

廢核才是造福台灣人民的選擇

-從核災風險與替代方案來看

成大醫學院公衛研究所教授

成大醫院職業與環境醫學部 主治醫師 王榮德

(本文主要部份曾先刊於當代醫學 2013; 40(5):329-340)

核四廠要不要蓋，核一、核二與核三廠是否需及早除役，一般民眾最關心的是，第一，核能安不安全，第二，有沒有夠用的電。本文除了討論這兩個部份之同時，也將探討世代正義與環境正義的道德面。

壹、核能在台灣的風險

有人說，核能在客觀上、理論上算是蠻安全的，但是在主觀的感覺裡，大家還是怕怕。其實這不是客觀和主觀的不同，而是因為核災的後果太嚴重的緣故。要不要及早廢核，必須先作風險的評估，而一個事件風險的大小，不能單看事件發生的機率，還要乘上此事件後果的嚴重性¹。核能爐心鎔毀的機率雖然核工專家都宣稱不大，約為每百萬至十萬爐年才一次；但是從同為環太平洋地震帶的日本發生的福島事故來看，共同原因失效(common cause failure) 如地震、海嘯、颱風、火災卻極有可能，加上人為因素很難預測，到目前為止全世界 440 個民用反應爐，共累積約 10000 爐年運轉經驗，發生第 5 級核災事故已有 10-12 次，均達達國際原子能署(International Atomic Energy Agency, 簡稱 IAEA)所定義國際核能與輻射事件規模(International Nuclear and Radiological Event Scale)² (見表 1)；顯示核工專家的估計至少低估了百倍至千倍。其實每次發生核災都是核工專家從未預料到的，十多年前在核四環境影響評估中，核工專家提出雷斯默森(Rasmussen)報告(WASH-1400)作其立論基礎，但其內容除了未適當思考共同原因失效及人為因素難量化外，也從未想到連放置於旁邊使用過的燃料棒，也可能會惡化爐心鎔毀輻射外洩的情形(例如福島事故)；可見自信滿滿的核工專家所言完全不可採信。由於核災後果的影響對台灣人民與後代幾乎等於無限大，我們需仔細思考才做最合適的選擇。

一、核災的後果台灣承受不起，輻射會致癌，緊急應變極端困難

從前台灣電力公司(台電)陳董事長告訴我們，擁抱核電比擁抱兩個女人還安全。但是現在核工專家承認，說核電百分之百安全是一個神話。不怕一萬，只怕萬一，如果發生爐心鎔毀，怎麼辦？台灣承受得了一次的大核災嗎？台灣的經濟大部分倚靠出口，萬一發生核災，遭到輻射污染的所有產品勢必受到國際上的抵制，無法外銷，如此，台灣還能生存嗎？這絕對不是杞人憂天，或只是主觀的感

¹ BSI(British Standard Institute). (1996) BS8800. Occupational health and safety management system.

² Lelieveld J, Kunkel D, Lawrence MG. (2012) Global risk of radioactive fallout after major nuclear reactor accidents. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12:4245-4258.

覺而已，三個核能技術強國，美國、蘇聯和日本，分別於 1979 年、1986 年和 2011 年發生三哩島事件、車諾堡事件和福島事件，全世界的人都已經感受到爐心鎔毀的大規模核災是一個客觀上存在的威脅。

輻射致癌

核災最直接的傷害是輻射污染所引起的傷害。美國的三哩島事件，台電和原子能委員會(原能會)常說沒有一人受到輻射傷害，事實上輻射引發白血病至少需要等 2 年才發病，而其他癌症更需要至少 5~10 年以上才會發病。1997 年一月份的環境健康透視雜誌 (*Environmental health perspective*) 報導北卡州一個流行病學研究群，重新分析 1979 年以來三哩島周圍 16 公里居民各種癌症的變化，他們比較 1975~1979 年(事件發生前)和 1979 年以後(事件發生後)誘導期較短各種癌症，分成 69 個研究地區，結果發現，三哩島周圍居民肺癌、白血病及總體癌症發生率，都隨著所受到的輻射劑量之增加而增加³。此點也在台灣輻射鋼筋屋受害者身上得到證實，他們的淋巴球染色體微核、白血球變異、甲狀腺病、早期白內障與癌症隨暴露劑量而增加，但小孩身高高度反而較低⁴⁵⁶⁷⁸。此外，游離輻射劑量與致癌機率成直線正比，沒有安全劑量⁹(見圖 1)。

緊急應變

美國發生三哩島事件時，我個人剛好在美國波士頓求學，每天從電視上密切注意事件的發展，當時在該地區的人員的確有疏散。由於美國地廣人稀，8 公里內沒住多少人，然而所有的孕婦、小孩還是都奉命疏散到別處；而 8~16 公里內的居民，門窗緊閉，隨時待命，視情況準備疏散。原能會常說核能災變疏散區僅為半徑 8 公里是不對的，必須看情況。蘇聯的車諾堡事故時則是 30 公里以內均疏散，後來統計污染較嚴重之地區約有 1,300 村的 260 萬民眾，其中還包括 70 萬小孩。甚至到十年後，30 公里內幾乎不住任何人，烏克蘭共和國且需提供免

³ Wing S, Richardson D, Armstrong D, Crawford-Brown D. (1997) A reevaluation of cancer incident near the Three Mile Island nuclear plant: the collision of evidence and assumptions. *Environ Health Perspect* 105:52-57.

⁴ Chang WP, Hwang BF, Wang JD. (1997) Chronic low-dose, low-dose rate γ -radiation exposure induced an increased frequency of micronuclei in lymphocytes from residents of radioactive buildings in Taiwan. *the Lancet* 350:330-333.

⁵ Wang JC, Hwang JS, Hwang BF, Wang JD, Chang WP. (2001) Reduced heights in children with chronic environmental low-dose γ -radiation exposure. *International Journal of Radiational Biology* 77: 117-125.

