

# 淨零藍湖 - 企業善用工業工程 推動永續發展與循環經濟的策略

中國工業工程學會永續工程師證照委員會 / 郭財吉  
中國工業工程學會永續工程師證照委員會 / 徐昕煒

關鍵字：工業工程、淨零轉型、跨域整合、永續發展、價值再創

## 摘要

淨零轉型已是全球與台灣的趨勢，是政府與企業迫切需要面對的課題。工業工程學科以跨域專長，重塑淨零價值。財團法人中國工業工程學會以加入「永續發展目標聯盟」並推動「永續工程師」證照具體展現對永續發展的重視。以工業工程的角度，本文由政府、企業管理、工程技術與教育面向提出淨零轉型策略，以善用並培育人才、強化現有技術應用與智慧整合、政策設計、循環經濟、綠色供應鏈與產品設計等策略面向，帶出工業工程在淨零發展上所扮演的關鍵角色。

## 一、前言

隨著全球人口與經濟的成長，依賴過往

「線性經濟」(Linear Economic) 模式將使得企業發展與「地球競爭」，並加速環境、社會與分配正義等多重議題。因而，隨著全球對於氣候變遷的重視及企業社會責任的訴求，強調回復與再生的「循環經濟」(Circular Economic) 模式成為企業所追求的目標。而由國際競合的角度來看，全球目前已有超過136個國家宣布淨零排碳目標，其GDP總和已超過全球的70% (IEA, 2021)，我國亦於2021年世界地球日由總統宣示2050年以達到淨零排放為目標。此淨零排放的趨勢，促使永續觀點由企業延伸到人類的永續。伴隨著歐盟即將於2023年實施的碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism; CBAM)，將對全球的產業與經濟帶來新一波的轉型。



中國工業工程學會（Chinese Institute of Industrial Engineers；CIIE）成立於1962年，強調以人為本的全面資源管理，提升生產產業「效率」（efficiency）和「生產力」（productivity），隨著台灣產業蓬勃發展一起成長。此做法與用來衡量國家或是企業執行永續發展政策的重要指標-能源密集度（energy intensity）或碳密集度（carbon intensity）無異。換言之，工業工程與管理長期所解決的問題，也是永續發展、循環經濟與綠色生產等關鍵議題。「淨零」已並非是單純的環境議題，促使產業價值再創，並與資源使用脫鉤（decoupling），此為國家與企業發展的風險問題，企業應善用工業工程與管理以推動永續發展與循環經濟的策略。

世界訴求重回製造業的現在，第四次工

業革命亦不再是單一的技術突破，而著重於價值的重新分配，諸如智慧化、機器人與潔淨能源技術，如何透過資通訊與新興技術的混和策略協助企業轉型，藉由工業工程「跨域整合」的特色重新定位台灣永續發展下的「淨零藍湖」，重塑價值溪流。有鑑於此，社團法人中國工業工程學會是第一個簽約加入「永續發展目標聯盟」（Alliance for Sustainable Development Goals，簡稱A·SDGs）的學術團體，簡又新大使與簡禎富理事長簽署約定書，結合跨校跨領域的研發能量和教育資源一起推動台灣企業維新與永續轉型，如圖1所示。中國工業工程學會積極推動「永續工程師」證照，結合跨域專家學者，針對企業關注的關鍵永續課題，培養企業推動永續轉型亟需的跨領域整合、專案管理與創新的工程師和管理人才。



圖 1 中國工業工程學會加入永續發展目標聯盟（A·SDGs）



## 二、政府的淨零藍湖

台灣淨零路徑的發展面對著比國際更為嚴峻的挑戰，除孤島電網之外，低電價與世界數一數二昂貴的土地成本，都造成在發展上需要更多的投入與政策規劃。此外，全球各品牌大廠宣示2050年減碳與100%再生能源目標，亦為台灣相關供應鏈體系與企業帶來迫切的轉型壓力。台灣的半導體代工享譽全球，台積電亦在2020年承諾加入RE100（全球再生能源倡議組織），並在2021年宣布2050年淨零排碳的目標。然而，根據環保署資料統計，能源部門排放約占我國溫室氣體排放的九成，同時台積電亦有62%的碳排來自於用電。因此，政府的淨零策略首要是發展去碳化的能源系統。然而，台灣地小人稠，資源有限而需求者眾，政府需提前佈局，著眼於前。故以工業工程的角度與思維提出以下幾點：

