

工業 5.0 願景下人形機器人能否成爲“新員工”？

■文：編輯部

引言

在全球製造業加速數位化轉型的背景下，工業 5.0 (Industry 5.0) 的提出標誌著人類對技術與社會關係的重新思考。根據歐盟委員會 2021 年發佈的《工業 5.0 白皮書》，工業 5.0 的核心是“以人為本的工業”(Human-Centric Industry)，其目標是通過技術與人類的協同，解決社會老齡化、資源短缺等全球性挑戰。與此同時，人形機器人作為工業 5.0 的重要載體，正在從實驗室走向現實世界。根據麥肯錫 2024 年報告，全球人形機器人市場規模預計將在 2030 年達到 7 萬億美元，成爲繼智慧手機後最具顛覆性潛力的技術領域。

一、工業 5.0 的願景：從技術驅動到以人爲本

工業 5.0 的概念由歐盟於 2021 年首次提出，其核心是“以人為本的工業”。與工業 4.0 強調自動化和效率不同，工業 5.0

更注重技術與人類的協同，目標是通過人工智慧 (AI)、物聯網 (IoT) 和協作機器人 (Cobot) 等技術，增強人類的創造力與生產力，同時解決社會老齡化、資源短缺等全球性挑戰。

在物聯網、人工智慧、機器人和自動化等技術的推動下，工業 5.0 的市場潛力正在迅速擴大，預計到 2033 年將達到約 9640 億美元，複合年增長率 (CAGR) 為 21.7%。

Mouser 公司在其白皮書中指出：工業 5.0 可實現高度個人化的按需生產，還將優先使用可再生能源，減少浪費，並將掌控權牢牢掌握在人類手中。工業 5.0 不僅僅代表下一個階段的技術發展，更是社會進步與工業創新相結合的一種有意識的轉變。它能夠迫使工程師重新思考一個問題，就是技術在創造一個恢復能力強的以人為本工業環境時，究竟扮演了怎樣的角色。在這樣的環境中，創新不只是為生產力服務，它也為社會福祉服務。

圖說：工業 4.0 與工業 5.0 的對比示意圖



圖片來源：Mouser

工業 5.0 的優勢與改進：

1. 技術與人類的協同

工業 5.0 的特徵是“人機協作”(Human-Robot Collaboration)。例如，協作機器人已廣泛應用於汽車製造、醫療設備生產等領域。根據國際機器人聯合會 (IFR) 2025 年發佈的報告，2023 年全球協作機器人市場規模達到 18 億美元，預計到 2030 年將突破 70 億美元。這些機器人不僅能在實體層面與人類互動，還能通過多模態感知 (視覺、語音、觸覺) 理解人類意圖。

2. 可持續性與個性化生產

工業 5.0 強調“綠色製造”和“大規模定制”。通過 AI 優化

生產流程，企業可減少能源消耗和原材料浪費。例如，德國西門子的數位孿生技術已說明製造業降低 20% 的能耗。同時，消費者對個性化產品的需求推動了“按需製造”模式。根據麥肯錫的研究，2025 年全球個性化定制市場的規模將達 5 萬億美元，而工業 5.0 的技術基礎正是實現這一目標的關鍵。

3. 社會價值與倫理考量

工業 5.0 的願景超越了經濟範疇，試圖解決社會問題。例如，人形機器人 (Humanoid Robot) 在老齡化社會中的應用備受關注。英國拉夫堡大學教授 Massimiliano Zecca 指出：“機器人不僅是技術工具，更是社會服務的延伸。它們可以承擔護理、康復等任務，緩解勞動力短缺問題。”然而，這一願景也引發倫理爭議。例如，如果機器人因錯誤操作導致事故，責任應由誰承擔？資料隱私如何保障？這些問題在工業 5.0 的設計階段就需要納入考量。

二、人形機器人：走向產業化

人形機器人因其高度擬人的形態和多功能性，被視為工業 5.0 最具潛力的技術之一。從特斯拉 Optimus 的 22 個自由度手部設計，到波士頓動力 Atlas 的敏捷性突破，人形機器人正

在從“舞臺表演”走向“工作崗位”。在汽車製造中，人形機器人可完成分揀配料；在船舶製造中，其強大的力量與精準控制能力可替代人工進行打磨拋光。在火災、洪水等災害場景中，可搭載熱成像儀和氣體檢測設備，協助搜救被困人員。

人形機器人的發展依賴於三大核心技術的協同進步：

■多模態生成式 AI：通過處理圖像、聲音、文本等多類型資料，機器人能夠理解複雜環境。例如，特斯拉 Optimus 通過視覺識別障礙物，並結合語音交互與人類溝通。

■低成本感測器：雷射雷達 (LIDAR) 的價格從 10 萬美元降至 1 萬美元，體積縮小了 1000 倍，極大降低了人形機器人的經濟門檻。

■高精度執行器：線性執行器、伺服電機等元件的進步，使機器人具備搬運重物和精細組裝的能力。

2025 年被業界稱為“人形機器人產業化元年”。2025 年世界機器人大會資料顯示，全球人形機器人企業數量在過去三年增長 300%，其中 50 家頭部企業將在工業製造、醫療護理、家庭服務等領域推出超過 100 款新品。資本市場同樣熱情高漲。例如，2025 年 8 月 6 日，人形機器人概念股集體爆

