

後石油時代—— 21世紀的能源新思維

「過去我父親騎駱駝，現在我開轎車。我兒子要駕飛機，然而他的兒子將回到騎駱駝的日子。」

——沙烏地阿拉伯諺語

中世紀之前，木材是最重要的能源，隨著林地減少，人們開始尋求其他的能源。



王茹涵

在閱讀本文前，請先花五分鐘觀察一下四周，能源在我們生活中扮演什麼樣的角色。也許你正舒服地坐在有空調設備的房間裡，點著一盞檯燈，從咖啡壺裡倒出一杯香濃的咖啡。空調設備、檯燈、咖啡壺都需要電力才能運作；檯燈，甚至是身邊所有的物品都由耗能的工業製程產出；熱帶地區的咖啡豆需透過航運配送至消費國。

由此可見，能源在日常生活中扮演十分重要的角色。我們需要能源滿足照明、空調、取暖、烹煮食物等需求；現代社會的人們也習慣了擁有電腦、電視、手機、網路等先進科技產品，若沒有能源提供動力，這些產品自然失去了用處。

除了日常生活外，能源在工、商

業的發展上也占有舉足輕重的地位。沒有能源提供能量，便無法進行工業製造，沒有產品可供交易，商業體系也會隨之崩潰。此外，交通運輸也倚靠能源，不論是陸運、航空、海運，也不論是民用或工業用，缺少供應交通工具的油料，都會對人類社會的運作產生極大的衝擊。

此外，能源更牽動世界局勢，它可說是世界經濟和國際政治不可或缺的一環。根據《富比世》(Forbes)雜誌2006年發表的報告，全球的10大企業不是金融業就是能源業，另包含跨足金融、能源領域的美商奇異(GE)。其中艾克森石油(Exxon Mobil)更在公司市值、銷售額、盈餘等項目中排名第1。

能源業對經濟的影響力，可從



圖片來源：陳盛樂

人類利用水力發電的歷史悠久，圖中的巴西義太浦 (Itaipu) 水壩是目前全球最大的水力發電廠。

2001年美國史上最大的安隆 (Eron) 破產事件得知。安隆起家於美國德州，短短數年一躍成為全球第7大企業，年營業額高達一千多億美元，也對許多政治家捐助政治獻金，在政商界權傾一時。就因為安隆是能源公司，因此擁有巨額籌碼操弄金融、政治。

安隆曾是加州最大能源交易商，壟斷該州三分之一的電力。在破產之前，安隆甚至串通其他能源公司操縱市場、哄抬能源價格，導致加州能源危機惡化，重創加州經濟，並使公共電力公司蒙受鉅額損失。2001年安隆終於因為虧空10億多美元突然宣告破產，對美國經濟和金融市場造成莫大衝擊。

由於能源對國家經濟和安全極為重要，許多國家的政府獨占能源企業，例如沙烏地阿拉伯、伊朗、委內瑞拉等國的石油公司就是完全的國營事業，另外如俄羅斯天然氣公司的國家持股也高達70%，足以看出能源往往是一國的經濟和政治命脈。基於穩定的能源是維繫國家命脈的重要因素，因能源而起的外交角力甚至戰爭

也就不足為奇了。

據美國前中情局資深分析師 Stephen C. Pelletiere 表示，美國進攻伊拉克並非對調停阿拉伯世界的紛爭有興趣，而是無法坐視在兩伊戰爭中勝利的伊拉克逐漸壯大。有鑒於伊拉克是中東地區儲油量僅次於沙烏地阿拉伯的國家，美國必須找藉口介入並設法控制伊拉克。在伊拉克戰敗後，美國對伊實施石油禁運，等到油價上漲後，美國便以「人道」理由解除禁運，之後大部分伊拉克的石油都出口至美國。

