



永續轉型應變之道
新世界秩序下的氣候政策

序言	03
重點摘要	05
氣候政策和潔淨能源轉型	06
潔淨能源轉型的驅動力	10
政府目標和法規監管	10
科技和商品趨勢	15
總體經濟和貿易環境	20
價值鏈綠化所做的努力	24
潔淨能源系統的主要特徵及其影響	26
俄羅斯入侵烏克蘭後的環境變化	29
新地緣政治環境的氣候中和轉型	37
未來展望	38
政府可採取的行動	38
企業可採取的行動	40
臺灣企業的因應之道	42
從國家2050淨零碳排路徑 看企業淨零碳排轉型	42
離岸風電行政契約宜創造國家、企業、開發商及 供應商四贏榮景	43
參考資料	44
備註	46
作者	47
聯絡我們	48



序言

氣候變遷帶給全球前所未有的挑戰，除水資源與糧食短缺、氣候難民等問題之外，也引發極端氣候的出現，加上各國在全球供應鏈關係緊密的狀況下，更是彼此影響，地球面臨生存問題。2022年隨著各地傳出的災害威脅也使民眾越發有感，世界經濟論壇(WEF)今年發布全球風險報告中也將「氣候行動失敗」(climate action failure)、「極端氣候」(extreme weather)與「生物多樣性喪失」(biodiversity loss)視為未來10年的三大全球風險。國際關注永續議題，使永續轉型更是刻不容緩，因此各國皆需實際做出應對氣候變遷的行動，才有望減緩危機。

然而在自然反撲所受到的挑戰下，人為的影響也使全球遭受新一波的衝擊，俄羅斯入侵烏克蘭帶給歐洲乃至全球整個供應鏈中的能源相關部門之影響，導致各國受到衝擊，在這當中仍須面對氣候變遷及淨零碳排目標，使的整個局勢雪上加霜。勤業眾信出版《永續轉型應變之道：新世界秩序下的氣候政策》報告中針對地緣政治之影響，更是進一步指出政府和企業最緊迫需要面對的問題。在新的地緣政治和能源秩序下，國際間必須合作加速能源轉型，當中能看見政府和企業若能發揮關鍵作用，將有望加速淨零及增進地緣與政治上的韌性。

全球已有超過125個國家制定了直至2050年或之前實現淨零碳排的目標，並已經實施了促進可再生能源發展以及與交通相關的政策。臺灣也跟緊國際淨零腳步，國家發展委員會於2022年3月底，正式提出「臺灣2050淨零排放路徑圖及策略」，內容包含五大路徑規劃、四大轉型策略及兩大基礎，並規劃從2022至2030年間撥出約新台幣9,000億元預算支持淨零轉型計畫。全球積極推動永續行動時，Deloitte也在今年宣布投資10億美元用於規劃永續與氣候行動，視永續興旺為己任，期許透過全球資源串聯協助臺灣政府與企業，建立永續商業營運模式，迎向未來低碳經濟、能源轉型的時代，攜手共創永續榮景。

勤業眾信聯合會計師事務所
永續發展服務團隊負責人
陳盈州 會計師

陳盈州



重點摘要

俄羅斯入侵烏克蘭的行動，迫使歐洲尋找替代的石油和天然氣供應商。同時，迅速採取氣候行動和能源轉型措施，也已成爲空前迫切的任務。《巴黎協定》簽署之後，許多國家制定了不同期限的氣候中和目標，除了實施相關政策來減少國內二氧化碳排放²，也鼓勵潔淨能源科技的開發。這些政策隨著產業倡議、持續的全球化趨勢和日漸廣泛的國際共識，使多種潔淨能源科技成本顯著降低而效率大幅提升，其中尤以太陽能光電、陸上風能和電池儲存科技爲最。

對於現階段的能源轉型而言，烏克蘭戰爭帶來兩種新的面向：韌性 (resilience) 和自主能力 (sovereignty)。例如，歐洲高度依賴從俄羅斯進口的石油、天然氣、煤炭和原材料；而就俄羅斯進口的供應情況而言，化工、煉油、金屬或發電等能源密集型產業面臨最大的風險。這些新興因素促使歐洲重新評估能源轉型策略，尤其是俄羅斯天然氣或低碳氫所扮演的角色。爲了提高韌性，加速推動再生能源轉型，以及開闢多元化的能源種類和進口管道，顯然是最亟需採取的行動。然而，因石油和天然氣價格上漲的趨勢，而可能導致新的資金挹注到勘探和生產活動，進而在未來形成擱淺資產，與氣候目標背道而馳。

企業、決策者與民間社會紛紛迫切呼籲採取行動。本分析報告建議各國政府考慮採取以下措施：

- 1** 制定明確且具約束力的目標，以履行巴黎氣候協定的承諾。
- 2** 配合彈性的政策與氣候行動來利用任何現有的偕同作用，善加發揮電氣化、能源多樣化、能源效率提升、策略材料循環經濟以及各領域的既有綜效。
- 3** 充分降低成本不確定性及近期價格波動造成的潔淨科技投資風險，力求遏制人口負擔。
- 4** 加強國際合作以實施氣候和應變政策。

產業領導者是轉型的關鍵推手。一方面，他們的行動有賴於政策制度上的支持；另一方面，企業可以採取積極主動的措施加速轉型。建議企業考慮採取以下方式：

- 1** 追求在能源以外的領域進行全面重組和多樣化進程 (即尋找其他策略性原材料和商品)。這包括分析潛在的弱點並找出替代性供應結構。
- 2** 採取多元投資策略，不僅是石油、天然氣和煤炭等石化燃料，而且在低碳能源科技方面也必須盡量分散風險。
- 3** 將綠色價值鏈作爲分析和重組流程的核心環節，以發揮最大的綜合效應。
- 4** 避免貿然解讀石化燃料價格偏高的現況，並將此狀況誤判爲長期投資石化燃料資產的可行性指標。
- 5** 將近期成本上升所產生的額外利潤作爲主要資金，持續投資於變革性科技和/或系統，爲成長、就業和社會福利帶來額外收益。

氣候政策和潔淨能源轉型



俄羅斯入侵烏克蘭改變了全球政治的格局。此事件影響安全和地緣政治既有的典範和策略、全球化的未來發展模式以及能源、食品和許多大宗商品市場，其中尤以金融市場最為顯著。而另一項可能掀起熱議的政治和業務內容，就是氣候政策。

全球氣候變遷加速使應變對策成為迫切的需求，可能是人類面臨最重大的挑戰，甚至是最攸關存亡的考驗。人類生活成為導致全球氣候變遷的科學證據，無論從過去觀測結果或對未來的預測而言，皆已具有充分的說服力。近年來，這類證據大量增加，使得氣候變遷受

人為影響成為毋庸置疑的事實 (IPCC, 2021)。至少在過去 2000 年中，排放溫室氣體導致氣候暖化的速度已達空前。迄今為止，人為引起的全球平均溫升已超過 1°C，致使海洋、永凍圈和生物圈都發生了廣泛而急遽的變化 (IPCC, 2021)。

在某些情況下，全球氣候變遷的科學實證概率有別於特定地區觀察到的變化情形。近數十年來科學證據一再顯示，人類幾乎所有領域的活動皆與氣候變遷相關，而且此一發現此證據的確定性已顯著提升 (IPCC, 2021)。

- 海平面上升很可能是由於人為影響的氣候暖化所致
- 由於人類活動引起全球暖化，造成北極冰帽與全球大部份冰川都在快速消融
- 極端高溫氣候變得更加頻繁和劇烈，天氣嚴寒發生頻率則有所降低；上述兩現象，已確定高度與氣候變遷有關
- 人為氣候變遷可能促使嚴重的降水事件顯著增加
- 季風變化亦可歸因於人為影響 (此統計結果為中等信度)

隨著暖化加劇，這些變化預計將變得更加強烈，並在特定地區（海洋、冰帽、海平面）造成數世紀到數千年間不可逆轉的結果（Solomon 等，2009）。

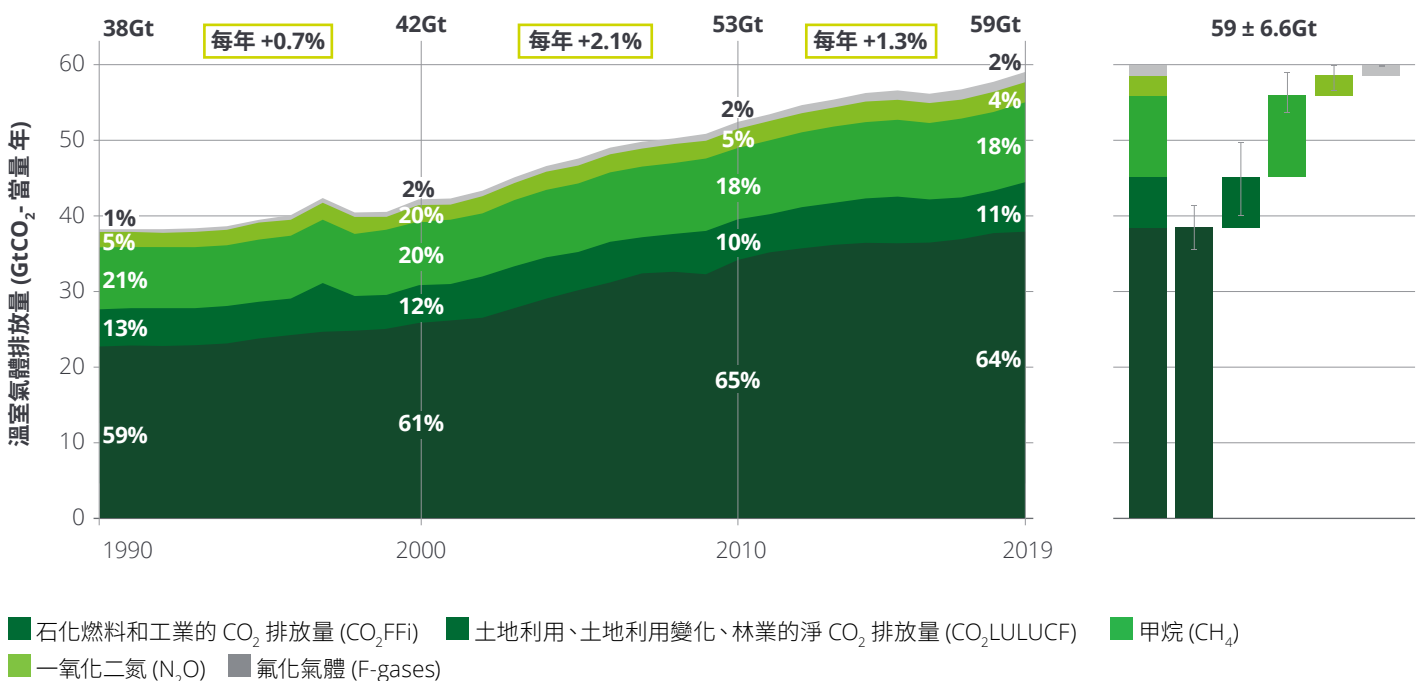
全球氣候變遷對自然和人類有著深遠的影響，範圍涵蓋生態系統、人類健康和生計（農業、供水等）、住宅和基礎設施，依不同的區域、社會經濟因素及時間範圍，也造成迥異的後果。大約有 33 億到 36 億人口生活在特別易受氣候變遷影響的地區（IPCC，2022a）。氣候變遷的影響已然成形，未來的影響勢不可

免，必須仰賴緩解措施減低嚴重程度。然而，目前仍有機會推出積極的應對措施，避免因人為氣候變遷加劇而造成無法適應的嚴重後果。

人為溫室氣體排放是造成全球氣候變遷的主要驅動力。除了幾次減緩之外，此趨勢近數十年來穩步上升，目前比 1990 年水準高出約 55%（圖 1）。最大增幅來自於 CO₂ 石化燃料使用和工業產生的排放（IPCC，2022b），佔目前全球人為溫室氣體排放量近三分之二。

第二大增幅來自甲烷排放，主要是從農業領域所產生，但部分也是由於石化燃料的提煉和使用所造成。雖然氣候政策必須設立遠大願景，足以涵蓋能源以外的領域（農業和土地利用、林業、廢棄物管理、工業製程等），然而在可行的氣候政策之中，首要課題在於如何最快地轉型至氣候中和的能源系統。

圖 1 - 1990 年至 2019 年全球人為溫室氣體淨排放量



資料來源：政府間氣候變遷專門委員會第六次評估報告第三工作組專題撰文 (IPCC，2022b)

即使我們難以避免人為氣候變遷的後果，但仍有機會大幅遏制未來氣候變遷的程度。若能將全球平均溫升幅度降至大幅低於 2°C，甚至盡可能低於 1.5°C (相較於工業化前水準的平均溫升幅度)，則可避免特別危險的氣候變遷情況(圖 2)。但 IPCC (2018 年) 資料顯示，若要達成上述目標，建議必須達成下列作為：

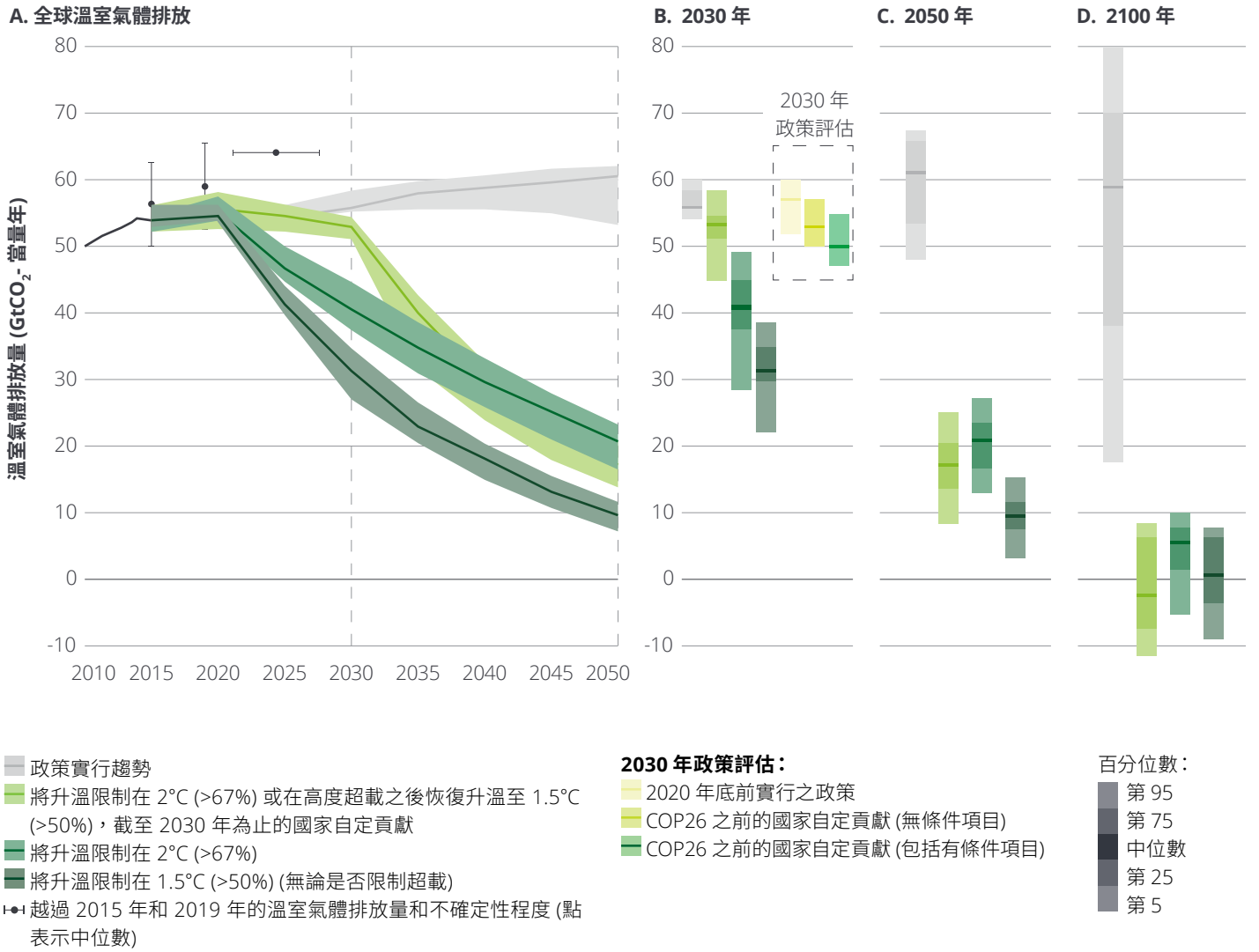
- 在本世紀中以前將全球溫室氣體年排放量減少超過 50% (或減量超過 80% 以達到 1.5°C 的目標)
- 須在此十年內達到排放峰值，然後開始壓低曲線，使其脫離目前排放趨勢。

迄今實施的氣候政策，以及自《巴黎協定》後宣布的額外能源和氣候政策倡議或承諾，皆已開始對氣候變遷產生緩解作用。然而，這些努力必須提高力道，才能扭轉目前的排放狀況並及時實現減排目標 (IRENA, 2021a)。

