



中國工程師學會會刊

中華民國114年3月 Vol. 98 No. 1

<http://www.cie.org.tw>

ISSN:1015-0773

工程

- ▶ 中國工程師學會第73屆、74屆理事長完成交接
- ▶ 百年永續 抽蓄儲能—大甲溪光明抽蓄水力發電計畫
- ▶ 追風逐電 永續能源—台電離岸風力發電第一期計畫
- ▶ 曾惜水源、南得好水、永續水循環—曾文南化聯通管統包工程A2標
- ▶ 重建回家之路-田寮洋一、二、三圳取水設施更新改善工程
- ▶ 桃園航空城實踐SDGs的發展理念與減碳作為
- ▶ 新世代園區導入永續思維的環境友善設計



工程永續力：建設與環境的共榮未來



風力開發工程

廣博深奧的綠能技術 點亮世代的重要推手

> 綠色新能源 “風能” 可提供乾淨新能源 中興工程顧問公司是全方位的工程技術單位具有高專業技術，將持續推動綠色新能源之發展並為人們打造節能減碳及永續發展環境持續前進。

離岸風力發電業務

SINOTECH

本廣告圖文未經同意不得轉載
中興工程顧問集團廣告

正派經營 品質保證 追求卓越 創新突破



中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.





工程永續力：建設與環境的共榮未來

本專輯以「工程永續力」為核心，探討建設與環境共榮的多元面向，涵蓋能源轉型、水資源調度、生態復育、減碳策略與資源循環等議題。透過實例說明展示台灣在抽蓄儲能、風力發電、水資源調度、自然工法、城市發展、永續園區、資源再利用與污水處理等領域的創新實踐，強調永續規劃與零碳發展，體現工程專業與永續理念的融合，推動建設與生態共榮，展現工程邁向永續的堅定決心。

特別報導

- 02 本學會第 73 屆、74 屆理事長完成交接
- 04 楊理事長宗興簡介
- 05 楊理事長宗興的話

活動報導

- 06 本學會與中華民國地籍測量學會簽訂合作協議
- 08 中國工程師學會暨各專門工程學會114年聯合餐會

工程永續力：建設與環境的共榮未來

客座主編：嚴世傑／中興工程顧問股份有限公司執行副總經理

- 10 工程永續力：建設與環境的共榮未來—專輯序言 / 嚴世傑
- 12 百年永續 抽蓄儲能—大甲溪光明抽蓄水力發電計畫 / 黃敏智、邱華榮、李民政、邱詠兆、高淑娟、陳憲能
- 22 追風逐電 永續能源—台電離岸風力發電第一期計畫 / 吳錫融、蕭永盛、邱華榮、高淑娟、陳憲能
- 36 曾惜水源、南得好水、永續水循環—曾文南化聯通管統包工程 A2標 / 賴宏源、王元度、聶廷宇、張宇騰、張揚揮
- 49 重建回家之路—田寮洋一、二、三圳取水設施更新改善工程 / 楊佳寧、方韻如、戴聖宏
- 77 桃園航空城實踐SDGs的發展理念與減碳作為 / 歐正一、藍士堯、楊健邦、周武雄
- 93 新世代園區導入永續思維的環境友善設計 / 郭育祥、陳蓓如、林貝珊、邱英浩
- 105 我國無機資源循環與發展 / 陳俊融、李旻壕、吳文龍、葉柏宏
- 115 碳中和污水處理廠的實踐與展望 / 鄭惠君、張育齊、葉品君

Vol.98 No.1

中華民國 114 年 3 月

理事長	楊宗興
常務理事	伍勝園 施義芳 陳仲賢 楊偉甫 鄭光遠 賴建信
理事	王宇睿 江秀丹 呂良正 宋裕棋 李佩雯 李政安 林奇宏 林財富 林聰利 胡竹生 莫仁維 許泰文 陳守道 陳哲生 黃榮裕 黃維熹 楊正君 廖學瑞 顏家鈺 嚴世傑

常務監事	楊正宏
監事	柳文成 歐善惠 蔣啟恆 賴建宏

秘書長	李定壯
副秘書長	胡美貞

發行所	中國工程師學會出版委員會
主任委員	嚴世傑
委員	呂良正 李定壯 林財富 林聰利 胡竹生 許泰文 鄭枸潏 蘇育弘
總編輯	周頌安
客座主編	嚴世傑 李育萱 林秀琴 梁愛倫 蔣雪芬 劉展宏 劉芳好

聯絡地址	105409台北市南京東路五段171號
電話	(02)2769-8388 轉03655、03858
傳真	(02)2763-4555
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	麥田資訊股份有限公司
地址	新北市中和區板南路496-6號1F
電話	(02)2322-1930、(02)2358-4505

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



本學會第73屆、74屆理事長完成交接

中國工程師學會第74屆理監事選舉已於113年11月8日舉行，會中經各會員代表投票選出27位理事、5位監事。學會續於11月22日召開第74屆第1次理監事聯席會議，在各理事的推舉下，由中鼎工程股份有限公司楊宗興董事長當選為本學會第74屆理事長。

第73屆、74屆理事長交接典禮於12月17日舉辦完成，交接當天，在施義芳常務監事的監交之下，楊正宏前理事長將學會印信交付到新任的楊宗興理事長手中，儀式簡單隆重，現場計有前後任理監事及各委員會主任委員超過50人與會。

楊正宏前理事長於致詞時特別感謝理監事以及各委員會主任委員們過往的支持、協助與督導，並簡要說明學會在這兩年的具體進展，包括成立「莫衡先生紀念獎學金」，增加與6個學會合作使與本學會簽署合作協議

的專門工程學會達36個，成功擴大了各工程專業領域間的交流，並舉辦了中工會暨各專門工程學會聯合餐會、年會活動、第29屆近代工程技術討論會、第34屆中日工程技術研討會、女科技人大會等大型活動，均獲得府院級首長相當之重視與支持。

在國際合作及國際組織參與部分，我們擴大與國際組織團體間之交流，尤其配合聯合國永續發展目標（SDGs），運用我國發展經驗與強項，參與各項國際活動，提昇我國的國際能見度與形象。

楊宗興董事長亦以新任理事長身分致詞，表示很高興有機會為中工會服務，也推崇學會會務在歷屆理事長的卓越領導之下，已經奠定了非常良好基礎，期盼未來在各位理監事及主任委員的支持與指教之下，將學會的精神更加發揚光大。



▲ 理事長交接典禮

（左：第73屆楊正宏理事長、施義芳常務監事、第74屆楊宗興理事長）



楊宗興理事長接著代表學會頒贈楊正宏前理事長榮譽會員證書及紀念品，感謝楊正宏前理事長對學會的傑出貢獻。禮成後，新

舊任理監事及主任委員齊聚一堂相互交流，所有出席與會貴賓並於典禮後共同拍攝團體照留念。



▲ 楊宗興理事長頒贈楊正宏前理事長榮譽會員證書



▲ 施義芳常務監事頒贈紀念品



▲ 楊宗興理事長致詞



▲ 交接典禮出席貴賓合照



楊理事長宗興簡介



楊理事長宗興

中鼎集團副總裁 / 中鼎工程股份有限公司董事長

經歷

- 中鼎工程股份有限公司 副董事長
- 中鼎工程股份有限公司 總經理
- 中鼎工程股份有限公司 副總經理
- 中鼎工程股份有限公司 資深協理
- 中鼎工程股份有限公司 協理

學歷

- 國立台灣科技大學企業管理碩士
- 國立台灣大學機械工程碩士
- 大同大學機械工程學士

其他學協公會參與

- 中國工程師學會理事
- 中華民國工程技術顧問商業同業公會常務監事
- 台北市工程技術顧問商業同業公會常務監事
- 中鼎教育基金會董事
- 財團法人中技社董事

個人獲獎榮耀

- 2024 年榮獲《經理人》月刊「Super MVP」
- 2022 年榮獲中國工程師學會「會士」及「工程獎章」
- 2020 年榮獲中華民國管理科學會最高榮譽「李國鼎管理獎章」
- 2016 年榮獲中華民國阿拉伯文化經濟協會「促進中阿關係人士」
- 2010 年榮獲中國工程師學會「傑出工程師獎」
- 2006 年榮獲中華民國企業經理協進會「第 24 屆國家十大傑出經理獎」



楊理事長宗興的話

親愛的中國工程師學會會員朋友們，大家好：

感謝各位長久以來對中國工程師學會的支持與鼓勵，感謝歷任理監事以及秘書處團隊的用心付出，使學會得以與時俱進，持續結合工程業界的力量，為國家社會的建設發展做出具體貢獻。承蒙各位的厚愛及信任，託付第 74 屆理事長的重責大任；未來 2 年，我將協同理監事們一起戮力推動會務，為全體會員服務，帶動學會創新成長。

中國工程師學會是我國歷史最悠久、最具規模的工程學術團體，自民國元年創會一百多年來，以推展工程技術、培育優秀人才、促進國際合作、提升國家競爭力為己任，不僅將「工程報國」的理念發揚光大，更積極樹立工程人最佳典範，讓所有工程從業人員以身為工程師為榮。

回顧學會的發展歷程，可說與國家社會的發展息息相關。而隨著時代的演變，在今日永續淨零及 AI 人工智慧等浪潮下，工程專業愈趨多元複雜，工程建設也邁入嶄新的紀元。因此，面對未來最新趨勢，本屆學會將朝二大重點方向努力，一是延續學會多年來跨界合作的寶貴經驗與成果，擴大舉辦具指

標性的研討會及交流活動，以吸引更多優秀人才投入工程行業，並強化人才培育，協助緩解當今人力短缺的問題；二是持續凝聚工程同業的力量，提升智能科技應用，並建立低碳供應鏈，攜手打造兼顧經濟與環境雙贏的「綠色工程」，為地球永續作好把關，發揮最大的工程影響力，善盡企業社會責任。期盼在大家的同心協力下，讓學會業務益發蓬勃，讓工程業界興盛成長，讓國家社會永續發展。

最後，再次感謝各位會員的鼎力支持與奉獻，有任何寶貴建議也請不吝提出，讓本屆團隊的服務品質更加精進，謝謝！

中國工程師學會 74 屆理事長

楊宗興

本學會與中華民國地籍測量學會 簽訂合作協議

本學會與中華民國地籍測量學會於 114 年 3 月 18 日假本學會會議室簽訂合作協議，由楊宗興理事長與中華民國地籍測量學會楊名理事長分別代表簽署。

首先由中工會會員委員會賴建信主任委員代表致歡迎詞，賴主委表示中工會是各專門工程學會的大家長，會員委員會很榮幸出席今天的簽約典禮，在楊理事長的帶領下，會員委員會今年也會辦理許多會務活動，增進會員間的聯繫，希望未來有機會和中華民國地籍測量學會合作共同推動跨領域的交流。

本學會楊宗興理事長於致詞時表示，中華民國地籍測量學會創立於民國 69 年，是國內歷史悠久的學術團體之一。在歷屆理事長

的領導之下，不論會員人數及會務活動，均有相當之成長。長期以來出版有關地籍測量叢書、發行期刊，為我國的地籍測量的發展及工程技術，提供了非常實質的資訊與服務。

地籍測量業務早期統籌由內政部國土測繪中心辦理，或地方政府或地政局自辦。近年來因地方政府人力不足，已將地籍測量及重測業務釋出由民間測繪業辦理，而地籍學會擔任公正第三方監審，協助品質控管，已成功開創了共生多贏的局面。

至於我們中國工程師學會，成立 114 年以來，已與共 36 個專門工程學會簽訂合作協議，透過與各專門工程學會的合作，凝聚工程界的力量，在各專門領域產業科技發展上，均獲得



▲ 楊理事長宗興致詞推崇中華民國地籍測量學會



▲ 兩位楊理事長簽約



▲ 簽約儀式完成

相當的成就，相信今天與中華民國地籍測量學會簽定協議後，兩會會務會有更好的發展。

中華民國地籍測量學會楊理事長表示，非常榮幸可與中工會簽屬合作協議建立往來關係，測量工程是土木工程的一部分，而地籍則是與不動產息息相關。學會創會初期是由政大地政系推動，歷屆理事長大多為政府官員，因此秘書處仍設籍在內政部國土測繪中心。很高興學會在成立 45 年後，可以加入中工會的大家庭，希望未來可以拓展雙方更多的往來合作。

本學會包括伍勝園常務理事、賴建信常務理事、黃炳勳副主任委員、李定壯秘書長、胡美貞副秘書長，中華民國地籍測量學會史天元副理事長、梁旭文秘書長及陳鶴欽副秘書長，均在場觀禮見證。

兩會理事長最後期許透過合作協議的簽署，可進一步擴大有關服務領域及層面，為更多的工程人員提供更好的服務，並結合各專門工程學會之專業與資源，共同提昇國內的工程專業水準。本學會目前已與 37 個專門工程學會訂有合作協議。



▲ 蒞臨簽約儀式貴賓合照

中國工程師學會暨各專門工程學會 114年聯合餐會

本學會於 114 年 3 月 21 日晚間假台北花園酒店 2 樓國際廳舉辦「中國工程師學會暨各專門工程學會 114 年聯合餐會」，近 300 位貴賓出席活動，場面歡欣熱鬧。

本次聯合餐會獲得專門工程學會熱烈的迴響，包括中國土木水利工程學會、台灣化學工程學會、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、中華民國環境工程學會、中華民國核能學會、中華民國防蝕工程學

會、中華民國結構工程學會、中華民國生物醫學工程學會、中華鋪面工程學會、中華民國大地工程學會、台灣海洋工程學會、台灣混凝土學會、台灣氣膠研究學會、中華價值管理學會、台灣氣膠研究學會、台灣軌道工程學會、中華民國航空測量及遙感探測學會、中華工程教育學會、台灣地球觀測學會、台灣工程法學會、中華民國地質學會及中華民國地籍測量學會，包含本學會共計 26 個專門工程學會參加認有 29 桌，成功的展現了團結的氣勢，全場氣氛相當熱烈。



▲ 楊理事長宗興致詞歡迎大家



▲ 聯合餐會各專門工程學會理事長大合照

餐會開始由楊理事長致詞，楊理事長感謝各專門工程學會的熱心支持，並表示本屆次將加強與各專門工程學會間的聯繫，增加彼此成員間的互動與溝通，希望透過與各學會間持續密切的友好合作關係，以促進工程各領域交流互動、結合跨界技術應用與價值創新，共同為國家的工程學術與工程建設發展，創造更輝煌的成績。

楊理事長續表示，今年中工會與各專門工程學會 114 年聯合年會已訂於 6 月 6 日在台北福華文教會館舉辦，本次委請中興工程顧問股份有限公司陳仲賢董事長擔任籌備會主任委員負責籌畫，屆時歡迎各學會邀請會員朋友踴躍出席與會，共襄盛舉。

中工會目前與 37 個專門工程學會簽有合作協議，除固定每年辦理聯合年會，為工程界一大盛事，平時則透過秘書長座談會、



▲ 餐會現場氣氛熱絡

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，以共同為各專門領域之工程師提供更好的服務。



工程永續力：建設與環境的共榮未來

—專輯序言

中興工程顧問股份有限公司執行副總經理 / 嚴世傑

工程師的專業訓練與實務經驗，主要聚焦於技術問題的解決，並確保工程能夠在地質、氣候、工法、預算與時程等多重限制下順利推進。然而，當「永續發展」成為全球共識，工程建設的思維與方法必須重新調整。我們不僅要減少對自然資源的過度消耗，避免環境負債留給後代，更要以永續的視角，確保工程與生態系統共存共榮，使建設真正成為改善人類生活的長遠解方。

本期專輯著眼於建設與環境的雙重視野，彙集八篇文章，探討電力能源、水資源管理、生態環境復育、工程減碳策略、規劃設計及資源循環應用等議題，提供多角度的專業見解。

1. 光明抽蓄計畫：台灣能源轉型的關鍵儲能方案 隨著風能與太陽能等間歇性再生能源比例提升，電網穩定性成為重大挑戰，而儲能技術則是核心解方之一。光明抽蓄水力發電計畫運用既有德基與谷關水庫作為上下池，不須另建水庫，有效降低環境衝擊。該計畫裝置容量 580MW，每年提供 7.7 億度電儲能能力，確保夜間尖峰負載穩

定供電，並透過可變速機組提升調度靈活性，為台灣邁向 2050 淨零碳排目標提供強大助力。

2. 台電離岸風力發電計畫：再生能源發展的里程碑 台灣高度依賴進口能源，面對減碳壓力，政府積極推動離岸風電，規劃至 2025 年裝置容量達 5.6 GW。作為示範計畫，彰化外海 110MW 風場每年供電 3.6 億度，足以滿足 9 萬戶家庭需求。計畫採用水下噪音防制、漁電共生與 HDD 工法等技術，降低生態影響，並促進風機基礎國產化，提升台灣離岸風電產業競爭力，為能源轉型提供成功典範。

3. 曾文南化聯通管工程：水資源調度的前瞻性建設 此計畫串聯曾文、南化、烏山頭水庫與高屏溪攔河堰，透過雙向輸水機制提升南部供水穩定性，減少單一水源依賴風險。每日輸水能力達 80 萬噸，並採重力輸送技術，降低能源消耗與碳排放。此外，推管工法與水管橋設計減少施工影響，展現高效且環境友善的水利工程典範。



4. 田寮洋三圳取水設施更新工程：生態與工程的融合 本計畫以近自然工法改善取水堰設施，恢復溪流生態廊道，使洄游魚類得以順利遷徙，同時透過伏流水集水管與潭尾取水技術確保穩定灌溉。施工不使用混凝土，而是利用天然石材重建河道，減少碳排放並提升防洪韌性。生態監測顯示，完工後魚類數量與種類顯著增加，驗證了工程與生態共存的可行性。
 5. 桃園航空城：綠色永續城市的典範 航空城以「領航空港、綠色永續健康城」為發展定位，透過城市降溫、綠色運輸與水綠生態三大策略減少碳排放。規劃七座捷運車站，推動大眾運輸導向開發（TOD），並保留原有河道與埤塘，打造綠色生態網絡。施工階段推行機械化、模組化及預鑄施工，提高施工效率並降低環境衝擊。
 6. 新世代園區：零碳與生態共好的新標竿 新世代園區規劃以永續發展為核心，結合包容共好、生態保育與自然解方，訂定七大SDG目標。文章探討國內外園區案例，分析能源轉型、區域零碳供電與生態人文共好趨勢，並提出透過實證場域培植戰略產業，以達成淨零碳排與提升韌性防災能力。
 7. 無機資源循環：建築廢棄物的高值化利用 台灣每年產生約3,200萬公噸廢棄物，其中無機資源佔比逾五成，主要應用於陸域營建（54%）、水泥業（11.8%）及港區填築（9.8%）。政府透過公共工程帶頭使用、訂定規範與推動綠色標章，提高循環利用率，未來將加強施工規範、品質驗證與技術研發，促進資源高值化與減碳目標。
 8. 污水處理碳中和策略：邁向永續發展的關鍵行動 污水處理廠面臨能源消耗與污泥處理的溫室氣體排放挑戰。政府推動碳中和措施，包括基線排放盤查、節能技術、再生能源應用與污泥回收等，並以旗美污水處理廠為示範，透過設備升級與智慧控制降低碳足跡。未來將導入監測系統、微生物燃料電池與低碳材料，加強污水處理碳管理，邁向永續發展。
- 這篇文章分享了台灣在工程永續發展領域的努力與進展。改變或許不會立即帶來顯著成效，但唯有持續創新與實踐，才能確保工程建設與生態環境共榮共存。工程的永續發展，有賴工程師們的群策群力、攜手共創未來！



百年永續 抽蓄儲能— 大甲溪光明抽蓄水力發電計畫

中興工程顧問股份有限公司技術經理 / 黃敏智

中興工程顧問股份有限公司部門協理 / 邱華榮

中興工程顧問股份有限公司副總經理 / 李民政

台灣電力公司營建處計畫工程師 / 邱詠兆

台灣電力公司營建處計畫經理 / 高淑娟

台灣電力公司營建處處長 / 陳憲能

關鍵字：再生能源、儲能、抽蓄水力、變頻機組、淨零碳排

摘要

隨著風力發電、太陽能發電等間歇性再生能源的佔比逐漸上升，其間歇性發電特質，將對電網穩定供電的衝擊，需要配合儲能系統與智慧電網建立分散式電力系統，方能精準調控電力才能達到最佳穩定供電效用。大型儲能設施以抽蓄水力電廠技術較為純熟，其單位成本較低、具長時效之大量電能供給，可在短時間內及時提供電力系統負載需要，除對電力系統有調頻、調壓之功能外，亦具有「抽蓄發電、削峰填谷」，配合電力系統及時供電，提高電力系統調度穩定性的功能。

光明抽蓄水力發電計畫位於台中市和平區，擬利用大甲溪上游之既有德基水庫為上池，谷關水庫為下池，開發抽蓄水力發電廠。本計畫無需新建水庫，僅需新建水路及地下廠房，對環境影響相對較小。廠房內預計可裝設 350MW 以上之機組容量。光明計畫現已進入二階環評審查階段，預計於民國 126 年 6 月完工商轉，電廠營運後將可提供電力系統每年約 7.7 億度電之蓄電功能。

光明電廠未來發電係以提供傍晚之二次尖峰 4 小時為原則，每次抽蓄運轉之水量為 223 萬立方公尺。未來配合發電放水及抽水蓄能，上述水量將在上池（德基水庫）及下池（谷關



水庫)間移動;如配合水庫排洪操作,發電後之水量將排入谷關水庫下游之大甲溪河道中。光明抽蓄電廠之抽蓄操作,除不影響既有德基水庫及谷關水庫之運轉功能外,未來可增加水資源及電力系統調度之穩定性,為我國邁向2050淨零碳排中,不可獲缺之重要建設。

一、前言

近年來政府持續推動再生能源轉型已具成效,台灣中南部地區由於日照充足,已是太陽光電發展的重要地區,另由於台灣海峽之風力資源豐富,離岸風力亦迅速發展中。隨著我國風力發電、太陽能發電等間歇性再生能源之佔比提升,其發電之間歇性特質,將對電網穩定供電造成衝擊,需配合儲能系統與智慧電網,方能精準調控電力,達到最佳穩定供電之目標。故在發展再生能源下,同時亦需要更多的儲能設備以協助電力調度,增加整體電網韌性。因此儲能成為能源轉型中不可或缺之要角。

儲能係將能源轉化為其他形式之能量,並儲存於儲能裝置,於能源需求時,再將能量從裝置中釋出。儲能設施主要可分為分散型儲能以及大型儲能等兩種類型。分散型儲能以電池為大宗,電池目前迅速發展之化學儲能設備,例如鉛酸電池、鋰電池、鋁電池等。大型儲能設施以抽蓄水力電廠技術最為純熟,其單位成本較低、具長時效之大量電能供給、可在短時間內及時提供電力系統負載需要等優點,故除了對電力系統具有調頻、調壓之功能,亦具有「抽蓄發電、削峰填谷」,配合電力系統及時供電,提高電力系統調度穩定性的功能。

而大甲溪光明抽蓄水力計畫係利用既有德基水庫及谷關水庫為上、下池,水位落差可超過400公尺,預計可裝設350MW以上之機組容量(350MW為可研核定值,已擬擴增容量尚待核定)。光明抽蓄電廠不需新建大壩蓄水,為我國難得之優良抽蓄水力廠址,目前正由台電公司積極推動中。

二、光明抽蓄水力電廠於電力系統中所扮演的角色

2-1 我國未來之電力系統架構

依據經濟部能源署之統計,我國於112年底太陽光電裝置容量已達1,241.8萬瓩、離岸風電達176.3萬瓩,現行太陽光電發電挹注白天的供電能力,已可滿足白天尖峰6小時的用電需求,因此電力系統調度重心改為關注夜尖峰(約3-4小時)之用電調度。現階段規劃114年再生能源發電占比將達15.0%,115年11月起再生能源發電占比可達20%之目標。

由於太陽光電是一種間歇性能源,日開始發電、逐步上升至中午時段達到發電量高峰,之後於傍晚時段因太陽下山逐步下降最後停止發電。而為了平衡各時段之用電需求,傳統電廠必須因應太陽能起伏不定的發電量,在早上太陽能發電量增加時,將部分機組卸載,以避免電力供過於求。然而在傍晚時段太陽能發電量驟減時,又要快速提升傳統電廠的發電量,補足晚上太陽能不發電的電力缺口。因此,一天的用電需求曲線扣除太陽能發電後,剩下由傳統電廠發電量所畫出來的曲線看起來會像一隻鴨子,此即所謂之『鴨子曲線』,如圖1所示。

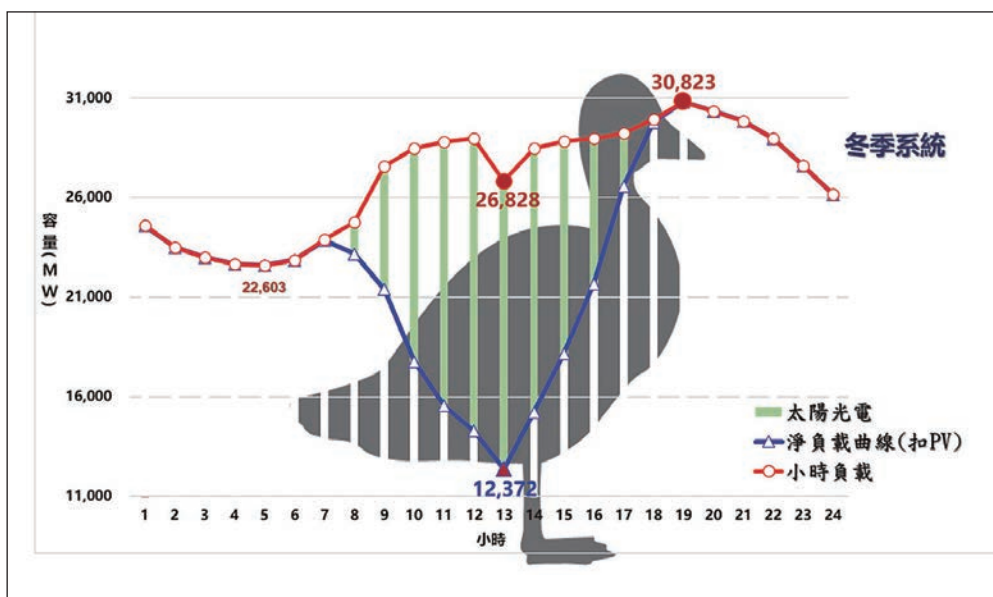


圖 1 台灣未來用電曲線圖

2-2 光明抽蓄電廠對電力系統之預期效益

1. 提升電力系統調度穩定性

未來電力系統扣除太陽光電發電量後之最低系統淨負載將出現在白天，故該白天時段火力機組需配合降載或解聯停機；而為配合傍晚太陽光電大幅度降載，火力機組能及時提高發電量來供應負載缺口之需要，火力機組白天降載時仍必須維持一定百分比之最低運轉出力。故白天時火力機組需有一定百分比發電量由抽蓄機組來抽水儲能，幫助火力機組維持即時升載運轉所需最低出力需要。因此抽蓄水力電廠需以白天抽水儲能，並於晚上二次尖峰負載時段（或電力系統需要時）放水發電。

2. 提升電力系統併網穩定性

未來大量 PV 併網，因其出力受自然因

素而隨時改變，將對系統瞬時負載造成大幅度變動，新建大型儲能抽蓄電廠將可藉 AGC（自動發電控制）能力，穩定電力系統瞬時負載變化。

3. 配合電力系統需求儲能及發電

光明抽蓄水力發電計畫因應未來太陽光電及風力大量開發，其不受系統調度特性，將導致火力升降載操作過於頻繁，故可將火力電能抽水儲存（如圖 2 所示）。另可運用其啟動迅速、運轉靈活特性，於傍晚太陽光電快速大幅降載時，適時供應火力機組升載不及所短缺之電力缺口（如圖 3 所示）。

4. 提供輔助服務功能

新型抽蓄機組具變頻能力，以及減少火力機組升、降載及起停操作迅速、運轉靈活、調頻、調壓及緊急救援等輔助服務功能。

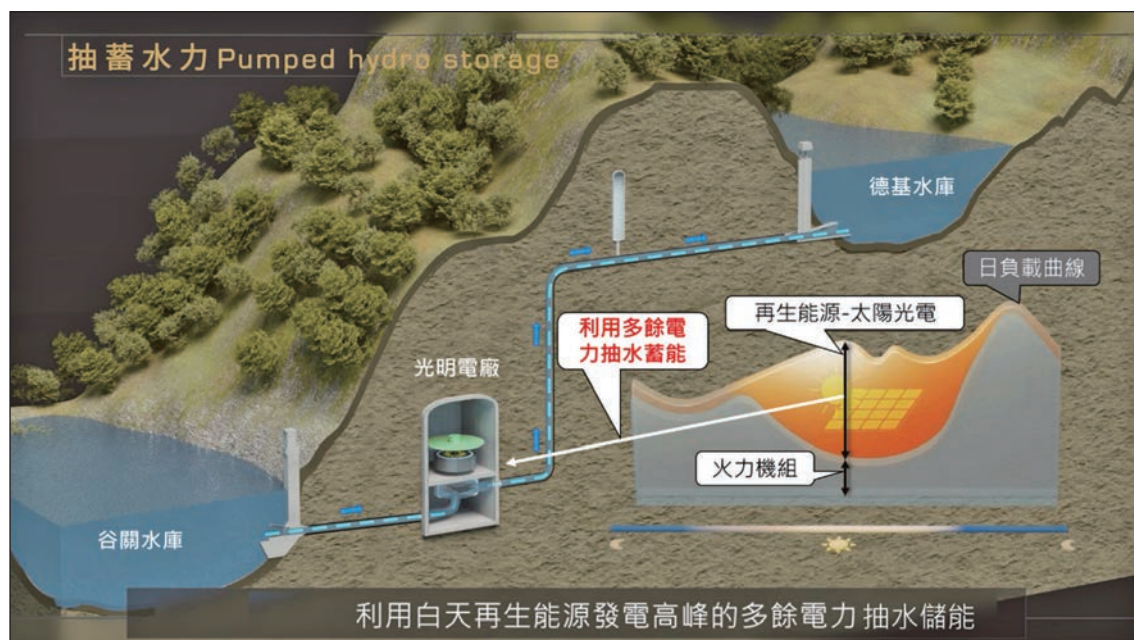


圖 2 光明電廠抽水蓄能示意圖

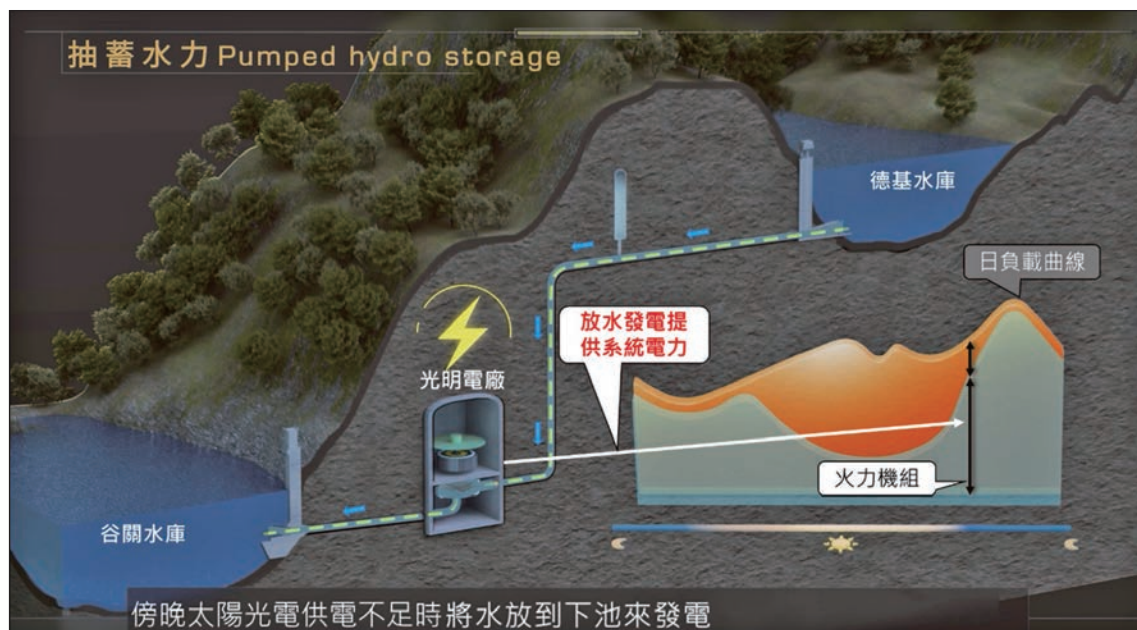


圖 3 光明電廠放水發電示意圖



三、光明抽蓄水力計畫簡介

3-1 計畫概述

光明抽蓄水力發電計畫位於台中市和平區，擬利用大甲溪上游之既有德基水庫為上池，谷關水庫為下池，開發抽蓄水力發電廠。

上池進水口擬設於大甲溪德基大壩上游約 535 公尺、達盤溪口下游約 400 公尺處左岸，后銜接一條沿大甲溪左岸山腹內設置的長約 10.6 公里新建頭水隧道，穿越必坦溪、登仙溪及久良屏溪等溪床下方，再銜接一新建地下式平壓塔及長約 941 公尺

（含分歧段總長 1,916 公尺）之新建壓力鋼管，至谷關壩左岸之馬來山與台 8 線下方間之山腹內，並於該山腹內新建長 108 公尺、寬 22 公尺、高 47 公尺之地下廠房及地下開關場，廠房內設置 4 部豎軸可逆式法蘭西斯式抽蓄機組，設計發電水頭 423.4 m、設計發電流量 155 cms，預計可裝設 350MW 以上之機組容量。抽蓄電廠完工後預估年平均發電量約 767.65 百萬度，年平均抽水電能為 988.04 百萬度，發電後尾水以平均長約 250 公尺 4 條新建尾水隧道放至谷關水庫，新建出水口擬設置於谷關壩上游水庫左岸，距谷關分廠進水口約 125 m 處。光明電廠之工程布置及水路縱剖面圖如圖 4 及圖 5 所示。



圖 4 光明電廠工程布置圖

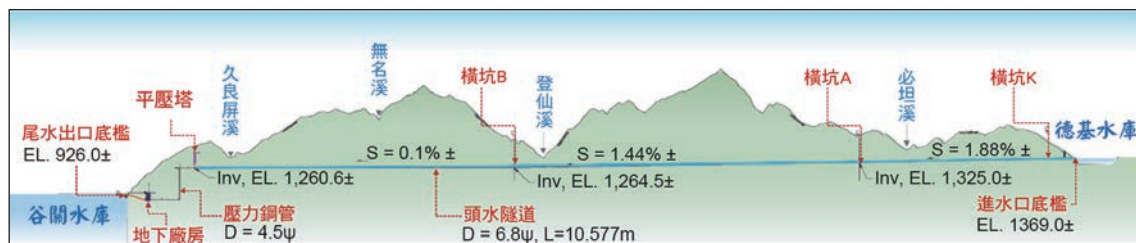


圖 5 光明電廠水路縱剖面圖

3-2 主要設施介紹

1. 上池進出水口

上池進出水口設置於德基壩上游水庫左岸，達盤溪口西側，屬於一般鋼筋混凝土結構物。上池進出水口之寬度 22.4 m，高度 15 m，而其有效斷面之淨寬 19 m、淨高 13.5 m，進口設計流速為 0.6 m/s。

2. 頭水隧道

頭水隧道進口設於進水口末端，並沿大甲溪左岸山腹內設置，穿越必坦溪、登仙溪、無名溪及久良屏溪等溪床下方。頭水隧道設計流量為 155 cms，採壓力式圓型斷面設計，內徑採 6.5 m、設計流速為 4.67 m/s。

3. 平壓塔

頭水平壓塔設置目的在保護頭水隧道及壓力鋼管路，一般設置於頭水隧道末端及壓力鋼管路之啟點。平壓塔於電廠負載減少時有效的降低水錘壓力，且吸納頭水隧道流入之水量以消除水流之動能；而於負載增加時適時釋出水量迅速地供給新負載之需要量，避免壓力鋼管上彎段產生負壓及水柱分離現象。

平壓塔式採用制孔式地下平壓塔，並須配合 4 部機組之湧浪水理分析需求，平壓塔之內徑規劃為 20 m、塔身高度約為 140 m、高度約為 140 m，制水孔內徑為 2.9 m，制孔段長 50 m。

4. 上閘室

於壓力鋼管上分歧段設置二座上閘，上閘一般為保持常開，當水輪機之主閘需檢修時關閉，以放空下游側之壓力鋼管內水量供人員進行檢修。

5. 壓力鋼管

由於發電水路末端之水壓力大，一般採鋼管設計以達到設計壓力之需求。壓力鋼管始於頭水隧道末端，主要包含一條上水平段（內徑為 5 m），二條上分歧段（內徑 4.0 m），二條高差 388 公尺之垂直段（內徑 4.0 m）鋼管，二條下水平段（中心線高程 El.875.0 m），後段配合 4 部機組再設置下分歧鋼管，由兩條壓力鋼管分為 4 條壓力鋼管（如圖 6 所示）。

6. 地下廠房

本計畫主地下廠房位於谷關壩左岸之馬來山與台 8 線下方間之山腹內，地下廠房之

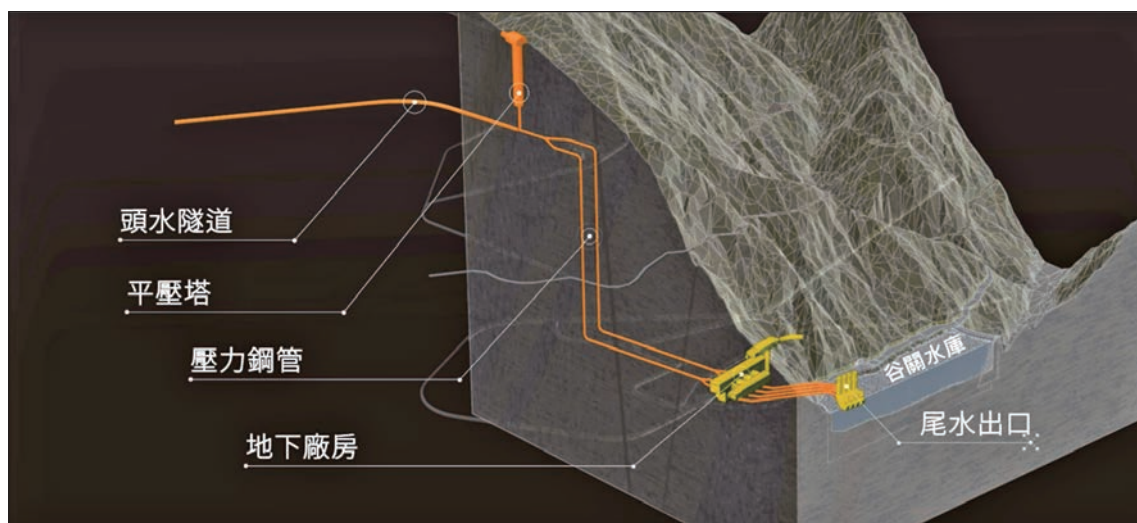


圖 6 光明電廠平壓塔、壓力鋼管及地下廠房之 3D 透視圖

空間需求係以 4 部抽蓄水力機組作規劃考量，內部空間尺度為 108 m 長 × 22 m 寬 × 47 m 高。機組中心高程設於 EL.875 m，廠房裝機平台設於 EL.890 m。

7. 交流激磁機室

一般傳統抽蓄電廠（明潭及觀二抽蓄電廠）係採用定速抽蓄機組，故其在抽蓄抽水操作時，個別機組無法調整抽水入力大小，對於電力系統調控缺乏彈性。本光明電廠係採可變速抽蓄機組，即可調整個部機組之抽水入力大小，電力調度彈性大。交流激磁機即為控制機組變速之設備。交流激磁機室緊鄰地下廠房下游側，配合主機組之配置設置四座，其長 30 公尺、寬 10 公尺、高 15 公尺之地下空間，每座間距 10.5 公尺。交流激磁機室下游側則連接地下主變壓器室。

8. 主變壓器室

設置於地下廠房下游 30 公尺處，以四座交流激磁機室與地下廠房相連接，平行設置主變壓器室，內部空間尺度為 88 m 長 × 18 m 寬 × 20.8 m 高。

9. 電纜及通風豎井

為利地下廠房之人員進出電梯、通風、排水及電纜架設等需求，於地下主變壓器室西南側規劃 1 條內徑 8.0 m、高度約 70 m 之電纜及通風豎井，利用此豎井可連接地下廠房及主變壓器室平台（EL.890 m）及地下開關場（EL.958 m）。

10. 地下開關場

地下開關場規劃設於主變器室之上方，並與電纜及通風豎井之上部共構。主設備層設於 EL.958 m，內部空間尺度為 81 m（長）× 20 m（寬）× 18 m（高）。



11. 電纜廊道

於地下開關場東側規劃一條電纜廊道，電纜廊道向東北側設置至台 8 臨 37 道路之鄰山側出洞，並於該洞口平台規劃設置一座高架連接站輸電鐵塔後，再以 161 kV 高壓電源線輸送至天輪電廠。

12. 尾水隧道

配合地下廠房 4 部機組規劃 4 條尾水隧道，隧道內徑為 3.5 m，設計流速為 4.03 m/s，內圓外馬蹄形斷面，長度約為

250 公尺。

13. 下池進出水口

下池進出水口設置於谷關壩上游水庫左岸，距谷關分廠進水口約 145 m，屬於一般鋼筋混凝土結構物。下池進出水口之總寬度 48.5 m，高度 10 m，分 4 座以併列於台 8 線下邊坡。其有效斷面之淨寬 8.5 m、淨高 8 m，平均流速為 0.57 m/s。出口流速低，可避免抽蓄運轉時衝擊對岸或吸附異物。

