



工程

- ▶ 擘劃能源轉型藍圖-天然氣接收站擴建及規劃
- ▶ 串連離岸式LNG碼頭與陸上接收站-第三座LNG接收站海上棧橋
- ▶ 提升供氣穩定的關鍵-第三座LNG接收站儲槽工程
- ▶ 突破天然氣輸送瓶頸-LNG灌裝
- ▶ 達成淨零碳排的重要里程碑-加氫站與充電站設置規劃
- ▶ 淨零碳排的最後一哩路-淺談碳封存

邁向能源新世紀
從低碳到零碳





台灣中油股份有限公司



看見妳(你)的真本事

堅毅強韌是我們的天性

細心謹慎是我們的態度

研究創新是我們的精神

在中油 讓妳(你)盡情展現真本事



官網

廣告



邁向能源新世紀—從低碳到零碳

隨著全球氣候變遷與溫室效應影響日益明顯，世界各國持續針對減少碳排放及發展新能源進行討論。為達成國際減碳承諾，並因應國內外政經情勢及能源環境的快速變遷，政府於2016年起積極推動能源結構轉型的「新能源政策」，以2025年達-50%(天然氣)之低碳潔淨發電能源配比為目標，擴大天然氣的使用，發揮其橋接功能；另於2022年提出「臺灣2050淨零排放路徑及策略」，短中期推動以燃氣取代燃煤，加速減少碳排放。液化天然氣透過灌裝以槽車運載，可擴大天然氣使用，而透過加氫站及充電站設置，並導入碳捕捉封存再利用(CCUS)技術解決碳排問題，同步邁向零碳的能源新世紀。

邁向能源新世紀—從低碳到零碳

客座主編：方振仁 / 台灣中油股份有限公司總經理

- 5 擘劃能源轉型藍圖 - 天然氣接收站擴建及規劃 / 陳碧道
- 17 串連離岸式LNG碼頭與陸上接收站 - 第三座LNG接收站海上棧橋 / 蔣啟恆、劉珊、陳明谷、許肇安
- 35 提升供氣穩定的關鍵 - 第三座LNG接收站儲槽工程 / 劉康弘
- 42 突破天然氣輸送瓶頸 - LNG灌裝 / 范嘉榮
- 48 達成淨零碳排的重要里程碑 - 加氫站與充電站設置規劃 / 盧信宏、顏子翔、張揚狀、黃宛蓉
- 59 淨零碳排的最後一哩路 - 淺談碳封存 / 楊志成、李奇峰、曾彥祺

理事長：楊正宏

常務理事：李順欽 胡湘麟 陳仲賢 楊宗興
鄭光遠 賴建信

理事：王宇睿 王錫福 伍勝園 江秀丹
余信遠 宋裕祺 李政安 李偉賢
周永暉 林聰利 莫仁維 許泰文
許鈺漳 陳守道 陳哲生 陳國隆
黃維焄 楊正君 楊慶煜 廖學瑞

常務監事：施義芳

監事：高宗正 陳玫英 歐善惠 蘇玫心

秘書長：蔡榮禎

副秘書長：李瑋聆

發行所：中國工程師學會出版委員會

主任委員：黃炳勳

委員：方振仁 王子安 王宇睿 余信遠
林建華 洪文玲 徐強 張人懿
莫仁維 陳守道 陳哲生 劉國慶
賴建信

總編輯：張鈺輝

客座主編：方振仁

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



邁向能源新世紀—從低碳到零碳— 專輯序言

台灣中油股份有限公司總經理 / 方振仁

隨著全球氣候變遷與溫室效應影響日益明顯，世界各國持續針對減少碳排放及發展新能源進行討論，從1997年「京都議定書」對先進國家賦予強制減碳責任，2015年「巴黎協定」規範所有國家提出減排承諾並訂定限制升溫目標，到2021年COP26氣候變遷大會「格拉斯哥氣候協議」達成「2050淨零排放(2050 Net Zero)」之國際共識，各國陸續提出淨零轉型規劃，期能透過積極的減碳作為及能源轉型政策減緩暖化速度，以因應日益嚴峻之氣候衝擊風險。為達成國際減碳承諾，並因應國內外政經情勢及能源環境的快速變遷，臺灣於2016年起積極推動能源結構轉型的「新能源政策」，以2025年達20%(再生能源)-30%(燃煤)-50%(天然氣)之低碳潔淨發電能源配比为目標，增建天然氣卸收、輸儲設備，以擴大天然氣的使用，發揮其橋接功能；另為逐步實現2050淨零排放之永續社會，政府於2022年提出「臺灣2050淨零排放路徑及策略」，短中期推動以燃氣取代燃煤，提高天然氣使用以降低燃煤占比，加速減少碳排放，長期隨再生能源供給增加，天

然氣仍扮演提供電力系統輔助服務的重要角色，以維持供電穩定，並可透過導入碳捕捉封存再利用(CCUS)技術解決碳排問題。本期「邁向能源新世紀-從低碳到零碳」收錄六篇有關天然氣的專題論文，透過全國天然氣管網規劃、液化天然接收站實體相關工程及碳捕捉技術的分享，加深對橋接能源的認識，一同邁向能源新世紀。

第一篇論文是台灣中油公司天然氣事業部陳碧道主任所撰寫的「擘劃能源轉型藍圖-天然氣接收站擴建及規劃」，基於天然氣高效能、低污染、安全方便之特性，在全球溫室氣體減排聲浪中，已被視為過渡到淨零排放的重要橋接能源。配合能源政策，政府持續推動擴大天然氣之使用，預期未來國內天然氣市場仍將持續成長。台灣中油公司作為國內進口與供應的事業體，責無旁貸配合政府新能源政策，籌謀規劃天然氣輸儲設施增擴建計畫，期許充分穩定供應國內天然氣需求。

第二篇論文是台灣世曦工程股問有限公司結構部蔣啟恆協理等人所撰寫的「串連離岸式LNG碼頭與陸上接收站-第三座LNG接收站海上棧橋」，第三座液化天然氣接收站棧橋工程工址位於桃園市觀音區外海，因工址海域屬生態敏感區位，須盡量拉大棧橋跨徑減少落墩以降低對藻礁產生影響，且配合政府能源政策，棧橋工程需先行完成以供後續氣化廠商佈管需求，故在橋型選擇上，須就建設期程、功能需求及降低海床環境影響面積等因素進行考量。而工址水深達18公尺，棧橋基礎施工另需針對安全性、施工性等進行妥善規劃，海域橋梁之設計尤須對於橋梁耐久性詳加考量，以降低後續維管需求，完工後將成國內最具特色的離岸式橋梁。

第三篇論文是由中鼎工程公司煉油石化事業部劉康弘專案經理撰寫之「提升供氣管網穩定的關鍵-第三座LNG接收站儲槽工程」，第三接收站是台灣中油公司配合政府啟動國家能源轉型工程，確保國家供電力穩定，降低空汙及節能減碳的重要投資計畫，其中最關鍵的儲槽設施，是由中鼎工程股份有限公司與川崎重工業株式會社共同統包承攬，挑戰要在不到3.5公頃工區內，興建兩座16萬公秉的LNG儲槽，克服超強東北季風、新冠疫情、以及全台大缺工挑戰，並兼顧生態保護與施工節能減碳，一步一步穩健踏實地讓LNG儲槽工程順利機械完工。儲槽工程提早於113年進入氮氣封存操作與維護，等待外廓防波堤延伸工程完成讓LNG船靠岸後，

即可順利卸收LNG儲存與供氣給大潭電廠。

第四篇論文是台灣中油公司天然氣事業部范嘉榮主任所撰寫的「突破天然氣輸送瓶頸-LNG灌裝」，傳統天然氣供應以管線輸送為主，目前臺灣天然氣管線分佈位於西半部，包含海底輸氣管線、陸上輸氣幹線、輸氣環線及輸氣營業管線等，由北至南供應基隆至屏東用戶所需之天然氣。惟偏鄉及東部地區距離天然氣接收站遙遠，施工較艱難，且建造輸氣管線需耗費龐大資金，至今皆未能埋設天然氣管線，無法擴大天然氣使用及銷售。為推動國內天然氣擴大使用，中油公司於台中液化天然氣廠興建液化天然氣(LNG)灌裝設施，由國內業者以LNG槽車運送LNG至偏遠地區或天然氣管線未到達地區來供應國內工業所需之天然氣，提高天然氣使用普及度。

第五篇論文是台灣中油公司綠能科技研究所研究員盧信宏等人所撰寫的「達成淨零碳排的重要里程碑-加氫站與充電站設置規劃」，國際能源總署(IEA)2023年3月發布《2022碳排回顧報告》指出，2022年全球二氧化碳總排放量為368億噸，其中電力部門146.5億噸占最大宗，其次依序為工業部門91.5億噸、運輸部門79.8億噸、建築部門29.7億噸。為實現2050淨零排放這個宏遠目標，各國相繼投入新技術開發，在運輸部門方面，為解決傳統內燃機載具所產生的二氧化碳問題，首推氫能車及電動車等零碳排載



具，所需之加氫站與充電站等能源補給基礎設施完善度，是初期發展階段影響消費者購買意願的關鍵因素。本論文主要介紹能源轉型之際，台灣中油布局加氫站及充電站的現況與未來建置規劃，期盼與民眾共創淨零新生活。

第六篇論文是台灣中油公司探採事業部楊志成處長等人所撰寫的「淨零碳排的最後一哩路-淺談碳封存」，由於目前全球高過八成的能源需求和六成的衣料纖維來自化石燃料，而人類長期對化石燃料的依賴造成地球溫度逐年上升，2023年舉行的COP28預測，在各國可無條件達成國家自主貢獻之情境下，全球距離2030年控制升溫在攝氏1.5度的目標，還差減少排放220億公噸的二氧化碳。鑒於全球地下地層擁有豐沛之碳封存資源量，使原本排放至大氣的二氧化碳可轉向封存於地底，故當前世界各國莫不積極投入碳封存場址之開發。碳封存技術是將二氧化碳有效封存於地下地層之孔隙中，並透過長期對地表環境及地下地層等各式監測技術，確保灌注過程操作之安全性及封存穩定性，讓碳回歸至最初蘊藏之處，被認為是除森林碳匯外，在淨零轉型過程中須積極貢獻之負碳技術。



擘劃能源轉型藍圖 - 天然氣接收站擴建及規劃

台灣中油股份有限公司天然氣事業部儲運室主任 / 陳碧道

關鍵字：能源轉型、低碳能源、液化天然氣接收站

一、前言

近年氣候變遷對全球環境影響日益加劇，各國陸續提出淨零排放願景目標，加速驅動各國能源政策朝綠能、低碳方向發展。

國家發展委員會於2022年3月30日正式公布我國「2050淨零排放路徑」，惟多數減碳技術須倚賴未來研發創新突破才能達成淨零目標，爰我國淨零路徑先以2030年前達成低碳能源使用為目標，並透過能源轉型，逐步開發風電、光電、地熱與海洋能等再生能源，以達成淨零願景。

為於2030年前達成低碳能源目標，政府戮力執行既有減碳措施，以減少能源使用

與碳排放量。能源系統系統部分則透過能源轉型增加綠能，優先推動已成熟的風電和光電，再布局地熱與海洋能技術研發，並擴大天然氣發電占比，降低燃煤發電的使用。

基於天然氣高效能、低污染、安全方便之特性，在全球溫室氣體減排聲浪中，已被視為過渡到淨零排放的重要橋接能源，天然氣需求日益成長已成世界趨勢。而我國於非核家園願景、溫室氣體減量及2050年淨零碳排等能源政策下，政府持續推動擴大天然氣之使用，預期未來國內天然氣市場仍將持續成長。台灣中油公司作為國內進口與供應的事業體，責無旁貸配合政府新能源政策，籌謀規劃天然氣輸儲設施增擴建計畫，期許充分穩定供應國內天然氣需求。



二、擘劃能源轉型藍圖

(一) 政府政策

短期為達成2025年非核家園之願景與溫室氣體減量之目標，政府推動能源轉型，全力發展天然氣發電，規劃燃氣發電占比達50%。配合我國於非核家園願景、溫室氣體減量及2050年淨零碳排等能源政策，政府持續推動擴大天然氣之使用，國內天然氣市場需求正逐年成長，以目前台灣中油公司管線、永安及台中兩座接收站之輸儲設施營運操作量均已趨飽和，盤點目前國內天然氣供應能力僅1650萬噸/年，勢必須再提升國內天然氣接收站之供量能。

為落實國家能源政策及穩定供應國內天然氣需求，台灣中油公司積極規劃及推動多項輸儲設施相關投資計畫，以強化基礎設施、完備輸氣網絡及提升整體儲槽容積天數，確保國內天然氣供應穩定與安全。

(二) 供氣目標

為滿足未來天然氣需求之成長，以及因應進口中斷、船期延誤、卸收延期等偶發性事件之影響，台灣中油公司規劃相關接收站新擴建及新建管線等相關計畫，擴大天然氣供應能力、提升供氣可靠度與調度彈性、增加天然氣儲槽容積及存量天數，以提升天然氣供輸儲系統韌性。



圖 1 我國天然氣基礎設施規劃

各項天然氣接收站新建、擴建計畫及新增管線陸續完工後，可提升國內整體天然氣接收站供氣能力及供輸氣系統韌性，降低設備利用率，未來北、中、南接收站可達分區供氣之目標，降低輸氣成本及風險，並藉由完整海陸輸氣管網相互輸轉、備援，發揮整體輸儲網絡之綜效，且均具備充足產能餘裕及管線輸氣能力可相互調度備援。

預計國內各接收站新(擴)建之20座儲槽完工後，屆時LNG儲槽總容積達521萬公秉(約235萬公噸)，安全存量天數約可達到30天(=235萬公噸 x 70% / 5.5萬公噸/天)

待各項天然氣增(擴)建計畫完工，我國天然氣接收站總設計產能將由目前的3120噸/時提升至9570噸/時，設計營運量將由1650萬噸/年逐步提升至3900萬噸/年，可滿足全國天然氣用氣需求及提高天然氣供應可靠度，而接收站負載率將由目前約120%降至為約70%。

三、天然氣接收站擴建及規劃

配合「穩健減核，打造綠能低碳環境，逐步邁向非核家園」政策，台電公司規劃於大潭電廠增(擴)建3部燃氣發電機組；為充分供應大潭電廠、北部新增民生工業及其他電廠用戶需求，台灣中油公司籌劃於觀塘工業區興建第三座液化天然氣接收站(下稱第三接收站)，包括年進口量300萬公噸以上的接收

站卸收碼頭、2座16萬公秉LNG儲槽及氣化、供氣設施，並與現有供氣系統銜接。

第三接收站投資計畫自2016年開始推動，原預計2022年10月初期供氣大潭電廠#7~#9新燃氣機組，但在2021年受第三接收站遷離公投及第三接收站外推方案影響，預計完工期程將再推遲2.5年；待第三接收站完工後，未來北、中、南三座接收站分區供氣，可降低輸氣成本及風險，藉由既有8字形海陸輸氣管網可相互輸轉、備援，提升供氣安全及穩定性，而觀塘接收站投資計畫之推動，將有助於台灣中油公司建構國家級完整、穩定、安全之供氣系統。

另配合政府非核家園及溫室氣體減量的政策，經濟部能源署規劃2025年天然氣發電占比將達50%目標，台灣中油公司為滿足國內天然氣市場需求，積極推動各項天然氣接收站增(擴)投資計畫，如台中廠第二席碼頭、台中三期、台中四期、觀塘二期、洲際接收站等計畫，待各項天然氣接收站增(擴)建投資計畫完工後，將可提升國內天然氣接收站供氣能力、儲槽囤儲能力及供氣穩定性。

台灣中油公司各項天然氣接收站增(擴)建計畫主要內容分述如下：

(一) 天然氣接收站投資計畫：



1. L10101 天然氣事業部台中廠二期投資計畫

計畫內容	新建 3 座 16 萬公秉地上型儲槽及 300 噸 / 小時氣化設施、台中廠至烏溪隔離站 21.8 公里 26 吋輸氣陸管與 1 處開關站，及新建台中廠第二席碼頭
計畫時程	101/7/1-112/12/31
計畫目的	供應「台電公司通霄電廠更新擴建計畫」及大潭電廠提升機組容量因數之天然氣新增需求，增加儲槽容量週轉天數及提昇供氣穩定與安全。另配合政府能源結構轉型政策及溫室氣體減量，天然氣發電占比將達 50%，提升台中廠卸收能量以充分穩定供應市場新增需求。
計畫效益	<ul style="list-style-type: none"> • 增加年營運量 200 萬噸 • 增加氣化設施 300 噸 / 小時以增強供氣能力 • 提升供氣可靠度與調度彈性 • 增加儲槽容積天數及事業存量天數
示意圖	<p>增建3座LNG儲槽</p> <p>第二席LNG碼頭 (示意圖)</p> <p>台中廠二期計畫 完成後示意圖</p>

2. L10502 天然氣事業部第三座液化天然氣接收站投資計畫

計畫內容	於觀塘工業區及專用港站址新建外廓防波堤及港埠設施、使用既有填區 13 公頃興建 2 座 16 萬公秉地上型液化天然氣儲槽及 900 噸 / 時氣化設施，既有填區與外海 LNG 碼頭以棧橋連接，並自廠界興建 36 吋陸上輸氣管線至大潭隔離站與現有之陸上輸氣管線銜接。
計畫時程	105/7-118/12
計畫目的	供應台電公司「大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫」及國內北部地區新增民生及工業用戶等用氣需求，北中南三座接收站分區供氣降低輸氣成本及風險，提升國內整體供氣穩定及安全。
計畫效益	增加年營運量 300 萬噸 增加氣化設施 900 噸 / 小時以增強供氣能力 擴大天然氣供應能力，提升供氣可靠度與調度彈性 增加儲槽容積天數及事業存量天數
示意圖	

3. L10801 天然氣事業部永安廠增建儲槽投資計畫

計畫內容	於永安廠內之儲槽預定地增建 3 座各 20 萬公秉地下型薄膜式儲槽及相關附屬設施，並增建 2 座 200 公噸 / 時之氣化設施。
計畫時程	108/1/1-116/12/31
計畫目的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 配合政府能源轉型政策規劃，提升天然氣供應能力，以因應未來國內產業燃煤、燃油改燃氣之用氣需求提升。 2. 提升永安廠 LNG 儲存能力，降低超高週轉率，以降低營運風險。 3. 符合本公司「充分供應國內天然氣需求、確保供氣穩定及安全、達成合理利潤、推動長期營運計畫」之經營策略。 4. 滿足台電興達電廠新 #1~3、森霸二期新機組及中南部地區逐年成長之工業 / 民生用氣需求。
計畫效益	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增加年營運量 50 萬噸 2. 增加氣化設施 400 噸 / 小時以增強供氣能力 3. 擴大天然氣供應能力，提升供氣可靠度與調度彈性 4. 增加儲槽容積天數及事業存量天數

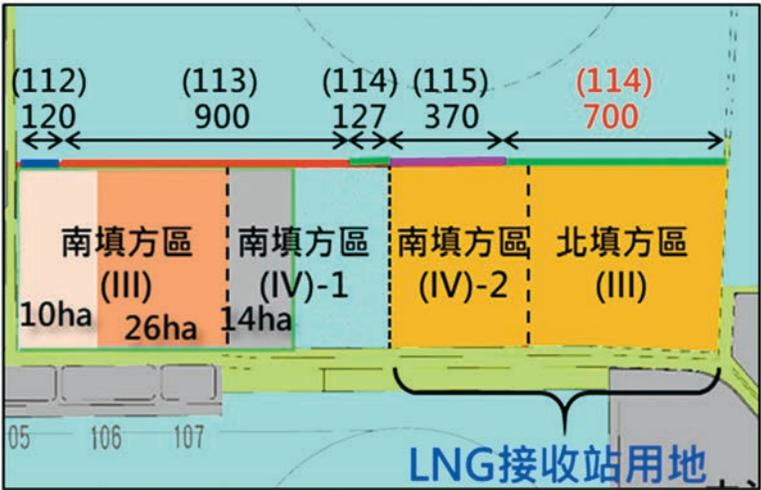


4. L10901 天然氣事業部台中廠三期投資計畫

計畫內容	<ul style="list-style-type: none"> • 2 座 18 萬公秉 LNG 儲槽 • 氣化設施 1,600 噸 / 時 (含備用 600 噸 / 時)
計畫時程	109/1/1-115/12/31
計畫目的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 配合政府能源轉型政策規劃，2025 年天然氣發電占比將達 50% 目標，提升天然氣供應能力可達 1,000 萬噸 / 年，以因應未來國內產業燃煤、燃油改燃氣之用氣需求提升。 2. 提升台中廠 LNG 儲存能力，降低設備利用率至 80%，以降低營運風險。 3. 本計畫管線與既有一、二期管線連通可達相互備援功能，平常各自隔離操作供氣，若一、二期或三期設備發生異常時，可相互備援以降低設備異常對供氣的衝擊。 4. 符合本公司「充分供應國內天然氣需求、確保供氣穩定及安全、達成合理利潤、推動長期營運計畫」之經營策略。
計畫效益	<ul style="list-style-type: none"> • 增加年營運量 200 萬噸 • 增加氣化設施 1,600 噸 / 小時以增加供氣能力 • 擴大天然氣供應能力，提升供氣可靠度與調度彈性 • 增加儲槽容積天數及事業存量天數
示意圖	



5. L11001 天然氣事業部台中廠港外擴建(四期)投資計畫

計畫內容	興建4座18萬公秉儲槽、氣化設施1,600噸/時(含備用)及2席LNG碼頭。
計畫時程	110/1/1-117/12/31
計畫目的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提升台中廠LNG儲存及供應能力。 2. 可備援觀塘及永安接收站，本計畫亦是台電台中接收站建站延宕下之供應備案。
計畫效益	<ul style="list-style-type: none"> • 增加年營運量300萬噸 • 增加氣化設施1,600噸/小時以增加供氣能力 • 擴大天然氣供應能力，提升供氣可靠度與調度彈性 • 增加儲槽容積天數及事業存量天數
示意圖	 



