



核能發電

是永續污染的能源

——從環保觀點看台灣是否應建核四

文》王榮德

鉅——核能發電是最不符合
永續發展原則的能源。

作者簡介

現為台灣大學公衛學院職業醫學
與工業衛生研究所教授兼所長。



▲ 我們不能只看到的垃圾部分的污染，還須考量每一產品在其生命週期所能產生的污染。（攝影：劉德行）

■ 產品生命週期與永續發展

談環保不可避免必須討論永續發展，而談永續發展則須對產品的生命週期有所了解。何謂產品的生命週期？一般人以為，一項產品所造成之污染僅在於廢棄不用的階段，事實上，還須將耗用之原料資源及製造過程中所產生的污染考慮在內。以塑膠袋為例，並不是廢棄不用的塑膠袋才造成污染，在其原料使用及製造過程中，必須以原油為原料，這便消耗了一部份的生態資源，而當原油裂解成乙烯，再聚合成聚氯乙烯類的塑膠袋，這個過程所消耗的能源以及所造成之污染，便須藉由蓋六輕、七輕來供應；而製造過程尚會產生廢水、廢氣及固態廢棄物的污染，這些都是塑膠袋這個產品在其生命週期中所產生的污染。也就是說，整個產品從原料的開採、製造、消費到廢棄不用過程中所產生的污染，都算為這個產品的生命週期。1996年通過ISO14000（International Standard Organization，簡稱ISO），國際標準組織，總部設在歐洲，其所公佈的環境管理系統標準，為通行國際的產業環保標準。其目標即是使工廠在提高產品品質的同時，必須在所有產品生命週期的每一階段，

盡最大努力做到環保。

其實所有的污染，都可以追溯到最根源的問題點上，亦即人追求效用所致。當初衛生署便是基於「衛生與方便」的效用而引進保麗龍餐具。然而，我們是否應檢討某一特定之「效用」是否為人生存所必須，如果不是，我們是否可以放棄追求該項效用；如果是，我們是否可以在達成相同效用的前提下，以污染總量最少、產生毒性物質最少，及所產生廢棄物最容易為生態所消化為標準，來評估諸多產品的生命週期，再做抉擇呢？1992年在巴西里約所舉行的地球高峰會議，所談的便不是如何處理廢棄物的問題，而是檢討污染由何而來，及如何預防污染發生的問題。

■ 核能發電不符合永續發展原則

有關溫室效應

如果我們再從這個角度來談能源問題與永續發展的話，便會有一個較為清楚的輪廓。人類對能源的需求我們並不否認，但在如何解決能源問題這一點上，卻留有許多尚待討論的空間。如果我們把所有可能產生電的產品的生命週期加以比較，就會發現，鈾——核能發電是

最不符合永續發展原則的能源。最近有主張核能發電不會產生二氧化碳，有助於減低溫室效應，然而，若我們從核能這個產品的生命週期來看，怎可能不產生二氧化碳呢？氣候綱要公約呼籲大家抑制溫室氣體的排放。但溫室氣體並非只有二氧化碳而已，還有氟氯碳烷、甲烷、氧化亞氮等。台灣目前還在大量使用氟氯碳烷，而氟氯碳烷的溫室效應又是二氧化碳的3500-7300倍。根據中興大學環工系莊秉謙教授之報告，1990年台灣地區氟氯碳烷總消費量為6850公噸，換算為溫室效應，相當於二氧化碳39,365,000公噸，比當年全台灣所有化石燃料電廠所排放二氧化碳之總和34,850,310公噸還多。況且氟氯碳烷早有替代之物，早在1987年蒙特婁公約就被列為必須逐漸淘汰之物，如若真正關心溫室效應，應該先管制氟氯碳烷，而非蓋核電廠。更何況核電之生命週期中，蓋核電廠及掩埋其廢料尚須大量使用鋼筋水泥，而製造鋼筋水泥正是產生二氧化碳的主因！因此，核電只不過在運轉的當時不產生二氧化碳罷了，就好像塑膠袋在使用的當時，並不會產生任何污染一樣。甚至有日本學者估計，核能發電末端