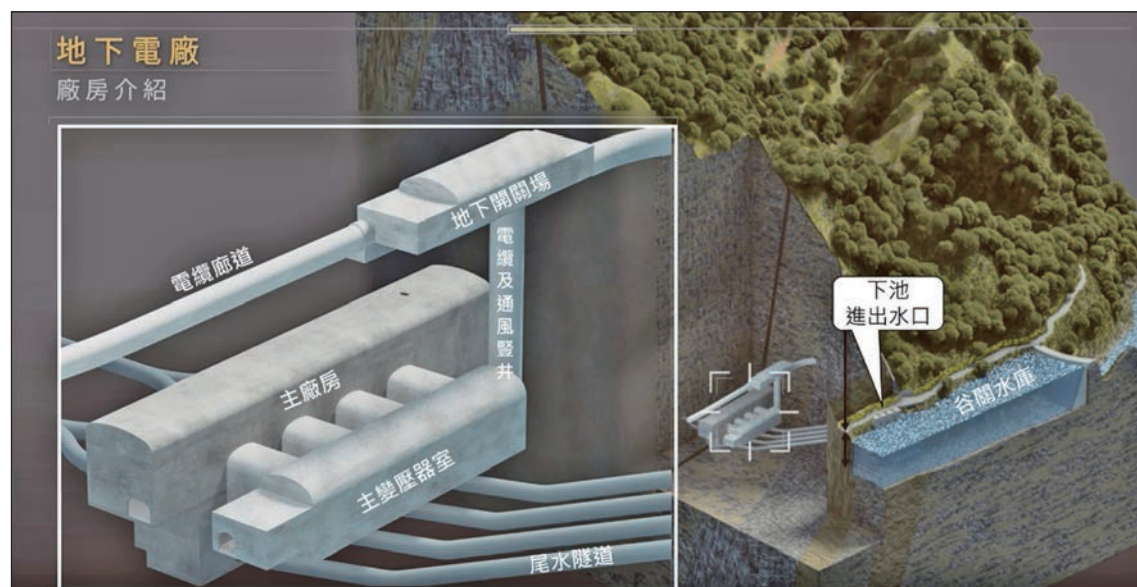


圖 7 光明電廠地下廠房區 3D 透視圖

3-3 地質特性

有關本計畫區域之地質狀況，可藉由早期鄰近計畫工程之地質調查與工程回饋經驗進一步了解及掌握，以確保日後施工之安全

性。目前已蒐集之資料包含：光明計畫（可研階段）、下達見水力計畫、青山復建、谷關復建、台 8 臨 37 線易致災路段工程與 63 k 地滑區治理工程等資料。

本計畫區域出露地層包括始新世至中新



世之白冷層、佳陽層與全新世之階地堆積層及沖積層等，各地層特性說明如下。

1. 白冷層

白冷層可分為上、中、下段，本計畫頭水隧道（武陵斷層以西）至谷關水庫區域出露白冷層之中段及下段：

- 白冷層中段：以板岩為主夾薄層變質砂岩或粉砂岩，以及變質砂岩與板岩互層。
- 白冷層下段：以變質砂岩為主，部分夾有變質砂岩與板岩互層。

2. 佳陽層：

佳陽層出露於武陵斷層以東至德基水庫區域，主要由板岩所組成，夾薄層變質砂岩。

3. 階地堆積層及沖積層：

該地層出露於大甲溪河道及兩岸，由未固結之礫石、砂及泥組成，為本計畫工程土石堆置場之範圍。

本計畫區域之岩層因受造山運動之強烈擠壓作用，而產生不同程度之變形及擾動，因此發育多處小規模之斷裂及褶皺構造，設施沿線通過武陵斷層、光明橋背斜、青山斷層、E斷層等構造，工程挑戰艱鉅。

3-4 光明電廠運轉原則及對既有水庫之影響

光明電廠未來發電係以提供傍晚之二次尖峰 4 小時為原則，如本電廠設計流量 155 cms 計，則每次抽蓄運轉之水量為 223 萬立方公尺。未來配合發電放水及抽水蓄能，上述水量將在上池（德基水庫）及下池（谷關水庫）間移動。惟如配合水庫進行排洪操作，則發電後之水量將排入谷關水庫下游之大甲溪河道中。

3-4-1 上池（德基）運轉原則

1. 一般抽蓄運轉

未來如德基水庫水位在之抽蓄運轉範圍內，即水位介於滿水位 EL.1,408 m 及最低運

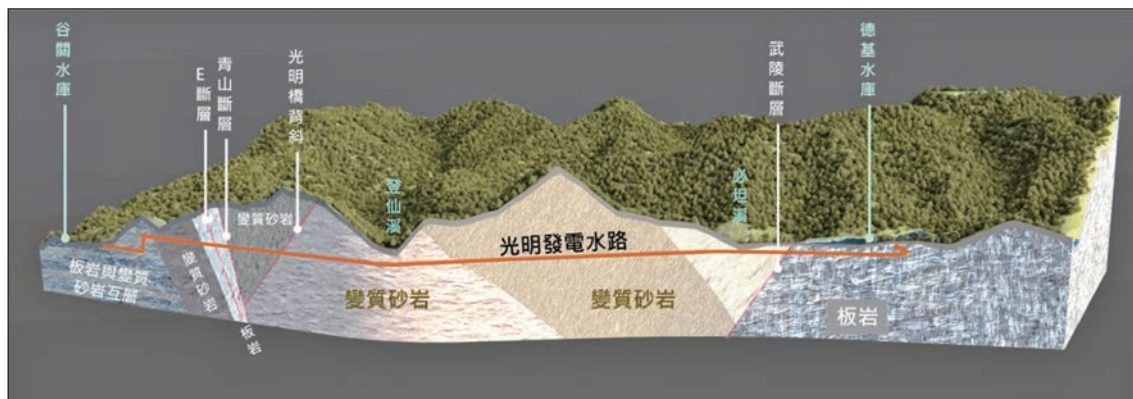


圖 8 光明電廠發電水路沿線工程地質示意圖



轉水位為 EL.1,385 m 間，則光明抽蓄電廠由其發電水路進行發電與抽水操作，而依每日抽蓄水量估算每次抽、發電時德基水庫之水位變化為 0.52（高水位）~ 0.95（低水位）公尺，水位變位對於德基水庫之原蓄水操作影響甚小。

2. 配合排洪之發電運轉

光明電廠未來如豐水期或排洪期間，原利用排洪道進行溢流之水量，將改以利用光明電廠之水路進行發電放水，可提高整體發電效益。

3. 枯水期之抽蓄運轉

枯水期時，如上池（德基水庫）水位低於光明電廠最低運轉水位 EL.1,385 m 且高於時德基電廠最低發電水位 EL.1,350 m 時，進行以德基與青山分廠聯合操作，即利用德基及青山分廠進行發電，後再以光明抽蓄機組抽水至上池儲能，可在不影響下游供水需求下，維持抽水蓄能之功能。

3-4-2 下池（谷關）運轉原則

1. 常時發電運轉操作

光明抽蓄運轉於下池之最低水位為 EL.935 公尺，谷關水庫於運轉水位間之有效庫容為 344 萬立方公尺（EL.935 ~ 950）。每次抽、發電時谷關水庫之水位變化為 11 公尺。

2. 配合排洪之發電運轉

本電廠如遇排洪期間，在維持排洪需求下，發電尾水將直接於谷關水庫向下游排放，不再由光明抽蓄機組抽水至德基水

庫。且為能維持谷關水庫之長期有效庫容，谷關水庫應藉洪水時期洪水量進行空庫排砂，除可避免上游來砂淤積於谷關庫區，且可藉由水力排砂操作將壩前淤砂排至谷關壩下游河道。

四、結論

光明抽蓄水力發電計畫擬利用大甲溪上游之既有德基水庫為上池，谷關水庫為下池，開發抽蓄水力發電廠，無需新建水庫，僅需建發電水路及地下廠房即可，對環境影響相對較小，廠房內預計可裝設 350MW 以上之機組容量。預計未來每年可蓄電約 7.7 億度電。為我國邁向 2050 淨零排放之道路上，不可或缺之重要建設。

參考文獻

1. 台電公司，「大甲溪光明抽蓄水力發電計畫可行性研究_裝置容量擴充研析報告書（修訂三版）」，2024 年 6 月。
2. 經濟部能源署，「能源轉型政策策略報告」，2024 年 4 月。
3. 國家發展委員會、行政院環境保護署、經濟部、科技部、交通部、內政部、行政院農業委員會、金融監督管理委員會，「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，2022 年 3 月。



追風逐電 永續能源— 台電離岸風力發電第一期計畫

中興工程顧問股份有限公司副理 / 吳錫融
中興工程顧問股份有限公司顧問 / 蕭永盛
中興工程顧問股份有限公司協理 / 邱華榮
台灣電力公司營建處計畫經理 / 高淑娟
台灣電力公司營建處處長 / 陳憲能

關鍵字：再生能源、離岸風場、離岸風力發電、示範獎勵、潛力場址、區塊開發、永續發展、淨零轉型、MW (10⁶Watt)、GW (10⁹Watt)、GWh (百萬度)

摘要

我國長期以來高達九成以上能源依賴進口，化石能源依存度高，因此在面對全球溫室氣體減量趨勢與達成非核家園願景之下，政府規劃於 2025 年之再生能源發電占比應達 20% 為政策目標，期能在兼顧能源安全、環境永續及綠色經濟下，建構安全穩定、效率及潔淨能源供需體系。為達成此一政策目標，政府衡量我國自然環境資源，以太陽光電及離岸風電作為再生能源開發主力，其中離岸風電規劃於 2025 年累計設置量達 5.6GW，藉此促進能源多元化及自主供應，展現我國積極推動再生能源發展之決心。

由於我國過去不具離岸風電開發經驗，且處在多颱風與地震的環境，因此發展離岸風電是採「先示範、次潛力、後區塊」3 階段開發策略，逐步推動；推動設置目標分別為 2020 年 520MW、2025 年 5.6GW、2035 年 20.6GW。

台電公司為配合國家政策，爭取並獲經濟部評選為第一階段示範風場之辦理廠商之一，是為台電離岸風力發電第一期計畫。本計畫於民國 2015 年 3 月 31 日獲行政院核准，計畫場址位於彰化縣芳苑鄉，距離岸約 7.2 至 8.7 公里，水深範圍介於 18 至 28 公尺之間，規劃風力發電機組總裝置



容量約為 110MW，風場面積約為 8.35 平方公里，各風機由海纜引接後，自永興海埔地西南角上岸轉接為陸纜，再引接至大城變電所，本計畫於 2021 年完成併網，年發電量超過 3.6 億度，可供給近 9 萬家戶一年用電。

一、前言

行政院於 2008 年 6 月通過「永續能源政策綱領」，指出在追求永續能源發展過程，應兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」，以滿足未來世代發展的需要。經濟部能源局（署）提出永續能源政策與目標：1.「提高能源效率」2.「發展潔淨能源」3.「確保能源供應穩定」。2009 年 4 月行政院宣布啟動「綠色能源產業旭升方案」，推動綠色能源產業，並將風力發電產業納入台灣未來再生能源供給發展之主軸之一，並於同年 7 月完成「再生能源發展條例」三讀程序。2012 年 7 月經濟部公布實施「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」，透過獎勵機制，鼓勵業者投入離岸風電之開發行列。

國際工程顧問公司 4C Offshore 於 2014 年發表的全球「23 年平均風速觀測」研究，世界上風況最好最理想的 20 處離岸風場，台灣海峽佔據了 16 處之多（在其 2021 年 3 月評比全球離岸風電潛能，世界上風況最好最理想的前 40 處潛能場址中，台灣海峽佔據了 29 處），且多數位於我國領海內，顯示出我國具有發展離岸風力發電之潛能，因此行政院推動離岸風電開發，除了引進外國廠商資源，同時也期望能帶動國內產業發展。

二、國家能源永續發展的願景

2-1 全球的永續發展目標

1987 年聯合國世界環境與發展委員會（World Commission on Environment and Development, WCED）認為，「永續發展」的意義在於：「滿足當代需求的同時，不損及後代子孫滿足其自身需求」之發展途徑，此概念亦開啟全球對於永續發展的關注，2015 年聯合國發表《翻轉世界：2030 年永續發展議程（Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development）》文件，作為行動指引，著眼於人（People）、地球（Planet）、繁榮（Prosperity）、和平（Peace）、夥伴關係（Partnership）等重要聯繫，促使全球團結努力，期盼至 2030 年時能夠消除貧窮與饑餓，實現尊嚴、公正、包容的和平社會、守護地球環境與人類共榮發展，並提出「永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」——包括 17 項核心目標及 169 項具體目標，於 2017 年再建立 232 項指標用來衡量實踐情形。

2-2 我國永續發展目標

永續發展向為我國所重視的核心價值之一，為追求我國積極邁向永續發展，並回應全球永續發展行動與國際接軌，同時兼顧在地化的發展需要，因此我國行政院於 1994 年 8 月成立「行政院全球變遷政策指導小組」，由相關部會首長及專長學者組成，下設因應全球環境問題及永續發展等 6 個工作分組。民國 1997 年 8 月 23 日擴大為「行政院國家永續發展委員會」（簡稱永續會），並指派行



政院政務委員擔任主任委員。目前（2021年11月11日起），永續會主任委員由行政院長兼任，政務委員擔任執行長，其下設置4位副執行長，分別由衛生福利部、經濟部、國家發展委員會及環境部副首長兼任，秘書處幕僚作業於110年8月由國家發展委員會兼辦。

2009年8月公布「永續發展政策綱領」，2016年啟動研訂「臺灣永續發展目標」作業，2019年完成訂定對應指標，並設氣候變遷與淨零轉型專案小組，於2022年12月完成「臺灣永續發展目標修正本」。

2-3 我國能源永續之核心目標及對應指標

依據「臺灣永續發展目標修正本」，其核心目標07與能源之開發利用相關：「確保人人都能享有可負擔、穩定、永續且現代的能源」，目前能源核心目標之主要工作重點為：

1. 修正《再生能源發展條例》：增訂「建物設置太陽光電」及「地熱專章」等規範，並針對離岸風電、小水力發電及生質能發電等再生能源多元發展建立友善環境。
2. 離岸風力發電推動成果：經濟部於2023年11月23日完成公告區塊開發第2期《離岸風力發電區塊開發場址容量分配作業要點》。
3. 增加潔淨燃料發電占比、邁向電力淨零排放：鼓勵地熱開發、漁電共生案場、小水力發電場域等之建置。
4. 提高強制性節能措施涵蓋率，降低能源密集度：透過歷年節能規定之推動、能效技術示範輔導、節能技術開發等。

5. 建置儲能系統，提升電網韌性：推動光電儲能搭配再生能源之大型儲能系統、具有多功能輔助服務之儲能系統。

2-4 我國再生能源供需環境現況

行政院主計總處已將2024年全年經濟成長率上調至3.94%，在考量未來AI科技潮帶動的半導體產業擴廠、電動車推動政策等因素，預估2024～2028年電力需求年均成長率約為2.5%，在此趨勢下，預估2024～2033年電力需求年均成長率約為2.8%。電源供給規劃部分，截至2024年5月，整體再生能源裝置容量已累計達1,935萬瓩。另外，為提高再生能源供應的穩定性，政府積極規劃增加燃氣機組、儲能系統等設施，結合電網建設和智慧化管理，以促進再生能源的整合和利用效率，亦將多元發展再生能源，確保國內能源供應的可持續性和穩定性。

2-5 臺灣2050淨零轉型政策之能源轉型

我國於2016年宣示能源轉型，以「減煤、增氣、展綠、非核」之潔淨能源發展方向為規劃原則，確保電力供應穩定，兼顧降低空污及減碳。2022年3月政府再宣示「臺灣2050淨零排放路徑及策略」，訂定臺灣2050淨零轉型之四大轉型策略：「能源轉型、產業轉型、生活轉型、社會轉型」，以及兩大基礎：「科技研發、氣候法制」，以作為施政方針。其中能源轉型是以打造零碳能源系統、提升能源系統韌性、開創綠色成長為3大策略，並提出9項措施，其中確定風電及光電為再生能源之發展主力。



三、離岸風電開發及作為

3-1 再生能源的發展之潛能

臺灣的自然資源，除了化石燃料資源為量不多外，其他尚稱豐富，如風能、太陽能、海洋溫差等，但若以目前技術成熟且可提供大規模量體之使用者而言，則以風力發電及太陽能發電均已歷經示範及商業開發階段，有足夠大的商業開發規模，提供工商業及大眾使用。

離岸風電由於具有如下之多項優勢，可成為我國電力永續開發重點：

- (1) 風能為永續資源，不虞匱乏，且為自有資源
- (2) 台灣西岸沿海及澎湖、蘭嶼等之風能密度高，深具開發價值
- (3) 發電過程無碳排，可協助國家抑制溫室氣體效應
- (4) 環境衝擊小，遠離陸地及人群，發電過程中無公害
- (5) 風場在海上，幾乎不佔用陸地資源
- (6) 海上風場限制漁業捕撈活動，有利於魚類等海洋生物在此生活棲息

3-2 離岸風電的開發配套作為

政府在離岸風電之推展方向，區分為三個階段，第一階段為示範風場階段，透過政府補助來引導及鼓勵投資者參與；第二階段為潛力場址階段，遴選出 3.8GW 潛力場址及競標 1.6GW 淺海區場址，完工期間為 2020 ~ 2025 年；第三階段為區塊開發階段，分三期

開發，每年釋出 1.5GW 開發權，完工期間為 2026 ~ 2035 年。歷年來實際作為及發展情形可概述如下：

- (1) 2012 年 2 月公布「千架海陸風力機」計畫：推動策略為「先陸域後離岸」、「先示範後區塊」、「先淺海後深海」，預計 2016 年完成首座離岸風電示範機組，2020 年完成首座離岸風電示範風場，2030 年完成超過 1 千架、總裝置容量 5,200MW 海陸風機。
- (2) 2012 年 7 月經濟部公告「離岸風力發電示範獎勵辦法」。
- (3) 2013 年 1 月能源局公布示範評選結果：共有福海公司、海洋公司（海洋風場）、台電公司（台電第一期）等 3 個申請人取得示範獎勵資格。
- (4) 2015 年於彰濱、苗栗外海陸續完成三座海氣象觀測塔：蒐集海氣象資料，做為日後開發風場之重要數據使用。
- (5) 2016 年海洋公司於苗栗外海完成 2 部示範機組。
- (6) 2016 年 12 月通過「離岸風電區塊開發」政策環評。
- (7) 2017 年 8 月行政院核定「風力發電 4 年推動計畫」：離岸風電規劃規模於 2025 年達到 3GW。
- (8) 2017 年 10 月經濟部公布 2025 年的離岸風電目標由 3GW 提高到 5.5GW。
- (9) 2018 年 1 月能源局公告離岸風電第二階段「遴選」、「競價」的《作業要點》。2018 年 4 月遴選容量達 3,836MW，20 年固定電價為 5.8 元／度。2018 年 6 月公布離岸第一期競價結果，容量達 1,664MW。



- (10) 2019 年 11 月台灣首座離岸風場「海洋風場」(Formosa 1) 完工：為風電邁入商業規模的重要里程碑。
- (11) 2021 年 7 月經濟部針對第三階段區塊開發公告《離岸風力發電區塊開發場址規劃申請作業要點》，2021 年 8 月經濟部針對第三階段區塊開發公告《離岸風力發電區塊開發容量分配作業要點》
- (12) 2021 年 12 月台電完成離岸風電第一期計畫：示範風場均已建造完成。
- (13) 2022 年 12 月經濟部針對第三階段區塊開發第一期完成選商容量分配，計有 6 組開發商、7 座離岸風場獲配，合計 3.0 GW 的裝置容量。(嗣後有兩家未完成行政契約簽訂)
- (14) 2024 年 7 月經濟部針對第三階段區塊開發第二期完成選商容量分配，計有 5 座離岸風場獲配，合計 2.7 GW 的裝置容量。

3-3 台電公司離岸風電風場之開發

台電公司配合政府之能源政策，於風力發電開發部分，於 2013 年 1 月獲經濟部評選而取得開發商資格，開啟彰化芳苑外海第一期計畫，同時在 2016 年啟動第二期風場的可行性研究，選擇彰化鹿港外海第 26 號潛力廠址來推動第二期計畫，也順利於 2018 年獲能源局遴選，給予 300MW 開發容量。

四、台電離岸風力發電第一期計畫

政府有鑑於國內缺乏辦理離岸海事工程經驗，相關海事工程之工程環境資料蒐集、量測設施及基礎研究不夠完備，因此台電離岸風力發電第一期計畫是以示範風場方式辦理，分年里程碑時程詳表 1。

表 1 本計畫分年里程碑時程

主要里程碑	可研規劃完成日期	實際完成日期
可行性研究	2014 年 12 月	2014 年 12 月
計畫奉准	2014 年 12 月	2015 年 3 月
環評審查通過	2015 年 06 月	2015 年 09 月
籌備完成創設	2015 年 09 月	2017 年 12 月
工程總顧問決標	2015 年 12 月	2016 年 01 月
風場工程招標及決標	2017 年 03 月	2018 年 02 月
基樁打設、基礎安裝	2018 年 09 月	2020 年 09 月
塔架及風機安裝	2019 年 09 月	2021 年 06 月
風機接受安全調度	2019 年 12 月	2021 年 12 月
全部工程完工	2020 年 06 月	2022 年 06 月

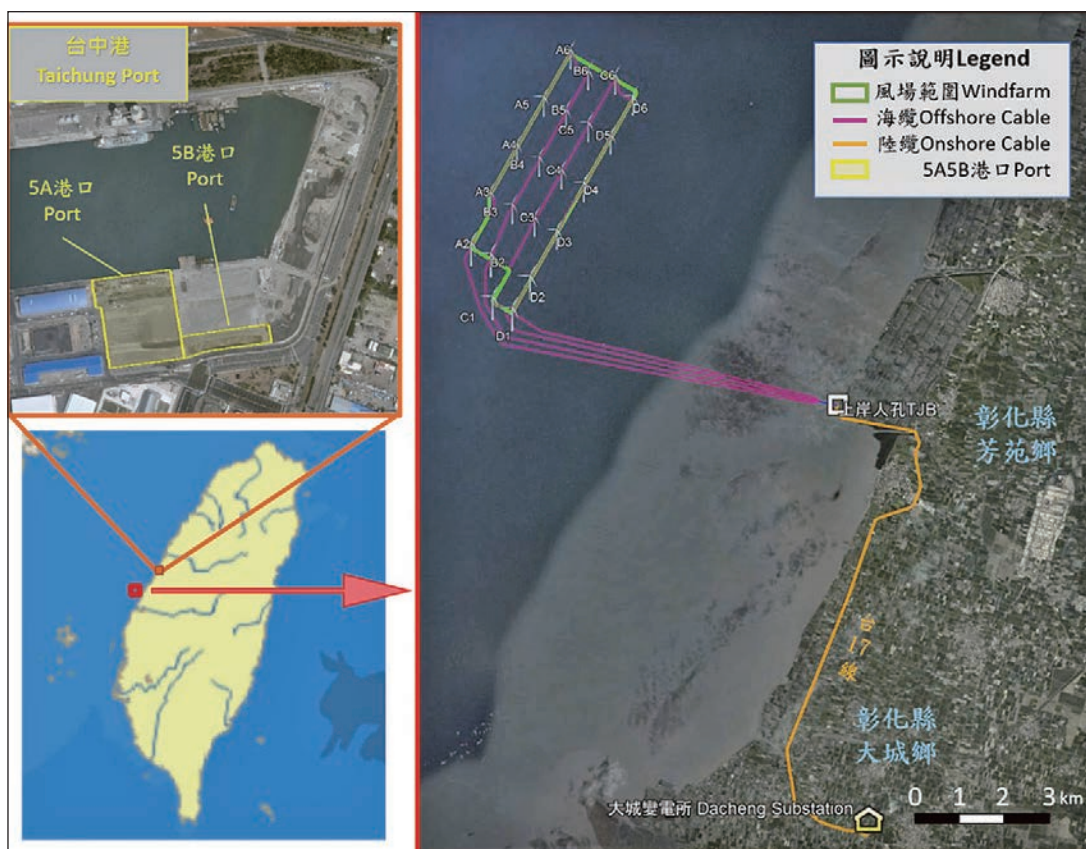


圖 1 本計畫位置圖

4-1 可行性研究階段的規劃

中興公司在進行可行性研究時，充分了解國內工程環境及產業界處境及台電公司所肩負之使命，搭配國外著名工程公司 GL Garrad Hassan 的協助，來完成此項工作。工作成果可概述於下：

(1) 場址選擇與開發規模：

彰化外海之場址選擇需考量台中港錨地港界範圍、保護礁禁漁區及人工漁礁禁漁區、中華白海豚野生動物重要棲息環境、避

免在濁水溪河口區域內、水深 30 公尺以內之區域、永傳公司福海風場及彰化縣專用漁業權等限制條件，以王功及福寶保護礁區旁之可開發範圍為本計畫優先考慮區域。

(2) 風力機組型式及容量評析：

本計畫場址風力機組之選擇，以考量 3.6MW ~ 6MW 的風力機組較為合適。此外，基於在台灣海峽採用較大容量裝置風機以及其相對嚴酷的環境條件，經評估結果顯示選擇 C 類型或 R 類型風機（較大葉片及較小的產出功率）可達到較佳的經濟效益。



(3) 風能分析：

在本場址之風速分布上，高程 90 公尺處之平均風速約每秒 9.5 公尺。依據風能模擬結果，本場址之單位面積風能介於 1350 ~ 1400 W/m² 之間。

(4) 風力機組佈置規劃及發電量：

本計畫開發場址位於彰化縣芳苑鄉外海，以 5.0MW 風力發電機組 22 部之配置方案進行規劃佈置。以主要成本作為支出考量，發電收入作為效益考量。

(5) 基礎結構型式之選擇：

由安全、成本與時間等方面來考量，採用套筒型式作為風機下部結構。

(6) 電源線併聯及線路規劃：

風力機組產生之電力經機艙內變壓器升壓至 33 kV 後以海底電纜連接至陸上電氣室再升壓至 161 kV 後併入大城一次配電變電所(D/S)。

在線路規劃方面，本計畫案工程 33kV 級線路採單回路配置，以節省初期建造成本。另外經比較輸電容量、海纜費用、輸電損失皆採用 3 ϕ 33kV 等級。

(7) 海纜線路規劃：

選擇海洋漁業活動和水產養殖較少區域，盡量避開或通過較少張網捕魚作業區。沿海與登陸灘地附近無其他大型建築設施如港口、軍事設施、水管以及其他海纜等上岸點宜避開法規限制區或居民抗爭地點等條件。不危及附近海堤安全。輸出海纜鋪設配合風場機組佈置，以 4 條纜線規劃，海纜之最小埋設深度不得少於 2 公尺。

(8) 陸纜線路規劃：

四條 33 kV 海底電纜上岸，經連接站將 33 kV 500 mm² 級海纜轉接為每相二條 250 mm² 或每相一條 500 mm² XLPE 電力電纜，經 8(16) 支 150 mm 或 4(8) 200 mm ϕ PVC 管及高壓人孔所構成之地下管路，連接至 161 kV 電氣室。

(9) 陸上電氣室及連接站規劃：

本計畫基於風場位置離岸較近，於海上不設置電氣室。為配合風力機組電力系統電力輸送，本計畫原規劃設置連接站及電氣室各一處，連接站設置於海底電纜上岸處。

(10) 施工規劃：

- 施工碼頭及後線工作場地：以下部結構與連接段重量約為1018噸為主要關鍵載重，考量採用2台吊車進行吊裝作業，故評估施工碼頭高載重能力最小約為每平方公尺10噸；高載重能力碼頭所需面積約為100公尺 × 30公尺。另考慮安裝船機之船長，建議碼頭長度約為250公尺。
- 施工運輸規劃：
 - 起重機船隊：包括全旋回式起重船（1600T）、拖船（4000ps兼揚錨船）、平台船（2000T）等、自昇式平台船等，主要用於運搬套筒桁架、風力機組與鋼管基樁打設等工作。
 - 打樁船隊：包括打樁船、拖船（2000ps）、揚錨船（50T）。
 - 挖溝機台船（PC-1600, 6.0立方公尺）：主要挖掘海底電纜管溝（水深-1至-9公尺）。



- 抓斗式台船（13立方公尺）：主要挖掘海底電纜管溝（水深9至20公尺）。
 - 海底電纜佈設工作平台船（500T）、拖船（500ps）、揚錨船（5T）。
 - 警戒船與指揮船（100ps）。
 - 潛水伏船（100ps）、GPS定位儀、ROV檢測儀。
- 施工運輸規劃：規劃於工址至台中港外海航道間規劃一條專用航道，航道寬約200公尺。施工單位於施工前須提送台中港務分公司核備。
 - 基礎及風力機組設置作業規劃：
 - 鋼管基樁（含套筒桁架）施作：打樁工作船須以DGPS定位，打樁船機須設置水中曝氣設施，可採用國際上通用之氣泡簾幕工法，以降低水中打樁產生之音壓危害鯨豚，且基樁施工如使用敲擊式基樁應以soft start（ramping up）方式進行打樁，由低力道的打樁慢慢漸進到全力道的打樁，讓鯨豚有機會在剛開始打樁時得到警告而遠離噪音源，以避免受到噪音直接的傷害。鋼管基樁打入至預定設計深度後，繼則進行套筒桁架吊裝，並於套筒桁架與鋼管樁銜接之接合段灌漿以完成套筒桁架之安裝工作。
 - 塔架組裝作業：研擬由自昇式安裝船來配合此支承塔架海上運搬、架設與組裝工作。
 - 風力機組、葉片組裝作業：研擬由自昇式安裝船來配合風力機組機艙及葉片吊裝組合。
 - 海纜施工規劃：
 - 海纜佈放路廊之海底層地質、地形與海象調查。
 - 海底電纜溝開挖／浚挖及上岸處纜線溝開挖作業：於淺灘段之開挖／浚挖作業可使用怪手台船配合曳船施作，淺水段海面下水深1.0公尺以上範圍，管溝開挖可使用挖溝機台船開挖；深水區管溝開挖可考慮採用附加高壓沖水式之鋤式埋設機施作。
 - 海底電纜佈放與纜溝回填作業：深水區域可考慮採用附加高壓沖水式之鋤式埋設機施作，或同等能力之埋設機。
 - 鋪設電纜成果調查：以ROV專用調查船機，確認纜溝佈放與回填作業成果。
 - 施工進度安排：
 - 施工工期以兩年之兩個施工窗期來完成本計畫要徑之海上安裝及風場試運轉工作。

4-2 工程設計及執行

本計畫採統包方式辦理招標，由得標廠商 Jan De Nul 及 Hitachi 兩公司共同承攬，辦理設計、製造、採購、施工、測試及試運轉並含 5 年運轉維護等工作，其主要工作內容及成果如下：



1. 工程主要數據

計畫場址：彰化縣芳苑鄉外海，距離岸約 7.2 至 8.7 公里
 風場面積：約為 8.35 平方公里
 水深範圍：介於 18 至 28 公尺之間
 風機型號：Hitachi 公司之 HTW 5.2-127 風機
 海纜額定電壓：18/33 (36) kV
 陸纜額定電壓：36 kV
 總裝置容量：109.2 MW（共 21 部風機，單機容量 5.2 MW）
 年發電量：約 3.6 億度
 契約金額：約 249.9 億元（工程 221.9 億元，完工後五年運維 28 億元）
 商轉：2021 年 12 月

2. 環境調查及分析

- 大地工程：地球物理探勘、海床現況及水下文資調查、海床移動性調查及評估
- 氣候環境：海氣象調查及分析、風況調查及分析

- 地震工程：機率式地震危害度分析、地盤反應分析

3. 風力發電機

本計畫採用日立公司 Hitachi 5.2 MW 風力發電機下風式風力發電機，轉子直徑為 127 m，輪轂高度距海面高度約為 97 ~ 99 m，轉子機艙總成（RNA）的設計壽命為 20 年，塔架設計壽命為 25 年，其中轉子機艙總成 IEC S 級（ $V_{ref} = 55 \text{ m/s}$ ）和 JIS T 級（ $V_{ref} = 57 \text{ m/s}$ ）之型式認證由認證機構 Class NK 核准通過。風機主要規格如表 2。

4. 風場佈置

本計畫風場海域涵蓋範圍面積總計約 860.27 公頃；輸出海纜廊道規劃佈設範圍長約 9.2 公里、寬約 1.1 公里，海纜開發面積約 794.82 公頃，風場海域及海纜規劃範圍共 1,655.09 公頃。（風場總佈置圖如圖 2。）

5. 風機下部結構

表 2 風力發電機主要規格

型號	HTW 5.2-127	轉速	$5.6 \sim 13.2 \text{ min}^{-1}$
每部風機功率輸出	5,200 kW	圓錐角	5 度
功率控制	旋翼控制與變速	傾斜角度	-8 度
轉子位置	下風型	葉片數量	3
動力傳動系統	齒輪箱	塔節數量	3
傳動比	約 1 : 40	發電機	永磁發電機
導入風速	4 m/s	電力轉換系統	全功率變流器
切斷風速	25 m/s (10 分鐘平均值) 或 35 m/s (1 秒鐘平均值)	轉向控制	主動轉向（正常運作）／ 自由轉向（暴風狀態）
額定風速	13 m/s	煞車	葉片順槳（獨立控制）
輪轂高度	約 97.44 ~ 99.92 m	輸出電壓	33,000 V
轉子直徑	約 127 m	抗風等級	日本工業規格 ClassT



群集策略：本案在承攬商及其下部結構設計顧問公司之規劃下，整個風場範圍內之風機下部結構依不同水深分為 3 個群集作設計。

- 詳細審查適用於所考量之土壤分層分類方法及對應使用的承載力評估。此包含但不限於適當選擇 p-y 和 t-z 曲線，適用於樁的設計工具

- 確定相關標準，從而確定設計中採用的負載和材料因子的適當選擇。
- 土壤承载力驗證，包含軸向及側向承载力檢核。
- 長期位移的驗證，如長期週期性負載可能造成長期軸向及側向位移。
- 產出結構計算的輸入土壤參數，這取決於土樁相互作用。
- 打樁分析：評估安裝過程和相應的打樁造成的疲勞損傷。



主要及次要鋼結構設計：

- 主要結構之獨立負載分析，包含基於DNV規範之各極限狀態檢核
- 次要結構設計
- 耐震設計
- 灌漿接合設計
- 防蝕保護設計
- 臨時階段設計，包含製造、運輸或施工狀態等

載重迭代分析 (ILA)：

- 與風機廠商之RNA、塔架模型進行載重迭代分析 (ILA)

(2) 設計特點：

套筒桁架及基樁：

- 結構型式概念：套筒桁架採四支撐腳之鉚接鋼結構，並採預打樁式套筒桁架之概念設計。
- 基樁長度優化：每一風機之樁長設計必須根據各個風力發電機組的位置進行，以獲得基樁的最佳貫入深度。
- 沖刷考慮：在結構分析中藉由去除可能受淘刷區域之土壤對軸向／側向能力和剛性的貢獻，估算基樁受地形變遷及海流沖刷的影響。

連接段：

- 連接段的設計必須很堅固來傳遞所受拉力，以適應風力發電機組負荷的可能變化。
- 連接段必須假設塔架維修門需與連接段塔筒整合為一體。連接段

塔筒與塔架底部藉塔架上下法蘭結合而順利傳遞應力。

- 塔架法蘭螺栓的安裝必須適當考慮所需的螺栓和工具的空間要求。

次要結構：

- 依業主要求設計兩個船靠設施及附屬構件，並採對角設置，以降低整體結構之非對稱性。
- 外部爬梯搭配船靠設施設計，中間附有休息平台，爬梯必須配備防墜落系統，固定於梯子頂部。
- 考慮外部平台的工作需求。
- 犧牲陽極之陰極防蝕及其支撐結構。
- 兩個外部J型管。
- 雜項電氣設備的考慮，需包括接地和雷擊保護系統。

6. 海底電纜

內陣列海纜：3 × 630 mm² 銅，18/33 (36) kV，具有 1 × 48 單模光纖和 2 × 2 單模光纖的三相電力電纜。

輸出海纜：3 × 630 mm² 銅，18/33 (36) kV，具有 1 × 48 單模光纖和 2 × 2 單模光纖的三相電力電纜。

內置之光纖纜線：光纖種類為 48 個 ITU-T G.652D 單模光纖和 2 組 2 個 ITU-T G.652D 單模光纖，用於通訊、監控及偵測海纜運轉狀況。

海纜監視系統：承攬商採用 Omnisens 廠牌設備之 Cobra 海纜監控系統，監控輸出電纜、陣列電纜和環路電纜的完整性、溫度和機械



圖 3 風機下部結構示意圖（照片出處：台電公司提供）

損傷預防，共安裝兩個 DITEST-L 沿海纜環路測量溫度變化及應變偵測，此二設備配置在不同的光纖芯束上，形成備援機制，監視主機設於台電岸上大城變電所。

7. 上岸點及陸域電纜：

輸出海纜（33 kV 4-3/C 630 mm² XLPE）上岸處為永興海埔地之西南角，為不破壞海堤結構且避開當地蚵農蚵架區域，採 HDD 工法通過約 1 公里潮間帶及既有堤岸之底部，以堤岸後新設海陸纜接續人孔作為海陸纜分界點，銜接及續接轉換成 33 kV 12-1/C 800 mm² XLPE 陸纜，透過地下管排、預鑄人孔或箱涵等方式，總長度約為 13 公里。

陸纜沿線共包含 46 座陸域人孔（M0A、M01 ~ M45），人孔內設有接續匣，每個接續匣配有接地阻抗。

8. 大城變電所新增之主要電氣設備：

- (1) 33 kV 氣體絕緣開關
- (2) 161 kV 氣體絕緣開關
- (3) 161/33 kV 高壓油浸式變壓器
- (4) 直流 125V 充電機及直流分電盤，具有兩組充電機，一組為平時使用，一組為備用。
- (5) 直流 125V 電池組能供應 12 小時之使用
- (6) 低壓配電盤
- (7) STATCOM（靜態補償器，static compensator）2 套



4-4 本計畫之特點

本計畫在開始辦理可行性研究開始，一直到工程結束，都在在展示對環境友善之規劃及設計，藉以闡明在開發離岸風電計畫時，與社會、環境、生態共存共榮，是完全可以期待的；藉著本計畫之示範，可以給予國人充分的信心，來支持離岸風場之持續開發。因此將本計畫的特點羅列說明如下：

- **首批示範離岸風場**—這座離岸風力發電廠是台電公司首次興建並擁有的，也是台灣首批示範離岸風場之一，說明在台灣的工程環境下，興建離岸風場為可行，在本計畫進行之中之規劃、設計階段、發包階段、製造階段、施工階段及運維階段，碰到諸多問題及情境，在逐一克服後，為未來離岸風場建設提供重要參考。
- **風機下部結構國產化**—為推動離岸風電產業的國產化政策，其中21座風機的下部結構所需的84支鋼管樁中，有4支由銘榮元公司製造，說明台灣鋼構廠商也具備製造離岸風電鋼結構能力，已可通過業界品質檢驗程序之考驗，為鋼構製造本土化取得重要里程碑。
- **施工／營運工安考量**—考慮到台灣冬夏季風的主流風向之方向變換，風場設置兩個不同方向的船靠設施，以提高人員運輸船成功登上風機的機率；施工期間船隻採用有動態懸梯系統裝置之船舶，利於人員在船舶與風機間移動，提高工率。
- **離岸風電專用碼頭改善**—為風機大件運送吊放及在陸上完成風機塔架預組裝，

碼頭港池及碼頭儲放區域需要進行承載力改善工作；台電公司與臺中港務公司攜手改善臺中港#5碼頭，使其成為符合需求之離岸風電專用碼頭。

- **HDD工法使用**—海纜上岸段採用長約1公里的水平導向鑽掘工法施作，完全避開蚵架並且免於破壞海堤結構，並使用防濁幕，來降低對環境衝擊至極低程度。
- **水下噪音防制**—為減少風場對環境的影響，已避開鯨豚棲息地和養蚵區域外，在風機基礎打樁作業期間，以低力道打樁慢慢進到全力道方式程序，並利用水下氣泡幕減輕打樁所產生的水下噪音，降低對海洋生物的影響。
- **孤島情境之應變**—由於施工時間跨越冬季，台電公司要求承攬商根據現地情況實施「渡冬計畫」，加強海上風機、預組裝場上風機及其附屬設備的除溼及防護措施。
- **STATCOM規劃**—為符合台電再生能源發電系統併聯技術要點要求，大城變電所設置靜態虛功補償設備（STATCOM），以避免電力系統故障或電壓驟降時發電機組跳機，確保離岸風場的安全運行，這也是台電離岸風力變電所的首例。
- **新冠肺炎考驗**—受到疫情及政策法規的影響，外籍船舶無法順利前往風場進行施工，台電公司透過與經濟部、能源署、國營會、航港局、疾管署等多方溝通及研商協調，最終成功克服困難進行施工，包括實施人員交換船、全員隔離檢疫、全船消毒、防疫要求等措施。



- **促進漁電共榮**—台電公司為了與當地環境社群共榮共存，與彰化區漁會保持溝通，並傾聽漁民的需求和意見，在營運期間，雇用當地漁民以保障他們的工作權利，並持續探索更多的漁業轉型機會。風場區域限制漁業捕撈活動，有利於海洋生物之棲息及保育。

