電話電源。

(2) PA系統：考量長時間失電導致電池組電力用罄的狀況，可由480V AC移動式柴油發電機併電至高聲電話之UPS電源，確保PA系統可持續使用。

(3) DECT電話系統：考量長時間失電導致電池組電力用罄的狀況，可由480V AC移動式柴油發電機連接至N1E-NH-F001A，保持通訊持續可用。

龍門電廠

(4) 廣播通話系統(PA系統)

PA系統由UPS供電，並可在每一個廠房與戶外獨立使用。當單一廠房PA系統不可用時，不會影響其他廠房PA系統的使用性。

(5) 廠內電話系統

廠內電話系統設置獨立的48V DC/400Ah電池及充電器，由110V AC 1F43-CVCF-5001 (1R12-NPPL-5062A2-5)單相電源供電，提供至少8小時的通訊能力；後備電源為移動式柴油發電機。

(6) 低功率DECT

依附於廠內電話系統，目前尚在建置中。

(7) 聲力電話(Sound Power，SP)

SP有4個迴路，可供控制廠房、汽機廠房、反應器廠房、主警衛室、輔助燃料廠房以及開關廠房相互聯絡之用。

(8) VHF(超高頻)無線電系統

VHF無線電系統共有3個頻道。電廠全黑時，UPS可維持VHF無線電系統運作8小時。當中繼台故障時，則可切換至放射試驗室之後備中繼台以使系統繼續使用。另有8組分別安裝於1、2號機之反應器廠房、控制廠房、開關廠房及TSC之操作控制台，可與廠區外無線電手機及車機通話使用。此外，另備有204支手持式無線電手機(自備充電式鋰電池)與16組車裝無線電機，可用於廠外通訊。

(9) 廠外電話

廠內電話總機經由升級線路與廠外中華電信連結，其電源由UPS 0Y86-CVCF-5002供電；後備電源則為柴油發電機。TPC微波通訊系統配有48 V DC/1300Ah (800Ah

+500Ah)之相互獨立且彼此支援之電池組，至少可維持8小時運作，可由220V AC單相電源充電。廠外電話系統可由MCR直通澳底派出所、貢寮消防隊，電源由中華電信提供。

(10)衛星電話

電源來自1R15-NPPL-0112B2-8，配有1000VA容量的UPS， 後備電源為移動式柴油發電機。

6.1.3 可能妨礙事故處理之因素與偶發事件的評估

6.1.3.1 廠周邊基礎設施受到廣泛破壞

核一廠

核一廠的緊急應變計畫(1400系列程序書)已明訂ECT各組織的分工權責及動員方式，包括當值值班人員、緊急後備運轉隊。

正常上班時段發生事故

A. 如果正常上班時段發生事故，且運轉值班人員無法抵達電廠接班，則由模中訓練班人力與機動支援班7人(皆為持照人員)及運轉組人力接替，並協助機組運轉處置。
B. 核一廠各部門維護人力均在廠內，另有長期合約駐留廠區的承包商，正常上班時間的維護人力總數可達百人以上，應可滿足緊急情況的設備維護需求。
C. 核一廠的廠內消防班人力於二值時段配置8人，而正常上班時段依緊急計畫組織，編組緊急後備消防隊人力有25人，可協助消防工作。

非正常上班時段發生事故

D. 經調查，居住於茂林廠區單身備勤宿舍值班(含運轉組)人員計有23人，將可優先通知協助機組運轉工作，以因應運轉值班因接替人力無法抵達之情況；另居住淡水備勤宿舍、淡水、金山、石門等鄰近地區的值班人員有102人，也可在外援抵達前，先行進廠協助。
E. 經調查，居住茂林廠區單身備勤宿舍維護人員(機、電、儀、修、保健物理等)人員計有45人，可緊急動員進行設備搶修工作。另居住淡水備勤宿舍、淡水、金山、石門等鄰近地區維護部門同仁有186人，也可通知進廠協助緊急應變處置。另電廠維護協力廠商亦有許多居住於金山、石門地區的技術人力，且維護合約中，均列有緊急搶修項目，遇有緊急事故時，可洽協力廠商派人支援。
F. 非正常上班時段的廠內消防班人力維持8名，消防班外包人員均為金山、石門地區居民，遇有狀況時將可緊急通知入廠。另有駐廠保警人力，亦可協助救災事宜。核一廠與新北市政府消防部門簽有「消防和救援協議」，支援單位的人

力、車輛、設備將在災害發生時，根據災情的特點，進入災區救援。

G. 若事故發生於非上班時間，而廠外人員無法抵廠時，對於維護人力需求衝擊較大，須借助協力廠商居住於金山、石門、基隆的技術人力協助。

核二廠

核二廠的緊急應變計畫(1400系列程序書)已明訂ECT各組織的分工權責及動員方式，包括當值值班人員、緊急後備運轉隊。

正常上班時段發生事故

H. 如果正常上班時段發生事故，且運轉值班人員無法抵達電廠接班，則由模中訓練班人力與機動支援班10人(大部分為持照人員)接替，並協助機組運轉處置。

I. 核二廠各部門維護人力均在廠內，另有長期合約駐留廠區的承包商，正常上班時間的維護人力總數可達百人以上，應可滿足緊急情況的設備維護需求。

J. 核二廠的廠內消防班人力於二值時段配置8人，而正常上班時段依緊急計畫組織，編組緊急後備消防隊人力有48人，可協助消防工作。

非正常上班時段發生事故

K. 經調查，居住廠區單身備勤宿舍值班人員計有48人，可優先通知協助機組運轉工作。另居住金山、萬里地區值班人員有14人，因應運轉值班接替人力無法抵達前，可先進廠協助；

L. 經調查，居住廠區單身備勤宿舍維護人員計有24人，可緊急動員進行設備搶修工作。另居住金山、萬里地區維護部門同仁有23員，可通知進廠協助緊急應變處置。另電廠維護協力廠商的技術人力大部分居住於金山、萬里地區(已建冊於程序書1408及1409)，且維護合約中均列有緊急搶修項目，遇有緊急事故時，可洽協力廠商就近派人支援；

M. 目前消防班人力為外包方式，於非正常上班時段維持8名消防員在廠，另消防班外包人員均為金山地區居民，遇有狀況時可緊急通知入廠。另有駐廠保警人力，亦可協助救災事宜；

N. 若因廠外道路不通，將向中央政府CDRC申請工兵支援搶通道路或利用直升機載送人員與物資設備搶修，以及人員緊急送醫。

核三廠

當電廠周邊設施(包括連外道路)受到廣泛破壞時，將倚賴廠區內及鄰近區域的人力、物力進行短期急迫的救援措施，並設法將電廠狀況通知政府CDRC及TPC之NEPEC等單位，請求提供長期的救援支援。

電廠現況

(1) 人力配置

A. 緊急計畫動員人力

1. 在正常上班時間，值班經理通知主管，依程序書1400「緊急應變計畫」及其相關執行程序書進行動員，以應付緊急情況。各維護部門人力均在廠內，另有長期合約駐留廠區的承包商，維護人力可達百人，可滿足緊急情況的設備維護需求。若運轉值班人員無法抵達電廠接班，此時模中有訓練班人力、機動支援班人員(大部份為持照人員)，可接替及協助機組運轉處置。
2. 假日或夜間，值班經理會立即通知廠內值日、值夜主管支援，依程序書1400「緊急應變計畫」及其相關執行程序書進行動員，以應付緊急情況。

B. 消防人力

消防勤務工作人員全隊共29人，除隊長1人、消防巡查員3人、多功能蓄水池消防巡查員1人，其餘人員分成4班(每班6人)，不分例假日或國定假日，一天24小時分3班輪值，每班最低出工人數為6人(包含領班、消防車駕駛員及消防員)，按輪值表依分配勤務執行工作。此外，消防班外包人員均為恆春地區居民，遇有狀況時可緊急通知入廠協助救援。如果額外支援需求，TSC成立後可依緊急計畫1408「OSC動員與應變程序」、1420「消防救火程序」可召集消防隊其隊員約58人。核三廠目前每3個月執行1次不預警通聯或動員測試，每年配合緊急計畫演習進行消防演練或訓練。

(2) 物力配置

A. 核三廠備有拖車2部、吊車7部、堆高機10部，於重大狀況時可用於廠區環境搶修，維持廠區交通正常，使救援作業順利。

B. 核三廠備有消防指揮車1部、消防器材車1部、消防水箱車1部、消防化學車1部，可在很短的時間內就開始執行消防救災工作。

(3) 通訊能力檢討

核三廠配置的通訊系有廠用有線電話、微波電話、DECT(同PHS)無線電話、PA 高聲電話、SP等，除SP不需電源外，其餘均設置獨立UPS供電。發生SBO事故後，廠用有線電話、微波電話及DECT無線電話，可持續使用20小時，PA高聲電話可持續使用4小時。

若廠用有線電話、微波電話、DECT無線電話、PA高聲電話均不可用時，對外尚可

使用衛星電話聯繫，廠區也還有Walkie Talkie及SP維持通訊。因為上述通訊設施的完備，電廠可以很快聯繫到CDRC，詳述電廠受損及救援的狀況，並請求提供及時之人力及物力的支援。

福島事故後之強化措施

(1) 人力配置檢討

經過檢討廠外救援機制無法順利抵達時電廠獨自應付的能力，核三廠規劃的補強如下：

A. TPC核發處決定101年4月起消防班每班增加2人。

B. 已登錄居住恆春地區各類專長人員103人(含運轉人力)，事故時可優先通知進廠協助機組運轉工作。各類專長協力廠商亦比照列冊，於徵得其同意後進廠協助維護。

C. 依交通狀況，利用陸海空運載送鳳山、五甲備勤宿舍維護人員(機、電、儀、修)人員進廠進行維護工作。另電廠維護協力廠商亦有許多居住於高雄、屏東地區之技術人力，且維護合約中，均列有緊急搶修項目，遇有緊急事故時，可洽協力廠商就近派人支援。

(2) 物力配置檢討

核三廠已於100年12月31日增購1台消防泡沫車、訂購水庫車1台，並根據福島電廠的事故經驗檢討目前的緊急應變資源與設備。

(3) 通訊能力檢討

A. 衛星電話主機：發生廠區全黑事故時，若備用電池用罄，可由480V AC移動式柴油發電機供電，提供衛星電話電源。

B. PA系統：考量長時間失電導致電池組電力用罄的狀況，可由480V AC移動式柴油發電機併電至高聲電話之UPS電源，確保PA系統可持續使用。

C. DECT電話系統：考量長時間失電導致電池組電力用罄的狀況，可由480V AC移動式柴油發電機連接至N1E-NH-F001A，保持通訊持續可用。

龍門電廠

廠外支援困難的因應方式

龍門電廠的緊急應變計畫(1400系列程序書)已明訂ECT各組織的分工權責及動員方式，包括當值值班人員、緊急後備運轉隊。另外對於事故發生於「正常」或「非正常」上班時段之緊急應變人力之檢討， 說明如下。

(1) 正常上班時段發生事故

A. 如果正常上班時段發生事故，且運轉值班人員無法抵達電廠接班，則由模中訓練班人力與機動支援班10人(大部分為持照人員)接替，並協助機組運轉處置。

B. 龍門電廠各部門維護人力均在廠內，另有長期合約駐留廠區的承包商，正常上班時間的維護人力總數可達百人以上，應可滿足緊急情況的設備維護需求。

C. 龍門電廠的廠內消防班人力於二值時段配置8人，而正常上班時段依緊急計畫組織，編組緊急後備消防隊人力有45人，可協助消防工作。

(2) 非正常上班時段發生事故

A. 將於未來燃料裝填前比照友廠調查居住廠區單身備勤宿舍值班 (含運轉組)人員，優先通知協助機組運轉工作，以因應運轉值班接替人力無法抵達而有不足時之狀況。另已規畫於貢寮、 雙溪地區籌建眷屬宿舍，必要時可聯絡值班人員先行進廠協助。

B. 將於未來燃料裝填前比照友廠調查居住廠區單身備勤宿舍維護 (機、電、儀、修)人員，將可緊急動員進行設備搶修工作。另已規畫於貢寮、雙溪地區籌建眷屬宿舍，必要時可聯絡維護人員先行進廠協助。

C. 消防班人力於非正常上班時段維持6名消防員在廠，消防班外包人員均優先進用貢寮、雙溪、瑞芳、基隆等地區居民，遇有狀況時將可緊急通知入廠。另有駐廠保警人力，亦可協助救災事宜。

D. 若廠外道路不通，將向中央政府CDRC申請工兵支援搶通道路或利用直升機載送人員與物資設備搶修以及人員緊急送醫等工作。

使用廠外技術支援進行事故處理(包括廠外支援不可用的應急措施)

為因應複合式災害，龍門電廠已規畫值班人員配置，建立URG程序書3階段點檢表(URG的附錄05與06)，第1階段之相關項目須由廠內人力在短時間(1小時)內獨力完成。包括RPV降壓、替代注水、以移動式電源搶修恢復重要系統/儀器電力等，於第一時間避免事故惡化並進行有效控制。若道路中斷廠外支援不可用時，龍門電廠緊急應變組織各工作隊編成2~3組，可分批輪替，利用廠內原有備援設備搶修機組。

而第2階段及第3階段作業行動(URG附錄06)時限為8小時及36小時。此時，緊急應變各組織已逐步動員，且如前述之廠區單身備勤宿舍、貢寮、雙溪地區之員工及協力廠商也可陸續抵達，可持續進行救災減災工作。此外，依災情需要可向NEPEC提出大型機具及人力支援需求，由NEPEC統籌運用全公司人力、物力支援處理緊急事故。必要時CDRC將調派工兵支援搶通道路或利用直升機載送人與物資設備搶修，以及人員緊急送醫等，以對於複合式災害事故進行全面及長期之控制。

使用現有設備的可能性

龍門電廠主要安全系統皆為耐震一級設計，並建置在海拔 12 公尺以上高度，足以防範預期之天然危害(地震、海嘯、豪大雨等)所造成功能喪失的情況。相關檢討及強化方案詳如本報告相關章節說明。而鑑於日本福島電廠事故，龍門電廠已依照AEC指示進行「電廠核能安全防護總體檢」，除既有因應意外狀況的移動式救災設備，，更進一步擴充規畫移動式設備。相關設施/設備已存放於廠內不易受複合式災害損害的場所，當發生超出基準事故時，可以由電廠編制人員迅速列置，成功達成緊急救援之目的。

通訊強化方案

E. 總機充電器備有單相110V移動式柴油發電機作為後備電源，可供廠內電話及DECT之用。

F. TPC電力通信處籌設之VSAT衛星電話系統，於建置基地台時，結構設計符合耐震等級。

G. 龍門電廠已取得TPC電力通信處撥下20支無線電手機，頻率(CH1：158.2875/167.3375 MHz，CH2：167.3/167.3 MHz，CH3：167.325/167.325 MHz，CH4：167.35/167.35 MHz)。以供緊急通訊設備之備用。

H. 大哥大：已規畫，待購置。供緊急通訊設備之備用。

6.1.3.2 廠區局部高劑量、輻射汙染及部分設施受損影響工作效率

核一廠

當電廠發生嚴重事故而造成廠區局部高劑量率、輻射污染及許多設施受損時，核一廠之輻射防護因應措施如下：

(1) 於搶修作業前，HPC先派員至現場、MCR執行輻射、污染及放射性空氣濃度偵測。

(2) 依現場、MCR測量所得輻射狀況，考量MCR可進出及適居性，規劃輻射防護措施：

A. 對高劑量率、輻射污染之區域，評估裝設輻射屏蔽或進行清潔除污，降低輻射劑量率以保護工作人員。

B. 評估搶修與值班人員最長工作許可時間，必要時進行計時管控。

C. 提供必要之輻射防護裝備，如輻射防護衣、呼吸防護面具、鉛衣等。核一廠有鉛衣存量有140件，鉛毯存量為2500件。目前每半年依113.5程序書檢查輻射防護設備。依照目前存量，加上審慎規劃管控現場搶修人員數量及鉛衣、鉛毯，數量應足以因應短期事故搶修之需求。若因事故嚴重且長期的事故需求，核一廠將請求其他廠支援因應。

(3) 事故期間之輻射管制，依1415程序書作業程序對事故搶修人員或撤離人員執行污染偵檢與去污作業，俾以保護人員之安全，防止污染擴大。

核二廠

核二廠對於機組(包括SFP)之救援作業，主要於MCR進行掌控。相關安全設施/設備，並不會因為輻射污染而影響其功能。而若電廠因複合式災害導致正常安全系統喪失功能，必須進入現場搶修或採取URG程序書時，則以各項移動式設施/設備進行搶救。

廠房/廠區局部高劑量率或輻射污染採行的輻射防護因應措施

(1) 搶修作業進行前，先由HPC派員執行現場之輻射、污染及放射性空氣濃度偵測。

(2) 依現場輻射狀況規劃輻射防護措施：

A. 評估現場裝設輻射屏蔽的可行性，以降低現場輻射劑量率，進而減少工作人員接受之劑量。

B. 提供必要之輻射防護裝備，如輻射防護衣、呼吸防護面具、鉛衣等，必要時指導搶修人員穿戴各項輻射防護裝備。

C. 評估工作人員最長可工作時間，必要時進行計時管制。

(3) 提供搶修人員每人1枚人員劑量警報計(Environmental Protection Dosimeter，EPD)，並要求發生警報時，務必立即離開現場，以避免發生劑量失控的情況。

(4) 搶修現場設置可攜式區域輻射偵測器(Area Radiation Monitor，ARM)，提供搶修人員即時輻射資訊，一旦現場輻射狀況發生變化時，可立即撤離，保護人員安全。

(5) 搶修人員離開現場後，須至指定地點進行體外污染偵測，以確保無污染之虞。

主控制室(MCR)可能有輻射污染時採行的因應措施

(1) 定期執行MCR之輻射、污染及放射性空氣濃度偵測。

(2) 依MCR輻射狀況規劃輻射防護措施：

A. 評估裝設輻射屏蔽的可行性，以降低現場輻射劑量率，進而減少值班人員的接受劑量。

B. 提供必要之輻射防護裝備，如輻射防護衣、呼吸防護面具、鉛衣等，必要時指導搶修人員穿戴各項輻射防護裝備。

C. 評估值班人員最長可工作時間，必要時進行計時管制。

(3) 於適當場所裝設人員污染門框偵檢器，以確保值班人員離開MCR時無污染之虞。

核三廠

搶修作業之輻射防護因應措施

(1) 電廠現況

A. 搶修作業進行前，先由HPC派員執行現場之輻射、污染及放射性空氣濃度偵測。

B. 依現場輻射狀況規劃輻射防護措施

1. 評估現場裝設輻射屏蔽的可行性，以降低現場輻射劑量率，進而減少工作人員的接受劑量。
2. 提供必要之輻射防護裝備，如輻射防護衣、呼吸防護面具、鉛衣等，必要時指導搶修人員穿戴各項輻射防護裝備。
3. 評估工作人員最長可工作時間，必要時進行計時管制。

