

紡織品和成衣回收再利用之發展

2025年5月

紡拓會 編譯

紡織品和成衣回收再利用之發展

目 錄	頁次
摘要.....	1
認證	
Eastman 宣佈其 Naia Renew 纖維素纖維已通過全球回收標準 (GRS) 認證.....	6
Fulgar 宣佈其創新之 Q-Cycle 紗線已通過回收聲明標準(RCS)認證...	7
利用回收再利用材料製造之創新產品	
Camira開發採用回收再利用材料製成之聚酯纖維所製造的新版 X2 裝飾織.....	9
Wrangler推出其採用升級再造之牛仔布製成的第二個Wrangler Reborn系列.....	10
ZARA與Circ合作開發採用了回收再利用紡織廢料製成之Circ Lyocell所製造的膠囊系列.....	12
使用壽命終期後可輕鬆回收再利用之創新產品	
開發名為Nimbus Mirai之可在使用壽命終期後回收再利用的機能性跑鞋.....	13
Decathlon與Resortecs合作開發可回收再利用之泳衣.....	15
投資	
Eastman第一座分子回收再利用工廠已開始生產並宣佈計劃再建造兩座工廠.....	17
Sealy of Australia投資一條將紡織廢料轉化為使用於製造床墊之原材料的回收再利用生產線.....	18
Syre獲得價值1億美元資金用於建造其首兩座十億級紡織品再製成紡織品之回收再利用工廠.....	19

合資企業

Eastman 和 Rumpke 達成回收並加工塑膠包裝材用於製造聚酯纖維之合作協議.....	20
GAP 宣佈與 Ambercycle 建立合作夥伴關係以採購紡織品再製成紡織品之回收再利用材料用於製造 Athleta 產品.....	21
MAS Holdings 與 Ambercycle 簽署了為期三年之合作夥伴協議..	22

回收再利用方法

DITF 啟動了一項重點開發使用來自可再生資源之生物基材料製成的可回收再利用運動服、戶外成衣和工作服之研究項目.....	22
--	----

回收再利用技術

Aarhus University 研究人員開發將聚氨酯彈性纖維與其他纖維分離以促進紡織廢料之有效回收再利用的方法.....	25
Trützschler Group 和 Balkan Textile Machinery 合作開發名為 Truecycled 之回收再利用機械生產線.....	27

表目錄

表1：2024年參與BioFibreLoop專案之公司與機構.....	24
-------------------------------------	----

圖目錄

圖1：Wrangler Reborn 系列.....	11
圖2：Zara x Circ 洋裝.....	13
圖3：Truecycled 圖示.....	28

摘要

Wrangler 推出其採用升級再造之牛仔布製成的第二個 Wrangler Reborn 系列，而 ZARA 則與 Circ 合作開發採用回收再利用紡織廢料製成之 Circ Lyocell 所製造的膠囊系列，以及 Camira 開發採用回收再利用材料製成之聚酯纖維所製造的新版 X2 裝飾織物。asics 開發一款名為 Nimbus Mirai 之機能性跑鞋，該跑鞋的設計目的是在使用壽命終期後可進行回收再利用，而 Decathlon 和 Resortecs 則合作開發可回收再利用之泳衣，還有 DITF 已啟動一項專注於開發可回收再利用運動服、戶外成衣和工作服的研究項目。

MAS Holdings 已與 Ambercycle 簽署了為期三年之合作夥伴協議，而 GAP 宣佈與 Ambercycle 建立合作夥伴關係，以採購紡織品再製成紡織品 (textile-to-textile) 之回收再利用材料用於製造 Athleta 產品，以及 Eastman 已與 Rumpke 達成合作夥伴協議，以回收和加工塑料包裝來用於製造聚酯纖維。

此外，Eastman 之第一個分子回收再利用工廠已開始投入生產，並已宣佈計劃再建造兩座這樣的工廠。Syre 已獲得價值 1 億美元之資金，建造其首兩座十億級 (gigascale) 紡織品再製成紡織品的回收再利用工廠，而澳洲之 Sealy 公司則投資了一條將紡織廢料轉化為用於製造床墊的原材料之回收再利用生產線。Trützschler Group 和 Balkan Textile Machinery 合作開發名為 Truecycled 的回收再利用機械系列，而 Aarhus University 之研究人員則開發一種將聚氨酯彈性纖維 (elastane) 與其他纖維分離的方法，以促進紡織廢料之有效回收再利用。同時，Eastman 的 Naia Renew 纖維素纖維已通過全球回收標準 (Global Recycled Standard, GRS) 認證，以及 Fulgar 之創新 Q-Cycle 紗線也已通過回收聲明標準 (Recycled Claim Standard, RCS) 認證。

認證

Eastman 宣佈其 Naia Renew 纖維素纖維已通過全球回收標準 (GRS) 認證

總部位於美國田納西州 Kingsport 的先進材料公司 Eastman 宣佈，其 Naia Renew 纖維素纖維已通過全球回收標準 (Global Recycled Standard, GRS)¹ 認證。

¹全球回收標準 (Global Recycled Standard, GRS) 由紡織品交易所 (Textile Exchange) 制定，該機構是位於美國德克薩斯州 Lamesa 之非營利組織，致力於促進紡織品和成衣供應鏈的環保永續性發展。

Naia Renew 採用閉環(closed-loop)製程生產，該製程涉及生產自醋酸(acetic acid)和木漿之醋酸纖維素顆粒(cellulose acetate granules)的乾紡(dry spinning)。該纖維以 60%木漿和 40%醋酸製造而成。

該木漿採收自永續性管理之松樹林和桉樹林，以確保古老而瀕危的森林免於遭受砍伐。

該醋酸則來自塑膠廢棄物的回收再利用材料，這些廢棄物如不回收再利用通常會被送往垃圾掩埋場。

Naia Renew 製造過程中使用之回收再利用材料的真實性已通過 GRS 驗證。

GRS 保證 Naia Renew 至少含有 20%之回收再利用材料，並且其製造符合與環保和社會標準相關的嚴格準則。

Naia Renew 之認證是透過獨立第三方認證機構 SCS Global Services²審核而獲得的，而且該認證適用於 Naia Renew 之整個供應鏈。

Naia Renew 符合 GRS 認證之資格是由於紡織品交易所的替代交易量調解(Alternative Volume Reconciliation, VR2) 政策之更新。