參考文獻

1. 有關能源政策之宣示公告等文件，請詳經濟部官方網頁 <https://service.moea.gov.tw>。
2. 有關永續發展之宣示公告等文件，請詳行政院永續發展偉院會官方網頁 <https://ncsd.ndc.gov.tw>。
3. 4C Offshore Global Offshore Wind Speeds Rankings (4C Offshore 網址：sales4C@tgs.com)。
4. 台電公司“台灣電力公司離岸風力發電第一期計畫 - 工程總評估報告（定稿版）”（2024 年 2 月）。
5. 台電公司“台灣電力公司離岸風力發電第一期計畫 - 可行性研究（核定版）”（2015 年 10 月）。
6. 台電公司“台灣電力公司離岸風力發電第一期計畫 - 環境影響說明書（定稿本）”（2015 年 8 月）。



曾惜水源、南得好水、永續水循環—— 曾文南化聯通管統包工程 A2 標

中興工程顧問公司大地工程部技師 / 賴宏源
中興工程顧問公司大地工程部計畫副經理 / 王元度
國統國際股份有限公司管工部副經理 / 聶廷宇
經濟部水利署南區水資源分署副工程司 / 張宇騰
經濟部水利署南區水資源分署工程員 / 張揚揮

關鍵字：曾文南化聯通管、韌性基礎建設、大口徑推管、承插式推進鋼管

摘要

曾文水庫與南化水庫為穩定臺南及高雄聯合調度供水系統之關鍵。行政院於 107 年 6 月 11 日核定「曾文南化聯通管工程計畫」，使曾文水庫、南化水庫及高屏攔河堰之水源能串連，健全南部地區供水備援系統，並作為曾文水庫水源的另一緊急供水通道，成為具韌性的基礎建設。本計畫管路全長約 25 公里，沿既有道路埋設，設計輸水能力為每日 80 萬噸，主要採用推管工法，以減少對當地居民作息及交通之衝擊。推管之管材（直徑 2.6 公尺）包括延性鑄鐵管（DIP）及可大幅縮短工時及提高安全性，由國統公司研發之承插式水道用推進鋼管（WSP）。本文將介紹

曾文南化聯通管工程計畫之特色、大口徑推管工法於本工程之特色與應用，以及跨河水管橋之設計考量。

一、計畫簡介

1-1 緣起

臺灣南部地區因用水成長及氣候變遷影響，公共用水吃緊。104 年臺灣南部地區遭遇枯旱，曾文、南化水庫無法相互支援；104 年 5 月 4 日公布高雄市分區供水，採行每週供 5 停 2 措施。政府考量供應南部地區之南化水庫淤積嚴重，復以現況水源供水方式單一，缺乏備援系統。為完善水源調度網路，



加強基礎建設之韌性，經濟部水利署南區水資源分署（簡稱南水分署）推出「曾文南化聯通管工程計畫」（簡稱本計畫），規劃於曾文水庫及南化水庫之間建立聯通管，做為供水系統雙迴路之一環。計畫期程自 108 年起至 114 年止，本計畫管路行經臺南市楠西區、玉井區及南化區，沿既有道路埋設，管路全長約 25 公里，設計輸水能力為每日 80 萬噸（CMD）。本計畫分為 A1、A2、A3 等三標（如圖 1），以統包方式辦理。

1-2 計畫特色

本計畫聯通管完成後，將達到 1 加 1 大於 2 的效益，可串聯曾文水庫、南化水庫、烏山頭水庫、高屏溪攔河堰等 4 座蓄水設施，相互支援嘉義、臺南、高雄三區域之水資源，提升供水韌性，輸水情境包括以下四種（如圖 2）：



圖 1 本計畫及本工程位置

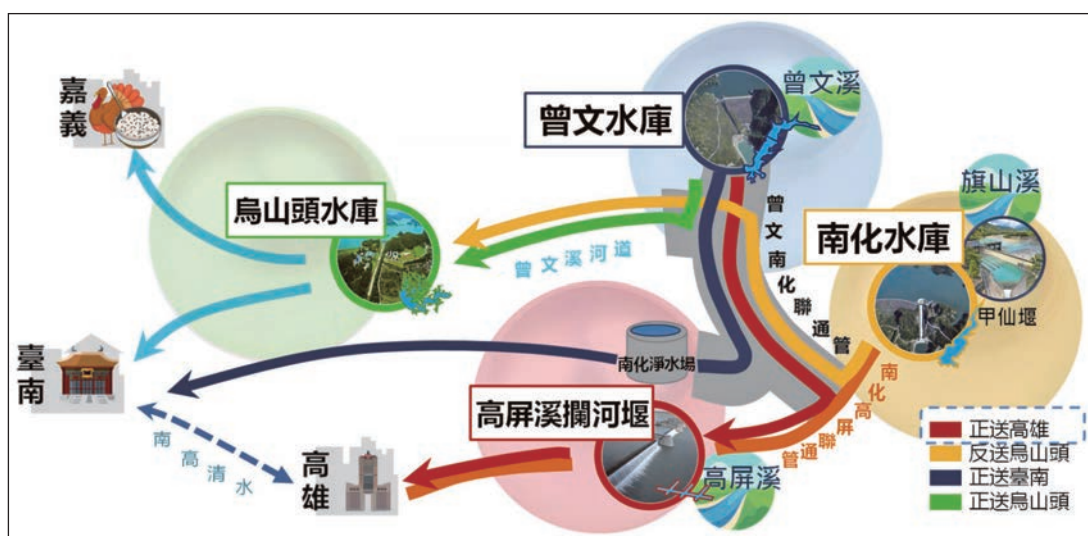


圖 2 曾文南化聯通管輸水四種情境示意圖



1. 正送高雄：曾文水庫之原水經曾文南化聯通管，再轉由原有之南化高屏聯通管輸送至高屏溪攔河堰，可供應高雄地區民生用水。
2. 反送烏山頭：南化水庫之溢流水，經由曾文南化聯通管反送至烏山頭水庫蓄存。
3. 正送臺南：曾文水庫之原水經由曾文南化聯通管，輸往南化淨水場，再由既有之自來水管路支援臺南地區之民生及科技用水。
4. 正送烏山頭：曾文水庫之原水經由曾文南化聯通管，再轉由曾文水庫下游之曾文溪河道放流，再經由東口堰輸水至烏山頭水庫。

由前述可知，僅一條曾文南化聯通管，可雙向輸水，在工程量體上大幅減少但功能

不減，亦大幅減少維護管理的成本。由於各輸水起迄點的高程已預先規劃，使輸水方式得以採用重力輸送，無需依靠電力進行加壓輸水，在營運操作上亦有節能減碳的效益。

二、工程介紹

2-1 工程簡介

本計畫其中之 A2 標（簡稱本工程），由國統國際股份有限公司（簡稱國統公司）及中興工程顧問股份有限公司（簡稱中興公司）組成之統包團隊承攬。本工程之工程布置詳圖 3 及圖 5，管線起點為曾庫公路與市道 175 線銜接點，終點位於省道台 3 線之楠西區與玉井區交界附近，主要沿市道 175 線與省道



圖 3 本工程平面布置圖



圖 4 本工程路線沿線地質圖

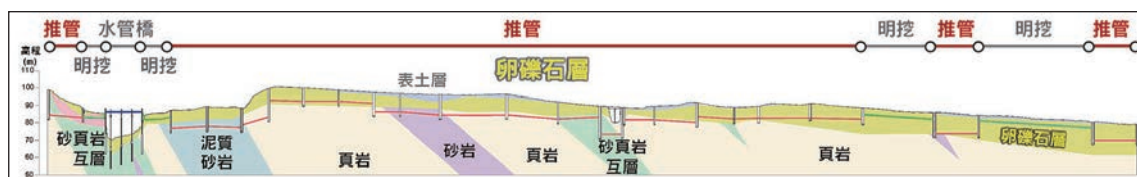


圖 5 本工程工址地質條件及管線布置縱斷面圖

台 3 線施設，管線總長 6,211 公尺，包括明挖段 1,310 公尺、推管段 4,675 公尺（約佔全線之 75%）及水管橋 226 公尺，管徑為 2.6 公尺。其中人口密集與道路狹小地區為降低交通影響，採推進工法方式辦理，共規劃 26 處推進工作井，依管線設計壓力不同，採用水道用推進鋼管（WSP, Water Steel Pipe）（壓力大於 10 kgf/cm^2 ）及延性鑄鐵管（DIP, Ductile Iron Pipe）（壓力未大於 10 kgf/cm^2 ）。

2-2 工程地質

計畫路線之地層單位由老至新依序為竹頭崎層、北寮頁岩、鏡面砂岩、玉井頁岩、階地堆積層以及現代沖積層；地質構造則為玉井向斜，並無斷層經過，如圖 4 之區域地質圖。依據鑽探成果，工區沿線地層主要由回填層、一般土層、卵礫石層、岩層所組成，沿線分布情形如圖 5 所示，其中地表之回填層厚度約有 0.2 ~ 2.5 公尺，其下為厚約 0.3 ~ 4.5 公尺之粉質細砂／粉質黏土層夾粉土；地表下、回填層或砂土／黏土層以下為厚約 0.9 ~ 16.0 公尺（最大鑽探深度以上）卵礫石層，卵礫石層以下主要為砂頁岩層，強度約在 $30 \sim 160 \text{ kgf/cm}^2$ 。

卵礫石層粒徑平均約 20 ~ 30 公分，可達 40 公分以上，局部可達 1 公尺以上，礫石材料

以砂岩或頁岩為主，偶有變質砂岩，少數礫石之力學試驗顯示，強度可達 800 kgf/cm^2 以上。

三、推進工程

3-1 推進機之選用

本工程推進段之管線直徑達 2.6 公尺，為我國歷年來最大口徑推進工程之第二例（首例為台灣自來水公司 106 年竣工，位於新北市之「水量調度幹管及光復抽水加壓站（第一階段）工程」，推進長度達 2,660 公尺），總長 4,675 公尺。為避免掘進時開挖面因複合地層而增加施工困難度，設計上以避開岩土交界為原則，俾使各推進區段之管線位置皆位於岩層或卵礫石層中。考量本工程之推進作業路徑有行經人口較稠密之楠西市區，另有高地下水位等問題，經評估後採用密閉式泥水加壓式推進機。圖 6 為本工程分別使用於岩層及卵礫石層之推進機切削面盤。

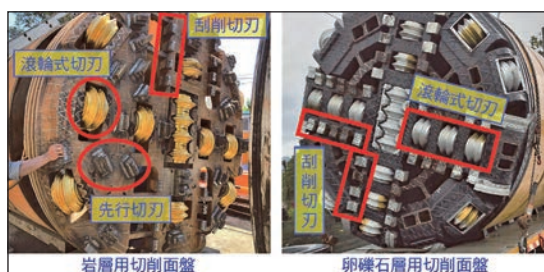


圖 6 本工程使用之推進機



岩層用切削面盤上配置有先行切刃、刮削切刃、滾輪式切刃，其中先行切刃為切削面盤運轉時最先切削及挖鬆岩盤之部份，而滾輪式切刃用以破碎由先行切刃切削後較大之岩塊，再由刮削切刃進一步將地盤切削，並將切削後之岩屑經由面盤開口進入土艙內，於面盤轉動時可將較大之岩塊進行二次破碎。卵礫石層用切削面盤上之配置則僅有刮削切刃以及滾輪式切刃，直接先以滾輪式切刃破碎地中之卵礫石，再由刮削切刃進一步將地盤切削，切削後之土石經由面盤開口進入土艙內，並將較大之石塊進行二次破碎。

3-2 DIP-U2 推進管之施工

本工程之推進管線，管線設計壓力未大於 10 kgf/cm^2 時採用 DIP-U2 型推進管。管

材之銜接方式，為先將插口插入承口，再將橡膠圈推入承口，依序插入組合圈及附有螺栓之壓圈，最後進行螺栓鎖固。DIP-U2 型推進管之接頭構件諸元詳圖 7，接頭安裝流程圖詳圖 8。圖 9 及圖 10 為本工程之使用實例照片。

3-3 WSP 推進管施工技術創新

本工程 WSP 型推進管段（管線設計壓力大於 10 kgf/cm^2 ）約有 1,708 公尺。目前臺灣 WSP 推進施工多採用日本水道鋼管協會之 WSP 雙層鋼管型式（詳圖 11），施工步驟為：(1) 內鋼管內、外銲接及剷修；(2) 內鋼管銲道 RT 檢驗及判讀；(3) 內鋼管內、外塗裝環氧樹脂；(4) 雙層鋼管間填充隔熱材料；(5) 外接縫鋼管銲接。此傳統銜接施工步驟較為繁瑣且耗時較久，故推進機頭及前方管體

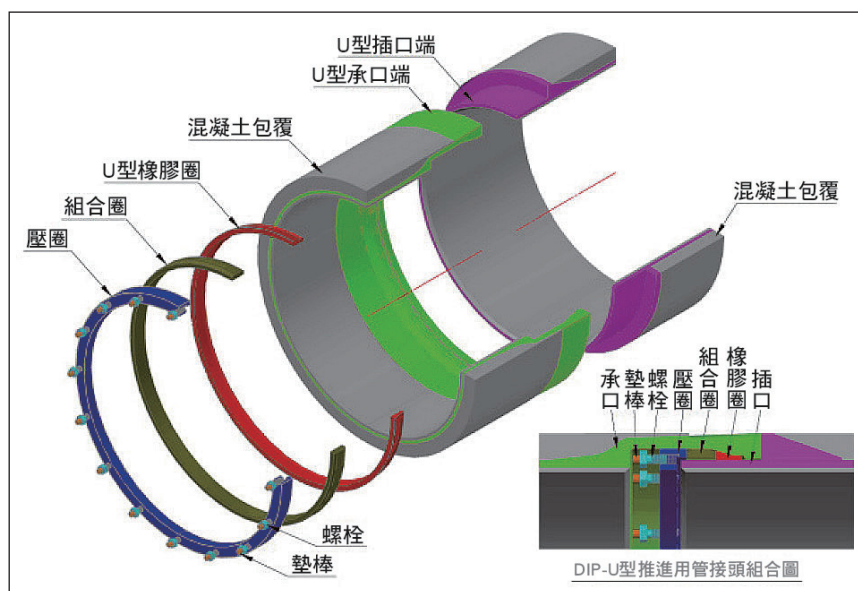


圖 7 DIP-U2 型推進管接頭構件諸元及組合圖

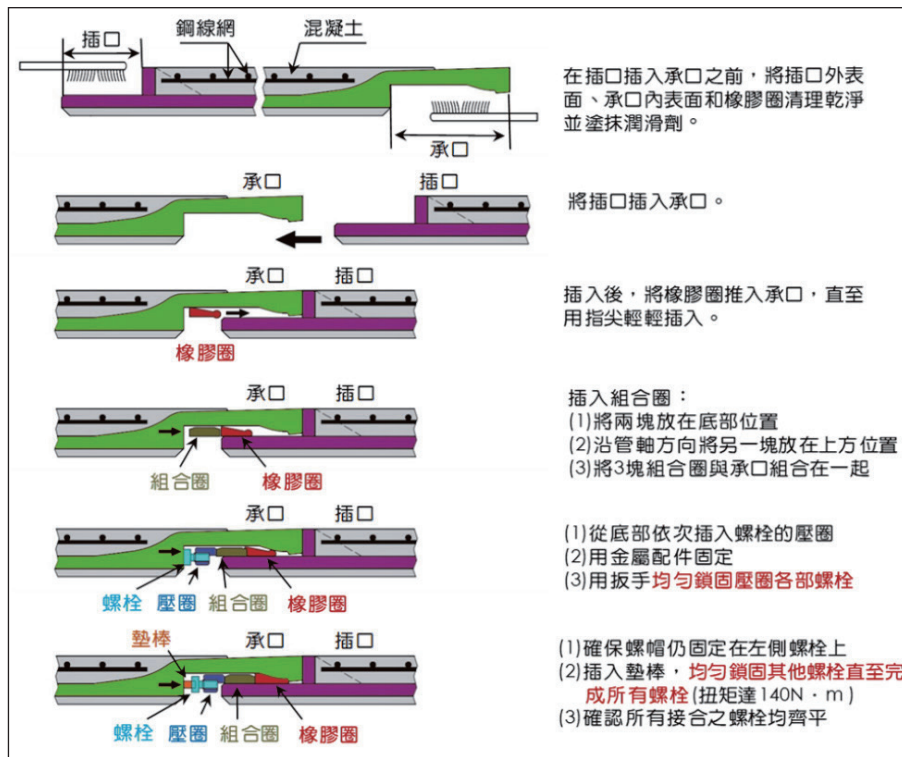


圖 8 DIP-U2 型推進管接頭安裝流程圖



圖 9 DIP-U2 型推進管（長 6 公尺）



圖 10 DIP-U2 型推進管之接頭構件

可能因待機過久而遭受地層擠壓，不易次輪之推進作業，另外銲接施工及相關檢測費用高，且大量的銲接作業有較高之職安風險，皆為傳統 WSP 雙層鋼管推進施工之主要缺點。

國統公司憑藉多年施工經驗，自行研發設計 WSP 雙層鋼管之承插銜接方式（如圖 12），係於推進井 WSP 管內側安裝膠圈後，將前後兩管銜接緊實即可進行下一輪之推

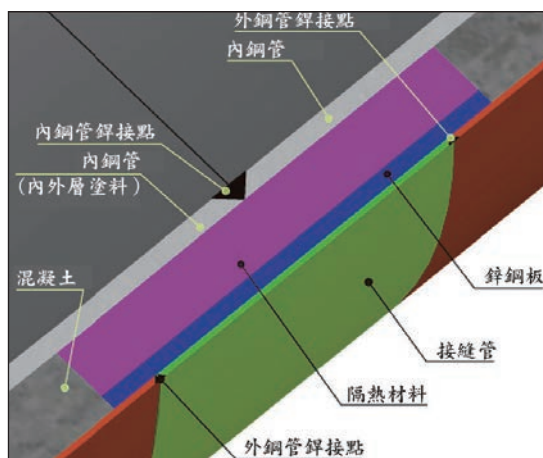


圖 11 日本水道鋼管協會 WSP 銲接方式

進，施工步驟簡單省時，可降低推進風險，同時具有較佳防蝕效果。由於加大接頭止漏橡膠圈之截面積，可使管體在承受不均勻外壓下之承、插口間隙變形量變小，俾提高管材之使用壽命。圖 13 及圖 14 為本工程之使用實例照片。本工程承插式 WSP 在完工後分段試水及全段通水均符合規範要求，並且為 0 漏水量之優異效能，故承插式 WSP 除了在工進上可提升效率，在施工品質上亦有良好表現。

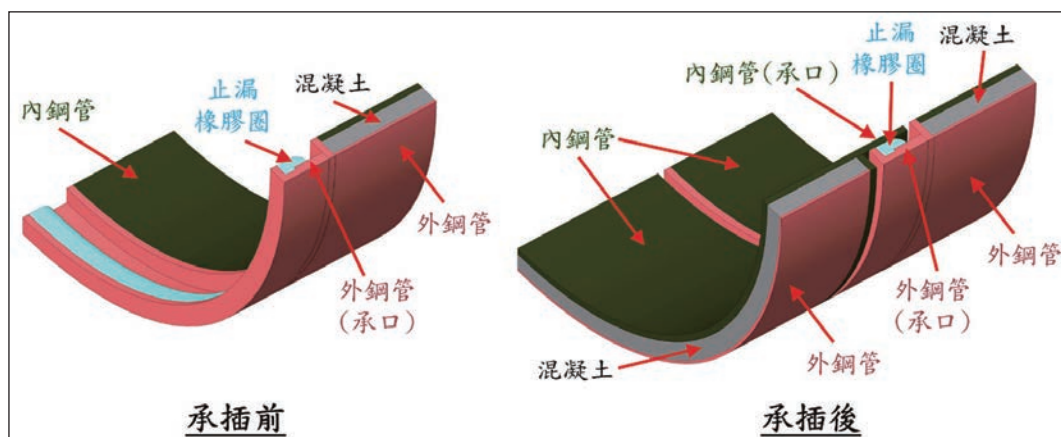


圖 12 國統公司承插式 WSP 之承插銲接示意圖



圖 13 國統公司承插式 WSP (長 6 公尺)



圖 14 國統公司承插式 WSP 承口內緣



四、跨河水管橋

4-1 水管橋之設計

本聯通管工程於通過曾文溪之區段，以跨河水管橋之方式跨越，且並行於現有市道 175 號之曾文一號橋下游側。既有曾文一號橋之橋墩配置間距為 30 公尺，而水管橋之橋墩採配合既有橋梁橋墩位置配置，同時增加跨距至 60 公尺，可增加通洪斷面及減少沖刷，確保水管橋與既有橋梁之耐久性；施工上亦可避免於汛期作業，進而減輕施工風險，並增加工期掌握度。

在橋梁型式的選定，以滿足結構安全之前提下，考量與週遭環境融合度，並儘可能減輕未來養護需求。經評估，採用 π 型補強水管橋（於管梁上下各設置 π 型補強鋼鈑），不僅外型上低調融合環境，且結構行為簡

單、施工便捷、養護簡易，工程材料大幅減少，符合低碳永續的目標。

水管橋基礎型式，在考量減少施工過程對既有曾文一號橋之影響，不採用沉箱基礎型式，而採用群樁基礎，施工安全性高、品質控制佳。橋台型式之選擇，為減少既有邊坡之開挖範圍，降低對環境之衝擊，採用井式基礎之型式。

經以上考量，將原基本設計之水管橋型式予以優化，詳圖 15 之比較圖，優化後之細部設計重點如表 1 所示，圖 16 為水管橋完工後照片， π 型補強水管橋標準斷面如圖 17，橋墩立面圖如圖 18。

原基本設計中對於水管橋橋台與地下管體二者間有配置鋼製可撓管，乃考量於地震時，可撓管可吸收相對位移以達隔離效果，

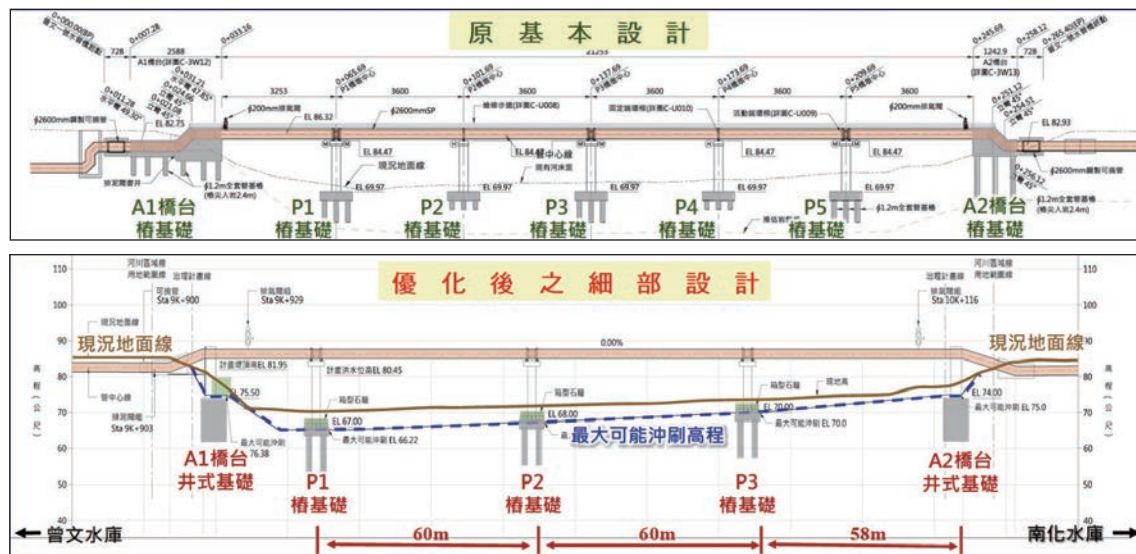


圖 15 水管橋優化設計縱斷面比較圖



表 1 水管橋之設計優化

結構單元	基本設計	優化後之細部設計
橋墩	設置 5 處橋墩 (墩距 36 m)	● 新設橋墩與既有橋墩對齊 ● 加大跨距以減少落墩 (墩距 60 m) → 增加通洪斷面、確保既有橋梁安全
橋墩 樁基礎	3 × 3 群樁 ($\Phi 1.2$ m)	● 加大樁徑 ($\Phi 1.5$ m) ● 減少基樁數量 (2 × 2 群樁, L = 10 m) → 提高工進、增加工期掌握度
橋台	重力式橋台 + 樁基礎	● 柱式橋台 + 井式基礎 ($\Phi 7$ m, L = 12 m) → 減少邊坡開挖、降低環境衝擊



圖 16 完工後之水管橋

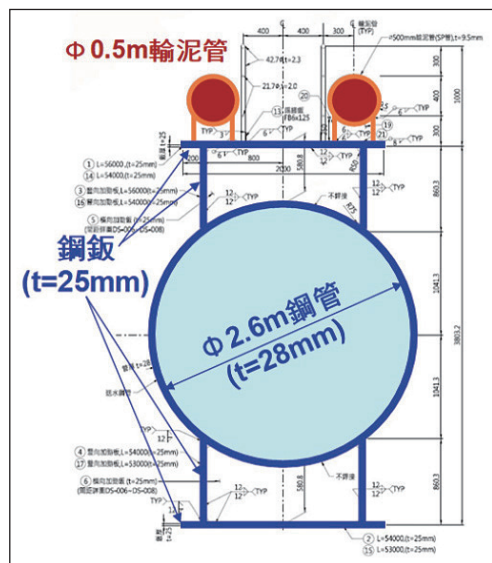


圖 17 π 型補強水管橋標準斷面

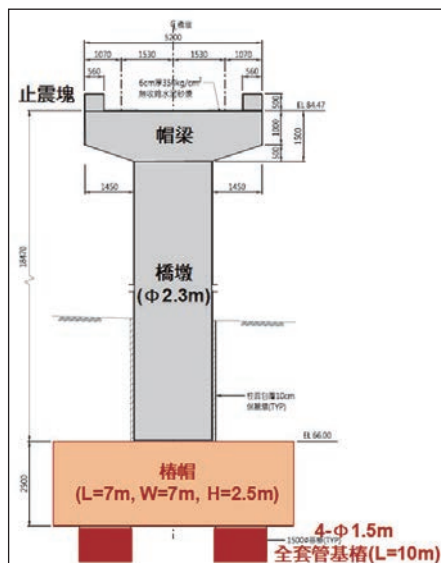


圖 18 水管橋橋墩立面圖



避免結構損壞，延長設施使用壽命。另原基本設計之橋梁型式為連續梁，細部設計則採用簡支梁，為釋放於橋墩節點處之彎矩，除在水管橋前後設置鋼製可撓管，於三個節點處亦配置鋼製可撓管（如圖 19）。契約施工技术規範中規定鋼製可撓管之最大伸長量為 14 公分，最大收縮量為 10 公分，依據細部設計之計算結果，節點之伸縮量最大為 5.94 公分，仍在鋼製可撓管之容許伸縮範圍內。

4-2 跨河水管橋之水理分析

依據經濟部水利署「申請施設跨河建造物審核要點」，曾文一號水管橋之設置需先向

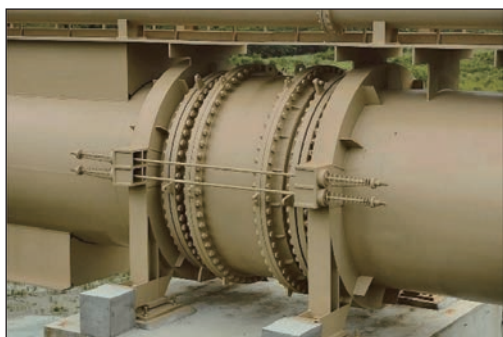


圖 19 鋼製可撓管

主管機關（水利署第六河川分署）提送河川公地使用申請。本工程使用中興工程集團研發之二維水理分析軟體（SEC-HY21）研析新、舊橋梁間之水理特性。二維水理分析項目包括曾文一號橋之既有橋墩（水管橋新建前）、曾文一號橋之既有橋墩與曾文一號水管橋橋墩設置後（水管橋新建後）之重現期距 100 年洪水位、壅水高、流速。

依據「申請施設跨河建造物審核要點」第七條第二項規定，二維水理演算分析成果，其墩前壅高不得超過該河段出水高之 26%，水利署民國 103 年「曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討」採用之出水高為 1.5 公尺，故此河段墩前水位壅高不得大於 0.39 公尺。本工程模擬水管橋新建前後之曾文一號橋附近水位分布情形如圖 20，各橋墩墩前壅高如表 2，顯示設計符合相關規定之要求。

另外針對水管橋新建後對曾文一號橋之既有橋墩墩前流速之影響進行模擬，水管橋新建前後之流速分布如圖 21，可看出因為水管橋橋墩位於既有橋墩之遮蔽區內，故對既有橋墩之流速狀況影響不大，各墩前之流速詳如表 3，墩前流速僅略為增加 0 至 0.02 公尺／秒。

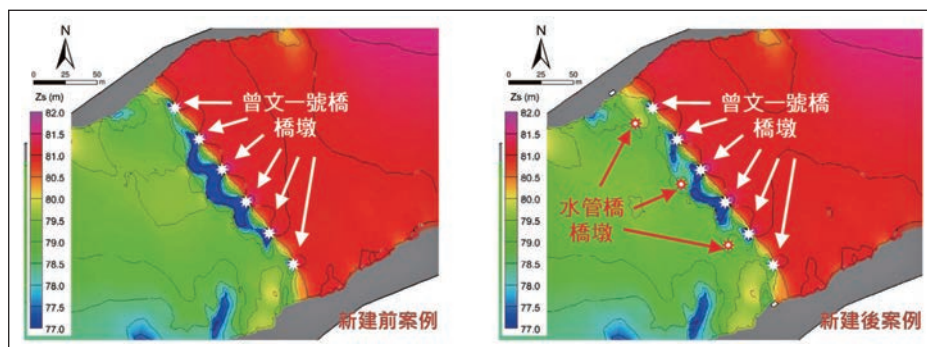


圖 20 曾文一號橋於水管橋新建前後之水位分布



表 2 曾文一號橋墩前水位壅高表

既有橋墩	P1	P2	P3	P4	P5	P6
水位壅高 (m)	+0.03	+0.02	+0.01	+0.01	+0.02	+0.02
二維水理出水高減少率	1.70%	1.10%	0.90%	0.90%	1.10%	1.10%

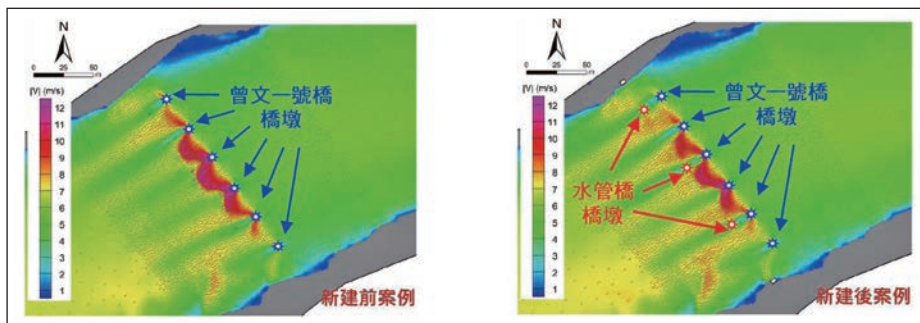


圖 21 曾文一號橋於水管橋新建前後之流速分布

表 3 曾文一號橋墩前流速表

既有橋墩	P1	P2	P3	P4	P5	P6
流速 (m/s)	4.36	5.20	5.37	5.42	5.30	4.30
流速差 (m/s)	0.00	+0.02	+0.02	+0.02	+0.02	-0.02

水管橋完工後，即於 113 年遭遇強烈颱風凱米帶來之大量降雨，曾文水庫放水量最高達 4,350 m³／秒，期間水管橋及既有橋梁均無影響，印證水管橋設計及施工品質無虞。

問公司辦理施工期間環境監測及生態檢核，並依迴避、縮小、減輕、補償等四大原則執行生態檢核之生態保育措施，施工期間均無異常情況發生。

五、生態永續

5-1 環境保育

依據環境部「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第 13 條第 3 項規定，本計畫屬緊急抗旱工程，免實施環境影響評估，但南水分署為重視環境保育，比照環評等級額外編列預算委託專業環境生態顧

為傳達生態永續理念與曾文南化聯通管效益，本工程位於水管橋下游段之曾文一號橋引道週邊區域，設置一處環境教育園區，種植臺灣原生植物，並包括種植特色植物，如後大埔石櫟，以及瀕危的掌葉菜欒藤及三星果藤（如圖 22、圖 23）。另於引道擋土牆面設置環境教育藝術壁畫（如圖 24），以石材拼畫、浮雕陶板、抿石等描繪出曾文南化聯通管之功能效益，宣導永續水循環的理念。

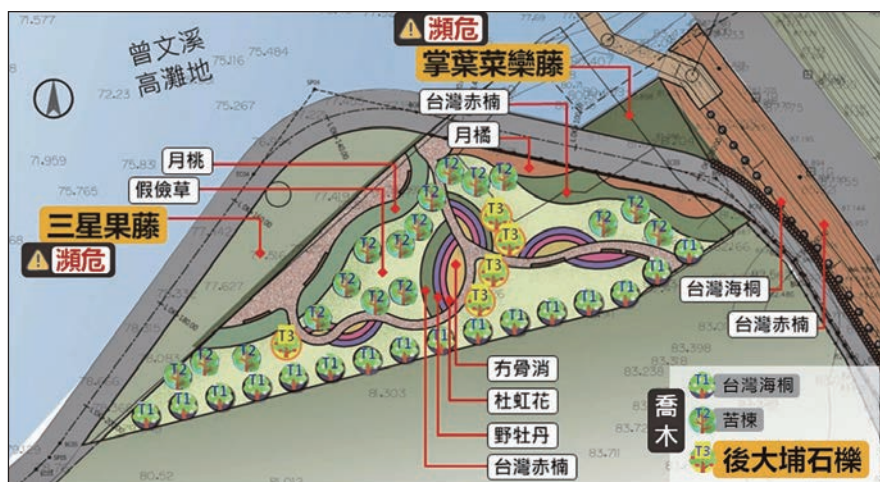


圖 22 環境教育園區植生配置圖



圖 23 環境教育園區現場一隅



圖 24 環境教育園區擋土牆藝術壁畫



5-2 節能減碳

本工程在設計與施工階段，將節能減碳列為重要目標。在設計方面之減碳量合計達 8,939,619 kgCO₂e，包括：

1. 地下管路之施工以推進工法取代明挖覆蓋逾 75%，減碳量達 8,605,918 kgCO₂e。
2. 水管橋減少落墩及工程量體，如原有 5 處落墩減少為 3 處、原設計重力式橋台及樁基礎改以量體較小之柱式橋台及井式基礎、以石籠工法取代混凝土邊坡護岸及作為橋梁防沖刷之混凝土塊結構等，減碳量共計 333,701 kgCO₂e。

施工方面之節能減碳措施，包括活用光電綠能、選用高效機具等，合計減碳量達 34,961 kgCO₂e。另外在環境教育園區中之植樹固碳，減碳量共計為 44,130 kgCO₂e／年。

六、結論

曾文南化聯通管為重力式雙向輸水、串聯曾文水庫、南化水庫、烏山頭水庫、高屏溪攔河堰等 4 座蓄水設施的備援系統，可靈活調度水資源、永續水循環，有效健全南部供水系統，增強基礎建設之韌性。

本工程之推進工程管線直徑達 2.6 公尺，為我國歷年來最大口徑推進工程之第二例，推進機採用密閉式泥水加壓式推進機，以因應岩層或卵礫石層，以及高地下水位之施工環境。另本工程使用之 WSP 管材，為研發改良後之承插式 WSP，係於推進井 WSP 管內側安裝加大之止漏膠圈後，將前後兩管銜接

緊實即可進行下一輪之推進，可加速工進，並降低施工風險，同時具有較佳防蝕效果，延長管材使用壽命，在壓力試驗成果亦有「零漏水量」之良好品質成果。

跨河水管橋之設計，將跨距增加至 60 公尺以減少落墩，可增加通洪斷面、減少沖刷，亦可避免於汛期作業，減輕施工風險。並以滿足結構安全之前提下，考量與週遭環境融合度、減輕養護需求，採用低調融合環境之 π 型補強水管橋。經二維水理演算分析水管橋對既有曾文一號橋之影響，不論在墩前水位壅高、流速，均符合「申請施設跨河建造物審核要點」之規定，且影響甚小，使新建水管橋對既有環境衝擊降到最低，提升耐久性。

本工程計畫比照環評等級辦理施工期間環境監測及生態檢核，同時在節能減碳的實踐上，分別從工程設計與施工面進行，設計上包括工法替代（推進工法取代明挖覆蓋）、水管橋等工程量體減量、植樹固碳，施工方面採用光電綠能、選用高效機具等，為環境永續盡一份心力。

本工程於 112 年榮獲第 17 屆推動職業安全衛生優良工程金安獎優等，更於 113 年第 24 屆公共工程金質獎榮獲水利工程類第一級工程優等，不僅在規劃設計、施工及維運階段之職安措施優良表現受到肯定，在永續效益和工程品質上也得到評審認同。

參考文獻

1. 國統國際股份有限公司，曾文南化聯通管統包工程 A2 標服務建議書，2020。
2. 國統國際股份有限公司，曾文南化聯通管統包工程 A2 標「補充地質調查報告書」，2020。
3. 國統國際股份有限公司，曾文南化聯通管統包工程 A2 標「推進工程分項施工計畫（含品質計畫）」，2020。



重建洄家之路—田寮洋一、二、三圳取水設施更新改善工程

中興工程顧問股份有限公司水利工程部組長 / 楊佳寧
前人禾環境倫理發展基金會資深經理 / 方韻如
農業部農田水利署北基管理處工務組組長 / 戴聖宏

關鍵字：灌溉用水、河相學、近自然工法、縱向生態廊道、洄游生物

一、前言

遠望坑溪是雙溪河入海前最後一條匯流的主要支流，也是許多洄游魚、蝦、蟹、螺類上溯利用的潛在生物廊道。溫暖的黑潮帶來極豐富的洄游物種，使得遠望坑溪的生物多樣性在台灣溪流中名列前茅。原本遠望坑溪設有三座取水堰（從上游至下游簡稱一堰、二堰、三堰），其堰體高度均超過 1 m，其中以 2.1 m 高的三堰最為嚴重，魚兒躍起後撞牆的畫面屢見不鮮。此外，二堰至三堰河段淤積，在枯季常斷流，使三圳每年幾乎都有一個月以上時間乾涸無法取水。109 年，當時的林務局指認田寮洋濕地與遠望坑溪為串連森、川、里、海的示範區，110 年在行政院「國土生態保育綠色網絡建置計畫」之經費補助的經費補助下，農田水利署北基管理處遂啟動三座堰體的更新改善，確立計畫願景

為「灌溉設施與生態共融」，主要目標為：「在滿足灌溉需求、不增加防洪風險、不增加維管負擔之前提下，恢復溪流縱向生態廊道」。

二、計畫基本資訊

本計畫各階段之詳細內容，可參考計畫成果報告書（農水署北基管理處，113 年）。

- **地點：**新北市貢寮區，雙溪河支流遠望坑溪（圖1）。
- **範圍：**固床工1至一圳取水堰，約1.1公里（圖2）。
- **經費：**規劃設計及生態調查案509萬元，工程費695萬元，皆由國土綠網補助。
- **規劃設計：**中興工程顧問股份有限公司
- **生態調查：**前人禾環境倫理發展基金會
- **施工廠商：**十大營造有限公司



