

兩項目納InnoHK平台 攻堅高能耗產業

港產創新研發②

今年上半年，特區政府推出第三個InnoHK創新香港研發平台SEAM@InnoHK，香港城市大學獲批准納入兩個項目：「先進智慧製造中心」（CASM）和「永續材料與先進再生技術中心」（SMART）。當中，CASM專注於智能化、精密及可持續的下一代製造技術，以解決產業面臨的重大瓶頸。

CASM負責人之一、城大宏橋輕質金屬創新研究院暨城大先進結構材料研究中心主任呂堅接受《大公報》專訪時表示，CASM不會只做單一環節的突破，而是把人工智能、材料設計平台、增材製造技術與認知製造系統整合起來，形成一條由設計延伸至應用的完整鏈條。呂堅指出，CASM的關鍵策略是「借力」而非單打獨鬥，善用大灣區城市優勢——香港負責前端研發與系統設計，包括材料創新、結構優化及製造方案制定；深圳、東莞等灣區城市則承接中後段的試產與規模化製造。這種分工模式既能保持研發靈活性，又能迅速進入產業落地階段，縮短從實驗室到市場的時間。

大公報記者 游茜茵（文） 林少權（圖）



呂堅表示，CASM四大創科方向圍繞高性能與高效率製造需求展開，分別對應不同產業場景：製冷與空調系統、數據中心散熱、新能源車與具身智能體和手機及可攜式電子產品。四大方向並非各自為政，而是圍繞同一類問題展開——高能耗、高複雜度，以及對性能要求極高的工業場景。在這些場景中，單靠傳統製造方式往往難以兼顧效率與性能，因此必須透過材料革新，配合增材製造重新設計產品結構，從源頭改變工程邏輯。

在製冷與空調系統方面，城大CASM聚焦在固態相變材料及新一代冷卻技術上。現時各國雖已逐步淘汰製冷劑「氟利昂」，但替代物仍涉及碳排放與環境負擔問題。研究團隊嘗試以固態相變材料結合3D打印，設計出更複雜、同時更高效的熱管理結構，讓冷卻系統不再依賴傳統流體媒介，而是透過材料本身的相變特性完成熱交換，從而降低能耗與排放。

開發數據中心散熱材料等設備

數據中心的散熱是另一個迫切且現實的挑戰。隨著人工智能應用爆發，算力需求呈指數式增長，冷卻效率逐漸成為限制系統擴展的瓶頸。呂堅形容，當算力規模不斷擴張，散熱已不再只是配套，而是整個系統設計的核心。城大CASM將在此方向上，以銅及鋁合金為基礎材料，利用增材製造打造高密度、複雜流道的換熱結構，在減重與節省材料的同時，維持甚至提升散熱效率，為未來機櫃、芯片乃至具身智能設備提供可行方案。

在新能源車及具身智能體領域，輕量化已成為關鍵競爭點。對電動車而言，每減少一公斤重量，都會直接



反映在續航與能耗表現；對逐步走向自主運作的智能設備來說，重量同樣影響安全與運行效率。城大CASM提出一種混合製造策略：先透過計算模型確定結構受力重點，再以3D打印對關鍵部位進行強化，其餘部分則沿用成熟工藝。這種方法既能發揮高性能材料優勢，又避免全面升級帶來的成本壓力，使量產成為可能。

面對手機及可攜式電子產品「既要輕，又要強」的要求，研究團隊將透明陶瓷、透明玻璃、鈦合金以及高熵合金增材製造列為重點研究方向，其中鈦合金增材製造與高熵合金的微量調控，被視為突破現有限制的重要路徑。同時，研究亦延伸至全玻璃裝置形態的探索。這些技術不僅關乎減重，更涉及微結構設計如何影響整體性能與製造彈性，並在強度與成本之間取得一種微妙平衡。

打造設計應用全鏈條

呂堅強調，城大CASM的技術路線強調一體化思維方案。材料、製程與最終應用不再分開優化，而是從產品需求出發反推設計，務求令科研成果可以真正走出實驗室，變成「可生產、可應用、可擴散」進入市場。這種模式，正好呼應工業5.0所強調的人機協作與可持續發展。

