

美國 34 年來首次核准興建新核能反應爐

蕭國鑫

工業技術研究院 綠能與環境研究所

發表日期：2012 年 03 月 9 日

摘要

因應未來低碳能源的發展趨勢，歐巴馬政府將核電復興訂為美國能源戰略中的重要內容，並大力推展核能在內的清潔能源。日本福島核災後，美國除了針對現有運轉中的 104 座核能機組進行全面安檢外，興建新的核能電廠計畫仍然沒有改變；而美國核能管制委員會(NRC)亦於 2012 年 2 月，34 年來首次核准興建 2 座新的第三代核子反應爐(估算 60 年壽命)，但需參考福島核災之經驗，具備充足的預防自然災害的能力，而核能電廠亦可抵擋漏洞攻擊，且核能電廠亦須具有發生事故後可自動冷卻反應爐，不需人為干預的安全裝置。另 NRC 針對運轉中的核能機組進行核安檢查，在確定延長反應爐主體的營運沒有問題情況下，於 2011 年 9 月共核准了 71 座核能機組延役至 60 年的申請(98 年底有 59 部核能機組獲得 NRC 核准換發延役 20 年的執照)。

我國目前的核能政策為核一、核二與核三廠不延役，核四廠在通過世界公認之公正核安單位檢視及確認，確保安全無虞後才會正式運轉；而核一廠是否提前除役，須看核四穩定商轉與台灣供電穩定狀況。另核能電廠在耐震與防海嘯方面，防震設施已加強核一廠的避震能力，並同時於四個核能電廠設置強震自動急停裝置。防海嘯方面，依據國科會對台灣東側可能因為地震而引發海嘯的高程及空間分布模擬結果，不同地震規模所引發的海嘯對於核能電廠的主結構不會構成威脅；但是電廠的附屬設備需要加強防範措施；並配合自動安全停機裝置，1 小時內可以完成啟動斷然處置措施，以確保核能安全。

關鍵字：核能電廠、核能廠延役、海嘯

一、前言

2011 年日本福島核災以前，全世界共有 441 個核能機組，總裝置容量為 376.26 百萬瓩(GWe)，總發電量約占世界電力的 14%；其中以美國具有 104 個商業核能反應爐 (Commercial Nuclear Power Reactor) 最多，約供應全美 20.2% 的電力；2011 年 3 月 11 日福島核災後，世界各國紛紛檢討其核能政策，美國亦全面進行核安檢查，並重新評估未來核能政策，且強調原則上是不會放棄核能的使用。另美國頁岩天然氣的蘊藏量極為豐富，將引領美國新投資方向，所以會放緩興建新核能電廠腳步。

美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)上一次核發新建核能機組執照是在 1978 年，次年的 3 月 28 日即發生美國史上最嚴重的賓州三

哩島核災意外(2號機的爐心損毀);而災後的燃料清運工程就耗時8年(1985~1993年),同時1號機也停機6年,此後NRC未再核准新核能機組的興建。三哩島核災事件後,美國核能復興之討論開始出現在1996年,是希望以核能作為較廉價、較乾淨的化石燃料替代方案,其中被提出來討論的新核能電廠,為具有新型之AP1000型加壓反應器型式核能機組;經過NRC評估,認為AP1000設計採用被動安全技術,「事故後可自動冷卻反應爐,不需人為干預」。而鑒於2001年的911恐怖攻擊結果,更要求新的核能電廠設計須能挺過飛機攻擊,且在電力被切斷時能自動停轉[1]。

由於美國現有的核能機組發電效益頗佳,因此,美國政府乃依NRC對於核准建立新核能廠進行討論,而美國能源部更配合宣布提供建立核能電廠185億美元的貸款;適逢日本發生核災事件,加上美國經濟仍未穩定復甦,基於安全考量,擁核與反核兩派之間時有爭辯。但經過NRC委員2012年2月9日表決結果,批准了在喬治亞州(亞特蘭大以東約270公里處)興建2座新的第三代核能機組(總造價約140億美元),裝置容量合計2,200千瓩(估算60年壽命),預定2016與2017年相繼運轉,這是34年來NRC首次核准興建新核能機組[2]。

