

# 9. 「氟」(F) 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

IA 1	IIA 2												IIIA 13	IVA 14	VA 15	VIA 16	VIIA 17	VIIIA 18
		IIIB 3	IVB 4	VB 5	VIB 6	VIIA 7	VIIIB 8	VIIIB 9	VIIIB 10	IB 11	IIB 12						9 氟 F	
鐳系元素																		
錒系元素																		

英文：**Fluorine**  
 簡稱：**F**

原子序：**9**  
 原子量：**18.998403 amu**

熔點：**-219.62 °C**  
 沸點：**-188.12 °C**  
 密度：**0.001696 g/L(0°C)**

「氟」(F) 位於化學週期表中「鹟素族」(Halogen family) 之首，這一族的元素還包括「氯」(Cl)、「溴」(Br)、「碘」(I)、「砒」(At)。「氟」在「鹟素族」元素中原子半徑最小，質量最輕，反應活性卻最大。

「氟」的英文名字是Fluorine，取自拉丁文Fluere，原意是「流動」。之所以取這樣一個名字，大概是因為「氟」起初是做為一種「助熔劑」(Flux)使用。什麼是「助熔劑」呢？「助熔劑」是一種加到很多化合物和礦物裏以降低其熔點，使其更易於進行化學處理的一類物質。

其實，人們早就知道含「氟」的化合物的存在。在15世紀時，古人在冶煉金屬的時候就已經發現，把某種礦物加入熔爐中可以加快熔煉的過程，並使熔渣與生成的金屬分

離得更完全。當時便稱這種礦石為「助熔的晶石」(即先前提到的「助熔劑」)，這種礦物在中國稱為「螢石」(又叫「氟石」)，見圖1。

但由於當時人們對「氟」的這種活性很高且帶有毒性的元素並不了解，因此化學家們為了分離出純元素的「氟」吃了不少苦頭。在差不多半個世紀裏，先後有十幾位化學家為了製取「氟」而中毒，有些甚至獻出了寶貴的生命。



圖1、螢石或氟石或氟化鈣(CaF<sub>2</sub>)

正是由於「氟」有驚人的活潑性，因此在



## 9. 「氟」(F)元素的介紹

自然界中總是和各式各樣的金屬結合，單身的「氟」是不存在的。要使「氟」和「氟」的伴侶分開，只有使用特別強烈的手段(如：電解法)才有可能。這也正是人們早就知道「氟」的存在，卻遲遲不見「氟」之廬山真面目的原因。

後來，法國化學家莫伊桑(Ferdinand Frederick Henri Moissan, 1852-1907, 圖2)吸取了前人的教訓後，在1886年成功地運用電解法首先分離出純元素的「氟」，這時距離「氟」的首度被發現已近一百年。雖是如此，莫伊桑本人因首先製備出元素的「氟」而獲得1906年的諾貝爾化學獎。但莫伊桑也因吸入「氟」過多而中毒，提早離開人世。現在工業上仍然使用電解法製備單一元素的「氟」。



圖2、Ferdinand Frederick Henri Moissan, 1852-1907

© Public Domain

「氟」在地球上屬於存在量高的元素之一，估計約占有所有地球元素量的百分之0.095，較「氯」的含量(百分之0.055)還要豐富，比「金」(Au)、「銀」(Ag)、「錫」(Sn)、「銅」(Cu)的量更多。這也使得「氟」成爲地球上常見元素裏排第13名，含量幾乎和金屬元素的「錳」(Mn)和「鋇」(Ba)一樣多。雖是如此，「氟」的分離成功卻比很多元素來得晚，例如比「氯」晚了一百多年，這種奇怪現象只能用「氟」的怪脾氣來解釋。

「氟」本身是一種氣體，因此不可能像其它金屬元素那樣可直接用來製造建築材

料、機器等。又由於「氟」的個性太活潑，連製備和貯存都很困難，因此自莫伊桑製得「氟」以後的幾十年裏，人們只是把「氟」做爲實驗室的珍品而已，在工業上並未引起人們多大的興趣。長期以來，人們只在很少幾個部門中應用到含「氟」的化合物。

元素態的「氟」在室溫下是一種淡黃色的氣體，有劇毒，因此直接嗅到過「氟」氣味的化學家並不多。根據爲數不多的文獻記載，可以知道「氟」是一種有著很強臭味的刺激性氣體，也因爲如此，「氟」只要很少很少的量(約一千萬分之二)就可偵測出來。「氟」的這種特性很重要，比如說：如果有人含「氟」量較多的環境裏工作，而身體沒有異狀，這可能是因爲「氟」易被偵測到而躲過一劫。

