

美華核能微言四集

美華核能協會

Volume 4, March 31, 2013

談言微中、可以解紛

目錄

頁數

1. 非核家園應改為知核家園--台灣需要核電	2
2. 給監督核電媽媽們的一封信.....	3
3. 保核安的乾坤二式：多重防衛和斷然處置	5
4. 核廢料處理的三大法寶.....	7
5. 核電與能源教育.....	9
6. 附錄一：核電雖有風險、不可因噎廢食	10
7. 附錄二：理性探討核四問題.....	11
8. 附錄三：三哩島核泄漏事故的檢討與改善安全措.....	13
9. 附錄四：給遊行者的叮嚀、反核是最不環保的.....	17
10. 附錄五：反核神棍妖言惑眾、為核災和核爆除魅.....	19

非核家園應改為知核家園——台灣需要核電

江仁台 3/31/2013

一、核電對民生的影響

以供電來說，台電所有的發電廠，如果全都同時發電，三座核電廠六部機組發的電量只佔總發電量的百分之十二、四。但台電真正發的電，核電佔總發電量的比率高達百分之十九，原因是核電最便宜，台電盡量使用核能發電。

以成本來說，台電每度電的發電成本，核能零點六九元，天然氣發電是核能的四點七倍，而每度電成本高達五點九六元的燃油，更是核能的八點六倍，台電因此依賴核能，而閒置其他發電機組。

福島核災以來，日本逐一停掉核電廠，並以大量的火力發電，來取代核電，尤其是天然氣發電。據日本政府推算，2011年，九家電力公司的燃料費，較前一年增加了超過一倍，也就是每一天，日本付給中東買天然氣的錢，就超過一百億日圓。2012年七月，東京的民生電價比當時台北的貴三倍。

二、國家核電政策的分類

目前，世界上國家的核電政策，可以分為重核、知核、非核三類。

重核的國家，重視核電的優點，能源政策為盡量使用核電，以法國為代表。法國的核電佔該國總發電量的百分之七十九。韓國近此類，韓國的核電佔該國總發電量的百分之三十四。

知核的國家，知道核電的優點，能源政策為平衡發展、使用核電、能源多元化，以美國為代表。美國的核電約佔該國總發電量的百分之二十。

非核的國家，強調核電的缺點，能源政策為逐漸廢核電，以德國為代表。2011年，德國的核電佔該國總發電量的百分之十八，政府宣佈在十一年後，停用核電。

三、台灣核電政策的建議

就核電安全、經濟發展和環保減碳三方面綜合考量，台灣的核電政策，在加強核電安全監督的原則下，宜參照美國的能源多元化，理智而且負責的維持適度的核能發電。將國家的核電政策的目標，由非核家園改為知核家園。

給監督核電媽媽們的一封信

江仁台 3/31/2013

監督核電的媽媽們：大家好

在忙完繁雜的家事後，還要為你們兒女幸福的未來，勇敢的站出來監督核電，辛苦了。天下沒有不呵護自己孩子的母親呀！筆者也是人子，對慈母的關愛，一直也感念在心。

對台灣這片美麗的土地，我們都有深情。我生長在新竹風城，從新竹載熙國小、竹一中、新竹中學、到清華，都在新竹接受教育。我忘不掉新竹城隍廟前，小攤上飄香的貢丸湯和美味的炒米粉…。每次回到新竹，雖然已經物換星移，我還是喜歡駐足在東門城旁，看車水人龍的移動，回憶兒時的歡笑，捕捉往日的點點滴滴…，常常流連忘返。

我是在新竹水木清華的校園裏，學核工原理、放射線度量、保健物理、核反應器物理、原子核物理、放射線與物質作用、高等數學方法…等等課程，並穿梭於物理館的電子自旋共振實驗室和原子爐之間，從事我碩士論文的研究。清華核工所畢業後，我服兵役，被分發到中正理工學院機械系核工組任講師，教近代物理和保健物理，並帶學生到龍潭的核能研究所實習。1974年出國進修，在紐約市大讀了兩年物理研究所，1976年轉往香檳城的伊利諾大學繼續學核工，在核工與物理兩系修課。1980年畢業後，在北加州聖荷西的奇異(GE)核能公司工作，我博士論文的題目是「核反應器物理中子遷移理論的近似解法」。

龍門核四廠的核反應爐，是我任職過25年的GE公司、製造的第七代進步型沸水式核反應器(ABWR)。我2005年自GE退休，隨後到佛羅里達大學核子與放射工程學系任教。在GE工作期間，大部份時間是在GE核燃料部工作，主管核燃料設計與分析電腦程式的維護與研發，對ABWR的爐心設計很熟悉。在此，以自身的專業知識與經驗，及對台電建廠和原能會核管能力的瞭解，認為龍門核四廠值得續建，因為在核安已有多重防衛和斷然處置的保障，核廢料可以用固化、乾儲存與廢燃料再處理的情況下，還不續建完成商業運轉，數千億的投資就打水飄，太可惜了呀！

台灣目前反核勢力高漲，主要是很多人害怕類似日本福島的核災，也會發生在台灣。經過檢討後發現，日本福島事故固然是天災，但也有很多人為的疏失。其中最嚴重的疏失，就是在核爐心有熔毀危險時，沒有及時進行「斷然處置」，沒有把大量海水灌入核爐心內，使爐心冷卻降溫。因此，日本福島核災的最大啟示是，只要在核爐心有熔毀危險時，及時把大量海水灌入核爐心內，類似日本福島的核災，就不會發生了。

