

16.「硫」(S) 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						

鐵系元素

銅系元素

英文：Sulfur

簡稱：S

原子序：16

原子量：32.065 amu

熔點：115.21°C

沸點：444.6°C

密度：2.07 g/cm³(20°C)

「硫」是化學週期表裏排行第16號的元素，符號是「S」。「硫」在地球上的儲存量排在第16位，「硫」甚至比「碳」(C) 元素更豐富。

「硫」屬於「硫屬元素」(Chalcogen) 的家族成員。「硫屬元素」的其它成員包含氧(O)、硒(Se)、碲(Te)和鉈(Po)。所有「硫屬元素」構成化學週期表的第16組(VIA)。

之所以會有「硫屬元素」一詞，是因全世界元素的來源多半來自礦石，其中大多數的礦石是金屬和「硫」或金屬和「氧」的化合物，分別稱為「硫化物」或「氧化物」，故常總和稱為「硫屬元素」，此一專有名詞是源自希臘字「Ore Forming」(成礦)。

「硫」的英文稱為「Sulfur」，這個英文字事實上是「德國-斯堪地那維亞」(German-Scandinavian) 一帶對「硫」的稱呼用語，原文是「緩慢燃燒」的意思。「硫」的古英語名「Brimstone」，意思就是「燃燒的石頭」。

英文有個片語叫「fire and brimstone」(火和硫)，至今仍常被引用為「火冒三丈」之意(但也被引申為「詛咒和責罵別人」或「地獄裡的磨難」)。

另外又有一說，「Sulfur」是源自拉丁字「Sulpur」。也有人認為「Sulfur」是出自於印度梵文「Sulveri」，原意是「銅的敵人」。會有這樣的說法，大概是因為很早期的化學家(也就是煉丹、點金的術士)誤認為「金屬」是由「硫」和「水銀」製成的。只是「硫」越多的話，該「金屬」的金屬屬性越少。

「硫」是個活潑的非金屬元素，也是人類最早知道並加以應用的元素之一。在1776年，法國化學家拉瓦錫(Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743-1794，圖1)首先確定了「硫」的不可



圖1、Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743-1794 © Public Domain

16.「硫」(S)元素的介紹

分割性，認為「硫」是一種元素。由於在自然界裏可以用單一性質的狀態(簡稱「單質態硫」)存在，因此人類在遠古時代就知道「硫」的存在，且應用「硫」的歷史至少已有二千多年了，就目前來看，「硫」在新用途上的潛力還是很大的，可以說「硫」這個有著古老歷史的元素到了現代正煥發出新的光彩。

「硫」在地殼中的含量雖然只有0.06%，卻很容易以元素形態存在，也以廣為分布的礦石和礦物形式存在。

「硫」是一種淡黃色的晶體(圖2)，俗稱「硫磺」，比重大約是水的兩倍，性質脆，容易碎成粉末，熔點攝氏115.2度，沸點攝氏444.6度，不溶於水，微溶於酒精，易溶於「二硫化碳」(CS_2)，是熱的不良導體和電的絕緣體，在中國的青海、西藏等火山地區都出產天然「硫」。



圖2、硫的結晶

中國古代的第一部藥學專著《神農本草經》中，所記載的46種礦物藥品裏，就有「石硫黃」(即「硫磺」)之記載。在這本著作裏曾指出：「硫磺能化金銀銅鐵，奇物」。這說明中國古早時就已經知曉：「硫」能與銅、鐵等金屬直接作用生成含金屬的「硫化物」。

明朝末年宋應星總結中國古代農業生產技術而編著的《天工開物》中講述到：「凡「硫磺」乃燒石承液而結就……掘取其石，用煤炭餅包裹叢架，外築土作爐。炭與石階載千斤於內，爐上用燒硫舊渣掩蓋，中頂隆起，透一圓孔其中。火力到時，孔內

透出黃焰金光，先教陶家(燒製陶器工人)燒一鉢盂，其盂當中隆起，邊弦卷成魚袋樣，覆於孔上。石精感受火神，化出黃光飛走，遇盂掩住，不能上飛，則化成液汁，靠著盂底，其液流入弦袋之中，其弦又透小眼流入冷道灰槽小池，則凝結而成「硫磺」矣。」這是加熱粗「硫磺」使它昇華後冷凝成精製品，與西方說法不謀而合。

金屬「硫化物礦」在焙燒過程中或古代人們的篝火中，都會發生「硫」在燃燒時產生的臭雞蛋氣味，這種味道難聞，而又終生難忘。因此可以斷言，「硫」早在遠古時代就令人難忘了。

