

篇名：
碳化學的新里程碑——巴克球

作者：王昱婷。私立曉明女中。二年丙班

指導老師：
劉幸怡老師。

壹●前言

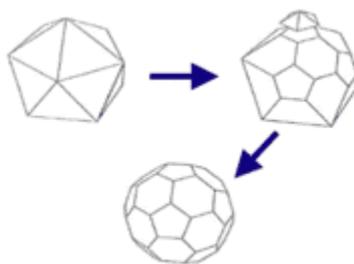
巴克球的發現，是一場意外。化學家原本總認為，他們把純化學元素的天然狀態都研究透徹了。『康拉德在 1914 年曾說：「每一位學生都知道煤炭（粗略的來說是石墨）和鑽石有很密切的化學關係。」』（註一）這也就是為什麼 1985 史莫利 (R. E. Smalley) 和克洛圖 (H. F. Kroto) 團隊在《自然(Nature)》上發表有關巴克球論文後，會迅速的在科學界掀起一波熱潮。碳元素的第三型態，為什麼這麼久都沒有察覺？而巴克球，這個隱藏在地球多年的分子，到底是什麼？它對近代化學又有什麼樣的影響？

貳●正文

一、巴克球的介紹

1、巴克球簡介

巴克球的結構如圖一所示，是由 20 個六角形和 12 個五角形所圍成，外形像一顆英式足球，是目前已知對稱性最高的球狀分子，也是繼石墨及金剛石之後，第三個被發現的碳同素異形體。『石墨軟而脆、導電性高，鑽石則不導電且堅硬無比。碳六十為第三種結構，它具有高度的穩定性與導電性，但不易與其他物質反應。』（註二）



圖一：碳 60 的幾何結構

（圖片資料來源：奈米科技研發—巴克球。2008.7.25 取自 <http://www.ntrc.itri.org.tw/dict/content.jsp?newsid=917>）

從幾何結構來看， C_{60} 是一個截角正二十面體，亦即將正二十面體的每個凸角切掉大小適當的一塊，這樣的結構共有 32 個面、60 個頂點以及 90 條邊。

C_{60} 分子的直徑為 7.1 埃，密度為 1.68 克/毫升，在室溫下呈紫紅色固態分子晶體。它與鑽石一樣不具導電性，但在 18K 時具有超導性；一些科學家發現，『它是以晶格裡的電洞來傳導電流，若加入其它分子(如三溴甲烷)來拉長晶格間距，可有

效地提昇其超導相變溫度至 117K。』(註三)

由化學性質來看， C_{60} 的鍵結形式和石墨類似，都是以 sp^2 混成軌域和周圍的碳原子鍵結，每個碳原子僅與相鄰的三個碳原子鍵結，除了有三個 σ 鍵之外，還有一個 π 鍵。其碳—碳鍵分別有 1.38 埃和 1.45 埃兩種不同的長度；兩個相鄰六角形所共用的碳—碳鍵較短，接近雙鍵(C=C)的性質，而六角環和五角環共用的鍵較長，接近單鍵(C—C)的性質。『 C_{60} 的化學性質相當穩定，即使在時速高達二萬四千公里的速度下撞擊鋼板也不會破裂，若在氮氣中加熱其晶體至 550°C 則會昇華。』(註四)

2、發現過程

科學家在太空中蒐集宇宙塵埃的工作裡，早已發現四十六億年前的隕石內存在著 C_{60} 、 C_{70} 、 C_{100} 至 C_{300} 等純碳分子，也認為它們是宇宙早期即已存在的物質；但因人們一直沒有在地球上發現碳六十等分子，而無法解釋其結構。因此，在地球上發現 C_{60} 其實是天文物理研究「歪打正著」的意外收穫。

1985 年，英國化學家克洛圖(Sir Harold W. Kroto)爲了探索在可見光與紫外光之間，是否存在屬於微小石墨碳粒的星際塵埃光譜，和柯爾(Robert F. Curl)與史莫利(Richard E. Smalley)兩位科學家合作，以聚焦雷射蒸發石墨，再與鈍氣混合由噴嘴噴出冷卻，並以質譜儀記錄產物，測出含有偶數個碳原子的碳簇(carbon cluster)。

同年，柯洛托在加拿大見到蒙特婁世界博覽會中由巴克明斯特·富勒(R. Buckminster Fuller)所設計的圓頂建築物(圖二)，受到啓發而推演出類似足球般空心籠狀結構的 C_{60} ，並將它命名爲 Buckminsterfullerene，簡稱巴克球(Bucky ball)。這些成就使柯洛托、柯爾及史莫利三人於 1996 年共同榮獲諾貝爾化學獎。



圖二：巴克明斯特·富勒所設計的圓頂建築物

(圖片資料來源：奈米科技研發—巴克球。2008.7.25 取自

<http://www.ntrc.itri.org.tw/dict/content.jsp?newsid=917>)

