

3

# 向可更新能源躍遷



# 中

國的目標是要在 21 世紀中葉實現現代化。這意味著什麼？迄今為止，現代化的基本含意就是在物質的生產與消費上達到西方發達國家的水平。這些國家有一個基本的共同特徵，那就是消費大量的礦物能源（不可更新的石油、煤炭、天然氣等）。例如美國 1990 年人均消費 11 噸標煤，日本同年的水平為五噸，OECD 的平均水平為六噸標煤。<sup>①</sup> 如以美國的標準計算，到 21 世紀中葉，我國的能源年消費總量將達 165 億噸標煤（以 15 億人口計），這比 2000 年全球能源消費總量 130 億噸標煤還要多出近 27%；如以日本的標準計，我國 21 世紀中葉的年均能源消費總量亦將為 75 億噸標煤，相當於 130 億噸的 60%。

這將對全球氣候產生什麼影響？1995 年全球二氧化碳排放量為 60 億噸，<sup>②</sup> 以日本的標準計，到 21 世紀中葉，僅中國實現現代化這一項因素，就會使屆時全球二氧化碳排放量達到近一百億噸的水平，這會使溫室效應明顯增加。更重要的是，由於大量燃燒礦物燃料，從 20 世紀七、八十年代的氧氣消耗增長趨勢來分析，至 21 世紀 80 年代大氣圈中的氧氣含量將不再是 20% 左右（這一比例已保持了五千萬年以上），可能僅剩下 8%；這是地球早期尚未出現植物的水平，它意味著大城市和工業中心的缺氧狀況將

---

① 參見本書第 2 篇〈現代化需要多少能源？〉。

② 鄧英淘、王小強、崔鶴鳴：《西部大開發方略》，文匯出版社 2001 年。

變得特別尖銳。<sup>③</sup>

顯然，西方發達國家曾經走過的現代化之路，很難為中國所始終效法。中國這個世界上人口最多的發展中鉅國，似乎註定只能走上另外一條獨具自身特色的現代化之路，即發展方式的躍遷之路，這是一條從加強自然循環過程、而不是靠不斷破壞這一過程來發展人類自身的道路。

## 一、基礎循環與生產方式

實際上，生物的物质、能量循环（或流轉）是由保持相對平衡的功能單元所組成的系統，它把進入本系統的各種物質轉化為有機物和被機體排出體外的代謝產物。<sup>④</sup>

可用一個由生物圈的三種基本功能單元——生產性生物、消費性生物和還原性生物，組成一個簡化的循環系統；並分別用 A、B、C 來表示上述三種單元（為簡便起見，在下述分析中未涉及水、氮、磷、氧等基本循環）。

生產性生物代表植物界，它們在光合作用的過程中從大氣圈吸收二氧化碳，並釋放出氧氣；此外植物還需要從土壤的腐殖土中吸收各種有機物（R）。生產性生物的活動可表示為  $A: (R, CO_2) \rightarrow (O_2, W_A)$ ，變換式中  $W_A$  表示相應活動生成的植物物質。

消費性生物代表動物界，它們是異養生物，其生存需要消費植物物質和氧氣（忽略食草和食肉動物的差別），同時排出二氧化碳；其活動可表示為  $B: (O_2, W_A) \rightarrow$

