

一氧化碳的

污染與分析

施正雄

國立臺灣師範大學化學系

一、前言

由於工業發達，工廠林立，汽車滿街跑，空氣污染的問題也隨之而來。由於空氣污染所造成的傷害世界各國皆有報導。嚴重的有如西元一九五二年十二月發生在英國倫敦的空氣污染事件⁽¹⁾，在一星期內有四千人死亡，在其後的二個月內有超過八千人因此罹患慢性疾病而死亡。所以空氣污染是近代工業發達的社會不可忽視的一個問題。空氣污染中首推一氧化碳的污染最為嚴重。因為只要有工廠和汽車的地方，由於燃料的不完全燃燒就有產生一氧化碳的可能。同時一氧化碳對人體來說是一種劇毒的氣體，本文將談到一氧化碳所引起的一些生理傷害。

二、一氧化碳污染來源

以美國來說，由於人為的因素每年排到空氣中一氧化碳的總量約為 134×10^6 噸，這數字相當驚人，其來源如表一：

表一 美國每年排到空氣中的一氧化碳⁽²⁾

來 源	數量 (10 ⁶ 噸)	來 源	數量 (10 ⁶ 噸)
運 輸 業	100.6	垃圾燃燒	6.5
火力發電廠	0.7	農業燃燒	12.5
工 業 生 產	10.3	其 他	4.1

由表一可以看出運輸業（包括汽車）所排出的一氧化碳實際上是人為一氧化碳污染的最主要因素，這主要是由於運輸工具所用燃料不完全燃燒的結果。由表一又可看出工業生產所造成的一氧化碳也不少，雖然看起來比不上農業燃燒的結果，但由於農業燃燒幅員遼闊而工業上的污染是局限在工廠所在地，面積相當小，單位面積的污染程度就遠超過農業燃燒的結果。同樣道理，火力發電廠所排出的一氧化碳由表一看起來是不多，但以電廠所在地面積來看，污染是相當嚴重的。表二所顯示的為一個發電量為十億瓦（1000 MW）煤火力發電廠每年所放出的污染物質之總量，就一氧化碳來說，每年放出 700 噸，換言之，每天放出約 2 噸的一氧化碳到空中，這是相當嚴重的。

表二 一座十億瓦（1000 MW）煤火力發電廠每年所排出污染物質⁽³⁾

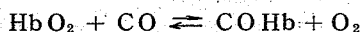
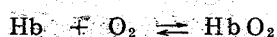
污染物質	噸	污染物質	噸
一氧化碳	700	汞 (Hg)	5
二氧化硫	24,000	砷 (As)	5
二氧化氮	20,000	鉛 (Pb)	0.2
飛 灰	2,000	鉍 (Be)	0.4

一氧化碳除了由人為因素所產生之外，自然界也會因一些生理現象產生一氧化碳，這些生理現象包括生物體的分解以及葉綠素的分解氧化等等。但因這些現象所發生的地方並不密集，所產

生的一氧化碳散佈的幅員遼闊而不局限於一個地區。所以若沒有人為因素的污染，空氣中一氧化碳的平均含量僅約 0.1 ppm 而已。

三、一氧化碳對生理之影響

一氧化碳對人體及其他動物生理上最主要的影響是它對生物體內血紅素 (Hemoglobin) 輸氧功能的干擾。一氧化碳可以取代血紅素 (Hb) 所吸收的氧，其反應如下：



一氧化碳對氧的取代力是相當強的，這可由表三所顯示的綿羊 (sheep) 體中之血紅素對一氧化碳，一氧化氮及氧之吸收平衡常數 (K 值) 看得出來，由表三可以看出一氧化碳的 K 值大約是氧的 388 倍，換言之，一氧化碳對血紅素的親合力是要比氧大很多，也就是說一氧化碳很容易取代血紅素中的氧。

表三 綿羊血紅素對一氧化碳、氧及一氧化氮之親合力⁽⁴⁾

氣體 (X)	吸收平衡常數 (K ₄ 值) * M ⁻¹
氧 (O ₂)	6.7 × 10 ⁵
一氧化碳 (CO)	2.6 × 10 ⁹
一氧化氮 (NO)	1.5 × 10 ¹¹

* K₄ = [HbX₄] / [HbX₃] (X)，每一個 Hb 分子可吸收 4 個氣體分子 (X)