依據世界核能協會(World Nuclear Association, WNA)的資料,顯示2011年時,美國興建中及計畫中的核能發電機組共有6座(表1),其中就包含此次核准興建的兩個核電廠;2011年8月以前,亦有20餘部核能機組及17個設廠地點送交NRC,以審查核電廠的合併建造與許可(combined construction and operating license, COL)程序[11]。另2012年2月國際原子能總署(IAEA)亦表示,預期今年至少有越南、孟加拉、阿拉伯聯合大公國、土耳其及白俄羅斯等五國,將著手興建首座核電廠;約旦和沙烏地阿拉伯亦有可能在2013年興建核電廠[3]。雖然日本福島核電廠事故動搖國際對核電的信心,但上述幾個首度開發核電的國家,都從福島事件學到教訓,因此,在加強核能安全的情況下,均表達對核能發電的信心。

表 1、2011 年美國興建中及計畫中的核能發電機組

電廠/機組		反應爐型式	發電功率, MWe, 合計	地點	簽約/COL	商轉
興 建 中	Watts Bar 2	Westinghouse PWR	1,218 (1,177 net)	Tennessee	在COL之前已有許可	2012年底或2013年初完成, 2013加入電網
計 畫 中	Vogtle No. 3, 4	Westinghouse AP1000 x 2	2,400	Georgia	可望在2011年底取得COL	已有貸款保證: 2016, 17
	V. C. Summer No. 2, 3	AP1000 x 2	2,400	S. Carolina	可望在2012年初取得COL	已有短期貸款保證: 2016, 19
	Levy County	AP1000 x 2	2,400	Florida	2008.07.30	2021-22
	Bellefonte 1	B&W PWR	1,263	Alabama	2007.10.30, for unit 3 (and unit 4), but COL review suspended	2018-20
	Blue Castle	未定	約3,000	Utah	已申請ESP _s	

資料來源: WNA

註: 1. COL--combined construction and operating license

2. ESP -- early site permits

二、美國的總發電量與核能發電

如表 2 所示[16]，1973 年美國總發電量為 19,655 億瓦小時(TWh)，其中核能的年發電量占總發電量 4.54% (892 TWh)；之後的核能年發電量持續增加(如圖 1)，1990 年核能年發電量達到 6,116 億瓦小時(占年總電力生產 32,186 億瓦小時的 19.00%)；2000 年核能年發電量再增加到 7,977 億瓦小時(占當年度發電量 19.68%)，2000 年~2010 年間，核能發電約占美國年發電量 19~20% 之間。

表 2、2011 年美國總結電力生產和消費統計 [16] (單位:TWh)

種類	1973	1980	1990	2000	2005	2008	2009	2010 e
核能發電	89.2	266.2	611.6	797.7	810.7	837.8	830.2	838.9
水力發電	265.4	278.8	289.9	280.0	297.9	282.0	298.4	283.5
地熱	2.5	5.4	16.0	14.6	16.8	16.9	17.0	17.1
太陽光電			0.7	0.7 e	1.1 e	2.1 e	2.5 e	2.5
風能發電			3.1	5.7	17.9	55.7	74.2	85.2
燃煤發電	907.4	1242.9	1699.6 e	2129.5 e	2154.0 e	2132.6 e	1892.7 e	1994.5
石油	336.0	263.2	130.6	118.5	141.3	57.8	50.4	48.2
天然氣	364.9	370.5	381.7	634.3	782.8	910.2	949.8	1011.1
生質燃料&廢棄物	0.3	0.5	86.4 e	71.7	71.2	72.5	72.3	69.4
其它					0.6	0.8	0.6	0.8
總計	1965.5	2427.3	3218.6	4052.7 e	4294.4 e	4368.3 e	4188.2 e	4361.4
電廠自用	100.8	141.2	188.8	235.9 e	206.4 e	216.2	209.5	
抽蓄耗能			22.6	31.7	32.0	31.6	27.4	28.4
進口	16.8	30.2	22.5	48.6	44.5	57.0	52.2	41.5
出口	2.6	3.5	20.5	14.7	19.8	24.2	18.1	22.8
傳輸消耗	163.1	213.1	296.7	229.1 e	269.2	246.1	260.7	
能源產業耗能	48.6	74.2	79.0	90.3	95.3	94.4	82.5	
最終消費	1667.3	2025.5	2633.6	3499.5 e	3716.2 e	3812.8 e	3642.2e	

