

溫室氣體減量趨勢下，我國未來電源開發選項

吳明竑

台灣電力公司-核能火力發電工程處

2015/12

壹、前言

減碳是全球不得不面對的課題。為因應近年來能源市場供需的激烈波動、化石燃料日益匱乏及溫室氣體減量要求，世界各國無不積極研擬可持續之低碳能源供應方案，以達成節能減碳目標。臺灣自產能源貧乏，進口能源比率約達98%；在經濟持續成長，民眾生活品質提高，環保意識日益高漲的趨勢下，整體能源及電力政策必須配合客觀環境演變適時予以調整。因此，本文將就電力供給端如何達成國家減碳目標及承諾作探討。

貳、政府能源政策

2011年3月日本福島事件(Fukushima Daiichi incident)發生後，政府即著手檢討我國國家能源政策，並於2011年11月3日正式對外宣示國家能源政策，政策願景推動主軸在於「確保核安、穩健減核；打造綠能低碳環境；逐步邁向非核家園」。在穩健減核方面，既有核能機組採屆齡除役，核四安全商轉，在打造低碳環境方面，將擴大推廣再生能源及擴大天然氣發電的發展。

有關前述核四安全商轉之政策，經2014年4月28日行政院召開國際記者會公開表示：(1)核四廠1號機不施工只安檢，安檢通過後封存，2號機全部停工；(2)

政府將儘速召開全國能源會議，以確保未來供電無虞。而日後核四是否運轉，必須經公投決定，沒有時程表，看日後需求決定。此舉為將來核四營運與否保留彈性，惟核四啟封與否及啟封後之商轉時程，尚屬未定。

參、我國減碳目標

《溫室氣體減量及管理法》(以下簡稱溫管法)於今(2015)年7月上路，明訂我國溫室氣體長期減量目標為2050年溫室氣體排放量降為2005年溫室氣體排放量50%以下，為我國因應氣候變遷作為奠定法制基礎。

全球對於節能減碳目標已有共識，亦即維持地球暖化升溫不超過 2°C，因此，聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)呼籲各締約國於今(2015)年年底巴黎會議(COP21)前提交「國家自定預期貢獻」(INDCs) (Intended Nationally Determined Contributions)，以共同創造一個低碳經濟的未來，各國政府及企業、民間都朝向低碳綠色成長路徑發展。我國為呼應全球減碳行動，行政院於今(2015)年 9 月 17 日主動發布提出我國溫室氣體減量之 INDC 承諾，展現積極減碳的企圖心，並遵循「環境基本法」及「溫管法」，以穩健減核方式推動力行減碳，亦即考量核四商轉。我國 INDC 目標值為：2030 年溫室氣體排放量將較基準情境 (Business As Usual, BAU) 減量 50%，較 2005 年排放水準再減 20%。INDC 減量目標或將作為達成「溫管法」規定 2050 年降至 2005 年排放量 50%以下的階段性目標。

肆、達成政府減碳目標下，電力供給的能源選項

為因應近年來能源市場供需之激烈波動，及全球氣候發生異常變化，各國無

不積極研擬各種能源供應方案，以期穩定能源價格與減緩大氣中溫室氣體濃度之上升速度。根據國際能源總署(IEA)之評估，可有效降低二氧化碳排放量的主要措施包括：(1)提昇能源效率、(2)發展再生能源、(3)提高核能發電配比及(4)採用碳捕捉與封存技術 (Carbon Capture and Storage, CCS)等。

台灣為海島型孤立電力系統，加上燃料能源幾全面仰賴進口，能源多元化為確保電力穩定供應的基本法則。而為促進能源多元化、提升能源自主性及達成節能減碳之目標，必需積極推動再生能源，惟受限於我國自然條件，可開發再生能源容量有其上限；減核後之電力需求缺口仍需以高效率火力機組來補足，方能確保供電安全。為此，未來電力如何能滿足用電成長及供電安全的同時，並達成我國CO₂排放2050年降至2005年排放量50%以下之減碳目標，將是一大挑戰，以下將就火力減碳成本與可行性作初步分析評估。

一、各類能源減碳成本

假設2016~2030年天然氣價格年均上漲率1.84%，煤炭價格年均上漲率2.68%，再生能源發電成本採104年能源局公告之躉售價格，推估未來各類能源減碳成本如圖1所示。在各種能源減碳成本中，每減碳1噸，以離岸風力5,158元最高，川流水力最低為1,250元；其中燃煤+CCS(碳捕捉率以90%計)之每噸減碳成本為2,013元，低於燃氣2,879元；再生能源除了川流水力及陸域風力外，其減碳成本亦皆高於燃煤+CCS。

