

第一章 能源與永續



過去幾個世紀以來，人類不得不面對使用化石燃料所造成的環境與社會方面的負面效果，像是空氣污染或礦災以及能源短缺，並發出關切的聲音。但也一直到了 1970 年代，當石油價格急遽攀升，同時環保意識覺醒，人類才開始正視化石燃料（fossil fuel）終將枯竭，以及其持續使用可能對地球生態環境和全球氣候造成不穩定的後果。

繼第二次世界大戰後的核能發展，激發了人們對核能既便宜、豐富且乾淨能取代化石燃料的期待。不過，近年來基於對其成本、安全、廢料及核武擴張等的嚴重顧慮，核能發展亦暫告停滯。

供給地球上每個人安全、潔淨且穩定的能源，是人類所共同面對的最大挑戰之一。人類從有文明以來，代代相傳與發展便一直受能源的使用所左右。十九、二十世紀期間，人類懂得了如何從化石燃料當中擷取密集的能源，而帶動了工業革命。世界上有一部分人也因此獲益受惠，過起了舒適甚至奢華的生活。直到進入千禧年之前，我們開始認清一個事實，那就是如果想要長久持續滿足我們能源需求，就非得對全球能源供應體系做出革命性的改變。

能源和永續

人們這幾十年來，對於化石燃料與核燃料永續性問題的關切，重新產生對再生能源的興趣。在理想情形下，一種可持續能源應該是不會隨著持續使用而很快耗竭，同時也不至於帶來嚴重的污染排放或其它環境問題，而且也不至於嚴重危及健康與社會正義。然實際上，也只有少數幾種能源能符合上述理想。不過本書接下來幾章當中要介紹的再生能源，一般而言仍比化石燃料與核能較為永續。也就是說，它們大體上是不會消耗殆盡，而且其一般所排放的溫室氣體或其它污染物也較少，對健康也較無害。

今天我們使用化石燃料，幾乎已經到了上癮而無法自拔的地步。台灣地區耗用能源、排放二氧化碳的程度，越來越嚴重；從 1990 年到 2005 年之間，每人每年二氧化碳排放量，從 5.73 噸大幅增加為 11.26 噸，在全世界排名第

18，在亞洲地區則位居第一。另外，根據荷蘭環境評估，2006年中國大陸的二氧化碳排放量首度超越美國的8%，而成為二氧化碳排放量最高的國家。圖1.1所示為台灣各部門燃燒燃料（不含用電）二氧化碳排放量的成長趨勢。

一個很重要的因素，便是長期以來所建立的化石燃料相關基礎設施。雖然大家對於化石燃料供應的疑慮從來沒有斷過，但也因為不斷發現新的礦源，加上先進探勘技術的妥善運用，這類顧慮往往被指為太過誇張。但這些礦產的存量還是有一定限度，除非尋求替代能源，否則終有枯竭的一天。

何況這些化石能源在地球上並非均勻分佈，而是只集中在少數國家或地區，因此為爭奪能源而發動戰爭也就不足為奇。像是1970年代的石油危機和1990年代的波灣戰爭都是明顯的例子，而化石能源所伴隨的是類似甚至更嚴重的問題，也就因此一直潛藏著。而因為這些原因所帶來的油價高漲，更對全球經濟造成震撼與社會不安。

化石燃料的開發與儲運過程，也對人體健康和環境造成威脅。例如煤礦災變及石油或天然氣鑽油平台爆炸事件，時至今日，仍在世界各地時有所聞。而油輪觸礁導致海上溢油（oil spill）污染，造成漁業和觀光資源的損失及生態浩劫，也經常登上媒體頭條新聞。

化石燃料燃燒所排放到大氣的硫氧化物（ SO_x ）、氮氧化物（ NO_x ）等污染物，對於人體和環境的危害更是顯而易見。至於其燃燒所產生的二氧化碳（ CO_2 ），更是造成全球暖化與氣候變遷等效應的人為排放溫室氣體

