

環保之佼佼者 ——臭氧(O₃)

魏佳玲

前言

1974年美國科學家，經過高空偵測，發現在南極上空有一片廣大區域的臭氧層十分稀薄，也就是說臭氧層破了一個大洞，且有逐漸擴大的趨勢；原因是由於人類過度使用含有氟氯碳化物（CFC）的產品，如冷氣機的冷媒、化粧品、殺蟲劑、噴霧劑、電子IC板、塑膠電子業……等，其次是高空噴射客機所排放的氮氧化物與大氣中的氫離子相互反應，導致氟、氯離子的濃度增加，而一個氯離子會破壞約一萬個臭氧分子，加上地球自轉原理，使此類物質飄向南北兩極，將臭氧破壞而日漸減少，當臭氧層真的消去時，人類賴以生存的地球會因缺乏“保護”而難以生存。

臭氧具有極強的氧化、殺菌、脫臭、脫色、漂白……等多項用途，不管是運用在居家（內或外）、辦公室、醫院、公共場所、工廠（食品、化學、纖維、塑膠、染整……等）、畜牧場（養雞、鴨、豬、魚、牡蠣……等）、廢水處理，甚至美容……等，都有極大的功能。目前國人在近幾年已研發出臭氧機、PAS高濃度臭氧機、及一些具有殺菌、脫臭等家庭專用及汽車專用的相關機種，都具有國際水準，值得喝采！

臭氧貴在「應用」而非製造，業界往往都認為臭氧機設備昂貴，而遲遲未進一步去運用它。本文中將針對各行各業的需要，做詳細的分析與應用介紹。

臭氧的由來

公元1785年，德國人凡馬隆（Van Marum），在雷雨後之清新空氣中，所聞的草鮮味而發現其存在。至1840年才由德國人謝恩賓（Schonbein），以希臘字“OZONE”命名之。

臭氧是如何生成的

1. 自然界之大氣中，太陽所放射出的紫外線對氧分子作用而產生了微量的臭氧，空氣中約含有16~20%的氧氣，它吸收了太陽中之紫外線而分離出原子狀的氧，它與其他氧氣分子O₂結合即產生臭氧。空氣中的臭氧量為0.01~0.04 ppm，因臭氧具有極強淨化殺菌之作用，使得自然界中的細菌、霉菌，無法異常繁殖因而保持平衡狀態。臭氧層是分布在離地面20~30 km的大氣層中，最大功能在吸收紫外線，保護曝露在紫外線照射下的人類與動植物。此外，臭氧在高原與海岸含量較多，都市較少；春季較多，秋季較少發生；地域上以南北兩極較多，赤道較少。除了自然界所產生的臭氧外，日常生活中像打雷過後、影印機、變電所……等，都會產生微量的臭氧。
2. 工業上臭氧的發生方法，大致分為以下幾種：電解法、光化學法、無聲放電法、放射線照射法、高周波電擊法等方式，但就效率及經濟性而言，以無聲放電法為最。一般製造臭氧時所需的原料

：空氣或氧氣；在使用任何一種原料時，都必須將原料乾燥至露點 -50°C 以下，再經冷卻、過濾、送至臭氧發生器、以防止氮氧化物生成；就製造之臭氧量而言，氧氣當原料比空氣當原料高2~4倍左右。

臭氧的性質

臭氧是一種淡藍色氣體，有類似牧草之香味，約空氣的1.7倍重，為不燃性，其物理常數如下：

分子符號： O_3	分子 量：48
臨界溫度： -12°C	臨界壓力：54.6 氣壓
沸 點： -111.9°C	融 點： -192.7 ± 2
密 度： $2.141\text{ g/l}(20^{\circ}\text{C})$	

臭氧為輕微離子結合，結合狀態極不安定，在常溫時即緩慢分解，而恢復成氧氣，活潑性僅次於氟，是氧的600倍，易將氧(O)分離出來，(O)稱之為初生態氧，極活潑，富有反應性。臭氧在大氣中(常溫)之半衰期為50分鐘，也會隨溫度不同而有所改變。若臭氧溶解於水中，因受水分子作用，會急速分解，具有極強氧化力，有殺菌、脫臭、漂白等作用；臭氧在水中之半衰期為20分鐘，當水中pH值高時，其分解也變快。

臭氧分解速度會因熱、光、水分、pH值而不同；也會因金屬、金屬氧化物與其他觸媒等作用而加快分解速度；當活躍的菌碰上臭氧時，臭氧的致

死濃度會使它立刻失去活力。

臭氧氧化力與殺菌力(水中)的分析

臭氧在水中，分解前或分解後都能與附著物發生反應。臭氧在分解後，產生包括有氧化氫(HO_2)、氫氧離子(OH^-)、氧(O)及臭氧(O_3)等數個自由基，並可同時形成過氧化氫(H_2O_2)及氧分子，其中最重要的分離產物是氫氧離子；氫氧離子的氧化能量為 -2.8 V ，氧化能力相當高，比臭氧本身氧化能量高，因為臭氧最高的氧化能量在酸性溶液中才 -2.07 V ，在鹼性溶液中才 -1.24 V 而已。

