

能資源整合 循環新趨勢

陳良棟

引導並規劃產業走向能資源整合循環及生態化工業區，把廢棄物轉化成再生資源，朝零廢棄、零排放、零事故的目標邁進，讓台灣成為循環經濟時代的典範。

地球環保議題

人類文明始於學會了使用石器及火種，接著加熱礦石冶煉純銅，進而金石並用製造工具。到了公元前 4000 年，兩河流域的人類已經學會冶煉銅和錫的合金—青銅。公元前 3000 年，青銅器成為兩河及印度河流域生活的必備工具。公元前 2000 年，冶鐵技術出現了。18、19 世紀在英國的第一次工業革命，使用煤炭為燃料，在機器動力上廣泛使用蒸氣機，使紡織效率增進兩、三百倍，並應用於鐵路運輸及蒸氣輪船，加強了世界各地的聯繫。工業革命使得社會生產力飛速發展，導致生產規模的擴大和集中。

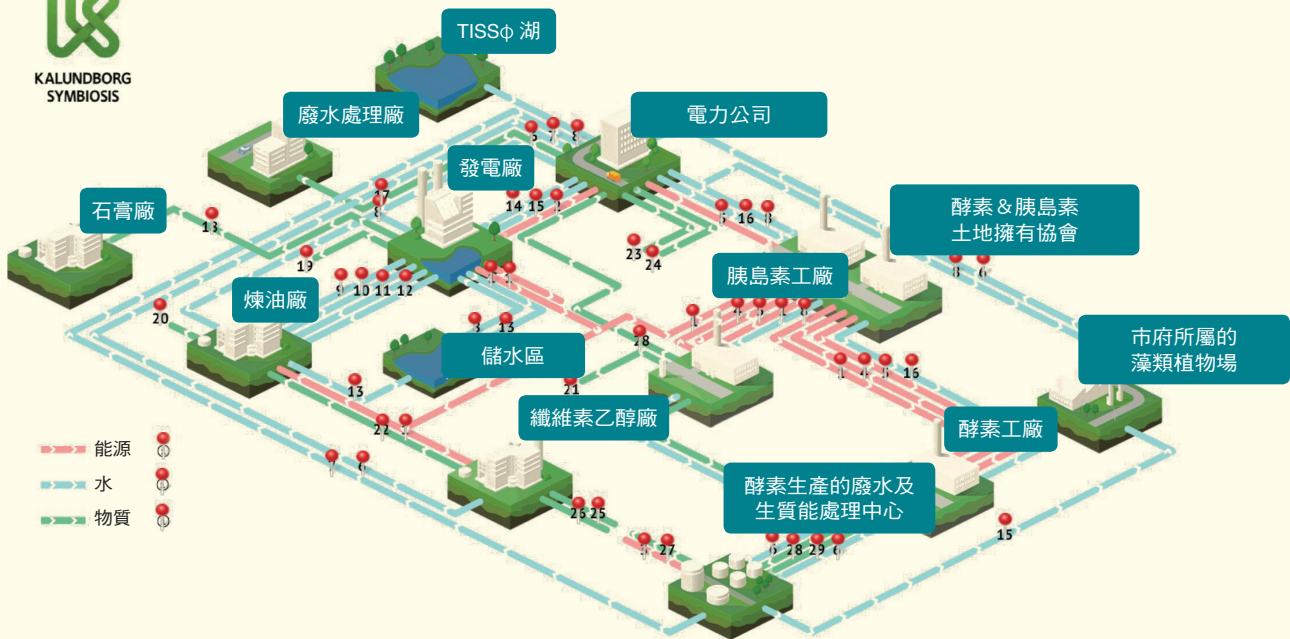
西元 1870 年後，科學技術突飛猛進，各種新技術、新發明迅速應用於工業生產，人類進入第二次工業革命。內燃機應用於汽、柴油車、遠洋輪船和飛機，並帶動了石油開採和提煉技術的發展。接著發電機問世，從此電力開始影響人們的生產和生活，並取代蒸氣機成為新的動力來源，世界進入了電器時代。第二次工業革命使產業從輕工業向重工業轉移，出現了電力工業、化學工業、石油工業、電機電子工業、汽車工業等，都要求大規模集中生產，人類對於能源資源的消耗速度呈指數成長。