在西方，古代人們認為「硫」燃燒所形成的濃厚煙霧和強烈臭味能夠驅除魔鬼。在古羅馬，人們用「硫」燃燒產生的「二氧化硫」(SO_2)來清掃、消毒住屋或漂白布匹。其實早在大約4,000年前，埃及人便已經用「硫」燃燒所形成的「二氧化硫」漂白布匹了。古羅馬著名詩人荷馬(Homerus，圖3)的著作裏也講到「硫」燃燒有消毒和漂白的作用。

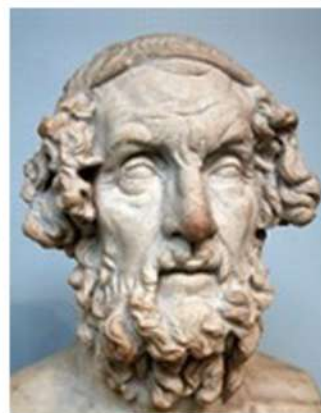


圖3、Homerus
© Public Domain

在中國古代的煉丹術中，「硫」也一直是煉丹的主要藥劑。因為「硫」不僅能「融化」「金」(Au)、「銀」(Ag)、「銅」(Cu)、「鐵」(Fe)，還能征服「有靈氣」的「水銀」(Hg)，使它固化成深紅色的「硫化汞」(HgS)，它又叫「丹砂」的俗名就是由此而來，且一直沿用至今。

世界上現存最古老的煉丹著作就是在東漢末期(西元147年-167年)煉丹家魏伯

16.「硫」(S) 元素的介紹

陽所著《周易參同契》。這本書記載了「硫」能和易揮發的「汞」(水銀)化合成不易揮發的「硫化汞」。而在東晉的煉丹家葛洪所著的《抱樸子內篇》中，也有「丹砂燒之成水銀，積變又還成丹砂」的記載。此外，火藥是中國古代4大發明之一，當時的火藥是「硫磺」、「硝石和木炭的混合物」。

「硫」在自然界中是以「單質態硫」和「化合態硫」兩種狀態出現。前者具有鮮明的澄黃色，燃燒時產生強烈的刺激性臭味，「單質態硫」通常沉積在溫泉和間歇噴泉的邊上，是由8個「硫」原子組成的環狀分子形式存在(圖4)，用S₈表示。「單質態硫」在

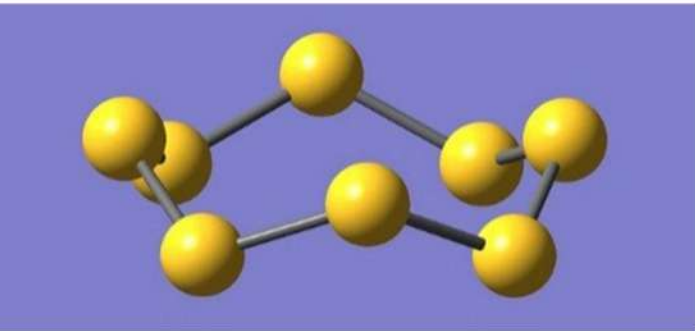


圖4、單質態硫是由8個硫原子組成的環狀分子形式存在

火山旁也經常被發現，因為火山冒出的氣體中含有「硫化氫」(H₂S)和「二氧化硫」(SO₂)，兩者反應可生成「單質態硫」。其實火山是大氣的一個重要污染源，據估計，火山爆發釋放到大氣中的「硫」占大氣中所有「硫」的三分之二(圖5)。

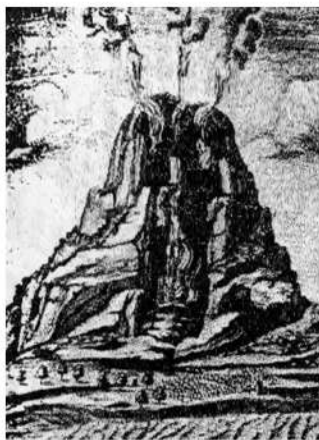


圖5、義大利維蘇火山噴發出大量硫磺。(古代木刻畫)

以化合物形式存在的「化合態硫」則分布很廣，因為「硫」可和多種金屬產生「硫化物」和各種「硫酸鹽」，主要的化合物是「硫化物」，其中最多的是「黃鐵礦」

(FeS₂，圖6)、「黃銅礦」(CuFeS₂，圖7)、「方鉛礦」(PbS，圖8)和「閃鋅礦」(ZnS)，硫酸鹽則如「硫酸鈣」(石膏，CaSO₄·2H₂O，圖9)、「硫酸鎂」(瀉鹽，MgSO₄·7H₂O，圖10)、「硫酸鋇」(重晶石，BaSO₄)、「硫酸銨」(「天青石」SrSO₄)、「硫酸鈉」(「芒硝」，Na₂SO₄·10H₂O，圖11)等。而呈金黃色俗稱「傻瓜金」的「二硫化鐵」(FeS₂)就是俗稱的「黃鐵礦」(圖6)，這種「傻瓜金」常常使剛入行的採金人以爲發現了金子。



