

IEA 系統能源效率政策評估報告

一、摘要

節能是推動淨零碳排的「首要燃料（First Fuel）」，而對用能設備制定能效規範是各國推動的能源效率普遍採用的政策。IEA 認為，若對於已經制定能效規範的產品，再予以制訂其對應的系統性的效率規定，可再擴大其節能潛力。

本報告總結了 IEA 4E TCP (Technology Collaboration Programme on Energy Efficient End-Use Equipment)在過去四年中對系統能效相關推動政策所進行的調查結果。報告中總結：

- 現行產品政策若進一步擴大規範系統性節能，其節能效益將是僅規範產品節能的數倍（三倍或更多）。
- 規範系統性節能面臨的挑戰相當大，包括如系統運行的條件範圍多元且廣泛、如何驗證安裝在場所中的系統的性能等不易解決的問題。但是從節能潛力的規模來看相當值得進一步評估調查。
- 此報告中就不同類型系統進行分類，並且建議不同系統類別適用不同的規範方法。
- 報告提出的分類架構將有助於後續就不同用能設備或系統定義相對應的系統能效政策。

二、系統性節能潛力

制訂能效規範是各國推動的能源效率普遍採用的政策，若將能效政策由產品進一步擴展系統面，估計可減少 9%全球能源消耗(17,000 PJ，4,780 TWh)，相當於九個成功的國家產品能效（標籤以及標示）計劃產生的節電量的三倍多。

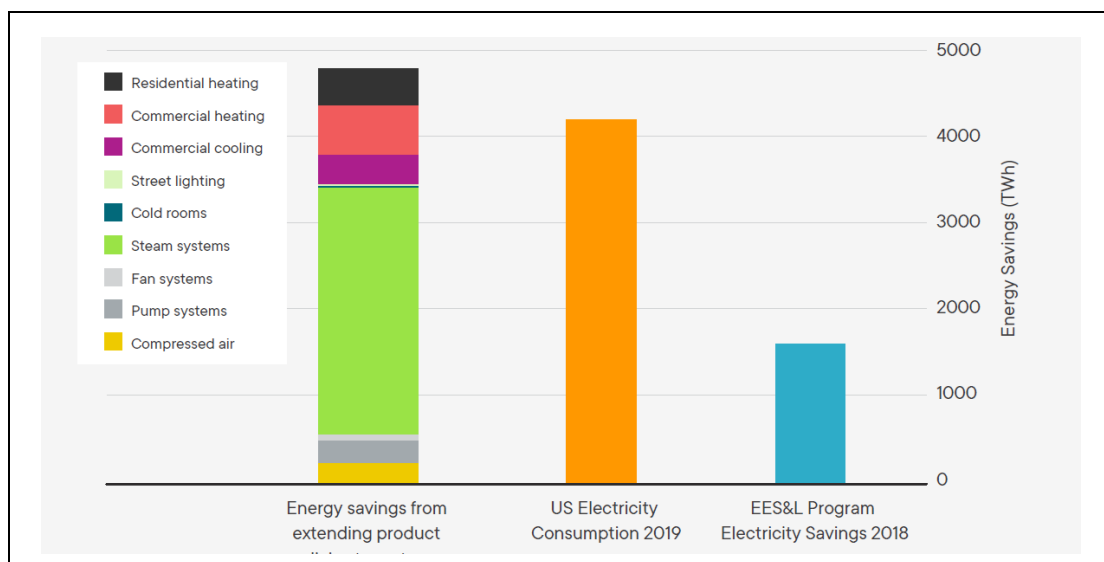


圖 1 全球系統性節能潛力預估

該估算考慮了工業、商業和住宅部門廣泛使用的九種能源使用系統，如圖 2 所示。這些用能設備總共消耗了全球一半以上化石燃料和電能總量。而此表中關於其他系統，如物料搬運和處理、多媒體和 ICT 系統，因缺乏相關資訊，因此並未納入估計，這也意味著系統性節能存在著更多的節省潛力。

節能潛力的估計主要來自於提高單一零件（組件）的效率，並且透過資料、文獻評估，當整體系統設計、維護以及通過更好的控制使能源使用與需求相匹配之後所產生的節能效益。依據評估，當設備系統要求的更好的設計、組裝和控制，所節省的能源通常比單獨管理設備能效所節省能源的兩到三倍以上。

而圖 2 中的節能估計僅代表了已經實施產品政策（例如最低能源性能標準 (MEPS)）的用電設備所產生的節約潛力，並未包含所有設備，若將所有用能設備納入估計，將更為可觀。