到了 21 世紀的今天，由於汽車、電機電子等電器及資通訊產品的普及，亞洲成為世界的生產基地。由於大量生產、大量消費及大量廢棄，人類爭奪石油等化石能源及各類礦產，地球資源逐漸匱乏，生活環境遭受汙染破壞，於是保護地球環境的議題逐漸成為聯合國每年討論的重點。聯合國永續發展會議、氣候變遷會議每年聚集數萬專家及各國政府官員與國家元首，研商保護地球大計，並產生各種國際環保公約。為了後代子孫的生活環境，能資源整合循環及節用成為時代新趨勢，我國也把循環經濟列為產業發展的重要方向。

人們運用能源及資源生產各式各樣產品，
做為消費、商業及國際貿易的商品，成為現代最重要的經濟模式。



KALUNDBORG
SYMBIOSIS



丹麥卡倫堡是全球最有名的產業共生範例（圖片來源：DANSK SYMBIOSECENTER (Symbiosis Center Denmark)）

能源及資源循環利用

人們運用能源及資源生產各式各樣產品，做為消費、商業及國際貿易的商品，成為現代最重要的經濟模式。尤其在工商業社會，人口集中於都市，規劃產業園區提供大量人民就業與生產，是各國最普遍的方式。現在所使用的能源及資源大多從開採的礦物而來，在開採過程中除破壞環境外，也耗費能源增加溫室氣體排放。另外，在產業園區生產，需取得充足的能源，如電力、煤、油、天然氣等做為機器的動力，也利用各式金屬、非金屬等礦產資源及水資源等做為生產的原料。

在生產各種產品、副產品的同時，伴隨著產生各類廢棄物、廢水、廢熱及各種汙染物。到了 21 世紀，人類已經

感受到能資源會用盡，生產及使用過程也會對環境造成莫大壓力。為了後代子孫的永續發展，節用能資源成為當務之急，以降低生產成本、提升競爭力、減少溫室氣體排放、降低氣候變遷的威脅。

能資源整合循環的做法

生態化工業區的起源 在 20 世紀後期，丹麥卡倫堡成為全球最有名的產業共生範例。在這個無意中產生的產業生態化園區中，包含了火力發電廠、煉油廠、酵素廠、胰島素廠、石膏廠、畜牧場、魚塢、汙水處理廠及附近大型社區。園區內每一間工廠的殘餘廢棄物或熱能，大都被鄰近廠商再利用成為生產的資源。

為了後代子孫的永續發展，節用能資源成為當務之急，
以降低生產成本、提升競爭力、減少溫室氣體排放、降低氣候變遷的威脅。

自然生態系統是藉由共生作用達到「零廢棄物」的目標，可有效降低能資源耗竭及環境惡化的衝擊。

舉例來說，在卡倫堡的產業生態園區中，社區、畜牧場、魚塭取用發電廠的廢熱供保暖；酵素廠所產生的酵母取代養豬場所需傳統飼料的大豆蛋白質；煉油廠及區內工廠運用電廠的低壓蒸氣做為熱源，煉油廠經脫除二氧化硫所產生的 15 萬噸石膏取代進口天然石膏，脫去的硫用以生產硫酸，產生的可燃氣供電廠做為燃料；電廠的飛灰運至水泥廠做為原料，煤渣做為鋪馬路的材料；區內藉由回收、再利用，每年節省了 300 萬噸的水，減少了 24 萬噸的二氧化碳排放。

自然生態系統是藉由共生作用達到「零廢棄物」的目標，以自然生態系統為師的卡倫堡產業生態園區的概念，在近 30 年來已廣泛運用於產業園區規畫及生產效率提升的設計，有效降低能資源耗竭及環境惡化的衝擊。

既有工業區的能資源鏈結 在產業園區裡，由於生產事業鄰近，可創造能資源整合的機會。例如在既有的園區中，除了廠商個別找鄰近廠商的廢棄或多餘能資源進行再利用外，較成功的案例都是由鄰近的大學或顧問服務機構，調查區內能資源使用及廢棄情形，從中媒合再利用，以節約資源、減少廢棄物、創造經濟利益。20 世紀末，在加拿大及美國已發表許多有名的案例，但因限於園區內廠商已定型，能鏈結的項目和數量有限，大多是從管理面建立相關的廢棄資源交換中心。