此外，「氟」的密度是0.001696公克/立方公分，是一般空氣密度(0.001293公克/公升)的1.3倍大，也就是「氟」比空氣重，因此在地勢較低處的濃度會偏高。一個實際故事發生在第一次世界大戰時，德軍用「氟」氣做爲毒氣攻擊盟軍，戰場上很明顯發現到：在低窪地區的軍人全被毒死，在高處的盟軍則倖免於難。

雖然因爲元素態的「氟」毒性很強，也很活潑，但一旦和其它元素形成化合物，卻會非常穩定，也毫無毒性。

前面提到過，在化學週期表的所有化學元素裏，「氟」是最活潑的元素。「氟」可以和元素週期表內除「氦」(He)和「氖」(Ne)之外的所有化學元素發生反應，而且反應往往非常劇烈。比如說當「氟」與水接觸時，會因爲產生氧氣而著火，彷彿水燃燒起來。「氟」也能腐蝕所有金屬，甚至連不怕火煉的黃金受熱後，也會在「氟」中燃燒。



## 9. 「氟」(F) 元素的介紹

又例如：「氟」與「氫」氣相遇，即使在低溫或黑暗的情況下也會發生爆炸性燃燒，生成「氟化氫」(HF)，溶於水就成為「氫氟酸」。「氫氟酸」很危險，使用或操作時要格外小心，即使灑到皮膚上很少一點也會造成很大的痛苦。

玻璃算是一種耐酸、耐腐蝕的材料，硫酸、硝酸、高氯酸等強酸和就連能溶解黃金的「王水」(濃硝酸和濃鹽酸以1比3的比例混合而成)都奈何不了「氟」。可是，如果把「氫氟酸」放在玻璃瓶中，過不了多久，玻璃就會被溶解、腐蝕，這是因為「氫氟酸」與玻璃的主要成分矽酸鹽反應。因此「氫氟酸」不能用玻璃瓶裝，一般保存在「鉛」(Pb)、「鎳」(Ni)製或塑膠製的裝置裏。

聰明的工匠們就利用「氫氟酸」的腐蝕性對玻璃進行再加工。他們先把玻璃器皿放在熔化的石蠟中浸一下，然後用刀子劃破蠟層，刻成所需要的花紋，再塗上「氫氟酸」，最後洗去殘餘的「氫氟酸」，刮掉石蠟就會在玻璃器皿上留下美麗的花紋或文字。像是溫度計、比重計和各種玻璃器皿上的刻度及家裏的刻花玻璃，就是用這方法製成的。

隨著光學儀器的高度發展，人們對玻璃工業提出了一些特殊的要求。大家逐漸發現，在製造玻璃時加入少量的「氟化物」是有好處的。一部精密的光學儀器必須使入射光損失最小，然而在入射光通過稜鏡或透鏡時，總會有不同程度的損失，其中約有80%是玻璃的反射造成的。假如在玻璃的表面塗上一層薄層「氟化物」，可以使玻璃的反射能力降低十分之一，這樣就能大大地提高光學儀器的效率。

在光學玻璃中加入少量的「氟化物」，還

可以降低玻璃的折射率，這種含「氟」的光學玻璃對於製造顯微鏡和照相機的鏡頭來說非常重要。並且，把「氟化物」加入普通玻璃中，又可以製造出乳白色的玻璃，利用這種玻璃製造燈泡，可以降低鎢絲的耀眼程度，同時保有原來的亮度。

「氟離子」(F<sup>-</sup>)在人體組織內具有高度滲透性。比如說，「氫氟酸」接觸皮膚，若不及時處理，會腐爛至骨而造成永久性的損傷，這是因為其中的「氟離子」可以和骨頭的「鈣離子」(Ca<sup>2+</sup>)結合而使人中毒。而且「氫氟酸」的灼傷不易發覺，一般是麻痺1~2小時後才有疼痛感。一旦接觸「氫氟酸」，應該立即用大量清水清洗，並緊急送醫治療。

