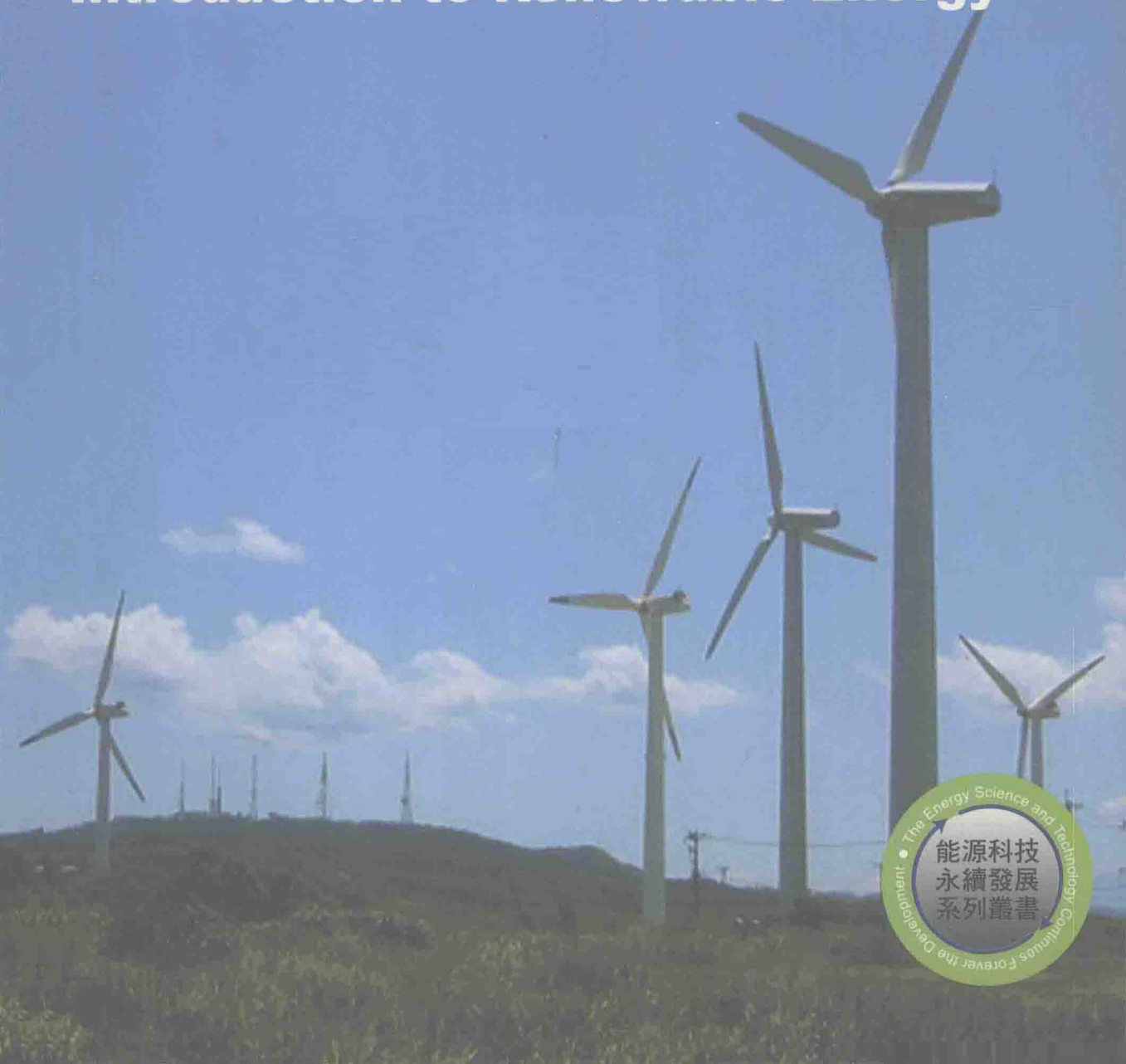


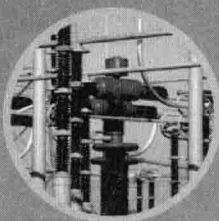
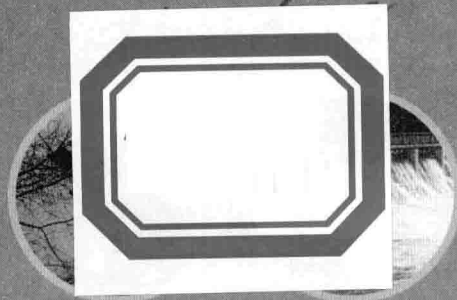


