

本月專題

IEA 「2022 世界能源展望」的啟示

黃俊翰¹、謝智宸²

摘要

IEA 於 10 月 27 日發布 2022 世界能源展望(World Energy Outlook 2022, WEO 2022)，指出當前全球面臨能源危機將成為一個明確的轉折點，加速各國轉型至更潔淨且安全的能源系統。本文摘錄此份報告所揭露且值得參酌的重點，側重於含括當前全球各國已計畫或刻正實施能源轉型及減量政策情境分析，除較貼近於當今全球政經現實而且對未來具有較高的預測性外，亦可顯現其與淨零目標達成之不足與缺口以及對應之應興應革政策與措施。其次摘錄其對於未來主要能源供需情勢的展望，最後歸納此份 WEO 2022 的結論及其提供的啟示。

一、前言

由俄羅斯入侵烏克蘭引發的全球能源危機，帶來前所未有廣泛且複雜的衝擊，尤其造成天然氣、煤炭、石油、電力等全球市場價格的震盪，顯現當前全球能源系統的脆弱性和不可持續性，但 IEA 認為目前的情勢反而可能加速各國朝向更永續和安全的能源系統轉型。根據 WEO2022 報告顯示，各國政府為應付俄烏戰爭造成對能源供給不足與價格飆漲所帶來的不利影響，大幅增加潔淨能源投資支出，預期全球能源碳排放將在 2025 年達到峰值，象徵著當前正值全球化石燃料轉型的歷史轉捩點。

WEO 2022 採用與 WEO 2021 相同的三種情境，做為未來能源轉型情勢及溫室氣體減量成果的展望依據：

¹財團法人台灣綜合研究院 高級助理研究員

²財團法人台灣綜合研究院 研究員

- (一) 「既定政策情境(Stated Policies Scenario, STEPS)」：探討目前既定政策下的發展及可能面臨的挑戰，在此情境之下，2100 年全球平均溫升將較工業化前高約 2.5°C ，但已較巴黎協定締約之前的預估低 1.0°C ，顯示出當前氣候目標已有所進展。
- (二) 「氣候承諾情境(Announced Pledges Scenario, APS)」：根據當前各國政府最新的氣候承諾，包括 NDC 及長期淨零目標。假設這些承諾如期達成，2100 年全球平均溫升將較工業化前高約 1.7°C 。
- (三) 「2050 淨零排放情境(Net Zero Emissions by 2050 Scenario, NZE)」：全球實現溫升 1.5°C 目標，且 2030 年普遍實現現代化能源系統的路徑。

本文主要以既定政策情境(STEPS)為主，討論在當前情境之下，能源情勢的發展方向及未來展望。

二、既定政策情境(STEPS)

俄烏戰爭造成當前嚴峻的能源情勢，已經導致各國政府深切認知能源安全及建立可負擔、具永續性能源結構系統的重要性，能源市場機制及能源政策的調整與優化勢在必行，進而加速能源轉型的步伐，正可謂為全球化石燃料轉型的歷史轉捩點。

依據既定政策情境，因應當前嚴峻的能源情勢，各國政府除提出保護消費者免受供給不足風險及能源消費支出高漲影響的短期措施外，許多國家正在採取長期措施，如增加石油和天然氣的供應及分散其來源、增進能源供給的多元化，也包括更廣泛層面的能源結構系統的轉型，例如美國的降低通膨法(Inflation Reduction Act)、歐盟的 55 套案(Fit for 55)與 REPowerEU、日本的綠色轉型計畫(Green Transformation, GX)、韓國提高核能和再生能源占比，以及中國和印度設定之潔淨能源目標(中國：2030 風電、太陽能發電總裝置容量達 1,200 GW；印度：2030 再生能源裝置達 500 GW)等。

上述各國已公布的新措施有助於推動全球潔淨能源投資在 2030 年達到每年 2 兆美元以上，較當前水準增加超過 50%，而眾所關切的煤炭消費遽增的現象，在 STEPS 情境下將因再生能源、電力需求端彈性資源的普及和

