美華核能微言集

美華核能協會

March 2013

談言微中、可以解紛

目錄

頁數

1. 核電安全簡要分析……2
2. 美核電紅利台灣知多少？……3
3. 再談核四停工……4
4. 核四停工？……7
5. 核四與國家利益 ……12
6. 好禮與核四 ……13
7. 話說核四「關鍵？」年 ……14
8. 日本小出裕章反核四發言的省思 ……16
9. 「非核家園」是真好、還是假好？ ……20
10. 低輻射劑量對人體有害、還是有益？ ……21
11. 核能經濟與安全 ……25

核電安全簡要分析

江仁台 3/7/2013

核四公投牽動核電安全、能源經濟、環境保護、與政策決擇多元領域，在經濟、環保和政治領域，媒體多有評論，本文只簡要的分析核電安全。

核能發電是一種高度專業的綜合科技，牽涉核反應器物理、熱傳導、流體力學、電儀控制、電機、材料、機械、土木、建築、地震、水化學、放射線監測與防護、風險評估、廢料處理和環境保護等等，因此詳細的核電安全分析本質複雜。

希望各行各業的大眾充分瞭解核能發電，很不容易。然而，公投的設計是希望老百姓當家做主。筆者認為過程與結果一樣重要，因為不同的過程，將導致不同的結果。筆者覺得藉核四公投的討論，讓大眾對核能發電的效益與風險有較全面的瞭解，也是好事。本文試著用較易懂的詞句分析核電安全，希望能拋磚引玉，供大眾公投參考。

核能發電是利用鈾或鈽核燃料，吸收中子核分裂後所產生的熱能，將高壓水加熱成高溫蒸氣，然後用高溫蒸氣流轉動發電機發電。每次核分裂能(約200百萬電子伏特)約是每次石油或煤碳分子燃燒能(幾個電子伏特)的一億倍。每次核分裂會射出二到三個一百萬電子伏特左右的快速中子，這些中子會被散射、吸收或漏出。被核燃料再吸收的中子會造成連鎖反應，繼續核分裂。核能發電是用中子控制棒或中子控制液控制，使核反應器每代核燃料分裂數保持一定，以維持固定的功率(瓦特數），譬如核四設計的電功率是每廠1350百萬瓦特。

核電廠在發生嚴重事故後，會將所有中子控制棒插入爐心，立刻停機。但停機後仍有正常運轉功率百分之七以下的餘熱，逐漸降低放出很長的時間。因此，停機後，爐心冷卻水仍須不斷循環，以避免核燃料溫度過高。倘爐心冷卻水流失或不再循環，則核燃料溫度會不斷升高，造成核燃料包管熔裂，大量放射性核分裂產物溢出。因此，停機後，只要供電不斷、使爐心冷卻水繼續循環，核電廠就是安全的。

所有核電廠在正常供電中斷後，備用的緊急柴油發電機都會立刻啟動供電。倘柴油發電機故障停轉，備用直流蓄電池仍可供電8小時。倘直流蓄電池電用完，仍有不須電、用蒸氣推動的緊急冷卻水，可繼續循環約三天。倘供電無法恢復，冷卻水停止循環，則可採「斷然處置」廢核電廠，譬如用海水灌入核電廠內。因此，核電廠**安全是可以**控制的。

美核電紅利台灣知多少？

江仁台　3/2/2013

美國在三哩島事故後，初期民間反核聲浪很高，但經核管會、能源部與核電工業界30多年共同努力下，核能安全大幅改善，民間反核聲浪漸平息。即使在最近發生福島嚴重事故後，美國核電運作一切如常。

福島核災後，美國核能管制委員會立刻成立應變小組，檢查美國現有核電廠的安全。2011年7月12日，應變小組向核管會提出報告，作下列結論：

- 美國現有核電廠的繼續運轉，與美國現有核電廠運轉執照的審核，沒有立即的風險。
- 為加強美國現有核電廠的安全及應變準備，提出12項改進建議。

2012年3月12日，美國核管會總結應變小組的報告，向現有104座運轉中的核電廠下達三項命令：

1. 對超級天災所造成的核電廠停電，必須有應變減災的策略。
2. 圍阻體的所有溢氣孔，必須靠得住、夠堅固。
3. 必須加強核廢燃料儲存池的儀控。

2012年2月9日，美國核管會核准南方核電公司的申請，在喬治亞州沃格托核電廠現址，興建兩座西屋公司設計的AP1000核電廠。這是33年來核管會首次核准興建新的核電廠。美國核管會自1997年以來，共批准了超過140件增加功率的申請，合計6500百萬瓦，最高的增加百分之二十的功率。此外，美國核管會共核准了超過70座核電廠將使用期由40年延長至60年，並考慮接受延壽至80年的申請。

核電廠增加功率及延壽，成本很低。在美國能源部、國會及總統的支持下，核管會的核准核電廠增加功率及延壽，是促進美國經濟持續成長，造福美國大眾的德政。目前，美國核電公司很賺錢，多家核電公司股價持續穩定成長。

受「非核家園」思維的影響，台灣目前核一、核二和核三廠所有的六部機組，計劃在運轉發電四十年後，全部不再延壽。最早建的核一廠一、二號機，分別計劃將於民國108年及109年停止發電運轉。技術上，各機組延壽二十年的商業運轉，毫無問題。不再延壽，

完全是為了達成「非核家園」的政治決策。停機，每部機組平均每天損失約新台幣一億元。少了六部機組多二十年的商業運轉，台電將損失新台幣約43800億元。

核四廠是民國88年3月17日動工的，但因受「非核家園」思維的政治紛擾，多災多難，建了13年，在公投爭議下不確定是否能商業運轉。89年10月27日的政治干擾，造成核四停工了約四個月。依據台電內部資料顯示，核四違約暫停損失1350億元，再加計工程費追加848億元，合計約2200億元。過去核一、核二和核三建廠，平均約七年完工。目前核四建廠歷13年，能否續建未定。長期負擔核四借債巨額的利息，難怪台電財務會惡化，不得不將用戶電費加價。

火力發電燃料成本高，並會大量排放二氧化碳，造成空氣污染與地球溫室效應。水力發電成本雖低，但有局限性。太陽能發電、風力發電和再生能源，也有局限性，無法大規模的發電。台灣能源的決策，在加強核電安全監督的原則下，宜參照美國維持適度的核能發電，以避免電價不斷上漲。

人們日常生活的自然界中，有許多來自太空的宇宙射線和來自空氣、地表與建築物的天然輻射線，人體細胞內有許多會放出輻射線的鉀-40和碳-14。此外，在醫院照X-光片時會遭 X-光輻射。人體對微量輻射線的傷害，有抵抗和修補的能力，否則人類在充滿了低強度輻射線源的自然環境中，很難生存。因此，大眾對微劑量的輻射，不須恐懼。

再談核四停工

濮勵志　　3/8/2013

上次我寫「核四停工?」一文，沒提到施工品質。近年來不光是反核大將，就連營建員工，監管單位，和執政黨立委等等，都發聲明爆料或表態了。有人說是「倒戈」，其實這是好事，可見沒被高層封殺，更應該鼓勵，真理越辯越明，就此再澄清一下：

一，總包問題

有人說當初台電不該自力營建，該像早先建一、二、三廠一樣，發總包給外商，那麼造價、責任、工期統統丟給外人，就不會陷入今天苦況。不說事後諸葛亮，事實上二十年前情況，國外多家營建大公司已紛紛倒閉，剩下幾家手上工作已飽合，你找他他就獅子大開口，報價天文數字。就算你按價發包給他，他也是到馬路上拉人來冒充專家。問問老一輩的，吃了多少暗虧！曾有坐頭等艙住五星級的外來專家，寫二號機程序書照抄一號機，結果把一級地震標準也改為二級！

就算美國頭號核能大公司奇異，九十年代基本上放棄新建，只保留燃料部門，並裁減加州聖荷西總部，遷至北卡州，大半資深工程師離職。同樣情況在阿根庭 Atucha2廠，供應商德國西門子倒閉，就自力更生，停停建建整整三十年，今年將完成商轉。進入兩千年代法國EPR設計，為追求失事率接近絕對零，把所有安全系統從二或三套加到四套，複雜無比。依此邏輯他們有全世界最安全的設計，應是最不需要爐心熔毀處理裝置的，他們偏偏就在地基下做了一個龐大無比的熔漿泠却系統。靠此「世界最安全」設計說動芬蘭建廠，他們倒有法國政府做保，法國電力公司做總包，但這龐大複雜無比的系統，一樣造價加倍，完工遙遙無朝，芬蘭曾打多次跨國官司，沒討到一點好處。

