

# 核能是否為再生能源的爭議

林欽明

2011 年 11 月 1 日

今(2011)年三月日本因地震而引發福島核能危機，引起國內外的熱烈關切與討論。在我的「開發中國家政經發展」課堂上，學生們亦紛紛提出相關問題。本文並不擬加入此論戰，而是從今天全球均努力追尋取代現有化石燃料的再生能源出發，探討核能在其中所扮演的角色。

## 何為再生能源？

今天全球正進入一個轉型時期，從單一主要能源—石油過渡到一新的主要能源或多種的能源。這是全世界所歷經的第三個能源轉型：第一個從木柴到煤，第二個從煤到石油。今天，就算不是所有的人，還是有許多人都同意，工業生產已經必須從過去倚賴非再生以及汙染高的化石燃料，轉移到再生以及汙染低的能源。除了少數像是美國與澳洲這些唯一拒絕簽署京都議定書的工業國家之外，許多其他先進國家都了解他們必須終止對進口石油的倚賴，因為它既不是乾淨的燃料，而且也實在並不便宜、充足或安全。不過，到底什麼會是已開發國家的產業，以及開發中國家的新產業之主要能源呢？就如同許多其他轉型一樣，最後的結果會是甚麼，並不是一言可喻的。唯一可以確定的是，當前的狀況已經不能再持續下去了，我們現在已經是處於能源轉型期的開端。

在進一步討論之前，讓我們檢視一下被經常論及的潛勢能源。我們通常可以把能源區分為不可再生以及再生能源，前者是指那些歷經數百萬年所形成而正被逐漸用掉的能源，後者則大部分從太陽取得其能源，因為太陽預期還能維持目前的亮度至少達十億年之久，故名為「再生」(renewable)能源。根據此定義，石油、天然氣、煤以及鈾是主要的非再生能源：

- 根據許多分析者，地球上的石油還沒面臨用罄的時機，不過未來數十年之內石油短缺情形將會變得非常普遍；
- 目前確證的天然氣蘊藏量則估計要大於石油，同時是最乾淨的化石燃料，估計到 2015 年時將會取代石油與煤成為全世界最重要的能源；
- 煤的蘊藏比石油或天然氣都要豐富許多，由於其相對價廉與量多，所以在小布希總統執政時在美國有復起的情形，它也是促使中國經濟興盛的重要因素；
- 鈾是核子能源的主要燃料，廣泛分布於全球，不過只有相對少數的國家才有大量的儲藏，核子能提供了全球大約 15%的能源，主要是透過全球大約 440 座的核能發電廠。

故以此而言，核能並非再生能源，它不似木柴、水力、風力、廢棄物、氫氣，以及直接日照等，都可追溯到日光，所以也都隨著太陽的存在而永續產生能源。

## 能源對環境的衝擊

不過，不論我們如何界定再生能源，今天世界上的人類可以說都捲入了關乎地球未來生命的一個空前而重大的實驗，也就是關於全球氣候的問題。全球氣候正在變遷著，主要是因為人類燃燒了大量的化石燃料—煤、石油與天然氣之故。當這些燃料被使用時，歷經數百萬年累積在其中的碳即被釋放於空氣之中，成為二氧化碳(CO<sub>2</sub>)。自從工業革命以來，大氣層中的 CO<sub>2</sub> 已經有了顯著的增加：從 1700 年代中至今大約為 30%。這個增加造成地球表面溫度的上升，稱為「全球暖化」或「溫室效應」—因為大氣層中的 CO<sub>2</sub> 在陽光抵達地球之後，卻困住了地球上若干的熱氣，不讓其反射回太空。地球暖化的後果將是如何，世界的科學界只能說還在猜測之中。不過這些猜測非常強烈而多樣，他們預測在短期或長期之內，將會發生災難性乃至毀滅性的事件。總之，如何減少 CO<sub>2</sub> 等溫室氣體的排放，更重要的是，如何找到取代化石燃料的替代能源，讓人類儘速去除溫室氣體排放的源頭，實為當急之務。

