

超能材料之四

古典小說《西遊記》中，孫悟空的如意金箍棒有變大變小的神奇功能，從材料角度即是能隨意變化其體積。而在現代科學世界，透過超構材料（Metamaterial，又稱超材料）領域的探索，中文大學物理系教授徐磊及其團隊亦有相當大的突破，不單成功提出嶄新調控材料彈性的理論，更以此設計出彈性隨心所欲的材料，藉其網絡組成結構的細微改變，做到「想軟就軟，想硬就硬」！

團隊目前透過3D打印實驗室製造出多款可自由調節彈性的新型彈性材料，未來將利用人工智能的機器學習理論，進一步調節有關參數，期望日後於工業、建築及防震材料上有廣闊的應用前景。 ●香港文匯報記者 郭虹宇、任智鵬

徐磊日前接受香港文匯報專訪，分享其有關彈性超構材料的研究成果。他表示，材料的彈性主要是看其壓縮模量（受到擠壓）及剪切模量（受平行剪切的力），調節彈性的關鍵之處在於如何調控這兩個模量。普遍來說，固體的兩種模量比例較為固定，剪切模量大、壓縮模量也很大，可以說同大同小，無法調節。

其團隊的目標，便是建構一個功能強大的系統結構，能隨心意調節這兩個模量，成為新型智能彈性材料。團隊透過設計獨特的立體網絡結構，探索網絡的空間及幾何變化，對整個結構的力學彈性有何影響，並首次在理論上發現「拓撲轉變」的增減與材料彈性性質的緊密聯繫，進而做到材料彈性「隨心所欲」。

徐磊解釋說，團隊利用立體結構中構建三角錐的數目等，調節壓縮模量或剪切模量的數值，使其一大一小進行調節材料的彈性。當材料中三角錐較少，就可以調節剪切模量或壓縮模量，有較大的空間調節材料的彈性，而如將結構全部變成由三角錐構造，成為一個完全三角化的體力結構，該材料很像晶體、固體結構的性質，剪切模量及壓縮模量是一個固定的數值，無法調節。

改變拓撲鏈接 同時變硬變軟

至於「拓撲轉變」，則涉及抽象的數學概念。簡單來說，在空間之中，拓撲變量是由點線面的關係組成的，一個平面如果鑽一個洞它的拓撲就會改變，三角錐的拓撲就是從某個頂點的高線突破了垂直的面。徐磊指，透過改變拓撲鏈接，就像一個「鎖頭」，將剪切模量和壓縮模量鎖定在想要的數值，令兩種模量同時變硬、同時變軟。不僅可以最大限度地自由調節材料的彈性，而且用任何材料構建只要達到設定的結構都可以百變隨心，就像「萬精油」一樣的結構系統。

至於最新發展，徐磊指，在搭建該超構材料系統時，非常多的鏈接構件，以往只能一個一個地試，但牽一髮而動全身，經過可能

百變超構材料

軟硬隨心轉化

用AI學習理論調節參數 盼應用於工業建築防震領域

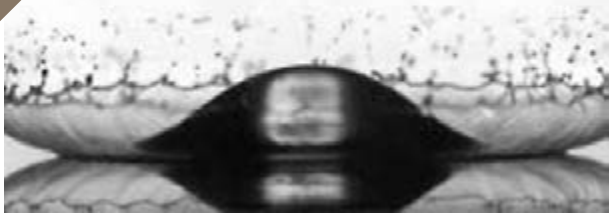
成百上千的實驗才成功。因此，團隊利用AI機器學習的方法，在設計新結構、新功能的時候，找到最優解同時亦找到最有效的鏈接調節模量。

在防衝擊防震有重大潛力

徐磊表示，團隊目前已經成功有效調節彈性超構材料的泊松比（Poisson's ratio），設計出在垂直方向受擠壓之時，水平方向亦會收縮的特殊材料，預計未來會進一步透過機器學習就不同參數作調節及嘗試。