6. L11002 天然氣事業部第三液化天然氣接收站二期投資計畫

計畫內容	於觀塘工業區及工業專用港站址新建第二席碼頭等港埠設施，並使用既有填區 13 公頃氣化區，興建 1,200 噸/時 (含備用 200 噸/時) 氣化設施，以及於外海填區 21 公頃土地，興建 6 座 18 萬公秉地上型液化天然氣儲槽，並與第一期設施銜接及合併操作營運。
計畫時程	110/1/1-119/12/31
計畫目的	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因應第三接收站一期僅 2 座儲槽高周轉率之營運風險，提升第三接收站 LNG 卸收、儲存及輸儲能力，增加天然氣供應能量，強化第三接收站輸儲操作、調度及備援能力，以降低營運風險。 2. 配合政府能源轉型政策規劃，2025 年 (114 年) 天然氣發電占比將達 50% 目標，提升第三接收站天然氣供應能力，規劃營運量將達 600 萬噸/年，以因應未來北部市場用氣需求，並為符合法令及降低設備負載率 (提升設備備載率)，以提高供氣安全與穩定。 3. 為達成本公司北、中、南三座接收站分區供氣，分散供氣風險，降低南氣北輸之輸氣成本，並利用已建置完整之海、陸輸氣管網相互備援機制，以利區域性供氣，強化天然氣調度供應能力，提升天然氣儲運效率與供應安全。
計畫效益	<ul style="list-style-type: none"> • 增加年營運量 300 萬噸 • 增加氣化設施 1,200 噸/小時以增加供氣能力 • 擴大天然氣供應能力，提升供氣可靠度與調度彈性 • 增加儲槽容積天數及事業存量天數
示意圖	

7. L11201 天然氣事業部洲際液化天然氣接收站投資計畫

計畫內容	外廓防波堤、1 席 LNG 碼頭、4 座儲槽、1600 噸 / 小時氣化設施 (含備用)、聯外輸氣管線
計畫時程	112/1/1-120/12/31
計畫目的	1. 永安廠於 79 年啟用迄今已逾 30 年，須本計畫為供氣備援，以利永安廠辦理更新及檢修計畫。 2. 提升整體 LNG 儲存及供應能力 3. 解決永安廠岡山以南管網末端壓力偏低的問題
計畫效益	<ul style="list-style-type: none"> • 增加年營運量 600 萬噸 • 增加氣化設施 1,600 噸 / 小時以增加供氣能力 • 可供應大林電廠新機組，可與鄰近接收站相互備援以提升南部供氣系統韌性 • 增加儲槽容積天數及事業存量天數
示意圖	



(二) 天然氣供輸系統投資計畫：

1. L10501 天然氣事業部台中廠至通霄站新設陸管投資計畫

計畫內容	自台中廠興建一條約 35.8 公里 36 吋陸上輸氣幹線及新設二處隔離站與一處開關計量站
計畫時程	105/7/1-112/12/31
計畫目的	增加本公司天然氣輸氣管網之供氣調度能力，並分擔既有台中經通霄至大潭 36 吋海管供氣任務。
計畫效益	<ul style="list-style-type: none"> • 增加往北尖峰供氣量 100 噸 / 時 • 增加年營運量 50 萬噸 / 年 • 擴大天然氣管輸能力 • 提升供氣可靠度與調度彈性
示意圖	



2. L11301 天然氣事業部永安至通霄第二條海底輸氣管線投資計畫

計畫內容	興建永安至通霄第 2 條海底輸氣管線約 233 公里及新設 2 處計量站。
計畫時程	初步規劃 113 年~117 年
計畫目的	考量既有海管停氣維護期間緊急調度之需求，並強化永安至通霄海底輸管線供應能力 (1,800 噸/小時)，提升整體備援及調度韌性。
計畫效益	備援第一條海管 提升永安-通霄管輸能力、供氣可靠度與調度彈性

示意圖





四、結語

台灣中油公司肩負穩定國內能源供應重任，配合政府能源政策責無旁貸，為滿足國內天然氣逐年成長之需求及橋接2050淨零排放，台灣中油公司刻正積極推動增擴建北、中、南天然氣接收站卸收、儲存、氣化及輸送能量，以強化天然氣系統韌性及確保供氣穩定。

待各項計畫完工後，台灣中油公司整體接收站營運能力提升將至3700萬噸/年，各接收站將具備充足產能餘裕供應國內天然氣市場需求，加上新建海底管線計畫、強化各接收站間相互備援能力，屆時北、中、南各接收站將分區就近供氣，並可藉由完整海陸輸氣管網相互備援調度，任一座接收站或海底管線發生事故無法運作時(N-1)均可透過相鄰接收站提升產能備援供應，以發揮整體輸儲網絡之綜效。

在配合推動國家能源轉型政策與貫徹ESG永續企業責任的同時，台灣中油公司以「優油」、「減碳」、「潔能」為三大策略主軸，審慎擘劃淨零轉型路徑及行動方案，期加速朝淨零排放目標邁進。



串連離岸式 LNG 碼頭與陸上接收站 - 第三座 LNG 接收站海上棧橋

台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部資深協理 / 蔣啟恆
台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部技術經理 / 劉 珊
台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部技術經理 / 陳明谷
台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部正工程師 / 許肇安

關鍵字：基礎施工、橋梁耐久性、跨海橋梁

摘要

第三座液化天然氣接收站(下稱三接)棧橋工程由台灣中油公司主辦，工址位於桃園市觀音區外海，三接原規劃採外部圍堤及內部填實方式，後因環保因素考量，為避開藻礁、柴山多杯孔珊瑚等敏感環境生態區及保留原棲地環境，並提供港區內藻礁所需之營養鹽，改採棧橋型式連接LNG碼頭及儲槽氣化區；後續另配合行政院以「保護藻礁最大化、影響供電最小化」所提之外推方案再將港區外推455公尺。於外推方案規劃時，考量原圍堤之沉箱已預製完成，故於港區內採沉箱堤方式延伸至LNG碼頭。因當地屬生態敏感區位，須盡量拉大棧橋跨徑減少落墩以降低對藻礁產生影響，且配合政府能源政策，

棧橋工程需先行完成以供後續氣化廠商布管需求，故在橋型選擇上，須就建設期程、功能需求及降低海床環境影響面積等因素進行考量。而工址水深達18公尺，棧橋基礎施工另需針對安全性、施工性等進行妥善規劃，另海域橋梁之設計尤須對於橋梁耐久性詳加考量，以降低後續維管需求。本文將說明上述議題之考量與因應對策及本工程之特色。

一、前言

(一) 緣起

為配合政府「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」之新能源政策，考量核一、核二與核三廠機組如



期除役，及未來北部地區電力缺口，配合台電公司刻正辦理「大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫」，規劃於大潭電廠增建3~4部燃氣發電機組，第一部新增機組預定自民國111年開始商轉之用氣需求，另評估未來北部民生及工業用天然氣市場將持續成長、中油公司永安及台中兩座接收站卸收能量、管輸能力已接近上限及台灣地區北中南整體性天然氣穩定供應策略等因素；經審慎評估後，台灣中油公司遂規劃於觀塘工業區興建第三座LNG接收站。

惟因第三接收站站址有藻礁、柴山多杯孔珊瑚等敏感環境生態，台灣中油公司依據

環評審查會議決議提出「迴避替代修正方案」，「迴避替代修正方案」乃以縮小開發規模方式並避開藻礁、柴山多杯孔珊瑚等敏感環境生態區及保留原棲地環境進行規劃，為提供港區內藻礁所需之營養鹽，工業港採離岸配置，期望能同時滿足工程開發需求與生態永續發展。110年5月3日行政院另提出「外推方案」將工業港往海側外推 455 公尺，將遠離海岸線約 1.2 公里，也取消浚挖及填海造地工程，避免對於藻礁及礁體可能的破壞，並縮短 1 公里防波堤，讓海域更加開放，「迴避替代修正方案」與「外推方案」示意如圖1。

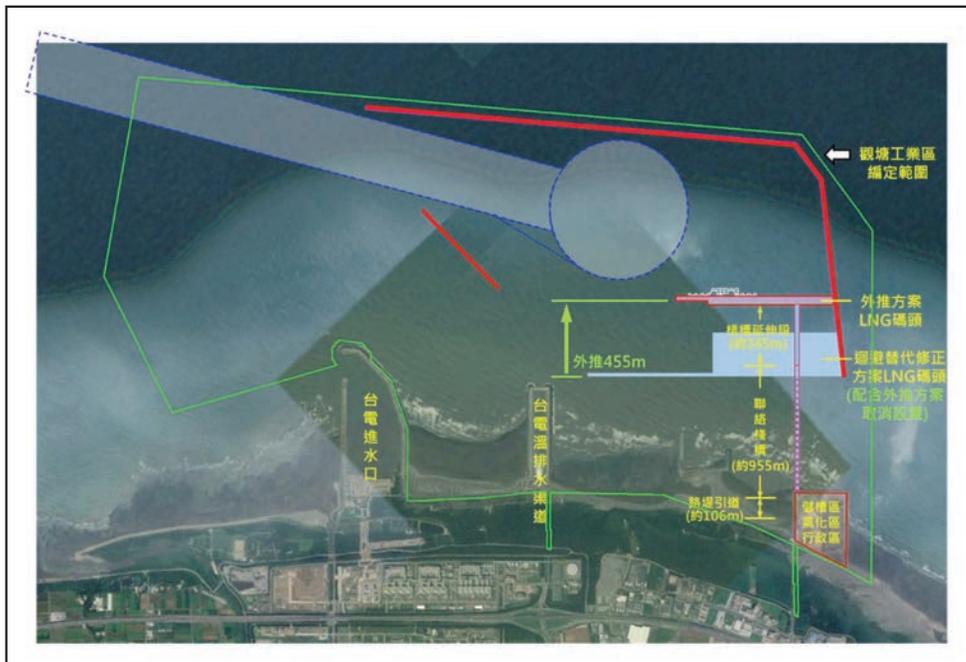


圖 1 連絡棧橋 (含外推方案) 示意

(二) 工程範圍及內容

本工程位處桃園市觀音區塘尾、大潭地區，連絡棧橋主要功能為銜接LNG儲存槽與離岸卸收碼頭，以利相關管線鋪設及人員通行之用。

配合LNG儲存槽與離岸卸收碼頭位置及高程需求，本工程配置依工址條件區分為儲

存槽側路堤長度約106公尺、橋梁段長度約955公尺及外推後沉箱路堤長度約345公尺，如圖2所示，棧橋及路堤寬度視管線配置需求分為8.5公尺寬及21.5公尺寬，於中央設置雙向2車道，並於車道兩側配置管線，另考量管線配置膨脹彎管之需求，配合橋墩及外推沉箱配置，約每110-115公尺設置一處橫向10.4公尺×縱向15公尺之彎管平台，本工程彎管平台配置及管線布設如圖2及圖3所示

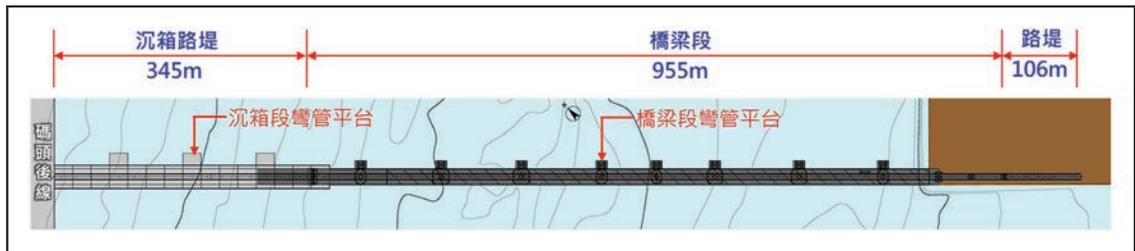


圖 2 本工程彎管平台配置圖

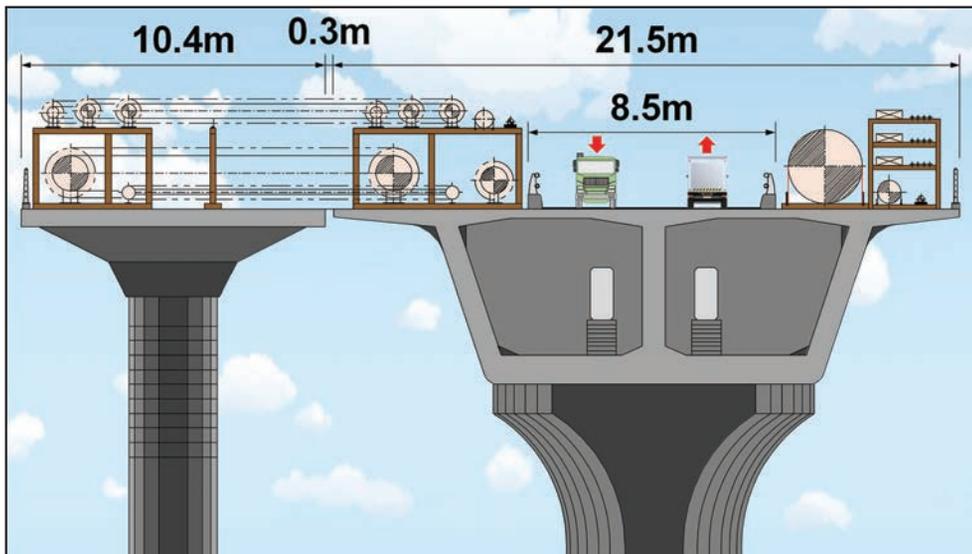


圖 3 橋面管線及車道配置圖



二、工程設計與考量

(一) 道路及交通工程

1. 設計原則

本計畫為觀塘工業區開發計畫之中油第三座液化天然氣接收站區內之新建棧橋暨聯絡道路工程，計畫道路為銜接LNG儲存槽區與離岸卸收碼頭之連絡棧橋(含外推方案之沉箱段)，棧橋主要將跨越LNG儲存槽區與離岸卸收碼頭間之近岸海域範圍，因此，於路線定線規劃設計原則，首要考量橋下淨高及沉箱高程需能滿足因應波浪潮升高程之棧橋使用需求及船隻通行需求，並依據實際環境條件與交通需求，使計畫道路線形最佳化，以發揮最佳交通服務功能。

2. 路線平縱面設計

計畫路線以離岸卸收碼頭為棧橋西端起點，路線往東藉由外推方案之沉箱路堤(EL.+5.5m)銜接至棧橋原工程A1橋台後，以橋梁型式跨越近岸海域範圍(EL.+17.0m)，再銜接至儲存槽區最南側之區內道路(EL.+6.0m)。計畫路線之平面線形，依據路線起終點銜接位置，布設為直線段，並無設

置平曲線。而縱面線形之布設，則考量跨海域之波浪潮升高程與起終點銜接區內道路之路面高程；跨海部分之縱面最高點考量為梁深(6m)+設計潮位(EL.+2.95m)+ $1.3 \times$ 波高(5.84m)，設計高程取EL.+17.0m，兩端則配置最大縱坡4.5%之引橋(道)段銜接西側之延伸段沉箱與東側之儲槽陸域道路，本工程縱面線型如圖4示意。

3. 標準斷面

本計畫道路依據維修車輛行駛需求，將規劃配置雙向2車道之道路斷面，並依據道路結構型式，劃分為起點沉箱引道段、21.5m寬橋梁段、8.5m寬橋梁段及終點陸域引道段四種橫斷面配置，分段示意詳如圖5，並說明如下：

(1) 起點沉箱引道段

起點沉箱引道段係因應外推方案連接棧橋原工程及外推LNG碼頭，布設於原工程里程0K+136.2以西，延伸至-0K+209為止，採沉箱基礎型式，並視縱坡需求配置箱涵。本段全寬為21.5公尺，主要提供車輛通行與管線設置之使用，其中提供作為道路之空間，寬度為8.5公尺，配置雙向2車道，每車道寬

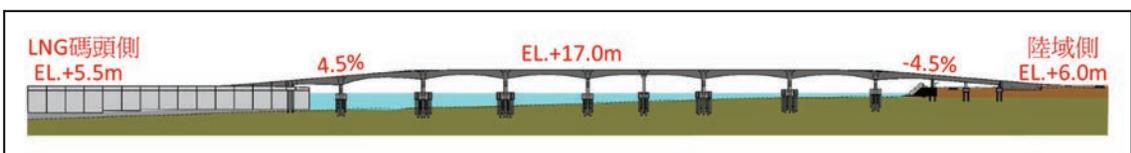


圖 4 縱面線型示意圖

3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，其餘則作為管線設置空間使用，有關起點沉箱引道段標準断面配置詳參圖6，彎管平台處寬度則加大至32.2公尺，断面配置詳圖7。

(2) 21.5m 橋梁段：

計畫道路之橋梁段，規劃為21.5公尺與8.5公尺兩種不同寬度之橋梁断面，於里程0K+145~1K+001之路段，橋寬規劃為21.5公尺，主要提供車輛通行與管線設置之使用，



圖 5 本工程立面圖

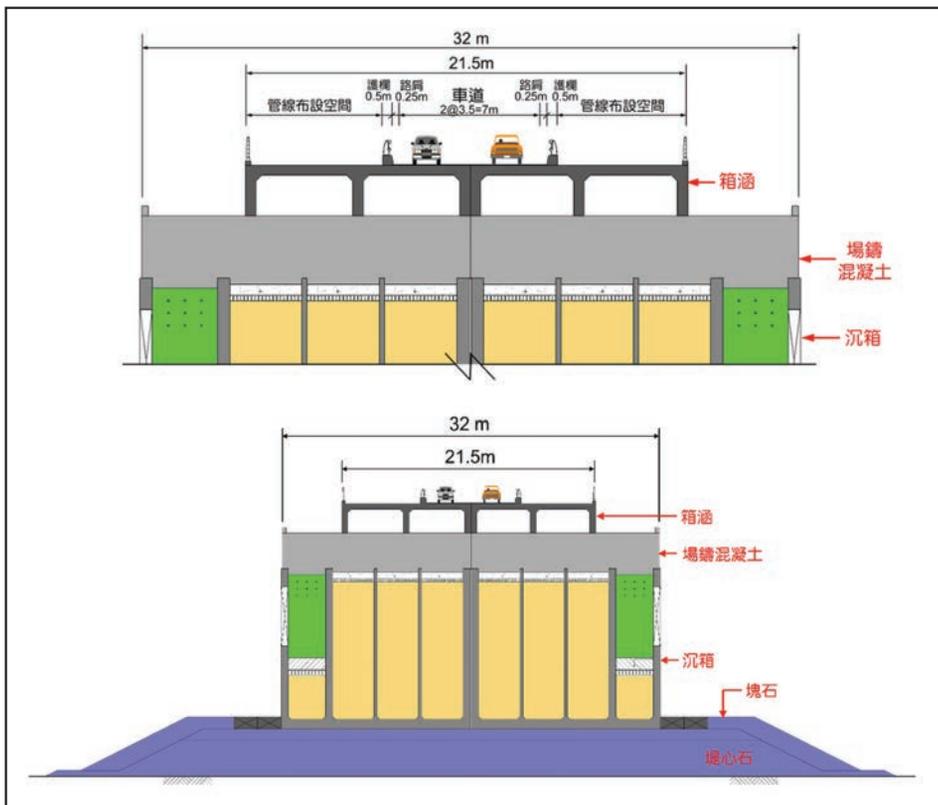


圖 6 起點沉箱引道段標準断面圖



其中提供作為道路之空間，寬度為8.5公尺，配置雙向2車道，每車道寬3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，其餘則作為管線設置空間使用，有關21.5m橋梁段之標準橫斷面配置詳參圖8。

1K+001~1K+091之路段，橋寬規劃為8.5公尺，主要提供車輛通行之使用，配置雙向2車道，每車道寬3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，有關8.5m橋梁段之標準橫斷面配置參見圖9。

(3) 8.5m 橋梁段：

計畫道路於里程1K+001進入陸域，管線離開橋面轉折進入儲槽區，故於里程

(4) 終點陸域引道段：

終點陸域引道段為跨海域棧橋向東連接儲槽區平面道路之橋梁引道，引道段道路布

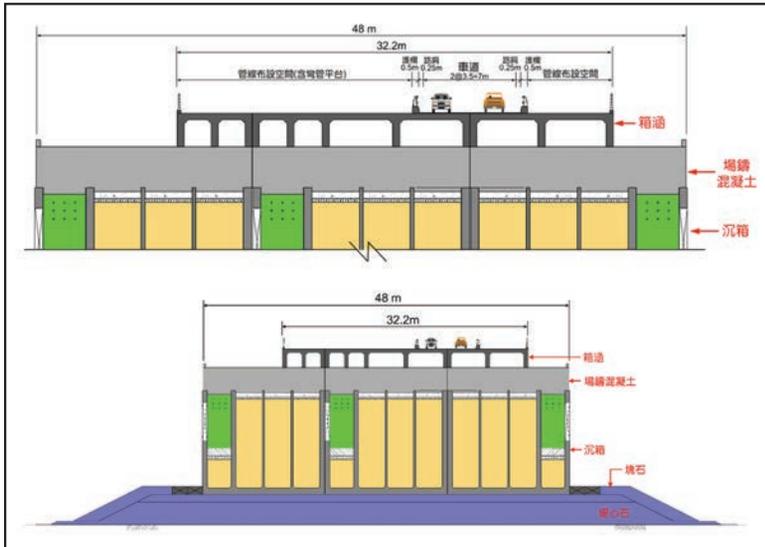


圖 7 起點沉箱引道段標準斷面圖 (彎管平台處)

