



中國工程師學會會刊

中華民國110年6月 Vol.94 No.2

<http://www.cie.org.tw> ISSN:1015-0773

工程

- ▶ 中鼎海外專案執行經驗分享 - 新加坡捷運工程軌道專案
- ▶ 海外案沙烏地阿拉伯鍊鈦廠執行
- ▶ 「阿曼87萬噸蒸汽裂解裝置統包工程」專案
- ▶ 全球最大陸上模組化統包工程
- ▶ 泰國Nong Fab液化天然氣接收站統包工程專案
- ▶ 中國工程師學會110年會士及各獎項得獎名單



推動產業全球化
以中鼎公司為例

CTCI 中鼎集團

CTCI 中鼎集團 (TWSE: 9933、TPEX: 5209、TPEX: 6803) 為國際級工程統包公司，承攬多元化重大工程。創立於 1979 年，總部位於台灣台北市，業務範圍包括煉油石化、電力、環境、交通、一般工業等工程領域，致力提供全球最值得信賴的工程設計、採購、製造、建造施工、試車操作及專案管理等服務項目。在全球逾 10 個國家設立約 40 個據點，集團員工總數約 7,000 人，並入選道瓊永續指數 (The Dow Jones Sustainability Indices, DJSI)。



業務領域

- 煉油石化
- 電力
- 環境
- 交通
- 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
- 無塵室與機電配管工程
- 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
- 化學添加劑
- 智慧化能源管理系統

ctci
中鼎集團

11155 台北市中山北路六段89號

Tel: (886)2-2833-9999

Fax: (886)2-2833-8833

www.ctci.com

CTCI EF

財團法人中鼎教育基金會

10571 台北市南京東路五段188號2樓之2

Tel: (886)2-2769-8599

Fax: (886)2-2769-9299

www.ctcief.org



推動產業全球化 以中鼎公司為例

近年來世界經濟秩序因東、西強權貿易競爭議題持續發酵影響企業投資策略，同時又遭遇史無前例的疫情衝擊，再加上環保、永續議題方興未艾，在全球化資源運用和地區化產業活動需求交互影響下，統包工程市場型態急遽多變，變動中帶來了新的風險但也帶來新的機會。中鼎工程在此市場趨勢下，以專業精神整合集團資源並提升EPC工程技術從容應對，在競爭激烈的國際統包工程界佔有一席之地，工程實績遍及亞洲、中東和美洲等地區，致力成為客戶「最值得信賴的全球工程服務團隊」。本專輯藉五篇專案報導，介紹中鼎工程如何以創新工程技術、優化專案管理、精進品質安全和服務型態，精確掌握專案執行各環節，建立與競爭對手的差異化，如期如質圓滿完成專案任務，滿足時代客戶需求，贏得業主的肯定與信賴，打造企業全球競爭力。

特別報導

02 蔡總統英文接見中工會及各專門工程學會理事長

活動報導

06 中國工程師學會暨各專門工程學會110年聯合餐會

08 智庫委員會拜會中央研究院生物化學研究所凌嘉鴻博士

推動產業全球化 以中鼎公司為例

客座主編：吳天寶 / 中鼎工程股份有限公司
設計部協理

13 中鼎海外專案執行經驗分享 - 新加坡捷運工程軌道專案 / 莊志鴻

20 海外案沙烏地阿拉伯鍊鋁廠執行 / 陳鈺銘

27 「阿曼87萬噸蒸汽裂解裝置統包工程」專案 / 李民立、姚俊全

34 全球最大陸上模組化統包工程 / 莊知軒、范道中

46 泰國Nong Fab液化天然氣接收站統包工程專案 / 趙汝康、葉佳典

工程與技術

59 臭氧 (O₃) 汙染改善之挑戰與空氣品質再升級 / 張良輝、陳杜甫、蔡長佑

77 高溫製氫和海水淡化的設計概念 / 呂錫民

會務佈告

99 中工百拾 拾級而上

101 中國工程師學會110年會士及各獎項得獎名單

理事長：施義芳

常務理事：李世光 胡湘麟 許鈺漳 楊偉甫

理事：王宇睿 王錫欽 伍勝園 江秀丹

余信遠 宋裕祺 李順欽 杜俊

林聰利 俞克維 張武訓 莫仁維

陳仲賢 陳哲生 陳國隆 楊正宏

楊宗興 廖學瑞 歐善惠 鄭文隆

鄭光遠 賴建信

常務監事：廖慶榮

監事：李元唐 邱琳濱 高宗正 陳宗德

秘書長：翁寶桂

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：李元唐

委員：王宇睿 吳天寶 林建華 林根勝

孫幸宜 翁寶桂 莫仁維 陳哲生

陳榮貴 黃炳勳 楊正宏 廖學瑞

蘇程裕

總編輯：張鈺輝

客座主編：吳天寶

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、8225、8234

傳真：(02) 8797-4585

會址：100026 臺北市仁愛路二段1號3樓

電話：(02) 2392-5128

傳真：(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號執照登記為雜誌交寄
入會申請手續請上本會網站查詢



蔡總統英文接見中工會及各專門工程學會理事長

110年3月22日上午 蔡總統、總統府李大維秘書長及工程會林傑主任秘書於總統府大禮堂接見中工會及各專門工程學會理事長，施義芳理事長除代表表達工程界對於協助促進國家建設及發展的決心、意志及熱忱外，並希望政府能鼎力協助工程界，建立工程國家隊走向國際，開創臺灣工程界的契機。

蔡總統致詞時表示很高興能夠和工程界代表們見面，除肯定工程界長期以來對於國家經濟建設發展的貢獻外，並說明目前國家發展政策為著手打造未來30年國家需要的基礎建設，及超前部署推動六大核心戰略產業，讓臺灣在後疫情時代，掌握全球供應鏈重組的先機，因此期許工程界能團結齊心讓



▲ 蔡總統（前排中）與本學會理監事及主任委員合影

國家相關政策穩健的往前走。

施理事長代表致詞時表示中工會與各專門工程學會110年聯合年會將於6月4日舉辦，以「數位轉型、工程先行」為主題，期許工程界以前瞻性的思維，共同為未來的經濟建設及科技發展注入能量，並響應政府六大核心戰略，加速臺灣的轉型與升級，邁向「創新、包容、永續」的智慧國家。此外，也將出版110年紀念專刊，就各工程領域提出下一世代的願景工程，以加速落實數位國家、智慧島嶼的政策目標。

另配合政府人才培育，促進就業、雙語和數位人才政策，中工會學生分會定期舉辦各項活動鼓勵優秀青年學子精進所學，青年工程師亦定期辦理海外研習及交流活動，吸取先進國家工程科技、技術及培養國際觀。國際合作方面，中工會也強化與國際間的對話，積極拓展與國際工程組織團體跨領域連結，除參與世界工程組織聯盟（WFEO）、亞洲及太平洋工程組織聯盟（FEIAP）、東協工程組織聯盟（AFEO）、國際工程聯盟（IEA）等相關活動，促進我國與國際間之工程專業交流，並與亞洲開發銀行（ADB）共同辦理知識分享研討會及交流活動，利用我國的優勢，扮演連結平台的角色，擴大我國在國際間之能見度及影響力。

最後施理事長感謝政府各部門對於本學會提供的建言均給予高度的重視，並希望政

府能鼎力協助工程界，建立工程國家隊走向國際，讓臺灣工程實力揚威海外。

接下來，總統與晉見代表進行交流會談，中國土木水利工程學會宋裕祺理事長首先表達感謝政府團隊在防治COVID-19的成效上創造了舉世聞名的佳績，讓臺灣成為全世界最幸福的國度。另近年來政府積極推動綠能產業，經濟部去年著手推動訂定適用於臺灣工程環境的離岸風力機之調查、設計、施工與運轉等規範，有助於專業技術紮根臺灣，壯大工程國家隊承攬國外工程實力，除感謝外也將持續配合政府政策。宋理事長並報告該學會為亞洲土木工程聯盟創始會員，積極參與國際工程聯盟，致力國際工程技術交流、提升亞洲基礎建設、永續發展及培育亞洲青年工程人才，亦協助政府訂定工程政策或解決工程問題，是民間有力的幕僚機構。

台灣化學工程學會潘文炎理事長表示希望可擴大招收外籍生來臺留學及發展國際醫療，因臺灣人口已開始負成長進入老年化社會，需延長退休年限並增加外來移民。中技社頒發外籍學生獎學金已有7年，目前每年約有40位獲獎，每位1年15萬元，已成功吸引其中65%得獎人留在臺灣工作，因此建議政府能夠訂定相關政策，以擴大吸引外來專業人才的移民。另泰國、印度、新加坡每年的國際醫療收入分別高達90、60、40幾億美元，臺灣只有5億美元，臺灣的醫療制度非常健全、醫生素質優秀，且高階的檢驗設備非



常充實，具有發展國際醫療的優越條件。

台灣海洋工程學會蔡清標理事長為海洋委員會的政務副主任委員，其表示我國海洋工程技術及建設發展備受國際肯定，目前離岸風電工程的基礎就是海洋工程，其他的海洋產業開發也需要海工，因此有健全的海洋基礎資料如水文、生態、地形底質等是相當重要的。因過去資料不足，在開發時衍生環境競合問題，目前海委會刻正推動臺灣全海域的基礎調查計畫，以謀求海洋產業繁榮發展並兼顧海洋生態、海域安全以及海洋環境的永續。完整的計畫已向行政院提出，希望能夠獲得支持執行，以利未來離岸風電的廣續發展、海洋能源的開發及其他海洋空間利用。

本學會女性工程師委員會薛文珍主任委員表示我國社會日趨開放、職場選擇多元化，男性學子意欲進入工程領域逐漸減少，而女性卻有增加趨勢。本學會於107年成立女委會調查了女性從業比例，在大學工程科系

佔約30%的女性，進入職場為14%，因此應努力改變職場環境以吸引人才、留住人才。同時年底中工會將與光電學會、國際電機電子學會、女科技人學會共同主辦女工程師及女科技人大會，敬邀總統出席給予支持與鼓勵，獲得總統的支持。

蔡總統表示政府會加速產業發展的創新和升級，並推動產業南移，包括高雄亞洲新灣區、臺南沙崙智慧綠能科學城和桃園亞洲矽谷，以協助廠商用地的需求。此外，在「5+2」基礎上，將繼續推動六大核心戰略產業，並深化國際經貿合作。總統除感謝工程界為臺灣培育了許多優秀的人才，並表示政府積極推動各項政策支持大學延攬及留下優秀的教學或研究人才。總統指出很多外籍生自高中來臺到博士畢業，若不能留在臺灣會造成教育資源浪費，因此將適度地鬆綁法規。（備註：以上發言全文請詳本學會官網最新消息 http://www.cie.org.tw/News/NewsDetail?cn_id=594）



▲ 施義芳理事長代表本學會致贈紀念品予蔡總統



▲ 楊偉甫常務理事代表本學會接受蔡總統贈禮



▲ 蔡總統（前排中）與各專門工程學會理事長及代表合影

會談結束後，由楊偉甫常務理事代表接受總統贈禮，施理事長致贈紀念品予總統，接著總統與全體與會人員至一樓大廳合影。

晉見結束後，各晉見代表在志工導覽下參觀總統府文物館，分享總統府的建築奧妙和歷史回顧。



中國工程師學會暨 各專門工程學會110年聯合餐會

本學會於110年3月25日晚間假鉅星匯國際宴會廳舉辦「中國工程師學會暨各專門工程學會110年聯合餐會」，約210位貴賓出席活動，場面歡欣熱鬧。

本次聯合餐會獲得中國土木工程學會、台灣化學工程學會、台灣建築學會、中國造船暨輪機工程師學會、中國機械工程學會、中國鑛冶工程學會、中國測量工程學會、中華民國工業工程學會、中華民國環境工程學會、中華民國結構工程學會、中華鋪面工程學會、中華民國大地工程學會、國際電機電子工程師學會中華民國分會、台灣海

洋學會、台灣混凝土學會、台灣氣膠研究學會、中華民國防蝕工程學會及中華價值管理學會的支持，包含本學會共計19個專門工程學會參加。

餐會開始由施理事長致詞，施理事長感謝各專門工程學會的熱心支持，希望各學會成員可利用這難得的機會做進一步的交流，推動更多工程學術資源的整合。同時表示本學會特於3月22日安排與各專門工程學會代表晉見 蔡總統，共同表達了工程界對於促進國家建設發展的決心、意志及熱忱，深獲總統肯定與支持，也期許我們工程界可團結齊心



▲ 110年聯合餐會會場情形



▲ 施義芳理事長與翁寶桂秘書長於餐會致詞感謝各專門工程學會的參與及支持

讓國家相關政策穩健的往前走。

施理事長宣布今年中工會與各專門工程學會110年聯合年會將於6月4日假中油國光廳舉行，年會以「數位轉型，工程先行」為主題，響應政府六大核心戰略產業之發展政

策，加速臺灣的轉型與升級，邁向「創新、包容、永續」的智慧國家。此外，也將出版110年紀念專刊，並特別規劃了各工程領域下一世代的願景工程。施理事長致詞後邀請各學會理事長及代表一起上台合影，並特別挑選「朋友」這首富含深義的歌曲一起合唱，表達未來工程界將持續共同合作帶領產業向前大步邁進的堅持及精神，成功展現了團結的氣勢，全場氣氛相當熱烈。

中工會目前與26個專門工程學會簽有合作協議，除固定每年6月辦理聯合年會，為工程界一大盛事，平時則透過秘書長座談會、學術活動資訊分享維持互動關係。為了提昇與各結盟學會間之交流合作，本學會自民國100年起發起辦理春季聯合餐會活動，獲得各專門工程學會熱烈支持及迴響，成功擴大各專門工程學會成員間之往來與溝通，因此將持續辦理聯合餐會，維繫臺灣工程師界菁英交流平台，並凝聚工程界的向心力，為各專門領域工程師提供更好的服務品質。



▲ 施義芳理事長與各專門工程學會理事長共同開歌歡唱



智庫委員會拜會中央研究院 生物化學研究所凌嘉鴻博士

110年4月8日智庫委員會邱琳濱主任委員偕林根勝副主委、習良孝委員、劉敬德委員及張武訓委員赴中央研究院生物化學研究所拜會凌嘉鴻博士，聽取「基因編輯的概念與應用」演講及進行討論。

凌嘉鴻博士是中央研究院生物化學研究所研究員，也是國立臺灣大學生化教授，留學美國，博士後研究曾師承因發明CRISPR/Cas9而獲得諾貝爾獎與唐獎的珍妮弗·安妮·道德納（Jennifer A. Doudna），珍妮弗是

美國生物學家，美國加州大學伯克利分校的化學及生物學教授，曾多次到臺灣演講。凌博士目前研究則著重在發展更有效率、精確和安全的CRISPR-Cas9系統。

工程師是應用科學知識與專業，促進人類社會福祉的行動者，巨觀的道路、橋樑、水庫、港口、建築、大鋼廠、造船廠、發電廠、高鐵列車、汽車、機械、電腦等工程的專家固然是偉大的工程師，但影響生物與人種素質等生命藍圖的微觀基因編輯工程操刀



▲ 與會人員合影



▲ 凌嘉鴻博士簡報

手更是值得肯定的生化工師。

與中國工程師學會簽署合作協議學會中有中華民國生物醫學工程學會，因此有關生醫生化的專家都是中工會的夥伴。尤其新冠疫情肆虐，在急需疫苗研發與生產的當下，利用基因編輯新技術CRISPR/Cas9（CRISPR Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats與Cas9蛋白核酸酶）的基因剔除工具廣泛研發，其「來自意想不到的突破」正是工程師們促進人類社會福祉所需要的激勵誘因和學習標竿。

邱琳濱主任委員就討論結果綜合結論，希望能夠安排一場半天的研討演講，請凌博士就CRISPR/Cas9的現在與發展作科普介紹，同時將邀請業界專家介紹基因定序及疫苗研發與產業，待相關人事邀請有進展後另召開委員會討論舉辦的具體事宜。本次拜訪圓滿完成智庫委員會的活動序幕。



▲ 邱琳濱主委與凌嘉鴻博士合影



推動產業全球化 以中鼎公司為例

— 專輯序言

中鼎工程股份有限公司設計部協理 / 吳天寶

隨著科技進步與經濟活動的需求，全球各產業紛紛突破地域限制，將生產基地分散到世界各地，跨國經濟活動日漸頻繁，各地企業及經濟體系互相影響，產業全球化方興未艾。統包工程市場在此全球化的發展影響下，工程介面繁多且複雜度極高。中鼎工程擬定全球化EPC布局策略，採取跨國分工的作業模式，結合國際工程夥伴，在海外市場設立據點服務客戶以提升國際競爭力，歷經四十年的工程經驗，致力推動人才和產業技術與全球化趨勢同步升級，在競爭激烈的國際統包工程界佔有一席之地，工程實績遍及亞洲、中東和美洲等地區，工程領域涵蓋煉油石化、電力、環境、交通及一般工業等工程。

2020年全球面臨新冠肺炎疫情影響，導致全球經濟秩序發生劇變，全球化與地區化之經濟理論面臨空前的挑戰，但變動也帶來新的機會。中鼎工程秉持積極精進變革的精神，豐富的全球統包工程專案管理經驗實

績，不斷創新思維掌握全球產業投資脈動，提升自身在統包工程界的競爭能力，以掌握瞬息萬變的全球趨勢，藉由打造出與時俱進的智能化統包工程服務，以期在國際統包工程執行上開創嶄新格局。

本專輯【推動產業全球化 以中鼎公司為例】共分為五篇專題，介紹中鼎工程在全球化的浪潮與面對國際顧客愈來愈嚴苛的要求下，如何以創新工程技術、優化專案管理、精進品質安全和服務型態，精確掌握專案執行各環節，如期如質圓滿完成專案任務，贏得業主的肯定與信賴，建立與競爭對手的差異化，打造全球競爭力。

本專輯第一篇為新加坡捷運工程軌道專案執行經驗分享：介紹新加坡捷運自1987年開通以來，已經發展成有7條路線的捷運系統（包括機場捷運支線），目前每天平均搭乘人數為330萬以上。中鼎工程自2011年起參與新加坡捷運工程的新建，先後承攬三條捷運的



軌道工程，軌道施工總長度（Track Length）達155公里。本篇將以招標方式、介面協調、機電核心系統整合、安衛環及專案管理5項為例，來說明機電核心系統標在新加坡捷運與臺北捷運之比較。

第二篇為沙烏地阿拉伯煉鈦廠專案執行：本案的海綿鈦金屬煉製技術，在日本屬於國家管制輸出製程技術之一，對於輸出之工程執行，需特別考量其保密性與國家利益。沙國政府更將本案列為「2030年願景」重要專案，因中鼎工程在中東累積了豐富的成功實績，加上在智財保護周延的管控，因此讓業主在選擇合作夥伴時，選擇中鼎參與執行本案。文中簡述中鼎工程在沙烏地如何克服場地困難及文化差異，成功協助沙國建立海綿鈦供應鏈，成為全球第7個生產海綿鈦的國家。

第三篇為阿曼87萬噸蒸汽裂解裝置統包工程案執行：本專案為CTCI中鼎集團與McDermott於2015年合組CCJV團隊共同承攬阿曼煉油及石油工業公司87萬噸蒸汽裂解裝置統包工程，為中鼎集團首度成功進軍中東阿曼市場，成功的專案執行也被國際知名雜誌《Hydrocarbon Processing》評選為2020年度最佳工程專案的石油化學類年度專案首獎。本案工程範圍包含設計、採購、建造、試車，主要製程有蒸氣裂解區（SCU）、裂解汽油區（Pygas Unit）、甲基第三丁基醚區（MTBE Unit）、大氣儲槽、大型冷凍儲槽、

高壓儲槽（Bullet Tank），以及海水淡化、廢水處理、廢鹼處理、焚化爐等製程。文中敘述中鼎工程透過有效的溝通，完善的管理與創新工程技術，展現優異工程執行，讓該案成功的為中鼎進軍中東阿曼市場立下重要的里程碑。

第四篇為坐落於北美地區，全球最大陸上模組化統包工程：近年因勞動力缺乏與過高的人力成本，加上環保意識抬頭，模組化（Modularization）建造模式的出現，賦予了業主在許多大型工程案執行上一個不同的選擇。文中以美國新建石化廠案於中國預製的大型模組工程實務專案經驗為主體，輔以模組化建造作業的特性，從專案組織、時程規劃、採購與材料管理、預製工廠與工地現場建造等多面向進行探討，深入分析專案執行模組化作業的策略方針，從理論與實務兩個角度統整模組化的優勢。

第五篇為泰國Nong Fab液化天然氣接收站氣化設施統包工程專案：本案是泰國能源龍頭PTT集團旗下PTTLNG Company Limited（PTTLNG）投資建造的第二座液化天然氣接收站工程，由CTCI中鼎集團與歐洲統包商Saipem聯合承攬設計、採購、建造及試車工作，預計2022年完成試車商轉。文中介紹液化天然氣接收站的製程操作、海事工程設施、低溫儲槽、氣化設施和冷能利用，是近年來相當具有指標性的國際專案之一，不論是液化天然氣儲槽的容量、超長棧橋卸收碼



頭，以及生態友善的行政大樓等設施，對中鼎工程都是非常具有挑戰性的工作。

在這日益競爭激烈的國際統包工程市場，中鼎工程選擇積極參與，將業務範圍拓展至全球，並依全球市場區域不同，整合中鼎工程整體資源與提升相關EPC工程技術，使中鼎工程在國際統包工程界能與歐、美、日、韓大型工程公司並駕其驅，持續以精進工程技術，打造優質的工程建設，提供客戶最佳的工程服務體驗，建立市場的競爭優勢，朝「最值得信賴的全球工程服務團隊」願景永續邁進。



中鼎海外專案執行經驗分享 - 新加坡捷運工程軌道專案

中鼎工程股份有限公司專案經理 / 莊志鴻

關鍵字：新加坡捷運、中鼎工程、LTA、機電核心系統

前言

新加坡捷運自1987年開通以來，至今發展成有7條路線的捷運系統，捷運總路線長已超過203公里（詳下圖1），目前每天平均搭乘人數為330萬以上，預計到2030年捷運規模將超越東京地鐵及香港地鐵，總路線長將達到360公里。

中鼎工程自2011年起參與新加坡捷運工程的新建，總共承攬三條捷運的軌道工程-分別為濱海市區線第三階段（Downtown Line Stage 3）、湯申－東海岸線第一至三階段（Thomson-East Coast Line Stage 1~3）及卡利巴株機廠擴建（Gali Batu Depot Extension），路線長約50公里，軌道施工總長度（Track Length）達155公里，並已於

2021年5月全數完工，由於保密協定因此無法提供LTA工地現場施工照片，故僅提供軌道專案的訓練及工安宣導照片供參考（詳圖2）。另本篇將以招標方式、介面協調、機電核心系統整合、安衛環及專案管理5項為例，來說明機電核心系統標在新加坡捷運與臺北捷運之比較。

一、招標方式

新加坡捷運是由陸路交通局LTA（Land Transport Authority）來負責新建，主要分為土建標、機電核心系統標及系統整合三大部份。假設一般路線20公里長的捷運，LTA通常會將土建標切割成20個車站標（含隧道）加上1~2個機廠標交由土建標承包商CWC（Civil Wide Contractor）來承攬，總數約有



System Map 地铁路线图

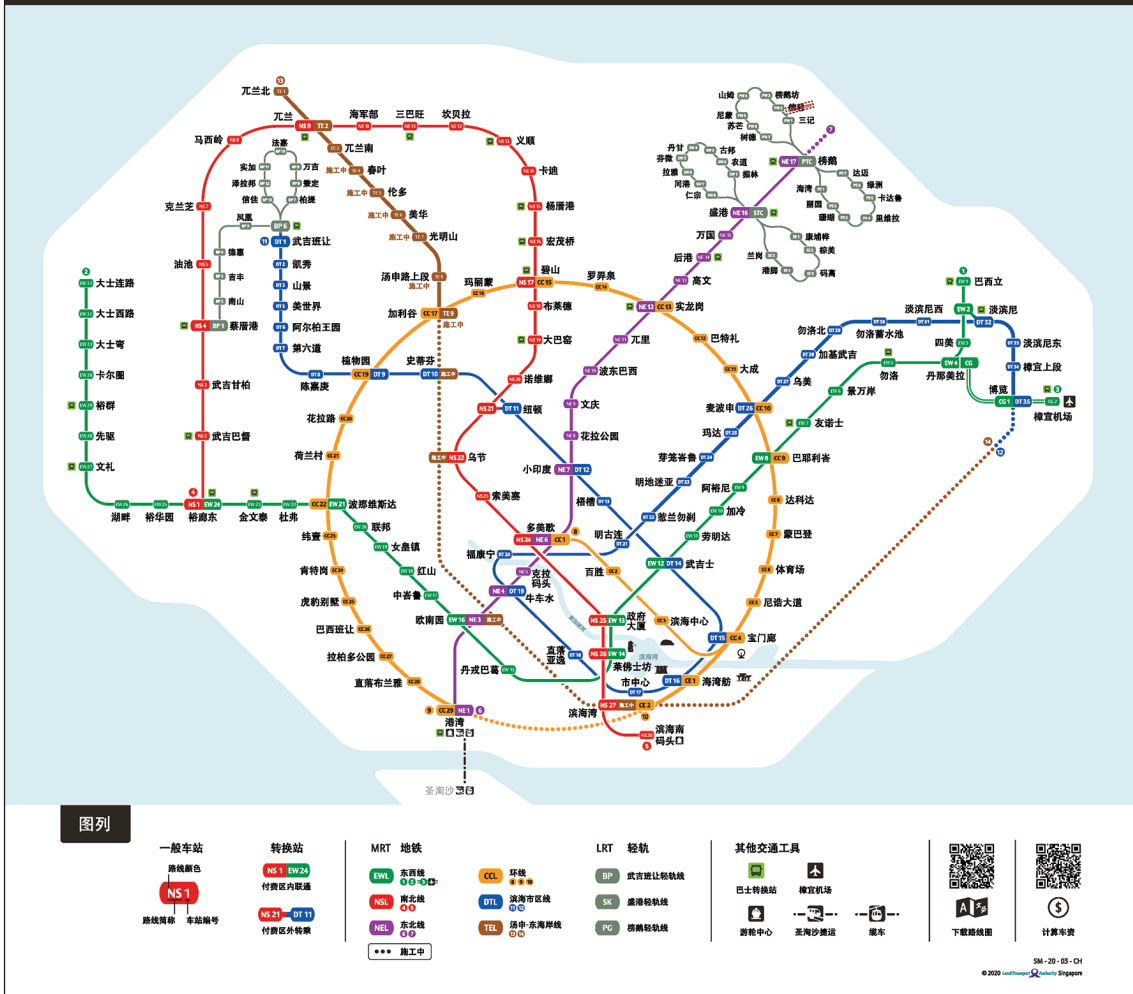


图 1 新加坡捷运与轻轨线的示意图

20~21个CWCs来承揽。另外机电核心系统标则以系统类别分别切成电联车标、号誌标、供电标、通讯标、轨道标及自动收费标等交由机电核心系统承包商SWC (System Wide Contractor) 来执行全线的机电核心系统工

程。至於系统整合SI (System Integration) 则由LTA的系统整合部门来负责统合所有SWC承包商间的介面协调、测试及试车等机电核心系统整合工作。



<p>濱海市區線消防演練於 2015/06</p>	<p>濱海市區線吊裝訓練 2015/03</p>
<p>湯申東海岸線工安宣導於 2017/06</p>	<p>湯申東海岸線 LTA 工安稽核於 2019/03</p>
<p>卡利巴株機廠道岔預組訓練 2018/05</p>	<p>卡利巴株機廠登革熱宣導於 2018/06</p>

圖 2 中鼎工程新加坡軌道專案的訓練及工安宣導照片

臺北捷運是由臺北市捷運局來負責新建，與新加坡捷運不同的是招標只有分土建標及機電核心系統標二大部份。

土建標每標約2~3個車站（含隧道），加

上1~2個機廠標因此土建標承包商總家數約只有新加坡捷運的40%~50%。

機電核心系統標則只有發一個大統包交由一家（單獨承攬）或2~3家廠商（聯合承



攬)來執行電聯車標、號誌標、供電標、通訊標、軌道標及自動收費標等機電核心系統。而機電核心系統整合、測試及試運轉皆由機電核心系統標廠商在捷運局的監督下自行完成。兩地招標方式的比較如下(表1)：

二、介面協調

有關介面協調工作，此部分新加坡捷

運與臺北捷運大同小異，每月皆會定期召開介面協調會議並邀請業主列席。土建標召開時會邀請相鄰土建標及所有機電核心系統標參與，而機電核心系統各標召開時則會邀請需要參與土建標及其餘機電核心系統標參與。雖然原則相同，但執行時仍會有些許不同，兩地介面協調的比較如下(表2)：

表 1

	新加坡捷運	臺北捷運
土建標	每一標大多為一個車站加一段隧道，規模較小，廠商參與財務門檻低 各標廠商可以同時施工，整體土建標工期比臺北捷運少 1~2 年。	每一標規模為 2~3 個車站加 2~3 段隧道，新加坡的 2~3 倍規模。 每一標規模約為新加坡的 2~3 倍，因此每公里造價可以減低，節省業主發包成本。
機電核心系統標	各機電核心系統標為單獨招標，符合資格的子系統廠商較多，每次招標皆有 5 家以上，招標容易。	為一家(單獨承攬)或 2~3 家廠商(聯合承攬)，符合統包資格的廠商不多，常常因投標廠商家數不足三家而流標。
系統整合	由 LTA 自行負責，可以培養系統整合的核心人力。	由廠商負責且內部自行整合，業主可以精簡系統整合人力。
小結	新加坡捷運土建標工期比臺北捷運短約 1~1.5 年，且招標容易。	

表 2

	新加坡捷運	臺北捷運
介面協調會議次數	土建標廠商較多，加上機電核心系統標廠商，每月所召開的介面協調會議為臺北捷運的 2~3 倍。	土建標廠商較少，且機電核心系統標廠商為統包，因此土建標施工初期的介面協調會議機電核心系統標廠商常只有派一名代表出席會議。
介面協調人員配置	<p>土建標只須出席相鄰標及機電核心系統標的會議，因此大多由介面經理負責。</p> <p>機電核心系統各標廠商(SWC)，因須出席全線所有土建標會議及其他機電核心系統標之會議，故各機電核心系統標除介面經理外，一般會搭配負責各土建標之介面工程師處理介面事宜。</p> <p>另新加坡軌道標之介面工作更為繁複。軌道標除須參與會議外，尚須繪製軌道層之CSD/SEM圖(因電纜溝槽，三軌及三軌電纜設計&佈設為軌道標之合約範疇，這與臺北捷運差異甚大，工作量增加許多)。故軌道標一名介面工程師一般需負責 5~6 個土建標的介面工作。至於其餘機電核心系統標之會議，主要由介面經理搭配設計工程師負責。</p>	<p>土建標派一位及機電核心系統標統包廠商會指派一位介面經理，其餘個子系統亦會指派一位介面協調人員出席會議。</p>
小結	新加坡捷運比臺北捷運召開較多的介面協調會議，也因此需要較多的介面協調人員。	

三、機電核心系統整合

新加坡捷運的機電核心系統整合是由業主LTA主導，每月定期開會並處理各機電核心系統標間的爭議，直至完成整合測試並順利移交給運營單位為止。

而臺北捷運的機電核心系統整合是由統包商的領銜廠商主導，各子系統標間的爭議皆透過內部協調解決。

兩地機電核心系統整合的比較如下（表3）：

四、安衛環

有關安衛環的要求，此部分新加坡捷運與臺北捷運大致相同，但每年LTA皆會有專門的安衛環機構主動不定期到各LTA工地（包含道路橋樑等公共工程）進行安衛環審查並給予評分，評比績優的廠商LTA會於每

表 3

	新加坡捷運	臺北捷運
機電標各子系統標的爭議處理	業主 LTA 會主導並解決機電標各子系統廠商間的介面及爭議處理，若經過多次協調後，若仍無法釐清責任歸屬時，LTA 才會提供 EI (Engineer Instruction) 請相關聯的子系統廠商先行解決，EI 完成後才付款，但通常此類爭議處理從發生到結案耗時很久。	機電核心系統標廠商為統包，各子系統廠商間的介面及爭議處理，通常會先內部協調，並以進度優先去處理，最後若無法確認責任歸屬，則將會依聯合承攬或 JV 的合約金額占比去分擔，因此子系統廠商間爭議處理的程序比新加坡簡化很多。
機電核心系統標施工	LTA 會壓縮軌道標工期，相較臺北捷運類似規模約縮短 15~20% 工期。 軌道標完工後，LTA 系統整合小組 (SI) 才會開始接管並依照規劃時程給其餘機電核心系統標進場施工，同時 LTA 會提供工作車 (Work Train) 協助各項設備及電纜的運輸工作，這項工作車協助運輸工程，大約是 3~4 個月。	軌道標施工期間，其餘機電各子系統標廠商同時會請求軌道標提供工作車協助各項設備及電纜的運輸工作。因此整體機電核心系統標的施工工期會比新加坡捷運長約 1 年，也因此有較長的時間來進行缺失改善。
動態整合測試	待機電各子系統標施工完成後，SI 會接著讓電聯車進入開始進行動態整合測試，大約需 3~4 個月。 LTA 提供工作車供機電核心系統標施工加上提供電聯車進行動態整合測試，這段時程 LTA 稱為 (Trip)，在移交給運營單位前每階段的 Trip 通常會安排 7~8 個月，Trip 順利完成後才算達到實質完工 SC (Substantial Completion) 方可移交給運營單位。	臺北捷運的動態整合測試是所有的機電核心系統標完成施工後才會啟動，此時電聯車廠商會提供電聯車來進行 12~18 個月的動態整合測試。動態整合測試通過後才算達到實質完工 SC (Substantial Completion)。
小結	<ol style="list-style-type: none"> 1. 臺北捷運是機電核心系統標統包，各子系統間之爭議一般係由統包商之系統整合 (IPMG) 自行處理，解決方式較為迅速。 2. 新加坡捷運由於 LTA 壓縮整體機電核心系統標的施工工期及動態整合測試時間，因此機電核心系統標的工期會比臺北捷運短 1~1.5 年。 3. 臺北捷運由於動態整合測試時間較新加坡捷運長約 3~4 個月，因此試營運時的機電核心系統穩定度會較高。 	



