

美國核能發電近況報告

2013 年 4 月 19 日

根據美國白宮官方網頁中有關歐巴馬總統之「乾淨且穩固之能源未來藍圖」¹，加上其主張「以上皆是」(All-of-the-Above) 之多重能源政策，核能仍將是美國能源使用重要的一部分。民間核能協進會(Nuclear Energy Institute, NEI)於 2013 年 2 月份公布了一份美國核能之發展現況報告²，統計列舉出過去數年來美國核能發電之安全績效及廢棄物(料)處理的現況，並說明新建核能機組及新型反應器之審查情形，以下即以此報告為主體，再加上世界核能協會 2013 年 2 月更新有關美國民眾對核電的調查資訊，整理成美國核能發電之最新狀況報告。

持續良好之核能績效

根據美國核能協進會(NEI)之統計，2012 年美國 103 座核能機組共計發出柒仟柒佰億度電(770 BkWh)，(註：我國 6 部運轉中核能機組平均每年約可達肆佰億度電)，佔全美整體發

電比例之 18.97%(如圖 1)，平均容量因

為數則由 2011 年之 89%下降至 86.4%(如圖 2)，但仍為所有發電型式中的最高者。NEI 進一步分析核能發電業能夠在低迷的電力市場中持續成長，歸功於過去 10 多年來，執行機組功率提升(power uprate)的結果，使得整體發電功率

增加了 485.7 萬瓩，相當於增加了 4

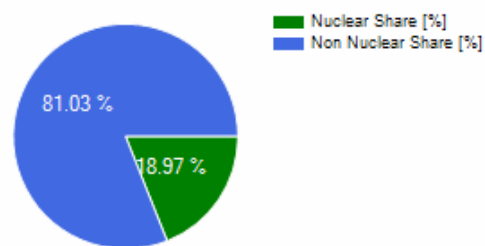


圖 1: 2012 年美國核能發電佔全體電力比例
(資料來源：國際原子能總署網站⁴)

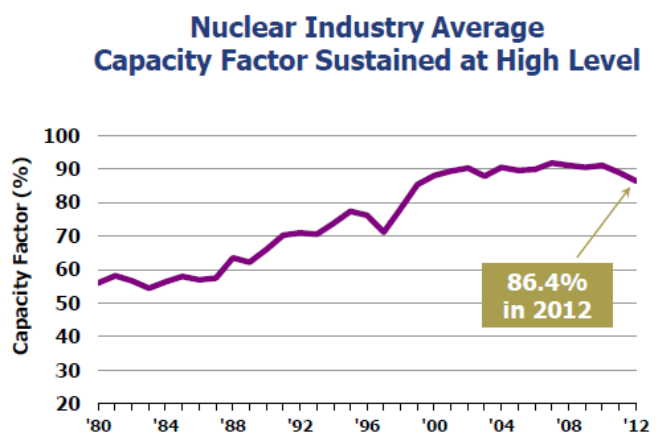


圖 2: 美國歷年核能發電容量因數統計圖
(資料來源：美國核能協進會 NEI 2013 年年報²)

座大型核能機組的發電出力。而目前美國核能管制委員會仍在審查 16 件功率提升案件，總計提升量為 115.5 萬瓩，各電力公司預計未來 5 年內會再提出提升 93.9 萬瓩的申請。

除了發電績效良好之外，一般用以評斷安全的兩個指標：跳機次數及非預期安全事件之統計，亦呈現穩定的趨勢，每部機組平均年跳機為 0.6 次，發生非預期事件率則可達成小於 0.1 之目標，詳如圖 3 & 4。

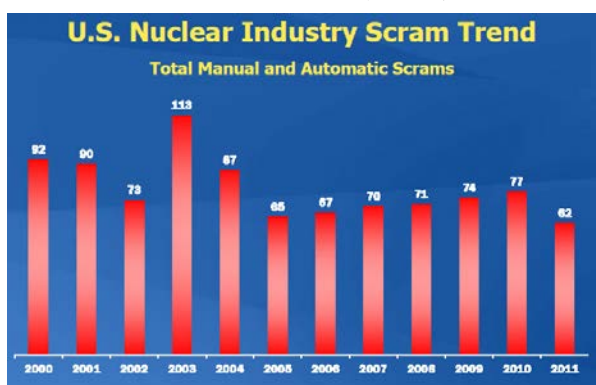


圖 3: 美國核能歷年跳機次數統計圖
(資料來源: 美國核能協進會 NEI 網站)



