

7

第七章 核能是通往永續發展的康莊大道



化石資源耗竭、全球氣候變遷、與水資源匱乏是21世紀人類面臨的三項最大危機。全世界每一個家庭、每一個個人都可能置身事外。如果不能妥善解決，任何一項危機都會左右人類未來的命運與文明的永續發展。權衡所有可能方案，發展核能可以一舉解決所有危機，成為最可行的完全解決方案。

子孫們有權力享用化石資源

從價格、供應穩定程度、燃料運輸便捷性等層面來看，核能是目前唯一可以替代化石資源的能源，發展核能可以減緩化石資源的消耗，延長現有化石資源的使用年限，讓子子孫孫能夠有機會享用這些須經數億年累積的珍貴遺產。透過使用年限可達數百年，技術已成熟的核分裂發電方式、進而使用年限可達千年的快滋生反應器、最後利用人類能源需求的最終解答-核融合發電，達到永續發展的目的。當有人以核廢料處理的爭議為藉口，呼籲為了子子孫孫不要使用核能時；可曾想過，也許子孫們也希望有機會享受與使用化石資源的方便，也許子孫們有更好的方法與技術讓有限的石化資源發揮更大的效益。

挽救氣候變遷的全新佈局

工業、住商、能源與運輸部門的二氧化碳排放佔全球90%，我們必須有全新思維與佈局、改變能源使用模式，抑減這些部門的排放，緩和氣候變遷的威脅。我們可以在住商、工業與能源部門，以電力取代大部分的直接燃燒化石資源、在陸路運輸部門使用氫能源取代石油。接下來的問題為如何獲得潔淨的無碳電力與氫氣供應？

核能的環境優勢已詳述於前面的章節，以核能替代化石資源發電可以大幅度的降低二氧化碳排放，緩和氣候變遷發生的速度與嚴重性。核能除了用於發電外，還可以用於生產氫氣與淡化海水；氫氣是燃料電池的燃料，燃料電池可用於陸路運輸及中央供電系統，氫能源的使用亦不會排放二氧化碳。為解決氣候變遷與資源耗竭問題，能源使用佈局可調整為：

1. 石油退出燃燒發電與陸路運輸行列，將保存的自然資源應用在附加價值更高的用途上。
2. 天然氣應用於運輸部門，或發電的尖峰負載調節上。
3. 用以氫氣為燃料的燃料電池作為中短程陸路運輸工具的動力。
4. 核能與氫能源作為發電的基本負載；水力、再生能源(包括風力與太陽能)用於發電的變動負載或產氫用途。
5. 以核能生產氫氣供運輸業與發電業使用。

核可以經濟的與安全的生產無碳電力，是舉世公認的事實。但是以核能實現氫能源世紀願景的規劃，現在才正開始。

核能-實現氫能源世紀願景的唯一途徑

氫氣燃燒作用產生水並釋放大量能量，是每個中學生都知道的常識；氫氣可以用於燃料電池，可作為中短程陸路運輸工具及中央供電系統的動力。氫能的使用不會產生二氧化碳，被視為徹底改善全球氣候變化威脅的主要救星。有鑑於此，2003年美國能源部公佈未來氫能源生產的國家目標為每年3,000萬噸，用以取代美國四分之一的石油消費。

氫能的使用有許多優點，但最大的問題為如何用潔淨無碳的能源生產大量氫氣？

目前產生氫氣的方法，無論是電解水；高溫分解水蒸氣為氫、氧或是高溫熱裂解，在產氫過程中大都使用傳統化石燃料，而且熱力學定律告訴我們，能量做功的能力會在轉換過程中被消耗，因此利用化石資源燃燒的熱量來生產氫氣，只會製造更多的二氧化碳。有人建議可利用太陽能發電電解水以產生氫氣；但太陽能能量密度偏低，無法有效的大量生產氫氣；再者如果已經可以用太陽能產生電，為何不直接利用？除非基於儲存或運輸考量，將太陽能轉換為氫之後再用，似乎多此一舉與浪費能源。

