低碳技術成本初探 – 以碳捕獲與封存爲例

林俊旭　中華經濟研究院能源與環境研究中心副研究員
唐郁淳　中華經濟研究院能源與環境研究中心輔佐研究員

從近期的國際氣候會議情勢觀之，國際上普遍要求中國承擔更多節能減碳的責任，因此，無論是公部門或私部門，中國國內節能減碳的相關投資成長，已經成爲無可避免的趨勢。觀察目前中國節能減排目標執行狀況可知，未來將面臨的挑戰相當嚴峻，除了既有的節能減碳方式之外，也需要更多新技術與資金的投入，才能達成政府所預訂的目標。本文將以碳捕獲與封存技術爲例，探討相關碳捕獲與封存之相關成本與未來發展。

達成《十一五》節能減排目標挑戰嚴峻

中國在《十一五》中提出「到 2010 年單位 GDP 能耗比 2005 年降低 20%左右、主要污染物排放總量減少 10%」的約束性目標。但是，在《十一五》的前 4 年，全國單位國內生產總值能耗累計僅下降了 14.38%，這意味著今年下半年的減排壓力，將極其巨大。面對這樣的壓力，部分地方政府已經開始進行最後的衝刺，對高耗能企業如水泥業及鋼鐵業等，祭出限制供電以及關廠的措施。

這樣的措施已經遭到中央政府的注意，國家發展和改革委員會於今年九月中旬印發《關於進一步做好當前節能減排工作的緊急通知》，對於當前節能減排工作提出五項要求，要求各地在推進節能減排工作時，應避免採取停限居民和公共服務單位用電等錯誤做法。該份通知中也要求各地方政府應正確地處理節能減排以及保持經濟平穩較快發展間的關係。不應依靠短期的突擊行動，而必須要考量長遠利益與當前例亦、全域利益與局部利益的現，不能簡單地採用限電的方式。並應加強《十二五》的規畫研究，努力建構節能減排長效機制。這顯示出中國政府也開始考慮如何在面對國際間減排的壓力，以及自身經濟成長的目標之間取得平衡。

面對未來挑戰亟需新技術的投入

如前所言，節能減排的工作不僅須要考慮短期目標的達成，更需要長遠規劃，考量如何面對日漸嚴格的減排目標，並兼顧經濟的發展，即將開始的《十二五》將使中國在節能減碳上面臨更大的考驗，而大力推展低碳與節能的技術將會是重點工作之一。在這些低碳與節能的技術中，碳捕獲與封存便是近年來頗受矚目的技術選項之一。

碳捕獲與封存的發展現況

碳捕獲與封存（Carbon Capture and Storage, CCS）技術係指能將能源或產品生產過程中產生的二氧化碳從排放氣體中分離，再經過濃縮與壓縮送至適當地點進行長期封存的相關技術。

事實上，碳捕獲與封存的相關研究發展在世界先進國家中已經行之有年，美國、日本及澳洲等國以及歐盟都提出了非常積極的 CCS 研發時程表，但要使 CCS 邁向商業化尚待更多的國家投入研發資源，以加速相關技術的發展。除了歐盟目前正進行零排放電廠的示範驗證外，美國、加拿大、澳洲與日本等各國也都在排碳量較大的火力發電廠與與石化業工廠進行大型示範驗證計畫。目前已有部分國家也開始針對二氧化碳儲存可行性與潛能展開調查，但仍有許多評估工作需要進行，以找出適合於初期進行儲存的場址。

中國對於這項技術的發展方式主要係以和國外合作爲主。在 2005 年 12 月以及 2006 年 2 月，中國科學技術部分別與英國以及歐盟簽署了關於二氧化碳捕獲與封存技術研發合作的備忘錄，而在 2007 年 6 月，科學技術部部長萬鋼以及副部長劉燕華也發出呼籲，希望發達國家能向中國轉讓碳封存技術，使中國能夠買得起、用得起這樣的技術，並希望能夠透過清潔發展機制(CDM)，使中國得以和各國進行合作，盡快讓這項新技術進入應用階段。目前中國也投入了大量經費進行碳封存研究，希望能夠把碳封存技術直接應用於發電廠的建設過程中。

碳捕獲與封存 – 成本高但仍爲必須選項

雖然目前全球二氧化碳封存或捕獲規模每年大於百萬噸的專案已經有大約 300 個，但因爲涉及的技術與環境安全議題甚多，要將捕獲與封存量提升到商用規模尚有許多問題需要克服，碳捕獲與封存目前所需的成本與其他節能減碳的選項相比，仍然屬於偏高的技術選項。

- **碳捕獲與封存和不同節能減碳選項之比較**

依據麥肯錫公司於 2007 年針對各種成本低於每噸 40 元美金的減碳選項所做的統計，顯示出目前碳捕獲與封存在眾多減碳選項中仍屬於成本較高者。其中每噸成本最低者爲新建電廠採用碳捕獲與封存技術，並結合油氣增產(enhanced oil recovery)將捕獲的二氧化碳打入油田或氣田中以增加油田或氣田的產量。而每噸成本最高者則爲發電業以外產業的碳捕獲與封存。然而，若要使全球溫度升高小於攝氏 2 度，將空氣中的二氧化碳濃度控制在 450ppm 以內，則碳捕獲與封存仍是必須進行的減碳工作。

