

# 3D 列印

## 如何重塑全球鞋業商業與永續價值鏈

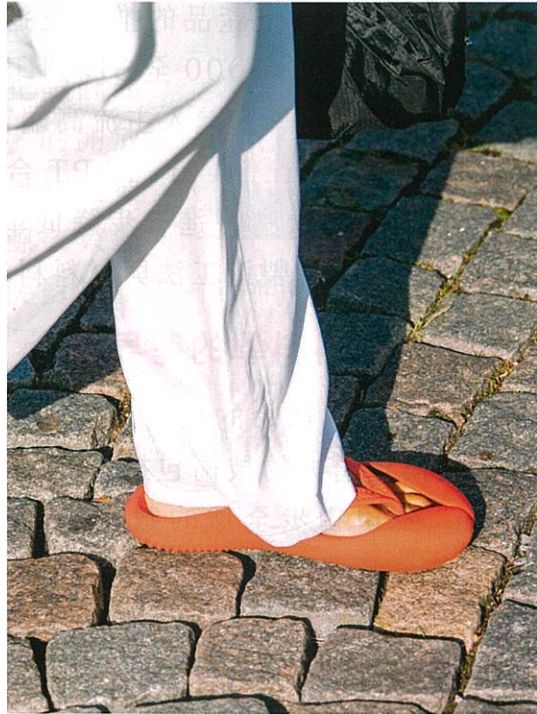
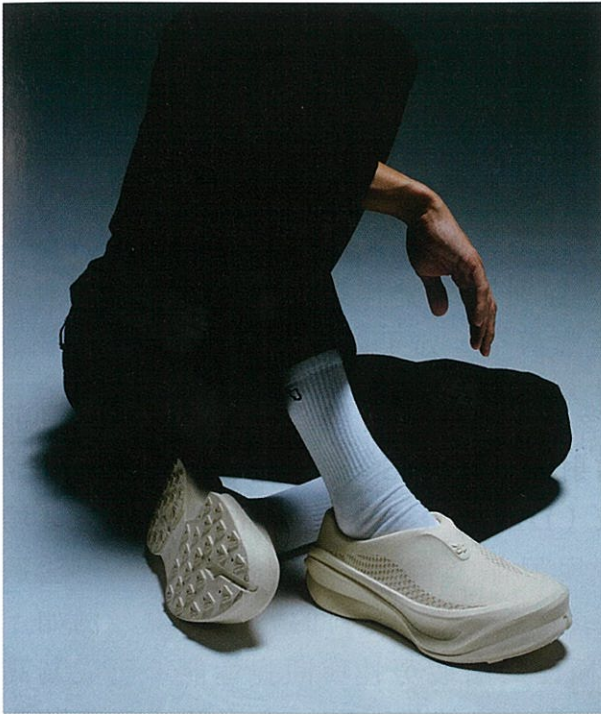
圖·文 / 編輯室整理報導

**全**球鞋業正經歷一場從「原子到位元」的維度跳躍，積層製造技術正以數位學生的邏輯，徹底瓦解長達一世紀的生產困境。透過仿生晶格結構與高性能材料的精準融合，鞋履已從大批量生產的工業品，進化為按需供應、適配個人生物力學且可 100% 循環再造的資產。這場革命不僅透過大幅減碳與極致省水實踐了環境承諾，更在極速響應市場需求的過程中，定義了一個由科技驅動、設計民主化的新生產文明，讓每一步都成為對未來永續秩序的深刻實踐。

### 從傳統製造到數位學生的範式轉移

在過去的一世紀中，鞋類製造始終受困於勞動力密集且工序極端複雜的傳統模式。從鋼製模具的開拓、材料的化學發泡到組裝線上的手動黏合，整個產業鏈的運作邏輯已呈現高度僵化。這種依賴規模經濟與廉價勞動力的「推式生產」模型，在面對現代消費者對個性化與即時響應的需求時，正顯現出巨大的結構性疲態。然而，隨著數位化技術的突飛猛進，3D 列印已正式從過去單純的快速原型工具，演變為驅動核心商業競爭力的戰略引擎。這場革命不僅是製造技術的單純更新，更是對整個供應鏈邏輯、庫存管理、資本配置效率以及消費者互動模式的徹底顛覆。