年第三季安衛環大會中予以表揚。中鼎工程自2012年工期開始起至今（2020年因疫情停辦）共有7年獲得11個安衛環評比績優的獎項及表揚，此表揚典禮大多由新加坡交通部長親自主持，下圖3為中鼎工程於2019年獲得二項安衛環績優評比的獎項及表揚。

五、專案管理

有關專案管理人員的要求，此部分新加坡捷運與臺北捷運大致相同，專案組織表內

提送的主要專案經理人員都必須經過業主核可且專任。但由於發包方式的不同因此也會有些許差異，比較如下（表4）：

六、結論

新加坡捷運非常重視通車的期程，即使碰到各種內、外在因素影響而延誤，但LTA會透過各種方案來縮短工期，例如增加工作井及材料機具投入口，以減少隧道任一中間區段標延誤所造成整體進度的影響，最後再



圖 3 2019 年獲得新加坡交通部長頒發二項安衛環績優的獎項

以壓縮動態整合測試時程，以求達成最後通車日期不延後為終極目標。而中鼎工程在新加坡執行的三個軌道專案，皆依LTA規劃時

程如期如質完工（表5）。

參考文獻

1. 新加坡政府官方網站 Land Transport Authority。

表 4

	新加坡捷運	臺北捷運
專案管理人員組織人數	由於每月所召開的介面協調會議為臺北捷運的 2~3 倍，因此需要較多的人員分別來出席相關會議。	機電核心系統標廠商的各子系統通常只聘一名介面協調人員出席相關會議。
合約管理人員	機電核心系統標的各子系統皆需要有各自的合約管理人員來處理變更設計及相關商務條款。	機電核心系統標廠商為統包，因此所聘用的合約經理會處理整個機電核心系統標的相關事宜。合約管理團隊人數會比新加坡各子系統人數相加後精簡很多。
整個專案期程	LTA 採取較多次的分段通車，並設定很多階段的里程碑，且每個里程碑皆有逾期罰款，即使整體的工期比臺北捷運較短，但大多能依既定的規劃期程通車。	土建標常因捷運區域的土地徵收取得困難或各種因素的影響而延誤，一般會比既定的期程延後 2~3 年通車。
小結	<ol style="list-style-type: none"> 1. 機電核心系統廠商在執行新加坡捷運時，其各子系統的專案管理人員會比執行臺北捷運時需要較多人力，但由於新加坡捷運整體工期較短因此專案人員總成本並不會比臺北捷運高。 2. 新加坡捷運的機電核心系統標廠商超過 90% 為外國廠商，許多專案執行人員都是一案一聘，隨時都在尋求較長的合約，因此專案執行人員的流動率比臺北捷運高許多。 	

表 5

	新加坡捷運	臺北捷運
結論	大多依照原規劃排定的期程來通車，但試營運初期偶有瑕疵出現。	重視動態整合測試驗證，一旦開始試營運，幾乎零故障。但通車日期常會比原訂計畫延後。



海外案沙烏地阿拉伯煉鈦廠執行

中鼎工程股份有限公司專案經理 / 陳鈺銘

關鍵字：海綿鈦、中鼎工程、千代田、非鐵金屬工業、TOHO

摘要

海綿鈦在工業上的應用範疇廣泛，該領域日本TOHO的技術領先群倫，由於海綿鈦在日本屬國家管制輸出製程技術，最終中鼎憑藉豐富的海外專案執行實績及優異的智慧財產權保護，在對手中脫穎而出，本文將簡述中鼎在沙烏地如何克服場地困難及文化差異，成功協助沙國建立海綿鈦供應鏈，成為全球第7個生產海綿鈦的國家。

一、海綿鈦產業現況

中鼎集團於2014年與日本千代田公司（CHIYODA）共同承攬沙烏地阿拉伯煉鈦廠（YNP Ti-Sponge）建廠工程，該案業主為日本TOHO（東邦鈦金屬有限公司）與沙烏地阿拉伯AMIC的合資公司，業主之一日本TOHO所製造的海綿鈦，在業界以優良的品質著稱，且其獨特的製程技術，在鈦製造領域持續保持領先地位。



圖 1 科技園區就是從一望無際的沙漠開始

依據客戶材料或產品的應用，產出之海綿鈦可以不同樣態呈現，真空熔化成鈦錠、軋製加工成板、棒等客戶端所需求產品，除大部分供應航空工業所需材料外，同時也廣為汽車、船舶結構、電廠、建築、醫療器材等領域所應用。

工程執行期間，除締造700萬安全工時無

失能傷害紀錄，並於2017年5月28日提前機械竣工，2018年8月成功產出海綿鈦金屬，為沙烏地阿拉伯成功帶來年產15,600噸的海綿鈦（Ti-Sponge）產品，成功協助沙國成為全球第7個生產海綿鈦的國家；沙國政府更將本案列為「2030年願景」重要專案，期以建立海綿鈦供應鏈，降低對石油生產的依賴，促進經濟發展。



圖 2 各種不同的海綿鈦產品樣態



圖 3 海綿鈦廣為飛行相關材料及球具桿頭產業所應用



二、專案執行歷程

(一) 為何選擇中鼎

中鼎向來秉持專業、團隊、誠信、創新的精神，為業主提供最值得信賴的工程服務，其中誠信更是我們最重視的核心價值，本案的海綿鈦金屬煉製技術，在日本屬國家管制輸出製程技術之一，對於製程輸出，需特別考量其保密性與國家利益，因此業主在選擇合作夥伴時，智慧財產權的保護，更是業主考量的一大重點，由於中鼎在中東累積了豐富的成功實績與優異的工安紀錄，加上

在智財保護周延的管控，因此讓業主完全放心由中鼎參與執行本案。

憑藉優異的工程執行品質，本專案榮獲中東知名雜誌MEED評選為2019年度代表專案一般工業類GCC Winner（波斯灣六國）大獎，並樹立中鼎集團進軍中東地區非鐵金屬工業領域的口碑及典範。

(二) 技術亮點

本專案之執行從最初設計乃至後續整合，以及實際付諸實行之施工規劃，均經過



圖 4 中鼎阿拉伯公司陳昭溫總經理（右）與千代田阿拉伯公司總經理 Mr. Suzuki（中）代表接受 2019 年度 MEED GCC AWARD 頒獎表揚

深切之討論與評估，選定最適當之平台與工法，故能如期如質完成託付，成功原因簡述如下：

1. 設計管理

本案採雲端整合設計資訊，專案於千代田日本橫濱辦公室、臺北中鼎集團總部大樓、沙烏地楊埠工地三地同步執行，因應工地當地頻寬限制的影響，使用Aconex整合式雲端系統，進行所有圖件、檔案、交換、出圖，以有效控管文件，除縮短業主審圖時程，並同步提供工地實際建造相關資訊，進而有效提升全案EPC執行效率。

2. 工法選擇

因中鼎團隊具有深厚的工程基底，對工序了解透徹，針對本案斷面變化不大之破碎廠房及庫房，適時選用PEB Building（預製鋼結構廠房設計），除可縮減鋼構工作量，並藉PEB Building量輕、組裝簡易、快速等優勢，有效縮短安裝時程及降低工作介面。

3. 介面整合

整合協調業主提前安裝廠房天車供吊運安裝施工使用，並同步進行地面機、電等大宗設備預組，除拓展工作面因而分攤工進外，並於天車上方架設符合安全計算之大面積施工架，並藉此移動或搭架往返施作高難度廠房頂大面積防靜電板，除有效縮短安裝時程外，更大幅提升施工安全性。



圖 5 天車搭架往返施作廠房大面積防靜電頂板



4. 應用設備與製程特性突破廠區限制

本案工作範圍涵蓋鈦金屬製造等先進製程設備，尤其新式、環保、大角度爬昇輸送的波浪槽邊輸送機應用於海綿鈦成品輸送，成功突破狹窄的廠區限制。此設備為現代輸送製程新趨勢，其原理與控制模式，對於原物料輸送及高價值金屬和相關金屬製程等工作的執行與推動，相當重要。

三、文化衝擊及跨文化整合

除上述原因外，中鼎同仁能迅速適應不同風土民情，也擅長融合於多文化，特別是本案執行團隊匯集了包括日本、臺灣、中國大陸、印度、巴基斯坦、孟加拉、尼泊爾、

約旦等多個國家成員，但執行階段大家相處和睦，成功塑造強大的團隊向心力。另外也由於本案執行階段的業主東邦公司及共同承攬伙伴千代田公司皆為日本，與安裝分包商中國化學第三建設隊，雖有工作與合約從屬關係，但也因兩國民族歷史的糾結，安裝執行階段也產生了諸多摩擦，所幸中鼎同仁在臺灣良好的家庭、社會文化的教養下，培養出優異的人格特質，也適時扮演了業主似朋友的中間潤滑角色，化解了許多對立。統合專案執行過程中，面對不同的文化衝擊，中鼎同仁均能透過充分溝通與交流，成功地融合團隊歧見及達成共識，對建造進度及交運時程確實掌握，獲得業主充分信任，如期如質完成任務。



圖 6 大角度爬昇輸送機可有效縮減空間，為現代輸送製程新趨勢



圖 7 遠東與中東族群大融合的工具箱會議



圖 8 沙烏地阿拉伯業主參訪鈦金屬製程廠房



圖 9 海綿鈦廠完工實景



圖 10 還原製程完工廠內實景



圖 11 破碎製程完工廠內實景



圖 12 海綿鈦廠實際生產實景



「阿曼 87 萬噸蒸汽裂解裝置統包工程」專案

中鼎工程股份有限公司協理 / 李民立
中鼎工程股份有限公司副專案經理 / 姚俊全

關鍵字：阿曼、蒸汽裂解裝置統包工程

摘要

本專案為CTCI中鼎集團與McDermott於2015年合組CCJV團隊共同承攬阿曼煉油及石油工業公司87萬噸蒸汽裂解裝置統包工程，為中鼎集團首度成功進軍中東阿曼王國市場，並創海外承攬統包工程最大合約金額紀錄（約28億美金）。工程範圍包含設計、採購、建造、試車，主要製程的蒸氣裂解區（SCU）、裂解汽油區（Pygas Unit）、甲基第三丁基醚區（MTBE Unit）、大氣儲槽、大型冷凍儲槽、高壓儲槽（Bullet Tank），以及海水淡化、廢水處理、廢鹼處理、焚化爐等製程。

一、前言

本LPIC專案共包括4個EPC統包工

程，為阿曼政府「2020願景」計畫的重要項目，期將石化產品拓展至下游領域，提供更多樣化產品，充實該國相關產品線，達成發展石化產品高值化目標。此4個EPC統包工程分別為87萬噸蒸汽裂解工程（EPC1），Polymers PE/PP工程（EPC2）、液態天然氣萃取工程（EPC3）以及液態天然氣長途管線工程（EPC4）。其中又以中鼎集團與McDermott所承攬位於蘇哈爾工業港工業區的87萬噸蒸汽裂解工程為LPIC開發計畫中，金額最大且最重要的核心項目。

工程期間遭遇新冠肺炎疫情的影響，CTCI秉持著不放棄的毅力以及決心使得此專案順利完成，並獲得國際知名雜誌《Hydrocarbon Processing》評選2020年度石



油化學類年度專案首獎。

二、值得信賴且豐富的國際工程實績及具競爭力的團隊

(一) 為什麼選擇 CTCI

本LPIC案的乙烯裂解製程是採用Lummus選擇性氯化專利製程技術設計。CTCI於2013年為台灣中油公司在高雄建造完成一座採用Lummus專利製程技術，年產72萬噸的六輕裂解工廠；本案設計、採購、建造及試車，均由CTCI負責。因此，當CTCI以豐富的國際工程執行經驗，以及對Lummus乙烯裂解專利製程的經驗及建廠實績，結合擁有Lummus專利製程的McDermott公司（當時稱CB&I，於2018年被McDermott合併）合組CCJV團隊，此一結合雙方核心競爭力的策略聯盟，即順利於激烈的競爭中脫穎而出。

(二) 有效的溝通與完善的管理

本專案從得標後的融資採購到試車階段的工程執行，都印證了CTCI團隊「最值得信賴」的工程服務品質。本案為CTCI首度成功進軍中東阿曼王國市場，並創海外承攬統包工程最大合約金額紀錄（約28億美金）。此外，本案在採購層面上也須因應業主有41%出口信用保險ECA的要求，考量業主融資來源分散各國（韓國、義大利、德國、英國、

荷蘭），於專案執行初期除了必須考慮最有競爭力的價格之外，還需將器材訂單分散至融資的5個國家，並透過公式計算金額，以符合ECA要求，同時也要為價格與品質把關，滿足業主融資的需求。

在工程執行上，由於本案與LPIC其他三個EPC專案同時進行，且各個EPC Package所生產的產品亦有上下游的相關性，如：CCJV團隊負責的EPC 1所生產的乙烯是EPC 2生產聚乙烯、聚丙烯的原料，而EPC 3生產的天然氣凝析液（NGL）亦為EPC 1的上游原料。為有效整合工程介面，CTCI團隊每週與業主召開週會，討論設計細節、採購及施工議題，而本案最高領導人專案督導Project Director（PD）也會每月與業主面對面進行重要事項討論。從橫向及縱向角度，由上至下，將所有重要議題、面臨的困難及無法妥協的事項，透過反覆的溝通與討論，以確實解決問題，使本案順利推進。

本案亦是CTCI安全工時紀錄保持者，工程執行期間，安全工時紀錄已累積突破7700萬，創下歷史新高紀錄。依據本案分工，建造階段係由CTCI主導，CTCI帶領JV夥伴McDermott，以優異的統包工程整合與執行能力，從建造進入試車階段達成火炬點火、鍋爐點火、乙烯進料等重要里程碑的同時，仍保持高度的現場安全衛生管理規範和要求，使本案安全工時無失能損傷紀錄持續推



進，實屬不易。

三、專案亮點

(一) 高效的施工

由於本案工作範圍龐大，以往的建造工作包CWP (Construction Work Package)，已無法滿足建造階段的施工區域劃分。因此，CTCI以更細的安裝工作包IWP (Installation Work Package) 取而代之，透過將廠區佈置圖 (Plot Plan) 劃分好的各工作分解結構 (WBS)，依結構、管架分布、主要設備或套裝設備，細分成不同區塊。根據各IWP安裝工作包裡管線各管段組裝的預估時程，除可有效追蹤及控管管線預製的最新情況，有系統的規劃ISO出圖給廠商的順序，並可與預製廠安排各預置管段 (spool) 的送抵時間，以確保符合施工時程需求，避免下包施工隊團隊因工作量不足，而產生工期延宕或包商求償等問題。另外，IWP的應用也可使預製廠能更精確的預估預製時程及數量，讓下包商提供的人力動員計畫更準確，使現場工人數符合各階段工作量需求。

在施工過程中，透過對細節的重視與妥善的前期規劃，CTCI持續提升施工效率。以高壓儲槽 (Bullet tank) 設計軌道為例，過往因高壓儲槽數量不多，為滿足安裝時1:200的斜率需求，通常都以人工整理沙床；在本案中，為提升4個高壓儲槽的施工效率，CTCI

特別設計了軌道及相關裝置，以便將沙床外觀快速精準的整理成需求的形狀。再如本案中的E/I Interface系統的光纖電纜，為滿足國際電工協會頒布的規範IEC 61850，減少使用硬線電纜為電機資料採集與監控系統SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 的趨勢，將傳遞馬達狀態的傳統硬線電纜與其中介電驛盤IRC (Interposing Relay Cabinet)，以光纖電纜透過電源管理系統PMS (Power Management System) 取代，不僅可大幅減省電纜數量，並有助於未來管理、監控及修改，也可降低雜訊產生。

(二) 便捷的維修

在專案進行時，CTCI也將後續維護納入考量，致力為業主提供節省工時、人力及開銷的設計。以路面規劃為例，為減少設備維修的重型吊車吊裝位置的路面破壞範圍，特別設計鋪面強度，在維修後僅需針對站立位置鋪面結構上做修補即可；再如Secondary cooling water主管線規劃，因主管線為120吋的巨大管線，本案在FEED (Front End Engineering Design, 前端工程設計) 時，原設計成地下管，但因地下管在建造與維修時，皆需很深的開挖量，工程浩大且耗費甚鉅，CTCI經專業評估，更改設計為地上管，為業主大幅減省後續維護開銷。

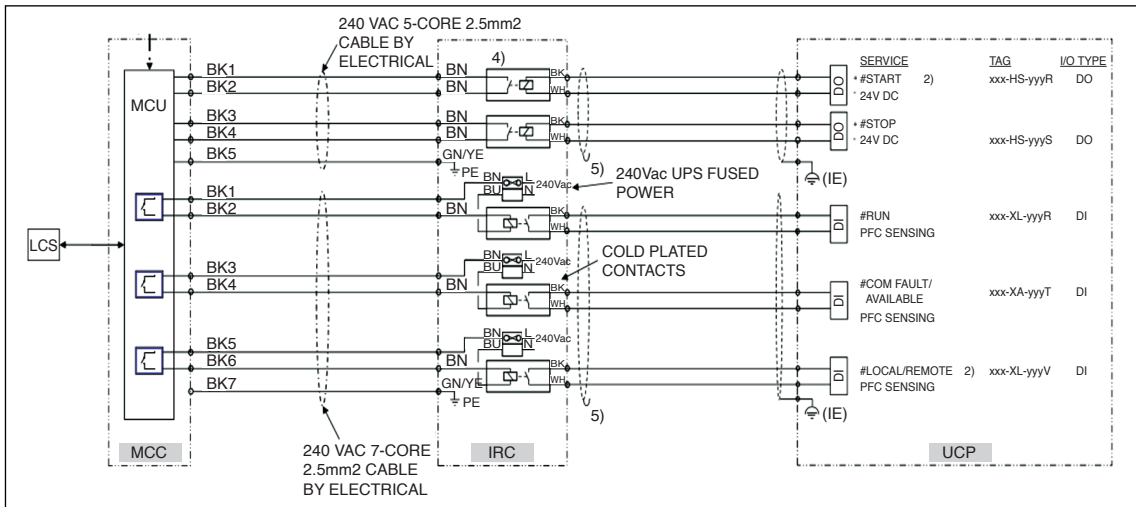


圖 1 使用硬線電纜，透過 IRC 來傳遞馬達訊號狀態

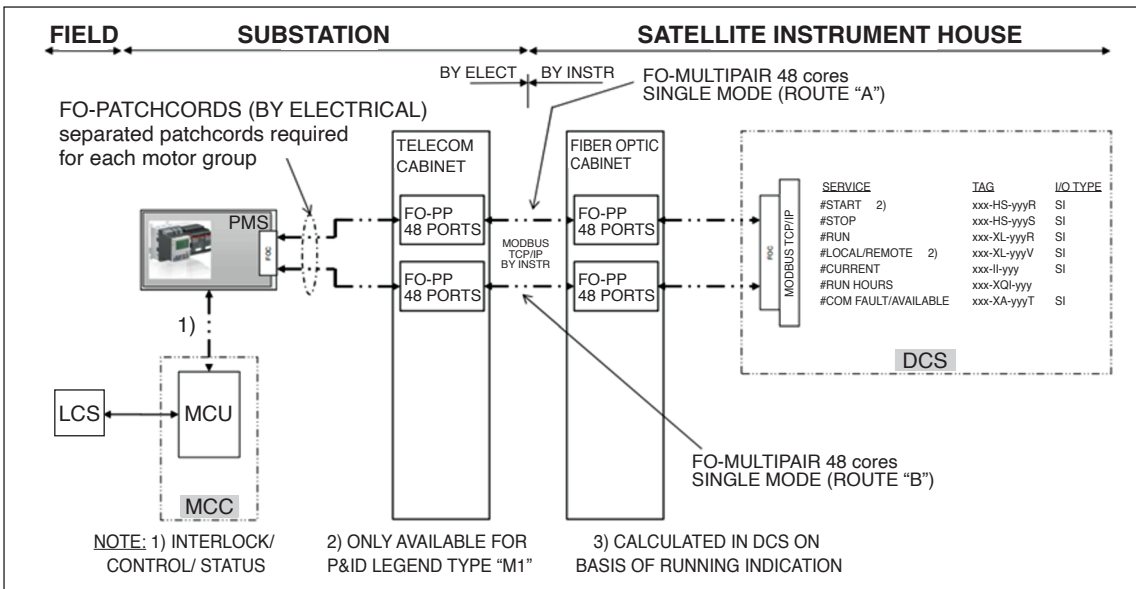


圖 2 使用光纖電纜，透過 PMS 系統傳遞馬達訊號狀態

四、創新工程技術

(一) 優化的廢鹼處理系統

本案所建造的乙烯裂解廠，在運營的過

程中將產生大量廢鹼，因廢鹼對環境具有的危害性，其後續處理為本案中十分重要的環節。以往廢鹼的處理大多是用濕空氣氧化技術Wet air oxidation (WAO) 處理，此為利用高溫高壓的環境，將有機汙染物熱氧化的一



種技術。WAO為一項十分成熟的廢鹼處理技術，對於高濃度難分解的汙染廢水處理效果尤佳，在業界廣泛的被使用。然而由於反應條件需要高溫高壓，若未達此條件，廢鹼處理效果會大打折扣；而高溫高壓的設備及運轉成本高昂，並不經濟，若未能具備合適的環境條件，WAO不適合單獨處理廢鹼液。為改善這個問題，本案首創將WAO結合Fenton法，打造更優化的廢鹼處理系統，Fenton法係利用過氧化氫（ H_2O_2 ）為氧化劑、亞鐵離子（ Fe^{2+} ）為催化劑的化學氧化法，且本方案具有操作彈性大以及成本低廉的優點，並具有氧化能力強的關鍵性優勢。本案結合WAO和Fenton法，可將廢鹼處理的更加乾淨，不僅可協助業主降低廢鹼處理成本，也能更有效的守護環境。

（二）可拆卸的廢氣燃燒塔

本案廢氣燃燒塔（Flare）高達175公尺，在高度創下CTCI的紀錄。CTCI採用分段組裝方式，將整個廢氣燃燒塔管線部分拆成7段，預先在預製廠預製好，一到工地便可快速組裝，大幅節省工時及人力，平均一段僅需2-3天安裝。

這種可拆卸式的廢氣燃燒塔，除了在安裝時更加快速之外，亦有另一項優勢。由於煉油石化廠製程中常會排放一些含有有機物質的氣體，必須將這些氣體導入燃燒塔中予以燃燒後才能排放，這些氣體通常易燃且具

毒性。考量安全距離，傳統廢氣燃燒塔佔地面積大都非常寬廣，並且需要分別坐落在不同區域。而本案具有一定高度的可拆卸的廢氣燃燒塔，因塔頂至地面的距離拉長，不僅可以使地面安全半徑縮短，一個區域可以同時有兩座以上的塔，節省空間，當其中一座塔需要維修時，不必到塔頂進行，將最上層的部分吊裝至地面維修即可，其他塔仍可以繼續燃燒，維持廠區的正常運作。

五、總結

阿曼87萬噸蒸汽裂解裝置統包工程為中鼎集團與McDermott於2015年合組CCJV團隊共同承攬之統包工程。為阿曼政府經濟發展計劃的重要投資計畫之一，工程地點坐落於距阿曼首都馬斯喀特（Muscat）北方230公里之蘇哈爾工業港的工業區Liwa Plastics Integrated Complex（LPIC），為LPIC開發計畫中，金額最大且最重要的核心項目。

本LPIC專案共包括4個EPC統包工程，耗資65億美元，為阿曼政府「2020願景」計畫的重要項目，期將石化產品拓展至下游領域，提供更多樣化產品，充實該國相關產品線，達成發展石化產品高值化目標。其中，中鼎與McDermott共同承攬的EPC 1統包工程，為本LPIC專案中最重要且核心的項目。

今年又面臨全球新冠肺炎疫情影響，但CTCI團隊仍秉持「最值得信賴」的品牌精



神，透過橫向及縱向的有效溝通，克服種種挑戰，不但於2020年11月突破累積7,700萬安全工時紀錄，更透過有效的溝通，以及採用

高效的施工、優化的專案管理模式、創新的廢驗處理系統等方式執行下，穩健維持工程的推進，並減省維護開銷，展現優異工程執



圖 3 廠區完工照片



圖 4 5000 萬安全工時慶祝典禮，現場齊聚超過 50 個國籍的 11 家包商，共同見證此歷史性的一刻



行成果。

產品於今（2021）年2月生產。本案啟用後，現有廠區，包括既有廠所生產的產品、副產品將可成為LPIC的進料，使產品發揮其最大效益，並將石化產品擴展至更下游領域，達成發展石化產品高值化的目標，進而從阿曼的石油和天然氣資源中獲取更高的利潤。本案的成功執行也為CTCI成功進軍中東阿曼市場立下重要的里程碑。

另外，國際知名雜誌《Hydrocarbon Processing》評選2020年度最佳工程專案，阿曼Liwa Plastics Integrated Complex (LPIC) 專案獲選為石油化學類年度專案首獎。中鼎與McDermott合組CCJV團隊，承攬本LPIC案中金額最大且最重要的核心項目-- EPC 1 87萬噸蒸汽裂解裝置統包工程，本案的獲獎，亦代表CTCI中鼎集團「最值得信賴」的工程服務品質及優異的全球統包實力，深獲國際肯定。



圖 5 專案安全工時累積突破 7000 萬



全球最大陸上模組化統包工程

中鼎工程股份有限公司專案經理 / 莊知軒
中鼎工程股份有限公司專案控制工程師 / 范道中

關鍵字：模組化、專案管理、美國、模組預製

摘要

隨著全球經濟與各項產業急速成長，工地現場勞動力缺乏與過高的人力成本成為世界各國在積極開發的瓶頸之一，再加上近年來永續環境與環保意識抬頭，建造技術與工法勢必不斷地改良與精進，以符合全球產業的發展趨勢與經濟效益。模組化（Modularization）建造模式的出現無疑是一大福音，其不同於傳統建造（Stick Built）的概念，賦予了許多大型工程案與其業主在專案執行上一個不同的選擇。本文以美國新建石化廠案於中國預製的大型模組工程實務專案經驗為主體，輔以模組化建造作業的特性，從專案組織、時程規劃、採購與材料管理、預製工廠與工地現場建造等多面向進行探討，探討內容除了細探模組化的優勢外，並深入分析應用模組化作業時實際專案執行的策略方針，從理論與實務兩個角度統整模組化的優勢。

一、前言

將大型工程項目進行模組化操作是近年來的熱門技術，並在海洋和陸地油氣開發中得到廣泛應用。透過模組化概念，依據廠區產能特性或需求可將專案切割成較小子單元，並於不同地區模組預製工廠（Module Yard）進行預組裝作業，專案可於多工地同時進行不同作業，如此一來也使專案管理的角色與任務比起過往傳統建造中更為關鍵，如各地執行中心如設計辦公室、採購廠商、預製工廠以及工地位置間橫向溝通，且決策的建制與發佈亦需精確果斷，即時反應予位在跨時區的執行中心，專案方能順利運作以達到最佳執行效率。

以下將以美國新建石化廠於中國預製的大型模組工程案實務為例，介紹目前全球最大的陸上模組化石化廠工程在實際應用模組化執行過程中，實踐模組化的特性與最大化

其工程優勢，以專案角度督導協調美國工地現場、中國與墨西哥預製工廠以及以臺北為中心的各東南亞設計採購中心，詳述協調規劃要點與本工程案學習經驗。

二、模組化的優勢

模組化最大的特色，即將廠區於專案規劃之初，依其製程特性劃分為數個獨立預製單元（Pre-assembly Units），除基本現場地下物設施如基樁、基礎或地下管線等無法模組化之工作外，其餘項目如鋼結構、管線、設備、控制與電力系統等均可納入製程模組（Process Modules）或管架（Pipe Racks）規劃範疇，而預製模組多選在海外獨立預製工廠進行，此舉可在避免與現場工作影響的情況下，同步進行模組單元預製、組裝與系統測試等作業，強調專案規劃彈性與執行效率、提升工安與品質，進而優化廠區空間配置以及降低工地現場人力需求；綜觀以上，

模組化所帶來效益舉述如下：

（一）提升專案規劃彈性

模組預製所需時間視其規模而定，小規模如百噸預製工作量數個月即完成，上萬噸預製規模則長達數十個月；由此可見在大型模組案中，預製工廠作業期間幾佔整體專案半數以上時間，這段期間所帶來的優勢在於，賦予設計團隊足夠時間完成工地現場細部設計協調與後續調整彈性，採購團隊將材料根據功能與定位（如預製工廠或工地現場），規劃有效反映需求急迫程度的催貨或出貨安排，而建造團隊亦可在無干擾條件下（如重機具行經路線或是大型設備預組裝空間等），進行完整工地建造計畫和施作。

多重任務同步進行與寬裕調整彈性，均使專案在時程或材料等的控管上握有一個有利於縮短建造期間的潛在條件（如圖1）。

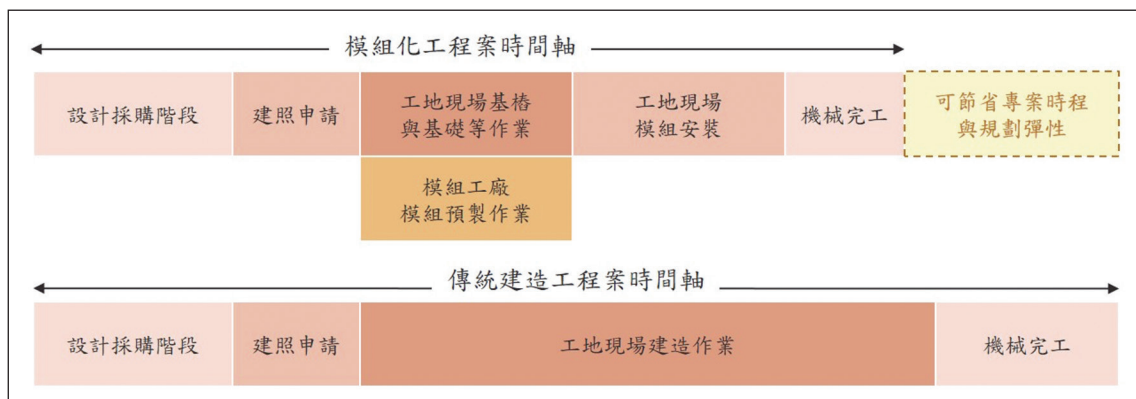


圖1 模組化工程案與傳統工程案時程比較圖



（二）強化工安管理與作業品質

在獨立模組預製工廠所進行的模組預製與組裝，建造人員可在安全、穩定且熟悉作業環境工作，且由於模組每層的鋼構組裝是採堆疊性質，因此在組裝過程中可減少高空作業時間並降低其風險，亦可降低與工地現場機具的碰撞或地下物設施的限制與不便；在能夠保全工地安全環境下，預製工廠作業品質自可大幅提升，這對於逐漸重視工安的建造工程或業主來說，這亦無疑是一大助益。

（三）優化廠區空間配置

模組化設計旨在將工地現場產能特性之製程設備管線等做一系統式的集中整合，並以模組型式移出予預製工廠進行作業，移出的項目愈多，代表工程模組化程度愈高，其餘無法模組化的工地現場工作與配置也隨之愈簡化，再加上合理的模組規劃可提升預製單元上設備與管線等空間使用效率，進而縮減所需預製單元之數量及工地現場模組占地；對業主而言，因模組化與優化配置而空出的額外廠區空間，有利於其進行提高產能之進階配置，或是未來有擴廠需求時可使用之規劃空間。

（四）降低工地現場人力需求

工地現場人力資源短缺一直是近年來建

造工程所面對瓶頸之一，而隨著模組化將大部分製程相關設備與系統移至預製工廠執行，工地現場工作量降低，較為單純的作業項目得容許現場在以較低建造人力編組與機具資源需求下，在相對寬敞作業空間與安全建造環境中進行施工，對於其建造作業工序與人力資源調配有較大調整彈性。

（五）提升環境適應性

由於模組設計與預製組裝均在工地外進行，其所受當地氣候或地形等各類不利施工因素影響較小，模組預製作業期間可依據當地施工限制優先進行設計調整，如模組尺寸與重量設計、結構補強與固定、模組上設備或管線系統配置修改、特殊防蝕防鏽或保溫等處理，模組化的高度環境適應性亦將提升業主實際於各類工程案中採用的信心與意願。下圖2即為本案位於青島模組預製工廠廠區。

三、美國在中國的大型模組工程案

（一）專案簡介

本案美國業主係由世界知名兩家石油公司所組成之合資公司，鑒於美國擁有低成本頁岩氣豐沛資源，計畫在美國德州（Texas）建立一目前全球最大的陸上模組化石化工廠，在完工正式投產後預計每年可供應上百萬噸乙二醇，並為當地創造上千個工作機



圖2 青島預製工廠



圖3 願景輪 (Vision Wheel)

會，而本案石化廠即是其中一項重要單元。本章節將以此實務工程案為例，闡述大型模組工程案在執行過程中，來自不同國家及文

化背景的專案成員，如何導入各自專業知識背景與專案執行經驗，以願景輪 (Vision Wheel) 各項指標為專案的核心精神 (如圖



3)，並在業主專案團隊的強力領導之下，與合作夥伴、模組預製工廠、下包商及材料供應商緊密融合成單一團隊，攜手合作完成具挑戰性大型模組專案。

跨國工程案已然成為趨勢，一個成功的工程案仰賴世界各國在不同專業領域知識與技術，專案成員間經驗交流與圖料等資訊的傳遞決定了工程案成功與否關鍵之一。專案資訊交換系統（POW, Project on Web）的建置為專案甫成立時重要第一步，透過雲端平台建立完整資料庫存取機制與防火牆維護資

