

由核電爭議談核科學主軸之通識教育

林群智¹

南華大學通識教學中心/自然醫學所助理教授

摘要

隨著台灣民眾民主意識抬頭，核能發電開始出現了存亡與否的廣泛爭議，然而，由於族群意識型態被操弄、為政者未依歸專業建言而做決策、媒體的錯誤報導，復因核科學通識教育之不普及，使得民眾在道聽途說中對於「核電」產生了恐懼或是誤解。本文旨在藉由目前國內核電的爭議，探討民眾對於核電最常存有的疑慮與恐慌、目前替代能源在能源結構上的地位與存在的問題，進而介紹核科學的內容與應用，並對核科學通識教育提出課程設計與落實的建言。

關鍵字：核能、科學教育、公投、能源、核科學

¹聯絡方式:cclin@mail.nhu.edu.tw

一、前言

核能發電在台灣經濟起飛的那段歲月裡扮演著推手的角色，促進了台灣工業的發展，也造就了舉世矚目的經濟奇蹟，而就在工業高度發展下，工廠比肩隨踵設立，民生用電也水漲船高，在唯恐電能不敷使用的考量下，興建另一座核電廠—核四廠的政策卻引來了爭議，這除了展現了台灣民主意識抬頭和言論的自由外，也引起更多人民思考到能源的有限性，以及核能對環境的影響。只是近幾年來，國內由於政治人物操弄族群意識型態以及政黨惡鬥的遺害，使許多公共議題無法客觀依歸專業的建言而做決策，加上在媒體多元化和商品化的推波助瀾下，許多專業和科學性的議題卻常在非專業的公眾人物或學者不經深究、斷章取義的評論中，成了一般民眾的「教材」，加之民眾之科學通識教育的不足，及「官大學問大」的文化認定或意識型態之主觀偏好的非理性態度(如：傾向於盲目支持某些政黨的立場或言論，而往往省略了檢視查證的科學步驟，於是這些評論有許多終而成為以訛傳訛的輿論，類似的情形在國外的研究中也曾經提及 (Roder, 1961; Yim and Vagnov, 2003))。「核能發電」在這樣的時空背景下或者成為外行與專業爭論的議題，或者成為朝野政黨互相攻訐的話柄，甚至成為拉攏不同政黨支持者的籌碼。

昔日「核電」的光環在今日反核聲浪沸沸揚揚的台灣已然摘下，雖然並未謝幕走入歷史，但一般民眾對於「核電」已經不再如同過去放心地彷彿未曾存在過，而是懸在心上的許多問號，對於某部分民眾而言，甚至是過街老鼠。1970年代 (1973及1978年底)，全球因第四次中東戰爭及伊朗政局之不穩定，先後歷經兩次石油危機之衝擊，政府為因應危機後之能源情勢，在能源政策上改採發電來源多元化之策略，於是積極推展核能發電，現有之三座核能發電廠並於1978年、1981年及1984年先後運轉。

爭議最多、命運最坎坷之核四計畫係於1980年因應整體經建計畫提出，1985年因電力需求減少而緩辦，1991年台電再次提報，其間卻歷經「凍結、恢復、廢核、覆議」諸程序，終於1999年3月原子能委員會核發建廠執照後方成定案 (黃鎮台, 2001)。如今，核能四廠在一度違約停建，賠償數十億人民的血汗錢後 (包商違約理賠金約卅四億，但付出的社會成本，則難以估算) 再度復工，這些損失就當時的經濟部長林信義所述是「民主的代價」(陳鴻基, 2002)，甚至有人提出「核四公投」的主張，但從教育的觀點而言，在民眾對「核」者為何尚未能辨之前，將核四付諸公投便有如一群人投票決定生病的家屬該如何處置而不去就教醫生一般，如果這些投票的人都有基礎的醫學知識，那麼才能做出較為正確的抉擇，否則難免不會投錯藥而一命嗚呼。因此，在「核四公投」之前，我們是否應

先省思加強台灣的核科學通識教育？

二、核科學面貌

核科學曾是1950~1960年代世界上最熱門的科學，當時台灣也有許多在外留學的學者返國投入研究。核科學又稱為核子科學（nuclear science），主要探討以原子核為基礎（如：原子核之結構、性質及其與其他原子核之交互作用）之科學，從中繼而發展出核物理學（nuclear physics）、放射物理學（radiophysics；研究游離輻射的物理性質及其在物質或生物體中造成的輻射劑量）、保健物理學（health physics；探討環境或工作中人員之輻射健康效應及其防護方法）、醫學物理學（medical physics；放射物理在臨床醫療上之應用）、核化學（nuclear chemistry；利用化學上常用的方法與技術研究原子和結構及基本粒子的科學）、放射化學（radiochemistry；利用核物理上之放射性衰變及技術研究化學上問題的科學）、輻射化學（radiation chemistry；探討輻射通過物質時所誘發之化學效應）、核子醫學（nuclear medicine；探討放射性物質在醫學診斷及治療上之應用）、輻射生物學（radiobiology；探討輻射對生物體造成之生理效應）及宇宙化學（cosmochemistry；以同位素方法探討元素與宇宙起源的科學）等，是不折不扣的跨領域科學。

三、核電恐慌

核能發電是核科學的重要應用之一，我國雖然擁有四座核能電廠，但在現行教育中並沒有提供充分的課程以提供全面的資訊與知識，以致於民眾常是霧裡看花、道聽途說，存在許多疑惑。綜觀核能發電最常引起「誤解」的論述約可歸納如下。