System	Energy consumption		Estimated policy savings %	Total savings	
	PJ	TWh		PJ	TWh
Compressed air	2,540	700	30%	760	210
Pump systems	3,880	1,080	24%	930	260
Fan systems	2,580	720	10%	260	70
Steam systems	43,000	11,940	24%	10,320	2,870
Cold rooms	180	50	20%	40	10
Street lighting	510	140	23%	120	30
Commercial cooling	4,930	1,370	24%	1,170	330
Commercial heating	12,860	3,570	16%	2,020	560
Residential heating	31,810	8,830	5%	1,590	440
All systems	102,280	28,410	17%	17,210	4,780
All systems (excl steam)	59,280	16,470	12%	6,890	1,910

圖 2 全球不同系統的年度節能量估計

三、系統定義與邊界設定

IEA 就系統效率定義了系統的範圍：由兩個或多個需要在使用系統的位置組裝的物理「部件」組成的「功能單元」。其中：

- 部件：單一的、可識別的物體，有助於系統的功能，需要在現場組裝。例如，液壓泵、電動機、變速驅動器和水管是水泵系統的組成部分。
- 功能單元：系統與環境、或與其他系統之間可劃出邊界。
- 系統：在現場將零件連接在一起，通常由專業人員進行。還必須連接到環境中的另一個系統，例如能源網或管道系統。一個系統通常會與其他系統交互作用。除了能量，也通常輸入其他物質，並提供一定的功能。同時，它也向所處環境提供其他輸出，例如（廢）熱和排放。