現在，從核一到核四電廠，都有在發生嚴重事故後，為避免核爐心熔毀的廢廠處

美華核能微言四集

理程序。萬一危險出現，台電發言人說會按照程序立刻斷然廢廠，以確保民眾的健康與安全。

台北市為盆地，與國聖核二廠和金山核一廠隔著高聳入雲的大屯山群，與龍門核四廠也隔著高聳的獅球嶺山群做天然屏障，比福島核電廠與東京市間一片平原、無屏障的地形，要好得非常多。萬一核電廠出事，對住在台北盆地的台北市與附近新北市居民的健康，因有高山屏蔽，加以距離遙遠，影響不大。這種地形，是老天爺給台北盆地居民的一大恩賜。不過，大家也不要忘了、為當年選擇這些適當廠址的台電鼓掌。

我久居國外，台才美用，心中也有許多無奈！但我仍是人在美營心在台。現逢台灣有重大的核電爭議，我的核工專業，或許可以協助國內專家、解決核電安全和核廢料處理與大眾溝通的問題。於是本著誠摯的良知，抱著「談言微中、可以解紛」的心情，與美華核能協會同仁，以核工專業的知識和經驗，對核電安全和核廢料處理評析和對台灣的能源政策建言，並將評析和建言，放在美華核能微言集中。

「美華核能微言集」發行後，讀者們反應熱烈，其中一位讀者寫道：『「美華核能微言集」，幾篇大作都很有說服力，尤其濮勵志博士所言，更讓我打消計劃遷居台中的念頭。如今台灣，被那些天文地理「樣樣通，樣樣鬆」的名嘴們，搞得人心惶惶，也許可將「美華核能微言集」，寄給各地立委、議員、村里長們。他們為了選舉，婚喪喜慶、應酬跑攤，每天醉茫茫，「歹勢歹勢，我無讀冊」。電郵都有公開，我也可以寄一些。』

或許我們「美華核能微言集」中，有些專業解析的文章，能幫助各位媽媽，解除對核電安全和核廢料處理的一些疑慮。看完「美華核能微言集」後，倘有些媽媽對核電仍有疑問，歡迎向美華核能協會詢問，我們的詢問電郵網址是：

canta.service@gmail.com。

各位媽媽只要用電腦上谷歌網搜尋，打下「美華核能微言」關鍵詞，就可以找到我們的文章了。

耑此 敬祝

闔府安康

美華核能協會 江仁台敬上

2013. 3. 31

保核安的乾坤二式：多重防衛和斷然處置

—— 評核四停工之五

濮勵志 3/29/2013

先前寫了幾篇文字，把我四十年從事核能專業的心得和經驗與國人分享，為了強調是第一手親身經歷，不是抄自谷歌，所以大都以第一人稱開講。為了區分清楚其間的事實與個人見解，現在再補充一下。

首先，我們預測核電廠事故發展的仿真軟件，「仿真」二字顯然誤導部份讀者，以為是做好看、好玩的像電影動畫一般。其實程式裏面是流體力學、熱工水力、原子核反應、中子遷移等定律，所有模擬的微分方程式，按時間經電腦快速解答，所以預估是「真」的、不是「仿」的。當燃燒中的核燃料缺水冷卻，該熔毀時仿真軟件就顯示它要熔毀，甚至比真正發生的時間還要早，因為電腦算得比真實演進快。幹這行的我們，是有這點自信和把握說這種話。

既然分析程式如此神通廣大，為什麼近世還發生三大核災呢？前面說過，我們的經驗也是逐漸累積的。第一次大核災，美國三哩島核電廠出事之前，以為最嚴重的災難是大地震造成的大破管，要用許多水來補足。結果三哩島發生時是小破管，操作員不明白狀況，操控錯誤才造成爐心熔毀。事後，教訓已為全世界四百餘座核電廠吸收。我國有三任原能會主委一許翼雲、胡錦標、和歐陽敏盛三位博士，都曾經我安排親訪三哩島。第二次大核災，烏克蘭車諾比爾核電廠沸水冷卻、石墨中子減速的設計，基本上不夠安全，容易操控失當出大事故。這種不夠安全的設計，在美國是不被允許的。

發生第三次大核災的福島核電廠，是由於大天災超出原來設計的狀況太多。雖然世界各地要建造核電廠，事先都調查過當地歷來最大地震，像美國東部不過五級，我們台灣六、七級，日本的最高達八級，加上六公尺高防波堤。但是，前年大天災的地震九級，機組雖安全停機，停電後緊急柴油發電機照設計起動，然而等到海嘯來襲時浪高十六公尺，淹過防波堤，直接灌入汽輪機房地下室的柴油發電機，短路不僅切斷驅動注水泵的交流電，連控制閥門的直流電也喪失了。核反應爐高壓放不掉，又沒動力驅泵打水，加上東京電力當局延誤手動洩壓時機，才造成嚴重後果。

當初核電廠設計，採「多重防禦」理念，有高、中、低三組緊急供水系統。可是，總想把反應器盡量維持在運轉高壓狀態的設計，遇事發超過預估，就很難妥善應變了。事後的教訓是，在三組失效極端情況下，主動開閥洩壓，然後用備用緊急泵和預儲水源冷卻，可確保終極安全。去年原能會核研所、台電和清華聯合論文「斷然處置」就是這個概念。所以我用「打通任督二脈」來形容「多重防衛」和「斷然處置」兩招「乾坤二式」，因為從此全世界核電廠，不管在不在地震斷層帶，還是用「多重防禦」的三組緊急設備救急。真不行時，就「斷然處置」，主

美華核能微言四集

動洩壓並加灌預置儲水，修成金鋼不壞之身。

此「洩壓」、「備用泵」和「預貯水源」三項是福島後「壓力試驗」補強項目。我前面寫了四篇，顯然很多人沒看懂。假如誰還看不懂，可以去問清華退休的歐陽敏盛教授，他在三月十日前中國時報的專訪裏、和我說的是同一回事。在他原能會主委任上，核四就已在高處裝好可靠水源，來訪洋人還嘖嘖稱奇哩！這可是在福島核災發生多年之前的事，真可謂英雄所見略同。歹勢，一笑！