目前已大致具備基礎技術和經濟條件，足以轉型到氣候中和的能源系統。在能源政策領域採取行動是攸關生存的挑戰，也是決定氣候控制措施成敗的重要支柱。因此，問題不在於俄羅斯入侵烏克蘭後的地緣政治新局是否阻礙我們制定宏大且必要的氣候政策；而是在於如何在「維安和地緣政治韌性」與「氣候導向能源轉型」雙方面的需求之間達成綜合效果、是否能夠解決特定領域可能出現的衝突，以及何者才是實現目標的最佳策略。



圖 2 - IPCC 第三工作組 2022 年評估報告不同未來模型下全球溫室氣體排放預測



資料來源：政府間氣候變遷專門委員會第六次評估報告第三工作組專題撰文 (IPCC, 2022b)

潔淨能源轉型的驅動力

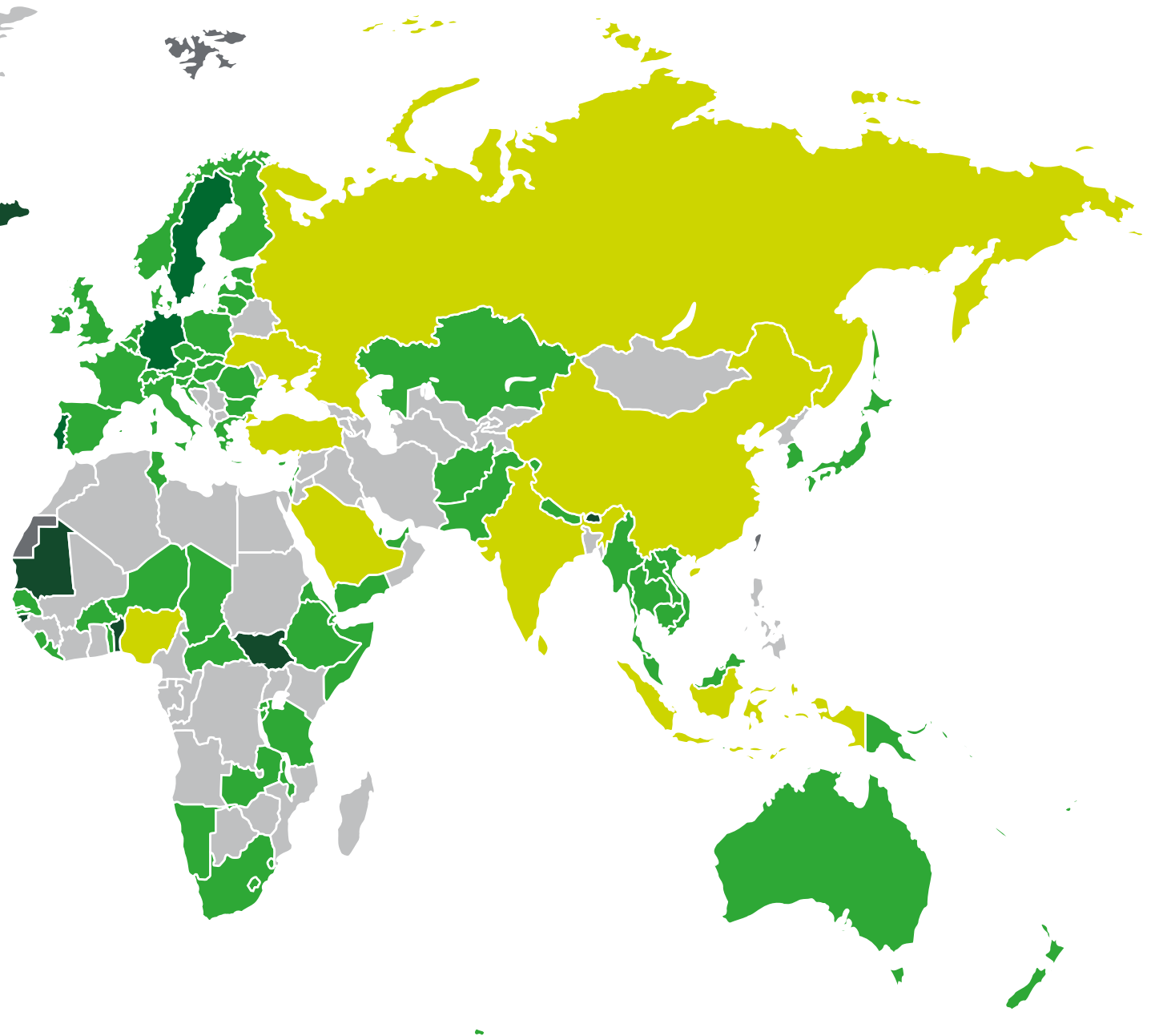
政府目標和法規監管

在《巴黎協定》之後的政策進程中，某些國家或多國集團承諾將氣候中和視為多數國家氣候和能源政策的新典範(圖3)。

- 全球 11 個國家 (佔全球人口 0.4%、全球國內生產總值 0.1%¹、全球溫室氣體排放量的 0.3%) 承諾於 2040 年以前達成氣候中和³；
- 全球 15 個國家 (佔全球人口 2%、全球 GDP 的 4%、全球溫室氣體排放量 2.4%) 制定了在 2045 年以前達成氣候中和的目標；
- 全球 125 個國家 (佔全球人口 34%、全球 GDP 的 54%、全球溫室氣體排放量 42%) 制定了在 2050 年以前達成氣候中和的目標；
- 全球 134 個國家 (佔全球人口 63%、全球 GDP 的 82%、全球溫室氣體排放量的 81%) 預定於 2060 年以前達成氣候中和目標；
- 包括印度在內的全球 135 個國家 (佔全球人口 81%、全球 GDP 的 89%) 承諾於 2070 年以前達成氣候中和。

圖 3 - 全球氣候中和承諾分布圖





在特定情況下，各項承諾的規範和約束性質具有重大差異，許多國家甚至尚未制定或公佈對氣候變遷具有決定性影響的中等級目標策略。然而，在短短 2 到 4 年內迅速轉型至氣候中和的措施，顯然已成為新的典範或主要發展趨勢。

現有的能源系統、工農業結構以及消費模式的轉型與全新氣候措施的推動(在自然和科技方面的淨碳匯(Carbon Net Sink)，如植樹造林、利用生物能源進行碳捕捉和儲存、直接空氣捕捉和儲存等)的成敗，在很大程度上都取決於能否制定合乎需求的政策。在過去的 20 年間，許多國家已採取初步措施，使全球溫室氣體排放量首次發生重大變化。這類法規監管方式有所差異，且在很大程度上取決於當時的政治環境、經濟發展狀況和不同的國家特點。

在重新調整能源使用和採取氣候友善行動方面，CO₂ 價格或其他溫室氣體排放量發揮著關鍵作用。近年來，全球眾多國家頒佈碳定價政策(圖 4)，2021 年已對全球約 23% 的溫室氣體排放進行定價(世界銀行，2022a)。然而，潛在的模式、願景和涵蓋的部門彼此有顯著的差異。有效 CO₂ 價格從每噸低於 1 美元到超過 100 美元不等，涵蓋範圍從個別產業乃至於全國性的系統。各種碳定價機制在 2021 年產生大約 840 億美元的營收(世界銀行，2022a)。即使如此，CO₂ 定價產生的全球營收仍遠低於石化能源開採和使用的補貼總額。隨著石化燃料價格和能源消耗的下降，石化燃料補貼在 2020 年創下 1,800 億美元的歷史新低。

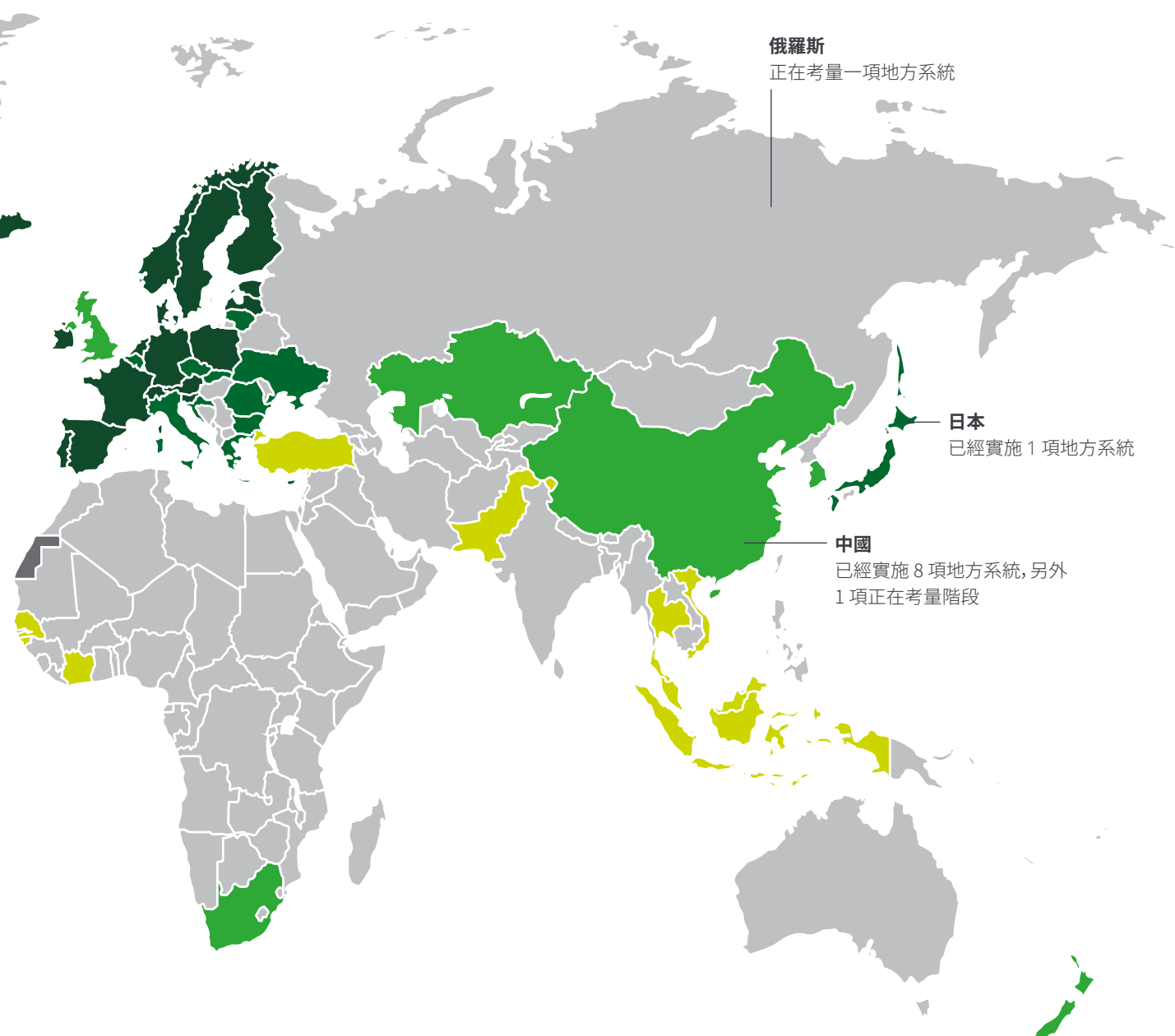
然而根據國際能源署統計，這項數值在 2021 年飆升至 4,400 億美元⁴。即使獲利創下新高，石油和天然氣產業仍可領取這些補貼。根據 Rystad Energy

統計，由於 2022 年石油和天然氣價格飛漲，公共勘探和生產(E&P)企業將在 2022 年創下新高的 8,340 億美元獲利⁵(與 2021 年利潤相比成長 70%)。

圖 4 - 全球 CO₂ 定價及特定科技於再生能源的支援措施現況



資料來源：世界銀行碳定價儀表板⁶，ICAP (2022) 自有研究



俄羅斯
正在考量一項地方系統

日本
已經實施 1 項地方系統

中國
已經實施 8 項地方系統, 另外
1 項正在考量階段

除了價格手段外，亦有工具可用於克服特定市場的發展障礙，且在全球各地發揮著重要作用。尤其再生能源發電的支援措施(圖 5) 是引人關注的案例。2021 年《再生能源全球現況報告》(REN21, 2021) 指出，相關政策機制的範圍和目標仍然十分廣泛：

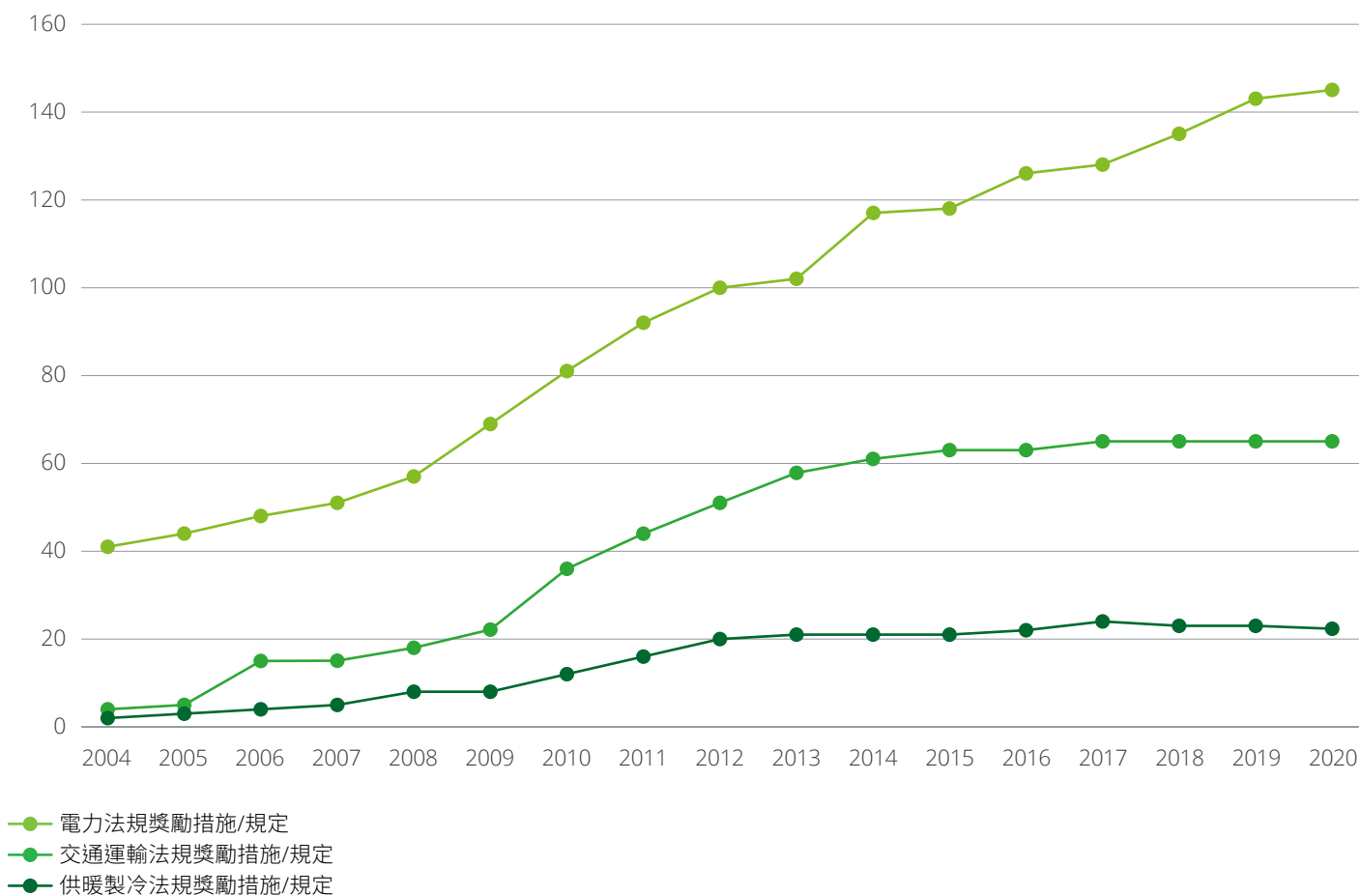
- 迄今為止，已有 145 個國家實施了促進再生能源發電的政策。這項數字長期以來相對穩定增加，在全球近四分之三的國家均實施相關政策。

- 為交通運輸部門制定再生能源支援政策的國家數量顯著減少，來到 65 國(佔所有國家的三分之一)。值得注意的是，從 2009 年到 2015 年制定交通運輸部門再生能源政策的國家數量顯著增加，之後成長速度顯著減緩。

- 只有 22 個國家(佔所有國家的 11%) 實施了再生能源用於供暖和製冷系統的具體政策。在此領域也可以觀察到 2009 年至 2013 年期間的數量急速成長，之後大致趨於停滯。

至少，全球各地皆已設立再生能源發電的支援機制。當然，這些工具的有效性仍需具體分析，這將不在本文現有分析的範圍內。但應當注意的是，再生能源應對氣候變遷的重要性幾乎已成為社會共識，各界也普遍支持擴大使用這類能源。同樣，能源效率和電氣化領域的其他支援機制(如電動汽車的低息貸款和補貼，以及建築物的翻新改造等)也促使潔淨科技在相關領域的使用有顯著進展。

