

永續化學與生活—解題

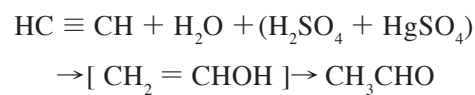
劉廣定

人常說：「生命的目的在創造宇宙繼起的生命」，這原是生物界的自然現象。在混沌初開的洪荒世界裡，地球上的生物界自始即不斷地進行演化，以求蕃衍物種之生命，及適應周遭的「地」、「水」、「大氣」以與其共存。經過漫長的歲月，和大自然幾度天翻地覆的變化之後，許多「生物」消失了，而號稱「萬物之靈」的「人類」出現了。由於具有特殊的智慧與能力，不只是緩慢地演化，也非僅被動地試圖適應周遭的環境。人類更能積極發展出種種工具及技術，以求主動地操控、利用生存環境中的天然資源，來改善生活，製造器物。還能創造、累積知識，形成了持續進展，且為人類特有的各種「文明」。

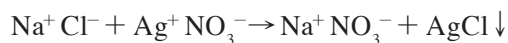
幾百年前或更早，全世界人口不算多〔註一〕，消耗的天然資源也不算多。製造器物時產生的廢棄物，以及製成的器物如果損壞或遭人遺棄，大部分都可因腐朽（如衣著、木製品及鐵製品等）而回歸自然，或者因其安定性（如玻璃、銅器等）而可重製再用。就整體言之，資源的耗失與再生大致可以達成平衡，生物的基本元素如碳、氧、氮的循環也大致都可以維持。然而，隨著醫藥、技術與知識的進步，人口增多，壽命延長，新產品屢續為人所發明，天然資源之消耗也愈多。失衡之現象於是開始呈現。尤其自十八世紀中葉發生工業革命，人類消耗資源及產生廢棄物之量與速，都超過自然界資源之再生與將廢棄物轉變成資

源，且此差距愈來愈大。更可慮的是廢棄物不只是資源的浪費，還可能破壞環境，甚至危害人或其他生物的生命。例如世界公害史上著名的1950年代日本「水俣(minamata)病」，即因「新日本窒素肥料株式會社」（簡稱「新日本窒素」，1965年改名「チッソ株式会社」）的工業廢水「汞汙染」所造成。

為什麼工業廢水裡含有汞（水銀）呢？這是因為「新日本窒素」在水俣灣旁的工廠，乃採用1921年舊方法，以乙炔（ C_2H_2 ）與稀硫酸（約10%）和硫酸汞水溶液（約5%）生產乙醛（ CH_3CHO ）。



在這一化學反應中：汞離子（ Hg^{2+} ）先接到乙炔的碳—碳叁鍵上，形成的中間體與水作用後，汞離子脫離，產生乙烯醇（ $CH_2 = CHOH$ ）。乙烯醇在酸中立即轉變成乙醛。理論上硫酸汞並不耗失，等於一種「觸媒」。實際上，此反應的產率不到60%，有許多副產物，其中包括有劇毒的甲基汞（ $CH_3Hg^+ X^-$ ， X^- 為陰離子如 HSO_4^- ）。一部分甲基汞會混在工業廢水中，一部分硫酸汞也會隨著工業廢水而流失，都導致了可能危害生命的「汞汙染」。雖然化學工業不一定都會帶來致命的廢棄物或副產物，但實際的化學反應卻很少像教科書所寫的，硝酸銀與氯化鈉的水溶液相遇，瞬息生成氯化銀沉澱那樣快速、簡單：

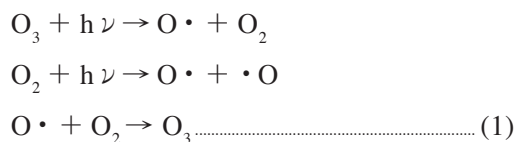


為了促進化學反應，常用過量的試劑而造成許多廢棄物的產生。

為了改善生活品質，各行各業的人都有許多新發明，化學家也因此製造出不計其數的新化合物，目的是為造福人群。例如 1940 年代開始流行的各種含氯、含磷的化學殺蟲劑。它們殺死了傳帶病菌，噬食農作物的害蟲，大幅降低人類傳染病死亡率，也大幅提高農產品的收成量。然而，始料未及的是 1960 年代發現它們也造成環境汙染，且因食物鏈的關係，其毒性影響到其他生物的發育，甚至生存。例如鳥類食用已遭汙染的果實，或已中毒的蟲多，則可能無法蕃衍後代或死亡，不但產生「寂靜之春」〔註二〕之虞，甚至進而影響到人類的健康。

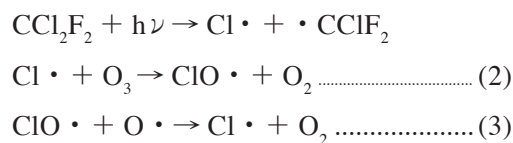
又如商品總名「氟利昂 (Freon)」的氯氟碳類化合物 (chlorofluorocarbons, CFC)，1930 及 1940 年代開始廣泛製造，應用為冷氣機與冰箱之冷媒，滅火劑，溶劑，以及清潔、美容用噴霧劑等，增進了許多人的生活享受。但科學家於 1970 年代發現這類化合物在地球表面一萬至一萬六千公尺高度平流層 (stratosphere) 中會將臭氧 (O₃) 破壞，使到達地面的日光中紫外線增強，危害人體健康！為什麼呢？

平流層中的氧分子和臭氧本來都能吸收紫外線而分解，而氧分子 (O₂) 和氧原子 (O·) 再結合成臭氧 (式 1)，消耗一部分日光中的紫外線，而減少到達地表的紫外線強度。