華健 吳怡萱 編著

# 再生能源概論

Introduction to Renewable Energy

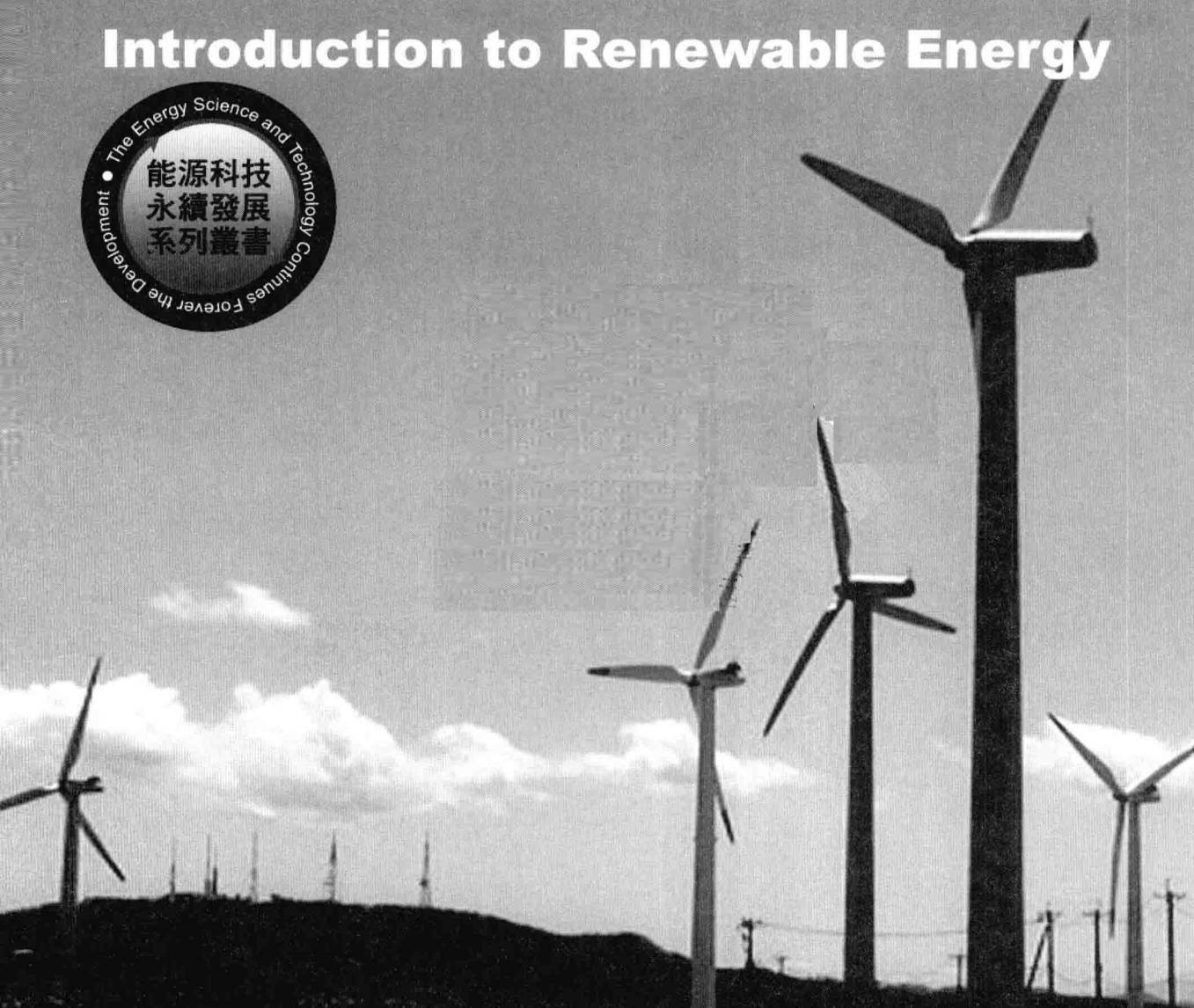




華健 吳怡萱 編著

# 再生能源概論

Introduction to Renewable Energy



五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

再生能源概論／華健，吳怡萱編著。——初

版。——臺北市：五南，2008.08

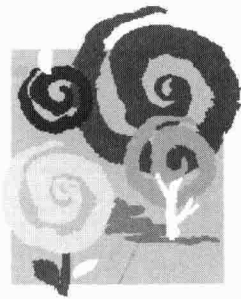
面；公分

ISBN 978-957-11-5246-2 (平裝)

1. 能源開發 2. 能源技術

400.15

97010409



5E51

## 再生能源概論

編者—華健(498)吳怡萱(63.5)

發行人—楊榮川

總編輯—龐君豪

主編—穆文娟

責任編輯—蔡曉雯

文字編輯—施榮華

封面設計—簡愷立

出版者—五南圖書出版股份有限公司

地址：106台北市大安區和平東路二段339號4樓

電話：(02)2705-5066 傳真：(02)2706-6100

網址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：[wunan@wunan.com.tw](mailto:wunan@wunan.com.tw)

劃撥帳號：01068953

戶名：五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室/台中市中區中山路6號

電話：(04)2223-0891 傳真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

電話：(07)2358-702 傳真：(07)2350-236

法律顧問 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 2008年8月初版一刷

定價 新臺幣580元

