

17.「氯」(Cl)元素的介紹

直到1810年時，戴維以無可辯駁的實驗事實證明了所謂的「氧化鹽酸」不是一種化合物，而是一種化學元素。戴維就從希臘文 chloros (黃綠色) 命名「氯」的英文名字為 Chlorine。「氯」的拉丁名稱 Chlorum 和元素符號 Cl 就是由此而來。1880年代，早期中國化學家徐壽 (1818-1884，圖3) 原先把「氯」譯為「綠氣」，後來1933年時中國化學家鄭貞文，把「綠」的偏旁「录」塞進「气」中，創造了「氯」字。「氯」在日文中稱為「鹽素」，也就是「食鹽之要素」(食鹽=「氯化鈉」)的意思。



圖3、徐壽，1818-1884
© 公有領域

「氯」元素本身是個雙原子分子 (Cl_2)，且又是個帶有黃綠色的有毒氣體 (圖4)。因此習慣上我們稱它為「氯氣」，而不僅僅叫「氯」而已。在標準狀況下，1公升的「氯氣」重3.21公克，大約是同體積空氣質量的2.5倍。「氯氣」極易液化，如果使「氯氣」冷卻至攝氏0度時或常溫在極低壓下，「氯氣」就會變成黃綠色油狀液體 (圖5)。液態的「氯」在零下攝氏100度還可以凝固成黃色固體 (圖6)。



圖4、氯是帶有黃綠色的有毒氣體
圖片來源：百科



圖5、氯氣冷卻至0℃時或常溫在極低壓下會變成黃綠色油狀液體。



圖6、液態的氯在零下100℃還可以凝固成黃色固體

「氯」在地殼中的含量為名列第20位的地球元素。在自然界，「氯」多半存在於海水的可溶鹽及鹽礦中，主要以「氯化物」的形式蘊藏在海水裏，海水中含「氯」大約為1.9%。

氣態的「氯」(Cl_2)是化學工業的重要原料，因為「氯」在①化學品、聚合物和藥物的合成等廣泛領域中發揮關鍵作用；在②木材和紙張的漂白；在③廢水和「壓艙水」(註A)的處理和消毒，都扮演著舉足輕重的角色。全球每年的「氯」產量約9000萬噸。現今全球超過95%的「氯」生產依賴「電化學」的「氯析出反應」(Chlorine Evolution Reaction；簡稱「CER」)。也正因為「氯」在上述三種應用的重要性，使得「CER」成為最成功的「電化學」商業化製程之一。

在實驗室中，「氯氣」可以用「濃鹽酸」(HCl)與「二氧化錳」(MnO_2)反應來製取。這個方法也正是約250年前瑞典化學家許勒 (圖1) 製備「氯」時所採用的方法。在工業中則是採用上述「CER」電解海水的方法製得「氯氣」。

大量的「氯」用於製取「鹽酸」、農藥、染料以及對碳氫化合物的「氯化」，如製取「聚氯乙烯」(塑膠原料)等聚合物。一些人們熟知的常用溶劑也含「氯」，像是：「四氯化碳」(CCl_4)和「氯仿」(CHCl_3)。「氯仿」易揮發，過去很長一段時間被用做外科的麻醉劑。由於已有證據證明「氯仿」會嚴重損害腎和脾臟，所以「氯仿」已不再被使用於外科手術，而改由其它一些化合物取代。「四氯化碳」是脂肪和油的優良溶劑，就在不久前還廣泛用於服裝乾洗業，但研究表明，「四氯化碳」對肝臟損害極大，現在許多地方也已禁止使用它。

「氯」不會自燃，但像「氧氣」那樣，可以有助於與其它物質燃燒。「氯」是一種非常活潑的非金屬元素，在化學反應中「氯」原子顯著地表現出強結合電子的能力，也

17.「氯」(Cl) 元素的介紹

就是，「氯」氣是個很強的「氧化劑」，可以自身容易在化學反應中獲得電子或從他物取得電子。這種能力是「氯」最典型的化學性質，所以除了「稀有氣體」元素[如：「氦」(He)、「氖」(Ne)、「氬」(Ar)、「氪」(Kr)、「氙」(Xe)、「氡」(Rn)]外，「氯」幾乎可以和所有的化學元素產生安定的化合物。

