



水泥廠在循環經濟與減碳 的思維及作為—台灣水泥

陳光熙 / 台灣水泥股份有限公司研究室 協理

林尚毅 / 台灣水泥股份有限公司研究室 資深經理

章興國 / 台灣水泥股份有限公司研究室 資深副理

台泥和平廠區當時為響應政府產業東移政策及落實環保理念，在投資興建水泥廠、電廠與港口之初，即規畫並建成世界首創「港、廠、電三合一」的循環經濟商業模式，並引進豎井、密閉式廊道與餘熱發電系統，並在製程中推動廢棄物資源再利用。近年來除了投入二氧化碳捕獲與水泥窯協同處理技術外，更發展推動綠色能源建置，已確立環保、能源、水泥為台泥的核心事業，未來更已規畫將和平廠區打造成一個能讓遊客與社區樂於親近，共存共榮的開放式產業生態園區。

前言

節能減排、創能與循環經濟目前在國際間日益受到關注，綠能與循環經濟也都屬國家推動「5+2」產業創新政策之一；台灣水泥一直在節能減排與循環經濟上的努力從未間斷，近年並投入綠能建置以及二氧化碳捕獲相關研究，希望能透過創新設計使能、資源的生命週期延長，藉由產業內與產業間的資源循環與再利用，在降低天然資源消耗的同時緩解廢棄物與污染產生的問題建立起更友善的經濟模式。

世界首創的「港、廠、電三合一」

台灣水泥在和平廠區充分體現了循環經濟的具體實踐（圖 1）。和平港港口輸入了電廠所需的燃料，以及生產水泥所需的燃料與鐵渣、石膏、爐石等原物料，在製成水泥產品之後再經由和平港運輸至西部各港口的水泥接收站，避免陸運運輸過程對環境及交通造成的衝擊。港區儲運系統係採密閉式廊道輸送帶設計以減少物料粉塵溢散，碼頭則設置自動裝卸料機具

降低港區貨運流量，減少空氣污染。

和平水泥廠在建廠規劃時，即採用最先進之環保設備如兼顧景觀與環保之全密閉式儲存及輸送系統、採用 Low-NOx 製程與設備。另於主要排氣煙囪設置 CEMS 自動連續監測系統，嚴格控制排氣品質，確保所有排放均優於國家標準，台泥所有旋窯均配置餘熱發電設施，在和平廠我們採用日本最先進的閃蒸技術提高回收熱量之效能，以達餘熱發電系統之最大效益。

和平火力發電廠配置兩組 660 MW 裝置容量燃煤汽力發電機組，採用密閉式燃煤儲運系統、靜電集塵器、排煙脫硫設備、選擇性觸媒轉化器脫硝設備、低氮氧化物燃燒器及自動連續監測系統等多項最先進之空氣汙染防治設備，有效控制煙囪排放硫氧化物及氮氧化物之濃度，發電所產生之煤灰可供給水泥廠做為水泥的替代原料，於廠區內完全去化；水泥廠並提供產製的石灰石粉供給和平火力發電廠電廠排煙脫硫設備（FGD）做為脫硫劑使用，煙氣脫硫所產出的脫硫石膏再回送給水泥廠做為水泥生產時必要的添加劑，形成一個良性迴圈。



圖 1 港、廠、電三合一

豎井系統與礦山維護

和平廠採最先進之「山頂平臺式階段開採豎井運輸法」開採（圖 2），礦山開採同步進行植生綠化，使礦區除達成綠化、美化之成效，亦能兼顧水土保持之功效，此法破壞面積小，對景觀與環保衝擊較低，且具有安全性高、產能大、運輸成本低之特點，而且完全地下化、自動化，大幅降低山體表面植被影響，平地完全不會受到山頂採掘作業影響，同時避免礦山邊坡裸露。目前共有 3 套豎井開採系統，年產能達 1,500 萬噸供應生產所需。石灰石開採後自豎井口倒入豎井中，再經由破碎機及旋碎機進行破碎，將石灰石逐漸縮小粒徑，藉由密閉式輸送帶輸送至圓庫及廠內，運輸過程屬全密閉方式所以無噪音及粉塵汙染等問題。