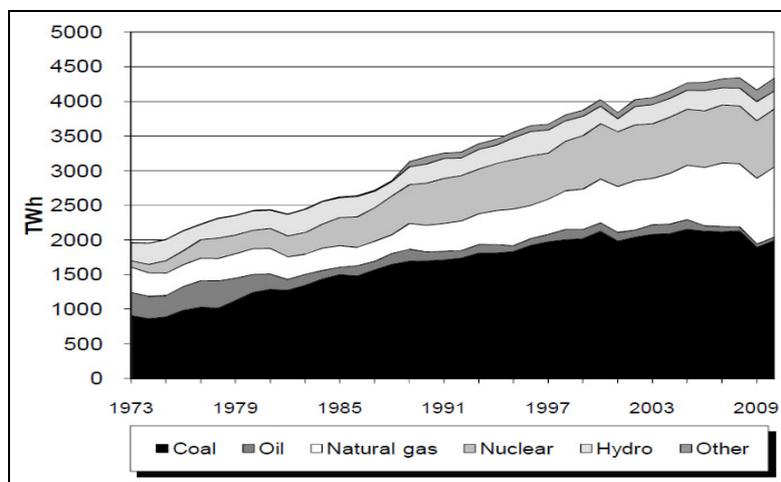


圖 1、1973~2010 年美國的電力發電情形 [16]

三、美國的核能政策與核能安全

3.1 美國的核能政策

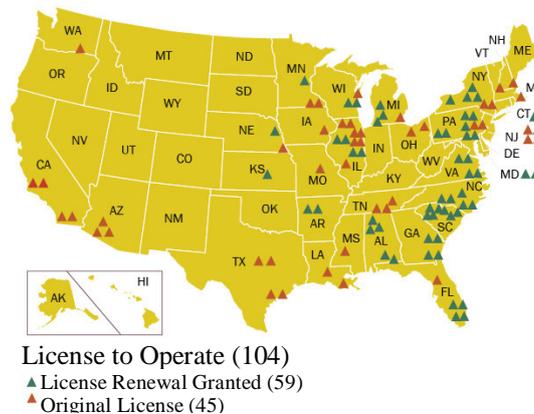
核電復興為美國歐巴馬政府能源戰略中的重要內容之一；2011 年初發表的國情咨文中，特別強調美國將大力發展包括核能在內的清潔能源，希望 2035 年時，美國有 80% 的電力供應來自於清潔能源。日本核災事故發生後，歐巴馬政府於 3 月 30 日仍明確表示，美國電力有 1/5 來自核電，鑒於核能對增加無碳污染電力占有重要地位，新的核電建設仍按原計畫進行，美國將在保證安全前提下興建下一代核能電廠，同時盡一切努力確保核電設施的安全與可靠[4]。另 NRC 也針對現有運轉中的核能電廠進行 90 天的全面安全檢查；並密切追蹤日本核電廠事故的發展，以綜合日本核電危機的結論，作為興建下一代核電廠的參考。

3.2 核能安全措施

(a) 防震

目前美國 65 座商用核能電廠，共 104 座運轉的核能機組中，有 69 座 壓水式反應爐 (PWR，如我國核三廠)和 35 座沸水式反應爐(BWR，如核一、核二與核四廠)；主要分布在美國東半部各州及加州等地區(圖 2)；其中美國西部的 8 個核能電廠位於地震活躍帶[5]，而一般認為地震帶周圍的核電廠所面臨的地震風險最高，如上述的加州核電廠；依據 NRC 的風險估計[6]，美國地震風險最高的核電廠，是位於紐約市北部 24 英里的布坎南(Buchanan)鎮的印第安點能源中心核能電廠(Indian Point Energy Center)的第三號機組；其次是麻州 Plymouth 鎮的朝聖者一號(Pilgrim 1)反應爐；第三是賓州 Limerick 鎮的 Limerick 一、二號反應爐；而排名第 10 的為 1979 年發生美國最嚴重核安問題的「三哩島」(Three Mile Island)核能電廠(表 3)。

License Renewal Granted for Operating Nuclear Power



Source U.S. Nuclear Regulatory Commission

圖 2、美國核能電廠分佈圖(圖片來源：美國核能管理委員會)

表 3、NRC 評估美國地震損害風險最高的前 10 個核電廠 [6]

排名	地點	核電廠 (反應爐)	地震損害機率	機率增加幅度
1	紐約州 Buchanan	Indian Point (3)	10,000 分之 1	72%
2	麻州 Plymouth	Pilgrim (1)	14,493 分之 1	763%
3	賓州 Limerick	Limerick (1&2)	18,868 分之 1	141%
4	田納西州 Soddy-Daisy	Sequoyah (1&2)	19,608 分之 1	420%
5	賓州 Shippingport	Beaver Valley (1)	20,833 分之 1	269%
6	佛州 Jensen Beach	Saint Lucie (1&2)	21,739 分之 1	N/A
7	維吉尼亞州 Louisa	North Anna (1&2)	22,727 分之 1	38%
8	南卡羅萊納州 Seneca	Oconee (1&2&3)	23,256 分之 1	330%
9	加州 Avila Beach	Diablo Canyon (1&2)	23,810 分之 1	N/A
10	賓州 Middletown	Three Mile Island	25,000 分之 1	82%