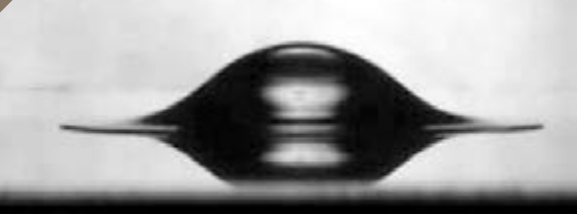
應用方面，他舉例指，因為構建的超構材料可自由調節彈性，故在包括建築與汽車的防衝擊、防震方面有重大潛力，特別是上述垂直及水平方向同時收縮的特殊材料，在愈受擠壓時會愈加結實，提供了自然物料所欠缺的保護力。

非真空狀態



● 正常大氣壓力（100kPa）下，水滴在固體表面0.5微秒後散裂飛濺情況。

真空狀態



● 近乎真空的低氣壓（17.2kPa）下，水滴在固體表面0.5微秒後的情況。

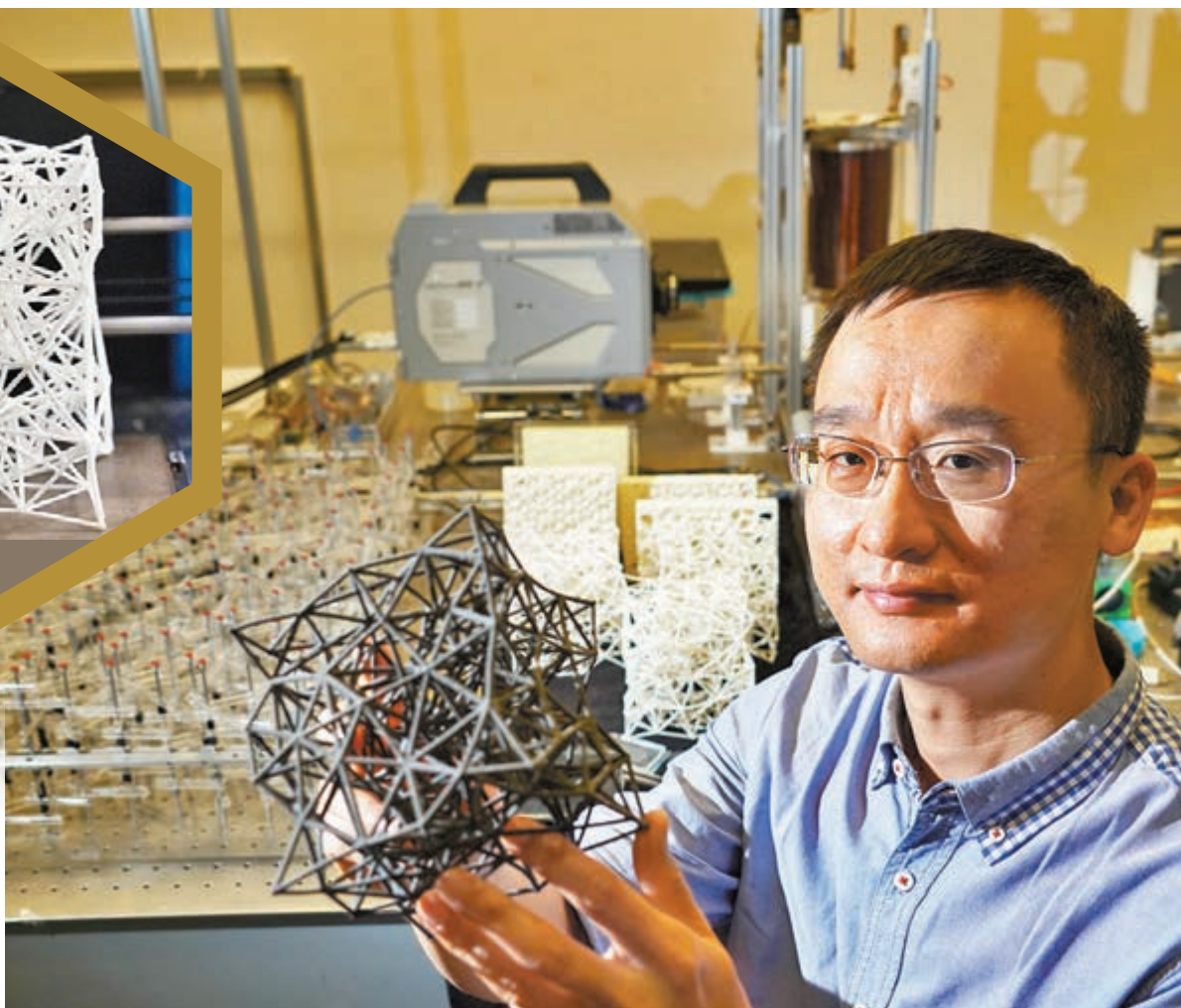
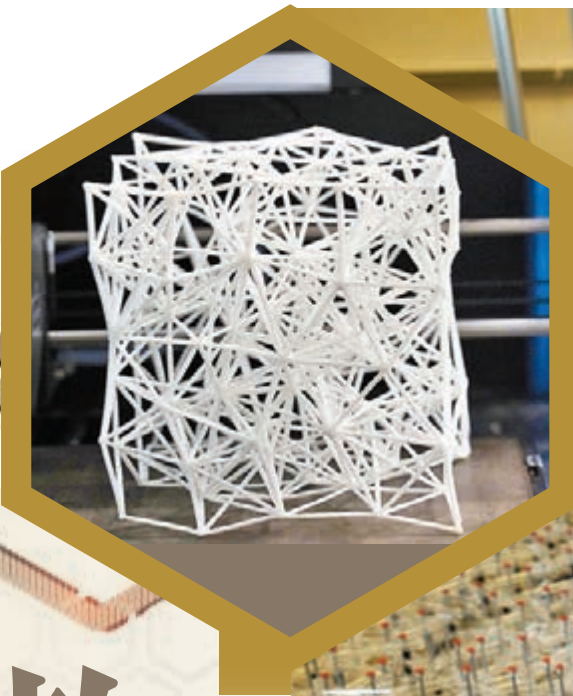
水滴真空無飛濺 成探索科研動力