利用核能將反應氣體加熱至高溫以驅動高熱之化學反應，才能擺脫傳統製程裡二氧化碳的糾纏，產生真正潔淨無碳的氫能源。圖7.1描述核能高溫熱化學產氫基本反應：

1. 以核能高溫（800 - 1,000°C）分解硫酸，產生氧氣、二氧化硫。

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 \text{ (吸熱)}$$
2. 加入碘與二氧化硫、水反應，產生碘化氫。

$$\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (產熱)}$$
3. 將碘化氫的碘和氫分離（200 - 500°C），產生氫氣和碘。

$$2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$$

整個反應中，只要加入初始硫酸與水，就會源源不斷產生氫氣，SO₂與I₂都是可以循環利用的中間產物，不會對環境產生任何負擔。

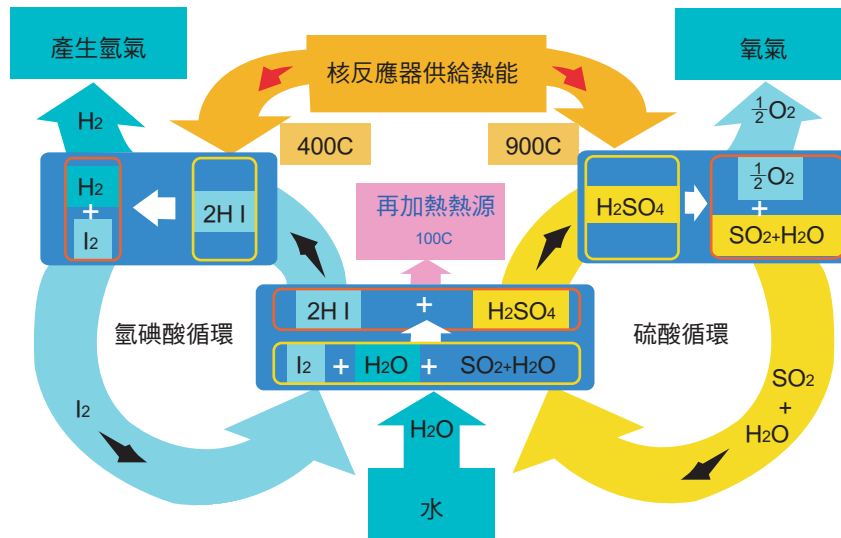


圖7.1 利用核能產生氫氣反應原理

上述產生氫氣的化學反應須在高溫下進行（75~1,000°C），目前之輕水式反應器操作溫度約在280°C左右，故無法用來生產氫氣。在高溫下運轉即為美國、日本、法國等10個國家所合作設計發展「第四代動力核子反應器」的一項設計重點。這項新一代反應器設計的另一項重點為而引入先天安全（intrinsic safety）設計理念：即發生事故時，不須外力的介入亦可以達到安全的狀態。這個國際合作計劃已提出多種初步概念設計，其中先進高溫反應器（AHTR）最具潛力（見圖7.3）：它以石墨為減速劑、熔融氟化鹽（NaF/ZrF₄）為冷卻劑，反應器熱輸出可超過200萬瓩(2,000MWt)，在850°C下可產生112萬瓩(1,120MWe)的電功率，產生的氫氣足可供應2,000萬輛汽車所需。先進高溫反應器使用的熔融氟化鹽（NaF/ZrF₄），早在50年代就運用在人造衛星上，與石墨相容性極高，安全無虞。美國能源部估計這類型反應器可在10年內開始建造。

