



# 紡織業永續減碳關鍵 紡織品回用技術

■ 紡織所原料部 梁乃允 副主任暨ITIS研究團隊

依據Ellen MacArthur Foundation出版之《A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future》報告中揭示，2000到2015年間全球衣物數量成長2倍，衣物利用率（Clothing Utilization）（即一件衣服在被丟棄前的平均穿著次數）卻大幅下跌36%，甚至部分衣物只穿不到10次就被丟棄。由於快時尚的發展與中產階級成長對衣物需求增長，預計2030年服裝和鞋類的消費量將再增長63%，紡織品用量持續擴張的同時，對能源消耗和氣候的負面影響將持續增加，解決紡織品生產和廢棄掩埋問題的需求比以往任何時候都更加緊迫。

## 一、聯合國、歐盟及臺灣紡織品永續發展目標及戰略

2020年聯合國環境規劃署《紡織品價值鏈可持續性和循環性報告》中，提供創建永續和循環的紡織品價值鏈所需採取的優先行動（參見圖1），關鍵策略為增加紡織品再利用率，無論透過材料或產品設計手段，提升產品的可回收性與再利用性為其目標，抑或是提供修復服務延長產品壽命。總而言之，

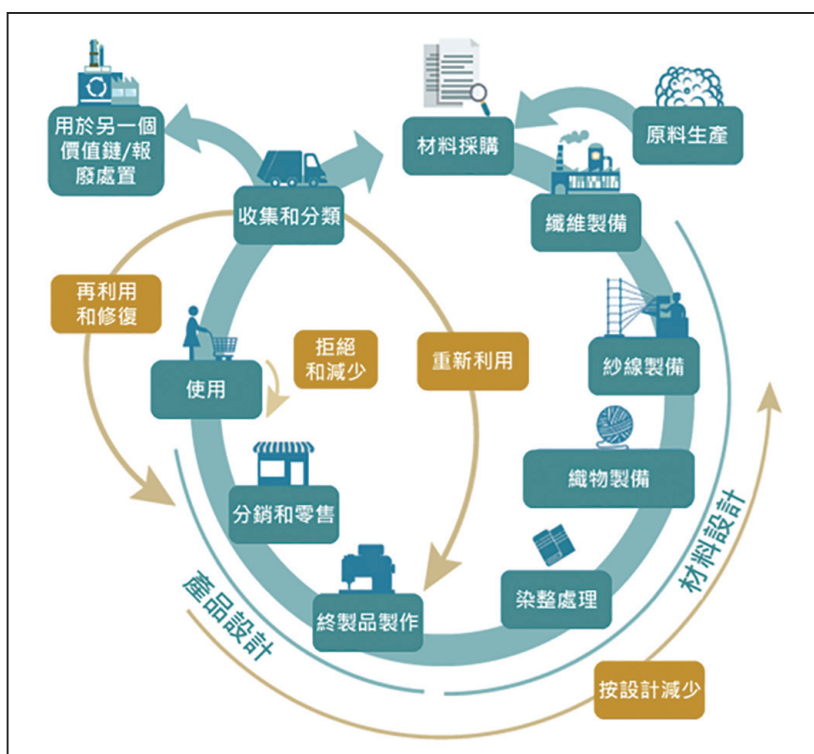


圖1 循環紡織品價值鏈及其行動方案

資料來源：聯合國環境規劃署《紡織品價值鏈可持續性和循環性報告》，2020.10.20



將過往原料 - 製造 - 使用 - 丟棄的線性價值鏈轉變為迴圈循環系統，價值鏈中的原料在使用後不會被丟棄，而是經過材料轉型，長時間在紡織價值鏈迴圈中利用。

歐盟2022年3月綠色政綱（European Green Deal）公布《紡織品永續循環戰略》，內容包括擴大生產者責任（Extended Producer Responsibility, EPR）方案、紡織品的生態設計要求、微纖污染防治、鼓勵循環商業模式、建立可追溯性和標準、廢棄紡織品管理系統與創新回收技術等議題，該戰略旨在使紡織品變得更加耐用、可修復、可重複使用和可回收，以解決快時尚、紡織品浪費和銷毀庫存紡織品等問題。此外報告中特別指出，歐洲人平均每年丟棄11公斤的紡織品，且在世界各地，每秒鐘就有一卡車的紡織品被掩埋或焚燒。