當我們審視傳統的模具製造模式時，不難發現其固有的物理侷限性與財務風險。為了生產一款技術領先的運動鞋，品牌商必須為每一種尺碼、每一種寬度開發昂貴的鋼材模具，這不僅導致了極高的初始投資成本，也嚴重限制了設計的靈活性與市場反應速度。以往每一雙鞋的開發週期往往長達 18 至 24 個月，這種遲滯的節奏在瞬息萬變的社交媒體時代已顯得力不從心。數位化生產的戰略優勢在於它能打破這種物質層面的束縛，透過數位學生技術設計師可以直接在虛擬空間中進行複雜的幾何測試與生物力學模擬。這種從「原子」到位元的範式轉移，讓鞋業開始朝向按需生產、零廢料與極度在地化的方向邁進。



## 邁向百億美元規模的成長曲線與市場動能

根據權威市場研究機構 Metatech Insights 的最新報告顯示，3D 列印鞋類市場的成長潛力正呈現指數級的爆發趨勢。這種成長不僅代表了技術的普及，更預示著製鞋產業底層邏輯的重新架構。特別是北美市場，憑藉著 Nike、New Balance 與 Under Armour 等品牌的強大研發基礎設施，其產值貢獻與技術領先地位極為穩固。根據 Technavio 的分析，北美地區目前佔據全球 3D 列印鞋類市場約 37% 的比例，這一領先優勢源於其成熟的電子商務生態系統與對客製化效能鞋款的強勁需求。

在探討這份經濟動能時，必須深入剖析高昂初始投資與單位生產成本之間的權衡關係。傳統製鞋業的利潤空間來自於單一產品的大量複製，以此來攤提昂貴的模具開發費用。據 DHR Engineering 調查，傳統注入模具的開發費用單個尺碼便可能高達 1,400 美元。若一款鞋具備完整尺碼鏈，品牌商在量產前就必須背負極大的資產壓力與庫存風險。相對而言，積層製造雖然在機器設備與高性能聚合物材料的單價上較高，但它徹底消除了對模具的依賴。在大規模數位生產的脈絡下，品牌能夠透過精確的產能調度與按需供應來攤提風險，不再需要為了降低單價而強迫市場消化過剩的庫存。這種從供給側驅動轉向需求側驅動的經濟模型，正是支撐百億美元市場預期的核心戰略邏輯。

值得關注的是，指標性產品的推出正進一步鞏固消費者的認知。Nike 於 2025 年夏季推出的 Air Max 1000 全 3D 列印運動鞋，其零售價定為 210 美元。由此可以得知 3D 列印技術已具備進入主流高端市場的成本控制能力與溢價空間。此外，隨著 Zellerfeld 與 Fraunhofer IAPT 合作將其生產規模從 200 台印表機擴張至 5,000 台，這種規模化效應將進一步降低單位成本。可是支撐如此商業結構變革的背後，可能是源自於積層製造工法與材料科學的融合。

### 積層製造工法與材料科學的跨界融合

支撐當前鞋業數位革命的技術底層，由多種主流的積層製造工法所構成。目前業界公認最具規模化潛力的技術包括選擇性雷射燒結（SLS）、多射流熔融（MJF）以及 Carbon 公司獨步全球的數位光合成（DLS）。材料科學的突破則是這場技術演進的靈魂。以熱塑性聚氨酯（TPU）與尼龍為代表的高性能材料，正透過精確的化學配方調整，展現出超越傳統橡膠或 EVA 發泡材料的物理表現。例如，Carbon 研發的 EPU 45 泡沫材料，其具備極佳的耐疲勞性與回彈性能，已成為高性能運動鞋中底的標竿。而數位建模所創造的「晶格結構設計」徹底解決了傳統化學發泡技術無法克服的均一性問題。透過調整晶格的密度、幾何形狀與壁厚，設計師可以精確定義鞋底不同區域的硬度與支撐力，Adidas 的 4DFWD 系列即是最佳案例。

