



各種發電方法的外部成本

一、前言

“電”在使用時非常方便、安全，且不會造成污染，但是在將初級能源轉換成電能的過程中，卻會對社會及環境帶來許多的衝擊。理論上來說，各類型發電方法對社會及環境帶來的衝擊可換算為所謂的“外部成本”。但是在換算的過程中，會因地域、時間、對嚴重性的認知、甚至意識型態的差異而產生許多爭議，變成各說各話的局面。

二、各類型發電方式的土地需求

根據國際原子能總署資料，火力及燃煤電廠每百萬瓦(0.1 萬仟瓦)約需土地面積 100 到 260 平方米，利用光電池發電，每百萬瓦約需土地面積 30,000 平方米，而建於陸地的風力發電系統則需 75,000 平方米。以風力發電而言，一座 600 仟瓦之風車實際所佔的面積為 36 平方米，如果核四裝置容量將以風力取代，風車實際所佔的面積即為 162 公頃，這不包括風車間應該保持的距離。

三、各類型發電方法的廢棄物體積

各類型發電方法均會產生廢棄物。核能發電的廢棄物包括低階放射性廢料、使用過核燃料；燃煤發電的廢棄物則包括煤渣、除污裝置所收集之微塵及殘餘物；太陽能發電廢棄物的來源則是來自於晶片製造過程中所產生的廢棄物，這些廢棄物的處理都需要特別而昂貴的技術。下表所列為各種發電方法中所產生之廢棄物體積，計算基準為 1000 百萬瓦電廠運轉 30 年所累積之廢棄物總量。表格中沒有風力發電的數據，其廢棄物為報廢的設備。

發電方法	廢棄物種類	總量(公噸)	有害物質(公噸)
核能	使用過核燃料	1.05x103	1.05x103
	低階核廢料	5.67x104	5.67x104
	鈾-238	8.16x106	8.16x106
燃煤	收集之微塵	2.03x106	2.03x106
	除污設備產生之廢棄物	3.57x106	含量不明
	煤渣	2.18x107	含量不明
太陽能發電(熱)	金屬製造	4.35x105	1.63x104
太陽能發電(光電)	晶片製造	6.86x103	6.86x103

四、發電對環境的衝擊

- 燃煤

一些產煤國利用露天開採的方式採煤，挖出的岩石經過雨水的沖刷，造成岩石內的有毒重金屬的析出。燃煤發電方法對環境最大的衝擊來自於煤燃燒所釋放出的硫化物、氮氧化物、及微塵，其排放量與使用的煤、電廠的除污設備、及電廠容量因數有關。燃煤中本來就含有長半衰期的放射性物質鈾及鈾，據估計全世界的燃煤電廠於 1982 年共使用了 280,000 萬公噸的煤，共排放了 3,640 的鈾，及 8,960 噸的鈾到外界環境。
- 燃油

燃油的開採也會對環境帶來衝擊，但相對於露天煤礦的開採，其影響較小。燃油的運輸也有可能對環境帶來衝擊。石油的燃燒亦會排放氮氧化物及硫化物。石油在使用前的提煉過程亦會污染環境，釋放有毒化學物質，如鉛、水銀、鎘、及砷。
- 燃氣

使用燃氣發電確實較燃煤及燃油為乾淨，但是氮氧化物及硫化物的排放仍然不可避免。

- 水力

水力發電雖然不會排放污染物到環境，但水壩的建造會淹沒大片的土地，影響到附近以及下游河川的生態。
- 地熱發電

利用地熱發電有數種不同的方法。如果是直接抽取地下的熱水會造成地層的下陷，而自地底抽出的水含有大量的礦物質，如不妥善的處理，會造成水污染。如果是利用水流入地底加溫，成為水蒸汽來發電，注入的水有可能引起地震，而自地底流出之水蒸汽有可能攜帶有毒的化學物質。利用地熱發電會造成地底放射性氫氣以及硫化氫的外釋。
- 生質能

利用生質能發電將需要大片的土地。植物的種植也需要大量的肥料與殺蟲劑，植物的燃燒雖不會產生二氧化硫，但會產生微塵，植物的燃燒也會產生二氧化碳。
- 風力發電

風力發電不會造成空氣污染，但有可能會對發電裝置附近的鳥類，特別是猛禽類造成傷害。
- 太陽能發電

太陽能發電在發電過程中，亦不會造成空氣污染，但是在光電晶片的製造過程中會產生大量的有毒廢棄物。
- 核能發電

核能發電的熱能來自核分裂，因此不會有空氣污染的問題，可是核分裂的過程中會產生大量的放射性物質。

五、各種發電方法對人所造成的傷害

任何發電方法的建造與運轉過程中，從業人員都有可能受到傷害，以下之比較亦是以發電量為基準，也就是每產生 1 百萬瓦-年(87.6 億度電)所造成的傷害，傷害是以死亡以及受傷(或生病)所損失的工作天為基礎，這些估計是由 Roger Bezdek 於 1993 年所提出的。

發電方法	損失工作天	死亡
天然氣	2-8	1
核能	8-15	1-2
水力	60-70	2-6
太陽能發電(光電)	75-125	6-9
太陽能發電(熱)	50-90	8-9
風力	30-90	7-9
燃油	250-825	9-20
燃煤	800-1000	20-90

- 根據統計資料 1930 年時每億噸煤的開採要犧牲 346 名礦工的生命，到 1977 年時降低 19 名。煤礦的開採亦會使礦工罹患肺部疾病(Black Lung)。Wrenn (1979)估計 1 個 1000 百萬瓦的燃煤電廠使用的煤，會造成 2-4 名礦工的死亡，以及 2-8 個 Black-Lung 的病例。
- 天然氣雖然乾淨，但是在運輸與儲存的過程中也有可能發生意外。
- 民眾對核能最大的疑慮來自核電廠的安全，擔心一旦核電廠發生事故，大量放射性物質的外釋，會造成非常大的傷亡。到目前為止，核電廠最嚴重的事故為蘇聯車諾比爾事故，事故發生後有 31 人因輻射傷害死亡，145 個嚴重輻射傷害的病例。1989 年時，蘇聯一個民間團體宣稱：事故發生後被強制進入污染區工作的平民及軍人中有 256 人因輻射傷害而死亡，1990 年時認為有 300 人因輻射傷害而死亡。蘇聯車諾比爾事故發生後，大量的放射性物質隨風飄向歐洲大陸。但歐洲民眾所接受的劑量將不太可能高於每年所接受之背景輻射劑量。
- 台灣核電廠所使用的普通水反應器不可能發生類似車諾比爾的事故，普通水反應器發生類似三哩島事故之嚴重事故的機率非常低。到目前為止，使用普通水反應器的核能電廠尚未對一般民眾帶來可證明之輻射傷害。

六、結語

人類文明的發展與經濟成長需要以能源為動力；在使用能源時必須藉助機械裝置；能源使用的本身與機械裝置的建構均會對環境造成干擾，希望能透過資料的交換與分享，讓社會大眾對各種發電方法所需資源與必須付出的代價有進一步的了解。

七、參考資料

1. <http://www.gauss.com.tw/dyu/method.htm>
2. 以上資料由經濟能源委員會提供 原作者:李敏委員