NRC 表示，估算核能電廠及核能機組的地震損害風險時，除了考量當地發生地震的機率外，還需考慮電廠及核能機組建築的設計強度。如加州的核能電廠因為預期會面臨地震的考驗，在設計及建築上考慮了地震因素，使得建築及設備較能經得起地震的考驗，所以受地震損害風險反而較低；而美國東部、南部及中西部地區的核能電廠，建造時沒有將地震風險當成主要的考慮因素，因此，地震損害風險反而較高[6]。

鑒於對地殼變動及地震了解的增加，經過 NRC 重新評估結果，目前美國大多數核能電廠的地震風險都在上昇中，且估算的核能電廠受地震損害風險亦普遍增加。如位於南加州聖翁諾飛(San Onofre)的核能電廠，當初規劃設計的最大承受地震規模為芮氏 7.0 級，假使美國亦發生類似 2011 年日本東北的 9.0 強震，雖然此電廠有多層次防堵圍牆可在意外時防止輻射外洩，且反應爐內部的燃料棒與控制棒都被冷卻水包圍，但仍然無法保證核能電廠的絕對安全[7]。所以 NRC 的核安小組於日本核災後提出兩點建議：(1)即刻將核能電廠地震損害風險數據，由科學研究提昇為監管層級，並考慮修法加強監督管理；(2)開始研究任何協助現有高風險的核能電廠，增強設備及建築的安全。

(b)洪水(風暴潮與海嘯)

核能電廠建築物與其相關設備通常會安置在足夠高的平台上，以避免受到洪水、潮汐、風暴潮或海嘯等淹水災害的威脅；如法國對於建築物的防洪設計，為推估 1000 年頻率年再增加 15%的安全範圍[18]。美國核電廠對於防洪水的設計，為參考所安置建築物周圍最嚴重的歷史數據，作為防洪設計的安全標準；並再藉由核電廠本身的縱深防禦及保護措施的三重障礙，以保護核燃料能安全運轉及避免輻射外洩。

由於 2004 年南亞大地震的海嘯重創南亞，甚至波及東非；而美國從 1946 年開始亦出現過 4 次海嘯，造成阿拉斯加和夏威夷地區受到影響；且美西過去曾經受過海嘯衝擊，特別是美國西部的斷層線可能造成海嘯的威脅；因此美國也慎重評估，海嘯是否也有可能對美國東岸地區造成災害(核電廠分布密集區)；經過模擬推估，如果非洲西北角的加納利群島火山爆發，就有可能將震波傳送

到東岸，讓紐約陷入汪洋之中。特別是哥倫比亞大學教授傑佛瑞威索表示，美國東部海岸外的地殼亦蘊含大量天然氣，所以還沒辦法確定這是否會刺激海底地層滑動，並引發危險的海嘯[8]。鑒於上述之推演模擬結果，NRC 針對美國鄰近海岸低區的核能電廠，嚴格要求需要加強防海嘯災害的措施；特別是核能電廠須配備多項後援系統；且核能電廠的附屬設備，如備用發電機冷卻系統、各廠房的水密性等，均需要加強檢視。

(c) 風災(颶風與龍捲風)

近幾年發生於美國的颶風，如 1992 年的安德魯(Andrew)颶風與 2005 年的卡崔娜(Katrina)颶風均造成重大災害；其中當颶風登陸後，路徑曾通過 Entergy 公司的沃特福德核能廠，因為颶風關係而失去電源，但工廠的備份柴油發電機組立即開始供電，直到電源恢復；因此，證明美國的核能電廠可承受嚴重颶風 [19]。

凡是會發生強烈雷雨的地方，都可能發生龍捲風(Tornado)，所以在各大陸地區均有可能發生；依據統計以美國及澳洲發生的頻率最高[9]。而目前發生於美國的龍捲風，雖然曾造成重大損失(如建築物受損與電力中斷等情形)，但還沒有報告說明龍捲風移動路徑通過核電廠造成重大破壞的情形。雖然 NRC 亦表示不可忽視龍捲風的威力，因為在無法預估其發生規模與造成破壞力的情況下，特別是對於核能電廠的附屬設施，仍需提防龍捲風之不可預期的破壞威力。