臭氧在分解的時候，產生的自由基過程是一連串的反應動作，一個反應產物又可接連另一個反應產物，且不一定有固定的反應模式，相當複雜，尚有待更多學者投入研究。

臭氧可以氧化微生物細胞膜上的原生質，但臭氧如何殺死微生物的說法很多，有人認為臭氧並不能大量穿過細胞膜，只能在細胞表面產生化學反應而殺死細菌，也有學者認為臭氧必須進入細胞內才能殺死細菌，以上兩種都有可能。但在臭氧劑量過低，或接觸時間不足的情況下，細菌也有修補及復原的能力，這種本能來自細胞本身的突變，所以在條件不良的狀況下，只可能抑制細菌成長，而無法殺死細菌。

圖1為臭氧作用的兩個途徑及反應產物競爭臭氧的情形。

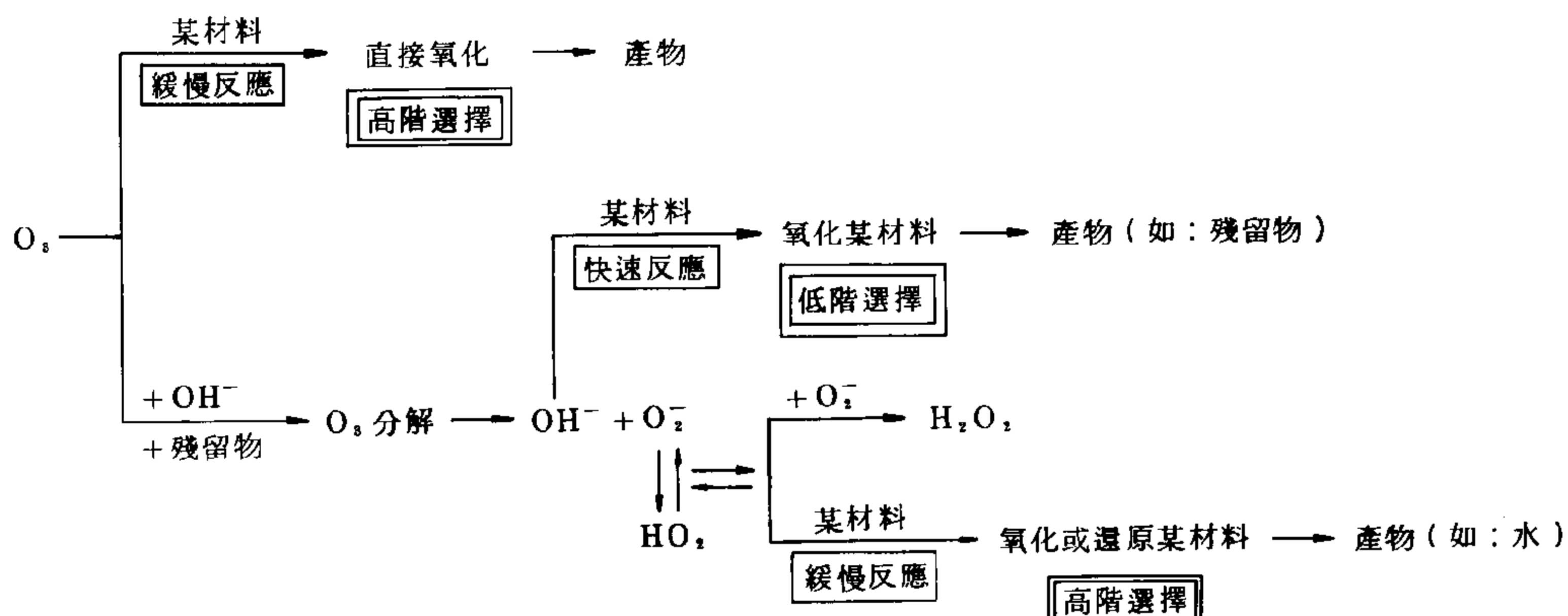


圖1 臭氧作用的兩個途徑及反應產物競爭臭氧的情形 (取材於Hoigen及Bader 1976)

臭氧的應用分析

(一)臭氧在空氣中的應用說明

空氣是人類和動植物賴以生存的要素之一，但觀之現今空氣的品質，不禁令人搖頭；其污染源有：交通污染、垃圾任意放置、工業排氣、燃燒……等，使得空氣品質惡化；如污染物塵粒、一氧化碳、微量之重金屬、氮氧化物、碳氫化合物、硫氧化物等等，會嚴重影響人類的呼吸道、皮膚過敏、植物無法存活等，這樣不斷的惡性循環，人們所吸的空氣有可能隨時會變成毒氣。如果將所排放的廢氣口，先經由臭氧處理過後，再排放至外界，目的是降低廢氣裡的有毒化學成分，才不致於危害到人類的健康、動植物的生態，舉例說明如下：

