

台灣能源環保 ABC

郭位 香港城市大學

近幾個月經常收到各類媒體詢問有關台灣供輸電的問題，由於公務繁忙，兼且自從去年 8 月 15 日台灣斷停電，政爭干擾民生，社會激盪不平靜，不差額外參上一腳，故婉拒採訪。今天電能問題再度浮現檯面，如果沈默不出聲，就真有負身為讀書人了。應要求，以科普通俗的方法綜合回答以下 35 個經常碰到的能源環保問題或說法。

Q1: 能源是日常生活的一部份、生存的必備。有哪些能源可供使用？

A1: 七彩能源，包括水，火（煤、油、天然氣），核，風，太陽，生質，及其他（如地熱、潮汐、沼氣、...）等七種能源選項，在功效、安全可靠、可持續性、環保、資源儲量、經濟承受性、經濟價值等方面各有利弊。不同的國家社會可供取用的資源不盡相同，因此採用七彩能源的組成方式也要量力而為。

1760 年代工業革命之前，傳統樹木類的生質幾乎是唯一可供人類使用的能源。工業革命使用燃煤，燃煤快速取代部分傳統生質能源。自 20 世紀始，石化燃料 -- 主要是煤，再有石油和天然氣 -- 提供過半的能源需求；雖然 1950 年代開始有煤、油、天然氣及少數水力以外的「七彩能源」可供選用，至今火力仍然維持著全球能源消耗（電力及非電力）大比例的地位。今天生質能源與所有非石化燃料的七彩能源（核，水，風，太陽及其他）平均分攤約 20% 的能源消耗。水力、風力和太陽能等再生能源僅佔全球能源消耗非常小的一部分。

Q2: 台灣能源使用的分配如何？

A2: 台灣缺乏自然資源，98% 以上的能源依賴進口。48% 消耗在電力，39% 在石油交通運輸燃料，13% 在其他熱能。石油、天然氣及燃煤佔 85% 以上的能源消耗。如此超高比例的石化能源消耗世上少見，以致台灣 CO₂ 及 SO₂ 的人均排放量均名列世界前茅、為世界平均值的 2 到 3 倍之多。

Q3: 台灣電力資源使用分佈及備載容量率如何？

A3: 在政、經、民粹、歷史、氣候環境、國際能源市場等各種因素交互影響下，台灣電力資源的使用分佈及備載容量率隨著時空而變化，而且變化很大。取個 snapshot 的時間點，2016 年底當核一、二、三廠有機組未運轉

時，火力發電佔 79.9%（燃煤 36.9%、燃油 4.4%、天然氣 36%、汽電共生 2.6%），再生能源佔 5.1%，核電佔 13.5%，抽蓄水力佔 1.5%。平均備載容量率為 10.4%。

2014 及 2015 年，當核一、二、三廠六部機組較充分運轉時，核電在電能消耗上分別佔 18.6%和 16%；備載容量率則較 2016 年高，分別為 14.7%和 11.5%。由於短期內火力與核電之外的能源選項變化不大，減少核電帶來的的後座力若非加大火力發電的比重，就只有減少備載容量一途。

眼前的數據清楚說明此一現象：根據台電資料，當核一廠 1、2 號機以及核二廠 2 號機停止運轉時，2017 年 8 月 15 日尖峰供電能力為 3706 萬瓩，瞬間尖峰負載 3645 萬瓩，備載容量率僅得 3.17%。所以當天 17 個縣市因為油氣短路，停電長達幾個小時，並不意外。

Q4: 備載容量是怎樣一回事？

A4: 電力備載容量提供備載電能，與汽車附上備胎是同一個道理。那麼該多少備載才夠呢？這就好像問，爬山越嶺應該帶多少飲水乾糧在身上才恰當？

這是個機率問題，因為電力使用隨時變換。高備載容量下的系統，停電的機會小；低備載容量的系統，停電的機會大，並且以幾何級數的比例上升。備載容量究竟應該多少？這要看社會願意投入多少資源在電能，使用者又可以忍受多少、多久停電所帶來的損失及不便？

在一個理想的系統裏，沒有外力入侵，如果設備維修正常、工程人員稱職、機組運轉順暢（指的是生命週期的中生期，也就是不在早期的運轉期，也非機件老化時期），備載容量率應該維持在系統尖峰負載的 10%以上。如果社會大眾對停電的容忍度低，同時政府的運轉經費充裕又肯體諒百姓生活，則備載容量率至少應該維持在系統尖峰負載的 15%以上。此外，如果能力許可，還要額外考慮 5% 到 10% 備而不用的應急備載（non-active redundancy）電力儲備。

備載容量跟社會的進化程度成正比，進步的社會容量要求高，落後的社會當然低。備載容量也跟選取的能源種類有關；再生能源可持續性低，如果再生能源佔全部能源的比重大，則備載容量的要求就更高。德國停電頻繁，乃在於再生能源佔該國全部能源的比重大，算是一個值得參考的好例子。