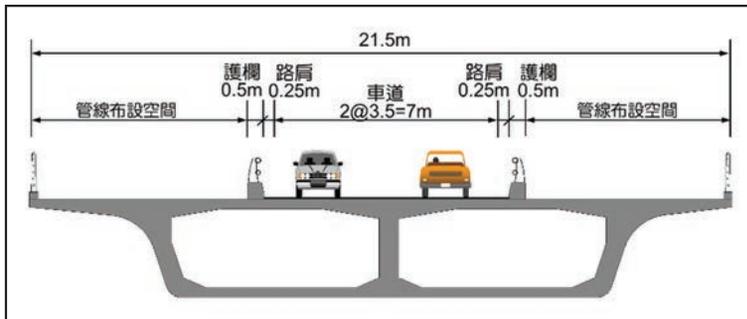


圖 8 21.5m 寬橋梁標準斷面圖



設於里程1K+091~1K+196.6，採路堤結構型式，全寬為8.5公尺，配置雙向2車道，每車道寬3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，有關終點陸域引道段標準橫斷面配置詳參圖10。

(二) 結構工程

1. 橋梁工程

橋梁工程為本計畫關鍵項目，橋梁配置須綜合考量環境保護、期程配合、海上施工安全、經濟性與維護性等，本計畫於設計初期即依據功能需求研提2種橋型方案，訂定相關評估因子及配分，綜合評估比較後建議採預力混凝土箱型梁橋，橋梁型式評選表如表1所示。

(1) 橋梁配置

橋梁配置綜合考量海床擾動範圍及工期需求等，本工程橋梁段自西向東依序區分為海域二個橋梁單元及陸域一個橋梁單元。考量減少於海域落墩，海域橋梁單元分別為

第一單元 $65+3@110+75=470\text{m}$ 及第二單元 $80+2@115+76=386\text{m}$ ，採懸臂工法施作；陸域部分之第三單元 $2@45=90\text{m}$ ，則採場撐工法施作。

上部結構第一、二單元為變梁深(3~6公尺)，橋全寬為21.5公尺，第三單元為等梁深預力箱型梁橋(3公尺)，橋全寬為8.5公尺。下部結構P1~P8(含棧橋橋墩及彎管平台橋墩)為海域施工，P9~P10、A2橋台及路堤段擋土牆則於陸域施工。

(2) 基礎型式

本工程共計有10座橋墩及2座橋台。由前期大地工程調查成果顯示本路段沿線工址地盤多為卵礫石夾砂，前期試挖報告中亦顯示卵礫石最大礫徑可達60公分以上，橋梁基礎型式之選擇，須依據地形、地質狀況、水位、施工條件、施工環境、荷重條件、基

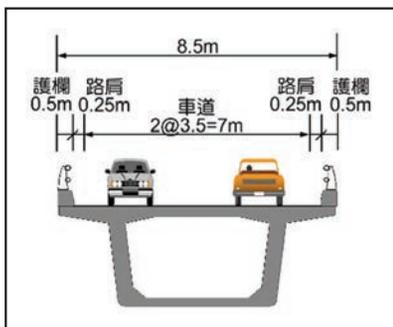


圖 9 8.5m 寬橋梁標準斷面圖

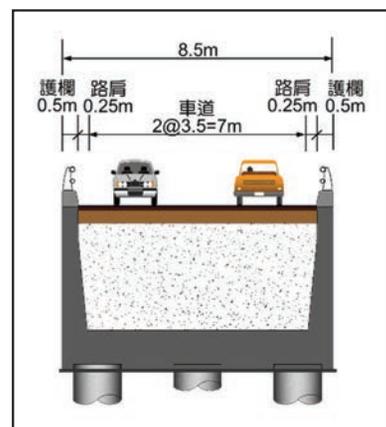


圖 10 終點陸域引道段標準斷面圖



表 1 橋梁型式評選表

方案研擬背景		中油公司為配合國家能源政策，須完成可承載LNG管線及後續維修車輛通行之跨海橋梁以於供氣時程內完成配管，並請本團隊進行相關設計工作								
類別	評選項目及權重	功能 (5%)	技術 (5%)	成本 (10%)	工期 (25%)	工址環境 (20%)	安全 (25%)	維護 (10%)	評分	排序
	方案概述									
橋梁型式	鋼橋	3	5	6	22	12	18	5	71	2
	預力混凝土橋	5	5	8	20	15	21	9	83	1

礎特性、環境維護及經濟性等研擬適用之基礎型式，尚需考量本工程為海上施工，且工址位於敏感生態藻礁區域，故須特別考量施工之風險性及對週遭環境之影響，故本工程基礎規劃採全套管基樁，考量施工性、結構穩定並減少海床開挖，位於海域之橋墩樁帽置於海床面以上，以退潮時不露出基樁為原則，基樁突出海床面之部分配合外套鋼管施工，基礎施工期間透過鋼管之圍束保護，除基樁打設之點位以外，對海床完全無干擾。基樁樁徑考量工址地質條件及國內機具之動員，基樁樁徑採2公尺，並配合內徑至少為2.2公尺之外套鋼管施工。本工程全套管基樁示意圖如圖11所示。

(3) 施工補充鑽探

為確認本工程地質條件及確保基樁承載能力，本計畫另規劃於施工階段進行補充鑽探工作，鑽探位置為各橋墩(台)處，鑽孔數除P2、P3、P6、P7因基樁數量較多規劃為兩孔外，其餘均為一孔，補充鑽探成果回饋設計單位確認樁長後，現場方能施工。

2. 沉箱工程

(1) 沉箱配置

本工程於起點引道段里程-0K+209~0K+136.2 範圍設置沉箱，考量原外海圍堤之沉箱再利用，本段沉箱尺寸採25公尺×16公尺，另因道路斷面需求及後續維修考量，採二座沉箱合併方式配置，即單組沉箱斷面為25公尺(縱向)×32公尺(橫向)，全段共配置15組(B01~B30)，約每4組於北側另設置一座沉箱作為彎管平台使用(B31~B33)，因應水深由西向東漸淺，採用之沉箱區分為16.0公尺(B01~B08及B31)、14.5公尺(B09~B11)及13.5公尺(B13~B30、B31及B32)三種高度，沉箱東端與原棧橋工程銜接段，則配合縱坡於沉箱頂施作箱涵，沉箱平立面配置如圖12所示。

沉箱頂部高程，考量便於陸上施工作业條件，應在高潮位上，設計採用EL.+2.50m，較平均高潮位(EL.+1.31m)高出1.19公尺以上，為兼顧施工便利性及經濟性之考量，並於其上設置3公尺厚場鑄混凝土至LNG碼頭後線高程(EL.+5.50m)。

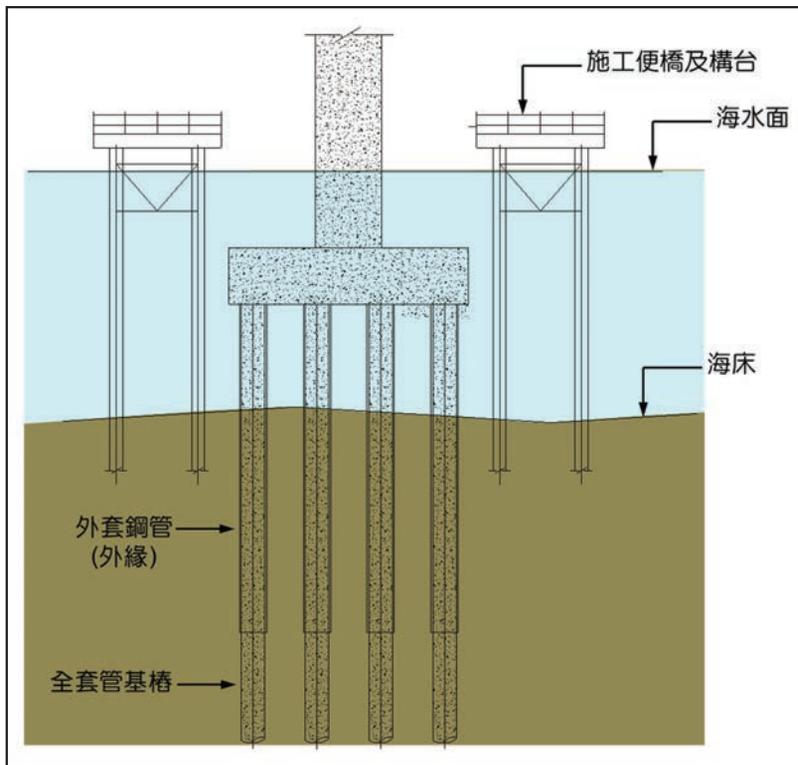


圖 11 本工程全套管基樁示意圖

(2) 沉箱段與橋梁之介面

原工程以A1橋台與延伸段沉箱之路堤箱涵銜接，一側為橋梁上部結構，另側為沉箱箱涵，因沉箱箱涵一般存在沉陷可能，為避免A1橋台因沉陷而產生非預期之橋梁結構破壞，本處橋台與沉箱結構不共構而採獨立設置，橋台仍以基樁型式承載，基樁於沉箱完成封頂後即可進場施作。另於橋台與沉箱箱涵銜接介面處，於橋台背後配設進橋板以維持行車舒適性。

A1橋台完成後，鄰近之橋梁上構可於封頂混凝土完成或場鑄混凝土完成後分別採取

相關配套措施，確認施工架穩定性，以進行現場支撐、組模及混凝土澆置。沉箱段與橋梁介面處立面圖詳圖13。

(三) 結構耐久性考量

本工程屬海中構造物(位於極嚴重鹽害區)，為提升耐久性考量藉由採用II型水泥及添加卜作嵐材料，抑制混凝土原材料中鹼的釋出、降低混凝土孔隙中OH⁻離子量、降低PH值；另要求配比設計降低混凝土滲透性，本計畫要求混凝土56天齡期抗氯離子穿透能力須符合CNS 14795之低等級標準。本計畫也藉由提升混凝土設計強度及明訂最大水膠



比等方式，確保混凝土膠結緻密性，降低腐蝕物質侵入速度，本工程混凝土設計強度及最大水膠比詳表2。

有關鋼筋之耐久考量，其保護層厚度依據公路橋梁設計規範第十二章海洋環境下防蝕設計之規定，應符合表2之規定，另為避免因混凝土微裂縫產生鋼筋鏽蝕，本工程所有鋼筋均採鍍鋅鋼筋防蝕；惟設計階段考量本工程基樁大部分皆永久浸於水中，且基樁鋼筋皆配合有外套鋼管保護，腐蝕危害相對較低，另基樁鋼筋籠續接施工須配合銲接，銲

接作業後甚難滿足鍍鋅要求，故基樁鋼筋不採鍍鋅處理。

本工程原棧橋段P1橋墩及A1橋台，為銜接卸收碼頭，以4.5%縱坡由橋面高程EL.+17.0m向西漸降，考量P1橋墩及A1橋台原已位於碼頭回填之陸域範圍，受海水、波浪等影響程度較低，原設計支承採熱浸鍍鋅方式防蝕；惟考量外推方案變更調整後，將使P1橋墩及A1橋台落於海域範圍內，且位於浪濺區，腐蝕條件更加嚴格，將研擬此二墩位支承改為SUS 316不鏽鋼支承。

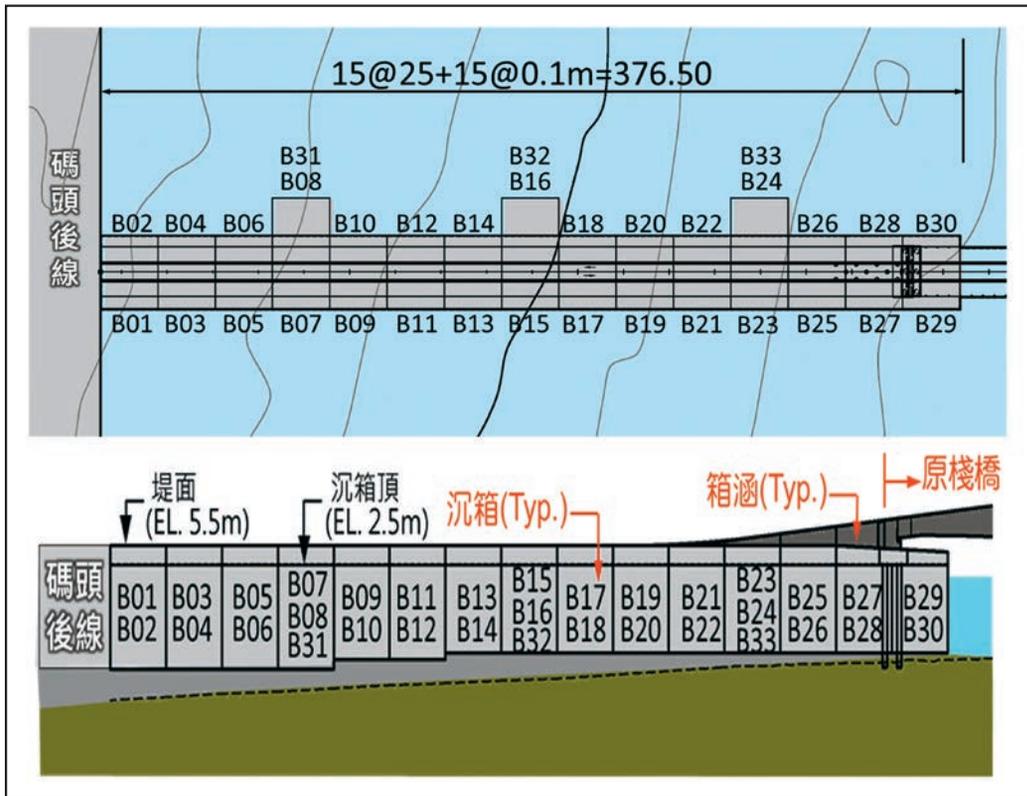


圖 12 沉箱平面配置圖

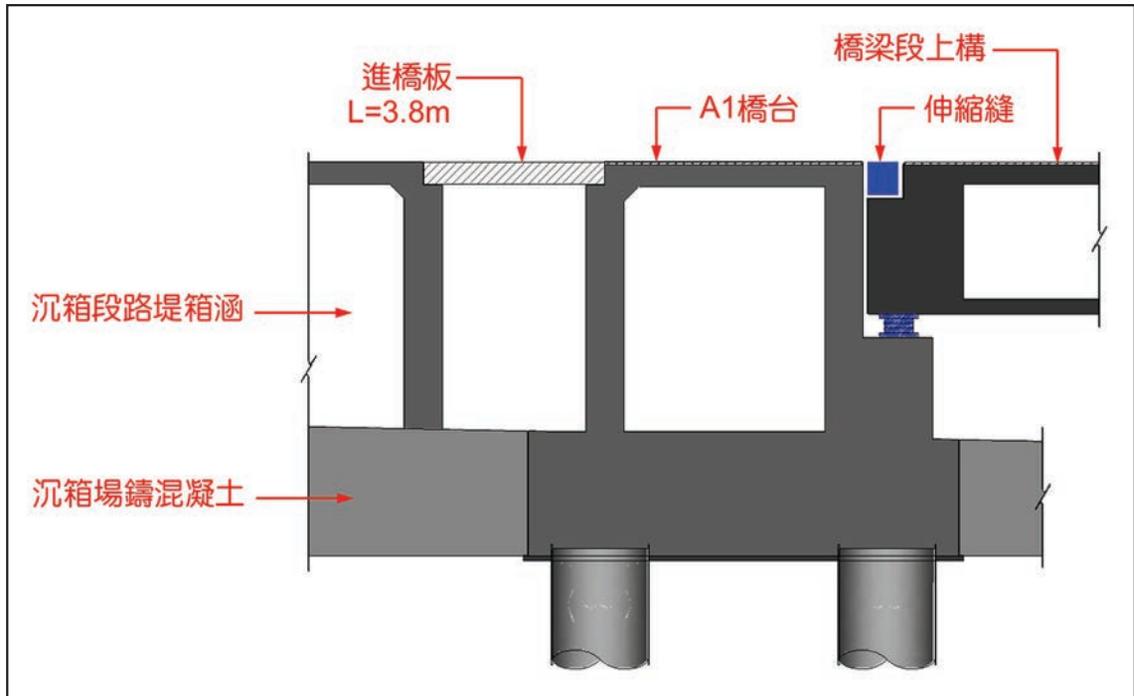


圖 13 沉箱段與橋梁介面處立面圖

表 2 混凝土強度、最大水膠比及保護層厚度規格表

類型	混凝土 28 天 最小抗壓強度 $f'_c(\text{kgf/cm}^2)$	最大 水膠比	部位	保護層
箱形梁橋	420	0.4	預力橋橋面板頂面	7.5cm
			箱形梁外側	7.5 cm
			箱形梁內側及隔梁	4.0 cm
下部結構 與擋土牆	350		橋墩(主鋼筋)	12.0 cm
			橋墩(繫筋、箍筋及螺箍筋)	10.0 cm
			橋臺、翼牆及擋土牆	10.0 cm
			橋墩、橋臺、翼牆及擋土牆等之基礎、沉箱	10.0 cm
沉箱段	350		場鑄基樁	10.0 cm
			沉箱	10.0 cm
雜項	350		箱涵	10.0 cm
		橋護欄、橋隔欄	4.0 cm	
		進橋板頂面及側面	7.5 cm	
			進橋板底面	10.0 cm



表 3 本工程工址潮位資料表

設計潮位	D.W.L	EL:+2.950m
最高潮位	H.H.W.L	EL:+2.110m
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T	EL:+1.648m
平均高潮位	M.H.W.L	EL:+1.311m
小潮平均高潮位	H.W.O.N.T	EL:+0.940m
平均潮位	M.W.L	EL:-0.232m
小潮平均低潮位	L.W.O.N.T	EL:-1.151m
平均低潮位	M.L.W.L	EL:-1.740m
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T	EL:-2.322m
最低潮位	L.L.W.L	EL:-2.880m

(四) 環境維護

本工程位於敏感生態藻礁區域，周圍並發現多杯孔珊瑚之棲息，施工前、施工中均需嚴格控管，避免因工程施工造成生態環境之破壞，相關作為列舉如下：

1. 施工前辦理逐墩調查，確認無多杯孔珊瑚棲息，否則於設計階段調整墩位配置。
2. 基樁施工設置汙染防治膜，減輕對於生態環境衝擊。
3. 配合環評承諾，便橋、構台所影響面積須小於 1.3 公頃。
4. 施工期間定期進行噪音、振動、放流水及柴山多杯孔珊瑚等監測作業。
5. 上構採用懸臂工法施工，避免於海域架設支撐，減少對於海床之干擾。

三、施工規劃構想

本工程施工規劃須考量減低對環境之衝

擊、縮短工期、經濟性、安全性等原則，另須配合工址環境如現場地形、海象條件及支撐架設條件等因素。初步研擬本工程海域橋梁段以場鑄懸臂工法施工，陸域段則採場撐工法施工；而延伸段為符合供氣時程並盡量節省經費，規劃將原圍堤工程已預製完成之沉箱作為路堤段再利用。

而本工程海象環境因受台灣海峽束縮地形影響，易有強風、大浪發生及高低潮位差異大等不良海象因素，設計時均須納入詳細評估。本工程基本潮位資料如表3，工址潮差最大可達5.8公尺以上，另依據模擬結果，工址波高最高可達5.84公尺，相關資料須納入施工規劃考量。

(一) 施工便橋及構台規劃考量

本工程因位處海上施工環境，易因天候因素影響施工工率及安全，故本計畫於設計

階段，即規劃設置施工便橋作為人、機、料之運輸通道，並於海上各橋墩處設置施工構台，以利基樁、基礎、橋墩施作，並作為上構柱頭場撐段支撐使用。施工便橋及構台由H型鋼組合而成，鋼構廠加工及現場組裝快速，施工便橋及構台完成後，即可如一般陸域施工環境，本工程施工便橋及構台施工考量之重點如下：

1. 施工期間施工機具動線與施工場地之規劃。
2. 船機施工運補碼頭之規劃。
3. 藻礁保護與監測。
4. 空氣、污水及噪音等污染防制作業。
5. 考量施工車輛動線，每跨設置一處避車彎。

6. 配合環評承諾，便橋、構台所影響面積須小於 1.3 公頃。

有關本案施工便橋及構台配置及施工照片詳圖14及圖15。

(二) 全套管基樁配合外套鋼管施工規劃

本工程基礎規劃採全套管基樁型式，海水中因施工需求採外套鋼管作為基樁之外模使用，並考量外套鋼管自立性，另需能提供施工載重及樁帽圍堰抗浮摩擦力，故須打設入海床中一定深度。施工時，首先於施工構