K₄ 為 Hb 吸收第四個 X 的平衡常數。

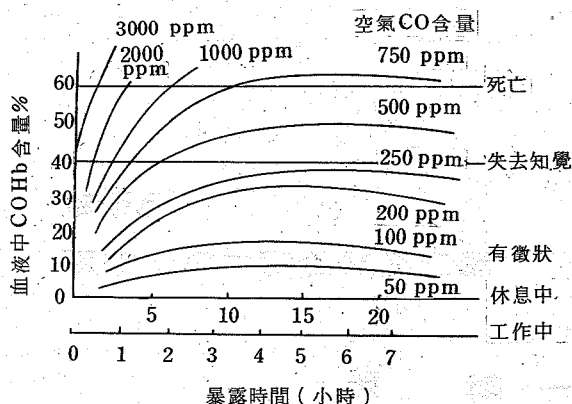
由於一氧化碳的代替血紅素中的氧，血紅素再也不能輸送氧到各組織，使許多生理機能停止進行而威脅到生物體的生存。一氧化碳的生理影響完全決定於血液中所含的 COHb 百分比的多少，而 COHb 含量百分比則完全取決於生物體所吸入的空氣中的一氧化碳含量而定。COHb 的含量

與空氣中一氧化碳含量之關係如下：

$$\% \text{ COHb (血液中) } = 0.16$$

$$\times (\text{ ppm CO 在空氣中 }) + 0.5$$

正常的血液中含有約 0.5 % 的 COHb，主要來自於體內的正常生理現象。圖一為血液中 COHb 百分比和空氣中一氧化碳含量之關係以及其所造成的生理傷害。

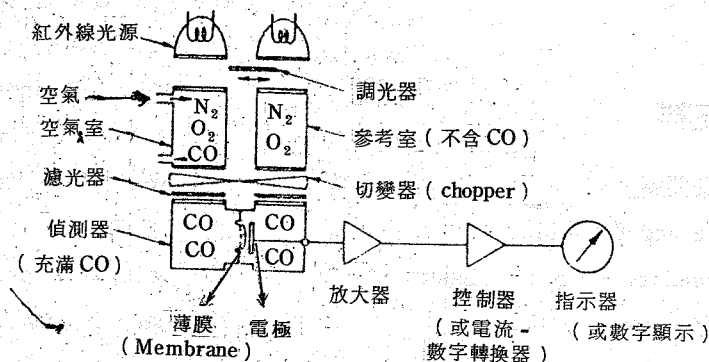


圖一 血液中 COHb 百分比和空氣中 CO 含量及暴露時間之關係⁽¹⁾

由圖一可看出若 COHb 在血液中含量為 60 % 就會死亡，40 % 時失去知覺，而約 5 % 身體會有異狀如呼吸困難，頭暈之徵狀。由圖一又可看出，一個人只要在含有 750 ppm 一氧化碳的空氣中連續工作 3 小時，其體內血液中 COHb 含量就會達到 60 % 因而死亡。同樣在含 750 ppm 一氧化碳空氣中，由圖一可知在工作的人要比正在休息的人受一氧化碳的傷害大，對休息的人來說連續在這空氣中約 10 小時才會死亡，而對工作的人則只要 3 小時就會死亡。

四、一氧化碳的分析

一氧化碳的分析方法很多，可用氣體色層分析法、溶液吸收法或氧化法 (先氧化成 CO₂ 再測)，但要連續自動分析空氣中一氧化碳含量，通常用非散射性紅外線測定法 (Nondispersive



圖二 非散性紅外線—一氧化碳測定裝置

infrared analysis, NDIR)⁽⁶⁾。聳立在臺北市立師專附近(愛國西路安全島上)的一氧化碳指示器即利用這種方法,其儀器構造如圖二。

它的原理是利用由紅外線光源所射出含各種波長的紅外線直接射入空氣室及參考室中,而不是利用一般所用由稜鏡先散射所得之具有單一波長之單色光。這種不先經散射直接由光源來的含各種波長的混合紅外線就叫非散射性紅外線(Nondispersive infrared radiation)。在空氣室和光源間的調光器是用來調節光的強弱。當此種混合紅外線通過空氣室時,若空氣中含有CO,就會吸收一部分紅外線(波長為4.67~5.55 μm),而當紅外線經過參考室時,因參考室裝的是不含CO的標準空氣,故這一部分紅外線通過參考室時並不會被吸收。結果,從參考室出來含這一部分波長的紅外線強度(I_f)就會比由空氣室出來的這一部分紅外線強度(I_s)來得大。空氣中的CO含量越大, I_f 和 I_s 的差就越大。當由空氣室及參考室出來的紅外線分別進入由一金屬薄膜(Membrane)所隔開且含有CO的偵測器時,因由參考室出來,具有能使CO吸收及激發(Excitation)的紅外線強度 I_f ,比從空氣室出來的紅外線強度 I_s 來得強,所以在參考室這一邊的偵測器裡CO被激發,且隨後放出的熱能及因此所增加的氣體壓力也就較高。結果薄膜