又幾乎所有含「氟」的化合物都可被水溶解，只是溶解度差異很大。也正因為「氟化物」絕大部分可溶於水，所以「氟」廣泛存在於土壤、水和動植物體內。

前面已強調過：由於「氟」實在太活潑，在自然界中很難以純元素單原子的方式出現。相反的，是以兩個「氟原子」結合成一個「氟分子」(F<sub>2</sub>)的形式存在。相當大量的「氟」存在於「螢石」或「氟化鈣」(也稱為「氟石」，Fluorite, CaF<sub>2</sub>，圖1)、冰晶石等礦物中。海水、牙齒、骨骼和血液中也含有少量的「氟」。

現在，商用的「氟」大多經由「氟石」製取，每年產量數千噸。正因為「氟」實在太活潑，反應性太高，因而一般純質的「氟氣」必須以特製的銅鎳合金鋼瓶貯存，運輸時再以液態形式裝填在容器裏，並且用液化空氣冷卻，以利於運輸。

氣態的「氟」也用於生產一種非比尋常的「鈾」化合物——「氟化鈾」(UF<sub>6</sub>)。「鈾」通



## 9. 「氟」(F)元素的介紹

常是以這種化合物的形式運到大型氣體擴散工廠，在那裏把重要的、會分裂的<sup>235</sup>鈾與普通的<sup>238</sup>鈾同位素分離。正是由於<sup>235</sup>鈾易於<sup>裂變</sup> (fission)，因此它在原子核反應爐和核武器上扮演重要角色。

「氟」在原子核研究上的另一重要功能是用於製備一種檢測<sup>中子</sup>的工具，這種偵測工具是由「氟」和<sup>硼</sup> (B) 組合成的化合物——<sup>三氟化硼</sup> (BF<sub>3</sub>)——的氣體。已知<sup>硼</sup>易吸收<sup>中子</sup>，然後放射出高電荷的 $\alpha$ 粒子，而 $\alpha$ 粒子很容易探測到，因此用氣態的<sup>三氟化硼</sup>做為<sup>中子</sup>檢測器會容易許多。反之，用純態的固體<sup>硼</sup>檢測<sup>中子</sup>，在技術上難度很高。

含「氟」的化合物還常常拿來製作農業上的殺蟲劑、煉鋁工業和陶瓷工業上的<sup>助熔劑</sup>、石油工業上的催化劑、冷凍機上的冷凍劑、木材的防腐劑等。儘管如此，「氟」的應用還是不夠廣泛。但是隨著科學技術的發展，「氟」和含「氟」的化合物已經顯示出越來越重要的作用了。

太空火箭、飛彈和高速飛機的發明，大大地體現了近代科學技術的高度發展，同時更苛刻地要求人們必須尋找特別的高能量燃料和耐高溫的材料、潤滑劑、電絕緣體等。「氟」以自身的高度活潑性及含「氟」的化合物的高度穩定性引起了人們的注意。第二次世界大戰以來，新的含「氟」的化合物正在適應各種技術的需要而成倍地增加，並還在以更高的開發速度發展。

「氟」是生物體骨骼和牙齒生長、發育必需的元素之一。近些年來，隨著生活品質的提高，人們開始關注牙齒的健康。每個人都希望有一口健康潔白的牙齒，然而

有不少人被一種對牙齒的破壞力很強的牙病——蛀牙——所困擾，因此預防蛀牙十分必要。科學家們通過調查研究後發現一個有趣的現象：在飲水中含「氟」量達到百萬分之一的地區，居民中患蛀牙的很少。於是，人們開始利用<sup>氟化物</sup>來預防蛀牙。

「氟」為什麼能預防蛀牙呢？

要回答這一問題，首先必須了解牙齒的化學組成。人的牙齒之所以潔白光亮，是由於牙冠上覆蓋著一層乳白色由<sup>氫氧基磷灰石</sup> (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH) 組成的堅硬<sup>琺瑯質</sup> (Enamel) 保護層，它不易溶解。<sup>琺瑯質</sup>層是人體最堅硬的組織，但卻對酸性物質缺乏抵抗力，會被口腔中的酸(如乳酸、醋酸等)侵蝕。如果平時不注意保護牙齒，一旦不可再生的<sup>琺瑯質</sup>層遭破壞，細菌將長驅直入，這時就會產生蛀牙。

吃了含糖分高的食物後，口腔裏的細菌能把它轉化為酸，進而使含<sup>氫氧基磷灰石</sup>的<sup>琺瑯質</sup>溶解，牙齒因而受損。研究表明：解決之道是在牙齒上加一層少量的「氟」。<sup>氟化物</sup>的存在的確可以預防蛀牙，用以增強<sup>琺瑯質</sup>保護層，因為「氟」能與牙齒的<sup>鈣離子</sup> (Ca<sup>2+</sup>) 結合生成不溶於酸的物質，進而增強牙齒對口腔中微生物所形成的酸的抵抗力，可以保護牙齒免受損害。

