

大是文化 英國《金融時報》年度好書

不要核能， 那我們用什麼？

全球能源發展現狀 與台灣潛在商機

日本311大地震後，
大家都主張儘快放棄核能，
問題是，我們要用什麼發電？
能源要從哪裡來？

本書分析10種替代能源的
現況、優缺點與取得成本高低

不要核能，我們還有
更安全又經濟的選擇。

綠能經濟與氣候變遷專家
克里斯·古德 著
Chris Goodall
蘇雅薇、楊幼蘭 譯

中華經濟研究院
國際所副所長

林俊旭

推薦



不要核能， 那我們用什麼？

全球能源發展現狀
與台灣潛在商機

綠能經濟與氣候變遷專家
克里斯·古德 著
Chris Goodall
蘇雅薇、楊幼蘭 譯

Biz 071

不要核能，那我們用什麼？

全球能源發展現狀與台灣潛在商機

原 書 名／綠能經濟真相和你以為的不一樣

作 者／克里斯·古德（Chris Goodall）

譯 者／蘇雅薇·楊幼蘭

台灣現況撰文／曾玉萍

主 編／吳依瑋

總 編 輯／徐仲秋

顧 問／蘇拾平

會 計／陳佳琳

版 權 助 理／許訓彰

版 權 經 理／郝麗珍

業 務 助 理／王俐雯、林偉婷

行 銷 經 理／陳雅雯

總 經 理／陳絮吾

出 版 者／大是文化有限公司

台北市100衡陽路7號8樓

編輯部電話：（02）23757911

購書相關資訊請洽：（02）2375-7911 分機121

24小時讀者服務傳真：（02）2375-6999

讀者服務 E-mail：haom@ms28.hinet.net

郵政劃撥帳號／19983366 戶名：大是文化有限公司

香 港 發 行／大雁（香港）出版基地·里人文化

香港荃灣橫龍街78號 正好工業大廈25樓A室

電話：（852）2419-2288 傳真：（852）2419-1887

E-mail: anyone@biznetvigator.com

印 刷／高典印刷有限公司

■ 2012年 1月初版一刷

ISBN 978-986-6037-13-9

Printed in Taiwan

定價340元

Ten Technologies to Save the Planet Copyright © Chris Goodall, 2008

Copyright licensed by Profile Books Limited, arranged with Andrew Nurnberg Associates International Limited

Complex Chinese Translation Copyright © 2012 by Domain Publishing Company

All rights reserved. Without limiting the rights under copyright

reserved above, no part of this publication may be reproduced, stored or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise), without the prior written permission of both the copyright owner and the publisher of this book.

有著作權·翻印必究

推薦序／

決定能源發展的關鍵時刻，你不該缺席

林俊旭

中華經濟研究院 國際所／能源與環境研究中心 副所長

二〇一一年三月日本東北大地震之後，在我參加不下十次的國際場合裡，日本友人總是利用機會對台灣人民的慷慨捐獻表示衷心感謝。這些友人有部分是舊識，也有些是初次見面，表達謝意的時機有在公開演說的場合時，也有在私下交流的談話中，但屢屢都感受到他們誠心的感謝；不禁覺得日本人真的被嚇到了，而台灣人感同身受的情誼也讓對方感受到了！

這次由海嘯引發的地震與核災的各項災難中，核災屬於最具爭議性的議題。過去幾年許多國家在減碳壓力下推廣核能，核能工業也頗有起死回生的態勢，但在福島核災後，核能又被重擊了一次，核能議題再度浮上公共政策辯論及政治角力的檯面，很多國家也因此改變了能源發展政策。

