

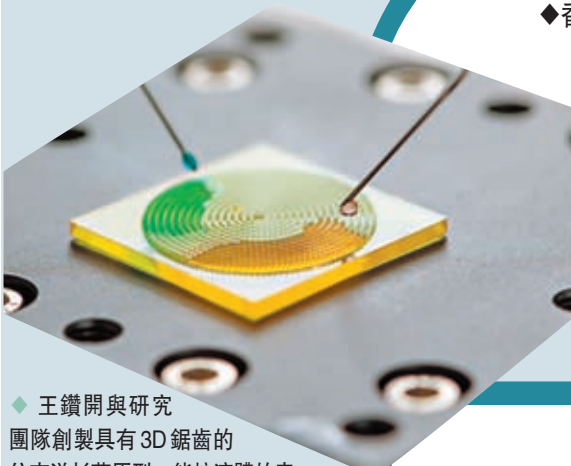
1804-2021 世紀謎團 之三

俗語有云：「人望高處，水向低流。」液體向下流動似乎是亘古不變的真理。然而，一條南洋杉葉（*Araucaria leaf*）卻顛覆了這種常規認知和運作。

由香港理工大學協理副校長（研究及創新）、機械工程學系講座教授王鑽開領導的團隊，從南洋

杉葉中受啟發，依照其自然結構設計出具有3D鋸齒的仿南洋杉表面（ALIS）原型，讓不同液體根據其表面張力差異而可以向不同方向流動，甚至可以向上「流」。是次研究成功突破自1804年以來，困擾表面與界面科學領域210多年一直懸而未決的謎題，實現了不同液體在同一材料表面流向的可控性，如同為液體賦予「智慧」，能自主「選擇」流動方向，有望掀起智能調控液體流動的新浪潮。

◆香港文匯報記者 鍾健文



◆王鑽開與研究團隊創製具有3D鋸齒的仿南洋杉葉原型，能按液體的表面張力操控其流動方向。



◆團隊從南洋杉葉得到啟發，仿照其自然結構設計出3D原型，以操控液體流向。

應用潛力廣泛 可減快測消耗

王鑽開團隊的突破性發現及3D鋸齒仿南洋杉表面原型研究，可為液體的高效操控，尤其是結構誘導的無源操縱提供有效策略，不僅豐富了對固液交界面的認識，更可不斷拓展液體操控的應用領域。透過智能調控，為工業界多方面帶來深遠影響，包括強化傳熱、冷凝換熱、紡織染色、噴墨打印、海水淡化等領域的液體輸送，以及應用於清潔、防腐、防污和抑制微生物傳播等涉及毛細上升現象的領域。

電子裝置散熱也適用

王鑽開介紹，高效控制液體的流向，令其集中向指定的方向快速鋪展，在協助散熱方面會有很好的效果。他以空調的冷凝換熱為例，其團隊研發的技術可將冷凝端液體迅速鋪展到蒸發端，大幅度提升散熱性能，而對晶片及手機等電子裝置的散熱也具有非常高的實用價值。

該技術還可以應用於病毒測試和醫學檢測領域。他舉例說，不少新冠病毒快速抗原測試，當試劑滴上去時它的擴展是雜亂無章的，但該技術有望令試劑只向一個方向快速流動鋪展，「不僅可以更迅速得出檢測結果，也可減少試劑和生物樣本的用量，極大程度上減少消耗，有助減少產生醫學廢料和促進環保。」