二，工程質量問題

營建和監管單位員工爆料管理紊亂，安裝無經驗，驗收草率，列舉歷歷，這些當然都是事實，必須嚴格改正。我自己在幾年前和核研所和清華同事，赴工地做核四啓動電腦模擬報告。車子進大門後只見施工熱火朝天，前後運貨車、公務車、砂石車大排長龍，但路面凹凸不平，坑洞既大又深，顛簸得我們的四門房車一再重擊底盤，讓開自家車的同事心痛不已。原來那時就說「明年」要完工，沒時間修路，我心想砂石車也就罷了，運貨車裏好多是精密儀器，如何經得起如此折騰？

所以施工品質的確要嚴格把關，驗收和調試尤其重要，在以下調試項細談。

三、調試問題

若說施工問題就等同運轉安全卻也不盡然，這要從核能特性談起。有人把建電廠比做造飛機，叫航空公司造飛機的確很難，其中有試飛一關，飛機造好了試飛，如品質不良它第一飛不上天，第二上了天不久一定出事，第三出了事一定很嚴重。所以像隱形飛機F22經洛

克希德馬丁公司造好試飛，成功後交空軍服役，仍難免出人命，新型波音787最近也為電池問題停飛。核四施工品質有瑕疵，加上控制系統繁複，完工後要花好大功夫調試，不光是運轉發電系統，也要試緊急安全系統，全部過關後才能發電商轉。前文我說過輕水式電廠如核四，尤其經過福島經驗補強後，非常「耐磨」，有層層保護，恐怖份子想破壞它還不容易哩！所以施工時的品質問題可以在調試期改正，不像飛機那麼怕摔。光為了有限的幾樁品質問題，就把幾千億投資作廢，尤其在所有國際組織和核能大國 - 包括日本 都已重啓發電時，台灣卻率先棄核，多讓人錯愕！

四、工期責任問題

工期一延再延，的確因經驗不足，其實在新興國家如阿根庭、和老牌工業國法國也如此，最近傳出美國喬治亞州首座第三代西屋AP1000廠，工期也大幅落後。重要的是質量重於工期，為了立下「軍令狀」而瘋狂趕工尤其萬萬不可，以上驗收和調試是安全營運最重要一環。

五、國際審查監督問題

有人說自己人球員兼裁判，一定要找外國人和國際機構來做評審、仲裁。自退出IAEA後他們的人還是常來的，只為監督有沒拿廢燃料做原子彈，對電廠安全是一點興趣都沒有的。其他無論美國的INPO或國際的WANO都只有咨詢交流角色，不負責發照監管。你硬要它派幾個人來評點一下，你如何知道來人是真人還是阿狗阿貓？是否由藍綠各請幾個？總數是偶是奇？他們只走馬看花還是常駐深入？其間變數太多，最不可取的是把國家大事拱手「外包」，與殖民地何異？個人陋見，找幾個人來還是可以的，不過大家得有共識，意見只供國人參考，國家機構無論立法预算或行政監管責無旁貸。

結論

講多了就跨出了我本行（核能安全），實不可取，有人告訴我，「冰凍三尺非一日之寒，你是外人何必管太多？沒人理的」。誠然，核四停工，營建團隊自然打散，以後無論政黨輪替，都很難召集回來重组了，同樣的戲碼在八十年代和兩千年已兩度上演。真難做的是完工調試那一關，沒有能耐和勇氣還真不容易過呢！敢於堅持的就因為專業素養上有充份信心，不然大可就此抽身，像馬可士那幫人一樣拍屁股走人，樂得輕鬆。

成功發電後，我說過ABWR真的很耐用耐磨，不怕地震海嘯，如真有天大的災難來臨時，有把握毫髮無損，那時周遭已是哀鴻遍野，核四可作救災中心。盼買單的媽瑪、阿公、阿嬤和賢達才俊們，慎用手中珍貴的權力，加上一點耐心渡過此難關，台語說「頭洗啊啦」，就是這個意思。

核四停工？

濮勵志　　3/1/2013

「核電專業」已打通任督二脈，卻被十二道金牌拉到「風波亭」

最近新內閣上台，第一個面臨的課題是核四應否續建，正反兩面攻防已無限上綱。如果爭議只在再生能源、節能減碳或電價等方面，筆者不是各該方面專家，不當置喙。但如第一焦點仍然是安全，我個人專業上親身應對了近世三大核災（美國賓州三哩島、前蘇聯車諾比、及日本福島），並直接參與後續改正，確信問題已經塵埃落定。如還有人誤導民眾危言聳聽，就不得不站出來說幾句話，因為既然到了「公投」層次，就得讓「反核媽媽」、阿公阿嬤、以及社會賢達等所有民眾實際了解，不用專業名詞，並且所列皆個人經歷心得，已發表並在業內記錄，絕非人云亦云，就此情商予國人。

我經歷是跟著幾次大災難走的。一九七九年三哩島發生後那家公司新設工程部門招人（他們原來沒有，除運轉人員外只有四人管執照文書），做沒受損一号機的改良工作。事故總結原因是設計廠商、監管部門、和營運單位普遍認識不足，三哩島事發時主控室燈號如聖誕樹，操作員眼花瞭亂不知所措。花五年時間改正後重啓發電，其後數年績效全美第一。我在那裏工作整整二十年，該廠至今運行良好，已獲准延役二十年。

我在那兒使用當時最先進的電腦安全分析程式，光輸入就幾百行，總是遭遇錯誤信號，我想太麻煩了，該有更有效率的方法，緊急時能即時應對，就用 FORTRAN寫了一套程式。那時台電原動處、核研所和清華也跑同樣的電腦程式，就交流心得，順便把自己寫的程式給大家試用，因此認識後來做到原能會主委和處長、核研所多位所長、副所長，台電主管核安高層，和清華幾乎所有教授。

八零年代初個人電腦出現，我花了五千多元買了一台XP，請公司裏裝電腦的小伙子把輸出狀況用彩色圖形顯示，好像有市場價值，就去注册了一個公司。上班的ＧＰＵ公司不做產品生意，我就以讓他們免費使用做交換。八五年第一次在華盛頓全美核能大會上擺個攤子展示，有個老頭來看了很感興趣，原來他就是核管局ＮRC的主席Palladino，不久後就收到訂單，這是我們第一筆生意。

一九八六年到日內瓦的全歐核能大會擺攤，碰上蘇聯車諾比事件剛發生。蘇式石墨設計與西方輕水式本質不同，它基本上不存在穩定狀況，操控失當時有可能變成「超臨界」，不用專業名詞就是原子彈。輕水式是相對穩定的，與蘇式比較就像啤酒之於高粱酒，高粱酒一點就燒，啤酒再怎麼點也燒不起來的。與會大眾當時正面臨自己國內反核、廢核壓力，要與車諾比撇清，最好的方法就是用一台簡單易懂的PC來顯示自己的有多優越，所以我們又賣了幾台。

九零年代我們持續與台灣核能界密切交往，共同開發此軟件，清華採用做成畢業博士論文兩篇，碩士數十，台電用作緊急計畫演練，核研所自行開發核四數位化儀控找錯工具，和設計核三飼水系統，原能會以此做緊急分類等級。國際上聯合國原子能總署IAEA自九八年起「核電仿真研習班」採用做教材，我每年去授課。全世界主要官方機構和大學均採用此工具，可謂成功台灣經驗，在世界有一席之地。

說到日本福島事故，筆者自两千年時就給他們國家實驗室和全國核安應急中心做陪訓，他們採用了我公司開發的核電安全分析軟件，但未及時更新最新版本，也沒應用到補強。事發後第一時間我們就用新版分析福島第一到第四機組事件前因後果，與現狀完全吻合。網上發表後紐約時報於四月三日專訪了美國能源部長朱棣文、NRC主席、幾位大學教授、法國AREVA公司高層（他們供應福島核燃料）和我本人，確認為最具權威性「核事故刑事偵查」報告。英國ITN、日本TBS、和義大利RAI電視都來專訪。其後IAEA、美國能源部來函要求支援，我們在日本的合伙公司CSAJ直接參與事故分析和總結報告，韓國和義大利當局都來接觸，一年以後各國官方報告和核能政策基本上與我們看法一致。

核心停機後有相當的輻射熱，過去設計誤入歧途，一定要依賴外電源或柴油發電機驅動高壓泵，供應緊急冷却水。碰到九級地震和海嘯切斷供電，爐心高壓不退，水灌不進去，就坐以待斃了。如考慮到只需可靠的洩壓控制閥，把原子爐壓力放掉，加上防水的發電機把預儲的冷却水低壓打進去，靠自然對流散熱，就可維持三、四天無慮。台電一、二、三廠這一年半來的補強，類似全世界四百餘機組應對措施和新廠設計，都已保證以上各點。

