

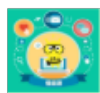
關於

TIMES能源工程模型，你想知道的 **大** 小事

■ ■ 臺灣TIMES能源工程模型介紹 ■ ■

2018 年 5 月

工研院 TIMES 模型團隊



懂能源Blog 同步上映

Q1 : TIMES 模型是什麼？

TIMES 模型是國際能源總署(International Energy Agency, IEA)的能源技術系統分析計畫(Energy Technology Systems Analysis Programme, ETSAP)所開發的能源工程模型，其前身是 MARKAL 模型。目前全世界目前有超過 60 個國家、約 234 個機構在使用 TIMES 模型，適合應用在國家中長期的能源供需規劃中，例如國家自主減碳貢獻；英國也將 UK TIMES 模型應用在碳預算的制定上。

工研院綠能所於 1993 年引進 MARKAL 模型，建置臺灣本土版本。2010 年轉版為臺灣 TIMES 模型，透過更細緻化與彈性的模型操作功能，協助我國多項重大能源政策決策評估，近期的重要評估包括溫管法階段管制目標的燃料燃燒 CO₂ 排放路徑、我國減煤路徑等。

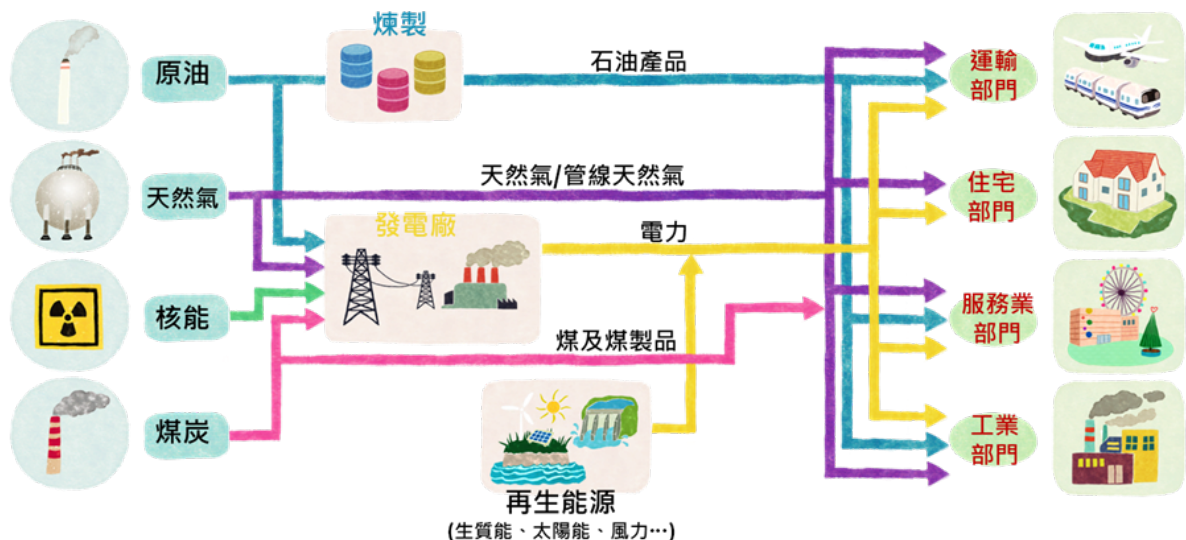


圖：應用 MARKAL 與 TIMES 模型之國際機構

資料來源：原始圖檔來自 ETSAP 網站，工研院 TIMES 模型團隊重製。

Q2 : TIMES 模型怎麼反映實際能源供需的狀況？

在真實世界中，能源開採並冶煉處理後的能源產品，會提供能源設備使用，產生能源服務，滿足人類生活所需，例如原油經過提煉產生汽油，汽油可供車輛使用，以滿足人類運輸的需求。而人類生活所需的能源服務需求依型態的不同，可以分成運輸、住宅、服務業與工業等需求部門。下圖示意從初級能源經過處理產生能源產品，而後進入各需求部門產生能源服務需求的流程圖。



