

鍋爐用戶因應「氣候變化綱要公約」之道

*康國裕

一、前　　言

大家都知道，全球溫室效應已是近年來環保上最熱門的話題之一。國際上也因此有許多科學的、科技性、甚至策略方面的溫室效應相關的組織與活動。這些年來有關地球溫度升高的前因、後果及管制方法等所受到的注意亦明顯地增加。其結果即產生了許多重要的國際性協定以防溫室效應持續惡化。值得一提的是1991年9月9日至20日在非洲肯亞奈洛比舉行的「第三屆氣候變化綱要公約政府間談判委員會」會議中決議，將公元2000年二氧化碳排放量凍結於1990年之水準，並至2005年削減百分之二十。1992年6月，聯合國一百二十餘會員國將在巴西里約熱內盧簽署「氣候變化綱要公約(Framework Convention on Climate Change, 簡稱FCCC)」。我們台灣地區雖然還不是聯合國的會員國家，但是我們已經是世界上第十二個貿易大國，也是全世界國民生產毛額(GNP)排行第二十的經濟大國，我們的外匯存底更是高居世界第一。因此，我們將無法倖免履行這些國際性的協定。

根據經濟部能源委員會統計，台灣地區燃燒化石能源排放的二氧化碳，於1990年已達三千一百餘萬公噸，如以目前的情況推估，至公元2000年將較1990年增加65%，又至2005年時更將增加至88%。鑒於國際的「氣候變化綱要公約」已獲多數國家簽訂支持，我國應及早未雨綢繆，研究因應之道，尤其是鍋爐使用能源佔總能源消費量的大部份，更不能不加以加重視。本文乃提供筆者個人的看法供各界參考與指正。

二、當前二氧化碳排放情況

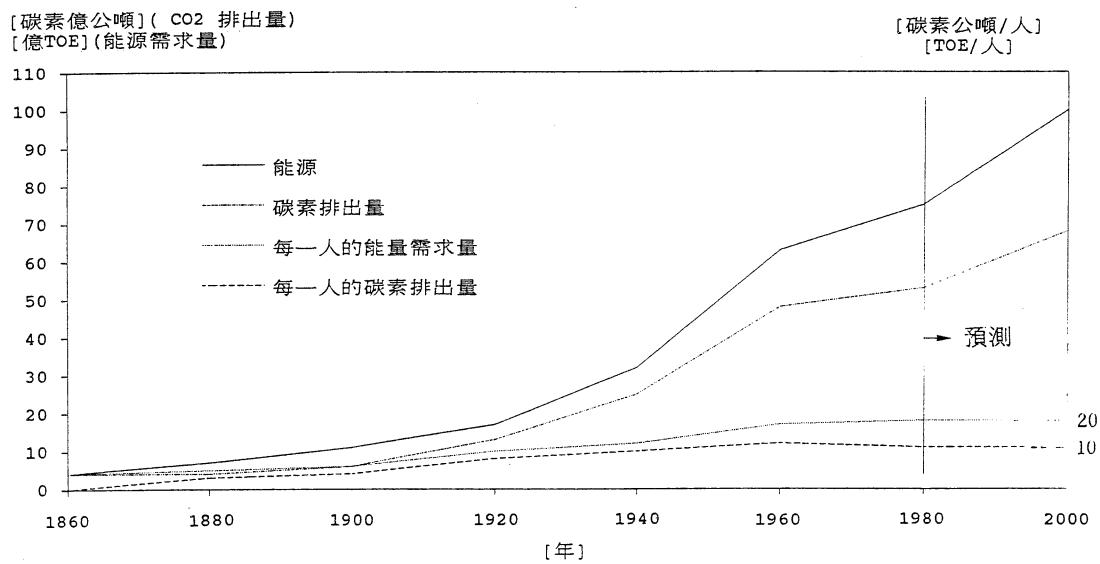
目前地球上各種來源的二氧化碳排放總量為每年約計64~83億萬公噸(GT)，其中，約70~90%來自化石燃料所排放的二氧化碳。由表1可知，世界二氧化碳排放量平均每年增加1.9%。而工業國家已趨平穩，每年僅以0.1%的平均成長率增加，開發中國家則每年平均增加5.6%，東歐國家(包括原有的蘇聯)則居中，但其增加率亦達2.4%。這些二氧化碳排放增加率主要來自化石燃料的使用，從圖1即可知，二氧化碳(碳素

*經濟部能源委員會第三組組長

) 排放量主要隨著能源需求量的增加而增加。此外，也因為石灰石及含碳礦物的需求量增加而增加。其他如污水處理、沼澤、天然氣開採及生物數量等增加而受影響。不過這些數量仍然有限，主要還是能源的使用，尤其是鍋爐的燃燒，此乃本文之所以要加以探討的原因。

表1 世界二氣化碳排放量之變化

年別 地區	1973 (%)	1987 (%)	平均值 87/73
工業國家	2.79	60	2.82
蘇聯／東歐	1.08	23	47
開發中國家	0.79	17	2.4%
合計	4.66	100	5.6%
		6.03	1.9%