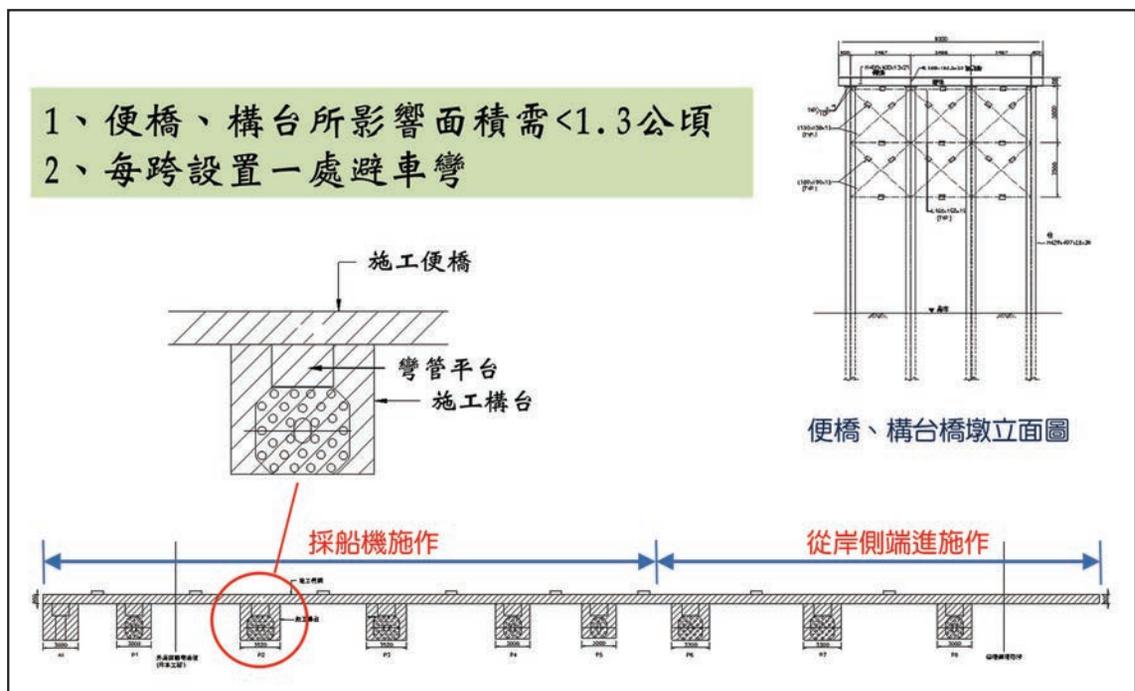


圖 14 本案施工便橋及構台配置圖



台打設外套鋼管後，挖除內部土石，此時外套鋼管內部充滿海水，吊放鋼筋籠後澆置水中混凝土，使海水逐漸排出，最後於基樁上固定鋼箱圍堰來施作基礎板。本工程外套鋼管及全套管基樁施工照片如圖16。

(三) 樁帽圍堰施工規劃

本工程工址位於敏感生態藻礁區域，且落墩處水深達12公尺，考量海域環境施工及樁帽施工時臨時圍堰之施工性及經濟性，故位於海域之墩位(橋台A1、橋墩P1~P8)基礎規

劃採樁帽圍堰方式施工，樁帽高程規劃以退潮時可露出樁帽但不露出基樁為原則。施工時，首先將樁帽圍堰於構台上組立，將圍堰底板逐步下放至基礎底高程，藉由懸吊支撐於外套鋼管上，並於圍堰內抽水時架設內支撐系統，使圍堰內部形成乾式環境，供基礎板及橋墩施工，另配合規劃適當之施工監測系統，如支撐應變計及反光規標等，以利樁帽之順利施作。有別於傳統鋼板樁圍堰，完全無須擾動既有海床，可大幅降低施工對既有藻礁之影響。本案樁帽圍堰示意圖及施工照片如圖17及圖18。



圖 15 本案施工便橋及構台施工照片



圖 16 本工程外套鋼管及全套管基樁施工照片

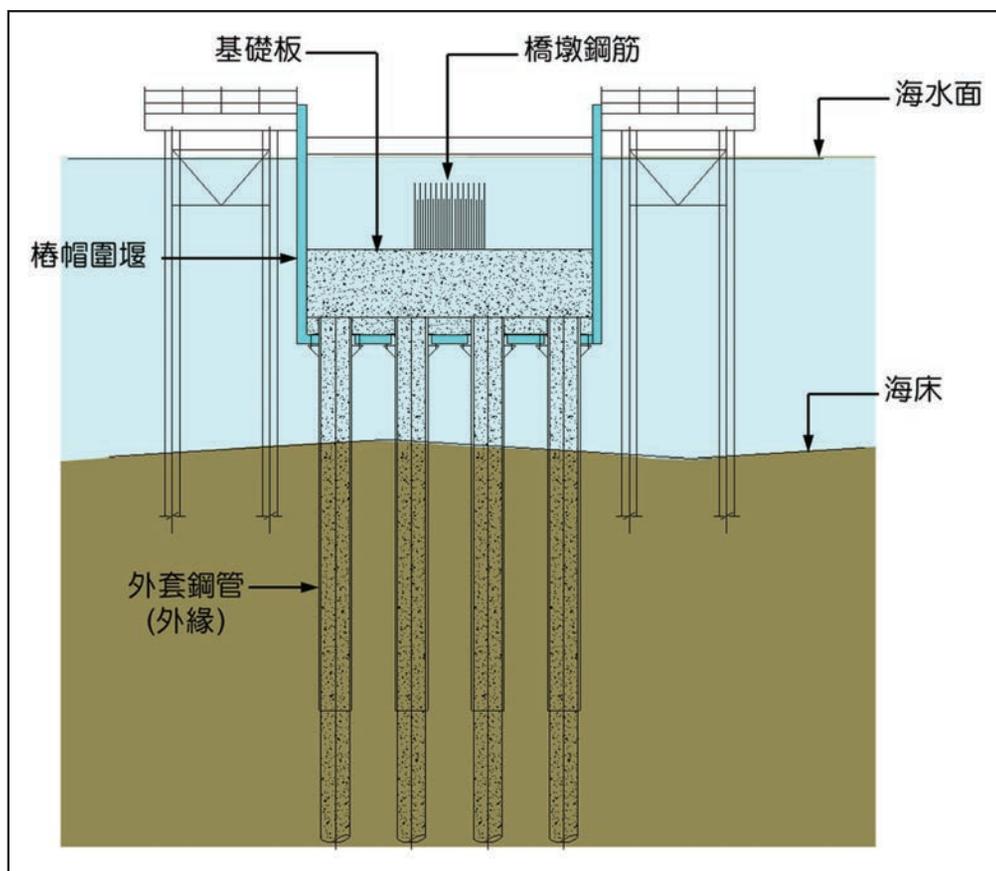


圖 17 本工程樁帽圍堰示意圖



圖 18 本工程樁帽圍堰施工照片



(四) 懸臂工法

本工程位於敏感生態藻礁區域，橋梁採大跨度懸臂工法配置，除可盡量減低橋墩及基礎對於海床之影響，並可於施工構台直接進行柱頭場撐段之施作後，藉由懸臂工作車之推進，避免施工期間於海中進行支撐，且懸臂工法於國內施工經驗相當豐富，工程品質穩定。

本工程懸臂工法施工示意圖如圖19(以第一單元為例)，施工照片如圖20。

(五) 沉箱施工規劃

近年海事工程案例中，沉箱拖放效率逐年增進，以往傳統海事施工案例中，沉箱拖放速度約為每週1座，以可施工季6個月而言，一般年拖放座數約24~30座，而參酌

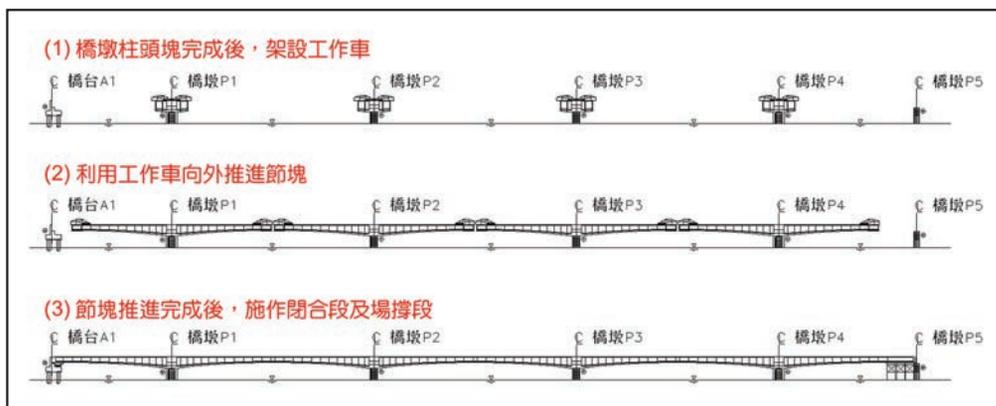


圖 19 本工程懸臂工法施工程序示意圖 (第一單元)



圖 20 本案懸臂工法施工照片

台北港以往案例，年拖放速度最大可達約49座，高雄港則為80座。依現況中油公司第三接收站施工標案，正常之沉箱拖放速率大致為40座/年，做為工期規劃之目標，本工程延伸段沉箱施工工序如下：

1. 整地、鋪放襯墊、拋石
2. 沉箱起浮、拖放
3. 沉箱填充
4. 沉箱封頂
5. 護基方塊吊放

沉箱施工作業流程圖如下圖21。

四、結論

台灣中油第三座液化天然氣接收站棧橋工程為配合政府能源政策，施工期程緊迫，且因當地屬生態敏感區位，故於橋型規劃及整體施工規劃務須完善。本工程因位處海上施工環境，容易因天氣因素而影響施工工率及安全，故本計畫於設計階段，即規劃設置

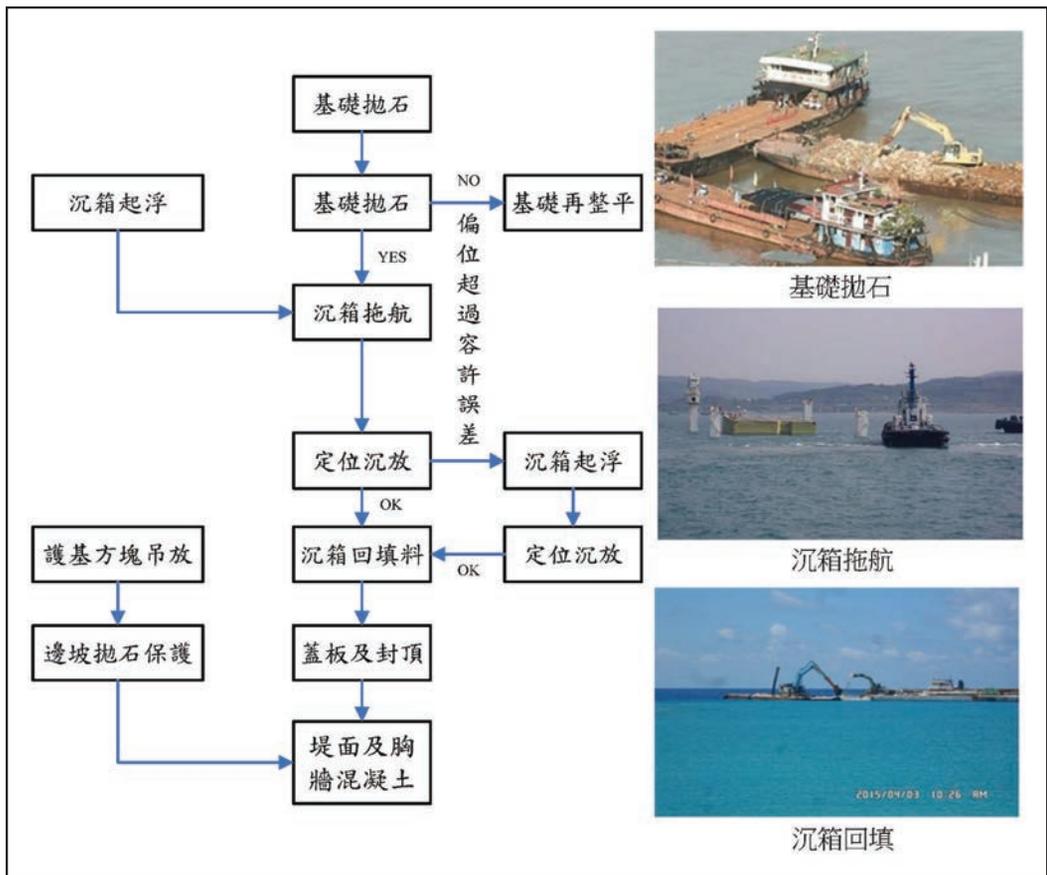


圖 21 沉箱施工作業流程圖



施工便橋作為人、機、料之運輸通道，並於各橋墩處設置施工構台，以利基樁、基礎、橋墩施作。為避免東北季風影響工進，規劃在第一年工作季即完成所有便橋及構台打設，以利於基樁及後續作業銜接，不受冬季風浪影響，另考量各橋墩工作面需同時展開不翻用，於工程費中納入相關經費編列。

海上之橋梁工程，尤需注意結構之耐久性，藉由鋼筋、混凝土、鋼腱等材料多方面的防蝕考量，以及在橋梁配置上盡量避免結

構遭受飛沫侵襲，以降低橋梁在海洋環境中銹蝕的產生。

後續因應外推方案變更，在不變動原工程已完成工項之前提下，僅僅取消外海填築引道部分，並考量鄰標已製作沉箱再利用之可行性，採沉箱方式銜接至外推LNG碼頭，不論對於中油供氣期程、工程經費等面向，都已朝向最佳化設計之考量，希望藉由這些努力，使本工程如質如實完工，使政府能源政策目標得順利達成。





提升供氣穩定的關鍵 - 第三座 LNG 接收站儲槽工程

中鼎工程股份有限公司煉油石化事業部 LNG 專案部專案經理 / 劉康弘

關鍵字：三接、第三座 LNG 接收站、LNG 儲槽興建、中鼎工程、川崎重工

一、前言

配合政府啟動國家能源轉型工程，確保國家供電力穩定，降低空汙及節能減碳，台灣中油第三座液化天然氣(以下簡稱LNG)接收站目標於114年6月前供氣給大潭電廠8、9號機組，其中最關鍵的儲槽設施，是由中鼎工程股份有限公司與川崎重工業株式會社共同統包承攬(以下簡稱承攬廠商)，挑戰要在不到3.5公頃工區內，興建兩座16萬公秉的LNG儲槽，承攬廠商克服超強東北季風、新冠疫情、以及全台大缺工挑戰，並兼顧生態保護與施工節能減碳，一步一步穩健踏實地讓LNG儲槽工程順利機械完工，提早於113年進入氮氣封存操作與維護，等待外廓防波堤延伸工程完成讓LNG船靠岸後，即可順利卸收LNG儲存與供氣給大潭電廠。

儲槽設施為LNG接收站工程中最關鍵的

工程，主要在於儲槽的施工品質會影響整廠的耐久性與可靠性，儲槽的安全本質設計與LNG儲存安全監控更是全廠安全之核心，更不用講施工工法獨特、品質要求嚴謹，儲槽土木與機械工作需精準管理施工介面時程，確保進度如期。在台灣中油公司主辦機關、監造單位、承攬廠商組成的最強團隊，本案如質如期機械完工，並獲得第23屆公共工程金質獎優等殊榮。

二、儲槽安全本質設計

本案儲槽採用雙層圓拱頂式儲槽設計，全區地質改良達到抗液化安全係數 $FL \geq 1$ ，每座儲槽各配置368支直徑1.5米之全套管基樁、搭配高強度預力混凝土外牆、內槽圓頂密封與錨帶設計，能抵抗地震時LNG於槽內晃動之影響，抗震等級可達六級強。



圖 1 興建美麗三接，守護藻礁、穩供電、降空汙

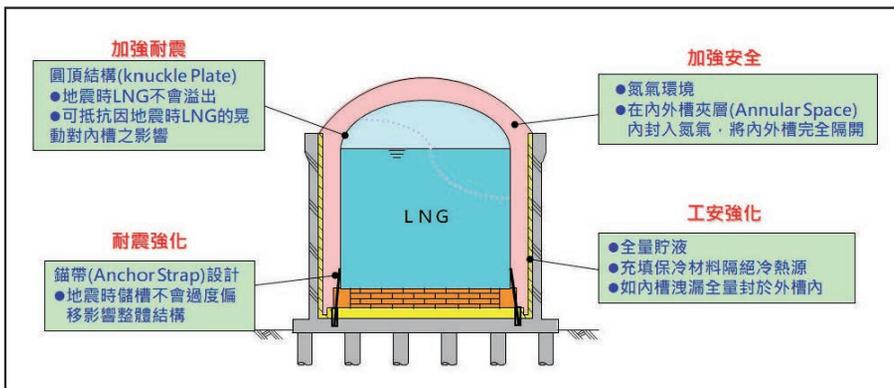


圖 2 儲槽圓頂結構、錨帶及內外槽夾層設計配合和地質改良、樁基礎設計強化儲槽耐震能力

雙層內外槽設計，夾層內充填氮氣絕氧，並安裝甲烷氣體偵測器及低溫偵測器，若內槽LNG有微量洩漏，可偵測到夾層內甲烷濃度與低溫情況，操作系統會立即示警進行處理，同時外槽內側噴塗發泡聚脲酯(PUF)抗冷材料，經過低溫連續測試72小時，確認能有效阻斷溫度傳導，若內槽發生大量LNG洩漏，可保護外槽結構不受低溫影響，確保

LNG不會洩漏到儲槽外部環境。

三、施工品質要求嚴謹

儲槽施工必須確保內槽銲接品質，內槽側板銲接執行100%放射性檢驗(RT)，施照25000張嚴格判片，確保每吋銲道品質無虞。特別是儲槽內槽底板只有6.1mm厚度，



圖3 儲槽內槽底板銲道加強滲透液檢驗(PT)檢驗，品管人員拿放大鏡檢視顯像全白



圖4 儲槽內槽底板銲道採用真空盒負壓二階段升壓試驗

在設計上吸取台中接收站二期儲槽案施工經驗，改良儲槽底板加厚與減小銲道寬度公差，避免銲接滲透不良引起的銲道缺陷可能性，3000公尺內槽底板銲道，加強滲透液檢驗(PT)，品管人員拿放大鏡檢視，檢驗顯像全白才合格，並採用真空盒負壓二階段升壓試驗，透過高靈敏泡沫液，可檢測出銲道

0.01mm的細小孔洞，一點瑕疵都不放過。

內槽直徑76公尺，側板高35公尺，內槽側板檢測真圓度最大偏差只有23.8公分(千分之三)，垂直度最大偏差只有3.5公分(千分之一)，皆大幅優於標準。巨型工程，採精細品質管理。

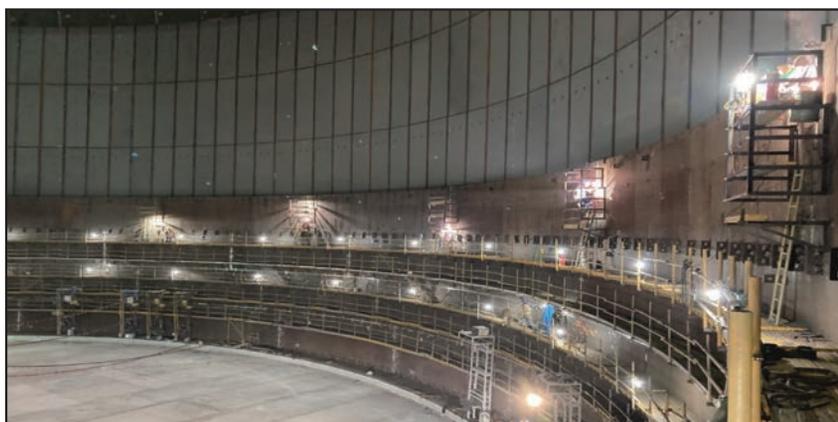


圖 5 儲槽內槽側板共 9 層高 35 公尺，圖中為第 4 層銲接組立

四、工區施工條件之挑戰

第三座LNG接收站興建肩負保護藻礁的使命，前後進行四代環評修正減少工區腹地，儲槽案施工空間被限縮到只有3.5公頃，工區中還有眾多其他介面施工廠商同步施工，施工空間的不足是本案最大的挑戰，同時還有臨海超強東北季風，最大平地風速曾高達30m/s，一旦超過10m/s風速就禁止吊裝作業確保施工安全。為克服上述施工挑戰，本案採廠區外最大化預製及模組化儲槽屋頂結構，大幅減少吊裝需求，亦降低人員高處作業施工風險，搭配儲槽屋頂吹浮升頂工法，將直徑76公尺、重量1700公噸的儲槽屋頂結構，1天之內吹浮 30公尺高，定位完成，創造388天不受天候影響之槽內施工條件，讓本案克服挑戰，如期如質完成。

此外，本案還經歷兩年新冠疫情，本案



圖 6 儲槽內槽屋頂模組結構最大化安裝中

自主實施移工人員分倉、分流(AB班)，移工宿舍設置隔離區域分隔確診人員、定期自主快篩、辦公室座位設置隔板，成就疫情警戒期間未發生人員群聚感染影響現場施工。本案特製自動化潛弧銲接機，可配合內槽側板弧度，將自動化潛弧銲接機吊掛在側板頂



圖 7 第二座儲槽 (右邊) 屋頂吹浮升頂工程



圖 8 儲槽夾層特製自動化潛弧銲接機

部，利用自走式滾輪移動，設計輕巧，讓銲機可以於內槽與外槽間1米寬夾層走動，穩定且連續銲接兼顧品質，有效減少現場人力需求，克服全台大缺工挑戰。

五、工作安全的堅持

沒有工安，就做不出品質。本案落實走動管理執行工安，每日工安管理循環執行，



圖 9 台灣中油公司李順欽董事長與中鼎工程公司楊宗興董事長親臨現場巡查

並嚴格執行高風險作業機具每日檢點完成才開工；每周中油、承攬廠商專案經理、下包商工地負責人聯合工安巡檢，及時改正現場缺失；每季執行高階主管巡查，讓每個人都要親自下去走，才能落實工安、精進工安。除此之外，工地設置電視螢幕，每日工具箱會議撥放工安事件宣導影片，有看到真實的危險，才能讓工安觀念深植每個人，自主管理，落實全員工安，造就本案達成300萬安全工時之里程碑，並持續精進與堅持工安要求。

六、生態保護與節能減碳

保護藻礁生態是本案最高執行原則，本案採逕流廢水循環利用不排放，每季針對環

境監測進行控管，台灣中油公司生態調查報告顯示柴山多杯孔珊瑚從108年85個群體，目前已發現有超過105個群體，其中更有面積約1平方公尺之大群體。同時台灣中油公司設置小燕鷗繁殖基地，小燕鷗繁殖成功率，從原本自然繁殖率不足三成，大幅提升至七成以上。