例如，有些政府官員將核反應器（俗稱原子爐）視同原子彈，甚者引導民眾聯想到核爆後的死傷慘狀，造成民眾無謂的恐慌；殊不知兩者的燃料濃度、結構和目的完全不同，作為和平用途的核反應器根本不是原子彈。又如，許多民眾認為台灣的核電廠可能像車諾比爾（Chernobyl）發電廠一樣爆炸，卻不知車諾比爾發電廠與台灣核電廠所採用的反應器設計、安全系統及緩和劑（moderator）完全不同（表一），當爐心溫度增高或功率越高時，車諾比爾的反應器之反應度會越來越高，而台灣的輕水式反應器則是相反，亦即具有負反應係數和負溫度係數（胡錦標，1998；Choppin, et al., 1995）等性質，即使最嚴重的冷卻水流失事故（LOCA；loss of coolant accident）發生了（如：三哩島發生之核事故），也不至於發生爆炸。又如，車諾比爾發電廠的爆炸也並非一般民眾認定的核爆，而是爐心溫度增高時，高壓之冷卻水蒸汽造成之反應器爆炸，遺憾的是，車諾比爾之反

應器並沒有圍阻體的設計，因而導致輻射外洩。另外，也有不少民眾疑慮，一旦戰爭發生時，核電廠便將成為敵方攻擊的目標，事實上，圍阻體的設計足以抵擋一般飛彈攻擊，除非敵方意圖全面摧毀台灣而使用「核子彈頭」(見新核家園網頁1)，即便可以用來當作戰利品的發電利器都願意捨棄，否則以台灣目前國防的主要假想敵中國大陸而言，應不至於去浪費這顆飛彈作損人不利己的犧牲。

表一：車諾比(Chernobyl)及台灣核電廠之比較

電廠	車諾比核電廠	台灣核電廠
用途	發電+生產核燃料	發電
設計	石墨型輕水式反應器	輕水式反應器 (沸水式或壓水式設計)
核燃料	鈾235+鈾238	鈾235+鈾238
緩和劑	石墨	輕水
冷卻劑	輕水	輕水
圍阻體	一般廠房	多重屏障(一道或兩道)

核能發電最被質疑的便是核廢料莫屬了；核廢料依放射活度可區分為二類，其一為高階廢料，為核分裂產物 (fission products)，就台灣的核電廠而言，約佔核廢料總量3% (其餘97%為鈾-238，約1%為鈾，可回收使用)，放射活度高，但其核種半衰期多數少於1000年，在放射性核種十倍半衰期的時間後，其放射活度將只剩下原來的一千分之一；惟某些因中子撞擊誘發之錒系元素 (actinides) 半衰期很長且不易利用原子爐將之轉化，才是儲存上必須注意的。高階廢料會因為核衰變而產生熱，必須先存放在乏燃料池中「冷卻保存」(時間為30-50年)，之後再經歷「乾式儲存」及「最終處置」等共三階段之處理，目前國內核電廠所有的高階廢料仍以第一階段方式處理 (翁寶山, 1984)。其二為低階廢料，主要為核電廠員工平常接觸放射性物質後，所產生如手套、衣服等一般性廢棄物，其放射活度低，蘭嶼的核廢料掩埋場及是儲存此類廢料。此外，核廢料的處理和儲存容器必須經過嚴格的監控和測試 (中華核輻射生化污染防護協會, 1998)，且儲存場的選擇也必須經過審慎的地質和地理環境的考量，以美國的標準而言，永久性核廢料貯藏所的地點必須偏遠、人口稀疏、乾燥、地下水源低且沒有火山和斷層經過 (見Office of Civilian Radioactive Waste Management網站)。

再者，用過核燃料 (乏燃料; spent fuel) 並不同於核廢料 (nuclear waste)；一般輕水式反應器之核燃料使用之易裂材料 (fissile material; 被熱中子) (楊昭

義、歐陽敏勝, 1997) 含量太低而無法繼續核反應時便需更換, 其所產生的能源約有40%是來自於鈾, 而乏燃料中約仍有99%之天然可裂材料(fissionable material; 被能量小於或等於10MeV之中子撞擊而可能發生核分裂之材料, 如: 鈾-238、鈾-232) 未用於發電, 就鈾元素而言約仍含有60%之鈾-239以及部分的鈾-241等易裂材料, 經過提煉後可以用來繼續產生核能, 法、英、德、日等國家已經將乏燃料中的鈾與鈾再行回收, 製成高經濟價值的MOX (Mixed Oxide) 核燃料 (The Parliamentary Office of Science and Technology, 2000; Herring, 2001), 其不僅較傳統的二氧化鈾 (UO_2) 便宜, 用過的MOX核燃料也可多次經再生處理用於發電, 而延長同一批核燃料的使用壽命, 目前更有以二氧化鈾-二氧化鈾 (ThO_2-UO_2) 製成之MOX, 可以大大地減少高階核廢料之產量, 且其廢料為較穩定且難溶解之化學型態, 易於運輸及進一步處置 (Herring, 2001)。此外, 亦可考慮在將來使用快滋生反應器 (FBR; fast breeder reactor), 使用更便宜的可孕燃料 (fertile fuel; 本身非易裂材料, 但吸收中子後可能成為易裂材料之材料, 如鈾-238、鈾-232), 其在運轉過程中可利用高能中子使熱中子反應器無法利用的鈾-238有效率地轉換為可裂材料鈾-239 (其量較發電過程消耗掉的鈾-235更多) (Zaleski, 1998), 目前, 美國的快中子實驗器EBR-I、EBR-II、FERMI-I、FFTF, 及法國著名的鳳凰原型快滋生反應器、印度的FBTR、俄羅斯的BR-10、BOR-60以及世界發電量最大的實驗快滋生反應器BN-600等實驗反應器均已運轉多年, 積累了數十年的運行經驗, 此外, 中國大陸也在1999年著手建造FBR (見新核家園網頁2), 但FBR尚未普及的原因在於(1)鈾燃料的儲藏量仍很豐富, 價格便宜, 尚未能與輕水式反應器競爭市場, 及(2)FBR必須仰賴來自熱中子發電廠產生的核廢料, 若熱中子發電廠未發展到相當的機容量, FBR很難具有規模, 而此時高放射性廢液的庫存也已經很大, 相信將來應能一一克服。

