

# 中國現在正在測試巨型空中渦輪機

在中國，一項由多家機構參與的研發計畫已經發展出一系列大型漂浮式風力渦輪機原型。這些充氣氣球透過繫繩將電力輸送到地面，可以漂浮在數千英尺的高空，被認為是一種便攜式、低影響的傳統風力渦輪機替代方案。

這項名為「平流層空中風能係統」(SAWES)的計畫由北京清華大學牽頭，並與新創公司北京SAWES能源科技有限公司合作進行。該系統的首個原型機於2024年10月亮相，此後，其尺寸和飛行高度不斷提升。據SAWES公司(也稱為「SAWES公司」)稱，最新型號SAWES S2000是首個兆瓦級空中風力發電系統。

今年1月，S2000在四川宜賓完成了一項測試，該測試在2000米(6600英尺)深的海面上進行，並成功併網發電，這在該公司尚屬首次。測試期間，該渦輪機發電385千瓦時，足以滿足美國一般家庭約13天的用電需求。

據SAWES公司稱，S2000型風力發電機長60公尺(197英尺)，高40公尺(131英尺)，寬40公尺(131英尺)，配備12台渦輪機，總裝置容量為3兆瓦。相較之下，據報道，目前全球功率最大的風力發電機由中國東方電氣集團製造，高度達340公尺(1,115英尺)，裝置容量為26兆瓦。

參與此計畫的北京大學大數據研究副教授王建曉表示，SAWES比傳統渦輪機具有多項環境優勢。

他說：“我們使用的材料比傳統風力渦輪機少90%，我們不需要巨大的混凝土基礎或鋼塔，也不會破壞土壤生態系統。”

“它的視覺和聽覺影響都非常小……在地面上基本上沒有聲音，而且在地平線上造成的視覺障礙也小得多。”

王教授也指出，與傳統風力發電場相比，空中渦輪機更容易被鳥類避開。(研究估計，風力渦輪機每年在美國造成14萬至67.9萬隻鳥類死亡——雖然數量可觀，但遠低於被輸電線路殺死的鳥類數量(估計達數千萬隻)，更遠低於被貓殺死的鳥類數量(根據一項數據綜述，貓殺死的鳥類數量可能高達40億隻)。)

他補充說，目前正在開發的一個應用案例是在中國南方廣東省的一個島嶼上，那裡的地面空間有限，而且受到環境保護，因此不適合建造傳統的風力渦輪機。

據該公司稱，到2025年底，已提交51項專利申請。

王教授表示，工程團隊在材料和電學領域取得了突破性進展，他們利用先進的複合織物減輕了飛機的重量，同時最大限度地減少了氮氣洩漏。SAWES系統運用大氣建模和人工智慧技術，使其能夠自動升降以尋找最佳風速。研究表明，與固定高度的能量收集相比，這種方法可以顯著提高能量產量。

SAWES公司發言人王磊表示，短期來看，SAWES“適用於偏遠地區的供電，或許可以用於離網能源和應急電源”，包括災區，並指出該系統在放氣狀態下相對容易運輸。

展望未來，她認為工業和基礎設施電力供應領域存在應用場景，並補充說，該公司的「最終目標」是向電網提供清潔能源，取代能源結構中的一些化石燃料衍生產能。

根據國際能源總署(IEA)的數據，到2030年，全球風能裝置容量需要成長四倍以上才能達到淨零排放目標。目前，全球風能裝置容量預計在2030年達到2000吉瓦，幾乎翻倍。中國一直是該領域的全球領導者，2023年新增風電裝置容量佔全球新增裝置容量的三分之二(這是IEA公佈數據的最新年份)。

風能儲量豐富，但全球分佈極不均勻。平均風速各不相同，而用於衡量風能潛力的平均風功率密度差異較大。影響因素包括地點、時間、地理環境。

王教授認為，由於SAWES的海拔較高，風速更強且更穩定，因此該系統可以在比傳統地面渦輪機更多的陸地地點產生電力。

丹麥技術大學風能係統系副教授馬克·凱利表示，很難評估這項說法。

他在一封電子郵件中表示，同行評審的研究表明，「各種空中風能係統(AWE)可以捕獲比傳統風力渦輪機更高、更頻繁出現的強風。」但他同時指出，風在100公尺(328英尺)以上高度的傳播特性「並不簡單」。

凱利補充說，他尚未看到關於SAWES原型機的同行評審報告，也未看到任何獨立驗證的關於SAWES在1000公尺(3280英尺)以上高度發電的數據。此外，他對SAWES繫繩技術的原理和驗證很感興趣，因為繫繩長度已被證明是現有高空風能係統的限制因素。