- 監造單位：農水署北基管理處基隆工作站
- 計畫內容：規劃設計與生態調查案如

圖3，工程內容如圖4、圖5。

- 施工期間：112年1月3日至112年5月27日。

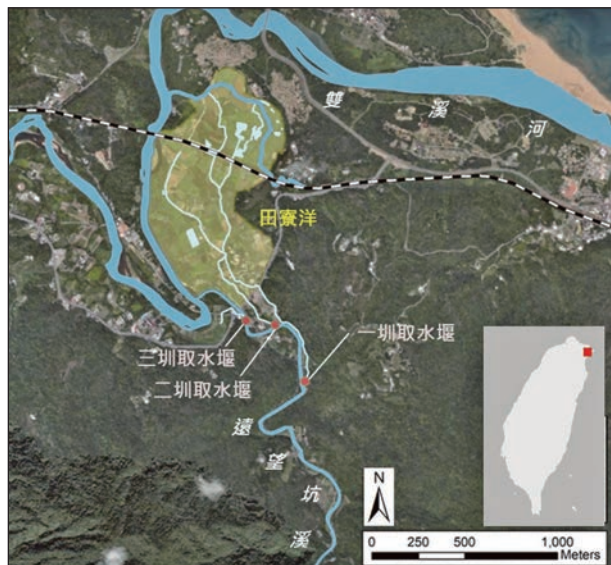


圖 1 計畫地點

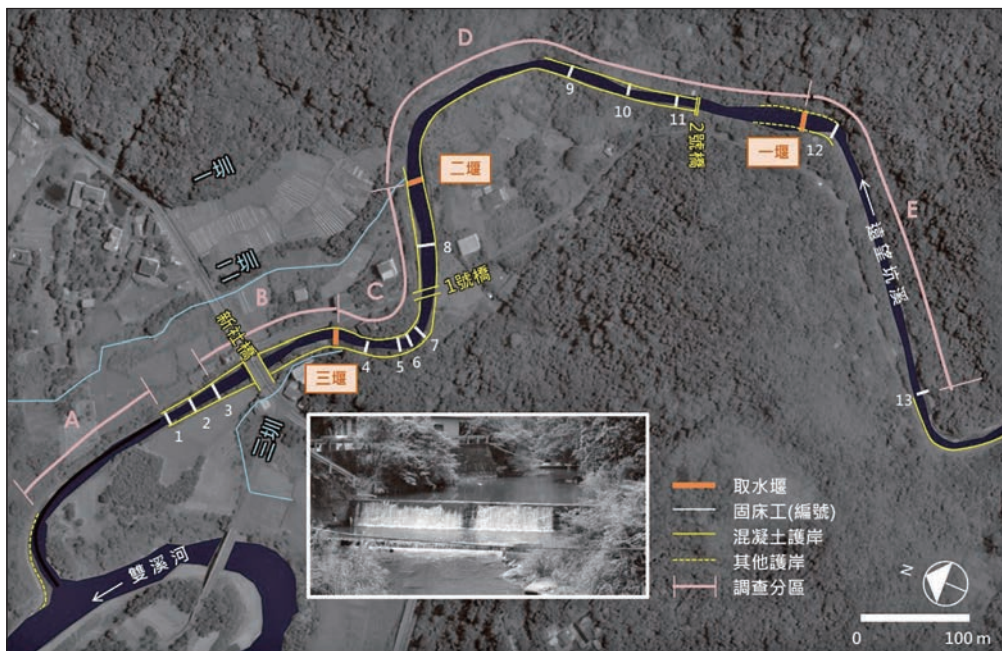


圖 2 計畫範圍及改善前構造物分布

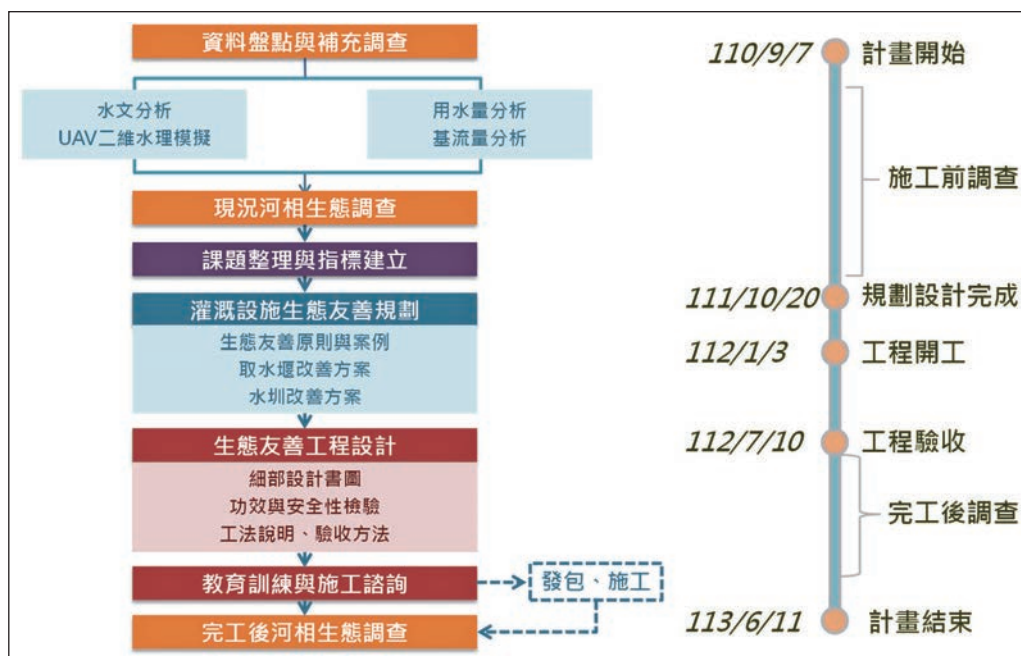


圖3 規劃設計與生態調查案工作項目與期程

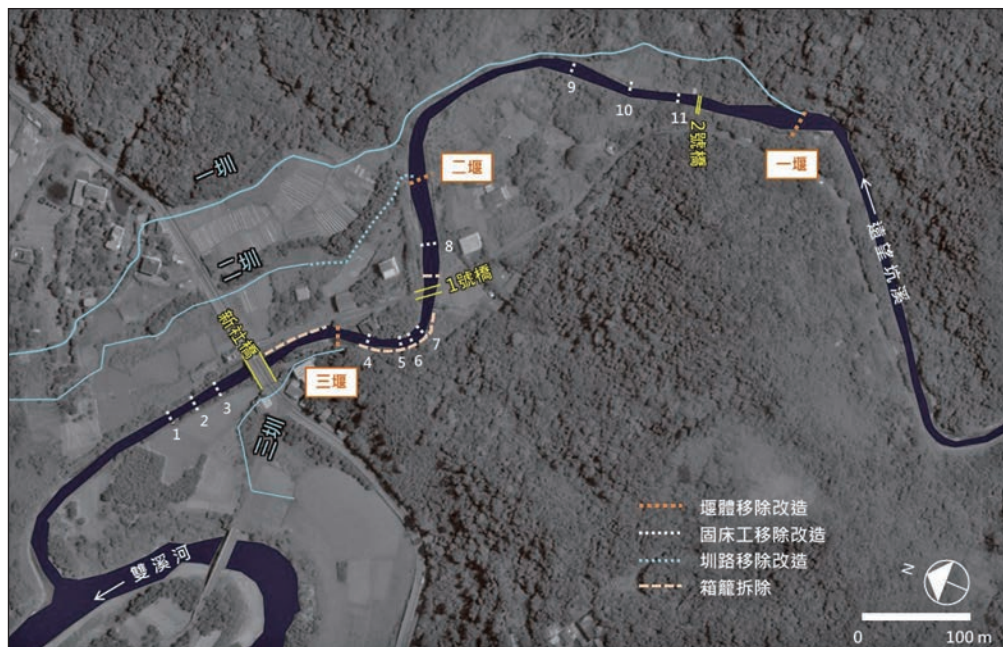


圖4 減法工程移除之構造物

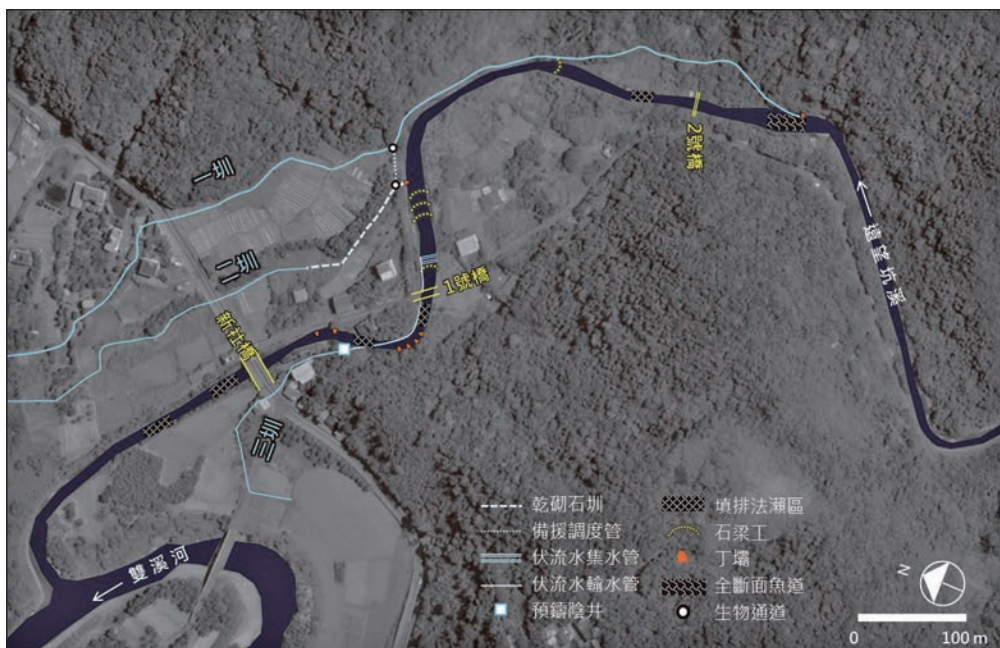


圖 5 近自然工法及新設之取輸水設施

三、計畫課題與潛力

課題

首要課題為生態阻隔：2.1 m 高的三堰

阻斷生物洄游路徑，回家成了一條撞牆之路（圖 6）。一堰（1.3 m）、二堰（1 m）及多座固床工也都可能阻礙生物通行。此外，堰體及固床工也阻斷輸砂，讓洪水難以形塑潭、瀨棲地。

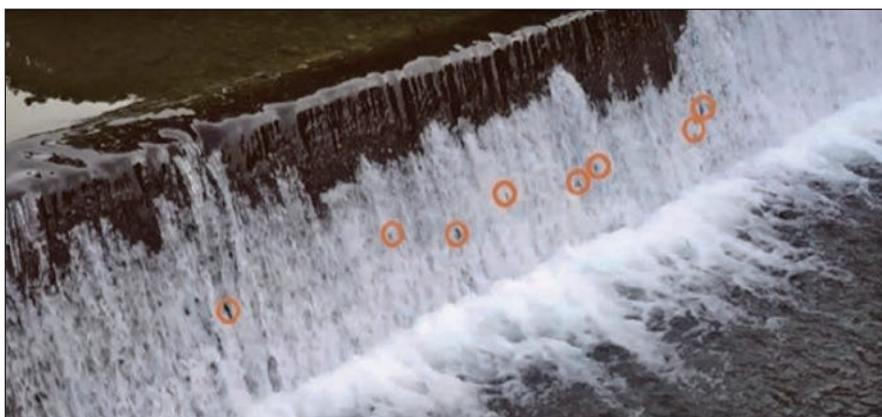


圖 6 三堰影片「回家是一條撞牆之路」(2018 年 3 月)

來源：<https://www.youtube.com/watch?v=3EqVUniM4VI>



此外，二堰至三堰河段淤積，且三堰下方已有裂隙，在旱季易伏流，因此三圳每年幾乎都有一個月以上乾涸無法取水。就穩定供水的職責而言，舊有構造物亦有改善必要。

潛力

遠望坑溪上游為水質保護區，林相完整，岩層強度不弱，土砂災害潛勢低。下游雙溪河仍保有天然河相，在北台灣絕無僅

有。黑潮每年帶來豐富的洄游物種，在被構造物阻隔前的短短 2 km 溪段內，過往曾紀錄 61 種台灣原生魚蝦蟹螺，其中河海間移動需求種佔總數之七成。下游僅 100 公頃大的田寮洋濕地，曾紀錄全台灣一半以上 310 種的鳥類。109 年林務局指定田寮洋濕地與遠望坑溪為串連森、川、里、海的示範區（林務局，109 年），正是因為其復育潛力無窮，只要改善物理棲地（河相），即可能顯著提升生物多樣性。



圖 7 改善前三堰旱季乾涸情形



圖 8 田寮洋的鑲嵌式地景（左）及近年推出的友善農作品牌米（右）



此外，遠望坑溪是難得的環境教育場域，從溪旁道路可前往熱門的草嶺古道，假日遊人眾多。在地 NGO 長期輔導田寮洋農友朝生態友善轉型，近年已推出品牌米。復育後的遠望坑溪可望展現生態連結，支持社區的環境教育，也吸引外地人前來親水賞魚，成為貢寮生態旅遊產業的一環。

四、規劃設計概要

基本策略

本案採用兩大基本策略，以達成灌溉設施與生態共融之目標。一為應用河相學（fluvial geomorphology）的原則指導規劃設計，使完工後的溪流樣貌可由自然洪水及來砂維持。二為採用近自然工法（naturnaher wasser-bau）重建溪流骨架，師法溪流中塊石

卡合而成的天然固床工（福留脩文，2012），取代混凝土固床工（圖 9）。

水文分析與水理模擬

為同時滿足灌溉取水與生態復育的需求，除洪水模擬外，常流量乃至於早期的流量均需要掌握。水文分析部分，以 HEC-HMS 軟體推估遠望坑溪常流量，並以雙溪流量站實測紀錄作參數檢定，得知集水區在極端枯旱情境（95% 超越機率流量）下，取用水權量容易導致遠望坑溪斷流，因此建議採現況「需取用水量」，使三圳取水後，河道內能保有 0.029 cms 之基流量。

水理模擬部分，建立 HEC-RAS 二維水理模型，發現除了下游暴潮壅高的情境，遠望坑溪溢淹風險不大，主要風險來自混凝土構造物過於光滑，易使溪流能量集中而破損。

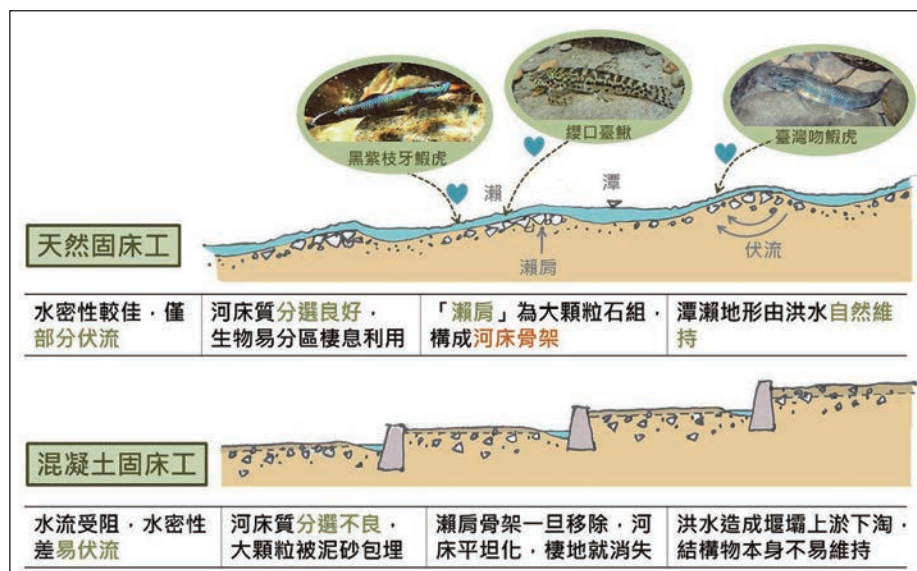


圖 9 天然固床工與混凝土固床工的差異



河相生態評估指標

本案在施工前、後均有河相生態調查，因此需先擬定可操作的績效評估指標，以具體量化棲地改善成效。河相評估指標如圖 10。在

施工前調查中，二堰至三堰間受制於河道內橫向構造物，河段包埋嚴重，缺乏生物能利用的表面及石縫，且河床質分選不良，難以形成健全的潭瀨結構。水理模擬顯示，在早期一般用水情境下，多處構造物會造成斷流（圖 11）。

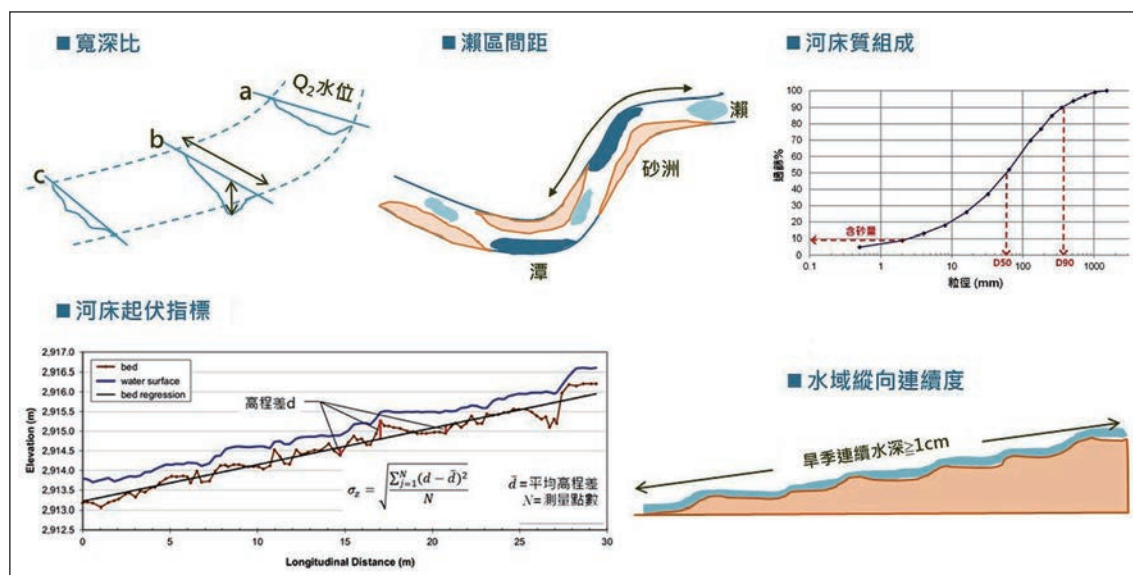


圖 10 反映復育前後棲地品質的河相指標

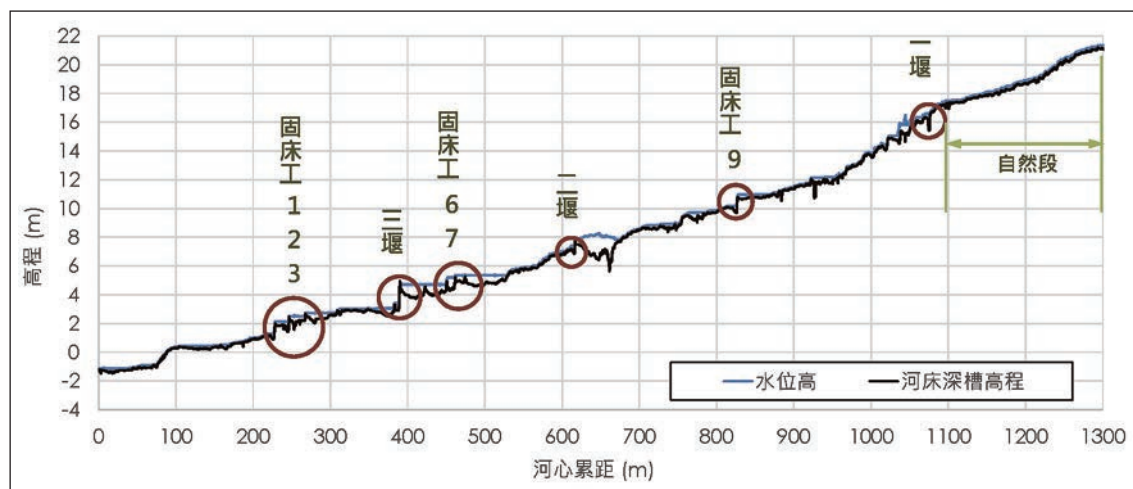


圖 11 施工前水理模擬縱向生態廊道斷流情形

生物調查分成 A ~ E 五區（圖 2），以浮潛及拍照調查為主，輔以踢擊網捕及籠具誘捕，不使用電魚法。調查結果確認了構造物上下游棲地退化、縱向廊道受阻的情形。

生物相之改善目標，包含 (1) 三堰上游的物種增加；(2) 生物受阻的現象減輕；(3) 各區改善前後的物種組成及數量變化；(4) 對山溪自然河相高度依賴的指標物種增加。

工法與設計重點

1. 取水工法

三座堰的替代方案分別採用因地制宜的三種不同工法，且盡可能就地取材，透過近自然工法重建溪床骨架，達成兼顧用水與生態的目標。

(1) 三堰：移除 → 取河床下伏流水

參考百年前二峰圳之設計理念，在原三壩上游河床，埋設 4 根繞線式不鏽鋼集水管取伏流水，接 HDPE 管從河床下輸送至三圳。集水管外圍包覆三層濾層，管端設反沖洗維修管，以因應各種可能的維護需求。另於三圳入水口設置一座豎井，井內有制水閘、排砂閘，以利水量調控與排砂操作。

(2) 二堰：大部分移除 → 潭區自然引水

「潭尾取水」是混凝土構造物問世前，水利工程師觀察溪流、順應河相的取水方法。二堰原本高程過高，造成其下游河床每年有大面積無水斷流。設計移除 80% 堰體，使河床及取水口一同下降 50 公分，即可利用取水口位於天然潭尾的優勢，實現無堰引水。也因此堤防需隨取水口一同局部調降 50 公分。

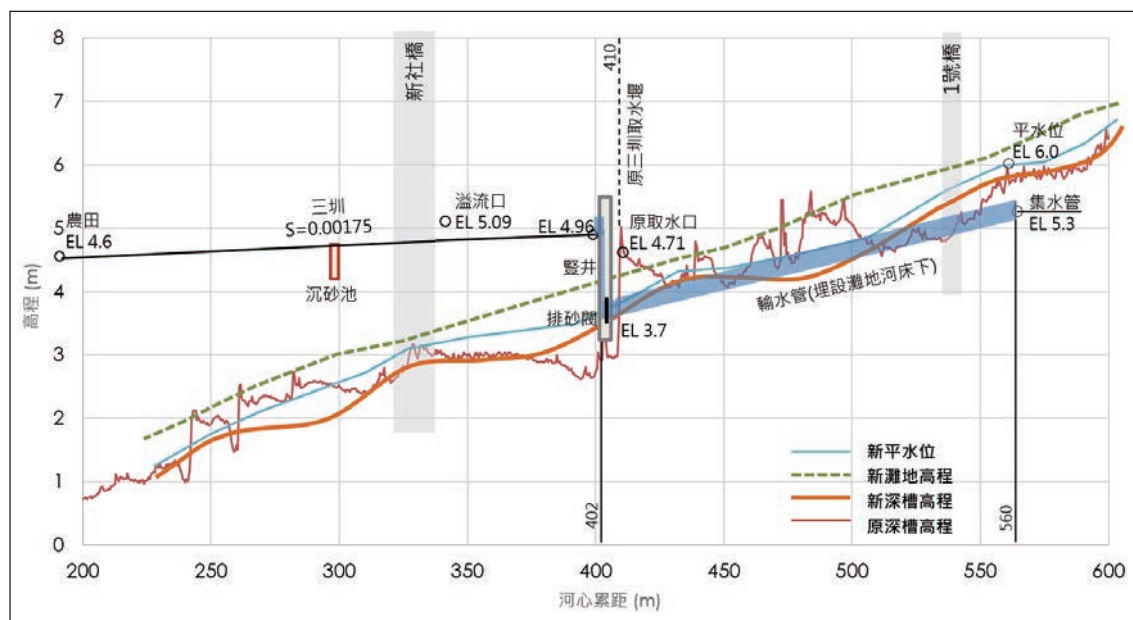


圖 12 三圳伏流水取輸水規劃



圖 13 繞線式不銹鋼集水管及濾層鋪設情形

(3) 一堰：大部分打除 → 全斷面魚道

堰體 80% 打除，保留的堰體與現地塊石組合成一連串拱形的「全斷面魚道」，其構造仿效自然溪流的階潭(step-pool)地形，每階落差控制在 20 cm 內，讓不同流量下，生物都可找到通行的路徑。

道打除，利用其殘塊及現地石材，改為多孔隙的生態水圳。砌石階梯供管理者使用，也為不慎落入的小動物提供逃生通道。此段一側鄰山壁，自然匯聚地下水，故圳底未經防滲處理，仍可保持水量，以自然流入的泥砂保水。

(4) 二圳改善段：打除 → 生態友善水圳

二圳起始的 132 公尺區間，因應取水口降低而一併調整，將原三面光混凝土渠

2. 近自然工法

近自然工法的主要功能，是形成河床、河岸初期的安定骨架，經洪水及土砂作用，

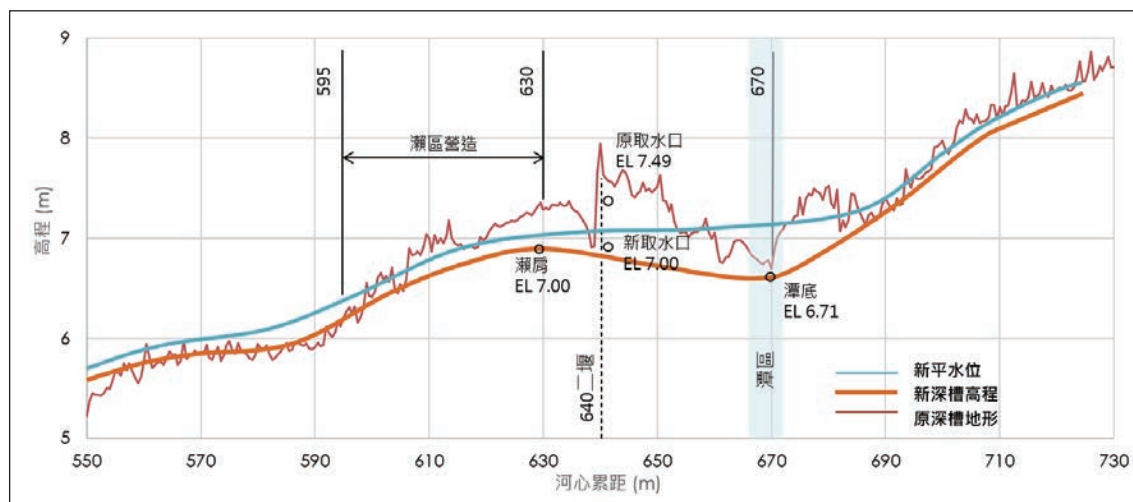


圖 14 二圳潭區自然引水規劃

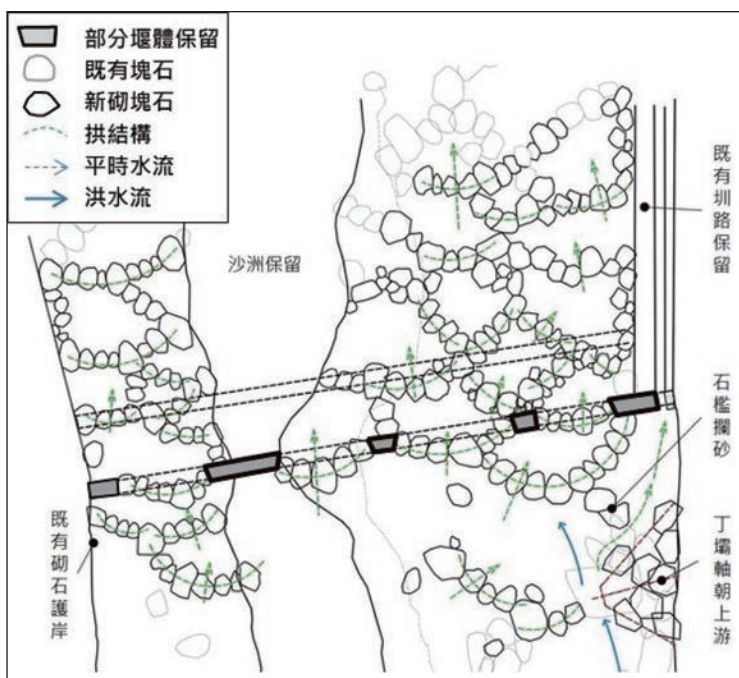


圖 15 一堰改造為全斷面魚道平面圖



圖 16 二圳改善段施工中（左）及完工後（右）

最終形成穩定的潭、瀨結構。材料皆就地取材，設計階段分析力石（Keystone）安定性，以決定所需塊石尺寸。設計階段使用水理模擬檢核方案河段水勢及水位，確認方案內容對防洪有正面效益，且具減緩水勢效果，可

提升安全性。主要施做單元如下。

- (1) 全斷面魚道：多拱交錯相連的階梯結構（圖15），用以取代一堰的落差。該處坡度達3%且塊石豐沛，可形成安定骨架。



(2) 石梁工：橫跨溪床的乾砌石連拱結構，設置於河床波高點的瀨肩位置，作為安定的河床骨架。本案於三圳集水管下游配置一座、二圳取水口下游側配置三座石梁工，以維持取水口水位。

(3) 填排法瀨區：師法自然瀨區的石組結構，在交錯配置的拱形溝內，填入塊石與卵礫石的混合材料，再經水流冲刷而成。本案設置5組，以取代原有的混凝土固床工，形成瀨區。

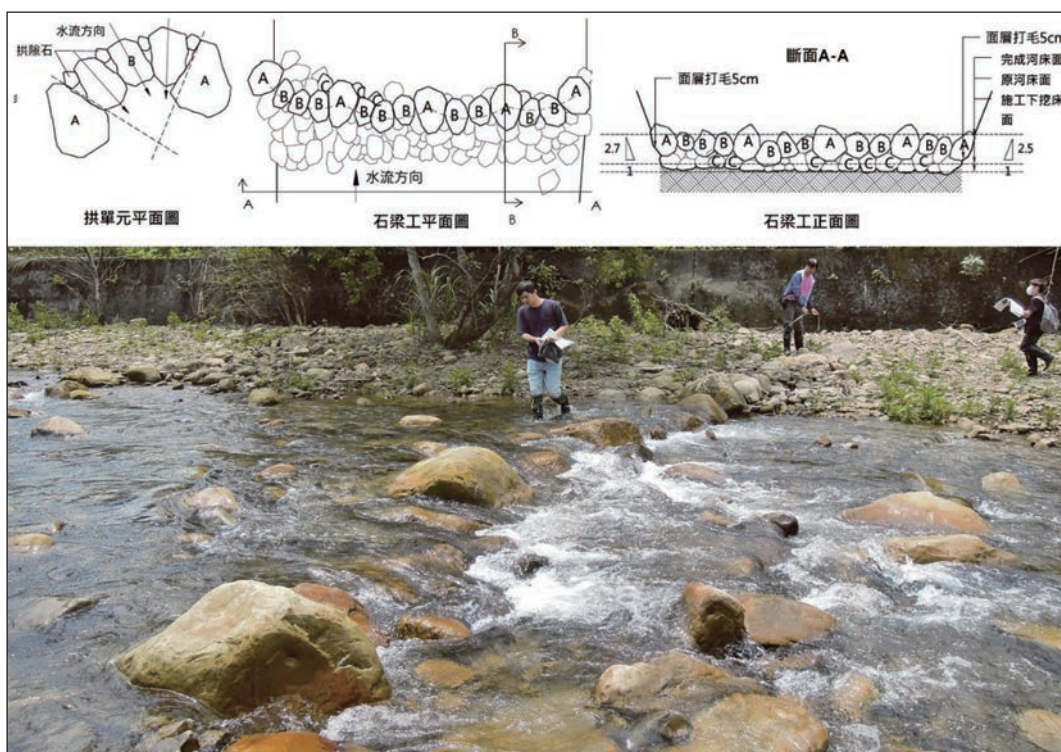


圖 17 石梁工設計圖（上）及驗收情形（下）



圖 18 填排法瀨區平面圖（左）及完工後（右）



(4) 丁壩：丁壩主要設於彎道攻擊岸，保留一小段堰體或固床工不打除，外部再以砌石包覆而成（圖19）。若水衝點原本無構造物，則新設砌石丁壩。丁壩前

端經洪水掏刷可形成潭區，創造魚類棲息空間。二圳及一圳取水口也設丁壩挑流，目的在於避免洪水直衝取水口，並維持安定水深。



圖 19 固床工局部改造成砌石丁壩施工中（左）及完工後（右）

五、工程特色

沒有「標準斷面」

由於設計以健康河相為依據，最終 50 道設計斷面沒有 2 道是一樣的，即便是固床工打除調整，也需因蜿蜒河形變化而需調整流心、兩側坡度，及構造物保留範圍。另一方面，就地取材需保留現場調整空間，使得施工、監造與設計端的溝通協調格外重要。

施工前教育訓練

由於本案採用的近自然工法在國內尚無先例，因此由設計單位培訓營造廠及監造人員，施工期間辦理室內教育訓練與室外實作，確保工班了解施作重點。設計團隊於施

工過程針對設計內容提供諮詢服務，協助排除現場障礙。

機能驗收

近自然工法強調與自然協作，經洪水泥砂作用後，達到更安定的形態，因此塊石局部變動為可預期，就算部分塊石流失，只要上游料源未被阻絕，可自然形成新的結構，發揮系統性功能。本案未將近自然工法部分認定為結構物，因此不設「保固期」，而採機能驗收概念，由設計單位提供施工停留點查驗表單，供監造單位使用。

河道內不使用混凝土

全工程採用現地自然材料施作，除了預鑄豎井外，未使用混凝土，因此得以避免水



圖 20 近自然工法室內砂箱推力測試（左）及室外一堰改造實作（右）

中灌漿的水質污染風險，以及混凝土構造物因缺乏孔隙與韌性，易在洪水後破損的風險。也由於混凝土製程的高造價、高耗能與高排碳，不用混凝土即意謂工程費及碳排量的大幅降低。

挖填平衡，不產出廢棄物

施工期間混凝土打除量體達 200 立方公尺以上，其殘塊全部就地利用，包括填塞護

岸基腳掏空處、回填至床面 0.5 m 以下（表層為自然卵礫石）、施作砌殘塊水圳、沉砂池及生物通道襯砌等。最終在挖填平衡之下，恢復遠望坑溪健康潭瀨，清運的廢棄物僅居民於圳旁堆置的垃圾。

六、完工成果

以下為施工前後對比照。依里程由下游至上游排列呈現，照片不另編號。



固床工 1 ~ 3 施工前（111.07）



完工後（112.06）



三壩施工前 (111.08)



完工後 (113.05)



三壩施工前 (111.04)



完工後 (113.01)



三壩上游施工前 (111.07)



完工後 (113.01)



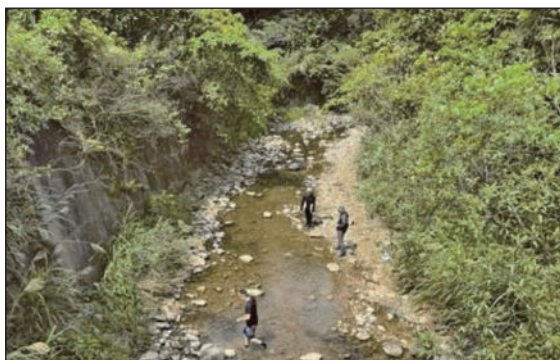
固床工 4 施工前



完工後 (113.01)



一號橋下游施工前 (111.07)



一號橋下游完工後 (113.04)



一號橋上游施工前 (110.10)



一號橋上游施工前 (110.10)



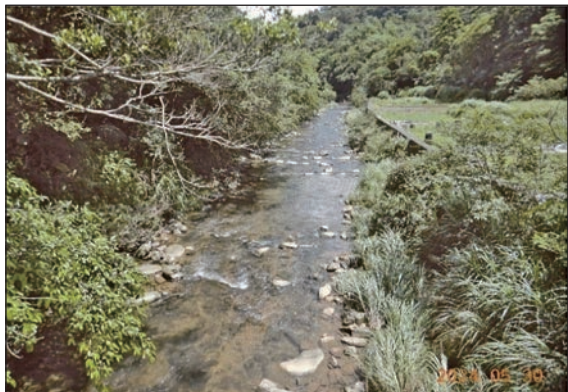
二堰施工前 (111.04)



完工後 (112.11)



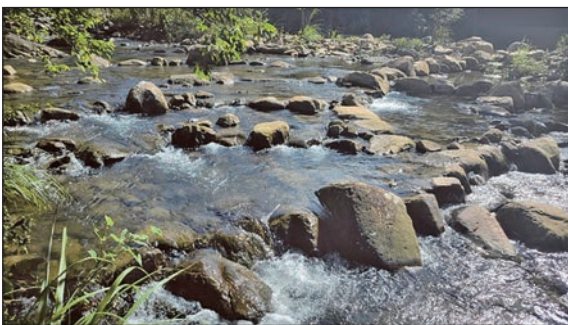
固床工 11 施工前 (110.07)



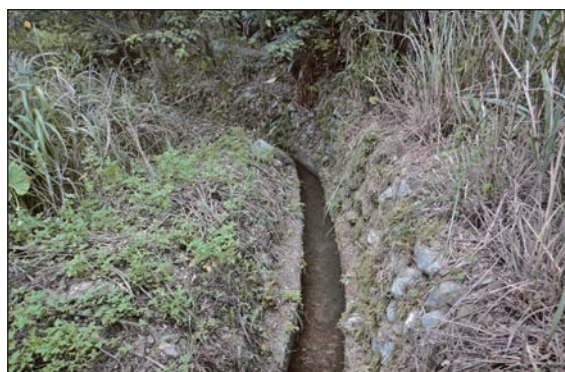
固床工 11 完工後 (113.05)



一堰施工前 (108.04)



一堰全斷面魚道完工後 (112.06)



二圳改善段施工前 (111.09)



二圳改善段完工後 (112.07)

七、生態檢核

本案於核定、設計、施工、維護管理階段均辦理生態檢核，其中設計階段之成果成為施工階段的執行依據；維護管理階段指出完工後仍有少數斷面可能阻礙生物通行，主辦機關亦依此於 113 年辦理局部調整，以達成全區水域廊道連續的目標。

設計階段

指認保全對象，包括流路中已發揮固床

功能的既有石組、灘地上樹齡較高的喬木、二堰上游深潭區、風水設施等，如圖 21。

主要生態保育措施包括機具由新社橋下游及一堰上游進場，施工便道完全避開深潭，也未擾動二堰至固 9 之間的自然溪段。需保全的樹木均原地保留。一號橋上游原預定埋設集水管處會擾動右岸的大水柳。設計調整後集水管往上游移動 20 m，同時以石梁工保護水柳。完工後水柳生長狀況良好，成為從一號橋往上游眺望遠望坑溪的風景。

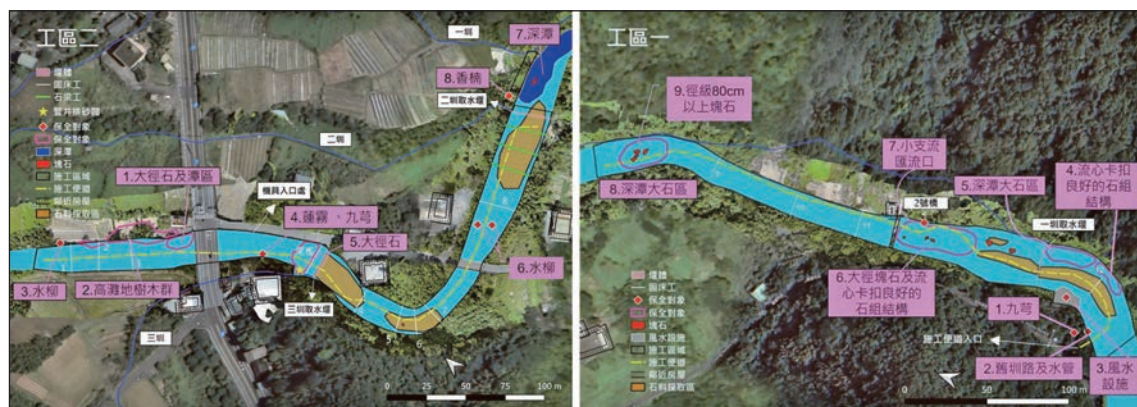


圖 21 生態關注區域圖



圖 22 設計階段指認保全的水柳（左）及完工後（右）

維護管理階段

由於近自然工法應用於灌溉取水與溪流復育尚屬實驗性質，故本計畫於完工後仍延續辦理河相生態調查監測，如此亦使得設計與施工有滾動檢討與微調的機會，符合自然解方（Nature-based Solutions）的準則（IUCN, 2020）。113 年 4 月的河相調查發現，有部分斷面在早期仍可能阻礙生物移動，維護管理階段的生態檢核建議處理。北基管理處隨即於以小額採購方式辦理局部改善工程，改善後，已達成計畫範圍 100% 連續縱向廊道。

例如伏流水集水管下游石梁工在數場洪水後呈現較大落差，經砌石工班手工作業調整，創造一道較平緩的水路（圖 23）。又如固床工 9 在設計時，刻意保留混凝土塊未完全打除，施工時使用的塊石尺寸較大且未深埋河床，經洪水冲刷，在早期形成數十公分的落差。這部分由工班以手持破碎機打除混凝土塊，調整成緩坡，消除上溯阻礙（圖 24）。

仍待調整的是原三堰上游輸水管橫跨溪床段。設計階段為滿足管底排砂需求，輸水管難以深埋。113 年 10 月山陀兒颱風後，局部河床冲刷使得 HDPE 輸水管兩端出露。目



圖 23 調整石梁工塊石，創造早期生物通道（113.07）



圖 24 固床工 9 落差打除，營造緩坡（113.07）

前尚不阻礙生物也不影響供水，後續擬延長輸水管，埋入溪床，減少因管材外露而增加的安全風險。

八、公民參與及跨機關協調

遠望坑溪為新北市管其他排水，由貢寮區公所管理。111 年 7 月 19 日於貢寮區公所召開「遠望坑溪固床工打除、護岸破堤說明會」，報告設計構想。最終與區公所達成協議，固床工拆除後，溪床之後續維護管理由本案主辦機關負責。

自設計階段的生態檢核工作起，團隊即訪談利害關係人及辦理現勘，說明工程緣由及設計構想，並了解在地居民、農友及生態專業者對本案的需求與期望，將意見蒐集後反饋至設計。由於設計內容與農友熟悉的混凝土工法差異甚大，112 年 2 月辦理施工說明會時，部分灌戶對於拆除堰體及近自然工法仍不認同，認為混凝土構造物較堅固可靠，經努力溝通，勉強同意試試看。會中居民討論到若觸怒一堰上游的「石棺」，將七孔流血的在地傳說，設計單位於是調整設計，避開「石棺」。



圖 25 施工說明會（左）及會後水利小組長指認的「石棺」（紅圈處）



施工期間適逢灌溉期，有農友擔心堰體移除後的取水效果，要求怪手加排塊石導流，並自行鋪上塑膠布。另一方面，亦有居民捐信至工作站表達對溪流復育的支持（圖26）。所幸113年稻作期結束，三條圳路皆能順利供灌，且三圳供水狀況明顯改善，農友態度也逐漸轉為認同。收成後，先後經歷凱米颱風與山陀兒颱風，其中山陀兒颱風在鄰近雨量站測得之時雨量達62 mm，近自然工法施作部分雖然有局部塊石改變位置，但整

