

# 6. 「碳」(C)元素的介紹

國立嘉義大學 應用化學系 和 高雄醫學大學 醫藥暨應用化學系 蘇明德教授  
文章內容版權為蘇明德教授所有，如需引用請聯繫 [midesu@mail.ncyu.edu.tw](mailto:midesu@mail.ncyu.edu.tw)

|         |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |
|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|--|------------|-------------|----------|-----------|------------|-------------|
| IA<br>1 | IIA<br>2 |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  | IIIA<br>13 | IVA<br>14   | VA<br>15 | VIA<br>16 | VIIA<br>17 | VIIIA<br>18 |
|         |          | IIIB<br>3 | IVB<br>4 | VB<br>5 | VIB<br>6 | VIB<br>7 | VIB<br>8 | VIB<br>9 | VIB<br>10 | IB<br>11 | IIB<br>12 |  |            | 6<br>碳<br>C |          |           |            |             |
|         |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |
|         |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |
|         |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |
|         |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |
|         |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |
| 鑄系元素    |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |
| 錳系元素    |          |           |          |         |          |          |          |          |           |          |           |  |            |             |          |           |            |             |

英文：Carbon  
簡稱：C  
原子序：6

原子量：12.0107 amu  
熔點：3550 °C (鑽石)  
3675 °C (石墨)

沸點：4827°C (鑽石)  
密度：3.515 g/cm<sup>3</sup> (25°C)(鑽石)  
2.267 g/cm<sup>3</sup> (25°C)(石墨)

「碳」的英文是Carbon，法文是Charbon，還有德文或其它西方語言全都是由拉丁文「Carbo」衍生而來，原意是「木炭」。這麼多語言用字相似，是因為「碳」可說是少數幾個自遠古時代就已被發現的元素之一。

「碳」在地殼中的含量雖僅有0.09%，且「碳」的存在量在地殼上排列第15名，並在全宇宙中存在量排列第4名，名列在氫(H)、氦(He)、氧(O)之後，但是「碳」卻是地球上與生命關係最為密切的元素(圖1)。正由於「碳」元素非常充沛，再加上「碳」在地球環境中所產生的化合物種類繁



圖1、碳

© CC BY-SA 3.0

多。如果檢測組成植物和動物的成分，不難發現幾乎所有這些生命體分子中都含有「碳」元素，因此「碳」可說是地球上所有生物的化學根本元素。

事實上，在構成人體的元素中，「碳」就占了18%，也就是說拿掉水分後，剩下的體重超過一半都是「碳」。當然不只是人，從小病毒到大恐龍，所有生物的基礎構成都是由「碳」所擔負的。因此有人這麼說：「把自然界中各種型式的『碳』集合起來所形成的東西，就叫『生命』。」

「碳化合物」是地球上所有生物的化學基礎。「碳、氮、氧循環」反應也是太陽以及其它恆星部分能量的來源。雖然「碳」擁有近3千萬種已知的化合物，但「碳」在一般條件下的化學性質並不活躍。在標準溫度和壓力下，「碳」能夠抵抗幾乎所有的氧化劑

## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

，並且只會與最強的氧化劑反應。無論是硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )、鹽酸( $\text{HCl}$ )、氯( $\text{Cl}_2$ )還是任何鹼，都無法侵蝕「碳」。在高溫下，「碳」還會和氧反應形成「碳氧化物」( $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ )，「碳」也會把金屬氧化物還原為純金屬。

化學的一個完整分支，並且基本上是以「碳」化合物為主的學科，就是「有機化學」。目前有紀錄的有機化合物總數近 3 千萬種，但這只是所有可能存在的「碳」化合物中的冰山一角而已，其中包括碳氫化合物、煤和石油產品、香料、蛋白質、苯、酶(又稱「酵素」)、碳水化合物，以及數量巨大而無法一一提及的其它含有「碳」的化合物。

「碳」之所以能在有機化合物中占有主要中心地位，是因為「碳」原子間能夠相互連接形成長鏈，這種長鏈有直鏈也有支鏈。「碳」鏈起骨架作用，其它元素的原子連接在「碳」鏈上，進而形成無數的含「碳」化合物分子。像是：「去氧核糖核酸」(DNA)就是一種這樣的長鏈分子，它存在於所有生物體的遺傳物質裏。DNA 儲存大量蛋白質的結構訊息，這些蛋白質由動植物細胞合成，它可以自我複製。DNA 也存在於動植物細胞的細胞核中，是生物組織再造的基礎。

