

誠信 · 創新 · 品質 · 服務

中興工程 163

SINOTECH ENGINEERING

1983 年 10 月 創刊 | 2024 年 04 月 出刊 | ISSN 0257-554X



封面故事 · 環境部成立後之重要環境政策與施政願景

建構遠端監控系統即時管理石化業異常排放

大型垃圾焚化廠整改經驗分享 — 以樹林廠為例

環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發

工程不只源於需求 更在於生活價值的實現



財團法人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，並經行政院國科會評鑑為「科技研發機構」土木工程領域之優等單位。

中興工程顧問

主要研發領域：水利與電力工程／大地工程／環境工程／資訊應用／結構與地震工程／工程材料／工程管理／交通運輸



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

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

重要實績 專業服務

蓄水庫安全檢監測及風險管理
隧道安全維護管理系統建置
離岸風場地工試驗與詮釋
隧道鄰近地下水 資源影響評估
二氧化碳封存規劃、監測與風險管理

大地工程研究中心

配合國家永續政策，以傳統地工技術為基礎，
針對關鍵基礎設施營運安全、環境保育與綠能
產業等相關地工技術進行研發，結合理論與實務，
提供高品質之技術服務。

所屬大地工程試驗室為TAF認可，國內目前地工
試驗認證項目最完整之試驗室。

聯絡資訊

114065台北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail: gerc-ctr@sinotech.org.tw
<https://gerc.sinotech.org.tw>

誠信 創新 品質 服務



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





部門重要實績

鐵道系統營運規劃、營運機構安全管理系統導入
臺鐵第四代票務系統開發、台灣高鐵營運規劃決策輔助系統
鐵公路業者班表及票務分析

長庚醫療財團法人建物耐震評估檢查申報
明志科技大學結構安全監測系統建立
南科管理局振動干擾分析改善

地理資訊系統於國內外之土木、水利、環保、
道路、城市設施維護、風力發電、工業區等領域之應用



土木水利及 軌道運輸研究中心

鐵道系統之運轉及安全管理整合技術服務學劃
公共運輸營運數據整合分析
耐震評估補強、結構安全監測、振動分析防治、耐久性評估
地表水（河川、水庫、河口等）水理、污染質及泥砂傳輸
模擬分析
工程專業領域電子政務、地理資訊、手持式巡查等資訊系統
之研發與開發

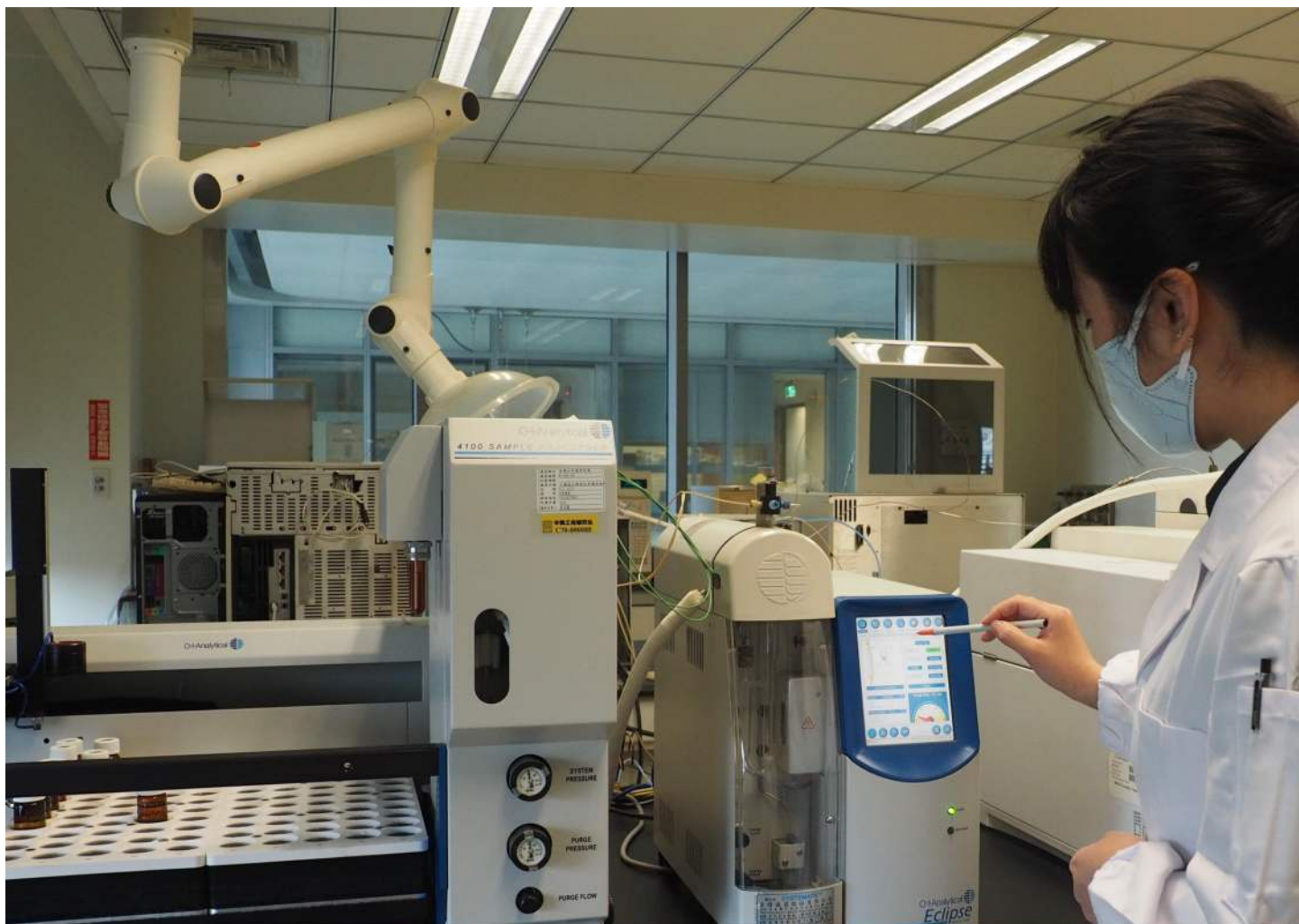
聯絡資訊

地 址：臺北市內湖區新湖二路280號
電 話：(02) 8791-9198
E-mail: chrc-ctr@sinotech.org.tw



誠信 · 創新 · 品質 · 服務
財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





環境工程研究中心

重要實績

事業廢水特性調查及管理評估
公共污水處理廠評鑑與永續營運管理
污染土地再利用政策與制度架構建立
廢家電回收管理與影像辨識技術開發
海洋污染防治法規及品質標準研修
微量新興污染物方法開發與應用
溫室氣體盤查及量測分析

提供高品質的研究服務和發展先進的環保技術，針對廢污水處理及再生、污染土地活化、廢棄物減量與循環經濟、淨零碳排等領域進行研究；所屬環境實驗室為環境部認可實驗室，取得水質水量、地下水、土壤及底泥等兩百餘項認證

聯絡資訊

11494 臺北市內湖區新湖二路 280 號 6 樓

電話：02-8791-9198 傳真：02-2791-8858

Email: eerc-ctr@sinotech.org.tw

<https://www.sinotech.org.tw/eerc-ctr>



誠信 創新 品質 服務

財團
法人

中興工程顧問社

SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



「跨山渡河無畏懼，探深納淺我都行！」
橫向東西縱南北，惟有中興深地質！」

我們是一群擁有十年以上山區及平原區地下水資源調查經驗的探勘者，也是觀遍全台崩塌地影像的鑑識家，未來將整合創新科技ABCD*，邁向深地質科技跨領域結合研究！

*A (Artificial Intelligence), B (Big data), C (Cloud computing), D (Domain Knowledge)



▼ 部門重要業績

臺灣山區及平原補注敏感區之地下水資源調查研究
區域地質描述模型建置及評估模式應用
山崩巨量資料應用及智慧動態山崩模式發展
潛在大規模崩塌調查、監測及規劃

▼ 聯絡資訊

114065 臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
Email：agr-proj@sinotech.org.tw

深地質研究 專案計畫

▼ 專業服務內容

I. 進階型孔內水文地質調查

高精度地下水流速 / 深層水化學特性調查 / 單(跨)孔示蹤劑試驗

II. 智慧崩塌地(坡地)調查分析技術

空拍影像之PIV分析 / UAV鏡頭調查及位態分析
多尺度地球物理 / 地球化學觀測系統整合規劃
智慧山崩目錄判釋與檢核技術

III. 數值模式分析

裂隙岩體之複合DFN-EPM模型建立與分析
地球科學領域之場址描述模型建置

IV. 高階岩石力學試驗 (Carried out by MTS Model 815 System)

高強度(460T)單壓試驗 / 高圍壓(80MPa) 三軸試驗

廣告



誠信 創新 品質 服務

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

- 創刊日期 / 中華民國 72 年 10 月
 - 行政院新聞局登記局版臺誌字第 03793 號
 - 中華郵政登記執照北臺字第 1023 號
 - 發行人 / 曾參寶
 - 編審小組
 - 委員 / 張國揚 嚴世傑 蔡文豪
 - 孫世勤 周頌安 冀樹勇
 - 鍾志成
 - 召集人 / 游麗慧
 - ISSN / 0257-554X
 - 出版者 / 財團法人中興工程顧問社
 - 社址 / 114065 臺北市內湖區新湖二路 280 號
 - 電話 / (02) 8791-9198
 - 傳真 / (02) 8791-2198
 - 電子信箱 / adm-dpt@sinotech.org.tw
 - 網址 / www.sinotech.org.tw
 - 印刷 / 鴻友印前數位整合股份有限公司
- ※ 本刊圖文未經同意不得轉載 ※

徵 稿 簡 則

- 一、本刊歡迎有關水利、電力、地工、環工、都市計劃、交通運輸、生態工法及其他土木工程之論著、譯述、專題研究、新技、新知及報導等學術性文稿，請投稿至「工程技術」及「案例／計畫報導」專欄，來稿請加註中、英文篇名、摘要及關鍵字。
- 二、有關介紹工程之遊記、工程界人物軼事等報導性文稿之文體應力求輕鬆活潑，請投稿至「工程窗外」專欄，惟此專欄僅接受中興工程集團之現職或退休同仁投稿。
- 三、來稿請附「中興工程季刊投稿人暨稿件資料表」並連同文稿電子檔(.doc) E-mail 至 adm-dpt@sinotech.org.tw，撰寫時請參考「文稿格式範本」及「英文摘要範本」（上述表單及範本請至本社網站 www.sinotech.org.tw 下載，或洽本社行政處提供）。
- 四、「工程窗外」文稿以 5,000 字為限；「工程技術」及「案例／計畫報導」文稿以排印後 8 頁（約 8,500 字）為原則。
- 五、本刊所有度量衡單位請採用 SI 國際單位。
- 六、來稿文責由作者自負，請勿侵害他人智慧財產權或違反其他法律規定。來稿如引用他人論文或著述，務請註明其出處，並儘可能依序將原作者姓名、出版年份（加小括弧）、引用文獻名稱、書刊名稱、卷號、期別、頁次等在參考文獻中註明。所附圖表或照片等須為作者自行創作，或取得原創者授權刊登使用。
- 七、本刊稿件之審查係由編審小組送請學者專家評審，審查通過後方具刊登資格，惟本刊編審小組保有最終刊登與否之權力。
- 八、來稿經刊載後將發給稿酬，其著作財產權即為本社所有；本刊對來稿有增刪權。不用稿件，恕不退還。
- 九、本刊每年刊印四期，逢一、四、七、十月出版，如蒙來稿請於出版前六個月送交本社行政處中興工程季刊編審小組。

註：本刊經行政院公共工程委員會名稱為水利工程、土木工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、機械工程、冷凍空調工程、電機工程、電子工程、資訊、工業工程、水土保持、應用地質、交通工程等科技師執業執照換發辦法內之「國內外專業期刊」，歡迎踴躍投稿，兼可取得換發執業執照所需積分。作者只需於申請技師訓練積分審查時附上「中興工程」季刊目錄及文稿（前開工程類相關文稿）影印本作為證明，經該會審核確認後，每篇文稿即可獲得六十分，作者兩人以上者，平均分配得分。

中興工程第163期目錄

封面故事

環境部成立後之重要環境政策與施政願景—訪環境部葉俊宏政務次長.....	
.....中興工程編審小組.....	3

工程技術

建構遠端監控系統即時管理石化業異常排放.....	
.....李其霈·盧彥廷·郭子豪·曠永銓·戴忠良·謝仁碩.....	15
廢污水藥物類調查成果研析與國際管理趨勢.....	林宜璇·劉婉儀·吳欣慧·許國恩..... 25
淨零碳排挑戰下以碳捕捉、儲存與再利用技術重塑碳循環.....	蔡任斌·郭霈宸..... 31
因應氣候變遷影響之永續工程—以桃園航空城區段徵收公共工程基本設計為例.....	
.....曹以強·劉鳴錚·王治嘉.....	41
高屏河流域水砂觀測物聯網建置及颱洪事件評析.....	
.....何幸娟·許恆瑜·王宇彤·林伯勳·陳慧玲·林瑞仁·蔡政修.....	47

案例 / 計畫報導

以衝擊路徑評估法 (IPA) 分析新北市 PM _{2.5} 空污管制策略及其經濟效益.....	
.....黃書芸·羅 鈞·劉哲良.....	61
我國海域監測制度之演進與最新現況.....	劉書雁·林宜璇·朱敬平..... 69
台電公司生態共融規劃與實踐.....	溫桓正·莊家春·鄭亦卉·林益正·蘇美婷..... 77
大型垃圾焚化廠整改經驗分享—以樹林廠為例.....	許忠正·李崇裕·詹士儀·買隆恩..... 87
毫釐之爭 新北捷運三鶯線施工所面臨的挑戰.....	
.....李政安·李文浩·魏德輝·張文亮·吳維仁.....	97
大型垃圾焚化廠整改經驗分享—以木柵廠為例.....	張進平·陳清賢..... 105

研發成果介紹

環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發.....	
.....劉婉儀·林宜璇·李品蕙·吳紗糸·楊淑娟·林淑滿·許國恩.....	115
實驗室資訊化管理系統建置.....	劉婉儀·吳紗糸·許國恩·阮春騰..... 121

環境部成立後之重要環境政策與施政願景

——訪環境部葉俊宏政務次長

中興工程編審小組

環保署已於 2023 年 8 月 22 日升格為環境部，並新成立氣候變遷署、資源循環署、化學物質管理署、環境管理署及國家環境研究院等三級機關（構），以因應未來 2050 淨零排放、資源循環、化學物質管理及改善空、水、廢、土等環境污染等議題，但並未依原先環境資源部組織構想納入水利署、林務局或國家公園等國土相關之山、林、水、氣等資源保育業務。中興工程季刊編審小組特別安排訪問環境部葉俊宏政務次長，談談環境部成立後之重要環境政策與施政願景。

一、環境部成立後之願景

提問：環境部成立後組織與功能更加強化，與環保署時期最大差異為何？未來的環境政策與施政願景？

回應：

行政院啟動組改已經超過 20 年，歷經多任政府，當年行政院原先規劃的環境資源部是以環保署為主體，整合分散在各部會的水、土、林及氣等資源管理工作，但組織相當龐大，整合各單位職權及人力一直無法獲致共識，例如環境資源部（納入水利署）要調度產業用水與經濟部角色有點衝突，環境保護功能也可能會被壓縮，目前因應全球氣候變遷及 2050 淨零政策、資源循環及化學物質管理等政策執行需要，由環保署升格為環境部是最可行的方案。未來的環境政策及施政願景可分為以下幾個重點：

（一）因應最急迫的環境議題全球環境變遷

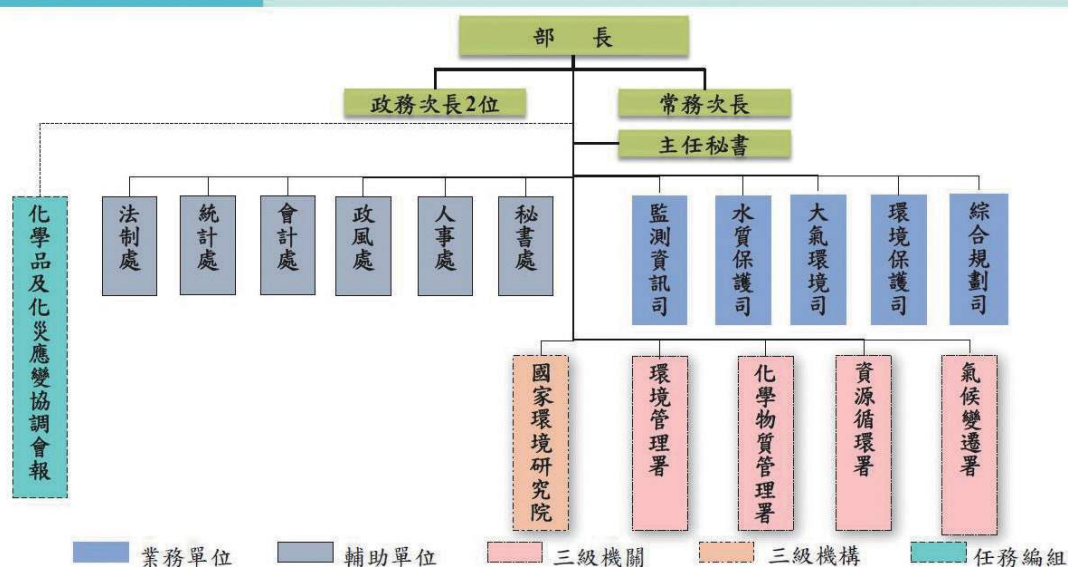
及我國環境品質提升需求，行政院組織調整規劃成立環境部，聚焦於通盤檢討外界重視的氣候變遷、資源循環、化學物質管理、環境品質管理、環境科研強化等環境議題，將環境品質管理從「污染管制」觀念轉變為「預防管理」，以前瞻思維規劃整體環境改善策略，接軌環境科學研究，化被動為主動，系統性處理環境問題。



(二) 環境部成立，除既有業務單位外，另設置 4 個三級行政機關（含氣候變遷署、資源循環署、化學物質管理署、環境管理署）及三級機構（國家環境研究院），如圖 1，透過擴增整合業務，預期達成以下 5 大願景：

1. 積極因應氣候變遷，強化我國政策擬定推動及執行，落實階段管制目標管考作業，因應國際碳關稅及供應鏈減碳趨勢，加速推動碳定價、強化碳盤查機制，尋求減碳技術及策略，降解國際壓力並協助我國產業轉型。
2. 落實循環經濟、廢棄物減量及再利用，透過統籌各部會再利用管理權責、徵收基金推動資源循環、廢棄物再生能源、盤點分析廢棄資源，推廣循環採購永續消費及產品友善化設計等新增作法，達到減少原生物料使用、提升資源使用效率，減輕環境負荷並逐步邁向資源永續循環零廢棄目標。
3. 擴大化學物質管理標的為在我國運作之化學物質，達「源頭管理延伸邊境、減少斷點防堵違法」、「串聯統整防災資源、強化應變減少災損」、「危害資訊完整傳遞、降低健康風險暴露」及「資源永續無毒轉型、接軌國際公約管理」等目標。
4. 強化數位科技環境執法，運用智能化及互聯網多元處理一般廢棄物，精進管理環境清潔衛生，透過提升調查整治技術驗證及增加土壤及地下水復育及碳匯能力，永續經營土水資源；加強污染源管制，打造低風險的生活環境，發展健康永續社區。
5. 發展氣候變遷與資源循環研究，精進環境風險評估與治理科技，促進淨零轉型與培育專業人才，結合全國研究資源建立環境智庫，提供長期穩定的整體國家環境保護政策支援。

環境部架構



資料來源：環境部簡報。

圖 1 環境部組織圖

二、環評審查機制

提問：過去環評審查冗長常被業界抱怨，近年環評審查作業效率已明顯提升，近期針對離岸風電開發案也陸續訂定審查要點以利聚焦並加速環評審議，未來是否會將此方式擴大到其他類型開發案之審查？或是後續會推動哪些精進作法？

回應：

我國環評法自 1994 年起施行，制度與國際上其他先進國家最大的不同就是對開發案有「否決權」，如果環評審查後認定不應開發，目的事業主管機關就不得核准開發，也就是環評審查機關可以否決政府或公民營企業的開發計畫，審查不通過，就無法開發，因此審查結果受到外界高度關注。

本次新訂離岸風電環評初審要點，主要是因為經濟部 2021 年間公告之「離岸風力發電區塊開發場址容量分配作業要點」，以需取得環境部環評委員會專案小組初審會議建議通過審查結論，作為參與遴選資格之要件，且未訂定同一風場場址申請數量限制，導致同一風場場址有 2 家以上（最多至 5 家）不同開發單位爭取，分別提送環評案件至本部審查，因此，同一風場範圍不同開發單位重複進行環境調查，本部環評委員及相關機關亦須重複審查，最後卻僅有 1 家獲核配容量之開發單位可進行開發，造成行政資源浪費。

為解決上述現象，本部汲取過去環保署時期辦理離岸風電政策環評徵詢意見及第二階段離岸風電案審查經驗，經瞭解離岸風電向經濟部申請籌設許可、遴選核配容量等流程後，量身訂定適用離岸風電環評審查之初審要點，不僅參考過去環評委員提出之通案性要求與開發單位承諾，制定強化版之檢核表，更將離岸風電之環評初審作業分二階段進行。

第一階段由本部依檢核表所列項目進行檢核，符合規定者，辦理第一階段專案小組初審，第一階段初審通過後，離岸風電業者即可取得經濟部選商之資格，等確定遴選通過及核配容量後，再依核配量修正報告書規劃內容送本部辦理第二階段初審，第二階段初審即依現行之專案小組初審作業，進行開發內容之實質審查。

透過上述二階段初審方式，可大幅降低開發單位環境現況調查資源浪費及環評委員審查工作負荷，且通過第一階段初審之離岸風電案均符合通案性審查要求，有利於後續第二階段初審之環評委員意見聚焦，可縮短審查時程，且可實質評估風場開發之影響，提升環評書件品質。

目前其他類型之開發行為尚無類似情形發生，爰現行之環評制度及審查方式均能適用；未來如其他類型之開發行為審查上遭遇類似資源浪費之情形，本部將比照離岸風電經驗，研擬合適之審查方式及行政作業程序。