三接的興建，以天然氣取代燃煤發電，可減少懸浮微粒(PM10)產生量至1/500，細懸浮微粒(PM2.5)至1/48。同時燃氣CO₂排放量約為燃煤一半不到，僅計算供應大潭電廠8號、9號機組用氣，可增加發電約137億度/年，與燃煤比較，每年減少約600萬噸CO₂排放(相當於1.5萬座大安森林公園吸收量)，是能源轉型所需之關鍵工程。

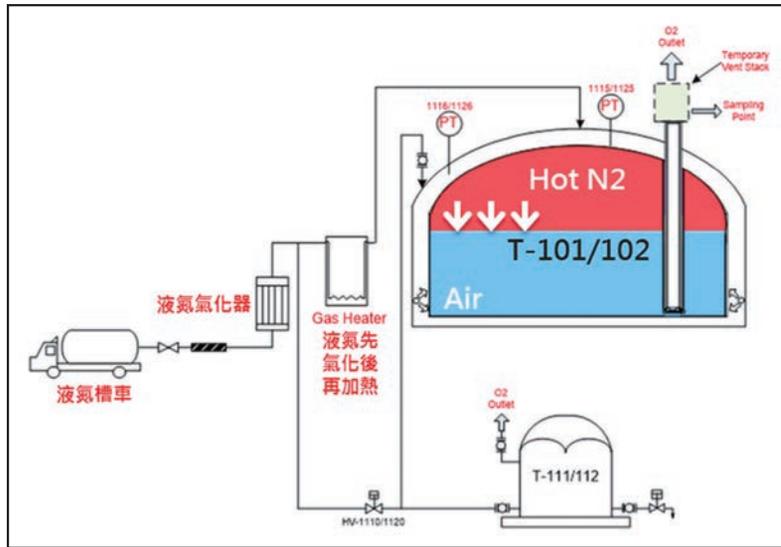


圖 10 儲槽乾燥作業氮氣活塞流技術示意圖

本案採購高效能LED燈具、高效率電梯馬達，兩座儲槽巨積混凝土用量 $27,700\text{m}^3$ ，在符合契約與法規要求下，以飛灰、爐石調整巨積混凝土配比，經多次試拌試驗合格，大幅降低水泥碳排放。此外，注入LNG前儲槽內必須為高度乾燥且絕氧狀態，需使用氮氣置換所有空氣並乾燥儲槽。傳統氮氣乾燥作業採用室溫氮氣直吹，16萬公秉之儲槽要耗費大量氮氣與時間才能完成乾燥。本案採用氮氣活塞流技術，利用熱氮氣（密度輕）與空氣（密度重）的密度差異，精確控制氮氣溫度與流量，在槽內頂端形成氮氣雲與底部空氣分層，就如同活塞一般，有效率地將空氣透過槽底排放閥排出，同時乾燥儲槽完成氮氣封存，可大量節省液態氮使用，減少製造液氮耗電之碳排放。本案在設計、設備採購、施工工法有效降低碳排達到11,200公

噸，等同28座大安森林公園年度碳吸附量。

七、結論 - 興建三接的使命感

興建三接對國家供電穩定扮演著關鍵腳色，台灣中油公司主辦機關、監造單位與承攬廠商同心協力，擁有為國家重大工程做出貢獻的信念，堅持品質，如期完成，儲槽案原為第三座接收站工程中最長要徑工程，採用特殊工法與創新技術，克服工區空間不足、缺工與嚴苛氣候條件，反成為第一名率先完成機械完工之工程案。除此之外，台灣中油公司與承攬廠商共同期許本案的儲槽安全設計、設備採購挑選、施工特殊工法、強化品質檢驗與工安精進作為，能成為國內LNG儲槽興建工程管理之楷模，讓未來的LNG儲槽興建案能精益求精，更上一層樓。



突破天然氣輸送瓶頸 - LNG 灌裝

台灣中油公司天然氣事業部工務室主任 / 范嘉榮

關鍵字：LNG 灌裝、LNG 槽車

一、前言

天然氣主要由甲烷組成，相較於煤或石油等傳統燃料，天然氣的燃燒釋放的溫室氣體較少，有助於減緩氣候變遷。而且天然氣相對於其他化石燃料，燃燒過程中產生的氮氧化物和顆粒物等空氣污染物的排放量較低。天然氣在燃燒時產生的熱量相對高效所以燃燒效率高，這意味著相對較少的燃料就能提供所需的能量。此外，天然氣相對於石油具有相當程度的替代性，可以減少對進口石油的依賴，從而實現能源多元化的目標，更有效地利用能源，減少對環境的破壞。

台灣地區使用天然氣源自日據時代新竹與苗栗地區，民國38年後，由中油公司接續經營與開採，並提供民生用戶及工業用戶。天然氣由於使用極為方便，使用逐漸普及，因自產天然氣逐漸枯竭，中油公司遂於79年

進口液化天然氣，氣化後供應國內需求，並經由既設管線輸天然氣，供應台灣西部地區公用天然氣事業、工業用戶及電廠使用。

傳統天然氣供應以管線輸送為主，目前臺灣天然氣管線分佈位於西半部，包含海底輸氣管線、陸上輸氣幹線、輸氣環線及輸氣營業管線等，由北至南供應基隆至屏東用戶所需之天然氣。惟偏鄉及東部地區距離天然氣接收站遙遠，施工較艱難，且建造輸氣管線需耗費龐大資金，至今皆未能埋設天然氣管線，無法擴大天然氣使用及銷售。

為推動國內天然氣擴大使用，中油公司於台中液化天然氣廠興建液化天然氣(LNG)灌裝設施，由國內業者以LNG槽車運送LNG至偏遠地區或天然氣管線未到達地區來供應國內工業所需之天然氣，提高天然氣使用普及度。

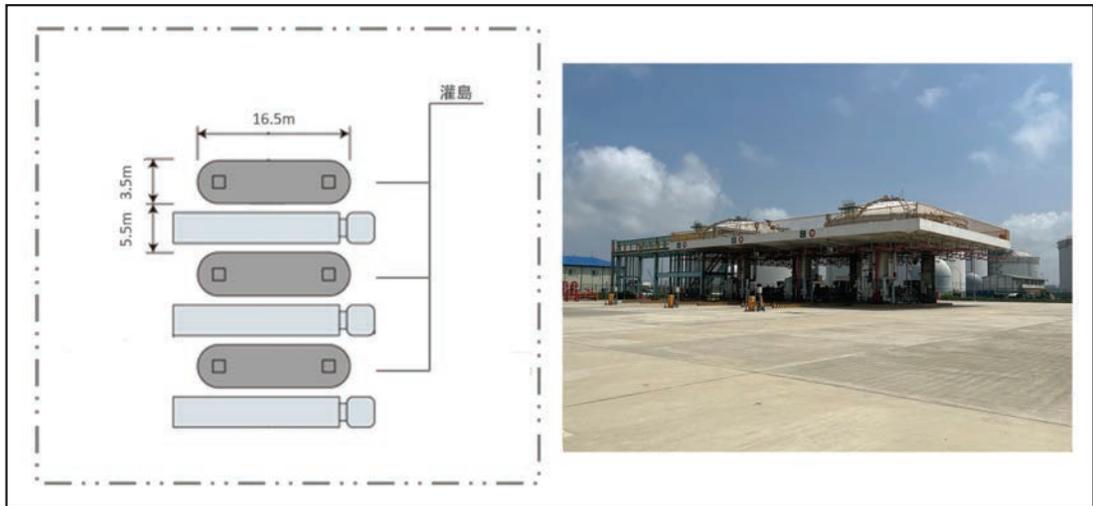


圖 1 灌島配置示意圖

二、LNG 灌裝場佈設基準

根據日本燃氣協會「LNG小規模基地設備指針」，對於LNG灌裝場佈設基準之如下：

1. LNG槽車行進之場內道路需有足夠之寬度以供安全運行，須依槽車之長、寬、迴轉半徑之迴轉軌跡圖決定道路寬度與曲率半徑。
2. LNG槽車行進之場內道路必要時應設置護欄。
3. 灌裝場地需水平。
4. 在灌裝場需明確設置LNG槽車停車位置。
5. 在灌裝場需設置「灌裝中嚴禁煙火」等警戒標誌，非LNG槽車不得進入灌裝場。

另依美國「NFPA59A-液化天然氣(LNG)生產、儲存和裝運規範」中，對於LNG灌裝

場佈設基準之建議如下：

1. 如果有框架結構，應採用不燃材料製成，如鋼材或混凝土。
2. 槽車裝卸區應有足夠的面積，車輛不必做過多的移動或轉向。
3. 輸送管線、泵和壓縮機應以圍欄保護，不會因車輛的移動而受損。
4. 排放口應排放至遠離人、火源的室外安全區域。

三、台中液化天然氣廠 LNG 灌裝設施規劃

(一) LNG 灌裝場區配置

台中LNG灌裝場配置3處灌島並以單側灌裝(圖1)，灌島長度16.5m、寬度3.5m、淨間距5.5m。

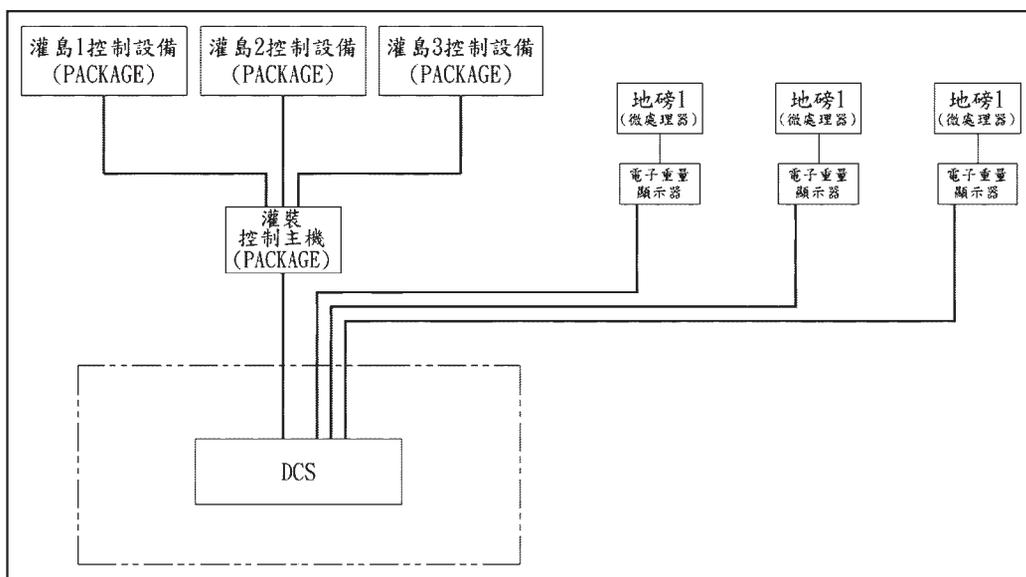


圖 2 控制架構示意圖

(二) 灌裝系統

LNG灌裝設備，設置於3個灌島，由灌裝控制主機控制灌裝設備，灌裝儀控系統將壓力、溫度、流率及閥位等所有控制狀態信號傳送至DCS系統，操作人員於DCS系統操作控制並掌握灌裝作業狀態。(圖2)

LNG灌裝系統，採與LNG槽車車尾底部連結灌裝，每套LNG灌裝系統包含：LNG灌裝臂、NG回氣臂、儀器控制裝置、安全連鎖保護裝置，相關操作參數如下：

1. 灌裝流量：50 m³/h。
2. 液態操作壓力：操作壓力約為8.5 kg/cm²。
3. 氣態操作壓力：不超過0.3 kg/cm²。

4. 液態操作溫度：-158~-162°C。

5. 氣態操作溫度：-130~-162°C。

LNG灌裝流程說明如後，由LNG儲槽泵出集管進入到LNG灌裝區，再經由3" LNG灌裝臂將LNG卸入LNG槽車，LNG灌裝速率約50 m³/h；LNG卸料過程中產生氣態的天然氣由NG回氣臂送回至BOG回收管線。(圖3)

(三) LNG 灌裝主要設備及功能說明

1. LNG灌裝臂

灌裝臂為立柱結構，管線尺寸為3吋，灌裝時銜接於LNG槽車的2吋液態接口，用於LNG卸裝，灌裝臂材質為304L可由旋轉接頭、平衡機構及支撐裝置調整灌裝臂位置。

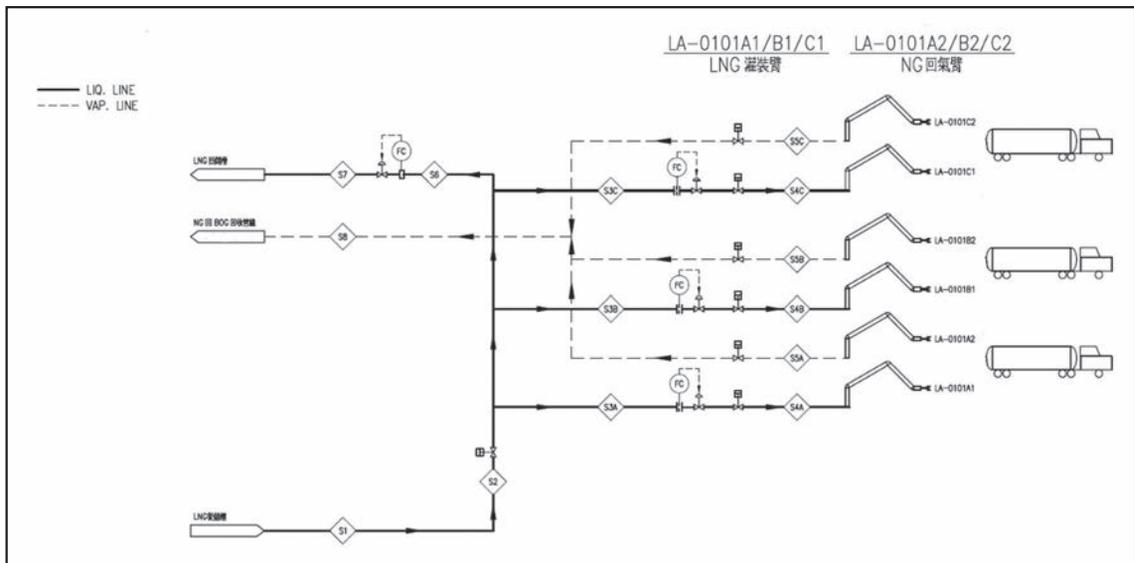


圖 3 灌裝流程示意圖

2. NG回氣臂

回氣臂為立柱結構，管線尺寸為3吋，灌裝時銜接於LNG槽車的2吋氣態接口，用於灌裝時氣態NG回氣，回氣臂材質為304L，並由旋轉接頭、平衡機構及支撐裝置調整回氣臂位置。

3. 氮氣吹除管線

管線尺寸為3/4吋，功能用於LNG灌裝前對灌裝臂前端空氣置換與灌裝後灌裝臂內LNG或BOG吹除。

4. 流量計

流量計執行灌裝流率及累積量的自動量測。

5. 控制閥門

流量控制閥可自動控制，配合灌裝臂預冷作業，與灌裝流量速率的調整程序。

6. 緊急關斷閥

用於灌裝系統之連鎖緊急關斷。

7. 壓力和溫度傳送器

用於灌裝系統管線壓力及溫度偵測。

8. DCS系統

灌裝儀控系統將壓力、溫度、流率及閥位等所有控制狀態信號傳送至DCS系統，操作人員於DCS系統操作控制並掌握灌裝作業狀態。

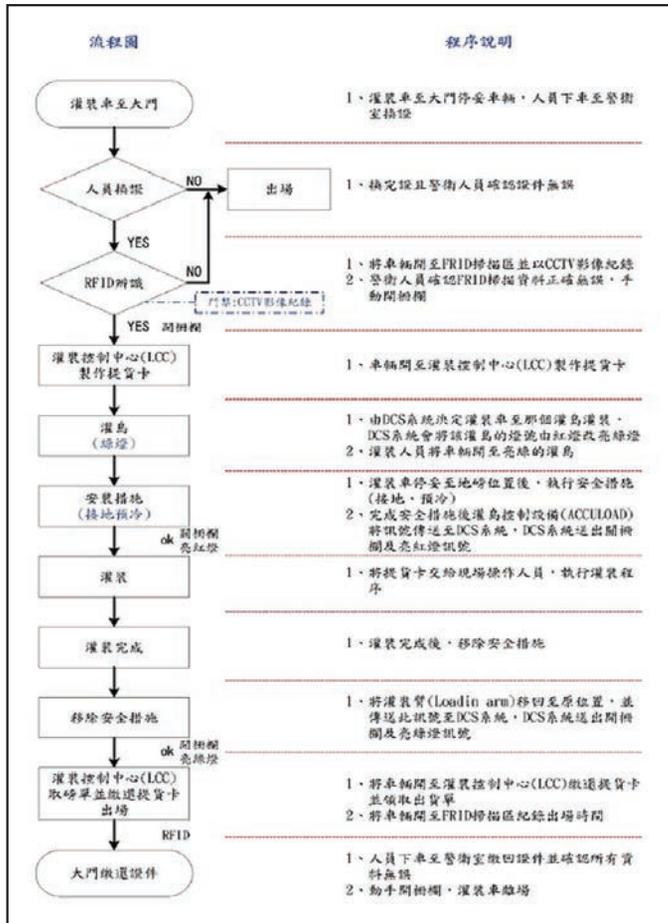


圖 4 灌裝程序示意圖

四、灌裝程序

灌裝前人員進行身分登記確認，並至灌裝控制中心確認提貨資料開立提貨卡，接著將LNG槽車停至系統指定之灌島，灌裝車輛停妥後執行接地與預冷等安全措施，完成後進行灌裝作業，灌裝完成後移除安全措施，並繳回提貨資料後離場。(圖4)

五、LNG 槽車

LNG運輸可利用槽車以陸運方式至各氣化衛星站或單點供氣站，再由氣化衛星站或單點供應站將 LNG 氣化為天然氣後供應給用戶使用。

國際上常用LNG槽車型式(圖5)，第一種為單車型式(Tank Lorry)，每車載運量約



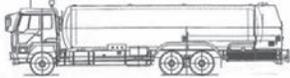
型式	單車 (Tank Lorry)	半拖車 (Semi Trailer)	貨櫃拖車 (Container Tank)
			
裝載容量	6-8 噸 / 車	9-15.1 噸 / 車	9-20 噸 / 車
說明	儲罐固定於車身上	儲罐聯結於拖車上	LNG 槽櫃吊裝固定於貨櫃車上，常用規格為 20ft 與 40ft

圖 5 LNG 槽車型式

6~8噸LNG，此種型式為儲罐固定於車身，主要應用於需求量較小之工業用戶；第二種為半拖車型式（Semi-Trailer），每車載運量約9~15.1噸，將儲罐聯結於拖車後方運送，一般適用於大型工業用戶以及公用事業公司；第三種為貨櫃拖車型式（Container Tank）將LNG槽櫃吊裝固定於貨櫃車上，可直接載運或以火車運送至當地氣化衛星站或單點供氣站，目前國內業者以半拖車形式之槽車運送LNG。

3,687噸。由天然氣灌裝場供應液態天然氣，以LNG槽車陸運之方式，突破天然氣管線無法到達區域輸送瓶頸，對擴大使用天然氣有莫大的助益。

參考文獻

1. LEB0300002 設置 LNG 灌裝場、Reloading 及 LNG 加氣補給船等設施可行性研究。P2-62-P2-65、P3.1-P3.2
2. 中油公司出國報告-赴日本大阪瓦斯公司有關有關 LNG 灌裝營運模式及計價事宜。P8

六、結論

中油公司台中LNG灌裝場完成後，國內相關業者在管線無法抵達的地區或工業區興建LNG灌裝氣化衛星站及建置單點供氣站之方式，優先提供該地區或工業區附近廠家使用天然氣，將燃煤、重油鍋爐用戶改成使用潔淨能源，降低空汙、使業者進一步達成減碳的目標。統計112年中油公司LNG灌裝場灌裝車次為366車次，灌裝液化天然氣量達



達成淨零碳排的重要里程碑 - 加氫站與充電站設置規劃

台灣中油股份有限公司綠能科技研究所研究員 / 盧信宏
台灣中油股份有限公司綠能科技研究所專案經理 / 顏子翔
台灣中油股份有限公司綠能科技研究所組長 / 張揚狀
台灣中油股份有限公司油品行銷事業部管理師 / 黃宛蓉

關鍵字：淨零排放、加氫站、充電站

摘要

國際能源總署(IEA)2023年3月發布《2022碳排回顧報告》指出，2022年全球二氧化碳總排放量為368億噸，其中電力部門146.5億噸占最大宗，其次依序為工業部門91.5億噸、運輸部門79.8億噸、建築部門29.7億噸。為實現2050淨零排放這個宏遠目標，各國相繼投入新技術開發，在運輸部門方面，為解決傳統內燃機載具所產生的二氧化碳問題，首推氫能車及電動車等零碳排載具，且所需之加氫站與充電站等能源補給基礎設施完善度，是初期發展階段影響消費者購買意願的關鍵因素。本報告主要介紹能源

轉型之際，台灣中油布局加氫站及充電站的現況與未來建置規劃，期盼與民眾共創淨零新生活。

一、前言

近年來全球各地氣候異常，極端氣候造成之風險日益加劇，各國對於環境與氣候變遷的危機意識抬頭，已有150多國提出「2050淨零排放」的宣示與行動，身為地球村一員，我國亦於2021年4月22日世界地球日宣示將朝2050淨零轉型發展，國家發展委員會(下稱國發會)隨後提出12項關鍵轉型策略，加入實踐淨零排放行列。

受淨零排放議題及國內積極推動再生能源政策影響，我國再生能源(例如風能、太陽光電、地熱能等)發電占比預期將逐漸提高，零碳燃料也將取代化石能源，政府也期待透過科技與生活習慣改變，讓民眾的食、衣、住、行朝淨零生活方向推進。在「行」的方面，交通部在2023年4月公布之「運具電動化及無碳化關鍵戰略行動計畫」揭示，運輸減碳策略規劃由運具「電動化及無碳化」、「人本運輸」、「私人運具管理」三面向著手，以促成運輸減碳目標，具體作法將打造友善運具電動化及無碳化車輛使用環境，並將無碳運輸載具(電動車與氢能車)與能源補給設施場域(充電站與加氫站)列為發展重點。