---

③ 馬爾科夫：《社會生態學》，中國環境科學出版社 1989 年。

④ 本節的描述詳見馬爾科夫：《社會生態學》，中國環境科學出版社 1989 年。

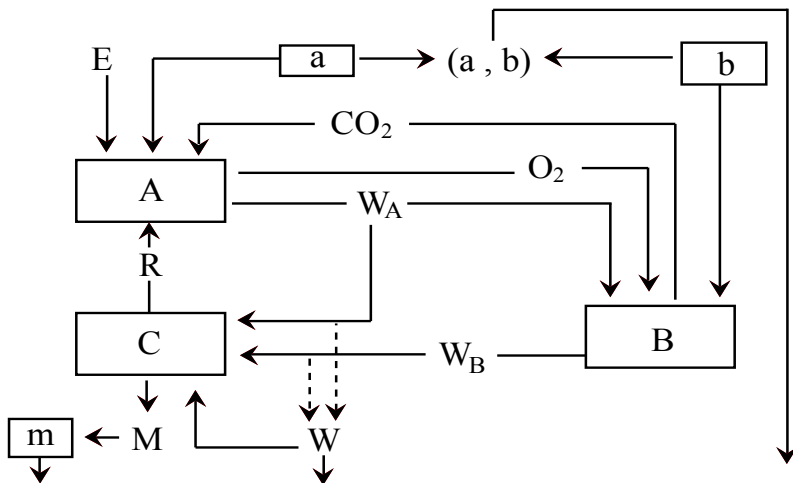
( $\text{CO}_2, W_B$ )，式中 $W_B$ 表示相應活動生成的動物物質。

最後，還原性生物（如細菌、真菌等）把死亡的動、植物轉化為腐殖層中的有機化合物以及有機礦物（ $M$ ），如煤、石油等，這一過程可表示為  $C: (W_A, W_B) \rightarrow (R, M)$ 。

由上述各式可知，除有機礦物  $M$  外， $A$ 、 $B$ 、 $C$  三個單元輸出端的生命活動產物，與其輸入端的產物完全相同。如把剩餘物  $M$  忽略不計，則作為由  $A$ 、 $B$ 、 $C$  這些功能單元組成的生物圈（ $\Sigma$ ）的活動，可由下述更簡化的「反應」式表示  $\Sigma: X \rightarrow X$ ，其中  $\Sigma = (A, B, C)$ ， $X = (R, \text{CO}_2, \text{O}_2, W_A, W_B)$ 。

另外，我們也可把生物圈本身  $\Sigma$  看為：一種把  $A$  式（生產性生物反應式）左側所隱含的太陽能轉換成有機礦物  $M$  的太陽能轉換器。如此，生物質、能的循環就可看為這種轉換的一種機制；而生物圈的功能作用在這裡可表示為  $E \rightarrow M$  反應式（ $E$  為太陽能）。

圖~1：生物質能循環流轉系統示意圖



整個循環系統越完善，特別是因不可逆過程的結果而退出循環的物質越少，地球上的生命進化條件也就越有利。有機物礦化過程（如煤、石油等礦物沉積過程）中所表現出來的自然循環失調率，僅佔百分之幾。以生物圈各種不同功能單元之間的交換過程為前提條件的物質和能量循環（或流轉），保證著生物圈的存在及完整性。由上所述，可把高度簡化的生物質能循環流轉系統表示如下。

在圖~1中，有關符號的含意及過程的機理，已在前文中描述過了，這裡不再多說。現在我們要用圖~1對以往人類社會的幾個基本發展階段作一概略說明。

在前農業社會裡，人類以採集和狩獵為生。其主要特徵是從  $W_A$  和  $W_B$  的年流量中取出一部分  $W$  供人類生存之用，如植物界可供食用的天然果實及一部分動物。只要  $W$  的年取出量不大於自然界中動、植物的年生長量，上述生物圈的質能循環與流轉就可以正常持續下去。這個條件在當時的人口狀況和消費水平下，是容易保證的，所以前農業社會持續的時間最長，要以萬年計之。

然而，由於人類這個特殊的生物種群的總量不受一般食物鏈關係的制約；再加上人不能直接吃草，故而在生物圈的年生物總量中只有很小一部分可供人類直接食用，因此，隨著人口的增長，前農業社會的生產和消費方式不得不發生變革。

在農業社會裡，原有的採集~狩獵附加循環（ $W$ ）已不再居於主導地位，取而代之的是人工種植的作物和人工養殖的牲畜，這是一個新的附加循環，即（ $a, b$ ）。雖然該循環的可直接食用部分的比例很高，但整個生物圈的年生物總量卻有所降低（如因過牧、濫墾）。儘管如此，它仍與原有生物圈的質、能循環方式相去不遠，因此，農業社會持續的時間也相當長久，要以千年計之。