(d) 核電廠的漏洞攻擊

核能電廠的安全防護為核能發電最重要的課題之一，表 4 所示為國際間針對核能電廠進行轟炸的事件[17]。鑒於 2001 年的 911 恐怖攻擊事件，對於核能電廠的硬體防護更受到關注；因此，此次美國 NRC 核准建造的核能電廠，除了要求設計須能挺過飛機攻擊，且能在電力被切斷時自動停轉外[1]，核電廠運營者更須具備管理大型火災或爆炸的能力。

表 4、國際間針對核能電廠進行轟炸的事件 [17]

年代	事件說明
1984~1987 年	伊拉克轟炸伊朗的布什爾核電廠
1991 年	美國轟炸伊拉克的三個核反應爐和濃縮試驗設施
1991 年	伊拉克發射飛毛腿導彈，攻擊以色列的迪莫納核電廠
2007 年 9 月	以色列轟炸敘利亞正在建設中的反應爐

核能電廠主結構外圍的硬體是藉由堅固的圍阻體建築，是為最堅固的結構之一。美國山迪亞國家實驗室於 1989 年曾進行反應器圍阻體之撞擊實驗，以每小時 766 公里時速 (480 英哩/小時) 之 F-4 幽靈式戰鬥機撞擊模擬之圍阻體牆，結果噴射機變成廢鐵，但圍阻體仍安全無虞。而核能電廠若受到較大型民航機撞擊的狀況，根據世界核能資訊網(NucNet) 2002 年 6 月 20 日之報導，美國電力研究所 (EPRI) 接受業主委託，已就一般核電廠圍阻體遭受民航機撞擊情況進行研究，依現有初步結果顯示，反應器在圍阻體保護下，均具有相當高的安全性。

四、NRC 核准多數美國核能電廠延役至 60 年

4.1 核能電廠的老化問題

美國的核電廠大多興建於 1960 至 1970 年代，如今部份電廠面臨設備老舊的安全問題。依據 NRC 的資料，有 48 座(約 7 成 3)的核電廠(圖 3)因地底管線鏽蝕，以致含輻射物質氚的水外漏至地下水中，其中 37 座核電廠外洩水的氚含量超過聯邦政府訂定的飲用水標準；而大部分核廠的含氚水外洩範圍限於廠區內，但皆未進入大眾用水系統，但可能有 3 座核電廠的氚污染附近居民的飲用水井，還有 1 座核電廠的氚可能流入地下蓄水層[12]。雖然美國政府及核電廠人員都表示，氚外洩尚未危及民眾健康；但美國國家科學院指出，只要接觸輻射物質，無論劑量再少都會增加致癌風險。



圖 3、NRC 資料顯示有輻射水外洩的核能電廠分布

4.2 美國核能電廠延役至 60 年

未來的石油短缺及全球暖化問題浮出檯面後，如風力、太陽能、水力等再生能源所提供的電力，若仍然無法滿足用電需求時，核能發電是重要且快速地解決方案之一。依據原能會資料[13]，美國若要將 CO₂ 排放維持在 1990 年水準，則 2030 年時的核能需增加 64 百萬瓩(GWe)，2050 年需增加 300 百萬瓩(GWe)。而由於規劃設計核能電廠時有其運轉期限，當屆原申請運轉執照年限時，即需面臨申請延長運轉年限或關廠之抉擇；其選擇必須考慮技術的可行性及經濟效益，同時兼顧政治環境與民眾意見；而目前美國選擇延役的核能機組數居多。

美國業界對核能電廠延役的構想始於 1978 年，並於 1978-1982 進行先期研究，1983-1987 進行先導電廠研究，1988-1991 美國 NRC 開始制訂法規，1991 年 NRC 發布執照更新法規 10CFR54 “REQUIREMENTS FOR RENEWAL OF OPERATING LICENSES FOR NUCLEAR POWER PLANTS”。後來發覺此法規滯礙難行，因此 NEI (Nuclear Energy Institute) 成立執照更新特別工作小組，建議

修法，並主張重視核能電廠已有的維修法則(maintenance rule)及釐清曖昧不清的字眼；1995年NRC修改10CFR54；1998年Calvert Cliffs和Oconee核能電廠申請執照更新，並將原來40年之運轉期限更新為60年，從此美國申請執照更新，以延長核能電廠運轉壽命之法規與程序步入正軌。1999至今，美國的核能電廠延役作業申請已標準化；至2009年底已有59部核能機組(如圖2)，獲得NRC核准換發延役20年的執照。