核廢料問題我先前沒提過，把低強度廢料放在蘭嶼，是為了是遠離人多之處，以減少風險。高強度廢燃料在水池冷卻五年後，成了中強度，被放在電廠旁通風的乾儲存房裡，是為了便於管制和監控。十年、二十年後，美國內華達州的 Yacca 山、或其他國家沙漠荒地，或許開放租貯。這世界有需求就有供應，水到自然渠成，花銀子送走，不是火燒眉毛的大事。

最後談談對專業和知識的態度。如今在台灣同行，人人苦不堪言，說話不僅沒人要聽、沒人相信，人身也幾乎沒尊嚴。相對國外，上次提到韓國，不再重覆。在日本我們的工具在九所大學使用，合伙商直接參與福島監控。英國十二所大學聯合訓練第三代壓水式電廠營建。南非一百五十億美元招標營建三座電廠，競投者為美國西屋、法、俄、韓和中國大陸，採用來比較五家優劣。美國海軍官校自九年前起，我偶而去客座授課，班長口令「起立、敬禮、坐下」，和我在台灣上中小學時完全一樣！他們是正規軍校，尊師重道乃理所當然，其他國家實驗室、大學我去過上百，也是客客氣氣，不在話下。

我國中、小學這套「起立、敬禮」的老規矩，不知在「教改」時期是否也早已廢了？不然怎麼有些年青人對知識目空一切、對師長謾罵無理？

美國最近第三代機已在南卡和喬治亞州全面開工，運轉的一百餘座其中七十多完成升載加延役二十年，近鄰韓、越、大陸正全力建廠，遠方的英國、中東和南非也緊鑼密鼓待發，這些都是我們全球化競爭對手，電價結構直接影響競爭力。我們和德國非親非故，不知為何你儂我儂？「非核家園」實在愚不可及。諸君且看，連我老夫也揭桿而起「反」了。此段前面是事實，後段為情緒看法，不足為訓。言多必失，就此打住。

核廢料處理的三大法寶—固化、乾儲存、廢燃料再處理

江仁台 3/29/2013

在龍潭的核能研究所，1998年研發成的高效率壓水式核污染廢液固化技術，獨步全球，獲得美、日、法等十多個國家的專利。使用這種固化技術後，馬鞍山核三廠每年由以往的四、五百桶的核污染廢液，1999年驟降為34桶固化核廢料。在技術繼續改進後，2002年更降至17桶，使該廠成為全世界核廢料總量最少的核電廠。

在核電爐中，主要的核燃料是鈾235，鈾235是一個核種(nuclide)，鈾代表化學元素，235代表質量數，是核裡中子數與質子數的總和。鈾235在吸收中子後，會產生核分裂，每次核分裂，鈾原子核會裂成兩半，產生兩個不穩定、比較輕的原子核，被稱為核分裂產物(Nuclear Fission Products)，最有名的核分裂產物是碘131和銫137。不穩定的核分裂產物會連續衰變，放出約一百萬電子伏特左右高能量的Beta 粒子(電子)和Gamma射線(高能量光子)。核電廢料含有許多這類核分裂產物，於是這類核分裂產物成了核電廢料的主要(大於95%)放射源。另一類放射源是中子活化產物(Neutron Activation Product)，是核電爐中核燃料以外的材料，在吸收中子後產生的，最有名的中子活化產物是鈷60。這些核分裂產物和中子活化產物，各有不同的半衰期，譬如碘131的半衰期約八天，銫137的半衰期約30年，鈷60的半衰期約五年。

核電廢料中，最強的(大於95%)放射源是燃燒過的核廢燃料，最大量的放射源是核污染廢液。因此，核能研究所發明的高效率壓水式核污染廢液固化技術，將馬鞍山核電廠每年由以往四、五百桶的核污染廢液固化成17桶，是了不起的大成就，是一大法寶，日本人也來取經學習應用。

核電廢料分為高、中、低放射性三類，高、中放射性的核電廢料(主要是燃燒過的核廢燃料)量較少，放在核電廠內儲存。低放射性廢料(包括核污染的廢樹脂、廢液固化物、殘渣、衣物、零組件等)量較多，須運往核電廠外(如蘭嶼貯存場)儲存。與大眾健康有關的，主要是低放射性廢料的儲存。

影響大眾健康的放射源，分為人體外放射源和體內放射源。體外放射源輻射的強度大致與距離平方成反比，此外會受到地形的影響。台北市為盆地，與國聖核二廠和金山核一廠隔著高聳入雲的大屯山群，與龍門核四廠也隔著高聳的獅球嶺山群做天然屏障，比福島核電廠與東京市間一片平原、無屏障的地形，要好得非常多。放在核電廠內儲存的核電廢料，對住在台北盆地的台北市與附近新北市居民的健康，因有高山屏蔽，加以距離遙遠，不會有影響。

人要呼吸和喝水，為減少體內的放射源照射對人體健康的影響，須要控制空氣和地下水。只要空氣和飲水源中，所含各種放射線核種的濃度低於該核種的最高准

美華核能微言四集

許濃度(Maximum permissible concentration) , 對健康就沒有壞的影響。

停機後, 燃過核廢燃料放射的強度與餘熱成正比, 為正常運轉時的 7%, 一小時後迅速下降至 1.5%, 一天後降至 0.4%, 一週後降至 0.2%。這些核廢燃料須放在儲存池五年, 等餘熱降低後, 可轉換成乾儲存, 用流動的空氣冷卻少量的餘熱。核電廢燃料在儲存池中和乾儲存時, 在低溫下都不會漏出放射性的氣體污染空氣。