圖1. 長期能源供需及CO₂ 排出量

亞洲國家除日本外幾乎都是開發中國家，所以二氧化碳的排放量也較其他地區成長快速，雖然目前亞洲地區二氧化碳排放量約僅佔全世界的15%，但如表2所示，每年將以4.3%的高度成長率快速增加。台灣地區的二氧化碳排放量約佔亞洲地區的2.5%，如以目前的情況估算，每年平均成長率約為4.2%，至2000年二氧化碳排放量將比1990年增加65%，至2005年更增加至88%，屆時可能受到國際間的經濟制裁或罰款，因此應及早慎謀對策。

表 2 亞洲諸國CO₂排放量

國 別	CO ₂ 排放量 (百萬噸一碳)			特定CO ₂ 排放量 (噸一碳/噸油當量)	
	1986	2010	平均成長率 (%)	1986	2010
日 本	257.00	410.00	1.9	—	—
中國大陸	548.90	1,353.40	3.8	0.98	0.93
印 度	119.12	394.75	5.1	0.77	0.72
台灣地區	23.50	63.20	4.2	0.70	0.72
菲 律 賓	6.96	23.95	5.3	0.63	0.66
印 尼	26.98	127.74	6.7	0.69	0.76
馬來西亞	8.85	29.27	5.1	0.67	0.64
泰 國	12.16	93.83	8.9	0.72	0.86
新 加 坡	10.40	18.87	2.5	0.83	0.82
南 韓	47.90	126.90	4.1	0.80	0.72
其 他	206.48	1,390.79	8.3	0.72	0.84
合 計	1,268.25	4,032.70	55.9	7.51	7.67

資料來源：ESCAP(1990)

根據「政府間氣候轉變討論小組 (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱IPCC)」之科學評估報告指出，要穩定大氣中所含二氧化碳之濃度，至少要削減掉60%二氧化碳之排放量。一個嚴苛但是可以達成的目標，同時也可以減低因氣候轉變而造成之風險作法，即是限制地球溫室氣體之排放，使大氣中二氧化碳之含量絕不超過400ppm，以一種拋物線之減低速度持續進行，希望在公元2030年時達到此標準。1991年9月在非洲肯亞召開的「第三屆氣候變化綱要公約政府間談判委員會」之會議決議即是依此目標設計的。雖然執行方案迄未決定，但為達到此目標以穩定氣候已為各國所共識，我們應有因應之準備。

三、提高能源使用效率

提高能源使用效率就是節約能源最好的方法，而少用能源則二氧化碳的排放自然減低。提高鍋爐能源使用效率的方法很多，基本上可以從鍋爐的鍋子(boiler)，即一種熱交換器(heat exchanger)和其燃爐(furnace)亦即燃燒器(combustor)之傳熱及燃燒條件加以改善以提高其熱效率，其影響因素大致如圖2所示。至於鍋爐效率的改善方法亦大致上可以歸納如圖3所示，由於篇幅的關係不便詳述。其實提高能源使用效率不僅限於

鍋爐的效率，而應包括整體的能源使用效率，因此對於汽電共生設備之裝置、製程設備改善、廢熱回收以及負載管理等都是提高能源使用效率的良方。一般而言，汽電共生系統可以將熱能使用效率由50%提高至80%以上，而製程設備改善更可收立竿見影之效。以日本為例，日本為促進節約能源以因應二氣化碳排放量之管制標準，已計畫針對表3所列各項製程技術改善給予補助款。據日本東京大學工部教授茅陽一和松橋隆治於「二氣化碳放出量低減策的省能源可能性之經濟性評價」之研究論文中預估日本對表3所列21項產業部門技術改善之成效將視補助金額多寡如圖4所示之不同效果。日本在能源使用效率上可以說已領先全球，以鋼鐵製造為例，圖5所示可看出歐洲和北美之鋼鐵業均較日本具有節約能源的潛力。但日本仍不遺餘力加強其節約能源之設備投資。我國的能源使用效率亦遠不如日本，相信加強對節約能源設備投資必可收到更佳的成效。根據國立台灣工業技術學院的一項廢熱調查研究報告指出，台灣地區各製造業之廢熱量普遍偏高，尤其以鋁業、鹼業、苯乙烯、碳黑、煉油業、陶瓷業及玻璃業等能源密集工業所投入之能源，約有75%以上由廢熱方式散失，若能適當予以規劃利用，對於提高其能源利用率必甚具潛力，此外，值得一提的是有關負載管理，在各工廠比較熟悉電力的負載管理而採用需量自動控制系統，鮮少人注意到蒸汽的負載管理。蒸汽的負載管理，事實上，也可以配合設置蓄熱器及汽電共生系統予以自動控制而達到鍋爐最適量的蒸汽生產。總之，國內的鍋爐用戶如果能達到日本目前能源使用效率的水準，估計至少應有10~20%之節約潛力。