安，位在臺北、美國、中國、墨西哥及各地辦公室的專案成員，可即時分享專案資訊、進行視訊會議、尋求其他成員或業主協助、審核廠商圖面、傳遞圖料資訊予模組預製工廠或工地建造包商等（如圖4），業主亦可透過透明化資訊管道掌握專案執行狀態與進行設計採購等文件審閱，並適時給予反饋意見以利專案推行。

在享受資訊交換便利性的同時，資訊安全與智慧財產權保密也成為了專案在傳遞資訊的重要責任之一。所有成員在參與專案之

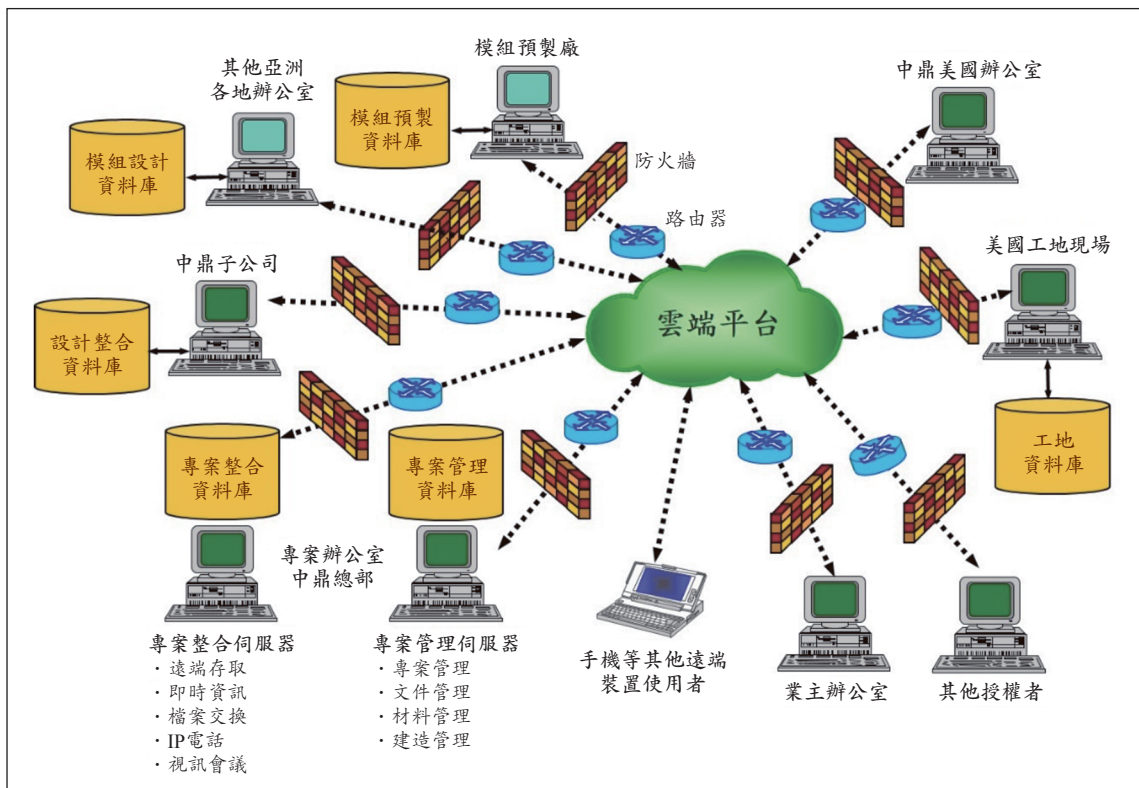


圖 4 雲端資料存取平台示意圖



初皆須簽署保密協定（NDA, Non-Disclosure Agreement），旨在保護專案機密商業資訊避免外流，為一具有實質法律效力與約束力之文件，此協定規定專案成員無論以任何形式如紙本、電子或口頭進行資訊傳遞時，須注意資訊機敏性（Confidentiality and Sensitivity）與必要接收者；因故暫離或下班時將桌面文件收妥至上鎖抽屜或文件櫃中，並將電腦螢幕闔上或關機；專案辦公室嚴格執行門禁政策，成員須配戴有效識別證，並以識別證刷卡進出辦公室，如有訪客（如廠商或其他第三方單位）來訪須先申請臨時訪客證、確實登記來訪目的與記錄來訪時間，並在有專案成員陪同下方能進出。

（二）專案管理與組織

不同於傳統工程案只有單一工地，本工程案例以模組化應用，將主要工作從美國境內依模組預製工廠之產能特性將製程模組移出，分別交由中國青島與墨西哥坦皮科（Tampico）兩處模組廠預製，其餘美國工地現場僅進行基樁、基礎、及地下管無法模組化之部份工作，並且考慮設計及採購將會著重在亞洲，因而將設計暨採購中心設置在臺北，作為橫向協調及依工程需求及進度提供圖說及材料催貨的樞紐。專案督導轄下由各專案經理負責地區工作並互相協調溝通之外，安衛環、品質、合約及專案控制等團隊則直接對專案督導報告並提供策略及協助。如圖5，各地區專案經理皆有獨立之專案團

隊分別負責模組預製及工地現場建造工作，而臺北專案團隊則需克服跨越14小時時差與六個不同地區（臺灣、美國、中國、馬來西亞、印度、墨西哥）的專案團隊作為橫向溝通之橋梁來協調圖料需求資源調配（如圖6）。

（三）模組案預製時程規劃特性

模組預製與建造圖料需求日（RAS, Required At Site）為專案管理及時程控制的精髓與靈魂，各項圖說及材料的發行日及到料日（ETA, Estimated Time of Arrival）都是為了能夠滿足預製及建造時序所訂定。

尤其模組預製工作特性，鋼構層吊裝（Pancake and Deck Stack Up）通常為要徑作業項目，每一設備都會因為尺寸或重量限制，需要配合上一鋼構層往上堆疊前預先吊裝完成，若有在特殊位置或大重量的設備則無法在上一鋼構層堆疊後由側邊安裝，因此所有後續工項皆需延後導致工期受到影響，所以在時程安排上需針對各類設備重量、尺寸及位置做全面性的評估及查核以確定各材料的優先順序。

如下圖7模組預製與造圖料需求日所示，由模組預製或建造導向所設定的圖料需求日，需與實際設計部門及材料設備供應商所以提交的日期在規劃上達成一致，過程中需經過各團隊無數次的討論最終達成平衡。

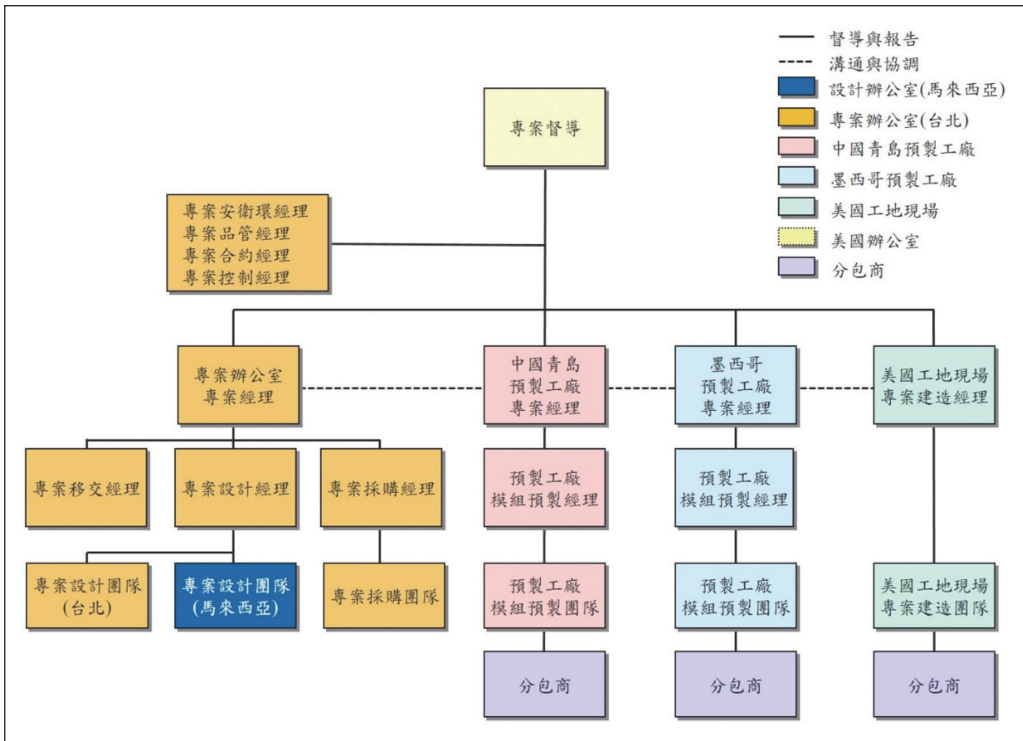


圖 5 模組案專案組織

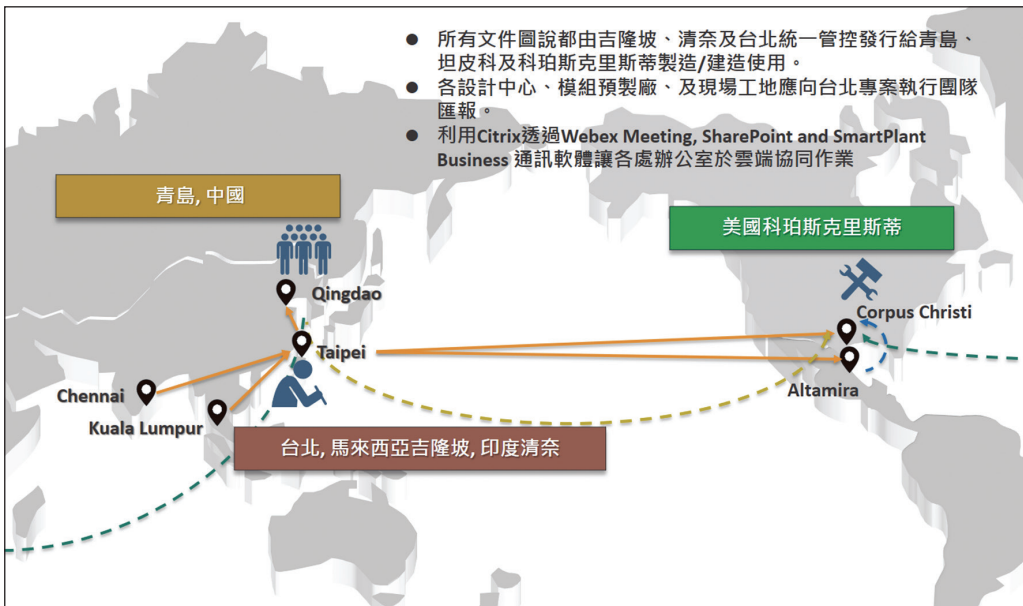


圖 6 各地區協調溝通示意圖

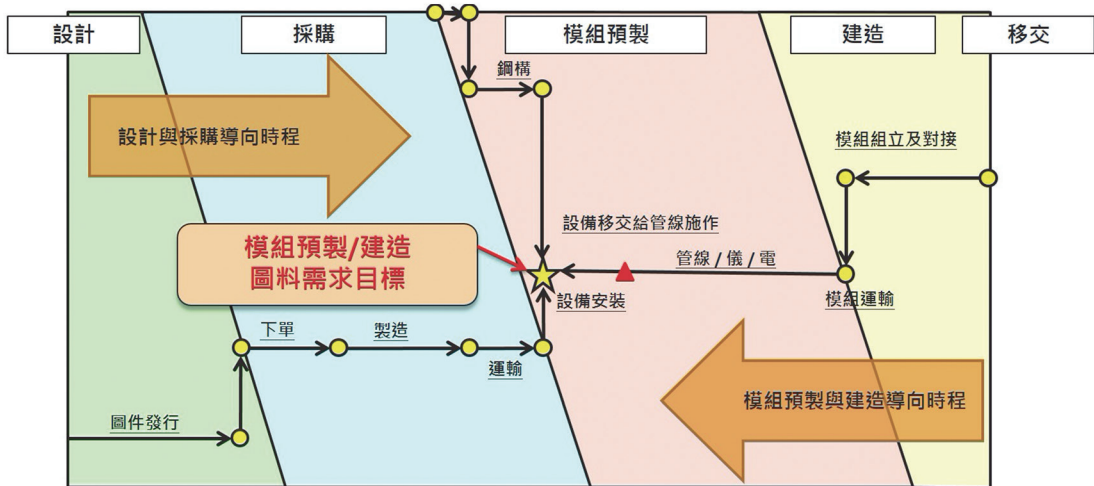


圖 7 模組預製與建造圖料需求日

預製與建造需求日規劃及管控要點如下：

- 確認設備、材料及設計圖說的交期並設定成時程基準線。
- 透過時程管理，嚴格控管各項交期以確保與預製及建造需求沒有衝突。
- 若預估到料日或預估出圖日晚於預製及建造需求日，則需按預製及建造優先順序及與要徑作業之相關程度重新評估調整，新調整的需求日應由專案管理團隊同意。
- 相關時程需回報及更新至三階專案時程以進行後續控制管理。

在模組預製的時程規劃上，第一階時程到第三階時程在不同階段工作的作業規劃上並無與傳統工法有明顯不同。但在第四階工作包規劃時，因上述所提模組預製為鋼構層

吊裝為要徑作業項目，分別在採購及模組預製的控制點則需要控制到單顆設備及鋼構各層，表1為各階時程彙整表，圖8為模組預製第四階工作包需依各顆設備所在位置區分與控制到各鋼構層。

(四) 模組案的採購策略

考量模組案會有多地預製工廠與工地現場同時施作的情況，材料管理 (Material Management) 比傳統建造繁瑣許多，採購項目來源的供應商與其國家的選擇以及海陸空等物流 (Logistics) 的安排均對預製工廠與工地現場之工作面 (Work fronts) 有著至關重要影響。

本案採購策略主要有兩個重點：其一



表 1 各階時程彙整表

規劃階層	設計 (Engineering)	採購 (Procurement)	模組預製 (Fabrication)	建造 (Construction)
第一階 (Level I)	里程碑			
	<ul style="list-style-type: none"> • 3D 設計模型審查 	<ul style="list-style-type: none"> • 長交期設備 • 重要設備 	<ul style="list-style-type: none"> • 鋼構預製開始 (First Cut) • 模組運送離港 (Sail Away) 	<ul style="list-style-type: none"> • 建照 • 機械完工日 (Mechanical Completion)
第二階 (Level II)	主時程：工種			
	<ul style="list-style-type: none"> • 主要鋼構施工圖 • 次要鋼構施工圖 • 管線施工圖 	<ul style="list-style-type: none"> • 靜態設備 • 轉動設備 • 套裝設備 • 儀電設備 • 儀電雜項 	<ul style="list-style-type: none"> • 鋼構預製安裝 • 管線預製安裝 • 儀電預製安裝 	<ul style="list-style-type: none"> • 基礎建造 • 管線預製及安裝 • 模組組立及安裝
第三階 (Level III)	三階工作時程：模組及工地區劃			
	<ul style="list-style-type: none"> • 工種、模組、工地區劃 	<ul style="list-style-type: none"> • 請購單 	<ul style="list-style-type: none"> • 工種、模組 	<ul style="list-style-type: none"> • 工種、工地區劃
第四階 (Level IV)	工作包			
	圖件清單	各單顆設備	鋼構層	建造工作包

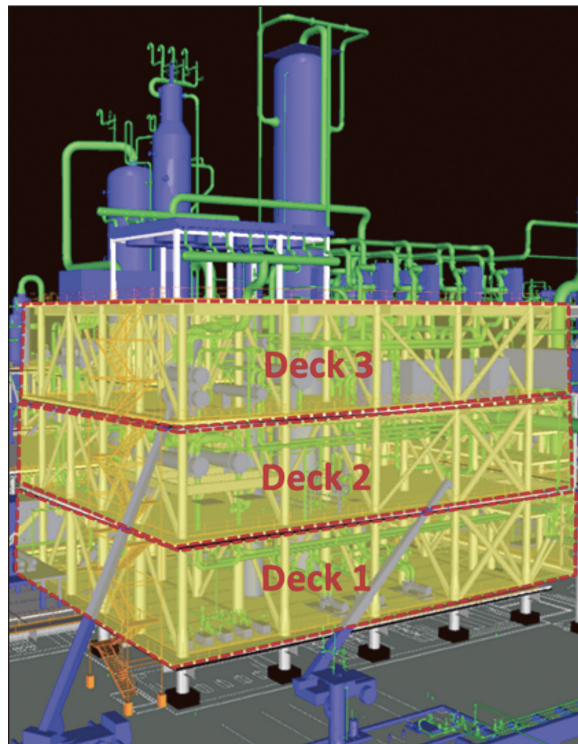


圖 8 第四階工作包：模組各鋼構層



為採用廠商預投標（Pre-Bid）策略；本案於前端設計（FEED）階段時已擬定明確採購策略，尤針對定義為重要設備（Critical Equipment）項目，在專案成立之初即已與多家廠商接觸詢價邀標，透過多次的標前會議，闡明本案在採購項目規格上和時間上的需求，並獲取各國供應商產品規格、數量、交期等資訊，達成合作共識，以加速採購流程如廠商技術文件或合約條文的審核等前期繁瑣作業；此策略讓本案於首三個月即達成數十筆設備下單的目標（多為壓縮機或泵浦類設備），順利提升廠商技術文件提送與審閱效率，並利於推行後續設計與工作之執行。

策略其二為採用大量亞洲區供應商；考量大量模組預製工作會以位在中國模組預製工廠執行為主軸，供應商來源與各類物料調配以中國為中心展開為較佳之作法，是故本案採購選商除了以原業主提供合格廠商清單（AVL, Approved Vendor List）為主體外，也積極地在廣大亞洲商業市場中找尋具有品

質與價格競爭優勢供應鏈資源（如表2），大量採用中國當地或鄰近亞洲國家供應商如臺灣、日本、馬來西亞、印度、泰國與韓國等，可縮短貨物運送的時間，利於預製與建造圖料需求優先順序之規劃；而預製過程中若因材料污損或圖面設計變更而產生物料短缺的臨時狀況，亦可透過鄰近供應商調貨迅速補足因缺料而可能造成工期延宕之影響。

（五）模組案的預製要點

模組工程案為講求效率，其預製與設計會同步進行，預製工廠首要的工作鋼構預製最早可於主結構設計完成後，即可進行施工圖（Shop Drawing）的製作與開始鋼結構預製（First Cut），因此重量管理（Weight Management）為專案重要任務之一。重量控制報告（Weight Control Report）紀錄設計初期至預製完成期間模組重量、尺寸與重心變化資料，供後續海陸運輸安排與現場建造施工依據。重量管理始於設計資料提供，將設計參數輸入至建模軟體，針對鋼結構和管線等

表 2 主要採購項目與來源國家

供應國家	供應採購重點項目
臺灣	碳鋼 / 不鏽鋼板、碳鋼 / 不鏽鋼管、塔槽、各類儀器、電纜、電器設備
日本	壓縮機、熱交換設備
中國	各類管線、接頭、法蘭、壓力槽、電纜、電器設備
馬來西亞	塔槽、電纜、電器設備
印度	泵浦、噪音防治設備
泰國	塔槽、電器設備
韓國	反應器、各類管線、接頭、法蘭、壓力槽、熱交換設備



工項資訊進行建模，隨著專案進行產生之修改可隨時更新，並透過該軟體自動計算更新數據及產出新的重量報告，模組廠便可依此進行預製與工序調整。

為應付龐大預製工作，預製工廠的選擇有許多評估依據。模組預製工廠條件除了要有足夠預製與安裝工作空間外，亦須注重其地理位置、過往工程實績、預製工廠產能、人力資源調配、及其他各類室內與室外附屬設施如噴砂油漆廠（Blasting and Painting）、儲存倉庫（Warehousing and Storage）和泊船碼頭（Quay）等條件；設廠位置反應在與各國供應商協調材料資源調配與各類運輸等之規劃彈性，同時判斷該地區天候是否穩定且較無不穩定因素如颱風、沙塵暴、地震等影響，而該廠人力和設施均與預製工廠之產能與產製穩定度有著直接關係。

除此之外，本案的預製工廠分別位於青島及墨西哥的自由貿易區（Free Trade Zone）或免稅區（Tax-free Zone），如此進出口之材料設備皆不須被課進出口關稅，亦是選定預製工廠的考量之一。

（六）建造現場的作業安排

模組化作業其一亮點在於最小化現場作業與人力配置需求，並降低因重件設備或吊車行經路線對地下作業施工產生之影

響。本案的建造重點項目為非模組工項如基樁、基礎和地下管線、儲存槽、廢氣燃燒塔、變電站、模組陸運路線特殊鋪面（Enviro-Mat）、以及模組送抵現場後續安裝（Erection）、回裝（Reinstatement）與模組對接（Hook-up）。

本案與美國當地知名建造包商合作，其在當地擁有數十年建造經驗與豐富工程實績，重視工地安全並致力宣傳與實踐無工安事件（No Hurts）理念，並不定期於鄰近學校舉辦各種訓練課程以培養與招攬各領域專業人才。建造包商在設計初期階段積極的參與，使其即便在建造工作尚未開始時，於設計採購乃至模組預製階段確實掌握專案發展走向，進而針對建造可行性（Constructability）計劃做出適時反應與調整，反之亦可據建造需求與限制即早反饋予專案，將介面影響降至最低。

本案業主對於人員安全意識與工地安全宣導亦秉持著高度重視，專案領導階層成員與業主均於專案期間赴美接受領導人才受訓（Leadership Training），所有參與工地現場作業人員，包括業主、各建造包商、專案設計採購管理成員，須進行一系列理論與實務並行的紮實工安訓練講習（Safety Orientation），講習內容除了針對一般工安意識與習慣養成宣導外，更包含分組情境討論、工地現場危險物與不當行為辨識、以及實體施工機具操作，可見業主對此之重視程度。



此外，隨著近年來環境保護與社區深耕意識的提升，本案業主在這部分亦不遺餘力推廣，投入相當心血營造社區友善形象，如社區公益活動與永續環境宣導等，舉凡當地高速公路大型看板與棒球場內設施均可見本案標誌與標語，其努力可見一斑。

四、總結

模組化工程技術的應用無論是在建造環

境安全的提升、工程品質的維護、各項人力與材料成本的節省、設計採購的規劃與專案管理等層面，均比起傳統建造有過而無不及之優勢。此次以美國新建石化廠於中國預製的大型模組案為實際案例討論，從策略規劃、專案組織、模組預製到美國現場建造工作相較於傳統工程不同之處整理。綜合各項要點包括設計安全應用、減少現場工時、節省成本、及確保時程等四個面向的各種優勢整合於表3作為日後類似工程之參考。

表 3 模組化工程案優勢整合表

#	項目	效益			
		設計安全應用	減少現場工時	節省成本	確保時程
1	大量採用中國及周邊新興國家材料及設備供應商		X	X	X
2	全面展開各模組同時進行平行預製工作		X	X	X
3	於地面預組立塔槽內構件再進行吊裝		X	X	X
4	引進具模組預製經驗之工人			X	X
5	在模組預製工廠最大化製程系統預試車		X		X
6	單一垂直整合模組預製承包商				X
7	最大化各工項預製 / 預組立	X	X	X	X
8	集中重件吊裝優化吊車時程 (e.g. 3,200 噸吊車)			X	X
9	利用設計及工序調整減少施工架使用	X	X	X	X



泰國 Nong Fab 液化天然氣接收站 統包工程專案

中鼎工程股份有限公司專案經理 / 趙汝康
中鼎工程股份有限公司專案工程師 / 葉佳典

關鍵字：液化天然氣（LNG）接收站、低溫儲槽、氣化設施、冷能利用

摘要

「Nong Fab液化天然氣接收站」係為泰國能源龍頭PTT集團旗下PTTLNG Company Limited（PTTLNG）投資建造的第二座液化天然氣接收站工程，工作內容包括近6公里長棧橋卸收碼頭設施、兩座250,000立方公尺液化天然氣儲槽、年供應750萬噸LNG的氣化設施及智能化行政大樓建築等。本案於2018年簽約，由CTCI中鼎集團與歐洲統包商SAIPEM聯合承攬設計、採購、建造及試車工作，預計2022年完成試車商轉，屆時每年將可提供750萬噸的液化天然氣處理量，穩定泰國的能源供應。

一、前言

隨著世界致力於減少碳排放和減緩全球暖

化，亞洲國家已經對減少碳做出了回應，並朝著淨零排放邁進。以液化天然氣發電取代傳統燃煤發電，是許多國家積極推動能源轉型的重要政策，不論公部門或私人企業紛紛投資液化天然氣接收站的興建，以滿足日益成長的供氣需求。根據國際能源總署（IEA）的資料，全球擁有液化天然氣接收站的國家從2000年的9個增加至2020年的42個[1]，其中增加的部份主要集中在亞洲各國，包含日本、中國、南韓、印度、臺灣及泰國等。越南，印尼、菲律賓和孟加拉等其他國家也致力於實現LNG接收站的發展計劃。亞洲地區主要LNG接收站氣化能力及年總氣化量如圖1所示[2]。

泰國於2019年進口LNG約5百萬噸，主要來自於卡達、馬來西亞、澳洲等國家。根據泰國能源部2018-2037電力發展計畫（Power Development Plan, PDP），預計在2037年

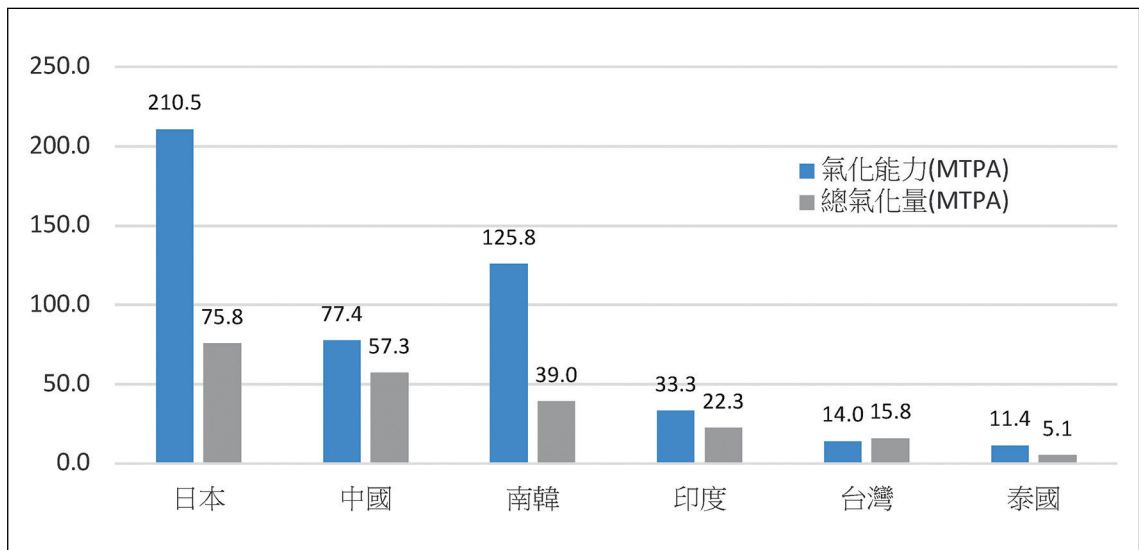


圖 1 2019 年亞洲地區主要 LNG 接收站氣化能力及年總氣化量（本報告整理）

以前將天然氣進口量提升至30 MTPA，並成為東協國家LNG的交易中心[3]。為了有效提升市場競爭力，泰國能源監管委員會（Energy Regulatory Commission, ERC）自2019年起陸續開放更多國營/私營企業進口LNG，目前已獲得運輸許可（shipping license）的企業包括：(1) PTT Pcl., (2) Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT), (3) Gulf Energy Development (Gulf), (4) Hin Kong Power Holding Limited, (5) B.Grimm Power，其他業者包含 Electricity Generating (Egco) Group, Siam Gas & Petrochemical (SGP), PTT Global LNG Pcl. (PTTGL) 及 Global Power Synergy Pcl. (GPSC) 也已提出申請並等待審核中 [4]，許可證核發年份及許可進口量詳見

表1。

泰國能源龍頭PTT集團希望成為全球液化天然氣投資組合的參與者並建立液化天然氣價值鏈，由集團子公司PTT Exploration and Production Plc. (PTTEP) 負責開採及收購優質資產，其他集團子公司如PTTLNG Co., Ltd. (PTTLNG) 負責興建及營運LNG進口接收站、PTT Natural Gas Distribution Co., Ltd. (PTTNGD) 負責燃氣輸送管線至產業終端用戶。此外，為了實現泰國成為「區域性液化天然氣交易中心（regional LNG hub）」的目標，PTT集團已於2017年成立PTT Global LNG Pcl. (PTTGL)，待泰國能源監管委員會（ERC）核發新的LNG運輸許可（shipping license）後，負責LNG進口及銷售[5]。



表 1 泰國取得 LNG 進口許可證企業及最大進口量 (本報告整理)

企業名稱	許可證核發年份	許可進口量 (TPA)
PTT Pcl.	2011	11,400,000
Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)	2019	1,500,000
B. Grimm Power	2020	650,000
Gulf Energy Development (Gulf)	2020	300,000
Hin Kong Power Holding Ltd.	2020	1,400,000
Electricity Generating (Egco) Group	(申請中)	250,000
Siam Gas & Petrochemical (SGP)	(申請中)	(待定)
PTT Global LNG Pcl. (PTTGL)	(申請中)	(待定)
Global Power Synergy Pcl. (GPSC)	(申請中)	(待定)

二、泰國 Nong Fab 液化天然氣接收站概述

「Nong Fab 液化天然氣接收站」位於泰國羅勇省 (Rayong)，距離 Map Ta Phut 工業區大約五公里，總占陸地面積超過 30 公頃，是泰國第二座液化天然氣接收站。第一期工程包括興建兩座 250,000 立方公尺液化天然氣儲槽、年供應 750 萬噸的氣化設施、近 6 公里長棧橋卸收碼頭設施，以及生態友善的智能化行政大樓等。

液化天然氣接收站的作業程序可分為四個主要階段：(1) 用液化天然氣運輸船進口國外 LNG，靠泊於卸料碼頭；(2) 用船艙內 LNG 泵透過 LNG 卸料臂將液化天然氣輸送至兩座 250,000 立方公尺架高式地上 LNG 儲槽儲存；(3) 液化天然氣再氣化，將全廠 Boil Off Gas (BOG) 回收後經由 BOG 壓縮機先送至再冷凝器 (Re-condenser)，並與來自 LNG 儲槽內低壓輸出泵輸送的 LNG 進行熱交換，將 BOG

回收氣體冷凝為液體，再與儲槽輸出 LNG 混和後，利用高壓輸出泵輸送至 ORV 氣化器 (Open Rack Vaporizers)，利用海水澆淋進行熱交換，使 LNG 升溫氣化；(4) 氣化後的天然氣經過計量站，再利用陸上管線輸送至燃氣管網。

本案自 2018 年開始執行設計、採購、建造及試車工作，預計 2022 年完成試車商轉，屆時每年將可提供 750 萬噸的液化天然氣處理量，穩定泰國的能源供應。第二期的擴建工作依市場需求，可再擴建 750 萬噸 LNG 的氣化設施以及兩座 250,000 立方公尺液化天然氣儲槽。

三、海事工程設施簡介

(一) 卸收碼頭及棧橋

液化天然氣接收站卸收碼頭是從陸上岸邊向水上投射棧道的建築。它通常由樁、棧

橋、管道、通道，卸料/回料臂以及靠泊船設施（breasting/mooring dolphins）組成。基於經濟性及消防安全考量，液化天然氣接收站碼頭一般採用繫靠船台式碼頭結構，利用棧橋通道與後線土地岸邊連接。棧橋的長度會根據當地條件，例如港區規劃、海床深度、環保要求等，可能從幾十米到幾公里不等。

LNG船型與LNG接收站裝卸、儲存、整體營運及碼頭繫靠設施之規劃息息相關，故LNG接收站初期可行性研究階段，即應對LNG供氣市場上既有船型及各國大造船廠計畫生產船型進行調查，表2為常見LNG運輸船型及規格。LNG碼頭則應符合各種可能採用船型之繫靠及卸料需求，以利接收站之長期營運[6]。

「Nong Fab液化天然氣接收站」的船席及卸料臂設計可提供目前市場上大型的液化天然氣載運船停靠，船型包括Prismatic LNG carrier（170,000立方公尺），以及Q-Max

LNG carrier（Max代表能停靠在卡達液化天然氣出口碼頭的最大尺寸），其規格為：345公尺長，53.8公尺寬，34.7公尺高，吃水深度大約為12公尺，液化天然氣的裝載容量為266,000立方公尺（大約為161,994,000立方公尺的天然氣），Q-Max最大的特點是船上配備了再液化系統（Re-liquefaction system），能夠將蒸發氣（BOG）液化後再重新回收到儲存槽中。總體而言，Q-Max比傳統液化天然氣運輸船的能源需求和碳排放量估計都要少40%以上，它是世界上最大的液化天然氣運輸船，比傳統的運輸船運量平均要大上2倍（第一艘Q-Max運輸船Mozah於2008年下水服役，液化天然氣的裝載量為266,000立方公尺，是第一艘商用液化天然氣運輸船甲烷公主號Methane Princess的9.7倍）[8]。

基於泰國灣（Gulf of Thailand）的海岸地形及海床深度，本案在海事工程的部分配合LNG運輸船船型需求，將棧橋（trestle）及碼頭（jetty）往外延伸近6公里（如圖2）。配

表 2 常見 LNG 船型 [7]