隨著人口的增長和人均消費水平的提高，農業社會的生產和消費方式也不得不發生變革。這時候，工業社會登場了。在這個社會裡，原有的附加循環（W）和（a、b）全都退到了次要或無足輕重的地位；代之而起的是一個不具循環或流轉特徵的開環生產～消費系統（m）。它的基礎是在地質時間尺度裡積累下來的礦物和能源。對於人類而言，這些礦藏全是可耗竭的；儘管它們中的很大部分（m）仍是生物圈 E → M 反應式中的產物。簡言之，工業社會這個生產～消費系統（M）是靠消耗沒有或來不及補充的庫存物資或靠吃「本金」來過日子的。

工業變革對生物圈原有的質能循環影響很大，其中最重要的影響是它極大地降低了其年生物總量，這從森林面積的大幅度減少可見一斑。另外，從能量利用的角度來看，工業社會的生產～消費系統的能量效率是最低的；例如，在前農業社會和農業社會裡，用不到一卡的礦物卡路里能便可生產出一卡食物能；但在工業社會裡卻要為此投入十卡礦物能。這正是人們所說的「石油農業」和「石油社會」的形象數量表徵。在這樣一種能量收支極不平衡的狀態下，且人類種群總量又高達 60 億人以上，工業社會的壽命只能是前述三個社會中最短的一個，看來它的持續時間只能以百年計之。

舊的工業化之路是從減弱生物圈質能循環中獲「利」，是少數人發達和現代化之路，對於大多數人來說，這是一條死路。新的發展之路則要從加強生物圈質能循環中獲利，即要把舊技術體系下形成的生態和生產、生活三個子系統的競爭關係扭轉過來，通過更新重整技術體系，使上述三個子系統變成互補的良性耦合擴展的循環體系。即要在上述圖中的 E（水能和風能都可看為太陽能 E 的間接形態）上做文章。在下文中，我們將針對能源供給方面進行討論。

## 二、可更新能源的潛力

〈現代化需要多少能源？〉，對 21 世紀中葉我國實現高度現代化時的能源消費做出如下描述：以 16 億人口和人均消費四噸標煤計，則屆時全國年能源消費總量為 64 億噸標煤；其中：可更新能源約合 37 億噸標煤，所佔比例為 57.8%，不可更新能源約合 27 億噸標煤，所佔比例為 42.2%。現在要進一步提出的問題是：如展望到 21 世紀末，能否在 64 億噸標煤中，繼續擴大可更新能源的使用比例，例如使其達到 80% 以上的比例。下面將對此略做分析。

**風能。**根據〈現代化需要多少能源？〉的分析，到 2050 年，我國風電裝機四億千瓦，年利用三千小時，屆時風電總量 1.2 萬億度，約合標煤 3.8 億噸。

到目前為止，風電技術有幾項突出進展。其一，無磨擦風力渦輪機。「磁浮」風力渦輪機運用先進的鐵路所採用的技術代替了滾珠軸承，從而製成了無磨擦渦輪機，這可借助低至每秒 1.5 米的風力來發電。<sup>⑤</sup>

其二，漂浮海上風車。2006 年 9 月，麻省理工大學和美國國家可再生能源實驗室研究人員最新設計出一種新型的風力渦輪機，它可固定在離海較遠處的漂浮平臺上，既可以更大的滿足我們的能源需求，又節省了發電的費用。這種新發明的渦輪機是固定在漂浮的海上平臺的，平臺的四角用長的鋼纜繫在海底的混凝土石柱上或其他類似的停泊索具上，這種平臺要比固定塔樓的成本低得多。根據離岸越遠風力越大的原理，這種可在水深 100~650 英尺地方