自21世紀以來，人們已經對風箏式風力渦

輪機和橫風爭發電進行了試驗，其中繫繩的運動與地面發電機相連。繫留氣球風力渦輪機也已研發出原型。總部位於加州的Airbine再生能源系統公司十多年來一直在研發管狀渦輪機陣列的概念。Altaeros Energies公司的BAT(浮式空中渦輪機)於2014年進行了試驗，可以升至1000英尺的高度。(Altaeros此後轉向了其他不涉及風力發電的系留氣球項目。)但它們通常體積相對較小，發電量也低於SAWES。

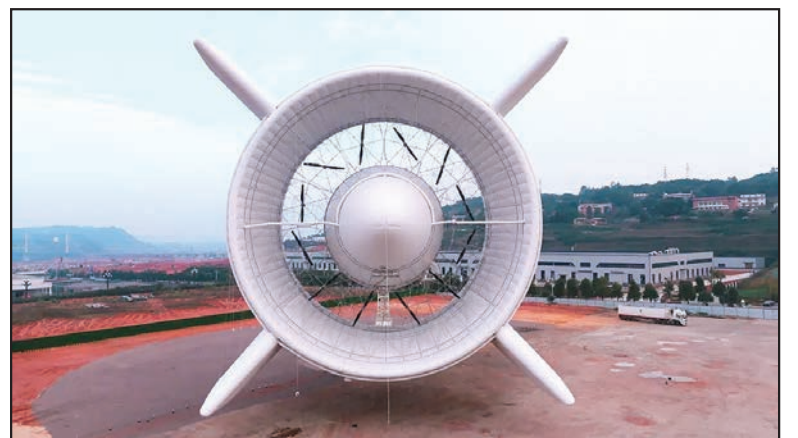
該概念的商業化推廣需要遵守各國的航空法律和電網法規。

在美國，飛艇(包括繫留氣球)的飛行規則與民用航空器有許多相同之處，例如空域限制。例如，飛行高度超過500英尺需要特別許可，並且在機場附近以及地面能見度低於3英里的區域飛行也受到限制。

SAWES計畫致力於為未來的繫留氣球添加更多通訊和監控設備，從而創建所謂的AeroMatrix。

王教授說：“我們可以將這項功能從發電擴展到多功能飛艇，包括無線通信、為無人機或其他電動飛機提供充電服務。它甚至可以作為邊緣站(本地計算節點)進行GPU計算，連接空間衛星、空中飛行和地面集成網絡。”

SAWES公司、北京大學、清華大學和中國科學院航太資訊研究所共同參與了SAWES的研發，這是國家重點研究計畫的一部分。項目組表示，他們沒有被授權披露該項目的資金和細



S2000 原型機的后視圖，原型機高 40 公尺 (131 英尺)，長 60 公尺 (197 英尺)，配備 12 台渦輪機。(SAWES 公司)



S2000 於 1 月在中國四川省宜賓市進行測試。

# 中國人形機器人之夢：當熱度退潮，留下的是泡沫還是繁榮？

在中國，人形機器人已經不再只是小眾的工業技術話題，它已經被納入中國經濟現代化戰略的重要一環。

在最新公布的中國「十五五」規劃中，北京提出全面實施「人工智能+」行動，並明確指出，要加速人形機器人等各類形態產品的升級和應用落地。人形機器人所在的更廣泛領域——「具身智能」——也被列為中國的「未來產業」，與人工智能一起，被寄望成為推動科技自主與經濟增長的新引擎。

從今年春節開始，這項技術也開始走進公眾視野。在央視春晚的舞台上，一批外形近似人類的機器連番登場：翻跟斗、跳舞、打武術、參加小品等等。短短幾個小時，就成了社交媒體上的熱門話題。

然而，在政策和鏡頭之外，另一種情緒也在行業內悄悄蔓延：警惕。

對不少從業者來說，眼下最擔心的，不是人形機器人不夠火，而是它可能火得太快了。

## 資本先行

過去兩年，資本正以前所未有的速度湧入這個賽道。

根據瑞銀統計，中國對人形機器人的投資額已從2022年的4.5億元人民幣增至2024年的40億元，兩年間增長近九倍。中國信息通信研究院則預計，2025年全球人形機器人市場規模將達170億元，其中中國市場將突破85億元，佔全球比重超過一半。