圖：真實世界的能源流示意圖

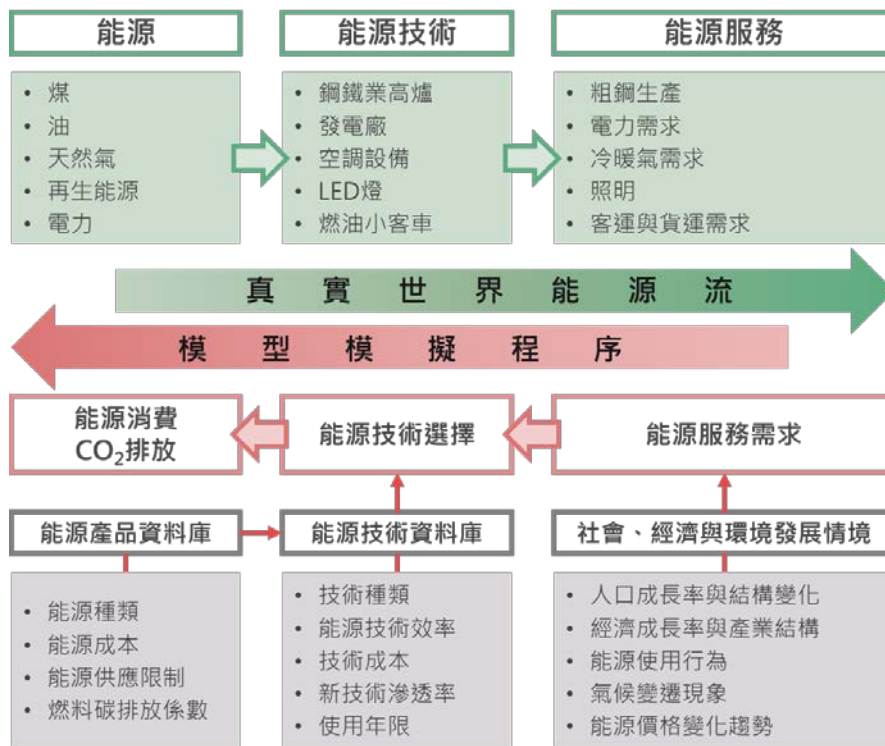
資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

而模型的運算原則構築在**能源供需平衡**上，去評估要滿足這麼多的各類能源服務需求，需要多少的各類能源，而服務需求到能源投入之間的轉換，則是由大量堆疊的能源技術串接而成。因此模型求解的模擬程序，可以反過來從能源服務需求出發，到估算出滿足能源服務需求所需的能源供應來解釋。

由上述可知，TIMES 模型求解的**驅動力**即是各類**能源服務需求的量**。各類的能源服務需求是外生給定的(即輸入模型的前提條件，也可以說是自變數)，通常會依據未來**經濟**(如各行業經濟成長率、產業結構等)、**社會**(如人口數量與結構變化、家庭戶數變化等)、**環境**(如氣溫)等發展或變化趨勢，推估各類型的能源服務需求未來趨勢。

而模型中建置的**能源技術資料庫**，可以計算滿足各類服務需求所需的能源數量，這些能源技術包括如工業的鋼鐵業高爐、運輸的小客車、住宅與服務業的空調設備等，此外也包括原油煉製技術和發電技術等更源頭的技術。透過各類型新舊技術效率、成本、使用年限等參數資料，可以估算要滿足給定的能源服務需求，在最小成本的前提下，所需要的**技術組合**以及**各類能源投入量**，以及相應的**碳排放**等資訊。

總和來說，TIMES 模型是以龐大且複雜的**能源技術**由下而上堆疊而成的**線性規劃模型**，以**能源服務需求**(外生變數)為驅動力，考慮能源系統發展情境，在**能源系統成本最小化**目標下，符合**能源供需平衡**、**環境與資源限制**下規劃求解。



