



■ 蘇明德

氯的自述

氯是個惡名昭彰的劇毒元素，
但也是個製造消毒劑和漂白劑不可或缺的元素。



於 1774 年間把軟錳礦與鹽酸混合，放置在曲頸瓶中加熱，在接收器中意外獲得一種黃綠色氣體。

瑞典化學家席勒（Carl Wilhelm Scheele, 1742–1786）於 1774 年間把軟錳礦（ MnO_2 ）與鹽酸（ HCl ）混合，放置在曲頸瓶中加熱，在接收器中意外獲得一種黃綠色氣體。這氣體具有一種刺鼻臭味，吸入後會使肺部很難受。席勒在 1774 年發表學術論文，敘述這種新發現氣體可溶於水，使水略帶酸味，也會使軟木塞變黃，它也使綠色的蔬菜和鮮豔的花朵都幾乎褪色，而且任何酸或鹼也不能使它們的顏色還原等。這使席勒認為他製得了新的氣體，並且研究了一些性質。

但是，席勒是一位「燃素說」的迷信者，認為這種黃綠色氣體是從鹽酸中除去氫後生成的，也就是說：席勒把氫認為是「燃素」，而把這種黃綠色氣體稱為「失去燃素的鹽酸」。因此席勒雖然首先發現我「氯」氣，並確定了我的一些性質，卻沒有從本質上認識到我究竟是什麼東西。

在當時，化學界有個著名說法叫做「燃素說」。這理論認為氧是酸性的起源，一切酸中都含有氧。席勒及許多化學家都堅信這個「燃素說」的觀點，認為這種黃綠色的氣體應該也是一種化合物，是由氧和另外一種未知的化學元素所組成的，因此席勒稱這黃綠色氣體為「氧化鹽酸」。英國化學家戴維（Humphry Davy, 1778–1829）卻持不同的觀點，他原先想盡各種辦法始終不能從「氧化鹽酸」中把氧奪取出來，於是他開始懷疑「氧化鹽酸」中根本就沒有氧的存在。

直到 1810 年時，戴維以無可辯駁的實驗證明了所謂的「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）命名我「氯」的英文名字為 *Chloine*。我的拉丁名稱 *Chlorum* 和元素符號 *Cl* 就是由此而來。早期中國



瑞典化學家席勒

我於 1810 年以實驗證明了所謂的「氧化鹽酸」不是一種化合物，而是一種化學元素。



英國科學家戴維



化學家原先曾稱我為「綠氣」，後來把「綠」的偏旁「艹」塞進「气」中，創造了「氯」。「氯」在日文中稱為「鹽素」，也就是「食鹽的要素」（食鹽＝氯化鈉）的意思。

「氯」元素本身是個雙原子分子，又是一個帶有黃綠色的有毒氣體。在標準狀況下，1 升的氯氣重 3.21g，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，就會變成黃綠色油狀液體。液態的氯在攝氏零下 100 度還可以凝固成黃色固體。

我在地殼中的含量名列第 20 位，在自然界多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裡，海水中含氯大約 1.9%。我是化學工業的重要原料，在美國生產的化工產品中位於前 10 名。在實驗室中，氯氣可以用濃鹽酸與二氧化錳反應來製取，工業則採用電解海水的方法製得氯氣。

大量的我用於製取鹽酸、農藥、染料，以及用於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有我，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，因此已不再使用於外科手術，而改以其他化合物取代。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。

我不會自燃，但像氧氣那樣，可以有助於與其他物質燃燒。我是一種非常活潑的非金屬元素，在化學反應中顯著表現出強結合電子的能力。也就是說，氯氣是個很強的氧化劑，自身容易從他物取得電子。這種能力是我最典型的化學性質，因此



氯氣冷卻至攝氏 0 度時或常溫在極低壓下會變成黃綠色油狀液體（圖片來源：種子發）



貯存在鋼瓶中的液態氯（圖片來源：種子發）

除了稀有氣體元素（如氦、氖、氬、氪、氙、氡）外，我幾乎可以和所有的化學元素產生安定的化合物。

氯氣能與各種金屬作用，且反應比較劇烈。例如鈉、鐵、錫、鎂、銅等能在氯氣中燃燒，甚至連不與氧氣反應的銀、鉑、金也能與氯氣直接化合。但只有一種金屬除外，那便是鐵，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在鐵罐或鋼瓶中。