一般大眾幾乎都很害怕醫院裡的傳染病菌、藥水味等，如果把臭氧適量的排出室內，臭氧能在短時間內將浮游或附著於空氣中的細菌、黴菌、病原菌、病毒、嬰兒較容易傳染的病菌（如：傷寒、AB型肝炎、小兒結核病等）、及一些刺鼻的藥水味、消毒水味等，一一消滅、除臭，此外，像一般傷口

的殺菌、化膿性病菌的殺菌等亦可應用臭氧。假使你吸入極微量經過臭氧處理過之空氣，會有種清爽的感覺，且微量的臭氧可以促進血液中血紅素的生長，增加血液中的氧量，血液循環良好、細胞活躍，即可消除疲勞；除此之外如失眠、哮喘、貧血、慢性支氣管炎、神經衰弱、心臟衰弱、高血壓等，都有實質上的效果。

不管在辦公室、家裡、公共場所（公共廁所、公共汽車）、百貨公司、電影院、餐廳、速食店、汽車內等，如果將臭氧安裝在空調系統內排出，可將浮游空氣中的一氧化碳（煙味）、阿摩尼亞、死角的黴菌等，一併剷除達到除臭、殺菌、消毒、防霉等，發揮有效的淨化作用。

一般最敏感刺鼻的菜市場、屠宰場、室內養殖場，或食品原料、製造、儲藏等，使用臭氧都能極易解決除臭、殺菌、殘留農藥、冷藏保鮮、及氧化分解化學成分等問題。

(二)臭氧在水中的應用說明

根據學者實驗證實，應用臭氧處理染整廢水，遠比傳統方式效果高，且降低經費，因傳統大都用

表1 臭氧在氣中的應用效益

行 業 類 別	應 用 場 所	應 用 目 的	應 用 劑 量
(1) 國 民 住 宅	居室、書房、客廳、廚房、浴室、廁所	除霉、消除異味（煙味）、除臭、除蟲、防霉	0.02 ~ 0.5 ppm
(2) 醫 院	手術室、診療室、病房、注射室、病療場所	防止二次感染、消除有機異味	0.1 ~ 5 ppm
(3) 流 通 產 業	業務用冷媒、冷凍庫、家用冰箱	肉品保鮮、蔬果保鮮、延長保存時間	0.1 ~ 0.5 ppm
(4) 大 型 建 造	辦公室、吸煙區、公共場所	除臭、消除異味（煙味）、預防傳染病	0.02 ~ 0.5 ppm
(5) 食 品 加 工	調理場、無菌室、包裝場潮濕現象	淨化空間、工具、作業衣物、工作環境及調理機器	0.04 ~ 0.5 ppm
(6) 畜 產 業	養雞場、養鴨場、養豬場、水族箱內	消除惡臭、預防傳染病	0.1 ~ 0.4 ppm
註：以上所述六大行業，臭氧在氣中的應用都具有殺菌、脫臭作用。			
(7) 其 他 工 業	半導體產業 排煙處理	洗淨 脫硝、脫硫	50,000 ppm以上 30,000 ppm以上

表2 臭氧在水中的應用效益

行 業 類 別	應 用 場 所	應 用 目 的	應 用 劑 量
(1) 醫 療 保 健	醫療儀器、病毒、濾過性病 毒病患治療、口腔發炎、牙 科治療、肝炎等	防止醫療儀器之二次感染	0.4mg/l 以上 9 mg/l 以上 47 ~ 61 ppm
(2) 生 鮮 食 品 的 製 造	魚貝類、牡蠣、生魚片、蔬 菜洗淨、冷凍食品解凍洗滌 及場內清潔	除腥味、保鮮、洗滌水殺 菌、調理器具及設備殺菌	(洗滌水應用) 0.4 ~ 3 ppm
(3) 上 水 處 理	家庭飲用水、公共用水、自 來水場、淨水場、大型建築 飲用水、游泳池、生飲水系 統	殺菌、脫臭 (以上皆是)	(殺菌) 0.4 ~ 0.5 ppm
(4) 下 水 處 理	公共下水道 醫院、食品、工業等廢水及 特殊廢水	脫臭 殺菌、脫臭	(須視水質成分分 析處理) 10mg/l~40mg/l
(5) 養 魚 畜 牧 業	活魚水槽 養雞、鴨、豬等地飲用水	分解殘餌、毒素、防止異味 發生、預防傳染病	(活性碳併用) 0.4 ~ 0.5 ppm
(6) 農 業	種子的殺菌 蔬果的洗淨加工	去除殘留農藥、保鮮	(帶流式) 0.4 ~ 0.5 ppm
(7) 其 他 應 用	化工廠、染整廠、造紙廠及 用水高要求之地區	脫色、除異味、漂白、淨化 、殺菌	[註]