台泥和宜蘭大學園藝學系團隊，採「創新手法和獨門配方」，跳脫速成的植被綠化模式，深耕棲地以重建當地生態面貌為主軸，種植樹苗以原生、先驅且耐逆境的物種為主。此所謂的獨家配方就是水源滴灌法精準灌溉以及防風網等策略，逐步將多種植物移入礦區進行復育。



圖 2 山頂平臺式階段開採豎井運輸法

廢棄物資源再利用

台泥發展協助產業解決廢棄物之方案，多年來使用的再生資源包括：發電廠之脫硫石膏、煤灰、脫硫渣，光電及半導體等產業之氟化鈣污泥、廢溶劑，造紙業、石材、淨水廠、化工廠之污泥、鋼鐵廠礦泥化學原料廠之鋁礦土渣、工程廢棄土等等（圖 3）。以水泥旋窯作為環保之核心技術，充分發揮水泥窯高溫、高擾流、高滯留時間之特性，妥善地發揮無二次污染的功能，將所

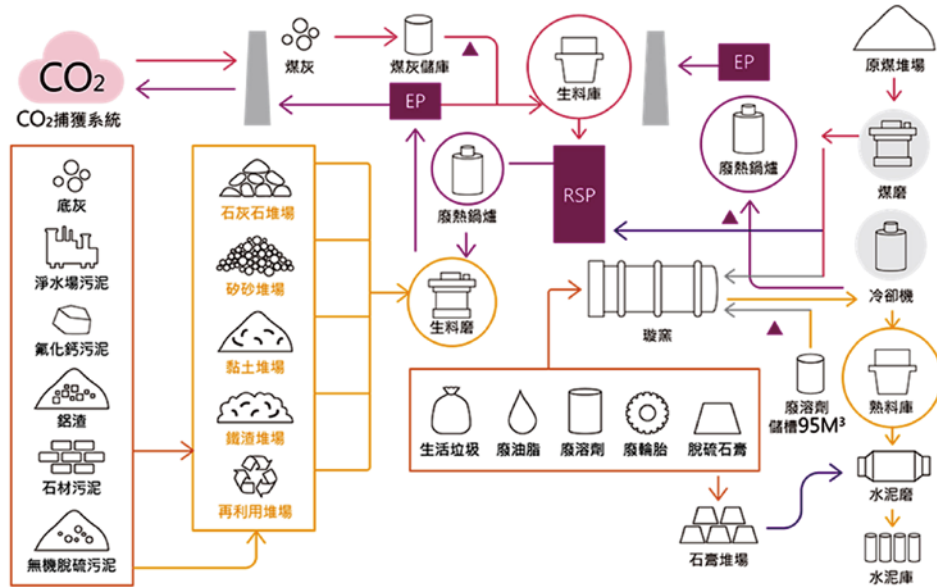


圖 3 台泥產業間廢棄物處理

有可行的廢棄物轉化為資源物，用作水泥製程所需的替代原料或替代燃料，實現產業間合作將資源再利用形成環保價值鏈。台泥並制定驗收規範、檢驗標準、摻配比例等相關規範與程序，所有進廠之廢棄物亦須檢驗成分是否符合驗收規範，並確保使用再生資源生產的水泥產品符合 CNS 61 卜特蘭水泥國家標準，再回到建材產業鏈中，達成循環經濟的目標。

水資源與水循環管理

隨著氣候變遷導致的極端氣候使得水資源管理的重要性日漸升高，台泥訂定每年用水減量 1% 的目標，並推動用水減量措施。和平廠 2019 年規劃汙水回收工程，進一步提升廠內回收水使用率，並用於廠內綠化及道路灑水系統使用。蘇澳廠 2019 年規劃增設管路、抽水機及儲水槽將擴大放流廢水回收再利用，供應廠內堆置場、道路灑水污染防治及花園澆灌等用水，預估每日可減少 300 立方公尺用水量。台泥為鑑別衝擊並建立用水管理機制，2019 年蘇澳廠、和平廠雙雙通過 ISO 14046 水足跡盤查的第三方查證，提升水泥廠水資源管理，為國內第一家獲得水足跡認證的水泥廠。