福島事故時，靠救火車和直升機來噴洒海水，形同兒戲。十天後我們分析的曲線上網發表後，GE公司 第一代安全系統設計人 Richard Lehay Jr 找到我，要我們供應福島四台機組的尺寸參數，做海水鹽滷分析。早在八十年代後期，他在RPI大学核工系當講座教授時，就採用了我們軟件。

核研所、清華和台電合作去年發表於 Nuclear Engineering & Design 期刊上的那篇「斷然處置」Ultimate Emergency Measures」論文，在核能史上有里程碑式重要性，台灣核安水準和見識實質上同步甚至領先世界。

反核者謂現當局應效法三十年前蔣經國暫停核四，那時台電預訂的美國「燃燒工程」（CombustionEngineering）機组讓韓國人撿去。他們送幾百、上千人赴美，白天學晚上偷圖紙資料，曾被警察逮到送上法庭。其後CE倒閉由西屋接收，韓國就有所謂「韓國標準式」KSNP 自己的設計了。至今已建好 OPR1000 七台，APR1400四台，在建八台，加上舊有的八台和企畫中的，全國三十多機組，他們走的可是「全核家園」路線！並出口阿聯酋四台，價二百億美元。又積極投標芬蘭、南非、東南亞和中東的案子，預估是繼汽車、電子後第三大出口產業。目前韓電是我們最大客户，直接參與他們新廠設計。

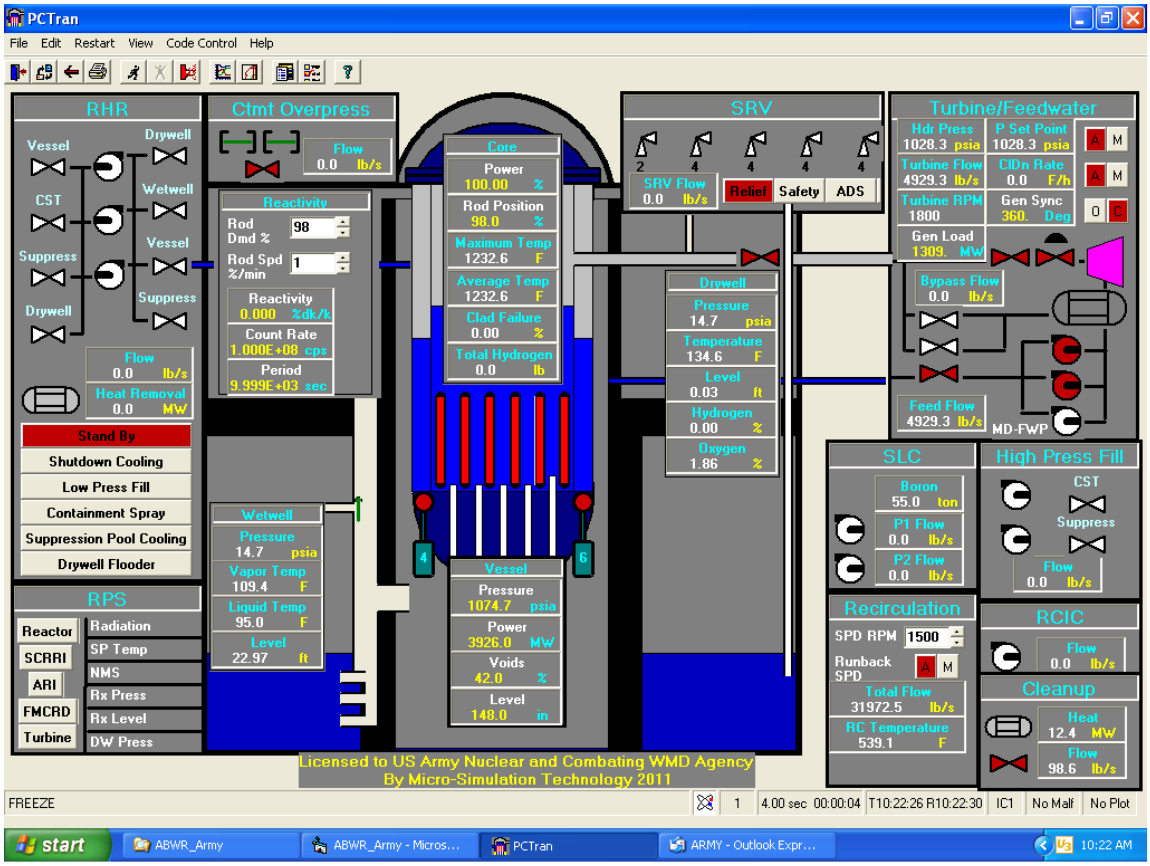
再說伊朗Buchehr廠最先用德國設計，後改用俄式，歷經專家被暗殺、控制系統被病毒入侵、和導彈來襲威脅，依然完工滿載發電，如果哪天真挨飛彈炸了也青史留名，總沒自己掛了，貽笑天下。

幾年前我在台北參加「台日核能技術交流會」，日方報告平均發電天數只有一半（我們有七、八十扒），年均跳機率好幾次（我們不到一次），大家深感意外。其實日本核能界多年來依賴美商，因循積弊，福鳥後他們沉痛反省，這已是客觀公論。台灣總有人深信台不如日，日本都出了那麼大的紕漏，台灣一定一踏糊塗，其實大謬不然。

反核者總以德國作例，它們有綠黨淵源，不足為訓。二十餘年前我公司也支援過他們新建的 Muelheim-Kaerlisch 廠，開始發電後反核者以建照不合程序為由，訴訟經年，最後不僅停機，整廠機組加上鋼筋水泥廠房硬是拆成平地，種上牧草綠樹，如今諸君不妨專訪一遊，保證心曠神怡。蓋到大部份卻放棄的倒子有菲律賓，以菲為師以後可期「台勞」滿天下。

各位可能不知，核四工程在國際上有相當知名度，我們直接涉入的就有以下三樁：

１。 美國陸軍位於華頓近郊 Fort Belvoir 反大規模殺傷武器作戰署 US Army Combating Weapon for Mass Destruction Agency (USACWMD) 為證實新型 ABWR即使遭恐怖份子破壞或劫持，也不致輻射洩漏傷人無數，找到我們幫忙。我們就用為台電和原能會開發的ABWR程式，略作修改滿足美方規格，於去年完成交貨，其主界面如下：



圖中除參數為英制（核四用公制）以外，與核四完全相同。我們去了警備森嚴的兵營，為他們做培訓，反覆演練各種情況，包括爆破緊急設備、劫持操作員工、甚至讓非常專業的恐怖份子像911的飛行員一樣，故意造成最大傷害。ＡＢＷＲ設計，的確相當耐打，絕對不像外界所說弱不禁風，應該以「固若金湯」來形容。這可不是空口白話，經過美國陸軍部嚴格驗證過的，下列為採購訂單，明確標明同於核四的ＡＢＷＲ。

2.　美國　ＡＢＣ電視網　2012年九月起播放　LAST RESORT　「終極歸宿　」十三集电視劇，虛構導彈核潛艦抗命向巴基斯坦發射核導彈，蒙冤叛變故事，採用我們為台電核四開發的核模擬機作道具。其實核潛艦大都採用壓水式，不可能用ABWR，SonyABC製作部門欺負觀眾不懂，我們也怕PWR太接近真的，有泄密之嫌，就以之擋塞。

電視拍的非常專業，真的核潛艦在夏威夷拍外景，潛艦裏面當然不讓拍，就在影棚裏搭了極端逼真的控制艦橋，有雷達、導彈、魚雷、聲納等操控儀表。最重要的推進部份，沒有一個反應器就不能算核潛艦，所以把我們的ABWR放在中心位置，可見「唬老百性」中外一理。只是反核人士反過來「嚇老百姓」，我們的老百姓也太容易被嚇了。

3.　美國南德克薩斯州 South Texas Project 也選用東芝 ABWR 機型，三、 四年前曾多次派員來台觀摩學習，拜訪過台電大樓、原能會和核四工地。那時他們值工師常駐日本 K 6-7 廠參加陪訓，營建主管和處長 William Jump 常來台電 「取經 」。他們出資為德州三所大學購置我們的 ＡＢＷＲ模型。 Jump 先生親口告訴我對核四工程進展和質量 “Very impressed”。可惜在福島事件後他們的大股東「東京電力公司」為財務困難撤資，STP無限延期。