圖 4: 美國核能非預期安全事件統計圖
(資料來源: 美國核能協進會 NEI 網站)

各式能源發電比較

依美國能源資訊署 (Energy Information Administration, 以下簡稱EIA) 於 2012 年 12 月發表之數據顯示⁵，美國各式能源發電的配比統計至 2011 年底為止，核能發電佔 19%，其他能源則分別為：煤佔 42%、天然氣佔 25%、再生能源 13%、油及其他液體燃料佔 1%(如圖 5)。而EIA也預測到 2040 年時，核能發電比例將微幅下降到 17%，燃煤則從 42%降到 35%，但天然氣與再生能源兩項美國重點扶植能源占比則呈現增加趨勢，分別成長到 30%及 16%。

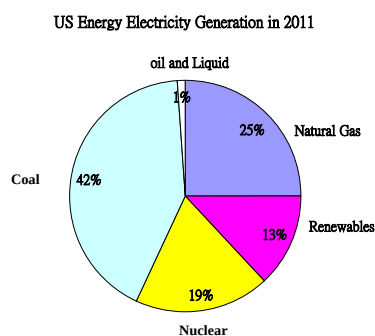


圖 5: 2011 年美國各式能源發電比例圖
(資料來源: 美國能源資訊署 EIA⁵)

代表能源使用度及供電穩定性之容量因數方面，NEI 做成統計如表 1，由其數值可以看出核能全年使用的比例可達到 89%，煤則為 61.1%，複循環式之天然氣為 45.6%。至於再生能源中，以地熱之 69.5% 最高，生質能(64.4%)次之，傳統水力發電為 48.3%，至於風力及太陽能則分別只有 31.8% 及 24% 的使用量。

表 1: 2011 年美國各式能源發電容量因數表

(資料來源: 美國核能協進會 NEI 網站)

發電型式	容量因數 (%)
Nuclear	89.0
Geothermal	69.5
Biomass	64.6
Coal (Steam Turbine)	61.1
Hydro	48.3
Gas (Combined Cycle)	45.6
Wind	31.8
Solar	24.0
Gas (Steam Turbine)	13.4
Oil (Steam Turbine)	8.1

在有關各式能源對於減碳的實績比較方面，NEI 也統計了幾種無碳排放能源發電的績效，包括：核能、水力、風力、太陽能、及地熱能等，其中核能佔了 63.3%、水力為 25.7%，其餘能源加起來為 11%。

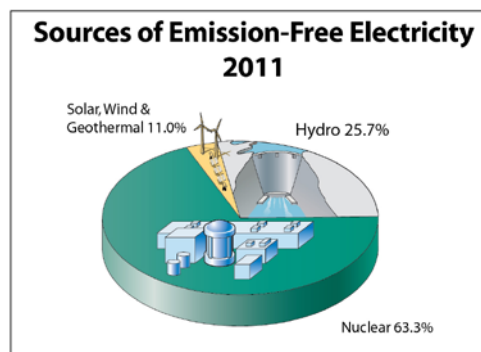


圖 6: 2011 年美國無碳能源發電比例圖
(資料來源: 美國核能協進會 NEI 網站)

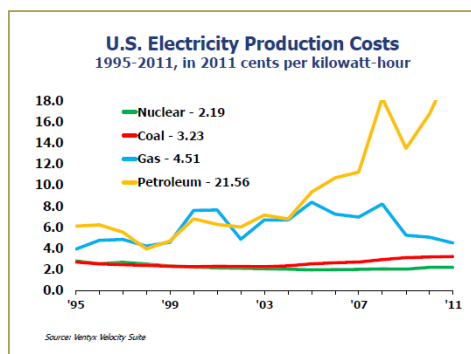


圖 7: 2011 年美國各式能源發電成本
(資料來源: 美國核能協進會 NEI 網站)

圖 7 是主要能源的發電成本，2011 年以核能每度電 2.19 分美元為最低，天然氣價格雖然呈現下滑趨勢，但約為核能的兩倍高，每度電成本約 4.51 分。

機組延長運轉時限

美國核能管制委員會自 2000 年 3 月起執行核能機組延長運轉年限之執照更新審查(或稱延役)，使得機組在原預定 40 年之運轉執照到期之後，可以再增加 20 年，總計可達 60 年之運轉年限。根據 NEI 的年度報告顯示，到 2013 年 2 月為止，運轉中 103 部機組中，計有