創新的二氧化碳捕獲與利用 (CCUS, Carbon Capture, Utilization, and Storage)

台泥公司本著「環保是責任，不是成本」的經營理念，在和平廠區創建時所完成的「港、廠、電三合

一」雖已達成零廢棄物廠區，但仍有二氧化碳排放的懸念未能解決，所以在獲知工研院尋求合作研究對象時雙方一拍即合，台泥自 100 年起投入經濟部能源局補助計畫，成功的開發以天然廉價石灰石為吸附劑之「鈣迴路捕獲二氧化碳技術」，在 102 年於本公司花蓮和平水泥廠區，建立「1.9MWt 鈣迴路捕獲二氧化碳先導型試驗廠」，該廠成為同類型技術中全球最大規模的試驗廠（圖 4）。該技術於 2014 年更獲得素有產業創新奧斯卡獎美名的「全球百大科技研發獎 (R&D 100 Awards)」的國際大獎肯定（圖 5），研發期間並陸續獲得國內外媒體與刊物的參訪與邀稿報導，此舉也同時響應政府與全球節能減碳的企業社會責任。

鈣迴路技術是以天然石灰石（碳酸鈣，CaCO₃）作為吸附劑，以進行 CO₂ 捕獲。石灰石相對於其他化學吸收劑而言，其成份安全、穩定、蘊藏量豐富且價格便宜，具有較大的理論吸附容量（0.786g CO₂/gCaO），且失去活性的吸附劑還可再投入水泥製程做為原料或產製附加價值較高的輕質碳酸鈣，因此無事業廢棄物產生。捕獲流程是先將含 CO₂ 之燃燒煙氣導入碳酸化爐於 600 ~ 700°C 下與吸附劑 CaO（氧化鈣）反應生成 CaCO₃（碳酸鈣），反應如方程式 (1) 所示。生成的 CaCO₃ 則再進入煅燒爐中，經約 850 ~ 950°C 的高溫使 CO₂ 脫附再生成 CaO，反應如方程式 (2) 所示。再生之 CaO 則可送回至碳酸化爐，再次進行碳酸化反應如此即形成迴圈。



捕獲後的二氧化碳除了地質封存還能做些什麼，這就讓台泥想繼續尋求合適的再利用技術使之再回到循環鏈中，於是再與工研院展開「戶外微藻固碳系統及高單價微藻培養研究」合作計畫，開發微藻養殖的固碳技術與經營模式探索，台泥選擇比樹木固碳量速度還要高數十倍的藻類做為標的（圖6），以從藻類萃取出質柴油，藉由此技術進行生物固碳之餘，並將養殖導入富含蝦紅素之雨生紅球藻以提升相關經濟效益（圖7），將純化後的二氧化碳作為雨生紅球藻生長所需之碳源，一般生成1公斤的藻體約當吸收1.83公斤的二氧化碳，如此將生產水泥過程中所排放的二氧化碳在捕獲後再利用，讓二氧化碳也進入循環經濟產生加值化的效益，台泥與工研院合作之「創新碳循環經濟微藻減碳與高產率蝦紅素產業應用模式」計畫，榮獲第13屆國家新創獎的肯定（圖8）。



圖5 全球百大科技研發獎 (R&D 100 Awards)