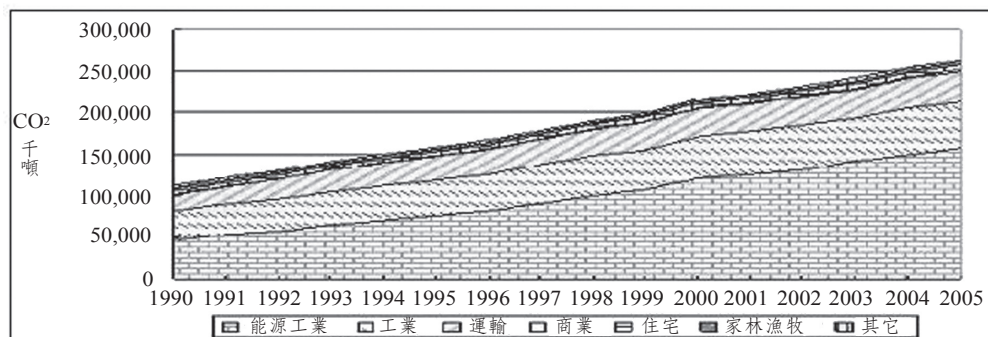


圖 1.1 台灣各部門燃燒燃料（不含用電）二氧化碳排放量的成長趨勢

(greenhouse gases, GHG) 當中的最大宗。

最近常常聽到的「永續性」一詞，是繼 1987 年聯合國布倫特蘭委員會 (Brundtland Commission) 的報告 "Our Common Future" 當中提出之後，流行開的。該委員會將永續性，特別是永續發展定義為「能滿足當前需要，而又不損及後代子孫用來滿足其本身需要的能力」。

就能源的範疇來看，永續意味著擷取以下能源：

- 不會因持續使用而大幅消耗；
- 其使用不致伴隨對環境造成大幅傷害的污染物；以及
- 其使用不致對健康與社會公平正義造成永久性的嚴重危害。

迎接氫經濟時代的來臨

圖 1.2 所示為 1850 年至 2150 年之間，全球能源系統發展情形；圖 1.3 所示為台灣初級能源供給預測。對於台灣和許多國家而言，在未來二十年內逐步擴大使用氫以攜帶能源，可同時化解對能源安全、全球氣候變遷，以及空氣品質惡化的疑慮。由於從各種本地能源（包括化石燃料、再生能源，以及核能）皆可產生氫，國內對於外國能源的依賴亦得以紓解。此外，轉換氫的副產品，一般而言對於人體健康與環境皆屬無害。前瞻未來（2020 年）能源，國際間已普遍達成以下共識：

- 氫將用於電冰箱大小的燃料電池 (fuel cell, FC) 單元上，以產生家用電與熱。
- 燃燒氫或以氫燃料電池帶動的車輛將逐漸普及，其排氣管只會排放水。
- 以天然氣產生氫的加氫站將逐漸在都市設立，以供應氫車所需。
- 採用小型氫槽的微燃料電池將普遍使用在包括輕便發電機、電動單車，以及吸塵器等各種用途上。
- 大型 250 kW 固定燃料電池將用於備用電力，供應電網電力需求。