日本福島核能事件後，NRC針對104部運轉中的核能機組進行加強核安檢查，並確定以目前的檢核技術，延長反應爐主體的營運沒有問題；因此，於2011年9月止，共核准了71座核能機組延役至60年的申請。另依WNA官網資料，2013年以前，全美可能有約90座核能機組取得延役至60年的許可[10]。另未來如果核能電廠運轉年限可超過60年，則在2015~2020間，不排除會有提出延長至80年的構想，因為核能廠延役可降低新蓋核能電廠30~40%的壓力，且經濟效益為興建新核能機組的4.1倍[13]。其中美國核能電廠執照更新審照程序及執照更新審照原則如表5所示。

表5、美國核能電廠執照更新審照程序及執照更新審照原則 [13]

核能電廠執照更新審照程序	核能電廠執照更新審照原則
(1) 提出標準的申請文件(10CFR54.17) (2) 進行整體電廠評估，確定評估範圍和過濾準則(scoping and screening)，列出重要組件及其老化影響和說明老化管理計畫，(10 CFR 54.21(a)) (3) 進行老化分析(Time Limited Aging Analysis, TLAAs) (10 CFR54.21(c)) (4) 增修安全分析報告 (FSAR supplement) (10 CFR 54.21(d)) (5) 增修環境分析報告(Supplement to environmental report) (10 CFR54.23, 10 CFR 51, Subpart A) (6)增修運轉規(Technical specifications) (10 CFR 54.22)	(1) 延壽必須保證核電運轉安全。 (2) 被動(passive)且長期使用的結構或組件(如圍組體等)必需維持原功能，主動組件(如馬達等)之監測(surveillance)及維修計畫要持續。 (3) 延役時期，任何核能電廠的運轉條件(licensing basis)與原運轉期間完全相同。

10CFR 54 並未限定執照更新的次數，若要延長運轉年限至超過60年，只需要再度申請執照更新即可，而申照程序與審查原則可能延用目前的作法。另未來是否可能延長運轉年限至超過60年，主要決定於所需的老化管理和設備更新是否經濟有效；其中之設備更新與再研究開發者，大都與材料之老化、劣化、監測、檢驗、分析有關；包括(1)反應器壓力容器脆化評估與處理等(2)環境驗證(Environment Qualification)分析(3)重做環境增進疲勞情境之安全等級管路疲勞分析(4)電纜劣化方面量測與更換(5)長期曝露在高溫下之混凝土結構劣化程度量測、分析與處理技術等。

四、我國目前的核能現況

4.1 核能政策不考量核能電廠延役與興建新核能機組

為大力推展包括核能在內的清潔能源，歐巴馬政府以核電復興為美國能源的重要戰略之一；其中美國 NRC 除了通過了 71 座核能機組延役至 60 年的申請外，並在考量高度安全的情況下，核准興建新一代核能機組，以擴充核電能源。相對於我國的核能政策，目前的核一、核二與核三廠不延役，但加強檢視核能廠安全；而核四廠預定商轉時間，1 號機最快 2014 年商轉，最慢為 2015 年（通過世界公認之公正核安單位檢視及確認，確保安全無虞後才會正式運轉）；另核一廠是否提前除役，須看核四穩定商轉與台灣供電穩定狀況。因此，目前的核能政策，我國已不再考慮現有的核能電廠延役與興建新核能機組的問題。

美國核能電廠考慮延長運轉年限達 60 年以上，是以現有之輕水式核能電廠為主要對象，台灣也是採用美國廠商製造之輕水式核能電廠；在倡導非核家園後，核能研發已遠遠落後美國、法國、日本與韓國等國，很難參與研發下一代核能電廠之計畫，如第四代核反應器計畫(GEN-IV)、全球核能夥伴計畫(GNEP)等。但是在石油的短缺以及全球暖化的威脅下，放棄核能也非可行之道；如何充分利用現有的核能電廠，以發揮最大的效益，是目前需要認真思考與努力的方向。

4.2 防震與防海嘯

(a) 防地震

考量我國位於太平洋板塊的邊緣地帶，發生地震的頻率頗高，因此，對於核能電廠在耐地震設計方面，均以嚴格的耐震安全設計為標準(耐震設計係數)，並據以進行電廠各項重要設施之耐震分析與設計。此外，核電廠重要系統設備的廠房均座落於堅實岩盤上，一旦地震發生，座落於堅實岩盤的廠房結構物地震加速度反應值將可低於一般座落於土壤地層上的建築物，如此可進一步降低核能機組受地震危害之風險。目前我國四座核能電廠耐震設計地震參數如表 6 所示[14]：

表 6、目前我國四座核能電廠耐震設計地震參數 [14]