圖6 戶外微藻固碳系統



圖7 雨生紅球藻養殖系統



圖4 鈣迴路捕獲二氧化碳先導型試驗廠



圖8 第13屆國家新創獎

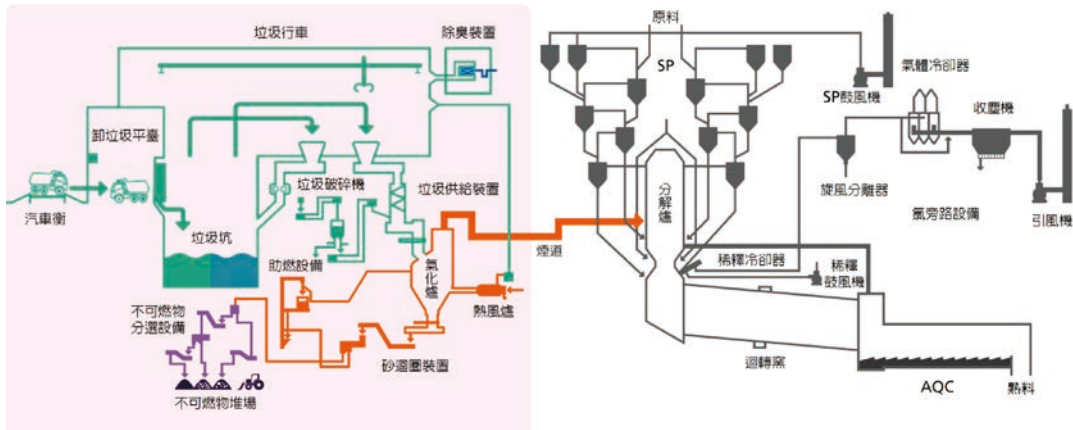


圖 9 水泥窯協同生活垃圾焚燒處理流程

台泥隨後再與工研院的生醫所展開蝦紅素的應用研究，由於雨生紅球藻富含的蝦紅素具有優異的抗氧化能力及多元的應用價值，根據數據顯示，雨生紅球藻之蝦紅素濃度，為磷蝦 250 倍、鮭魚的 6,000 倍，台泥蝦紅素在延緩細胞老化、視網膜修護甚至阿茲海默症預防等，都已展現初步成果。台泥亦嘗試「減省去萃取步驟」，直接食用天然的蝦紅素紅球藻，與工研院共同開發出「減碳環保麵」，搭配花蓮在地的馬告粉、七味粉，成為獨一無二的減碳蕎麥麵禮盒。

水泥窯協同生活垃圾焚燒處理

一般的垃圾焚化爐因為燃燒溫度較低不易完整消除戴奧辛，導致產生的高毒性飛灰和燃燒過後的底渣，以至於無法資源化的部分就必須採取固化掩埋處理，久而久之繼續污染土地、水源。而水泥廠跟垃圾焚化廠共構的好處，就是可以用高溫分解戴奧辛，把飛灰、底渣也透過高溫淨化，成為水泥的一部分達成 100% 廢棄物再利用。

台泥首先將城市生活廢棄物由車運入廠後，再將廢棄物進行破碎堆置處理等階段，利用抓斗送入氯化爐產生可燃氣體，可燃氣導入旋窯系統的分解爐中，做為替代燃料提供給燒成時的能源需求（圖 9）。生產過程之熱氣，經由系統的餘熱發電裝置，將產生的熱能轉成電力使用，有機物質在水泥窯中可被充分破壞不致生成毒性物質，無機物質即成為水泥熟料，兼具資源循環利用與降低能耗與排放的效益。

再生能源

台泥節能之餘更積極布局再生能源領域以求創能，相繼規劃投入太陽能、風力、地熱發電等領域，同時也



圖 10 地面太陽能電廠

對於其他再生能源發電與儲能方式進行研究評估，以強化台泥的核心事業。2018 年 6 月已建置完成第一座地面太陽能電廠（圖 10），藉由採用雙面太陽光電模組，利用地面反射光增加發電量，並預計在 2019 年底將於彰濱完成 12.1MW 的光電加上 7.2MW 的風電，建構臺灣第一座大型「風光共存」的再生能源電廠。

結語

在自然界裡是沒有「廢棄物」存在的，應該是無限循環生生不息的。台泥始終在土地、岩石、地質、空氣與水之中，探索人與生活、人與居住環境之間的複雜關係，積極成為一個全神貫注處理人類文明與大自然環境之間複雜關係的綠色環境工程公司，所以我們所做的各項嘗試與努力不只是為了台泥公司的永續，也同時為了人類與環境的永續而努力，期望不只是滿足我們這一代的需求，進而能讓往後的世代實際感受到我們所打造的願景「The future is worth it」。