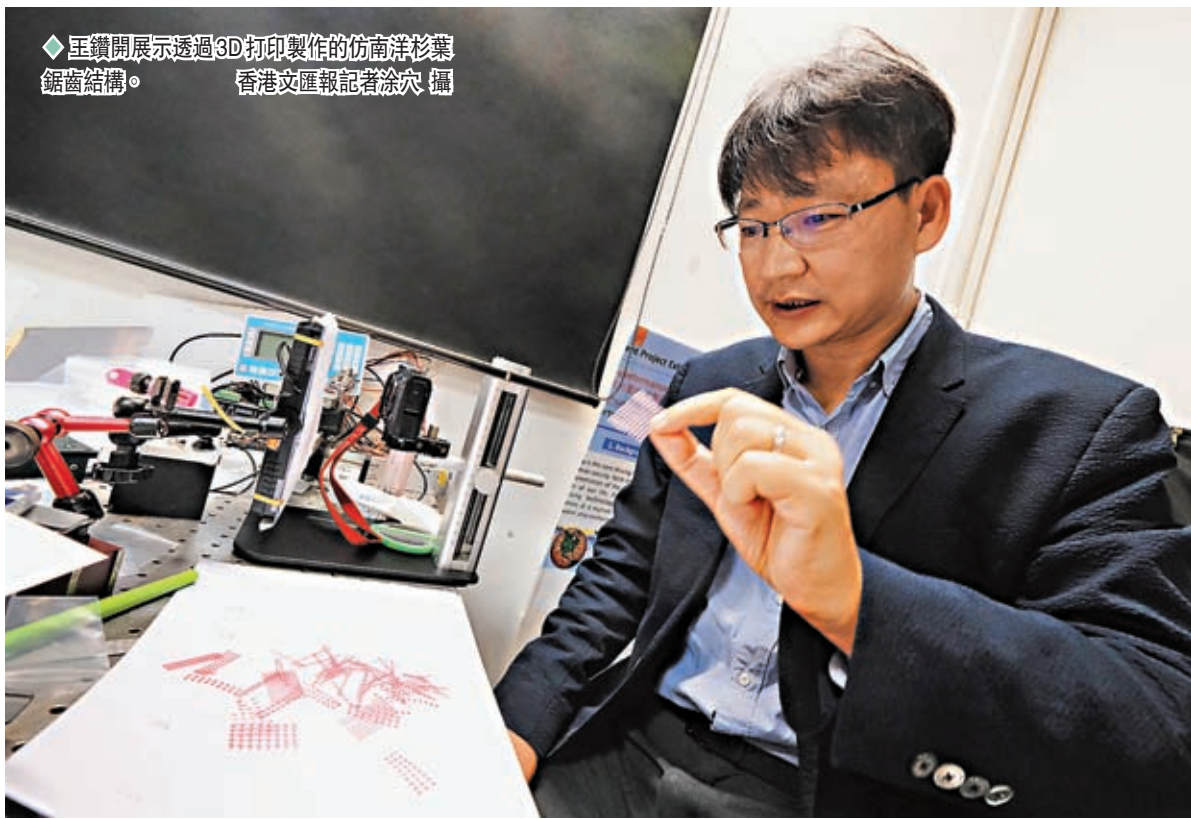
王鑽開特別提到，按理說，液體在微米及納米級別結構的表面界面的毛細上升效應會更大，但只有亞毫米級的3D鋸齒仿南洋杉表面所產生的毛細管上升效應卻有過之而無不及，「這是因為它控制了液體只往一個方向鋪展擴散，而不是到處亂跑，結果就可以導致液體『跑得更快、更遠』，十分有意思！」

不過他直言，如何把研究成果投入到實際生產中，實現大規模轉化和應用是一大挑戰，其團隊會持續努力，希望能夠克服這方面的困難。

從南洋杉葉中受啟發

藉3D仿生表面張力差異控制流向

賦液體智慧 流向「任我行」



◆王鑽開展示透過3D打印製作的仿南洋杉葉鋸齒結構。
香港文匯報記者涂穴攝

自1804年英國物理學家湯瑪斯·楊格（Thomas Young）首次提出表面界面科學潤濕性基礎理論以來，科學界對液體在固體表面的運動方向達成了共識並成為傳統認知，就是液體趨向於從能量高向能量低的方向運動。在沒有外力影響下，液體在固體表面的自發運動方向，取決於材料表面的結構性質，與液體自身的種類及表面張力等屬性無關。即液體的鋪展或運動方向，取決於所在的材料表面結構性質，例如無論是將水、油或酒精滴到同樣的表面結構上，它們都會以相同的方式進行運動或鋪展。假如水向左，油和酒精也會向左；水從中心開始作出對稱鋪展，油和酒精也會從中心開始作出對稱鋪展。

但是，一條南洋杉葉就打破了這種傳統認知與共識。王鑽開接受香港文匯報訪問時分享憶述，2018年，其團隊中一名博士後研究員在香港海洋公園遊玩時，被園中的南洋杉葉片獨特的3D結構所吸引：它由雙重懸臂結構鋸齒周期性排列組成，同時擁有橫向和縱向曲率。

