

纏住未來—— 神奇的蜘蛛絲

邱聯華

電影〈蜘蛛人 2〉中有一幕，急速行駛的列車因受到破壞而失控，這時，救星蜘蛛人及時出現把蜘蛛絲噴向兩旁大樓，並以蜘蛛絲與己身擋下了列車。蜘蛛絲真的可以擋下火車嗎？是電影的噱頭或真是如此？



蜘蛛印象

蜘蛛在卡通中大都扮演著反派分子，大部分人對牠的印象並不佳。其實全球的蜘蛛約有 45,000 種，但大部分都是益蟲，牠們會吃掉家中的蟑螂等小昆蟲，因此當你家打掃得乾乾淨淨時，牠們根本就不屑光顧。

即使從各種不同的角度來看蜘蛛，總也可以找到喜歡牠的理由。例如從宗教的角度來看，蜘蛛可視為「禪」的代表，因為有別於現代人的衝動蠻撞，牠總是沉穩地守株待兔，等待獵物上門；從文學的角度看來，蜘蛛的網彷彿是一幅綺麗的藝術品，其對稱的構圖頗具美感；從科學的角度來看，蜘蛛全身上下從毒液到蜘蛛絲，有很大的應用價值。

蜘蛛屬於節肢動物門裡面的蛛形綱，大多是肉食性，會運用毒液把獵物分解，再以吮吸的方法進食。蜘蛛的習性隨種類不同而有很大差異，有些是游獵性的，依靠優秀的跳躍能力和爆發力，快速撲向獵物並注射毒液；有些具保護色，會利用擬態讓昆蟲措手不及；有些則是穴居性的，挖洞以捕捉不幸的小動物，例如常見的織網性蜘蛛。



蜘蛛全身上下從毒液到蜘蛛絲，有很大的應用價值。
(圖片來源：種子發)



可怕的蜘蛛網（圖片來源：<http://www.kraiglabs.com/spider-silk/>）

蜘蛛的大小差異更是令人瞠目結舌，最大的比手掌還大，但大部分甚至不如小拇指的指甲。蜘蛛還有許多令人驚嘆的事蹟，如世界著名的黑寡婦蜘蛛，體長僅 2.5 公分，毒素卻比響尾蛇還毒上 15 倍之多，令科學家大吃一驚。

各「絲」其職

在我們的印象中，大多數的蜘蛛都是結網的，而牠們所結成的網也都各有自己的風格，從最常見的圓形網，到平舖於地面的管狀網或看起來很舒適的帳幕網都曾經發現過。常去登山的人對於蜘蛛網應該不會陌生，那種可怕的延展力在登山人心總會留下不好的回憶。

蜘蛛所織的網非常複雜，如同人類在建築時會根據不同的功能而使用不同的原料，蜘蛛共有 6 種不同的腺體，每一種腺體製造出來的絲功能都不一樣。

蜘蛛結網是運用尾部的絲囊分泌蜘蛛絲，以製成一層堅固的網子捕捉飛行的昆蟲或其他小動物。許多人都會問：「為什麼蜘蛛走在網上，卻不會被自己的網子黏住？」其實，蜘蛛所織的網非常複雜，如同人類在建築時會根據不同的功能而使用不同的原料，蜘蛛共有 6 種不同的腺體，每一種腺體製造出來的絲功能都不一樣。

蜘蛛最常使用的絲是大壺狀腺絲，這種比較粗韌的絲並不具黏性，但支撐力十足，因此被當作整個蜘蛛網的輻射狀骨架；鞭狀腺絲則賦予整個蜘蛛網強大的彈性以及延展性，當獵物落入蜘蛛網中時會因驚慌而極力掙脫，但鞭狀腺絲反而會因不斷的受力拉長而把獵物纏得更緊，使獵物最終無法脫離被捕食的命運。另外，掌管「黏」性的聚狀腺絲，以水滴狀包裹在鞭狀腺絲的外圍。

