

火力發電與 氫氣燃料

在乾淨且實用的新能源尚未開發成功之際，
降低當前能源使用所產生的污染，
尤其是追求二氧化碳零排放的努力，
實為當務之急。

■陳柱華



人類生活品質的提升、工業生產的需要、再加上未開發國家希望儘快發展經濟以增加生產力，全世界的能源消耗一定會持續增加。能源的用途主要是發電、工業生產、交通工具及家庭電器，其中大部分用在發電上。可用於發電的能源包括火力（煤、天然氣及重油等）、核能、水力、太陽能及風力。美國的人口僅占世界總人口的3~4%，但能源的消耗量卻占了全世界的60%以上，在能源日益缺乏、能源使用不均、生態環境日趨惡化的嚴峻考驗下，舉世莫不關注能源消耗及相關的環境污染問題。

受限於熱力學第二定律，人類迄今尚未能發明一種只會生產能量而不會產生廢棄物的機器，這類廢棄物就是空氣、水及固體污染的來源。到目前為止我們也只能儘量做到把污染減少到最小的程度，此外廢棄物的處理也應該在其源頭處進行，以避免污染的擴散。過去50年來的經驗告訴我們，處理已擴散的污染物是件十分困難

的工作，同時帶給人們的傷害也最大。

在美國，火力發電占總發電量的65%以上，其中以煤做能源的發電量占火力發電總量的三分之二，這樣龐大的能源消耗怎麼會沒有環境污染的問題呢？水力發電因受限於地形及河川的條件，已經不太可能發展；核能發電因為核廢料處理的困難及安全問題，最近二十多年來已不再有新的核能電廠啓用；而太陽能及風力發電也只能提供少量的貢獻。要如何使火力發電變得更安全，環境污染降至最低的程度，更重要的是降低二氧化碳的排放量，使大氣層中溫室氣體含量不再增加，以減緩全球增溫的現象，這就是本文所要討論的重點。

火力發電及環境污染

若以煤做為火力發電的能源，主要的空氣污染物是排放氣體裡的粉粒、二氧化硫、氮氧化物（NO_x）和二氧化碳，此外還有廢水及粉煤灰。假如用天然氣或合成氣



這個四周充滿綠意的巴洛克式建築，是南台灣最早的發電廠。由當時的總督府在荖濃溪上游設壩引水，並以水流落差發電。於一九〇九年完工後，發電量2,000千瓦，四台水輪機中目前仍有三台可以運轉發電。

http://ss.nthu.edu.tw/power_plant/article.php



http://w4.siemens.de/en2/html/press/newsdesk_archive/2004/foe04191.html

在未來的煤氣化複循環發電機中，把煤氣化後，以燃氣渦輪機發電。污染物可以在燃燒前去除，二氧化碳可以分離出來或儲藏在地下。

作能源，則排放氣體中就沒有二氧化硫及煙粉粒的成分。二氧化硫和氮氧化物是造成酸雨的主要原因，受到氣流的帶動，酸雨可以影響到幾千公里以外的田園、湖泊及森林。

美國中西部因為用煤來發電，已使東北部幾州及加拿大南部的湖水酸度增加（pH值減少），森林中的樹葉變枯。在火力發電廠附近，酸雨及煙粉粒也會造成煙霧，不但污染環境，而且影響人的健康、釀成災害。中國大陸有將近70%的火力發電是用煤為燃料，空氣污染成了環保上的一大問題，酸雨降雨區也漸漸增大。歐州中部像捷克、波蘭等國，從前都是用煤發電，曾經造成重大的環境污染及災害，現在已陸續改用天然氣或擬用核能發電，作為近程的因應對策。

溫室氣體及全球增溫

溫室氣體是下列幾種氣體的總稱，包括二氧化碳、氟氯化碳（chloro fluoro carbon, CFC）、甲烷（CH₄）及

氧化二氮（N₂O）。這幾種氣體有一個共同的特點，就是會吸收從地面輻射至太空的能量，使得太陽及地球間的能量交換失去平衡，以致全球溫度逐漸升高，下表列出各溫室氣體的來源與熱能吸收率。

溫室氣體種類	來源	吸收自地面輻射至太空的能量的百分比	每年空氣中濃度增加的百分比
二氧化碳	火力發電 交通工具	66	0.5
氟氯化碳	交通、冷凍	10	4.0
甲烷	農作、開礦	20	0.9
氧化二氮	燃燒	4	0.25

其中氟氯化碳及氧化二氮在紫外線的影響下，會和臭氧（O₃）化合，使得距地面高度在15~30公里的近太空氣層中臭氧減少，由於臭氧有吸收紫外線的功能，臭氧減少使得照射到地面的紫外線增強，導致人們罹患皮膚癌的機率增高。

