

投稿類別：生物類

篇名：

神奇的壁虎-研究奈米結構的凡得瓦力效應

作者：

呂昫蓁。德光中學。普(綜)高二年八班

指導老師：

呂念宗 老師

壹●前言

一、研究動機

壁虎，又稱守宮，以捕食小蟲子維生，廣泛分佈於各大洲的熱帶、亞熱帶及溫帶地區。壁虎遇有敵害或干擾時，容易斷尾逃脫，尾巴具有再生力。生殖方式為卵生，大多數壁虎每次均產兩個蛋。

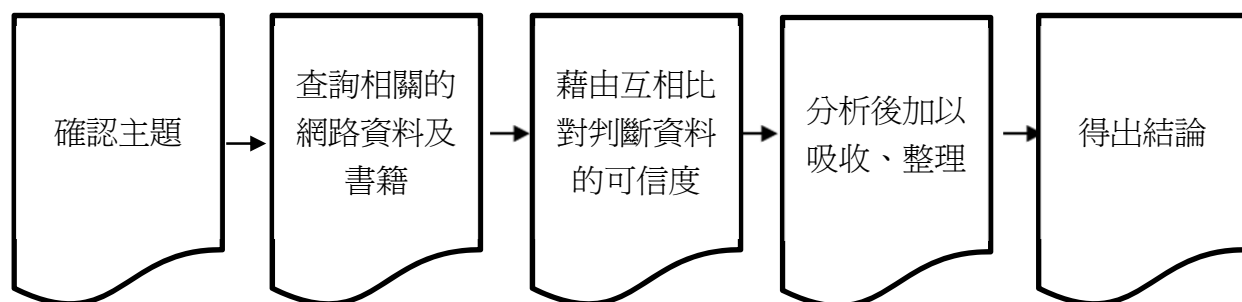
早在西元前四世紀，古希臘哲學家亞里斯多德就對壁虎高明的爬行能力感到好奇與不解。人們對壁虎攀岩走壁背後原因一直眾說紛紜，如：吸盤說、黏液說、剛毛勾說，但這些都無法真正解釋壁虎的爬行。

近年來許多科學家對於壁虎腳深感興趣，我之所以會選擇這個題目，是希望對壁虎有更深入的了解，以事先研讀相關資料和匯集各方文件的方式，進一步探究現代仿生科技的運作。

二、研究目的

- (一) 初步認識壁虎的特性
- (二) 探討壁虎腳趾的奈米結構及奈米科技
- (三) 探討壁虎的凡得瓦力效應
- (四) 探討此技術對生活的實際運用

二、研究流程



貳●正文

一、壁虎基本介紹：

(一) 分類地位

界	動物界(Animalia)
門	脊索動物門 (Chordata)
綱	爬行綱 (Reptilia)
目	有鱗目(Squamata)
亞目	蜥蜴亞目(Lacertilia)
科	壁虎科(Gekkonidae)

(二) 型態

大守宮是亞洲體型最大的壁虎，體長可達 30 到 40 公分，重達 200 至 300 克，是科學家最常觀察的對象。以肉眼就能看出在牠柔軟的黏著足墊上清楚呈現著一條條弧狀、如波紋漣漪般的脊狀皮瓣皺褶，長度約 1 至 2 毫米。

二、顯微技術與奈米：

在十七世紀中期，羅伯特·虎克 (Robert·Hooke) 用顯微鏡且有系統地研究並記錄所觀察微小物體，人們才發現，如果不用顯微儀器就無法直接用肉眼見到微小物體。



虎克當時所記錄的
軟木栓細胞

(圖片來源 <http://katherinechen0504.weebly.com/2-132048329902341635498.html>)

在 1674 年，第一架實用性的光學顯微鏡是由荷蘭人安東尼·范·李文虎克 (Antonie Van Leeuwenhoek) 發明，從此帶領人類進入了肉眼無法見到世界。接下來的三個世紀 (到二十世紀初)，光學顯微鏡零件做了許多改良，使人們得以觀察以前未曾探索過的細微結構和微小生物。