臺灣部分，國發會於2022年3月30日公布《臺灣2050淨零排放路徑及策略》，透過12項關鍵戰略整合跨部會資源，藉以因應未來國際協議與我國全球定位所設定之淨零目標，其中紡織被列為重點產業並提列淨零轉型策略（參見圖2），供相關企業依自身條件啟動減碳作法，包含製程改善、能源轉換與循環經濟等三大面向，扼要說明如下：

### (一) 製程改善

短期推動製程設備汰舊更新並導入智慧化生產管理系統；長期推動上中下游業者導入與示範低碳製程。

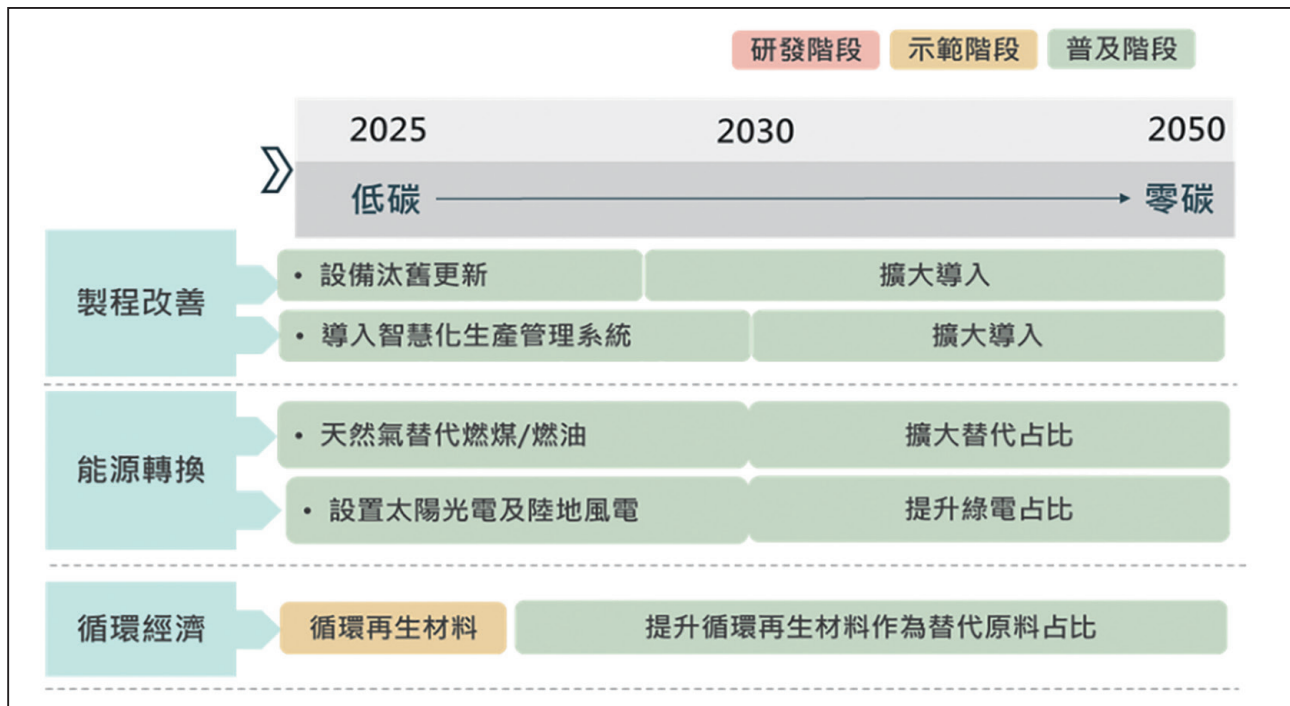


圖2 紡織業淨零轉型策略與路徑

資料來源：國發會，2022.03.30



## (二) 能源轉換

持續擴大天然氣替代燃煤/燃油，並設置太陽光電及陸地風電等，提升低碳能源占比。

## (三) 循環經濟

短期投入循環再生材料、低污染或生質型材料等研發利用，以利長期持續提升循環再生材料作為替代原料占比。

依據上述國發會淨零策略，經濟部法人科專優先聚焦紡織循環經濟面向，以「消費後紡織品回用再生系統技術」作為材料轉型之永續發展主軸，不僅符合國際品牌多以「再生材料替代原生材料」使用率作為實踐「產品減碳效益」的方案，更有助於實踐2050臺灣淨零轉型12項戰略中之紡織產業循環經濟發展目標。