核一廠	核二廠	核三廠	龍門核能發電廠
假定 1909 年發生於板橋規模 7.3 的地震為新莊斷層，且距核一廠最近距離約 8 公里，經衰減後推定安全停機地震基準值為 0.3G，而新莊斷層屬非活動斷層，保守仍假定其為活動斷層。	假定 1909 年發生於板橋規模 7.3 的地震，是發生在新莊斷層，且距核二廠最近距離約 5 公里處，經衰減後，推定安全停機地震基準值為 0.4G。	假定 1920 年發生於花蓮外海規模 8.3 的地震，是發生在距離廠址 35 公里之歐亞板塊與菲律賓板塊交界處，經衰減後，推定安全停機地震基準值為 0.4G。	假定 1908 年發生於台灣東部規模 7.3 的地震，是發生在距廠址最近之地體構造區分界處(約 5 公里)，經衰減後，推定安全停機地震基準值為 0.4G。

我國核能電廠營運至今，以 95 年 12 月 26 日恆春大地震(芮氏規模 7.0)對核能三廠之影響最巨；另於 921 集集大地震後(芮氏規模 7.3)，原能會即赴該廠現場巡視勘察，各主要結構物均無損傷，機組之功能亦屬正常。

鑒於日本福島核災之經驗，目前台電已加強核一廠的避震能力，由原來的加速度值 0.3G 提高到 0.4G，同時於四個核電廠設置強震自動急停裝置，倘若地震造成的加速度值超過設定之警戒值(約為耐震設計加速度值的二分之一)，反應器即會自動緊急停機，以進一步確保核能安全。

(b)防海嘯

核能電廠耐海嘯的安全設計，主要考慮到海嘯最大浪高可能對廠房造成的安全衝擊，故電廠所在地表高程均高於海嘯可能引起的最大湧浪高程；另外亦考慮「儲水池」是否足夠提供設備運轉所需之冷卻水等問題。目前國內四座核能電廠設計，均根據所在地可能發生最嚴重的海嘯浪高作為安全防範參考，其設計參數如表 7。

表 7、目前我國四座核能電廠防海嘯高程設計[14]

核一廠	核二廠	核三廠	龍門核能發電廠
<ul style="list-style-type: none"> 核一廠廠址發生海嘯預估最高海潮海拔是 10.73 公尺。 核一廠廠址最低處之海拔是 12 公尺。 	<ul style="list-style-type: none"> 核二廠廠址發生海嘯預估最高海潮海拔是 10.28 公尺。 核二廠廠址最低處之海拔是 12 公尺。 	<ul style="list-style-type: none"> 核三廠廠址發生海嘯預估最高海潮海拔是 11 公尺。 核三廠廠址最低處之海拔是 15 公尺。 	<ul style="list-style-type: none"> 龍門核能發電廠廠址發生海嘯預估最高海潮海拔是 8.57 公尺 龍門核能發電廠安全設備開口最低為海拔 12.3 公尺。

依據國科會的研究[15]，模擬在台灣東側可能因為地震而引發海嘯的海溝型海嘯源及斷層型海嘯源之空間分布、名稱與地點，顯示不同地震規模所引發的海嘯高度，對於核電廠的主結構不會構成威脅。

另外因大地震引發的海嘯，若造成核電廠的災變時，除了有自動安全停機裝置外，並會在 1 小時內布局完成啟動斷然處置措施(超出電廠設計基準情況，導致機組喪失廠內外交流電源或反應爐補水時，必須採取決斷行動，如喪失反應爐補水能力，無法維持反應爐中核燃料覆蓋水位，或喪失所有交流電源及廠區全黑，或強震與海嘯警報發布等，達成上述任一條件即可。)並通知決策人員決定是否執行；並視情況決定是否執行第二、三階段的啟動斷然處置措施。

五、結論與建議

1. 低碳能源發展為未來的趨勢，所以歐巴馬政府將核電復興訂為美國能源戰略中的重要內容，包括大力推展核能在內的清潔能源；希望在 2035 年時，美國有 80% 的電力供應來自於清潔能源。
2. 日本福島核災後，美國除了針對現有運轉中的核能電廠進行 90 天的全面安全

檢查外，核能策略之興建新的核電建設仍按原計畫進行，並保證在安全前提下興建下一代核能電廠。而 NRC 亦於 2012 年 2 月 9 日，34 年來首次核准興建 2 座新的第三代核子反應爐(估算 60 年壽命)，但需參考福島核災之經驗，除了考量防震、防海嘯與風災等自然災害外，亦須能抵擋核能電廠的漏洞攻擊；且須具備事故後可自動冷卻反應爐，不需人為干預的安全裝置。