根據市場研究公司「奧姆迪亞」(Omdia)，2025年全球交付的13,000個人形機器人中，大部分來自中國企業。

熱鬧背後，一個問題始終沒有消失：這些機器人，究竟能為人們做什麼？

「一個新產品剛進入市場時，客戶往往先問的不是『它有多先進』，而是『我為什麼需要它』。」一位資深行業從業者對BBC中文說。出於對公司品牌的顧慮，他要求匿名。

「人形機器人今天進入家庭所面臨的質疑，和當年配送機器人進入酒店時，本質上是同一個問題：客戶還沒有真正認可它的價值。」

這位從業者所在的公司主要研發「复合機器人」，產品被廣泛應用於外賣配送、酒店服務等場合。人形機器人在類似能力之上，疊加了人的外形和操作能力，試圖完成更複雜的任務。這兩類機器人都屬於中國當下最受追捧的產業概念之一：具身智能。

中國最早布局人形機器人賽道的創業者之一、頭部機器人製造商優必選(UBTECH)創始人周劍，最近在接受中國媒體採訪時，也提出了疑問：如果一台人形機器人能跳舞、能踢腿，最後卻連一杯水都不能幫人拿過來，那它的意義又是什麼？

業內擔心，隨著資本大量進入，人形機器人產業可能很快就會出現同質化競爭。

上述業內人士表示，新進者最常見的策略，就是「用融資換低價」。在缺乏品牌累積、演算法能力和真實場景驗證的情況下，價格往

往成為他們打開市場的主要手段：先透過融資生產設備，然後再以融資換價格快速進入市場。

這種策略短期內可能帶來銷量，但也可能衝擊行業長期發展。

成熟的企業更重視的是經營效率和商業模式是否能夠持續運作。機器人產品必須在真實場景中高頻、穩定地被使用，企業才能透過持續訂單覆蓋研發、生產和維護成本。

如果市場受到短期低價競爭的主導，企業反而可能更建立穩定的商業模式。

## 政策推動

人形機器人熱潮背後，有非常明確的國家戰略。

在最新公佈的「十五五」規劃和政府工作報告中，人工智慧、「AI+」行動、具身智慧等，都被放進了更突出的政策位置。北京希望透過AI與機器人技術提升製造業、物流、教育、醫療等多個領域的效率，以因應經濟放緩、人口老化和與美國的科技競爭。

這使得人形機器人在中國不僅僅是一個創業賽道，更像是被納入國家工業升級敘事的工程。

對北京而言，它一頭連接著晶片、AI模型和高端製造，另一頭則連接著勞動力短缺、養老壓力和尋找新增長點的現實需求。

「目前既是政策驅動也是資本驅動的繁榮期」，專注機器人與自動化的諮詢公司施帝萊(Stieler Technology & Market Advisory)亞洲區經理喬治·施帝萊(Georg Stieler)對BBC中文說。

「但未來必然會經歷挫折，發展速度可能比預期更慢。」他說。

中國在市場競爭中的一個重要優勢，是上游供應鏈較完整。深圳、上海、蘇州等區域正形成產業集群，涵蓋感測器、運動控制、伺服系統等多個環節。

這種完整的硬體生態可以縮短研發週期，提升量產能力，並推動整機成本下降。

也正因此，今天中國的人形機器人熱，是一場由政策、資本和製造能力共同推動的產業熱。

## 誰在買單？

當「未來已到」的敘事越來越響亮，一個問題也浮現出來：到底是誰在為這些機器人買單？

至少到目前為止，答案並不是普通家庭。政府機構是最早的買家之一。路透社報導稱，中國政府採購人形機器人及相關技術的金額將從2023年的470萬元人民幣增加至2024年的2.14億元。《經濟學人》也指出，地方政府和政府相關機構，很可能仍是中國人形機器人產業的重要買家之一。

北京智源人工智慧研究院的資料顯示，2021年4月至2025年3月期間，頭部企業宇樹科技(Unitree)的百餘個得標項目中，科研

類大學是採購主力，近30所大學曾採購相關產品。到了2025年，客戶結構發生變化，國企、央企、工業客戶的訂單增加。

這些變化說明，產業正從實驗室需求緩慢走向產業需求。但它也提醒，人形機器人尚未真正進入大規模消費市場。即使在中國這個對新科技接受度很高的市場，真正把一台人形機器人買回家的人仍是少數。

從這個意義上說，人形機器人眼下的熱度，更像是一場由展示、示範和試點共同撐起的繁榮，而不是一個已經被證明成熟的大眾市場。

## 現實需求與二次購買？

不過，這場熱潮並非建立空想之上，人形機器人的需求，確實有其現實背景。

中國社會正在加速老化，一些製造業崗位長期面臨招工困難。危險、枯燥、重複的職位一直存在「機器換人」的現實需求。人形機器人被寄望於進入工廠、倉庫、醫院和養老機構，承擔那些人不願做、難以長期做、或存在風險的工作。

