



攝影：周裕豐

# 臺灣 TIMES 能源工程模型指引

2017 年 5 月

郭瑾璋、周裕豐、溫珮伶、李孟穎、徐昕煒

工研院 綠能與環境研究所

# 臺灣 TIMES 能源工程模型指引

2017 年 5 月

## 1 簡介

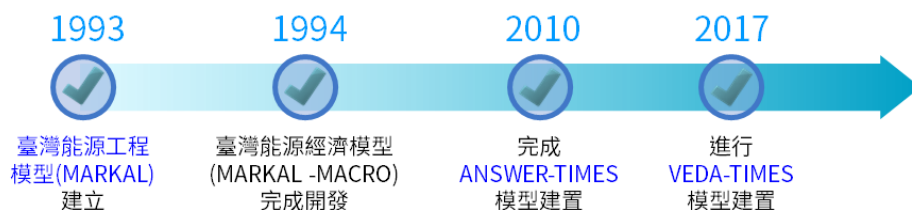
「臺灣 TIMES 能源工程模型」(後簡稱「臺灣 TIMES 模型」)是以能源技術為基礎的能源工程模型，其具備豐富能源技術資料，將複雜的能源系統以線性規劃模式 (linear programming) 展現。模型的核心是以能源服務需求(外生變數)為驅動力，以最低成本規劃滿足該能源服務需求下之能源供需系統。

臺灣 TIMES 模型為由下而上 (bottom-up) 的能源模型，最重要的組成元素為模型的技術資料庫。臺灣 TIMES 模型結合工研院內部「跨所、跨組」技術研究團隊與集合外部專家學者群檢覈機制，建立與維護臺灣 TIMES 模型之技術資料庫 (technology-rich database) 的研究能量，得以精確描述臺灣能源系統。

本研究機構在經濟部能源局經費支援下，建置與更新「臺灣 TIMES 模型」，多次於國家層級會議期間，考量我國能源政策目標與環境限制，就多元能源情境進行模擬，以作為政府部門的政策規劃及會議討論基礎。

## 2 臺灣 TIMES 模型緣起與發展

因應第一次能源危機，IEA 於 1976 年成立了多國共同合作的能源技術系統分析研究計劃 (Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP)，此計劃主要目的在建立各會員國之能源系統分析能力，並成功開發 MARKAL 模型 (MARKetALlocation)。



資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

圖 1、臺灣 TIMES 模型演進

## 重點摘錄

臺灣 TIMES 模型為一由下而上 (bottom-up) 的能源工程模型，藉由數理模型及情境分析程序進行我國能源供需規劃。歷年重要政策支援實績包括能源開發政策、用電零成長與我國 INDC 等。

工業技術研究院綠能與環境研究所」(以下簡稱「本所」)於 1993 年 7 月至 1995 年 6 月，承「經濟部能源局(當時為能源委員會)」委託執行「抑制二氧化碳排放之能源策略研究」，開發完成國家層級之能源工程模型「臺灣 MARKAL 模型」和能源經濟耦合模型「臺灣 MARKAL-MACRO 模型」。臺灣 MARKAL 能源工程模型自建置完成後，於國內多次全國性重要會議提供相關資訊，如歷屆全國能源會議、非核家園會議等等，分析我國未來能源供需結構與二氧化碳排放趨勢，作為政府部門的統一資訊及會議討論基礎。但因能源系統規劃具複雜性，除須掌握國際間最新發展趨勢，亦須透過數理模型之應用，才可提供具邏輯性且量化的評估，供決策單位參考。

只是，隨著時間的演進，現實世界所需模擬的議題日趨複雜，MARKAL 模型既有功能尚有些考量不周全之處，因此 ESTAP 於 ANNEX VI (1996-1998) 期間開始發展 TIMES 模型，於 ANNEX VII (1999-2001) 期間完成此模型之驗證與應用。TIMES 模型是 The Integrated MARKAL-EFOM System 的縮寫，該模型為 MARKAL (MARKetALlocation) 與 EFOM (Energy Flow Optimization Model) 兩模型之結合體，其中 EFOM 亦為能源工程模型，主要用於歐洲各國。



