

因此，對生物有害的紫外線會被臭氧轉化成平流層的輕微增溫，這個問題比較不嚴重。但值得注意的是，臭氧並未在這種轉化過程中消失，這表示它會繼續恆常的為地表遮蔽紫外線的輻射。

平流層的臭氧濃度相當低。如果那裡所有的臭氧都受到大氣壓力的壓縮，那麼臭氧層的厚度將只有 3 毫米，而不是 10 公里！儘管如此，這個臭氧層卻可以吸收陽光中 95% 以上的紫外線輻射，真不愧是地球的防護罩！

觀念檢驗站



平流層中的臭氧和空氣污染物的臭氧，兩者的化學結構有沒有什麼不同之處？

你答對了嗎？



絕對沒有。不管是在哪裡出現的，臭氧都是由三個氧原子構成的分子。

在 1970 年代初期，麻省理工學院的莫里納（Mario Molina, 1943-）、加州大學爾灣分校的羅藍得（Sherwood Rowland, 1927-），以及德國蒲郎克研究院的克魯琛（Paul J. Crutzen, 1933-）三人發現，氟氯碳這

種化合物（CFCs）可能對平流層的臭氧造成威脅（三人因為此項發現在 1995 年獲頒諾貝爾化學獎）。因為氟氯碳這類化合物屬於惰性氣體，它們一度是冷氣機的冷媒和噴霧罐裡常見的成分。圖 17.10 顯示兩種最常被使用的氟氯碳化合物。

有人估計，依照氟氯碳化合物的穩定性來看，它們可以在大氣層中停留 80 到 120 年的時間，現在大氣層中到處都有氟氯碳的蹤跡。即使在最偏遠的地區，你所呼吸的每公升氣體中，就有不下 25 兆個氟氯碳分子！莫里納、羅藍得和克魯琛三人發現，來到平流層的氟氯碳化合物，會被強烈的紫外線裂解成較小的分子碎片，如圖 17.11 所示。

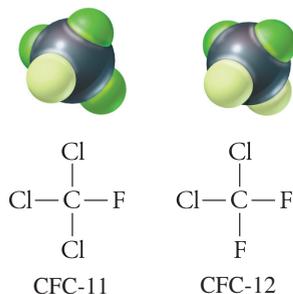


圖 17.10

CFC-11（一氟三氯甲烷）和 CFC-12（二氟二氯甲烷）是兩種最常見的氟氯碳化合物，也有人稱它們為氟氯昂（freon）。1988 年，當氟氯碳被大量製造時，全球的產量大約是 113 萬噸。這些氟氯碳化合物具有惰性氣體的特性，使它們一度被認為對環境沒什麼威脅。

