

本系列介紹一些有趣的科技大發現與發明故事，這些靈機一動的突破思維常帶來創新的工具、方法、理論等，也促進了人類的福祉。



向壁虎學習—— 乾式黏附物的發明

■ 林天送

壁虎為什麼能攀牆自如？

為什麼能倒掛在天花板上而不虞掉落？

小百科

乾式黏附物又稱壁虎帶，是一個新的科技產物，可取代膠帶、黏紙、維爾克（Velcro）等，它是由上億的微細管組合成的。

發明者

乾式黏附物的發明專利，是歐騰（Kellar Autumn）、傅爾（Robert Full）與斐臨（Ronald Fearing）3人於2004年5月提出申請的。這3位都是美國加州大學柏克萊校區的研究團隊，專門研究蜥蜴的生態、基因與行為。歐騰在加州大學柏克萊校區拿到博士學位，他的指導教授就是傅爾，論文是研究壁虎的生態。歐騰現在是美國俄勒岡路易士及克拉克（Lewis & Clark）學院生物系的教授。

靈機一動

幾年前，歐騰到夏威夷度假，有天晚上在房間躺著時，看到天花板上有一隻可怕的大蜘蛛，但一會兒一隻壁虎過來把大蜘蛛吃掉了。根據歐騰的研究，壁虎有特殊的聽覺，可以察覺十幾尺外的蜘蛛行動。壁虎屬於蜥蜴類，歐騰的實驗室就收集了世界各地的壁虎，有一年他還專程去西藏收集壁虎，但卻是第一次看到在天花板上爬動的壁虎。他立即的疑問是，壁虎為什麼能在天花板上倒置行走自如？難道牠的腳趾有什麼黏附物嗎？

度假回來後，他就用電子顯微鏡觀察壁虎的腳趾結構。歐騰發現壁虎的一個腳趾底有大約50,000個鬃毛，鬃毛是角質蛋白，每個鬃毛的尾端又有100~1,000團的小毛線。這些分裂開來的小毛線尖端呈湯匙形狀，就像我們的頭髮尾巴長了許

多花菜，因此壁虎的一隻腳趾就有將近10億個的小毛線，難怪能附著在天花板上。

歐騰又試著把死掉壁虎的腳趾壓在懸空的平板上，那壁虎仍然緊密附著在板上，即使過了一整天也不會掉下來。他很肯定地認為，壁虎能倒置行走在天花板上並不是練有「氣功」或靠肌肉的力量，而是靠著牠的特殊腳趾結構。另一耐人尋味的疑點是，壁虎走過的平板並沒有留下任何痕跡，不像常用的膠帶、黏紙，撕開時常會留下殘渣。