1.「氯」能與金屬反應

「氯」氣能與各種金屬作用，且反應比較劇烈。例如「鈉」(Na)、「錫」(Sn)、「銻」(Sb)、「銅」(Cu)等能在「氯」氣中燃燒，甚至連不與「氧氣」(O)反應的「銀」(Ag)、「鉑」(Pt)、「金」(Au)也能與「氯」氣直接化合。但只有一種金屬除外，這便是「鐵」(Fe)，「氯」氣在乾燥的情況下不與「鐵」作用，因此可以把乾燥的「液態氯」貯存於鐵罐或鋼瓶中(圖7)。



圖7、貯存於鋼瓶中的液態氯

2.「氯」能與非金屬反應

「氯」能與大多數非金屬元素直接化合，反應程度雖不如「氟」(F)那樣猛烈，但也是很劇烈。例如：「氯」能與「氫」(H)、「磷」(P)、「硫」(S)、「碘」(I)等多種非金屬元素作用生成「氯化物」。

3.「氯」能與水反應

常溫下，一體積的水可以溶解約2.5倍體積的「氯氣」，得到「鹽酸」(HCl)和「次氯酸」(HOCl)，即 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HOCl}$ 。

「氯」的一種重要化合物「氯化氫」(HCl)是一種帶刺激氣味的無色氣體，全球年產量大約300萬噸。「氯化氫」溶解於水形成

「鹽酸」。

「氯」氣與「氫」氣混合，在光照下，就會發生反應，生成「氯化氫」氣體，放出大量的熱，甚至發生爆炸。「氯化氫」是製造「聚氯乙烯」(Polyvinyl Chloride, 簡稱PVC)的主要原料，「氯化氫」的水溶液就是熟悉的「鹽酸」。「鹽酸」是一種無色透明的強酸。工業產品中的「鹽酸」，往往由於含有少量「氯化鐵」(FeCl₃)和「氯」氣而呈黃色。如果將盛有「鹽酸」的器皿打開，就能看到容器口冒出白煙，還會聞到強烈的刺激性氣味，這是因為「氯化氫」易揮發，它進入空氣後，與水蒸氣結合成「鹽酸」小液滴形成酸霧的緣故。

鹽酸有著廣泛的應用。比如，用「錫」(Sn)進行焊接時，需要在焊接處塗點「焊藥」(圖8)，焊「錫」才能牢固地把金屬焊住。把「鋅」(Zn)片溶解在稀「鹽酸」中，便生成了「氯化鋅」(ZnCl₂)和稀「鹽酸」溶液，這是最簡單的「焊藥」。把「焊藥」塗在要焊接的地方，「焊藥」便會與金屬表面的鏽層發生反應，生成溶於水的「氯化物」，這樣就把金屬表面清洗乾淨了，進而保證焊「錫」和金屬表面牢固地結合在一起。



圖8、焊條包覆助焊劑
© 公有領域

「鹽酸」也可被用來清除鋼鐵上的鏽跡，這個過程稱為「酸洗」。「酸洗」通常在鋼鐵電鍍鋅時進行，鍍「鋅」可增加鋼鐵的抗腐蝕能力(圖9)。

「鹽酸」也存在於胃液中，它可以激化蛋白質消化酶，有利於食物的被消化與吸收。

「鹽酸」還能使木材變成「葡萄糖」。木材



圖9、酸洗劑
圖片來源：百度百科

17.「氯」(Cl)元素的介紹

中含「纖維素」，「纖維素」是由千萬個「葡萄糖基」用「氧橋」連接而成的物質。如果能找到一把「剪刀」，把「氧橋」剪斷，「葡萄糖基」便會與水結合，生成「葡萄糖」。而「鹽酸」恰是一把能剪斷「氧橋」的「剪刀」，用木屑與「鹽酸」反應製造「葡萄糖」，可以大量製造所需糧食。

