

《促進有效的能源轉型 2023》評析



鄧澤宇、黃至弘 2024 / 6 / 24

工業技術研究院 綠能與環境研究所 能源及政策推動組



目錄

目錄.....	1
摘要.....	2
Abstract	3
一、前言.....	4
二、能源轉型指數簡介	6
(一) 世界經濟論壇簡述	6
(二) 指數架構說明.....	6
(三) 指數計算方式.....	8
三、結果與討論	12
(一) 能源轉型指數計算結果.....	12
(二) 轉型動能計算結果	14
(三) 指數修正歷程與相關討論	15
四、結論.....	20
參考文獻.....	22
附件 能源轉型指數指數列表	23



摘要

「促進有效的能源轉型 2023」(Fostering Effective Energy Transition 2023) 於 2023 年 6 月 28 日發表，提供包含世界近 120 國家在能源轉型之量化程度以及長期進展。世界經濟論壇 (World Economic Forum) 以能源轉型指數 (Energy Transition Index) 進行量化分析，主要結構分系統績效 (System Performance) 與轉型準備度 (Transition Readiness) 兩大組成要素。系統績效包括經濟發展、能源安全與普及以及環境永續。轉型準備度代表欲提高系統績效時之容易程度與達成效率，可視為一個國家對於能源轉型準備之完備程度，涵蓋因子包括政治環境、經濟貿易狀態等。能源轉型指數之變數挑選依循資料精確性、可靠性、可重複使用性、資料品質、完整性原則，並採用正規化方法將各項數值控制在 0~100 間，以線性相加平均權重之變數而成。世界經濟論壇 2023 年之能源轉型指數，前十名的所有國家都來自西歐和北歐，依序為瑞典、丹麥、挪威。中國與巴西在本次前進前 20 名，日本、韓國則位於 27 及 31 名。轉型動能 (Transition Momentum) 只有印度和新加坡在公平、安全和永續方面取得進展。

世界經濟論壇之能源轉型指數發展多年，變數也因應全球趨勢變動而調整，其於 2018 年、2021 年以及 2023 年有較大幅度調整。而也有部分質疑聲音如選定變數之方式不透明、權重分配問題，報告不具連續性等，然而世界經濟論壇於每年發布之報告也會因應調整或回應。而排名發布後部分成員也常提出異議，世界經濟論壇則建議優先比較具有相似結構之成員，得出之結果更具參考價值，並鼓勵使用者自行調整變數或構面之項目與權重，以便得出國家之具體發展路徑或者於能源轉型中尚不足之處，據以精進。

關鍵字：能源轉型、轉型指數、量化分析



Abstract

「Fostering Effective Energy Transition 2023」 published on June 28, 2023, evaluates the progress of energy transitions in nearly 120 countries. The World Economic Forum (WEF) uses the Energy Transition Index (ETI), which is based on two main components: System Performance and Transition Readiness. System Performance includes economic development, energy security, and environmental sustainability, while Transition Readiness assesses the ease and efficiency of improving System Performance, considering factors such as political environment and economic conditions. The ETI employs a normalization method to scale variables from 0 to 100, aggregating them with specific weight. In 2023, the top ten countries are all from Western and Northern Europe, with Sweden, Denmark, and Norway taking the top three spots. China and Brazil have advanced into the top 20, while Japan and South Korea rank 27th and 31st. Transition progress in equity, security, and sustainability has been notable only in India and Singapore. The ETI has undergone significant adjustments in 2018, 2021, and 2023 to keep up with global trends. Despite criticisms regarding transparency in variable selection, weight distribution, and data continuity, the WEF addresses these issues in its annual reports. WEF also recommends comparing countries with similar structures for more meaningful insights and encourages users to adjust variables and weights to identify specific developmental paths or deficiencies in energy transition and formatting enhancing strategies.

Keyword : Energy Transition, Transition Index, Quantitative Analysis



一、前言

在過去的幾十年裡，許多研究已證實氣候變遷與人類活動引起之溫室氣體 (Green House Gas, GHG) 排放間之高度關聯性。聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 之第 6 次評估報告 (The 6th Assessment Report，簡稱 AR6) 指出，人類活動 (主要是排放溫室氣體) 已明確導致全球暖化，2011 ~ 2020 年全球地表平均溫度比 1850 ~ 1900 年高出 1.1°C (0.95°C~1.20°C)。全球溫室氣體排放量的持續增加，來自不永續的能源使用、土地使用和土地利用改變、生活方式和消費模式以及跨域生產之模式，並伴隨著國家之間以及個人之間不平等的歷史與當前貢獻。而持續的溫室氣體排放將加劇全球暖化程度，考慮多種情境和模擬路徑，估計達到升溫 1.5°C 是迫在眉睫且幾乎無法避免，全球即便處於極低排放的情境 (SSP1-1.9)，近期升溫也很有可能達到 1.5°C。

隨著氣候持續暖化，預計世界各地將會發生越來越多受到多重由於氣候暖化所影響之因子而驅動之極端天氣事件。熱浪、強降雨、乾旱事件變得更加頻繁，且時空間分布將更趨於極端；未來颱風之型態亦會產生變化，可以觀察到近年颱風強度較以往更強且造成之損害更是不可同日而語，然而這種情形於暖化的未來將會更頻繁發生；乾旱與野火事件也可能增加，導致重大的環境破壞與人類生命財產之威脅。而隨著暖化程度增加，氣候風險將變得越來越複雜，多種氣候和非氣候風險驅動因素將可能產生相互作用，且部分改變具有不可逆的可能性與負面影響，最終導致物種滅絕或生態系統中生物多樣性喪失的風險也增加，包括森林、珊瑚礁、極地地區。¹

氣候變遷之減緩刻不容緩，而近年因俄烏戰爭引發的天然氣供應短缺，讓全球再度陷入能源危機。由於俄烏戰事僵持，俄羅斯中斷對歐洲的天然氣供應，近年來歐洲的能源價格大漲、推升通膨上升速度，導致民生苦不堪言。這波能源危機也從歐洲蔓延到亞洲，導致各國燃料價格大幅上漲，造成數千億元虧損。此能源危機影響重大，但也喚起各國對於加速減碳、提高經濟韌性的迫切需求。²