近來, 美國甚至利用核廢料使水分解為氫氣和氧氣, 而成為燃料電池的原料 (見NEI網頁), 由此觀點而言, 核能即可視為「準再生能源」, 為了能源的永續經營以及減少核廢料產量, 我國應見賢而思齊之。

此外, 核電另一常被提出的質疑是「溫排水」的問題, 主要是因為核三廠之冷卻水出水口附近發現了許多白化 (由於溫度、濁度、鹽度等環境因素超過其可適應範圍時, 使組織內之共生藻排出而失去顏色) 的珊瑚。事實上, 核三廠興建前, 出水口兩側之淺灣區原本並無珊瑚存在, 核三廠興建後以消波塊圍出一條120 m的引水道後使水流改變, 方令珊瑚在此茂盛地生長 (李永適, 1999)。1998年台灣大學的研究發現, 由於全球聖嬰年現象之故, 氣溫酷熱偏高, 再加上沖刷至海底之泥沙、嚴重的垃圾污染, 以及溫排水, 使得此區珊瑚之白化現象在夏季

海水溫度較高時較為明顯，但冬季溫暖的核三廠冷卻水又讓珊瑚恢復生機，因此，人為的破壞恐怕才是使珊瑚白化較嚴重的原因（戴昌鳳, 1995）。再者，溫排水並不是核電所獨有，所有的火力發電廠都有相同的問題，雖然如此，卻也不是無解，直接將冷卻水排入海中的作法的優點是價廉，但較易影響近岸的生態，若將放流管延長至離岸較遠處，使溫排水往水面浮流擴散即可避免對珊瑚礁的衝擊，目前，核三廠已經採取此措施，使溫排水之溫度控制在34℃左右，核四廠甚至採取潛盾式設計，利用海底管線延伸到外海排溫排水，創全球首例，日本、法國及比利時等國家甚至利用溫排水作為漁業養殖之用（見核能四廠相關資訊網站）。

從另一角度而言，放射性核種的生命是有限的，其利用過程及最終流向也都經過嚴密的監控，相較於被排到溪流、大海或土壤裡的化學毒物（無限長的生命期），影響範圍相對較小，有許多化學毒物現今仍無法清除（如：台灣沿海的重金屬污染），而經由食物鏈進入人體中，這些污染物卻是常為人所忽略的。

四、替代能源的種類與其特點

自從工業革命以來，人類一直倚賴不可再生的化石燃料（如：煤、石油和天然氣），其中，石油的開採，令石油化學工業得以蓬勃發展，促進了文明的發展和科技的進步，在日常生活中幾乎舉目盡是石油裂解過程的產物，這些產物中有許多是工業、醫藥甚至農業的原物料（如：甲烷、甲醇、乙醇等），因此，近來石油與天然氣的價格節節高漲，使得民生經濟也連帶受到波及。

石油分餾的產物中，有多數是用來做為燃料的，遺憾的是，目前人類的技術尚無法將燃料油高效率地轉換為機械能，在燃燒燃油的過程中至多僅有三至四成之能量用來作功，另外約有六至七成的能量轉換為難以利用之廢熱，相當浪費。尤其在高度工業化的城市，工廠和汽、機車也多，大量的廢熱使得環境的溫度遞增，加之燃料燃燒後排放之氣體，使大氣中的CO₂、NO_x及SO_x濃度越來越高，雖然台灣現在的火力發電廠多數已有脫硝和脫硫的裝置，而汽、機車的排氣管中也都裝設了去除NO_x和CO的觸媒轉化器，但我們依舊可以見到都市和工業區附近呈紅棕色的天空，這就是著名的洛杉磯煙霧（L.A.smog; Botkin and Keller, 1995a），此外，由NO_x及SO_x產生的酸雨也依然存在，持續塗炭生態環境。

上述人為產生的污染氣體中，影響範圍最大的要算是CO₂；由於CO₂容易吸收來自太陽長波能量和人類所排放的廢熱，因而導致了全球暖化（global warming）的現象（又稱為溫室效應green house effect），使得氣溫年年增高，台