不幸的很，二氧化碳和氟氯化碳在空氣中都有很長

的生命期，根據科學家的估計，二氧化碳的壽命是五十至一百年，氟氯化碳則是五十到四百年。絕大部分燃燒過程都會產生二氧化碳，加上火力發電和汽車、飛機等交通工具的使用，使得它在空氣中的濃度快速增高，是全球增溫的主要元兇。從有記錄的資料獲知，從一八六〇年到一九九四年，全球年平均溫度增高了攝氏0.3~0.6度，假如溫室氣體繼續以目前的速率增加，二十一世紀末全球氣溫將會增高攝氏4~6度，果真如此，那後果真是不堪想像。最近發現南北兩極的冰山正在加速融化，海平面也在漸漸升高，未來沿海地區將會產生重大的變化。雖然這些問題不會在眼前發生，但是我們必須要用最大的資源和力量，積極且有計畫地解決這些能源應用的問題，使全球增溫得到有效的控制，拯救這個我們賴以生存的地球。

二十一世紀能源技術的發展

二十一世紀能源技術是美國能源部最新的計畫和執行方案，目標是有系統地發展最乾淨的火力能源工廠，這些工廠不但要能發電及生產交通工具用的燃料，同時更要有處理所有和火力發電有關污染問題的能力。能源部估計需要持續15~20年高度的研究和發展，來尋求新的方法及突破性的技術以達到目的。能源部把所有技術

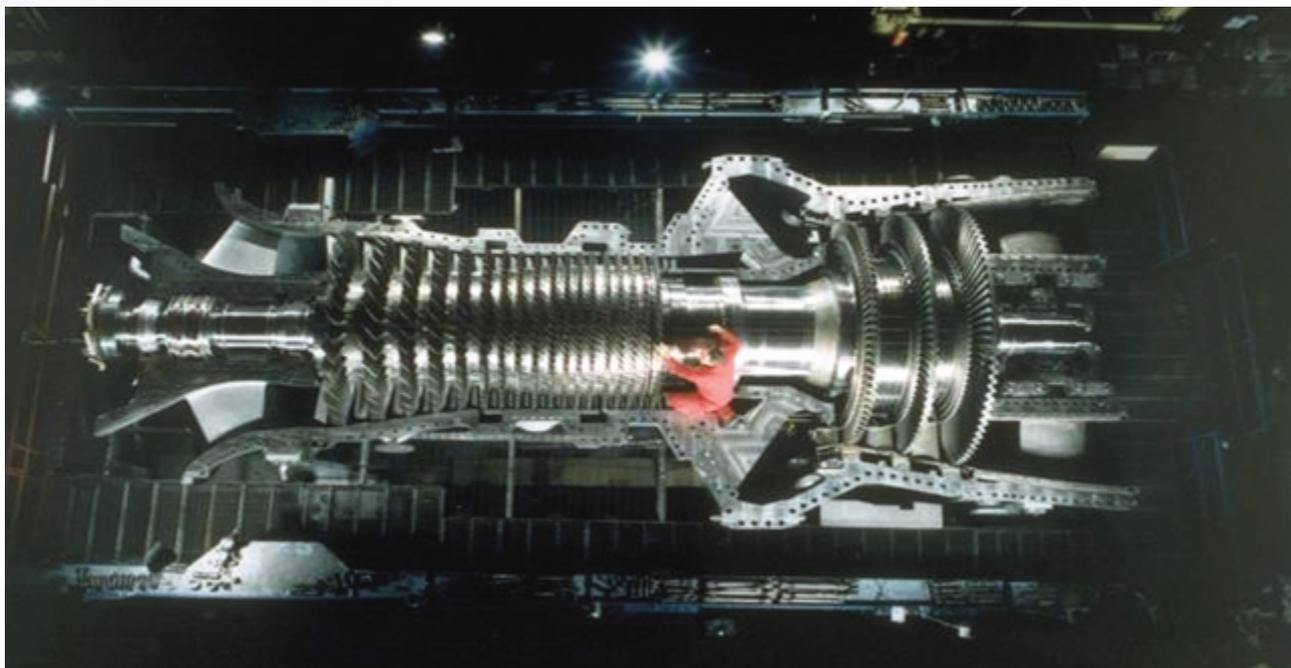
及方法分成十二大項，分別是：燃燒及高溫傳熱、氣化、合成氣的淨化、氣體的分離、發電機、燃料電池、合成氣轉變成淨化燃料、環境保護、材料、控制及測量儀器、模型計算、系統的分析及整合。