具體而言，該政策進行修改是為將氣化(gasification)納入符合質量平衡(mass balance)³條件的化學回收技術清單。

此次更新對 Eastman 來說至關重要，因為這使其運用於生產 Naia Renew 的創新氣化技術，得以符合全球回收標準(GRS)認證的審核要求。

Fulgar 宣佈其創新之 Q-Cycle 紗線已通過回收聲明標準(RCS)認證

Fulgar 是位於義大利 Castel Goffredo 的纖維和紗線供應商，該公司宣佈其創新之 Q-Cycle 紗線已通過回收聲明標準(Recycled Claim Standard, RCS)認證。

² SCS Global Services 是位於美國加州 Emeryville 的獨立認證機構。

³質量平衡(mass balance)方法追溯材料在複雜價值鏈中之流程。通常，化學回收再利用原料和生物基原料在製造過程中與其他材料混合，因此回收再利用或生物基原料的物理分離通常在實際上和經濟上是不可行的。質量平衡方法可以追蹤價值鏈中而不是產品中的之回收再利用和/或生物基原料的數量，並根據可證實之簿記(bookkeeping)將其歸因於產品。

Q-Cycle 是一種利用消費後汽車輪胎材料製成的聚醯胺 (polyamide) 6.6 紗線，適用於廣泛之紡織應用產品，包括成衣、牛仔布、襪子、運動服、泳衣、內衣和工作服。

通常，處理汽車輪胎的方法對環境有害。這些過程包括焚燒和掩埋處理，而它們會向環境中釋放有害化學物質。

作為因應，總部位於德國 Ludwigshafen 之化學品公司 BASF 開發一項名為 ChemCycling 的回收再利用製程，用於回收再利用無法機械性回收之消費後塑料，例如汽車輪胎和含雜質的塑料。

消費後塑料透過熱解 (pyrolysis) 進行熱化學回收再利用，並因此而產生熱解油。

然後，使用質量平衡方法，將熱解油用作為製造新塑膠產品之原料，或在本例中作為製造 Q-Cycle 紗線。

使用熱解油作為原料無需使用衍生自石油的原料，而石油是不可再生資源。因此，這款紗線被認為更加具環保永續性。

Q-Cycle 紗線可採用與傳統聚醯胺紗線 (polyamide yarn) 染色和整理相同之染色和整理製程來進行其染色和整理。

此外，據稱 Q-Cycle 紗線的機能性水準與傳統聚醯胺紗線相當，甚至更好。

該紗線已通過 RCS 認證—這是一項國際性及自願性之標準，其保證產品至少含有 5% 的回收再利用材料。

該回收聲明標準(RCS)中之回收再利用材料的定義取決於 ISO 14021—這是國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO) 之環境標誌 (environmental labels) 與宣告標準-自行宣告的環境聲明 (第二類環境標誌)。

RCS 為紡織品交易所 (Textile Exchange) 擁有，該機構是位於美國德克薩斯州 Lamesa 之非營利組織，致力於促進紡織品和成衣供應鏈的環保永續性發展。

Q-Cycle 紗線已獲得多項認證，包括：ISO 62:2008⁴；生態紡織品標準 100（Oeko-Tex Standard 100）之第一類認證⁵；以及 ISCC PLUS⁶。

利用回收再利用材料製造之創新產品

Camira 開發採用回收再利用材料製成之聚酯纖維所製造的新版 X2 裝飾織物

Camira 是總部位於英國 Mirfield 之契約紡織品（contract textiles）製造商⁷，它採用源自回收再利用的材料製成之聚酯來開發新版本 X2 裝飾織物。

該織物適用於商業和住宅市場—包括酒店業—之帷幔、窗簾、鑲板和座椅等應用商品。

X2 裝飾織物原始版本於 2012 年推出，它是該公司最受歡迎的織物之一。

X2 織物採用衍生自回收再利用的聚對苯二甲酸乙二醇酯（polyethylene terephthalate，PET）塑膠瓶產生之聚酯纖維和使用該公司自身營運的回收再利用紡織廢料所產生之聚酯纖維混合製造而成。其使用的紡織廢料包括織物邊角料和紗線殘餘物料。

然而，新版 X2 含有更多來自回收再利用紡織廢料之聚酯纖維，事實上它高達 25%。

新版本製造中所使用的回收再利用紡織廢料來自消費前和消費後之廢棄成衣和運動服，以及來自該公司本身營運產生的廢料。

⁴ ISO 62:2008 是國際標準化組織 (ISO) 關於塑膠—吸水率測定的標準。

⁵ 生態紡織品標準 100（Standard 100 by Oeko-Tex）證明產品不含有害物質。此標準可用於認證生產過程任何階段之原材料、中間產品和成品。此認證分為四個類別。第 1 類證明產品適合嬰兒使用，第 2 類證明產品適合直接接觸皮膚，第 3 類證明產品適合接觸最少量的皮膚，第 4 類證明產品適合家居裝飾。該標準由總部位於瑞士蘇黎世之獨立檢測機構 Oeko-Tex 制定，該機構是紡織品和成衣產業化學品安全的權威。

⁶ ISCC PLUS 是由位於德國 Cologne 之國際永續性發展與碳認證（International Sustainability and Carbon Certification，ISCC）所開發的認證體系，其可確保：符合較高之生態和社會永續性要求；減少溫室氣體排放；以及整個供應鏈的可追溯性。此認證由獨立第三方進行。

⁷ Camira 滿足各式商業和住宅市場之需求，包括教育、醫療保健、飯店、公共交通和工作場所。

該紡織廢料被運送到公司之紗線供應商處，然後由紗線供應商透過熱機械回收再利用（thermo-mechanical recycling）的方式處理該廢料。

該新版織物有 14 個新色彩選項，再加上原有之 19 種色彩選項。新色彩選項包括溫暖的漿果色調、冷酷的藍色調、濃鬱的紫紅色和微妙的泥土色調。

此外，該新版織物還具混色效果，並具可與羊毛織物相媲美之奢華紋理手感。

在機能性方面，該新版織物具彈性，並表現出優異的耐磨損性、阻燃性、耐光性和耐摩擦性。事實上，這種織物之機能性可保證持續十年，因此非常令人印象深刻。

此外，該織物還符合多項環保認證—包括歐盟生態環保標章（EU Ecolabel）⁸以及健康和 safety 認證，包括 Standard 100 by Oeko-Tex 和室內優勢金牌認證（Indoor Advantage Gold certification）⁹。

Wrangler 推出其採用升級再造之牛仔布製成的第二個 Wrangler Reborn 系列

Wrangler—總部位於美國北卡羅來納州 Greensboro 之牛仔服品牌，為 Kontoor Brands¹⁰所擁有—推出第二個 Wrangler Reborn 系列。該系列採用其升級再造（upcycled）¹¹ 牛仔布製造而成。