此外，在人體的胃液中，也含有少量的「鹽酸」，常稱它為「胃酸」。「胃酸」能促進食物消化，並能殺死某些病菌。當然「胃酸」也不是越多越好，如果體內「胃酸」過多，也會得胃病。

工業上所有的「氯」大多經由電解「氯化鈉」(NaCl)水溶液得到的，再將這些「氯」大部分用於生產聚合物，如：「聚氯乙烯」(PVC)是一種不被氧化、耐腐蝕的塑膠材料，取代「鐵」成為製造地下道污水管的優良材料，還可用於生產無色塑膠瓶，這種塑膠材料取代了玻璃瓶，而成為很多飲料的容器(圖10)。



圖10、由「聚氯乙烯」(PVC)材質製成的保鮮膜、無色塑膠瓶、塑膠鞋、膠帶等等

「氯」在人體內也扮演著相當重要的電解質角色，因為「氯離子」(Cl⁻)可以幫助消化與保持身體的柔軟，又能維持體內的酸鹼平衡，協助肝臟機能掃除體內的廢物，並促進蛋白質、維生素 B12 及「鐵」質的吸收。

大量的「氯」也被用來生產「殺蟲劑」如 DDT (Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane，圖11)，由於人們認為這些物質對環境有害，很多這類化合物都已被禁用。其它可導致環境污染的「氯化物」是「氯氟烴」(Chlorofluorocarbons，簡稱CFCs)，這些物質是理想的「製冷劑」(圖12)，迄今廣



圖11、DDT殺蟲劑



圖12、美國杜邦製冷劑
圖片來源：中文百科

泛運用於各類型的冷氣機和冷凍設備中，然而，目前的研究表明，「氯氟烴」會導致在大氣層上層產生「氯自由基」(Cl[•])，這種「氯自由基」會破壞保護人類免受太陽輻射的「臭氧層」，使人類患皮膚癌的可能性大增。

「氯氣」具有強烈的窒息氣味，有毒！吸入少量「氯氣」會刺激眼睛、鼻腔和喉頭粘膜，引發視力模糊、胸部疼痛和咳嗽，吸入大量「氯氣」就會窒息死亡。發生「氯氣」中毒時，可吸入「酒精」和「乙醚」((C₂H₅)₂O)的混合蒸氣作為「解毒劑」，吸入「氨水」蒸氣也有效。因此在實驗室中間「氯氣」時，必須非常小心，應該用手輕輕地在瓶口扇動，僅使極少量的「氯氣」飄進鼻孔。

17.「氯」(Cl)元素的介紹

其實，早在第一次世界大戰中，「氯氣」在歐洲戰場上就被用做毒氣。前面說過，「氯」很危險，即使吸入很少也會嚴重損傷肺。雖是如此，「氯」的毒性卻使「氯」成爲游泳池和水源的優良「消毒劑」。

「氯氣」的一個最重要的用途就是製成「漂白劑」。如今「氯」的漂白作用人人皆知，但其實「漂白劑」之所以能發展到今天，曾經歷了相當長的時間。

「氯」的漂白作用的發現與早期航行在大海中的船隻的風帆有關，當時船上用的帆大部分是深色的，但由於它們長時間暴露在日光和空氣中，棉纖維便被漂白了，風帆就變成了灰白色。後來，這種利用日光和空氣來漂白棉、麻纖維製品的的方法被紡織業採用了。不過，用這種方法來漂白紡織品，需要較長時間，而且還受自然條件限制，顯然不能適用於工業化大生產。

1785年，法國化學家克勞德·貝托萊(Claude Louis Berthollet, 1748-1822, 圖13)發現「氯氣」可以漂白布料。現在的「漂白劑」都是貝托萊的研究工作的成果。1789年，他在自己位於巴黎的實驗室



圖13、Claude-Louis Berthollet, 1748-1822
© Public Domain

裏，利用「氯」氣通過「碳酸鈉」(Na_2CO_3)溶液首次合成出「次氯酸鈉」(NaClO)。但這個過程不是很有效，於是人們改尋求其它替代生產方法。Charles Tennant首先合成出「次氯酸鈣」($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)溶液，最後是呈固體狀的「次氯酸鈣」(「漂白粉」)。