地球上生命來源的必要化學元素有 6 個：「碳」、氫(H)、氮(N)、氧(O)、磷(P)和硫(S)。

除了以有機化合物的型式存在外，「碳」還能以幾種不同的結構存在。如果一種元素在自然界中以幾種不同的結構型式出現，這幾種結構就統稱為「同素異形體」(即「同樣的元素卻形成不同結構形狀的分子」)。

「碳」的「同素異形體」共有 4 種：

(一)「碳」的四面體結構(著名例子：「金剛石」，又俗稱「鑽石」)。

(二)「碳」的平面體結構(著名例子：「石墨」)。

(三)「碳」的圓球體結構(著名例子： $\text{C}_{60}$  之類的「巴基球」Buckyball，又稱「富勒烯」Fullerene)。

(四)「碳」的空心管結構(著名例子：「奈米碳管」Carbon Nanotubes)。

「碳」的這些「同素異形體」彼此之間的物理性質，包括外表、硬度、導電率等，都有相當大的差異。雖是如此，所有「碳」的「同素異形體」在一般條件下，都是以固態型式出現。

(一)「金剛石」中的每一個「碳」原子都與另外 4 個「碳」原子相接，形成堅固嚴密的三維結構(圖2)，因此質地很堅硬，「莫氏硬度」(Mohs scale)高達 10，是已知自然界中硬度最大的物質，堪稱「硬度之王」。

值得一提的是，金屬中以「銀」的導熱率最高。而非金屬的「金剛石」居然比金屬「銀」的導熱率還要高 2 至 4 倍。

(二)不過，「碳」也能以「石墨」的型式存在。「石墨」中的「碳」原子以層狀排列，其中每個「碳」原子又與周圍 3 個「碳」原子結合在一起，形成六邊形的平面片狀結構，就像書本裏的書頁一樣(圖3)。但由於層與層間作用力不強，因此石墨的硬度不大，易相互滑動，又軟又光滑。這種性質使「石墨」既可做為潤滑劑使用，也可做為書寫材料，像是鉛筆(圖4)。

## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

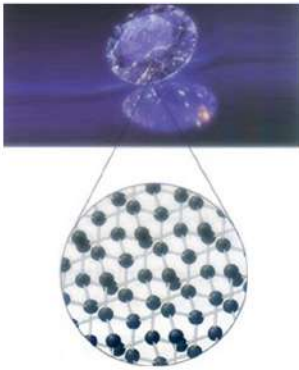


圖2、金剛石的三度空間結構

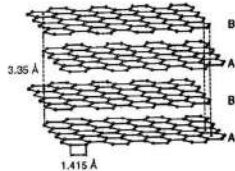


圖3、石墨及其層狀結構

很難想像裝在每枝鉛筆裏的「石墨」會與「金剛石」的組成材料相同，都是由「碳」元素組成的。「金剛石」可以用「石墨」在高溫、高壓下製成，用上述方法製成的合成「金剛石」不如天然「金剛石」美麗，但它們的硬度幾乎一樣。前面說過，「金剛石」是世界上硬度最高、也是導熱率最大的物質，這不禁使人聯想：是否硬度和導熱率間有某種程度上的關係？並且「金剛石」在工業上之所以會被大量應用，也正是基於「金剛石」具有極佳的耐磨性。

其實在「碳」的所有類型的「同素異形體」中，「石墨」的熱力學穩定性最高。也就是說，即使經過千萬年後，「石墨」仍是「石墨」，但其它的「金剛石」、「巴基球」和「奈米碳管」都早已轉變成「石墨」。因此，相反的轉化過程（例如：由「金剛石」變成「石墨」）也是可行的。事實上在自然界中，這種轉化過程的確自發性地進行著。值得慶幸的是，這個過程進行得非常緩慢，「金剛

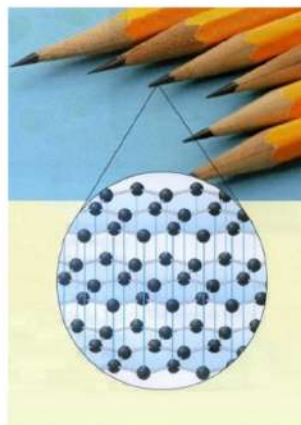


圖4、鉛筆的筆芯就是用「石墨」做為原料

石」需要數百萬年時間才能轉變成「石墨」。

在前面〈蘇P介紹化學元素〉-〈氫元素〉一文裏曾提到：氫燃料是利用氫氣與氧氣燃燒會產生水和能量的原理達成的（ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ），因其產物只有水，所以不會有任何汙染，然而「儲氫」效率不佳是它的缺點。加拿大與德國的科學家提出了一種新的「儲氫」技術，就是利用「石墨」裏層與層之間的奈米級（1奈米 =  $10^{-7}$ 公分）距離來儲存氫氣，這與其它「儲氫」材料（如「奈米碳管」）相較，「石墨」具有便宜、無毒、製備容易等優點，因此「石墨」的奈米層狀結構很可能應用於能源使用效益的改進。