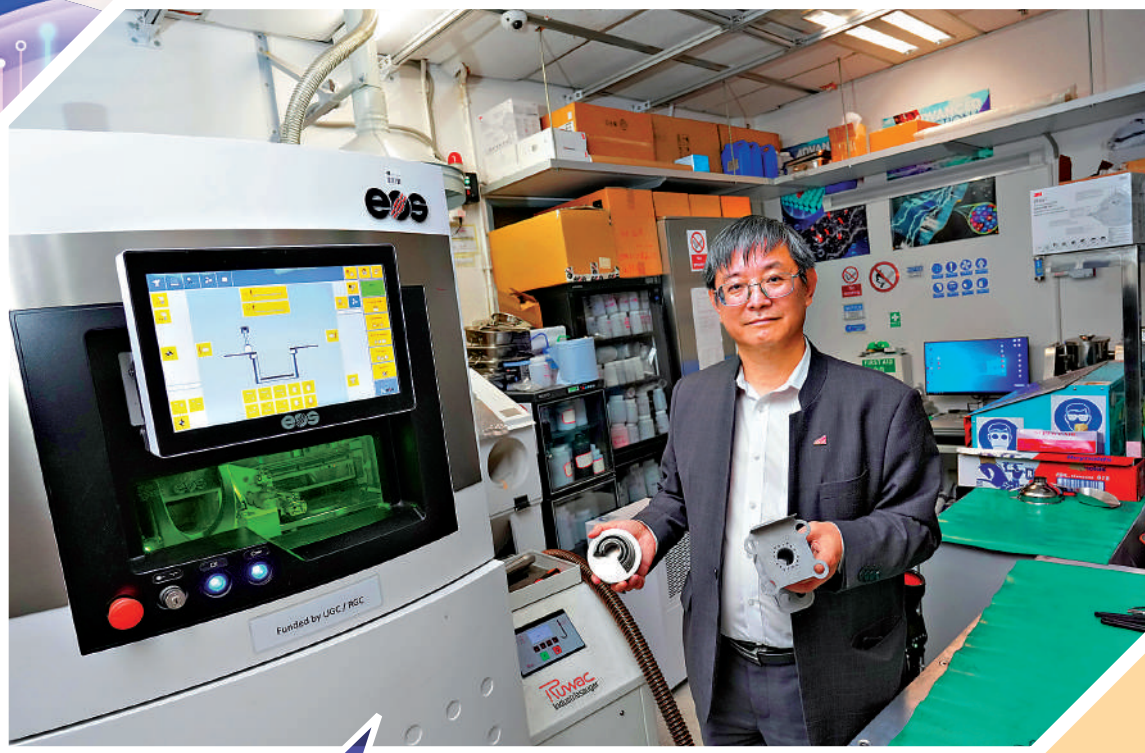
在更宏觀的層面上，呂堅亦重新定位香港於區域製造體系中的角色。他指出，本地優勢並不在於大規模製造，而是高端設計、系統整合以及國際合作能力。透過與大灣區城市分工協作，香港專注研發與方案設計，其他城市則承接量產與落地，形成更具彈性的產業鏈結構。

同時，CASM正積極拓展國際合作網絡，已與劍橋大學、清華大學及瑞士洛桑聯邦理工學院等機構建立聯繫，透過多層次人才培養計劃，從博士到本科實習逐步建立人才梯隊，目標是打造一個集科研、產業與教育於一體化的製造創新生態。

▲城大CASM會開發數據中心散熱材料等設備。圖為沙嶺數據園區模擬圖。

城大研高性能材料

借力灣區實現產業化



▲呂堅表示，城大CASM把人工智能、材料設計平台、增材製造技術與認知製造系統整合起來，形成一條由設計延伸至應用的完整鏈條。

強強聯手

與國際名校合作 引入全球前沿技術

城大CASM目前正積極與國際頂尖學術府建立合作關係，透過跨地域科研協作，把全球前沿技術引入本地，再經大灣區產業鏈轉化落地。這種「國際研發+區域製造」的組合，為香港發展高端製造提供了一條更具可行性的路徑。