- 外部環境會施加溫度、濕度、亮度等影響系統的運作條件，此外，系統也可能需要某些環境條件才能運行。

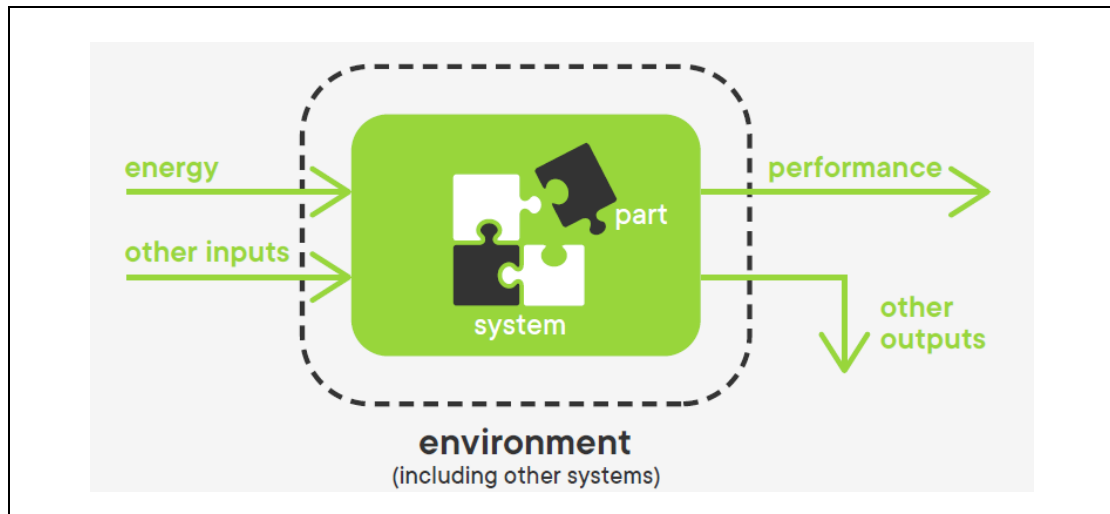


圖 3 系統能效定義的系統邊界圖

由於系統通常會添加新部件來增加功能或擴展能力，因此當系統的部件由不同製造商提供時，維持特定系統正常運行能力所需要的部件往往會作為評估系統邊界的重要指標。

四、系統類別與制定系統政策相關重要因素

不同的系統特性適用於不同的能效評估方式，為此，IEA 依據三個重要因素為系統進行分類：

- 系統部件的數量
- 部件相同的程度（相同部件所佔的比例）
- 組裝對於系統性能的影響

依據上述分類可進一步將系統分為五大類，如圖 4 所示：

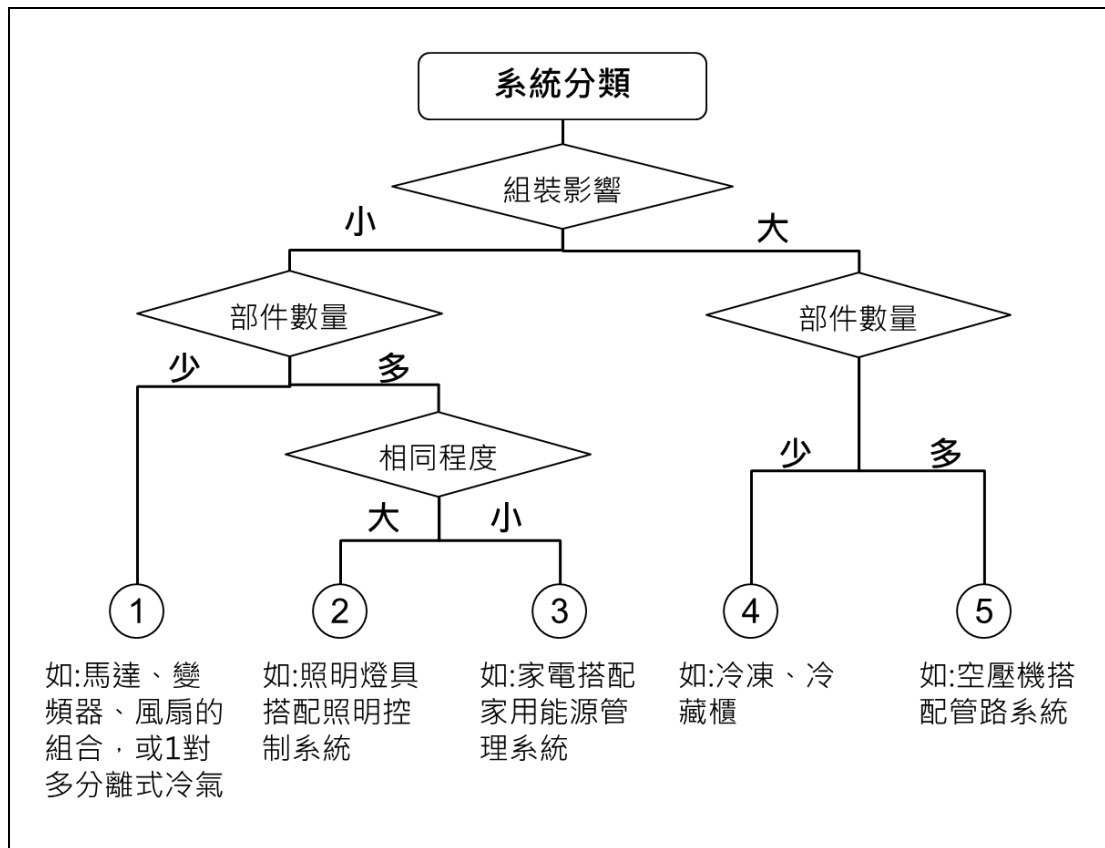


圖 4 系統的分類以及案例

在訂定系統能效政策時，必須瞭解同樣的設備，會因為場域、用途不同，而有不同的設計，例如泵浦系統，會因為場域以及後端設備不同而有不同的配管設計。相較於制訂產品能效，這些差異因素，使得制訂系統能效政策及規範將面臨許多與不同的問題與挑戰。例如，為了規範系統能效，管理單位需要被授予適當的權力執行或強制執行適當的措施，在此之前，相關的因素必須先行考慮與解決，包括：1. 現有法規監管範圍是否涵蓋系統；2. 系統組裝地與供應或銷售地不同時，是否存在管轄限制，以及 3. 監管單位是否有權責要求使用單位配合在現場進行測試或評估系統。

五、系統能效規範內容

此份報告中建議系統能效規範的內容包括：1.系統的範圍，必須確定系統包含或排除系統部件；2.規範的關係人；3.能效指標和要求；4.績效評估方法，包括測試或備選方案。

- 系統的範圍：法規的技術範圍通常是根據產品或系統的主要功能、特性來定義的。以功能定範圍可以確保“技術中立”，使系統可以涵蓋提供指定功能的產品或系統，而不會落於偏袒某一方面的產品或設備。而定義系統邊界範圍也是定義法規範圍的重要部分。
- 規範的關係人：不同的系統，可能有不同類型的關係人，而關係人包含零件製造商、向客戶提供系統的公司、指定系統的客戶或組裝（和安裝）系統的公司。此外，法規中的每一項要求需明確指定對應的關係人，如此將有助於創造法規確定性。
- 能效指標與要求：效率指標必須將輸出（性能）與輸入（能量）聯繫起來。對於系統而言，性能取決於組件、設計以及安裝和使用的位置。因此，系統能效法規要求必須考慮這些條件的變化。例如，在確定電動泵浦的效率時，可以測量不同負載下的能量消耗，並使用反映實際使用模式的加權來計算總效率。
- 績效評估方法：評估系統能效的方法如下表 1 所列。

表 1. 評估系統能效的方法

方法	說明
黑盒子法	• 黑盒子法不討論盒子（系統）裡有什麼；只評估輸入和輸出。
模組法	• 模組法先測量各模組的性能和能耗，然後使用公式結合各模組測量結果，進一步計算整體系統能耗或效率。 • 這種方法類似於模型法。不同之處在於，關於模型法，使用條件和操作範圍都包含在模型中，而關於模組法，使用條件和操作範圍會以測量方式取得結果。
順序法	• 這種方法側重於系統的組裝和安裝。必須確定系統和部件尺寸、組裝方式、安裝的規則。尺寸、組裝和安裝的每個步驟都需要記錄和檢查。 • 原則上不需要對部件進行測量。 • 類似於品質管理系統。
統計法	• 這種方法使用能源消耗、性能、使用和操作條件的現場測量來確定建模或測試程序中使用的相關值。這有助於提高這些其他方法使用的條件的準確性。 • 此外，這種方法可用於監控安裝，或用於證明系統按規定或計算執行的證明。