圖：真實世界能源流與模型模擬程序關聯說明

資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

Q3：能源技術資料庫聽起來好複雜，它到底是什麼？

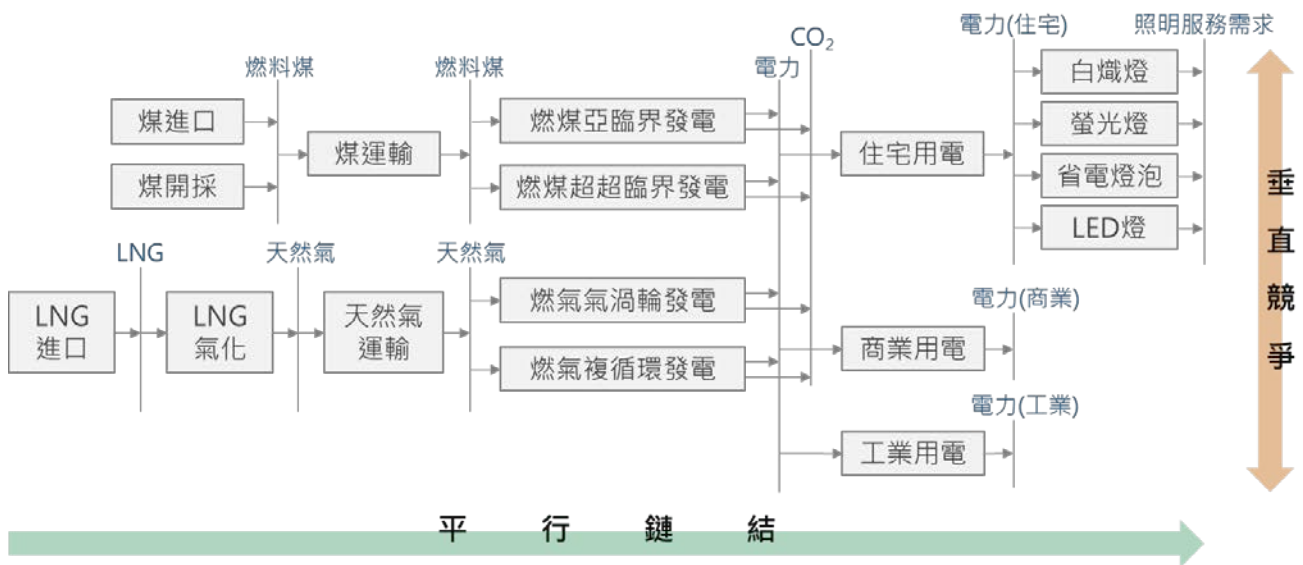
能源技術資料庫可以從能源技術間的「架構」和各技術的「參數」來解釋。

能源技術之間的關聯可以分為**平行鏈結**和**垂直競爭**兩種(如圖)。平行鏈結如燃料能源的進口、處理技術、發電技術、到各種需求部門的技術，將**初級能源一路轉換為最終的能源服務需求**；垂直競爭則指有相同產出的技術間具有競爭及替代性，例如同樣可以產出電力的燃煤與燃氣發電技術，或是同樣可以產生照明服務的白熾燈與 LED 燈等。利用這樣的定義，考量我國能源系統的實際情形，可以一步一步構築出我國本土化的能源技術資料庫架構。

有了架構後，要逐一填入各項技術參數，以描述各種技術與產品之間的**量化關係**。在 TIMES 模型中，依評估功能的不同，可設定的參數達上百個，而重要的技術參數包括**技術效率、成本、市場滲透率、可利用率、可使用年限**等等。透過各種**統計、調查、研究資料**，我們可以建構本土化技術參數，做為模型運算求解的依據。而各項技術參數還可透過上下限等數據的設定，使模型的評估更能反映真實世界的情形，例如設定我國逐年天然氣供應能力的上限、新能源技術導入市場的滲透率上限、或是發電機組利用率的上下限等。

由上可知，能源技術資料庫是 TIMES 模型運算求解的基礎，所以**能源技術資料架構與參數**的設定、維護與更新，對模型評估結果的合理性及正確性非常重

要。



圖：TIMES 模型技術間關聯說明範例

資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

Q4：如何確保 TIMES 模型評估結果的合理性與正確性？

臺灣 TIMES 能源工程模型開發至今，已經發展出一套完整且嚴謹的資料庫維護更新標準作業程序，包含**實績年校準**、**能源服務需求推估**、**最新政策情境設定**、以及**六大部門技術資料庫更新與維護**，各項維護更新工作的執行頻率、相關參數與主要參考資料來源詳列於下圖中。

絕大部分的參數更新工作，都是每年滾動式進行；而六大技術資料庫更新與維護工作，因資料架構與參數龐雜，以每年 1~2 個部門的方式輪替進行。透過定期的標準化作業程序，確保模型資料內涵的合理性與正確性。

六大部門技術資料庫的架構與技術參數的維護更新，是每年的重要工作。模型團隊每年會針對輪替到的部門，全面檢視相關**技術與政策的國內外最新發展**，視情況做資料庫架構的調整。例如今年度因應電動車的**發展趨勢**，我們預計在運輸部門中將**電動車儲能技術項目**逐步建立起來。而後，會全面檢視該部門國內外相關技術資料，以**國內可得資料為主**(如技術報告、市場資料、調查與統計報告等)，**國外資料為輔**(如未來技術發展曲線)，進行技術參數的更新調整，確保模型資料可反映實際技術發展情形。

而因為六大部門技術資料庫的參數更新牽涉到**未來技術發展趨勢**，每年模型團隊會邀請該部門**學研、產業界專家**，就當年度全面更新維護的部門，針對其技術資料庫架構與參數來**檢核與討論**。透過不同領域專家對未來技術發展的看法，以及各專家所提供其專精技術的重要發展資訊，不只幫助模型團隊檢視參數的正