LNG 運輸船等級 (classes)	尺寸 (m)	運輸量 (m ³)
Small	B: up to 40 L: up to 250	Up to 90,000
Small Conventional	B: 41-49 L: 270-298	120,000 – 149,999
Large Conventional	B: 43-46 L: 285-295	150,000 – 180,000
Q-Flex	B: approx. 50 L: approx. 315	200,000 – 220,000
Q-Max	B: 53-55 L: approx. 345	More than 260,000

註：B 為運輸船寬度，L 為運輸船長度。



合長跨距的棧橋設計，施工上採用定製化的懸臂橋設備，將工作前線從已完成的棧橋向前推進，可避免水深及波浪等因素對施工的影響。此外，由於泰國的環保意識很高，業主特別要求控制排放海水的餘氯含量，以降低對近海漁業的衝擊。

中型及大型船舶常用的卸料臂主要有兩種形式，分別為轉動配重卸料臂（Rotating Counterweight Marine Arm, RCMA）（如圖3）和雙重配重卸料臂（Double Counterweight Marine Arm, DCMA）（如圖4）。RCMA係利用配重來同時控制卸料臂在舷內及舷外的平



圖 2 棧橋施工示意圖

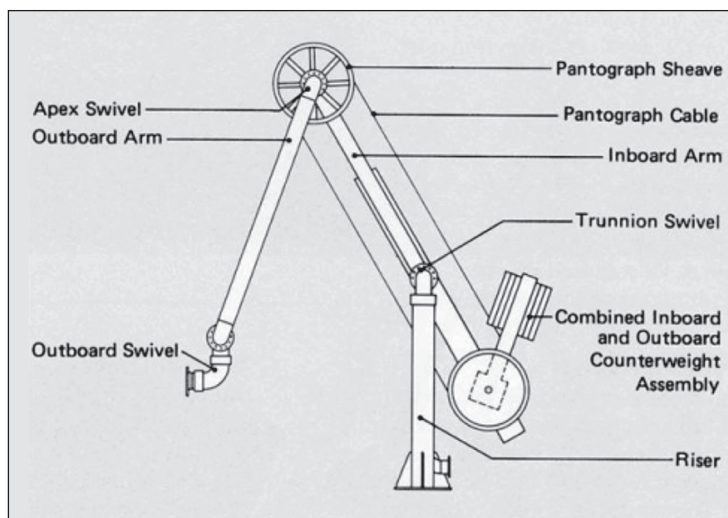


圖 3 轉動配重卸料臂（RCMA）構造示意圖

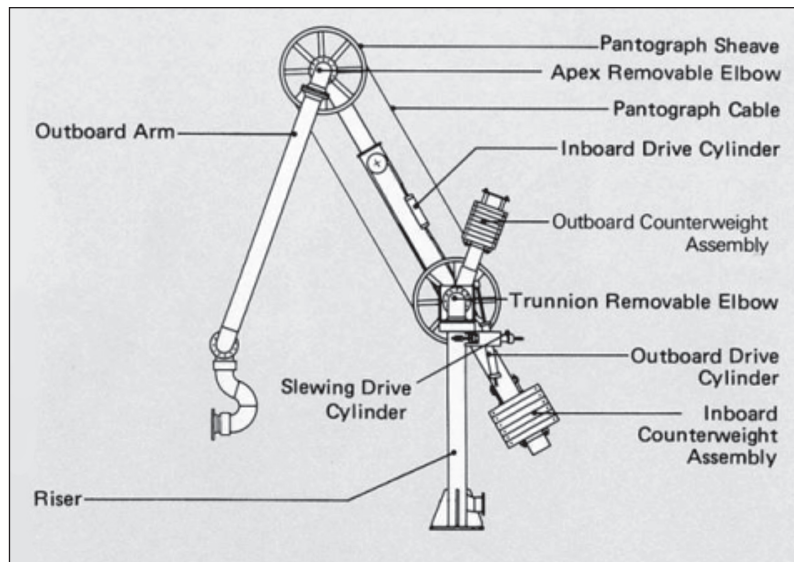


圖4 雙重配重卸料臂 (DCMA) 構造示意圖

衡，與DCMA相比，設備較為輕便，但卸料臂後方動作範圍大，空間規劃上需要注意。DCMA則是利用兩個獨立配重和驅動鋼纜轉盤的結構，可以在任何操作位置上保持平衡，方便操作與控制，設備與RCMA比較則相對複雜。本案裝卸平台裝設多組RCMA型式卸料臂，包含LNG卸料臂、蒸發氣回氣臂及氣/液兩用卸料臂，可提供大型液化天然氣載運船卸載。

除了碼頭及卸料臂，棧橋上部結構 (top-side) 的大管徑 (42") 管線工程也是具有挑戰的工作，包含設計階段必須進行管線應力分析及管線湧浪分析 (surge analysis) 並考慮緊急排淨LNG時所需的管線坡度 (slope)，建造階段在長棧橋上的管線安

裝、試壓 (pressure test)、保溫工程與清管 (flushing)，以及試車階段LNG管線在輸送LNG之前的預冷 (pre-cooling) 及冷卻 (cooling down) 工作等。

(二) 海水進 / 出水口管道

對於使用海水進行氣化 (ORV設施) 的液化天然氣接收站來說，海水進出水口 (seawater inlet/outfall) 也是海事工程的重要工作之一。值得注意的是，本案中海水進 / 出水口管道 (單根長度超過1公里、內徑大於3公尺)，因為環保要求都必須採用潛盾施工，雖然可以降低對環境的衝擊，但成本和時程風險上比傳統明挖式施工要來的高很多，施工機具也相對比較複雜。由於海水對



金屬具腐蝕性，海水進/出水口管線採用混凝土材質。

採用300系列不銹鋼板，內外槽間設置絕熱材料。

四、儲槽工程設施簡介

LNG儲槽是一種特殊類型的儲槽，用於在-162°C (-260°F)的極低溫度下存儲LNG。近年來，許多LNG接收站都採用地上型全容式密閉儲槽，由9%鎳鋼板內槽和預力混凝土外槽組成。地上型儲槽槽體之主要結構在地表面上建造，主要分為(1)雙重金屬槽槽體、(2)預力混凝土(PC wall)外槽及金屬內槽槽體及(3)薄膜槽體等三大類。雙重金屬槽槽體的內槽採用9%鎳鋼板，外槽採用碳鋼，內槽與外槽間設置絕熱材料，底部基礎版下以基樁支撐，四周圍設防溢堤。預力混凝土外槽金屬內槽槽體的內槽與雙重金屬槽槽體相同，外槽為預力混凝土牆與底板結合預力混凝土槽體之防溢堤。內外槽環形夾層內設置LNG低溫偵測器。由於LNG儲槽高度，PC外槽施作多採滑模(slip form)或跳模(jump form)等系統模板方式完成。薄膜槽體內槽

LNG儲槽內頂有懸吊板(suspended deck)及拱型頂(double dome)兩大類型。懸吊板類似輕鋼架天花板構造，輕柱固定於屋頂，橫樑加上平板，形成水平懸吊板，懸吊板未與金屬內槽側壁緊密固定。拱型頂類似半球或半橢圓形，與側壁連接處設置膝板(knuckle plate)，避免直線和曲線焊接處之應力集中。儲槽內頂型式比較如表3所示。臺灣早期發展LNG接收站是參考日本的設計，因此儲槽設計皆為拱型頂。Nong Fab液化天然氣接收站則是採用懸吊板式的設計。值得注意的是，由於泰國羅勇省(Rayong)屬於地震規模相對非常低的區域，因此在容許液位高度的計算上，與拱型頂的差別較小。

LNG儲槽的興建是整個接收站耗時久且造價高的分項工程之一，而昇頂工程又是儲槽裝建的成敗關鍵所在。昇頂吹浮的過程是一種不可逆性程序，重新昇頂可能造成密封

表 3 儲槽內頂型式比較

內頂型式	懸吊板	拱型頂
內頂材質	鋁	9% 鎳鋼
結構型式	外懸吊支撐	自撐式
液位高度	較低	較高
耐震類型	加速型	週期型
建造成本	較低	較高

材金屬網折損破裂氣壓外洩，導致儲槽屋頂不平衡而卡在預力混凝土外槽上動彈不得，實務上承包商都會安排預昇頂及正式昇頂兩個步驟；氣象條件也是昇頂吹浮時必須考慮的重要因素，下雨及強風時不可施工。

本工程採用吹浮工法（air raising）進行LNG儲槽的升頂，係以圓弧形槽頂及預力混凝土外牆所構成的封閉空間，將空氣由槽底注入後在槽頂內形成額外的空氣壓力，利用槽頂內外的氣壓差將其由槽底升起至設計高度。過程中，需嚴格控制槽頂之位置及斜度的容忍誤差（僅允許數公分），以避免槽頂結構與外牆接觸碰撞，極具挑戰性。本專案已分別於2021年初成功執行兩座容量皆為250,000立方公尺LNG儲槽升頂工作（如圖5

所示），完成本案LNG儲槽建造工作的重大里程碑。

五、氣化工程設施簡介

常見的LNG氣化設備有開架式氣化器（Open Rack Vaporizer, ORV）、殼管式氣化器（Shell & Tube Vaporizer, STV）、沉燃式氣化器（Submerged Combustion Vaporizer, SCV）、中間媒體式氣化器（Intermediate Fluid Vaporizer, IFV）等不同的形式，相關比較詳見表4。氣化器的選擇會依專案特性而有所不同，主要考量包括廠區條件、正常及調峰供氣要求、當地氣候、大氣溫度、海水溫度及潔淨度、能源效率、維修需求及成本等。考慮操作及維修成本，海水潔淨度高



圖 5 儲槽升頂施工照片



表 4 LNG 氣化器比較表 (本報告整理)

項目	開架式氣化器 (ORV)	中間媒體式氣化器 (IFV)	沉燃式氣化器 (SCV)
熱源	海水、河水、溫排水等		燃料氣
使用方式	基載	基載	尖峰支援
流量	中至大	中至大	小至中
特性	換熱面板內側為 LNG；外側為海水	LNG 利用中間媒體氣化	壓差高於其他型式氣化器
操作	簡易 LNG 流量受天然氣 需求量控制	LNG 流量受天然氣 需求量控制 大修時，需先將 中間媒體介質移出	LNG 流量及燃料氣量 受天然氣需求量控制
維護	清潔海水分配系統 換熱片面板塗料	清潔殼內側	鼓風機及燃料系統
建置成本	高	高	低
營運成本	低	低	高

表 5 Nong Fab 液化天然氣接收站主要氣化器及相關設施一覽表

設施名稱	型式
高壓泵 (HP Pump)	離心式
BOG 壓縮機 (BOG Compressor)	往復式
BOG 再冷凝器 (BOG Re-condenser)	垂直式
開架式氣化器 (ORV)	開架式
中間媒體式氣化器 (IFV)	殼管式
廠內發電系統 (In-Plant Power Generation)	燃氣渦輪式
送氣壓縮機 (Send-out Gas Compressor)	往復式
海水供應系統 (Seawater Supply System)	-
地面燃燒塔 (Ground Flare)	直立式

的地區一般採用ORV於基載 (base load) 運轉。SCV適用於尖峰供氣補充及主要氣化器停車維修時備用。

基於上述考量，本案採用開架式氣化器 (ORV) 搭配中間媒體式氣化器 (IFV)，以

節省能源並最大程度地減少溫室氣體排放，海水泵輸送至ORV的海水管則選用HDPE或FRP材質。主要氣化器及相關設施詳見表5。此外，本案由於當地居民團體的要求，採用地面燃燒塔 (ground flare) 設計以降低對環境的影響。

管線保冷效果的好壞不僅關係到LNG的輸送效率，而且對裝置的安全生產也有至關重要的影響。在LNG工程建設中，超低溫管線常用的保冷材料主要有聚氨酯硬泡（PUR/PIR）、發泡玻璃、橡塑、改性酚醛泡沫等，這些材料相較於早期使用的珍珠岩材料，無論從性能還是施工方面看，都有了很大的改善。近年來，氣凝膠型保溫材料的出現，提供了一個降低能耗、易於施工，而且更符合環保要求的新選擇。傳統管線保溫與氣膠體管線保溫比較詳見表6。

本案管線採用氣凝膠型保溫材料，常溫熱導僅 $0.016\text{W/m}\cdot\text{k}$ ，超低溫時熱導率 $<0.01\text{W/m}\cdot\text{k}$ ，所需保冷層厚度大大減小，有效降低冷損失， -200°C 仍可長期保持保冷性能及良好柔性而不開裂，奈米級特殊結構可抵抗管道伸縮產生的內應力，無需設置伸縮縫，疏水性能好，可有效抑制水滲入金屬

管線表面，防止管線腐蝕，防止保溫材料因滲水而導致保溫效果下降。目前的缺點是價格極其昂貴，且該類型的保冷支撐供應商太少，成本及交期掌控極具挑戰。

六、建築工程簡介

Nong Fab液化天然氣接收站有許多建築物（包含行政、維修、變電站、控制室及警衛室等），其中行政區域由行政大樓，兩棟輔助建築物和大型景觀區組成（詳見表7），設有教育區、展覽廳、廠內發電設施以及液化天然氣冷能利用系統，利用氯化過程中所產生的冷能產製冷風，再吹進種植冬季花朵的氣候圓頂維持其所需的生態環境。特別的是，PTTLNG採用不同的策略，將行政大樓從封閉的廠區設施轉變為公共教育中心，開放市民、學生和機關團體參訪，並提供電動車巡視廠區內的綠建築、屋頂太陽能發電、

表 6 傳統管線保溫與氣膠體管線保溫比較表（本報告整理）

	氣膠體	PUR/PIR	發泡玻璃類
導熱係數（W/mk）	0.01-0.02	0.03-0.04	0.05-0.08
重量（kg/m ³ ）	190	50-180	150-240
保冷厚度	約 1/2	1	2
吸水率	0.36	1.5	2
防水性	整體防水	需外加防水措施	需外加防水措施
可施工性	柔性好易施工	普通	差（損耗高）
超低溫穩定性	優	差	一般
預計壽命	3-5 年	半年到 1 年	2 年
重複利用性	可重複利用	拆卸易碎	拆卸易碎
價格	4 ~ 5	1	1.5 ~ 2



表 7 Nong Fab 液化天然氣接收站主要建築工程一覽表 (本報告整理)

建築物名稱	主要材質
行政大樓 (Administration Building) —辦公室 (Office) —中央控制室 (CCR) —餐廳 (Canteen) —會議室 (Meeting rooms) —大廳 (Hall) —中庭 (Atrium)	複合式材質
行政大樓附屬建築 (Supporting Building) —消防站 (Fire station) —實驗室 (Lab) —維修倉庫 (Maintenance warehouse)	鋼筋混凝土
儀表 / 變電站建築 (Instrument/Substation Building)	鋼筋混凝土
柴油引擎室 (Diesel Engine House)	鋼筋混凝土
碼頭控制建築 (Jetty Control Building)	鋼筋混凝土
碼頭警衛室 (Jetty Guard House)	鋼筋混凝土

風力發電等設施，以教育大眾各種能源的型式、生產過程以及液化天然氣這類潔淨能源的益處。

七、冷能利用

在液化天然氣再氣化過程中，會釋放出大量的冷能。在某種程度上，進口液化天然氣的同時也取得大量的冷能。依據液化天然氣接收站本身與鄰近區域之產業發展環境及條件，可將冷能利用分為自主應用與整合應用兩大類別，自主應用項目包含BOG再液化、冷能發電、冰水空調3項，整合應用項目則包含空氣分離、低溫物流、製程、鍋爐與燃氣進氣冷卻、海水淡化、低溫養殖及低溫遊憩等項目[9]，如圖6所示。

複循環發電系統主要之組成元件可區分為燃氣渦輪機、熱回收鍋爐、蒸汽渦輪機等三大部分，一般單循環系統是以燃氣渦輪機組為主，而複循環則增加熱回收鍋爐系統與蒸汽渦輪機，其目的為回收燃氣渦輪機熱量產生蒸汽，用於推動蒸汽渦輪機，所以複循環效率可達50%以上，單循環渦輪機效率則約35%。在LNG接收站可用LNG冷能降低進氣溫度至15°C以下，則可有較佳的發電效率。為了將冷能做最有效的應用，本案將冷能導入接收站內的建築空調（包括行政大樓、控制室、植栽及溫室、儀表及變電站），以及冷卻廠內發電（In-plant Power Generation）的進氣溫度以提高其運轉效率，未來可能進一步拓展應用範圍，將冷能輸出給鄰近的冷凍倉儲使用。詳細應用範圍詳見表8。

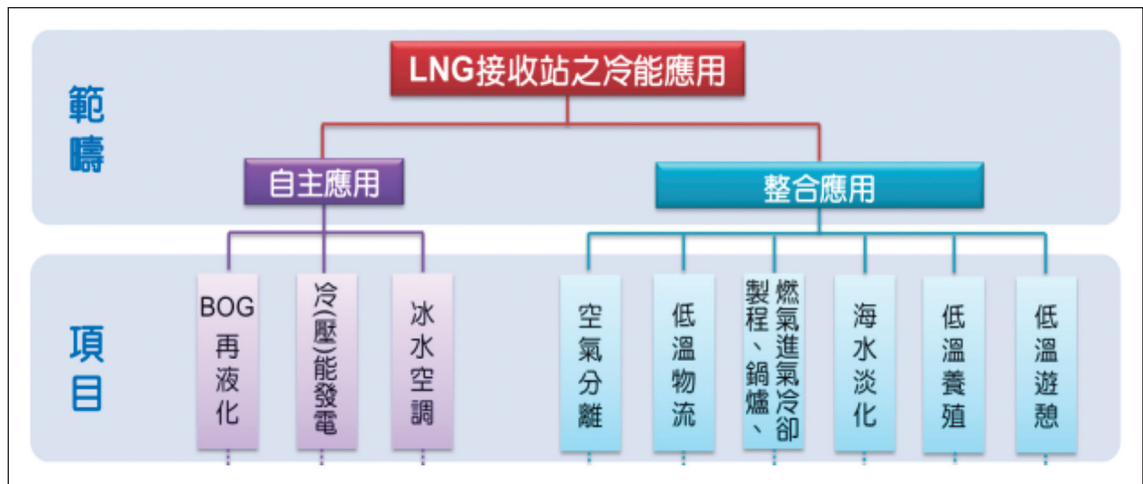


圖 6 常見 LNG 接收站冷能應用範圍 [9]

表 8 Nong Fab 液化天然氣接收站冷能應用範圍 (本報告整理)

應用範圍	自主應用	整合應用
BOG 再液化	○	
行政大樓及附屬建築冰水空調	○	
中央控制室冰水空調	○	
植栽溫室冰水空調	○	
儀表及變電站冰水空調	○	
廠內發電進氣冷卻		○
廠區周邊冷凍倉儲 (規劃中)		○

八、結語

以潔淨的液化天然氣發電取代傳統高污染的燃煤發電，是許多國家積極推動能源轉型的重要政策，從長遠來看，亞洲對液化天然氣需求增長的期望將激勵現有的進口國以及新進國家通過擴建或新建液化天然氣接收站以滿足日益成長的天然氣需求。泰國

「Nong Fab 液化天然氣接收站」是近年來相當具有指標性的國際專案之一，對於承包商來說，不論是液化天然氣儲槽的容量、超長棧橋卸收碼頭、海水進/出水口管道潛盾施工，以及生態友善的行政大樓等設施，都是非常具有挑戰性的工作。儘管液化天然氣接收站的興建工程不像液化出口站那樣複雜，但如何確保接收站建設的安全性，減少施工



活動對環境的影響，獲得環保團體的支持與政府相關單位的許可，透過政府政策和產業參與的綜效來實現冷能利用，向公眾開放設施以獲得對清潔能源政策的支持等，都是業主和承包商在建設液化天然氣接收站時必須妥善處理的重要課題。

參考文獻

1. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), Asia's record gas prices underline the need to make its markets more resilient, 2021.
2. International Gas Union (IGU), 2020 World LNG Report, P.80, 2020.
3. Executive Summary, Thailand-Oil & Gas, Energy Resource Guide, International Trade Administration (ITA), 2021.
4. Egco applies for LNG shipping licence, 2020/11/30, Bangkok Post.
5. PTT eyeing additional licence, 2021/3/8, Bangkok Post
6. 第 27 屆海洋工程研討會論文集，天然氣接收站專用碼頭工程特性之探討，94 年。
7. MAN Diesel & Turbo, Propulsion Trends in LNG Carriers, P.8, 2010.
8. 瓦斯季刊 112 期，淺談天然液化氣船，p.49，104 年 7 月。
9. 財團法人中技社專題報告，提升臺灣液化天然氣冷能利用之研析，p.25，105 年。

臭氧 (O₃) 污染改善之挑戰 與空氣品質再升級

國立雲林科技大學 環境與安全衛生工程系特聘教授兼副校長 / 張良輝

國立雲林科技大學 環境與安全衛生工程系助理研究員 / 陳杜甫

國立雲林科技大學 環境與安全衛生工程系博士候選人 / 蔡長佑

關鍵字：區域性來源、跨區域傳輸、臭氧前驅物、改善管制方向

摘要

相對於PM_{2.5}年平均濃度的逐年改善，臺灣每日最大8小時臭氧 (DM8O₃) 年平均濃度卻沒有改善，某些地區甚至略有惡化。這些現象顯示臭氧 (O₃) 污染問題的改善已是臺灣面臨的一個挑戰，也是臺灣空氣品質要再升級必須要解決的課題。

整體而言，臺灣人為源排放的減量對臺灣臭氧污染問題的改善而言，工業、交通及逸散等三類污染源都相當重要，對DM8O₃年平均濃度相對影響比例都在25%以上，尤其是逸散源可達32%；然而，由於各類排放源排放地點、高度、及污染物種類等排放條件之差異，隨著DM8O₃污染程度的上升，臺灣

交通源的相對影響比例明顯增加，因此在嚴重DM8O₃污染事件時，交通源管制相對於逸散源及工業源更為重要。

臭氧 (O₃) 污染改善需經由氮氧化物 (NO_x) 與揮發性有機物 (VOCs) 二類前驅物減量著手。整體而言，臺灣O₃污染初期應以VOC減量控制為主，以地區來看，北部空品區O₃污染明顯為VOCs控制，中部及雲嘉南空品區不論是VOCs或NO_x減量均可改善O₃污染，但初期仍以VOCs減量效益較佳，高屏空品區O₃污染初期為VOC控制，但初期後以NO_x減量效益略佳。由於不同VOCs成分對於O₃生成具有不同的光化反應特性，因此推動VOCs排放減量，若能考慮不同污染源排放VOCs成分之O₃生成潛勢，對於大氣中O₃污染



的改善應會有事半功倍的效果。

O₃為完全衍生汙染物，在臺灣島內跨空品區傳輸之情形相當顯著，透過空氣汙染防治法好鄰居條款推動跨縣市合作共同減量會使O₃汙染改善效果更為有效。另外，由於境外長程傳輸對臺灣DM8O₃的影響相當重要，若能透過各種途徑使境外傳輸影響減少，臺灣達成DM8O₃空氣品質標準之排放減量壓力可以相對減輕。綜合而言，改善臺灣DM8O₃汙染是一個兼具地方性及區域性之議題，需要大家一起共同努力。

後，在各級政府與民眾對於PM_{2.5}汙染問題的高度重視與共同努力推動各項汙染管制與排放減量下，PM_{2.5}空氣品質已明顯改善，全臺灣環保署非交通測站（共67站）之PM_{2.5}年平均濃度從2015年的22 μg/m³逐年下降到2020年的15 μg/m³。然而，在大眾目光集中於PM_{2.5}的同時，另一個重要的空氣品質指標汙染物臭氧（O₃）汙染卻相對沒有明顯改善，全臺灣環保署非交通測站之每日最大8小時臭氧（Daily Maximum of 8-hour average Ozone, DM8O₃）年平均濃度從2015年的46 ppb到了2020年仍然高達46 ppb，如圖1所示。

一、前言

自2012年環保署公布PM_{2.5}空氣品質標準

2019年臺灣空氣品質監測年報指出，2019年空氣品質指標（AQI）不良等級以上（AQI > 100）的比例，每日最大8小時臭氧

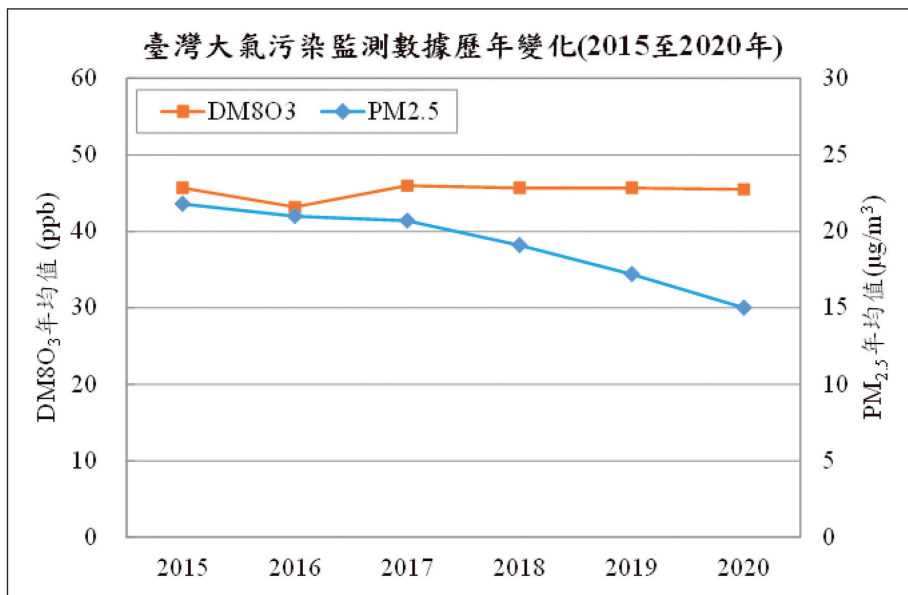


圖 1 全臺灣環保署非交通測站監測數據統計 2015 至 2020 年間每日最大八小時臭氧（DM8O₃）及 PM_{2.5} 年平均濃度之變化趨勢

($DM8O_3$) 由2018年的44%增加到2019年的55%，超越 $PM_{2.5}$ 成為臺灣主要指標污染物（環保署，2019、2020），2020年的比例甚至高達七成。整體而言，過去6年臺灣臭氧（ O_3 ）汙染問題不僅沒有明顯改善，臺灣某些區域的 $DM8O_3$ 年平均濃度甚至明顯惡化。本研究團隊將環保署非交通測站監測數據以克利金（Kriging）空間內插方式得到2015及2020年全臺灣 $DM8O_3$ 年平均濃度之空間分布，如圖2所示。由圖可知相對於2015年，2020年臺灣北部及高屏某些地區的 $DM8O_3$ 甚至略有惡化現象。這些現象顯示臭氧（ O_3 ）汙染問題的改善已是臺灣面臨的一個挑戰，也是臺灣空氣品質要再升級必須要解決的問題。

臭氧（ O_3 ）是由氮氧化物（ NO_x ）與揮發性有機物（VOCs）二類前驅物經由大氣光化學反應所產生。一般而言，若某地控制 NO_x 排放能導致 O_3 濃度有效改善，即稱為 NO_x 控制（ NO_x -limited）地區；反之，則被稱為VOC控制（VOC-limited）地區。然而， O_3 改善與前驅物（ NO_x 及VOCs）控制的敏感性是高度非線性的關係， O_3 改善需要根據該區域的特性進行前驅物排放的削減，不適當的排放削減， O_3 改善效益可能不彰，甚至可能造成 O_3 汙染的惡化。透過監測資料與先進網格空氣品質模式模擬分析臺灣 O_3 汙染事件的成因，能夠找出 O_3 汙染事件，物理、化學機制或是排放來源的影響，為臺灣 O_3 汙染提供改善的方向。而臺灣 O_3 與前驅物（ NO_x 、

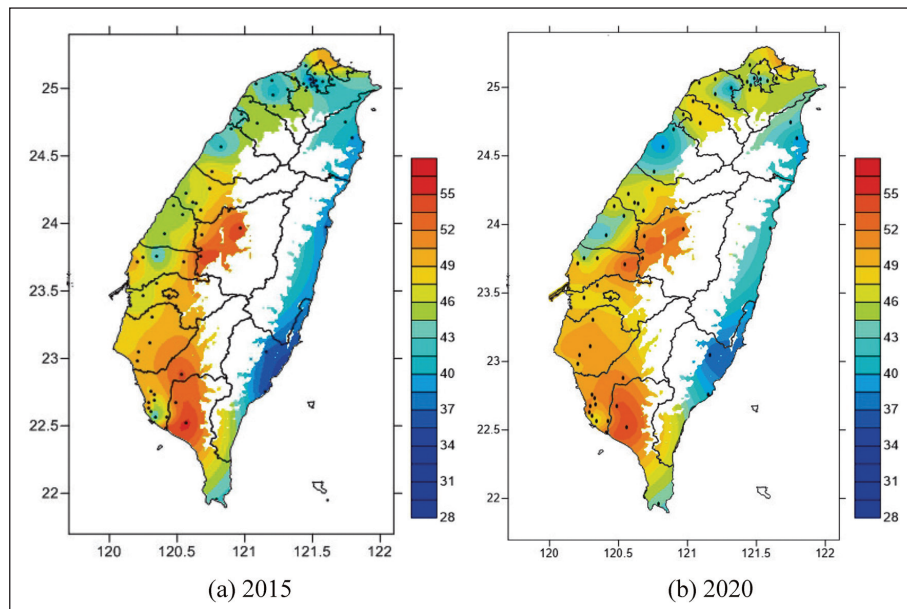


圖2 臺灣環保署非交通測站2015及2020年每日最大八小時臭氧（ $DM8O_3$ ）年平均濃度監測結果之空間分布（單位：ppb）。由於地形高程大於800 m的廣闊山區沒有空氣品質測站不宜進行空間內插，因此以反白呈現。



VOCs)之敏感性分析,有助於判斷各地區臭氧污染的生成是屬於 NO_x 或VOCs控制,對管制策略的規劃,提供正確的減量方向。另外,臺灣 O_3 污染問題受到各種區域來源影響。張等(2018)研究結果指出,臺灣臭氧影響來源除了臺灣自身排放外,也會受到境外長程傳輸與東亞背景濃度之影響。因此要改善臺灣 O_3 污染問題,有一些問題必須先行釐清,僅以本文說明臺灣 O_3 污染問題的特徵、大氣中 O_3 污染的區域性來源、臺灣各大類排放源對 O_3 濃度之貢獻、以及 O_3 污染改善之前驅物控制方向。

二、臭氧(O_3)空氣品質之模擬

當大氣中的 NO_2 接受太陽光照射的能量,會使 NO_2 進行一連串的光解反應而生成 O_3 ,而 O_3 也會進一步被 NO 所消耗,形成 NO_x 與 O_3 的循環反應,因此大氣中僅有 NO_x 而沒有VOCs存在時,大氣中的 O_3 將無法累積(Seinfeld, 1986; Bowman et al., 1994)。但是當大氣中有VOCs存在,VOCs會與 NO 進行一連串的轉化反應而將 NO 反應而形成 NO_2 ,減少大氣中的 NO 濃度,進而導致 NO_2 濃度增加,而使 O_3 濃度在大氣中累積。因此大氣中的 O_3 是由VOCs與 NO_x 這二種前驅物經複雜的光化學反應而產生。

由於 NO_x 與VOCs生命期之不同,以及排放特性之差異(一般 NO_x 排放集中於市區與工業區,而VOCs排放除市區與工業區外,郊

區逸散源與生物源也排放相當多的VOCs),控制 O_3 生成之前驅物種類與氣團年齡有關。接近排放源時 O_3 生成多屬VOCs控制(VOC-limited),氣團移至下風處時則 O_3 生成逐漸轉為 NO_x 控制(NO_x -limited)。Milford et al. (1989)模擬洛杉磯 O_3 控制物種(NO_x 或VOCs)之敏感性時,也發現市中心附近為VOC-limited,下風處則逐漸轉為 NO_x -limited。另外,White et al. (1976)也發現電廠所產生的煙流排出後,在近距離將使 O_3 濃度減少,而遠距離下風處的 O_3 濃度則隨之增加。近距離 O_3 濃度減少的原因是由於 NO 的滴定反應($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2$),這種滴定反應會維持多遠與 NO_x 煙流大小、煙流經過地區VOC排放強度、大氣穩定度、及光化反應劇烈程度等因素有關。新鮮煙流對於 O_3 生成呈現VOC-limited特徵,而遠距離下風處則轉為 NO_x -limited特徵。從學理來看,VOCs/ NO_x 的比值愈高則 O_3 生成愈傾向於 NO_x -limited。一般而言, NO_x 生命週期短而VOCs生命週期長,因此VOCs/ NO_x 比值會隨著氣團存在的時間愈久而變大,使得氣團從排放源傳輸至遠距離下風處的過程中, O_3 生成從VOC-limited逐漸轉變為 NO_x -limited。

由於大氣中 O_3 相關光化學反應與傳輸機制相當複雜,為了探討臺灣大氣中 O_3 污染議題,需要一個具有模擬污染物在大氣環境之各種物理程序與化學機制能力,且經過適當驗證後之模擬系統。此系統包括空氣品質模式、氣象場處理模式、排放量處理模式,此

系統也需要臺灣及可能影響臺灣（如中國大陸、日本、韓國等東亞國家）之排放資料。為了使這系統良好運作，更需要經過良好訓練、具有長期模擬經驗之專家。本文所設定四層巢狀網格的模擬範圍如圖3，第一層粗網格涵蓋大東亞地區（81 km × 81 km），第二層（27 km × 27 km）包含中國、臺灣及日韓等東亞國家，第三層（9 km × 9 km）涵蓋臺灣及中國東南地區，最後第四層（3 km × 3 km）範圍為整個臺灣，可進行更細部的模擬。在以社群式空氣品質模式（CMAQ, Community Multi-scale Air Quality modeling system）（Byun and Ching, 1999; Byun and Schere, 2006）進行正式模擬之前，需要準