## 二、聚酯佔纖維用量最大宗，相關回用技術備受矚目

聚酯（Polyester, PET）是服裝產業中使用最廣泛的纖維，約佔全球纖維總產量的52%。2021年全球聚酯纖維總使用量約5,700萬噸，但只有15%的聚酯原料來自回收再製，且回收料源99%來自PET寶特瓶，而非來自產量最大與廢棄量日益成長的紡織品。

2021年Textile Exchange和聯合國時尚產業氣候行動憲章（UN Fashion Industry Charter for Climate Action）共同發起「2025年再生聚酯挑戰」（Recycled Polyester Challenge），旨在加速推動再生聚酯市場的擴張，透過市場機制引領再生聚酯技術研發與投資。截至2021年7月，已逾100個品牌和供應商，如：H&M、INDITEX、adidas等，同意簽署且共同承諾，2025年旗下相關產品採用再生聚酯的比重將提升至45%，預估需求量將達1,710萬噸。

根據紡織所ITIS計畫團隊與台大商研所共同開發的「運動服飾市場情報系統（Sportswear Market Intelligence System, SMIS）」蒐集的大數據分析顯示，Nike、adidas、Under Armour、lululemon四大運動品牌於2018～2022上半年



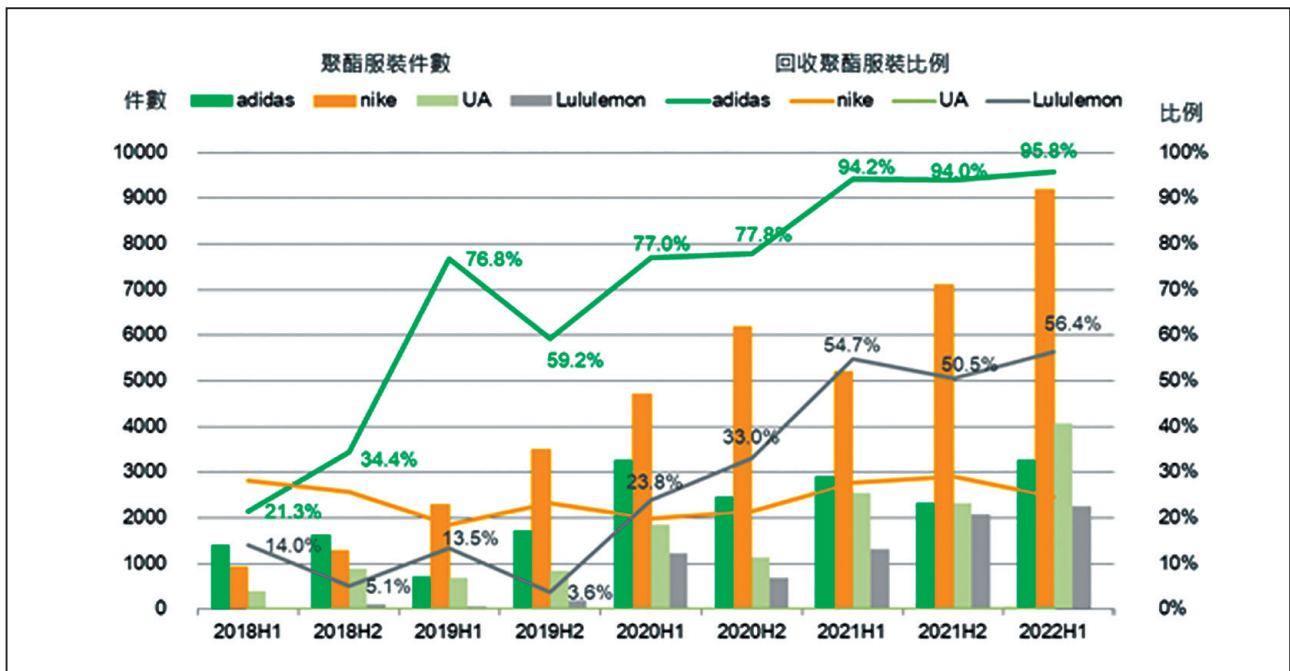


圖3 四大品牌採用回收聚酯服飾比例

資料來源：四大品牌官網，SMIS系統整理，2022.07

的服裝新品中採用「回收聚酯」的比例逐年成長（參見圖3）。其中adidas為最積極採用的品牌，到2022年上半年已有高達96%的款式採用，此也呼應adidas「至2025年實踐90%的產品採用永續材料製成」的目標。此外，受都會女性青睞的lululemon，在2019年以前僅見少數「回收聚酯」材質服飾，但自2021年起則至少50%以上的款式導入回收再生纖維，顯示品牌正以具體行動支持國際永續目標。

### 三、聚酯回用技術兩大構面：「回收聚酯資源化技術」與「聚酯再生工程技術」

針對消費後紡織品回用再生系統技術，可分為「回收聚酯資源化技術」與「聚酯再生工程技術」兩大構面進行剖析與研究：