今天台灣超低的備載容量率，只求勉強滿足「電力溫飽」，難得造福民眾無憂無慮的電力使用，代表一個發展中社會能量供給的虛弱現象。

Q5: 有沒有增加備載容量率的方法？

A5: 有，而且很多。可想而知，增加發電機組是個解決辦法。減少電器使用則是另一個辦法，這是德國常用，也是去年暑假，台灣鼓勵全民在炎夏中午停用冷氣的原因。另外還可以重新規劃維修策略，減少維修頻率、縮短維修時間、甚至取消部分維修組件等，都是可能被採用的偷步方法。

相信在政府授權下，台電於 2018 年 2 月 5 日提出核二廠 2 號機啟動申請、3 月 14 日再度召開深澳火力發電廠環評，凡此提高備載容量率的措施，不令人意外。依深澳火力發電廠規劃，建成後可增加約 5% 的備載容量率。如果核二廠 2 號機組 98.5 萬瓩加入供電，則可以再增加約 3% 的備載容量率。

汰舊換新是理想的辦法；而今核四完工、核二老舊，啟動核四乃較佳安排。但是據報載，封存中核四龍門電廠的 1,744 束燃料束將於今年 6 月起陸續運送美國。如果核四停滯不運轉過久，朽木難雕，終將報廢。

果然，台電提出核二廠 2 號機啟動獲准後，在併聯發電次日的 3 月 28 日，因故跳機。反應爐只是核電機組中電、機、土木、軟體、人員管理系統的一部分，任何一部分都會在不同層次上影響系統的安全運行。跳機是電廠安全維護的一項措施，有要求台電徹查事發的原因，卻不知問題的癥結乃在於決策者，一將無能，累死千軍。違反系統可靠的運行法則，因噎廢食，令人擔憂！

Q6: 七彩能源對環境污染影響的程度如何？

A6: 台灣近年重視環境污染，七彩能源生命週期內產生的各種污染物列在表一，供參考。此外，圖一提供空污分佈圖，可以一目了然能源使用對全球造成 PM2.5 空污的輕重程度。

表一：氈時電生命週期廢棄物的排放量

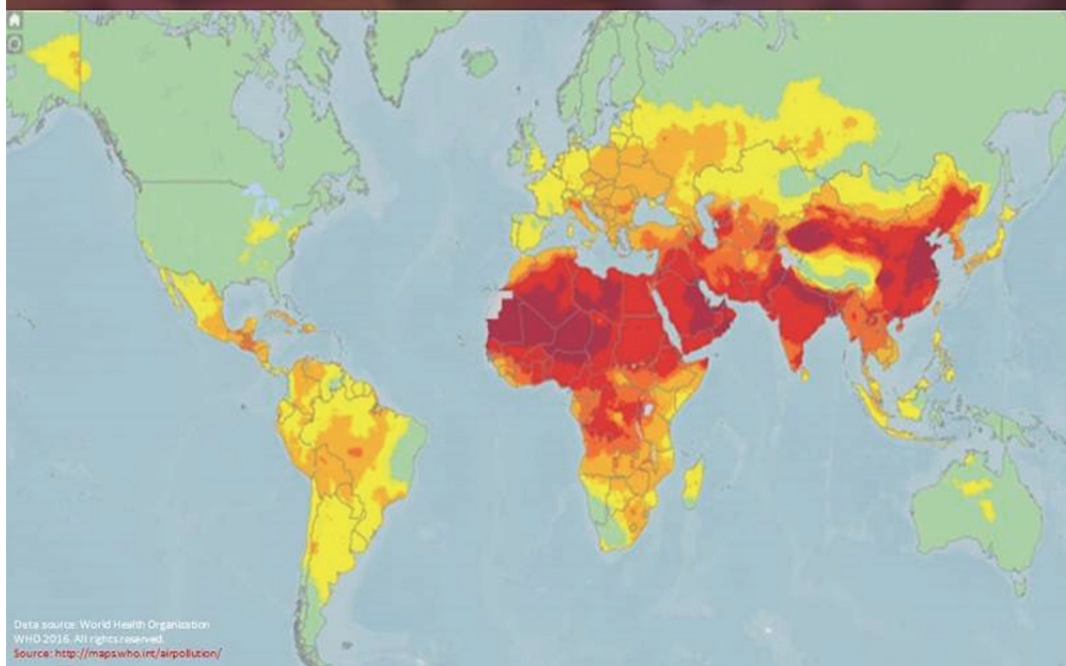
產電模式	二氧化碳當量 CO ₂ -eq ^[1]	氮氧化物 NO _x	二氧化硫 SO ₂	非甲烷揮發 性有機物 NMVOC ^[2]	懸浮粒子 ^[2]
現代燃煤	660-1050	0.3-3.9	0.03-6.7	0.018-0.029	0.03-0.29
天然氣	380-1000	0.2-3.8	0.01-0.32	0.072-0.164	0.001-0.01
石油	530-900	0.5-1.5	0.85-8	---	---
核能	3-35	0.01-0.04	0.003-0.038	0	0.002
生物能	8.5-130	0.08-1.7	0.03-0.94	---	0.217-0.32
水力	2-20	0.004-0.06	0.001-0.03	0	0.005
太陽能	13-190	0.15-0.40	0.12-0.29	0.070-0.164	0.012-0.190
風力	3-41	0.02-0.11	0.02-0.09	0	0.005-0.035