結論

總而言之，不做事的政府是最民主的政府，不發電的電廠是最安全的電廠，全世界最和諧的族羣在台灣。台灣四十年來歷盡艱辛建立起來的產業，從業員工也兢兢業業克盡職守，在國際上已達頂尖水平。近三十年國外三大災難的肇因已為業界確認排除，無論運轉中和在建的核四，根本上已無安全顧慮。對我們這群練武的人來說，就像剛打通任督二脈，卻被十二道金牌拉到風波亭，於心何乾？被自己人封殺還不如在伊朗當烈士被敵人刺殺。個人年過花甲，台灣一行行產業陸續凋零，可憐後生台勞跑天下，情何以堪？

盼「反核媽媽」、阿公阿嬤、以及社會賢達和青年才俊們，慎用手中一票。

核四與國家利益

江仁台　2/26/2013

核四議題，囂囂嚷嚷，風風火火，沸沸揚揚。

核一、核二、核三廠的台電員工，冒著反核人士所說的”風險”，日日夜夜、敬業辛勞的為全民在發電。倘發生事故，按照放出幅射線強度與距離平方成反比的情況，在核電廠工作台電員工的風險，難到比反核人士少嗎？他們自己和家人難到不擔心嗎？奇怪，怎麼不見他們公開抱怨？到立法院去鬧？去遊行示威呢？

大家倘不健忘的話，應記得二十多年前，台灣有鬧得沸沸揚揚的輻射鋼筋屋事件，原子能委員會曾有主管因管理不周而丟官。基於輻射線對人體有害的認知，原能會每年都對輻射鋼筋屋居民做健康追蹤檢查。二十多年過去了，根據三軍總醫院核醫部陳維廉醫師團隊的研究報告，發現輻射鋼筋屋居民的癌症死亡率較他處居民低非常多，這樣的追蹤檢查結果十分有趣。對核幅射線擔心的媽媽們，為了您的寶寶，不妨去問問陳醫師和保健物理專業人士，這到底是怎麼回事啊？

日本福島超級核電事故發生已快兩年了，假如核災像反核人士所說的那麼嚴重，奇怪，怎麼不見日本有人因遭受核災輻射過量而死亡和受重傷的報導呢？

台灣多元化的社會難免有各種不同的利益衝突，但這些利益衝突一定要攤在陽光下被檢視，才算健康。

核四議題，不論個別團體的利益為何，絕不能有損國家的整體利益。您說，是嗎？

好禮與核四

江仁台 2/21/2013

行政院長江宜樺上任勉新閣員，希望施政能將台灣變成孔夫子學而篇所言「富而好禮」的社會，旨哉！斯言。按禮者，理也。好禮的前題是，言行必須合理。但「理未易明」，核四爭論就是一個很好的議題。

科學與民主是現代化的兩大支柱，良好的民主須有足夠的科學知識和常識，才能對核電有較正確的判斷和選擇。由於核電與核能安全是高科技，必須用科學的方法分析才能得到客觀的判斷，因此筆者認為核電爭議的解決，須先科學、後民主。

行政院長江宜樺2月21日說：「希望卯足全力討論核四議題相關政策，責成相關部會把話講清楚，讓是非有專業說法，不希望淪為民粹。」方向十分正確。

筆者在美核電工業界工作30餘年，現將工作心得與美核電經驗向國人報告，希望能有一得之愚。

核能發電已有五十多年的歷史，在此期間，以1979年3月28日在美國發生的三哩島事故，1986年4月26日在俄國發生的車諾比爾事故，和2011年3月11日在日本發生的福島事故最為嚴重。三哩島事故和車諾比爾事故是人為疏失，福島事故則是大地震、超級海嘯後的人為疏失造成的。

美國在三哩島事故後，初期民間反核聲浪很高，但經核管會、能源部與核電工業界30多年共同努力下，核能安全大幅改善，民間反核聲浪漸平息。即使在最近發生福島嚴重事故後，美國核電運作一切如常。

美國能源部長朱棣文博士（1997年諾貝耳物理獎得主）曾說：「核能必須是解決能源需求的一部份，核能安全已受到控制，核廢料處理可以解決。」美國奧巴馬總統在2011年1月25日參眾兩院聯席會議國政演講中說：「核能、太陽能、風力能，我們都需要。」

美國核管會自1997年以來，共批准了超過140件增加功率的申請，合計6500百萬瓦，最高的增加百分之二十的功率。此外，美國核管會共核准了超過70座核電廠將使用期由40年延長至60年。1979年發生三哩島核災的是二號機，同型的一號機在1985年又開始運轉，而且經美國核管會核准延壽20年，可合法運轉到2034年。進行核電廠增加功率及延壽，成本非常低。在美國能源部、國會及總統的支持下，核管會的核准核電廠增加功率及延壽，促進美國經濟持續成長。

另外，2012年2月9日，美國核管會核准南方核電公司的申請，在喬治亞州沃格托核電廠現址，興建兩座西屋公司設計的AP1000核電廠。這是33年來核管會首次核准興建新的核電廠。核管會上一次核發新建核電廠執照是在1978年，次年即發生賓州三哩島核災，此後未再核可新核電廠。

「他山之石可以攻錯」，但願國人能「見賢思齊，見不賢則內自省也」。

話說核四「關鍵？」年

濮勵志　2/16/2013

見報載新任行政院長江宜樺上任，內政部長李鴻源表示，今年將是核四廠明年是否商轉的關鍵年，是否續編預算支撐未完成的工程、原能會是否在核安上放行，及政府所承諾的「第三公正學者專家認可」、與反核者溝通、對話等，都得在今年內達成。我認為該做、合法的就做，不該做、不合法的千萬別做，千萬別跟著潮流走，學做爛好人，總要有人有點擔當的。

蓋台北一零一時，也有地震安全、人流交通等考量，但建照發了蓋到第一百層時，沒聽說還要「關鍵」一下，「第三公正學者專家認可」、「與反對者溝通」、「對話」等等。核四全民投資幾千億、前後二十餘年，若說安全上還有什麼顧慮，那你原能會二十幾年是幹什麼的？台電和施工單位就那麼爛嗎？就像高鐵在完工前也有震動、地陷等問題，臨門一腳的工作是補強和擔當，別双方默契，把爛攤子一丟，拍屁股走人，皆大歡喜回家含飴弄孫去也。

說到日本福島事故，筆者自两千年時就給他們國家實驗室和全國核安應急中心作陪訓，他們採用了我公司開發的核電安全分析軟件，但未及時更新最新版本，也沒應用到補強。事發後第一時間我們就用新版分析福島第一到第四機組事件前因後果，與現狀完全吻合。網上發表後紐約時報於四月三日專訪，確認為最具權威性「核事故刑事偵查」報告。緊接聯合國原能總署IAEA、美國能源部、英國、日本、韓國和義大利當局都來接觸，其後各國官方報告和核能政策基本上與我們看法一致。

值得一提的是我個人三十年前就與台灣第一代原能會、核研所、台電和清華熟悉，共同開發此軟件，清華採用此畢業博士論文兩篇，碩士數十，訓練學生和原能會、台電員工無數。福島後清華施純寬教授和他的學生運用此軟件做核一廠類似福島模擬，已向原能會做正式報告。清華李敏教授和原能會陳宜彬處長都有事件詳細分析報告，對台灣整體核安狀況和補強措施公佈後深受國際重視，基本政策與主要核能國如美、英、法、日、俄、韓和大陸基本上一致。除法、俄外(因各自政治本位主義考量，從來不用外國技術)以上各國主要官方機構和大學均採用此工具，為通用知名軟件，可謂成功台灣經驗，在世界有一席之地。

反核者總以德國作例，它們有綠黨淵源，不足為訓。二十餘年前我公司也支援過他們新建的 Muelheim-Kaerlisch 廠，開始發電後反核者以建照不合程序為由，訴訟經年，最後不僅停機，整廠機組加上鋼筋水泥廠房硬是拆成平地，種上牧草綠樹，如今諸居不妨專訪一遊，保證心曠神怡。核四鹽寮地方依山面海，拆掉後養幾隻山羊也是不錯的。

所謂「第三公正學者專家認可」尤其荒謬，完全無法可循，此類牛鬼蛇神亂槍打鳥，一陣烏煙瘴氣後保證两左两右，加上一個最德高望重的和稀泥，兩方各打三十大板，全國能源大計靠此君一錘定音，他敢啊？

除非真的大家都想回家抱孩子，就訴諸全民公投，那可是最好的下台方式，誰都沒責任。其實十年前扁政府就玩過這把戲，那時「無核家園」為政綱，黨內唯一的正牌專家，原清華教授歐陽敏盛博士出任原能會主委，他巧妙的加了一個字，變成無核「害」家園，意思沒害就好了，對三廠提前除役並不熱心，對付公投訴求他也巧妙的採用我作「反面教材」，把我面交給他的一篇文章「核四必須公投嗎？」登在原能會官方網站上，文中論點類似上列。那時瑞士剛辦完公投，反核失敗，可見民粹也不是完全無知的。該文至今還在網上，反核諸君不妨去查。