此外，LuxCreo 推出的「ActiveMemory Polymer」材料技術，進一步強化了 3D 列印在功能性鞋類上的應用。這種具備形狀記憶與動態響應特性的材料，結合 LuxCreo 的「One-Click Ecosystem」一鍵式數位製造系統，將有機會降低從設計到實體化的人力干預。對於鞋類零件而言，TPU 的吸震性、耐磨性與輕量化表現，使其在取代傳統多個鞋類零組件的過程中扮演核心角色。當技術突破了設計與材料的物理障礙，商業競爭的焦點便自然轉向了如何滿足消費者對於「唯一性」與個人化體驗的追求，這便引發了商業模型的革新機會。



▲ 亞瑟士與 LuxCreo 合作製作的 ACTIBREEZE™ 混合涼鞋。



▲ LuxCreo 3D 列印機列印鞋墊



▲ LuxCreo 智慧工廠

## 大規模訂制與彈性的商業模型革新

以 Zellerfeld 為代表的先鋒企業，正試圖建立一個被媒體譽為「鞋類界 YouTube」的開放式製造平台。在這種模型中，獨立設計師不再需要依賴大型跨國企業的研發預算與模具資源，只需上傳符合規範的數位設計檔案，便能直接對接全球市場。

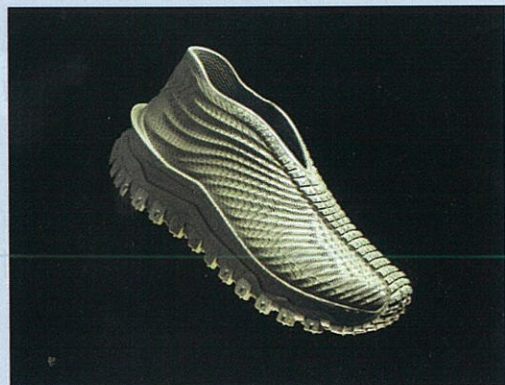
這種設計權利的下放，不僅激發了 SYMBIOSIS-1 等極具未來感的設計，更將鞋類的生產主權交還給了創意者。根據 Zellerfeld 的營運數據，該平台賦予設計師高達 60% 的利潤分成，這與傳統品牌僅支付微薄版稅的模式形成了強烈對比。



▲ SYMBIOSIS-1



▲ Zellerfeld 與 Louis 合作的鞋款



▲ Zellerfeld 與 Moncler 合作的鞋款

這種大規模定制的核心技術支撐，來自於行動裝置感測器的普及。現代消費者利用 iPhone 內建的 LiDAR 掃描功能，便能在家中自行擷取精確度極高的腳部 3D 數據。這些數據隨後會被傳送至雲端工廠，透過演算法進行自動化擬合，生產出完全符合個體解剖學構造的鞋款。這種數位化精準度極大地降低了因尺寸不合而產生的退貨成本。此外，Zellerfeld 與 Louis Vuitton 或 Moncler 的跨界合作，進一步證明了 3D 列印在奢侈品時尚界的身分價值。這種「按需生產」的模型不僅解決了經濟層面的資本占用，更從根本上解決了傳統鞋業每年約有 20% 產品因滯銷而直接進入掩埋場的浪費問題。

這種商業模型的成功轉向，標誌著鞋業正從「重資產、慢響應」的傳統製造業，轉型為「輕資產、高頻響」的科技服務業。在這種結構下，實體店鋪的角色將從庫存中心轉變為體驗與掃描中心，而真正的生產行為則發生在離消費者最近的微型數

位工廠中。這種追求極致效率與精準供應的趨勢，自然而然地引領我們進入數位製造最具競爭力的核心優勢議題：永續發展與循環經濟。

## 永續發展與循環經濟的實務落地

在當前的企業環境治理框架下，3D 列印所帶來的永續價值已超越營銷噱頭。根據耶魯大學與 3D 列印新創公司 HILOS 聯合發布的環境影響評估研究，積層製造在減少環境足跡上展現了驚人的實力。研究數據顯示，相對於傳統的全球供應鏈模式，HILOS 的數位製造流程能有效減少 48% 的碳排放量，而在水資源的消耗上，其減幅更達到了驚人的 99%。更具戰略深度的是「單一材料設計」的實現。