備空氣品質模式模擬所需要的輸入資料（包含排放量、氣象、初始濃度及邊界條件等資料）。各資料來源的說明如下：(1)氣象場資料：本研究採用WRF（Weather Research and Forecasting Model）所模擬輸出的三維網格氣象資料，並經氣象前處理程序獲得模式所需之氣象參數。(2)臺灣排放量資料：臺灣排放量分為人為源及生物源。人為源排放資料臺灣排放清冊（Taiwan Emission Data System, TEDS），生物源排放量使用臺灣生物源排放量推估模式（Taiwan Emission Inventory Emission System, TBEIS）配合氣象資料進行逐時排放推估（Chang et al., 2009）所獲得。(3)中國以及其它東亞地區排放資料，中國

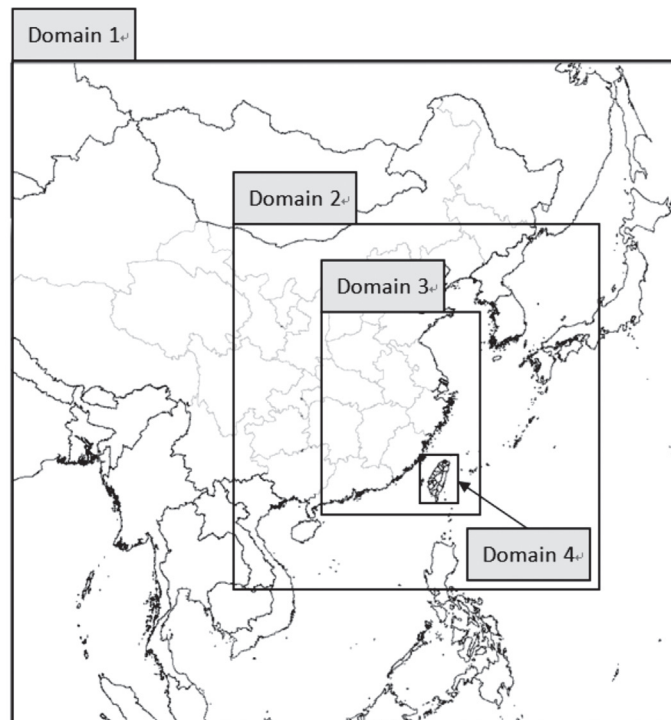


圖3 CMAQ 模式巢狀網格模擬範圍配置示意圖



及其它東亞地區排放資料同樣分成人為及生物源。中國人為源排放量使用MEIC (Multi-resolution Emission Inventory for China) 資料庫 (He, 2012)。其它東亞地區人為源排放量使用MIX資料庫 (Li et al., 2017)。生物源排放量都是使用東亞生物源排放量推估模式 (East Asia Emission Inventory System, EABEIS) (Chen et al., 2020) 配合氣象資料進行逐時排放推估來獲得。(4)初始與邊界條件：第一層的初始與邊界條件來自一組假設或實驗之資料。然而此資料通常與實際不同，因此透過上述巢狀網格技術以及預先模擬 (提前數天模擬) 等方式來降低不正確邊界條件與初始條件之影響。

進行的模擬結果，即為基準案例。基準案例的模擬結果需要與實際觀測結果進行比較，且需符合環保署所公告的空氣品質模式模擬規範，以確認模擬結果具有相當程度的準確性，才可進行後續排放控制案例的模擬。本文使用1、4、7及10月分別代表冬、春、夏及秋季四季進行空氣品質的模擬，並以這四個月的模擬結果代表年平均結果。

基準案例四層巢狀網格模擬範圍DM8O₃年平均濃度模擬結果的空間分布，如圖4所示。第一至第三層的圖顯示出了整個東亞地區的DM8O₃濃度分布趨勢。結果可以看到鄰近於臺灣的中國除了福建、廣東之外，其他地區有較高的DM8O₃濃度 (超過70 ppb)。在臺灣的部分 (第四層)，可以看到臺灣西半部

透過上述的系統，以及所有排放量資料

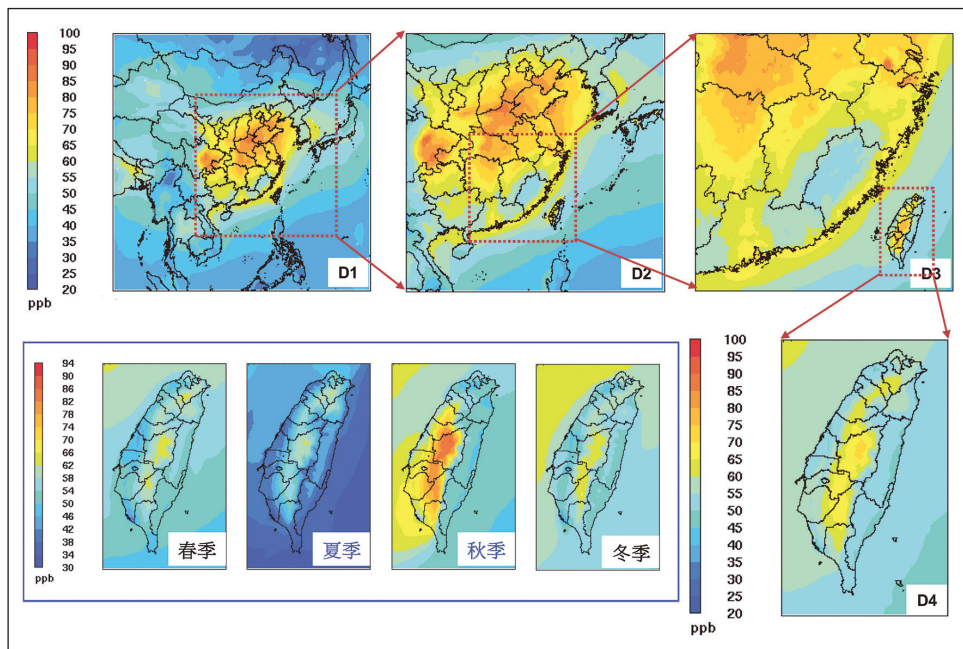


圖 4 基準案例不同模擬範圍每日最大 8 小時臭氧 (DM8O₃) 年平均及各季平均濃度之空間分布

DM8O₃濃度明顯高於東半部，並以中南部地區濃度最高（66-70 ppb），其餘地區濃度介於42-50 ppb。四季部分，臺灣秋季為污染最嚴重而且高濃度的範圍最廣的季節，中南部地區濃度可能超過70 ppb；冬季在南投以南至高雄的山區有較高的濃度（約66 ppb），其餘地區濃度介於50-58 ppb；春季高濃度區域則是位於新北與南投地區（約66 ppb）；夏季臺灣本島整體濃度偏低，僅在北部與西半部山區有較高濃度（50-54 ppb）。整體來說，DM8O₃在臺灣濃度較高的區域位於中部山區、嘉義、臺南、高雄以及屏東的內陸地區為主，並非排放源較多的市中心地區。都會區O₃濃度不高的原因，應為都會區交通車輛排放的NO_x會與O₃產生反應而消耗O₃（臭氧滴定效應）所致。而內陸地區（郊區）O₃濃度相對較高的原因，則是在NO_x傳輸過程會光解成NO與O，而O會再與O₂反應形成O₃，且臺灣山區植物排放相當多生物性VOCs有助於O₃生成，因此會在中部山區出現最高的O₃濃度。

三、區域性來源對臺灣每日最大 8 小時臭氧（DM8O₃）的影響

為了分析臺灣大氣中O₃的區域性來源，除基準案例外，還需要另外模擬三個控制案例。分別為：東亞零排放案例、臺灣零排放案例以及全部零排放案例。透過這三個控制案例與基準案例模擬結果的比較，可以計算推估臺灣境內、境外直接傳輸、境外間接傳輸、及東亞背景臭氧濃度等四類區域性來源

的影響。所謂東亞間接傳輸影響是指：東亞排放的O₃前驅物傳輸至臺灣與臺灣本身排放的O₃前驅物進行光化反應生成O₃，而對臺灣DM8O₃產生之影響。

區域性來源對臺灣DM8O₃年平均濃度影響的空間分布如圖5所示。圖中呈現的年平均濃度是1、4、7及10月四個月的平均，由圖可知：臺灣本身排放源對臺灣DM8O₃影響較高的區域出現在西南部及靠近中央山脈地區，中部山區往南至高屏山區影響可高達24-33 ppb；東亞直接傳輸影響臺灣DM8O₃的分布，由北部及西部平原地區影響濃度之15-18 ppb，逐漸往內陸地區減少；東亞間接傳輸對臺灣DM8O₃影響相對較低；由於平流層O₃入侵對流層的影響，全球各區域都存在相當明顯的O₃背景濃度，東亞地區也不例外，因此東亞背景O₃濃度對臺灣DM8O₃年平均濃度的影響平地區域約達32 ppb，山區略低也達26 ppb。區域性來源對臺灣DM8O₃的影響也有明顯的季節性差異，春、秋與冬季皆是以東亞背景影響最高，而夏季則是臺灣當地影響最大，東亞背景影響其次。區域性來源對臺灣影響也有地區性差異。臺灣排放影響對臺灣的中部、雲嘉南及高屏影響較高。境外傳輸影響對北部與竹苗影響較高。東亞背景影響為各空品區的主要貢獻來源，其中東部地區影響較高。由於東亞背景O₃濃度不是來自人為排放源的影響，因此討論排放管制策略進行O₃污染改善時，通常會不考慮東亞背景這項來源。

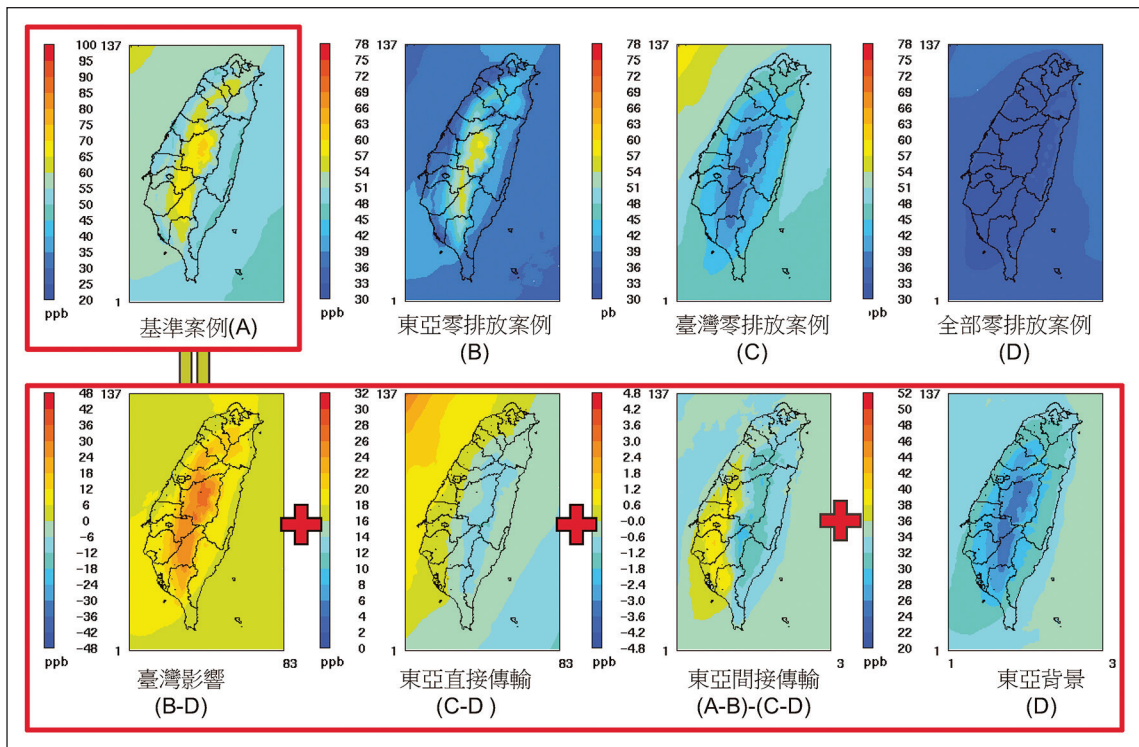


圖 5 區域性來源對臺灣每日最大 8 小時臭氧 (DM8O₃) 年平均濃度影響之空間分布

雖然臺灣自身排放源對臺灣DM8O₃之年平均值的影響並不大，然而分析結果顯示：當DM8O₃濃度為良好的區間內，影響比例變化與年平均類似，但隨著污染程度的上升，臺灣自身排放源對DM8O₃的影響逐漸增加，當空氣品質達到非常不健康的等級時，臺灣自身排放源影響可達62%，高於東亞背景以及境外長程傳輸的影響，成為主要的影響來源。因此從DM8O₃年平均濃度改善來看，雖然臺灣自身排放管制與東亞鄰近排放源減量都很重要；然而在高臭氧污染情形時，則控管臺灣自身的排放將更形重要。

四、區域性來源對不同地理區位臭氧污染影響之差異

受到地形、氣象條件、及排放條件的影響，不同的地理區位受到區域性來源的影響應會有所差異，因此本節以中部空品區為例，選擇三個不同地理區位的測站來分析區域性來源影響的差異情形，線西站代表沿海，忠明站代表都市，而埔里站代表山區，區域性來源對這三個測站DM8O₃逐日影響的時間序列，如圖6所示。由圖可知，線西站DM8O₃除了7月臺灣自身影響較為重要之

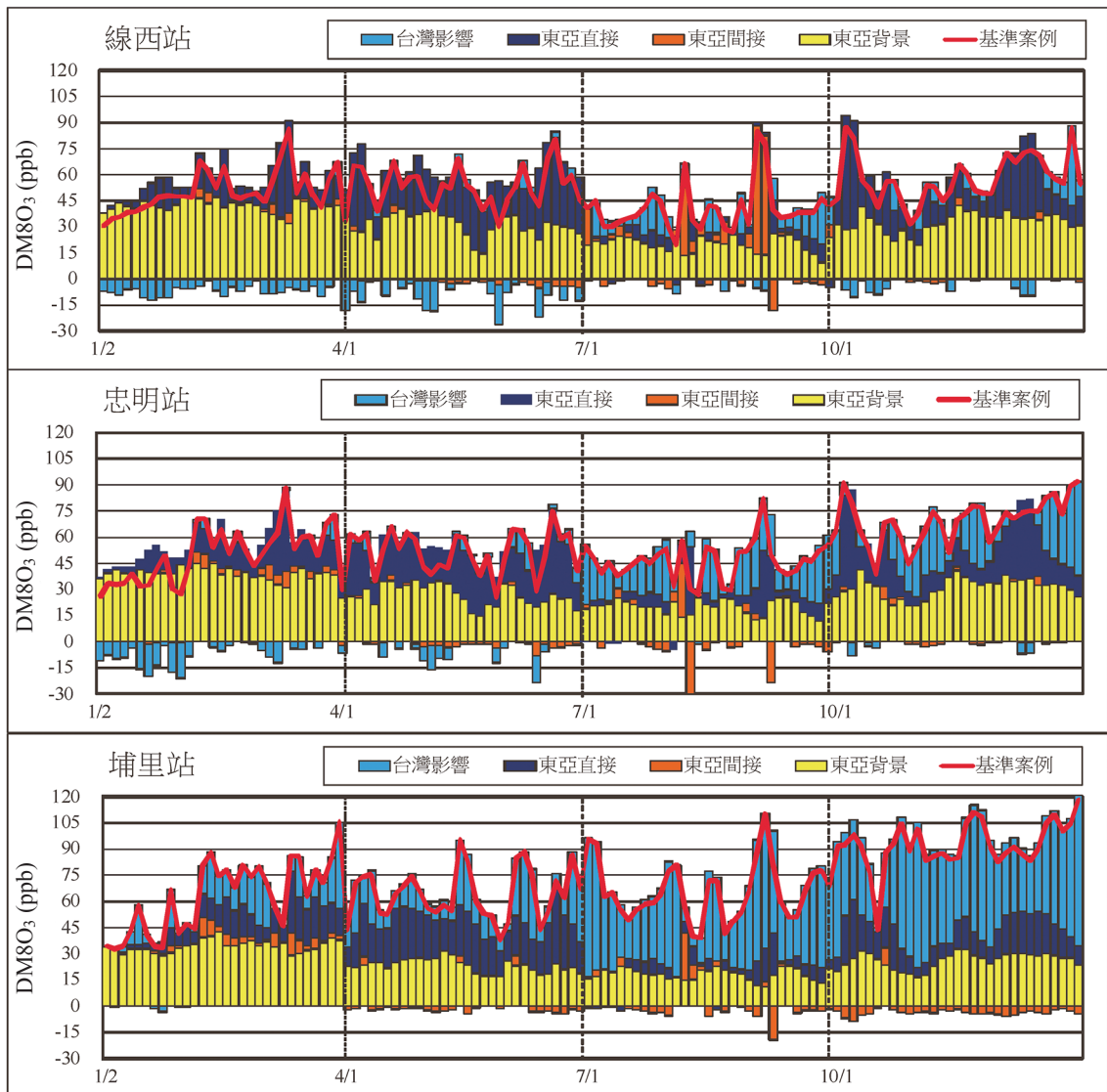


圖 6 不同地理區位最大 8 小時臭氧 (DM8O₃) 濃度影響來源之差異性比較: 以中部地區為例。(上) 沿海的線西站, (中) 都市的忠明站, (下) 山區的埔里站。

外, 其餘時間都是以境外直接傳輸及東亞背景為主要影響來源; 忠明站 DM8O₃ 相對於線西站, 臺灣自身排放影響的程度增加, 尤其是 7 月及 10 月部分; 而埔里站 DM8O₃, 臺灣

自身排放的影響更進一步明顯增加, 不僅在 7 月及 10 月, 甚至對 1 月及 4 月的 DM8O₃ 臺灣自身排放的影響也顯著增加。整體而言, 臺灣自身排放對 DM8O₃ 的影響量由沿海往內陸增



加。東亞直接與背景影響則是逐漸下降。這些現象特徵也說明了臺灣自身排放 O_3 前驅物的減量控制會更有助於都市及山區 $DM8O_3$ 的改善。

五、臺灣各大類排放源對臭氧污染之相對影響

由於區域性來源對臺灣 $DM8O_3$ 的影響，隨著污染程度的增加，臺灣自身排放的影響愈形重要，亦即臺灣自身排放 O_3 前驅物的管制對於較為嚴重 $DM8O_3$ 污染事件之改善有其必要性，尤其是愈往內陸、山區的測站。本節不計東亞背景以及境外長程傳輸的影響，

僅聚焦於臺灣本身排放來源影響的分析，將臺灣人為排放源區分為工業、交通及逸散等三類加上臺灣生物源共四類排放源，模擬分析各類排放源對臺灣各空品區 $DM8O_3$ 影響之相對比例與差異，模擬結果統計如圖7所示。以全臺灣來看，交通源對臺灣 $DM8O_3$ 的影響比例較高達31%，逸散源次之為30%，工業源再次之為20%，而生物源最低為19%。以空品區來看，臺灣 $DM8O_3$ 較為嚴重的西部地區都是以逸散源及交通源的影響量較高，這二類排放源相對影響比例，除了中部空品區交通源與逸散源影響相當外，其餘北部、竹苗、雲嘉南、及高屏空品區都是逸散源影響比例較交通源為高。

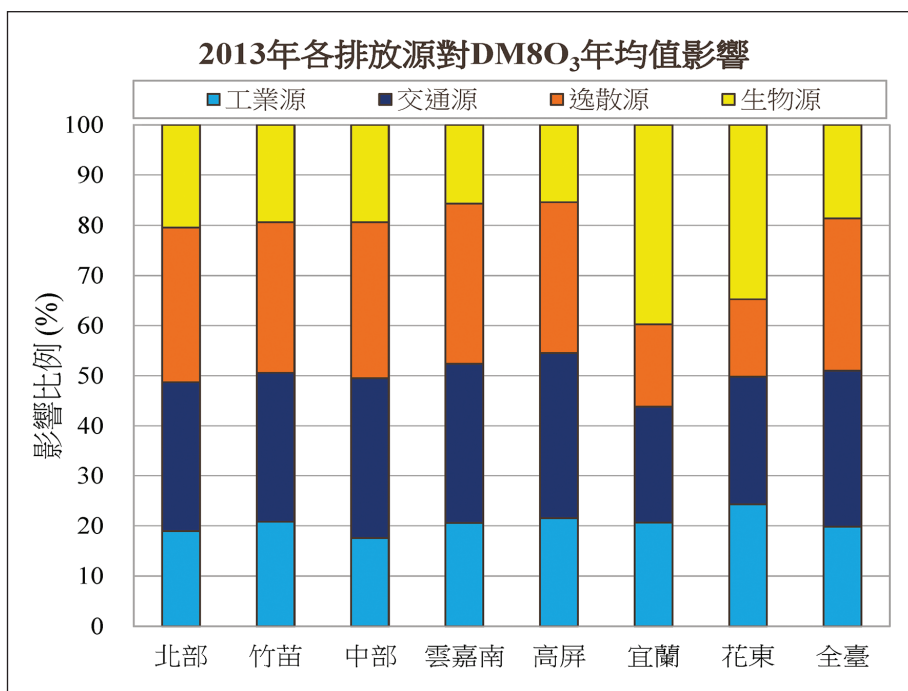


圖 7 臺灣四大類排放源對不同空品區最大 8 小時臭氧 ($DM8O_3$) 年平均濃度之相對影響比例

由於各類排放源排放地點、高度、及污染物種類等排放條件與特徵之差異，不同污染程度下臺灣四大類排放源對臺灣 $DM8O_3$ 之影響可能也會有所不同，因此本文也進行其相對影響比例之差異比較，統計結果如圖8所示。由圖可知不同污染程度下臺灣四大類排放源對臺灣 $DM8O_3$ 的影響，隨著污染程度的提升，交通源的相對影響比例明顯增加，尤其在不健康（紅色等級）與非常不健康（紫色等級）時會超過逸散源；而逸散源及工業源則隨著污染程度的提升，相對影響比例逐漸減少。

綜合而言，要透過臺灣人為源排放減量

來改善臺灣臭氧污染問題，工業、交通及逸散等三類污染源都相當重要， $DM8O_3$ 年平均相對影響比例都在20%以上，尤其是交通源及逸散源都可達到約30%；然而，若要改善污染程度較為嚴重的 $DM8O_3$ 污染事件，交通源的管制相對於逸散源及工業源就更形重要了。

六、臺灣島內跨區域傳輸對各空品區臭氧污染之相對影響

2016年臺灣島內跨區域傳輸對各空品區最大8小時臭氧（ $DM8O_3$ ）濃度影響之空間分布，如圖9所示。由圖中可知各空品區排放

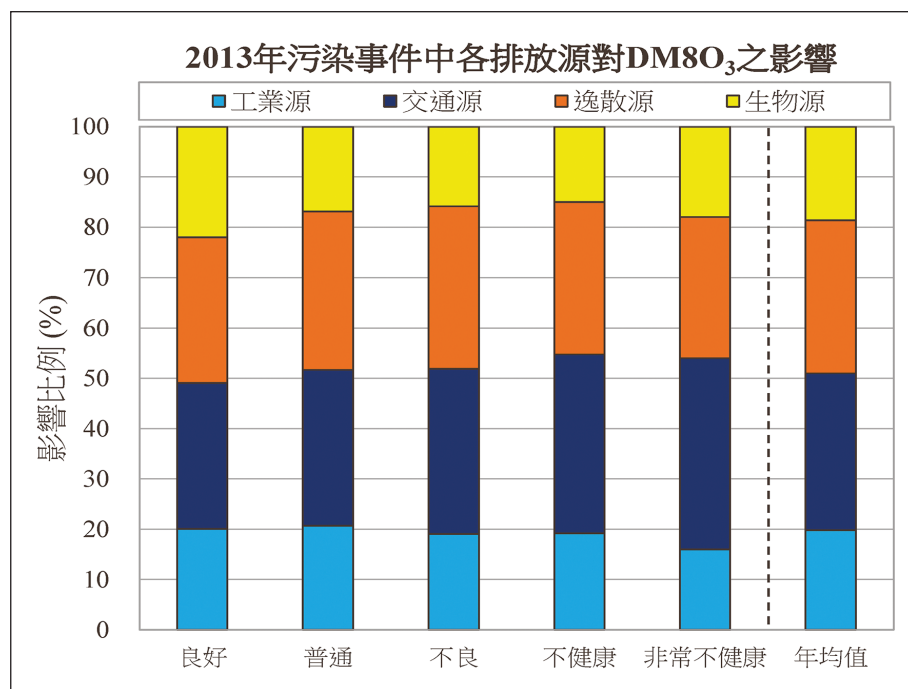


圖 8 不同污染程度下各類排放源對臺灣最大 8 小時臭氧（ $DM8O_3$ ）濃度之相對影響比例



源對當地的有較高影響 (> 6 ppb)，也都會對鄰近的空品區產生影響，中部及雲嘉南空品區對鄰近空品區的影響可達5-8 ppb。

僅考慮臺灣本身排放源影響下，以臺灣環保署非交通測站所在位置進行各空品區相對影響比例之量化統計結果，如表1所示。臺灣西半部各空品區排放對鄰近空品區都有明顯影響，其中以北部空品區排放源影響最高，對全臺灣DM8O₃影響比例平均達25%；雲嘉南空品區次之（22%）。比較各空品區排放對空品區測站DM8O₃影響，除了竹苗空品區外，各空品區排放都對自身空品區測站的影響量最高。竹苗空品區最大影響來源

為北部（28%），中部次之（27%）。對鄰近空品區的影響部分，以雲嘉南空品區排放源對鄰近空品區的影響比例最高，對中部及高屏空品區影響分別為24及25%；北部空品區排放源則是影響範圍最廣，最遠對雲嘉南空品區還有18%的影響；花東空品區排放源也對宜蘭空品區造成約9%的影響。臺灣排放源對全臺灣DM8O₃平均影響約為10.2 ppb（21%）。

七、臭氧前驅物排放減量對臭氧污染之改善效應

上節已經分析臺灣工業、交通及逸散等

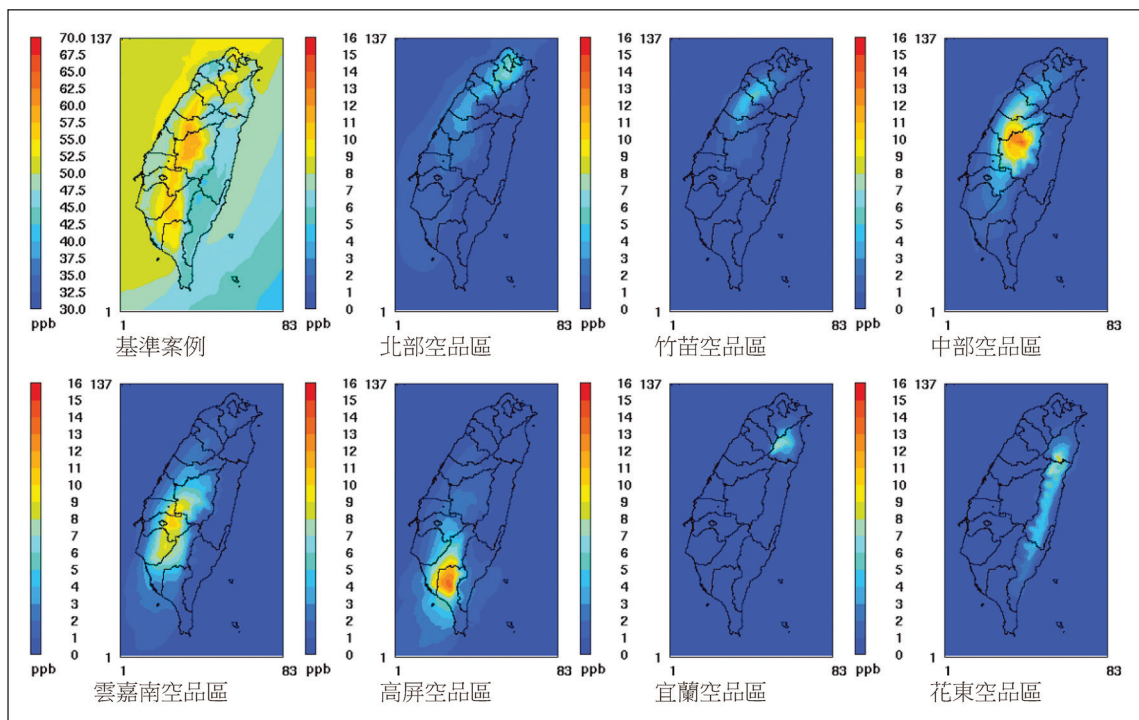


圖 9 臺灣島內跨區域傳輸對各空品區最大 8 小時臭氧 (DM8O₃) 濃度之影響

表 1 臺灣島內跨區域傳輸對各空品區最大 8 小時臭氧 (DM8O₃) 濃度之相對影響比例

影響區域 影響來源	北部	竹苗	中部	雲嘉南	高屏	宜蘭	花東	全臺平均
單位	%	%	%	%	%	%	%	%
北部	49.9	27.9	17.4	18.3	8.4	24.4	7.9	25.4
竹苗	12.7	22.3	9.9	6.7	3.4	4.1	1.2	9.5
中部	15.8	26.5	37.8	15.0	8.2	6.2	3.0	19.6
雲嘉南	9.3	13.1	24.0	43.6	25.6	3.5	4.8	21.9
高屏	4.6	6.4	9.5	15.0	52.6	5.5	24.2	18.4
宜蘭	4.7	2.7	0.8	0.7	0.3	28.5	9.1	2.5
花東	3.0	1.2	0.6	0.7	1.5	27.7	50.5	2.7
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
基準案例 (ppb)	48.2	49.0	51.6	50.1	49.0	45.9	45.6	49.1
臺灣排放源影響 (%)	18.6	19.4	27.9	19.6	23.5	11.2	7.3	20.7
非臺灣排放源影響 (%)	81.4	80.6	72.1	80.4	76.5	88.8	92.7	79.3

三大類人為排放源對改善臺灣臭氧污染問題之相對重要性，但是因臭氧 (O₃) 有氮氧化物 (NO_x) 與揮發性有機物 (VOCs) 二類前驅物，改善 O₃ 污染須從 NO_x 或 VOCs 排放減量著手，但是 NO_x 及 VOCs 產生臭氧的過程並非線性，必需依據地區特性研擬排放減量策略，不當的排放減量策略 O₃ 改善效益可能不佳，甚至造成 O₃ 污染惡化。因此本研究模擬分析 25 種不同 NO_x 及 NMHC 人為源的排放減量組合，模擬結果分析各種減量組合對臺灣及各空品區 DM8O₃ 的改善效益。若 NO_x 減量效益較 NMHC 高，稱為 NO_x 控制；反之則是 VOC 控制。

本文選擇臺灣各測站位置出現 DM8O₃

濃度大於 85 ppb (紅色等級污染事件) 以上之站日數，進行四個月模擬結果之累計，統計各種減量組合案例相對於基準排放案例之 DM8O₃ 紅色等級污染事件比例，繪製等比例圖來分析各種減量組合對臭氧污染的改善效益，DM8O₃ 紅色等級污染事件站日數等比例變化，如圖 10 所示。由全臺灣等比例圖可知，綜合全臺灣所有環保署非交通測站 DM8O₃ 紅色等級污染事件之改善而言，NMHC 排放減量 30% (NO_x 沒有減量) 時，紅色等級污染站日數可減少約 25%，有明顯改善效益；但 NO_x 排放減量 30% (NMHC 沒有減量) 前，紅色等級污染站日數不僅沒有改善還略有惡化，NO_x 減量大於 30% 才開始有改善效益，因此就全臺灣整體而言，O₃ 污

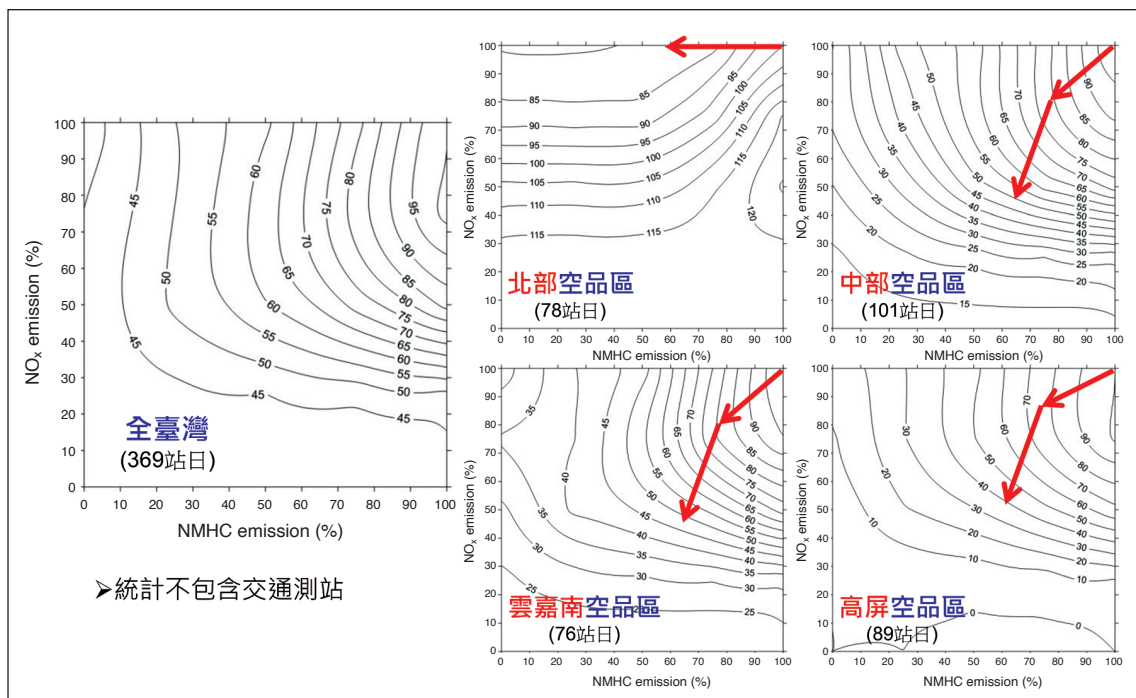


圖 10 NO_x 及 NMHC 各種減量組合下，臺灣各主要空品區最大 8 小時臭氧 (DM8O_3) 紅色等級污染站日數之等比例圖，圖中曲線之單位為 %。

染初期應偏向 VOCs 控制，亦即初期減量應以 VOCs 控制為主。當減量大於 30% 時，不論 NMHC 或 NO_x 減量都對紅色等級污染事件具有改善效益，但是改善效益到了 45% 時，由於境外排放源排放量都沒有減少（境外傳輸影響不變）之假設，會使改善效益出現瓶頸。也就是說，在境外傳輸影響沒有改善前，臺灣紅色等級污染事件改效益及現為 45%。不過隨著海峽對岸逐漸重視臭氧污染問題，所陸續進行的 NMHC 及 NO_x 排放減量措施，這項假設應該會往對臺灣臭氧改善有利的方向進行改變。