但除了核能，我們還有什麼選項？

《不要核能，那我們用什麼？》這本書詳盡介紹了十種替代能源科技，用推廣科普新知的方式娓娓道來。兩年前這本書的中文版（原書名為：綠能經濟真相和你以為的不一樣）問世，

而這次再版內容又增加了目前這十種科技在台灣的發展潛力，進一步增加了可讀性。

比較巧的是兩年前初版時，正是在雷曼兄弟連動債引起全球金融危機之後，化石能源價格飆高的氣燄暫時受到抑制；兩年後再次發行的此刻，全球似乎又要進入另一個因歐債所引起的金融危機；各國綠色能源的發展，如太陽光電，也在二〇一一年嚴重停滯。一直沒變的是氣候變遷戲碼在全球各地不斷上演，而減碳需求隨著氣候變遷而來，替代性能源又因減碳需求而被廣泛討論。因此替代能源研發雖然進行多年，但其實是因為氣候變遷議題才受到重視。

綠色經濟將改變國際競爭力

根據跨國研究顯示，台灣人面對氣候變遷是真的「有感」，對於氣候變遷威脅的認同程度高達百分之九十以上，從切身之痛的二〇〇九年八月莫拉克風災，到二〇一一年底尚未平息的泰國水患，很多人感受到對抗氣候變遷的工作必須馬上展開。然而弔詭的是，在多災多難的今天，人類面對自然災害時的渺小一再被突顯，「人定勝天」的古訓也一再被推翻；既然人類力量無法與大自然抗衡，很多人會懷疑：單憑使用替代能源，就能扭轉氣候變遷的趨勢嗎？

雖然「氣候變遷」與「能源安全」是兩個不同的議題，而替代能源也無法同時解決這兩個問題，但我們相信隨著科技成熟進步，替代能源科技至少可以部分解決人類生存的危機。

「永續發展」(Sustainable Development) 這個名詞在一九八七年誕生了，聯合國於一九九二年在巴西里約日內盧發佈「二十一世紀議程」(Agenda 21)，進一步確定了永續發

展的實施策略，包含氣候變化綱要公約與生物多樣性公約的強制性地位。

而二〇一二年六月，聯合國即將重回巴西再度召開地球高峰會議，慶祝二十一世紀議程發表二十週年。二十年過去了，人們應該要思考「人類社會是不是比較永續？」，但無疑的是：以綠色能源為中心的綠色經濟早已在國際間成為主流思維，也改變了國際競爭力的定義。因此除了愛地球外，面對全球競爭時，我們也關心台灣有沒有辦法把握這個轉變時刻，在新的綠色世界經濟體系中發揮關鍵性角色，而這本書也提供了我們這方面的思考。

作者序／

低碳非核，十年內能否實現？

本書深入探討十種不同的方式，藉此可以顯著減少二氧化碳排放量，並從大氣中抽取出大量的二氧化碳。作者更進一步建議，一旦我們不再依靠煤炭、石油和天然氣，新能源所需的價格不但不會比現在高，甚至還會低出許多，未來科技還會持續高度發展，低碳能源的價格會比現今便宜更多。

新科技愛好者往往認為，自由市場能自然帶動替代能源發展，取代石油、煤炭和天然氣，然而數量漸多的環境悲觀論者則認為，世界正加速走向災難；在接下來幾個章節中，我希望在這兩種看法間保持平衡。以下探討的科技大部分都還在初始階段，儘管前途十分光明，但如果沒有持續的科學發展、大筆的創投資本和政府（以及民主國家選民）的大量資助，這些科技都無法快速發展。

此外，我想不需要特別說明大家也應該知道，發展新科技後，不表示我們就不用改善工業及家庭用電的效率，如果想阻止大氣中溫室氣體濃度繼續上升，甚至使之降低，我們必須一面發展新科技，一面佐以減少能源使用量，包括實質改變生活方式。

本書提到的一些新科技未來可能會失敗，我在此簡介的創新公司，十年後極有可能大部分

都不會存在，但我們大可不用擔心，因為讓真正成功的那些發明大規模發展，才是最重要的。

經濟去碳化並非遙不可及

書中十個章節分別介紹一項新科技或技術，可以將全球一年的二氧化碳碳排放量降低至少百分之十，且每一項發明都在現今科學和技術可行的範圍之內。雖然這個用詞有點討厭，不過達到「經濟去碳化」需要的花費，應該不會超出人類負擔。

