2

第二章　永續的文明、永續的核能

追求永續發展是人類最崇高的理想。然而沒有永續的能源，人類的永續發展只是一場幻夢。今日全球的能源消耗有接近 8 成仰賴化石資源；但是由於人類的濫用與誤用，化石資源非常可能在未來數十年內相繼用盡，若不做及時與適當的改變，人類的文明可能就要劃上永遠的休止符。

人類為追求經濟發展與舒適的生活，毫無節制的濫用著須經億萬年才能形成之珍貴化石資源。這些珍貴資源的絕大多數被消耗在最不符合效益的燃燒用途，未能發揮最大功能。積極的將有限的資源做最有效的利用，才是我們珍惜寶貴資源的正確態度。

化石資源即將耗竭

近百年來人類文明的基礎建築在石油上。石油的用途非常的廣泛，人們日常生活幾乎都與石油息息相關。在石油廣泛的用途中，作為燃料可以說是諸多用途中最不具效益的使用方式。截至目前為止，石油還是世界最主要的能源，比重約為35%。石油不能再生，隨著人類文明的發展與能源的消耗，地球上有限的石油資源總有耗盡的一天；但百年來的濫用與誤用，迫使人類必須提早面對這個問題。

基於下面兩個理由，石油的耗竭將對人類文明造成毀滅性的衝擊：

第一、石油多樣與廣泛的用途無可取代

石油供應全球35% 的能源，雖然在作為發電燃料的比重日輕，但在交通運輸（海運與空運）與石化工業的用途上，仍然沒有其他成熟技術可以取代。直接或間接的石油產品（如汽油、塑膠等），早已與人們日常生活緊密結合。一但石油用罄，停擺的恐怕不只是海空運與石化業，而是每個人的日常生活。

第二、石油是所有化石能源耗竭的第一張骨牌

圖2.1為民國89年(2000年)全球能源供應情況 [1]，石油是最大的能源來源，而且可以預期未來數十年內變動的機會不大。一但石油耗盡，勢必由其他化石資源分擔其角色，屆時天然氣與燃煤的消耗速度將呈倍數增加；在很短時間內就會消耗殆盡。

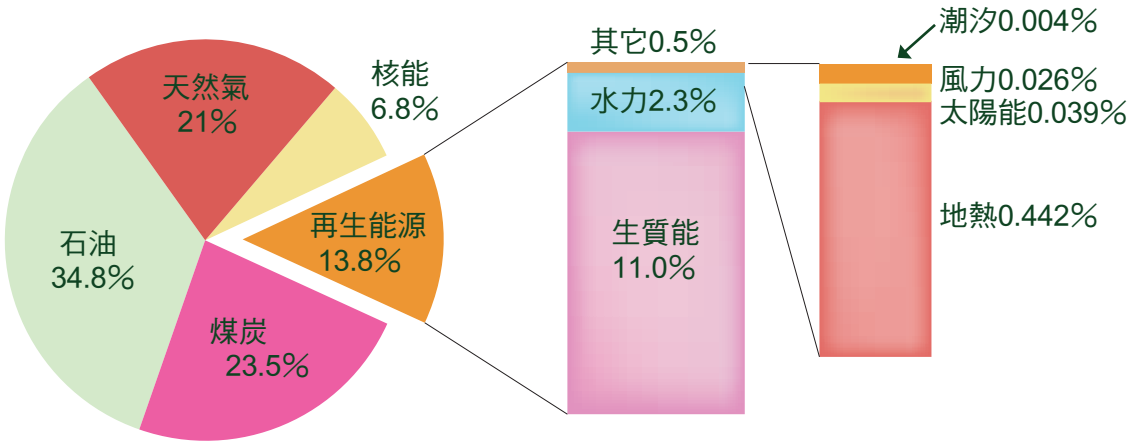

圖2.1 民國89年全球初級能源供應比例

考慮「後石油時代」的骨牌效應，天然氣可能在隨後數年內耗盡，即使煤炭可以完全替代石油，也將在其後數十年內耗竭，而不可能是現在樂觀預估的200年壽命。這種化石燃料接連耗竭的骨牌效應，對於主張以大量利用天然氣發電來減緩氣候變遷的人士而言，不啻是一種警訊。

還有多少石油？

任何不能再生之天然資源都有竭盡的一天，由於石油對於人類文明的存續有重大的影響，英國石油公司（British Petroleum）[2] 世界能源協會（World Energy Council, WEC）[3] 等機構，都會對石油使用的年限進行例行估計。以2004年確定儲存量與生產量比值（R/P值，以年為單位）推估，全球石油可能在41年後用罄。