C. 提供搶修人員每人1枚EPD，並要求發生警報時，務必立即離開現場，以避免發生劑量失控的情況。

D. 搶修現場設置可攜式ARM，提供搶修人員即時輻射資訊，一旦現場輻射狀況發生變化時，可立即撤離，以保護人員安全。

E. 搶修人員離開現場後，須至指定地點進行體外污染偵測，以確保無污染之虞。

(2) 福島事故後之強化措施

福島事故後，核三廠已重新評估並增加輻射屏蔽、防護衣等儲存量，廠內存量加上其他電廠的調度支援便可符合事故救援的需求。

主控制室(MCR)之輻射防護因應措施

(1) 電廠現況

A. 定期執行MCR之輻射、污染及放射性空氣濃度偵測。

B. 依MCR輻射狀況規劃輻射防護措施：

1. 評估裝設輻射屏蔽的可行性，以降低現場輻射劑量率，進而減少值班人員接受之劑量。
2. 提供必要之輻射防護裝備，如輻射防護衣、呼吸防護面具、鉛衣等，必要時指導搶修人員穿戴各項輻射防護裝備。
3. 評估值班人員最長可工作時間，必要時進行計時管制。

(2) 福島事故後之強化措施

在MCR適居性方面，核三廠已購入480V移動式柴油發電機，可長期維持MCR的適居性。

龍門電廠

龍門電廠的機組(包括SFP)救援作業主要於MCR進行掌控。相關安全設施/設備，並不會因為輻射污染而影響其功能；若電廠因複合式災害導致正常安全系統喪失功能，以

致電廠人員必須進入現場搶修或採取URG程序書時，則以各項移動式設施/設備進行搶救。

龍門電廠對於廠房/廠區局部高劑量率或輻射污染採行的輻射防護因應措施

(1) 搶修作業進行前，由HPC派員執行現場輻射、污染及放射性空氣濃度偵測。

(2) 依現場輻射狀況規畫輻射防護措施

A. 評估現場裝設輻射屏蔽的可行性，以降低現場輻射劑量率，進而減少工作人員的接受劑量。

B. 提供必要之輻射防護裝備，如輻射防護衣、呼吸防護面具、鉛衣等，必要時指導搶修人員穿戴各項輻射防護裝備。

C. 評估工作人員最長可工作時間，必要時進行計時管制。

(3) 提供搶修人員每人 1 枚EPD，並要求發生警報時，務必立即離開現場，以避免發生劑量失控的情況。

(4) 搶修現場設置可攜式ARM，提供搶修人員即時輻射資訊，一旦現場輻射狀況發生變化時，可立即撤離，保護人員安全。

(5) 搶修人員離開現場後，須至指定地點進行體外污染偵測，以確保無污染之虞。

當主控制室(MCR)可能有輻射污染時，擬定強化MCR適居性及人員進出方式

(1) 定期執行MCR之輻射、污染及放射性空氣濃度偵測。

(2) 依MCR輻射狀況規畫輻射防護措施

A. 評估裝設輻射屏蔽的可行性，以降低現場輻射劑量率，進而減少值班人員的接受劑量。

B. 提供必要之輻射防護裝備，如輻射防護衣、呼吸防護面具、鉛衣等，必要時指導搶修人員穿戴各項輻射防護裝備。

C. 評估值班人員最長可工作時間，必要時進行計時管制。

(3) 於適當場所裝設人員污染門框偵檢器，以確保值班人員離開MCR時無污染之虞。

6.1.3.3 事故處理策略在外部危害下的可行性及有效性

核一廠

考慮外部天然災害可能引發的危害及可能造成的地貌改變等，核一廠已加強監視機制，修訂或建立相關監測或因應程序中，定期與不定期的監測廠區乾華溪土石流，若土石流達警戒基準值或降雨達豪大雨量，則將視需要成立危機處理小組，並評估對電廠之衝擊，預知危機與及時掌握可能的改變，俾提早採取因應措施，降低對電廠的影響。

至於對廠區地形地貌變化的掌握，經實勘量測，根據其變化評估對電廠所造成的衝

擊。另目前TPC正辦理核一廠地質調查及地震危害度再評估等案，以利確認可能之影響。若實際發現外部危害對電廠造成任何的改變，將對改變狀況定期評估監測，以確實掌握其對電廠所造成的衝擊。

鑑於日本福島電廠事故，核一廠已進行「電廠核安全防護總體檢評估」，檢討超出設計基準的情況，並進行電廠體質之對應改善。包括建立URG程序書，該程序書除規劃各項設施的整備、採行時機與流程等，在最短時間內，將所有可資運用的水源列置完成，適時將可用水源注入反應器(或SFP)，確保燃料被水覆蓋，防止放射性物質外釋，達到避免大規模民眾疏散的目的。

時效性

URG程序書不同於以徵兆為主的EOP/SAP策略，其目的是以最短時間採行決斷行動，及時防止事故惡化，進而使電廠進入可控制狀態，達到防護民眾安全的目的。

可行性

核一廠為因應各種事故，已配置多樣性、多重性的救援防護系統與設備。相關預先容易整備的移動式設施(包括電力、動力及水源)，已經存放於不易受災害損害的場所，當發生超出基準事故時，電廠除積極恢復救援系統、設備外，可迅速配置移動式設備。

有效性

核一廠依據各項評估結果建立URG程序書，相關各種策略亦考量深度防禦之理念，建立多樣性及多重性之策略(例如多種水源、電力等)，確保電廠因應複合式災害救援行動的有效性。

核二廠

核二廠主要安全系統皆為耐震一級設計，並建置在海拔12公尺以上的高度，足以防範預期之天然危害(地震、海嘯、豪大雨...等)。有鑑於日本福島事故，核二廠已進行「電廠核能安全防護總體檢」評估，檢討超出設計基準的情況，進行相對應之改善，並發展URG程序書。

時效性

URG程序書不同於以徵兆為主的EOP/SAMG策略，其目的是以最短時間採行決斷行動，及時防止事故惡化，並進而使電廠進入可控制狀態，達到防護民眾安全的目的。

可行性

核二廠在福島事故前已備有移動式救災設備，於福島事故後，依「電廠核能安全防護總體檢」計畫進一步擴充嚴重事故處理相關之移動式設備。相關設施/設備已存放於廠內不易受複合式災害損害的場所，當發生超出基準事故時，依URG程序書可以迅速列置

完成。

有效性

核二廠依據各項評估結果發展URG程序書，相關各種策略已考量深度防禦之理念，建立多樣性及多重性之策略(例如各種水源、電力、氣源...等)，確保電廠因應複合式災害救援行動能力的有效性。

核三廠

電廠現況

福島電廠發生超出設計基準事故且災情嚴重，根據福島的經驗重新檢視核三廠時發現，核三廠配備1台氣冷式EDG和2台氣渦輪發電機，不易發生類似福島電廠長期完全喪失AC電力的狀況，但現有之設備及救援措施缺乏機動性和時效性，可能無法即時應付複合式災害的複雜狀況。

福島事故後之強化措施

核三廠已建立並施行URG程序書，一旦發生超出設計基準的嚴重事故，可在最短時間內採行「決斷行動」，將所有可資運用的水源列置完成，適時將水注入S/G及SFP，確保核燃料的熱移除及完整性，防止放射性物質外釋，避免大規模民眾疏散。

(1) 時效性

URG程序書的策略不同於以徵兆考量逐步評估的EOP/SAMG，是以最短時間採行明確的行動(決斷行動)，及時防止事故惡化，並進而控制電廠狀態，達到防護民眾安全的目的。

(2) 可行性

核三廠已針對各種基準事故配置多樣性及多重性的救援防護系統/設備。當發生超出基準事故時，電廠除積極恢復救援系統/設備外，並可藉由整備容易且存放於不易受複合式災害損害之場所的移動式設施(包括電力及水源)，成功達成上述目的。

(3) 有效性

核三廠URG程序書考量深度防禦的理念，進行不同案例分析，建立URG程序書相關策略與程序，以多樣性及多重性的策略(如不同水源、電力等)，確保電廠因應複合式災害救援行動的有效性。

龍門電廠

龍門電廠主要安全系統皆為耐震一級設計，並建置在海拔12公尺以上的高度，足以防範預期之天然危害(地震、海嘯、豪大雨...等)。有鑑於日本福島事故，龍門電廠已進

行「電廠核能安全防護總體檢」評估，檢討超出設計基準的情況，進行相對應之改善，並發展URG程序書。

時效性

URG程序書不同於EOP/SAMG以徵兆考量逐步評估之策略，而是以最短時間採行明確的行動(決斷行動)，及時防止事故惡化，並進而控制電廠狀態，達到防護民眾安全的目的。

可行性

如「使用現有設備的可能性」一節說明，龍門電廠既有因應任何意外狀況的移動式救災設備，且於福島事故後「電廠核能安全防護總體檢」進一步擴充規畫移動式設備，兩者相關設施/設備皆已存放於廠內不易受複合式災害損害的場所。當發生超出基準事故時，可以迅速由電廠編制人員列置，成功達成URG目的。

有效性

龍門電廠依據各項評估結果發展URG程序書，相關各種策略已考量深度防禦之理念，建立多樣性及多重性之策略(例如各種水源、電力、氣源...等)，確保電廠因應複合式災害救援行動能力的有效性。

6.1.3.4 電力供應的不可用性

核一廠

直流電源(DC)

核一廠在SBO事故下，設計基準的125V DC電源容量可維持8小時。若Battery #6(125V DC)對Battery #1、Battery #2轉供電操作，可藉既有的125V DC系統的三只轉供配電盤，可可延長供電至24小時。

交流電源(AC)

核一廠針對SBO 4.16kV/480V AC電源緊急供電功能，已做了相關評估與改善：

(1) 已修訂程序書，指引操作第五台EDG，緊急時可同時供電至兩部機組。

(2) 已備妥必須之電纜及相關操作程序書，將氣渦輪機附屬之二台4.16kV/1100kW之柴油發電機，作為緊急電源，供電給廠內機組4kV BUS。(100年6月30日前完成)

(3) 已增購12台480V移動式柴油發電機、完成供電接頭及線路等相關DCR。(100年6月30日前完成)

(4) 由TPC採購6台4.16kV/1500kW之柴油發電機電源車，核一廠將配置一台。(100年6月30日前完成)

核二廠

福島事故後，核二廠參考福島事故的經驗檢討電源供應能力，並提出強化方案，詳如本報告第5章。當這些強化方案完成後，多重電力供應方案可以確保事故情況下，長期維持爐心冷卻，避免燃料損害。

核三廠

電廠現況

核三廠原設計TDAFWP可在喪失所有AC電源的SBO狀況下以125V DC電池維持運轉8小時，如果沒有在8小時內恢復AC電源，將喪失移熱功能而陷入危機。

福島事故後之強化措施

核三廠URG程序書可確保在8小時內建立後備電源，並更進一步建立無DC電力可維持TDAFWP運轉的策略，執行S/G補水，確保爐心衰變熱可以被移出。

(1) 恢復電力供應的URG策略

A. 第5部EDG供電二部機(MS.1-02)：當喪失外電且EDG-A/B不可用時，列置第五部EDG供電二部機。

B. 延長DC電源供電時間(MS.2-01)：以移動式柴油發電機對電池充電、第5部EDG供電二部機(MS.1-02)、列置第三電源、4.16kV電源車接引(MS.2-08)。

C. 480V移動式柴油發電機引接(MS.2-03)：當喪失所有外電且所有EDG及氣渦輪發電機無法使用時，利用480V移動式柴油發電機對電池充電，並將電力送至EC-P102/P112、AP-P100/P101、KC-P006/ P007，作為後備電源。

D. 4.16kV電源車引接(MS.2-08)：當喪失所有外電且所有EDG及氣渦輪發電機無法使用時，利用4.16kV電源車供電至4.16kV匯流排，提供救援設備所需電源。

E. 核三廠URG程序書的移動式柴油發電機供電策略：供電至水壓測試泵BH-P020，以建立RCS替代軸封注水；供電至輔助廠房，提供重要氫氣分析儀及PA高聲電話所需電力；供電至燃料廠房，提供EC-P102、122電源，補水至SFP；供電至控制廠房，提供安全串電池充電器、MCR緊急通風及MCR照明之電源；供電至行政廠房，提供有線電話、微波電話及PHS無線電話所需電力；供電至TSC。

(2) 喪失DC電源時以URG程序書建立TDAFWP操作

依據URG「喪失控制電源時TDAFWP運轉指引」，在無DC電力的狀況下維持TDAFWP運轉。

龍門電廠

龍門電廠已參考福島事故的經驗，進行電源供應能力檢討及強化方案，詳如本報告

第5章「喪失電源與最終熱沉」說明。當這些強化方案完成後，多重電力供應方案可以確保事故情況下，長期維持爐心冷卻，避免燃料損害。

6.1.3.5 儀控系統失效的可能性

核一廠

核一廠主要安全相關儀器皆為耐震一級設計，然若發生類似福島電廠遭遇的複合式災害，主要儀器將可能受到喪失電力供應之影響，失去其監測控制的功能。核一廠儀控系統DC電力容量的設計足以因應SBO初期8～24小時，加上URG程序書已詳細規劃多項電力恢復及延長的方案，因此，核一廠有充分的時間恢復儀控系統的電力供應。

核一廠URG程序書的主要救援策略是RPV緊急洩壓、緊急補水及圍阻體排氣，即便儀器不可用時，電廠只要依照事故發生之情況(如地震、海嘯或SBO)進行URG程序書，即可成功淹蓋爐心，終止事故惡化。

當事故發生時，核一廠將立即成立TSC與AMT，其中AMT小組長依實際須求增加安全相關參數展示系統(Safety Parameter Display System，SPDS)聯絡員，分析及評估監測EOP控制參數之儀器的可用性及可靠度，對每一個參數值做最正確的評估及預測，並將評估結果提交AMT組長及ECT大隊長，掌握電廠狀態據，增加電廠事故控制的能力。

核二廠

核二廠主要安全相關儀器皆為耐震一級設計，然若發生類似福島電廠的複合式災害，主要儀器將可能受到喪失電力供應之影響，失去其監測控制的功能，核二廠儀控系統DC電力容量的設計足以因應SBO初期24小時，加上URG程序書已詳細規劃多項電力恢復及延長的方案，因此，核二廠有充分的時間恢復儀控系統的電力供應。

當廠房高溫或積水時，AMT的SPDS成員將交叉比對參數評估表(Parameter Assessment Table，PAT)與偵測儀器的讀數，評估溫度及水位偵測儀器的正確性，確定評估結果的精確度及有效性後，提交AMT小組長及ECT大隊長，以利掌握電廠狀態，確保電廠事故控制的能力。

核三廠

電廠現況

核三廠的事故後重要儀控系統及電源均依運轉規範執行定期測試，大部份測試週期為3個月，並依預防保養計畫執行維護工作。經查證這些儀控系統及電源均保持在可用狀況。

但若發生類似福島電廠遭遇的複合式災害，導致儀控DC電力全部喪失，則儀控系統將失去功能，而大為增加救援的困難度及複雜性。例如在喪失所有DC電力時，核三

廠若要採用手動控制TDAFWP補水S/G，並手動開啟S/G之PORV移熱，運轉人員必須知道二次側S/G的壓力、水位及輔助飼水的流量與一次側反應器的壓力、溫度及水位，否則無法得知補水移熱的成效。

福島事故後之強化措施

有鑑於發生類似福島電廠完全喪失DC電力的情境下，運轉人員將失去監視機組重要參數的能力，核三廠規劃下列兩項改善措施：

(1) 在URG程序書中建立「喪失所有電力時監測爐內熱電偶」、「喪失所有電力時監測一、二次側重要參數」兩個程序

使用校正儀器提供傳送器工作電壓，量測儀控迴路之電流值，再轉換為工程值。重要參數包括S/G壓力及水位、輔助飼水流量、RCS壓力及水位、爐心出口熱電偶溫度、圍阻體壓力及水位、CST水位、RWST水位、SFP溫度及水位，量測點及所使用的校正儀器均已整理於URG程序書中。

(2) 在URG程序書中建立DC充電器後備電源的程序

核三廠已購入480V移動式柴油發電機，並於URG的MS.2-03「480V移動式柴油發電機引接」中建立DC充電器後備電源的程序，可持續供應儀控電力。

龍門電廠

龍門電廠主要安全相關儀器皆為耐震一級設計，然若發生類似福島電廠的複合式災害，主要儀器將可能受到喪失電力供應之影響，失去其監測控制的功能，龍門電廠儀控系統DC電力容量的設計足以因應SBO初期24小時，加上URG程序書已詳細規劃多項電力恢復及延長的方案，因此，龍門電廠有充分的時間恢復儀控系統的電力供應。

當廠房高溫或積水時，AMT的SPDS成員將交叉比對PAT與偵測儀器的讀數，評估溫度及水位偵測儀器的正確性，確定評估結果的精確度及有效性後，提交AMT小組長及ECT大隊長，以利掌握電廠狀態，確保電廠事故控制的能力。

為了加強龍門電廠SFP監控能力，將更換水位計G41-LT-0012A/B，使監測範圍至少可達有效燃料頂部(Top of Active Fuel，TAF)，並由緊要AC電力(R13)供電，並更換溫度計G41-TE-0013，改善計量測點深度，使監測範至少達到TAF。