圖片來源：IEA-ETSAP, <https://iea-etsap.org/>

說明：IEA-ETSAP 所發展之 MARKAL/TIMES 模型，目前超過 60 個國家、約 234 個機構應用。

圖 2、MARKAL/TIMES 模型應用國家及機構

TIMES 保留 MARKAL 工程模型優點，改善 MARKAL 模型以 5 年為一期的模擬期間不能符合短期能源策略分析的需求，又新增了各種功能 (如：time-slice function)，由於加強反應實際應用之需要，目前亦被 MARKAL 模型使用者廣泛採用。我國為增強臺灣 MARKAL 能源工程模型之短期能源政策分析能力，提昇我國能源供需展望分析內涵，配合未來長期技術研發規劃，並展現能源政策效果，工研院在經濟部能源局支持下，以臺灣 MARKAL 能源工程模型應用經驗為基礎，2010 年成功將「臺灣 MARKAL 模型」資料庫轉版為「臺灣 TIMES 模型」，並於 2012 年後正式作為能源政策之評估工具。

| 時間   | 1998年                     | 2005年                           | 2006年                           | 2008年                         | 2009-2011年                              | 2012年                         | 2013-2014年      | 2015年                                | 2016~2017年              |
|------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 重要成果 | 全國能源會議                    | 全國能源會議                          | 全國永續發展會議                        | 全能會討論議題規劃                     | 能源發展綱領政策環境影響                            | 能源開發政策需求面規劃                   | 核四議題用電零成長       | INDC 能源開發政策                          | 階段管制目標減碳路徑評估            |
| 背景   | 為因應1997年京都議定書生效後，可能對我國衝擊。 | 行政院要求檢討87年全國能源會議達成情形，並重擬新的策略方案。 | 在無法達成GHG減量目標共識下，由環保署召開全國永續發展會議。 | 每3年召開一次能源會議，先針對各項可能之討論議題進行模擬。 | 我國用能能源政策規劃及全國能源會議後，繼續推動及能源發展綱領政策環境影響評估。 | 依新能源發展願景以及能源發展綱領之綱要，研擬能源開發政策。 | 因應核四爭議進行相關情境分析。 | 1.配合我國INDC目標訂定工作<br>2.依能源發展綱領進行供給面規劃 | 因應溫室氣體減量及管理法階段管制目標訂定之需求 |

資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

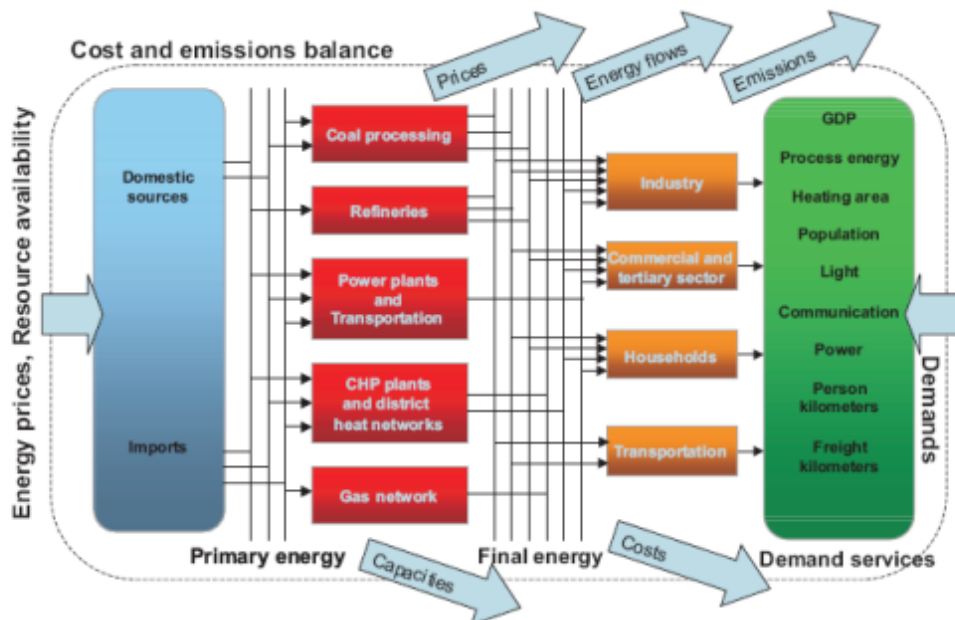
說明：2011 年以前以臺灣 MARKAL 模型為評估工具，2012 年以後則由臺灣 TIMES 模型進行政策評估。