最初，Wrangler Reborn 是作為精選系列推出的，旨在慶祝該公司之原創性、標誌性和古典的風格。

⁸ 歐盟生態環保標章（EU Ecolabel）由歐盟生態環保標章委員會（EU Ecolabelling Board，EUEB）管理。該委員會包括歐盟、冰島、列支敦士登（Liechtenstein）和挪威主管機關之代表，以及環保組織、消費者和產業協會、商業聯盟和企業的代表。帶有歐盟生態環保標章之產品和服務必須符合嚴格的環保標準。在授予歐盟生態環保標章時，產品之整個生命週期皆會被考慮進去。

⁹ 室內優勢金牌認證（Indoor Advantage Gold certification）證明產品符合多項室內空氣品質排放要求。該認證由科學認證系統（Scientific Certification Systems，SCS）之全球服務公司（Global Services）—總部位於美國加州 Emeryville 的獨立認證機構—頒發。

¹⁰ Kontoor Brands 是總部位於美國北卡羅來納州 Greensboro 的成衣公司，旗下品牌包括 Lee、Rock & Republic、Wrangler 等。

¹¹ 升級再造（upcycled）材料是指將副產品、廢料或不需之產品改造或回收再利用，製成品質更好或對環保更有利的新材料或產品。升級再造與降級再造（downcycling）相反，降級再造是將廢料或無用產品改造為新材料或品質較差、功能較弱之產品的過程。

第一個 Wrangler Reborn 系列於 2022 年 4 月推出，其中包括來自 Wrangler 檔案庫中歷來之復古風格牛仔褲。這些牛仔褲採用了 1950 年至 2000 年間的復古和"二手（preloved）"牛仔織物製造而成。

繼第一個系列取得成功之後，Wrangler 推出了第二個系列，該系列是與 Beyond Retro—總部位於英國倫敦的公司，也是歐洲最大的懷舊時尚零售商之一-共同合作開發的。

該系列含括如下四件成衣品項：

- Greensboro Straight Leg Jean 直筒牛仔褲；
- Heritage Shirt 傳統襯衫；
- Icon Jacket 標誌性夾克；及
- Reworked Short 改造版短褲。

圖 1：Wrangler Reborn 系列



資料來源：Wrangler

該系列產品之-開發充分考慮了循環性（circularity）¹²和環保永續性發展。具體來說，它包含了由消費後牛仔布廢料製成的升級再造牛仔服。

¹²本文中之"循環的（circular）"和"循環性（circularity）"等術語用於描述涉及再利用、修補、翻新（refurbishing）、再製造和回收再利用的業務。這種業務創建一個閉環系統，避免了使用原生原材料並減少了產生之廢棄物數量。

Wrangler 希望該系列能為顧客提供未來幾年可穿著的"衣櫥必備品（wardrobe staples）"，並同時減少進入垃圾掩埋場之紡織品廢棄物數量。

當 Wrangler 全球設計總監 Vivian Rivetti 在宣佈該系列訊息時表示：「Wrangler Reborn 系列彰顯了高品質牛仔布的韌性，以及 Wrangler 致力於打造可代代相傳之優質產品的承諾。我們非常高興能與歐洲最大的復古零售商之一 Beyond Retro 合作推出這個全新的 Reborn 系列，他們將為這項永續性發展計畫賦予新生命。」

ZARA 與 Circ 合作開發採用了回收再利用紡織廢料製成之 Circ Lyocell 所製造的膠囊系列

Inditex¹³ 旗下之全球服飾品牌 ZARA 與 Circ—總部位於美國維吉尼亞州 Danville 專業從事紡織品回收再利用技術的新創公司—合作開發膠囊系列。

該系列產品採用 Circ Lyocell 製成，其由 50% 的回收紡織廢料製成。

該紡織廢料採用 Circ 開發之專有技術進行回收再利用，該技術旨在利用熱液系統（hydrothermal system）自廢料中回收原材料。

該技術能回收再利用含有多種纖維成分的紡織廢料，包括：100%純棉；100%聚酯纖維；以及棉和聚酯之混紡，眾所周知，這些材料很難回收再利用。

具體而言，該技術可自含有棉纖維的紡織廢料中回收纖維素，並且可自含有聚酯的紡織廢料中回收塑膠單體（plastic monomers）。

該回收材料可應用於製造具原生品質（virgin quality）之纖維素纖維和聚酯纖維。這些纖維分別以 Circ Lyocell 和 Circ Polyester 為名進行銷售。

新膠囊系列是 ZARA 和 Circ 合作開發的第二個系列。

繼 2022 年 7 月 Inditex 對 Circ 開始投資後，第一個膠囊系列於 2023 年 4 月推出¹⁴。

¹³ Inditex 是總部位於西班牙 Arteixo 之成衣公司，旗下擁有 Bershka、Massimo Dutti、Oysho、Pull&Bear、Stradivarius、ZARA 和 Zara Home 等品牌。

¹⁴ Circ 在此後獲得了進一步之投資。Circ 已獲得價值 2,500 萬美元之投資以擴大其生產設備並有助於將公司的首批產品推向市場。

這項投資由 Inditex 永續性創新中心（Sustainability Innovation Hub）提供，旨在促進技術創新和提高產品循環性。

對於 Inditex 來說，ZARA 與 Circ 合作開發的全新膠囊系列代表著實現此目標之另一個機會，以及加速了時尚產業採用循環的和工業規模生產的"解決方案（solutions）"。

該新系列包含四個成衣品項，分別是：

- 一款裙子；
- 一款上衣；及
- 兩款洋裝。

所有商品均採用 100% Circ Lyocell 製成，其外觀和觸感均類似於絲綢。

這些商品之設計特色包括風格簡潔、輪廓清晰的造型。因此，這些商品具自然而永不過時的外觀。

圖 2：Zara x Circ 洋裝



資料來源：Circ

使用壽命終期後可輕鬆回收再利用之創新產品

asics 開發名為 Nimbus Mirai 之可在使用壽命終期後回收再利用的機能性跑鞋

總部位於日本神戶之運動服公司 asics 開發名為 Nimbus Mirai 的機能性跑鞋，該跑鞋設計之目的是在使用壽命終期後可進行回收再利用。

這款鞋反映出該公司對未來的和循環的經濟之承諾。在日文中，"mirai (みらい)"一詞的意思是"未來 (future)"。

該 Nimbus Mirai 跑鞋在其生命週期內僅產生 6.1 公斤二氧化碳當量 (carbon dioxide equivalent, CO₂e)¹⁵排放量。根據位於美國麻薩諸塞州 Cambridge 之麻省理工學院 (Massachusetts Institute of Technology, MIT)表示，這比產業平均水準低了 57%。