灣也不例外 (Hsu and Chen, 2002)，某些地區更因為地形 (如：盆地或鄰近山區) 的關係，造成當地上空大氣反轉 (atmospheric inversion) 的現象，形成逆溫層 (inverse layer; Botkin and Keller, 1995b)，不僅熱量排不出去，人們製造的氣體污染物也被籠罩在其中，因而造成許多呼吸道的疾病；此外，天氣現象與海洋息息相關 (戚啟勳, 1989)，由於溫室效應的影響，使得海水的蒸散速率改變，故而導致全球氣候反常，使得有些地區因為高溫襲人的熱浪而死傷無數 (如：2003年熱浪席捲歐洲，單在法國便造成一萬五千人喪生；1995年七月，美國芝加哥也因為熱浪導致七百多人死亡)，有些地區卻因為低溫和暴風雪而災難頻傳 (如：英國及德國)，某些地區則因為大量降雨造成之大洪水而家破人亡 (如：去年法國的大洪水造成27人喪生)，復有某些地層較低的地區 (如：荷蘭) 更可能因為全球暖化造成之極區冰雪融化，而使生存之土地沒入海中；再者，溫室效應日趨嚴重的結果也可能導致颱風更易於形成，對於東南亞的影響甚鉅。這也使得1997年制訂的京都議定書近日又被提出來討論，使用化石燃料發電的國家則必須為抑制CO₂的排放而付出鉅額成本 (江丙坤, 2000)，我國政府也擬訂定相關CO₂減量政策，如此一來，國內許多產業 (如：半導體電子業、水泥工業、石化工業、鋼鐵工業...等等) 也連帶受到影響，進而導致其產品價格水漲船高，最後還是瘦了民眾的荷包。

核能燃料開採及製造的過程中雖然也必須消耗能源產生CO₂，但在相同產能的需求下，開採化石燃料產生之CO₂則要多得多。而鈾燃料在製成燃料棒用於發電之後便不再產生CO₂，且由於其能量密度極高 (1噸鈾燃料轉換所得之能量約相當於燃燒70000噸煤或47000噸石油所得之能量 (台灣電力公司, 1998))，因此，用於取代化石燃料時可大量減少CO₂的排放。

同時，新能源的開發一直是全世界人類共同努力的目標，希望找到乾淨而永續的能源 (sustainable energy)，而幾乎所有的可再生能源追根究底均來自於太陽能 (核融合能，為另一種形式的核能)，其中包括風能、水力、海洋能 (如：潮汐發電和溫差發電) 生質能和近來相當熱門的燃料電池等。在許多先進的國家，可再生能源已經漸漸地被採用；例如：美國、德國和丹麥為全球風力發電量最大的國家，法國也在海洋能的利用上不遺餘力，然而，風能的利用受地形、季節和時間的影響較大，雖然海上可提供更大的風能，卻也會破壞海上的景觀。水力的利用必須仰賴集水設施 (如水庫)，但水源往往都在生態資源豐富的區域，建造水庫無疑必須破壞當地的生態環境，譬如，1931年美國建造胡佛水壩 (Hoover Dam) 後，陸續地發現許多生態上不可逆的改變，代價不可謂不大 (見環境資訊中心網頁)。海洋可以提供的能量相當大，但不同形式的海洋能利用也受到地理

環境上的限制;如：潮差發電必須選擇潮汐水位差異變化較大的地點，但築堤後可能改變當地之水文及生態甚至潮汐的水位；海洋溫差發電受制於海洋表面與海底之溫差，較適合赤道附近的地區使用，且其興建所費不貲，一般國家無力負荷；其他如鹽差能發電及波浪發電均有地點之侷限性及生態景觀改變的憂慮。太陽能發電是最環保的能源，卻受制於地點、季節和晝夜交替的限制，發電量有限。前景看好的燃料電池，尤其是氫氧燃料電池，不僅可用來發電，且產物為水，為一乾淨的能源，但目前仍在研發階段，發電量較小。生質能（如：生質柴油、生質酒精、生物電池、牛糞或沼氣發電等）是目前世界各國積極開發的重要能源（Leung et al., 2004），利用生物代謝過程的產物（如：澱粉、葡萄糖、纖維素等）生物質（biomass）經化學或生物轉化可生成可燃性燃料（如：甲醇、乙醇、甲烷、氫氣及類似柴油成分之生質柴油），以兼顧環保與能源之永續經營，惟此種生質仍須依賴充分的陽光與溫暖的氣候始有豐富的產量，因此，依國內的氣候條件而言，僅南部地區較為適合，且能源密度較低；另一種利用農林、畜牧及工業之有機事業廢棄物（如：廢輪胎、有機廢液、廢紙排渣及黑液、油泥及石油焦等）的生質能（Estarly and Burnham, 1996; 吳耿東、李宏台, 2004），可同時處理廢棄物，且較傳統化石燃料產生之空氣污染物少，是值得發展的理想能源，但兩者在使用中仍免不了CO₂的排放。利用受控熱核反應器（controlled thermal nuclear reactor）產生之核融合能是人類夢想中的能源，依於核融合龐大的發電量和極少的廢料，就像地上的太陽一般，而且所需要的燃料—氫，可以由海水中取得而不虞匱乏，只是，這條逐夢之路已經走了五十幾年，而終點仍不知有多遠。