至於未來環評審查之精進措施，將持續提升審查效率及強化資訊公開，在審查效率方面，持續執行 4 大精進措施：

（一）強化目的事業主管機關權責，釐清非屬環保主管法規之爭點，避免於環評審查會議處理非環境議題。

（二）委員審查意見一次提出，逐次收斂，專案小組初審會議以不超過 3 次為原則。

（三）各部會就各管法規平行審查，環評聚焦環境議題。

（四）落實環評會議旁聽要點，保障各方發言權益，維持會議秩序。

上述精進措施執行迄今均能達成二大目標：

（一）半年至一年內完成環評審查；（二）一年內完成環評書件審查比率達 90% 以上。

在透明度方面，環評法及「開發行為環境影響評估作業準則」均訂有民眾參與環評之機制，

環評審查階段資訊公開之方式包含：

(一) 所有環評審查案件資訊均於本部環評書件查詢系統公開，包含公開會議資訊、書件內容、歷次審查會議資訊、歷次審查資料及紀錄等。

(二) 環評審查會議均同步線上直播，直播影片檔會議後上傳本部 YouTube 網頁，提供各界瀏覽。

另本部所有環評案件於環評審查階段，民眾均得透過公文、電子郵件、首長信箱及本部環評書件查詢系統等管道提供書面意見，以落實環評審查之資訊公開透明、公眾參與，提升社會接受度。

三、氣候變遷與溫室氣體管理

提問：因應 2050 淨零目標，環境部已完成氣候變遷因應法的修正，未來將如何推動我國於 2050 達到淨零排放？

回應：

(一) 我國 2023 年 2 月 15 日公布施行之「氣候變遷因應法」，計有 7 章，共 63 條，修正重點包含：納入 2050 淨零排放、確立部會權責、增列公正轉型、強化排放管制及誘因機制促進減量、

徵收碳費專款專用、增訂氣候變遷調適專章、強化碳足跡管理機制及產品標示，並強化資訊公開及公眾參與機制等。其中，為達成 2050 淨零排放目標，我國接軌國際以 5 年為一期方式研訂階段管制目標來逐步落實，溫室氣體減量責任由能源、製造、運輸、住商、農業及環境等六大部門共同承擔，透過各部門溫室氣體減量行動方案之落實執行及滾動檢討，輔以地方政府制訂溫室氣體減量執行方案，透過橫向及縱向整合溝通機制，跨領域推動溫室氣體減量。

(二) 國家發展委員會已於 2022 年 3 月公布「2050 淨零排放路徑」，將以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型策略，以及建構「科技研發」、「氣候法制」兩大基礎環境，輔以 12 項關鍵戰略，2022 年 12 月 28 日國家發展委員會率同相關部會召開「淨零轉型之階段目標及關鍵戰略」記者會，正式公布我國淨零轉型之 2030 年階段目標，並說明 12 項關鍵戰略的具體行動與措施（如圖 2）。行政院 2023 年 4 月 21 日核定 12 項關鍵戰略行動計畫，續由各主政部會推動，並依行政院國家永續發展委員會指示由本部辦理後續執行管考事宜。



資料來源：國發會淨零轉型之階段目標與行動，2022.12.28。

圖 2 臺灣 2050 淨零轉型 12 項關鍵戰略

(三) 我國已依循氣候公約第 26 次締約方大會 (COP26) 通過之「格拉斯哥氣候協議」，於 2022 年務實檢討並更新提出國家自定貢獻 (NDC)，在我國 2050 淨零目標及 12 項關鍵戰略下，務實衡酌我國產業特性及民生等因素，設定 2030 年相較基準年 2005 年，國家溫室氣體淨排放量減少 23% 至 25%。為加速我國減碳腳步，我國將透過「十二項關鍵戰略」之投入，最大化 2030 年前的減碳成果。前述強化版國家自定貢獻 (2030 NDC) 關鍵作為包含：

1. 整體再生能源：裝置容量自 2020 年 9.6GW 增至 2030 年 45.46- 46.12GW (離岸風電 13.1 GW、太陽光電 31 GW)。
2. 節能：增加節電 345.7 億度、節熱量 227.3 萬公秉油當量。
3. 運具電動化：市區公車及公務車全面電動化，電動小客車及電動機車市售比分別提升至 30% 及 35%。
4. 具碳匯及負排放技術發展應用：自然碳匯 (森林／土壤／海洋) 1.4 MtCO_{2e}、碳捕捉利用及封存 CCUS：4.6 MtCO_{2e}。

(四) 本部為完備碳定價相關機制，強化減碳之經濟誘因，目前已完成盤查登錄、認證暨查驗管理、自願減量及增量抵換等多元配套措施等相關子法，並提出碳費收費辦法草案，預計展開社會溝通，以期早日凝聚共識，引領我國產業朝低碳淨零方向轉型，以利國家減量目標之達成。至於各界最關心的碳費徵收費率問題，本部目前已籌組碳費審議委員會，21 名委員將包含專家學者 8 名、部會代表 7 名、公民環保團體代表 6 名，其中公民團體代表除包含環保及社會公益團體外，也將包含相關產業公會，以廣納各界意見。

(五) 本部組改成立的國家環境研究院，也有二項氣候變遷相關之重點工作：

1. 強化氣候變遷及調適相關之技術研究，包括

減碳、CCUS 等技術發展，以及公正轉型、社會經濟影響層面之研究。

2. 加強氣候變遷人員的專業訓練，參考過去環保署空、水、廢處理專責人員證照訓練作法，委託專家學者編擬訓練課程及教材，並辦理氣候變遷人員訓練，第一階段是基礎訓練，第二階段再依專業，例如 ESG、碳盤查、查驗、碳足跡等不同進階課程，並發給結業證明。

四、空氣污染防治

提問：環境部執行第一期空氣污染防治方案 (2020 年至 2023 年) 已達成階段性改善目標，第一期 PM_{2.5} 改善目標 15μg/m³，2022 年 PM_{2.5} 年平均濃度降至 12.4μg/m³，AQI ≤ 100 之站日數比率已達 97.3%。第二期空氣污染防治方案 (2024 年至 2027 年) 改善目標設定 PM_{2.5} 改善目標為 13 μg/m³、臭氧 8 小時紅色警示站日數改善比率達 80% 目標，想請教第二期目標設定上是否有考量什麼策略藍圖，以提升民眾對於空氣品質的期待？

回應：

(一) 為持續提升我國空氣品質，本部第二期空氣污染防治方案 (2024 年至 2027 年)，於 2023 年 12 月 21 日經行政院核定。有別於第一期方案著重傳統固定及移動污染源 (如國營事業、鍋爐、老舊車輛等) 管末排放改善措施，第二期方案結合淨零排放並整合跨部會量能，進一步從污染源頭改善來提升空氣品質，包含持續提升行業減量技術、強化車輛及機具管理、推動減污減碳共利策略並加強特定季節應變。期待政府各部門、公民行業、社會大眾共同合作，一起投入清潔能源使用，發展綠色技術，力行淨零綠生活，

推廣綠色低碳運輸及深耕環境教育等，以全方位及多元面向，提升臺灣空氣品質，守護民眾健康。

(二) 目標以持續改善 PM_{2.5} 與降低 O₃ 紅色警示發生

1. 在歷經第一期空氣污染防制方案，全國細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 平均值已改善至空氣品質標準 15 µg/m³ 以下，但考量中南部地區在秋冬季節空氣品質不良情形仍待改善，且臺灣有著上下風污染傳輸特性，因此第二期方案全國 PM_{2.5} 目標設定為 2027 年達成 13 ug/m³ 以下，持續提升整體空氣品質。

2. 目前 PM_{2.5} 發生空氣品質指標 (AQI) 紅色警示日數已大幅減少，但臭氧 (O₃) 污染物卻相對改善緩慢，因此二期方案新增全國 O₃ 8 小時紅色警示站日數相較 2019 年改善比率 80% 的目標。

(三) 著重中南部空污改善，結合淨零排放共利減污：空氣污染源有一部分來自於燃燒，第二期方案需要結合淨零轉型減污減碳共利，同時跨域整合九大部會量能，推動八大面向策略，預計投入 766 億，強化改善中南部污染源。

1. 八大面向策略重點

- (1) 提升空氣品質，改善細懸浮微粒及臭氧，加嚴排放標準，健全綠色運輸與發展友善電動車環境，導入車隊與施工機具管理，強化加油站、建物塗料及消費商品逸散之管制。
- (2) 改善中南部重要排放源，結合淨零排放，針對電力業、石化業、鋼鐵業等推動減碳減污共利措施，推動地方特色重點策略，減少露天燃燒、河川揚塵問題，降低開發案件空污增量並強化空污季節應變。

2. 跨部會投入 766 億

- (1) 環境部規劃投入 79 億元，除持續加嚴排放標準降低工廠及車輛污染排放外，將補助電動公車、增設充電樁及優化電動公車路網，

創造電動車友善環境。

- (2) 經濟部規劃投入約 18 億元用於工業輔導改善、電動物流車、電動機車能源補充設施；交通部及農業部等部會預計投入約 19 億元於綠色運輸及改善河川揚塵。
- (3) 台電、中油、中鋼、中華郵政等國營及政府轉投資事業，規劃共計投入 650 億元分別進行製程改善、提升防制設備效率、郵務車電動化等對空氣污染改善有助益之措施。

五、水污染整治

提問：聯合國永續發展核心目標 SDG6，以乾淨水資源為目標，在永續水質目標下，持續削減排入污染量及氮氫等污染，惟近年來氣候變遷導致河川基流量減少，使得河川污染整治成效打折，未來環境部將如何推動水污染整治？

回應：

(一) 本部分析近年水文資料，及使用聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 第六次評估報告 (AR6) 氣候變遷情境預測，未來發生乾旱機率升高，也就是未來枯水期流量確實會下降，河川水質也會受到影響。另外文獻研究顯示，河川水質大部分的影響仍來自人類活動的污染來源，且相關研究也指出氣候變遷下若發生嚴重枯水情形下，河川上游因污染源較少，所以水質受影響相較輕微。

(二) 故水污染整治仍要回歸到污染源污染的削減，我們已經持續進行各項削減作為，現在就全國河川長期水質趨勢來看，整體河川污染指標 (RPI) 自 2012 年起即穩定維持在輕度污染程度，嚴重污染長度比率也由 2002 年 14.0% 降至 2023 年 3.3%，近年嚴重污染水質測站維持 10 站左右，整體而言仍呈現改善趨勢，顯示在各項整

治措施推動下，全國河川水質有持續改善。

（三）為確保未來持續維持河川水質，行政院核定辦理「永續水質推動計畫 2.0—河川環境品質提升計畫」，並強化跨部會合作及偕同各地方政府進行各項措施予以因應，期望藉由源頭減量、強化管理與提升技術、污染削減與調適等作為達成永續水質目標：

1. 事業廢水管理面臨減碳及新興污染物之新挑戰，傳統廢水處理功能不足以因應，鑑此，我們配合國際趨勢導向淨零排放及資源循環等政策方向，將事業廢水管理策略朝能源化、資源化、減害化及低碳智慧化等 4 面向：
 - (1) 針對廢水具能源化潛勢之事業，於設備汰換時轉用可產能之處理程序，如厭氧沼氣轉作能源。
 - (2) 針對具資源潛勢之水污染物、具資源化潛勢事業，規範分流收集及進行資源化。
 - (3) 指定對象每年申報全氟化物及藥物，無法符合監視值者須提出放流水污染物削減管理計畫。

(4) 推廣事業傳統廢水處理程序採用低碳處理技術或整合導入智慧化監控等技術，以降低加藥量及控制不佳等問題發生。

2. 針對畜牧業持續補助畜牧糞尿集中處理，深化推動畜牧糞尿再利用，未來將從產業面串聯著手，加強生質綠能低碳轉型、多元化資源利用、畜牧糞尿資源全循環，並以 2040 年畜牧業零排放為目標。從源頭畜牧轉型開始，與農業部合作推動畜舍現代化，如高床改建及落實雨污分流，減少廢水量提高沼液沼渣濃度以利再利用；逐步串聯產業鏈推動循環園區，把大企業找來與畜牧業者一起出資（以大帶小）、與能源業者進行系統整合，同時建立廢水允收標準管制品質，處理量餘裕還可以做共消化；另外多元去化管道讓沼液沼渣再進入循環利用，並以補貼措施作為拉力鞏固循環產業鏈；再來所產生的沼氣可以加值利用，發電、保溫加熱、純化賣氣都是未來方向，當然還有一些限制需要突破。

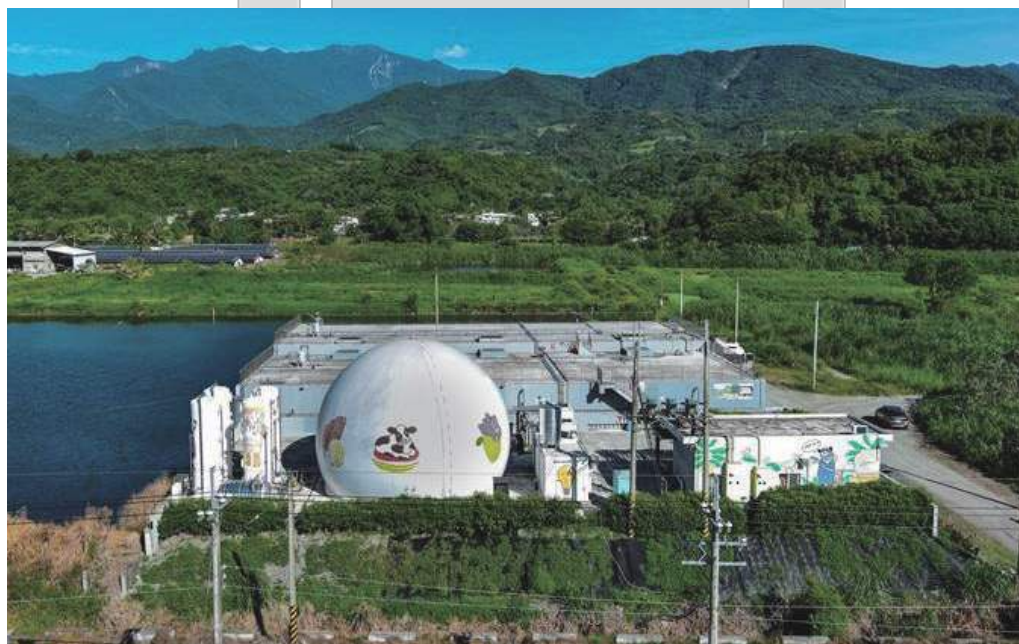


圖 3 花蓮縣璞石閣生質能源中心，是全國首座集中處理畜牧糞尿沼氣發電設施

3. 環保署自 2015 年底起推動總量管制，至今已有 10 縣市劃定 12 處水體總量管制區及 7 處水體加嚴放流水標準。全國管制區至 2023 年 12 月底有 74 處水質監測點，共監測 564 次、重金屬銅灌溉水質基準值合格率为 97%。其他重金屬項目，則均符合灌溉水質基準值，顯示受管制水體之水質穩定改善。

4. 透過排放許可證控管、放流水標準管制及徵收水污染防治費管理廢污水排放，逐次擴大管制業別加嚴管限制值、檢討水污費徵收項目，並強化「改善水體水質誘因工具」。為減少產業衝擊，並鼓勵業界轉型，提供採行廢污水能資源化技術抵減水污費之機制。

5. 為改善已受污染河川水質，自 2002 年起補助地方政府於各污染水源附近、受污染的河川支流匯流處，建置生態友善之現地處理，如礫間接觸氧化、草溝草帶、人工溼地等工程，

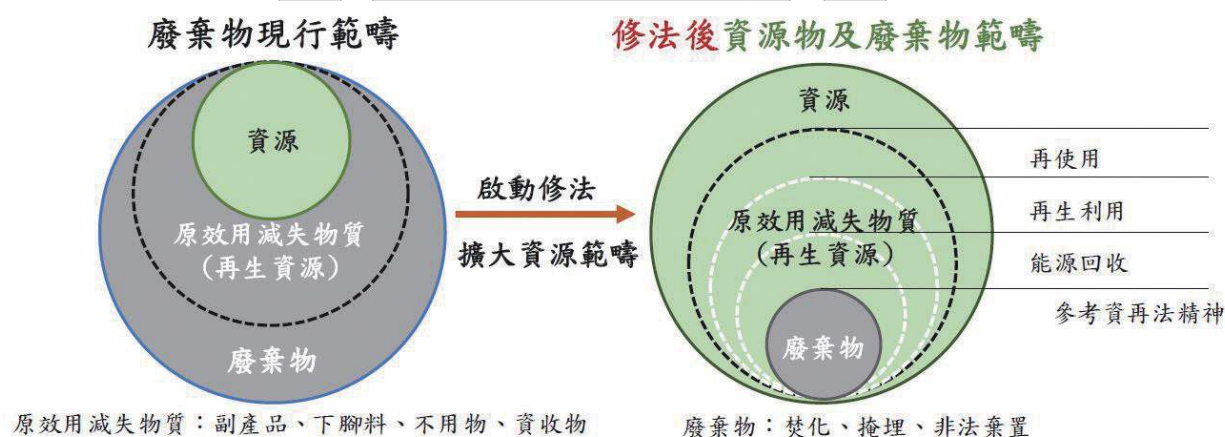
降低污染逕流進入河川，透過國際上強調的 NbS 自然解方作為氣候變遷調適作法，尤其強調在地居民的參與合作，使我國河川水質在氣候變遷下降低衝擊。

六、資源循環零廢棄

提問：我國自然資源不足，資源循環署成立後，將翻轉廢棄物處理思維，未來在推動資源循環零廢棄上，有何具體之政策規劃與法令調整構想？

回應：

垃圾或廢棄物是被錯置的資源，本部已成立資源循環署，要推動「資源循環零廢棄」工作，朝向「資源最大化，廢棄最小化」之目標，本部將啟動廢棄物清理法及資源回收再利用法之修法工作，未來工作重點如下：



資料來源：環境部資源循環署簡報。

圖 4 資源最大化，廢棄最小化示意圖

(一) 資源循環零廢棄政策規劃

資源循環署是以「資源循環零廢棄」為願景，並以聯合國永續發展目標 SDG 12 的精神為核心，

減少使用原生物料，將廢棄物翻轉為可用的資源，提升資源使用效率，建立資源永續循環的社會，與各部會共同合作引領我國邁向淨零轉型目標。

本部將依據行政院核定「資源循環零廢棄關鍵戰略行動計畫」、「廢棄物管理及資源化行動方案」及「再生粒料應用於港區填築工程綱要計畫」等計畫及方案，跨部會落實「資源循環零廢棄」關鍵戰略目標。以下說明資源循環署施政主軸「3大推動策略、2大驅動支柱」：

1. 循環策略 1—綠色設計源頭管理

在產品生命週期各階段導入綠色設計，包括產品使用單一材質、循環設計及添加再生料，以減少原生物料使用，推動循環採購，延長產品使用壽命，並建立產品數位護照制度，促進產品資訊揭露。

2. 循環策略 2—能資源循環利用

提升資源回收效能，結合經濟誘因，並建立分級分類管理架構，推動生物質資源、有機化學資源、金屬及化學品資源及無機資源等四大物料材料化、燃料化及肥料化，並建置資訊平臺作為輔助，導入最適循環可行技術（BART），促使資源循環最大化、廢棄物處理最小化。

3. 循環策略 3—廢棄物量能平衡及管理

針對市場上規模不足、需特殊技術處理之廢棄物、需特別關注或新興廢棄物，推動設置資源化設施及處理設施，以擴大去化量能平衡，同時強化事業廢棄物再利用管理。

4. 驅動支柱 1—暢通循環網絡

於生活消費方面持續推動資源回收四合一計畫；於產業方面鏈結上、中、下游產業，從事業內循環、事業間循環，逐步發展形成資源循環產業鏈，建立區域型循環網絡或虛擬產業園區。

5. 驅動支柱 2—創新技術與制度

翻轉廢棄物管理觀念，研訂資源循環促進法（草案），並發展資源循環減碳技術，推動高值化應用創造價值、輔導管理資源循環機構投入淨零轉型，透過資源循環分析資料庫，監測指標追蹤進展。

（二）制定資源循環促進法草案

因應國際趨勢及臺灣 2050 淨零排放政策，推動「資源循環零廢棄」關鍵戰略，本部已啟動「資源循環促進法」的立法作業，並將現行的「廢棄物清理法」和「資源回收再利用法」的管理思維融入。

首先，將改變對待廢棄物的觀念，改以資源循環利用的角度看待，將其稱為「廢棄資源」，而不再是目前稱呼的垃圾或廢棄物。希望這樣的轉變，能夠讓產生出來的廢棄資源，優先考慮再使用或再利用，以提高資源循環的效益。

其次，我們將強調消費性產品源頭管理，希望產品從設計階段就考慮環保，使用可回收材料，容易維修，並提供逆向回收選項，以減少浪費。我們也將鼓勵消費者選擇綠色設計的產品，並珍惜使用，減少對不可再生資源的需求。

此外，我們也規劃制定國家整體資源循環行動方案，以促進更多的廢棄資源再利用。同時，對於無競爭力之再利用產品規劃將課徵資源循環促進費，用於推動再利用產品使用，提升再利用產品市場競爭力，並使用科技工具來追蹤廢棄資源的流向。

最後，為推動資源循環，雖藉由分級管理、簡化行政程序等來運作，對於不法者仍將加重處分以遏止不法。另為完備非法棄置清理及行政監督管理，將提前啟動代履行費用債權保全程序，避免清理義務人脫產，落實環境回復責任。

七、化學物質管理

提問：食安問題受到國人高度重視，尤其新興化學物質不斷出現，化學品管理需與國際接軌及跨部會合作，未來推動作法為何？

回應：

化學物質管理施政理念簡單講就是「護食安、顧健康、保平安」，未來工作重點說明如下：

(一) 食安問題等之化學品管理

食品安全攸關國民健康，依蔡總統「食安五環」政策第一環「源頭控管」，本部從法規管制面的公告列管食安風險疑慮化學物質，及源頭預防面之輔導查核與跨部會合作機制，避免食安風險疑慮化學物質流入食品鏈，於 2016 年 12 月 28 日成立毒物及化學物質局後迄今已公告 27 種（34 項）食安風險疑慮毒性或關注化學物質，至 2024 年 2 月 22 日共列管 1,289 家運作者，並每年完

成 3,000 家次以上化工原料業、畜牧業及飼料業輔導訪查，以及與衛福部合作於民俗節慶執行稽查輔導專案等，從法規管制面及源頭預防面，推動化學物質源頭控管工作。

2023 年 8 月 22 日「毒物及化學物質局」改制為「化學物質管理署」，將藉由落實擴大分級管理、串聯統整資訊及補強管制斷點等施政主軸，建立跨部會合作機制，以完善運作之化學物質管理、邁向永續無毒家園目標。



資料來源：化學物質管理署，全面管理化學物質共創綠色無毒家園，第 35 屆環工年會，2023 年 11 月。

圖 5 化學物質管理 6 大要點及 5 大主軸

1. 擴大分級管理

(1) 管理我國運作之化學物質：立基危害及暴露風險評估的科學證據，逐步擴大至在我國運作、數量達 3 萬種的化學物質，精進其管理與評估。由一般性化學物質及整合各部會分別管理的化學物質，提出相關法規及政策規範，彈性運用許可申報、流向追蹤、輔導查檢等政策手段，對化學物質進行分群／分

級，以逐步統整、擴大。

(2) 公告列管毒性及關注化學物質：循「篩選從寬、公告從嚴、先慢後快」原則進行公告列管。至 2023 年已研析超過 1,500 個化學物質，逐項建立資料檔案，作為後續列管之參考基礎；2023 年 7 月 11 日預告新增列管 147 種全氟已烷磺酸（PFHxS）及其鹽類和相關化合物為第一類毒性化學物質，