應用，以及核能電力的支持下，在幾年後得以獲得緩解，因此全球能源碳排放將在 2025 年達到峰值；天然氣需求量在熱泵的積極布建及能效措施的要求下，在 2030 年前雖仍有每年 5% 的成長，然至 2030 年達峰後將持續平緩至 2050 年(如圖 1 所示)³，且由於俄烏戰爭的影響，管線天然氣的供給受到極大的限制與風險，液化天然氣將逐漸成為主流產品；石油消耗量將因電動運具市場供給與需求的高速成長，而將在 2030 年代中期以後進入平緩的高原期(如圖 1 所示)⁴；煤炭需求預計於 2020 年中葉達到高峰，並在 2030 年以後緩慢下滑。綜觀 STEPS 情境對化石能源需求的預估，即可推測，再生能源的供應將於未來幾年加速發展，以因應能源轉型的需求。

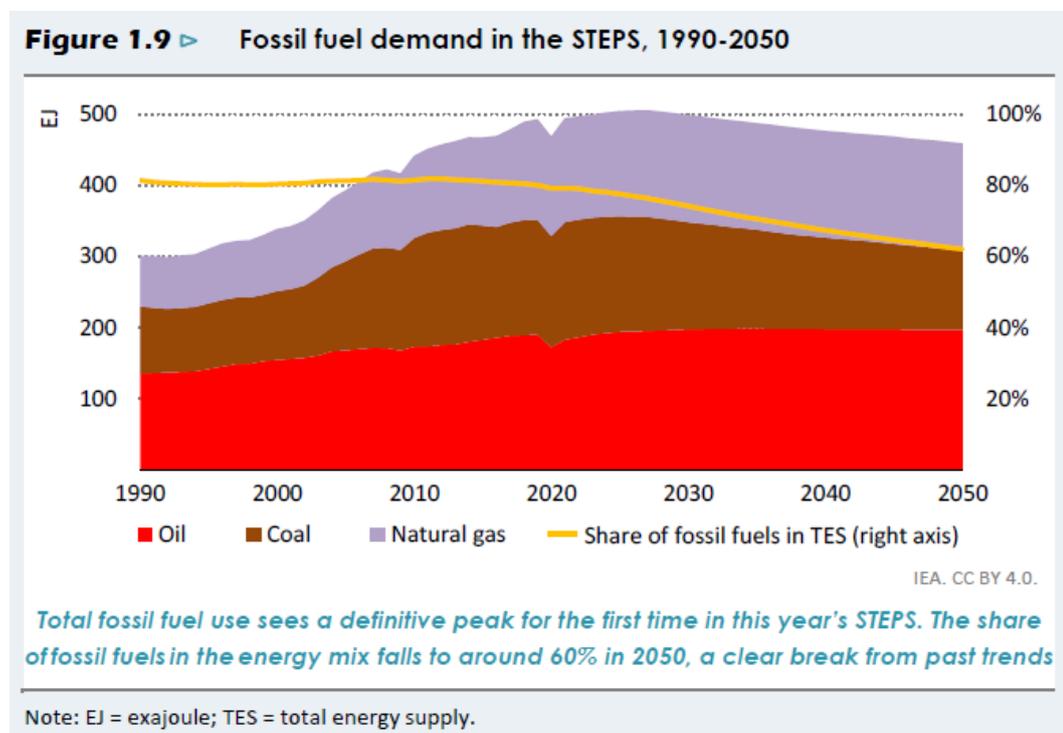


圖 1、既定政策情境之下的化石燃料需求(1990-2050)

在 STEPS 情境下，全球化石燃料供需量將自 2025 年左右起開始持續下滑至 2050 年(如圖 1 所示)。而自 18 世紀工業革命以來，化石燃料供需始終

³ 開發中國家的天然氣發展動能已逐漸減緩，尤其南亞與東南亞國家，因此降低使用天然氣作為過渡燃料的動因。在 APS 情境下，天然氣需求很快達到峰值，2030 年將較 2021 年減 10%；在 NZE 情境下，2030 年需求將減 20%，至 2050 年將較當今減 75%。