除以全臺灣整體分析之外，本文也針對臺灣西部臭氧污染較嚴重的北部、中部、雲嘉南、及高屏等四個主要空品區進行同樣的 DM8O_3 紅色等級污染改善控制方向的分析。整體來說，臺灣西部這四個空品區， O_3 污染初期偏向 VOCs 控制的程度或有不同，但在減量初期都應是以 VOCs 控制為主。比較特別的是，由於受到境外傳輸相對較顯著影響，北部空品區僅能以 VOCs 減量改善 O_3 污染，若減少 NO_x 排放將會導致 DM8O_3 惡化，而中部及雲嘉南空品區不論是 VOCs 或 NO_x 減量都可以改善 DM8O_3 紅色等級污染事件。受到境外傳

輸影響的限制，在境外排放沒有任何減量的前提下，除了高屏空品區外，其他三個空品區DM8O₃紅色等級汙染都會出現改善極限，北部為20%，中部為85%，而雲嘉南空品區為75%。當然要達到這樣的情形需要付出非常大的代價。

綜合而言，臺灣整體O₃污染初期應偏向VOCs控制，亦即初期減量應以VOCs控制為主。北部空品區O₃污染明顯為VOCs控制，中部及雲嘉南空品區不論是VOCs或NO_x減量可改善O₃污染，但初期減量以VOCs效益較佳，高屏空品區O₃污染初期為VOC控制，但初期以後NO_x效益略佳。

八、如何進行VOCs管制以改善O₃汙染？

由於不同VOCs成分具有不同的光化反應機制與反應速率，因此從不同汙染源排放至大氣中的不同VOCs成分對於大氣中O₃生成的影響可能會有很大的差異（Atkinson et al., 1989）。如果不考慮VOCs光化反應性的差異，僅以VOCs排放質量進行減量，對於O₃改善成效可能不如預期。如何利用光化反應性的觀念來訂定VOCs的減量策略？首先必須要將VOCs生成臭氧的反應性進行量化，過去已有相當多的相關研究成果。例如美國加州低排放汽機車和清淨油品法（Low-Emission vehicle and Clean Fuel regulations）曾以反應性調整因子（RAFs），對於汽機車使用替代燃料所排放之非甲烷有機氣體（NMOG）訂

定其排放標準，反應性調整因子為使用替代燃料與傳統燃料之汽機車比較其排氣所致之臭氧生成潛勢（OFP, O₃-forming potential）。運用反應性尺度來進行控制策略可以較為有效減少臭氧之形成，在經濟層面上，也可以較為有效減少VOCs減量時所耗費之成本。

VOCs光化反應性通常以最大增量反應性（MIR, Maximum Increased Reaction），尋求量化各種VOCs成分之臭氧生成潛勢（Carter, 1994; Carter et al., 1995）。最大增量反應性（MIR）是指VOCs成分在大氣中可能生成臭氧的最大值。以高屏空品區為例，以三種不同減量策略對VOCs排放源進行減量控制：(1)不考慮VOCs反應性（不分優先順序），(2)依行業別VOCs反應性考慮減量順序，(3)依成分別VOCs反應性考慮減量順序，分析結果如圖11所示。由圖可知：若欲改善O₃汙染需削減30%人為VOCs排放所致之臭氧生成潛勢量時，不考慮VOCs反應性（不分優先順序）減量，需減少30%VOCs排放質量，以高VOCs光化反應性行業優先減量（依行業別光化學特性削減），則需削減約20%VOCs排放質量，而以高光化反應性VOCs成分優先減量（依成分別光化學特性削減）時，僅需削減約10%之VOCs排放質量。

九、結論與建議

整體而言，由於東亞背景臭氧濃度高達

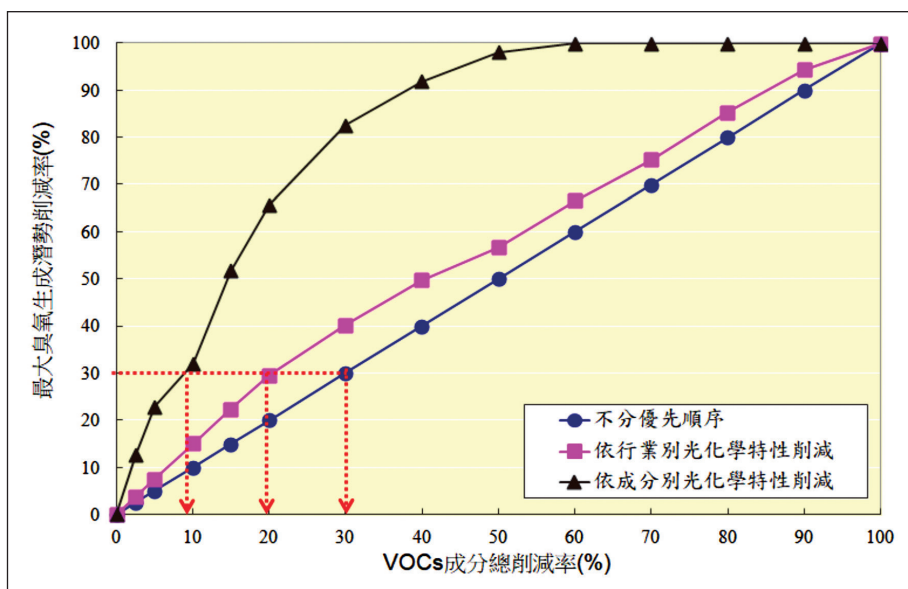


圖 11 依行業別及成分別考慮 VOCs 光化反應性減量策略對 O₃ 生成潛勢削減量之比較：以高屏空品區為例。

30 ppb以上，臺灣最大8小時臭氧（DM8O₃）濃度受到背景濃度影響相當明顯，但隨著DM8O₃濃度的增加，主要貢獻來源會由東亞背景轉變成境外傳輸，但在相當高濃度的情形下（非常不健康等級），臺灣自身排放會成為主要的貢獻源，臺灣本身排放的影響可高達62%，境外傳輸比例最低僅20%。因此從DM8O₃年平均濃度改善來看，雖然臺灣自身排放管制與東亞鄰近排放源減量都很重要；然而在高臭氧污染情形時，則臺灣自身排放的管制更形重要。

受到地形、氣象條件、及排放條件的影響，不同的地理區位受到區域性來源的影響有所差異，沿海地區DM8O₃影響來源以境外直接傳輸及東亞背景為主，都市地區臺灣自

身排放影響程度夏秋二季明顯增加，而內陸山區受臺灣自身排放的影響全年四季都顯著增加。整體而言，臺灣DM8O₃受自身排放的影響量由沿海地區往內陸山區逐漸增加，而東亞直接影響則是逐漸下降，這些現象顯示臺灣自身排放O₃前驅物的減量控制會更有助於都市及山區DM8O₃的改善。

若要經由臺灣人為源排放的減量來改善臺灣臭氧污染問題，則工業、交通及逸散等三類污染源都相當重要，對DM8O₃年平均濃度之相對影響比例都在20%以上，尤其是交通源可達31%；然而，由於各類排放源排放地點、高度、及污染物種類等排放條件之差異，不同污染程度下臺灣本身各類排放源對臺灣DM8O₃之影響也有所不同，隨著DM8O₃

汙染程度的上升，臺灣交通源的相對影響比例明顯增加，尤其在不健康（紅色等級）與非常不健康（紫色等級）時會超過逸散源，因此在嚴重的DM8O₃汙染事件，交通源的管制相對於逸散源及工業源更重要。臺灣島內跨區域傳輸對各空品區DM8O₃濃度的影響，以北部空品區排放源對全臺灣的影響最高，全臺灣平均比例達25%，影響範圍也最廣，對雲嘉南空品區還有18%的影響；雲嘉南空品區對全臺灣的影響次之，平均比例為22%，對中部及高屏空品區影響分別為24%及25%。臺灣排放源對全臺灣DM8O₃平均影響約為10.2 ppb（21%）。

本研究模擬25種不同NO_x及NMHC人為源的排放減量組合，據以分析各種減量對臺灣及各空品區DM8O₃濃度大於85 ppb（紅色等級汙染事件）以上事件的改善控制方向。綜合而言，臺灣整體O₃汙染初期應以VOCs控

制為主，在以分區來看，北部空品區O₃汙染明顯為VOCs控制，中部及雲嘉南空品區不論是VOCs或NO_x減量可改善O₃汙染，但初期減量以VOCs效益較佳，高屏空品區O₃汙染初期為VOC控制，但初期以後以NO_x控制效益略佳。由於不同VOCs成分對於O₃生成具有不同的光化反應特性，因此在進行VOC排放減量以改善O₃汙染時，若能考慮不同排放源VOCs排放成分之臭氧生成潛勢，對於大氣中O₃生成的改善可能會有事半功倍的效果。

綜合本研究各項分析結果，臺灣整體及西部各空品區DM8O₃前驅物的控制方向以及臺灣本身三大類人為排放源相對重要性彙整建議如表2。

參考文獻

1. Atkinson R. et al., 1989. Evaluated Kinetic and Photochemical Data for Atmospheric Chemistry Supplement III, J. Phys. Chem. Ref. Data, 18(2), 881-

表 2 2013 年臺灣及西部各空品區最大 8 小時臭氧 (DM8O₃) 改善控制方向之建議

空品區	DM8O ₃ > 85 ppb 站日數	說明
北部	78	● VOC 減量會有成效，但 NO _x 減量會導致惡化 ● 逸散源及交通源 VOC 減量相對重要
中部	101	● VOC 或 NO _x 減量都有效，但初期 VOC 減量效益較佳 ● 逸散源及交通源 VOC 減量相對重要
雲嘉南	76	● VOC 或 NO _x 減量都有效，但初期 VOC 減量效益較佳 ● 逸散源及交通源 VOC 減量相對重要
高屏	89	● 初期 VOC 減量有效，NO _x 減量略有惡化，但初期後 NO _x 減量效益較佳 ● 逸散源及交通源 VOC 減量相對重要
臺灣	369	● 初期 VOC 減量有效，NO _x 減量會惡化，當改善效益大於 30% 時，不論 VOC 或 NO _x 減量都有效 ● 工業、交通及逸散源相對影響比例都在 25% 以上，逸散源可達 32% ● 嚴重臭氧汙染事件，交通源較逸散及工業源相對重要



- 1096.
2. Bowman, F. M., and J. H. Seinfeld, 1994. Ozone Production of Atmospheric Organics, *J. Geoph. Res.*, 99:D3, 5309-5324.
 3. Byun, D.W., Ching, J.K.S. (Eds.), 1999. Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. EPA-600/R-99/30. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
 4. Byun, D.W., Schere, K.L., 2006. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system. *Appl. Mech. Rev.* 59, 51-77.
 5. Carter, W.P.L., 1994. Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds, *J. Air Waste Manage.*, 44, 881-899.
 6. Carter, W.P.L. et al., 1995. Environmental Chamber Study of Maximum Incremental Reactivities of Volatile Organic Compounds, *Atmos. Environ.*, 29(18), 2499-2511.
 7. Chang, K.H., 2008. Modeling Approach for Emission Reduction of O₃ Precursors in Southern Taiwan, *Atmospheric Environment*, 42, 6733-6742.
 8. Chang, K.H., Yu, J.Y., Chen, T.F., Lin, Y.P., 2009. Estimating Taiwan biogenic VOC emission: Leaf energy balance consideration. *Atmos. Environ.* 43, 5092-5100.
 9. Chen, T. F., Chang, K. H., & Tsai, C. Y. 2014. Modeling direct and indirect effect of long range transport on atmospheric PM_{2.5} levels. *Atmos. Environ.* 89, 1-9.
 10. Chen, T.F., Chen, C.H., Yu, J.Y., Lin, Y.-B., Chang, K.H., 2020. Estimation of biogenic VOC emissions in East Asia with new emission factors and leaf energy balance considerations, *Journal of Innovative Technology*, 2(2):61-72, doi.org/10.29424/JIT.202009_2(2).0010
 11. He, K., 2012. Multi-resolution Emission Inventory for China (MEIC): model framework and 1990-2010 anthropogenic emissions. International Global Atmospheric Chemistry Conference, 17-21 September, Beijing, China.
 12. Li, M., Zhang, Q., Kurokawa, J. I., Woo, J. H., He, K., Lu, Z., Ohara, T., Song, Y., Streets, D. G., Carmichael, G. R., Cheng, Y., Hong, C., Huo, H., Jiang, X., Kang, S., Liu, F., Su, H., and Zheng, B., 2017. MIX: a mosaic Asian anthropogenic emission inventory under the international collaboration framework of the MICS-Asia and HTAP. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 935-963, doi:10.5194/acp-17-935-2017.
 13. Milford, J. B., A.G. Russell, and G.J. McRae. 1989. A new approach to photochemical pollution control: Implications of spatial patterns in pollutant responses to reductions in nitrogen oxides and reactive organic gas emissions. *Environ. Sci. Technol.* 23, 1290-1301.
 14. Seinfeld, J.H., 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley & Sons, Inc., pp.738.
 15. White, W.H., J.A. Anderson, D.L. Blumenthal, R.B. Husar, N.V. Gillani, J.D. Husar, and W.E. Wilson, Jr. 1976. Formation and transport of secondary air pollutant: ozone and aerosols in the St. Louis urban plume. *Science*, 194, 187-189.
 15. 張良輝等人，2018，強化空氣品質模式制度建立計畫（第三年），行政院環境保護署專案計畫期末報告，EPA-106-FA18-03-D077。
 16. 張良輝等人，108年，建置AERMOD本土化模式及空品模式審驗制度專案工作計畫（第一年），行政院環境保護署專案計畫期末報告，EPA024108029。
 17. 環保署，108年，中華民國空氣品質監測報告107年年報，行政院環境保護署。
 18. 環保署，109年，中華民國空氣品質監測報告108年年報，行政院環境保護署。

高溫製氫和海水淡化的概念設計

工業技術研究院能源與環境研究所前研究員 / 呂錫民

關鍵字：核能製氫 (nuclear hydrogen production)；可用能 (exergy)；能源效率 (energy efficiency)；海水淡化 (seawater desalination)；成本估算 (cost estimation)

本研究提出模組化核能反應器用於製氫和淡化海水的概念設計。首先使用四步驟銅-氯 (Cu-Cl) 循環於製氫，接著耦合Brayton循環與燃氣渦輪機模組化氫反應器 (GT-MHR) 核系統發電，並使用GT-MHR系統的一小部分熱能來達到和維持Cu-Cl循環所需溫度，最後通過多級閃蒸 (MSF) 技術，將氫分解反應產生的熱量進行海水淡化。為了開發所提系統的計算模型，化學反應模擬器被使用。該概念設計的總體能源效率和可用能效率的計算結果分別為32.47%和52.20%，可產生0.2190 kg/s的氫氣和淡化4.9492 kg/s的海水。使用HEEP[®]估計產生氫氣的成本為2.77 \$/kgH₂。展望未來，配合高溫源（如第四代核反應器）的模組化，熱化學水解反應（如Cu-Cl循環），除了能夠滿足氫經濟概念的最高境界：氫、熱、電三相共生之外，餘熱尚可用於海水淡化，在有特殊能源及飲水需求下，如半沙漠地區和臺灣偏遠離島，該方法尤其適合使用。

一、前言

第四代核反應器是未來替代能源最可行的方案之一。在經驗積累之下，一些核系統具有很高的安全標準，除了滿足核廢料安全性和高燃燒要求之外，一些所謂的第四代反應器還可以很高的溫度運行，儼然成為當前工業界有關高溫技術的「當紅炸子雞」（Elder and Allen, 2009）。自從90年代以來，高溫核反應器（Very High-temperature Nuclear Reactor, VHTR）一直是「氫經濟概念（Hydrogen Economy Concept）」的絕佳選項（Smitkova et al., 2011）。製氫是氫經濟概念研究最多的議題。替代性製氫方法必須具有高效率、低環境影響和高生產率。因此，針對傳統方法（如，蒸汽重整和傳統電解），若干替代方法被開發。

製氫的熱化學循環在20世紀70年代蓬勃發展，建立不少大規模生產的施行方案，其



中Cu-Cl循環（General Atomics, Savannah River National Laboratory等）是美國開發的化學技術之一，當中有項反應要求是最高溫度需達550-600°C。這就是為什麼高溫源（例如VHTR）與其有所關聯的原因。這些高溫化學反應的存在使得重新利用排放熱量成為可能，因為它可以提高整個過程的效率。另外，在Cu-Cl循環的特定情況下，有研究建議可將餘熱用於海水淡化。（Locatelli et al., 2017）

舉例來說，在某些特定能源需求地點（例如半沙漠地區），第四代核反應器的模組化是特別有利的。因此，巴西、印度和中國等國家對此類技術表現出高度的興趣。另外，不少國際性工業機構也在研究中小型核反應器的模組化，以達到氫、熱、電三相共生及海水淡化的多功能目標（Locatelli et al., 2014）。該項核技術成功關鍵在於能源消耗、經濟社會和技術效率等方面的支持。幾個最負盛名的核氫生產研究小組利用化學反應模擬器開發若干概念設計。這類化學反應模擬器可對複雜系統（例如Cu-Cl循環）進行評估（Shin et al., 2012; O'Brien et al., 2010; Chukwu et al., 2008）。藉由流程圖的規劃，建構未來實際工廠藍圖，這些流程圖同時還能執行優化分析、效率計算和工廠規模確定。

本研究的主要目的在於：第一，開發和驗證計算模型，構建和分析概念設計，這是基於Cu-Cl循環且有海水淡化功能的製氫設

施，其中先進核反應器為主要能量來源，而化學反應模擬器Aspen Plus[®]則用於構建計算模型。第二，評估總體能源效率和可用能效率²，並分析主要循環成分，以獲得可用能和能源效率，同時提出簡約的成本估算，藉由HEEP方法計算製氫成本。

第2章簡要描述概念設計中的擬議系統，並對計算模型中的編程參數進行描述。第3章分別對每個子系統進行分析，估計每種情況下主要組件的可用能效率和能源效率，同樣在本章中，技統的總體效率和製氫成本被評算。第4章總結本論文的主要研究成果。

本概念設計係由四個子系統組成：燃氣渦輪機模組化氫氣反應器（Gas Turbine Modular Helium Reactor, GT-MHR）、Brayton循環、Cu-Cl循環和多級閃蒸（Multi-stage Flash, MSF）脫鹽。在該系統中，GT-MHR反應器產生的熱能分別供給Brayton循環及Cu-Cl循環，以進行發電與製氫，然後Cu-Cl熱化學循環的餘熱則進行海水淡化。

¹ Aspen Plus[®]（Advanced System for Process Engineering Plus）為美國 Aspen Tech 公司所開發的一套化工程序設計模擬軟體。目前最新版本為 V11。

² 以熱力學定義，可用能（exergy）是在促使系統與熱源達成平衡的過程中，透過最大熵（entropy）的達成，獲取最大的潛在有用功。在理想狀態（熵 = 1）時，可用能效率可達到 100%，當系統與環境達成平衡時則為零。能源效率（energy efficiency, η ）可由系統輸出能量除以輸入能量而得，可用能效率（exergy efficiency, ψ ）是系統運用可用能的衡量，相反地，可用能破壞率（exergy destruction rate, $\dot{E}x_d$ ）是資源退化的評估，其可指出系統中破壞可用能的元素。

二、系統說明

(一) GT-MHR

高溫核反應器是高溫反應器的後繼者，高溫核反應器研究始於1960年代初，是以包覆著燃料顆粒的方式運作。目前，在全球核工業發展下一代商用反應器（VHTR）之際，高溫製氫是最重要的應用之一。

Dragon反應器率先使用TRISO燃料顆粒（arbeitsgemeinschaft versuchsreaktor, AVR），目的在於測試其他燃料的使用、尋找更長的運行時間、以及更輕鬆的燃料測量和分析。同樣，Fort St. Vrain（FSV）原型機使用棱柱型燃料，以90 GWd/t速率燃燒鈦燃料，可讓蒸汽渦輪機的總熱能生產率達到39%（Yan and Hino, 2011）。在上世紀末，第一批高溫試驗反應器投入運轉，使用TRISO燃料的主要高溫反應器就有包括HTR-PM。該核電廠從2012年開始建造，原先預估在2018年底進入營運。

觀察目前世界上現有GT-MHR，燃氣渦輪機工廠設計是最重要的研究項目之一（IAEA, 2013）。GT-MHR開發案正在許多國家積極進行，使得高溫氣體反應器（HTGR）的能力和資源一直優化（Richards et al., 2006）。基本上，GT-MHR被認為是一個模組化的核反應器，每個模組容量約

有600MWth，核心出口最高溫度為950°C。（IAEA, 2013）

GT-MHR電廠的燃氣渦輪機動力轉換循環效率很高，循環熱效率約有48%，在電力生產市場中比任何化石或核電廠都具有工廠競爭力。與具有蒸汽循環的其他NPP相比，直接封閉式燃氣渦輪機循環的功率轉換被大大簡化，並減少了所需的設備和系統。

不包括機房在內的該電廠，其他主要組件包括：蒸汽發生器、蒸汽管線、冷凝器、除氧器等。電廠如此簡化及最低安全限度的目的在於，降低GT-MHR的土木建設、營運及維護的成本。除了具有更高的發電效率外，帶有燃氣渦輪機循環的GT-MHR具有更高的熱力學潛力以及餘熱利用上的設計機會。

依據參考文獻，GT-MHR的製氫應用已有數項研究在進行，例如硫碘和高溫電解（Linares and Moratilla, 2007），但沒有GT-MHR與Cu-Cl循環相互配合的製氫案例。

(二) Cu-Cl 製氫系統

在高溫技術中，研究最多的項目是氫氣的生產。儘管氫是宇宙最豐富的元素，但自20世紀70年代以來，產氫技術一直是能源界研究的議題，目標在於尋求大規模且高效



的產氫方法，主要驅動力來自「氫經濟概念（Hydrogen Economy Concept）」的引入，亦即，以氫代替石油成為全球能源系統的基礎。（Linares and Moratilla, 2007）

要言之，氫經濟概念由四大領域組成：生產、運輸、儲存和應用。目前它們處於不同的發展水平；但是，最熱門的領域在於應用，無論是運輸工具或其他中大型發電項目，氫應用具有可接受的發展水平，尤其是汽車工業，氫能車已成運輸革命的明日之星（Mazloomi and Gomes, 2012）。氫經濟中的運輸和儲存部分也在發展，但速度比不上應用，儘管有些技術已接近商業化階段。目前，實現氫經濟的關鍵在於產氫技術，因為當今氫原料的最大產量來自天然氣重整，但該方法具有許多缺點，包括：能源效率低、污染氣體排放水平高、以及對化石燃料的依

賴性強，替代性產氫方法必須開發出來，其中又以高溫產氫技術最受倚重。（Linares and Moratilla, 2007）

科學界數十年來一致認為，必須找到生產氫氣的替代方法，以克服當前技術缺點。因此，從70年代初以來，就有學者在研究所謂的熱化學水離解技術，透過幾種化學反應來解離水分子，以成為產氫的關鍵製程，其中研究最多的是封閉式Cu-Cl循環。從理論上講，該製程僅需添加熱量和 water，如圖1所示。

循環設計中有其他選擇，具體取決於化學反應步驟的數量。變型四步驟遵循圖1中概述的化學反應。Cu-Cl循環四步驟包括：水解反應、氧分解反應、乾燥步驟和製氫電解反應。其中還需要一個乾燥氯化銅的中間步驟，但這不被認為是分解步驟，因為它僅為

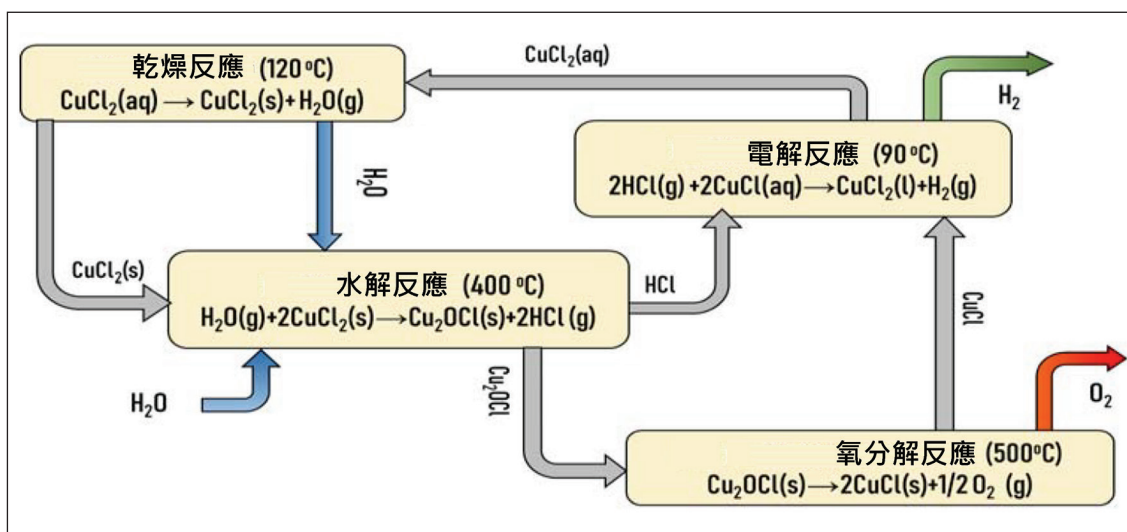


圖 1 Cu-Cl 循環四步驟

接下來的反應準備了反應物。(Al-Zareer et al., 2017)

該循環涉及最高溫度接近500°C的放熱和吸熱反應。Cu-Cl循環的主要優點有：

1. 製程最高溫度為 500°C，使得可與更多核反應器甚至太陽能等其他能源整合。
2. 製程中的化學成分成本不高，也不會有發生重大化學事故的威脅。
3. 製程中的所有步驟均經過實驗測試，包括化學反應效率。(Pope et al., 2016; Naterer et al., 2008; Ferrandon et al., 2010)
4. 與其他建議的循環相比，該製程中的固體處理量較小。

該方法的主要缺點在於：電解反應所需的電能過高、乾燥步驟對產氫的影響、以及對固體反應物的處理(Orhan et al., 2012)。但是，隨著Cu-Cl循環整合到核電反應器(例如GT-MHR)，電解成本高的缺點被最小化。Cu-Cl循環提出另一種提高效率的可能性，那就是氧分解反應產生的餘熱可用於海水淡化。(Al-Zareer et al., 2017)

模組化反應器的應用可能性，包括用於電力和氫氣熱電共生的GT-MHR，這從該反應器的設計階段就已揭示(Richards et al., 2005)。原則上，由於工作溫度範圍緣故，此類核系統的整合是有可能的，但是需要進行補充研究，以符合並達到氫經濟概念中大規模實施所需的效率水平。

(三) 海水淡化系統

海水淡化已有數百年歷史，人們對海水應用一直感到興趣。但直到數年前，由於材料、技術和系統的成熟，業界才有可行替代方法或可接受的效率來淡化海水。表1摘錄研究最多的技術及其優缺點。(El-Ghonemy, 2017)

其中所提出海水淡化技術使用較多的方法為多級閃蒸(MSF)，因為它的能源需求較低，非常適合熱電共生系統中的餘熱利用(Wu et al., 2012)。該方法係以閃蒸(Flash)為基礎，在驟沸情況下，海水被蒸發，從而降低與溫度升高相反的壓力。在每個階段中釋放的冷凝熱會在下一階段中增加進水溫度。海水淡化廠由一個熱輸入和幾個蒸餾部分組成，並在後者處釋放熱量。

該輸入能量是Cu-Cl循環中氧分解反應所釋放的熱量。每個階段的蒸發器由19-28個階段組成，工作溫度在90-120°C之間。在這些階段的每個階段，壓力都保持在低於飽和溫度壓力之下。(Khawaji et al., 2008)

(四) GT-MHR 與 Cu-Cl 和 MSF 系統的耦合

擬議的概念設計由一個GT-MHR模組化反應器組成，該反應器負責電網電力的生產，並為Cu-Cl循環提供必要的能量(熱和



表 1 主要的海水淡化技術

技術	優勢	劣勢
多級閃蒸 (MSF)	<ul style="list-style-type: none"> 給水鹽度靈活 產水純度高 生產力高 能源需求低 	<ul style="list-style-type: none"> 轉換率低 (30-40%) 需要在入口處進行預處理 轉換成本高 建設成本高
多效脫鹽	<ul style="list-style-type: none"> 產能高 投資成本低 純度高 (<30 ppm) 能量需求與純度無關 	<ul style="list-style-type: none"> 取決於可用電力 施工期長 水質難以控制 高的材料要求
蒸氣壓縮	<ul style="list-style-type: none"> 純度高 (<30 ppm) 高操作負荷 施工期短 靈活的操作和生產 	<ul style="list-style-type: none"> 運營成本高 能耗高 缺乏水質控制
加濕除濕	<ul style="list-style-type: none"> 操作溫度低 能源需求低 投資成本低 適合搭用再生能源或剩餘能源 	<ul style="list-style-type: none"> 生產力低 改善潛力有限 取決於進水口溫度
逆滲透	<ul style="list-style-type: none"> 適用於海水 根據水質的靈活度 能源需求低 操作簡單 	<ul style="list-style-type: none"> 水質低 運營成本高 操作壓力高 施工期長
電滲析	<ul style="list-style-type: none"> 運營成本降低 靈活的電力來源 高轉換率 (80%) 純度受進水水質的影響 	<ul style="list-style-type: none"> 生產水平較低 需要處理 能耗低

電)，如圖2所示。來自 Cu_2OCl_2 分解反應的產物將供給脫鹽系統。提議系統的所有參數匯總在表2。

GT-MHR的模組化特性使能量轉換循環可放在與由交叉容器連接的反應器的相鄰容器中。根據對GT-MHR反應器的最新調整，來自反應器容器的額定氮流量為321 kg/s，該交叉容器可分為兩部分，一部分為279 kg/s用於相鄰容器中的Brayton循環，另一部分為42 kg/s用於Cu-Cl循環 (Richards et al., 2006)。

在能量轉換循環容器中，假設渦輪機效率為98%，通過Brayton循環可產生292 MWe電力 (IAEA, 2013)。儘管這些能量一部分將用於多個Cu-Cl循環組件，例如電解反應器，但大部分能量將併入電網。

另一方面，流量為42 kg/s的氮氣被帶到IHX型熱交換器，其中熱量被轉移到另一氮氣迴路，大多數作者建議使用第二條氮氣迴路以提高製程安全性 (Elder and Allen, 2009)，主要原因在於此一氮流動可將化學反應周期維持在自然發生的建議溫度範圍內。

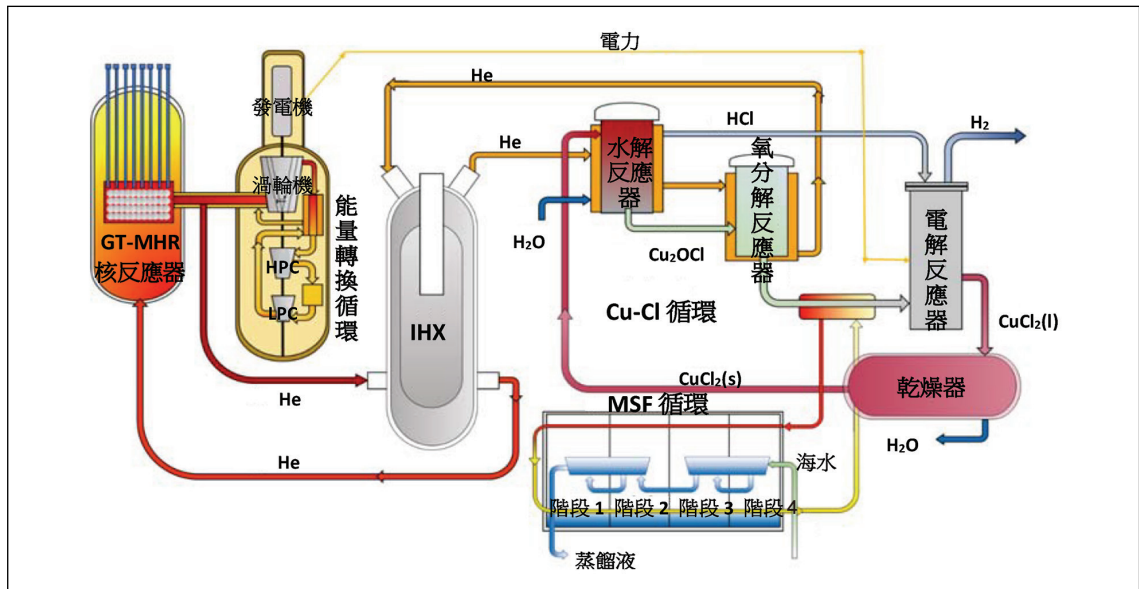


圖 2 用於製氫和海水淡化集成系統的 GT-MHR 與 Cu-Cl 技術說明

表 2 擬議系統的主要參數

子系統	參數	數值
GT-MHR (Richards et al., 2006)	核心出口的氦氣溫度	950°C
	核心入口的氦氣溫度	590°C
	核反應器的工作壓力	7.07 MPa
	氦氣流量	321 Kg/s
IHX (Richards et al., 2006)	功率	58.7 MWth
	UA	4.09 W/°C
	LMTD	143.5°C
	主迴路溫度	950/679°C
	次迴路溫度	292/917°C
	主迴路壓力	7.0/6.93 MPa
	次迴路壓力	6.0/5.94 MPa
Brayton 循環 (Richards et al., 2006)	產生電能	292 MWe
	燃氣渦輪機機械效率	0.98
	進入燃氣渦輪機的氦氣流量	279 kg/s
Cu-Cl (Al-Zareer et al., 2017)	水解反應器工作溫度	400°C
	水解反應器工作壓力	0.20265 MPa
	氧分解反應器溫度	500°C
	氧分解反應器壓力	0.101325 MPa
	電解反應器工作溫度	90°C
	電解反應器工作壓力	0.101325 MPa
	電解反應器功率要求	5.1 kJ/molH ₂
	乾燥機工作溫度	120°C