及評析「伽瑪-丁內酯（ γ -Butyrolactone, GBL）」及環丁烴（Cybutryne）列管的可行性作法。

2. 串聯統整資訊

(1) 提升登錄資料完整性及資料應用：廢續受理製造及輸入化學物質業者進行化學物質資料之登錄作業，且藉由化學物質登錄蒐集之化學物質物理、化學、毒理、暴露及危害評估等資訊，進一步執行篩選與風險評估，作為採取禁止、授權或限制等管理作為。

(2) 化學雲被動接收各部會拋轉資訊：針對各部會化學物質管理資訊，應用「化學雲—跨部會化學物質資訊平臺」被動接收各部會拋轉資訊，並導入科技技術與設備，智慧化分享且持續維運與優化，提供各部會加值利用，例如輔導化學物質運作熱區之廠商建立防災圖資，及運用標籤技術建立流向示範點（鏈）等。

3. 補強管制斷點

(1) 源頭至邊境阻絕非法或偽報輸入：為管理毒性及關注化學物質流向資訊，建立跨部會合作機制，藉前端運作許可及後端彈性輔導查檢，補強管制斷點，由源頭延伸至邊境，阻絕毒性及關注化學物質非法或偽報輸入。並持續與財政部關務署合作交流通關實務，共同執行邊境查驗作業。

(2) 執行流向勾稽及後市場查核輔導：透過統整化學物質應共同管理事項，由邊境輸入至後市場流通，建立跨部會合作管理機制。並透過化學物質後市場輔導查核，掌握化學物質國內使用情境及暴露途徑，降低化學物質暴露風險，補強管制斷點。

4. 落實風險管理

建構發展風險評估技術與作業方法，並整合

各部會現有之危害、流布及暴露調查計畫與資料，完善我國化學物質風險評估工作；以風險評估科學資料為基礎，持續利用新興社群媒體，將專業知識轉譯為淺顯易懂的文字、圖像或影像等，以生活化的方式呈現，分眾進行風險溝通。

5. 全面災防應變

提升與擴增毒化災預防與應變之技術能力及量能，以「技術分級、專業分工」模式，擴大至所有化學物質事故之因應。

6. 轉型無毒環境

架構無毒環境推動策略，協同業者逐步淘汰如毒化物等之危害性化學物質；掌握製成品所含危害成分與加強市場監管；推動物質循環利用與提升資源效率；減少敏感族群之化學物質危害暴露等。

（二）國際接軌與跨部會合作之未來推動作法

為推動化學物質管理，我國參照聯合國化學品管理策略方針（SAICM）、永續發展目標（SDGs）、化學物質管理相關國際公約之精神及作法，訂定「國家化學物質管理政策綱領」與「國家化學物質管理行動方案」、「持久性有機污染物斯德哥爾摩公約國家實施計畫」、「執行聯合國水俣公約推動計畫」、「環境荷爾蒙管理計畫」，跨部會共同合作執行，與國際化學物質管理接軌。此外，並持續透過相關跨部會平臺強化化學品管理，推動建立部會合作機制及會議、溝通協調及進行風險溝通。

另因應國際化學物質管理趨勢，並推動跨部會全氟及多氟烷基物質（PFAS）管理，規劃全氟及多氟烷基物質（Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances, PFAS）管理行動計畫（草案），由各部會共同辦理，刻正辦理報院程序中，作為跨部會共同辦理之具體依據。



葉俊宏

環境部政務次長

國立中央大學土木工程研究所環工組碩士，於 1987 年公務人員高考二級考試及格。

歷任行政院環保署主任秘書、綜合計畫處、水質保護處處長、參事及水質保護處、廢棄物管理處副處長、科長等，1986 年研究所畢業後曾短暫任職於中興工程顧問社，期間約 3 個月。

建構遠端監控系統 即時管理石化業異常排放

李其需 * 盧彥廷 * 郭子豪 ** 曠永銓 *** 戴忠良 **** 謝仁碩 *****

摘 要

我國地狹人稠，工業區與民眾無足夠緩衝地帶，為降低產業對鄰近區空氣品質之影響，需要即時管理異常排放。臭氧為我國空氣品質不良主要指標污染物之一，由揮發性有機物（Volatile Organic Compounds, VOCs）等經光化反應後形成。美國德州石化重鎮曾發現臭氧濃度陡升（40 ppb/hr）的非典型臭氧事件（Non-Typical Ozone Change, NTOC），其與石化業燃燒塔短時間大量排放高反應性揮發性有機物（Highly Reactive Volatile Organic Compounds, HRVOC）有關。因此，美國政府與業者合作架設休士頓區域監測（Houston Regional Monitoring, HRM）系統監測臭氧前驅物，以加速改善臭氧問題。

檢視我國環境部的光化站（Photochemical Assessment Monitoring Stations, PAMS）數據，亦可發現 NTOC 現象。現行 PAMS 濃度需要三個月後完成品保（Quality Assurance, QA）後，才可公開。為因應即時空品管理需求，本研究以 PAMS 品保前濃度建構遠端監控系統，透過跨資料庫比對，判定最有可能的排放源並提出示警。在與可能排放源反覆確認過程中，使其認知排放樣態可能已對鄰近環境造成影響，而促使自願於執法前提早減量，達到空品改善之目的。實際案例顯示系統可依交叉比對證據而減少誤判，具提前預警及有效管理之效益。燃燒塔廢氣回收若能取代燃料使用，亦可同時發揮空污減量與淨零碳排之共利效應。然而，本系統也具有其限制，例如可能受多污染源同時排放同種污染物之干擾，及未考量燃燒塔以外的污染源排放等，皆為系統後續可精進之方向。

關鍵字：遠端空氣品質監控系統、揮發性有機物、石化業異常排放

一、前 言

VOCs 因其為臭氧前驅物（光化物種）、常受異味陳情（芳香烴等）及具健康疑慮（有害物種）等多項原因，故有管制個別物種之需求。

早期國內為管制臭氧，探討臭氧前驅物長期的濃度變化及臭氧生成潛勢較高物種，環境部於全台設置 PAMS，以期掌握臭氧生成的主要來源物種，加以管制。

PAMS 需於 3 個月後，始提供 QA 後數據，

* 環興科技公司環境規劃一部工程師
** 環興科技公司環境規劃一部計畫經理
*** 環興科技限公司研資部協理
**** 環境部大氣環境司高級環境技術師
***** 環境部大氣環境司科長

雖可應用於統計長期趨勢，卻欠缺資料即時性。當發現高濃度 VOCs 個別物種監測數據時，常難以釐清 3 個月前可能污染源的操作情形或排放狀況，因而無法「即時管理」期排放或異常操作。

本研究為解決資料即時性問題，建構了遠端空氣品質監控系統，納入光化監測站、燃燒塔流量數據等，推動即時 VOCs 污染辨識流程、強化短期排放行為之管理。

二、文獻回顧

(一) 國內 VOCs 監測站現況

環境部自民國 96 年陸續於全國架設 PAMS (包含固定站及行動監測車)，執行 VOCs 環境監測，具有長期及穩定之監測數據。

目前全台 10 站固定式光化測站(圖1)，大致可分為移動排放源(交通源，都會區)或固定污染源(工業源，工廠排放)。其中以台西站、橋頭站、小港站鄰近石化工業區，故常用於評估石化業對環境之影響。另有 3 台光化監測車執行任務型監測，增加機動監測能量。

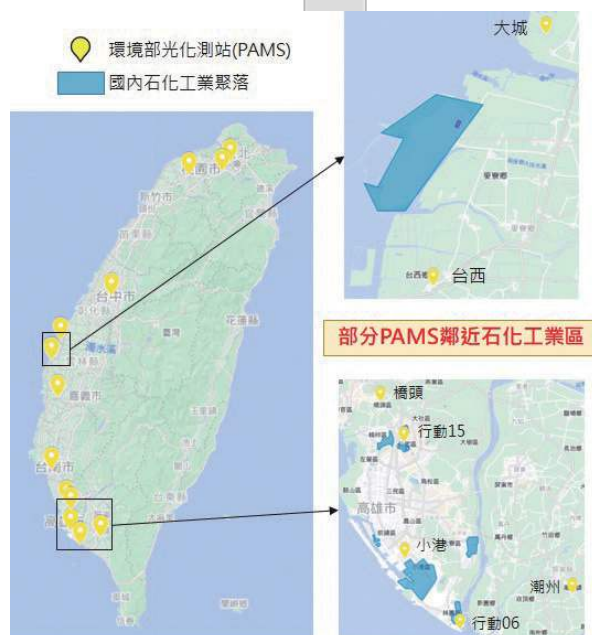


圖 1 全台光化站測與石化聚落相對位置

目前光化測站所使用之儀器為採用氣相層析儀搭配雙火焰離子偵檢器(GC/FID)，光化站監測物種包括 C_{2-11} 等 54 種揮發性有機物(如表 1)。其中包含 5 項芳香烴，為「固定污染源有害空氣污染物排放標準(民國 110 年 2 月 26 日發布)」列管之有害空氣污染物種(Hazardous Air Pollutants, HAPs)。然而，原始監測數據需經人工作業確認，並於監測 3 個月後提供 QA 後數據。QA 後之數據雖可應用於統計長期趨勢，如台西站 QA 後濃度月均值變化趨勢，如圖 2，但資料欠缺即時性。若僅採 QA 前數據進行行政處分，則容易因為誤判導致貶抑溯源準確性及公信力，增加行政負擔。

表 1 環境部光化站監測項目

種類	VOCs 物種	種類	VOCs 物種
烷烴	乙烷	烯烴	乙烯
	丙烷		丙烯
	異丁烷		反 2-丁烯
	正丁烷		1-丁烯
	環戊烷		順 2-丁烯
	異戊烷		反 2-戊烯
	正戊烷		1-戊烯
	2,2-二甲基丁烷		順 2-戊烯
	2,3-二甲基丁烷		異戊二烯
	2-甲基戊烷	炔烴	乙炔
	3-甲基戊烷		苯 *
	正己烷		甲苯 *
	甲基環戊烷		苯乙烯 *
	2,4-二甲基戊烷		乙苯 *
	環己烷		間, 對二甲苯 *
	2-甲基己烷		鄰二甲苯 *
	2,3-二甲基戊烷	芳香烴	異丙基苯
	3-甲基己烷		正丙基苯
	2,2,4-三甲基戊烷		間-乙基甲苯
	正庚烷		對-乙基甲苯
	甲基環己烷		1,3,5-三甲基苯
	2,3,4-三甲基戊烷		鄰-乙基甲苯

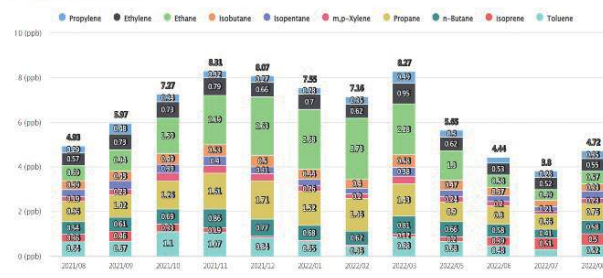
表 1 環境部光化站監測項目（續表）

種類	VOCs 物種	種類	VOCs 物種
烷烴	2- 甲基庚烷	芳香烴	1,2,4- 三甲基苯
	3- 甲基庚烷		1,2,3- 三甲基苯
	正辛烷		間 - 二乙基苯
	正壬烷		對 - 二乙基苯
	癸烷		
	正十一烷		

註：* 標記物種為環境部民國 110.2.26 公告「固定污染源有害空氣污染物排放標準」第一批有害空氣污染物

臺西站重點揮發性有機物逐月濃度變化

發布時間：2021/08~2022/08



圖片來源：環境部，空氣品質監測網

圖 2 台西站 QA 後物種濃度月均值變化趨勢圖

（二）石化業異常排放影響臭氧濃度

美國德州定義臭氧陡升（40 ppb/hr）現象為受石化業排放 HRVOC 影響之 NTOC，盧等人（2021）分析全台臭氧濃度偏高地區（如雲嘉南、高屏等），發現乙烯、丙烯等 HRVOC 的短期大量排放與高濃度臭氧氣團有關，當其以窄煙流形式影響下風測站時，會造成本土化 NTOC 現象，與德州經驗相似。因此，或可藉由管制 HRVOC 以達改善高臭氧濃度事件。

燃燒塔排放為周界乙烯、丙烯重要來源。燃燒塔之理論削減率為 98%，而實廠研究結果（環境部，2010；環境部／國科會，2011；環境部，2014）發現實際削減率僅約 90%。如以理論削減率推估燃燒塔 VOCs 排放量，則可能低估排放達 5 倍之多。

環境部自發現 2007 年 NTOC 案例後，隨即啟動檢討「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」（以下簡稱 VOCs 標準），並管制常態廢氣，不得排往燃燒塔。2011 年 VOCs 標準修正發布，2014 年燃燒塔管制生效後，乙烯、丙烯濃度及高臭氧事件皆有明顯改善。然而現階段雲嘉南、高屏地區仍不定時發生臭氧高值之熱區現象，部分案例伴隨乙烯、丙烯高值同時發生，期望能進一步減少燃燒塔排放以改善該區域之空氣品質。

三、研究方法

本研究整合各式監測與排放系統，建構遠端空氣品質監控系統，系統特色包括 1. 提升資料即時性；2. 重點物種篩選；3. 一站對應多廠監控；4. 設定示警閾值以改善異常高值；5. 發送警示訊息以達早期自願改善之效果。

（一）提升資料即時性

光化站、特工站執行資料 QA/QC 並於一季後公告監測結果，本系統為提升資料即時性，改採用一天前未 QA 數據（圖 3）。此外，燃燒塔使用與否為一項重要溯源指標，本系統一併納入環保局之燃燒塔流量小時值，藉由監測及污染源排放交叉比對，以利掌握污染源排放情形（圖 4）。



圖 3 本系統提升特工站、光化站資料即時性



圖 4 本系統納入環境監測及污染源排放資料

(二) 重點物種篩選

光化站監測 54 項物種中，本系統每日即時繪製 30 項監測數據變化趨勢，包含美國環保署規範光化站所建議優先測量之 25 項物種 (USEPA, 2019)，以及國內產業特性之本土化物種 5 項。另納入風速、風向等協助判斷污染來源，如圖 5。依污染來源及物種特性，可將 30 項物種分為 4 類，說明如下：

1. $C_2 \sim C_4$ ：乙、丙烷為常見燃料成分，乙、丙、丁烯為常見石化原料，乙炔常用於氧乙炔銲接，丁烷為汽油成分等。
2. $C_4 \sim C_7$ ：異戊二烯主要是生物源 VOCs 的主要成分，正、異戊烷為汽油成分，正己烷、環己烷為常見溶劑成分。
3. $C_6 \sim C_{10}$ ：苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯、異丙苯為常見石化原料，甲苯、二甲苯為常見溶劑。
4. C_9 ：乙基甲苯、三甲基苯為農藥輔助劑與原料之成分。

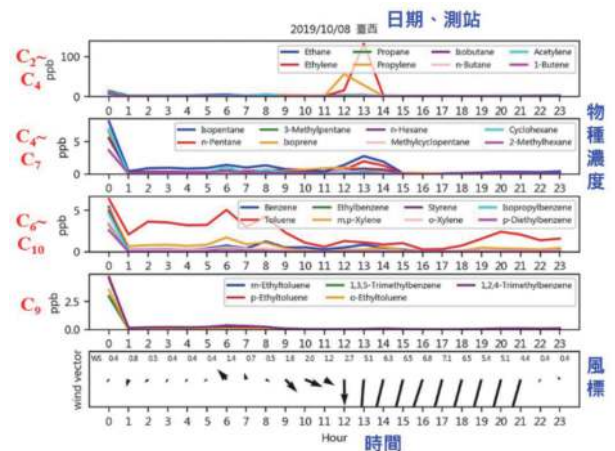


圖 5 本系統每日輸出監測項目及風場資訊

(三) 一站對應多廠（製程）之監控

臺灣石化產業的產值約占國內生產毛額 (GDP) 10%，其中聚乙烯 (PE)、聚氯乙烯 (PVC)、聚苯乙烯 (PS)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯樹脂 (ABS) 及聚丙烯 (PP) 為國內五大泛用塑膠產業，其產值占總原料業產值近五成，整理五大泛用塑膠重點原物料指紋，如圖 6。

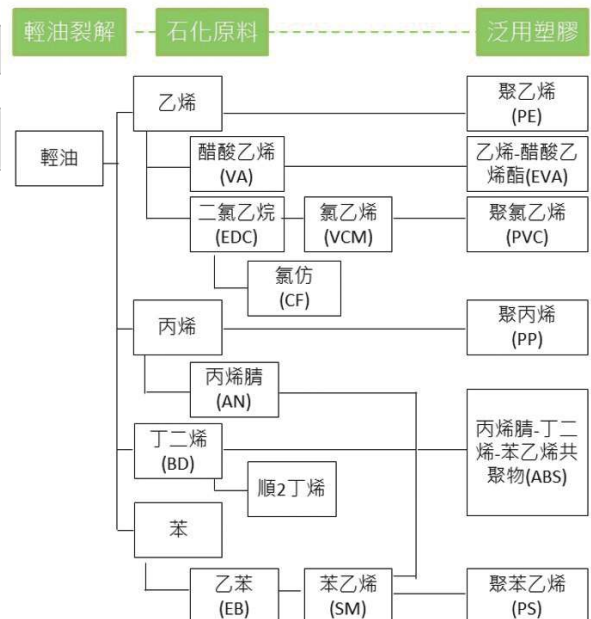


圖 6 國內五大泛用塑膠重點原物料指紋

光化站所監測的物種除乙烯、丙烯等 HRVOC 外，亦包含苯、乙苯、苯乙烯等 HAPs，故利用上述物種監測數據進行污染溯源及減量，除能改善臭氧濃度外，亦可降低健康危害。

鑑於此，本系統納入上述產業對應製程之許可資料庫原物料指紋，透過監測結果及排放源指紋特徵比對，縮小可疑範圍、提升溯源證據力。

(四) 設定示警閾值

本系統所設定之示警閾值須能鑑別都會區、工業區之影響。故先統計民國 108 年光化站全年第 1 大、第 4 大 (99th percentile) 之每日小時濃度值，如圖 7。對比於鄰近石化工業區光化站（如台西站），視萬華、土城等測站數據為未受石化工業區影響，據以設定乙烯閾值為 20 ppb。

(五) 示警訊息發布及成效追蹤

當測值超過所設定之閾值時，本系統將會針對可能排放廠商，發送監測濃度（含風標）及燃燒塔流量時序圖等訊息（圖 8），示警可疑污染情事，冀其認知自身異常排放樣態，進而達到嚇阻及有效監督之目的。最後可藉由系統持續監測及示警訊息，達維護空品之成效。



圖 7 系統依據統計結果設定閾值



圖 8 系統示警訊息範例

四、研究成果與討論

系統運作以來，於異常高值時段，除風向風速以外，同時具有指紋特徵、燃燒塔流量比對等資料，有效提高溯源證據力。此外，石化業於歲修開停車時使用燃燒塔所造成燃燒不完全之排放，可透過本系統示警功能要求業者操作優化。致使能夠有效監督過去無法管理的異常操作，降低短期排放影響。舉例說明本系統運作成果如下：

(一) 輕油裂解製程燃燒塔排放案例

2019/10/8 當天全台臭氧濃度分布，如圖 9。並無 O₃_hr 事件日，但 O₃_8hr 於中部、雲嘉南部分測站有偏高現象。進一步以臭氧增加率辦別臭氧型態（表 2）。其中，麥寮站臭氧陡峭增加（41 ppb/hr），為 NTOC；台西站臭氧陡峭增加（35

ppb/hr) 也接近 NTOC 之程度，顯示當天臭氧高值可能受鄰近石化工業區 HRVOC 排放影響。

表 2 2019/10/8 雲嘉南一般站臭氧型態判定結果

編號	測站	日最大 O ₃ _hr (ppb)	日最大 O ₃ _8hr (ppb)	日最大臭氧增加率 (ppb/hr)	NTOC
(1)	麥寮	107	76.9	41	是
(2)	台西	114	84.0	35	否
(3)	新港	97	74.6	23	否
(4)	嘉義	87	70.6	17	否

系統於 2019/10/8 監控環境部台西站出現 HRVOC 短時間內升高(圖 10)，當天 12、13 時分別測得乙烯濃度達 100 ppb、丙烯濃度達 50 ppb 以上。同時間燃燒塔流量時序圖亦出現使用情形，比對風向風速，初步推測應受上風處石化工業區之影響。

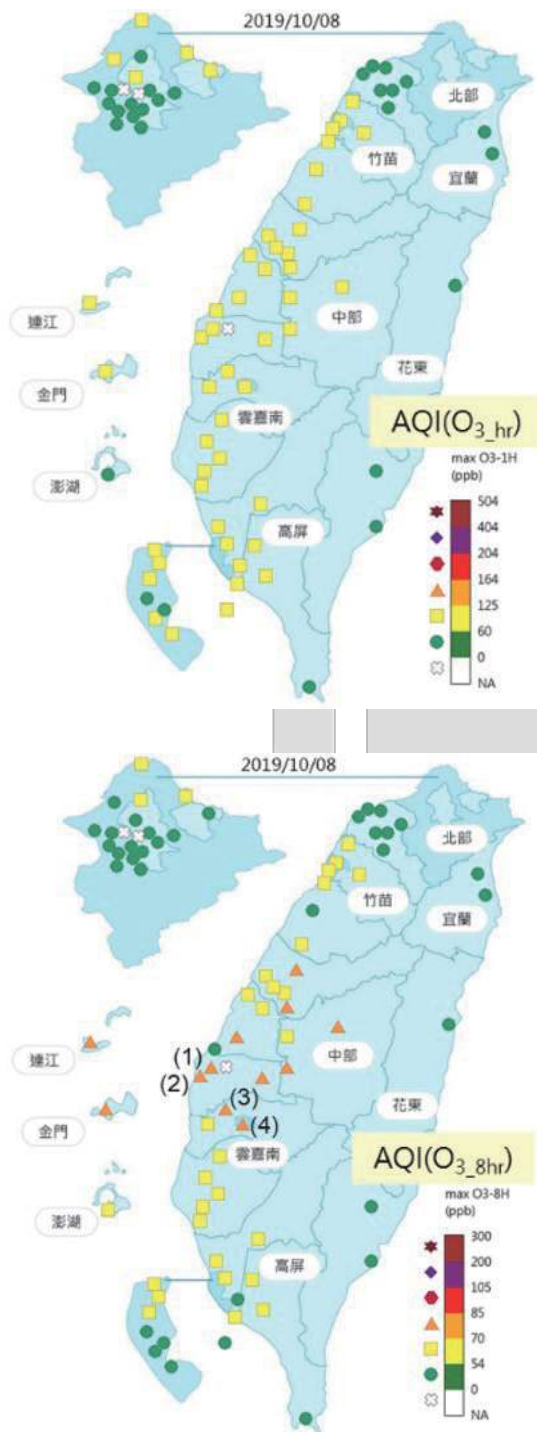


圖 9 2019/10/08 AQI (O₃_hr / O₃_8hr) 全台分布圖

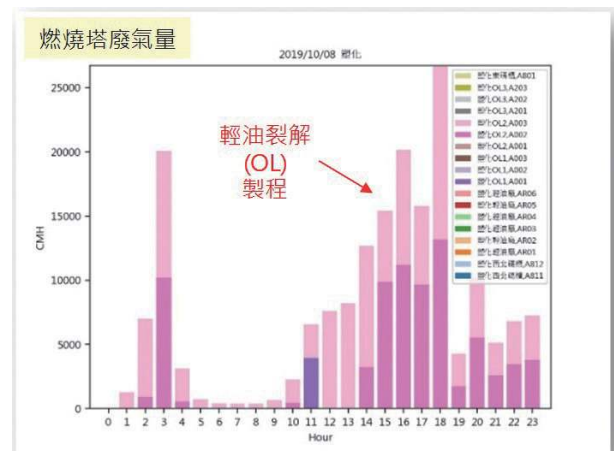
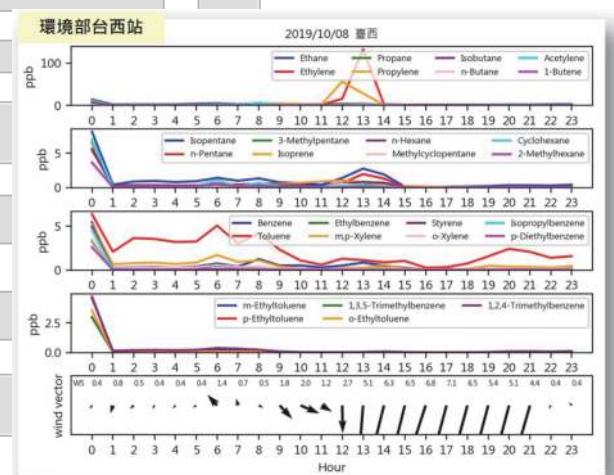