1991年的第1次波灣戰爭只是一個開端，911事件後對阿富汗的征討，以及最近的第2次波灣戰爭，仍看得到美國為爭奪能源而發動戰爭的影子。

阿富汗所處的中亞地區擁有豐富的油氣資源，是全世界第3大油氣資源區。冷戰結束後，包括中亞和高加索在內的裏海地區成為世界能源的新基地，據估計，中亞地區蘊藏2千億桶石油和2兆立方米天然氣。不論美國出兵阿富汗動機為何，美國的勢力

終究成功進入過去被俄國掌控的中亞地區。由此看出，能源不僅對升斗小民的生活作息十分重要，世界經濟乃至於全球和平都緊緊繫於能源。

能源的古往今來

儘管今日石油對我們是如此不可或缺，但在人類數千年的歷史中，石油並非主角，在工業化時代之前，木材才是主要的能源。從遠古人類懂得鑽木或擊石取火開始，森林裡的木材便成為人類用來燃燒以烹煮和取暖的最適合物質。隨著文明逐漸演進，木材不但用於燃燒，更用作建材、運輸工具、手工具等，古代戰爭也常起因於爭奪森林資源。

至於運輸或農業機械的動力，在工業革命前，主要倚賴人力和獸力；中世紀之後，開始懂得把風力或水力應用於農業，舉凡希臘、羅馬、中國等古文明，都有利用風車或水車的紀錄。

即使木材是會再生的自然資源，仍舊抵擋不了毫無節制的砍伐和利用。中世紀之後，人口快速成長，迫使人類砍伐樹木，把森林轉作農地，以餵養越來越多的人口和牲口。終於，森林逐漸消失，木材匱乏，這是造成人類進入燃煤時代的最主要動力。

根據考古資料，人類早在青銅器時代已開始使用煤炭，中國歷史中也有使用的記載，只是當時使用的規模較工業革命時期小得多。直到13世紀的歐洲，燃煤才逐漸變得重要，但由於燒煤十分骯髒，因此當時煤並不普遍。

17世紀初期，由於木材缺乏，導致價格攀升，促使當時低價卻高污染

的煤炭進入市場。另一個促成燃煤進入市場的原因，是鐵、銅、青銅、金、銀等金屬鑄造變得越來越普遍，而燃燒木材無法有效率地供給熔爐所需的高溫。相較於木材，燒煤的高溫對鑄鐵和鑄鋼很有幫助。

之後的19世紀初期至中期，以燃煤產生動力的蒸氣機席捲英國及世界其他地區，煤的地位逐漸變得舉足輕重。這時燃煤不僅限於金屬鑄造或家庭取暖，而是幾乎包辦所有的功能。

新大陸的美國大量使用煤的時間比歐洲稍晚，約從19世紀末期開始，這是因為美國擁有豐沛的森林和水力資源，當時多使用燃燒柴薪或水力提供各式動力，直到森林逐漸耗盡，才開始用煤取代木材運作蒸氣火車和船隻。煤的輝煌年代始自18世紀中，一直到20世紀中，燃煤一直是最重要的能源，尤其是20世紀初期，煤提供了超過全球90%的能源用量。直到1960年代，因為燒煤造成的嚴重污染促使人類轉向使用石油。儘管如此，燃煤仍提供了現今世界上大多數的電力。

石油的崛起和需求脫不了關係。19世紀末期人類開始商業開採石油，當時的用途並非如今日般做為運輸燃料，而是用於煤油燈及馬達潤滑劑。過去油燈的主要燃料來自鯨魚油，然而隨著大量補殺鯨魚導致數量減少，



核能有許多缺點，但在能源不足和溫室氣體排放過多的國家，又不得不求助於核能。

鯨油價格飆漲，替代物應運而生，石油在當時是最適合的燈油。從那個時候起，美國本土興起了石油開採和提煉的風潮。

19世紀末期，隨著美國石油大亨洛克斐勒運用高段的商業手法，把「標準石油公司」經營成世界第1個跨國大企業，並壟斷全美和幾乎全球的石油業，石油的重要性與日俱增。雖然石油曾因為愛迪生發明電燈，造成煤油燈需求大減而沉寂一段時間，但由於一次大戰來臨，以戰車取代馬匹的做法刺激了石油的發展，同時「標準石油公司」開始推廣燃油的熔爐和蒸氣鍋爐以取代燃煤，石油的時代再次於20世紀初降臨。