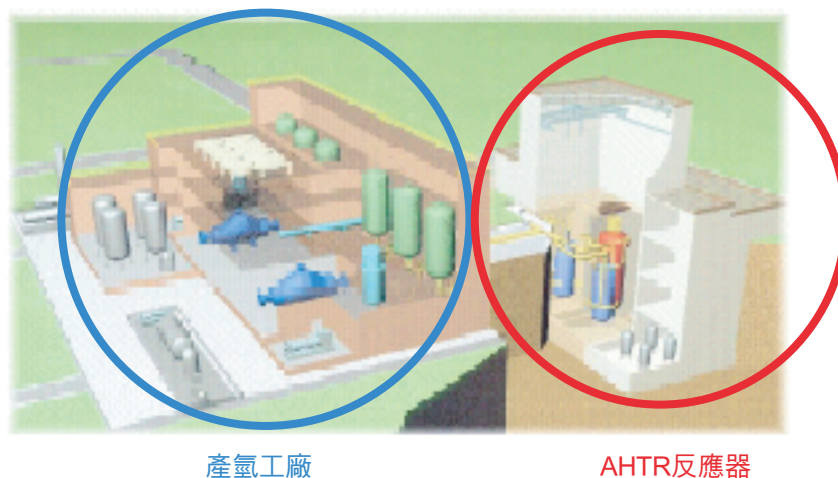


圖7.3 先進高溫反應器廠房佈置示意圖

解決人類的渴望 - 核能海水淡化技術

世界衛生組織 (WHO) 和聯合國兒童基金 (UNICEF) 最新調查警告：2015 年全球有將近20億人口沒有潔淨飲水，而每年因此直接或間接損失的生命已高達500萬人。

氣候變遷造成雨量分布越來越極端，使淡水資源益形珍貴。對許多缺水地區而言，海水淡化就成為補充淡水水源最重要的方案。

目前成熟的海水淡化技術，包括：多級閃沸(MSF)、多效蒸發(MED)、蒸汽壓縮(VC)、電透析(ED)與逆滲透(RO)等。其中多級閃沸法(MSF)發展最早，需要大量熱蒸氣，規模也最大。逆滲透法(RO)只需要電力，能量消耗最小，運作最有彈性，是目前成長最快速的淡化技術。

海水淡化的經濟效益取決於能否提供穩定、價廉的電力或蒸氣。因為核能的發電成本遠低於其他發電方式，是逆滲透法最佳拍檔；因為核能可以穩定提供大量蒸氣，所以用於多級閃沸法也相當適宜。

核能海水淡化的歷史非常久遠。早在1960年代，國際原子能總署就著手評估其可行性，並在1968年召開核能海水淡化國際會議。

1970年代，哈薩克使用俄國製快滋生反應器BN350為熱-電廠並供應附近居民每天80,000噸淡水，在順利營運26年後，於1999年初功成身退。

1998年摩洛哥與大陸合作進行核能海淡示範工廠，採用1萬瓩的小型反應器，以多效蒸發(MED)製程，日產8,000噸飲水。未來還將擴建一座20萬瓩反應器，產能高達140,000噸/日的大型海淡廠。

2001年，歐盟開始推動EURODESAL計畫，由法、義、西、葡、加與國際原子能總署共同參與。希望結合MED與RO淡化技術與GT-MHR、AP-600、IRIS等新生代反應器，一舉解決南歐缺水問題。

2004年，韓國與印尼簽約，提供一座33萬瓩的 SMART 先進反應器，配合MSF或MED製程，達成同時供電與日產40,000噸淡水目的。

核能海水淡化，有以下非常明顯的優點：

1. 沒有技術風險或困難，已經有大量成熟案例佐證。
2. 核能供應的電力或熱能價格低廉、品質穩定，是最好的海淡能源供應者。
3. 新世代核反應器原本就以多功能、彈性化應用為設計理念，配合淡化設備，並不需要大幅修改設備。
4. 一座100萬瓩裝置容量的標準電廠，大概可以提供200萬瓩的額外熱能，只使用其中100萬瓩，每天就可以產生700,000噸淡水，足供300萬人使用。不但可以滿足我們的「渴望」，更可以減少很多溫排水，減少環境衝擊，實為一舉兩得的抉擇。