傳統運動鞋通常由多達 60 多個不同材質的零件組成，並透過強效化學膠水進行不可逆的黏合，這使得鞋子在丟棄後幾乎不可能進行物理分離與回收。然而，3D 列印技術能夠利用單一的高性能 TPU 聚合物，透過改變內部晶格的「幾何密度」來同時實現鞋面的柔韌性與中底的支撐力。當整雙鞋僅由單一材料構成且不含膠水時，其在生命週期結束後可以被 100% 破碎、清洗並重新作為列印線材或粉末使用。

因此，HILOS 與 Zellerfeld 皆已建立起這種「產品回收」的閉環機制。消費者將舊鞋寄回，可換取下次購物的折扣，而品牌則獲得了穩定、低成本的再生原料。這種「循環經濟」不僅符合歐盟日益嚴苛的廢棄物法規，更在消費者心中建立了深度的品牌忠誠度。隨著永續性成為推動生產線回流的重要拉力，在地化生產的經濟效益與環境優勢也隨之同步浮現，成為新時代品牌避險的關鍵戰略。

## 營運效率與在地化的產能優勢

在國際情勢動盪的時代中，供應鏈的不穩定迫使國際品牌需要擺脫遠洋代工的製造體系。因此，以 DHR Engineering 的自動化列印農場實驗為代表的「在地化生產」戰略，為產能回流提供了實質的技術路徑。透過部署大規模的自動化 3D 列印機群、機器手臂與雲端管理系統，企業能夠在主要消費市場直接建立「微型工廠」。此外，當我們深入解析 DHR Engineering 的財務模型可以發現，生產一雙完成度極高的 3D 列印運動鞋，其成本約為 15.42 美元。雖然這一數字看似高於傳統中國工廠約 6.50 至 9.00 美元的「出廠價」，但考量到「落地成本」的全貌，應包括高達 37% 的進口關稅等隱性成本。當這些看不見的成本被量化後，3D 列印在在地化生產中的總持有成本已對許多中高階鞋款展現出極強的競爭力。

然而，Adidas 的 Speedfactory 案例提供了寶貴的教訓。這個早期的自動化嘗試之所以失敗，並非因為自動化技術本身不足，而是因為它試圖去自動化「舊有的製程」，而非「針對自動化進行重新設計」。現代成功的模式則是從設計階段就

完全排除需要人工介入的縫紉與黏合，實現了真正的 24/7 持續運作。這種「針對自動化而設計」的轉向，讓品牌能夠以最少的人力依賴，抵銷歐美地區的高昂薪資成本，從而達成供應鏈的韌性與反應速度。這種高效生產模式，正成為時尚品牌搶攻瞬息萬變市場的秘密武器。

### 加速高階訂製結合快時尚的數位轉型

在時尚與速度的角力場上，3D 列印正扮演著催化劑的角色，模糊了「高級訂製」與「快時尚」之間的界線。國際知名設計師 Alexander Wang 與 HILOS 合作開發的 Griphoria 鞋款，便是將高端設計美學與數位製造工藝結合的絕佳典範。這款鞋不僅展現了 3D 列印在極細鞋跟與複雜曲面上的製造精度，更傳遞了「Alpha 女性」堅韌且複雜的設計語彙。與此同時，像 Steve Madden 這樣的快時尚巨頭也在積極導入 3D 列印技術，其戰略核心在於將產品研發週期從傳統的 18 個月縮短至驚人的 3 個月以內。