因此，這款跑鞋之開發代表該公司在 2050 年實現淨零碳排放 (net-zero carbon emissions) 的使命已邁出重要一步。

值得注意的是，這款鞋在上市時還推出了新的退貨計畫，鼓勵顧客在鞋子使用壽命終期時將其回收。

顧客可透過該公司之線上網站將鞋子退回 asics 商店或 asics 配銷中心。

該計畫提供給全球多個參與市場的客戶，包括澳洲、加拿大、法國、日本、紐西蘭、荷蘭、英國和美國。

該鞋採用聚酯單一材料 (monomaterial)¹⁶製成。這意味著它可使用傳統的回收技術輕鬆回收再利用。

此外，該鞋子之鞋面沒有覆蓋層，因此，當鞋子使用壽命終期在退回時，可輕鬆地進行分類和處理。

此外，該鞋面也可輕鬆自鞋底拆卸。

這是因為該鞋子採用專有膠水製成，這種膠水在鞋子的整個使用壽命期間皆非常耐用，而且在回收之前可輕鬆去除。

據 asics 表示，該鞋面的所有組件均可回收再利用。

此外，經測試顯示，高達 87.3%之鞋面材料皆可回收再利用，製成新的聚酯纖維。

¹⁵二氧化碳當量 (carbon dioxide equivalent, CO₂e) 是衡量溫室氣體排放之指標，它包括了二氧化碳 (CO₂) 和其他溫室氣體，例如水蒸氣、甲烷 (methane, CH₄)、一氧化二氮 (nitrous oxide, N₂O) 和含氯氟烴 (chlorofluorocarbons, CFCs)。CO₂e 允許其他溫室氣體排放根據其相對全球暖化潛力 (global warming potential, GWP) 以二氧化碳 (CO₂) 的形式表示。例如，CO₂ 之 GWP 為 1，而 CH₄ 的 GWP 約為 25 (以 100 年之時間範圍計算)。因此，排放 1 噸 CH₄ 的 GWP 相當於 25 噸 CO₂。

¹⁶本文中之單一材料 (monomaterial) 是指完全由單一類型的聚合物製造而成之材料。

該鞋由位於美國澤西島 Trenton 之回收專業公司 TerraCycle 進行回收再利用。
該鞋鞋底本身採用的材料有 24%來自可再生資源，即甘蔗加工之副產品。
該鞋鞋底還採用 FF Blast Plus Eco 中底（midsole），據說它可提供"雲狀般的（cloud-like）"緩衝作用。

它也採用了 Hybrid Asicsgrip，可提供牽引力、柔軟度和耐用性。

展望未來，asics 正與合作夥伴共同開發回收再利用該鞋鞋底在使用壽命終期後之流程。za

Decathlon 與 Resortecs 合作開發可回收再利用之泳衣

Decathlon 總部位於法國 Villeneuve-d'Ascq，是全球最大的體育用品零售商，而 Resortecs 則是一家總部位於比利時 Anderlecht 的新創公司，專業從事於紡織品回收技術。

通常，泳衣採用尼龍和聚氨酯彈性纖維（elastane，spandex）混紡製成，因此乾燥速度快、穿著舒適、具形狀保持性，而且有彈性。

然而，聚氨酯彈性纖維對於紡織廢料的有效回收再利用而言是一個重大之障礙。

一般來說，成衣中聚氨酯彈性纖維之含量很小，但一件全棉 T 恤只要含有 1%的聚氨酯彈性纖維就足以讓該成衣在回收分揀廠被拒收。

因此，為在成衣使用壽命終期時有效地回收再利用紡織廢料，自成衣中去除聚氨酯彈性纖維至關重要。

為克服聚氨酯彈性纖維帶來的之回收障礙，Decathlon 和 Resortecs 開發的可回收再利用泳衣採用一種名為 Negombo 之彈性織物—也是 Decathlon 開發的—製造而成，這款織物不含聚氨酯彈性纖維。

Negombo 之成分包括：52%聚酯纖維，是採用來自回收再利用消費後聚對苯二甲酸乙二醇酯（polyethylene terephthalate，PET）塑膠瓶的材料製成的；以及 48% T400 EcoMade—為 Lycra Company¹⁷開發之彈性纖維。

¹⁷ Lycra Company 是總部位於美國德拉瓦州 Wilmington 的功能性纖維專業公司，旗下擁有一系列品牌，包括 Elasthan、Lycra、Supplex、Tactel 和 Thermolite。

Negombo 採用獲得專利之專有針織技術製造而成，旨在提供最大限度的彈性。

Lycra T400 EcoMade 纖維包含：50%來自回收再利用之消費後聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 塑膠瓶的聚酯纖維；18%為來自可再生資源之植物基材料。

該纖維具螺旋捲曲結構，在每根長纖維內由黏合在一起的兩種聚合物組合而成。

當纖維暴露於乾熱和/或濕熱時，製成纖維之聚合物會以不同的速率收縮，捲曲會變得更緊密、更光滑。然而，一旦熱量消散，原來的捲曲就會恢復。因此，使用這種纖維製成之織物—例如 Negombo—具出色的機械拉伸、復原和保持形狀之機能性。

除由 Negombo 織物製成之外，Decathlon 和 Resortecs 開發的可回再利用收泳衣還採用了 Resortecs 開發之 Smart Stitch 可溶解縫線。

該縫線用於將彈性組件連接到泳衣上。

通常，彈性材料在維持泳衣的舒適性、形狀和穩定性方面發揮至關重要之作用。它用於穩定腿部開口、領口和接縫，並進而確保泳衣在身體上固定於正確的位置。但它往往會成為泳衣有效回收再利用之障礙。

然而，對於 Decathlon 和 Resortecs 開發的可回收再利用泳衣而言，使用可溶解之縫線有助於在成衣使用壽命終期時可將彈性組件與主要織物有效分離。

該縫線可使用 Resortecs 的 Smart Disassembly 熱拆卸系統 (thermal disassembly system) 來溶解。此方法利用了工業烤箱，當烤箱溫度達到 150°C 至 200°C 之間時，縫線就會溶解。

根據 Resortecs 表示，該系統處理材料的速度比傳統拆卸縫線快五倍。此外，就產能而言，每天可處理 1 噸到 13 噸之材料。

當 Resortecs 首席技術長 Acerina Trejo Machin 在宣佈開發該可回收再利用泳衣的消息時表示：「Resortecs 之有效拆卸製程確保了泳衣的最大限度可回收率。我們的技術可全自動拆卸，無需任何人工介入，每天之拆卸量高達 10 噸。這使得材料回收率可觀的提高了 63%，比傳統方法快了十倍。」