圖6、黃鐵礦
CC BY-SA 4.0



圖7、黃銅礦
CC BY-SA 3.0



圖8、方鉛礦
Public Domain



圖9、硫酸鈣(石膏)
公有領域



圖10、硫酸鎂(瀉鹽)
圖片來源：百科知識中文網



圖11、硫酸鈉(芒硝)

此外，「硫」也存在於礦泉水、天然氣、石油、煤(煤中平均含「硫」1~1.5%)、土壤和動植物體中，天然氣所含的「硫化

16.「硫」(S) 元素的介紹

氫[﹂]，是獲得[﹂]硫磺[﹂]的寶貴原料，例如四川省天然氣資源十分豐富，已生產大量的[﹂]硫磺[﹂]。

元素[﹂]砷[﹂] (As) 的硫化物[﹂]雄黃[﹂] (As_2S_2 ，圖12)、[﹂]雌黃[﹂] (As_2S_3) 很早就被中外人士用作殺蟲藥和顏料，兩者是共生礦物，中國古籍中所說「生山之陽爲雄，



圖12、雄黃
圖片來源：百科

生山之陰爲雌」是附會之談。西文中[﹂]雄黃[﹂] 稱爲realgar，來自阿拉伯文rahj al ghār，是[﹂]礦物粉末[﹂]的意思。[﹂]雄黃[﹂] 在西方不僅用作殺蟲藥，甚至在15世紀就用於戰爭中做爲毒氣，因爲燃燒[﹂]雄黃[﹂]可產生有毒的[﹂]氧化砷[﹂] (As_2O_3) 和[﹂]二氧化硫[﹂] (SO_2)，可乘風勢吹向敵方。

[﹂]雌黃[﹂] (Orpiment) 是[﹂]金色顏料[﹂] 的意思，是中國古代使用的顏料，還會和墨一樣用於書寫和繪畫，中國古典小說中的[﹂]黃白朮[﹂]、[﹂]點金化銀[﹂]，就是利用[﹂]雄黃[﹂]、[﹂]雌黃[﹂]。而成語「信口雌黃」表示人們言而無信，就因爲修改文字要用[﹂]雌黃[﹂]來訂正。

「硫」也可以製成塊狀(硫塊)、棒狀(硫棒)和粉末狀([﹂]硫華[﹂])。當「硫」被加熱到熔點(攝氏115.2度)時，剛開始會熔化成淡黃色，像水一樣易於流動的液體，在溫度接近攝氏160度時，液態「硫」顏色變深，黏度增加10萬倍。在攝氏200~250度時，液態「硫」完全不能流動。繼續加熱到攝氏260度以上，則黏度逐漸降低，到了攝氏300度，又變成容易流動的液體。液態「硫」在攝氏444.6度時沸騰，生成橙黃色的蒸氣。若「硫」蒸氣急速冷卻，則會昇華變

成很細的粉末晶體(稱爲[﹂]硫華[﹂])。

「硫」的黏度之所以出現奇特變化的原因，是因爲在攝氏200~250度間，隨溫度增加含8個原子的環狀分子(圖13)逐漸變成

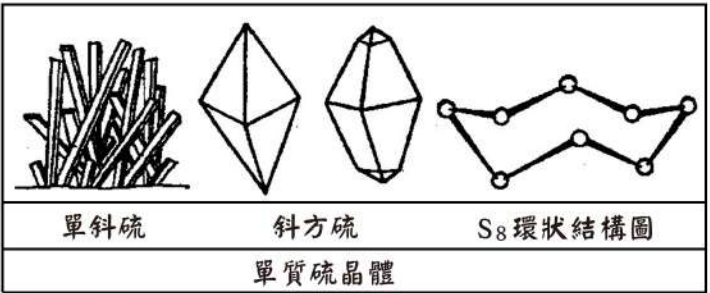


圖13、硫的「同素異性體」

含30多萬個原子的長分子，如此長的分子相互交織在一起，會阻止液體順利流動，攝氏260度以上因爲有足夠的能量把長鍵硫變爲短鍵「硫」，分子之間相互作用減小，流動也就容易了。

18世紀後半葉，德國化學家米切裏希 (Eilhard-Mitscherlich, 1794-1863，圖14) 發現「硫」具有不同的晶形，提出了「硫」具有[﹂]同素異形體[﹂] (即同樣元素組成，但具有不同物理和化學性質且有不同結構形態的物質)