體供灌與生態機能完好，達成預期的韌性需求，也讓居民鬆了一口氣。

由於改善後三圳伏流水取水潛能大增，甫完工的112年7月，曾發生誤開三圳取水閘，導致集水管下游河床在短時間完全乾涸，造成魚類死亡的憾事。之後工作站將豎井內的主要制水閘鎖住，另於出水口裝設小型開關，控制灌戶能直接操作的最大水量。農田水利署管理組亦於113年1月起在遠望坑溪及三條圳路，裝設水位計及智慧水錶監控用水量，同時觀察

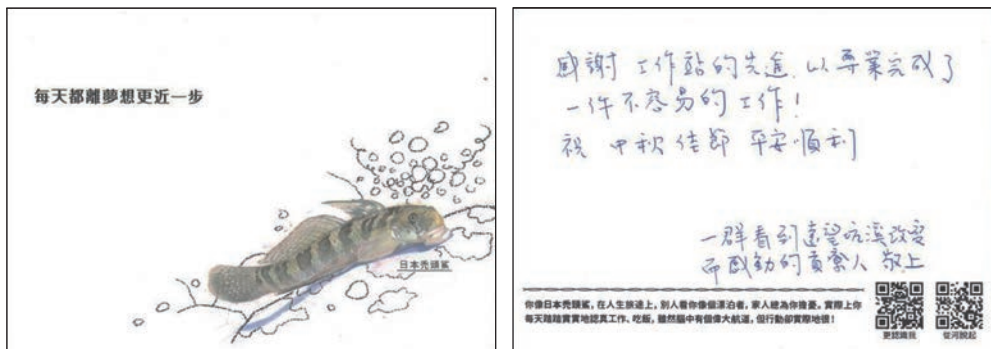


圖 26 貢寮居民來信



圖 27 田寮洋三條圳路開展智慧水管理



作物灌溉狀況，以便依循這些紀錄，訂定兼顧溪流生態的灌溉管理手冊。

九、工程效益

本案為國內首次應用河相學與近自然工法增進灌溉功能同時復育溪流生態，完工至今已一年半，從下列各項成果來看，確已達成「灌溉設施與生態共融」的願景，以及「在滿足灌溉需求、不增加防洪風險、不增加維管負擔之前提下，恢復溪流縱向生態廊道」的目標。

重建回家之路

1. 完工後辦理 2 次河相調查，確認各河相指標均提升。河道內已發展出完整的潭瀨結構（圖 28）。除瀨區間距縮減、水域縱向廊道阻隔降低之外，經洪水沖淤調整後，工程段的潭、瀨粒徑分布曲線逐漸拉開，顯示近自然工法天人協作的特徵。
2. 完工後 4 季次生物調查，共紀錄 67 種台灣原生魚蝦蟹螺類，也在遠望坑溪的歷年累

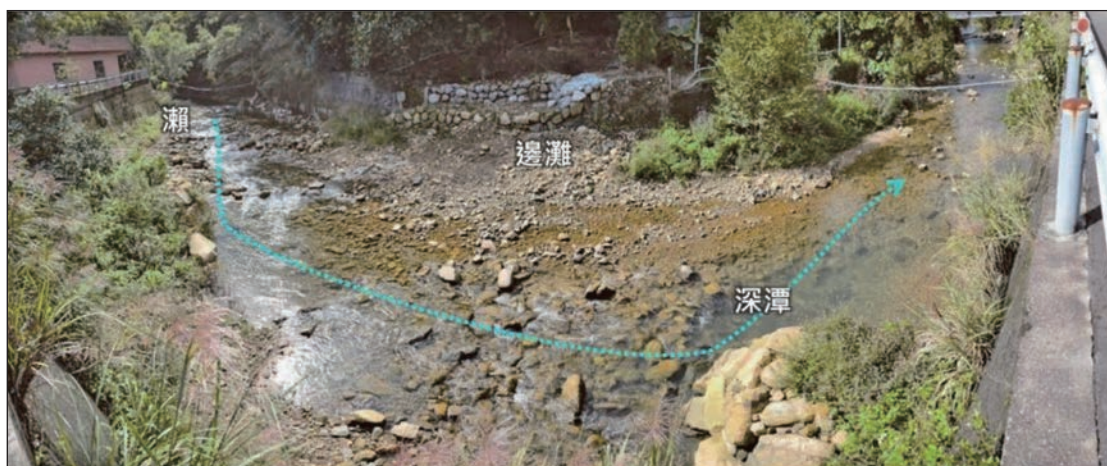


圖 28 丁壩在洪水後形成潭瀨棲地（113.01）

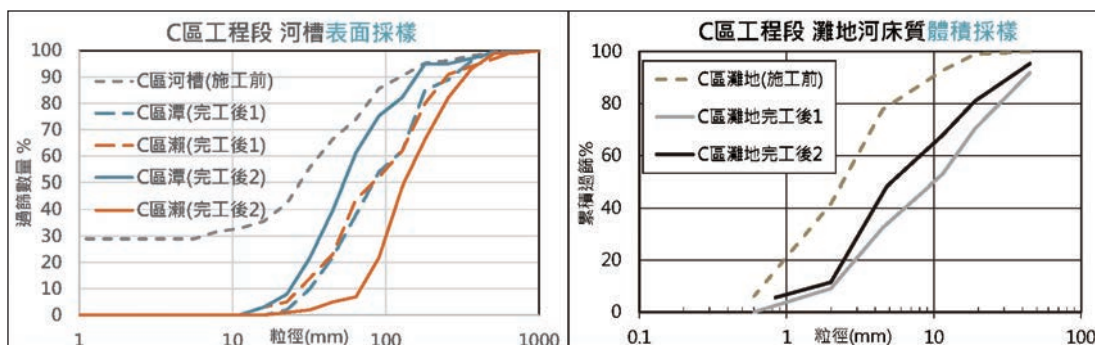


圖 29 河床質變化反映棲地多樣性提升



積物種名錄上新增了 11 種魚蝦蟹（3 種陸封淡水魚及 8 種河海需求種），包括保育類 III 級的棘鱗鰕虎，使原生魚蝦蟹螺的總數達到 72 種。

3. 原三堰上游新增 16 種原生種魚蝦，其中 13 種是洄游類，洄游魚類增加 12 種，蝦也增加了 1 種（表 1）。改善後洄游類的比例也更接近全溪的比例（圖 30）。事實上，在完工後僅一個月即執行的生態調查中，已確認原三堰上游新增 9 種洄游魚類，說明牠們對復育工程的反應極為敏捷。
4. 35 種台灣原生種突破障礙，擴大分佈區段範圍。各溪段在改善工程前後的物種數量都有顯著增加，且改善後，從下游到上游的物種數趨勢連續（圖 32），表明縱向廊道確實更加暢通。原形成障礙的斷面，未再見到混種混齡之群聚受阻與跳躍撞壁現象。

5. 對自然河相高度依賴的指標物種（壁蜆螺、石蜆螺及台灣吻鰕虎等）數量明顯增加，顯示因減輕縱向阻隔與恢復水流自然營力等複合因素，使棲地大幅改善。

6. 湯鯉科整體河相調整的結果，是最能代表「河海洄游縱向廊道暢通」的類群。改善後，黑邊湯鯉和大口湯鯉的成魚與小魚數量顯著增加，突破了原有的分佈上限，目前已知這兩種魚類的活動範圍擴展至原來的 4 倍以上（圖 33）。

7. 意外的是，原三堰下游也增加了 9 種魚蝦（表 1）。推測是因為整體河相調整後，流路連續並集中，促進下游棲地減淤。這些改變提升了枯水期的水體溶氧量，增加了小生物和其他碎屑的輸送力，使流路與溪畔草叢接觸時間更長（圖 34）。

表 1 改善前後魚蝦物種紀錄變化

魚蝦種數變化	原三堰下		原三堰上	
	河海需求	陸封淡水	河海需求	陸封淡水
魚 改善前→後	29→32	12→15	7→19	8→11
蝦 改善前→後	7→10	1→1	5→6	1→1
合計 改善前→後	36→42	13→16	12→25	9→12

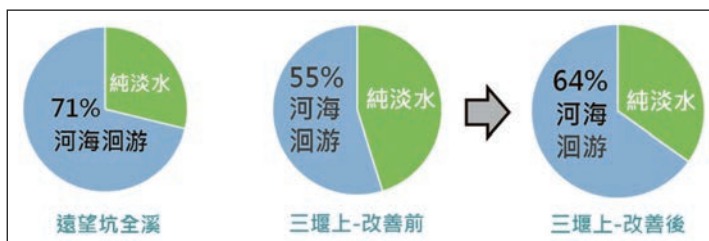


圖 30 改善前後三堰上游洄游類佔比變化

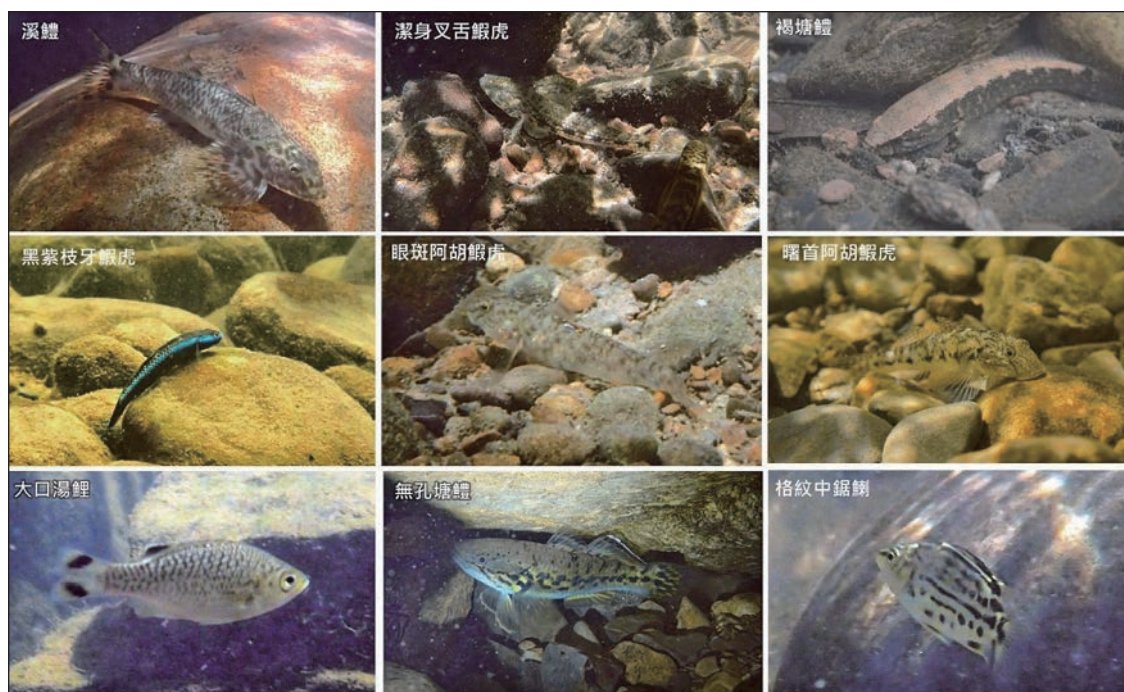


圖 31 原三壩上游新增之河海洄游性魚種（部分）

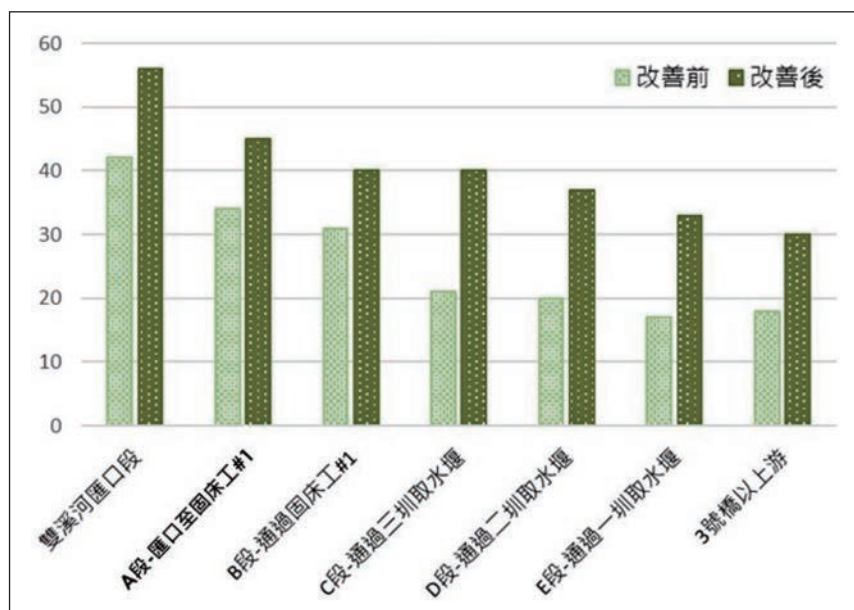


圖 32 改善前後各區利用之魚蝦蟹物種數變化

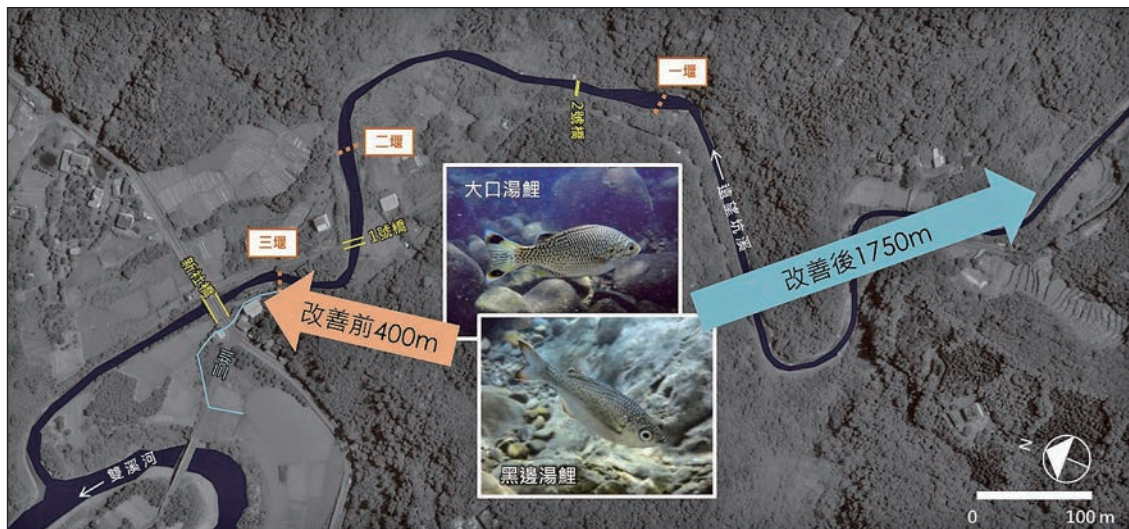


圖 33 指標物種改善前後分布範圍變化



圖 34 改善後雙溪河物種上溯增加情形

8. 石梁工、填排法瀨區、丁壩等結構，不但構成溪流骨架，也成了受歡迎的棲地。新設的丁壩前端，已如同預期形成潭區，為體型較大的苦花、香魚提供本溪段珍貴的棲所。填排法瀨區及石梁工亦吸引魚群聚集，以利用塊石間隙及高溶氧的環境。

9. 二圳改善段在完工 2 個月後，孔隙使植生自然恢復，圳壁綠意盎然（圖 16），柔軟的泥砂底質也易成為蝦蟹螺貝類及蜻蛉目昆蟲的棲地。雖未經正式調查，但目視即可發現此段水圳已有多種魚蝦蟹類利用，洪水時亦為溪中生物提供緩流避難空間。

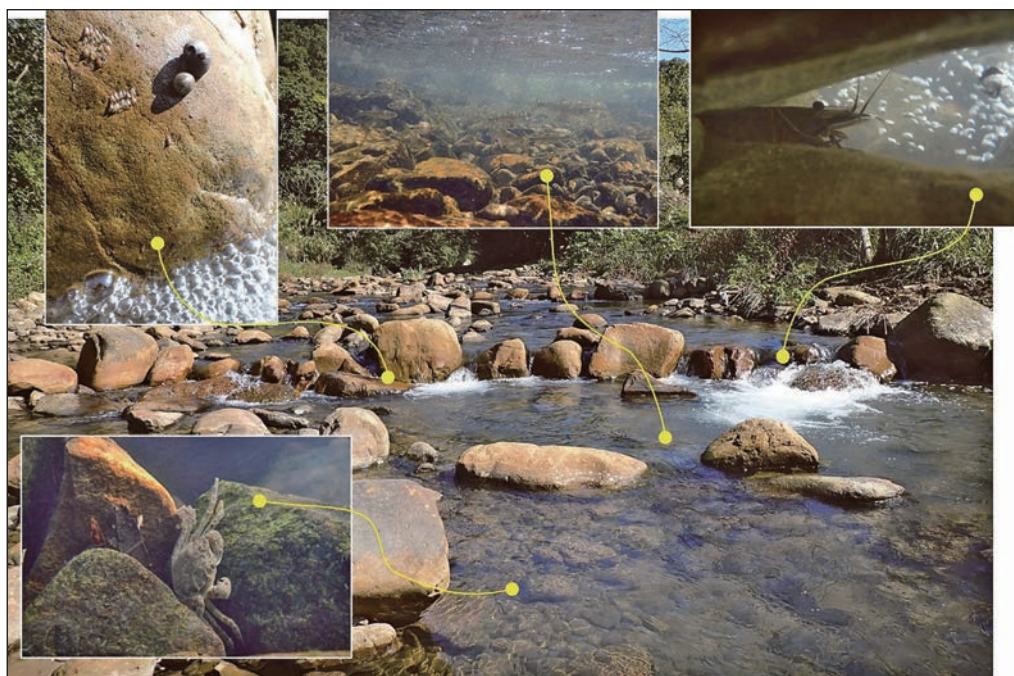


圖 35 二堰下游石梁工成為受歡迎的棲地

供水穩定度提升

原本每年旱季因溪床表面伏流而無法取水的三圳，完工後經過一次稻作週期，確認可穩定供水。灌區內傳統皆僅種植一期稻作，但由於三圳洪水變得穩定，僅管 113 年貢寮地區異常少雨，河床近乾涸但伏流水仍可取水，三圳農戶於稻作收成後，甚至於早期開始栽培再生稻。供水的穩定使需求又隨之增加，從制度面檢視水權與供水上限以兼顧灌溉與生態，或許是後續需正視的課題。

減輕災害風險

以完工後河道地形進行二維水理模擬，

檢核河段水勢及水位，得知工程改善對防洪功能具正面效果。25 年重現期洪水（保護標準）情境下，原三堰至二堰之間的河段，水位降低 0.4 ~ 0.55 公尺，原先二堰下游水流溢淹至兩岸堤內私有農地，完工後則不會溢淹（圖 36）。

減輕維管負擔

原本被 2.1 米高堰體阻隔的溪床，現已恢復自然樣貌。溪床下之伏流水水質良好清澈，亦免除工作站過往需經常清除三圳泥砂的困擾（圖 37）。此外，經歷凱米颱風與山陀兒颱風，全斷面魚道、石梁工、丁壩等乾砌石構造物仍可發揮機能，

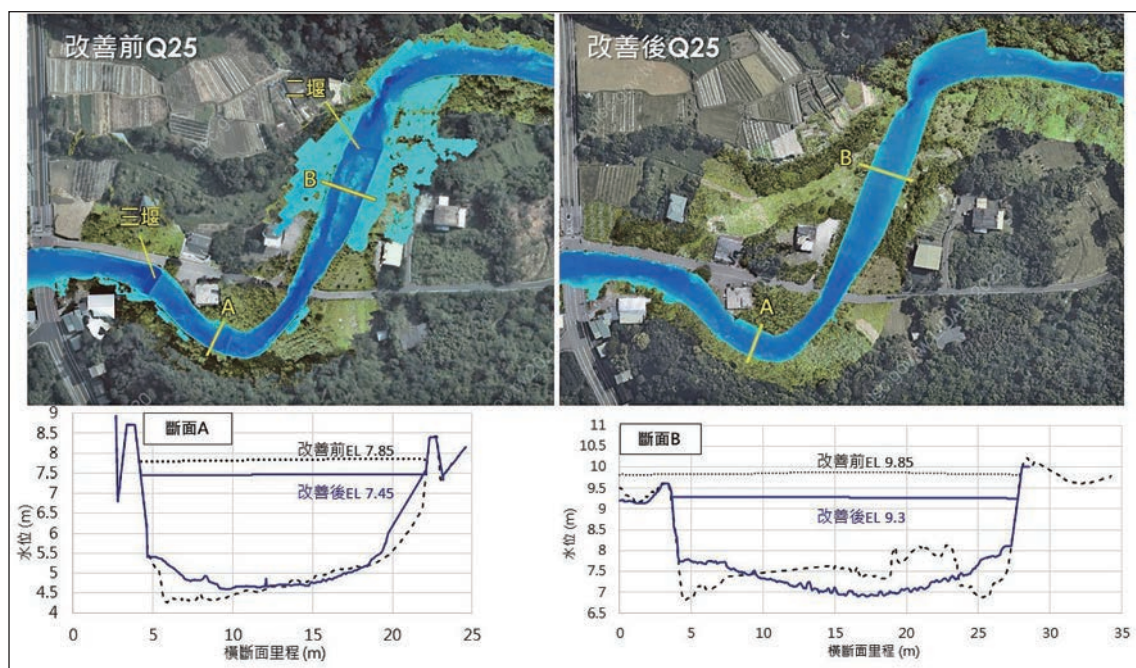


圖 36 改善前後 Q25 淹水模擬成果



圖 37 過往三圳清淤情形（左）及伏流水供水現況（右）

繼續扮演骨架的角色，維持溪床高程及取水機能，也說明本案近自然工法的施工品質經過考驗，不太需要頻繁的維護管理（圖 38）。

創造環境教育契機

考量社區親水需求，設計階段即將原三堰右岸保留一小段作為丁壩，銜接既有階梯，



圖 38 山陀兒颱風後的全斷面魚道（左）及階梯下方的丁壩（右）

成為下溪的親水平台（圖 39）。完工後溪段已成為多個機關、學校及企業團體的環境教育場域，溪中並有戲水遊客留下卵石排堰的痕跡，顯示本計畫有助於日常型親水。在地 NGO 爭取企業贊助，於改善溪段設置精美溪流生態解說板，與完工後溪流的新風貌互相印證。

節能減碳、經濟可行

全工程採用現地自然材料施作，除了預

鑄豎井外，未使用混凝土，打除之混凝土殘塊亦皆就地使用。河道內挖填平衡，共改善三處取水設施、132 公尺水圳及 1.1 公里溪段整體河相，工程總經費 695 萬元，除經濟可行，亦極具節能減碳效益。根據「水土保持工程減碳參考指引」，護岸、固床工等以現地材料取代混凝土的減碳比例達 -99.85%，因此本案以具體行動，呼應了行政院氣候變遷調適行動計畫「基於自然解方增強生態韌性」的上位政策。



圖 39 復育後的遠望坑溪作為環境教育的場域



十、結論

遠望坑溪的取水設施改善為灌溉工程試圖與生態共融的一次小型實驗，運用河相學原理及近自然工法，打通了 1.1 公里溪段的縱向生態廊道，達成自然解方準則所要求的「生物多樣性淨增長」（IUCN, 2020），也提升了灌溉供水的穩定度。

本案所採用的工法並非創新，而是試圖承襲數代前甚至數世紀前工程師對治理與灌溉取水的洞見。水利工程與環境永續之間，本質上並不存在必然的衝突與矛盾。在混凝土及大型機具問世之前，水利工程師習於觀察河相，並以現地能取得的材料、小規模的量體、試誤學習的精神，摸索出各種韌性且有效的自然解方。對照於今日公共工程的 SOP，傳統的工程取徑或許有許多值得師法之處。

本案得以實現，有賴於行政院國土生態綠網的經費支持、農田水利署與林業保育署的政策指導，及新北市貢寮區公所的行政配合，在此深表感謝。也一併感謝規劃設計、生態調查、施工與監造團隊所有參與者的辛勞付出，以及社區夥伴們給予的精神支持。

參考文獻

1. 農業委員會林務局，109 年，「國土生態綠網藍圖規劃及發展計畫」。
2. 福留脩文，2012，「治水と環境の両立を目指した川づくりの技術の考え方とその適用性に関する研究（Doctoral dissertation, 中央大学）」。[中文譯本：楊佳寧、張琬郁、陳思穎，2016，「兼顧防洪與生態的河川營造技術」，水利署水利規劃試驗所翻譯專書。
3. IUCN (2020) Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.
4. 農業部農田水利署北基管理處，113 年，「田寮洋一、二、三圳取水設施更新改善規劃設計及生態調查成果報告書」。



桃園航空城實踐 SDGs 的發展理念與減碳作為

桃園市政府都市發展局副局長 / 歐正一

桃園市政府航空城工程處副處長 / 藍士堯

中興工程顧問公司園區及路航工程部技術經理 / 楊健邦

中興工程顧問公司園區及路航工程部總監 / 周武雄

關鍵字：桃園航空城、永續發展目標（SDGs）、全生命週期、減碳、低碳城市

摘要

全球暖化日益嚴重，各國積極推動永續發展目標（SDGs）及減碳政策。桃園航空城作為國家重點發展項目，亦積極響應此一趨勢，致力實踐 SDGs 發展理念融入基礎建設中，並實踐全生命週期減碳。減碳策略及作為涵蓋「基底碳」、「蘊含碳」及「營運碳」等各階段碳管理，貫穿規劃、設計、施工、營運及汰舊階段。桃園航空城致力於將 SDGs 發展理念融入減碳策略中，並透過全生命週期減碳管理，實現城市永續發展目標。

一、前言：SDGs 發展理念及減碳倡議緣由

SDGs 發展理念

1997 年 12 月在日本京都召開聯合國氣

候變遷綱要公約（United Nation Framework Convention on Climate Change，UNFCCC）第 3 次的（COP3），明確要求各國減少溫室氣體排放。惟近年全球暖化的議題日益嚴重，故 2015 年召開的巴黎會議決議目標希望將升溫控制在不超過 1.5°C。並於 2018 年發布 1.5°C 全球暖化特別報告提出，在增溫不超過 1.5°C 的目標下，須於 2050 年前達到溫室氣體淨零排放。而推動淨零排放的過程，實際上與永續發展息息相關。

2015 年聯合國發布三個與永續發展及氣候變遷相關之全球性準則，其中 17 項永續發展目標（Sustainable Development Goals，以下稱 SDGs）為永續發展指導原則，世界各國皆視為永續發展的指導策略。SDGs 17 項永續發展目標包含發展、經濟、環境及支持整體架構 4 類，分類詳如表 1，期許能在



表 1 SDGs17 項指標

發展	經濟	環境	支持整體架構
SDG1 終結貧窮 SDG2 消除飢餓 SDG3 健康與福祉 SDG4 優質教育 SDG5 性別平權 SDG6 淨水及衛生	SDG7 可負擔的潔淨能源 SDG8 合適的工作及經濟成長 SDG9 工業化、創新及基礎建設 SDG10 減少不平等 SDG11 永續城鄉 SDG12 責任消費及生產	SDG13 氣候行動 SDG14 保育海洋生態 SDG15 保育陸域生態	SDG16 和平、正義及健全制度 SDG17 多元夥伴關係

2030 年之前實現永續發展目標。建構經濟、社會、環境共榮的生活環境，強調提升社會需求與追求經濟成長的同時，也可達到環境保護目標。

減碳倡議

據此，我國各級政府機關亦積極響應國際減碳永續發展，不約而同地提出國家自願檢視報告（Voluntary National Review, VNR）、政府機關自願檢視報告（Voluntary Department Review, VDR）及地方政府自願檢視（Voluntary Local Review, VLR）。而為減緩人類活動所排放之溫室氣體造成全球氣候變遷，降低溫室氣體排放，我國除提出淨零排放路徑外，並將 2050 淨零排放目標納入氣候變遷因應法。根據聯合國環境規劃署（United Nations Environment Programme, UNEP）2021 年研究指出，建築與營建業占全球溫室氣體排放 37%，甚至高於工業和運輸部門的總和。是以行政院公共工程委員會於 2022 年 8 月 31 日所頒布「公共工程節能減碳檢核注意事項」，要求各工程主辦機關自計畫研擬開始至規劃設計、施工、維護管理等全生命週期階段均應納入節能減碳理念。故因應永續與減碳需求，桃園航空城開發過程，已納入 SDGs 的發展理念並落實減碳作為。

桃園航空城實踐 SDGs 發展理念落實減碳

承上，基於 SDGs 發展目標理念，考量桃園國際航空城係以桃園國際機場為中心，透過機場與周邊的配合，導入企業化經營精神，推展衍生商業、加工製造及會展活動等，促進機場與周邊地區共榮發展，帶動區域產業及經濟繁榮。整體區域開發以永續發展為基礎，訂定「領航空港・綠色永續健康城」之發展定位，建立減量、減碳、綠色導向的健康城市。

航空城計畫整體區域開發以「文化」、「韌性」、「循環」、「智慧」四大工程面向為基礎。打造門戶樞紐機場、串聯活化綠色廊道、合宜安置適居新鎮、優質創意藍綠軸帶、群聚引領產業創值、文化資產保存活化。整體發展理念以永續、韌性與減碳為終極目標。

工程開發所帶來之碳排放似無可避免，惟在長期經濟永續發展目標下，需要思考在對環境衝擊最小化下，為經濟發展與環境永續帶來共效。工程生命週期包含可行性研究、規劃、設計、施工、營運、維修和汰舊換新等階段，而規劃設計階段完成，即已大致限制工程未來的排碳規模。因此，工程開發減



碳，必須以全生命週期考量，於規劃設計階段即納入低碳設計；並於施工階段依據設計要求，落實施工減碳作為；營運階段則逐步落實規劃設計階段所規劃之減碳措施。

據此，航空城計畫於規劃設計階段，除落實 SDGs 理念外，並將 SDGs 指標與減碳作為連結，以達永續環境目標。盤點整體設計作為具減碳措施與 SDGs 指標有關者計 7 項，包含 SDG6 淨水及衛生、SDG7 可負擔的潔淨能源、SDG9 工業化、創新及基礎建設、SDG11 永續城鄉、SDG12 責任消費及生產、SDG13 氣候行動及 SDG15 保育陸域生態，其相關成果說明如后。

航空城的土地開發規劃旨在創造一個可持續發展的城市環境。從低碳角度出發，在都市規劃、基礎工程設計和施工等階段可落實各種減碳策略，並可對應多個聯合國可持續發展目標（SDGs）詳圖 1。以下是彙整航空城具體規劃內容，在生命週期不同階段（規劃、設計、施工及營運）與 SDGs 的相關性，詳表 2 及表 3。

二、全生命週期減碳範疇

為使各階段的碳排放計算有一致性的架構與範疇，爰參考歐盟 BS EN 17472（基礎設施的設計、建設與管理—社會影響評估）標準的架構（如下圖所示），建立可透過量化分析指導減碳決策，以實現全面的環境效益。桃園航空城在推動永續發展及減碳目標的過程中，強調全生命週期減碳管理，並將減碳範疇區分為基底碳、蘊含碳及營運碳。基底碳為土地開發初期決策或研究階段的碳排放，主要來自於環評、都市計畫、都市設計及決策等過程。蘊含碳為建築物或基礎設施的生命週期內產生的碳排放，涵蓋設計及施工範疇從材料生產、運輸、施工、使用到拆除等各個階段。營運碳為營運過程中使用能源、用水及用電等之碳排放。

全生命週期減碳管理旨在將減碳措施融入每個階段，以最大程度地降低整體碳排放。桃園航空城全生命週期減碳範疇主要分為規劃階段（基底碳）、設計施工階段（蘊含碳）及營運階段（營運碳）三個階段，詳圖 2。茲就基礎設施於全生命週期各階段可應用的減碳方法摘要如下：



圖 1 桃園航空城對應實踐 SDGs 可持續發展目標



表 2 航空城規劃階段實踐 SDGs 理念具體減碳作為

SDGs 指標及細指標		規劃階段（政策環評、都市計畫、都市設計）
6. 潔淨飲水和衛生設施 	3. 改善水質、廢水處理和安全再利用 5. 實施水資源綜合管理 6. 保護、恢復與水有關的生態系統	· 引進低耗水產業 · 生活污水及事業廢水處理率達 100%
7. 負擔得起的潔淨能源 	2. 提高全球可再生能源比例 3. 能源效率提高一倍	· 規範建築屋頂設置太陽光電板 · 規範建築申請綠建築標章
9. 產業、創新與基礎設施 	1. 發展永續、有彈性和包容性的基礎設施	· 公共運輸及自行車道設置於公園旁，街廓沿道路部份退縮並留設帶狀開放空間。 · 捷運路線預留車站出入口及適當節點型廣場公共空間。
11. 永續城鎮 	2. 負擔得起和永續的運輸系統 3. 包容性永續城市化 7. 提供安全和包容的綠色和公共空間	· 捷運場站周邊步行 10 分鐘可及距離，發展高密度與高品質住商混合地區。 · 建築基地留設開放空間、人行步道及連通頂蓋式通廊之天橋，供公眾通行。 · 社區出入道路適度運用交通寧靜措施，透過街道平面的變化、退縮。 · 河岸、公園、綠地、廣場、公園周邊設置自行車道，提高綠色運具使用率。 · 公園、機關、廣場及捷運場站半徑 500 公尺範圍內優先設置公共停車與自行車停車位以鼓勵使用節能、無污染的交通運具。 · 30M 以上道路預留自行車專用道；次要道路利用人行步道規劃自行車道，提供都會區綠色交通運輸路網。 · 提高公共綠色開放空間的可及性：以服務半徑 300 公尺以內且其面積不小於 0.5 公頃之原則，劃設公園、綠地、園道等用地。
12. 責任消費與生產 	5. 大幅度減少廢物產生 7. 促進永續公共採購做法	· 整合航空城周邊公共工程土石方媒合 · 推動循環經濟 · 鼓勵採用焚化再生粒料 · 鼓勵採用氧化礫 · 鼓勵採用瀝青刨除料
13. 氣候行動 	1. 加強對氣候災害的抗災能力和調適能力	· 建築基地應用低衝擊開發技術，採用可吸納地表逕流入滲設計。 · 退縮公共開放空間以不開挖地下層並能吸納地表逕流入滲設計。 · 開放空間內透水鋪面達 1/2 以上，加強綠化，達到基地保水目標。 · 利用未開發之空地簡易綠化並融入「景觀貯留滲透水池」設計。
15. 陸域生態 	1. 保護和恢復陸地和淡水生態系統 5. 保護生物多樣性和自然棲息地	· 劃設大面積公園包圍古蹟所在區位，公園用地綠覆面積 30% 以上。 · 部份埤塘結合周邊地區劃設為公園，提供開放性生態綠地空間。 · 園道系統：30 公尺以上之主要道路架構成棋盤狀園道系統，塑造都市生態綠網。園道綠覆率需達 60%。 · 生態水網絡：包括老街溪、南坎溪、新街溪及埔心溪，南至北貫穿計畫區。 · 綠帶系統：住宅區及商業區所夾之河川區兩側綠帶，經由既有水圳保留或局部改造劃設綠帶予以維持功能。 · 河道、水圳及埤塘以生態工法重塑自然堤岸，提供多孔隙環境，營造出水陸交界生物多樣化的沼澤帶，塑造動植物良好的覓食及棲息環境。



表 3 航空城設計、施工及營運階段實踐 SDGs 理念具體減碳作為

SDGs 指標及細指標		設計階段	施工階段	營運階段
6. 潔淨飲水和衛生設施 	3. 改善水質、廢水處理和安全再利用 5. 實施水資源綜合管理 6. 保護、恢復與水有關的生態系統	- 規劃滯洪埤塘之容量約 20 萬噸，作為枯旱補充水源。 - 規劃灌溉設施專用區農排改造，以輸配石門水庫或溪流提供之灌溉水源。 - 規劃灌溉設施專用區農排改造以輸配灌溉水源，長度合計約 2.62 公里。	- 工務所採用套裝衛生處理設施 - 採用省水器具	- 水情資訊系統 - 桃園市下水道雲端智慧管理系統 - 智慧水錶 - 管道漏損監測 - 智慧地下水管理系統 - AI 環境污染辨識系統
7. 負擔得起的潔淨能源 	2. 提高全球可再生能源比例 3. 能源效率提高一倍	路外停車場電動樁管路建置	- 施工使用電動機具 - 施工使用太陽能燈具 - 施工使用太陽能 CCTV - 以場電取代柴油發電機 - 機械設備運用變頻裝置節能	- 多功能智慧路燈建置計劃 - 建築再生能源管理
9. 產業、創新與基礎設施 	1. 發展永續、有彈性和包容性的基礎設施	- 設計尺寸標準化（緣石、界石、排水箱涵、路側溝、共同管道、護欄等）。 - 構件預鑄化（共同管道人孔、溝蓋板、緣石、界石、護欄等）。	- 構件預鑄化施工 - 模組化施工 - 自動化及機械化施工 - 航空城工程資訊系統	- 道路橋樑維護管理系統 - 共同管道智慧管理系統 - 養護工程處整合協作平台 - BIM 延伸應用
11. 永續城鎮 	2. 負擔得起和永續的運輸系統 3. 包容性永續城市化 7. 提供安全和包容的綠色和公共空間	- 預留 UBIKE 站點空間 - 公園、綠地臨接道路之退縮帶，建置人行步道。 - 自行車道路網整體檢討建置 - 公園兼滯洪池多功能使用 - 天羅地網系統建置 - 滯洪池 CCTV 及水位監測 - 公園、綠地、廣場及園道整體景觀配置	- 維持既有社區安全通行道路 - 維持剔除區維生管線功能 - 工區內既有廠房維持運作 - 運輸機具急速等待不超過 5 分鐘	- CCTV 路口影像 - 公車動態與班次 - 空品、航空噪音、水質等監測資訊 - 全方位行人安全 AI 防護網計畫 - 空間資訊圖台 2.0 版 - AI 巡防系統
12. 責任消費與生產 	5. 大幅度減少廢物產生 7. 促進永續公共採購做法	- 飛灰及爐石粉替代水泥 - 使用瀝青混凝土刨除料，焚化再生粒料；氧化渣去化。 - CLSM 添加焚化再生粒料 - 使用預鑄工法 - 採用低碳混凝土 - 選用於鋼筋廠內製程設備改善後所生產之鋼筋產品 - 舊建築再利用 - 減量設計	- 設置土石方堆置場，收納公共工程土石方，主動減少運棄。 - 區內既有瀝青混凝土刨除料全部回收再使用 - 工程品質查驗數位化 - 減少用水（如鋪設防塵網、稻草蓆）或採取雨水與施工污水再利用（如防塵灑水、洗車設備用水）。	- 智慧水資源回收中心雲端統合管理平台 - 道管資訊中心系統 - BIM 工程生命週期管理系統 - 智慧回收產業場域實驗試辦計畫 - 智慧垃圾桶
13. 氣候行動 	1. 加強對氣候災害的防災能力和調適能力	- 規劃道路下方設置雨水下水道收集暴雨逕流。 - 設置低衝擊開發設施，增加保水容量。	工區氣候即時監測	智慧水情兵棋圖台
15. 陸域生態 	1. 保護和恢復陸地和淡水生態系統 5. 保護生物多樣性和自然棲息地	- 滯洪池大多採自然邊坡植草方式規劃，盡量降低施工與後續維管費用。 - 既有埤塘水域面積維持 - 既有植栽以現地保留為原則，次之進行植栽移植。 - 重要喬木採全樹型移植 - 新植喬木增加碳匯	- 移植喬木採用二次斷根 - 控根盆工法提高存活率 - 施工監造科技管理無紙化	路樹養護管理系統

註：營運階段減碳作為為規劃階段建議項目，後續將依機關實際需求辦理。

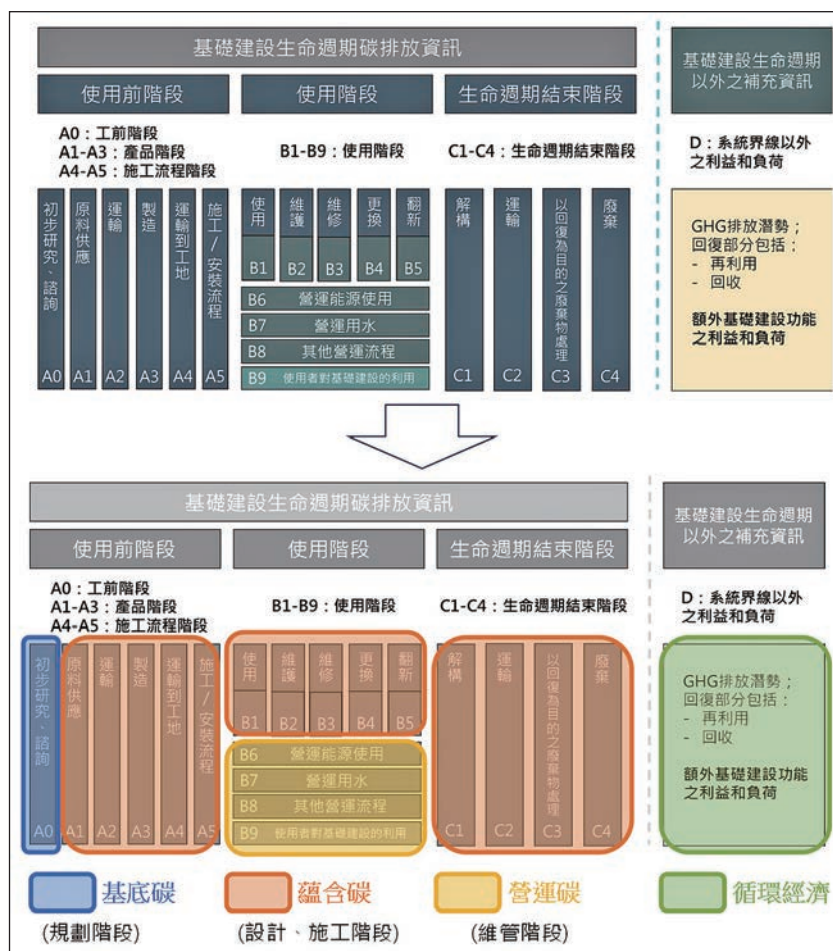


圖 2 基礎建設全生命週期碳排放範疇示意圖

叁、桃園航空城全生命週期減碳作為

3-1 規劃階段（基底碳）減碳作為

在規劃階段（基底碳），應著重於從源頭減少碳排放，主要策略包括空間規劃與都市型態及國土規劃整合淨零策略。其中，空間規劃與都市型態包含推動緊湊型都市發展減少都市蔓延、混合土地使用縮短通