因此對飲水中含「氟」量低的地區應增加適量的<sup>氟化物</sup>，也就是使<sup>飲用水</sup>氟化，或使用添加<sup>氟化物</sup>的牙膏來預防蛀牙。<sup>氟化鈉</sup> (NaF) 可以在牙齒上形成新的<sup>琺瑯質</sup>保護層，使牙齒外層的<sup>琺瑯質</sup>更難溶解，進而不受酸的侵蝕。現在，全世界很多地方都在其公共水源中，以<sup>氟化鈉</sup>的化合物形式添加「氟」元素



## 9. 「氟」(F) 元素的介紹

素。並且，現在大多數牙膏廠在生產牙膏時，常會添加「氟化鈉」以防止蛀牙。

不過「氟」對人體並非多多益善。前面提到，飲水中含「氟」量在百萬分之一左右的地區，蛀牙的發病率較低。實際上，飲水中「氟」的含量超過這水平後，「氟」就會破壞人體的「鈣」、「磷」代謝平衡，「氟」會與人體體液中的「鈣離子」結合，生成溶解度很小的「氟化鈣」( $\text{CaF}_2$ )，沉積在骨骼中形成「氟骨病」。

並且，若水中的「氟」量過高，會導致牙齒呈現淺棕色及永久染色。此外，「氟離子」即使在低濃度下，也能抑制或促進「酶」（「酵素」）的生化過程。而大劑量的「氟」會使人急性中毒，造成人體的代謝系統和細胞呼吸系統、內分泌系統的紊亂，甚至置人於死地。因此飲水中「氟」的含量必須嚴格控制，太少了不行，多了也有害。

雖然「氟」的性格如此暴烈，但只要掌握了「氟」的個性，就可以利用「氟」的長處為人類謀福利。由於「氟」的天性異常活潑，因此含「氟」的化合物的種類繁多，性質也很特別，有許多特殊的用途。

比如「氟」和碳結合所生成的長碳鏈物質的塑膠材料——「聚四氟乙烯」(Polytetrafluoroethene，英文縮寫是Teflon，俗名「鐵氟龍」)——卻異常穩定，即使把「聚四氟乙烯」放入「王水」中，煮上幾十個小時也絲毫不動，因此在太空航行、火箭、飛彈等尖端科技領域中有廣泛的用途。又因為「鐵氟龍」不沾水，所以常用來製作不沾鍋。「鐵氟龍」也不和一般有機溶劑作用，因此「鐵氟龍」常用於表面塗層和做為其它需要光滑的、惰性表面的產品表面塗層，以及利用「鐵氟龍」製作一些化學反應容

器(圖3)，也可用來製作人工心臟瓣膜。此外，製造「鐵氟龍」時產生的碎片，也對提升印刷用油墨的流動性有所貢獻。

其實，早在人類登陸月球的30年前，就已經發現「鐵氟龍」了。發現者是當時才27歲的普蘭基特(Roy J. Plunkett, 1910-1994，圖4)，他是美國新澤西州杜邦研究實驗室的化學家。他發現的這種聚合物改變了這個世界，但連他自己可能也無法想像，那會是怎麼樣的改變。

「鐵氟龍」的故事要從1938年4月6日星期三的早晨開始講起，當時，普蘭基特正打開他用來製造「氟氯碳化合物」(Chlorofluorocarbons，CFC)的一個裝有「四氟乙烯」( $\text{F}_2\text{C}=\text{CF}_2$ )氣體的鋼瓶。他很驚訝地發現，這個容器內本來應該裝有1,000公克的氣體，卻只有990公克。後來，他用一根鐵棒從容器裏掏出10公克的奇怪白色粉末，才解開他心中的疑惑。普蘭基特明白，這是一種新的聚合物，經過分析後顯示，它是由約10萬個碳原子組成，每1個碳原子都



圖3、利用「鐵氟龍」製做的器具

CC BY-SA 3.0



圖4、Roy J. Plunkett, 1910-1994

圖片來源：Science History Institute-Museum & Library: Educational Scientific Biographies  
<https://sciencehistory.org/education/scientific-biographies/roy-j-plunkett/>