投資

Eastman 第一座分子回收再利用工廠已開始生產並宣佈計劃再建造兩座工廠

Eastman 是總部位於美國田納西州 Kingsport 之特種材料公司，其第一座分子回收再利用工廠已開始生產。

此外，它還宣佈計劃再建造兩座這樣的工廠。

該公司第一座分子回收再利用工廠位於美國田納西州 Kingsport，其投資建造之資金約需 2.5 億美元。

該工廠採用了一種名為甲醇分解作用（methanolysis）的化學回收技術，該技術透過與甲醇（methanol）發生反應將塑膠廢棄物解聚（depolymerisation）成其原始單體（original monomers）。

所得單體適用於製造原生品質之原材料，例如聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）聚合物。

相對的，這些聚合物可用於生產纖維和長絲纖維，其與使用源自石化產品之原生合成熱塑性聚合物製成的產品沒有區別。

根據 Eastman 表示，Kingsport 之工廠每年可回收約 10 萬噸塑膠廢棄物。

除 Kingsport 工廠外，Eastman 還計劃在美國德克薩斯州 Longview 建造第二座分子回收再利用工廠，該工廠每年將可回收約 11 萬噸塑膠廢棄物。

目前，該公司已自美國能源部（US Department of Energy，DoE）獲得高達 3.75 億美元的資金用於建設該工廠。但具體資助金額仍有待協商。

Eastman 選擇 Longview 工廠作為其第二座分子回收再利用工廠所在地，是因為該工廠現有的基礎設備和營運，以及自美國西部和中部獲取原料之管道。

據悉，該公司第三座分子回收再利用工廠將位於法國 Port-Jérôme-sur-Seine。該工廠預計將於 2026 年投入營運，其第一階段開發的產能是每年回收 11 萬噸塑膠廢棄物。第二階段開發計畫將於 2030 年實施，屆時產能將增加至每年 20 萬噸。

Sealy of Australia 投資一條將紡織廢料轉化為使用於製造床墊之原材料的回收再利用生產線

總部位於澳洲昆士蘭州 Wacol 之床墊品牌 Sealy of Australia 在其位於澳洲昆士蘭州 Brisbane 的工廠投資了一條回收再利用生產線，將紡織廢料轉化為製造床墊之珍貴原材料。

尤其是，Sealy 安裝了一條由 Andritz—總部位於奧地利 Graz，為全球許多產業與市場提供服務的大型機器設備製造商—提供之 reXline 撕裂生產線（tearing line）。

該生產線能以機械方式回收大量消費前和消費後的紡織廢料，其中棉質牛仔布廢料之回收速率為每小時 1,200 公斤，而床墊被褥廢料的回收速率則為每小時 800 公斤。

該生產線與工廠內安裝之現有 Airlay Airfelt 生產線相結合。這也是由 Andritz 提供的，並於 2008 年投入使用。

Airlay Airfelt 生產線採用氣流成網（air laying）¹⁸技術來生產不織布毛氈材料。

據稱，所得材料非常適合用於汽車、床上用品和室內裝飾應用產品。

然而，就 Sealy 而言，Airlay Airfelt 生產線生產之不織布毛氈材料被應用於製造床墊。

根據 Andritz 表示，位於 Brisbane 的 Sealy 工廠每天可生產 1,000 張床墊。

在宣佈安裝 reXline 拆卸生產線之訊息時，Sealy of Australia 纖維廠經理 Shaun Guest 表示：「藉由這條新生產線，利用原本會被焚燒或掩埋的紡織廢料來製造新床墊，我們向循環性經濟邁出了重要一步。很高興再次與 Andritz 紡織品回收再利用專家合作。他們是支持我們計畫的最佳合作夥伴。」

¹⁸氣流成網（air laying）或氣流成型（air forming）是將纖維送入氣流並吹送到移動之皮帶上，以形成短纖維網或短纖維毛層，為製造乾式成網不織布（dry-laid nonwoven）材料做準備的過程。

Syre 獲得價值 1 億美元資金用於建造其首兩座十億級紡織品再製成紡織品之回收再利用工廠

Syre—總部位於瑞典斯德哥爾摩的紡織品回收再利用公司—已獲得價值 1 億美元資金，用於建造其首兩座十億級（gigascale）之紡織品再製成紡織品（textile-to-textile）的回收再利用工廠。

Syre 創辦者是：

- H&M 集團—總部位於瑞典斯德哥爾摩之全球成衣公司，旗下擁有 & Other Stories、Arket、COS、H&M、H&M HOME、Monki 和 Weekday 等多個品牌；
- Vargas Holding—總部位於瑞典斯德哥爾摩之投資公司；以及
- TPG Rise Climate—由總部位於美國加州舊金山之全球資產管理公司 TPG 營運的策略投資部門。

該筆資金是透過由 TPG Rise Climate 領投的 A 輪融資（series A funding）¹⁹ 獲得的。

其他投資者還包括 Giant Ventures、H&M Group、IMAS Foundation、Norrskén VC 和 Volvo Cars。

這筆資金將用於資助 Syre 首座生產工廠的建設。該工廠位於美國北卡羅來納州，預計將於 2024 年底投入營運。

它還將資助該公司建設首兩座十億級之紡織品再製成紡織品的回收再利用工廠，這兩座工廠將分別位於葡萄牙、西班牙或越南。

據該公司表示，這些工廠將在紡織供應鏈中佔據策略性地位，並將能使用現有的紡織製造設備和原料、物流和再生能源。

該公司正為十億級工廠選擇具體地點，計劃於 2025 年開始建造。

此外，Syre 還計劃在全球範圍內建造幾座工廠，用於商業化規模生產由回收再利用紡織廢料製成之聚酯纖維。

¹⁹ A 輪融資（series A funding）這個術語用來描述尋求投資之公司所獲得的特定等級之融資。A 輪融資是種子融資階段（seed funding stage）—企業籌集的初始資金—之後的第一輪融資，也是新公司用於開發其創意的最低級別之融資。B 輪融資是第二級融資，通常用於公司投資廣告、技術、支援和額外員工等業務，藉此協助公司擴大業務規模。C 輪融資是第三輪也是最高級別的融資，通常用於公司完善商業模式並繼續擴大營運規模。C 輪投資者通常希望獲得相當於其初始投資價值兩倍之財務回報。

整體而言，該公司希望在 2024 年至 2034 年期間建造 12 座生產工廠，總產能為每年生產超過 300 萬噸聚酯纖維。

據 Syre 表示，該公司能生產機能性可與原生聚酯相媲美的聚酯纖維。

該公司已與 H&M 集團達成為期七年、價值約 6 億美元之重大供應協議。

根據該協議，H&M 集團獲得聚酯纖維的供應量，將佔 H&M 集團聚酯纖維總採購量之很大一部分。

目前，H&M 集團採購的聚酯纖維大部分衍生自廢棄之聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）塑膠瓶。

