

## 第八章 轉換對溫室氣體排放的看法

作者：*Douglas Mulhall and Michael Braungart*

二氧化碳面對的最大挑戰其實心理性問題-人們面對它的方式。

二氧化碳及其他氣候變遷排放的氣體，被大規模再利用率早已眾所周知，但是立法者、產業界及環保界始終將重心放於各種減碳計畫，以致於錯失了這個大好機會。過去，似乎從頭到尾沒有人因這種錯失而被譴責過，但現在，正是我們一起緊緊抓住這種溫室氣體再利用潛力的時刻。

舉例來說，早在 2007 年，美國政府機構的研究已經顯示，化石燃料生產機產生的碳排放，至少一半的可以被捕捉，並再利用率來製造藻類生質燃料。這種生質燃料的成本每加侖只有約 28 美元，還不到現今原油價格的一半。印度科學家 2011 年的一項研究，類似的技術在印度可以百分之百的補捉化石燃料廠所產生的碳排放。另外一項 2013 年研究結論出，相較於石油，生質燃料可以減少 50-70% 碳排放。

上述研究結論，其實對於二氧化碳再利用率估計還是太保守了，因為這些研究都還未將運用二氧化碳進行儲能、產能及製造表土的潛力計算進去。一家奈米科技公司 ZyveX 公司的領導人 Dr. James Von Ehr，在 2008 年一場筆者也參加的研討會中提醒大家，未來的環境學家可能會反過來，抗議製造業從空氣中吸取太多的二氧化碳來製造產品，導致地球凍結。雖然，現今的環境學家很少有人認同這種論點，可能認為這種假設聽起來很荒唐，但 Dr. James Von Her 是非常認真的看待這個議題，這是否值得我們進一步思考他到底是所指為何？

### 傳統的挑戰

現實是這樣：有些國家（如加拿大和中國）不喜歡談論全球暖化，這些國家將推動經濟發展視為優先工作，並且企圖拖延面對二氧化碳所可能帶來的挑戰，寄望未來科技的進步可以解決二氧化碳的問題。

一些國家例如加拿大與俄羅斯事實上期望全球暖化，因為全球暖化可以打開北方航道，以及探索北方的可行性，例如透過北方航道，貨物運送至遠東地區可以節省約一個星期的航程。

由於這種現實情況，對於環境學家以及一直領導減排的歐洲而言，傳統的減排挑戰呈現出一種難以解決矛盾情況：

- 氣候的雄心壯志：減少碳排放！
- 資源豐富的國家與新興經濟體的雄心壯志：支持高排放產業發展，改善生活水準。
- 結論：經濟的雄心壯志與氣候的雄心壯志恰好矛盾。

因為上述的矛盾，在經歷 2013 年波蘭華沙大會的僵局後，全球氣候變遷綱要公

約開始放棄有可能減少碳排的這種想法，轉而著手氣候變遷調適相關議題，2015年巴黎大會的主題便是氣候變遷調適，鼓吹增加調適的經費，減排的部分則變為不硬性規定減排目標。

## 積極的解決方案

過去數十年，已經有一些產業在運用二氧化碳，其實這是基本化學，只是大家並不熟悉。而這些運用方式，現在被大規模的運用到其他的產業上面，其不僅是已經廣為人知的二氧化碳捕捉，而是將二氧化碳再利用於產品及製程上，也可以用於生產能源與儲存能源。

說的更清楚一點，雖然使用再生能源或運用其他科技以降低溫室氣體排放相當重要，但是二氧化碳的再利用可再提供一塊被漏掉的重要部分，因為二氧化碳可以提高再生能源的能效。

二氧化碳的再利用並非是減少減排行動的藉口，而是二氧化碳再利用是一項可以產生正向結果的工具，這種方式的潛力無可限量：

- 氣候的雄心壯志：排放的再利用！
- 資源豐富的國家與新興經濟體的雄心壯志：以排放再利用發展經濟活動！
- 結論：經濟發展雄心壯志可以支持氣候的雄心壯志！

## 二氧化碳的潛力

運用二氧化碳作為工業用化學物質並不是什麼新的發明，下列是一些已有獲利的實際運用案例：

- 產品製造
- 農業食品製造
- 清潔
- 改善能源生產
- 改善能源儲存

二氧化碳的運用不是機密，歐洲、北美及亞洲都不斷在加速二氧化碳技術的革新。2008年以來，已經有數十場相關國際研討會召開，數百篇研究報告發表，一本以二氧化碳再利用的專業期刊也從2013年開始發行。