事實上，書中提到的許多科技，譬如不犁地耕種（zero-till farming）和改良式住宅絕緣系統現在都可以使用，長期看來花費也不會太高，這些科技可以減少家用的支出，甚至增加收入。其他包括次世代生質能源（biofuels）和潮汐能源（tidal energy）等科技，近幾年內雖然會比化石燃料昂貴，但隨著可預期的科技發展，這些能源的價格勢必會降低。除此之外，雖然要花點錢，但碳吸存（carbon sequestration，或譯為碳截存、碳封存、碳固定）也是可行的選項，這些對我們來說都是好消息。

然而，淘汰化石燃料並不容易。我們必須承認，為了發展書中提到的新科技，人們需要費心費力改變現在處事的方法。比方說，我們現在用汽油或石油當作汽車燃料，在世界各地沿路上千座加油站都可以加油，液體燃料很方便，也帶給我們無與倫比的便利生活。然而，從氣候變遷的角度來看，人類很明顯應該轉而使用電動車（electric car），以再生能源充電的電池當作電源。

總有一天，電池推動的電動車價格會降低，比現在靠內燃機運轉的汽車怪物還要容易保養。但要全球汽車都停用石油、轉而使用電力的工程太浩大，汽車電池必須持續改進其價格和充電速度，還要能儲存行駛好幾百英里所需的電能。雖然第一代全電動賽車已經上路，也獲得熱烈迴響，但不代表電池能夠快速成為汽車動力的主力。我們需要企業家和公司冒險停止使用汽油，政府也必須提供支持和財政協助，車主則必須忍耐第一代電動車的種種缺點。然而一旦跨越所有難關後，大家一定會懷疑：為什麼人類等了這麼久，才轉向使用無污染、保養簡單又極有效率的電動車？

書中提到的其他科技幾乎都需要走過類似的過程：一開始，新科技使用起來既花錢又不方便；隨即而來的麻煩期間內，大家的熱忱開始消退，科技進步也顯得緩慢；接著，存疑的買者開始接受新科技；最後，我們終於發現不需要再依靠化石燃料而活。

新能源的機會與障礙

要轉向使用新能源時，主要障礙來自於無所不在的現有公共建設，因為它們使人可以便宜、方便使用化石燃料。我們花了上兆美元，建造天然氣管線和儲存槽、電力配送網路、燃煤和天然氣的大型發電廠（這些電廠經營起來可靠又安全，一年內只需不定期維修幾小時）。過去一世紀以來，人類花了不少錢建造管線、電纜、建築物和機器，成功提供服務、繁榮國家人民，想要擺脫它們實在不容易。

不要核能，那我們用什麼？

有些替代能源的確可以直接使用現有的公共建設，比方說，我們不需要新的汽車、加油站或精煉廠，就可以將纖維素乙醇（cellulosic ethanol）跟傳統汽油混合使用。然而，其他科技則需要新的配送系統，譬如燃木為主的區域供熱發電廠，就需要於市區到處設置熱水管。身處化石燃料經濟核心地位的大公司如發電廠、石油公司和管線公司，有足夠的人力和財力資本，可以投資如此大規模的計畫，但低碳科技界則沒幾家公司有這樣的財務能力或技術。

此外，現在人類的生活建構在可以即時、持續使用能源的基礎上。比方說，先進國家的電力系統幾乎分佈全國，非常可靠，在這些國家，只要停電一會兒，就足以登上報紙頭條。期望低碳科技達到相同的穩定度，且在短短幾年內取代所有石化燃料的優點，這個想法顯然太天真。一旦轉向使用替代能源，我們勢必要歷經科技會有狀況，忍受斷斷續續的能源供給，且價格甚至比化石能源還要高。

一九〇〇年左右的影片紀錄中，用好笑的方式描繪了不少實驗性質的飛機起飛失敗的壯觀場景。低碳能源研究也會面對類似的災難，光在二〇〇七年間就有不少失敗的例子：一家發電廠嘗試使用藻類來吸收二氧化碳，結果藻類成長太快，覆蓋住發電廠的整個入口管線；一架波浪能源捕捉器沉到海底；一座潮汐能源發電機上的風扇掉了下來。對新科技有所懷疑的人可以向媒體舉出這些例子，指稱再生能源永遠無法取代現在廣泛使用的電力、天然氣和汽油。然而，如果想要解決氣候變遷的問題，我們必須效仿萊特兄弟，不可以向挫折屈服。

