

# 日本福島事故對英國核能電廠之關聯性檢討

## 期中報告

### 一、前言

福島事件發生後，英國能源暨氣候變遷部長(Secretary of State, SoS)要求核安管制單位-健康安全部核能管制單位除持續注意事件發展外，並應檢視日本事故的經驗所得，用以增進英國核能電廠之安全性。針對本事件之檢討因應措施，SoS 要求核能設施檢查首長(Chief Inspector of nuclear installation)5 月中旬提出期中報告並於 6 個月內(2011 年 9 月)提出期末報告。

2011 年 5 月 18 日英國所提出之期中檢討報告，主要目的是初步界定出福島事件所產生的各種狀況與英國核能工業(主要是核電廠)的關聯性，以及到目前為止英國所採取的措施及未來期末報告尚需執行的事項，共計 11 項結論與 26 項建議。本次報告由核能管制署(Office of Nuclear Office, ONR)主要負責，ONR 首先成立一個專案團隊，以瞭解福島事故所涵蓋的各項經驗所得，這些技術領域包括：外來危害、輻射防護、反應器物理、嚴重核子事故分析、人為因素、安全管理、土木工程、電力工程、核子燃料、用過燃料儲存、及緊急應變等，完成了初步的檢討及建議，後續將國際核能界合作，並借助外部專家技術諮詢小組來檢視管制單位的評估工作並提供建言。

## 二、英國核能電廠簡介

英國核能電廠主要採用氣冷式反應器，僅有 Sizewell B 為西屋公司壓水式反應器，並沒有如福島電廠所使用的沸水式反應器。第一代的氣冷式反應器(Magnox)核燃料使用天然(或低濃縮)鈾並包覆鎂合金護套，第二代進步型氣冷式(AGR)則採用濃縮氧化鈾與不鏽鋼護套。所有氣冷式的反應器(Magnox & AGR)均採用二氧化碳做為一次測冷卻劑，且均有預力強化混凝土做為反應爐壓力槽。氣冷式與沸水式反應器有一些基本上的差異，例如：氣冷式反應器的功率密度較低且熱容量明顯地高於沸水式反應器，故當發生冷卻水流失事故時，運轉員有較多的時間去處理。在反應爐(燃料)損壞的狀況下，並不會如輕水式反應器所產生的大量氫氣。(註：英國運轉中的核電廠計有 4 部 Magnox、14 部 AGR、及 1 部壓水式反應器)

Sizewell B 是英國最後蓋好的一座核能電廠，於 1995 年開始運轉，反應器採用濃縮鈾並包覆鋯合金護套，並以高壓水做為冷卻劑。就世界上運轉中的壓水式核能電廠而言，Sizewell B 已採用改良式的圍阻體、在受損狀況下的核反應控制與氫氣控制、及較佳的冷卻水系統等。

### 三、期中報告的結論與建議

本次福島事故最主要的肇因為規模 9 的大地震及隨之而來 14 公尺高的海嘯，對英國而言，是從來未曾考慮會經歷到的極端自然災害。英國再次評估確認距離活動較頻繁且劇烈的板塊約 1000 英哩之遠。福島第一核電廠的設計資料顯示其抵擋海嘯的高度為超出海平 5.7 公尺，有份報告顯示過去 150 年間，日本東海岸曾經歷數次高出 6 公尺的海嘯高度，部分甚至於高於 20 公尺。

英國運轉中或計畫中的核能電廠機組均與福島第一核電廠使用之沸水式反應器不相同，此外，電廠之基準事故分析要求設計者與運轉者須確保當非常罕見的自然現象發生時，電廠應受到適當的保護，而自然現象應以歷史上所發生過的記錄來加以(外插)推斷。英國管制單位要求各電廠須證明不會有”斷崖效應”(cliff-edge effect)，或是當罕見的自然現象發生時電廠可以被合理地保護。因此，首先做出結論如下：

**結論 1：在考慮造成福島事件直接的肇因，英國核能電廠及其他**

**核設施沒有理由因而停止運作。未來當評估工作告一段**

**落，將逐案考量並落實改進各核能電廠之建議方案，與**

**英國現有管制方式相符合。**

雖然如此，自然災害發生仍有可能是其他的形式，故應從已發生

的核子事故中學習經驗並測試各電廠的抵抗能力，必要時應再強化深度防禦措施。對於英國核能工業及管制單位，這是一項基本義務去吸取教訓和經驗，並採取所有可能的步驟來增進核能安全。

