

異構材料「軟硬兼施」提升強度韌性減風險

城大學者朱運田

提材料設計新原理

為航空航天等應用闢新路



●香港高樓密集，建築鋼材強度與韌性若能提升，抗震及抗風能力就會顯著增強。圖為一處施工中的地盤。 資料圖片

回饋社會 科研人員有責

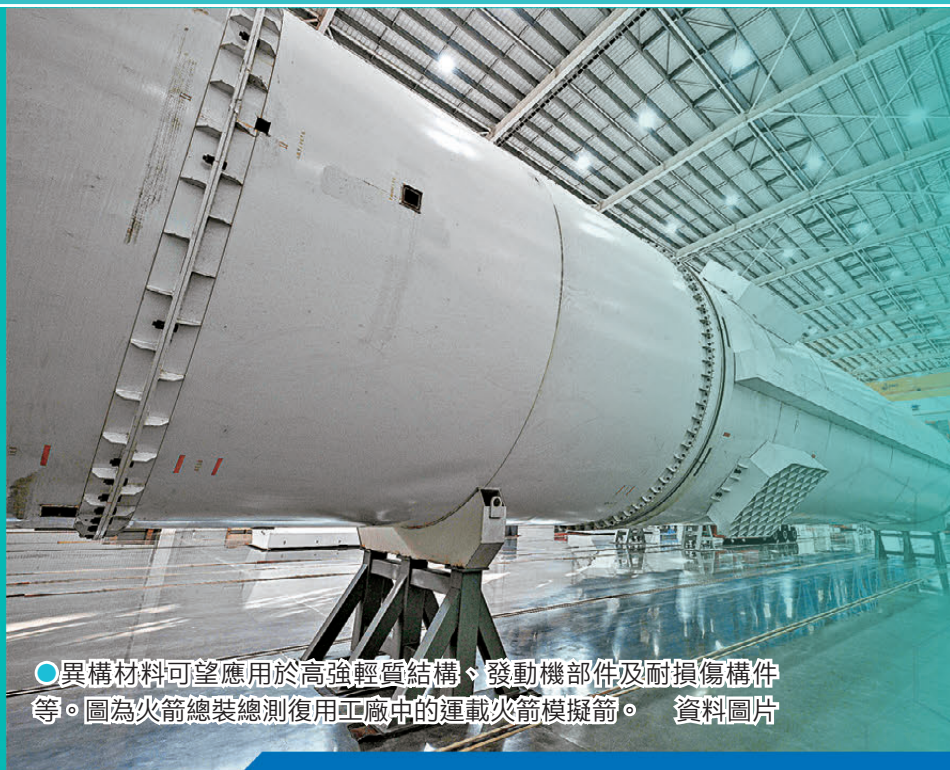
在香港社會「狀元」讀醫的風氣下，要如何吸引更多年輕人投身科研？朱運田坦言，醫生或金融業收入可觀、社會地位穩定，符合大多長輩對孩子的期望。他憶述，自己當年大學選科時亦有親戚力勸其學醫，自己不願意，還因此被罵。他強調，每個人的興趣與專長各有不同，科研工作收入或未必比得上名醫或金融專家，但若發現新理論，那份豁然開朗的喜悅絕對是無可比擬，且真正優秀的科學家同樣可衣食無憂，更能贏得社會尊重。

朱運田認為，香港在科研發展上具備獨特優勢，除了國際化的大學環境、持續增加的經費投入外，背靠內地龐大市場與完整產業鏈，也讓成果轉化速度更勝歐美，認為是從事科研的理想之地。但近年大學界考核有偏向論文數量、學術頭銜等量化指標之勢，致令一些研究變成僅為滿足績效而做。