圖 5 - 2004-2020 年各部門制定再生能源政策的國家數量



註：該圖未顯示所有現行的政策類型。在許多情況下，國家頒布了額外的財務獎勵措施或公共融資機制來支持再生能源。一個國家至少訂有一項國家或州/省/市級政策時，則視為具有一項政策(單次計入)。電源政策包括躉購電價(FIT)/躉購溢價、招標、淨計量電價和再生能源發電配額制。供暖和製冷政策包括太陽能供暖義務、技術中立的再生熱能義務和再生熱能躉購電價。運輸政策包括生質柴油使用義務/強制令、酒精使用義務/強制令和非混合燃料強制令。

資料來源：REN21 (2021 年)

科技和商品趨勢

科技趨勢

若要實現能源系統和工業的碳中和轉型，就必須大規模使用變革性的科技和/或系統。其中特定策略旨在推動科技進展並降低成本(如過去 20 年風能和太陽能的发展情形)。其他科技處於發展初期或市場滲透階段，然而在科技領域確實已出現突破性的發展，尤其是在成本方面。

某些關鍵的氣候中和科技在全球各地進展卓躍，其中大部分發生在 2010 年代，與國際氣候政策的突破發展並駕齊驅，尤其是 2015 年 12 月的《巴黎氣候協定》。這項重要的跡象顯示，不論在國際和國家層面，科技進展與成本降低都是氣候中和政策的關鍵成功因素。

再生能源發電和儲能科技成本的大幅下降，是過去 20 年來最重要的突破之一(圖 6)。具體進展如下：

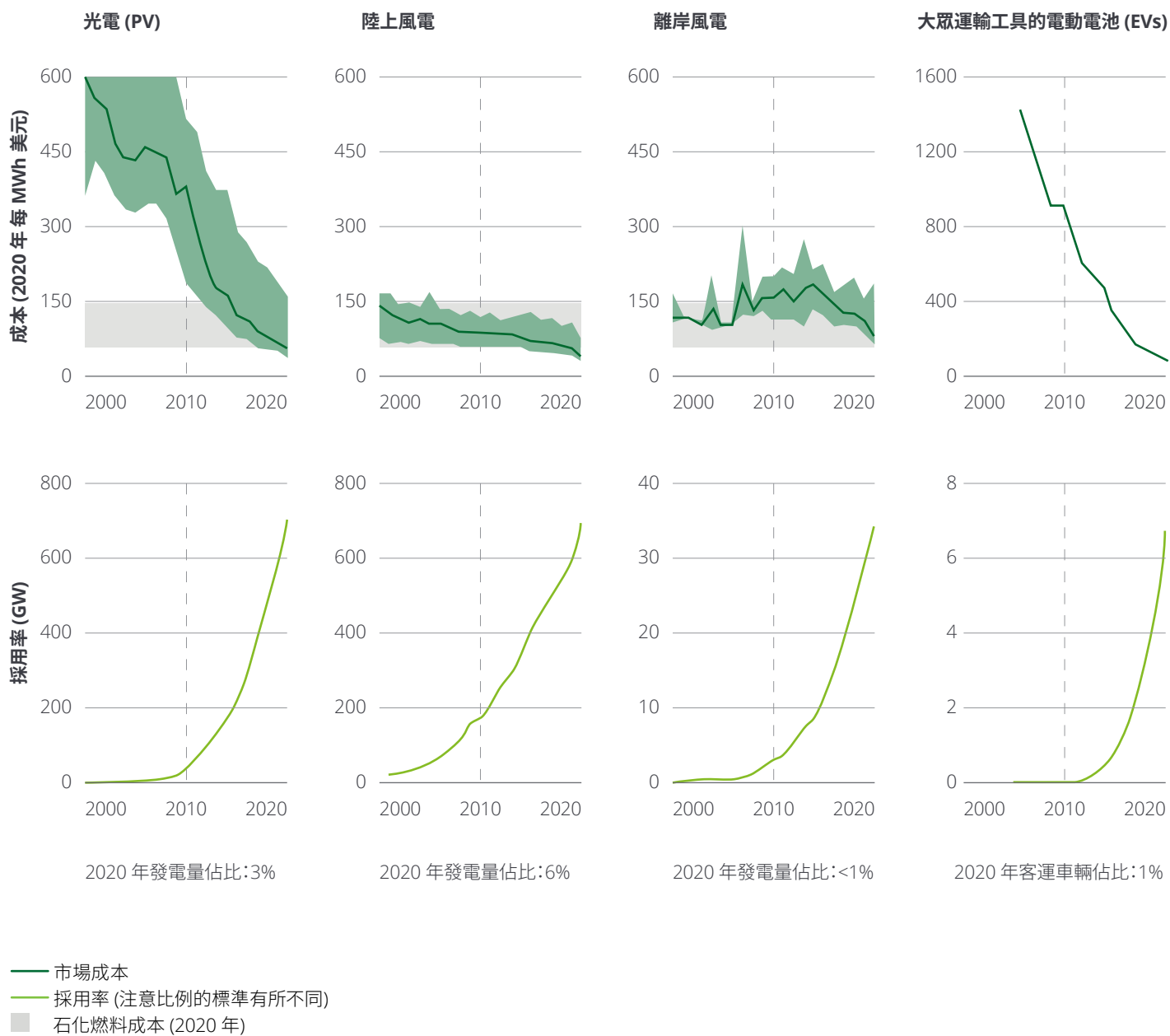
- 採用光電系統的太陽能發電成本從 2010 年至 2020 年下降近 90% (Ritchie 和 Roser, 2021)，目前已低於全球許多地區石化燃料或核能發電平均成本，亦已低於其他國家石化燃料用電的變動成本⁷。
- 2010 年至 2020 年間，陸上風電的發電成本下降 70%(Ritchie 和 Roser, 2021)。在此領域，全球許多地區的平均成本也約低於石化燃料或核能發電的總成本⁷。



- 雖然離岸風能的市場滲透仍處於初期階段，但其成本在過去 10 年間下降 30%，且預計將進一步大幅下降 (Ritchie 和 Roser, 2021)。
- 電池儲能方面的進步是增進電動交通發展並推動發電事業轉型為零排放能源的另一項關鍵成功因素。2010 年至 2020 年間，電池儲能成本下降 90%，而電動交通發展也取得突破⁸。此領域的成本預計未來數年內還會進一步大幅降低。

除了不同發電選項以外，科技進展和成本降低也對供給面帶來深遠影響。例如，LED 科技徹底改變了照明產業。這項科技可以節省大約 80% 的照明所需電力。與此同時，此領域的成本從 2014 年至 2019 年下降超過 80% 以上⁹。

圖 6 - 關鍵氣候中和科技的發電 (陸上、離岸風能及太陽能光電) 和儲能 (電池) 平均成本趨勢



資料來源：政府間氣候變遷專門委員會第六次評估報告第三工作組專題撰文 (IPCC, 2022b)

然而在一定程度上，上述進展的驅動力僅來自市場。在眾多部門，大部分科技進展和成本降低，都是先由公部門和產業制定政策，進而在市場中有領先的成果。氣候中和科技市場迅速成長，與所謂「學習曲線」或「經驗曲線」的成本趨勢之間具有高度的相關性。累計裝機容量每次翻一倍，成本就會下降一定百分比，此現象稱為學習率（見右框）。這些成本降幅是科技改良、生產效率和容量提高的綜合結果，經常也是因為工廠產能增加所致。

- 光伏電場（2010 年全球裝機容量為 40 GW，2021 年為 843 GW）的相應分析顯示，產能每翻一倍的典型學習率為 39%（基於單位發電成本¹⁰）（IRENA，2020、2021b 和 2022）。
- 陸上和離岸風電（2010 年全球裝機容量分別為 178 和 3 GW，2021 年分別為 769 和 56 GW）的相應學習率（基於單位發電成本）分別約為 32% 和 15%（IRENA、2020、2021b 和 2022）。
- 各類電池的學習率維持在 20% 到 31% 之間（Ziegler & Trancik，2021）。

學習和經驗曲線

「從做中學」（Learning by doing）是經濟理論中的概念，亦即生產、生產力和量產方面的經驗累積可降低整體科技成本。學習或經驗曲線闡明了這項過程，由特定科技專屬的曲線顯示科技成本如何隨著產能（在能源領域即為「裝機容量」）的增加而發展。設若在時間 t_0 和生產水準 P_0 下的技術成本是 C_0 ，則於時間 t （及生產水準 P_t ）的未來成本可計算如下：

$$C_t = C_{t_0} \times \left(\frac{P_t}{P_{t_0}} \right)^\varepsilon$$

其他可望在未來數年迅速成長的科技，預計也會出現類似的發展趨勢，尤其是低碳電力的氫氣產能將大幅增加。目前估計值所預設的學習率約為 12%（氫能委員會，2021），這表示若未來十年全球電解能力提升，則電解槽的生產成本可能會下降 65%。隨著氫能長途運輸成本的進一步突破，全球日益普及的氫能市場將可迅速成長，呈現類似於液化天然氣（LNG）的發展趨勢。

其中 ε 為經驗參數，而學習率（LR）與經驗參數的關係表示如下：

$$LR = 1 - 2^\varepsilon$$

這表示在經驗參數為正值時，一項科技平均成本會隨其裝機容量的增加而降低。

例如，20% 的學習率表示經驗參數為 $\log 0.8 / \log 2$ （等於 0.322）。此學習曲線顯示，特定科技在一定時期內裝機容量每翻一倍，成本會下降

$$1 - 2^{-0.322}，相當於 20%。$$

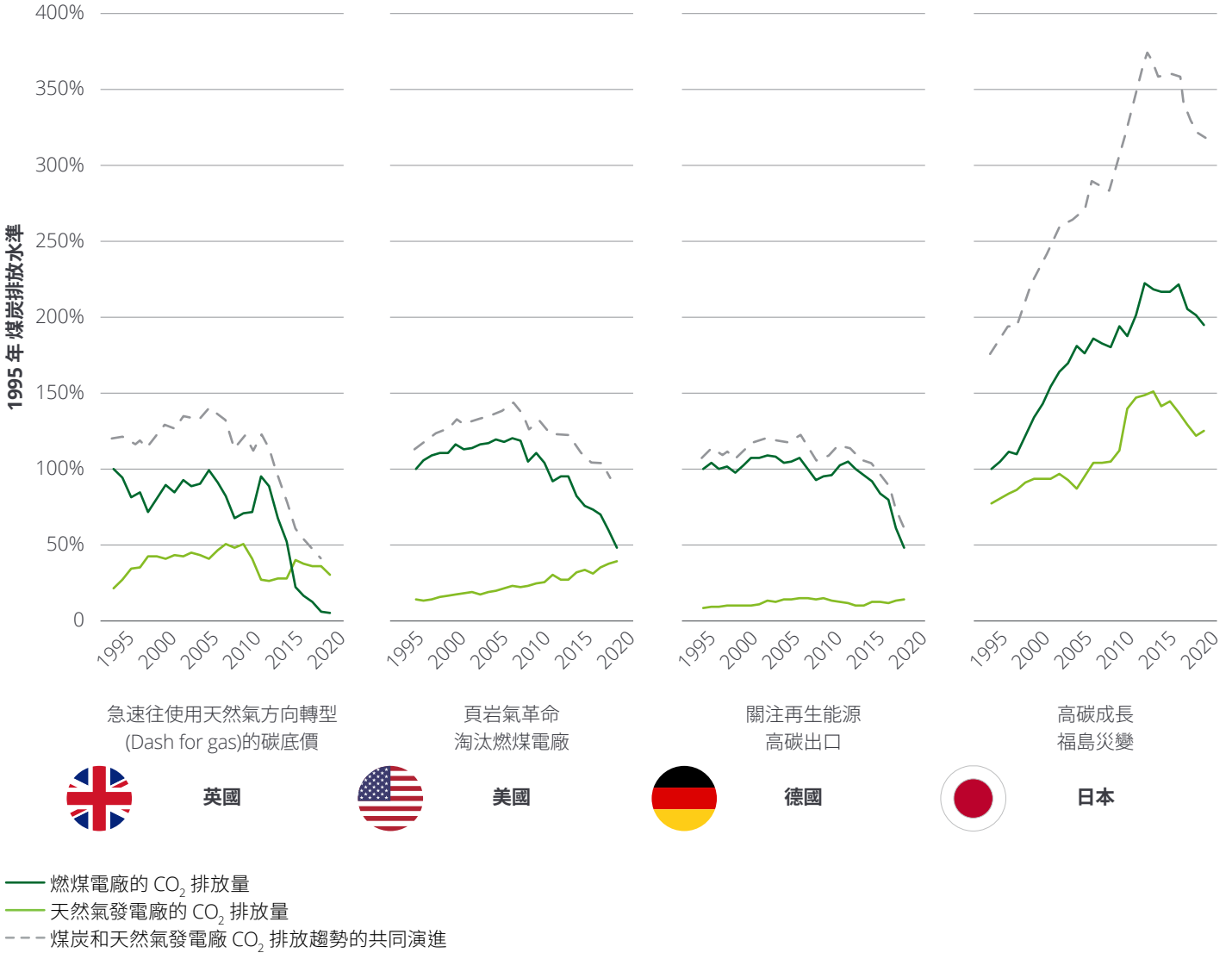
最後，數位化也會在氣候中和轉型的過程中發揮決定性作用。由於在投資和營運決策中廣泛採用數位測量控制科技、軟體科技以及全方位的建模科技，進而造就巨大機會，有利能源和資源節約型科技和營運模式發展，同時節省大量成本。然而，這確實需要複雜的軟體解決方案、大量現成的半導體供應，以及其他資訊和通訊科技的支持。

具吸引力的低碳燃料價格

近期在部分國家觀察到的減排趨勢，主要原因在於低碳密集型石化燃料（主要是天然氣）價格呈現有利的發展。尤其在美國和英國等部分國家，煤炭和天然氣價格的價差縮小，對於減少發電排放溫室氣體具有重要作用（圖 7）。燃料轉換曾經成為極具經濟吸引力的選項，促使燃煤電廠的溫室氣體排放量顯著下降，但此效果已因天然氣電廠排放量的顯著增加而抵銷。美國、英國、德國和日本發電事業的能源相關 CO₂ 排放量發展趨勢如下：

- 據英國報告顯示，燃煤電廠排放量在 1995 年後數年間有所下降，但部分因天然氣電廠排放量的增加而抵銷。然而，近期燃煤電廠排放量的下降與燃氣電廠排放量的增加之間僅具部分相關性。隨著對電力部門徵收碳稅後，再生能源發電量和從歐陸進口電量均有所增加，但兩者皆未提高英國 CO₂ 的總排放量，展現遠為重大的意義 (Leroutier, 2022)。
- 從 2010 年開始，美國燃煤發電的 CO₂ 排放顯著下降與天然氣發電廠 CO₂ 排放的增加有關。從煤炭到天然氣發電廠兩種石化燃料之間的轉換，在此顯然是一項重要因素¹¹。
- 截至 2015 年，德國燃氣電廠對於燃煤電廠排放量的驟減只發揮極小作用。碳密集型電力出口的下降和再生能源發電的大規模擴張，是更具決定性的因素。整體而言，天然氣發電不論今昔，在德國都只扮演次要角色¹²。
- 在日本，則再次呈現截然不同的型態。當地用電量的增加，與煤炭和天然氣發電擴大規模以及相應的排放趨勢有所關聯。福島第一核電站事故發生後，天然氣和燃煤電廠的排放量都顯著增加。截至 2015 年，煤炭和天然氣發電廠之間的排放量並未變化 (Kharecha 和 Sato, 2019)。

圖 7 - 1990-2020 年公共電力和熱能生產的 CO₂ 排放趨勢



資料來源：聯合國氣候變遷綱要公約 (UNFCCC) 國家清冊報告

總體經濟和貿易環境

2000 年以來，全球許多地區的總體經濟環境為資本密集型投資創造了有利條件。與此密切相關的因素之一，即是 90 年代後期由網際網路問世及運輸成本下降引領的第二波全球化浪潮 (Ortiz-Ospina 等人, 2018)。隨著商品和服務貿易趨於旺盛，全球資金流動 (尤其是外國直接投資 (FDI)) 也持續增加。2000 年至 2016 年間，外國直接投資的份額在全球 GDP 的佔比從 22% 增加到 35%。全球金融和經濟危機導致重大轉變，使得新興市場經濟體漸具吸引力。2013 年，FDI 流入總量中超過 50% 流向新興經濟體 (Carril-Caccia 和 Pavlova, 2018)。在大量現成投資資本和利率極低的環境下，對潔淨科技的投資 (通常佔投資成本極大比例) 也變得更具吸引力。

2000 年至 2019 年期間，私人投資以每年 4.3% 的速度成長¹³。同期私人資本存量幾乎翻倍，從 1130,450 億美元 (依 2017 年定值國際美元計算，經購買力平價調整) 增加到 2019 年的 2211,050 億美元 (國際貨幣基金組織, 2021)。在經濟上，全球各地開始彼此迎頭趕上。過去二十年，開發中國家的私人投資以每年 8% 的速度成長，而已開發經濟體的年成長率為 2%，由於這段期間新興經濟體的 GDP 成長表現優於已開發經濟體，使全球不平等現象有所減少 (Roser 和 Ortiz-Ospina, 2016)。