⁴ 然而，彭博新能源財經(Bloomberg NEF)對石油需求預估持不同意見，其認為 IEA 低估了未來 10 年的石油需求，並指出未來的石油需求將達到接近 1.1 億桶/日，對比 IEA 預估的 1.06 億桶/日有些落差。同樣地，電動運具的興起也不見得會導致石油需求於 2030 年下降，因為燃油車商仍持續製造，使得石油需求仍持續存在。

與 GDP 同步成長，由於潔淨能源的發展，在 STEPS 情境下化石能源的結構占比，將自當前的 80% 水準下降至 2050 年的 60%，全球碳排亦將自 2025 年的 370 億公噸抑低至 2050 年的 320 億公噸。然若持續上述趨勢至本世紀末，仍將導致本世紀末溫升 2.5°C (相較於工業革命前) 而遠超過全球共識足以迴避氣候災難上限的 1.5°C 。職是之故，即使當前全球各國政府的既定氣候政策完全實踐，其結果與預定目標間仍有洪荒差距。

但假若當前全球在太陽光電、風力發電、儲能電池等能源技術布建成長速度得以維持不墜，則能源轉型的速率理論上將超越 STEPS 情境所預期者甚多，然而由於推動政策力度最大的往往都在早期市場發展卓有顯著成效的國家，並非擴及全球各地，因而延滯了全球轉型的速度；不過以當前太陽光電、儲能電池及產氫電解槽等供應鏈擴充的成長趨勢，可以預期未來將會有更大的全球能源轉型雄心。

三、整體能源供需情勢

WEO2022 報告認為，當前高昂的能源價格、能源安全考量及強化的氣候政策將結束數十年來世界對天然氣的依賴。在 STEPS 情境下，直到 2030 年以前，天然氣的年需求將會減少 0.4%，對比 2010 到 2019 時期減少 2.3%。煤炭的短期需求在部分地區將增加，不過隨著各國淨零政策的執行，煤炭的長期需求仍會下降，將於 2030 年前比目前減少 9%。

報告也指出，再生能源(如太陽能、風力)將於 2030 年前達成供應 43% 的全球發電，比目前的水準提升 28%。無獨有偶，經濟學人智庫(The Economist Intelligence Unit)⁵也呼應這個觀點，其表示未來幾年的太陽能及風力供應將增加，使得未來 10 年的再生能源消耗每年平均成長 10%。

另外，WEO 2022 發現部分說法，如氣候政策與淨零承諾將促成能源價格上漲，並未有充分證據支持。其發現在受能源價格影響最嚴重的地區，擁有較高的再生能源占比與較低的電價呈正相關，而高效能的住宅與電氣化供暖也為部分消費者提供重要的緩衝。

⁵ <https://www.eiu.com/n/campaigns/energy-in-2023/>

IEA 執行主任 Fatih Birol 公開駁斥有關潔淨能源支出會導致能源價格上漲之論點，他指出其根源是俄羅斯所引發能源危機。Fatih Birol 的論點其來有自，我們從下方圖 2 就可以發現，2030 年與 2050 年 IEA 原油及天然氣價格在 NZE、APS 情境皆呈現下降，只有在 STEPS 情境上升。而燃料煤(Steam Coal)在所有情境皆呈現下降。鑑此，我們可以推斷，若各國政府持續於未來提升淨零雄心，將不會導致能源價格上漲，反而有助於抑制化石燃料價格，並逐步淘汰化石燃料的使用。

Table 2.2 ▶ Fossil fuel prices by scenario

Real terms (USD 2021)	2010	2021	Net Zero Emissions by 2050		Announced Pledges		Stated Policies	
			2030	2050	2030	2050	2030	2050
IEA crude oil (USD/barrel)	96	69	35	24	64	60	82	95
Natural gas (USD/MBtu)								
United States	5.3	3.9	1.9	1.8	3.7	2.6	4.0	4.7
European Union	9.0	9.5	4.6	3.8	7.9	6.3	8.5	9.2
China	8.0	10.1	6.1	5.1	8.8	7.4	9.8	10.2
Japan	13.3	10.2	6.0	5.1	9.1	7.4	10.9	10.6
Steam coal (USD/tonne)								
United States	63	44	22	17	42	24	46	44
European Union	113	120	52	42	62	53	60	64
Japan	132	153	59	46	74	59	91	72
Coastal China	142	164	58	48	73	62	89	74