- **電廠增設碳捕獲與封存和再生能源發電成本之比較**

另外，因爲電力業是碳排放的主要來源之一，而其中最主要的排碳大戶即爲燃煤電廠。顧問管理公司 Accenture 也對 2020 年電廠增設碳捕獲與封存後的發電成本進行預估，並與屆時之再生能源發電成本做了一番比較。結果顯示將既有電廠翻新裝設碳捕獲設備並將捕獲的碳加以封存，將使每度電的發電成本上升約 3 美分，使每度電成本達到 8 美分左右，與預估的 2015 風力發電價格，以及 2050 年的太陽能價格相近。考慮碳捕獲與封存技術研發將使成本加速下降的潛能，以及既有燃煤電廠不可能完全被再生能源電廠取代等因素，碳捕獲與封存仍舊被視爲未來燃煤電廠所必須要考慮採用的技術。

碳捕獲與封存 – 邁向商業化之途

從前述成本資料可知，碳捕獲與封存的成本仍高於國際上的碳交易價格，而增設碳捕獲與封存設備將使一般燃煤發電廠的發電成本提高；因此除非政府提供補助，或是開徵高額的碳稅以增加廠商進行碳捕獲與封存的經濟誘因，否則單就捕獲與封存，尚無法產生具有利潤的商業模式。而目前比較有可能對廠商產生吸引力的運作模式，應該是能夠將捕獲的二氧化碳再加以利用的專案。包括前面所介紹的結合油氣增產(enhanced oil recovery)，或是將捕獲的二氧化碳作爲其他工業生產的原料。

- **二氧化碳捕獲結合油氣增產**

油氣增產這項二氧化碳再利用方式其實在 30 年前就已被使用。然而，這項技術的使用並非能應用在每一個油田或是氣田，必須考慮該油田的地質狀況以及原油性質等參數。另外，因使用的捕獲技術，以及二氧化碳的來源不同，二氧化碳取得的成本也必須要納入主要成本考量。依據國際能源署(IEA)的估計，使用二氧化碳結合油氣增產的原油生產成本介於每桶 7~30 美元之間，較使用燃燒以及蒸汽等方式成本爲高，若考慮取得二氧化碳的成本，則成本將較其他方法都高。因此在利用二氧化碳增加產油方面，必須要針對個案分別加以分析其可能性。

依照 IEA 的估算，適合二氧化碳增產的油田應該要有 500 萬桶以上的原油產量，並且有 10 座以上的油井。在這樣的經濟規模條件下，假設每注入 2.5 噸的二氧化碳可產生一噸的原油，且二氧化碳供應成本爲零，當井口油價(wellhead oil price)爲每桶 60 美元，這樣的商業模式應該可行。因此，在實際進行投資評估時，必須同時考慮油價變動的因子以及穩定的二氧化碳來源，以確保穩定的捕獲及運送成本。

- **二氧化碳捕獲後之再利用**

二氧化碳在工業上其實也有許多種的應用，目前飲料和啤酒行業是食品級二氧化碳的最大消費市場；將二氧化碳冷卻到零下 78 度以下製成的乾冰，在食品的防腐保鮮上使用也相當普遍；此外，二氧化碳亦可作爲環保型滅火器等。

以應用捕獲的二氧化碳用於飲料製作爲例，目前北京已有一個示範運行的專案，每年收集約 3000 噸二氧化碳作爲碳酸飲料製作的原料出售。目前在北京，食品級二氧化碳的市場價格約爲人民幣 1200 元/噸，約合美金 170 元；而北京對於二氧化碳在食品市場上的需求量約爲 6 萬頓。因此，捕獲的二氧化碳將可全數以市場價買給所需廠商。經營此一專案的華能公司在這個項目上面獲得了成功，因此將把此一營運模式帶到上海，專案的投資額爲人民幣 1.5 億元，年捕獲量預估將達 10 萬噸。

然而，工業二氧化碳市場仍然偏小，目前全球二氧化碳工業利用量大約是每年 1 億至 1.5 億噸。中國則更小。根據 2009 年 7 月 28 日綠色和平發佈的《中國發電企業氣候影響排名》，十大發電集團 2008 年排放的二氧化碳就達 14 億噸。因此，二氧化碳再利用的商

業模式雖然有利可圖，但對於減碳的貢獻仍然相當有限。

碳捕獲與封存的未來發展

中國在面臨強大的減排壓力，並且須同時兼顧經濟發展的情況之下，引進新的節能減排技術將成爲不可或缺的重要工作項目之一。而在眾多選項之中，雖然碳捕獲與封存目前所需的成本仍然屬於偏高的技術選項，但爲了要使全球溫度升高小於攝氏 2 度，碳捕獲與封存仍是必須進行的減碳工作。此外，因碳捕獲與封存技術未來尚有許多成本下降的潛能，且其他的低碳發電方式在短期內不可能完全取代燃煤電廠，碳捕獲與封存技術的採用將仍舊被視爲未來降低溫室氣體排放量的必要工作之一。

分析碳捕獲與封存的成本可知，除了由政府提供補助，或是開徵高額的碳稅以增加廠商進行碳捕獲與封存的經濟誘因之外，將捕獲的二氧化碳再加以利用的專案也有可能是未來碳捕獲與封存的發展方向之一。然而，因二氧化碳在全球的市場需求比起總排碳量而言仍舊偏低，所以雖然這樣的商業模式目前來看是有利可圖，但對於減碳的貢獻仍然相當有限。