勤距離、TOD 發展以大眾運輸為導向的開發模式及都市填充／緻密化提升土地使用效率。此外，國土規劃整合淨零策略包含制定低碳城市相關法規提供鼓勵機制、於國土計畫中納入低碳城鄉發展目標明確低碳管理方向、配合氣候變遷風險及海岸侵淤狀況調整海岸地區土地使用強度與類型、指定及建立生態廊道加速連結各類保護區及開放空間。



在前期規劃過程中，桃園航空城經歷了 2009 ~ 2019 長達 10 年的政策環評與都市計畫修訂階段，目的在取得環境、社會與經濟發展的永續共識，綜整從環境永續發展到低碳城市，再逐步導入淨零轉型的觀念，航空城大致上從、「城市降溫」、「綠色運輸」、「水綠生態」三大策略從頭減少碳排放。

首先，在城市降溫方面，要配合引風與提高透水率，達到城市降溫。首先，配合夏季風向，劃設兩條主要園道打造城市尺度風廊，並輔以平行道路兩側建築退縮與棟距規範，引導風源進入城市內部，詳圖 3。其次時配合水體保留，包括埤塘零損失、建築基地法空透水鋪面比例與綠覆率達 50% 以上、建築 50% 綠屋頂等土地使用管制措施，從城市到建築尺度落實降溫。

在綠色運輸方面，航空城內共有 7 座捷運車站，其場站周邊 800 公尺覆蓋率達 61%

（詳圖 4），配合人行道與自行車道布設，擴大捷運場站可及性。此外，透過土地使用管制，容許場站周邊有較高的容積與混合使用，是台灣第一座在規劃初期即納入 TOD 考量之城，預估每旅次碳排放可減少 12 公斤，每年可減碳 2.8 萬噸以上。

在水綠生態方面，航空城全面保留既有河道與埤塘，且半徑 300 公尺內需有一處公園，並透過 19 條、長 40 公里的園道系統串聯（詳圖 5），以求最大程度在人居環境中打造綠色生態網系統，整體而言，全區綠覆可達基地面積 15%，其固碳量每年可達 0.4 萬公噸，約等於 17 座大安森林公園年固碳量。

綜上，桃園航空城的規劃以環境、社會與經濟的永續發展為核心，透過城市降溫、綠色運輸及水綠生態三大策略，全面減少碳排放，年減碳量達 3.2 萬噸；雖然還有許多

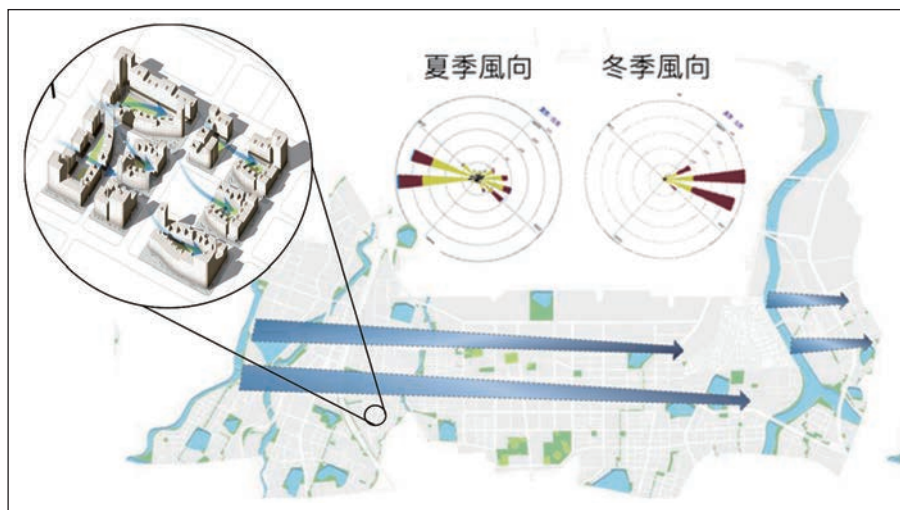


圖 3 航空城主要風廊道與建築導風示意圖

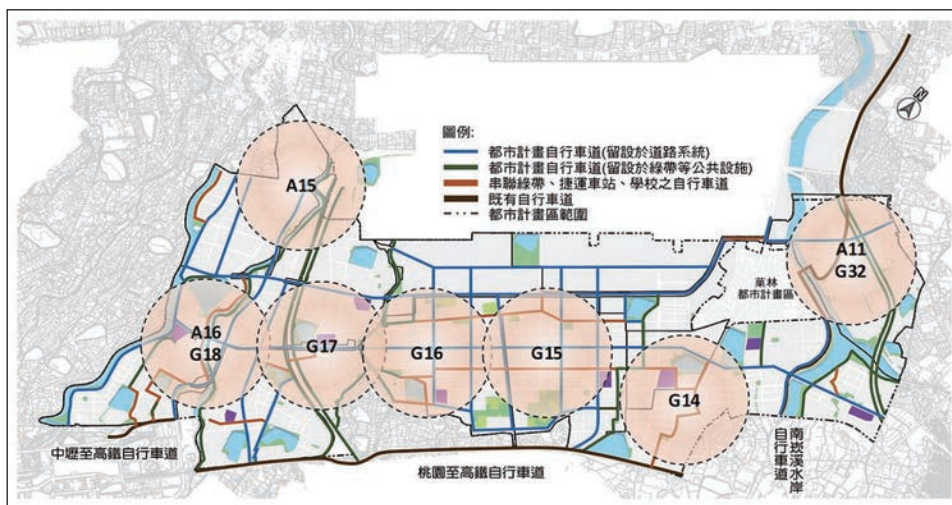


圖 4 航空城捷運場站 800 公尺步行半徑示意圖

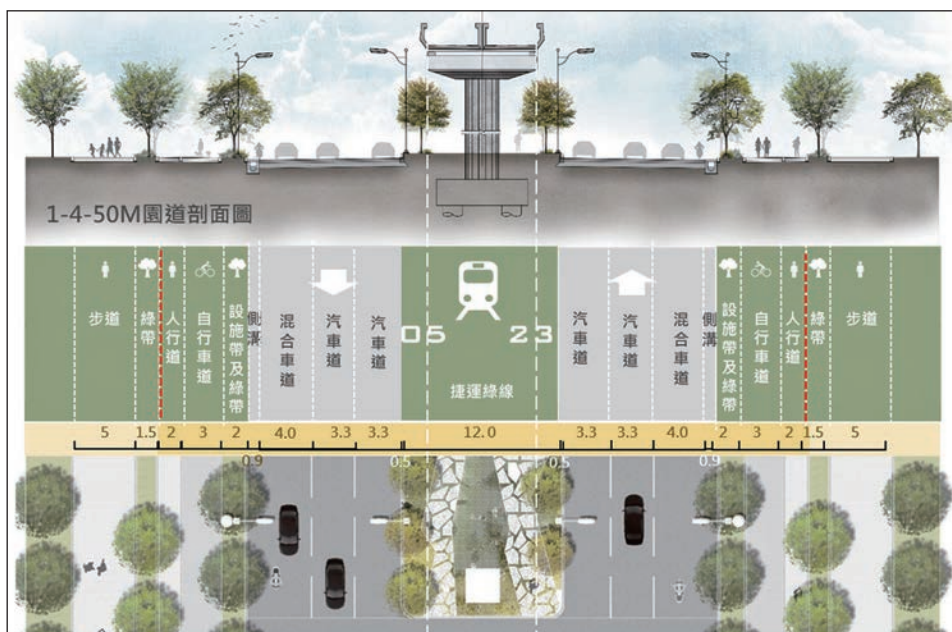


圖 5 航空城 50M 園道配置示意圖

措施仍無法量化減碳效益，但整體而言，航空城展現了從規劃階段即展現了系統性落實永續發展理念的企圖心，並為未來低碳城市規劃提供了重要借鏡。

3-2 設計階段（蘊含碳）減碳作為

桃園航空城在設計階段導入多項減碳措施，涵蓋綠色環境、綠色工法、綠色材料與



綠色能源四大面向，致力於減少營建材料使用、提高資源利用效率、降低能源消耗，打造永續發展的現代航空城。

在**綠色環境**方面，航空城除了廣泛規劃公園綠地與道路綠帶外，亦積極推動建築屋頂及法定空地的綠化，提升都市綠覆率，以實現長期基底固碳的目標。同時，規劃生態池與生物廊道，營造生物多樣性的自然環境，進一步打造宜居城市。

在**綠色工法**方面，航空城採用減量設計、減少棄土、土方回收及自動化施工等措施，以降低施工過程中的碳排放。同時，推廣可回收鋼材和廢材利用，並優化運輸距離，以減少資源消耗與碳足跡。

在**綠色材料**方面，航空城引入較低碳排水泥，使用添加飛灰、爐石粉等替代性材

料，優先採用耐久性材料、再生利用材料及自然材料，以減少營建材料生產過程的碳排放，同時延長工程設施的使用壽命。

在**綠色能源**方面，航空城導入 LED 路燈等節能設備，顯著降低後續維管及營運中的能源消耗。

透過上述多面向的減碳策略，桃園航空城在設計階段即全面融入永續發展理念，致力於打造低碳、環保且高效節能的航空城，為城市未來的綠色發展樹立典範。詳表 4，設計階段提出減碳策略，引導進行減碳

3-2-1 綠色環境

在設計階段，航空城優先考量保留現有樹木和植被，盡量減少移植或砍伐，以降低開發對生態環境的干擾，維持生物多樣性並

表 4 設計階段減碳策略

面向	類別	原則	減碳階段
綠色材料	低碳材料	如低碳建材等	A
	替代性材料	添加飛灰、爐石粉等，減少混凝土中水泥使用量	A
	耐久性材料	優先採用耐久性管線材料，延長使用年限，減少維修更新	A、C
	再生利用材料	使用營建及事業廢棄物等資源再生（回收再利用）產品	A
	自然材料	就地取材之材料或天然材料	A
綠色工法	減量	減量設計	A
	減廢（效率）	減少棄土、土方回收、自動化施工、可回收鋼材、廢材利用、減少運距	A
	延壽	補強設計	A、B
綠色環境	生態（景觀綠化）	綠美化環境、道路綠帶、植生保護、自然排水、生態池、生物廊道	B
	植栽移植	保護原有現地植栽，將現地植栽移植至妥適地點以達綠美化目標	B、C
綠色能源	再生能源系統	太陽能光電系統、太陽能熱水系統、風力發電系統	B
	節約能源設備	使用取得節能標章之高效率空調設備及照明燈具、LED 應用產品	B

註：產品／材料階段（A）、使用階段（B）、施工過程階段（C）、壽命終止階段（D）



減少碳排放。同時，規劃在住商區設置公園綠地，於道路旁種植行道樹及綠覆，打造綠園道。建築屋頂及法定空地則鼓勵進行綠化，提升都市綠覆率，進一步實現基底固碳的目標。航空城致力於推動多層次植生綠化，以複層植被為目標，增加碳匯能力並改善生態環境。此外，設計階段還引入自然排水系統，例如生態池與生物廊道，以減少對周邊環境的影響，同時提升基地的保水能力，進一步支持永續發展。就地保留是航空城保護生態環境及減少碳排放的重要策略之一。在整地過程中，盡可能保留現有植栽，避免不必要的砍伐。此舉不僅有助於維持生物多樣性和減少生態破壞，還能有效固碳，降低碳排放。透過這些措施，航空城在設計階段即充分考量生態保護與減碳需求，致力於打造一個永續、綠色且低碳的宜居環境。

3-2-2 綠色工法

- 土方循環及平衡

在桃園航空城的減碳策略中，土方循環扮演著至關重要的角色。航空城致力於推動全市範圍內的餘土循環，目標是構建一個完善的土方循環利用體系，最大限度減少土方運輸過程中產生的碳排放，同時提升資源再利用的效率。為實現此目標，航空城採取了區內土方媒合與潛在土方資源盤點兩項重要措施。首先，在區內土方媒合方面，航空城積極協調各工程間的土方需求，例如，成功媒合了 90 萬方土石方。這種方式顯著降低了土方外運需求，不僅減少運輸成本，也有效降低了碳排放。此外，航空城全面盤點桃園市境內的潛在土方資源，預計約 565 萬方可

用土方資源。這項措施不僅擴大了土方的供應來源，還有助於確保土方循環利用的穩定性。通過區內土方媒合與資源盤點，桃園航空城成功減少了土方運輸距離與碳排放，同時促進了資源的循環利用。這不僅為城市發展提供了永續解決方案，也為建立全市範圍的土方循環利用體系奠定了堅實的基礎，進一步體現了低碳永續的發展理念。

- 減量設計

減量設計是從設計源頭降低碳排放的有效策略。在基本設計階段，充分檢討工程的必要性與需求性，盡可能採用最小營建規模或輕量化設計。這需要設計單位在規劃初期就深入分析工程功能需求，避免過度設計及資源浪費。此外，因地制宜與就地取材亦是減量設計的重要原則。設計單位充分利用當地資源，例如優先採用在地材料，以縮短材料運輸距離，進一步降低碳排放。在桃園航空城的減碳策略中，「工程減量」被視為關鍵策略之一，其主要目標是通過減少工程量體與材料使用來降低碳排放。具體措施包括既有設施活化利用和將臨時排水設施調整為永久設施等創新作法，詳圖 6。航空城優先盤點既有公共設施，全面評估其功能與現況，並研擬活化再利用的方案。透過這些活化措施，可以有效減少新建工程需求，進一步降低碳排放。此外，航空城亦考量將臨時排水設施設計為可持續使用的永久設施，從而減少未來因拆除與重建所產生的成本與碳排放。透過這些工程減量策略，桃園航空城不僅能顯著降低碳排放，還能提高資源利用效率，為永續發展目標奠定堅實基礎，充分展現低碳城市的前瞻性規劃理念。



圖6 航空城減量設計作為

● 共同管道

桃園航空城於設計階段規劃設置共同管道，將電力及電信等各類管線整合至同一管道中。這項設計可有效減少道路重複開挖的次數，降低施工對環境的影響，並契合永續發展的核心目標。傳統的管線埋設方式通常各自獨立，導致道路需多次開挖，不僅增加施工的不便，還容易損壞路面，進一步提高維護成本。相較之下，共同管道僅需一次開挖，大幅減少對道路的影響，避免了重複施工帶來的問題。共同管道的設計還有助於節省道路空間，提高道路使用效率。管線整合後，檢修和維護變得更加便捷，能有效縮短維護時間並降低成本，為城市基礎設施的管理和運營提供更高效率的解決方案。透過設置共同管道，桃園航空城不僅能推動城市基礎建設的永續發展，也能提升整體運營效率，為未來的低碳綠色城市樹立標杆。

3-2-3 綠色材料

● 循環材料及再生材料應用

使用具有減碳效益的替代性材料，可以有效減少原生材料的開採與碳排放。水泥生產屬於高碳排放產業，通過使用礦物摻料（如飛灰、爐石粉）替代部分水泥，能顯著降低混凝土的碳排放量。此外，優先使用當地產量較高的再生材料，如瀝青刨除料和焚化再生粒料，將其應用於道路工程的各分層鋪面及控制性低強度回填材料中，從而減少運輸過程中的碳足跡，同時降低廢棄物處理對環境的負擔。在桃園航空城的工程中，循環材料扮演著至關重要的角色。航空城工程採取優先使用循環材料的策略，以減少對原生材料的依賴，進一步降低碳排放。例如氧化碯用於路面面層、瀝青混凝土刨除料用於基層級配、焚化再生粒料應用於土方穩定及控制性低強度回填材料（CLSM）、使用環保地磚



註：上述循環材料使用係於基設階段概估計算，後續將依實際需求辦理。

圖 7 航空城採用循環材料示意圖

作為施工材料等。透過廣泛應用這些循環材料，詳圖 7，桃園航空城在施工階段有效降低了碳排放，同時促進資源的循環利用，展現出減碳與永續發展並行的理念。

3-2-4 綠色能源

在桃園航空城的設計階段，採用 LED 路燈及智能路燈等節能設備，有效降低後續維護管理及營運過程中的能源消耗，充分體現永續發展的目標。LED 路燈相較於傳統路燈，具有更高的能源效率，不僅能顯著減少能源浪費，還因其壽命更長，降低了更換頻率與維護成本。此外，LED 路燈不含汞等有害物質，減少對環境的污染，符合生態保育的理念。智能路燈則結合了感測器和控制系統，能根據需求自動調節亮度，進一步提升節能效果，節省照明電費，實現智慧化能源管理。在桃園航空城案例中，智能路燈系

統還配備了遠端控制器，支持遠端監控與管理，大幅提升能源效率和管理效益。

3-3 施工階段（蘊含碳）減碳作為

施工階段應著重提升施工效率、減少廢棄物產生、降低施工過程中的碳排放。桃園航空城在施工階段可參考以下措施：

3-3-1 施工廠商減碳作為

桃園航空城在施工階段積極推行機械化施工、模組化施工、構件預鑄化施工，這些措施不僅能顯著提升施工效率，還能有效降低碳排放，實現永續發展目標。

桃園航空城在施工階段積極推動機械化施工，旨在提升施工效率、降低碳排放並改善施工環境。機械化施工是指通過使用機械



設備取代人工進行施工，例如採用挖土機、起重機等大型機具執行土方開挖和吊裝作業等。機械設備能有效替代人力完成繁重的施工任務，減輕工人的勞動負擔，同時提高施工效率。由於機械設備具有較高的施工速度和精度，顯著縮短工期並降低施工風險，提升整體施工過程的效能和安全性。

模組化施工將施工構件設計為由標準化模組組成的系統，這種設計方式能加速設計和生產過程，提高生產效率，並減少材料浪費。模組化不僅提升了施工的靈活性，也降低了碳排放，因為所有的模組組件都能在控制良好的環境中完成，避免了現場施工中可能產生的能源和材料浪費。

構件預鑄化是指將施工構件在工廠內預製完成，再運至施工現場進行組裝。這一工法不僅能大幅縮短工期，還能顯著減少現場施工的碳排放。預鑄構件的生產過程中，因為在工廠進行，能進行更嚴格的質量控制，從而減少材料浪費和損耗。與傳統建設方式相比，預鑄工法可減少 80% 的工期，並有效降低能源消耗和碳足跡。此外，工地現場使用的機具減少，進一步減少了碳排放。

除了上述策略外，自動化施工也是提升施工效率和減少碳排放的重要手段。通過引入自動化施工技術，可以提高施工速度，減少人力需求，並降低施工過程中的二氧化碳排放。

桃園航空城藉由綜合運用機械化、模組化、預鑄化和自動化施工，成功縮短了工期、提高了施工質量，並大幅減少了碳排放，體現了其對永續發展的堅定承諾。這些

創新做法不僅提升了建設效率，也為打造低碳、環保的航空城奠定了堅實基礎。

通過上述措施，桃園航空城在施工階段不僅提升了施工效率 and 安全性，也在積極履行減碳承諾，創造更加環保、健康的施工環境。

● 植栽移植

桃園航空城在施工階段積極推行植栽移植詳圖 8（基設階段概估約 24,000 棵），將受工程影響的植栽遷移至其他適宜地點。此舉不僅能有效減少植被損失，還有助於降低碳排放，保護生態環境，並減緩氣候變遷。

工程建設常常涉及樹木砍伐，這會導致棲地破壞和生物多樣性的減少。然而，透過植栽移植，樹木可以被安全地遷移至新的位置，從而保留原有的植被，減少對生態系統的衝擊。樹木不僅是生態環境中的重要組成部分，還具有吸收二氧化碳的功能。砍伐樹木會釋放碳，進一步加劇氣候變遷。而植栽移植則有助於保留樹木的碳匯功能，進一步減緩氣候變遷的影響。通過這項措施，桃園航空城在施工過程中減少了生態損害，並以實際行動履行對環境的保護承諾。



圖 8 航空城植栽移植建議工法示意圖



- 太陽能設備

桃園航空城在施工階段積極推廣使用太陽能設備，例如太陽能警示燈、太陽能供電 CCTV 等等，透過太陽能發電，不僅能有效減少對外部電網的依賴，還能顯著降低碳排放，達成永續發展目標。這一措施不僅有助於減少能源消耗，還符合環保與節能的長期規劃，體現了對可持續未來的承諾。

3-3-2 監造或專管

在桃園航空城的施工階段，監造或專管單位在減碳方面扮演著重要的角色，主要透過 BIM 延伸應用和施工管理兩方面來落實減碳措施。

- 施工管理：航空城工程資訊系統（ACIS）落實監造無紙化

施工階段利用航空城工程資訊系統（ACIS）詳圖 9 和建築資訊模型（BIM）延



圖 9 航空城工程資訊系統

伸應用，可將施工資訊整合在單一平台上，實現無紙化監造，減少紙張消耗，進而減少碳排放。桃園市政府航工處開發的 ACIS 可整合各項工程專業智慧，形成專業知識管理支援網，協助監造單位進行資訊共享和協同作業。ACIS 平台未來還可開發整合碳管理平台，進行碳排放估算和減碳設計。

加強施工管理可以提升施工效率，減少材料浪費和碳排放。未來可進一步透過工程管理資訊系統，監造單位可以有效進行人、機、料進場管制，並藉由感應設備擷取資訊，傳遞至 ACIS 平台，對應油耗資料庫和材料管制系統，實現施工階段碳足跡盤查自動化。施工日誌平台可作為工地一切資訊的來源，並透過 API 交換標準指引與其他系統進行資料交換，例如交換日報、自主檢查表等資訊。

- BIM 延伸應用

桃園航空城設計階段積極運用建築資訊模型（BIM）延伸應用，透過 BIM 進行設計、模擬和分析，優化設計方案，以減少材料浪費和碳排放，符合永續發展目標。BIM 延伸應用指的是將 BIM 技術應用於設計、施工、營運等各個階段，實現資訊共享和協同作業。透過 BIM 進行 3D 模型視覺化溝通、管線碰撞自動調整等，可優化設計方案，減少設計錯誤和施工變更，進而減少材料浪費和碳排放。

3-4 營運階段（營運碳）減碳作為

航空城未來營運階段將朝向數位雲



端高效管理方式，不僅將建築資訊模型（BIM）延伸應用納入維管單位之雲端管理平台（如圖 10），減少人為管理及運輸成本支出，提升管理效率。另外此階段的主要排放來源包括冷氣、照明、通風、污水處理等設備運行等能源消耗，以及定期維護所需的材料與資源。為實現減碳目標，可以通過智慧能源管理系統（EMS）輔助監控與優化能耗，確保能源使用效率最大化。

3-5 汰舊階段（循環經濟）減碳作為

為降低此階段的碳足跡，在建築設計初期融入循環經濟的理念，採用可拆卸、可回收的結構材料，延長材料的使用壽命並促進資源循環利用。並在拆除過程中應推行廢棄物分類與資源化處理，最大化廢料的回收與再利用比例，減少填埋處置所導致的碳排放。目前航空城基地內之既有資源（鋼筋料回收再使用、瀝青刨除料全部回收使用以



註：上述內容係於規劃階段建議項目，後續將依實際需求辦理。

圖 10 航空城未來可發展建設項目示意圖



R60 取代基層) 回收再利用, 可減少土建材料的使用, 降低碳排放。未來航空城基礎設施於拆除廢棄後, 該項資源將挹注於其他額外基礎建設之功能並減少環境負荷。

總之, 桃園航空城在實踐 SDGs 的過程中, 已重視全生命週期減碳管理, 從規劃、設計、施工及營運等各個階段著手, 並將「基底碳」、「蘊含碳」和「營運碳」納入考量, 以有效降低整體碳排放, 實現永續發展目標。各階段概估減碳效施如圖 11。



註: 上述內容係於規劃階段概估, 後續將依實際需求辦理。

圖 11 規劃階段航空城全生命週期概估減碳示意圖

四、結論

根據前章內容, 經綜合整理, 航空城實踐 SDG 發展理念與減碳作為如下:

1. 目標 6: 潔淨飲水和衛生設施—航空城的都市計畫包括先進的水資源管理系統, 確保居民和企業能夠獲得乾淨的水源, 並且有效處理廢水, 保護當地的水生態系統。
2. 目標 7: 負擔得起潔淨能源—都市計畫中包含了使用再生能源的, 如太陽能, 以減少對化石燃料的依賴; 並加強工程施工階段的電動設備與太陽光電使用。

3. 目標 9: 產業、創新與基礎設施—航空城基礎設施整體考量公共運輸及自行車道, 落實 TOD 交通系統, 並以自動化、模組化、標準化的工程施工方式, 促進工業和技術創新。
4. 目標 11: 永續城鎮—都市計畫強調綠色建築和公共空間的設計, 提升城市的宜居性和防災能力。
5. 目標 12: 責任消費與生產—航空城的工程階段, 推動資源的有效利用和廢棄物的減少, 鼓勵再生材料的使用和循環經濟的發展。
6. 目標 13: 氣候行動—航空城提出了調適措施, 如推廣建築低衝擊開發、加強區域排水韌性規劃, 以應對氣候變化。
7. 目標 15: 陸域生態—航空城的都市計畫注重保護當地的生物多樣性, 並通過綠化和生態修復措施, 恢復受損的生態系統。

綜上, 這些措施不僅推動了航空城的永續發展, 還為台灣其他城市的土地規劃和工程設計、施工樹立了典範, 也成功經驗展示了如何在城市發展中平衡經濟增長與低碳規劃, 實現永續發展的目標。

參考文獻

1. The 17 Goals. Sustainable Development Goals. UN., AUG 10, 2022.
2. Global Status Report for Buildings and Construction, UNEP, 2021.
3. BS en 17472 - Sustainability of Construction Works, BSI, 2022.
4. 擬定桃園國際機場園區及附近地區特定區計畫(第一階段)書, 內政部, 2021。
5. 桃園航空城計畫區段徵收工程工程規劃報告書, 桃園市政府工務局, 2020。
6. 桃園航空城計畫區段徵收工程工程基本設計報告書, 桃園市政府工務局, 2021。



新世代園區導入永續思維的環境友善設計

中興工程顧問股份有限公司園區路航部計畫經理 / 郭育祥
中興工程顧問股份有限公司園區路航部計畫副理 / 陳蓓如
中興工程顧問股份有限公司園區路航部規劃師 / 林貝珊
臺北市立大學校長 / 邱英浩

關鍵字：新世代園區、科學園區、產業園區、永續發展目標

摘要

對於科學／產業園區而言，如何能實踐永續目標 SDGs 以及 2050 淨零碳排，應該是現階段最重要的任務。本研究首先試著從科學／產業園區的 CSR 資訊及中興工程顧問公司多年來服務國內外產業園區及科學園區的規劃、設計業務經驗，定義出園區的規劃、開發及營運的七大核心目標，並將目標及細項指標內容重新定義。並且透過對近期發生的國際及國內園區規劃以及廠商動向的案例研究，發掘出「能源轉型：區域化零碳供電」及「生態人文共好：自然解方」等值得注意的趨勢。最後提出，面對淨零的挑戰今日，不失為一個重新思考園區定位的時機。在過去專注在支援廠商生產之餘，新世代園區規

劃思維或可轉向透過更主動、更積極地面對永續議題，透過推動園區內的實證場域，可培植戰略產業、又能獲得淨零碳排、韌性防災的多重功效。

一、科學／產業園區的 SDGs 目標

SDGs 是聯合國 2015 年 2030 Agenda 制定的 17 個目標，做為全球共通為 2030 年實現可持續發展的共同規範。我國的新竹、中部、南部科學園區 [1][2][3] 很早就響應聯合國 SDGs 及臺灣永續發展目標 TSDGs，提出 CSR 及 VDR 等永續發展執行情形之自願檢視與分享。內容歸納為四大面向：環境友善、園區發展、社會共融及誠信治理，並各自盤點出不同的主題及細項，綜整如表 1 所示。



表 1 各科學園區永續發展目標彙整

新竹科學園區	中部科學園區	南部科學園區	面向
SDGs 11 項	SDGs 16 項	SDGs 15 項	
提升環境永續，驅動綠色經濟 ◆ 產業輔導 ◆ 設置示範場域 ◆ 水與放流水 ◆ 廢棄物 ◆ 新植喬灌木 ◆ 綠建築	氣候行動 ◆ 新能源、節能 ◆ 再生能源 環境管理 ◆ 水與放流水 ◆ 廢棄物 ◆ 排放 ◆ 循環經濟	環境友善 ◆ 能資源管理 ◆ 污染防治 ◆ 綠能再生 ◆ 生態保育 ◆ 智慧防災應變體系	環境友善
打造精緻園區，力促產業創新 ◆ 推動智慧園區 ◆ 扶植新創廠商園區內跨產業合作，發展群聚效益 ◆ 增進國際交流	創新驅動 ◆ 經濟績效（產業升級） ◆ 創新創業 社會互動 ◆ 間接經濟衝擊（園區基礎建設） ◆ 招商投資	優質園區 ◆ 產業聚落擴展 ◆ 新創動能 ◆ 國際交流	園區發展
建立友善環境，創造共享共榮 ◆ 培育專業人才 ◆ 零職災 ◆ 職場性別平等	安心職場 ◆ 安全職場稽核	社區和諧 ◆ 人才就業培育 ◆ 友善職場 安全防護 ◆ 敦親睦鄰	社會共融
◆ 宣導企業誠信以及廉政	誠信治理 ◆ 反貪腐	誠信治理 ◆ 進修培訓 ◆ 法遵與內控 ◆ 採購與供應管理	誠信治理

科學／產業園區的永續發展目標分為幾種推行手法。有些是由園區的公共建設，或是透過管理局治理措施直接施行。例如園區興建水循環處理設施能符合 SDG 6 淨水及衛生目標；高標準的防洪減災措施可符合 SDG 13 氣候行動；而園區管理局提供人才就業培育服務可符合 SDG 8 就業與經濟成長之目標等。

第二種手法為透過園區管理及輔導機制對入園廠商進行篩選及輔導，例如近年新設科學園區的環境影響評估書件中均承諾入園廠商設置再生能源義務裝置及使用再生能源的比例，未能符合標準廠商則無法租地建廠，符合 SDG 7 可負擔的永續能源目標。

在 SDGs 之後，IPCC 在 2018 年提出了有名的「+1.5°C 特別報告」，具體描繪出氣溫上升後世界環境風險，自此各國紛紛宣布淨零。大部分的國家都以 2050 年達到溫室氣體排放減少到零、達到碳中和為目標並提出具體的減量路徑。而我國也在 2021 年 4 月宣示 2050 年淨零排放的政策。淨零是 SDGs 目標的一部分，大致對應到 SDG 7 可負擔的永續能源及 SDG 13 氣候行動的範疇，因此在討論新世代園區規劃遠景時，仍然應該以 SDGs 目標來檢討較為周全。但是 SDGs 目標範圍十分廣泛，中興工程顧問公司本於多年來服務國內外產業園區及科學園區的規劃、設計及監造業務，針對科學／產業園區規劃開發應考慮的 SDGs 目標，歸納出七大核心目標，並將目標的定義及其細項指標的內容重新整理，如圖 1 所示。

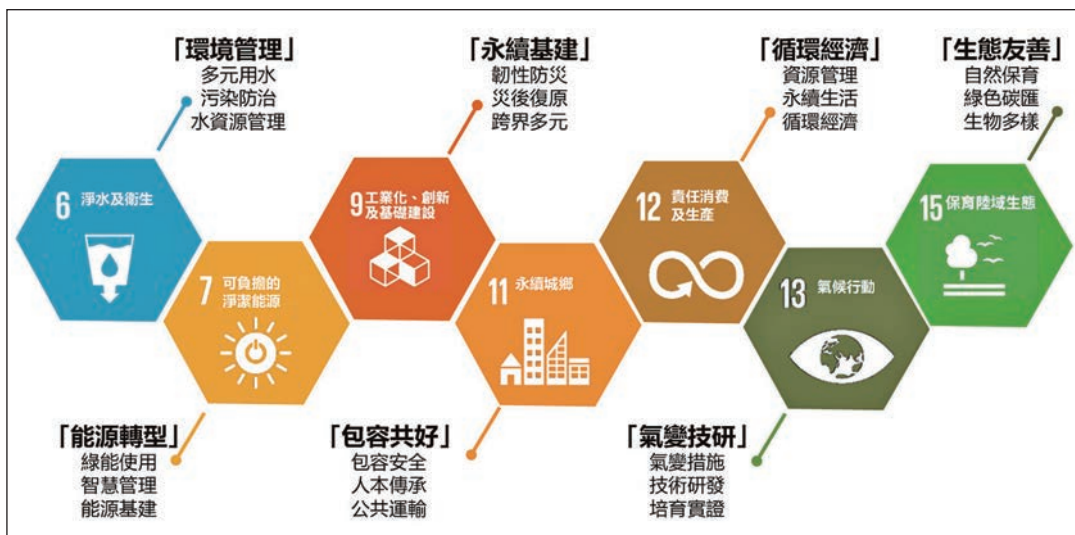


圖 1 我國園區永續發展核心目標及細項指標雛議

我國園區在這七大核心目標很多領域已經都做得十分卓越，例如環境管理、循環經濟及生態保育。未來 5 到 10 年重點應該放在能源轉型及氣候行動方面，達成淨零階段目標。本文透過解讀園區發展及國內外案例，疏理未來園區規劃重點趨勢。另外，面對淨零的挑戰今日，不失為一個重新思考園區定位的時機，更主動、更積極地面對永續議題下土地管理或環境保護的挑戰，更進一步進化為促進永續目標科技的研發、培育及實踐的新思維。

二、國際新趨勢

2-1 能源轉型：區域化零碳供電

國際半導體產業協會（SEMI）2024 年發佈了「台灣低碳能源採購挑戰與解方」白皮書，指出台灣面臨再生能源供應量、價格及

採購機制的挑戰。太陽光電及離岸風電的開發有待相關單位的努力，但是園區也可思考在園區內以「創綠能、儲能調節、智慧系統整合」來支應園區的公共設施及入區廠商的淨零減碳需求。

依國發會訂頒之「台灣 2050 淨零排放路徑」，2050 年時台灣氫能發電目標為全體發電佔比之 9-12%。為達成此目標，須建立本土化藍氫產氫關鍵技術、導入氫氣發電技術、布局氫氣減碳製程等。國內氫氣產製及發電相關投資已經起飛，「聯華氣體 SMR 製氫，碳捕捉高純度二氧化碳供半導體製程使用 [4]」、「氫豐綠能投資 3 億進駐南科發展餘氫發電 [5]」、「台達首座百萬瓦級水電解製氫與氫燃料電池測試平台 推動氫能技術創新 [6]」等等。園區在此背景下可透過設置具規模的創能設施，打造園區級微電網，來建立先導實證場域來培



育氫氣戰略技術及廠商，產生的綠電及相關副產品可以來供應入區廠商的創能、節能、減碳及循環的多重需求。另外區域化供電可以獲取韌性防災、分散風險等多重功效。

在再生能源取得困難的狀況下，國內開始出現廠商自行設置大型氫能發電設備的案例，例如 PCB 大廠欣興電子設置 MW 級的天然氣／氫氣雙燃料 SOFC 發電系統，成為產業減碳範例。預計未來園區必將面對更多大小入區廠商自行設置或由園區設置天然氣／氫氣甚至其他前瞻綠能的發電設施的零碳供電需求，建議應提早規劃因應。欣興電子案例詳後節。

2-2 生態人文共好：自然解方

自然解方（Nature-based Solution, NbS）簡單說就是利用生態系統來解決人類社會的課題，獲取人類幸福及生物的多樣性多重好處。生態系統可以供應人類生存（例如食物、建材、水、藥品）、提供解方（例如吸收二氧化碳、降低都市溫度、保水等）、滿足文化及休憩需求、提供生產居住環境等，因此人類社會有關健康、氣候變遷、自然災害、經濟發展、糧食及飲水、環境劣化及生物多樣性損失等課題，都可能透過生態系的保護、維養及恢復來解決。

自然解方手法大致包括：1. 生態系恢復；2. 生態議題相關方法（例如利用生態系來防減災）；3. 綠色基盤；4. 生態系統管理（例如統合性的水資源管理）；5. 生態系保護等，並且配合系統性的分類及評價系

統。國際自然與自然資源保護聯盟（IUCN）推出了一套自然解方的世界標準，以確保自然解方的應用是合理可信的，並且搭配完整的監測、管理及回饋的完整流程。自然解方已經獲得聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）及生物多樣性公約（CBD）認定，為氣候變遷減緩與調適的有效解決手段。

這樣聽起來好像只是舊瓶裝新酒，但其真正的意義在透過國際認定的科學評價系統，使生態友善的措施有機會被認定為氣候變遷減緩與調適的成果。例如日本愛知縣名古屋知多半島 GREEN BELT 重建計畫 [7]，該區域原本是 50 多年前的填海造地工業區與內陸間相隔寬約 100 公尺長約 6 公里的巨大綠帶，經過 50 年已經長成高約 15 公尺之森林。但是長期以來只被視為隔離障蔽、倒木荒蕪的結果，人類及野生動物都無法妥善利用。時至 2010 年 CBD COP10（生物多樣性公約會議）在愛知縣舉行，縣知事在大會中宣布集結了 GREEN BELT 附近 11 個工廠企業、政府單位、大學及 NGO 組成協議會共同推行這個重生計畫。透過適度的疏伐把風與光導入林中，以及區域性生態系的調查及專業規劃進行生態整建（例如濕地、魚道、潮間帶等）等做法，現在已經形成了多個 Biotope（生態單元）。該計畫在 CBD 獲得很高評價，國內外獲獎無數，參加的企業及地方政府都以此為榮並在 ESG 重大貢獻內，參與的人員及單位也透過參與相關活動獲得成長及滿足，正是「利用生態系統來解決人類社會的課題，獲取人類幸福及生物的多樣性雙重好處」的最佳例證。



圖 2 日本愛知縣名古屋知多半島 GREEN BELT 重建計畫

三、低碳電力新方向－欣興電子

SDGs 目標：SDG 7：能源轉型、SDG 13：氣變技研

3-1 園區及廠商

欣興電子是我國電路板、積體電路載板產業的大廠，該公司採用美國燃料電池 SOFC 製造商博隆能源（Bloom Energy）的產品設置全台首宗大型定置式規格 SOFC（固態氧化物燃料電池）。2023 年已經啟用 600 kW 機組，未來在台灣各地共 6 座廠將建置總發電量 10MW（33 套，每套 300 kW）、年發電量約 7,800 萬度共 33 套（每套 300 kW）之大型定置式 SOFC，以作為全天候穩定且大容量工業基載電力來源，投資金額超過 40 億元，未來將再加碼投資 30 億至 40 億元，整體 SOFC 總投資上看 80 億元，預計供電將占整體需電的 12% 至 15% [8]。

目前該案例使用天然氣製造氫，在 SOFC

內轉換成氫氣與二氧化碳，氫氣用於發電，二氧化碳則直接排放或加以捕捉封存。在未加裝碳捕捉設備狀況下，排出二氧化碳較台電燃煤發電減少 30%。未來若在二氧化碳排放口加裝碳捕捉設備，或在國內氫氣供銷上軌道後切換成為直接使用氫氣做為原料，則可進一步大幅降低碳排。

由上可知該案例的目標並非供應生產全部的需電量，主要原因為有以下幾個：廠區用電隨時都在變化，但 SOFC 的出力無法快速追隨負載變動，因此僅基載（固定不變部分）適合使用 SOFC 供電。另，廠區生產特性僅部分機台會因電力中斷而產生大量廢品，僅須針對此類特定機台使用 SOFC 作為其主電源或備用電源即可大幅降低由於電網供電不穩所造成的停電報廢損失。

SOFC 因為壽命相對較短、維護及成本較高等考量，目前案例多做為辦公室、商場及 Data Center 的定置型電源使用，做為工業生產用電者則屬配套性質居多（本案例即是



如此)。在現今各種前瞻能源的各種發電方案現在正處百花齊放的階段，企業在國際客戶 RE 要求及國內淨零政策的背景下，如何能配合其生產需求、成本及發展策略等多重考量，選擇最適方案應該是煞費苦心。

SOFC 因為壽命相對較短、維護及成本較高等考量，目前案例多做為辦公室、商場及 Data Center 的定置型電源使用，做為工業生產用電者則屬配套性質居多（本案例即是如此）。在現今各種前瞻能源的各種發電方案現在正處百花齊放的階段，企業在國際客戶 RE 要求及國內淨零政策的背景下，如何能配合其生產需求、成本及發展策略等多重考量，選擇最適方案應該是煞費苦心。

欣興電子 SOFC 投資案例對新世代園區規劃的啟示，應該可以歸結於一個重點，那就是入園大小廠商淨零及供電韌性需求將愈來愈強，其手段及作法亦將愈來愈多樣。而且大規模的入園廠商及小規模廠商的需求也大不相同，這些都是園區的新挑戰。新世代園區在能源轉型及氣候變遷層