乾儲存的好處是不會造成地下水污染, 而且廢燃料包管因不與水接觸, 比較不會被腐蝕, 是新技術, 也是一項大法寶。同樣, 核污染廢液固化後, 容器比較不會被腐蝕, 而且也可以乾儲存, 不會造成地下水污染。

低放射性核電廢料在固化量大減後(儲桶量減至低於原來的二十分之一), 又可乾儲存, 不會造成地下水污染, 因此選低放射性廢料儲存場地就比較容易。

以後, 核廢燃料還可送到法國或美國再處理, 取出有用的鈾, 做成核燃料再燒。這種核燃料, 有別於原來的鈾核燃料, 叫做鈾鈾混合核燃料。目前, 法國核廢燃料再處理的技術比美國的好, 因為法國的核能發電量, 佔該國總發電量的百分之七十九, 有許多核廢燃料須要再處理。這種核廢燃料再處理的技術, 可解決核廢燃料長期儲存的問題, 所以也是大法寶。

有了固化、乾儲存與核廢燃料再處理, 這核電廢料處理的三大法寶, 加以人體對微量輻射線的傷害, 有抵抗和修補的能力。因此, 大眾對核電廢料的處理, 就可以放心了。

核電與能源教育

江仁台 3/28/2013

「停電時，坐在燠熱難當的辦公室裡，昏昏沉沉地瞅著電腦螢幕，一時不知眼前的工作該從那裡下手，嘴裡直嘟囔著熱，心裡也正不停的犯嘀咕…，你能忍受沒電的日子嗎？」

「只要停十分鐘電，科學園區的半導體廠，就須一小時來恢復生產，一天後才能達到正常產能。短短十分鐘，公司的損失就在一千六百萬之上，台灣禁不起這突如其來的停電。」

這些是美華核能協會 1999 年為慶祝第四屆地球日，在台灣舉辦中學生「生活、能源與環境」徵文比賽，得高中組優等獎、彰化高中謝明謙同學「能源台灣」作品的開場白。

法國在深受 1974 年能源危機之苦後，大力發展核能發電，也在各級學校推廣能源與核能的教育，因此法國民眾對核電的接受度很高。目前核電佔法國總發電量的百分之七十九，還賣電到因減核電而缺電的德國賺錢。因為大量的使用核電，法國也是排放二氧化碳最低的工業國。

筆者是 1999 年美華核能協會在台「生活、能源與環境」徵文比賽的主審，現在將筆者當年寫的「作品評審感言」轉載於下，供大家參考。

『美華核能協會舉辦「生活、能源與環境」徵文比賽的目的，是希望各位同學本著科學求真的精神，經由找尋資料與思考，用文學的技巧將心得寫出，再閱讀其他入選同學的作品，以增進對能源、核能發電與生活間相互關係的瞭解。並經由參加徵文比賽的過程，體驗科學精神和增進寫作的能力。』

由於普通能源與環保較單純，同學們發揮起來比較得心應手。然而核能卻相當複雜不容易懂，目前同學們只在中學階段，對核能有些知識難免認識不清。以下我舉一個不正確的例子分析，希望能增進同學們對核能發電廠的瞭解。

國中組一位同學寫道：「核電廠如像原子彈一般的爆炸，其後果將不堪設想」，這也是一般人對核電廠最常見的誤解之一。實際上，核電廠永遠不會像原子彈一樣爆炸，因為原子彈使用鈾 235 燃料的濃縮度高於百分之九十五，而核電廠使用鈾 235 燃料的濃縮度低於百分之五，操作時又可迅速的將所有中子控制棒插入爐心緊急停機，因此核電是一種可控制的能源。

文學對意境的描述，有許多想像的空間。但科學的描述，卻不能只憑想像，要實事求是，要講求證據，而且有三分證據，不能講五分的話，不然隨意誇張，難免失實。倘誇張過度，更容易造成「失之毫厘，差以千里」的流弊。

在西方科學的領域裏，事實和意見(Opinion)是很不一樣的。此外，倘以「部份事實」當做「全部事實」，也容易造成「以偏概全」的失誤，產生「瞎子摸象」般的情形。

希望各位同學在參加這次徵文比賽後，不但能增加對能源、核能發電與環保的認

美華核能微言四集

識，並對科學求真的精神有更深的體驗，從此使科學精神成為日常生活中重要的一部份。』

附錄一：核電雖有風險、不可因噎廢食

陳錦康的觀察與評論

編者按：陳先生曾任職美國貝泰公司十年，擔任過核二、核三廠測試工程師，此篇為陳先生3月21日在接受舊金山灣區、宏星衛視訪問的談話記錄。

「擁核或反核要拿出數據來，用科學的證據，公佈於大眾面前，讓人民理智的去選擇和決定。台灣的擁核和反核，已經成了政治運動，有太多非理性、情緒化在其中，反而失去了真相。

核能是有風險性的，核電廠一旦發生大災害，將有巨大損失。核能電廠的經費有三分之二花在安全防範上，而新一代的核能電廠安全措施，又比前一代來得嚴格。

以美國、日本為例，兩國都不會輕言廢核，因為知道關係到能源資源、氣候環保、電力成本，以及經濟影響等等。台灣是沒有很多資源的地方，目前環保排名亞洲第三，全世界排名第三十二。如果台灣廢核電，就要靠火力、天然氣、水力發電，台灣水力及天然氣不足，主要靠燃煤而來的火力發電，這將使台灣的空氣急遽惡化。北京現在空氣品質很差，火力發電是重大的一個原因。反觀美國一些州，如加州，都要廢除火力發電。