本書中介紹的若干科技還面臨另一個問題，就是重要零件不足。現在風力發電產業就面臨這個危機，風力發電機的零件複雜度遠超過我們的想像，由於需求快速增加，讓製造商及供應

商無法生產足夠的零件，造成供應不足，於是在過去幾十年價格持續下跌後，發電機的價格開始快速飆升；由於全世界能夠在海床上作業的特殊船隻不足，海洋能源開發也受到延遲。另一方面，電動車的長程發展也可能受到影響，因為製造大電池用的鋰（lithium）等礦物原料不足；本書沒有介紹到的一些燃料電池，必須使用的是價錢嚇人的鉑（platinum）；太陽光電（solar photovoltaic）公司則互相爭奪全球產量有限的極純矽（silicon）。

隨著低碳經濟建立，我們會不斷碰到技術瓶頸和原料供應短缺的問題，但這些都不足以阻止我們發展替代能源，只是轉換過程或許比想像中來得緩慢又辛苦而已。

用綠能改變經濟？目前別想

環保活動往往將人們對氣候變遷的擔心，與對當今經濟體制根深蒂固的不滿混在一起：激進的環保人士常抱怨政府支配化石燃料的獲利，跨國公司不人道又沒道德，龐大的公用事業公司主宰電力和天然氣配送，又毫不負責。因此，許多抱持好意的環境保護者和環保政治家都傾向支持小規模科技，補貼家用太陽能板、小型風力發電機及家用燃木暖氣。這個現象根本上並沒有錯，只是和大規模發展比起來，這些小規模科技每減少一單位碳的成本都昂貴許多，從這點來看，發展微型再生能源並不能阻止氣候變遷。

我們可以拿德國資助小規模太陽光電的計畫為例。這項獎勵的優渥程度前所未見，但花了五十億歐元後，小型太陽能發電依舊佔不到德國總電量的百分之一；更重要的是，援助計畫吸

引全球製造商將大部分太陽能面板外銷至德國，但與其裝在德國，這些面板裝在西班牙南部或墨西哥或許能產生多一倍的電能。雖然德國的補助計畫協助了大部分加州和中國的太陽能面板製造商站穩腳步，但同時也推高了世界各地的矽礦價格。

使用本書介紹的十種科技時，我們必須讓其發揮最大功效，這通常表示要大規模設置裝備。比方說，在歐洲心臟地帶的住宅區旁裝一座風力發電機發電，其電價可能是大西洋沿岸位置良好的大型風力電廠產出電價的五倍，這麼一來，我們還有理由資助小型風力發電機嗎？雖然大家可能不是很滿意，但低碳經濟仍需要像現今石油、電力公司一樣，由大公司來主導。

視國情不同，發展不同新能源

為了克服氣候變遷，我們必須應用全球資本主義的力量，而不是利用全球暖化的威脅，試圖改變世界經濟的運作方式，這是沒有勝算的戰鬥。

從以上德國的例子可以看出，將替代能源用在最恰當的地方也很重要。與行車距離長、汽油價格便宜的地方相比，先在一般開車距離短、油價又貴的地方發展電動車較有道理，因為比較容易成功；缺碳土地改良計畫應該集中在土地大量缺碳的國家，且需要發展良好的教育體制，讓農夫了解不同耕作方法的好處；二氧化碳封存科技（carbon capture and storage）在富含鹽地下水層的國家成效最高。這些觀念都很簡單易懂，但政府、公司和個人往往急於展現作為，受到微型新科技易為人民接受的特性吸引，忽略了可以在全球大規模實行的其他科技。