隨著貿易的全球化，工業活動逐漸轉移到新興經濟體，尤其是將生產設施轉移到環境法規較寬鬆的地區。此趨勢提高公民的生活水準，但同時也增加這些經濟體對石化燃料的需求，進而導致排放量增加。當新興經濟體對先進經濟體進口更多商品，進口的排放量也隨著增加。從 1990 年到 2008 年之間，貿易商品生產和服務業的 CO₂ 排放量從 4.3 吉噸增加至 7.8 吉噸。經由國際貿易活動，從發展中國家轉移到已開發國家的 CO₂ 淨排放量從 1990 年的 0.4 吉噸增加到 2008 年的 1.6 吉噸 (Peters 等人, 2011)。

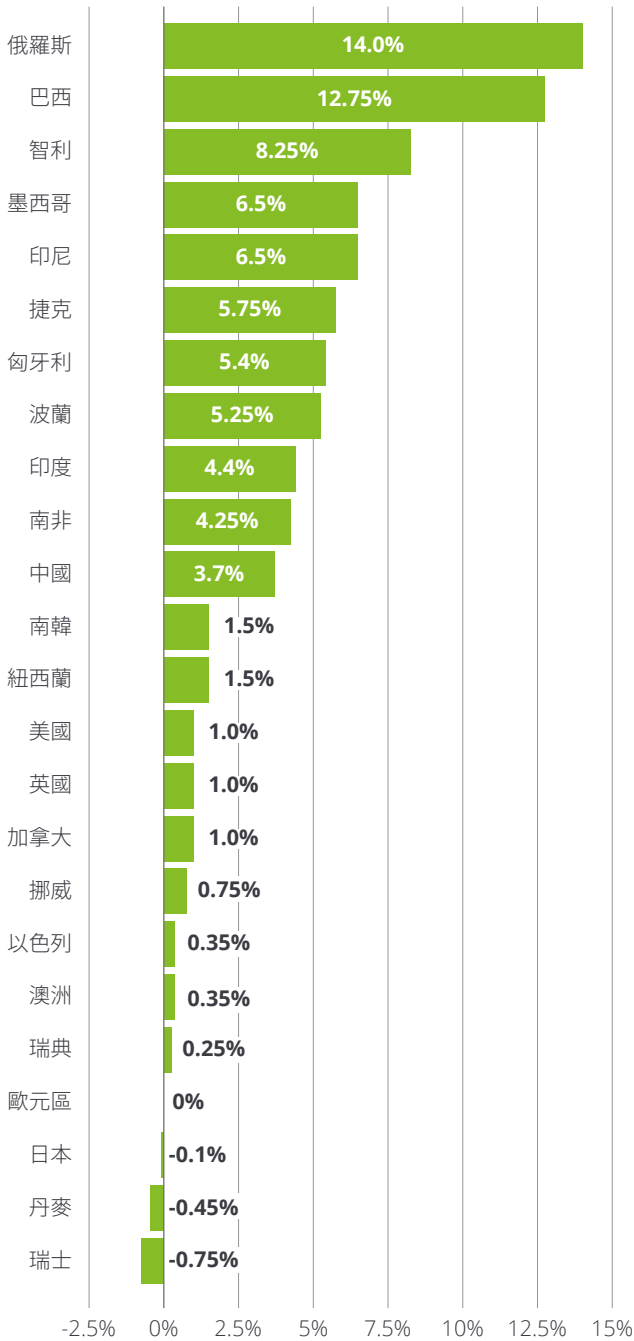
2008 年金融危機後，已開發經濟體的 GDP 成長率和通貨膨脹率均處於極低水準。包括美國聯準會 (FED)、英格蘭銀行 (BoE) 和歐洲中央銀行 (ECB) 在內的央行機構紛紛採取干預措施，並降低利率以期鼓勵投資。COVID-19 危機衝擊全球市場，影響供需態勢，但封城和管制措施結束後需求迅速恢復。由於原材料供應困難和能源價格上漲，全球供應鏈難以跟上需求，因此提高了價格。

全球絕大多數經濟體皆受到通貨膨脹影響，各國央行紛紛提高利率來因應物價上漲趨勢。然而，全球各地所受影響不盡相同 (圖 8)。全球各國利率呈現顯著落差。較高的通貨膨脹率和風險概況推升了開發中經濟體的投資成本。相較之下，已開發經濟體即使面臨通貨膨脹和央行利率上升的環境，仍可享有較低的投資成本。這是投資低碳科技的良好機會。

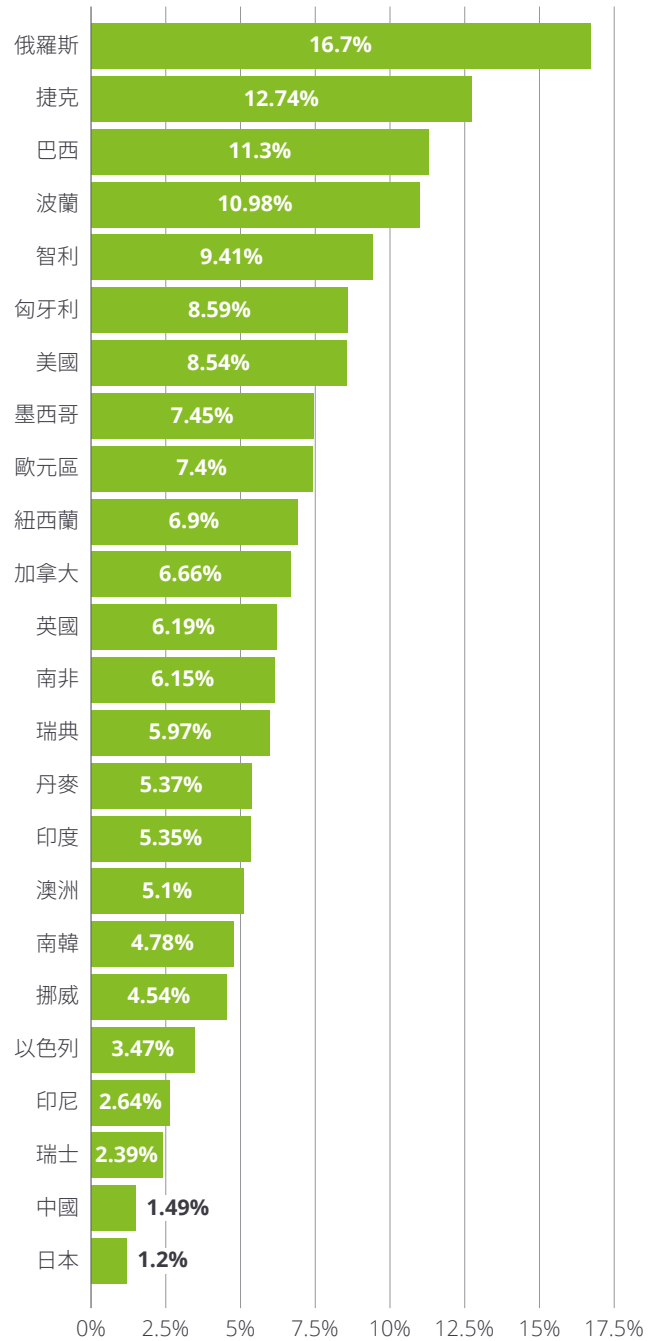
從 2005 年到 2020 年，全球低碳科技投資額從 600 億美元增加到 5,240 億美元。然而，迄今為止的綠色科技投資額，連同籌備階段的投資計畫，都不足以達到 1.5°C 的目標 (圖 9)。目前已撥出 98 兆美元專款投資於 2021 年至 2050 年期間的計畫。然而，為將全球暖化幅度限制在 1.5°C 以內，IRENA 估計同期需要額外投資 33 兆美元；相當於每年平均投資 4.4 兆美元，而非目前預測的 3.3 兆美元 (IRENA, 2021a)。雖然這些投資規模巨大，但仍有金融資本可供實行轉型計畫。此時必須調用公私部門的財政資源 (圖 9)，以公共資金作為擔保，並在必要時承擔風險，消除風險升高的疑慮，以吸引私人投資者的參與。

圖 8 - 年度通貨膨脹率和現行 (2022 年) 央行利率

A 2022 年央行利率

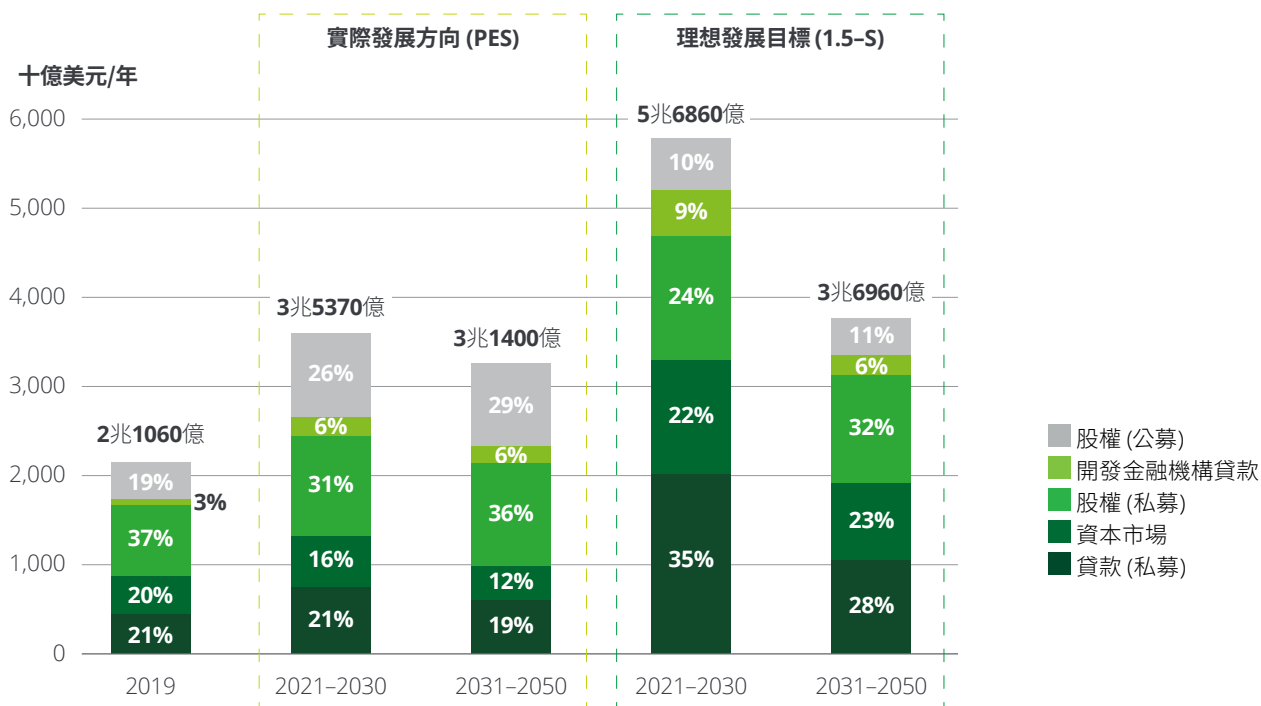


B 2022 年通貨膨脹率



資料來源:全球利率¹⁴

圖 9 - 依來源和融資類型區分的年平均總投資額：2019 年目前趨勢和 IRENA 的 1.5°C 情境 (2021-2030 年間和 2031-2050 年間)

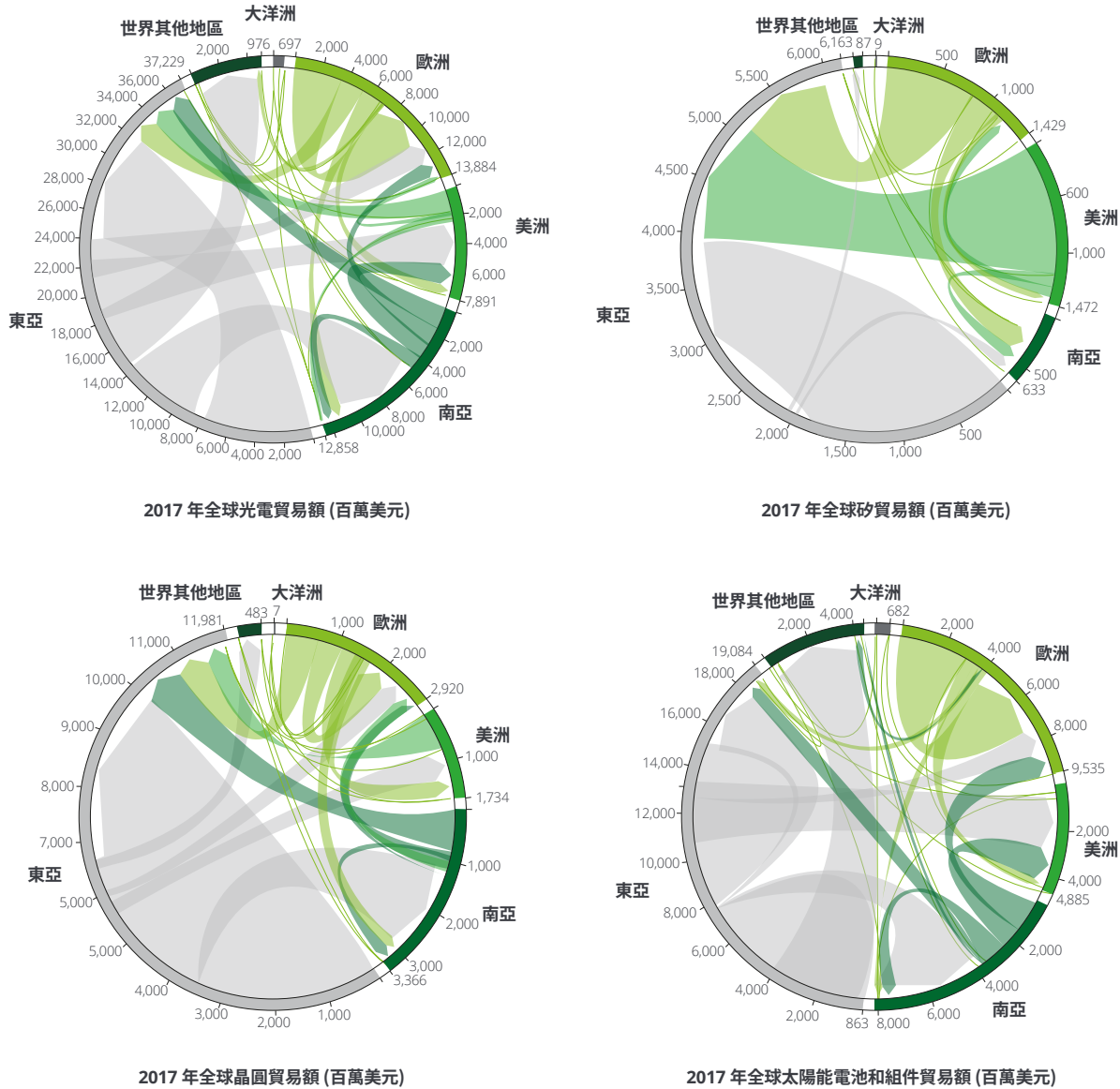


資料來源：IRENA (2021 年)

全球貿易的成長雖然提升碳排放量，但同時也使新式低碳科技以較低的價格普及化。由於價格較低，這些科技甚至可以由低收入的族群和國家所採用。對於新科技需求的強勁成長，以及優先推動產業政策的需求增長（如中國），使得多種氣候中和科技迅速被全球採用，在推動科技進展和降低成本方面發揮巨大作用。其中一項顯著的範例，是中國在全球光電組件供應方面所扮演的角色（圖 10）。

全球貿易成長推動 CO₂ 排放量增加，但同時也降低潔淨能源科技的成本。

圖 10 - 全球太陽能光電貿易流向



資料來源：Hundleby 等人(2021 年)

然而，日益全球化對減排政策架構產生重大影響，範圍不僅限於商品領域。雖然甲烷排放對於液化天然氣 (Liquid Natural Gas, LNG) 運輸相關供應區的特定提煉科技形成額外挑戰 (Sakmar 和 Kendall, 2009)，LNG 運輸基礎設施仍大幅擴張，顯著提升這類低碳密集型能源載體的全球供應能力。

價值鏈綠化所做的努力

在朝向氣候友善能源系統的轉型過程中，我們觀察到的變化不僅是政府政策、科技發展、能源市場或總體經濟環境運作下的結果。近年來，企業活動不只受到上述因素所驅動，或單純由於軟性法規而促成，而這些活動經證實具有關鍵作用，且可能在未來日益重要。

最初，通常是在企業責任倡議的背景下推出生產和上游供應鏈的環境足跡減量計畫。現今，許多企業自願調查和評估益趨複雜和全球化的價值鏈，以期充分發揮環境（和社會）方面的潛力。此處的重點在於，企業通常可以透過較環保的製程鏈來節省成本。

除了這類純粹自願的和部分利他的措施外，投資人扮演日益重要的角色，推動企業減少自身生產和上游製程鏈對環境和社會的影響。環境、社會和治理 (ESG) 標準也是許多投資人的決策因素之一，對於機構投資人尤其如此。因此從企業角度來看，上述條件對於募資成本具有重大影響。ESG 標準涵蓋環境責任（環境）、善盡社會公民義務（社會）以及公司管理（治理）三大原則，但各別的認證體系仍有顯著差異，目前主要做為盡責投資人的參考資訊之用。國家、多國集團甚至地方實體都在致力提高永續融資領域的透明度

