

## 用 CO<sub>2</sub> 製造人造纖維的原料-碳捕捉再利用與封存

Tnet 全球紡織資訊網

國際能源總署(International Energy Agency, IEA)於 2016 年提出了六項減碳方案中，其中碳捕捉再利用製成纖維原料的做法尤其受到矚目。碳捕捉是將目前已經排放於大氣中的二氧化碳予以捕捉，再萃取出其中的碳元素加以利用，因此屬於負碳排的技術。未來若能掌握空氣中的碳元素，並加以利用，必能產生減緩地球溫室氣體效應的作用。

### 一、碳捕捉研究機構

碳捕捉再利用與封存(CO<sub>2</sub> Capture, Utilization, Storage; CCUS)早在 20 幾年前就已經有人提出並開始研究可行方式，而目前紡織業執行碳捕捉的方法，大多是從工廠排放之廢氣；或從空氣中捕捉二氧化碳，並將碳透過轉化變成碳纖維。就目前技術而言，碳捕捉需要耗費相當大的能源，而且尚未具有大量生產的能力，碳捕捉再利用最大的障礙就是成本，除了技術開發之外，另需有大量的資金購買土地和設備，因此讓許多企業望而卻步。若能克服技術困難，並且有效的降低成本壓力，未來二氧化碳確實具有取代石化原料的潛力。

目前紡織產業投入二氧化碳捕捉再利用的公司並不多，而採用的方法也各有不同，以下介紹目前正積極投入此項研究的公司及製作碳纖維的方法：

1. 科思創(Covestro)：該公司和德國 RWTH Aachen 大學的紡織科技研究所合作，目前已經成功利用 CO<sub>2</sub> 研發出兩款彈性纖維材料，分別可運用於長襪和醫療紡織品的製作上，而未來將有機會取代石油，成為製造彈性纖維的新材料。

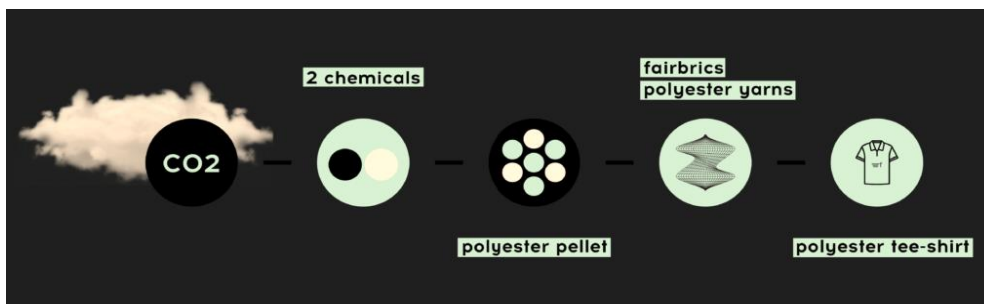
目前的製作流程是以二氧化碳萃取作為熱塑型聚氨酯(TPU)的原料來源之一，並以熔體紡絲 (Melt Spinning) 的技術進行製造。在製作過程中先將 TPU 熔化，再擠壓成非常微細的絲線，最後再製成紗線。相較於生產氨綸(Elastane)或彈性纖維(Spandex)等傳統彈性合成纖維所使用的乾式紡絲法(Dry Spinning)，熔紡製程不需要使用對環境有害的溶劑，因此對環境造成的傷害也更輕。而未來也將和 RWTH Aachen 大學繼續合作進行「CO<sub>2</sub> Tex」計畫，該計畫將發展以生物基為基礎的聚合原料，促進未來紡織業的永續發展。



資料來源：Covestro 官網

圖 1 以 CO<sub>2</sub> 取代石油作為塑膠原料來源

2. Fairbrics：成立於 2019 年，總公司位於法國巴黎，為 2020 年「全球變革獎(Global Change Award)」的得主。該公司主要是以循環製造的方法，從工業煙霧中捕捉 CO<sub>2</sub>。由於二氧化碳的成本遠低於石油產品，若能從空氣中捕獲二氧化碳，並將其轉化為高價值的聚酯纖維，未來必能取代石化材料。該公司也獲得歐盟的資金援助，藉此擴大二氧化碳回收再利用的產能，預計 2024 年建立一條每日可生產 100 公斤碳纖維的試驗性生產線，可在 2026 年建立一個每日生產 1 噸碳纖維的示範工廠。