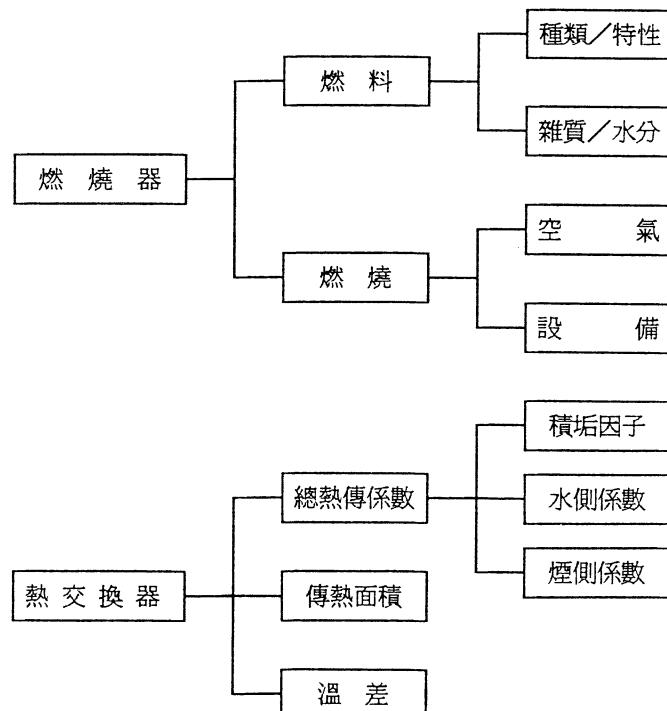


圖 2 影響鍋爐效率之因素

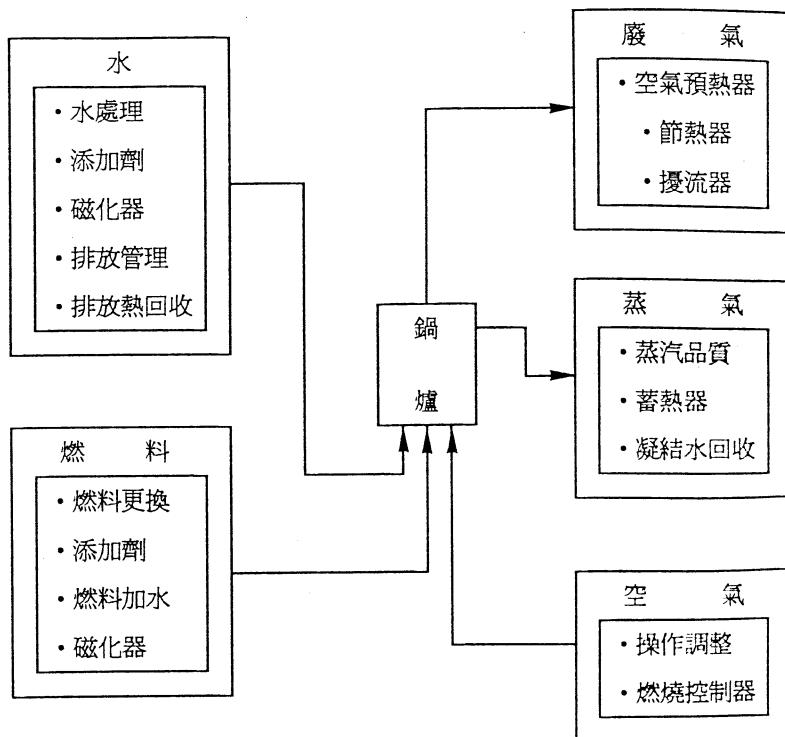


圖 3 改善鍋爐效率之方法

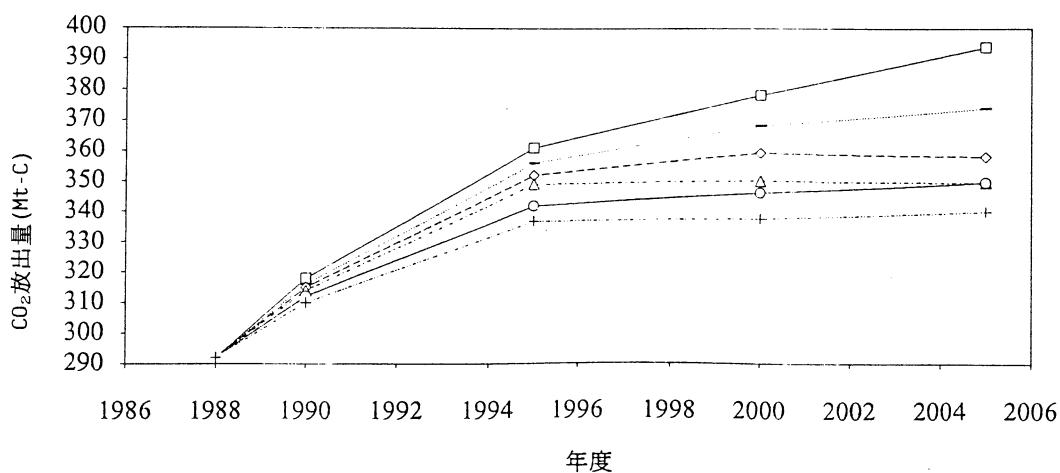


圖 4 CO₂放出量之推移

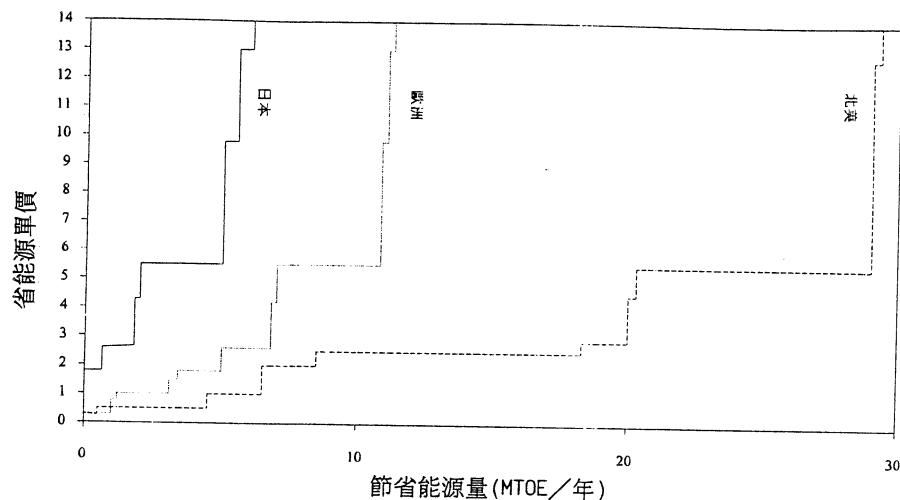


圖 5 日本、歐洲、北美鋼鐵業省能源潛力比較

表 3 日本產業部門改善技術項目

1	塑 膠	壓力制御式發泡成形機
2	一 般	高效率鍋爐(廢熱利用)
3	一 般	熱回收工業用熱泵
4	一 般	蒸氣渦輪汽電共生裝置
5	化 學	高性能分解反應裝置
6	石油化學	高效率壓縮機
7	水 泥	滾筒壓研裝置
8	紙及紙漿	高性能壓漿裝置
9	紙及紙漿	高性能面壓脫水裝置
10	食 品	間歇式無菌充填裝置
11	纖 維	向流式洗淨裝置
12	金 屬	熱風送風式熔鐵爐
13	鋼 鐵	水冷式爐壁型電弧爐
14	鋼 鐵	乾式高爐爐頂壓發電裝置
15	鋼 鐵	密閉型排氣回圈裝置
16	鋼 鐵	取鍋高溫化燃燒裝置
17	鋼 鐵	電氣爐用原料餘熱裝置
18	鋼 鐵	焦炭乾式消火設備
19	鋼 鐵	高爐爐頂壓發電裝置