英國核能發電業過去擁有良好的安全紀錄，雖然核能機組的型式與福島第一核電廠不相同，但仍採取預先主動式的作為尋求任何的經驗回饋，工業界於事故後所採取的措施包括：針對電廠各項保護系統之功能，一星期內提出立即及完整的評估以回覆管制單位的要求，此外，兩個主要核能公司均召開董事會議以討論持續運轉電廠的案子，且均有意願進一步完成未來的審視及評估。故做出以下第 2 項結論：

**結論 2：英國核能界已針對福島事件做出適當地因應，且管理階層的反應已顯示出強而有力的核安文化。**

當任何一件嚴重的事故發生時，總是很自然地會去質問管制者，尤其是有關管制單位的獨立性及權力，以及民眾對管制者的信心。在英國，核安管制的工作是獨立於政府和工業界，且英國政府未來正準備建立一個整體性、聚焦性、獨立性、責任性的核能管制機構，並且在組織上有足夠的彈性以網羅必要的人力資源以面對未來的各項挑戰。英國目前的做法係在健康安全部(HSE)之外，成立獨立的核能管制署(ONR)，故在 2011 年 4 月 1 日成立健康安全部核能管制處並重新命名為核能管制署為一中期的做法，此亦被國際原子能總署(IAEA)

所讚揚，並認為可以增進民眾對英國管制單位管轄的信心。這可以做成以下結論：

**結論 3：英國政府將提案建立核能管制署，並在法律中列出檢查首長(Chief Inspector)的職位及責任，此舉將增進對管制者的信心且能夠更有效率地面對未來的挑戰。**

核能管制署(ONR)使用已建立之安全評估準則(Safety Assessment Principles, SAP)做為評估英國核能電廠安全性的基礎，故做成以下結論：

**結論 4：到目前為止，考慮從福島事故所已知的狀況(現象)，並未顯示出在英國安全評估準則(SAP)的範疇中有任何的落差(間隙)。**

此外，檢視日本福島事件後，並沒有發現英國核能管制方法有明顯的缺失，亦即一個具有彈性及可調性的寬廣的目標設定制度，而安全評估準則(SAPs)則扮演一個重要的角色。在執法方面，經由一般設計評估(General Design Assessment, GDA)及個別核電廠審照及建廠管制，英國已建立一個有效管制新建核電廠的方法。

**結論 5：經檢視福島事故及對英國核電廠可能的影響，並未顯示出在英國核電廠審照制度有明顯的弱點。**

對於日本事故是否會對英國廠址選擇及新電廠的策略造成影

響，有兩項必須考慮的因素：電廠地區是否處於可能發生繁複的自然危害，以及採取疏散的預警式因應措施。

**結論 6：未來數年內，對於可能被選做新建核電廠的廠址，淹水風險並不會阻止其興建。若某廠址有淹水風險，其設計考量將會改變電廠佈置及增加提供防止淹水的設施。**

**結論 7：英國新建核電廠的廠址選擇策略並不需要改變。**

英國目前考慮新建的核能電廠，均需限定重大事故發生的機會及後續影響，因此目前並沒有理由不能在同一廠址新建多重機組。然而對於任何多重機組的電廠，必須證明一部機組的事故造成臨近機組不利的機率可接受地低，亦即所謂儘可能低(as low as reasonably practicable, ALARP)。此外，在電廠正式運轉之前，應在試運轉測試階段即經由人員操作及設備的可用性，來展示電廠具備處理假想多重事件序列的能力。

**結論 8：對於英國考慮中新機組的設計及適當地展示設計及運轉安全性的條件下，並沒有理由偏離同一廠址多重機組的概念。**

有別於福島電廠所使用的沸水式反應器，英國 Magnox & AGR 核能電廠係採用氣冷式反應器，後者具備較大的熱容量及較低的功率密度，因此當發生冷卻水流失時，運轉員或自動系統在燃料溫度上升前

有較多的時間去反應。此外，在反應爐喪失冷卻水的狀況下，並不會發生水與金屬反應而產生氫氣(正常運轉中僅會產生少量的可燃性一氧化碳)。

**結論 9：相較於輕水式反應器，英國採用之氣冷式反應器具有較低的功率密度及較大的熱容量，且因自然對流冷卻而有較多的補(搶)救時間。此外，在反應爐喪失冷卻水的狀況下，並不會發生水與金屬護套反應而產生氫氣，排氣的需求也因此較小。**

福島 3 號機使用了混合氧化物(Mixed Oxide, MOX)燃料，其他的機組則沒有使用相同的燃料。事故發生後，雖然在福島第一核電廠外偵測到微量的鈾，但經過分析後認為是數十年前核子試爆的落塵所導致，而不是本次事故所釋出的。