6.1.3.6 廠址內其他鄰近機組可能造成的影響

核一廠

核一廠為因應複合式災害，針對兩部機組同時發生事故的情況提出檢討與強化方案：

(1) 設備檢討與強化方案：

在核一廠安全防護總體檢，其中在「一/二號機組相互支援之因應措施」議項中，已針對電廠水源、電源、氣源分類：廠用海水連通、CST及除礦水儲存槽(Demineralizer Water Storage Tank，DST)傳送系統、大修用空氣壓縮機冷卻系統、生水(消防系統)、廢液處理系統、儀用空氣連通、儀用空氣系統由廠外空壓機支援、水冷式EDG-1A/1B/2A/2B或氣冷式第五台EDG提供事故機組緊急匯流排之電力，69kV起動變壓器ST-A(S)、345kV起動變壓器ST-B(S)提供廠外電力至事故機組緊急匯流排。核一廠裝設有兩部氣渦輪發電機，當外電喪失時，只要一部氣渦輪發電機成功併聯運轉，就可提供兩部反應器機組所需的全部電力。

已完成現行可相互支援設備之支援措施及對事故減緩及救援之功用之查證，並提出相關檢討及強化方案。

(2) 當雙機組事故發生時，外界環境可能遭受嚴苛的破壞，使TSC、AMT人力的動員成效受到影響。核一廠已充分檢討及擴增TSC、AMT等成員人力配置，並完成「1406緊急組織動員程序」及「1407 TSC 動員與應變程序」的修訂，規畫兩組ECT之間的人力調度，確保事故的處理不受持續性較長時間的影響。

(3) 因應雙機組事故，核一廠將強化TSC與後備TSC的裝置與設備，同時在不同螢幕顯示兩部機組的狀態。另每兩年辦理一次AMT成員之訓練，以強化雙機組事故發生時運作無虞。

<u>核二廠</u>

核二廠為因應複合式災害，針對兩部機組同時發生事故的情況，分四方面提出檢討與強化方案：

(1) 設備相互支援

於日本福島核電廠事故後，核二廠已進行「電廠核能安全防護總體檢」，其中在「一/二號機組相互支援之因應措施」的項目中，完成現行可相互支援設備之相關措施與對事故減緩及救援功用的查證：

A. 冷凝水及其相關系統： CST與輔助冷凝水儲存槽(Auxiliary Condensate water Storage Tank，ACST)皆可一/二號機相互支援；DST與輔助除礦水儲存槽(Auxiliary Demineralizer Water Storage Tank，ADST)，可借由水泵之動力，將儲水補至一號機或二號機之CST。

B. 海水系統

1. 餘熱移除系統增壓泵(RHR Booster Pump)，自外部循環水取水，提供至RHR的熱交換器，帶走熱量。

2. ECW A/B LOOP，可經由管路重新列置，相互支援另一部機組RHR熱交換器之冷卻海水。
3. 外部循環水(開啟連通閥使用)，可提供汽機廠房冷卻水系統(Turbine Building Cooling Water System，TPCW)以及核機冷卻水系統(Nuclear Component Closed Cooling Water System，NCCW)之冷卻水。

C. 緊要匯流排系統

第5部柴油機發電，經由人工操作可同時供電至兩部機組。另已完成規劃將二部機組之DIV I/DIV II/DIV III 之EDG相互支援。

D. 壓縮空氣系統

1. 儀用空氣系統可由廠外空壓機支援。
2. 高壓空氣系統一/二號機，可開啟位於控制廠房1樓之高壓空氣儲存槽連通閥，達到相互支援。

E. 其他

1. 控制棒驅動系統(Control Rod Drive System)可由水泵出口連通支援另一部機組。
2. 氫氣再結合器設備可經搬運至另一部機組使用。

(2) 對於上述設備，核二廠亦於總體檢後檢討並進行下列強化方案：

A. 核二廠已於兩部機之CST上方人孔蓋增設一直徑6英吋可移除的孔蓋，即可利用抽水機抽取CST的水，送至另一部機組CST，或由其他水源利用抽水機抽送至CST，再送至需補水的系統使用。

B. 將DST及ADST之洩水管路(Drain)改為可接消防水管的快速接頭，可連接消防水管供水至一號機及二號機CST。

C. 電源強化方案，包括第五台EDG供電至兩部機組，兩部機組之DIV I/DIV II/DIV III 之EDG相互支援、將氣渦輪發電機附屬之二台4.16kV/1100kW柴油發電機提供必要電力、將TSC/OSC二台480V/200kW柴油發電機連接至LC 1B3/2B3、購置四台480V/200kW移動式柴油發電機及4.16kV/1500kW柴油發電機電源車等強化，已於本報告第5章節詳細說明。

D. 核二廠已增購移動式柴油機驅動空壓機，可機動提供二部機組高壓操作空氣使用。

(3) 運轉值班人力調度評估：

A. 兩部機組操作人員均集中在MCR且設備操作人員集中在MCR待命區，可透過值

班經理統一指揮，機組值班主任相互支援，將人力集中用於最需要的系統操作。

B. 兩部機組設備採相同的配置，人力資源可相互調度，支援最緊要系統的操作。

C. 一/二號機組大修時，調出一班人員並抽調其他各班一員支援大修作業，值班人員即可經歷不同崗位的操作，發生事故時，可支援不同崗位之作業。

D. 正常運轉訓練均是採相同標準進行，兩部機組人員可以相互支援。

(4) 人力動員強化：

核二廠已完成清查廠區與鄰近地區住宿員工人數。並重新檢視緊急計畫動員機制、測試與演練計畫，強化動員的時效與人力。程序書1406緊急組織動員程序，已建立緊急應變中心動員人力名單外，因應緊急事故搶修人力不足需尋求廠外支援。於程序書1408中OSC動員與應變程序及程序書1409中HPC動員與應變程序，建立相關人力支援名冊，列入OSC及HPC之後備再入隊及廠外包商支援人力名冊，必要時可要求進廠協助搶修作業。

核三廠

電廠現況

核三廠的廠區有兩部反應器機組，原有的緊急計畫之規劃及設計未考慮雙機組同時發生事故的情境。TSC及AMT人力、事故時動員的維修人力、AMT會議室的SAMG 狀態板、兩部機機組狀態的可能組合(兩部機均運轉中、一部機運轉另一部機大修)、消防能力等方面的準備都可能不夠充足。

福島事故後之強化措施

(1) 設備改善方案

A. 核三廠建立URG程序書的時候已考慮多重機組嚴重事故的情況，其移動式設備的數量足夠因應雙機組同時發生嚴重事故的情事。

B. 核三廠已完成AMT會議室SAMG狀態顯示面板的改善，可同時監控並紀錄兩部機組的狀況，用以分別訂定適當的救援策略。

(2) 人力強化方案

A. 核三廠已檢討雙機組事故時TSC及AMT的人力配置，並規劃兩組輪替人力。

B. 核三廠已建立機、電、儀、修等專業支援人員的名冊，方便多機組事故緊急應變計畫的人力調度。

(3) 程序改善方案

A. 建立URG的MS.1-02策略「第5部EDG供電兩部機」。

B. 核三廠SAMG沒有SFPs低水位的應變策略，其URG的MS.2-05「SFP緊急補水/噴灑」可補足此SAMG的缺點。

龍門電廠

龍門電廠為因應複合式災害，針對兩部機組同時發生事故的情況，分四方面提出檢討與強化方案：

(1) 設備相互支援檢討

日本福島核電一廠事故後，電廠已進行「電廠核能安全防護總體檢」，其中在「一/二號機組相互支援之因應措施」項目中，已針對 (1) RBCW 系統、(2) CSTF系統、(3) 補充水系統P11/消防水系統P16、(4)壓縮空氣系統以及(5)緊要匯流排系統，完成現行可相互支援設備之相關措施以及對事故減緩與救援功用之查證：

A. RBCW系統：一/二號機RBCW之C串皆提供冷卻水至0G42 AFPC Heat Exchanger A/B相互支援。

B. CSTF系統：兩部機組之CSTF可經由廢料廠房之管路相互支援。

C. 補充水系統P11/消防水系統P16：補充水系統P11/消防水系統P16可於ACIWA時支援至二部機組。

D. 壓縮空氣系統

1. 兩部機組的 P52 儀用空氣系統可經由位於汽機廠房東側 Yard 的管路相互支援。
2. 兩部機組的 P51 廠用空氣系統可經由位於汽機廠房東側 Yard 的管路相互支援。

E. 緊要匯流排系統：第七台EDG，提供一/二號機緊急匯流排之電力需求。

(2) 對於上述設備，龍門電廠亦於總體檢後檢討並進行下列強化方案：

龍門電廠1、2號機的儀用空氣(P52)及廠用空氣(P51)目前已Tie接，但設計上有止回閥須改善，即該止回閥 1(2)P52-UV-5069及1(2)P51-UV-5060 的閥盤需拆除，#1 機及#2 機之儀用空氣(P52)及廠用空氣(P51)方可互通。另1(2)P52-BV-5037/5038及1(2)P51-BV-5150/5152須由Normal Open改為Normal Close。

A. 為避免超出設計基準事故時柴油消防泵不可用，將現有消防泵室之對外門加裝防水擋板。

B. 電源強化方案，包括第七台EDG供電至兩部機組，兩部機組之DIVⅠ/DIVⅡ/DIVⅢ EDG相互支援、對氣渦輪機附屬之二台4.16kV/1100kW柴油發電機提供必要電力、購置2台480V/200kW移動式柴油發電機、購置5台480V/100KW

移動式柴油發電機、及4.16kV/1500kW柴油發電機電源車等強化，已於本報告第5章節詳細說明。

C. 壓縮空氣系統部份，龍門電廠將增購引擎帶動移動式空壓機，可機動提供二部機組SRV緊急操作氣源使用。

(3) 運轉值班人力調度評估：

A. 目前龍門電廠正處興建試運轉階段，運轉值班人員配置將參酌核一廠、核二廠；機組操作人員分別集中在1號、2號機組MCR內，可由值班經理統一指揮，機組值班主任相互支援，將人力集中用於緊急最需要的系統操作。

B. 1號、2號機組設備設計採相同的列置，人力資源互相調度，支援最緊要系統的操作。

C. 一/二號機組大修時，調出一班人員並抽調其他各班一員支援大修作業，值班人員即可透過經歷不同崗位的操作，於發生事故時支援不同崗位之作業。

D. 正常運轉訓練均是採相同標準進行，運轉人員因代班、調動等原因，可熟悉另一部機組之設備位置及操作等，兩部機組人員緊急相互支援應無問題。

E. 發生重大災害時，值班經理可依當時狀況，將人員調至最需要的崗位。(例如海水泵室發生海象不佳或大量垃圾、魚群入侵時，值班經理立即調派人員前往支援；如有重大災害亦遵行此法則執行崗位支援作業。

(4) 人力動員強化：

<u>正常上班時段發生事故</u>

A. 可能發生運轉值班人員無法抵達電廠接班的情形，但此時模中有訓練班人力，另有檢控組人員可接替及協助機組運轉處置。

B. 維護人力除各部門均在廠內外，龍門電廠在商轉後將比照友廠另有平時長期合約駐留廠區承包商之維護人力，應可滿足緊急情況的設備維護需求。

C. 廠內消防班人力於二值時段配置11人(隊長1人，護士1人，消防設備士3人，隊員6人)每班6人，而正常上班時段依緊急計畫組織，編組緊急後備消防隊人力有46人，可協助消防工作。

<u>非正常上班時段發生事故</u>

D. 將於未來燃料裝填前比照友廠調查居住廠區單身備勤宿舍值班 (含運轉組)人員，將可優先通知協助機組運轉工作，以因應運轉值班接替人力無法抵達而有不足；龍門電廠已規畫於貢寮、雙溪地區籌建眷屬宿舍，必要時可聯絡值班人員先行進廠協助。

E. 將於未來燃料裝填前比照友廠調查居住廠區單身備勤宿舍維護 (機、電、儀、修)人員，將可緊急動員進行設備搶修工作，另龍門電廠已規畫於貢寮、雙溪地區籌建眷屬宿舍，必要時可聯絡維護人員先行進廠協助。

F. C.消防班人力於非正常上班時段維持6名消防員在廠，消防班外包人員均優先進用貢寮、雙溪、瑞芳、基隆等地區居民，遇有狀況時將可緊急通知入廠。另有駐廠保警人力，亦可協助救災事宜。

6.1.4 電廠改善工作與斷然處置指引(URG)程序書

核一廠的改善案

在1960年代，GE公司完成Mark-I圍阻體設計，此種設計擁有建造容易、體積小、成本較低的優點，GE公司並據此開始建造BWR3、BWR4核能電廠。由於Mark-I圍阻體早期曾被質疑體積過小，延緩事故惡化的能力不足，GE公司遂針對所有Mark-I圍阻體提出強化圍阻體排氣系統之改善建議，以便在反應器過熱的狀況下執行釋壓及注水時，不致破壞圍阻體完整性。TPC的核一廠採用Mark-I圍阻體，也根據美國核管會1982年發行的NUREG-0061，於1990年完成前強化抑壓池連通管(downcomer)、增裝排氣硬管(hardened vent pipes)、圍阻體於運轉時充氮等評估與改善。

事故處理策略之冷卻水資源

TPC於各電廠備有大型生水池，其存量足夠供應各機組長期冷卻的需求。

移動式設備

在福島事故之前，TPC已於每部機組配置2台水冷式及1台氣冷式4.16kV的EDG，每一運轉中核能電廠都配置2台氣渦輪發電機。福島事故之後，TPC將添購6台1500kW/4.16kV電源車與26台480V移動式柴油發電機，並備妥相容於移動式電源供應設備的快速接頭，規劃從接線箱到重要設備的緊急路線。

嚴重事故處理的電力與壓縮空氣

如果發生較長期之SBO事故，喪失廠內緊急電源與壓縮空氣將造成RPV無法洩壓，可能導致低壓注水設備(如消防車)冷卻爐心的延遲。福島事故後，TPC已新增電源車、柴油發電機、空氣壓縮機、氮氣瓶等移動設備，增強應變防禦能力。

斷然處置程序指引(URG)程序書的發展

本次311日本嚴重核子事故發生後，TPC擬訂手動釋壓操作程序與備妥移動式操作動力，更進一步制訂URG程序書，避免爐心燃料熔損及喪失圍阻體完整性。這些措施包括：

(1) 於發生類似福島事故時，於爐心熔損前開啟RPV的釋壓閥(SRVs)與執行一次圍阻體排氣，將反應器餘熱間接且快速釋放至大氣，避免衰變熱累積於RPV與圍阻體內，

保護圍阻體完整性(尤其是Mark-I圍阻體的核一廠)；

(2) 嚴重核子事故發生第一時間內，以高壓與低壓注水維持爐心水位在高水位；

(3) 各電廠在發生嚴重事故的第一個小時內將事先準備好的替代注水管線與水源列置好，接上緊急電源(電源車)，完成注水準備；

(4) 各電廠在發生嚴重事故的第一個小時內將事先準備好的替代注水管線與廠外水源(消防車或山上生水池重力注水)列置好；

(5) 核一廠的一次圍阻體(Mark-I)內部充氮，核二廠的一次圍阻體內部裝有氫氣點火裝置(Igniter)，可以預防氫氣在圍阻體內發生爆炸。TPC已建立了補充氮氣或提供替代火源的策略；

為確保運轉人員緊急應變與嚴重事故處理能力，TPC對運轉人員定期辦理EOPs及SAMGs演練，並透過各種技術交流或研究發展不斷審視與更新這些程序與指引。URG程序書的設計概念是盡可能在最短時間內減緩事故的嚴重程度，預防爐心熔損。三座運轉中核能電廠URG程序書的可行性已經過驗證，並列入定期演練項目。各電廠的URG分述如下：

核一廠之URG

核一廠URG程序書按照緊急程度分為三個階段，各階段的執行策略整理於表6-1。其URG的進入點有三個：C1.喪失最終熱沉；C2.喪失AC電源(SBO)；C3.反應器因地震急停且收到海嘯警報，只要滿足任何一項即進入URG。第一階段的主要任務是維持爐心在低壓力、高水位狀態與準備RPV注水、RPV洩壓及圍阻體排氣。第二階段的主要任務是列置移動式電源、移動式設備與水源，因應長期冷卻的需求。第三階段的主要任務是回復最終熱沉。三個階段的工作必須分別於1、8、36小時內完成。啟動RPV注水、RPV洩壓、圍阻體排氣的條件是同時滿足C1及C3或C2及C3。為確保執行URG的能力與效率，TPC安排每兩年一次訓練，每三年一次演習。

核二廠之URG

核二廠URG程序書按照緊急程度分為三個階段，各階段的執行策略整理於表6-2。其URG的進入點有三個：C1.喪失最終熱沉；C2.喪失AC電源(SBO)；C3.反應器因地震急停且收到海嘯警報，只要滿足任何一項即進入URG。第一階段的主要任務是維持爐心在低壓力、高水位狀態與準備RPV注水、RPV洩壓及圍阻體排氣。第二階段的主要任務是列置移動式電源、移動式設備與水源，因應長期冷卻的需求。第三階段的主要任務是回復最終熱沉。三個階段的工作必須分別於1、8、36小時內完成。啟動RPV注水、RPV洩壓、圍阻體排氣的條件是同時滿足C1及C3或C2及C3。為確保執行URG的能力與效率，

TPC安排每兩年一次訓練，每三年一次演習。

核三廠之URG

核三廠URG程序書按照緊急程度分為三個階段，各階段的執行策略整理於表6-3。其URG的進入點有三個：C1.喪失最終熱沉；C2.喪失AC電源(SBO)；C3.反應器因地震急停且收到海嘯警報，只要滿足任何一項即進入URG。第一階段的主要任務是維持爐心在低壓力、高水位狀態與準備RPV及S/G注水、RPV及S/G洩壓、圍阻體排氣。第二階段的主要任務是列置移動式電源、移動式設備與水源，因應長期冷卻的需求。第三階段的主要任務是回復最終熱沉。三個階段的工作必須分別於1、8、36小時內完成。啟動RPV及S/G注水、RPV及S/G洩壓、圍阻體排氣的條件是同時滿足C1及C3或C2及C3。為確保執行URG的能力與效率，TPC安排每兩年一次訓練，每三年一次演習。

龍門電廠之URG

龍門電廠URG程序書按照緊急程度分為三個階段，各階段的執行策略整理於表6-4。其URG的進入點有三個：C1.喪失最終熱沉；C2.喪失AC電源(SBO)；C3.反應器因地震急停且收到海嘯警報，只要滿足任何一項即進入URG。第一階段的主要任務是維持爐心在低壓力、高水位狀態與準備RPV注水、RPV洩壓及圍阻體排氣。第二階段的主要任務是列置移動式電源、移動式設備與水源，準備長期冷卻。第三階段的主要任務是回復最終熱沉。三個階段的工作必須分別於1、8、36小時內完成。啟動RPV注水、RPV洩壓、圍阻體排氣的條件是同時滿足C1及C3或C2及C3。為確保執行URG的能力與效率，TPC安排每兩年一次訓練，每三年一次演習。