氧分解反應具有餘熱，可通過回收再利用，如使用MSF的海水淡化系統。在MSF系統中，四個閃蒸分離器以90°C溫度運行，系統的海水流量為5.57 kg/s，依據Ma et al. (2013)，鹽度設為500 ppm。

三、擬議概念設計分析

三種不同系統（Brayton氣體循環、製氫和脫鹽）的整合是一項複雜的任務。本文主要目標之一是獲得及分析完整的製程。為了分析提出的概念系統，使用化學反應模擬器Aspen Plus®建立計算模型（I. Aspen Technology, 2000）。由於單元操作和化學成分的多樣性，該模型是科學界研究製氫系統最認可的工具之一。此外，它具有廣泛的數據庫和化學模型，適用於解決諸如Cu-Cl循環模擬和MSF脫鹽的問題。使用Aspen Plus®的一個缺點是在Cu-Cl循環中，無法安裝所啟用化學成分的特性及相關性，因為它們未包含在數據庫中。在這種情況下，這些數據是從Al-Zareer et al. (2017)發表的論文中取得。

在構建Aspen Plus®系統流程圖時，我們採用以下幾個假設³：

1. 模擬組件處於穩定狀態並以額定參數運行

³ 本質上，Aspen Plus®應用目的在於設計化工程序，以質量、能量和可用能平衡三大定律，最佳化熱力學效率，可視為一概念設計軟體，實際工程中的流體力學問題，例如，動能與重力變化、管道摩擦、壓降、熱損等因素，是不會影響本研究的概念設計結果。

2. 忽略動能和重力的變化
3. 忽略製程中組件、管道和接頭的熱損失
4. 不考慮管道中的壓降

獲得正確製程描述的關鍵因素在於，為模型選擇一套適當的屬性組。Aspen Plus®針對此類問題所建議的解決方法是，氣態物質使用Peng-Robinson，固體化合物使用solids（Al-Zareer et al., 2017）。實施流程圖的假設和屬性的正確選擇在於，Aspen Plus®建議系統中要有前後一致符合的模型。

依據Aspen Plus®所開發的創新概念設計如圖3所示，在該完整的模型流程圖中，包括三個子系統：供能的Brayton循環、製氫的Cu-Cl循環、及脫鹽的海水淡化。假設模型是在穩定狀態中進行，根據質量、能量和可用能的三大平衡定律，可以計算出詳細的能源和可用能效率，詳細公式如下所示：

$$\sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} = 0 \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{in} - \dot{W}_{out} = \sum_{out} \dot{m}(h_{pr} - h_0 + h_f) - \sum_{in} \dot{m}(h_{pr} - h_0 + h_f) \quad (2)$$

$$\dot{E}_{x_{Q_{in}}} - \dot{E}_{x_{Q_{out}}} + \dot{E}_{x_{W_{in}}} - \dot{E}_{x_{W_{out}}} = \sum_{out} \dot{m}_{out} ex_{out} - \sum_{in} \dot{m}_{in} ex_{in} + \dot{E}_{x_d} \quad (3)$$

這裡的 \dot{m} 用來表示流量， \dot{W} 表示功率， \dot{Q} 表示傳熱率， \dot{E}_{x_d} 表示可用能破壞率， ex 表示比可用能， $\dot{E}_{x_{Q_{in}}}$ 表示傳熱率（公式為

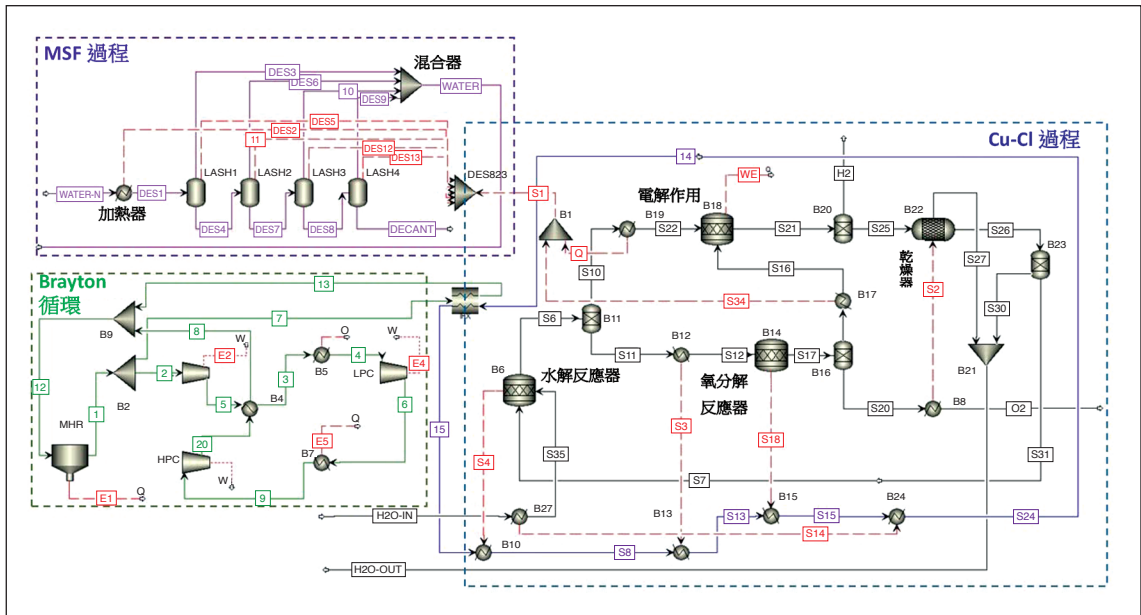


圖 3 Aspen Plus 流程圖：用於以核能為基礎的 GT-MHR 集成電力，通過四步驟 Cu-Cl 循環產生氫氣和鹼水脫鹽

$\dot{E}x_Q = \left[1 - \frac{T_o}{T_f}\right] \dot{Q}$ 的可用能含量 (Al-Zareer et al., 2017), h 是比焓。

使用這些平衡方程式可以確定每個子系統組件的能量和可用能效率。這使整個製程效率得到精確計算，並確定提議模型中每個子系統的關鍵組件。

(一) Brayton 循環子系統的分析

分析的第一個子系統是與 GT-MHR 耦合的 Brayton 氣體循環，如圖 4 所示。利用平衡方程式(1)-(3)可以得到表 3，其中整理出的方程式可以定義子系統中最重要組件的可用能效率 (ψ) 和可用能破壞率 ($\dot{E}x$)。

根據公式 (4) 計算 Brayton 循環的理想熱效率 ($\eta_{Brayton}$)：

$$\eta_{Brayton} = 1 - \frac{T_f}{T_o} = 1 - \frac{587}{950} = 38.21\% \quad (4)$$

為了計算動力轉換循環的能源效率 (η_{PCS}) 和可用能效率 (ψ_{PCS})，使用的方程式為：

$$\eta_{PCS} = \frac{W_{GT}}{\dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_8 h_8} = \frac{292 \text{ MWe}}{(1348 - 822.77) \text{ MW}} = 53.53\% \quad (5)$$

$$\psi_{PCS} = \frac{W_{GT}}{\dot{m}_2 ex_2 - \dot{m}_8 ex_8} = \frac{292 \text{ MWe}}{(1470.16 - 1087) \text{ MW}} = 76.22\% \quad (6)$$

對於這些具有類似特徵的 Brayton 循環，

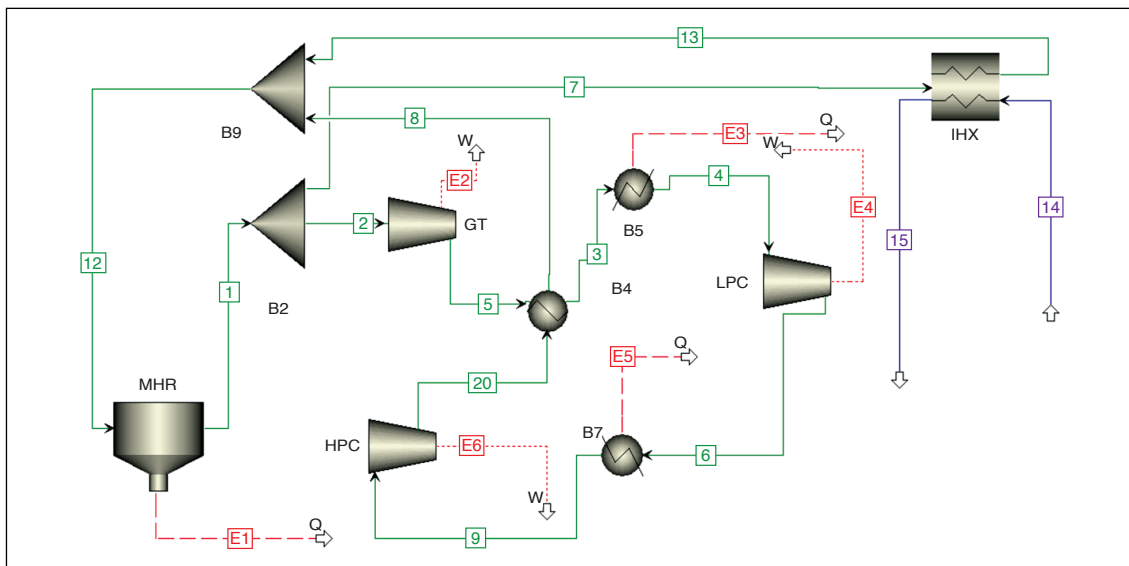


圖 4 結合 GT-MHR 中 Brayton 氣體循環的 Aspen plus 模型

表 3 在 Brayton 循環中各組件的可用能效率和可用能破壞率

組件	可用能效率	可用能破壞率
燃氣渦輪機 (GT)	$\psi_{GT} = \frac{\dot{m}_6 ex_6 + W_{GT}}{\dot{m}_2 ex_2}$	$\dot{E}x_{d,GT} = \dot{m}_2 ex_2 - \dot{m}_6 ex_6 + W_{GT}$
低壓壓縮機 (LPC)	$\psi_{LPC} = \frac{\dot{m}_6 ex_6}{\dot{m}_4 ex_4 + W_{LPC}}$	$\dot{E}x_{d,LPC} = (\dot{m}_4 ex_4 + \dot{W}_{LPC}) - \dot{m}_6 ex_6$
高壓壓縮機 (HPC)	$\psi_{HPC} = \frac{\dot{m}_{20} ex_{20}}{\dot{m}_9 ex_9 + W_{HPC}}$	$\dot{E}x_{d,HPC} = (\dot{m}_9 ex_9 + \dot{W}_{HPC}) - \dot{m}_{20} ex_{20}$
中冷器 1 (B5)	$\psi_{B5} = \frac{\dot{m}_3 ex_3}{\dot{m}_4 ex_4 + \dot{E}x_{Q_{E5}}}$	$\dot{E}x_{d,B5} = (\dot{m}_4 ex_4 + \dot{E}x_{Q_{E5}}) - \dot{m}_3 ex_3$
中冷器 2 (B7)	$\psi_{B7} = \frac{\dot{m}_6 ex_6}{\dot{m}_9 ex_9 + \dot{E}x_{Q_{E5}}}$	$\dot{E}x_{d,B7} = (\dot{m}_9 ex_9 + \dot{E}x_{Q_{E5}}) - \dot{m}_6 ex_6$
熱交換器 (B4)	$\psi_{B4} = \frac{\dot{m}_{20} ex_{20} - \dot{m}_8 ex_8}{\dot{m}_5 ex_5 + \dot{m}_3 ex_3}$	$\dot{E}x_{d,B4} = (\dot{m}_5 ex_5 + \dot{m}_3 ex_3) - (\dot{m}_{20} ex_{20} - \dot{m}_8 ex_8)$
中間熱交換器 (IHx)	$\psi_{IHx} = \frac{\dot{m}_{15} ex_{15} - \dot{m}_{14} ex_{14}}{\dot{m}_7 ex_7 + \dot{m}_{13} ex_{13}}$	$\dot{E}x_{d,IHx} = (\dot{m}_7 ex_7 + \dot{m}_{13} ex_{13}) - (\dot{m}_{15} ex_{15} - \dot{m}_{14} ex_{14})$

獲得的效率值與其他作者的預期及報告相符 (Li et al., 2012)。使用表4中彙整的方程式，可以計算出每個組件的可用能效率 (ψ) 和可用能破壞率 (\dot{E}_x)。獲得的結果如圖5所示。

對於Brayton循環的可用能效率，結果顯示值高於80%。Brayton循環的燃氣渦輪機和熱交換器是具有最高可用能破壞率的組件，也是由於壓力和溫度的突然變化，而具有更大可用能交互作用的組件 (Al-Zareer et al., 2017)。

(二) Cu-Cl 循環子系統的分析

在Cu-Cl循環中，將分析化學反應器和熱交換器，因為它們是子系統效率的主要貢獻

者 (Al-Zareer et al., 2017)。在該子系統中，考慮的是反應器於電解過程中所消耗的電功 (W_e)，根據氫氣產量可以方程式表示：
$$W_e = 55 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \dot{m}_{H_2}$$
 (Al-Zareer et al., 2017)。

圖6表示計算Cu-Cl子系統能源及可用能效率的模型。表4為計算該子系統效率的方程式。

使用表4中的方程式，可以獲得圖7中每個組件的可用能效率，以及圖8中所有可用能破壞率。

在這種情況下，Cu-Cl循環的化學反應器 (B22, B18, B14和B6) 的可用能效率在60%至80%之間。比較其他類似研究，如Al-Zareer et al. (2017)，耦合至2400 MWth超

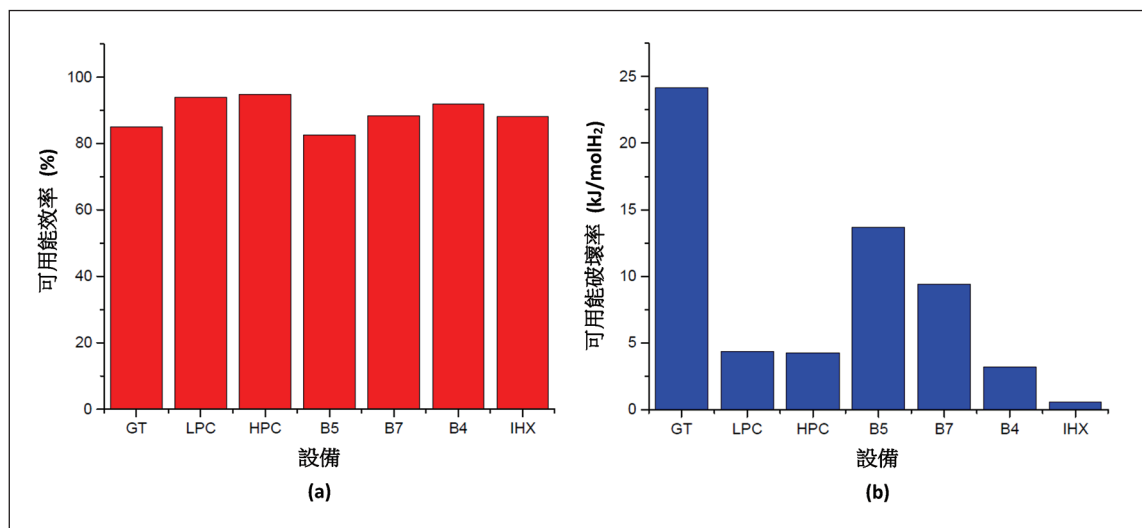


圖5 Brayton 氣體循環的主要組件的 (a) 可用能效率，和 (b) 可用能破壞率

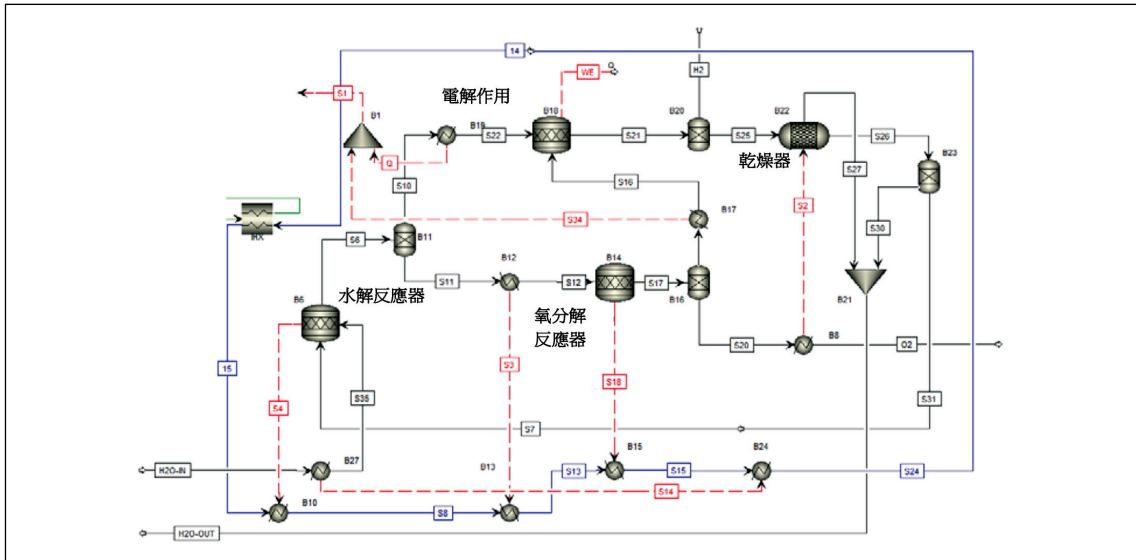


圖 6 在 Aspen Plus 模型中四步驟製氫 Cu-Cl 循環通過 IHX 型熱交換器與 Brayton 循環結合

表 4 Cu-Cl 循環的主要組件的能源和可用能效率

組件	可用能效率
水解反應器加熱器 (B10)	$\psi_{B10} = \frac{\dot{E}x_{Q_{s4}}}{\dot{m}_{s15}ex_{s15} - \dot{m}_{s8}ex_{s8}}$
氧氣分解加熱器 (B15)	$\psi_{B15} = \frac{\dot{E}x_{Q_{s18}}}{\dot{m}_{s13}ex_{s13} - \dot{m}_{s15}ex_{s15}}$
水預熱器 (B24)	$\psi_{B24} = \frac{\dot{E}x_{Q_{s14}}}{\dot{m}_{s15}ex_{s15} - \dot{m}_{s24}ex_{s24}}$
水解反應器 (B6)	$\psi_{B6} = \frac{\dot{m}_{s6}ex_{s6}}{\dot{m}_{s35}ex_{s35} + \dot{m}_{s7}ex_{s7} + \dot{E}x_{Q_{s4}}}$
氧分解反應器 (B14)	$\psi_{B14} = \frac{\dot{m}_{s17}ex_{s17}}{\dot{m}_{s12}ex_{s12} + \dot{E}x_{Q_{s18}}}$
電解反應器 (B18)	$\psi_{B18} = \frac{\dot{m}_{s21}ex_{s21}}{\dot{m}_{s22}ex_{s22} + \dot{m}_{s16}ex_{s16} + W_e}$
乾燥器 (B22)	$\psi_{B22} = \frac{\dot{m}_{s26}ex_{s26} + \dot{m}_{s27}ex_{s27}}{\dot{m}_{s25}ex_{s25} + \dot{E}x_{Q_{s2}}}$

組件	可用能破壞率
水解反應器加熱器 (B10)	$\dot{E}x_{d,B10} = (\dot{m}_{s15}ex_{s15} - \dot{m}_{s8}ex_{s8}) - \dot{E}x_{\dot{Q}_{s4}}$
氧氣分解加熱器 (B15)	$\dot{E}x_{d,B15} = (\dot{m}_{s13}ex_{s13} - \dot{m}_{s15}ex_{s15}) - \dot{E}x_{\dot{Q}_{s18}}$
水預熱器 (B24)	$\dot{E}x_{d,B24} = (\dot{m}_{s15}ex_{s15} - \dot{m}_{s24}ex_{s24}) - \dot{E}x_{\dot{Q}_{s14}}$
水解反應器 (B6)	$\dot{E}x_{d,B6} = (\dot{m}_{s35}ex_{s35} + \dot{m}_{s7}ex_{s7} + \dot{E}x_{\dot{Q}_{s4}}) - \dot{m}_{s6}ex_{s6}$
氧分解反應器 (B14)	$\dot{E}x_{d,B14} = (\dot{m}_{s12}ex_{s12} + \dot{E}x_{\dot{Q}_{s18}}) - \dot{m}_{s17}ex_{s17}$
電解反應器 (B18)	$\dot{E}x_{d,B18} = (\dot{m}_{s22}ex_{s22} + \dot{m}_{s16}ex_{s16} + W_E) - \dot{m}_{s21}ex_{s21}$
乾燥器 (B22)	$\dot{E}x_{d,B22} = (\dot{m}_{s25}ex_{s25} + \dot{E}x_{\dot{Q}_{s2}}) - (\dot{m}_{s26}ex_{s26} + \dot{m}_{s27}ex_{s27})$

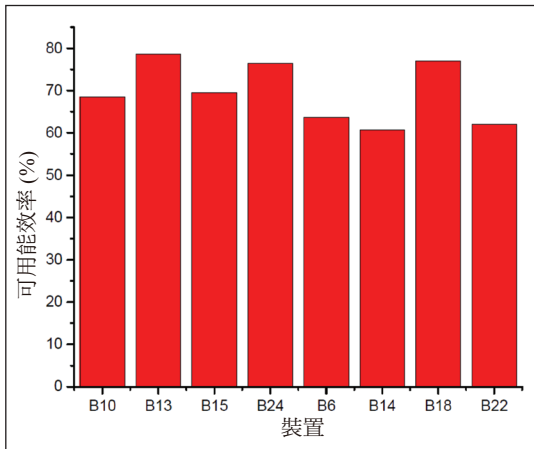


圖7 Aspen Plus® 中建議的 Cu-Cl 流程圖的可用能效率

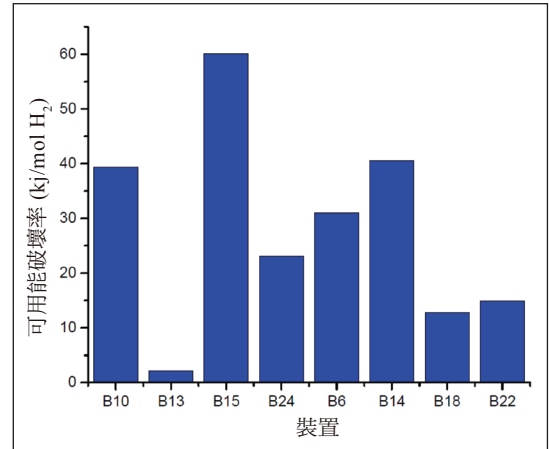


圖8 AspenPlus® 中建議的 Cu-Cl 流程圖的可用能破壞率

臨界水核反應器 (SCWR) 的 Cu-Cl 循環, 亦有相似的結果。在提出的模型中, 還可以確認具有最高可用能破壞率的組件。

在這種情況下, 得到氧分解反應器 (B15) 的熱交換器及反應器本身 (B14) 的最高可用能破壞率, 分別是 60 和 42



kJ/molH_2 ，這些結果是符合預期的，因為在子系統中較高溫度組件的相互作用之下，從而產生更大的熱能需求，其中關鍵原因在於， Cu_2OCl 分解反應溫度需保持 500°C 的要求。另外值得注意的是水解反應器的加熱器的可用能破壞率（ 39 kJ/molH_2 ），很顯然地，在高溫（ 450°C ）與大流量功耗（15）下，該分段產生了相對高的焓值。

該子系統中的另一個關鍵組件是乾燥器（B22），因為水分會大大提高其可用能破壞率（Al-Zareer et al., 2017）。在建議的模型中，根據建議尺寸，可得到一個優化值。

根據Huang and T-Raissi（2005），熱化學循環的整體效率（ $\eta_{\text{Cu-Cl}}$ ）可定義為，生成氫含能量與製程總耗能之間的比率。此後，可以根據下列公式，計算Cu-Cl循環的總能源（ $\eta_{\text{Cu-Cl}}$ ）和可用能（ $\psi_{\text{Cu-Cl}}$ ）效率：

$$\eta_{\text{Cu-cl}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2} \text{LHV}_{\text{H}_2}}{\dot{m}_{15} h_{15} - \dot{m}_{\text{s}24} h_{\text{s}24} + W_e} = 45.33\% \quad (7)$$

$$\psi_{\text{Cu-cl}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2} \text{ex}_{\text{H}_2}}{\dot{m}_{15} \text{ex}_{15} + \dot{m}_{\text{s}24} \text{ex}_{\text{s}24} + W_e} = 73.626\% \quad (8)$$

其中 LHV_{H_2} 是氫的低熱值（119.96 MJ/kg），而 ex_{H_2} 是氫的比熱能（236.09 kJ/mol）。本章的效率值位於其他作者的理論和模擬結果範圍內（Ozbilen et al., 2016; Sayyaadi and Saeedi Boroujeni, 2017）。

（三）MSF 對脫鹽子系統的分析

海水淡化系統由四個串聯的閃蒸分離器組成，用以處理流量為 5.57 kg/s 的海水，其中鹽度為500 ppm（Ma et al., 2013）。Aspen Plus®開發的質量平衡或流程如圖9所示。

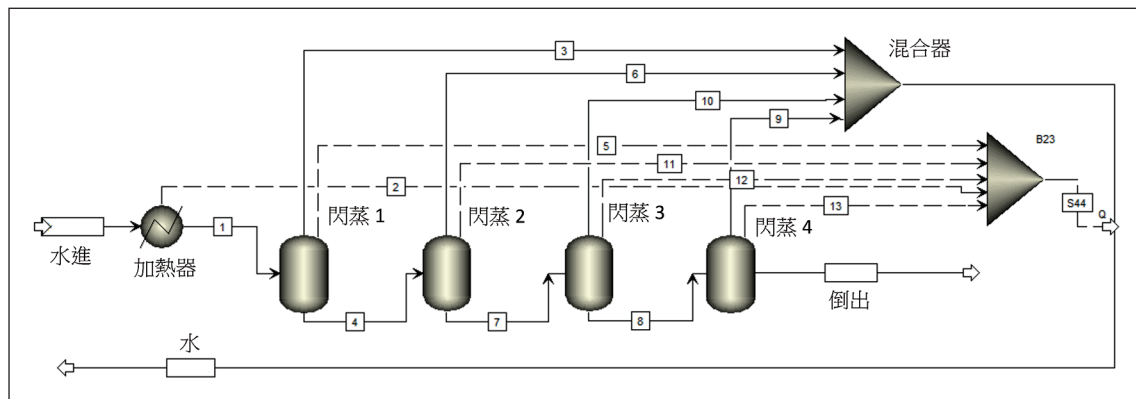


圖 9 用於多級閃蒸脫鹽系統的 Aspen Plus 模型

表5顯示海水淡化子系統組件的可用能效率和可用能破壞率的方程式。

圖10顯示組件的(a)能源效率、(b)可用能效率、以及(c)可用能破壞率。

在這種情況下，可以確定該系統的最高破壞率發生在閃蒸分離器3 (0.27 kJ/

molH₂)。閃蒸4的可用能破壞率具有較低的值，這歸因於少量海水淡化的低能耗。閃蒸分離器的能源效率超過80%，這保證了部分能效達到66.99%。

(四) 總體系統分析

1. 效率計算

表 5 顯示用 MSF 方法對海水淡化系統各組件的可用能效率和可用能破壞率的方程式

組件	可用能效率
加熱器	$\psi_{Heater} = \frac{\dot{m}_1 ex_1}{\dot{m}_{Water-in} ex_{Water-in} + \dot{E}x_{\dot{Q}_2}}$
閃蒸 1	$\psi_{Flash1} = \frac{\dot{m}_3 ex_3 + \dot{m}_4 ex_4}{\dot{m}_1 ex_1 + \dot{E}x_{\dot{Q}_5}}$
閃蒸 2	$\psi_{Flash2} = \frac{\dot{m}_6 ex_6 + \dot{m}_7 ex_7}{\dot{m}_4 ex_4 + \dot{E}x_{\dot{Q}_{11}}}$
閃蒸 3	$\psi_{Flash3} = \frac{\dot{m}_8 ex_8 + \dot{m}_{10} ex_{10}}{\dot{m}_7 ex_7 + \dot{E}x_{\dot{Q}_{12}}}$
閃蒸 4	$\psi_{Flash4} = \frac{\dot{m}_9 ex_9 + \dot{m}_{decant} ex_{decant}}{\dot{m}_8 ex_8 + \dot{E}x_{\dot{Q}_{18}}}$
組件	可用能破壞率
加熱器	$\dot{E}x_{d,Heater} = (\dot{m}_{Water-in} ex_{Water-in} + \dot{E}x_{\dot{Q}_2}) - \dot{m}_1 ex_1$
閃蒸 1	$\dot{E}x_{d,Flasher1} = (\dot{m}_1 ex_1 + \dot{E}x_{\dot{Q}_5}) - (\dot{m}_3 ex_3 + \dot{m}_4 ex_4)$
閃蒸 2	$\dot{E}x_{d,Flasher2} = (\dot{m}_4 ex_4 + \dot{E}x_{\dot{Q}_{11}}) - (\dot{m}_6 ex_6 + \dot{m}_7 ex_7)$
閃蒸 3	$\dot{E}x_{d,Flasher3} = (\dot{m}_7 ex_7 + \dot{E}x_{\dot{Q}_{12}}) - (\dot{m}_8 ex_8 + \dot{m}_{10} ex_{10})$
閃蒸 4	$\dot{E}x_{d,Flasher4} = (\dot{m}_8 ex_8 + \dot{E}x_{\dot{Q}_{18}}) - (\dot{m}_9 ex_9 + \dot{m}_{decant} ex_{decant})$

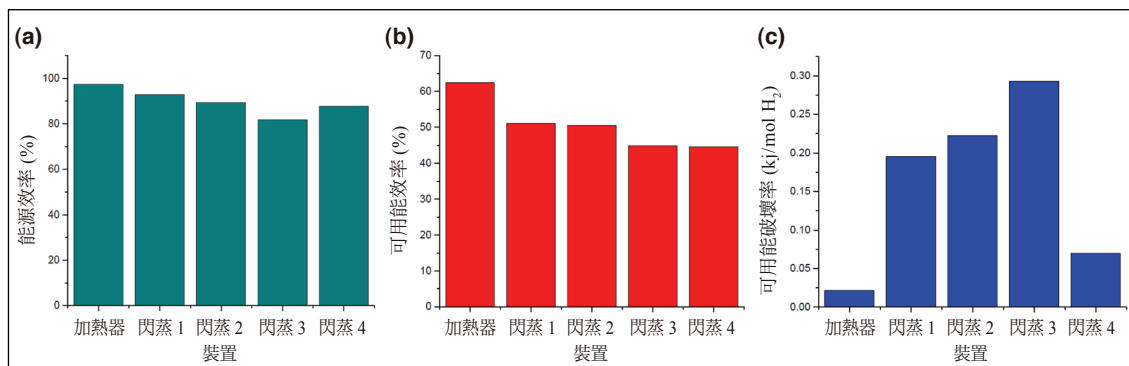


圖 10 在四步驟 Cu-Cl 循環中，利用餘熱進行多級閃蒸脫鹽過程的 (a) 能源效率；(b) 可用能效率；和 (c) 可用能破壞率。

本研究建立一模型，使用Brayton循環產生能量，並將GT-MHR與Cu-Cl循環結合在一起，然後執行詳細的定量分析。對子系統進行分析後，總體能源效率 ($\eta_{overall}$) 和可用能效率 ($\psi_{overall}$) 的計算公式為：

$$\eta_{overall} = \frac{\dot{m}_{H_2}LHV_{H_2} + W_{GT} - W_e - W_{LPC} - W_{HPC}}{\dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_{12} h_{12}} = 32.47\% \quad (9)$$

$$\psi_{overall} = \frac{\dot{m}_{H_2}LHV_{H_2} + W_{GT} - W_e - W_{LPC} - W_{HPC}}{\dot{m}_1 ex_1 - \dot{m}_{12} ex_{12}} = 52.20\% \quad (10)$$

其中 \dot{m}_{H_2} 是在Cu-Cl循環中獲得的氫氣流量， W_{GT} 是在燃氣渦輪機中產生的功率， W_e 是在電解器中消耗的功率， W_{LPC} 和 W_{HPC} 是Brayton循環中專用於低壓和高壓壓縮機的功率。表6彙總Aspen Plus®在完整模擬過程中所獲得的結果。

提出模型的總氫產量為0.219 kg/s，總體效率為32.47%。針對GT-MHR的功率水平，

該製程符合預期結果。子系統的部分效率也在Cu-Cl循環的預期範圍內，充分確定具有較高可用能破壞率的組件。脫鹽系統使用氧分解反應器的排出熱量，淡化4.94 kg/s的海水，效率為66.99%。