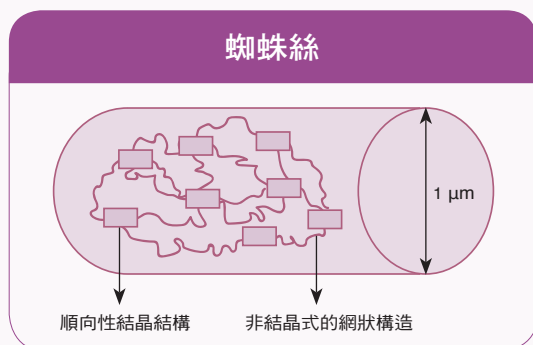
蜘蛛聰明地運用這些不同功能的絲製造完美的捕食網，有些種類的絲甚至可用以保護蜘蛛卵以免被其他生物掠食。蜘蛛絲強大的力學性能以及高度的延展性，吸引了人類的目光與強烈的興趣，也觸發了對其化學成分以及在未來生活上應用潛力的研究。

蜘蛛絲的結構與性質

蜘蛛絲非常地細，大約是 1 微米，約為頭髮的十分之一，強韌性卻優於同等粗細的鋼絲 5 倍。本文前面曾提及電影中蜘蛛人以蜘蛛絲擋下地鐵的情節，英國萊斯特大學 3 名物理系學生就據此研究分析其可能性。



以養蠶的方法生產蜘蛛絲（圖片來源：<http://www.kraiglabs.com/spider-silk/>）



蜘蛛絲的結構

根據他們在《物理特殊主題》期刊上所發表的〈Doing whatever a spider can〉文章，指出若考量列車及乘客的重量是 20 萬

公斤，列車以 88.5 公里行駛速度，讓列車停止所花的時間是 50 秒，則需花 30 萬牛頓的力才能使列車停止下來。再假設蜘蛛人射出了 6 束蜘蛛絲，每束寬約 5 公分，結果顯示確實有可能使快失控的地鐵停止下來，由此可見蜘蛛絲超強的韌性遠超乎我們的想像。

蜘蛛絲的組成及化學結構到底是什麼，才讓它具有這麼優異的性能呢？它只是一種由基本單元是胺基酸所組成的蛋白質高分子結構。但在蜘蛛絲的結構中，有一部分是沿著蜘蛛絲順向排列的結晶結構，另外一部分則是非結晶式的網狀構造，其中順向性的結晶結構可以提供蜘蛛絲抵抗外力的強度，

蜘蛛絲非常地細，大約是 1 微米，約為頭髮的十分之一，強韌性卻優於同等粗細的鋼絲 5 倍。

科學家巧妙地先找到蜘蛛絲的基因，再利用基因工程的技術把這基因轉殖到蠶身上，以大量養蠶取絲的方式獲得有蜘蛛絲強韌性質的蠶絲。

非結晶式的網狀結構則具有伸展性，就如同彈簧一樣提供了蜘蛛絲彈性。因此當有異物碰到蜘蛛網時，結晶式的網狀構造便會伸長吸收撞擊的能量，正是這種結構造就了蜘蛛絲如此強韌的原因。

蜘蛛絲的生產

由於蜘蛛絲是那麼地神奇，如何有效地生產蜘蛛絲就成為了當今科學家密切關心的議題。科學家本想以大量養殖蠶寶寶的方式獲取蜘蛛絲，卻發現蜘蛛是肉食動物，具有領域性且彼此會互相殘殺，使得此路不通。但國外實驗室巧妙地將這養蠶寶寶的概念轉了個方式，他們先找到蜘蛛絲的基因，再利用基因工程的技術把這基因轉殖到蠶身上，以大量養蠶取絲的方式獲得有蜘蛛絲強韌性質的蠶絲。

目前利用這種方法已可大量生產蜘蛛絲，該公司已與美國國防部合作，將透過所生產的蜘蛛絲開發士兵穿著的防彈衣，並計劃在德州大量種植桑樹，以擴大蜘蛛絲的產量。

另外一家德國公司也透過生物技術成功製造了類似蜘蛛絲的絲蛋白纖維，並已開始銷售，其產品應用非常廣泛，包括各類紡織纖維產品、醫藥類產品及化妝品。例如 2016 年 11 月 18 日在紐約展示了世界第一款由蜘蛛絲製成的性能鞋。這產品擁有非常優異的強韌性和彈性，且質感非常柔軟，比起傳統的人造纖維輕 15%，而且還能 100% 生物降解。