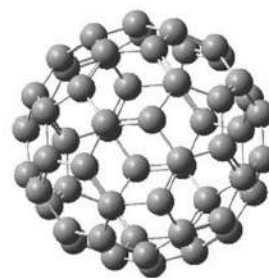


圖5、含有60個碳原子的圓球體（寫為C<sub>60</sub>）

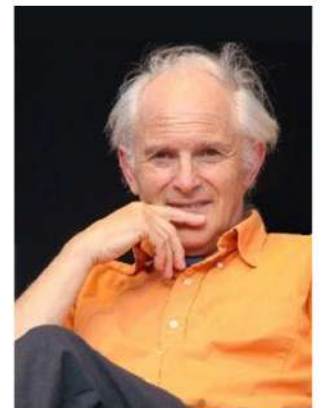


圖6、Harold Walter Kroto, 1939 - 2016

CC BY-SA 3.0

1985年製造出「碳」的一種新的圓球狀「同素異形體」，會讓全世界科學家激動不已，它含有60個碳原子（寫為C<sub>60</sub>），排列結構與足球相似（圖5）。C<sub>60</sub>是由英國的克羅特（Harold Walter Kroto, 1939 - 2016，圖6）和美國的斯莫利（Richard Errett Smalley, 1943-2005，圖7）用雷射氣化「石墨」製得。他們用美國建築設計師富勒（Buckminster Fuller, 1895 - 1983，圖8）的名字把它命名為Buckminsterfullerene，富勒以設計結構似足球的網格球頂建築而著稱。不喜歡長名字的化學家就逐漸把這

## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

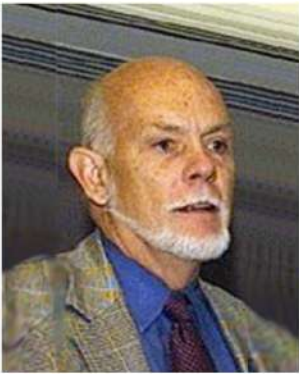


圖7、Richard Errett Smalley, 1943–2005

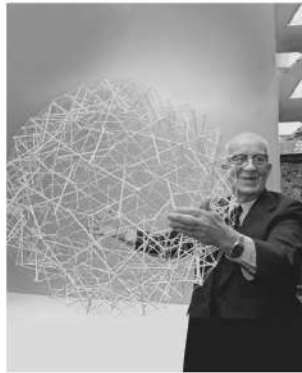
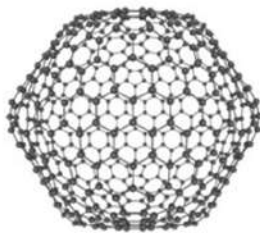


圖8、Buckminster Fuller, 1895–1983, 為美國建築設計師，以設計結構似足球的網格球頂建築而著稱。

圖片來源：Flickr，由 POET ARCHITECTURE 發佈



(a)



(b)

圖9、「Fullerene」的種類：(a)  $C_{540}$ ；(b)  $C_{70}$ 。

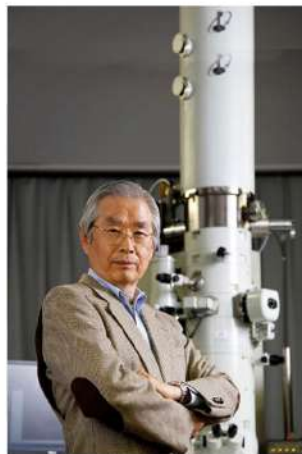


圖10、飯島澄男(Sumio Iijima) 1939 - 迄今

© CC BY-SA 3.0

種特殊的分子簡稱為Buckyball(中文叫「巴基球」)。

包括含有 70 個以上碳原子(現已找到  $C_{70}$ 、 $C_{82}$ 、 $C_{120}$ ，圖 9)的這些分子系列都已先後實驗證實存在，並且有證據顯示這類圓球狀的分子還有很多，這個由上述化合物組成的日益壯大的家族統稱為Fullerene(因富勒的名字而得名)。有跡象顯示一些Fullerene是好的「導體」，在接近室溫時甚至成為「超導體」。「超導體」對電流沒有