隨著二十世紀末、二十一世紀初，掃描式電子顯微鏡（Scanning Electron Microscope）、穿透式電子顯微鏡（Transmission Electron Microscope）、掃描探針顯微術（Scanning Probe Microscopy）、掃描穿隧顯微鏡（Scanning Tunneling Microscope）、原子力顯微鏡（Atomic Force Microscope）等顯微技術陸續被發明，人類對於奈米尺寸的微小物體從此不再陌生、看不到了，奈米科技因此也神速的進步。

三、壁虎腳趾的奈米結構及奈米科技

(一) 奈米科技

1. 型態：

研究至少一維尺寸在 1~100 奈米範圍內的材料、結構、性質的科學，我們稱為奈米科學。

2. 發展：

上一世紀以來由於顯微鏡學的突破，人類開始能在微觀的尺度下進行觀察、操控並製作奈米級的元件，奈米科技已成為科技發展的趨勢。

3. 奈米科技在生活上的應用：

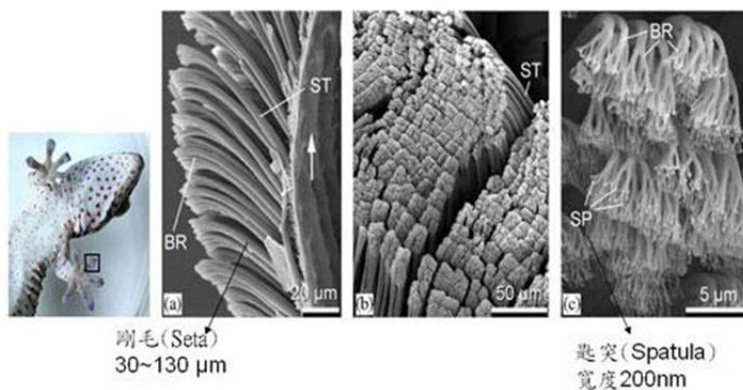
- (1) 食的方面：利用低吸濕/低透氣特性的包裝材料，如罐頭軟包裝，果汁瓶及啤酒瓶等；其他在奈米中草藥及健康食品上均有許多應用的例子。
- (2) 衣的方面：如防污布料、保溫潛水衣及吸收遠紅外線、抗紫外線的機能性布料等，均具有耐髒、耐磨、抗菌等的效果。
- (3) 住的方面：如自清潔的建材、衛浴設備及含光觸媒及奈米結構的家電產品等。
- (4) 行的方面：包括汽車用的燃料電池、奈米塗裝及汽車減重等應用。

(二) 壁虎腳趾的奈米結構

1 結構：

壁虎皮瓣的皺褶上均勻披覆著如毛髮般的剛毛陣列，每根剛毛的長度約 30 至 130 微米，直徑則是數微米，且其主要成分是天然的 β 角質素。每根剛毛末端具有如樹枝般的細柄分支，分叉出總數量介於 100 至 1,000 根、直徑 0.1 至 0.2 微米，稱為匙突 (spatulae) 的末端元件。

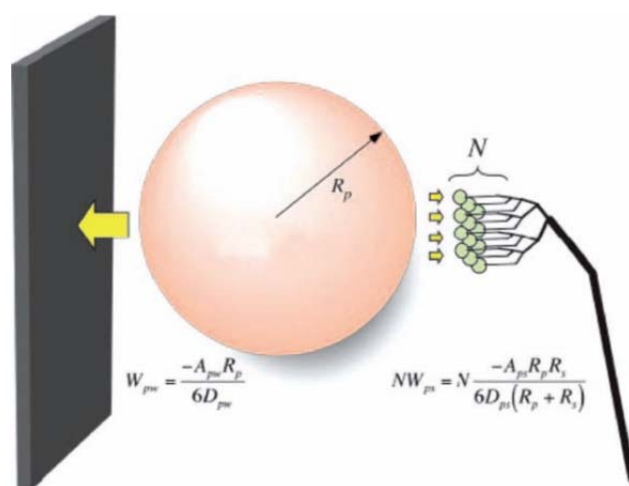
而且匙突底部的細柄與剛毛連接，頂端狀似扁平三角形，寬度約 200 奈米，厚度約 0.01 微米。



(圖片來源：http://www.moqie.com/ArticleView_10198.aspx)

2.功能：

壁虎在天花板上行走時，匙突 (spatula) 類似圓盤的結構可幫助貼近所接觸牆面，包括附著在天花板上。當需要黏附時，只需腳趾頭貼住牆面即可產生強大黏著力，反之腳趾也可輕易抽離牆面。



壁面與粒子間作用 > 粒子與匙突間作用

(圖片來源：Hansen and Autumn, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102, 385-389, 2005. Copyright (2005) National

Academy of Sciences, U.S.A.)