圖 3 欣興電子建立台灣第一座氫燃料電池廠（600 kW）使用 2 × 325 kW Bloom Energy Server

面的 SDGs 的作為，有機會一舉達成園區自身 SDGs 目標、協助入園廠商達成淨零減碳目標以及達成國家永續發展產業政策目標等多重目標。今日科學園區管理局已經開始佈局「創綠能、儲能調節、智慧系統整合」機能，接下來介紹的 -- 嘉義科學園區二期配水池新創能源供電規劃建議，即是良好案例。

四、零碳供電實證－嘉義科學園區二期配水池

SDGs 目標：

- SDG 6：環境管理
- SDG 7：能源轉型
- SDG 9：永續基建
- SDG 13：氣候變遷

國科會早在 2022 年就提出以「為實現淨零減碳目標，科學園區應提高標準，成為國內產業標竿，區內事業應負更大責任，帶領產業接軌國際」為目標，並且選擇適當園區來規劃「淨零減碳之先導技術示範驗證園區」。科學園區在此政策下首先從自身的公共設施用電做起，提高綠能創能比例並且建置「先導技術示範驗證」場域。以南科為例，目前正漸次推行園區內公共工程之新創能源系統實證。中興工程顧問公司在南科管理局嘉義園區二期基地土地開發工程設計監造委託案之服務建議書中，提出以下建議：

1. 嘉義園區二期配水池因用電量較小及非高使用頻率的特性，常合作為新創能源供電示範性公共設施。



2. 新創能源因 2050 淨零關鍵戰略行動已訂定氫能為十二大項關鍵策略之一，應以氫能為主，達到「氫能源發電的先導技術示範驗證」之產業政策目標。惟在氫能尚未穩定供給前，初期可採用天然氣發電，具有立即可執行的優點。
3. 經初步檢討配水池用電量約 800 kW，設計的設備為 4 + 1 台 200hp 抽水機，每部抽水機所需運轉時數為約 6 小時。考量配水池負載變動的特性，又可達成示範不同氫能解決方案之政策目的，因此提議考量 SOFC 與 Hydrogen Turbine 混搭配置方案。雖然 SOFC 搭配儲能電池方案亦可滿足相同需求，但除成本過高外，其對於充放電排程與抽水機運轉排程互相配合要求高，且須同時符合氫能及鋰電池兩套安全及法規遵循門檻，因此不建議考慮。
4. 配水池未來可透過設置能源管理系統 (EMS)，以配水池之新創能源搭配園區內設置的其他創能（例如太陽光電）或儲能設施，供應 100% 配水池用電以及其他公共設施之用電，達到園區公共設施用電 RE 的 SDGs 目標。

本公司嘉義科學園區二期配水池氫能發電實證示範整理如表 2。

表 2 氫能發電實證示範內容匯整表

方案	規格內容	能源供應方案
300 kW SOFC (固態氧化物燃料電池)	燃料電池：100 m ² 碳捕捉：100 m ² 壽命：10 年	短期：天然氣 長期：氫氣廠 以地下管線供應 (園區公共工程須預留氫管線埋設位置)
500 kW Hydrogen Turbine (氫氣燃機)	氫氣燃機：50 m ² 碳捕捉：150 m ² 壽命：20-30 年	電源韌性：台電 (備用電源)

在公共設施配套措施方面，考量整體氫能源供應相關設備及條件尚未完備，目前尚無穩定之氫氣來源，初期之天然氣供應可由嘉科一期之天然氣管路設置分支管供應，並於本園區道路下方預留氫氣管線之埋設空間，俟未來氫氣供應條件完備後再改接管路由氫氣供應發電。

五、人文傳承－雲林古坑園區通學道設計

SDGs 目標：SDG 7：能源轉型

SDG 9：永續基建

SDG 11：包容共好

SDG 15：生態友善

本研究建議之科學園區 SDGs 七大核心目標之一：包容共好，係來自永續城鄉的體系。永續城鄉細項指標包括：為所有人提供安全、包容、無障礙及綠色的公共空間。產業園區或科學園區過去常有避免與生產目的無關的事物牽涉、以免事權不清的傾向，卻造成外界對園區內外像是不同世界的印象。國科會在 2021 年「科學園區現況及未來展望」中，已經將新世代科學園區定調為「精緻多元、優生活、低耗能」方向，強調與周邊地區共榮共好為原則，朝向永續發展目標前進。

中興工程顧問公司近期承辦了雲林縣政府之古坑加值產業園區，雖然不是科學園區，但因屬於包容共好的優質案例，特別在此提出。古坑加值產業園區開發面積 71.35 公頃，該園區位於古坑村及永光村兩村落之間，古坑鄉公所考量在地學生與居民的通行安全與便捷性，建議園區開發時配合規劃並開闢通學步道。而園區亦接受此一建議規劃



提供通學步道，園區內 RD15-1 及 RD15-6 計畫道路將規劃成為通學步道之一環，總長度約為 1,150 公尺。道路設計則配合通學使用需求導入以人為本及人行空間最大化之設計理念，創造出友善之用路人空間與環境，同時利用複層植栽及結合周邊環境營造道路景觀，使其成為園區開發工程中的亮點。能體現為各年齡層與社會階級的居民提供安全、供安全、包容、無障礙及綠色的公共空間，符合包容共好之永續目標。設計概要說明如下：

5-1 道路斷面規劃

計畫區內 RD15-6 及 RD15-1 道路係 15M 之計畫道路，原斷面採雙向 2 車道配置，兩側並配置有 2.9M 之設施帶及人行道空間。為考量通學上之需求，其西側（鄰公共設施用地側）之人行空間將結合建築退縮帶做整體

考量，利用原道路 1.5 公尺之人行道及 3.0 公尺建築退縮帶，創造 4.5 公尺寬之自行車與行人共用道空間，將人行空間最大化，以提高通學使用上之安全性和舒適性，其斷面配合通學需求改善前後之配置示意如圖 4 所示。

5-2 步道景觀規劃構想

計畫區內南側路段將跨越崁頂溪後經過園區之滯洪池，其中崁頂溪跨越橋將採單跨不落墩於河道之鋼橋方式設計，以降低對河道水流及生態之影響，另將結合滯洪池景觀及其環池道路，附加通學步道更多元之使用功能及景觀意象，同時 4.5 m 之人行空間將採複層植栽設計，以形塑該步道成為計畫區內之林蔭大道，夏季期間更可提供絕佳之遮蔭效果，提供用路人更舒適之步行空間及休憩環境如圖 5 所示。

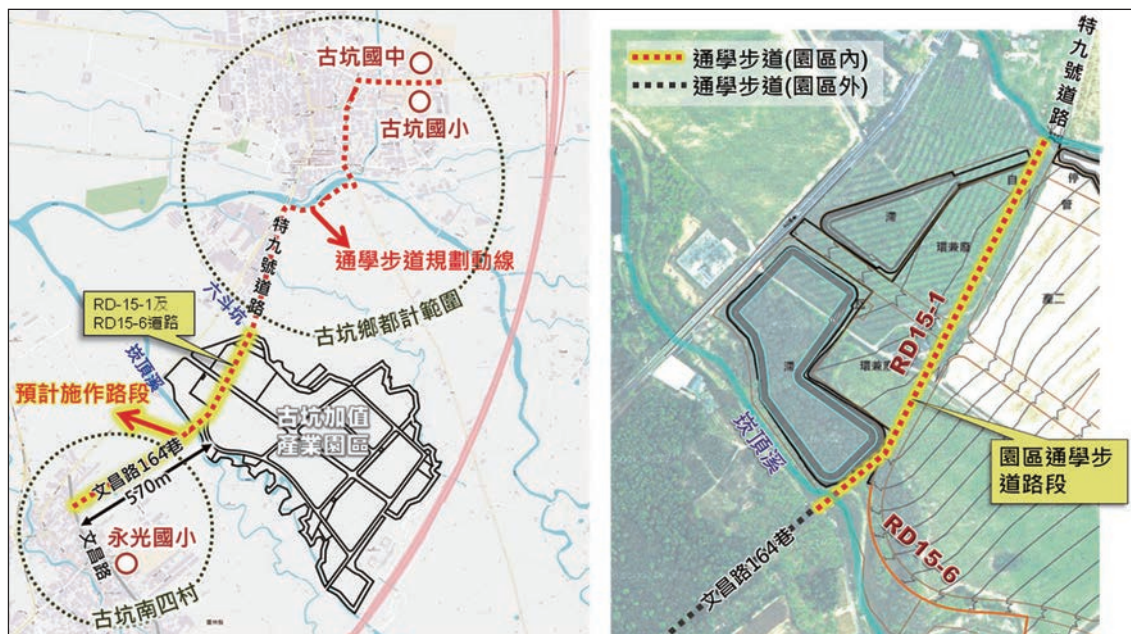


圖 4 雲林古坑園區通學步道規劃示意圖

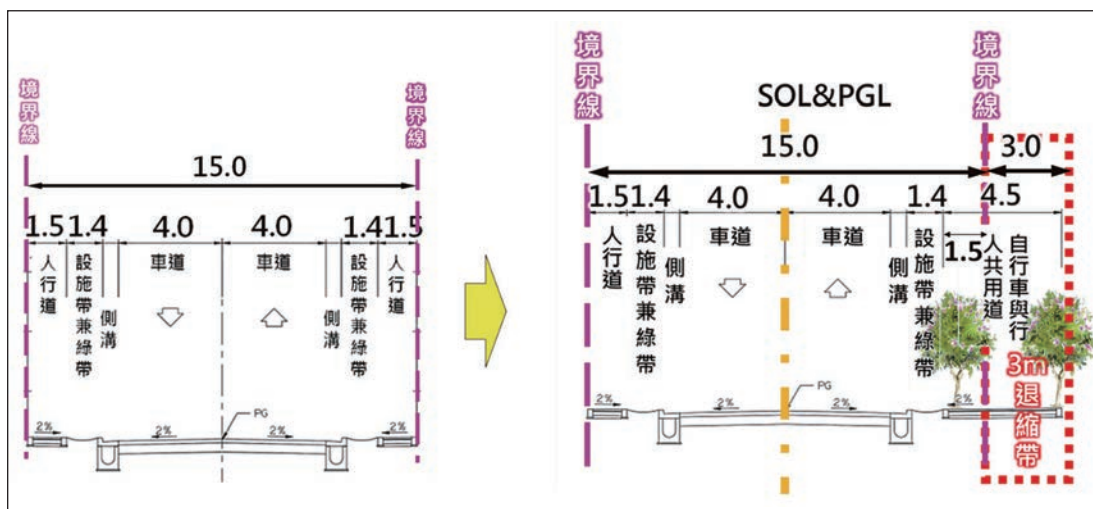


圖 5 雲林古坑園區通學步道斷面規劃示意圖

5-3 節能減碳的照明工程

在步道的照明設計上，將採用 LED 景觀高燈、LED 條燈、LED 壁嵌燈等節能設備，既能提供照明，又能提升夜間的安全性和美觀性。步道的照明設備全部使用 LED 技術，具備高效能與低能耗的特點，減少能源消耗，符合節能減碳的永續發展目標。

5-4 小結

雲林古坑園區的通學步道為園區週邊社區創造安全、便捷的生活空間。該步道不僅僅可解決學生通學問題，在提升當地生活品質及促進生態保護等方面，亦有相對應之措施及積極作為，為新世代園區人文共好設計思維的體現，符合 SDGs 11 永續城鄉（包容共好）及其他多項永續目標。

六、生態共好－屏東科學園區生態廊道

SDGs 目標：

- SDG 9：永續基建
- SDG 11：包容共好
- SDG 15：生態友善

回顧 2020 年國科會在報編橋頭園區過程中，經生態調查發現園區內部分草生地為瀕臨絕種之一級保育類野生動物東方草鴉之棲息地。為保育東方草鴉及營造優質生態科學園區環境，中興工程顧問公司在南科管理局指導下，於橋頭園區用地內以「增加在地保育」、「擴大異地補償」等方法規劃保留橋頭園區中央滾水坪泥火山公園（約 13.93 公頃），並於既有農地種植草鴉偏好之白茅（約 4 公頃），營造友善生態環境；另於高雄園區擴大異地補償，劃設草鴉異地保育區（約 20 公頃）。透過前述努力，園區內棲架於 2022、2023 年成功紀錄到東方草鴉活動的身影。



為了推動南部科學園區東方草鴉保育工作，南科管理局成立東方草鴉保育小組，持續積極執行東方草鴉保育及監測工作，滾動檢討保育計畫成效，擴散生態保護意識，落實科技與環境保育並存的產業聚落。

時至 2023 年南科屏東科學園區報編時，亦預為因應自然生態議題，基於鳥類調查結果及學術研究鳥類偏好特性提出構想，並參考專家學者、保育機關相關意見及環評審議結果，訂定以「燕鴿、小雲雀作為園區內之生態保育標的，東方草鴉作為科學園區及周邊相關計畫共同合作保育標的」之目標，研擬並落實下列生態保育對策：

6-1 規劃原則：以生態科學園區為目標願景

1. 既有造林保留，規劃綠意開放空間：園區內西側及南側規劃 20 與 30 公尺寬之緩衝隔離綠帶，保留既有環保造林，並結合園區土地使用機能，強化生態複層及綠意景觀。
2. 建築物集中配置，串聯園區內藍綠帶：園區內建築應儘量集中配置，建築基地留設之法定空地應儘量靠近連貫既有之藍綠帶空間，使建築基地之法定空地能與區內外藍綠系統相連貫，並於未來園區辦理租地及廠商建築審查時，要求廠商配合。
3. 生態策略落實，營造優質生態景觀：以迴避、補償、減輕、對接為園區生態規劃策略，園區內透過景觀植栽及開放空間配置串聯區內公園、綠地、主要道路、滯洪池及周邊隔離綠帶等藍綠開放空間，形成園區「心、軸、環」系統，並使園區景觀與周邊綠廊串聯。

6-2 保育對策：落實園區內棲地營造及施工期保育

1. 棲地營造

園區內東北側臨滯洪池之綠地（約 0.8 公頃）規劃為燕鴿／小雲雀生態友善環境。依燕鴿／小雲雀習性種植如西瓜、毛豆等低矮、低密度、且旱作之農作或植栽為主，植栽密度較低之地區輔以砂土礫石鋪墊，並於綠地周邊規劃栽種誘鳥蝶植栽之隔離綠帶，以避免威脅或捕食者（如人、車、貓與狗等）擾動對物種之影響。另於園區滯洪池北側陸域範圍劃設約 0.8 公頃面積，種植東方草鴉偏好植栽如白茅等長草植物，搭配鋪地狼尾草、甜根子草等高草，維持草鴉食源（小型鼠），設置猛禽棲架、浮台及鳥棲木等，並以複層植栽營造多樣性。新植喬木以原生種為限，以適地樹種營造多樣性，優化棲地環境，並利用原生樹種規劃隔離綠帶，以降低環境及人為擾動。

2. 施工期間保育

針對燕鴿／小雲雀，於繁殖期間（3 至 8 月）欲施工之工區，將委託生態專業人員辦理 1 次工區內之燕鴿／小雲雀卵與巢位調查，完整搜尋與調查工區內範圍，如有卵、巢位將記錄當下座標位置，劃設半徑 50 公尺之警戒區（若鄰近工區邊界、圍籬未達 50 公尺，則至工區圍籬等人為設施為止）圍阻，避免人員進入，並將處理措施做成紀錄彙整通報管理局統一管理，待雛鳥離巢，或卵長期未孵化（但親鳥離巢超過一星期



以上)者,經管理局確認後移除警戒區。另外東方草鴞保育對策,除配合環保局或衛生單位等主管機關防治傳染病或病蟲害等需使用環境用藥外,其餘將不使用化學除草劑、殺蟲劑、毒鼠藥,並持續進行生態監測。

- 營運期間保育：營運期間針對基地及其周界 1 公里，區分衝擊區與對照區，進行陸域生態調查監測燕鴿及小雲雀等每季 1 次；東方草鴞繁殖季（10 月至隔年 3 月）執行頻度為每月 1 次，非繁殖季執行頻度則為每季 1 次，連續監測 10 年。且營運階段每 5 年進行燕鴿及小雲雀棲地營造區位之成效檢討，並依檢討結果滾動調整棲地營造區位之規劃，以利維持燕鴿及小雲雀活動區域。

6-3 綠廊串聯：園區及周邊整體生態廊道建議

生態廊道規劃策略於空間上承接高屏溪沿岸生態體系，藉由周邊各計畫所留設之點線面藍綠系統，形成綠嵌塊，並參依生態調查資料呈現之鳥類活動熱點，強化園區與周邊友善環境營造。透過整體區域建築退縮之景觀綠廊，指引生物引導路徑，進而促使綠廊得以西承接高屏溪河岸生態；往東銜接屏東都市計畫及周邊社區既有藍綠系統資源，建構完善生態景觀網絡。

6-4 小結

屏東科學園區透過科學的調查及研究結果提出野生動物保育計畫，召集專家學者、



圖 6 南科屏東園區保育對策規劃示意圖

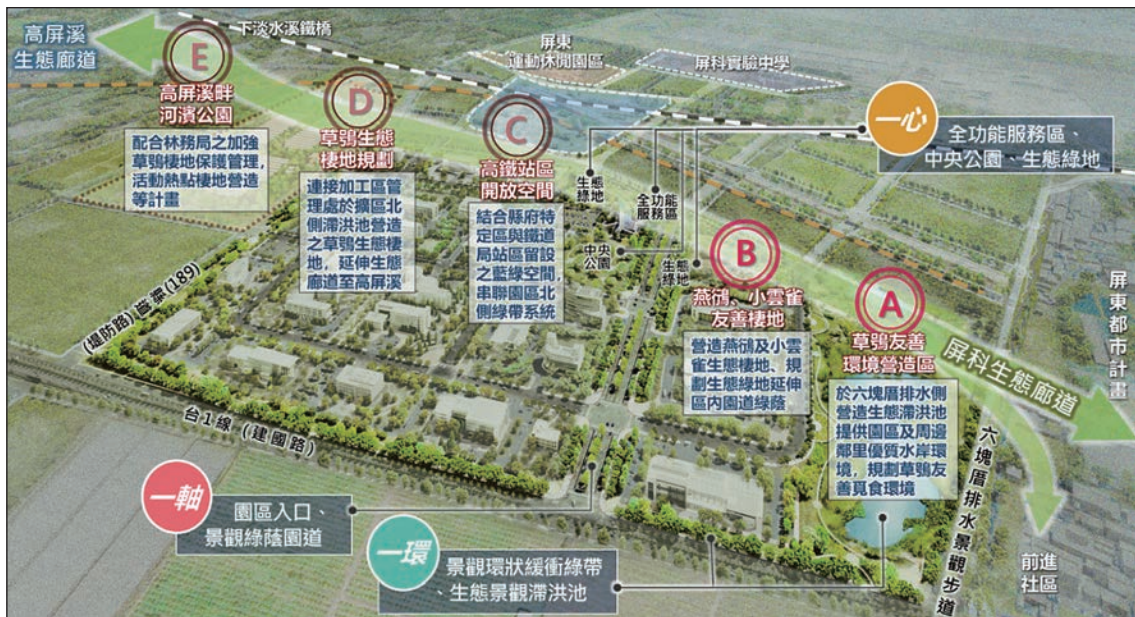


圖 7 南科屏東園區生態廊道規劃示意圖

保育機關給予相關意見及依環評審議結果修正後施工執行；並在管理局專責保育小組的監督下，持續推動及檢討修正。另外跳脫園區範圍，以區域生態系統的視角與園區周邊串連，都是自然解方的體現，並能落實 SDG 9：永續基建、SDG 11：包容共好及 SDG 15：生態友善的永續目標。

參考文獻

- 保育機關給予相關意見及依環評審議結果修正後施工執行；並在管理局專責保育小組的監督下，持續推動及檢討修正。另外跳脫園區範圍，以區域生態系統的視角與園區周邊串連，都是自然解方的體現，並能落實 SDG 9：永續基建、SDG 11：包容共好及 SDG 15：生態友善的永續目標。
- 參考文獻
1. 新竹科學園區 ESG 專區，<https://web.sipa.gov.tw/CSRWeb/smain.jsp>
 2. 中部科學園區管理局永續發展網站，https://ctspcsr.com.tw/report_download/
 3. 中部科學園區管理局永續發展專區，<https://www.stspcsr.com.tw/>
 4. 聯華氣體 SMR 製氫技術 響應半導體龍頭的碳足跡計畫，工商時報，June 7, 2021，<https://www.ctee.com.tw/news/20210607700533-431202>
 5. 投資 3 億 氫豐綠能獲准進駐南科，工商時報，November 25, 2023，<https://www.ctee.com.tw/news/20231025700331-439901>
 6. 台達首座百萬瓦級水電解製氫與氫燃料電池測試平台 推動氫能技術創新，經濟日報，December 12, 2024，<https://money.udn.com/money/story/5612/8421309>
 7. 知多半島グリーンベルト，環境省脱炭素地域づくり支援サイト，https://policies.env.go.jp/nature/biodiversity/30by30alliance/documents/nintei/R5Early44_Chita_Peninsula_Green_Belt.pdf
 8. 氫能價格甜蜜點將至！台達電拚國產化、博隆瞄準半導體，經濟日報，November 05, 2024，<https://money.udn.com/money/story/5612/8272361>



我國無機資源循環與發展

環境部資源循環署循環處理組組長 / 陳俊融

環境部資源循環署循環處理組無機資源循環科科长 / 李旻壕

環興科技股份有限公司協理 / 吳文龍

環興科技股份有限公司資深計畫主任 / 葉柏宏

關鍵字：無機資源循環、循環經濟、淨零減碳、陸域營建工程應用、水泥業循環、港區填築、SDGs (9. 永續工業與基礎建設)

摘要

廢棄物是被錯置的資源，資源是可以循環再利用，臺灣每年產生約 3,200 萬公噸廢棄物，其中無機資源占五成以上，約 1,700 萬公噸，促進循環相對重要。無機資源可經資源化處理作為原料、材料、級配料或加工製品等應用，替代天然粒料、同時也減少掩埋處置。

目前臺灣無機資源循環，主要用於陸域營建工程應用（112 年約 54%）、水泥業循環（112 年約 11.8%）及港區填築（112 年約 9.8%）等用途，並由公共工程帶頭使用、編修訂規範及手冊、鼓勵綠色標章及綠色採購、媒合替代作為水泥生熟料及燃料、推進水泥業研製低碳水泥產品、推進港區

填築需求及供給進度等方式，再提升無機資源循環率。

在後續推動上，期透過強制使用、施工規範及品質認證，與各主管部會攜手努力擴大公共工程使用無機資源；建置無機資源循環平台，做為無機資源循環推動及管理中樞；辦理科技研發，暢通無機資源循環及提升高值化。透過產業、政府及民眾共同為資源及環境永續而努力，讓無機資源循環推動工作，做到 3 心 3 用—關心、安心、有信心，會用、敢用、樂於用。

一、前言

臺灣每年約產生 3,200 萬公噸廢棄物，分別來自工業 1,850 萬公噸、營建 200 萬公



噸、農業 20 萬公噸及生活 1,100 萬公噸。圖 1 為臺灣廢棄物來源及數量。廢棄物是被錯置的資源，幾乎所有廢棄物都可以循環再利用，放對位置就可作為原料、材料或粒料。將廢棄物資源化及循環利用，可有效替代天然資源開採及使用，創造經濟與環保雙贏，達成資源循環及循環經濟，邁向循環永續的社會。

二、無機資源循環背景及現況

無機資源循環背景

廢棄物包含可燃物、有機物、無機物及化學品等類別，其中無機資源約占五成以上，因此促進無機資源循環亦相對重要。無機資源除產業直接回收利用外，也可經資源化處理製成無機再生粒料，可減少掩埋量、替代天然粒料，作為原料、材料、級配料或加工製品等應用。

無機資源循環發展，以垃圾焚化再生粒料循環為例，臺灣生活垃圾現優先以源頭減量、資源回收為主，並自 80 年代以焚化廠減積產能發電，而焚化後產生底渣，亦自 90 年代起參考歐洲荷德等先進國家 90% 已循環利用於營建工程作法，率先於亞洲推動焚化底渣循環利用，於民國 91 年起訂定垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式，將焚化底渣經破碎分選等前處理技術製成焚化再生粒料（產品品質），符合環境溶出標準才能出廠（環境品質）；符合如控制性低強度回填材料（CLSM）、道路級配基底層及磚品等使用用途工程規範才能使用（工程品質）；並要求透過限制使用地點（排除敏感區位）、取得工程管制編號（許可管理）、清運機具應裝置即時追蹤系統（GPS 定位）、申報最終使用地點（地點管理）、檢附使用前中後照片（證據保全）等使用及流向申報，做到全程流向管理，兼顧技術、環境及管理面推動，迄今焚化再生粒料循環率已超過 90% 以上，與歐洲荷德等國同步。



圖 1 台灣廢棄物來源及數量



另外產業界也讓過去掩埋的無機廢棄物，轉變為無機資源全生命週期循環，建立不斷循環利用、可恢復且可再生的經濟商業模式或產業體系，也就是循環經濟（Circular Economy），如鋼鐵業（一貫作業鋼鐵廠及電爐煉鋼業）、水泥業等的循環經濟。一貫作業鋼鐵廠將鋼鐵業生產過程所產生副產物（高爐石、轉爐石、脫硫石、廢耐火材等）皆已適當處理資源化利用，將無機廢棄物轉化為各產業或工程的替代原料或材料，形成資源化鏈結循環利用，表 1 為一貫作業鋼鐵廠推動無機資源循環利用主要作法 [1]。另電爐煉鋼業將各界廢鐵回收熔煉成鋼鐵相關原料或產品，落實鐵金屬循環；而其煉鋼衍生集塵灰利用旋轉窯高溫冶煉技術去除戴奧辛製成粗氧化鋅產品（Zn 約 58%）供內外銷；煉鋼衍生爐渣（氧化渣及還原渣）及旋轉窯爐渣，也

經安定化處理供 CLSM 與非構造物用混凝土等使用，落實無機資源循環零廢棄，圖 2 為電爐煉鋼業循環經濟作法。

無機資源循環現況

無機資源如由產業製程產生之爐渣、飛灰、無機性污泥等，由營建工程產生之建築無機廢料等及由生活處理產生之焚化底渣等，共計 8 類 59 項，每年約產生 1,700 萬公噸，圖 3 為台灣無機資源循環現況。無機資源除部分可回收做為產業原料外，由於其特性與天然粒料相近，亦可作為再生材料或粒料，用於陸域營建工程（112 年約 54%）、水泥業循環（112 年約 11.8%）及港區填築（112 年約 9.8%）等用途，減少掩埋處置（112 年約 11.5%）之需求。

表 1 一貫作業鋼鐵廠推動無機資源循環利用主要作法 [1]

種類	製程來源	作法及應用方式
高爐石	高爐將原料熔煉成鐵水時產出副產物	利用高壓水柱急速將高爐石粒化產生水淬高爐石，加工後產生爐石粉，可作為高爐水泥原料。
轉爐石	鐵水經過轉爐精煉成鋼液時產出的副產物	經靜置冷卻後，回收殘鋼及部份作為燒結工場原料、高爐助熔劑及盛渣桶墊底料外，其餘作為整地、臨時道路、瀝青混凝土骨材、混凝土助劑、港區填築等。
脫硫石	鐵水經過脫硫處理後的副產物	回收殘鐵後用於整地、臨時道路、土壤改良材料、低強度混凝土及水泥製造原料。
集塵灰	製程除塵系統收集的粉塵（包括煤灰）	各製程產出集塵灰經收集分類後，除煤灰與礦泥混拌後作為水泥製造原料以及轉底爐產出的氧化鋅粉直接外售日本提煉鋅金屬之外，其餘全部用為廠內煉鐵原料。
礦泥	含有礦物粉塵的廢水經過處理、濃縮及脫水後的產物	各製程產出之集塵灰經收集分類後，電鍍鋅線產出的高鋅礦泥直接外售日本提煉鋅金屬，其餘優先在廠內回收做為煉鐵原料，無法回收者則外售水泥廠做為水泥製造原料。
廢耐火材	高溫設施汰換下來的殘餘耐火材料	經分類、破碎及篩選後，回收殘鋼及部份做為煉鋼助熔劑、渣桶保護材外，其餘供應商逆向回收做為耐火材料原料。
廢酸洗液	金屬表面處理製程以鹽酸溶蝕鋼材後產出之廢液	經廢酸純化、焙燒等流程，產出再生酸供廠內回收使用，另產出高品級氧化鐵粉外售作為磁性元件材料。

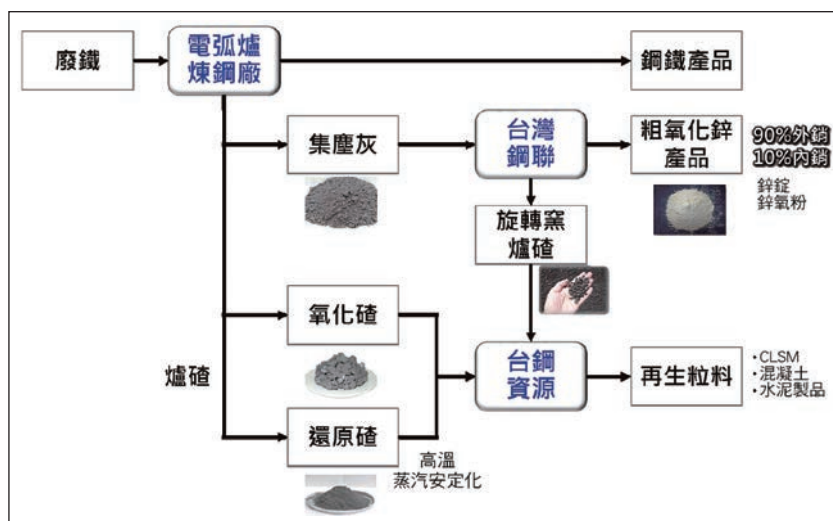


圖 2 電爐煉鋼業循環經濟作法

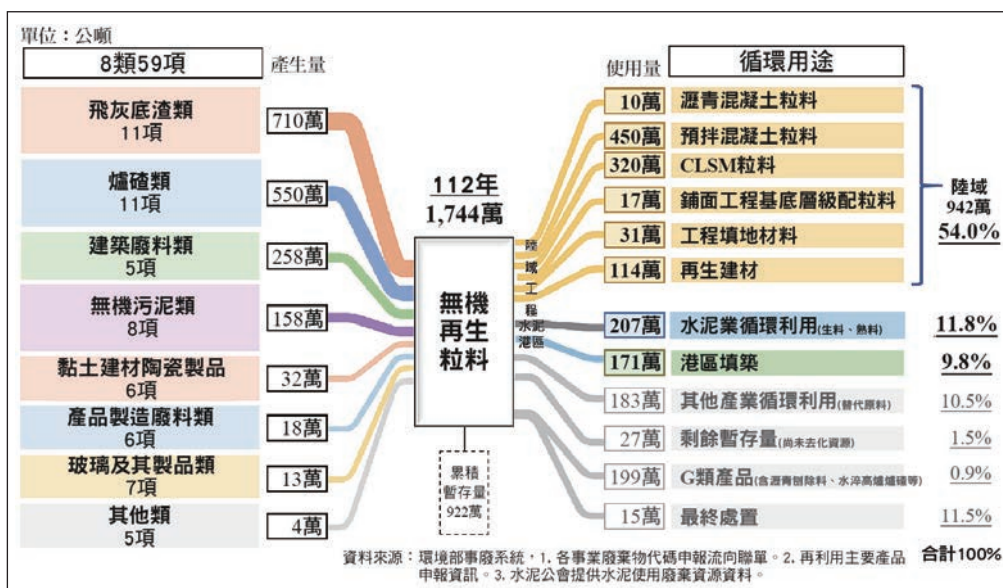


圖 3 台灣無機資源循環現況

三、無機資源循環應用推動策略

無機資源循環應用推動，目前主要在陸

域營建工程應用、水泥業循環及港區填築等領域，就環境面、技術面或法制面等進行，相關推動重點如下 [2][3][4][5][6][7][8]：



陸域營建工程應用

陸域營建工程應用，常見如作為預拌混凝土粒料、CLSM 粒料、瀝青混凝土粒料、鋪面工程基底層級配料、工程填地材料及磚品、水泥製品等建材產品，應用範圍相當廣，由於無機資源物化特性與天然粒料相近。

無機資源應用於陸域營建工程推動重點為：

1. 由公共工程帶頭使用

國內陸域營建工程主要以政府公共工程為主，公共工程舉凡道路運輸工程、軌道運輸工程、機場港灣工程、水庫及蓄水工程、電業工程、海岸、河川整治及水利工程、自來水工程、共同管道工程、下水道工程等 [9]，依據公共工程委員會發布 112 年政府採購執行情形顯示國內工程相關決標金額達 8,778 億元 [10]，由公部門公共營建工程帶頭使用無機再生粒料，兼具領頭循環利用及創造綠色商機之效果。

由公共工程帶頭使用無機資源，透過行政院公共工程委員會（以下簡稱 工程會）的跨部會推動小組，要求相關發包公共工程須使用無機再生粒料；另縣市可透過訂定相關自治條例或結合地方道路挖掘許可制度，要求轄區公共工程中使用無機再生粒料，均可達到促進資源循環及淨零減碳之效果。

2. 編修訂規範及手冊

為維持營建工程設計及施工品質，工程會訂定有共通性施工規範、另各機關團體視需要也分別訂定施工規範及應用手冊，供工

程單位依循。因此為提升無機資源循環，針對不同無機再生粒料之對應合適用途，由相關實績或進行相關工程性及環境性檢試驗確認可行後，同時據以編修訂相關施工綱要規範及應用手冊，提供施工單位依循。

表 2 為常見無機再生粒料編修訂相關施工綱要規範及應用手冊彙整 [11][12]。其中環境部自民國 102 年起已陸續就焚化再生粒料許可用途，如基地填築、路堤填築、港區填築、道路級配粒料底層及基層、控制性低強度回填材料、低密度再生透水混凝土、瀝青混凝土、磚品、用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品等，已分別完成編修訂對應施工綱要規範及應用手冊。

3. 鼓勵綠色標章及綠色採購

國內現行再生建材標章（或概稱綠色標章），主要有環保標章（主管機關—環境部）、綠建材標章（主管機關—內政部）、資源再生綠色產品（主管機關—經濟部），係依據其不同目的設置（如可回收、低污染、省能、生態、健康、再生、高性能、省水等），均希望藉由標章認證之產品，可以確保其品質同時提升環境循環永續，表 3 為彙整合適無機再生粒料申請項目及無機再生粒料取得狀況。

為確保無機再生粒料或再利用產品品質，提升使用者或工程單位對於無機資源循環信心，鼓勵無機資源及再生粒料產業者申請及取得綠色標章認證，如輔導申請綠色標章並結合綠色採購，提升無機再生粒料使用量；另建立履歷及驗證制度，提升工程單位使用信心。



表 2 常見無機再生粒料相關施工綱要規範及應用手冊

應用用途	規格	規格名稱	常見無機再生粒料			
			轉爐石	氧化碴	還原碴	焚化再生粒料
控制性低強度回填材料 CLSM	施工規範	第 03377 章控制性低強度控制回填材料		●	●	●
	使用手冊	焚化再生粒料應用於控制性低強度回填材料使用手冊				●
		電弧爐煉鋼氧化碴（石）應用於控制性低強度回填材料（CLSM）使用手冊		●		
		轉爐石 CLSM 使用手冊	●			
再生建材（水泥製品等）	施工規範	第 02786 章高壓混凝土地磚				●
		第 02795 章透水性混凝土地磚		●		●
		第 03341 章低密度再生透水混凝土				●
		第 03410 章工廠預鑄混凝土構件				●
	使用手冊	焚化再生粒料用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品使用手冊				●
		焚化再生粒料應用於混凝土地磚使用手冊				●
		滾筒轉爐石及改質轉爐石鋪面磚使用手冊	●			
鋪面基底層級配	施工規範	第 02319 章選擇性回填材料				●
		第 02331 章基地及路堤填築				●
		第 02722 章級配粒料基層		●		●
		第 02726 章級配粒料底層		●		●
	使用手冊	焚化再生粒料應用於基地填築及路堤填築使用手冊				●
		焚化再生粒料應用於道路級配粒料底層及基層使用手冊				●
		電弧爐煉鋼氧化碴（石）應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊		●		
瀝青混凝土	施工規範	轉爐石道路基底層使用手冊	●			
		第 02701 章轉爐石瀝青混凝土鋪面	●			
		第 02702 章氧化碴瀝青混凝土鋪面	●			
		第 02741 章瀝青混凝土之一般要求	●			●
	使用手冊	第 02742 章瀝青混凝土鋪面				
		焚化再生粒料應用於瀝青混凝土使用手冊		●		
港區填築	使用手冊	電弧爐煉鋼氧化碴瀝青混凝土鋪面使用手冊	●			
		轉爐石瀝青混凝土使用手冊	●			
		第 02703 章轉爐石填海造地	●			
		焚化再生粒料用於港區填築使用手冊（草案）				●
		電弧爐煉鋼爐碴（石）於海事工程應用手冊			●	
		電弧爐還原碴安定化技術手冊			●	
	使用手冊	焚化再生粒料用於無筋消波塊使用手冊（草案）				●
		電弧爐煉鋼爐碴（石）於海事工程應用手冊		●		
		轉爐石海事工程使用手冊	●			



表 3 合適無機再生粒料之各標章申請項目及取得現況

	環保標章	綠建材標章	資源再生綠色產品
再生建材標章			
核發機關	環境部	內政部	經濟部
項目總數	14 類 (A-N 類)	27 項	27 項
概述	81 年起核發環保標章證書 - 符合再生材質、可回收、低污染或省能源條件。	94 年全面受理申請 - 分生態、健康、再生、高性能四類別分別評定。再生綠建材以使用一定比例之回收材料為主。	100 年受理廠商申請綠色產品認定 - 使用一定比例廢棄物作為原料、生產階段符合節能、省水、少污染。
盤點合適無機再生粒料申請項目	H 建材類 (13 項) (其中 5 項合適) - 水硬性混合水泥 - 建築用隔熱材料 - 窯燒類資源化建材 - 非窯燒類資源化建材 - 卜特蘭水泥	12 項再生綠建材合適 - 水泥瓦 - 水硬性混合水泥 - 石膏板 - 混凝土粒料 - 綠混凝土 - 混凝土空心磚 - 高壓混凝土地磚 - 陶瓷面磚 - 普通磚 - 植草磚 - 磨石子地磚 - 瀝青鋪面用粒料	5 項合適 - 玻璃製品 - 窯燒磚類建材 - 非窯燒磚類建材 - 水泥類板材 - 鋁錠 - 電弧爐鍊鋼鋼胚 - 級配粒料 - 再生粒料 - 人造螢石
無機再生粒料取得狀況 (至 113 年底)	259 件	83 件 (單一種類 21 件，複合種類 62 件)	9 件

水泥廠循環

水泥業製程中應用水泥旋窯製程高溫、高滯留時間、高擾流大 3T 特性，可分解戴奧辛及零殘渣等特性，可依廢棄物、副產品及資源物特性替代作為水泥生料、熟料或燃料，被國際公認為廢棄物資源化的有效利器及靜脈產業的心臟，亦符合近年循環經濟及淨零減碳的需求。

表 4 為臺灣水泥廠歷年生產量及使用廢棄資源情形，臺灣運轉中 5 家 6 廠水泥窯總產能約 1,569 萬公噸／年，實際年生產量約 1,100 萬公噸，隨著水泥廠為落實循環經濟及淨零減碳，近 5 年使用廢棄物、副產品及資源物量逐年有明顯提升之趨勢，至民國 112 年每公噸水泥使用廢棄資源量已達 215 公斤，圖 4 為台灣生產每公噸水泥使用廢棄物量。



表 4 臺灣水泥廠歷年生產量及使用廢棄資源情形

年	108	109	110	111	112
全國水泥實際生產量 (A)	1,127	1,179	1,196	1,122	1,025
使用廢棄資源量 (B)	52	170	219	220	221
水泥產生量使用廢棄資源比例 (%) (B)/(A) × 100%	5%	14%	18%	19%	22%
每公噸水泥使用廢棄資源量 (公斤) (B)/(A) × 1,000	46	144	183	196	215

說明：1. 單位：萬公噸。2. 廢棄資源包含廢棄物、副產品及資源物等。



圖 4 台灣生產每公噸水泥使用廢棄物量

無機資源應用於水泥廠循環推動重點為：

1. 媒合替代作為水泥生熟料及燃料

持續協助媒合具含鈣矽鋁鐵特性之無機再生粒料，如還原碴、氟化鈣污泥、無機性污泥等，可作為水泥業替代生熟料；同時針對目前循環不易或處理困難廢棄資源，亦協助媒合水泥廠協同處理利用之可能性。

2. 與水泥業共同推動合適水泥窯前處理機制

針對部分廢棄資源可能因材質複合多元、雜質偏高或體積龐大不易運輸，如廢風機葉片、營建混合物等，可能需進行前處理才能交付水泥窯者，與水泥業共同推動合適水泥窯前處理機制。

3. 鼓勵水泥業研發製造低碳水泥產品

隨著產業 ESG 及淨零減碳時代來臨，水泥業積極布局低碳水泥市場，鼓勵水泥業研發製造低碳水泥產品，協助提高再生資源收受比例，提供多元低碳水泥產品推廣，共同創造低碳營建。

港區填築

港區發展為國家競爭力重要的一環，其中港區填築工程皆需大量使用天然砂石，日本等先進國家除使用疏濬物、營建剩餘物（土方）外，也使用無機再生粒料來回填，以減少天然資源開採、降低建設成本及環境衝擊，表 5 為日本港區填築使用無機再生粒料案例。