一滴平平無奇的水，蘊藏無比智慧，徐磊的科研路，正是由一滴水開始。自小鍾情物理的他，2005年於芝加哥大學跟隨專研流體軟物質的老師攻讀物理學博士時在首個主理的研究中，發現水滴在固體表面碎成小水滴散開的飛濺現象（Splashing），在真空中竟然會完全消失。該結果突破當時科學界的想像，更令徐磊深感自然規律是如斯令人驚奇，成為他繼續在科研世界探索的動力。

水滴飛濺四散於日常生活中相當常見，也是物理學家感興趣的題目。徐磊說，過去不少人專門研究水撞到材料上的速度大小、材料硬度粗糙度等，但

由於空氣的密度只是固體的千分之一，研究者普遍認定空氣對飛濺的影響並不重要，而這正是當時其團隊探究的角度，但實際的實驗結果卻大大出人意料。

徐磊說，團隊發現如果將空氣抽走，飛濺現象竟然完全消失了，水滴就像滴到液體上，不會有小水滴碎裂飛濺，證明了液體飛濺現象其實是空氣引起的，「本來預計（空氣）只有一定影響，結果卻很震驚，完全不敢相信，自然規律令人驚奇，難以想像。」此次經驗更鼓舞了他努力繼續投入研究，探索自然世界的真理。 ●香港文匯報記者 郭虹宇