## 9. 「氟」(F) 元素的介紹

附著2個「氟」原子。

這種新塑膠「鐵氟龍」有一些很特殊的性質：它不怕熱及腐蝕酸的攻擊；不會在溶液中溶解；可以放在攝氏零下240度的低溫中而不會變硬；也可以放置於攝氏250度的高溫，仍然不會影響它的性能。還有更驚人的，它被加熱到攝氏500度時，還不會燃燒，而且有一種怪異的滑溜感覺。這些特性正是它的商業產品成功的祕訣。

前面提到不沾鍋是人類科學技術的一大勝利，也是化學家哈特曼(Louis Hartmann)在1950年代的一項重大成就。他希望把「鐵氟龍」和「鋁」(Al)結合，並且也真的想出了結合的方法。

這個方法是先用「鹽酸」(HCl)處理金屬的表面，再把「鐵氟龍」當作乳劑塗上，接著在攝氏400度高溫下把鍋子烤上幾分鐘。酸會在金屬表面腐蝕出微小的細洞，「鐵氟龍」就會流進這些細洞中。當鍋子被加熱時，「鐵氟龍」就會聚合成連續不斷的膜，並被陷在金屬表面幾百萬個坑洞中的聚合物緊緊扣住在金屬表面上。發明不沾鍋的法國特福公司把這種產品取名為Tefal，這個名稱是由「Tetra Ethylene Fluorine Aluminium」(鋁四氟乙烯)化學名稱縮寫而成(圖5)。

大家知道火箭的飛行速度是依靠燃燒時所產生的熱能來完成的，即主要由燃料燃燒時產生的推力來決定的，尋找適當的物質做為火箭的推進劑

是提高火箭速度的關鍵。火箭推進劑通常由兩類物質組成，一類是可以燃燒的物質——燃料，另一類是能夠助燃的物質——氧化劑。

最初發展的火箭，人們使用各式各樣的火藥做為推進劑。第二次世界大戰時，出現了使用「氧-乙醇」做為推進劑的火箭。為了進一步提高火箭的速度，有必要尋找更好的氧化劑和燃料。近幾年已經開始應用「氟」做為氧化劑，因為「氟」和燃料反應快，放出的熱能大。據估計，用「氟-氫」做為火箭推進劑產生的推力約比黃色炸藥大一倍，比「氧-乙醇」大5%。因此以「氟」為推進劑能使火箭的速度大大提高。

飛機或火箭在飛行時會和空氣不斷地摩擦，這樣就會在它們表面上不斷地產生熱量而使溫度升高。在現代的飛機速度下，溫度很容易達到攝氏150度以上。這時，構成飛機的主要材料——「鋁合金」和「鎂合金」——的機械強度就會大大地降低，到了攝氏315度時，它們就會完全失去機械性能。

如今飛機的速度甚至已達音速(約1,200公里/小時)的二倍，最快的噴射飛機可達到音速的三倍，火箭的速度則達到音速的6~12倍。如此一來，有必要尋求耐高溫的材料了。在現代遙控設備以及特殊電動機器、雷達等裝置中，也要求能夠長期在高溫下正常工作的材料。

「氟」的化合物在這裏首先顯示出它的優良性能。含「氟」的塑膠材料——有「塑料王」之稱，它是由「氟」、「碳」、「氫」等元素所組成的，由於「氟」原子與碳原子結合緊密，使得它有耐高溫、耐腐蝕等特點。近年來，人們已經在飛機或火箭上大量應用。例



圖5、發明「不沾鍋」的法國特福公司，把這種產品取名為Tefal，這個名稱是把Tetra Ethylene-Fluorine Aluminium(鋁四氟乙烯)這個化學名稱縮寫而成  
圖片來源：<https://www.tefal-home.com.tw/>



## 9. 「氟」(F) 元素的介紹

如一種已經大量生產的含氟塑料——「聚四氟乙烯」，它和石棉在一起製成的夾心糖式的材料就可以在攝氏零下250~260度間正常工作。化學家們最近製出的「聚全氟丁炔」和「聚四氟乙烯」，甚至可以耐攝氏500度的高溫！

當太空火箭回到大氣層時，速度可達6~8公里/秒，這時由於空氣摩擦所產生的高溫可達攝氏5,000~6,000度(相當於太陽表面的溫度)。另外，火箭推動器材可以在幾「微秒」(10<sup>-6</sup>秒)內就達到攝氏1,670~15,000度的高溫和100大氣壓的高壓。可以想見，它們對材料的要求更是特殊。過去一直是採用金屬陶瓷來解決，雖然能耐高溫，但其致命缺點在於不耐氣流的衝擊、容易裂開，以及加工成形困難。