由近年的能源能源使用趨勢看來，人類對於石油的需求量越來越多，但新發現的蘊藏量卻急速減少；如圖 2.2 所示，民國78～92年(1989~2003)的15年間，新發現的蘊藏量只增加12.5%，但消耗量卻增加20%；換言之，世界石油消耗殆盡的日子會加速來臨。

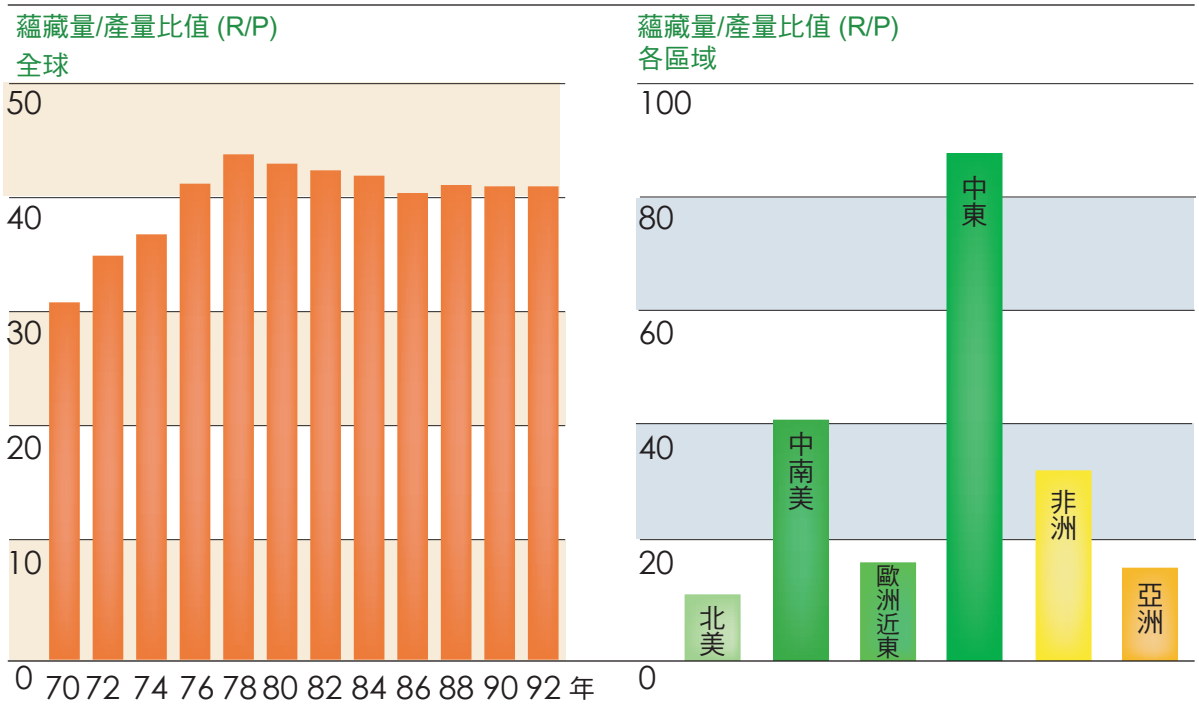

圖2.2 全球石油已開始加速消耗

改變世界能源消費版圖的「金磚四國」

分析全球各國能源消費成長趨勢顯示，過去20年OECD為主的富有國家平均消費全球62% 的石油。東亞國家過去20年能源消費成長雖然非常快速，但能源消耗佔全世界的比重仍然偏低；能夠改變能源消費版圖的，必定是人口衆多、消費量夠大、經濟成長快速的國家。當前最熱門的「金磚四國」（BRIC，指巴西、俄羅斯、印度與中國大陸）快速崛起，將大幅加速石油的消耗，進而改變全球能源供需版圖。過去５年，這四個國家石油消耗成長15%，是全球（扣除 BRIC 4 國）平均值6倍，而且成長幅度越來越大。目前「金磚四國」石油消費剛好佔世界1/6；根據以往消耗成長速度預估，到民國114年 (2025年) 將消耗全球將近1/3的石油。

BRIC國家的經濟正以極快的速度成長，即使目前還只在脫離貧窮的初升階段，其能源消費成長速度已然非常驚人。依照過去的經驗，開發中國家的經濟成長與能源消耗成正比。去年中國的能源消費總量已躍居世界第二，約佔世界能源消費總量11%[4]。這種高速成長趨勢早已引起國際注目，美國能源資訊局（EIA）在《2005國際能源展望》警告： 2001～2025年 (民國90至114年)間，發展中國家的能源（主要是石油）需求預計將成長91%，而同時期全球整體能源需求成長約54%[5]。