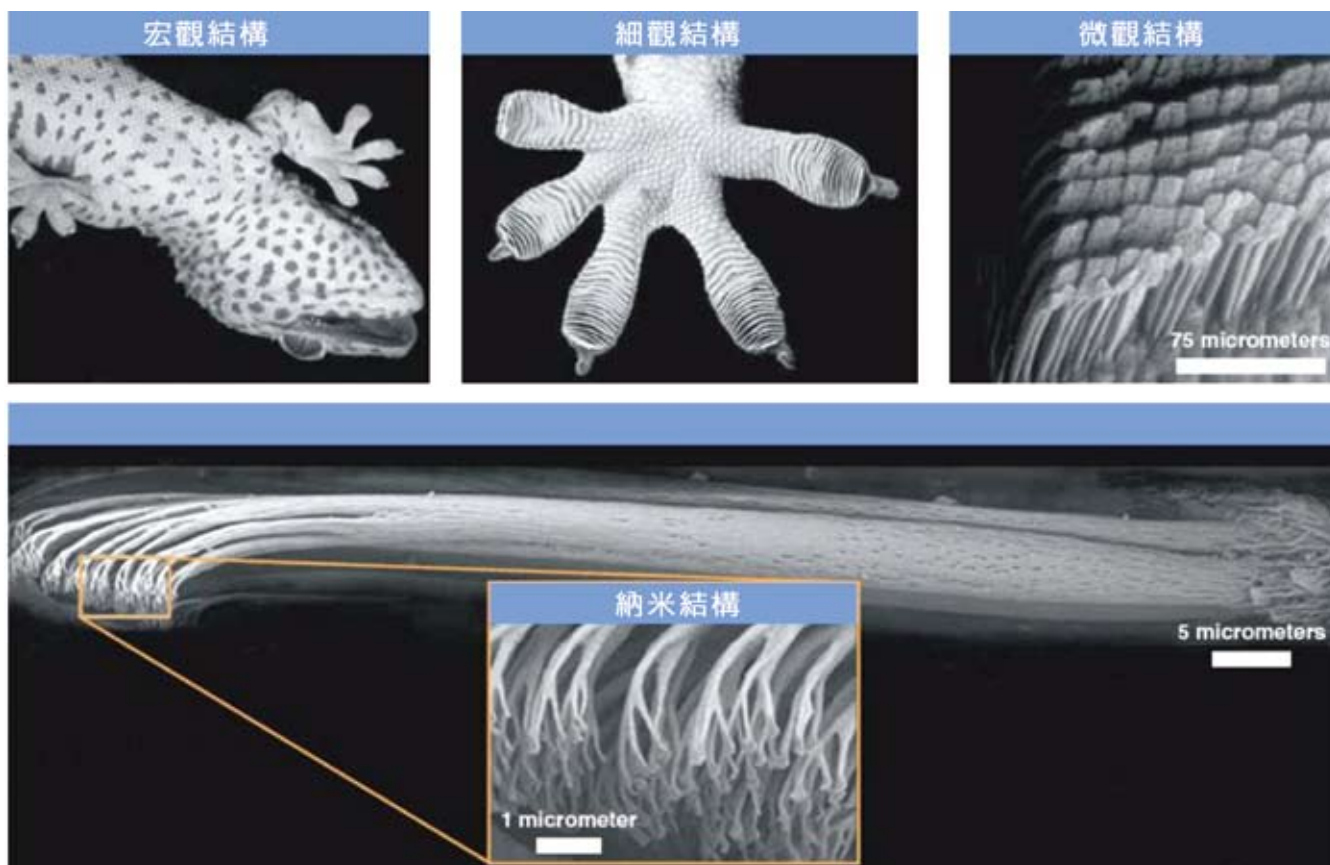
於是歐騰及傅爾的研究團隊就開始探討它的物理與機械性質，也開始做一些材料實驗，他們發現壁虎的黏附力是一種凡得瓦爾（Van Der Waals，簡稱爲VDW）力。通常當2個分子相距2奈米（ 10^{-9} m）時，凡得瓦爾力才會顯著，而壁虎的腳趾有將近10億支的微小特殊細毛，有些細毛很靠近平面，使得每平方公分產生了10牛頓的凡得瓦力，這就是黏著力的由來。

這時候，團隊的另一位研究員—斐臨，就利用他的機械專長去模擬製造出乾式黏附物。斐臨是柏克萊機械系的教授，專門研究小型機械（約1~10毫米）的功能。他開始用人造纖維來模擬壁虎的腳趾，當這些合成纖維的尺寸接近壁虎的腳趾細毛時，就開始有吸附的力量，但仍比不上壁虎的完美。無論如何，有了初步的實驗結果，就可以進一步精益求精了。

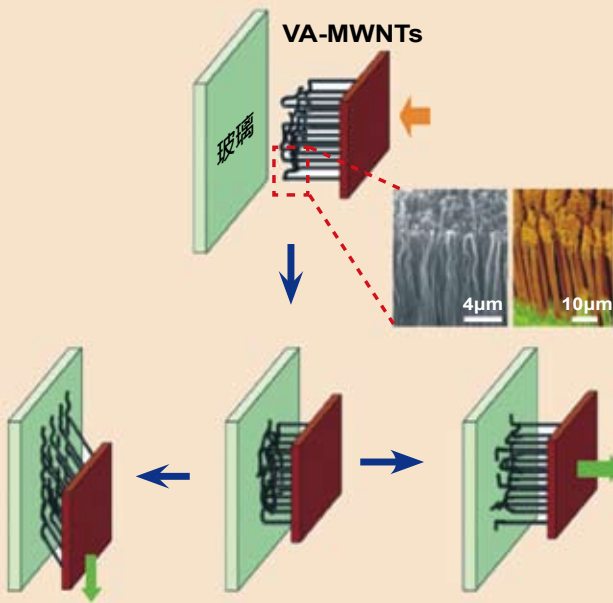
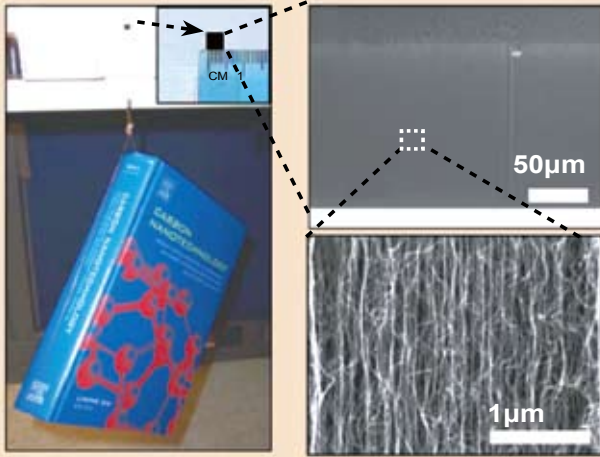
最新的壁虎研究