我能與大多數非金屬元素直接化合，反應程度雖不如氟那樣猛烈，但也是很劇烈。例如：我能與磷、硫、氟、碘、氫等多種非金屬元素作用生成氯化物。

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）。我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反應，生成氯化氫氣體，放出大量的熱，甚至爆炸。氯化氫是製造聚氯乙烯的主要原料，氯化氫的水溶液就是我們熟悉的鹽酸。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和氯氣而呈黃色。如果把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。

鹽酸有著廣泛的應用，比如用錫進行焊接時，需要在焊接處塗點焊藥，焊錫才能牢固地把金屬焊住。把鋅片溶解在稀鹽酸中，便生成了氯化鋅和稀鹽酸溶液，這是最簡單的焊藥。把焊藥塗在要焊接的地方，便會與金屬表面的鏽層反應生成溶於水的氯化物，這樣就把金屬表面清洗乾淨了，從而保證焊錫和金屬表面牢固地結合在一起。

鹽酸也可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。鹽酸也存在於胃液中，它可以激化蛋白質消化酶，有利於食物的消化與吸收。

鹽酸還能使木材變成葡萄糖。木材中含纖維素，纖維素是由千萬個葡萄糖基用



由聚氯乙烯材質製成的無色塑膠瓶、塑膠鞋、膠帶等。（圖片來源：種子發）

「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成成葡萄糖。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。如果喝水太多就會把胃酸沖淡，這時病菌進入人體就可能患病。當然胃酸也不是越多越好，如果過多會得胃病。

工業上的我大多經由電解氯化鈉（NaCl）水溶液得到，再把我大部分用於生產聚合物如聚氯乙烯（polyvinyl chloride，簡稱 PVC）。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



氯用於消毒游泳池中的水，只要泳池的氯不超出標準就不會致癌，也能保護身體免受病毒入侵。(圖片來源：種子發)

汙水管的優良材料，還可用於生產無色塑膠瓶，這種塑膠材料取代了玻璃瓶成為很多飲料的容器。

我在人體內也扮演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 及鐵的吸收。雖是如此，人體若吃進太多的我也會導致腎功能退化，必須小心！

大量的我也用來生產殺蟲劑如 DDT (dichloro-diphenyl-trichloroethane)，由於這些物質對環境有害，很多這類化合物都已禁用。其他可導致環境污染的氯化物是氫氟烴 (chlorofluorocarbons，簡稱 CFCs)，這些物質是理想的製冷劑，迄今廣泛運用在各類型的冷氣機和冷凍設備中。然而，目前

的研究表明會導致在大氣層上層產生「氯自由基」，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、鼻腔和喉頭黏膜，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，可吸入酒精和乙醚的混合蒸氣作為解毒劑，吸入氨水蒸氣也有效。

其實，早在第一次世界大戰中，我在歐洲戰場上就被用做毒氣。我很危險，即使吸入很少也會嚴重損傷肺。雖是如此，我的毒性卻使我成為游泳池和水源的優良消毒劑。

我的漂白作用人人皆知，漂白劑的發展經歷了很長時間，最初人們把我溶在水中，希望有漂白功能，但效果不是很理想。

經過多年研究，研製出今天家用的液體漂白劑。這種漂白劑是「次氯酸鈉」(NaClO)的水溶液，其中的「次氯酸根」(ClO⁻)離子可起到漂白作用。傳統上，在歐美國家的超級市場或者漢堡速食店，會用漂白水澆灑在過期的食品上才置於垃圾桶內。之所以這樣做，是為了避免人們再從垃圾桶撿拾來吃而生病。

為了維護健康，人們必須每天戰鬥，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？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。病毒與細菌一旦進入人的身體，就會造成傷害，但人類的第一道防線就是要確定它們根本無法接近我們四周，這就是消毒劑的用處。

消毒劑是用氯氣製成，最初是在 1897 年英國爆發傷寒大流行期間，用來替梅史東 (Maidstone) 地區的自來水殺菌消毒。幾年後，它協助控制了林肯 (Lincoln) 地區另一場疫病的流行，證實了確有殺菌效果。我因此成為英倫三島最主要的淨水方法，在今天大部分已開發國家也都跟著一起採用。

然而，某些環保人士卻對我有意見，因為氯會和水中的其他物質產生化學反應，形成一些被懷疑可能致癌的成分。消毒劑也被一些地方政府禁用，禁止在學校或甚至醫院裡使用，因為擔心消毒劑會釋放危險的氯氣。如果清潔人員不小心，這種情況有可能發生。

一般的病毒和細菌對氧化作用極其敏感，即使只是次氯酸鹽的輕度攻擊，通常就可消滅它們。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，而不使用有效期較短的氧化劑，像是過氧化氫 (H₂O₂) 和臭氧 (O₃)。消毒劑最適合用來消毒廚房、髒衣物、水槽和