確性，更可以透過模型團隊呈現的情境案例分析，確認模型評估結果的合理性。模型團隊也藉由每年在國際能源研討會發表最新模型發展與評估成果，接受各國專家的檢視，並持續與國際模型社群同步。

| | 更新頻率與時間 | 更新參數 | 主要參考來源 |
|---|------------------------|---|---|
| 一、實績年校準 | 每年 3月~4月 | 實績年 1. 能源服務需求(COM_PROJ) 2. 技術效率(FLO_FUNC) 3. 能源投入配比(FLO_SHARE) 4. 活動量、裝置量(ACT, CAP) 5. 可用率 (AF) 6. 市場存量(電力部門·PRC_RESID) | 1. 產業生產統計 2. 工會年鑑 3. 能源查核資料庫 4. 人口、戶數、平均住宅面積、戶量 5. GDP、三級產業結構 6. 運輸統計 7. 能源平衡表 |
| 二、能源服務需求 | 每年 6月~8月 | 實績年至2030年或2050年 1. 能源服務需求(COM_PROJ) | 1. GDP、三級產業結構 2. 細產業GDP預測 3. 政策環評 4. 人口推計、戶數預測 5. 觀光人次、老人安養人口等 |
| 三、政策情境 (電源開發方案、天然氣供氣上限、再生能源發展目標、汽電共生) | 每年 6月~9月 | 實績年至2030年或2050年 1. 新增裝置量(NCAP) 2. 電廠汰換(PRC_RESID) 3. 再生能源裝置量與發電量(ACT,CAP) 4. 供氣上限 (IMPLNG ACT_BND) 5. 汽電共生裝置量與發電量(ACT,CAP) 6. 容量因素上限(AF) | 1. 台電電源開發方案 2. 油氣組天然氣接收站營運量規劃 3. 能技組再生能源發展規劃 4. 電力組汽電共生策略 |
| 四、六大技術資料庫更新與維護 (資源技術、處理技術、轉換技術、工業技術、住服技術、運輸技術) | 每四至五年 輪替一次 5月~9月 | 實績年至2030年或2050年 1. 能源服務需求項目與推估流程檢討(COM_PROJ) 2. 未來技術效率趨勢(FLO_FUNC) 3. 能源投入配比(FLO_SHARE) 4. 設備投資成本與運維成本(NCAP_COST, NCAP_FOM) 5. 可用率 (NCAP_AF) 6. 市場滲透率(FLO_MRKPRK) 7. 設備年限 (NCAP_TLIFE) | 1. 國際技術發展報告 2. 國內調查與統計報告 3. 國內相關計畫交流與研究報告 4. 國內專家諮詢 5. 工研院各技術組諮詢 6. 能源查核資料庫、強制性能效分級標示產品登錄管理資料庫 7. 實體賣場與網路售價 |

圖：臺灣 TIMES 模型技術資料庫定期維護更新標準化程序

資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

Q5：TIMES 模型可以回答哪些能源發展上的問題？

TIMES 模型可以回答的問題主要可分為以下三種：

1. **分析能源政策的影響(what-if)**：透過限制條件或參數的設定，探討政策施行與否情境間的差異，了解相關政策對能源供需的影響。例如我國天然氣供應能力擴充，或禁燒生煤政策等，對未來電力結構、CO₂ 排放量的影響。
2. **分析如何達成政策目標(how-to)**：透過產出(如二氧化碳排放量、機組發電量等)的限制式設定，探討達成特定政策目標的最小成本路徑，例如如何達成我國二氧化碳減量目標、再生能源發展目標等。
3. **分析新興能源技術之應用潛力**：了解未來發展情境下，各項新技術的需求與市場潛力。如再生能源、替代能源技術、碳捕獲與封存技術等。

Q6：臺灣 TIMES 模型的評估結果到底準不準？

TIMES 模型是一個**情境模擬**的工具，不是未來預測的工具，也就是在**給定的情境條件**下，評估未來的能源供需情形，或達成特定能源目標的能源發展路徑。因此模型評估結果是否與未來趨勢相符合，絕大部分是取決於給定的情境條件與未來實際發展情形的差異大小。

TIMES 模型運算求解的驅動力是外生給定的各類**能源服務需求**，這些能源服務需求未來走勢會是如何，需要靠我國各權責單位或研究機關的**預測結果**，例如國發會的人口數推估、研究單位的 GDP 與產業結構預測，或一些重要因子的歷史成長趨勢，如家庭戶數、樓板面積等，都是用來推估未來能源服務需求的重要考量因素。除了能源服務需求的推估之外，其他重要的技術項目與參數設定，例如未來能源進口量及價格變化、各類發電機組開發情形、重要政策推動時程等。上述這些考量因子，都會隨著經濟、社會、政策、技術等發展情勢變動，而影響我國能源系統的發展情形。