圖14、Eilhard Mitscherlich, 1794-1863 © Public Domain

的概念。也就是當「硫」是固態時，會以多種[﹂]同素異形體[﹂]方式出現。在晶形方面有「斜方硫」和「單斜硫」兩種，天然出產的「硫」都是「斜方硫」。

當「斜方硫」加熱到攝氏95.5度會轉變成「單斜硫」，如果把「單斜硫」冷卻到攝氏95.5度，又會轉變成「斜方硫」。「斜方硫」和「單斜硫」都是由S₈環狀分子組成的，它們的區別只是晶格排列不同(圖13)。

16.「硫」(S)元素的介紹

如果把加熱到攝氏190度的熔態「硫」倒入冷水中冷卻，可以得到玻璃狀態的「彈性硫」。由於溫度突然下降，長鏈狀的硫分子來不及形成環，仍以交聯的長鏈固定在固體中，因而「彈性硫」有彈性，它不溶於任何溶劑，靜置後可緩慢地轉變回穩定的晶態「斜方硫」。

這3種「同素異形體」（「斜方硫」、「單斜硫」和「彈性硫」），以「斜方硫」最穩定。所以放置在常溫下，「單斜硫」和「彈性硫」都會轉變成「斜方硫」。附帶一提的是，「斜方硫」又叫「 α 硫」；「單斜硫」又叫「 β 硫」；而「彈性硫」則叫「 γ 硫」。

前面提到「硫」容易跟絕大多數金屬直接化合生成金屬硫化物，甚至一些不活潑的金屬（如「銅」、「汞」）也能與「硫」化合產生金屬硫化物。「硫」也容易和「氫」反應，在攝氏300度時直接化合成「硫化氫」（ H_2S ）。「硫化氫」是一種無色而有臭雞蛋味的氣體，也是腐敗雞蛋裏出現氣味的來源，它是細菌分解蛋黃中含「硫」蛋白質的結果。

「硫化氫」有毒，它可通過並破壞呼吸酶而損害人體，即使微量的「硫化氫」也會導致頭痛、噁心及窒息，也可麻醉人的中樞神經，並影響呼吸系統，長時間吸入過量的「硫化氫」會引起嚴重的中毒，甚至死亡，因此在製取和使用「硫化氫」時，要注意通風，而有關「硫化氫」的實驗，應該在通風櫥內進行。

「硫磺」（圖15）是中國古代早已應用的藥物之一，西漢時期「神農本草經」就把「硫磺」列為「中品藥」，也做為殺蟲、殺菌、消毒劑，外用可以



圖15、硫磺 © 公有領域

「主婦人陰血、疽痔、惡血、堅筋骨、除頭禿」，內服可以「怯火助陽」。

著名的明朝醫生李時珍（1518-1593）編著的《本草綱目》中，講到「硫磺」在醫藥中的功用：治腰腎久冷，除冷風頑痺寒熱，生用治疥癬。綜合而言，外用塗抹可以治皮膚病、疥癬、禿頭、陰部濕癢潰瘍等，現在常製成軟膏使用，如「硫磺」軟膏、「硫磺」水楊酸、「硫磺」魚石脂膏、「硫磺」焦油軟膏等，「硫磺」也可用作瀉藥，內服有緩下作用，用於傷寒引起的便秘。現在廣泛應用的磺胺藥物，也是含「硫」的化合物。

「硫磺」在中國很早就做為農藥使用了，現在則被大量應用在消滅農作物的病蟲害，特別是果樹和棉花方面，例如石灰「硫磺」合劑可防治小麥的銹病、赤黴病、白粉病，以及梨、蘋果等果樹的赤星病、黑星病、花腐病等，農業上使用的高效劇毒除蟲劑，就是含「硫」和「磷」（P）的農藥。

「硫」可以由天然「硫」或「硫化物」製取。世界上大多數的「硫」是從天然氣與石油氣中回收或從天然「硫」製取的。天然「硫」通常和各種岩石砂子混在一起，必須先使「硫」和砂等雜質分開，做法是把天然「硫」礦石放在爐子裏加熱，「硫」受熱熔化流入模子裏，凝固後就得塊狀「硫」。塊狀「硫」仍含有許多雜質，必須進一步提純，一般是把塊狀「硫」放在爐子裏加熱到沸騰，使「硫」蒸氣通到冷卻室冷卻。冷卻後再升溫，當溫度繼續升高到攝氏119度以上時，「硫華」逐漸熔化成液態「硫」流集在底部，再從出口注入模子，凝固後就成棒狀「硫」。