廁所，強效型消毒劑則是加了表面活性劑，使清潔效果更佳。

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物，有人認為這種有機氯化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我的地區，每百萬人中罹患癌症的人數，比飲水取自泉水和井水且只少量加我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我的飲水，健康是否會受到影響。

在美國，河水中的有機氯化物含量很低，平均只有 50 ppb (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，飲水中氯化物的最高上限是 100 ppb。長期曝露在工廠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，即使水中的這種化學物含量高達 100 ppb，你這一輩子最多也只不過攝取到 3 克。

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，如果改喝不加我的水，危險性反而大得多。但這篇報告來得太遲，有些國家對飲水加我的懷疑太深，例如祕魯在 1991 年停止在飲水中加我，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。

但是，消毒劑禁止在學校、醫院和工作場所使用。之所以會出現這項禁令，是因為如果使用消毒劑不當，可能就會釋放出氯氣。每年



飲用水中微生物、細菌雖經混凝、沉澱、過濾等程序，仍無法完全去除，因此消毒是非常重要的處理程序。自來水消毒雖可採用臭氧、氯氣、紫外線等方式達到滅菌的目的，但較有效且在配水管線中仍可維持延續性消毒能力，避免輸送及儲存過程中二次汙染發生的，僅有加氯消毒，因此加氯消毒在歐美淨水場仍普遍利用。（圖片來源：種子發）

都有人因為這樣的意外緊急送醫，因此衛生安全官員經常把消毒劑列為最常見的危險化學物。

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。除水垢劑是強酸，可以溶解累積在器具、水槽和馬桶表面的碳酸鈣（ CaCO_3 ）。除了可以去除水垢外，除水垢劑還會中和消毒劑的鹼，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，因為鹽酸還會與次氯酸作用後產生氯氣。

這裡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。如果稍微懂點化學，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，讓廚房和廁所成為安全的地方。

另外，父母親之所以擔心消毒劑，是因為認為如果讓消毒劑碰到皮膚是很危險的，而且小孩子可能會拿它玩耍，甚至喝下它。其實，光是消毒劑本身的氣味，就可以

避免小孩子喝下它，但是小孩子仍然可能拿來喝。如果小孩子不慎喝了消毒劑，趕快讓他們喝下大量的水，水中最好加點小蘇打水（ NaHCO_3 ）用來中和胃酸。其他的家用化學品也有危險，為人父母的如果要保護小孩子，不讓小孩誤飲，可以選購那些特別添加苦味劑的化學品。奇怪的是，唯一不添加苦味劑的家用化學品，竟然是消毒劑。

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，但這兩種方式都會得到稀釋、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裡經常聞到，因為自來水都用氯氣或漂白粉（一種含氯的化合物）來消毒。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，因為游泳池中的水也是用氯氣或漂白粉消毒的。水質的最大汙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把水消毒，飲用水的品質就更有保障了。

上述的消毒劑也稱為漂白劑，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，氯氣的一個最重要的用途就是製成漂白劑。漂白作用的發現與早期航行在大海中船隻的風帆有關，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，風帆就變成灰白色了。

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，用這種方法漂白紡織品需要較長的時間，而且還受自然條件限制，顯然不能適用於工業化生產。因此，先前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取代。

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，便把氯氣通入熟石灰中（主要成分是氫氧化鈣），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 ），因此也有漂白作用，這就是前面提到的漂白粉。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、造紙等工業中有廣泛的應用。

氯氣為什麼有漂白作用呢？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。

不同用途的水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，自來水中若存留我時，會產生四氯化碳（ CCl_4 ）、二氯乙醇（ CHCl_2OH ）、「三鹵甲烷」等。「三鹵（氯、溴、碘）」與甲烷作用的主要生成物包括氯仿、一溴二氯甲烷（ CHBrCl_2 ）、二溴一氯甲烷（ CHBr_2Cl ）、溴仿（ CHBr_3 ）等，

這四者總稱為「三鹵甲烷」。水中含我過高，清洗蔬果易使維他命流失，且因我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有害，患膀胱癌、直腸癌的可能性會增加。

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} 克）上升到 177 微克，超過國家飲用水衛生標準的 2 倍。因此洗澡時要注意通風，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。自來水中的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，一般個人飲用水量約只占每天總用水量的百分之三，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。

身為讀者的您已了解到我對人類的好與壞。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，使我能持續地保護人體的健康與衛生，又不會毒害人類，更不需對維護環境發動戰爭。希望聰明的您能為整個地球的生物環境貢獻一份心力。

蘇明德

嘉義大學應用化學系