圖 10 2019/10/8 系統監控光化站及燃燒塔流量

開停車使用燃燒塔期間，光化站仍測得高濃度乙、丙烯，故後續推動改善應是以燃燒塔歲修排程優化及停開車之廢氣減少排往燃燒塔處理為方向（圖 14）。業者可藉由增設緩衝槽，讓原本直接排放至燃燒塔之廢氣流量較為穩定，進而執行後續程序：如作為原物料回收（高濃度）、燃燒空氣（低濃度）或導入其他控制效率較高之焚化設備予以處理。減少排放至燃燒塔之廢氣量，故可減輕燃燒塔排放之影響。

統計管制前後國內業者燃燒塔總廢氣量逐季變化如圖 15 所示。民國 99 年至 103 年第三季，國內燃燒塔總廢氣量平均達 6,471 萬立方公尺/季，而民國 103 年第 4 季燃燒塔管制生效後，總廢氣量下降至平均 1,070 萬立方公尺/季，減量幅度達 83%。其中也可看出中油公司及台塑企業含煉油製程之燃燒塔廢氣量貢獻顯著，管制後減量幅度達 91%，其他石化業者減量約 82%。

於業者降低燃燒塔常態使用頻率後，長期空品監測數據可見高濃度事件發生次數減少、平均濃度下降（圖 16），顯示溯源及管制推動方向正確且具有良好成效。針對燃燒塔進行管制，除解

決異常高值外，同時也能改善常態、平均之濃度。

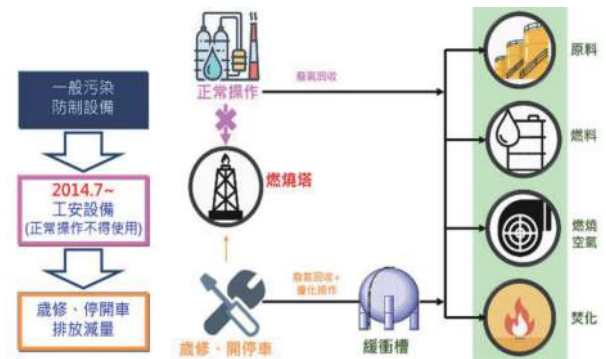


圖 14 燃燒塔強化管制推動方向

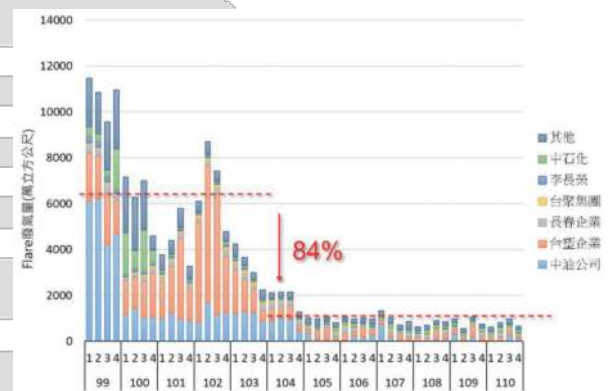


圖 15 民國 99~110 年國內石化業燃燒塔總廢氣量逐季變化趨勢

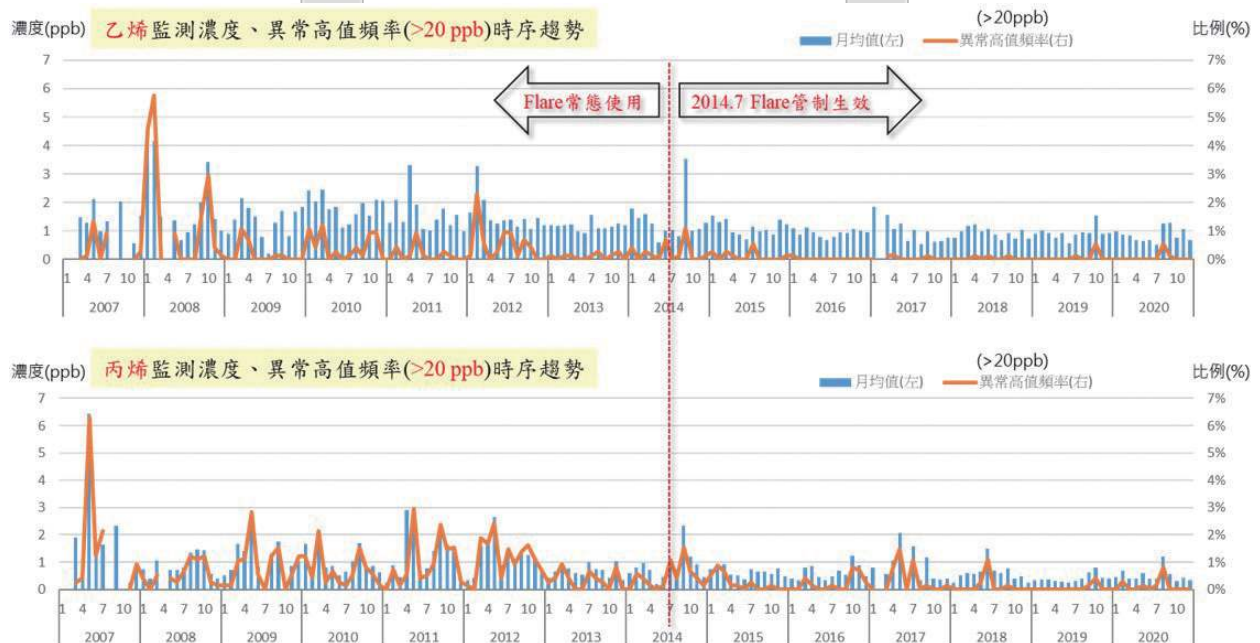


圖 16 台西光化站乙、丙烯平均濃度、異常高值頻率時序圖

(三) 本系統對於污染改善之定位

透過本系統自動發送警示訊息于可能之污染排放源，並轉知相關物種之異常周界濃度，與可能排放源共同確認監測數據與排放之關係。反覆運作以來，當可能排放源發現其操作樣態對鄰近環境已造成影響，常自願於執法前先行改善。因而，當後續推動減量措施時，緣於此科技執法作為與成效，部分污染源已提早改善，如此可提高科技執法效果，降低執法成本。

五、結論與建議

(一) 遠端監控系統具溯源即時性及證據力

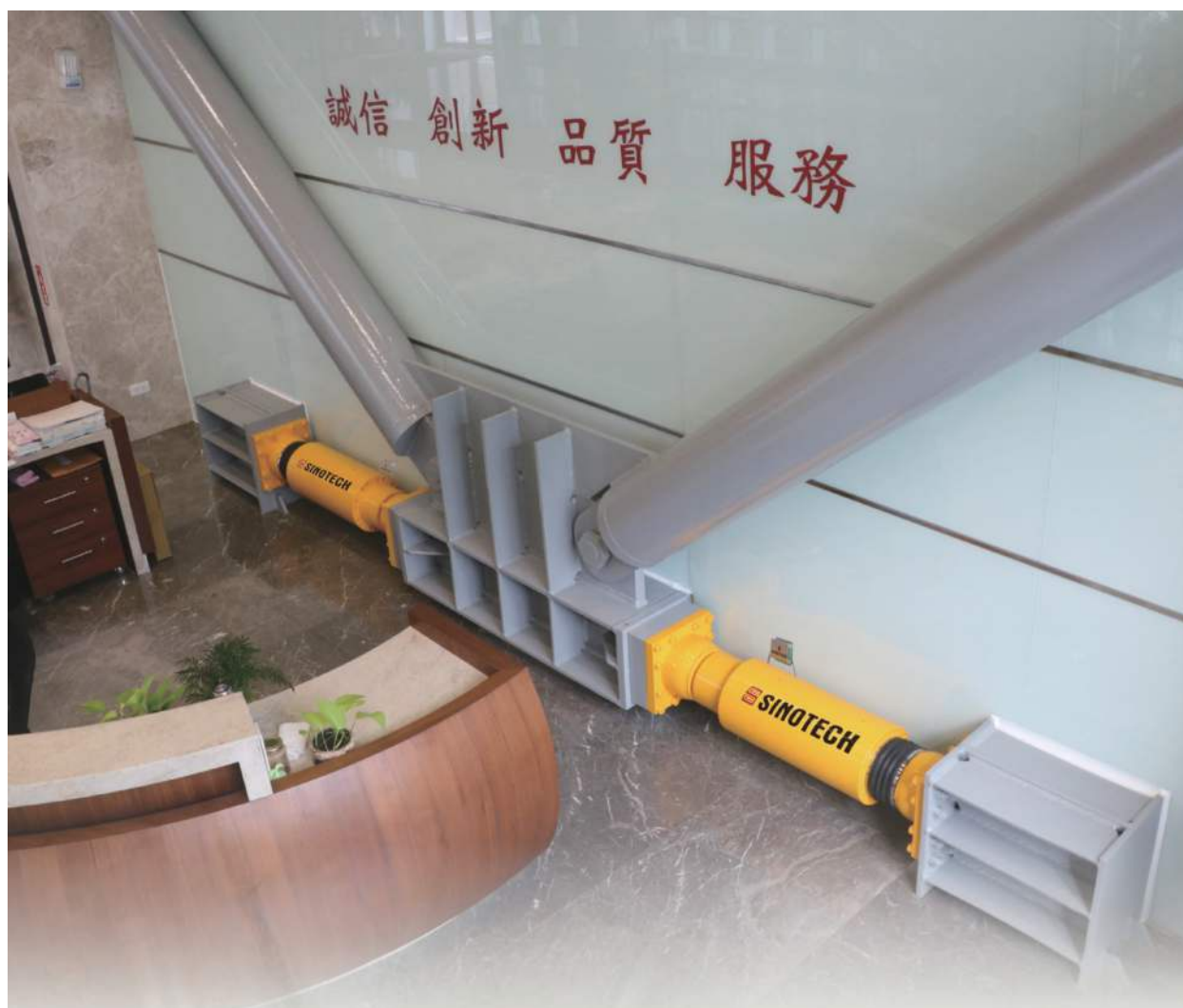
1. 本系統採一天前未 QA 之數據，大幅提升資料即時性。
2. 當發生異常高值時段，除風向風速外，本系統另提供指紋特徵、燃燒塔流量比對等資料，有效提升溯源證據力。
3. 本系統已可對乙、丙烯等 HRVOC 高污染事件進行溯源及推動污染源減量，後續將試推廣成功經驗至其他物種（如與健康危害及異味相關的 VOCs）之污染改善。
4. 持續擴充監測物種及彙整污染源排放資料，有效提升本系統污染溯源能力。

(二) 石化業異常排放對臭氧影響及即時管理

1. 本研究檢視過往監測資訊，可發現 NTOC 事件。於管制燃燒塔常態使用後，仍可見 NTOC 之案例，且與石化業使用燃燒塔有關。
2. 案例佐證本系統可即時掌握監測結果與污染源排放狀況，能有效監督過往無法管理之石化業異常排放，降低短期排放影響，進一步改善臭氧高值問題。

參考文獻

- 環境部，空氣品質監測網，<https://airtw.epa.gov.tw/CHT/TaskMonitoring/Photochemical/PhotochemicalMonitoring.aspx>
- 盧彥廷、李其需、郭子豪、柏雪翠、戴忠良、謝仁碩，以臭氧增加率判定非典型臭氧事件型態並探討對空品達標影響及改善趨勢，2021 年氣膠研討會。
- 環境部，石化業廢氣燃燒塔暨設備元件排放管制光學量測技術評估專案計畫，2010 年 12 月
- 環境部／國科會，加強本土化污染源揮發性有機空氣污染物與異味物質排放資料建立研究，2011 年 9 月
- 環境部，提升中部及雲嘉南空品區空氣品質及六輕工業區污染減量管制計畫，2014 年 1 月
- Couzo E, Jeffries HE, Vizuete W. Houston's rapid ozone increases: preconditions and geographic origins. Environ Chem. 2013 Jun 28;10 (3) :260-268
- Couzo E, Olatosi A, Jeffries HE, Vizuete W. Assessment of a regulatory model's performance relative to large spatial heterogeneity in observed ozone in Houston, Texas. J Air Waste Manag Assoc. 2012 Jun;62 (6) :696-706.
- HRM Houston Regional Monitoring, <https://hrm.aecom.com/>
- U.S. Environmental Protection Agency, Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Ozone Precursors for the Photochemical Assessment Monitoring Stations Program, 2019 April.



誠信 創新 品質 服務

中興制振 · 智慧防震

防震設備產品

中興社自主研發「國產液流黏滯阻尼器」及各種防震設備，
以提供優質臺灣製造之產品選擇及技術服務！
從零件加工至組裝品管測試皆採用臺灣在地化生產，
並通過認證合格實驗室的多項性能試驗，以確保產品品質與消費者權益。

 液流黏滯阻尼器(FVD) FLUID VISCOUS DAMPER	 位移型消能斜撐(SDB) STEEL DAMPING BRACE
 地震力分散裝置(STU) SHOCK TRANSMISSION UNIT	 效能監測系統(EMS) EFFICIENCY MONITORING SYSTEM
 鋼板制震壁(SDW) STEEL DAMPING WALL	 防震力學試驗室(SML) SINOTECH MECHANICAL LABORATORY FOR VIBRATION

防震制振技術研究中心

專業服務

防震設備研製 新型消能元件研發 設備隔震技術研發 消能元件性能試驗	振控設計技服 防震系統規劃設計 高震防範/減振工程 設施隔震設計規劃
國防減振研製 高效能減振機械研發客製 國防減振測試方法開發	監測系統技服 工程智慧監測系統 防震效能監測系統 智慧線電儲能微電網系統

聯絡資訊

A 114065 臺北市內湖區新湖二路280號
W www.sinotech.org.tw
T (02)8791-9198 F (02)8792-3070
E ast-ctr@sinotech.org.tw

誠信 · 創新 · 品質 · 服務

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



廢污水藥物類調查成果研析 與國際管理趨勢

林宜璇* 劉婉儀** 吳欣慧* 許國恩***

摘 要

近年來，鑑於環境中流布之藥物與個人保健用品對水生生物及生態可能具有危害風險，且可能形成超級細菌，各國陸續啟動環境水體及廢污水之藥物與個人保健用品調查，並推動相關管理措施，如丹麥訂定醫院廢水 40 種藥物建議排放基準、瑞士針對特定污水處理廠要求增加高級處理程序以達到放流水新興污染物去除率不低於 80%。我國環境部（改制前為行政院環境保護署）接軌國際動態，除已將藥物與個人保健用品列入飲用水蒐集清單及放流水標準未列管項目清單，另針對醫院、公共污水下水道系統及其承受水體進行水中 25 項藥物類調查。結果顯示磺胺嘧啶等 8 項藥物於所有水樣（30 點次）均無檢出，其餘藥物檢出濃度介於奈克／公升至微克／公升等級。有關廢污水藥物類管理，建議主管機關應跨部會合作，優先推動醫院及公共污水下水道系統自主管理措施。

關鍵字：廢污水藥物類、藥物與個人保健用品

一、前 言

隨著檢測技術精進與環保意識提升，廢污水及環境水體中之藥物與個人保健用品（Pharmaceuticals Personal Care Products, PPCPs）等「新興污染物」愈受關注。PPCPs 種類繁多，包含抗生素類及非抗生素類藥物等，以及基於提升健康品質、美容、防曬、清潔等用途而使用之個人保健用品。國內外研究顯示廢污水及環境水體中 PPCPs 濃度極低，檢測濃度範圍為奈克／公升（ng/L）至微克／公升（μg/L），惟 PPCPs 在環境中的流布傳輸可能危害非目標生物（如細

菌、魚、無脊椎生物等）及影響環境生態結構；另外，PPCPs 雖對人體健康並無直接影響，然可能引發與人體健康至關重大的議題，如成為超級細菌形成的源頭。因此，近年來各國陸續啟動環境水體之 PPCPs 現況調查，釐清可能之污染排放來源，並推動環境水體或污染源相關管理措施。

本文綜整國內外環境水體或廢污水藥物類管理趨勢，說明國內近年廢污水藥物類調查成果，並提出對我國廢污水藥物類管理建議。

二、國內環境水體及廢（污）水藥物類關切清單

* 中興工程顧問社環境工程研究中心副研究員
** 中興工程顧問社環境工程研究中心助理研究員
*** 中興工程顧問社環境工程研究中心環境檢測技術組組長

環境部（改制前為行政院環境保護署）依據「行政院環保署飲用水列管項目篩選作業原則（草案）」參考先進國家及相關組織於飲用水標準中已列管或優先關注之污染物納入「初步蒐集清單」，並依該污染物質之國內相關研究及關注情形進一步納入「蒐集清單」。2017年飲用水「蒐

集清單」列入布洛芬、乙醯胺酚等 17 項醫療保健藥品；而 2018 年飲用水「蒐集清單」新增吡美辛、磺胺甲噁唑、磺胺嘧啶、氟甲喹、克拉黴素、雙氯芬酸等 6 項藥品，共 23 項；2019 年至 2022 年飲用水「蒐集清單」則同 2018 年清單，如表 1 所示。

表 1 臺灣飲用水初步蒐集清單及蒐集清單之醫療保健藥品類項目

年度	初步蒐集清單		蒐集清單	
	項數	項目	項數	項目
2017 年	32 項	異丁苯丙酸（布洛芬）、乙醯胺酚、凱妥布洛芬／苯酮苯丙酸、萘普生／甲氧鈉丙酸、苯氧苯丙酸（非諾洛芬）、胺基比林、非那雄胺、經苯甲酮、二苯甲酮、二乙基間甲苯胺、對經基苯甲酸甲酯、對經基苯甲酸乙酯、對經基苯甲酸丙酯、對經基苯甲酸丁酯、水合氯醛、四環黴素、經四環黴素、氯四環黴素、紅黴素、二氯苯氧氯酚（三氯沙）、17 α -雌二醇、17 α -乙炔基雌二醇、 β -雌二醇、雌三醇、雌素酮、烯雌酮、去氫馬烯雌酮、炔諾酮、炔雌醇、雙氯芬酸、克拉黴素、阿奇黴素	17 項	異丁苯丙酸（布洛芬）、乙醯胺酚、凱妥布洛芬／苯酮苯丙酸、萘普生／甲氧鈉丙酸、苯氧苯丙酸（非諾洛芬）、胺基比林、非那雄胺、經苯甲酮、四環黴素、經四環黴素、氯四環黴素、二苯甲酮、二乙基間甲苯胺、對經基苯甲酸甲酯、對經基苯甲酸乙酯、對經基苯甲酸丙酯、對經基苯甲酸丁酯
2018 年	13 項	水合氯醛、紅黴素、二氯苯氧氯酚（三氯沙）、17 α -雌二醇、17 α -乙炔基雌二醇、 β -雌二醇、雌三醇、雌素酮、烯雌酮、去氫馬烯雌酮、炔諾酮、炔雌醇、阿奇黴素	23 項	除 2017 年蒐集清單之 17 項以外，新增吡美辛、磺胺甲噁唑、磺胺嘧啶、氟甲喹、克拉黴素、雙氯芬酸
2019 年	13 項	（同 2018 年）	23 項	（同 2018 年）
2020 年	14 項	水合氯醛、紅黴素、二氯苯氧氯酚（三氯沙）、17 α -雌二醇、17 α -乙炔基雌二醇、 β -雌二醇、雌三醇、雌素酮、烯雌酮、去氫馬烯雌酮、炔諾酮、炔雌醇、阿奇黴素、乙醯水楊酸	23 項	（同 2018 年）
2021 年	14 項	（同 2020 年）	23 項	（同 2018 年）

資料來源：

1. 環境部（2019）108 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫
2. 環境部（2020）109 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫
3. 環境部（2021）110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫
4. 環境部（2022）111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫

環境部（2018）依據國內外放流水標準管制情形、毒理特性、國內運作現況及民眾關切物質等因子，篩選放流水標準未列管項目清單包含環氧氯丙烷、鉍、3,3'-二氯聯苯胺、苯胺類、N-亞硝基二甲基胺、1,2-二氯丙烷、紅黴素、17 β -雌二醇、乙醯胺酚及鉍，共計 10 項，其中紅黴素、17 β -雌二醇、乙醯胺酚三種藥物主要參考美國飲用水污染物候選清單及日本飲用水標準要檢討項目有管制或參考限值者，且國內歷年檢出濃度較高之項目據以篩選。

三、廢污水藥物類調查結果

環境部（2020）為掌握環境水體藥物類來源，爰針對醫院、公共污水下水道系統等排放藥物類至環境水體之污染點源及其承受水體，進行水中 25 項藥物類檢測分析。25 項藥物包含 17 項 2017 年飲用水蒐集清單項目、6 項 2018 年飲用水蒐集清單新增項目以及紅黴素、17 β -雌二醇 2 種項目（其中紅黴素、17 β -雌二醇、乙醯胺酚為放流水標準未列管項目）。紅黴素、乙醯