表 6-1 核一廠 URG

	策略	時限
第一階段	●CS.1-01：生水(消防水)注水入反應器 ●CS.1-02：廠區全黑反應器降壓 ●CS.1-03：廠區全黑圍阻體排氣 ●CS.1-04：消防水車引接注水 ●CS.1-05：RCIC 手動運轉操作 ●CS.1-06：第 5 部緊急柴油發電機(EDG)供電二部機組 ●CS.1-07：480V 機動性柴油發電機引接供電	1 小時
第二階段	●CS.2-01：移動式空壓機/氮氣瓶供給 SRV/ADS 氣源 ●CS.2-02：全黑起動氣渦輪柴油發電機供電二部機 ●CS.2-03：4.16kV 電源車引接 ●CS.2-04：延長 DC 電源供電時間 ●CS.2-05：用過燃料池補/灑水 ●CS.2-06：沉水泵排水操作 ●CS.2-07：機動性水源對 CST 注水	8 小時
第三階段	●CS.3-01：緊急進水口垃圾清運 ●CS.3-02：ESW 馬達更換 ●CS.3-03：替代長期冷卻	36 小時

表 6-2 核二廠 URG

	策略	時限
第一階段	●KS.1-01：生水(消防水)注入反應器 ●KS.1-02：反應器降壓(反應器內衰變熱移除) ●KS.1-03-01：一次圍阻體排氣 ●KS.1-03-02：二次圍阻體排氣 ●KS.1-03-03：燃料廠房排氣 ●KS.1-04：消防車或移動式水源注入反應器 ●KS.1-05：爐心隔離冷卻系統(RCIC)手動運轉注水入反應器 ●KS.1-06：第五部 EDG 供電至兩部機組 ●KS.1-07：4160V 1100kW 氣渦輪機組柴油發電機引接 ●KS.1-08：480V TSC/OSC 柴油發電機引接至 1(2)B3 ●KS.1-09：將 AP-HV-203/204 固定在開啟位置	1 小時
第二階段	●KS.2-01-01：移動式空壓機供給 SRV/ADS 氣源 ●KS.2-01-02：氮氣瓶供給開啟氣動閥氣源 ●KS.2-02：480V 200kW 移動式柴油發電機引接 ●KS.2-03：4.16kV 電源車引接 ●KS.2-04-01：延長直流電源供電時間(DE 至 DA) ●KS.2-04-02：延長直流電源供電時間(5KW 柴油發電機) ●KS.2-05-01：用過燃料池補水/灑水(使用消防車) ●KS.2-05-02：用過燃料池補水/灑水(使用移動式抽水機) ●KS.2-05-03：用過燃料池補水/灑水(使用燃料廠房消防箱) ●KS.2-06：沉水泵排水操作 ●KS.2-07：機動性水源對 CST 注水	8 小時
第三階段	●KS.3-01：緊急進水口垃圾清運 ●KS.3-02：緊急循環水(ECW)泵馬達更換 ●KS.3-03：反應器長期冷卻	36 小時

表 6-3 核三廠 URG

	策略	時限
第一階段	●MS.1-01：手動操作汽機帶動輔助飼水泵(TDAFWP)或柴油引擎帶動輔助飼水泵(diesel-driven AFWP) ●MS.1-02：第 5 部 EDG 供電兩部機 ●MS.1-03：以生水(消防水)進行蒸汽產生器(S/G)注水 ●MS.1-04：以蓄壓槽進行 RCS 注水 ●MS.1-05：以水壓測試泵進行 RPV 注水 ●MS.1-06：以生水(消防水)進行 RPV 注水	1 小時
第二階段	●MS.2-01：延長 DC 電源供電時間 ●MS.2-02：沉水泵排水操作 ●MS.2-03：480V 移動式柴油發電機引接 ●MS.2-04：移動式空壓機及氮氣瓶供給圍阻體排氣閥 ●MS.2-05：用過燃料池緊急補水/噴灑(2 小時內完成) ●MS.2-06：以機動性水源對 CST 注水 ●MS.2-07：以機動性水源對 RWST 注水 ●MS.2-08：4.16kV 電源車引接	8 小時
第三階段	●MS.3-01：緊急進水口垃圾清運 ●MS.3-02：NSCW 馬達更換	36 小時

表 6-4 龍門電廠 URG

	策略	時限
第一階段	●LM.1-01：HPCF 重力補水入反應器操作指引 ●LM.1-02：RCIC 重力補水入反應器操作指引 ●LM.1-03：消防水補水入反應器操作指引 ●LM.1-04：消防車補水入反應器操作指引 ●LM.1-05：喪失 DC 電源狀況下手動操作 RCIC 注水入反應器操作指引 ●LM.1-06：反應器降壓(將反應器內衰變熱移除)操作指引 ●LM.1-07：一次圍阻體排氣操作指引	1 小時
	●LM.SFP.1-01：室外消防栓補水 RB 用過燃料池操作指引 ●LM.SFP.1-02：消防車補水 RB 用過燃料池操作指引 ●LM.SFP.1-03：引擎消防泵補水 RB 用過燃料池操作指引 ●LM.SFP.1-04：七樓室內消防栓補水 RB 用過燃料池操作指引	2 小時
第二階段	●LM.2-01：喪失正常 DC 電源時 SRV 操作指引 ●LM.2-02：二次圍阻體排氣操作指引 ●LM.2-03：輔助燃料廠房排氣操作指引 ●LM.2-04：SDG 緊急時同時提供兩部機組操作指引 ●LM.2-05：#1 機 EDG 與#2 機 EDG 互相救援操作指引 ●LM.2-06：480V AC 移動式柴油發電機供電至廠內設備操作指引 ●LM.2-07：保安系統 EDG 支援廠內電源操作指引 ●LM.2-08：移動式空壓機供給反應器廠房氣動閥(AOV)操作指引 ●LM.2-09：氮氣供應系統止回閥拆除操作指引 ●LM.2-10：龍門情人湖/石碇溪/雙溪等備用水源取水/運送操作指引 ●LM.2-11：4160V/1100kW 氣渦輪機組柴油發電機引接 ●LM.2-12：4.16 kV 移動式柴油發電機支援廠內電源操作指引 ●LM.2-13：120VAC/125VDC 整流機操作指引 ●LM.2-14：移動式柴油發電機供應 SLC 馬達注水入 RPV 操作指引 ●LM.2-15：消防水車補水 CST 操作指引 ●LM.2-16：主控制室監視反應器與圍阻體參數復原操作指引 ●LM.2-18：出發井抽取海水操作指引	8 小時

	策略	時限
	●LM.2-19：氫氣偵測操作指引 ●LM.2-20：移動式消防泵補水入反應器操作指引 ●LM.SFP.2-01：FPCU 及 CSTF 泵補水 RB 用過燃料池操作指引 ●LM.SFP.2-02：室外消防栓補水 AFB 用過燃料池操作指引 ●LM.SFP.2-03：消防車補水 AFB 用過燃料池操作指引 ●LM.SFP.2-04：引擎消防泵補水 AFB 用過燃料池操作指引 ●LM.SFP.2-05：室內消防栓補水 AFB 用過燃料池操作指引	
第三 階段	●LM.3-01：discharge seal pit/出發井抽取海水供 RBCW 熱交換操作指引 ●LM.3-02：緊急進水垃圾清運操作指引 ●LM.3-03：反應器廠房冷卻海水(RBSW)泵馬達更換操作指引 ●LM.3-04：反應器長期冷卻復原規畫操作指引	36 小時

6.2 因應喪失爐心冷卻功能的事故處理策略

6.2.1 爐心燃料受損前

核一廠

當核一廠喪失爐心冷卻功能時，將依EOP程序書(540.1/540.2)，必要時不管降溫率執行RPV緊急洩壓，維持爐心壓力在15kg/cm^{2}以下，並執行一次圍阻體排氣，配合535廠區全黑程序書，以EDG、第五台柴油發電機或氣渦輪發電機供電給兩部機組的緊要匯流排，並利用蒸汽驅動水泵系統(如RCIC或HPCI)對RPV進行補水。

若發生超出設計基準事故的廠區全黑狀況時，先確定注水流程完成列置，再開啟5個ADS/SRV降低RPV壓力至15 kg/cm^{2}以下。又若RCIC及HPCI亦不可用時，則在注水列置完成後，將RPV緊急洩壓至9 kg/cm^{2}以下，確保注水不會因爐心高壓所阻礙。(核一廠URG策略CS.1-02)

核二廠

防止爐心受損的策略

當發生喪失爐心冷卻功能時，核二廠將立即依照EOP進行機組控制，使機組達到穩定的狀態，相關的方法包括使用注水系統或替代注水系統(如消防水)，使RPV水位恢復到L3～L8，避免燃料受損。

如果遭遇地震、海嘯等超出設計基準之複合式災害的襲擊，喪失ECW與所有廠內/外AC電源，經研判短時間內無法恢復設計基準的注水及冷卻功能，電廠將依照URG程序書採取決斷行動，以確保爐心可被水淹蓋。決斷行動包括：動員所有可能之人員物力，最短時間內列置所有可運用的水源及替代注水路徑、電力供應，如有必要，立即將可用後備水源注入反應器。

防止燃料損壞和排除燃料在爐心高壓下受損的策略

當發生喪失爐心冷卻功能時，EOP行動除上述注水策略外，亦須同時執行反應器壓力控制，直到反應器壓力低於9.34 kg/cm^{2}以下(必要時可超過55℃降溫率限制)，確保RPV壓力不會對各種水源的灌水造成阻礙。

若電廠發生超出設計基準情況時，機組喪失廠內/外AC電源及反應器注水功能，將立即依照URG程序書的反應器緊急洩壓策略，利用RCIC進行補水並控制爐壓(可用手動操作)，將反應器壓力降至15 kg/cm^2(必要時可超過55℃降溫率限制)，當URG程序書中所列之替代注水整備後，配合SRV緊急洩壓，將緊急水源注入反應器，確保爐心核燃料為水覆蓋，免除高壓受損的風險。

核三廠

核三廠設置有EOP，其目的為防止事故惡化至爐心熔損。

防止燃料受損的救援措施

如果發生喪失爐心冷卻能力的事件，運轉人員將遵守EOP (570.00 ~ 570.57)，立即確保一次側冷卻與熱沉。

(1) 一次側冷卻：以二次側的輔助飼水系統/替代補水系統(包括柴油引擎AFWP及消防水等)補水到S/G，並開啟S/G的PORV來移除反應器之衰變熱。

(2) 喪失二次側熱沉：改以一次側的洩充冷卻方式移除反應器衰變熱，惟因此種方式會增加圍阻體壓力，必須同時進行圍阻體降壓的措施。

防止爐心在高壓下受損的措施

為了防止爐心在高壓下受損，核三廠已建立SBO時所依循的EOP 570.20、爐心冷卻不足的事故時所依循的EOP 570.43，執行RCS降壓。如果EOP無法解決當前狀況，將進入SAMG (程序書1450)，在RPV失效前必須將RCS壓力降低至28.12 kg/cm^2以下，避免RPV在高壓受損時熔融物噴出，造成瞬間壓力突波，損壞圍阻體。

龍門電廠

防止燃料受損的策略

發生喪失爐心冷卻功能時，將立即依照EOP581~587進行機組控制，包括以注水系統/替代注水系統(包括消防水系統等)，以維持水位在L3與L8之間的正常範圍內，使爐心保持淹蓋而避免燃料受損。(EOP發展的主要目的為防止事故惡化至爐心熔損)。

若遭遇地震、海嘯等超出設計基準之複合式災害的襲擊，喪失RBSW或RBCW而使衰變熱無法移除、喪失反應器注水功能、喪失所有廠內/外AC電源及SFP水位下降等情況下，電廠將依照URG程序書採取決斷行動，包括各種替代注水路徑、動力及水源等，動員所有可能之人力及物力，最短時間內將所有可資運用的水源列置完成。若經判斷短時間無法恢復設計基準之注水與冷卻功能，立即將可用後備水源注入反應器，確保燃料被水覆蓋，防止燃料受損。

防止燃料損壞和排除燃料在爐心高壓下受損的策略

當發生喪失爐心冷卻功能時，EOP行動除上述注水策略外，亦須同時執行反應器壓力控制(RC/P)，直到反應器壓力低於1 MPaG以下(必要時可超過55℃降溫率限制)，避免燃料在爐心高壓時發生受損的情況。

如果發生超出設計基準情況時，機組可能喪失廠內/外AC電源及反應器注水功能，龍門電廠將立即依照URG的LM.1-06「反應器降壓操作指引」，儘速將反應器壓力降至1.5 MPaG(必要時可超過降溫率限制)，利用RCIC進行補水並控制爐壓(可用手動操作)，

當替代注水整備後，配合SRV執行緊急洩壓，將各預先規畫建立之緊急水源注入反應器，確保爐心核燃料為水覆蓋，免除高壓受損的風險。

6.2.2 爐心燃料受損後

核一廠

爐心燃料受損之後，核一廠將配合SAP-1，針對不同事故狀況(RC/F-1 ~ RC/F-6)，執行RPV與一次圍阻體灌水，並基於圍阻體和放射性物質釋放控制程序書(SAP-2)，執行圍阻體壓力、氫氣及餘熱移除等控制策略，達到終止燃料劣化的目的。URG程序書及SAP均涵蓋圍阻體壓力、氫氣及餘熱移除等控制策略，持續維持圍阻體之可用性，降低放射性物質外釋的可能性。

另外電廠URG程序書之整體規劃，包括建立後備的電源、氣源、水源執行救援操作，配合SAP規劃之最佳方式，將水注入反應器/圍阻體，以維持爐心燃料被水覆蓋，降低燃料受損的可能性，並確保RPV及圍阻體之完整性，降低放射性物質外釋的可能性，使電廠達到長期穩定可控制的狀況。

核二廠

對於燃料如有受損情況，核二廠除可依據URG程序書，及時回復爐心水位，防止燃料進一步損害，同時配合SAMG，針對不同事故狀況，進行各項救援策略評估及建議行動，達到終止燃料劣化的目的。且URG程序書及SAMG均涵蓋圍阻體壓力、氫氣及餘熱移除等控制策略，持續維持圍阻體之可用性，降低放射性物質外釋的可能。

另外URG程序書之整體規劃，包括各種替代注水方案，並動員所有可能之人力及物力，確保爐心被水淹蓋，降低燃料受損可能，進而確保RPV完整。將可用的冷卻水注入反應器/圍阻體，確保燃料(及熔渣)長期被水淹覆，終止燃料繼續劣化。

核三廠

如果EOP不足以減緩事件嚴重性，且爐心出口溫度超過1200 °F，則進入以徵兆為主(symptom-based)的SAMG階段。當喪失爐心冷卻功能與爐心受損，將依據電廠現況執行不同嚴重事故處理策略，如S/G注水(SAG-1)、RCS降壓(SAG-2)、RCS注水(SAG-3)、圍阻體灌水(SAG-4)，移除衰變熱，確保RPV完整性，使爐心達到穩定可控制的狀態。

龍門電廠

與核二廠所述內容相同。

6.2.3 瀕危效應與時機

核一廠

爐心燃料受損前

當核一廠遭遇喪失電力及爐心補水能力的情況，電廠可使用RCIC維持反應器水位。核一廠RCIC的設計基準係備有8小時供電容量的電池(DC電源)，如果透過負載管控與125V的SWBD #6轉供機制，則可延長RCIC運轉時間到24小時。另外，事故期間可依URG程序書建立後備電源、氣源，供救援操作使用，可長期維持爐心冷卻，不至於發生喪失電力及爐心補水能力情況之瀕危效應。以下是使用MAAP5程式模擬核一廠RCIC設計基準因應SBO事故的時序分析與瀕危效應結果：

(1) 事故後RCIC持續運轉8小時：事故後11.1小時爐心裸露(即爐心水位低於有效燃料高度)，事故後12.4小時燃料最高溫度超過2200℉，燃料開始受損。

(2) 事故後RCIC持續運轉24小時：事故後27.94小時爐心裸露。事故後29.5小時，燃料最高溫度超過2200℉，燃料開始受損。

<u>爐心燃料受損後</u>

在RCIC正常運轉8小時的情況下，則在事故發生後11.1小時之後，爐心水位將從正常運轉水位到降低至爐心裸露。而在事故發生後12.4小時，爐心溫度即會超過2200℉，爐心開始受損。而在最保守的情況下，假設發生複合式災害時RCIC與HPCI等緊急爐心冷卻系統皆不可用，則在事故發生後0.7小時，爐心水位即會從正常運轉水位到降低至爐心裸露。而在事故發生後1.3小時，爐心溫度即會超過2200℉，爐心開始受損。

<u>核二廠</u>

<u>爐心燃料受損前</u>

當核二廠遭遇喪失電力及爐心補水能力的情況時，電廠可使用RCIC維持反應器水位，核二廠RCIC的設計基準係備有8小時DC電力容量的電池，如切離部分不必要負載則可延長RCIC運轉時間到24小時。另外，事故發生期間可依URG程序書建立正常或替代電源，包含第五部EDG、氣渦輪發電機或移動式電源，可長期供應RCIC必要電力。如依照URG程序書利用後備替代水源及灌水路徑將緊急水源注入反應器，可維持爐心長期被水覆蓋，不至於發生喪失電力及爐心補水能力情況之瀕危效應。

TPC以MAAP5程式評估瀕危效應的風險與時間點，在保守條件假設下，分別假設RCIC於運轉8小時及24小時後失效，喪失爐心補水的能力。如果RCIC持續運轉8小時，爐心裸露時間為事故後10.2小時；如果RCIC持續運轉24小時，爐心裸露的時間為事故後27.2小時。

日本福島事故後，核二廠已於核能全面體檢後，

建立URG程序書，當上述地震、海嘯等超出設計基準之複合式災害發生，喪失ECW及所有廠內/外AC電源情況下，電廠將依照URG程序書建立正常或替代電源(包含第五部

EDG、氣渦輪發電機或移動式電源)，長期供應RCIC必要電力，並視電廠狀況於RPV緊急洩壓後，使用後備替代水源及灌水路徑將緊急水源注入反應器，維持爐心長期被水覆蓋，防止前述情況之瀕危效應的發生。