¹ 台灣科技媒體中心，「IPCC AR6 總結報告」重點摘要，<https://smctw.tw/15423/>

² 決戰新能源！走過石油危機 50 年 改寫全球地緣政治，<https://reurl.cc/dnOrgy>



在技術創新、氣候變遷減緩政策和地緣政治發展等因素的推動下，全球的能源系統目前正經歷一場前所未見的改變，如淘汰化石燃料、推動再生能源等一系列之能源轉型作為。能源轉型為一長時間且多面向之轉變過程，其中包含技術演進、治理成效以及社會發展等。現今以來，能源轉型已成為一項關鍵的政策挑戰和商業風險，需要提高透明度並基於事實來了解能源轉型的進展。

本著這種精神，世界經濟論壇(World Economic Forum , WEF) 制定了能源轉型指數 (Energy Transition Index, ETI)，其目標著眼於包含各個面向的全球尺度能源轉型監測架構，用於衡量轉型，即轉向支持永續且普及的能源。然而能源轉型在不同的討論觀點具有多種定義和衡量標準，如考量燃料來源、市場規則和治理結構的多樣性，以及供應鏈和貿易機制的相互連結等。就 ETI 而言，其偏向採用廣泛的網羅與能源轉型相關之變因，如考量對現有技術、市場結構、監管機制、消費模式和社會規範之轉變等，目的在確保使用者能普遍的獲得安全、永續、負擔得起且穩定的能源供應。

本文即透過世界經濟論壇於 2023 年發布之「促進有效的能源轉型 2023」(Fostering Effective Energy Transition 2023) 報告，解析世界經濟論壇是如何使用 ETI 來評估選定成員之能源轉型進展，包括指數架構如何訂定、權重如何選擇、數值如何計算之實務層面，同時也從更廣泛的面向探討其指數歷年之變化情形，為何變化之原因以及如何將變化應用於長時間之數據追蹤，最終期待從分析 ETI 之過程中了解評估或是量化能源轉型之難處與限制，從而提出見解與政策實務操作上之具體建議。



二、 能源轉型指數簡介

(一) 世界經濟論壇簡述

世界經濟論壇成立於 1971 年，屬於非營利性質之基金會，於 2015 年從瑞士當局獲得其國際組織的地位。其建立宗旨為建構更具未來性、韌性、包容性和永續性的經濟和社會。世界經濟論壇吸引全球來自政治、商業、學術、民間社會和其他社會領導人之參與，共同制定全球、區域和產業之框架與發展目標。

世界經濟論壇同時作為國際性研究型智庫，對許多議題發表系列研究報告，如國家競爭力評估報告、全球風險評估報告等。而世界經濟論壇關注能源轉型已超過 10 年，最早從 2013 年即發布「能源架構績效指數」(Energy Architecture Performance Index, EAPI)，嘗試建立量化評估全球能源轉型之架構與分析步驟，而順應全球能源轉型之快速變化，於 2018 年以 EAPI 為基礎，發布涵蓋層面更廣泛之能源轉型指數 (ETI)，其報告通常以每年之頻率更新，而每年之版本內容根據國際最新情勢進行架構調整與內容更動。