胺酚、磺胺甲噁唑、磺胺噻唑、四環黴素、羧四環黴素、氯四環黴素、克拉黴素等 8 項藥物係參照水中抗生素類及鎮痛解熱劑類化合物檢測方法—固相萃取與高效液相層析／串聯式質譜儀法（NIEA W543.50B）進行分析；而餘 17 項藥物

檢測方法則採用水中新興污染物檢測方法—固相萃取與高效液相層析／串聯式質譜儀法（NIEA W545.50B）。

廢污水藥物檢測結果彙整如表 2 所示，茲就不同類型水樣之結果分述如下：

表 2 廢污水藥物檢測結果彙整

廢水類型	化學文摘社登記號碼 (CAS No.)	醫院原廢水 (n=8)			公共污水廠原污水	醫院處理單元出流水 (n=8)			醫院放流水 (n=7)			公共污水廠放流水	環境水體 (n=5)		
		檢出頻率	最小值	最大值		檢出頻率	最小值	最大值	檢出頻率	最小值	最大值		檢出頻率	最小值	最大值
紅黴素	114-07-8	88%	ND	1.37	ND	75%	ND	1.41	86%	ND	1.28	0.315	0%	ND	ND
乙醯胺酚	103-90-2	100%	50.6	285	35.7	100%	0.0162	38.1	86%	ND	39.6	0.112	100%	0.0295	0.639
磺胺甲噁唑	723-46-6	100%	1.06	7.99	0.787	100%	1.26	7	100%	0.794	8.24	0.642	100%	0.0478	0.0886
磺胺噻唑	72-14-0	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
四環黴素	60-54-8	100%	0.126	1.72	0.270	100%	0.0358	0.45	71%	ND	0.117	ND	0%	ND	ND
羧四環黴素	79-57-2	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
氯四環黴素	57-62-5	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
克拉黴素	81103-11-9	100%	0.212	1.18	0.260	50%	ND	0.34	71%	ND	0.361	0.109	60%	ND	0.0181
17 β -雌二醇	50-28-2	38%	ND	0.025	ND	12%	ND	0.0174	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
胺基比林	58-15-1	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
二苯甲酮	119-61-9	25%	ND	0.899	ND	12%	ND	1.81	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
二乙基間甲苯胺	134-62-3	0%	ND	ND	ND	12%	ND	0.0107	0%	ND	ND	0.0120	80%	ND	0.0325
羧苯甲酮	131-57-7	25%	ND	0.0305	ND	12%	ND	0.016	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
凱妥布洛芬	22071-15-4	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
氟甲喹	42835-25-6	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
非那雄胺	98319-26-7	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
對羧基苯甲酸甲酯	99-76-3	50%	ND	1.85	ND	12%	ND	0.35	28%	ND	0.3	ND	40%	ND	0.625
對羧基苯甲酸乙酯	120-47-8	12%	ND	0.295	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
對羧基苯甲酸丙酯	94-13-3	62%	ND	0.202	0.188	12%	ND	0.0158	28%	ND	0.783	ND	0%	ND	ND
對羧基苯甲酸丁酯	94-26-8	50%	ND	2.02	0.0170	25%	ND	1.7	14%	ND	1.03	ND	0%	ND	ND
異丁苯丙酸	15687-27-1	62%	ND	1.21	1.02	62%	ND	1	86%	ND	1.56	0.117	80%	ND	0.156
萘普生	22204-53-1	0%	ND	ND	ND	75%	ND	1.06	57%	ND	0.502	ND	0%	ND	ND
苯氧苯丙酸	31879-05-7	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND	0%	ND	ND	ND	0%	ND	ND
雙氯芬酸	15307-79-6	62%	ND	0.732	0.282	88%	ND	2.54	71%	ND	0.795	0.383	20%	ND	0.0605
吡啶美辛	53-86-1	50%	ND	0.165	0.0547	50%	ND	0.294	57%	ND	0.256	0.0552	0%	ND	ND

註：
1.單位為 $\mu\text{g/L}$ 。
2.磺胺噻唑、羧四環黴素、氯四環黴素、胺基比林、凱妥布洛芬、氟甲喹、非那雄胺、苯氧苯丙酸等 8 項藥物於所有水樣均無檢出。
3.醫院處理單元出流水係指經生物處理、活性碳、臭氧或消毒處理後之出流水。
資料來源：環境部（2020）事業廢水特性調查及管制策略研析計畫

（一）醫院原廢水及放流水

醫院調查對象為總病床數較多及核准排放量較大之 6 家醫學中心，以及 1 家設有活性炭、砂濾及臭氧等高級處理程序之醫院。

醫院原廢水 8 點次調查中檢出頻率最高為乙醯胺酚、磺胺甲噁唑、四環黴素及克拉黴素等 4 項藥物，檢出頻率均為 100%；檢出濃度最高之藥物為乙醯胺酚（50.6 ~ 285 $\mu\text{g/L}$ ），其次為磺胺甲噁唑（1.06 ~ 7.99 $\mu\text{g/L}$ ）及對羥基苯甲酸丁酯（ND ~ 2.02 $\mu\text{g/L}$ ），另紅黴素（ND ~ 1.37 $\mu\text{g/L}$ ）、四環黴素（0.126 ~ 1.72 $\mu\text{g/L}$ ）、克拉黴素（0.212 ~ 1.18 $\mu\text{g/L}$ ）、對羥基苯甲酸甲酯（ND ~ 1.85 $\mu\text{g/L}$ ）及異丁苯丙酸（ND ~ 1.21 $\mu\text{g/L}$ ）等 5 項藥物檢出濃度亦高於 1 $\mu\text{g/L}$ ，其餘 17 項藥物檢出濃度則介於 ND ~ 0.899 $\mu\text{g/L}$ （10 項藥物無檢出）。

醫院放流水 7 點次調查中檢出頻率最高之項目為磺胺甲噁唑，檢出頻率為 100%，紅黴素、乙醯胺酚、異丁苯丙酸（布洛芬）等 3 項藥物則次之，檢出頻率為 86%；檢出濃度最高之藥物亦為乙醯胺酚（ND ~ 39.6 $\mu\text{g/L}$ ），磺胺甲噁唑（0.794 ~ 8.24 $\mu\text{g/L}$ ）則次之，另紅黴素（ND ~ 1.28 $\mu\text{g/L}$ ）、對羥基苯甲酸丁酯（ND ~ 1.03 $\mu\text{g/L}$ ）及異丁苯丙酸（ND ~ 1.56 $\mu\text{g/L}$ ）等 3 項藥物檢出濃度亦高於 1 $\mu\text{g/L}$ ，其餘 20 項藥物檢出濃度介於 ND ~ 0.795 $\mu\text{g/L}$ （13 項藥物無檢出）。

（二）公共污水下水道系統原污水及放流水

北部 1 座公共污水處理廠檢測結果顯示，原污水中檢出濃度最高之藥物為乙醯胺酚（35.7 $\mu\text{g/L}$ ），其次則為異丁苯丙酸（布洛芬）（1.02 $\mu\text{g/L}$ ），其餘 23 項藥物檢出濃度介於 ND ~ 0.787 $\mu\text{g/L}$ （16 項藥物無檢出）；而放流水中檢出濃度最高之藥物則為磺胺甲噁唑（0.642 $\mu\text{g/L}$ ），其次為雙氯芬酸（0.383 $\mu\text{g/L}$ ）及紅黴素（0.315 $\mu\text{g/L}$ ），其餘 22 項藥物檢出濃度介於 ND ~ 0.117 $\mu\text{g/L}$ （17 項藥物無檢出）。

（三）環境水體

環境水體大漢溪（淡水河系）和筏子溪（烏溪河系）5 點次調查中檢出頻率最高之項目為乙醯胺酚及磺胺甲噁唑，檢出頻率均為 100%，其次則為異丁苯丙酸（布洛芬），檢出頻率為 80%；檢出濃度部分，則以乙醯胺酚（0.0295 ~ 0.639 $\mu\text{g/L}$ ）、對羥基苯甲酸甲酯（ND ~ 0.625 $\mu\text{g/L}$ ）檢出濃度較高，其次為異丁苯丙酸（布洛芬）（ND ~ 0.156 $\mu\text{g/L}$ ），其餘 22 項藥物檢出濃度介於 ND ~ 0.0886 $\mu\text{g/L}$ （18 項藥物無檢出）。

此外，磺胺噻唑、羧四環黴素、氯四環黴素、胺基比林、凱妥布洛芬、氟甲喹、非那雄胺、苯氧苯丙酸等 8 項藥物於所有水樣（30 點次）均無檢出。

上述檢出濃度較顯著之藥物項目主要為乙醯胺酚及磺胺甲噁唑，茲將其主要作用及國內使用量簡述如下：

（一）乙醯胺酚：屬非類固醇消炎止痛藥（NSAID），為普拿疼等常見止痛藥成分，用途為鎮痛解熱，可緩解輕度至中度的疼痛，也可與鴉片類藥物合用以緩解重度疼痛、腫瘤痛或術後疼痛。依據衛福部中央健康保險署 2020 年藥品使用量分析資料，若僅以申報重量計算，乙醯胺酚 2020 年申報重量約為 182 公噸，占全部申報藥物總重約 7.04 %。

（二）磺胺甲噁唑：為磺胺類抗生素，主要用於治療細菌引起的尿路感染、呼吸系統感染、腸道感染、膽道感染及局部軟組織或創面感染等。依據衛福部中央健康保險署 2020 年藥品使用量分析資料，磺胺甲噁唑 2020 年申報重量約為 5 公噸，占全部申報藥物總重約 0.20 %。

整體而言，大部分藥物項目之醫院原廢水最高檢出濃度較公共污水處理廠之原污水濃度高出 1 個數量級，如醫院原廢水之乙醯胺酚最高檢出濃度為 285 $\mu\text{g/L}$ ，而污水處理廠原污水之乙醯胺酚檢出濃度則為 35.7 $\mu\text{g/L}$ 。另多數藥物項目之

環境水體檢出濃度較醫院及公共污水處理廠放流水低 1~2 個數量級，如磺胺甲噁唑之醫院放流水最大檢出濃度為 8.24 $\mu\text{g/L}$ 、污水處理廠放流水濃度為 0.642 $\mu\text{g/L}$ ，而環境水體最大檢出濃度則為 0.0886 $\mu\text{g/L}$ 。

四、國際環境水體及廢污水藥物類管理趨勢

國內外廢污水 PPCPs 調查濃度多介於奈克／公升 (ng/L) 至微克／公升 ($\mu\text{g/L}$) 等級，不易藉由一般傳統廢水處理程序（如活性污泥法等）降低其濃度，目前各國尚未將 PPCPs 列入放流水標準管制項目，但已有部分國家之飲用水或地面水體候選清單、觀察清單或環境品質標準、建議排放基準已有列入部分 PPCPs 項目。

（一）美國

美國環保署 2016 年公布飲用水污染物候選清單 (CCL 4)，其中包含紅黴素、17 α -雌二醇等 11 項藥物，並訂定健康參考限值 (Health Reference Level, HRL)。2022 年 11 月 14 日美國環保署公布飲用水污染物候選清單 (CCL 5)，其中包含 17 α -雌二醇、倍思樂、氟康唑及百滅寧等 4 項藥物（百滅寧亦為農藥項目）。

（二）日本

日本飲用水標準除訂定水質標準項目及標準值外，另訂定水質管理目標設定項目及要檢討項目等，其中水質管理目標設定項目包含催眠及鎮靜藥物水合氯醛，其暫定目標值為 0.02 mg/L；而要檢討項目則包含 17 β -雌二醇和炔雌醇等兩項荷爾蒙藥物，其暫定目標值分別為 0.08 $\mu\text{g/L}$ 和 0.02 $\mu\text{g/L}$ 。

（三）歐盟及相關國家

歐盟於 2000 年訂定水框架指令 (Water Framework Directives, WFD) (Directive 2000/60/

EC)，並提出優先物質 (Priority Substances) 及優先有害物質 (Priority Hazardous Substances) 清單，清單歷次修正中均未列入 PPCPs，僅在候選清單中有列入卡馬西平、雙氯芬酸、17 β -雌二醇等 PPCPs，並訂定環境品質標準限值 (Environmental Quality Standards, EQS)。後於 2008 年提出環境品質標準指令 (Environmental Quality Standards Directives, EQSD) (Directive 2008/105/EC)，其亦為 WFD 修正文件。歐盟自 2015 年起依據 EQSD，提出觀察名單 (Watch List)，2022 年提出第四版觀察名單 (Commission Implementing Decision (EU) 2022/1307)，其中包含磺胺甲噁唑、甲氧苄啶、文拉法辛、去甲文拉法辛、克催瑪汝、氟康唑、咪康唑、克林達黴素、氧氟沙星、二甲雙胍等 10 項藥物以及阿伏苯宗、奧克立林、羥苯甲酮等 3 項防曬劑。

另 2014 年荷蘭依據 WFD 提出相關文件

(RIVM Letter report 270006002/2014)，針對卡馬西平、美托洛爾及二甲雙胍等藥物制定 EQS 值，分別為 0.50、62 及 780 $\mu\text{g/L}$ 。

（四）丹麥

丹麥環境部 2009 年規定醫院需取得排放許可，方可排放廢水至下水道系統（規範廢水藥物及致病菌）；2011 年成立專案小組，評估法規落實方式；2013 年丹麥環境部專案小組提出指引，訂定醫院廢水 40 種藥物排放建議基準，並以 ABC 系統將 226 種藥物區分為 3 類，分別為 A：高度危險物質（具生物不可分解、生物累積性 or 高毒性，建議使用替代藥物或減量）、B：危險物質（需依照最佳可行性技術，去除至排放建議基準以下）、C：較無危險物質（具生物可分解或低毒性，故一般情形下可直接排放）。此外，丹麥政府亦依據醫院藥物使用的種類及用量，將醫院區分為不同等級之排放點源以利管理。丹麥環境部在評估各醫院實施污染物減量方法時，會

將其點源類型、規模大小、財務能力及是否興建新院區等納入考量，推行不同廢水處理策略，例如：全廠廢水處理設施、特定股廢水處理設施及特定病房之病患尿液收集處理等。

（五）瑞士

瑞士 2016 年修訂水保護法案，針對特定污水處理廠（近 100 座）要求增加高級處理程序以達到放流水 12 種新興污染物中 6 種項目去除率不低於 80%，12 種新興污染物包含氯磺必利、卡馬西平、西酞普蘭、克拉黴素、雙氯芬酸、氫氯噻嗪、美托洛爾、文拉法辛、苯並三唑、坎地沙坦、厄貝沙坦等藥物及除草劑 2-甲-4-氯丙酸。

（六）世界衛生組織

世界衛生組織 2017 年公布 12 項超級細菌名單，該名單亦列出超級細菌相對應具抗藥性之藥物，包含碳青黴烯類、萬古黴素、甲氧苯青黴素、克拉黴素、頭孢菌素類、盤尼西林（青黴素類）、氟喹諾酮類、氨基青黴素（安比西林）等藥物。

五、結 論

我國環境部針對醫院、公共污水下水道系統及其承受水體之水中 25 項藥物類調查結果顯示，磺胺噻唑等 8 項藥物於所有水樣（30 點次）均無檢出，其餘藥物檢出濃度介於奈克／公升至微克／公升等級，其中以乙醯胺酚檢出濃度較高，於醫院放流水、公共污水下水道系統放流水以及環境水體之最高檢出濃度分別為 39.6 $\mu\text{g/L}$ 、0.112 $\mu\text{g/L}$ 及 0.639 $\mu\text{g/L}$ 。

有關廢污水藥物類管理，建議環境部、衛福部及內政部國土管理署等主管機關應跨部會合作，針對醫院、公共污水下水道系統優先推動自主管理措施，如醫院可強化廢棄藥物回收，或可

評估以具相似藥效且在末端處理較易去除之替代藥品取代有抗藥性疑慮、對環境衝擊風險高之藥物；另醫院、公共污水下水道系統可評估提升廢污水處理效能，並自主監測藥物類排放濃度。除推動自主管理措施以外，建議環境部未來可參考國際動態，並依據國內廢污水藥物類調查結果，研析水污染相關法規增訂藥物類管理管制規定之必要性。

參考文獻

- DHI and Grundfos BioBooster A/S (2016) Full scale advanced wastewater treatment at Herlev Hospital - Treatment performance and evaluation
- European Union (2022) Commission Implementing Decision (EU) 2022/1307)
- Netherlands (2014) Environmental risk limits for pharmaceuticals-Derivation of WFD water quality standards for carbamazepine, metoprolol, metformin and amidotrizoic acid (RIVM Letter report 270006002/2014)
- Swiss Confederation (2016) Waters Protection Act
- United States Environmental Protection Agency (2022) Contaminant Candidate List (CCL) and Regulatory Determination
- World Health Organization (2017) Global priority list of antibiotic-resistant bacteria to guide research, discovery, and development of new antibiotics
- 日本水質基準項目と基準（51 項目）(<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>)
- 行政院衛福部中央健康保險署（2022）109 年藥品使用量分析 (https://www.nhi.gov.tw/Content_List.aspx?n=5AA7CAFFF61CB16D&topn=3FC7D09599D25979)
- 環境部（2019）108 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫
- 環境部（2020）109 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫
- 環境部（2021）110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫
- 環境部（2022）111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫
- 環境部（2018）事業廢水污染防治及調查分析計畫
- 環境部（2020）事業廢水特性調查及管制策略研析計畫
- 環境部（2022）事業廢水水質特性分析及管理評估計畫

淨零碳排挑戰下以碳捕捉、儲存 與再利用技術重塑碳循環

蔡任斌* 郭需宸*

摘 要

淨零排放為全球應對氣候變遷之文明發展趨勢，我國亦已宣示為國家轉型政策目標。為在窘迫時間內達成《巴黎協議》設定於本世紀末前將全球均溫升幅努力控制在 1.5 °C 內之目標，發展以人為手段將二氧化碳捕捉、再利用與儲存（Carbon capture, utilization and storage, CCUS）技術具迫切性；此外，藉由二氧化碳之儲存及再利用，將可建構碳之封閉循環經濟體系，重塑當今以石化燃料為基礎之線性碳經濟。本文彙整當今 CCUS 技術之發展現狀及案例，並論述以此為碳循環經濟體系於環境、經濟及社會面之效益，期許建構淨零與永續發展並進之未來願景。

關鍵字：CCUS、碳循環經濟、淨零碳排

一、前 言

鑑於升溫帶來之氣候變遷對人類與環境之重大危害，2015 年多國政要於第 21 屆聯合國氣候變遷大會（COP-21）簽訂《巴黎協議》，約定目標在本世紀末前將全球均溫之升幅控制在 2.0 °C 內，並努力達到 1.5 °C 之目標。為達成此目標，必須削減溫室氣體（Greenhouse gases, GHGs）之排放量，其中二氧化碳貢獻溫室氣體年排放量的 76%（Wan Yun Hong, 2022），為最具代表性組成，故減碳為達成氣候中和之重要路徑。依據政府間氣候變化專門委員會（IPCC）發布之報告，若要在本世紀末前達成全球均溫升幅小於 1.5 °C

之目標，全球必須在 2030 年前達成 45% 之二氧化碳削減量（相較於 2010 年），並在 2050 年達成淨零排放（Net zero emissions），我國政府亦於 2022 年公布「國家淨零排放路徑圖」，設定 2050 年達到淨零碳排的國家目標。

淨零社會並非一蹴可幾，在大型二氧化碳排放源及石油交通工具仍運作情境下，為在窘迫期間內達成此目標，必須發展有效之負碳技術（Carbon negative technology），目前國家推動主要政策可分為通過植樹造林、退耕還林、海洋棲地復育等生物性手段，提升二氧化碳吸收量，達成二氧化碳移除之自然碳匯（Carbon sink）與通過人為物化手段，有效率收集排放源產生之二

* 中興工程顧問社環境工程研究中心助理研究員

氧化碳，並加以儲存或利用之碳捕捉、儲存與利用技術（Carbon capture, utilization and storage, CCUS）。本文將針對 CCUS 技術之發展現況及與之相應的新碳循環經濟體系進行說明。

二、碳捕捉、儲存與利用技術

碳捕捉、儲存與利用技術係通過生物、物理或化學等人為手段，將人為排放之二氧化碳（Anthropogenic emissions）加以收集，或直接由大氣中收集，並將捕捉富集之二氧化碳加以儲存或再利用之技術。此系列技術之發展軌跡，最初係配合石油生產，發展出在礦床內注入二氧化碳以提高石油產量之技術，或利用耗竭油氣礦層、難開採煤礦層及地下水岩層等作為二氧化碳儲存案場之碳封存技術，近年則逐漸發展出將捕捉之二氧化碳加以利用於各產業之碳再利用技術。

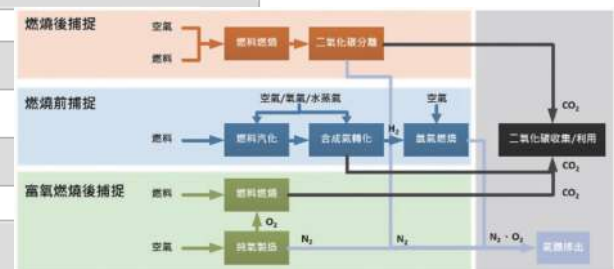
若從資源循環再生角度觀之，二氧化碳再利用技術係將低分子量之碳還原為高分子化合物之過程，藉此將碳化合物之氧化最終產物，重新作為資源物投入產業，藉此建構碳從搖籃到搖籃、循環生生不息之碳基資源循環經濟。例如可將捕捉之二氧化碳重新投入於原料端，或將其通過觸媒轉化，產製或直接作為化工原料（黃欣翊等人，2012）。然若從碳平衡觀點觀之，由於二氧化碳再利用技術係利用捕捉之二氧化碳作為原料，替代來自生物圈與地殼之碳源，並非碳的永久封存（負碳排），因此應將其視為可達碳中和目標的資源轉化策略，並仍須投入發展二氧化碳儲存技術，以達到淨零碳排之目標。

三、碳捕捉技術發展現況

二氧化碳之排放源可分為移動源（Non-point sources）與點源/固定源（Point sources/

Stationary emissions）。非點源排放具濃度低、位置不固定及排放不定時等特性，須直接由大氣中捕捉二氧化碳；點源之排放，例如發電廠、水泥旋窯、煉鋼鍋爐等，具有排放量大、排放時間固定及排放二氧化碳濃度高等特色。固定源之二氧化碳捕捉，可依時間點分為燃燒前捕捉（Pre-combustion）、燃燒後捕捉（Post-combustion）與富氧燃燒後捕捉（Oxyfuel combustion）等技術，如圖 1 所示。

燃燒前捕捉技術係指對原型態燃料（Primary fuel）進行前處理，依序通過汽化槽及催化反應槽，使其轉化為合成氣（氫氣及一氧化碳）及氫氣與二氧化碳之技術。而產生之氫氣將作為燃料燃燒，二氧化碳則加以捕捉，藉由燃燒前捕捉技術產生之二氧化碳濃度可達 15-60%（體積比），且具高壓之特性，有利於富集後二氧化碳之運送。