營運需監測鈾239等廢料十萬年以上，其所需鋼筋水泥而產生的二氧化碳總量可能比火力發電還多！

有關圍阻核輻射

除了以減低溫室效應來為蓋核電廠合理化以外，核工界常大力吹噓說，核能發電安全已無堪慮，吾人實在無法苟同。台電經常宣傳台灣核電廠使用之圍阻體乃多重防禦系統，與車諾堡的設計理念不同，不會發生如車諾堡的大爆炸事件。核電安全用深度多重防禦的措施來圍阻核輻射固然立意良好，但並不能保證就此沒有問題，因為還可能發生「共同原因失效」（common cause failure）的情況，且人為失誤也常難以控制。舉1975年美國Brown Ferry核電廠曾發生的火災來說，經過失火房屋之1600條電線全部失效。由此可見，深度防禦還是有可能發生爐心鎔毀，美國三哩島事件就是最明顯的例子。尤有甚者，台灣屬於地震區，目前核電廠的防震係數，核一、核二、核三分別為0.3g、0.4g、0.4g，至多可應付六級地震，像1995年神戶所發生的地震在七級以上，防震係數如果不在0.6g以上，用什麼深度防禦都還是無效的。

爐心鎔毀後果堪憂

美國的三哩島事件，台電和原能會常說無人受到輻射傷害，他們大概忘了輻射引發白血病大約需要5-10年才會發病，而其他癌症更需要至少15年以上才會發病。說三哩島事件無人受到輻射傷害實在言之過早。美國發生三哩島事件時，本人正好在美國波士頓求學，每天經由媒體密切注意事情的發展，當時該地區人員確實進行疏散。由於美國地廣人稀，八公里內沒住多少人，然而所有的孕婦、小孩還是奉

命疏散到別處，而八到十六公里內的居民，門窗緊閉，隨時待命，視情況準備疏散。因此，原能會常說核能災變疏散區僅為半徑8公里是不對的，必須視情況而定。車諾堡事故時30公里內皆疏散，後來統計污染較嚴重的地區約有1300村的260萬民眾，其中還包括70萬小孩。十年後的現在，30公里內幾乎不住任何人，烏克蘭共和國且須提供免費住宅給三百萬災民居住；為此原因，還須把所得稅提高12%（註1）。試問，台灣經得起這樣的核災嗎？

▼ 台電配輸電所浪費的電力可達30%。（攝影：林良哲）



原能會的首要目標在發展核能，因此不可能中立。再者，核能營運之全面安全性尚須一個周全的管制與監督制度及執行之機構，但根據原子能法，原能會的首要任務是發展核能（註2），管制與監督只是次要功能，造成它經常得為台電背書，又交出以下這樣一份成績單：1500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上游輻射污染，可能讓人民喝到輻射水，輻射防禦標準落伍尚且不想改進，目前猶採行國際輻射防護委員會（ICRP）1977年之舊標準（註3），根本無法保護人民健康。更令人難過的是，原能會發給各級學校的墊板上卻都說有根據ICRP之規定（註4），上面並未註明是1977年的標準（註5）。如果根據1990年的標準（註6），其暴露容許量是台灣現行標準的五分之一（見表一）。在這樣的制度之下，台灣核電廠怎會安全呢？

根據台電公司自己的說法，經濟部1991年邀請外國專家評估台電營運管理，在十項指標中，有七至八項優於世界的平均值（註7）。然而，很遺憾地，我們從國外資料上看到的卻是，1990年當年台電六

個核能機組所釋出的核能劑量，平均每個反應爐年超過4人西弗，為美、日、德、法、加、瑞典與台灣等七國同型反應爐中最差的（註8）。以此看來，我國當務之急應仿效先進國家（包括美國）修改原子能法為核能管制法，使原能會不再球員兼裁判，單純做管制，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。