不過，H&M 集團承認，使用廢棄 PET 塑膠瓶提取的聚酯之做法與循環的經濟原則相衝突。

這是因為，在理想情況下，廢棄之 PET 塑膠瓶應該保留來用於食品接觸材料的閉環回收系統。

在獲得 1 億美元資金後，Syre 收購位於美國北卡羅來納州 Garner 之紡織品回收再利用技術新創公司 Premirr。

因此，Syre 現在擁有其所採用的回收再利用技術之專利，該技術是 Premirr 創始人 Chris Luft 和 Matthew Parrott 首先開發的。

合資企業

Eastman 和 Rumpke 達成回收並加工塑膠包裝材用於製造聚酯纖維之合作協議

總部位於美國田納西州 Kingsport 的特種材料公司 Eastman 已與 Rumpke Waste & Recycling（Rumpke）達成合作協議，回收聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）塑膠包裝廢料，用於製造聚酯纖維。

Rumpke 總部位於美國俄亥俄州 Colerain Township，是美國廢棄物管理和回收再利用市場之龍頭商。

根據與 Eastman 的合作條款，Rumpke 將收集和分類彩色 PET 塑膠包裝廢料，以供應 Eastman。

Eastman 將對這些廢棄物料進行處理，透過一種名為解聚（depolymerisation）之製程進行回收再利用，並將其轉化為原生品質的 PET 聚合物。

通常，彩色塑膠廢棄物很難回收再利用於製造新纖維，因為添加劑和著色劑在回收再利用過程中不易被分離出來。

此外，使用殘留了彩色顏料之回收塑膠廢棄物很難獲得明亮而鮮豔的色彩。因此，使用彩色塑膠廢棄物製成之纖維通常僅限於黑色或灰色的混合色彩。正因為如此，許多使用彩色塑膠廢棄物製成之纖維被降級再造，製成品質較差或機能性較弱的產品。

然而，創新回收再利用製程—例如解聚—之發展顯示出將彩色塑膠廢棄物轉化為其原始單體並分離著色劑和其他雜質的潛能。

GAP 宣佈與 Ambercycle 建立合作夥伴關係以採購紡織品再製成紡織品之回收再利用材料用於製造 Athleta 產品

總部位於美國加州舊金山的休閒成衣零售商 GAP 宣佈與 Ambercycle 合作，採購紡織品再製成紡織品（textile-to-textile）之回收再利用材料用於製造 Athleta 產品。

Ambercycle 是總部位於美國加州洛杉磯生產以紡織廢料製成之回收聚酯纖維的公司，而 Athleta 則為 GAP 所擁有，總部位於美國加州舊金山專業生產女士運動服之公司。

建立此合作夥伴關係是為推動紡織產業的循環性發展。

自 2026 年開始，Athleta 將使用 Ambercycle 之再生聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 纖維—名為 cycora—生產運動服。這將使其成為第一家大規模使用 cycora 的機能性成衣公司。

據稱，cycora 纖維之機能性可與原生聚酯纖維相媲美。

cycora 採用 Ambercycle 最先開發的創新化學製程生產。Ambercycle 將這個製程稱為“分子再生技術（molecular regeneration technology）”。

該製程包括粉碎工業後和消費後之 PET 紡織廢料並將其送入一系列反應器中。

該紡織廢料中的 PET 纖維被轉化為其組成單體，並經過淨化以去除染料和整理劑等污染物質。

所得材料重新製成原生等級（virgin-grade）之 PET 顆粒，以利擠壓並製造出 cycora 纖維。

MAS Holdings 與 Ambercycle 簽署了為期三年之合作夥伴協議

總部位於斯里蘭卡 Colombo 的紡織品和成衣製造商 MAS Holdings 與 Ambercycle 簽署了為期三年之承購協議 (offtake agreement)²⁰，建立了合作夥伴關係。

Ambercycle 是總部位於美國加州洛杉磯之開發紡織品再製成紡織品的回收再利用製程之公司。

根據該協議，MAS Holdings 可保留一定數量的 Ambercycle 再生聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 纖維—名為 cycora—以供其客戶使用。

此外，該協議也將促使 Ambercycle 致力於盡快實現商業化規模之生產。

Ambercycle 計劃在 2025 年底前建立紡織品再生工廠，並提高其 cycora 之產能。

MAS Holdings 的目標是，到 2025 年達 50% 之收入將來自其所謂的"永續性發展產品 (sustainable products)"之銷售。

當該公司的集團永續性發展業務 (Group Sustainable Business) 總監 Nemanthie Kooragamage 宣佈該合作協議時表示：「MAS 與 Ambercycle 攜手合作，將為我們的客戶及合作夥伴提供更便捷之新一代再生材料。這不僅能讓品牌滿足消費者對永續性發展成衣日益增長的需求，還能帶來積極之環保影響。」

回收再利用方法

DITF 啟動了一項重點開發使用來自可再生資源之生物基材料製成的可回收再利用運動服、戶外成衣和工作服之研究項目

德國 Denkendorf 紡織和纖維研究所 (Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf—German Institutes of Textile and Fiber Research Denkendorf, DITF) 啟動了一項名為 BioFibreLoop 的研究項目，該項目將專注於開發使用源自於可再生資源 (renewable sources) 之生物基材料製成的可回收再利用運動服、戶外成衣和工作服。除 DITF 外，還有 12 家公司和機構參與了此專案 (表 1)。

該計畫於 2024 年 6 月 1 日啟動，為期 42 個月。

²⁰承購協議 (offtake agreement) 是提前購買或出售生產商尚未生產之部分貨物的協議，此可讓生產商更易於獲得融資。

根據 DITF 表示，該專案成果將是一種獲得專利之循環的、安全的且可永續性發展的生產可回收機能性紡織品之製程。

該製程將解決人們對機能性成衣產業缺乏環保永續性發展的擔憂，該製程也將專門設計應用於運動服、戶外成衣和工作服領域。

該製程要解決之一個關鍵問題是用於賦予機能性成衣防水、防油等機能特性的現有化學品之毒性。

機能性成衣製造商歷來在防水成衣的製造中使用全氟和多氟烷基物質 (per- and polyfluoroalkyl substances, PFASs)²¹，因為這些物質具無與倫比之疏水性 (hydrophobicity)²²。