圖 2、不同情境之下的化石燃料價格(2010-2050)

除此之外，IEA 也認為，長久以來俄羅斯是世界最大的化石燃料出口國，因其對烏克蘭的入侵促使全球能源貿易全面洗牌，在所有情境中，俄羅斯的化石燃料出口均不可能恢復到 2021 年的水準，潔淨能源投資浪潮亦將使俄羅斯至 2030 年損失 1 兆美元的化石燃料收入。在 STEPS 情境下，俄羅斯 2021 年在國際能源貿易中的占比約 20%，到 2030 年將降至 13%，取而代之的是美國和中東的占比將持續上升。

四、電力供需趨勢

根據下頁圖 3，可以看出不同情境之下的電力供需，估計由 2021 到 2050 年，STEPS、APS 與 NZE 下的電力需求將分別成長 80%、120%與 150%。而從 2021 到 2030，在 STEPS 與 APS 下，全球電力需求將成長 25 到 30%。

電力消費成長是能源轉型的關鍵議題之一，WEO 2022 分析認為，應著重於電動車充電需求及空調用電的成長因應。在 STEPS 情境下，預期全球新興及開發中國家，僅就空調用電需求在 2050 年可達 2 兆 8 千億度/年，相當於整個歐盟現在的電力年消費量。但在 APS 情境下，由於更嚴格的空調能源效率及建築物節能設計規範與保溫包覆等要求與激勵，前述年消費量將可降至一半，在 NZE 情境下將進一步減量 50%。

同樣根據下頁圖 3，相較 WEO 2021 報告，2030 年以後電力部門持續從煤炭轉型到再生能源。燃煤發電在 APS 及 NZE 於 2030 年後將呈下降趨勢，但在 STEPS 情境，燃煤發電到 2050 年仍是重要電力來源；在 APS 之下，2030 年到 2050 年煤炭使用量可減少約 60%；在 NZE 之下，煤炭至 2040 年將完全淘汰。其次，在天然氣方面，2030 年至 2050 年各情境中，STEPS 的天然氣需求仍維持不墜；APS 減少約 45%；NEZ 則幾乎消失。另外，再生能源將於 2030 年後迅速發展，未來的能源需求幾乎將完全由再生能源來滿足，預估發電占比在 2050 年的 STEPS 情境可達到 65%、APS 為 80%、NZE 為 88%。最後，同樣於 2050 年，電力主要來源將轉變為風力與太陽光電，在 STEPS 佔 45%、在 APS 佔 59%、在 NZE 佔 69%，水力發電與其他再生能源在所有情境下皆佔約 20%，而核電、配備 CCUS 的化石燃料發電廠、氫與氨則合計佔約 10%。

Table 6.1 ▶ Global electricity demand and supply by scenario (TWh)

			STEPS		APS		NZE	
	2010	2021	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Buildings	9 637	12 594	15 383	21 940	14 889	19 623	13 293	15 850
Industry	7 450	10 166	12 036	15 073	12 471	18 332	13 776	21 697
Transport	295	441	1 169	3 607	1 570	7 845	2 236	10 243
Hydrogen production	-	2	159	663	879	5 714	2 464	11 433
Global electricity demand	18 548	24 700	30 621	43 672	31 752	53 810	33 733	62 159
Unabated coal	8 670	10 201	9 044	5 892	8 076	1 580	4 666	0
Unabated natural gas	4 855	6 552	6 848	6 658	6 100	3 577	4 977	82
Unabated oil	969	682	432	312	363	175	180	3
Fossil fuels with CCUS	-	1	5	133	75	1 338	282	1 317
Nuclear	2 756	2 776	3 351	4 260	3 547	5 103	3 896	5 810
Hydropower	3 449	4 327	5 078	6 809	5 213	7 543	5 725	8 251
Wind	342	1 870	4 604	10 691	5 816	17 416	7 840	23 486
Solar PV	32	1 003	4 011	12 118	4 838	18 761	7 551	27 006
Other renewables	411	859	1 380	2 833	1 707	5 153	1 948	5 762
Hydrogen and ammonia	-	-	9	44	79	567	603	1 467
Global electricity supply	21 539	28 334	34 834	49 845	35 878	61 268	37 723	73 232
<i>Renewables share</i>	<i>20%</i>	<i>28%</i>	<i>43%</i>	<i>65%</i>	<i>49%</i>	<i>80%</i>	<i>61%</i>	<i>88%</i>