核分裂能由於能量密度相當大，用於發電所需之質量遠低於化石燃料，因此運送方便、供能持久，且沒有CO₂、NO_x及SO_x排放的疑慮，就目前的科技而言，較之其他能源之發電成本也相對低廉，且價格較不受國際油價波動的影響，也較無戰事發生時能源供應的問題（江丙坤, 2000; 張鐘潛, 2000）。隨著石化燃料價格持續抬漲、能源危機意識漸漸深化，以及對全球氣候變遷的憂慮，英國著名的環境學家James Lovelock也在演講中說明儘管身為一名綠色主義者，但他還是懇求同仁們放下對核能的偏見（"I am a Green, and I entreat my friends in the movement to drop their wrongheaded objection to nuclear energy."），因為核能是唯一一種可以獲得巨大能量而又不向大氣排放溫室氣體的能源途徑（McCarthy, 2004）。無獨有偶地，美國科學家們也開始重新評估核能，如諾貝爾化學獎得主Richard Smalley也認為，美國應該，也可能會重新開始建造核發電廠（"We ought to, and probably will, start building nuclear power plants again."）（Varchaver, 2005）。

所有型態之能源的利用都有其優缺點，能源本身並無好壞，端看人類如何使

用。就核能而言，一般民眾擔心的恐怕也不是核能本身，而是核廢料處理和人員的訓練能否切實依規行事，相較於其他先進國家，這些的確是國內有待加強的項目。若核廢料能與具處理能力之國家（如：蘇俄）合作，使乏燃料再生使用，將可大幅減少廢料產量，提升和核燃料之利用效率如此一來，便可以兼顧國內電力的需求和環境維護的目標；而人員的訓練則可透過由政府與學術單位組成之專職管理機構督促而強化之。

要成為一個環境優質的國家，尤其是在今日國內欲積極發展觀光的條件下，產業結構必須要調整，高耗能、高污染的產業（如：水泥業）應當漸漸減少，切實建置氣電共生系統，讓能源的利用更有效率，此外，發展區域性（如：一鄉或一縣）的供電取代目前集中由台電電廠供電的方式，可以減少配電線路太長而造成的能源消耗。再生能源的利用仍有待國內努力開發，目前多扮演輔助的角色（表二；許志義、陳澤義，1993），就當地的地理環境特性，利用風能、太陽能等再生能源，或利用當地焚化爐或工廠的氣電共生系統可供應區域性的電力需求，也可避免如921大地震時因配電線路故障而造成大規模的停電。就目前能源需求而言，生質能值得國內開發，用於交通工具（國內空氣污染之重要貢獻來源）之使用能源，而核能的利用可以取代大型之火力發電（尤其是燃煤及燃油發電），以維持基載電力，並減少空污以及CO₂的排放。

能源政策牽涉層面相當廣泛，除了能源本身以外，還有經濟與環境生態的考量，但應當由各領域之專家學者客觀地討論和謀求最適當的方案，若使政治的考量凌駕於專業之上，便容易做出錯誤的決策，而民眾在針對專業性的問題時也應抱以科學審驗和客觀辯證的精神，方不致淹沒於輿論之中而被誤導。擁核與反核在國內依然爭辯不斷，但可以發現許多不必要的爭議或不正確的觀念，而生活中的核科學應用也多不為人所知，因此核科學通識著實需要加以推廣以教育釐清之。

表二：再生能源與傳統能源的比較

比較項目	再生能源	傳統能源
能源密集度	低	高
儲存難易度	困難	容易
儲存成本	高	低
儲存時間	低	長
運輸可行性	低	高
環境污染度	低	高

五、核科學通識教育之現況與功能

長久以來，國內對於核科學（nuclear science）之基礎教育並不紮實，至於核科學通識教育就更加忽略了。我國在中等教育以下，僅對原子核之誘發分裂（induced fission）之概念有所著墨，然而對於核能發電的原理及各種核反應器的結構與安全設施，卻毫無介紹或論述，至於核能在其他領域之應用更是付之闕如；就筆者過去在中學任教之經驗而言，即使是中學的教師也對誘發分裂的概念不甚瞭解。

譬如，曾有中學老師問及，既然核分裂產生的能量來自於質量的轉換（ $E=mc^2$ ），何以在 ^{235}U （鈾-235）的誘發分裂核反應式(1)中，反應物的質量數（mass number）之和依然等於產物的質量數和？



又如， ^{235}U 的分裂需要藉助水對中子的減速，使之成為熱中子（能量 <1.0 eV），但為何要將中子減速呢？一定要使用 ^{235}U 當核燃料嗎？ ^{238}U 的含量不是更豐富（ $\sim 99.3\%$ ）？再者， ^{235}U 分裂後是否一定分裂為 ^{87}Br 和 ^{147}La ，何以在某些文獻中分裂產物是 ^{143}Cs 和 ^{90}Rb 呢？這些問題並未在中學課程中詳加探討，此外，對於核廢料的處理也並未提及。當然，筆者也認為，在中學的階段，並不需引導學生深究核反應繁雜的機制，但對於大眾所關心的核能發電之相關議題以及許多核科學應用（如：生活中及醫學上的應用）之相關知識，則建議多加介紹以避免誤解並增廣學生之見聞。

而在大學教育中，即便是自然科學相關之科系，執教者也常常忽略普通物理及普通化學中核子物理、核子化學及放射化學等部分而不談，更遑論其他文、法、商及藝術等學科領域之科系。因此核科學通識教育之施行對象應非僅針對非自然類科之學子，而是所有學科領域的學生。再者，雖然目前國內大學院校四處林立，但根據筆者調查，開設核科學相關之通識教育課程的院校僅有寥寥三所（表三），多數學子沒有機會接觸相關的課程，因而總是覺得「核」覆蓋著一層神秘面紗，而「核電」議題更是一再地引起唇槍舌戰，加之新聞媒體的不當傳播與觀念誤導，而使學子們乃至於一般民眾對於「核」常有戒慎恐懼的負面印象。