⁶ Hwang SL, Hwang JS, Yang YT, Hsieh WA, Chang TC, Guo HR, Tsai MH, Tang JL, Lin IF, Chang WP. (2008) Estimates of relative risks for cancers in a population after prolonged low-dose-rate radiation exposure: a follow-up assessment from 1983 to 2005. *Radiation Research* 170:143-148

⁷ Hsieh WA, Lin IF, Chang WP, Chen WL, Hsu YH, Chen MS. (2010) Lens opacities in young individuals long after exposure to protracted low-dose-rate gamma radiation in ⁶⁰Co-contaminated buildings in Taiwan. *Radiation Research* 173:197-204.

⁸ Yen PN, Yang CC, Chang PW, Hwang JS, Lee HC, Kuo KL, Ling IF. (2011) Perception of quality of life of a cohort population years after relocation from previous low-dose radiation exposure in ⁶⁰Co-contaminated buildings in Taiwan. *International Journal of Radiation Biology* 87:453-460.

⁹ Pierce DA, Shimizu Y, Preston DI, Vaeth M, Mabuchi K. (1998) Response to the letter of Bernard L. Cohen. *Radiation Research* 149(5):26-529.

費住宅給三百萬災民居住；為此原因，他們需把所得稅提高 12%¹⁰。日本的福島核災則是方圓 50 公里均有人撤出，美國政府則建議其僑民撤出 80 公里外；同時大家對日本產的食品到現在仍然怕怕不敢食用。

台灣的人口密度高居世界第二，萬一不幸發生爐心鎔毀，核電廠方圓 30 公里必須疏散的話，根本無處可去。根據台灣大學大氣科學系幾位教授於 1990 年到 1991 年所做的四次大氣追蹤劑（六氟化硫；SF₆）實驗，每次均由核能二廠煙囪位置釋放 6 個小時的追蹤劑，從上午 10 時開始釋放，到下午 4 時停止，以核二廠為圓心，在距離 4 公里、8 公里、16 公里及 24 公里為半徑的圓周上各設 10 站，總共 40 個採樣站，逐時吸取空氣樣本。實驗結果發現，最快一次是在 2 小時左右就到達內湖站。在風速很低的情況下，在 6~7 小時內也會收到；甚至設在華岡、北投、關渡、汐止、深坑以及石碇等地的採樣站，曾經分別有一兩次收集到大於背景值的 SF₆¹¹。以上結果充分顯示核能一、二廠若發生意外，溢出的輻射物質很可能在 2 到 3 小時就傳送到台北及鄰近區域。難怪到目前為止所有緊急應變計畫只能假定發生小規模外洩來演習，無法對爐心鎔毀作實地演練。況且就算人可以逃離，無法移動的房地產縱有億萬價值也將化為烏有。旅日作家劉黎兒曾表示她在距離福島附近八十公里處之別墅，在核災發生後因測得超標(7-10 倍)的輻射值無法再繼續居住，此一例證可提供台灣人民深思警惕。目前核一、二、四電廠均設於政治、經貿中心的台北都會區，威脅尤巨。

二、爐心鎔毀的機率在多地震的台灣令人堪憂

台灣的核工專家所估算的爐心鎔毀發生的機率，約每十萬分之一至百萬分之一爐年。他們最主要的根據是 1975 年的雷斯默森(Rasmussen)報告，而這份報告，出錢做此研究的美國核能管制委員會已於 1979 年公開宣佈不支持其結論¹²，最主要的理由是，人為失誤無法準確測量、共同原因失效(例如地震、海嘯、颱風、洪水和火災)未被考量等等¹³。像車諾堡事件就是人為疏失造成的，蘇聯核工專家在出事前兩個月才信誓旦旦地說，爐心鎔毀每萬爐年才會發生一次，結果車諾堡電廠運轉第三年就發生這樣的災變。以台灣人做事常未按部就班、較少講求實事求是的精神來看，誰敢保證人為失誤不會發生？

更令人擔心的是地震。台灣地處環太平洋板塊多地震帶，1999 年 9 月 21 日集集發生芮氏規模七級的強震，距離震央 13 公里及 46 公里的名間與石岡其測到的加速度值分別為 0.938g 及 0.5g。但是核一、核二、核三、核四電廠的防震設計分別只有 0.3g, 0.4g, 0.4g, 0.4g，最多只能抵抗芮氏規模六級的地震。根據地質學家的研究，核一與核二廠距金山—新莊斷層只有 4.4 公里及 6.8 公里，核三廠距恆春活斷層只有 1.4 公里，而核四廠也位於雙溪河斷層及石碇溪斷層的 1 公里

¹⁰ Shcherbak YM. (1996) Ten years of the Chernobyl Era. *Scientific American* April: 32-37.

¹¹ Tasi CY, Kao WS, Wu CG, Hsu KJ. (1991) Tracer experiments from the second nuclear power plant located in northern Taiwan, Taipei: Taipower company.

¹² U.S. Nuclear Regulatory Commission. A short history of nuclear regulation 1946-1999. (<http://www.nrc.gov/SECY/smj/shorthis.htm/>)

¹³ The Ford Foundation Nuclear Energy Policy Study Group. (1977) Nuclear power issues and choice. Ballinger Publishing Company, Cambridge, MA.