● 徐磊展示以3D打印製成的超構材料結構，透過掌握材料網絡結構的設計，能自由調節其彈性。香港文匯報記者 攝

「隱身衣」最出名 3D 打印更省時

「超構材料是什麼？其實就是一種完全人工製造的材料，透過設計特別的結構，達到自然界材料所沒有的amazing效果。」徐磊介紹指，超構材料最早源起於上世紀六十年代科學家的設想，科學家都知道光打到水中會折射，彎曲程度與折射率有關，而自然界所有材料折射率均為正數，構想中的負折射率材料，便是超構材料的基礎；及至上世紀九十年代，科學家開始成功設計對聲場、光場調控的實驗，更正式形成了超構材料的概念，「科學家們在實驗實現了想要的性質，比如哪種波段的光或聲音可以在物質中傳播、哪一種不可以傳播等。從而實現濾波，並控制波長的傳播。」

至於最著名的超構材料，便是過去十多年引起相當多討論的「隱身衣」，也叫「光學斗篷」。在2006年起，英、美、內地以及香港的科學家也有投身相關研究，透過特殊的設計結構，控制不同電磁波（如可見光）的傳播，及干擾其軌跡使其彎曲。現實生活中光從物體反射到眼睛中，讓人們可以看到，如果在物體上罩上一層上述材料製的斗篷，令光繞過該物體，再回來原本的光學路徑，在遠處的人眼中就有隱身效果。徐磊形容，「就像電影《哈利波特》中Harry披上隱身斗篷後，整個人就看不見了。」他說，科學家將這種利用結構能控

制的材料命名為Metamaterial，「現在最火的元宇宙（Metaverse）中的『Meta』，在材料世界裏早就用上了。」

超構材料重點在於「設計」及「結構」，徐磊特別提到，及至2013年左右，逐漸成熟的3D打印技術成為將超構材料實現的「利器」，特別是彈性超構材料，大大縮短了將材料從設計結構到打印製作的時間，能不斷調節並反覆進行實驗製作，「實現了理論和實踐的結合，解決了理論容易實踐很難的問題，大大推動有關發展。」

●香港文匯報記者 郭虹宇



● 最著名的超構材料，便是過去十多年引起相當多討論的「隱身衣」。資料圖片

液體中「隱形」可製醫療植入裝置



● 徐磊亦致力研發多功能流體超構材料，希望做到在液體中「隱形」，未來或可用於製作醫療植入裝置。香港文匯報記者 攝

多功能流體超構材料是徐磊另一個研發方向。他解釋，其研究主要就材料對包括水、空氣等流體流動的力場作調控，原理與對應光的「隱身斗篷」接近，讓材料能於液體中「隱形」，除了可用於製作潛水裝置外，也能配合生物體內液體流動的環境，製成人體兼容性更高的醫療植入裝置。

「隱身斗篷」是透過調控光場，讓光「繞過」材料表面持續前進，對遠距離的人來說如同「隱形」一樣。徐磊表示，多功能流體超構材料則是針對流體力學作設定，例如水與材料接觸時不會有額外衝擊，只附着表面按照原來的水流路徑流動，就似「隱形」了一樣，如有人進行探測，無法發現上游或中游有障礙物的存在，而藉調控令超構材料中間的水流速度比外面的快或慢或相對靜止，當外面流速很大時，內部維持非常平靜。

徐磊說，如研究成功超材料可望應用於製作潛水裝置上，又或可用於製作植入人體醫療裝置。由於人體內血液、體液等不停流動，超構材料可利用「流體隱身衣」的功效，令裝置對人體近乎零影響，提升與人體的兼容性。

●香港文匯報記者 郭虹宇

後記

在追訪是次「超能材料」系列多名香港科學家的過程中，記者深深感受到在科技進步的背後，材料研發的重大影響。在傳統領域，從生物材料優化而成的「超級竹」，將金屬材料性能全面提升的「超級鋼」；而對應電子世代，將高分子材料與液態金屬結合成的「電子皮膚」，則是近二三十年發展起來的複合材料，各項研發都大力推動着時代進步。

至於超構材料的發展，更是旨在透過重新設計，超出自然材料的限制，凸顯人類科學的驚人力量；也讓整個系列四部分能有層層遞進之效，希望能藉此帶領讀者從傳統到前沿，透視香港高水平的開拓性科研成果，走進材料科學世界的大門。

●香港文匯報記者 郭虹宇