爐心燃料受損後

如果RCIC持續運轉8小時，RPV失效時間為事故後17.7小時。如果RCIC持續運轉24小時，RPV失效時間為事故後37.4小時。

核三廠

一次側迴路完整時

第一個分析案例是機組在全功率運轉下喪失電力，只有TDAFWP可運轉，維持冷卻水注入S/G達8小時，並藉由開啟S/G的PORV將餘熱移除。使用的模擬工具為MAAP5，模擬結果顯示S/G乾涸將於事故發生後15.2小時發生，爐心裸露將於16.9小時後發生，18.7小時後燃料最高溫度超過2200 °F，燃料開始受損，RPV於22.0小時後失效。

核三廠另模擬TDAFWP維持運轉24小時的事故進程，模擬結果顯示S/G乾涸將於事故發生後41.7小時發生，爐心裸露將於44.6小時後發生，47.1小時後燃料最高溫度超過2200 °F，燃料開始受損，RPV於55.7小時後失效。

大修/半水位運轉期間

在機組大修期間，RCS半水位運轉期間的風險最高，此時水位低於熱端管路頂部，水量僅剩下約180,000磅。如果在大修停機後第二天進入半水位運轉，一旦完全喪失電力供應，一次側迴路內的爐水將在18分鐘後達到沸騰，爐心將於1.5小時後裸露。

龍門電廠

當龍門電廠遭遇喪失電力及爐心補水能力的情況時，電廠可使用RCIC維持反應器水位。龍門電廠RCIC的設計基準係備有8小時DC電力之容量的電池，如切離部分不必要負載則可延長RCIC運轉時間到24小時。另外，事故發生期間可依照URG中LM.2-04~07及LM.2-11~14策略，建立正常或替代電源(包含第7台EDG、氣渦輪發電機或放置於高處的移動式電源)後，可長期供應RCIC必要電力，並視電廠狀況利用於RPV緊急洩壓後(URG的LM.1-06策略)，使用後備替代水源及灌水路徑將緊急水源注入反應器，維持爐心長期被水覆蓋，不至於發生喪失電力及爐心補水能力情況之瀕危效應。

TPC在保守考量下，使用MAAP5程式模擬龍門電廠於地震引發反應器急停後，發生SBO事故，RCIC持續運轉8及24小時兩個案例。事故時序分析與瀕危效應分析結果如下：

爐心燃料受損前

(1) 事故後RCIC持續運轉8小時：爐心裸露的時間為事故後9.6小時。

(2) 事故後RCIC運轉持續24小時：爐心裸露的時間為事故後28.3小時。

爐心燃料受損後

(1) 事故後RCIC持續運轉8小時：爐心裸露的時間為事故後9.6小時。RPV失效的時間為事故後17.7小時。

(2) 事故後RCIC持續運轉24小時：爐心裸露的時間為事故後28.3小時。RPV失效的時間為事故後39.1小時。

6.2.4 現行事故處理策略的適切性

核一廠

爐心燃料受損之前

為因應複合式災害之情況，核一廠已於URG程序書規劃值班人員配置及3階段點檢表，其中第一階段之相關項目必須在短時間內(1小時內)由廠內人力獨力完成。由廠內當值人員整合廠內人力，運用既有資源，迅速及時執行URG程序書，第一階段策略CS.1-01生水(消防水)注水到反應器，於啟動後1小時內可完成列置，並按照決策執行生水/消防系統之列置與連接臨時管注水到反應器的緊急操作，以防止爐心燃料裸露發生，使能有效緩和機組狀況並持續運作24小時為原則。之後緊急應變組織動員人力到達就位，次第接替並展開後續處理行動。因此依URG程序書規劃，可在瀕危效應發生前完成整備，並將各項規劃水源注入反應器，確保爐心被水覆蓋，使不會發生燃料受損的瀕危情況。

爐心燃料受損之後

在爐心燃料受損之後，依據各種可能事故情況(RC/F-1~RC/F-6)，核一廠將依SAP-1，(1)啟動爐心與圍阻體補水，(2)基於圍阻體和放射性物質釋放控制(SAP-2)策略，進行維持圍阻體內壓力、氫氣控制與餘熱移除的救援措施。通過這些措施，以期達到終止燃料劣化的目的。

此外，核一廠可依URG程序書，及時回復爐心水位，減低爐心繼續損傷的機會。同時，配合TSC的AMT小組，針對不同事故狀況，依照SAP執行相關救援策略及建議行動，達到終止燃料劣化的目的。URG程序書及SAP均涵蓋圍阻體壓力、氫氣控制及餘熱移除等策略，可維持圍阻體完整性，降低放射性物質外釋的可能。

核二廠

爐心燃料受損之前

核二廠已檢討目前因應設計基準事故以與超出設計基準狀況的程序、設備、機制等，以具體強化核二廠的應變能力。

複合式災害將造成多面向的衝擊，非僅侷限於圍阻體完整性的威脅。複合式災害處

理上有時間的急迫性，EOP或SAMG迴圈式的參數判斷與處理流程可能無法及時應付事故惡化程度。為了因應複合式災害，TPC以建立URG程序書，核二廠URG程序書的描述請參見6.1.4節。

當喪失所有補水系統時，分別分析三種假設的情況，RCIC維持1、4、8小後失效，此分析使用RELAP5-3D程式，計算可避免燃料護套溫度達到1500℉(產生氫氣)所需流量，最小流量分別需求為645 gpm (1小時)、530 gpm (4小時)及475 gpm (8小時)。

廠房消防管路入口之消防栓經過測試，量測山上生水以重力方式注入反應器之流量，在考量反應器背壓、管路內摩擦損失，並以廠內4吋消防管路面積進行流量計算。計算結果顯示重力注水的流量可以達到808 gpm，大於RCIC只運轉1小時情況所需645 gpm之最嚴苛流量要求。

電廠因應複合式災害之情況，已於URG程序書規劃值班人員配置及3階段點檢表，其中第1階段之相關項目必須在1小時內由廠內人力必須能獨力完成。包括反應器降壓、替代注水，以移動式電源搶修恢復重要系統/儀器電力等，於第一時間避免事故惡化並進行有效之控制。因此電廠URG程序書規劃，可以在瀕危效應發生前完成整備，並將各項規劃水源注入反應器，確保爐心為水覆蓋，不會發生燃料受損的瀕危情況。可確保燃料及RPV完整，後續之圍阻體失效甚至民眾疏散等情況將不會發生。

<u>爐心燃料受損之後</u>

使用RCIC進行降壓及補水需要DC電力，依程序書切除部分負載後，可持續維持24小時(必要時亦可手動操作)，各項水源可於短時間將持續注入反應器，確保爐心被水淹蓋，降低燃料受損可能。

電廠依照URG程序書之規劃策略，持續進行第一階段之各種替代注水方案，確保爐心被水淹蓋，降低燃料受損情況外，並於8小時內完成第二階段作業，包括建立必要系統之電力供給，經由點檢表所列之各階段點檢時間內完成動員及整備，進而確保RPV完整。

對於燃料受損時可能發生放射性物質自受損燃料外釋情況，核二廠圍阻體設計上可先透過抑壓池洗滌，將可溶性放射性物質進行篩濾，而後透過圍阻體的包封能力，將分裂產物限制在圍阻體內，藉由URG程序書之電力恢復程序重新建立SGTS功能，有效降低輻射物質外釋的情況。另外，當燃料喪失適當冷卻而發生鋯水反應產生氫氣之情況，將於後續之章節說明。

<u>核三廠</u>

<u>爐心燃料受損之前</u>

如果核三廠發生最嚴峻的嚴重事故，第一個瀕臨危機的狀態(爐心裸露)很快就會發生，經檢討原有的救援程序及設備可能無法在爐心燃料裸露之前備妥並開始救援。因此，核三廠建立URG程序書，其涵蓋各種可能的替代注水路徑、動力及水源，一旦符合URG的進入條件，將動員所有可能之人力及物力，最短時間內將所有可資運用的水源排列完成，經判斷短時間無法恢復設計基準之注水與冷卻功能，立即將可用水源注入S/G，並開啟S/G的PORV，確保衰變熱能夠移除，防止燃料受損。URG衰變熱移除的策略有：

(1) MS.1-01「手動操作TDAFWP或柴油引擎帶動AFWP」；

(2) MS.1-03「生水(消防水)注水入S/G」

將50000/2000/5000噸生水池經由TDAFWP或柴油引擎帶動AFWP注水到S/G，或由室外消防栓/消防車注水到S/G。同時配合手動開啟S/G的PORV降低二次側壓力，提高注水流量。

(3) MS.2-03「480V移動式柴油發電機引接」，維持TDAFWP長期運轉；

(4) S/G補水水源：將生水、消防水、龍鑾潭、牡丹水庫、海水列為長期冷卻用的水源；

(5) 無電力與儀用空氣手動開啟S/G之PORV的策略；

(6) RCS洩壓

為避免RCS在高壓時失效，URG建立一個指引，由PZR的PORV或爐頂排氣閥洩壓。為了確保RCS降壓策略可行，另有一個URG指引係以移動式柴油發電機對電池(DC電力)充電。如果執行RCS降壓，則需要執行圍阻體排氣，以避免圍阻體過壓。

URG第一階段策略可於一小時內列置完成，可以在2.1小時內執行S/G注水，避免燃料受損瀕危效應的發生。

核三廠已更新程序書，要求大修期間RCS半水位運轉的時候，要求保留2個蓄壓槽，一旦發生喪失餘熱移除事件，運轉人員可以在1小時內將此2個蓄壓槽內的水量注入RCS，爐心裸露的時間由1.5小時延長到4.1小時。搭配URG替代注水、電力及水源，則可有效避免燃料受損。

<u>爐心燃料受損後</u>

核三廠RPV失效之瀕危效應的發生時間為22小時，經檢討得知現行救援程序及設備，在複合式災害的複雜狀況下，存在無法在22小時內備妥並開始救援的風險，因此建立URG相關策略：

(1) 替代圍阻體灌水

(2) 經RWST重力注水到循環泵、經消防系統將水注入圍阻體、經消防車將水注到圍阻體噴灑管路，最終將水注入反應器爐穴。

(3) 圍阻體降壓

(4) MS.1-03「生水(消防水)注水入S/G」

(5) S/G洩壓：無電力與儀用空氣手動開啟S/G之PORV

(6) RCS降壓

以上這些策略可以在22小時內完成，能避免RPV失效瀕危效應的發生。

龍門電廠

爐心燃料受損之前

考量日本福島核電廠311核子事故，遭受地震與海嘯侵襲的複合式災害狀況下，將可能使得原設計用來減緩嚴重事故之設備同時或逐項不可用，龍門電廠已檢討所有用以因應現行設計基準事故之設備/機制，同時檢討超出設計基準狀況的因應程序、設備、機制等，以具體強化應變能力。

複合式災害將造成多面向的衝擊，非僅侷限於圍阻體完整性的威脅。時限上，複合式災害處理上有時間的急迫性，EOP或SAMG的參數判斷與處理流程，不及應付事故惡化程度。因應日本福島核子事故，TPC擬訂URG程序書，以電廠狀況(Site-specific Basis)作為啟動時機與行動依據。複合式災害發生時，各種防禦設備或水源設施可能同時喪失，因此，TPC以多重、多樣及獨立性的深度防禦策略，充分將廠內/外可資利用的資源與方法列入強化措施中，規畫機動性的電源、水源與氣源，強調機動性與縮短處理時限，以因應複合式災害的各種可能情境。

依據三維雙相熱流分析程式(RELAP5-3D)分析結果，並考量電廠URG程序書之合理運轉操作，當喪失所有補水系統時，RCIC持續控制壓力及注水維持 1、4、8 小後失效三種情況(依福島經驗，RCIC實際運轉超過24小時，故上述分析假設實屬十分保守)，RPV緊急洩壓，分析URG注水(藉由消防管路)足以避免燃料護套溫度達到1500˚F(產生氫氣)所需流量，分別需求為1974 gpm(1hr)、1483 gpm(4hr) 及 1335 gpm(8hr)。

為因應複合式災害之情況，龍門電廠已於URG程序書規畫值班人員配置及3階段點檢表，其中第1階段之相關項目為需在短時間內 (1小時內)由廠內人力必須能獨力完成。包括RPV降壓、替代注水，以移動式電源搶修恢復重要系統/儀器電力等，於第一時間避免事故惡化並進行有效之控制。此電廠URG程序書規畫，可以在瀕危效應發生前完成整備， 並將各項規畫水源注入反應器，確保爐心為水覆蓋，不會發生燃料受損的瀕危情況。

爐心燃料受損之後

龍門電廠圍阻體設計上可先透過抑壓池洗滌，將可溶性放射性物質進行篩濾，而後透過圍阻體包封能力，將分裂產物限制在圍阻體內。藉由URG之電力恢復程序重新建立SGTS系統功能，可有效降低輻射物質外釋的情況。另外，當燃料喪失通當冷卻而發生鋯水反應產生氫氣之情況，將於6.3.1節說明。

電廠對於因應燃料受損情況，持續進行URG救援行動外，並依EOP規定進入SAMG。電廠AMT，將針對不同事故狀況(RC/F-1~6)，進行各項最佳化之救援行動，達到終止燃料劣化的目的。

6.3 維持圍阻體完整性的事故處理策略

6.3.1 圍阻體內氫氣風險管理

核一廠

核一廠圍阻體內設有氫氧偵測系統(Hydrogen/Oxygen Monitoring System，HOMS)可偵測氫氣含量，利用圍阻體充氮系統進行沖淨和運轉SBGT，可發揮稀釋氫氣及排除功能。

核一廠可能積聚氫氣的廠房僅有二次圍阻體廠房，為建立排氣路徑來減少氫氣的積聚，可利用移動式發電機供電至SBGT進行排氣，並已成立DCR，在反應器廠房五樓屋頂增設可手動及遙控開啟之Blowout Plate(100年6月30日完成)，當遭遇複合式災害時，可先行打開Blowout Plate，防止反應器廠房內氫氣積存，避免氫氣爆炸。

RPV受損之後，核一廠依據SAP-2對應指引的氫氣控制策略(PC/G)執行一次圍阻體排氣和沖淨，以降低一次圍阻體氫氣濃度。考量超出設計基準事故發生時，儀器可靠度可能降低，為避免氫氣累積發生爆燃與一次圍阻體過壓，將依照URG程序書，於執行RPV緊急洩壓時，，不考慮輻射釋放率，將二次圍阻體卡車雙重門及二次圍阻體樓頂釋壓板開啟。

核二廠

核二廠的EOP及SAMG均有控制圍阻體內氫氣濃度的策略，除起動氫氣點火器、再結合器降低氫氣濃度外，並視狀況進行圍阻體排氣(必要時允許超過輻射釋放率)或圍阻體噴灑，以降低圍阻體氫氣濃度及壓力，達到保護圍阻體完整性的目的。

若電廠發生超出設計基準的情況時，預期機組喪失廠內/外AC電源時，將立即依照URG程序書(圍阻體控制)，開啟圍阻體排氣系統相關隔離閥[內部MOV預先開啟(失電時，待替代電力恢復後開啟)，外部氣動閥(Air Operated Valve，AOV)則利用備用氮氣瓶或人力操作開啟]，使得圍阻體能與外界連通，藉由圍阻體釋壓排氣之方式，以降低圍

阻體壓力，避免圍阻體失效。

此外為避免氫氣累積在二次圍阻體，可開啟二次圍阻體(輔助廠房)7樓長條門、輔助廠房進氣百葉窗，將氫氣外釋至廠房外，防止二次圍阻體局部氫氣累積而導致氫爆。

於電廠搶救過程中，除依據URG程序書建立爐心補水，避免氫氣持續產生外，氫氣控制系統所需電力，也在URG程序書優先恢復的範圍內。一旦電源恢復後，即可起動氫氣點火器、再結合器來降低氫氣濃度，有效避免氫爆發生。

核三廠

氫氣濃度低於4%的控制策略

SAMG的SAG-7「降低圍阻體氫氣濃度」 策略可以避免發生威脅圍阻體完整性的燃爆(detonation)，也可以使用「以點火源執行氫氣燃燒」、「釋放水蒸汽稀釋圍阻體內氫氣濃度」、「啟用氫氣再結合器」策略可以降低圍阻體內的氫氣濃度。

氫氣濃度高於6%的因應措施

SAMG的SCG-3「控制氫氣燃燒」係以低容積排放系統、PAHPS執行圍阻體排氣，減緩氫氣燃燒對圍阻體完整性的衝擊。

龍門電廠

龍門電廠的EOP及SAMG均有控制圍阻體內氫氣濃度的策略(PC/G)。除了起動再結合器降低氫氣濃度外，並視狀況進行圍阻體排氣(必要時允許超過輻射釋放率)或圍阻體噴灑，降低圍阻體氫氣濃度及壓力，達到保護圍阻體完整性的目的。

而若電廠發生超出設計基準的情況，機組喪失廠內/外AC電源時，為避免圍阻體氫氣累積爆燃，致使圍阻體之包封能力失效，得暫不考慮輻射釋放率，立即依照URG的LM.1-07「一次阻體排氣操作指引」，開啟圍阻體大氣控制系統(Atmosphere Control System，ACS)相關隔離閥，使得圍阻體能與外界連通，藉由圍阻體釋壓排氣之方式，以降低圍阻體內之氫氣量，避免發生爆燃現象。

為避免一次圍阻體洩漏導致二次圍阻體氫氣累積，URG的LM.2-02「二次阻體排氣操作指引」，亦要求開啟二次圍阻體(反應器廠房)7樓4個(北側1個，南側3個)爆破窗，利用自然對流方式將氫氣外釋至廠房外，防止二次圍阻體局部氫氣累積而導致氫爆。

於電廠搶救過程中，除依據URG程序書建立爐心補水，避免氫氣持續產生外，一旦氫氣控制系統的電源恢復，即可起動再結合器降低氫氣濃度，並配合圍阻體排氣等策略，有效避免氫爆的發生。

6.3.2 防止圍阻體過壓

核一廠

在喪失電力及爐心補水情況時，可由RCIC進行降壓及補水，透過負載管控以及125V SWBD #6 的轉供機制，可使用DC電力維持RCIC運轉達24小時。依核一廠URG程序書第一階段策略CS.1-01，以生水(消防水)將水注入反應器，將可於URG動作啟動後1小時內完成列置，並按照決策執行生水與消防系統的列置與臨時接管，以利將水注入反應器，及時回復爐心水位，防止燃料進一步損害。