表 5 日本港區填築使用無機再生粒料案例

	案例	造地工程類型	使用再生粒料種類及數量
1	日本東京羽田機場 D 跑道	- 造地回填 - 地盤改良	- 轉爐石、氧化矽、還原矽及高爐石加工製品 - 共約 40 萬 m³ (111 萬噸)
2	日本苫小牧港東港區碼頭	造地回填	- 燃煤飛灰 - 約 4 萬 m³ (6 萬噸)
3	日本宮城縣石卷港區	造地回填	- 經前處理後之焚化再生粒料及不燃物、洗淨礫石、海嘯沉積物 - 共約 9 萬 m³ (18 萬噸)

無機資源應用於港區填築推動重點為：

1. 推進港區填築需求及進度

依據行政院 111 年 9 月 26 日核定推動再生粒料應用於港區填築綱要計畫，落實各港區（國際商港及離島工業區）填築需求及進度，協助提供進度推進、預警及協調合作等相關事宜。其中至民國 112 年底，轉爐石作為臺北港物流倉儲區防風林區之填築料源，已填築達 171 萬公噸。

2. 再生粒料填築前三階段評估

依據行政院 110 年 6 月 11 日核定再生粒料應用於港區造地填築作業程序，掌握各再生粒料辦理填築前三階段評估（1. 實驗室試驗。2. 現地回填試驗。3. 作為港區填築料源之環評作業），確保其工程及環境安全性。

四、後續推動方式

有關無機資源循環推動，依前述推動作法及歷程，在無機資源的品質與數量上均已達一定成果，有效降低既有暫存量及掩埋處置量。在無機資源循環持續精進上，邁向適材適所分流應用，針對影響循環主要問題及關鍵，也初步後研提續推動方式：

透過強制使用、施工規範及品質認證，與各主管部會攜手努力擴大公共工程使用無機資源

為擴大公共工程進一步擴大使用無機再生粒料，主要希望續由三層面著手：1. 強制使用：透過協議或法規調和納入公共工程招標案件應使用一定比例無機再生粒料。2. 施工規範：各類別用途或工程之主管部會，應新訂或編修設計納入無機再生粒料之施工技術作業規範。3. 品質認證：訂定再生粒料認證機制，提升無機再生粒料品質。

建置無機資源循環平台，做為無機資源循環推動及管理中樞

在資訊密集及數位化時代，建置無機資源循環平台，做為無機資源循環推動及管理中樞。規劃滿足民眾、產業及政府等分眾需求，具無機資源循環之宣導溝通、媒合利用、技術支援、效益評估等功能，同時與各部會機構協力合作，也期提升民眾的接受度及使用信心。

辦理科技研發，暢通無機資源循環及提升高值化

結合產業、政府及學術界共同合作，進一步辦理減量、循環、高值化及減碳等領域



技術科技研發，暢通無機資源循環及提升高值化。主要希望續由四層面著手：1. 減量技術研發：如源頭減量技術、綠色設計技術、製程調整技術、污防調整技術。2. 循環技術研發：如穩定／無害化技術、回收／再生技術、分類循環技術、集運優化技術。3. 高值化技術研發：如改質技術、材料驗證技術、用途評估技術、協同處理技術。4. 減碳技術研發：如與無機資源循環利用相關之碳利用技術、碳固定技術、碳捕集技術。

五、結論

台灣無機資源循環與發展，非僅單純解決廢棄物去化問題，而是確保循環過程中兼顧技術面、環境面及管理面，皆可適材適所、分流應用，達零廢棄最終目標，減少天然資源的開採，透過產業、政府及民眾共同為資源及環境永續而努力，讓無機資源循環推動工作，做到3心3用一關心、安心、有信心，會用、敢用、樂於用。

參考文獻

1. 中鋼推動循環經濟之具體做法與成果，106.07.06，蕭輝煌，城市發展半年刊 第二十二期。
2. 再生粒料用途推廣、施工規範及管理專案工作計畫，107年，行政院環境保護署。
3. 精進焚化再生粒料產品品質標準及管理策略專案計畫，107年，行政院環境保護署。
4. 無機廢棄物資源化產品之用途評估及去化規劃專案工作計畫，108年，行政院環境保護署。
5. 無機再生粒料管理專案工作計畫，108年，行政院環境保護署。
6. 無機循環材料環境應用與整合專案計畫，109年，行政院環境保護署。
7. 無機廢棄物資源化管理及環境用途規劃專案計畫，109年，行政院環境保護署。
8. 無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫，109年，行政院環境保護署。
9. 公共工程專業技師簽證規則，112.10.04，【發布機關】行政院公共工程委員會、內政部、經濟部、交通部、環境部、勞動部、衛生福利部、農業部。
10. 行政院公共工程委員會：112年政府採購執行情形 113年5月。
11. 電弧爐煉鋼氧化渣（石）應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊，108年，台灣鋼鐵工業同業公會。
12. 電弧爐還原渣安定化技術手冊，105年，經濟部工業局。



碳中和污水處理廠的實踐與展望

國土管理署科長 / 鄭惠君
環興科技股份有限公司工程師 / 張育齊
環興科技股份有限公司工程師 / 葉品君

關鍵字：氣候變遷、污水處理廠、碳中和

一、前言

隨著氣候變遷影響著人類生存和國家安全的威脅愈來愈大，2015 年聯合國宣布「2030 永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs)，共有 17 項涵蓋經濟、社會、環境的目標，其中 SDG 6 更直指水資源，目標確保所有人都能獲取可持續的水資源和衛生設施。2018 年發布 1.5°C 全球暖化特別報告(Global Warming of 1.5°C)，提出在增溫不超過 1.5°C 的目標下，於 2050 年前達到溫室氣體淨零排放。據此，各國皆積極提出淨零排放進程。

我國也在 2023 年 2 月 15 日公布氣候變遷因應法，除正式將 2050 年淨零排放之長期願景納入法條外，並強化跨域治理及政府機關溫室氣體減量權責、增訂氣候變遷調適專章、強化減量對策及徵收碳費等相關規定，顯示我國邁向淨零排放之決心。

依據 2024 年國家溫室氣體排放清冊報告指出，環境部門 2022 年廢污水處理與放流排放量為 1,048 千公噸 CO₂e，占環境部門總排放量 38.83%。為此，污水下水道系統肩負我國民眾生活污水處理、改善水環境及水資源循環之任務，因應我國淨零排放之長期願景，污水下水道系統亦須推動淨零排放。

我國在推動過程上，挑選國內一處污水處理廠作為碳中和示範案例，並透過建立基線排放量、實施改善工程及推動太陽光電技術，使國內未來污水處理廠及水資源回收中心可參考本案成果，作為後續污水處理廠溫室氣體盤查、減量及程序參考依據。

二、碳中和的概念與目標

2-1 碳中和介紹

因應減碳議題發燒，與溫室氣體減量相



關的名詞及目標相繼出現，如「碳中和」、「氣候中和」及「淨零排放」，「碳中和」係指人類活動產生的碳排放通過各種方式得到補償，使得大氣中的二氧化碳排放量達到零增長；「氣候中和」除碳排放外，亦包含其他溫室氣體（如甲烷與氫氧碳化物等），努力降低環境衝擊；「淨零排放」在特定一段時間內，人為造成的溫室氣體排放量與人為移除量相減後等於零，依此前提下，各國也陸續提出國家的減量目標，截至 2024 年 12 月，共計 198 個國家提出減量目標，其中包含碳中和 25 個、氣候中和 15 個、淨零排放 105 個及無目標 4 個等（如下圖）。

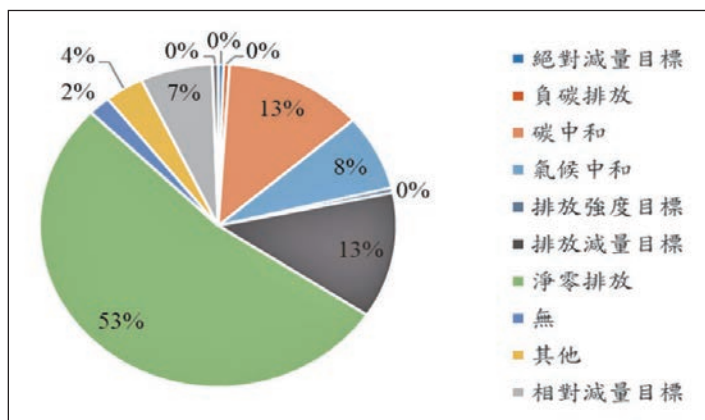
為達碳中和目標，除積極減碳外，亦須採取「減量額度」進行「抵換」，面對各類型減量專案宣稱的減量成效及減量額度日漸搶手，減量額度的品質也逐漸受到大家的重視。為避免漂綠行為，同時因應淨零排放的趨勢，國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）制定新的碳中和標準 ISO14068-1:2023，用以取代

既有標準 PAS2060:2014，ISO14068-1:2023 中強調使用者碳中和承諾、持續減量措施與目標，亦針對減量額度的品質進行要求，以達成 2050 淨零目標的決心。

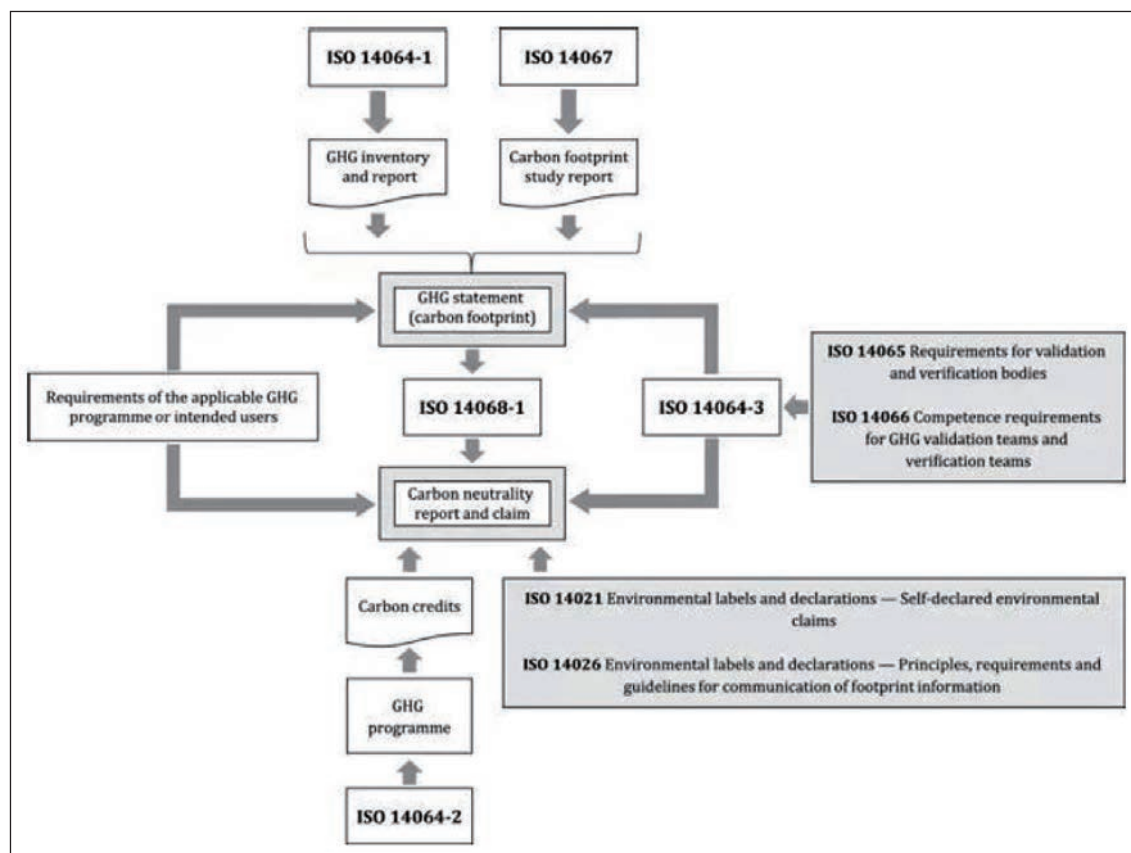
2-2 碳中和標準說明

辦理碳中和作業應先根據 ISO14064-1 或 ISO14067 等相關量化排放量標準進行「盤查」，執行「減量」措施後，使用依循 ISO14064-2 標準量測、報告與驗證（Measure, Report, Verification, MRV）取得之減量額度（Credit）進行「抵換」，最後使用符合 ISO14064-3 標準規範之查驗機構進行外部「查證」（如圖 1），並完成文件化報告，以達成 ISO14068 碳中和作業。

相較於過往的碳中和執行流程，ISO14068-1 更加強調「持續性」的減量作為，並以淨零排放為願景，因此需規劃短期（至 2030 年）及長期（至 2050 年）的減量路徑及策略，確保使用者已有積極減少溫室



資料來源：NET ZERO TRACKER，<https://zerotracker.net/>



資料來源：International Organization for Standardization, 2023

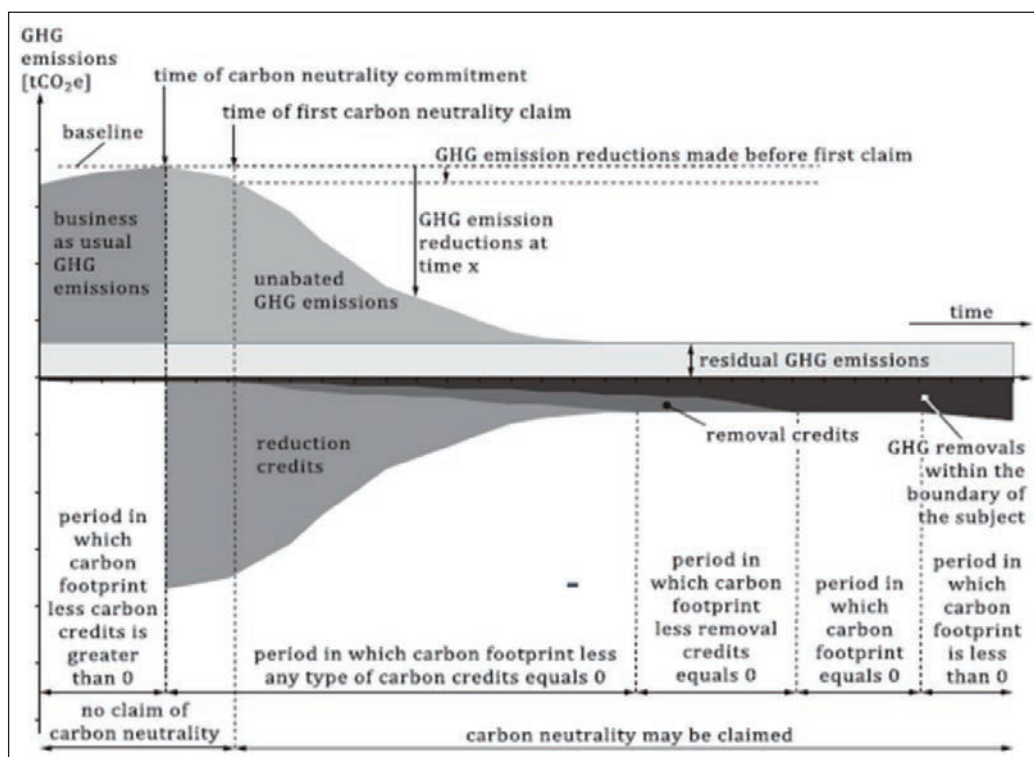
圖 1 ISO14068-1:2023 系列框架

氣體排放，而非為了漂綠執行碳中和；在減量額度的使用上亦有相關規範，國內外使用之減量額度普遍分為減少排放類型（如能源效率提升）及移除類型（如：碳匯）兩種，ISO14068-1 規範短期可使用減少排放類型或移除類型的減量額度進行抵換，但對於長期僅能以移除類型進行抵換（如圖 2），且在使用年限上規範僅能使用聲稱碳中和前五年的減量額度，此外，ISO14068-1:2023 亦針對減量額度、碳中和產生負面影響及達成碳中和的財務與人力資源規劃等條件進行要求。

依循 ISO14068-1 條文標準，我國環境部發行企業宣告碳中和指引（以下簡稱指引），該指引針對 ISO14068-1:2023 條文內容進行詳細說明，提供我國企業在執行碳中和之參考依據。

2-3 碳中和與污水處理的關聯性

污水下水道系統肩負我國民眾生活污水處理、改善水環境及水資源循環之任務。依據 2022 年版國家溫室氣體排放清單報告，環境部門廢污水處理與放流排放量為 1,048 千



資料來源：International Organization for Standardization, 2023

圖 2 ISO14068-1:2023 減量路徑圖

公噸 CO₂e，占環境部門總排放量 38.83%。除污水處理過程之直接碳排放外，污水處理廠用電為主要間接碳排放源，為污水處理廠減碳量之重點。此外，依據產生之 CH₄ 可依處理途徑不同，分為未妥善處理（化糞池與開放水體）和妥善處理（污水處理廠處理）兩大類。自 1991 年開始推動污水下水道設計計畫以來，污水處理率已由 1990 年之 2.6% 提升至 2022 年之 68.6%，而隨著污水處理率的提升，有助於降低整體污水處理產生之碳排放量。因應我國淨零排放之長期願景，污水下水道系統亦須推動淨零排放，惟淨零排放並非一蹴可成，需分階段達成，因此短期先以碳中和污水處理廠為目標。

三、污水處理廠溫室氣體排放說明

3-1 溫室氣體排放邊界

因應未來全球溫室氣體排放管理與減量需求，ISO 14064-1:2018 組織層級溫室氣體新版標準已納入全生命週期管理概念，擴大至組織上下游價值鏈關係。污水處理廠溫室氣體排放邊界，係指該組織具有權力主導營運政策，故邊界為污水處理廠（污水／污泥處理設施及機電設施運作等區域）、服務提供範圍（行政管理大樓）與污泥及廢棄物處理委外清運等程序，如圖 3，而以揭露溫室氣體排放量及減量策略擬定為主要目的，至於



來自土地使用、土地使用變更及林業之統計資料未完備，故暫不納入溫室氣體移除量之計算。

3-2 溫室氣體排放類別說明及排放源鑑別

依據 ISO 14064-1:2018 溫室氣體盤查類別包含直接及間接之溫室氣體排放量與移除量、分為第 1 ~ 6 類，參考標準之附件 B，摘述說明如下表 1，鑑別污水處理廠廠之排放源鑑別如表 2 所示：

3-3 污水處理廠排放熱點

污水處理廠主要溫室氣體排放組成中，一般能源使用及水體排放可達 98% 以上，其中又以能源使用佔 75% 為大宗。以一座具有完整污水及污泥處理流程之二級污水處理廠（活性污泥法），其各處理單元之典型能源消耗比例，如圖 4 所示，可知生物處理曝氣單元占 54.3%、抽水泵浦占 14.0% 與厭氧單元占 14.0% 為最大用電單元。

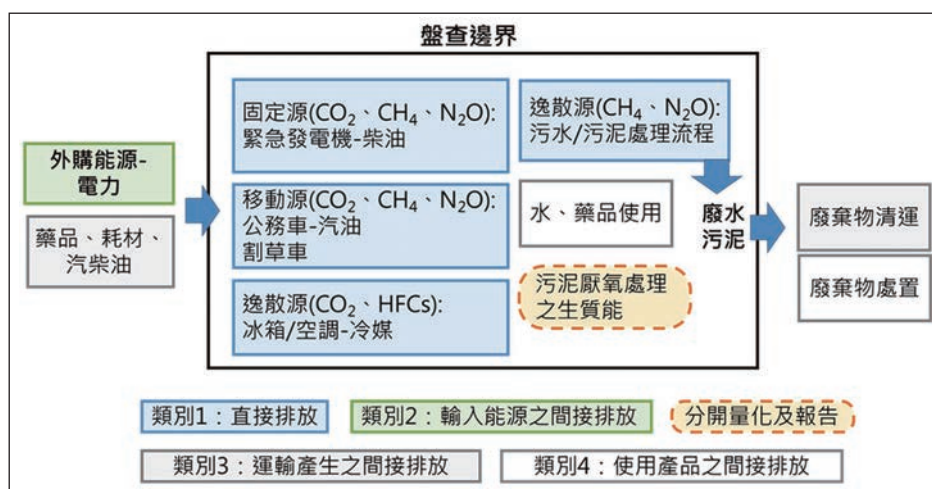


圖 3 污水處理廠溫室氣體排放邊界

表 1 ISO 14064-1:2018 溫室氣體排放源分類說明

直接／間接	類別
直接排放	第 1 類：直接溫室氣體排放量和移除量
間接排放	第 2 類：輸入能源的間接溫室氣體排放量
	第 3 類：運輸產生的間接溫室氣體排放量
	第 4 類：組織使用產品的間接溫室氣體排放量
	第 5 類：與組織的產品使用相關連之間接溫室氣體排放
	第 6 類：其他來源的間接溫室氣體排放量

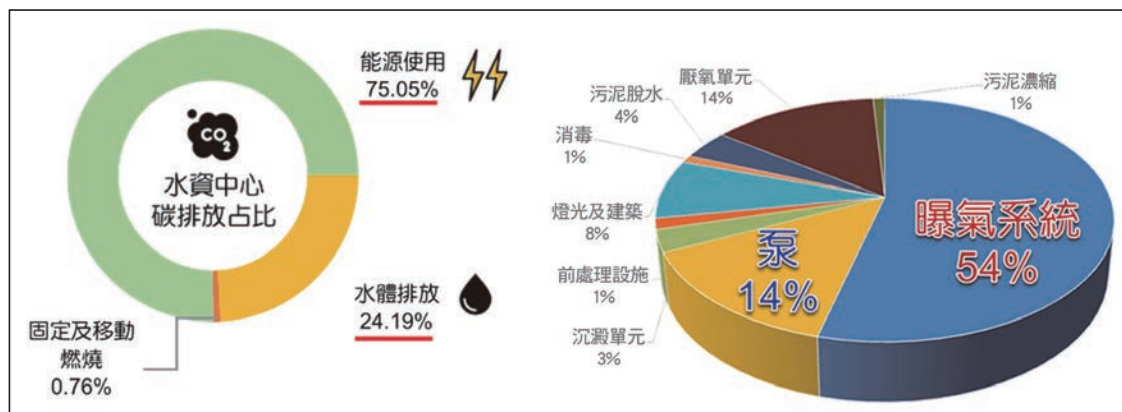
資料來源：本公司整理。



表 2 生活污水處理廠排放源鑑別

類別	細項	對應活動設施或排放源
1. 直接排放	1.1 固定式燃燒	發電機、割草機
	1.2 移動式燃燒	公務汽機車
	1.3 產業過程	污水處理逸散
	1.4 人為系統逸散	製冷設備冷媒逸散、氣體鋼瓶、滅火器逸散
2. 能源間接	2.1 電力	外購電力
3. 運輸	3.1. 貨物上游運輸和貨物配送	耗材或藥品等之運輸
	3.2. 貨物下游運輸及貨物配送	一般廢棄物清運、污泥清運、廢液清運
	3.3. 員工通勤產生	—
	3.4. 客戶與訪客產生之排放	—
	3.5. 業務旅運	—
4. 組織使用產品（上游）	4.1. 採購貨物相關	自來水、油品燃料、電力、耗材（藥品、手套）
	4.2. 資本財	如購買設備、機具運具、電腦等
	4.3. 廢棄物處置	一般廢棄物處理、廢液處理、污泥清運
	4.4. 資產使用	如租用設備
	4.5. 服務使用產生	如諮商、清潔、銀行、郵件等
5. 組織產品使用（下游）	5.1. 產品使用階段	—
	5.2. 下游租賃資產	出租資產給他人使用
	5.3. 產品生命終止階段	—
	5.4. 投資	如加盟、投資
6. 其他來源		—

資料來源：本公司整理。



(a) 污水廠溫室氣體排放組成

(b) 典型污水廠能耗組成

圖 4 污水處理廠溫室氣體排放及能耗組成



我國公共污水處理廠普遍皆無設置能源管理系統，缺乏能耗即時監控之機制，無法得知實際用電分布、用電流向及建立能耗基線，欠缺推動節能措施之判斷基準。污水處理廠運轉初、中期時，常見使用大設備運轉小水量造成功率浪費的情形發生，以致設備運轉效率偏低。

根據污水下水道統計要覽資料，全國污水處理廠平均日進流量及單位處理水量用電度數如圖 5，呈現進流水量越大，單位用電度數越低的趨勢。

四、污水處理廠碳中和的技術與策略

污水處理廠電力消耗為主要溫室氣體排放來源，可透過節能設計六大面向考量：(1) 合理規模、(2) 再生水需求、(3) 降低能耗措施、(4) 減廢、(5) 用藥量、(6) 工法材料，如圖 6。

以下主要針對污水處理廠，排放熱點之溫室氣體減量適用技術做說明。

4-1 能源效率提升

污水處理廠的能源消耗主要來自電力，且是營運中最大的支出。節能技術包括改進操作管理和引進高效設備，旨在降低能源消耗和減少溫室氣體排放，同時不影響水質。以下介紹幾種節能方法：

一、進流抽水機節能：通過分析各泵浦的運行狀況與耗電量，採取最佳泵浦組合運行，並使用變頻器（VVVF）調整運轉方式，根據最佳效率點運行，達到節能效果。

二、水處理設備節能：

（一）初級沉澱池：提高去除率可減少生物池曝氣量，降低能源需求。

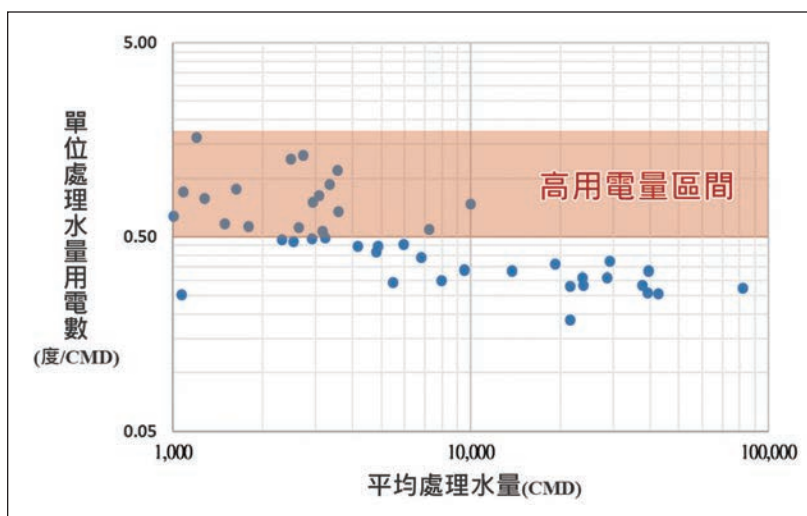


圖 5 國內污水處理廠平均進流量與單位處理水量用電度數關係

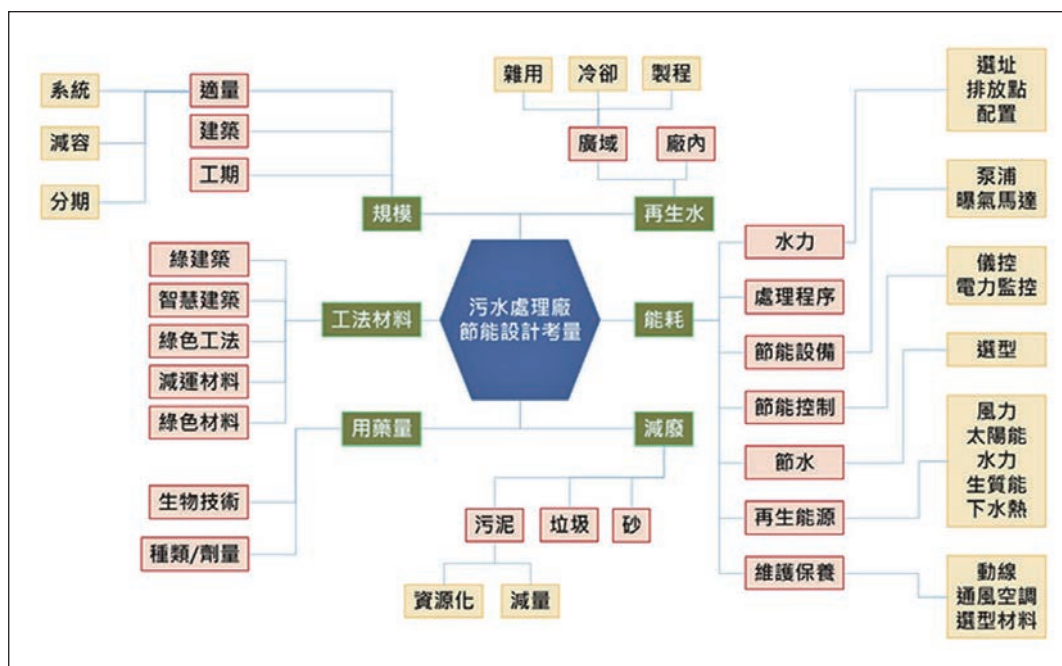


圖 6 污水處理廠工程應考量之節能減碳面向

(二) 鼓風機：根據送風量調整運行模式，達到最佳節能效果。

(三) 高效能散氣設備：減少壓損並調整水深，提升節能效果。

三、污泥處理設備節能：

(一) 攪拌機：採取間歇運轉方式提高節能效率。

(二) 節能濃縮及脫水設備：選用高效設備可節省20% ~ 60% 能源，並考慮污泥性質對脫水效果的影響。

以上這些措施均能有效降低污水處理廠的能源消耗。

4-2 可再生能源的應用

在污水處理廠內尋求創能的可行性，可有效減少廠內用電產生之間接排放，也是能達成減碳的重要路徑，但再生能源躉售台電或申請再生能源憑證予以售出雖可創造經濟效益，惟再生能源產生之減碳效益將無法計入該污水處理廠，需視為灰電。

以下介紹現今常見之創能技術優勢與困境：

一、太陽能光電

太陽能為目前較成熟之再生能源技術，且我國已有多座污水處理廠建置太陽能光



電，太陽能設置類型普遍採用屋頂型或地面型，屋頂型同時具有遮蔭降溫之效果，惟發電量受天氣及各地區日照時數等因素影響。

二、小水力

小水力發電係指 20,000 瓩以下之水力發電系統，對既有水源的再利用；若是對發電量 100 瓩以下，一般會稱為微型水力發電。小水力發電，較不受天氣影響，可 24 小時發電，容量因素高於太陽能光電。另亦具有運轉壽齡長、用地面積小、對環境與生態影響小之優勢。

小水力發電核心設備為發電機與水輪機，並依據發電原理可分為流速型及落差型。流速型小水力發電裝置無須水頭落差，直接利用水流的流速產生動能，轉動水輪機，帶動發電機運轉，將動能（機械能）轉成電能。落差型小水力發電則係利用地勢高低或具落差之管路，使水的位能轉成動能（機械能），經由水輪機帶動發電機運轉，將動能轉成電能，此種方式一般工程建設費用較高。

4-3 污泥處理回收再利用

污水處理廠常利用沼氣作為再生能源，沼氣主要成分為甲烷，其溫室效應是二氧化碳的 28 倍。回收沼氣不僅能減少溫室氣體排放，還可透過熱能或發電減少化石燃料使用。以下是幾種提升沼氣產量的方式：

一、污泥厭氧消化處理：污泥厭氧消化約可提供污水處理廠 25% ~ 50% 的能源。初沉污泥因含有較高有機物，沼氣產量較高，經過濃縮後的污泥可提高消化效率，降低能源消耗。

二、提升沼氣產量方法：

- （一）增加初沉池處理效率：提高初沉池去除懸浮固體的效率，減少後續生物處理程序能耗，增加沼氣產量。但需注意 BOD 濃度變化，確保後續處理不受影響。
- （二）廚餘共消化：將廚餘與污泥共消化可增加沼氣產量，研究指出可達到兩倍的能源回收效果，但需先進行廚餘的處理，如篩分和破碎。
- （三）增加污泥前處理效率：通過水解等前處理方式破壞污泥細胞壁，可縮短消化時間，提高沼氣產量。

沼氣的甲烷含量通常為 50% ~ 80%，熱值約 9,000 kcal/m³，適合用於發熱或發電。若只是將沼氣燃燒，雖可減少甲烷排放，但無法創造能源，進一步降低電力或燃料消耗的溫室氣體排放。

五、我國碳中和污水處理廠實踐案例

推動污水下水道淨零排放策略，以高雄市旗美污水處理廠（以下簡稱旗美廠）作為全國污水處理廠碳中和改善示範廠。

為達成碳中和，旗美廠首要確立基線排放量，以利進行工程改善評估規劃、熱點掌握與改善執行。透過設備汰舊換新、創造新能源及智慧控制等三方面執行，然而行減量措施後仍然會有殘餘排放量，因此需採取減量額度抵換，透過交易減量額度達到碳中和（如圖 7）。

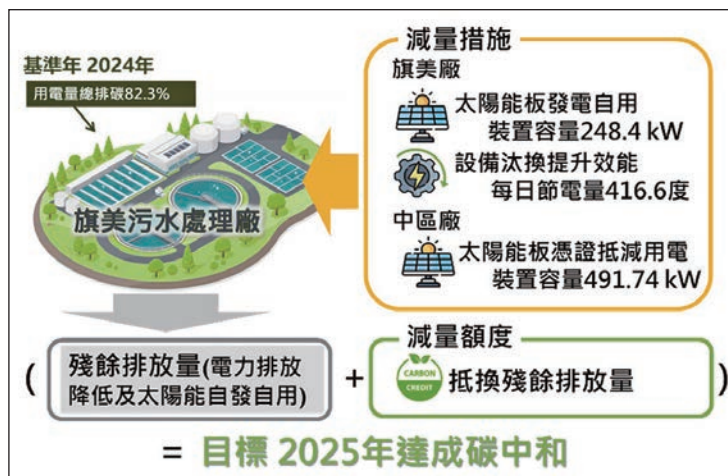


圖 7 旗美廠碳中和策略

六、未來發展趨勢與挑戰

6-1 技術創新

污水處理廠面臨的主要問題包括能源使用、污泥處理和再利用、創能技術發展及運輸問題。隨著科技進步，國際上已逐步開發污水處理廠達成碳中和的方式。

- 一、導入監測系統：能源使用佔污水處理廠碳排放的 70% ~ 80%，導入能源監控系統可分析能耗，找出高能耗設備和時段，進行有效操作，減少不必要的能源消耗。
- 二、微生物燃料電池（MFC）：MFC 利用厭氧微生物將有機物轉化為電能，可回收用於廢水處理，但因成本高且效能差，尚未廣泛應用。
- 三、厭氧氨氧化（anammox）：該技術無需添加有機碳源，減碳效益高，但可能排放氧化亞氮，且沼氣回收過程可能

產生甲烷，從生命週期檢視並非完全零碳。

- 四、再生能源使用：污水處理廠已使用太陽能、小水力發電和沼氣發電，並利用太陽能電力和沼氣製氫，為氫能車提供能源。

此外，內政部國土署已推出「污水處理廠設計及施工階段排碳減量作業參考指引」，旨在設計階段納入碳預算管理，使用低碳材料，實現綠色工程目標。

6-2 政策與法規的演變

為有效管控溫室氣體排放，我國已發布相關法規，並加強排放單位的減量義務。環境部於 2023 年修正《溫室氣體減量及管理法》為《氣候變遷因應法》，並納入淨零排放目標，規定排放量達 2.5 萬噸以上的單位需進行溫室氣體盤查登錄，預計自 2025 年起徵收碳費。



在能源管理方面，經濟部於 2023 年修正再生能源發展條例，要求契約容量達 5 千瓩以上的用戶設置再生能源設備，但政府機關不受規範，污水處理廠因此暫不列管。同時，能源署要求契約容量達 800 瓩以上的用戶需提報節電措施，節電目標為每年 1%。

儘管現行法規尚未涵蓋污水處理廠，隨著國家減碳目標及法規加嚴，污水處理廠應提前規劃減量措施，展現減碳決心。

6-3 結論

溫室氣體減量應涵蓋整個生命週期，從設計階段引入碳預算管理，使用低碳排放材料，營運階段監管排放並減少廢棄物產生。各國在氣候變遷壓力下，透過科技創新與法規加嚴，積極推動碳中和目標。

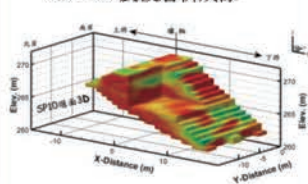
參考文獻

1. International Organization for Standardization, 2023, ISO14068-1:2023 Climate change management Transition to net zero.
2. L. Li, X. Wang, J. Miao et al., 2022, Carbon neutrality of wastewater treatment - A systematic concept beyond the plant boundary, Environmental Science and Ecotechnology, 11.
3. Koch K. et al., 2016, Co-digestion of food waste in a municipal wastewater treatment plant: comparison of batch tests and full scale experiences. Waste Management, 47:28-33.
4. Carlos Munoz-Cupa, Yulin Hu. et al., 2021, An overview of microbial fuel cell usage in wastewater treatment, resource recovery and energy production, Science of The Total Environment, Volume 754.
5. 張朝欽與于昌平 (2018), 污水能資源回收—微生物燃料電池技術之應用。土木水利, 45 卷 4 期 Pp. 43-47.

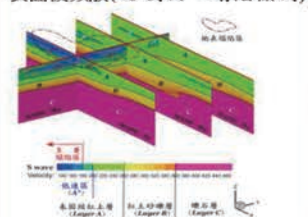
專業的地球物理探勘與測試服務公司，各項工程探測服務說明如下：

- 折射震測 (適用調查：地層構造、崩塌地、斷層、破碎帶、河床淘刷)
- 淺層反射震測 (適用調查：地層構造、斷層、破碎帶)
- 2D、3D 電阻率影像探測 (適用調查：地層構造、斷層、破碎帶、邊坡、地下水、溫泉、空洞、土石流、砂石資源、土壤鹽化、污染、河床淘刷、橋梁基礎、礦藏)
- 表面波頻散 (適用調查：地層動態參數、地層構造、斷層、地盤分類, Vs30)
- 各項速度井測 (地盤分類, Vs30)
- 橋梁基礎調查/非破壞檢測

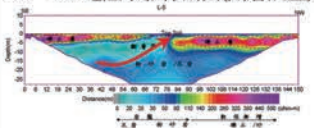
2D、3D 震波層析成像



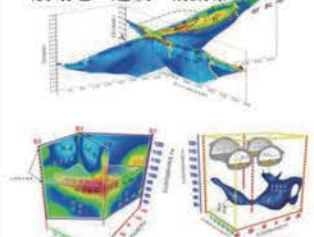
表面波頻散 (Vs 剖面, 場陷檢測)



2D、3D 電阻率影像剖面 (斷層調查)

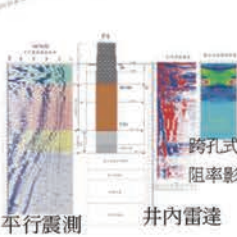
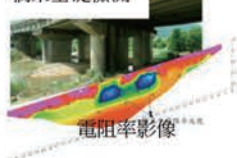


崩塌地、邊坡、滑動帶



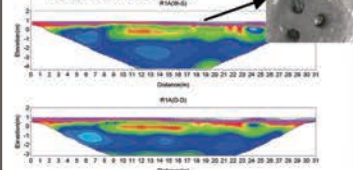
3D 跨孔電阻率影像 (隧道下地質探查)

橋梁基礎檢測

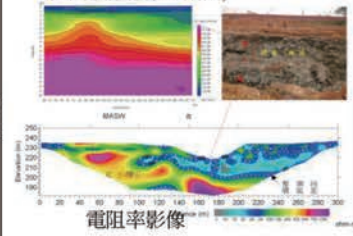


平行震測 井內雷達

廢棄物/污染調查



表面波頻散 (Vs 剖面)



**Empowering
people to rise
to the world's
greatest challenges**

賦能迎向全球挑戰

Stantec 憑藉其全球視野與在地深耕的優勢，為台灣客戶量身打造專業策略，提供多元創新解決方案，幫助您實現淨零目標，共同應對氣候變遷、環境、都市化等全球性挑戰，共創永續未來。

美商傑明工程顧問(股)台灣分公司
美華環境科技股份有限公司

f+886 2 8712 3866
www.stantec.tw |



環興科技股份有限公司

SINOTECH ENGINEERING SERVICES, LTD.

中興工程集團



迪化汙水處理廠

·我們的品質政策·
滿足顧客的要求
落實知識管理
追求效益最大化

SINOTECH



新北107溫室氣體盤查

全方位 環境永續技術服務

·優質·
·效率·
·服務·
·創新·
·永續·



周界空氣品質監測



彰化縣溪州資源回收廠

環興科技為國內知名中興工程顧問集團之環工專業子公司
· 秉持過去40年來於環境工程之專業技術服務經驗，目前
為國內規模最大、業績最廣、信譽卓著、普獲好評之環境
工程技術顧問(諮詢)機構。

環興科技股份有限公司

114044台北市內湖區安康路20號5樓

電話：02-2769-1366

傳真：02-2769-1377

www.sinotech-eng.com

經營理念

誠信、創新、品質、服務

專業服務：大地工程 水利工程 環境工程 資訊應用 交通運輸 防災科技 結構與耐震

高技術、高實用、高品質、高效率

中興工程顧問

中興工程顧問社係以提昇我國工程相關技術水準為宗旨之研發機構，
並經行政院國科會(科技部前身)評鑑為「科技研發機構」土木工程領域之優等單位
104年度獲中國工程師學會頒發「傑出事業機構獎」



財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

11494 臺北市內湖區新湖二路280號 Tel : 886-2-87919198 Fax : 886-2-87912198
<https://www.sinotech.org.tw> E-Mail : contact@sinotech.org.tw