核電的優點在近於零的廢氣排放、高效率、低成本、成本穩定、營運穩定，可彈性供電。缺點在公眾對核電的懼怕，潛在的核災風險，蓋電廠及關電廠的巨大成本。

我觀察台灣的反核運動，沒有看到反核人士拿出有力而具體的反對數據，只是為反對而反對，或成為政治上的運作而起來反對，這是不對的，要回到科學、證據，以理性方式來看核能問題。台灣若不用核電，是不是有其他能源可以銜接得上？能更環保、低成本地來替代核能？

核能就像飛機，飛機也有危險，但不能因為它有危險，就因噎廢食，更何況現在還沒有噎到。如果我們把數據攤開，把可能噎到的東西拿掉，就沒問題了。

美華核能微言四集

附錄二： 理性探討核四問題

編者按：此篇作者為清華大學核工系 72 級的劉先生，作者說：「這大概是我能做到的，以工業界及大眾的角度所做的簡要評估。」

一、公投的前提是核四安全

1. 新任經濟部長張家祝：如果核四問題不能在短時間解決，或要花很多錢變成無底洞才能解決，還是根本就不安全，可以向長官報告，根本不需要公投(這也應是行政院江院長和馬總統的意思)。張部長認為公投前應有時間讓民眾對核四的安全有充分了解。此工作預估在 10 月底左右完成。
2. 核四安全問題非常關鍵而專業，許多人反核即是因為不相信核四是安全的。此問題除了相信行政院的專業判斷及說明外，最好有中立人士進行專業說明。考慮的準則是日本福島核災是否會在核四重演。

二、經濟與廢核問題

1. 日本政權輪替的啟示：日本對福島核災的感觸最深，剛發生時日本民眾相當反核。但 2012 年底自民黨的大勝說明，即使在福島核災後，選民還是選擇了較擅長於經濟卻擁核的自民黨來執政。(註 1)
2. 德國廢核的啟示：綠能無法解決廢核難題，尤其是像台灣這樣綠能不豐的國家。請見富比士(Forbes)2013.03.14 的文章「德國的綠能災難—對世界領袖的啟示」及聯合報取自德國明鏡周刊 2013.03.24 之社論「德國廢核 綠能面臨另類生態難題」。(註 2)

三、公投的要點：若核四確實安全，則其停建或續建應僅涉及經濟及核廢料這「兩害的權衡」。評估如下：

		核四停建(經濟問題)	核四續建(核廢料問題)
國家	害	1. 如果能用液化天然氣來替代，減 CO₂ 缺口將多約 <u>970 萬噸/年</u>。核一、二、三於 2018-2025 陸續退役後若以液化天然氣及燃煤各半來替代，缺口再<u>增</u>為約 <u>3,580 萬噸/年</u>。恐需限電、產業減產、出走或轉型才能夠因應。(註 3) 2. 不利 GDP、<u>碳足跡</u>、健康風險及國際減碳承諾。 3. 電價多上漲 <u>xxx 元/度</u>才能弭平已投資核四及用液化天然氣來替代的成本上漲。	核廢料將<u>增加</u>核四的部分。核一、二、三陸續退役後至 2055 年只剩下核四的部分。(行政院在<u>公投前</u>宜說明，核四在高階核廢料及低階核廢料上預備如何妥善處理)

美華核能微言四集

處	產業	1. 下游用電產業的<u>國際競爭力</u>逐漸喪失後，出走者漸增。中上游產業及周邊產業的<u>國際競爭力</u>亦因而逐漸喪失。(註 4) 2. 產業空洞化或受國際制裁後，國際貿易的萎縮恐將日益嚴重。	
	大眾	1. 恐造成限電及失業率提高。年輕人的實質<u>起薪</u>及老年人的實質<u>退休金</u>恐更低。 2. 物價亦必<u>多</u>上漲。社會大眾需<u>多</u>節電因應。	

註 1：-2013 年日本核能城市在政府確保核能安全下重新啟動核能之民調：請見 <http://rt.com/news/nuclear-restart-japan-cities-467/>

-日本自民黨安倍於 2012 年底年競選前之擁核政策：請見 <http://www.sbs.com.au/news/article/1719533/Nuclear-power-major-issue-in-Japan-poll> 及

-日本自民黨安倍新首相於 2013 年之擁核政策(前任首相反核)：請見 <http://blog.heritage.org/2013/03/01/japan-looking-to-shinzo-abe-for-a-brighter-future/>
<http://www.theinternational.org/articles/294-japans-pro-nuclear-cabine>

註 2：請見聯合報 2013.03.24 之社論的電子檔：

<http://udn.com/NEWS/OPINION/OPI1/7784162.shtml> 及

富比士(Forbes)2013 .03.14 的文章

Germany's Green Energy Disaster: A Cautionary Tale For World Leaders：

<http://www.forbes.com/sites/realspin/2013/03/14/germanys-green-energy-disaster-a-cautionary-tale-for-world-leaders/>

註 3：-再生能源本來就要發展，惟資源不豐且會隨電價高漲而愈合適，但其技術不適合用於基載(需要穩定)，且有另類生態問題，故暫不列入考慮。

-核四及其替代方案液化天然氣每年操作 7,560 小時是以 101 年核一、二、三的平均操作時數估計。核四的減碳效益 970 萬噸 CO₂/年是以液化天然氣替代核四之比較，即(476-0)公克 CO₂/度電 x7,560 小時/年 x270 萬仟瓦(核四設計容量)=972 萬噸 CO₂/年。請見 [Information Plaza of Electricity: http://www.fepc.or.jp/english/environment/global_warming/nuclear_lng/sw_nuclear_lng_01/index.html](http://www.fepc.or.jp/english/environment/global_warming/nuclear_lng/sw_nuclear_lng_01/index.html)。及台電之網址：

http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info_in.aspx?LinkID=7 中的「核電廠基本資料」

