

科學家  
探索故事



A7

# 機械人學博士 趙龍海：

# 研搽鞋膠神手 換思路破全球技術瓶頸



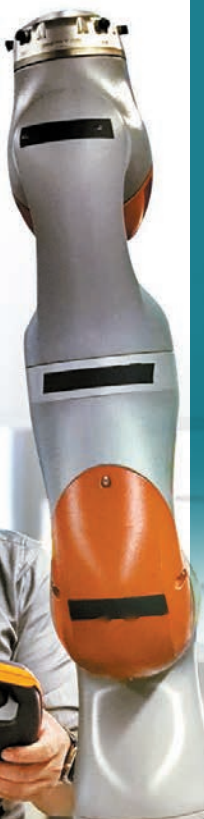
◆趙龍海成功研究將機械人技術應用到製鞋搽膠作業中。受訪者供圖

手握固定毛筆的機械臂，拖動示範書寫漢字，經過十幾秒鐘的學習，機械人就可以復現書寫出一模一樣的毛筆字。這就是由哈工大機器人（HRG）（合肥）國際創新研究院機器人應用研發總監趙龍海團隊，歷時4年自主設計研發的全球首款具有拖動示教功能的六自由度並聯共融機械人。目前，基於這款機械人具備的複雜工藝擬人化作業技術，趙龍海團隊從製鞋業出發，實現了全球首個鞋底搽膠工藝擬人化作業解決方案，獲得國內外專利共計20餘項。研發過程中，團隊轉換思路，助力機械人破解輕工業自動化瓶頸，解決了國際企業20年甚至30年都沒能解決的技術難題。

◆香港文匯報記者 趙臣 合肥報道

## 人物名片

趙龍海，1988年生，籍貫浙江省江山市，機械人學博士，主要從事機械人學與機器視覺基礎理論研究，以及擬人化作業裝備的應用研究。本科就讀於大連理工大學機械工程學院，碩士就讀於哈爾濱工業大學機器人研究所，博士就讀於上海交通大學。在研發領域發表有代表性國際期刊論文3篇，取得具有三種自由度模式的雙自由度機構、旋轉位姿可調的立式旋壓機床裝置，和具有雙陀螺組件的六自由度並聯機器人3項發明專利授權，含美國發明專利1項，同時實用新型專利授權13項，外觀專利授權3項。榮獲「創贏天下」第三屆哈工大全球校友創新創業大賽總決賽二等獎；2021年「創響中國」安徽省創新創業大賽優秀獎；HRG首屆路演大賽榮耀之星。



◆趙龍海在擬人化機械人領域擁有很多首創技術。受訪者供圖

在安徽省合肥開區HRG（合肥）國際創新研究院，剛出差回來的趙龍海一身休閒打扮。他自稱不善言辭，但在談到機械人研發時，又變得侃侃而談。其團隊研發的機械人現今已在安踏集團正常運行，可實現每小時為120至150雙鞋子搽膠水的生產速度。趙龍海認為，國內團隊真正超越國外同行的機會，就在於那些國外也沒解決好的領域。趙龍海在大學時期就熱衷於參加國內外各類機械設計比賽，並獲得諸多榮譽。2018年6月，趙龍海加入HRG（合肥）國際創新研究院。彼時，他已擁有智能物理治療機械人解決方案、六足步行機械人自然地形下全方位運動規劃策略等多項研發技術。「這些技術如果找準市場定位，可以發揮更大的價值。」為此，團隊花費了3個多月進行市場調研，最終將目標聚焦到製鞋業的搽膠生產工藝中。