依核一廠SAP-2「圍阻體和放射性物質釋放控制」PC/P 中可使用圍阻體排氣及圍阻體噴灑系統來降低一次圍阻體的壓力，另可利用圍阻體排氣系統(Direct Torus Venting System)直接洩壓，以避免圍阻體過壓失效。

核二廠

核二廠圍阻體設計上具有抑壓功能，SRV/RCIC排放之蒸汽將先透過抑壓池冷凝，減緩圍阻體壓力上升情況。此外電廠EOP及SAMG均有對於圍阻體壓力的控制策略，利用圍阻體噴灑及排氣方式(必要時允許超過輻射釋放率)，有效降低圍阻體壓力，達到保護圍阻體完整性的目的。

若電廠發生超出設計基準的情況，預期機組喪失廠內/外AC電源時，立即依照URG圍阻體壓力控制，開啟圍阻體排氣系統相關隔離閥，使圍阻體與外界連通，達成圍阻體釋壓排氣之目的，避免圍阻體過壓喪失包封能力。

於電廠搶救過程中，SGTS系統所需電力，已規劃在URG程序書優先恢復的項目。一旦電源恢復後，即可起動SGTS。

核三廠

SAMG的SAG-6「圍阻體降壓」係以圍阻體噴灑系統與圍阻體風扇冷卻器控制圍阻體壓力與溫度，避免圍阻體過壓失效。如果圍阻體的壓力高達110psig，則SCG-2 「圍阻體降壓」，以圍阻體風扇冷卻器、圍阻體噴灑系統、低容積排放系統、PAHPS降低圍阻體壓力，避免圍阻體過壓失效。

核三廠已針對超出設計基準事故的情境建立URG程序書，其中的MS.2-03、MS.2-08、MS.3-02與MS.3-02策略可以避免圍阻體過壓失效。

龍門電廠

龍門電廠的圍阻體設計具有抑壓功能，SRV/RCIC等排放之蒸汽將先透過抑壓池冷凝，減緩圍阻體壓力上升情況。此外電廠EOP及SAMG均有對於圍阻體壓力的控制策略(PC/P)，利用圍阻體噴灑及排氣方式，有效降低圍阻體壓力；根據EOP-582 (PC/P)，若圍阻體過壓保護系統(Containment Overpressure Protection System，COPS)已開啟，則不管輻射釋放率，允許一次圍阻體經由COPS排氣至大氣，在進入事故後恢復程序(Post

Accident Recovery Procedure)之前，不可將圍阻體排氣隔離。

圍阻體設計壓力為310 kPaG，COPS被動式破壞壓力為620.5 kPaG，圍阻體結構損壞壓力為1025.3 kPaA，故其可長時間確保完整。

於電廠搶救過程中，恢復SGTS系統電力已列入URG程序書優先項目，一旦電源恢復後，即可起動SGTS進行圍阻體排氣，有效降低圍阻體壓力及放射性物質外釋情況，進而保護圍阻體之完整性。

6.3.3 防止再臨界

核一廠

核一廠在執行SAP-2反應器功率控制(RC/Q)時，會確認反應器模式開關位於「SHUTDOWN」位置、RRCS ARI已動作、執行SBLC注硼至RPV直到槽液位降至0%、反應器已停爐。另啟用RHR停爐冷卻時，監視廣程中子監測系統(WRNM)，確保已注入之硼液不被稀釋，防止發生再臨界。若因事故造成SBLC不可用，緊急注硼因應措施如下：

(1) 在有電情況下，硼液注入方式有：(1)從備用硼液控制系統硼液槽經由RWCU系統打入爐心。(2)以硼砂/硼酸經由RWCU系統打入爐心。(3)以DST經由控制棒驅動系統打入爐心。

(2) 當發生電廠全黑時，將倉儲內備用硼酸、硼砂，製成硼液以沉水泵輸送至消防水車，再將消防水車內之硼液經由 RHR 注入爐心，避免反應器發生再臨界的情況。

(3) 各核能電廠對於採購備用硼酸、硼砂，除考慮現有倉儲空間外，並以執行圍阻體灌水至 TAF 高度與 RPV 安全停機之硼濃度計算所需之硼酸、硼砂量，完成額外增購。

核二廠

核二廠EOP首要動作包括確認反應器已急停，一旦反應器尚有臨界情況，將依照程序書進行替代控制棒插入策略，並視條件將硼酸透過SBLC或替代注硼方式注入反應器，維持反應爐次臨界狀況。當進入SAMG後，則要求無條件立即將SBLC的硼酸注入反應器。

若電廠發生超出設計基準的情況時，機組喪失廠內/外AC電源，造成上述注硼能力失效時，程序書亦提供透過消防水管路，經由RHR-B迴路之緊急注硼方式，避免反應爐再臨界。

核二廠將採購備用硼酸、硼砂，除考慮現有倉儲空間外，以執行圍阻體灌水至TAF高度與比照RPV安全停機之硼濃度計算所需之硼酸、硼砂量，完成額外增購。

核三廠

執行SAMG或URG程序書的RCS注水策略時必須監視NIS起動率，若NIS起動率大於零，則調整冷卻水的硼濃度或停止注水，使空泡率增加以抑制反應度。

龍門電廠

龍門電廠EOP首要動作包括確認反應器已急停(RC/Q)，一旦反應器尚有臨界情況，除依照程序書590.13進行替代控制棒插入策略，並視條件(功率振盪或抑壓池超過注硼起始溫度)將硼酸透過SBLC或替代注硼方式(程序書590.14)，注入反應器，維持反應器次臨界。進入SAMG後，則根據RC/Q策略，無條件立即將SBLC槽之硼酸注入反應器。

而若電廠發生超出設計基準的情況時，機組喪失廠內/外AC電源，造成上述注硼能力失效時，將以消防水車抽取硼液，再將消防水車內之硼液經由RHR注入爐心，避免反應器有再臨界的情況。

龍門電廠將採購備用硼酸、硼砂，除考慮現有倉儲空間外，以執行圍阻體灌水至TAF高度與比照RPV安全停機之硼濃度計算所需之硼酸、硼砂量，額外增購硼酸、硼砂各72噸。

6.3.4 防止圍阻體基座熔穿

核一廠

核一廠SAP-1中「RPV和一次圍阻體灌水之事故處理程序書」，對乾井噴灑、灌水之操作指引，目的在確保RPV失效時RPV底部周圍被水覆蓋，當熔渣流入時仍足以獲得冷卻，防止圍阻體基座熔穿。

另根據URG程序書，建立後備的電源、氣源，執行救援操作。URG程序書已涵蓋圍阻體壓力、氫氣及餘熱移除等控制策略，可有效持續維持圍阻體之可用性。

核二廠

核二廠圍阻體(Mark-III型式)的乾井外圍由濕井之堰牆包圍，圍阻體之完整性不會立刻受到熔渣之威脅，因此沒有鋼襯熔穿之危機。核二廠對於熔渣掉到爐穴後之因應，仍以灌水覆蓋熔渣，減緩熔融爐心與混凝土的作用為主要策略，避免圍阻體基座熔穿。

核三廠

為了避免RPV失效後的熔渣熔穿地板，SAMG的SAG-4「圍阻體注水」與SAG-8「圍阻體淹灌」會確保RPV失效時RPV底部四周被水覆蓋，當熔渣流入時，可以形成較容易冷卻的狀態，避免MCCI發生。

核三廠已針對超出設計基準的情境建立URG程序書，其中有三個反應器爐穴淹灌的替代策略：RWST重力注水、透過KC-XV111執行消防水系統注水、透過圍阻體噴灑管路注水，能避免圍阻體熔穿。

龍門電廠

龍門電廠因應熔渣掉進下乾井的策略係以ACIWA及下乾井灌水系統(Lower Drywell Flooder，LDF)灌水覆蓋熔渣，減緩熔融爐心與混凝土的作用，避免圍阻體基座熔穿，詳細說明如下：

(1) ACIWA：當喪失所有廠內及廠外電源時，起動柴油消防泵或利用消防車載水，經由RHR系統之消防水補水模式(ACIWA)，執行爐心補水。如果RPV失效後，持續執行爐心補水可幫助淹蓋下乾井底部的熔渣。若柴油消防泵起動失敗，可使用海拔116米的4.8萬公噸生水池，藉由位差流經止回閥，經由ACIWA管路，從反應器內部噴灑頭注水到爐心，RPV失效後，持續執行爐心補水可幫助淹蓋下乾井底部的熔渣。

(2) LDF：此為被動式的系統，當爐心熔渣進入下乾井基板後，高溫熔渣會使LDF動作，使抑壓池的水流入下乾井，形成約1.55米深的水池，濕井噴灑可維持水池高度。依照BWROG EPG/SAG Rev.2 Appdedix B 17.18節的描述，當冷卻水淹蓋至下乾井底部上方4呎(1.22 m)時，即可避免乾井內襯(Liner)熔穿，限制熔渣與混凝土作用，有效降低爐心熔渣的溫度。本系統並無任何主動(active)設備或儀控設施，在高輻射狀況下亦能發揮功能。

6.3.5 保護圍阻體完整性之設備所需 AC 電力、DC 電力與壓縮空氣的供應

核一廠

核一廠EOP因應事故期間採行圍阻體排氣方式，主要依據EOP-PC 540.3 「一次圍阻體控制」所列系統(包括SBGT系統、正常沖淨/排放系統、事故後沖放供給系統、乾井至一次圍阻體排放閥及乾井緊急真空釋放閥)進行圍阻體排氣控制，必要時可移除隔離連鎖，其策略已包括預期廠區全黑後須執行圍阻體排氣/沖淡之方案。

當發生超出基準事故，喪失相關電源時，核一廠可依據URG程序書建立後備電源，包括起動第五台EDG、氣渦輪發電機或以移動式柴油機等方式，恢復上述系統可用性。

為確保於超出基準事故狀況時，電廠應變用要的緊急設備，均能於短時間內獲得電源，電廠已規劃提出相關之強化措施，可緊急提供4.16kV/480V AC之電源所需(2011年6月完成)：

(1) 已修訂程序書，操作第五台EDG，緊急時可同時供電至兩部機組。

(2) 已備妥必須之電纜及相關操作程序書，將氣渦輪機附屬之二台4.16kV/1100kW柴油發電機作為緊急電源，供電給廠內機組4kV BUS。

(3) 已增購12台480V移動式柴油發電機及成立DCR，安裝供電接頭及線路。

(4) 由TPC總處採購之6台4.16kV/1500kW柴油發電機電源車中，核一廠將配置一台。

核二廠

核二廠EOP/SAMG因應事故期間圍阻體保護方式，主要為圍阻體噴灑及排氣方式，對於圍阻體排氣方式，主要依據EOP 500.14「一次圍阻體排氣」所列系統，包括SGTS系統、正常沖放供給/排出系統、事故後沖放供給系統、乾井至一次圍阻體排放閥及乾井緊急真空釋放閥。必要時可移除隔離連鎖。圍阻體噴灑為RHR設計功能之一，採用安全等級之電源。

當發生超出基準事故，喪失相關電源時，將依據URG程序書所列方案建立正常/替代電源，包括起動第五部EDG、氣渦輪發電機或以移動式柴油機等方式，恢復各種救援系統之可用性。若所有電源均不可用時，URG程序書亦提出因應方案，開啟圍阻體排氣系統相關隔離閥，進行圍阻體釋壓排氣。

核三廠

所有確保圍阻體完整性的嚴重事故處理策略都需要AC及DC電力，核三廠已針對超出設計基準事故的情境建立URG程序書，其MS.2-03與MS.2-08策略可以回復AC/DC電力。

龍門電廠

龍門電廠電廠以EOP/SAMG因應事故期間，圍阻體保護方式主要為圍阻體噴灑及排氣。排氣方式主要依靠COPS，本系統包括兩顆正常保持常開的氣動閥，破裂盤及連至二次圍阻體上方的逸氣管路，當喪失氣源時，此兩顆氣動閥亦保持開啟，因此不需任何動力亦可發揮功能，避免一次圍阻體過壓。另外圍阻體噴灑為RHR設計功能之一，採用安全等級之ESF電源。

當發生超出基準事故，喪失相關電源時，將依據URG的LM.2-04~07及LM.2-11~14所列方案，包括起動第七部EDG、氣渦輪發電機或以移動式柴油機等方式，建立正常/替代電源(包括DC電力)，以恢復各種救援系統之可用性，參閱本報告第5章說明。

6.3.6 瀕危效應與時機

核一廠

TPC核安處委託核能研究所(Institute of Nuclear Energy Research，INER)使用MAAP5程式評估核一廠SBO事故的瀕危效應。在保守考量下，假設RCIC持續運轉8及24小時後因故失效，喪失爐心補水能力，且不考慮RPV洩壓與圍阻體排氣策略。其計算結果如下：

(1) 事故後RCIC持續運轉8小時：圍阻體於事故後19.2小時因壓力超過設計基準而失效。
(2) 事故後RCIC持續運轉24小時：圍阻體於事故後33.7小時因壓力超過設計基準而失效。

核二廠

TPC核安處委託INER使用MAAP5程式評估核二廠SBO事故的瀕危效應。在保守考量下，假設RCIC持續運轉8及24小時後因故失效，喪失爐心補水能力，且不考慮RPV洩壓與圍阻體排氣策略。其計算結果如下：

(1) 事故後RCIC持續運轉8小時：氫氣燃燒發生於事故後178小時。圍阻體於事故後17.7小時因壓力超過設計基準而失效。

(2) 事故後RCIC持續運轉24小時：氫氣燃燒發生於事故後37.4小時。圍阻體於事故後37.4小時因壓力超過設計基準而失效。

核二廠對於事故處理，依照現有以徵兆為主之EOP/SAMG，對於複合式災害事件，則同時依照URG程序書之規劃策略。在URG程序書的點檢表中所列的第一階段應準備的灌水方式，以及第二階段在八小時內建立必要系統之電力供給，並持續進行第一階段之各種替代注水方案，藉由上述之氫氣控制、壓力控制及電力恢復等因應方案，可以在瀕危效應發生前達到有效控制，確保圍阻體的完整性。

核三廠

核三廠的圍阻體過壓失效中值(A_m)為182 psig，分析模式不準度(β_M)為0.20，結構強度不準度為0.15，以此計算HCLPF為101 psig，並作為圍阻體過壓失效的壓力。然後以MAAP5模擬長期SBO事故的瀕危效應與時間。如果TDAFWP可以維持運轉8小時，則在事故發生後19.5小時圍阻體內有局部氫氣燃燒，22小時RPV失效，60.2小時圍阻體過壓失效。如果TDAFWP可以維持運轉24小時，則在事故發生後55.7小時RPV失效，57.4小時圍阻體內有局部氫氣燃燒，101.9小時圍阻體過壓失效。因此核三廠依據保守考量，以60.2小時為圍阻體失效瀕危效應的發生時間。

龍門電廠

TPC核安處委託INER使用MAAP5程式評估龍門電廠SBO事故的瀕危效應。在保守考量下，假設RCIC持續運轉8及24小時後因故失效，喪失爐心補水能力，且不考慮RPV洩壓與圍阻體排氣策略。其計算結果如下：

(1) 事故後RCIC持續運轉8小時：圍阻體於事故後17.73小時因壓力超過設計基準而失效。

(2) 事故後RCIC持續運轉24小時：圍阻體於事故後27.57小時因壓力超過設計基準而失效。

電廠對於事故處理，除依照現有之EOP/SAMG，以徵兆為主的全面性考量因應策略外。對於複合式災害事件，則同時依照URG程序書之規畫策略，並於點檢表所列之各階

段點檢時間內完成動員及整備，包括點檢表第二階段(8小時內)建立必要系統之電力(包括DC電源)供給等，並持續進行第一階段之各種替代注水方案，藉由上述之氫氣控制、壓力控制及電力恢復等因應方案，可以在瀕危效應發生前達到有效控制，確保圍阻體的完整性。

6.3.7 現行事故處理策略的適切性

核一廠

依據URG程序書建立備用電源與空氣源。為維持圍阻體完整性，避免圍阻體過壓，以下為核一廠現行的熱移除與排氣措施：

(1) 一次圍阻體以內部通風保持乾井氣溫，減輕乾井內部機件設備劣化。

(2) 一次圍阻體氣體控制系統(Primary Containment Air Control System，PCACS)，在設計基準事故發生後，抑壓槽壓力上升至壓力限值前，可先從抑壓槽進行逸氣排放，降低一次圍阻體壓力低於限值，維持一次圍阻體完整，其次再從乾井進行排放。

(3) 圍阻體噴灑系統共有兩串，當一次圍阻體壓力大於 0.77kg/cm^{2}時，起動RHR之圍阻體噴灑功能，降低圍阻體壓力、溫度。

(4) 一次圍阻體氫氣再結合器系統，可將氫和氧結合成水，防止圍阻體內氫濃度增加引起爆炸。

(5) 一次圍阻體充氮系統，將一次圍阻體維持在充氮惰化(Inerted)情況下運轉，以防止易燃氣體產生時，發生氫爆。

(6) 當可能發生嚴重的爐心損毀或可能喪失一次圍阻體完整性時，為確保一次圍阻體之結構主體完整性，必需執行一次圍阻體逸氣，此時逸氣可不考慮輻射外釋率，排除隔離連鎖，由PCACS，再經SBGT系統抽氣處理後排放至廠界執行一次圍阻體逸氣，維持一次圍阻體完整。

當爐心燃料受損後，此時TSC已成立，由AMT小組參循核一廠SAP-1與SAP-2維持圍阻體的完整性，降低分裂產物的外釋量，對應的指引有氫氣控制(PC/G)、一次圍阻體控制、二次圍阻體控制及放射性物質釋放控制，PC/P策略可使用圍阻體排氣及圍阻體噴灑系統來降低一次圍阻體的壓力，另可利用圍阻體洩壓系統直接洩壓，避免圍阻體過壓失效。

核二廠

無

核三廠

如果核三廠發生超出設計基準的事故(如喪失廠內/外AC電力)時，保護圍阻體完整

性廠內AC/DC電力與設備用壓縮空氣將不可用，所有氫氣風險管理、防止圍阻體過壓、防止再臨界、防止圍阻體基座熔穿等策略將無法執行。因此，核三廠已針對超出設計基準事故的情境建立URG程序書，維持圍阻體完整性的相關策略有：