（例如遵循歐盟永續分類法規）。雖然性質複雜且特定情況下仍有爭議，但是在投資人推動價值鏈綠化的趨勢中，這些努力將成為關鍵的驅動力。

另一項關鍵因素是消費者帶動的綠色價值鏈需求。在這方面，許多經濟領域的消費者皆已提出明確要求，不僅講究產品和服務的品質，也關注整個價值鏈的總體環境足跡減量效果。此領域正在形成快速成長的市場區塊，尤其是交通運輸產業。變革性產品（例如電池電動汽車）

的問世提供了重大的市場擴張和行銷契機，有助於順利推展電動汽車綠色鋼材、可回收生產材料等與價值鏈相關的前瞻性策略。

最後一點是實施碳關稅，例如歐盟提出的「碳邊境調整機制」(CBAM)，該等措施為價值鏈綠色化創造可觀的激勵措施，並可預防受此機制保護的市場發生競爭失常 (competitive distortion) 的弊端。

依據 ESG 標準追蹤溫室氣體排放

第 1 類

此類別涵蓋了企業所擁有或管控設施所產生的溫室氣體排放量。包括鍋爐、車輛等。

第 2 類

此類別追蹤的排放量包含採用電力等能源產生、但不受企業直接管控的排放量。在此情況下，電源的碳足跡格外重要。

第 3 類

此類別涵蓋並非由企業本身或不屬於 2 類範圍內、而是由企業間接造成的排放量。此類別關係到兩大方面，其一為上游製程鏈，其二為投入市場（下游）的產品用途（和處理方式）。



潔淨能源系統的主要特徵及其影響

未來仍有許多尚待開發的氣候中和能源系統、產業結構和消費模式。憑藉政府和非政府組織、國際和國家主管機關、科學界和顧問公司的大量研究，可從中識別未來碳中和系統的潛在發展趨勢。

科學界已形成明確共識，即再生能源將主導碳中和能源系統的未來發展 (Shirizadeh 和 Quirion, 2021；Brown 和 Botterud, 2021；Fattahi 等人, 2022；Shirizadeh 和 Quirion, 2022 等)。國際能源署《2050 淨零》研究 (IEA, 2021a) 和 IPCC 第三工作组 (IPCC, 2022b) 的最新評估報告 (AR6) 皆得出相同結論。例如在《電力的未來》研究報告中 (Deloitte, 2021 年)，符合巴黎協定的情境假設歐洲電力系統將迅速擴大使用再生能源，帶動 CO₂ 排放量急遽降低。同樣，根據近期《歐洲氫能》研究 (歐洲氫能, 2021)，歐洲可能需要大約 1 億噸低碳氫 (主要取自再生氫氣) 以因應長期需求，才能在 2050 年以前實現碳中和能源系統。上述類型的能源系統大致屬於可再生性質，適用於電力和氫氣的生產。

隨著再生能源在能源系統中的佔比增加，市場對於儲能選擇的需求也同樣提高。風能和太陽能等再生能源的邊際成本極低，而熱電廠和儲能等彈性選項的價格則相對較高。因此，與此類發電相關的價格波動甚大，但由於低成本期

間較長，平均電價也有所下降 (Sensfuß 等人, 2008；Seel 等人, 2018；Deloitte, 2021；Shirizadeh 等人, 2022 等)。這些因素本身即構成具體的挑戰，同時也是轉型進程中的首要關鍵，在基於現狀的考量下，必須及早予以解決。

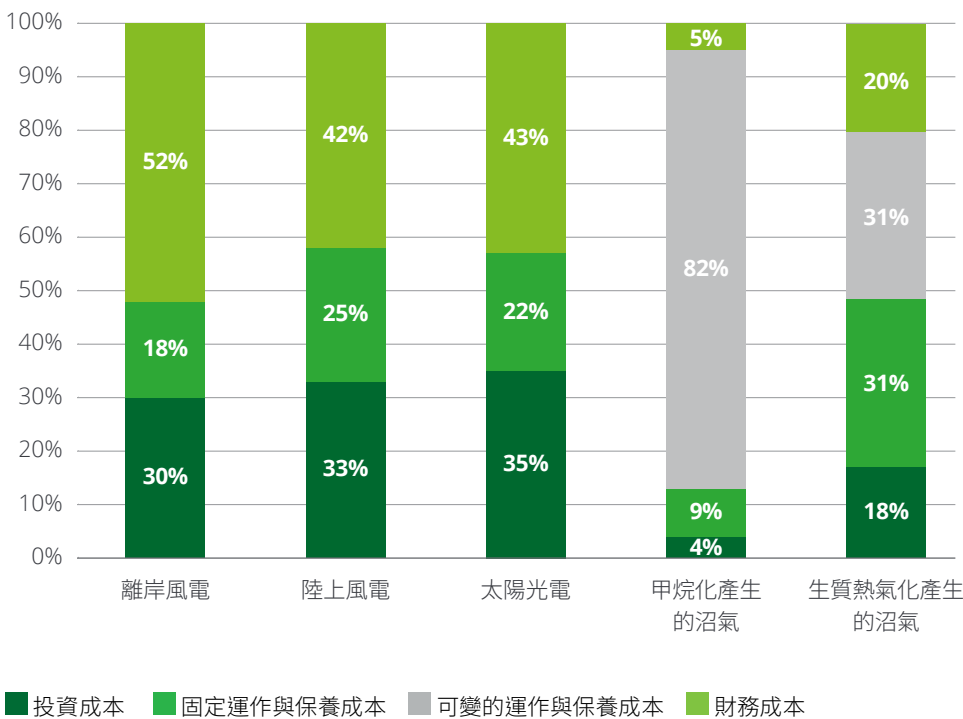
首先，預計未來系統需要協調的程度將遠超過現有系統，部分是由於在未來的發電產業中，去中心化選項的重要性將大幅提高。雖然許多國家通常擁有數百座發電廠，但未來的能源系統可能包含數百萬計的太陽能和風電場。此外，隨著風能和太陽能發電份額的增加，對於彈性的需求，以及協調各種生產和消費系統的能力將變得至關重要。要執行上述複雜的協調任務，所需條件包括市場機制與未失真的價格訊號，以及可讓新型綠色產品立即投入市場的必要認證框架。一如對於價格訊號的需求，這項任務也需要採用非技術性的基礎設施，來掌握相關的資訊流量。

相較於目前的能源系統 (例如電力部門的燃氣、燃煤和核電廠)，未來絕大多數系統將需要更多的資本支出，但營運成本將遠低於以往 (圖 11)。隨著前期支出增加，資本成本和融資的作用將更顯重要，屆時必須實施新的專案融資解決方案，在某些情況下則需要新的市場模式。另一方面，就社會發展的觀點而

言，資本密集型系統通常是退步的表現。在能源系統朝向氣候中和替代方案的轉型過程中，將浮現若干棘手但重要的問題，其中包括社會補償機制和量身定制的解決方案，以協助特定群體克服募集投資經費或融資管道方面的困難。對於未來的系統而言，基礎設施的重要性將大幅提高。隨著電動汽車或熱泵等新型應用問世，以及其他電氣化選項和持續演變的空間格局，擴大輸配電網路將成為勢在必行的任務。若要在工業製程及其長途運輸中採用再生和低碳氫能，就必須建立強大的氫能基礎設施，或重新利用現有的天然氣網絡。最後，也需要針對 CO₂ 匯集 (或碳捕集和儲存流程鏈) 的需求建置適當的 CO₂ 網絡系統。鐵路基礎設施將在交通領域發揮日益重要的作用。隨著能源部門和產業持續轉型，數位基礎設施的快速擴張也將變得極為重要，而這是一項橫跨不同領域的複雜議題。基礎設施興建或改建專案的交付週期極長，其中許多專案設有嚴格的法規標準。這表示在許多領域都必須及早敲定計畫並找出相應的適當程序，才能妥善因應相關的不確定性。

在開發未來系統的過程中，創新是決定性的關鍵因素。隨著各類科技的快速進展，必須持續修訂和更正現行的政策架構。此處的關鍵挑戰，是在目前可用的實行選項之間尋求或保持平衡，同時為未來的創新發展開闢機會之窗。

圖 11 - 歐洲再生電力和天然氣供應科技最終能源產量每單位成本細目 (電力單位為 €/MWh_e，天然氣單位為 €/MWh_{th})



資料來源: Deloitte 分析結果係依據歐盟執委會聯合研究中心 (JRC, 2018) 提出的科技投資、營運和可變成本以及生命週期假設得出，其中太陽能光電興建時間估計為 6 個月、陸上風電為 1 年、離岸風電為 2 年、沼氣生產廠 2 年 (產能係數為 80%)，加權平均資本成本 (WACC) 為 7%。

未來，某些低碳能源系統將需要更多資源 (例如電動汽車或節能建築)。因此從一方面而言，循環系統的重要性可能大幅增加；然而另一方面，尤其在建置階段初期，及早部署額外資源和相應的價值鏈將成為不可或缺的任務，並且必須藉助天然資源產業的貢獻，來確保資金來源穩定無虞。不論是商業層面和法規

制度都需要智慧的解決方案，以利因應「擴增階段」逐漸提高的資源需求，同時以一定程度的閉鎖模式管理更多份額的資源，均衡調解兩方面的緊張關係。

整體而言，消費者接受度對於新系統的影響將大幅提高，尤其是許多與消費者相關的要素，都必須以消費者將廣泛採

用作為前提。由於市場日益採用去中心化的發電選項，再加上能源系統空間格局的變化趨勢，因此在地民眾的接受度將成為決定成敗的關鍵。



俄羅斯入侵烏克蘭後的環境變化

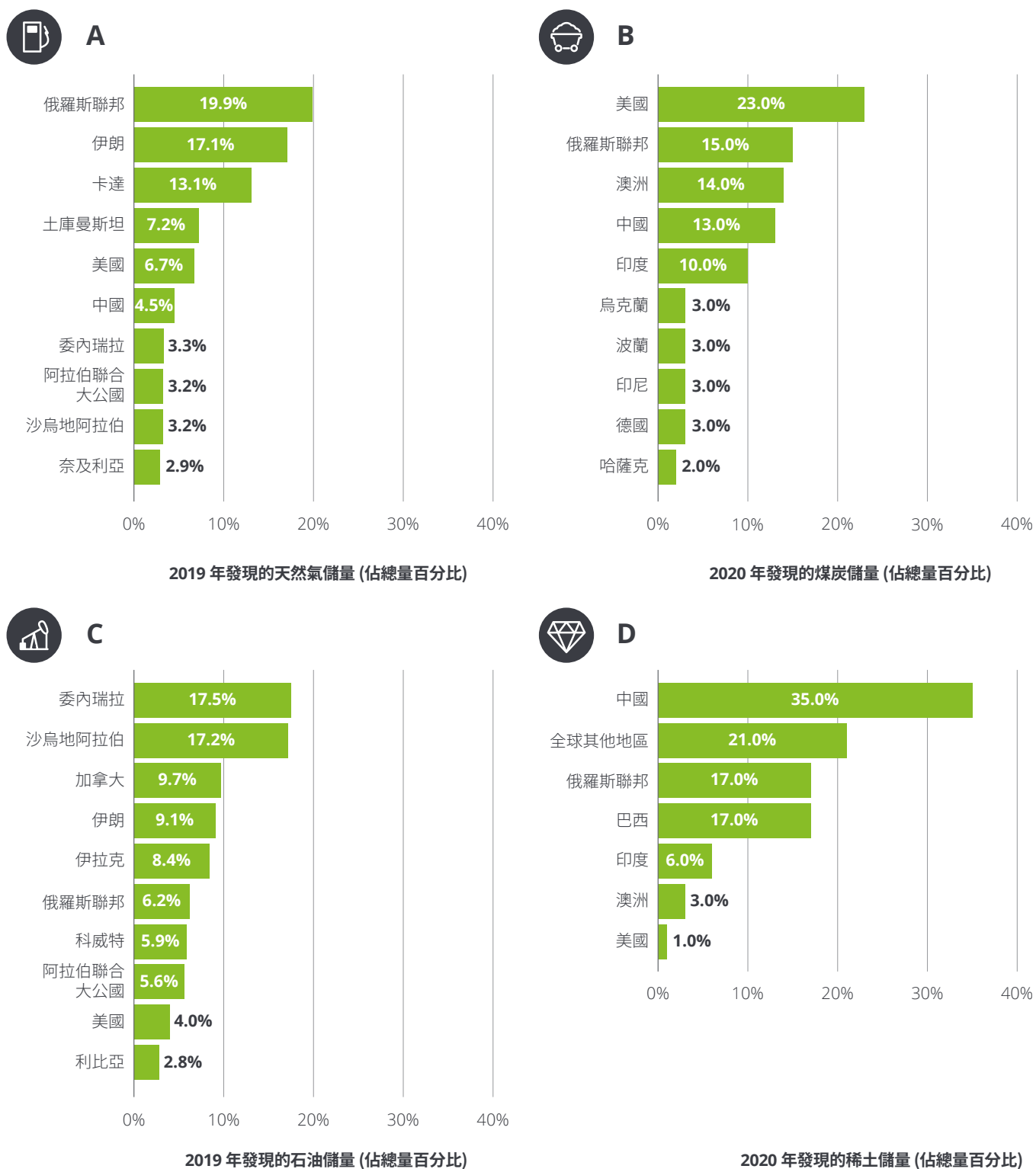
俄羅斯對烏克蘭的入侵及後續的國際反應，可能對國家、國際政策和政治等各種殊異的層面造成重大變化：

- 在非常基本的層面上，這場戰爭不論在經濟和各種政策領域，都對「基於規則」(rule-based) 的全球體系提出質疑。韌性 (resilience) 的概念，在今後的經濟往來與相依關係、國際關係和安全政策領域都將發揮重要作用。
- 對俄羅斯的制裁，將為石化燃料及其他策略性原料的大部分資源和生產量造成重大影響。這可能會導致以歐洲地區為主的物質短缺，並且勢必產生重大的價格效應。這些效應無論對總體經濟或個別企業都會造成實質影響，而且大概不會在短期之內結束。
- 除原材料供應外，制裁也對價值鏈產生巨大影響。要成功識別並重新組織易受制裁影響的價值鏈，是一項嚴峻的短期挑戰。
- 未來，至少民主陣營國家將會審視轉型措施促進韌性的實際成效，據此形成應對氣候中和經濟轉型的觀點。

最初，對俄羅斯的制裁將對全球策略性原材料市場帶來顯著的緊縮效應。俄羅斯擁有豐富的石化燃料資源：全球最大的天然氣儲量、第二大煤炭儲量和第六大石油儲量 (BP, 2021)。該國在其它原材料供應方面也居重要地位，分別為全球第四大稀土供應國、第五大石墨供應國以及第六大鈷礦供應國 (BP, 2021)。由於這些原材料對電池、風力渦輪機和電動汽車的生產至關重要 (IEA, 2021b)，因此對俄羅斯的制裁可能會為全球市場造成額外壓力。這可能導致能源轉型的資源在短期內漲價 (見圖 12)。

俄羅斯入侵烏克蘭促使能源轉型政策關注新的面向：韌性。

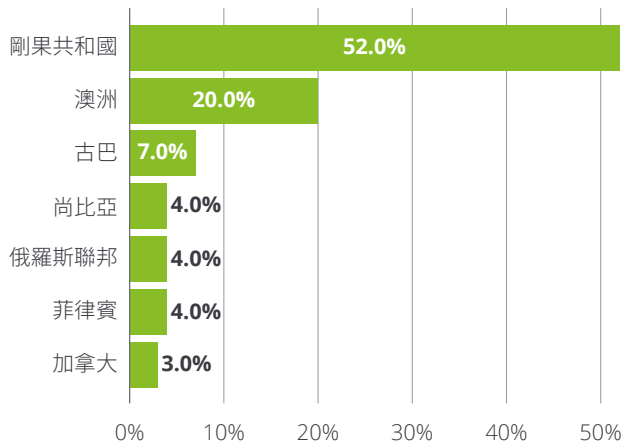
圖 12a - 全球天然氣 (A 組)、煤 (B 組)、石油 (C 組)、稀土 (D 組)、鈷 (E 組) 和石墨 (F 組) 儲存量的地理分佈



資料來源:BP (2021 年)



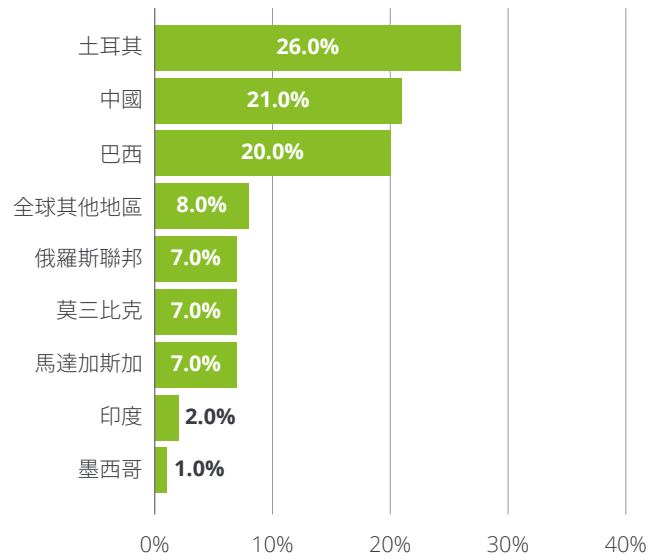
E



2020 年發現的鈷儲量 (佔總量百分比)