國際能源總署(IEA)2021年5月發布的全球能源部門2050淨零排放路徑報告指出，當前技術尚無法達成淨零排放，且有超過一半的減碳技術仰賴未來的研發創新突破才能達成，也就是說，2030年前須盡一切努力，開

發突破性的創新技術，並在2030年以後示範導入。台灣中油身為國內油氣能源產業之首，為因應國內外淨零排放趨勢，已著手規劃建置電動車充電站及加氫站，逐步由傳統油氣能源公司蛻變成新能源企業，以順應能源轉型，並朝淨零永續世代推進。

二、國際發展趨勢

(一) 加氫站

氫燃料電池載具(下稱氢能載具)屬電動車一環，係利用氢能轉換為電力來驅動車輛運轉，行進間僅排水但不排碳，可有效降低空氣污染。氢能載具步入實用化的關鍵設施即加氫站，是由壓縮機、氫氣儲槽、冷卻器及加氫機等組合而成(見圖1)，這些技術已成熟且具商業化產品。加氫站依據站體設施可區分為機動式、可移動式及固定式三種(見圖2)，其中，可移動式與固定式加氫站再依氫氣補充方式可分為現場製氫(On-site)與場外製氫(Off-site)。

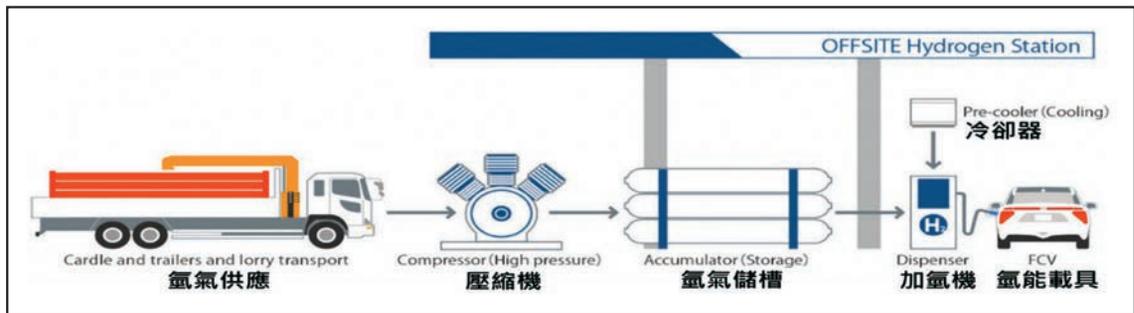


圖 1 加氫站組成設備示意圖

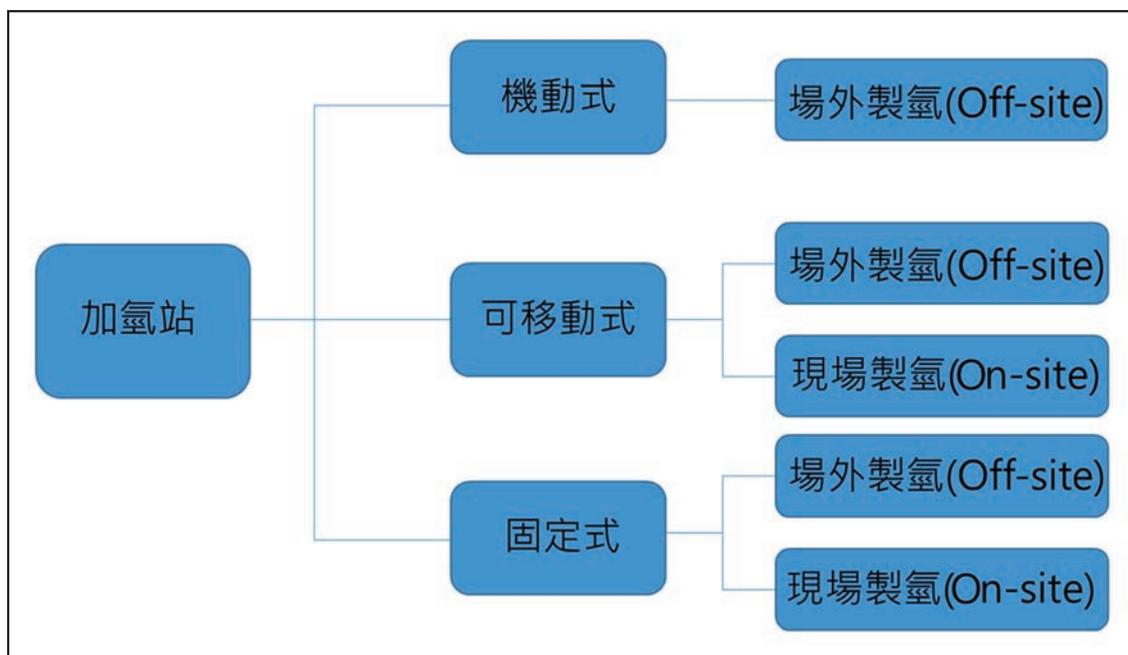


圖 2 加氫站分類

根據國際能源總署(IEA)2023年9月發布之數據顯示，全球加氫站數量由2019年500座，成長至2023年6月1,100座，並且有上百座加氫站正在興建中，其中，亞洲國家加氫站大多集中在中國大陸(超過300座)、日本(約180座)及韓國(約180座)，歐盟則擁有約250座加氫站，美國現有加氫站數量約70座左右(見圖3)。

歐盟國家與企業相當積極發展氫能載具及投入加氫站布建行列，包含像是歐盟《替代燃料基礎建設規定》政策規劃在2030年起，將沿著主要道路網每200公里及在城市交通轉運點強制建置加氫站，以擴大歐洲加氫網絡服務；義大利計畫興建36座加氫站；

TotalEnergies與Air Liquide兩家公司正籌組合資企業以開發大型加氫站，目標在比荷盧聯盟、法國和德國建置超過100站加氫站；H2 Mobility聯盟目標到2030年將加氫站網路增加超過一倍，並計畫在德國及奧地利增加210座加氫站。

除歐盟外，美國雖然目前加氫站為數不多，但仍有些許計畫進行中，例如Nikola公司¹獲補助將在加州投入4,200萬美元建置6座加氫站，每座加氫站每天可提供80~100輛卡車充氫，且該公司在2023年推出機動式加氫站，擁有近1公噸氫氣儲存量及可提供700

1 氫能與電動卡車製造商。

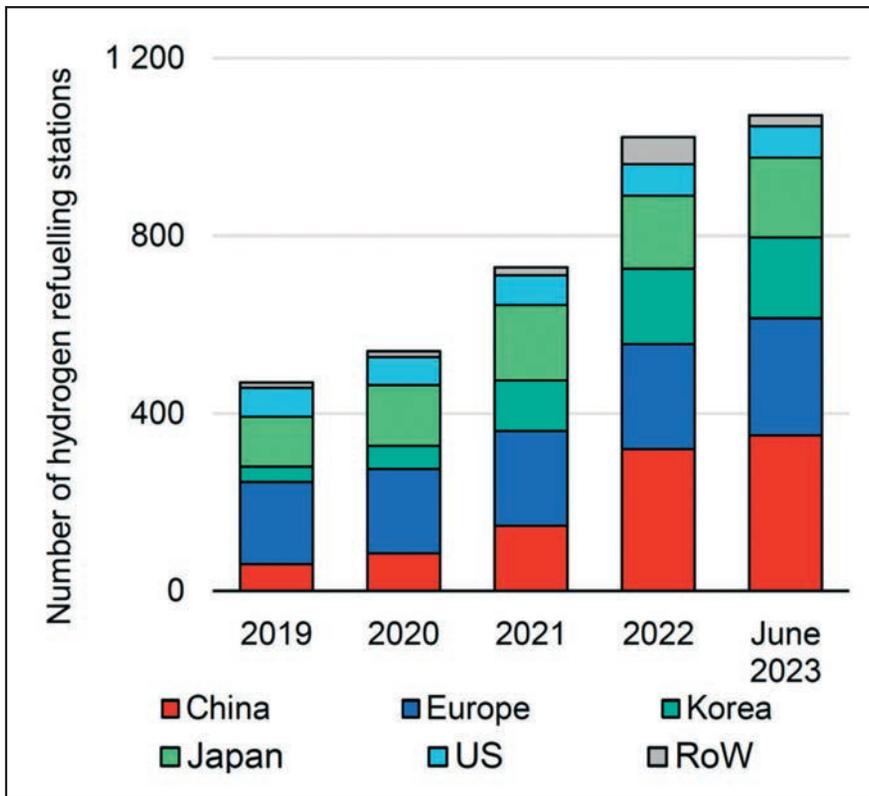


圖 3 全球加氫站數量統計

bar 充氫服務功能。亞洲方面，中國大陸計畫於 2025 年以前在上海完成設置 70 座加氫站，SK Plug Hyverse² 則計畫在韓國建置 40 座加氫站。

日本與韓國皆擁有氫能車輛產業鏈(日本為豐田汽車、韓國為現代汽車)，且對加氫站基礎建設極為重視，簡要說明兩國推動加氫站之建置歷程：

1. 日本

日本最早推動的實證計畫是「日本氫氣

與燃料電池示範計畫(Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project；簡稱 JHFC)」，實證期間針對氫能載具、建置加氫站與實務運行收集大量數據。2010 年計畫結束後，日本在 2017 年 12 月訂立全球第一個「氫能基本戰略」，規劃 2020 年將加氫站建置數量增加至 160 座，並於 2030 年達 900 座目標，並期望加氫站收益能力提高至可替代加油站。

為達到「氫能基本戰略」規劃的各項目標，日本於 2019 年修訂「氫氣・燃料電池戰略路線圖」，目標 2025 年加氫站的建置與營

2 SK E&S 與 Plug Power 的合資企業。



運費用，分別從3.5億日元降低至2億日元、3.4千萬日元降低至1.5千萬日元，加氫站重要設備壓縮機與蓄壓器分別由0.9億日元降低至0.5億日元、0.5億日元降低至0.1億日元，並推動加油站和便利商店可併設加氫站、布建全國加氫站網絡³、增加加氫站營業時間等，以達到「氫能基本戰略」的站數目標，2023年6月日本再次調整「氫能基本戰略」加氫站設置站數，將於2030年實現國內設置1,000站目標。

2. 韓國

韓國自2006年起以實證目的推廣加氫站之建置，同年8月興建第一座加氫站，並於2019年開始鬆綁加氫站興建法規，使都會區更容易設置加氫站。「氫能經濟實施第一次基本計畫」是該國繼2020年實施《促進氫經濟和氫安全管理法(簡稱氫能法)》後，產業通商資源部於2021年首次公布的基本計畫，加氫站建置目標分別為2030年達660座及2050年增加到2,000座，並由環境部執行「加氫站策略部署計畫」作為配套計畫，目標於2025年前在韓國226個市、區、郡示範建置一座以上的加氫站，同時期望吸引私人企業參予；此外，該計畫也訂定2030年氫能載具駕駛在主要城市只需20分鐘內可到達加氫站，2040年時可縮短至15分鐘以內。

3 2025年加氫站建置數量達320座 2030年達900座。

(二) 充電站

1. 全球充電站發展現況

彭博新能源財經(BNEF)「2023電動車輛展望統計」報告指出，中國大陸充電樁數量達176萬座、美國12.8萬座、法國8.4萬座、德國7.7萬座(見圖4)。各國2030年設置目標分別為德國100萬座、美國50萬座、法國為40萬座。為促進電動車市場發展，各國紛紛訂定充電站布建目標，如歐盟預計在2030年完成1,700萬座充電樁、美國在2026年完成50萬座充電樁、日本要在2030年前完成30萬座，中國大陸則訂定2030年車樁比達到2:1，為全球降低車樁比主要推動力量，預計2026年全球公共充電樁總數將達1,600萬座。

國內方面，依交通部統計查詢網資料顯示，截至2023年11月底，台灣電動小客車數量計有56,084輛，占整體小客車車輛登記數0.8%，其中特斯拉(Tesla)為最大宗。另統計至2023年11月底，國內充電樁數量有1,252槍，車樁比約為43:1，遠高於政府規劃至2025年快充車樁比80:1，從前列數據可知，國內充電樁布建速度高於電動車成長速度，惟消費者對電動車接受度仍有相當大成長空間。

2. 國際石油公司充電站布建策略

荷蘭皇家殼牌(Shell)2019年收購Greenlots，後續又收購Volta，目前全球營運充電站將超過5.7萬個，並與中國大陸電動車

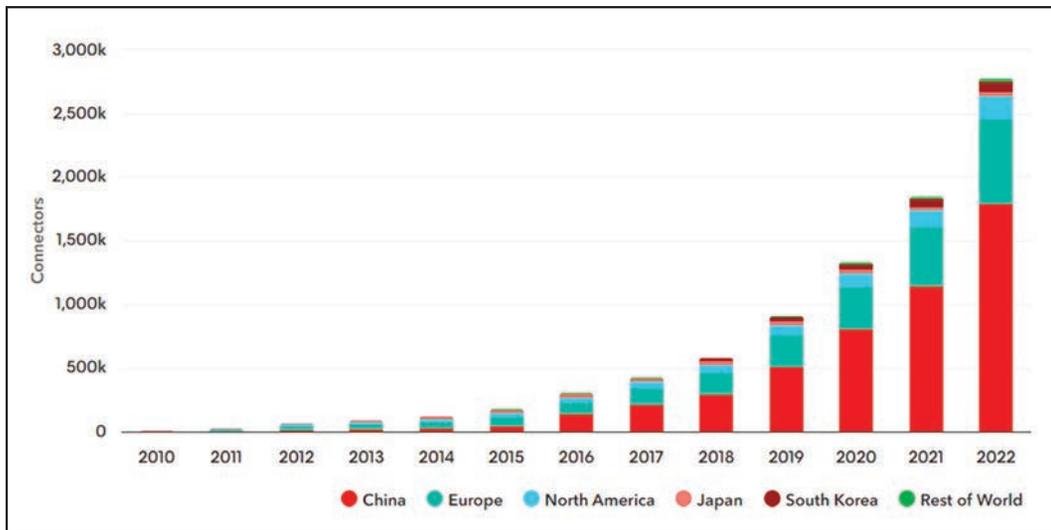


圖 4 全球公共充電樁累計建置數量

品牌蔚來汽車簽署戰略合作協定，預計2025年前要在中國大陸興建100座以上充電站，雙方也計劃在歐洲布建充電站網絡；此外，殼牌公司也規劃將英國經營的加油站轉型為充電複合站，預計2025年底前完成5萬隻路邊充電樁。

英國石油公司(BP)於2022年成立子公司BP Pulse，並在美國 動一系列大型快充站(Gigahubs)建置計畫，目前BP Pulse在美國設有27,000支充電樁，2023年BP Pulse向特斯拉購買高功率充電樁，預計2024年開始在美國建置新充電站，2030年前達成全球10萬充電樁的目標。

3. 台灣中油電動車充電站發展現況

新竹光明複合充電站為台灣中油公司首

座自建自營電動車充電站(見圖5)，期望帶給消費者嶄新氣象，為此，特地為光明充電站命名為「CPC Gen+」，「Gen+」是指開創能源新世代generation與普及多元能源general，想傳達消費者台灣中油將迎接新能源世代的來臨，並勇於求新求變，提供民眾更多元的能源服務。

目前該充電站結合停車場及充電站服務，進出場以車牌辨識系統管理，設有1座雙槍200kW及3座雙槍100kW快速充電樁(含4槍CCS1及4槍CCS2共8槍)，以及4座單槍7kW的慢速充電樁，可同時滿足美規、歐規及不同車型電動車充電需求。此外，該站採複合式經營，除提供顧客愛車充電外，也提供洗車及販賣「中油CUP&GO來速咖啡」等服務。



圖 5 新竹光明複合充電站

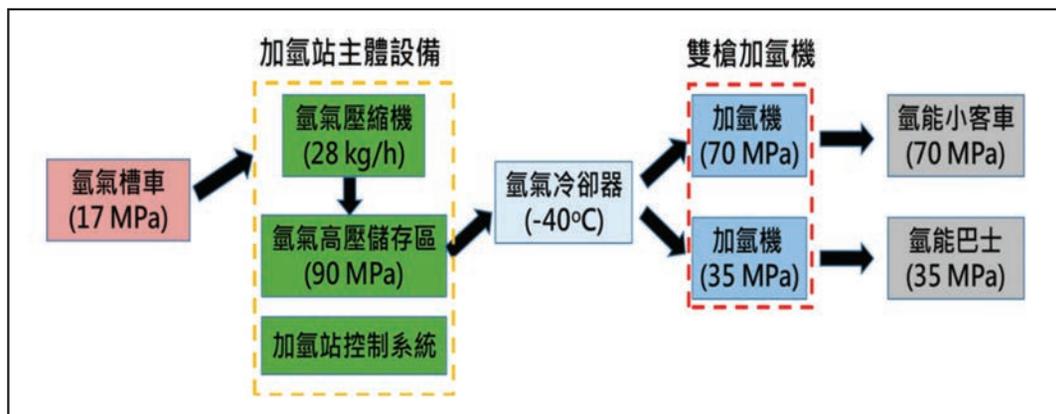


圖 6 加氫示範站運作流程示意圖

三、台灣中油設置規劃

(一) 加氫站

台灣首座加氫站雖尚未完成建置，但政府對於氫能發展相當重視，2022年3月國發會發布「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，將氫能列為淨零轉型十二項關鍵戰略

之一，主要應用於發電、工業及運輸業；經濟部能源署分別於2023年7月4日及11月1日公告《指定氫燃料為能源管理法第二條第六款之能源》與《加氫站銷售氫燃料經營許可管理辦法》等。台灣中油長期肩負國內能源穩定供應之責，對發展新能源—氫氣亦然，目前規劃建置加氫站主要是為支援氫能載具之發展。

表 1 加氫示範站主要設施說明

主要設施	組成設備與功能
氫氣供應區	示範初期由高壓氫氣長管集束拖車供給所需氫氣。 預計可供應氫氣 210 公斤，以每台 30 公斤儲氫量估算，一天可服務 7 台大型巴士的充氫。 氫氣初規劃購自國內氣體廠商，並要求其氫氣品質須符合 ISO 14687 檢測標準。
加氫站主體區	包含氫氣供應入口區、氫氣壓縮機(處理能力 28 公斤/小時)、高壓儲氫瓶(在 90 MPa 下可儲存氫氣量約 55 公斤)、控制系統區及冷卻風扇。
加氫泵島區	包含冷卻器(可將氫氣冷卻到 -40°C)、加氫機一座兩槍(35MPa、70MPa 加氫槍各一支)，可服務汽車、巴士、卡車及貨櫃車等各種氫能載具。

台灣中油第一座加氫示範站預計設置在南部地區，選址主要考量須位於工業區、鄰近 100 公尺以上皆無民宅、人口密度低、適合建置加氫示範站與進行驗證、地處交通便利以及貨櫃車、物流車、卡車等重型交通載具密集的区域⁴，交通便利適合發展高負載與長續航力之重型氫能載具。

加氫示範站設備規範將參照國際標準《ISO 19880-1:2020 氣態氫加氫站》訂定⁵，加氫站設置則參照國內《加氫站銷售氫燃料經營許可管理辦法》。台灣中油規劃首座加氫示範站為可移動式加氫站，優點包含占地面積小、投資成本相對低、機動靈活、施工工期短、裝置安裝方便等。此外，加氫示範站的加氫設備由國際大廠生產製造，運作流程如圖 6 所示，主要設施與功能詳表 1。

加氫示範站站體空間除設備因素與安全考量之外，還須兼顧氫能載具進出加氫站所需迴轉半徑、車輛加氫停駐空間及氫能載具氫氣加注口方向(車身左側或右側)，為利於進行氫能載具加氫服務，並符合《加氫站銷售氫燃料經營許可管理辦法》對安全距離相關要求，加氫示範站的站體與設備配置示意圖規劃如圖 7。

台灣中油首座加氫示範站建置規劃與加油站相同，包含工程設計規劃、設置申請許可、建(雜)照申請許可及使用執照申請許可等，目標在 113 年底前完成前列項目，並搭配重型載具示範運行，後續則配合政策與產業需求，擴大加氫站試行範圍。加氫站所需氫氣來源，初期規劃利用灰氫，也就是以天然氣重組產製氫氣，未來再評估朝藍氫(灰氫結合碳捕捉與封存技術)及綠氫(以再生能源電力電解水產氫)逐步發展。