依上述各類能源減碳成本可知，在我國再生能源開發量有其上限的情形下，

未來我國以燃煤+CCS及燃氣發電來減碳較為經濟可行。

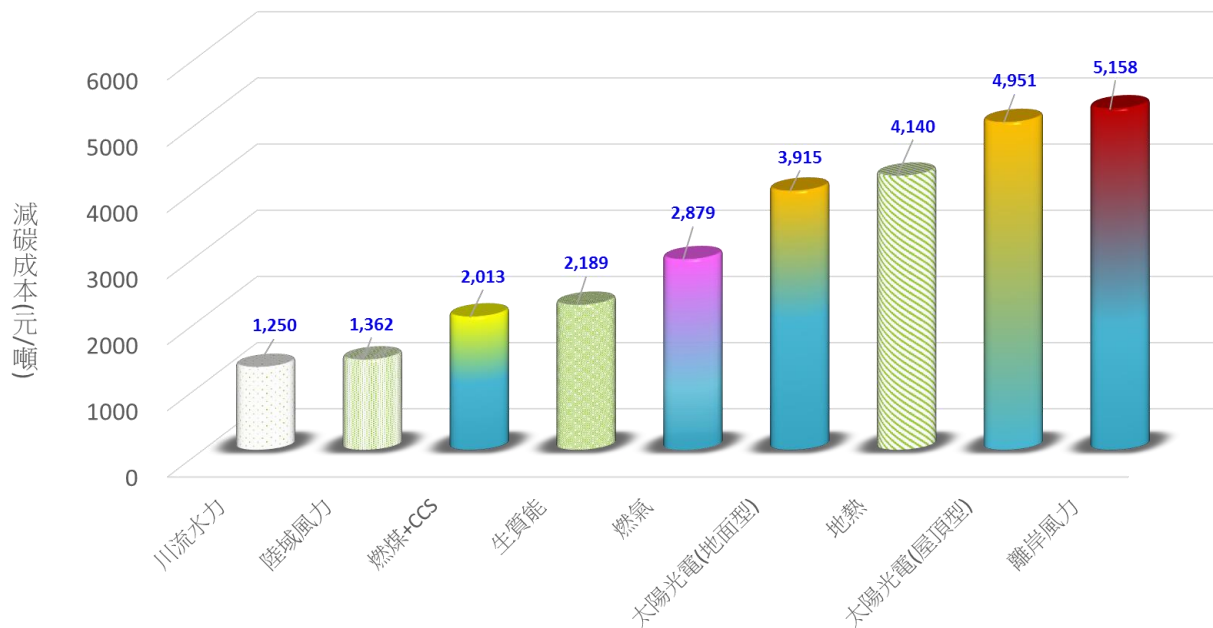


圖1. 不同發電技術減碳成本比較(2016價位)

資料來源:台電電源開發處。

二、兼顧電力成長需求及減碳目標之能源選項

我國2005年電力碳排放量約1.12億噸；因此，依「溫管法」規定，2050年電力排碳上限值為5,600萬噸。若以(1)新建高效率燃氣複循環機組作為減碳工具，其碳排放強度為0.333公斤/度，若以2050年碳排額度反推，所對應之容許發電量為1,700億度；以(2)燃煤機組+CCS作為減碳工具，其碳排放強度0.0795公斤/度，2050年碳排額度下所對應之發電量為7,000億度。

政府2015年5月公布更為積極之再生能源開發目標，預計在2030年達成1,725萬瓩之裝置容量，年發電量約400億度。至於2050年之再生能源發電量暫無開發

目標，茲保守假設2050年再生能源發電量亦為400億度，則以燃氣替代燃煤作為減碳措施可供應2,100億度(1,700億度加400億度)，則2050年的用電量需與2014年之售電度數2,192億度相當，即2050年用電量需維持在2014年水準。換言之，必須要在用電不成長之情形下，燃氣取代燃煤方能達成減碳目標。

若以燃煤機組+CCS作為減碳方法，加計400億度之再生能源發電量，2050年總發電量約達7,400億度。此方式除了減碳成本較燃氣減碳成本低外，更可供應經濟成長，用電需求增加所需電力。前述減量額度對火力電源開發之影響如下表1所示。

表1. 減量額度對火力電源開發的影響

減量方式	燃氣替代燃煤	燃煤+CC S(捕捉90%)
減碳成本(元/噸CO ₂)	2,878	2,035
每噸CO ₂ 排放量對應發電量 (度/噸CO ₂)	3,000	12,600
2050年碳額度下所對應發電量(億度)	1,700	7,000
2050年碳額度下所對應供電量(億度) (再生能源約400億度)	2,100	7,400

資料來源：台電電源開發處。

伍、結語

減少二氧化碳排放，維持環境永續，是普世共同追尋目標，惟在減碳過程中，除考量減碳成本效益外，應兼顧電力供應安全。

以「能源選項」觀之，節能、綠能與擴大燃氣發電為減碳的優先選項，惟由於我國再生能源蘊藏量有限，可開發容量有其上限，即便傾全力開發，仍無法滿

足未來用電成長需求，故為彌補現有3座核能電廠除役後之供電缺口及未來用電成長，並考量發電能源宜多元化，燃煤發電不宜偏廢；惟二氧化碳捕捉與封存技術(CCS)的運用，當在2030年之後，故核能應為達成減碳目標之過渡措施。

若以我國INDC之2030年管控目標，我國可能需以(1)天然氣；(2)再生能源；(3)燃煤+CCS等三項低碳工具為主，而未來再生能源極大化已為共識，爰在燃煤CCS技術成熟前，以燃氣機組補足再生能源不足量最為適當；2030年之後，若燃煤CCS成本低於燃氣機組，則應逐漸以燃煤CCS取代燃氣，將可提高能源安全指標。

從「溫管法」觀點，因應短、中期電力缺口及二氧化碳減量規定，現階段只有以燃氣發電作為CCS技術商業運轉前的過渡措施並輔以碳權經營，惟天然氣的穩定供應與安全存量仍是隱憂；長期而言，仍需以燃煤+CCS發電方式，方能同時兼顧未來碳排放量限額及負載成長用電需求增加；但燃煤發電仍將衍生PM2.5的排放問題，這將直接面對民眾，會極為棘手。