(註) 工業排放之廢氣、異味、有毒物質，須視內部成分分析後，方可計算所需濃度及是否可以反應。
(COD及BOD之降低)。

脫色或混合藥劑處理，並不能完全除盡污染，且成本相當高，相比之下，更證明了臭氧的優越性。臭氧可氧化破壞染料裡的化學結構，以達到漂白、殺菌特性，此外分解後的廢水無臭無毒並含有氧，流至外界進而淨化水質、增加水中魚類的存活力，一舉數得。

造紙廠、紡織廠、化學溶劑廠等，都可應用臭氧，因臭氧有分解再分解的特質，具極強的阻力使COD及BOD降低。

醫院廢水處理方面亦可借重臭氧，將廢水集中或分類好，經由臭氧先初步分解，流至沉澱槽後，再加重臭氧濃度並延長時間，流至消毒槽，再加強分解、殺菌消毒，處理過的水可再回收利用或排放至外界，以防污染源擴大。

在食品界臭氧也有貢獻，如：食品殺菌、食品設備殺菌、食品冷藏保鮮等。食品製造到完成，會經由無數人的手、機器及所配原料，包裝出口期間也會無形中因不清潔或其它原因導至細菌滋生，為肉眼所看不到的，如果又未經檢驗就出售，可能對消費者造成傷害，值得業者省思。善用臭氧，將臭氧應用在生產中、製造、保鮮、殘留的農藥處理等，一一妥善規劃，所生產的食品才有保障，消費者也能安心食用；現今人口稠密飲食的衛生，絕對不能漠視；之外，餐飲業的廚房、盤具等，都可加以運用，以防不清潔而引發食物中毒。

水佔人體的70%，飲用水的水質攸關人體健康，一般市面上的飲水系統甚多，如：蒸餾水、礦泉水、健康水、鈣離子水、鹼性鈣離子水等，業界的

確對水質下了相當大的努力；在歐美、日本大都利用臭氧來處理水質，其原因臭氧具殺菌力強（承上所述）、快速除去殘留雜物、細菌、病毒等。淨水場送來的自來水經泵浦送至配管，再分送至大樓、住戶及各需飲用者使用，在分送過程中會經由水槽、配管，其內長期未例行檢驗清潔，日積月累之下，所含的有毒物質如：可溶性鐵、錳、鎳，無機物、懸浮物、殺菌、病毒、藻類等，喝入體內會無形中造成身體不適。善用臭氧的特性，針對目前的水質，作初步的規劃及應用，成效會很明顯。

酷熱夏日，人們常去的游泳池，大部分的業者均用氯氣或用漂白水，來處理游泳池裡的水，易傷害眼睛、皮膚、耳朵、頭髮、甚至泳衣脫色等。臭氧的淨化作用能將水中的微小污染物、傳染病菌（香港腳、皮膚病等）殺菌、脫臭，處理後迅速分解成氧氣（空氣），不會造成二次公害；無菌無異味而清潔的水質，可降低水量的補充及成本。

臭氧的應用圖解

臭氧的應用例歸納示於表1、表2：

結 論

環保，是現今世界最關切的話題，也最棘手，如果做不好環保，就談不上經濟成長，更別提要留給下一代更舒適的環境與空間，加上臭氧層的破洞，更造成人類很大的危機，而研發成功的臭氧機，期盼它能將這次的危機轉化成轉機，當然，也希望產業界借著這次了解（臭氧），並作個全面性的規劃與應用（臭氧），來降低二次公害。

除了臭氧的應用外，資源回收也是重要的一環；「再生」進而降低產業成本、減少污染物及處理量，均兼具環保的原則。現今的人類是該為地球做一些保護工作，因人類的「進步」危害到臭氧層，使得自然界的臭氧大量減少；而研發成功的人工臭氧，其最終目的即是減輕環境污染，加強地球、人類與動植物的生存力，無疑地，人工臭氧的應用將提供一條坦途。

（作者簡介從略）

電機月刊

10月號(第33期)

精彩內容介紹

- 水力發電專輯 -

張夢麟先生主編

- 一般文章 -

- 最近的永久磁鐵旋轉機
- 真空斷路器之特徵及其維護檢查
- 可節省定期檢查之附有檢查機之多功能電驛

- 專欄 -

- 地球環境問題
- 醫食住方面最近電子電機技術與感測技術

- 連載 -

- 最近之量測技術——火力發電廠部門之量測(下)

- 報導 -

- 歐洲能源之旅(一)
- 技術報導