

· 尚景賢 ·

發現超強纖維——功夫龍(Kevlar)

一九六五年秋天，任職於杜邦公司的科學家柯歐拉克(Stephanie Kwolek)發現了劃時代的液態晶質聚合物解決方案研究，雖然是件無心插柳的過程，由於她的科學家探究實驗的本質，確立了高強度聚醯氨——功夫龍(Kevlar)上市準備的基礎，帶給杜邦公司獨步全球的技术和利潤，也為飽受死亡威脅的軍警人員，提供了良好的防護措施，柯歐拉克女士也因此獲得了全球多項獎項，包括一九九五年入選美國國家發明名人堂；一九九六年的美國國家物理獎等。

超強纖維——功夫龍

由於功夫龍具有堅韌、高強度、質輕、耐高溫性能的補強效果和優越的耐磨性質，以及極佳的抗拉性、耐衝擊性、抗張疲勞性、尺寸安定性、耐震性及應力緩和特質等等，杜邦公司於一九七一年特別成立專案團隊來研發功夫龍的各項應用計畫，一共至少規劃出兩百多種用途。最著名的就是以多層結構功夫龍纖維製造出功夫龍防彈背心(bulletproof vest)。在功夫龍還未發現以前，也有人曾經使用金屬材質，如鉛、鋼鐵等製作防彈背心，但是使用上較為厚重不便，由於功夫龍防彈背心輕巧、效果好，一上市就大受軍警人員的好評與廣泛使用。一群有心人士更組成了一「功夫龍存活者俱樂部(Kevlar Survivors Club)」，根據統計從功夫龍防彈衣問世開始，到了二〇〇二年時，就已經超過五千人因為穿了功夫龍防彈背心而逃過死神的魔掌。有一次她到功夫龍存活者俱樂部演講後，一位老婦人跑來致意並說：「我的丈夫是警察，多虧了你的發明，救了他一命。」柯歐拉克女士說這是她一生當中，過

得最愉快的一天。

無心插柳的實驗發現

化學家為了要找到所想要的產物，或者預期產生一些新的產品，經常要做很多重覆不斷、或是探索嘗試性的實驗，也就是把試料「A」加上試料「B」，在不同實驗條件下產生出一些不同的產物，然後再逐一檢視那一種比較符合預期效果。然而在化學發展史上，許多產物卻是無意中發現的，功夫龍(Kevlar)也是無心插柳的一項意外產品。

一九六三年的某一天，柯歐拉克在實驗室裡使用芳香聚醯胺進行有機聚合反應時，得到一種非預期性出現的產品。一般聚合反應的產物應該是很透明、黏度高的一種溶液，而她眼前所見到的卻是像牛乳般地混濁不清、也沒有什麼黏度的稀薄溶液。她想一想，有可能是不小心摻雜了一些其他的雜質才會變成這副模樣。於是，對化學研究工作有熱忱、有好奇心、具探究實驗精神的她，並沒有將眼前這個「失敗產物」倒掉，反而在腦海中浮現：這個

東西會有什麼特性呢？為什麼不試著檢驗看看？首先她試著用簡單的過濾方法看看是不是能夠使溶液變清澈，但是溶液依然混濁。在好奇心的驅使之下，她將這個「失敗產物」拿去抽絲並送到化驗室做物理特性檢驗，試一試它的強硬度，沒有想到檢驗的結果報告出來，它的強硬度比當時所有的有機聚合物都高十倍，她一時還不敢相信，以為是化驗室的人搞錯數據了。為了確定心中的疑惑，她將溶液抽絲做成檢體再送去化驗，送回來的結果還是一樣，她還是不敢相信，也不敢告訴老闆。直到經過幾次的重複實驗證實，並經過化學分析，發現這種聚合物是聚對苯二甲酸苯醯胺，化學結構如圖所示，是當時具有最高硬度且質量輕的人造纖維。有了這些數據以後，她才正式向上級和老闆報告。一九七一年杜邦公司就把這個材料命名為功夫龍(Kevlar)，申請專利並開始上市販售。