此後，類似 C_{60} 的純碳分子相繼被發現，由於碳簇分子具有烯類($C=C$)的性質，所以稱碳原子數目在 70 以下的為富勒烯(Fullerenes)，70-100 的為大富勒烯(High Fullerenes)，而超過 100 的為巨富勒烯(Giant Fullerenes)。 C_{70} 呈卵形，含有 25 個六角環與 12 個五角環，而 C_{80} 的結構則可視為 C_{70} 的橫向伸展。在數學上，以五角環組成的封閉結構至少要 12 個，因此最小的純碳結構為 C_{20} 。

C_{60} 是否存在於紅巨星四周的星塵中仍不確定，但因探索宇宙而意外新發現的知識，確實已為人類帶來無限好處。『自從 1991 年霍夫曼(Huffman)及克瑞茲莫(W. Kratschmer)發現石墨電弧製備法可以產生足量的碳簇供實驗使用，碳簇的研究便如火如荼地展開。』(註五)從物理、化學、材料科學，到生命科學、資訊科學等領域都在進行相關的研究。至今，碳簇的製備、機械性質、光電性質、導熱性與傳輸行為、化學反應及其衍生物、碳簇化合物的超導及鐵磁性等，都是非常熱門的應用領域。

二、巴克球的應用

1、發展方向

巴克球的發現，無疑是科學史上重要的一環。而它堅硬、穩定、中空、密閉的性質，更引發了各界科學家的興趣，進而為這個分子開展出許多發展方向及用途，像是把它加裝在聚合物上，使聚合物更強韌。或是將巴克球修飾成具溶水性及適合作藥物使用的分子，發展成人類的抗氧化劑。科學家同時會因著需要的不同，加裝或取代一個原子來改變巴克球特性的人為修飾，我們稱作「機能化」。近代經機能化後的巴克球逐漸發展成運送標靶藥物的容器。『藉著控制巴克球的機能，藥物能更安全的待在巴克球圍成的籠狀容器中，直到抵達病徵，才會被釋放。』(註六)

2、實例說明

A、愛滋病新剋星

『近來發現碳六十的足球狀化學結構方式，恰可使碳六十能夠快速地與愛滋病的病毒(HIV)結合』(註七)，而將愛滋病毒的毒性減低，故其可利用碳六十製成藥物來防止它的擴散。

此外，利用巴克球中空的構造來攜帶藥物的「超小型膠囊」發明，可使藥物免於在未達病徵處前就被人類的胃酸、免疫系統破壞掉。而以更安全有效的方式到達病徵處，破壞病毒體內的基因蛋白機制。最重要的是，由於奈米顆粒小於一般生

物體內的細胞，因此可以利用其容易穿透細胞膜的特性，製成各式抗體藥物，在腫瘤初期血液中檢查出癌細胞，進而提早治療。

B、抗氧化劑的發展

設計能治療諸如阿爾茲海默症、Lou Gehrig 氏症（又稱肌萎縮側索硬化或運動神經元病）等疾病的藥物是非常困難的，而要讓這些藥物進入腦組織更是難如登天。最近，有兩家致力於奈米醫藥的生物技術公司：范庫弗峰的 Advectus Life Science Inc.和休斯頓的 C Sixty Inc.簽署了合作協議，開始進行腦部藥物治療的一些研究，希望為阿爾茲海默症、Lou Gehrig 氏症以及其他威脅生命的疾病的治療點亮明燈。

Advectus 公司和 Immune Network Ltd.將有機會發展消炎藥氨苯砒的奈米級配方。C Sixty 公司和 Merck&Co.Inc.將合作測試巴克球的抗氧化性。組成這兩種藥物的材料的尺寸很可能在它們穿過血腦屏障的能力中起了作用。血腦屏障是一個阻止血液中可能有的有毒分子進入腦組織的防禦機構，由於它通常也會阻止藥物進入，使得腦內的疾病難以治療。

『尺寸是其中一個決定因素，』 C Sixty 公司副總裁 Russ Lebovitz 說。』（註八）C Sixty 公司專攻修飾富勒烯，即在富勒烯上連接其他分子以改變它們的性質，如使它們變成水溶性的或在體內更穩定等。也就是，修飾後的富勒烯的整體尺寸必須要足夠小，才能穿過血腦屏障以發揮效果。

在解剖死於 Lou Gehrig 氏症和阿爾茲海默症的病人的屍體時，通常顯示了腦細胞遭到壓迫和損傷的狀況。而科學家認為，氧化反應可能是引起細胞損傷甚至細胞死亡的原因。由於富勒烯能結合自由基，而自由基正是氧化反應的副產品。因此研究者們從二十世紀九十年代就開始測試富勒烯作為抗氧化劑的效果。