2. 成本估算

在得出以核反應器製氫的詳細模型之後，進行相關的成本估算十分重要。這種成本估算是本研究的特定目標之一，藉此可與其他製氫技術比較。為了估算這類成本，國際原子能總署 (IAEA) 曾經使用HEEP®軟體，評鑑各種氫經濟發展計劃的效益 (Khamis and Malshe, 2010)。由於GT-MHR技術仍處於概念設計階段，如果使用類似核技術數據，某些成本可能沒有十分明確的定義。此外，本成本估算還不包括會影響最終成本的海水淡化子系統。表7和表8顯示裝有GT-MHR反應器的核電廠和製氫廠的成本數據。表10則為所有可行海水淡化技術的成本效益分析表。

表 6 製氫過程的總體可用能和能源效率以及該模型的主要運行參數

參數	值
氫氣總生產率 (\dot{m}_{H_2})	0.2190 kg/s
產生的氫氣溫度 (T_{H_2})	25°C
產生的氫氣壓力 (P_{H_2})	0.1013 MPa
產生的淨功率 (W_{net})	292 MW
系統總體能源效率 (η_{ove})	32.47%
系統總體可用能效率 (ψ_{ove})	52.20%
系統總體可用能破壞率 ($\dot{E}_{x_d,ove}$)	530.07 MW
Cu-Cl 循環能源效率 (η_{cu-cl})	45.33%
Cu-Cl 循環可用能效率 (ψ_{cu-cl})	73.62%
Cu-Cl 循環電力消耗 (W_e)	5.87 MWe
能量轉換系統能源效率 (η_{PCS})	53.53%
能量轉換系統可用能效率 (ψ_{PCS})	76.22%
脫鹽熱能消耗 (Q_{des})	12.8 MW
脫鹽系統能源效率 (η_{des})	66.99%
脫鹽系統可用能效率 (ψ_{des})	77.14%
淡化水生產率 ($\dot{m}_{H_2O,des}$)	4.9492 kg/s
進入脫鹽系統的鹹水流量 (\dot{m}_{Brine})	5.5721 kg/s

表 7 估算核電廠生產氫氣的詳細成本資料

參數	值	單位
額定熱功率	600	MWth
製氫熱量	59.15	MWth
額定電能	292	MWe
台數	1	
初始燃料負載	100,000	千克
每年燃料進給	100,000	公斤
隔夜資本成本	459e+6	USD
電力投資成本比例	10	%
燃料費	250	美元 / 千克
運維成本佔資本成本比率	2.3	%
報廢成本佔資本成本比率	0	%



表 8 製氫廠的詳細成本估算

參數	值	單位
單位氫氣產量	6.91e+6	kg/年
熱量消耗	58.21	MWth
所需電量	5.97	MWe
隔夜資本成本	1.01e+8	USD
另一項運維成本佔資本成本的比率	4.46	%
報廢成本佔資本成本的比率	2	%

表 9 生產氫氣和核電廠的成本分析

	資金成本 債務 / 權益 (\$/kg)	運維 (\$/kg)	燃料成本 (\$/kg)	總計 (\$/kg)
核電廠	0.47/0.01	0.16	0.4	1.04
Cu-Cl 廠	0.98/0.01	0.72	-	1.73
熱能成本	0.005/0	0.002	0.005	0.0012
電力成本明細	0.011/0	0.004	0.009	0.023
總計	1.460/.02	0.89	0.4	2.77

表 10 海水淡化技術的成本效益分析

技術	MSF	MEE	MVC	RO
典型平均產能 (m ³ /d)	25,000	10,000	3,000	6,000
最大平均產能 (m ³ /d)	50,000	20,000	5,000	10,000
熱能消耗 (kWh/m ³)	80	60	-	-
電能消耗 (kWh/m ³)	4	2	7	5
等效電能消耗 (kWh/m ³)	15	7	7	5
廠房成本 (\$/(m ³ /d))	1,300	1,200	1,000	1,000
生產成本 (\$/m ³)	1.1	0.8	0.7	0.7

註：多級閃蒸 (MSF)；多效蒸發 (MEE)；機械蒸汽壓縮 (MVC)；逆滲透 (RO)。
資料來源：Fiorenza et al. (2003)

在表8中，依據Ozbilen et al. (2016) 方法，匯整此類技術的典型財務數據。表9和圖11顯示與GT-MHR耦合的Cu-Cl循環的成本。

由上述概念設計分析可得出產氫總成本為2.77美元/千克，其在營運和維護 (O & M) 方面的貢獻為0.89美元/千克，由此得知，該成本對氫經濟概念的實現，具有實質

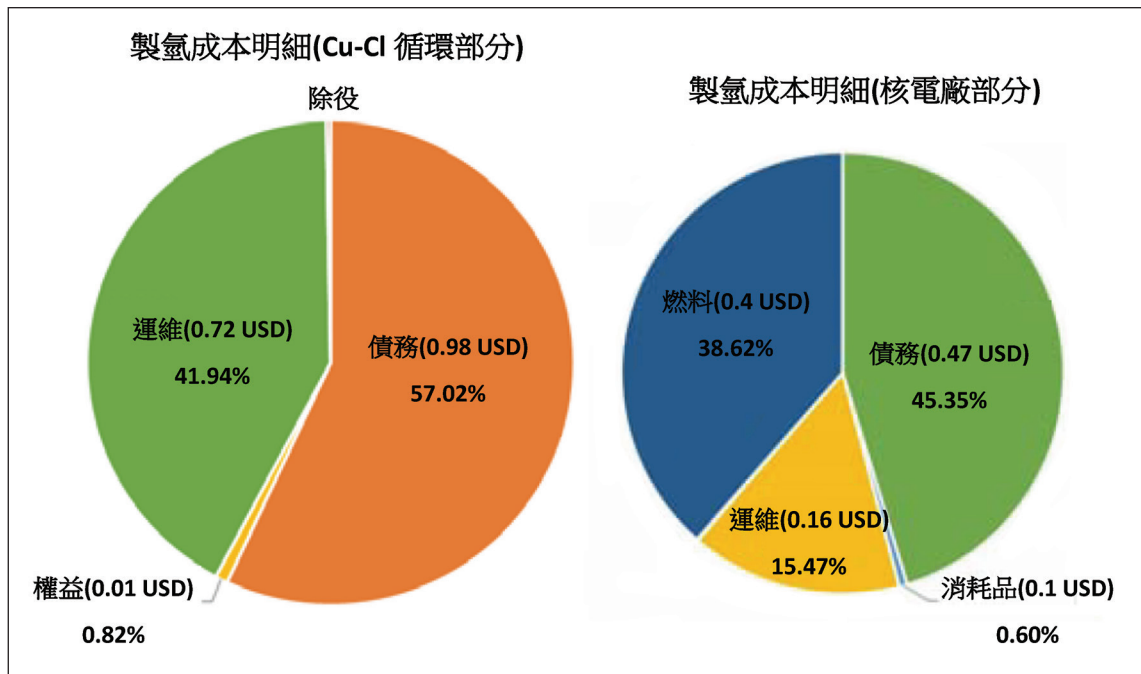


圖 11 製氫成本明細 (美元 / 千克)

上的關鍵地位。

然而，該貢獻值對Cu-Cl循環而言是特有的，因為在循環中處理固體會使該部分更加昂貴。但是，與其他具有類似功率的核反應器系統相比，本研究所獲得的總成本值位在其研究範圍內。另外，本研究亦有考慮其他研究對其他反應器和製氫技術的方法使用。(Sorgulu and Dincer, 2017; Rodríguez et al., 2018)

四、結論

在本研究中，提出一種新的概念設計，

其使用先進核反應器為能源，通過Cu-Cl循環製氫，並完成海水淡化。此外藉由主要循環組件分析，獲得可用能及能源效率。最後提出簡短的成本估算，基本上是藉由HEEP方法來計算產氫的成本。

在Aspen Plus®中開發一個模型，以評估製氫的可用能，並藉由GT-MHR核反應器為能源，從Cu-Cl循環中製氫。同時建議未來可使用其中一個製程的餘熱，通過MSF技術來淡化海水。最後，針對提出模型獲得能源和可用能的計算方程式。

對於建議的模型，使用Cu-Cl循環得到的



產氫量為0.2190 kg/s，能源效率為45.33%。對應於最高能量需求，Cu-Cl循環的最高可用能破壞率發生在氧分解反應器。通過Brayton氣體循環產生292 MWe的電力，其中5.87 MWe用於熱化學反應的電解步驟。氧分解反應的殘熱用於淡化5.5721 kg/s的海水，並以66.99%效率獲得4.9492 kg/s的水，成本貢獻為0.0011 \$/kg（依據表10的MSF生產成本）。總體製程的能源效率和可用能效率分別為32.47%和52.20%；使用GT-MHR概念設計對製氫程序進行成本估算，結果得到2.77 \$/kgH₂的數值，其中對Cu-Cl廠的O & M成本貢獻為0.72 \$/kg；這些數值都在參考文獻的預期範圍內⁴。

通過提議子系統的能源/可用能效率分析以及每個組件的可用能破壞率計算，我們得出結論：結合GT-MHR技術與Cu-Cl循環的製氫製程是可行的。此外，我們還證明使用製程中的餘熱可以淡化海水，另外，生產氫的成本是與所選取反應器的功率水平相互對應的。

針對上述獲得的結果，我們確認本研究的所有特定目標均已達成，而擬定系統也能滿足氫經濟概念的高效要求，在有特殊能源及飲用水需求下，例如臺灣的偏遠離島地

區，該方法確實可行。

參考文獻

1. Al-Zareer, M., Dincer, I. and Rosen, M.A. (2017) "Development and assessment of a novel integrated nuclear plant for electricity and hydrogen production," *Energy Convers. Manag.*, Vol. 134, pp.221–234.
2. Aspen Technology (2000) *Aspen Plus® Aspen Plus User Guide*, Vol. 10, pp.936.
3. Chukwu, C., Naterer, G.F. and Rosen, M.A. (2008) "Process simulation of nuclear-based thermochemical hydrogen production with a copper-chlorine cycle," *Can. Nucl. Soc.*, May, Vol. 1, No. 1, pp.9–19.
4. Elder, R. and Allen, R. (2009) "Nuclear heat for hydrogen production: coupling a very high/high temperature reactor to a hydrogen production plant," *Prog. Nucl. Energy*, Vol. 51, No. 3, pp.500–525.
5. El-Ghonemy, A.M.K. (2017) "Performance test of a sea water multi-stage flash distillation plant: case study," *Alexandria Eng. J.*, December, pp.2401–2413.
6. Ferrandon, M.S., Lewis, M., Alvarez, F. and Shafirovich, E. (2010) "Hydrolysis of CuCl₂ in the Cu-Cl thermochemical cycle for hydrogen production: experimental studies using a spray reactor with an ultrasonic atomizer," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 35, No. 5, pp.1895–1904.
7. Fiorenza, G., Sharma, V. K. and Braccio G. (2003) "Techno-economic evaluation of a solar powered water desalination plant," *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, No. 14, pp. 2217–2240.
8. Huang, C. and T-Raissi, A. (2005) "Analysis of sulfur-iodine thermochemical cycle for solar hydrogen production: part I: decomposition of sulfuric acid," *Sol. Energy*, Vol. 78, No. 5, pp.632–646.
9. IAEA (2013) *Evaluation of High Temperature Gas Cooled Reactor Performance: Benchmark Analysis Related to the PBMR-400, PBMM, GT-MHR, HTR-10 and the ASTRA Critical Facility*, Vol. 53, No. 9.
10. Khamis, I. and Malshe, U.D. (2010) "HEEP: a new tool for the economic evaluation of hydrogen economy," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 35, No. 16, pp.8398–8406.
11. Khawaji, A.D., Kutubkhanah, I.K. and Wie, J.M. (2008) "Advances in seawater desalination technologies," *Desalination*, Vol. 221, Nos. 1–3, pp.47–69.
12. Li, P.-J., Hung, T.-C., Pei, B.-S., Lin, J.-R., Chieng, C.-C. and Yu, G.-P. (2012) "A thermodynamic analysis of high temperature gas-cooled reactors for optimal waste heat recovery and hydrogen production," *Appl. Energy*, Vol. 99, pp.183–191.
13. Linares, J.I. and Moratilla, B.Y. (2007) *El Hidrógeno y la Energía*, Rev. Av. la Ing. Locatelli, G., Bingham,

⁴ 例如，在 Al-Zareer et al. (2017) 中，產氫率為 2.02 kg/s (700 bar)，發電量 553 MW，能源效率 31.6%，可用能效率 56.2%。在 Sayyaadi and Saeedi Boroujeni (2017) 中，能源效率為 49.83%，可用能效率為 58.23%，產氫成本為 6.33 \$/kgH₂。

- C. and Mancini, M. (2014) "Small modular reactors: a comprehensive overview of their economics and strategic aspects," *Prog. Nucl. Energy*, Vol. 73, pp.75–85.
14. Locatelli, G., Fiordaliso, A., Boarin, S. and Ricotti, M.E. (2017) "Cogeneration: an option to facilitate load following in small modular reactors," *Prog. Nucl. Energy*, Vol. 97, pp.153–161.
15. Ma, Z.Q., Huo, S.H. and Su, M. (2013) "Simulation with Aspen Plus and performance analysis of LT-MED seawater desalination system," *Appl. Mech. Mater.*, Vols. 397–400, pp.948–956.
16. Mazloomi, K. and Gomes, C. (2012) "Hydrogen as an energy carrier: prospects and challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 16, No. 5, pp.3024–3033.
17. Naterer, G.F., Daggupati, V.N., Marin, G., Gabriel, K.S. and Wang, Z.L. (2008) "Thermochemical hydrogen production with a copper-chlorine cycle, II: flashing and drying of aqueous cupric chloride," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 33, No. 20, pp.5451–5459.
18. O'Brien, J.E., McKellar, M.G., Harvego, E. and Stoots, C.M. (2010) "High-temperature electrolysis for large-scale hydrogen and syngas production from nuclear energy – summary of system simulation and economic analyses," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 35, No. 10, pp.4808–4819.
19. Orhan, M.F., Dinçer, I. and Rosen, M.A. (2012) "Efficiency comparison of various design schemes for copper-chlorine (Cu-Cl) hydrogen production processes using Aspen Plus software," *Energy Convers. Manag.*, Vol. 63, pp.70–86.
20. Ozbilen, A., Dincer, I. and Rosen, M.A. (2016) "Development of a four-step Cu-Cl cycle for hydrogen production – part II: multi-objective optimization," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 19, pp.7826–7834.
21. Pope, K., Wang, Z. and Naterer, G.F. (2016) "Process integration of material flows of copper chlorides in the thermochemical Cu-Cl cycle," *Chem. Eng. Res. Des.*, Vol. 109, pp.273–281.
22. Richards, M., Shenoy, A., Schultz, K., Brown, L., Harvego, E., McKellar, M., Coupey, J.P., Reza, S.M.M., Okamoto, F. and Handa, N. (2006) "H₂-MHR conceptual designs based on the sulphur iodine process and high-temperature electrolysis," *Int. J. Nucl. Hydrog. Prod. Appl.*, Vol. 1, No. 1, p.36.
23. Richards, M., Shenoy, A., Schultz, K., Brown, L., Harvego, E., McKellar, M., Okamoto, F., Handa, N., Coupey, J. and Reza, S.M.M. (2005) "Conceptual designs for MHR-based hydrogen production systems," *Lloydia (Cincinnati)*, Vol. 1, No. 190, pp.1–6.
24. Rodríguez, D.G., De Oliveira Lira, C.A.B., Parra, R.G., Hernandez, R.C.G., and Valdes, R.D.I.T. (2018) "Computational model of a sulfur-iodine thermochemical water splitting system coupled to a VHTR for nuclear hydrogen production," *Energy*, Vol. 147, pp.1165–1176.
25. Sayyaadi, H. and Saeedi Boroujeni, M. (2017) "Conceptual design, process integration, and optimization of a solar Cu[SO_4]/Cl thermochemical hydrogen production plant," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 42, No. 5, pp.2771–2789.
26. Shin, Y., Lee, K., Kim, Y., Chang, J., Cho, W. and Bae, K. (2012) "A sulfur-iodine flowsheet using precipitation, electro dialysis, and membrane separation to produce hydrogen," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 37, No. 21, pp.16604–16614.
27. Smitkova, M., Janiček, F. and Riccardi, J. (2011) "Life cycle analysis of processes for hydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 36, No. 13, pp.7844–7851.
28. Sorgulu, F. and Dincer, I. (2017) "Cost evaluation of two potential nuclear power plants for hydrogen production," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 43, No. 23, pp.2–9.
29. Wu, L., Xiao, S. and Gao, C. (2012) "Simulation of multi-stage flash (MSF) desalination process," *Advances in Materials Physics and Chemistry*, Vol. 2012, No. 2, pp.200–205.
30. Yan, X.L. and Hino, R. (2011) *Nuclear Hydrogen Production Handbook: Green Chemistry and Chemical Engineering*, Ohio University, Athens, CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, Ohio, USA.
31. Yildiz, B. and Kazimi, M.S. (2006) "Efficiency of hydrogen production systems using alternative nuclear energy technologies," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 31, No. 1, pp.77–92.



專門術語與命名法

符號		下標	
\dot{m}	流量	in	表示流體進口
\dot{W}	功率	out	表示流體出口
\dot{Q}	傳熱率	PT	表示標稱壓力和溫度
\dot{E}_{x_d}	可用能破壞率	o	表示初始流體條件
ex	比速率	f	表示最終流體條件
h	比焓	首字母縮寫	
W_e	電功率	GT	燃氣渦輪機 (Gas Turbine)
P	壓力	MHR	模組化氦反應器 (Modular Helium Reactor)
T	溫度	MSF	多級閃蒸 (Multi-stage Flash)
ex_{H_2}	氫比可用能	LHV	低熱值 (Low Heating Value)
希臘字母		PCS	能量轉換系統 (Power Conversion Cycle)
ψ	可用能效率 (Exergy Efficiency)	LPC	低壓壓縮機 (Low Pressure Compressor)
η	能源效率 (Energy Efficiency)	HPC	高壓壓縮機 (High Pressure Compressor)

中工百拾 拾級而上

今年欣逢中國工程師學會創會110年，與中華民國齊步走了110年的歲月，光陰流轉，文賢薈萃。創會會長詹天佑先生，被譽為中國近代工程之父；前理事長李國鼎先生、孫運璿先生、趙耀東先生、方賢齊先生等皆對國家有重大貢獻。中工會在工程界一直扮演著承先啟後、繼往開來的重要角色，感謝中工會歷任理事長、理監事及會務同仁，因為有大家無私的付出與奉獻，才能建立起學會堅實的百拾年基礎。

中國工程師學會是工程師的大家庭，百工薈萃。我們致力於創造工程師發揮長才的舞臺，宣揚工程師的榮譽感、重要性及價值。中工會成功凝聚了工程界的能量，聲譽日隆，在國家發展的每一個階段，工程師朋友在基礎建設、產業創新及經濟成長中均扮演舉足輕重的要角。經濟、社會環境儘管更迭，會務重點隨之演變，使每一個階段的核心任務或有不同，但最終目標都在協助政府、社會、產業與企業提升價值，厚植國家競爭力。

緬懷過往榮景，中工會歷經民初創會及整合期、四〇年代在臺復會後逐漸茁壯、六〇年代配合十大建設等重大國家政策擴大發展、八〇年代及九〇年代的產業轉型，乃至跨越世紀長河之後，迎來更多元、更開放、更永續及包容的跨域合作。近年學會成立的防災科技委員會、女性工程師委員會、青年工程師委員會，皆是順應國際上所重視的永續發展、性別平權、以及能力建構（Capacity Building）議題，而積極推動相關活動，希望帶領工程界掌握全球趨勢，邁向永續。另外為了重新凝聚工程界的共識，擴大知識與經驗分享的效果，本屆得獎人聯誼委員會在水利署的協助之下，陸續規劃了一系列活動，包括工程參訪、意見交換、線上廣播節目等，成功擴大了青年會員的參與層面。

現任施義芳理事長上任後，即以海納百川、有容乃大的理念，廣納更多領域學有專精的工程專家，一起加入中工會，委以重任，創造更多有利工程發展，以及有助於工程人才培育的條件。相信在本屆理、監事及



委員會的共同努力之下，可以促成產官學研間的合作，點亮更多創意，帶動更多開創性的作為，並推動創新產業，為我國工程建設、國家經濟發展帶來正向的影響力。

今年3月22日，施理事長帶著26個專門工程學會的理事長一同晉見蔡英文總統，總統於致詞時肯定工程界長期以來對國家經濟建設發展的重要性，並說明國家目前發展策略除著重於打造未來30年的基礎建設外，也將推動六大核心戰略產業，這樣的超前部署能讓臺灣在後疫情時代掌握全球供應鏈重組的先機，因此希望能藉著中工會這樣的平臺，將工程界的力量凝聚起來，團結一心的為國家發展努力。施理事長也於答辭時向總統表示，他將與工程界的先進們共同為國家未來的經濟建設及科技發展注入能量，響應政府的六大核心戰略，並強化專業工程人才的培育，鼓勵優秀青年學子投身工程界，貢獻一己之力，也將持續地積極參與國際工程組織，提升我國在世界的能見度，呼應蔡總統「盼世界看見臺灣」的期望。

工程為國家發展之基石，南非前總統 Nelson Mandela曾說：「生活的意義不是我們曾活著這樣一個簡單的事實，而在於我們是否為其他人的生活帶來了變化。」工程師走在黑暗與荊棘中，但把光明與鮮花獻給人們，因為他們無私的奉獻，才能一直帶著國家不斷前行。

中工百拾，拾級而上。中工會淬鍊110年，繼續登高望遠，讓我們一起看向更高更遠的百年榮景，也期待看到我國工程界站上世界的高峰。



中國工程師學會 110 年會士及各獎項得獎名單

中國工程師學會 110 年會士名單

會士	<p>廖慶榮（國立臺灣科技大學 / 講座教授）</p> <p>張武訓（交通部高速鐵路工程局 / 副局長退休）</p> <p>陳仲賢（中興工程顧問股份有限公司 / 董事長）</p> <p>蔡明祺（國立成功大學機械工程學系 / 講座教授）</p>
----	---

中國工程師學會 110 年各獎項得獎名單（依筆劃序）

傑出工程教授	<p>江昭皚（國立臺灣大學生物機電工程學系 / 特聘教授）</p> <p>呂世源（國立清華大學化工系 / 清華講座教授）</p> <p>張禎元（國立清華大學動力機械工程學系 / 特聘教授）</p> <p>郭浩中（國立陽明交通大學光電工程研究所 / 講座教授）</p> <p>陳志成（國立陽明交通大學資訊學院 / 講座教授兼院長）</p> <p>黃震興（國立臺灣科技大學營建工程系 / 教授）</p> <p>楊朝棟（東海大學資訊工程學系 / 終身特聘教授兼圖書館館長）</p> <p>蔡文田（國立屏東科技大學生物資源研究所 / 特聘教授兼所長）</p> <p>蔡孟勳（國立臺灣大學機械系 / 特聘教授）</p> <p>謝啟萬（國立屏東科技大學土木工程系 / 教授）</p>
傑出工程師	<p>李政安（新北市政府捷運工程局 / 局長）</p> <p>林建華（台灣世曦工程顧問股份有限公司 / 資深協理）</p> <p>張盈智（築遠工程顧問有限公司 / 總經理）</p> <p>莊文鎮（中鼎工程股份有限公司 / 總工程師）</p> <p>黃基福（台灣高速鐵路股份有限公司 / 協理）</p> <p>楊詠宜（中國鋼鐵股份有限公司 / 正研究員）</p> <p>董健光（中鋼碳素化學股份有限公司 / 處長）</p> <p>熊衛澤（台灣積體電路製造股份有限公司 / 副處長）</p> <p>賴建信（經濟部水利署 / 署長）</p> <p>駱韋仲（財團法人工業技術研究院電光系統所 / 副所長）</p>



<p>優秀青年工程師</p>	<p>王則涵（中華電信研究院網路管理研究所 / 研究員） 王 範（中鼎工程股份有限公司方法設計部 / 資深工程師） 周揚震（工業技術研究院綠能與環境研究所 / 資深研究員） 林義暉（工業技術研究院機械所 / 專案經理） 涂貫迪（新北市政府捷運工程局工程管理科 / 科長） 張志嘉（工業技術研究院電子與光電系統研究所 / 專案副理） 楊世海（台灣積體電路製造股份有限公司 / R&D 經理） 廖俊逸（中興工程顧問股份有限公司大地工程部 / 工程師） 鍾偉志（中國鋼鐵股份有限公司鋼鐵產品發展組 / 研究員）</p>
<p>詹天佑論文獎</p>	<p>功能型先進超高強度汽車用鋼開發 楊國政、涂睿帆、王泰翔、王琮賢、田宗凱</p>
<p>工程論文獎</p>	<p>Performance of Geosynthetic-Reinforced Soil Walls at Failure 洪汶宜、楊國鑫、Thanh Son Nguyen、Truong-Nhat-Phuong Pham</p> <p>創新製程線上固溶化 3XX 不銹鋼產品開發 吳宗峯、李名言</p> <p>具 MQTT 協定之工業物聯網閘道器實現廠區製造資訊雙向互動系統 陳響亮、李桂銘、李宜靜</p> <p>Influence of sulfide, chloride and dissolved organic matter on mercury adsorption by activated carbon in aqueous system 席行正、陳祺、丁昱、莊文歷</p> <p>天然刺激源引起之地下水位變動時空分析 - 以濁水溪沖積扇為例 蕭金財、蔡瑞彬、張良正</p>
<p>石延平教授 工程論文獎</p>	<p>Optimal scheduling for police patrol duties 顏上堯、王俊懿、莊友維</p>



<p>優秀工程 學生獎學金</p>	<p>吳俊緯（國立中興大學 / 土木工程學系） 李維軒（中原大學 / 機械工程學系） 林沂儒（國立中央大學 / 土木工程學系） 林毓淇（國立清華大學 / 電機工程學系） 張宸瑄（國立臺灣大學 / 生物環境系統工程學系） 陳志綸（國立臺灣科技大學 / 建築系） 黃潔金（國立臺北大學 / 資訊工程學系） 黃瀚萱（國立高雄大學 / 化學工程與材料工程學系） 潘正諺（國立宜蘭大學 / 電子工程學系） 蕭宇哲（國立成功大學 / 電機工程學系）</p>
<p>沈怡獎學金</p>	<p>趙家豪（國立陽明交通大學 / 土木工程學系四年級） 簡百慧（義守大學 / 化學工程學系三年級）</p>
<p>產學合作 績優單位</p>	<p>【公私立大學】 國立清華大學、國立中央大學、國立成功大學、國立陽明交通大學、逢甲大學</p> <p>【公私立科技大學】 國立高雄科技大學、中華科技大學、國立屏東科技大學、國立勤益科技大學、國立臺北科技大學、崑山科技大學</p> <p>【技術學院】 亞東技術學院</p> <p>【高中職】 臺中市立臺中工業高級中等學校</p> <p>【公民營事業單位】 財團法人金屬工業研究發展中心、財團法人臺灣營建研究院、財團法人工業技術研究院、中興工程顧問股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、桃園大眾捷運股份有限公司</p>



中國工程師學會 110 年工程優良獎得獎名單

工程名稱	主辦單位	協辦單位
沙崙綠能科學城核心區 - C 區開發工程 (第一期)	科技部南部科學園區管理局	專案管理：中興工程顧問股份有限公司 設計：台灣世曦工程顧問股份有限公司 / 九典聯合建築師事務所 監造：台灣世曦工程顧問股份有限公司 施工：瑞助營造股份有限公司
國道 4 號臺中環線豐原潭子段第 C715 標潭子系統交流工程	高速公路局第二新建工程處	設計監造：中興工程顧問股份有限公司 施工：新亞建設開發股份有限公司
桃園市觀音區草漯第一、三、六區整體開發單元市地重劃統包工程	桃園市政府新建工程處	設計及專案管理：中興工程顧問股份有限公司 監造：中棧工程顧問股份有限公司 設計：亞新工程顧問股份有限公司 施工：皇昌營造股份有限公司
「臺鐵南迴鐵路臺東潮州段電氣化工程建設計畫」系統機電統包工程	交通部鐵道局	設計及監造：台灣世曦工程顧問股份有限公司 施工：士林電機廠股份有限公司 / 日本信號株式會社
淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程 (藍海線)	新北市政府捷運工程局	專管：中興工程顧問公司 整體系統獨立驗證與認證：台灣德國萊因技術監護顧問公司 監造：亞新工程顧問公司
高雄市濱海聯外道路開闢工程 (北段道路 0K~2K+100) 第一期	高雄市政府工務局新建工程處	設計及監造：台灣世曦工程顧問股份有限公司 施工：瑞鋒營造有限公司
臺南市永康區新設鹽行國中暨附近地區區段徵收工程	臺南市政府地政局	專案管理：中興工程顧問股份有限公司 設計及監造：台灣世曦工程顧問股份有限公司 施工：松東營造股份有限公司



五結防潮副閘門改建工程	經濟部水利署 第一河川局	設計監造：正泰機械技師事務所 施工：九品股份有限公司 / 合億營造股份有限公司
安順寮排水滯洪池新建工程	經濟部水利署 第六河川局	設計：中興工程顧問股份有限公司 監造：黎明工程顧問股份有限公司 施工：岡山營造有限公司

中宇

卓越
誠信
技術
品質

股票上市公司
ISO9001 / ISO45001

驗證通過

- 水處理及回收工程
Water Treatment & Recycling
- 汽電共生廠及發電廠工程
Co-generation Plant & Power Plant Turnkey
- 生物製劑及藥廠建廠統包工程
Turnkey Project for Biotech & Biopharmaceutical Facility
- 整廠機電及公共設施工程
Mechanical & Electrical & Utility Engineering Systems
- 廢棄物處理及空氣污染防治
Waste Treatment & Air Pollution Control
- 耐火材料工程
Refractory Engineering
- 工業級LED燈具之製作&銷售
Industrial-grade LED lighting (Production & Sales)



澄清湖高級淨水處理設備工程
Chenchin Lake Advanced Water Treatment Plant



生技廠工程
Biopharmaceutical Plant



工業廢水純化場
Industrial Waste Water Purification Plant



化工廠工程
Chemical Plant



空氣污染防治系統
Air Pollution Control System



中宇環保工程股份有限公司
CHINA ECOTEK CORPORATION

高雄市前鎮區成功二路88號8樓
8F, NO.88, CHENGONG 2ND ROAD, CIANJHEN DIST.,
KAOHSIUNG CITY 80661, TAIWAN, R.O.C.
TEL : 07-3336138 FAX : 07-3363030
E-mail address : guest@ecotek.com.tw
Web : http://www.ecotek.com.tw



CSC GROUP

中鋁集團

建中工程股份有限公司



2 3



1

仁德戰備道幻象戰機升空起飛照，圖1可以看出戰機起飛時發動機火焰直接噴射於鋪面的情況，故使用高強度複合式改質瀝青。高強度複合式改質瀝青同時也應用在需要高耐磨、抗剝脫與高抗滑的大鵬灣國際賽道(圖2)及高雄大魯閣草衙道迷你鈴鹿卡丁車賽道(圖3)



ARTC試車場工程，是建中公司與日本鋪道株式會社，組成工作團隊聯合承攬財團法人車輛研究測試中心試車場工程，引進日本土木工程技術與試車場施工經驗，完美結合並發揮土木工程技術之極限

專業 穩健 誠信 求新

瀝青混凝土
改質瀝青瀝青混凝土
彩色瀝青
GUSS瀝青混凝土
自由車場及試車場 高坡度工程



鋪築人生美好道路

10652 台北市大安區新生南路一段111號7樓
TEL:(02)2772-7711 FAX:(02)2772-1108



Co - living on

日勝生活科技股份有限公司

RADIUM LIFE TECH. CO., LTD.



百年精神 榮耀無限

日式建築 和風之美

管家文化 細膩體貼

會席料理 食之雅韻

日勝生活 幸福共生

榮獲全國第一座雙鑽石綠建築

聯合國理想生態宜居社區

創造台灣另一個世界級宜居城



桃園汙水如期通水

親水教育、生態綠意

水資源回收、親近桃花源

轉運台北 首耀國際

智慧化管理 卓爾不群 獨一無二

首都國門空中巴士站 臺北轉運站

10351 台北市大同區市民大道一段 209 號 14 樓

www.radium.com.tw

Tel:(02)7733-8888 / Fax:(02)-2555-3900



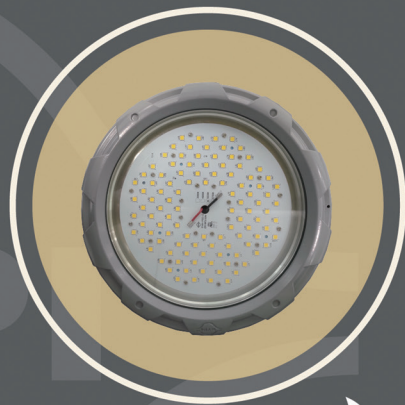
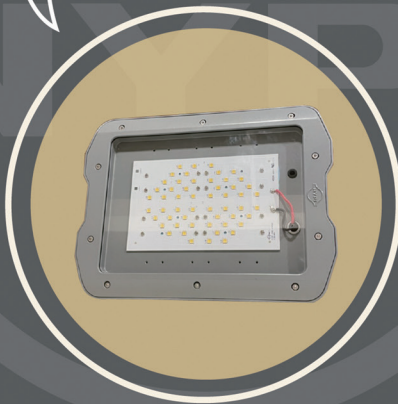
南亞光電股份有限公司
NAN YA PHOTONICS INC.

工業照明 X 危險區域照明



G4路燈

G4高天井燈



G3防爆燈

聯絡資訊

營業處 (LED照明)
02-27122211 #5906、5907、5908

工程服務處 (安防監控)
02-26806311 #5560、5564、5572

綠能服務處 (太陽能系統)
02-27122211 #5915、5917



南亞光電
產品網頁



LINE
加好友

歡迎來電洽詢

<https://www.nypi-lighting.com>