# 前言

## 迎接氫經濟時代的來臨

自1970年代初，全球科技發展成果令人驚艷，同時全世界人口成長了五成，全球都市化的速度也超乎預期。

以下觀念也許可用來解釋當今我們所憂慮的全球變遷：地球已脫離了永續發展的狀態，也就是我們所留給後代的自然資源，正持續的減少中。依照倫敦基金會（London Trust）的創始人之一Herbert Giradet的估計，倫敦的生態足跡（ecological footprint）將近2,100萬公頃，是該城市本身面積的125倍，幾乎是整個英國所具有生產力面積的總和。另外一個針對波羅的海沿海29個城市的研究顯示，其平均生態足跡比這些城市自身面積的200倍還大。近年來，全球其他國家，如亞洲各國也逐漸顯露後來居上的態勢。

依照此發展趨勢，世界能源需求將在短期內倍增。但，能源是否可以乾淨、安全，且可靠的供應，是目前人類共同面對的大問題。就算僅以目前的能源供給與消耗量估算，其已經對人體健康與自然環境造成惡化影響。先進國家之間已有廣泛共識，長期而言，世界能源體系必然轉型為無碳的氫經濟（Hydrogen Economy），以期同時解決化石燃料在環境與能源安全上的諸多問題。為達此目標，首先需面對的問題之一，便是如何在符合經濟有效的前提下，以既有能源架構，兼顧永續（sustainability）。

即便氫能具備了諸多益處，實現氫經濟勢將面臨諸多挑戰。首先，其不如汽油和天然氣早已具備必要的基礎條件，因此氫能需要龐大投資。其次，儘管目前氫的生產、儲存及輸送方面的技術早已用於化工和煉油等工業，將既有的氫儲存與輸送技術擴大應用在能源上，仍嫌昂貴。且由於目前的政策並不在於促進將現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也很難提升。

過去二十年，包括傳統石化能源及替代性潔淨能源在內的各類型能源，競相爭取市場。一些在台灣能源政策當中一直不被看好的風能與太陽能等再生能源，卻逐漸嶄露頭角，有些國家甚至早已將節能與能源效率，以及再生能源列為主流。本書在於協助讀者了解在這同時面對能源與環境挑戰的年代，善用各種再生能源的各種選擇，以及用來滿足生活需求的可能性。