科學家發現了「氯氣」具有漂白作用後，

日光、空氣漂白法便逐漸被「氯氣漂白法」所取代了。人們研製出今天家用的液體「漂白劑」，這種「漂白劑」是含「次氯酸鈉」(NaClO)的水溶液，其中的「次氯酸根」(ClO^-)離子可起漂白作用(圖14)。傳統



圖14、市售的各樣漂白劑

上，在歐美國家的超級市場或者漢堡速食店，會用「漂白劑」澆灑在過期的食品上，才置於垃圾桶內，之所以這樣做，是爲了避免人們再從垃圾桶撿拾來吃而生病。

上述的「漂白劑」曾被工廠用來除去再生紙上的墨水，以及用來漂白紙漿和棉布，這也是「漂白劑」最初的用途之一。

爲了維護健康，人們必須每天進行戰鬥，努力消滅病毒和細菌。在這樣的戰鬥中，還有什麼更好的「彈藥」，比得上小小的一瓶「消毒劑」更能夠保護自己和家人呢？「漂白劑」早期又稱被「次氯酸鹽消毒劑」(簡稱「消毒劑」)，誠如廣告上說的，「消毒劑」真的可以殺死所有已知的細菌，而且已經如此服務人們將近一世紀。任何細菌也不可能演進到可以抵擋得住這種「消毒劑」的攻擊，因爲只要被「消毒劑」接觸到，任何細菌都得死亡。病毒與細菌一但進入人的身體，就會對人類造成傷害，但人類的第一道防線，就是要確定它們根本無法接近人類四周，這就是「消毒劑」的用處。

17.「氯」(Cl)元素的介紹

早在疾病的細菌學說建立前，1820年代，法國的科學家Antoine Germain Labarraque開創用溶於鹼的「氯」溶液，「次氯酸鈉」和「次氯酸鈣」，來作為抗屍體「腐敗劑」和「消毒劑」。自那以後，「氯」元素在局部消毒(傷口沖洗液等)和公共衛生，尤其是游泳和飲用水方面持續發揮作用。

在1897年英國爆發傷寒大流行期間，「消毒劑」被用來幫助「梅史東」(Maidstone)地區的自來水殺菌消毒，幾年後，「消毒劑」又協助控制了英國「林肯」(Lincoln)地區另一場疫病的流行，這些真實案例證實了「氯」確有殺菌效果。「氯」因此成為英倫三島最主要的淨水方法。到了今天全世界大部分已開發國家也都跟著一起採用。

病毒和細菌對氧化作用極其敏感，即使只是「次氯酸鹽」(可產生「次氯酸根離子」， ClO^-)的輕度攻擊，通常就可將它們消滅。「次氯酸鹽」只要很低的劑量，就可以消除水中的細菌，而且這種無菌狀態可以維持很長的一段時間，因此，大部分人還是比較喜歡使用「次氯酸鹽消毒劑」(圖15)，而不使用有效期較短的氧化劑，像是「過氧化氫」(H_2O_2)和「臭氧」(O_3)。這種以「次氯酸鹽」為主的「消毒劑」最適合用來消毒廚房、髒衣物、水槽和廁所。廁所。強效型「消毒劑」則是加了「表面活性劑」，使清潔效果更佳。



圖15、平台販售的次氯酸鈉水製造機

目前還沒有真正可以取代「次氯酸鹽消毒劑」的「殺菌劑」，那麼，為什麼有人會那麼反對它？原因之一是它會把水中的殘渣

轉變成「有機氯化合物」，有人認為，這種「有機氯化合物」會對大眾健康構成威脅。但沒有足夠的流行病學資料可以佐證這種說法：例如，1992年的一項醫學報告宣稱，飲用水若取自河水、且大量加「氯」的地區，每百萬人當中罹患癌症的人數，比飲水取自泉水和井水、且只少量加「氯」的地方多了幾個人而已。但這樣的差別並不大，而且並不能由此看出，任何人如果長期喝加「氯」的飲水，健康是否會受到影響。