20	一 般	A 重油→天然氣(燃料轉換)
21	一 般	燃料炭→天然氣(燃料轉換)

四、燃料轉換

化石燃料一般係指煤炭、石油與天然氣而言。事實上，這三種燃料均屬碳氫化合物(Hydrocarbon)系類，但由於其化學結構及含碳氫比例不同，在一般常溫常壓下，呈現固態、液態及氣態三種各不相同的型態。由於此三種化石燃料均含有碳素，所以燃燒時必然產生二氧化碳，但因其碳氫比例不同，以致同量熱值的煤炭、石油和天然氣其燃燒後生成的二氧化碳的數量也不相同。一般而言，煤炭的成分其碳與氫的比例約為1比1，石油則約1比2，天然氣為1比4，因此燃燒相同熱值之煤炭、石油與天然氣其所排放之二氧化碳之比例約為 $1 : 0.80 : 0.57$ 。國際能源總署(International Energy Agency)和美國石油公司(British Petroleum Company)估算各國和地區能源消費所排放的二氧化碳數量以下列公式計算：

煤炭 1.080 T-C/TOE

石油 0.864 T-C/TOE

天然氣 0.616 T-C/TOE

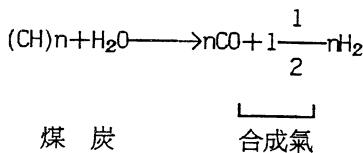
T-C/TOE之單位係指每公噸油當量的淨熱值之燃料所排放的二氧化碳之相當碳素的噸數。台灣地區歷年化石燃料消費總量依上式計算所排放的二氧化碳數量如表4所示。