將葉片帶回實驗室研究後，團隊在該南洋杉葉上發現了意想不到的液體流動行為，長期從事仿生表面界面研究的王鑽開於是提出一個深刻的物理學問題：「在不改變固體表面結構和沒有外部能量輸入的前提下，液體能否自主選擇運動方向？」

3D鋸齒是控制關鍵

團隊在隨後三年間仿照南洋杉葉的自然結構，設計出具有3D鋸齒的仿南洋杉表面（ALIS）原型，並在上面置放不同混合比例的乙醇（酒精）和水，發現因為表面張力的不同，混合液會分成3個方向流動：當酒精含量低於10%，液體會逆鋸齒方向倒流；含量40%以上酒精的液體會順鋸齒方向流動；酒精佔

10%至40%時更會雙向流動。

王鑽開表示，其團隊發現這毫米級的3D鋸齒，會令液體在其表面上受毛細力作用（capillary action）影響而流動。鋸齒的結構與尺寸，特別是鋸齒尖端向內彎的勾狀結構、鋸齒尖端之間的距離，均是控制液體流向的關鍵。他解釋，以水一般表面張力高的液體為例，表面張力會將液體固定在3D鋸齒的尖端，由於鋸齒尖端的間距與液體的毛細長度相若，液體可以逆鋸齒傾斜的方向向後倒流；相反，像乙醇一般表面張力低的液體，其表面張力成為了驅動力，令液體順着鋸齒傾斜的方向向前流動，可見適當設計新型的毛細鋸齒，就可以營造足夠空間令液體「選擇」流向。

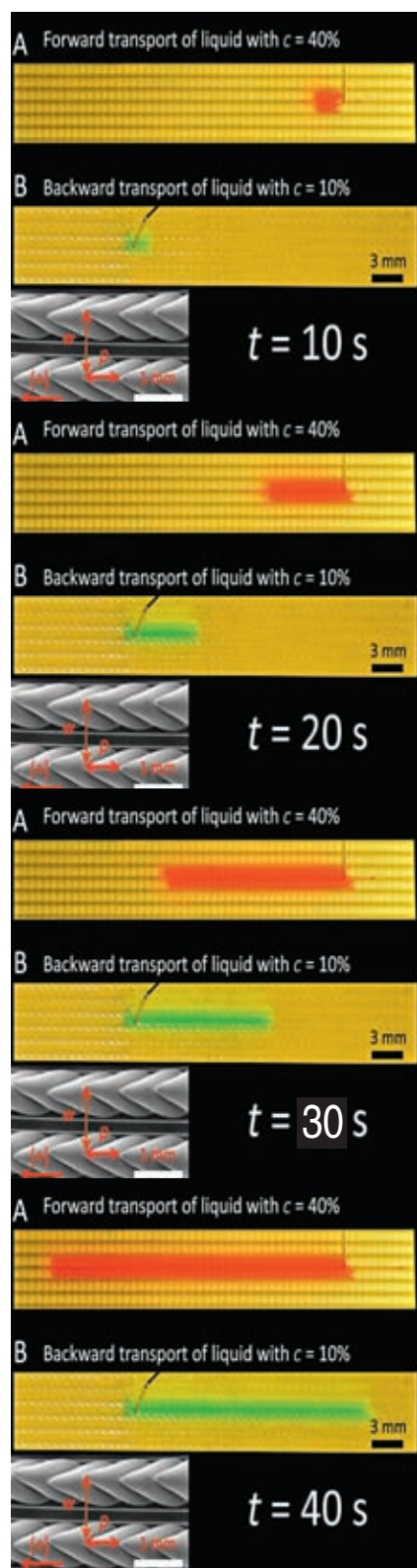
最大化實現水向上「流」

更有趣的是，團隊實驗發現，水和乙醇的混合液體在適當比例下，會同時以雙向流動。同時，ALIS更可顯著促進毛細上升現象（capillary rise），無論是上升速度和高度都比多種微米和納米結構材料更佳，最大化實現水向上「流」。

王鑽開表示，其團隊觀察到不同液體向多個方向流動，是科學界首次記錄到的現象，「就像魔術一樣」，而透過混合不同比例的水和乙醇，可得出不同表面張力的液體，由此可操控液體的流向，「根據常規認知，液體流動方向主要由物料表面結構決定，與液體特性如表面張力無關，我們的研究首次展示可控制液體傳輸方向，成功解開自1804年以來在表面與界面科學領域的難題。」