資料來源：Fairbrics 官網

圖 2 Fairbrics CO<sub>2</sub> 回收製衣流程

3. Lanza Tech：該公司與台灣的遠東新世紀合作，也是以循環製造的方法回收鋼鐵工廠排放的廢氣，再以生質技術將廢氣中的二氧化碳轉化成乙二醇，作為低碳聚酯纖維的材料，而此項技術可減少 24% 的溫室氣體排放。此外，Lululemon 也利用遠東新世紀生產的低碳聚酯纖維，成功的生產了全球第一件「廢氣回收衣」。

有關廢氣回收衣從碳捕捉再利用，並製成紡織品的過程有以下四個步驟：

- (1) 碳捕捉再生：首先由 Lanza Tech 利用微生物氣體發酵技術(gas fermentation)，將工業排放的 CO<sub>2</sub> 捕捉並轉化成乙醇。

- (2)轉化：將乙醇送交 India Glycols<sup>1</sup>再轉化成乙二醇。
- (3)合成：將乙二醇等原料送交遠東新世紀，由該公司進行酯化、縮聚反應、紡絲和後處理，製成 FENC TOPGREEN Bio3-PET 纖維。
- (4)終端產品：最後的步驟是將布料交由 Lululemon 製成運動服裝。(參見圖 3)



資料來源：科技新報

圖 3 用工業廢氣聚酯纖維製成廢氣回收衣

4. New Light：是一家位於美國的生物科技公司，目前與 Nike 合作共同推動：「以海洋微生物生產負碳排放之生物材料(Air Carbon)應用探索計畫」。所謂「Air Carbon」，是透過一種海洋微生物，而該微生物會食用甲烷、二氧化碳等溫室氣體，並轉換成 40%的氧和 60%的碳儲能材料，而這種碳儲能材料就是「Air Carbon」，係一種經過認證的負碳材料。

此項材料是一種可以取代塑膠的負碳排放生物材料，亦被稱之為「聚羥基丁酸酯(PHB)」，再將取得的 Air Carbon 熔化後萃取出碳纖維。New Light 已經與英國獨立組織 Carbon Trust 合作，證實其再生材料確實是負碳，Carbon Trust 在生命週期評估中發現，New Light 使用廢棄煤礦滲出的甲烷生產過程中，每生產 1 公斤 Air Carbon，就可封存 88 公斤二氧化碳當量。

5. Rubi Labs：總公司位於美國，也是 2022 年「全球變革獎」得主。該公司創辦人受到植物行光合作用的啟發，研發出一種「酶」(又稱為酵素)，名為「Rubisco」，能夠加快將二氧化碳轉換為纖維素，作為催化劑。該公司從空氣中捕捉二氧化碳，再經由「酶」的催化將二氧

<sup>1</sup> India Glycols Ltd. (IGL)是一家位於印度的化學藥品製造公司，是專門以「綠色技術」製造大宗的化學藥品、特殊化學藥品和高性能化學藥品的龍頭廠商，該公司位於北阿坎德邦(Uttarakhand)卡斯希普爾市(Kashipur)工廠的研發中心建置了以穀物為原料的生物乙醇工廠。IGL 宣稱自己是世界上第一家使用「創新綠色技術」製造生物基環氧乙烷及其衍生物(如乙二醇、乙二醇醚和其他特種產品)的公司。

化碳轉換為「縲縈(Viscose)」和「萊賽爾(Lyocell)」兩種人造絲纖維，以這兩種纖維製成的紡織品即為該公司主打商品「負碳纖維素紡織品(carbon-negative cellulosic textiles)」。



資料來源：Rubi Labs 官網

**圖 4 Rubi Labs 共同創辦人 Leila Mashouf(左)、Neeka Mashouf(右)**

透過空氣中捕捉二氧化碳，轉換成纖維素的方式，可以大幅降低衣物製程中可能排放大量廢水、對土地和環境造成衝擊等汙染。這樣的技術，其實是 Rubi Labs 的共同創辦人 Leila Mashouf、Neeka Mashouf 兩姊妹歷經 10 年建構而成。從小就非常關注永續發展、氣候變化等議題的她們表示，「希望這項技術未來可以徹底改變供應鏈」。兩姊妹會想改變時裝產業，其實也和她們的叔叔是全球女裝品牌 Bebe Stores 創辦人 Manny Mashouf 有關。從小就了解時裝產業的汙染，長大後兩人在勞倫斯伯克利國家實驗室、生物工程研究實驗室工作，後來決定一同創業。瞄準時尚業的 Rubi Labs，未來也勢必將自家產品價格降低，才有足夠的優勢和傳統紡織原料競爭；因此，未來朝向發展擴大規模、提高技術等方向，而如何降低產品價格更是 Rubi Labs 未來要面對的主要挑戰之一。