4 例如國一高速公路交流道、省道一號等。

5 包含一般要求、閥件/配件、加氫站性能測試等。

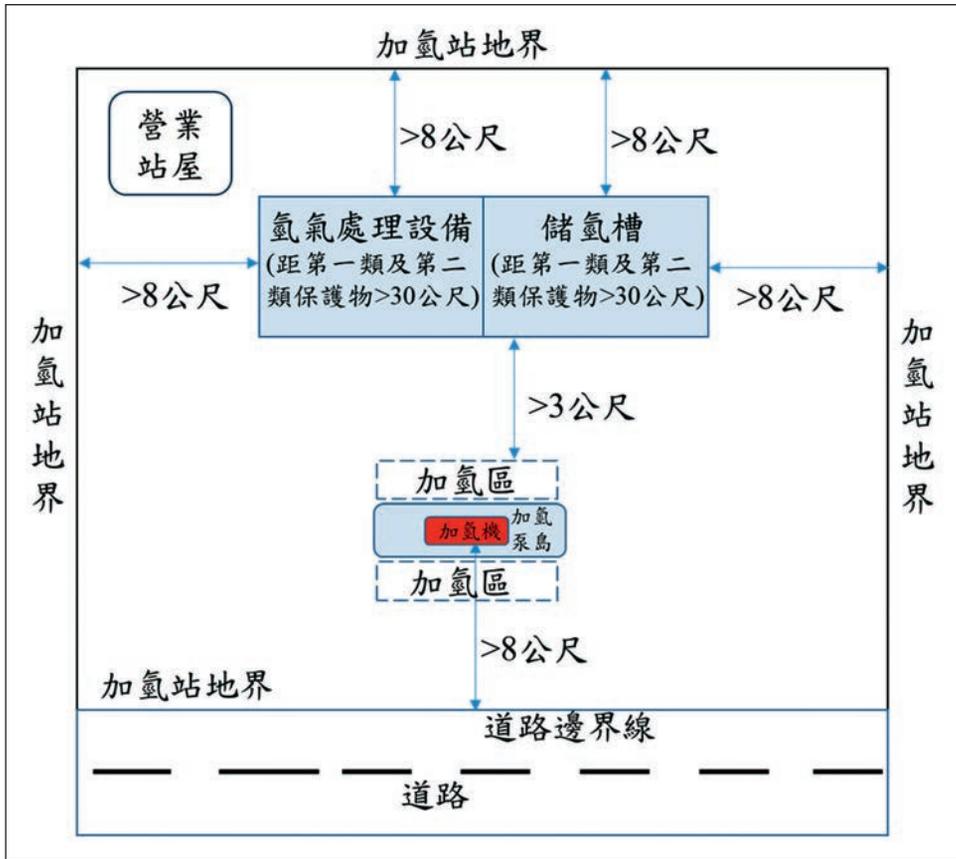


圖 7 加氫示範站站體與設備配置示意圖

(二) 充電站

為配合國內外淨零排放相關政策之推動，台灣中油已盤點電動車充電站設置場址，主要依場域特性區分為加油站場域內及加油站場域外，加油站場域內須符合《加油站設置管理規則》及《用電用戶設備裝置規則》，同時維持顧客加油安全動線及營運空間需求，故選址會優先選擇電動車較多縣市，再盤點有足夠空間且符合安全距離規定

之站點；加油站場域外則以六都先行規劃設置，具電動車發展潛力都市為第二選擇。

依前列原則，台灣中油規劃2021~2025年將完成於28座直營加油站、共80槍快速充電槍之建置計畫(見表2)，設置規格以政府明定之公共充電樁規格CCS1+N⁶為主，且台灣中油充電站皆有設置美規CCS1，未來將依市場需

6 N 定義為歐規 CCS2 及日規 CHAdeMO。



表 2 台灣中油 2021~2025 充電站建置規劃

年度	槍數	合作經營站點	台灣中油自建站點
2021	10	台北福林站停車場	
2022	8		新竹光明站停車場
2023	30	新北新莊站 * 桃園梅溪站 * 桃園林口工三站 * 雲林荊桐義和站 * 屏東墾丁站 * 新竹東明段	台中霧峰林森站 * 台南前峰路站 *
2024	18	台中台中港 * 新北泰新路 * 台北復興北路 * 台中大甲站 * 桃園龜山站 * 桃園中工站 * 高雄英德街停車場 高雄成功光復停車場 台中烏日地區 台北中崙停車場	高雄高鳳站 *
2025	14	新北海濱站 * 高雄九曲堂站 * 台南安中路站 * 台南後壁站 * 台南大同站 * 花蓮港口站 * 嘉義朴子山通路站 *	

備註：* 為加油站場域內之站點。

求及電動車發展滾動調整站點數及充電樁數。

考量目前電動車充電站建置成本高、國內電動車尚處初期成長階段，造成營運績效及成本回收速度慢等因素，台灣中油自2023年起，除少部分站點採自行招標建置充電樁外，多數站點採與充電廠商合作經營模式，以降低投資成本，滿足電動車使用者

需求，例如台北福林站停車場即與悠勢科技(USPACE)合作建置充電站，並由該公司負責營運管理⁷。

四、結論

從全球新能源車輛載具發展進程來看，

⁷ 新竹光明複合充電站屬自建自營。



電動車廣受青睞，各國短中長期充電基礎設施之建置目標也較為明確完善；同樣身為零碳排的交通載具，雖然氫能載具在例如大巴士、卡車等高載重、長距離的應用，具備無旅程焦慮與補充氫氣速度快的優越性，惟加氫站建置成本較高，使加氫站普及性成為氫能載具能否推廣成功的關鍵因素。從日本及韓國推動加氫站建置方案中，我們發現兩國皆先推動實證示範計畫，以確認氫能載具與加氫站推廣可行性，再透過增設站點來提高消費者購車意願，讓氫能載具及加氫站逐步達到規模經濟，其降低購車及建站成本的推動方案值得我國借鏡。展望未來，台灣中油將從布局加氫站及充電站計畫中，找尋具利基性的商業模式，並持續關注消費者對新能源車的接受度，滾動調整建站目標與期程，在國家邁向淨零排放道路上做出實質貢獻。

參考文獻

1. Global Hydrogen Review 2023, IEA Publications, International Energy Agency, P34-P35, 2023 年。
2. JHFC 第一期：2002 年至 2005 年, JHFC, <https://www.jari.or.jp/jhfc/jhfc/history/phase01.html>(2023 年 11 月 17 日引用)。
3. JHFC 第二任期：2006 年至 2010 年, JHFC, <https://www.jari.or.jp/jhfc/jhfc/history/phase02.html>(2023 年 11 月 17 日引用)。
4. Outline of HRS, JHyM, <https://www.jhym.co.jp/en/station/> (2023 年 11 月 17 日引用)。
5. EE Times, 「2026 年全球公共充電樁預估將達 1600 萬座」, TrendForce, 2023 年 9 月 25 日。
6. 洪劍長、黃蓓芸, 「國際加氫站發展現況與安全法規分析探討」, 臺灣能源期刊, 第四期, 第三卷, P.461~475, 2016 年。
7. 黃莉婷、王穎達, 「日本氫能策略與近期動態評析」, P.3~4, 2022 年。
8. 柴田大助, 「日本加氫站介紹說明」, 日本橫濱市消防局危物專家來臺實務及交流研討會(大坪林聯合開發大樓 15 樓國際會議廳), P.71, 2023 年。
9. 韓國首座能源加氫站開始運營, Cryogenic Industrial Gases Magazine, <http://www.igasnet.com/news/articleView.html?idxno=2402> (2023 年 11 月 17 日引用)。
10. 陳立衡、楊怡真、方育恆、林綉娟, 「韓國『氫能經濟實施第一次基本計畫』和相關配套計畫」, P.3~6, 2022 年。
11. 天下雜誌台大風險中心「台灣行不行——各國電動車政策大評比」, 2022 年 1 月 5 日。
12. 交通部「運具電動化及無碳化關鍵戰略行動計畫」(簡報)。 <https://ncsd.ndc.gov.tw/Fore/nsdn/about0/Work7>
13. Yueh 「促進電動車普及，日本擬倍增充電樁設置目標、設 30 萬座」, MoneyDJ, 2023 年 8 月 28 日。
14. 「Shell 殼牌石油花費 51 億收購充電網絡公司 Volta 為電動之路開啟大門」, 地球黃金線車壇新訊, 2023 年 1 月 19 日。
15. 林鳳琪「石油巨擘殼牌的充電站認證，這家台廠有譜？」遠見雜誌, 2021 年 12 月 9 日。
16. Chen Kobe 「特斯拉不只賣車，賣 V4 充電樁給英國石油賺進 1 億美元」, 科技新報, 2023 年 10 月 27 日。



淨零碳排的最後一哩路 - 淺談碳封存

台灣中油探採事業部處長 / 楊志成
台灣中油探採事業部副處長 / 李奇峰
台灣中油探採事業部組長 / 曾彥祺

關鍵字：CCUS/CCS、碳封存資源量、碳封存場址、MMV

摘要

目前全球高過八成的能源需求和六成的衣料纖維來自化石燃料^[1]，而人類長期對化石燃料的依賴造成地球溫度逐年上升，2023年舉行的COP28預測，在各國可無條件達成國家自主貢獻（Unconditional Nationally Determined Contributions, NDCs）之情境下，全球距離2030年控制升溫在攝氏1.5度的目標，還差減少排放220億公噸的二氧化碳。鑒於全球地下地層擁有豐沛之碳封存資源量，使原本排放至大氣的二氧化碳可轉向封存於地底，故當前世界各國莫不積極投入碳封存場址之開發，亞太地區中以澳洲最為積極。碳封存技術是將二氧化碳有效封存於地下地層之孔隙中，並透過長期對地表環境及地下地層等各式監測技術，確保灌注過程

操作之安全性及封存穩定性，讓碳回歸至最初蘊藏之處，被認為是除森林碳匯外，在淨零轉型過程中須積極貢獻之負碳（Carbon Negative）技術。

一、前言

自19世紀人類邁入工業化時代以來，溫室效應造成全球平均溫度逐年升高^[5]（圖1），聯合國世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）提出警告，有98%的機率在未來5年內會出現人類歷史上最熱的年份，並有高達66%的機率全球均溫會升溫超過攝氏1.5度，地球正面臨環境快速惡化且關鍵性的轉變。2015年召開的第21屆聯合國氣候變化大會（21th UN Climate Change Conference, COP21）中通過巴黎協定

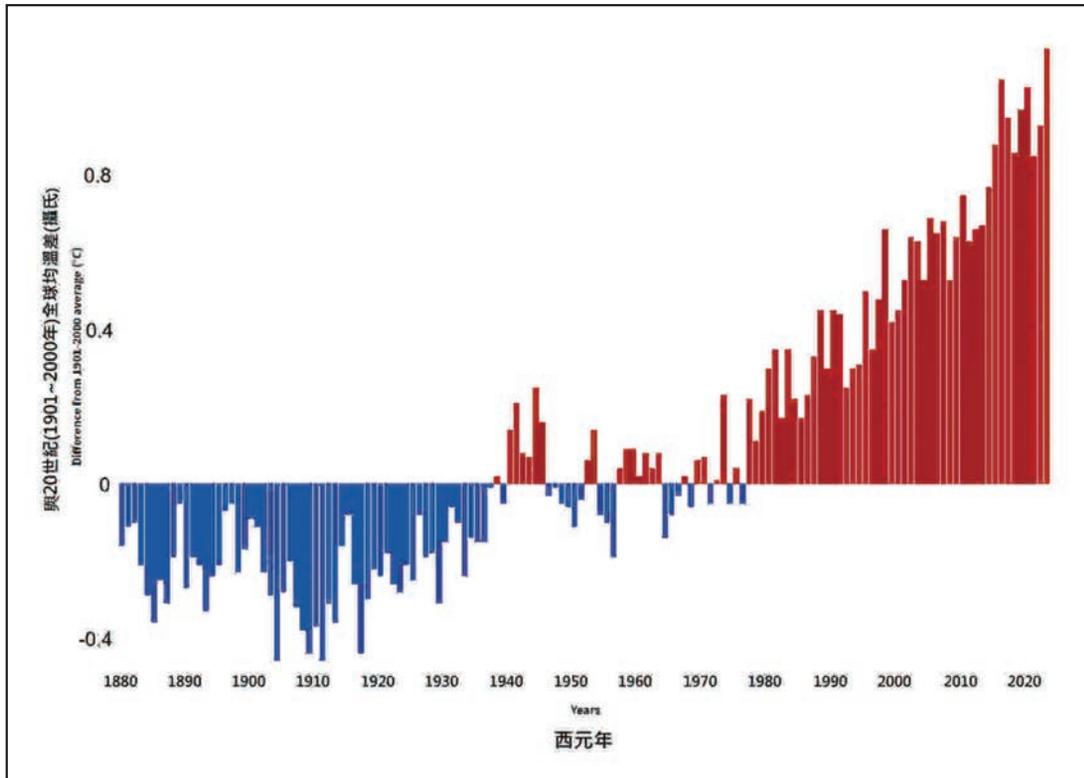


圖 1 全球平均溫度變化 [5]

(Paris Agreement)，明確提出要努力將全球均溫升幅限制在攝氏1.5度之內的目標，而造成溫室效應的原因是人類大量排放溫室氣體 (Greenhouse Gases, GHGs) 於大氣中，溫室氣體主要包括：二氧化碳 (CO₂)、氧化亞氮 (N₂O)、甲烷 (CH₄)、氫氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、六氟化硫 (SF₆) 等6種主要氣體，其中以二氧化碳含量最多，主要來自化石燃料的使用。為有效減少大氣中的二氧化碳，需要各國採取能源轉型及各式減碳技術，依2020年國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 推估之

永續發展情境，「製程技術性能改進」與「再生能源」為2020年至2040年主要減碳技術；「碳捕捉利用及封存 (CCUS)」與「氫能」則為2040年至2050年之減碳關鍵技術^[12]，其中全球CCUS減碳量要從現今的每年4千萬公噸提升至每年56億公噸，是兩個數量級的提升。我國政府也在2022年3月正式公布「2050淨零排放政策路徑及策略總說明」^[13]，其中CCUS被名列為淨零轉型的12項關鍵戰略之一，顯示我國須開始逐步建立自身之CCUS技術。



二、碳封存資源量

CCUS技術中，捕捉（Capture）和利用（Utilization）技術屬於化學工業，而封存（Storage）技術一般是指地質封存，著重於地球科學和資源工程等學科。碳封存技術起源自1970年代油氣工業對油氣田的激勵生產（Enhanced oil recovery, EOR）措施，是透過灌注井將二氧化碳灌注在地層壓力因生產而下降的油氣生產層中，來提高生產井的油氣產量。直至1996年，挪威石油公司Statoil（現更名為Equinor）首次在無油氣生產的鹽水層（Saline aquifer, SA）中，成功灌注並封存二氧化碳，此事件之成功不但將碳封存領域拓展至EOR以外，更讓人們思考除了油氣田構造外，包含鹽水層的全球碳封存潛能共有多少？

根據石油及天然氣氣候倡議組織（Oil and Gas Climate Initiative, OGCI）之二氧化碳封存資源目錄第三週期報告指出，全球之碳封存資源量可達13.9兆公噸^[7]（圖2），此封存量遠高於2022年全球能源燃燒及工業製程造成的368億公噸排放量^[4]（圖3），顯示碳封存確實有資格成為全球達成淨零碳排的關鍵負碳技術，亦肩負將肥料、鋼鐵、水泥和石化等產業難以減排的二氧化碳封存於地下地層的任務（Granger, 2023），故在不遠之將來，碳封存資源量（Storage resource）將成為各國或各企業完成能源轉型後，進一步達成碳中和的必要需求資源，而台灣西部海域地底下適合封存二氧化碳的鹽水層，初估具有460億公噸的碳封存資源量^[12]，值得研究開發。

類別	全球碳封存資源量 (Gt)	已開發或評估中的碳封存資源量(Gt)
已封存量	0.043	0.043
已開發量	0.211	0.211
待開發量	577	66.3
待發現量	13377	30.0
總和	13954	96.6

圖 2 全球碳封存資源量 [7]

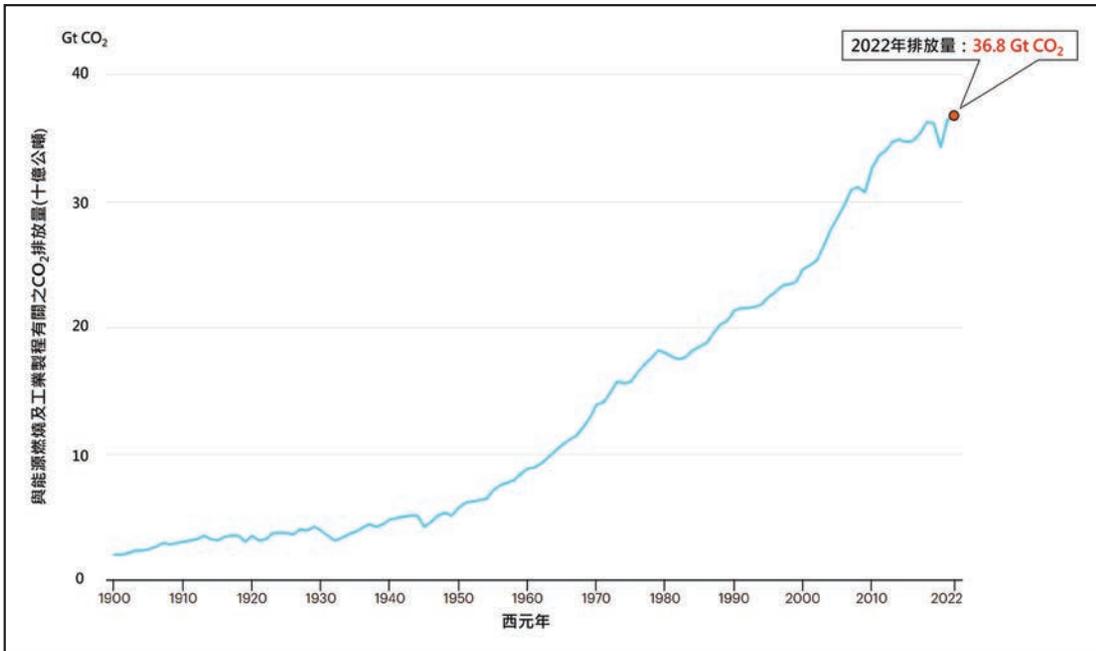


圖 3 全球與能源燃燒和工業製程有關之二氧化碳排放量 [4]

碳封存資源量指的是地層可以封存多少重量或體積的二氧化碳，該地層可以是已知或待被發現的地層，而碳封存資源量之多寡，決定於地層岩石中，顆粒與顆粒之間擁有的孔隙體積 (Pore volume) 大小。為了使碳封存資源量的定義在國際各碳封存場址 (Storage site) 間具有一致標準，石油工程師協會 (Society of Petroleum Engineers, SPE) 透過多年與聯合國歐洲經濟委員會 (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) 合作，仿效行之多年的石油資源管理系統 (Petroleum Resources Management System, PRMS)，建立了碳封存資源量管理系統 (CO₂ Storage Resource Management System, SRMS)，用來說明不

同碳封存場址在探勘或開發階段之資源量^[9]。

根據SRMS，同一個碳封存場址在不同的探勘和開發階段，會有不同類型的碳封存資源量 (圖4)，以下簡介SRMS各類型碳封存資源量之定義：

1 總碳封存資源量 (Total storage resources)

是所有碳封存資源量的總合，包含已發現和未發現之碳封存資源量，總碳封存資源量可以想像成地下地層內所有孔隙體積可以存放二氧化碳的量。

2. 已發現之碳封存資源量

(Discovered storage resources)

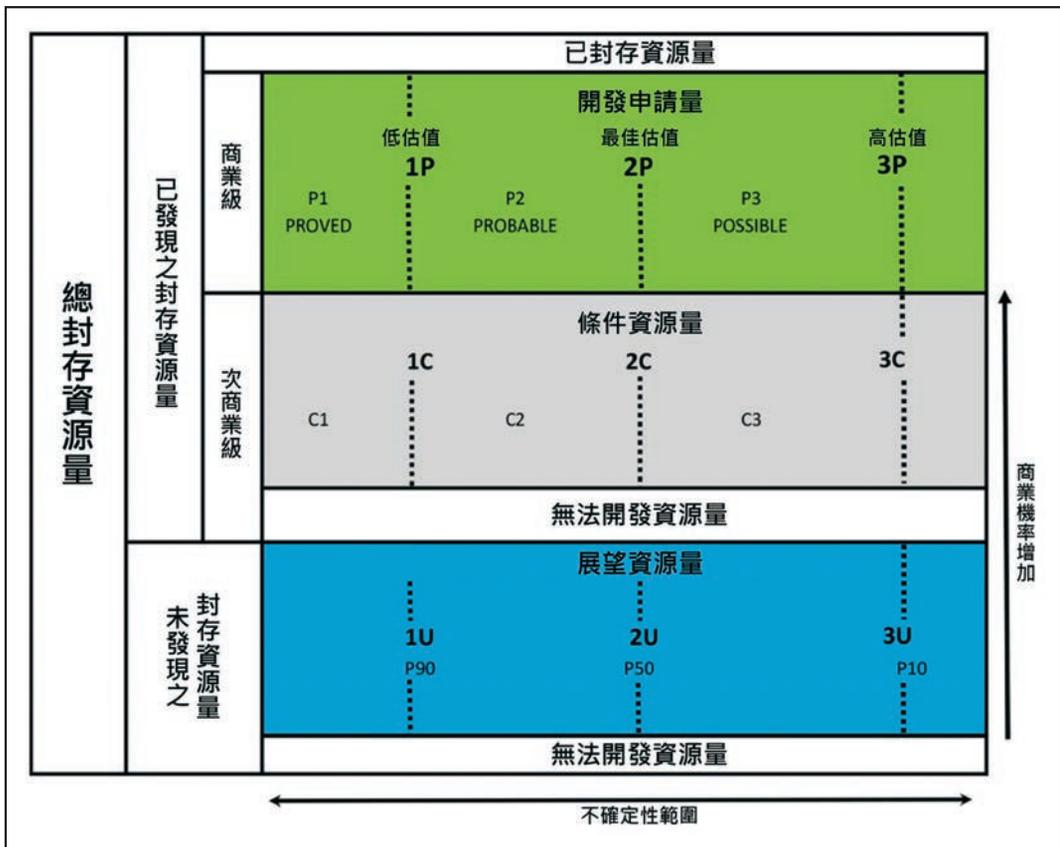


圖 4 SRMS 碳封存資源量分類框架。橫軸為封存量不確定性範圍，縱軸為可商業化機會，或場址達到商轉前之不同階段 [9]

已發現的碳封存資源量是指地層的碳封存潛能已經被評估確定，可以細分成已封存量（Stored）、地層已經特性分析（Characterized）且用於開發計畫申請量（Capacity）及地層已經特性分析但尚未足以被商業開發的條件資源量（Contingent storage resource）等三類。