然而，已發現 PFASs 對環保和人類健康構成威脅。尤其是，它們會持續存在於環境中，並已被證明具生物累積性、高移動性和毒性。

同時，該製程也將解決用於賦予機能性成衣產品抗菌特性之現有化學物質的毒性問題。

例如，人們擔心一些現有抗菌劑—包括各式重金屬和奈米銀—對環保和人類健康之影響—尤其是因為使用抗菌劑處理的產品之生物降解的速度很慢。

除解決現有化學物質的毒性之外，該製程還將解決機能性成衣製造過程中產生的廢棄物。

例如，人們希望該製程能利用纖維素、木質素和聚乳酸等可再生原材料來生產可回收再利用和具"生物啟發 (bio-inspired)"之機能性成衣產品。

在整個 BioFibreLoop 專案期間，該製程將在分別位於奧地利、捷克共和國和德國的三個示範工廠中進行測試。

²¹全氟和多氟烷基物質(per- and polyfluoroalkyl substances, PFASs)是一種合成氟化合物，因其具有高水準之防水性而常用於製造耐久防水 (durable water repellent, DWR)表面整理劑、處理劑和薄膜。然而，它們越來越受到環保議題的關注，因為它們具有毒性，會在環境中持續存在，並會在人類和野生動物體內生物累積。

²²疏水性 (hydrophobicity) 是用來描述材料排斥水之傾向性的術語。

該計畫由"地平線歐洲 (Horizon Europe)"資助。"地平線歐洲"是歐盟一項致力於研究和創新的資助計畫，成立於 2021 年，其宗旨在於協助因應氣候變遷，實現聯合國永續性發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)²³，以及提高歐盟之競爭力 and 成長。該計畫預計於 2027 年結束。

BioFibreLoop 專案已獲得 700 萬歐元 (770 萬美元) 的預算，其中 150 萬歐元將分配 DITF，用於其在協調該專案方面所發揮之作用。

根據"地平線歐洲"預測，到 2035 年歐盟 20% 的紡織業預計將採用 BioFibreLoop 計畫開發之製程。

表 1：2024 年參與 BioFibreLoop 專案之公司與機構

機構	說明	總部
ALPhANOV	專門研究光子學 (photonics)、雷射、微波和數位技術之技術中心	法國 Talence
BAT Graphics Vernitech	設計和生產雷射雕刻陶瓷網紋滾筒 (anilox rollers) 和套筒 (sleeves)	法國 Limoges
BE Engineers for Society (BEES)	科技公司	義大利 Bologna
DITF ^a	紡織研究機構	德國 Denkendorf
FreyZein NextGen Textiles	生產利用纖維素製成之機能性材料的紡織公司	奧地利 Graz
Idener	專業從事計算機科學及其應用之研究機構	西班牙 Seville
Imec ^b	從事奈米電子學和數位技術領域之研究	比利時 Leuven
J G Knopf's Sohn	專業從事於先進紡織品加工整理之紡織公司	德國 Helmbrechts
Next Technology Tecnotes-sile	致力於提升紡織產業技術創新與競爭力之研究機構	義大利 Prato

²³聯合國永續性發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) 共有 17 項，旨在應對與氣候變遷、環境惡化、不平等、正義、和平與貧窮相關的挑戰。鼓勵公司和個人努力實現與自身最相關之永續性發展目標。

VTT ^c	專業從事於技術創新之研究公司	芬蘭 Espoo
NFA ^d	致力於監測、分析和探索工作環境狀況之政府研究機構	丹麥哥本哈根
Steinbeis	提供諮詢、研發、培訓和持續專業發展服務之公司	德國 Stuttgart
NIL Textile	生產循環型與創新發展紡織材料之紡織公司	捷克共和國 Ostrava

^a DITF=Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (German Institutes of Textile and Fiber Research Denkendorf–德國 Denkendorf 紡織和纖維研究所)。

^b Imec=Interuniversitair Micro-Electronica Centrum。

^c VTT=Teknologian tutkimuskeskus(Technical Research Centre of Finland–芬蘭技術研究中心)。

^d NFA=Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø (The National Research Centre for the Working Environment–丹麥國家工作環境研究中心)。

資料來源：DITF；地平線歐洲 (Horizon Europe)。

回收再利用技術

Aarhus University 研究人員開發將聚氨酯彈性纖維與其他纖維分離以促進紡織廢料之有效回收再利用的方法

丹麥 Aarhus University 之研究人員開發一個將聚氨酯彈性纖維 (elastane) 與其他纖維分離的方法，以促進紡織廢料之有效回收再利用。

聚氨酯彈性纖維被認為是紡織品和成衣中應用最廣泛的彈性纖維。事實上，它佔據了約 67% 全球彈性纖維市場之比例。

聚氨酯彈性纖維的流行源自於其優異之機能性。例如，它的斷裂伸長率 (elongation at break) 為 200%~800%，這是極高之水準，並且在拉伸到這個程度後它會回復到原來的長度。相較之下，大多數其他紡織纖維在拉伸超過 10% 後只能恢復部分伸長率。

在許多情況下，聚氨酯彈性纖維其他纖維—例如棉和尼龍 (聚醯胺 <polyamide>)—結合，以製成既具彈性又舒適且實用的織物。例如，為牛仔布添加彈性特性已變得越來越普遍。

只需在織物中添加少量之聚氨酯彈性纖維—例如在 1.5%至 5%之間—即可增加足夠的彈性，使織物具"伸展性 (give)"和恢復性，並因此而使其在成衣應用產品中穿著舒適。

在壓縮成衣和泳衣等應用產品中，甚至更高—高達 30%—之添加量，可帶來更加出色的機能性。

然而，儘管聚氨酯彈性纖維在提高成衣之舒適度和機能性方面具潛力，但它卻成為紡織廢料有效回收再利用的重大障礙。

這是因為現有的回收再利用工廠無法處理含有聚氨酯彈性纖維之複雜混合物的紡織廢料。

一般而言，成衣中聚氨酯彈性纖維之含量很小，但一件全棉 T 恤中只要含有 1%的聚氨酯彈性纖維就足以讓該成衣被回收廠拒收。

因此，為在成衣使用壽命終期時有效地回收再利用紡織廢料，自成衣中去除聚氨酯彈性纖維至關重要。

為克服聚氨酯彈性纖維對紡織廢料有效回收再利用造成之障礙，Aarhus University 研究人員開發一種回收含聚氨酯彈性纖維和尼龍混紡紡織廢料的方法。

該方法基於一種名為溶劑分解作用 (solvolysis) 之化學回收技術，該技術透過使纖維與溶劑產生反應而將纖維解聚為其原始單體。

該所得單體適合用於製造新纖維的原材料。

這些研究人員開發之方法需將紡織廢料放入高壓鍋中加熱至 225°C 左右。

達到此溫度後，將酒精和氫氧化鉀 (potassium hydroxide) 形式的溶劑添加到壓力鍋中。

在四個小時內，聚氨酯彈性纖維和尼龍纖維之間的化學鍵就會斷裂，因而導致纖維分離。

展望未來，這些研究人員希望開發一種自棉纖維中分離聚氨酯彈性纖維之方法。

這些研究人員使用現有方法對含聚氨酯彈性纖維和棉混紡的紡織品進行測試時發現，一些棉纖維出現了變質之跡象。但他們認為，只要對現有方法進行微小的調整，就能解決這個問題。

