中國工程師學會會刊

中華民國113年6月 Vol.97 No.2
http://www.cie.org.tw ISSN:1015-0773

工程

▶ 2024女科技人大會
▶ 第32次FEIAP會員大會暨第7次國際研討會及第1屆青年創意競賽
▶ 中鋼在循環經濟的創新作爲與未來展望_鋼化聯產
▶ 循環經濟與永續發展-耐火材料再生利用
▶ 轉爐石應用於瀝青混凝土之循環經濟
▶ 台塑企業致力於節能減碳循環經濟邁向永續發展之路
▶ 水泥產業循環經濟分享

中鋼公司
STEEL WITH YOU
www.csc.com.tw

Vol. 97 No. 2
中華民國 113 年 6 月

循環經濟與永續發展

近年來由於全球氣候暖化、環境汙染與資源匱乏，使得循環經濟與永續發展的議題逐漸受到關注，循環經濟將資源視爲寶貴資產，追求最大程度的再生利用，而永續發展的關鍵是讓生產與消費活動不造成自然資源耗用與環境衝擊。本期專刊共收錄七篇論文，闡述鋼鐵、石化與水泥等產業在循環經濟創新實踐及獨特貢獻。透過這一系列文章，我們深刻了解到各個產業在循環經濟與永續發展中的努力和創新，實現了資源的高效利用，爲企業經營注入新的活力。期望本專刊能拋磚引玉，激勵更多企業參與循環經濟和永續發展的行列，共同建構一個可持續發展的世界。

活動報導

02 中國工程師學會組團赴福州參訪水力、風力及跨海橋工程
05 2024女科技人大會
08 第32次FEIAP會員大會暨第7次國際研討會及第1屆青年創意競賽

回顧與展望

12 中華民國都市計劃學會簡介
17 擴大灌溉服務金質工程-關山東明排水幹2給灌溉系統改善工程
30 建築數位轉型論壇系列- 邁向AI建築師的時代
34 112年臺灣鑛冶工業之進展
39 淨零排放鋪面精進技術、提升道路品質與循環經濟的目標
44 台電公司112年度電力重要建設

循環經濟與永續發展-專輯序言

客座主編：陳守道 / 中國鋼鐵股份有限公司生產部門副總經理

98 中鋼在循環經濟的創新作爲與未來展望–鋼化聯產 / 王俊修、賴志敏
112 循環經濟與永續發展-耐火材料再生利用 / 吳依貞、李杰穎、陳松嶺、張家源
128 中碳公司：從循環經濟做起，推出綠能與半導體領域的關鍵特種碳材 / 陳柏欽、陳昱良、李協聰
141 轉爐石應用於瀝青混凝土之循環經濟 / 陳皇甫、許伯良、徐登科
160 台塑企業致力於節能減碳循環經濟邁向永續發展之路 / 何欣怡、黃溢銓
177 水泥產業循環經濟分享 / 張耀元、邱鈺文
193 PET的循環經濟：回收、創新、永續之路 / 林湘琴

會務佈告

209 中國工程師學會113年各獎項得獎名單
214 民國112年工程獎章得獎人優良事略

理 事 長：楊正宏
常務理事：李順欽 胡湘麟 陳伸賢 楊宗興 鄭光遠 賴建信
理 事：王宇睿 王錫福 伍勝園 江秀丹 余信遠 宋裕祺 李政安 李偉賢 周永暉 林聰利 莫仁維 許泰文 許鉦漳 陳守道 陳哲生 陳國隆 黃維羣 楊正君 楊慶煜 廖學瑞

常務監事：施義芳
監 事：高宗正 陳玫英 歐善惠 蘇玫心
秘 書 長：蔡榮禎
副秘書長：李瑋聆

發 行 所：中國工程師學會出版委員會
主任委員：黃炳勳
委 員：方振仁 王子安 王宇睿 余信遠 林建華 洪文玲 徐 強 張人懿 莫仁維 陳守道 陳哲生 劉國慶 賴建信

總 編 輯：張鈺輝
客座主編：陳守道
編 輯：李宥萱 李綺馨 林秀琴 袁雅玲 梁愛倫 許舜雅 蔣雪芬

聯絡地址：114710 臺北市內湖區陽光街323號
電 話：(02)8797-3567轉8200、8234
傳 眞：(02)8797-4585
會 址：100026 臺北市仁愛路二段1號3樓
電 話：(02)2392-5128
傳 眞：(02)2397-3003
網 址：http://www.cie.org.tw
郵政劃撥：00059892
戶 名：社團法人中國工程師學會
編 印：英杰企業有限公司
地 址：106411 臺北市大安區復興南路二段293-3號10樓之1
電 話：(02)2732-1234

行政院新聞處出版事業登記證局版臺誌0765號
中華郵政臺北誌字第721號執照登記爲雜誌交寄
入會申請手續請上本會網站查詢

中國工程師學會組團赴福州參訪水力、風力及跨海橋工程

考量福州水力、風力及跨海橋等建設成效卓著，中國工程師學會於3月24-26日籌組代表團赴福州參訪，並與中國工程師聯合體會晤討論拓展雙方交流之模式。

訪問團由本學會蔡榮禎秘書長代表率團，邀請中興工程顧問股份有限公司嚴世傑執行副總及邱華榮協理、台灣世曦工程顧問股份有限公司蔣啟恆資協、林同棪工程顧問股份有限公司蔡俊鐿技術總監等5人參團共同前往。

中國科學技術協會港澳臺辦公室張斌副主任(兼中國工程師聯合體副秘書長)代表接待訪問團，中國科協培訓和人才服務中心科技人才服務處方四平處長(兼中國工程師聯合體秘書處辦公室主任)、福建省科協史斌副主席及福建省科協閩台科技交流中心吳旺民主任全程陪同出席各項活動。

中國科協與福建省電力企業協會協助安排參訪工程技術交流活動，包括福建永泰閩投抽水蓄能電站、長江三峽集團福清興化灣

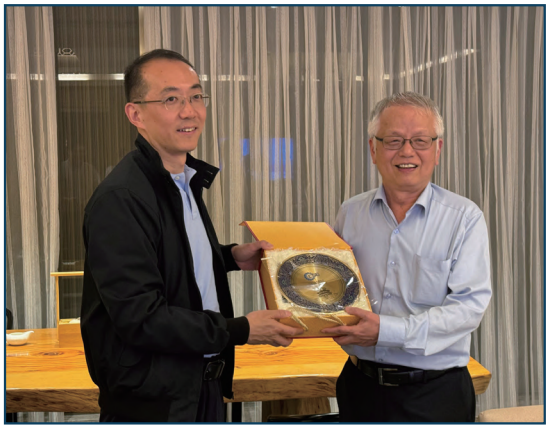
▲ 全體人員合影

海上風電場、福建三峽海上風電國際產業園、平潭海峽公鐵兩用大橋，期間邀請了哈爾濱電氣集團、中國長江三峽集團、海洋石油工程股份有限公司、中鐵大橋院、中鐵大橋局、省水電院及德京集團等十多名專家參與技術交流。

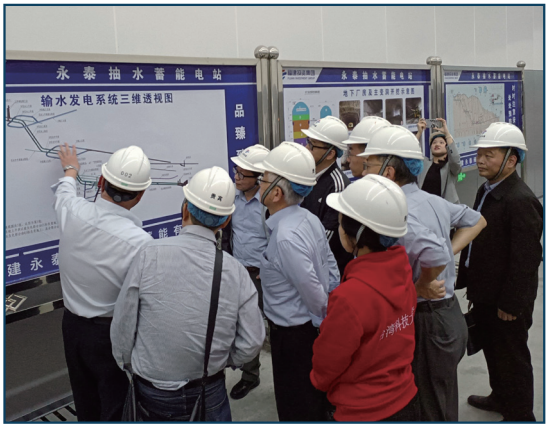
本學會以此次工程參訪為試金石，了解雙方相關產業發展現況及未來合作之機會。參訪過程與會專家分享各自成果與經驗，就抽水蓄能電站、海上風電和大橋設計施工等相關技術展開深入研討，雙方均表示受益匪淺、意猶未盡。

為推動未來兩岸工程技術合作之空間，3月26日上午與中國科協會晤商議推動舉辦兩岸工程師論壇之可行性，會中方四平處長表示將出席今年6月假印度舉辦之國際工程聯盟IEAM 2024年會，將邀請本學會再次會晤。

▲ 本學會蔡榮禎秘書長 (右) 與中國工程師聯合體方四平處長 (左) 合影



▲ 中國工程師聯合體張斌副秘書長 (左) 致贈紀念牌



▲ 參觀福建永泰閩投抽水蓄能電站

▲ 洽商兩岸工程師論壇交流的可行性

▲ 參觀三峽集團福清興化灣海上風電場

▲ 參觀福建三峽海上風電國際產業園

2024女科技人大會

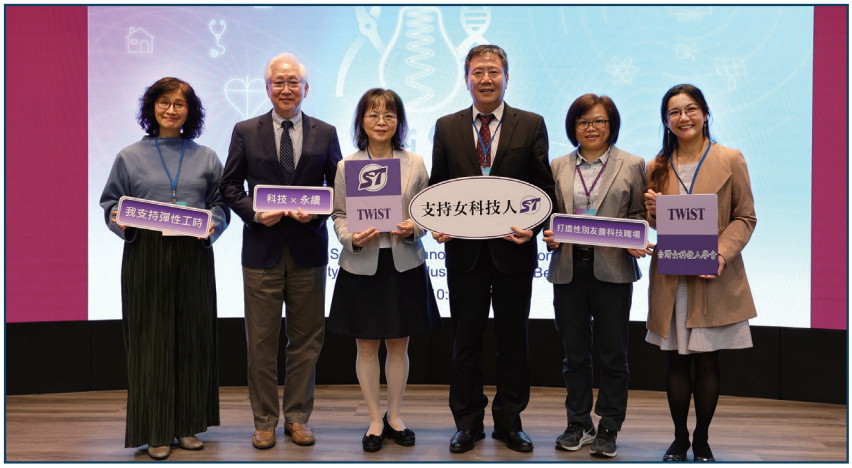
本學會女性工程師委員會於3月9日假國立成功大學，與台灣女科技人學會共同主辦第4屆「2024女科技人大會」，超過250位嘉賓蒞臨現場。楊正宏理事長、江秀丹理事、林聰利理事親自出席，以及本委員會洪瑞華顧問擔任召集人、陳俐吟委員擔任總幹事、多位委員參與籌備。本次多位女性青年學者參與籌備，一代接一代傳承，女性工程師的連結越發強大。

過去3屆的女科技人大會成功探討如何改變女性在學術界和產業界的地位，以及如何建構對女性友善的職場。本次第4屆大會以「多元共融、共榮互好」為主題，旨在延續過往成果，慶祝女性在科技領域中的勇氣、智慧和創新。

大會由楊正宏理事長和台灣女科技人學會洪瑞華理事長致詞開場，續由蔡英文總統錄影致詞及國科會吳政忠主委蒞會致詞鼓舞與會者，開啟「He for She」主題，由產業界領袖應用材料集團台灣區余定陸總裁、中美晶與朋程科技盧明光榮譽董事長等分享了推動平權及培育女性領導人的經驗。大會著重於培力、公平性、多元化與包容性等核心議題，並邀請了6位來自學術界和產業界的女性領袖分享如何打造永續、包容、共好的職場環境，並探索工作、家庭及公益之間的平衡之道。

▲ 蔡英文總統錄影致詞

▲ 楊正宏理事長致歡迎詞



▲ 楊正宏理事長 (右三) 與貴賓合影

▲ 出席貴賓合影

2024 女科技人大會議程

時間	活動
09:30-09:50	報到及入場
09:50-10:00	大會開幕 / 貴賓致詞 / 團體合照 理事長致詞：洪瑞華理事長 台灣女科技人學會 楊正宏理事長 中國工程師學會 貴賓致詞：蔡英文總統 吳政忠主任委員 國家科學及技術委員會
10:00-11:30 He for She 座談	He for She 座談 主持人：劉瑋文博士 臺灣大學口腔生物科學研究所 陳亭妏博士 陽明交通大學生物資訊及系統生物研究所
10:00-10:30 He for She 座談 (I)	實現更美好的未來 余定陸 應用材料集團副總裁暨台灣區總裁
10:30-11:00 He for She 座談 (II)	導師與推手：培育女性領導人 盧明光創辦人暨榮譽董事長 朋程科技
11:00-11:30 He for She 座談 (III)	平權與半導體產業的發展 吳志毅教授 臺灣大學電機系 / 電子所 / 光電所
11:30-12:30	午餐
12:30-14:00 主題演講	主題演講 - 學界場 主持人：何奕儒博士 陽明交通大學生物科技學系 徐瑋勵博士 臺灣大學物理治療系暨研究所
12:30-13:00 主題演講 (I)	永續未來中的女性科學家身影 蘇慧貞特聘教授 成功大學工業衛生學科暨環境醫學研究所
13:00-13:30 主題演講 (II)	行政職涯的管理哲學 蔡秀芬副校長 / 教授 中山大學物理學系
13:30-14:00 主題演講 (III)	打造性別包容的研究環境 陳儀莊副主任委員 國家科學及技術委員會
14:00-14:30	休息 & 綜合交流
14:00-16:00 主題演講	主題演講 - 業界場 主持人：范素玲博士 淡江大學土木工程學系 蕭惠心博士 臺灣大學工程科學及海洋工程學系
14:30-15:00 主題演講 (IV)	工作、家庭、公益的三重挑戰：平衡之道 程淑芬投資長 國泰金控
15:00-15:30 主題演講 (V)	實踐人才賦權 打造職場的共好與共榮 宋豈瑄人資長 美商默沙東藥廠
15:30-16:00 主題演講 (VI)	天生我材必有用 - 女科技人 呂光律師 / 合夥人 理律法律事務所
16:00-17:00	跨界思維交流沙龍 主持人：簡儀欣博士 逢甲大學材料科學與工程學系
17:00-17:10	大會閉幕 / 頒獎 閉幕致詞：洪瑞華理事長 台灣女科技人學會 楊正宏理事長 中國工程師學會 陳俐吟總幹事 2024 年大會籌備委員會

第32次FEIAP會員大會暨第7次國際研討會及第1屆青年創意競賽

亞洲及太平洋工程組織聯盟(The Federation of Engineering Institutes of Asia and Pacific, FEIAP)成立於1978年，為亞太地區重要的國際工程組織聯盟，目前計有23個經濟體，共26個工程組織，中國工程師學會於2008年加入。

本學會於2022年成功爭取主辦FEIAP 2024，並於去年參加於緬甸舉辦的FEIAP年會中，簡報介紹主辦城市台北，熱烈邀請會員代表來台北出席FEIAP 2024年會。

「第32次FEIAP會員大會暨第7次國際研討會」於5月1-3日在台北舉辦，共13個經濟體包含澳洲、孟加拉、印度、印尼、日本、韓國、馬來西亞、緬甸、巴基斯坦、菲律賓、新加坡、泰國及我國等40餘位代表出席。5月1日開幕式由本學會楊正宏理事長致歡迎詞，FEIAP會長 Prof. Aung Kyaw Myat開幕致詞，WFEO預選會長 Er. TAN Seng Chuan擔任貴賓致詞。

專題演講分別邀請簡又新大使主講

▲ 楊正宏理事長於開幕典禮致詞

「Taiwan's Net Zero Roadmap and Strategy, as well as It's Current Progress and Challenges Faced」、Er. TAN Seng Chuan主講「Engineering Resilience and Education: Building blocks for the Net-Zero Future」，以及中鼎集團余俊彥總裁主講「CTCI: Guardian of Sustainable Earth」，國內外知名專家分享工程界的永續發展經驗，成果豐碩。

5月1日下午本學會與FEIAP假中鼎公司第二總部簽署淨零宣言，全體FEIAP代表與相關貴賓均到場見證，由本學會楊正宏理事長及FEIAP會長Prof. Aung Kyaw Myat分別代表簽署，Er. TAN Seng Chuan及余俊彥總裁擔任見證代表。簽署後4位工程領袖代表種下FEIAP的創舉「淨零樹」，呼應本次研討會主題「Engineering Resilience and Education for a Net-Zero Future」，象徵FEIAP的經濟體將積極貢獻智慧與能力，共同為實現淨零未來而努力。

5月2日舉行國際研討會子題為「Natural Disaster Resilient Design and Construction」、「Engineering a Resilient Future against Pandemic」及「Pathways to Engineering Net Zero 2050」；每項子題7篇論文共計發表21篇論文，分別來自國內12篇、馬來西亞4篇、菲律賓、中國、緬甸、印度及印尼各1篇，各子題計30位左右專業人士參與現場討論，由於討論聚焦全球各界高度關注Net Zero Future，獲出席人士熱烈迴響。

首次舉辦的第1屆青年創意競賽，主題為聯合國17項永續發展目標取其中9項作為創意競賽提案主題，共43隊參與，並於惜別晚宴頒發前3名「青年創意競賽獎」，前

▲ 楊正宏理事長 (中) 偕 FEIAP 會長 Prof. Aung Kyaw Myat(右二)、WFEO 預選會長 Er. Tan Seng Chuan (右一)、簡又新大使 (左二) 及余俊彥總裁 (左一) 合影

三名得獎團隊為國立臺灣大學、淡江大學及Technological Institute of the Philippines，國際研討會順利圓滿完成。

5月3日FEIAP召開第32次會員大會及常設委員會議，會後本學會舉辦惜別晚宴，會中頒發今年度FEIAP Engineer獎項予馬來西亞籍Ir. Dr. Tan Yean Chin，以及印度籍Dr. Raghupatruni Bhima Rao。 FEIAP各國代表均感謝我方熱誠招待，特別是2015年台北舉辦FEIAP大會後，全世界經歷了許多艱困的挑戰，尤其是COVID-19疫情帶來的影響，時隔9年能再次於台北相聚交流，實屬不易，相約持續再交流。另外本學會於去年至馬尼拉拜訪菲律賓技術委員會(PTC)，受到會長Federico Monsada的熱誠接待，並播放中華民國國歌，本學會楊理事長特別於5月2日私宴回請，代表兩國工程技術交流永遠不斷、友誼長存。本次FEIAP會員大會暨國際研討會匯集亞太地區，尤以東協工程組織核心領袖，分享工程界的永續發展經驗，共同推動工程領域的發展，為本次活動畫下完美的句點。

▲ 中鼎集團余俊彥總裁以「CTCI 地球的永續把關者」進行專題演講

▲ 大會開幕後全體出席貴賓合影

▲ 淨零宣言簽署儀式，右至左為：中鼎集團總裁余俊彥、FEIAP 會長 Prof. Aung Kyaw Myat、中工會理事長楊正宏、WFEO 預選會長 Er. Tan Seng Chuan

▲ 出席簽署淨零宣言暨植樹儀式的貴賓合影

▲ 楊正宏理事長、WFEO 預選會長 Er. Tan Seng Chuan 共同將台灣小富士櫻種植在中鼎集團第二總部大樓的土地上

中華民國都市計劃學會簡介

中華民國都市計劃學會

壹、學會簡介

一、宗旨與沿革

中華民國都市計劃學會成立於民國五十七年（1968.12.6 台內社字 30973），以研究都市計劃學術，扶植都市規劃人才，協助發展都市建設為宗旨。

成立迄今已有五十年，在歷屆理事長及會員共同努力下，長期以來，一直是我國都市計劃及相關領域，最具學術及政策影響力的學術團體之一。會員遍及學校、各級政府、民間顧問公司；本會常態性舉辦多元學術研討會，發行刊物，進行學術研究案，推動產官學合作，並與相關國際都市規劃學術團體保持密切聯繫與互動。

二、組織與會員

本會會員分為個人會員及團體會員。個人會員又分永久會員及普通會員二種，具學生身份者可享優惠年費。本會以會員大會為最高決策單位，決定會務方針。會員大會選出理事二十一人、監事三人，每三個月召開理監事聯席會議至少一次，執行並監督會務。為有效推動各項會務，除秘書長及副秘書長外，視會務推動需求設有各項任務委員會，目前設有學術、研究、國際交流、兩岸交流、服務、獎賞、資訊、地方發展、中區發展及南區發展等十個委員會。

截至2023年底，個人會員418人，團體會員11家，與本會業務相關之學術及研究機關、政府機關、法人、顧問公司等團體

圖 1　中華民國都市計劃學會成立大會合影（1968.12.6）

計約二百餘個。學會的聯絡電話為（02）27092996，網址為：http://www.tiup.org.tw 。FB粉絲專頁為『中華民國都市計劃學會』。

貳、人才培育

基於本學會以研究都市計劃學術，扶植都市計劃人才，協助發展都市建設為宗旨，除了積極辦理學術期刊、專書及研究計畫等學術活動外，並透過定期與不定期的研討會，促進學術與實務交流。分別以辦理全國實習聯展促進校際間生師交流、辦理城鄉局長論壇提供做為學術與政策交流平台，辦理產學論壇促進學術界與產業界的交流，解決與瞭解業界面臨的問題與需求。此外，為了鼓勵與發掘人才，每年於召開年會時對具有貢獻的會員與優秀學生，頒發獎章或獎狀。

一、學術期刊

「都市與計劃」是本學會最重要的學術性刊物，創刊於1975年，自第18卷改版為具嚴格審查制度的學術期刊，並自第28卷起被收錄為TSSCI(Taiwan Social Science Citation Index)期刊。自2004年度起榮獲「行政院國家科學委員會國內學術研究優良期刊」優等期刊獎及補助款，並獲得2016年度「臺灣人文及社會科學引文索引系統」中“區域研究及地理類別”的第二名。本期刊以刊登有關都市計劃及相關學科學術論文及書評為主，每年出版四期「都市與計劃」，除寄送學會會員、相關學術單位及圖書館外，並委託公開發售，同時也與國內多家公司合作提供電子期刊。目前已持續完成出版至第50卷第4期。

圖 2 「都市與計劃」期刊

二、學術研討會

本學會自1968年成立以來，每年配合會員大會，同時舉辦研討會與參觀活動，以擴大會員之都市計劃知識領域及交換心得。為擴大學術交流效果，自2003年開始，與中華民國區域科學學會、中華民國住宅學會、中華民國地方發展學會聯合舉辦學術研討會，2016年起中華城市管理學會亦加入共同舉辦。

三、全國城鄉局處首長論壇

配合社會重大議題不定期的舉辦專題研討會，還有自2005年起每年舉辦的「全國城鄉局處首長論壇」，共同集結官學規劃專業人士，就都市發展的重要制度或實務議題進行深入討論及經驗分享。

四、都市計畫產學論壇

自2018年起和中華民國都市計畫技師公會全國聯合會合作辦理「都市計畫產學論壇」，為學會每年例行性與產業界交流的盛會。第一屆論壇請政治大學地政學系籌辦，於中興工程顧問有限公司會議室舉辦，論壇主題設定為「當前都市計畫執業的衝擊與因應—從司法院釋字第 742 號解釋談起」，出席者包括學界、營建署及都市計畫技師公會之執業代表。後續仍將持續舉辦，至2023年已舉辦六屆。

五、全國規劃系所實習聯展

自2006年迄今的常態性年度活動，聯展以學生實作課程成果展為主要內涵，旨在形成各校系師生相互觀摩交流的網絡。以聯展作為校際間交流的平台，為學校課程規劃，特別是實習課程的重要觀摩標的，鼓勵所有相關系所師生組隊參展。但考量各校在規劃實務或實習課程的主題安排不盡相同，加上系所參展年級不一，因此分為競賽組與參展組，競賽組多為高年級及研究所實習作品參賽，參展組則以低年級的作品觀摩為主。舉辦迄今，每年平均參與學校15-17間，累積參與人數2600人。參與學校除臺灣以外，也曾邀請日本金澤大學，大陸廈門大學、福州大學等學校之規劃系所共襄盛舉。

六、人才獎勵

（一）計畫獎章與獎狀

為表彰在都市計畫相關學術及實務領域具有卓越貢獻之人士，本會每年，經過提名、審查、表決之嚴格程序，頒發專業類及學術類「計畫獎狀」數人，暨象徵最高榮譽之「計畫獎章」乙人。目前獲頒專業類計畫獎狀者計54人；學術類計畫獎狀者計56人 ；計畫獎章者計32人。

（二）學生論文獎

為鼓勵相關系所學士、碩士及博士學生撰著都市計畫學術論文，每年辦理都市計畫相關領域的學生論文獎，配合每年的會員大會以公開隆重的方式頒發獎金、獎牌給得獎的研究生，並致送指導老師感謝狀。

參、國際交流

在國際的交流活動方面，自1994年起，與日本都市計畫學會及韓國國土計畫學會合作。於2013年加入越南都市計畫學會，輪流於台、日、韓、越四國舉辦都市計畫學會國際學術交流研討會。

此外，為促進海峽兩岸之都市計畫學術交流，本學會與大陸「中國城市科學研究會」長期進行學術交流活動。自1994年起，兩岸每年輪流主辦「都市計畫」研討會，透過研討會與城市建設導覽參觀與意見交流，

相互激勵及創意集思，作為海峽兩岸城市發展的交流平台。

肆、未來展望

霍華德(Ebenezer Howard, 1850-1928)提出田園城市(the garden city movement)，描繪了烏托邦(utopian)城市願景：一個與自然和諧的群居生活空間。然而，現實城市卻非如此，而是隨著經濟成長、權力折衝以及科技進步，而不斷地變動成長。乃至於未來智慧化的生活與城市管理，則又是另一波城市思潮與道德爭議的興起。理念與現實之間仍然需要更多的溝通平台。Richard E. Smalley (1943-2005)，也是諾貝爾化學獎1996年得主，曾經提出人類未來的十大問題，分別是：能源、水、糧食、環境、貧窮、恐怖主義、疾病、教育、民主以及人口等等問題。而這些問題皆與城市化(Urbanization)有著高度相關。本著”都市計劃相關專業知識交流平台”的功能，本學會將繼續扮演促進國內外都市計劃專業知識水準提升及經驗交流的角色，積極地建立交流平台，秉持學術良知，從學術論證、人才培育、城市政策、國土發展，提供專業觀點。在未來可預見的年期內，除了原來既有的學會例行活動之外，更將積極作為地方城市發展的溝通橋樑，並以地區文化特色為基礎，提升國際交流。以提升城鄉生活品質，並以建置城市及區域和諧的生活環境為學會未來職志。

參考文獻

1. 2018.12，中華民國都市計劃學會 50 週年專輯，詹氏書局。
2. 2019.01，Wikipedia, Garden city movement, at https://en.wikipedia.org/wiki/Garden_city_movement
3. 2019.01，Wikipedia, Richard Smalley, at https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Smalley

擴大灌溉服務金質工程 - 關山東明排水幹 2 給灌溉系統改善工程

農業部農田水利署臺東管理處股長 / 王紹儒
農業部農田水利署臺東管理處組長 / 黃美琪
農業部農田水利署科長 / 張光耀
農業部農田水利署組長 / 孫維廷

關鍵字：擴大灌溉服務、農田水利建設、生態保育

一、前言

農田水利署於109年10月成立以來，擴大灌溉服務即為重要的施政目標之一，同時也為配合新農業政策2.0推動，落實不分灌區內外照顧農民的施政方針。目標是以「把水留住、灌溉大地」的思維，透過蓄豐濟枯來蓄存水量、以引水廣布來鏈結灌溉系統，再導入科技化措施協助工程執行，並透過永續共好的概念，與公部門、在地團體及農民建立完善的生態保育與維護管理機制。希望在產業發展、自然的棲地保存以及文化傳承，都能邁向全新且全面蛻變的目標。本工程為臺東地區落實擴大灌溉服務政策且實際嘉惠農民的成功案例。

二、工程概述

(一) 地理環境

本工區位於關山鎮德高地區（圖1），為關山大圳既有灌溉系統之外，當地部落居民以阿美族為主，又稱為達谷梵部落，其主要農產品為關山米，為聞名全國的優質米代表。

(二) 原有困境

本區域因過往屬於灌區外，缺乏完善的灌溉系統，農民僅能依靠上游農田餘水及湧泉，灌溉用水長期呈現不穩定的狀況，嚴重影響農民生計（圖2）。另本工區位址生態豐

圖 1　基地位置

圖 2　面臨困境

富，為配合農作生產且不影響既有生態環境，需進行工程全生命週期之生態檢核工作，研擬迴避、縮小、減輕、補償等生態保育對策，以減輕工程對生態環境影響。

(三) 工程目標

1. 擴大灌溉服務：本工區緊鄰卑南溪，過往水源無取用則直接川流入海，殊為可惜。爰本工程以水資源循環再利用為目標，將農田餘水及防汛道路排水等水資源，透過調蓄池浚深、灌溉系統連結等方法，擴大灌溉服務68公頃農田，增加臺灣生產良質稻米生產基地，並有效提升當地農作經濟產值。
2. 保留自然棲地：將生態友善作為納入工程設計、施工階段，並落實工程全生命週期生態檢核，以迴避、縮小、減輕及補償等各項友善作為，保留良好棲地環境及原生大樹，也包含外來種移除工作。因有良好的棲地環境營造，讓人與萬物能共享永續的水資源。
3. 營造文化景觀：工程設計、施工階段，與關山鎮公所、在地阿美族部落充分溝通，工區串聯關山重要觀光景點，並於工程融入原住民文化特色，提供部落族人作為豐年祭活動場域，為臺灣打造一處兼具灌溉、自然景觀、遊憩及文化功能的多元友善空間，重新賦予關山達谷梵的新生命，進而帶動在地青農返鄉，活絡整體農村發展。（圖3）

圖 3　工程配置

三、設計理念

(一) 擴大灌溉

透過水資源的再利用，藉由引水、蓄水、輸水的農田水利工程作為，達到擴大灌溉服務68公頃的目標。（圖4）

(二) 資源利用

匯集農田餘水及防汛道路排水，連結下游既有的灌溉渠道，將有限的水資源，以自然營力導引水流再利用的概念，透過系統的串聯，提供灌區外農田灌溉使用。

(三) 生態復育

工區內的自然棲地環境良好，為許多野鳥、原生淡水魚蝦類及多種蜻蛉類等生物所利用之棲地，具有高生物多樣性之特性。在達成擴大灌溉服務的目標之外，工程亦必需落實生態友善對策，始可兼顧人為發展及自然環境的平衡。（圖5）

(四) 環境友善

因應工區的環境現況，導入多孔隙、低矮化及緩坡化等環境友善設計，渠道段採用乾砌石緩坡施作，並於出水口增設塊石減緩高低差，確保小型魚類洄溯不受阻隔。（圖6）

圖 4　水資源利用之工程作為

圖 5　工區生態調查物種

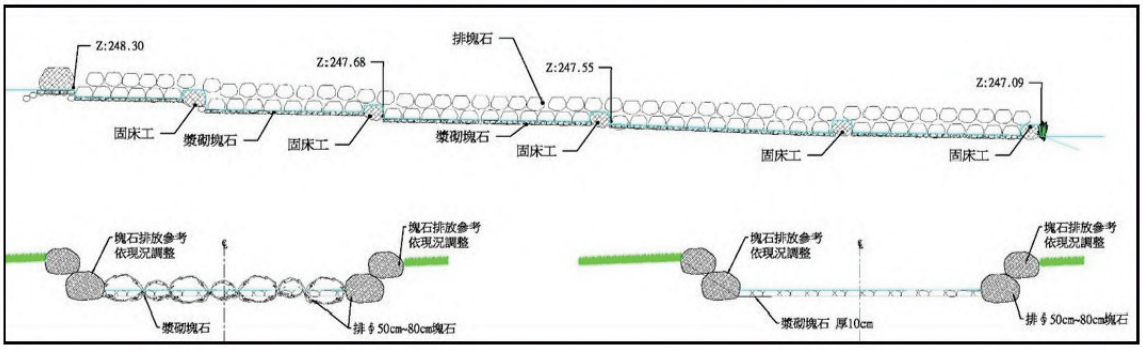


圖 6　環境友善設計

圖 7　邀請原住民部落提供意見

(五) 景觀文化

工區原為當地阿美族原住民活動場域，因荒廢無法使用，邀請原住民部落提供意見，以阿美族傳統十字繡發想及搭配傳統色彩設計文化廣場，提供當地原住民部落祭典場域，強化文化傳承功能。（圖7）

(六) 地方共識

請當地社區發展協會及在地農民水利小組代表提供意見納入規劃設計參考。

四、設計成果

(一) 駐足

眺景平台以池面上的萍蓬草為概念（圖8），訪客在此可駐足停留，眺望縱谷山脈稻田的美景以及戲水於池中的紅冠水雞。而在環池步道上設置三處紫藤花架休憩區，提供遊客駐足、乘涼、觀景的中途休憩站，自在的享受遠山、池畔及周邊稻田的自然美景。

(二) 散策

透過融合地景的環池步道，能從不同角度品味的池畔美景，在散步的同時也能放鬆

圖 8　臺灣萍蓬草造型眺景平台

圖 9　遊客自在悠遊行走環池步道

心情欣賞周圍美景，以散策的概念，讓遊客能體驗環境與身心契合的感動。（圖9）

(三) 樂活

文化廣場地坪設計，採用阿美族達谷梵部落的文化色彩意涵，以紅色太陽、綠色山脈、白色天空、黑色土地、黃色族群等構成。在設計過程中亦與在地耆老多次討論、確認樣式，完工後創造一個樂活空間，提供在地族人舉辦豐年祭使用，具有強化文化傳承之意義。（圖10、圖11）

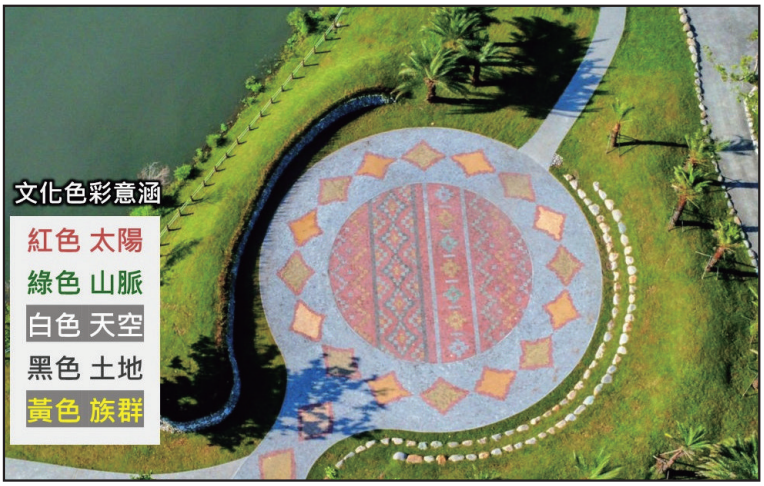


圖 10　達谷梵文化廣場

圖 11　原住民豐年祭

(四) 生態

引流道、溢流道及後段渠道之設計以堆砌石塊來減少高低落差，固床工採不同斷面設計，使渠道蜿蜒連接，提高水體溶氧，並透過串聯卑南溪生態環境，創造良好水域生物通道。（圖12）

(五) 近水

在灌溉渠道部分，以融合自然景觀的近水思維進行設計，其中水圳採用砌石護岸且無水泥封底，並以緩坡化及多孔隙的方式設計，亦有利於生物棲息活動。（圖13）

圖 12　溢流道蜿蜒設計減少高低落差

圖 13　渠道以無水泥封底設計

五、工程特色

(一) 創新地景設計

為使人類活動能降低對動物的干擾，利用調蓄池清淤的土方進行地景緩衝區的營造設計，地景緩衝區呼應周邊田埂的砌石意象，以砌石坡面塑造。透過地形的遮蔽，阻隔在池面上水鳥的視線，較不易受到人為活動的干擾。（圖14）

(二) 省力水門與 e 化監控

考量本案位處郊區，台電電源不易佈設，設置太陽能CCTV即時影像監視系統，配合水尺，台東管理處所轄關山工作站可即

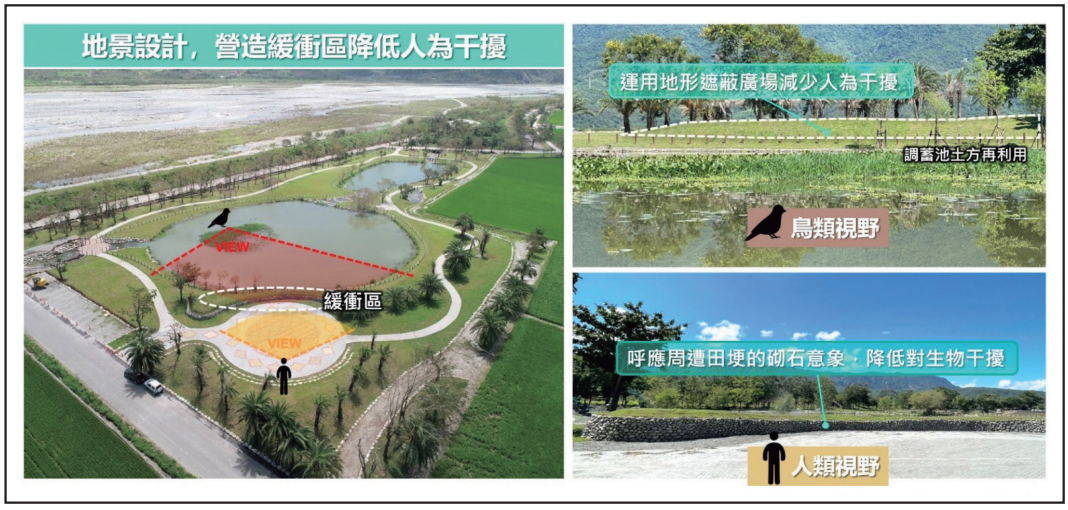


圖 14　地景設計營造緩衝區

圖 15　引水渠道起點設置太陽能即時影像監視系統

圖 16　利用手機即時監控掌握水情

圖 17　省力水門女性工作同仁可輕易操作

圖 18　通用化設計環池步道

時掌 握灌溉水情資料調配用水，省力型水門之設置亦可使女性工作同仁輕易操作。（圖15~17）

(三) 多元友善空間

以線形平整且止滑的露骨材鋪面進行環池步道的營造，以通用化設計的概念，創造一個多元友善空間，讓長者、小孩、輪椅族及推車等都可自在悠遊的享受美景。（圖18）

(四) 工程全生命週期生態檢核

從調查評估階段即套疊生態敏感區域及導入生態補充調查，瞭解工區周遭的關注物種及棲地環境；在規劃設計階段研擬迴避、縮小、減輕、補償等友善作為；在施工階段落實生態保育措施，對生態庇護區動植物進行保護，樹木以稻草蓆包覆保護避免機具誤傷；完工後進行生態棲地監測、外來種移除教育訓練及棲地維護追蹤管理。（圖19~21）

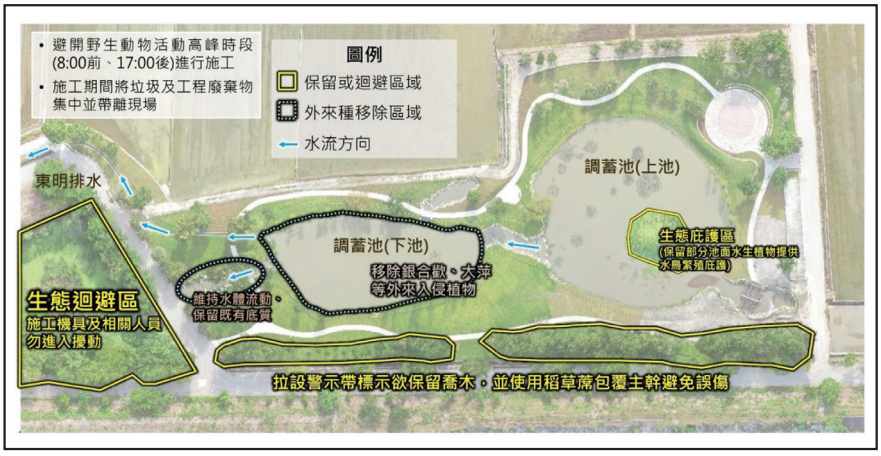


圖 19　施工中生態保育

圖 20　棲地監測

圖 21　外來種移除教育訓練

(五) 節能減碳

調蓄池清淤土方再利用作為地景區工程回填材料，避免遠距載運減少碳排。另改變調蓄池傳統封底設計，亦減少鋼筋、水泥使用量，總碳排減量達512T-CO_2^e，總綠化面積13,495m²，固碳達7.23T-CO_2^e/年。（圖22）

圖 22　就地取材土方回填造景

(六) 建立完善維護管理機制

本區成立基層水利小組負責用水協調管理，由本處關山工作站負責灌溉設施管控，並與關山鎮公所簽訂MOU合作備忘錄，未來由關山鎮公所負責園區設施維護工作，達成永續經營目標。（圖23、圖24）

圖 23　灌溉用水協調

圖 24　與關山鎮公所簽訂維護合作備忘錄

六、具體效益（圖25）

(一) 生產

本工程以調蓄池餘水連通引入東明排水幹2給補充灌溉用水，水資源之利用解決缺水問題，擴大灌溉服務面積68公頃，穩定灌溉用水，提升當地關山米優質稻作產值每年約2,805萬元。

(二) 生活

建構當地原住民活動廣場作為豐年祭的場域，強化文化傳承。設置休閒景觀設施，提供民眾休閒使用。

(三) 生態

採行環境友善工法，落實工程全生命週期的生態檢核工作，注重原生種保留及生態復育，營造一處生物友善環境，讓人與萬物能共享永續水資源。

圖 25　生產、生活、生態之具體效益

建築數位轉型論壇系列 - 邁向 AI 建築師的時代

國立成功大學建築系教授 / 鄭泰昇
臺灣建築學會理事長 / 曾光宗

關鍵字：數位轉型、AI、智慧建造

數位轉型論壇＆分享

當全球各地都在思考如何利用生成式AI實踐新的創作模式，生成式AI在建築/工程/營造產業(AEC Industry)的應用發展相對的緩慢，如何利用生成式AI催化設計者的創造力，提高建築設計作業流程的效能，導入生成式AI在BIM環境下執行，已經成為當代AEC產業的一大機會與挑戰。

2023年內政部建築研究所委託國立成功

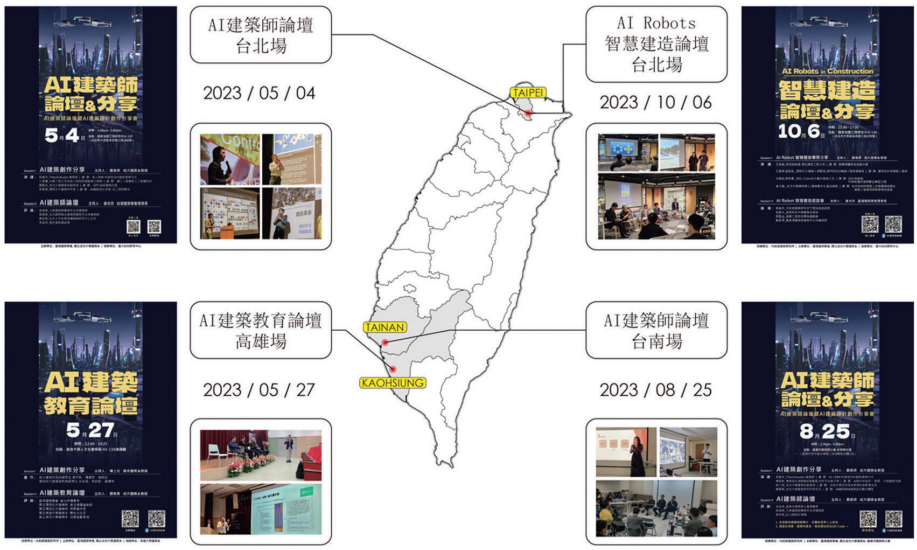


圖 1　AI 建築師 - 數位轉型論壇系列

大學建築系、臺灣建築學會共同策劃四場的< AI建築師-數位轉型論壇>，開啟了國內對於AI驅動建築設計創新與數位轉型的討論，為了促進AI產業界與學術界之間的交流對談，本研究計畫分別在全國舉辦四場論壇(圖1)，邀請具備前瞻技術專家學者演講AI應用技術，並於演講完後舉行專家學者座談會，包括：

第一場：AI 建築師論壇 - 台北場（112/05/04 於國震中心舉行，圖 2）

講者	服務機構及職稱	主題
吳建禾	TYarchistudio 建築師 成功大學建築博士	AI+BIM 快速有效的創新提案方式
江碩濤	中鼎工程公司 系統工程部助理副總工程師	讓工人智慧與人工智慧同步
簡聖芬	成功大學建築系副教授	GPT AI 與建築計畫
侯君昊	陽明交大建築所所長	AI 輔助設計流程：從工具到夥伴
與談人	張清華建築師、張國章建築師、 謝尚賢教授、李孟崇總經理	

圖 2　AI 建築師論壇 - 台北場

第二場：AI 建築教育論壇 - 高雄場（112/05/27 於高雄大學舉行）

講者	服務機構及職稱
葉宗帆、陳建安、劉奕廷	成大建築研究所研究生
林依柔、熊盼盼、謝博宇	陽明交大建築研究所研究生
與談人：曾光宗理事長、曾成德教授、侯君昊副教授、陳怡兆副教授、沈揚庭副教授	

第三場：AI 建築師論壇 - 台南場（112/08/25 於台南建築師公會舉行）

講者	服務機構及職稱	主題
吳建禾	TYarchistudio 建築師 成功大學建築博士	AI+BIM 快速有效的創新提案方式
傅菽駱	傅域設計、8 意藝術實驗室、 好好平台執行長	AI 時代的設計、教育、行銷創新加速
柳川肯	成功大學建築系副教授	從概念設計到渲染表現的 AI 影像生成
龔智群	成功大學建築研究所研究生	AI 輔助 BIM 建築設計數位轉型
與談人	徐岩奇理事長、張清華建築師、曾柏庭總監	

第四場：AI Robots 智慧建造論壇 - 台北場（112/10/06 於國震中心舉行）

講者	服務機構及職稱	主題
王瑞禎	潤弘精密工程公司 研發部副總	智慧預鑄研發經驗分享
王識源 盛郁庭	陽明交大機器人實驗室、 逢甲 ROSO 機器人製造實驗室	運算設計與機器人建造
沈揚庭 顏家慶	RAC-Coon 成大數位製造工坊	設計為建造：科技賦權的建築數位轉型之路
潘力綱	成功大學建築博士 / 築數字化產品總監	結合 BIM 與機器人的智慧建造體系 - 建築工程應用與教學場域塑造
與談人	蔡綽芳組長、施宣光教授、 顏聖益副總、戴育澤建築師	

後續 -- 推廣 & 出版

本計畫舉辦全國四次AI建築師-數位轉型論壇的影響力，讓臺灣許多先前部署前瞻性AI應用技術的案例曝光，除了引發全國建築界與營造界對於AI與智慧建造的關注，國內二大建築雜誌也將出版專輯呼應這一系列的論壇，包括：

- 建築師雜誌將於 2024 年 2 月出版「智慧建造」特輯，邀請第四場 -AI 智慧建造論壇的主講人撰寫專輯文章。
- 臺灣建築 ta 雜誌將於 2024 年 4 月出版「AI 建築師」特輯，由鄭泰昇教授擔任客座編輯，邀請 AI 建築師論壇系列的主講人撰寫專輯文章。

臺灣建築學會洞悉未來數位轉型趨勢，成立數位轉型委員會，持續推動建築產業數位轉型計畫，倡議一個「未來AI建築師」的角色；建築師雜誌與臺灣建築雜誌這二期專輯特別邀請多位學術界、實務界的AI建築師先驅，整理發表研發應用成果，有助於推廣AI在建築與營造產業的創新，期望開啟新一波的AI+BIM人機協作共創模式，讓臺灣的AI建築與機器人應用處於全球同步的技術領導前沿。

112 年臺灣鑛冶工業之進展

中國鑛冶工程學會理事長、國立臺北科技大學校長 / 王錫福

壹、前言

中國鑛冶工程學會理監事會在113年度邁入第62屆會期，鑛冶工程相關的產業一直是國內幾個比較重要的排碳碳源，近年來隨著科技的進展與淨零碳排的趨勢，本會持續關注會員廠商如何利用鑛冶專業，幫助國內產業發展降低能耗、縮減碳排的技術，是本會的重要工作。

臺灣在112年隨人工智慧、高效能運算等新興應用商機活絡，加上傳產貨類出口減幅收斂等影響，疫後復甦臺灣經濟成長率由前年的2.43%來到4.93%。據經濟部國際貿易局資料指出，進口之礦產品價值共達新台幣1兆6,935億4,122萬元，較111年減少21.77%；進口量為1億6,165萬1,926公噸，較民國111年減少2.96%，原因係能源、金屬及工業原料礦物減少所致。臺灣地區112年礦產品出口總量為126萬1,524公噸、出口總值為新台幣434億722萬元，較民國111年出口總量減少9.18%、出口總值減少30.75 %。以下就針對112年我國油氣礦業、鋼鐵工業、非鐵金屬工業、粉末冶金工業之進展情形，重點摘錄如下：

貳、油氣礦業

臺灣自產能源有限，大部分的化石能源必須仰賴進口。因此，執行政府「深化能源供應安全機制，推動國際能源合作」之政策，致力提升開發新能源之績效、擴大上游事業，增加國外能源之產量，以穩定國內油氣之供應，藉以緩和油價震盪帶來的衝擊。為落實整體策略布局，以「積極擴充、集中聚焦」為基礎，探採策略朝「拓展國外、精實國內」、「探勘併購、齊頭並進」及「培育人才、開創新局」之目標前進，期望能逐步提升自主能源比例，朝低碳能源發展。

一、國內外油氣探勘與開發：

自民國101年與哈斯基能源國際有限公司合作進行臺南盆地部分深水礦區探採，至民國110年完成二維及三維震測資料採集、處理及解釋，民國111年完成風險程度評估與盆地模擬聯合研究，民國112~113年將進行礦區整體油氣評估及初步鑽井設計。

二、國外油氣探勘與開發：重大國外礦區進展包括：

澳大利亞Ichthys礦區維持穩定生產並如期進行二期開發計畫，獲利前景可期；澳大利亞Prelude礦區持續生產LNG供臺灣內需能源市場；查德奧瑞油田、美國Guardfish礦區及厄瓜多17號礦區維持穩定生產；尼日Agadem礦區已完成主要地面開發工程。除上述合作探採計畫外，持續尋求具潛能之油氣探採機會，民國112年成果豐碩，共交割取得墨西哥B15礦區、澳大利亞WA-533-P礦區及Bedout案(含5礦區)共7個新礦區。

三、配合淨零排放政策規劃地熱電廠及碳封存示範場域：

配合執行國家綠能發展政策，完成花蓮縣瑞穗-玉里地區地熱地質調查面積共計72平方公里，以及該地區之地球化學研究案。除了致力發展綠能，為配合政府淨零碳排政策，也積極配合政府進行碳封存工作，目前正推動「鐵砧山碳封存示範計畫」，作為碳封存技術在臺灣推行的示範場址，並持續一系列的監測工作。初期目標將建置百萬噸級之海域碳封存場址，除可滿足自身碳封存需求外，亦可提供臺灣企業減碳途徑，未來將滾動開發並擴充為千萬噸級商轉場址，作為東亞地區之碳封存樞紐。

參、鋼鐵工業

一、國內市場供需

(一)粗鋼、鋼材產量：

112年粗鋼產量1,914.9萬公噸，減少7.9%。其中高爐廠產量1,133.3萬公噸，減少8.7 %，電爐廠產量781.6萬公噸，減少6.9%。鋼材產量2,304.8萬公噸，較111年2,416.6萬公噸，減少4.6%。

(二)鋼材、半成品進出口量：

112年鋼材進口量354.6萬公噸，增加6.2%；出口量922.9萬公噸，減少5.8%。半成品(扁鋼胚+小鋼胚)方面，112年進口量339.0萬公噸，增加2.3%；出口量6.35萬公噸，增加267.4%。

(三)鋼材表面消費量：

112年鋼材表面消費量1,736.5萬公噸，減少1.9%。

二、鋼鐵產業發展

112上半年主要國家為持續抑制通膨，保

持升息步調，限縮市場資金量能，整體投資與消費承壓，輔以中國大陸解封後經濟復甦動能不如預期，主要用鋼產業-房地產巨擘陸續爆發財務危機等，以致製造業景氣疲弱，終端持續調節庫存，鋼材需求快速降溫，中國大陸鋼市供需失衡，鋼材大量低價外溢，擾亂全球鋼市；下半年中國大陸持續推動貨幣寬鬆、刺激消費及發債振興房市等措施，同步加強鋼鐵業減產力道，有助改善鋼市供需，歐美則因通膨趨緩，央行暫停升息，製造業景氣逐漸回溫，尤以汽車產業表現亮眼，下游需求釋出搭配鋼廠供給限縮，第四季全球鋼市築底反彈。

整體而言，113年全球經濟將展現韌性，多家調研機構上調經濟成長預測，美國聯準會有望於第二或三季啟動降息，帶動歐洲及新興市場跟進，屆時貨幣寬鬆有利提升投資、消費動能，加以中國大陸定調將保持5%左右經濟成長率，並持續推行粗鋼平控、降準降息促進投資、刺激消費及提振房市等措施，有助全球製造業景氣逐步改善，下游剛性需求陸續釋出，可望挹注113年全球鋼鐵需求穩健復甦。

三、新技術、新產品開發與製程改善成果及與鋼鐵業者合作情形：

(一) 高值手工具鋼：

因應國內業者產品升級需求，採高矽、高鎳特有成分成功開發高硬度、高扭力及高疲勞壽命起子頭用鋼BT9885V，所產製起子頭硬度62HRC，疲勞壽命>15萬次，超越傳統產品S2-1之58HRC及壽命1.5萬次，產品性能優異，可促進起子頭產業邁向尖端型產品發展。

(二) 綠色能源及家電用鋼：

隨著全球環保意識提升及碳中和趨勢，熱浸鍍鋅電腦及伺服機殼用戶提出高再生回收材供料可行性，透過冶煉技術提升，突破關鍵瓶頸，建立有別以往的轉爐增用廢鋼冶煉方法，成功生產出高廢鋼占比的高品級低排碳鋼品SGCC RC20，評估產品性質與一般非再生料相當，並順利取得UL 2809證書。

(三)自黏鐵芯自動化量產示範線開發與應用：

已完成「自黏鐵芯自動化量產示範線」開發，並開放給下游業者觀摩，前後已有超過30場次、22個國內外衝壓廠及馬達廠派員到廠進行交流。迄今，已有部份廠商正式導入感應加熱快速固化技術，進行自黏鐵芯量產，提升下游業者生產自黏鐵芯之技術能力，預計2024將年可衍生超過2萬套自黏鐵芯量產實績，鞏固臺灣廠商於電動載具、無人機等高階馬達自黏鐵芯供應鏈技術優勢。

肆、非鐵金屬工業

近年全球鋁產業因碳中和議題，各鋁廠皆朝向減碳技術發展，其中再生鋁減碳效率高達95%，使得提高再生鋁比例成為各鋁廠

之首要減碳方針，加上歐盟於110年7月宣佈，將自112年起對鋼鐵、鋁、水泥、化肥和電力等五大類產品實施「碳邊境調整機制」，並要求115年進口商須購買相關碳權，形成非關稅的另類貿易障礙，使得國際上許多標竿大廠紛紛投入再生鋁產業計畫，範圍涵蓋運輸、建築、包裝與電子等應用市場產業。

一、建構再生鋁 3C 產品：

為迎合3C產品輕薄化和減碳趨勢，開發了牌號TOP400鋁合金，具有高強度和高延伸率的特性。這種鋁合金正逐步取代厚度較厚但強度較低的3C部件，已成為NB LCD背板和平板背板等主要材料。特別開發含80%以上再生鋁的TOP400，領先於大陸和日本鋁廠推出的含60%再生鋁的高強度鋁產品。

二、鋅產業市場應用與概況：

鋅原料進口量約11.3萬噸，低於111年進口量約18.2萬噸，其市場需求量明顯減緩之趨勢。除少數規模較大公司自行進口鋅錠外，大多為貿易商進口後再轉售中下游廠商；進口之鋅金屬原料主要供應內需市場，約逾半為鋼鐵材料表面處理（如熱浸鍍鋅和電鍍鋅），部分為壓鑄合金製造業、銅合金及鋅化合物之原料，其餘則加工成各式形狀之半成品及零組件，又前述產品皆有外銷，故國內鋅原料需求會隨全球宏觀經濟及國內終端消費需求如：鋼鐵產業、車輛產業、建築及基礎建設的建構的用量而變化。

三、鈦產業市場應用與概況：

美國、中國、英國、日本和德國分別是鈦金屬及製品的主要出口國。進口方面，美國、法國、德國、英國和中國是主要進口國。

伍、粉末冶金工業

回顧112年，對粉末冶金工業而言，是延續111年後半年的不景氣，而且情況不僅未見改善，還一路向下，疫情、海運、塞港、IC晶片短缺等因素已經不在是影響因子，各國陸續解封，業務活動陸續開展，只不過仍在延續111年的消化在庫，整個110年訂單需求超額囤積的影響下，造成到112年仍未見完全的消化，加上戰爭、地緣政治、中美貿易戰、利率上調、通膨連帶造成消費緊縮等因素的影響，經濟出現遲緩，需求弱化。以國內整體粉末冶金製造行業而言，保守估計，平均較111年要在下降1-2成左右。

展望113年，是令人擔憂的一年，AI、手機，及航太國防產業還算不錯之外，從國內外的各項資訊預測，普遍都還是呈現微幅衰退的現象，如果後半年的通膨，及美國聯準會(FED)降息未有進一步的話，可能要到114年才有緩慢復甦的機會。

另外，烏俄戰爭已經延燒兩年，恐怕拖垮俄羅斯經濟，而對全球經濟造成更大的衝擊，這仍待觀察。美中貿易戰持續，也影響到產業的移動，促使大陸許多企業移往東南亞國家，部分臺商也有回流臺灣的情形。而受到臺海警張情勢的效應，全球化採購已轉向區域本地採購的情形，加上全球不景氣，各家缺少訂單的情況之下，對於113年的經濟，實不樂觀，有待持續觀察。

淨零排放鋪面精進技術、提升道路品質與循環經濟的目標

社團法人中華鋪面工程學會理事長 / 洪境聰
社團法人中華鋪面工程學會秘書長 / 林宏偉
社團法人中華鋪面工程學會秘書 / 李家春

■ 關於鋪面學會：強化組織、持續創新、推廣專業技術、人才培訓

本學會成立於民國八十九年，由蔡攀鰲教授擔任創會理事長，迄今已24年，持續結合產官學研，貢獻專業諮詢、產業服務、知識交流等服務，在歷任理事長用心經營下，已成為國內鋪面領域的代表性專業學會。

成立宗旨為「聯繫鋪面工程人士、前瞻鋪面工程學術、精進鋪面工程技術、共創鋪面工程產業」，發展方向係「團隊組織強化創新、專業技術深耕臺灣、加強兩岸之間交流、展望國際放眼未來」，主要工作項目則有「參與各項鋪面相關研究計畫及工程實務、配合政府政策研擬法規及輔導相關產業、舉辦研討會議及訓練班以培訓專業人才」等。

學會目前組織設有會員代表大會、理監事會、秘書處，以及十四個委員會及專案小組，包括學刊、學術研究、編輯、會務、財務、服務推廣、國際與兩岸活動、工程教育、評獎、工程技術、資訊、路平專案小組、顧問及諮詢、青年工程師等。學會會員亦逐年成長，至113年3月有團體會員84個機構/公司，個人會員472人。第十二屆理監事名錄如圖1所示。

多位理監事及會員持續扮演專業顧問角色，協助政府推動重大建設計畫，積極參與各種新材料、新工法、新進檢測技術及設備的評估及推廣；同時學會也辦理許多與精進道路鋪面品質、提升鋪面從業人員素質及人才培育的教育訓練及研討會，持續作為產官學研各界專業諮詢、產業服務、知識交流的重要平臺，為會員提供更好的服務、為民眾提供更為平坦安全的道路，為提升臺灣鋪面工程水準貢獻心力。

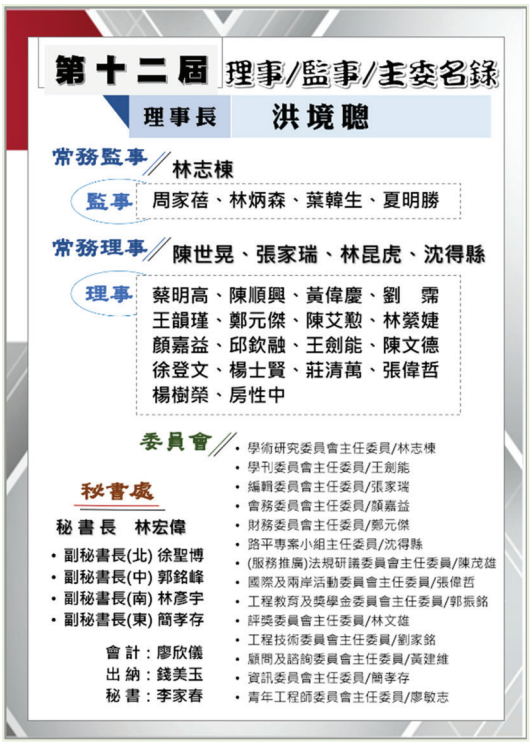


圖 1　第十二屆鋪面學會理監事主委名錄

■ 2023 鋪面年會：新材料新技術、再生再利用、鋪築永續鋪面

鋪面工程學術研討會自1985年於成功大學舉辦第一屆，持續辦理迄今已過了38個年頭，本屆由東華大學持續辦理，由國立東華大學趙涵捷校長、徐輝明副校長與東華大學材料科學與工程學系的協助，邀請專家學者進行專題演講、提供英語環境、國際視野及交流的機會。第十二屆第二次會員大會後隨即由國立東華大學主辦「第二十二屆中華民國鋪面工程學術研討會暨第五屆永續與創新基礎建設國際研討會」，開幕式致詞邀請：公路局工程材料技術所王韻瑾所長、高速公路局陳國隆副局長。專題講者邀請「Professor Erol Tutumluer」與「Professor Musharraf Zaman」兩位國際鋪面學者，另有二場永續發展路徑與碳管理議題之專題活動。

圖 2　鋪面年會暨研討會

鋪面年會暨研討會情形如圖2所示。

■ 加強國際交流、發行鋪面學會刊物：鋪面工程專業人士交流平台並與全世界接軌

學會為提供鋪面工程界一個成果發表之園地，於九十年發行中文期刊「鋪面工程」，內容兼顧理論與實務，提高產官學研

圖 3　鋪面學會發行刊物

學術交流之風氣。九十六年出版台灣鋪面（Taipave）之設計與應用實務系列叢書。為提昇學會在國際上之競爭力，並與全世界接軌，於民國九十七年發行EI索引之國際期刊「International Journal of Pavement Research and Technology (IJPRT)」迄今，每年出版成長幅度相當顯著與穩定，IJPRT已申請SCI索引刻正審查中，持續獲得科技部「全國性學術團體辦理學術推廣業務計畫」補助，顯見其已成為國際名鋪面專業期刊，其專業度及學術水準亦已受到國際鋪面社群肯定，鋪面學會發行刊物如圖3所示。

■ 執行人行道考評：永續安全、寧靜舒適、人本關懷及無限延伸

本學會受內政部國土管理署委託辦理市區道路人行無障礙考評計畫迄今已15年，協助中央主管機關針對市區道路養護及人行環境無障礙現況進行考評。為促進各縣(市)之間市區道路養護及人行環境無障礙相關業務推動之經驗分享與相互學習機會，於112年3月舉辦宜蘭縣與新北市兩場之「績優縣市經驗交流研討會」，邀請表現優異的縣(市)就相關主題進行演講，並安排縣市政府經驗交

圖 4　縣市交流研討會活動花絮

流與分享、現地觀摩等活動，希冀透過本次研討會之舉辦，協助各縣(市)政府有效提升市區道路養護績效與營造友善的人行無障礙環境，一起將全臺灣市區道路環境推向更舒適、安全無障礙之通行空間，以貼近民眾之期許，讓全民都能有感，績優縣市經驗交流研討會活動花絮如圖4所示。

另本年度考評計畫成果頒獎典禮暨研討會於113年1月17日假交通部運輸研究大樓國際會議廳舉行，頒獎典禮由內政部國土管理署吳欣修署長主持，中華鋪面工程學會籌辦，並恭請內政部花敬群次長親臨致詞及頒獎。頒獎典禮暨研討會主要係延續「以人為本、永續發展」之宗旨，表揚在改善道路養護及人行環境表現優良之行政區，本次研討會亦邀集新北市政府交通局鍾鳴時局長、臺北市政府新建工程處林昆虎處長、臺北市政

圖 5　頒獎典禮暨研討會活動花絮

圖 6　馬路好行頒獎典禮活動花絮

府道路挖掘管理中心陳昭志主任、中華鋪面工程學會洪境聰理事長等分享精闢專題演講，讓所有與會者受益良多，頒獎典禮暨研討會活動花絮如圖5所示

■ 提升道路品質計畫：會員積極協助馬路好行工程案例評選、學會辦理頒獎典禮

本學會陳世晃常務理事積極籌辦「2023馬路好行」計畫，辦理該計畫之優良案例評選，頒獎典禮於112年11月15日假集思交通部會議中心集會堂舉行，頒獎典禮出席的貴賓包括行政院陳建仁院長、內政部花敬群次長、國土管理署吳欣修署長、公共工程委員會顏久榮副主任委員，與各縣市政府及獲獎單位施工團隊，馬路好行頒獎典禮活動花絮如圖6所示。

■ 辦理教育訓練、頒發各種獎項：提升專業素質

本學會未來仍將勤於辦理各種教育訓練及研究計畫，扮演產官學研各界交流及合作

之角色。本學會為了服務道路維護品質及人員培訓，使管線單位加強管控施工品質，各道路管理機關加強申挖至路面修復的流程管控，使管線挖掘施工期間，追蹤督導路面回填及施工品質達到「路平」之目的，以維持道路服務水準，近年配合臺北市、新北市、桃園市、新竹縣政府推動管線挖掘施工管理之人員認證，與政府合力舉辦認證訓練班以輔導各廠商認知政府推行政策及如何確保管線挖掘工程之品質要求。

此外，學會每年度持續評選並頒發包含傑出工程教授、傑出工程師、優秀工程學生獎學金、優秀青年工程師、優秀從業人員、優良廠商等獎項，實質鼓勵並嘉惠鋪面產業中表現優異之學者及產業人士。

結語

中華鋪面工程學會未來仍會以一貫積極態度參與各項鋪面相關研究計畫及相關工程實務，配合政府政策研擬法規及輔導產業，並舉辦研討會及訓練班以培訓專業人才，未來亦將更努力扮演產官學研界橋梁角色。本學會亦將透過出版「鋪面工程」季刊以及「International Journal of Pavement Research & Technology (IJPRT)」學刊等學術期刊發表相關研究議題，與各界進行專業知識的分享與交流。學會長期耕耘於鋪面各項技術及規範，並提供多項工程評獎及獎學金，期望服務全體會員及學子。積極進行國際交流，期盼能引進新觀念新技術，進而提昇本學會專業及學術地位，並積極參與各項有關國際道路鋪面相關學術以及工程實務事務活動，致力展現臺灣在鋪面工程領域之研究成果與技術創新，持續為臺灣及本學會爭取榮譽。