功夫龍的廣泛用途

功夫龍可以說是高科技的材料，它耐高溫，強



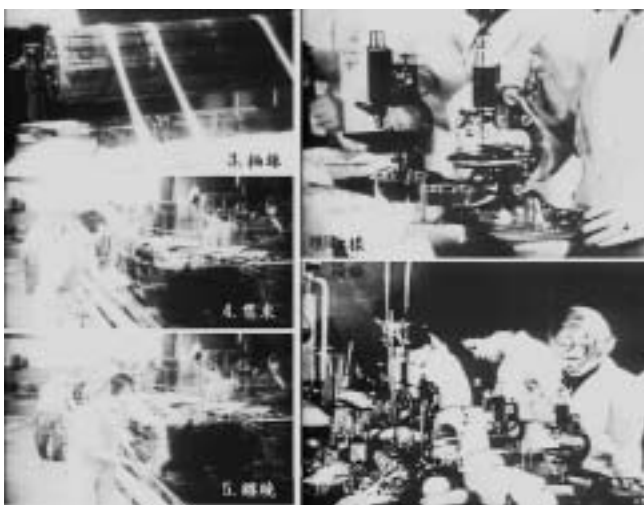
柯歐拉克(Stephanie Kwolek)女士。



柯歐拉克手持功夫龍化學結構模型及實驗與報告。



功夫龍(Kevlar)及其廣泛用途。



功夫龍最初的發現和製作。

硬度比鋼鐵高五倍，而質量比玻璃纖維(Glass)還輕。一開始，杜邦公司想用功夫龍來當汽車輪胎的材料，但是當時輪胎都是使用鋼絲做強化材料，如果要改成功夫龍，那麼輪胎公司就得重新設計模型，改變所有的生產程序，不見得划算，因此輪胎公司並沒有採用功夫龍。後來在杜邦公司專案研究團隊的努力之下，廣泛的應用於製造防彈背心、保護手套、安全帽、消防隊用的衣服、汽車剎車墊、輪胎（汽車與腳踏車）、輪船、輕便飛行器、海底電纜、橋樑等。

杜邦公司不斷的進行功夫龍的各種實驗，以提升其效能，最新的材質混合了功夫龍基漿和一種彈性聚合物，並應用在各種橡膠產品上的重要改良，例如汽車、摩托車、自行車輪胎，軟管、輸送皮帶，封膠及墊圈，橡膠靴，幫浦襯套，膜片和模製產品等。更具體的來說，這一種新的材質不僅在模量及表面耐磨性上改良許多，同時也不會產生其他重要橡膠屬性的負面效應。杜邦公司科技副總裁施羅傑博士(Dr. Roger Stenimko)指出：「這個新混合物使用的高效能材質是和杜邦功夫龍一樣的分科學，具有舉世聞名且獨一無二的強度、耐力及輕巧性，它提供各式嚴峻用途下良好的支撐力及彈性。未來我們將以這項成功發明為基礎，繼續尋求更多應用的可能性。」

以功夫龍應用在車輛輪胎的工程彈性聚合物為例，在駕駛及控制方向上有了明顯的提升，不但減少輪胎與地面磨擦及導熱，更增加其耐磨力和耐久性。增加耐磨力有助於環境保護的增進，因為延長輪胎的壽命，就等同於有效的減少了廢輪胎的產生。而類似的結果在自行車和摩托車輪胎也成功的運用，改良後的輪胎不僅耐磨、耐用、更能抗爆、抗穿刺。

功夫龍——個人最佳防護配備

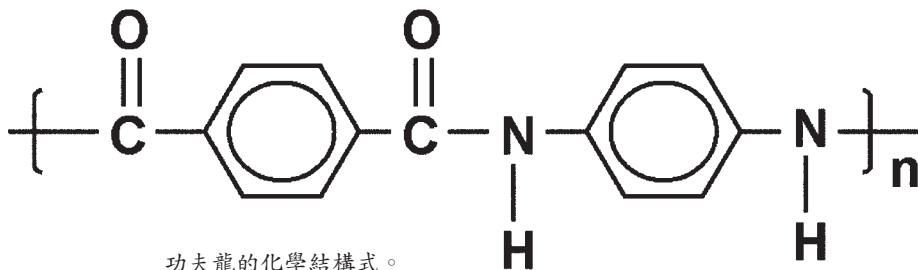
功夫龍是帶有芳香族的塑膠纖維（註）重複單位的化學式，醃胺基團以對位結構接在苯環上，是具有高強度、質輕、高穩定性、耐化學侵蝕性的人造纖維。簡單的說，它獨具了高強度而輕巧、高防護而舒適的特性，和等重的不鏽鋼強度相比較，它

的強度要高上五倍。在固定性高的分子結構下，功夫龍亦提供保溫及高抗危險性的優點，甚至可抗高溫達華氏八百度以上。此外，功夫龍在防彈及防刀的個人防禦應用更是成效卓著，自從一九九一年波灣戰爭開始，每位美國陸軍士兵都配戴著杜邦功夫龍的頭盔。

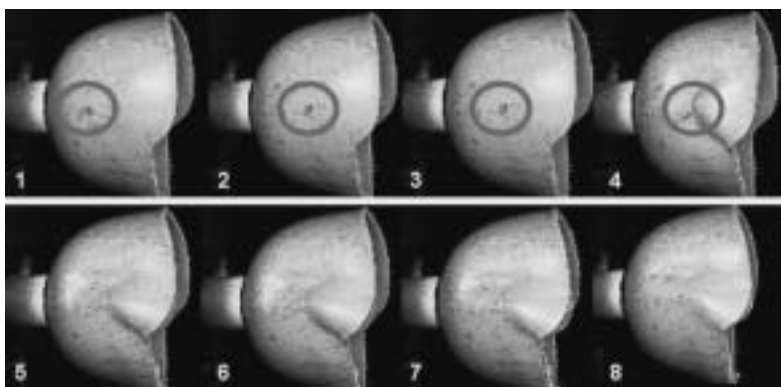
以功夫龍為材質，採用疊層與多向結構方式織造，即應用功夫龍織物的疊層，完成防彈衣或防彈頭盔所需的防護能力。這些疊層，就像緊密的防護網，當子彈撞擊時，纖維就會陸續被作用在其它纖維上，因纖維沒有斷裂，因此撞擊的能量就會被擴散出去。但是，無論是防彈衣或防彈頭盔都需要小心的保養，不能使用乾洗，也不能使用清潔劑清洗，因為任何殘留成分吸收水分後，會降低防護能力，清洗快乾後，功夫龍就會恢復其特性功能。此外，紫外線是另一個影響功夫龍防護能力的重要因素，正確的清洗必需使用中性的清潔劑和徹底的洗濯，並在黑暗區以吊掛的方式乾燥，這樣的作法才是確保它的有效與功能的發揮不二法門。

功夫龍的劣化實驗

功夫龍纖維一問市便躍身成為工業產品上重要的基材，廣泛的運用於各種領域中。中國文化大學



功夫龍的化學結構式。



防彈鋼盔測試情形。

而浸泡於漂白水與清潔劑五個月之功夫龍纖維其表面破壞較不顯著。在強度上，功夫龍纖維與紗線經浸泡於海水、漂白水、漂白水與清潔劑五個月後，其斷裂強力約下降百分之三十。功夫龍纖維浸泡於海水與漂白水五個月後，其

紡織工程學系李貴琪教授曾進行一項研究，他將功夫龍纖維、紗線與織物長期浸泡於使用者日常環境長接觸之漂白水、清潔劑等日常溶液及水上警察日常環境之海水溶液中，觀察其強力、伸度與抗彈性質等物性之劣化情形，探討其形成劣化之機構，以明瞭功夫龍纖維力學性質劣化對其織物抗彈性能的影響。

實驗結果顯示高分子聚合物的劣化乃藉著環境的作用而造成高分子聚合物材料之退化，而高分子聚合物的劣化可經膨脹和溶解來形成。功夫龍纖維經浸泡於海水、漂白水五個月後，其化學結構中之C=O產生明顯之改變。在型態上，功夫龍纖維浸泡於海水五個月後，其纖維表面會產生微小之裂縫與空孔。

斷裂強力約下降百分之十。浸泡於清潔劑五個月後，其斷裂強力約下降百分之八。在伸度上，功夫龍織物浸泡於海水五個月後，伸度約為原始伸度的二點五倍。浸泡於漂白水五個月後，伸度約為原始伸度的兩倍。浸泡於清潔劑五個月後，伸度約為原始伸度的二點四倍。在織物抗彈性能上，八層功夫龍織物浸泡於海水、漂白水與清潔劑中，其抗彈性質會隨浸泡時間之增加而產生下降。海水下降約百分之二十七、漂白水下降約百分之二十五、清潔劑下降約百分之十七。

為了解決功夫龍的衰減性和水污染的問題，一些製造廠商提供夾層式的產品，也就是把功夫龍織物放在夾層袋中，並將織物整個封閉來避免外來的傷害，由於夾層袋是使用塑膠材料，可以使功夫龍保持乾燥，但是，相對的會妨礙其透氣性而造成不

舒適的感覺。

科學家的精神——失敗產物變黃金

杜邦公司擁有廣大的化學博士研究團隊，雖然柯歐拉克女士只有化學學士的學位，但她對於化學研究工作的每一份高度熱忱，富強烈好奇心的研究精神，才能在面對非預期的失敗當中，仍然保持高度的創意思考，如果當初她把以為含有雜質的實驗產物往垃圾箱一丟，那麼今天也不會有功夫龍材料的出現和廣泛造福人群的應用了。這個故事告訴我們，當面對挫折、失敗、困惑時，最好的方法就是保持高度的好奇心與探究精神，大膽假設、小心求證，千萬不要過早下定論，甚至放棄，如此一來，才不會讓可能到手的黃金，變成了一文不值的垃圾，甚至根本不知道當中存在著另一種黃金的價值。註：芳香族是指帶有苯環的有機化合物。

· 黃培青 ·

大捷古寧頭

保家衛國 以我雙手 緩遠靖邊 振我雄風
看我火燒匪船 巷戰肉搏 殲敵囚俘 大捷古寧頭

憶當時 敵犯瓊林 海樹朔風 殺聲震天徹響
我以門板為盾 磚土憑牆 鐵般的意志 為我固土捍疆
浴血繼起 匍匐搶進 青塚黃土 埋藏不了雙眼煥發的榮光
那怕陳橫朔野 馬革裹屍 許身報國是我堅定的方向

掃雷南安 鞏固整頓 敵船百艘 無一倖免返航
鐵騎凌空 砲火齊放 猛炸狂轟 阻斷敵援妄想
三軍偕同 立體整合 團結齊心 勝利就在前方
風聲鶴唳 草木皆兵 赤權野望 自此北斷崖山屏障

記昔山川猶是 而今物去人非
落日遠眺 蒼山連綿 晚霞斂紅 暮雲繾綣
遠岸雲出 遙峰日微 浪花淘洗而去 一甲子偉業豐碑
北山列墳 萬古千秋對金城 漁梁爭渡 山寺鐘鳴已黃昏
只今 嶺上惟聞松柏聲

宜記取 保家衛國 以我雙手 緩遠靖邊 振我雄風
看我火燒敵船 巷戰肉搏 殲敵囚俘 大捷古寧頭