每個國家必須評估哪些新科技最適合其獨特的狀況，然後將有限的資源用在上頭。多陰天的英國就不應該浪費錢補助家用太陽能熱水器，而應該支持研發計畫開拓驚人的海洋能源；相較之下，中國大陸應該持續發展小規模天然沼氣池（biogas digester），瑞典和奧地利等森林覆蓋率高的國家應該發展燃木區域供熱發電廠，丹麥該維持其無人能敵的風力發電專業技術，而澳洲則該發展土壤改良。由於汽車在美國社會非常重要，美國人也應該領導纖維素乙醇等次世代生質燃料的發展。

一個國家如果專注發展本書中介紹的兩、三項科技，獲得商業化成功發展的可能就比較高，價格和可用度也能持續改善。對於新科技的支持如果太分散、不可靠又不一致，反而會將資源轉離合適的目標，造成反效果。對抗全球暖化的戰爭並不是一場輪盤遊戲，讓各國隨機在各種科技上下注；研究發展、公眾投資和減稅獎勵都應該用在正確的目標上。

現代人一定要懂的十大科技

剛剛我才提過，各國應該專注發展最適合其經濟或地理狀況的科技，但我現在又強調，了解這十種解決方案間的緊密關係很重要，這聽起來的確有點矛盾。我的重點是，政府和公司應該投資少數有發展可能的科技，但同時也要了解整個替代能源產業的狀況，才能夠建立起可靠的能源供應系統，媲美當今富裕國家使用的化石燃料。

化石燃料之所以佔有優勢，一部分是因為其非常可靠；除了燃木發電廠以外，沒有任何再

不要核能，那我們用什麼？

生能源具有相等的穩定度。在大型國家，當完全不使用化石燃料來供應全國電能時（這其實沒有大家想像中那麼遙不可及），我們須想辦法確保各項新能源能彼此支援，而不是互相損害。

拿風力發電為例，由於風的不穩定性難以預測，所以不管是區域還是全國的單一發電網路，其總電量中至多都只能有百分之十到二十來自風力發電。因此，隨著風力發電機數量增加，我們也該同時注重儲備能源（譬如電動車電池），或可以迅速開啟、關閉的電力資源（譬如燃料電池或燃木發電廠）。一旦沒有風時，我們可以將車庫裡電動車的電池接上電力系統，讓電池放電提供備用能源，或者啟動供給家庭、商業用電的燃料電池，增加其電力輸出比例。

同理，太陽能每天只能直接提供十二個多小時的電力，因此也需要和大規模的儲備能源合作。潮汐能源的供電高峰雖然依固定規律變化，但在沿海岸不同地點，高潮時間也有所不同，因此潮汐能電廠應該廣泛設置於不同地區，好盡量確保供電量穩定。

我撰寫本書時得到一個結論：每個國家都需要由中央政府仔細計畫能源供給，自由市場可以幫助我們決定最適合發展哪項新科技，但無法整合出各國需要的科技緊密互助關係。只要看看鼓勵發展核能發電，對資助低碳能源可能帶來的負面影響，就應該了解我的意思了。

雖然決策者或許不這麼認為，但核能是再生能源極大的敵人。核能發電廠無法臨時開啟或關閉，因此為了划算，電廠必須要二十四小時持續運作。除了燃木發電廠外，再生能源不停運作是有好處的，像是風力、太陽能和海洋能源發電廠，雖然建設成本高，運作起來卻很便宜，如果沒有發電原料短缺問題時，讓電廠不斷運作是很有經濟效益的做法。

因此，核能和風能等再生能源等於在互相競爭，如果大量的核能發電廠全年每天不斷供

電，我們或許就不需要發展其他電力來源了。就像英國政府正打算鼓勵電力公司建造新的核能發電廠，提供全國需電量最低時段（通常是早上五點半）所需的全部電量；這麼一來，表示用電量低時，風力發電及其他再生能源都必須撤離供電網，導致發電機器擁有人收不到錢，使投資風力發電聽起來風險更大。事實上，除非核能電能以合理的價格輕易大量出口到其他國家，否則投資大規模核能發電的效益，根本比不上風力或其他再生電力能源。因此雖然聽起來和東歐早年的中央計畫很像，但再生能源生產者必須確切清楚知道，政府對於發電的通盤計畫是什麼、要建立多少其他形式的發電系統。