台電公司 112 年度電力重要建設

台灣電力股份有限公司

一、核能火力發電工程處 - 協和電廠更新改建計畫

為配合國家能源政策及協和電廠既有4部燃油機組於民國108年起陸續除役，並因應北部地區用電需求，將採先拆後建、分期改建方式，設置2部單機容量約100~130萬瓩級之複循環機組，總裝置容量約200~260萬瓩，配合環評進度預計於民國119年6月及120年4月商轉發電，藉此可降低二氧化碳、減輕空氣污染排放、增加能源效率、穩定電力供應，達到環境永續的目標。

為供應2部燃氣機組所需用氣，並確保供氣穩定，本計畫規劃於協和電廠外海以填海造地方式自行興建LNG接收站，並於基隆港外港水域興建LNG運輸船進出及卸收所需港灣設施進行卸收供應，經由輸氣管線輸送至新建複循環機組；接收站面積約14.5公頃，設置2座16~18萬公秉之地上型LNG儲槽。

二、核能火力發電工程處 - 大林電廠燃氣機組更新改建計畫

為因應未來台灣電力系統長期電力負載成長及未來南部地區再生能源大量併網，本計畫規劃以既有#3、4 機拆除後空地及廠內剩餘空間作為主要用地，計畫總用地面積約為14.4公頃，規劃設置2部1配1複循環機組，單機容量範圍約55~70萬瓩，總裝置容量範圍約110~140萬瓩。2部燃氣機組所需用氣由中油永安接收站以既設陸管方式供應，輸送至新建複循環機組；2部新機組預計於116年6月商轉，可滿足未來用電需求。

三、核能火力發電工程處 - 大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫

為因應未來台灣電力系統整體需求，配合政府計畫擴大使用天然氣發電之政策，及提升大潭電廠營運績效及競爭力，規劃於大

潭發電廠內增建三部(#7~#9)高效率燃氣複循環機組，總裝置容量達316萬瓩。新機組發電效率可達60.7%以上，並安裝新型低氮氧化物燃燒器(LNB)及選擇性觸媒還原系統(SCR)等污染防治設備，環評承諾值氮氧化物排放濃度為5ppm，已低於法規標準，兼具高效能及環保效益。另為穩定北部用電，新設大潭新~林口161kV輸電線路引接至林口電廠，分散龍潭超高壓變電所線路過度集中之風險。

因配合106年供電需求，7號機已先執行「大潭電廠燃氣單循環緊急發電計畫」，安裝2台單循環氣渦輪發電機組，裝置容量合計為60萬瓩，並持續運轉至111年底，再接續進行擴建複循環機組及第二階段商轉。

本計畫3部機組預定8號機於113年5月商轉，9號機於114年3月商轉，7號機於114年5月商轉，115年12月底計畫完成。

四、核能火力發電工程處 - 通霄電廠更新擴建計畫

本計畫為舊機組汰舊更新，共設置3部低污染排放且高效率之燃氣複循環燃氣發電機組及1部小型氣渦輪機組。新燃氣複循環機組效率高達為60.69%，較舊機組提升23.69%，每部機組裝置容量為89.26萬瓩並設置高效率污染防治設備，硫氧化物及氮氧化物排放量均低於法規標準，且新機組每度電所排放之二氧化碳排放量較舊機組低，可減少溫室氣體排放，且電廠坐落北台灣可就近供應北部用電，減少長距離輸送之電力損耗；小型氣渦輪機組則具備快速啟停能力，以避免間歇性再生能源對供電穩定度影響，並補充發電設施多元性，以滿足系統調度需求。

本計畫燃氣複循環機組已陸續於107年2月27日商轉、108年5月30日及109年5月26日正式商轉，小型氣渦輪機組亦於112年5月4日正式商轉，有效提升台灣整體供電能力及供電韌性。

五、核能火力發電工程處 - 通霄電廠第二期更新改建計畫

因應長期電力負載成長需求，考量既有機組屆齡退休及兼顧電力發展與環保併進之條件，積極提升電廠整體營運績效及競爭力，爰於通霄電廠廠址既有4及5號機除役拆除後空地及廠內剩餘空間，規劃設置5部一對一單軸式燃氣複循環機組總裝置容量270~330萬瓩，預計於118年2月起陸續正式商轉發電，以因應未來再生能源大量併網之電力系統穩定並提升調度彈性。

六、核能火力發電工程處 - 台中新建燃氣機組計畫

為配合政府規劃於114年達成天然氣發電占比50%之能源政策，規劃於台中廠區第9、10號機組南側空地，設置2部複循環機組，總

裝置容量約260萬瓩，初估面積約13.4公頃，預計於115年商轉，藉此可降低單位發電量所產生之二氧化碳、減輕空氣污染排放、增加能源效率、穩定電力供應，達到環境永續的目標。

為供應2部燃氣機組所需用氣，將由台電公司自建LNG接收站進行卸收供應，於台中港工業專業區(II)北側之既有土地興建LNG接收站，經由輸氣管線輸送至新建複循環機組，接收站面積約53公頃，設置有5座16萬公秉之地上型LNG儲槽。

七、核能火力發電工程處 - 台中電廠第5-10 號機空污改善工程計畫

台中電廠為我國重要基載電廠之一(圖1)，為全台供電穩定擔負重任。因應環保趨勢，以及國人對於改善空氣品質之期待，台電公司著手規劃更新既有燃煤機組煙氣處理設備，採購國際最新設備以提高煙氣污染物捕集效率，降低排放至大氣中之煙氣污染物濃度。

台中電廠既有1~4號燃煤機組已於109年底完成設備改善，成效卓著。107年起接續規

圖 1　台中電廠

劃第5~10號機空氣污染防制設備改善計畫，並依臺中市政府當時研擬修訂之「臺中市電力設施空氣污染物排放標準修正草案」為改善目標，以確保台中電廠 5~10 號機在加嚴標準生效後，均能在符合環保法規要求下運轉，達到能源、環保與經濟三贏的局面。

台電公司投資145.6億元更新既有5~10號機之空污防制設備，包含增設濕式靜電集塵器、更新除硫塔內部元件及非洩漏式熱交換器，並採用高汞氧化率觸媒以提升除汞效率。改善工程自111年4月開工，7、8號機於112年3月25日及6月12日完成改善，5、6號機於112年下半年陸續停機進行設備更新，9、10號機規劃於113年下半年進行改善工程，預計114年計畫完工，預期計畫完成後之空氣污染物排放濃度將減少50%~82%。

八、核能火力發電工程處 - 興達電廠燃氣機組更新改建計畫

為因應既有機組除役及長期電力負載成長需求，並提升電廠整體營運績效及競爭力，降低二氧化碳與空污排放，爰推動「興達電廠燃氣機組更新改建計畫」，規劃設置3部燃氣複循環機組，總裝置容量為390萬瓩，每年淨發電量約21,718百萬度。本計畫利用興達電廠東南側發電設施預定地北側區域(不含永安地方級重要濕地約41.25公頃、既設太陽光電約9.45公頃及既成道路與設施約1公頃)面積約78.6公頃及既有廠區部分區域約3.59公頃，合計約82.19公頃做為本計畫範圍。本計畫採用之多軸式燃氣複循環機組由1台汽輪發電機搭配2台氣渦輪發電機組成，每1台氣渦輪發電機均配置1台熱回收鍋爐及輔助附屬設備。本計畫採用天然氣作為燃料，天然氣屬潔淨燃料，其空污排放以氮氧化物(NOx)為主，硫氧化物(SOx)及粒狀污染物(PM)排放皆屬微量。1、2、3號機分別預定於114、115、116年上半年商轉。

九、輸變電工程處 (北區)- 龍潭儲能 - 電網蓄力 強韌永續

面對國際能源轉型與淨零排放趨勢，台電公司積極發展多元能源，同時為強化電網韌性，繼台南鹽田光電場與高雄路園變電所各設置20MW儲能，台電接續打造現有規模3倍大、裝置容量60MW的龍潭儲能系統併接於鄰近的龍潭超高壓變電所161kV系統，就近調節供需差異，可降低電力傳輸損失，提高儲電效率，將變電所化身儲能基地，利用儲能系統具快速充放電特性，可協助再生能源併入電網的頻率調節，亦可與現有機組相互搭配，遇突發電力事件時立即提供穩定電力，提升電力系統穩定與彈性。

鑒於國內外發生多起儲能系統火災事故，為防範儲能設備火災影響既有供電設備安全，精進整體規劃設計各個層面，另於採購內容要求龍潭E/S儲能系統建置案承商需就相關安全設計及防護措施採取有效規劃。

(一) 精進整體規劃設計層面：

1. 本套儲能系統設置用地，初期選擇龍潭 E/S 原 345kV 屋外開關場拆除後之空地，其使用面積約為 3,890 平方公尺，預定地周邊均設有寬度 8 公尺及 4 公尺搬運道，可作為防火阻隔及緊急搶救通道，且與鄰近既設運轉中電力設備最短距離約 14.9 公尺（詳圖 2），尚符合儲能設備對鄰近電力設備安全之影響。
2. 本案採購內容規劃，要求儲能廠商應於儲能預定地之中央設置 4 公尺寬搬道，以利未來運轉維護及緊急救災人車通行使用（詳圖 3）。另儲能系統用 161kV 60MVA 變壓器設置於儲能系統預定地旁，並於該變壓器周圍規劃設計防火牆，可避免儲能系統火災事故對運轉中變壓器造成影響。
3. 儲能系統裝設位置對系統電網調頻功能相關地域性考量並非首要關鍵，但鑒於國內外發生多起儲能系統火災事故，龍潭 E/S 為電網輸送電力重要核心樞杻之一，為避免儲能設備影響變電所運轉潛在風險及增加系統安全，本龍潭儲能場最後經檢討改裝設於北區施工處龍潭倉庫北方放置器材用地興建（詳圖 4）；龍潭儲能場配置圖（詳圖 5）。
4. 本案採購規劃圖要求廠家設計規劃不同防火區劃，電池貨櫃及設備之相關電纜與管路，均應採取防火延燒設計，確實做好防火區隔，降低整體運轉風險。

(二) 採購規範面：

1. 安規標準

考量儲能系統整體安全性、採購慣例及避免限制廠家競爭，輸變電工程處編擬之變電所儲能技術規範（ESS-1 110-05版）列示的儲能安全標準以美國（UL）及歐洲（IEC）兩大體系為主，並納入國家儲能電池相關標準（CNS），除要求投標廠商應檢附電芯、電池模組、電池櫃、電力轉換系統等相關設備安全認證證明文件外，亦要求得標廠商應裝設消防警報與自動火設備，且於現場安裝完成後，必須委託第三方進行IEC 62933-5-2或UL9540之現場安全測試合格後，始能進行下一階段試運轉測試。

2. 安全距離

為避免儲能設備發生事故影響運轉中電力設備，輸變電工程處變電所儲能技術規範已明確規定儲能電池系統設置位置應與所內電力設備、建築物間之安全距離應在3公尺以上，且不得設於架空線路路徑垂直投影之下方3公尺範圍內。儲能電池貨櫃之間距需維持人員通行及搬運之空間至少1.5公尺。

3. 消防安全

考量國內外發生多起儲能火災事故，輸變電工程處變電所儲能技術規範參考美國NFPA 855儲能安裝標準及國內「各類場所消防安全設備設置標準」等規定，要求廠商應設置相關消防安全設備，包含火警警報設備

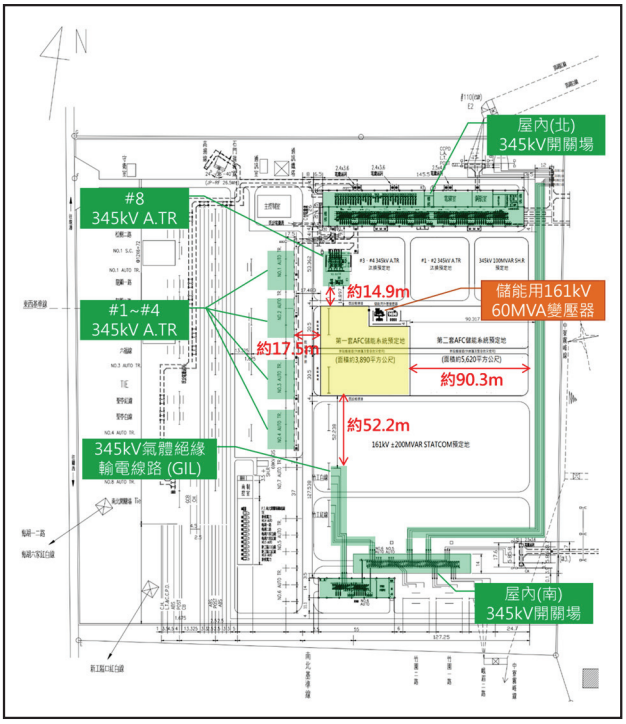


圖 2　龍潭 E/S 儲能系統初期預定地與既設電力設備距離

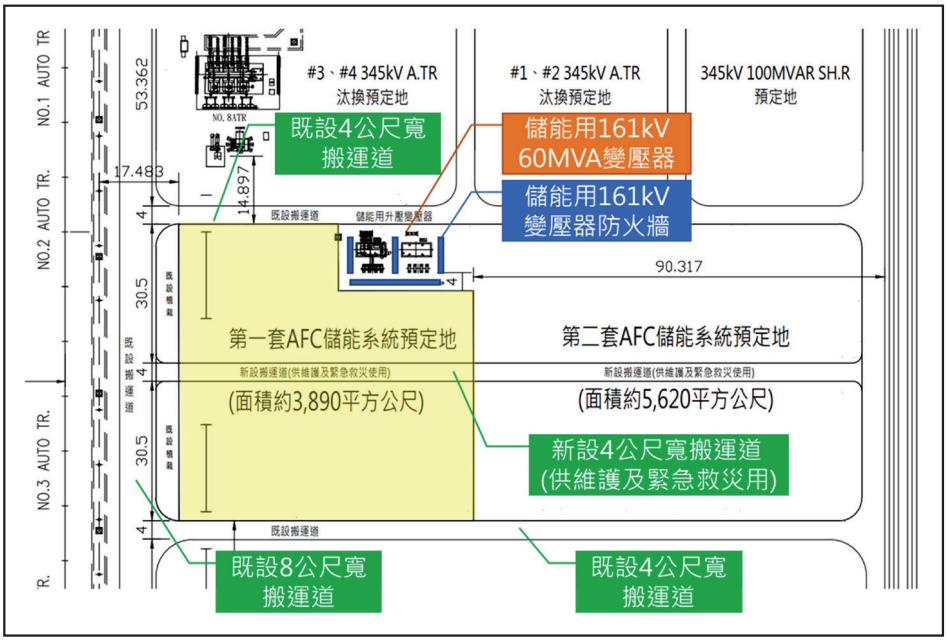


圖 3　龍潭 E/S 儲能系統初期預定地周邊搬運道及儲能用 161kV 變壓器規劃示意圖

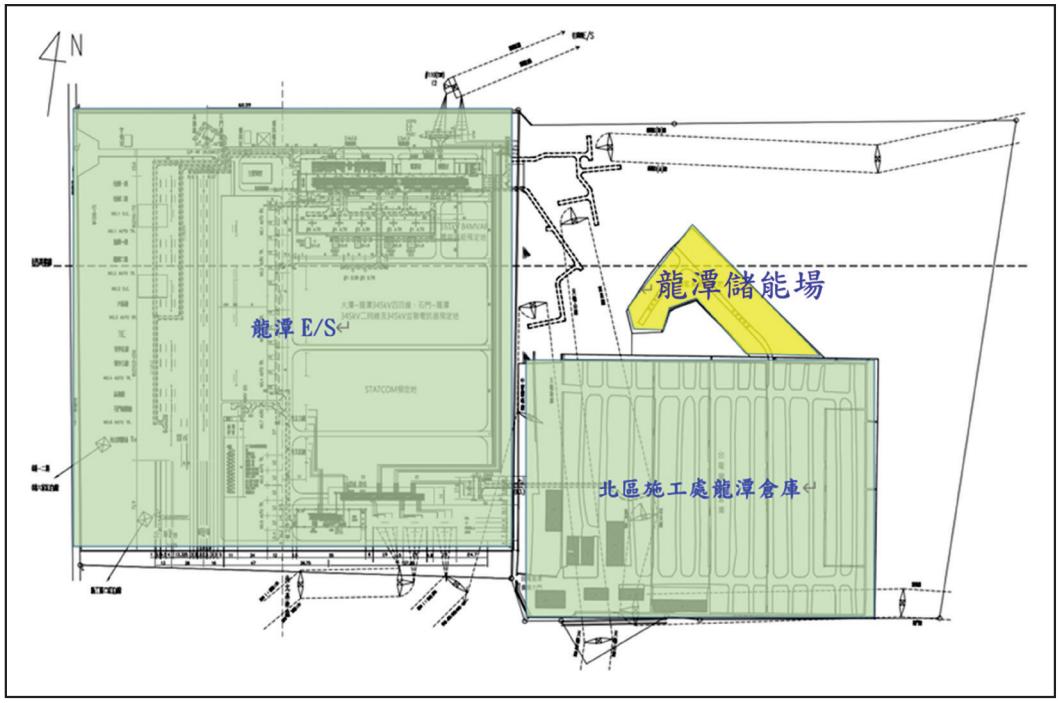


圖 4　龍潭儲能場最終興建地點

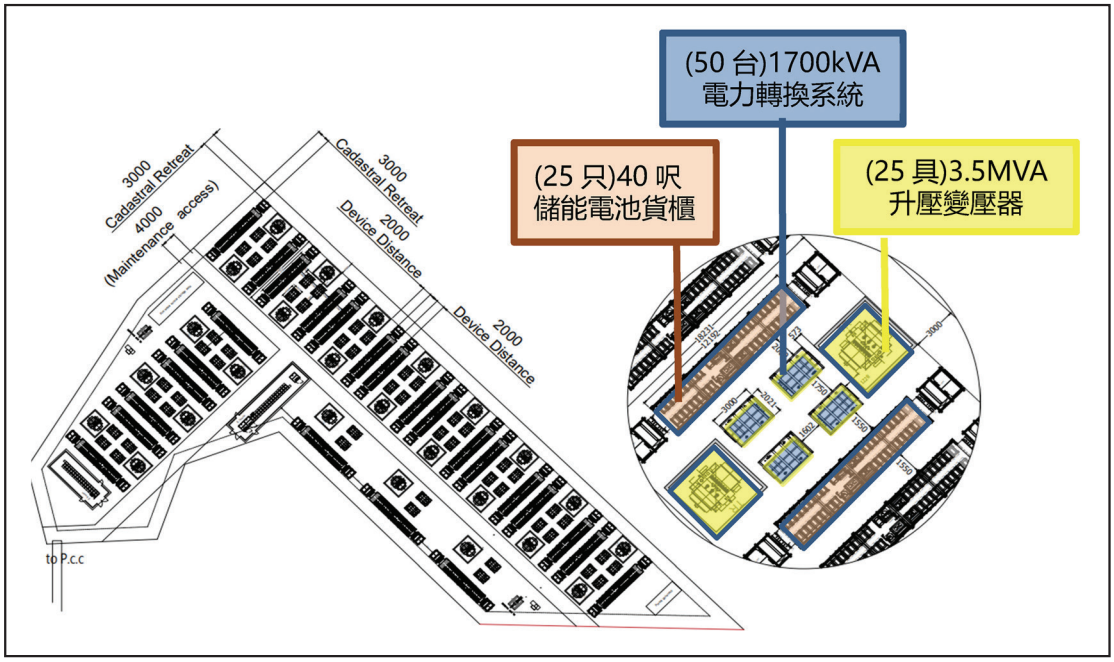


圖 5　龍潭儲能場配置圖

及自動滅火系統，其規定如下：

1. 儲能相關消防系統設計應符合「各類場所消防安全設備設置標準」，使用之消防安全設備應通過消防署審核認可，且相關設計圖面、計算書等應由依法執業之消防設備師設計及簽證。
2. 採儲能貨櫃設計者，其貨櫃內部應設置火警探測器及氣體自動滅火設備；採戶外機櫃設計者，其機櫃外部應裝設火焰式探測器、水霧滅火設備。
3. 儲能系統承攬商須依其供應之設備建立運轉維護手冊、工作標準作業程序及事件處理標準作業程序以降低致災風險。

龍潭儲能建置里程碑，111年4月14日決標，111年12月22日土建工程進場，112年9月15日儲能設備安裝完成，112年10月20日併聯試運轉，112年12月29日功能測試完成，113年1月22日辦理啟用典禮正式加入啟用(詳圖6、圖7)。

龍潭儲能場佔地達0.66公頃、配備25個貨櫃、裝置容量60MW/80MWh、總儲電量達80MWh，這相當於近8千戶家庭一整天的用電量，佔台電自建儲能容量的37.5%。本儲能案場特別針對「儲能安全」進行了多重的防護措施，包括(1)電池異常氣體偵測系統-可偵測電池燃燒前電芯散逸微量氣體後立即自動斷電隔離 (2)煙霧及定溫感測器-偵測櫃內煙霧或溫度異常，啟動潔淨氣體滅火藥劑直接注入電池模組，針對起火電池模組自動滅火(3)水霧消防系統-水霧進行降溫，配有50噸水箱，約可持續灑水30分鐘，防止延燒，以確保在任何情況下都能迅速而有效地應對潛在的風險。

十、輸變電工程處 (中區)-345kV 中火 (南)~ 彰濱線更換耐熱導線工程

(一) 本公司系規處配合彰化外海風場3GW引接至彰濱E/S及彰林E/S規劃，其中2GW須採345kV輸電線路引供至彰濱E/

圖 6　龍潭儲能場鳥瞰圖

圖 7　龍潭儲能場啟用

S(已於112年5月全數完成)，其餘1GW採161kV大城~彰林線(擴增複導體，待施工)引供至彰林E/S(詳圖8)。

(二) 為滿足輸電需求，本處依系規處興幹107010250、107010240及107010091興工聯繫單，辦理345kV中火(南)~彰濱、中火(南)~全興及彰濱~全興等線路更換超耐熱導線施工。工法為使用既設鐵塔，進行導線及部份鐵器更換施工[原795MCM(26/7)ACSR改為340mm2(30/7) ZTACIR]，其效益為每回線送電容量由原2182MVA提升至3621MVA增加約66%。

(三) 前揭線路鄰近濱海區段，新建時考量為避免鹽霧害汙染，致線路跳脫影響供電，部分塔號為提高絕緣強度裝設39只礙子(標準設計為26只)，經維護單位檢討，於維護層面成本及工作安全考量，請本處於更換耐熱導線施工時，一併辦理部份鐵器更換及絕緣礙子回復標準設計，以確保維護工作安全。

(四) 345kV中火(南)~彰濱等線路更換超耐熱導線工程，有賴於電力調度處協助線路停電、材料處及輸變電工程處施工材料籌購；本處辦理線路設計、契約編定及發包等作業；更感謝電力建設承攬商夥伴及本處第三工務段檢驗同仁克服彰濱沿海地區惡劣工作環境，頂著烈日及強風如期如質完成施工(詳圖9~11)，最後由台中供電區營運處完成驗收後加入系統供電，滿足彰化離岸風力併網所需輸電線路建設，有效提升供電安全。

十一、輸變電工程處 (南區)- 161kV 山上～三竹地下電纜線路工程

(一) 興工原由

因應政府能源轉型政策及台南科學園區日益成長的電力需求，「森霸電力第二期燃氣複循環發電」增設100萬瓩複循環發電機組計畫，台電公司輸變電工程處南區施工處於

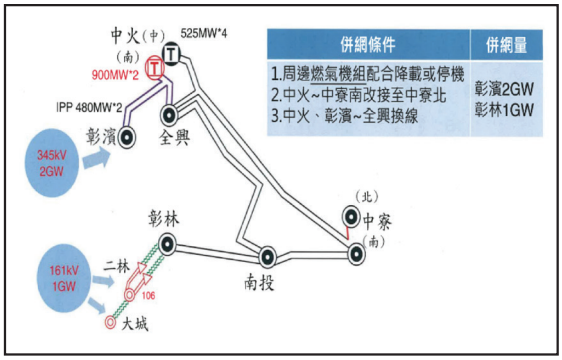


圖 8　彰化風場引接規劃

圖 9　導線更換施工

圖 10　工安考量設置通行棧橋

圖 11　非標準設計礙子連辦理更換

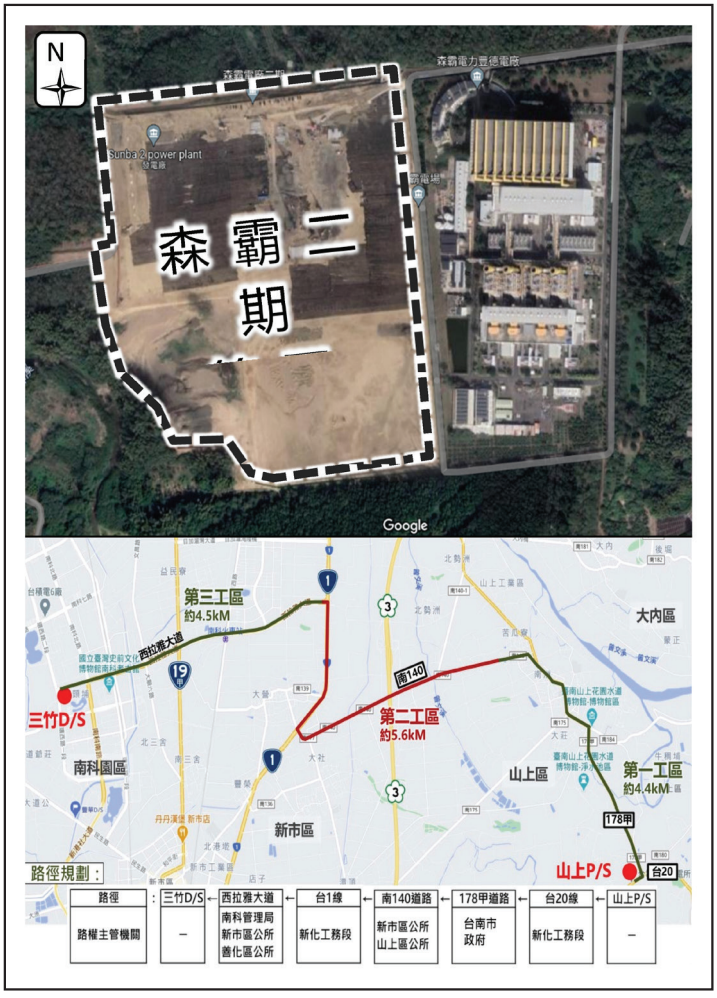


圖 12　線路概要圖

110年正式啟動，配合新設161kV山上～三竹3回線地下電纜線路直接引供電力至台南科學園區，滿足日益成長的電力需求，並趕辦於112年11月完成併網。

(二) 線路路徑規劃

為降低新設架空輸電線路對台南市山上區景觀衝擊，本工程採地下電纜方式埋設，自台南市山上區山上變電所引出，於台20線往東至178甲線，沿178甲線施設至南140道路，再銜接至台1線，另往西引接至南科園區三竹配電變電所出口涵洞及管路（詳圖12），合計約14.5公里。依道路交通情形與既有管線分布等條件，採擇適當之管路埋設型式。共計運用明挖管路、導向潛鑽、推管、潛盾及涵洞等多種土建方式興建。

(三) 機電工程規劃

本案161kV電纜線路係通盤考量電纜拉力、被覆感應電壓及接續區間等因素設計，採8"英吋 24支PVC管規劃（詳圖13），各區間長度約250~450公尺不等，接續區段以20.8 x 2.4 x 3.6公尺預鑄型人孔施設，採3相交錯方式接續。以確保施工可行及送電容量符合系統需求。

本線路規劃新設3回線複導體地下電纜（詳圖14），全長約14.5km，總計使用161kV 2000mm²交連PE電力電纜約261,000公尺。因完成時程緊迫，共分7家電纜廠同時製造，並配合土木工程部分區段完成後，全面展開分成2組延線工班同時進場延放電纜及7家電纜廠併行辦理接續施工。其中採橋樑附

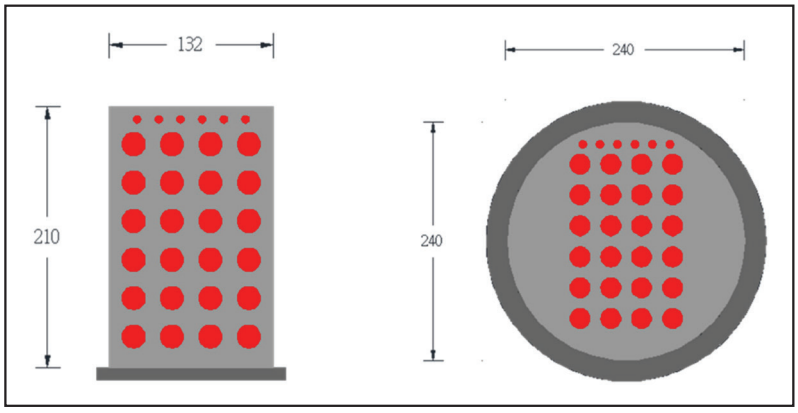


圖 13　8 英吋 24 支 PVC 管規劃

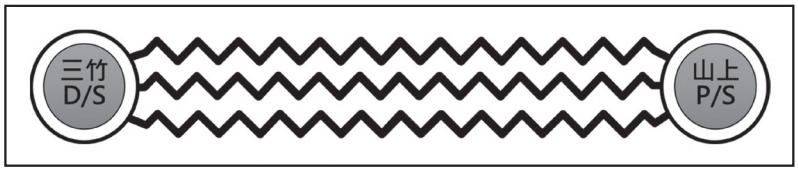


圖 14　3 回線複導體地下電纜

掛（西拉雅大橋）方式跨越縱貫鐵路區間，為降低施工風險避免影響鐵路大眾運輸行車安全，經112年6月19日主動邀集臺灣鐵路管理局等相關單位會勘研討，改採深夜時段，申請鐵路管理局中斷電車線路電力方式辦理電纜延放施工，降低施工風險。

(四) 結語

該線路工程經由台電公司輸變電工程處南區施工處同仁全力以赴妥善規劃與整合，期間端賴政府機關全力支持、地方民眾體諒包容、協力廠商全力配合。突破重重困難，達成各階段任務，使工程順利進行與完成，於112年底順利完工加入系統。完工後未來森霸電力增設之100萬瓩電力可直接饋送南科園區，並可保障輸電線路1回線供電停止時仍可滿載輸送100萬瓩電力，為南科園區注入一劑強心針。

十二、環境保護處 - 電力與環境

台電相信穩定供電的意義與價值，除了掌握國家經濟脈動與民生必要的用電需求、適時開拓多元能源外，各項鼓勵民眾的節電措施以臻減碳成效，也是我們念茲在茲的重點規劃作為。回顧過去一年，在國際一片綠能永續的趨勢浪潮下，持續各項潔淨能源的開發及電力智慧化的推動早已成為台電奮鬥努力的目標，而不斷致力各項友善環境的作為，則是我們接軌國際、善盡企業社會責任及符合民眾期待的最大體現。綜整過去這一年來，台電於電力事業經營的同時，其相關環境關懷的具體行動闡述如下:

(一) 基於節能減碳之重要性，台電除持續輔導推動各火力電廠建置能源管理系統外，並輔導各單位持續精進環境管理系統，秉此原則，台電除能挹注所轄現場單位符合國際標準的要求外，更可藉此持續推升電力環境品質。

(二) 台電為減低電力設施開發後對環境產生的視覺衝擊，積極透過適宜的景觀規劃，並增加環境綠美化面積，進而提升整體環境品質，讓電力設施與周遭環境能充分調適與融合，改善民眾對電力設施的觀感，並對於新興發電計畫在進行廠區規劃佈置時，依整廠區景觀觀點辦理景觀規劃設計工作，將地方文化及環境景緻融入電廠規劃，建立具有特色的新地標。

(三) 台電秉承公司「友善環境」的使命，打造企業經營在環境面向的發展策略與目標，展現台電邁向世界級電力事業集團的企圖，以及成為全方位綠色企業的決心。112 年環境月發表會以「生態 ・ 電 ・ 共生共好」為主題，回應外界關切電力開發對生態之影響，及對外揭示電力設施與生態共融之成果及願景，發表會中除邀請到沙畫大師莊明達，以巧手刻畫呈現 2022 年環境白皮書六大策

略面向執行成果外，亦首次公開播映著名生態影片導演許鴻龍執導之永安濕地生態影片《飛鳥電廠》。另為展示「營造生態共融」的豐碩成果並與社會開展更多交流，也於台電大樓副樓人文藝廊舉辦為期一個月的《看見電力永續生命力》台電生態特展，讓社會大眾深入了解本公司多年從事設施生態融合工作的成果。

(四) 為兼顧台西風力發電機組開發計畫與保護當地蝙蝠族群的穩定棲息，該工程計畫融入「風力設置兼容生態保護」、「台西風力對蝙蝠等物種監測管理作為」等友善因應策略與內容，112 年 7 月 21 日 (五) 與黃金蝙蝠生態館合作辦理「台西風力蝙蝠巢箱生態共融保育交流活動」，透過 DIY 蝙蝠巢箱，廣邀當地區里民（親子）、NGO 環保團體、雲林縣政府等多元夥伴一同參與，拉近夥伴關係，讓當地組織、居民及台電人員、巡檢監測團隊、專家學者擁有友善良好的互動與交流，同時提升台電未來電力開發或規劃設計人員的生態保育意識及公民科學觀。

(五) 為加強國際交流合作及引進電力及環保等相關知識技術，台電積極對外參與相關研討會，諸如「2023 產業溫室氣體減量與綠色技術輔導成果暨實務研討會」、「2023 年環境部永續發展目標自願檢視報告發表會暨環境永續論壇」、「112 年資源循環管理業務檢討會」、「循環採構國際趨勢及推動實務宣導會」、「新興廢水處理技術推廣暨臺印永續水環境論壇」、「2023 高屏地區空氣品質研討會」、「第 30 屆國際氣膠科技研討會暨 2023 細懸浮微粒 (PM2.5) 管制及空氣品質與淨零排放議題研討會」、「2023 第六屆空污論壇」、「中華民國環境工程學會第三十五屆 (2023) 年會暨各專門學術研討會」等。

(六) 在環境關懷方面，每年中秋前夕發起聯合淨灘活動，同時基於回饋地方、增裕海洋資源及保護海洋生態環境，持續於電力設施附近海域進行魚苗放流，積極參與臺灣沿海漁業資源的復育工作，足證明台電逐步邁向全方位綠色企業，實踐環境永續之綠色價值的努力與決心。

(七) 為落實推廣環境教育，台電相關電廠陸續推動申請環教設施場所及參與國家環境教育獎，環教設施場所部分，目前萬大發電廠及大甲溪發電廠分別於 106 年及 111 年取得環境教育設施場所認證；國家環境教育獎部分，目前計有萬大發電廠及大甲溪發電廠分別於 107 年及 109 年獲得第六屆、第七屆國家環境教育獎優等獎，及大甲溪發電廠於 112 年

參與第九屆國家環境教育獎，環境部已於 113 年 1 月 18 日進行複審，評比作業尚在進行中。

(八) 為持續擴大台電綠網之對外能見度，落實傳遞環境永續之理念，台電綠網每年除定期刊載「台電故事」24 篇、「案例分享」12 篇及「綠網電子報」24 則外，112 年為擴大對外溝通議合成效，先後計辦理「原創環境教育繪本 - 大氣的守護者導讀活動」、「綠網 3.0 圈粉動員活動」、「大氣的守護者 - 繪本故事屋互動展」、「減碳生活開麥拉短影音徵件活動」、「淨灘活動設攤宣導活動」; 此外，並完成台電綠網新站之改版，藉由活潑清新動態元素設計，將擬傳遞資訊以簡潔、清晰之方式呈現，並搭配平易近人之文字及精美之圖片，優化使用者之閱讀體驗，進而提升台電綠網之對外識別度及專業形象。

(九) 在推動綠色環保工作制度方面，針對更新改建之發電、輸電及配電等相關設施之施工及營運單位，透過執行現場環保調查與輔導工作，協助現場管理單位及工程承攬商落實工地環保管理，並辦理公司內工程單位之工程評鑑、環保總體檢以及營建工程相關環保法規與環保措施之宣導，強化環保管理及友善環境措施，除能達到符合法規外，更積極朝向推展低污染工法、生態保育、敦親睦鄰、節能減碳以及工地綠美化等友善環境作為，輔導成果除可作為現場單位持續改善的依據，亦可水平展開至其他單位參考，降低因疏漏違反環保法規之風險。

(十) 為配合政府能源政策、未來電力發展將啟動能源轉型，及擴大潔淨能源天然氣使用，台電推動「澎湖中屯風力發電更新計畫」、「台中電廠第二期新建燃氣機組計畫」、「通霄電廠#1~#4輸電線路架空段地下化」、「台中新建燃氣機組增設港風開閉所」，各計畫均辦理環境影響評估工作，詳實分析對環境面之影響，擬定環境保護對策及環境監測計畫，並提出多項環境友善措施，各計畫之環評書件經行政院環境保護署審查通過後，將遵照環評審查結論，執行相關環境保護承諾及對策，以維護環境品質。

展望未來，在因應氣候變遷的國際趨勢下，各國通力合作期望達成全球減碳的目標，喊出2050淨零碳排的口號，然而氣候變遷不僅是科學議題，還是政治與國家安全議題，未來去碳化將改變全球地緣政治版圖，中東與產油國地緣優勢不再，在能源轉型大趨勢下，再生能源新增裝置容量已超越傳統能源，而碳定價議題是否會發展成綠色關稅，仍需持續關注，氣候風險評估與財務揭露也將成為衡量一家企業是否具有永續體質的參考指標。台電是台灣電力的守護者，在

風起雲湧的時代浪潮下，面臨最壞的時刻，也是最好的時刻，那是一個危機與轉機同時存在的時代，也是轉型的契機，期待蛻變後的台電能再度與國人共創一個更潔淨、永續的美好家園。

十三、再生能源處 - 微電網效益分析與容量評估

(一) 前言

微電網的發展有助於促進全球節能減碳，伴隨著微電網系統技術的發展及全球同步提倡再生能源，以太陽光電或陸域風電做為微電網服務的基礎亦逐年成長，而微電網系統的建置除了可減少輸電過程中的電力耗損，亦可做為大型電網的輔助型電網;近年來政府大力推動再生能源，預計2025年達成再生能源佔比20%的目標，然而當綠能裝置容量日漸成長至一定占比後，其間歇發電特性，勢必對電網運轉帶來電力不穩與調度不易的衝擊，微電網做為再生能源的後盾，可減緩大量再生能源併入電網可能造成電壓浮動而影響區域電網供電的問題，實務上也需要考量配套的措施，若能與儲能系統相互搭配，進而規劃微電網儲能設備容量，適合的控制及通訊技術，以供應微電網內負載之電力需求；同時，物聯網、大數據等新興科技的應用，對於微電網系統亦有實質功效，透過物聯網、大數據技術可整合微電網各分散式能源設備、發電量等資訊，以雲端監控集結微電網數據並加以分析，降低電力成本，提高電力供應的可靠性，則更能發揮其電力調度的效益。

(二) 微電網系統效益分析

微電網係由分散式能源（太陽能及風力等）、儲能系統、能源管理控制系統、以及近/遠端監控平台等所組成。分散式電源一般指的是發電容量較傳統機組小，直接連接在配電或發電場址更接近需求端的發電設備，故可減少電力輸配電設施的投資成本及線路損失，當大型集中式發電系統供電中斷時，可切換至分散式電力系統，將所儲存的電力對鄰近重要負載供電；以再生處台中辦公室為例，當市電斷電時，可利用原台中辦公室設置柴油發電機形成獨立運作（孤島模式）提供重要負載之運作。亦可利用微電網系統與電力公司電網雙向併聯運作（併聯模式），即可引入電力公司電網之電源或可將微電網多餘電源饋回電力公司電源，整個微電網系統架構運作如圖15所示。

該系統於2022年10月正式啟用，在2023年完整全年度系統運轉，期間不斷修正調整有相當的精進，在維持不超過契約容量的前提下，節能效益全年節電達87,473度電，約節省電能29%。如下表1年度統計報表、圖16年度效益分析表可發現到2023全年逐月各項發電、用電及儲能數據明顯和天候有直接關係，夏季8月用電最高，冬季12月用電最低，

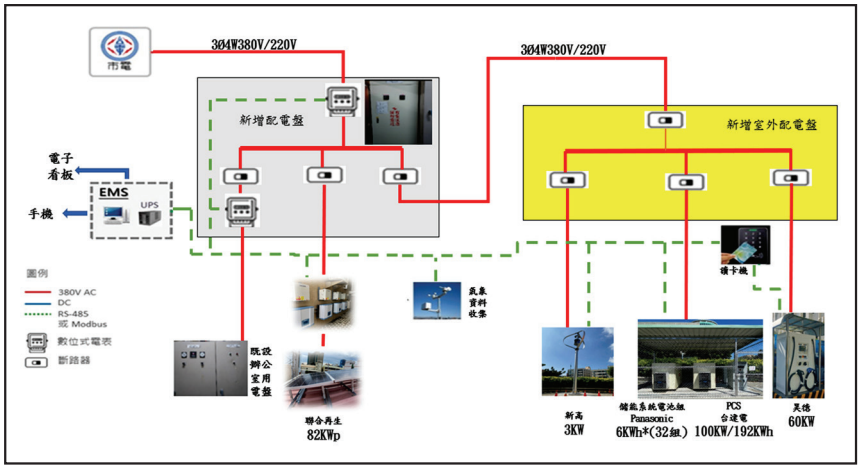


圖 15　微電網系統架構運作

表 1　年度統計報表

月份	2023-01	2023-02	2023-03	2023-04	2023-05	2023-06	2023-07	2023-08	2023-09	2023-10	2023-11	2023-12	合計
市電供電	11233.10	10906.90	12368.80	12423.70	17056.90	21636.80	25546.30	27501.60	22995.60	18179.30	15293.10	13707.50	208849.60
辦公室耗電	15624.70	15740.50	19807.60	19677.40	26145.10	30963.10	35985.00	36552.60	31400.60	24995.40	21115.90	18315.50	296323.40
太陽能供電	6736.90	6499.60	9184.50	9367.20	10844.50	11166.70	12278.70	10638.70	9943.50	8315.80	7306.80	6053.70	108336.60
儲能充電	-2150.69	-1685.66	-2012.45	-2276.74	-2166.91	-3189.41	-2809.25	-2862.05	-2119.78	-1672.03	-1295.71	-1090.08	-25330.75
儲能放電	1992.19	1611.74	2062.46	2290.56	2251.39	3195.36	2735.42	2939.42	2120.35	1579.78	1285.34	1104.48	25168.51
節省市電	4391.60	4833.60	7438.80	7253.70	9088.20	9326.30	10438.70	9051.00	8405.00	6816.10	5822.80	4608.00	87473.80
節省市電率	28.11%	30.71%	37.56%	36.86%	34.76%	30.12%	29.01%	24.76%	26.77%	27.27%	27.58%	25.16%	29.52%
系統消耗	2186.80	1592.08	1795.72	2127.32	1840.78	1846.35	1766.18	1665.08	1539.08	1407.44	1473.63	1460.10	20700.56
系統用電消耗率	14.00%	10.11%	9.07%	10.81%	7.04%	5.96%	4.91%	4.56%	4.90%	5.63%	6.98%	7.97%	6.99%
儲能消耗	-158.50	-73.92	50.02	13.82	84.48	5.95	-73.82	77.38	0.58	-92.26	-10.37	14.40	-162.24
儲能消耗率	-1.41%	-0.68%	0.40%	0.11%	0.50%	0.03%	-0.29%	0.28%	0.00%	-0.51%	-0.07%	0.11%	-0.08%

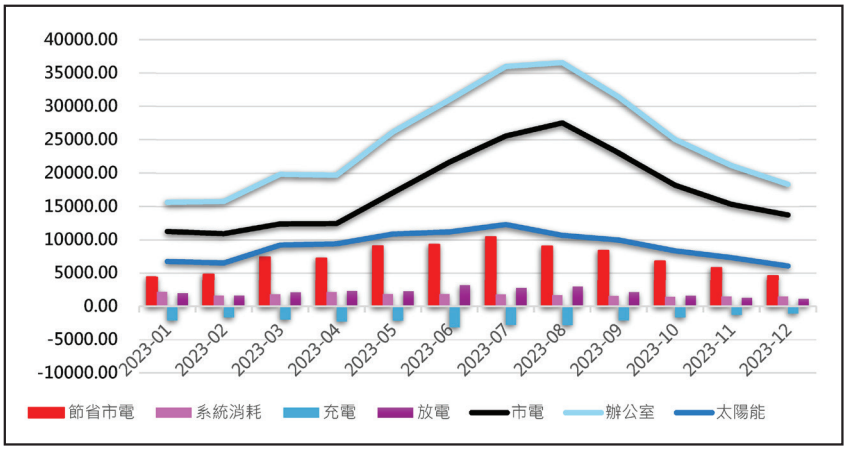


圖 16　年度效益分析表

而太陽能於7月發電最高。

辦公室即是實際總用電，是由「市電供電」+「太陽能發電」+「儲能放電」 所供應，於2023年全年辦公室用電節省30%。圖17為2023年逐月市電節省率，圖18為市電節省率。

系統損耗=市電供電+太陽能發電+放電-辦公室室用電-充電，系統損耗為微電網系統運行時所需耗電，包括能源管理系統用電、儲能損失、空調冷卻設備用電、能源轉換損失、變壓器損失、餘電逆送回電網...等。系統損耗是全部實際供電和實際用電的差距，供電有三個來源，即市電、太陽能和儲能放電，耗電有二

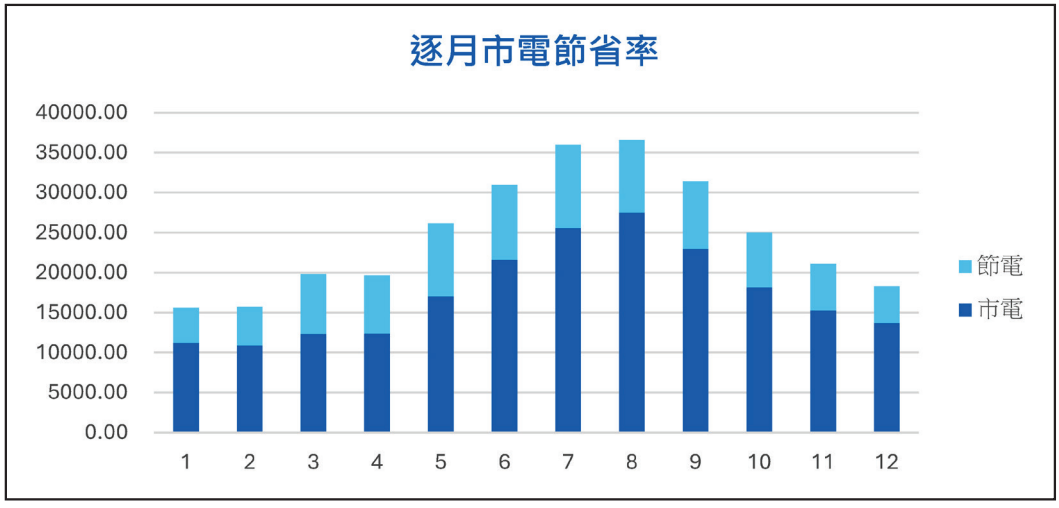


圖 17　逐月市電節省率

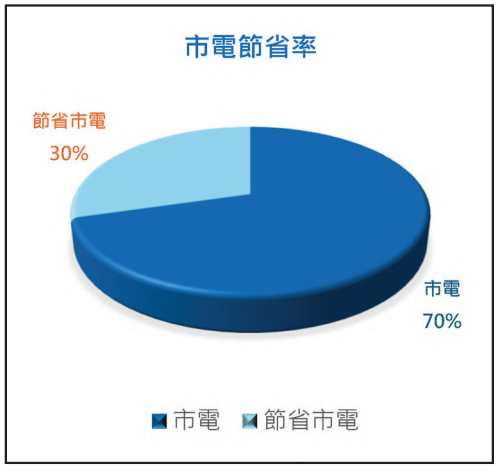


圖 18　全年市電節省率

個來源，即辦公室用電和充電，所以將市電加太陽能加放電，然後減去辦公室用電再減充電就是損耗。圖19是2023年逐月系統耗損比率，圖20全年損耗=20,700kWh，佔總用電6.9%。

該系統在剛上線運轉一段時間後發現，原系統儲能容量的設定是在離峰時段進行充電，SoC（荷電狀態）達80~90%，可以在市電發生超過契約時，有足夠的儲能可以放電補充，所以能夠有效保持市電需量不會超過契約，但是，當光電發電超過用電時，因儲能充滿狀態時，就無法儲存，而導致多餘光電（餘電）回

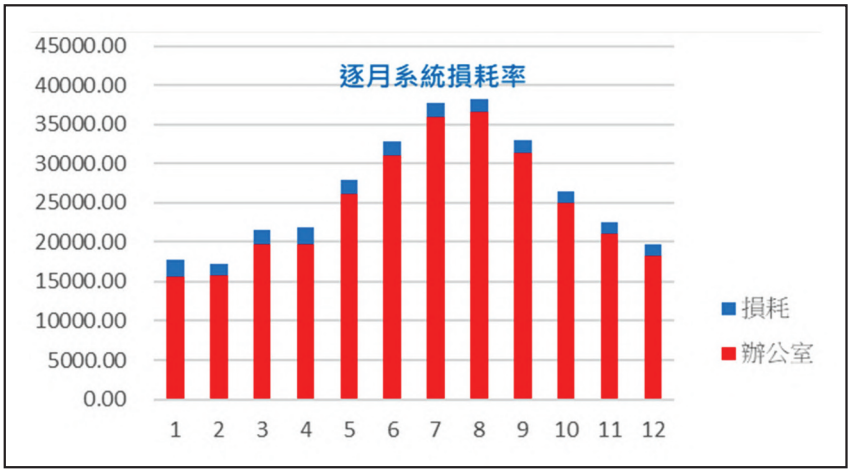


圖 19　逐月系統耗損比率

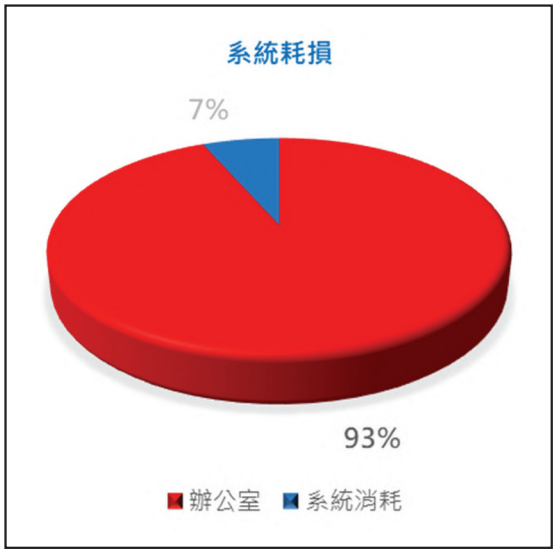


圖 20　全年系統耗損比率

流電網，造成浪費，對微電網而言，這就是「損耗」。再則，如過儲能容量的設定過低，當市電超過契約時，而儲能容量已經耗盡，無法補充，就造成違約問題，所以需要一種有效決定每一天準備適當的儲能容量，來維持當日的運行。

(三) 微電網系統容量評估

一般微電網在系統規劃建置時必須面臨到的問題即是微電網中各種分散式能源類型的選擇及裝置容量的配置，這關係到該微電網區域中的負載用電量、用電特性以及各種分散式能源發電所帶來的效益。儲能系統可以調節電網，在用電需求低時將剩餘電力儲存起來，再於用電尖峰時釋出，利用氣象預報來控制儲能容量，當溫度預報越高，辦公室用電就越高，所以儲能容量越高，有足夠儲能電能，可以避免契約容量違約，當氣候預報由晴、陰到雨天，就約等於日照量由高到低，就是光電發電量由高到低，所以儲能容量要越低就有足夠儲能空間將光電餘電保存起來。根據以上分析，建構一組二維的數值陣列（如圖21），圖表中的數據就是各維度時的儲能容量（SoC），單位為Kw。

在實際執行上於當天離峰時段時，EMS將儲能充電到達數值時就停止充電，接下來全天根據儲能系統各情境執行各種充放電邏輯，如綠電優先使用，有餘電就充電、用電超過時儲能就放電補充等靈活運用，在經歷4~12月的運轉期間也加以修正調整，證明此預測極為實用，系統損耗率也有效改善。

(四) 結論

微電網可視為區域性的智慧電網，同樣具有整合再生能源與節能的特點，透過微電網技術可讓再生能源有效被利用外也有助於節能減碳，對國家的競爭力有很大的幫助。本文透過已知的再生能源與儲能系統裝置容

● 氣象預報-儲能存量設定

氣溫 / 氣候狀態	晴	晴時多雲	多雲	多雲偶陣雨	雨
15 °C以下	30	37	49	55	62
15~20 °C	35	42	54	60	67
20~25 °C	40	47	59	65	72
25~30 °C	45	52	64	70	77
30~35 °C	60	67	79	85	92
35 °C以上	65	72	84	90	97

圖 21　氣象預報之儲能存量設定

量，搭配整年度的負載用電資料，經由中央氣象局預報資料來控制儲能容量，配合能源管理系統(EMS)智慧調控機制能夠穩定的供給能源，在日益重視環保和永續發展的環境下，智慧微電網更能夠符合當今的趨勢。

十四、再生能源處 - 宜蘭仁澤地熱啟用

107年台電與中油、工研院及地調所等產官學研單位合組「地熱發電國家隊」，其中台電、中油進一步簽署宜蘭地熱開發合作意向書，結合中油鑽井與台電發電專業，聯手投入仁澤地熱開發，112年10月24日正式啟用。台電表示，地熱發電零碳排，更可24小時穩定出力，幾乎不受天候影響，且仁澤採用雙循環系統「取熱不取水」的概念，可避免管線結垢鏽蝕問題，延長發電機組壽命並維持地層水資源，啟用後年發約470萬度綠電，等同近1200個家戶年用電量。

因應國際能源轉型趨勢及全球產業供應鏈碳中和需求，持續發展綠能邁向電力淨零，地熱發電即為關鍵戰略之一。台灣位處環太平洋火山帶，全國北中南東地區皆具地熱潛能，其中宜蘭仁澤現以溫泉馳名，即因於70年代曾進行地熱探勘並開採兩口地熱井（仁澤1、2號），確認當地地熱及溫泉資源，惟因應當時技術發展與需求，未進一步設置電廠。而107年地熱發電國家隊誕生，再度鑽鑿3、4號新井，重啟地熱發電計畫。

仁澤地熱採淺層開發，深度約1500公尺，井底溫度可達180至200度，發電機組採有機朗肯雙循環發電系統（Organic Rankine Cycle, ORC），裝置容量840瓩，透過中油鑽鑿新井導出地熱水，利用熱交換推動渦輪機發電。因地熱水全程不直接通過發電設備，可避免發電設備及管線結垢問題，降低停機清修時程，提高設備可用率。此外，發電尾水95%以上均回注地層，可有效維持地熱儲集層壓力，此「取熱不取水」的概念方式有助提高電廠壽齡，且可循環發電利用。

台電表示，地熱發電雖前期開發風險較高，然其能量密度高，佔地面積小，可24小時穩定輸出電力，幾乎不受天候影響，且啟停反應快速（以仁澤為例，從冷機啟動至發電併網只須半小時），發電效率可達60%~70%等優勢，顯示地熱是未來不可或缺的重要綠能來源。而仁澤地熱發電結合中油與台電專業，過程中亦有工研院協助地熱井產能測試，加上國產發電機組設備，聯手打造「MIT地熱產業鏈」。

此外，政府現已修正「再生能源發展條例」增訂地熱專章，於法制面完備發展條件，並成立「地熱發電單一服務窗口」，輔導地熱發電業者申設流程，將持續提高投資誘因，加速推動地熱發電與產業成長，逐步達成我國能源轉型目標。

十五、再生能源處 - 台電南鹽光儲啟用

台電繼先前於金門夏興電廠、蘭嶼電廠設置儲能系統，打造離島智慧電網，如今首度結合綠能場域，於109年啟用的台南鹽田光電場（簡稱南鹽光），攜手知名新能源企業聯合再生，設置首座「光儲合一」結合綠能的儲能系統，20MW（百萬瓦）容量同時也創下國內最大，112年1月6日正式啟用。台電表示，儲能系統具快速充放電特性，可協助太陽光電發電併入電網的穩定調節，亦可與現有機組相互搭配，提升電力系統穩定與彈性，遇突發電力事件時立即提供穩定電力。

台電109年於台南將軍、七股區利用214公頃廢棄鹽灘地，以48萬片光電板打造裝置容量150MW（百萬瓦）的南鹽光，創下當時國內最大紀錄，平均每年可發出2億度電，相當於近5萬戶家庭一年用電，也帶來每年超過10萬公噸減碳效益，且仍保有場址既有滯洪功能。近年綠能持續發展，為讓每一度綠能效益極大化，台電首度結合光電場域建置「光儲合一」儲能系統。

台電攜手知名新能源企業聯合再生團隊，於南鹽光建置裝置容量20MW/20MWh（百萬瓦小時）的儲能系統，由曾提供美國波音客機電池服務的法國百年電池廠Saft打造8個20呎儲能貨櫃，使用超過1000個鋰電池模組，並採用國內重電大廠士林電機的變壓器，搭配功率調節系統等設備，總儲電量達2萬度，等同可提供4萬個家庭用戶1小時用電，啟用後除是首座光儲合一系統，亦成為全台最大儲能系統。

台電表示，儲能系統具有快速充放電特性，可協助調節太陽光電發電併入電網，減少系統波動、維持電網穩定，更可善用儲能電池儲存白天旺盛光電，將電能大挪移，待夜晚用電高峰或遇突發電力事件時提供立即穩定電力、爭取分秒必爭的搶修復電緩衝時間，反應速度更勝傳統發電機組達上千倍。

十六、營建處 - 台首座淨零建築離岸風電運維中心動工

台電於110年離岸風電一期併聯發電，啟用全國首座離岸風電併網基地–彰一開閉所，111年底離岸二期亦邁入施工階段，112年再聯手瑞助營造及國際知名建築師事務所MVRDV，打造名為「光源之石」的台電歷史首座綠能運維中心，建築外觀將由太陽光電板包覆，遠看猶如一隻「穿山甲」，未來可年發近100萬度綠電，除自給自足，還能回輸電力，可望成全台第一座淨零排放建築，該建築預計113年底完工，除作為自家離岸風電運維基地及再生能源設備材料倉儲中心，亦落實邁向電力淨零目標。

為滿足綠能持續發展成長的運轉維護需求，台電聯手瑞助營造及曾打造荷蘭鹿

特丹商場、台南河樂廣場，作品遍佈全球逾40國、超過800件的荷蘭建築師事務所MVRDV，於彰化建置台電首座綠能運維中心「光源之石」（Sun Rock），更將打造成全台第一座「淨零建築」。

「光源之石」將作為台電離岸風電一、二期，超過50部風機的吊裝廠房、運維基地，以及周遭陸域風機、太陽光電相關備品、維護工具等材料倉儲中心，預計113年底完工，全面提升台電綠能建設維護效能。

要稱作淨零建築，除需獲內政部建築能效認證，更重要是建築物自身生產的再生能源要能完全滿足用電能耗，一來一往等同零耗能，如「光源之石」除作為台電離岸風電運維中心功能使用，外觀設計也結合綠能、善用彰化豐沛日照，將由大量太陽光電板包覆而成。

「光源之石」每一片太陽能板鋪設位置與角度，都要經過日照位置、方向、時數與建築面積、太陽能板發電效率等大數據建構而成的模型精準分析確認，因而完工後將可年發近100萬度電，等同約3000家戶月用電量，減碳效益預估可達500公噸，翻轉建築傳統耗能印象，而這樣的發電量，預估能源密度（指建築物年用電量與樓地板面積的比值）可達-19，不僅自給自足，還可多發電送回電網，可望成為全台第一座零耗能淨零建築，配上吸睛外觀，堪稱「會發電的穿山甲」。

十七、發電處 - 大甲溪發電廠：「德基水庫含砂水流運移與水庫減淤操作試驗研究 (第三期)- 透過颱洪期間觀測德基水庫異重流現象，掌握合適水力排砂時機，使重要民生水庫得以永續經營」

(一) 前言：本案研究背景

德基水庫位於台中大甲溪流域上游，自民國62年開始蓄水並作為大甲溪流域水力串聯發電系統之首要重鎮，且列為經濟部民國105年訂定之「水庫庫容有效維持綱要計畫」主要防淤水庫之一。

德基水庫營運至今已逾50年，現況庫容量為188,660,340m^3，淤積率達18.68%（111年5月實測），為確保德基水庫發電效益、民生永續用水以及達成「水庫庫容有效維持綱要計畫」減淤排砂策略之水力排砂目標值，爰透過本研究案辦理颱洪事件發生時從上游集水區沖刷夾帶的含砂水流監測、應用數值模型驗證及預測含砂水流機制，以掌握合適的排砂時機，啟閉大壩閘門（如排砂道、排洪隧道等），讓含有高濁度的水流（即異重流）逕行自水庫排出，降低因落淤造成庫容減少的影響。

(二) 觀測設施及資訊系統應用

本研究案為進行颱洪期間全洪程自動化

含砂濃度量測，係利用時域反射法（Time Domain Reflectometry,TDR）發展泥砂濃度的量測技術，藉由TDR儀器發射依電磁方波並接收反射訊號，利用渾水整體介電度與泥砂濃度具有高度相關性之特點，以推估水體含砂濃度。

為確切掌握進出德基水庫之水砂，本廠分別於上游松茂水文站設置上游河道監測站、德基壩前設置壩前分層監測站、青山壩控制室設置青山發電取水口監測站及排洪隧道出口監測站（如圖22），其功能簡述如下：

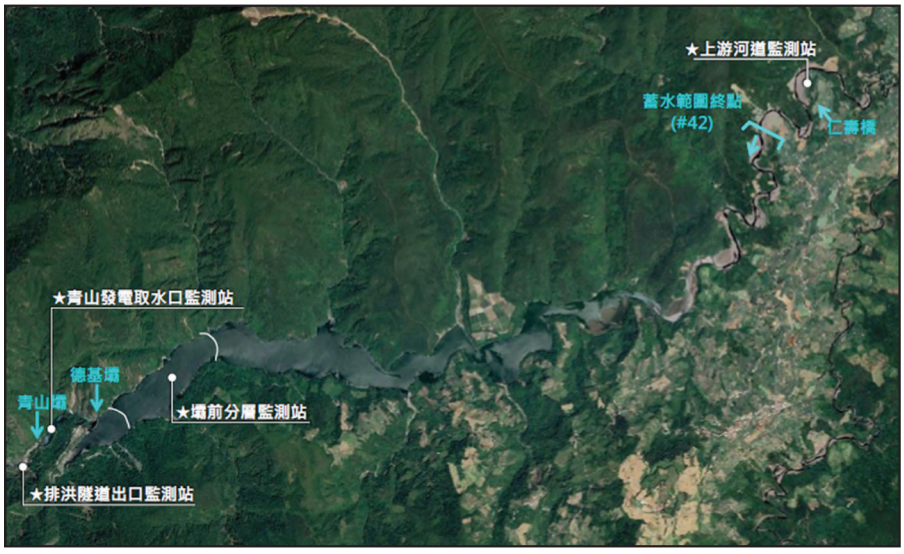


圖 22　德基水庫水砂監測站平面配置圖

圖 23　壩前分層監測站之浮台

1. 壩前分層監測站

設置於德基壩前斷面3號處，係參考石門水庫及南化水庫設置經驗，採用高強度耐候型之塑膠材質工程浮塊與H型鋼構強化所組成浮台（如圖23），並設置捲揚滑輪組，鋼索固定TDR（時域反射儀)含砂濃度量測系統，垂直分層共設有8個點位，以加強觀測垂直方向之空間解析度（如圖24）。其感測器量測泥砂濃度之精度為1,000mg/L，可 測範圍達60萬mg/L。除TDR系統外，浮台上另設有類比訊號擷取器、太陽能電源供應模組及傳輸模組等，可在颱洪期間實施無人觀測數據回傳，供管理人員參考。

2. 其餘水砂監測站

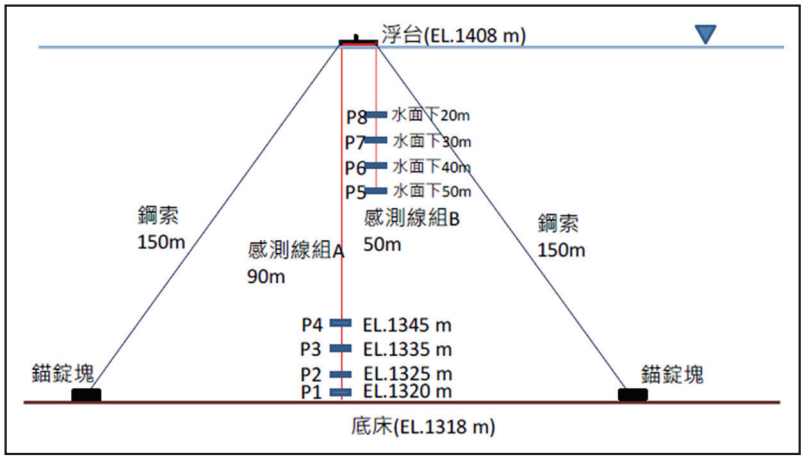


圖 24　德基水庫壩前浮台濃度感測器擺放深度位置

圖 25　觀測水槽 (左)、TDR 感測器 (右)

其餘3處水砂監測站設計理念均相仿，係採用抽取目標水質後，引至觀測室，藉由觀測水槽混和均勻後，投放至TDR感測器中進行檢測含砂濃度並透過人工比重瓶試驗複測比對。(如圖25)

結合前開自動化觀測結果，本案建置一視覺化資訊系統以呈現，可即時顯示各監測站觀測資訊，亦可隨時查詢監測站基本資料及歷史資料，觀測資料圖得以數值或歷線方式呈現(如圖26)；另外人工泥砂濃度測量所得之數據亦可以匯入系統資料庫中呈現。

(三) 結語

隨著國內各大水庫營運迄今，庫容量往往隨著颱風豪雨上游沖刷土石而逐漸降低，而維持庫容即成為各個水庫管理機關首當要務。維持庫容的手段除了透過保育或清淤來降低水庫淤積量外，水力排砂成為透過少量水資源，便可夾帶大量泥砂出庫的低成本減淤排砂策略。有鑑於此，國內水庫如石門水庫、南化水庫以及本廠轄管之德基水庫均紛紛投入異重流觀測及颱洪期間水力排砂之研究。