那麼，當我們在尋找安全、乾淨而永續的能源使用途徑之時，我們究竟能做些甚麼呢？減少能源的浪費當然是勢在必行，試想想，最富有國家每人消耗的能源是最貧窮國家的五十倍，也就是多產生了五十倍的 CO<sub>2</sub>—最富有國家在浪費性的使用能源下獲得發展。舉個例子，法國計畫委員會(Commissariat Général au Plan) 在 1997 年的研究就指出，該國若引進 1995 年最好的技術，將可減少 40% 能源的消耗。不過，要達成這樣的減少程度是需要時間的，因為這意味著文化的改變。富有國家同時亦應鼓勵與協助發展中國家提升能源效率，也就是實行最低能源密度，而不必重蹈前者浪費能源的覆轍。不過很顯然地，提升能源效率有其限度：畢竟我們無法要求窮人減少他們本來就沒有的，不是嗎？因此，節約能源只能說是必要的手段，而非充分的。

## 核能可以解救能源危機嗎？

如上所述，發展替代的新再生能源，是勢在必行。太陽能與風力是最大的寄望所在，他們是免費的、永不耗竭的，而且是永備的，他們既不危險，也不會排放溫室氣體。如果人們願意忍受它們時多時少的特性以及高成本，同時願意接受使用電池容器所帶來的環境後果，那麼他們是很好的解決途徑。特別是落後與偏遠地區，可以輕易並快速地從風力獲得所需電能。不過對先進國家來說，除了對落後地區輸出通過證明與測試的相關技術外，基於政治理由，實不應該做任何其他實質的介入。同樣地，太陽能也使得許多開發中國家受益，不過較諸風力高許多的成本，也使得它不能被普遍使用。故而，因為其軟能源的特性，就全球能源平衡而言，這些再生能源充其量只能提供些微數量的貢獻。

相對而言，今天熱中子反應爐(PWR 和 BWR 等)不論對大量使用的經濟合作暨發展組織(OECD)國家，乃至於所有新興市場國家，都有值得進一步發展的潛能。研究指出，OECD 國家核子能源的使用，每年減少了 12 億噸的二氧化碳之排

放，比京都議定書提議減少的目標值要高許多。由於京都議定書所訂定的 CO<sub>2</sub> 削減目標是基於 1990 年的水準，所以今天許多國家，包括最大的 CO<sub>2</sub> 產生國，其 CO<sub>2</sub> 的排放不只沒降低，反而是大幅上升了。故若以當今核子能源對環境保護的貢獻來說，它是可以也是應該在越來越多的國家裡扮演重要的角色。不過可惜的是，由於其龐大的體積、高建設成本以及社會對其所形成高度的安全文化，使得許多人都相信它對多數開發中國家是不合適的。

今天全球大多數的核子反應爐都是在 1970 年代所設計的第二代(Generation II)廠。在過去十年之間，若干國家開始建立第三代(Generation III)反應爐，這是設計上較安全與簡單，而且基本上是可以降低先期固定成本的。許多三代反應爐包含「被動式安全」機制，在危險事件發生時可以用引力或其他天然力量來啟動。譬如說，反應器可能會有循環系統，當電力消失而無法透過熱對流來降溫時，即會開始啟動，而降低反應爐溶解的危險。另外有第三加代(Gen III-plus)的反應爐，有些會包含「游泳池」的設計，也就是在反應爐上方有一貯水池，可以藉由引力將水釋放出來，而無需在緊急情況時用電力啟動抽水幫浦。故以日本福島一號廠的災害來說，它是典型的第二代設計，若有這樣的安全機制，若干主要的損害將可避免。三加代廠亦有 72 小時壽命的備用電池，可以提供三天的緊急電力，這將對較老的福島反應爐提供一大改善，因為其備用電池只能持續四到八個小時。