回到「專家學者」可能大家不知道我們有全世界第一流的，台電王瑯琛博士和核研所、清華專家不久前提出嚴重核事故後「斷然處置」概念（Ultimate Strategy），在國際會議上發表後深受重視，是公認最終極的核安保障。核研所運用最先進程式，分析所有四廠嚴重事故案例數千件，驗証應對導則。台電核安、核技、核發、緊執會和各電廠運轉人員克敬識守，積效在世界名列前茅。幾年前我在台北參加「台日核能技術交流會」，日方報告平均發電天數只有一半（我們有七、八十扒），年均跳機率好幾次（我們不到一次），大家深感意外。其實日本核能界多年來依賴美商，因循積弊，福島後他們沉痛反省，這已是客觀公論。

核電發展至今已七十餘年，其實原理不怎麼難，大學三年級學生就可把他們教懂。核心停機後有相當的輻射熱，過去設計誤入歧途，一定要依賴外電源或柴油發電機駆動高壓泵，供應緊急冷却水，碰到九級地震和海嘯切斷供電，爐心高壓不退，水灌不進去，就坐以待斃了－如福島四台機組。如考慮到只須可靠的洩壓控制閥，把原子爐壓力放掉，加上有效防水的發電機把預儲的冷却水低壓打進去，靠自然對流散熱，就可維持三、四天無慮。台電一、二、三廠這一年半來的補強，類似全世界四百餘機組應對措施和新廠設計，都已保證以上各點。

為什麼我說台灣實質領先？因為先進國家設計，多有誤入歧途，例如法國EPR設計，為追求失事率接近絕對零，把所有安全系統從二或三套加到四套，複雜無比。依此邏輯他們有全世界最安全的設計，應是最不需要爐心熔毀處理裝置的，他們偏偏就「不差錢」，地基下做了一個龐大無比的熔漿冷却系統。美國奇異公司也為了追求失事率接近絕對零，放棄我們核四的ABWR機型給日本東芝，提出完全依賴自然對流的ESBWR。自己六十年爐心循環經驗不用，反應器和圍阻體必須加大許多才能對流。執照申請呈上美國核管會(NRC)，NRC靠橡樹嶺國家實驗室專家來審核，專家們買我們軟體作工具。我直接告訴他們ESBWR行不通，我們軟件算出來也證明不通，你看他拿得到 NRC執照不？難怪所有預訂的都退訂了。

其實多大的專家、多深的科技都離不開常識，常識就是自然定律，美麗又合理，大三程度就懂了，無分華洋藍綠，有洋人硬是不懂，有自己人硬是崇拜洋人，如奈之何？

總而言之不做事的政府是最民主的政府，不發電的電廠是最安全的電廠，全世界最和諧的族羣在台灣，豈不善哉？

日本小出裕章反核四發言的省思

江仁台 11/2012

10月21日，媒體人劉黎兒邀請日本京都大學反核人士小出裕章來台發表「假設核四輻射外洩，死亡將達三萬人，另七百萬人罹癌」的說法。筆者認為小出裕章反核發言太過誇張、扭曲事實、非常離譜。就以日本福島超級核電事故論，該事故已歷19個月，不但無人因此死亡，而且無人因此有明顯受放射線傷害的跡象。倘反向思考，反而顯得美式核電廠相當安全。劉黎兒不應安排小出裕章在師大附中演講，倘安排小出裕章在清華大學核工研究所演講，拿出証據，經得起核能學者提問考驗，才有說服力，才是正道。劉黎兒熱心公益，本是好事，但小出裕章沒有核工業的工作經驗，發言又顯出對核電的識見嚴重不足，所託非人，反而弄巧成拙。

核四廠的進步型沸水式核反應器是美國通用電氣(GE)核能公司的產品，GE是美國大發明家愛迪生創立、有上百年輝煌歷史的公司，核電產品受美國核管會嚴格審核發執照後才能上市，產品的品質是有保證的。而且，核四廠只能在GE暨台電人員按開機程序、足夠測試、安全驗証、原能會核管處嚴格審查核准後，才能開始運轉。日本東京電力公司只花了四年，分別在1996 、1997年完成Kashiwazaki與核四同型的進步型沸水式核電廠，兩部機組16年來運轉良好。即使小出裕章在日本敢發表「假設Kashiwazaki輻射外洩，死亡將達三萬人，另七百萬人罹癌」的說法，相信在日本也不會被主流界採信。核四廠動工已超過十年，倘無人為阻力，大家能合衷共濟，核四廠應能建成、並安全運轉。

筆者認為日本的福島核災事故是可以避免的，日本的核能發電共有54部機組，同遭大地震、超級海嘯，只有福島4部機組因處理不當出事，其它50部機組 (包括福島5,6號機)沒事。日本國會調查委員會在詳細調查福島事故後，認為福島事故除天災外，有很多人為疏失。其中最嚴重的疏失是，東京電力公司缺乏危機意識、核電廠人員缺乏訓練和準備、主管機關喪失監督功能和中央各部會整合失調。

美國能源部長朱棣文博士（1997年諾貝耳物理獎得主）曾說：「核能必須是解決能源需求的一部份，核能安全已受到控制，核廢料處理可以解決。」美國奧巴馬總統在2011年1月25日參眾兩院聯席會議國政演講中說：「核能、太陽能、風力能，我們都需要。」

福島核災後，美國核能管制委員會立刻成立應變小組，檢查美國現有核電廠的安全。2011年7月12日，應變小組向核管會提出報告，作下列結論：

- 美國現有核電廠的繼續運轉，與美國現有核電廠運轉執照的審核，沒有立即的風險。
- 為加強美國現有核電廠的安全及應變準備，提出12項改進建議。

美國核管會自1997年以來，共批准了超過140件增加功率的申請，合計6500百萬瓦，最高的增加百分之二十的功率。此外，美國核管會共核准了超過70座核電廠將使用期由40年延長至60年，並考慮接受延壽至80年的申請。

進行核電廠增加功率及延壽，成本非常低。在美國能源部、國會及總統的支持下，核管會的核准核電廠增加功率及延壽，是促進美國經濟持續成長，造福美國大眾的德政。目前，美國核電公司很賺錢，多家核電公司股價持續穩定成長。

2012年2月9日，美國核管會核准南方核電公司的申請，在喬治亞州沃格托核電廠現址，興建兩座西屋公司設計的AP1000核電廠。這是33年來核管會首次核准興建新的核電廠。核管會上一次核發新建核電廠執照是在1978年，次年即發生賓州三哩島核災，此後未再核可新核電廠。有趣的是，發生賓州三哩島核災的是二號機，同型的一號機在1985年又開始運轉，而且經美國核管會核准延壽20年，可合法運轉到2034年。

科學與民主是現代化的兩大支柱，良好的民主須有足夠具科學知識和常識的大眾，才能對核電有較正確的判斷和選擇。由於核電與核能安全是高科技，必須用科學的方法分析才能得到客觀的判斷，因此筆者認為核電爭議的解決，須先科學、後民主。為幫助解決核電在台爭議，筆者建議可安排核能專業人士在公共電視台解說核能安全，並在公視台與主張非核人士舉行座談與辯論，希望經理性的探討，事實可越談越清、越辯越明，以疏解大眾對核能安全的疑慮。筆者是美國核能學會會士，在美國核工業界與學術界工作32年，曾任美華核能協會會長，現任美國核能學會核反應器物理技術標準委員會委員，假如有機會，筆者很願意返國上公視台為在台鄉親服務，由保健物理的角度解說核能安全、並解答核電疑問。

筆者認為台灣倘能效仿美國的核電法制與運作，核一、核二、核三可延壽二十年，核四也可安全運轉。核電廠開機，每部機組平均每天收益約新台幣一億元，核一、核二、核三延壽二十年，台電可增加新台幣約43800億元收益。同樣，核四早一日完工，台電每天將增加新台幣兩億元收益，電費可降價，經濟可振興，生活可改善，工作機會可增加。

火力發電成本高，並會大量排放燃煙、二氧化碳和二氧化硫，造成空氣污染、下酸雨與地球溫室效應，對環保造成傷害。水力發電成本雖低，但有局限性。太陽能發電、風力發電和再生能源，也有局限性，無法大規模的發電。核能是豐富的能源，是經濟發展的的一大助力。核能發電已有五十多年的歷史，技術成熟，發電成本低，有助經濟發展和減碳環保。而且建造美國輕水式的核能發電廠，安全度高。雖然在核電廠災變後有輻射線外溢的風險，但人體對微量輻射線的傷害，有抵抗和修補的能力，否則人類在充滿了低強度輻射線源的自然環境中，很難生存。請注意，在人們日常生活的自然界中，高空有許多來自太空的宇宙射線 ，地上有許多來自空氣、地表和建築物的天然輻射線，人體細胞內有許多會放出輻射線的鉀-40和碳-14。此外，在醫院照 X-光片時會遭 X-光輻射。