表4 台灣地區化石能源總消費量及CO₂排放量

能 源 別	煤 炭		石 油		天 然 氣		總 計
	需 求 量	CO ₂ 排 放 量	需 求 量	CO ₂ 排 放 量	需 求 量	CO ₂ 排 放 量	
年別／單位	千公噸	千公噸—碳	千公噸	千公噸—碳	百萬立方公尺	千公噸—碳	
1971	4,108	2,657	6,680	5,278	1,121	628	8,562
1975	3,181	2,057	11,167	8,822	1,575	882	11,761
1980	7,211	4,664	20,463	16,166	1,959	1,097	21,926
1985	11,949	7,729	15,523	12,263	1,327	743	20,735
1990	19,075	12,338	23,408	18,493	1,125	630	31,460
1995	27,520	17,800	29,579	23,367	4,058	2,272	43,440
2000	34,838	22,533	31,572	24,942	7,972	4,464	51,939
2005	37,350	24,158	32,552	25,716	16,533	9,258	59,133
2010	43,038	27,837	34,568	27,309	21,819	12,219	67,364

事實上，二氧化碳排放量的變遷或增減，其主要貢獻因素為燃料轉換、能源節約、經濟成長及人口增加。經濟成長和人口增加兩因素非鍋爐用戶所能控制，能源節約已如前節所述是鍋爐用戶減少二氧化碳排放可立竿見影的措施，而燃料轉換亦是其可行之道。如上述如果將燃煤改為燃油，其二氧化碳排放即可減少20%，改用燃氣更減少了43%。而燃油改為燃氣亦可減少23%。理論上這是非常可行的方法，但實際上，端視該國的資源情況及能源設施，以台灣而言，全部鍋爐用戶改用燃氣可能有困難，由於台灣地區

可作為天然氣接收站的港口不多，經濟上及來源上更不用談。因此許多國家又開始重視核能發電即是這個原因。不過，當前許多學者正著手研究，或許將煤炭或石油先行氣化為合成氣 (synthesis gas) 即一氧化碳和氫氣之混合氣體燃燒，亦可減少二化碳的排放量。其方程式如下：



由於氣化過程可以將煤炭或石油的灰分和雜質去除，而合成氣的燃燒效率高且氮氧化物的排放量也可減少，只是在氣化過程中熱能損失仍需再作評估。另外，也有人建議，在化石料燃燒時在其未轉化為二氧化碳前將多餘(未燃)的碳素以化學方法抽出，此項技術是否可行，現仍在研究中。此外，煤水漿等淨煤技術均可減少二氧化碳之排放量。

為促進鍋爐用戶轉換燃料及提高能源使用效率，許多國家尤其是歐洲共同市場 (EC) 會員國已考慮徵收二氧化碳稅，主要是針對煤炭及石油消費。根據歐洲共同市場環境與能源委員 Mr. Carlo Ripa di Meana 及 Mr. Antonio Cardoso e Cunha 於 1991 年 5 月 17 日發表的草案指出，歐市課徵二氧化碳稅的水準大約在每桶油當量首次課徵 10 美元 (50% 稅率)，預定於 1993 年 1 月 1 日開始課徵，以後每年 1 月 1 日再加稅。瑞典政府已於 1990 年 6 月經國會通過課徵污染排放稅，包括二氯化碳 (CO_2)、硫 (S) 和氮氧化物 (NO_x) 等的排放。二氧化碳稅和硫稅已自 1991 年 1 月 1 日開始課徵，而氮氧化物稅也於 1992 年 1 月 1 起開始課徵。其二氧化碳稅之稅率如表 5 所示。

表 5 瑞典之二氧化碳課稅 (折合台幣)

燃 料 種 類	CO_2 課 稅
煤 炭	NT\$ 32.86 元 / 公噸
燃料油	38.16 元 / 立方公尺
天然氣	0.03 元 / 立方公尺
LPG — 車輛用	0.021 元 / 公升
— 其他用途	39.75 元 / 公噸

本表以民國 74 年時之匯率 1 美元 = NT\$40.41 元折換

照表 5 二氧化稅率估算，以鍋爐平均效率 85% 計，使用燃料油約需負擔稅 NT\$ 0.0042 元 / kWh，天然氣 NT\$ 0.0032 元 / kWh，以及煤炭平均約 NT\$ 0.0053 元 / kWh。不過這項法案也規定用戶如已減低二氧化碳排放量則予以退稅。

五、回收二氧化碳

二氧化碳 (CO_2) 的用途非常廣泛，除了常見的乾冰、汽水、消防器材、碳酸和碳酸

鹽等產品外，也是有機工業的原料，例如合成尿素、醋酸、草酸等，甚至未來各種有機化合物都可以由二氧化碳逐步合成，尤其是有機酸、醇、醛、酮及碳氫化合物等有機化合物，因此未來化石燃料燃燒後的二氧化碳即可回收還原製造化石燃料或其他化學產品將不是科幻小說了。二氧化碳除了可製造各種產品外，將來在運輸上也可扮演重要角色，例如現在對於煤炭的輸送即已考慮用壓縮的二氧化碳。由於二氧化碳不像氧氣容易起火燃燒，所以將來燃燒的二氧化碳回收之後將可替代目前使用空氣的工作。