方法	說明
模型法	• 模型法有兩個主要方式。第一種方式使用系統的數學模型，根據部件的設計參數計算性能和能耗或效率。 • 第二種使用系統的比例模型，在該模型上進行測量，然後按比例放大結果以給出系統的結果。 • 零件的設計參數可以獨立測試並納入模型。

不同的系統型態適用於不同的效率評估方式，例如：

- 在組裝影響很大的情況下，順序方法最為合適。
- 在組裝影響較小的地方，模組法和模型法可能最有用。
- 如果系統由中～大量的不同部分組成，因此系統變體的數量很大，則法規應包括模型法。
- 如果相同部件的比例很大，或者部件對能耗有重大影響，則可以對這些部件進行測試（黑盒方法）並進行監管。

依據系統分類及其特性，可定義其範圍與關係者、效率指標與要求以及建議之驗證與測試方法，如下表 2。

表 2. 系統分類及其關係者、效率指標要求以及建議之測試驗證方法

組裝 影響	部件 數量	部件相 同程度	範圍與關係者	效率指標與要求	驗證與測試方法
小	少	--	設備與系統製造商	設備與系統效率	對系統設備的測量；為系統提供結果的建模（在各種使用條件下）
	多	大	設備製造商	設備效率	量測設備
		小	- 設備與其他關鍵部件製造商 - 系統組裝業者	設備與關鍵部件效率組裝、運行後系統效率	量測設備與關鍵部件
大	少	--	- 部件製造商 - 系統組裝業者	- 設備效率 - 組裝品質	- 測量設備 - 檢查組裝品質
	多	--	- 系統組裝業者 - 業主	組裝品質	檢查組裝品質

六、 結論與政策建言

當前全球低碳、零碳發展趨勢下，節能是推動淨零碳排的「首要燃料（First Fuel）」，而制訂用能設備的能效規範是各國推動的能源效率普遍採用的政策。本報告總結了 IEA 4E TCP (Technology Collaboration Programme on Energy Efficient End-Use Equipment)在過去四年中對系統能效相關推動政策所進行的調查結果。報告中總結：

- 現行產品政策若進一步擴大規範系統性節能，其節能效益將是僅規範產品節能的數倍（三倍或更多）。
- 規範系統性節能面臨的挑戰相當大，包括如系統運行的條件範圍多元且廣泛、如何驗證安裝在場所中的系統的性能等不易解決的問題。但是從節能潛力的規模來看相當值得進一步評估調查。
- 此報告中就不同類型系統進行分類，並且建議不同系統類別適用不同的規範方法。
- 報告提出的分類架構將有助於後續就不同用能設備或系統定義相對應的系統能效政策。

為提升我國節能規定能源消費涵蓋率，未來將依循國際設備效率措施發展趨勢以及 12 項淨零關鍵計畫-「節能戰略」之規劃方向，推動工業部門、商業部門、住宅部門以及運具部門強制性節能規定，並就技術發展面與產業充分溝通，持續研(修)訂各項設備能源效率基準。

當前我國已公告 32 項產品之設備及器具容許耗用能源基準 (Minimum Energy Performance Standards, MEPS)管制，2022 年目標強制性節能規定能源消費涵蓋率估計可達 40.5%，優於國際平均水準（35%）。參考本報告，訂定系統性節能規範所帶來的節能成效數是設備節能的數倍。為此，本計畫建議相關單位應開始著手研議系統節能規範與測試驗證制度，進行以下研究議題：

1. 建立系統能效測試驗證能量，包含系統能效模擬能力、建立測試用的硬體設備、培育研究人力以及標準規範測試場域。
2. 透過訪查、能源查核調查我國用能設備系統效率狀態。

3. 透過 ESCO 補助計畫，推動系統節能方案，並收集系統節能改善績效，以累積足夠案例及資料。
4. 參照目前我國已制訂 MEPS 的設備以及各設備用能比例，以及本報告建議之分類及測試方式，逐步建立系統能效標準以及測試驗證規範草案。

透過上述工作，持續累積系統能效之研究成果、測試資料、國際規範等，並透過資訊公開，建立產業對系統能效認知。進一步依循國際發展趨勢，於適當時機推行系統能效政策。

七、 參考文獻

IEA 4E TCP, 2022, “Progressing Energy Efficiency Policies for Systems”.