

能源問題的幾個觀念

馬哲儒

這次年會的主題是：「節能減碳，資源共享」，非常恰當。因為社會上對於這個大原則，已有很高的共識，問題在於如何去做，這是工程師的事。工程師的特質是，拿到一個任務之後，能夠設法加以完成。因此，在著手之前，要能把問題分析得清楚明白。喊口號是無濟於事的，靠的也不是盲目的信仰。

這是一個「大」問題

這是一個世界性的大問題，也是台灣的大問題。我們說它大，是因為其重要性大，也因為量大。台灣平均每天進口的煤和原油，以及排放的二氧化碳的量都非常大。因此，所採取的任何一種作法，都須考量其貢獻度有多大，未來可能的貢獻有多大。當然，有些做法對總體的貢獻雖然不大，總比沒有貢獻好，但也不宜把它看成：「這就是解決能源問題的路」。

是誰的責任？

國際上對於二氧化碳的排放造成很大的壓力，把排放量大的工業視為罪魁禍首。煉鋼工業就是一例。但鋼鐵是大家都要用的東西，國際市場上一共需要多少，就要生產多少，台灣的煉鋼廠如果少生產一噸，其他國家的就得多生產一噸。問題是台灣煉鋼廠的技術如何？效率如何？每生產一噸鋼要排放多少二氧化碳？如果我們的排放量比世界上的平均值低，就應該視為正面的貢獻才對。因為地球上的大氣是相通的，由於我們的煉鋼技術好而使其中二氧化碳的含量減少了許多。排放二氧化碳的責任該讓用鋼者來負才合理。鋼鐵工業是如此，水泥工業、石化工業也是如此。

我對鋼鐵工業是外行，但覺得這一類涉及化學反應的重工業的生產技術，多是很久以前開發出來的，在那個時代的科技水準尚低，也還沒有到達重視能源效率、環境污染和二氧化碳排放的時代。煉鋼的高爐在設計開發的過程中必然是經過多次試誤，投入過大筆經費的，一旦開發成功，在俟後的許多年中，在細節上也必然經過了許多改進，但在基本的構想上，是不會有什麼改變的。這當然是因為從頭做起、另起爐灶不但需要再投入大筆經費也要冒風險的。

現在如果有一位對鋼鐵工業完全沒有經驗的現代工程師，叫他用焦炭在高溫下把鐵礦，主要成分是氧化鐵，還原生成鐵水，他設計的爐子會長得什麼樣子呢？如

果是我的話，會用一個用耐火材料砌成的中空圓筒，使還原性的火燄自四壁噴入，把鐵礦與焦炭都先磨成細粉，以適當比例均勻混合後自頂端灑入，反應後生成的鐵水自塔底流出。火燄中可以不用空氣而用氧氣，如此則頂端出來的煙道氣中主要只有水蒸氣與二氧化碳，後續的固定化處理也容易得多。

製造玻璃的爐，也可以是類似的構造。

生質的循環

在各種再生能源中，不論世界上或在台灣，貢獻量除了慣常水力之外，最大的就是生質能源。在台灣，垃圾的分類、回收，焚化發電的工作已經做得相當好，而且仍在進步之中。關於生質能源，我想說明的一點就是大自然中的生物界，包括植物和動物，往往都是循環的、平衡的系統。就先從山中的竹子談起。

山中有竹，有野生的、也有人工栽植的。在竹子生長的過程中，吸收了太陽能，靠光合作用把土壤中的水分和空氣中的二氧化碳轉化為竹子的身體。換句話說，就是把太陽能中的一部分轉化為儲存在植物體內的化學能。我們把竹子砍伐下來，砍伐後在原地又會長出新的竹子來。砍伐下來的竹子可以製成各種成品：傢俱、工具、紙張、免洗筷…。這些成品經過使用後並不是真的成為「廢棄物」，而是送到焚化爐去焚化發電的生質能源。焚化時又把生長時所吸收的二氧化碳還給大氣。在這個循環中，我們得到的除了竹製成品的使用功能以外，還有焚化發電時所產生的電能。

山中的竹子若不加以砍伐應用，仍然會老、會死的，死後是會腐爛的。生物體的腐爛就是緩慢的氧化，其結果和燃燒一樣，也是把熱能、水汽和二氧化碳釋放到大氣中，過程之中並沒有把竹材製成成品加以利用，也沒有利用所釋出的熱能發一些值錢的電能。