處。美國的核管會規定，核電廠廠址 8 公里之內不能有大於 300 公尺之斷層。而與台灣同樣地處環太平洋板塊多地震帶的美國加州核電廠的防震設計：San Onofre 聖翁費瑞 0.66g; Diablo 迪亞勃羅 0.75g。台灣的核電廠如果要提高防震力，不知又要追加多少預算。在 2001 年核四第二次評估時台電信誓旦旦保證預算為一千六百九十七億絕不再追加，但現今第四度追加到二千八百餘億後又需再追加；這正如當初美國德州大學能源中心的陳謨星教授與在南加州電力公司服務的羅慕義工程師所預測的可能會到三千億¹⁴。

政府的官員告訴我們，爐心鎔毀這一類的事件在台灣「絕對不容許發生」，然後隨即假設，它「一定不會發生」，因此，連發生輻射災害的警報是什麼信號，不但當時緊急應變的地區指揮官蘇貞昌縣長不知道¹⁵，事實上到現在也沒有一個人知道。以這樣粗糙的緊急應變計畫，教人民如何能夠放心呢？

三、核能安全之管制與監督制度不健全

核能既有高風險，它的安全性需要有一個周全的管制與監督制度及執行之機構。但是根據目前的原子能法，原能會的首要任務是發展核能¹⁶，管制與監督只是次要功能。核四環境影響評估審查會¹⁷在原能會主導下不顧程序正義，不但不准談替代方案與爐心鎔毀之緊急應變，開會到第四次未有任何共識也未投票即逕自宣布以後停開；原能會另外請一批專家學者通過環評報告；同時在 1992 年（民 81 年）1 月 23 日一天內同意台電把核四機組從 1 百萬千瓦改成 1 百 30 萬千瓦機組。此外原能會又欺騙民眾，導致發生 1600 戶以上輻射鋼筋屋、8 條輻射馬路、15 間輻射學校，還有板新水廠受到大漢溪輻射污染，可能讓人民喝到輻射水等等。2013 年 2 月 27 日清大校方及綠色陣線林長茂的儀器，在清大生物科技館均測出高於 3 微西弗的驚人數值，其中一方測出 3.46 微西弗/每小時，比一般背景值高出 30 倍。

我國採用的輻射防護標準，一直停留在使用國際輻射防護委員會（ICRP）1977 年的舊標準，經過我們多次呼籲到 2003 年才更新為 ICRP1990 年的標準¹⁸。比鄰近的中國及菲律賓都慢。寬鬆的標準更使得台灣的核能發電計算起來似乎較便宜，其實是犧牲了人民的健康。在這樣球員兼裁判的制度之下，台灣核電廠怎麼會安全呢？

¹⁴ 羅慕義在 2000 年 8 月 11 日「核四計畫再評估第 9 次會議」之証言。會議記錄第 29 頁 台北：行政院經濟部。

¹⁵ 蘇貞昌在 2000 年 7 月 7 日「核四計畫再評估第 4 次會議」之証言。會議記錄第 14 頁 台北：行政院經濟部。

¹⁶ 中華民國原子能法第一條：「為促進原子能科學與技術之研究發展，資源之開發與和平使用，特制定本法」。

¹⁷ 民國 81 年核四環境影響評估審查委員名單：劉光霽、蔡兆陽、毛治國、李健全、陳永仁、余玉眉、尤清、于宗先（開到一半改換為許再恩）、李亦園、蘇青森、曾四恭、李俊德、張昭鼎、馬文松、蔡裕華、董傳中、柳檣、張國龍、林俊義、鄭欽龍、王榮德。

¹⁸ ICRP. (1991) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, 1st ed. Oxford, U.K. Pergamon. (參 2005 年 12 月 30 日游離輻射防護標準 <http://erss.aec.gov.tw/law/LawContentDetails.aspx?id=FL011947&KeyWordHL=&StyleType=1>)

在國際上，由於台灣未能簽署 IAEA 核能安全公約，台灣的核能安全從未被國際社會納入考量，甚至於被視同由中國託管。台灣每年付 40 萬美金的顧問費交國際原子能總署，他們用這筆錢來管制我們有沒有發展核武，亦即用在核燃料的保全上，但台灣卻一點也沒有機會、也未曾投資在全球性輻射安全與核能安全這方面；換句話說，台灣今日運轉的核反應爐或原子技術，均未於國際或聯合國的保護傘下，形同核能孤兒一般，其危險可謂甚鉅。

再舉核能對生態影響之例子來看，核二廠自 1993 年起即被發現出水口的附近有畸形魚(俗稱秘雕魚)。秘雕魚的原因究竟單單是溫排水，或有可能來自電廠之輻射及化學污染，到目前尚無定論；我比較擔心的是台電退休的李工程師，曾在雜誌上透露它曾有大量污染。本人曾在 1991 年核四環境影響評估期間，拿到一份台電內部資料，發現磷同位素一個月排放量已超過當時之一年總容許量。當我提出質疑時，原能會楊前處長辯稱是台電計算錯誤。但後來我才知道楊前處長正是輻射鋼筋屋的主要隱瞞者之一。根據台電的資料，認為秘雕魚的產生只是因為水溫太高；水溫是全世界約 440 個運轉中的每個核電機組均有的問題，卻只有台灣在排水口發生秘雕魚。在 1994 年 3 月，台電已經改善排水系統，按其自稱，已經解決了溫排水的問題，可是到同年 8 月 30 日、8 月 31 日、9 月 2 日、9 月 16 日、10 月 23 日都還有人在核二廠的出水口發現秘雕魚，其畸形率分別是 38%、29%、44%、30%、29%¹⁹。主張水溫假說的邵廣昭先生在 2000 年核四再評估會上公開承認²⁰，秘雕魚種類已經從原來只有兩種(花身雞魚及豆仔魚)增加成四種(外加烏魚及虱目魚)。如果不是水溫未改善，要不然就是還有其他真正的致病因素未發現。目前尚未找到真正原因，尚未控制好，叫大家都像鴛鴦一樣眼睛閉起來，不去面對這問題，到哪一天，產生了畸形人怎麼辦？

美國人民早就在 1974 年發現「球員兼裁判」的不適當，於 1975 年把原能會(Atomic Energy Commission)改名為核管會(Nuclear Regulatory Commission)，只負責核安管制與保障全民健康；推動核能由其他單位來做。台灣如要廢核也該如此做，免得核能利益者每年借屍還魂。因此我國當務之急是立即修改「原子能法」為「核能管制法」，使原能會不再球員兼裁判，單純作管制，如此方能保障目前三個核能電廠的安全、保護人民健康並挽回政府公信力。