華健 吳怡萱

2008年夏

# 能源單位表

在討論能源的數量時，所面對的數字範圍可能會從很小很小到很大很大。因此以 10 的次冪（包含正次與負次）表達能源的數量，也就很常見了。而進一步縮減表達方法，靠的便是字首（prefixes）。在單位之前加上這些字首，便表示乘上該單位。表 1 所列为最常用的從大到小的字首。

表 1 字首

符號	字首	相當於乘上	等於是
E	exa-	$10^{18}$	One quintillion 百萬兆
P	peta-	$10^{15}$	One quadrillion 千兆
T	tera-	$10^{12}$	One trillion 兆
G	giga-	$10^9$	One billion 十億
M	mega-	$10^6$	One million 百萬
k	kilo-	$10^3$	One thousand 千
h	hecto-	$10^2$	One hundred 百
da	deca-	10	Ten 十
d	deci-	$10^{-1}$	One tenth 十分之一
c	centi-	$10^{-2}$	One hundredth 百分之一
m	milli-	$10^{-3}$	One thousandth 千分之一
$\mu$	micro-	$10^{-6}$	One millionth 百萬分之一
n	nano-	$10^{-9}$	One billionth 十億分之一

電力的基本單位是瓦特或瓦（watt），也就是每秒鐘轉換一焦爾（Joule, J）能量的比率，亦即一瓦 - 小時 = 3.6 kJ。瓩（kilowatt, kW）如今雖以廣用於發電機和馬達，但馬力（horsepower, hp）仍常用於汽車引擎。另外，迄今用於表達質量、長度、速度、面積及體積仍常採用傳統的單位。下表所列为在本書和其它許多能源相關文獻上，最常用到的單位之間的轉換因子。

表 2 能量

	百萬焦爾 MJ	十億焦爾 GJ	瓩 - 小時 KWh	噸油當量 toe	噸煤當量 tce
1MJ =	1	0.001	0.2778	$2.4 \times 10^{-5}$	$3.6 \times 10^{-5}$
1 GJ =	1000	1	277.8	0.024	0.036
1kWh =	3.60	0.0036	1	$8.6 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-4}$
1 toe =	42 000	42	12 000	1	1.5
1 tce =	28 000	28	7800	0.67	1

表 3 動力

比率	焦爾		每年瓩 - 小時 (kW-hr/yr)	每年油當量 oe/yr	每年煤當量 ce/yr
	每小時	每年			
1 kW	3.6 MJ	31.54 GJ	8760	0.75 toe	1.1 tce
1 GW	3.6 TJ	31.54 PJ	$8.67 \times 10^9$	0.75 Mtoe	1.1 Mtce

表 4 其它的數量

數量	單位	相當於 SI	反算
質量	1 lb (磅, pound)	= 0.4536 kg	1 kg = 2.205 lb
	1 t (公噸, tonne)	= 1000 kg	1 kg = $10^{-3}$ t
長度	1 ft (呎, foot)	= 0.3048 m	1 m = 3.281 ft
	1 yd (碼, yard)	= 0.9144 m	1 m = 1.094 yd
	1 mi (哩, mile)	= 1609 m	1 m = $6.214 \times 10^{-4}$ mi
速度	1 km hr <sup>-1</sup> (kph)	= $0.2778 \text{ m s}^{-1}$	1 ms <sup>-1</sup> = 3.600 kph
	1 mi hr <sup>-1</sup> (mph)	= $0.4770 \text{ m s}^{-1}$	1 ms <sup>-1</sup> = 2.237 mph
	1 節 (knot)	= $0.5144 \text{ m s}^{-1}$	1 ms <sup>-1</sup> = 1.944 節
面積	1 英畝 (acre)	= $4047 \text{ m}^2$	1m <sup>2</sup> = $2.471 \times 10^{-4}$ 英畝
	1 公畝 (hectare, ha)	= $10^4 \text{ m}^2$	1m <sup>2</sup> = $10^{-4}$ 公畝
體積	1 公升 (liter, l)	= $10^{-3} \text{ m}^3$	1 m <sup>3</sup> = 1000 升
	1 加侖 (gal, 英國)	= $4.546 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	1 m <sup>3</sup> = 220.0 加侖
	1 加侖 (gal, 美國)	= $3.785 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	1 m <sup>3</sup> = 264.2 加侖 (美國)
能量	1 eV (電子伏特)	= $1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$	1 J = $6.242 \times 10^{-18}$ eV
動力	1 HP (馬力, horse power)	= 745.7 W	1kW = 1.341 HP