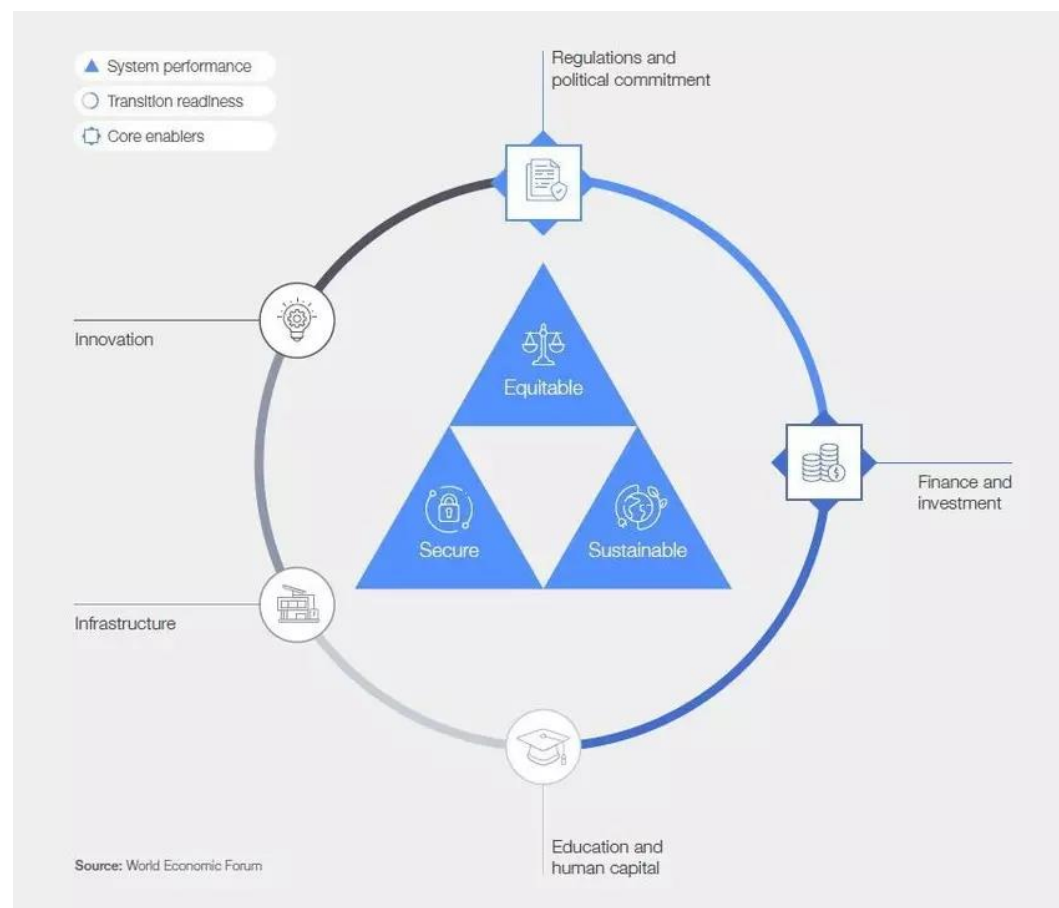
(二) 指數架構說明

能源轉型為一長時間且複雜之過程，其包含之面相橫跨設施、系統、政策以及社會。依據世界經濟論壇之定義，有效的能源轉型可概括為能夠轉型為更具包容性、永續、可負擔且安全的能源系統，成功的能源轉型可為全球能源相關挑戰提供解決方案亦可為企業和社會創造機會，同時又不損害關鍵的「能源三角」(Energy Triangle) 的三個關鍵能源系統類別的平衡。這三個類別分別為「經濟發展 (Economic development and growth)」、「能源安全與普及 (Security and access)」以及「環境永續 (Environmental sustainability)」。世界經濟論壇提出的能源轉型架構 (圖 1) 將這三個要素統稱為「系統績效 (System performance)」。

能源三角旨在確保所有人都能負擔得起現代潔淨能源，透過合理的能源價格提供經濟活動的動力。同時，也強調維持反映成本的能源定價，並落實保護弱勢消費者和小型企業之機制。此外，創造或維持綠色成長之動力也有助於在指數評分中獲得較佳成果。然而總體而論，



此次指數主要衡量對象之能源系統在此三個項目的完備程度。在國家層面，能源系統對經濟發展和成長的貢獻可以被理解為民生能源服務的可負擔性、能源價格之於工業競爭力的程度以及能源補貼占總體財政之依賴程度。安全與普及則包括電氣化程度、潔淨烹飪燃料的獲取、電力供應品質以及進口依賴程度與分散程度，意味高度集中可能對能源安全造成威脅。最後，環境永續乃衡量一個國家的能源密集度、初級能源供應的碳密集度以及燃料燃燒產生的大氣污染物的濃度。而在民生層面，可確保所有人都能負擔得起潔淨能源，並透過合理的能源價格提供經濟活動發展性。此能源三角亦強調能源定價須能反映成本，但同時建構保護弱勢消費者和小型企業的機制。總言之，一個國家的能源轉型首要目標應是朝向強化上述三個項目而努力。



資料來源：Fostering Effective Energy Transition 2023

圖 1、能源轉型指數-系統績效及轉型準備度



另一項次指數為評估對象的「轉型準備度」，當決策者推動策略提高系統績效之程度、容易度與達成效率取決於一個國家能源轉型準備之完備程度，換言之，轉型準備是根據是否存在有利於能源轉型的政治、社會等系統來評估的。轉型準備主要取決於當前能源系統的慣性、政治承諾的穩定性以及為能源轉型投注之資金等。同理，監管框架需要靈活，才有助於有效整合新技術和商業模式，同時逐步淘汰舊有之低效能基礎設施。有效的能源轉型也仰賴一國之市場的開放性和吸引投資之軟實力，以及開放且創新之環境。最重要的是，能源轉型最終將影響整個社會，消費者的參與將決定對未來能源系統的接受程度。儘管許多對於本報告轉型準備次指數之質疑聲音，表示已超出了傳統能源系統的邊界，但其對於確定能源轉型規劃與推動的效率至關重要，並且同時反映了能源轉型與社會經濟、監管和地緣政治間的複雜相互關係。

(三) 指數計算方式

ETI 建立在世界經濟論壇 2013 年至 2017 年發布的能源架構績效指數 (Energy Architecture Performance Index, EAPI) 的基礎上。而 ETI 的第一版於 2018 年發布，並每年更新。ETI 的最小單元為變數 (Variable)，並被組合為更高階的維度 (Dimension)，而這些維度原則上以平均分佈的權重進行加總後，提供兩個主要組成 (Component) 的分數：系統績效以及轉型準備度。由此可知 ETI 是一個綜合得分，整個系統包含 30 多個變數，而「系統績效」和「轉型準備度」以及其項下的變數基本上均具有相同的權重。ETI 在不同時間版本中，其架構與權重多少有些更動，而其主要變動歷程於本文後詳述，此處列出其 2023 年版本之層次架構，如圖 2 所示。



資料來源：Fostering Effective Energy Transition 2023

圖 2、能源轉型指數-層次架構

一個國家在 ETI 上的最終得分是兩個主要成分的得分加總（系統績效+轉型準備度），維度和變數的選擇取決於不同國家利害關係人於相關研討會的回饋，以確保 ETI 架構之穩健性和使用的廣泛性。單一變數對 ETI 總分的最終貢獻不一，取決於該分組中的變數數量。

ETI 選定的變數遵循以下關鍵原則：

- 資料精確性：盡量採用經由測量、觀測的資料或最近似的計算方式，而非粗略估計值
- 資料可靠性：利用國際知名機構的可靠來源數據
- 可重複使用性：每年可從同一提供者獲取相同數據，以利數據更新
- 資料品質：在給定的限制條件下，選擇可最佳代表的數據
- 資料完整性：使用足夠覆蓋全球和時間範圍的數據



有關 ETI 所採用之變數詳細資訊，本評析報告整理於附錄中，包含變數之名稱、權重、資料來源與選定之基本說明等。然而，隨著更合適、更完整的數據的出現，變數或其各自來源的選擇將滾動調整，但原則上依然遵守 ETI 所架構之關係。若變數資料有變更，通常是為了反映新的資料可用性，或是資料提供者更改其資料蒐集方法，進而影響到歷史數據。如 ETI 2021 中對變數進行修訂，由於缺乏一致的數據，「資本和投資」維度中刪除了「能源效率投資」變數。被刪除之變數的權重在同一維度的其他變數中重新平均分配。