近年來科學家用各種不同材料來模擬壁虎的腳黏性，他們發現各種材料的應用價值各異，以下介紹2008年3個具突破成果的例子。

在《科學》期刊上有篇報導，研究人員用特殊碳奈米管模仿壁虎腳黏性，他們發現它的黏著力遠勝壁虎。這種新黏附劑的效力是壁虎的10倍，大約每平方公分是100牛頓，也比先前仿壁虎腳的黏附劑高出3倍。而且碳奈米管的尾巴具有捲



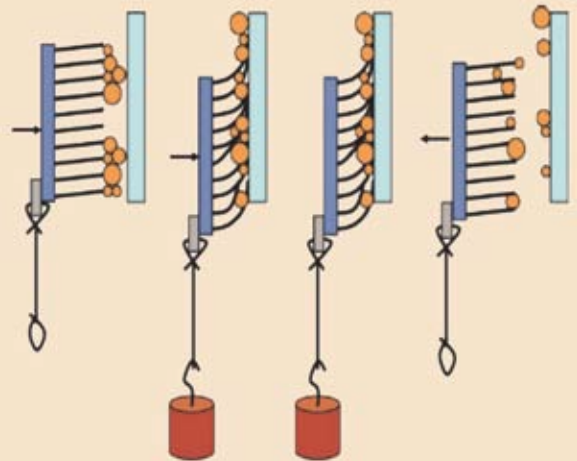
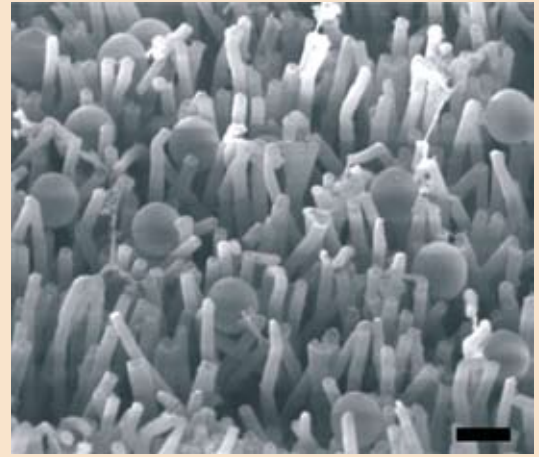
壁虎腳趾的微米（micrometer）結構（圖片來源：http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/0/03/Micro_and_nano_view_of_gecko%27s_toe.jpg）



碳奈米管的尾巴具有捲曲並帶彈性的細毛，使得它的切面黏著力比正面黏著力大很多倍，因此黏附劑可以很容易地由正面拉開。
（圖片來源：Science）

曲並帶彈性的細毛，使得它的切面黏著力比正面黏著力大很多倍，因此黏附劑可以很容易地由正面拉開。這一特性在不同的平面物質上所呈現的結果都類似。

加州斐臨的研究室也在 *Langmuir* 期刊上，發表了以新材料模擬壁虎腳黏性的測試結果。他們使用單層25微米厚的聚丙烯片，上面平均每平方公分有四千多萬支半徑約300奈米，長約18微米的細管。在探索許多機動力學的測量結果後，他們發現這些聚合丙