十分之四和光合作用有關

再生能源終究可以提供人類所需的大部分電能，這些能量都直接或間接來自太陽，因為風力、波浪和太陽能發電都是將太陽核能反應形成的能量轉換成電。介紹這些科技的章節中會提出數據，顯示它們可以輕易提供全世界需電量的百分比，而達到目標所需的地表面積並不多。

不過，我們還是需要利用儲存在植物和樹木內的部分太陽能。在科技用語中，「生質能源」指的是透過光合作用產生的能源，這種能源將成為電力和液體燃料越來越重要的原料來源。使用纖維素乙醇的話（請見第七章），木材和稻草可以以合理的價格轉化成石油替代品，不過汽車很耗能源，一輛普通的小型歐洲車款一年大約得燒掉一千五百公升的汽油，就算新科技將木材和稻草轉變為乙醇的效率極高，上述車款大概也需要四分之一公頃土地產出的纖維

素。如果這塊土地可以生產穀物，大概可以種植夠十二個人吃一年的小麥。

現在人類社會面對的一大問題，是如何在多項相互競爭的土地利用方法間分配土地。本書所介紹的十大科技中，有四種需要使用光合作用（將光線轉變成植物生長能量）產生的原料，亦即我們必須利用土地來種植茂密的生質能源，然後產生乙醇及汽電共生發電廠需要的燃料（別跟直接拿食物當燃料燒的愚蠢做法混為一談）。另外，我們從第十章得知，將木頭和植物物質製成的木炭埋入可耕地，可有效隔離碳；而本書最後的部分將探討，如何透過改進鄉村農業技術和重新造林，以減少空氣中的溫室氣體。（養殖二氧化碳封存電廠所需的藻類，會用到原本可以發展農業的土地，不過養殖藻類需要的土地面積很小，所以不構成什麼問題。）

汽車，正在和人搶奪土地

可想而知，我們未來將面臨兩難的局面。富裕國家想要使用世界各地的土地，以生產汽車燃料和發電所需的生質能源，儘管現在穀物價格創下歷史新高，可耕地若種植纖維素乙醇發電廠需要的生質能源，還是比種小麥值錢許多；然而，全球人民也需要土地來種植食物。簡而言之，**十億輛汽車正和七十億人口（編按：二〇一一年底，全球人口數已突破七十億）搶奪土地的產物**，如果石油價格上漲，將鼓勵更多農夫轉行種植可以變成乙醇的生質能源，間接造成其他農產品價格上升。

美國農業部預估，全球農產品成長率將會低於人口成長率，這會衝擊過去幾十年來全球食

物穩定供應的狀態。乍看之下，想要增加食物產量，又想要使用百分之十或二十的可耕地來栽種生質能源，似乎不可能兩全其美。不過，這個悲觀想法或許毫無根據可言，我試圖在本書中表示，人類為了取得化石燃料和礦產而開墾地層的同時，也為了農作大量開發土地，降低了土地生產作物的能力，明顯造成土地中含碳量減少。我們必須倒轉發展趨勢，逐漸增加土地的農業生產力，透過生物炭增加土地吸收碳的能力（請見第九章），或增進對牧場和森林的管理（請見第十章）。如此一來，世界上大部分土地的生產力將大幅上升，使得如何使用土地的衝突不再那麼緊張。增進土壤健康會帶來兩項有益的影響：一是可以增加農業收益，二是吸收空氣中的碳。

有些科學家發明出複雜的機器，可以將大氣中的二氧化碳分離出來，本書談到二氧化碳封存章節，會介紹全球研究科技公司（Global Research Technologies）提出的簡練解決方案。我和這些科學家看法一致，認為人類需要能以低價直接降低大氣中二氧化碳量的方法，同時也要投資產生低碳能源的科技。本書提出的假設是，增進土壤健康是吸收現存二氧化碳淨值最便宜的方法，由於此方法可以公平將大部分的獲利分給低收入國家人民，從政治層面上來看也較容易為全球社會接受。

減碳的經濟代價，很低

有時候，有些人會表示氣候變遷是個無解的難題，因此高度發展的社會根本不該試著阻止