「硫」也能在空氣中燃燒生成有刺激性氣味「二氧化硫」（ SO_2 ）氣體。

此外，韭菜、大蒜和蔥也含有「硫」化

16.「硫」(S)元素的介紹

合物，所以會散發出獨特的刺激性味道。像是高蛋白或乳製品會產生大量的胺基酸，容易與含「硫」化合物結合後，進而發出難聞氣味，讓人產生口臭。燃燒頭髮和指甲之所以會發出臭味，也是因為其中含有「硫」的胺基酸(如：半胱氨酸等)之故。

1952年12月，倫敦出現有史以來最嚴重的大濃霧，而造成4千名倫敦居民死於「二氧化硫」中毒，這場濃霧持續了5天，最後擴大到數千平方英里的地區，在那5天中，所有的家庭都燒煤炭取暖，「二氧化硫」就是這麼來的。

世界上生產的「硫」大約有90%都經過燃燒變成了「二氧化硫」。它是一種無色、與火柴燃燒氣味相仿而令人窒息的氣體，它易溶於水生成「亞硫酸」，在常溫常壓下，1體積水大約能溶解40體積的「二氧化硫」。這樣產生的「二氧化硫」氣體大部分再進一步與空氣反應成「三氧化硫」(SO_3)，進而製成「硫酸」，少量用做食品防腐劑。

「二氧化硫」對黴菌和某些細菌有殺傷力，常用做酒和乾果(如葡萄乾)的添加劑。從羅馬帝國時代起，「亞硫酸鹽」就一直是保存葡萄酒的常見方法之一。人們通常在裝滿葡萄汁的大桶子旁邊燃燒天然「硫磺」產生「二氧化硫」，讓桶內的葡萄汁吸收「二氧化硫」。

只要100ppm的「二氧化硫」，就足以阻止不好的酵母繁殖，同時讓好的酵母不斷分裂，當葡萄壓碎後，葡萄汁會因水果表皮的野生酵母自動發酵，「二氧化硫」可壓抑這些野生的酵母，由加入的人工酵母促進發酵。這些酵母可以忍受很高濃度的「二氧化硫」，事實上，有些酵母本身還會產生「二氧化硫」。

酒在裝瓶前可能還得經過更多的「亞硫酸鹽」處理，防止它進一步發酵，每一瓶可能需要高達350毫克(1毫克= 10^{-3} 公克)的「二氧化硫」，這些「二氧化硫」大部分都會和酒中的其餘成分起化學反應而消失不見，不過有些酒齡很淺的白酒還會含有高量的「二氧化硫」。

「二氧化硫」對食物有什麼影響呢？其實「二氧化硫」是用途最廣的食物添加劑，並且是最安全的一種。它能夠控制各種型態的食物腐壞，包括微生物引起的腐壞、氧化腐壞和食物變色，甚至有助於維生素的保存。據研究指出，「二氧化硫」以很多方式和食物中的成分發生化學反應，但從對老鼠所做的實驗中發現，這些反應是安全的。雖然如此，由於某些人對「二氧化硫」過敏，因此含「二氧化硫」的食物必須適當標記。

「二氧化硫」可以保存我們的食物，而且很安全，因為這種分子是天然的，雖然也會流失，卻是身體新陳代謝的一部分。「二氧化硫」可以殺死細菌，是很好的抗氧化劑，可以防止食物變壞，已大量用來做為防腐劑使用。不過「二氧化硫」不准使用在肉類上，因為它會破壞維生素B₁，但也有例外，像是香腸等。

「二氧化硫」還廣泛用在水果和蔬菜方面，因為會保持它們的天然色澤，例如剝去皮的馬鈴薯會保持白色，英國農漁食品部也已經批准製造商在漢堡的素食替代品「素漢堡」中，使用「二氧化硫」做為防腐劑。

「二氧化硫」還用做織物及造紙木漿的漂白劑，因為「二氧化硫」能與某些過渡金屬化合物生成無色物質，不過這些無色物質並不穩定，很容易分解恢復到原來的顏色

16.「硫」(S) 元素的介紹

。因此，用「二氧化硫」漂白過的東西經過一段時間後，常常又會返黃色。

必須注意的是，「硫化氫」和「二氧化硫」是造成大氣污染的主要物質之一。石油和煤中都含有「硫」，雖然在某些地區嚴格限制燃燒含「硫」較多的煤和石油，不過煤和石油仍是世界上主要的能源。當燃燒煤和石油時會產生「二氧化硫」，進一步氧化變成「三氧化硫」，它與水反應生成「硫酸」，與水蒸氣反應時往往形成「硫酸」煙霧，這些煙霧可在大氣中存在一年多。