有關 ETI 的計算，本報告除參考本次 2023 年報告外，亦參考世界經濟論壇之「促進有效的能源轉型 2018」(Fostering Effective Energy Transition 2018) 以及「促進有效的能源轉型 2021」(Fostering Effective Energy Transition 2021) 報告，因這兩版本之整體架構與變數權重等多有修正，其中也包含較詳細之變數與構面說明。而 ETI 的在計算中，為了允許不同尺度和幅度的變數加總，採用 Min-max scaling 正規化方法，將變數的分數轉換為 0 到 100 間的通用尺度。在大多數情況下，資料範圍會縮小以控制異常值。除少數波動較大的變數外，各變數均依下列公式重新調整：

$$Indicator\ Score_c = \left(\frac{value_c - min}{max - min} \times 100 \right)$$

其中 $value_c$ 是國家 (C) 的原始值， min 是變數的最小值， max 則是變數的最大值，通常對應最佳可能的數據。根據變數的不同，最大值可能是政策目標、願景、最大可能值或從統計分析得出的數字。而某國家的某項變數的值低於可能的最低值，則其得分為 0；如果某個值高於最大值，則其得分上限為 100。而部分變數因波動性過大，採用獨立方法進行標準化，但仍設法在各國比較分析中維持其方向和幅度的影響，如外部成本 (占 GDP 的百分比) 採用對數轉換，再生能源新增裝置容量 (占總發電裝置容量的百分比) 採用本年新增再生能源裝置容量占總裝置容量的比例與上年再生能源裝置容量占總容量比例的比例分數的平均值等。



而標準化方法中，最大值與最小值之門檻值亦會隨情況調整，以因應變數隨時間演進之整體變化。如 2021 年之報告則根據其方法論之改動結果，並考慮到一些資料來源的異動，故更新了多達 10 個變數的門檻值，占變數總權重的 30%。

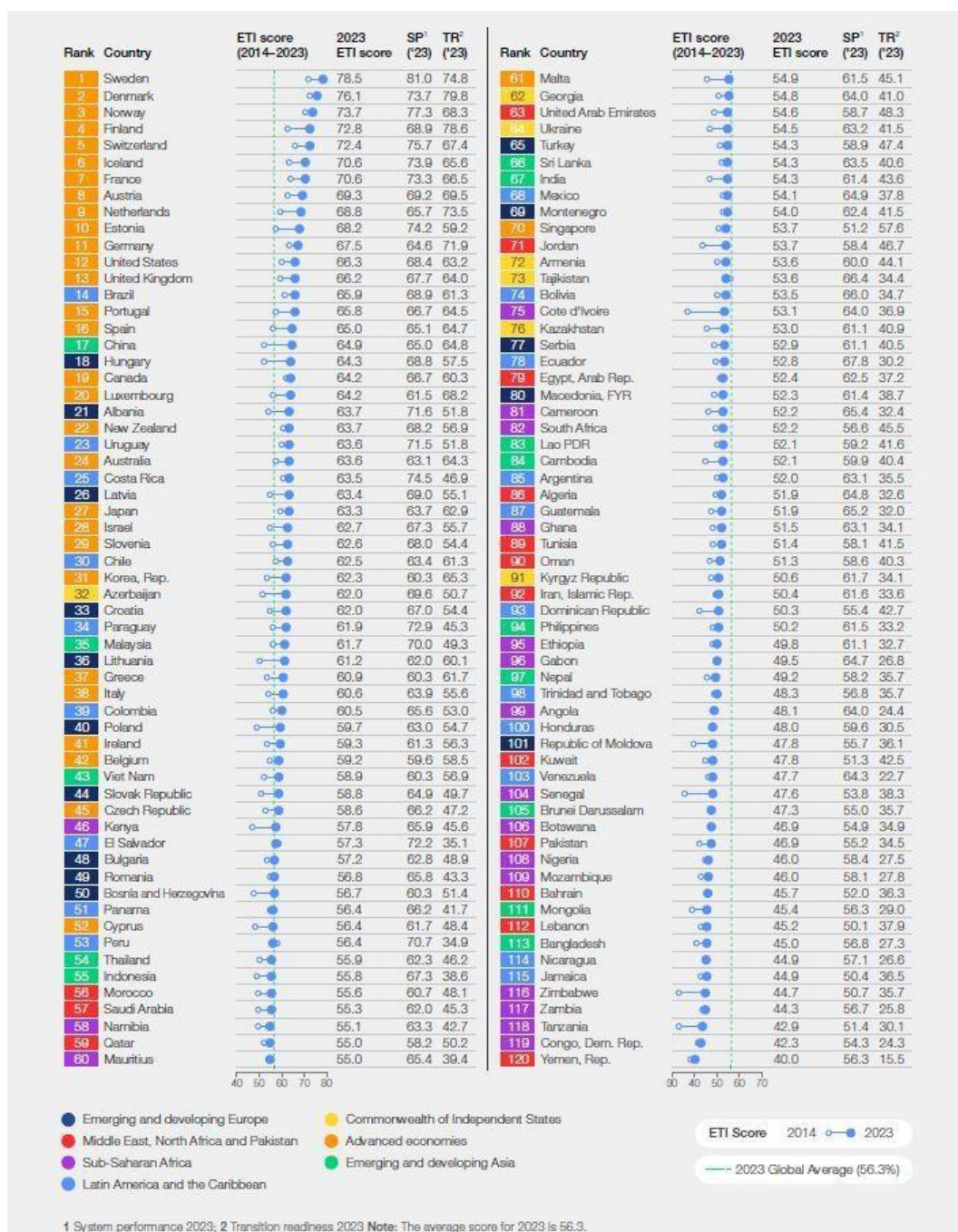


三、 結果與討論

(一) 能源轉型指數計算結果

WEF 之 2023 年版本之 ETI 計算結果指出，前十名的所有國家都來自西歐和北歐，其二氧化碳排放量占全球總量之 2%，能源供應占全球總量 4%，人口數量加總占全球總數 2%。而其中，瑞典在全球排名中領先，其次是丹麥和挪威。在世界十大經濟體中，只有法國躋身前十名。綜觀雖然上述各國的能源轉型路徑不盡相同，但都有共同的特點，包括：降低能源補貼、透過多樣化的能源和電力組合以及進口合作夥伴組合來增強能源安全、改善碳強度、增加潔淨能源在能源結構中的占比、推動碳定價方案以及完善的能源轉型監管機制等部分。