3. 福島核能事件後，NRC 針對 104 部運轉中的核能機組進行加強核安檢查，確定以目前的檢核技術，延長反應爐主體的營運沒有問題；因此於 2011 年 9 月止，共核准了 71 座核能機組延役至 60 年的申請(98 年底有 59 部核能機組獲得 NRC 核准換發延役 20 年的執照)。
4. 我國的核能政策為目前的核一、核二與核三等核能電廠不延役，但需加強檢視核能廠安全；而核四廠需通過世界公認之公正核安單位檢視及確認，確保安全無虞後才正式運轉)；另核一廠是否提前除役，須看核四穩定商轉與台灣供電穩定狀況。所以目前的核能政策，已不再考慮現有得核能電廠的延役與未來興建新核能機組的問題。
5. 我國核能電廠在耐地震設計與防海嘯方面，目前台電在防震方面已加強核一廠的避震能力(加速度值由原來 0.3G 提高到 0.4G)，同時於四個核電廠設置強震自動急停裝置。另參考國科會針對台灣東側可能因為地震而引發海嘯的高程及空間分布模擬結果，不同地震規模所引發的海嘯對於核電廠的主結構不會構成威脅；但是核能電廠附屬設備需要加強防範措施；並須配合自動安全停機裝置，在 1 小時內布局完成啟動斷然處置措施，以確保核能安全。
5. 美國國內的能源資源頗為豐富，但為了有穩定的電力提供及避免未來能源短缺與保持經濟發展，並有效減少碳排放，以緩和全球暖化問題，故核能政策仍維持興建新的核能電廠，且核准了近 7 成運轉中的核能電廠延役到 60 年的申請。我國的自主能源嚴重缺乏，在評估核能安全條件下，考量要滿足國內的用電需求，目前的核能發電仍為較為經濟、穩定且潔淨的重要電力來源之一；因此，在加強檢視核能廠安全及確保安全無虞後情況下運轉，則核能發電正好可以彌補國內未來的電力可能不足的問題。

參考文獻

- [1] 新核廠設計美國准了，中央社華盛頓綜合外電報導，2011/12/23。
- [2] 33 年來首次_美准建新核反應爐，聯合報，2012/02/11。
- [3] 建核電_今年新增 5 國，聯合晚報_法新社紐約聯合國總部，2012/02/25。
- [4] 美國核電走到十字路口，國際新聞中心，新浪網，北美，2011/04/08。
- [5] 海岸的地震意味著美國核電廠，衛報，2011/08/24，<http://www.guardian.co.uk/environment/2011/aug/24/east>。
- [6] 美高風險核電廠集中東岸_排名第 1 在紐約，大紀元北美新聞，2011/03/08。
- [7] 9.0 太罕見南加州核電廠僅能承受 7.0 地震，洛杉磯時報，2011/03/15。

- [8] 科學家預言_美國東岸下一海嘯地點，TVBS，2004/12/29。
- [9] 龍捲風形成的原因，財團法人氣象應用推廣基金會，
http://www.metapp.org.tw/index.php?option=com_content&view=article&id=159。
- [10] 美國 NRC 核准 71 座機組延役 20 年，台灣核能級產業發展協會，2011/08/18。
- [11] 美國持續核能發電廠的建設，台灣核能級產業發展協會，2011/10/27。
- [12] 美核廠 7 成洩輻射水_管線老舊鏽蝕，蘋果日報，2011/06/22。
- [13] 美國考慮延長核能電廠運轉年限至60年以上，行政院原子能委員會核能月刊第 165 期，2008/09/25 出刊
- [14] 我國核能電廠耐震、耐海嘯設計可否確保電廠安全無虞，行政院原子能委員會網站，http://www.aec.gov.tw/www/service/qna/index_02_3_print.php。
- [15] 吳祚任，台灣潛在海嘯災害研究，2011 海峽兩岸地質災害防治研討會，國立中央大學。
- [16] IEA Electricity Information, 2011.
- [17] Nuclear safety_Nuclear power plant _Vulnerability of nuclear plants to attack, [IAEA](#), 2011.
- [18] Safety of Nuclear Power Reactors, World Nuclear Association Public Information (WNA), *February 2012*.
- [19] U.S. Nuclear Power Plants Reconfirming Safety, Response Programs in Light of Japan Situation, Nuclear Energy Institute, April, 2011.

(本文僅代表 工研院 綠能與環境研究所 意見)