3. 未發現之碳封存資源量 （Undiscovered storage resource）

未發現之碳封存資源量表示該地層的碳封存潛能尚未被評估確定，屬於地層的碳封存潛能還未被發現、或已發現但尚未經特性分析的展望資源量（Prospective storage resources）。

4. 無法開發之碳封存資源量 （Inaccessible storage resources）

在已發現和未發現之碳封存資源量中，皆存在一部分的無法開發之碳封存資源量，



指的是該地層受限於當地環境或社會的限制，而無法被開發成為碳封存場址，例如：地層上方為人口稠密的都市區、無法執行鑽井工程之地區或地層屬於當地法規禁止進行二氧化碳灌注的低鹽度飲用水層等。此部分無法動用的封存資源量，在未來法規或環境改變、或場址開發工程技術進步時，仍有機會轉為已發現和未發現之碳封存資源量。

為了賦予上述不同定義之碳封存資源量商業價值，並說明碳封存場址在探勘或開發階段所持有的資源量情境，SRMS把地層已經特性分析且用於開發計畫的申請量（Capacity）視為商業級碳封存資源量

（Commercial storage resources），因其已符合：地層已被發現且經特性分析、地層可滿足計畫需要的二氧化碳灌注率（Injection rate）、碳封存場址開發計畫屬商業級及場址現存之碳封存資源量保持在開發計畫申請量之上等四個條件；另外，也將條件資源量（Contingent storage resources）視為次商業級碳封存資源量（Sub-commercial storage resources），表示該資源量的動用，還須克服至少一個以上的開發條件，這些待克服的條件可能有：區域尚無灌注二氧化碳之需求、主管機關尚未批准碳封存許可、碳封存場址開發規模尚未達商業級或計畫的價值尚不足以被開發等；而展望資源量

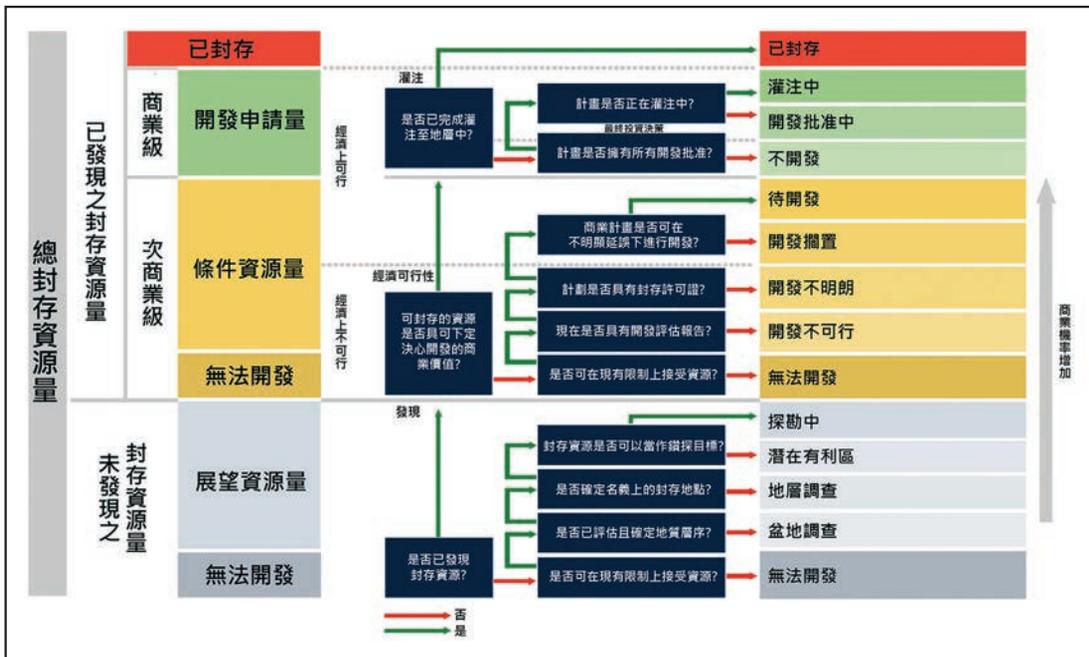


圖 5 SRMS 各類型碳封存資源量所對應之開發計畫成熟度或情境 [7][9]

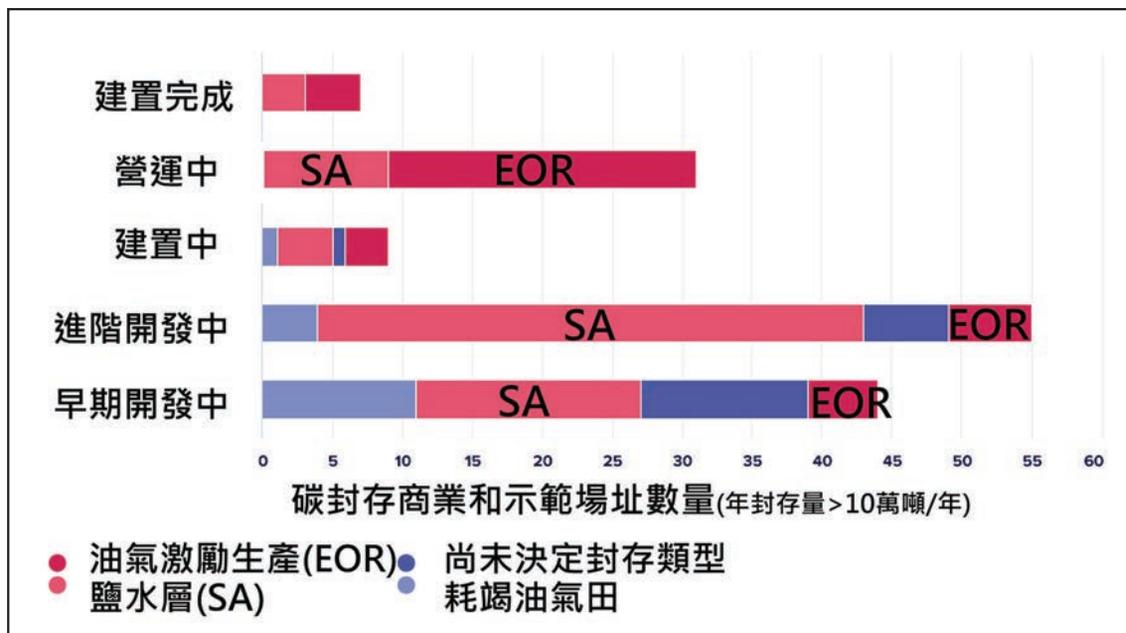


圖 6 2022 年 10 月全球碳封存場址營運或開發數量 [2]

(Prospective storage resources) 則尚屬於場址探勘階段之情境 (圖5)。評估一場址在不同探勘或開發階段之碳封存資源量類型的過程，其實等同於在評估該場址的封存安全性。未來，各國或各企業持有的碳封存場址在計算或提報資源量時，SPE建議採用商業級碳封存資源量 (圖4之綠色類型) 來進行計量，而該商業級碳封存資源量之定義，亦類似於國際油氣田生產或礦冶開採所稱之蘊藏量 (Reserves)。

三、國際碳封存現況與技術發展

鑒於有效拓展碳封存資源量，加速減少石化燃料和工業製程上的碳排，截至2022年

10月，全球共有196個商業級碳封存場址正在營運或開發中 (圖6)，其中以歐洲和北美的EOR與鹽水層場址為大宗^[2] (圖7)，而澳洲在亞太地區的場址開發數量處於領先地位，許多碳捕捉及封存 (CCS) 計畫項目正在蓬勃發展中，例如位於澳洲西部的Gorgon CCS計畫已進入營運階段，每年碳封存量可達4百萬公噸^[1]，其他如Santos公司經營的Moomba CCS計畫，是位於澳洲南部內陸的Cooper盆地內，預計每年可封存1.7百萬噸二氧化碳^[8]。在工程上，由於Moomba CCS計畫所在的Cooper盆地油氣田中含有高濃度的二氧化碳，開發建置的油氣井必須採用抗酸合金套管與抗酸水泥來生產油氣，這也使經營者Santos公司擁有大量實務經驗來應對碳封存計

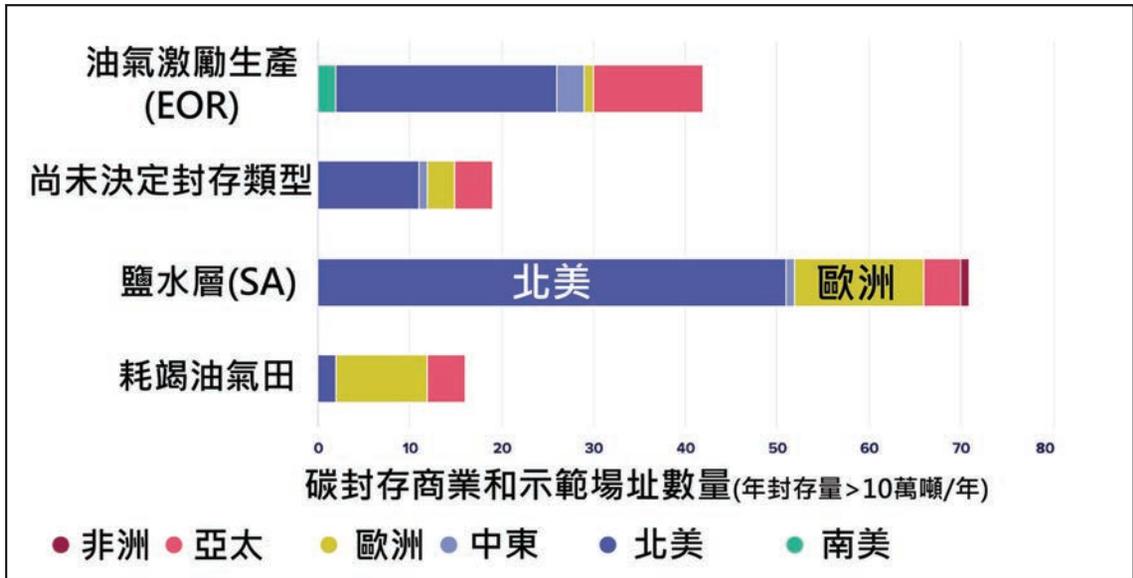


圖 7 2022 年 10 月全球碳封存場址分布 [2]

畫中，二氧化碳於灌注過程可能造成的酸蝕風險。綜合地質、碳源和工程上之優勢，使得計畫經營者Santos公司能以較低成本及較高效率來推動CCS計畫^[10]。

澳洲在CCS計畫的啟動上，是從申請溫室氣體（GHGs）許可證開始，目前推動中的計畫將陸續於數年至數十年後開始灌注，這些迅速增加的碳封存場址考驗著澳洲政府對計畫的審查、批准和監管^[8]，因此在法規措施方面，需要建立並提供企業、政府監管部門與社會大眾間良好的溝通平台，在確保能如期執行CCS計畫，達成迅速減碳目標的同時，也能獲得地區民眾對碳封存技術之信任，而計畫推動過程中對二氧化碳灌注前後的量測、監測及驗證（Measurement-Monitor-

Verification, MMV）方案，最能說明該碳封存場址之安全性。

四、量測、監測及驗證（MMV）

MMV是碳封存計畫中證明場址安全性和落實商業級封存的必要工作項目之一，其中量測和監測是確保二氧化碳灌注及封存過程中，不因過度灌注造成現地環境之破壞，驗證則是將監測結果與灌注前之模擬預測進行對比，確認是否具一致性並作為已封存量（Stored）之認證。整體而言，MMV的目的在於防範因碳封存而可能面臨的環境風險，保障地面及地下環境之安全，以及進行封存狀況評估並提供證據檢驗該場址適合執行碳

封存。為達上述目的，必須收集或量測足夠週期的環境數據，對地面儲存設施、灌注設備（泵或壓縮機）、灌注井等周圍區域進行監測，分析並識別灌注及封存過程中的操作及地質風險，掌握二氧化碳異常變化之先兆並提前擬定相應的風險管理對策^[3]。

二氧化碳進行灌注前會先進行背景基線調查，目的為與灌注後的量測數據對比，瞭解二氧化碳灌注造成的影響；灌注過程中持續監測並確保儲集層及蓋層之完整性；灌注後進行長期監測，確保二氧化碳安全封存於地層內。目前有多種工具和技術可用於監測

灌注於地下的二氧化碳（圖8），即時提供二氧化碳團塊的封存狀況及溫度與壓力異常警示，以便迅速採取風險管理對策，這些監測方法大致可分成大氣監測；近地表之土壤、地下水/海洋及遙測監測；地下儲集層及蓋層動態之溫壓、聲波振動及微震監測；地下二氧化碳團塊之井間震測、井間電阻率層析成像（Cross-hole electrical resistivity tomography）和四維反射震測等^[6]。

大氣監測針對灌注井周遭環境進行有系統且持續之二氧化碳濃度量測，瞭解碳封存場址是否有二氧化碳外洩的現象發生；地下

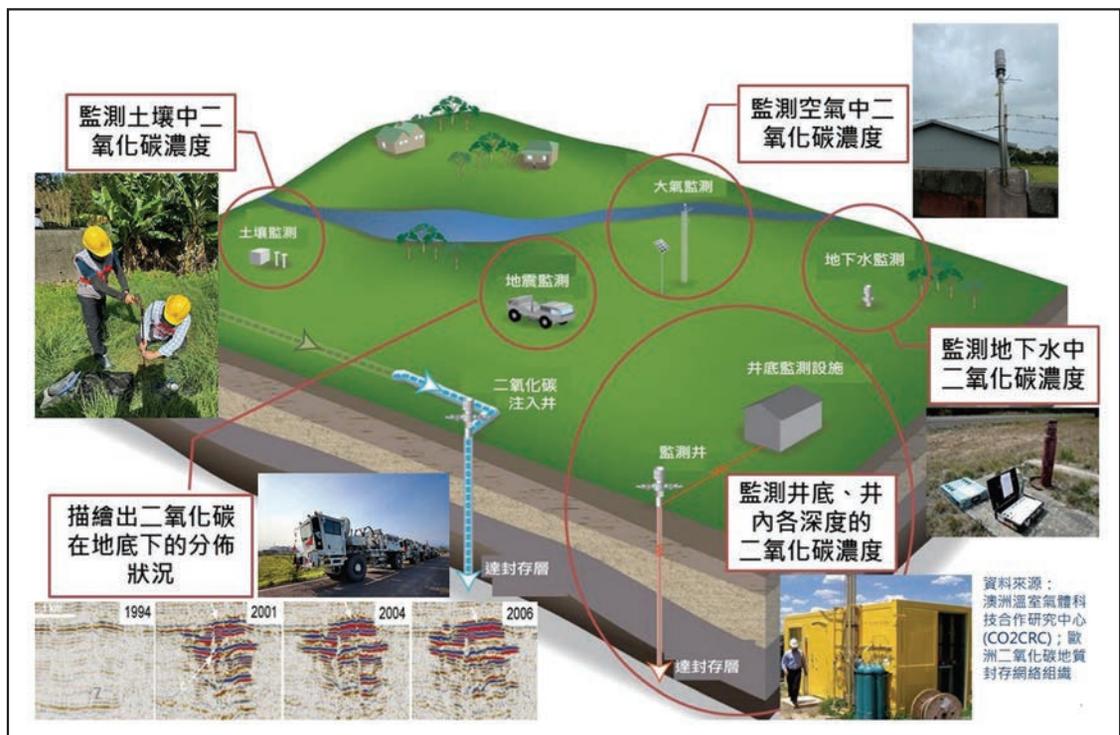


圖 8 各式碳封存監測技術示意圖修改自 [11]



水/海洋監測於地下水含水層或海水進行流體採樣後於實驗室進行分析，測定二氧化碳溶解度、碳酸氫鹽、碳酸根等陰陽離子以及pH值等項目，用以瞭解封存之二氧化碳是否有侵入地下水含水層或海洋之情事；土壤監測則測量土壤pH值是否降低或鹽度增加等，因封存在地下的二氧化碳若發生洩漏時，會與土壤中的礦物反應，使土壤酸化，而鹽水層中的鹽水隨著二氧化碳進入土壤後，將使土壤的鹽度增加，改變土壤中土壤氣的組成及土壤表面的二氧化碳通量。

井下溫壓及振動監測可利用永久井下溫壓計 (Permanent downhole Pressure and Temperature Gauges, PT gauges)、分散式溫度傳感 (Distributed Temperature Sensing, DTS) 和分散式聲波傳感 (Distributed Acoustic Sensing, DAS) 進行，井口數據可確認灌注井之完整性與灌注率；井身至井底數據可供二氧化碳是否洩露及偵測其水力傳導性與移棲擴散情況。井間震測和井間電阻率層析成像之目的為追蹤二氧化碳團塊於地層之移棲行為。四維反射震測為現今油氣田生產之重要地球物理方法，是利用人工震源產生震波，經地下地層界面反射後返回至地表或海面之受波器接收，處理後分析油氣田在不同時期的地下流體變化。二氧化碳灌注地層後亦屬於流體改變，會使震測之振幅或頻率發生變化，藉由不同時期之震測屬性分析，可顯示二氧化碳隨時間之移棲情形及範圍，同時也能驗證封存事實。

五、結論

人類開始大量使用化石燃料至今已達200年，要在30年內改變能源使用模式進而達成淨零碳排實屬不易，但2023年12月13日結束的第28屆聯合國氣候變化大會 (COP28) 決議文件中指出，有近200個與會國承諾進行能源轉型、脫離化石燃料 (Transitioning away from fossil fuels)，將淘汰無效率的化石燃料補貼，以公正、有序、公平及科學為基礎，在未來十年內加速行動，以利在2050年實現淨零排放。COP28的決議宣言顯示國際已明確承認人類需逐漸擺脫使用化石燃料的習慣，加速減少排放到大氣的溫室氣體煙囪，讓地球戒菸。

由人類過往的經驗來看，溫室效應等危機的發生總是伴隨轉機，因為環境的困境會催生著科技進步，例如在以馬車為主要運輸工具的19世紀，每天街道上的大量馬糞清理一直是英國市政上的難題，但也造就了後續亨利福特 (Henry Ford) 創立福特汽車取代馬力，使汽車運輸至今仍為地面運輸之主力；120年前的萊特兄弟 (Wright brothers) 所駕駛的飛機，雖只以每小時11公里的速度，在離地10英尺的空中飛行了12秒，卻是開創後來人類能在太空飛行並登陸月球之先河^[1]；以往分別造成酸雨和臭氧層破洞的過量二氧化硫和氟氯碳化物排放，至今也獲得改善。綜上，CCS是除了自然碳匯外，當前唯一能將過往已排放至大氣的二氧化碳安全



處置之方法，其中之碳封存技術源自於石油工業，能將二氧化碳導入地下地層內，最終形成固態之碳酸鹽類礦物而封存，雖然當前在國際間，CCS或CCUS在成本上還有突破之空間，完整的商業價值鏈也在持續孕育中，還無法像經歷百年發展的汽車和飛機之經濟模式般便利且可負擔，但如同COP28決議所提，預估未來十年內各國將會大量佈署並開發碳封存場址，加大邁向淨零碳排最後一哩路之步伐。

參考文獻

1. Dale Granger (2023) CO2CRC' s Reservoir is Half-Full and Rising, CCS Solution, PESA News First Quarter.
2. Global CCS Institute (2022) 2022 Global Status of CCS report.
3. Government of Alberta (2022) Monitoring, Measurement and Verification Principles and Objectives for CO2 Sequestration Projects. Alberta Energy.
4. International Energy Agency (2023) CO2 Emissions in 2022. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
5. Lindsey, R. Dahlman, L. (2023) Climate Change: Global Temperature. NOAA Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>.
6. National Energy Technology Laboratory (NETL) (2017) BEST PRACTICES: Operations for Geologic Storage Projects (2017 Revised Edition).
7. OGCI (2022) CO2 Storage Resource Catalogue Cycle 3 Report. https://www.ogci.com/wp-content/uploads/2023/04/CSRC_Cycle_3_Main_Report_Final.pdf
8. Raab, M. and O' Brien, G. (2023) Carbon capture and storage' s role within Australia' s energy transition: necessary, safe, and reliable. The APPEA Journal 63, S419-S422. <https://doi.org/10.1071/AJ22042>
9. Society of Petroleum Engineers (2017) CO2 Storage Resource Management System.
10. Western, A. (2023) Carbon capture and storage – a safe and reliable monitoring and verification plan developed using oil and gas industry core skill sets. The APPEA Journal 63, S468-S472. <https://doi.org/10.1071/AJ22267>

11. 台灣碳捕存再利用協會 (2016)，民眾溝通對碳捕捉及封存之重要性。
12. 經濟部 (2022)，2050 淨零排放路徑關鍵戰略：戰略6—碳捕捉利用及封存；政府科技發展計畫 (2018)，第二期能源國家型科技計畫總期程績效報告 - 減碳淨煤主軸中心小組 / 主軸。
13. 國家發展委員會 (2022)，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。

亞洲及太平洋工程組織聯盟(FEIAP) 第7屆國際研討會暨第1屆青年創意競賽

主辦單位：中國工程師學會

主題：實現淨零未來的韌性工程與教育

(Engineering Resilience and Education for a Net-Zero Future)

時間：113年5月1日~5月3日

地點：台北茹曦酒店

歡迎報名參加！



(詳情請掃QR Code)



夢想和幸福 零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw

究極品質 · 低碳永續



CTCI 中鼎集團

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



CTCI

Discover Reliable

業務領域

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

服務內容

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

產品項目

- 設備製造
- 智慧化能源管理系統
- 化學添加劑

CTCI
中鼎集團

111046 台北市士林區中山北路六段89號

Tel: (886)2-2833-9999

Fax: (886)2-2833-8833

www.ctci.com