#### （一）回收聚酯資源化技術

由於紡織品多屬不同纖維材質織造組合而成，回收後首要面對的課題，即是將不同材質進行分選與分離，始能進入個別材質循環再生系統，其中又以聚酯／棉（T/C）交織物占比最大。當今國際面對異質分離採取不同化學方式進行處理，如：強酸處理法係透過高溫（ $\sim 130^{\circ}\text{C}$ ）酸處理和在室溫水中攪拌的兩步處理，將聚酯／纖維素纖維混合物中的纖維素纖維去除為細粉；離子液體法則是透過離子液體溶解纖維素（製程溫度約 $120^{\circ}\text{C}$ ），破壞纖維素結晶區，得到纖維素纖維溶液，但離子液體雖屬綠色溶劑（無VOC排放疑慮），



唯獨高成本包袱，應用於異材質分離上無法凸顯產業效益與其價值；另外自由基法係利用過氧化氫與臭氧照UV光以達分解纖維素，回收聚酯纖維，但其反應性不均勻為該技術最大瓶頸。

其次，回收紡織品的脫色效率攸關產業推動循環再生速度與成效，因為染料的殘留，會影響回收 - 製粒 - 再利用的回收聚酯物性，若不能達到深層脫色，將使回收聚酯物性衰減而無法循環利用或降級使用。有鑑於此，國際諸多研究機構、新創公司及聚酯纖維製造商多有投入資源於脫色技術研發，目前已發表的聚酯脫色技術可區分為化學處理與物理溶解兩大類，其中化學處理是利用還原劑提升染料溶解特性，使染料容易自聚酯結構中溶出而達到脫色效果；物理溶解脫色則是利用溶劑對染料的溶解性，透過滲透至聚酯結構中將染料溶出，其中又可分為有機溶劑萃取與蒸氣迴流萃取兩種，其差異在於是以液態有機溶劑，或是將有機溶劑蒸發為蒸氣後，利用蒸氣溶出聚酯結構中的染料，增加溶劑滲透溶解能力，提高脫色效果。

目前相關脫色技術以有機溶劑萃取占多數，如：日本帝人纖維發表以二甲苯與二醇混合溶劑進行溶劑萃取脫色，以達到聚酯織物脫色效果，但此技術將衍生大量有機溶劑廢液，若不能妥善建構完整的回收 - 再利用製程技術，此方法所造成的環境衝擊可能超出預期，且多半此技術需配合特殊設備（高溫／高壓操作），才能達到所需的脫色功效，在成本與操作方便性上有其侷限；蒸氣迴流萃取的脫色效果因得力於蒸氣的高穿透性，相對脫色效果佳，但操作時間冗長，產業化將有所限制，且亦存在有機溶劑廢液處理問題；而化學處理雖可改變染料溶解性，但亦有可能發生副反應，進而破壞聚酯結構，影響其再利用性。

