

永續化學與生活—— 「減碳」之必行

劉廣定

二氧化碳是造成當今世界「溫室效應」的主要物質，也因而強化了空氣汙染〔註一〕。近年來許多國家都呼籲和推行「節能減碳」，雖筆者曾說明：只「減碳」是不夠的，必須認真地「減廢」〔註二〕。實際上，就全球而言，連「減碳」都難做到。雖曾一度減少，後又年年增加。據國際能源署（International Energy Agency, 簡稱 IEA）最近的估算：2011 年全球二氧化碳排放量比 2010 年增加 10 億噸，已達 316 億噸，是歷年來最高的。

二氧化碳排放量

產生二氧化碳的來源很多，各國各地區都可能有所差別。不同機構，不同單位的估計項目不盡相同，數字也有出入。據美國能源部之能源資訊部門(EIA)2002年的估算〔註三〕：全球產生的二氧化碳大致可分六大類：

火力發電	39%
運輸交通	23%
各型工業	22%
居住生活	10%
農業用途	2%

其他	4%
日本「國土交通省」2008年估算2006年 全球產生的二氧化碳可分〔註四〕：	
發電與供熱（暖氣）	45.9%
運輸交通	23.0%
各型工業	19.6%
居住生活	6.6%
其他	4.9%

兩者比率相差並不多，而且極大部分都是來自燃燒化石燃料（fossil fuels）。

夏威夷群島的 Mauna Loa 觀測站自 1959 年起每日均有詳細紀錄，知道 CO₂ 的平均值自 1959 年的 315.97 ppm 已增至 2011 年的 391.57 ppm。就一年之各月而言，每年都是五月最高，十月或偶爾九月最低，如圖一。

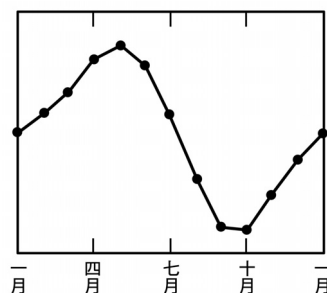
2011 年一月至 2012 年六月之各月 CO₂ 平均值如表一〔註五〕。

他們還記載了每週的平均值。最近的數據是今年 7 月 1 日至 7 日這一週：

2012 年	394.97 ppm
2011 年	393.46 ppm
2001 年	374.79 ppm

表一：2011 年一月至 2012 年六月之二氧化碳量平均值

2011 年	CO ₂ , ppm	2011 年	CO ₂ , ppm	2012 年	CO ₂ , ppm
1 月	391.19	7 月	392.39	1 月	393.10
2 月	391.76	8 月	390.08	2 月	393.65
3 月	392.40	9 月	389.00	3 月	394.44
4 月	393.28	10 月	388.92	4 月	396.19
5 月	394.16	11 月	390.20	5 月	396.77
6 月	393.68	12 月	391.80	6 月	395.77



圖一

五月底的那一週（5月27日至6月2日）也是一樣；比2011年多了1.5 ppm以上：

2012年	396.46 ppm
2011年	394.11 ppm
2001年	376.20 ppm

至於各國排放二氧化碳的量，國際能源署（IEA）和其他一些組織年有統計，但略有出入。現綜合一些數據列於表二。2010年的全球總量約30600百萬噸（見前文），故知僅2009年30398百萬噸稍低於2008年的30493百萬噸，之後又向上攀升。從二氧化碳排放量的「人均值」（per capita）來看，美國可算是消耗能源，造成「溫室效應」的「首惡」。美國人口約三億，不到全球的1/22，卻製造了約佔全球1/5的二氧化碳！

一些討論

表二顯示在2006年以前，美國是排放二氧化碳最多的國家，卻一直默不作聲。2006年起中國大陸超越了美國，而且差距逐年增加。這是因為外國的工業生產不斷移向大陸，中國大陸的生活水準也日漸提高。有些美國政客就開始發聲，認為「拯救地球悲鳴 中國該盡義務」〔註六〕。然而大陸人口是美國的四倍多，二氧化碳排放量的「人均值」卻只是美國的三分之一。換句話說，每個美國人消耗的能源，就二氧化碳排放量而言，可供十二個中國人使用。因此美國人更該加強「減碳」的義務，而永續化學的推動者也已有所行動。

實際上，中國大陸的確在這方面有不少進展，其中頗有成效的是「太陽能」的利用。

據統計中國大陸上2009年已有150平方公里面積太陽能收集器，2020年將倍增，屆時每年可減少釋放約6千萬噸二氧化碳。約相當葡萄牙或匈牙利全國的釋放量。另一有成效的是「風力發電」，2000年為0.34 GW而2009年已達25.1 GW〔註七〕，2010年則增為44.7 GW超過了美國的40.2 GW。

就台灣而言，二氧化碳排放量的「人均值」算是相當高，必須認真檢討。原因之一是我們有許多火力發電廠，其中台中火力發電廠是全世界最大的。依據「二氧化碳監控組織（Carbon Monitoring Action，簡稱CARMA）」的統計〔註八〕，該廠2004年產生34626百萬度電，釋放32.955百萬噸二氧化碳，CO₂強度為952（噸/百萬度電），2009年產生39009百萬度電，釋放36.336百萬噸二氧化碳，CO₂強度為931，都嫌偏高。其他火力發電廠，如2009年「麥寮」產生29678百萬度電，釋放25.304百萬噸二氧化碳，CO₂強度為