至1909年，全球提煉出的石油產品有一半以上用作燃料。隨著大型石

油企業逐漸擴張勢力版圖，人類利用石油的方式也越來越多元化。1930年代，煉油業的主要產物是汽油，飛機用油也逐漸占有重要地位。化工業也逐漸捨棄過去從煤產製的焦油，改從原油提煉化工原料，並合成尼龍、塑膠等廉價卻便利的物品，取代舊有的天然材質，如棉、木材、金屬等。至此，人類生活可說已正式被石油掌控，石油為人類文明開啓新的篇章。

能源使用現況

工業革命以來，人類生活在種種創新發明構成的社會中，開始懂得利用化石能源：煤炭、石油和天然氣。由於化石能源的大量發現和使用方便性，這些廉價普及的能源成為人類社會現代化的最大推動力。人類進入工業化時代後，能源消耗也隨之增加。目前世界能源消耗量是1850年的20



甘蔗是太陽能利用效率最高的農作物之一

工業革命以來，人類生活在種種創新發明構成的社會中，開始懂得利用化石能源：煤炭、石油和天然氣。由於化石能源的大量發現和使用方便性，這些廉價普及的能源成為人類社會現代化的最大推動力。人類進入工業化時代後，能源消耗也隨之增加。

倍、20世紀初的10倍、1950年代的4倍。這般倍數的成長令人驚歎！化石燃料中最早被利用的煤炭成長了10倍之多，而20世紀初期開始利用的石油和天然氣，成長幅度竟然超過30倍。

目前，全球有80%以上的能源來自化石燃料，其中最大宗的石油占35%，煤炭占23%、天然氣則占21%。再生能源雖有14%的比率，但多是傳統能源型態（如木材），而包括水力發電在內的現代化再生能源只約占4%。核能則占全球能源用量的6%。然而世界人口能源使用十分不平均，全球三分之一的人口（約20億人）僅依靠木材或其他類型的傳統能源過活，缺少電力、石油和天然氣是這些人貧窮的主因之一。

專家預估如此高耗能的消費型態仍會持續下去。在石油部分，基於開發中國家的大量消耗，國際能源總署預估，石油需求將強勢上漲，至2010年需求量平均每年將增長180~200萬bpd（桶/日）。專家更預估2025年全球能源需求會是1990年的兩倍，2050年更將成長為3倍。人類習以為常的這種高成長、化石燃料密集的能源使用型態，已造成資源耗竭、環境污染、社會不公等，持續下去會對社會和文明產生嚴重威脅。

近年來油價攀升，除了偶爾颶風造成主要煉油廠關閉、中東情勢不



生活中各式各樣的民生必需品，都仰賴能源來生產、運送。

穩、產油國動亂等旁枝末節的因素外，最主要的原因還是「物以稀為貴」。現有油田的產量逐漸下滑，加上缺乏新油田的發現，都在傳達人類石油資源逐漸稀少的警訊。石油本是儲藏在地底下的自然資源，但人類使用太過快速，不可能以相同速率形成並補充回地底。有限資源隱含的意義便是，石油終有用盡的一天。到底這一天何時來臨？數十年來許多專家有不同的結論。

20世紀中，一位權威的地質學家哈柏（M.K. Hubbert）發表了石油高峰理論（oil peak theory），他表示任何地區（包括全球）的產油量會逐漸達到高峯值，之後由於資源用盡產量將逐漸下滑。哈柏的重要性不單因為他是油峰理論的始祖，更由於他對美國油峰時機點預測的準確。他曾預測

美國的油峰會在1966至1972年之間來臨，當時這個預測被石油公司、經濟學家和美國政府嗤之以鼻，但美國的油峰的確在1970年來臨，讓人不得不對他的研究和估算懾服。