-替代核一、二、三的 CO₂ 增量 2,606 萬噸/年是以一半液化天然氣及一半燃煤估計，即[(476-0)+(864-0)]公克 CO₂/度電 x257.2 萬仟瓦 x7,560 小時/年(核一、二、三的設計容量為 257.2x2 萬仟瓦)=2,606 萬噸 CO₂/年。故核一、二、三、四的缺口共達約 3,580 萬噸 CO₂/年。

美華核能微言四集

註 4：-核能逐漸增加的南韓、中國的競爭力將更強，請見世界核能協會(World Nuclear Association)之意見，南韓(updated 2013.02)

<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/South-Korea/>及中國(updated 2013.03)

<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Power/>。

-體制良好的新加坡其競爭力原本不弱，台灣停建核四後的國際競爭力勢必將比現在還弱。

附錄三：三哩島核泄漏事故的檢討與改善安全措施

美國 Stony Brook University 王瑜君物理學博士

思考問題：

1. 三哩島核泄漏事故對核能安全提升有何助益？
2. 調查三哩島事故的單位，從哪幾個方向來檢驗和提出改善建議？



圖 1：三哩島核電廠 2010 年的相片，左邊是事故後永遠停機的 TMI-2 機組。（圖片來源：http://en.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island_Nuclear_Generating_Station）

長期輻射和經濟效應

- 三哩島核泄漏事故後，核子管制委員會(Nuclear Regulatory Commission)對周圍居民進行了連續追蹤研究，研究結果顯示：
- 在以三哩島核電廠為圓心的 50 英里範圍內的 220 萬居民中無人發生急性輻射反應
- 周圍居民所受到的輻射相當於進行了一次胸部 X 光照射的輻射劑量
- 三哩島核泄漏事故對於周圍居民的癌症發生率沒有顯著性影響
- 三哩島附近未發現動植物異常現象

美華核能微言四集

- 當地農作物產量未發生異常變化

但是經濟損失重大：

- 二號機毀損，再也沒恢復運作
- 數十億美元用來清理
- 三哩島一號機停機超過 6 年
- 電廠經營者瀕臨破產

更重要的是，對核能的疑懼迅速蔓延並推動反核風潮。

凱曼尼調查團（Kemeny Commision）評估

事故之後，賓州和聯邦等單位分別組織不同的調查團隊。其中最著名的是當時的卡特總統設立的，由 John G. Kemeny 領導的 12 人凱曼尼調查團。調查團主要有六項任務：

1. 調查事件發生的原因及評估此一事件對民眾健康與安全的影響。
2. 分析管理組織的角色。
3. 評估各層機關的緊急應變計畫。
4. 評估核管會的各種作業程序。
5. 評估民眾瞭解意外事件的權力及步驟。
6. 就調查所得提出改善建議。

凱曼尼調查團於 10 月 30 日完成報告，就核管會、公用設施機構及其供應者、運轉人員訓練、技術評估、工作人員及社會大眾的健康及安全、緊急應變計畫與處置、社會大眾瞭解意外事件的權力等七大議題提出 44 項建議。

美國核管會（Nuclear Regulatory Commission）嚴格把關

事故之後，美國核管會公布一系列的報告及相關的管制要求，其中 NUREG-0696 (December 1980) 及 NUREG-0737 (November 1980) 更是二份重要的文獻，前者要求核電廠增設緊急應變設施(ERF)，後者則對各核電廠提出需依 TMI Action Plan 要求進行多項改善。三哩島事故改變了核能工業和 NRC 之關係。民眾的恐懼和不信任感增加，NRC 管制和監督變的更加多面向、更加健全。此事件徹底改變 NRC 管制作業，也因此降低了電廠運轉對大眾健康和安全的風險。

美華核能微言四集

NRC 的嚴格監控下，對美國核電安全的具體成效是：

- 安全系統被啟動的平均數目掉到 1985 年前的五分之一。
- 電廠工作人員輻射暴露平穩的下降到 1985 暴露量的六分之一，遠低於法定限值。
- 非計畫停機平均數掉到約十分之一。相較於 1985 年全美 530 次停機，2007 年僅有 52 次停機。

總而言之，三哩島事故是核能工業第一次重大打擊，尤其事故發生的原因除了機械故障之外，還牽涉嚴重的人為疏失。但是美國核管會事後推動一系列改革，除重新檢討系統設計外，特別注重避免人為疏失與人因工程介面，這些改善經驗透過國際交流也同時讓其他國家核電廠受益，台灣的核電廠的安全效能也獲得提升。但是 2011 年日本福島核災又引發了在強震和海嘯的威脅下，核電廠既有的安全管理是否能夠應付的質疑和辯論。

參考資料：

1. 原子能委員會：《三哩島核電廠事件回顧》
(http://www.aec.gov.tw/www/service/other/files/book_20.pdf)
2. WNA: “Three Mile Island Accident” (update Jan 2010)
(<http://www.world-nuclear.org/info/chernobyl/inf07.htm>)
3. 英文維基百科：Three Mile Island accident
(http://en.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island_accident#Lessons_learned)
4. 中文維基百科：三哩島核泄漏事故
(<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E5%93%A9%E5%B2%9B%E6%A0%B8%E6%B3%84%E6%BC%8F%E4%BA%8B%E6%95%85>)

附錄四：給遊行者的叮嚀、反核是最不環保的

唐湘龍 3/21/2013

面對核能，我們可以很煽情表達各種如同戲劇般的理解和恐懼。彷彿我們都做好了盤，不管是電價、缺電或是更嚴重的環保問題，我們都瞭解了，都做好準備了。所以我們要上街了。其實，絕大部份的人，都只是人云亦云的反核跟隨者，對台灣的基本條件，以及能源政策的基本命題，不要說申論，連答選擇題、是非題的能力都還沒有。這樣，就要很時髦的廢核了嗎？我想先陳述幾個簡單的命題。這些命題都必須長期接受質疑。如果環境改變，我也許也會改變我的答案和立場，但到目前為止，以及可見的未來，這些命題都高度正確。