3.原理：

壁虎在爬行時，兩個鄰近表面之間作用力的組成十分複雜，包含有凡得瓦力、偶極力、毛細力等，若要區分出個別力量的作用，其實是一種很大的挑戰。過去一百年來科學家對壁虎黏著能力的猜測，從黏液、真空到靜電力等，近幾年終於得到證實，研究結果顯示壁虎黏著的終極利器，事實上是來自於分子間微弱的凡得瓦力。從此之後壁虎效應開始蔓延，並在科技世界中逐漸開出應用。

壁虎身上的剛毛本身具有極高的撓性，因此，在壁虎將腳指頭貼近牆面之後，撓性的特質使得細柄的末端圓盤可以非常的貼近牆面，到凡德瓦力可以產生有效吸力的範圍，統合起來，便形成對壁虎腳掌整體而言有效的黏著力，進而提供壁虎爬升時的支撐力。因黏著力的產生是為適當的支撐力以進行攀爬，因此在剛毛力量的分析是以正向力和摩擦力等較巨觀的角度分析，對於施以約既定的正向力，可產生摩擦力的大小均在數倍以上，展現良好的黏著性。

剛毛本身相對於腳指頭的幾何排列具有非對稱性，於需要黏著時壁虎僅需將腳指頭「捲開來」貼住牆面即可產生強大黏著力，但同時，壁虎可以輕易的將腳指頭「捲進來」使腳掌能輕易離開牆面。概念上來說就如同一段膠帶貼在牆面上，若要直接將膠帶以平行於牆面上的力量拉動非常不容易，但若拉起其中一端，沿分離面撕下膠帶則非常簡單。如此指向性黏著（directional adhesive）的設計與運用，使得壁虎能輕易的在牆面上運動。也由於非對稱的設計，當壁虎在牆面上攀爬時，腳指頭會盡量朝向一個方向，以產生對身體適當的支撐力；而當壁虎往下爬時，四隻腳掌也會自動翻轉來進行運動，以保持支撐力的方向，而量測單支剛毛所能產生的黏著力，相較於以往以巨觀整隻腳掌的方式估算出為10倍左右，在這一個推算之下，一隻150g壁虎所能產生的黏著力高達約40kg，為體重的兩百多倍！因此，這也說明了壁虎為何能輕鬆的將腳掌觸碰牆面，就能提供快速敏捷運動所需的支撐力，因為壁虎只需要有1%的細柄觸碰牆面，即足以支撐本體產生適當的運動。

三、壁虎的凡得瓦力效應

(一) 凡得瓦力：

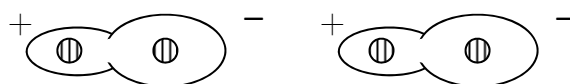
1.意義：分子間的弱作用力統稱為凡得瓦力，是一種微弱的靜電力，因

凡得瓦〈Van der Waals〉研究而得名，不是化學鍵。

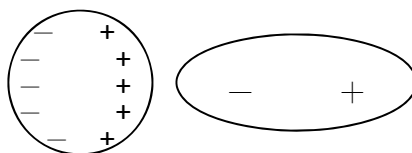
2.形成條件：分子間的正負電荷分佈不均勻而產生靜電吸引力。一個原子周圍環繞的電子不會永遠均勻分佈，在某一瞬間電子偏向原子的某一邊，讓這邊帶了些許負電，而另一邊則帶些許正電。當兩個分子靠近時，這些許的正負電之間也會互相吸引，但強度約小於 5 kJ/mole 力量相當微弱。