現有的核能電廠有一個共通點，就是它們都用水來做冷卻劑。冷卻劑是一種液體，將熱從爐心導向發電廠的其他部位。熱使水變成蒸氣，促使發電機旋轉而產生電，然後再以幫浦抽進冷水以使蒸氣凝結，或透過冷卻塔來冷卻。反應爐對水的倚賴使它越來越容易受到氣候變遷的影響：核子爐因熱浪來襲必須降低產能，而旱災與缺水都會使其遭受更多的限制。新的第四代反應爐可以舒緩這些問題，在其六種設計裡，有四種是以熱氣、溶鹽或流體金屬來做冷卻劑。今天的反應爐只有大約 33% 的效能，也就是爐心所產生的每三個熱能單位裡，有兩個單位是廢熱，而只有一個單位能轉換成電。相對而言，由於四代廠之新型態冷卻劑和設計，使它可以達到 50% 的效能。

目前的核子爐倚賴濃縮鈾，每五至七噸的處理後之鈾，只有一噸成為可用的燃料，其他都貯存為廢料。在新的快速反應爐，即使是廢鈾也可做為燃料來使用，不過必須建立再處理設備將這些鈾系元素收回反應爐裡。今天在日本與法國所使用的較老之再處理技術，會產生純鏽，有些人擔心這會造成核子的擴散。而四代廠的再處理設施將使用不會產生純鏽的新技術，這種新興技術已在實驗室裡被證明有效，不過還未被商業化。麻省理工學院最近的研究顯示，在未來 100 年有足夠的鈾做為核能的燃料，該研究認為新的再處理技術長期來說是有用的，不過並沒有立即開發該技術的必要。

如果我們唯一的考量是安全和其他發電技術，那麼四代反應爐的出現在 2030 年時是可達成的。不過最大的未知數是，若要量產則需足夠的市場。關鍵因素是天然氣的價格，它目前在下降之中。故若天然氣在未來十年維持其穩固的「統治」地位，將會對四代核能廠的興建產生極大阻礙。

## 小結

今天對能源的爭論雖以發展再生替代能源為出發點，但主要的癥結還在於其是否乾淨與安全。核能本質上是乾淨的，不過並未被納入乾淨發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)裡，也就是說，被京都議定書認可投資於開發中國家的減低溫室氣體排放之計畫裡，核能設施不被包括在內，這也是 2001 年第七屆締約國大會(COP7)對聯合國氣候變遷架構公約(UNFCCC)的指示。有些團體像是擁護核能環保者協會(FEN)就呼籲，不應把對環保與降低 CO<sub>2</sub> 有貢獻，並可減少生態環境裡大量有毒物質的核能排除在外，今天若只是基於理念而將核能拒於千里之外，可能遭到後世子孫的嚴厲評斷。

總之，癥結在於，我們尋找化石燃料的替代能源之時，是否一定要侷限於再生能源呢？核能主要使用的是濃縮鈾，雖說目前蘊藏無虞匱乏，但終究在消耗後是不會再生的，所以核能當然不屬於再生能源。不過，另一方面，若從能源使用所帶來對環境的衝擊而言，我們真正需要的是乾淨的非化石能源，而且是可以滿足需求的能源。那麼，對許多國家來說，目前除了核能之外，有哪個能源在短期至中期之間，能夠滿足此條件呢？

參考資料：

1. 中華民國核能學會。〈核能發電的國際趨勢〉。<http://www.chns.org/s.php?id=9> (10/21/2011 擷取)。
2. 塞茲(John L. Seitz)；陳素秋·黃冠文譯。2005。《全球議題》。臺北縣永和市：韋伯文化國際出版公司。
3. Frost, Jacques and Bruno Comby. 2002. "Communication of the Association of Environmentalists for Nuclear Energy (EFN) at the Johannesburg World Summit in August 2002." FEN ([http://www.ecolo.org/documents/documents\\_in\\_english/joburg2002-positionpaper.en.htm](http://www.ecolo.org/documents/documents_in_english/joburg2002-positionpaper.en.htm))
4. Lake, James A. 2009. "Next Generation Nuclear Power." *Scientific American*, January 28 (originally appeared in the January 2003 issue) (<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=next-generation-nuclear>).
5. Seitz, John L. 2008. *Global Issues: An Introduction*, 3rd ed. Malden, MA: Wiley-Blackwell.
6. Song, Lisa. 2011. "Next-Generation Nuclear Energy Reactor: A Primer." Reuter, May 9 (<http://www.reuters.com/article/2011/05/09/idUS122445233920110509>).