整理自 UNECE，2021；IPCC，2005。

圖 1 二氧化碳點排放源碳捕捉技術

燃燒後捕捉技術，係指於煙道設置設備以收集燃燒後煙道氣中二氧化碳之技術。通常採用有機溶劑二氧化碳吸收法，例如以乙醇胺（Monoethanolamine, MEA）作為吸附溶劑，將二氧化碳於煙道氣中脫除。由於一般鍋爐係以空氣為助燃劑，通常煙道氣二氧化碳含量較低，約為 3-15%（體積比），其他成分則以氮氣為主；富氧燃燒後捕捉技術，則係以純氧作為鍋爐之助燃劑，因此燃燒後煙道氣中可以獲得極高純度之

二氧化碳（高於 80% 體積比），相較於傳統之燃燒後收集捕捉，有更高之收集效率（UNECE，2021；IPCC，2005）。

二氧化碳捕捉成本大幅度取決於氣體中二氧化碳濃度，濃度越高之排放源所需之捕捉成本越低（UNECE，2021）。2022 年大氣中二氧化碳濃度約為 0.042%，而煙道氣中二氧化碳濃度約為 3%；以燃燒前捕捉或富氧燃燒後捕捉技術，則可獲得 15-80% 之二氧化碳濃度，故點源之二氧化碳捕捉技術通常遠較非點源技術具成本效益。

就碳捕捉技術而言，目前已發展之技術可分為吸收法（Absorption）、吸附法（Adsorption）、薄膜法（Membrane）及低溫法（Cryogenic）等，且以化學吸收法與吸附法最為成熟，全球已有多座碳捕捉工廠運作（談駿嵩，2021；Wan Yun Hong，2022）。

（一）吸收法（Absorption）

吸收法係通過溶劑收集二氧化碳，並在達飽和後，通過升溫或加壓等手段達成溶劑再生（Regeneration），並藉以捕捉二氧化碳之方式。依據使用溶劑性質特性差異，可分為化學吸收法與物理吸收法，前者可應用於燃燒前後之碳捕捉；而後者通常僅應用於燃燒前碳捕捉，分述如下：

化學吸收法係使二氧化碳溶解於鹼性溶液，使其酸鹼中和反應，進而形成離子鹽類後，再通過變化溫度釋放二氧化碳氣體加以捕捉；化學吸收法之吸收劑，以烷醇胺水溶液（Alkanolamine aqueous）最常見，例如一元醇胺之乙醇胺（Monoethanolamine, MEA）、異丁醇胺（2-amino-2-methyl-2-propanol, AMP）、二元醇胺之二乙醇胺（Diethanolamine, DEA）或三元醇胺之甲基二乙醇胺（Methyl diethanolamine, MDEA）等。

而物理吸收法則係透過二氧化碳在不同溫度

或壓力下對有機溶劑之溶解度差異加以調節，以達二氧化碳之捕捉；常見之物理吸收劑有聚乙二醇二甲醚（Polyethylene glycol dimethyl ether, DEPG）、N-甲基吡咯烷酮（N-methyl-pyrrolidone, NMP）及碳酸丙烯酯（Propylene carbonate, PC）等。

另外，近年來愈來愈多研究關注離子溶液（Ionic liquids, ILs）之運用，離子溶液係指在常溫下為液態之離子鹽類，通常具有不對稱之化學結構，提升結晶難度，藉以降低其熔點。因此相較於傳統有機溶劑具相當低之蒸氣壓，因此離子溶液在二氧化碳捕捉過程中幾乎不發生溶液蒸散現象，耗損率較低。然而由於離子溶液黏度較高，導致二氧化碳溶解速度大幅降低，拖累二氧化碳捕捉之效率；較先進的技術係將離子溶液分布於高表面積載體，藉以提升二氧化碳之吸收效率。

（毛慶豐，2020）

由於可達成較高的捕捉率，並較其他技術更為成熟，化學吸收法廣泛應用於大型電廠或工業程序之碳捕捉單元；惟由於其溶劑再生耗能較高，面臨高能源密集性問題，技術仍有待進一步提升。

（二）吸附法（Adsorption）

吸附法亦為主流二氧化碳捕捉方法，其機制係通過固體吸附劑（Adsorbents）將二氧化碳吸附於表面，再藉由溫度或壓力變化脫附之，而達成二氧化碳之捕捉。吸附劑之材料相當多元，依據溫度、壓力或氣體組成差異，適合不同種類之材料，是故吸附法可應用於燃燒前後之碳捕捉，甚至可應用於直接空氣捕捉。而依據吸附劑特性差異，可將吸附法分為化學與物理吸附法，分述如下：

化學吸附法係藉由吸附質（二氧化碳）與吸附劑間發生化學反應，形成鍵結而達二氧化碳之永久性吸附，須通過升溫或加壓等程序使鍵結斷

裂方能達成脫附，適合用於較低二氧化碳濃度。常見之化學吸附劑有胺系（Amine based）吸附劑、金屬氧化物（Metal oxides）及鹼金屬材料（Alkali metal-based materials）等。

而物理性吸附則係通過吸附質（二氧化碳）與吸附劑間產生之電磁力（例如凡德瓦力、靜電力、磁偶極力等），將二氧化碳暫時附著於固體表面，並通過溫度或壓力引起之電性變化脫附並收集之，可用於較高濃度二氧化碳之捕捉。物理性吸附劑可運用於小於 200 °C 之環境，常見之物理吸附劑則有沸石（Zeolites）、矽基材料、含碳材料及金屬有機骨架材料（Metal organic frameworks, MOFs）等。

（三）薄膜法（Membrane）

二氧化碳薄膜捕捉技術，係使氣體通過滲透膜或半滲透膜，藉由物化機制，例如擴散（Diffusion）、分子篩（Molecular sieving）等效應達成對二氧化碳的選擇性分離，並藉以達成二氧化碳之捕捉。由於係藉由壓力或濃度梯度驅動二氧化碳之分離，因此適合用於二氧化碳濃度較高之氣體環境，藉以提供膜兩側較強濃度梯度差，有助二氧化碳之分離，例如燃燒前碳捕捉之情境。薄膜法之優勢為安裝容易、耗能較低；然而由於單一膜之跨膜壓差比（Transmembrane pressure ratio）低，為收集高純度二氧化碳，須建構多道膜程序，並多次循環氣體，可達成高於 90 % 的 CO₂ 再生率。而依據薄膜之材料特性，可分為無機膜、聚合物膜、混合基質膜（Mixed matrix membranes）、促進運輸膜（Facilitated transport membranes）與氣液接觸器（Gas-liquid contactor）等。

（四）低溫法（Cryogenic）

低溫法係通過低溫（-100 °C 至 -135 °C）、高

壓（100-203 bar）之環境，從氣體中分離出液態二氧化碳，藉以達成二氧化碳捕捉之技術。低溫法可用於燃燒前碳捕捉及富氧燃燒後捕捉等較高二氧化碳濃度之情境，其技術優勢為不須使用吸收劑、吸附劑即可收集極高純度之二氧化碳，且液態之二氧化碳可以直接進行後續的運輸作業；然而分離階段的低溫，易產生冰晶導致設備阻塞破壞，而為產生低溫與高壓環境，造成其耗能顯著，導致碳捕捉成本較高。

（五）鈣循環技術

水泥產業屬於能源及碳密集工業，依據世界能源組織（IEA）之調查，其二氧化碳排放量名列各大產業之第二位，占人為二氧化碳排放量約 7 %（IEA, 2018）。水泥製程之碳排放，除約 40 % 來自生產過程之燃料燃燒，另有 60 % 係來自水泥生料鍛燒過程中，石灰石（CaCO₃）釋放之二氧化碳，故無法透過減碳手段有效達成二氧化碳之削減。

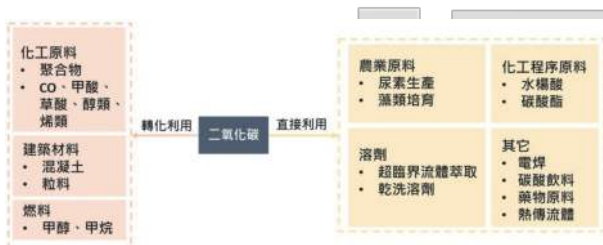
針對水泥產業之碳排放，可善用水泥產業製程特性，通過鈣循環（Calcium looping）技術，以較低成本達成二氧化碳之捕獲與再利用。鈣循環技術之原理係將水泥原料石灰石（CaCO₂）先經過鍛燒後產生之氧化鈣（CaO）作為二氧化碳吸附劑，首先將水泥廠排放之煙道氣引入裝有氧化鈣之碳酸化爐（Carbonator），在 600-700 °C 之操作溫度下，使 CaO 吸附二氧化碳，發生碳酸化反應，進而生成碳酸鈣（CaOCO₃，飽和吸收時），再將碳酸鈣送往鍛燒爐（Calcinater），在操作溫度 850-950 °C 之間發生二氧化碳之脫附，進而收集二氧化碳為他用，而石灰石經脫碳後又回復為 CaO，可再送往碳酸化爐，往復使用。

就二氧化碳捕捉效率與技術成本而言，由於石灰石經鍛燒後產生之 CaO 富含孔隙，故有極高吸附容量，可高效富集二氧化碳，且純度優良；

而作為吸附劑之 CaO 可通過吸附 / 脫附之過程重複使用，直到 CaO 因多次鍛燒表面逐漸緻密而失去吸附能力，而失去吸附能力之石灰石又為水泥生產之生料，可混入水泥原料一齊進行鍛燒，或可作為煙道氣排煙脫硫（Fuel gas desulfurization, FGD）之原料，加上碳酸化反應之溫度可直接由水泥旋窯提供，故水泥產業之二氧化碳鈣循環具有相當之經濟性與發展潛力（周宜雄，周麗芳，李堅明，2021）。

四、碳資源化技術

二氧化碳經富集與收集後，除可永久儲存，亦可以加以再利用，作為石化資源之替代方案。二氧化碳之利用可為直接使用，或經轉換利用，即將二氧化碳還原為燃料、化學品或建築材料，如圖 2 所示（IEA 2019）。



整理自整理自 IEA，2019。

圖 2 二氧化碳資源化之用途

（一）二氧化碳直接利用

二氧化碳之直接利用，可為農業原料生產（如尿素生產、藻類培育等）、溶劑（超臨界流體萃取技術、乾洗溶劑等）、熱傳流體（冷凍、二氧化碳超臨界流體發電系統）、電鍍、碳酸飲料及藥物生產原料等；部分化工程序則直接使用二氧化碳作為原料，例如生產水楊酸、碳酸酯等；目前各二氧化碳直接使用路徑中以尿素之生產為大宗。然若與全球碳排放量相比，二氧化碳直接利

用量僅占 5%（IEA，2019）。

（二）二氧化碳轉換利用：燃料或化學品

由於二氧化碳為碳元素之氧化最終型態，屬熱力學安定物質，其還原反應所需自由能（Gibb Free Energy）為正，意味反應必須藉額外輸入能量方能進行，所幸二氧化碳之碳分子具親電性（Electrophilicity）強之特性，因此可搭配適當觸媒促使發生還原反應。黃欣栩等人（2012），曾綜整以化學固定轉化二氧化碳為燃料與化工原料之技術，將反應分為六種類型，分別為通過高能光（如紫外光）或電漿直接分解、通過觸媒與氫氣反應、與液態有機物反應、與塑膠原料發生共聚合反應、光化學反應與電化學反應等。通常光化學反應較為激烈，工程控制上較為困難，而電化學反應較為溫和（黃欣栩等人，2012）。

就燃料之生產而言，以甲烷及甲醇最為常見，前者係先將水電解產氫後，通過薩巴捷反應（Sabatier reaction）合成；甲醇則可配合適當催化劑，達成將二氧化碳直接與氫氣反應之二氧化碳加氫反應（ CO_2 hydrogenation）而生成，由於過程不會有碳排放，且不使用毒化物，又被稱為綠色甲醇（Guil-López, R. et. al., 2019）。

二氧化碳亦可與液態有機化合物發生反應進而產製高價化工產品，例如藉由 NaOH 為催化劑與苯酚反應產生水楊酸或透過鋅系催化劑或有機催化劑使環氧化物與二氧化碳發生反應產生環碳酸鹽類（Cyclic carbonates）等（Cokoja, M. et. al., 2015）。

（三）二氧化碳轉換利用：PtX 技術

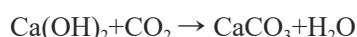
由於再生能源相較於傳統能源具間歇性、不穩定性、不易預測及設備分散等問題，加之儲能設備成本極高且效益低下，使電網之維持面臨考驗。Power-to-X 技術為近年國際逐漸關注之技術，

在再生能源產生過剩時，以多餘電力將物質轉換為高能型態，例如將 H_2O 轉換為 H_2 或 H_2O_2 、 NO_2 轉換為 NH_4 及 CO_2 轉換為 CO 、甲烷、甲醇及酸類等。這些能量載體（Energy carriers）可克服再生能源間歇性（Intermittency）特性，進而提升電網穩定性。此外經轉換後能量載體具備可運輸性、可長期儲存及設施規模小之特性，故相較於傳統之儲能手段更具優勢（Daiyan, R., MacGill, I., & Amal, R., 2020）。

經轉換後能量載體能夠長期儲存，並運送至各處，當再生能源短期生產不足時，例如黃昏時，可作為備載電力，或在某些季節（例如冬季）提供較長期備源電力。由於能量載體重新作為燃料釋放能量過程將同時造成二氧化碳之排放，故 Power-to-X 技術應被視為二氧化碳利用的一種方式，而非永久封存手段。

（四）二氧化碳轉換利用：建築材料

混凝土之主流養護程序，係在適當溫度及濕度下放置一段時間，使水泥中 C_3S 、 C_2S 、 CaO 等成分與水氣發生水化反應，生成具強度之 CSH 膠體，進而提高混凝土結構體強度與穩定度；而二氧化碳養護則係在高壓下使水泥中 C_3S 、 C_2S 、 CaO 等成分與二氧化碳發生碳酸化反應而形成 CSH 膠體與 $CaCO_3$ ，進而提高強度。二氧化碳養護可大幅提升混凝土之早期強度與水化反應速率，而產生之 CSH 膠體亦會與二氧化碳反應而分解，在混凝土表面形成緻密的 $CaCO_3$ 結構，降低往後受中性化反應之影響（李明君，王勇智，高士軒，蘇育民，2018）。二氧化碳養護之水泥化學式如下所示：



除此之外，二氧化碳亦可用於礦物或工業廢棄物之碳酸化處理，主要係通過其溶於水中呈酸

性之性質，與鹼性物質發生反應以固定二氧化碳，並形成具強度之碳酸鹽類礦物，或穩定化廢棄物。經碳酸化後之礦物或廢棄物因性質改變，若符合相關標準，可用於營建產業，例如通過碳酸化轉爐石（Basic furnace slag）後封存內部之游離性氧化鈣，加以作為工程粒料使用。

過去研究指出，生產每公噸的碳酸鹽金屬礦物，約需求 0.5 噸之二氧化碳（Brinckerhoff, P., 2011），相較於以二氧化碳產製燃料或化工原料，由於營建材料通常具有較長之生命週期，且固定化之二氧化碳不容易回到大氣中，可視為二氧化碳之半永久封存手段，不需耗費大量成本將二氧化碳灌入地層，同時又作為建材使用創造價值，並可結合工業廢棄物資源循環之概念，為新穎之技術體系，有助淨零碳排目標之達成。

五、建構碳資源循環體系

二氧化碳之捕捉、儲存與再利用技術除作為達成淨零碳排目標之手段，更係取代過去以地殼碳蘊藏為基底之線性碳經濟，轉而投入碳循環經濟之核心技術。如圖 3 所示，藉由碳捕捉技術，可將來自地殼、經製程排放或廢棄物處理所釋放之碳資源加以捕捉。經捕捉之一部分碳資源通過碳再利用技術轉換為民生產品、農業或工業原料，加以投入農業及工業循環體系，部分碳資源則被轉化為燃料或固定化於建築材料中。經轉換之碳資源在其生命週期結束時，將被轉換為固定源或非點源之二氧化碳，再次經碳捕捉進入循環系統，藉此逐漸建構碳資源循環、生生不息之循環型社會；而碳儲存技術則作為最終處理手段，將碳帳上多餘之二氧化碳加以封存，離開循環體系。

由於二氧化碳捕捉及再利用可創造一封閉之碳迴圈，並逐步透過碳儲存技術降低迴圈中的二氧化碳總量，並在此基礎上形成新的經濟活動，

進而創造社會之變化，根基於 CCUS 技術之碳循環經濟體系顯然具有環境、經濟及社會層面之效益，具永續發展之本質。惟其效益之計算須基於完整之碳帳計算體系，以完整掌握自然環境及人類經濟活動中運作之碳資源流動與平衡。

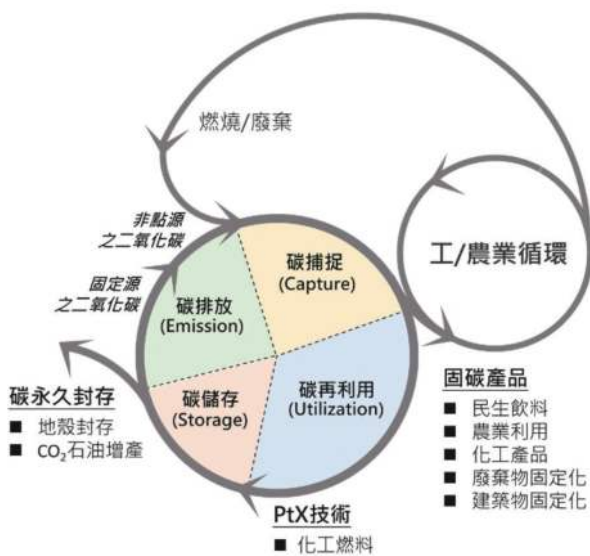
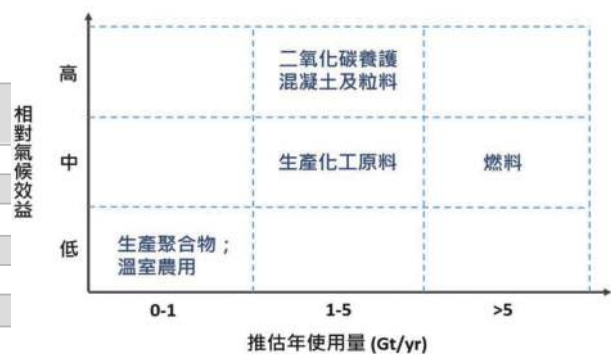


圖 3 CCUS 與碳循環經濟

手段再製產品，或經由掩埋儲存於大地而延長二氧化碳儲存期間；但亦可能經焚化處置而釋放進入大氣（IEA，2019）。圖 4 整理二氧化碳再利用產品之預期年利用量與相對氣候效益（Relative climate benefits），可知由於二氧化碳養護混凝土與粒料具接近永久封存之使用模式（二氧化碳轉化為石灰石），具最顯著之相對氣候效益。



整理自 IEA，2019。

圖 4 CCUS 技術推估使用量與相對氣候效益比較

（一）環境層面效益

就環境層面而言，須藉科學化之方法學，針對碳資源及其產品進行生命週期評估（Life cycle assessment, LCA），可以掌握碳資源在各階段的排放與減量潛力。舉例而言，由於二氧化碳再利用產品屬於碳的暫時性儲存，其碳排放貢獻並非負值，必須以完整的生命週期評估加以評斷，並應用於替代全生命週期中碳排放量較高之化合物。而碳可儲存於再利用產品之期間與產品性質及使用或廢棄途徑有關，例如作為燃料，二氧化碳儲存期間約為 1 年；作為化學品，二氧化碳儲存期間可達 10 年；作為聚合物，二氧化碳儲存期間可達百年；而作為建築材料，二氧化碳儲存期間可達百萬年，可視為接近永久儲存之手段；另一方面，碳再利用為塑膠產品，可以通過回收

（二）經濟層面效益

就經濟面而言，碳循環經濟之效益可體現於將碳成本之內部化之國際潮流。由於排碳者付費之概念已成為全球共識，各國逐步規劃或開始課徵碳稅，歐盟於 2005 年啟動碳交易機制（ETS），排碳超額之企業需透過碳交易市場購買額度，目前每噸碳價已超過新臺幣 2,000 元，更於 2023 年啟動碳邊境調整機制（CBAM），要求未於產地繳納碳稅之產品必須於進口時繳納碳關稅，未來企業應負擔之碳成本將逐漸攀升。劉宗聖（2023）等人指出，我國開徵碳費後將對企業財報產生重大影響，若不進行碳避險，企業稅後淨利可能完全被碳成本吞噬。鑑此，投入碳循環經濟之企業可藉生產碳中和產品（Carbon neutral product），或交易碳權（Carbon credit）、投資減量額度權證

(Certified emission reductions, CERs) 等，降低碳成本對企業營利造成之影響。

對企業而言，投資 CCUS 技術之效益可分為兩種，其一為生產碳捕捉再利用產品，由於其生命週期幾無二氧化碳排放，可視為碳中和產品，具節省碳稅之效益；其二為通過清潔發展機制 (Clean development mechanism, CDM) 申請溫室氣體減量抵換專案以獲得減量額度，並加以貨幣化售出之效益。企業或組織可藉由執行符合主管機關認可的溫室氣體減量抵換方法學，向主管機關申請認可取得減量額度權證，並加以販售所帶來之收入。

企業需遵照主管機關認可之方法學，或自主提出方法學進行申請，並符合科學性的量化準則，針對溫室氣體排放及減量行動進行監測、量化成效，並透明化之揭露，即符合量測、報告與驗證機制 (Measurement, reporting and verification, MRV) 之公正評估 (環境資訊中心，2019)。目前國內已有與 CCUS 技術相關之減量抵換方法學，例如編號 AM0063，以回收工業設施排放尾氣之 CO₂ 取代以化石燃燒燃料生產 CO₂ 之方式。

（三）社會層面效益

碳循環經濟之社會效益體現於其對就業市場產生積極之影響，刺激更多再生能源、資源、二氧化碳捕捉、再利用與儲存相關之建築、設計、建造、操作維護等相關人才，刺激就業市場之變革並創造技術之發展。舉例而言，每新增一個大型碳捕捉案廠，約可產生 1,200 至 4,000 個建築相關的工作需求 (IEA，2020)，並帶動關聯產業，如中小型零件供應商、高壓液態氣體運輸產業與設備製造商，甚至周邊生活圈之發展等。另一方面，在淨零碳排之國際潮流下，綠色金融已蔚為風潮，投入碳循環經濟之企業可彰顯其社會責任，提升其社會形象，並增加投資人信心，進而提升