---

⑤ 〈太陽能燈泡一百瓦照亮全村〉，《新華每日電訊》2006 年 10 月 19 日。



工作的浮動型風力渦輪機的發電能力可達五兆瓦，而普通的陸上風力渦輪機只有 1.5 兆瓦，傳統的離岸風力渦輪機也只能達到 3.5 兆瓦。根據計算，即使颶風來臨，平臺的移動幅度也在 3~6 英尺的範圍內。這種浮動型平臺的製造和安裝費用僅是目前離岸塔樓式風車所需費用的三分之一；它還有另外一個好處：使用浮動平臺就可將風車移動到各個地方。<sup>⑥</sup>

其三，風箏發電機。其工作原理很簡單：風箏在風力作用下，帶動固定在地面的旋轉木馬式的轉盤，轉盤在磁場中旋轉而產生電能。對每個風箏而言，轉盤都會放開一對高阻電纜，控制方向和角度；其形式類似風箏牽引沖浪的類型——重量輕、抵抗力超強，可昇至兩千米的高度。據估計，其每一千度電的成本只有 1.5 歐元；這種旋轉木馬發動機的其他組件加起來的成本也只有 36 萬歐元，而且只需要有限的空間，即便直徑只有一百米（佔地約 47 畝），風箏發電機也可產生 50 萬千瓦的發電能力。<sup>⑦</sup>

根據這些進展，展望至 21 世紀末，可設我國風電裝機達到六億千瓦，年利用四千小時，屆時風電總量將達 2.4 萬億度，約合 7.6 億噸標煤，比 2050 年多生產 3.8 億噸標煤的能量。

**生物質能。**〈現代化需要多少能源？〉提出到 2050 年，我國每年可生產出約 40 億噸的生物質能（未包括穀物和糧食等）。展望至 21 世紀末，通過跨區域配置水資源等戰略措施，可以在北方近 40 億畝乾草原開闢約十億畝左右的高產飼草料地，多生產出約十億噸乾物質。在約六億畝

---

⑥ 〈美研究人員設計漂浮海上風車可產更多電力〉，搜狐網 IT 頻道，2006 年 9 月 19 日。

⑦ 〈意科學家開發風箏發電機〉，《現代快報》2006 年 10 月 12 日。

海塗（1.8 萬公里×12 海里）的範圍裡，利用工程微藻技術，可生產出約三億噸碳氫化合物（乾物質）。

由此可知，至 21 世紀末，我國生物質能的年生產總量可達 53 億噸（如包括 6~7 億噸的穀物和糧食，則其總量可達 60 億噸）。這比 2050 年的水平多出約 13 億噸，折標煤 8.6 億噸。

**太陽能。**〈現代化需要多少能源？〉未對此項進行估計，然若展望至百年這一尺度，則太陽能對不可更新能源的替代潛力極大。下面僅舉兩種已經實現的範例。

其一，太陽能聚熱發電（簡稱 CSP）。CSP 的原理是利用鏡子將太陽能聚焦到一個裝有某些氣體或液體的管道或容器上，將氣體或液體加熱到攝氏四百度（ $^{\circ}\text{C}$ ），然後帶動傳統的汽輪機發電。2006 年 11 月，兩位德國科學家在提交給德國政府的科學報告中指出，利用聚光鏡覆蓋在地球沙漠地帶 0.5% 的面積上，就能滿足全球的電力需要，而且能同時給沙漠地區提供豐富的淡化水；鉅大的鏡面造成的陰影區可以用來搞園藝，灌溉用水是發電站產生的冷卻淡化脫鹽水。這些冷水還可用於空氣調節，這意味著，建一個沙漠太陽能電場和農場，不僅能提供電力，還能提供淡水和空調。這種形式的太陽能利用還有一個別種形式的太陽能所無法比擬的優勢，即太陽能所燒熱的水可以儲存在鉅大的容器中，在太陽落山後幾個小時仍能帶動汽輪機發電。據估算 CSP 每覆蓋一平方公里每年可以產出相當於 150 萬桶石油（即 20 萬噸石油）的能量；按目前的技術，建一個這樣的發電站，其成本相當於每桶 50 美元的石油價格。但當鉅型鏡子的生產能夠達到工業化程度時，成本可能降到相當於每桶 20 美元的石油價格。單從發電方面說，目前太陽聚熱發電還無法跟天然氣競爭，但加上淡化水以及空調的功能，CSP 比天然氣要便宜，而如果再加上減排