1. 善用跨域人才，規劃轉型路徑：台灣不同於歐美大陸型國家，擁有豐富的水與風資源，並有廣闊的土地使用。寸土寸金的台灣更需要思量再生能源的發展時程，思考企業各階段所需，配合技術進程做出妥善規劃。淨零轉型是一個逐步性的轉變過程，需要跨域合作努力。而國際上轉型路徑規劃多採用混整數線性規劃（Mixed Integer Linear Programming；MILP）模型，亦多由工業工程與管理領域的專家從事轉型路徑的技術選擇與時程規劃。
2. 智慧化系統整合，建立電力系統彈性：淨零的首要任務在於使用零碳的再生能源。根據全球能源總署（IEA）2050淨零排碳路徑分析，達成淨零目標下，88%的電力將需來自再生能源，其中68%的電力將來自於變動性較高的太陽光電與風力發電。然而，再生能源所面臨的挑戰在於系統整合的高度困難，因而以智慧電網為基礎的即時決策系統格外關鍵，並結合機器學習的即時預測量能，於供、需端透過物聯網技術，自動化調節與控制將成為再生能源能否成功的關鍵。在成本的計算上需以均化彈性成本（Levelized Cost of Flexibility, LCOF）做為投資的考量，意即估計每增加1MWh變動性再生能源電力調度彈性所需額外增加之成本。
3. 引入機率模型，重建電力系統可靠度：電力系統的可靠關係國家與企業發展，隨著變動性再生能源高度發展，系統可靠度的評估已較過去困難。一旦電力供應不穩定，除對經濟造成衝擊，亦將嚴重影響淨零排碳轉型的推動。而工業工程與管理在可靠度領域務實解決多重產業問題，可引入機率模型，採用缺電期望值（Loss of Load Expectation; LOLE）協助評估電力系統的穩定。
4. 建立需量反應與電力市場耦合機制：需量反應是一種透過需求端整合，於電力不足時透過需求端減量以維持電力穩定的方



式。然而，其有經濟規模的效益問題，同時對於配合的用戶其亦需有政府誘因、啟動成本和單位利潤的權衡考量，此問題與工業工程於生產管理端探討獲益的概念原則上一致。而電力市場的耦合是一種供需定價機制，更是被高度運用於最佳化的經典問題。

5. 蘿蔔與棍子，獎懲併行：淨零的轉型需要資源的正確投入，舉凡再生能源躉購費率、節能設備補助及新技術導入，都需要政府創造誘因。而另一方面，「碳稅」的實施對於淨零轉型具有關鍵性作用，然其稅後的資金使用成為一個最關鍵的課題。同時，碳稅延伸的課題是能源貧窮問題，而研究指出若能適當的將稅收用於強化有孩童的低收入戶補助與工作年齡福利金提升，亦有可為轉型過程中所帶來的能源貧窮議題產生紓解效果（ESRI, 2020）。而邊際減排成本估計方法亦可有效為政府提供碳定價的適當發展時程。

### 三、管理的淨零藍湖

產業永續與低碳轉型首重科學管理，產業的升級需以「碳中和」為目標。除了國際間的碳關稅政策外，國際大廠在整體供應鏈淨零的訴求都迫使台灣必須在淨零的轉型過程中，以創新思維重塑價值。

1. 智慧決策輔助，低碳能效管理：企業的低

碳轉型首重效率的提升，亦即提升產業附加價值。而這亦是工業工程與管理不斷追求，凡是總有更好的方法。除效率提升外，節能設備的更換涉及的經濟效應與可行性，應結合工程經濟所學，並以長期規劃的方式做綜整評估。同時，智慧化能源管理系統，透過即時監控與自動反應，將可有效降低不必要的浪費。而決策輔助更應以低碳做為決策的目標，以綠色製造出發，智慧節能。

2. 價值再造，循環經濟：企業永續應是進一步為資源創造更多的價值，也就是循環經濟。循環經濟對供應鏈管理來說是價值鏈的延續，是逆向物流與再創，對於由企業內部價值鏈整合供應鏈管理的新思維具有相當關鍵的指標意義。
3. 淨零部落與綠色物流、供應鏈：而後疫情下的物流業發展，過往透過經濟規模運輸的模式需要改變。台灣在淨零轉型趨勢下，當碳成為決策因子，碳足跡會改變選址與運輸模式。除運具電動化外，在地生產將成為另一種選擇趨勢。企業間應以合作代替競爭，強化廠商間的鏈結。供應鏈的體系改變，短距生產與低碳策略整合，低碳產業鏈的部落形成，將有利於台灣開創新的產業商機。另外，疫情亦帶動冷鏈物流，而冷鏈物流同時是一個能源依存度高的運輸業，此問題也為物流決策帶來全新的挑戰。