排入大氣的「硫化氫」或「二氧化硫」又往往會與空氣中的灰塵結合。如果「二氧化硫」吸入人體，就會引起呼吸道疾病。由於「二氧化硫」與鼻、咽喉黏膜中的水分結合後，會生成酸性物質，因此當大氣中「二氧化硫」含量較多時，人就容易咳嗽、打噴嚏、流淚。此外，「二氧化硫」還可直接傷害農作物，造成減產。如果它們與空氣中的水蒸氣結合，就會形成「酸雨」（圖16）

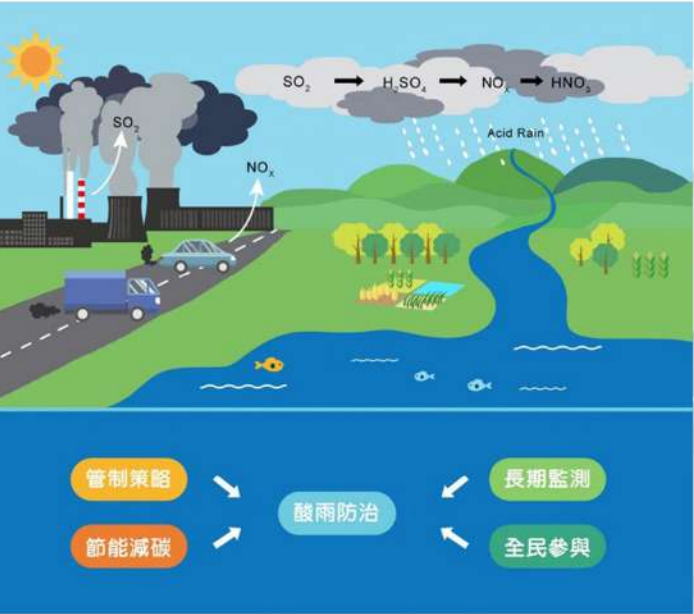


圖16、酸雨的形成
圖片來源：行政院環境保護署-空氣品質改善維護資訊網 https://air.moenv.gov.tw/EnvTopics/AirQuality_5.aspx

降到地面導致土壤酸化，而且還會在風的作用下向四周擴散，因此危害極大。為避免污染環境及危害身體健康，必須加以重視。

使「硫」的蒸氣通過熾熱的木炭層，可得到無色的「二硫化碳」(CS₂)液體。「二硫化碳」不具極性，是油脂、橡膠以及「硫」、「磷」(P)、「碘」(I)等很好的溶劑，可用作殺蟲劑，在工業上廣泛用作溶劑和萃取劑。

雖然「二氧化硫」在空氣中產生的「硫酸」煙霧是「酸雨」中主要的酸性成分，其實「硫」最為重要的用途就是製造「硫酸」。這是因為隨著工業的發展，「硫」在製取「硫酸」中起著關鍵作用。

衆所皆知，「硫酸被譽為工業之母」，這是由於「硫酸」能廣泛應用於各種工業生產中，製造出多種工業產品。據統計，全世界製造的「硫酸」產量比任何其它化學品都來得多。比如說：「硫酸」可以用於製造肥料、染料、油漆、藥物、炸藥、合成纖維、合成橡膠、塑料、澱粉糖漿、各種無機酸、鹽類和蓄電池等。還有有色金屬的提煉和加工、石油產品的經製、煤焦油產品的處理、紡織品的漂染、動物皮的製革、木材的水解、工業用液體的乾燥和脫水等都要用「硫酸」。

沒有「硫酸」，原子反應爐不能運轉；沒有「硫酸」，火箭和人造衛星上不了天，這是因為從「鈾」礦中提取核燃料「鈾」(U)需要「硫酸」；製取高能燃料的「硼化物」需要「硫酸」。台灣的「台積電」公司用大量「硫酸」清洗「矽晶片」製品。所以人類無處不需要「硫酸」，於是工業生產中需要大量的「硫」。事實上，一個國家的工業發展水平往往用個人平均耗「硫」量來衡量，像在美國，每人每年耗「硫」量超過5公斤。

古時候，製造「硫酸」的方法是把「硫酸」鐵放在蒸餾器中蒸餾，得到一種油狀物，就是「硫酸」。現在的生產方法是接觸法，原料仍然是硫鐵礦。製造的反應原理是，燃燒「硫」或金屬硫化物原料來製取「二氧化硫」，再使「二氧化硫」在適當的溫度和催化劑(如五氧化二釩，V₂O₅等)作用下氧化

16.「硫」(S) 元素的介紹

成「三氧化硫」，再溶於水中可得98.3%的「濃硫酸」。在製程中，常以這「濃硫酸」吸收「三氧化硫」，製得成品「硫酸」。

有人也許會問：「為什麼不用純水來吸收「三氧化硫」，而要用98.3%的「硫酸」呢？」因為這樣的工業生產過程使「三氧化硫」的吸收既完全、又迅速，而且得到的成品是「濃硫酸」或發煙「硫酸」，如用水或稀「硫酸」就不能滿足這些要求了。