這十二個領域每項都非常重要，能源部為了尋求技術上能早日突破，集合了全國工業界、學術界及政府中的科技專家一起合作，先從個別領域著手尋求新方法，待技術上有了相當進展後，再把這些新的或改進的方法整合起來成為能源新技術途徑，再用系統分析法來規劃新的能源技術的可行性。

未來火力發電及氫氣燃料

為尋求新的能源技術，美國能源部最近提出方案，預備建造第一座示範電廠。這個示範火力發電廠是以煤做燃料，發電量達27.5萬瓩，不但用來發電同時還會產生氫氣，所生產的氫氣又可作為交通工具的燃料，並且要求沒有污染物的排放，達到「零污染」的目標。更重要的是把二氧化碳從氫氣中分離出來，並且用一種新的方法把它長久儲藏起來，不讓它再回到空氣中，以有效抑制大氣中溫室氣體的增加。

美國能源部籌建這個示範電廠的預算是10億美元，27.5萬瓩的發電量在美國算是中小型電廠，顯然不是一



煤氣化發電的燃氣渦輪機

<http://www.netl.doe.gov/ccrresource/database/photos/photowabsh.html>

項划算的投資，但是從它的工程設計、建造、運轉時所得到的許多技術上的經驗，以及運轉中發生各種狀況的處理，這些寶貴經驗都是未來建立大型電廠的珍貴資料。

這座示範發電廠發電的運轉程序，可以約略地分成四大步驟來討論。

煤的淨化及廢物處理：煤要先磨成粉狀，再用機械方法把雜質分開，這些固體廢料仍可加以利用，如應用在修路或建築的材料上，不能用的部分可以回填至已開採過的煤礦中，這些技術都已證實可行。如此一來應該可以把污染問題減少到接近零的境界。

氣化程序及氣體淨化：首先是把炙熱的煤與水反應生成一氧化碳和氫，然後再把一氧化碳與水反應生成二氧化碳與氫氣，第二個步驟的反應很不容易發生，有待



煤氣化複循環發電廠

進一步的研究加以克服，前後這兩個反應都需借助觸媒，觸媒使用的效率和壽命也有待提升。氣體中所含的金屬微粒及硫化物，有必要設法排除並加以回收，像硫化物可以設法製成硫磺以便回收應用，諸如此類的純化、回收技術，目前已相當純熟，這個步驟的主要關鍵是如何使氣化效率提高。

氣體分離及二氧化碳的儲藏：把氣體中的氫氣和二



Wabash River 煤氣化複循環發電廠



<http://www.netl.doe.gov/ctc/resources/database/photos/photostr7.html>

燃氣淨化系統

氧化碳分離，是這個發電廠最重要的程序，而二氧化碳能否長久儲藏，則是二十一世紀能源新技術發展能否成功的關鍵。當前正在研究中的方法是用金屬或陶磁薄膜技術來分離氫氣，然後把二氧化碳儲藏在地層或岩石的深處，包括已廢用的油井、礦井或深海裡，使二氧化碳不致進入大氣中。

火力發電及氫氣應用：氫氣可以用透平機（turbine）或燃料電池來發電，然而這兩種技術都需要進一步改良，尤其是將來在發展以氫氣作為燃料的汽車及貨車時，一定要增加效率，減輕電池或透平機的重量，才有實用價值。美國能源部希望這個示範電廠能在不久的將來建成運轉，並在二〇二〇年前生產出價格相當於現在天然氣的氫氣，同時達到污染「零擴散」的目標。

根據科學家的估計，全世界能源的消耗將以每年2.6%的幅度升高。美國由於科技先進，能源耗損較少，能源的需求每年也有1.3%的增幅。然而短期內，不可能發明具有實用性的新技術和方法來供給能源，而核能發

電的廢料處理問題迄今尚無妥善解決之道。所以近程和中程的研究應該集中在火力發電及清潔燃料上。近年來空氣污染雖已有不少改善，但還沒有達到「零擴散」的目標，當前的火力發電和交通工具，不論環保做得如何徹底，二氧化碳還是最終的產品，逸入大氣中的二氧化碳會使地球加速增溫，這是一個相當嚴肅的課題，需要妥善因應。

早期的工業設計，都是以生產效率及經濟為主要的考量，而未來發電廠的構想，則是以環保為主要的訴求。只有把生產過程中產生的污染物予以分離，並加以利用或存放，再把穩定的溫室氣體在生產過程中回收，並設法長久儲藏，不讓它流散到空氣中，才能達到清潔電力及清潔燃料的目標。希望在二十一世紀的二〇年代，這種構想能成為事實。 □

陳柱華

美國南伊利諾大學工學院