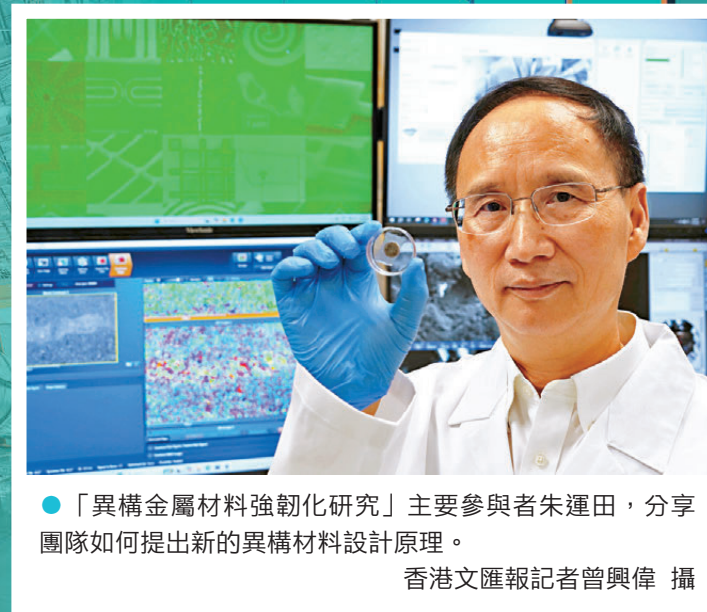
他認為，科研人員有責任回饋社會，要常問自己究竟解決了什麼實際問題、為何要發表論文，「如果只是為了自己的工作與職稱，那憑什麼納稅人要把錢（科研經費）給你？」

「多動腦子少動手」

談到科研突破之道，朱運田分享了其團隊的座右銘：第一是「多動腦子，少動手」，第二是「不要跟在別人後面跑」。他強調，跟風追逐熱點只屬表面創新，真正的突破在於找到領域中最關鍵、最困難的問題，「要做就做Leader（引領者），不要做Follower（追隨者）。」當所有人往同一方向猛攻時，要設法繞過障礙「換道超車」，而非擠在同一條路上競爭，要敢於思考、勇於破局，方能開創新局。



●異構材料可望應用於高強輕質結構、發動機部件及耐損傷構件等。圖為火箭總裝總測復用工廠中的運載火箭模擬箭。 資料圖片



●「異構金屬材料強韌化研究」主要參與者朱運田，分享團隊如何提出新的異構材料設計原理。

香港文匯報記者曾興偉 攝



國家自然科學獎

香港城市大學材料科學及工程學系講座教授朱運田與內地科學家合作進行的「異構金屬材料強韌化研究」，於早前勇奪2025年度國家自然科學獎二等獎。朱運田近日接受香港文匯報專訪，分享其團隊如何提出新的「異構」材料設計原理，令金屬能兼具高強度與高韌性，包括已成功研發的可達傳統三倍強度的不鏽鋼，為高端製造、航空航天、新能源汽車、機器人及低碳材料等應用開闢新路徑。

●香港文匯報記者 陸雅楠

今年7月在北京舉行的國家科學技術獎勵大會上，4名香港科學家參與的三個內地牽頭項目獲得國家自然科學獎二等獎，涵蓋有機合成化學、金屬材料及岩土工程等領域。其中，「異構金屬材料強韌化研究」由中國科學院力學所教授武曉雷團隊與朱運田團隊長期合作推動。

朱運田介紹，傳統材料設計追求均勻，教科書與工業界均以此為標準，不均勻組織通常被視為廢品。但異構材料（Heterostructured Materials）的概念正好相反，其核心科學原理在於：當材料內部同時存在力學性能差異較大的「軟區」與「硬區」，兩者在受力變形過程中並非各自為政，而是在界面附近產生強烈的相互作用與協調效應，帶來傳統均勻材料所不具備的額外強化與增韌能力。

從微觀機制而言，上述相互作用主要體現在金屬

晶體中的線狀缺陷「位錯（dislocation）」上：位錯會在軟硬區域及其界面附近重新排列並累積，形成非均勻分布，進而產生額外內部應力：軟區受約束、硬區承擔更多載荷，最終呈現協同強韌化效果。

金屬如漢堡包 組合後「口感豐富」

「就像漢堡包裏面有肉、有麵包、有蔬菜，每一層性質都不一樣，單獨吃未必都好吃，但組合起來，口感更豐富、營養更均衡。材料裏的不同區域就像這樣，各自發揮不同作用，互相協同，最後得到比傳統均勻材料更優異的力學性能。」朱運田形容說。