F



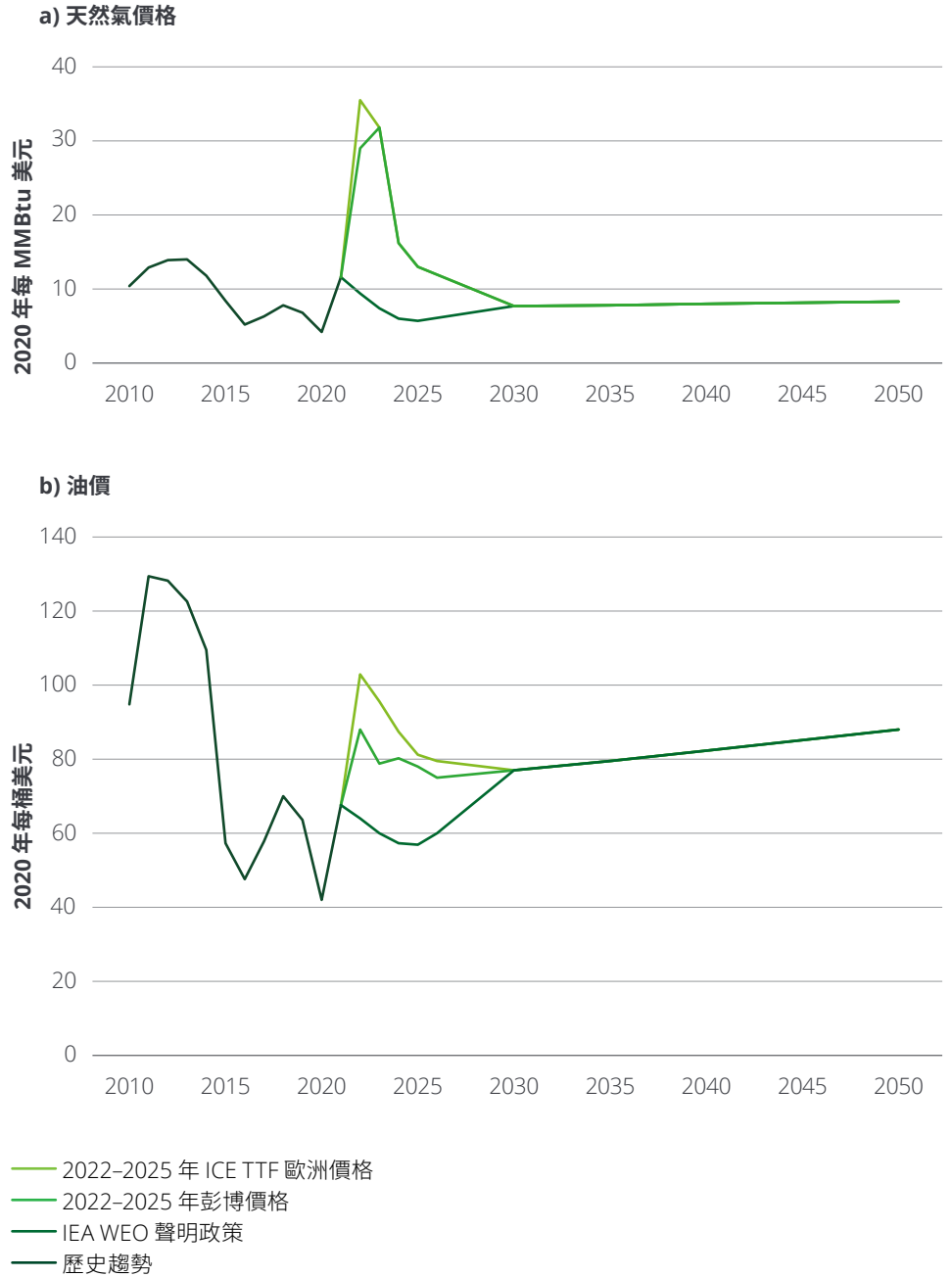
2020 年發現的石墨儲量 (佔總量百分比)

資料來源:BP (2021 年)

在短期內，由於疫情後復甦與俄羅斯入侵行動的影響，許多策略性原材料的價格持續飆升。目前的價格波動是供給面局勢變化的結果，可能導致可觀的風險溢價。即使能預計價格在中期內有所緩解，但幾乎不可能預測未來價格趨穩的時間點。圖 13 顯示歐洲不同來源的原油和天然氣未來價格，以及 IEA 既定政策情境 (IEA, 2021c) 下的歐洲市場石油和天然氣價格長期趨勢。即使長期未來價格可能與 IEA 預測趨於一致，但至少相對於危機前的水準而言，這些價格可能在整個 2020 年代保持高位。

迄今為止，石化燃料仍然是歐盟最大的能源來源。石油佔初級能源用量的 38%，天然氣佔 23%，煤炭、核能和非水電再生能源各佔 11%，水力發電則佔 5% (BP, 2021 年)。歐盟是俄羅斯重要的貿易夥伴，俄羅斯的大部分石化燃料皆出口到歐盟成員國。在俄羅斯石化燃料 (天然氣、石油和煤炭的總和) 的前 30 大進口國當中，有 20 國屬於歐盟成員，佔相關出口總量的 43%。歐盟是石化燃料的淨進口國，俄羅斯在此進口貿易中佔有 18%¹⁵ 的份額。制裁導致石化燃料漲價，可能對歐盟的能源密集型產業產生嚴重的短期後果，尤其是依賴天然氣和石油的產業。

圖 13 - 策略性商品的歷史價格和未來合約價格



資料來源: Deloitte 基於歐洲 ICE 和彭博價格、IEA 2021 年世界能源展望和歷史市場資料的分析結果

基於長期的貿易關係和伴隨而來的長期合約，歐盟國家和企業皆高度依賴俄羅斯的天然氣。俄羅斯和歐洲之間天然氣貿易幾乎完全透過專用管道運輸。事實的確如此：在 2019 年，歐洲進口 3,560 億立方公尺 (bcm) 的天然氣，其中 67% 來自管道運輸，33% 以液化天然氣的形式進口 (BP, 2021)。在透過管道進口的 237 bcm 中，有 80% 以上來自俄羅斯。2021 年，從俄羅斯進口至歐洲的天然氣總量下降到 155 bcm，但俄羅斯仍是對歐洲最大的天然氣出口國，佔歐洲天然氣進口量的 45%(IEA, 2022)。

相較之下，尋找俄羅斯煤炭和石油供應的替代來源容易得多，因為這些能源載體無需依賴管道輸送，不像雙邊天然氣貿易一樣缺乏彈性。在短期內，尋找天然氣的替代供應來源較為困難。全球液化天然氣供應大部分均已簽訂合約，僅一小部分可在短期市場上交易，因此液化天然氣並不足以成為替代品。此外，液化天然氣的再氣化接收站，以及從接收站送出天然氣的管道，均面臨產能不足的風險。

歐盟具有能力在一年內迅速將俄羅斯天然氣進口量減少三分之一，而不會增加境內溫室氣體的排放量 (IEA, 2022)。為此，歐洲必須加速投資新的太陽能和風能，充分利用生物能源和核電站的發電量，並以替代供應來源取代俄羅斯天然氣、以熱泵取代燃氣鍋爐，並調低用於建物供暖的恆溫器，藉此提高能源的效率和充裕度。歐盟甚至可能在一年內

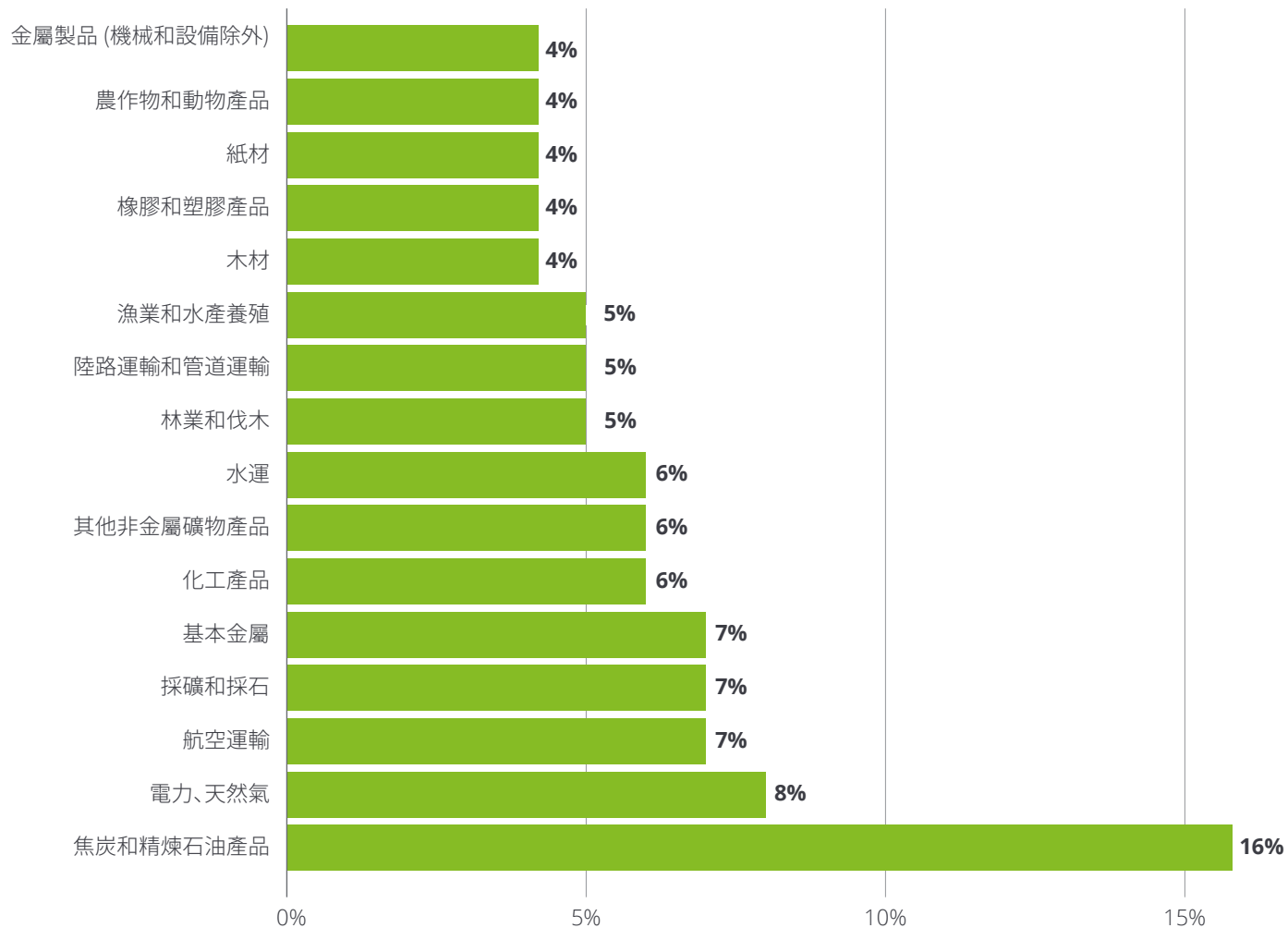
將其對俄羅斯天然氣的依賴減少一半以上。為此，歐洲必須使用煤炭取代天然氣來滿足能源需求，進而限制溫室氣體減排潛力 (國際能源署，2022 年)。然而，特定產業極易受到俄羅斯石油和天然氣供應中斷的影響，短期內幾乎不可能找到合適的替代品。

最容易受到俄羅斯能源進口減少影響的產業是直接使用俄羅斯能源作為中間產品的產業。但是，如果透過價值鏈使用俄羅斯能源 (即生產過程中使用的中間產品依賴俄羅斯能源)，則這類間接使用者也可能會受到影響。俄羅斯的石化燃料佔整體中間使用量將近 8%，因此歐盟的煉油廠和焦爐¹⁶ 勢必最容易受到俄羅斯天然氣出口減少的影響。其次是採礦和採石 (3.8%)、航空 (3.6%)、電力和天然氣¹⁷ (3%) 和公路貨運 (2.7%) 等產業 (見圖 14)。

歐盟對此曝險最高的產業包括將石化原料轉化為次級能源的產業，或是運輸或金屬等高度能源密集型產業。在瞭解這些部門及其如何適應俄羅斯石油和天然氣停止供應的處境時，亦可考慮是否可改用綠色替代品來取代這些排放溫室氣體的能源。面對能源價格短期走高，或許尚不會使業者用較廉價的能源取代昂貴能源；但從長遠來看，這種替代做法不僅可行，而且十分可能成真 (Labandeira 等，2017)。因此，風險最高的部門其實可進行轉型投資，開發能源密集度較低的製程，或採用去碳且可靈活應變的能源，來適應局勢並避免溫室氣體排放。

因此，在短期內缺少可能替代品的情況下，若可藉助有能力的家庭和部門實現能源節約效益，將有助於減輕石化燃料需求壓力並遏制價格漲幅。如此一來，依賴石化燃料進行生產的部門將可減輕原料減少供應和相關短期漲價的負面影響。同時，有能力的經濟主體若可減少消費，將有助於抵減溫室氣體排放的增幅。

圖 14 - 俄羅斯石油和天然氣制裁對歐盟各產業的整體風險 (佔附加價值的百分比)



資料來源: Deloitte 基於世界投入與產出資料庫的分析結果 (Timmer et al. 2015)

新的地緣政治和能源市場環境不僅對能源供應的各方面產生重大衝擊，也對國家、企業和公眾帶來深遠影響。以下列出後續可能出現的挑戰，其中部分涉及能源問題，其它則大致與非能源的領域有關：

- 能源價格飆升、制裁的影響和價值鏈中斷等因素加劇了通膨趨勢。在實施總體經濟對策以及出現市場和政治的巨大不確定性之後，融資成本可能會隨之增加。此現象可能使氣候中和轉型的挑戰更加嚴峻，因為這類計畫都高度依賴大量的投資和資本。
- 俄羅斯和烏克蘭是國際農產品市場的主要供應國。食品價格飆升一方面是由於對俄羅斯的制裁，另一方面則是烏克蘭農作物遭受大規模限制而無法耕作，以及烏克蘭對外交通中斷所致。在 2022 年第一季，全球市場許多農產品的交易價格上漲 20%，小麥價格上漲 30% (世界銀行 2022a 和 2022b)。再加上化肥價格上漲 (也是天然氣漲價所導致)，未來數年情況可能仍然充滿挑戰。這些漲價趨勢對開發中及新興經濟體造成極大影響

我們必須考慮這些能源、食品和金融領域的新挑戰，並擬定全方位的相對策，尤其是在協調國際行動和管理能源轉型等方面。

除了對能源成本和經濟結構的短期和中期影響外，還可能產生以下策略性的後續效應：

- 能源供應多樣化，以及由此產生的「價值鏈」和「交付鏈」等兩項韌性 (「n-1」原則¹⁸)，在可預見的未來將日益重要。對於策略性原材料和商品，市場將力求開闢多樣化的供應來源，以減輕最大供應來源在地緣政治和經濟方面造成的潛在損失。這並不意味追求自給自足的策略，但將大幅改變經濟關係和價值鏈的結構。在考量氣候中和轉型的首要原物料和策略性商品時，務必在第一時間關注於該資源的韌性。
- 在許多領域，若能及早大幅提升能源和資源效率並實行循環原則，策略性原材料和商品的供應將可望具有實質的韌性。

在新的地緣政治和能源秩序下，國際間必須合作加速能源轉型。



新地緣政治環境的氣候中和轉型

若要獲得韌性的新觀點，我們必須檢討部分 (但非所有) 過往和未來的氣候中和轉型策略。

- 在朝向氣候中和轉型的許多策略中，天然氣都發揮了重要作用，包括替代燃煤發電、將原本採用高爐的煉鋼工序轉型至直接還原鐵或電弧爐製程，以及對其他工業部門的支援等。在此方面，應從韌性的觀點出發，釐清能否在一定轉型期間內滿足相關產業持續成長的需求，並明確掌握天然氣價格和成本環境的潛在變化，瞭解這些趨勢對於轉型策略及其所需額外支援措施的潛在影響。
- 俄羅斯生產的低碳氫興起，是決定某些氫能策略的關鍵因素。在新的地緣策略條件下，這種情況不太可能維持不變。
- 如果天然氣和/或藍氫 (blue hydrogen) 或藍綠氫 (turquoise hydrogen) 等中間選項無法達到最初預期效果，就必須加快過渡至其他轉型選項 (例如再生氫氣)。如此將對科技和基礎設施發展、價值鏈產能提升，及應用端的科技變革產生巨大影響，在某些領域可能會導致更高的前期成本 (範例可參見 REPowerEU 計劃¹⁹)。

- 石化原材料價格飆漲趨勢提高了擴大石化燃料產能的誘因。考量到現有的氣候中和目標，這可能導致大規模資產擱淺或套牢效應。
- 如果能源價格長期持續上漲，則碳洩漏風險將隨之增加，因為生產被迫轉移到 CO₂ 足跡較高地區，才能確保供給無虞。