因此，使用竹製的免洗筷，在「節能減碳」的立場看，是有正面貢獻的。至於衛生方面的考量就是另外一回事了。

南美洲亞馬遜河流域有大面積的熱帶雨林，台灣山區也有很多原始林。它們在生態方面以及環境與水土保持方面有很重要的功能，但這不是我們今天所討論的主題。我想說明的是：未經開發的原始林，對地球上的節能減碳並沒有貢獻，因為它們是平衡的循環系統。

原始林中的植物，靠光合作用，吸收了太陽能，把水和空氣中的二氧化碳轉化為植物的身體。這些植物世世代代、生老病死都在林中，死後的身體也在林中腐化，結果是把同樣多的能量、水和二氧化碳釋放出來。大氣中的二氧化碳只是在植物體

中兜了一個圈子，並沒能真正地固定下來。植物生長的速率不可能比腐化更快的，否則經過了億萬年之後，熱帶雨林應該是熱帶雨山了。

我們說植樹有減碳的功能，指的是由人工經營管理的人造林，要不斷地伐採與再生。以木材製成的成品經利用後要焚化而產生電能。

近來有許多人因為牛、羊在消化食物時會排氣，就是打嗝、放屁，氣中有許多甲烷和二氧化碳，都是溫室氣體，為量相當大，而拒絕吃牛肉，甚至改為素食。這是否有道理，是需要仔細分析一下的。牛的排氣當然來自所吃的草，而草是因光合作用吸收了大氣中的二氧化碳而生長的。

如果不用牛去吃這些草，而任由其腐化，也會放出同樣多的二氧化碳。這可能還不如養了牛而得到不少牛肉的好。

如果不用牛去吃這些草，而將其焚化發電，那就要算一算牛肉與電何者更值錢了。

如果不種牧草而種穀物，用來養雞，那也是要算一算了。我的猜想是，若以單位土地面積每年得到多少動物性蛋白質和電能以及溫室氣體的排放來衡量，種穀物養雞可能較為有利；但若以能賺多少利潤來衡量，因為牛肉價格高，也許還是種牧草養牛的好。

光合作用的效率

我們都知道，綠色植物靠光合作用把太陽能轉化為植物體內的化學能，但有沒有注意到，它們利用太陽能的效率是很低的？葉綠素能夠利用的只是太陽輻射光譜中波長為 0.4~0.7 微米範圍內的可見光。照射到葉片上之後也不是全都被吸收，一部分反射回去了。吸收的太陽光能轉化為化學能時，效率也不高。轉化得到的化學能有一部份又被呼吸作用消耗掉了。這樣七折八扣下來，綠色植物利用太陽光能的最大理論效率只有大約 6.6%，但實際上的利用效率通常只有 1 % 上下，能達到大約 2 % 的，就非常非常地好了。而太陽能光電板的效率，目前大家都做得到的，大約是 17 %。

以綠色植物來固定太陽能的優點是生產成本低，只要收集就可以了。如果種植的是糧食作物，其中可以吃的，只是植物體的小部分，大部分就是生質能源。動物吃了飼料後，轉化為肉、蛋、奶的只是其中較小的部分，其餘的成為糞便，仍是生質能源。以綠色植物固定太陽能的缺點是需要廣大的土地面積，這就是有些策略在巴西做得相當成功，但我們不宜模仿的原因。

寄望於生物技術與大海

講到接受陽光的面積，地球上以誰為最大？當然是海洋最大，在海洋中生產藻類很可能是解決世界上糧食和能源問題的一條可行的路。在水中養藻時，陽光射入水面之後，在水中來回反射，最後被藻體中的葉綠素之類的觸媒利用，轉化為生質能。我曾多次請教養藻的專家，每單位水面面積與陸上植物的葉面面積相較，誰利用太陽能的效率較高？我希望是水面較高，但尚未得到確切的答覆。

關於在海洋中生產藻類作為再生能源，我最關心的就是上述單位水面面積的太陽能利用效率。因為只要是固定在藻體之內的，都是可資利用的化學能源，都可拿來燃燒產生熱能後利用熱機發電。如果生產的量不大，就沒有太大意義；如果大到足以解決能源的供應問題，則不必選擇藻類的品種來適應現有的熱機，例如柴油機，而是設計新的熱機來適應固定太陽能效率最高的藻類品種。

不同的海域，有的地方適合藻類生長，有的地方並不適合。影響的因素很多，例如溫度、深度等等，其中之一是海水的成分。如果把盛產藻類海域的海水和藻體，都拿來作微量分析，然後加以比對。藻體中所含的各種微量元素，海水中必然也都俱備。再對物理條件相同但沒有藻類生長的海域的海水作微量分析，並與藻體的分析結果比對，應該會發現這個海域中沒有藻類生長，是因為缺少哪一種微量元素。只要設法補充一下就可以了。