表二：每年釋放二氧化碳百萬噸（Mt）數及人均值*

國名	2004年	2006年	2008年	2009年
全世界	28983 (4.53)*	29109 (4.56)	30493 (4.56)	30398 (4.49)
中國大陸	5007 (3.9)	6017 (4.6)	6804 (5.3)	7711 (5.83)
美國	6046 (19.3)	5902 (18.8)	5833 (17.5)	5425 (17.7)
俄羅斯	1524 (10.4)	1704 (11.7)	1698 (12.4)	1572 (11.2)
日本	1257 (9.9)	1246 (9.7)	1215 (9.5)	1098 (8.64)
德國	808 (10.1)	857 (9.9)	823 (9.6)	765 (9.30)
加拿大	639 (16.9)	614 (18.0)	598 (18.9)	541 (16.2)
南韓	465 (10.4)	515 (9.9)	522 (10.6)	528 (10.9)
英國	587 (9.1)	585 (9.1)	564 (8.5)	520 (8.35)
伊朗	433 (6.1)	471 (6.7)	511 (7.3)	527 (6.94)
墨西哥	438 (4)	436 (4.2)	452 (4.4)	443 (3.99)
義大利	450 (8)	468 (7.9)	450 (7.5)	408 (7.01)
澳洲	327 (16.9)	417 (18.0)	425 (20.8)	418 (19.6)
法國	374 (6)	418 (6.4)	429 (6.6)	397 (6.30)
西班牙	330 (8)	373 (8.0)	360 (7.4)	330 (7.13)
台灣	264 (11.5)	273 (11.8)	302 (13.1)	290 (12.6)
波蘭	348 (8)	303 (8.4)	295 (8.3)	286 (7.43)
烏克蘭	330 (7)	329 (6.8)	355 (7.0)	255 (5.58)

853；「興達」產生 20563 百萬度電，釋放出 18.245 百萬噸二氧化碳，CO₂強度為 887。如果「台中」的 CO₂強度能降至「麥寮」的 853，則可減少釋放三百多萬噸的二氧化碳。可見研究改善發電廠機能，甚或減低火力發電量是「減碳」之一途徑。

生活上的實例

「減碳」，「減廢」以追求「永續」是全人類必行的義務，特別是以往過度消耗能源與資源的國家尤應率先身體力行。過去許多人只是說說，近年來則認真實行者漸多。以下向讀者報告一個實例。

美國第 16 屆「永續化學與工程年會 (Annual Green Chemistry and Engineering Conference)」於今年 6 月 18~20 日在美京華盛頓特區舉行，中研院化學所趙奕珍博士曾往參加。這次的年會可說是遵循「永續發展」原則的「永續會議 (a sustainable conference)」，趙博士說：「大會手冊輕薄短小易於攜帶，不提供紙本摘要，亦不分發背袋等一般會議常備之物，非常符合大會主題。」據這本只有五十幾頁，約 11 × 22 公分的小冊提供之資料可知：

- 預先註冊只能藉由網路，以節省紙張和印刷油墨
- 現場註冊的表格和收據都用再生紙印製
- 大會手冊採用「森林管理委員會 (Forest Stewardship Council)」認證的紙（表示紙漿來源合法）
- 印刷品用以黃豆油為基質的「黃豆油墨 (soy ink)」印製（因黃豆油屬於「可再生性」物質，回收製成再生紙時也比以石油產品為基質者容易清洗）
- 會場不供應保特瓶裝飲用水
- 要求將所有會後不再使用或保存之資料、印刷品等一律分類回收；與會者的名牌套則於會後交還服務台

• 大會選在 Marriott Wardman Park Hotel 舉行的原因是此旅館可符合以下的要求如：有回收的運作系統；給予混合動力車 (hybrid car，即兼用汽油與電池) 優先停車位；客房有回收箱；使用符合永續發展原則的清潔用品；客房用小型日光燈；客房中供應的紙筆均為可回收再用者；客房無保特瓶裝飲用水而只有水壺；大會期間同一宿客，除非弄髒，不換床單、枕套及毛巾；低水流量之浴廁；午餐盒為可回收再用者；自助餐桌為可不用桌布者；使用全自動節能省水洗衣機；維持庭園景觀只用有機肥料與有機除蟲劑等等。

這是先進國家追求永續發展與生活密切結合的實例。在在值得效法。

故我們必須及早在各級學校加強有關永續發展的教育、宣導調整生活習慣。更重要的是知識份子應身體力行，並且積極致力於有關的研究發展。否則將愈趨沉淪，而遭淘汰。☹

註一：參閱《科學月刊》第 40 卷 (第 9 期) 706-709 頁 (2009 年)。

註二：《科學月刊》第 43 卷 (第 4 期) 314-318 頁 (2012 年)。

註三：<http://www.planetseed.com/node/15230>

註四：[mhtml:file://I:\CO2 emission\MEET Relevant Data \(Japan 2008\).mht](mhtml:file://I:\CO2 emission\MEET Relevant Data (Japan 2008).mht)

註五：<http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html>

註六：克魯曼專欄，《中國時報》2009 年 5 月 16 日

註七：Armaroli and Balzani, *Energy for a Sustainable World* (Wiley-VCH, 2011), 頁 316-317

註八：<http://carma.org/dig/show/energy+plant>

劉廣定 台灣大學化學系名譽教授