## 為何要進行二氧化碳再利用？

基於科技進步所帶來的嶄新潛力，二氧化碳成為非常具有價值的工業化學物質，再利用的正當性變得十分充足：

- 二氧化碳是安全的化學物質，可以替代有毒物質。
- 二氧化碳是一種農業肥料
- 隨著現代科技的進步，二氧化碳的使用已具有獲利性

## 從二氧化碳的捕捉與儲存轉成捕捉與運用

再利用二氧化碳的獲益性早已存在數種產業中，三菱重工出口的精煉廠（如巴林、越南及日本），已經將二氧化碳有效率地從天然氣煙道中捕捉，用以製作尿素肥料。在越南廠自 2009 年起，每年藉此製造了數萬噸的尿素肥料。

其他獲利於二氧化碳再利用的領域包括在空調上作為冷卻用的乾冰，咖啡及茶製造商用二氧化碳萃取咖啡因，以及製造多用途的化學物-硼砂。

## 超臨界二氧化碳 S-CO<sub>2</sub>

超臨界二氧化碳（S-CO<sub>2</sub>）是維持在臨界溫度(攝氏 31 度)及臨界壓力(74 帕)以上的二氧化碳流體（超臨界流體），其性質會介於液體和氣體之間，是非常特別的資產，它在生態學上的優勢是不容被否認。

- 超臨界二氧化碳是化學惰性、自然的、無毒的物質。面對日趨嚴格的環保法規要求，超臨界二氧化碳是很多溶劑的良好替代品
- 可以在低溫時運用
- 可以用於萃取或精煉其他化合物，且不殘留溶劑
- 超臨界二氧化碳作為溶劑時，可以運用溫度和壓力來調控功效
- 當超臨界二氧化碳使用於密閉的循環系統中，不會對大自然產生溫室氣體效應，在密閉的循環系統中，它可以被抽取。
- 超臨界二氧化碳具備穿透天然氣及液體中抽取物質的能力。
- 使用超臨界二氧化碳的處理材料上不會有微量殘留物。
- 超臨界二氧化碳具備廣泛運用的潛力，並且因為密度高，運送上十分方便。

## 特殊運用案例

DualWash 洗碗機為超臨界二氧化碳在 B2C 市場實際運用的案例之一，當洗衣程序啟動時，二氧化碳循環也開始啟動，超臨界二氧化碳注入洗碗槽，由於超臨界二氧化碳的表面張力很低，可以非常快速的包覆所有的碗盤表面。

現今紡織業，染一公里的布料依照材質的不同，大約需要消耗 100-150 公升的水，根據一些預測，每年紡織業染製的布料長達 300 億公里，需要消耗 4 兆公升的水。除此之外，染製的過程中添加了數不清的化學製品，嚴重影響環境。根據世界銀行的研究，世界 17-20% 的污染是由紡織業所產生，而超臨界二氧化碳可以解決這些問題。一間荷蘭的公司 Dyecoo，成功發展出在製程上運用超臨界二氧化碳替代水的紡織品，而著名服裝品牌 Nike 已經採用了這項技術。