但氯氟碳類，例如二氯二氟甲烷 (CCl₂F₂，氟利昂 -12) 與日光中的紫外線 (h

ν) 起作用經「光分解」產生氯原子，而氯原子 (Cl·) 與臭氧、與氧原子，進行「鏈反應」(式 2、3) 不僅消耗臭氧，也妨礙氧原子和氧分子再結合成臭氧 (式 1)。



因此 1990 年代世界各國陸續禁用氯氟碳類，2010 年已全面禁止。

雖然歐美先進國家之化學工業早有安全原則，唯直到 1984 年 12 月美國聯合碳化物公司〔註三〕在印度波帕 (Bhopal) 地方的化工廠因異氰酸甲酯 (H₃C-N=C=O) 洩漏，近萬人死亡或終生殘廢，傷人逾十餘萬。工業安全及環境保護之意識才真正在各工業國家逐漸產生。1985 年加拿大化學工業協會發起「責任照顧」(Responsible Care) 的行動組織，以提高化工行業的健康，安全與環保，隨後有五十幾個國家也紛紛成立此組織〔註四〕。另一方面，聯合國世界環境與發展委員會 (WCED) 1987 年正式宣布推動「永續發展 (sustainable development)」，當時的定義是：「能滿足當代之所需但不損及後代滿足其所需之發展」稱為永續發展，是為世界之一主要新思潮。

1992 年六月，聯合國在巴西召開首屆「環境與發展」會議，議定「廿一世紀待辦事項」(Agenda 21) 40 章。重新界定「永續發展」為「人類兼顧經濟成長、生態環境與社會責任三基柱的發展」，以及其發展原則。由於「永續發展」所涉內容大多與「化學」相關，故有「Sustainable Chemistry (永續化學)」一辭出現。但差不多與其同時，美國環保署 Anastas 博士創造了「Green chemistry」一辭，表示繁榮、清潔、對環境友善的化學，並且極力推動這一新化學領域的發展。1998 年與波士頓麻

州大學的 Warner 教授提出「十二原則」，現已為化學界普遍接受。關於永續發展，永續化學的十二原則及其實例，請參閱本刊 2001 年第 32 卷第 10 期（830~831 頁），2002 年第 33 卷第 1 期（38~42 頁），第 3 期（254~261 頁），第 4 期（344~351 頁）的拙文，不贅述。

當時 Green chemistry 和 Sustainable Chemistry 兩名是混用的。美、澳、加、英等國習用前者，但歐陸國家多用後者。依據 1998 年國際經濟合作及發展組織（OECD）主辦之「永續化學工作坊（OECD Workshop on Sustainable Chemistry）」所下的「永續化學」或「Green chemistry」的定義是：「發明、設計和利用化學產品與化學製程，以減少或消除有害物質之使用與生產。」也可說是藉化學合成之功能，保護生態環境，以去除人類追求永續發展的障礙。然而近年來，永續化學（Sustainable Chemistry）的範疇已擴大到「開發新能源」，「水之純化」，「環境整治技術」（Environmental remediation technology）等，非當年「繁榮、清潔、對環境友善的化學」可以涵蓋了。

「Green chemistry」一辭一般多用「綠色化學」這一譯名。然十年前已說明 Green 不一定要譯成「綠」（見本刊 2002 年第 33 卷第 1 期，38~42 頁），而且「化學」這門科學是沒有色彩的，以「綠色」形容「化學」，尤其不通。「名不正則言不順」，因此翻譯時用字遣辭，皆須謹慎。以往曾聽一位在工業園區任職的人說「只希望股票長紅，不要管什麼綠色科技」。這就是「文化」上差異造成的，因歐美股票升值乃用綠色表示！日文係用片假名「グリーンケミストリ」直譯 green chemistry 而不用 みとり、りよく（碧、綠）譯 green。泰國 Chulalongkorn 大學與美國奧瑞崗大學合作進

行永續化學的遠距授課，green chemistry 一辭直接用英文，原因即是恐譯成泰文時導致誤解。〔註五〕筆者將只用「永續化學」一名，免生混淆，且有「能使化學永續」之含義。

再者，「永續發展」乃當今全世界最重要課題之一。2002 年底聯合國決定依據二十一世紀待辦事項第 36 章，以 2005~2014 年為「永續發展教育的十年」。推展從幼稚園到成人的學校教育及社會教育。並特別說明：觀念上永續發展教育遠超過環境教育。惜台灣的一般教育界人士對它認識不清，迄未給與適當的重視。例如新訂高中「九九課綱」的「基礎化學」僅列約一節課之教材，聊備一格罷了。亟待補救！由於日常生活多與化學息息相關，故筆者將陸續撰文，闡述一些與永續化學有關的生活實例，幫助讀者在知識和觀念上不落時代之後。◎

註一：據估計，1750 年全球人口約 7 億，現則已約 70 億。

註二：表示鳥類大量死亡，見 Rachel Carson, *Silent Spring*, 1962; 溫繼榮、李文蓉合譯，《寂靜的春天》，大中國，1970。

註三：即 Union Carbide Corporation 之譯名，1989 年賠償印度政府 4.7 億美元，2001 年為道氏化學（Dow Chemicals）所併購。

註四：台灣的化學工業界於 1998 年，以「認知化學工業對台灣社會的責任，持續不斷地改善環境、健康與安全的績效」為宗旨，成立非營利性的社會團體「中華民國化學工業責任照顧協會（TRCA）」。

註五：參閱 *Chemistry International*, Vol. 33, No. 4 (2011) 之報導。

劉廣定 台灣大學化學系名譽教授