台灣從工業減廢起步 台灣地狹人稠，工業區林立，1990 年代就設立國家清潔生產中心，並成立廢棄物資訊交換中心媒合可

再利用的物質，但由於廢棄物管理法令的限制，一直無法擴大績效。後來由經濟部工業局及環保署共同成立工業減廢聯合輔導小組，積極推動製程廢棄物減量，結合產官學研的力量及智慧，從輔導過程中發現節省能資源的空間及機會，促進廠商投資改善，節省成本、增進利潤，同時改善環境。

為輔導廠商提升能資源使用效率，我國積極協助既有產業園區內廠商妥善運用能資源，並建立有效循環利用鏈結，期能建構剩餘能資源資訊公開透明化、產業生態化及資源循環再利用的生態化工業區，朝向「零廢棄」目標邁進。在推動過程中，可促進再生資源回收再利用，活絡環保綠色產業，使既有產業園區的生態化鏈結加速形成，並與高科技產業形成互補作用。如此不但可帶動相關產業發展，也可促進地方建設，提升產業競爭力，邁向工業區生態化永續經營的目標。

新工業區的生態化規畫 生態化工業區的實踐過程中，以既有工業區的生態化鏈結，總是在現實上無法於鄰近找到適合的產業可以運用廢棄資源，假如能在園區規劃時就考慮資源循環鏈結，則效果會加倍。我國在 1990 年代就引進生態化工業區的概念規畫，當時新開發的彰濱工業區除了加強植生綠化增加綠帶外，區內規劃引進的產業類別包括生活區、生產區、資源回收區、環保處理區，希望達到零廢棄的生態化工業區目標。

臨海工業區能資源整合



在既有工業區的生態化方面，廠商間的能資源整合是較有效果的，其中高雄臨海工業區成為最佳生態化工業區的基地。

但由於工業區售地時無法精確掌控廠商的投資項目，加上水資源不足及空汙排放總量的限制，使得廠商投資進度及設廠時程不如預期，也無全盤的投資計畫可以選擇售地對象。在建廠初期，各廠的位置未與鄰廠製程做好相互循環鏈結規畫，廢熱及廢棄資源物各自排放及處理，未有足夠副產品及廢棄物可以在區內循環鏈結。由於尚有許多土地未開發完成，且開發好的土地也未完全售出，期望後續強化能資源整合，回收水資源，引進可互補的產業類別，持續朝生態化產業園區的方向邁進。

能資源整合循環園區 麥寮石化工業區是由企業集團十幾家公司主導開發，以抽砂填海方式興建工業港及工業區土地，並分期興建電廠、汽電共生廠、煉油廠、

各類石化廠、堆肥廠、資源回收廠、原水處理廠及廢水處理廠。

由於整個園區以石油化學工業為主，並沒有鋼鐵、水泥、食品生技、農畜牧業等其他互補產業結合形成生態化工業區能資源鏈結共享的機會。但其企業集團深知有效率地鏈結能資源才能降低汙染、節省能資源、創造最大利潤，因此在各期擴建計畫中，會考慮前期生產中工廠的廢棄資源，就近設立另一可以運用該廢棄資源或汙染物為原料的新製程。

例如早期部分製程產生的揮發性有機物，為符合空氣汙染排放標準，必須集中以焚化爐或廢氣燃燒塔處理，但燒掉的都是資源，因此投資廢氣儲存及純化設施，以及利用排放廢氣做為原料的生產工廠，高價值地

利用原廢棄資源。例如利用生產過程排放於空氣中的高純度二氧化碳，開發出運用二氧化碳生產化學品的製程，以降低溫室氣體的排放；或是在製程中利用雨水，或運用電廠溫排水於海水淡化以節能並提高產水效率。

在企業集團老闆的要求下，達成節水節能的目標成為各單位的重要任務，因而可運用企業內部各公司資訊共享，把能資源整合做到極致。企業可以運用減少的污染量及資源使用量，持續投資設廠，增加業績及獲利。