如果把千言萬語濃縮成一句話，我想告訴各位的是：「我是一位擁核的環保鬥士。」

一、台灣和日本一模一樣，是一個高度經濟發展，低度能源自主的環境。

二、台灣的能源環境是封閉的，比日本更封閉。什麼天然氣、燃煤發電，光是穩定儲存和供應都不可能，天然氣最多存 15 天，燃煤最多存 3 到 6 個月，不會更多了。

三、更不要說天然氣和燃煤的可怕污染和價格。這對台灣這種封閉的能源環境，是雪上加霜的糟的。

四、化石燃料的價格波動是非常激烈的，而且長線趨勢一定往上。依賴化石燃料而來的電力價格，是不可能不往上調的。

五、但就算是把台灣未來的能源命脈都押在天然氣、燃煤這種化石燃料上，都比押在風力、太陽能這種潔淨的替代能源上頭好。關於風能、太陽能、地熱等等的發電型式，其實只是「玩具」。如果你覺得它安全，那就叫它「安全玩具」好了。台灣沒有任何一點點可能，用「安全玩具」來解決實質的日常需求。

六、如果全力發展替代能源，那麼，電力價格將會更激烈的往上調。像是目前的德國一樣。不要以為德國夠高了。不，德國人對電價的難以忍受，已經到臨界點了。

七、包括德國在內，所有喊廢核的國家，沒有一個落實。而且，未來也不會落實。何況這些國家能源環境和電力環境都開放。他們有跨國的天然氣網、油網、電網。他們的油、氣、電，用大家聽的懂的話講，是「產地直送」的。而且是「宅配」的。相當比例是。這樣講，你能了解台灣和他們有多麼不一樣。

八、但就算沒有一個國家在能源的封閉性和依賴性上比台灣高，這些國家都還發

美華核能微言四集

展核能發電。

九、台灣不但不該廢核，相反的，台灣應該更積極廢煤、廢天然氣。提高核電比例，讓台灣的能源政策與環境政策真正一致。

十、核能不是過去的發電型式。核能是屬於未來的。這個世界不是在放棄核能，而是更積極面對核能。台灣應該是積極中的積極，但實際上卻是消極中的消極。台灣的反核運動完全漠視自己在能源與環境議題上的矛盾，在不可能實踐的承諾上頭偽裝進步。

十一、知道嗎？過去 30 年，台灣如果環境品質進步，最該感謝的，是核能。不管是土地、空氣和水，核能對台灣貢獻最大。未來，至少 30 年，如果台灣的環境品質要再進步，像日本一樣，還是要靠核能。反核的朋友們，你們聽得懂我說的論述嗎？核能不只是經濟選項，核能更是環保選項。到目前為止，所有能源型式裡，只有核能是和環境保護議題一致而且可行的。

十二、我是為了環保而支持核能。尤其在台灣，沒有核能，根本沒有環保。如果台灣在碳排放等等的環境議題上嚴重落後，唯一的解藥是提高核能發電的比例

十三、目前的反核運動是所有社會運動裡，最落伍的運動。連觀念都落伍。這種落伍的運動，只會使得台灣在能源和環境的矛盾中繼續受困，也繼續受害。

如果你沒有注意到，我提醒你，歐巴馬剛提名了他的能源部長，是個麻省理工學院的物理學家，叫莫尼茲。他說：因為福島核災而終結核能，是一個錯誤。他主張用核能來達成低碳能源的目標。歐巴馬提這個部長的邏輯，和我的邏輯是一致的。連美國都如此，在台灣，這更是唯一對的邏輯。

親愛的反核朋友們，有關能源選擇的問題，只有四個：安不安全？乾不乾淨？便不便宜？夠不夠用？能源策略最後一定是變形金剛的「組合拳」。但如果各別來看，核能發電仍然是綜合評量分數最高的，而且遙遙領先第二名。

請認真思考我的話：核能是最環保的。當下的台灣，如果環境還可以，要感謝核能。

請理智、冷靜看待核能發電對台灣的貢獻。如果你是為孩子想，請告訴孩子這件事。

平心而論，我不看民調也知道，當下這種「理盲而濫情」的公共政策環境，未來的「反核公投」很可能過關。如果是今天投票，核四就廢定了。我有幾個月的時間，我不會去玩什麼「行腳」、「靜坐」，我只會努力說服。把大家拉回到一個對的時空裡思考問題。生活的像個「摩登原始人」是沒有關係的，但如果「思想準備」像個「原始摩登人」，那就是台灣的集體宿命了。

但是，不管公投的結果如何，我都會以一個積極參與，坦然面對的態度，以這個群體一份子的民主訓練，接受結果。

附錄五：反核神棍妖言惑眾、為核災和核爆除魅

唐湘龍 3/29/2013

一個月前，我「公開」說，怕大家覺得沒 guts，索性一說再說。說：在「恐怖」的福島核災之後，到現在快兩年了，沒有任何人因為核輻射外洩而染病，更不要說死亡。

我很挑釁？有一點。「挑釁」的原因，是政媒的愚民慣性，以及長期自灌迷湯，套用簡單的專業道德教條，想為某些公共政策的錯誤論述圓謊。尤其是核能。既然沒人敢公然挑釁這種幾乎當「聖牛」在膜拜的偽知識，那就讓我不自量力吧。我想再挑戰一下偽知識。

我一個人。單薄的很。我相信我花時間查証和努力填進腦袋裡專業知識，任何媒體或政黨應該非常容易辦到。我當然不一定對的。什麼都宣稱自己對的，一定是騙子。我總是說，在公共論壇裡，要「互相漏氣求進步」。我認知國家的進步性，就是從這麼簡單的閩南語俗諺來的。