在這方面，含「氟」的塑膠材料再度顯露頭角。含「氟」的塑膠材料在加入石棉後，對熱的傳導率很低，加上要把「氟」和碳拆開時必須消耗大量的熱能，這使得它的破壞速度較慢。另一方面，它還有成形容易、耐腐蝕等優點，因此含「氟」的塑膠材料在火箭材料方面有著廣闊的前途。

在高速飛機、火箭和飛彈技術中，還迫切要求能在攝氏零下184~537度間與材料接觸使用的潤滑劑。一般的天然材料當然不能滿足這種要求，在已經發現的合成潤滑劑中，除黏度和溫度性能外，以含「氟」的潤滑劑性能最好。含「氟」的潤滑劑具有高度的化學穩定性，不受各種強酸、強鹼和強氧化劑的侵蝕，還具有高度的熱穩定性，可以在攝氏零下68~350度下正常工作。用含「氟」、碳及其它鹵素所組成的化合物和「氟氯甲烷」等做為金屬表面的潤滑劑，甚至可耐攝氏650度的高溫呢！

除此以外，含「氟」的潤滑劑還具有不

燃性、比重大(高達2.4)等特點。因此常用在火箭技術、原子能工業和其它潤滑劑所不能用的地方，如潤滑氧壓縮機、火箭氧化劑的閥門，和減震劑等。

人類登陸月球的那一年，市面上正好出現一種很引人注目的布料，是用「鐵氟龍」製造出來的，商標名稱就叫「高爾帝士」(Goretex，圖6)。1969年，美國的Robert W. Bob Gore博士(圖7)，發明一種方法，可以把「鐵氟龍」延展，就是把這種聚合物加熱並拉長形成薄膜。這會在薄膜上創造出看不見的細孔，每平方英寸有幾十億個之多，小得連雨水都進不去，但大得足以讓汗水逸出(圖8)。



圖6、高爾帝士(Goretex)商標。(來自Goretex官網)  
<https://www.gore-tex.com/zh>

圖7、Dr. Robert W. Bob Gore, 1937-2020  
© CC BY-SA 3.0



圖8、把「鐵氟龍」加熱及拉長形成薄膜。這會在薄膜上創造出看不見的細孔——每平方吋有幾十億個之多——小得連小水滴都進不去，但會大得足以讓汗水的水分子逸出。(圖片來源：Goretex官網)

這種「高爾帝士」薄膜廣泛應用在潮溼天氣時穿著的衣物和運動衣物上，就是把



## 9. 「氟」(F) 元素的介紹

這種薄膜夾在外層布料與內層襯裏之間製成布料。`高爾帝士`最適合製成運動服裝，人們也用`高爾帝士`製造人造血管和動脈，是醫師用來治療心血管疾病的標準醫療用品。

`鐵氟龍`在日常生活中還有多種用途：體育場地的屋頂材料、衣物的除垢劑、椅套、地毯、用來包紮水管接頭和暖氣設備的防水膠帶、電熨斗的底面塗層、牙線。當讀者您讀到這裏時，您的手指可能正好在這一頁紙上，而沾到`鐵氟龍`呢！石化工業的`鐵氟龍`廢料都會回收磨成很細的粉末，然後添加在印刷油墨裏，讓油墨更爲滑順。

但並不是所有`鐵氟龍`的用途都是如此的善良。它被發現後不久，就應用在第二次世界大戰的「曼哈坦計畫」(Manhattan Project)——這項計畫的目的就是製造原子彈。`鐵氟龍`有強烈的化學惰性，可以抵擋得住「氟」氣，不會和「氟」氣起化學反應(先前說過，「氟」氣是最容易起化學反應的分子之一)。因此`鐵氟龍`使用來製作可以抗拒「氟氣」腐蝕效果的產品，今天的化學工業更利用有`鐵氟龍`塗層的化學槽或容器來儲裝高度腐蝕性的化學劑。

另外的原因之一，錢是次要考量的因素。在1960年代的太空競賽時，因爲太空中極冷、低壓，外大氣層充滿活性氧的腐蝕作用，如此惡劣的環境需要使用性質特殊的材質，而`鐵氟龍`是唯一的選擇。或許可以這麼說，沒有`鐵氟龍`就沒有人的月球之旅(圖9)。