表三：台灣所開設關於核科學通識教育課程之大學院校與課程名稱

開設院校	課程名稱	學分數
清華大學	人生與輻射一	2
	人生與輻射二	2
義守大學	原子科學導論	2
南華大學	原子科學導論	2
	輻射與生活	2

核科學含括的領域及應用廣泛地存在人類生活之中，為避免不必要的憂慮、導正不實的媒體宣傳，並使社會大眾得以客觀看待核電問題，我國之核科學通識教育確有普及之必要。通識教育既為統整性的(integrative)的教育，因此，核科學通識教育也必須兼顧認知與情意、人文與科技以及思考與操作等面向；而由於核科學本為一跨領域學科（涵蓋物理、化學、生物、醫學、生態學、電子學、材料科學及環境科學等），因此，其課程可引領學生更寬廣地伸展知識觸角，並瞭解學科之間可以如何地激盪出新的知識領域，啟發其創造力。而在核電議題上，學生可經由各種科學數據（包括原子能委員會、環保署、國際原子能總署、反核團體等）以及各層面（包括產業結構、能源需求、環境保護、核能安全及核廢料等）之討論，學習如何縝密地思考問題及客觀地批判，而使核科學通識教育之功能不僅止於核科學知識的傳授，且有助於思辯能力之提升。

六、核科學通識教育課程之理論與建議

就筆者在南華大學通識中心所開設之幾門課程當中，「輻射與生活」便是為核科學通識教育開設的課程之一，主要介紹原子的結構、生活當中的輻射、輻射的種類（包括游離與非游離輻射）與產生的原因、核能發電與核廢料以及輻射的應用等主題，一方面讓學生瞭解「輻射」無所不在，譬如：宇宙射線、建材、溫泉中甚至體內都有（如：鉀-40），地熱也主要來自核能，而非一般所認知的，核能只在核電廠或核爆時才能「目睹」它的面貌。另一方面在闡釋輻射與原子的關係及其產生的原因，由於一般為人所懼之事物多是出於不瞭解所致，惟有面對與瞭解其性質才能免去不必要的臆測與恐懼，也才知所防範。就經驗而言，筆者發現對於文學與商管領域的學生而言，即使是複習國中已經學過的原子結構都是其心理上的一個障礙（有些學生也因此不敢選修），必須引領其越過這個障礙後，才能順暢地進入核科學的大門，體驗其豐富而精彩的內容，體驗倒吃甘蔗的感受，這也是筆者每學期在南華大學開設本課程必經的「考驗」，令人欣慰的是，在本

課程中帶領學生可以揭開核科學的面紗，也得以為相關的見解釋疑。

基於引發學生學習興趣之考量，在核科學通識課程之設計上，應重視授課內容之順序性(Tyler, 1949)，即學生之繼起經驗，應建立在前一經驗上，換句話說，學生為學習之主體，課程之導入宜自學生既有的經驗開始，因此，依學習相關之順序性(learning-related sequencing)原則，在引入核科學內容之前，可例舉生活中常見之核科學現象或應用(如：極光、溫泉、輻射偵煙器、馬鈴薯抑芽等)，由簡單及熟悉之概念進入不熟悉之概念，以淡化學生對於課程的恐懼。在課程框架方面，主要含括原子結構與性質以及輻射的種類、應用與防護。課程順序上採取順序性之概念相關(concept-related)原則，使各單元之次序以連貫的方式建構，而每一單元圍繞著一個主要的概念，且使一概念與另一不同的概念彼此相關，依序推展；以「輻射與生活」課程而言，其順序為介紹原子結構與性質，配合圖像及影片使學生重新回顧中學所學習過之原子概念，並配合原子理論發展的簡介，漸次引入「原子軌道」及「原子軌域」的觀念，進而建構簡要的「量子化」概念，以利於「輻射來源」的介紹；熟悉此單元之後再說明輻射之分類及其性質，接著，學生在「輻射的應用」單元，便能很容易地瞭解其應用的原理(如：物質對輻射的作用、輻射對物質的作用及示蹤劑等應用)以及不同輻射的應用方式，最後由輻射在生活中的應用導入輻射防護的原則與方法，介紹如何在生活中免於輻射的傷害(表四)。

由於核科學所含括之領域很廣泛，在應用領域中常牽涉技學，而在有些領域(如：能源)也與社會發生交互作用，因此，課程之進行可採用STS(Science-Technology-Society)之教學理念(Cheek, 1992; Lutz, 1996; Yager, 1991)，讓學生主動組織知識，重視情境學習以及發展其高層思考能力，並配合多媒體教學、分組討論或辯論、實地量測以及校外參觀等活動，可使學生在參與過程中驗證與複習所學、提升學習興趣、增進其對於科技應用的了解，並可促進師生與同儕之間的互動。其中，在能源的應用單元中，對於「核電議題」必須把持「教育」之客觀原則，避免「說服」；Yim和Vaganov在研究教育對核電風險認知與態度之影響之論文中，認為「教育」是完整地呈現問題(包括優、缺點)，並交由人們做出自己的結論，而「說服」則是經過仔細篩選過卻可能偏頗的事實以改變人們的價值觀(Yim and Vaganov, 2003)。由於學生在學習此單元內容前對於「核電議題」可能有不同的看法，因此可在進入此單元前藉由分組辯論的方式瞭解學生對於此議題的看法、瞭解程度以及容易誤解的觀念。在進入本單元的學習之後，教學者應試圖回到「教育」之客觀原則，除了釐清常見之誤解之外，對於「核電議題」涉及之能源與產業結構的調整、環境保育、風險評估、核廢料處