對俄羅斯的制裁催生了新的全球貿易典範及成本結構變化，促使企業高階主管、公共決策者和民間社會成員呼籲採取果斷和協調一致的行動。

- 企業必須密切分析並重構其貿易關係和價值鏈，以確保遵守各種制裁措施²⁰。為此，亦可參照聯合國的永續發展目標，探索實現綜合效應的可能性。
- 近期石化能源成本激增，以及氣候中和轉型的前期成本攀升的可能性，均已提高市場對於補償措施的需求。

這些新的挑戰和呼籲各國採取行動的訴求，均可在一定程度上得到解決。國際合作至關重要，然而目前地緣政治的現況已大幅提高這項任務的難度。

未來展望



政府可採取的行動

俄羅斯入侵烏克蘭徹底改變了地緣政治局勢和能源市場。雖然不確定性和動盪可能逐漸和緩，但恢復原狀的可能性微乎其微。這並不表示相關挑戰可取代既有的問題或迫切的行動需求，特別在(但不限於)氣候政策的相關領域中。相對地，各國政府在現有的氣候倡議以外，還必須在能源、工業和安全政策方面採取額外措施。在特定情況下，這可能需要額外的資金和投入大量的政治資本。

即使在新的地緣政治條件下，政府和政治決策者也必須致力開闢未來道路，積極尋求實行目標遠大的氣候政策，同時擴展轉型願景的格局。以雙管齊下的整合模式推行氣候行動政策，同時加強能源系統和國家經濟的韌性，將可產生顯著的綜合效應。此方法既適用於短期危機管理，也適用於氣候中和轉型進程上的中長期調整：

- 大幅提高能源和資源效率以及電氣化程度對此具有關鍵作用。在短期和中期的進展過程中，有許多低成本的科技和選項可供採用。改進法規環境、市場條件和政治支援措施，將可大幅完善氣候政策以及社會、經濟和企業的韌性

- 變革性科技和系統必須在能源、工業系統以及生產和消費模式的轉型中發揮顯著作用。對於盡速實現能源供應的多樣化而言，再生能源、再生氫氣和低碳氫以及原材料的循環經濟具有核心策略意義。
- 尤其在推動創新方面，必須有明確和盡責的公共政策，才能促成科技發展並進一步降低成本。在某些情況下，若要確保最具成本效益的選項在LCOE(單位發電成本)和TCO(總擁有成本)方面也具有市場競爭力，就必須徹底改變現行的市場模式。
- 特別是在氣候緩解、轉型措施以及加強韌性等方面，首要之務在於加快既有能源基礎設施的目標性調整，例如整組更換、調校、重置用途、除役等。為了制定有效的應變政策，必須更快適應或建立規劃和法規系統。這一點同樣適用於其它能源轉型選項中的非科技基礎設施，例如再生氫氣、低碳氫或綠色產品(綠色鋼鐵、綠色化學品等)的認證制度。

在過去，特定變革性措施在轉型過程中發揮重要作用，例如在發電或鋼鐵產業中以天然氣替代煤炭，可實現較大的減排效果。時至今日，我們可能需要嚴格審視這些措施的韌性，特別是在嚴重依賴俄羅斯進口的地區。雖然在許多情況下可能缺乏替代方案，但仍有機會大幅縮短過渡期。一個典型的例子是在電力系統、區域供暖或特定基礎產業(例如

鋼鐵產業)的過渡期間使用天然氣。在這些過渡時期，某些產業對天然氣的需求可能會增加。為了滿足這些產業的額外需求，政府也應實施政治保障措施，以解決天然氣供應有限或價格波動的問題。同時，新的氣候中和商品(特別是再生氫氣、低碳氫、氫衍生品)可採用針對性與加快速度的方式分配給相關產業，以利縮短過渡期。

未來數年價格可能出現可觀波動，但或許更值得關注的焦點在於石化燃料、電力和策略性原材料價格難以預測的不確定性。

- 對於及時啟動轉型進程的目標而言，這些不確定性造成了重大的威脅。往後數年內，為了彌補這些不穩定時期造成的損失，智慧型的補償方案將益顯重要。然而在當前局勢下，用於關鍵高額投資活動的降險措施也可能變的更重要。
- 為了減輕或防止社會動亂和蕭條，有關當局必須遏制因價格波動所衍生的社會負擔。必須採用系統化的方法，確保這些措施妥善用於新興資本密集型能源系統相關的未來社會補償機制。
- 然而，所有抵減和社會補償措施的設計，都應盡可能遏制市場和價格訊號的扭曲情形。持續加強CO₂定價制度(包括獎勵、營收或協調機制等方式)已成為迫在眉睫的任務。

在加強應變力方面，政府可能必須調整優先要務：在能源供應方面，不僅必須從石化能源轉向氣候中性能源，並且應為既有石化能源開闢多方來源並加以重組。石化燃料價格的大幅上漲使天然資源產業、相關加工產業和相應基礎設施再次成為吸引投資人布局的領域。

- 各國政府應採取明確的溝通策略和法規架構，確保盡可能減少石化能源領域的擱淺資產。在永續金融領域大幅提高法規嚴格度，將有助於在這方面發揮巨大作用。
- 在供應多樣化的背景下，政府應確保以最低限度的方式改建國家管制或補貼的石化能源基礎設施，才能使公眾清楚瞭解政府計畫如何轉型至氣候中和能源系統。
- 能源企業的非預期利潤將大幅增加，政府和國際組織應嚴格審視這些企業將此等額外收入投資於潔淨科技的程度。

各國政府需要加強國際合作，以期在氣候變遷和韌性政策之間建立聯繫和/或實現綜合效應：

- 現有的國際氣候行動倡議和機構 (例如在聯合國或 G7 和 G20 架構下的實體) 皆應予以維護並穩定運作。就保護環境或加強韌性的目標而言，上述領域中的阻礙可能會導致延誤發展，造成不可接受的後果。

- 國際間的氣候政策工具必須逐步加以強化。這方面已有廣泛的選項可供採用，包括部門協議、「氣候俱樂部」(Climate Club) 和邊境調整機制。
- 美國 - 歐盟貿易和科技委員會 (TTC) 等雙邊機構應將合作範圍擴大至氣候和能源科技，並廣邀其他志同道合的國家參與。例如，德國也可以擴大和深化其能源夥伴關係，以加速向氣候中和的目標做轉型，並提高社會、經濟和企業的韌性。
- 隨著轉型的進展，全球貿易的流向可能會發生迅速變化，在某些情況下甚至是根本性的改變。關注韌性並將其視為新的優先要務，可能會帶來一些新的挑戰。在許多領域，制定新的政策和法規架構以及相應的支援措施都至關重要。
- 無論就商品市場動盪的現況或從長期觀點來看，國際間的金融轉帳和融資機制將發揮重要作用。履行財務承諾和募集更多資金的能力，不僅是決定全球氣候保護政策成敗的關鍵，同樣也攸關能否採取策略和措施來增強韌性，進而實現預期的綜合效應。



企業可採取的行動

在工商部門的企業是能源轉型的核心參與者和推動者。一方面，他們的行動有賴於政策制度上的支持；另一方面，企業能夠採取積極行動顯著地加快轉型。

在短期內，由於制裁措施和不斷變化的經濟狀況，許多企業面臨著重組價值鏈的挑戰，以及近幾個月乃至於數年來日益明顯的脆弱性。企業領導者應將綠色價值鏈納為相應分析和重組流程的關鍵環節，以期發揮重大的綜合效應；在此過程中，企業專屬的韌性發展藍圖可能成為值得關注的管理工具。

為了提高供應安全或增強韌性，企業可能還需要採取超越能源層面（煤炭、石油和天然氣）的全面重組和多元化措施，亦即必須顧及其他策略性原材料和商品。執行脆弱性分析、確認替代性的供應結構，以及蒐集和發布資料和資訊以滿足未來的政治和法規要求，將是企業往後發展的重要任務。

企業可能必須認真加強行動力道，改進關鍵科技的創新流程，以利推動氣候中和轉型，同時加強其在能源載體和其他策略性原材料和商品方面的韌性。產業主導的倡議組織同時具有能力和責任，應致力推動並加速再生能源、電氣化、再生氫氣、低碳氫、氫衍生品以及循環經濟領域的進展。

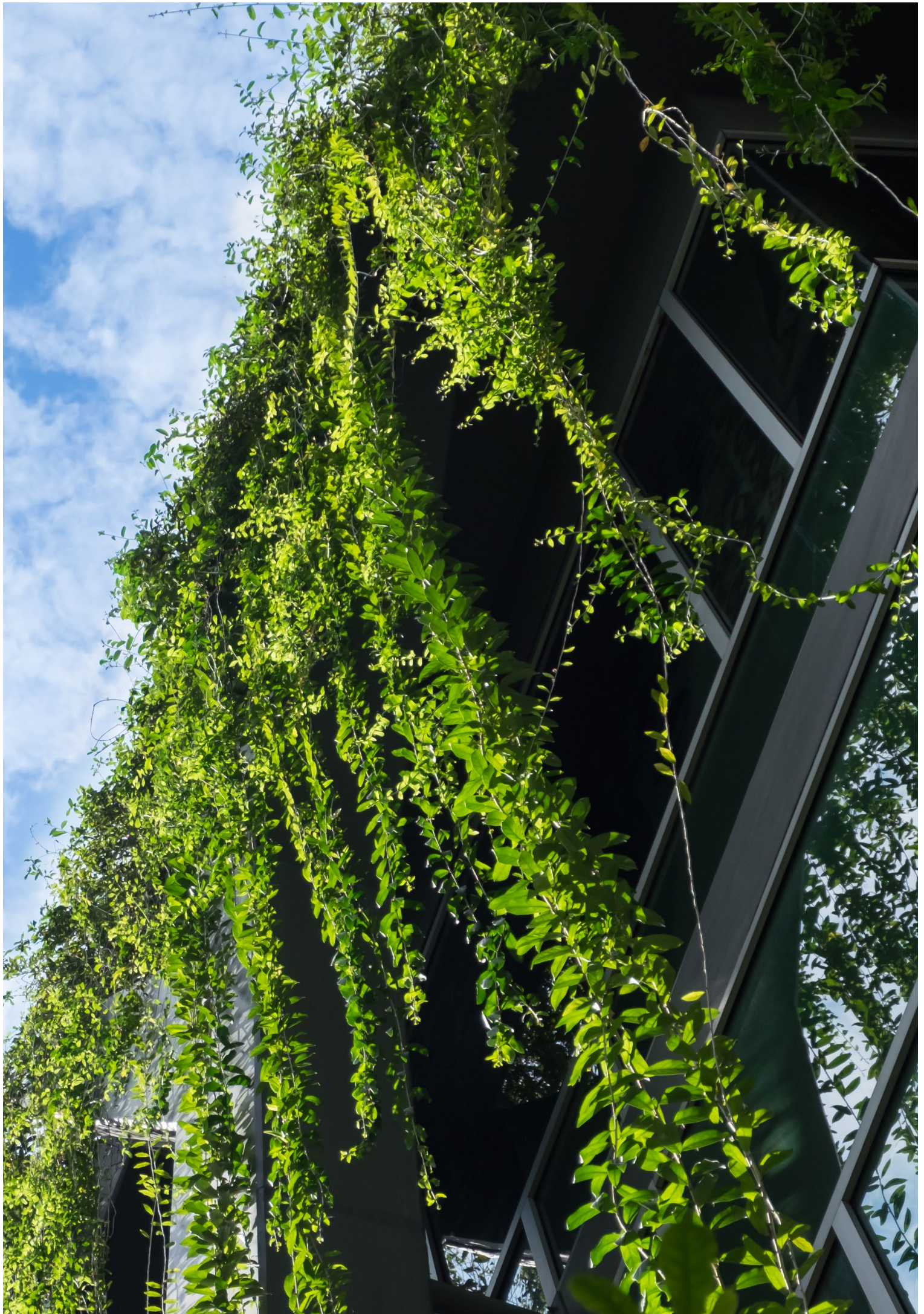
要對工業產生變革性的影響，需要經過相對較長的現代化週期。因此，重點在於有效掌握相應的現代化機會窗口，並持續依照長期永續發展目標來制定投資決策。金融市場參與者亦可提高影響力投資的權重，藉此做出重大貢獻 (Busch 等人，2021 年)。

快速推出變革性科技或系統的能力不僅取決於這類資源的基本可用性，也有賴於價值鏈的適時發展，以及具備成功轉型所需的能力。這表示必須建立充分穩健的發展環境，進而滿足技術開發需求，並提供充裕的資本和技術勞力。企業應在此方面採取積極行動，尤其是降低宏觀和微觀經濟脆弱性，以及據此制定產業和企業的區位決策。企業可以且應該在其他關鍵轉型領域（例如歐洲電池生產領域）積極推行更多公私部門合作的產業政策專案。企業本身就有責任提出這些建議和概念。

不論是科技或非科技的基礎設施，對於氣候中和轉型的成功、能源安全保障和韌性都至關重要。政府和主管機關的重要職責在於確保消費者不受歧視地公平取用這類基礎設施。

然而，尤其考量到政府的投資能力有限，由公私部門參與者共同成立的合資企業，將可發揮加快轉型進程的重要作用；這一點也同樣適用於非科技基礎設施（例如再生氫氣和低碳氫、綠色鋼鐵、綠色化學產品的認證制度）。就此而言，企業若能積極參與設計流程、提供資訊和資料，將有助於以理想的速度推動進展並擴展規模。

相較於危機前相對穩定的市場環境，由於商品和貨物價格上漲，導致特定經濟部門的成本大幅增加，其餘部門卻產生極高的非預期利潤。此等額外利潤應優先並長期投資於變革性科技和/或系統，以利實現更多成長、工作機會和社會福利。



臺灣企業的因應之道



從國家2050淨零碳排路徑，看企業淨零碳排轉型

勤業眾信永續發展服務風險諮詢 / 李介文副總經理

在氣候變遷的威脅下，「淨零變革」可說席捲全球。據ClimateWatch至2022年5月Net-Zero Tracker顯示，約有83個國家將淨零目標納入政策法規或承諾，如美國、歐盟、中國大陸、東南亞等。可見淨零碳排已從國際倡議層級落入區域與國家政策行動，並產生深遠的效應。今年3月國發會公布「臺灣2050淨零排放路徑」，內容說明至2050年淨零之軌跡與行動路徑，並且在法制與科研的基礎下，擬定十二項戰略關鍵，支撐能源、產業、生活、社會等四大面向轉型，以達成淨零轉型目標。

此減碳路徑對企業來說，除了能更具體的認知政策、經濟、社會與科技等外部環境變化外，在此變局中，同時也蘊含豐沛的轉型契機：

(一) 能源轉換需求：從太陽能、風力擴充開始，同時投入氫能研發，並建置生質能、地熱、海洋能等運用。行業設定的目標上，則有製造業於2030年應達15%綠電使用。

(二) 製程相關機會：於2030年前著重於設備汰舊換新、廢冷廢熱回收擴大運用；智慧化節能管理的導入。氫能運用與氟化物調整，則為強化研發後，於2030年進行示範與擴大運用。

(三) 運具電氣化要求：2030年市區公車電動化、2040年電動車／電動機車市售比100%。同時加強法規，限制現有小客車、小貨車與機車碳排放標準。

(四) 終端產品與循環經濟：終端產品設計往輕量化、易升級維修的產品，延長物品使用壽命，循環運用零組件方向進行；並鼓勵使用服務取代原有的思維，衍生服務化機會。

(五) 碳成本與財務影響：「氣候變遷因應法」草案已從行政院送立法院審議，境內碳費預定在未來1~2年分階段推動，同時提出自主減量計畫可適用優惠費率的機會。

企業除了依國家所制訂的總體轉型路徑進行營運環境評估外，也可透過SBT(科學減碳目標)等國際常用框架，在有序規劃下，建立並執行企業的去碳行動。其中關鍵在於：

(一) 確立行動方案投入時機：企業淨零計劃從碳盤查、評估、執行減量到抵換，需要1~3年不等的時間，且部分尚需配合各國政策實施時點、各項限制與獎勵措施時間時點，例如：產品研發方向或比重調整、製程調整、再生能源取得與碳抵換投資等。因此「何時啟動、何時完成」才能獲得最佳優勢，必須仰賴企業對於自身淨零轉型路徑的安排。

(二) 建立供應鏈去碳目標：在全球專業分工的背景下，延伸性企業(Extended Enterprise)結構已是企業運行的常態。要降低企業的整體碳排，勢必需要仰賴供應鏈的協同去碳能力。但必須降到多少，或如何協助供應鏈定義減量範疇，成為未來供應商議合的重要方向。

(三) 提升商譽與預創商機：依據國際性倡議進行去碳評估，讓企業同時與國家減碳路徑相符，並可符合國際倡議、評比對於淨零碳排的要求，於商譽層面獲得優勢；同時也可開拓確立低碳產品或碳中和產品的機會。

淨零排放是目前國際間大多數國家的共識，未來可預期的，將會有更多相關措施與要求出現。因此企業除了關注外部趨勢，了解國家層級政策上的變化外，企業也應主動規劃自身減碳的方式，在優於外部要求的情況下，提前做好因應策略，並可參考國家路徑上的各類行動方案，整合至內部的發展策略上，產生更高的綜效。