因此，TIMES 模型無法預測未來的能源發展走向，但透過嚴謹的資料庫定期維護更新與檢核工作，TIMES 模型可以應用於未來可能發展之情境模擬，提供各情境條件下的**能源供需發展趨勢量化資訊**，作為能源決策或能源開發討論的參考。

**TIMES模型是規劃模型
不是預測模型喔!!**



Q7：TIMES 模型的評估能力只有在能源面，那該怎麼在評估程序中同時考慮或探討對經濟、環境等其他面向的影響？

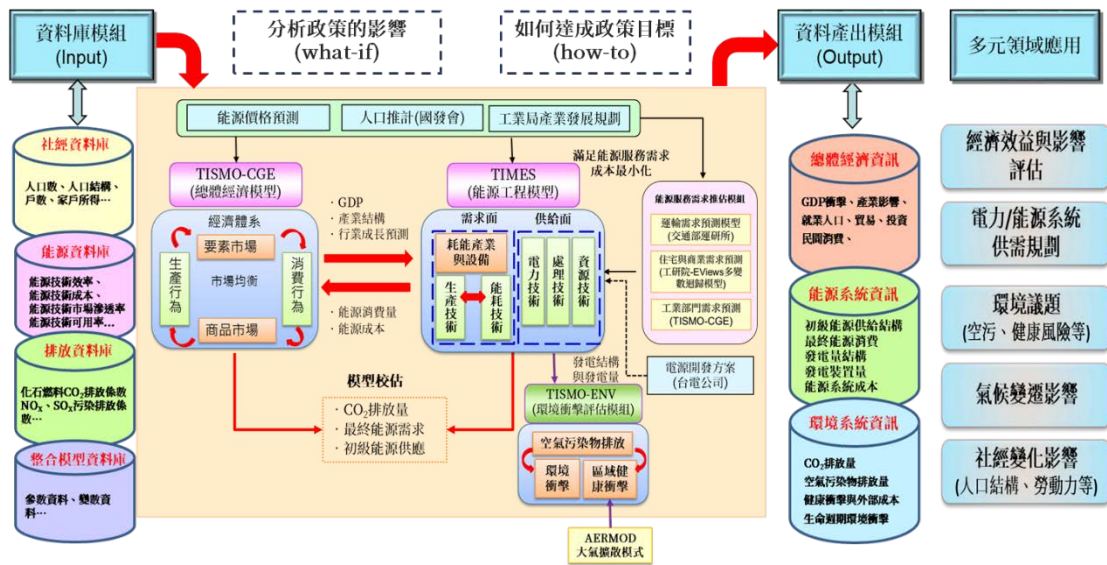
能源、經濟與環境的發展密不可分，各面向彼此間的交互影響也是在能源政策制定過程中需要考量的因素。國際間常常利用模型整合的方式，將經濟、環境的影響與限制納入能源供需評估的考量中。模型整合的作法主要可以分成兩種：**硬連結(hard link)**和**軟連結(soft link)**。

硬連結的意思是各個模型或模組會整合在**同一個求解程序**中。以 TIMES 模型為例，IEA 開發了 TIMES-MACRO 模組，將 TIMES 模型與 MACRO 經濟成長

模型整合成一個非線性模型，讓模型自動遞迴收斂，探討總體經濟與能源供需規劃的交互影響。由於硬連結使模型規模擴大，求解的難度與時間會增加，所以通常只能整合較簡化或單純的模型。

軟連結則是更廣泛被使用的整合方式。軟連結指的是由模型 A 的產出結果，作為模型 B 投入的外生變數，模型 B 求解後再回饋給模型 A，如此反覆收斂到模型間取得平衡。國際間常使用軟連結方式，結合由下而上的能源模型與由上而下的總體經濟模型，甚至整合空污擴散與氣候模型，探討能源、經濟、環境、氣候變遷政策與議題間之交互影響。軟連結方法可讓各複雜模型充分發揮評估功能，但模型整合數量越多時，其收斂程序也會更複雜。

為了更全面探討能源政策與經濟、環境各向之交互影響，工研院 TIMES 模型團隊所持續開發之能源、經濟、環境整合 TISMO 模型(Taiwan Integrated Sustainability MOdel)。以臺灣 TIMES 模型為核心，建置 TISMO-CGE 總體經濟模型與 TISMO-ENV 環境衝擊評估模組，透過軟連結方式持續擴充 TIMES 模型整合評估功能，並提供多面向評估資訊以供決策參考。



圖：TISMO 整合模型架構

資料來源：工研院 TIMES 模型團隊