

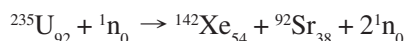
談核分裂發電之不合永續原則

劉廣定

讀到今(2008)年二月的《科學月刊》，喜悅莫名。蓋繼去年十二月中國化學會所出版《化學》第65卷第四期為「綠色化學」專輯，458期《科學月刊》也以「綠色化學—開啟地球永續的扉頁」為專題報導。筆者自六年前(2001年10月與次年1月)在本刊起始呼籲重視「永續化學」，終於得到迴響。雖然大家喜歡使用欠通的「綠色」，而不採納筆者倡議的「永續」。但「無論叫什麼名字，玫瑰永遠是美麗的花」，只要這一課題能獲得重視，其他只好將就了。

然而，專題中將核分裂方式核能發電，視為「綠色能源」，則值得商榷。案核分裂反應藉質能互變產生能量，並不造成空氣污染，也不製造溫室氣體，確是一「乾淨的」能源。唯核分裂的結果，將生成多種具有甚長半衰期的放射性產物，不宜於環境，實不合永續發展的相關原則。

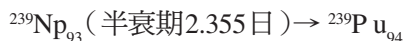
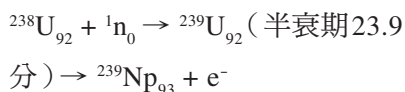
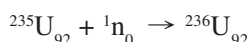
核反應器中的反應甚為複雜，即以傳統核能發電的原料鈾235而言，其核分裂反應方式也不只一種，常見的例子如：



.....〔註〕

平均每個反應產生2.46個中子($^1\text{n}_0$)，進行連鎖反應，釋放約200MeV的能量，是為核能發電動力之源。這些分裂反應產生的原子皆具放射性，繼續發生半衰期長短不一的各種衰變。如 $^{142}\text{Xe}_{54}$ 經四次短半衰期 β 衰變產生半衰期逾 10^{17} 年的 $^{142}\text{Ce}_{58}$ ，再經兩次 β 衰變，先產生半衰期19.12小時的 $^{142}\text{Pr}_{59}$ ，最後得到安定的 $^{142}\text{Nd}_{60}$ 。

再者，核反應器中的鈾235與鈾238也會與中子進行核蛻變反應。例如：



鈾236不發生核分裂反應，但鈾239卻是比鈾235更易發生核分裂，也是更好的發電原料。新世代的核能電廠即以鈾238製鈾239，用為發電動力之源。

無論用鈾235或鈾239於核能發電，核分裂反應都會產生兩個較小的原子。含量在1%以上的，質量數約可分為80~105和130~150兩組。其中多種乃發生 β 衰變，或 β 與 γ 衰變，是為放射性「核廢料」。半衰期超過10年的有 ^{85}Kr 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{151}Sm 、 ^{99}Tc 、 ^{93}Zr 、 ^{135}Cs 、 ^{129}I 等。

故知放射性「核廢料」將長存地球上，核電機組除役後也因已遭放射性污染而將成難以處理之「廢棄物」。違背了「永續化學十二原則」的(一)「事先防止產生廢棄物勝於事後清除」與(十)「化學產品必須於用完後可以分解成無毒害性物質，而不致永留世間」兩項，也與「永續十律」之(八)「必須盡可能少用及少製造危險、有毒與難分解的物質，且絕不可將之釋放到環境中。任何廢棄物必須轉變成無毒害後方可送往棄置場」不符。應非「永續」能源。

唯必須說明：利用核分裂能來發電不造成空氣污染，也不產生溫室氣體，消耗的鈾原料並無其他用途，實勝於消耗有許多其他用途的化石能源，且會造成空氣污染及產生溫室氣體的火力發電。故在續生性能源有效利用及「核融合」式核能發電尚未達成商業化前，暫用核分裂能發電，還是較佳之選擇。☺

註：50年前，筆者自陳英茂教授(1921~1993)所授「放射性元素化學」課中得此知識。走筆至此，念及師恩，謹以為記。

劉廣定：台大名譽教授