73 部已拿到更新之執照，另有 13 部機組正在審查中。NEI 另亦指出，美國能源部、核能管制委員會、工業界已開始探討在 60 年運轉之後，機組設備是否可以繼續使用的研究。

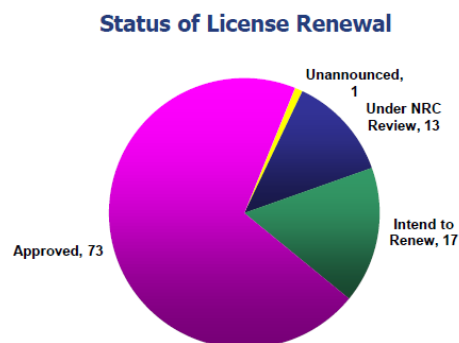


圖 8: 美國核能機組申請延役狀況圖
(資料來源: 美國核能協進會 NEI 2013 年年報²⁾)

後福島事故之安全加強

因應 2011 年 3 月 11 日日本東北發生強震，後續引發之海嘯破壞了福島核電廠之冷卻設施，進而導致了嚴重之核子事故，NEI 除了發表針對福島事故兩周年後之因應白皮書⁶，在 2013 年年報中亦摘要說明美國各核能業者積極配合核能管制委員會日本經驗回饋專案後續之措施，包括：地震水災現場查察及再評估、全黑事故法規修訂、緊急應變組織及人員配置檢討、增設燃料池水位儀器等各項議題，採取安全改進措施或提出實施計畫等，同時也整合現有之規定及因應福島事故管制措施，以符合福島事故經驗回饋之安全重要事項。

NEI 與工業合作發展之 FLEX 設備及緊急應變計畫，在短時期內可以提供緊要之電源供應及冷卻水源，以達成高的安全效益，並認為在發生類似引起福島事故之極端或超過預期事件時，足以減緩其所帶來之後果，這些策略包括：在廠區多處裝置額外的泵浦，以便在反應器或燃料池喪失正常冷卻時，仍可用來做為備用冷卻；在廠區多處維持經常之備

用發電機及充電器，以確保能夠連續供電給重要安全設備。NEI 也強調雖然這些額外的救援設備為商業等級，但都有一定之工程規格及管理設備之測試及維護計畫，同時也接受核能管制委員會的監督。

NEI指出美國於 2011 年 9 月 11 日發生恐怖攻擊事後之後⁶，各核能電廠已經針對可能發生火災及爆炸事件，而增設了發電機、泵浦、水管、及電池等設備，而FLEX設備則是更多提供一層安全保障，以防止核子燃料受損並進而保護大眾及環境。到 2013 年 2 月份為止，各電廠總計已購買超過 1500 件各式設備，此外工業界分別在Memphis及Phoenix兩處建立了區域應變中心，擁有足夠的安全設備及機動性，必要時可以在 24 之內，馳援美國任何一座核能電廠，而在 64 個核能電廠所存放的設備，亦可以分享給他廠使用。

用過核子燃料管理

美國用過核子燃料管理之法源為 1982 之「核子廢料政策法案」(Nuclear Waste Policy Act)，此法原來規定聯邦政府應於 1998 年起從各電廠移出用過核子燃料，卻因種種因素未能如期實施。後經小布希政府於 2002 年指定內華達州 Yucca Mountain 做為高放射性用過核子燃料最終處置場，並於 2008 由能源部向核管會提出使用執照申請。然而到了歐巴馬總統主政之後，因政策的改變，認為 Yucca Mountain 不應做為最終處置場之選項，故於 2010 年 3 月份由能源部撤回執照申請，並另成立藍帶委員會(Blue Ribbon Commission, BRC)來重新檢討美國未來核能及廢料政策。

BRC 於 2012 年公布美國核能之未來藍圖中，認為仍應透過適合性、階段性、透明性、共識性、標準及科學為基礎的方式，來尋求用過核子燃料最終處置場，在此之前應設立聯合性之儲存設施。同時聯邦政府應成立一專責機構來管理核廢料之處置計畫，其經費來源則可以由收取各