# 目 錄

## 前 言

## 能源單位表

第一章 能源與永續	001
第二章 綜觀再生能源	007
第一節 再生能源的優缺點	009
第二節 源自於太陽的能源	010
第三節 非太陽再生能源	016
第四節 永續未來的再生能源	018
第三章 能源的儲存與傳遞	021
第一節 能源儲存概念	022
第二節 電能儲存	030
第三節 分散型電能	032
第四節 替代燃料與能源分散	035
第四章 太陽能與太陽加熱	039
第一節 太陽所擁有的能量	040
第二節 太陽能技術分類	043
第五章 太陽能電池	065
第一節 PV 資源與利用	066
第二節 光伏背後的科學	071



第三節	技術類型	078
第四節	讓光伏發揮功效	081
第五節	PV 相關議題	088
<b>第六章</b>	<b>風能</b>	<b>097</b>
第一節	風力	098
第二節	理論上的風力	103
第三節	風力發電機	106
第四節	風能效益與資源評估	111
第五節	風能的成長與成本變化趨勢	117
第六節	風力發電的關鍵議題	128
<b>第七章</b>	<b>海域風能</b>	<b>137</b>
第一節	海域風能評估	138
第二節	海域風能的環境與經濟性議題	143
第三節	最近的海域風能市場	153
第四節	未來海域風場概念	157
第五節	海域風場發電兼產氫	161
<b>第八章</b>	<b>波浪能</b>	<b>167</b>
第一節	波力的里程碑	168
第二節	波浪資源	170
第三節	波能技術	173
第四節	各國波能發展狀況	182
第五節	主要相關議題	189

第九章 潮汐能與海流能	193
第一節 潮水之力與能	194
第二節 潮汐發電	199
第三節 海流發電	206
第四節 潮汐發電的優點和受到的限制	208
第十章 海洋熱能與鹽差能	213
第一節 海洋熱能轉換	214
第二節 海洋溫差發電	216
第三節 OTEC 技術	219
第四節 OTEC 之經濟性	223
第五節 海洋鹽差發電	226
第十一章 生物能源	229
第一節 生物能量來源	230
第二節 綜觀生物質量與生物能源	232
第三節 生物燃料	236
第三節 生物質量的能量轉換	247
第四節 生物質量發電	252
第五節 世界生物質量發展情況	254
第六節 生物能源所面臨的挑戰	260
第十二章 水力能	263
第一節 水力發電	264
第二節 水電的優勢	266
第三節 水力發電的爭議	267

第四節	世界水電現況與趨勢	269
<b>第十三章</b>	<b>地熱能源</b>	<b>271</b>
第一節	地熱能源的定義與分類	272
第二節	地熱能開發現況	277
第三節	地熱發電	282
第四節	地熱的直接利用	287
第五節	經濟考量	291
<b>第十四章</b>	<b>氫與燃料電池</b>	<b>295</b>
第一節	認識氫	296
第二節	氫的製造	304
第三節	氫的儲存	308
第四節	氫燃料電池	316
<b>第十五章</b>	<b>再生能源的前景</b>	<b>331</b>
第一節	全球現況	332
第二節	未來潛力	335
第三節	商業化與成本的估算	342
第四節	促進再生能源	347
<b>參考文獻</b>		<b>357</b>
<b>中英文詞彙對照表</b>		<b>369</b>