Notes: TWh = terawatt-hours; CCUS = carbon capture, utilisation and storage; PV = photovoltaics. STEPS = Stated Policies Scenario, APS = Announced Pledges Scenario; NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario. Electricity demand is defined as total gross electricity generated less own use generation, plus imports, less exports and transmission and distribution losses. Other sources are included in electricity supply.

圖 3、不同情境之下的全球電力供需(2010-2050)

五、關鍵技術發展及能源投資

現今太陽光電、電解槽和電池等關鍵技術的供應鏈已快速擴張。根據下頁圖 4，在最理想的 NZE 情境之下，若所有已宣布之太陽光電製造擴張計畫得以實現，其產能將於 2030 年達到 100%，完全滿足 NZE 情境的需求，而已宣布之製氫電解槽專案之潛在產能將於 2030 年達到約 60%，電池產能將於 2030 年超過 80%。由此可見，氫能、鋰電池及再生能源裝置的快速發展將左右未來世界的能源走向。

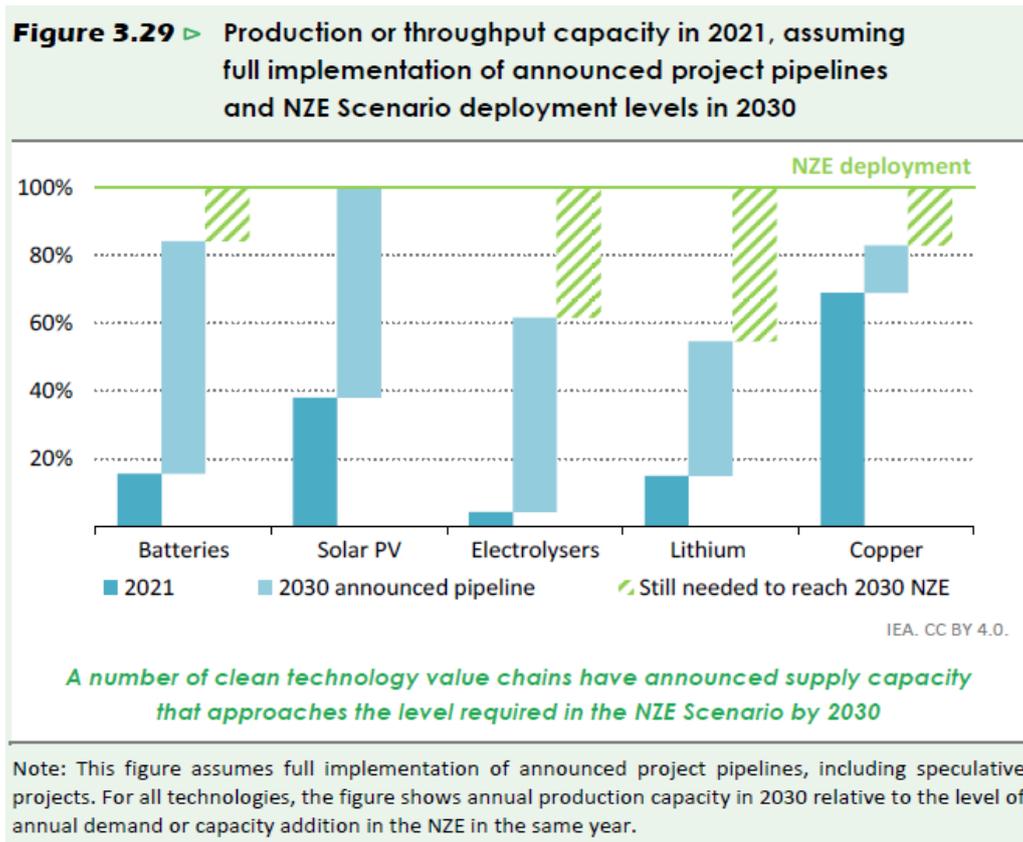
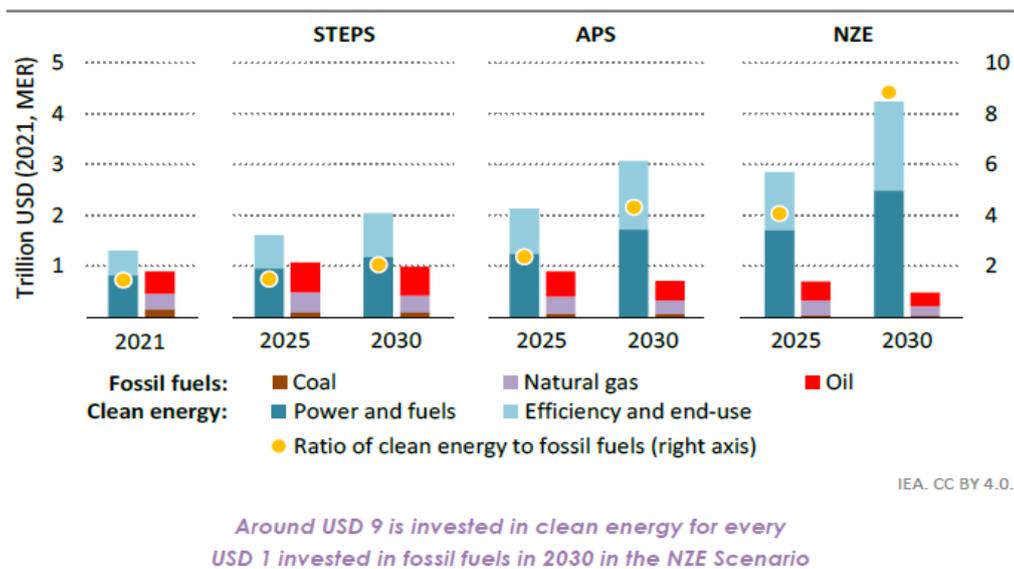