任何阻力，是效率非常高、非常經濟的「導體」。多數材料卻只能在攝氏零下 200 度時才能成為「超導體」。科學家發現「巴基球」不會被人體的胃酸腐蝕，也不會被免疫系統當作入侵體內的異物而遭吞噬。加上它顆粒小(比一般生物體的細胞小)，容易穿透細胞膜，因此可製成各種抗體藥物，也用來對抗愛滋病毒，它能使愛滋病毒的酵素失去複製能力。此外，它中空的構造可以攜帶藥物，做為超小型膠囊。

當科學家紛紛投入「巴基球」的研究時，日本的飯島澄男博士(Sumio Iijima, 1939-迄今，圖 10)在 1991 年用電弧放電製造  $C_{60}$  時，無意中在炭灰內發現了多層結構的「奈米碳管」(multi-walled-carbon nanotubes，簡寫成MWNT)，也就是觀察到碳原子會排列成中空管狀，因而發現了「碳」的第四類「同素異形體」——「奈米碳管」。隨後飯島與美國IBM公司的白頌博士(Donald S. Bethune, 圖 11)各自獨立製造出單層結構的「奈米碳管」(single-walled carbon nanotubes，簡寫成SWNT)。

「奈米碳管」可視為由「石墨」層捲曲成的中空構造，直徑在幾奈米至幾十奈米之間，長度可達數微米(1奈米= $10^{-3}$ 微米= $10^{-7}$ 公分)。根據管壁層數的不同，可分為單壁「奈米碳管」(SWNT)和多壁「奈米碳管」(MWNT)，它們都是理想的奈米單元材料。其實，早在1940年代



圖11、Donald S. Bethune

圖片來源：Google Scholar

## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

，在電爐邊就曾發現直徑達數奈米至數微米的細碳絲，但數量非常少，因此在當時沒有被重視。但隨著「奈米碳管」的發現，奈米科技時代終於到來(圖12)。

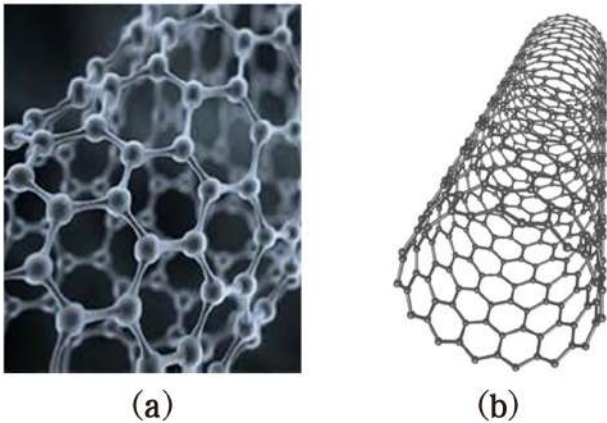


圖12、奈米碳管的表示圖

雖然「奈米碳管」跟木炭、石墨、鑽石都屬於同一祖先——「碳」，「奈米碳管」卻比它們厲害。「奈米碳管」是目前人工合成最細的管子：它具有良好的導熱性質，密度只有1.3~1.4公克/立方公分；它的強度卻是鋼的100倍；「奈米碳管」的彈性很好，受力後會彎曲，但外力除去後又可以恢復成原來的形狀；「奈米碳管」的韌性也很高，受到很大的力也不會斷裂；「奈米碳管」也很穩定，在真空中，抗熱分解溫度可高達攝氏2,800度；也有很好的抗蝕性；導電性好，隨著「奈米碳管」的結構不同，會出現具有金屬「導電體」與「半導體」二種不同的特性；在很小的電壓下，就可以放出電子，因此「奈米碳管」將可應用在平面顯示器上，如：手機上的平板螢幕。

正由於「奈米碳管」具有強度大、韌性強、密度小、柔軟度佳、導熱好、物性穩定、電性多樣性這些優點，因此「奈米碳管」、「奈米溫度計」、「奈米秤」、「奈米鑷子」、「奈米鼻」(一種可利用「奈米碳管」來檢測癌症之儀器)、「奈米碳管顯示器」、「氫燃

料的儲存裝置，將會如雨後春筍被科學家開發出來。而最令科學家雀躍的是，「奈米碳管」未來可能可以幫助人類上太空，因為「奈米碳管」具有十分優良的力學性能，這種超級纖維材料猜測可以做為通往月球的電梯繩索。雖然如此，目前依舊還有很多技術上的問題有待克服。

最近還有一種很有名的奈米碳料，叫做「石墨薄膜」或「石墨烯」(Graphene)。「石墨烯」是由「碳」原子連結成厚度僅一個原子的薄片。也就是說，「石墨烯」是「石墨」的單層薄片。這種純淨(無雜質)且毫無瑕疵的晶體，在室溫下的導電性高於其它各種物質。工程師預言「石墨烯」將可用於製作許多種產品，例如超高速電晶體等。物理學家也發現，這種材料有助於驗證某些現象奇特的物理理論，這些現象以往只能在太空中的黑洞或高能粒子加速器中觀察。