圖 3、臺灣 MARKAL/TIMES 模型歷年政策支援實績

### 3 能源系統

#### 3.1 能源系統概念

TIMES 模型是以豐富的能源技術資料庫來描述一國或一區的能源系統 (Reference Energy System, RES)，而整體資料庫是以製程 (Processes)、能源商品 (Commodities) 以及能源商品流 (Commodities Flow) 三者之間的網絡關係來建構出能源系統的基本架構。其中製程 (Processes) 表示實質的設施 (Physical Devices)，其將能源商品從某種型態轉變為另一種型態。另外，製程所使用或是生產的能源商品 (Commodities) 可以為能源載體 (Energy Carriers)、能源所提供之服務 (Energy Services)、物質 (Materials)、排放物 (Emissions) 以及金錢 (Money)。TIMES 模型資料庫架構主要由製程 (Processes) 與能源商品 (Commodities) 構建而成。



資料來源：IEA-ETSAP, <https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times>

圖 4、TIMES 模型能源系統 RES 示意圖

## 3.2 臺灣 TIMES 模型能源系統

### 3.2.1 製程

TIMES 模型係將製程區分為三大類：標準製程、區域間交易製程及儲存製程。標準製程之所以被稱為標準製程是因為可以代表絕大多數的能源技術，如電廠、汽電共生廠、鍋爐、與開採煤炭製程等。

#### 3.2.1.1 一般能源製程 (Energy, PRE)

一般能源製程主要包括能源處理技術 (Refinery, REF)、再生能源產製技術 (RENEW)、能源自產技術 (XTRACT)。其中處理技術係與將一種能源型態處理成為另一種能源型態(不含電與暖氣)的技術，如煉油技術。在 TIMES 模型資料庫裡，處理技術參數資料包括投入能源的種類與產出能源的種類與比例、煉製設備投資成本與運維成本等。有些處理技術產出的能源比率並非固定的，如煉油廠常視實際需求調整產出各油品的比率，這種處理技術可設定各產出能源分別的上限與所有產出能源總和的上限，而 TIMES 模型會求解出使能源系統總成本最低的各種能源應產出量。

#### 3.2.1.2 發電技術製程 (Electric Generation, ELE)

發電技術製程為將一種能源型態轉變為電力的技術，如：火力發電技術與再生能源發電技術；此外，儲能技術中的若屬於可供電的技術亦可同時歸類於發電技術。TIMES 模型資料庫中，發電技術資料庫所需參數包括產生一度電所需之能源種類、可用率、機組發電效率、淨尖峰能力因子、廠用電比例與機組投資成本與運維成本等。

#### 3.2.1.3 需求技術 (Demand Devices, DMD)

需求技術是使用能源來滿足能源服務需求的技術，如鍋爐、冷氣機、小客車等。所有需求技術所成的集合以「DMD」代表。臺灣 TIMES 模型需求技術資料庫依部門別可分為**工業部門**、**住宅與服務業部門**、**運輸部門**、**農業部門**，而各部門需求技術名稱均以第一個字母來代表其滿足的需求項目，如工業部門需求技術項目中之第一個母以「I」代表、住宅與服務業部門需求技術第一個字母以「R」代表，運輸部門需求技術項目中之第一個母以「T」代表。