藉由含砂水流運移機制研究及水庫建模，更能使水庫管理單位掌握上游豪雨時，具有高濃度異重流何時抵達壩前之時機，並啟閉閘門以為排放因應，防止水庫淤積；惟為達成理論與實務相互匹配，尚須時間不斷累積觀測及加以驗證，才能成為水庫成熟的管理應用。

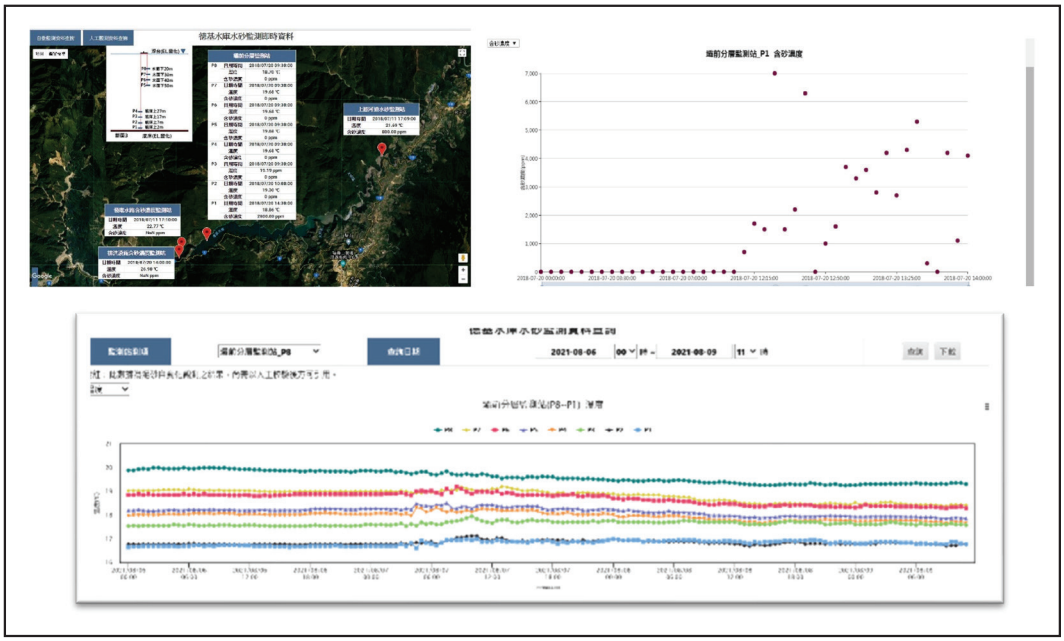


圖 26　資訊系統畫面及監測圖表產出

十八、發電處 - 大潭發電廠

大潭發電廠因應長期電力負載成長及維持區域供電穩定，推動展開「大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫」，於110年7月成立電廠試運轉小組，致力於新建8、9號機、新161kV開關場及7號機擴建為複循環機組之運維訓練及試運轉測試工作，並順利使大潭GT8-1機於112/6/15點火、112/6/25併聯；大潭GT8-2機於112/7/16併聯；大潭ST8機於112/8/25併聯，預計民國113年商轉。大潭9號機於113年2月受電並預計114年商轉，大潭7號機於112/12/26首次通海水，致力趕工於114年商轉(圖27、圖28)。

圖 27　現場作業 1

圖 28　現場作業 2

為符合環保法規要求並承擔北部電力供應重責，大潭發電廠持續推展既有機組應用新科技升級以優化設備，自108至113年期間將1至6號機的氣渦輪機燃燒器陸續升級為「低氮氧化物燃燒器(Low NOx Burner,簡稱LNB)」，搭配使用低氮燃燒技術(Dry Low NOx，簡稱DLN)，調整預混燃料階段式的分配比例，藉以提高燃燒效率並減少氮氧化物(NOx)產生；此外3至6號機的熱回收鍋爐亦完成選擇性脫硝觸媒還原反應器(Selective Catalytic Reduction，簡稱SCR)的裝設，大潭發電廠已達到既有機組(1至6號機)之氮氧化物(NOx)每年排放量低於2,453噸之環評承諾。為降低氮氧化物(NOx)，也延長機組歲修週期，履行電業法賦予之發電義務並竭力於改善當地整體空氣品質，大潭發電廠再將3至6號機氣渦輪機燃燒器升級為空氣式冷卻(G Type Air Cooling, 簡稱GAC)，其中3號機、5號機、6號機已完成升級，4號機預計於113年大修期間辦理升級案。

十九、發電處 - 台中發電廠

在鍋爐廠房內工作，除了高溫環境外，其辛苦絕對是外人難以想像。台中發電廠鍋爐爐高60餘公尺，相當於一般建築的18層樓，在20公尺長、18公尺寬的黑暗空間中，遍佈長達400～500公里長的管材，如產生破管，要找到一個微小的破洞，就如同大海撈針般不易。

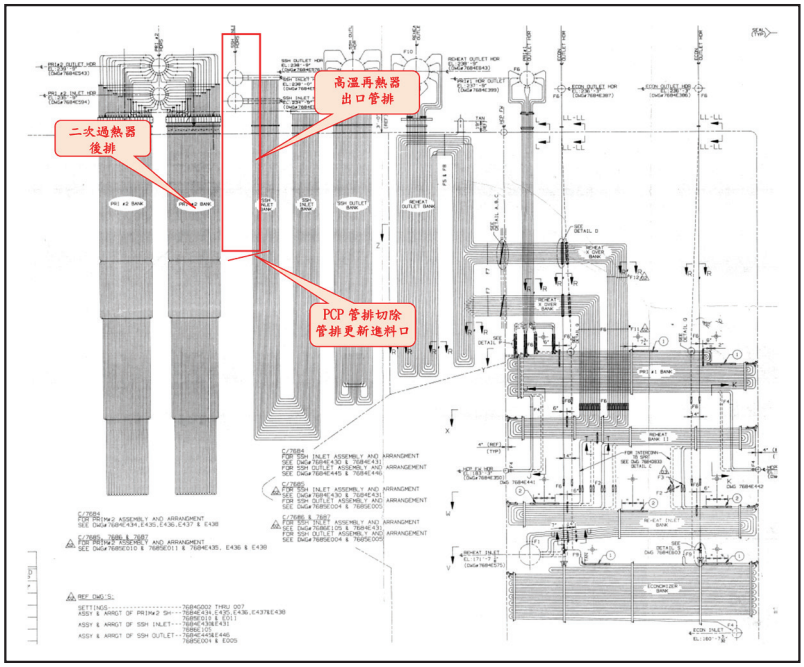


圖 29　高溫再熱器爐管換管區域

如果破口的地方是在人孔可及的位置附近，檢修就比較方便，否則就必須搭乘吊籠，在伸手不見五指的高空中，以手觸摸爐管的方式，上上下下、左左右右、一層又一層進行「診斷」。

千辛萬苦的找到破口後，還必須以輔助繩將吊籠固定在側邊結構體，過程中經常在搖搖晃晃中進行，作業方式比高樓清洗更加危險，且驚心動魄。搶修鍋爐必須冒著高溫及惡劣環境，24小時不眠不休輪班工作，進入爐內，空間可媲美五星級大飯店的尺寸，但不是奢華的裝飾，內部都是由爐管築成的高牆。有鑒於此，為了避免爐管久了就會老化、劣化，壓力非常沉重，所以必須趁著冬天尖峰負載較低時，進行爐管汰舊換新的作業。

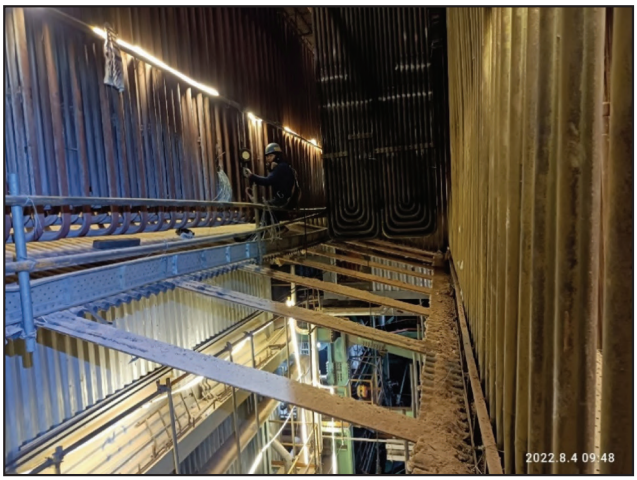


圖 30　換管區域 1

圖 31　換管區域 2

中5~8號機高溫再熱器前排爐管內壁氧化膜成長速度已有增快趨勢並有剝離脫落現象。氧化膜成長除有導致爐管加速潛變破壞之虞，若剝落之氧化膜沉積堵塞於管內，將致下游爐管因冷卻蒸汽流量不足過熱破管，需利用開蓋長工期大修進行管排更換，以改善爐管品質。中5~8號機高溫再熱器前排爐管共75排，111年至112年中7機為開蓋大修，預計更換管排50排(50/75)。其更換高溫再熱器前排垂直管排位於爐內之位置，如【圖29】紅色框線處。(圖30、圖31)

二十、發電處 - 南部發電廠

南部發電廠三號機自1995年商轉至今已逾25年，效率降低，蒸氣熱能轉換效率差，浪費鍋爐熱能。且汽機長期存在軸承震動大、二號軸承及低壓段排氣溫度高等問題，根據他廠同型機組及本廠二號機汽機延壽評估報告內容，推論可能還存在內缸變形、龜裂、腐蝕及低壓葉片裂紋等潛在問題，依原廠設計，三號機汽機將於113年逾越原廠設計壽命(200K運轉小時)，有影響運轉安全之虞。

原廠根據過去運維經驗，提供汽機更新方案，含新型備品(3D葉片、升級低壓段葉片、新型高壓內缸等)，均有針對機組效率優化，改良現有機組問題，提高運轉穩定性及可用率。

汽機性能提升後複循環發電容量可由309.8MW提升至314.4MW(汽機發電容量109.8MW提升至114.4MW)，即發電容量增加4.6MW。以容量因素79%估算，改善後在相同天然氣用量下，每年增加發電量31,833,840度電。

由於更新後三號機組發電容量與發電效率提昇，對滿足逐步成長的用電需求有正面效益，並更具經濟效益(圖32、圖33)。

二十一、興達發電廠 - 複循環氣渦輪機空污改善

興達發電廠複循環一至五號機組氣渦輪機以天然氣為燃料，除CO_2外其主要排放的空氣污染物為氮氧化物（NOx），隨著環保意識的提升，這些機組面臨越來越嚴格的空氣污染排放標準。根據高雄市環保局修訂的新標準，從113年12月起，既有氣渦輪機的NOx排放限值需降至15ppm以下。自85年起商轉的本廠複循環氣渦輪機組，其平均NOx排放濃度介於15至21ppm，面對新規定的挑戰，既有機組的改善刻不容緩。

要降低氣渦輪機NOx的排放，必須精準調控燃料與空氣的比例。鑑於機組運轉時數已逼近設計壽命，原廠建議進行核心組件的升級改善，改善後不僅能滿足環保排放標準，還能保障機組的運轉安全。升級改善案包含控制油系統、天然氣控制閥和進氣導翼

圖 32　高壓汽機外缸上半回裝

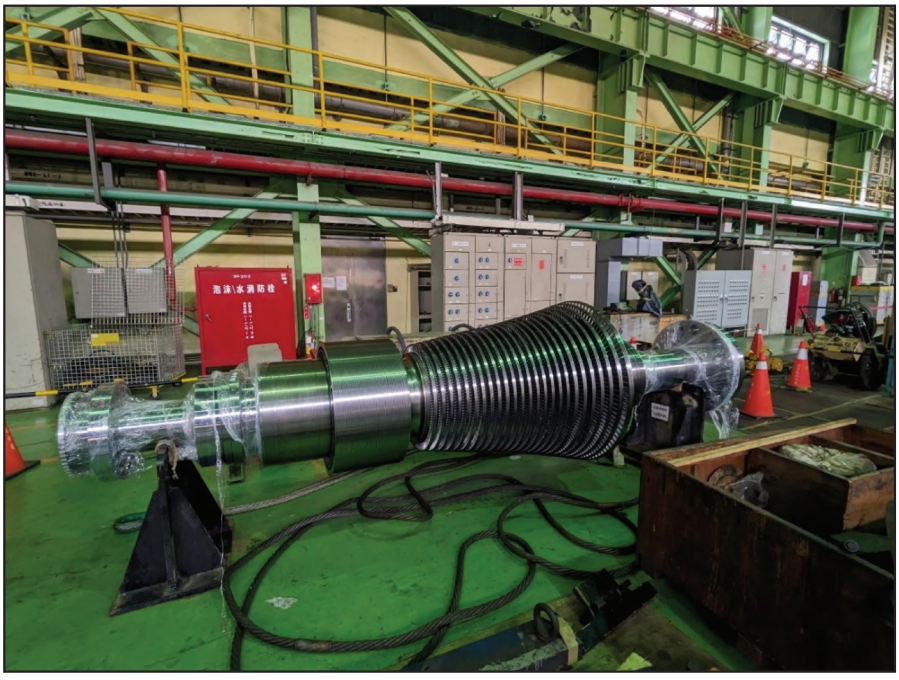


圖 33　新高壓汽機轉子待安裝

驅動器等控制設備的更新，更新後提升了燃料和空氣的控制精確度和反應速度，從而精準控制空氣與燃料的混合比及燃燒溫度，有效降低NOx的產生。

改善工作從108年開始，至112年興達複循環15部氣渦輪機全部更新改善完成，NOx的平均排放濃度降至約6至9ppm，不僅符合最新的法規要求，這5部機組每年運轉8000小時估計能減少約2408噸的NOx排放，節省空氣污染防治費用，並減輕對環境的影響。除此之外，核心組件的升級還提高效率、增加出力並提升機組的可用性。總體來看，這次的改善方案不僅提升公司形象，也對公司的營運效益和電力供應的穩定性帶來正面的影響。(圖34~36)

圖 34　更新之控制油系統

圖 35　更新之天然氣控制閥

圖 36　更新之進氣導翼驅動器

二十二、興達發電廠 -GT33 氣渦輪機混氫示範計畫

在行政院公布的 2050 淨零排放政策中，氫能發電規劃佔比須達到 9-12 %，混氫發電成為近期重點任務，為此台電積極配合國家政策，部署氫氣發電研發，依據經濟部「電力淨零排放推動會報」決議事項，推動規劃本公司「燃氣機組混氫」。

選擇興達電廠作為全台第一部混氫示範機組，關鍵於興達電廠複循環氣渦輪機已完成核心組件更新，機組具備混氫燃燒能力，未來還可服役到2037年，是隨時可以上場的即戰力，不用擔心短時間內除役，而不符合經濟效益。

2022年4月與西門子能源公司簽署混氫發電示範合作備忘錄（MOU），為盡速完成混氫發電示範計畫，確保後續可符合環保法規加嚴標準及持續穩定供電，擇定興達發電廠GT33氣渦輪機做為混氫示範計畫設備機組。電廠與原設備製造商西門子能源公司加速討論相關設備採購、建置及進度安排等工作，於同年11月14日簽訂採購契約，並於2023年2月18日在興達電廠舉行計畫動土儀式，預計該年度完成測試運轉，提前達標混氫 5% 發電示範。

西門子能源公司是全球前3大氣渦輪機製造商，台電興達電廠複循環一至五號機與南部火力發電廠一至三號機，皆使用西門子能源公司的氣渦輪機。此次示範機組型號為SGT6-2000E，藉由西門子能源公司混氫發電的技術量能，僅需在原有機組設備做些微升級改造即可進行試驗。

台電與西門子能源公司攜手合作，可直接引用其國際混氫運維經驗，透過其先進發展的混氫技術，加速達成示範目標。依執行計畫進度，已提前於2023年12月19日達成一台氣渦輪機混氫 5%示範目標，後續將依此成果，商討未來可能的運作模式。

氫能為未來電力淨零排放的主要能源選項之一，未來綠氫或藍氫將做為混氫發電之氫氣來源，本次試驗使用藍氫，由實際混氫運轉驗證發電製程中二氧化碳(CO_2)、氮氧化物(NOx)排放濃度差異性，可作為後續相關議題推動之參考依據。

本次示範計畫為避免對既有製程及設備進行大幅變動，並縮短計畫時程，係採臨時槽車運輸供料方式進行測試，故無法提供常態且長時間混氫所需，本計畫主要內容如下：

1. 試驗前置作業
   (1) 計畫研擬及核定。
   (2) 氫氣供應設施建置。
   (3) 氫氣減壓設備及混氫管閥模組建置(含管線、電氣、儀控、消防監測等系統)
   (4) 氫氣規格、供氣壓力確認與取得作業(與國內主要氫氣製造商研討採購、運輸與

供氫操作等相關發包作業)。

(5) 混氫運轉期間即時數據監測作業。

2. 混氫運轉及取樣

(1) 依現場設備運轉狀況，配合監測數據，由原廠技師調整最佳操作條件。

(2) 混氫運轉數據紀錄。

(3) 混氫/非混氫運轉前後燃氣排放取樣檢測與機組發電輸出檢驗工作。

3. 資料分析及效益評估

(1) 燃燒筒火焰穩定性及機組效能差異性分析。

(2) 二氧化碳(CO_2)氮氧化物(NOx)排放差異性分析。

(一) 混氫示範計畫發電流程

本次示範計畫發電流程架構如下：

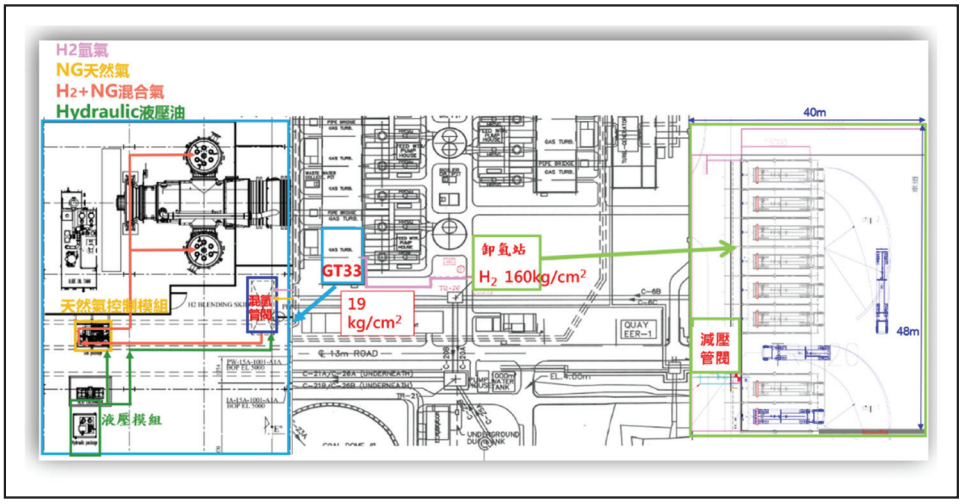


圖 37　混氫發電設備架構

圖 38　卸氫站

卸氫站(氫氣槽車供給高壓氫氣)→氫氣卸收管閥→減壓管閥設備→混氫管閥模組(H_2 Blending Piping & Valve)→氣渦輪機燃燒發電

混氫發電氫氣來源由氫氣槽車提供約160kg/cm²高壓氫氣，經由氫氣卸收管閥卸收氫氣，為了提供符合機組使用的氫氣壓力，高壓氫氣經減壓設備進行減壓並維持在約19kg/cm²的輸出壓力範圍，再由氫氣管線輸送到混氫管閥模組，將減壓後的氫氣在此模組內與現有發電使用之天然氣依所需比例進行混合後，進到氣渦輪機燃燒發電。(圖37~40)

(二) 混氫技術目的 - 降低天然氣發電碳排

上述混氫發電的規劃，其技術與淨零

圖 39　減壓管閥

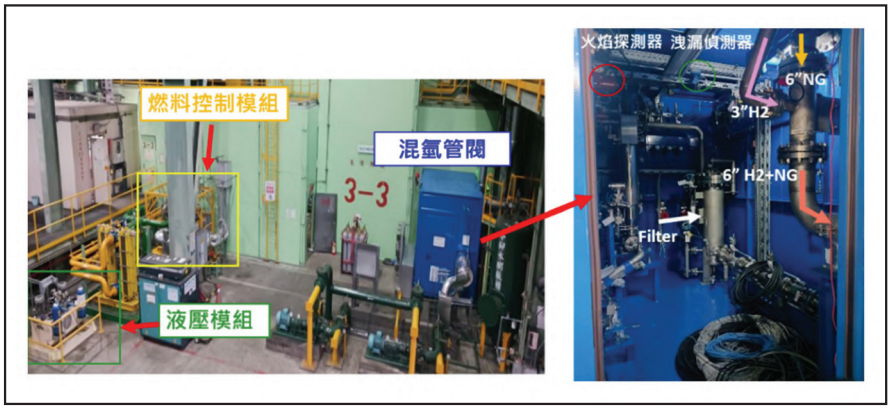


圖 40　混氫管閥設備模組

發電的關聯在於天然氣組成主要成分為甲烷（CH_4），燃燒發電會產生二氧化碳（CO_2），而氫氣則為H_2，燃燒發電只會產生水（H_2O）。因此，將既有燃氣發電的機組升級改裝，從原本全燒天然氣，改為混入部分氫氣的做法，就能夠降低二氧化碳的排放。儘管這項技術仍在發展中，目前僅以完成混氫5%作為示範目標，其應用潛力值得期待。

本廠於112年12月19日完成本次計畫目標，混氫5%滿載（105MW）發電，為確實分析在相同負載的條件之下，與純燒天然氣狀態下比對二氧化碳排放量，在排氣煙道裝設二氧化碳濃度探測器連接分析儀器進行取樣，純天然氣與混氫運轉比較，取得二氧化碳排放濃度數據由3.51%降至3.45%，再由排放煙氣的流量進行換算，可得到混氫5%滿載發電1小時可減少約1.278公噸二氧化碳排放。（圖41~43）

(三) 興達混氫發電未來展望

現行GT33氣渦輪機升級後，西門子能源公司評估可以混燒氫氣達15%，預估今年可以完成此相關測試工作，如測試結果符合預期目標，依照西門子能源公司針對此氣渦輪機型SGT6-2000E的設計與展望，再配合燃燒器元件的修改升級，混燒氫氣比例或許將可達到30%，但考量到後續氫氣來源、氫氣輸送管線建設及成本等挑戰，提高氫氣燃料發電的占比仍有很大的努力空間，氫氣來源必須是綠氫和藍氫才能真正達到淨零碳排的效果，而混氫發電現階段會增加成本，淨零和電價也是一個難以平衡的問題。

二十三、配電處 - 區域電網儲能計畫 5 處案場建置

過往政府機關及重要用電戶多自行建置

圖 41　排氣煙道二氧化碳探測取樣

圖 42　排氣二氧化碳濃度 (vol.%)

緊供發電機組以因應天災或事故時期用電需求，然而隨現代科技發展，各國陸續運用微電網技術，於特定地區建置「當地發電，當地使用」之小型電力系統，而台電公司進一步提出鄉鎮規模「區域微電網」，當上游輸電系統供電異常時，先將輸電線路切離，藉助併接於配電饋線之儲能系統的快速充放電能力，配合區域內太陽光電及發電機組，以作為建立配電饋線電網初期的穩定電壓源，並供應區域重點負載需求，待輸電系統正常運轉後恢復併聯。

台電公司112年已規劃於雲林雲港、嘉義新塭(圖44)、台南南化(圖45)、高雄美濃(圖

要輸入之數據 input data	負載 Loading	105.1	MW
	混氫前 without H2		
	流量 flow	926262	Nm3/hr
	CO2	3.51	vol.%
	混氫後 with H2		
	流量 flow	923826	Nm3/hr
	CO2	3.45	vol.%
CO2密度 CO2 density		1997	g/Nm3
計算結果 calculation result	減少CO2體積 reduced CO2 volume	639.8	Nm3/hr
	減少CO2重量 reduced CO2 weight	1277679.0	g/hr
	減少CO2重量 reduced CO2 weight	1.278	ton/hr
	減排係數 Emission reduction coefficient	12.157	g/kWh

圖 43　混燒氫氣 5% 減碳計算結果

46)及屏東新圍等二次變電所建置前述區域微電網，屬台灣首例由「集中式電網」逐步導向「分散式電網」之示範場域，相關示範功能如下，後續將滾動檢討後再擴大試辦：

1. 示範區域電網輔助系統全黑時提供局部供電運轉能力，建立配電級調度中心監控與遙控操作機制。
2. 蒐集非常時期配電饋線獨立運轉可能饋供範圍及態樣等相關資料，作為將來擴大推動檢討基礎。
3. 滾動檢討非常時期之配電饋線「供電區域分段」及「逐段加載」方式研議相對應之調度手段。

圖 44　嘉義新塭區域電網儲能計畫案場照片

圖 45　台南南化區域電網儲能計畫案場照片

圖 46　高雄美濃區域電網儲能計畫案場照片

二十四、台中供電區營運處 -69kV 霧峰 ~ 潭子線 #80~ 潭子 SS 電纜下地工程

(一) 緣起

本處6萬9千伏霧峰~潭子線#80~潭子變電所間線路建置於民國66年間，均符合輸配電設備裝置規則之規定。因該線路部分特高壓桿經過北屯路及潭子區台3線中山路旁住宅區，影響市容景觀及鄰近房屋造成民眾感電事故等諸多不安，為降低感電風險、減少民眾不安，爰本處編列計畫將6萬9千伏霧峰~潭子線#80~潭子變電所間特高壓電桿地下化。

(二) 困難點及解決之道

潭子區台3線中山路道路下方既設管線密集，已無足夠空間可供埋設管線及人孔，且挖路證申請取得困難。

藉由交通部台鐵局預計於北屯、潭子等區（鐵路大慶站～潭子站）高架鐵道旁用地，新設地方商場及停車場等多目標使用工程，乃規劃於高架鐵路下方埋設管路，銜接松竹路北屯路口及潭子區中山路之既設人孔、試通結構物，完成電纜地下化之預埋管路路徑。(圖47)

(三) 管路工法選擇

因工址地質良好、地下水位低，特高壓管路大多路段採傳統埋設型式：明挖並設置鋼板擋土或打設鋼軌樁後，直接佈置管路結構（點焊鋼筋網、預鑄管架、PVC管），並澆置混凝土及控制性低強度回填材料（CLSM）。

考量部分高架鐵路鄰近當地住家，本案於打設鋼軌樁時額外採用低震動、低噪音工法：鑽掘機先行打孔後，再植入鋼軌樁，以避免直接打設鋼軌樁造成噪音及震動汙染，降低對附近居民的影響。

(四) 特殊工法

1.人工隧挖工法：

因管路埋設路徑需橫越高架鐵路，有施工機具之高度限制，且避免開挖施工影響綠空廊道用路人之行進空間。同時為避免地下機械推進可能影響高架鐵路橋墩基礎之結構安全性，考量高架鐵路下方車載較小，地質良好之情況下，採用人工隧挖之免開挖工法。

本工法於工程起終點埋設工作井後，以人工打除配合1200mmΦ之預鑄混凝土管依次推進、組立，並組裝內部PVC管結構，最後於管內澆置混凝土，完成人工推進，同時最小化綠空廊道用路人之交通衝擊。(圖48)

2.小管推進工法

因管路路徑部分需穿越環中東路、既設

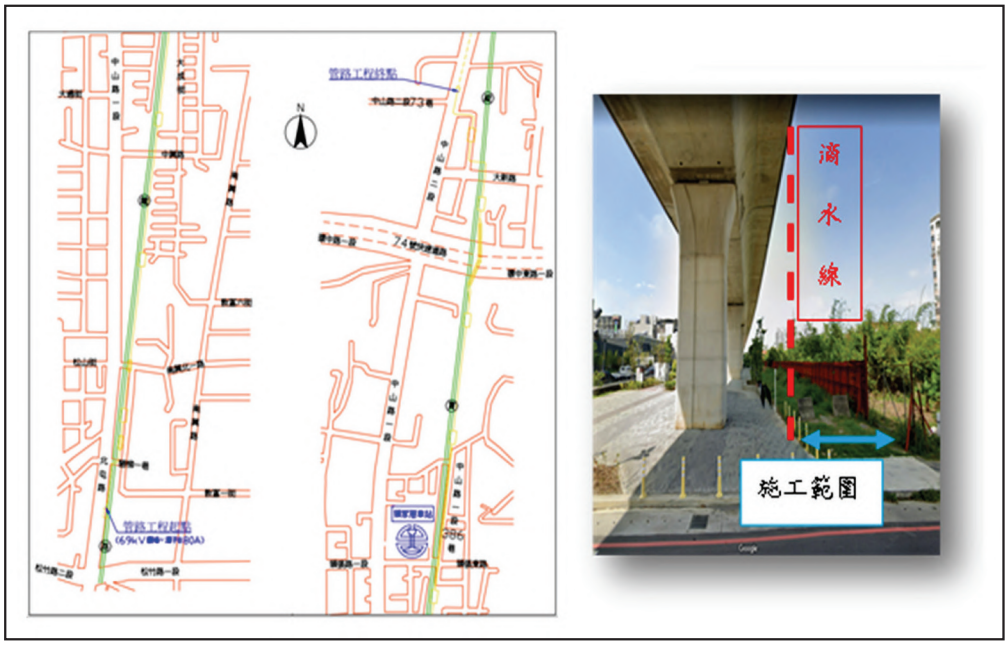


圖 47　管路工程施工範圍

圖 48　人工隧挖示意圖

公園、頭家厝車站等重要設施及道路，考量施工範圍有限（僅高架鐵路滴水外3公尺內）、既有地下管線佈密不易施工，本案採用免開挖之小管推進工法。

本工法採用600mmΦ之推進管，1支推進管可埋設4支PVC管路，以紅外線定位，遠端控制機械機頭，精準推進至目標工作井。此外工作井開挖範圍小，僅需約2.5公尺之空間即可施作，加上推進管徑較小，除了減少地下推進對路面造成之影響，也可節省施工空間。(圖49)

(五) 管路工程施工

施工期程：管路預埋工程自 111 年 7 月 25 日開工至 112 年 12 月 5 日完工，因應台中線務段規劃 112 年 6 月佈設電纜，主體工程管路部分於 112 年 6 月 13~14 日辦理分段查驗先行使用，以利電纜如期進場施工。(圖 50)

工法調整：由北屯區碧柳一巷至潭子區大新路口區間租用台鐵局高架橋滴水線東側範圍

圖 49　小管推進示意圖

施作管路。管路施作期間為避免破壞「臺中市養護工程處」既有綠空廊道景觀設施及電氣設備，由原先規劃明挖管路改以隧挖方式及推管方式貫通。

民抗處理及預防：施工範圍因位於潭子區及北屯區之交通要道，為避免交通壅塞、揚塵汙染等衍生事故造成民怨，承攬商於工程施工期間採以下方案大幅降低民眾陳情之抗爭事故，使工程順利如期完工：

1. 鄰近民宅區域擋土支撐採低震動、低噪音工法。
2. 各進出路口增派義交協勤指揮並積極配合路權機關相關路證取得。
3. 工址全幅鋪設防塵網，大幅降低揚塵及空氣汙染。

AC 路面範圍調整：因承租台鐵局高架橋滴水線東側用地範圍施作管路，原計劃於本處管溝施工範圍內鋪設 AC 路面，於 111 年 9 月 23 日立法委員楊瓊瓔國會辦公室辦理現場會勘時台鐵局反映，因高架橋滴水線東側土地與鄰界僅剩1~4m寬度長條形畸零地空間，考量未鋪 AC 部分雜草叢生不易維護；楊瓊瓔立委國會辦公室建請本處於高架橋滴水線東側土地與相鄰之畸零地空間一併鋪設 AC，以避免重複施工浪費公帑。本處於辦理 AC 鋪設時，配合台鐵規劃停車場一併於 112 年底鋪設 10cm 厚度 AC 路面。

人孔位置調整：新設M 18-8 人孔原計畫設置於中山路 108 巷路上，考量該巷道鄰近住宅店家、未來地下電纜維護不易等問題，於 111 年底與「臺中市政府停車管理處」協調，最終變更人孔位置於既設人行道上，以減少未來維護衍生之問題。

機電工程施工：112年6月15日進場施工，鐵配件安裝與管路試通已完成，112年7月3日開始電纜延放線，經完成現場延線、接續匣與終端匣組立及常數試驗，112年8月23日進行耐壓試驗、8月29日順利加入系統。(圖51)

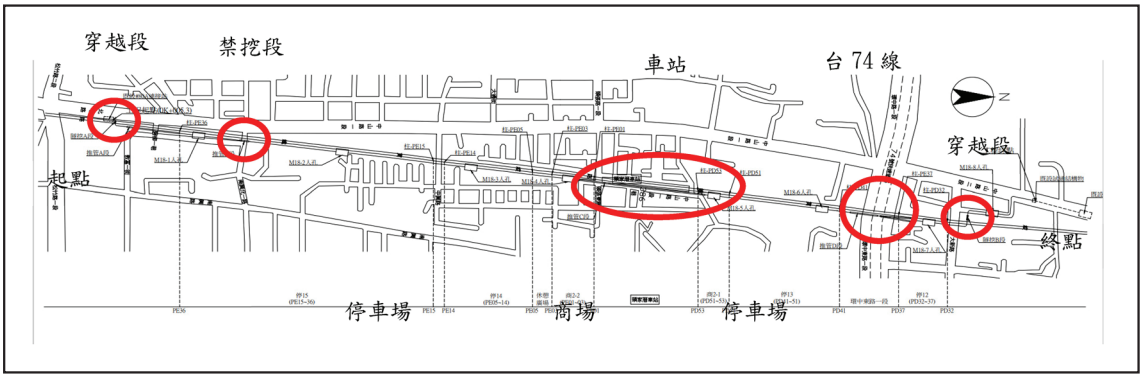


圖 50　管路施工示意圖

(六) 結語

本工程從規劃設計階段至現場施工，期間感謝所有參與同仁之努力與付出，尤其管路特殊工法(人工隧挖工法、小管推進工法)規劃與施工，並克服施工期程、工法調整、民抗處理及預防、AC路面範圍及人孔位置調整等現場困難點，使工程得以順利進行並如期加入系統，戮力完成上級交付任務。

另工程面施工感謝楊瓊瓔立委服務處積極協調交通部台鐵局、公路局等相關工程主辦機關，期間大力協助排除施工困難點，使工程得在短時間內完成。

本案施工完成後，除立即改善台中市北屯路及潭子區台3線中山路市容觀瞻，確保民眾生命財產安全外，更大幅提升台電公司企業形象。

二十五、台中供電區營運處 - 南投 ES#8 MTR 主變壓器汰舊換新工程

(一) 緣由

1. 為解決新北市蘆洲地區夏季尖載供電瓶頸，本處南投E/S #8 MTR相關變壓器設備於111年4月10日移設至蘆洲P/S提升蘆洲地區供電可靠度。
2. 南投E/S #6MTR變壓器為東芝製，服役至今39年，已逾使用年限30年，因電纜裂化、設備絕緣逐年老化且零件與備品不易取得，需優先安排汰換。因考量供電穩定，本處規劃優先增設南投#8MTR再進行#6MTR汰換工程，此做法可確保南投E/S在變壓器N-1的情況仍可穩定供電無虞。

圖 51　機電施工示意圖

(二) 供電單位十年設備汰舊換新計劃

本公司推動供電單位十年設備汰舊換新計劃，盤點已達汰換年限之設備，汰換老舊設備以提升供電可靠度及穩定性。由供電處統籌集中採購，台北供電區營運處協助辦理首批變壓器備品統購發包作業，納入採購新設南投E/S #8 MTR設備，於111年5月26日決標。

(三) 工程規劃

因變壓器統購案僅包含設備簡易安裝，為利南投E/S新設#8 MTR工程順利進行，本處變電設計部門另興辦「南投E/S #8 MTR安裝介面整合工作」。新裝設變壓器一、二次側架空引線、控制盤面及控制電纜等，如圖52所示。考量南投E/S變壓器基礎已使用近40年且新購變壓器重量較舊品重約1200公斤，故規劃基礎拆除重建，搭配相關機電安裝配

表 2　南投 E/S #8 MTR 工程金額

項目		決標金額
材料	南投 E/S #8 MTR 變壓器 1 具	98,066,000 元
安裝	南投 E/S #8 MTR 安裝介面整合工作	17,500,000 元

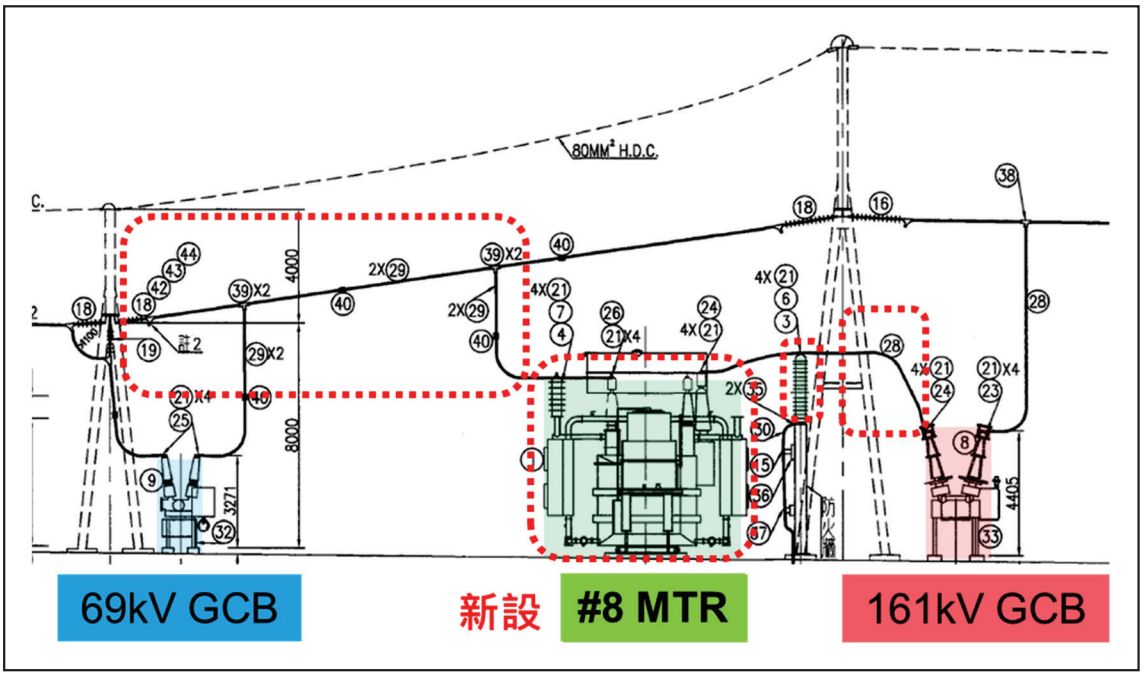


圖 52　南投 E/S #8MTR 安裝配套工作示意圖

套工作等，以確保#8 MTR加入系統順利。

南投E/S所內用電採雙電源設計，其所內用電分別引接自#2ATR三次側及#6MTR三次側。考量未來#6MTR汰換將造成所內單電源長達8個月，為避免前述風險，在設計#8MTR汰換階段，規劃將所內電源由#6MTR改成引接自#8MTR。此方法可降低#6MTR汰換造成所內單電源之風險，所內單電源時程可由原8個月大幅縮短為15日，落實風險管控理念。

(四) 工程執行

南投E/S #8MTR變壓器增設工程於112年8月7日辦理工程開工;同年8月29日辦理變壓器驗收，隨著土建基礎拆除重建、現場相關設備更新及變壓器現場組裝皆已完成(如圖53、54、55所示)遂由本處試驗部門、接管部門及綜合研究所接手，戮力執行設備會測點交、竣檢查驗、弱點改善等，使本案於113年2月27日完工加入系統。

(五) 工程特色

南投E/S 增設#8MTR變壓器為首批供電處統籌購買，且為供電單位統購案中第一台加入系統之變壓器，相當具有指標性。

(六) 結語

變電所老舊設備汰舊換新完成後，可降

圖 53　變壓器基礎重建圖

圖 54　變壓器現場裝機圖

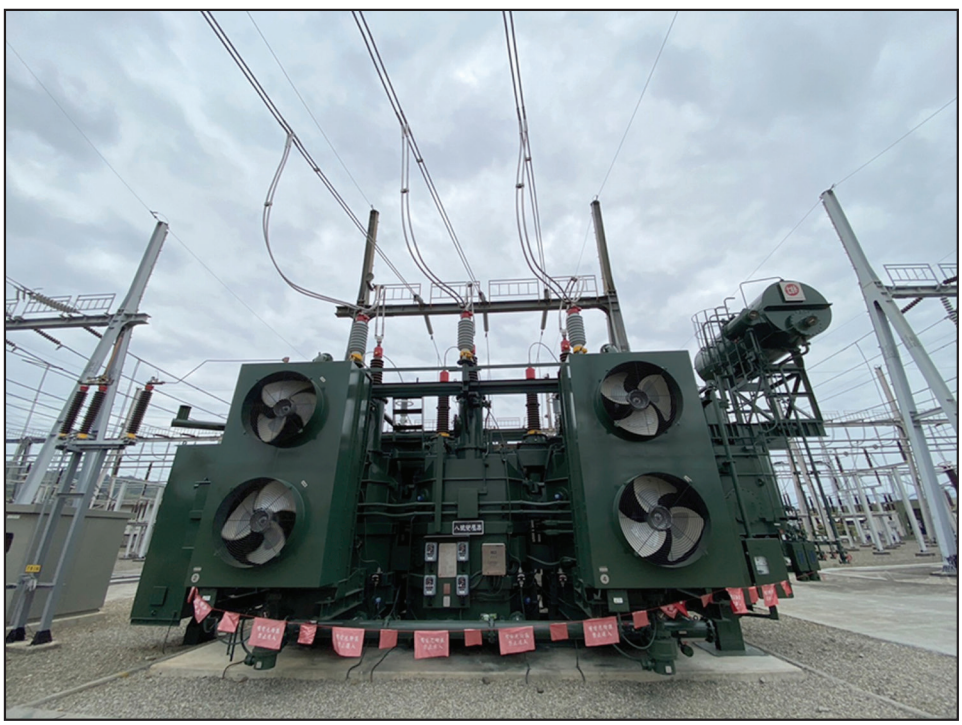


圖 55　南投 E/S #8MTR 變壓器完工圖

低設備故障發生機 ，提升供電穩定性與可靠度，滿足用電戶期望，為客戶創造利益。

二十六、台中供電區營運處 - 彰一開閉所離岸風力發電併網現況

台灣海峽是全球最佳風場之一，彰化外海更匯集本島最大風能，成為政府發展離岸風電重要場域，經濟部於106年8月核定併公告「彰化離岸風電海纜上岸共同廊道範圍」，北側在彰濱崙尾工業區，南側在芳苑，均可容納多條海纜上岸。本公司配合規劃新設北側廊道的彰一開閉所(以下簡稱彰一S/Y，圖56)、彰工升壓站，南側廊道的永興開閉所、彰埤開閉所，以及因應併網所需之345kV、161kV相關電力網增設工程，以滿足彰化地區離岸風電業者併網需求。

開閉所等電力設施是離岸風電的要接點與樞紐，本公司為配合政府發展再生能源政策，規劃首先於離岸風電併網熱區的北側廊道興建彰一S/Y，提供彰化地區大量離岸風電併網需求，是離岸風電併網關鍵工程，蕭副總經理於工程進行期間多次蒞臨工地現場關心工程進度(圖57)，彰一S/Y相關變電設備已於110年6月19日併聯試運轉完成，並於111年11月1日取得能源局核發電業執照。彰一S/Y規劃成彰一(甲)、彰一(乙)、彰一(丙)三區(圖58)，可提供最高2.5GW併網量，目前規劃量達2.33GW，與經濟部遴選容量規劃2.4GW相

圖 56　彰一開閉所

圖 57　蕭副總經理蒞臨工地現場

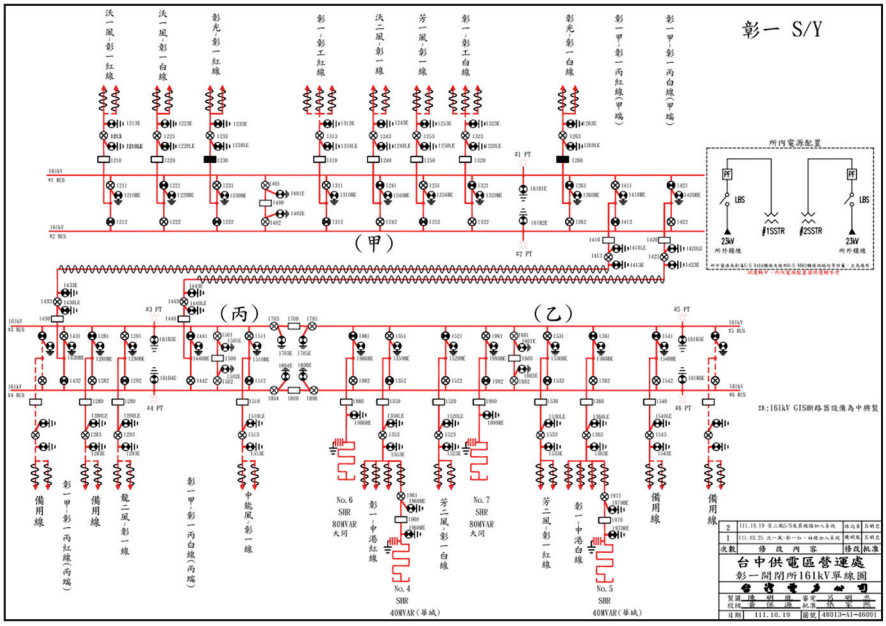


圖 58　彰一 S/Y 規劃成彰一 (甲)、彰一 (乙)、彰一 (丙) 三區

近，佔全國遴選離岸風力發電量60%以上(圖59)，至113年3月加入系統量已達1.26GW，透過持續能源轉型與潔淨再生能源的積極發展，逐步實現低碳電力時代，邁向2050年淨零排放目標。

彰一 S/Y 離岸風力發電案場配置如下：

(一) 甲區 (1GW):

案場名稱	規劃量	陸上變電站加入時間	目前加入量
沃一風	605.175MW (8.069x75)	111 年 03 月 25 日	572.899MW (8.069x71)
沃二風	294.768MW (8.188x36)	111 年 01 月 21 日	294.768MW (8.188x36)
芳一風	96MW (9.6x10)	111 年 03 月 18 日	96MW (9.6x10)

(二) 乙丙區 (1.5GW):

案場名稱	規劃量	陸上變電站加入時間	目前加入量
芳二風 (含西島)	499.2MW (9.6x52)	111 年 10 月 19 日	297.6MW(9.6x31)
中能風	294.5MW (9.5x31)	113 年 02 月 01 日	0
海龍二 (A)	294MW (14x21)	預計 113 年下半年	0
離岸二期	294.5MW (9.5x31)	預計 113 年下半年	0

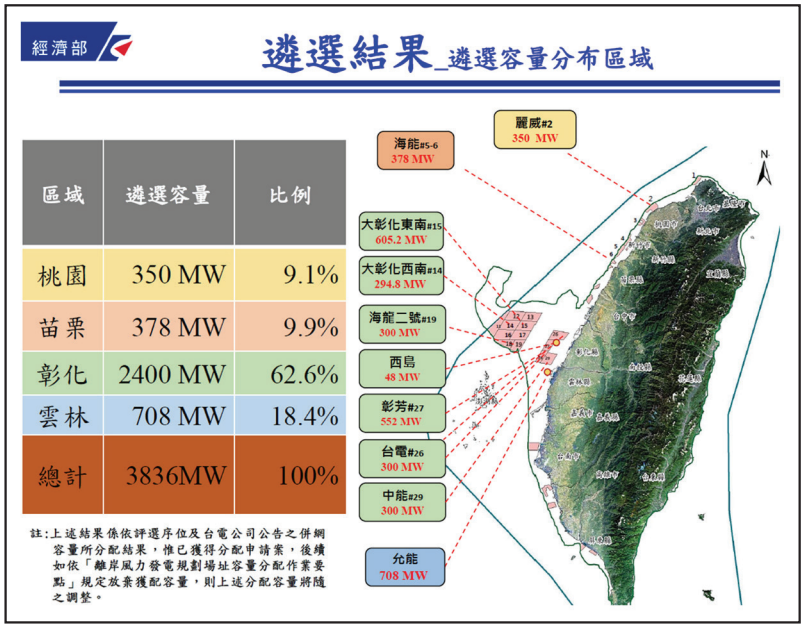


圖 59　經濟部遴選結果

二十七、嘉南供電區營運處 - 因應豐德電廠二期山上一次變電所增設工程

為配合「豐德二期增建計畫」，本處相關工程有「山上一次變電所匯流排及終端設備增設工程」及「161kV 山上～三竹三回線新建工程」，共計增設12個檔位(山上一次變電所端三竹一、二、三路、豐德一、二、三路及1600、1700、1800；三竹一次配電變電所端山上一、二、三路)之161kV氣封開關設備，其遮斷容量為 50kA、額定載流量為4000安培。完成後豐德二期提供的電力可直供至三竹一次配電變電所，對南科園區的供電可靠度有很大助益。

「山上一次變電所匯流排及終端設備增設工程」於111年5月29日土建開始施工，並配合水土保持計劃總共分三期施作(圖60)，為了減少停電次數，本次採用圍型樁工法施工(圖61)，土建設施建置完成後基樁不用再拔出，同時震動也比較小，可降低運轉中設備誤動作(圖62)。由於打樁的位置很靠近161kV匯流排，為顧及人員及設備安全，因

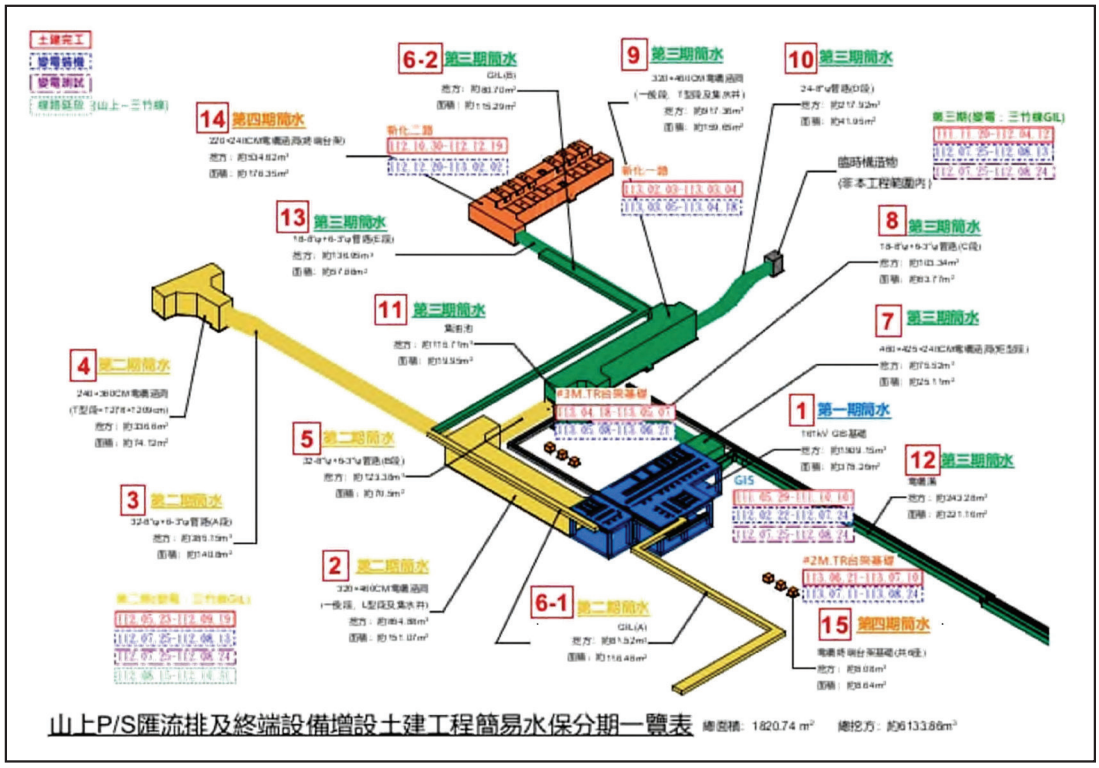


圖 60　山上一次變電所水土保持分期表

此匯流排必須要停電，可能影響豐德電廠發電約100萬瓩，故依本公司三層五級風險重要度分級表列為第四級。須落實的風控作為如停復電操作時課長級以上主管需在現場監護，操作完成須圍妥紅藍帶，並於控制室盤面及LCC開關箱針對關鍵管制點懸掛管制卡(圖63、圖64)、關閉控制電源等，區分有電無電介面；停電施工中加強運轉中設備紅外線測溫及 單位間橫向聯繫等工作。

另豐德電廠於112年6月17日~25日進行管路作業，須全廠停機，因夏月負載較重(預估平日夜尖峰負載為3738萬瓩)，經評估龍崎北轄區N-0有相關設備超載風險，電網須採取預防性措施，即併用南科與龍崎北轄區分界點(豐華及道爺)、並考慮故障電流啟斷南科超高壓變電所間隔斷路器後，可避免下一個N-1 事故達危害，事故後須採取的矯正性措施為停用龍崎~山上、二甲四路並移撥南積八

圖 61　山上一次變電所匯流排及終端設備增設工程採用圍型樁工法施工

圖 62　山上一次變電所匯流排及終端設備增設工程土建施工

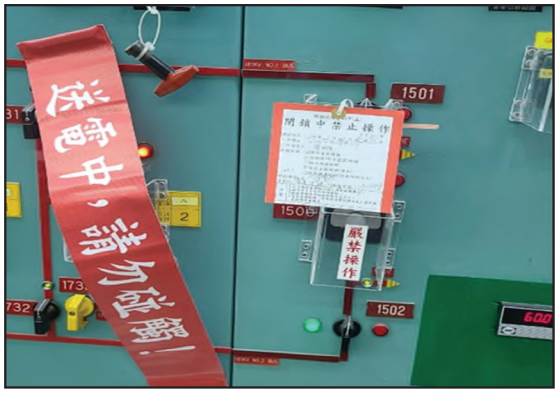


圖 63　控制室盤面關鍵管制點懸掛管制卡

圖 64　LCC 開關箱關鍵管制點懸掛管制卡

負載。惟併用豐華及道爺分界點將造成南科大用戶發生電壓驟降之風險提高，影響南科園區用戶電力品質。且豐德全廠停機期間，如再安排龍崎~山上、二甲四路停電工作，發生下一個 N-1 事故仍有設備超載(未達危害)，須於事故後進行與上述相同之矯正性措施，則不會造成系統額外瓶頸但會有變電所單 回線供電之風險。

在豐德電廠、南區施工處及嘉南供電區營運處全體努力下，豐德二期開關場及電源線於112年10月21日完成加入系統，機組升壓變壓器於112年12月5日加入系統；本公司山上一次變電所已配合於 112年8月30日完成變電設備增設，提供豐德開關場受電；三竹一次配電變電所變電設備增設於113年1月19日完成加入系統。電纜工程部分電纜延線總共完成14.5公里，接續共828組，於113年1月6日完成電纜耐壓試驗。本工程總裝置容量可達110萬瓩，預計113年4月試運轉及113年5月加入南科供電行列，並於113年6月商轉，提高南科園區供電穩定性。

循環經濟與永續發展 - 專輯序言

中國鋼鐵股份有限公司生產部門副總經理 / 陳守道

近年來由於全球氣候暖化、環境汙染與資源匱乏，使得循環經濟與永續發展的議題逐漸受到關注，循環經濟的理念強調將資源視為寶貴資產，追求在生產、使用和處理階段實現最大程度的再生利用，而永續發展的關鍵是讓生產與消費活動不造成自然資源耗用與環境衝擊。在人類面對環境變遷迫切需要改變傳統經濟發展模式時刻，循環經濟與永續發展已成為現今企業與社會面臨的共同使命，各個產業正紛紛嘗試創新的循環經濟模式，實現資源的永續運用與減少對環境的衝擊。透過這種創新方式，不僅有效降低了生產成本，更實現了資源的高效利用，為企業經營注入了新的活力，更成為推動產業轉型的重要推手。本期「循環經濟與永續發展」專刊共收錄了七篇有關此議題的論文，闡述鋼鐵、石化與水泥等產業在循環經濟的創新實踐及獨特貢獻。

第一篇論文是中鋼公司王俊修等人所撰寫的「中鋼在循環經濟的創新作為與未來展望-鋼化聯產」，鋼化聯產為跨鋼鐵和石化兩大產業碳資源整合之新合作減碳模式，中鋼公司將鋼化聯產列為中期減碳的關鍵策略，已於2022年完成第一階段先導工場建置，奠定了技術基礎，預計在2030年達到減碳24萬噸目標，並於2040年實現大規模應用，最終達到年減碳290萬噸目標，以持續實踐循環經濟之理念。

第二篇論文是中宇環保公司吳依貞等人所撰寫的「循環經濟與永續發展-耐火材料再生利用」，耐火材料在高溫工業領域中扮演著不可或缺的角色，然而其過度使用和廢棄也對環境帶來了不小的負擔，因此耐火材料再生利用也是循環經濟中不可忽視的一環。中宇公司透過技術創新和工藝改進，成功實現了將廢棄的耐火材料轉化為高質量再生產品的目標，這種循環利用的模式不僅為企業帶來經濟效益，更降低了對自然資源的需求，實現了資源的循環運用。

第三篇論文是中鋼碳素公司陳柏欽等人所撰寫的「從循環經濟做起，推出綠能與半導體領域的關鍵特種碳材」，中鋼碳素公司協助母公司中鋼將副產品循環利用，開發高值化碳材料，推出鋰離子電池用負極石墨粉、超級電容器用活性碳、化合物半導體用高純碳粉及等方性石墨塊材等碳材產品。不僅補足國內能源產業及半導體產業的供應鏈缺口，強化國內產業之供應鏈安全，也為公司創造獲利來源，真正落實循環與經濟並重的永續發展模式。

第四篇論文是中聯資源公司陳皇甫等人所撰寫的「轉爐石應用於瀝青混凝土之循環經濟」，轉爐石為一貫作業煉鋼廠轉爐煉鋼製程所產出之副產品，具有硬度與抗壓強度高等特性，可用於取代瀝青鋪面道路中之天然砂石，不僅可減少天然砂石開採造成之環境破壞，其性能更優於原本之天然砂石。轉爐石應用於瀝青混凝土除了擁有節省工程成本、提升道路品質及環保節能減碳等優點，並能貫徹循環經濟理念，減少對自然資源之開採。

第五篇論文是台塑企業何欣怡等人所撰寫的「台塑企業致力於節能減碳及循環經濟，邁向永續發展之路」，我國環境部將2050年淨零排放納入法規，企業面臨生存的壓力越來越嚴苛，不但要面對政府嚴格法規，也要面對投資機構、下游客戶、環保團體及貿易夥伴的減碳要求，節能減碳議題已由技術層面轉化成攸關企業生存永續經營之挑戰。台塑企業將永續發展融入營運策略中積極推動，務期朝淨零排放、碳中和目標努力，以達到企業永續發展，並與地方共存共榮。

第六篇論文是台泥公司張耀元等人所撰寫的「水泥產業循環經濟分享」，水泥產業作為建築業的支柱之一，其在循環經濟中的重要性也不容忽視。台泥集團不斷精進實踐循環經濟，協助解決環保問題，讓廢棄物再利用，作為水泥業的替代原料和替代燃料，減少水泥製程的碳排放，進而可生產出更多低碳建材，為營造和建築業建構低碳建築物，共同為2050淨零建築而努力，建構循環永續與韌性的城市基礎，延續與地球之共融美好。

第七篇論文是遠東新世紀公司林湘琴撰寫的「PET的循環經濟：回收、創新、永續之路」，隨著環保意識抬頭，全球越來越關注消費模式對環境的衝擊。全世界每年製造龐大的塑膠廢棄物，相關產業必須發展循環經濟，朝向零廢棄物和淨零碳排的未來前進。PET是目前最為廣泛使用的塑膠材料之

一，文中探討PET產業如何在永續設計的概念下，開發創新回收技術和導入可再生原料以取代石化來源，並且分享遠東新世紀之跨產業合作和共享資源的經驗，來說明產業須構建更廣泛的循環經濟體系，才能邁向循環經濟大道。

透過這一系列的文章，我們深刻了解到各個產業在循環經濟與永續發展中的努力和創新，這不僅僅是一場產業的變革，更是對未來世代的承諾。期望本專刊能拋磚引玉，激勵更多企業加入循環經濟和永續發展的行列中，共同建構一個可持續發展的世界，攜手共創美好的明天。

中鋼在循環經濟的創新作為與未來展望－鋼化聯產

中國鋼鐵股份有限公司研究員 / 王俊修
中國鋼鐵股份有限公司工程師 / 賴志敏

關鍵字：鋼化聯產、碳捕捉與再利用、碳中和、循環經濟

摘要

面臨日益嚴重的氣候變遷與環境議題，鋼鐵產業推展減碳工作已刻不容緩。「鋼化聯產」為跨鋼鐵和石化兩大產業「碳資源整合」之新合作減碳模式，為可行之循環經濟兼具減碳效益之實踐方案。鋼化聯產已列為中鋼公司減碳之中期方案，規劃分三階段推展，已於2022年完成第一階段鋼化聯產先導工場建置，建立關鍵之生產技術，現同步規劃第二階段示範場之推展作業，目標於2030年減碳24萬噸，最終目標於2040年前實現大規模應用，年減碳目標290萬噸。藉由鋼化聯產之創新方式，中鋼將持續實踐循環經濟之理念。

前言

過去數十萬年間地表的二氧化碳濃度約略維持在300 ppm以下[1]，然而自18世紀工業革命以來，耗用了大量石化燃料造成環境中的二氧化碳濃度不斷升高，大自然的碳循環平衡已被打破，二氧化碳濃度已達400 ppm以上[2]，且未見緩和，根據經濟合作暨發展組織（Organization for Economic Cooperation and Development，OECD）的報告指出，若不積極減少溫室氣體排放，2050年溫室氣體的總濃度將會攀升至700 ppm，到了2100年更可能會超過1000 ppm[3]；如今，海平面高度已較1880年高出20 cm以上[4]，若不積極減少碳排放，極端的預測結果指出，到了2100

年，海平面上升高度將超過至少1 m以上，全世界低窪的沿海區域將被海平面所淹沒[5]，威脅到人類之生存權，全球面臨著日益嚴重的氣候變遷與環境議題，減碳已刻不容緩。

目前已有許多國家宣示2050年達到碳中和，並有許多積極之政策作為如:將溫室氣體管理入法、進行碳定價[6]、徵收碳邊境稅[7]等，此碳中和趨勢將直接衝擊企業之競爭力及生存，如何降低產品碳排強度為目前企業之重要課題。鋼鐵產業為全球最主要的碳排放行業之一，肩負著重要的減碳責任，IEA建議鋼鐵業實踐大規模減碳需仰賴氫能煉鐵及碳捕捉、再利用與封存（Carbon Capture Utilization and Storage，CCUS） [8]。CCUS是國際間競相發展之淨零排放重點技術，IEA預期碳捕捉量將於2030年成長至16億噸、2050年進一步擴大至76億噸；其中95%的量作封存處置，5%的量為再利用。

一貫化作業鋼廠在冶煉過程會伴隨著副產燃氣產生，如煉焦爐乾餾焦碳過程所產生之焦爐氣（COG）、高爐還原鐵礦煉製鐵水時所產生之高爐氣（BFG）、以及轉爐吹煉鋼液時產生之轉爐氣（LDG），生產流程如圖1所示。為了提高能源使用效率，這些副產燃氣目前多回收用於燃燒作為能源供應，如製程供熱或於動力工場進行氣電共生，而80%以上碳源最終是依附於副產氣中排放。副產燃氣碳濃度高，故若能於燃燒前進行捕碳再利用，則有機會成為應用CCUS之減碳路徑。

焦爐氣、高爐氣、轉爐氣主要成分為氫氣、一氧化碳、二氧化碳、甲烷等，詳如表1所示。焦爐氣氫氣濃度約60%，而高爐氣和轉爐氣內之一氧化碳濃度分別達23%及

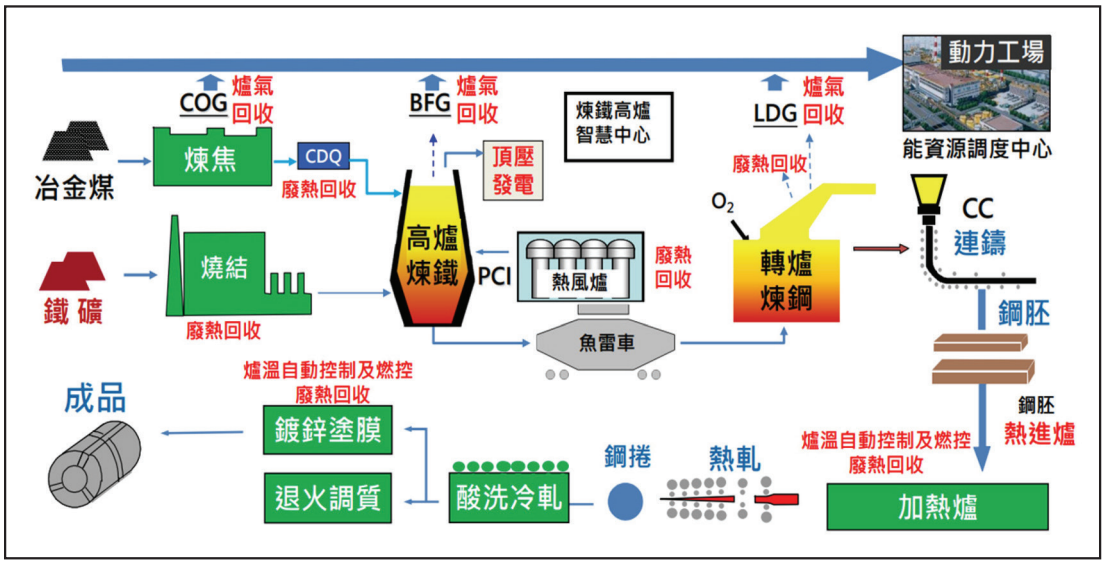


圖 1　中鋼一貫作業生產流程示意圖

表 1　副產燃氣組成表

	焦爐氣 (%)	高爐氣 (%)	轉爐氣 (%)
H_2	60	4	1
CO	6	23	60
CO_2	2	23	21
N_2	3	50	18
CH_4	26	-	-
C_nH_m	3	-	-