排名較高之國家在轉型準備度方面也具有較高的得分，因其擁有強大的體制與監管框架、大規模吸引資本和投資的能力、創新的商業環境以及對能源轉型的高政治承諾水準。值得一提的是本年度中國和巴西均躋身前 20 名，分別為 17 及 14 名，這得益於其轉型準備度的整體分數提升。



資料來源：Fostering Effective Energy Transition 2023

圖 3、能源轉型指數 2023 整體排名表

在 120 個國家中，有 113 個國家在過去十年中取得了進步，但只有 55 個國家的得分提高了 10 % 以上。值得注意的是，中國 (17 名)、印度 (67 名) 和印尼 (55 名) 等大型新興經濟體可以看到明顯改善之幅度。2022 年至 2023 年間進步最大的是亞塞拜然 (32 名)



與肯亞 (46 名)。肯亞的進步幅度通常落後於全球平均水平，而亞塞拜然則領先於全球平均水平，但兩者都在整體轉型準備度取得了長足之進步，包括金融投資、基礎設施與創新。巴拉圭 (34 名) 和辛巴威 (116 名) 也躋身進步最快的國家行列，巴拉圭在過去十年中每年都取得進步，辛巴威的分數增長了 9%，但仍落後於全球平均水平。

而臺灣經常參考借鏡之亞鄰國家如日本、南韓則分別落於 27 名與 31 名，亞洲國家中僅次於第 17 名之中國。而日本與南韓之分數差異不大，分別為 63.3 分與 62.3 分，然而在轉型準備度分數方面，南韓分數是略高於日本。細看日本數據可發現，轉型準備度中，在「創新」與「教育及人力資本」構面之積分上較為落後，導致轉型準備度總分打折扣。

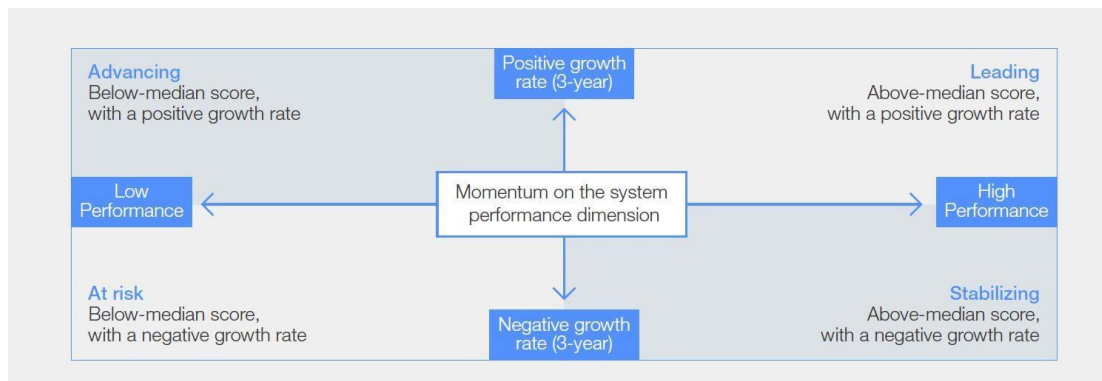
(二) 轉型動能計算結果

而 ETI 分數主要衡量一個國家目前的能源系統、政治經濟狀況，但無法反應其轉型之速度，因此世界經濟論壇於 2023 年之報告新增分析方法轉型動能 (Transition Momentum)，以顯示個別評估對象之轉型速度，以及依此分析條件下，哪些國家正面臨轉型風險。轉型的速度將取決於多種因素，包括每個國家或地區的具體情況、資源和技術的可及性、政治環境和公眾支持的程度以及氣候危機的急迫性。然而，不可置否的是能源轉型確實需要加速以限制氣候變遷的衝擊程度。而轉型動能分維度呈現，其計算方式取決於該維度於 2020 年至 2023 年間的三年分數的成長率。而每個受評估成員將被分配到下列四個象限之一 (圖 4)：

- 領先國家 (Leading countries) - 得分高於中位數且成長率為正
- 穩定國家 (Stabilizing countries) - 得分高於中位數但成長率為負
- 進步國家 (Advancing countries) - 得分低於中位數且成長率為正



- 高風險國家 (At-risk countries) - 得分低於中位數且成長率為負



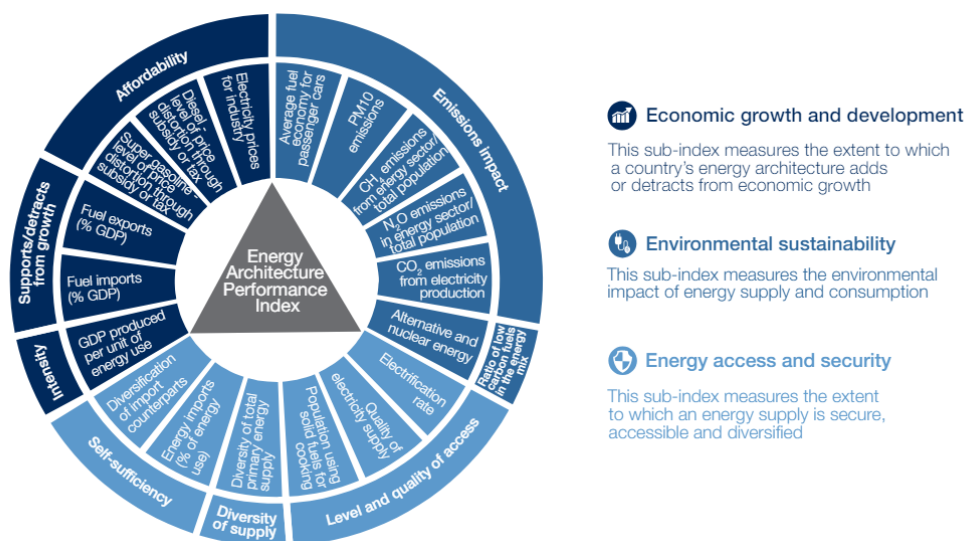
資料來源：Fostering Effective Energy Transition 2023