圖 4、2030 年淨零排放情境(NZE)之下的再生能源技術發展預估

另外一方面，推動能源投資需要更強力的政府政策，以減少未來價格飆升和波動風險。2015-2020 年間，由於能源價格較低，投資受到抑制，使得能源部門更易受到如 2022 年的干擾。根據下頁圖 5，在 STEPS 中，潔淨能源投資將於 2030 年達到 2 兆美元；但根據 NZE 情境，潔淨能源投資在 2030 年將需要超過 4 兆美元，此投資金額規模也突顯出世界各國政府目前所面臨的嚴峻挑戰。

Figure 4.3 ▶ Investment in clean energy and fossil fuels by scenario, 2025 and 2030



Note: MER = market exchange rate.

圖 5、不同情境之下再生能源及化石燃料的投資(2025 及 2030)

六、轉型原則

WEO 2022 提出 10 條轉型原則(guidelines)，協助指引政策制定者確保在衰減中的化石燃料系統與急速擴張的潔淨能源系統並存的當今，得以運作順遂，並提供消費者所需的能源服務，避免未來因關鍵礦物價格高漲和波動，或高度集中的潔淨能源供應鏈而產生新的脆弱性。

(一) 同步擴大各種潔淨能源技術與縮減化石燃料：

IEA 認為，投資化石燃料雖有其需要，但其目的是在能源轉型的過程當中確保供需平衡。重點在於，必須視潔淨能源投資的速度而定。

(二) 解決需求面問題並優先考慮能源效率：

IEA 注意到在許多開發中國家，電器用品的耗能標準不太完善，因此呼籲應多加關注此面向，藉改善能源效率來避免能源使用的供需失衡。

(三) 扭轉陷入能源匱乏的局面，使脆弱及貧困社區邁入新能源經濟：

在疫情肆虐及能源危機之下，全球有多達 7500 萬人無法負擔基本電力以外的能源服務，主要發生在開發中國家。IEA 呼籲政策介入有其

必要，尤其是幫助開發中國家面對高昂的潔淨能源投資成本。

(四)合作降低新興市場與開發中國家轉型所需的資金成本：

如同上述，IEA 表示，開發中國家發展潔淨能源的成本高出已開發國家約有 2 到 3 倍。如果能夠將投資成本減少 2 倍，將減少花費 15 兆美元的情況下於 2050 年達成淨零目標。