哈柏當年預估全球石油產量將在2000年達到最大值，雖然之後眾多學者加入其他變數（包括科技進步、非傳統石油的開採等）後估算這個時間點過早，但根據不同的來源估計，全球油峰會在2006年至2015年之間來臨。換句話說，從現在起不到10年之內，人類社會將正式進入後石油時代，能使用的石油越來越少。據估計，達到石油高峰後，每年產油量會以3%的速率遞減，除非找到適合的替代能源，否則油價會飆漲，也會導致世界經濟動盪。

不僅資源逐漸匱乏，大量使用化

目前，全球有80%以上的能源來自化石燃料，人類習以為常的高成長、化石燃料密集的能源使用型態，已造成資源耗竭、環境污染、社會不公等，持續下去會對社會和文明產生嚴重威脅。

石燃料的能源型態也造成嚴重的環境問題，包括空氣污染、生態系破壞、溫室效應等，這些污染對健康和生態的健全都造成十分嚴重的威脅。在空污方面，絕大部分的人為污染物（如二氧化硫、粒子物質、鉛、碳氫化合物、一氧化氮）是由能源活動產生，例如人為二氧化硫排放量的85%就是因為燃燒化石燃料產生的。這些大氣中的有害物質進一步轉變成酸雨、都市煙霧、有害煤煙等。空污不但提高了人類罹癌的機率，更造成森林侵蝕、土壤和湖泊酸化等生態危機。

在開發中國家，由於缺乏有效的污染控制，和燃燒效率的低落，污染物濃度都高過世界衛生組織公布標準的好幾倍。空氣污染在都市中更為嚴重，每年全球約有50萬人的死因與

嚴重的空氣污染有關。燃燒化石能源產生的空污不是開發中國家的特例，在歐洲，電廠排放的空氣污染每年對人類健康、建築物和農作物造成的損失估計有700億美元（約兩兆三千餘億台幣），大約是歐盟國民生產毛額的1%。這個龐大的數字令人深刻體認到，化石燃料發電產生的外部成本十分高昂。

除了室外空氣污染之外，開發中國家許多家庭燃燒木材、農作廢棄物和煤炭來烹煮或取暖，產生的室內空污更是健康的殺手。以非洲南部為例，農村人家因燃燒木材產生的室內粒子物質濃度，超過世衛組織建議標準的13倍，在這種情況下，罹患呼吸道疾病的機率是一般人的5倍之多。據估計，室內空污每年造成全球180萬

人口死亡，其中大多是女人和兒童。

傳統的能源使用也造成其他環境衝擊。化石燃料的挖掘和開採通常會破壞當地的地景生態，輸油管侵蝕、破裂則會造成當地土壤和水源的污染。層出不窮的船隻油污外漏事件，也使得許多脆弱的海洋生態系嚴重受害。

溫室效應是另一個因大量使用化石燃料造成的環境問題。從1750年代以來，大氣中二氧化碳濃度由原來的280ppm提高到367ppm，幅度達30%，甲烷的濃度更是比工業革命前增加1.5倍。化石能源的燃燒產生了四分之三的人為二氧化碳總量、四分之一的人為甲烷總量。由於溫室氣體不斷增加，過去一百年，大氣均溫增加了攝氏0.6度，每年的年均溫也頻破紀錄。2005年是一世紀以來最熱的一年，1998年次之，而2002~2004年也位居世紀高溫排行榜的第3至5名。

全球暖化已造成許多負面衝擊，產生越來越頻繁的劇烈氣候，包括颶風、水患、乾旱、暴風雪和熱浪。這些天災造成了人類死傷、疾病、財產損失、農作欠收等，間接地造成社會經濟問題。

由於溫度上升導致兩極冰山和永久凍土溶化、海平面逐漸上升，因此許多島國和海岸地區面臨著被淹沒的危機。也因為鹹水逐漸淹過淡水層，侵蝕了淡水資源和土壤，導致人類生存仰賴的淡水和農作物受到威脅。連年升高的氣溫也使得熱帶地區大氣對流