(1) 圍阻體洩壓

本策略係藉由設計路徑執行圍阻體排氣，可避免氫氣累積發生爆燃或圍阻體過壓失效。

(2) 圍阻體灌水

本策略有三個替代注水路徑，可灌水至圍阻體內的爐穴，確保RPV失效時RPV底部四周被水覆蓋。

(3) 恢復AC電力供應

「由一個電源同時提供給2個緊要匯流排」與「移動式柴油發電機供電指引」策略可回復維持圍阻體完整性所需的AC及DC電力。

經確認，這些URG策略可在60.2小時完成，能避免圍阻體失效之瀕危效應的發生。

龍門電廠

研發中。

6.4 控制輻射外釋的事故處理策略

核一廠

當發生嚴重事故時，核一廠控制輻射外釋的事故處理策略可分放射性氣體及放射性液體二部份，分別說明如下：

放射性氣體外釋

(1) 正常情況下，一次圍阻體可藉由自動隔離之功能，將放射性物質包封在圍阻體內，防堵分裂產物外釋，確保廠外輻射劑量不會超過10CFR100規定。

(2) 當緊急事故發生，使廠界輻射率達到5 Ci /sec時，則依據EOP程序書540.4「二次圍阻體與放射性物質釋放控制」進行相關必須隔離之所有洩漏；若事故持續惡化至需進入SAP後，依據程序書540.6之「圍阻體和放射性物質釋放控制(SAP-2)」規定，當二次圍阻體HVAC輻射強度超過100mR/hr時，需確認HVAC已隔離，並起動SBGT，有效過濾放射性物質。

(3) 當EOP/SAP執行救援行動過程中時，若圍阻體因壓力、氫氣濃度過高，或因圍阻體無法承受RPV能量沖放而可能造成圍阻體失效時(圍阻體之壓力抑制能力)，依照EOP/SAP 規定，必須強制進行一次圍阻體排氣(操作程序詳如程序書540.3)，以確保一次圍阻體完整，避免導致放射性氣體無法控制的大量外釋。

(4) 若發生類似福島事故之複合式災害時，預期圍阻體沖淨/排氣系統可能因為電源喪失而失去功能時。電廠將依據已規劃完成之URG程序書第一階段策略CS.1-03「廠區全黑圍阻體排氣」進行操作。

放射性液體外釋

(1) 放射性液體外洩可能途徑

意外事件造成放射性物質外洩，首先可能洩入該廠房內集水池後溢流，或最壞狀況係淹沒廠房底層1～2樓後，進一步溢出廠房外時，會流入廠區雨水下水道，或滲入底層有裂縫的海水排水渠道，此皆由電廠冷卻海水出水口流入大海。

根據程序書912規定，當發生地震並接獲運轉員通知停止廢水外釋時，應立即停止廢水外釋，待地震停止後，檢查廢料系統及廢水外釋管道相關設備、儀器正常，並確定安全無虞後，才可再進行外釋排放。

(2) 因應方案

若因意外事件造成放射性物質外洩，經評估核一廠最大廢液儲存空間最多可達51,400立方公尺(1號機與2號機)，並立即通報NEPEC與CDRC，必要時由CDRC協調輻射偵測中心派專業人員加強監測。

核二廠

當發生嚴重事故時，核二廠控制輻射外釋的事故處理策略可分放射性氣體及放射性液體外釋二部份，分別說明如下：

放射性氣體外釋

(1) 正常情況下，一次圍阻體可藉由自動隔離之設計功能，將放射性物質包封在圍阻體內，以防堵意外事故時分裂產物外釋之情況，確保廠外輻射劑量不會超過10CFR100規定。

(2) 當事故發生時，依據EOP，若廠界輻射率達到0.02 mSv/hr時，必須隔離一次系統(Primary System)。若事故持續惡化至需進入SAMG後，依據SAG-2之「二次圍阻體/輻射釋放」規定，當二次圍阻體HVAC輻射強度超過0.15mSv/hr(對應Noble Gas channel：5.87×10^5 CPM)時，需確認HVAC已隔離，並起動SGTS，有效過濾放射性物質。

(3) 當EOP/SAMG執行救援行動過程中時，若圍阻體因壓力、氫氣濃度過高，或因圍阻體無法承受RPV能量沖放而可能造成圍阻體失效時，依照EOP/SAMG規定，必須強制進行一次圍阻體排氣，以確保一次圍阻體完整，避免導致放射性氣體無法控制的大量外釋。

(4) 若發生類似福島事故之複合式災害時，預期圍阻體排氣系統可能因為電源喪失而失去功能時。電廠將依據已規劃完成之URG「圍阻體控制(含逸氣及熱移除、氫氣控制)」，在電廠仍有電源時先行將一次圍阻體內側電動隔離閥開啟且斷電。而外側隔離閥為空氣動力操作閥，則於執行一次圍阻體排氣時，使用後備氮氣瓶操作或加派人力操作開啟，以保護一次圍阻體完整，避免導致放射性氣體無法控制的大量外釋。核二廠已將SGTS電源供應列入優先恢復項目，以儘速恢復圍阻體排氣及過濾功能。

放射性液體外釋

(1) 位於地面上的ACST損壞洩漏，其滿水位之體積約1325立方公尺，活度濃度約2.2×10^{5} Bq/m^3。

(2) 位於獨立之燃料廠房地面樓層的SFP，如損壞洩漏造成池水水位下降，亦只洩漏至燃料廠房底層1～2樓，仍易補水不會有類似日本福島事故；而燃料池水，其活度濃度約1.0×10^{7} Bq/m^3。

(3) 最壞狀況係爐水流失情況下，且一次圍阻體有裂縫、或管路穿越器破損或斷管，而造成爐水洩漏至輔助廠房底層1～2樓，其排放濃度與量，可由管路漏水、集水池水位異常上升與輻射升高，做合理評估。

核三廠

電廠現況

(1) 從圍阻體洩漏

核三廠建立的SAMG放射性物質洩漏相關減緩策略有SCG-1「減緩分裂產物外釋」、SAG-5「降低分裂產物的外釋」、SAG-6「圍阻體溫度壓力控制」、SAG-8「圍阻體淹灌」。為了避免圍阻體過壓失效造成放射性物質大量外釋的情形，核三廠建立的SAMG相關策略有SCG-2「圍阻體降壓」、SCG-3「控制氫氣燃燒」、SCG-4「控制圍阻體真空」、SAG-6「圍阻體溫度壓力控制」、SAG-7「降低圍阻體氫氣濃度」。相關安全設備有圍阻體風扇冷卻器、圍阻體噴灑系統、圍阻體低容積排放系統、PAHPS與氫氣再結合器。氫氣控制措施有從PZR的PORV或RPV頂部排氣閥排放蒸汽稀釋圍阻體內氫氣濃度、以火花點燃氫氣、經由圍阻體低容積排放性統或PAHPS執行圍阻體排氣。控制圍阻體真空方式係打開PZR的PORV或RPV頂部排氣閥。

(2) 從S/G洩漏

核三廠建立的SAMG放射性物質洩漏相關減緩策略有SCG-1「減緩分裂產物外

釋」、SAG-1「S/G注水」、SAG-5「降低分裂產物的外釋」。執行這些策略的主要目的是將S/G裝滿水、隔離受損的S/G、將受損S/G的蒸汽引導到冷凝器。

(3) 從輔助廠房洩漏

核三廠建立的SAMG放射性物質洩漏相關減緩策略有SCG-1「減緩分裂產物外釋」、SAG-5「降低分裂產物的外釋」。

福島事故後之強化措施

如果核三廠發生超出設計基準的事故(如喪失廠內/外AC電源)時，可能會喪失廠內AC/DC電力，所有分裂產物外釋控制的策略將無法執行。因此，核三廠已針對超出設計基準事故的情境建立URG程序書，其相關策略有：

(1) 圍阻體洩壓

(2) 圍阻體灌水

本策略有三個替代注水路徑，可灌水至圍阻體內的爐穴，確保RPV失效時，RPV底部四周被水覆蓋，掉落的爐渣可被立即冷卻，分裂產物可被水刷洗而滯留於水中。

(3) 恢復AC電力供應

經確認，這些URG策略可在60.2小時完成，能避免圍阻體失效之瀕危效應的發生。

龍門電廠

當發生嚴重事故時，龍門電廠控制輻射外釋的事故處理策略可分放射性氣體及放射性液體外釋二部份，分別說明如下：

放射性氣體外釋

正常情況下，一次圍阻體可藉由自動隔離之設計功能，將放射性物質包封在圍阻體內，以防堵意外事故時分裂產物外釋之情況，確保廠界外輻射劑量(Off Site Dose)不會超過 10CFR100 規定。

當緊急事故發生使廠界輻射率達到0.1 mSv/h時，則依據EOP程序書584「輻射外釋控制」進行相關必須隔離之所有洩漏；若事故持續惡化至需進入SAMG後，依據EOP程序書583之「二次圍阻體控制」規定，當二次圍阻體RBSCHV排氣輻射強度或燃料填換樓層輻射強度超過0.21 mSv/h時，需確認RBSCHV已隔離，並起動SGTS，有效過濾放射性物質。

在EOP/SAMG執行救援行動過程中時，若圍阻體壓力、氫氣濃度過高，或圍阻體無法承受RPV能量沖放而可能造成圍阻體失效時(圍阻體之壓力抑制能力)，依照 EOP/SAP規定，必須強制進行一次圍阻體排氣(操作程序詳如URG的LM.1-07「一次圍阻體排氣操作指引」)， 以確保一次圍阻體完整，避免導致放射性氣體無法控制的大量外釋。

若發生類似福島事故之複合式災害時,預期圍阻體沖淨/排氣系統可能因為電源喪失而失去功能時，電廠將依據已規畫完成之URG程序書第一階段策略 LM.1-07「一次圍阻體排氣操作指引」及第二階段策略 LM.2-02「二次圍阻體排氣操作指引」進行操作。龍門電廠已將恢復SGTS電源列入優先項目，以儘速恢復圍阻體排氣及過濾功能(電力強化方案詳如第5章之說明)。

放射性液體外釋

意外事件造成放射性物質外洩，首先可能洩入該廠房內集水池後溢流，或最壞狀況係淹沒廠房底層1~2 樓後，進一步溢出廠房外時，會流入廠區雨水下水道，或滲入底層有裂縫的海水排水渠道。前述外釋皆由電廠冷卻海水出水口流入大海。

依據程序書913規定，當發生地震並接獲運轉員通知停止廢水外釋時，應立即停止廢水外釋，待地震停止後，檢查廢料系統及廢水外釋管道相關設備、儀器正常，並確定安全無虞後，才可再進行外釋排放。

應立即通報NEPEC與CDRC，必要時由CDRC協調輻射偵測中心派專業人員加強監測。

龍門電廠程序書針對緊急搶修支援人力相關之進廠程序及輻防管制程序，已有完整的規範。對於複合式災害可能需求之極少數特殊專業人員，如情況許可，仍要求編入緊急工作隊，再依現行程序書任務編組進行搶修作業。

在考量搶救時效之緊急情況下，若無法納入編組者，由HPC人員實施約5~10分鐘之搶修輻射安全講習，說明緊急曝露之法規規定、 接受輻射之風險及現場輻防狀況，搶修輻射劑量警報限值，並徵得當事人之劑量授權同意簽名。會同支援人員前往現場，並指導相關輻防注意事項。

搶修人員進入輻射管制區前，由HPC人員每人發予佩章及輔助劑量警報計，並指導搶修人員有關輻防衣物之穿著及輻防裝備之使用等。搶修人員離開輻射管制區後，由HPC人員協助，前往指定之臨時管制站進行全身污染偵測及去污作業，依接受劑量多寡執行必要劑量查核及醫護照顧，確保搶修人員輻射安全。

6.5 喪失用過燃料池冷卻功能之事故管理措施

6.5.1 喪失適當輻射屏蔽

核一廠

金山核能電廠是以有效燃料高度(Top of Active Fuel, TAF)頂端上10 呎作為適當的輻射屏蔽。

1. 喪失適當輻射屏蔽之前

人員可接近反應器廠房5樓用過燃料池旁，一方面以480V 移動式發電機供給新增燃料池冷却系統電源，盡可能恢復用過燃料池冷卻功能。一方面依以下途徑提供燃料池補水：

(1) 使用備用圍阻體噴灑系統(Backup Containment Spray System,BCSS)以水庫車引擎或移動式消防泵經由RHR 系統管路補水到用過燃料池。

(2) 利用反應器廠房五樓消防水系統，拉水帶從消防箱取水(正常容量為3600 公噸、可與3000 公噸x 2 水槽連接，其後備水源為10 萬公噸水池)補入用過燃料池。

(3) 生水經由補充水除礦器旁通管借重力補入DST(原貯存水量至少1 萬加侖以上)，DST 泵可由480V 移動式發電機接入MCC 1A-2 或 2A-2 提供電源，將DST 水打入燃料池緩衝溢流槽再溢流至用過燃料池或經由Service Box 接臨時軟管直接補水至用過燃料池。

(4) 已完成增設用過燃料池抗震等級常備硬管式消防補水及噴灑各一管路，可以水庫車引擎或移動式消防泵提供500 gpm 補水或200 gpm 噴灑用過燃料池之能力。

2. 喪失適當輻射屏蔽之後

在喪失適當輻射屏蔽之後，在人員可能無法接近反應器廠房5F 用過燃料池旁，故上述第(2)及第(3)項將失效，但其餘方式仍然可行。

<u>核二廠</u>

1.喪失適當輻射屏蔽之前

經審視電源供應及可備水源情況，依照上述機組斷然處置程序(Ultimate Response Guideline, URG) 附件13之狀況一描述方式進行燃料池冷卻或補水。

2.喪失適當輻射屏蔽之後

假設喪失適當輻射屏蔽之後，人員無法靠近時，若電力供應正常或可恢復，則依循URG附件13之狀況1~4所述方式處理，否則仍可依據URG附件13之狀況5~6的方式處理，於燃料廠房北側牆面，以總體檢後新增之注水/噴灑專用管路，進行燃料池補水或噴灑。

<u>核三廠</u>

馬鞍山核能電廠是以有效燃料高度(Top of Active Fuel, TAF)頂端上10 呎作為適當的輻射屏蔽。

1.喪失適當輻射屏蔽之前

電廠目前係以程序書 597.1「用過燃料池喪失冷卻能力時恢復程序」來因應用過燃料池喪失冷卻之事件，並依據測量的輻射強度高低，決定適當之工作人員撤退對策。程序書 597.1 要求儘速依據程序書 366.1「用過燃料池的充水、洩水與過濾」尋找可補水至用過燃料池之水源與路徑，將用過燃料池水補至正常水位（EC-LI109＞34.88％，＞142 呎 10 吋)。可用補水路徑如下：

(1) 由除礦水儲存槽(DST)補水，貯水量是 10 萬加侖，補水流量率 215 gpm。若有補充硼酸水的需求時，則由燃料更換水儲存槽(RWST)，經池水淨化系統補水。RWST 硼酸水的硼濃度為 2400~2500 ppm，貯水量約 46 萬加侖，補水流量率 100 gpm。

(2) 由冷凝水儲存槽(CST)(為耐震一級水槽，貯水量為 75 萬加侖)補水，有兩台獨立、耐震一級設計之 CST 傳送泵(各 210 gpm)。

程序書 597.1 所述補水至用過燃料池之水源與路徑均需要電力才能運作，若發生類似福島電廠的複合式災變，喪失所有 AC 電源及海水熱沉，電廠將喪失用過燃料池之冷卻救援能力。

2.喪失適當輻射屏蔽之後

在喪失適當輻射屏蔽之後，人員可能無法接近用過燃料池或進入燃料廠房，現有的程序書 597.1 並未說明在這種狀況應如何救援。其餘可能發生的情形將陳述於第 6.5.5 節。

<u>龍門電廠</u>

1. 喪失適當輻射屏蔽之前

經審視電力及水源的供給能力後，電廠應遵循URG 附件LM.SFP.1-04 及LM.SFP.2-01中所敘述執行燃料池冷卻及補水。

2. 喪失適當輻射屏蔽之後

在喪失適當輻射屏蔽之後，人員無法進入燃料廠房，則電廠將遵循URG 附件LM.SFP.1-01~03中程序，執行補水及噴灑作業。

6.5.2 燃料池水位低於燃料頂端

<u>核一廠</u>

1. 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之前

如人員可接近燃料池，則處理方式與6.5.1節「輻射屏蔽能力喪失前」所述相同。如人員無法接近，則處理方式與6.5.1節「輻射屏蔽能力喪失後」所述相同。此外，若預期水位將降至燃料元件頂部以下，可利用用過燃料池抗震等級常備硬管式消防補

水及噴灑各一管路(如同“喪失適當輻射屏蔽”，第一項第4種方式)立即設置完成。

2. 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之後

除了上述6.5.1節「輻射屏蔽能力喪失後」處理方式之外，可利用用過燃料池抗震等級常備硬管式消防補水及噴灑各一管路(如同“喪失適當輻射屏蔽”，第一項第4種方式)立即設置完成。

核二廠

1. 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之前

(1) 如果現場輻射狀況改變不大，人員仍可靠近用過燃料池，管理措施與“喪失適當輻射屏蔽”第 1 項相同。

(2) 如果現場輻射劑量太高，人員無法靠近用過燃料池時，管理措施與“喪失適當輻射屏蔽”第 2 項相同。

2. 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之後

若現場輻射劑量太高，人員無法靠近用過燃料池，管理措施與“喪失適當輻射屏蔽”第 2 項相同。

核三廠

管理措施與第6.5.1節相同。

龍門電廠

1. 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之前

如果現場輻射狀況改變不大，人員仍可靠近用過燃料池，管理措施與第 6.5.1 節“喪失適當輻射屏蔽之前”第 1 項相同。

2. 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之後

如果現場輻射劑量太高，人員無法靠近用過燃料池時，管理措施與第 6.5.1 節“喪失適當輻射屏蔽之後”第 2 項相同。

6.5.3 用過燃料池燃料劣化情況

核一廠

處理方式與6.5.2節「燃料池水位低於燃料頂端後」所述相同。此外，必須監測氫氣濃度以避免大規模氫氣爆炸。金山核能電廠已新增斷然處置程序書(1451) ，建立備援電力、水源以及空氣來源，以保護燃料元件。

核二廠

1.用過燃料池燃料嚴重毀損前

如果現場輻射狀況改變不大，人員仍可靠近用過燃料池，管理措施與第 6.5.1 節“喪

失適當輻射屏蔽之前”相同。

2.用過燃料池燃料嚴重毀損後

如果現場輻射劑量太高，人員無法靠近用過燃料池時，管理措施與第 6.5.1 節“喪失適當輻射屏蔽之後”相同。.