圖13、Andre Konstantin Geim, 1958 - 迄今  
© CC BY-SA 4.0



圖14、Konstantin Sergeevich Novoselov, 1974 - 迄今  
© CC BY-SA 3.0

因為「石墨烯」的研發成功使得蓋姆(Andre Konstantin Geim, 1958 - 迄今，圖13)和諾佛謝洛夫(Konstantin Sergeevich Novoselov, 1974-迄今，圖14)拿到2010年諾貝爾物理獎。其實他們兩人原先純粹只用膠帶重複黏貼、剝開的原始方式，把石

## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

墨一層一層地剝開，終於得到了僅有一層的石墨，就叫「石墨烯」。也正由於只有一層原子厚，這個「石墨烯」可說是史上最薄的材料。這材料不僅期待應用在未來的電子裝置及新型電腦與手機上，有人說「21世紀是碳的世紀」這句話，便是因為人們對於上述的「奈米碳管」和「石墨烯」之新型材料抱著高度的期待。

煤是「碳」和各種其它化合物的混合物，其中所含的「碳」是以「非晶態」（又稱為「不定形」，圖15）的型式存在。前面說過，鑽石裏的「碳」原子是以固定且整齊的三度空間晶格狀態存在，因此鑽石會光彩奪目。相反地，由於煤裏的「碳」原子雜亂無章的排列，因此始終看起來黑黑的。

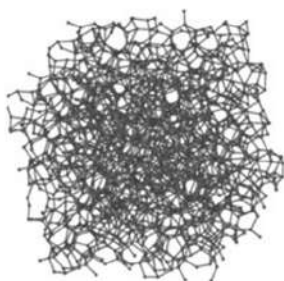


圖15、「不定形」的碳

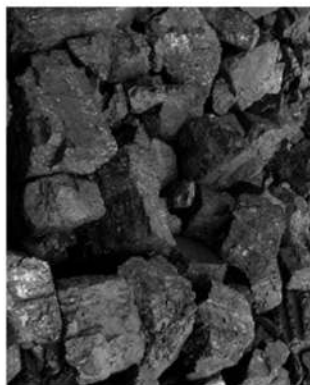


圖16、煤

煤是工業和家用的重要能源。人們認為煤與石油和天然氣一樣，都屬於礦物燃料，它們是動物和植物的遺體經過數百萬年演變而成的（圖16）。硬煤或無煙煤是比較古老的一種煤，大約有2.5億年的歷史，含「碳」量約80%。煙煤或軟煤只含有約40%~50%的「碳」，是較年輕的一種煤。冶煉鋼鐵需要大量的焦炭，焦炭是煤在隔絕空氣條件下加熱得到的，在這個過程中，幾乎所有易揮發的物質和雜質都被燒掉，留下近乎純淨的「碳」。

在古代人們便知道焦炭，因為用焦炭生的火比普通木材生的火要熱，焦炭對古代煤鐵的發展有著重要的作用。但是煤炭的歷史大概是從古代羅馬人開始，13世紀的僧侶萊里耳（Reinier of Liège）曾記載用「黑土」鍛燒金屬。到18世紀歐洲工業革命，瓦特（James von Breda Watt, 1736 - 1819，圖17）發明蒸氣機後，「煤」才成為主要的燃料。



圖17、James von Breda Watt, 1736-1819

© 公有領域



圖18、Rene Antoine Ferchault de Reaumur, 1683-1757

© Public Domain

煤製成的焦炭多用於金屬冶煉，煉鋼廠以焦炭做為燃料及還原劑，煤燃燒到攝氏800度以上的高溫同時產生「一氧化碳」，可使鐵礦（「氧化鐵」）還原成金屬鐵。1722年雷歐姆（René-Antoine-Ferchault-de Réaumur, 1683-1757，圖18）證明煉鋼是鐵中滲入了一些物質，後來才知道這正是「碳」元素。

利用煤或其它礦物燃料做為能源有許多問題，其中之一是這些礦物燃料同時是生產塑膠、藥品等一系列重要產品的原物料。按目前做為燃料使用的消耗速度估計，現有的石油和天然氣資源將在幾十年內耗盡。不過目前更受關注的是，「碳」的燃燒產物是產生大量二氧化碳（CO<sub>2</sub>），是造成環境汙染

## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

的主要來源，因為二氧化碳和雨水混合會形成「酸雨」。二氧化碳是一種無色無味的氣體，當「碳」在空氣中燃燒時就生成二氧化碳，二氧化碳的產生會加劇全球氣候的暖化。

除了「碳」在空氣中燃燒會產生二氧化碳外，動物的新陳代謝也能產生二氧化碳。所有動物在呼吸過程中吸入氧氣呼出二氧化碳，而且，當動植物死後其分解過程中也會產生二氧化碳。人們通常不認為火山是汙染物，但火山爆發也是二氧化碳的一個主要來源。

儘管有這麼多二氧化碳來源，幸運的是植物可以通過「光合作用」把二氧化碳轉變成「碳水化合物」，因此直到今天，二氧化碳的產生和消耗始終處於動態平衡，空氣中二氧化碳含量基本上不發生變化。然而有跡象顯示，隨著工業化的加速發展，固體燃料消耗量不斷增大，空氣中二氧化碳的濃度正在穩定增長中。

二氧化碳的增多會形成「溫室效應」，影響地球上的溫度。就像溫室裏的玻璃屋頂一樣，當大部分太陽輻射能量到達地球時，同時大氣中的二氧化碳也像溫室的玻璃一樣，可以阻隔被加熱後的地球發出的紅外輻射，於是使地球變得更熱。因此，大氣層中二氧化碳持續增長產生的後果令人擔憂。

一些環境學家擔心「溫室效應」會導致冰山和冰川融化，這將使海洋的水位升高並淹沒沿岸地區。人們也擔心這種「溫室效應」帶來的全球氣候巨變，將使目前肥沃的土地變成荒涼的沙漠。全世界都已對「溫室效應」警惕起來，很多已開發國家正在採取措施，設法降低因燃燒礦物燃料所產生的二氧化碳和其它廢物的數量。

儘管地球大氣層中的二氧化碳帶來了很多麻煩，但它仍有不少有益的用途。像是：二氧化碳是合成「氨」(NH<sub>3</sub>)過程中的一個副產品，「氨」是農業肥料不可或缺的原料。又當你喝汽水時，實際上是在喝含溶解二氧化碳的水。地球上所有水源也都含溶解的二氧化碳，只是量多或量少而已。

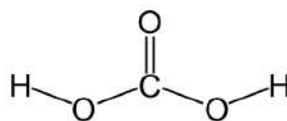


圖19、碳酸的結構



圖20、乾冰

二氧化碳會在水中形成「碳酸」(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)。從結構上看(圖19)，每個「氫離子」帶1個單位正電荷，表示為H<sup>+</sup>，每個「碳酸根離子」帶2個單位負電荷，表示為CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>，因此二氧化碳在水中會成弱酸性。由此看來，曾經被水覆蓋的地方往往有「碳酸鹽」沉積也就不足為怪了。地殼中的「碳酸鹽」主要是方解石、石灰石、白雲石、大理石和白堊，通常山洞裏的鐘乳石和石筍由溶於地下水中的「碳酸鹽」結晶而成。

當二氧化碳凝固時，人們稱它為「乾冰」(圖20)。「乾冰」是一種冷凍劑，由於其結冰溫度(即冰點)是攝氏零下78度，因此「乾冰」比水結成的冰要冷得多。「乾冰」受熱時不經液態直接從固態變成氣態，這種性質使「乾冰」成為優良的冷凍劑。化學家把固態物質在受熱時不經液態直接變成氣態的過程稱為「昇華」。

例如，從美國東部往美國西部運送牛排時，就是用「乾冰」做為冷凍劑，避免使用冰塊時產生的水處理問題。

## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

不過，在高壓下加熱「乾冰」使其熔化還是可能的。在這情況下，「乾冰」於攝氏零下56度左右從固體轉變成液體。液體二氧化碳可做為溶劑從咖啡中提取咖啡因，進而得到不含咖啡因的咖啡，用「乾冰」做溶劑的很大優勢是「乾冰」在咖啡中無殘留。

二氧化碳很重，密度約是空氣的 1.6 倍。它易於在地面上通風不良的地方積聚，把空氣擠走，進而給人們造成危害。每年都有一些工人在清理船上密封的儲存艙時，因二氧化碳引起窒息而死於非命。但就驅逐空氣的功能而言，二氧化碳在滅火時大有用途。滅火器中往往加有壓縮的二氧化碳，一旦打開，噴射出的二氧化碳隔開了火焰燃燒所必需的空氣，進而達到滅火的目的。