二氧化碳的功能，那麼它絕對跟天然氣有得一比。<sup>⑧</sup>

其二，使用太陽能源的住宅。斯崔斯基的住宅面積約三百平米，絕熱性能極佳，他的住宅外觀與普通住宅相差無幾，但住宅用電全靠附近約一百平米的太陽能電池板供給。他有時還利用家中電解裝置從水中分解氫氣，存入氣罐，以便為氫燃料電池充電，並驅動同樣環保的氫燃料電池汽車。在夏季，太陽能電池板能為他提供比家庭用電多60%的電力，這時，他會把餘電以氫氣或氫燃料電池的形式儲存下來，留待冬季太陽能供給不足時使用。<sup>⑨</sup>

在上述兩例中，前者是集中利用太陽能，而後者是分散利用太陽能。這裡僅對前者做點推廣：在我國西北部的沙漠地帶，光能資源極為富集，僅須在適當地點開闢出一萬平方公里的太陽能電場，就可每年得到20億噸石油當量的可更新能源，折標煤近29億噸。另外，發達國家在21世紀前半期，電力需求佔總能量需求的比例（電氣化率）將達到50~60%，而民用電量將達到總用電量的60%左右，<sup>⑩</sup>讀者可由此對分散利用太陽能的潛力做出估計。

綜上所述，至21世紀末，風力、生物質能和太陽能三項總計，可比2050年多提供約41.4億噸標煤當量的可更新能源。〈現代化需要多少能源？〉提出，到2050年，我國能源消費總量為64億噸標煤，其中不可更新能源的消費量為27億噸標煤，佔64億噸的42.2%（其中：核電提供3.2億噸標煤當量的能源，石油和天然氣提供11.4億噸標煤當量的能源，煤炭提供12.4億噸標煤當量的能源）。

⑧ 〈太陽能聚熱發電，德國鏡子照沙漠，電力供全球〉，《廣州日報》2006年11月28日。

⑨ 〈霍普韋爾工程——太陽能打造免電費之家〉，新華網，2007年1月19日。

⑩ 福田務、相原良典：《電力技術》，科學出版社2000年。

將 41.4 億噸標煤與 27 億噸標煤兩相比較，易見至 21 世紀末，我國的能源供給完全可以建基於可更新能源之上，且在技術上不存在顛覆性的障礙。這就是本文的結論。

### 三、小結

到 21 世紀中葉前後，我國人口將達到峰值水平 15~16 億，屆時我國將全面實現現代化，如以 16 億人口和人均能源消費五噸標煤來計算，則其時能源總量將達 80 億噸標煤，如以 15 億人口計算，則其值將為 75 億噸。根據〈現代化需要多少能源？〉和這裡的進一步分析，在 2050 年，我國可更新能源的供應總量近 37 億噸標煤，其中水電為五億噸標煤，風電為 3.8 億噸標煤，生物質能為 28 億噸標煤；至 2100 年，我國可更新能源的供應總量將達 78 億噸標煤，其中水電仍為五億噸標煤，風電增至 7.6 億噸，生物質能增至 36.6 億噸標煤，太陽能為 29 億噸標煤。

這就是說，即使按照中限標準（16 億人口、人均能源消費五噸標煤），用可更新能源來保障我國全面實現現代化，不存在實質性的障礙。因此，用行政的辦法限制能源的使用並不可取，取而代之的應是在逐步增加人均用能水平的過程中，不斷提高能源的使用效率和可更新能源利用的水平。

2007 年 3 月 5 日