◆工作人員監察搽膠神手在生產線作業。受訪者供圖

人一樣，學會自動識別誤差後進行軌跡補償修正。說起來容易，真正實現起來真的太難。「我們嘗試了所有能想到的技術方案，團隊成員半夜都在復盤技術路徑，有時候凌晨兩三點突然有靈感了，就要趕緊打開電腦編程去嘗試實現。」趙龍海回憶，長達一年多時間，他都一直處在不斷自我否定的狀態。最後幾乎嘗試了所有可能的技術路徑，團隊才最終通過研發全景視覺系統，獨創柔性配準算法，讓機器識別獲取鞋材之間的一致性偏差，並實時反饋機械人控制系統，在膠刷工具端予以自動補償，從而解決了鞋材非標準性對自動化帶來的難題。

## 製鞋膠水釋氣體 工人流失成商機

為什麼選擇這一領域？趙龍海直言，調研時讓他沒想到的是，在機械化如此發達的今天，鞋廠搽膠工藝的自動化率竟不足萬分之一。中國是全球製鞋業重心，每年鞋產量佔全球總產量超60%，而如今，鞋廠卻面臨着越來越多的工人不願從事長期重複且容易吸入揮發性氣體的搽膠工作這一難題。搽膠需要工人的經驗手法，手眼配合良好，才能保證搽得均勻且完整，同時，鞋品非標準化現象嚴重，這些對自動化方案提出了極高的要求。

## 凌晨驚醒記靈感 獨創算法辨偏差

對於搽膠技術的手法經驗性，趙龍海基於此前從事智能物理治療機械人時的技術沉澱，通過研發並聯共融機械人系統讓機械人快速掌握學習能力。然而針對鞋品的非標準性問題，研發過程可謂困難重重。「國際相關企業選擇將鞋品這一非標準工件當成標準工件進行操作，實則治標不治本，所以至今自動化機器未得到推廣，我們最後決定換種思路。」趙龍海介紹，既然無法改變鞋品製作過程中產生的誤差，就讓機器像

## 三年迭代四次 終實現標化作業

在實驗室運行良好的機械人，在鞋廠實際作業時卻問題百出。早在2019年，趙龍海團隊研發的樣機就第一次進駐安踏集團工廠。「最開始我們機械人的靈巧度、精度等各個方面都達不到標準。」趙龍海發現，鞋材的非標準性比團隊調研時要嚴重得多，例如鞋廠認為自己同一尺碼的鞋大小一致，實際生產過程本身就會有約3毫米的誤差，同時，鞋幫處生產時會有不平整的凹凸情況，也對機器在受力末端對力的交互控制提出了更高的要求。「我們對搽膠機械人軌跡精度的要求是±0.5毫米以內，所以需要團隊進一步提高算法，並不斷調試來實現這一目標。」趙龍海介紹，團隊在3年內對搽膠機械人迭代了四次。「我們必須考慮到任何一個細節，包括安裝時每一個螺絲要用扳手擰多少牛的力都要對其進行標準化。」最後一次調試的那天晚上，當機械人終於按照認知路線完美地實現搽膠作業時，團隊成員感動得都要哭出來了，近4年的努力終於沒有白費。

前不久，內地最大的滑雪眼鏡生產商找到趙龍海，希望團隊可以提供滑雪眼鏡自動搽膠工藝的解決方案。趙龍海表示，在扎根製鞋搽膠領域的基礎上，團隊亦開始基於研發技術進行新的研發，進一步開拓更多手工業、輕工業市場。

## 受港教授啟蒙 更重學以致用



◆趙龍海（前排右三）與研發團隊成員。香港文匯報記者趙臣攝

在深耕機械人產業化過程中，趙龍海深受香港科技大學教授李澤湘的影響。「李教授不僅是中國機器與自動化領域專家，還是固高科技（香港）有限公司董事長，更孵化了包括無人機品牌大疆等企業。」最初，趙龍海一直專注於理論技術的研究，李澤湘教授的經歷轉變了他的思維，他也希望將自己的技術研發轉變為產品。