四、核廢料遺害萬代子孫

台電的宣傳中把核廢料的處理說成：把會螫人的虎頭蜂固定於琥珀中，這是很大的誤導。首先，發過電之核廢料是具高輻射性之化合物，它們並非生物，將之儲存於不銹鋼筒中，仍是會繼續蛻變而放出 α 、 β 或 γ 等輻射線，所以需要經常地檢測，以免容器已發生破裂而不知，導致放射物溢出，危害到鄰近工人或居民。例如碳 14 即可以二氧化碳氣體方式溢出。如有容器損毀，必須立即更換以防洩出擴大。此外，台電所極力宣傳有辦法處理，預備運去北韓的其實都只是不

¹⁹邵廣昭, 黃登福.(1995) 行政院環保署畸形魚原因鑑定專案計劃期末報告書, 子計劃 I ---- 物理組. 台北: 行政院環保署. 5-160. 看頁 60.

²⁰ 邵廣昭在 2000 年 7 月 28 日「核四計畫再評估第 7 次會議」之証言, 會議記錄第 19, 26, 27 等頁。台北: 行政院經濟部。

含用過核燃料之「低」放射廢料，它的半衰期較短，但也要小心儲存三百年至五百年。事實上，現今的環保趨勢是禁止毒性廢棄物跨國運輸（例如巴賽爾公約），未來國際間的協定與民間環保團體之監督會更嚴格，使台電這種作法被阻止。到目前為止，台電這些低放射廢料輸到國外處理尚未有一件成功過。而真正的「高」輻射廢料都還存放在核一、核二、核三廠的原址，估計約有一萬六千束，福島核災輻射溢散中，即至少有部份是放置在旁邊的用過的核燃料引起的。

用過的核燃料中，許多化學物的半衰期（其放射性衰變為原來之一半所需的時間）很長（見表 2）。毒性大的如銻 239，半衰期為兩萬四千年，因此至少需監測四個半衰期，約十萬年以上，其放射性才能減為原來的十六分之一。如果所有的放射物均考慮，則監測期可能達百萬年。核能工業已存在 50 年以上了，此類高放射性廢料卻迄今還是沒有辦法解決。1996 年 6 月號科學的美國人就談到，美國政府準備在域加山（Yucca Mountain）蓋此類山洞處置場，已實驗將近十年了，但由於誰也不敢保證可以萬年以上不發生大問題，因而面臨經費可能無以為繼之困境²¹。根據 2000 年 9 月 29 日普林斯頓大學的 Feiveson 分析，台灣所產之用過核燃料，最終處置勢必只有放在本地²²。現代的台灣人，等八年蓋好核四電廠之後，享受 30 年的能源（核電廠的壽命約只有 30 年），卻讓以後的子孫煩惱十萬年以上，完全不合「愛人如己」及「澤被子孫」的做人倫理且違反世代正義。對任何想在台灣長久居住的人而言，如果知道這些真相，也是絕對無法接受的。

貳、替代方案

目前政府宣佈要將「停建核四」交付公投，擁核者提出許多似是而非的論點，甚至還常有人問筆者說還要不要搭電梯、用冷氣。其實這都是受過去硬質能源思維迷信要蓋大電廠、電業仍由台電獨家壟斷的影響。我們應該要順應世界新潮流，儘速推動主張電業自由化的軟質能源政策。個人非常欽佩前經濟部長林信義，他以產業界出身，知道穩定的電力供應對經濟發展的重要性，卻能夠突破舊思維，洞察出不建核四不但不會影響供電，反而會讓供電更穩定，並且願意承擔重任，帶領我國邁向新的能源政策。其實，電力供應的共同目標就是安全、穩定、經濟、乾淨、公平，廢除核能來推動軟質能源政策正可以達到這樣的目標。

一、軟質能源政策(soft energy path)之推動

什麼叫做軟質能源政策呢？簡單的說，就是採取多元多樣的能源途徑及分散式高效率供電系統，配合當地生態環境，在各處建立小型電廠，形成整個地區的電力網，同時以再生能源為主，儘速發展太陽能、風能和以氫為主的燃料電池。相對地，硬質能源政策採用的是建超大型電廠，由一個地方產電，再靠遠程輸配電來供電；核能發電就是最好的例子。

²¹ Whipple CG. (1996) Can nuclear waste be stored safely at Yucca Mountain? *Scientific American* June: 56-64.

²² Feiveson HA. (2000) The International Security and Greenhouse Implication of Nuclear Power in Taiwan. Proceeding of International Conference on Sustainable Energy and Environmental Strategies: Taiwan and the World.

根據硬質能源的思考，經濟發展所需要的電力每年一定得增加某個百分比，因此需要不斷蓋更多大電廠來因應；不但如此，還需要蓋許多的備用電廠，以便當大電廠故障或跳機時可以補上，在投資上，這是極端不經濟的作法。但是，軟質能源推估，由於產電、輸電、配電、用電效率技術的改良和提昇，即使經濟繼續發展，電力需求到某個程度後不一定會增加，甚至會減少。這個看法在第一次能源危機後，1975年由美國學者 Lovins 提出，經過 30 年的驗證，美國的電力需求其成長正如軟質能源所言²³。

有人說，不蓋核四的話，區域供電不平衡，需要南電北送，其實這正是陷入硬質思維的窠臼中，才有這樣的顧忌。而即使蓋了核四，這個問題還是沒有完全解決，因為核四機組所採用的 ABWR 機組，在日本運轉數年的經驗發現，其跳機率為其他核電機組的 2 倍；屆時只要一跳機，立即就發生北部區域供電問題，電力供應反而較不穩定。如果採用軟質能源政策，在各區域蓋許多小型小電廠(包括風力、太陽能等自產能源)，形成區域電力，就完全沒有這個問題。