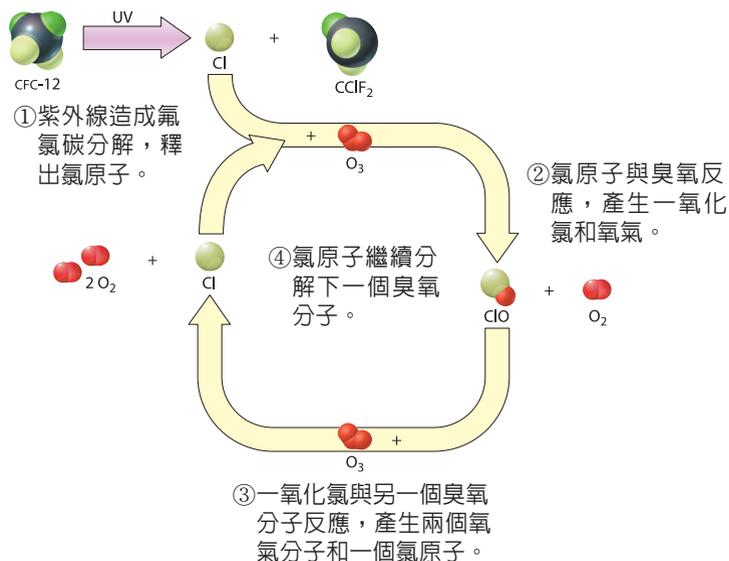


圖 17.11

圖示氟氯碳化合物破壞平流層臭氧的途徑。

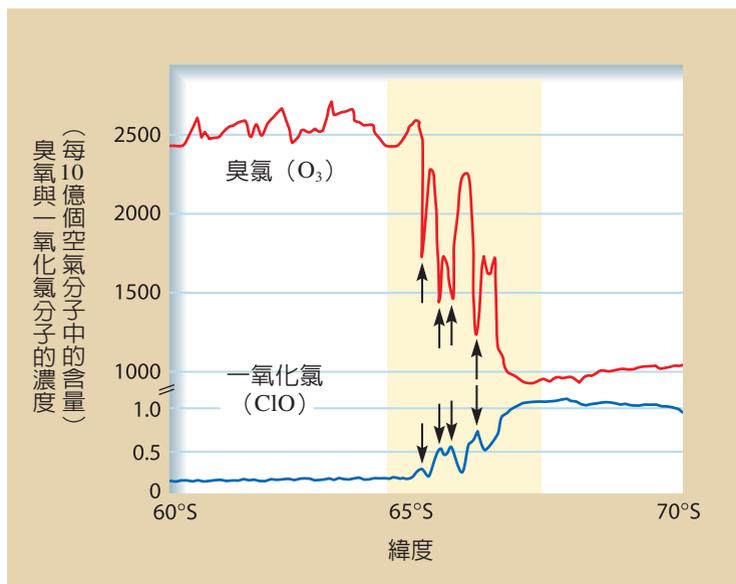


當氟氯碳化合物在平流層中被強烈的紫外線裂解，產生的其中一個小碎片是氯原子，它會催化臭氧的分解。據估計，一個氯原子還來不及形成氯化氫分子（HCl），並隨著大氣中的水氣消散以前，可以在一至二年內造成至少 100,000 個臭氧分子的分裂。

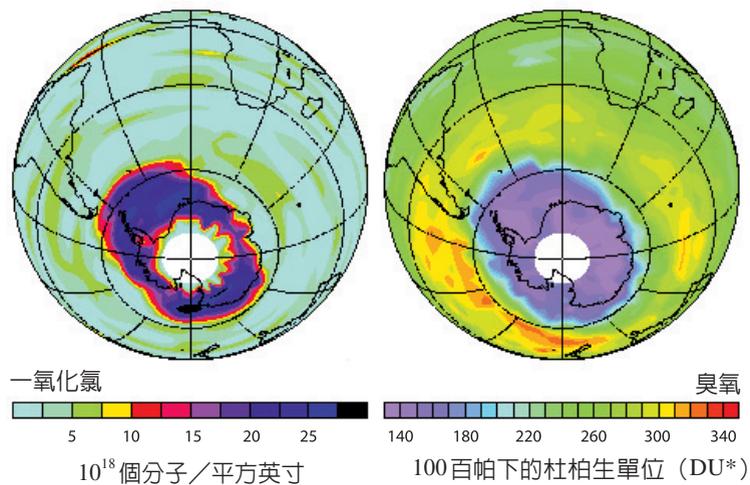
1985 年，當科學家發現南極大陸上空的平流層臭氧出現季節性的耗損，造成所謂的「臭氧層破洞」，才使全球人士注意到平流層臭氧的脆弱。科學家測量了這個地區的一氧化氯濃度，就瞭解到氯原子在破壞南極上空的臭氧層中，所扮演的活躍角色（如圖 17.12 所示）。

圖 17.12

在南半球不同緯度間的平流層臭氧濃度和一氧化氯濃度的相關圖。我們可以看到，當一氧化氯濃度上升時，臭氧濃度則下降。標示黃色的區域顯示，一氧化氯濃度的小波動，會導致臭氧濃度的大變動。這種現象正符合催化反應的特性。



如圖 17.11 顯示，一氧化氯是一個中間物，出現在以氯為催化劑來分解臭氧的過程中。而圖 17.12 所顯示的，則是在飛越南極上空時蒐集到的數據，我們可以看到在平流層的一氧化氯濃度和臭氧濃度，兩者之間密切的相關性。而從圖 17.13 的衛星照片可以看出，臭氧層破洞的形狀與一氧化氯的分布圖形是一致的。



*編注：DU (Dobson Unit) 是表示臭氧層厚度的單位。0°C，一大氣壓下，厚 0.01 毫米的臭氧層為 1 DU，約等於 2.7×10^{16} 個分子/平方公分。

圖 17.13

南半球的衛星照片顯示，一氧化氯的分布情形與臭氧層破洞的形狀相符合，拍攝時間是 1996 年 9 月。



後續的研究顯示，冰冷、死寂、黑暗的南極冬天有助於平流層冰晶的形成，空氣中含氯原子的化合物則會聚集在冰晶上。冰晶表面與內部的化學反應，將導致氯氣的形成。當九月份來臨時，這是南極春天的開始，陽光重返南極，會把氯氣分裂成許多會破壞臭氧的氯原子：



不過其中有些氯原子來自氟氯碳化合物的分裂，重要的證據之一，是科學家在南極的平流層中偵測到濃度異常高的氟化物。我們知道氟化物有幾種天然的來源，但自然界中，卻絕少出現氟化物。因此，在平流層出現的這些氟化物，最有可能源自氟氯碳化合物。除了上升的氟濃度外，還有證據指出北半球的極地和中緯度一帶也出現臭氧層破洞（見圖 17.14），在在彰顯此問題的嚴重性。

圖 17.14

這是北半球上空的臭氧濃度的假色圖，由美國航太總署的臭氧層光譜儀（TOMS）所記錄。紫色和藍色區域是臭氧耗損的地方；由綠色到紅色的區域則是臭氧濃度超過正常值的地帶。