C、氫燃料電池發展

在眾多富勒烯家族中，巴克球是最小的一種，其中空的內部約可容納 2000 多個原子。

萊斯大學的最新研究顯示，巴克球儲存氫時的密度足以和木星的中心密度相匹敵。『對於替代能源行業來說，氫的儲存方式是難度最大的一個挑戰。』（註九）在汽車領域，為了讓氫能和汽油進行大規模競爭，就需以密度較大的液態氫的方式來進行燃料補充。

這項氫儲存方面的研究前後耗資 10 億美元，由美國能源局贊助。主管這項研究的研究員，萊斯大學的機械工程學和材料科學教授 Boris Yakobson 表示，『**通過我們的計算，這項研究表明，一些巴克球是能夠儲存大量的氫的，而且其儲存密度幾乎趕得上金屬。**』』（註十）據研究結果顯示，巴克球能儲存大概佔他們自重的 8% 的氫。這樣的成績，比起對比目標的 6% 來說已提高了不少。

事實上，把氫儲存在分子容器裡的想法已有段歷史，甚至，巴克球用來容納氫這個想法在過去就已經為人所知了。然而，Yakobson，還有之前的 Olga Pupysheva 和 Amir Farajian 兩位博士後研究員的新研究中，方才提出了第一個用來計算在巴克球被破壞以前所能容納的氫原子數量的方法。

Yakobson 解釋了那些小球是怎麼儲存氫的，『他指出，**「碳原子之間的化學鍵，是自然界最強大的化學鍵之一，這些化學鍵能夠形成目前所知的最硬的物質鑽石。**』』（註十一）他們的研究表明，若想使這些富勒烯球碳裡的碳—碳化學鍵變形或破壞的話，需要很大的內在壓力。

研究員們運用一種先進的電腦模型，推算出這種新儲存方法的具體細節。當氫原子被注入巴克球後，這個模型可以具體衡量巴克球裡的碳原子之間的化學鍵的強度。它不僅僅能顯示出巴克球能儲存的氫原子個數，而且能模擬出當內部最大儲存能力被突破的時候，巴克球破裂的方式。

『Yakobson 表示，**「充滿氫的巴克球理論上可以像粉末一樣儲存。它們可能會聚合成不太堅硬的分子晶體，或者形成一種細小的粉末。」**』（註十二）這些充滿氫的巴克球分子形成的晶體或粉末狀物質，在某些條件下，或許可以用來釋放純氫以供燃料電池或其他形式的引擎使用。

如果這項成果能夠成功的大規模運用在民用品上，我們的生活將會得到多麼巨大的改善！汽車可以使用清潔輕便的氫燃料，空氣會變得更清新。燃料電池會更得以普及，大量的電子產品也將用上安全輕便高容量的燃料電池。

參●結論

碳六十的發現，使許多研究者在材料科學中找到更多發展的可能。因著它中空、密閉、堅硬的特質，成功的在藥物運送、標靶治療、甚至近年來炙手可熱的氫氧燃料電池中開創新的方向。但我相信，這只是其影響的一小部份。繼巴克球的發現後，克洛圖及萊斯兩大研究團隊也陸續對其他的球型富勒烯家族進行研究，而 1991 年日本筑波 NEC 公司的飯島澄男 (Sumio Iijima) 更是在與同事的合作之下，發現了管狀的富勒烯—奈米碳管，『**其化學、電學與力學等方面的特殊性質，在奈米科技的領域有很大的發展潛力**』（註十三）至今，仍有許多科學家設法將碳

六十及其衍生出的富勒烯家族做更多的應用。就讓我們共同期待，這顆意外發現的「天然足球」內，還蘊藏著什麼樣的謎團。

肆●引註資料

註一、Philip Ball (2003)。現代化學 (I) 改變中的傳統觀念。台北縣三重市：天下遠見。

註二、馬遠榮 (2002)。奈米科技。台北市：商周。

註三、奈米科技研發—巴克球。2008.7.25 取自
<http://www.ntrc.itri.org.tw/dict/content.jsp?newsid=917>

註四、同註三。

註五、同註三。

註六、BuckyBalls - A Nanotechnology Building Block, How To Make Them, History, Properties and Applications。2008.8.30 取自
<http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1781>

註七、奈米醫學大未來。2008.7.26 取自
<http://www.shsps.kh.edu.tw/~nano/2005web/002use/005-2.htm#06>

註八、奈米資訊。2008.7.25 取自
<http://web.nchu.edu.tw/~k12/paper20040317c.html>

註九、中國汽車零件部資訊網。2008.8.20 取自
http://tw.info.search.yahoo.com/language/translatedPage.php?tt=url&text=http%3A%2F%2Fwww.capin.com.cn%2Fhwzx_newshow.asp%3Fid%3D10115&lp=zh_zt&.intl=tw&fr=yfp

註十、同註九。

註十一、同註九。

註十二、同註九。

註十三、黃長司、黃芳裕、鍾崇燊 (2007)。基礎化學。台北縣：康熙文化。