60%，副產燃氣中以高爐氣量體最大，而可燃之成分以一氧化碳為主，意味著目前一貫作業鋼廠係以一氧化碳作為主要燃料。然而一氧化碳熱值低且碳排高（一氧化碳之碳排係數為天然氣和目前電力碳排係數3倍），事實上並不適合做為燃料，所幸一氧化碳具有一定經濟價值，若可提取上述副產燃氣中之一氧化碳供石化業做為原料進行高值化應用，而能源缺口則導入低碳燃料或是電力，則可達到減碳及創造經濟價值之效果，此為鋼鐵業與石化業聯合生產之「碳資源整合」應用概念，稱為「鋼化聯產」。鋼鐵和石化業皆是碳排強度高的重工業，將鋼鐵和石化產業之碳資源進行整合應用為創新之雙贏策略，為鋼鐵企業提供了一種循環經濟耦合發展的模式，所帶來的社會效益亦不容忽視。本報告將針對此創新循環經濟之模式「鋼化聯產」進行說明，並介紹中鋼於此領域之規劃與目前發展近況。

一、鋼化聯產介紹

傳統石化製程須仰賴進口石化原料以合成化學品，以常見的甲醇或碳醋酸為例， CO或CO_2為生產此類化學品所需之原料，石化廠須設置產氣製程將石化原料（如石油、天然氣、煤等）進行氧化裂解生成CO或CO_2，以合成所需之化學品，如圖2傳統石化路徑所示。然而一貫作業鋼廠冶煉過程與石化廠之產氣製程非常相似，副產燃氣富含CO/CO_2（如高爐氣和轉爐氣），可取代傳統石化產氣製程，改由鋼鐵冶煉過程產出之CO/CO_2

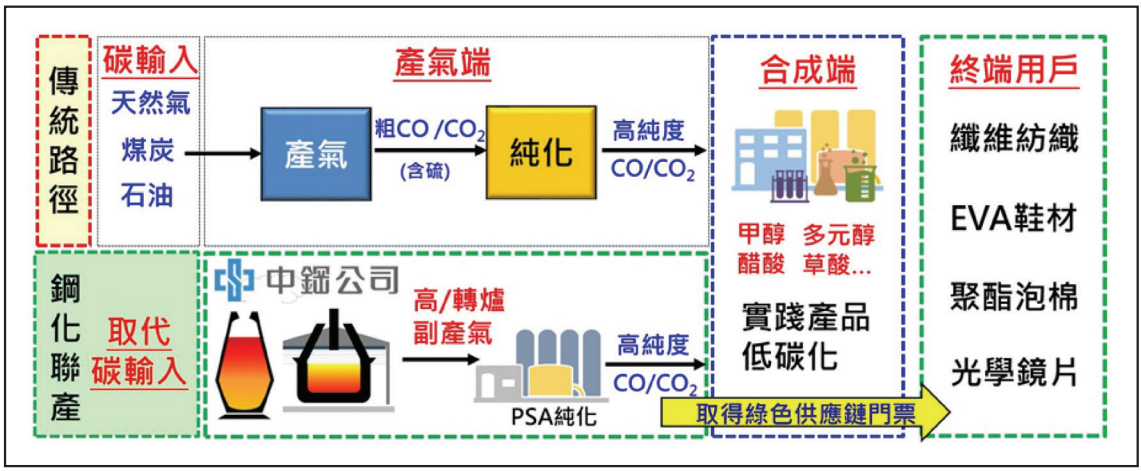


圖 2　鋼化聯產與傳統石化路徑比較

供應化工廠（如圖2鋼化聯產路徑所示），此替代路徑即為鋼化聯產之生產合作模式。藉由此碳資源整合方式，除可讓鋼鐵廠減碳之外，亦可協助石化業降低對石化原料之依賴，且產氣端製程之取代亦可降低石化原料生產之碳排，使兩產業產品低碳化，創造跨產業整合之減碳及共利雙贏格局。鋼化聯產有機會為短期內可協助鋼鐵與石化兩大碳排產業減碳之方略，藉由碳資源整合實踐循環經濟理念，創造新低碳經濟產業鏈，化減碳危機為轉機。

近年來已有許多鋼廠發展鋼化聯產成功之商轉案例，如中國達鋼利用焦爐氣和轉爐氣生產甲醇（50萬噸/年）和二甲醚（20萬噸/年）、石橫特鋼利用轉爐氣生產甲酸(20萬噸/年）和草酸（5萬噸/年）、晉南鋼鐵生產乙二醇（30萬噸/年）、首鋼和比利時ArcelorMittal分別利用轉爐氣及高爐氣生產乙醇4.5萬噸/年和6.6萬噸/年，湛江寶鋼則由COG取氫供中科煉化進行煉油應用、韓國浦項鋼廠（POSCO）利用COG取氫與韓國OCI化學公司合作進行雙氧水之合成等，顯示鋼化聯產應用已具備技術及經濟之可行性。

除商轉之案例外，亦有許多研發中之專案，特別是針對二氧化碳再利用，如德國鋼廠ThyssenKrupp之Carbon2Chem專案，主要係將鋼廠副產氣中之一氧化碳和二氧化碳轉化成尿素、甲醇與甲烷等，並以相關技術做為公司未來對外減碳服務業務之基礎。ArcelorMittal公司提出鋼廠副產燃氣高值化之減碳應用研發計畫，如與陶氏化學公司（Dow chemical）合作發展CO合成石腦油（Naphtha）作為聚合物原料之Steel2Chem計畫、與科思創（Covestro）等公司合作發展CO/CO_2合成聚氨酯之Carbon4PUR計畫。日本鋼廠Nippon Steel則是研發二氧化碳捕捉及再利用之技術，主要與學界合作，目前仍處於實驗室研發階段，如與日本富山大學（Toyama University）合作開發二氧化碳合成甲醇及柴油技術及合成對二甲苯技術、與大阪市立大學（Osaka City University）合作開發二氧化碳合成聚碳酸酯技術。日本鋼廠JFE主要是發展二氧化碳轉換為甲醇、甲烷之技術，如與日本碳捕捉與再利用CCR（Japan's Carbon Capture & Reuse）研究會開發的CO_2合成甲烷技術、與地球環境產業技術研究機構（Research Institute Of Innovative Technology For The Earth，RITE）合作開發CO_2合成甲醇技術。而JFE預計於東京都三鷹市及調布市的焚化爐展開二氧化碳捕獲裝置實場驗證，規劃用於合成甲烷及甲醇。此研發專案皆是將鋼廠排放之碳源轉換為化學品之概念，亦屬於鋼化聯產之應用概念，由這些發展方向不難看出鋼鐵業發展CCU之重點將擺在副產燃氣之應用，顯現鋼化聯產對於鋼鐵業減碳之重要性。

二、鋼化聯產之發展機會

中鋼公司多年來致力於推展循環經濟，區域能資源整合就是非常成功之案例。中鋼

廠區地處高雄小港臨海工業區，周圍有許多石化、鋼鐵等公司，恰可利用地利條件之優勢，以管線輸送中鋼熱回收產生之蒸汽至合作廠家，這種資源整合的模式讓合作公司不需再額外花費原料成本或投資重複性的生產設備，並可讓中鋼公司的廢熱或製程得以最大化利用，共創區域性減碳及降成本之雙贏模式。中鋼公司亦產多項工業用氣體與工業區內鄰近工廠互通，同時亦從中油、中石化等購入燃料、氫氣等，不僅提高能源使用效率、減少資源耗用、降低區域內污染排放及達到溫室氣體減量等目的，亦有效降低環境衝擊和改善環境品質。

鋼化聯產實施的必要條件是鋼鐵和石化廠必須緊鄰，中鋼所處臨海工業區恰具此條件，周圍圍繞許多石化廠，此為國外鮮少有的地利條件優勢。中鋼拓展前述理念和經驗到碳循環，規劃建立「區域碳資源整合-鋼化聯產」，與周圍石化業合作，藉由管輸供應CO/CO_2作為生產所需的碳原料，並經合成為化學品，例如甲醇、醋酸…等，達成固碳效果。此外，臨海工業區周圍有洲際碼頭，具有物料進出口之便，以及政府未來於此區新材料循環園區之規劃，以台灣完整的石化上下游產業鏈體系及技術優勢，有機會在此地區建構成新低碳供應鏈體系，協助石化業轉型，後續鋼化聯產放大應用之機會可期。

中鋼公司已於2021年2月成立「節能減碳及碳中和推動小組」，並擬訂鋼化聯產為公司減碳策略。中鋼分三階段推動鋼化聯產，第一階為建立「鋼化聯產先導工場」，此階段主要是與工研院合作建立相關鋼化聯產生產技術，預計減碳量達4900噸/年。第二階段規劃於2030年前建立「鋼化聯產示範工場」，目標減碳量為24萬噸/年；第三階段配合新材料循環園區之規劃，期望2040年擴大規模建立「鋼化聯產商業場」，目標減碳量為290萬噸/年，相當於7,450座大安森林公園的二氧化碳吸納量，並協助石化業形成低碳化學品產業鏈，盼透過兩大產業攜手，掌握減碳新商機，共同朝淨零碳排的目標邁進，「既做環保同時創造利益」，化減碳危機為轉機與商機。

三、中鋼公司於鋼化聯產進展

3-1 關鍵技術介紹

「鋼化聯產」之應用關鍵為鋼廠副產氣內之一氧化碳分離純化技術。目前已可商轉的一氧化碳純化技術有變壓吸附法（Pressure swing adsorption，PSA）、化學吸收法、膜分離法與深冷法等四種[9]。其中的膜分離法無法取得高濃度品質之一氧化碳，而冷凝法不適用於分離含有氮氣的氣源，故只有PSA和化學吸收法是可行之技術。然而化學吸收法是利用含銅的離子吸收劑，雖可獲得高濃度一氧化碳，但具有高腐蝕、廢水處理及吸收液之硫化物耐受性差與投資成本高之問題[10]。近15年因PSA吸附劑技術有所突破，可

表 2　一氧化碳分離純化技術比較表

	深冷法	膜分離法	化學吸收法	變壓吸附法
分離原理	利用沸點差異	利用分子大小差異	利用化學親和性差異	利用不同壓力下的飽和吸附能力差異
生產成本	中	低	高	中
CO 純度	>99%	~90%	>99%	>99%
技術限制及問題	氮氣 /CO 無法分離	雜質限制	雜質限制、廢液處理及腐蝕問題	廢吸附劑處理
鋼廠副產燃氣分離適用性	不適用 (氮氣濃度過高)	不適用 (CO 產品濃度不足)	可適用	可適用

以低成本方式產出高濃度品質的一氧化碳，故PSA已逐漸成為此技術的主流，相關技術比較整理如表2。

吸附劑選用為PSA分離一氧化碳之關鍵，PSA是藉由與一氧化碳具有親和性之物質（如分子篩、沸石、金屬有機骨架等）作為吸附劑[11]，於適當的加壓環境條件下，透過分子間作用力（如凡得瓦力或靜電力），將一氧化碳分子由氣體中捕捉到吸附劑上，當吸附飽和時將壓力轉至常壓或真空，讓捕捉的一氧化碳自吸附劑上脫附，達到分離純化及再生吸附劑的效果[12]。若氣體中富含有氮氣，一般分子篩對於一氧化碳和氮氣之分離選擇率並不高，通常需要經過兩段PSA製程方可產出高純度一氧化碳，但通常一氧化碳之回收率都不高。為提高一氧化碳和氮氣之分離選擇率，利用單價銅改質之吸附劑為目前較可行之材料[13]，單價銅對於一氧化碳具有弱化學性吸附，可大幅提高選擇率，此類改質吸附劑於富含氮氣下，依然可得到純度98%以上的一氧化碳，及回收率大於90%之效能[14]。

除吸附劑外，PSA另一關鍵技術為操作程序之設計。PSA最簡單的操作程序為二塔四步驟，主要源自Skarstrom Cycle[15]，步驟包含加壓、產氣、逆向減壓和沖洗步驟。後續為提高產氣濃度及回收率，或是針對強吸附相提純之需求，PSA開始出現“多塔、多步驟”之操作及設計方式[16]，目前常見的增進操作方式有[17]：(1)真空脫附：利用抽真空的方式來代替低壓沖洗，增加強吸附性物質的回收；(2)同向減壓：此步驟的主要目的為提高塔內強吸附物質在固相及氣相的濃度，可在進行逆向減壓步驟時得到含較高濃度強吸附物質的產物，並間接提高弱吸附物質的回收率；(3)強吸附物質的高壓潤洗（Rinse）：利用含高濃度強吸附成份的氣體在高壓下沖洗吸附塔，增加強吸附物質的產物濃度。中鋼公司於鋼化聯產合作屬於扮演供氣之角色端，掌握PSA技術為所需之關鍵工作，故中鋼公司成立公司級專案計畫進行相關技術

研發，並結合工研院團隊及學界技術能量，以厚實所需之基盤技術。

3-2 實驗室基盤技術建立

中鋼公司於實驗室建立雙塔PSA實驗平台（如圖3）所示，用於篩選及比較吸附劑性能，並建立吸附劑之PSA操作程序資料庫，探討最適之操作條件。本設備具測試氫氣、一氧化碳、二氧化碳和氮氣四道混合氣體之功能，可用於模擬副產燃氣之組成，測試變壓吸附法用於副產燃氣一氧化碳或二氧化碳之分離效果；設備硬體規格處理氣量可達20 LPM、壓力10 bar、管柱加溫可達500℃，能實現在線活化之功能。吸附管柱直徑為1吋，長度為1m，以填充分子篩5A之吸附材約可充填1kg之樣品。設備上產和下產閥區皆設有管線串接，可實現最完整的PSA操作程序，包含加壓、吸附、平衡、正逆向解吸、抽真空、吹清、潤洗（置換）等步驟，實驗平台並備有線上分析儀，可同時分析H_2/CO/CO_2/CH_4等氣體，可隨時掌控操作程序對分離後產品純度之影響，了解吸附劑對不同操作程序的影響。

中鋼公司已利用實驗平台及相關分析儀建立完整的吸附劑操作資料庫方法，步驟包含(1)基本物性分析（如比表面積、孔洞型態和粒徑等）、(2)活化程序（使用前之激活方式）、(3)操作特性（包含等溫吸附和PSA操作動態程序等）、(4)更換條件（老化指標定義及再生等）。目前已依據副產燃氣之條件篩選出適合之捕碳吸附劑，捕碳量隨著二氧化碳分壓提高而變大，以2 bar分壓為例，二氧化碳吸附量可達63.9 g/kg，如圖4所示，此動態吸附量占靜態吸附量之比例為96%，可充分使用吸附空間，而依據平衡選擇性（Equilibrium selectivity）αAB之定義[18]，

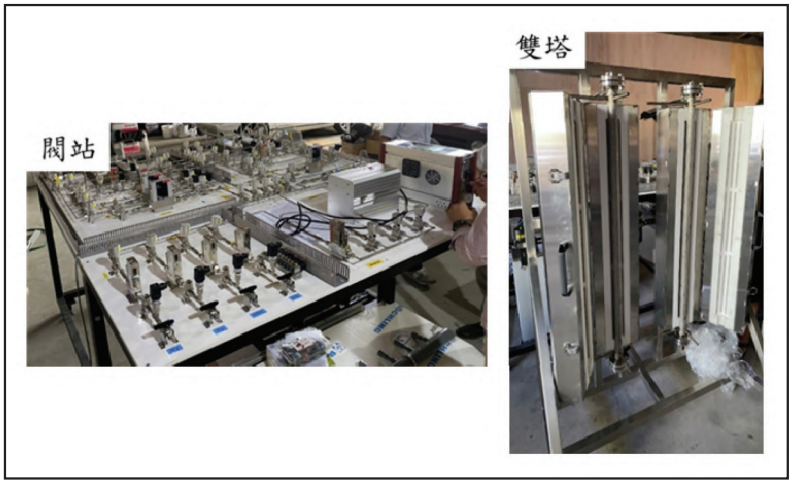


圖 3　雙塔 PSA 實驗設備平台圖

CO_2/CO吸附量比值大於40，具有良好的分離效果，實驗室測試利用此吸附劑以最適化條件分離高爐氣之二氧化碳，二氧化碳出口濃度可達90%，同時回收率可達95%以上。

利用相同評估方式，目前亦完成PSA-CO吸附劑篩選和操作資料庫之建立。圖5之結果顯示，調節操作壓力由1 增加至8 bar，當操作壓力達4 bar以上時，方可滿足產品氣CO濃度大於98.5%之品質要求，且須操作於60℃，方具有好的再生效果。

為建立PSA製程之最適化技術，中鋼公司利用商用製程模擬軟體（Aspen Adsorption）建立六塔CO_2-PSA及五塔CO-PSA物理模型。Aspen Adsorption根據PSA

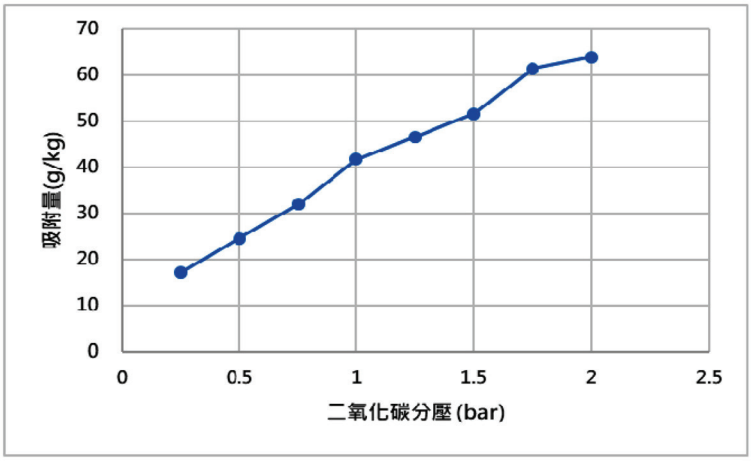


圖 4　PSA-CO_2 吸附劑隨不同分壓之動態吸附量

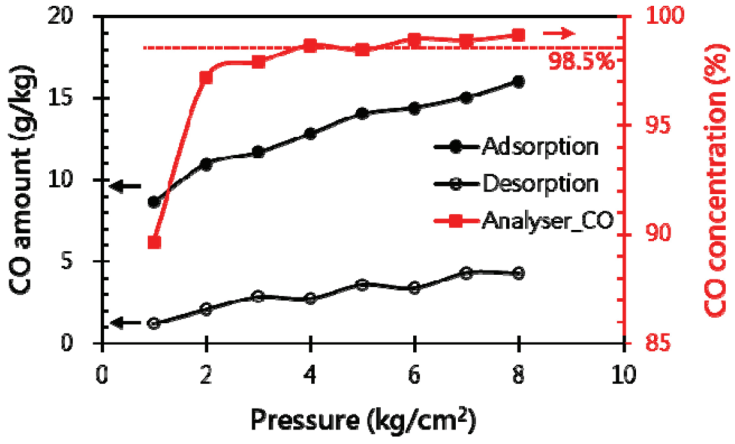


圖 5　操作壓力對 CO 產氣品質影響

分離理論，對各個成份在吸附塔內流動相（氣體）、固定相（吸附劑）及相邊界處的質量、動量與能量傳遞過程進行微元化分析（differential element analysis），建立成份的質能平衡方程式。在設定裝置相應的參數、吸附劑參數及邊界條件後，即可利用適合的數學方法對這些偏微分方程式進行疊代求解。中鋼公司已依據實驗結果建立模擬所需之參數，並參照相關文獻[18-20]進行模型建置，及建立PSA-CO_2所需之操作程序，包含吸附、三段均壓、逆向放壓、吹驅及終升壓等步驟（圖6為所建立之模型例）；與PSA-CO操作程序包含吸附、三段均壓、抽真空、置換、均壓降壓、逆向放壓及終升壓等步驟。此動態模擬技術可成功解析槽內氣體吸附黑箱狀況，用於製程操作參數優化及進行硬體操作極限模擬，模擬的誤差小於10%。

3-3 鋼化聯產先導工場介紹

中鋼公司已依鋼化聯產三階段規劃完成第一階段鋼化聯產先導工場建置，並於2022年12月落成啟用，相關全場配置如圖7所示。先導工場製程流程順序依序為:前處理（除塵、降溫和脫硫）、PSA分離二氧化碳、脫氧、PSA分離一氧化碳，並利用分離之CO/CO_2合成甲醇。中鋼公司建置此場域的主要目的為確認由高爐氣和轉爐氣取一氧化碳和二氧化碳之技術可行性，並作為媒合與石化業合作研發之平台，及開發與驗證更先進之CCU技術，以推廣鋼化聯產之應用。

鋼化聯產先導工場相關流程與規格對應圖7說明如下:

1. 高爐氣或轉爐氣由中鋼公司公用管架引入

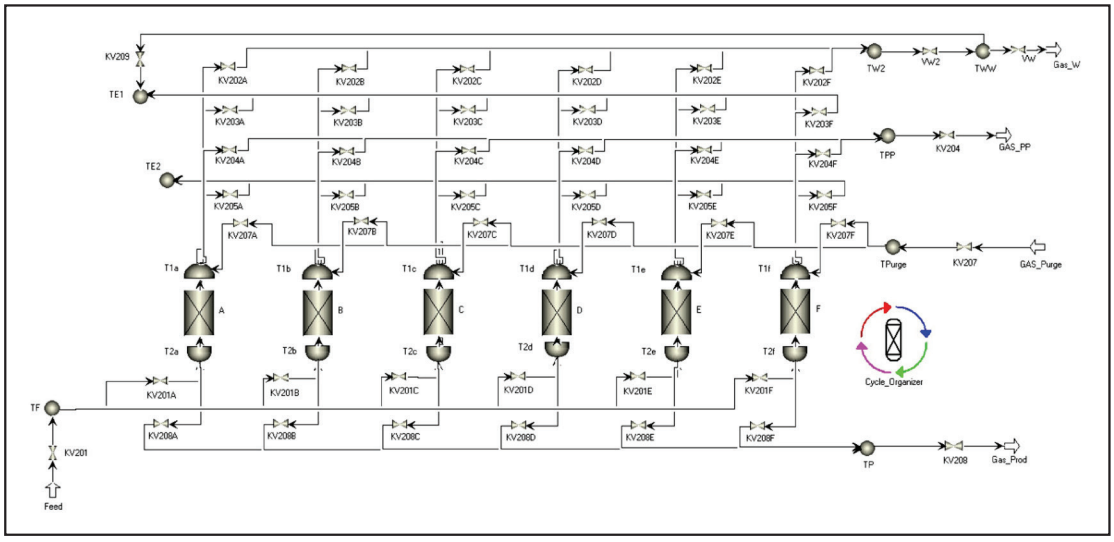


圖 6　六塔 PSA-CO_2 模型例

水洗塔（圖 7 編號 1）進行除塵及降溫，藉由原料氣增壓機（圖 7 編號 2-1）加壓至工作壓力，進入兩段之脫硫設備，先將有機硫水解成硫化氫（圖 7 編號 3-1），最後再將無機硫吸附轉化成單質硫 (圖 7 編號 3-2)，最終總硫須脫除至 0.1 ppm 以下。

2. 接續進入六塔 PSA-CO_2 設備（圖 7 編號 4），進行變壓吸附二氧化碳捕捉分離，預計可年捕捉 1700 噸二氧化碳，回收率可達 95% 以上。
3. 脫除 CO_2 後之氣體送至除氧塔單元（圖 7 編號 5），將微量的氧氣去除（降低至 100 ppm 以下），以避免氧氣毒化 PSA-CO 之吸附劑。除氧方式是藉由觸媒轉化，利用大量的 CO 和微量的氧氣反應成二氧化碳以去除爐氣內的氧氣。
4. 脫氧後之氣體送至五塔 PSA-CO 設備（圖 7 編號 6），進行變壓吸附一氧化碳捕捉分離。捕捉一氧化碳之吸附劑係以真空泵（圖 7 編號 7）抽真空產製一氧化碳產品氣，一氧化碳產品氣則會送至脫油塔（圖 7 編號 8）進一步脫除真空泵軸封或置換氣壓縮機所帶出之油氣，以確保一氧化碳產品氣品質。
5. 最終一氧化碳產品氣會送至儲槽（圖 7 編號 9），一部分供置換氣壓縮機 (圖 7 編號 2-2）當 PSA-CO 置換程序使用，預計一氧化碳產品氣純度可達 98.5% 以上，以轉爐氣進料估計一氧化碳之年產能為 4900 噸。

圖 7　鋼化聯產先導工場俯視圖

6. 圖 7 之編號 A~E 為與工研院合建之設備，包含將二氧化碳送至工研院設備 TSA（變溫吸附）提純設備（圖 7 編號 A），將二氧化碳進一步提純至 99%；配合電解產氫設備（圖 7 編號 E），將其產出之氫氣與一氧化碳產品氣一同送至化學品合成設備（圖 7 編號 C）製作成甲醇，以進行 CCU 之技術驗證。

先導工場已於2023年初完成高爐氣與轉爐氣之操作性能驗收，產品一氧化碳濃度分別可達99.1%和99.4%，一氧化碳回收率85%以上，產品氣內之總硫小於0.05 ppm，氧濃度小於20 ppm。

3-4 鋼化聯產節能生產技術建立

中鋼未來將由混合氣提取一氧化碳進行鋼化聯產應用，因混合氣係由高爐氣和轉爐氣混合而成，一氧化碳濃度會因轉爐吹煉狀況而有所波動，須適時進行操作調整以確保能於最低能耗運轉。分析中鋼混合氣CO和CO_2之濃度變化狀態，CO_2之濃度變化不大，約落於20%，而CO濃度會於20~30%間震盪，變化較大，故須找出最適之PSA之操作壓力。

測試混合氣於不同操作壓力區間之結果，結果顯示在操作壓力大於最適操作壓力時，一氧化碳產品氣濃度皆可達98.5%以

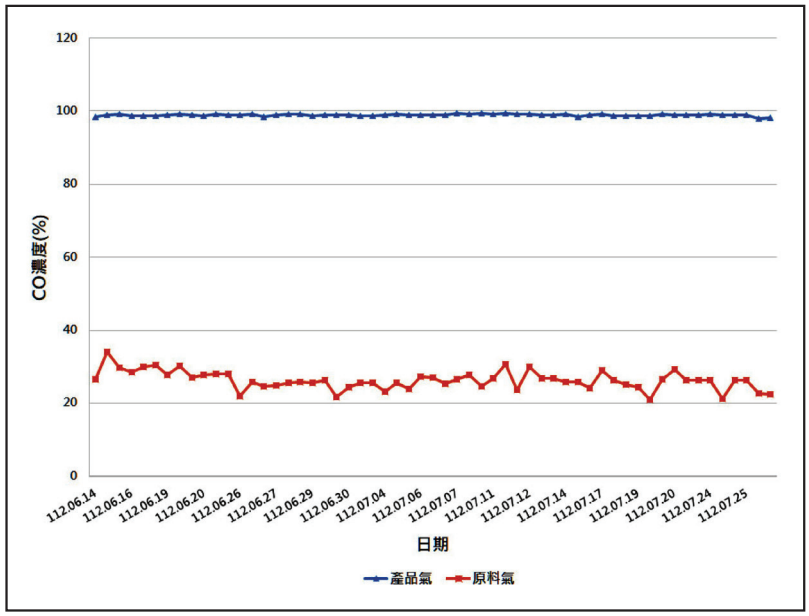


圖 8　1000 小時最適參數連續運轉結果

上，回收率亦可達85%以上；在操作壓力小於最適操作壓力時，CO產品氣濃度達98.5%以上及回收率大於85%之兩項條件無法同時滿足。以最適之操作壓力和PSA時序設定條件，進行1000小時運轉之結果如圖8所示，測試結果顯示混合氣進氣CO平均濃度為26.2%，一氧化碳產品氣出口平均濃度為98.9%，回收率達86.6%，品質輸出穩定。其他微量之組分如:總硫濃度約為30 ppb、氫氣小於0.1%、二氧化碳和氮氣總合小於1.5%，可符合化學品合成需求。

為掌握來源混合氣之一氧化碳濃度以即時進行節能調整，依據先導工場之結果，及運用物理關係與限制、數學統計與機器學習建立鋼化聯產先導工場產氣模型，可預測未來1小時進入工場一氧化碳之混合氣濃度以及一氧化碳產品氣之品質。產氣量模型採用累積進氣量、壓縮機壓力、尾氣一氧化碳濃度與吸附程序等變數，搭配梯度提升演算法建立一氧化碳產氣量模型，建模結果顯示建模區間的平均絕對誤差為4.74%，預測區間的平均絕對誤差為5.33%；產品氣濃度合格率預測採用進氣量、進氣一氧化碳濃度、壓縮機壓力、PSA時序、尾氣濃度、產品氣量等變數，將建模數據分為訓練組與測試組，設定一氧化碳濃度大於98.5%為品質合格標準，以訓練組數據搭配神經網路模型，並設定損失函數為二元交叉熵(binary cross entropy），建立品質分類（合格顯示為1與不合格顯示為0）模型，以測試組數據的品質分類預測結果，分類正確比例達91.4%，相關模型預測結果如圖9所示。

利用上述品質模型及先導工場製程完成可視化介面建構，如圖10所示。可視化介面除可提供操作人員未來一小時預測資訊外，並可即時顯示製程參數和歷史資料，供操作人員預判及調整應用，以達操作節能效果。以生產一氧化碳產品流量210 Nm^3/h為例，先導工場以預測工具預測進氣一氧化碳濃度變化進行操作調整，節能效果可達29%。

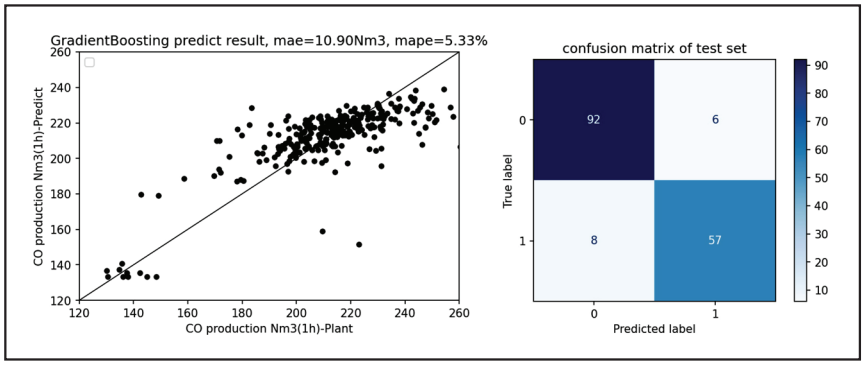


圖 9　產品預測結果，(左圖) 氣量預測結果、(右圖) 品質合格率預測結果

因應混合氣濃度之波動情形，建立先導工場動態調節之節能操作方式，已成功找出最適操作壓力，每立方米CO之生產能耗可因此降低10%，另視進氣CO濃度之改變動態調整操作參數，最高可具降能耗29%之潛力。以鋼化聯產未來第二階段示範工場年產製30萬噸一氧化碳計算，預期調降操作壓力後每年可節電約1,960萬度，加上每年若可以應用預測模型動態調整1,000小時，可再節電428萬度，共具有每年7,164萬元之降成本潛力。

3-4 鋼化聯產示範工場之推動

示範工場係中鋼規劃鋼化聯產的第二階段進程，將是台灣第一套鋼化聯產示範產線，計畫於中鋼廠內興建CO分離純化示範工場，透過管輸方式將所生產的高純度CO送達興建於臨海工業區內的化工廠使用。示範工場以廠內副產燃氣BFG（高爐氣）混合氣作為原料氣，並經變壓吸附製程（PSA）分離及純化CO達純度98.5%以上，可滿足下游化工廠產製低碳醋酸需求，並可進一步落地應用於傢俱、服飾、鞋材及太陽能模組封裝膠…等更下游端之產品。

四、結論

在碳中和的趨勢和壓力下，減碳已不再單純只是環境面的問題，而是牽涉到企業是否能永續營運。中鋼公司作為台灣最大之鋼鐵公司，有責任帶動產業進行低碳轉型。鋼廠副產燃氣富含具有再利用價值之一氧化碳和二氧化碳，藉由鋼化聯產之跨產業碳資源整合應用，有機會創造大規模減碳效果及新循環經濟之應用。中鋼公司目前已將鋼化聯產列為公司重要減碳方案，並分三階段循序漸進推展相關工作，現階段已完成第一階段先導工場建置及相關技術建立，同時與多家

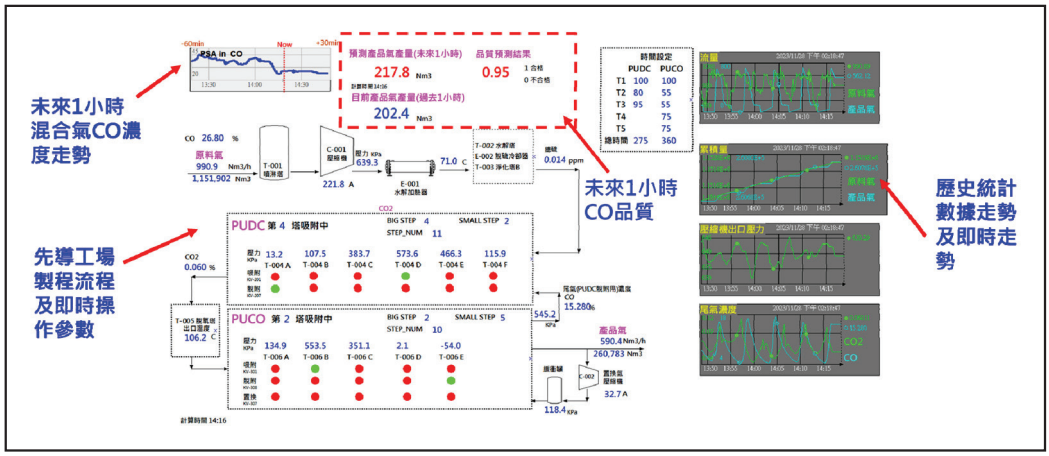


圖 10　先導工場產品氣量與品質預測模型可視介面工具

化工廠洽談合作，朝第二階段示範場應用邁進，期望未來能擴大應用，為既有的鋼鐵與石化產業減碳及創造新的碳循環經濟產業貢獻一分心力。

參考文獻

1. R. Lindsey, Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide, the Climate.gov of the National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020.
2. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, the Global Monitoring Laboratory of the National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021.
3. OECD Environmental Outlook to 2050: Climate Change Chapter, Organization for Economic Cooperation and Development, 2011.
4. Climate Change: Global Sea Level, the Climate.gov of the National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021.
5. Aslak Grinsted, et al., The Transient Sensitivity of Sea Level Rise, Ocean Science, 2021, 17, 181-186.
6. State and Trends of Carbon Pricing 2021, The World Bank, 2021.
7. W. L’ Heudé,A, et al., Carbon Border Adjustment Mechanism for the European Union, Trésor Economics, 2021, 280.
8. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, International Energy Agency, 2021.
9. 李麗，一氧化碳分離提純方法研究，山西化工技術資料，2018 年
10. Young Lim，Techno-economic Comparison of Absorption and Adsorption Processes forCarbon Monoxide (CO) Separation from Linze-Donawitz Gas (LDG)，Korean Chemical Engineering Research · 2016
11. Xiaozhou Ma, Jelco Albertsma, and Dieke Gabriels et al., Carbon monoxide separation: past, present and future, Chem. Soc. Rev., 2023, 52, 3741.
12. 蕭暐翰、王清海、談駿嵩，以吸收與吸附捕獲 CO2 技術的發展現況，工業材料雜誌，2017，365 期，71-78。
13. N. N. Dutta and G. S. Patil, Developments in CO separation, Gas. Sep. Purif., vol. 9, no. 4, pp. 277-283, 199
14. Y. B. Chen, P. Ning, Y. C. Xie, Y. H. Chen, H. Sun and Z. Y. Liu, “Pilot-Scale Experiment for Purification of CO from Industrial Tail Gases by Pressure Swing Adsorption,” Chinese Journal of Chemical Engineering, vol. 16, pp. 715-721, 2008.
15. R. T. Yang, “Gas Separation by Adsorption Process,” vol. 1, London: Imperial College Press, 1997.
16. B. Kottititum, et al., Optimization of a Six-Step Pressure Swing Adsorption Process for Biogas Separation on a Commercial Scale, Applied Science, 2020, 10, 4692.
17. 周正堂， 用變壓吸附程序濃縮含有水汽之氣化合成氣中氫氣及捕獲二氧化碳，國科會研究成果報告，2011 年
18. Fei Gao, et.al, “Adsorption separation of CO from syngas with CuCl@AC adsorbent by a VPSA process”, RSC Adv., 2018.
19. Shuna Li, Huawei Yang, and Donghui Zhang, “Enrichment of CO from syngas with Cu(I)Y adsorbent by five-bed VPSA”, Chem. Sci. Eng, 7(4), 472-481, 2013.
20. 李淑娜，Cu(I)Y 吸附劑的製備及其應用，天津大學化工學院學位論文，2013.

循環經濟與永續發展 - 耐火材料再生利用

中宇環保工程公司耐材工程處資深工程師 / 吳依貞
中宇環保工程公司耐材工程處工程師 / 李杰穎
中宇環保工程公司耐材工程處資深工程師 / 陳松嶺
中宇環保工程公司耐材工程處工程師 / 張家源

關鍵字：耐火材料、再生利用、循環經濟、耐材回收、用後耐火材料

摘要

近年來，耐火材料對環境的影響已成為一個重要議題。特別是耐火材料施工和使用過程中對環境的影響、節能和資源枯竭問題等已成為全球性議題。因此，從環境因素衍生，須降低外部掩埋處理和資源枯竭造成的耐火原料價格上漲的角度來看，愈來愈需要增加用後耐火材料的回收再利用量。而在過去十多年來，用後耐火材料的回收利用引起人們興趣，因為具有環境(較低能源需求、碳排)與經濟(便宜原料、更低處理成本、降低礦產依賴)的潛在效益。耐火材料的再生利用措施大致可分為兩類，一是改善耐火材料施工和使用過程中的作業環境，二是保護地球環境的措施，旨在節省能源資源、減少環境污染物。本文將探討耐火材料回收再利用技術的現狀以及回收處理技術，對用後耐火材料的回收再利用之關鍵點進行研究，意在將用後耐火材料作為耐火材料行業的再加工原材料—逆向物流。同時，耐火材料最終使用者也必須願意接受用回收材料生產的耐火材料，上下游同心協力推動耐火材料再生利用，體現循環經濟與永續發展。

一、前言

耐火材料是能承受高溫並在規定時間內仍維持機械功能的固體材料，耐火材料對所有高溫製程都是不可或缺的，例如：金屬、水泥、化工、玻璃和陶瓷生產。目前使用之耐火材料形態種類繁多，在學術或商業上依

表 1　世界耐火材料原料使用量

原料	占比	產地
黏土 Refractory clays	46%	中國 China
鎂質 Magnesia	26%	中國 China
回收耐材 Recycle refractories	7%	中國 China
水鋁石 Calcined bauxite	4%	中國 China
棕剛玉 Brown fused alumina	3%	中國 China
白雲石 Doloma	3%	美國 USA
板狀剛玉 Tabular alumina	2%	
鍛燒氧化鋁 Calcined alumina	2%	中國 China
石墨 Graphite	1%	中國 China
高鋁水泥 Calcined alumina cements	1%	
矽線石 Sillimanite minerals	1%	南非 South Africa
鉻鐵礦 Chromite	1%	南非 South Africa
白剛玉 White fused alumina	1%	中國 China
鋯石 Zircon	1%	澳大利亞 Australia
碳化矽 Silicon carbide	0.25%	中國 China
矽質 Silica	0.25%	美國 USA
鋁鎂尖晶石 Spinel	0.25%	中國 China
橄欖石 Olivine	0.25%	挪威 Norway

出廠前概分為兩大類，即定型耐火材（磚）與不定形耐火材，如圖1所示；不定形耐火材包括：可鑄性耐火材、可塑性耐火材、搗固性耐火材、耐火泥及噴漿材。近年來定型耐火磚僅占耐火材市場之30%，其餘70%為不定形耐火材。

根據IMFORMED於2016年的統計（表1）[1]，全球常用耐火材料是鋁質及鎂質耐火材料，黏土質具有廣泛的應用及高市占率，鎂質耐火材料則是著重在鋼鐵行業，白雲石占額偏小，但對不銹鋼產業影響較深，目前除中國以外，白雲石磚大部分取代了鎂鉻磚。全球耐火材料產量約為3,500~4,000萬噸/年，年度波動主要取決於鋼鐵業需求，該行業使用占比約為70%，在使用耐材期間，約有30~40%的耗損[2]，顯示每年產生高達2800噸廢耐火材料。

目前台灣製造耐火磚所使用的原料包括天然礦物原料及人工精煉的合成材料。在天然礦物原料方面，除極少量火黏土及矽石為自產外，其他原料仰賴國外進口，主要以中國為主，占耐火材料廠之70~80%；此外，人工精煉的合成材料則來自於日本及歐美居多。由此可見，台灣耐火磚原料幾乎100%採

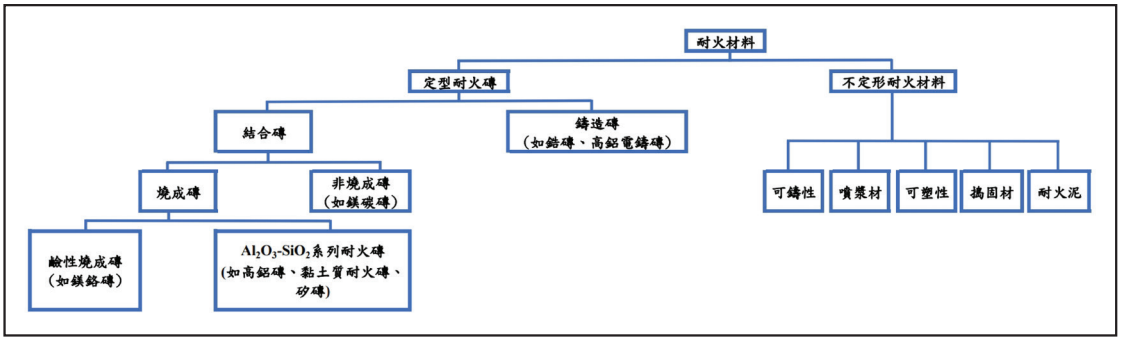


圖 1　耐火材料之主要形式

表 2　3R 步驟

再減少 Reduce	⇨ 合理放寬操作條件 →連續式運行 →較低溫度條件下操作 ⇨ 延長耐火材料使用壽命 →高品質純度耐火材料 →耐火材料精準化安裝 ⇨ 透過修復延長耐火材料壽命 →表面修補、濕噴材、吹附材
再利用 Reuse	爐渣調節劑、精煉用原料、耐火砂、路基材料…等
再回收 Recycle	滑板注嘴、盛鋼桶注嘴 再回收製成景觀磚、不定形耐火材、定型磚

用進口，透過回用、下階應用，除可促成循環經濟，也可以降低對進口原料依賴度。

台灣耐火材年產量可超過21萬噸，[3]中鋼集團是國內最大耐火材料需求公司，其國產化耐火材料年使用量為10.3萬噸、全年總使用量為14.7萬噸；其中國外進口耐火材重量份額約占30%，但其成本金額卻達到44%，顯示進口耐火材多為高單價產品。

雖然每年使用後耐火材料數量龐大，但早期因原料成本低，廢棄材料處理成本低廉，用後耐火材料鮮少獲得關注，但在過去20年來因環境考量及垃圾處理成本增加，用後耐火材料的回收開始引發關注，早期開發使用於路基基礎維護或爐渣調節劑作為回收的開端，但並無法充分發揮耐火材料的內在價值，且隨著原料價格上漲，用後耐火材料處理成本漸漸提高。

回看歷史，用後耐火材料的效益大多以降低每噸產品所消耗的耐火原料之方式展現，以美國及日本鋼鐵業為例，從1970年的20~30公斤/噸鋼下降到現今的8公斤/噸[4] [5]。因此充分利用鋼鐵業用後耐火材料資源進行再生耐火材料的研究與利用，日本鋼鐵廠提出透過3R步驟達到降低的願景，如表2[6]。

以上不僅能夠大幅度降低耐火材料的原物料成本，同時也能加快鋼鐵循環經濟體系的建置，實為建構綠色環保企業的重要內容之一。為此，本文綜述用後耐火材料再生利用技術研究進展，指出其發展方向，為促進用後耐火材料大範圍、高品質循環利用提供參考。

二、再利用回收情況

國外已開發國家對用後耐火材料的資源化利用非常重視，對用後耐火材料回收利用的研究起步較早，因此當前在很多已開發國家用後耐火材料回收利用率較高，一般平均在70%左右，個別產品甚至達到了100%回收利用[2]。

中國因研究起步較晚，當前用後耐火材料的回收利用率為30%，近年來隨著國家環保政策的貫徹實施，及耐火原物料開採成本逐漸增加，用後耐火材料的回收再生利用受到前所未有的重視，鋼鐵業以及耐火材料生產企業已經意識到用後耐火材料的價值，以再生鎂碳磚、再生鋁鎂碳磚、再生滑板等為代表的再生耐火製品不斷出現，並具備良好的使用效果[4]。

日本的用後回收耐火材料主要作為造渣劑和型砂的替代物。日本知名鋼廠以用後耐火磚為主要原料，開發出盛鋼桶底搗固材、盛鋼桶澆注料以及一些定型產品，其綜合利用率達50%以上。其中用85%再生料和15%主原料生產出的電爐熔池部位用的不燒鎂磚，以及以90%再生料和10%主原料生產出的電熔渣線用鎂碳磚，都表現出優良的性能以及良好的使用效果[5]。另外，新日鐵研發出用後鋁碳耐火材料生產連鑄用注嘴的技術；鹿島鋼鐵廠研究了滑板的再利用工法，使修復後的滑板使用壽命與新滑板一樣[6]。大同特殊鋼每月產生 900 噸廢耐火材料，其中 650 噸可回收，部分可回收耐火材料可直接使用，部分則經過破碎、調整成分等處理[7]。

韓國POSCO成立了專門回收和再加工用後耐火材料的公司，將用後耐火材料經過揀選和破碎成40mm以下的顆粒料，從中分離出廢鋼和各種耐火材料。當中廢鋼再經過揀選作為煉鋼用原料，而用後耐火材料經分類後可作為耐火原料、護爐爐料等材料使用。這種作法雖然沒有提升用後耐火材料的附加價值，但是絕大部分可達到及時回收利用的目的[8]。

法國Valoref公司主要處理用後玻璃窯用耐火材料的回收工作，此類耐火材料的回收利用率已達90%。義大利公司開發出各式窯爐、鋼液分配器、鑄錠模以及盛鋼桶內襯等耐火材料的回收利用技術，所回收的耐火材料直接噴吹入爐膛以起到保護爐壁的作用[9]。德國研究則聚焦於利用用後鎂碳磚生產盛鋼桶和轉爐的永久層，並取得了很好的使用效果[10,11]。除了具體的回收利用實踐，

國外已開發國家持續研究用後耐火材料，提升資源利用且符合環保法規，並提高企業的社會經濟效益，通過制定法令法規，成立專門研究機構，組建專業公司，取得了較高的資源化利用率。

美國能源部、工業技術部和鋼鐵生產者致力於延長耐火材料的使用壽命和制定用後耐火材料回收利用計畫，促使用後耐火材料的回收利用率顯著提高至72%，其應用範圍主要是脫硫劑、爐渣改質劑、耐火澆注料骨料等。美國密西里州還開發了將二次使用過的白雲石耐火材料作為土壤調節劑、廢高鋁料用作耐火澆注料骨料等新技術，並透過這些技術，大幅減少用後耐火材料的掩埋量[3]。

上述再利用回收情況整理如下表3。

表 3　各國再利用回收情況

(一)中國再利用回收情況

原材質	再利用之產品
鋁矽碳質耐材	澆注料、噴塗料、不定形材、再生緻密剛玉、再生剛玉、再生礬土 [8] [9] [10] [11] [12]
鎂質耐材	噴補料、不定形材、鋼液分配器塗料、鋼液分配器搗固材、再生鎂碳原料 [8] [9] [11] [12]
鎂碳或鋁鎂碳質耐材	噴補料、補爐料、填料、爐襯熱修用料、鑄孔開鑄劑、滑板、浸入式注嘴、保護管套、多孔堇青石、再生鋁鎂碳原料 [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14]
鎂鉻質耐材	鎂質渣擋板、噴補料、引流砂、鋼液分配器塗料、鎂鉻塗料、鎂鉻搗固材、出鋼口搗固材、盛鋼桶乾式搗固材、再生鎂鉻原料 [8] [9] [10] [11] [12]
碳化矽質、剛玉 - 碳化矽質耐材	耐磨澆注料、冶金輔料、再生鋁碳化矽原料 [4] [6]
剛玉 - 尖晶石質耐材	堵泥、綜合用搗固材、綜合用澆注料 [8] [9]
滑板、注嘴、座磚等功能性耐材	鐵水流道不定形材、堵泥、煉鐵用不定形、鋼液分配器擋板 [8] [9]
高爐出鐵流道澆注料、預製件	主流道、傾注流道、渣流道、搗固材、堵泥 [9] [10][12]
高爐出鐵渣流道	中小高爐搗固材、堵泥 [9] [10]
高爐內襯高鋁質及剛玉質耐材	耐火澆注料、可塑料、不定形材、再生緻密剛玉、再生剛玉、再生礬土 [9] [10]
高爐內襯碳塊及散料	碳質搗固材、碳質不定形材 [9]
高鋁質、剛玉 - 莫來石質耐材	澆注料、噴塗料、不定形材 [9] [11] [12]
特種氧化物耐材、氧化鋯、氧化鉻、氧化鈣	不定形材 [8] [9]
矽磚	碳化矽、莫來石 [14]

(二)日本再回收利用情況

原材質	再利用之產品
鋼廠耐材	用作路基、鋼鐵業的造渣劑或鎮靜劑、土壤中和劑或水泥熟料之原料、盛鋼桶搗固材、盛鋼桶澆注料、造渣劑、型砂 [8] [12] [15]
含鉻耐材	再生含鉻原料、再生鎂鉻磚 [8] [16]
鎂質耐材	轉爐煤溶劑、再生鎂磚、再生鎂碳磚 [2] [8] [15]
鋁質耐材	再生鎂鋁尖晶石澆注料 [2] [12]
剛玉石墨製品	浸入式注嘴磚 [8] [12]
滑板磚	再生滑板磚 [8] [12]
出鐵流道耐材	鋁 - 碳化矽 - 碳質澆注料 [8] [12]

(三) 歐洲再回收利用情況

原材質	再利用之產品
鎂碳或鋁鎂碳質耐材	再生鎂碳或鋁鎂碳質耐材、噴塗料 [17] [18] [19]
鋁質耐材	再生鋁質原料 [8] [20]
鎂質耐材	再生鎂質原料、盛鋼桶及轉爐永久層磚 [8] [12] [20]
玻璃窯 AZS 磚	再生 AZS 質原料 [8] [12] [20]
各式窯爐、鋼液分配器、鑄錠模以及盛鋼桶內襯	噴塗料 [20] [21]

(四) 美國再回收利用情況

原材質	再利用之產品
鋼廠耐材	脫硫劑、爐渣改質劑、耐火澆注料骨料、濺渣護爐添加劑、鋁酸鈣水泥之原料、鋪路料、陶瓷原料、玻璃工業用原料、屋頂建築用粒狀料、磨料和土壤改質劑 [8] [12]
白雲石質耐材	土壤調節劑 [12] [21]
鋁質耐材	耐火澆注料骨料 [12] [21]

三、回收處理技術

用後耐火材料利用的關鍵在於回收，經過全面性系統設計的回收途徑，可實現用後耐火材料高附加價值100%利用。回收途徑按照「分類→歸檔→分級」的順序進行，一般處理流程為：去除大塊渣鐵→破碎→除鐵→合格原料。

以下依中國、日本、歐洲、美國實例探討各區域在用後耐火材料的回收經驗及處理技術。

(一) 中國

1. 用後耐火材料分類原則

同類用後耐火材料按照所採用主要原料的品階可劃分為不同層級，主要原料品階越高，層級越高。

2. 用後耐火材料再生利用的方法

用後耐火材料再生利用的基本原則[22]：

(1) 低品階用後耐火材料用於生產不接觸熔鋼部位的耐火材料，或用於非耐火材料領域，如冶金輔料、建材產品或鋪路等。

(2) 中高品階用後耐火材料用於生產同類產品（如用後鎂碳磚再生鎂碳磚）或降級使用（如用後主流道材料，再生用於渣流道或鐵水流道）。

(3) 用後功能性耐火材料修復後再使用，如對用後滑板中心孔和滑動面修復後可以重新使用；對用後浸入式注嘴渣線進行火焰噴補或陶瓷焊補後重新使用。也可破碎後作為中高檔的耐火原料使用。

(4) 耐火磚一般再生用於不定形耐火材料，如鎂碳磚再生用於轉爐大面修補料。

(5) 工作層再生用於永久層，如將盛鋼桶鋁鎂澆注料再生用於盛鋼桶永久層澆注料。

從經濟層面考量，對用後耐火材料的再利用，首先考慮用於耐火材料產品，以發揮其潛在價值，其次再考慮冶金輔料，使每種用後耐火材料都能找到用途。

3. 梯級回收利用系統設計

為提高耐火材料的使用比例，最大程度發揮用後耐火材料的價值，提出用後耐火材料的梯級回收利用系統設計方案，把每一種用後耐火材料破碎以後形成的再生料，按照純淨度分成一級、二級、三級。

4. 再生顆粒預處理後使用

為提高用後耐火材料的資源利用率和附加價值，採用一新工法對用後的高爐主流道、高爐鐵水流道和轉爐、盛鋼桶鎂碳磚進行再生處理，製備再生顆粒料[23]。與傳統工法相比，新工法增加水化乾燥窯和顆粒碾磨設備，使用後鎂碳顆粒經水化乾燥窯充分水化分解以去除Al_4C_3，再透過顆粒整形機的碾壓分離使用後耐火材料中的原始骨料與基質，經過篩分後即可獲得價值較高的再生顆粒料。結果顯示：採用新工法製得的再生顆粒料之粒形棱角較分明，與原始骨料相似，製備的再生顆粒料中假顆粒較少。用再生鎂碳顆粒料製成的再生鎂碳磚性能較好，在中國某大型鋼廠的盛鋼桶渣線部位使用達93次，使用效果與非再生鎂碳磚相當。

根據鋼鐵業用後耐火材料的來源和特性，首鋼開發一用後耐火材料集中回收再利用工法[24]，如圖2所示。與常規工法相比，其主要技術特徵為將耐火材料變質層和原生層進行分選和切割，以進行針對性分類處理。其中，變質層主要由亞鐵侵蝕造成，在變質層表面含有一定量的磁性鐵，經過破碎和磁選可將含鐵物質分離出來，作為燒結配料使用，不含鐵顆粒可進入煉鋼造渣劑配料使用。原生層經過分選將鎂碳、鎂鋁碳、鋁碳等材料分開，按照常規工法，經過分級破碎後，將不同粒級的顆粒作為耐火材料配料使用。

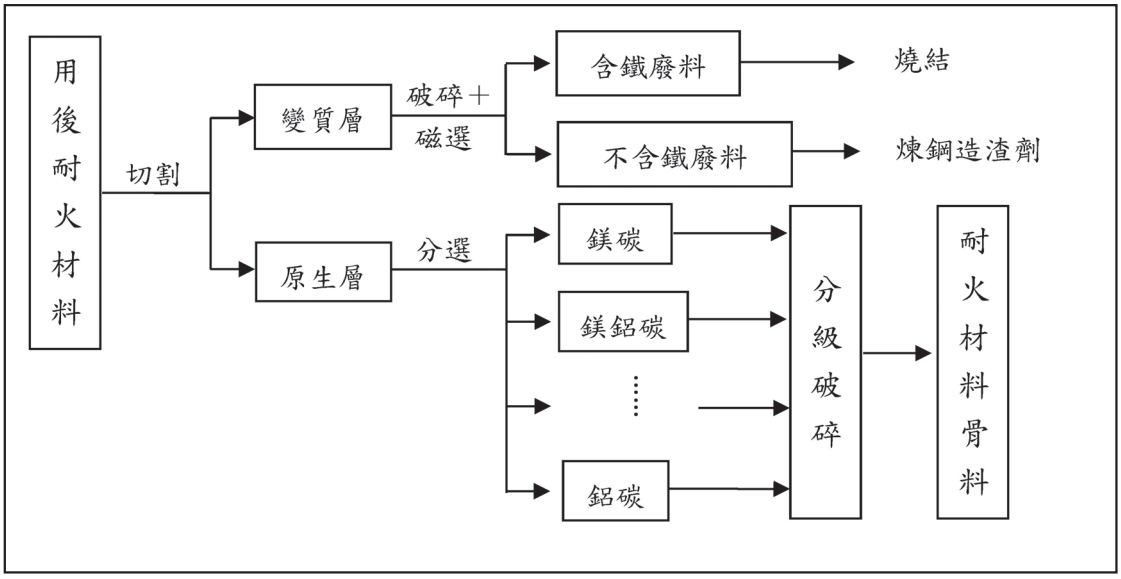


圖 2　耐火材料再生利用作業流程圖

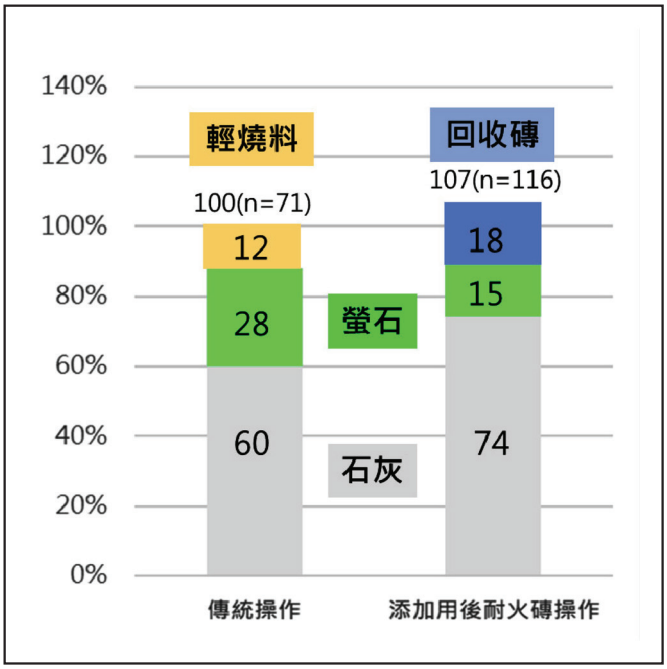


圖 3　盛鋼桶中的熔劑消耗量，常規操作和用後耐火材料的操作 [7]，n: 回數。

(二) 日本

垃圾掩埋空間限制的問題在日本很早就引起注意並引發業界著手研究。大同特殊鋼使用電爐進行熔煉，以 AOD、LF 和 RH 脫氣機進行煉鋼，70%為連鑄鋼，30%為鋼錠鑄造。

用後耐火材料可做為盛鋼桶渣和電爐渣的添加物。如圖3所示，於盛鋼桶渣添加 3 公斤/噸之用後耐火材料可減少螢石消耗，但同時必須配合增加石灰的添加量。而以爐渣對渣線耐火材料和脫硫耐火材料的抗侵蝕試驗判斷，添加用後耐火材料的試樣與對照組相同。

另一方面，添加用後耐火材料於爐渣之中，因不會改變爐渣中的 Cr_2O_3，故利用 AOD 爐襯裡的白雲石磚作為電爐中造渣的助熔劑是製程經濟性的關鍵因素。其它重新利用用後耐火材料的技術，如：盛鋼桶滑板磚的上板透過熱面加工和鑲件插入磨損孔中進行修復並重新使用；電爐熱負荷較低區域的MgO-C和MgO磚在消除爐渣和金屬黏附後在同一爐內再循環；鋼液分配器工作層配製鎂混凝土；用廢盛鋼桶多孔塞配製高鋁澆注料等。透過這些措施，耐火材料的內部再循環率達到了58%。

另一有趣案例為新日鐵和住友金屬公司。於2001年到2005年以完全消除殘留物為

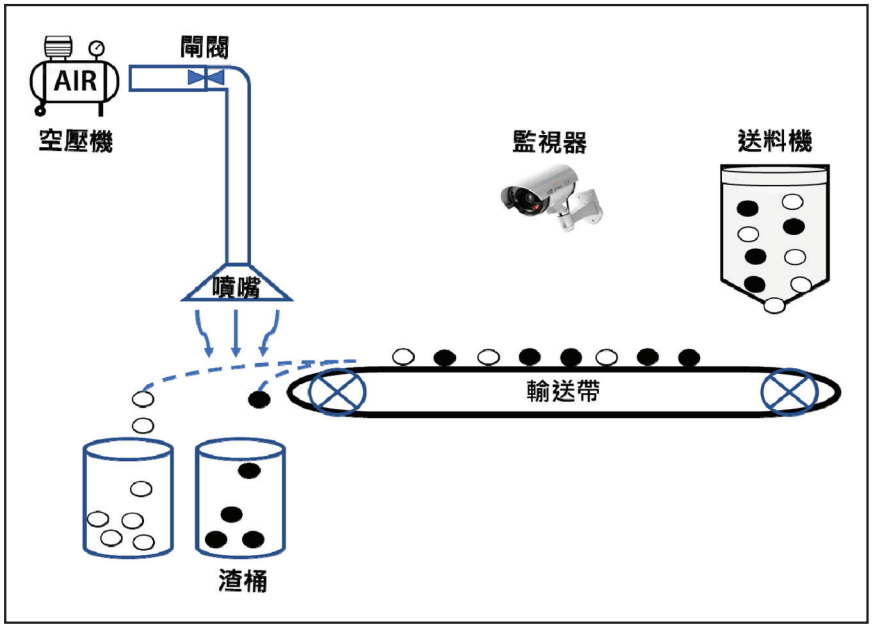


圖 4　顏色分離渣和金屬的系統示意圖 [25]

目標，利用3R方法（再減少Reduce、再利用Reuse、再回收Recycle）開發一個重點為耐火材料回收的項目。首先將MgO、Al_2O_3、含C耐火材料、不含C耐火材料等材料分類，再將爐渣和金屬分離，接著被粉碎成200~400毫米的塊狀後，進行揀選和磁吸分離。

新日鐵公司採用兩種類型的磁吸分離系統除鐵，分別用於大小塊或當分離過程較長時。透過將一定量的5~10毫米鐵塊與相同尺寸的盛鋼桶耐火塊混合，並對其進行磁力分離以確定所需的功率。當磁力為 12,000 高斯或更高時，總鐵含量可降至2%或更低[25]。

針對渣分離系統，利用顏色區分，導入應用於食品工業中從穀物或豆類中分離異物的機制。該系統使用壓縮空氣分類顏色對比強烈的材料，對於去除生鐵、鋼或爐渣特別有效，如圖4所示。

大部分的回收料經粉碎後，會暫時儲存於現場合適空間。由現場人員直接添加到不定形耐火材料中時，不需要預先乾燥，可經混和後直接使用。然而，如果回收的材料潮濕，在使用前的等待時間內會有硬化反應的風險。因此，在混合之前，需要使用窯爐來乾燥要回收的材料[25]。

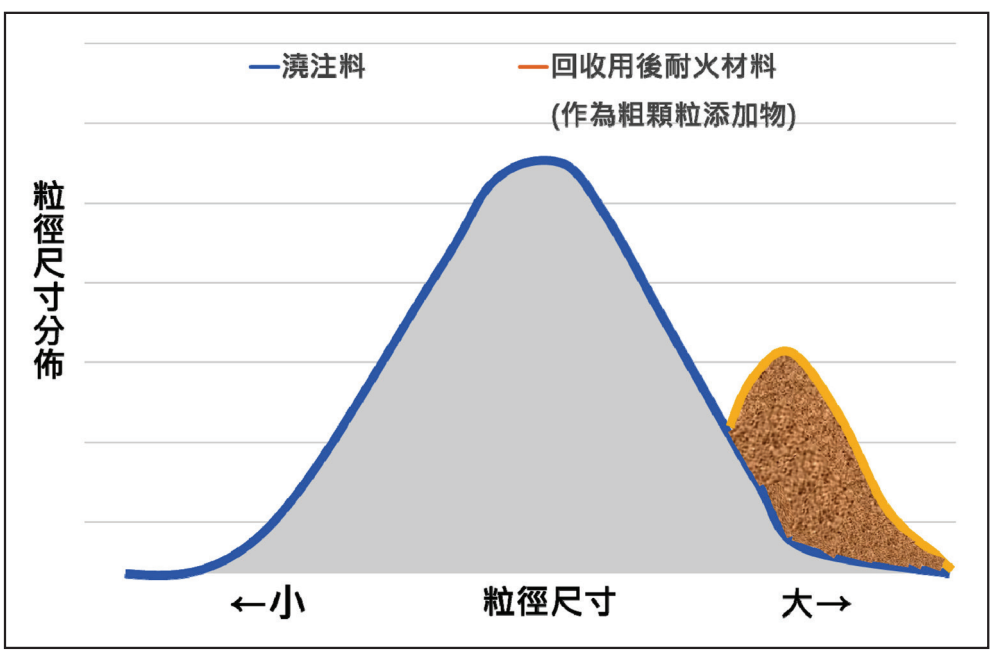


圖 5　耐火混凝土中添加再生材料的概念 [25]

另外，針對用後耐火材料經粉碎後的尺寸，其要求如下：較大的部分對應於回收材料(圖5)。對於混凝土，應採用5~20毫米或1~5毫米；對於潮濕的噴補材料，則使用1-5毫米；而對於乾式噴補，則添加<1毫米的用後耐火材料。

對於混凝土來說，水分會隨著再生材料比例的增加而提高，造就耐磨性較差的多孔材料。因此確定回收材料的最大含量約20%，同時因重複回收時，雜質的百分比較高，故對於要求較低的應用遵循降一級標準回收。

圖6顯示新日鐵公司從2001年啟動計畫，並在2005年於日本的室蘭市、君津市、名古屋、八幡市和大分市實現耐火材料回收比例的演進，於5年間藉由大量設備投資，實現完全消除耐火材料填埋量的目標，同時降低路基的利用率。

(三) 歐洲

在已發表的具體案例中，值得一提的是Swerea MEFOS計畫[26]。 SSAB Lulea 使用經過研磨和分級的 MgO-C 轉爐磚（5~25 毫米）作為煅燒白雲石的部分替代品。 每爐裝料量為 300 公斤，與廢料一起裝在大袋中，並加入石灰來補充流失的CaO，可節省白雲石600公斤，檢測後發現爐渣和鋼液的化學成分以及金屬產率沒有差異。

Ferriere Nord [27] 和 Stefana [28] 是兩家設有耐火材料回收設備的義大利工廠，兩者都是生產螺紋鋼和線材鋼材的電爐廠，用過的耐火材料來自白雲石盛鋼桶內襯、鋼液分配器內襯和電爐爐床，且都與盛鋼桶渣一起回收。