企業之市場表現，產生社會及經濟價值。

國內廠商已投入 CCUS 技術之發展，許晉源及郭霈宸 (2022) 整理國內研發之案例如表 1 所示。

表 1 國內各集團 CCUS 技術研發用途

案例	碳捕捉技術	用途
台電	真空變壓吸附程序 (VPSA) 或化學吸收法 (CABS)	植物工廠養分
中鋼	變壓吸附 (PSA) 捕捉	石化業原料
台塑	低腐蝕性吸收劑併工廠餘熱或太陽能	甲烷燃料或液態二氧化碳
長春	氧化還原法 (麥寮醋酸廠)、吸收法及超重力旋轉床捕捉技術 (大連化工)	生產醋酸、化學品原料或精密元件清洗
台泥	鈣迴路	碳酸化回水泥製程、微藻養殖

整理自許晉源、郭霈宸，2022。

六、結 論

由於朝向淨零社會轉型過程中仍有不可避免之二氧化碳產生，二氧化碳捕捉、再利用與儲存技術 (CCUS) 係彌補除自然碳匯吸收量後剩餘二氧化碳之唯一技術，有投入發展之必要性與迫切性。藉由 CCUS 技術，二氧化碳可被視為碳資源物，納入資源循環社會的一環。目前舉世已發展多元之捕捉技術，可應用於不同樣態二氧化碳排放源之捕捉，而經捕捉之二氧化碳則可進一步通過再利用技術，轉化為基礎化工產品，或藉由 PtX 技術轉化為能量載體；亦可產製為更強且耐久之水硬材料及粒料等建築材料。另一方面，二氧化碳儲存技術在碳循環路徑上屬於最終處置技術，有助達成淨零碳排之目標。目前我國已逐漸有廠商投入二氧化碳之捕捉、儲存或再利用，後續仍需逐漸完善相關法規及技術與產品之規範與認證制度，以扶植國內產業之發展，並藉以重新建構碳循環，達成 2050 淨零碳排之目標。

參考文獻

- 黃欣栩, 朱敬平, 鍾裕仁 (2012) 以化學固定轉換二氧化碳為大宗化工原料技術簡介, 中興工程季刊, 第 117 期, 第 15-22 頁
- 李明君, 王勇智, 高士軒, 蘇育民 (2018) 中國土木水利工程學刊, 二氧化碳養護對混凝土性質影響之研究, 第 31 卷, 第 3 期, 第 263-271 頁
- 環境資訊中心 (2019) 建立通用 MRV 機制讓碳排計算公平且透明, 2023 年 7 月 13 日, 取自 <https://e-info.org.tw/node/222273>
- 毛慶豐 (2020) 環保尖兵—神奇的離子液體, 科學發展, 第 567 期, 第 58-62
- 環境部 (2021) 我國國家溫室氣體排放清冊報告, 臺灣, 環境部
- 談駿嵩 (2021) 二氧化碳捕獲封存及再利用, 2023 年 7 月 13 日, 取自: <http://www.chns.org/attachments/article/27503%20碳捕存及再利用%20談駿嵩教授.pdf>
- 周宜雄, 周麗芳, 李堅明 (2021) 水泥業邁向淨零排放技術研析—以碳捕獲與利用技術為例, 臺灣能源期刊, 第八卷, 第 4 期, 第 391-410 頁。
- 劉宗聖、洪佑銘、陳易廷 (2023) 碳成本對財報之影響與碳金融商品之分析, 2023 永續性產品與產業管理研討會
- 許晉源、郭需宸 (2022) 二氧化碳捕提再利用及封存技術與現況發展探討, 永續循環經濟 2022, 臺灣, 財團法人永續循環經濟發展協進會, 第 147-180 頁
- IPCC (2005) Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Canada, IPCC
- Brinckerhoff, P. (2011) . Accelerating the uptake of CCS: industrial use of captured carbon dioxide. Global CCS Institute, 260
- Cokoja, M., Wilhelm, M. E., Anthofer, M. H., Herrmann, W. A., & Kühn, F. E. (2015) Synthesis of cyclic carbonates from epoxides and carbon dioxide by using organocatalysts, ChemSusChem, Volume 8, Page 2436-2454.
- IEA (2018) Cement technology roadmap plots path to cutting CO2 emissions 24 % by 2050, 2023 年 7 月 13 日, 取自: <https://www.iea.org/news/cement-technology-roadmap-plots-path-to-cutting-co2-emissions-24-by-2050>
- Ellen MacArthur Foundation (2019) Completing the picture how the circular economy tackle climate change, 2023 年 7 月 13 日, 取自: <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>
- Guil-López, R., Mota, N., Llorente, J., Millán, E., Pawelec, B., Fierro, J. L. G., & Navarro, R. M. (2019) Methanol synthesis from CO2: a review of the latest developments in heterogeneous catalysis. Materials, Volume 12, 3902
- IEA (2019) Putting CO2 to Use, Paris, IEA
- Daiyan, R., MacGill, I., & Amal, R. (2020) Opportunities and challenges for renewable power-to-X, ACS Energy Lett, Volume 5, Pages 3843–3847
- IEA (2020) CCUS in Clean Energy Transitions, 2023 年 7 月 13 日, 取自: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions>
- UNECE (2021) technology brief: carbon capture, use and storage (CCUS)
- Wan Yun Hong (2022) A techno-economic review on carbon capture, utilisation and storage systems for achieving a net-zero CO2 emissions future, Carbon capture science & Technology Volume 3, 100044

中興社研發叢書及電腦程式銷售

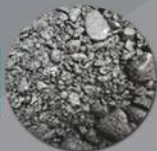
中興工程顧問社已發行研發、編譯叢書 317 種及電腦程式 23 套, 多屬規劃、設計、施工、管理等方面之工程技術, 其叢書及程式目錄、售價、摘要、申購表、繳款方式及信用卡繳費單等, 皆已上「中興工程顧問社」之網站 www.sinotech.org.tw, 歡迎上網查閱選購; 若需進一步查詢請電話或傳真至電話: (02)8791-9198 轉 467 陳小姐, 或傳真: (02)8791-2198

桃園航空城計畫 區段徵收工程

中興工程 > 規劃、基本設計

資材循環再利用、兼顧環境永續發展

瀝青刨除粒料



氧化碴



焚化再生粒料



> 電弧爐煉鋼氧化碴

· 瀝青混凝土摻混電弧爐煉鋼氧化碴，增加耐磨性並提升增加道路服務年限

> 瀝青刨除粒料

· 應用於道路面層，天然級配比替代率30%

> 焚化再生粒料

· 管道開挖回填用CLSM添加焚化再生粒料
· 公園人行道地磚採用添加焚化再生粒料之環保地磚
· 焚化再生粒料與既有過濕土方拌合，提升承載力並加速工進

台灣走過高速經濟成長的年代，但付出的代價是自然資源過度開採及環境遭到大量破壞，為創造經濟與環保雙贏並接軌邁國際，蔡英文總統宣示「要讓台灣走向循環經濟的時代，把廢棄物轉換為再生資源」，政府更將它列為「五加二產業創新」政策之一。中興公司在辦理「愛臺12建設」桃園航空城區段徵收工程之規劃及基本設計階段，配合桃園市政府在循環材料再利用積極推動下，全國首創大規模將氧化碴、瀝青刨除料及焚化再生粒料納入公共工程使用，希望能夠在物質生產、消費、廢棄及再生等各階段，將廢棄物資源化妥善運用，以替代自然資源開採，達成循環經濟之目標。



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.



因應氣候變遷影響之永續工程 ——以桃園航空城區段徵收公共工程 基本設計為例

曹以強 * 劉鳴錚 ** 王治嘉 ***

摘 要

近年來，隨全球暖化及氣候變遷影響，城市面對自然災害、環境緊急事件及其他不可預測之變化挑戰日益加劇，許多城市所受到衝擊已超過規劃防治極限。為因應氣候變遷影響，環境部於民國 112 年 2 月公布「氣候變遷因應法」，積極提出以「減緩」與「調適」策略因應氣候變遷影響，展現出我國解決氣候變遷影響之決心。

與此同時，中興工程顧問公司（以下稱本公司）執行「桃園航空城」計畫之區段徵收公共工程基本設計，為因應氣候變遷影響，提出各種「減緩」與「調適」策略之設計理念。本文分享其設計理念，以作為其他開發計畫之參考。

關鍵字：因應氣候變遷影響、工程之減緩與調適策略

一、前 言

（一）我國因應氣候變遷挑戰之應對

聯合國政府氣候變遷委員會（IPCC）分別於 1990、1995、2001 及 2007 年提出四份報告，明確表示大氣中溫室氣體濃度升高，造成地球氣溫提高，進而引發各種氣候變遷，造成全球環境與社會經濟系統衝擊。

如何因應氣候變遷衝擊，達到自然系統穩定平衡，確保國家安全與永續發展，乃是當前必須

對應積極解決挑戰。為此，「減緩」與「調適」已同為當前各國政府因應氣候變遷威脅的兩大重要策略。

根據聯合國針對減緩與調適，其定義如下：

1. 減緩（mitigation）：

係指以人為干擾方式，減少溫室氣體排放量或增加溫室氣體儲存量，以減緩氣候變遷問題發生速度或規模。減緩策略著重於削減造成氣候變遷的原因。

* 中興工程顧問公司園區及路航工程部協理

** 中興工程顧問公司園區及路航工程部計畫經理

*** 中興工程顧問公司園區及路航工程部規劃師

2. 調適 (adaptation)：

係指為因應實際或預防氣候衝擊之影響，而在自然或人為系統上所做的調整，以減輕危害。調整策略著重於妥善處理氣候變遷所造成影響。

臺灣於民國 104 年 7 月 1 日由總統令公布施行「溫室氣體減量及管理法」（簡稱溫管法）。其立法原則係依據聯合國氣候變化綱要公約精神，承擔氣候變遷共同責任，後因應氣候變遷工作內容涉及層面廣泛，故於民國 110 年辦理修法為「氣候變遷因應法」。

氣候變遷因應法第三章提出「氣候變遷調適」，內容包含：提升國家整體因應氣候變遷基礎能力、強化科研接軌；中央主管機關整合擬定「國家氣候變遷調適行動計畫」，地方政府訂定「氣候變遷調適執行方案」強化因地制宜之調適策略。另該法第四章提出「減量對策」，包含：將 2050 淨零排放目標入法；排放管制、自願減量專案、誘因機制規範及徵收碳費專用款等。

各種相關法令及規範，皆可看出我國面對氣候變遷因應之實質作為。

(二) 桃園航空城區段徵收公共工程基本設計因應氣候變遷影響實質作為

桃園航空城計畫為因應桃園國際機場第三跑道興建需求、提升國家門戶之形象，充分利用機場周圍廣大腹地及國際運籌優越區位，規劃為結合商業、住宅、產業及當地文化之新興城市，帶動桃園經濟發展。基地整體地勢平緩，屬於桃園台地地形，擁有老街溪、新街溪、埔心溪及南坎溪四條水系，另有豐富埤塘地景及前空軍桃園基地設施群等文化景觀。

本公司承攬桃園航空城計畫之區段徵收公共工程基本設計（以下簡稱本計畫），其設計範圍包含桃園市政府的附近地區第 1 期（面積約 1,190 公頃）與交通部海軍基地及周邊地區（面積約

566 公頃），合計面積約 1,756 公頃。文中將介紹本計畫為因應氣候變遷影響，即以「減緩」及「調適」之執行策略對應，期能以此彙整及分享，提供未來新市鎮開發之參考。

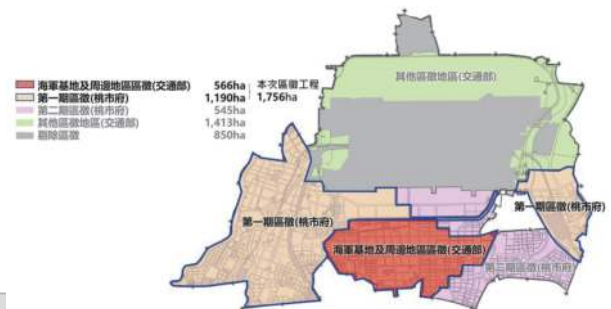


圖 1 計畫區範圍圖

二、減緩策略

本計畫之工程項目包含整地、道路、景觀、給水、排水、電力及電信等工程，其中各項工程所涉及減緩策略主要可分為：資源循環再利用、節能設計、植生綠化等層面，內容茲說明如下：

(一) 資源循環再利用

資源循環再利用係來自於循環經濟理念，其是一個資源可恢復且可再生的經濟和產業系統，依此理念導入各項工程之材料使用，除能減少廢棄物產生，同時減少既有資源的消耗，期能達到永續環境，資源循環的目標。

1. 電弧爐煉鋼氧化碴再利用

電弧爐煉鋼爐碴為電弧爐煉鋼製程中產生之副產物，其產出流程示意如圖 2，其中，經高溫冶煉過程產出的氧化碴，因其物理性質與天然粒料相近，且質地堅硬、比重大、耐磨性佳，適合添加於瀝青混凝土鋪面取代部分天然級配粒料。

善用氧化碴提供之承載力，避免受磨耗而使氧化碴裸露添加比例上限為 30%。

氧化碴再利用原則，可應用於道路之瀝青混

凝土鋪面，添加於瀝青混凝土材料內，取代部分天然級配粒料，以期節省天然資源，並協助解決氧化矽的去化。

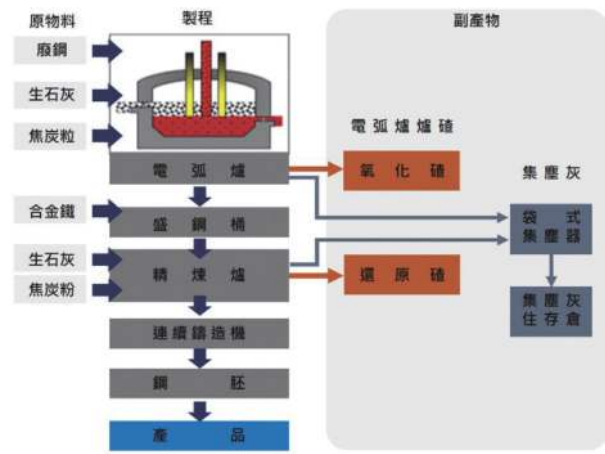


圖 2 氧化矽產出流程示意圖

2. 瀝青混凝土挖（刨）除料再利用

在道路鋪面養護工程中，既有路面之瀝青混凝土材料挖（刨）除後，經處理可再利用於瀝青混凝土路面養護，並以補修、封層、加鋪及翻修為主，近年來公共工程於施工臨時道路或臨時施工便道使用再生瀝青混凝土鋪面。

除應用於再生瀝青混凝土鋪面外，瀝青混凝土挖（刨）除料亦可再利用於碎石級配粒料基層，以瀝青混凝土挖（刨）除料摻入道路基層級配，替代天然級配使用。

3. 焚化再生粒料再利用

（1）控制性低強度回填材料

依據「桃園市公共工程使用再生粒料及再生綠建材標章作業原則」，公共工程使用控制性低強度回填材料（以下簡稱 CLSM）摻配料與基地填築及路堤填築摻配料時，應優先使用摻有焚化再生粒料之原物料，如有不足，始得摻用其他再生粒料，每立方米 CLSM 建議使用焚化再生粒料 500 公斤，主要用在共同管道。

（2）製成環保混凝土地磚

本計畫主要用於新闢道路之人行道及公園人行道鋪面等。

（二）節能設計

主要應用於電力工程中。本計畫道路路燈設計採用 LED 路燈照明。供後續市府可將路燈加入 LED 路燈控制器作為智能路燈規劃，各路燈資訊回傳市府已建置之智能路燈管理系統，進行遠端控制及資料交換，可對網路上的各盞路燈進行監控、啟閉、調光及故障通報，並提供維運人員進行維運及管理，包括燈具控制及查詢歷史報表等功能。

（三）植生綠化

基地內之公共設施用地有公園用地、綠地用地、廣場用地、學校用地及道路用地等，以上用地將種植喬木及灌木，期望藉此營造健康優質的森林生態，並利用植物遮蔭及蒸散作用，改善生態環境，打造綠色生活城市意象。

除景觀上考量之需求外，為達到減碳及提昇淨化空氣的效果，植栽時將參考環境部於民國 99 年公布之「空氣品質淨化能力樹種分級表」，盡量選擇對淨化綜合能力較佳之樹種，以達到維護環境品質及提供優質生活的目地。

三、調適策略

為對氣候變遷影響突發事件預先準備，本計畫將打造可吸收衝擊與壓力，不斷在變動中復原、調適與成長，減少脆弱度與暴露程度，增加抵抗力、調適力之「韌性城市」（Resilience City），提升維生基礎設施韌性。依據計畫區災害發生歷史特性及災害潛勢情形，在工程設計階段，就建置防災避難場所及設置低衝擊開發（LID）設施

等可靠的公用設備，確保關鍵基礎設施服務之耐災能力與持續性：

（一）建置防災避難場所

1. 防災道路

本計畫將寬度 40 公尺以上道路設計作為緊急避難道路，25 公尺以上作為救援輸送道路，20 公尺以下作為避難輔助道路，以因應災害來臨時，緊急因應人員疏散，讓未參與救災的人員在最短時間內疏散到安全地點，避免災害擴大時遭到波及；另若公共設施損害時，可使施工團隊迅速抵達災害現場，讓公共設施能迅速回復正常運作。

2. 防災公園

可供災害緊急救難使用，強化「緊急電源、水源（含飲用水）、緊急廣播、緊急照明、物資儲存倉庫、浴廁、垃圾處理、直升機起降場以及標示」等相關基礎設施之建置與耐震補強，以因應大規模震災。另為救災據點所需，本計畫防災公園道路可供大型車輛進入。並提供足夠腹地空間，供災時救災工作使用。

（二）低衝擊開發（LID）設施

低衝擊開發（Low Impact Development，簡稱 LID），係以生態系統為根基的暴雨水管理方法，透過入滲、停留與蒸發降低暴雨逕流，自暴雨逕流源頭管理，取代傳統雨水管理方式。航空城之開發工作，將改變原有地形地貌，增加非滲透性地表面積，因此設置相關低衝擊開發雨水貯留及滯留設施，以免除因開發行為所增加之逕流量。除可涵養水分降低尖峰流量、水質改善、延後洪峰抵達時間，還能避免開發行為造成對下游之衝擊，進而可減輕開發行為對水患之影響，航空城低衝擊開發設施介紹如下：

1. 滯洪空間

以土地分擔逕流量及與水共生為原則，藉由都市開發之際，增加土地滯蓄洪空間潛力，延長降雨過程中地面逕流滯留於都市土地內時間，以減緩雨水下水道負擔，另利用埤塘、景觀水圳、公園內的水域補償基地，規劃城市內多樣滯洪空間，預留大型災害應變能力。

2. 生態滯留槽（Bioretention）

此設施主要機制包含物理性的入滲、吸附攔阻作用，以及滯留槽中生物性的反應。設計係以小面積、小區塊形式，原則上積水深度小於 22 公分，表土挖掘深度 60 ~ 120 公分，灌木或樹木挖掘深度 90 公分，並於表土下方鋪設 5 ~ 10 公分水洗砂層以供過濾，並設置排水管供礫石層排水，底層至少高於地下水位 0.3 ~ 0.6 公尺。主要設置於道路中央分隔島、公園及綠地。

3. 透水鋪面（Porous Pavement）

使水能夠滲入土壤的工法，降低地表逕流量，可捕獲懸浮固體，過濾雨水中的污染物，提供行人舒適行走之透水鋪面。

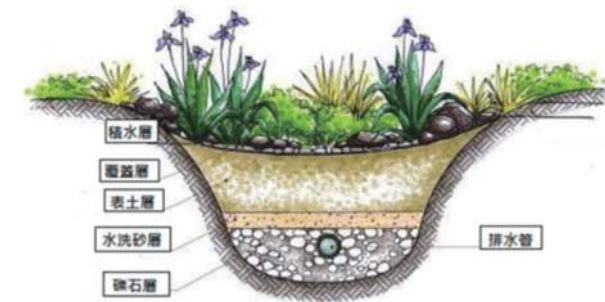
主要設置於道路旁之人行道、徒步廣場等區域。

4. 植生溝（Vegetative Strip）

以綠地及植被覆蓋，又可稱為過濾帶、緩衝帶等，將不透水之地表逕流，藉由滲透入土層達到保水功效，同時可在草地上形成薄膜流，經由植被過濾吸附去除粒狀及部分溶解之污染物，用於小區域不透水鋪面四周。主要設置於道路中央分隔島、公園及綠地。

5. 滲透側溝（Filter Swale）

收集滲透排水管及滲漏陰井所排放出之雨水，利用設置於底部及側面透水性混凝土材與填充碎石，將雨水經由滲透介面排出。主要設置於道路中央分隔島、公園及綠地。



生態滯留槽



植生溝

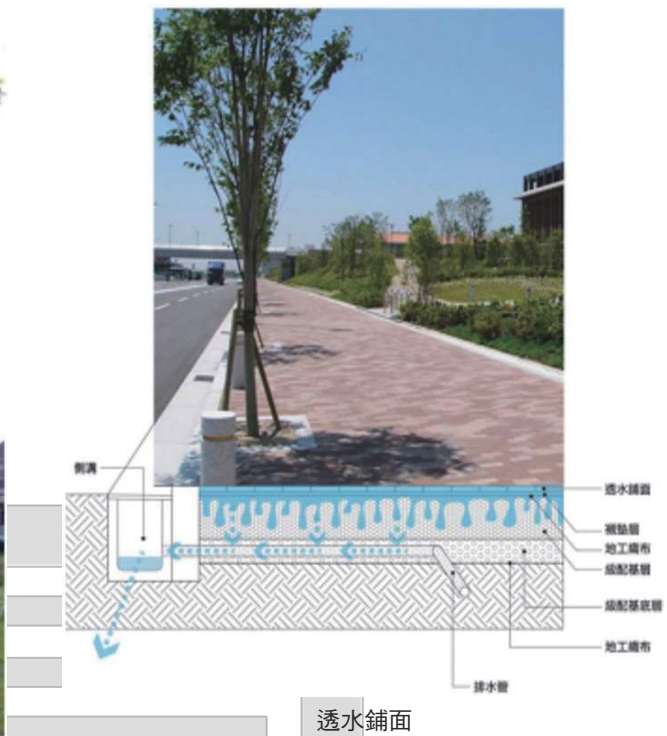


圖 3 低衝擊開發 (LID) 設施示意圖

四、結論與建議

(一) 減緩之成效

依據本計畫之減緩策略，初步減碳效益統計如下：

1. 道路工程各層級配採用再生材料：

面層使用氧化碇 14.5 萬噸，基層級配使用瀝青混凝土刨除料 24.5 萬噸，焚化再生粒料使用於土方穩定及 CLSM 等地方共計 31.4 萬噸，綜整減碳效益達約 70.4 萬噸二氧化碳當量。