圖2.3是根據以往5年需求成長率，推估到民國114年中國、「金磚四國」與全球的石油需求成長，「金磚四國」是未來20年全球經濟的發動機，卻也是能源消費的「黑洞」。「金磚四國」的石油蘊藏並不豐厚，根據R/P值推估，平均只夠用20年[6]。換言之，大約從2010年(民國99)起，就必須自國外進口大量石油，國際能源大戰已經一觸即發。

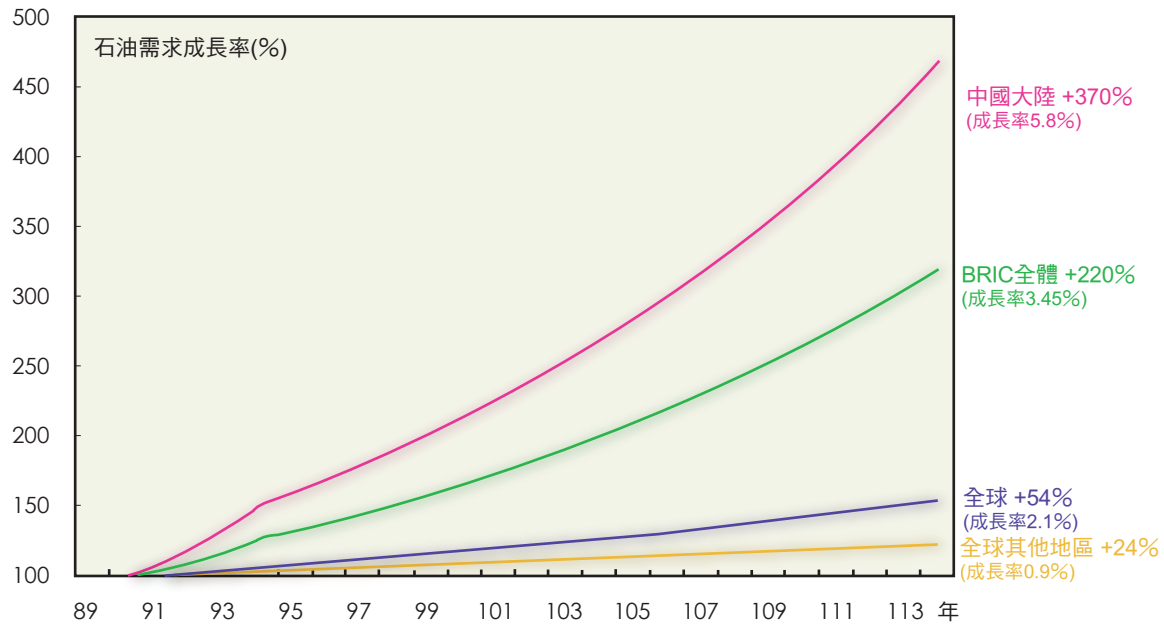

圖2.3 BRIC四國未來對於全球石油供需有決定性影響 (根據1999-2003需求成長數據推估)

石油是國家生存的命脈。美國用不存在的理由揮軍伊拉克，迄今 2 年不退；現在更磨刀霍霍朝向伊朗，若說沒有石油因素，恐怕很難取信於人。中國大陸發展「深藍海軍」，影響範圍擴及第二島鍊；日本主張「週邊有事」，強調「一千海浬生命線」；南韓整軍經武致力擴張海軍；我國推動鉅額軍購，無一不是為了保衛國家經濟生命線-石油輸送線而努力。

換個角度海闊天空

如果依照現在的模式繼續能源的消費，石油約會在40年，所有化石資源可能在80年內用完；若沒有適當替代能源，人類文明就此劃上休止符。就算有誤差，石化資源的用罄時間能夠延後幾年，但供需不平衡勢必造成能源價格的高漲，造成全球經濟破產，人類仍舊面臨一場浩劫。石油既然對人類的永續發展如此重要，使用化石資源就該更審慎，將它們用在目前尚無法以其他方法替代的用途上。

石油是初級能源，電能被稱為「二次能源」，是人類文明另一個支柱。電能須利用初級能源透過機械裝置轉化才能獲得。電能可由各種不同初級能源，例如石油、煤、天然氣、水力、風力、太陽能、生質能、地熱、潮汐…還有核分裂、核融合、氫能等產生。電能可以安全的、方便的、清潔的應用於各種用途。除了空中與海洋運輸外，它可以取大代部份石油的用途。

電能在能源應用上與化石資源同等重要，與其將珍貴的化石資源大量浪費在發電等燃燒行為上，是否應該把石化資源用於其他無法替代的用途上！即以其他初級能源產生電能，供日常生活、工業生產、甚至陸地運輸之用；而珍貴的化石資源只用於石化工業。如此，不但能延長化石資源數倍使用壽命，還能減少空氣污染與二氧化碳排放。