培育跨學科工程人才

此外，在培養製造人才方面，城大CASM將透過博士、博士後及學生實習計劃，培養具備跨學科能力的新一代工程人才，使其既懂材料，也懂製造，更理解產業需求，進一步提升產學研協同效率。

呂堅表示，城大被納入創新研發平台SEAM@InnoHK前，就一直與劍橋、清華及瑞士洛桑聯邦理工學院等機構，展開國際合作與人才的培育，為香港創科貢獻力量。

大公報記者 游茜茵

數據中心過熱令效率下降

話你知



數據中心散熱與冷卻效率，已成為全球資訊基建的關鍵瓶頸。當伺服器運算時，電能幾乎全部轉化為熱能，若未能有效排出，將導致設備過熱、性能下降甚至故障。

現代數據中心普遍採用空氣冷卻或液冷系統，但隨着晶片密度與算力持續提升，傳統散熱方式逐漸逼近極限。散熱效率直接影響能源使用效率（PUE）與系統穩定性，因此被視為決定整體運營成本與可靠性的核心技術環節。

未來發展方向包括高導熱材料、微結構流道設計，以及液冷與相變冷卻技術的結合，以應對AI時代對算力與能耗的雙重挑戰。

3D列印鎳鈦合金 更穩定更環保



▲城大CASM聚焦於3D列印的固態相變材料。

突破瓶頸

固態相變不只可用於儲熱，也可用於致冷與能量管理。近年研究亦已把固-固相變、可修復結構等方向納入設計重點。相變材料正由「吸放熱介質」走向「可設計的功能材料」。

可承受300萬次循環

鎳鈦合金做成可3D列印的「固態」致冷材料，走的是壓力驅動的彈熱路線，不是傳統液態冷媒。研究團隊以缺陷更少、呈雙峰微結構的NiTi合金，提升材料在反覆變形下的穩定度，令樣本可承

受300萬次循環而不失效。

這類材料的關鍵，在於固態相變時會出現馬氏體轉變，材料受力後吸熱、放熱，從而達到降溫效果。與壓縮式雪種系統相比，這條技術路線有望減少溫室氣體相關風險，也為更環保的冷卻系統提供材料基礎。

另一個突破是直接3D列印並整合成宏觀冷卻原型，最終做到20℃的溫差表現。對工程應用來說，這代表固態致冷不再只停留於實驗室概念，而是開始推進向器件化及系統化。

大公報記者 游茜茵

工業5.0人機協作 提升創造力

產業升級

工業5.0被視為製造業發展的新階段，其重點不再只是效率與自動化，而是回到「人」本身。與工業4.0以機器為中心的邏輯不同，工業5.0更強調人類決策與機器運算之間的協同關係，讓創造力與精準執行同時發揮。

在人機互動層面，生產系統正由單向自動化轉向多角色協作。透過大型語言模型與智能代理系統，不同持份者的決策邏輯可以被模擬並整合，從而對複雜問題進行多維分析，這使製造流程更能應對市場變化與供應鏈的不確定性。

建立更具韌性產業生態

在技術基礎上，工業5.0融合物聯網、生成式人工智能與數字孿生技術，

並依靠高速通信網絡實現即時數據流通。其中，生成式AI的角色尤為關鍵，已從單純工具轉變為輔助設計與決策的核心引擎，廣泛應用於產品開發與流程優化。

從發展方向看，工業5.0亦與智能製造政策高度契合。在產業升級過程中，製造業逐步由勞動密集走向技術與知識密集，企業需要更靈活的生產模式，以應對個性化需求與快速變化的市場環境。

更重要的是，工業5.0將可持續發展納入核心考量。製造不再只追求產量與效率，而是同時關注環境影響與社會價值，推動形成更平衡、更具韌性的產業生態。

大公報記者 游茜茵



▲工業5.0更強調人類決策與機器運算之間的協同關係。圖為城大團隊早前研發的AI資產定價模型。