二氧化碳的回收不是現在才發明，在尿素合成功廠及其他氣體精製工廠早已有分離二氧化碳的技術。通常二氧化碳分離的吸收劑(absorbent)都是用胺溶液(Amine solution)，例如乙醇胺(Monoethanolamine)及二乙醇胺(Diethanolamine)。由於胺溶液不但價格高昂，而且具有強烈的腐蝕性，尤其在含硫化氫(H₂S)和二氧化碳(CO₂)的溶液中更加強其腐蝕性能。因此二氧化碳的吸收分離工廠的設備投資費及操作維護費都很昂貴，除非製造程序上所需，否則不輕易分離二氧化碳，主要原因即是不經濟。二氧化碳分離方法，除了使用吸收方法外，也可採用冷凍分離法，由於二氧化碳的熔點(melting point)只有-56.6°C，所以很容易冷凍分離，天然氣中的二氧化碳分離通常即用此法，不過冷凍的設備及操作費用不便宜。由此可見，回收二氧化碳的技術不是問題，只是經濟效益的問題而已。除非二氧化碳稅負很重，或是「氣候變化綱要公約」的懲罰不得不加以回收，否則可能很難施行。不過，歐市為因應此項問題，已著手研究回收二氧化碳的經濟可行方法，以下簡介三則最近發展出來適用於鍋爐及發電廠的方法供參考：

1. IGCC H₂S與CO₂洗滌法

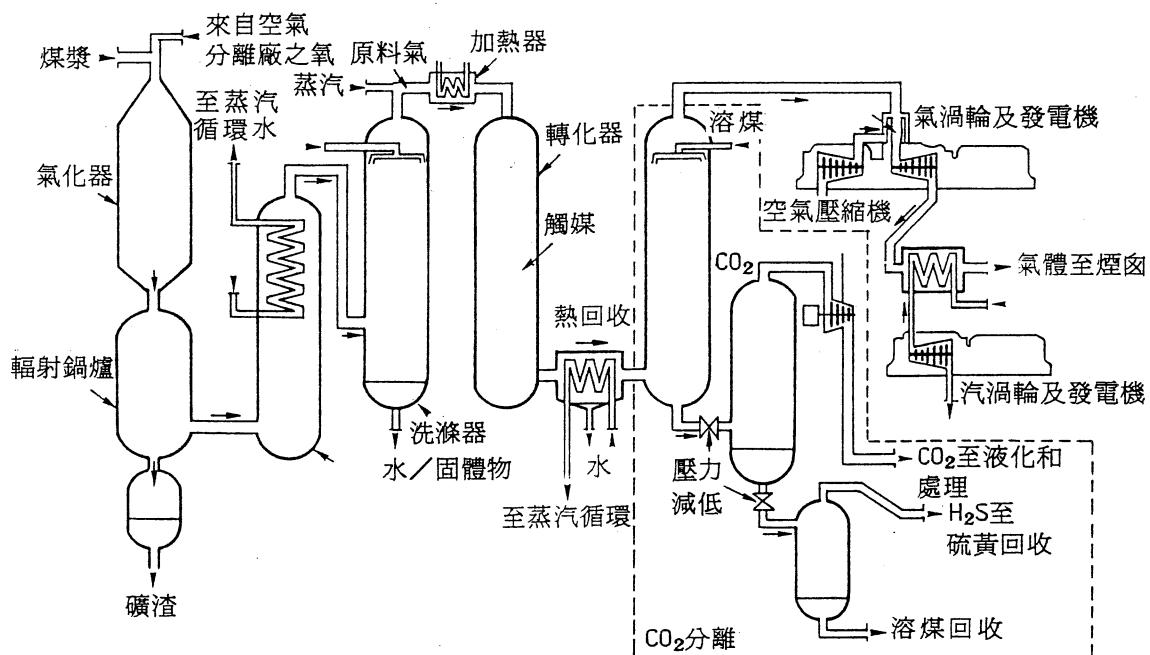


圖 6 IGCC H₂S與CO₂洗滌法

圖 6 所示為 IGCC H₂S與CO₂洗滌法，其主要特徵是先將煤炭氣化(gasification)產生合成氣(CO+H₂)，然後將合成氣於轉化器中將CO轉化為CO₂與H₂。CO₂用溶媒(solvent)吸收而與氫氣分離，再將CO₂與溶媒用減壓法分離，溶媒即回收再用，CO₂則經壓縮液化供各種用途。而氫氣則為發電的燃料，利用蒸氣渦輪發電機發電，如此即可避免二氧化碳排放至大氣中。

2. PF化學洗滌法

圖 7 所示為 PF化學洗滌法，此法可適用於一般工業鍋爐及發電用鍋爐。由圖 7 所示可知，煤炭經鍋爐燃燒後，煙道氣(flu gas)再經石灰乳(limestone slurry)將硫化物洗除後，再送入CO₂洗滌器將CO₂分離、液化及銷售。