如果你不是那種基於政治立場而來的反核霸權，我當然謝謝你的傾聽，你是我要訴說的對象，像是那些真心怕孩子受傷而上街的媽媽們。但如果你就是縱容台灣這種流竄政媒的反核霸權幫兇，要謾罵、羞辱、言不及義，這很容易，但是，我只是再一次請問：「我說錯了嗎？」還是，台灣的特定政媒，只是希望在「反核」之名下，代何資訊都只要不負責任的誇大驚悚，並不希望讓人民真正有「知的權利」？

你也許想做另類辯解。說：「有沒有死亡有什麼重要」。這當然重要。因為長時間以來，非常非常長時間以來，快 30 年了，反核的主要武器就是毀滅式災難的恐懼。一開始有點道理，如果像車諾比或是福島這種級數的核災，終究是一個大麻煩。但是，如果只是騙騙村夫村婦不懂，昧著知識良心，只是告訴大家「會死很多很多人」，「土地幾萬年都不能用」，「我們沒有地方跑」，「跑了也不可能再回來」，所以，「愛台灣就要反核」。

我最痛恨怪力亂神。我只是想替反核的神主牌「除魅」。讓大家要走上比核災更大的麻煩—反核—之前，起碼知道自己被一些「反核神棍」洗腦到什麼地步。

要「除魅」，就再除得徹底一點，免得這些神棍繼續用虛實莫辯的資訊招搖撞騙。

核災真的很可怕，但到底有多怕？因為「反核神棍」總是在安全問題上，跟你說「萬一」發生怎麼辦？讓你活在「萬一」的恐懼裡。首先，不是「萬一」，是「百萬分之一」都不到。「百萬分之一」雖然在統計上幾乎已經沒有數字意義，但情感上有，那我們用最極端的例子談，我們談得更驚悚一點，談「核爆」好了。

美華核能微言四集

你一定很害怕「反核神棍」說的：如果核電廠爆炸，跟原子彈爆炸一樣。都是「核」，但從設計概念上去區分「核電」與「核武」是簡單的。「核武」在設計上，是要盡最大努力使核輻射外洩，以達成致人於死的目的。「核電」是要盡最大努力使核輻射不外洩，不傷人。不必談車諾比事件了，那是石墨機組，而且，你走過它旁邊，根本不知道它是核電廠。因為它連你最熟悉的蛋型防護圍阻體都沒有。

有專業人士這樣比喻：車諾比的設計像是高粱酒，水冷式電廠的設計像啤酒。都是酒，對，但高粱酒一點火就著，打翻了就非常危險。啤酒如果打翻了，那就…可惜了。

要談，我們談核武器的核爆好了，不會有比這個更極端的了。

你去過「廣島」嗎？日本。廣島是全世界第一個被核武器重傷害的城市，全市 25 萬人口中，有 3 分之 1 在當日死亡。死於瞬間的強震、高熱，以及沒有一棟不毀的倒塌房屋。廣島被炸完不到十天，日本就投降了。

這顆叫「小男孩」的原子彈是刻意在距地面 600 公尺不到的空中爆炸，以達到「最大傷害」目的。當然也包括最大輻射曝量。照「反核神棍」談起福島核災的邏輯，廣島就算不是萬年廢墟，起碼也該是百年廢墟，以日本人行事之嚴謹、慎重，現在的廣島應該只是個地球上最大最真實的核災紀念館。

你如果只唱過「廣島之戀」，沒去過廣島，那我說給你聽。二戰結束不到 70 年，現在廣島的人口是 113 萬左右。跟原爆後倖存的人口數相比，剛好多了 100 萬。這些人哪裡來的？都不怕萬年不散的輻射？其實，廣島是二戰之後，日本人口成長最快速的城市之一。

你可能還是無法想像廣島的市況。我把人口密度告訴你好了。廣島市的人口密度跟桃園差不多，比台中市還密。大約每平方公里 1500 人。你覺得這代表了什麼？是日本人傻到都不知道怕？甚至還在戰後積極發展核能工業。

這些數字告訴你，即使是唯一被最惡意傷害的廣島，現在都是欣欣向榮，只有在「原爆日」敲響和平鐘時，才會喚起大眾對傷害的記憶。這些比核電災害極端千倍、萬倍的數字，只是想讓你在思考核能安全問題時，就算恐懼，也有一個合理測量恐懼的基礎。也可以評估該為恐懼付出何種代價。

你如果還是無法思考現在核電廠的安全性，那麼，再舉個例子：恐怖攻擊。過去 40 年，國際上，戰爭、恐怖團體攻擊不斷。2001 年，甚至發生了雙子星大樓事件。至少 4000 人死亡。為什麼恐怖份子不去攻擊或是開飛機撞核電廠？大紐約市周圍就有好幾個核電廠。我只能說，一是核電廠都有反恐演練，二是恐怖份子沒這麼笨。要讓現代核電廠發生核爆式的災難是不可能的事。

別扣我帽子，我不是說核電廠如果發生意外沒關係。但到底有多大的關係？別聽「反核神棍」妖言惑眾。面對核能，我們要怕也要怕得有道理。

美華核能微言四集

能源政策應該是國家核心政策。尤其是台灣這種能源自主性、封閉性都非常極端的國家。每一個政黨、政客都應該有一套首尾一致、邏輯完整而且務實可行的能源政策論述。前兩次總統大選，我都在鼓勵能源政策大辯論，但是，兩個黨的表現都是首鼠兩端，差勁透了。

核電比「反核神棍」說的安全太多太多了。被妖言惑眾洗腦 30 年，然後草率非核，那台灣要付出的代價，絕對比廣島大得多。多太多。我們繼續為台灣的進步對話吧。