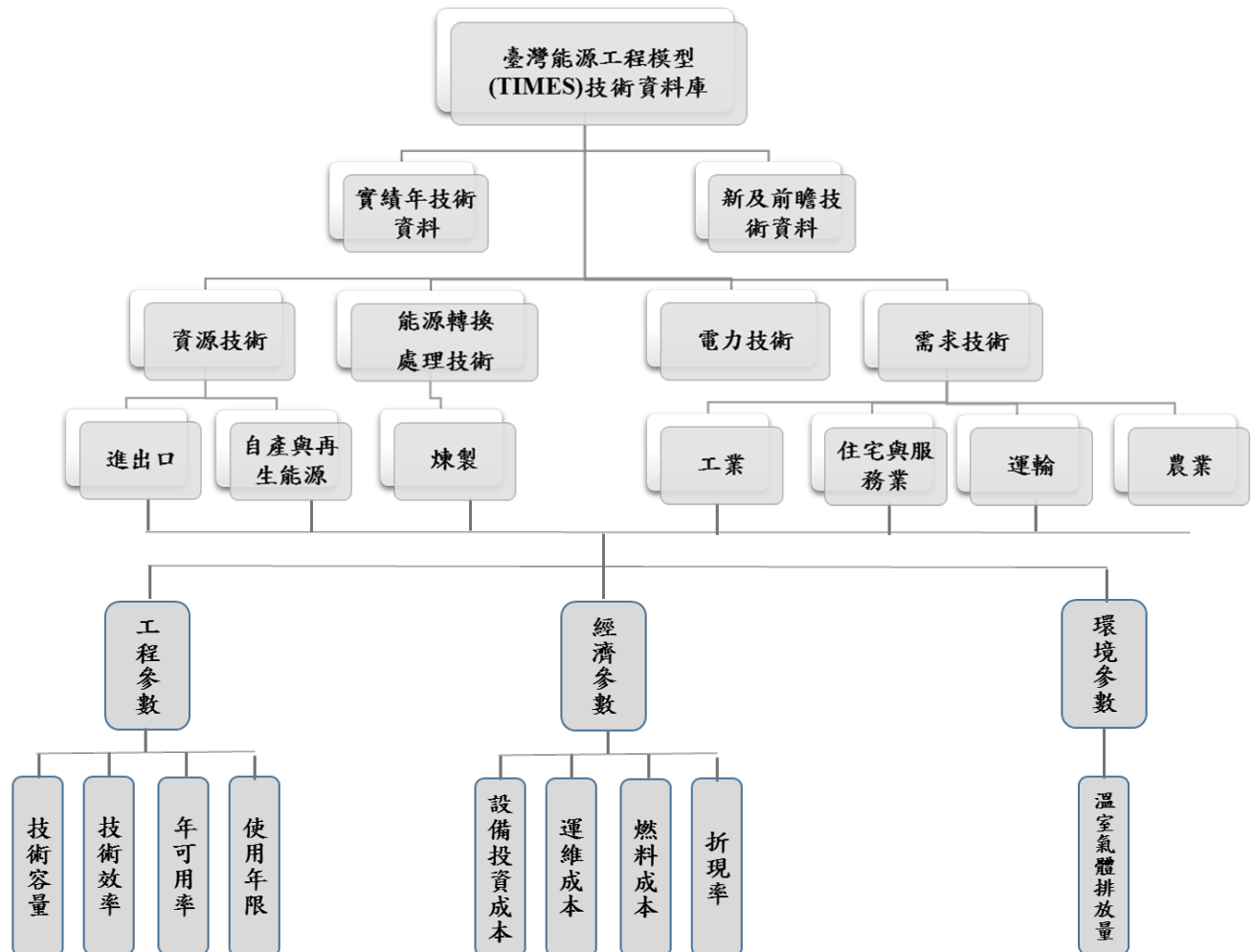
每一項需求技術資料庫參數應包括技術效率、投入能源的種類和比率，產出的能源服務需求種類和比例、年使用率、設備投資成本與運維成本。若某一項技術可滿足一種以上的需求，使用者可設定此技術用於滿足各服務需求項目的比率。對於每一項需求技術，TIMES 模型會要求解出其在各規劃期的設備容量，使用量則由其使用率決定。