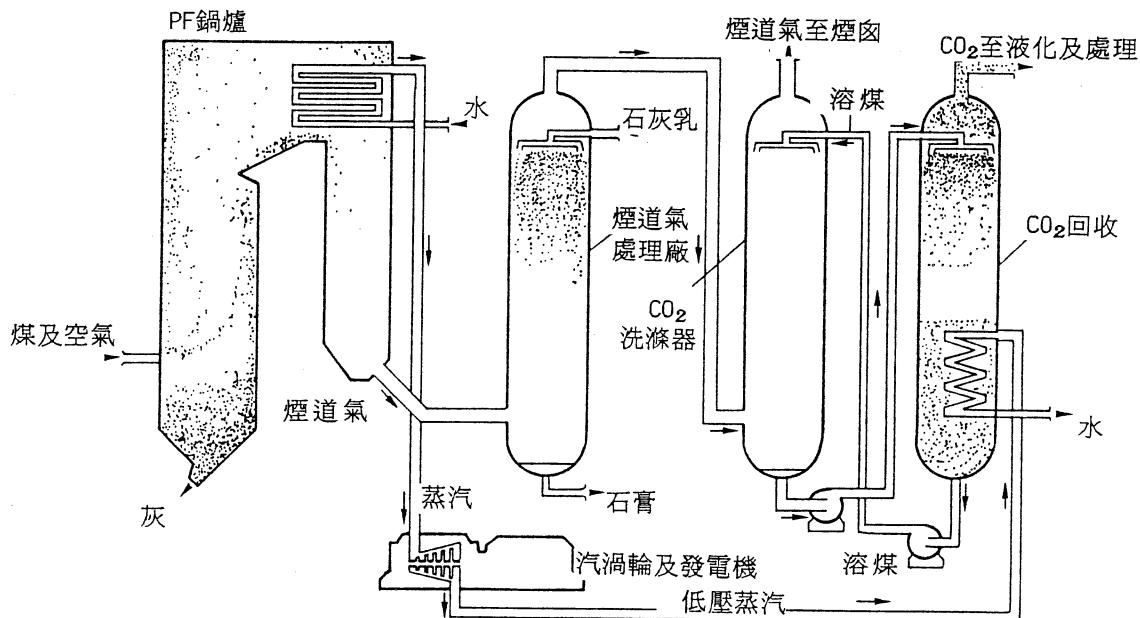


圖 7 PF化學洗滌法

3. CFBC 煙道氣循環法

如圖 8 所示煙道氣循環法係使用流體化床鍋爐產生蒸汽，適合一般工業及發電之用。流體化床鍋爐排出的煙道氣經熱回收及袋式過濾器(bag filter)，部份煙道氣加氧氣送入流體化床鍋爐再使用，部份煙道氣則經薄膜分離器(membrane separator)將CO₂ 分離、液化後銷售。本法最大的特色是將煙道氣循環使用可減少或避免使用空氣而無氮氧化物排放之顧慮。