離岸風電行政契約宜創造國家、企業、開發商及供應商四贏榮景

德勤商務法律事務所／林孟衛合夥律師

經濟部日前公布離岸風力發電區塊開發契約書(草案)(以下稱「行政契約草案」)。經濟部基於企業用電需求及第二階段經驗，於行政契約草案內對開發商課予更為嚴格的義務與罰則。行政契約草案公布後，卻引起了各界廣泛疑慮。

取得籌設許可及完工時程緊湊，開發商面臨巨大挑戰

行政契約草案規定開發商應於行政契約簽訂後兩年內取得電業籌設許可。依法令，申請電業籌設許可時，開發商需向不同機關取得10多項應備文件。經濟部雖成立「風力發電單一服務窗口」協調相關單位的行政流程，但區塊開發階段將同時有六家開發商啟動相同程序，單一窗口的行政效率將受到很大的考驗。單一窗口肩負跨部會協調工作，更需協助開發商取得地方政府同意函與台電公司發給電源引接同意書。地方政府同意函取決於民眾抗爭的政治考量，台電公司則需進行增加饋線容量的基礎建設，在都可能影響開發商申請籌設許可的進度。另外，三組開發商必須在2026年底前完工併聯，因全球離岸風場大量施工導致工程船舶稀缺，供應商產能與技術仍須提升，臺灣海峽適宜施工的氣候窗口有限，融資銀行對風險與企業購電條件仍待評估等重大變數影響下，開發商要如期完工的挑戰非常巨大。

產業關聯政策嚴格，宜參考企業購電市場放寬

行政契約草案另規定，開發商應確實履行經濟部作成審查意見的產業關聯執行方案，非經經濟部同意，不得變更。在區塊開發階段，在各開發商技術能力與財務能力不相上下的情形下，誰能提出採購更多國產供應商的產業關聯政策執行方案，就更能獲得更多分數，贏得容量分配。然而，產業關聯政策本意在於引導外資投入本地供應鏈，促進內需帶動就業，協助供應商創新轉型進軍國際。國產供應商的產能與技術幾年來雖有大幅提升，但在成本與交期上與外國同業相比仍需優化。當供應商產能無法滿足所有開發商時，經濟部如何核准開發商變更產業關聯執行方案以及完工時程，需有更明確的機制。實則，在區塊開發，開發商依賴企業購電而非政府補貼。開發商遵守更嚴格的產業關聯政策，付出更高的採購成本，卻只能收取較低的企業售電價格，政策上實無必要，也將影響開發商投資意願與專案融資可行性。

股權變更應事前同意，核可標準待明確

行政契約另規定開發商的股權變更及「其他經經濟部認定之重要事項」應事先報請經濟部同意，股權變更定義廣泛，任何股權比例的異動可能都要取得經濟部事前同意。經濟部實需公布明確的審查標準及時程讓開發商遵循，以免影響風場完工時程。

違約罰則嚴格，影響融資可行性並提高供應商風險

行政契約草案下的違約罰則對開發商亦有重大風險：以懲罰性違約金而言，如開發商未如期取得籌設許可及施工許可，須按逾期月數給予經濟部每月履約保證金總額10%，比潛力場址階段的5%增加一倍。如完工併網延遲與違反產業關聯政策，違約期間內至少20%電能應以競比價格躉售予台電公司。開發商在區塊開發階段如果以0元競比價格投標，違約躉售台電公司的20%電能相當於無償贈與。嚴格的違約罰則目的在於促使開發商遵守行政契約，但罰則將重大改變風場的投資報酬，影響融資可行性，開發商將不得不轉嫁風險由供應商承擔。如此一來，臺灣供應商卻反而承擔了更多的風險。

離岸風電的開發與建造需要深厚的技術能力與財務資源，就此，臺灣仍須藉由具備實績的外資開發商參與，方能達成如期建置足夠離岸風場的目標。區塊開發階段的電力市場將由台電躉購轉變為企業購電為主，開發商能取得的電價預期將比先前階段大幅降低，行政契約內容如再令開發商承擔上述諸多風險，恐將使開發商因投資報酬過低與銀行融資困難而難以參與臺灣市場，或必須將風險大幅轉嫁本地供應商。因此，建議未來亦可多參考開發商意見並審慎評估之，適度放寬行政契約內容，達成國家、企業用戶、供應商與開發商四贏的榮景。

參考資料

- Bachmann, R., Baqaee, D., Bayer, C., Kuhn, M., Löschel, A., Moll, B., ... & Schularick, M. (2022). What if? The economic effects for Germany of a stop of energy imports from Russia (No. 36). ifo Institute-Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich.
- Baqaee, D., Moll, B., Landais, C., & Martin, P. (2022). The Economic Consequences of a Stop of Energy Imports from Russia. CAE Focus, 084-2022.
- Beltekian E., Ortiz-Ospina D., Roser M., (2018). Trade and globalization. Our World in Data.
- Bloomberg (2022), Flood of discounted LNG stretches Europe's Gas Terminals, April 2022
- BP (2021). Statistical Review of World Energy, July 2021, 70th edition
- Brown, T., Schlachtberger, D., Kies, A., Schramm, S., & Greiner, M. (2018). Synergies of sector coupling and transmission reinforcement in a cost-optimised, highly renewable European energy system. Energy, 160, 720-739
- Brown, P. R., & Botterud, A. (2021). The value of inter-regional coordination and transmission in decarbonizing the US electricity system. Joule, 5(1), 115-134.
- Busch, T., Bruce-Clark, P., Derwall, J., Eccles, R., Hebb, T., Hoepner, A., Klein, C., Krueger, P., Paetzold, F., Scholtens, B., Weber, O. (2021). Impact Investments: a call for (re)orientation. SN Bus Econ (2021) 1, 33-46.
- Deloitte (2021). The Future of Power. Four scenarios for the European utility sector on its path to climate neutrality by 2050. May 2021. <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/energy-and-resources/articles/future-of-power-european-utility-scenarios.html>
- Carril-Caccia, F., & Pavlova, E. (2018). Foreign direct investment and its drivers: a global and EU perspective. Economic Bulletin Articles, 4.
- Daggash, Habiba A., C. F. Heuberger, and N. Mac Dowell. "The role and value of negative emissions technologies in decarbonising the UK energy system." International Journal of Greenhouse Gas Control 81 (2019): 181-198.
- Fattahi, A., Sijm, J., van den Broek, M., Gordon, R. M., Dieguez, M. S., & Faaij, A. (2022). Analyzing the Techno-Economic Role of Nuclear Power in the Transition to the Net-Zero Energy System of the Netherlands Using the IESA-Opt-N Model.
- Hydrogen Council (2021). A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness. February 2021. <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/02/Hydrogen-Insights-2021-Report.pdf>
- Hydrogen for Europe (2021). Charting pathways to enable net zero. <https://www.hydrogen4eu.com/>
- ICAP (2022). Emissions Trading Worldwide: 2022 ICAP Status Report. https://icapcarbonaction.com/system/files/document/220408_icap_report_rz_web.pdf
- IEA (2021a). Net zero by 2050. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IEA (2021b). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- IEA (2021c): World Energy Outlook 2021, Paris, France: OECD/IEA <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- IEA (2022), A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas>
- IMF (2021). IMF Investment and Capital Stock Dataset, 1960-2019, May 2021
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24. doi:10.1017/9781009157940.001.
- IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf.
- IPCC (2022a). Summary for Policymakers In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf
- IPCC (2022b). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf
- IRENA (2020). Renewable Capacity Statistics 2020. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf
- IRENA (2021a), World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2021b). Renewable Power Generation Costs in 2020. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf
- IRENA (2022). Renewable Capacity Statistics 2022. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf

- JRC (2018). Cost Development of Low Carbon Energy Technologies. Scenario-based cost trajectories to 2050. Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-77479-9. <https://doi.org/10.2760/490059> (JRC109894)
- Kharecha, P. A., & Sato, M. (2019). Implications of energy and CO₂ emission changes in Japan and Germany after the Fukushima accident. *Energy Policy*, 132, 647-653.
- Labandeira, X., Labeaga, J. M., & López-Otero, X. (2017). A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. *Energy policy*, 102, 549-568.
- Leroutier, M. (2022). Carbon pricing and power sector decarbonization: Evidence from the UK. *Journal of Environmental Economics and Management*, 111, 102580.
- Olauson, J., Ayob, M. N., Bergkvist, M., Carpman, N., Castellucci, V., Goude, A., ... & Widén, J. (2016). Net load variability in Nordic countries with a highly or fully renewable power system. *Nature Energy*, 1(12), 1-8.
- Ortiz-Ospina, E., Beltekian, D., & Roser, M. (2018). Trade and globalization. *Our World in Data*.
- Peters, G. P., Minx, J. C., Weber, C. L., & Edenhofer, O. (2011). Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(21), 8903-8908.
- REN21 (2021). Renewables 2021 Global Status Report. Paris. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf
- Ritchie, H., & Roser, M. (2021). Energy. Published in *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/energy>
- Roser, M. and Ortiz-Ospina, E. (2013). Income Inequality. Published online at *OurWorldInData.org*. <https://ourworldindata.org/income-inequality>
- Roser, M., & Ortiz-Ospina, E. (2016). Income inequality. *Our world in data*. October.
- Sakmar, S. L., & Kendall Jr, D. R. (2009). The globalization of LNG markets: historical context, current trends and prospects for the future. In *Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium* (pp. 32-43). Elsevier.
- Shirizadeh, B., & Quirion, P. (2021). Low-carbon options for the French power sector: What role for renewables, nuclear energy and carbon capture and storage? *Energy Economics*, 95, 105004.
- Shirizadeh, B., Perrier, Q., & Quirion, P. (2022). How sensitive are optimal fully renewable power systems to technology cost uncertainty? *The Energy Journal*, 43(1).
- Shirizadeh, B. & Quirion, P. (2022). The importance of renewable gas in achieving carbon-neutrality: insights from an energy system optimization model. *Energy*. 255(C) 124503.
- Solomon, S., Plattner, G. K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(6), 1704-1709.
- Timmer, M. P., Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R., & De Vries, G. J. (2015). An illustrated user guide to the world input-output database: the case of global automotive production. *Review of International Economics*, 23(3), 575-605.
- Wang, M., Mao, X., Xing, Y., Lu, J., Song, P., Liu, Z., ... & Zusman, E. (2021). Breaking down barriers on PV trade will facilitate global carbon mitigation. *Nature communications*, 12(1), 1-16. <https://www.nature.com/articles/s41467-021-26547-7>
- World Bank (2022a). Commodity Markets Outlook. The Impact of the War in Ukraine on Commodity Markets. April 2022. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/37223/CMO-April-2022.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- World Bank (2022b). The Impact of the War in Ukraine on Global Trade and Investment. *Equitable Growth, Finance & Institutions Insight*. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/37359/IDU0008eed66007300452c0beb208e8903183c39.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- World Bank (2022c). State and Trends of Carbon Pricing 2022. State and Trends of Carbon Pricing. May 2022. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455>
- Ziegler, M. S., Trancik, J. E. (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. *Energy Environ. Sci.*, 2021, 14, 1635-1651.

備註

- 1 The gross domestic product (GDP) data referred to here is based on purchasing power parities in current international dollars (as reported by the World Bank's World Development Indicators database).
- 2 The greenhouse gas (GHG) emission data refers to the latest available data by the end of May 2022 for the different countries.
- 3 The commitments and pledges are based on different metrics, i.e., climate neutrality in some countries and carbon neutrality, decarbonization, zero emissions or net-zero emissions in others. The nature of the commitments vary as well, ranging from targets implemented by law and laid down in policy documents to those made in connection with pledges and declarations or currently under debate.
- 4 <https://www.iea.org/topics/energy-subsidies>
- 5 [https://www.rystadenergy.com/newsevents/news/press-releases/blockbuster-year-for-public-eps-as-profits-set-to-soar-to-\\$834-billion-in-2022-smashing-record/](https://www.rystadenergy.com/newsevents/news/press-releases/blockbuster-year-for-public-eps-as-profits-set-to-soar-to-$834-billion-in-2022-smashing-record/)
- 6 <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>
- 7 <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/>
- 8 <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>
- 9 <https://www.rapidtransition.org/stories/the-lightbulb-moment-the-rapid-shift-to-leds-and-ultra-efficient-lighting/>
- 10 Levelized cost of electricity is the average unit cost of electricity production by a power plant that includes the levelized overnight cost, fixed and variable operation and maintenance costs, fuel costs and financial costs
- 11 <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/energy-us-market-shift/>
- 12 <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets>
- 13 At a compound annual growth rate.
- 14 Central banks, summary of current interest rates
<https://www.global-rates.com/en/interest-rates/central-banks/central-banks.aspx>
- 15 <https://comtrade.un.org/>
- 16 This division includes the transformation of crude petroleum and coal into usable products. The dominant process is petroleum refining, which involves the separation of crude petroleum into component products through such techniques as cracking and distillation. This division includes the manufacture of gases such as ethane, propane and butane as products of petroleum refineries."
- 17 According to the NACE 2 classification, electricity and gas sector includes production of electricity, hot water, steam and natural gas through a permanent infrastructure if lines, mains and pipes.
- 18 The "n-1" principle is an interesting and productive approach in this context. Used mainly in the infrastructure sector today, this principle states that a system must be able to withstand the failure of an essential supplier or infrastructure component at all times to be considered sufficiently reliable.
- 19 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131
- 20 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2802

作者



Prof. Dr. Bernhard Lorentz
Managing Partner
Global Leader Climate Strategy
Tel: +49 151 14881437
blorentz@deloitte.de



Dr. Pradeep Philip
Partner
Head of Deloitte Access Economics
Tel: +61 7 3308 7224
pphilip@deloitte.com.au



Dr. Felix Chr. Matthes
Öko-Institut, Institute for
Applied Ecology
Tel: +49 30 40508 5381
f.matthes@oeko.de



Dr. Johannes Trüby
Partner
Deloitte France
Tel: +33 6 44 38 95 49
jtruby@deloitte.fr



Dr. Behrang Shirizadeh
Manager
Deloitte France
Tel: +33 6 70 26 84 19
bshirizadeh@deloitte.fr

聯絡我們

勤業眾信永續發展服務團隊



陳盈州 會計師 Joe Chen
永續發展服務負責人
joechen4@deloitte.com.tw



吳佳翰 營運長 Chia-han Wu
風險諮詢服務
chiahwu@deloitte.com.tw



方涵妮 會計師 Alice Fang
審計與確信服務
alicehfang@deloitte.com.tw



李介文 資深副總經理 Cathy Lee
風險諮詢服務
cathylee@deloitte.com.tw



施俊弘 會計師 Jiunhung Shih
審計與確信服務
jiunhungshih@deloitte.com.tw



陸孝立 副總經理 James Lu
風險諮詢服務
jamlu@deloitte.com.tw



洪于婷 會計師 Christine Hung
稅務服務
christiyhung@deloitte.com.tw



朱孝甫 副總經理 Sam Chu
財務諮詢服務
samhchu@deloitte.com.tw



陳彥勳 主持律師 Justin Chen
德勤商務法律事務所
justinchen@deloitte.com.tw



蔡沛成 協理 Patrick Tsai
管理顧問服務
ptsai@deloitte.com.tw

專案聯絡

林冠聿 Andrew Lin
永續發展服務團隊專案經理
andrewklin@deloitte.com.tw

謝依倫 Milly Hsieh
永續發展服務團隊專案專員
mhsieh@deloitte.com.tw



About Deloitte

Deloitte 泛指 Deloitte Touche Tohmatsu Limited (簡稱 "DTTL"), 以及其一家或多家會員所。每一個會員所均為具有獨立法律地位之法律實體。Deloitte("DTTL") 並不向客戶提供服務。請參閱 www.deloitte.com/about 了解更多。

Deloitte 穩居業界領導者，為各行各業的上市及非上市提供審計、稅務、風險諮詢、財務顧問、管理顧問及其他相關服務。Fortune Global 500 大中，超過 80% 的企業皆由 Deloitte 遍及全球逾 150 個國家的會員所，以世界級優質專業服務，為客戶提供因應複雜商業挑戰中所需的卓越見解。如欲進一步了解 Deloitte 約 286,000 名專業人士如何致力於“因我不同，惟有更好”的卓越典範，請參閱 www.deloitte.com 了解更多。

About Deloitte Taiwan

勤業眾信 (Deloitte&Touche) 係指 Deloitte Touche Tohmatsu Limited(“DTTL”)之會員，其成員包括勤業眾信聯合會計師事務所、勤業眾信管理顧問股份有限公司、勤業眾信財稅顧問股份有限公司、勤業眾信風險管理諮詢股份有限公司、德勤財務顧問股份有限公司、德勤不動產顧問股份有限公司、及德勤商務法律事務所。

勤業眾信以卓越的客戶服務、優秀的人才、完善的訓練及嚴謹的查核於業界享有良好聲譽。透過 Deloitte 資源整合，提供客戶全球化的服務，包括赴海外上市或籌集資金、海外企業回臺掛牌、中國大陸及東協投資等。

本出版物係依一般性資訊編寫而成，僅供讀者參考之用。Deloitte 及其會員所與關聯機構 (統稱“Deloitte 聯盟”) 不因本出版物而被視為對任何人提供專業意見或服務。在做成任何決定或採取任何有可能影響企業財務或企業本身的行動前，請先諮詢專業顧問。對信賴本出版物而導致損失之任何人，Deloitte 聯盟之任一個體均不對其損失負任何責任。