電能是最符合人類永續發展需求的能源，問題是該用何種初級能源產生電能，才最符合整體效益？核融合應該是人類最終可以依靠的初級能源。但處於核融合的實用技術尚待突破，而石化資源已加速用盡的不確定期，我們需要一個過渡性的初級能源，作為連接現在與永恆的橋樑，以延續人類的文明。這個初級能源就是我們已經用了50年、技術成熟的核分裂核能電廠，也就是我們常說的核能發電或核能！

核能是真正的永續能源

歷經近50年的發展與使用，核分裂核能已成為全球主要的初級能源，民國92年（2003）人類使用的能源有6%來自核能，而且其中84%集中在先進國家。核能發電不是靠燃燒來發電，故不會排放二氧化碳，大量使用可以緩和氣候變遷，世界上有許多國家例如：芬蘭、英國、瑞士、韓國、日本、中國大陸都將發展核電作為達成《京都議定書》不可或缺之因應方案。美國雖然尚未簽署《京都議定書》，但是也將發展核能發電視為二氧化碳排放減量的重要政策。

目前以鈾分裂為主的核能應用，以鈾-235為燃料，天然鈾中的鈾-235含量僅占0.7%，其他為鈾-238。即使維持目前方式，鈾-235的蘊藏量也足夠人類使用數百年。如果將核能發電使用過燃料中有用物質如鈽-239、剩餘的鈾-235、鈾-238回收(即所謂的用過核燃料再處理)，還可以延長數倍鈾燃料使用壽命。

如果數百年的鈾-235資源仍無法滿足需求，還可以利用快滋生反應器來大幅延長鈾燃料的使用期。快滋生反應器在消耗鈾-235的同時，可以把更多的鈾-238轉化為鈽-239，鈽-239可以維持核分裂反應，也可做為核電廠燃料。快滋生反應器可以讓人類完全利用鈾燃料。據估計，快滋生反應至少可以提供世界千年的能源需求。

透過快滋生反應器的發展，人類可以使用蘊藏量比鈾多出數十倍的釷作為燃料。快滋生反應器可以將釷-232轉化為鈾-233，鈾-233可以維持核分裂連鎖反應。我國核能研究所早年曾做過完整研究，證實本省西部海底有種釷含量高達20%左右的獨居石，就是最好的釷礦。

核融合是永續能源的最後寄託；比起現在的核分裂反應，核融合燃料有取之不盡、用之不竭的優點，而且幾乎不會產生任何放射性廢料，故沒有核廢料難解的質疑與政治問題。核融合尚有一些技術瓶頸待突破，雖然先進國家仍然持續不斷的投入研發經費，但在未來數十年，核融合可能還無法成為主要能源。

除了核能與極少的地熱與潮汐外，地球的能量都來自太陽。風力、水力都是太陽能呈現之不同的形式；化石資源是數億年前的太陽能，藉由動植物的軀體保留至今日。

太陽提供給地球的能量總量固然龐大，但自然定律限制了人類使用該項能量的比例。工業革命與人類近代文明的發展，大幅度提昇能源需求，消耗量遠遠超過太陽提供給地球之可用能量。在化石資源即將耗竭時，或許有人認為再生能源能提供永續發展所需的能量，但所有數據都顯示：光靠再生能源絕對無法提供近代文明生活所須之龐大能量，人類還必須開發其他能源。

核分裂發電所使用的鈾原料，除發電外沒有任何其他用途。埋藏在地殼中的鈾-235如不用來發電，也會隨著時間衰變消失。使用核能不但可以延長化石資源數倍使用壽命，還能減少空氣污染與二氧化碳排放。

比起壽命將盡的化石能源，可以使用數百年的核能，已經具有成為永續能源的資格；與再生能源相比，核能可以穩定提供人類文明與經濟發展的大量能源需求；與化石資源相比，核能不會造成空氣污染、也不會排放二氧化碳；「核能等同於永續能源」孰曰不宜？

註

1 World Energy Council (2001), 2000 Fuel Shares of World Total Primary Energy Supply, in : Survey of Energy Resources 2001
2 British Petroleum Co. (2004), Statistical Review of World Energy 2004.
3 World Energy Council (2001), Survey of Energy Resources 2001.
4 中央社(2004), 中國已成為世界第2大能源消費國, 2003/12/14報導.
5 US DOE Energy Information Administration (2004), Annual Energy Outlook 2005, DOE/EIA-0383.
6 根據B. P.公司《Statistical Review of World Energy 2004》預估：巴西、俄羅斯、印度與中國大陸的石油R/P值分別為：18.7、22.2、19.3與19.1年。