有關溫水排放與秘雕魚

除此之外，核三廠曾造成珊瑚白化死亡，核二廠曾經發生秘雕魚。秘雕魚的原因究竟單只是溫排水，或有可能來自電廠之輻射及化學污染，尚無定論。本人曾在民國80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，原能會輻防處楊前處長辯稱只是台電代錯公式計算錯誤，但後來我才知道該位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；在1993年3月，台電已經改善排水系統，按其自稱，已經解決溫排水的問題，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，其畸形率分別為38%、29%、44%、30%、29%（註9，頁60）。產生水溫高之廢水是全世界約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現秘雕魚。目前政府尚未找到真正的原因，原有的危機尚未控制好，卻急於蓋核四廠，抱持鴛鴦心態，不去面對問題，萬一真有一天產生

應用	職業暴露		一般人	
	ICRP1990	ICRP1977 (台灣現行標準)	ICRP1990	ICRP1977 (台灣現行標準)
有效劑量	20毫西弗/年	50毫西弗/年	1毫西弗/年	5毫西弗/年
年等值劑量				
眼淚水晶體	150毫西弗/年	150毫西弗/年	15毫西弗/年	50毫西弗/年
皮膚	500毫西弗/年			
四肢	500毫西弗/年			

▲ 表一：國際輻射防護委員會(ICRP)1990年建議的游離輻射容許劑量，及ICRP 1997年（台灣現行標準）之比較。



了畸形人，又該怎麼辦呢？

核廢料的問題

除此之外，核廢料的處理更是一大問題。在台電的宣傳中，把核廢料的處理說成：把會螫人的虎頭蜂固定於琥珀中，這是一大誤導。高輻射性同位素並非生物，它們即使儲存於不鏽鋼桶中，仍會繼續蛻變而釋放出 α 、 β 或 γ 射線，所以必須經常檢測，以免容器發生破裂而不知，導致放射物溢出，例如碳14即可以二氧化碳氣體方式溢出。故如有容器損毀，必須立刻更換以防洩出擴大。其次，是它們的半衰期（其放射性衰變為原來之一半所需的時間）很長（見表二）。其毒性大的如鈾239，半衰期為兩萬四千年，至少須監測四個半衰期，約十萬年以上。如果所有的放射線均考慮，則可能達百萬年。此類高輻

射性廢料全世界尚未有妥善解決的辦法。1996年6月《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，但由於誰也不敢保證可以萬年以上不發生大問題，因而面臨經費無以為繼的情況（註10）。現在的台灣人等八年蓋好核四電廠之後，享受三十年的能源（核電廠的壽命約只有三十年），卻讓後代子孫煩惱十萬年以上，完全不合「愛人如己」的倫理，任何想長久居住在台灣的人，如果知道這些真相，更是絕對無法接受。

台電又宣傳說，低輻射廢料可以處理，只是「管理」的問題。事實上，所有用過的核燃料都是高輻射廢料，所謂低輻射廢料是指不含用過核燃料的少部份受到同位素沾染之物，目前打算拿到蘭嶼、北韓

的，都是這類低輻射廢料，至於台灣用過的核燃料，也就是高輻射廢料，目前都還放在核電廠裡面，正如上述，全世界尚不知如何處理這類高輻射廢料，更別提台電有甚麼特別高明的處理法。

其他替代性能源

要電卻不要核電，有無其他可行之道呢？也就是說，有無其他可能的替代方案呢？這是主要爭論所在。

台電之宣傳資料還喜歡誤導民眾說蓋太陽能電廠需要很大的土地，其他替代發電方式如何昂貴等等。其實除了在適當地點推動開拓小型太陽能、風能、地熱能之使用以取代部分電力外，台灣目前最迫切需要推行的是全面增加產電、輸配電和用電的效率，並使電業自由化；讓別人也可以賣電，如此就不會缺電了。以產電效率來說，傳統的火力發電，發電效率約有三分之一，亦即從燃燒化石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，則不必加蓋電廠、不必增加任何污染，就可增加20%-40%的電力（註11）。所謂複循環就是把一次燃燒之能源發電兩次，以增加其發

英文縮寫	中文名	半衰期
Cs-137	銫	30
Sr-90	銣	30
Tc-99	鎝	221,100
Am-241	銂	432
C-14	碳	5,730
Pu-239	鈾	24,110
Np-237	釷	2,140,000