3.種類：

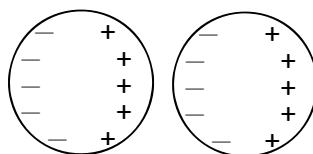
(1)偶極—偶極力〈dipole-dipole force〉：極性分子因電荷分佈不均使產生偶極矩，以“+”、“-”表示，所以極性分子靠近時，會造成電性的吸引，這種作用力稱為偶極—偶極力。當然分子的偶極矩愈大，分子間的作用力愈大。



(2)偶極—誘導偶極力〈dipole-induced dipole force〉：非極性分子與極性分子靠近時，受到極性分子—偶極矩〈dipole moment〉的靜電感應，使非極性分子之電子雲瞬間產生暫時性的極化—誘導偶極，非極性分子的誘導偶極與極性分子的永久偶極間的作用力，稱為偶極—誘導偶極力。



(3)分散力：又稱為倫敦力〈London force〉，是一種瞬間偶極—瞬間偶極力，多發生於非極性分子間，藉由電荷的不均而極化鄰近分子的電子雲，產生瞬間偶極，其間的吸引力就是分散力。所以分散力在任何分子間皆存在。



4. 影響凡得瓦力大小的因素：

(1) 分子的大小：分子越大，電子總數越多，其所含的電子數愈多，愈容易感應鄰近分子的電荷不均勻效應，故凡得瓦力愈大。

(2)分子的形狀：異構物或分子量相近的分子中，接觸面積愈大，凡得瓦引力愈大，一般而言，鏈狀或面狀分子之接觸面積 > 球狀或團狀分子之接觸面積。

(二) 壁虎腳掌上的凡得瓦力效應：

凡得瓦力的力量雖然很小，但壁虎腳掌表面有數百萬的吸引力時，力量的總和就很驚人了。壁虎的腳掌上的剛毛直徑約 200 至 500 奈米，每根剛毛雖只能提供很小的力，但因剛毛數量極多(根據估計一隻壁虎腳掌約有 6 百多萬根剛毛)，吸附力最大可達 120 公斤重左右。

四、探討奈米技術對生活的實際運用

(一) 仿生材料：

1. 基本介紹：

科學家利用物理及化學的方法，將物質的尺寸切割析離成奈米呎吋大小，之後再利用物質因縮小至奈米尺寸所產生不同的物理或化學特性，做適當的結合，因而產生單一元素材料，如：碳—60、奈米炭管、量子點等。之後科學家再將組構完成的奈米材料和其他物質元素結合，並提升其特性，以運用在人類的各項材料上，因此可以非常廣泛的運用在人類的各項需求上。

以生物材料為靈感，利用現有的資源合成新穎的材料。特性包括可自行組裝、具備多樣的功能、多層次構造，以及能夠自行修復等。從生物身上觀察到的多種驚奇的材料，要以人工方式製造出具有類似結構與耐久特性的材料，必需經過一段時間的研究與嘗試。

2. 過程：生物在演化的過程中，主要是為了適應所生存的環境，而非打造出完美的生物體，因此生物材料的性質並非完美，所以每一種生物材料都有其缺點。同時生物材料大多在常溫常壓下進行合成與製造，與人工合成材料的製程十分不同。

3. 奈米機械裝置：奈米科技與生物科技結合，可以在生物、醫學上提供重要的貢獻。尤其是微機電的發展，可以把診測、取樣、治療等限制在患部進行，而不需作全身治療，這個目標已經逐步在臨床上實現。

另外，內視鏡膠囊技術已發展到把光源、偵測器與無線電發報器裝在一顆小膠囊內，在吞下膠囊後可以把腸胃內的影像傳回，免除以往照胃鏡與腸鏡所帶來的痛苦。將來或許可以利用這種膠囊技術，把藥物直接送到潰瘍的傷口處，對療效與降低藥物劑量會有顯著幫助。未來，隨著生物科技的快速發展與微機電、奈米機電的發展，會有更多特殊功能的診測、治療方法問世。