#### 3.2.1.4 區域間交易製程 (Import/Export Process, IRE)

初級能源包括自產能源、再生能源與區域間交易製程技術，其中區域間交易製程主要係指初級能源的進口 (IMP) 與出口 (EXP)，TIMES 模型進出口製程技術資料參數包括各時期的單位價格、進出口量的上下限等。不同地區進口的資源價格不一樣，如自中東進口的原油與非洲進口的原油價格不一樣，

模型內可設定自中東進口的原油以「IMPOIL1」技術代表，自非洲進口的原油以「IMPOIL2」技術代表。TIMES 模型的解包括每一資源在規劃期內每一時期的進出口量。

下圖為臺灣 TIMES 模型資料庫架構，模型的製程技術包括實績年技術與前瞻技術，而各技術資料庫包括工程參數、經濟參數與環境參數。



資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

圖 5、臺灣 TIMES 模型製程技術資料庫架構

### 3.2.2 商品 (Commodity)

能源商品 (Commodities) 可以為能源 (Energy Carriers, NRG)、能源所提供之服務 (Energy Services, DEM)、物質 (Materials, MAT)、環境 (Environmental Indicators, ENT) 以及金融 (Finance Indicators, FIN)，各能源商品集合名稱如表 1 所示。其中能源(energy carriers)是指模型中生產與使用的能源，包括化石能源、核能、再生能源、電及熱。在 TIMES 模型中物質 (material) 與能源是不同的，物質可以重量 (weight) 或數量 (volume) 表示。而與環境有關的資料，包括各資源與技術於使用過程中可能產生的污染物，各期污染物排放量可外加上限及/或污染稅等參數設定。

表 1、能源商品集合名稱參照表

| TIMES 模型<br>集合名稱                         | 描述  |
|--|---|
| <b>NRG (Energy Carrier)</b>              |   |
| CONSRV                                   | Conservation                                |
| ELC                                      | Electricity                                 |
| FOSSIL                                   | Fossil                                      |
| HTHEAT                                   | High-Temperature Heat                       |
| LTHEAT                                   | Low-Temperature Heat                        |
| LIMRENEW                                 | Limited Renewable                           |
| FRERENEW                                 | Unlimited Renewable                         |
| NUCLR                                    | Nuclear                                     |
| SYNTH                                    | Synthetic                                   |
| <b>DEM (Demands for Energy Services)</b> |   |
| AGR                                      | Demands for Energy Services, Agricultural   |
| COM                                      | Demands for Energy Services, Commercial     |
| IND                                      | Demands for Energy Services, Industrial     |
| NE                                       | Demands for Energy Services, Non-Energy     |
| OTH                                      | Demands for Energy Services, Other          |
| RES                                      | Demands for Energy Services, Residential    |
| TRN                                      | Demands for Energy Services, Transportation |
| <b>ENV (Environmental Indicators)</b>    |   |
| GHG                                      | Environmental Indicators, Greenhouse Gas    |
| OTHENV                                   | Environmental Indicators, Other             |
| <b>MAT (Materials)</b>                   |   |
| MAT-VOL                                  | Materials, Volume                           |
| MAT-WT                                   | Materials, Weight                           |
| <b>FIN (Financial Indicators)</b>        |   |