圖9、沒有`鐵氟龍`就沒有人的月球之旅

© 公有領域

「氟」和碳結合的化合物又統稱`氟化碳` (CFC)，這包括用於噴罐的氣溶膠推進劑和`氟里昂` (名稱源於英文Freon，它是一個由美國杜邦公司註冊的製冷劑商標，dichlorodifluoromethane，

`二氯二氟甲烷`，圖10)。`氟里昂`是一種`惰性氣體`，常常用做滅火劑、冷氣機的製冷劑，以及常見的噴霧劑。



圖10、Freon，美國杜邦公司註冊的製冷劑商標，Dichlorodifluoromethane，二氯二氟甲烷  
圖片來源：中文百科

但因爲`氟化碳`會擴散到大氣層上方，並與大氣中的`臭氧層`反應，造成`臭氧`的減少，而`臭氧層`具有吸收太陽光中大部分紫外線的功能，可保護地球表面的生物避免受到紫外線輻射的傷害。若是大量地使用`氟化碳`，會使危害性很大的太陽紫外線直接射向地球表面，造成整個地球生物體受到外來紫外線輻射的照射而引發生存問題。因此美國在1978年就禁止在氣溶膠罐中使用碳的`氟化物`，即`氟化碳`。

還有`氟橡膠`也是「氟」和碳結合的高分子家庭中的一員，與`鐵氟龍`相比，除了都有耐高溫、耐腐蝕的性能外，`氟橡膠`還多了一個特點：有一定的彈性。一般的合成橡膠大多抵禦不了強酸或強鹼的進攻，遇到高溫或遇火也很快化爲灰燼。但`氟橡膠`不僅對酸鹼毫無懼色，還可以耐高溫，這是因爲`氟橡膠`中的碳與「氟」之間的結合比一般的合成橡膠牢固許多。

`全氟聚醚` (Perfluoropolyethers，簡稱PEPE) 是義大利化學家西安尼西 (Dario Sianesi)、帕塞帝 (Adolfo Pasetti) 和柯提 (Costante Corti) 在1960年發現的，它早



## 9. 「氟」(F) 元素的介紹

(Constante Corti)在1960年發現的，它早已用來保護建築物，並添加進一些亮光劑中。PEPE不是新產品，但在1980年以前，它相當昂貴(1公升的售價可能高達5百美元)。

如此昂貴的東西，似乎只適用在太空船上，因為太空中情況很惡劣，傳統的潤滑劑無法勝任。「全氟聚醚」的特性使它成為最理想的太空潤滑劑，它可以很均勻地散開，不受溫度高低影響，可以對抗酸或氧化劑這樣的腐蝕性化學物，而且具不燃性。這些可貴的特性來自PEPE的分子結構，它是由幾個碳原子鏈組成的，每一個原子鏈接上兩個「氟」原子，這些原子鏈又被「氧原子」(O)連結起來形成更大的原子鏈。「氟」原子形成很硬的塗層保護這些原子鏈，「氧原子」則賦予它們彈性。這樣的結果是造成一種聚合物，相當堅硬、無法滲透、不怕任何外來物質攻擊，而且除了與自己的同類混合之外，不會和任何東西混合。跟普通油脂不同的是，PEPE不會滲透塑膠表面，因此它是錄影帶、橡膠手套和保險套的最佳潤滑劑。

但潤滑並不是PEPE的唯一優點，強烈的排他性使PEPE成為塵埃和污垢的最佳隔絕劑。還有，對生物和環境來說，PEPE是絕對安全的。在用來製造保護塗層時，PEPE遠勝過其它原料，像是「聚胺酯」和「矽酮」，因為PEPE不會在強烈陽光照射下褪色，細菌和黴菌也無法在表面上生長。

義大利人用PEPE保護他們的歷史性建築物。在交通繁忙的大城市裏，酸雨侵蝕是很多古老博物館、大教堂、宮殿，以及其它偉大建築物目前面臨的嚴重威脅。但過去多年來的實驗顯示，把這些建物表面的石塊和大理石清理乾淨後再噴上PEPE，