置、核能維安工作與人員態度、社會價值觀等問題可開放自由討論，並鼓勵學生提出贊成或反對核電之理由，以及解決方法。此外，亦可引導學生利用餅形統計圖 (pie chart)，針對各種現實條件 (如：風險評估、環境保護、能源供需、能源價格等因子) 評分，以瞭解能源決策過程如何經過多層面的考量與妥協，學習作決策的能力與技巧；藉由這種評分過程中需求與妥協的經驗，可讓學生明瞭恰當的能源決策並不容易，而在評分活動結束後，還可再針對非再生能源持續消耗所衍生之環保問題、油電 (甚至民生) 價格抬升等議題進行討論，並從而建立學生珍惜能源的觀念。

表四：核科學通識教育「輻射與生活」課程之建議

課程框架	課程內容	課程活動
(A)原子結構與性質	1.原子理論發展簡介 2.原子核內、外之組成	影片欣賞：原子與分子
(B)輻射的種類	1.輻射的定義 2.生活中的輻射 3.游離與非游離輻射之種類與性質 4.輻射產生的原因 5.游離與非游離輻射之度量與單位	<u>電磁場量測</u> ： (1)分組量測學生手機發話時之電磁場強度，並依廠牌型號製表。(2)各式家電之電磁場實測 <u>游離輻射量測</u> ： 以蓋格計數器分組量測校內建築與建材以及「北投石」或花崗岩之劑量率
(C)輻射的應用	1.輻射應用的原理 2.能源的應用： 核反應器種類與核廢料處理 核能電池 3.醫學的應用 4.農業與工業應用 5.環境的應用 6.古物保存與修復 7.年代學上的應用 8.生活中的應用	參觀核電廠 核事故紀錄片欣賞 分組辯論 參觀醫院之放射科與核子醫學科
(D)輻射防護	體內與體外防護原則	影片欣賞：輻射防護

再者，若有適當的機會，可帶領學生參觀核能安全演習；對於擁有核電的國家而言，核能安全演習是相當重要的，而且，這樣的演習活動不僅是核電廠員工的事情，而是所有鄰近區域所必須認真參與的。此外，為防範其他不肖國家核子

試爆可能產生飄洋過海的輻射落塵，所有民眾也都應有基本的防護知識，因此，核能安全演習不應該只侷限於核電廠附近，從另一個角度看來，核能安全演習也應該是另一種全民的核科學通識教育。

科學教育，特別是科學通識教育並非以培養少數科技菁英為目的，而應以全體學習者為對象，特別是對於身處四座核電廠之孤島的台灣民眾而言，核科學通識教育更應普遍推廣，避免民眾對於核電懵懂無知，或對峙於核電的爭議之中，而能客觀地分析與抉擇；另一方面，當民眾具有核科學之基本知識時，也能（藉由民間團體或民意代表）對於核電安全做更準確的監督，讓國內之核電維安工作更加嚴密與確實。而核科學通識教育的落實在於(1)加強中小學的科學基礎教育；由於「核」在國內（甚至國外Nuclear Science Committee—Subcommittee on Education, 2004）常常被污名化，使得「核」聲名狼籍並影響到下一代的既有印象，因此，中小學的科學基礎教育有必要介紹性地導入核科學教育。(2)國內大專院校相關課程的開設，但首先面臨的將是師資不足的問題；通識課程內容的豐富精彩與否與教師對於該課程是否專業有關，但現前國內師資並不足夠。可行的解決方法是將核科學相關課程（如：游離輻射應用與防護、核能安全、核廢料處理與安全等與核電相關的議題）納入教育部補助之「大專校院安全衛生通識課程」的規劃，並由各區域安全衛生教育中心派遣師資支援，至於其他核科學的應用則可由各校通識教育中心與來校支援的師資洽談開課或引薦其他師資授課，以使核科學通識教育能普及於所有之各大專校院。

倘若當今高等教育對於核科學通識尚且未盡心力，那麼，甯論一般社會大眾對於核能有偌多宿怨與誤解，也無怪乎我們的學生和一般民眾談核色變，將核能、輻射等一概視為洪水猛獸。而在民眾這樣對核科學知識不足的條件下，如何能期待民眾作出明智的抉擇，而將核四議題訴諸公投？