在美國，河水中的「有機氯化合物」含量很低，平均只有50ppb(1ppb= 10^{-9})；英國的河水甚至比這個數字低了很多。美國環保署和英國政府都規定，飲水中的「氯化合物」的最高上限是100ppb。長期曝露在工廠的某些「有機氯」環境中的人，可能會致癌，但飲水中的「有機氯」含量極低，對任何人健康的影響實在微不足道。水中最常見的「有機氯」殘渣是「氯仿」(CHCl_3)，即使水中的這種化學物含量高達100ppb，你這一輩子最多也只不過會攝取到3公克的「氯仿」而已。

1991年，世界衛生組織屬下的「國際癌症研究署」，針對飲水中「有機氯」對人體健康的危害程度，發表評估報告。這篇報告總結說，沒有足夠的證據需要對這個問題感到擔心，就算飲水中的「有機氯」對人體健康有害，其危險性也相當低，如果改喝不加「氯」的水，危險性反而大得多。但這篇報告來得太遲。有些國家對飲水加「氯」的懷疑太深，例如，秘魯在1991年停止在飲水中加「氯」，結果造成霍亂大流行，被感染人數超過一百萬人，其中至少有一萬人死亡。

雖是如此，有些國家禁止在學校、醫院和工作場所使用「消毒劑」，之所以會出現這項禁令，是因為如果使用這種「消毒劑」不當，可能就會釋放出「氯氣」。每年總

17.「氯」(Cl)元素的介紹

是有人在這樣的意外下被緊急送醫，所以衛生安全官員經常把「消毒劑」列為最常見的危險化學物。再加上某些環保人士對「氯」很有意見，因為「氯」會和水中的其它物質產生化學反應，形成一些被懷疑可能致癌的成分。一般來說，清潔人員如果想節省時間，同時使用「消毒劑」和「除水垢劑」，就會發生意外。「除水垢劑」(圖16)是強酸(含硫酸或鹽酸)，可以溶解累積在器具、水槽和馬桶表面的「碳酸鈣」(CaCO_3)。除了可以去除水垢，「除



圖16、市售除水垢劑

水垢劑」還會中和「消毒劑」的鹼性，使它的酸性增強到足以把「次氯酸鹽」轉變成極其危險的「氯氣」。有些「除水垢劑」甚至含有「鹽酸」，這更加危險，因為「鹽酸」還將自身的「氯」原子釋放出來變成「氯氣」。這裏的真正禍首並不是「消毒劑」(事實上，「消毒劑」還挽救了幾百萬人的性命)，而是無知。如果人們稍微懂點化學，那麼，使用「消毒劑」其實是很安全的，而且「消毒劑」真的能夠殺死細菌，讓廚房和廁所成為更安全的地方。

全世界每年生產幾百萬噸的「氯」，其中大部分用來消滅水中的細菌，或製成「次氯酸鹽消毒劑」，供一般家庭使用。替水殺菌時，可以使用「消毒劑」，或直接使用「氯氣」，這兩種方式都會造成稀釋、但效率很高的「次氯酸鹽」溶液。

「氯氣」也可用於飲用水的消毒。前面已提到，「氯氣」帶有強烈的刺激性氣味。其實對於「氯氣」的氣味，人們在飲用的自來水裏經常會聞到，這是因為自來水都是

用「氯氣」或「消毒劑」(又稱「漂白劑」)來消毒的。還有，去游泳池遊過泳的人，一定對游泳池中的那股漂白味記憶猶新，這是因為游泳池中的水也是用「氯氣」或「消毒劑」消毒的。水質的最大污染物是能夠傳播傳染病的各種細菌，把水燒開了再喝，是一個重要的消毒環節。但是，如果在燒開水之前，先利用化學方法將水消毒，那麼飲用水的品質就更有保障了。