能資源整合鏈結 區域內各企業體的能源、物料、資源、水等，應藉由完善規劃的能資源整合鏈結系統，達到使用最少的能資源並創造最大的經濟效益，以及降低環境衝擊與負荷。在既有工業區的生態化方面，廠商間的能資源整合是較有效果的，其中高雄臨海工業區成為最佳生態化工業區的基地。由於該工業區面積大，廠商數量及產業類別多，含括鋼鐵、石化及各式各樣的傳統產業，其中以廠區及規模最大的中鋼公司為核心。

中鋼生產的蒸氣、氧氣及氮氣提供鄰近的煉油廠、化學工廠及化學製品廠做為熱源及原料，爐石提供水泥廠做為原料。石油煉製業生產的氫氣提供給中鋼、化學製品業及石化工業，廢觸媒則由再利用廠回收再利用。造船廠產生的廢機油提供煉油廠再利用，石油煉製業生產的優質機油則提供造船廠使用。民生汙水廠的廢水及已受汙染的河水經處理後提供區內各廠使用。臨海工業區能資源鏈結量達每年 200 萬公噸，節省燃料油耗用量每年 12.1 萬公秉，減少二氧化碳排放量每年 36.2 萬公噸，成效亮眼。

經濟部工業局已推動 26 座產業園區及 8 處產業聚落能資源整合，累計循環利用量達 429 萬公噸 / 年。在節能減碳效益方面，CO₂ 減量達每年 95.9 萬公噸，減少重油使用量 30.8 萬公秉油當量 / 年，促成既設鍋爐停用或拆除數量計 162 座，降低生產成本及外售蒸氣計 36.6 億元，促進新台幣 27.8 億元投資。在環境效益方面，每年可減少 SO_x 排放量約 4,307 公噸、NO_x 排放量約 1,385 公噸及粒狀汙染物約 262 公噸。

能資源整合新趨勢

產業園區能資源整合及生態化工業區都只著重於聚在一起的產業間的合作，但是為了保護地球環境，只有工業園區的能資源整合是不夠的，這種良好的機制要擴大到城市及日常生活，成功的能資源循環做法甚至可以跨國界合作。近來歐盟各國積極尋求與我國合作，就是加速成功典範案例轉移，擴大能資源整合循環成效，共同掌握商機。

我國廢棄物清理法授權各目的事業主管機關研訂廢棄物再利用管理辦法，讓不同產業的公司可以合作使廢棄物再生為可用的資源，這種機制已經跨越縣市。同一產業的相同廢棄物，可以結合同業的力量成立共同處理體系，以較具經濟規模的方式處理成有市場價值的商品。

農業廢棄物可以是工業的原料或能源，工業廢棄物經妥善分類處理後，也能夠成為農業所需的料源。工業產品在生產前經過環境化設計，不使用有害物質，使其易於分解回收，或使其易於維修，延長產品生命週期；或以新的商業模式，只租不賣，易於針對舊品回收再製成新品，提供更多的客戶服務，

把能資源整合循環及生態化工業區的方法落實於新的產業園區，
使廢棄物轉化為再生資源，再轉化為經濟產值。

使人類在維持良好生活品質下，減少對地球礦物的開採，降低環境汙染。

我國透過公告應回收物質，已經創造許多成功的資源循環產業，如廢家電的回收系統，建立城市採礦的商機，許多資源回收廠商已成為股市的績優股。寶特瓶回收制度已成功建立再生紡織品的體系，成功轉型成機能性紡織品，在國際紡織業大放異彩，並已經把這個典範輸到歐洲。

我國產業園區及產業聚落密集，易於能資源整合循環推動。不論是都市計畫的工業用地、民間或地方政府開發的工業區、農委會開發的農業生技園區、經濟部開發的工業區和加工出口區，以及科技部開發的科學工業園區，都有機會整合成循環經濟區。

對於既有園區可以調查它們的特性後，以試點方式推動循環經濟。對於準備開發的產業園區，宜先檢討修正現行法規中對於園區引進產業的限制和不利於推動循環經濟的規定，以引導產業可以因應園區及地方發展需求，結合生產與新商業模式的發展，把能資源整合循環及生態化工業區的方法落實於新的產業園區。使廢棄物轉化為再生資源，再轉化為經濟產值，朝零廢棄、零排放、零事故的目標邁進，讓台灣成為循環經濟時代的典範。

陳良棟
經濟部工業局永續發展組