電力公司核廢料基金中支應。BRC 並支持美國政府開發研究新的科技來發展新的反應器及燃料循環技術，持續在國際反核子擴散及核子設施安全及保安之領導地位。

美國工業界認為在最終處置場定案之前，發展集中式的儲存設施是現階段整體燃料循環的一環，並相信未來 10 年獲得核管會的執照許可之機會相當高。在此之前各電廠之用過核燃料除了水池之外，超過五年者即可用乾存的方式貯存。根據美國核管會網站統計資料，現有運轉中 103 座核能機組共分散在 64 個廠址，其中 59 個廠址都已取得 NRC 核發的用過核燃料乾式儲存之使用執照。

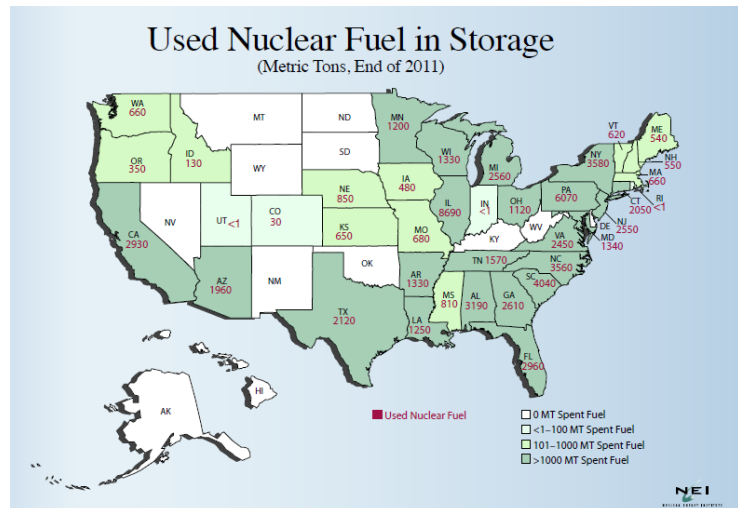


圖 9: 美國各州用過核燃料儲存現況圖
(資料來源: 美國核能協進會 NEI 網站)

廢料信心法規及燃料暫存

2012 年 6 月 8 日美國法院對於核管制委員會審查各核能電廠有關用過燃料暫存處置之相關執照作業，是基於未來有一個最終處置場及暫時性的廠內安全儲存，儲存時間為設施執照年限再加 60 年之所謂廢料信心法規(Waste Confidence Rule)。然而因為 Yucca Mountain 最終處置場計畫被能源部撤銷，故原發照作業的合法性受到挑戰，故美國核管會已經決定利用兩年的時間來檢討現有做法，並訂出 2014 年 9 月份前完成修訂法規的期限，在此期限之內，核管會雖仍可進行執照更新(延役)及新反應器之審查，但不會核發出執照。影響所及，類似 Indian Point 2&3 號機之延役，Watts Bar 2 號機之低功率運轉審查，最快於 2014 年 9 月以後方可取得執照。

新核電廠建設及新型反應器

2012 年對於新建美國核能電廠是一個新的里程碑，因為核管會先是在 2 月份同意發給南方核能公司申請位在喬治亞州 Vogtle 廠址興建第 3 及第 4 機組之建廠與運轉結合式執照(Combined License, 簡稱 COL)，這是自 1978 年(三哩島事件前一年)以來，美國政府再次發出核能電廠建廠執照。隨後在 3 月份核管會又核准了南卡電力及天然氣公司在南卡羅萊納州 Summer 廠址興建第 2 及第 3 號機組，上述 4 個機組全部是採用西屋公司 AP-1000 型壓水式反應器，NEI 預估這些機組商轉的時間應落在 2016 年到 2019 年之間。而在田納西州 Watts Bar 電廠 2 號機之壓水式反應器，為傳統兩階段建廠及運轉之申照方式，目前正由田納西流域管理局(Tennessee Valley Authority, TVA)建造及測試中，TVA 於 2012 年 4 月的修訂時程中，訂出 2015 完成 Watts Bar 2 號機，總經費增加到 45 億美金。至於在新的 COL 申請案方面，目前仍有 16 部機組由核管會審查中。

另外在新一代反應器的發展及使用方面，小型模組化反應器(Small Modular Reactor, SMR)將扮演著重要的角色，美國能源部於 2012 年 11 月已選擇 B&W(Babcock and Wilcox)公司之 mPower 小型模組化反應器(SMR)，做為第一階段經費援助的對象。在美國能源部總金額 4 億 5 千萬美金的補助計畫中，最多可以發展 2 個 SMR 的計畫，包括創新之工程(First-of-a-kind Engineering)、設計認證、及申照作業，期望 mPower 型 SMR 反應器在 2022 年達到商業運轉，這是美國歐巴馬總統政府能源政策中重要的項目之一，此項計畫的預算將由政府與民間各出資一半的方式執行。2013 年 3 月份能源部又再度宣布徵求第二階段經費援助及合作對象，將以前述 4 億 5 千萬美金之一半金額，補助業者開發另一型式之 SMR，並預期商業運轉的目標為 2027 年。