也有人說，不蓋核四會缺電，恐怕會有像 729 那樣大停電的情形發生；其實內行人都知道，729 那樣的大停電，就是硬質能源政策所造成，因為大電廠需要靠長距離輸配電系統來支撐，只要一個輸電鐵塔倒塌即會停電。如果在各地區建立許多小型電廠，作成局部電力網，就不會有大規模的停電。更何況各種輸配電至少消耗了 6-30% 的電力呢！目前台灣各地有許多小型汽電共生廠，其總發電量已超過 361 萬千瓦，先將它們並聯供電，即已超過核四之 270 萬千瓦，根本不會缺電。而且它們都蓋在工廠裡面，已經蓋好，不必擔心人民抗爭。這些汽電共生廠能源效率一般可達 70-90% 以上，為傳統單循環火力發電之 2 倍以上，又可以減少二氧化碳之產生達一半以上。

有人又以國防考量說，核能的戰備存量只要一台飛機的裝載核燃料量，就可供三年使用。其實大型供電系統正是敵人摧毀的目標。第二次世界大戰，德國大型集中式的供電系統目標少而明顯，很快就遭到破壞；日本較多小型分散式的供電系統反而撐得較久。台灣如果採取軟質能源政策，由於各地區均有許多小電廠及電力網，很難被封鎖，在國防上反而佔優勢。

軟質能源政策需要配合電業自由化，這是有極大商機的，它可以創造出許多就業機會。以德國為例，停止核電廠之後，扣除核電廠的就業機會，還增加 2 萬個就業機會。唯一賺得較少的是原來壟斷電業的電力公司。況且再生能源的產電技術已經成熟，都已經在商用。這是世界趨勢，台灣的企業界應該有這樣的眼光，趕快跟進，分食此新能源科技的一塊餅，如同過去的資訊業一般。台灣如果做得好，不但自己使用，還可將同類技術賣給其他國家，這是利多，對全民和環境都好。

二、產電與供電效率之提昇

以產電效率來說，傳統的火力發電廠，能源效率約只有三分之一，亦即從燃

²³ Lovins 於 2000 年 8 月 2 日晚上在台北世貿中心的演講，所用之圖片由文化大學鄭先祐教授拍照下來，放在下面網頁：<http://humeco.readme.com.tw/> 中的「核四評估」內「軟質能源政策」欄。

燒石化燃料所得之能源抽取轉變成電力，只能使用到三分之一。如果改採用複循環，不必加蓋電廠、不必增加任何污染，就可增加 30%~40%以上的電力²⁴。所謂複循環就是把一次燃燒之能源發電兩次，以增加其發電效率。例如，有一種複循環式為燃燒產生氣體先推動一組氣渦輪運轉以發電，然後將這些氣體之廢熱再加以回收，用來加熱使水產生蒸汽以推動另一組蒸汽渦輪，又發電一次。如此，一石兩鳥，既可提高產電量，又未增加任何污染，各種火力電廠均可作。這些複循環進步型火力發電廠之成本，大多比傳統型還便宜一些。傳統型天然氣發電建廠成本約每千瓦容量 760 美元，燃煤者為 1,600 美元。而複循環天然氣發電每千瓦約 400 美元，燃煤則為 1,000~1,700 美元²⁵，見表 3。台電雖然已有 8 個以上火力發電廠已採用複循環，但是尚有 1,570 萬千瓦的傳統火力發電廠也可以全面改裝或原地改建成複循環發電（見表 4）；從最舊最老的深澳火力電廠的機組開始，逐一汰換。如此在未增加任何污染下，就可增加約 471~628 萬千瓦電力。這類複循環高效率機組台電至少已有 1415 萬千瓦在運轉，早已超過三個現役核電廠再加核四廠現階段所建的兩部機組總和供電量(514+270=784 萬)千瓦；但是台電卻刻意把高效率天然氣發電大量閒置；例如只讓大潭廠每年發電 35%，如果廢核後讓這些電廠作基載機組發電 90%，根本不必核四即夠供電。

德州大學陳謨星教授多次回台察看台灣的能源問題，屢次建議應從電壓不平衡及電壓調控改善著手，搶回這些損失掉的電能，那麼我們便能省下三個核能電廠的發電量。台電用兩個變壓器來替代三個變壓器，以節省一個變壓器的費用，電學上稱為 open delta 或是 V-V connection，造成工廠三相馬達的電壓不平衡而效率降低，浪費電能可達數十個百分點，約為一個核能電廠的發電量。不平衡電流流經變壓器中性點接地線、地下電纜被覆接地線、架空地線等，又浪費了一個核能電廠發電量。台電的電壓控制與調整，無法使用戶用電器具在最高效率下運轉，再浪費一個核能發電廠的發電量。電壓的不平衡及調控不佳，總共浪費了三個核能電廠的發電量。這些事都應該積極改善，根本不缺電。

降低閒置電力

為因應尖峰時刻用電量的增加，發電機所產生的總供電量必須要多過尖峰時刻的用電量，因此尖峰發電力扣掉尖峰用電量即為所謂的備用容量。備用容量率則為備用容量佔尖峰用電量的百分比。台灣目前經濟部為了讓高耗能高污染產業繼續發展，自行核定的備用容量率為 16%(日本與韓國均只 8%)；然而依實際數據檢視，台灣從 2008 年到 2012 年每年的備用容量率皆高於 20% (圖 2)。這也意味著，每年皆有大量的電力設備閒置。以 2012 年的淨尖峰供電達 4058 萬千瓦乘以 22.7%備用容量率，可知實際上多出了 920 萬千瓦的閒置電力。加上近年來台灣產業結構改變，國光石化也被愛台灣的環保運動擋下，因此用電量最大的工業用電量將不會如台電預期的成長，廢核應該也不會缺電。

三、用電效率之提昇

²⁴ Fulkerson W, Judkins RR, Sanghve MK. (1990) Energy from fossil fuels. *Scientific American* September: 83-89.