「碳」在缺氧情況下燃燒會生成一氧化碳(CO)氣體。在工業上，一氧化碳主要用做燃料，不過它也用於冶金工業，用來從金屬的氧化物礦石中冶煉金屬。與二氧化碳不同，一氧化碳毒性很大，它能與血液中的血紅蛋白細胞結合，阻止血紅細胞把氧氣運送到身體組織中，即使少量的一氧化碳也會使人昏迷和嚴重頭痛。通風不良的汽車間或氣體加熱器會產生大量足以讓人窒息而死的一氧化碳。汽車和摩托車的車尾排氣時也含有一氧化碳，這已成為大城市空氣汙染的一個主要來源。

「活性炭」是由很細的木炭粉末組成。其表面積很大，可達每公克就有表面積1,000平方公尺。這麼大的表面積足以有效地吸附汙染分子，而得到純淨的空氣或水。

「天然氣」是一種含「碳」的氣體，其學術名稱叫「甲烷」( $\text{CH}_4$ )，是由地下腐朽的動植物沉積物產生的。在幾乎毫無空氣或空

氣不足的情況下，燃燒有機物質會生成一種極細微的黑粉，它就是粉末狀的「碳」，人們稱為「碳黑」或「炭黑」。「炭黑」為人們所知所用已有數千年之久，古埃及人用「炭黑」做成墨水，這種墨水可在莎草紙上書寫，現代印刷業仍在利用它。「炭黑」還用於一般汽車輪胎生產中，以延長輪胎使用壽命，「炭黑」與適當的黏合劑配用可製成各種特殊需求的輪胎。乾電池中做為電極的碳柱也由「炭黑」製成。

把「碳」和「矽」(Si)一起加熱到較高溫度會形成一種叫「碳化矽」的化合物，人們通常稱其為「金剛砂」(圖21)。「金剛砂」的硬度幾乎與「金剛石」相同，在對玻璃和金屬拋光時常用做研磨劑。



圖21、金剛砂

「碳」和「氮」化合產生一種叫「氰化氫」(HCN)的有機化合物。「氰化氫」具有劇毒，是死刑室執行死刑常用的氣體。當空氣中的「氰化氫」體積含量達千分之一或千分之二時，就可對人體產生致命損害。「氰化氫」的毒性之所以如此強，是因為「氰化氫」會嚴重影響人體內含鐵分子的正常工作，因而能使體內負責新陳代謝的一個關鍵功能失效，導致人體窒息並在幾分鐘內迅速死亡。

在地球上並不容易發生元素間的轉變，因此地球上的「碳」的存在量基本上是守恆的。任何使用到「碳」的物理過程及化學過程，都必須從一處取得「碳」，並在過程後轉移到另一處。



## 6. 「碳」(C) 元素的介紹

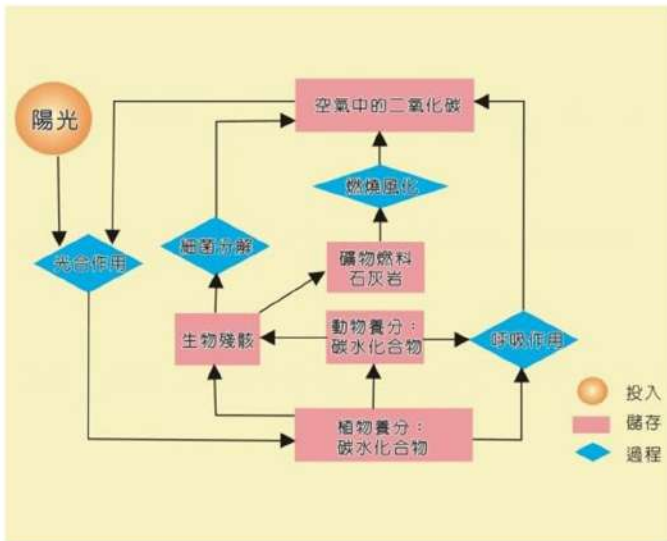


圖22、碳循環

環境中的「碳」所遵循的路徑稱為「碳循環」(圖22)，或者說，「碳循環」是指「碳」元素在大氣、土壤、岩層與生物間循環的過程。例如，植物從周圍環境中吸取二氧化碳，用以增加自身重量。動物可能會進食一部分植物體，並再以二氧化碳的型式把「碳」還原到環境中。整個「碳循環」實際上非常複雜，比如一些二氧化碳會溶解在海洋中，動植物死亡後也會成為石油或煤，再經焚燒把「碳」還原到大氣中。

「碳」的「同位素」 $^{14}\text{C}$ 在確定殘留遺物和考古物品的年代方面是一種非常有用的工具。美國的化學家 (Willard Frank-Libby, 1908-1980, 圖23) 首創這方法，他因這工作而榮獲1960年諾貝爾化學獎。



圖23、Willard Frank Libby, 1908-1980

圖片來源：: The Nobel Prize in Chemistry 1960. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB. 2023. Tue. 22 Aug 2023.