(四) 美國

能源部與鋼鐵製造商協會以及20家煉鋼

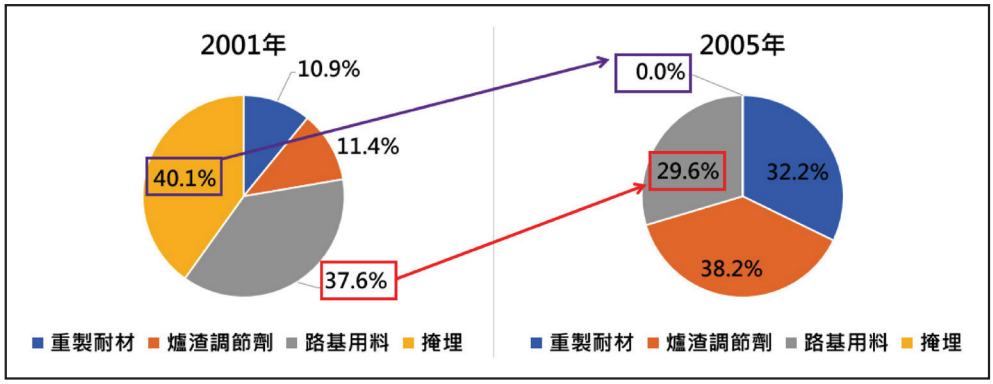


圖 6　2001 年至 2005 年間新日鐵工廠廢耐火材料用途的演變

和耐火材料公司共同進行一項研究，即為使用廢 MgO-C 碎屑作為電爐中的爐渣改質劑[29]。儘管美國有幾家服務公司都曾嘗試過這種回收方式，但皆由於抑塵問題而中止。該種材料必須足夠細，以易於溶解在爐渣中，但又不能過細，避免因被除塵系統吸收而改變粉塵化學成分並降低其價值（由氧化鋅含量決定）。美國工業界對幾種耐火材料回收方案進行調查[29]。圖7展示綜合工廠和廢鋼電爐工廠的案例。目前市場上有專門從事耐火材料回收的公司，馬里蘭耐火材料有限公司即為其一。

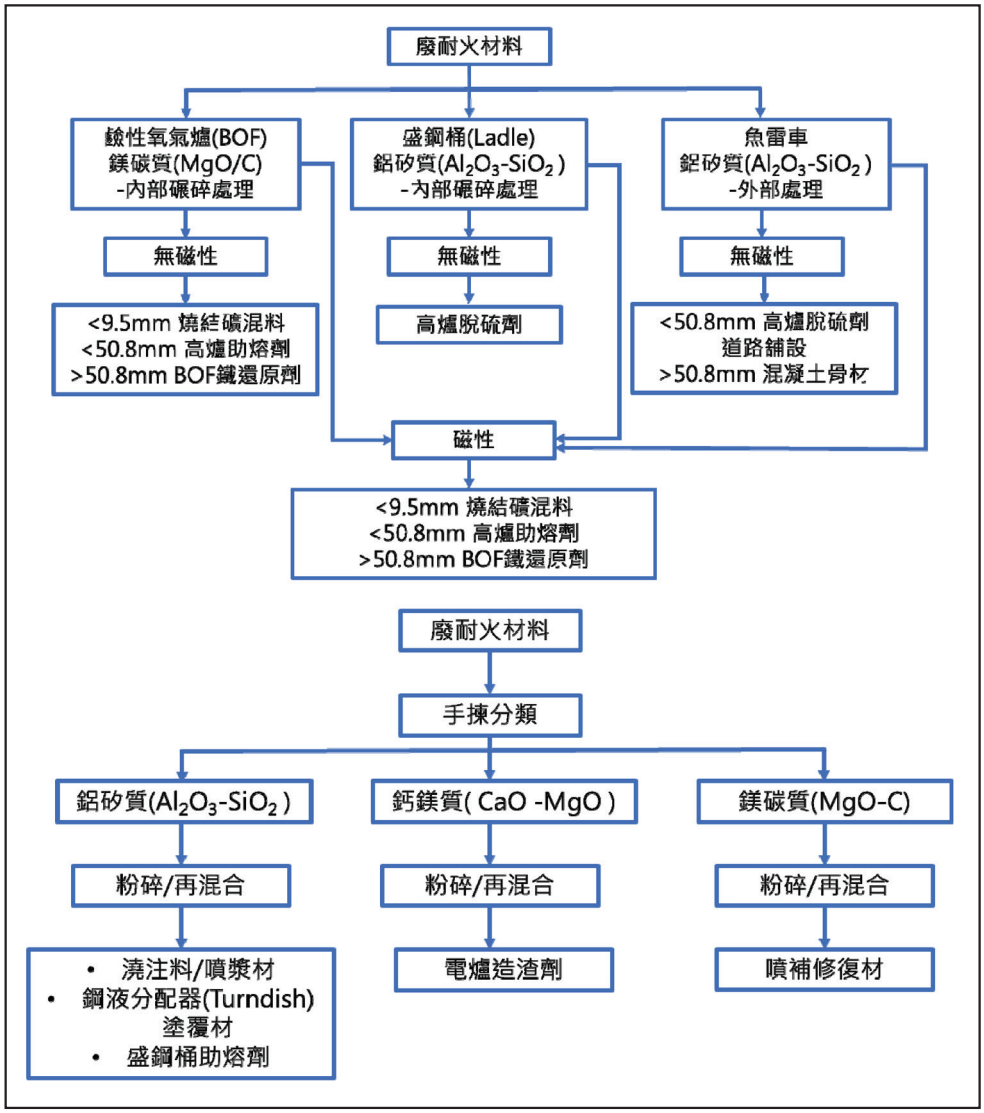


圖 7　美國鋼鐵廠耐火材料回收流程圖。上圖：綜合碾磨。下圖：細粉碾磨。**[29]**

四、再生利用技術探討

目前常見的再生技術可分為：加入添加劑改質、修補再使用、混和至新耐材之中、降規再使用等，各種技術可以整合或單獨使用，以期達到循環經濟的效果。

(一) 加入添加劑改質

以用後鎂碳磚來說，每次的粉碎、處理作業即可能使鎂砂顆粒變小或使石墨氧化，因此需要補充部分電熔鎂砂並調整配比。另一方面，原鎂碳磚的添加劑，如金屬鋁粉、矽粉、碳化硼、合金粉等，亦可能受到高溫而改變比例。根據研究，二次再生鎂碳磚的物理性質可透過添加劑的調控達到原鎂碳磚的標準[34]。

針對鋼廠連鑄用的鋁碳質耐材材料，根據研究指出，回收使用未接觸鋼液的耐材，並加入奈米添加劑、金屬矽粉、樹脂等，可提升用後耐材的物理性質[17]。

(二) 修補再使用

以煉鋼廠的滑板磚來說，日本鹿兒島鋼廠使用澆注料修補、圓環鑲嵌法，使滑板延壽2倍；中國大陸與歐洲亦有相關案例，修補後的滑板與原滑板相當或更優[35]。而滑板磚除了修補再使用之外，日本亦有研究將40~60%的舊滑板磚破碎成耐火原料再製成KR攪拌棒、氧槍等產品，使用效果有些甚至優於原有成品[36]。

(三) 混合新耐材

如將用後RH鎂鉻磚進行破碎等處理後，混入RH鎂質吹付料之中再利用，其中原鎂鉻磚中所含之氧化鉻，還能提高再生吹付料的抗侵蝕性[22]。亦有相關研究將針對KR攪拌棒的回收料加入量和抗侵蝕性進行評估[37]。

另外亦有將盛銑桶的磚襯重新再生成流道澆注料；魚雷車磚再生成魚雷車吹付料或傾注流道澆注料；轉爐鎂碳磚再生成轉爐吹付料；盛鋼桶的鋁鎂澆注料再生利用成吹付料或澆注料等應用手段[38]。

(四) 降規再使用

以高爐主流道的鋁矽碳耐材來說，可將用後的產品移至環境較不嚴苛的渣流道[38]，也可將原本用於工作層的材料，移至其它較不嚴苛的環境繼續使用。某鋼鐵廠盛鋼桶用鎂碳磚，將壁部侵蝕不明顯、尚可再利用的鎂碳磚移至頂部freeboard區域使用。此案採取直接現場再利用，具有節省材料處理資源、降低成本、提高使用效率等優點。

日本鋼鐵廠多為自行將廢耐材造渣、粉碎混和再利用，而在台灣目前市場上則是側重各耐火廠商協助回收的角色。日本目前已有鋼鐵

表 4　以目前煉鋼廠常用之再生技術列表如下

項目	技術說明	出處
盛鋼桶用再生鎂碳磚	原磚中的金屬鋁粉會氧化成氧化鋁，含量會隨著再生次數增加而提升，使再生磚的抗侵蝕能力逐漸下降。 原磚中的金屬矽會變成二氧化矽，並和鎂元素反應成鎂橄欖石，使液相增加、降低抗侵蝕能力。 於再生磚中加入碳化硼，可提高其抗氧化性。 由上述 1~3 項關鍵，並加入適當添加劑，二次再生 (97.5% 回收料) 的鎂碳磚能達到原磚的物理指標。 回收料中含有密度較小的假顆粒，使殘碳不容易被樹脂潤溼，以致二次再生的鎂碳磚體積密度較小。 需留意原磚中的 Al_4C_3 會與結合劑中的水反應成 $Al(OH)_3$，使體積增大，導致再生製品出現開裂現象。($Al_4C_3+12H_2O=4Al(OH)_3+3CH_4$) 上述 5、6 可分別透過溶液浸泡、粒度調整、高溫化學反應進行改質處理。	[34] [39]
滑板磚再生技術	選擇裂紋較少、邊角完整的滑板，透過鑽孔定位，安裝內芯，再配合剛玉質的耐火泥組合新舊物件。最後刷塗抗氧化塗料，即能順利再生滑板，其使用效果與原滑板相當。 將滑板磚破碎成不同粒度後，外加 SiC、葉蠟石、石墨、酚醛樹脂所開發出的「不燒 Al_2O_3-SiC-C 磚」可應用於其它部位。 以中國首鋼用後 Al_2O_3-C 滑板、用後矽磚、用後黏土磚為原料，製得出品質良好的莫來石。總結來說，與天然原料相比，用後耐火材料雜質含量較低，組成較穩定，有利莫來石的合成。	[36] [39] [40]
魚雷車鋁矽碳磚再生技術	將用後鋁矽碳磚破碎、乾燥後，直接加入魚雷車吹付修補料中，使用效果良好。 用後磚加入礬土、白剛玉、石墨、結合劑、添加劑等，可再製成魚雷車鋁矽碳磚，用後耐材加入量達 15~30% 時，再生性能可符合要求。	[18] [39] [41]
轉爐鎂鈣磚再生利用	鎂鈣磚的再生可以石蠟為基礎。另外，研究指出用後鎂鈣磚的加入量以 5% 為最佳，可使再生磚與原磚性能相當。 需留意加入過量用後磚可能面臨耐壓強度下降、荷重軟化溫度下降的風險。	[39]
不定形材的再利用	於煉鋼廠中直接將原有的不定形材經破碎、混和、攪拌、再製成不定形材，即能有效再回收使用。簡而言之，「就地處理」是降低能耗最直接的再利用模式。如盛鋼桶的鋁鎂澆注料，再製成盛鋼桶的鋁鎂澆注料或修補料。	[41]

廠完全回收用後耐火材料的報告，值得台灣學習[15]。故將本段再生技術列如表4，供台灣各界參考。

五、結論

參考世界各國的用後耐材回收處理情形、再生技術，並考量台灣本身的條件、情況，本文提供戰略及技術方向相關建議：

戰略方向：

1. 與日本情形相同，受限土地面積不足，故應將以「掩埋」做為回收方法，逐步導向為煉鋼廠內現場再利用、混於新耐材中、回收再製等，盡量不做路基、不掩埋。
2. 雖不同於中國、歐美等國家會面臨耐火原物料開採成本增加 (台灣耐火原料約 100% 進口)，但相關成本仍會從原料商、台灣進

口商、耐材公司一路轉嫁到鋼鐵廠。故由鋼鐵廠直接進行耐火材料再利用，是最直接的降本方法。

3. 雖然高爐流道、魚雷車等流程煉鋼的用後耐材再利用可提高再利用比率，但未來這些煉鋼製程終將被取代，故應專注於電爐煉鋼流程、新型煉鋼方法的耐材回收。

技術方向：

1. 用後耐材再利用的關鍵在於「回收」，如中國的新工法：水化乾燥窯、碾磨設備等；日本的磁浮分離系統、顏色分類方法等。台灣是科技強國，應可透過 AI、智能化設備等，準確且穩定的回收用後耐材。雖然設備、技術成本昂貴，但回收減碳效益高，故仍值得投資。
2. 針對鎂碳質、碳化矽質等含高級原料的耐材再利用，宜採改質、混於新料中、降規再利用等方法；而一般用後耐材可往「造渣」、「土壤調節劑」等方向進行，整體方向需以經濟層面考量進行。

參考文獻

1. IMFORMED, Refractory Raw Material World Sources Map. IMFORMED, 2016
2. Y. Nakamura, N. Hirai, Y. Tsutsui, K. Uchinokura, S.-I. Tamura, Recycling of refractories in the steel industry. Indust. Ceram. 19 (2), p111–114, 1999.
3. 耐火材料技術現況與發展 (上),《工業材料雜誌》443 期 , 2023.
4. Dominguez, M.I., Romero-Sarria, F., Centeno, M.A., Odriozola, J.A., Physicochemical characterization and use of wastes from stainless steel mill. Environ. Prog. Sustain. Energy 29 (4), p471–480, 2010.
5. Koros, P.J., Dusts, scale, slags, sludges… not wastes, but sources of profit. Metall. Mater. Trans. B 34B (6), p769–779, 2003.
6. S. Hanagiri, T. Matsui, A. Shimpo, S. Aso, T. Inuzuka, T. Matsuda, S. Sakaki, H. Nakagawa, Recent Improvement of Recycling Technology for Refractories. 新日鐵技報第 388 號 , p93-98, 2008.
7. Takahashi H et al., Recycling of used refractories in an electric steelmaking shop. Journal of TARJ, 20 (4), p249-253, 2000.
8. 賈紅玉、劉敬東、竇連生 , 安鋼用後耐火材料資源化利用途徑探討 , 河南冶金 , 第 22 卷 , 第 4 期 , p17-19, 2014.
9. 張鵬華 , 酒鋼耐火材料全亮資源化利用方向探討 , 科技創業家 , 09(下), p90, 2012.
10. 周旺枝、劉黎 , 用後耐火材料回收利用研究現況與發展 , 武鋼技術 , 第 51 卷 , 第 2 期 , p4-7, 2013.
11. 任富平 , 用後耐火材料回收利用 , 綠色能源 , 7 月上 , p19-20, 2017.
12. 王建築 , 鋼鐵冶金用後耐火材料梯級回收再利用基礎研究 , 西安建築科技大學博士學位論文 , p1-146, 2017.
13. 鄭麗君、張國棟、劉海嘯、劉峰 , 用後耐火材料回收合成鎂鋁尖晶石的研究 , 第十三屆全國耐火材料青年學術報告會暨 2012 年六省市金屬（冶金）學會耐火材料學術交流會論文集 , p544-547, 2012.
14. 李明暉、李燦華、歐陽德剛 , 用後耐火材料再生利用技術研究發展 , 中國環境科學學會科學技術年會論文集 , p2114-2119, 2019.
15. Harada, Zero emission technology of refractory waste. 耐火物 75[9], p399-402, 2023.
16. Simon, F.-G., Adamczyk, B., Kley, G., Refractory materials from waste. Mater. Trans. 44 (7), p1251–1254, 2003.
17. Pan, Gao, Wang, Yang, Effect of recycled refractory, phenolic resin and Si powder on the Al2O3-C refractory for continuous casting. UNITECR, Frankfurt, Germany, 2023.
18. Exenberger, Grimm, Steel ladle: capacity increase, linning concepts and recycling experience over 25 year. UNITECR, Frankfurt, Germany, 2023.
19. Kim, Jang, Lee , Lee, Kim, Recycling of Al2O3-SiC-C Refractory brick for repairing torpedo ladle car. UNITECR, Frankfurt, Germany, 2023.
20. https://www.valoref.com/recycled-raw-materials
21. Fang H., Smith J. D., Pleaslee K. D.. Study of Spent Refractory Waste Recycling from Metal Manufacturers in Missouri[J], Conservation and Recycling, 25(2):111-124, 1999.
22. 姚金甫、崔維平、洪建國、田守信 , 鋼鐵企業用後耐火材料的再生利用 , 耐火材料 , 第 44 卷 , 第 3 期 , p235-237, 2010.

23. 劉金山，馮峰，用後耐火材料製備再生顆粒料的新工藝 [J], 耐火材料， 48(2)：139-140, 2014.
24. 包向軍，何亞斌，趙鵬等，鋼鐵企業用後耐火材料的再利用工藝 [J]. 工業加熱， (1)：1-2, 2009.
25. Henagar S et al., Recent improvement of recycling technology for refractories. Nippon Steel Technical Report N 98 July p93-98, 2008.
26. Viklund-White Ch et al., Utilization of spent refractories as slag formers in steelmaking. 6th Int. Conf. Molten Slags, Fluxes and Salts, Sweden, Stockholm, June 2000.
27. Porisiensi S, Recycling of ladle slag and spent refractories by injection into an EAF. Iron & Steel Technology, June, p73-76, 2004.
28. Memoli F et al., Recycling of ladle slag in the EAF: A way to improve environmental conditions and reduce variable costs in the steel plants. AISTech 2006 Proceedings Volume II p1171-1179, 2006.
29. Bennett JP et al., Evaluating practices to reuse/recycle spent refractory materials in the steel industry. Electric Furnace Conference Proceedings p299-308, 2001.
30. Vanilla A et al., Refractories, environment and natural resources. ALAFAR 2008 (in Spanish).
31. Duarte AK et al., The refractories industry in Latin America. XXXIII ALAFAR 2006 (in Portuguese).
32. Sa RG et al., Recycling of spent refractories from metallurgical processing: management and technological approach. 8th UNITECR, Sept. 2007.
33. Lule González RG et al., Recycling MgO-C refractory in the EAF of Mittal Steel Lazaro Cárdenas. Iron & Steel Technology, pp. 76-84, 2006.
34. 田守信，關於用後鎂碳磚多次再生利用的探討，耐火材料，第 44 卷，第 4 期，p305-306, 2010.
35. 王長春、陳花朵、牛智旺、喬建房、王大軍，用後滑板的鑲嵌修復和再利用，耐火材料，第 47 卷，第 2 期，p157-160, 2013。
36. Yoshiyama, Kubo, Imanishi, Recycling technology for used SG plate. 耐火物，第 56 卷，第 1 期，p24-25, 2004.
37. Takashima and Imagawa, Recent improvement of recycling technology for refractories. 日本製鐵技報，第 415 號，p70-74, 2020.
38. Sasaki, Wakae, Namba, Recycle Technology for Unshped Refractories. 耐火物，第 56 卷，第 9 期，p453-458, 2004.
39. 張巍，以用後耐火材料製備再生料研究的新進展，能源環境保護，第 27 卷。第 4 期，p6-11, 2013.
40. 岳昌盛、郭敏、張梅等，以用後矽磚、黏土磚和滑板磚為原料合成莫来石，耐火材料，第 43 卷，第 3 期，p207-210, 2009.
41. 佐々木久晴，若江智 ，難波誠，不定形耐火物へのリサイクル技術の適用，耐火物，第 56 卷，第 9 期，p453-458, 2004.

中碳公司：從循環經濟做起，推出綠能與半導體領域的關鍵特種碳材

中鋼碳素化學股份有限公司研究員 / 陳柏欽
中鋼碳素化學股份有限公司主辦工程師 / 陳昱良
中鋼碳素化學股份有限公司主辦工程師 / 李協聰

關鍵字：循環經濟、煤化學、石墨負極材料、超電容活性碳、高純碳粉、等方性石墨塊材

摘要

中碳從循環經濟著手，協助母公司中鋼將副產品循環利用。煤礦在中鋼經煉焦後用於煉鐵，副產物煤焦油及輕油則由中碳進行第二次利用，從中以提取及純化之化學品進行銷售，而此煤焦油蒸餾的產物瀝青則繼續由中碳進行第三次利用，以此為原料開發高值化碳材料，推出：鋰離子電池用負極石墨粉、超級電容器用活性碳、化合物半導體用高純碳粉及等方性石墨塊材等碳材產品。不僅填補國內能源產業及半導體產業的供應鏈缺口，強化國內產業之供應鏈安全，也為公司創造獲利來源，真正落實「循環」與「經濟」並重的永續發展模式。

一、前言

中碳公司隸屬於中鋼集團工業材料事業群，為集團下的重要子公司，同時也是台灣唯一一家專注於煤化學產品製造的企業。

近年來，循環經濟逐漸受到廣泛關注，然而，中碳公司在其成立於民國78年的初期即致力於循環經濟的實踐。循環經濟的核心概念包括「循環」和「經濟」，兩者缺一不可。實際上，具備了以「經濟」為支撐的循環技術，方能實現真正的永續發展，因為企業需要獲利以維持運作，若僅談及循環而忽略經濟層面，則僅停留在理念階段而已。

中碳公司向來務實、穩健，在兼顧循環與經濟的情況下，不但協助中鋼處理煉焦副

產物的再利用，同時創造了可觀的商業價值，成功讓中碳公司運作至今。

二、中碳循環經濟技術介紹

(一) 煉鐵副產品由來

中鋼煉鐵廠主要以高爐進行煉鐵，須添加鐵礦及煤礦，藉由煤礦在高溫下將鐵礦還原得到鐵水，進而再經過多道製程得到鋼胚，其中煉鐵的副產品主要來自於處理煤礦的煉焦工廠。

中鋼為一貫化鋼廠，使用高爐法將鐵礦藉由焦碳還原為鐵水，進而產出各項民生工業所需之鋼材。中鋼集團擁有六套新式連續多爐室煉焦爐，經由高溫乾餾製程將冶金煤轉變成固態的焦碳、細焦碳粉粒以及氣態的高溫揮發氣體。煤經煉焦後之成份圖如圖1所示，其中主要產物焦碳為煉鐵原料，部分不

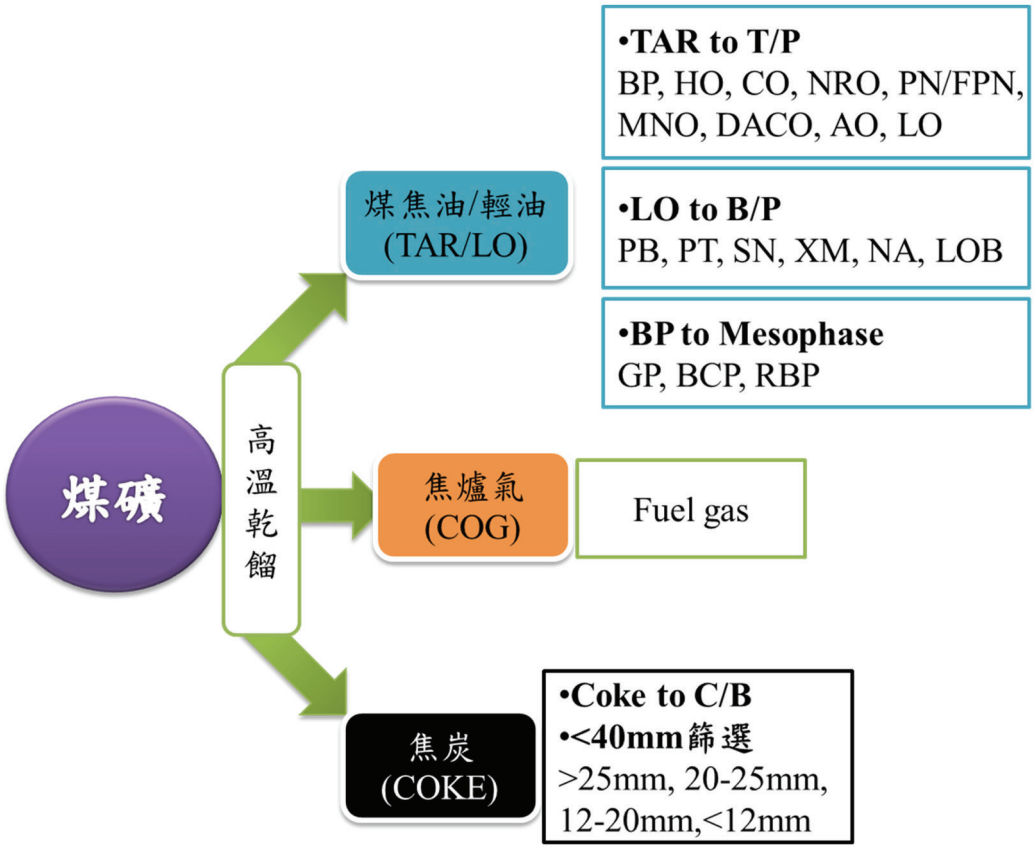


圖 1　煤經煉焦後之成份圖

適合高爐煉鐵用的細焦碳，就由中碳公司所投資建置之細焦碳工廠進行除水篩分，供給國內電爐煉鋼業使用。而高溫揮發氣體(富含水、CO_2、CO、石蠟烴類、芳烴類和各種雜環化合物等)經過噴氨冷卻、氣液分離、萃取分層處理之後，可得到液態的煤焦油、輕油及氣態的焦爐氣，煤焦油、粗輕油、焦爐氣以及細焦碳即為煉鐵的副產品。氣態的焦爐氣可作為產生動力的燃料，或將含碳氣體轉化成C1或C2化學品，進行鋼化聯產的循環減碳利用。目前於中鋼煉鐵製程所衍生之副產品之細焦碳、煤焦油、粗輕油由中碳公司所投資建置之煤化學生產工廠進行循環利用，生產出各項重要化工油品及原料，提供下游產業使用，副產品循環利用如圖2。

中碳公司主要由煤化學工廠處理煉焦廠所產生的油品，近幾年已拓展增設碳材料生產工廠。煤化學工廠主要將煤焦油及粗輕油經由多道蒸餾塔分餾及純化出各油品成份，進而得到多種利基產品。碳材料生產工廠則將煤化學工廠中的軟瀝青產品再利用，主要用來生產鋰電池二次電池負極材料、超電容活性碳及等方性石墨塊材，最終達到煉鐵副產品循環再利用的目的。

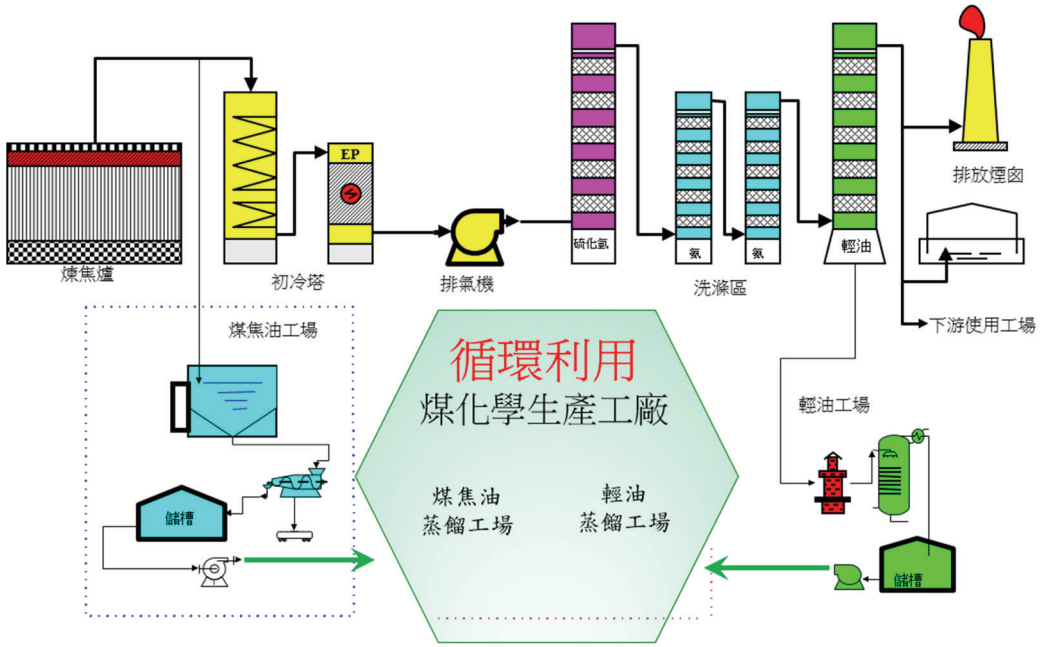


圖 2　副產品循環利用

以下進行各副產品再利用之製程介紹：

(二) 細焦碳處理工廠製程簡介

細焦碳產品循環利用包含電爐煉鋼增碳劑、耐火材添加劑、石灰業燃料。中鋼煉焦爐所生產的焦炭依粒徑分為大焦小焦，小焦由中碳的細焦碳處理工廠進行篩選分級與乾燥，篩選後>25mm的焦炭回到中鋼自用，其餘依據產品尺寸各有不同用途，例如15mm以下的細焦炭經由乾燥後至水含量1%可作為煉鐵增碳劑。

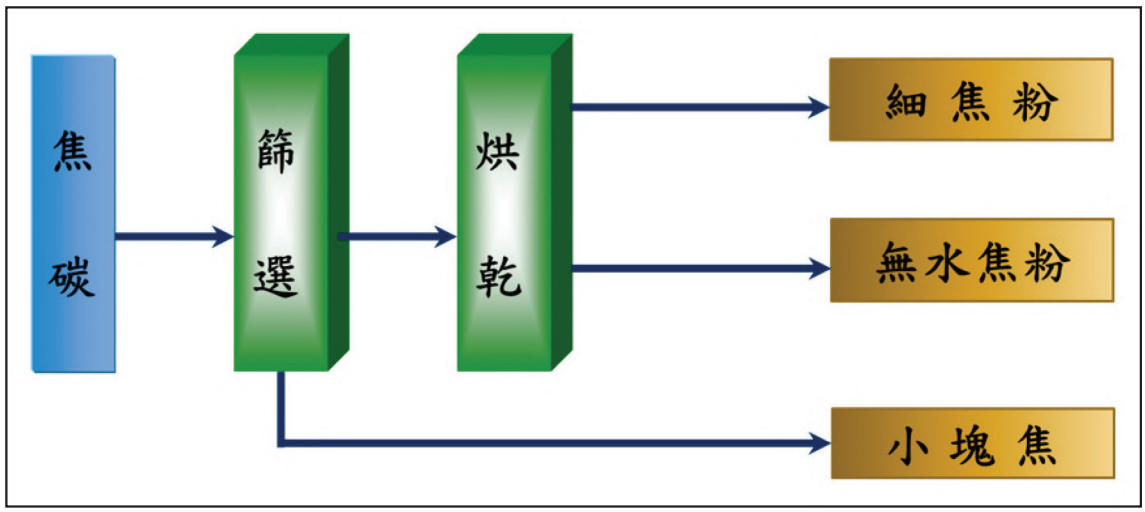


圖 3　細焦碳處理工廠製程流程圖

(三) 煤焦油蒸餾工廠製程簡介

煤焦油蒸餾工廠製程主要使用的純化分離方式為蒸餾單元。蒸餾單元將煤焦油中高經濟價值物提純分離，分離出的產品有軟瀝青、雜酚油、碳黑進料油、萘油、洗油及循環油等。軟瀝青產品至下游產業可生產硬瀝青、防水及防蝕材料，另外的最大用途為介相瀝青碳微球工廠的原料，可生產不同粒徑之介相碳微球，作為鋰電池二次電池負極材料之原料。雜酚油及碳黑進料油產品則可供碳黑廠商或製藥業生產多種型號碳黑及特殊碳黑、木材防腐油、藥品及特用化學品。萘油產品經由純化後得到化學級精萘及萘丸級精萘產品，至下游產業可生產環保染料、水泥減水劑及驅蟲萘丸等製品。洗油產品則可再提供給中鋼煤化學工廠冷卻萃取吸收其煉焦爐產出的高溫揮發性氣體，轉化成煤焦油，再供中碳使用。循環油產品可用於中碳煤焦油蒸餾工廠之熱煤油循環系統，進行製程熱能整合，達到熱循環經濟之利用。整體來說，以煤焦油為原料，經蒸餾分離處理的產品利用率相當高。

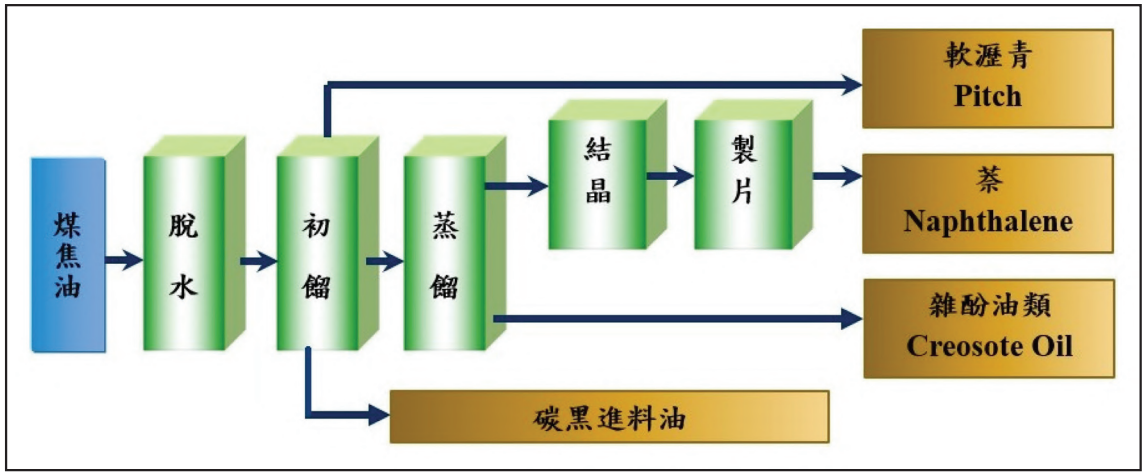


圖 4　煤焦油蒸餾工廠製程流程圖

(四) 輕油蒸餾工廠製程簡介

中碳輕油蒸餾工廠可將粗輕油藉由多道蒸餾塔分離純化後得到高純度及高品質之化學品，達到副產品完全處理再使用。主要製程包含將中鋼之粗輕油(含苯、甲苯等輕質油品混合物)經蒸餾、加氫高壓反應、萃取蒸餾等作業後產出相關產品。粗輕油依成分沸點之不同可分離出苯(PB)、甲苯(PT)、非芳香烴油(NA)、溶劑油(SN)、二甲苯混合物(XM)、塔底油(LOB)等產品。苯產品可至下游產業生產苯乙烯及烷基苯等產品。甲苯則可當許多化學物質之溶劑使用。

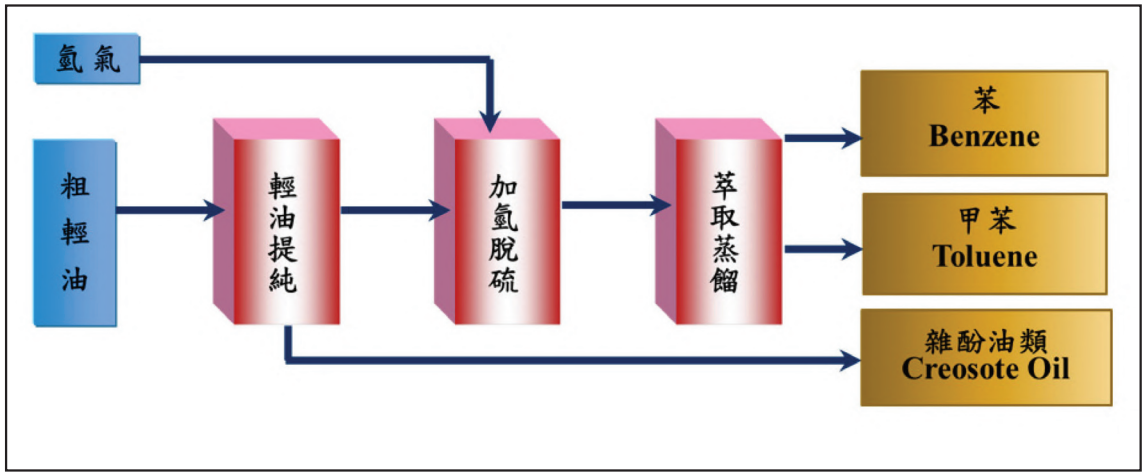


圖 5　輕油蒸餾工廠製程單元流程圖

(五) 碳材料簡介

介相碳微球工廠製程主要用到熱反應、萃取過濾、乾燥分離單元；原料來自於煤焦油蒸餾產出的軟瀝青。軟瀝青經過高溫熱反應後可產生介相碳微球產品，依照不同的製程參數可生產不同粒徑大小的介相碳微球，作為鋰電池二次電池負極材料之原料。介相碳微球工廠使用的萃取溶劑也來自於煤焦油蒸餾工廠所產出的洗油以及輕油蒸餾工廠所產出的甲苯溶劑，而溶劑經萃取使用後，再藉由溶劑回收單元回收利用，把產品的循環再利用發揮到淋漓盡致。而溶劑回收所得到的副產品精製瀝青可至下游產業製成石墨電極棒及等方性石墨塊材等高價值用品。

三、中碳碳材料技術

除了介相碳微球，中碳還開發了從煤焦油瀝青產出其他碳材料產品的技術，例如：超電容器用的活性碳，以及等方性石墨塊材等相關技術，並已成功商品化。其中介相碳微球及活性碳主要用於儲能領域，而等方性石墨塊材可用於半導體領域及模具等應用。

中碳一直在不斷推進相關技術，運用煤焦油和輕油等原料，精心製造高附加價值的煤化學和精碳材料。中碳的碳材料產品為綠色產品，完全符合中碳公司ESG永續經營策略，並已發展成為公司當前積極推進的主力事業。目前，這些產品主要應用於鋰離子

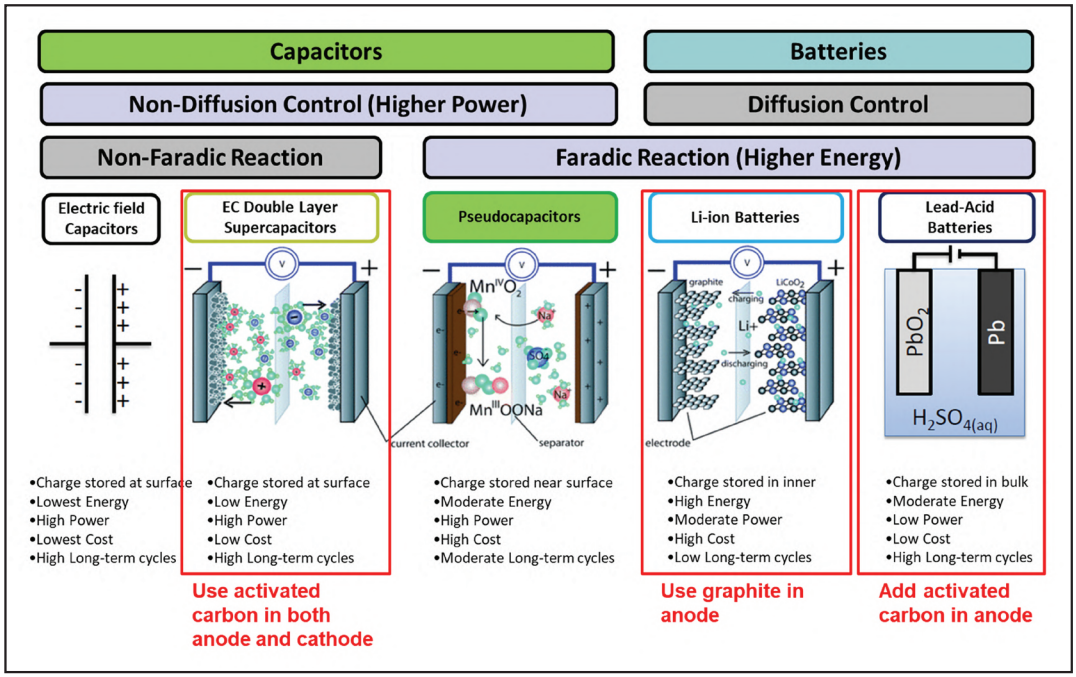


圖 6　各式電化學儲能系統應用 [1]

圖 7　等方性石墨塊材應用 [2]

二次電池的負極材料，成為電動車電池及儲能電池產業不可或缺的關鍵材料，同時也受到政府積極推動之循環經濟計畫的重視。此外，中碳公司擁有優良的瀝青粉生產技術，應用瀝青粉所成功開發之儲能用活性碳粉已成功提升10倍價值，當中ACS系列活性碳可用於超電容產品和鉛酸電池產品，已穩定銷售予國內外廠商，並持續研發提升產品性能，多方對於儲能應用市場進行推廣，將可有效拓展精碳材料應用範疇，提高公司獲利。

為填補國內半導體供應鏈缺口，中碳公司積極投入高純碳材產品的研發，包括高純碳粉和高純等方性石墨塊材，並於民國112年成功建置全國第一座鹵素純化爐，所生產的產品純度均可達到5N以上(≧99.999%)，可滿足半導體產業對高純度的嚴格要求。未來，中碳公司將積極參與半導體產業，以進一步提升公司整體的競爭實力。

以下將介紹「鋰離子電池快充型負極材料」、「超電容儲能活性碳」及「化合物半導體用高純碳粉與等方性石墨塊材」：

(一) 鋰離子電池快充型負極材料

在未來的十年中，預計全球鋰電池市場將呈現驚人的5-10倍成長，其應用範疇廣泛，包括電動車、固定式電網儲能系統、航空業和國防等多個領域，突顯鋰電池在現代科技和能源領域的關鍵地位。這主要是因為鋰電池是目前能量密度最具優勢且最成熟的電池技術。其儲能機制主要來自於鋰離子在

充放電時，於正、負極間移動過程中伴隨著電子的流動而形成法拉第電流。因此鋰離子電池的正、負極必須選用可以儲鋰的材料，其中，最常見的負極材料就是碳材料，尤其是石墨。充電時，鋰離子透過嵌入的方式被儲存在石墨晶格的層間距內；放電時，鋰離子再從石墨層中嵌出。

目前，全球70%以上的鋰電池產能主要集中在中國大陸、日本和韓國，且因地緣政治日趨緊張，因此引起歐美政府對供應鏈安全的極大擔憂，紛紛實施相對應的政策以確保產業的自主化。

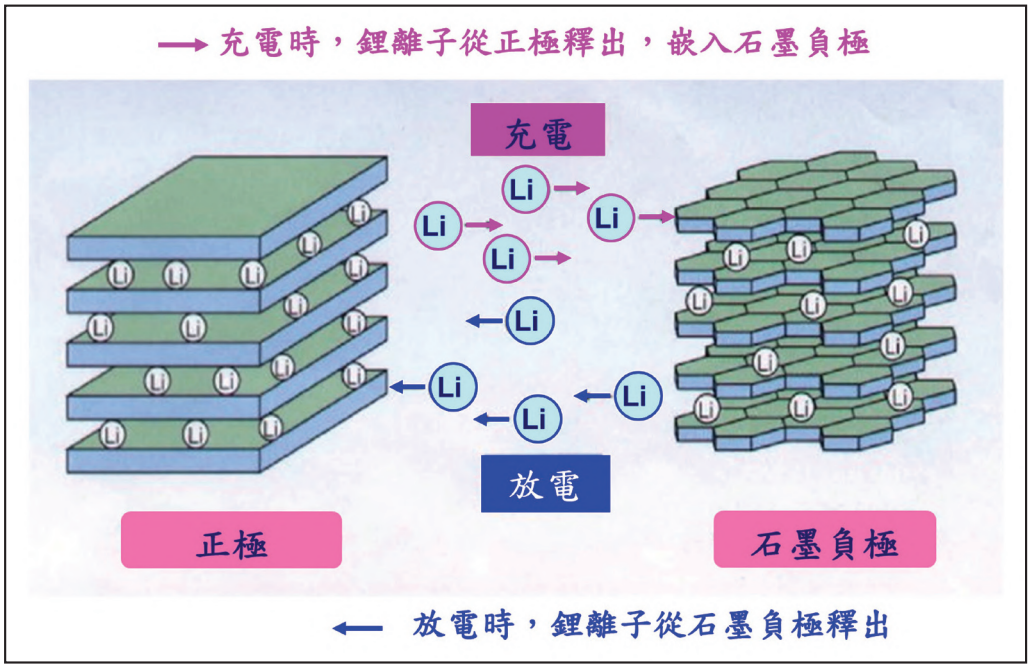


圖 8　鋰離子電池充放電原理 [3]

為了實現台灣負極石墨粉技術自主化，中碳在母公司中鋼的支持下，於民國107年完成了國內第一座石墨化廠建設並開始量產。這不僅為中碳的碳材料技術開發奠定堅實基礎，也推動了國內碳材料產業的技術提升。

石墨化是人造石墨不可或缺的技術環節，藉由高溫石墨化的過程，可使特定碳材原料從原先的無定型碳，因高溫而使碳原子逐漸呈現規律的週期排列，形成石墨結構，並在此過程中逐步排除原料中的不純物，最後得到結晶性高、石墨結構發達的人造石墨。

自民國111年開始，中碳為配合政府2030年公車全面電動化政策目標，以及從戰略資

源的角度思考國內電池芯自主生產的重要性，在經濟部產發署的產創計畫支持下，成功地使用「介相碳微球製程技術」、「微細化技術」、「石墨化技術」和「表面改質技術」等四項技術，開發了電動巴士電池所需的快充型高倍率負極材料。這使得電動巴士的充電時間大幅縮短，從原來的約1~2小時縮短至20分鐘內即可充飽。透過該計畫的執行，中碳有效地連結了電池產業的中、下游廠商，使國內電池產業鏈更加健全。

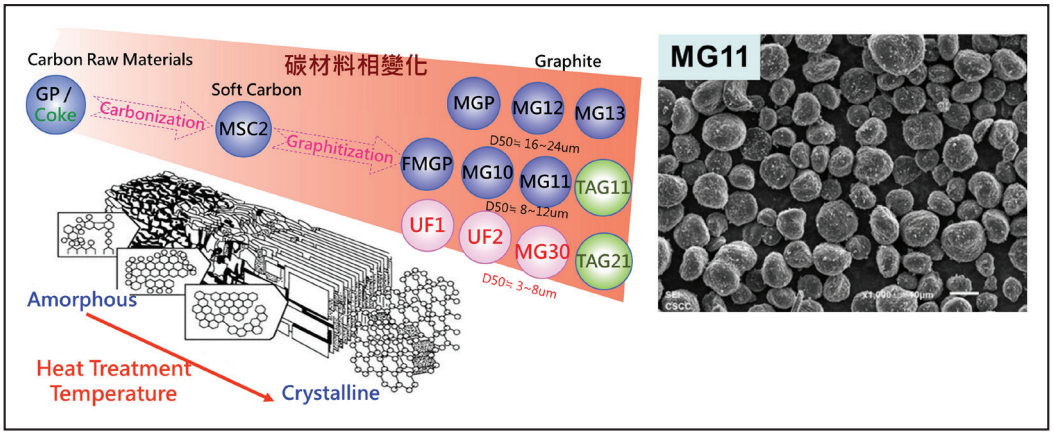


圖 9　碳材料相變化及中碳石墨負極產品 SEM 影像 [4]

(二) 超電容儲能活性碳

相對於鋰離子電池，超級電容器的特色在於其超高功率性能。雖然能量密度比鋰電池低，但其功率密度優於鋰電池，這主要是因為儲能機制的不同。一般市售的超級電容器又稱電雙層電容，因儲能過程中不牽涉到化學反應，僅靠電荷物理吸附於正、負極材料的表面，形成電容效應，故正、負極材料的比表面積越大，可儲存的能量就越多。

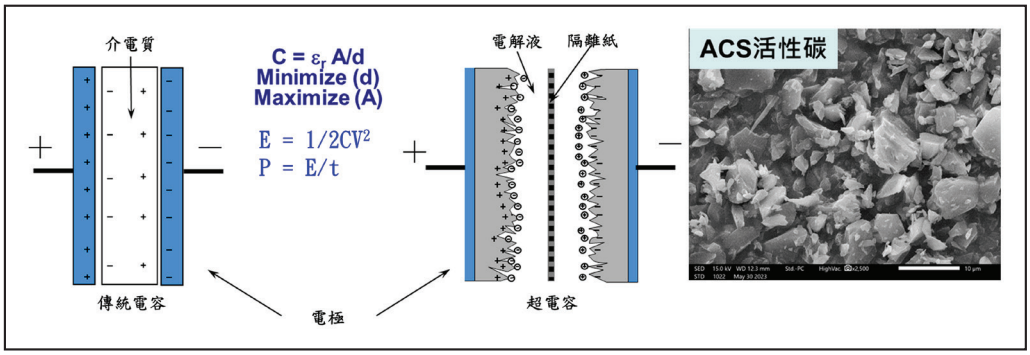


圖 10　超級電容器儲能原理 [5] 及中碳 ACS 活性碳產品 SEM 影像

隨著超級電容市場競爭激烈，其製造廠對於碳材料的需求日益增加，期以達到成本降低、品質提升和性能增強的目標。中碳公司秉持著符合市場需求、奠定技術根基以及達到永續經營的原則，致力於發展四項核心製程技術，包括活化、清洗、研磨和表面特性處理，旨在提升產品性能和性質。此番努力有助於在超級電容領域保持競爭優勢，同時拓展至其他潛在的應用領域，例如作為鋰電池和鉛酸電池的添加碳，使中碳公司成為超級電容碳材料市場的領導者。

近期，我國國家綠能科技產業推動方案以太陽能系統、風力發電系統和智慧電表為主要焦點。政府的能源轉型政策目標是在2025年實現再生能源占比達到20%，為因應大規模再生能源（如風電、太陽能發電等）併網，並解決電網系統的瓶頸，政府積極推動智慧電網硬體和資通訊（ICT）等基礎建設。行政院早在2012年就已核定「智慧電網總體規劃方案」，包括發、輸、配、用、產業和環境等多個方面，正式啟動我國智慧電網建設。在能源轉型的需求下，智慧電網建設涵蓋輸配電自動化、智慧電表系統基礎建設、微電網技術發展等多項計劃，旨在解決大規模再生能源併網所帶來的問題，實現再生能源的長期發展目標。在這個過程中，超級電容作為不可或缺的元件，扮演著至關重要的角色。

為因應政府推動的綠能國產、國造政策，中碳公司作為該產業的重要上游材料製造商，積極開發超級電容用碳材料的製造技術，力求達到能夠與國際大廠競爭的水平。

(三) 化合物半導體用高純碳粉與等方性石墨塊材

隨著電動車需求的增長，全球第三類半導體SiC功率元件市場持續擴大，從而推動了SiC長晶用高純度碳粉和等方性石墨塊材的需求快速增長。經濟部在盤點國內化合物半導體產業鏈後發現，缺乏「高純碳粉」和「高純等方性塊材」這兩種關鍵材料，因此積極協助國內廠商填補這兩個缺口。

近年來，SiC長晶領域迎來越來越多廠商的投入。SiC長晶製程對於SiC粉的高純度要求十分嚴格，需要高純度的矽粉和碳粉。考慮到每家廠商在長晶參數上的獨特需求，包括熱場、SiC粉的粒徑、型態、晶相等規格都將對最終的長晶結果產生影響。由於長晶參數具有高度機密性，成為各家廠商的專利技術，因此許多SiC長晶業者積極探求SiC粉的製作技術，希望能夠自主掌握此關鍵製程。

中碳成功研發的高純碳粉對於國內SiC長晶業者和SiC粉體供應商而言是一大助益。由於中碳在國內生產，能夠大幅縮短交期，同時提供客製化的規格調整，協助國內SiC業者充分發揮自身技術優勢，不再受制於進口的限制。這對於SiC產業的發展，將帶來更多可能性和競爭優勢。

另外，長晶所需的另一關鍵材料就是高純等方性石墨塊材。由於目前的等方性石墨塊材技術主要由美國、日本和德國掌握，國內完全仰賴進口，不僅交期長，而且較大尺寸的等方性石墨塊材還受到軍工和核能用途的限制，使得國內廠商能夠採購的等方性石墨塊材規格相對有限。因此，如果國內有能力自行生產，將有助於半導體產業的研發不再受到關鍵材料的限制。

中碳自民國107年建置了全國首座石墨化廠後，已經能夠將碳粉純度通過石墨化製程提升至4N以上(≧99.99%)，具有提煉碳粉的技術基礎。此外，中碳還參與了中科院技轉的等方性石墨塊材科專計畫，並在中鋼的技術支援下，不斷精進介相碳微球自燒結性粉體技術，透過一次成型、碳化焙燒、石墨化製得高強高密等方性石墨塊材。與傳統的等方性石墨塊材製程相比，中碳的自燒結(Self-Sintered)等方性石墨塊材技術既省時又節能。

在政府產創計畫的支持下，中碳建立了國內首座鹵素純化設備，再次為國內碳材料產業開啟了新的技術篇章。鹵素純化是利用鹵素氣體把金屬氧化物轉變成金屬鹵化物，藉此大幅降低不純物的沸點，使不純物較容易被移除。透過此技術所開發的5N高純度碳粉可供應國內碳化矽半導體長晶用原料，建立完整的國內自主產業鏈。而開發的工業級等方性石墨塊材純度也達到5N，可供應國內各領域的需求。基於這一基礎，中碳進一步開發了化合物半導體長晶用石墨坩堝。

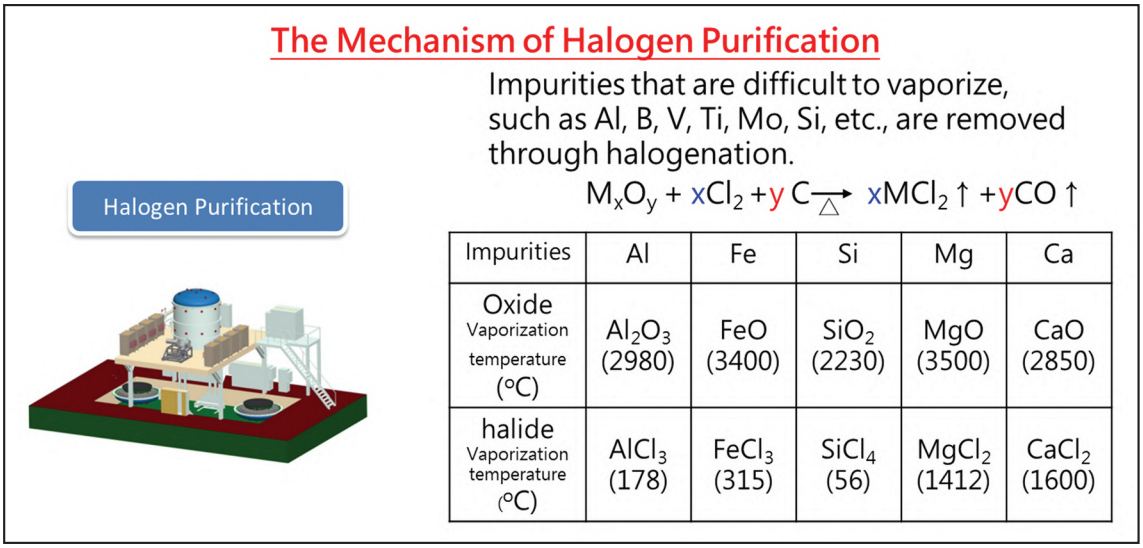


圖 11　鹵素純化技術 [6]

本計畫開發的SiC半導體長晶的高純碳粉和等方性石墨塊材原料，可替代國外進口，避免關鍵原材料來源受到限制，建立我國SiC完整自主產業供應鏈。特別是等方性石墨塊材，不僅適用於化合物半導體，未來還能因應其他相關產業對石墨的需求。

圖 12　中碳 5N 高純碳粉與等方性石墨塊材

四、總結

「千里之行，邁步生芳；水滴成川，砂石凝塔。」中碳秉持著集團的經營理念，在所有同仁的共同努力下，多年來累積的技術實力終於在近年逐漸展現成果。不僅持續穩健經營煤焦油化學產品，在深化精碳材料之開發上更是不遺餘力，透過循環技術將中鋼的副產品進行再利用並且實現了高值化，成功開發出符合綠能政策的產品：「鋰離子電

池負極石墨粉」、「超級電容器用活性碳」和「半導體用高純碳材(包含高純碳粉與高純等方性石墨塊材)」，綠能產品在中碳的營收占比也將逐步提升，扮演綠能產業和半導體產業中不可或缺的關鍵角色。

展望未來，中碳將持續致力於提供卓越品質的碳材料。透過持續的創新和技術飛躍，中碳不僅為中鋼集團在綠能產業的發展願景付出不懈努力，更為台灣產業的繁榮和供應鏈的穩固貢獻所能。中碳深信，這將推動台灣在全球科技和綠能領域的嶄新發展，為未來開創更加美好的前程。

參考文獻

1. Q. Z. Zhang, et. al., “Research Progress in MnO2–Carbon Based Supercapacitor Electrode Materials”, *small*, Vol. 14, 1702883, 2018,
2. CHEManager, 18. Jahrgang · 27. August – 9. september 2009, available on web: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.chemanager-online.com/restricted-files/173363.
3. J. Garche, et. al., Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. Ulm:Elsevier B.V, 2009.
4. H. Marsh, Introduction to Carbon Science. London: Butterworths; pp. 7-8, 1989.
5. W. Roth, “Super and Ultracapacitors Thousands of Farads Thanks to Double Layer Technology”, May 28, 2019, available on web: https://eepower.com/technical-articles/super-and-ultracapacitors-thousands-of-farads-thanks-to-double-layer-technology/
6. C. J. Im, et. al., “Halogen treatment of char for the removal of sulfur and mineral matter”, Fuel Processing Technology, Vol. 33, pp. 49-60, 1993.

轉爐石應用於瀝青混凝土之循環經濟

中聯資源研發處工程師 / 陳皇甫
中聯資源研發處經理 / 許伯良
中聯資源技術室主任 / 徐登科

關鍵字：轉爐石、瀝青混凝土、節能減碳

摘要

轉爐石為一貫作業煉鋼廠轉爐煉鋼製程所產出之副產品，具有硬度高、抗壓強度高等特性，可用於取代瀝青鋪面道路中之天然砂石，不只可減少天然砂石開採造成之環境破壞，其性能更優於原本之天然砂石。轉爐石粒料外觀稜角率高，質地堅硬，磨損率低，作為瀝青鋪面之骨材更可有效提高道路耐久性及壽命，進而提高用路人安全。南星路為高雄港區重要聯外道路，高雄市養工處設計以轉爐石粒料取代天然砂石粒料產製瀝青混凝土，進行南星路道路鋪築，大幅改善道路品質及耐久性，同時節能減碳相當於4.7座大安森林公園年減碳量。高雄市養工處因該路段使用轉爐石瀝青鋪面道路成效卓越，105年榮獲公共工程委員會第十六屆金質獎殊榮。行政院工程會於106年起鼓勵公共工程採用轉爐石瀝青混凝土鋪面，高雄市政府107年起陸續於高雄市中山及沿海路，以轉爐石鋪築密級配及新工法石膠泥瀝青混凝土鋪面，有效改善道路品質，截至112年底，高雄市已鋪築超過150條轉爐石瀝青混凝土道路，全台灣共鋪築超過450條。中鋼集團於國內推動轉爐石作為道路工程材料，除有效改善國內天然砂石資源逐漸匱乏的問題，更可創造出循環再利用的環境永續生機。

壹、轉爐石粒料

(一) 轉爐石介紹

鋼鐵為社會經濟發展中不可或缺之原料，鋼鐵工業係以生產各種鋼鐵製品為主之

行業，其規模與技術為衡量國家工業發展之重要指標。鋼鐵工業可帶動下游工業之發展，具有改善工業結構與促進國家整體經濟發展之功能，因此有「重工業之母」之稱。目前國內煉鋼方法大致有轉爐、電弧爐，常見之煉鋼爐石有轉爐石及電弧爐石，其不同之生產流程如圖1。

中鋼集團在一貫作業煉鋼過程中所產出之副產物以爐石為最大宗，中鋼及中龍公司年產轉爐石數量約160萬公噸。轉爐石為一貫作業煉鋼廠在煉製鋼液時，將鐵水、副原料及廢鋼加入轉爐後，以純氧吹 而產出鋼液及熱熔碴，其中經冷卻之熱熔碴稱為轉爐石（Basic Oxygen Furnace slag, BOF slag）。轉爐石屬煉鋼爐石之一，具有耐磨、高硬度及高抗滑之特性，且粒料特性相當適合應用於鋪面工程，為妥善將轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面，並同時解決國內砂石資源短缺之困境，經濟部標準檢驗局已於2010年12月30日公告實施CNS 15310「瀝青混凝土混合料用鋼爐碴粒料」等國家標準，明確規範道路基層、底層及熱拌瀝青混凝土使用之煉鋼爐碴。再者，美國材料試驗協會（American

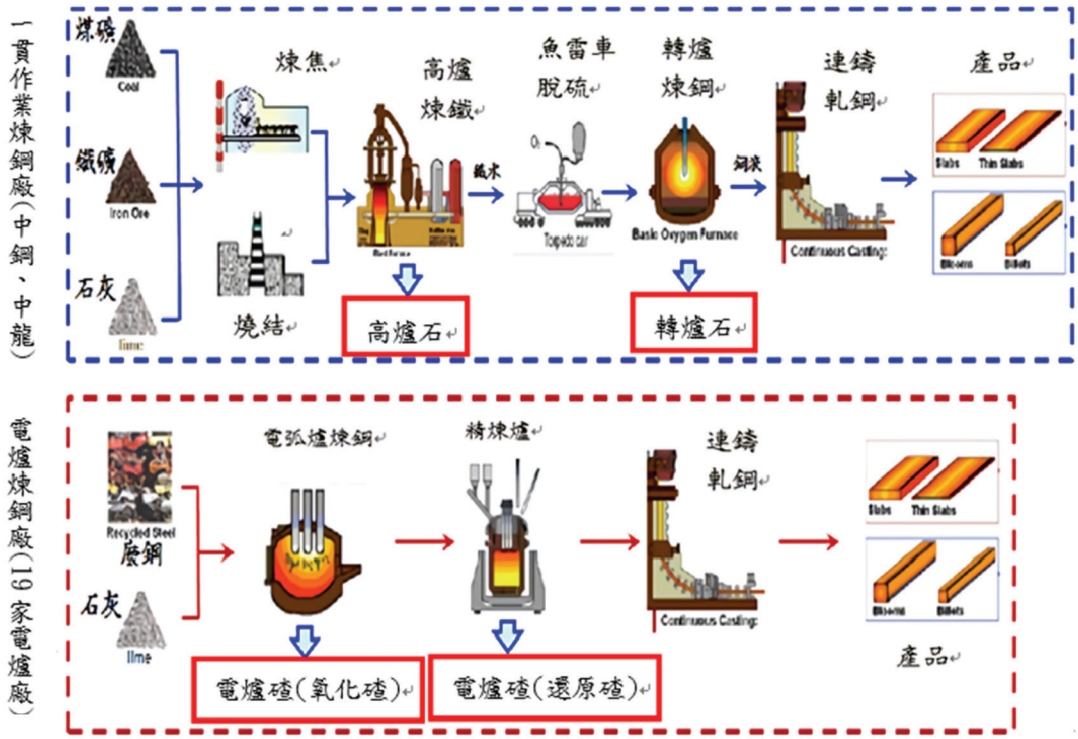


圖 1　爐碴之生產流程

Society for Testing and Materials, ASTM）及日本工業規格（JIS, Japanese Industrial Standards）均已將轉爐石粒料應用於瀝青混凝土材料納入標準規範中（ASTM D5106及JIS A 5015），顯見轉爐石粒料應用於鋪面工程之技術已成熟。就材料特性而言，瀝青具有防水之特性可包裹轉 石而防止水分與轉爐石粒料接觸產生體積膨脹，因此轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面極具發展潛力。

電弧爐煉鋼一般可分為碳鋼製程（例如：豐興、東和、海光公司等）與不銹鋼製程（例如：唐榮不銹鋼公司等）。不同於一貫作業鋼廠直接使用礦石煉鋼，電弧爐煉鋼係以回收之廢鐵、廢鋼為主要原料，經由電弧爐高溫熔煉後製成鋼材，生產過程所產生之爐石統稱為電爐石（碴）。電弧爐熔煉過程必須經過氧化期與還原期兩個階段，因此電爐石（碴）又可細分為「氧化碴」與「還原碴」。此外，廢鐵、廢鋼經電弧爐高溫熔煉製程所排放的氣體及懸浮微粒經空氣污染防治設備收集後稱為「集塵灰」，電弧爐集塵灰一般含有戴奧辛及鋅、鉛等重金屬，通常被歸屬為有害事業廢棄物。

由於不同的爐石特性迥異，管理上所適用的法令規範亦有所不同。一貫作業煉鋼產出的氣冷高爐石及轉爐石為天然礦石提取鐵質後的殘餘物質，成分較為單純且性質變異小，轉爐石粒料現為中鋼公司登記在案之產品，不屬於事業廢棄物，故不適用『經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式』規定管理範圍，但轉爐石粒料相關產品仍須依照相關國家標準及施工綱要規範進行使用。

表 1 轉爐石之物理性質

物理性質	參考值 *
比重	3.4
單位重 (kg/m³)	1600~1920
吸水率 (%)	2.6
洛杉磯磨損 (%)	17.6
健性試驗 (%)	1.3
加州乘載比 (CBR)	>300

(二) 轉爐石性質

(1) 轉爐石物理性質

轉爐石比重約3.2~3.4，較天然砂石重，且洛杉磯磨損率及健性損失率皆優於天然砂石；轉爐石之物理性質如表1所示，轉爐石具有下列之粒料特性：

a. 比重：轉爐石含氧化鐵成分，比重約為3.2~3.4。高比重材料其比重值大於3，表示材料結構緻密，具有良好粒料強度 。

b. 硬度：轉爐石表面堅硬、粗糙、富有稜角，莫氏硬度約為7、洛杉磯磨耗值小於20%，對於抗磨損、抗磨擦、抗侵蝕及抗風化等能力均屬優 。

c. 耐磨性：轉爐石有堅硬表面及較佳抗磨損能力，抗風化及抗侵蝕能力好，適合用於瀝青混凝土鋪面。

d. 摩擦性：轉爐石外表粗糙凹凸富有稜角，可提高瀝青混凝土之抗磨擦能力，特別是在行車速率較高之鋪面，使用轉

表 2　轉爐石之化學成分含量

化學物質	含量 (註 1)(%)		含量 (註 2)(%)	含量 (註 3)(%)	含量 (註 4)(%)
	平均	標準差			
氧化鈣 (CaO)	40	3.4	42~52	40~52	42
二氧化矽 (SiO_2)	9.7	1.50	10~20	10~19	15
氧化亞鐵 (FeO)	30	4.3	15~35	10~40	24
氧化錳 (MnO)	2.3	1.06	3~10	5~8	5
氧化鎂 (MgO)	7.7	4.09	1~8	5~10	8
三氧化二鋁 (Al_2O_3)	4.3	1.93	0.5~3	1~3	5
五氧化二磷 (P_2O_5)	2.9	0.34	1.5~4	0.5~1	0.8
硫 (S)	—	—	0.25	<0.1	0.08
氧化鉻 (Cr_2O_3)	0.24	0.07	<2	—	—
CaO/SiO_2	4	0.77	4	—	—
Free-CaO	—	—	3~13	—	—

資料來源
註 1: 中鋼、中龍 101-108 年度統計資料
註 2:Sustainable and Advanced Materials for Road InfraStructure (SAM-06-DE05)
註 3:Turner Fairbank Highway Research Center. Material Description for Steel Slag.
註 4:National Slag Association, Steel Slag- A Premier Construction Aggregate.