核能電廠除役狀況

美國 Duke Energy 公司已於 2013 年 2 月 5 日正式宣佈將位於佛羅里

達州的Crystal River 3 號機退役並開始後續之除役工作⁷。此機組為Babcock & Wilcox所設計之壓水式核能機組，於 2009 年 9 月停機更換蒸汽產生器，原預訂於 2011 年重新啟動，以執行後續之 20%功率提升及延役到 2036 年之計畫。唯在更換蒸汽產生器過程中，卻發現圍阻混凝土出現了層隙或脫層(Delamination)的現象。經過經濟分析及後續財務風險的考量下，Duke Energy最後做出了準備開始除役的決定。由於此機組已停機超過 3 年，NEI在統計 103 部運轉中機組之數量時，已排除Crystal River 3 號機。

另一部近期內即將停止運轉而準備開始除役的機組為位於威斯康新州之Kewaunee 1 號機，其業主Dominion公司於 2011 年 4 月即宣佈要讓售此電廠，然而因為經濟考量，例如：電力採購合約到期、近期天然氣價格跌落、區域性大宗電價低迷等因素，而決定於 2013 年 5 月 7 日停止運轉並規劃下一步除役工作。Dominion公司已於 2013 年 2 月 25 日通知美國核管會此項訊息，雙方將於 4 月 24 日召開有關Kewaunee 1 號機停止運轉及除役計畫⁸。

另依核管會網站上有關電廠除役之資訊，有其他 12 個廠址(共 13 部機組)之正在執行除役工作(Undergoing Decommissioning)，其方式分成拆廠(DECON)及安全儲存(SAFSTOR)兩種方式進行，前述 Crystal River 3 號機及 Kewaunee 1 號機停機之後，均會先採取 SAFSTOR 方式，依核管會規定最多可以到 60 年之後，再從事拆廠作業。

核能使用之民意調查

根據世界核能協會於 2013 年 2 月更新有關美國核能發電網頁中，列舉 2008 年到 2013 年 Gallup Poll 等三家民意機構調查之結果，整理如附表 2。從此表可以反映出美國民眾支持核能的比例是高於反對者，但亦可以觀察出 2011 年日本福島事故發生前後，支持核能的比例有下滑的情

形，反對者則有上升的趨勢。

表 2：美國近年調查支持與反對核能發電比例
(資料來源：世界核能協會網站³)

年份	調查機構	支持比例	反對比例	樣本數目
2008	Zogby International	67%	23%	2925
2010	Bisconti GfK Roper	74%	10%	未註明
2011	Bisconti-GfK Roper	62%	35%	1000
2012	Bisconti-GfK Roper	64%	33%	未註明
2013	Bisconti-GfK Roper	68%	29%	未註明
2010	Gallup poll	62%	33%	1014
2011	Gallup poll	57%	38%	1024
2012	Gallup poll	57%	40%	未註明

除了民眾一般性支持與否之比例外，若進一步以 2013 年 2 月份由 Bisconti-GfK Roper 機構的調查結果來看，有 73% 的民眾認為電力業者現在就應準備好，以便在下個 10 年有需要時，可以及時興建新的核能機組；另有高達 81% 的民眾贊成核能機組依聯邦政府的安全規定，來執行延役之執照換發作業。然而認為美國未來一定需要新建更多核能電廠的比例，卻由 2012 年 9 月之 60% 下降到 2013 年之 55%。絕大多數(80%) 民眾認為可靠及持久之乾淨能源發電方式是目前最重要的課題，其中有 60% 的人認為核能是與乾淨能源相關的。對於用過核子燃料，有 60% 的民眾相信可以安全地在電廠廠址內貯存，80% 認為聯邦政府仍應開發永久之處置場，77% 的人認為應有一個聯合性的貯存設施。