「碳鐘」是考古

學家的好幫手，用「碳鐘」來確定各種文物、古跡年代是十分科學、準確的。

「碳鐘」是如何計時的呢？

原來自自然界中的「碳」元素是由「碳-12」( $^{12}\text{C}$ )、「碳-13」( $^{13}\text{C}$ )、「碳-14」三種「同位素」組成的，其中「碳-14」具有放射性，它很不穩定，能自動地從原子核中放射出電子而轉變成穩定的「氮」，這一過程叫放射性「衰變」(decay)。

放射性元素「衰變」的快慢是用「半衰期」來表示的。所謂「半衰期」是指原子數減少到原來一半所經歷的時間。「碳-14」的「半衰期」約為 5730 年。

也許有人會有這樣的疑問：「碳-14」會不斷地「衰變」，那麼自然界中的「碳-14」不就越來越少了嗎？其實這種擔心是多餘的，因為在宇宙空間中有許多我們肉眼看不見的射線，它們在穿過地球的大氣層時，跟空氣中的分子發生碰撞，產生中子、質子和電子等微粒。當中子和「氮氣」分子中的「氮」原子核碰撞時，「氮」原子核就會「捕獲」一個中子，釋放出一個質子，自己變成「碳-14」。這樣一來，由於宇宙射線的作用，「碳-14」不斷產生。同時，又由於自身的放射性，「碳-14」又不斷地減少。結果，大氣中的「碳-14」保持平衡，它的總量保持不變。

生物體在活著的時候，總是和大氣保持著直接或間接的「碳」元素的交換。比如植物行「光合作用」，會從大氣中吸收二氧化碳，動物吃植物，間接地從大氣中吸收「碳」。而大氣中的「碳-14」和其它「碳」原子一樣，也能與氧原子結合成二氧化碳分子。因此任何的生物體內總含有「碳-14」，而且其「碳-14」的含量總是和大氣中的

## 6. 「碳」(C)元素的介紹

「碳-14」保持一致。

但生物體一旦死亡，它們就和大氣停止了交換「碳」，從這時起，生物體內的「碳-14」得不到外界的補充，因而在自動放出射線的過程中，含量逐漸減少。過了5730年，生物體內的「碳-14」就只剩下1/2了；再過5730年，就只剩下1/4了.....以此類推，只要測定這些古代生物體內帶放射性「碳-14」的含量，就可以推斷出它們死亡的年代，這就是「碳鐘」計時的奧秘所在。

這技術目前已用於確定古代的燒火灰、羊皮紙、屍骨及織物的年代。新聞媒體曾大肆渲染的耶穌基督留下的「裹屍布」（圖24），據說它始自基督在世的時代，然而幾個實驗室的「碳-14」檢測表明，此「裹屍布」的歷史還不足600年。

關於「碳」元素的介紹當然不僅僅只有上面這些而已，還有很多很多沒寫出來。希望讀者您能正面地看「碳」，一些關於「碳」的負面消息，像是「節能減碳」，其實這都是人類的自私和貪婪所造成的。雖是如此，「碳」元素本身是無罪的，還是會以純真、實用的本性繼續為人類美好的未來服務。

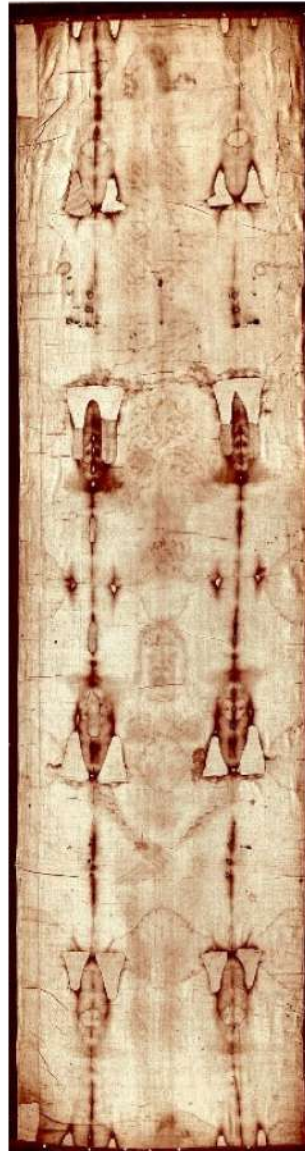


圖24、耶穌裹屍布

© 公有領域