**結論 10：本次事故並沒有證據顯示因為福島 3 號機使用 MOX 燃料，而造成對廠內外人員明顯的健康衝擊。**

就人為因素的觀點，從本次事故的操作過程可以學到許多經驗，部分操作是讓設備有正確的反應動作，但有部分則可能導向事故的發展。到目前為止，因為資訊仍然有限，故無法判斷人為因素的影響是正面或負面的，但至少已有一些典範或英勇的作為，以設法將電廠控制在穩定的狀態。

**結論 11：當擁有更多的事務相關資訊後，可以從其中學到許多**

**在嚴重核子事故下的人為操作，對於英國強化意外事故**

**應變及訓練是很有助益的。**

### **期中報告的建議事項**

針對福島事件的檢討，期中報告已確認出需加以檢視並應用於英國核能安全的改善的事項，以下將各項建議事項係以各不同團體需加以追蹤改進的角度，分類整理如下表：

| 一般性建議     |                                                                                                                                                                                   |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事故應變的國際協議 | <b>建議事項 1：</b> 英國政府應與國際原子能總署合作，並確認已有改進的協議，敘明當世界上任何地方發生核子事件時，可以即時傳送被授權的資訊。                                                                                                         |
| 國家緊急應變準備  | <b>建議事項 2：</b> 英國政府應從日本處理福島事故的經驗中，並考慮社會、文化、和組織上的差異因素後，確認出當發生擴散性的緊急狀況時，廣大民眾的應變計畫為何。<br><b>建議事項 3：</b> 核子緊急計畫聯結團體(Nuclear Emergency Planning Liaison Group)應評估英國緊急計畫因應類似福島長時間事故的能力。 |
| 公開及透明     | <b>建議事項 4：</b> 英國核能界及管制署(ONR)均應考量如何增進與公眾或利益關係者(Stakeholders)間之公開、透明、互信之溝通及良好的關係。                                                                                                  |



| 與管制相關的建議  |                                                                                                                                              |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 安全評估的方式   | <p><b>建議事項 5：</b>當掌握了更詳細的資訊或是完成了研究工作，ONR 將以安全評估準則(SAPs)來決定針對福島事故的狀況，是否需制定額外的導則，其中特別是關於”懸崖效應”的部分。</p>                                         |
| 緊急應變準備與演練 | <p><b>建議事項 6：</b>在管制者監督之緊急計畫演練中，ONR 應該考量將何種程度的長期嚴重事故涵蓋在內。</p> <p><b>建議事項 7：</b>ONR 應審視針對在英國可能發生的嚴重事故時管制者的因應措施，並定出是否有需要做出額外的改善，以因應非常罕見的事故</p> |

| 與核能工業相關的建議 |                                                                                                                                                       |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 廠外基礎設施之耐受度 | <p><b>建議事項 8：</b>英國核能工業界應檢視廠外基礎設施(如:外電)在極端狀況下與核能安全之關聯性，並考慮在極端狀況下，是否需增強外電網路的可靠度。</p> <p><b>建議事項 9：</b>若取得更多有關福島第一及福島第二核電廠之資訊，英國核能工業界應進一步檢視事故的經驗回饋。</p> |
| 天然災害的衝擊    | <p><b>建議事項 10：</b>英國核能工業界應啟動一項有關於防範淹水事件的評估，以福島的經驗來看，亦應包括海嘯的影響在內。此檢視的目的在於確認英國核能電廠防洪之設計具有足夠的餘裕，並且決定是否應將個別電廠水災風險分析納入定期性安全評估方案或新型核反應器分析中。</p>             |
| 多重機組廠址     | <p><b>建議事項 11：</b>英國核能工業界應確認新核能電廠廠址具有多重機組之安全性，並能夠同時在因極端廠外災害發生時，電廠能夠適當地展示其處理的能力。</p>                                                                   |
| 用過燃料池策略    | <p><b>建議事項 12：</b>英國核能工業界應確認任何有關用過燃料池新策略之適切性，需符合安全評估準則中之被動安全性及良好的工程應用。</p>                                                                            |
| 廠址與電廠設施佈置  | <p><b>建議事項 13：</b>英國核能工業界應檢視現有電廠或是新電廠計畫的廠區佈置，確認安全系統及其重要之支援和控制，其強度應能夠抵抗嚴重淹水或其他極端廠外事件的衝擊。</p>                                                           |
| 燃料池設計      | <p><b>建議事項 14：</b>英國核能工業界應確認接近反應爐之新燃料池設計，儘量減少底部穿越管及易受虹吸管效應影響管路的數量；任何此類必須使用的管路必須與燃料池本體一樣，具有抵擋損壞狀況的強度。</p>                                              |
| 地震耐受性      | <p><b>建議事項 15：</b>若取得福島事故中的混凝土、其他結構</p>                                                                                                               |