# 第一章 能源與永續



## 再生能源概論

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

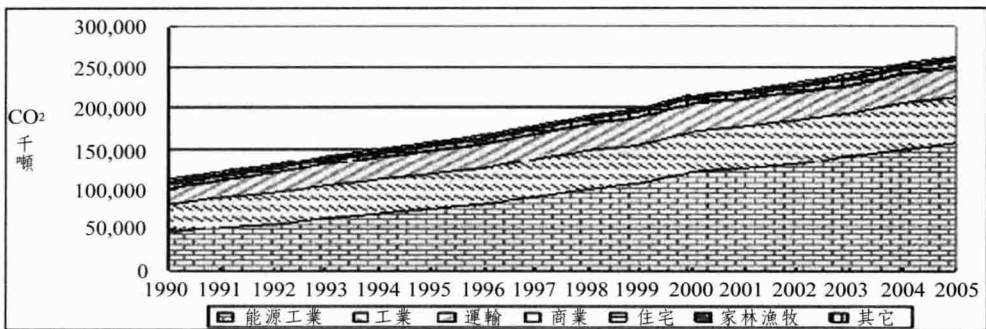


圖 1.1 台灣各部門燃燒燃料（不含用電）二氧化碳排放量的成長趨勢

(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。



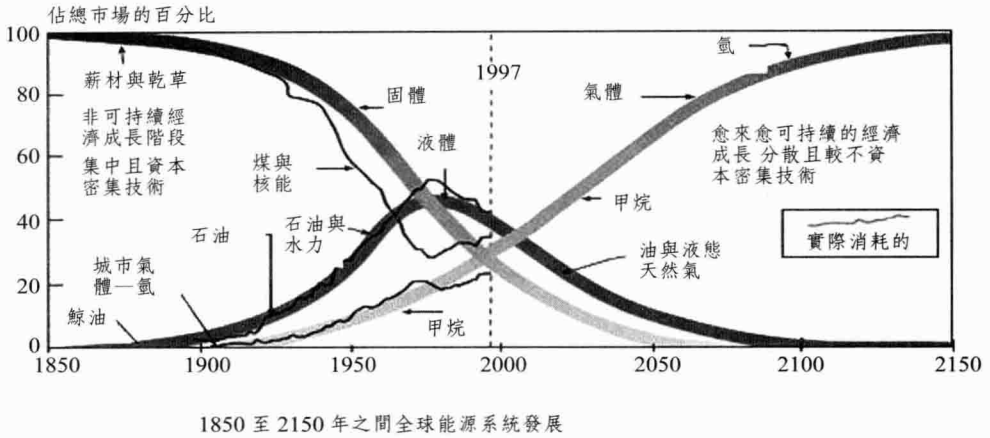


圖 1.2 1850 年至 2150 年之間全球能源系統發展情形

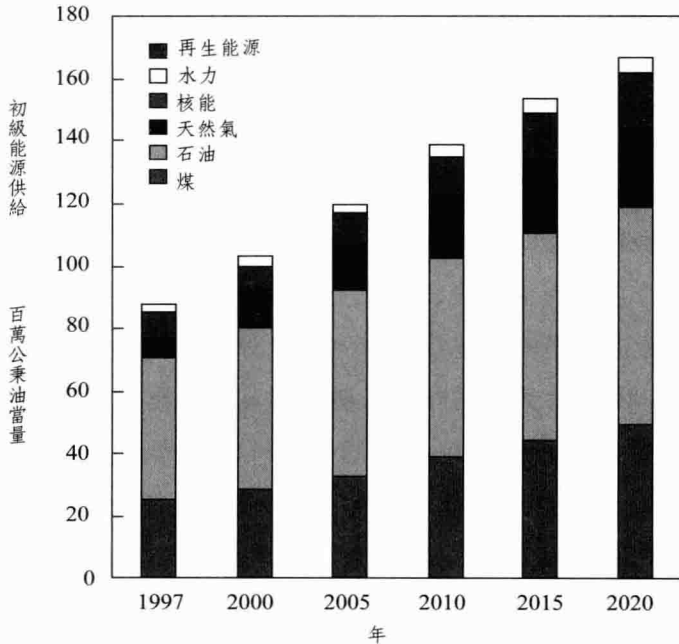


圖 1.3 台灣初級能源供給預測 (數據擷取自 1998 年能源委員會)

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。