可保護這些建物的表面，而不會受到進一步的侵蝕。PEPE的流動性很強，甚至會滲透入最小的縫隙以保護整座建築物。

「氟」的一些「全氟醚類」化合物也可以用來攜帶氧氣和部分人體需要的養料、排泄物等，在需要全身換血時，可以用它做為「人造血液」，也就是暫時代替病人體內的血液。由於其揮發性小，幾天後可自行排出，並且這樣的「全氟醚類」化合物(即「人造血液」)很穩定，一般很少有毒副作用，這種「人造血液」在未來世界的應用將不可限量。

「氟」的一個人工製造的放射性同位素叫「氟-18」( $^{18}\text{F}$ )，是應用於「正電子發射X射線層面照相」(PET)這一醫學診斷方法的幾種同位素之一。「氟-18」( $^{18}\text{F}$ )能在瞬間產生正電子，正電子帶正電，而負電子帶負電，但這二者的其餘各方面物理性質都相同。當正負電子碰撞時，會相互湮滅並產生一束類似於光束的射線(圖11)。

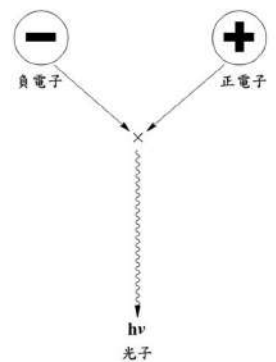


圖11、一個「正電子」和一個「負電子」相互碰撞後會相互消失，產生一個「光子」

當「氟-18」放入人體內，這種湮滅輻射可從人體發射出來，被一種特殊檢測器掃描到，進而給出身體某部分的斷面圖像。由於「氟-18」的半衰期僅有109.8分鐘，對病人身體不致造成輻射損害，因此「氟-18」是適用於這技術的一種理想元素。

除此之外，含「氟」的橡膠在航空工業、汽車工業等方面也有廣泛的用途。在技



## 9. 「氟」(F) 元素的介紹

術高度發展的今天，含「氟」的化合物(特別是含「氟」的有機物)的用途非常廣泛。隨著現代科技的發展，人們對「氟化物」的研究正逐漸深入。除了把「氟」原子引進有機物中能改善它們的穩定性、耐熱性之外，科學家們還發現很多有用的地方。例如：把「氟」原子引進某些藥物中，可提高藥物的療效；引進殺蟲劑中，可以提高殺蟲能力。

雖是如此，在含「氟」原子的化學合成上，科學家已成功合成出「全氟/多氟烷基物質」(Per/Poly Fluoro Alkyl Substances；簡稱為PFAS)。PFAS是一種化學性質相當穩定的合成物質，因為具備防水、防油、及摩擦力小的特性，PFAS被廣泛用來做為表面塗料，如防水織物、紙張護膜、食品包裝材料、不沾鍋塗層、消防泡沫等。PFAS這種十分穩定的特性雖然帶來了許多應用，但卻也不易被自然環境分解。也就是說，PFAS在自然環境中有高度持久存在性，並且在生產PFAS過程中也會污染附近環境的飲用水及土壤，並藉此進入生態鏈中污染動植物。事實上，根據目前的研究結果顯示：PFAS早已在自然環境中普遍的存在。

因而研究人員積極呼籲，要儘快制定「PFAS的安全攝取指南」，以保護那些特別容易受到污染物影響的人群，例如孕婦和兒童。研究團隊強調，這項研究並不是要讓人們完全不吃海鮮。因為海鮮是優質蛋白質和Omega-3脂肪酸的重要來源。相反的，人們有必要了解過量攝取海鮮可能帶來的PFAS暴露風險，進而在飲食中做出明智的選擇，以平衡風險與益處。

總而言之，利用「氟」的活潑性，可以更好地了解其它元素的性質。把「氟」引進有

機物中，可以更方便地研究它們的結構、反應機制等。正是由於這樣，「氟」這個元素變得越來越引人注目。可以想見，隨著科學技術的發展，含「氟」的化合物將成為化學科學中的一個新領域。其實，「氟化學」早已成為化學中的一個重要分支，正在為人類做出更多更大的貢獻。

再強調一次，「氟」雖是個眾所周知化學活性很大的元素，但含有「氟」元素的化合物卻是異常穩定。「氟」對人類有三大重要貢獻，一是用「氟」可預防蛀牙；另一是「氟」和碳元素所形成的「氟化碳」化合物，不但非常穩定，也不易起化學變化，還成為人類日常生活所需的用品及各種科技產物。「氟」是個毒性很強的殺人兇手，但含「氟」的化合物卻對人類貢獻至巨。「氟」對人類而言，到底是敵？是友？親愛的讀者，您認為呢？