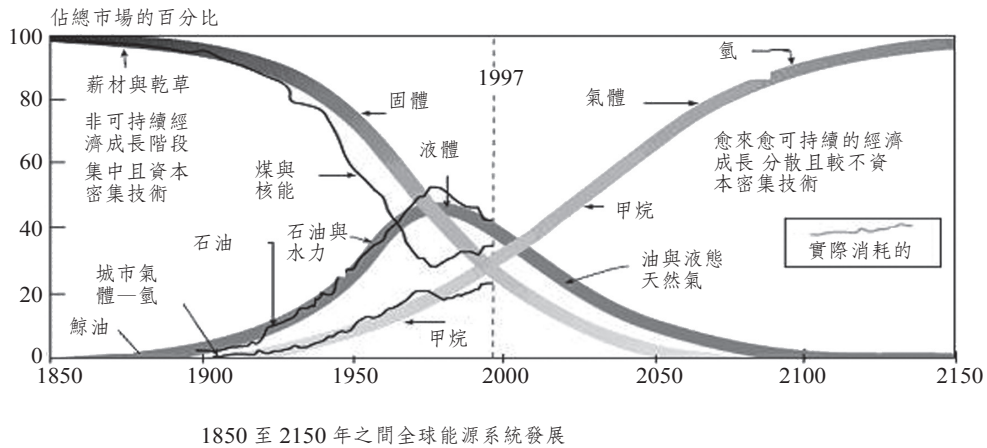


圖 1.2 1850 年至 2150 年之間全球能源系統發展情形

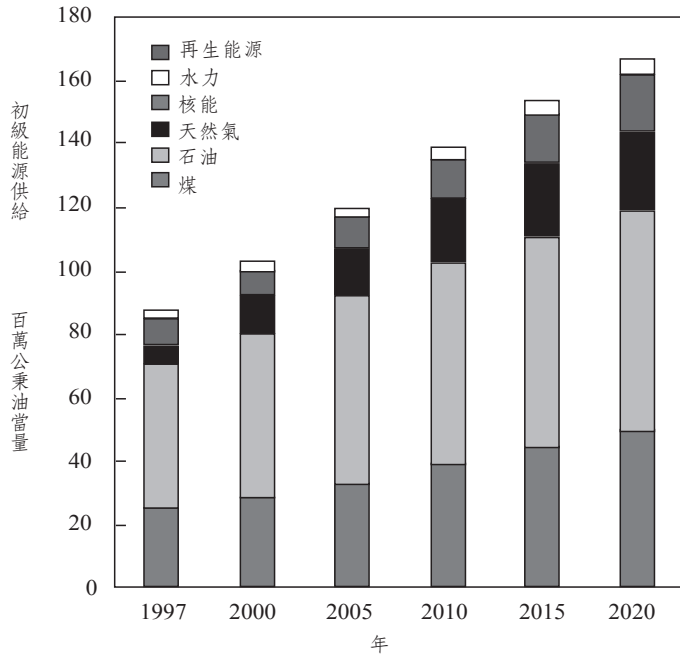


圖 1.3 台灣初級能源供給預測（數據擷取自 1998 年能源委員會）

然而，即便氫具備了諸多益處，實現氫經濟勢將面對諸多挑戰。首先，其不如汽油和天然氣早已具備必要的基礎條件，因此需要龐大投資。其次，儘管目前氫的生產儲存及輸送方面的技術早以為化工煉油等工業所使用，將既存的

氫儲存與輸送技術擴大應用在能源上，尚屬昂貴。最後，由於目前的政策並不在於促進對既有能源在環境與安全上的外部成本納入考慮，氫在能源市場上的競爭力亦難以提升。



RE 小方塊——讓象牙塔綠起來

一般認為，相較於煙囪高聳、廢水暗管交錯的工廠等污染源，一所大學對於環境的衝擊算是小的。然事實上，一般大學多半會產生放射性、固態的，以及有害的廢棄物；同時也消耗大量的食物、金屬、紙、燃料、水，以及電，甚至對空氣、水及土地都造成某種程度的污染。

照說，任何一所大專院校都應該認真看待其在環境上所造成的衝擊，並極力符合進而超越所受到的規範與要求。而作為教育未來國家社會前途所繫的學生的一個機構，大學在本能上更應該鞭策自己，落實對自然環境造成最小衝擊的期許。畢竟，從大學畢業的學生，可能進入各行各業，對該行業造成影響。透過讓自己校園「綠」一點，一所大學可以教育並示範其對於自然環境警惕與管理的原則，同時也增加當地與全球的未來環境得以改善的機會。

如今已有許多能對氣候作出反映，且具高效能的建築技術，都可在學校新建或整修時派上用場。這些技術，在能源消耗上可獲致比一般傳統建築低 50% 至 90% 的結果。同時，這些綠建築還能改善工作條件與產量。

國立大學是最大的耗能的用戶之一，同時其成本與能源節約的機會也相當大。而減輕能源成本最有效的方法，莫過於在能源並不能帶來任何好處時，將能源系統關掉。不管是管理現有的系統或設計新的，都應特別強調系統控制的輕鬆和簡單。例如宿舍的水加熱應該是一大耗能開銷，而省下熱水成本的最簡單方法之一，便是減少熱水用量。大多數的情形，這只需稍微改變生活習慣，而幾乎不需增加任何投資，即可做到。

第二章

綜觀再生能源



第一節 再生能源的優缺點

第二節 源自於太陽的能源

第三節 非太陽再生能源

第四節 永續未來的再生能源

再生能源概論

儘管一直到工業革命開始前不久，人類從太陽、柴火、水和風當中擷取能量的技術，一直都在進步當中，但煤和石油這兩種最多、最早的化石燃料的好處，卻隨著時代的演進而愈發顯著。這個高度密集的能源自問世以來，即很快取代了原先工業國家在家裡、工業和交通系統上，所用的木材、風和水。

當前全世界嚴重仰賴的煤、石油及天然氣，供應了全世界四分之三的能源。這些化石燃料皆非可再生（non-renewable）；也就是說，它們都是從有限的來源當中所擷取，終究會耗盡。而且在此之前都會變得太貴而難以負擔，或者對環境造成太大的損害，以致環境的復原需付出過於高昂的代價。相反的，像是風和太陽等再生能源（renewable energy），卻能夠不需要持續補充，而不至耗盡。

化石燃料與核燃料（nuclear fuel）一般被歸類為非再生能源，主要是因為它們就算蘊藏量再怎麼豐富，終有耗盡的一天。相對的有些能源像是水力（hydropower）或生物能（bioenergy），是可藉著大自然的過程持續補充，而生生不息，我們將它們歸類為再生能源。所以我們也可說，使用再生能源，其實是能源的一種流通，而使用化石能源（fossil energy），則是既有能源存量的消耗。從圖 2.1 可看出全世界再生能源的成長趨勢。