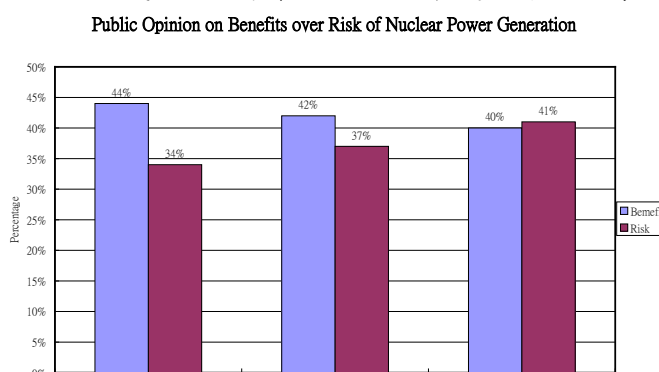


圖 10：美國對核能發電之利益與風險之調查

(資料來源：世界核能協會網站³)

另外由 Harris Survey 公司最近三次調查民眾對核能帶來的利益(Benefits)與風險(Risk)之比較，由認為利益高於風險者，由 2009 年之 44% 下降到 2012 年之 40%，反之認為

風險高於利益者，則由 34% 上升到 41%，而且在 2012 年，首次由相對多數的民眾認為核能潛在的風險高於其所帶來利益(參見圖 10)。

綜合結語

由美國核能協進會(NEI)2013 年最新出版之年報內容，可以整體看出美國核能機組過去一年仍維持優良之運轉績效並達成安全指標，且在各種能源發電型式中保持較低的成本，同時在無碳能源中，也提供最為穩定供電。另外在機組功率提供及執照更新(延役)的工作方面，美國管制單位持續進行審查中，預計可以讓整體核能機組的發電出力更為提高，且可以延長機組運轉的壽命。至於在新型反應器方面，2012 年已有 4 部 AP-1000 型大型壓水式核能機組取得興建及運轉結合式執照，能源部亦已選擇第一階小型模組化反應器，做為發展較低發電出力的核能機組，可以預見未來 10 年間，各方均將關注這些新型反應器之建設及安全審查經驗。當然，也有核能機組因經濟因素而決定關閉並準備開始除役的消息，類似狀況是否會進一步擴大，也值得後續觀察。

日本福島事故刺激美國核能界進一步地提升安全因應措施，除了核能管制委員會加強管制要求及修訂法規等作為外，工業界也積極配合增加必要之後備措施，並且建立緊急支援中心，以便萬一在發生天然災害而危及核能電廠安全時，能夠將災情減緩到最低程度，絕不能讓福島事故在美國重演。從近 5 年民意調查的趨勢來看，雖然在美國支持核能發電的比例仍超過反對者，但在 2011 年福島事故後，支持度是有略為下降的情形，且認為核能所帶來的風險及利益相比較，在 2012 年時首次由認為風險高於利益居多，也值得美國核能界進一步思考未來的因應之道。

美國核廢料的處理問題，特別是高階用過核燃料在廠內暫存或是將來之最終處置，仍將是一個必須面對的難題。雖然藍帶委員會提出一些未來的願景或目標，但具體實施步驟仍待能源部制定出可行的方案，以免得再次遭遇 Yucca Mountain 計畫花費數千億經費最後卻被擱置及撤銷的窘境。而美國核管會未來一年多內，將修訂廢料信心法規，檢討各電

廠現有核子燃料乾式儲存設施長期存放之妥適性後，於 2014 年 9 月之後才能繼續發給各種執照，故也將是美國各方關切的議題。

參考資料

1. U.S. White House website, FACT SHEET: President Obama's Blueprint for a Clean and Secure Energy Future, March 15, 2013.
2. Nuclear Energy Institute, "Status and Outlook for Nuclear Energy in the United States", February, 2013.
3. World Nuclear Associate, "US Nuclear Power Policy", February, 2013.
4. International Atomic Energy Agency, "Power Reactor Information System, United States of America", April 16, 2013.
5. US Energy Information Administration, "Annual Energy Outlook, 2013 Early Release ", December 5, 2012
6. Nuclear Energy Institute White Paper, "U.S. Government and Nuclear Energy Industry Response to the Fukushima Accident", February, 2013.
7. 趙衛武, "美國 Crystal River 電廠 3 號機準備除役之綜合報導", 原子能委員會網站, 2013 年 2 月 15 日。
8. NRC News, "NRC Public Meeting April 24 to Discuss Decommissioning of Kewaunee Nuclear Power Plant in Wisconsin", April, 15, 2013.