圖 4、轉型動能象限表

120 個國家中，只有印度和新加坡這兩個受評估成員在公平、安全和永續方面取得進展。在能源三角的所有要素上要能夠同時推進的國家數量相當有限，凸顯了許多國家在平衡各方面發展上仍面臨挑戰。

(三) 指數修正歷程與相關討論

ETI 經歷多次修正，以反映不斷變化的能源轉型進程與挑戰，世界經濟論壇在 2013 年至 2017 年首發布的能源架構績效指數 (EAPI)，共分為「經濟成長與發展 (Economic growth and development)」、「環境永續 (Environmental sustainability)」及「能源取得與安全 (Energy access and security)」，再往下又分為 8 項構面，分別為排放衝擊 (Emissions impact)、地碳能源占比 (Ratio of low carbon fuels in the energy mix)、能源取得水準 (Level and quality of access)、供給分散度 (Diversity of supply)、能源自給率 (Self-sufficiency)、能源密集度 (intensity)、能源補貼 (Supports/detracts from growth)、可負擔程度 (Affordability)，往下再延伸 18 項變數。其中所列之變數與 ETI 目前版本多有相似，可謂 ETI 之前身，能源架構績效指數之整體架構如圖 5 所示。



資料來源：Global Energy Architecture Performance Index Report 2015

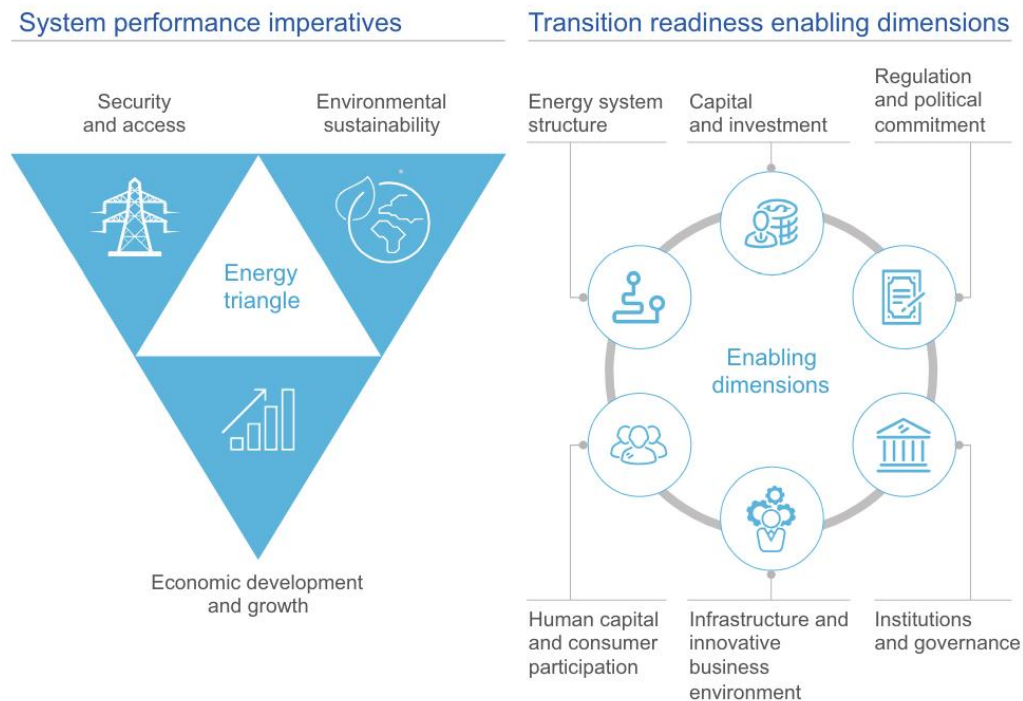
圖 5、世界經濟論壇-能源架構績效指數(2015)

而 2018 年世界經濟論壇修改其架構，考量現今快速轉型之環境下，是否能掌握能源系統未來改善的驅動因素和可能之阻力對於決策者越顯重要。而新修正的 ETI 引入了轉型準備度的概念。除了衡量各國能源系統績效外，還評估各成員為企業和社會掌握能源轉型機會與創造有利條件的程度。而 2018 年的 ETI 更羅列了系統績效項下共 12 項變數以及轉型準備度項下之 19 項變數，共計 31 項變數，為整個 ETI 系列採用最多變數之時期。2018 年版之能源轉型指數整體架構如圖 6 所示。

而在 2021 年，世界經濟論壇調整了 ETI 之變數權重及更新標準化參數，儘管代表系統績效之能源三角及其構面沒有變化，然而轉型準備度中調整了「資本和投資」中的「能源效率投資」構面，因缺乏一致的數據。另一個則是「公司創新環境」中的「科技可及性」。而被刪除的構面之權重在同一維度的其他構面中會被重新平均分配。另外，ETI 採用之標準化方法之門檻值需要定期更新，以反映成員中變數之變化。2021 年即更新了 10 個變數的門檻值，以反映各國採取行動實現能源系統脫碳的即時性，意即採取更大行動將其能源系統從



化石能源轉變為低碳/無碳能源系統的國家未來的得分將得到更大的提高。



資料來源：Fostering Effective Energy Transition 2018

圖 6、能源轉型指數-整體架構(2018)

而本年度世界經濟論壇修訂了能源轉型框架，為因應快速變化的全球能源趨勢中提供有效之決策支援。而本次能源三角之架構未有變化，依然對公平、安全和永續性三個優先事項採取平衡的方法，但更新的 ETI 重新定義了項下構面與變數之組成。2023 年度之 ETI 指數架構與構面如圖 2 所示。相比之下可以發現本此之架構有些許變化，而本次之系統績效與轉型準備度也出現權重不平均之現象，分別為 60% 與 40%。