在細管中摻雜微球物，就可以提高接觸表面乾淨未留痕跡的機率。
（圖片來源：Langmuir）

細管都有很高的黏著力。即便如此，如果拉開來後會留下痕跡，這黏附劑的多次使用率就會降低。他們發現如果在細管中摻雜微球物，就可以提高接觸表面乾淨未留痕跡的機率。

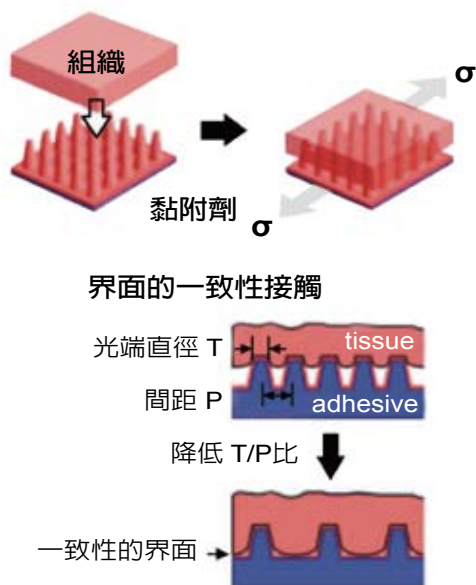
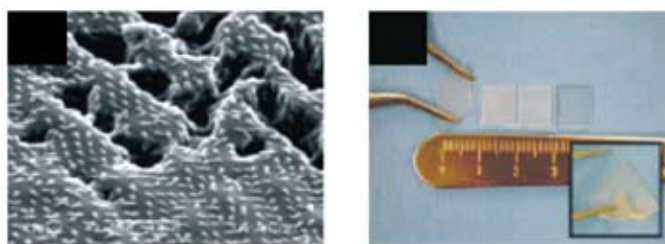
此外，哈佛大學醫學院的卡撲（J. M. Karp）和麻省理工學院的蘭勾（R. S. Langer）最近也在《美國國家科學院彙刊》（*PNAS*）上報導，他們利用可自然分解及生物相容的聚合物來模擬壁虎的腳黏性，主要目的是要

應用在醫療方面，尤其是密封動手術後或受傷的傷口，因此這黏附劑必須不透水。他們使用的材料是poly (glycerol sebacate acrylate) elastomer，外殼鍍上一層氧化葡聚糖以加強附著到組織上的力量。他們把這黏附物黏在小鼠的傷口上，結果沒有呈現任何排斥現象。

掌聲回響

雖然壁虎帶目前還不是很普遍，但它的用途預期會相當廣，如微型機械的連接或夾具、精緻的醫療修復、可黏附山壁（爬山用）的強力手套等。

自從歐騰到夏威夷度假，因好奇於壁虎腳的神奇黏性，經過不斷的探索而揭開了壁虎腳上功夫的奧秘，原來壁虎腳趾上具有彈性的微小細毛，他們接著就模仿壁虎腳細毛的結構而實際應



可自然分解及生物相容的壁虎帶（圖片來源：PNAS）

用。許多研究室，包括空軍研究單位，也接力參與了這項研究。他們以蜘蛛絲的特性（抗張強度可與鋼絲比美）為探討主題，企圖複製大自然界類似「蜘蛛人」般的能力，即同時發揮壁虎帶的黏附力及蜘蛛絲的抗張強度兩項功能。

其實大自然的動物與植物在幾萬年的演進過程中，為了生存發展出各式奇妙的能力，如魔鬼粘（維爾克）的發明是梅斯倬從芒刺小針的小鉤子結構聯想出來的。許多大學及研究機構也注意到這一點，並開始向自然界學習，這個領域叫做仿生學，或叫Bio-inspiration。從自然界的生態，推廣出許多假設與理論，再用實驗去證明，而對應了實際生活的「需要」。

這是個跨領域的門路，連貫了生物、化學、物理、材料、工程等專業，必須有多方面的專業人員參與才能有成。另外，發明者平時就得有準備的心及一些專業知識，一碰到機會才有聯想的能力，把「無」化為「有」，創造出新的產品造福人類。

林天送

美國聖路易華盛頓大學化學暨神經科學系

深度閱讀資料

Peter Forbes (2005) *The Gecko's Foot, Bio-inspiration: Engineering New Materials from Nature*, Chapter 4, W.W. Norton & Company, New York.

L. Qu, L. Dai, M. Stone, Z. Xia, Z. L. Wang (2008) Carbon Nanotube Arrays with Strong Shear Binding-On and Easy Normal Lifting-Off. *Science*, 322, 238-242.

A. Mahdavi, L. Ferreira, *et al.* (2008) A biodegradable and biocompatible gecko-inspired tissue adhesive. *PNAS*, 105(7), 2307-2312.

J. Lee and R. S. Fearing (2008) Contact Self-Cleaning of Synthetic Gecko Adhesive from Polymer Microfibers. *Langmuir*, 24(19), 10587-10591.