另一項實際的運用案例是中央銀行，運用超臨界二氧化碳清潔錢幣，這種清洗技術不會損害紙鈔的防偽設計。

超臨界二氧化碳可以作為渦輪的推進劑，並且可以用在太陽能與風能的儲存，因此超臨界二氧化碳可以視為再生能源產業的推進器。使用超臨界二氧化碳的渦輪有下列優點：

- 與使用蒸汽渦輪的發電站相較，能源效率提高 50% 以上。

- 與使用天然氣渦輪的發電站相較，能源效率提高 40%以上。
- 與一般尺寸的渦輪相較，能源效率提高 3-5%。

超臨界二氧化碳渦輪的投資成長迅速，以美國為例，至 2013 年，6 年間投資增加 5 億美元。

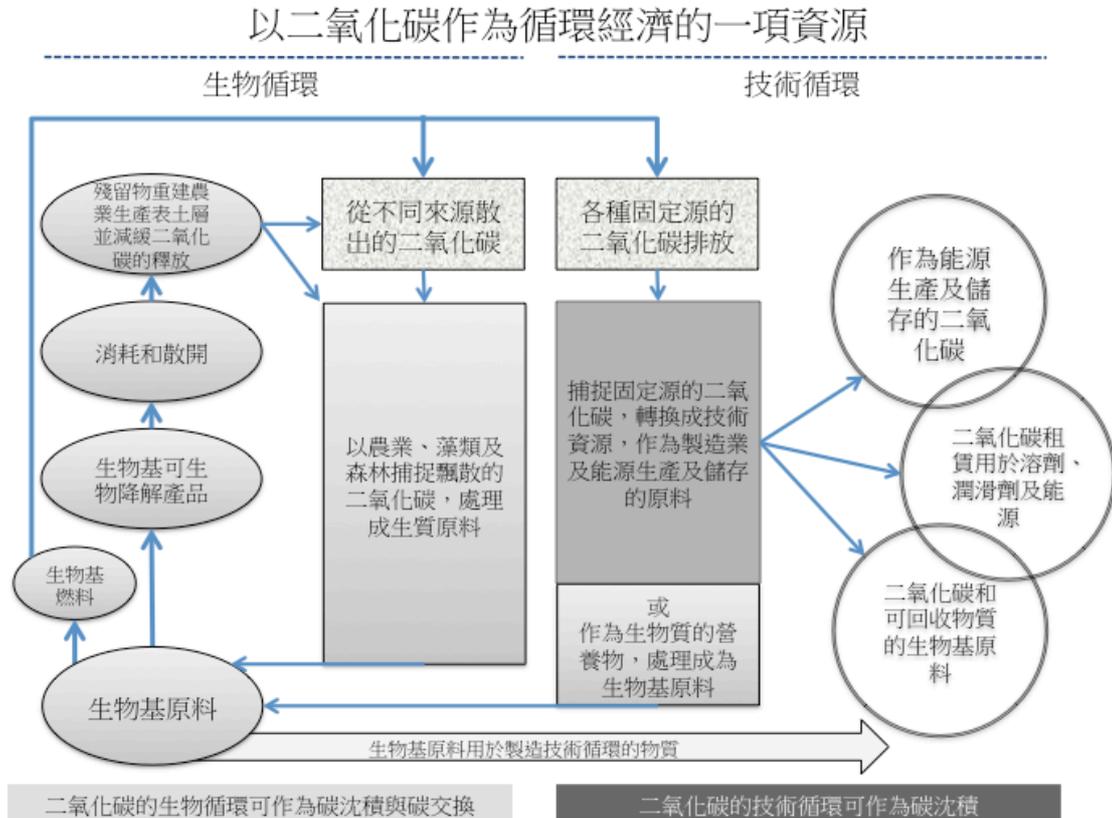


表 8.1 二氧化碳是一種可以適應循環經濟中生技循環的物質，在生物循環中，二氧化碳用於生產值 在工業循環部分，二氧化碳得用於能源儲存和生產的密閉迴圈中。

備註：

1. 固定源的碳捕捉使用工業及農業產業加工製程。大氣層的捕捉使用自然及農業產業加工製程。人造的光合作用或許可以發展出大規模的碳捕捉，而不需要這些中間的加工製程。
2. 生物可分解製品是指剩餘物可以作為地表土成分，可以抓住二氧化碳
3. 美國再生能源實驗室的研究（Pienkos 2007）建議藻類有快速擴大規模的潛能
4. 以二氧化碳代替天然氣或其他燃料啟動工業用發電機的渦輪。相變與化學作用可以用來儲能。二氧化碳同時可以用來進行人工光合作用。
5. 在技術循環中的物質可以一直重複利用，實際運作上，過程中的洩漏通常可用物理性或化學性的捕捉來收回。

資料來源：Illustrative Diagram © 2014 Muchall, Hansen and Braungart

## 預期潛力

批評者認為，雖然超臨界二氧化碳已經有許多具有商業價值的實際案例，但二氧化碳的捕捉成本依舊十分昂貴，而能夠消耗的二氧化碳也十分有限，不足以造成改變。筆者認為這是不正確的認知，因為這種說法並未將整合的節約效果算進去。舉例來說，美國再生能源實驗室於計算藻類碳捕捉的能力時，是利用加州柏克萊大學能源生物科學機構的計算方式，這種方式整合藻類污水淨化及生質燃料的製造，使這種燃料在製造成本上可以和原油產生競爭力。

除此之外，一群印度研究者基於相同科技所提出的計算方式顯示，如果可以將熱傳導發電機所排放的二氧化碳百分之百利用於產生藻類生質能，印度將可以成為燃油自給自足的國家。美國和印度計算方式之所以不同，主要是基於印度國土的日照強度普遍很高。

## 二氧化碳是一種資源，不是敵人

本文中所展示的案例顯示，不同於以往致力於減少二氧化碳排放的主流策略，二氧化碳其實可以成為一種對環境友善的產業，對人類健康及整體經濟都有幫助。二氧化碳的再利用不僅是解決氣候變遷的挑戰，而且將可成為轉變我們的工業，成為指引工業新方向的關鍵點。運用“從搖籃至搖籃”設計概念，將重心放在二氧化碳的正面影響，工業界和政府都可以運用二氧化碳發展循環經濟，而替代碳捕捉及使用化石燃料的舊思維。

運用二氧化碳的好處是可以取代有毒物質，進行農業革新，加速再生能源的發展以及改善能源技術，同時減少對化石燃料廠的需求。

總之，快速獲益於二氧化碳的關鍵，就是先改變對二氧化碳的認知，不再將它視為萬惡的物質，而是將其視為有用的資源。