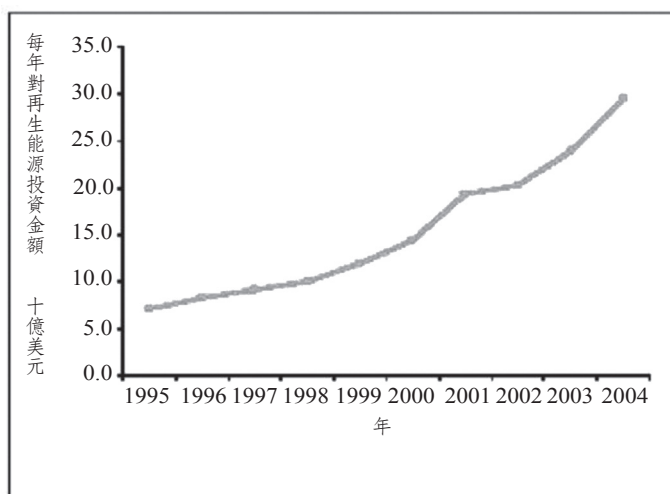


圖 2.1 1995 年至 2004 年之間，全世界對再生能源的投資金額，單位為 10 億美元

第一節 再生能源的優缺點

再生能源最主要還是源自於太陽輻射的巨大能量，是人類所使用最古早，卻同時也是最現代的能量形態。其有許多不同的定義，在此僅舉其中一、二為例。1986年 Twidell 與 Weir 將再生能源定義為：從自然環境源源不絕的來源所獲取的能源；或是 2000年 Sorensen 所定義：更新和消耗的速率相同的能量流通（energy flow）。

簡單的說，再生能源的兩個最大好處為其可以長期不斷的供應，以及其不產生酸雨（acid rain）並且與全球氣候變遷（global climate change）無關，同時對空氣產生的衝擊也極小。具體來說，其優點包括：

- 除一些生物質量（biomass）以外，燃料成本很低，甚至可省去，
- 計畫與建造的前置作業時間短，
- 模組廠（modular plant）的尺寸相對較小，
- 相較於化石燃料可降低對環境的影響，
- 不具消耗性資源的基礎，
- 較具工作密集度的潛力，
- 大眾接受度較高，以及
- 生產潛力分散。

至於其缺點包括：

- 投資成本相對較高，
- 有些相關技術較不成熟或商業化程度偏低，
- 地理分佈不平均，
- 有些資源僅能間斷性供應，
- 大眾對於土地利用、生物多樣性、鳥和感官方面的顧慮，以及
- 對於生物質量和以廢棄物所產生的能源，在燃料供應方面的環境議題。

第二節 源自於太陽的能源

不難想見，再生能源的主要來源還是太陽。太陽的能量無論是直接的太陽輻射形態，或是間接的，像是生物能、水或風等形態，其實也都是最早人類社會所賴以為繼的能源基礎。當年我們的祖先燧人氏第一次生火，便是擷取由太陽所驅動，從水和大氣當中的二氧化碳所創造出，植物的光合作用過程當中的能量。後來的社會又接著開發出，從太陽對海洋和大氣加熱，所造成移動的水和風當中擷取能量的方法，用來碾穀、灌溉莊稼和推動船舶。接著，隨著文明更加進步和複雜，優秀的建築師也著手藉由加強對自然熱與光的利用，充分利用太陽的能量去設計建築物，而得以減輕人工取暖和照明能量的需求。

直接太陽能

大多數的再生能源都直接或間接來自於太陽。日光或太陽能可直接用來對住家和其它建築物加熱或照明，用來發電、用來加熱水、進行太陽能冷卻，以及各式各樣的工作、商業用途。

太陽加熱

我們可採取三種不同的方法利用陽光所提供的能量。其中的一種是以太陽收集器（solar collector）將太陽輻射（solar radiation）轉換成熱。此熱可用來為空間取暖，或用來作為特定的製造加工。如果太陽能可在這些用途上取代一部分電力，當然也就可以減輕發電容量的需求。太陽熱水器早已商業化，國內外也都在使用當中。有些國家會藉著賦稅優惠等方法釋出使用太陽能熱水器的誘因，相當有效。採用所謂被動方式利用太陽能作為空間暖氣來源，在全世界也相當受歡迎。

和建築物結合的太陽熱水系統有兩個主要部分：一個太陽收集器，加上一個儲存櫃，一般是以一平板收集器，即一薄而平的方形箱子加上透明蓋子，面對太陽，架設在屋頂。太陽對收集器內的吸收板加熱，亦即對在收集器內管子