兩邊的壓力和溫度不同,薄膜就會變形、膨脹或收縮而使得薄膜和電極間的電容(capacitance)也因而改變,若加一電壓,此電容的改變可用電流的改變輸出,然後經放大及電流-數字轉換器轉變成數字(Digital)指示出來。其間電容的改變和電流的輸出是和空氣中一氧化碳含量具有一定的比例關係,而這關係可由測量一些已知CO含量的標準空氣樣品所產生的電流強度對它們的CO含量作圖所得之標準曲線中求得。然後利用此關係調整由電流-數字轉換器所顯示的數字,使之顯示實際空氣中CO之含量。在此裝置中所用的濾光器是過濾掉一些CO不吸收的波長,儘量使干擾減少。而切變器(chopper)是當自動開關用途。

用這種裝置一般可偵測低至1 ppm的CO含量,現在商業上各種廠牌偵測範圍約1~100 ppm。當然要測這麼低的含量,空氣室的長度必須比一般紅外線測定所用的要長很多才可以,一般在此裝置中採用50公分或1公尺長的空氣室。除非利用更長的空氣室及增加偵測器靈敏度或改進儀器結構⁽⁶⁾,一般利用此種裝置較難偵測1 ppm以下的CO。然而1 ppm以上就很容易偵測。我國衛生署所訂一氧化碳的污染標準是:8 ppm以下安全,8~10 ppm為警戒狀態,10 ppm以上則不合規定。(參閱本刊第44期

封面及封面說明)。

□

for 1980 and 1990" p.79 Argonne National Laboratory (1973).

五、參考資料

1. 薛公惠「污染問題」。

2. J.W. Moore and E.A. Moore "Environmental chemistry" p.193 Easter Michigan University (1976).

3. "A study of social costs for Alternate Means of Electrical power Generation

4. E. Ochiai "Bioinorganic Chemistry" p.110 Allyn and Bacon (1977).

5. P.C. Wolf, Environ. Sci. Technol. 5 213 (1971).

6. R. Gafford "Cross-Flow Modulation Technique Improves NDIR Sensitivity and Stability" Horiba Instruments, Inc. (1980)

溺水者的數學

● 勇清 ●

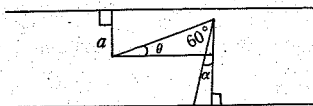
在一個大霧迷濛、伸手不見五指的日子裡，有一個人掉入河裡；這種情況下，每個人的反應是一樣的，那就是：游回岸上。問題的存在是：他不知道自己的位置，因此，不能決定向那個方向游，才能到達岸邊。

假設這個人知道河的寬度是 1 公里，而且他確知自己至少可以游 $\frac{4}{\sqrt{3}}$ 公里，同時，我們還假設當時的河水是靜止的，如此，可以使這個人的體力不致受到影響。

在這些假設之下，有一個方法可保證這個人一定可到達岸邊。這個方法是：隨便選一個方向，先游 $\frac{2}{\sqrt{3}}$ 公里後；如果尚未到達岸邊，就向左或向右，轉個 120° 角，然後朝前筆直游去，必可到達岸邊。

為什麼可以下這樣的結論呢？我們用幾何學的方法來加以證明。

假設此人從落水的位置向前游動的方向，與河岸所成的銳角是 θ ，而此人向前游動所指方向的河岸與他落水的位置之間的距離為 a （如下圖），則因他游了 $\frac{2}{\sqrt{3}}$ 公里而未到達岸邊，故 $a > \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \theta$ ，而且



他轉向後的方向與河岸間之垂線所成的銳角 $\alpha = \left| \frac{\pi}{6} - \theta \right|$ ，顯然地， $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{6}$ ，故 $\cos \alpha \geq \frac{\sqrt{3}}{2}$ 。另一方面，此人轉向後必須游 $(1 - a + \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \theta) \sec \alpha$ 公里才能到達岸邊，因 $a > \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \theta$ ， $\sec \alpha \leq \frac{2}{\sqrt{3}}$ ，故 $(1 - a + \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \theta) \sec \alpha < \frac{2}{\sqrt{3}}$ ，所以，此人的體力可以支持他游到岸邊。