是次研究為智能液體傳輸研究開拓了新領域，有關論文在去年底王鑽開任職香港城市大學時於國際權威期刊《科學》發表，並有多名城大、大連理工大學及香港大學科研人員參與。

◆研究團隊在仿表面結構注入混合不同比重的水和酒精，當酒精含量低於10%，液體會逆鋸齒方向倒流；而酒精含量40%以上的液體則會順鋸齒方向流動。
香港城大片段截圖



◆團隊在南洋杉上發現，對表面張力高的液體如水（右圖），表面張力會將液體固定在3D鋸齒的尖端。相反，表面張力低的液體如乙醇（左圖），其表面張力成了驅動力，令液體順着鋸齒傾斜的方向向前流動。

「前研後產」增合作 灣區城市優勢互補

香港正致力發展創科產業，王鑽開認為，在其專長的仿生材料領域，香港與大灣區內地城市可考慮以「前研後產」模式來加強合作，發揮彼此長處，做到優勢互補。

王鑽開舉例說，他和團隊過去一些研發

成果，包括散熱塗層和新型滴水發電機等，具備應用轉化和產業化潛力，但在香港落實比較困難，「做產業化更多的是需要後端的可靠性和穩定性，需要很多人去仔細琢磨，整天研究怎樣提高產品質量和體驗等。」在這些方面，大灣區內地

城市的經驗及發展條件都相當好。另一方面，香港於包括仿生材料的中上游探索和研發聚集較多人才且有一定規模，加上現時很多內地的科研經費對香港開放申請，兩地在「研」和「產」有很大的分工合作機會和空間。

從自然中學習 屢獲殊榮肯定

從大自然中學習，是王鑽開從事仿生材料研究的格言。被形容為「把水的研究做到極致」的他，究竟為什麼對科研如此著迷？談到這點，他雙眼炯炯有神地表示，大自然中的動物植物表面都具有非常精細的納米結構，例如荷葉、貝殼、仙人掌和蜘蛛絲等，通過學習和模仿其結構，可以幫助人類控制或改變流體和熱的傳輸，甚至是發電，直言當中奧妙「非常神奇」。

在去年及今年破解兩個超過200年的世紀謎題前，2020年王鑽開亦研發出新型水滴發電機，以一滴100微升的水，就可以產生超過140伏特電壓，足以點亮100盞小LED燈。憑着一系列成果，他於2020年獲頒

「科學探索獎」，又在2021年勇奪「青山科技獎」，成為目前唯一兼得這兩項「百萬大獎」的科學家。

而從11月至今，他更接連獲選為香港研資局「高級研究學者計劃」、「裘槎優秀科研者獎2023」以及第一屆「中銀香港科技創新獎」先進製造領域的得獎者，累計獲逾千萬元獎金及資助推進研究。

連續三年在《自然》發表論文

對此，王鑽開自豪又不失謙虛地表示，自己和團隊的水平在仿生材料研究領域可以排進世界前三，例如已經在《自然》和《科學》等著名國際學術期刊上發表了27

篇文章，過去更連續三年在《自然》發表了三篇論文，是目前世界上僅有的兩個科研團隊能夠做到如此佳績。

他解釋，《自然》每年只有約800篇論文發表，約七成是生物醫學領域相關，仿生材料領域方面，全世界每年就只有一兩篇。他又打趣地比喻說：「這個實在是太難了，就像勒邦古士（LeBron James）也未能連續三年奪得NBA總冠軍一樣。不是不可能，但是很難實現，所以我們算是比較有運氣的。」

儘管已經躋身世界前列，但王鑽開仍然努力不懈，「希望能夠在大中華地區以至全世界做到最好。」

為何紙巾能吸液體？

王鑽開團隊的突破性發現，與液體的毛細力作用（又稱毛細現象、毛細管作用）特性緊密相關。毛細力作用是指液體在細管狀物體或多孔物體內部，由液體與物體間附着力和因液體分子間內聚力而產生的表面張力組合而成，令液體在不需施加外力的情況下，流向細管狀物體或細縫的現象。

毛細力作用在日常生活中隨處可見，例如紙巾充滿細孔的材質使液體能被吸收，海綿有非常多的細小孔洞使其能吸收大量液體、墨水筆的幼細筆管維持筆頭濕潤，而植物根莖從土壤中吸水，亦有部分與毛細力現象有關。

小資料