## 4 臺灣 TIMES 模型作業流程

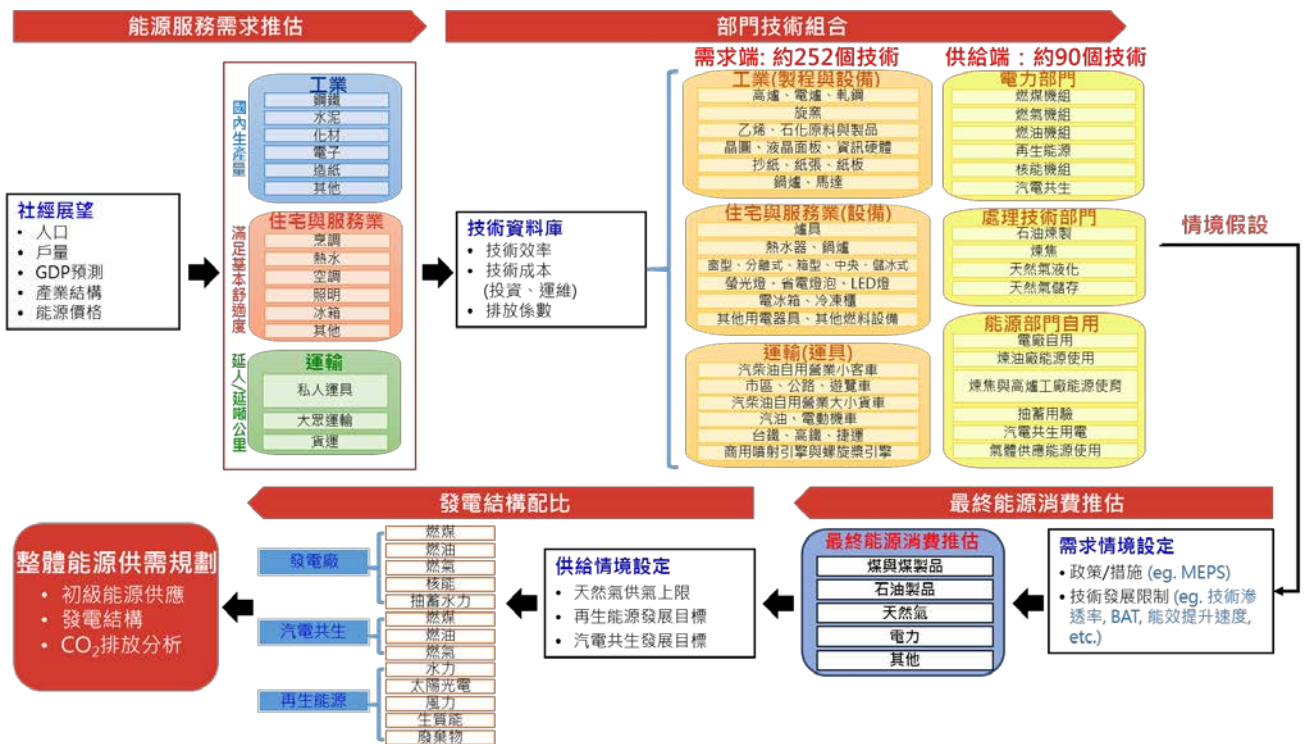
### 4.1 能源供需評估流程

消費者雖然購買能源 (如電、油品、天然氣等)，但真正需求的是能源所能提供的服務 (稱為能源服務需求，Energy Service Demand) (如用熱需求、冷房需求、客運需求等)。因此，必須先推估滿足未來社經展望的能源服務需求，再透過相關使用器具的技術效率，才能評估未來能源消費量與初級能源供給量與供給結構。圖 6 為臺灣 TIMES 模型的操作流程，由於能源服務需求為模型最主要的驅動力，評估步驟為：