(五)謹慎管理現有基礎設施的汰役與重新利用，其中部分對於能源安全的淨零行動至關重要：

部分當前化石燃料設施對能源轉型有助益，像有些國家先增加燃氣發電後才逐漸過渡至潔淨能源。而缺乏規劃或無預警的將現有的化石燃料設備汰除，可能影響能源安全。

(六)能源轉型時，須解決生產者所面臨的特定風險：

石油及天然氣的安全在能源轉型過程需仰賴其他替代能源是否到位，像是較低成本的再生能源、天然氣及 CCUS 都可能提供長期的能源基礎，並藉此吸引耗能的工業部門投資。

(七)靈活投資潔淨能源，轉型確保電力系統安全的新典範：

IEA 認為應維持電力安全，如發電須更具備反應能力、消費者需要更有彈性，電網基礎設施必須強化及達成數位化，電力來源必須更加豐富。

(八)確保多樣化與具韌性的潔淨能源供應鏈：

IEA 指出，過度昂貴且不穩定的關鍵礦物價格將導致能源轉型有所延誤，必須減少這些因素帶來的風險，應透過增產、供應多元化、善用回收及其他可能的措施來應對潔淨能源相關原物料的需求增長。

(九)提高能源基礎設施的氣候韌性：

政府必須預測氣候風險，並確保能源系統有足夠的韌性來應對災害衝擊。

(十)政府應提供策略方向並解決市場失靈的問題，但避免破壞市場：

政府政策應避免只透過由上而下(top-down basis)，反之，政府必須要

善用各種資源及誘因而鼓勵私部門參與。IEA 認為，能源轉型至少需要私部門提供 70% 的資金，而政府可運用公部門預算來刺激私人投資。

七、WEO 2022 的重要結論與啟示

回顧 WEO 2022 報告，可以歸納以下幾項重要結論及啟示：

- (一) 在 STEPS 情境之下，化石燃料的需求將於 2030 年左右逐漸下降，合理預期未來 10 年再生能源將逐漸填補因減少使用化石燃料所遺留下的能源空缺。本報告認為俄烏戰爭將導致世界加速朝向再生能源轉型，並預估再生能源(如太陽能、風力)將於 2030 年前達成供應 43% 全球所需電力，因此擴大、加速再生能源的投資及布建，應是世界未來不變的趨勢。根據經濟部能源局出版的 110 年能源統計手冊，我國於 2021 年的再生能源發電僅佔所有發電量約 6%，顯示未來尚有許多發展空間。
- (二) 由於目前世界已有多達 139 個國家宣布將邁向淨零(佔 80% 的世界人口)，我國亦於今年 3 月提出「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，惟根據 WEO 2022 報告，目前各國政府所制訂之政策即便全然落實，仍將導致全球溫升 2.5°C 而遠高於巴黎協定的 1.5°C 目標，將對氣候產生災難性的影響。若能持續提升淨零的雄心以達成 APS 情境目標，將使得 2100 年前全球平均溫升 1.7°C；最理想的情況為達成 NZE 情境目標，全球平均溫升 1.5°C。如去年的 WEO 2021 報告，IEA 今年維持強烈建議所有新的化石能源專案都應立即停止的立場，以利全球實現 2050 年淨零排放，新的石油與天然氣開採專案，將危及氣候目標。
- (三) WEO2022 特別強調能源創新技術投資的重要性，認為此類投資對於解決未來類似今日的能源價格高漲與劇烈波動之現象，將起關鍵的作用。並且強調投資絕不能僅依賴公部門的資金，應該積極拓展私部門更龐大的市場資源並且提供足夠的誘因激發更多私部門資產的投入。