[1] 二氧化碳當量 (CO₂-eq, carbon dioxide equivalent)是測量碳足跡 的標準單位。
(<http://e-info.org.tw/node/67588>)

[2] Way Kuo, Chin Pan, A reliability look at energy development, *Joule*, 2018 January. Also in F.H. Koch, Hydropower - Internalized Costs and Externalized Benefits. International Energy Agency, 2000.

表一：氈時電生命週期廢棄物的排放量

圖一：全球空氣污染PM2.5示意圖



圖一：全球空污 PM2.5 示意圖

Q7: 火力發電有何優點？除了環境污染，還有什麼缺點？

A7: 火力發電歷史悠久，成本較使用水力以外的再生能源便宜，供應充沛，短期對健康的危害不明顯，表面似乎較令人安心。

台灣的石油安全儲存量約 60 天，用途廣泛，佔能源消耗的比例高、佔火力發電的比例低。

煤的安全儲存量約 30 天，燃煤製造大量空污，助長霧霾空氣懸浮粒子、加速全球暖化、促使侵蝕流失台灣東西海岸線，更可能是近年台灣肺癌人數上升的主因。燃煤排放重金屬、戴奧辛等有毒致癌物，煤渣具放射性，還會影響水資源。

天然氣以船運方式抵台，安全儲存量約 15 天，供應使用期限最短。從國安及國家經濟發展的角度看，火力發電在台灣的能源供給面及安全儲存量都非常局限，是極大的弱點。

Q8: 部分民眾對於核電危害的恐懼，是什麼社會、心理因素造成的？

A8: 過去 60 年，曾經發生過 3 次重大的核電廠事故：1979 年美國三哩島，1986 年前蘇聯烏克蘭車諾比及 2011 年日本福島事件。核電帶著令人不安的神秘感，核電事故震驚全球，每一次事故發生後不久，核電發展減緩，甚至衰退 3、4 年。

以福島核電事故為例，2011 年之前，許多國家 -- 包括日本 -- 推動核電以達減碳的目的並且藉此享受低廉的電價。由於核災的震撼，核電遭質疑，替代能源受到關注。福島地震不幸罹難的民眾，不是因為核災而死亡，但輿論關注的焦點，反而多的是核事故。其實，許多因地震海嘯而造成的核電災害與以訛傳訛的小道消息完全相反。福島因地震海嘯而死亡者近兩萬；雖然核電事故造成環境破壞，聯合國 2017 年的正式報告指出日本至今並無人因核輻射而死，甚至預估以後也不會有人因輻射而亡。核電被貼上聳人聽聞的標籤，是不明究裡的八卦政府「杯弓蛇影」自己嚇自己。

Q9: 去核是世界趨勢嗎？

A9: 經濟成長與能源消耗成正比，但是新能源的開發進展緩慢，價格昂貴，火力發電污染大地，全球暖化日益嚴重。雖然力主非核再生能源的聲音響亮，終究雷聲大雨點小，核能仍然是目前提供電力適當的方法。

與之前美國及烏克蘭曾經面對過的困境一樣，經研討、辯論、分析、評鑒之後，務實的日本轉向提高天然氣發電，在發現高價低效後，於 2015 重啟核電。關西大飯核電廠 3 號機組於 2018 年 3 月 14 日重啟，這是日本自

2011年福島事故停止核電後，第6座恢復運轉的核電機組，日本正逐步向核能佔該國20%發電量的計劃邁進。

根據國際原子能總署（IAEA）2017年8月的資料，目前全球有61座建造中的核電機組。預估未來8到10年間將再有172座核電機組在26個國家建造，而未來的15年將有313座核電機組在38個國家建造。值得注意的是，全球最大的石油出口國--沙烏地阿拉伯，除了增加太陽能發電外，計劃在2031年前興建16座核電機組，以取代相當的石化燃料。

回顧歷史軌跡，未來幾年如果核電廠發生重大事故，則以上建造中或擬議建造中的核電廠料會受到影響。至今，去核電並非世界趨勢。

Q10: 台灣一些政、學界名人有時反核，有時又不反核，有時環保，有時又不環保。到底他們是環保，還是不環保？

A10: 多麼有趣的問題。應該請他們自己回答吧！