- (1) 輸入我國未來可能社會經濟展望：依據我國未來社經展望 (人口、產業發展與經濟成長趨勢等)，利用計量模型與時間序列模型推估我國未來各部門的能源服務需求；

- (2) 輸入各終端使用技術資料：蒐集和檢視 TIMES 模型既有技術資料，並定期更新維護；
- (3) 輸入需求面情境設定：蒐集和檢視我國現行與可行需求面節能減碳策略及前瞻技術；
- (4) 輸入供給面情境設定：蒐集和檢視我國現行與可行供給面節能減碳策略及電源開發方案，如再生能源目標規劃、天然氣進口資源限制、二氧化碳排放限制與前瞻節能減碳技術年擴散限制等；

最後則應用臺灣 TIMES 模型，以線性規劃方式，求解能源系統成本最小下的能源配比，並可針對關鍵因素進行不確定性分析。



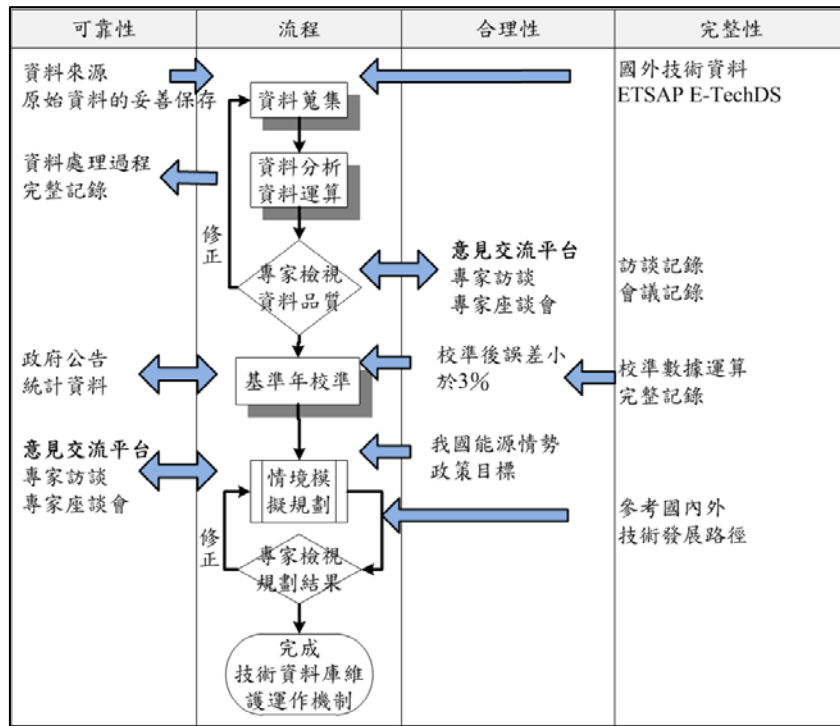
資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

圖 6、臺灣 TIMES 模型能源供需評估流程

## 4.2 模型維護更新機制

TIMES 模型為 Bottom-up 的能源工程模型，最重要的組成元素為模型技術資料庫，故資料庫內容的精細程度及定期更新的機制，實為模型應用能力與模擬結果合理性的關鍵所在。臺灣 TIMES 能源工程模型技術資料庫涵蓋上百種技術類別及上千個技術參數（資料筆數可達上萬筆），為了維護如此龐雜的技術資料庫，工研院團隊一直持續改善資料庫的維護機制。根據模型建置與應用經驗，已建立定期執行之技術資料庫維護運作機制（如圖 7 所示），持續精進資料庫內容的正確性、周延性與時效性。