圖說：人形機器人工作示意圖



發，中國國內某支機器人公司股票單日漲幅達 15.94%。

埃隆·馬斯克 (Elon Musk) 在 2025 年世界機器人大會上預測：“到 2040 年，全球可能擁有 10 億至 1000 億台人形機器人。它們將打破傳統經濟限制，創造一個資源無限豐裕的未來。”這一願景在描述美好未來的同時，也揭示了人形機器人对社會結構的潛在顛覆性影響。

三、挑戰與問題：技術、成本與倫理的多重困境

人形機器人結構複雜、質心高、支撐面積小，動態平衡控制難度遠超四足結構，但已有顯著進展。例如，波士頓動力的 Atlas 機器人，能夠完成後空翻、在複雜地形行走等複雜動作，展示出先進的運動控制能力。通過改進模型預測控制 (MPC) 和加權整體控制 (WBC) 等演算法，結合強大算力支持，不斷提升機器人運動穩定性與靈活性。目前這些演算法仍存在建模複雜、算力消耗大等問

題，限制其在更廣泛場景應用。

技術瓶頸：路線未定與數據缺失。根據國際機器人聯合會 (IFR) 2024 年報告，目前絕大多數全能型人形機器人產品處於 Lv1 等級 (基礎能力實現)，少部分企業最新產品和輪式機器人等其他形態的人形機器人正在逐步向 Lv2 等級探索。例如，Optimus 機器人已進入工廠“實訓”，實現對電池單元進行準確分裝及糾錯能力。北京 CASBOT 聯合創始人張淼指出：“當前技術成熟度不足以回答‘機器人能幫我幹什麼’這一核心問題。類似智慧手機爆發前，需要觸屏、晶片、作業系統等關鍵技術的融合。”此外，實際作業資料的缺失是另一大瓶頸。例如，某公司在農業機器人研發中發現，採摘草莓需要反復調試抓取力度，僅靠實驗室資料難以滿足複雜環境需求。

成本與供應鏈壓力：人形機器人若要大規模普及，必須解決成本問題。以特斯拉 Optimus 為例，其硬體成本動輒數十幾萬美元，遠高於目前工業產線上的流水線機器人產品。為了節約成本，特斯拉 Optimus 使用新材料技術為機器人減重，目前機器人的減重技術依賴於 PEEK (聚醚醚酮，具有耐高溫、自潤滑、易加工和高機械強度性能的特種工程

塑料) 材料。(據報導，每台 Optimus 使用 5-8 公斤 PEEK 材料，若按 2030 年全球 60 萬台人形機器人產量計算，PEEK 需求量將突破 1170 噸。)馬斯克預測人形機器人達到 100 萬台大規模量產之後，售價才可能降至 2 萬到 2.5 萬美元左右，具備大規模推廣性價比基礎。

倫理與法律風險：人形機器人的普及將引發一系列倫理爭議。例如，如果機器人因錯誤操作導致事故，責任應由製造商、軟體發展者還是用戶承擔？資料隱私問題同樣不容忽視。歐盟《人工智慧法案》(2024 年通過) 明確要求高風險 AI 系統 (如人形機器人) 必須通過嚴格的合規審查。例如，機器人必須具備“可解釋性”功能，確保人類操作員能夠理解其決策邏輯。這一要求可能延緩技術落地速度，但也為全球 AI 倫理框架提供了參考。

社會接受度與就業衝擊：儘管工業 5.0 強調“人機協作”，但部分勞動者仍對機器人取代工作感到擔憂。根據世界經濟論壇《未來就業報告 2025 年》，到 2025 年，全球約 8500 萬個工作將被機器人取代，但同時將創造 9700 萬個新工作。例如，機器人的維護、程式設計和管理工作需求將大幅增長。如何平衡技術進步與社會公平，

將是各國政府須面對的課題。

結語：

在工業 5.0 願景下，人形機器人類備成為“新員工”的潛力，且已在部分工業場景取得初步應用成果。其技術不斷進步，市場需求持續增長，與工業 5.0 的理念高度契合，為未來發展奠定良好基礎。然而，要真正大規模走進工廠，成為企業不可或缺的“新員工”，還需跨越成本、技術成熟度、安全規範、市場認知等諸多障礙。未來，隨著技術創新持續推進、產業生態不斷完善、政策支持力度加大，人形機器人有望在工業領域發揮更大作用，推動工業生產模式向更加智慧、高效、可持續方向轉變，成為工業 5.0 時代重要參與者與推動者。

本期內容資料來源引用：

1. 國際機器人聯合會 (IFR)：2025 年全球協作機器人市場規模預測 (來源：IFR 2025 年報告)。
2. 麥肯錫：2025 年全球個性化定制市場規模預測 (來源：麥肯錫 2024 年報告)。
3. 世界經濟論壇：2025 年就業市場變化預測 (來源：世界經濟論壇《未來就業報告》2025 年)。
4. 歐盟《人工智慧法案》：2024 年通過，要求高風險 AI 系統合規審查 (來源：歐盟官網)。
5. 特斯拉 Optimus 供應鏈數據：PEEK 材料需求與產能資料 (來源：2025 年 4 月報告)。
6. 報告及市場資料包括：Allied Market Research；Global Market Insights；Grand View Research；The Research Insights。CTA