|              |                                                                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | 和設備的各種反應相關的資訊後，英國核能工業界應研究已知設計與分析之關聯性。                                                                                                                                                           |
| 極端廠外事件       | <b>建議事項 16：</b> 針對本期中報告的各項建議，英國核能工業界應考量極端危害下的因應，其中特別須注意電廠設施及安全系統廠房佈置之設計及佈置。                                                                                                                     |
| 廠外電源供應       | <b>建議事項 17：</b> 英國核能工業界應與國家電網業合作，除強化電網外，並建立在極端危害狀況下的廠外電源供應能力。                                                                                                                                   |
| 廠內電源供應       | <b>建議事項 18：</b> 英國核能工業界應檢視廠內長期的電源供應，是否有需要採取額外及多樣性的方法，以因應嚴重狀況下的廠外電源喪失的情況。                                                                                                                        |
| 冷卻劑供應        | <p><b>建議事項 19：</b>英國核能工業界應檢視當發生嚴重的衝擊時，是否具備長期提供冷卻劑的能力，以及是否需要更多廠內供給或由廠外支援的能力。對於運轉中電廠及計畫中的新機組而言，冷卻劑包含了二氧化碳與淡水。</p> <p><b>建議事項 20：</b>英國核能工業界應檢視在嚴重事故狀況下，燃料池的補水緊急備用方案，並經由福島事件的經驗中，檢視是否需要加強補水能力。</p> |
| 可燃氣體         | <b>建議事項 21：</b> 因核設施事故發生後會產生可燃氣體並累積在廠內，英國核能工業界應檢視後可燃氣體的排放及其路徑，並決定是否需增加某些措施以保護核設施。                                                                                                               |
| 緊急控制中心，儀器及通訊 | <p><b>建議事項 22：</b>英國核能工業界應檢視發生類似福島事故後的環境狀況，包括：時間長、範圍廣、廠外混沌、及廠內混亂，此時電廠廠內緊急控制、儀器、及通信設備的供應情形。</p> <p><b>建議事項 23：</b>英國核能工業界與其他必要的團體，共</p>                                                          |

|         |                                                                                                                     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | 同檢討嚴重事故及大範圍破壞的情況下，必須與廠外通訊的設備強度。                                                                                     |
| 人員能力與人力 | <b>建議事項 24:</b> 英國核能工業界應檢視現有嚴重核子事故處理方案及訓練的妥適性，特別要考慮關於工作人員身體、組織、行為、情緒、與文化因素，以及長期間對工作的影響。此檢討應包含廠內協力廠商(如維護作業)及他們可能的反應。 |
| 安全評估    | <b>建議事項 25:</b> 英國核能工業界應檢視長時間嚴重核子事故序列的分析，必要時應增加序列分析的時間，這項評估應包含適當的修復及恢復到穩定狀態的策略，同時亦涵蓋所需增加之集中器材設備及作業支援。               |

| 後續檢討 |                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------|
| 後續檢討 | <b>建議事項 26:</b> 英國核能工業界應於本期中報告出版一個月後，針對各項建議提出回應，這包括了如何實施的計畫。 |

### 後續事項

歐盟各國目前正在執行核能電廠之壓力測試(stress test)，這項工作主要是由管制單位要求電廠檢討其安全餘裕，然後由各國管制單位進行獨立的審查。英國方面則將推動如期中報告所述”儘可能低(as low as reasonably practicable, ALARP)原則”的檢討。

上述期中報告與壓力測試間或許有些重複的地方，故建議核能工業界制定一項共同的方案，可同時因應壓力測試及期中報告的要求。檢討出來的成果，除了報告之外，並應包含如何合理實務地改進電廠設施、人員、或處理程序。

期末報告時，將檢視英國所有核設施與福島事故的相聯性，報告中將涵蓋各電廠所提出的檢討。