再以用電效率來說，目前台灣有三分之二的用電是工業用電。根據經建會六年國建計畫的報告，1971年我國每生產一美元的產品，耗電量是日本的1.31倍，1988年則提高到日本的2.64倍，到2008年日本、南韓與台灣碳排放係數各為0.429，0.418，及0.636公斤CO₂當量/度。三國都同樣在經濟發展，我們政府的工業政策卻是用環境污染的代價來補貼耗電的工業，像石化、鋼鐵、水泥、造紙等。這種鼓勵耗電又污染工業政策如果不改變的話，再多的電廠也是不夠的。例如根據台大周桂田教授的研究，2009年石化業佔全國能源消耗27.8%，但它只佔我國國內生產毛額的1.66%，顯示我國政府和民間都必須改進²⁶。未來應考慮收能源稅，就像抽空氣污染防治費，如此用電才不會無窮盡的膨脹。

民生用電也一樣需要提高效率，特別是每個主張廢核的人民，更應該率先實行。這並不是要禁止使用電器用品，而是提昇用電效率。除了隨手關閉不用之電源外，需注意各種節省能源之消費措施。像購買家電用品時，應該注意選購省電的產品，而廠商也應努力開發此類產品。全面如此做，則省電冰箱比傳統式可節省80%~90%的電力，商業用冷凍系統可省50%，電視可省75%，影印機可省90%，電腦可省95%，電燈至少可省80%~90%²⁷。雖然這些產品剛開始可能貴一些，但做這樣的投資絕對值得。政府也應該全面倡導、鼓勵民眾購買這類產品才對。用電有效率並非要回歸原始人的生活，而是愛護生態環境，把電用在「刀口」上。根據U.P.Colombo及J. Goldemberg的估計，全面能源效率之推廣約可省下43%~69%的能源，如此就可在不增加污染下多出電力來³⁰。

四、全速發展再生能源

再生性能源，像太陽能和風能，是取之不盡、用之不竭的能源，而且對環境的衝擊最小。過去人類所使用的能源，像天然氣或是燃煤，或是核能，都需要靠原料供給，再生性能源卻不必，因此先進國家已經卯足全力，儘速發展再生性能源(看表5)，連中國也都比台灣努力。反觀台電，由於政府保護核能工業，用比較寬鬆的管制標準，於是終日浸沉於核電王國的梦想中，不但看不到這個世界潮流的新趨勢，還批評說，使用風能要佔很大的土地，在台灣不可行；太陽能多貴多貴等等。事實上，風能可以在海上擷取，丹麥就是這樣；而即使要在陸地上擷取風能，所佔用的土地(如農地)均可同時利用做其他用途，不像核電廠所在的土地將永久廢棄。台灣是個海島，每年約有半年以上的東北季風期，風力資源相當豐富。新竹湖口、關西台地的部分山區、中南部海濱及離島，都很適合風力發電。再以太陽能來說，北歐或是日本等國，陽光非常稀少，但是他們還是全力研發推展，因為其潛力無窮。一年四季陽光普照的台灣，實無推託的藉口。此外，目前台灣太陽能熱水器的普及率僅2%，遠不如緯度較高之日本的20%。台灣在這方

²⁵ Ibid, p.87.

²⁶ Chou KT, Liou HM. (2012) Analysis on energy intensive industries under Taiwan's climate change policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:2631-2642.

²⁹ Fickett AP, Gellings CW, Lovins AB. (1990) Efficient use of electricity. *Scientific American* September: 29-36.

³⁰ Hafele W. (1990) Energy from nuclear power. *Scientific American* September: 90-97

面顯然有相當大的發展空間。

根據世界能源委員會（WEC）的預測，到公元 2020 年，所有再生能源對全球能源供給的貢獻率將達 21%；若為了要達成環境永續的情境，則到公元 2020 年再生能源對滿足全世界能源需求的貢獻率必須提高到 30%，其中 12%則來自「新的」再生能源。負責因應溫室效應的聯合國國際的政府間氣候變遷研究小組（IPCC）則預測在 2020 年，水力、太陽能、風能、海洋能及生質能等再生能源將可提供全球約 25%的能源。

當然，推動軟質能源政策電力公司就要放棄獨佔優勢，這是台電所不樂見。但是台灣的鋼鐵業、石油業、電信業均已自由化了，電業在我國進入世界貿易組織後，也勢必自由化。只要給業者發展空間，他們就能夠跟進做得很好。因此，謹呼籲全民和政府一同努力，邁向二十一世紀軟質的新能源政策，這對台灣未來的電力供應以及子孫的生存環境都是絕對有利的。

表 1: 重大核能事件中釋放到大氣之放射性物質表 (Pbq,千兆貝克)(摘自註 2, Lelieveld J, et al., 2012)

地區	國家	規模*	日期	總量	碘 131	銫 137
Fukushima	日本	7	2011.03.11	>630	190-380	12-37
Chernobyl	蘇聯	7	1986.04.26	>12000	1760	85
Mayak	蘇聯	6	1957.09.29	74-1850	無資料	無資料
Chalk River	加拿大	5	1952.12.12	>0.3	無資料	無資料
Windscale	英國	5	1957.10.10	1.6	0.7	0.02
Simi Valley	美國	5-6	1959.07.26	>200(被認為發射大量氦 85、氙 133)	被認為大量發射碘 131	無資料
Belojarsk	蘇聯	5	1977	無資料	無資料	無資料
Three Mile Island	美國	5	1979.03.28	1.6(主要是發出氦 85)	<0.0007	無資料
Chernobyl	蘇聯	5	1982.09.01	無資料	無資料	無資料
Lucens	瑞士	4-5	1969.01.21	大氣中無強烈的放射性來源	大氣中無強烈的放射性來源	大氣中無強烈的放射性來源
Leningrad	蘇聯	4-5	1974.02.06	從瀘油粉釋放放射性污泥至環境中	無資料	無資料
Leningrad	蘇聯	4-5	1974.10	55	無資料	無資料