到目前為止，儘管顯示出巨大的之潛力，但這些研究人員開發之方法還沒有完全準備好進行工業化規模的實施。

據這些研究人員表示，為實現規模化，該方法需獲得化學工業和紡織品及成衣產業之認可。

當公佈聚氨酯彈性纖維與其他纖維分離方法的研發成果時，Aarhus University 之跨學科奈米科學中心（Interdisciplinary Nanoscience Center）教授 Steffan Kvist Kristensen 表示：「由於設備的限制，我們只能稍微擴大規模。因此，產業界必須積極採納這項技術，並鄭重推廣.....如果我們想要它獲得成功，就需大型化工廠之參與。但他們必須看到採購回收再利用材料並將其應用於生產新纖維的商業模式。如果他們不這樣做，這項技術就永遠不會普及。」

Trützschler Group 和 Balkan Textile Machinery 合作開發名為 Truecycled 之回收再利用機械生產線

Trützschler Group 是總部位於德國 Mönchengladbach 的紡織機械供應商，而 Balkan Textile Machinery 則是總部位於土耳其 Efeler 之紡織機械供應商，兩家公司合作開發名為 Truecycled 的回收再利用機械生產線。

通常，機械回收再利用製程會產生品質較差之纖維，由於它們在加工過程中會被撕裂，因而比原生纖維（virgin fibres）短得多。

該 Truecycled 回收再利用機械生產線的開發正是為解決這個問題。

該生產線能透過轉化紡織廢料來生產高品質之氣流紡短纖紗（open-end rotor spun yarns）和環錠紡紗（ring spun yarns）。

紡織廢料的形態如下：

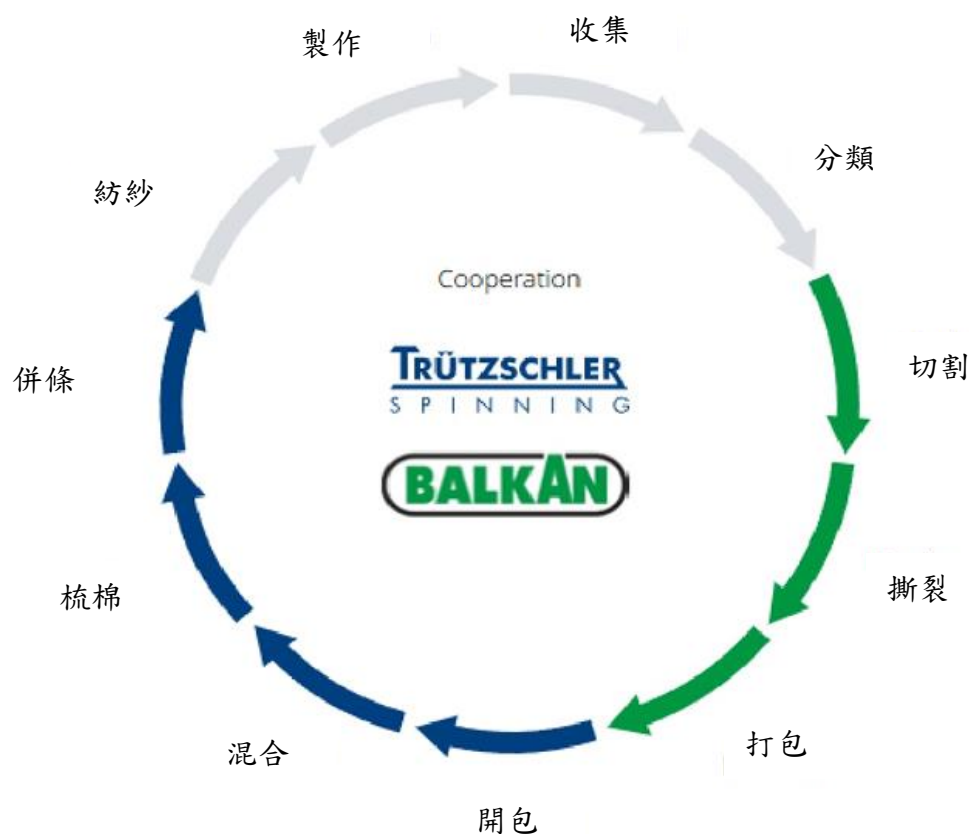
- 梳棉機廢料（card waste）；
- 清棉間廢料（blow room waste）；
- 落棉（noil）²⁴；
- 消費前廢棄物；及
- 消費後廢棄物。

²⁴落棉（noil）一詞是指在紡紗之精梳（combing）過程中去除的短纖維。

Balkan Textile Machinery 提供將紡織廢料切割、混合和撕裂成纖維束之機器。然後將這些纖維束壓製成捆並送入 Trützschler Group 的機器中。

Truecycled 生產線範例之一包括以下機械：DTA61-DTA62 裁切式切割機 (guillotine cutter); DT80 儲藏室 (boxroom); DT70 進料裝置 (feeding unit); DT30 撕裂機 (tearing machine); 打包機 (bale press); 纖維包 (fibre bales); BO-P 開包機 (bale opener); SP-MF 分離器 (separator); MX-U10 混合器 (mixer); CL-U 清潔器 (cleaner); TC 19Ri 梳棉機 (card); IDF 3 一體式併條機 (integrated draw frame); 氣流紡紗 (rotor spinning) 設備; TD 10 併條機 (draw frame); 以及環錠紡紗 (ring spinning) 設備。

圖 3：Truecycled 圖示



資料來源：Trützschler Group

為減少纖維被縮短的程度，Truecycled 採取多項措施來減輕纖維損傷。

- 首先，撕裂機在纖維開包時採用輕柔之裝置，以盡量減少對纖維的損傷。

- 其次，剩餘之未開包纖維和織物在清棉間內處理，採用同時開包、清潔和混合纖維的配置。
- 第三，TC 19Ri 梳棉機能溫和而有效地處理纖維。
- 第四，該生產線採用了 IDF 3 一體式併條機之減量拉伸製程。其拉伸力足夠高，可為短纖維提供"出色的勻整度 (excellent levelling)"，同時其拉伸力又足夠低，可防止纖維游離。