6. Nature Works：該公司以植物捕捉二氧化碳，並透過微生物將二氧化碳轉化為「低碳聚乳酸生物聚合物(Ingeo)」，即塑膠的一種。預計 2024 年將於泰國建立工廠生產 Ingeo，年產能大約 75,000 噸。而該公司研發團隊正在研發新技術，未來希望不須經過植物捕捉二氧化碳，直接使用微生物將溫室氣體轉化為乳酸聚合物。
7. Made of Air：是一家德國新創公司，成立於 2016 年，由兩位建築師 Allison Dring 與 Daniel Schwaag 共同創辦。Made of Air 利用木材廢料來生產各種用途的「負碳」(carbon negative) 耐用材料，樹木將空氣中的二氧化碳轉化為可儲存在樹幹中的碳，當樹木的生命結束時，樹幹中所儲存的二氧化碳會透過分解或燃燒重新釋放到大氣中。而該公司在木材廢料中加入生物碳(Biochar)的技術來永久鎖住樹木中的二氧化碳。此外，該公司也將生物碳與甘蔗製成的黏著劑混合製成一種新的材料「Made of Air」。



目前有建築外牆、家具、室內設計、交通和城市基礎設施等產業採用此款負碳材料做為產品的原料。而 H&M 也和 Made of Air 合作推出了一款採用「Made of Air」負碳材料製作的限量版太陽眼鏡。(參見圖 5)



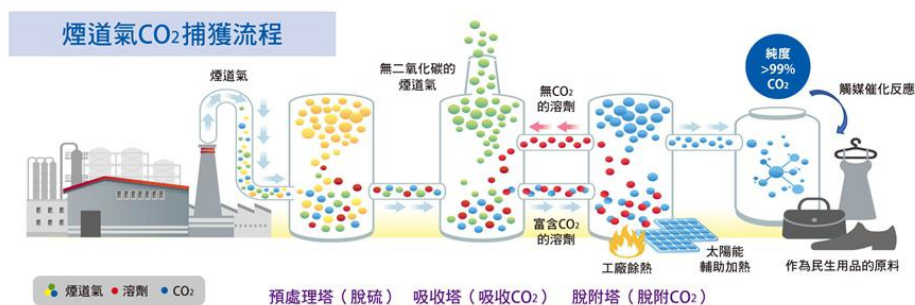
資料來源：Tech Orange

圖 5 Made of Air 和 H&M 合作的限量版太陽眼鏡

8. 台灣工業研究院：台灣工研院所研發的「煙道氣 CO<sub>2</sub> 捕獲與應用創新製程技術」，可將工廠煙道所排放的二氧化碳吸附捕獲，排出淨化後的氣體，再透過加熱解吸製程，釋出所吸附的二氧化碳，並將其純化後再利用。(參見圖 6)

此外，工研院也與石化業者研發創新製程，將捕獲的二氧化碳經觸媒催化反應後，可在低溫低壓的狀況下，高效率轉化為烷烯烴化合物(如天然氣、乙烷、甲醇等)，這些化合物可以進一步成為運動器材、鞋子、衣服等民生必需品的製造原料。

工研院自 2016 年已著手研發低耗能的二氧化碳捕獲再利用技術，初期使用液態胺化合物為吸收劑，雖有高吸附量與吸收率，但熱穩定性差且再生時耗能較高，後來改以低腐蝕性的吸收劑，純化與再生時大幅降低了能耗的問題。



資料來源：工業技術研究院

圖 6 煙道氣 CO<sub>2</sub> 捕獲流程圖

## 二、總結

碳捕捉再利用與封存是減碳最直接；也是最有效的方法之一。然而，聯合國於 2021 年也做出呼籲，碳捕捉的成本將是成敗的關鍵。由於碳捕捉不只需要精密的技術，也需要有大量的碳捕捉與轉換成纖維的設備，更需要有大量的土地支應廠房設備的興建。為了鼓勵機構法人和企業投入碳捕捉再利用的生產行列，各國政府應適時伸出援手才能讓碳捕捉再利用的研究得到更豐碩的成果。因此，政府應如何協助企業取得土地；如何以較低成本取得設備；或是如何做好工廠週邊的環境保護；亦或是投入研發的租稅優惠等，都應積極且審慎規劃，尤其善用產官學的技术開發合作，成為永續發展的主要道路。

(本文作者為紡織所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>