他對是次獲獎深感振奮，特別是異構材料，屬團隊從零起步、主動開拓的方向，「不單是榮譽，對

勇於抓住數據偶然性 從備受質疑到獲國家級認可

朱運田分享是次獲獎的異構材料研究起點，源於合作夥伴武曉雷在實驗室得到一組異常數據，令其團隊大感困惑。其後，他在美國與一位學術權威共進午餐時趁機請教，對方看畢卻直言他「胡說八道」，稱該研究顛覆了過去百年的技術原理。為回應質疑，團隊拚命查閱文獻、反覆推敲，最終提出一套全新解釋，並獲該名學術權威接受認可。

隨著理論框架逐漸完備，朱運田發現，有關新原理不僅能解釋自己的實驗數據，連文獻中一些他人長期難以自圓其說、看似「怪異」的結果，也能在同一框架下得到清晰解釋。他笑言，說服人的過程確實艱難，起初不少人不認可，「所以我幾乎每次開會，都要與人辯論。」

朱運田憶述，自己曾與一名工程領域全美排名前列的教授討論異構材料強韌化理論，對方起初完全不接受，雙方為此爭辯了數年，後來卻發現對方於其中一篇論文竟悄悄引用相關概念；有日本學者曾做出一組無法解釋的數據，對方起初也不相信團隊提出的理論，但在安排研究生和樣品到朱運田實驗室交流三個月，及依據其理論建議再作加工後，發現性能提升數倍，終於被說服。

反覆驗證 對原理刨根問底

從最初備受質疑到如今獲國家級認可，朱運田最珍惜的是武曉雷這位夥伴。他形容兩人非常互補，雖經常為了科學問題爭辯，但亦促使要設計實驗來驗證，「辯論對我們來說很正常，而且愈辯論，問題就愈清晰。」他表示：「我們和其他團隊最大的不同，就是我們不滿足於一個好的性能數據，我們一定要問『為什麼』，一定要刨根問底，把背後的原理吃透。」兩人在過去二十多年的合作中，就是這樣一個一個用證據去說服他人，每一篇論文、每一個實驗就像回憶的小碎片，一塊一塊累積起深厚的情誼。

朱運田強調，搞科學最重要的是「什麼都不信」，還要勇於抓住偶然性，「當反常數據出現時，要有能力抓住它，要能分析出背後的原理。別人可能也看過類似現象，但他們不知道為什麼，只停留在『看到了』的層面。」

他形容，幸運必須建立在扎實的理論和技術基礎上，否則數據擺在面前也看不懂。他以安徽名菜臭鰻魚作喻：「那是因為魚放臭了，廚師捨不得丟，繼續烹調，結果竟比新鮮魚還好吃。」做研究也是

整個材料科研領域的未來發展也有很大促進作用。」他特別提到，國家對基礎研究日益重視，並支持香港發展國際創科中心，對科研長遠發展至關重要，而香港也正力推高科技產業發展，北部都會區的布局正切合所需。

朱運田：港應發揮轉化橋樑作用

以材料科學為例，朱運田指出，香港相關研究已積累深厚基礎，兼具國際化人才、科研平台及與全球學術界緊密聯繫等優勢，而內地汽車與電動車、航空航天、無人機、機器人等產業的研發與製造、終端市場與生產線高度集聚，為新材料提供廣闊應用場景。香港應進一步發揮原創科學到技術轉化橋樑作用，把本地基礎研究與大灣區完備製造體系結合，形成「香港原創研究、大灣區工程化、全國規模應用、國際市場拓展」的協同發展模式。

他坦言，香港重工業規模雖有限，但在建築、交通、航空服務、醫療科技、金融、專業檢測及國際標準等方面具獨特長處，可率先在高層建築、橋樑、軌道交通及公共設施推動示範應用，並善用國際認證、知識產權及科技金融能力，協助新材料走向國際。

展望未來，朱運田期望建立更多由政府、院校、科研機構與企業共同參與的材料創新平台，打通從原理探索、樣品製備、中試放大至工程應用的全鏈條，同時培育兼具材料科學、工程製造與市場視野的跨域人才。他強調，材料是現代工業之基，新材料突破往往牽動新產品、新工藝以至新產業，若能形成具普遍意義的材料設計方法，將為國家高端製造、綠色發展及科技自立自強提供更堅實的底座。