許多開發中國家在農村推行小型的沼氣槽，利用動物的糞便產生甲烷用於烹煮食物。

石油本是儲藏在地底下的自然資源，但人類使用太過快速，不可能以相同速率形成並補充回地底。有限資源隱含的意義便是，石油終有用盡的一天。



油菜花不僅美麗，種子還能提煉生質柴油供車輛使用，是環保的新型能源。

增強，形成颶風的次數增多，以至於熱帶和亞熱帶地區的國家不斷受到風災侵襲，且威力一次比一次強烈。高溫也會助長許多傳染病（如瘧疾、登革熱）的滋長，對人類健康更顯威脅。

倘若使用化石燃料的型態不變，本世紀中大氣二氧化碳濃度將成長2至2.5倍，世紀末二氧化碳濃度將成長2.5至3.5倍，屆時海洋和大氣循環更為異常，人類將無法適應失去平衡的氣候。為了抑制人為溫室氣體的排放，防制氣候變遷，聯合國於1992年地球高峰會通過「聯合國氣候變化綱要公約」，對人為溫室氣體排放做出全球性管制的宣示。

1997年，聯合國進一步在日本京都舉行氣候變化綱要公約第3次締約國大會，通過具有約束力的京都議定書，以規範工業國家溫室氣體減量責任。2004年底俄國簽署京都議定書後，這個公約正式於2005年2月生效，也把全球的外交和環境焦點重新凝聚在「溫室氣體減量」上。京都議定書不僅對工業化國家的減量目標做

出規定，也設計了一套國際合作和排放交易的機制，協助開發中國家對減量工作負責。

目前的能源型態更存在著社會不公，資源大多集中在已開發國家，舉例來說，經濟合作暨發展組織成員國每人平均耗能量是開發中國家的6倍，北美人民平均耗能量更是亞洲和非洲的10倍之多。這樣的差異不但存在於國與國之間，也存在於已開發或開發中國家的國內。在美國，較富有的家庭平均耗能量比較貧窮的家庭多上四分之三，中國最富有的沿海四省，每戶人家能源消耗是內陸省份的2.5倍。

若以電力消耗量來看，資源不均的情形更驚人。經濟合作暨發展組織會員國每人平均耗電量是東亞國家的13倍、南亞國家的26倍、撒哈拉沙漠以南國家（除南非外）的65倍。這樣的不公也反映在溫室氣體排放量上。全球人均耗能量前五分之一的人口貢獻了69%的人為溫室氣體，而人均耗能量後五分之一的人口，僅占人為

溫室氣體排放的2%。

然而，溫室效應沒有國界，世界每一個角落都會受到全球暖化的影響，發展中國家往往因資源不足，較已開發國家更難因應因全球變遷帶來的環境和社會災害。過去的能源政策著重在因應世上較富有族群與日遽增的能源需求，而輕忽對貧困族群提供現代化能源並改善現有的能源服務。鄉村電力化和燃料配送的政策多採集中式，常常因為成本過高使得人們無法負擔現代化的能源系統。

因應之道

人類習以為常的廉價化石能源正逐漸減少，但我們對能源的規畫和使用卻缺乏完整思維。目前的能源型態不但造成資源耗竭、環境破壞，也產生社會不公，更形成劍拔弩張的能源外交和隨之而來的戰爭。因此，如果不積極思考開闢一條新的能源途徑，人類社會和文明將岌岌可危。

邁入21世紀後，人類必須發展新思維以面對後石油時代的「能源危機」。不同於1970年代的能源危機，這個危機不僅是能源、經濟面的，更包括自然環境、社會公義和人類發展的危機。 □

王茹涵

工研院能源與環境研究所
能環政策與推廣技術組

深度閱讀資料

Geller, H. (2001) *Energy Revolution: Policies For A Sustainable Future*, Island Press.

Nakicenovic, N., A. Grübler, and A. McDonald (1998) *Global Energy Perspectives*, Cambridge University Press.

Heinberg, R. (2003) *The Party's Over: Oil, War and the Fate of Industrial Societies*, New Society Publisher.