爐石可有助於提高鋪面之摩擦力。

e. 健性：轉爐石的硫酸鈉健性損失率小於20%。經統計數據顯示，轉爐石相較於天然粒料具有更佳之健性，甚至達三倍之多，在瀝青混凝土中是良好的粒料替代品。

f. 扁長率：轉爐石扁平率約有99% 超過1：3，比一般天然石低，滾壓時不易破裂。

g. 吸水率：轉爐石因具粗糙表面且毛細孔較天然粒料多，因此粒料吸水率較高。一般建議轉爐石材料應用於瀝青混凝土時，經過烘乾後之含水量不可超過0.1%，以避免造成瀝青混凝土體積之不穩定。

h. 親油性：轉爐石含大量鈣質成分具親油性，使瀝青膠泥不易剝脫，有利於瀝青混凝土之耐久性。

(2) 轉爐石化學性質

轉爐石主要化學成分為氧化鈣（約35~49%），其次為氧化鐵（約17~35%）、二氧化矽（約8~18%），另含有少許氧化鋁、氧化鎂…等其他化學成分。轉爐石中氧化鈣大部分與氧化矽結合形成矽酸鈣化合物（calcium silicates），矽酸鈣為水泥熟料的主要成分，因此轉爐石具有類似水泥的水化膠結特性；轉爐石之化學成分含量如表2所示，各主要化學成分之特性如下：

a. 氧化鈣（CaO）：CaO為爐石之主要

表 3　轉爐石 TCLP 溶出結果

項目	溶出值	偵測極限	項目	溶出值	偵測極限
砷 (mg/L)	ND	0.008	汞 (mg/L)	ND	0.0001
鎘 (mg/L)	ND	0.001	硼 (mg/L)	<0.020(0.015)	0.006
鉻 (mg/L)	ND	0.003	錳 (mg/L)	<0.010(0.003)	0.003
銅 (mg/L)	ND	0.002	硒 (mg/L)	ND	0.006
鎳 (mg/L)	ND	0.003	六價鉻 (mg/L)	ND	0.01
鉛 (mg/L)	ND	0.004	氟鹽 (mg/L)	0.10	0.0009
鋅 (mg/L)	ND	0.006	碳酸鹽 (mg/L)	ND	0.03

成分，CaO含量高，能生成較多矽酸鹽 ，形成水化反應活性(以下活性皆指水化反應的活性)較高之矽酸二鈣（$2CaO{\cdot}SiO_2$）及硫鋁酸鈣。

b. 二氧化矽（SiO_2）：SiO_2主要生成低鈣矽酸鹽和高矽玻璃體，有時SiO_2以游離態存在，阻礙礦物水化結晶過程使其活性下降，由於轉爐石中CaO 與MgO之總含量，不足以使SiO_2充分結合成玻璃質，所以SiO_2含量過多反而降低活性。

c. 氧化鋁（Al_2O_3）：Al_2O_3亦是決定爐碴活性之成分之一，在爐碴中易形成鋁酸鹽和鋁矽酸鹽等礦物，其含量愈多活性愈大。

d. 氧化鎂（MgO）：在轉爐石內MgO與SiO_2及Al_2O_3結合成穩定型化合物，當MgO增加時會提高轉爐石之活性，因此轉爐石中MgO含量多寡與其活性大小有關。

e. 硫（S）：S在爐碴中通常與CaO結合成CaS，在有MnO存在情況下易生成 MnS。

f. 氧化錳（MnO）：MnO含量在1~8%，氧化錳之存在會影響轉爐石之健度。

g. 游離氧化鈣（f-CaO）：f-CaO若吸收大氣中之水分與二氧化碳而反應會使轉爐石體積膨脹，而當f-CaO消解完成，或經由不透水材料如瀝青包裹後，體積則呈現穩定。

h. 其他雜質：轉爐石內可能仍含有各類物質，由於含量甚低，一般認為只會使爐石微觀結構更加開放，進而增加其活性。

(3) 轉爐石環境特性

為確保轉爐石之使用對環境生態具有相容性，中聯資源每月均進行嚴格的自主品管檢驗，以環保署公告之毒性特性溶出程序(Toxicity Characteristic Leaching Procedure，TCLP)進行試驗，試驗結果證實轉爐石物化性質十分穩定，重金屬溶出量均低於相關檢測標準，甚至低於偵測極限，顯示無重金屬溶出污染環境之虞，表3為轉爐石TCLP溶出結果。

貳、轉爐石循環經濟應用

(一) 循環經濟簡介

「循環經濟」基本的理念是從一個搖籃到另一個搖籃，以及將原本的廢棄物轉化為其他產品的原料，使資源得以不斷的循環再利用。相較於傳統的線性經濟(如圖2)，或俗稱拋棄型經濟，即從自然界開採原料，透過加工製成產品及使用後，直接掩埋或焚燒，循環經濟盡可能延長產品的生命週期，並在生命週期結束時透過回收、重新製作或再加工等方式，將其再造為可利用資源，以極大化資源使用效率，這樣的過程即稱為「循環經濟」，如圖3。

(二) 先進國家轉爐石再利用概況

日本、澳洲、美國、德國等世界先進國家的爐石均進行回收與資源化應用，且再利用率皆高於80%(如圖4)，而影響各國爐石再利用率高低的原因，應與其是否建立了相關規範及標準，使爐石可順利被各單位接受及使用，而因此使其定位較趨於產品有直接相

圖 2　線性經濟

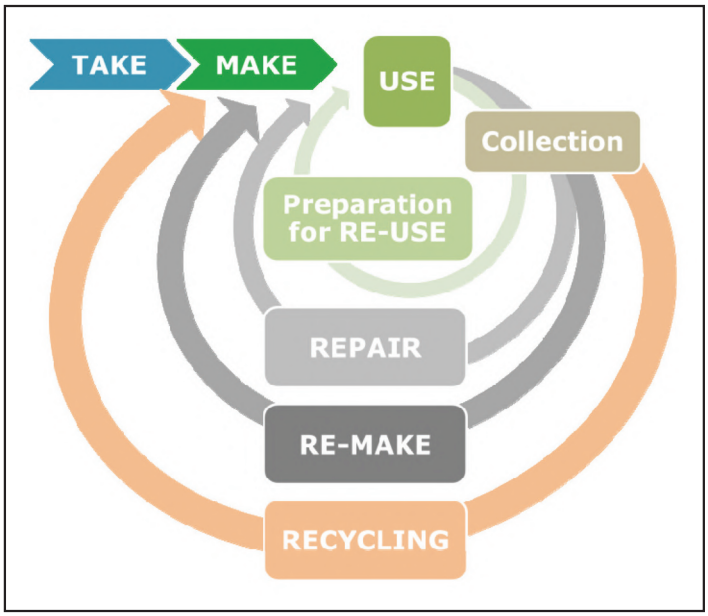


圖 3　循環經濟

關。日本轉爐石應用途徑主要以土木工程占31.6%，其次為道路占32%，並有4.5%作為水泥用；美國將約1/2轉爐石應用於道路基底層及面層材料，另近12.4%作為瀝青混凝土，日本及美國爐石應用途徑如圖5。

(三) 先進國家轉爐石再利用實例

(1) 瀝青混凝土鋪面

美國西部的科羅拉多州有一條景色秀麗、氣勢雄偉的I-70州際公路(如圖6)，這條

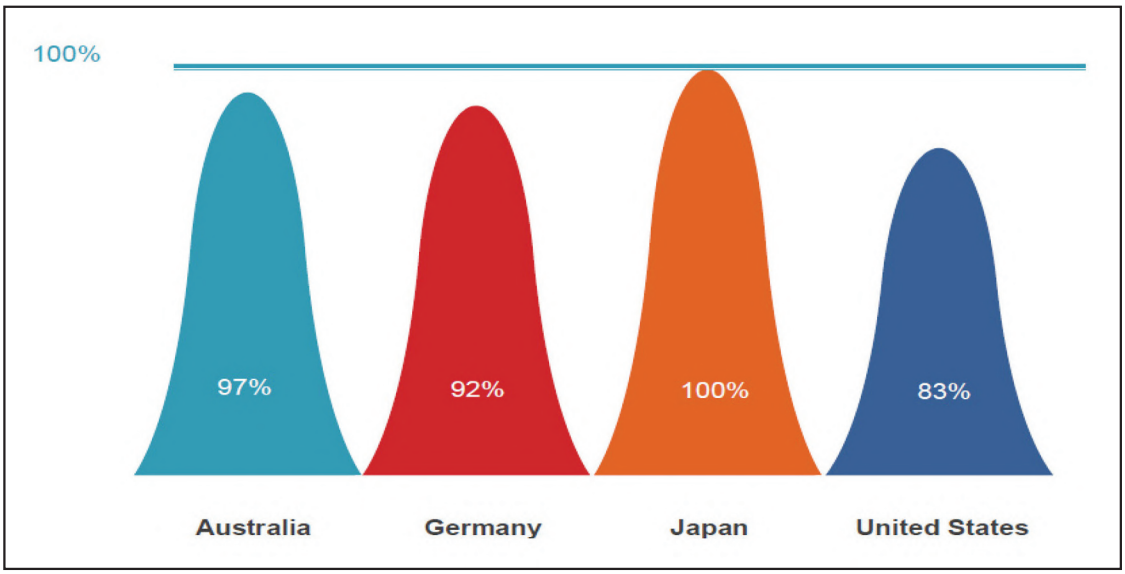


圖 4　澳洲、德國、日本及美國爐石再利用率

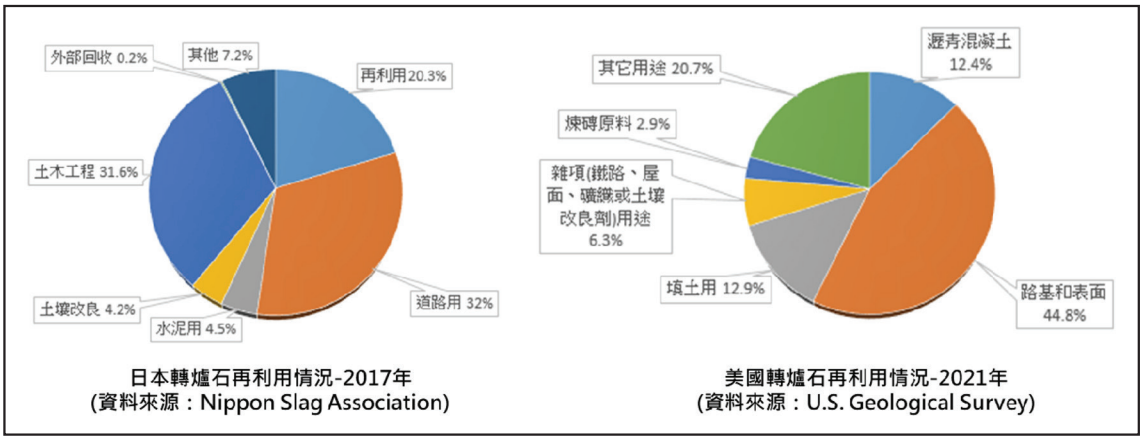


圖 5　日本及美國爐石再應用途徑

州際公路橫越了科羅拉多河流經區域，除景緻亮麗以外，因為此地區一年見不到幾個月的太陽，而且有結冰凍融、高鹽害等工程需求考量，此段州際公路皆設計了不透水的密級配瀝青混凝土鋪面，由於又有抵抗高承載荷重的需求(高達13×106EASLs)，當時這些瀝青混凝土的設計便考量使用轉爐石，原因是轉爐石有良好的機械性能，包含鋼性強度值高、抵抗磨損磨耗的能力高、以及粒型方正的特性可使材料更緊密，也因此增加道路路面的抗車轍變形能力，以致此路段瀝青混凝土鋪面完全沒有變形、位移、車轍的問題。

美國伊利諾州的Thornton是世界最大的露天採石廠之一，該礦區到港口唯一的行駛道路與十字路口（Margaret and Williams Streets）因每天約五萬噸船運出口量之需，運輸卡車常需於該道路進行煞車停及轉彎迴轉等動作，造成路面嚴重破壞；為解決該問題，伊利諾州於一九九八年利用轉爐石石膠泥瀝青混凝土(SMA)進行路面改善後，該十字路口道路服務超過五年始終保持完好，使得該路段有世界上最強十字路口之稱號，證實轉爐石SMA用於高承載道路的卓越性。

(2) 填海造陸應用

日本將高爐石與煉鋼爐石應用於填海造陸建設海上機場，主要應用地點包含北九州機場（Kitakyushu Airport）、中部國際機場（Central Japan International Airport）、神戶機場（Kobe Airport）、關西國際機場

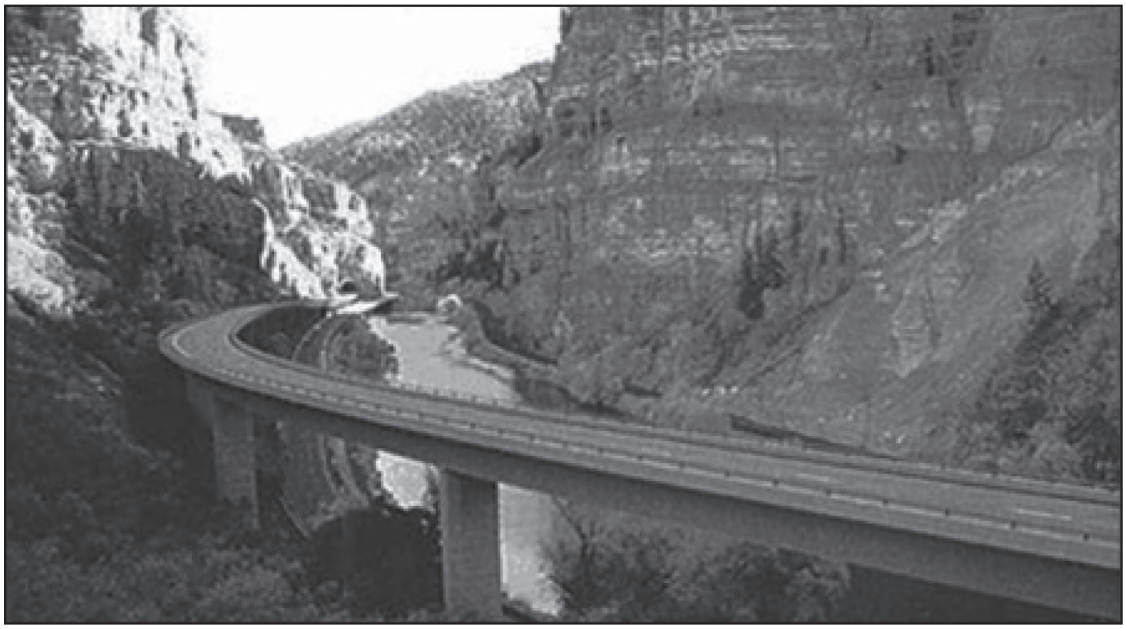


圖 6　I-70 州際公路

（Kansai International Airport）、東京國際機場（Tokyo International Airport，Haneda Airport)等重要國際機場，如圖7，而各種爐石用途包含地盤改良材、跑道路盤材、分區堤、臨時路面材等，從2000至2010年合計使用量超過800萬噸。

圖 7　日本應用爐石填海造陸作為機場使用地點

荷蘭在約1999年開始，超過200萬噸轉爐石已被資源化再利用，尤其在該國西南部與比利時相鄰的北海地區之Zeeland(澤蘭)省的Westerschelde和Oosterschelde間的Yangtze port (鹿特丹Rotterdam馬斯弗拉克特Maasvlakte港區)填海造陸工程，如圖8。

(3) 海洋牧場

日本近年來因海藻消失使得海洋荒漠化成為一個新的環境問題。當荒漠化問題發生時，海洋生物的生存環境同時遭到破壞，也使得沿岸漁業受到嚴重的影響。鐵質的缺乏被發現是海洋荒漠化的重要原因，水壩等水利設施阻擋了河川流經森林區所帶來的鐵質成分，也因此減少了海洋自然的鐵質來源（如圖9）。新日鐵住金公司結合煉鋼爐石、腐植質與土壤等材料開發了一系列的鐵質供給元件，並用於促使海域中海藻重生。

製成此鐵質供給元件必須結合煉鋼爐石、土壤及腐植質，腐植質來自廢棄木材的發酵，新日鐵住金公司在北海道的增毛町（Mashike Town）進行實地試驗，將此元件以鐵箱強化後置於海床上，經過六個月後周

圖 8　荷蘭 Yangtze port 填海造陸工

圖 9　海洋荒漠化的成因

圍30公尺範圍的海藻生長情況良好，再經過2年及3年的觀察後證實這樣的正面效益是持續有效的（如圖10）。

參、國內轉爐石瀝青混凝土 (AC) 工程應用

(一) 一般原則

瀝青混凝土主要係由瀝青與粒料混拌而成，目前國內轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面，包含密級配瀝青混凝土(Dense-Graded Asphalt Concrete, DGAC)、排水性瀝青混凝土(Porous Asphalt Concrete, PAC)、石膠泥瀝青混凝土(Stone Mastic Asphalt, SMA)，3種不同瀝青混凝土鋪面類型分別如圖11所示。

轉爐石粒料經過各種道路實際鋪築測

圖 10　煉鋼爐石應用於海域環境修復

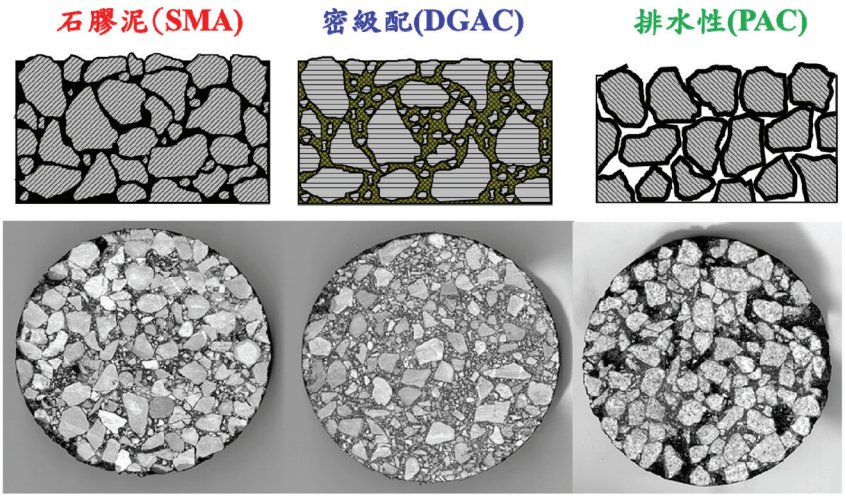


圖 11　3 種不同瀝青混凝土鋪面類型

試，結果顯示其應用於瀝青混凝土有正面效果，包括高穩定值、抗車轍能力佳、抗剝脫能力佳及抗滑性佳等，為了達到政府所推動的綠建材政策且達到永續發展的目標，將轉爐石材料添加於瀝青混凝土領域是值得推動的再利用材料。對於環境的保護，降低工業副產品生產量及回收再利用工業副產品是實現永續發展的主要手法，為了達成永續發展，這些手法一定要和政府政策、經濟及當地文化正確的結合在一起。以道路工程方面的永續發展來說，在歐美先進國家經過研究及觀察之後，認為道路工程的永續發展成功關鍵點在於工業副產品及非天然材料，而這些先進國家的政策以及其完整的永續性制度使得道路工程的永續發展得以成功實行。國內外許多研究報告指出，轉爐石添加於瀝青混凝土之領域有明顯提高瀝青混凝土自身品質的趨勢，而轉爐石添加於密級配瀝青混凝土（DGAC），以轉爐石瀝青混凝土各項試驗結果(穩定值、抗車轍、抗滑性等)則有優於一般天然粒料瀝青混凝土，轉爐石粒料產品六分石(AC6)、三分石(AC3)、二分石(AC2)外觀如圖12。

(二) 工程性質

添加轉爐石是否會造成瀝青混凝土的工程性質改變，可藉由試驗來說明使用轉爐石於瀝青混凝土之成效。瀝青混凝土成效試驗包含車轍試驗、抗滑試驗等，綜合成果而言，使用轉爐石並不會使瀝青混凝土之成效降低，甚至於抗滑值上會有更佳的表現。

(1) 穩定值與流度值：

穩定值與流度值是決定混合料配合設計的關鍵指標參數，使用轉爐石取代部分粒料是否會造成密級配瀝青混凝土（DGAC）之配合設計中之穩定值的改變，相關研究皆依據ASTM D1559來進行穩定值試驗，應用於DGAC與RAP之結果分別如圖13、圖14所示，發現使用轉爐石取代天然粒料會提高DGAC之穩定值。

型號：AC6

型號：AC3

型號：AC2

圖 12　轉爐石瀝青混凝土用粒料

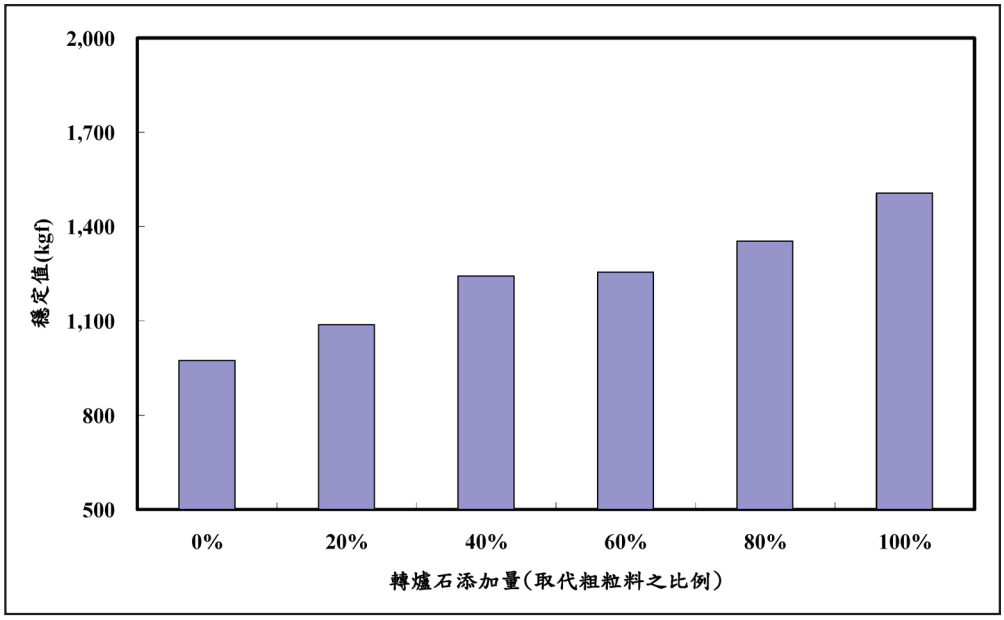


圖 13　轉爐石添加量與 DGAC 之穩度值關係圖

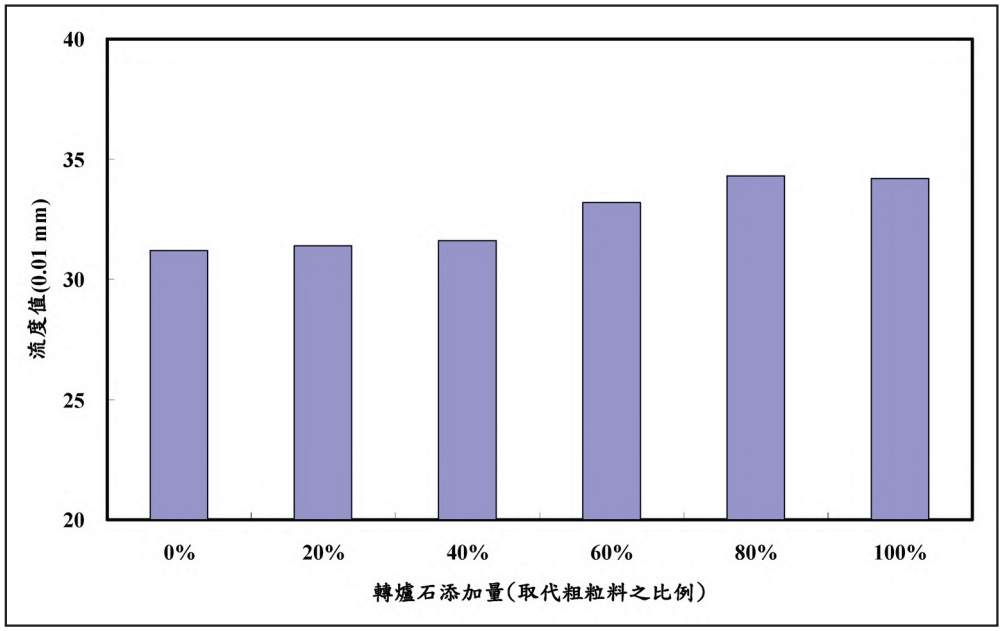


圖 14　轉爐石添加量與 DGAC 之流度值關係圖

(2) 車轍深度：

使用轉爐石取代部分粒料是否影響其排水性瀝青混凝土（PAC）、密級配瀝青混凝土（DGAC）之抗車轍行為，導致高溫路面容易產生車轍破壞之現象。車轍試驗為模擬鋪面面層材料於開放交通後，經長期車輛滾壓產生車轍破壞之情形，台灣地區鋪面最高平均溫度約為60℃，所以本試驗將溫度控制於60℃執行，並採用英國道路試驗研究方法及日本製編號TR-322M輪跡試驗進行試驗。車轍深度越高代表該材料組合越容易產生車轍，而轉爐石應用於PAC、DGAC之結果分別如圖15、圖16所示，從圖可以發現隨著轉爐石添加量增加會造成車轍深度下降，因此相較於天然粒料，添加轉爐石對於PAC整體抗車轍能力有顯著提升效果，使用轉爐石對於台灣地區困擾已久的高溫容易產生車轍問題應可得到進一步之改善。

(3) 抗滑性：

使用轉爐石取代部分粒料是否會影響其排水性瀝青混凝土（PAC）之抗滑力，造成雨天時車輛行駛於路面容易產生打滑之現象。依據ASTM E303規範之抗滑試驗(BPN)進行評估，BPN值越高代表其抗滑能力越佳，其應用於PAC之結果分別如圖17所示，經過變異數分析結果顯示，使用轉爐石混合料明顯較使用天然粒料之BPN值高，且隨著轉爐石添加量增加會造成BPN值不同程度之上升，由此可知添加轉爐石於PAC在開放交通後有較好的抗滑能力。

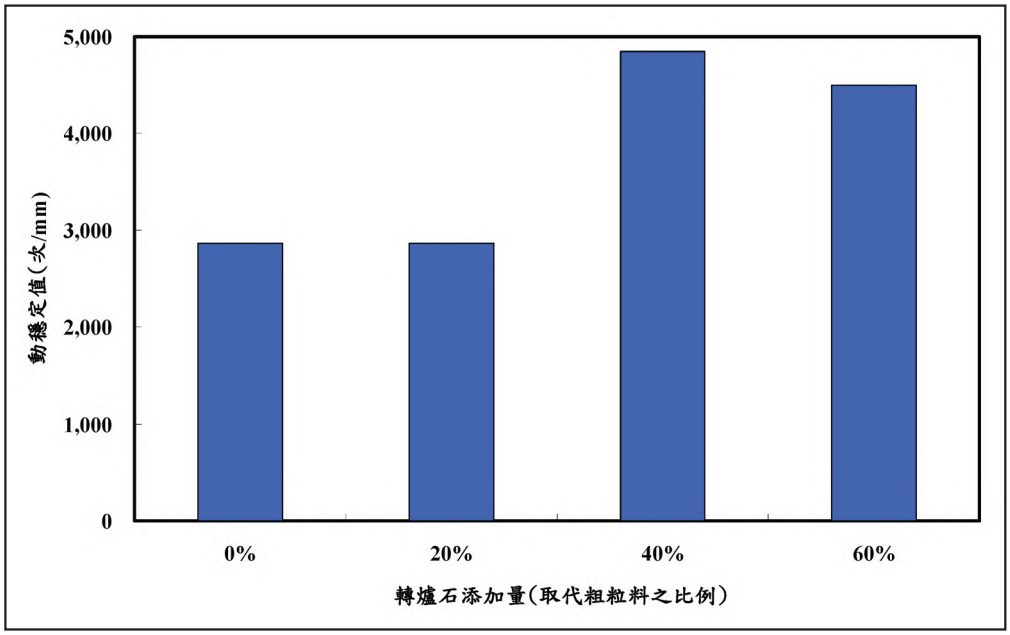


圖 15　轉爐石添加量與 PAC 車轍試驗之關係圖

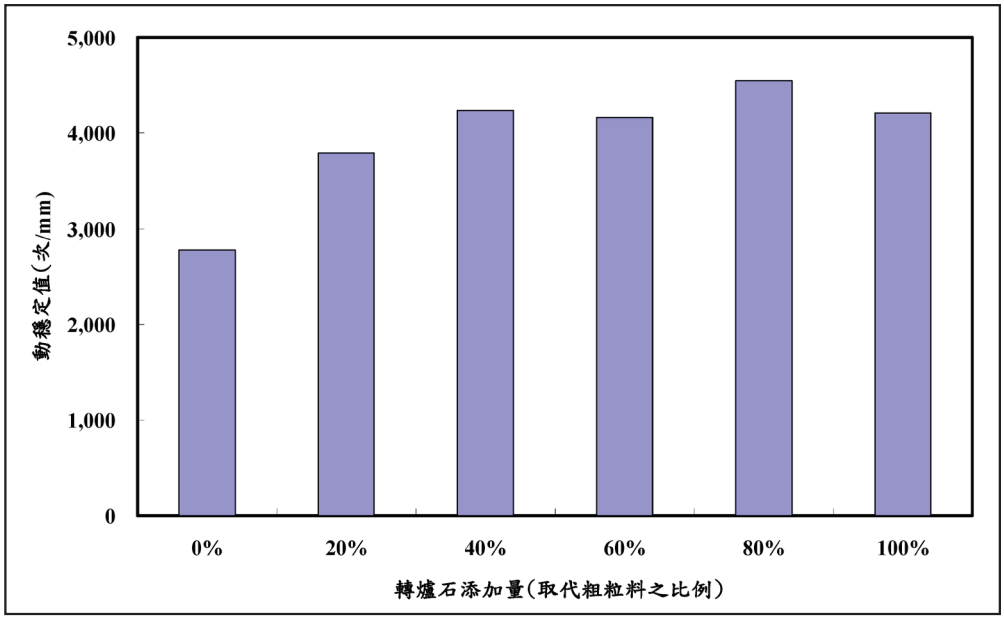


圖 16　轉爐石添加量與 DGAC 車轍試驗之關係圖

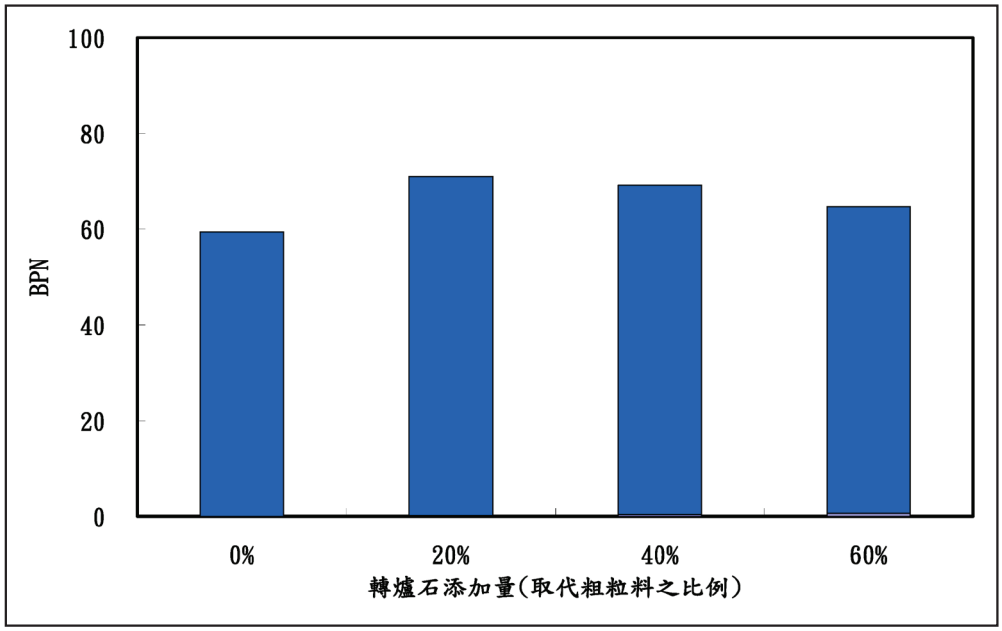


圖 17　轉爐石添加量與 PAC 抗滑試驗之關係圖

(三) 道路應用實例

台灣轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面的研究發展歷程始於民國92年，同年進行高雄市南星計畫區的道路試鋪，成效卓越；其後逐年透過國內多所大學、學術機構與工程公司之研究，包含鋪面工程學會、成功大學、中央大學、義守大學、高苑科大、逢甲大學、台灣世曦等，以及多條廠內外試鋪道路之長期成效追蹤與評估，並歷經多年颱風豪雨之考驗，證實轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面具有：磨損低、穩定值高、抗滑性佳、抗車轍能力強、抗剝脫能力佳等多項優點，能夠有效提昇瀝青混凝土路面之品質與耐久性。以下分別以高雄市大業北路及台南市中華南、西路交叉口之案例，從使用層面及相關成效方面進行分析，摘要呈現部分研究道路之分析報告，並說明轉爐石於AC之道路效益。

(1) 高雄市大業北路(轉爐石密級配瀝青混凝土DGAC)：

本研究評估路段位於高雄市小港區，此道路為工業區主要聯外幹道，往返工業區的聯結車及貨櫃車交通量龐大，繁重車流容易導致道路龜裂、坑洞、車轍及嚴重破壞，經鋪設轉爐石瀝青混凝土鋪面後，道路使用情形良好(如圖18)；依檢測數據顯示，大業北路開放交通兩年之穩定值，因轉爐石硬度較高，抗磨損能力較佳，粒料不容易破碎與磨耗，故穩定值(約1345 kgf) 較天然粒料瀝青混凝土(約945 kgf)高(如圖19)；另外，大業北路經重新鋪築後整體平坦度標準差已大幅降低，開放通車兩年，轉爐石路段之平坦度標準差(2mm)遠低於天然粒料路段之平坦度標準差(3mm) (如圖20)，顯示轉爐石路面行駛狀況較良好。

圖 18　高雄市大業北路

(2) 台南市中華南、西路交叉口(轉爐石石膠泥配瀝青混凝土SMA)：

本研究評估路段位於台南市中華西路一段與中華南路二段交叉口處，本路口由於重載車輛多，道路鋪面容易變形或破裂，經鋪設轉爐石石膠泥瀝青混凝土SMA鋪面後，

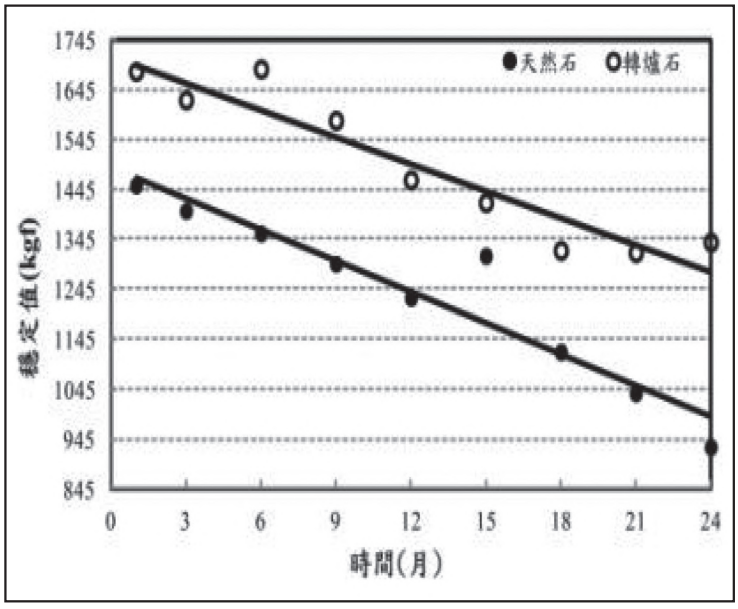


圖 19　高雄市大業北路瀝青混凝土穩定值試驗

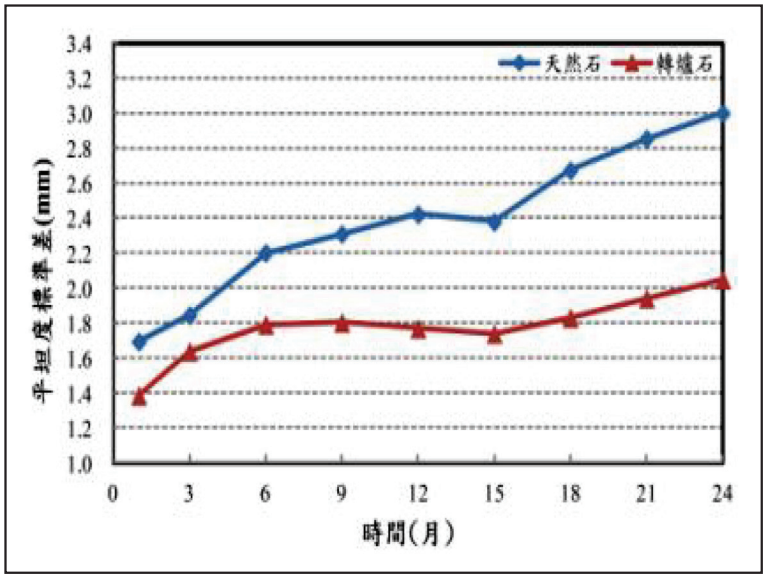


圖 20　高雄市大業北路瀝青混凝土平坦度標準差

道路使用情形良好(如圖21)；依檢測數據顯示，本道路開放交通後約17個月，轉爐石瀝青混凝土車轍深度約6~8mm，傳統瀝青混凝土約20mm，顯示轉爐石瀝青混凝土具有較佳的抗車轍能力(如圖22)；另外，轉爐石瀝青混凝土之衝擊值(CIV)平均值在85以上(如圖23)，傳統瀝青混凝土的CIV平均值在70以下，顯示轉爐石瀝青混凝土鋪面結構良好。

圖 21　台南市中華南、西路交叉口

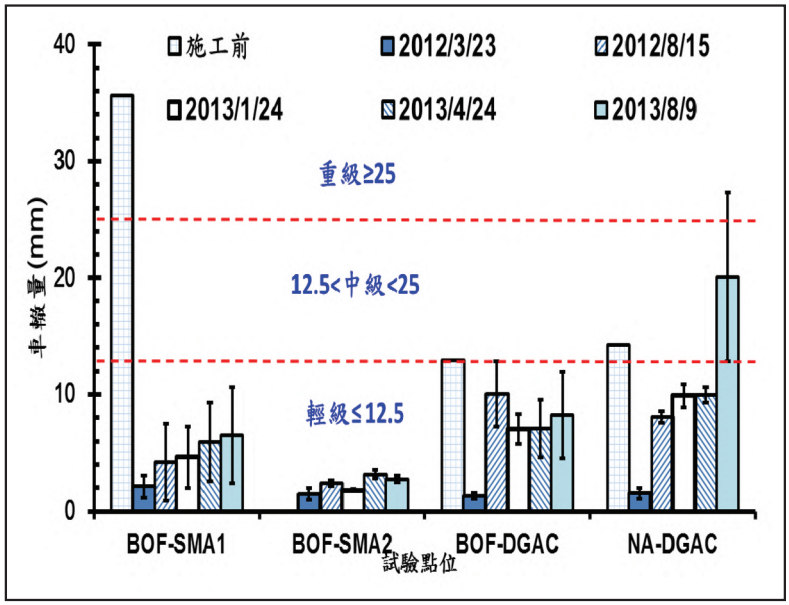


圖 22　台南市中華南、西路交叉口轉爐石瀝青混凝土車轍監測資料

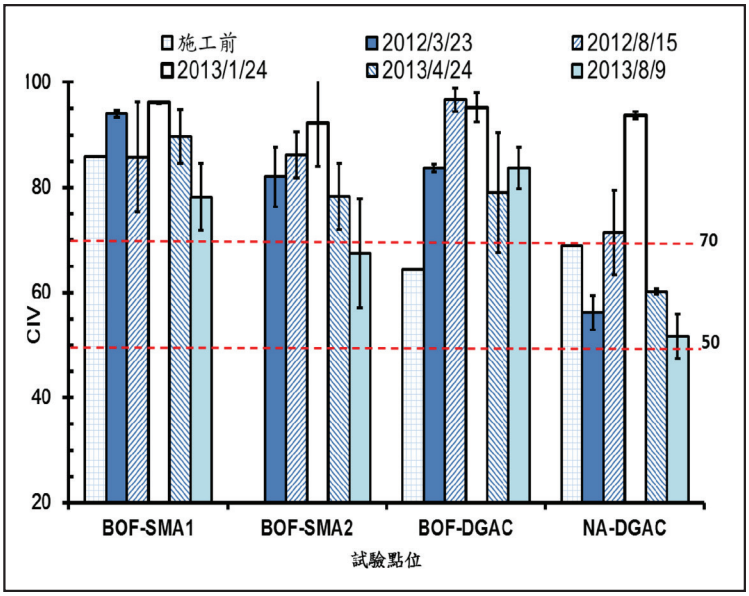


圖 23　台南市中華南、西路交叉口轉爐石瀝青混凝土 CIV 監測資料

肆、轉爐石瀝青混凝土 (AC) 之循環經濟

(一) 轉爐石瀝青混凝土道路應用歷程

中鋼集團自民國95年起推動轉爐石於道路工程之循環經濟，使用單位包含高雄市政府、台南市政府、屏東縣政府、台中市政府、公路總局、高公局、營建署、水利署、台電公司、台水公司、林園工業區、南科管理局、台塑仁武廠、中石化大社廠及中鋼集團等，轉爐石瀝青混凝土應用歷程(如圖24)及說明如下:

(1) 廠內試鋪 (民國 95~100 年)：中鋼集團於民國 95 年起，即開始於中鋼集團廠內道路鋪設轉爐石瀝青混凝土道路，並評估其成效，包含中鋼廠內動力東路及原料一東路等 11 條道路 (如圖 25)。

(2) 廠外試辦 (民國 101~102 年)：在經過多年轉爐石道路成效驗證後，於 101 年起開始向外與工務機關合作鋪築試辦工程，包含高雄市金福路 (如圖 26) 及亞太路等 6 條道路。

(3) 南部推廣 (民國 103~105 年):南部縣市 (高雄、台南) 開始持續擴大使用，包含台南市永成路 (如圖 27) 及中華西路等 23 條道路。

(4) 循環經濟 (民國 106~112 年)：配合工程會循環經濟再生粒料政策，推廣至全省各工務機關使用，轉爐石現已普遍應用於瀝青混凝土，統計至 112 年底已完成逾 450 條轉爐石瀝青混凝土道路，目前也持續提供轉爐石瀝青混凝土粒料予各公家單位進

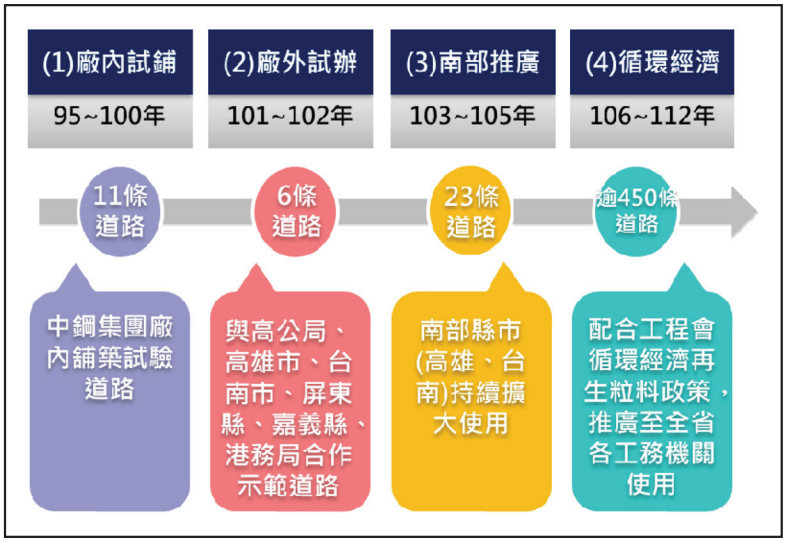


圖 24　轉爐石瀝青混凝土道路應用歷程

圖 25　中鋼廠區動力東路

行道路瀝青混凝土鋪設使用；另外，中鋼集團配合高雄市政府於 112 年 2 月舉辦轉爐石循環材料應用於道路鋪面工程座談會 (如圖 28)，依據政府循環經濟政策，積極推動轉爐石多元應用，創造道路建設永續發展。

(二) 減碳效益及循環經濟認證

(1) 高雄市南星路獲金質獎肯定

南星路為高雄港區重要聯外道路，串聯高雄港洲際貨運中心、南星自由貿易港區、遊艇產業專區，依高雄市政府規劃，未來將

圖 26　高雄市金福路

圖 27　台南市永成路

圖 28　高雄市政府攜手中鋼集團舉辦轉爐石循環材料應用於道路鋪面工程座談

銜接國道七號，因此該道路貨櫃車、卡車交通量龐大，過往以一般天然石瀝青混凝土鋪設之路面因不堪重車碾壓，產生道路凹凸不平及大量坑洞狀況。為提升鄰近居民及用路人安全，高雄市工務局養工處設計以轉爐石粒料取代天然粒料鋪築瀝青混凝土，大幅改善道路品質及耐久性。高雄市工務局養工處因該路段使用轉爐石瀝青鋪面道路成效卓越，提報南星路轉爐石瀝青鋪面道路參選公共工程委員會第十六屆金質獎，榮獲優等獎(如圖29)。

從高雄市政府提報南星路參加工程會金質獎資料中(如圖30)，就工程經費、鋪築後之使用年限及節能減碳這三部分而言可以清楚看出，中聯資源股份有限公司於高雄市南

星路工程中無償提供轉爐石、基底土方改良再利用，節省工程經費約423.41萬，佔總工程經費之12.85%；一般瀝青混凝土鋪面用於港區道路平均壽命約1.5~2年，南星路自101年起試鋪路段，迄今道路使用狀況仍然良好，已延壽超過5倍年限；而因應全球節能減碳之方針，本工程減少排放1,811.7公噸的二氧化碳，此量約150,975棵樹之年減碳量，相當於4.7座大安森林公園之年減碳量。

(2) 高雄市中山及沿海路獲高雄市政府肯定

高雄市中山路及沿海路為小港機場、臨海工業區及高雄港洲際貨櫃中心的主要聯外道路，重載車輛密度居全國之冠，每日上萬輛聯結車反覆輾壓，導致原本的路面不堪負荷而變形、破損，尤其在連日大雨過後，路面易產生坑洞，影響民眾的用路安全。為改善中山、沿海路之服務品質及重載道路壽命短問題，高雄市政府從107年起以轉爐石鋪築

圖 29　高雄市南星路金質獎資料

圖 30　高雄市南星路金質獎簡報資料

密級配及新工法石膠泥瀝青混凝土鋪面，有效改善道路品質，充分展現出轉爐石的優異耐久性能，截至112年底，高雄市已鋪築超過150條轉爐石瀝青混凝土道路。

依高雄市政府養工處於112年2月轉爐石循環材料應用於道路鋪面工程座談會上說明之簡報資料顯示(如圖31)，高雄市中山路及沿海路改善工程，以轉爐石取代天然粒料之效益，共節省工程經費約1億6,708萬，提高道路平均壽命約3~5倍，並減少排放11,244噸的二氧化碳，相當於29座大安森林公園之年減碳量。

(3) 轉爐石綠建材標章及BS 8001循環經濟認證

轉爐石瀝青混凝土粒料為內政部建築研究所認證之「綠建材標章」產品(如圖32)，說明轉爐石為對環境及人體無害且符合相關規格標準的綠建材；「轉爐石應用於瀝青混凝土用途」之商業模式，於108年6月28日通過英國標準協會BS 8001循環經濟標準查核(如圖33)，並獲得最高成熟度Level Optimizing等級。

伍、結論

轉爐石為中鋼一貫作業產出的副產品，世界各國都視為可循環再利用之資源，除可取代天然砂石減少砂石之開採，亦可作為道路及土木工程使用，在歐美及日本國家，轉爐石已被廣泛使用作為瀝青混凝土粒料；中鋼集團於國內推動轉爐石作為道路工程材

圖 31　高雄市政府養工處「轉爐石循環材料應用於道路鋪面工程座談會經驗分享（中山沿海路）」簡報資

綠建材標章證書

申請廠商：中聯資源股份有限公司
申 請 人：張鳴昌
廠商地址：高雄市前鎮區成功二路88號22樓
產品名稱：瀝青鋪面用粒料
產品型號：AC3(尺度編號6)
生產廠址：高雄市小港區山頭里利昌街1號
有效期限：自111年5月8日至114年5月7日止
合格項目：再生綠建材
試驗項目：篩分析、健度、土塊及易碎顆粒、延石、
土塊及碎顆粒及延石百分之總和、
小於試驗篩75μm CNS386-1之物質、煤及褐煤、磨損率

內政部 部長 徐國勇

中 華 民 國 111 年 4 月 19 日

圖 32　轉爐石綠建材標章

bsi.

By Royal Charter

符合性查核聲明

BS 8001: 2017 循環經濟實施原則

查核對象　中國鋼鐵股份有限公司
81233 臺灣高雄市小港區中鋼路 1 號

查核目的　中國鋼鐵股份有限公司依「BS 8001:2017」，於組織內部規劃並建立循環經濟模式。本次查核係依據中國鋼鐵股份有限公司之「轉爐石應用於道路瀝青混凝土鋪面用途」進行符合性查核，以確認其營運模式遵循「BS 8001:2017」4.2.1-4.2.6 之六項原則。

查核範圍　循環經濟查核結果：中國鋼鐵股份有限公司已依照 BS 8001:2017 標準要求規劃並建置循環經濟模式，其選擇之商業模式整體成熟度為 Optimizing 等級。

Managing Director BSI Taiwan, Peter Pu

Latest issue <2019-07-09>　Expiry date <2021-07-08>

...making excellence a habit.

聲明書編號：CEC 009

The British Standards Institution is incorporated by Royal Charter. BSI Pacific Limited, Taiwan Branch 5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist., Taipei 11492 Taiwan Tel: 886 2656 0333

圖 33　BS 8001 循環經濟標準查核證書

料，有效改善國內天然砂石資源逐漸匱乏的問題、降低天然砂石開採環境成本，並創造出循環再利用的環境永續生機，與全球共同推動循環經濟。

轉爐石本身具有高硬度、高抗壓強度等特性，經歷多年轉爐石道路之長期成效追蹤與評估，證實轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面具有：（1）磨損低、（2）穩定值高、（3）抗滑性佳、（4）抗車轍能力強、（5）抗剝脫能力佳等多項優點，能夠有效提昇瀝青混凝土路面之品質與耐久性。以高雄市南星路數據資料顯示，使用轉爐石鋪築瀝青混凝土可提高道路使用壽命，同時節能減碳相當於4.7座大安森林公園年減碳量；截至112年底，全台灣已鋪築超過450條轉爐石瀝青混凝土道路。

本文說明轉爐石應用於瀝青混凝土除了擁有節省工程成本、提升道路品質及環保節能減碳等優點，並能貫徹循環經濟理念，減少對自然資源之開採，故期能透過本文使工程界對轉爐石有更深的認識，響應資源循環以達成政府淨零減碳及永續發展政策。

參考文獻

1. 中華鋪面工程學會，「轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊」，中華鋪面工程學會，2010。
2. 中國鋼鐵股份有限公司，轉爐石瀝青混凝土使用手冊 (109 年版)，中國鋼鐵股份有限公司，2020。
3. 林志棟，「利用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，中華鋪面工程學會，2007。
4. 黃大衛，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2008。
5. 蔡國華，「轉 石添加量對密級配瀝青混凝土之耐久性之研究」，高苑科技大學土木工程研究所碩士論文，2009。
6. 葉志穎，「轉爐石添加量對多孔隙瀝青混凝土特性之研究」，葉志穎，高苑科技大學土木工程研究所碩士論文，2009。
7. 陳偉全、林平全、葉志穎、翁偉儒，「轉爐石添加量對多孔隙瀝青混凝土特性之研究」，礦冶季刊 54 卷第 1 期（209 期）pp.97-pp.108，2010。
8. 袁家偉，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2007。
9. 林登峰、陳筠昀、蔡昕融、王美雲，「探討轉爐石瀝青混凝土試驗道路成果－以高雄市大業北路為例」，2012 年轉爐石瀝青混凝土研討會，2012。
10. 陳建旭、陳偉全、廖敏志、陳海通，「天然粒料與轉爐石瀝青混凝土績效評估－以台南市為例」，2012 年轉爐石瀝青混凝土研討會，2012。

台塑企業致力於節能減碳循環經濟邁向永續發展之路

台塑企業總管理處安衛環中心工程師 / 何欣怡
台塑企業總管理處安衛環中心副總經理 / 黃溢銓

關鍵字：台塑企業、永續發展 (ESG)、淨零排放、碳中和、節能減碳、循環經濟、低碳轉型

一、前言

近年來全球暖化日益明顯，極端氣候發生頻率顯著增加，聯合國呼籲各國須於2050年淨零排放，全球氣溫才可能於本世紀末控制在較工業革命前升溫1.5℃內。我國環境部遂將「溫室氣體減量及管理法」更名為「氣候變遷因應法」，也將2050年達到淨零排放納入法規；故企業面臨的生存壓力越來越嚴苛，不但要面對政府法規加嚴，也要面對投資機構、下游客戶、環保團體及貿易夥伴的減碳要求，在各國紛紛公佈「碳關稅」、「淨零排碳」以及政府迫在執行之徵收「碳費/稅」挑戰下，節能減碳議題已由技術層面轉化成攸關企業生存之永續經營。台塑企業原即相當重視環境保護議題，現下更將永續發展(ESG)融入營運策略中積極推動，務期朝淨零排放、碳中和目標努力，以達到企業永續發展，並能與地方共存共榮。

二、永續發展 (Environment Social Governance, ESG) 方向與策略

台塑企業為推動具體減碳作業，檢討擬定產業減碳必須從製程效率提增、資源循環再利用及能源轉換等多方面著手，廣泛蒐集執行的方式並訂定策略，包括持續推動廠內製程改善、循環經濟、AI、AI+模擬及數位轉型，提升能源使用效率及生產效率；建置再生能源及儲能設備；持續關注並引進國際最精進的減碳技術；研發、生產綠色產品，推動製程端、消費端之塑膠循環回收再利

用，並透過參加國際減碳倡議檢視減碳目標及路徑，展現減碳決心。

三、成立專責組織，推動節能減排、循環經濟、永續發展 (ESG)

在檢討淨零排碳前，企業內即秉持「勤勞樸實、止於至善」精神，推動工廠內整理、整頓5S活動，出發點即要求「好還要更好」，追求工安環保優化、生產效率提增，於2006年成立節能減排循環經濟推動組織，由 總裁擔任召集人，台塑、南亞、台化、台塑石化等四大公司董事長一同參與，定期開會檢討推動成效(如圖1所示)，尤其是 總裁每二個月親自主持麥寮園區節能減排循環經濟推動情形檢討，再將推動模式及優良案例延伸到其他廠區。

鑑於減緩氣候變遷所造成的影響，已是全球必須面對的課題，2020年擴大為ESG推動組織，除原有安衛環、節能減碳外，新增產銷、財務、人事等機能，全面推動ESG相關工作(如圖2所示)。

四、持續提升減碳績效，以 2050 年達到碳中和為目標

經由各項節能減碳措施的推動，台塑企業排碳量由2007年最高峰的6,148萬噸，降至2020年的5,183萬噸，減量965萬噸，降幅

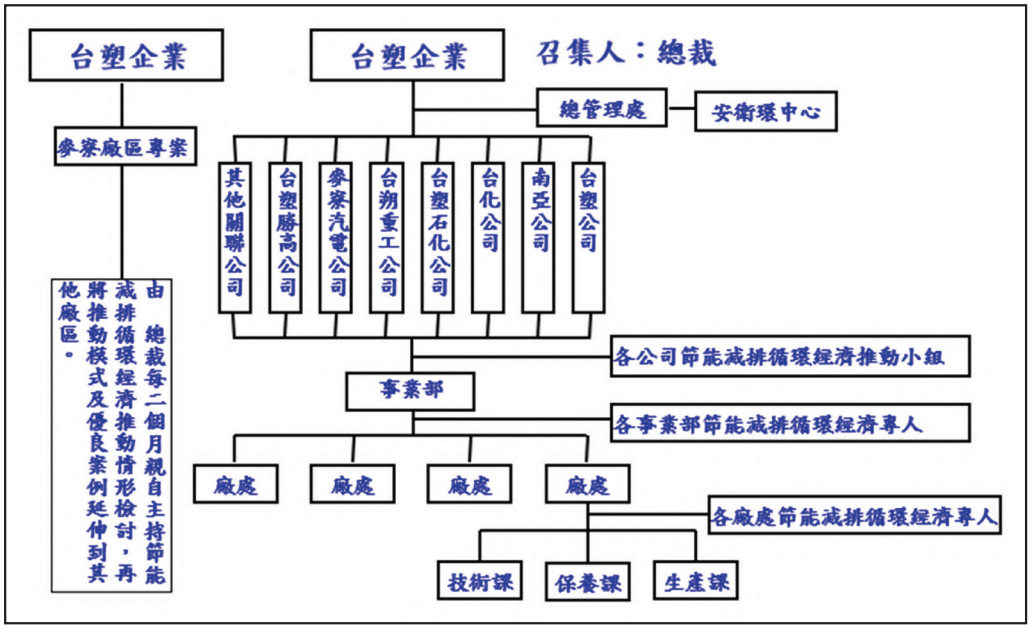


圖 1　台塑企業節能減排循環經濟推動組織

15.7%。短期(2025年)及中期(2030年)目標分別為較基準年(2007年)減碳20%、35%，長期則以2050年達到碳中和為目標，迄2022年已較2007年減碳23.1%(如圖3所示，2023年排碳量待查驗後公布)。

五、推動製程改善及循環經濟、低碳轉型，創造優良減碳績效

(一) 推動廠內製程改善：

一開始我們從廠內進行設備效能提升改善，惟廠內執行節水節能成效有限，故於2006年成立全企業「節能減排推動小組」協助各廠推動節能減排工作，每月除定期檢討麥寮園區各公司用水量，並合併檢討用汽、用電及各項節能減碳議題。另也邀集各公司具有豐富節水節能實務經驗之專家共同組成「節能服務團」，推至麥寮其他各廠區，進行節能節水輔導查核，也成為後續循環經濟的基礎。2016年更進一步依原物料、水資源、能源及廢棄物等四個循環整合面向推動循環經濟，全力推動跨廠、跨公司的循環整合再利用，達到節能減排及能源使用效率提升之效益，截至2023年底累計總投入424億元，每年效益約387億元。麥寮園區因環評用水限制，透過雨水回收、廢水回收及製程節水，雖產品平均日產量呈增加的趨勢，單位產品用水量反而降低24%、單位產品用汽量降低19%、單位產品用電量降低18%。

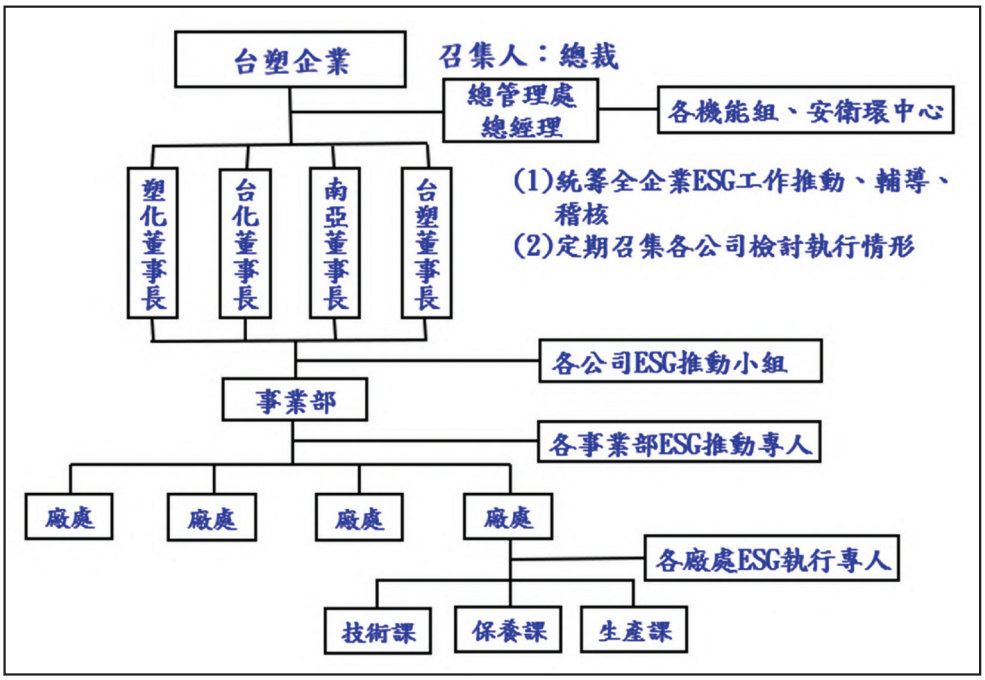


圖 2　台塑企業永續發展 (ESG) 推動組織

表 1　麥寮園區循環經濟整合執行結果

項目 / 年度	原物料	水資源	能源	廢棄物		
	單位用量 噸 / 噸	單位用量 噸 / 噸	單位標準煤 公斤 / 噸註 1	廢氣 MM3/ 年註 2	廢水 千噸 / 日	固態廢棄物 千噸 / 年
2007 年	1.02	2.47	243.9	279.5	113.5	109.1
2023 年	0.95	1.47	177.4	24.22	74.6	89.10
較 2007 年減量 (%)	7.1	40.7	27.3	91.3	34.3	18.3

註 1：1 公斤標準煤 = 7.0 × 10^3 千卡、註 2：廢氣係針對燃燒塔，1 MM^3/ 年 = 百萬立方米 / 年

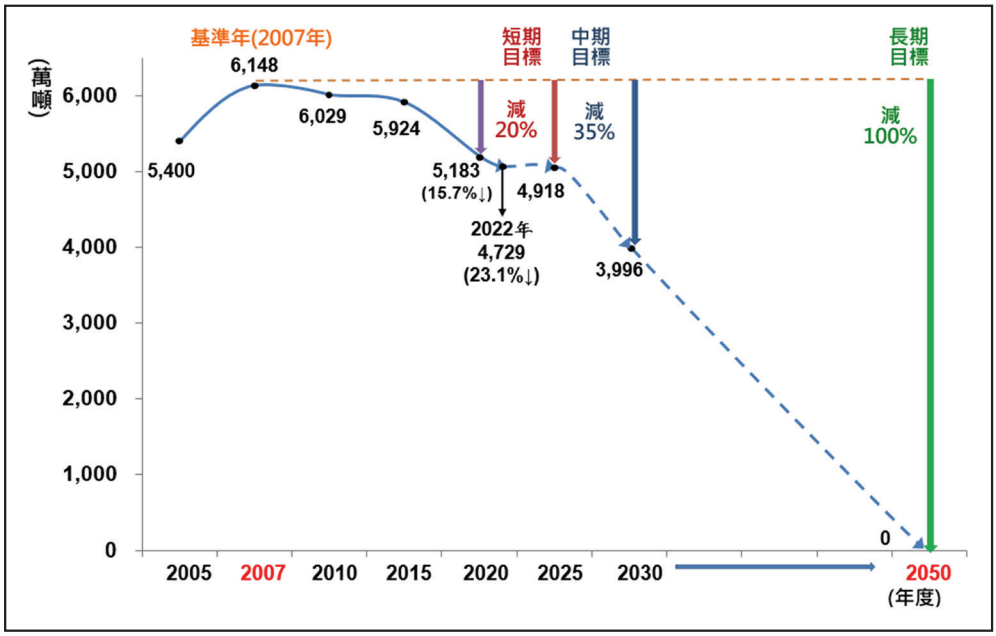


圖 3　台塑企業短中長期減碳目標

本企業麥寮園區各廠均繪製循環經濟圖，從原物料、水、能源及廢棄物循環，檢討跨廠及跨公司整合循環再利用，不但大幅提高原物料、水資源、能源之使用效率，亦降低廢水、廢氣、廢棄物產生量，以減緩對環境的衝擊。以台塑公司正丁醇廠為例(如圖4所示)，回收南亞公司異辛醇廠及乙二醇廠排放的高純度二氧化碳，用以取代正丁醇廠做為原物料的輕油，其產出之半成品正丁醛及合成氣，再送回南亞公司異辛醇廠及乙二醇廠，除了減少二氧化碳排放，同時還可以減少輕油使用量。

經過歷年的持續改善推動，以2023年的執行結果與2007年做比較，麥寮園區在原物料方面減量7.1%、水資源減量40.7%、能源減量27.3%、廢氣減量91.3%、廢水減量34.3%及固態廢棄減量18.3%(如表1所示)。

(二) 推動製程智能化 AI+ 模擬：

本企業推動製程智能化AI，透過AI+模擬進行工安管理及製程優化，提升生產效率及能源使用率最大化，於2017年底捐助中研院3千萬元協助成立人工智慧學校，並指派製程、環保及工安人員共592位同仁前去受訓。迄2023年全企業AI專案已立案1,970件，預計投入34.68億元，年效益預估85.8億元，已完成1,225件，實際投入22.84億元，年效益61.96億元，每年減碳92.6萬噸。

(三) 推動低碳能源轉型：

傳統能源為燃煤或燃油，排碳量高，國際趨勢已逐步淘汰燃煤及燃油設備，並以天然氣和生質能取代燃煤，本企業亦朝此方向進行， 推動方式如下：

1. 製程燃料氣跨廠及跨公司作為替代燃料：石化工廠設有廢氣燃燒塔，早期廢氣燃燒塔排放口有母火在燃燒製程尾氣，以確保無工安問題，屬正常排放，然製程尾氣大多為燃料，燃燒排放後造成能源浪費，且觀感不佳。經整合跨廠廢氣回收改善後，廢氣燃燒塔處理量已大幅降低，塑化公司烯烴廠及煉油廠、台化公司麥寮芳香烴廠及龍德 PTA 廠推動跨廠及跨公司製程燃料氣作為替代燃料，2023 年共減碳 10.9 萬噸。以塑化公司烯烴部之過剩燃料氣為例，主要成份甲烷氣及氫氣，現供應台塑 5