就核能安全、經濟發展和環境保護多方面考量，國家能源、經濟和環保的決策，在加強核電安全監督的原則下，應參照美國的核電法制與運作，理智而且負責的維持適度的核能發電，將核一、核二、核三延壽二十年，將核四早日安全運轉，以降低電價、振興經濟，改善環保，並增加工作機會。

非核是真好、還是假好？

江仁台　10/2013

一、美國核電現況

美國能源部長朱棣文博士（Dr. Steven Chu, 1997年諾貝耳物理獎得主）認為：「核能必須是解決能源需求的一部份，核能安全已受到控制，核廢料處理可以解決。」（“Nuclear energy has to be part of the solution …the safety issue is under control. The waste issue … is solvable.”）

美國奧巴馬總統在2011年1月25日參眾兩院聯席會議的國政演講(State of the Union Address）中說：「核能、太陽能、風力能，我們都需要。」（“Nuclear, solar, wind - we need them all.”）

福島核災後，美國核能管制委員會立刻成立應變小組(Task Force)，檢查美國現有核電廠的安全。2011年7月12日，應變小組向核管會提出報告，作下列結論：

- 美國現有核電廠的繼續運轉，與美國現有核電廠運轉執照的審核，沒有立即的風險。
- 為加強美國現有核電廠的安全及應變準備，提出12項改進建議。

2012年3月12日，美國核管會總結應變小組的報告，向現有104座運轉中的核電廠下達三項命令：

1. 對超級天災所造成的核電廠停電，必須有應變減災的策略。
2. 圍阻體的所有溢氣孔，必須靠得住、夠堅固。
3. 必須加強核廢燃料儲存池的儀控。

2012年2月9日，美國核管會核准南方核電公司的申請，在喬治亞州沃格托核電廠現址，興建兩座西屋公司設計的AP1000核電廠。這是33年來核管會首次核准興建新的核電廠。核管會上一次核發新建核電廠執照是在1978年，次年即發生賓州三哩島核災，此後未再核可新核電廠。

美國核管會自1997年以來，共批准了超過140件增加功率(Power uprate）的申請，合計6500百萬瓦(MWe），最高的增加百分之二十的功率。此外，美國核管會共核准了超過70座核電廠將使用期由40年延長至60年，並考慮接受延壽至80年的申請。

核電廠增加功率及延壽，成本非常低。在美國能源部、國會及總統的支持下，核管會的核准核電廠增加功率及延壽，是促進美國經濟持續成長，造福美國大眾的德政。

目前，美國核電公司很賺錢，多家核電公司股價持續穩定成長。

二、日本核電現況

2011年3月11日超級海嘯發生前，日本的核能發電共有54部機組，提供了全國約三分之一的電力。海嘯核災後，所有機組在換核燃料時相繼長期停機大修，至2012年7月初重起大飯核電站3號機發電之前，日本變成了「非核家園」一個多月。為了代替核能發電所產生電力的需求，化石燃料等能源進口持續增加，使日本貿易逆差大增。此外，因用化石燃料廠發電，二氧化碳產生量也大增。「京都減碳排放協議」的承諾，看來日本國只好失信了。

日本國會調查委員會在詳細調查福島事故後，認為福島事故除天災外，有很多人為疏失。其中最嚴重的疏失是，東京電力公司缺乏危機意識、核電廠人員缺乏訓練和準備、主管機關喪失監督功能和中央各部會整合失調。

目前，東京電力公司因福島核災巨額賠償及所有核電廠都停機，只有靠政府資助，才能免於破產。

三、台灣核電現況

台灣的核一、核二和核三廠，各有兩部機組在運轉發電，核四廠兩部機組仍在建造中。核一、核二和核四廠用的是美國通用電氣公司製造的沸水式核反應器，核三廠用的是美國西屋公司製造的壓水式核反應器,受「非核家園」思維的影響，目前核一、核二和核三廠所有的六部機組，計劃在運轉發電四十年後，全部不再延壽。最早建的核一廠一、二號機，分別計劃將於民國108年及109年停止發電運轉。技術上，各機組延壽二十年的商業運轉，毫無問題。不再延壽，完全是為了達成「非核家園」的政治決策。

停機，每部機組平均每天損失約新台幣一億元。少了六部機組多二十年的商業運轉，台電將損失新台幣約43800億元。

核四廠是88年3月17日動工的，但因受「非核家園」思維的政治紛擾，多災多難，建了12年，仍不確定何時能商業運轉。89年10月27日的政治干擾，造成核四停工了約四個月。依據台電內部資料顯示，核四違約暫停損失1350億元，再加計工程費追加848億元，合計約2200億元。過去核一、核二和核三建廠，平均約七年完工。目前核四廠完工，至少要14年。晚七年完工的損失，約5000億元。長期負擔核四借債巨額的利息，難怪台電財務會惡化，不得不將用戶電費加價。

四、「非核家園」的檢討

各位看官，在比較美國、日本和台灣的核電現況後，只要用常識判斷，「非核家園」是真好、還是假好的答案、就呼之欲出了。

建議各位行政院、立法院、和台電主管核能發電的先進們，請詳細考察美國核電的現況，重新檢討「非核家園」的終極願景是否利民？是否會那麼美好？重新進行核電廠增加功率及延壽對促進台灣經濟成長效益的評估。

各位台灣納稅的鄉親，有權要求行政院和立法院舉行核電公聽會，大聲的問：

1. 所有台灣核電廠的核反應器都是美國製造，美國的核電廠能延壽20年，台灣的核電廠為什麼不能？
2. 過去核一、核二和核三建廠，平均只要約七年就完工。現在建核四廠，為什麼要14年？核四何時才能開始商業運轉？
3. 「非核家園」的代價是什麼？「非核家園」是真好、還是假好？

大家要用你們的選票，去監督行政院、立法委員和總統的核電施政。不過，監督須要知識，請大家有空時充實些核電常識，好不好?

低輻射劑量對人體有害、還是有益？ 江仁台 10/2012

一、日常生活中的輻射源

人們日常生活的自然界中，高空中有許多來自太空的宇宙射線 (cosmic rays)，地上有許多來自空氣、地表和建築物的天然輻射線，人體細胞內有許多會放出輻射線的鉀-40和碳-14。此外，在醫院照 X-光片時會遭 X-光輻射，在發生嚴重事故(如福島核災)後的核能電廠外洩入空氣的落塵中，含有以碘-131為主、會放出輻射線的氣態核分裂產物 (fission products) 。除X-光外，這些微量輻射線大多是不穩定的原子核種衰變 (nuclear decay) 後放出的產物，這些產物可分為三類，第一類是Alpha (‧) 粒子，第二類是Beta (‧) 粒子，第三類是 Gamma (‧) 射線。當初發現這些輻射產物，不知道它們是什麼，因此按發現先後順序以希臘字母命名。後來 ‧-粒子被確認是氦核 (He^{++})，‧-粒子被確認是電子 (e^{-})，‧-射線被確認是一百萬電子弗特(1 MeV)左右的高能量光子(電磁波粒) 。醫用X-光源大多是鎢原子靶被高速電子束撞擊後放出的輻射線，也是高能量光子，能量可由數千到數百萬電子弗特，隨電子束的加速電壓而定。可見光 (visible light) 是低能量光子，能量只有數電子弗特 。

這些放射之所以被稱為輻射，是因為放射源是很小、很小的一塊，這很小、很小的一塊放射源，自遠距離觀察就好像一點放射源 (point radiation source)，從這點放射源放射出的粒子和光子，有如車輪輻條自車軸撐出般的射出，因此被稱為輻射。由於是點放射源，輻射的強度與距離平方成反比。譬如日本福島距台灣很遠 (大於一千公里)，落塵飄到台灣，輻射強度已小到測不出來 (飄到台灣的輻射強度，小於在日本距福島事故電廠一公里處輻射強度的一百萬分之一)。此外，碘-131的半衰期 (half-life) 為八天，衰減得很快。換句話說，倘落塵從福島飄到台灣須八天，落塵中碘-131的輻射強度，已衰減為當初的一半。

二、背景輻射劑量 (Background Radiation Dose)

輻射劑量的單位是Sievert (Sv; 西弗) ，1 Sv 相當於1公斤的人體經X-光或‧-射線照射後，吸收1 焦耳的輻射能量。最低安全標準是，每人每年接受的輻射劑量不能超過 50 mSv (毫西弗) ，而且一年中任何一季人體接受的輻射劑量不能超過 25 mSv 。