資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

圖 7、臺灣 TIMES 模型維護更新機制

| 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<br>3月~4月            | 實績年<br>1. 能源服務需求(COM_PROJ)<br>2. 技術效率(FLO_FUNC)<br>3. 能源投入配比(FLO_SHARE)<br>4. 活動量、裝置量(ACT, CAP)<br>5. 可用率(AF)<br>6. 市場存量(電力部門, PRC_RESID)   |
| 二、能源服務需求  | 每年<br>6月~8月            | 實績年至2030年或2050年<br>1. 部門別能源服務需求(COM_PROJ)   |
| 三、政策情境<br>(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<br>6月~9月            | 實績年至2030年或2050年<br>1. 新增裝置量(NCAP)<br>2. 電廠汰換(PRC_RESID)<br>3. 再生能源裝置量與發電量(ACT,CAP)<br>4. 供氣上限(IMPLNG_ACT_BND)<br>5. 汽電共生裝置量與發電量(ACT,CAP)<br>6. 容量因素上限(AF)   |
| 四、六大技術資料庫更新與維護<br>(資源技術、處理技術、轉換技術、工業部門技術、住服部門技術、運輸部門技術) | 每四至五年<br>輪替一次<br>5月~9月 | 實績年至2030年或2050年<br>1. 能源服務需求項目與推估流程檢討(COM_PROJ)<br>2. 未來技術效率趨勢(FLO_FUNC)<br>3. 能源投入配比(FLO_SHARE)<br>4. 設備投資成本與運維成本(NCAP_COST, NCAP_FOM)<br>5. 可用率(NCAP_AF)<br>6. 市場滲透率(FLO_MRKPRD)<br>7. 設備年限(NCAP_TLIFE) |

資料來源：工研院 TIMES 模型團隊

圖 8、臺灣 TIMES 模型維護更新頻率與參數

由於 TIMES 模型工業部門技術資料庫的部門與製程數量繁多，相關參數資料的蒐集有些是來自於定期出版的統計或研究報告，或是從不定期研究報告中再進一步計算出模型需要的資料格式定義，故資料更新的方法隨著資料可獲性 (data availability) 而變動。此外，若技術資訊涉及商業競爭 (例如：成本與效率趨勢) 或前瞻技術規劃，使得資訊不易取得，於是針對可靠性不足或國內缺乏的資訊，將參考或比對國外的技術資訊。而當資料經過蒐集、處理分析後，需再進一步確認其合理性，評估其是否真實反應實況且合乎邏輯常識，本計畫亦透過專家學者檢核，尋求技術資料能有一致的共識，俾於提升模型模擬結果在產、官、學界的接受度。

表 2、臺灣 TIMES 模型技術資料庫歷年主要更新項目

| 年度   | 主要更新項目   |
|------|--|
| 2009 | TIMES 模型與資料庫建置-電力部門、資源以及能源轉換與處理技術  |
| 2010 | TIMES 模型與資料庫建置-工業、住宅與服務業及運輸部門  |
| 2011 | 淨煤發電前瞻技術資料庫建置、建置需求技術節能情境資料庫  |
| 2012 | 工業部門能源服務需求分類調整、更新工業部門節能措施資料庫、更新住商部門能源服務需求推估方法論與工具、建置最低容許耗用能源標準(MEPS)、節能標章及能源效率分級標示等能效管理制度之技術資料庫        |
| 2013 | 更新運輸部門技術資料庫、建置運輸部門永續運輸發展技術資料庫、建置住宅、服務業與工業主要耗電設備使用時段別技術資料庫、更新電力部門既有發電機組實績年參數資料、建置未來高效率燃煤與燃氣、再生能源發電技術資料庫 |
| 2014 | 完成工業部門石化業既有技術資料庫更新、重新分類、未來技術效率及成本發展趨勢演進、建置電力部門發電技術供電曲線參數資料庫  |
| 2015 | 完成汽電共生技術資料庫實績值校準與資料參數維護更新工作、完成能源轉換與處理技術資料庫維護工作、完成電力部門儲能技術資料庫建置   |
| 2016 | 維護與更新住宅與服務業需求技術資料庫、自產與進出口能源技術資料庫配合最新電源開發方案與統計年報，更新電力部門相關參數   |

資料來源：工研院 TIMES 模型團隊