*國際核能與輻射事件規模(International Nuclear and Radiological Event Scale, INES); 0-3 為偏差、異常、事件(incident); 4 以上為事故(accident) 造成當地局部風險; 5 為較大範圍風險; 6 為重大事故; 7 為特大事故，此分類之最高級(釋放大量影響健康和環境的放射性物質)

表 2: 核電廠遺下核廢料內所含之放射性同位素及半衰期

英文簡寫	中文名	半衰期 (年)
Cs-137	銫	30
Sr-90	銻	30
Tc-99	鎝	221,100
Am-241	鋂	432
C-14	碳	5,730
Pu-239	鈾	24,110
Np-237	釷	2,140,000

表 3:傳統型、各種進步型火力（化石燃料）發電廠之價格、污染程度與能源效率之比較（摘自科學的美國人，1990 年 9 月號，87 頁）

	建廠成本 （美元/千 瓦容量）	排放 SO ₂ 可減少百 分比	NO _x 排放量（每 百萬焦耳電力）	碳排放量 （每千瓦小時 排放 CO ₂ 之碳 量以公斤計）	效率 （儲存能源轉 成電力之百分 比）
傳統型（蒸汽渦輪）					
天然氣	760	*	180	0.14	36
煤（合併洗滌器）	1,600	90	300	0.25	34
汽電共生循環					
天然氣	520	*	15	0.10	47
煤（合併氣化裝置）	1,700	99	25	0.20	42
加壓液化床燃燒法 （Pressurized fluidized bed combustion）					
煤（汽電共生）	1,200	90	60	0.19	42
蒸汽注射之氣渦輪 （Steam-injected gas turbine）					
天然氣	410	*	15	0.12	40
煤（合併氣化裝置）	1,300	99	25	0.24	36
互冷式蒸汽注射之氣渦 輪（Intercooled steam injected gas turbine）					
天然氣	400	*	10	0.10	47
煤（合併氣化裝置）	1,030	99	20	0.20	42
進步型燃料室 （Advanced fuel cells）					
天然氣	600-800	*	5-20	0.09-0.10	50-55
煤（合併氣化裝置）	1,000-1,500	99	10-35	0.17-0.19	45-52

表 4: 2011 年中傳統火力機組供電能力表 (摘自 2011 年能源統計手冊, 2012 年 10 月)

廠別	裝置容量	產熱效率
深澳共三個機組	40 萬千瓦	燃油汽力:32.8%
林口共二個機組	60 萬千瓦	燃煤汽力:35.77%
大林共六個機組	240 萬千瓦	燃氣汽力機:31.83%
協和共四個機組	200 萬千瓦	柴油機:37%
興達共四個機組	210 萬千瓦	氣渦輪:26.52%
台中共十個機組	550 萬千瓦	
民營電廠共五個機組	310 萬千瓦	
單循環機組合計	1570 萬千瓦	
通霄共二十三個機組	182 萬千瓦	複循環:43.61%
南部共十一個機組	112 萬千瓦	
興達共二十個機組	223 萬千瓦	
大潭共二十個機組	438 萬千瓦	
民營電廠共二十九個機組	461 萬千瓦	
複循環機組合計	1415 萬千瓦	
備用容量率		20.6 %

表 5: 各國未來能源來自再生能源計畫(參考日期:2013.03.21)

國家	再生能源供應比例	參考來源
台灣	總電力之 8% (預計 2025 年)	http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populac e/content/SubMenu.aspx?menu_id=62
中國	總能源之 18% (預計 2020 年)	http://www.efchina.org/csepupfiles/report /2006102695218918.6460747584838.pdf/8 _Renewable_energy.pdf
澳洲	總電力之 20% (預計 2020 年)	http://www.iea.org/Textbase/npsum/australi a2012SUM.pdf
丹麥	總能源之 30%(預計 2020 年) 總電力之 51.1%(預計 2020 年)	http://www.iea.org/publications/freepublica tions/publication/Denmark2011_unsecured. pdf
歐盟	總能源之 20%(預計 2020 年)	http://ec.europa.eu/energy/renewables/targe ts_en.htm
德國	總電力之 35% (預計 2020 年)	http://www.renewableenergyworld.com/rea/ news/article/2011/07/germany-passes-more -aggressive-renewable-energy-law

英國	總能源之 15% (預計 2020 年)	http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Project_Documents/RES2020/UK_RES_Policy_Review_09_Final.pdf
法國	總能源之 23%(預計 2020 年)	http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Project_Documents/RES2020/FRANCE_RES_Policy_Review_09_Final.pdf
韓國	總能源之 11% (預計 2030 年)	http://www.iea.org/Textbase/npsum/Korea2012SUM.pdf
馬來西亞	總電力之 9% (預計 2020 年)	http://seda.gov.my/