參考文獻

- 中華核輻射生化污染防護協會(1998)。 反核人士的五大疑慮 ，《核電真相牛頓雜誌》，頁72-73。
- 台灣電力公司(1998)。《核能百科》，台電公司核能溝通中心編印，頁105。
- 江丙坤(2000)。 所謂「七年之內不缺電」 ，《能源簡訊》，2000年9月號。
- 吳耿東、李宏台(2004)。 生質能源 化腐朽為能源 ，《科學發展》，383期，頁20-27。
- 李永適(1999)。 大地別冊4—消失中的珊瑚礁 ，《大地地理》，頁53-63。
- 胡錦標(1998)。 從車諾比爾事故看我國核電安全 ，《科學月刊》，337期，頁8-17。
- 核能四廠相關資訊網站：<http://www.moeaboe.gov.tw/NuclearPowerStat4/04-5.htm>
- 翁寶山(1984)。《百科文庫(8)核能與廢料》，頁99-117，台北：百科文化。
- 張鐘潛(2000)。 透視廢核四的六大理由 ，《透視廢核四決策》，頁71，台北：正中。
- 戚啟勳(1989)。《航海氣象學》，國立編譯館出版，頁97，台北：茂昌。
- 許志義、陳澤義(1993)。《能源經濟學》，頁322，台北：華泰。
- 陳鴻基(2002)。 核四二次停工 當心核安危機。財團法人國家政策研究基金會 國政論壇 (2002年6月13日中國時報第15版時論廣場)。
- 黃鎮台(2001)。 核四案對台灣經濟之影響兼論我國能源政策與產業發展。財團法人國家政策研究基金會 國政論壇 (2001年2月13日)。
- 新核家園網頁：1. <http://www.newnuclearhome.com/pages/faq1/faq04.htm>
2. <http://www.newnuclearhome.com/pages/news3/news015.htm>
- 楊昭義、歐陽敏勝(1997)。《核能發電工程學》，頁108，台北：水牛。
- 戴昌鳳(1995)。 珊瑚白化 ，《科學月刊》，301期，頁8-14。
- 環境資訊中心網頁：<http://e-info.org.tw/issue/water/issue-water-irn00052202.htm>
- Botkin, D., Keller, E., (1995a). *Environmental science*, John Wiley & Sons, p.460.
- Botkin, D., Keller, E., (1995b). *Environmental science*, John Wiley & Sons, p.457.
- Cheek, D.W., (1992). *Thinking constructively about science, technology and society*. State University of New York Press.
- Choppin, G.R., Liljenzin, J.O., Rydberg, J., (1995). *Radiochemistry and nuclear chemistry*, Butterworth-Heinemann Ltd, p. 527.
- Estarly, J.L., Burnham, M., (1996). *Overview of biomass and waste fuel resources for*

- power production*. Biomass Bioenergy 10(2-3), 79-92.
- Herring , J.S., MacDonald, P.E., Weaver, K.D., Kullberg, C. (2001). Low cost, proliferation resistant, uranium–thorium dioxide fuels for light water reactors. *Nuclear engineering and design*, 203, 65–85.
- Hsu, H.H., Chen, C.T., (2002). Observed and projected climate change in Taiwan. *Meteorology and atmospheric physics*, 79, 87-104.
- Leung, D.Y.C., Yin, X.L., Wu, C.Z., (2004). A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China. *Renewable and sustainable energy reviews* ,8, 565–580.
- Lutz, M., (1996). The congruency of the STS approach and constructivism. In: R. E. Yager (Ed.) *Science/technology/society as reform in science education*. State University of New York Press. pp. 39-49.
- McCarthy M., (2004). Lovelock: 'Only nuclear power can now halt global warming'. Independent UK (Published on 23 May 2004).
(<http://www.energybulletin.net/320.html>)
- NEI (Nuclear Energy Institute) : <http://www.nei.org/index.asp?catnum=2&catid=265>
- Nuclear Science Advisory Committee—Subcommittee on Education, (2004).
Education in nuclear science : status report and recommendations for the beginning of the 21st century. U.S. Department of Energy/National Science Foundation.Office of Civilian Radioactive Waste Management (OCRWM) :
<http://www.ocrwm.doe.gov>
- Roder, W. (1961). Attitudes and knowledge on the Topeka flood plain. In papers on Flood Problems. Edited by G.F. White. Research Paper 70, *Department of geography*, University of Chicago, Chicago, IL, 1961.
- The Parliamentary Office of Science and Technology, (2000). Mixed oxide nuclear fuel (MOX). The United Kingdom Parliament: Post Note 137.
- Tyler, R.W., (1949). *Basic principles of curriculum and instruction*. The University of Chicago Press. (or History of Education: Selected Moments of the 20th Century on
http://fcis.oise.utoronto.ca/~daniel_schugurensky/assignment1/1949tyler.html)
- Varchaver N., (2005). Nuclear spring? Even some environmentalists are learning to love America's most reviled source of energy. Fortune Magazine, January 10, 2005.
(http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune_archive/2005/01/10/8230954/)

- Yager, R.E., (1991). The constructive learning model: Towards real reform in science education. *The science teacher*, 58, 52-57.
- Yim, M.S., Vagnov, P.A., (2003). Effects of education on nuclear risk perception and attitude: theory. *Progress in nuclear energy*, 42(2), 221-235.
- Zaleski, C.-P., (1998). Overview of future development of fast neutron reactors. *Energy*, 23(7/8), 571-579.

Discourse of general education on nuclear science from the controversial issues of nuclear electricity

Chun-Chih Lin

Assistant Professor of General Education Center/Institute of Natural Healing Science,
Nanhua University

Abstract

The exploitation and continuative utilization of nuclear electricity in Taiwan is widely disputed by Taiwanese along with the consciousness of democracy. However, many Taiwanese have misgivings or misunderstanding at nuclear electricity due to that the population ideology is misused and the policy-making is not professionally considered by the government, the mass media report misleading news, and the public general education on nuclear science is not popularized. This article aims at probing the public common misgivings and panic of nuclear electricity, position in energy structure and problems of substitute energy from present disputation and the development history of nuclear-electricity in Taiwan. Introduction of the contents and applications, as well as the suggestion of design and implementation of general education on nuclear science curriculum will further be illustrated.

Keywords: nuclear energy, nuclear science, public polling, science education