●朱運田（右）強調，科研工作者收入或未必比得上名醫或金融專家，但真正優秀的科學家同樣可衣食無憂，更能贏得社會尊重。

香港文匯報記者曾興偉 攝

一樣，不要怕反常，不要迷信權威，敢於挑戰常識，堅持用實驗說話，持之以恆，才能從偶然中發現必然。

如今，異構材料已不再只是朱運田和武曉雷團隊孤軍奮戰的方向，在國際上已形成一個新的領域。朱運田提到，今年7月在韓國舉行的國際異構材料大會已辦至第三屆，明年英國劍橋大學也將召開第一屆歐洲異構材料大會，美國亦在大型材料會議中設立相關主題分會，而內地也有愈來愈多學者開始涉足這個方向，估計再過五年到十年，異構材料或將成為材料領域最熱門的方向。

適用多類金屬材料 可提升建築抗震抗風能力

話你知

異構材料並非簡單地將軟硬材料放在一起，而是通過精確設計不同區域的尺寸、形態、比例、分布及性能差異，實現「軟硬兼施」與「協同工作」。朱運田表示，異構材料具有廣泛的材料適用性，目前已應用或拓展至鋼鐵、鈦合金、鋁合金、鎂合金、銅合金、高熵合金及複合材料等多類金屬材料，無須大幅增加成本，就可以提升強度與韌性，應用前景可觀。

在建築領域，結構需承受颱風、地震等極端考驗。朱運田以香港高樓密集為例，指建築鋼材強度與韌性倘能提升，抗震及抗風能力就會顯著增強，安全性與耐用度將大幅改善。此外，電纜塔架等長期暴露戶外的設施，使用高強度材料亦可減少損壞，降低停電或斷水等事故頻率。

對大量依賴運動部件、承力結構與能源效率的高科技產業而言，材料每減輕一公斤，往往可轉化為能耗、續航、載荷或效率的綜合增益。朱運田表示，異構材料有助推進輕量化：電動車方面，材料強度提升後，可用更薄、更少的用量達至甚至超越原有結構要求，對續航、操控與安全

均有好處；機器人方面，若能在不犧牲強度下減重，可降低散熱負擔，減少因過熱影響性能，進一步提升續航時間與動作精度，促進規模化落地。

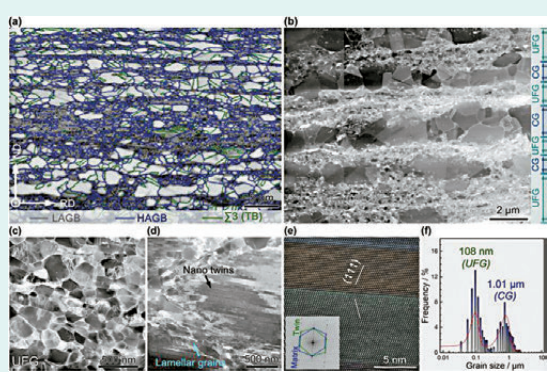
令火箭更輕 壽命更長

在航空航天方面，飛機及航天器結構需承受複雜載荷與長期疲勞，異構材料可望應用於高強輕質結構、發動機部件及耐損傷構件等。朱運田以SpaceX以不鏽鋼建造火箭為例指，如使用其團隊研發的三倍強度的不鏽鋼，可將材料量降至約三分之一但仍維持同等結構強度，令火箭更輕、壽命更長。

異構材料帶來更具效率的性能，但朱運田直言，汽車、建築等成熟產業已有既定生產線、模具與供應鏈，若要把鋼板由2毫米改為1毫米，模具、焊接參數、組裝流程等均需全面調整，對企業是巨大投資與風險。因此，其團隊會優先瞄準新興產業，因此類產業生產工藝尚未定型，有利推廣新材料應用。

朱運田又透露，團隊正與食品冷鏈運輸企業接

洽，探索將三倍強度不鏽鋼用於冷藏貨櫃車，符合運輸減重的企業需求；又與鋼廠合作進行十噸鋼卷試軋，及與私人企業洽談共建生產線，致力爭取產業落地。未來，團隊期望能進一步與鋼鐵、航空航天、汽車、機器人、低空經濟、高端裝備、能源及建築工程等领域企業展開合作，因應實際產業需要探索相應的異構材料解決方案。



●異構不鏽鋼的微結構，內部同時存在不均勻的「軟區」與「硬區」，藉獨特的設計提高強度與韌性。

城大圖片