市場對前景的預期在升溫。摩根士丹利今年1月把中國2026年人形機器人銷量的預測上調至2.8萬台，成長幅度達一倍。

科技巨頭也在加碼。美國電動車企業特斯拉近年把更多資源押注在具身人工智慧和旗艦人形機器人「擎天柱」(Optimus)上。首席執行官馬斯克多次公開表示，中國企業可能成為其最強勁的競爭者。在1月底的業績電話會上，他稱中國將是人形機器人領域的「最大的競爭對手」，並稱外界低估了中國在製造與人工智慧上的綜合實力。

但即便如此，行業內部仍保持謹慎。多位受訪人士指出，幾乎所有新技術早期都需要一個「非完全市場化」的成長階段。真正的考驗在於，這些需求能否轉化成持續、穩定的訂單，而不僅僅停留在首批採購。

「關鍵是看有沒有來自大型工業和服務客戶的重複訂單，這是區分真實部署與補貼試點的信號。」施帝萊說。

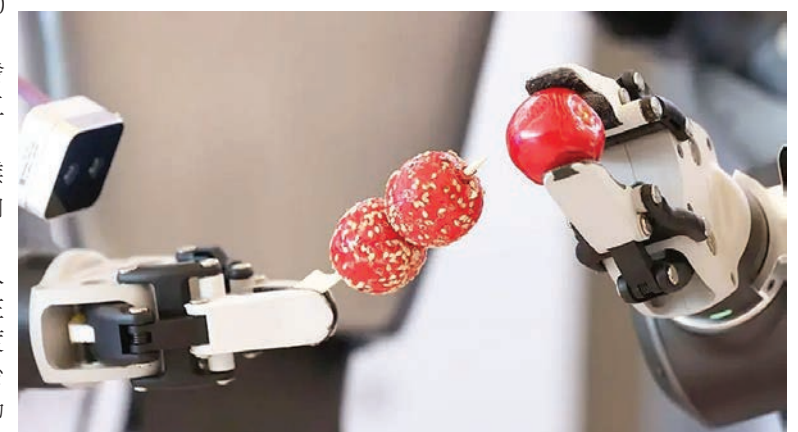
換句話說，人形機器人的商業化契機，不在於客戶第一次成為，而是會不會買第二次。

## 可能還很難？

即使需求存在，人形機器人的商業化仍可能比預想的更困難。

首先是技術本身。與傳統工業機器人相比，人形機器人面對的是更複雜的物理世界。工業機器人通常沿著固定軌跡重複一個動作，而人形機器人需要感知環境、理解任務，並做出決策，最後執行動作。

這可以說是人類到今天為止相對最複雜的



一類機器，需要讓機器具備類似人類的大腦、小腦和身體三者之間的協同能力。

「這個過程就需要AI的加持，也就是我們現在所說的『具身智能』在物理世界裡的呈現。」周劍表示。

另一個挑戰是數據。訓練語言模型可以依賴海量網路文本，但機器人需要物理世界的場景。例如訓練機器人開門這項動作，可能需要上百、甚至上千次重複，從每一次失敗中不斷調整算法。

但最大的門檻，是可靠性。施帝萊解釋，工業應用對可靠性的要求極高。例如，汽車製作等關鍵生產流程通常要求機器系統達到99.95%以上的可靠性；即便是一般工業場景，也往往要求99.9%以上。相較之下，物流、倉儲等場景可以容忍更高一些的故障率，因為單次故障的成本較低。

目前公開揭露的一個代表性數據來自小米。根據小米3月初發布的消息，其人形機器人在電動車工廠一個螺帽安裝工位，連續自主工作3小時，任務成功率為90.2%。

這意味著機器已經不再只是實驗室玩具，但與真正進入關鍵工業流程所需的穩定性相比，仍有不小差距。

施帝萊認為，未來一到兩年，人形機器人更可能先在「半結構化環境」中承擔相對重複的任務，例如工廠內部物流、質檢、簡單裝配，以及醫院和護理機構中的部分試點工作。至於更廣泛的通用場景應用，可能還需要三到五年。

德國智庫墨卡託中國研究中心(MERICS)高級分析師韓妮婭(Antonia Hmadi)對BBC中文表示，判斷人形機器人是否真正進入規模化階段，可以觀察幾個信號。

其中之一，是優必選等機器人製造商能否在擴大收入的同時降低成本。另一個重要指標，是看那些大量部署機器人的產業是否真正提升了效率。如果製造業大量使用機器人，但就業沒有減少，產出也沒有提高，那就說明這些機器人沒有真正提升效率。

在當前階段，人形機器人在高度期待與現實需求之間還存在距離。接下來幾年，行業可能經歷一段漫長而顛簸的驗證期。誰能穿過這段驗證期，誰才真正有機會定義中國人形機器人的未來。(BBC)