人們每年所得平均的背景輻射劑量約為 3.012 mSv，分類於下：

1. 自然輻射劑量-- 2.40 mSv，包括空氣劑量 1.26 mSv、人體內劑量 0.29 mSv、地表劑量 0.48 mSv、宇宙射線劑量 0.39 mSv。
2. 人造輻射劑量-- 0.612 mSv，包括醫療劑量 0.60 mSv、落塵劑量 0.007 mSv、其它劑量 0.005 mSv。

三、台灣輻射鋼筋屋事件、居民健康追蹤檢查報告

大家倘不健忘的話，應記得二十多年前，台灣有鬧得沸沸揚揚的輻射鋼筋屋事件，原子能委員會曾有主管因管理不周而丟官。基於輻射線對人體有害的認知，原能會每年都對輻射鋼筋屋居民做健康追蹤檢查。二十多年過去了，發現輻射鋼筋屋居民的癌症死亡率較他處居民低非常多，這樣的追蹤檢查結果十分有趣。

根據三軍總醫院核醫部陳維廉醫師團隊的研究報告[1,2]，輻射鋼筋屋使用了在原子爐長期照射過含鈷-60的鋼筋，總共約1600戶，大部份在1983年建成。鈷-60的的半衰期為5.27年，每次衰變會放出1.17 MeV和1.33 MeV的γ-射線。

1992年，原能會開始對輻射鋼筋屋居民做逐年健康追蹤檢查。經過二十多年的衰變，2006年時大部份居民所得輻射鋼筋的劑量為 1 到 5 mSv。

1996年12月，原能會對輻射鋼筋屋居民做該年健康追蹤檢查的報告記載 [1]，估計百分之二十該地居民接受 5 mSv 到 160 mSv 輻射鋼筋的劑量，其餘的該地居民接受低於5 mSv 輻射鋼筋的劑量，該地居民該年接受輻射鋼筋平均的劑量為 13 mSv。倘用鈷-60的的半衰期往回推算，1983年該地居民該年接受平均輻射鋼筋的劑量約為 74 mSv，再加上背景輻射劑量 3.012 mSv，總共劑量約為 77 mSv，超過規定的每人每年接受的最低安全輻射劑量 50 mSv。

1996年2月，對癌症病人死亡率追蹤統計的報告記載 [1]，輻射鋼筋屋居民的癌症病人死亡率為每10萬人每年3.5人，其它地區一般居民的的癌症病人死亡率為每10萬人每年116人，輻射鋼筋屋居民癌症病人死亡率只是其它地區居民癌症病人死亡率的百分之三。這樣的追蹤結果顯示，低輻射劑量對人體抵抗癌症非常有益。這樣的追蹤結果，與一般輻射劑量對人體有害的認知相反，十分有趣。

四、日本Sakamoto醫師低輻射劑量癌症治療的經驗

日本Sakamoto博士醫師 (MD, Ph.D.) 自1975年開始，三十多年從事輻射劑量癌症治療 (oncology) 的工作與研究，他以6 MV X-光，分別用 100 mSv、每週三次 或 150 mSv、每週兩次低，連續五週，低輻射劑量治療癌症病人，他治療研究的結果顯示，低輻射劑量不但能治療癌症，還可增加病人對癌症的免疫力 [3] 。

五、輻射鋼筋屋事件與Sakamoto低輻射劑量治療的比較與分析

台灣輻射鋼筋屋事件與日本Sakamoto低輻射劑量治療的放射源雖不同，一為輻射鋼筋鈷-60連續放射源，一為X-光機間歇放射源，但放射出來的都是高能量光子，一為1.17 MeV和 1.33 MeV的・-射線，一為 6 MV X-光，而且都屬低輻射劑量，對人體的輻射反應類似，因此對癌症病情的影響也類似，都顯示・-射線和X-光的低輻射劑量對人體抵抗癌症有益。

從輻射生理學分析，這個與一般輻射劑量對人體有害相反的結果還是有道理的，因為癌細胞是分裂很快的細胞，而分裂很快的細胞受輻射線的破壞比正常細胞較大，這也是使用輻射線治療癌症的原理。我們人體多少都帶有少量的癌細胞，低強度輻射線除可殺傷這些少量的癌細胞外，對正常細胞的破壞力較小，因而降低癌症的得病率和死亡率。

其實，人體對微量輻射線的傷害，有抵抗和修補的能力，否則人類在充滿了低強度輻射線源的自然環境中，很難生存。

六、低輻射劑量效益普遍性的商榷

陳維廉醫師團隊與Sakamoto醫師的研究報告，都將他們低輻射劑量對人體抵抗癌症有益的結論，很樂觀的推廣到核電廠事故溢出放射源的照射效應上。這種推論，筆者認為有待商榷，原因說明於下。

輻射鋼筋屋事件的輻射鋼筋鈷-60與癌症治療的X-光機放射源，都是人體外的放射源（external radiation source），放射線為・-射線和X-光子，放射線輻射的強度大致與距離平方成反比。

核電廠事故的放射源是核分裂產物和中子活化產物（neutron activation products），這些產物平時被限制在核燃料包管(fuel cladding) 中。當核電廠發生爐心失水的大事故（loss of coolant accident），爐心核燃料包管因無冷卻水冷卻、溫度上升太高熔裂後，具放射性的核分裂產物和中子活化產物，自核電廠溢入空氣中和溶入地下水中，便成了核污染空氣和核污染水源中的放射源。倘這些核污染的空氣和水放射源被吸入或食入人體，則變成了人體內的放射源（internal radiation source），對人體器官接觸或非常近的照射，破壞度比人體外的放射源大、也複雜得多，因此核電廠近距離危險區（exclusion zone）內不能有居民，大核災發生後緊臨危險區外的居民須緊急疏散。由於污染空氣和水放射源的強度大致與距離平方成反比，身在安全距離外的居民就不須疏散。不須疏散的準則是，該地具放射性的各種核分

裂產物和中子活化產物在空氣和水中的濃度，不超過該產物在空氣和水中的最大容許濃度（maximum permissible concentration）。

人體內放射源的照射效應，比人體外放射源照射效應複雜的現象，可由下例解說。碘-131在人體吸收後、會集中在甲狀腺，局部放出 - 粒子照射，同時碘-131也會經由大、小便排出體外。因此，人體外放射源低輻射劑量對人體抵抗癌症有益的結論，不能直接推廣到核電廠大事故溢出、進入人體內的放射源的照射效應上。

這裏附帶要強調一點的是，除了核燃料包管外，核電廠還有第二重壓力殼（reactor pressure vessel）和第三重圍阻體(containment）的阻隔，平時核燃料中的核分裂產物和中子活化產物是不會漏出的。即使核電廠大事故後的漏出，在多重阻隔下，會受到許多限制。譬如日本福島核電廠地震、海嘯大事故後，所有電廠的壓力殼都完整，核分裂產物和中子活化產物只由一些水管漏出。

七、結論

由陳維廉醫師團隊與Sakamoto醫師的研究報告顯示，人體外 -射線和X-光放射源造成的低輻射劑量，對人體抵抗癌症有益，與一般輻射劑量對人體有害的認知相反。因此，吸收了自然界中背景輻射和照X-光診斷用的低輻射劑量，也應該對人體抵抗癌症有益，至少是利大於弊。

人體內放射源的照射效應、比人體外放射源的照射效應複雜得多，因此人體外放射源低輻射劑量對人體抵抗癌症有益的結論，不能直接推廣到核電廠大事故溢出、進入人體內放射源的照射效應上。

人體對微量輻射線的傷害，有抵抗和修補的能力。因此，大眾對微劑量的輻射，不須恐懼。

參考文獻：

1. W.L. Chen et al., “Effects of Cobalt-60 Exposure on Health of Taiwan Residents Suggest New Approach Needed in Radiation Protection,” *Dose Response*, 5(1):63–75 (2007).
2. W.L. Chen et al., "The Beneficial Health Effects of Radiation Experienced in the Incident of Co-60 Contaminated Apartments in Taiwan," *48th Annual Meeting of Health Physics*, San Diego, California, USA (June 20-24, 2003).
3. Kiyohiko Sakamoto, “Low Level Radiation and Its Implications to Fukushima Recovery,” President’s Special Session, ANS Annual Meeting, Chicago (June 2012).