此外，為建構紡織品循環再生價值鏈，回收料源管制是健全回收產業鏈的首要工作。美國綠色供應鏈管理發展為最早，且積極推動相關管理落實在政府採購制度當中：1993年時任總統克林頓頒布了行政命令12843號，提出政府應對破壞臭氧層之物質列入採購限制清單中，開啟了政府綠色採購制度發展；同年行政命令12873號提出了聯邦採購、回收與廢棄物預防，以環境友善採購計畫訴求最大限度的回收利用和防止浪費，以追求更有效的利用自然資源。有鑑於回收料源來自四面八方，因此，掌握其潔淨度有其必要性，關鍵在於操作人員安全性（如：廢棄紡織品黴菌與過敏原）與製程進料品質（如：廢棄紡織品可萃取物與異質成份鑑定分析等）的要求。

## (二) 聚酯再生工程技術

統計顯示再生纖維中僅有7%屬於再生長纖維（Filament），其餘93%多為短纖維（Staple），且多為填充物或工業用纖維等降級產品，關鍵在於再生酯粒品質不如原生酯粒。探究其原因為回收聚酯經過二次或多次高溫熔融，易造成聚酯結構破壞與高溫氧化現象發生，對再生酯粒物性與品質穩定性造成嚴重衝擊。而就國際回收聚酯再生技術而言，



主要區分為物理機械法及化學解聚法兩大類：物理機械法是把回收後清潔乾淨的塑膠容器或布疋切成碎片，以單（雙）螺桿押出的方式進行回收塑料顆粒的再製流程；化學法製程則是把回收的塑膠容器或布疋破碎後，以化學方式解聚成單體（Monomer）狀態，此單體可再重新聚合製成聚酯高分子。但由於各類產品之廢棄物有量少多樣的現象，考量回收之處理成本及效益，回收方式仍以物理機械法進行回收再製處理為主。

歐洲非營利組織 Accelerating Circularity 旨在創建新供應鏈與商業模式，以促進紡織廢料轉化為紡織主流原料，目前該組織已創立聚酯與棉驗證系統，其中聚酯系統包含歐洲戶外用品集團（European Outdoor Group）、INDITEX、瑞典 gr3n、Covation Biomaterials（前身為 DuPont）、Eurotex、SympaTex、TEXAID、Jack Wolfskin、erema group 等企業或品牌，透過供應鏈中不同角色加速推動聚酯循環再生技術的發展。

此外，國際產業已將原液染色纖維視為環保纖維代名詞，關鍵在於該纖維織造後可避免織物染整過程的耗水與耗能。有鑑於聚酯再生纖維的發展，往往受限於製程中高溫氧化產生黃化現象，或回收料源潔淨度不佳導致纖維外觀顏色未達標準而影響其纖維產品良率，因此透過原液染色調色基礎，適度改善再生纖維的色相已漸漸成為國際產業發展趨勢。

最後同樣為建構紡織品循環再生價值鏈，再生材料的安全性與其品質如同一般材料，在導入產品前須建立一套標準管理方法。由於再生材料重視本質性能優越性與市場競爭對手間差異性，製造商往往會添加特殊物質作為再生材料改質良方，且將此物質列為營業秘密，但就因為缺乏檢測標準與透明資訊，容易造成再生材料安全性的疑慮或死角。為此 OEKO-TEX100 國際標準將紡織用再生材料提出一系列安全性評估（如：重金屬、游離甲醛等），扮演紡織品在使用循環再生材料時的糾察隊角色。

## 四、結論

臺灣機能性布料全球市佔率高達 50% 以上，國際戶外用品牌機能性布料市占率更高達 70%。但國內工廠卻得面對生產後伴隨大量的庫存布、廢棄料、邊角布、樣品布、過季布、瑕疵布之處理與去化等問題。有鑑於此，紡織所於 112 年開始執行之《永續性紡織品產業鏈減碳技術開發計畫》以聚酯材質為標的，系統性建立相關回收料源資源化（如分選分類與異材質分離）、材料再生（如：脫色、解聚、聚合與混煉製粒）、工程再造（如：重抽、直紡不織布與重抽膜）與永續檢測驗證（如：回收料源潔淨度與再生材料安全性）等關鍵技術，以期有效提升回收料源替代原生材料占比，不僅落實循環經濟實現產業鏈減碳目標，更引領國內產業持續維繫國際紡織品供應鏈關鍵角色與競爭力。