到了18世紀後期，英國有一位化學家覺得用「氯氣」做「漂白劑」很不方便，他便將「氯氣」通入「熟石灰」中(主要成分為「氫氧化鈣」)，得到了「次氯酸鈣」($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)和「氯化鈣」(CaCl_2)的混合物，由於「次氯酸鈣」遇水後，會生成「次氯酸」(HClO)，因此同樣也有漂白作用，這就是前面所提到的「漂白粉」(圖17)。「漂白粉」的優點在於它是一種固體，容易儲存和運輸，因此在紡織、造紙等工業中得到了廣泛的應用。



圖17、含氯漂白粉

那麼，「氯氣」為什麼具有漂白作用呢？

先前提過，這是因為「氯氣」遇水後，一部分「氯氣」溶解在水中，另一部分則與水反應，生成「次氯酸」。「次氯酸」是一種強氧化劑，它不僅能殺死水中的病菌，還能與染料和有機色質反應，使它們褪色。也就是說，「氯氣」的「漂白作用」其實就是一種「氧化反應」。

「水污染」直覺就是水中有髒東西、或有毒的東西。但實際上自然界的水(分布在大氣、地面、土壤及海洋中)，都含有一些

17.「氯」(Cl)元素的介紹

雜質，但通常不致危害到水的正常用途。而一般所稱的「水污染」，主要是指水因物質、生物或能量的介入，而變更品質，影響正常用途或危害國民健康及生活環境。水不同的用途所要求的水質並不相同，人們往往對於喝的水要求較高，不能有細菌，也不能有太多的雜質。但自來水廠往往處理受污染的水源，加了「氯」來消毒，反而產生了「有機氯」有致癌的危險，用戶必須把自來水煮開，並在煮開後打開鍋蓋煮沸一段時間，才飲用。有的用戶甚至裝了濾水器，除掉水中少量的雜質，但也要注意濾心的清潔。

雖是如此，自來水中若存留「氯」時，會產生「四氯化碳」(CF₄)、「二氯乙醇」(CHCl₂OH)、以及「三鹵甲烷」(Trihalomethane，英文縮寫:THM)等。「三鹵(氯、溴、碘)」與「甲烷」(CH₄)作用，可得「三鹵甲烷」，其主要的生成物包括「氯仿」(CHCl₃)、「一溴二氯甲烷」(CHBrCl₂)、「二溴一氯甲烷」(CHBr₂Cl)、「溴仿」(CHBr₃)等，此四者總稱為「三鹵甲烷」(THM)。

水中含「氯」過高，清洗蔬果易使維他命流失，且因「氯」在水中所產生的「三鹵甲烷」過高，導致致癌機率高，長期飲用含這種「消毒副產物」的自來水，對人體是有害的，患膀胱癌、直腸癌的可能性會大大增加。「三鹵甲烷」也會以皮膚吸收的途徑進入人體，只要當水溫達到攝氏40度時，「氯化物」含量由原來的每公斤53微克(1微克=10⁻⁶公克)上升到177微克，超過國家飲用水衛生標準的2倍。所以洗澡時要注意通風，且泡澡時不能泡太久，以減少暴露於上述有毒物質環境的時間。

此外，尤其是愛美的女性，都希望能有一頭亮麗的秀髮和健康的肌膚，但往

往只想到在各種保養及清潔用品上下工夫，忽略了平時用來沐浴及洗頭的水，因為自來水中之餘「氯」會破壞頭髮及皮膚中的蛋白質，使其變質受損。

還有，許多人擔心飲用水不好而影響健康，其實，一般飲用水量只佔每天總用水量的3%，所以，自來水中「三鹵甲烷」的殘留問題，影響最深的仍是洗衣、燒飯、洗澡等一般生活接觸用水。

從前面介紹裏，或許身為讀者的您已了解到「氯」元素對人類的好與壞是在那裏。一個負責任的辦法，就是不斷改進人類的健康環境和生活方式，使「氯」能持續地保護人體的健康與衛生，又不會毒害人類，更無需對維護環境發動不必要的戰爭。希望聰明的您，能為整個地球的生物環境貢獻一份心力。

註A：「壓艙水」(英語：Ballast water)是現代船艦、貨輪、油輪等為了維持空載運時船艦重心的穩定度，不至於輕易翻覆，而汲取海水、河水或湖水等到船艙內，以增加船艦的重量。