核能經濟與安全

江仁台　1/2011

一、　核能發電協助經濟發展與減碳環保

經濟是生活的源泉（life blood），是社會進步的的原動力。沒有旺盛的經濟，社會很難繁榮，文化很難發展，弱勢族群也很難受到關懷。

核能是豐富的能源，是經濟發展的的一大助力。沒有核能，發電成本將大增，減碳環保的目標也很難達成。

由於發電成本低，並有多重的安全設計，核能發電在先進國家長期的被廣泛使用。

風力、水力、草木生長、煤和石油來自太陽能，而太陽能來自核融合能。因此，地球上所有的能源，都間接或直接來自核能。

先進各國雖努力的在研發太陽能發電、風力發電和再生能源，但成本與規模都很難與核能發電相比。

由於石油價格高漲，也由於憂慮因燃燒汽油、煤而大量排放二氧化碳，造成空氣污染與地球溫室效應，引起巨大的氣候變化（如酸雨、超級颶風和地球溫度加速上升），世界上許多國家（包括美國、日本、法國），　在遭到日本福島海嘯核能嚴重事故的衝擊後，仍然在加強核能安全監督的原則下，理智而且負責的維持核能發電。這些國家能源決策的考量，除核能安全外，主要就是核能經濟。

二、核能事故分析

核能電廠事故外洩入空氣的輻射落塵，含以碘-131為主，會放出輻射線的核種。落塵的輻射強度雖受風向的影響，但基本上與距離平方成反比，譬如日本福島距台灣很遠（大於一千公里），落塵飄到台灣，輻射強度已小到測不出來（飄到台灣的輻射強度，小於在日本距福島事故電廠一公里處輻射強度的一百萬分之一）。此外，碘-131的半衰期（half life）為八天，衰減得很快。換句話說，倘落塵從福島飄到台灣須八天，落塵中碘-131的輻射強度，已衰減為當初的一半。

核能發電已有五十多年的歷史，在此期間，以1979年3月28日在美國發生的三哩島事故，1986年4月26日在俄國發生的車諾比爾事故，和2011年3月11日在日本發生的福島事故最為嚴重。

三哩島事故和車諾比爾事故是人為疏失，福島事故則是大地震和超級海嘯天災造成的。

三哩島核能事故，由操作疏失引起，核能電廠部份燃料棒因缺水冷卻，導致燃料金屬包管熔裂，但第二重防線壓力殼（pressure vessel）和第三重防線圍阻體（containment）沒有損壞， 只有少量輻射性氣體自圍阻體外洩，無人傷亡，三十多年來，對附近居民健康也沒有察覺到的影響。

車諾比爾核能事故，也因操作失誤，核反應爐中子減速劑石墨在高溫下起火燃燒，反應爐內也在高溫下產生大量的氫氣造成爆炸，反應爐壓力殼被爆破後，噴出的輻射性氣體飄至東歐、北歐和西歐，歐俄地區被輻射落塵嚴重污染，有56人直接死亡，其中47人為核能電廠工作人員，9位兒童因得甲狀腺癌（thyroid cancer）死亡，間接得癌症死亡估計約有4000人，十分悲慘。

美、俄兩國這兩個最嚴重核能事故的結果，比較起來有天壤之別。主要原因是，當時在俄國不注重人命，核能電廠設計的安全度與運轉的管制，有嚴重的缺失，以致造成巨大的人禍。

日本福島核能事故，由九級大地震和超級海嘯（浪高 13 至 15 公尺，而擋水牆僅高5.7公尺）天災造成。福島核能電廠有六部機組，均為沸水式核反應器（Boiling Water Reactor），多由美國通用電氣公司（General Electric Company）製造（台灣的核一、核二和核四廠，也是由美國通用電氣公司製造的沸水式核反應器）。地震發生時，第1，2，3機組在發電運轉，第4，5，6機組處停機狀態。地震發生後，第1，2，3機組立刻正常停機，但正常供電遭大地震損壞（blackout）。然而，電廠六部機組燒過燃料的大量核分裂產物（fission products）和中子活化產物（actinides and structural activation products），仍產生大量的衰變輻射餘熱（decay heat），須由電馬達（motor）轉動的冷卻供水系統不停的將餘熱帶出。正常供電中斷後，電廠的13座緊急柴油發電機立刻開動，向冷卻系統馬達供電，維持燒過燃料的冷卻。但地震發生後約50分鐘，超級海嘯高浪打入並湧進柴油發電機組，將機組損壞，停止供電。隨後，冷卻系統馬達由備用直流蓄電池供電。八小時後，直流蓄電池備電用完，冷卻系統馬達停止供應冷卻水，輻射餘熱使燒過燃料的溫度急速升高，致使第1，2，3機組大量燃料金屬包管熔毀，但第二重防線壓力殼仍大致完整。第1，3，4機組內在高溫下產生大量的氫氣造成爆炸，損壞機組外層廠房，第1，3機組的氫爆還損壞第2機組外層廠房。此外，第4機組內多處起火。好在高地上還有三座備用緊急柴油發電機仍好，可向第5，6機組冷卻系統馬達供電，使第5，6機組未損。事故發生九日後（3月20日），恢復供電，但第1，2，3，4機組已毀，大量會輻射的核分裂產物，已外洩入空氣和排入海水中，造成核災。不幸中的大幸是，無人因此核災死亡。然而超級海嘯，卻造成約兩萬八千人喪失生命。

三、人體對低輻射傷害、有抵抗和修補的能力

發生事故的核能電廠並不是唯一的輻射源，空中有許多來自太空的宇宙射線（cosmic rays），地上有許多來自地表的天然輻射線，人體細胞內有許多會放出輻射線的鉀-40和碳-14，而且照X光和看電視人體也會受到輻射線照射。

大家倘不健忘的話，應記得二十多年前，台灣有鬧得沸沸揚揚的輻射鋼筋屋事件，原子能委員會曾有主管因管理不周而丟官。基於輻射線對人體有害的認知，原子能委員會每年都對輻射鋼筋屋居民做健康追蹤檢察。二十多年過去了，發現輻射鋼筋屋居民得癌症的百分比較他處居民為低（Reference: W.L. Chen et al., "The Beneficial Health Effects of Radiation Experienced in the Incident of Co-60 Contaminated Apartments in Taiwan," *48th Annual Meeting of Health Physics*, June 20-24, 2003, San Diego, California, USA.），這樣的追蹤檢察結果十分有趣。從輻射生理學分析，這個結果有道理，因為癌細胞是分裂很快的細胞，而分裂很快的細胞受輻射線的破壞比正常細胞較大，這也是使用輻射線治療癌症的原理。我們人體多少都帶有少量的癌細胞，低輻射線可殺傷這少量的癌細胞，而降低癌症的得病率。

其實，人體對微量輻射線傷害，有抵抗和修補的能力，否則人類在充滿了低輻射線源的自然環境中，很難生存。加以低劑量的輻射線照射，已有上例顯示可降低得癌症的百分比。因此，大眾（general public）對低劑量的輻射，不須恐懼。

四、 台灣核能發電的回顧

台灣的核一、核二和核三廠，各有兩部機組在運轉發電，核四廠兩部機組仍在建造中。

核一廠是美國通用電氣公司製造的第四代沸水式核反應器，於民國60年底開始施工，一、二號機分別於67年12月及68年7月開始商業運轉。興建期間，民國62年發生第一次石油危機，火力發電成本爆增，影響能源的供應。核能發電的迫切性提高，同年政府將核能電廠列入十大建設，顯示政府對基礎能源建設的重視。

核二廠是美國通用電氣公司製造的第六代沸水式核反應器，於63年9月開工興建，一、二號機分別於70年12月及72年3月商業運轉。

核三廠是美國西屋公司製造的三迴路壓水式核反應器，於67年開工興建，一、二號機分別於73年7月及74年5月商業運轉。

核四廠是美國通用電氣公司製造的第七代進步型沸水式核反應器，88年3月17日動工。89年10月27日，因政治紛擾停工。然而，在司法院大法官釋字第520號解釋文和巨額違約罰金的雙重壓力下，經行政院與立法院多次協商，核四廠在90年2月14日復工。

依據台電內部資料顯示，核四違約暫停損失1350億元，再加計工程費追加848億元，合計約**2200億元**，相當於台灣民眾平均每人損失約1萬元。

五、 結語

火力發電成本高，並會大量排放二氧化碳，造成空氣污染與地球溫室效應。水力發電成本雖低，但有局限性。太陽能發電、風力發電和再生能源，也有局限性，無法大規模的發電。

核能發電已有五十多年的歷史，技術成熟，發電成本低，有助經濟發展和減碳環保。而且建造美國輕水式的核能發電廠，安全度高。

美、俄、日三國曾發生嚴重的核能事故，仍維持核能發電。

就核能安全和經濟發展考量，國家能源的決策，在加強核能安全監督的原則下，應參照美、日等國，理智而且負責的維持適度的核能發電。