為什麼蛋白質材料難以在工業上大量使用呢？最主要的原因是蛋白質聚合生產的方



科技的進步使得日後利用蜘蛛絲的特性製造運動鞋變成可能（圖片來源：種子發）

式成本過高，難以被消費大眾所接受。為解決這個困難，日本一家公司利用微生物重組蛋白的技術，植入大腸菌合成這蛋白的基因質體，誘導微生物生產絲蛋白。再透過微生物宿主可大量生產重組蛋白質的方法，大大降低了生產蜘蛛絲所需的成本，使未來蜘蛛絲商品化露出一線曙光。目前該公司正與世界知名戶外品牌商合作，逐步實現把蜘蛛絲廣泛運用於日常生活穿著的紡織品上。

蜘蛛絲的應用

蜘蛛絲具有高強度、高彈性、柔軟、質輕等特點，是目前紡織纖維產業急需發展的重要材料，若能控制成本並順利量產，未來的應用前景非常寬廣。目前有關蜘蛛

絲的研究較受矚目的發展，包括：

軍事科學應用 蜘蛛絲因結構特殊，具有吸收巨大衝擊能量的能力，是自然界最堅韌的材料之一，又因優異的強韌性，使其僅需極微量就可達成防彈效果，製成的防彈衣將較目前廣泛使用的防彈衣輕盈，未來甚至可做成如 T 恤般的造型。因此，目前美國國防部正與一家公司合作研發這一新型的防彈衣，並正進行射擊實驗，檢驗它的防護能力。

醫療衛生應用 在古老傳統中，蜘蛛絲曾用來治療傷口，主因是蜘蛛絲與人體的生物相容性佳，不會產生排斥現象，可降解且具殺菌性，也可抑制傷口的細菌和真菌感染。另外，蜘蛛絲的化學組成是絲蛋白，能促進凝血的功能，是非常理想的生物材料，未來可應用於傷口敷料或組織工程的材料。美國一家公司就透過蜘蛛絲的基因轉殖入山羊，再從山羊的羊乳中取出絲蛋白。目前該公司也可大量提供合成蜘蛛絲蛋白，並利用這種絲蛋白生產手術縫線、人工韌帶等產品。

化妝品應用 化妝品或保養品是愛美人士的日常生活用品，由於其部分成分會藉由皮膚或黏膜進入血液，因此必須進行安全性的評估才能使用。蜘蛛絲的成分主要是絲蛋白，具備生物相容性，不會刺激人體皮膚，也無過敏性，符合高安全性，因此可應用在化妝品及保養品上。德國一家公司生產由絲蛋白所組成的光滑微粒，帶有些微的負電荷，具有抗老化的功能，據說擦了以後會使皮膚光滑細緻。

蜘蛛絲是目前所知最強韌的材料之一，有別於現有合成纖維需在高溫下合成，蜘蛛絲在常溫常壓下就可吐絲，既省能源又非常環保。但以目前的科技，無法方便地獲得大



利用生物技術製造的絲蛋白纖維可應用於化妝品

量的蜘蛛絲，因此科學家須利用基因轉殖、發酵等技術向蜘蛛絲量產的方向挑戰。

儘管目前以生物合成方法所獲得的蜘蛛絲，其性能無法與天然的蜘蛛絲相比，但隨著科技的發展，新型態人工製造的蜘蛛絲將日趨成熟。加上伴隨著應用領域逐漸開發，在不久的未來，蜘蛛絲應用一定能廣及於紡織服裝、軍事、醫療、建築、汽車等工業。到時候，別說 T 恤般的防彈衣，或許連飛簷走壁展現神威的蜘蛛人都可能實現！

邱聯華

財團法人紡織產業綜合研究所