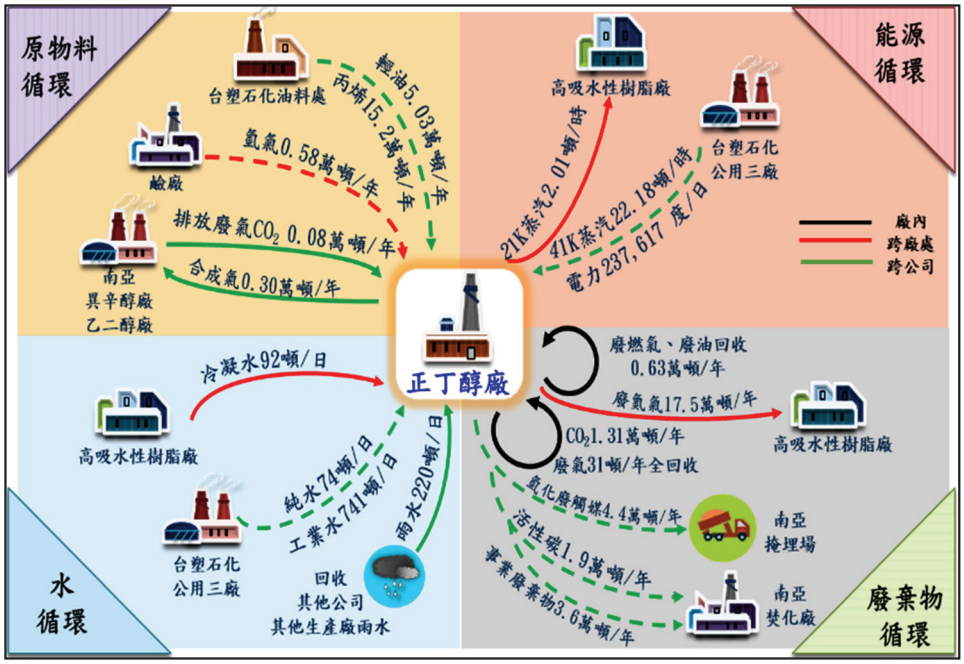


圖 4　台塑正丁醇廠循環經濟整合情形

廠、南亞 9 廠、塑化煉油廠、公用三、四廠、台塑科騰及台塑出光等作為替代燃料使用，2023 年減碳量 8.9 萬噸 (如圖 5 所示)

2. 燃煤及燃油鍋爐改燃氣鍋爐：將燃煤及燃油鍋爐改為燃燒天然氣，排碳量可降低一半，台塑企業由南亞公司林口、樹林及嘉義廠區陸續將燃煤鍋爐改為燃氣鍋爐，年減碳量合計 65.7 萬噸；另台塑、南亞及台化公司陸續把廠內燃油鍋爐改為燃氣鍋爐，年減碳量合計 26.1 萬噸。
3. 固體再生燃料 (Solid Recovered Fuel, SRF) 取代煤炭作為燃料：配合雲林縣政府將生活垃圾轉製成 SRF，塑化 CFB 鍋爐自 2019 年起進行 SRF 混燒，減少煤炭用量及碳排，2019~2023 年 SRF 用量 24,755 噸，取代 17,397 噸煤炭，減碳 18,037 噸。

(四) 推動製程中高濃度 CO2 回收再利用：

將CO_2回收再利用是減碳最直接的方式，麥寮園區台塑正丁醇廠、南亞異辛醇廠、乙二醇廠及台化醋酸廠製程中產生高濃度CO_2，透過吸收劑吸收部分回製程使用，部分供他廠或他公司使用，以減少碳排(如表2所示)，後續規畫中尚有南亞異辛醇廠更擬增加CO_2回收設備及透過AI模組優化操作溫度，提升CO_2吸收能力。

(五) 推動再生能源發電：

台塑企業也致力於建置再生能源，包括水力、風力及太陽能發電，規劃設置250.56 MWp的再生能源，預估每年可減碳29.38萬噸。

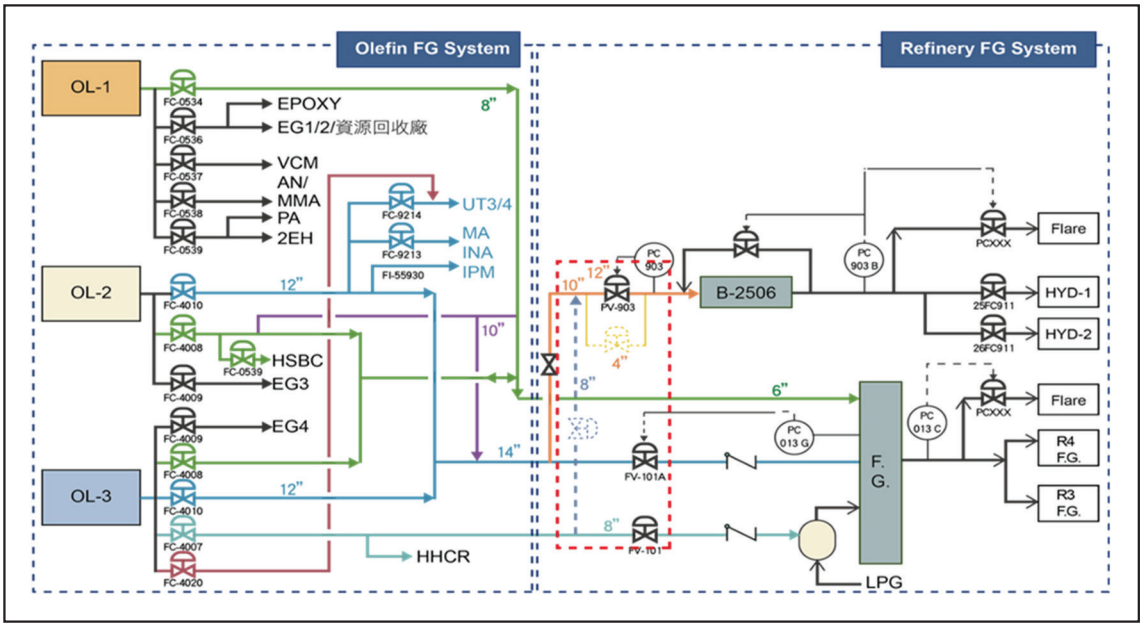


圖 5　台塑企業短中長期減碳目標

表 2　麥寮廠區推動製程二氧化碳回收再利用成效

公司	廠別	製程 CO_2 回收技術	CO_2 濃度 (%)	2023 年 CO_2 回收量 (萬噸)	再利用用途
台塑	正丁醇	使用甲基二乙醇胺	94	1.31	取代輕油製成正丁醇
南亞	異辛醇	使用單乙醇胺	99	0.64	供給正丁醇廠取代輕油製成正丁醇，以及提供中塑油品生產液態 CO_2 產品
	乙二醇	使用碳酸鉀	99.9	5.07	供給長春石化作為原料，以及中塑油品生產液態 CO_2 產品
台化	醋酸	使用甲基二乙醇胺	98	0.34	以甲基二乙醇胺吸收合成氣中 CO_2、H_2S 後，經氣提塔脫附出 CO_2，以壓縮機送至 CO 反應器，增加 CO 產能
合計			—	7.36	—

1. 太陽光電：於全企業各廠區工廠及學校屋頂設置太陽能板發電 (如圖 6、7 所示)，目前規劃設置 189.26 MWp，預估每年可減碳 17.98 萬噸，持續建置中。

2. 水力發電：規劃設置 23.5 MWp，預估每年可減碳 2.58 萬噸，持續建置中。
   (1) 開發大型水力發電廠：台化公司與嘉南農田水利會組成嘉南實業股份有限公司，共同投資開發烏山頭水庫水利系統的水力發電廠，共設置烏山頭、西口和八田電廠，總裝置容量22,466kW，為民營最大水力電廠，2023年發電量2,319萬度，減碳2.15萬噸。
   (2) 開發小型水力發電機組：配合能源轉型積極盤點廠內供水管線，利用水頭餘壓發電，台化於新港廠區蘭潭供水管道增設75kW之水輪發電機組，2022年10月建置完成投入運轉，2023年發電量22.6萬度，減碳209噸。另取得沙鹿配水池小水力案場開發，將規劃裝置容量715kW之水力發電機組，預估年發

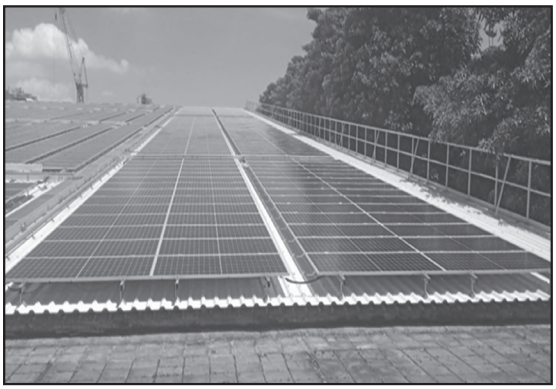


圖 6　台化新港紡紗廠太陽能設置容量 3,052kW

圖 7　長庚大學活動中心太陽能設置容量 584kW

電量572萬度，年減碳量2,870噸，預定2025年2月完成投入運轉；南亞錦興廠區利用取水口與廠區間高程位差，設置18.5kW微型水輪發電機組，預定2024年12月完成，預估年發電量10.3萬度，年減碳量97噸；塑化公司將在雲林鹿場課圳設置300kW小型水力發電，預計2025年完工，預估年發電量231.6萬度，年減碳量1,146噸。

3. 風力發電：規劃設置 37.8 MWp，預估每年可減碳 8.8 萬噸，持續建置中。
   (1) 台朔重工原四部0.66MW機組(如圖8所示)汰舊更新爲三部4.2MW機組，風機於2023年8月進廠安裝，第一部機組預計於2024年8月併入廠區系統商轉，2024年9月完成第二、三部機組併網商轉。
   (2) 塑化公司與台灣豐田通商公司合作，於麥寮園區西北堤陸域新建六部4.2MW風電機組，合計設置容量為25.2MW，目前於環境部審查中，預計2024年4月取得施工許可、2025年10月現場施工完成、2025年12月併網商轉。

(六) 補助員工購買電動機車：

移動污染源佔國家排碳量約12%，為降低移動污染源排碳量，台塑企業積極鼓勵員工將燃油機車汰換成電動機車騎乘上下班，補助每部汰換16,000元、新購10,000元，截至2023年底已補助1,673輛，每年可減碳343噸。

圖 8　麥寮園區建置風力發電機組情形

(七) 推動廢塑膠回收再利用：

台塑企業為善盡企業社會責任及營造優質的生活環境，除從源頭減塑作起，並從循環經濟角度出發，積極推動塑膠回收再利用，以達到減塑目的，執行情形如下：

1. 回收寶特瓶再製為瓶用粒、棉、絲：南亞公司積極研究回收寶特瓶 (PET) 再生成高品質聚酯纖維的技術，統計 2020~2023 年已回收 35.2 萬噸 (約 280 億支) 寶特瓶，產製瓶用粒、棉、絲，每年可減碳 60.7 萬噸。
2. 回收廢漁網、廢蚵繩再製為環保絲：台化公司積極研發將廢漁網、廢蚵繩投入耐隆回收製程，經加熱熔融、散聚、精煉過濾成己內醯胺，再製成回收環保絲，生產出品牌戶外活動服飾，2024 年起耐隆回收產能越南廠區每月 500 噸、新港廠區每月 750 噸，回收量占總產量 1 萬噸的 12%，可節電 15%、減少碳排 49%。
3. 彈性纖維廢紗回收再製：台塑旭回收彈性纖維廢紗料，經粉碎、溶解，再製為再生彈性纖維紗，提供下游客戶生產服飾，2023 年回收紗投產 43.8 噸，每年可減碳 618.6 噸。
4. 廣設洗衣精補充站：台塑生醫為減少塑膠瓶用量，目標於全台廣設 1,200 台洗衣精智慧補充站，以每台月銷達 600 公升計算，每年可減碳 1,706 公噸，預計每年減用 864 萬個塑膠瓶，累積高度相當於 4,252 座台北 101 大樓。

(八) 投資新能源技術：

因應全球節能減碳趨勢與再生能源、電動車領域快速發展，成立「台塑新智能科技公司」，第一階段投資60億元，於彰濱工業區設置規模2.1GWh的磷酸鋰鐵電池芯廠，2023年4月12日舉行動土典禮，預計2024年第三季量產；第二階段預計投資100億元，設置規模2.9GWh的磷酸鋰鐵電池芯廠，將產能提升至5GWh。

(九) 研發碳捕捉、碳封存技術：

為達長期減碳目標，本企業積極研究碳捕捉、封存、利用(CCUS)技術，並與國內知名大學合作研究試驗碳捕捉、碳封存技術，計畫執行說明如下：

1. 碳捕捉、利用及封存 (Carbon Capture, Utilization and Storage) 是透過捕捉二氧化碳並將其轉化為其他產品 (或封存) 來回收碳排放的技術，但仍處於早期開發階段，需克服成本高、耗能及額外增加碳排放等問題，台塑企業持續積極評估各項碳捕捉及封存技術，並與各技術廠商接洽以尋求合作機會。
2. 台塑企業已執行之碳捕捉、碳封存試驗計畫：
   (1) 塑化公司與清華大學合作於麥寮園區執行「每日捕捉1噸CO_2示範計畫」，利用醇胺吸收液，通過超重力旋轉床，捕獲汽電共生機組煙道氣中的CO_2(濃度

約14%)，每捕獲1噸CO_2額外增加碳排0.696噸。

(2) 台塑公司與成功大學、南台科大及工研院共同合作，在仁武廠區建置煙道氣碳捕捉再利用試驗工廠，以羧酸鹽類捕獲煙道氣內CO2(濃度約11~15%)，CO_2每日可捕獲0.1噸(36噸/年)，並轉化為烷烴類0.036噸(13噸/年)再利用，此計畫於2022年12月由經濟部技術處完成查證。

(3) 塑化公司與中央大學合作，自2022年9月起進行麥寮濱海區域之地質調查CO2封存潛能評估，初步結果顯示台灣西部沿海地層具有良好的天然地質條件，並且遠離斷層，可提昇封存安全性。

七、與國際倡議減碳接軌

為讓國際社會各界瞭解本企業在經濟發展及環保並重的努力作為及成果，積極參與國際倡議來檢視本企業減碳目標及路徑，以展現減碳決心，具體成果如下：

(一) 參加碳揭露專案組織 (CDP) 氣候變遷及水安全揭露評等：CDP 每年邀請 2 萬 1 千家以上全球主要上市公司填寫氣候變遷因應及水安全問卷，使投資人瞭解企業碳揭露資訊、對於氣候變遷的調適，以減緩環境衝擊，本企業在積極推動節能減排循環經濟之餘，也透過 CDP 問卷與投資人溝通，並已連續五年 (2019~2023 年) 榮獲最佳的領導級 (A － ~A) 評等。在氣候變遷因應方面，2023 年國內受評的 159 家公司中，獲最高「領導級 A」評等者有 18 家，包括本企業台塑、南亞、台化、南亞科技、福懋興業、福懋科技及台塑勝高等 7 家公司。在水安全方面，2023 年國內受評的 98 家公司中獲最高「領導級 A」評等的公司有 10 家，包括本企業台塑、南亞、台化、南亞科技、南亞電路板及台塑勝高等6家公司(如表3所示)。

(二) 氣候相關財務揭露 (Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD)：為讓利害關係人能充分瞭解本企業推動節能減排循環經濟的努力作為及成效，以及氣候變遷調適的風險及機會管理能力，本企業 9 家上市公司自 2022 年起依據 TCFD 框架編撰前一年度報告書，2023 年報告書預定於 2024 年 6 月公佈發行。

(三) 參加科學基礎減碳目標倡議 (Science Based Targets initiative, SBTi)：以升溫不高於 2℃，5~15 年內完成排放量年均減量 2.5% 為 SBT 的目標向 SBTi 組織提出申請，展現本企業減碳的決心。目前 SBTi 組織尚未訂定油氣業減碳方法學，塑化公司暫時無法申請 SBT 審查，由本企業 8 家上市公司參加，已全數通過審查，其中南亞科技更為全球首家獲得認證的半導體公司。迄 2023 年國內

表 3　2023 年台塑企業 9 家上市參加 CDP 評等成績

公司問卷	台塑	南亞	台化	塑化	南亞科技	南亞電路板	福懋興業	福懋科技	台塑勝高	世界平均	亞洲平均
氣候變遷	A	A	A	A－	A	A－	A	A	A	C	C
水安全	A	A	A	A－	A	A	A－	A－	A	C	C

通過 SBTi 組織審查有 62 家公司，在化學業 4 家通過，其中本企業佔 3 家公司 (台塑、南亞及台化)；半導體業 6 家通過，其中本企業佔 4 家公司 (南亞科技、南亞電路板、勝高、福懋科技)；紡織製品業 3 家通過本企業佔 1 家 (福懋興業)。

八、結語

台塑企業推動循環經濟的理念，主要將無法再利用的廢棄物質供他廠使用，依原物料、水資源、能源及廢棄物等四個循環整合面向，全力推動跨廠、跨公司循環整合再利用。推動成功的要訣為主導者有堅定的決心、研發取得先進技術及建立良善的管理制度等，並以「從零想起」的觀念，包括冷卻水零使用、廢水及廢氣零排放、製程物質零洩漏等觀念來推動。

面對國際ESG發展潮流，身為國內石化產業之領導企業，將持續深化AI發展及研究開發，積極培育AI、大數據、雲端運算人才，加速AI在各領域的應用，優化產銷、提升品質及管理績效、減少能耗，厚植企業競爭力，並持續推動節能減排、循環經濟，以及配合國家能源與減碳政策，朝淨零排放、碳中和目標努力。

推動節能減排循環經濟最大的受利者就是我們自己，從原料的減量、從能源的使用、從產品的安全、從員工、社區居民的環境保障中，創造出有形跟無形的受益，也間接造福社會、造福附近地區的繁榮，節能減排是一條企業永續發展必經之路。

參考文獻

1. 台塑企業的永續發展之路簡報
2. 台塑企業雜誌 2023 年 7 月號第 54 卷第 4 期

水泥產業循環經濟分享

台灣水泥低碳研發中心資深副理 / 張耀元
台灣水泥低碳研發中心資深協理 / 邱鈺文

關鍵字：循環經濟、替代燃料，替代原料，低碳建材

摘要

本文將介紹水泥產業於循環經濟上之分享，水泥產業利用水泥窯來協同處理廢棄物當作替代原料和替代燃料，減少水泥製程中的碳排，並促進循環經濟的推展。本文介紹相關國內外水泥業在替代原燃料上之趨勢及處理廢棄物近況，以及簡述目前台泥集團協同處理替代原燃料之現況。更進一步敘述台泥集團除了使用替代原燃料來持續精進循環經濟外，同時也發展台泥低碳建材。

壹、前言

為減緩氣候變遷帶來之潛在危機，聯合國及各國政府與非政府組織積極研擬各種減量策略。在2015年的聯合國氣候變化綱要公約第21次締約方大會(Conference of the Parties, COP)上通過了《巴黎協定》，旨在控制全球暖化，其目標是確保全球平均氣溫較前工業化時代升高不超過2℃，並努力限制在1.5℃以內[1]。隨著時間的演變，現今的氣候變化反而更為嚴峻，根據世界氣象組織的全球氣候狀態(State of the Global Climate)初步報告，2023年將創下有紀錄以來最熱的一年，升溫幅度高於之前創下紀錄的2016年，2023年全球氣溫將比工業化之前的均值高了1.4℃[2]，如圖1所示。在此背景下，2023年COP 28會議上宣讀決議文件並獲得一致通過，近200國承諾「進行能源系統轉型、脫離化石燃料（Transitioning away from fossil fuels in energy systems），並以公正、

有序且公平的方式，以科學為基礎，在這關鍵的10年加速行動，以利在2050年實現淨零排放。」[3]

綜觀國際間的水泥產業，紛紛向減碳及減少氣候衝擊的永續發展之路前進，歐洲水泥協會制定了歐洲水泥業邁向2050年低碳經濟的方向，日本水泥協會也推出了循環型社會，邁向低碳經濟之發展目標。而國際能源總署(International Energy Agency, IEA)與世界企業永續發展委員會 (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)在2009年共同發展出全球水泥業的節能減碳技術藍圖，提出至2050年的四項節能減碳策略，包含提升能源效率、提高燃料替代、增加原料替代及發展碳捕捉與儲存，此藍圖也作為IEA進行後續歷次能源技術展望報告中情景模擬的重要依據，該藍圖如圖2所示[5]。國際間水泥產業當前的節能減碳作法以提升能源效率及增加燃料替代與原料替代為主，而長期減碳則著重於碳捕捉與儲存技術[6]。

隨著全球人口和城市化程度的上升，以及對於基礎設施建設的需求，加大水泥和混凝土供給的壓力，同時要求減少水泥生產的碳足跡。考量各國宣布的碳減排承諾和能源效率目標，到2050年，水泥行業在全球的直接CO_2排放量將僅能增加4%，但預計同期水泥產量將增長12%，因此將需要採取更大膽的行動來實現全球氣候目標。由IEA與WBCSD的水泥可持續性倡議(Cement Sustainability Initiative, CSI)發展出的技術

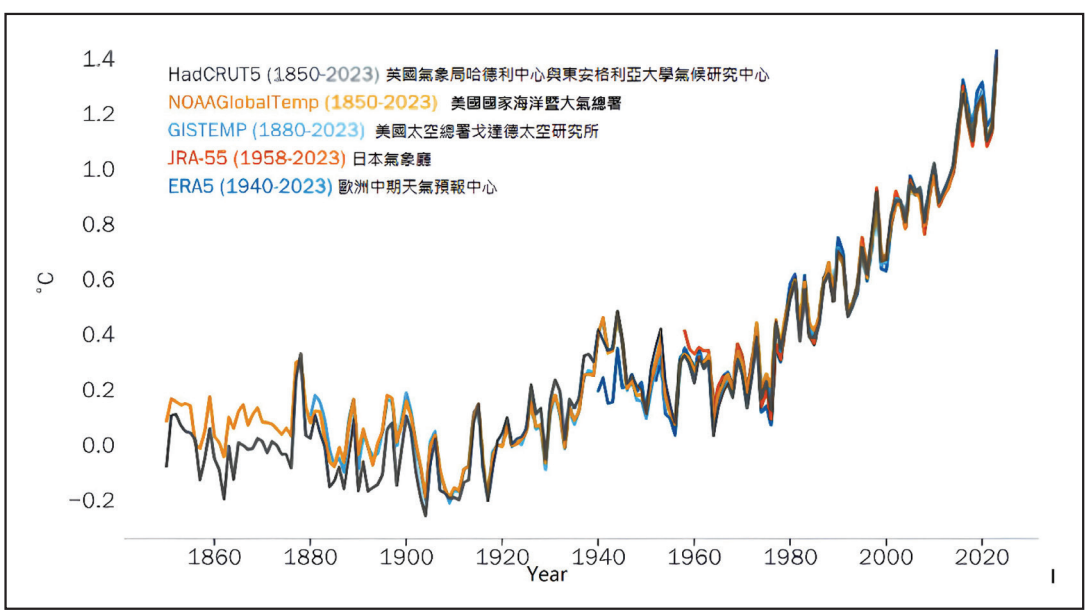


圖 1　全球平均溫差值（與 1850-1900 年平均值相比）[4]

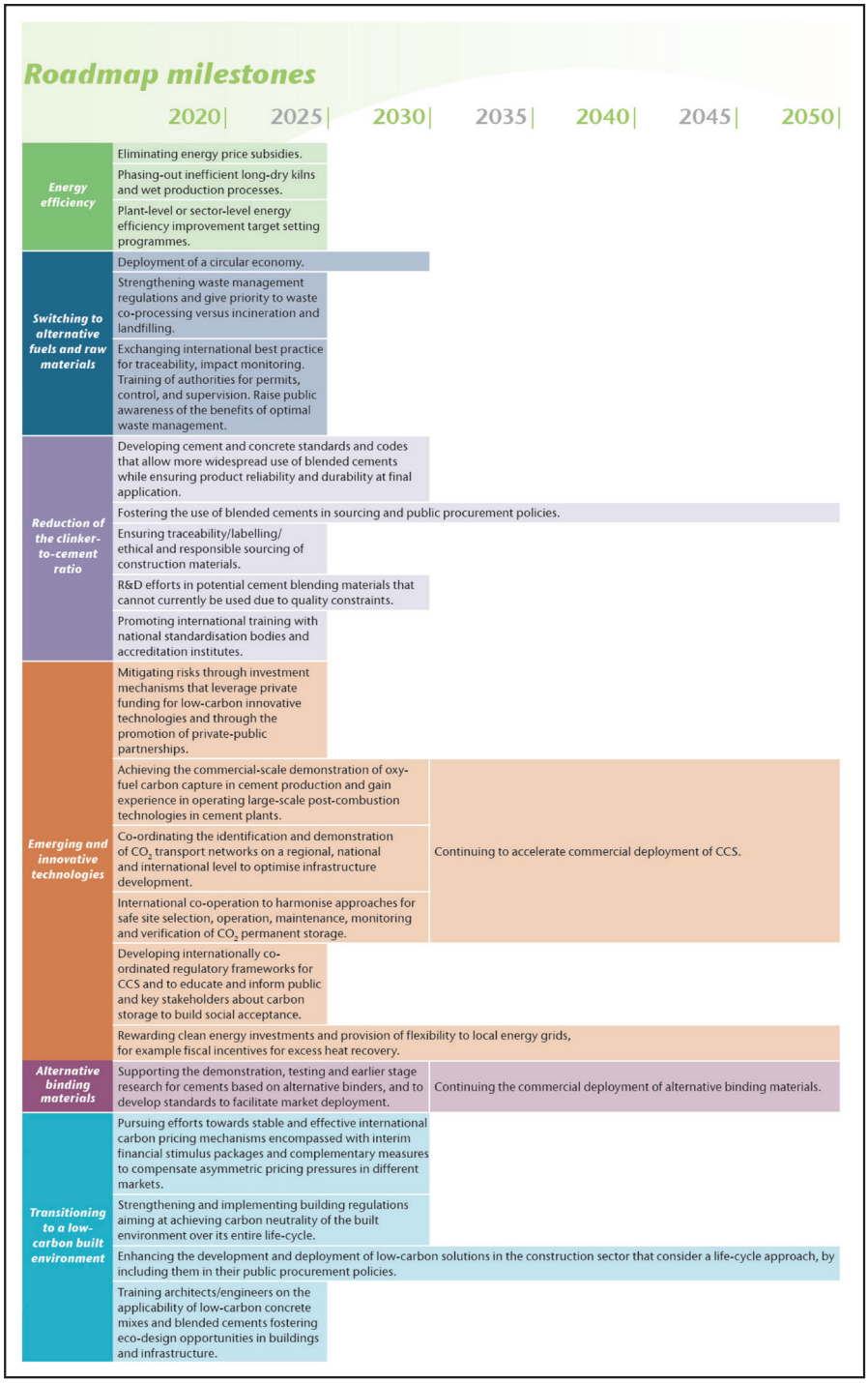


圖 2　水泥業的節能減碳技術藍圖 [5]

藍圖，為水泥行業制訂了一項戰略，使水泥產量提升與相關直接CO_2排放脫鉤，藉由提高能源效率，減少碳密集型燃料的使用，降低熟料與水泥的比例，並實施創新技術，例如：碳捕捉[7]。

對照當前我國水泥業的發展，經濟部早在2010年底即制訂「水泥工業發展策略與措施」[8]，逐年降低水泥外銷比例，在節能減碳上鼓勵水泥製程採用最佳可行技術，推動熱能與電能效率提升、輔導業者使用替代燃料與替代原料，並進行碳捕捉試行計畫，訂定水泥工業主要設備之最低能效標準，逐步淘汰不符標準之設備，這些節能減碳策略與國際趨勢相互呼應，協助國內水泥業朝向永續發展與循環經濟的方向邁進[6]。

依據我國現行政策方向，各產業必須嚴格控制各種廢棄物污染，同時將廢棄物轉化為再生資源，讓台灣邁向循環經濟的時代，其中水泥業在循環經濟上，扮演著積極角色。現今隨著環保意識抬頭與產業結構調整，國際間水泥產業也逐漸轉型，紛紛導入循環經濟的概念。藉由水泥窯三高特性：(1)

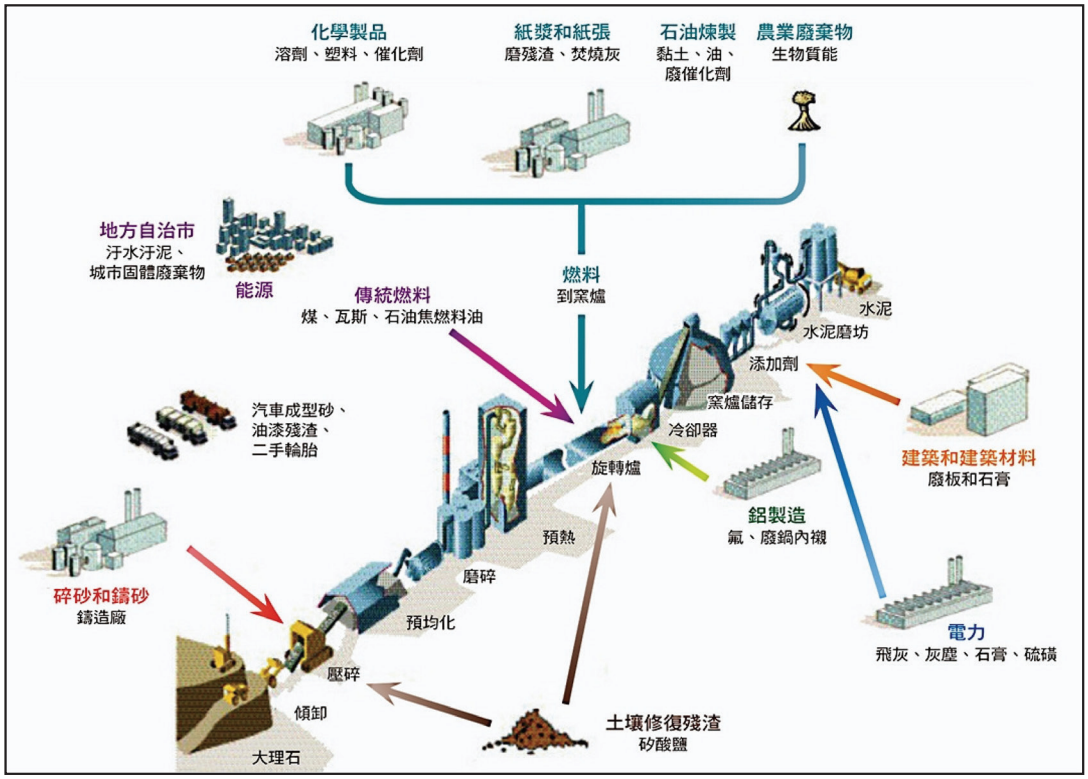


圖 3　水泥的製程特性與協助處理廢棄物的示意圖 [10]

高溫度；(2)高滯留時間；(3)高擾流的特性讓物料燃燒完全，實現零廢棄、零污染及零排放的目標。因此以水泥窯1,300度以上的高溫協助處理生活與事業廢棄物，可同時解決廢棄物掩埋問題，並且相關的廢棄物可做為水泥製程中的替代原料或燃料，顯見水泥旋窯具備協助處理廢棄物的優點[9]。圖3為水泥的製程特性與協助處理廢棄物的示意圖[10]。

替代燃料的使用是一種減排技術，用替代燃料如可替代的化石燃料（煤或焦炭）來加熱水泥窯。混合燃料比煤的碳排放強度小20% ~ 25%。水泥窯特別適合使用替代燃料的原因有兩點：替代燃料的能源成分是化石燃料的替代品；其中的無機部分，其灰可與熟料相結合。使用替代燃料排放的CO_2比傳統固體燃料更少。生命週期分析表明：(1)以這些廢棄物作為替代燃料被燃燒，可減少CO_2排放；(2)使用替代燃料還可減少不必要的垃圾填埋。

水泥行業使用的典型替代燃料有：

- 預處理過的工業和城市固體垃圾（生活垃圾）
- 廢棄輪胎
- 廢油和溶劑
- 塑膠、紡織品和紙質廢渣
- 生物質：動物骨粉；原木、木條和木屑；回收的木材和紙；農業廢棄物，如稻殼和鋸末；下水道污泥；生物質農作物

以廢舊輪胎為例，據估計每年全球產生10億個廢舊輪胎。水泥窯可以使用整個或切碎的輪胎作為燃料，目前美國和日本的使用量最多。輪胎比煤的熱值更高，在可控環境下燃燒，其排放不高於其它燃料。一些應用案例表明，使用輪胎替代化石燃料可減少NO_2、SO_2和CO_2的排放，且重金屬殘渣可被封固在熟料中。

據IEA資料顯示，在技術層面上，使用更多的替代燃料是可行的。部分歐洲國家水泥行業的平均燃料替代率超過50%。水泥生產過程中與燃料相關的CO_2排放占到33%，因此使用替代燃料減少CO_2排放的潛力巨大。

國外相關文獻顯示，在技術上水泥窯可以100%的使用替代燃料，但於實際操作中還存在一些限制。大多數替代燃料的物理和化學性質與傳統燃料有明顯不同，像是水泥行業可以很容易地使用某些替代燃料（如肉骨粉和木屑），但有許多替代燃料使用起來仍有技術上的困難，如：低熱值、高水分、含高氯或其它微量元素的物質，另外仍有一些揮發性金屬必須嚴格管理。但是，文獻也提及，比起技術上的困難，高替代率的實現也容易面臨法規的障礙，如：

(1) 廢棄物管理條例的影響尤為明顯：只有當地方法規嚴格限制垃圾填埋和焚燒，並允許廢棄物可控收集和處理替代燃料的地區才會有高燃料替代率。
(2) 當地廢棄物收集供應鏈必須發達。
(3)替代燃料價格很可能會隨碳排放價格的

升高而上漲，這會使水泥行業以可接受的價格獲得大量生物質燃料變得愈來愈困難。IEA預估到2030年，替代燃料的價格將達到傳統燃料成本的30%，預計於2050年達到70%時，水泥行業使用替代燃料仍是經濟可行的[5]。

本文將對水泥窯協同處理廢棄物之減碳策略進行介紹，分別對國內外水泥業在替代原燃料上之趨勢及處理廢棄物近況進行說明，以及介紹台泥集團協同處理替代原燃料之實況和針對營建廢棄物處理之發展。

貳、全球水泥業使用替代原燃料趨勢

全球水泥業耗用近2%全球能源用量，約占整體工業部門的5%。水泥業排放CO_2總量占全球5%，一個現代化的水泥廠，約有63%的CO_2從石灰石煅燒階段排放，33%從旋窯的燃燒及4%從其下游產線排放。由於水泥廠旋窯運轉溫度高達1,300℃以上，且煙氣與物料有充分滯留、混合與擾流，適合處理焚化爐無法燃燒的許多廢棄物，並替代生產熟料所需的燃料或原料。許多的研究顯

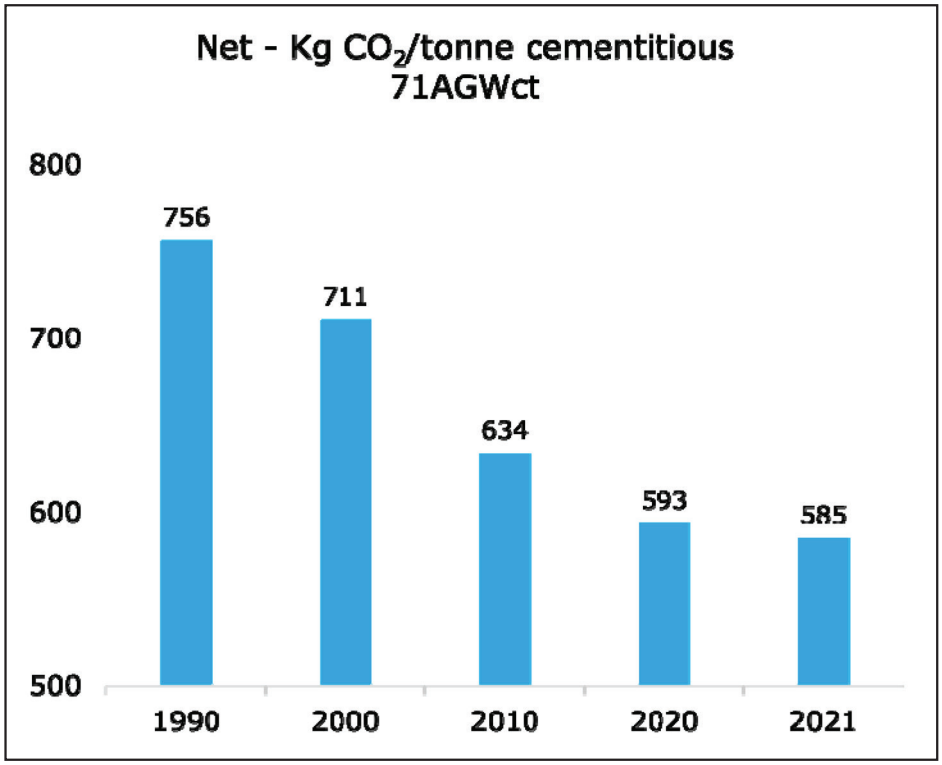


圖 4　2021 年水泥產業的 GNR 數據 [12]

示，水泥旋窯使用廢輪胎為替代燃料不會顯著影響各種的污染排放。國際能源總署出版的全球水泥業的節能減碳技術藍圖中更把燃料替代列為長期節能減碳的重要策略，如圖2所示。依據歐洲水泥協會(European Cement Association, CEMBUREAU) 的報導，2019年歐盟的水泥燃料替代率已達 46%，該協會更預測，於2050年使用替代燃料，預估可減少27% 的二氧化碳排放。近年，在歐洲已有34%的替代原料用於生產熟料，總數約達1450萬噸，以減少採礦及碳排放[11]。

根據全球水泥和混凝土協會(Global Cement and Concrete Association, GCCA)統計2021年Getting the Numbers Right (GNR)資料，2021年水泥產業的GNR 數據如圖4顯示[12]，自1990年以來，每噸水泥的CO_2排放量減少了23%；使用替代燃料的比例從1990年2%變成2021年的20%，增幅10倍以上，如圖5所示。2021年GCCA統計水泥業使用替代燃料的情況如圖6和圖7，其中替代燃料可分成以工業廢棄物製成的燃料以及生物質燃料，圖6顯示工業廢棄物製成的燃料中[12]，以廢棄物衍生燃料(Refuse Derived Fuels, 簡稱RDF)29%占比最多，其次是輪胎19%。圖7顯示在生物質燃料方面，以農業剩餘資材及其有機物33%占比較多[12]。

我國政府從2020年開始推動固體再生燃料(Solid Recovered Fuel, SRF)的使用，期望造紙業、紡織業、水泥業和氣電共生業等業者能逐漸改使用SRF來當作替代燃料，進而減少煤炭使用。根據臺灣生質能協會統計，現有SRF使用模式可分為兩種：(1)外購SRF供廠內設施使用；(2)自廠廢棄物自行製造SRF供廠內設施自行再利用，其統計結果如下：

a. 2023 年 SRF 使用許可量 496,010 公噸，相較於 2022 年 395,215 公噸增加 100,795 公噸，增幅為 25.50%。
b. 2023 年自行再利用廠之 SRF 許可用量為 209,381 公噸，2021、2022 年實際用量分別為 62,357 公噸及 103,841 公噸，使用量為 2023 年許可量之 29.78% 及 49.59%。
c. 2023 年外購 SRF 廠使用 SRF 許可量為 286,629 公噸，2021、2022 年實際用量分別為 42,157 公噸及 79,267 公噸，使用量為 2023 年許可量之 14.71% 及 27.65%。
d. 總 SRF 許可量為 496,010 公噸 ，實際市場僅能供給量為 183,108 公噸，總供給率為 36.92%。

由此可以看出目前實際SRF市場的總供給率偏低，不足以鍋爐業者或是水泥業者的使用。SRF量能不足也將成為水泥業使用替代燃料來減碳及促進循環經濟的一大限制。

參、台泥公司協同處理替代原燃料之現狀

水泥是建築工程中主要的材料之一，主要由石灰石、黏土、矽砂、鐵渣四種礦物原料經混合、研磨、燒結後成為熟料，再添加石膏研磨成為水泥。因地球天然資源有限，

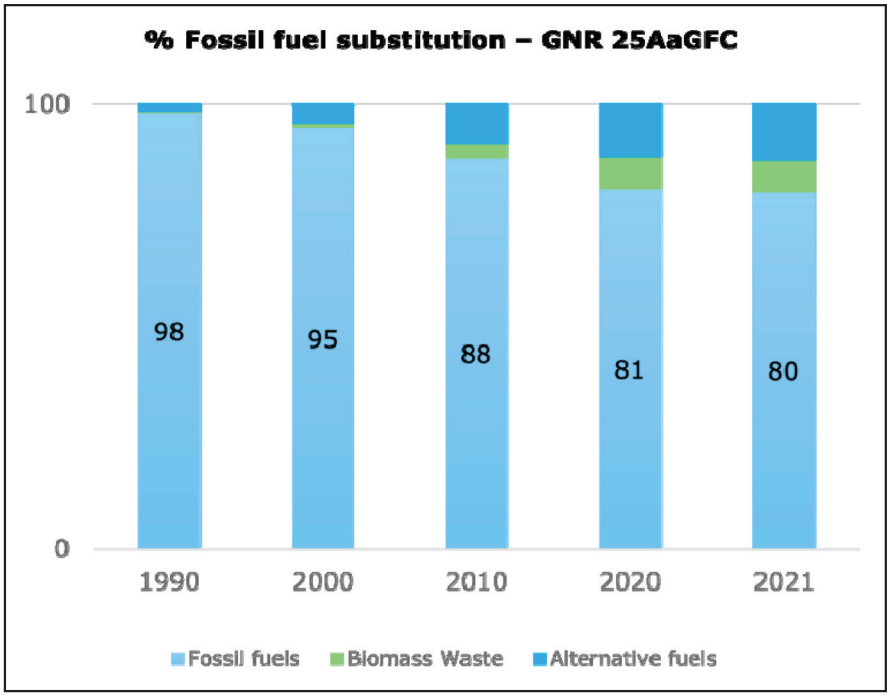


圖 5　GNR 數據對替代燃料使用比例之趨勢 [12]

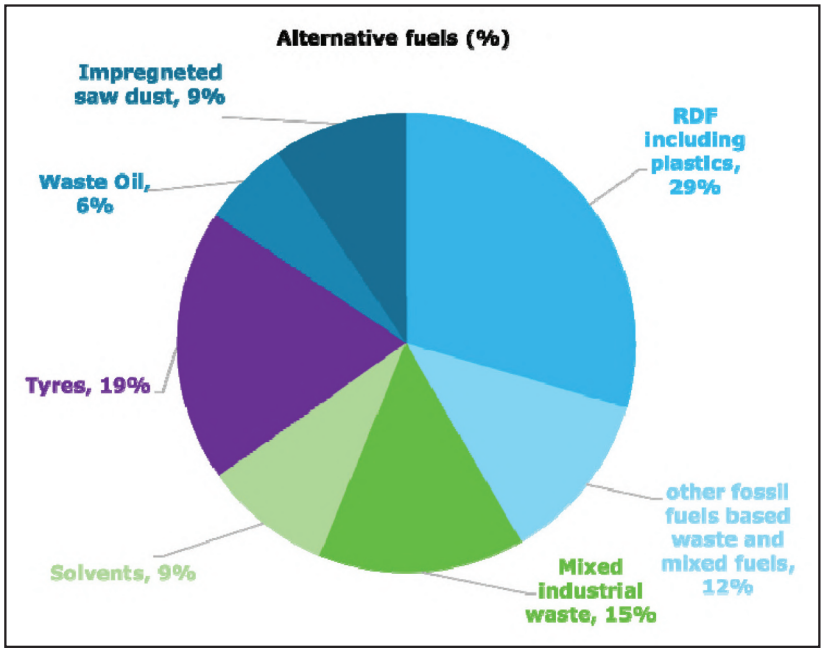


圖 6　以工業廢棄物製成替代燃料的種類佔比 [12]

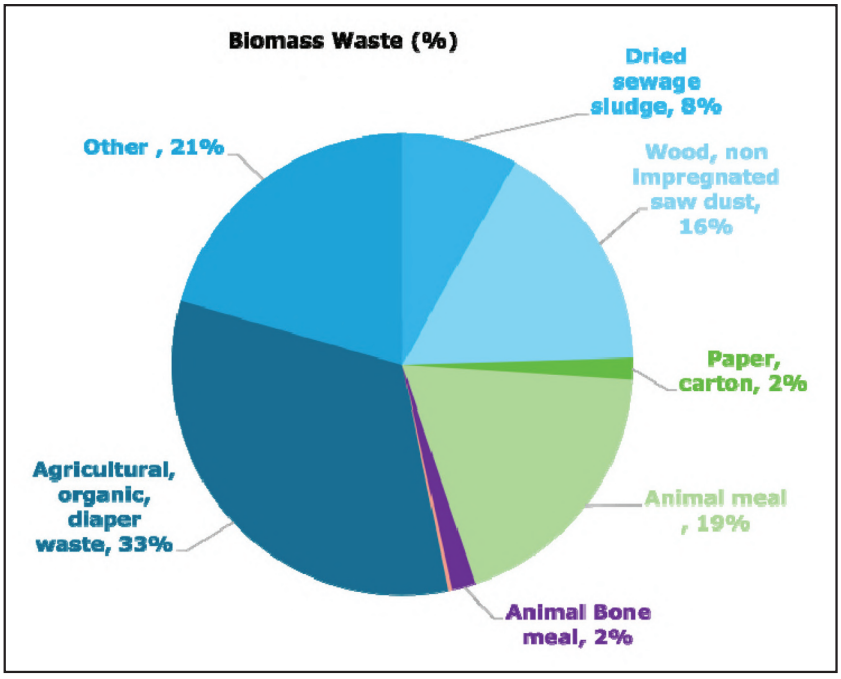


圖 7　以生物質燃料製成替代燃料的種類佔比 [12]

圖 8　台泥循環經濟模式於水泥製程中添加替代原燃料之示意圖

台泥公司（以下簡稱台泥）以減少天然原料之開採與購買為目標，全力研究替代原燃料之使用方案，並且努力實踐。台泥不斷從流程中改善採礦技術、優化運輸方式、研發碳捕捉技術、發展循環經濟資源再利用工作，從減少碳排放量、協助處理工業廢棄物再利用著手，為環境永續盡一份心力。圖8為台泥循環經濟模式，協助處理工業廢棄物於水泥製程中當作替代原料和替代燃料之示意圖。

跨產業共生循環經濟推動水泥減碳，協助處理十大產業廢棄物、城市廢棄物（生活垃圾）與農林剩餘資材，同時替代原料（石灰石）與替代燃料（煤），減少二氧化碳排放，直接減少水泥熟料的碳排量，根據台泥的ESG報告書所揭露的數據，2022年台泥協助各企業處置廢棄物共計110.1萬噸，相當於台灣整體事業廢棄物總量之5.3%，2022年台泥協助處理各行各業廢棄物百分比如圖9。

台泥協助半導體、鋼鐵、電廠、淨水廠、建材等產業與政府，將事業廢棄物與生活垃圾無害化、資源化利用，使其成為水泥製程替代原料，減少石灰石、黏土、矽與鐵渣等天然資源的開採與使用，部份則可當替代燃料減少煤炭使用，降低水泥生產製程排碳。根據台泥ESG統計數據，108年至111年台灣兩廠替代原料使用比例從19%增加至23%，替代燃料從109年開始起步，熱值替代率從0.21%增長至4.08%。

台泥在循環經濟的路上不斷努力，持續研究規劃可投入使用的替代原燃料，利用水

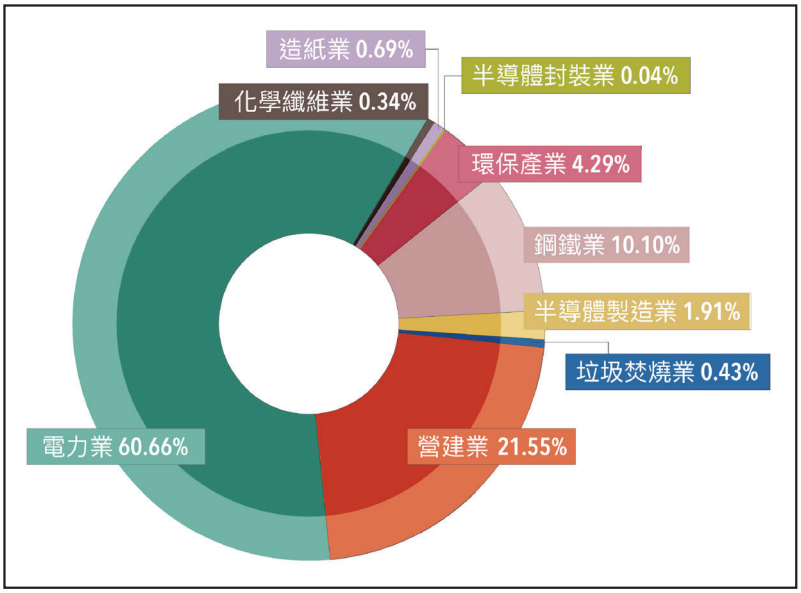


圖 9　2022 年台泥協助處理各行各業廢棄物百分比

泥窯的特性，將更多的廢棄物無害化，進而達到減碳的目標，成為最佳的「城市淨化器」。例如：台泥花蓮和平水泥專業區，設廠之初即考量循環經濟模式，採港廠電合一運營模式，最佳化資源使用效益，如圖10所示。生產水泥所需燃料與鐵渣、石膏、爐石等原物料皆由和平港輸入，製成之水泥產品亦由和平港運輸至西部各港口水泥接收站，不僅節省運輸費用，亦減少因公路運輸增加碳排而對環境造成之衝擊。此外，發電過程中產生之廢棄物可分為飛灰及底灰等兩種煤灰物質，台泥將電廠產生煤灰全部供做和平水泥廠生產水泥原料，不僅避免造成海洋汙染，同時達到資源全部再利用之目的。

台泥2018年導入BS 8001循環經濟，為全世界首家通過認證之水泥業，並於2022年以「邁向碳中和路徑之替代原燃料減碳驗證」為主題，通過BS 8001:2017組織執行循環經濟框架指引第3次驗證，獲最佳化驗證等級LEVEL 4，如圖11所示。台泥以三大核心指標朝向碳中和之路邁進，不斷精進可作為循環經濟之事物，協助解決社會上環保問題讓廢棄物再利用，做為水泥業的替代原料和替代燃料，減少水泥製程的碳排放。

肆、台泥公司低碳建材之發展

您知道全球近40%碳排來自營建及建築業嗎？根據國際能源署(IEA)統計，營建及建築業的溫室氣體排放約占全球40%，如圖12所示，其中27%來自建築能源使用，另13%

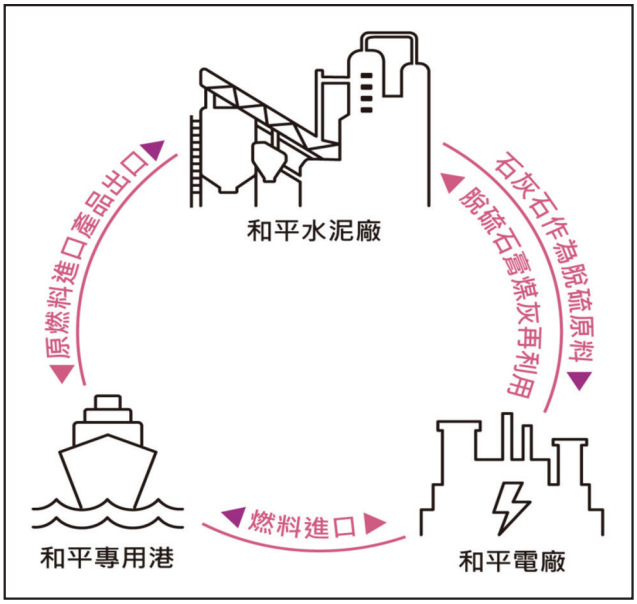


圖 10　台泥花蓮和平水泥專業區採港廠電合一運營模式之示意圖

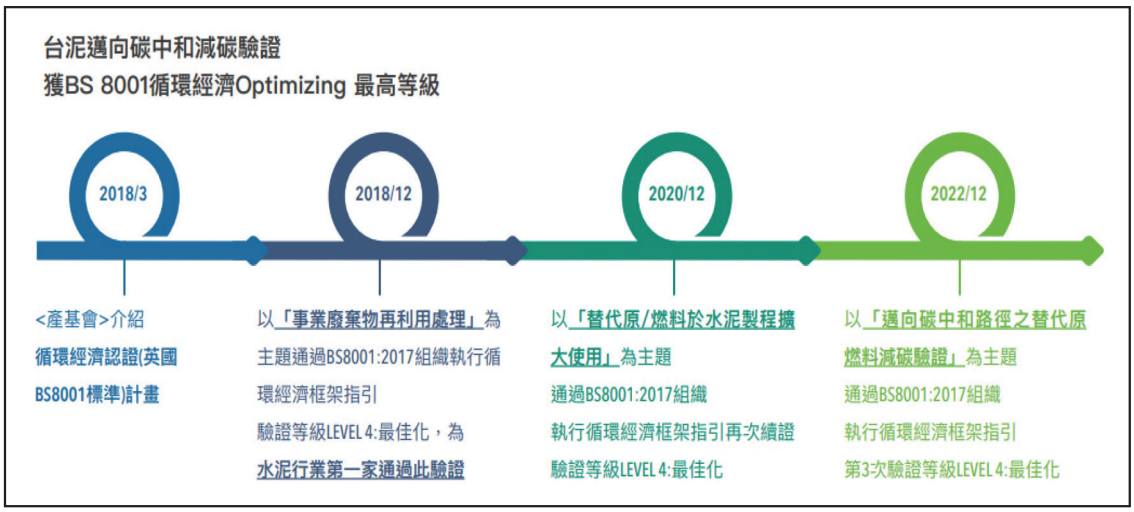


圖 11　台泥邁向碳中和減碳驗證之取得 BS 8001 循環經濟之歷程

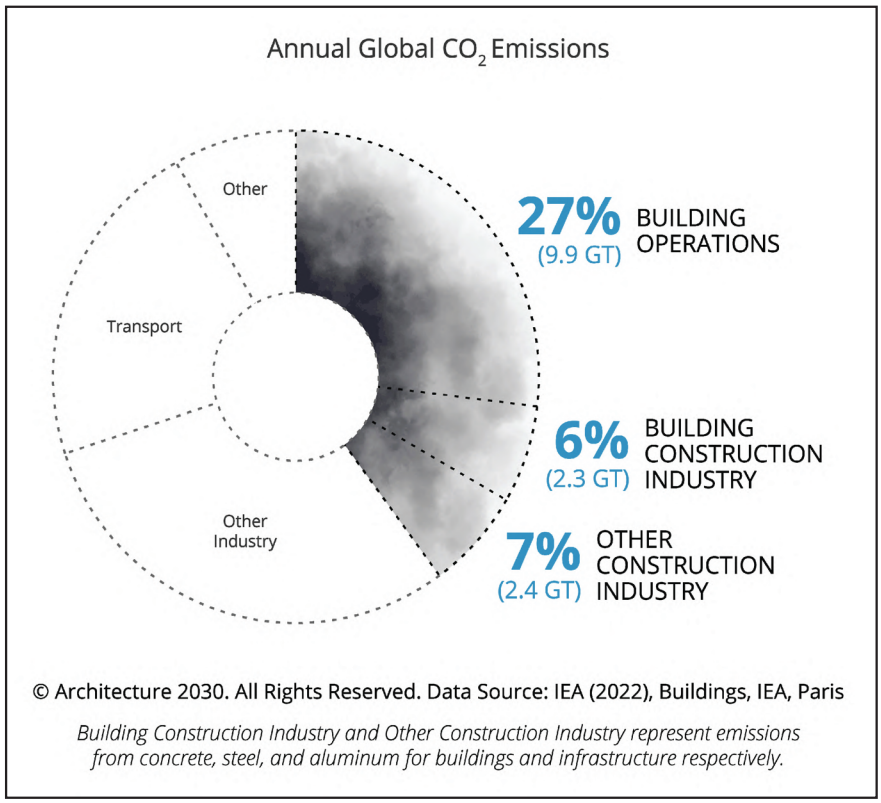


圖 12　營建和建築所產生的碳排 [14]

來自建材的製造、運輸與施工[13]。建築能源使用稱為營運碳排，建材的部分稱為蘊含碳排。而以往建築節能政策只關注於營運碳排，卻忽略對蘊含碳排的減少。在台灣2050的淨零路徑(如圖13)中，建築這一區塊也受到特別重視，其路徑規劃在2050年時，100%的新建建築物及超過85%建築物為近零碳建築[14]。

現今台灣的建築物已逐漸進入到混凝土使用年限50~70年的階段，陸陸續續出現老宅翻新和都市更新等社會議題。對於老宅翻新和都市更新，不管是拆除重建或是簡易翻新，或多或少都會有營建廢棄物的產生，而這些營建廢棄物如何妥善去化是台泥所關注之焦點。在綠建築評估手冊中有提到[15]，由於台灣使用高密度的鋼筋混凝土，營建廢棄物之處理問題將會是種負擔，台灣的鋼筋混凝土建築物每平方米樓板面積，在施工階段約產生0.314 m^3之建築廢棄物、0.242 m^3之剩餘土方，在日後拆除階段也會產生1.32公斤的固體廢棄物。且因許多不肖廠商隨意傾倒營建廢棄物，造成河川公地嚴重污染，產生不容忽視的社會問題。

GCCA也對於2050年水泥混凝土碳中和提出七大方針中[16]，如圖14，除了水泥業積極使用替代原燃料外，開發低碳建材也是重要指標。其七大方針為：(1)熟料生產減量、(2)水泥及膠結料減量、(3)混凝土生產效率、(4)電力脫碳、(5)再碳酸化、(6)設計與建築效益及(7)碳捕獲與利用/儲存(CCUS)。其

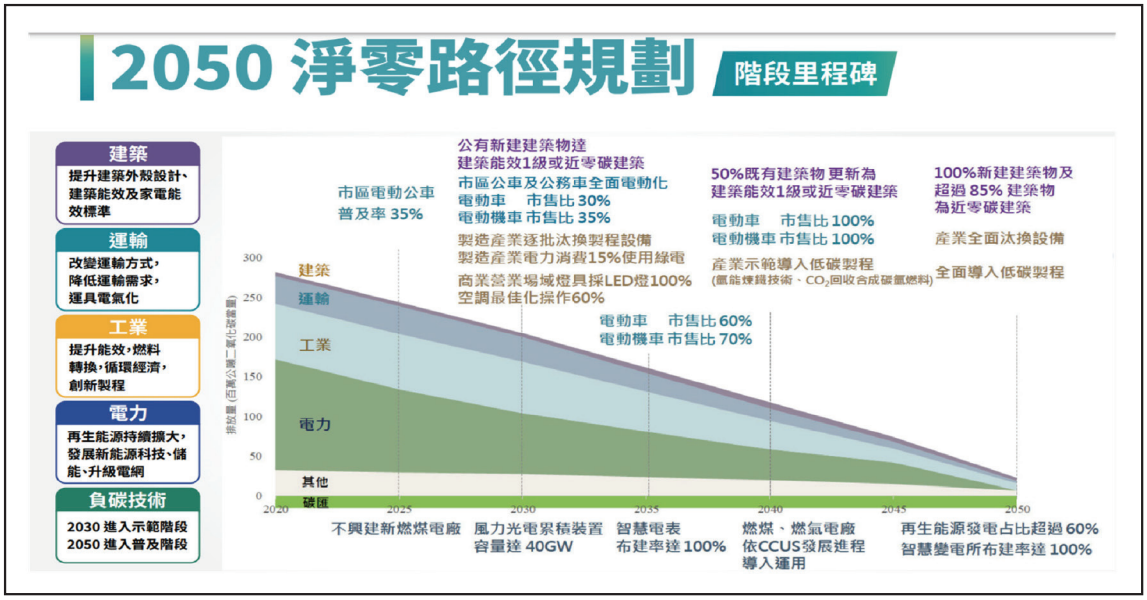


圖 13　台灣 2050 的淨零路徑圖 [15]

中水泥及膠結料減量、混凝土生產效率和設計與建築效益，即在探討降低建築物的蘊含碳排，包含了建材、運輸、施工、修繕及廢棄階段產生的排放。

台泥藉由其企業三大核心：低碳建材、資源循環、綠色能源，除了著重於利用水泥窯來進行協同處理廢棄物，促進資源循環外，近期也持續發展淨零城市所需之低碳建材，協助台灣營建與建築業在2050年淨零路徑更有動力。圖15為台泥低碳新能源整合方案，從建築最一開始的設計階段即可採用台泥的低碳建材，到建築使用階段時的能源利用，則可採用台泥的綠色能源規劃，建築物到達使用年限後所產生的營建廢棄物，台泥又可利用水泥業資源循環的特色，來延續建築物的新生命，同時減碳及減少營建廢棄物的產生。

台泥的低碳建材有：低碳水泥、低碳混凝土及創新高價值化建材-超高性能混凝土(Ultra-High Performance Concrete, UHPC)。台泥低碳水泥為新開發的卜特蘭石灰石水泥。卜特蘭石灰石水泥已是目前歐洲使用最普遍的水泥（占比34%），台泥所開發的卜特蘭石灰石水泥可完全取代卜特蘭I型水泥，且早期強度更強，減碳效果更佳。台泥低碳混凝土有：210~420 kgf/cm^{2}系列的低碳混凝土，以及210~420 kgf/cm^{2}系列的卜特蘭石灰

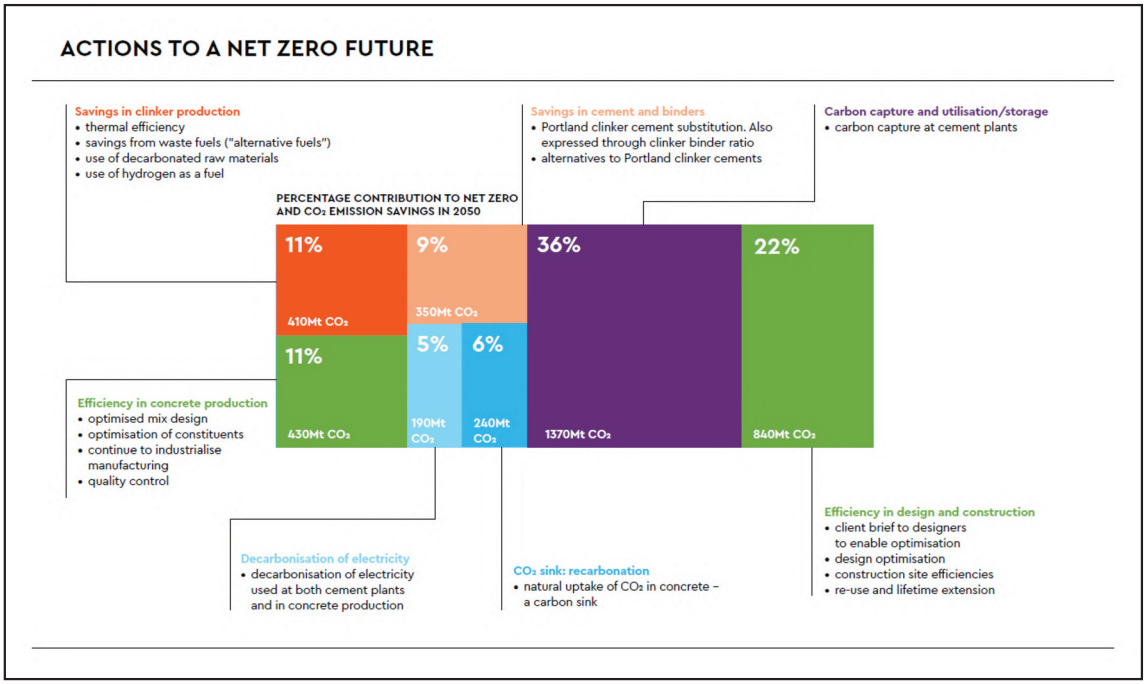


圖 14　GCCA 所提供 2050 水泥混凝土中和的七大方針 [16]

石水泥混凝土。新開發的石灰石水泥混凝土相較低碳混凝土的優勢有：坍度相當、工作性優、早期強度更高、施作性佳更能減碳。依據低碳(低蘊含碳)建築評估手冊的計算公式，以一棟建築物地上14層、地下3層的條件試算，使用取得碳標籤的台泥低碳混凝土可以降低該棟建築物的碳排30%。

現階段台泥也與國際接軌，跟國際水泥同業朝著營建廢棄物中廢棄混凝土塊再利用之研究方向，讓建築物拆除時所產生的混凝土塊或是廢棄的混凝土塊重新回到水泥或混凝土製程，且不會影響水泥或混凝土的質量，並減少這些現階段僅能當作用於路面鋪面之控制性低強度回填材料(Controlled Low Strength Material, CLSM)的廢棄物混凝土塊。另外，國際上對廢棄混凝土塊再碳酸化的利用十分重視，研究顯示在混凝土的生命週期內可吸收5% ~ 20%水泥生產過程中排放的CO_2，並且在二次或回收壽命期間可額外吸收5% ~20% CO_2，故如何將這廢棄混凝土有效地重新回到水泥或混凝土製程將會是一大課題。這對水泥和混凝土的生產除了可以減碳外，更可以減少環境問題，讓廢棄的混凝土塊更安全及更透明化的處理，不造成二次污染。