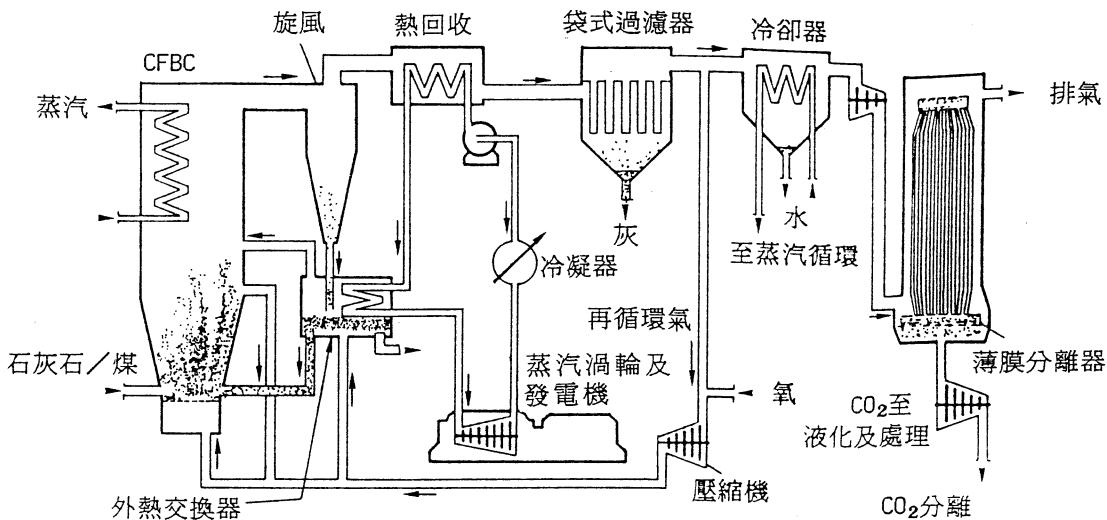


圖 8 CFBC煙道氣循環法

六、結語

能源與環保問題是一項國際性問題，不是我國能自行解決之事，但我國已是世界上第十二個貿易大國，我們不能不關心與履行此項有關國際性協定的「氣候變化綱要公約」。此項公約主要是管制二氧化碳之排放，而能源的使用則是二氧化碳排放之主要來源。台灣地區去(1991)年能源消費總量為4,446千公秉油當量，其中除水力發電和核能發電共約889千公秉油當量(約佔20%)外，其餘3,557千公秉油當量則全是化石燃料供給的。而化石燃料消費中工業部門和商業部門都是經過鍋爐的燃燒，其約佔54.8% (即約2,436千公秉油當量)。換句話說，去年我們的能源消費中鍋爐用戶消費約佔54.8%，也就是國內二氯化碳之排放，鍋爐用戶佔半數以上。因此本文特別提供有關二氯化碳排放管制因應之道。

科技的發展通常係先發現問題，然後才研究解決的方法。因此，當前鍋爐用戶面臨二氯化碳排放管制之問題，可能感到惶恐，但最後都能夠獲得解決的方法。過去對於環保上許多能源使用所致的問題，例如二氧化硫、氮氧化物、粒狀污染物以及碳氫化合物等排放，都造成不少困擾，但今天都可迎刃而解。再如，與全球溫室效應有關的氟氯碳化物(CFC)排放問題，最近也已發展出新的替代品如HCFC-123、HCFC-134a、HCFC-141b、HCFC-142b等。今天，我們面臨二氯化碳排放管制問題，雖然筆者就今日科技可行的方法提出提高能源使用效率、燃料替換、以及回收二氯化碳等方面的因應之道，但科學家們一直在探索新的解決方法，例如利用核融合發電，並利用其高溫餘熱直接裂解水生產氫氣供給鍋爐及引擎的燃料以及太陽能發電等各種新能源，甚至有人研究利用生物技術來固定或吸收二氯化碳的方法(Biological CO₂ fixation project)。總之，在人類

的智慧與努力總有一天可以得到解決的方法。但在未獲得之前，鍋爐用戶在能源使用上仍應採行今日可行之科技以節制二氧化碳之排放，才不致使全球溫室效應更形惡化，更不致於因此而影響台灣地區的經濟發展。

七、參考文獻

- (1) Ogawa, Yoshiki , "Economic Activity and Greenhouse Effect", The Energy Journal, Volume 12 ,No. 1 pp23~35 ,Jan. 1991.
- (2) Lashof , Daniel A., "EPA's Scenarios for Future Greenhouse Gas Emissions and Global Warming", The Energy Journal, Volume 12, No. 1,pp125~146 , January 1991.
- (3) Editor, "European Project on CO₂ Removal", IEA Greenhouse Issues, Number 1, pp.3, November 1991.
- (4) Bueno, M.A.F and Helene ,M.E.M. "Global Deforestation and CO₂ Emissions :Past and Present, A Comprehensive Review", Energy & Environment Vol.2, No.3, pp 235~282, October 1991.
- (5) Karube, Yukio, "Application of Biotechnology to Environmental protection", Science & Technology in Japan ,Vol.10,NO.38 ,pp.9~11 July 1991.
- (6) Kawahara,Hiroshi, "Significance of the project of Biological CO₂ Fixation and How to Tackle It". Science & Technology in Japan ,Vol. 10, No.38 pp.14~15 July 1991.
- (7) Editor, "Energy / Carbon tax concept detailed by Commission Paper ", EC Energy Monthly, Issue 30,pp.4~6,June 1991.
- (8) 茅陽一，松橋隆治，古垣一成，“CO₂ 排放量低減策としての省エネの可能性と經濟性評價”，省エネノレギ- vol.43, NO.13 pp.18~26,December 1991.
- (9) 松橋隆治，石谷久、茅陽一、永田豊、山地憲治，“CO₂放出量低減策之經濟性評價”，エネノレギ-資源，Vol.12 ,NO.5 ,pp62~69, May 1991.
- (10) 陳茂松，“地球溫暖化和能源策略”，能源季刊vol.22,No.1 pp.135~145,January 1992.
- (11) 康國裕，“瑞典的排放稅”，能源報導，September 1991, pp.39~40.
- (12) 劉秀瓊，“亞洲的全球溫暖化問題”，能源報導，December 1991, pp.1~7.
- (13) 陳淨修，“全球溫室效應多邊協定之進展”，工業污染防治報導Vol.5 No.39~40, pp.8~9 & pp.8~9, June & July, 1991.
- (14) 經濟部能源委員會，能源統計月報，December 1991.
- (15) 康國裕，“二氣化碳吸收系統設備材料之選擇”，台肥南港廠工作與生活NO.117~118, pp.21~25 & pp.23~27,September & October 1972.

(16) 李明哲、施顏祥、徐永錢、鄭進三、李翠媚“廢熱分類鑑定與統計”，經濟部能源委員會「能源回收系統分析及技術開發」研究報告，December 1983.