4. 永續金融與氣候相關財務揭露：永續金融意指企業的每一塊錢，都必須對環境與社會產生正向的永續效益。而氣候相關財務揭露（Task Force on Climate-related Financial Disclosures；TCFD）則具體呈現了企業永續轉型時所需考量的各種氣候風險，對於企業永續經營與全球佈局格外重要，企業之策略需全盤納入考量。
5. 知己知彼，實踐碳盤查：儘管上述議題皆為實現淨零的重要方針，然而企業減碳首要工作在於瞭解碳在哪裡？以及目前有多少的排碳。因此，需針對碳盤查有全盤性的瞭解。

#### 四、工程的淨零藍湖

工業工程與管理領域，除科學管理手法外，亦可以工程技術協助淨零轉型。舉凡產品的製造、生產到銷售皆有工業工程的相關技術內涵，以低碳思維重新佈局，是基於永續的新商機。

1. 綠色產品、永續供應鏈與流程設計：基於國際永續政策與綠色產品相關法規，應就產品源頭做整體改善，使產品易於拆解與辨認，並納入人因工程思維，促使模組化設計、易拆解設計與循環設計於綠色產品的成功應用。同時，企業永續轉型的過程中，亦需要導入流程再造機制，使永續能在決策過程中深耕。
2. 存貨工程技術與儲能 / 綠氫：儲能已是再生能源發展下系統整合不可或缺的角色。然而，蓋儲能就如同工廠蓋倉庫一般，需要多大的倉庫？每次的儲能量要多少？什麼時候是最適的儲能點？以往看似理所當然的問題，在再生能源高占比下，提升了系統複雜度，但這卻是工業工程長久來研究的存貨管理模型。而綠氫更是淨零排碳轉型下企業不可或缺的關鍵技術，與過剩再生能源電解技術（Power to Gas；P2G）結合，視同儲能，並可在鋼鐵、船舶與化工等重要工業中使用。
3. 虛擬電廠（Virtual power plants；VPP）：虛擬電廠透過設備的連結與使用者的聚合，強化調度能量，亦為淨零轉型的重要技術。
4. 碳捕捉與封存技術：在企業的生產中，要完全無碳的難度相當的高，因而捕捉與封存技術成為被考慮的重要關鍵。而捕捉一般需透過選址技術找合適廠址做封存或為「碳」找產業應用新出口。此碳的產業新模式，則可視為淨零下的新利基。
5. 負碳技術：一般包含碳捕捉與封存技術、直接空氣碳捕捉與碳匯。是淨零排碳的最後一道手段。而在森林碳匯中，其對國產木材的供應鏈管理與價值再創具有重要著墨，亦是工業工程可努力的地方。



## 五、教育的淨零藍湖

淨零轉型不單是跨域的產業工作，其亦是全民的工作，同時也是未來就業的新藍湖。淨零應由教育做起，國內已有許多單位努力從事社會文化永續意識之建構，然尚缺乏與企業接軌的工程與管理人才。有鑑於此，財團法人中國工業工程學會基於為產業育才，未雨綢繆並治病於先，結合上述所提及的政府政策、管理與工程面向，並由國際淨零趨勢、企業社會責任（CSR）、ESG與永續發展目標（SDG）出發，推定全面性的人才培育工作，積極規劃「永續工程師」證照，並期許未來的工程人不單單是台灣淨零轉型重要的資財，為政府與企業在淨零趨勢下創造新的可能。

## 六、結論與建議

淨零是不可逆的趨勢，世界各國都在努力尋找最有效的達成方式。工業工程與管理可秉持學科的優勢，整合跨域資源站在產業最前沿，知「勢」、順「勢」，一同為企業永續創造新能量。而其轉變，非一蹴可及，整合智慧系統，人、機與環境互動，應用新興科技及大數據分析加速異業整合協同技術，及創新的商業收益模式提升供應鏈透明度，發揮科學管理所長，是工業工程與管理學科未來的重要核心。中國工業工程學會加入「永續發展目標聯盟」與推動「永續工程師」證照，以跨域培育，多元整合為努力方

向，期許結合台灣既有優勢，在未來永續的道路上走的更平順。同時，更可進一步輸出台灣企業永續轉型經驗和解決方案，擴大台灣企業的國際影響力。

### 參考文獻

1. International Energy Agency (IEA), 2021. Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector, Paris. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
2. 行政院環境保護署，110年。2021年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。[https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/2021nir/uploads/00\\_nir\\_full.pdf](https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/2021nir/uploads/00_nir_full.pdf)
3. Economic and Social Research Institute (ESRI), 2020. Carbon taxes, poverty and compensation options-ESRI Survey and Statistical Report Series. Accessed September 30, 2021. [https://www.esri.ie/system/files/publications/SUSTAT98\\_0.pdf](https://www.esri.ie/system/files/publications/SUSTAT98_0.pdf)