核三廠

因鋯水反應或鋯氧化反應會產生大量的化學反應熱，並產生氫氣，在氫氣與大量熱量產生交互作用情況下，將加劇燃料溫度上升，且同時存在有氫爆之危機(當氫濃度＞4%時即可能發生)。

如人員無法接近燃料池且程序書 597.1 無法處理此情況，將於第 6.5.5 節說明。

龍門電廠

1. 用過燃料池燃料嚴重毀損前

如果現場輻射狀況改變不大，人員仍可靠近用過燃料池，管理措施與第6.5.1節“喪失適當輻射屏蔽之前”第1項相同。

2. 用過燃料池燃料嚴重毀損後

如果現場輻射劑量太高，人員無法靠近用過燃料池時，管理措施與第6.5.1節“喪失適當輻射屏蔽之後”第2項相同。

6.5.4 瀕危效應及發生期限的風險

核一廠

根據分析結果，假設爐心燃料於停機7 天後全部退出至用過燃料池且用過燃料池初始溫度為30℃，用過燃料池水將會在11.2小時候沸騰，2天後池水下降至燃料有效高度上之10 呎，3.3天後池水下降到燃料有效高度之下。

核二廠

以一號機於EOC-21大修為例，假設全部爐心燃料(624束)於停機大修的第10天移出至用過燃料池，全部燃料(624束燃料)的衰變熱估計約為6.6MW，燃料池將於20.4小時後沸騰。99個小時後，水位將低於燃料有效高度頂端上方(TAF)8英呎；而132.4小時後，水位則低於燃料有效高度。然而，147.4小時後，燃料開始發生劣化。

核三廠

依據分析結果，假設爐心燃料於停機7 天後全部退出至用過燃料池，同時用過燃料池喪失冷卻能力，池水將於11.23 小時後沸騰，於事故發生後56 小時池水下降至燃料有效高度上之10 呎，84.4 小時池水下降至燃料元件頂部，在裸露8.5 小時後，燃料將被加熱至600°C；若持續未進行補水措施，則於裸露後的18.6 小時，將會到達1200°C。

龍門電廠

用過核子燃料衰變熱隨著機組停機時間增加而降低。當所有爐心燃料移至用過燃料池時，用過燃料池內衰變熱達到最高點。龍門核能電廠仍在建置中故尚無任何用過核子燃料產生。因此熱流分析是假設用過燃料池內已存放9週期之退出用過核子燃料且爐心燃料於停機7 天後全部退出至用過燃料池。總衰變熱為12.88MW且用過燃料池初始溫度為49℃.

1. 用過燃料池喪失冷卻及補水能力之瀕危時間

●用過燃料池溫度上升至沸騰時間：9.5 hrs

●水位降到不能維持適當輻射屏蔽的時間(燃料頂端 8 呎)：52 hrs

●水位降至有效燃料元件頂部的時間：91 hrs

●燃料開始劣化的時間(1200℃)：98.3hrs [註]

註：用過燃料池採用緊密排列配置。

2. 現存管理措施有效性

根據上述分析最嚴重的情況下(約大修停機後第7天退出所有爐心燃料存放於用過燃料池) ，用過核子燃料約於用過燃料池喪失冷卻及補水能力98.37小時後(約4天)開始劣化。因此龍門核能電廠有充分時間，進行電力恢復或以替代電源提供必要電力，恢復燃料池冷卻或補水能力。 若因現場已喪失適當輻射屏蔽或溫度太高情況，龍門核能電廠可利用特定補水或噴灑管路，自燃料廠房外各項替代水源(如消防水、CST水源等)進行用過燃料池補水及噴灑作業，避免發生燃料受損之頻危效應。

6.5.5 現行管理措施之適切性及可能增加防備措施

核一廠

緊急時燃料池可由凝結水儲存與傳送系統(CST)或除礦水系統（DST）補水。機組大修期間燃料池和反應爐穴連通時， 可使用備用圍阻體噴灑系統(BCSS)、水庫車引擎或移動式消防泵經由餘熱移除系統(RHR)管路補水到燃料池或由反應器廠房五樓消防水系統，拉水帶從消防箱取水補入用過燃料池，可有效維持用過燃料處於安全狀態。

反應器廠房(二次圍阻體)內則未設有氫氣偵測裝置，若廠房內局部區域有微量氫氣積存，反應器廠房通風系統或備用氣體處理系統(SBGT)正常運轉時，仍可發揮稀釋及排除能力。

核二廠

於第5.2.3.3節分析最嚴重的情況下(約大修停機後第10天退出所有爐心燃料存放於用過燃料池)，用過核子燃料約於用過燃料池喪失冷卻及補水能力147.4小時後(約6天)開

始劣化。因此國聖核能電廠有充分時間，進行電力恢復或以替代電源提供必要電力，恢復燃料池補水能力。此外，由於用過燃料池位於燃料廠房地面層，國聖核能電廠亦可派員至現場以消防水、抽水泵或消防車進行用過燃料池冷卻或補水作業。

若因現場已喪失適當輻射屏蔽或溫度太高情況，國聖核能電廠可以設置於燃料廠房北側之消防管，自燃料廠房外各項替代水源(如消防水、CST水源等)進行用過燃料池補水及噴灑作業，避免發生燃料受損之頻危效應。

核三廠

馬鞍山核能電廠已新增機組斷然處置措施(URG, 程序書1451)，提供第一時間減緩與控制用過燃料池喪失冷卻或完整性的處置程序，於最短時間內將所有可資運用的水源設置完成。

茲分別就用過燃料池水位下降之各階段，馬鞍山核能電廠URG所規劃的救援策略說明如下：

(1) 喪失適當輻射屏蔽之前

此情境下，因用過燃料池尚有適當輻射屏蔽，故人員可接近用過燃料池，評估實際狀況，可採行之措施參考前述章節 5.2.3.3、5.2.3.4 及 5.2.3.5。

(2) 喪失適當輻射屏蔽之後

在此情況下，必須採行後備的外部補水措施如下：

a. 參考第 5.2.3.5 節第 8 項，利用消防車或室外消防栓經消防水帶連接廠房外常備硬式補水管路直接進行用過燃料池的補水。

b. 參考第 5.2.3.5 節第 9 項，利用消防車或室外消防栓經消防水帶連接廠房外常備硬式噴灑管路直接進行用過燃料池的噴灑，並進行用過燃料池的補水。

(3) 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之前

採行同“喪失適當輻射屏蔽”第 1 項之措施。

(4) 用過燃料池水位降至燃料元件頂部之後

此情境下，因現場輻射劑量過高，人員將無法靠近燃料池，管理措施與“喪失適當輻射屏蔽”第 2 項相同。

a. 當燃料開始裸露時，如採取第 5.2.3.5 節第 8 項策略進行補水，補水水量為 500gpm，則施行補水 6.8 小時後，即可將水位回復至原始高度。

b. 當補水策略無法進行，或用過燃料池結構損壞，致補水無法建立池水水位，則採取第 5.2.3.5 節第 7 項策略直接進行用過燃料池的噴灑作業，噴灑水量為 200gpm，則噴灑 20 小時後，即可將水位回復至原始高度。

c. 若噴灑策略無法回復池水水位，依據核能研究所進行的用過燃料池於喪失冷卻能力事故下之熱水流分析結果，在燃料開始裸露後到達 600°C 時立即灑水。

(5) 用過燃料池燃料嚴重損毀之前

採行同“用過燃料池水位降至燃料元件頂部之後”之措施繼續執行用過燃料池補水及噴灑。

(6) 用過燃料池燃料嚴重損毀之後

此階段須盡力恢復用過燃料池補水及噴灑措施，以降低燃料溫度，減少放射性物質外釋。同時，此階段須持續監控用過燃料池周遭氫氣濃度，採取適合的氫控策略，避免氫氣過度累積，對此馬鞍山核能電廠已提出燃料廠房燃料池增設氫氣濃度監測系統改善案(M1-4286/M2-4287)，建立燃料廠房的氫氣監測能力。

依據URG 的要求，馬鞍山核能電廠在機組斷然處置啟動後2 小時內完成策略「MS.2-05 用過燃料池緊急補水/噴灑」之設置，相較上述燃料裸露的時間84.4 小時，馬鞍山核能電廠有充分的能力避免瀕危狀況之發生。

龍門電廠

用過燃料池餘熱移除及補水系統在正常運轉下是由Fuel Pool Cleanup System (FPCU)提供，也可利用餘熱移除系統(Residual Heat Removal System, RHRS)作為替代用過燃料池冷卻系統。 用過燃料池補水可利用Suppression Pool Cleanup System (SPCU)與Condensate Transfer System (CSTF) ，若發生緊急情況亦可採用RHR系統或消防水系統進行補水。上述詳細設計及電力來源請參閱第5章第2節說明。

為了因應複合式災難情況，龍門核能電廠已根據電廠程序書510.05 “喪失用過燃料池冷卻及補水” 及程序書1451“機組斷然處置措施(Ultimate Response Guideline)”，完成於不同情況下，用過燃料池緊急補水程序及冷卻或補水方法設置。

用過燃料池最主要的因應措施為設置補水系統以避免用過燃料池水喪失。若用過燃料池僅喪失其冷卻能力且無明顯的水位下降情況，根據CFD分析結果，電廠應有充分的時間可採取相關搶救行動與安排。電廠應採取程序書510.05 “喪失用過燃料池冷卻及補水” 之措施而無須採取斷然處置措施。

茲就不同情況下用過燃料池冷卻及補水方式說明如下：

若於意外發生後用過燃料池水位下降，電廠應採取用過燃料池緊急補水/噴灑措施。根據電廠現場狀況，第一階段救援策略應於2小時內完成，第二階段策略應於8小時內完成。

機組斷然處置措施(URG)規定之第一階段用過燃料池緊急補水/噴灑措施：

●LM.SFP.1-01 RB Spent Fuel Pool water makeup by ways of outdoor fire hydrant

●LM.SFP.1-02 RB Spent Fuel Pool water makeup by ways of fire water tanker operation guideline.

●LM.SFP.1-03 RB Spent Fuel Pool water makeup by ways of engine-driven fire water pump operation guideline.

●LM.SFP.1-04 RB 7F Spent Fuel Pool water makeup by ways of indoor fire hydrant operation guideline.

機組斷然處置措施(URG)規定之第二階段用過燃料池緊急補水/噴灑措施：

●LM.SFP.2-01 RB Spent Fuel Pool water makeup by ways of FPCU and CSTF pumps operation guideline.

6.6 原子能委員會（核安管制機構）的評估和結論

事故處理程序、訓練與演習

1. AEC 要求 TPC 將新增設備與操作方法納入程序書或指引；
2. TPC 將新增的程序書與指引納入 EOPs 與 SAMGs，AEC 要求 TPC 再次檢討 EOPs 與 SAMGs 實務上的可行性；
3. AEC 要求 TPC 確認 SAMGs 適用於雙機組事故，並視需要考慮將 SAMGs 精進為程序書；
4. AEC 要求 TPC 針對運轉中核能電廠，強化電廠處理設計基準及超出設計基準外部事件引發 SBO 事故的能力；
5. AEC 要求 TPC 依照美國 NRC NTTF 報告改善緊急應變的人力配置與通訊能力。

斷然處置指引(URG)程序書之建立

TPC需要明確定義URG程序書及其執行時機、執行URG程序書的後續因應策略與監控策略(包含輻射外釋監控、現有系統及設備不可用時的備援能力等)。

複合式災害引起的事故

AEC要求TPC檢討目前各電廠的廠內資源(包括人力、物料及備料數量)，評估每一電廠能夠獨自因應嚴重事故、超出設計基準之事故、複合式災害引起之事故的時間，並確認且列出由外部協議/合約組織或單位提供的物資及機具。

因應超出設計基準事故的主控制室(MCR)改善

1. AEC 要求 TPC 確認 DC 電源容量足以供應 MCR、TSC、備用 TSC 等的儀控系統，在 SBO 事故下掌握機組狀況，釐清 MCR、TSC、備用 TSC 人員的職責、關係與工作。
2. AEC 要求 TPC 強化 MCR、TSC、備用 TSC 與其內部設備的耐震能力；

3. AEC 要求 TPC 檢討 MCR 人員配置於因應雙機組事故的適切性。

圍阻體硬管過濾排氣的設計與可靠度

AEC要求TPC依美國NRC NTTF報告建議事項5.1的要求，在核一廠(Mark-I圍阻體)增置可靠且強固的過濾排氣系統,並確認該系統在長期SBO下運轉的可靠性及使用(包括開啟與關閉)方便性。AEC建議該系統的設計應考量機組間不共用乾井或濕井硬管排氣系統、應具備電力控制及手動操作的功能，其他型式圍阻體亦然。

強化並整合廠內緊急應變相關之EOPs、SAMGs與EDMGs

AEC要求TPC依美國NRC NTTF報告建議事項8的要求完成以下項目：

1. 整合 EOPs、SAMGs 及 EDMGs；
2. 具體清楚說明其執行之命令與控制策略；
3. AEC 要求 TPC 參考核工業界對福島事故的回應完成管制文件：

目前程序書的設計僅考慮全功率運轉狀況下發生事故，沒有考慮低功率運轉與停機狀態發生事故的情事，TPC應於SAMG改版前完成相關應變措施。

4. 提供緊急時執行決策者適當訓練與考核制度；
5. 將 URG 程序書與 EOP、SAMG、EDMG 整合。

用過燃料池(SFP)

AEC要求TPC依照美國NRC NTTF報告第一階段的建議事項7.1強化SFP的儀器設備。

縮寫對照表

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor	進步型沸水式反應器
ACST	Auxiliary Condensate water Storage Tank	輔助冷凝水儲存槽
ADS	Automatic Depressurization System	自動洩壓系統
ADST	Auxiliary Demineralizer Water Storage Tank	輔助除礦水儲存槽
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	非對稱性數位用戶專線
AEC	Atomic Energy Council	原子能委員會
AMT	Accident Management Team	嚴重事故處理小組
ARI	Alternate Rod Insertion	控制棒替代插入系統
ARM	Area Radiation Monitor	區域輻射偵測器
ASP	Alternate Shutdown Panel	替代停機盤
BCSS	Backup Containment Spray System	圍阻體後備噴灑系統
BWR	Boiling Water Reactor	沸水式反應器
CDRC	Central Disaster Response Center	中央災害應變中心
COPS	Containment Overpressure Protection System	圍阻體過壓保護系統
CS	Core Spray System	爐心噴灑系統
CSCW	Combination Structure Cooling Water System	聯合廠房冷卻水系統
CST	Condensate Storage Tank	冷凝水儲存槽
DBE	Design Basis Earthquake	設計基準地震
DST	Demineralizer Water Storage Tank	除礦水儲存槽
ECCS	Emergency Core Cooling System	緊急爐心冷卻系統
ECT	Emergency Control Team	緊急控制大隊
ECW	Emergency Circulating Water System	緊急循環水系統
EDG	Emergency Diesel Generator	緊急柴油發電機
EOP	Emergency Operating Procedure	緊急運轉程序書
EPD	Environmental Protection Dosimeter	人員劑量警報計
EPIC	Emergency Public Information Center	緊急民眾資訊中心
FCP	Forward Command Post	前進指揮所
FSAR	Final Safety Analysis Report	最終安全分析報告
HPC	Health Physics Center	保健物理中心
HPCI	High Pressure Core Injection System	高壓爐心注水系統
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning	通風系統
LDF	Lower Drywell Flooder	下乾井灌水系統
LPCI	Low Pressure Core Injection System	低壓爐心注水系統
MCR	Main Control Room	主控制室
MMCS	Maintenance Management Computer System	電腦化維護管理系統
NEPEC	Nuclear Emergency Planning Executive Committee	緊執會
NSCW	Normal Service Water System	廠用海水系統
OBE	Operating Basis Earthquake	運轉基準地震
OSC	Operation Support Center	運轉支援中心
PAHPS	Post-Accident Hydrogen Purge System	事故後氫氣排放系統
PAT	Parameter Assessment Table	參數評估表
PHS	Personal Handyphone system	個人攜帶掌上無線電話系統
PORV	Power Operated Relief Valve	動力釋放閥

PRA	Probabilistic Risk Assessment	安全度評估
PZR	Pressurizer	調壓槽
RBCW	Reactor Building Cooling Water	反應器廠房冷卻水系統
RBSW	Reactor Building Service Water	反應器廠房冷卻海水系統
RCCV	Reinforced Concrete Containment Vessel	鋼筋混凝土圍阻體
RCIC	Reactor Core Isolation Cooling System	爐心隔離冷卻系統
RCP	Reactor Coolant Pump	反應器冷卻泵
RCS	Reactor Coolant System	反應器冷卻系統
RFP	Reactor Feedwater Pump	反應器飼水泵
RHR	Residual Heat Removal	餘熱移除系統
RPV	Reactor Pressure Vessel	反應器壓力槽
RWCU	Reactor Water Cleanup System	反應器爐水淨化系統
RWST	Refueling Water Storage Tank	燃料更換水儲存槽
S/G	Steam Generator	蒸汽產生器
SAMG	Severe Accident Management Guideline	嚴重事故處理指引
SAP	Severe Accident Procedure	嚴重事故處理程序
SBLC	Standby Liquids Control System	備用硼液系統
SBO	Station Blackout	電廠全黑
SJAE	Steam Jet Air Ejector	蒸汽抽氣器
SFP	Spent Fuel Pool	用過燃料池
SPDS	Safety Parameter Display System	安全相關參數展示系統
SRV	Safety Relief Valve	安全釋壓閥
SSE	Safe Shutdown Earthquake	安全停機地震
TAF	Top of Active Fuel	有效燃料頂部
TDAFWP	Turbine Driven Auxiliary Feedwater Pump	汽機帶動輔助飼水泵
TPC	Taiwan Power Company	台電公司
TSC	Technical Support Center	技術支援中心
UHS	Ultimate Heat Sink	最終熱沉
UPS	Uninterruptible Power Supply	不斷電系統
URG	Ultimate Response Guideline	斷然處置指引