發展核可以一舉解決化石資源耗竭、溫室氣體、與水資源匱乏的多重難題。這種加乘效應，是其他能源所無法辦到的！

核能的第二春已經悄然來到

人類之所以有別於其他動物，在於人類懂得製造工具，也懂得利用大自然的力量改善生活；工業革命造就了人類現代文明，但也開啓了人類對能源的依賴，而化石資源一度是滿足人類無窮盡慾望的唯一選擇。二十世紀初期一年串的物理發現使得人類拓展了能源使用的範疇；除了有限的化石資源外，人類可以利用毫無其他用途的鈾礦石，產生電能做為文明發展的原動力。二次世界大戰戰後的經濟復甦，使得人類對能源的需求更為殷切；處於萌芽階段的核能發電亦開始蓬勃的發展。1970年代初期的第一次能源危機，對全球經濟發展帶來重創，也連帶的影響了核能的發展。1979美國三哩島核電廠事故與1986年前蘇聯車諾比爾核電廠災變加深了人們對核電廠安全的質疑、核廢料最終處置爭議的無法解決、部份環保人士誇大不實的污衊，使得許多人認為核能並非可以長久利用的主流能源，而核能發電的發展也陷入低潮。但是對能源使用有基本認知的人都知道核能是無法放棄的選擇，國際上對核能發電的研究與推動也從來未曾中斷。

核能發電使用的燃料體積小、運儲方便；燃料成本佔發電成本比例極低，不易受到國際能源價格波動影響。電廠只要更換一次燃料就可以維持兩年運轉，一個 500 平方公尺的空間，就可以儲存兩年燃料。因為核能發電有這項其他化石燃料無法比擬的優點，凡有足夠經濟與科技能力發展核能的先進國家，無不將發展核能發電作為保障能源安全與國家安全的捷徑，也從來沒有考慮放棄過核能。核能發電不會排放二氧化碳，為滿足《京都議定書》二氧化碳排放減量目標，核能發電開始獲得應有之重視；近兩年來，化石資源價格的大幅攀升，再度讓人們意識到化石資源即將耗竭，價格的飆漲將不可避免，核能發電必將回到能源的舞台，扮演著舉足輕重的角色。許多原本反對核能發電的環保人士，也開始改變想法，轉為積極支持核能（見附錄C）。由於諸多主客觀因素的改變，核能已走出陰霾逐步的邁向復甦。

直到今天，全世界還沒有任何先進國家能放棄核能發電。相反的，因為核能可提供穩定潔淨、經濟實惠的「無碳能源」，為緩和全球暖化做出積極貢獻，有更多國家越來越珍惜核能。

台灣沒有放棄核能發電的本錢

台灣人口佔世界的0.3%，土地面積佔0.06%，這麼多的人擠在這麼小的多山小島上，所消耗的能量卻佔了世界的1%，以上的數字顯示能源的供應是台灣必須審慎面對的問題，而能源使用所衍生的問題勢必較其他國家更為複雜。

能源政策是國家的百年大計，政策的錯誤會對國家帶來永久的傷害。核能發電使用的燃料體積小，儲存方便；核能發電成本，燃料所佔的比例較低，不易受到國際能源價格波動的影響，故發電成本較穩定。窮苦人家的孩子沒有挑食的權利，日本通產大臣 Takeo Hiranuma 說日本缺乏天然資源，沒有核能不可能生存下去。同樣的，台灣人口眾多，資源貧乏，目前97.7%的能源依賴進口；即使規劃中的再生能源發展政策能夠百分百的執行，公元2020年時，進口能源比例仍高達96%以上；放棄核能將如何穩定能源的供應、將如何面對國際能源價格的波動、又將如何面對二氧化碳減量的議題。

從全球能源供需的狀況來看，利用核能分裂產生動力的核能發電，在可見的未來，必須扮演著重要的角色，美國、日本、韓國、中國大陸及歐洲許多國家都未輕言放棄核能，我國幾乎沒有自產能源，更沒有放棄核能的條件。站在地球村一員的立場，我們認同永續發展的重要性，我們也認為積極開發再生能源，力行能源節約，提高能源生產力是國家必須執行的政策，但核能發電的存在，並不影響上述政策的執行，反而能夠提供政策執行的資金與動力。呼籲政府不能為了滿足少數人「反核信仰」的需求，違反世界最新潮流，放棄台灣已頗具規模且達世界水準的核能發電技術；在此亦同時呼籲政府應積極督促與協助台電公司解決核廢料儲存問題，並開始規劃於核四及核三現有廠址增加核能機組。