▲ 透過 3D 列印製作的細高跟鞋



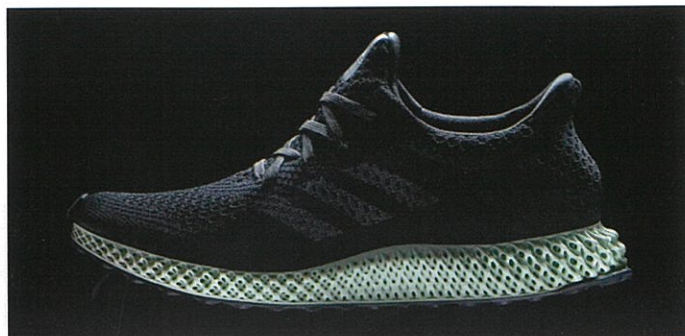
▲ Steve Madden 與 Hilos 合作的鞋款

這種極致速度的演進，讓品牌商能夠即時回應社交媒體上的流行趨勢。透過 AI 工具設計團隊可以在幾天內完成從草圖到可穿戴原型的轉化。甚至，利用 AI 進行前期創作流程的優化。免模具的特質意味著品牌可以進行「極小規模」的試水生產，若市場反應熱烈則在雲端工廠迅速擴產。反之，若反應平平則立即停止，這對於達成高毛利轉化並避免庫存災難具有關鍵意義。

此外，Adidas 升級後的 Strung 技術結合了 3D 列印與 AI 驅動的設計，能夠根據個體生物力學數據精確編織鞋面纖維。這種極致的技術融合，讓鞋子從一種「靜止的產品」變成了一種「動態的裝備」。隨著時尚產業從重工業式的「大規模生產」轉向科技服務業式的「即時響應」，品牌與消費者之間的關係正被重新定義。消費者不再僅僅是購買者，更是數據的提供者與設計的參與者。這場在步履間展開的變革，正帶領我們進入鞋業轉型的終局。

### 3D 列印重新定義步行的未來

綜觀全球鞋業的數位版圖，可以得知 3D 列印已脫離「實驗性」標籤，轉為自動化、永續化與客製化趨勢下的必然路徑。過去被視為利基市場或概念展示的積層製造技術，如今正成為對抗傳統全球供應鏈斷鏈風險的堅實護盾。



根據 Metatech Insights 的最新預測，3D 列印鞋履市場將在 2035 年達到 132 億美元的驚人規模；與此同時，DHR Engineering 的實證研究也指出，在地化 3D 列印生產在成本效益上已完全具備可行性，打破了過往「高科技等於高成本」的迷思。這意味著，全球鞋業正從依賴跨國低廉勞力的舊時代，大步邁向高度自動化、區域化的數位新賽道。

在這場技術與美學的交匯中，鞋子將不再是大量生產、規格統一的工業標準品，而是透過數位掃描、AI 優化與精密積層製造所產生的「個體生物力學延伸」。傳統製鞋邏輯往往是「讓腳去適應鞋」，但當生成式 AI 深度滲透設計端時，這個邏輯將被徹底顛覆。透過擷取個人的步態動態、足弓壓力分佈與運動習慣，AI 能在毫秒內運算出最符合個人解剖特徵的複雜晶格結構。這種由數據驅動的精密製造，不僅賦予鞋底兼具輕量化與極致避震的雙重優勢，更讓消費者的每一次跨步，都能獲得專屬的動能回饋與防護。

展望未來十年，隨著企業推動的智能雲端工廠日趨普及，全球鞋業將徹底完成從勞動力密集型傳統產業到高科技服務業的變革。這不僅僅是關於一雙鞋如何被生產，更是一場關於人類如何與物質世界互動、如何定義個人化擁有感，以及如何在全球化的動盪中尋求製造鏈透明度與韌性的深刻改革。耶魯大學的研究便清晰呈現 3D 列印在環境減負上的強大實力。透過「按需製造」大幅削減過剩庫存，並結合可回收的單一材料科技，徹底實踐循環經濟。這場革命正建構出一個更加理解人類解剖細節、更加尊重地球資源極限的新型工業文明，讓每一步跨出的，不僅是無與倫比的舒適感，更是對地球永續的堅定承諾。👟

#### 資料&圖片來源

↗ 各品牌與組織官網

↗ 3dprint.com: 3dprint.com/