必須指出的是「硫酸」有很強的腐蝕性，如果不小心在皮膚或衣服上沾到「硫酸」，應立即用布拭去，再用水沖洗，「濃硫酸」具吸水性，與空氣接觸能夠吸收空氣中的水分，因此它常用作一些氣體的乾燥劑。「濃硫酸」還有很強的脫水性，能奪取紙張、木材、纖維、皮膚中的水分，使它們碳化。如果把「濃硫酸」加到白糖中，得到的會是黑色的碳。

目前「硫酸」大量使用在冶金工業和金屬加工中。在鋼鐵進行冷軋、沖壓等加工之前，必須用「硫酸」清除裏面上的「氧化鐵」(Fe_2O_3)，否則在冷軋和沖壓時，「氧化鐵」就有可能被壓入鋼鐵中，使裏面粗糙，甚至造成廢品。在金屬製品裏面鍍的「鎳」(Ni)、鍍的「鉻」(Cr)時，也要用「硫酸」來清洗金屬裏面的氧化物，否則鍍層附著力差而容易脫落。

在石油工業中，汽油、潤滑油等產品的生產，也都需要用「濃硫酸」精煉，以除去其中的含「硫」化合物和不飽和碳氫化合物。每噸原油精煉約需要24公斤「硫酸」，每噸柴油精製也需要大約30公斤「硫酸」。在染料工業中，幾乎沒有一種染料的製備不使用「硫酸」。在肥料生產中，也需要消耗大量的「硫酸」。每生產1噸「硫酸銨」($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)，就要消耗大約760公斤「硫

酸」，1噸過磷酸鈣，也要消耗360多公斤「硫酸」。

此外，「硫」也是生產橡膠製品的重要原料之一。天然橡膠是一種高分子化合物，最早發現橡膠的是印地安人。當年，航海家哥倫布(Christopher Columbus, 1451-1506，圖17)第2次航行到美洲，他看到島上印地安人的兒童一邊哼著歌曲，一邊和著節奏歡樂地把一個黑色的球扔來扔去，這球落到地面後，竟然會彈到與原來幾乎一樣的高度。哥倫布大為驚訝，仔細地向印地安人打聽，才知道世界上有一種彈性非常好的物質——「橡膠」。



圖17、Christopher Columbus, 1451-1506
© Public Domain

「橡膠」(圖18)存在於從「橡膠樹」的樹皮中流出來的白色樹汁中。可能是由於偶然的機會，印地安人用刀砍到野生「橡膠樹」的樹幹，結果從樹幹的刀傷口竟然流出了白色的乳液，印地安人可能就是這樣發現「橡膠」。他們把這種乳液叫做「樹的眼淚」。



圖18、橡膠
© CC BY-SA 4.0

把「橡膠樹」的樹汁曬乾，就可得到「橡膠」。不過這種天然「橡膠」有一些致命的弱點：遇熱變軟，容易發黏；遇冷又變硬，

16.「硫」(S)元素的介紹

彈性變差。這些問題一直到1844年美國人古德伊耳 Charles Goodyear, 1800-1860, 圖19)發明「橡膠硫化」的技術後，才得以澈底解決。

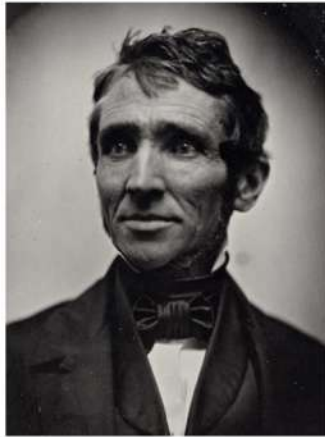


圖19、Charles Goodyear, 1800-1860
© Public Domain

古德伊耳出生在一個商人的家庭，他父親做「橡膠」生意，因「橡膠」品質問題，生意一直不好。古德伊耳心想如果把「橡膠」加工，使它的物理特性不受季節影響，生意肯定會興隆起來。在他生活的年代裏，鋼鐵工業已經有了很大的發展，當時的煉鋼技術給了他很大的啟發，鋼的性能比鐵好，是因為在鋼中添加了其它物質，那麼在生「橡膠」中添加其它物質，會不會也能使「橡膠」的性能得到改善呢？爲了實現自己的理想，古德伊耳日以繼夜地工作著，他試驗了很多物質，效果都不理想。