公部門所能投入的資金，遠遠不及於能源創新技術投資應及之需求水準，故私部門資金的投入將是淨零目標達成最關鍵的因素。僅潔淨能源項目的投資，當今僅達 1.3 兆美元的資金投入，在 STEPS 情境下，2030 年必須達到 2 兆美元的水準，而在 NZE 情境下更需要達到 4 兆美元水準；當今每投資 1 美元於化石能源項目，相對有 1.5 美元投資潔淨能源技術，2030 年在 NZE 情境下，每投資 1 美元於化石能源項目，相對需有 5 美元投資潔淨能源供給及 4 美元投入能源效率與其他能源需求面管理技術，足見創新能源技術投資的重要與急迫性。

- (四)WEO2022 強調應儘速消彌政策不明與行政障礙以降低不確定性是提高與加速潔淨能源投資關鍵的激勵誘因。明確的政策目標與路徑，簡化與透明化並加速行政流程可以降低投資者的疑慮以減少投資怯步。由於潔淨能源技術投資專案的核准程序牽涉多部門、多法規，專案合約中的項目例如特殊技術要求與查核點時程等，多具不確定而曠日廢時，報告中並舉出平均一條架空輸電線的興建時程約需 13 年，而關鍵礦業資源(例如稀土)的開採專案約需 16 年的時程。IEA 建議應針對再生能源供給、能源效率、電氣化等較成熟但仍不足的投資專案建立優先性，以加速轉型所需資金與技術的投入。
- (五)開發中國家潔淨能源技術投資不足一直是該等國家能源轉型最大的隱憂，而國際氣候金融機制尚需進一步精進以減少投資活動面對的財務與專案(管理)風險，尤其近來因通貨膨脹而導致的物價高漲帶動此類開發中國家潔淨能源投資成本的遽增，轉型正義策略更需國際間夥伴關係與合作機制的建立。
- (六)當今地緣政治所造成嚴峻的能源情勢，突顯了潔淨能源技術設備所需之稀土元素以及其設施與設備元、組件製造與組裝供應鏈的重要性，其攸關全球能源轉型的時程與成本。故持續的技術創新以及回收再利用、多元化供應來源與供應鏈風險管控，不可僅依賴單一或少數國家，將是能源轉型迫切需要推動的策略。

- (七)除了 10 條原則外，WEO 2022 也特別指出除了抑低排放外，確保能源供給的可靠度、韌性以及可負擔性，將成為新定義的能源安全典範。由於電力是未來滿足能源服務需求的主要型式，當今的電力系統應朝向開發更多元且更能及時因應負載需求變化的供電設施並將其數位化，經由市場機制與商業模式的建立，以及應用能源資通訊技術併聯更多需求端新興多樣的彈性資源，提供消費者用電習慣調整與適應的誘因以改變用電行為，共同確保電網設施的可靠度與韌性，並在機組容量資源合理配置下確保電力需求與電力成本的可及性。
- (八)本分析報告也提醒，即便能源轉型順遂，為確保上述電力系統可靠度與可及性，仍必須保有關鍵容量的快速反應燃氣機組以因應負載的尖峰需求，也仍需要保有適度的石油煉製設施以供應尚未完全汰役的燃油載具所需，以確保轉型正義。上述能源設施，若有尚未完全折舊而提前報廢退場者，除將折損其經濟效益外，對於能源安全也有負面的影響；反之，轉型的規劃應該要有完善與明確的路徑，才不致造成投資浪費並延宕轉型時程。

參考文獻

1. Bloomberg NEF, Oil's Next Decade Might be More Bullish than the IEA Says, November 11, 2022.
2. International Energy Agency, World Energy Outlook 2022, October 27, 2022.
3. International Energy Agency, World Energy Outlook 2021, October 13, 2021.
4. NETZERO TRACKER. November 28, 2022.
5. The Economist Intelligence Unit, Energy Outlook 2023: Surviving the Energy Crisis, November 1, 2022.
6. 經濟部能源局，110 年能源統計手冊，111 年 6 月。
7. 國家發展委員會，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明，111 年 3 月 30 日。