## 研發機械人由自學開始

早在讀研究生階段，趙龍海就聽聞李澤湘教授，後來他得到了一本由李澤湘教授編寫的《機器人操作的數學導論》，這本教材由於學習門檻較高在內地並沒有被推廣，但趙龍海卻花了兩年多時間把整本書都學了下來。「學完以後可以很容易看懂原來不懂的結構和工程類問題，讓我對機械人的理解上升了一個新境界。」機緣巧合的是，在2014年的一場國際會議上，趙龍海遇到了李澤湘教授本人。李澤湘在那場會議上介紹了他產業化的很多成果，激起了趙龍海對機械人產業化的興趣。

博士二年級的暑假，趙龍海參加了李澤湘教授在東莞松山湖組織的機械人活動，接觸到了很多被孵化的團隊，有研發平衡車的，有做掃地機械人的。那時，趙龍海突然意識到，一味地從事理論研究並不是他嚮往的，能將自己的技術研發轉化成產品，解決用戶困難或者改善人們的生活品質，「學以致用」才是自己的追求。

## 複雜工藝擬人化機械人Q&A

Q：為什麼製鞋領域一直以來很難實現「機器換人」？

A：製鞋過程中鞋材非標準化現象嚴重，同時，鞋品種類多，鞋子換型換季快、訂單呈現碎片化，而製鞋工藝繁雜，製鞋工藝流程長，現行自動化系統難以處理不同工藝。此外，為保證工藝與效率，鞋廠對機械人軌跡的節拍與精度控制要求非常高。

Q：國際製鞋領域的機械人應用現狀如何？

A：國際專業從事該領域機械人研發的企業如德國的Desma，意大利的Robot System Automation等，此前已有數十年的研發積累，但這些企業均選擇將鞋品這一非標準工件當成標準品進行機械開發的技術路徑，目前並未得到行業和市場認可。

Q：複雜工藝擬人化機械人有哪些應用前景？

A：複雜工藝擬人化機械人未來將在可接觸式、大曲面塗膠、打磨、裝配等複雜應用場景中得到使用，進一步解放手工業、輕工業中複雜重複的技術工種。

## 特稿

## 汲取創業慘敗教訓 學會「用戶思維」

在加入HRG（合肥）國際創新研究院之前，趙龍海曾有過一段近3年的創業經歷。2016年趙龍海在給香港科技大學李澤湘教授當課程助教

期間，他的研究課題受到李澤湘的關注，並給他投資進行產品研發。當時趙龍海邀請了3位在計算機領域技術能力很強的同學一起創業，團隊最終攻克了機械人按摩手法學習的技術難題，實現了國內首台智能物理治療機械人的研發。然而，由於沒有進行很好的市場定位，團隊研發的產品賣不出去，最終因資金鏈斷裂，創業失敗。

## 執於突破技術甘棄高薪

趙龍海介紹，當時自己對於技術實現的執念太重，一門心思只想突破前沿技術並研發出很有價值的產品，但是卻忽略了市場定位和商業模式，連受眾用戶是誰都沒想清楚。「我們不怕吃苦，大家都特別努力，去別的公司可以拿到月薪五六十萬元（人民幣，下同），但是大家甘願拿每月3,000元的工資去鑽研。」

李澤湘教授曾多次提醒趙龍海放下技術執念，甚至還建議他先去學3個月的按摩後再回來做產



◆趙龍海（右）為客戶介紹擬人化機械人系統。受訪者供圖

品，但他卻固執己見。趙龍海直言那次創業讓他收穫了很多寶貴的經驗。當年創業的夥伴後來都因各種原因離開了，但他卻不想放棄。

## 二次創業着重市場調研

二次創業，趙龍海花了很長時間去市場調研，更親力親為去學習搽膠工藝，對行業進行深入了解。「我們團隊在擬人化機械人領域擁有很多首創技術，只要我們找準技術和用戶需求的交集，用該技術幫助客戶解決痛點，產品一定會有市場。」趙龍海充滿信心。



◆趙龍海團隊推出的運動鞋搽膠擬人化解決方案。受訪者供圖