有關本次巨幅的轉變，雖然報告書中以因應全球能源趨勢為主要論調，但細看可發現世界經濟論壇之 ETI 所用於計算變數成果之來源出現重大異動，可能導致世界經濟論壇因資料蒐集不全而採取之權宜做法。過往 ETI 中採用如世界經濟論壇之全球競爭力報告(Global



Competitiveness Report) 於 2020 年宣布起因 COVID-19 疫情造成全球經濟衝擊而暫停公布排名；世界銀行 (World Bank) 之經商環境報告 (Doing Business) 因被《華爾街日報》³等媒體控訴其報告之數據遭到不當之修改，並於後續調查中確立其操作數據之實情，世界銀行因而於 2021 年終止經商環境報告之發布。由此可見，雖然 ETI 在選定資料來源時已選定具有權威性之單位發布之報告，然而依然可能發生資料來源中斷之實情，且因為其計算方法論不可複製，以至於無法以其他方式填補其空缺而造成成果難產，也造成了指數長期追蹤轉型進展之數據中斷，其所遭遇之問題可做為日後指數產製與討論之參考。

其他對於 ETI 在實務操作上之討論，如有部分質疑其項下之構面與變數都採取相同之權重，如項下若有 4 項變數，則每項變數權重通常為 25%。對於此質疑，世界經濟論壇之說法為缺乏關於 ETI 涵蓋的所有國家的維度內和跨維度變數相對重要性的經驗證據，因此對變數指定了同等的權重。然而卻在部分報告版本中發現權重不同之狀況，如 2021 年版本之 ETI 部分變數。

另外則是對於將評估對象囊擴全球尺度，並將所有成員放於同一標準下進行排序之作法表示質疑。每次於報告書名次發布時，都會有成員對名次提出異議。而有關此部分，世界經濟論壇於其 2021 年的「促進有效的能源轉型 2021」報告有相關討論。其主要論調為考量能源轉型的系統性 (systemic) 和內生性 (endogenous)，國家的得分是基於其資源含量、地理、氣候條件、人口組成和經濟結構等因素之綜合作用的結果，而國家在某種意義無法完全掌握其得分，有時會出現超出國家決策或掌控範圍的影響因素進而影響其得分，例如大宗商品市場波動、地緣政治、國際氣候變遷倡議和金融市場情緒等等。因此，一個國家的得分應該是基於其自身的特殊情況來判斷。

而世界經濟論壇在 2019 年發布於 Energy Strategy Reviews 的文章「The energy transitions index: An analytic framework for understanding the evolving global energy system」也有提到，若要進行比較則須考量在各項條件是否合乎比較之標準，如具有相似結構 (包括自然資源條件、發展狀況和制度等) 的國家進行比較來獲得相

³ World Bank Halts Report on National Competitiveness Rankings Amid Concerns of Data Manipulation, <https://reurl.cc/RqRxx9>



關的助益或心得。因 ETI 被設計為一個通用的框架，讓決策者可制定與反映特定國家在能源轉型議題於社會經濟面向之優先事項，而 ETI 事實上更鼓勵使用者自行調整系統績效和轉型準備度等之權重，甚至移除部分較不相關或不適用的變數或構面，優先考慮符合當地實際情況的因子，以便得出使用者之具體發展路徑或者能源轉型中尚不足之處。此發現可提供日後處理相關能源議題如全球指數排名等事項之回應基調與參考依據。



四、 結論

1. 世界經濟論壇從 2013 年即嘗試建立量化評估全球能源轉型之架構與分析步驟，而順應全球能源轉型之快速變化，於 2018 年發布能源轉型指數 (ETI)，並每年更新之。
2. 世界經濟論壇的能源轉型指數分兩大組成，即系統績效與轉型準備度。系統績效包括經濟發展、能源安全與普及以及環境永續等能源轉型三要素。轉型準備度為欲提高系統績效時之容易度與達成效率，為一個國家對於能源轉型準備之完備程度，涵蓋因子包括政經環境等。
3. 能源轉型指數中變數會因應世界時勢而產生變動，然挑選仍依循規則：資料精確性、可靠性、可重複使用性、資料品質、完整性。變數採用正規化方法將數值控制在 0~100 間，數值越大代表表現越佳。計算方式則採用線性相加方法計算指數，由項下數項平均權重之變數或構面加總而成。
4. 世界經濟論壇 2023 年之能源轉型指數，前十名的所有國家都來自西歐和北歐，瑞典在全球排名中領先，其次是丹麥和挪威。中國和巴西均躋身前 20 名，日本、韓國分別位於 27 及 31 名。
5. 世界經濟論壇於 2023 年版本新增轉型動能項目，用以評估國家之轉型速度，其計算方式取決於該維度在 2020 年至 2023 年間的三年分數的成長率。成果顯示，120 個國家中，只有印度和新加坡在公平、安全和永續方面取得進展。
6. 世界經濟論壇之能源轉型指數發展多年，為世界關注之項目，但也出現部分質疑，如選定變數之方式不透明、變數權重為何平均分配之疑慮，而歷年報告中也常見變數之調整，也導致報告被質疑其連續性與可參考性。
7. 對於排名之爭議，世界經濟論壇建議先考量各項條件是否合乎比較之標準，挑選具有相似結構(包括自然資源條件、發展狀況和制度等)的國家進行比較，得出之結果更具參考價值。因 ETI 為泛用框架，並非量身訂做，比起互相比較，更鼓勵