台泥不斷精進綠色低碳建材的產品開發，協助營建和建築業達到2050年淨零建築，而使用台泥低碳建材所減少的碳排，將

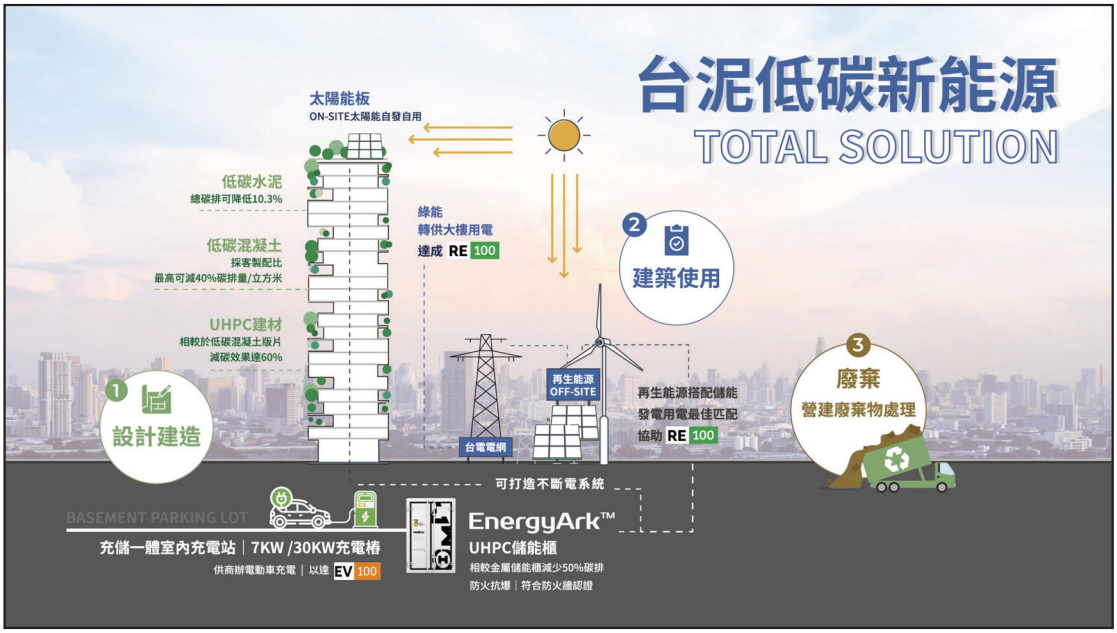


圖 15　台泥低碳新能源整合方案之示意圖

有助於未來台灣政府或國際趨勢碳經濟的利用，讓企業共同減碳，打造一低碳循環永續與韌性的城市。

伍、結論

水泥業協同處理可以協助循環經濟的發展外，也可以拉長水泥和混凝土應用於建物的生命週期，減少建築和營建所產生的碳排。而台泥以三大核心指標朝向碳中和之路邁進，不斷精進可作為循環經濟之事物，協助解決環保問題，促進廢棄物再利用化，作為水泥業的替代原料和替代燃料，減少水泥製程的碳排放。進而生產出更多低碳建材，為營造和建築業建構低碳建築物，共同為2050淨零建築而努力，建構循環永續與韌性的城市基礎，延續與地球之共融美好。

參考文獻

1. https://rsprc.ntu.edu.tw/zh-tw/m01-3/climate-change/1834-cop28.html
2. https://e-info.org.tw/node/237271
3. https://www.cop28.com/en/about-cop28
4. World meteorological organization，2023
5. Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry, Published: 5 Apr 2018、https://webstore.iea.org/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry
6. 黃啟峰、范光錢、楊秉純、我國水泥產業之節能策略及作法、機械新刊、9、74-88、2017.08
7. IEA, International Energy Agency (2009), Cement Technology Roadmap 2009: Carbon Emissions Reductions up to 2050., https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry
8. 經濟部工業局，水泥工業發展策略與措施，民國 100 年 2 月
9. 循環經濟：循環經濟的發展與應用 – 水泥篇 鄭 珊 丁 俊元 陳建緯臺灣綜合研究院 https://scitechvista.nat.gov.tw/c/sgGQ.htm
10. World Business Council for Sustainable Development, 2014, https://www.wbcsd.org/
11. 水泥製造業 BAT 技術燃料及原料替代 - 工研院綠能所 范光錢
12. https://gccassociation.org/sustainability-innovation/gnr-gcca-in-numbers/
13. https://architecture2030.org/why-the-building-sector/
14. https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76
15. 綠建築評估手冊
16. https://gccassociation.org/concretefuture/actions-to-a-net-zero-future/

PET 的循環經濟：回收、創新、永續之路

遠東新世紀股份有限公司遠東企業研究發展中心管理師 / 林湘琴

關鍵字：循環經濟（Circular Economy）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（Polyethylene Terephthalate，PET）、PET 回收（PET Recycling）、可再生原料（Renewable Feedstock）

摘要

隨著環保意識抬頭，全球越來越關注消費模式對環境的衝擊。有鑑於全世界每年製造龐大的塑膠廢棄物，產業必須發展循環經濟，朝向零廢棄物和淨零碳排的未來前進。PET是目前最爲廣泛使用的塑膠材料之一，故本文探討PET產業如何在永續設計的概念下，開發創新回收技術和導入可再生原料以取代石化來源，並且分享遠東新世紀之跨產業合作和共享資源的經驗，來說明產業須構建更廣泛的循環經濟體系，邁向循環經濟大道。

一、前言

（一）廢塑膠汙染日益嚴重

塑膠材料是一種高分子材料，由於加工性佳、耐用和價廉，故廣泛應用於日常生活中。常見的塑膠材料包含聚對苯二甲酸乙二醇酯（Polyethylene Terephthalate，PET）、高密度聚乙烯（High Density Polyethylene，HDPE）、低密度聚乙烯（Low Density Polyethylene，LDPE）、聚丙烯（Polypropylene，PP）、聚苯乙烯（Polystyrene，PS）、聚碳酸酯（Polycarbonate，PC）和聚氯乙烯

（Polyvinylchloride，PVC）…等。據統計，全球每年塑膠總產量超過3.5億噸，且預估到2030年塑膠產量將超過4.17億噸。[1]

這些材料皆源自不可再生之石化來源，在日積月累的使用下，平均每年約產生2.4億噸的塑膠廢棄物，僅有16%的塑膠被回收再利用，高達84%的塑膠廢棄物，最終是以掩埋、焚化或甚至被任意丟棄來處置[2]。

以美國地區為例，根據The Association of Plastic Recyclers的數據指出，在各種產品應用中，以塑膠瓶的回收率最高，但也僅約28.2%[3]。若進一步探討不同塑膠的回收率，參考2021年Neeti Gandhi等人[4]發表的數據來看，統計消費後之塑膠廢棄物（含瓶子、薄膜、硬質包材等應用），所有塑膠材質中，以PET材質的回收率最高，約為19.5%，其次是HDPE的10.3%與LDPE的5.3%，其他塑膠材料的回收率甚至不到1%。

為應對龐大的塑膠廢棄物問題，2002年由德國化學家布朗嘉（Michael Braungart）和美國建築師麥唐諾（William McDonough）共同提出的Cradle to Cradle（搖籃到搖籃）的永續設計理念，為產業提供了一種解決方案。該理念的核心在強調產品須在設計階段就預先考慮產品結局，並可將塑膠製品轉化為另一個循環的開始，讓這些材料保持循環利用，或可升級再造製成相同或更高品質的材料或產品。

（二）PET 塑膠回收現況

PET是由對苯二甲酸（Purified Terephthalic Acid，PTA）和乙二醇（Mono Ethylene Glycol，MEG）聚合而成的聚酯高分子材料，可透過控制聚合條件產出不同規格的PET材料。PET重量輕，具備透明性、耐用性、熱穩定性、機械強度和阻隔性，且價格便宜與加工性優，可製成各種產品，故應用相當廣泛。除寶特瓶用途外，也可應用於包裝材料、電子級膠片、紡織品與印刷標籤…等，是最為廣泛使用的塑膠材料之一，目前全球PET年產量約9,000萬噸。

PET材料的回收發展較早，是目前全球回收率最高的塑膠材質。依據環境部最新的統計數據，臺灣2023年塑膠容器廢棄物回收總量約為21萬噸，其中又以寶特瓶原料PET的回收量最高，約12萬噸[5]，回收率達95%以上。不過，這也僅限於PET瓶的回收。其他像是PET使用量也非常高的紡織產品，全球PET年使用量約5,700萬噸[1][6]，但實際回收比例僅13%左右。以台灣為例，每年產生7萬噸廢舊紡織品中，有將近6萬噸無法回收再利用，最終以焚化或掩埋處理。

回收率低的主要原因在於大部分紡織品非單一組成，導致回收困難度大增，若僅靠回收寶特瓶的再生產能，未來恐無法滿足世界各國和企業使用再生材料含量的目標，如何提升PET的回收能力，擴大PET廢棄物

表 1　世界知名品牌企業承諾採用環保再生材料的目標

品牌企業	產業別	目標
Coca-Cola 可口可樂	飲料食品	到 2030 年，其塑膠包材至少含 50% 的再生材料
PepsiCo 百事公司	飲料食品	到 2030 年，其塑膠包材至少含 50% 的再生材料
Unilever 聯合利華	各類消費品	到 2025 年，其塑膠包材至少含 25% 的再生材料
Nestlé 雀巢	飲料食品	到 2025 年，其塑膠包材至少含 30% 的再生材料；水瓶至少含 50% 的再生材料
L’ Oréal 萊雅	美妝產品	到 2025 年，其塑膠包材至少含 50% 的再生材料或生質材料；到 2030 年達到 100% 的目標
IKEA 宜家家居	家居用品	到 2030 年，所有聚酯產品 100% 使用再生材料或可再生材料製成
H&M	服飾產品	到 2025 年，產品至少含 30% 的再生材料； 到 2030 年，所有產品 100% 使用再生材料或永續環保材料製成

的回收範圍，是目前整個產業最迫在眉梢的問題。

所以，PET產業需要透過Cradle to Cradle的理念，尋找創新的解決方案，藉此減少塑膠廢棄物的數量，並降低對新石化原料的需求，讓產品成為永續發展的一部分，促使資源在經濟循環中源源不斷地被有效運用。

（三）永續目標推動

隨著環保意識抬頭，國家、品牌商和企業甚至消費者也開始反思消費模式對於環境的衝擊，因此循環經濟逐年受到重視。特別是在《巴黎氣候協議》的推動下，各國首要目標就是將全球平均溫度上升幅度控制在合理範圍內，以遏止全球暖化趨勢，故紛紛擬定嚴格的回收和減碳目標，並規劃徵收碳稅制法，促使各企業正視循環經濟的重要性並制定降低廢棄物和碳排放的目標。再加上2023年底聯合國第28屆氣候變遷大會（COP28）決議並一致通過，有近200國承諾「進行能源系統轉型、脫離化石燃料，並以公正、有序且公平的方式，以科學為基礎，在這關鍵的十年加速行動，以利在2050年實現淨零排放。」全球正朝向零廢棄物和淨零碳排（Net-Zero）的大道前進。

以歐盟和美國加州為例，皆將於2025年執行PET瓶使用再生材料的比例不得低於25%之目標。其他國家也正積極制定再生材料使用的比例與範圍，台灣環境部目前也開始規劃草案，與相關業者研商並制訂目標，希望於2025年可實現非食品級塑膠容器須添加再生成分占比達25%以上，到2030年則達到35%的目標。

除了各國政府展開再生材料的立法，各大企業與品牌商也積極設定減廢減塑的目標（見表1）。隨著品牌努力實現其承諾與目標，並擴大對再生材料的需求，未來再生材料的供應將是製造廠的一大考驗。根據獨立

化學資訊與市場情報公司ICIS所進行的研究指出，全球至少需要建置1,800座新的rPET回收工廠，且工廠年產能平均達2.5萬噸以上[7]，才能實現大型品牌所設定的2025年再生材料含量目標。

儘管市場對再生PET材料（Recycled PET，rPET）需求增加，但收集量和回收量仍未能跟上需求成長率，故如何提升回收效能、精進回收能力以及擴大廢棄物的回收範圍，是目前PET產業鏈的當務之急，也是推動PET產業朝向循環經濟和永續發展的重要關鍵之一。

二、PET 回收技術總覽

以往，塑膠製品採線性經濟（Linear Economy）模式，製造商利用石化原料來製造產品，而業者販售產品給消費者，消費者使用後丟棄產生廢棄物，這種即為Take→Make→Use→Dispose的線性經濟模式，而這樣的經濟模式，急遽消耗地球資源，也產生大量的塑膠垃圾，衝擊全球環境。不過，幾十年來，整個產業不斷推動回收再生的循環經

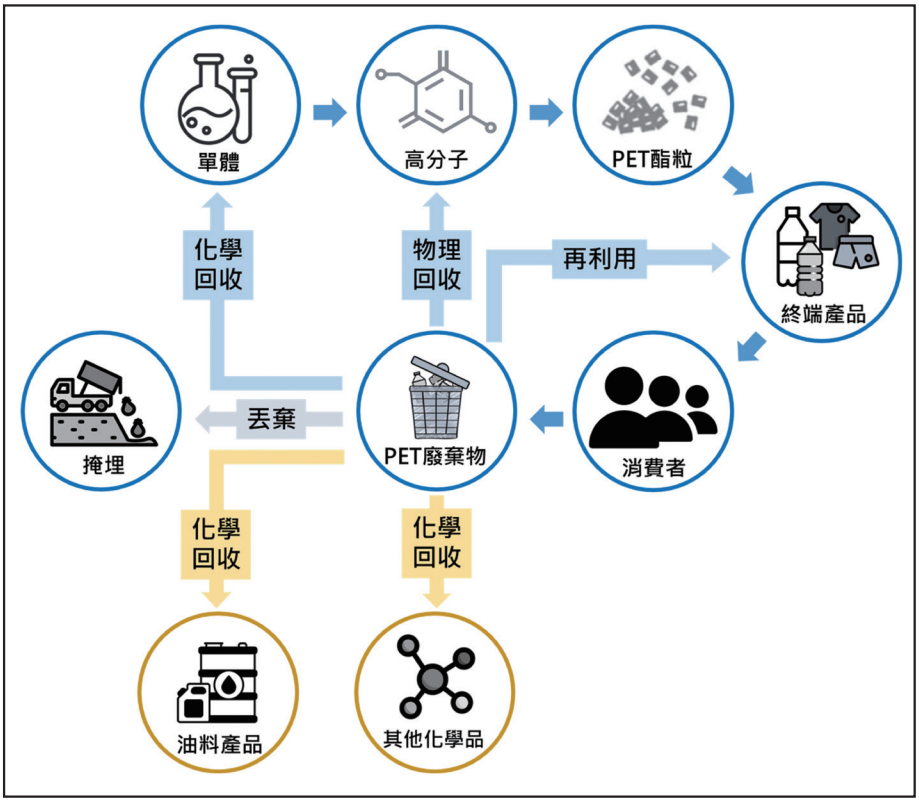


圖 1　PET 廢棄物的線性經濟與循環經濟模式 [8][9][10]。灰色箭頭代表線性經濟；藍色箭頭代表閉環經濟；黃色箭頭代表開環經濟。

濟（Circular Economy）模式，逐漸淘汰以奪取資源為主的線性經濟模式。

（一）PET 回收之閉環 & 開環經濟發展

以目前PET的回收技術，主要分為閉環回收模式（Closed-loop recycling）[8][9]和開環回收模式（Open-loop recycling）[8][10]，如圖1。

1. 閉環回收模式：
   藉由物理回收、化學回收或再利用的方式，讓 PET 廢棄物可重新回到 PET 產業鏈中。

2. 開環回收模式：
   以廢棄的 PET 作爲原料，轉化爲其它非 PET 產業鏈內的化學品或原料，可應用於非 PET 產業鏈上。如利用化學回收法將 PET 廢棄物轉化成回收多元醇，可應用於 PU 產業鏈中；抑或是藉由熱解回收法來獲得輕油或其他燃料油，可應用於能源產業。

這些創新的回收技術不僅爲PET產業創造永續發展路徑，也可作爲其他產業鏈的典範。PET回收技術成爲推動循環經濟發展的重要一環。圖2彙整目前回收技術的路徑與主要產物，並於下一章節簡介各個回收技術。

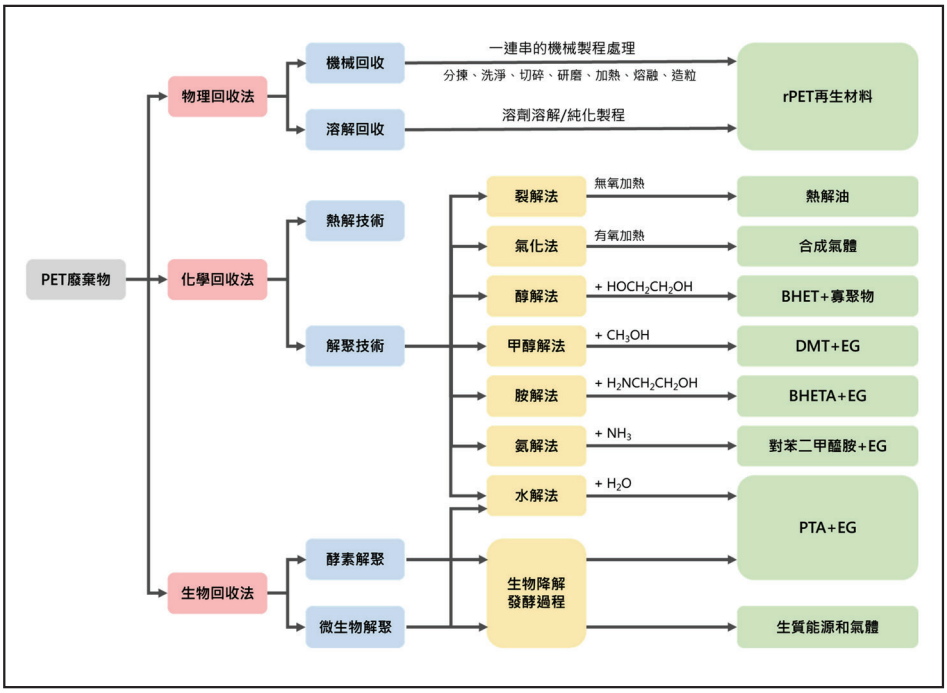


圖 2　PET 回收技術路徑表 [2]

（二）PET 回收技術 [2][8-15]

1. 物理回收法（Physical recycling）

物理回收法是建立在不改變PET分子鏈結構的前提下，將回收的PET廢棄物經粉碎、熔融或溶解，再加工造粒生成新的再生聚酯材料（Recycled PET，rPET）產品，或與其他材料進行物理混合後加以再造利用。以目前的物理回收法，主要有兩種技術：

一機械回收（Mechanical recycling）

機械回收法會將 PET 廢棄物經過一連串的製程處理，如分揀、洗淨、切碎、研磨、加熱、熔融、造粒等過程，但仍保持其分子結構，使其重新變成可用 rPET 材料。這種方法通常只能應用在相對乾淨、成分單一且無污染的 PET 廢棄物，例如寶特瓶。不過因其回收方式，所製成的 rPET 由於機械性能損失，導致品質略為劣化，通常作為較低端與廉價的產品應用，例如：寶特瓶回收做為紡織用途（Bottle-to-Fiber (B2F) recycling）。

因回收 rPET 物性也會隨著回收次數而衰退，故以前機械回收法普遍被業界認爲是一種降級回收（DownCycling）；但隨著技術的進步，台灣在 2023 年核准寶特瓶回收可做爲食品包裝用途（Bottle-to-Bottle (B2B) recycling），就可以不再降級回收。

一溶解回收（Dissolution recycling）

溶解回收法是將 PET 廢棄物溶解在適當的溶劑中，且未改變 PET 的分子結構，接著進行分離和純化，通常適用於含有雜質的 PET 廢棄物，可有效地分離出純度較高的 PET。不過由於整個製程會使用大量溶劑和熱能，需設計妥善的溶劑回用系統和降低能耗，否則對環境的衝擊可能更大。

2. 化學回收法（Chemical recycling）：

主要利用化學反應來打斷原本PET的高分子鍵結，並獲得單體或其他原料。這些再生原料可再經合成反應來獲得高分子材料。有些化學回收法除了可將PET廢棄物解聚為原本單體之外，甚至可轉化為更高價值和品質的化學品或材料，除了具可回收性，亦不會損失價值或可用性，而這種回收就可視為是一種升級回收（UpCycling）。

目前化學回收法主要分兩大類，分別是熱解技術與解聚技術，以下針對兩大類型的回收技術進行介紹。

一 熱解技術（Thermolysis）

◇ 裂解法（Pyrolysis）

在高溫無氧的條件下，將 PET 廢棄物裂解成氣體、液體和固體產物，再進行適當的分離和再利用，通常可用來生成燃油，不過熱裂解的反應溫度相當高，需要消耗較多能源，且投入的廢棄物若成分複雜，也易影響燃油的品質。

◇氣化法（Gasification）

將 PET 在高溫下與氣體反應，生成合成氣體，可進一步轉化爲其他化學品或燃

料。但因收集到的廢棄物須妥善進行前處理與分類，再加上其製程的維護成本過高，目前商業化應用比例極低。

一 解聚技術（Depolymerization）

◇醇解法（Glycolysis）

使用乙二醇將PET解聚，主要的產物為對苯二甲酸雙羥乙酯（Bis-2-Hydroxylethyl Terephthalate，BHET）或其寡聚物，可將其再重新聚合成新的PET材料。其製程多在常壓下進行，條件相對簡單，較易實現商業化生產。

◇甲醇解法（Methanolysis）

利用甲醇將PET解聚，主要的產物為對苯二甲酸二甲酯（Dimethyl Terephthalate，DMT）和乙二醇，可用來生產新的PET材料，缺點為目前世界上使用DMT製造PET的產線越來越少，DMT可能需要轉化成PTA或BHET，才能進料到大部分的PET產線進行PET聚合。

◇水解法（Hydrolysis）

水解法可在鹼性、酸性和中性環境下進行PET解聚，主要產物爲對苯二甲酸和乙二醇，也就是PET的基本單體，可重新進行PET再生製造。

◇胺解聚（Aminolysis）

利用乙醇胺（Ethanolamine）將PET解聚，主要產物為雙（2-羥基乙烯）對苯二甲醯胺（Bis-(2-hydroxyethylene) Terephthalamide，BHETA）和乙二醇，BHETA在聚氨酯和不飽和聚酯等材料上具有應用潛力。不過胺解反應較慢，且副反應多，目前尚未實現商業化應用。

◇氨解聚（Ammonolysis）

利用氨進行解聚反應，主要產物為對苯二甲醯胺（Terephthalamide）和乙二醇。對苯二甲醯胺可加氫製備成對苯二甲胺，可用於製造聚氨酯和環氧樹脂。

3. 生物回收法（Biological recycling）

生物回收法是利用微生物和酵素降解的方式，將PET轉化為可再利用的單體，進而被微生物當為碳源進行生物製造，獲得新的PET材料或其他高值化學品。目前PET生物回收法以酶催化水解反應為主。

生物回收法與其他物理或化學回收製程相比，通常不需要高溫和高壓等極端條件，能耗較低，並且不需要過多的化學助劑，降低製造過程對環境的衝擊。同時，特定的微生物和酵素專注於降解PET，而不影響其他材料，具備高度的材料選擇性，有助於提高回收效率並減少副產物的產生。

然而，生物回收法仍面臨一些挑戰。首先，由於各種PET廢棄物具備不同的結晶性

質，容易影響生物降解效率。為了解決這一問題，可通過酵素工程改造，使其更適合PET材料；或針對PET廢棄物進行預處理，以改善生物降解性能。其次，PET廢棄物的來源差異可能影響生物回收的效果，所以必須清楚瞭解PET廢棄物的來源，才能進行合適的預處理過程。另外，生物回收技術的商業化製程技術，需要複雜的生物工程和反應器的研究，才能實現高效降解、產品分離和純化。故生物回收技術的發展需要結合微生物學、酵素學和生物工程等領域的研究，故商業化程度仍不及物理或化學回收法。

4. 遠東新世紀的回收技術發展[16]

遠東新世紀自1988年起，已開始投入深耕循環經濟，建立台灣第一個機械回收寶特瓶的工廠，目前已具備成熟的機械回收技術，並且在美國、日本和菲律賓等地，都建立了機械回收廠，除了可將廢棄的PET寶特瓶回收再製成高品質的rPET產品，其應用領域更涵蓋食品包裝、非食品包裝、機能服飾、鞋材、家用品和車用材料…等。以回收寶特瓶為原料所製成的rPET酯粒，較傳統從石化來源的PET酯粒，可減少約63%的溫室氣體排放量。

不僅回收陸地上的PET廢棄物，遠東新世紀也致力於海洋回收領域，與非營利組織Parley for the Oceans和運動品牌adidas合作，透過創新的回收技術，將海洋中的廢棄寶特瓶，回收再製成「海洋回收紗」並製成新鞋（如圖3）。統計到2022年，已成功攔截14,000噸以上的海洋廢棄塑膠，促進海洋保護和推動循環經濟。

另外，為了擴大廢棄物再利用的範圍，遠東新世紀憑藉在寶特瓶回收的成熟經驗，發展紡織廢棄物回收解決方案，將成份單純的聚酯紡織廢棄物，經由熔融造粒或以機械回收的方式，重製成全新紡織品的商業化應用技術。

然而，物理回收技術無法有效處理成分

圖 3　以遠東新世紀的海洋回收紗所製成的鞋子

較為複雜的包裝材料、織物、鞋材與印刷標籤…等，所以這類型的廢棄物通常只能當作垃圾焚化處理，造成嚴重的資源浪費與環境污染。

為了實現PET各類終端產品的循環經濟發展，遠東新世紀於2013年即開始進行化學法回收處理技術TopGreen® ChemCycle的研究，見圖4。ChemCycle技術結合醇解和水解兩個解聚技術，並進行脫色、結晶與純化等一連串化工流程，將成分較複雜的PET廢棄物有效回收並還原為生產聚酯的原料：再生對苯二甲酸（rPTA），其品質與石化來源的原料相同，現已於1噸先導工廠完成瓶到瓶（Bottle to Bottle，B2B）、布到布（Fabric to Fabric，F2F）、標籤到標籤（Label to Label，L2L）等回收測試。

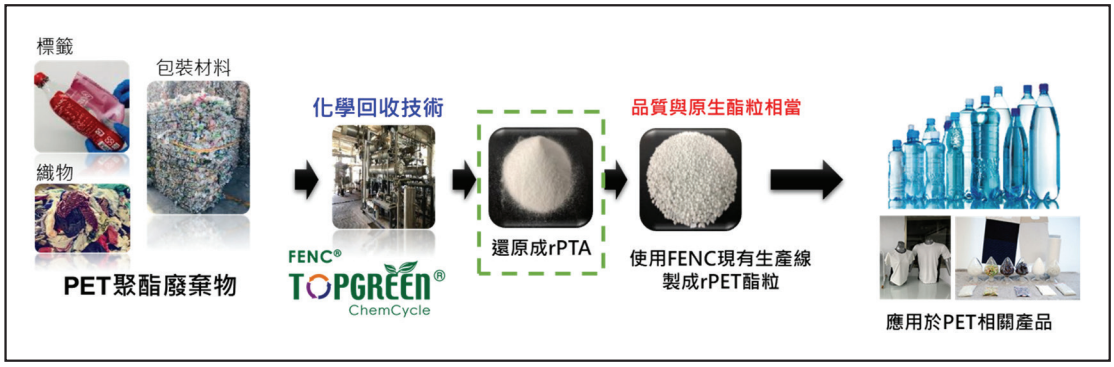


圖 4　遠東新世紀 PET 聚酯廢棄物之化學回收循環製程

圖 5　由遠東新世紀 ChemCycle 技術所製成的衣服

目前遠東新世紀TopGreen® ChemCycle技術已取得台灣、美國、澳洲等多國專利，並獲得多項獎項肯定，包括2021年榮獲第十八屆國家新創獎、2022年榮獲第十九屆國家精進獎和亞洲企業商會國際創新獎的肯定。另外也獲得可口可樂瓶裝日本公司（CCBJI）採用，成為世界第一個商業化使用含有化學回收原料之PET飲料瓶。而在2022年，遠東新世紀與日本可口可樂及東洋紡（TOYOBO）合作，完成世界第一個聚酯瓶用標籤重製成商業化使用標籤的回收技術（Label to Label，L2L），並與多個國際知名品牌合作開發及推廣下游應用，下個階段正規劃建置年產能千噸以上ChemCycle製程產線，藉此擴大回收量能。

三、可再生原料在聚酯製程的發展

雖然目前PET產業可藉由回收技術來取得rPET和再生原料，達到循環經濟的目標，但全球每年對PET塑膠的高需求量，再加上受限於目前的回收率，以及回收製程勢必會產生部分損耗，若要完全以再生原料取代原生石化原料，可說是一種不可能的任務，為了降低對石化原料的依賴，產業也必須思考尋求其他可再生原料的來源。

（一）可再生原料 - 植物來源

植物是一種很好的可再生來源，而且植物生長過程會透過光合作用從空氣中吸收二氧化碳，減少溫室氣體的累積，符合減碳和資源再生的需求，近幾年逐步取代現有石化產品成為未來產業的發展重點。

早期，糧食作物是主要的生質原料來源。以PET的製造來說，主要的原料為乙二醇和對苯二甲酸，其中，要獲得生質乙二醇（bio-MEG），可將玉米或甘蔗等作物當原料，將其中的澱粉分解成糖後，再發酵成酒精，酒精再脫水轉化成乙烯，並經一連串化工製程得到bio-MEG。不過近幾年考量到日益嚴重的糧食危機，生質來源逐漸從糧食轉為農業廢棄物，除了不與人爭糧之外，也不會導致產業為了種植更具經濟效益的糧食，而侵蝕其他農作物的份額，或甚至砍伐森林增加農作用地。

生質對苯二甲酸（bio-PTA）及生質乙二醇（bio-MEG）的生產，可利用農業廢棄物的第二代生質原料，如：玉米稈、甘蔗渣、稻稈、麥稈和木材廢料，經過前處理、醣化、發酵後獲得葡萄糖及木糖，再經一連串的化學過程將糖轉換為生質PTA或MEG。UPM公司宣稱將於2024年底量產以木材為原料的bio-MEG[17]，可望成為將第二代生質原料量產的先驅。

雖然各家廠商積極研發100%全生質PET（bio-PET）材料，但仍處於技術宣告和小型試驗規模，目前尚未有100% bio-PET正式商品化的產品推出。遠東新世紀在2015年與美

國Virent及可口可樂合作，在義大利米蘭世博會上推出世界第一瓶100% bio-PET的可樂瓶[18]；也在2016年地球日當天與美國Virent展示世界第一件100% bio-PET的生質衣[19]。

總而言之，現有商業化的bio-PET產品，主要為30%生質含量的bio-PET，其成分為30%的生質乙二醇和70%石化來源的對苯二甲酸。所以要達到100% bio-PET的商業化生產，仍靠生質原料的技術發展進程而定。

（二）可再生原料 - 工廠廢氣

在全球淨零碳排趨勢下，企業將溫室氣體的減排列為重點目標。若能藉由捕捉工廠廢氣當作碳源，並轉化成PET的原料，不僅達到循環經濟的目標，更直接符合減碳、固碳的環保要求。

遠東新世紀自2019年起，與美國生物科技公司LanzaTech合作，將鋼鐵廠排出的廢氣，經由特殊微生物發酵技術來產製酒精，酒精再經由化學催化製程，轉化成以廢氣為來源的乙二醇（waste-gas-based-MEG），遠東新世紀將這種廢氣來源的乙二醇導入PET的聚酯合成生產線，生產出TopGreen® Bio3-PET，其性能和品質與原生PET相同，且經由生物轉換獲得的Bio3-PET，可應用於各種產業應用，如瓶子、膠片、薄膜、工業纖維和紡織品…等，已獲adidas、H&M、Zara等歐美許多時尚品牌採用。此外，Bio3-PET廢棄物一樣可進入現有rPET的回收體系，持續為淨零碳排提供更多的解決方案。

四、建構循環經濟體系 [16]

在當今追求環保永續的時代，企業持續

圖 6　ZARA 以遠東新世紀提供之廢氣來源 TopGreen® Bio3-PET 所製成的衣服

精進產品設計和回收技術，PET產業現已在循環經濟的道路上取得了重要的成就。然而，要實現真正的循環經濟，不僅需要單一企業的努力，更應在整個產業鏈中建立緊密的合作。遠東新世紀透過跨產業合作和共享資源，構建更廣泛的循環經濟體系，並藉由產業垂直整合的優勢，再加上獨步全球的綠色技術，與品牌客戶共同建構永續循環生活圈。下文介紹遠東新世紀如何與其他企業攜手，共同建構循環經濟的成功典範。

◆ 與 7-ELEVEN 合作推動循環經濟回收系統

遠東新世紀在2022年與台灣統一超商7-ELEVEN和統奕包裝攜手合作，共同推動「循環經濟資源回收機」，專爲北部地區提供獨一無二的環保解決方案。此創新計畫由統奕包裝在7-ELEVEN門市內部署寶特瓶回收機，旨在促進民眾回收使用過的廢棄寶特瓶。

收集到的寶特瓶將進入遠東新世紀的全方位回收體系，將廢棄物轉化為高品質的rPET材料，可應用於7-ELEVEN門市的環保制服及其他商品的生產，進一步構建起綠色永續生態圈。

◆ 與日本姬路市政府及伊藤園推動「100% PET Close Loop」專案

遠東集團旗下日本遠東石塚グリーンペット株式會社（簡稱日本遠東石塚）與姬路市政府和飲料品牌伊藤園共同簽署「100% PET Close Loop」合作協定。預計自2024年日本遠

圖 7　遠東新世紀與統一超商 7-ELEVEN 和統奕包裝合作推動「循環經濟資源回收機」

東石塚關西新廠啟動後，收集姬路市當地廢棄寶特瓶，運送至日本遠東石塚關西廠，其產出的再生材料最終可用於生產伊藤園飲料產品的包裝，形成閉環循環經濟模式。

早在2019年起，日本遠東石塚與日本7-ELEVEN、Coca-Cola合作，在東京地區超過300家7-ELEVEN門市進行寶特瓶回收，並再製成rPET產品供應給Coca-Cola作為商品包裝材料使用，而這些使用再生材料的商品於7-ELEVEN門市上架，達成「100% PET Close Loop」循環體系，也成功吸引更多品牌與機構加入。

◆ 與越南 AEON 簽訂合作備忘錄，推動寶特瓶回收計畫

遠東集團旗下之遠東紡織（越南）與越南大型百貨AEON於2022年6月簽訂合作備忘

圖 8　遠東集團旗下日本遠東石塚グリーンペット株式會社廠區

圖 9　遠東集團之遠東紡織（越南）廠區

錄，自2023年起所有自AEON賣場內回收的寶特瓶，將供應給遠東紡織（越南）再製成rPET材料，用來製造全新商品。此合作計畫是越南第一個回收再生聚酯的閉環經濟專案，除了將遠東集團的永續循環理念擴大至越南地區，也可吸引其他潛在客戶的合作機會。

◆與IKEA合作建構布到布（Fabric-to-Fabric，F2F）循環經濟系統

遠東新世紀受邀參與經濟部產業發展署2022年的「建構循環供應鏈對接機制」計畫，與來自瑞典的跨國居家用品零售企業IKEA和台灣服裝與布料製造商鎰呈行，共同進行國內首例廢布全循環回收推廣。

由IKEA提供零售專賣店的廢棄布料，包含展示用商品或是不符合販售品質的退貨商品，交由遠東新世紀以織物回收技術進行再生，經由粉碎、熔融造粒、抽絲及假撚加工的製程，將廢棄織物重製成聚酯回收纖維，再由產業鏈夥伴生產出全新產品販售。

五、挑戰與機遇

根據邁德魯基金會（Minderoo Foundation）於2023年所公布的《2023塑膠垃圾製造者指數》（2023 Plastic Waste Makers Index）[20]，統計2019年到2021年間，全球所增加的一次性塑膠使用量，是目前再生材料產量的15倍。儘管市場預估到2027年將新增300萬噸的回收能力，但相較新增的6000萬噸塑膠材料，全球新增的回收量能仍遠遠不及新增的塑膠產能。業者雖然極欲提升塑膠回收能力，但受限於多重因素，導致回收量能成長有限，表2列出產業在實現循環經濟時，可能會遇到的挑戰和機遇。

表 2　產業推動循環經濟之挑戰和機遇

循環經濟議題	挑戰	機遇
原料方面	回收率低，回收原料供不應求。	開發創新回收技術，擴大可回收產品範疇。
成本方面	以石化來源生產塑膠的成本相對較低，市場上價格也較具競爭力。	精進製程以提升回收效率，或將廢棄物轉化為高值產品，不僅可降低成本也可提高利潤。
技術方面	組成複雜和多層複合的混合材料，難以有效回收。	發展可處理複雜材料之回收技術，不僅強化PET的循環經濟，更有助於整體塑膠材料的永續發展。
市場方面	民眾對再生材料認知不足，購買意願有限，需求具不確定性。	各國持續推動循環經濟，並開始推動相關政策與法規，市場需求預估將持續攀升，事先布局循環經濟不僅可達到環境永續，也為企業在綠色商機上鋪路。
經濟方面	市場價格波動和國際政策的不確定性，增加投資風險。	透過國際合作，隨時掌握經濟脈動，建立標準化和共通的驗證標準，有望促進再生材料的應用範疇擴大，推動全球循環經濟發展。

若能克服這些挑戰，將能帶領PET聚酯產業邁向更具可持續性和環保的未來，同時也在挑戰中培養創新技術，推動循環經濟理念的深化和擴展。

◆ 遠東新世紀的永續發展藍圖

遠東新世紀致力於打造永續商業模式，秉持與環境共生共存的理念。身為全球領先的PET製造商，遠東新世紀積極推動資源永續，發展各種尖端回收技術，並為各種PET終端產品研究出更優越的回收解決方案。

在考量石化資源有限的情況下，遠東新世紀不只在陸地上、海洋回收寶特瓶，也透過採用生質原料及工廠廢氣等環保替代方案，進行陸、海、空的全方面回收，積極實現原料的可再生性，從而真正創造PET產業的循環經濟。這不僅有助於減少對有限石化原料的依賴，更在生產過程中降低了碳足跡，為環境友善做出實質的貢獻。

圖10為遠東新世紀的循環經濟路徑圖，展示遠東新世紀對環境友好生產的承諾，透過創新技術，期望促進PET產業邁向更永續與環保的未來。

六、結論

PET產業的循環經濟為解決全球塑膠問題開啟了嶄新的未來，透過引入創新回收製程，不僅改變PET的回收方式，也突破對石化原料的依賴，並實現更永續性的生產。

企業應在實踐循環經濟方面展現積極性，以遠東新世紀為例，透過高效的回收技術，再加上使用生質和工業廢氣等可再生原料，以期能為整個產業鏈注入新的活力。然

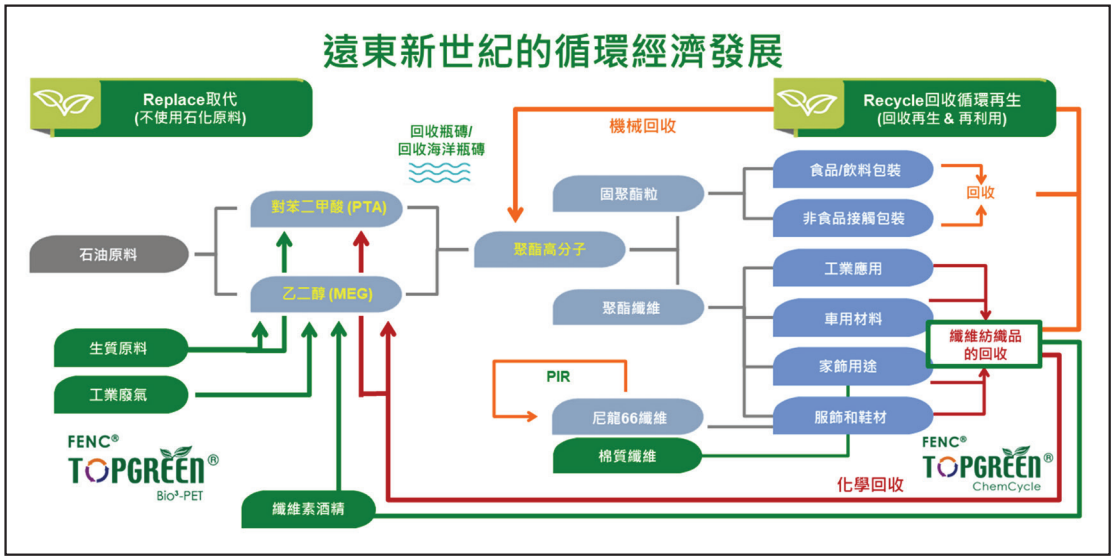


圖 10　遠東新世紀的循環經濟發展路徑圖

而，實現循環經濟並非一蹴可幾，仍需面對成本挑戰、技術限制、市場需求等多重阻礙。共同攜手合作，建立全球標準和政策是實現循環經濟的關鍵。PET產業將在循環經濟的引領下，實現更為永續發展的願景。

參考文獻

1. Maider Iturrondobeitia, Laura Alonso, Erlantz Lizundia. "Prospective life cycle assessment of poly (ethylene terephthalate) upcycling via chemoselective depolymerization." *Resources, Conservation and Recycling* 2023, 198, 107182. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107182
2. Soong, Y.-H.V.; Sobkowicz, M.J.; Xie, D. "Recent Advances in Biological Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Wastes." *Bioengineering* 2022, 9(3), 98. https://doi.org/10.3390/bioengineering9030098
3. 美國消費後塑膠材料統計資料，https://circularityinaction.com/2021PlasticRecyclingData
4. Neeti Gandhi, Nicholas Farfaras, Nien-Hwa Linda Wang, Wan-Ting Chen. "Life Cycle Assessment of Recycling High-Density Polyethylene Plastic Waste." *Journal of Renewable Materials* 2021, 9(8), 1463. https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015529
5. 資源回收網統計資料，*環境部資源循環署*。https://recycle.moenv.gov.tw/ConvenienceServices/Downloads
6. ITIS 研究團隊 (紡織所)，「紡織業永續減碳關鍵 - 紡織品回用技術」，*經濟部產業技術司*，2023。https://www.moea.gov.tw/MNS/doit/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=464
7. "Plastics recycling – How to square supply and demand." *Recycling Magazine* 2022. https://www.recycling-magazine.com/2022/07/06/plastics-recycling-how-to-square-supply-and-demand/
8. Benyathiar, P.; Kumar, P.; Carpenter, G.; Brace, J.; Mishra, D.K. "Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review." *Polymers* 2022, 14(12), 2366. https://doi.org/10.3390/polym14122366
9. 陳育誠，「全球 PET 閉環式化學回收技術發展概況」*工業技術研究院 IEK 產業情報網*，2020。
10. 陳育誠，「全球 PET 閉環與油料化學回收技術發展概況」*工業技術研究院 IEK 產業情報網*，2020。
11. 鄭名淵、廖瑞芬，「全球 PET 回收技術之發展趨勢」，*工業材料雜誌 405 期*，2020，100。
12. 芮嘉瑋，「PET 塑料化學回收再循環技術」，*科儀新知 225 期*，2020，60。
13. Shanmugam Thiyagarajan, Evelien Maaskant-Reilink, Tom A. Ewing, Mattijs K. Julsinga and Jacco van Haveren. "Back-to-monomer recycling of polycondensation polymers: opportunities for chemicals and enzymes." *RSC Advances* 2022, 12, 947. https://doi.org/10.1039/D1RA08217E
14. 李志斌、唐輝、羅大偉、應俏，「廢棄 PET 化學回收及製備不飽和聚酯樹脂的研究進展」，*化工進展*，2022，41(6)，3279。https://hgjz.cip.com.cn/CN/10.16085/j.issn.1000-6613.2021-1439
15. Mudondo J, Lee H, Jeong Y, Kim TH, Kim S, Sung BH, Park S, Park K, Cha HG, Yeon YJ, Kim HT. "Recent Advances in the Chemobiological Upcycling of Polyethylene Terephthalate (PET) into Value-Added Chemicals." *J. Microbiol. Biotechnol.* 2023, 33(1), 1. https://doi.org/10.4014/jmb.2208.08048
16. 「遠東新世紀 2022 年永續報告書」，*遠東新世紀*，2023。https://csr.fenc.com/index_focus.aspx?lang=zh
17. UPM 官網資訊。https://www.upmbiochemicals.com/biorefinery/
18. "Virent BioFormPX® paraxylene used for world's first PET plastic bottle made entirely from plant-based material." *Virent*. 2015. https://www.virent.com/news/virent-bioformpx-paraxylene-used-for-worlds-first-pet-plastic-bottle-made-entirely-from-plant-based-material/
19. "Virent BioFormPX® paraxylene used to produce world's first 100% plant based polyester shirts." *Virent*. 2016. https://www.virent.com/news/virent-bioformpx-paraxylene-used-to-produce-worlds-first-100-plant-based-polyester-shirts/
20. Plastic Waste Makers Index 2023. *Minderoo Foundation* 2023. https://www.minderoo.org/plastic-waste-makers-index

中國工程師學會 113 年各獎項得獎名單

中國工程師學會 113 年會士名單

姓名	服務單位	職稱
徐善慧	國立臺灣大學高分子科學與工程學研究所	特聘教授
許泰文	國立臺灣海洋大學	校長
蔡清標	國立中興大學土木工程學系	終身特聘教授

中國工程師學會 113 年各獎項得獎名單

工程獎章

姓名	服務單位	職稱
宋裕祺	國立臺北科技大學土木工程系	特聘教授

傑出工程教授

姓名	服務單位	職稱
王仲宇	國立中央大學土木工程學系	教授
吳文偉	國立陽明交通大學材料科學與工程學系	特聘教授
洪穎怡	中原大學電機工程學系	終身特聘教授兼副校長兼研發長
卿建業	國立臺灣大學土木工程學系	終身特聘教授
張雍	中原大學化學工程學系	特聘教授
陳正宗	國立臺灣海洋大學河海工程學系	特聘講座教授
葉秩光	國立清華大學生醫工程與與環境科學系	特聘教授
鄭文皇	國立臺灣大學資訊工程學系	教授兼副主任
謝旻甫	國立成功大學電機工程學系	特聘教授
饒達仁	國立清華大學動力機械工程學系	教授

傑出工程師

姓名	服 務 單 位	職稱
方彥翔	財團法人工業技術研究院	電子與光電系統研究所組長
王慶鈞	財團法人工業技術研究院	機械與機電系統研究所副組長
陳昭蓉	新鼎系統股份有限公司	總工程師
陳進發	交通部公路局	總工程司
陳瓊璋	中華電信研究院	無線通信技術研究所所長
黃惠輝	宏佳騰動力科技股份有限公司	副總經理
葉德強	台灣積體電路製造股份有限公司	R&D 副處長
蔣啟恆	台灣世曦工程顧問股份有限公司	資深協理
鄭明達	台灣積體電路製造股份有限公司	台積科技委員 / 部經理
蘇中源	財團法人工業技術研究院	智慧感測與系統科技中心組長

優秀青年工程師

姓名	服務單位	職稱
王建堯	財團法人資訊工業策進會	數位轉型研究院組長
甘凱翔	財團法人工業技術研究院	感測中心研發副理
吳宏祥	台灣積體電路製造股份有限公司	類比功率暨特殊技術研發處主任工程師
林冠宇	財團法人工業技術研究院	機械與機電系統研究所副經理
許琍婷	台灣世曦工程顧問股份有限公司	捷運工程部正工程師
黃任鋒	財團法人工業技術研究院	資通所部門經理
楊基	台灣積體電路製造股份有限公司	奈米微影工程五部經理
楊斯堯	中興工程顧問股份有限公司	水利工程部組長
廖思豪	台灣積體電路製造股份有限公司	R&D 經理
蔣紹禎	林同棪工程顧問股份有限公司	運輸土木部組長

優秀工程學生獎學金

姓名	學校	科系
吳育昇	國立中興大學	環境工程學系
吳家萱	輔仁大學	資訊工程學系
周 琳	國立陽明交通大學	百川學程 (電機核心)
周冠誠	國立中央大學	電機工程學系
邱莉雅	國立臺灣師範大學	電機工程學系

姓名	學校	科系
陳爰君	國立清華大學	材料科學工程學系
黃建銘	陸軍軍官學校	電機系
萬光恒	國立成功大學	資源工程學系
劉庭妤	國立高雄科技大學	土木工程系
劉得恩	中原大學	機械工程學系

沈怡獎學金

姓名	學校	科系
涂昇旺	國立陽明交通大學	土木工程學系
楊少棋	國立中興大學	土木工程學系

莫衡先生紀念獎學金

姓名	學校	科系
吳祐欣	逢甲大學	土木工程學系
周亞棻	國立高雄科技大學	土木工程系

詹天佑論文獎

論文題目	作者	推薦單位
陰極防蝕對風機水下結構運維安全研究	羅亦旋、吳宗峯、陳國銘、吳美惠、賴建霖	防蝕

工程論文獎

論文題目	作者	推薦單位
鋼筋混凝土二元系統剪力牆之剪力強度設計	黃世建、黃紹愷、翁樸文、歐昱辰、黃明慧	結構
AI-based system for quick seismic estimation of building structures on urban disaster-prevention in Taiwan	魏金標、宋裕祺、邱仲民、李家萱、郭勝維、陳致源、劉小勤、柯孝勳、許智豪	學刊編輯委員會
Numerical Evaluation on the Application of Small Strain Stiffness Model for Deep Excavations in Soft Clays	李宇軒、Ari Surya Abdi、鄧福宸、歐章煜	大地
以數值模式探討曾文溪口異重流傳遞過程	鮑俊宏、陳佳琳	海洋
Evaluation of Biodegradability and Biocompatibility of Pure Zinc Coated with Zinc Phosphate for Cardiovascular Stent Applications	吳冠霖、顏芩恩、林儀萱、葉明龍	生醫

石延平教授工程論文獎

論文題目	作者	推薦單位
Optimization and innovative design of dental implants under dynamic finite element analysis	余達南、鄭永長	學刊編輯委員會

工程優良獎

工程名稱	主辦單位	協辦單位
台灣中油第三座液化天然氣接收站儲槽興建統包工程	台灣中油股份有限公司液化天然氣工程處	設計：中鼎工程股份有限公司、川崎重工株式會社 監造：台灣中油公司液化天然氣工程處站區施工一所 施工：中鼎工程股份有限公司、川崎重工株式會社
A421 標鳳山車站暨開發大樓新建工程	交通部鐵道局南部工程分局	設計：台灣世曦工程顧問股份有限公司 監造：台灣世曦工程顧問股份有限公司 施工：豐譽營造股份有限公司
關山東明排水幹 2 給灌溉系統改善工程	農業部農田水利署臺東管理處	設計：農業部農田水利署臺東管理處 監造：造齊工程顧問有限公司 施工：昕豐營造有限公司 生態團隊：台灣水資源與農業研究院
大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫大潭及林口電廠增設 161kV 開關場統包工程	台灣電力股份有限公司綜合施工處	設計：中興電工機械股份有限公司、 張仲怡建築師事務所 監造：台灣電力公司綜合施工處 施工：中興電工機械股份有限公司 顧問公司：吉興工程顧問股份有限公司 分包單位：良記營造股份有限公司
國道後續路段橋梁耐震補強工程（區段 2-1）第 M38B 標 - 烏日和美段暨烏溪一號橋 5 單元	交通部高速公路局第一新建工程分局	設計：美商同棪國際工程顧問股份有限公司台灣分公司 監造：美商同棪國際工程顧問股份有限公司台灣分公司 和美監造工務所 施工：宏義工程股份有限公司
111 年度臺南市南區鯤鯓海堤環境營造工程	經濟部水利署第六河川分署	設計：黃苑景觀設計顧問有限公司 監造：經濟部水利署第六河川分署 施工：唐億營造股份有限公司
中和安邦段青年社會住宅新建統包工程	新北市政府城鄉發展局	專案管理暨監造：美商傑明工程顧問（股）公司、 石昭永建築師事務所 統包：皇昌營造股份有限公司、王正源建築師事務所、帆宣系統科技股份有限公司
南門大樓暨市場改建統包工程	臺北市政府工務局新建工程處	設計：九典聯合建築師事務所 監造：中興工程顧問股份有限公司、 華興聯合建築師事務所 施工：根基營造股份有限公司
忠孝東路 4 段地下通廊連通口新建工程	臺北市政府工務局新建工程處	設計：恆康工程顧問股份有限公司 監造：恆康工程顧問股份有限公司 施工：翔益營造有限公司
曾文南化聯通管統包工程 A2 標	經濟部水利署南區水資源分署	設計：中興工程顧問股份有限公司 監造：經濟部水利署南區水資源分署工務科 施工：國統國際股份有限公司

產學合作績優單位

組別	得獎單位
公私立大學	國立臺灣大學
	長庚大學
	逢甲大學
	國立中山大學
	國立中興大學
公私立科技大學	國立臺灣科技大學
	國立雲林科技大學
	正修學校財團法人正修科技大學
	明志科技大學
	國立虎尾科技大學
	致理學校財團法人致理科技大學
高中職	中山學校財團法人高雄市中山高級工商業學校
	國立秀水高級工業職業學校
企業組 (公民營事業單位)	台灣高速鐵路股份有限公司
	財團法人工業技術研究院
	財團法人中興工程顧問社
	亞新工程顧問股份有限公司
	台灣中油股份有限公司煉製研究所

民國 113 年工程獎章得獎人優良事略

姓　名：宋裕祺
學　歷：國立臺灣大學土木工程學系博士
現　職：國立臺北科技大學土木工程系特聘教授

得獎人簡介及優良事略

翻轉人生—基層扎根成就產學大師

宋裕祺教授畢業於國立臺北工業專科學校土木工程科（民國86年升格為國立臺北科技大學），服役期間錄取公務人員高等考試土木工程科及格（第二類第二名）暨公務人員普通考試土木工程科及格（第二類第一名），退伍後於臺灣省交通處公路局擔任公務員，隔年便以同等學歷考中清華大學動力機械研究所固體力學組，等同土木研究所之結構工程組，自此與「結構工程」結下不解之緣。

取得碩士學位後，於財團法人中華顧問工程司擔任結構工程設計工作，並具備土木技師與結構工程技師資格，服務11年間參與重大工程設計如：高屏溪斜張橋工程、臺北市基隆路正氣橋改建工程、貓羅溪斜張橋工程與臺北市洲美快速道路工程等均曾獲得中華民國結構工程學會的結構工程技術獎，更曾獲中國工程師學會民國86年度優秀青年工程師獎。在此期間，亦於臺北工專兼課，受臺灣大學土木工程系教授楊永斌鼓勵，與家人全力支持下攻讀博士學位，師承臺灣大學土木工程系教授蔡益超門下，歷經3年畢業回到北科大母校任教。

關注防災工程的契機，始於博士班期間，將研究聚焦於「結構物耐震能力評估」，並開發未來廣泛被使用且免費提供的評估軟體雛形，即現稱「鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估軟體（Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, SERCB）」。進入教職後，持續與蔡益超恩

師開發評估軟體，在橋梁設計根基上，更加鑽研結構工程，並擴展建築工程、防災領域與離岸風電等專業能力，於本業上落實學用合一、連結產業實務，長期致力技職教育、雙語教學、產學接軌，近10年間（民國102-112年）負責之產學合作計畫共有50件，產學簽約金額達新台幣1億9仟多萬元。同時，以學者身分投身國家重大工程審查，協助工程災害議題，開創軟體服務危老都更、倡議離岸風電技術本土化，未曾間斷的耕耘，秉持言傳身教，於民國112年獲得第6屆國家產學大師獎之終生榮譽，為該屆此獎項五大領域唯一獲獎人實至名歸。

以終為始—教學研究扣合工程實務

深感土木教育向下紮根、人才培育的必要，宋教授歷年開授工程材料、工程靜力學、結構學、結構設計、鋼結構細部設計、耐震設計、橋梁工程設計、地震工程、有限元素法與結構物檢測評估及補強等大學部與研究所約22門不同課程。以土木系大學部必修課程「結構學（一）」、「結構學（二）」為例，實屬土木技師與結構工程技師的重要考科，為使學生習得完整內容，在學校規定的每週3小時課程外，更主動加碼1小時課程，20多年來不曾間斷，且採用中英文雙語教學，使學生在專業知識外亦能熟悉專業英文的運用。

以教書為興趣的宋教授，上課時講到精采之處，會不自覺眉開眼笑，縱使學生可能會覺得教授有點奇怪，其教育熱忱顯現無遺。不僅著重大學部學生之基礎教育，更重視研究所進階課程，迄今已培育16位博士生、88位碩士生及135位大學專題生。

其中，擔任工程學院院長期間，結合工程學院、機電學院與電資學院，聯合開設離岸風電跨領域微學程，培養更多專業人才以供應離岸風電的人才需求。相關課程包括風工程理論與應用、結構振動理論與海上施工、場域調查與風浪工程分析、結構與材料基礎及分析、工程調查與施工、支撐結構分析與設計、離岸風電專案驗證、綠色科技、新能源概論、電力系統保護與協調、離岸風電熱流與空氣動力學基礎、離岸風電輸配電學、離岸風電電力電子技術、綠能電力併網評估等，積極接軌臺灣離岸風電發展。

研究範疇從橋梁工程、建築工程、地震工程與耐震設計、結構最佳化分析與設計、結構非線性行為分析到人工智慧在結構工程之應用等，更含括防災工程與離岸風電工程。以離岸風電工程為例，帶領團隊開發離岸風電支撐結構分析軟體，研究新創方法改善接頭疲勞效應之分析效率，將單一載重所需分析時間由傳統方法的13.5小時，大幅降減到只需10秒鐘（相關研究已發表在國際期刊），對於離岸風電工程常需考量上萬筆載重組合而言，可以大幅縮短電腦運算時間。研發成果提供國內工程顧問公司有關離岸風

力機支撐結構設計研析暨教育訓練課程。

在教學與研究之外，在校曾擔任系主任、所長與工程學院院長等職務，並兼任行政院公共工程委員會委員，亦曾擔任中國土木水利工程學會理事長、中華民國結構工程學會理事長、國家地震工程研究中心組長，於中國土木水利工程學會第24、25屆理事長任內，帶領工程界完成自發性研究「公共工程採建造費用百分比法之設計費率合理性分析」，向政府建言，並獲得行政院公共工程委員會採納部份建議（民國111年6月）；亦向經濟部能源局爭取到離岸風電第三階段區塊第一期開發工程，國內工程顧問機構須能參與至少50%設計工作，打破由國外設計機構壟斷設計工作之困境，落實離岸風電工程設計技術紮根臺灣（民國110年12月）。

戮力防災工程提升國家韌性

位處環太平洋火山帶的臺灣，地震活動頻繁，且經常有強烈地震發生，結構物遭受地震襲擊實無法避免，目前全台住宅老化、國人普遍居住於921大地震前興建之舊屋，耐震能力相對較弱。宋教授表示地震造成的倒塌或損害，攸關生命安危與巨額財損，如何提前預防、事後快速復原，率領研究團隊開發「鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估軟體（Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, SERCB）」與「鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估軟體（Preliminary Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, PSERCB）」，先後於民國97年3月與105年5月經內政部營建署通過並公告，免費提供土木技師、結構技師與建築師執行建築物耐震能力評估之分析工具。此系統已被政府採用作為「安家固園計畫」、「都市危險及老舊建築物結構安全性能評估辦法」、「都市危險及老舊建築物加速重建條例」與「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」等計畫有關既有建築物耐震能力評估的依據。編撰四本專業書籍，協助專業人士執行建築物耐震能力評估/補強與性能評估等工作。保守估計，全台灣以SERCB所執行的建築物耐震能力評估/補強或結構性能評估的實際建築物案例超過500棟；以PSERCB所執行的建築物耐震能力初步評估的實際建築物案例超過20,000棟。提升建築物的耐震能力，有效避免民國105年美濃地震造成維冠金龍大樓倒塌引致115人死亡的慘痛代價。研究團隊近年辦理北、中、南各縣市技師公會之說明會，累計超過100場（每場平均150人次），積極輔導業界人士保守估計達15,000人次，培育建築物耐震評估/補強與性能評估之專業人才。

此外亦開發「鋼筋混凝土橋梁耐震能力詳細評估軟體（Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Bridges, SERCB for Bridges）」，為保障公共建設盡一份心力，免費提供土木技師與結構技師執行橋梁耐震能力詳細評估之分析工具，目前已廣泛運用至國道高速公路補強工程、公路總局轄管橋

梁耐震評估與補強工程及各地方縣市政府轄管橋梁耐震評估與補強工程等，對提升全國橋樑耐震能力量有貢獻。

「新型仿生積木式預鑄橋墩系統」研究發表在美國土木工程師學會期刊《Journal of Bridge Engineering》，獲得2019年「ASCE T. Y. Lin Award 論文獎」，該獎項評選相當嚴謹，每年只評選出一篇優秀論文（或從缺），此次得獎係該獎項自1969年設立以來首次由華人研究團隊獲獎，展現臺灣的工程技術不容小覷。

中宇淨安心

★專為氣味改質活性碳
★大風量吸附迅速淨化

CADR 600

適用 22坪

CEYS0600A

5段風量

CADR 492

適用 18坪

CEYS0400A

3段風量 +
寵物高速風量

- 除臭種類多樣化
- 高規格碳材不易破碎
- 專為氣味客製除臭活性碳

99.9% 吸附各種異味

邀請您一同加入中宇電商平台會員享優惠　掃描QR code有更詳細的介紹喔

中鋼集團　中宇環保　可接受客製化濾網開發，歡迎來電洽詢　服務專線：0984-252401

中鋼集團 CSC Group　中聯資源 CHC Resources

致力資源永續及價值創新
成為循環經濟的卓越企業

國家品質獎 NATIONAL QUALITY AWARD

高爐石粉、高爐水泥
飛灰爐石粉、地質處理劑
氣冷高爐石級配料
轉爐石瀝青鋪面用粒料
氟化鈣污泥回收利用
人造螢石

誠信 Integrity		尊重 Respectful		永續 Sustainability	
	節能		減碳		
Reduce		綠建材		Reuse	
	Recycle		Recovery		

中聯資源股份有限公司

總公司：高雄市前鎮區成功二路88號22樓　TEL：07-336-8377　FAX：07-336-8433　http://www.chc.com.tw/

榮工工程股份有限公司
RSEA Engineering Corporation
privatized 2009
CONSTRUCTORS & ENGINEERS
亞翔集團
新北市汐止區大同路一段175號13樓
13F.,175, Sec.1,Datong Rd., Xizhi Dist.,New Taipei City
22145, Taiwan, R.O.C
TEL：(886)2-8691-7366 FAX：(886)2-8691-7866

中鋼集團

中碳與您的生活息息相關

產品系列	產品項目	主要用途
煤焦油系列	軟瀝青	煉鋁電擊棒粘結劑
	雜酚油、碳黑油	生產碳黑原料
	洗油	吸收輕油
	精萘	生產磺酸系列減水劑或染料中間體合成原料、防腐防蟲用萘丸
	特殊瀝青	生產防水、防蝕塗料
	精製塔油/精製瀝青	防蝕塗料 / 電極棒浸漬
輕油系列	苯	苯乙烯、己內醯胺、酚、烷基苯等原料
	甲苯、非芳香族油、混二甲苯	油漆調配用溶劑
焦碳系列	無水焦粉	石灰窯之燃料或電爐煉鋼用增碳劑
	小塊焦、細焦粉(CDQ)、精製細粉	
碳材料系列	介相碳微球、介相石墨碳微球、先進碳材料、浸漬瀝青、黏結碳粉、高軟化點瀝青	鋰離子電池負極材料、超級電容器、先進鉛酸電池及石墨塊材
其他貿易	硫磺、氧化鐵粉、增碳劑	生產硫酸原料、煉鋼製程副料

中鋼碳素化學股份有限公司
CHINA STEEL CHEMICAL CORPORATION

高雄市前鎮區80661成功二路88號25樓　統一編號 23221384
電話 (07) 338 3515　傳真 (07)338 3516
25F, 88 Chenggong 2nd Rd, Qianzhen,
Kaohsiung 80661, Taiwan, Republic of China
Tel：886(7)338-3515　Fax：886(7)338-3516
www.cscc.com.tw

CTCI 中鼎集團

CTCI 中鼎集團（TWSE: 9933, TPEx: 5209, TPEx: 6803）為國際級統包工程公司，承攬多元化重大工程，致力提供全球最值得信賴的工程服務。於全球逾 10 個國家成立約 50 個據點，集團員工總數約 8,000 人。因應 ESG 永續及淨零的趨勢及挑戰，CTCI 自許為「地球永續的把關者」，持續打造與地球永續息息相關的「綠色工程」，並積極帶動全球合作夥伴打造低碳供應鏈，為地球的永續發展做出具體貢獻，優異實績入選道瓊永續指數 (The Dow Jones Sustainability Indices, DJSI)。

CTCI
Discover Reliable

業務領域

- 環境
- 煉油
- 石化
- 電力
- 液化天然氣
- 交通
- 高科技設施
- 一般工業

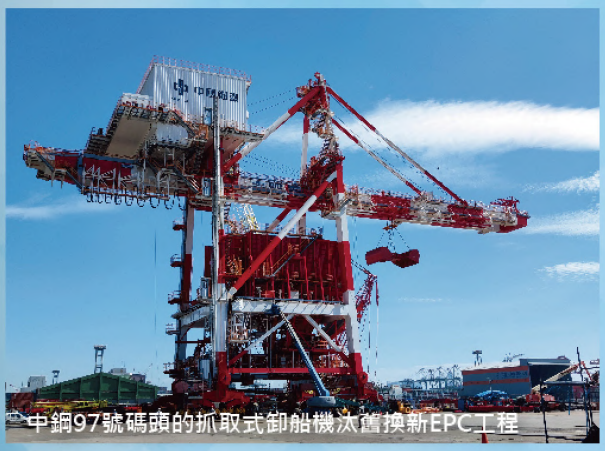
服務內容

- 專案管理
- 可行性研究及前端工程設計
- 工程設計
- 工程採購
- 設備製造
- 工程建造與維修
- 工廠試車
- 智能解決方案
- 自動化控制
- 無塵室與機電系統
- 智能頂進工法
- 地盤冷凍工法
- 操作及維護

產品項目

- 設備製造
- 智慧化能源管理系統
- 化學添加劑

CTCI
中鼎集團
111046 台北市士林區中山北路六段89號
Tel: (886)2-2833-9999
Fax: (886)2-2833-8833
www.ctci.com



中鋼97號碼頭的抓取式卸船機汰舊換新EPC工程

中鋼轉爐氣儲槽

興達海洋基礎公司天車製作安裝

安坑輕軌機廠設備設計製作安裝

專業製造 工程整合 E.P.C.

- **鋼鐵廠設備**
  Iron and Steel Making
- **原料輸送設備**
  Material Handling System
  - ●連續式卸船機(Continuous Ship Unloader, CSU)
  - ●抓取式卸船機(Grab Ship Unloader, GSU)
  - ●半門型刮板式取料機(Semi-Portal Scraper Reclaimer, SCR)
  - ●堆取料機(Stacker Reclaimer, SR)
- **電廠設備**
  Power Plant
- **儲槽與壓力容器**
  Tank & Pressure Vessel
- **鑄件**
  Casting
- **軌道車輛**
  Rolling Stock
- **離岸風電水下基礎**
  Foundation for Offshore Wind Power
  - ●Transition Piece (TP)
  - ●Lower Jacket Node
  - ●Boat Landing
  - ●Stabbing
  - ●Leg
- **天車與起重設備**
  EOT Crane & Lifting System
- **水利工程**
  Hydraulic Engineering

實現夢想 共創新局

CSMC 中鋼機械
CHINA STEEL MACHINERY

高雄市小港區81246台機路3號
3 Tai Chi Road, Hsiao Kang, Kaohsiung 81246, Taiwan, R.O.C.
TEL / 886-7-802-0111
FAX/ 886-7-802-2613
http://www.csmc.com.tw