▲ 表二：核電廠遺下核廢料內所含之放射性同位素及半衰期。



► 反核並不等於反電，
只期待對能源的需求
有替代方案。
(攝影：葉國基)

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，用來加熱水產生蒸汽以推動另一組蒸汽渦輪，又發電一次。如此，一石二鳥，既可提高產電量，又未增加任何污染，各種火力電廠皆可作。這些複循環進步型火力發電廠之成本，大多比傳統型（目前台灣在運轉的）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，燃煤則為1600美元。而複循環天然氣發電每千瓦約400-800美元，燃煤則為1000-1700美元（註11·頁87）。台電雖然在新的火力發電廠已採用複循環；但是尚有915萬千瓦的傳統火力發電廠也可以全面改裝成複循環，如此在未增加任何污染下，就可增加約30%的電力（275萬千

瓦），超過核四電廠預定的200萬千瓦。

此外，台電喜歡蓋大型電廠，然後再用很長的管線來輸配電，這樣一來，至少浪費了6%以上的電力，另有學者估計，台電配輸電所浪費的電力可達30%。為避免這種不必要的浪費，吾人以為，應該在各個需要大量電力的工業區蓋小型電廠，如此則可節省配輸電的損失。

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。兩國都同樣在經濟發展，我國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，像鋼鐵、水泥、石化、紡

織等。這種擴張耗電工業的政策如果不改變的話，再多的電廠也是不夠的。這點有待政府和民間共同改進，未來或許可考慮收能源稅，就像抽空氣污染防治費，如此用電才不會無窮盡地膨脹。

■ 全面提高能源使用效率

民生用電也一樣要提高效率，特別是每個主張反核的國民，更應該率先實行。除了隨手關閉不用之電源外，亦須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%（註12）。



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，因為長期可因用電少而回收。政府也應該全面倡導、鼓勵民眾購買此類產品才對。用電有效率並非要回歸原始人的生活，而是愛護生態，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。

總結來說，身為基督徒，我個人在信仰上的領受是：核能固然也是一種可能被使用的能源，但在使用時可能會有爐心鎔毀，造成大量輻射污染外洩危害人體的危險；電廠用了三十年之後，它所產生的核廢料又須小心處理，由後代子孫監測十萬年以上來收拾；更何況它如果要做得安全就會比較貴，在台灣目前的能源方案中它應該是排在最後的選擇。因此，不得不鄭重呼籲當電業自由化、所有的替代方案（例如把現有傳統火力電廠換裝成複循環機組）都做過之後，如果還需要更多的電力，那時再來考慮是否需要興建核電廠還不遲；而且可能那時所使用的為核融合能源（註13），而不是像核四這種會產生高輻射廢料的核分裂能源。

註

- 1: Sbcherbak Y.M., Ten years of the Chernobyl Era., Scientific American, 1996; April:32-37.
- 2: 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」。
- 3: 行政院原子能委員會，游離輻射防護安全標準，台北：行政院原能會，1991。
- 4: 行政院原能會放射性帶處理物料管理處，輻射劑量比較（墊板背面為元素週期表），1992。
- 5: ICRP (International Commission on Radiological Protection), 1977, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, 1st ed. Oxford U.K.: Pergamon, 1978.
- 6: ICRP, 1990 recommendation of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, 1st ed. Oxford, U.K. Pergamon, 1991.
- 7: 席時濟，我們為什麼要興建核四廠，自由時報，1996年6月2日，自由廣場。
- 8: NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements), Dose control at nuclear power plant, NCRP report, no. 120. Bethesda, MD: NCRP, 1994:17.
- 9: 邵廣昭，黃登福，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——物理組，台北：行政院環保署，1995：5-160。
- 10: Whipple CG. Can nuclear waste be stored safely at Yucca Mountain? Scientific American, 1996; June:56-64.
- 11: Fulkerson W. Judkins RR, Sanghve Mk. Energy from fossil fuels. Scientific American, 1990; September: 83-89.
- 12: Fickett AP, Gellings CW, Lovins AB. Efficient use of electricity. Scientific American, 1990; September: 29-36.
- 13: Furth HP. Fusion, Scientific American, 1995; September: 140-143.