一個寒冷冬天的晚上，古德伊耳圍著火爐，一邊烤火，一邊做著試驗，他順手拿了些「硫磺」，取了生「橡膠」，放在一起擺弄著。忽然，一不留神，摻了「硫磺」的生「橡膠」掉到了熾熱的爐火上。古德伊耳急忙找夾具把它取出，這時，他驚喜地發現這塊試驗用的「橡膠」雖然被烤焦了，卻具有彈性和韌性，古德伊耳興奮極了，因為這正是他想要的「橡膠」。經過一段時間的艱苦試驗，終於發明「橡膠硫化」法。

這個方法是把生「橡膠」、「硫磺」和催化劑等按一定比例放入密閉容器中，然後通入高壓蒸氣，進行一段時間的高溫處理後，就製得比生「橡膠」更耐磨、又富有彈性的「硫化橡膠」。

「硫磺」爲什麼有這麼神奇的本領呢？原來天然「橡膠」的大分子鏈條好像許多單根的彈簧，散亂地堆積在一起，彈性並不很大，而且這種彈簧非常容易拆開、分離。因此，「生橡膠」一拉就斷，沒有韌性，而經過硫化的「橡膠」中，「硫」原子在生「橡膠」的大分子鏈節之間建立起了一座座橋梁，好像做沙發時，彈簧與彈簧之間用麻繩、鐵絲勾聯成爲一個整體，變成了立體網狀結構，這樣不僅彈性好，又不會鬆散。因而「橡膠」在經過「硫化」後，就能製成籃球、雨靴、軟管、輪胎等各種用品了。

隨著研究的深入和科技的發展，「硫」的新用途不斷產生，主要應用在建築材料方面，如硫泡沫保溫材料、「硫磺」水泥、硫混凝土、硫瀝青鋪路材料、交通劃線用漆和裏面噴塗材料，現分別說明如下：

(1) 硫泡沫保溫材料有較高的抗壓強度，能與塑膠材料比美，可用來製造建築材料、公路土地的隔離層和管道。

(2) 「硫磺」水泥是在「硫磺」中加入「聚硫橡酸」粉末，製成塑化「硫磺」，再與耐酸性物質混合製成。能耐酸、不滲水，與其它物質的膠結力大，大多用於製造耐酸槽。

(3) 硫混凝土是一種含20~40%「硫」的熱塑材料，與矽酸混凝土不一樣，能防水滲透、耐酸、耐鹼和耐普通溶劑，並能迅速凝固，具有良好的造型性能和很高的強度，因此可用來複製精細的雕刻和裝飾性的建築構件。

(4) 硫瀝青在高溫下不致變軟，在低溫下能減少脆裂，可提高瀝青的強度和耐久性，是一種優良的鋪路材料。

16.「硫」(S) 元素的介紹

(5)「硫」也可以做成交通劃線用的熱溶油漆，這種油漆劃線和保養成本低，冷卻和凝固快，因此劃線時不需要交通管制。

(6)用做裏面噴塗材料，可以不用砂漿抹牆，把煤渣和混凝土砌塊堆積成牆，然後在牆的兩面用「硫」噴一層薄的塗層，「硫」在幾分鐘內就會凝固，構成一層堅固、堅硬和不透水的裏面層，這種牆比砂漿砌造的牆牢固，施工簡單，大大加快了施工速度。

根據研究，自然界必需要有6種基本化學元素都同時存在，才能誕生生命。這6種元素就是：`氫`、`碳`、`氮`、`氧`、`磷`及「硫」。

「硫」對於世上動植物而言，是屬於`大量需要的元素` (Macronutrients)，才能確保生物體的良好健康狀態。像是眾所周知的DNA(去氧核糖核酸)就含有「硫」元素。

況且，長久以來，人們早就知道「硫」具有強大的清潔能力。古代醫生會用「硫」來治療疾病或感染及清潔居所環境。甚至用「硫」來殺死寄生蟲(像跳蚤和蜚蟲)。「硫」也被用做瀉藥，用以鬆弛腸道。

此外，「硫」常以`胺基酸` (又稱`蛋白質`)的型態存在於人體中。成人體內約有140公克的`胺基酸`。其中像是`蛋胺酸`為人體必需的`胺基酸`之一，負責製造生理活性物質及輔助肝臟機能。

植物也需要「硫」才能正常生長和發育。當植物沒有從土壤中獲得足夠的「硫」時，植物的幼葉會開始變黃，這種變黃會延伸到整個植物，甚至進而發展成其它疾病。

顯然「硫」對全世界生物的貢獻度相當的大，這都要感謝「硫」的多變性格，才能造就出不同程度的好處。也正因為「硫」的個性多變，很多地方人類還摸不清「硫」的真正脾氣，再加上天然的「硫」經氧化後具有臭雞蛋味，使得一般人對「硫」避之惟恐不及，但願本文的介紹，能使讀者您能對「硫」有些了解與認識。