使用者自行調整變數或構面之項目與權重，以便得出國家之具體發展路徑或者於能源轉型中尚不足之處，據以精進。



參考文獻

1. Singh, H. V., Bocca, R., Gomez, P., Dahlke, S., & Bazilian, M. (2019). The energy transitions index: An analytic framework for understanding the evolving global energy system. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100382.
2. World Economic Forum, Global Energy Architecture Performance Index Report 2015. Retrieved from : <https://widgets.weforum.org/eapi-2015/index.html>
3. World Economic Forum, Fostering Effective Energy Transition 2018. Retrieved from : <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition/>
4. World Economic Forum, Fostering Effective Energy Transition 2021. Retrieved from : <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2021/>
5. World Economic Forum, Fostering Effective Energy Transition 2023. Retrieved from : <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2023/>
6. 邱虹儒，淺介世界經濟論壇 2018 年「能源轉型指標」。擷取自：
https://km.twenergy.org.tw/Document/reference_more?id=187
7. 周桂蘭，世界經濟論壇(WEF)2018 年 3 月發佈「促進有效的能源轉型」研究報告，提出一套能源轉型指標系統，包括系統績效指標和轉型準備指標二大類。擷取自：
https://km.twenergy.org.tw/Data/db_more?id=2509
8. 梁啟源、王鈺鎔、劉致峻、鄭睿合、呂易恂、郭博堯，2017 台灣能源績效世界評比與系統脆弱度。擷取自：
<https://www.ctci.org.tw/media/4690/2017-07%E5%B0%88%E9%A1%8C%E5%A0%B1%E5%91%8A-%E5%8F%B0%E7%81%A3%E8%83%BD%E6%BA%90%E7%B8%BE%E6%95%88%E4%B8%96%E7%95%8C%E8%A9%95%E6%AF%94%E8%88%87%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E8%84%86%E5%BC%B1%E5%BA%A6.pdf>



附件 能源轉型指數-組成列表

Component	Dimension	Variable	Source	Direction
SYSTEM PERFORMANCE (50%)	Economic Development and Growth (33%)	Household electricity prices, purchase power adjusted (PPP 2010 USDc/kWh)	Enerdata	(-)
		Industrial electricity prices (USD/kWh)	World Bank (Doing Business)	(-)
		Wholesale gas price (U.S. Dollars per MMBTU)	IGU (Wholesale Gas Prices Survey)	(-)
		Pre-tax fossil fuel subsidies as share of GDP	International Monetary Fund	(-)
		Post-tax fossil fuel subsidies (excluding pre-tax subsidies) as share of GDP	International Monetary Fund	(-)
		Fuel Exports, US dollar at current prices, as a percent of GDP	World Trade Organization	(+)
		Fuel Imports, US dollar at current prices, as a percent of GDP	World Trade Organization	(-)
	Environmental Sustainability (33%)	PM2.5, country level (micrograms per cubic meter)	World Bank (World Development Indicators)	(-)
		GDP per unit of energy use (PPP \$ per MJ)	IEA World Energy Balances	(-)
		CO2 emissions per capita (tonnes per capita)	IEA CO2 Emissions from Fuel Combustion	(-)
		CO2 emissions per total primary energy supply (kg/GJ)	IEA CO2 Emissions from Fuel Combustion	(-)
	Energy Access and Security (33%)	Electrification rate (%)	World Bank (World Development Indicators)	(+)
		Access to clean cooking fuels (% of population)	World Bank (World Development Indicators)	(+)
		Energy imports, net (% of energy use)	World Bank (World Development Indicators)	(-)
		Diversification of (net) import counterparts; (Herfindahl-Hirschman Index)	UNCTAD Statistics – International Trade in Goods and Services	(-)
		Diversity of primary energy fuels (Herfindahl-Hirschman Index)	IEA World Energy Balances	(-)
		Reliability of supply and transparency of tariffs	World Bank (Doing Business)	(+)
TRANSITION READINESS (50%)	Regulation and Political Commitment (17%)	Countries participation and commitment to the COP21 agreement	UNFCCC, Climate Action Tracker, PBL	(+)
		Political stability	World Economic Forum – Global Competitiveness Index	(+)
		Regulatory indicators for sustainable energy on energy efficiency	World Bank (Regulatory Indicators for Sustainable Energy)	(+)
		Regulatory indicators for sustainable energy on renewable energy	World Bank (Regulatory Indicators for Sustainable Energy)	(+)
		Regulatory indicators for sustainable energy on energy access	World Bank (Regulatory Indicators for Sustainable Energy)	(+)
	Institutions and Governance (17%)	Rule of Law	World Bank (Doing Business)	(+)
		Transparency	Transparency International (Corruption Perception Index)	(+)
		Country credit ratings	S&P, Fitch, Moodies	(+)
	Capital and Investment	Investment Freedom Index score	Heritage Foundation (Investment Freedom Index)	(+)



	(17%)	Access to credit	World Bank (Doing Business)	(+)
		Investment in Energy Efficiency	IEA – World Energy Investment	(+)
		Investment in New Renewable Energy Capacity (as a share of total investment in power generation capacity)	IRENA	(+)
	Infrastructure and Innovative Business Environment (17%)	Logistics performance index score	World Bank (Logistics Performance Index)	(+)
		Transport Infrastructure	World Economic Forum – Global Competitiveness Index	(+)
		Innovative Business Environment	World Economic Forum – Global Competitiveness Index	(+)
		Availability of Technology	WEF – Global Competitiveness Index	(+)
	Human Capital and Consumer Participation (17%)	Share of renewable energy jobs as part of countries total workforce	IRENA	(+)
		Quality of Education	WEF – Global Competitiveness Index	(+)
	Energy System Structure (17%)	Total primary energy use per capita (GJ per capita)	World Bank (World Development Indicators)	(-)
		Electricity generated from renewable power sources (% of total)	World Bank (World Development Indicators)	(+)
		Electricity generated from coal power (% of total)	World Bank (World Development Indicators)	(-)
		Electricity generated from oil, gas or hydro power (% of total)	World Bank (World Development Indicators)	(+)
		Share of potential global future CO2 emissions from fossil fuel reserves (CO2 emissions Billion MT)	BP Statistical review	(-)

資料來源：Fostering Effective Energy Transition 2021 ; Singh *et al.* (2019)



工業技術研究院內部資訊，禁止複製、轉載、外流，不再使用請銷毀
ITRI PROPRIETARY DOCUMENTS, DO NOT COPY OR
DISTRIBUTE, PLEASE DESTROY AFTER USE



懂能源



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute