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。

泡型建築與碳六十

林天送

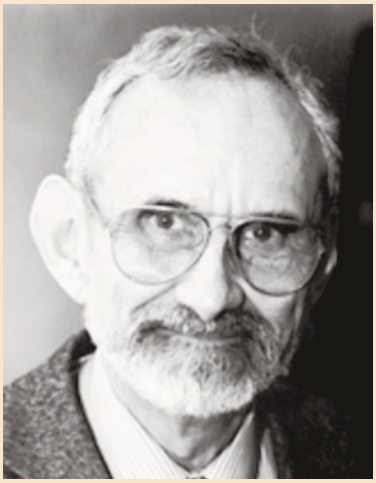
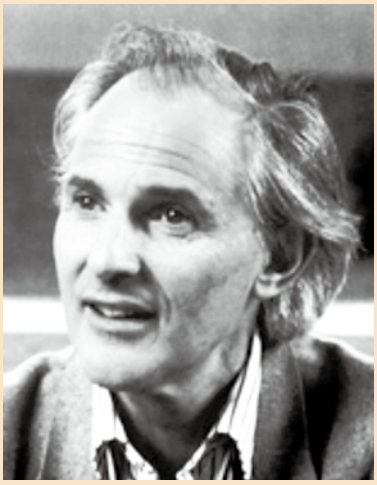
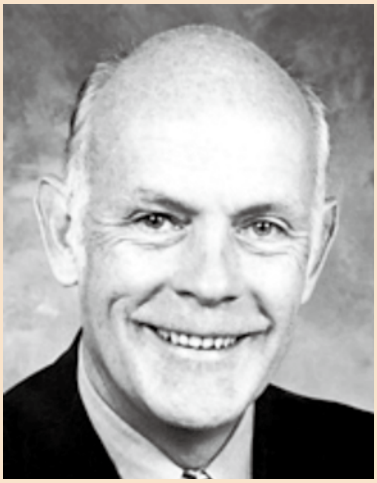
富勒32歲時窮途末路，幾乎跳水自殺，但在剎那間想開。他的細心觀察和創新，以大自然的生態為模擬對象，開創泡型圓頂建築。30年後，科學家發現碳六十的結構是泡型建築的縮影，就把碳六十命名為富勒烯。

小百科

泡型圓頂建築是美國建築家富勒（Richard Buckminster Fuller, 1895～1983）於1940年代創始的，1954年獲美國專利。這種建築物是由許多多面體拼湊起來的，利用張力支撐而少用壓力，穩固耐用又美觀，所用的材料也少。

1985年，化學家庫爾（Robert Curl），克洛托（Harold Kroto）和史馬列（Richard Smalley）無意中發現：碳經高能量雷射的撞擊後，灰粉中含有60個碳連接起來的大分子。仔細分析後，發現碳六十是由12個五角環和20個六角環連接起來的，而每一個五角環有5個六角環緊接著，結構相當穩定。這結構正是富勒的泡型圓頂建築的縮影，他們就把碳六十命名爲Buckminsterfullerene，簡稱富勒烯（fullerene）。由於它是足球的形狀，因此又簡稱百奇球（Buckyball，或譯：巴克球）。

創出泡型圓頂建築的富勒

庫爾、克洛托和史馬列因發現碳六十的存在和球狀特異結構，而獲得1996年的諾貝爾化學獎。

發明者

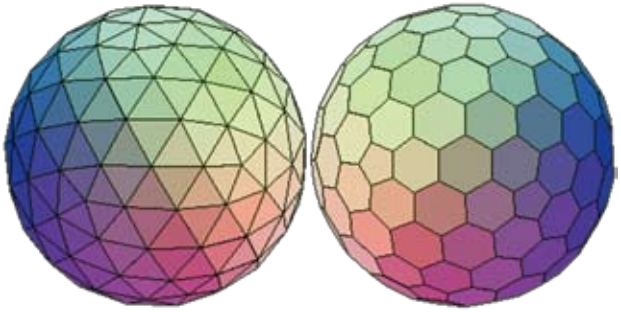
富勒出生於美國麻省北方的小鄉村，上哈佛大學，但因爲行爲不軌被退學2次，沒有畢業就離開哈佛。後來做一些和機械有關的工作，無師自通學習一些建築設計，創造出泡型圓頂建築。他在1950年代就成爲世界知名的泡型圓頂建築專家，1955年任教於聖路易斯市的華盛頓大學建築系，4年後轉到鄰近的南伊利諾大學Carbondale校區（1959～1970）任教。

庫爾和史馬列都是美國德州萊斯大學（Rice University）的教授。庫爾的專長是微波及紅外線光譜學，主要是探討分子的旋轉能態。史馬列是物理化學家，著重於分子團形成和結構的探討。克洛托是英國蘇沙大學（University of Sussex）的天文學家，專長是用微波光譜學測量太空的氣層結構。3人因發現碳六十的存在和球狀特異結構，而獲得1996年的諾貝爾化學獎。

靈機一動

富勒32歲時，在芝加哥有一度失業，又遭遇10歲的女兒因病去世，使他自責而幾乎跳進密西根湖自殺。然而他突然間想開來，想到只要自己發揮天賦努力上進，說不定能對整個社會造成極大的影響。自此自力更生，專注建築設計。

富勒是一個能細心觀察而創新的人，他覺得大自然界的生態是最好的模擬對象，如小水珠、細胞都以球狀穩定存在，這些球體是由張力支撐的。他發現極大多數的建築都以壓力爲主，一層層堆砌舉高而成，但這些承受壓力的建築物一旦陳舊或地震就容易倒塌。於是他開始思考，嘗試用張力的方式去減輕材料的壓力。開始時，他用四邊形做基礎，後來以五和六角形做基礎，而創出泡型圓頂建築系列。



A geodesic sphere and its dual.

泡狀球的形態　左邊是三角形組成的，右邊則是由五角形與六角形拼湊成的。

庫爾因爲專業上的關係，跟英國的克洛托相識。1985年，克洛托正著手探討高碳的大星座，他的許多初步太空測量顯示這些星座含有很多碳的大分子，但是無法在實驗室裡證實。這時庫爾的同事史馬列正在進行碳團大分子的研究，透過庫爾的

碳六十分子結構

1967年蒙特婁世界博覽會的美國館

關係，克洛托就到史馬列的實驗室合作研究。他們用高能量雷射去撞擊使碳變成氣體，十幾天的實驗發現一些碳灰有60個碳原子（主要成分），同時有少量有70個碳原子。經過光譜分析，這些C_{60}與C_{70}都接近圓球狀，而且是由許多五角環和六角環拼湊成的。

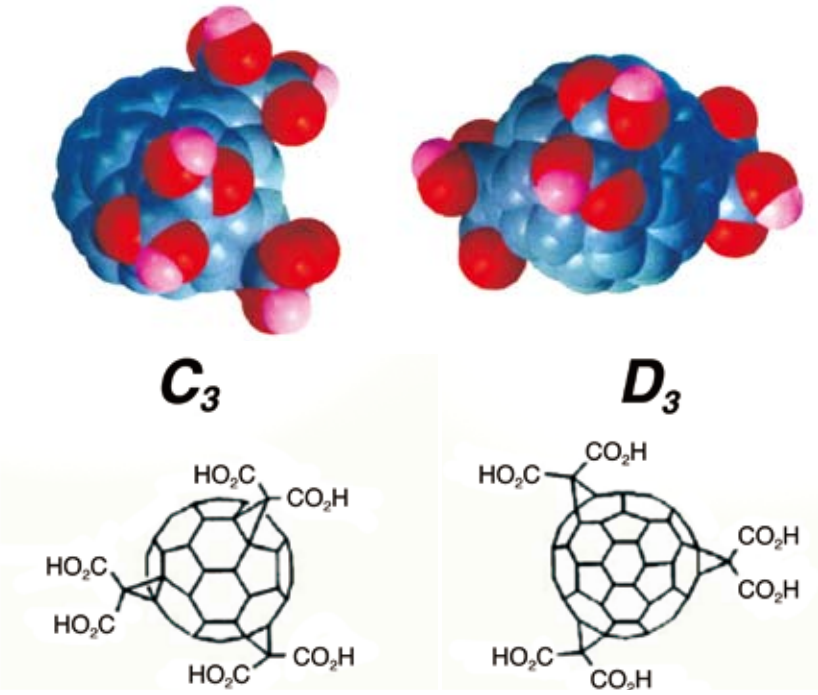
掌聲回響

沒有念完哈佛大學學位而成名的人，除了富勒之外還有很多人，如世界首富的蓋茨（Bill Gates，微軟公司的總裁）、蘭特（Edwin H. Land，拍立得（Polaroid）公司總裁，1970年代暢銷拍立得照相機的發明者）等。雖然富勒不是建築專業出身，但他難能可貴地能無師自通創出一個新的建築模式。

他的作品相當多，最有名是1967年蒙特婁世界博覽會的美國館，是一座泡型圓頂建築，目前是蒙特婁市的生物博物館。它的特點是廣闊，館內沒有梁柱支撐，外殼是由多角形鋁管連接起來的。其他如聖路易斯市密蘇里植物園中熱帶植物館的泡型圓頂建築，就是根據福勒的原理設計的，這個泡型圓頂建築在1976年被選爲全美最有特色的一百建築之一。

1965年，富勒在巴黎舉行的世界建築聯盟大會上，提出世界設計科學的10年推廣運動（World Design Science Decade, 1965～1975）時說：「我們要應用科學的原理來解決人文的問題，尤其是建築設計。」富勒一生有28個專

聖路易市植物園中熱帶植物館的泡型圓頂建築，是根據富勒的原理設計的。



水溶性的碳六十分子有潛力做為腦神經細胞的保護藥物

科學家發現碳六十具有極高的自由基清除能力，但碳六十只溶解於有機溶液，不適合當醫藥用。筆者的實驗室嘗試以水溶性碳六十化合物來擄捕自由基，水溶性碳六十化合物是由台灣大學化學系陸天堯教授實驗室合成的，自由基化學實驗在筆者的研究室進行，生物醫學實驗則在聖路易斯市華盛頓大學醫學院進行。我們發現這水溶性碳六十化合物有強大的自由基擄捕能力，尤其對腦神經細胞有保護功能，可以抵抗氧化壓力，避免自由基對神經細胞的傷害。論文已發表在《美國國家科學院學刊》，也申請到美國專利（本刊2008年432期，頁48-53）。

利，也獲頒多個榮譽博士學位，1970年得到美國建築學院（American Institute of Architects）的金牌獎。2004年7月12月，美國郵政局發行郵票，紀念富勒泡型圓頂建築專利50周年和富勒109歲冥誕。

1985年，庫爾、克洛托與史馬列發現碳六十分子，並經光譜驗證它是縮形多面體。這近圓球狀的化學結構，打破了傳統的平面多環芳香族的模型，開拓了一個新的化學領域。但碳六十的研究並沒有立刻興起，因爲用雷射撞擊使碳變成氣體所得到的C_{60}與C_{70}的量極少。一直到1990年，有人用碳電極加高電壓而能量產，C_{60}的價格由US$10/mg（一毫克10美元，比黃金還貴百倍）降到$100/g，才引起科學家的研究興趣。

20年來，有上萬篇的碳六十研究論文發表。十幾年來並帶來許許多多各種三維分子團的合成，如碳奈米管和其他奈米材料。碳六十有12個五角環及20個六角環連接，結構相當穩定，又有30個碳雙鍵。

林天送
美國華盛頓大學（聖路易斯市）化學系

深度閱讀資料

Brown, D.E. (2002) *Inventing Modern America: From the Microwave to the Mouse,* pp.133-139, MIT Press, Cambridge, MA.

Forbes, P. (2005) *The Gecko's Foot, Bio-inspiration: Engineering New Materials from Nature,* Chapter 9, The Push and Pull Building System, W. W. Norton & Company, New York, NY.

Smalley, R. E. (1992) Self-Assembly of the Fullerenes. *Acc. Chem. Res,* 25(3), 98-105.

http://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Buckminster_Fuller

http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996/index.html