

親愛的，我把鞋子全部循環回收了！

全循環單一聚酯材料低碳鞋

全球運動鞋年銷40億雙，產生150萬噸的鞋廢料，逾7成無法回收再利用。工研院研發出全球首創「全循環單一聚酯材料低碳鞋」技術，以創新聚酯彈性體材料「rTPEE-G」，結合中大底一體化射出成型、鞋面一體化編織技術與回收再製性驗證，讓最難以回收的中底與大底以及整雙鞋，得以循環再利用。



工研院開發出「全循環單一聚酯材料低碳鞋」技術，回收運動鞋各部位，循環再利用，新材料更具有高性能、可回收再製、採用再生與生質料源、低碳等優點。



撰文／林玉圓

疫後健康意識抬頭，運動鞋銷量大好，帶動每年高達800億美元的產值。龐大產值的背後，運動鞋產生的廢料也相當可觀。鞋面材質雖然較易回收，但中底與大底大多採用以交聯製程所製得的乙烯-醋酸乙酯共聚物（EVA）發泡體與橡膠材料，雖然目前已有可回收的熱塑性聚胺酯（TPU）中底發泡材料，但由於中、大底使用接著劑牢牢黏合，分離不易，更增加回收難度。

根據運動品牌大廠Nike調查，大多數的鞋廢料僅能以焚燒處理，因此每雙鞋由製造到最後廢棄的平均碳排放量高達13.6kgCO₂e（公斤二氧化碳當量），年復一年的累積，成為環境的致命傷。近年

品牌鞋廠在永續浪潮下，積極尋求低碳排與可回收方案。臺灣為製鞋大國，也積極投入供應鏈的減碳創新，並向工研院尋求技術奧援。

工研院長期耕耘材料聚合技術，從製衣、汽車零件到製鞋材料，對於上游聚酯單體的特性十分熟悉，挾多年的材料專業，開發出「全循環單一聚酯材料低碳鞋」技術，其新材料具有高性能、可回收再製、採用再生與生質料源、低碳等優點，其研發歷程分為三大階段。

工研院獨家創新 低碳聚酯彈性體rTPEaE

首先是新型彈性體材料成功開發。工研院運用



「全循環單一聚酯材料低碳鞋」獲得全球百大科技研發獎（R&D 100 Awards）入圍的肯定。

寶特瓶回收片，以醇解技術獲得PBT或PET寡聚物，輔以生質料源如蓖麻油等，提煉單體（PTMEG、Bio-PO3G）再進行共聚反應，最後開發出高分子量的低碳聚酯材料「rTPEE-G」。接著，以rTPEE-G單一材料為基礎，進一步開發出不同硬度與性能之聚酯材料，以滿足全鞋不同部位的性能要求。例如製成紗線用於編織鞋面，配合編織結構設計使鞋面同時具有包覆性佳且彈性舒適的特點；足弓部分的平衡片則以高硬度rTPEE-G射出製成，具強大支撐力；中底採用超臨界射出發泡技術，可兼顧高回彈、舒適與支撐；大底則透過混煉製程開發出高耐磨、高止滑的聚酯材料並配合射出加工製成。

一體化射出發泡製程 進一步輕量化減碳

第二階段是加工製程的創新，分為中大底及鞋面兩大部分。工研院研發的無熔膠一體化射出成型發泡技術，以rTPEE-G製作中大底，將材料熔融後同時導入超臨界CO₂或氮氣，並在射出的同時在模具內發泡形成特定中底形狀；因採用CO₂作為發泡劑，並未增加碳排，更加環保。與傳統EVA的模壓發泡製程相較，具有加工更快、精度更高、鞋體輕量化的優點，因此碳排量極低，估計每雙鞋將可低於2kgCO₂e，較全球運動鞋平均碳排量減少8成，比起當前全球碳排最低的鞋款還要減碳。

全鞋設計上則採用減法原則，透過簡化設計以降低不必要的鞋重量，在鞋面部分，同樣使用rTPEE-G製成的彈性紗線，並與保特瓶回收紗rPET配合一體成型編織技術，可調控不同

的編織密度及強度，具有彈性與透氣性。

第三階段是廢鞋回收再製技術。以上述兩項創新製程為基礎，工研院更進一步著手開發全鞋老化後的回收再製流程，完成循環經濟的最後一哩路。由創新材料rTPEE-G製成的全循環低碳鞋，因採用單一材料，老化後可直接回收破碎，重新加工製成鞋款、鞋部件或瑜珈墊等運動用品，近期可望製成本土特色的夾腳拖問市。

3項核心專利入手 商業化進程在望

工研院材料與化工研究所經理吳晉安坦言，研發過程曾遇到不少瓶頸，例如在上游材料的解聚過程即投入近一年的時間，須控制各種複雜的變因，包括解聚劑的選擇及用量、反應觸媒應採用何種系統及反應時間；另外，在共聚製程中單體的選擇對於材料的黏彈特性變化，也花費大量時間探索。此外，一體成型的射出發泡製程，也曾遇到品質不穩定的挑戰，必須一再嘗試，確認材料流變性能與中、大底模具設計等，才能生成最適當的中底及大底。

如今克服萬難，成功研發出「全循環單一聚酯材料低碳鞋」，並獲得全球百大科技研發獎（R&D 100 Awards）入圍的肯定，從材料、製鞋流程及回收應用，形成一個完整的循環，技術已趨於成熟，2022年更獲得3項核心專利。未來將與國內鞋廠及供應鏈攜手，推動商業化，無論是提供創新材料、技轉業者，或成立自有品牌均大有可為。■

全鞋回收