二氧化碳的固定也是一個大問題。因為量太大了，許多化學方法的效果恐怕都不夠大。利用海洋之大，把空氣中的二氧化碳以碳酸鈣的形式固定在各種貝殼中應是一條可行的路。這與利用藻類來固定太陽能類似，都是生物的方法，唯一的限制就是海洋中的鈣離子是否夠多。

用生物方法，求助於海洋，應是解決這些大問題的可行的路。

以價制量

我們把節能、節水的口號喊得很響，但台灣的電價、水價都比其他國家便宜。水、電的費用在一般家庭的開支中，和高科技產業的生產成本中所占的比率都不高。在多數人都「花得起」的情況下，靠道德的勸說來提倡節約不是很容易的事。炎熱夏日在商店街的行人道上，有時覺得好涼快，因為這個店家開足了冷氣又把門戶大開，也沒有人加以糾正。

要燃煤發電嗎？

大家都知道在各種化石燃料中，碳對氫的比率以煤為最高，其次是燃油，最低的是天然氣。為了減少二氧化碳的排放，火力發電廠當然該用天然氣不該用煤，但實際上目前台灣有多少火力發電廠仍在燒煤，這是很容易查得出來的。原因當然是因為價格差得太多了。要便宜的電價，又要用昂貴的燃料是很困難的事，當家的媳婦是很難為的。

氫能與電能多麼潔淨？

大家都知道電動車輛非常清潔。問題是：電是從哪裡來的？如果是從火力發電廠來的，那麼只是把原來由車輛排氣管排放的二氧化碳從電廠的煙囪來排放而已。何者較為有利，是可以從頭到尾算一個總帳的，這就是“well to wheel”的觀念。

大家也都知道，氫是最潔淨的燃料。問題也是：氫是從哪裡來的？如果說是由水電解而來，下一個問題自然是：電是從哪裡來的？就又兜回原來的圈子了。實際上台灣絕大部分的電是來自火力發電廠。工業上要用大量的氫，大部分是由化石燃料在高溫下與水蒸氣重組而來的。在重組的反應中把化石燃料中的碳都化為二氧化碳，排放的總量並沒有少，只是在不同的處所排放而已。

燃燒各種燃料，可以把其中的化學能全都以熱能的方式釋放出來，利用熱能作功發電時，「熱機」的效率有一個上限，那就是熱力學上康諾(Carnot)循環的效率。近年來這個緊箍咒被燃料電池打破了。燃料在其中有觸媒作用的膜上，不經燃燒而直接與氧起電化學反應而產生電能。其效率當然不受康諾循環所限。這是燃料電池最可愛的地方。只是目前在成本上仍高，全世界的科學家都在努力研發之中。

另一種也是非常可愛的，全世界科學家努力研發中的，就是太陽能光電板。努力的目標當然是提高轉換效率與降低生產成本。

幾種重要的非再生能源

另外，必須提一下的幾個重要能源是：天然氣水合物、快中子滋(孳)生反應爐(fast breeder)、和熱融合反應器(fusion reactor)，可惜的是，這三種都不是「再生」能源。

天然氣水合物在地球上的儲藏量非常大，大約是所有其他化石燃料的總和。其主要成分是甲烷，是一種溫室效應比二氧化碳更嚴重的氣體，因此開發的技術問題不易解決。全世界各國都在默默地研究之中，包括台灣的學者在內。

全世界鈾 235 的儲藏量，和原油一樣，相當有限，以滋生反應爐可以利用儲藏量大得多的鈾 238。這是一個政治上敏感的問題，大家都不大願意碰它。

科學家一直在說：「熱融合反應器再過 30 年就可研發成功了」，40 年前就如此說，現在仍然在說。約 2 年前在法國南部開始建造一個大型的實驗爐。這是一件花大錢的事。參與的國家有歐盟、日本、美國、中國、俄羅斯、印度、韓國。台灣是不是也該參與一些這方面的工作，是一個值得探討的問題。

能的去路比來源更重要

過去和現在，大家重視的是開發能「源」。須知開發能量的來源雖然不易，但並非不可能的事，例如前述幾種非再生能源一旦開發成功，能量來源的問題就大致解決了。但是地球原是一個能量平衡的系統，從太陽來的與輻射回到太空中去的是相等的。非再生的能源用得過多之後，使地球整體的能量失衡，所造成的熱污染(thermal pollution)會是一個非常嚴重的問題。因此，為非再生能源尋找「去路」(sink)是比開發來源(source)更重要也更為困難的課題。

05.28.2010

3 高雄市分會聯合年會