(二) 仿生科技：

1. 定義：生物經過長久的演化，發展出許多適應環境的方法。仿生科學家觀察大自然中的生物，設定一個想要達成的目標，並從多樣的生物中挑選研究對象，再以加工生產等方式，製造出有利於生活的資源。結合了物理與化學，利用兩方的知識，改良材料的結構、性質，甚至整合不同材料的表現。主要是從大自然中獲得靈感，並運用在科技研發上。

2. 優勢：

- (1) 低成本：大自然並不會耗費過多能源或能量，來製造自己所需。
- (2) 低污染：大自然不會生產對自己有害的物質，廢棄物或毒素的產出微乎其微。
- (3) 高效能：例如光合作用，葉綠素對太陽光的高轉換率，並非目前人類技術可達成。

3. 應用：

雖然仿生學發展不過短短幾年，已經創造數十億美元的商機，仿生科技應用橫跨建築、交通工具、材料、紡織、生醫、食品、機械等各種領域，「應用無界限」正是仿生科技最大的優勢，新創企業以及大型公司紛紛運用仿生科技進行實驗，將仿生科技運用在產品設計製造上。

4. 發展：

根據國際研究顯示，仿生科技將成爲潛在重要經濟體，相關學術研究仍以美國爲首，英國、德國、日本、中國均積極發展科技，以仿生學爲基礎的設計製造過程，比傳統生產方式更節省原料，仿生科技的影響也橫跨各產業領域，其中又以製造業最爲顯著。

(三) 生活實際運用—乾式黏附物的發明

1. 想法：壁虎的爬行耐人尋味的疑點是，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。
2. 結果：
 - (1) 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稀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。加州斐臨的研究室的研究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。
 - (2) 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。卡撲 (J. M. Karp) 和蘭勾 (R. S. Langer) 使用的材料是 poly elastomer (glycerol sebacate acrylate)，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老鼠的傷口上，結果沒有呈現任何排斥現象。

參●結論

- 一、壁虎能在天花板上爬行是因爲凡得瓦力的作用。
- 二、凡得瓦力是弱作用力，但因壁虎腳趾的的匙突數量多、接觸面積大，所以能夠支撐全生重量。
- 三、壁虎效應的相關產品已成功研發出來，但仍有許多問題待解決。
- 四、仿生科技主要是綜合生物在演化的過程中爲了適應所生存的環境而產生的性質，所以每一種生物材料都有其缺點。

肆●引註資料

一、書籍資料

- (一) 陳均伊(104 年)。壁虎效應教師手冊。國立嘉義大學。
- (二) 佛布茲 (Peter Forbes) 著(96 年)學蜘蛛人趴趴走 - 受大自然啟發的仿生科技 (張雨青譯), 遠流出版社, 臺北。

二、期刊論文類

- (一) 陳柏宇、劉冠麟(103 年)。以大自然為師—仿生材料。科學人雜誌, 143 期, 48 頁。
- (二) 林天送(2010 年)。向壁虎學習— 乾式黏附物的發明。科學發展, 448 期, 68 頁。
- (三) 沈瑞文、張國明、朱祖德(2008 年 3 月)。獨步江湖的壁虎功。科學發展, 423 期, 54 頁。

三、報紙文章

- (一) 吳碧娥(103 年)。從人到蜘蛛人, 仿生科技 1.6 兆美元的商機。北美智權報, 2014.07.16, 初版。

四、電子網路資料

- (一) 專題探討。105 年 9 月, <http://163.24.6.145/nano/seminar.htm#5>
- (二) 壁虎效應教師手冊。105 年 9 月, <https://issuu.com/wang1/docs/f5b0fc65cb7422>
- (三) 台灣有害生物管理協會。105 年 8 月, <http://www.tepma.org.tw/html/front/bin/ptlist.phtml?Category=337283>
- (四) 奈米新世界。105 年 8 月, <http://nano.nstm.gov.tw/NanoConcept/NanoTheory/NanoTech.htm>
<http://nano.nstm.gov.tw/NaturalPhenomenon/OtherPhenomonon/UndersandingOtherEffect.htm>
- (五) 維基百科。105 年 8 月, <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A3%81%E8%99%8E%E7%A7%91>