圖 1: 日本原爆生還者終身追蹤研究所得之劑量（橫軸）與效應（縱軸）關係圖。以一個 30 歲成人受到原爆後之癌症發生與死亡之相對危險增加率以及其標準誤上下範圍。

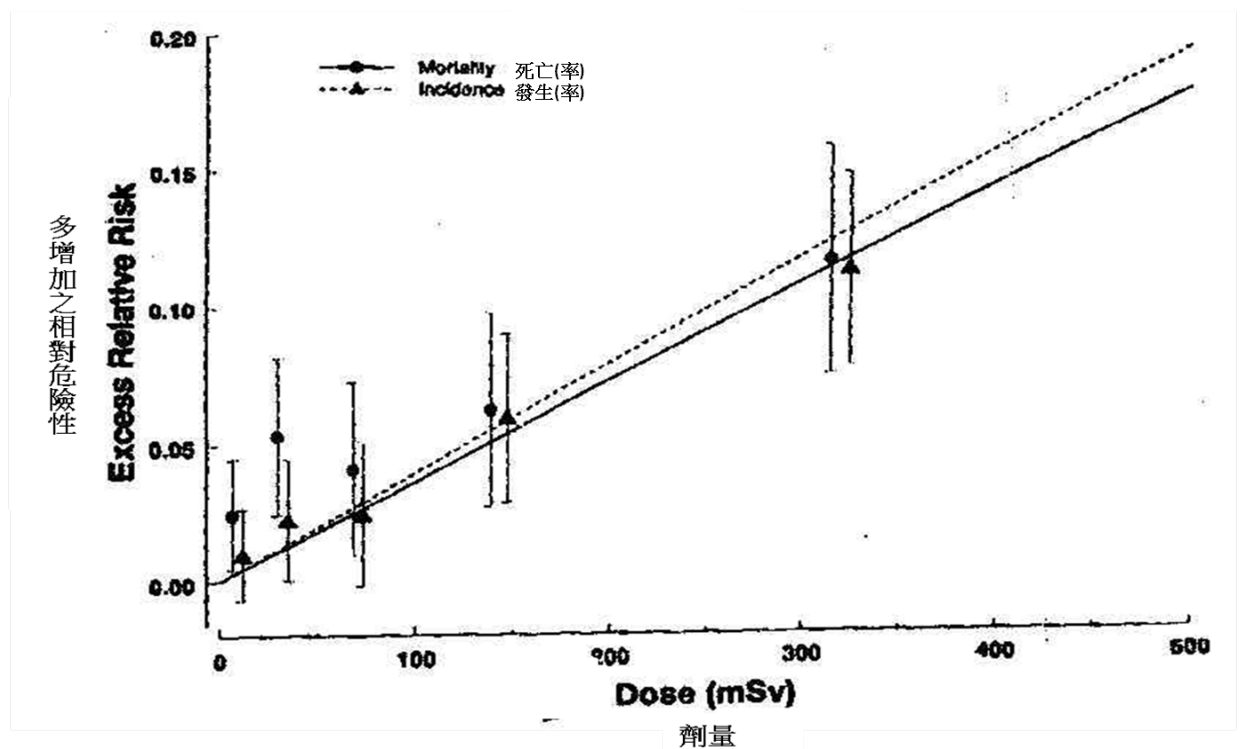
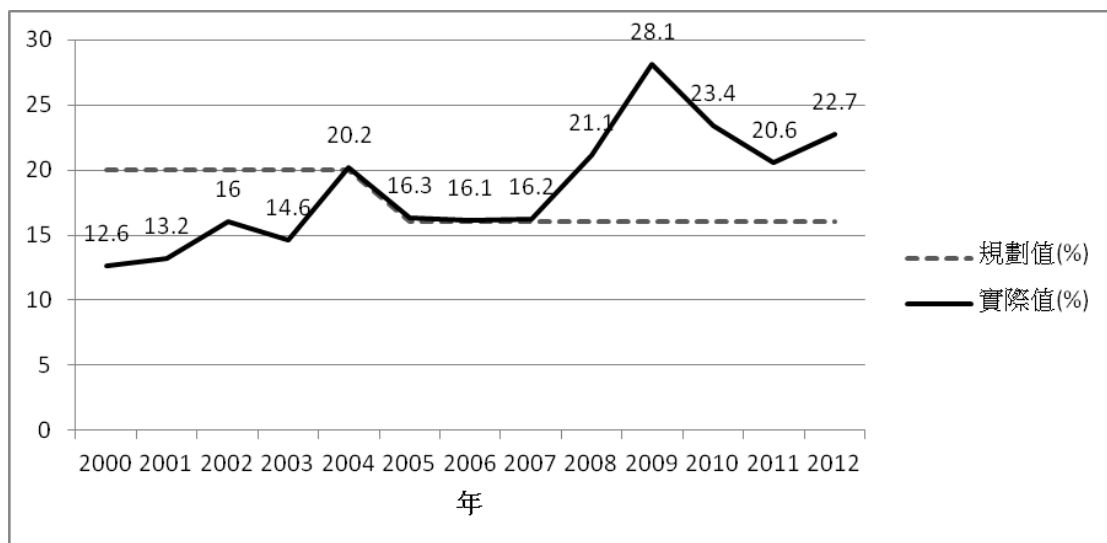


圖 2: 台電 2000 至 2012 年備用容量率概況(2000 至 2011 年資料摘自 593 期台電月刊, 2012 年 5 月;2012 年的資料取自台電網站
<http://www.taipower.com.tw/content/govern/govern01.aspx?MType=4>)



台電預測和實際的用電量，相差3.12座核四廠！

年	尖峰負載值預估：台電歷次預測中的最高值		尖峰負載實績值	預測最高值與實績值的差距	
	萬瓩	哪一年做出的預測？	萬瓩	萬瓩	相當多少座核四裝置容量 (275萬瓩)
1995	1,994.3	1991年	1,993.0	1.3	0.00座
1996	2,122.8	1991年	2,176.2	-53.4	-0.19座
1997	2,255.4	1991年	2,223.7	31.7	0.12座
1998	2,421.0	1997年	2,383.0	38.0	0.14座
1999	2,559.0	1997年	2,420.6	138.4	0.50座
2000	2,708.8	1998年	2,585.4	123.4	0.45座
2001	2,892.6	1998年	2,629.0	263.6	0.96座
2002	3,069.7	1998年	2,711.7	358.0	1.30座
2003	3,257.7	1998年	2,859.4	398.3	1.45座
2004	3,452.0	1998年	2,903.4	548.6	1.99座
2005	3,648.0	1998年	3,094.3	553.7	2.01座
2006	3,842.7	1998年	3,206.0	636.7	2.32座
2007	4,031.6	1998年	3,279.1	752.5	2.74座
2008	3,917.4	1999年	3,132.0	785.4	2.86座
2009	3,983.4	2000年	3,101.1	882.3	3.21座
2010	3,842.5	2004年	3,302.3	540.2	1.96座
2011	4,003.7	2004年	3,378.7	625.0	2.27座
2012	4,167.2	2004年	3,308.1	859.1	3.12座

資料來源：台電歷年〈長期電源開發方案〉及相關公開資料。