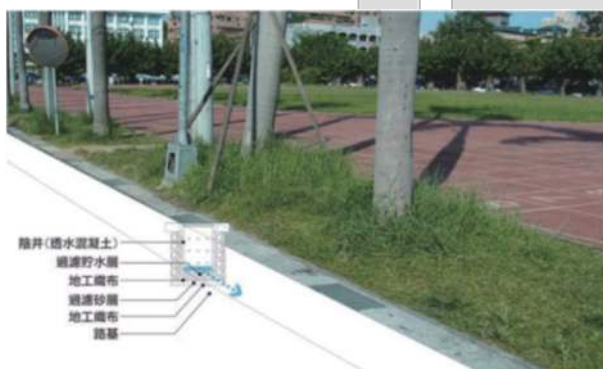
2. 區內土方循環：

減碳效益達 1.5 萬噸二氧化碳當量。

3. 道路工程、污水工程、景觀工程、電力及電信工程採用預鑄工法：

減碳效益達 0.5 萬噸二氧化碳當量。

4. 植物固碳：



滲透側溝



本計畫範圍種植面積約 250 公頃，以每公頃每年可吸收 8.5 公噸二氧化碳計算，每年共可減少約 2125 公噸之二氧化碳。

（二）調適之成效

有關調適部分，初步統計建置規模數據如下：

1. 滯洪池：

本計畫規劃滯洪池 218.61 萬立方公尺，其中埤塘滯洪池占 98.96 萬立方公尺。

2. 生態滯留槽：

LID 透水工法之生態滯留槽共規劃約 39.8 公頃。

3. 防災道路及防災公園

建置 197 公里長之防災道路；建立 12 公頃之防災緊急避難公園。

上述規劃設計可調適暴雨來臨及災難發生時

所帶來本計畫基地衝擊影響。

（三）後續建議

未來，除持續推動工程設計之減緩及調適策略外，同時應強化智慧城市之理念輔助使用與管理，如使用智慧電、水表等設備達到節能節水；亦可針對公有建築導入碳排管理平台，更有效率及精準的管理碳排放；另導入智慧防災系統平台，更能加強災害緊急應變。透過各種創新手段策略落實，以因應氣候變遷影響。

參考文獻

- 桃園市政府航空城工程處（2021）工程規劃報告【市府第 1 期；交通部海軍基地及周邊地區（不含優先開發區）】核定版
- 桃園市政府航空城工程處（2021）工程規劃報告【優先開發區】核定版（2021）
- 環境部國家溫室氣體減量法規資訊網。取自 https://ghgrule.epa.gov.tw/report/report_page/30

水利工程應用程式

公開發售

SEC-HY21（二維泛用地表水分析軟體）

- 網格及地形建立等前處理介面、電腦繪圖及流場視覺化
- 定床水理模組
- 水中生物物理棲地分析模組

訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐

傳 真：(02)8791-2198

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw

高屏溪流域水砂觀測物聯網建置及 颱洪事件評析

何幸娟* 許恆瑜* 王宇彤* 林伯勳** 陳慧玲***
林瑞仁**** 蔡政修*****

摘 要

本文旨在以新興物聯網觀測技術，協助建置高屏溪流域水砂觀測網，透過微機電觀測儀器進步與資訊技術提升，掌握高屏溪流域長時期水砂背景資料，有效管理高屏溪流域整體土砂運移情況。本文協助維運管理高屏溪流域內設備至民國 112 年總計 25 處，含水位、流速、含砂濃度等，完整記錄民國 110 至 112 年降雨週期間全洪程觀測及平常時期基礎流量及含砂量觀測資料。另續以降雨量、土砂流出量、現場土砂災害情況等，建議隘寮北溪霧台道路 2.6K 霧大二號橋處可以事件累積雨量 370mm 作為土砂災害防災示警值。相關成果可供未來集水區保育治理工程生命週期各階段所需規劃設計及防災警示需求應用。

關鍵字：高屏溪流域、水砂觀測、防災應變

一、前 言

鑒於氣候變遷影響，短時距及小區域之水砂情勢變異及其可能衍生天然災害監控越趨重要。農業部農村發展及水土保持署（以下簡稱農村水保署）於民國 107 年「2018 土砂論壇」時，針對集水區土砂收支與管理希冀藉由維持各流域之自然輸砂系統，透過各管理機關協商討論及各領域對策整合，維護重點河段之河道平衡，以及重要水利、水保設施之運作，進而達成集水區重點河

段土砂災害防減、入庫土砂減量、重要設施功能維護、重點河段之河道沖淤變遷平衡、水土資源永續應用等各項目標，故建議持續且定期辦理集水區監測及評估治理執行成效，以確保治理工程發揮成效，並保障上游集水區土砂安定及維持環境生態穩定。會議中亦提出「8+1 大策略」，期以應用人工智能（Artificial Intelligence, AI）、物聯網（Internet of Things, IoT）等科技，提升創新觀測技術，落實「和諧山林、智慧防災」之願景，配合農村水保署整體性治山防災（中程）計畫

* 中興工程顧問社防災科技研究中心研究員
** 中興工程顧問社防災科技研究中心土砂監測模擬組組長
*** 農業部農村發展及水土保持署防災調查科工程員
**** 農業部農村發展及水土保持署防災調查科科长
***** 農業部農村發展及水土保持署農村營造科科长

106至109年度(第三期)計畫目標,主要結合「治山、防災、保育、永續」四個策略,辦理野溪土砂災害防治、土石流潛勢溪流防治以及崩場地滑地災害處理等保育治理工作。

基於「2018 土砂論壇」集水區土砂收支與管理之整體目標與共識,且得利於近年微機電及資通訊技術快速發展,觀測資料已逐漸由傳統人力蒐集發展至智慧感測設備,且設備型式亦趨多元化;為避免人力耗費並確保觀測資料正確性,導入物聯網觀測技術作為坡地水土保持需求性評估及土砂治理與管理依據有其必要性。農村水保署(2021)「坡地水砂觀測技術推動評估計畫」相

關報告內容,將水砂觀測依執行目的劃分為「土石流觀測站」、「水庫集水區觀測站」及「野溪集水區觀測站」三大類別。早期觀測工作以土石流防災警戒需求為目的,爾後經歷多起重大颱風豪雨等天然災害,農村水保署辦理集水區保育治理等災害復建工作,配合環境觀測進行工程規劃設計,並運用觀測成果辦理治理成效評估;近年農村水保署積極推動土砂管理值、土砂出流量體探討,觀測工作在多元尺度之土砂運移推估及溪床土砂輸送分析,全面提升水砂觀測調查技術,以提供土砂災害管理基礎及作為各項保育治理作業推動依據;其水砂觀測發展歷程如圖1所示。



圖1 農村水保署水砂觀(監)測發展歷程圖
(摘自 農村水保署, 2022)

高屏溪流域為莫拉克颱風重災區之一,農村水保署臺南分署(以下簡稱臺南分署)優先針對流域內土砂問題嚴峻處辦理災害盤查及保育治理規劃。發現集水區仍有大量土砂料源持續供應,且降雨事件下野溪河道土砂運移情況相當顯著,

仍有持續觀測必要。基此,本文透過臺南分署高屏溪流域水砂觀測網,觀測流域內水位、流速、含砂濃度等水砂資料,用以掌握土砂自上游源頭到下游出流點運移過程,作為集水區災害整備、預警、應變、決策應用參考。

二、環境基礎資料

本文以高屏溪流域為研究範圍，針對環境基礎資料背景說明如下。

（一）地理區位

高屏溪流域上游主流發源於中央山脈、玉山山脈，其主要支流有旗山溪、荖濃溪與隘寮溪等三大支流，其中隘寮溪於高樹匯入荖濃溪，荖濃溪在里港再與旗山溪會合，其下始稱高屏溪，並向南流經高雄市、屏東縣。主流域位處臺灣島南部，北與曾文溪為鄰，南臨東港溪與林邊溪流域，其地理位置，如圖 2 所示。

（二）交通

高屏溪流域下游地區因開發較早，人口密集，交通路網極為稠密，省道台 1 與台 3 線可通達鄰近各鄉鎮，台 20 線自甲仙經桃源通往知本、台東，台 27 及台 22 線也是一重要幹道，可與國道 1 號、3 號及 10 號構成緊密的交通系統；而縱貫鐵路貫穿區內，並與南迴鐵路銜接，可直達鄰近各大都市，其主要道路分布，如圖 2 所示（農村水保署，2018）。

（三）水文

高屏溪流域發源於玉山山脈秀姑巒山（標高 3,860 公尺），主流長度約 171 公里，流域面積廣達 3,257 平方公里，為臺灣地區流域面積最大的河川。流域主要分布於高雄市及屏東縣等 25 個鄉鎮行政區，北鄰濁水溪、西界曾文溪及二仁溪，東鄰秀姑巒溪及卑南溪；楠梓仙溪甲仙攔河堰、荖濃溪攔河堰以上為主流上游；主流流經美濃鎮以下與美濃溪匯流為主流中游，於屏東縣高樹鄉再匯入隘寮溪，與南下的旗山溪於高雄市旗山區嶺口匯集成高屏溪為主流下游始進入平原地帶，

經過里港、九如後轉向南流，如圖 3 所示。

（四）地文

高屏溪流域集水區之地形高度落差大，地形大致由東北向西南遞減，全流域平均高度為 1,070 公尺（農村水保署，2018c）、坡度約 20° 而相對高度則為 344 公尺，為臺灣較陡急流河川之一。自東北端的玉山、秀姑巒山、關山，向西南陡降，高差近 4,000 公尺。

參照地調所臺灣區域地質圖，高屏溪流域有鳳山斷層、旗山斷層、六龜斷層以及潮州斷層等斷層通過，如圖 5。丘陵區土壤因受地形及母岩影響而有較大之差異，六龜、甲仙、杉林及內門一帶多為砂、頁岩黃壤及一部分砂和頁岩沖積土，於旗山、大樹一帶屬砂、頁岩黃壤土及紅壤土。

平原地區之西南沿海多為砂、頁岩沖積土，沿高屏溪之美濃、旗山和大寮一帶，則為板岩沖積土。

高屏溪流域境內土地利用概況可以集水區荖濃溪、旗山溪及隘寮溪上游地區的土地利用主要以原始闊葉林及針葉林為主；旗山溪及隘寮溪中游地區的土地利用現況以耕種旱田、果園和竹林為主；土地利用情形分布如圖 6。

（五）歷史土砂災害

高屏溪流域自民國 48 年艾倫颱風侵襲，於中南部地區挾帶豪雨引致重大災情，為最著名的「八七水災」。臺灣中南部的降雨量高達 800 至 1,200 毫米，特別是 8 月 7 日當天的降雨量已高達 500 至 1,000 毫米，使高屏溪水暴漲、堤防潰決，嚴重的淹水災害。民國 85 年賀伯颱風於霧臺好茶村房屋遭土石流淹沒、民國 90 年桃芝、民國 93 年敏督利颱風於甲仙區、桃源區及三地門鄉道路及民宅遭土石流淹沒、民國 94 年海棠颱風於六龜區、杉林區及三地門鄉造成土石流及崩塌災情，房屋及聯外道路毀損、民國 95 年 69

豪雨、民國 96 年 0809 豪雨事件造成崩塌及土石流災情，造成好茶橋沖毀、聯外道路交通中斷以及民宅損毀、民國 96 年聖帕、民國 97 年卡玫基、民國 98 年莫拉克等颱風則造成甲仙區、六龜區、那瑪夏區、桃源區民宅、溫泉飯店及公共設施損毀。

依農村水保署民國 111 年 1 月於土石流防災資訊網 (<http://246.swcb.gov.tw>) 公開更新全臺土

石流潛勢溪流 1,729 條，其中高屏溪流域中有土石流潛勢溪流 164 條，如圖 7 所示。本計畫根據國家災害防救科技中心資料，蒐集民國 97 年至民國 108 年土砂災害事件共計 508 件，各年度災害事件其空間分布如圖 4 所示。

整體而言，所統計之災害事件分布數量主要集中於民國 97 年至民國 99 年期間，尤以民國 98 年莫拉克颱風影響為甚。



圖 2 高屏溪流域地理區位及主要道路分布圖



圖 3 高屏溪流域水系分布圖

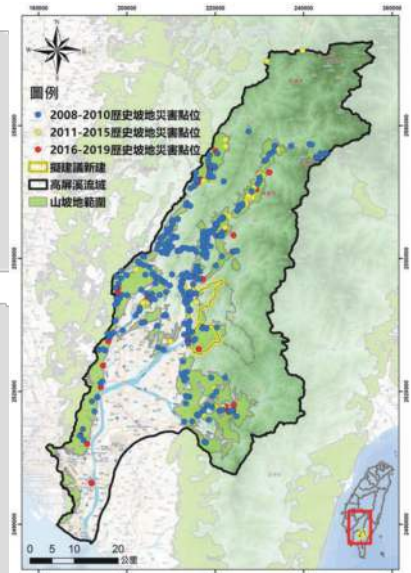


圖 4 高屏溪流域內歷史土砂災害事件分布圖



圖 5 高屏溪流域地質圖

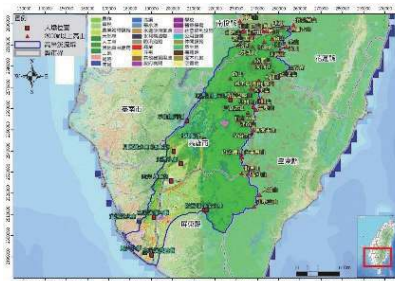


圖 6 高屏溪流域土地利用圖

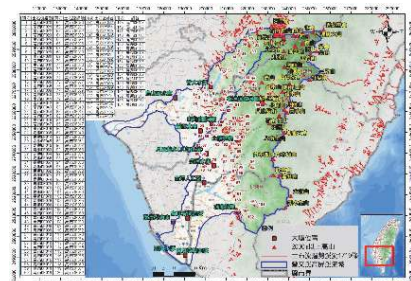


圖 7 高屏溪流域土石流潛勢溪分布圖

三、物聯網於水砂觀測應用

隨著全球物聯網感測與相關觀測設備技術成熟發展，物聯網（Internet of Things, IoT）技術已可逐步應用於環境即時觀測，且能系統性整合觀測數據，更可有效利用且易於存取，並同時可獲得其他加值資訊，減少現地調查人員於野外工作曝險機會。針對土砂高變動性河段，本文考量現地條件與水砂變動範圍，採用適宜之水砂觀測工具，以高頻度、長時間且連續觀測之無線傳輸方式，蒐集水位、濁度資料，以瞭解土砂高變動性河段上游、及下游河道細粒料運移與降雨變化之情形。

相關水砂觀測設備係採目前廣為應用之微機電系統（Micro-electromechanical system, MEMS）感測器、開放式（open source）微控制器（Micro Control Unit, MCU）進行硬體整合，並規劃於易沖淤河段鄰近橋梁、護岸或防砂構造物等控制斷面周遭架設水位、濁度計，再搭配物聯網軟體環境開發，架構觀測系統，客製化具無線網路通訊功能，以即時掌握觀測區水位與濁度狀況，並配合蒐集鄰近公部門既有雨量站資訊，供以探討降雨事件引致上游砂源與河道供砂趨勢。

（一）觀測場域選址原則

農村水保署（2016）「整體性治山防災第二期（中程）計畫」、（2021）「坡地水砂觀測技術推動評估計畫」，考量現地環境設站可能性（如架設位置、傳輸可行性等）、資料取得性以及觀測需求性等條件後，提出水砂觀測設備建置區位選取原則及篩選流程，如圖 8 所示。包含：

1. 治理需求及土砂分析代表性河段：評估治理需求及土砂分析代表性河段，掌握敏感區水砂變動情形。
2. 既有水砂觀測設備：盤點營運中水砂觀測設

備及項目，避免重複設置以有效利用資源。

3. 上下游治理權責界點：以治理權責界點為優先考量，利於維管及評估分工介面水砂量體。
4. 具常流水且環境變動較小：不設於河道分歧處且須不受迴水影響。
5. 架設位置為固定斷面：防砂壩溢洪口、橋梁固定斷面，或整流工程中的規則斷面為原則。
6. 交通便利及架設安全評估：交通便利抵達且人機便於安裝為原則，確保架設可行性及安全性。
7. 通訊條件且日照透空度良好區域：確保觀測資料正常傳輸。

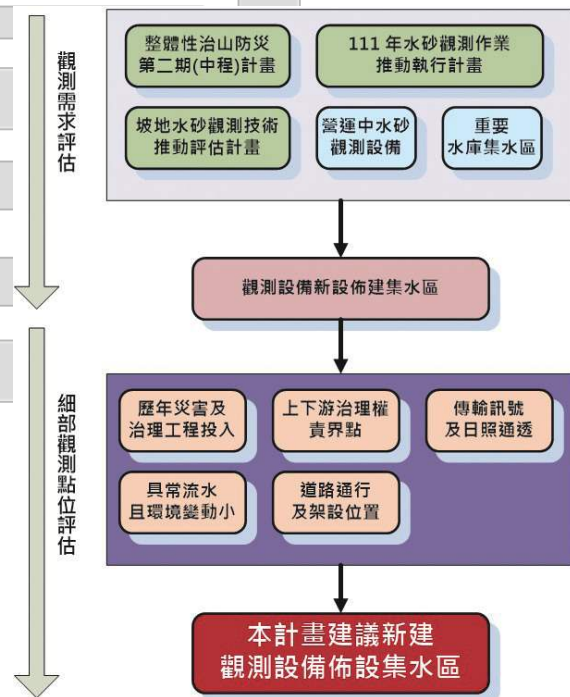


圖 8 水砂觀測設備建置區域篩選流程圖
（摘自 農村水保署，2022）

（二）觀測設備與規格

水砂觀測設備包含水位、含砂濃度、流速等觀測儀器。水位及含砂濃度觀測設備設置目的為

透過水位紀錄獲取野溪河川流量歷線，再搭配含砂濃度觀測資料建立流量及含砂量關係，記錄整個降雨週期間全洪程觀測及平常時期基礎流量及含砂量觀測資料，建立重點治理區或重要水庫集水區土砂收支管理模式，提供各階段保育治理工程規劃設計及需求評估應用。

1. 水位流速觀測設備

水位流速觀測儀器採用雷達波水位流速計。具 NB-IoT 傳輸模組、藍芽模組雙通道即時傳輸、IP68 防塵防水認證可因應山區氣候，設備規格及現場安裝示意如表 1 及圖 9 所示。



圖 9 水位流速觀測設備現地安裝照片

表 1 水位流速觀測設備規格彙整表

項次	規格參數	說明
1	資料傳輸	雙通道 NB-IoT / Blur Tooth (備援)
2	精準度	1mm (量測距離 1-2m)、1cm (量測距離 2-20m)
3	工作溫度範圍	攝氏 -20-85 度
4	防水防塵	IP68
5	資料儲存 (Flash)	6 個月 (可循環、自動補遺功能)
6	資料傳輸頻率	可設定最小每 5 分鐘 (遠端調控)
7	電源設備	電源可持續供電達一年以上

2. 水位及含砂濃度觀測設備

水位及含砂濃度觀測儀器採用目前廣為應用之微機電系統 (Micro-electromechanical system, MEMS) 感測器、開源式 (open source) 微控制器 (Micro Control Unit, MCU) 開發水位 (MaxBotic

MB7051) 及濁度 (DFRobot SKU:SEN0189) 觀測模組，並以物聯網技術通訊傳輸。設備規格如表 2 至表 3，現場安裝示意如圖 10 所示。

表 2 水位觀測設備規格彙整表

項次	規格參數	說明
1	資料傳輸	雙通道 4G / NB-IoT
2	精準度	1cm (量測距離 0.5-10m)
3	工作溫度範圍	攝氏 -40-70 度
4	防水防塵	IP67
5	資料儲存 (Flash)	SD 卡可永久儲存
6	資料傳輸頻率	可設定最小每 10 分鐘 (遠端調控)
7	電源設備	電池可持續供電長達 14 天 (無日照回充下)

表 3 含砂濃度觀測設備規格彙整表

項次	規格參數	說明
1	資料傳輸	雙通道 4G / NB-IoT
2	精準度	0-5,000NTU
3	工作溫度範圍	攝氏 5-90 度
4	防水防塵	IP66
5	資料儲存 (Flash)	SD 卡可永久儲存
6	資料傳輸頻率	可設定最小每 10 分鐘 (遠端調控)
7	電源設備	電池可持續供電長達 14 天 (無日照回充下)



圖 10 水位含砂濃度觀測設備現場安裝圖

(三) 設備維運管理機制

由於水砂觀測設備屬於長期野外作業，其監測模組將機率性因生物活動、水氣滲入等環境因素造成數據失真甚至模組故障，此外，由於監測模組運作所需電力乃以綠電型態透過太陽能板接收日照進行供電，因此，若監測期間經歷雨季、颱風事件等長時間無日照狀況、或鄰近監測區域之竹林、樹木於太陽能板上方產生遮蔽，導致太陽能板之充電效率降低，造成監測模組續航力持續下降，甚至停止運作之情況發生。

為改善環境可能遭遇障礙與問題，確保監測儀器運作正常，農村水保署（2022）曾針對既有土砂環境觀測區域辦理維護作業，依照常見維護項目之發生頻率及原因，可分為「定期維護」以及「不定期維護」，維護作業流程如圖 11 所示。

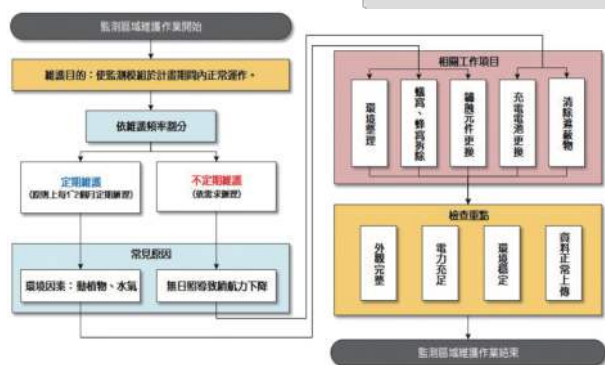


圖 11 觀測區域維護作業流程圖
（摘自 農村水保署，2022）

1. 定期維護

定期（每 1 至 2 個月）針對觀測區域進行觀測區域維護。維護內容包含觀測區域周圍環境整理、清除攀附於設備外構上之蟻窩、蜂窩等附著物、濁度計淤積、表面青苔及針對因水氣而造成鏽蝕之模組元件進行更換。

2. 不定期維護

應不定期觀察觀測模組即時上傳之電池充放

電狀況，若其電量曲線快速下降且持續數日，則應辦理觀測區域維護、或經歷大型颱風事件，則應針對觀測設備外構進行巡查及強化整備，相關維護包含：更換電量充足之充電電池、周圍影響日照之遮蔽物清除、太陽能板上方落葉清理等、支撐結構加強，使觀測模組能恢復續航力。

(四) 觀測儀器架設與空間分布

本文蒐集農村水保署臺南分署於高屏溪流域內設置及維運管理儀器進行後續分析工作，高屏溪流域內觀測設備含水位 13 處、含砂濃度 3 處、流速 9 處，總計 25 處，分別座落於隘寮北溪、達卡努瓦、甲仙、荖濃、新發、茂林等 6 個子集水區，空間分布如圖 12 所示，相關水砂觀測區位及配置觀測項目規格彙整表，如表 4 所示。

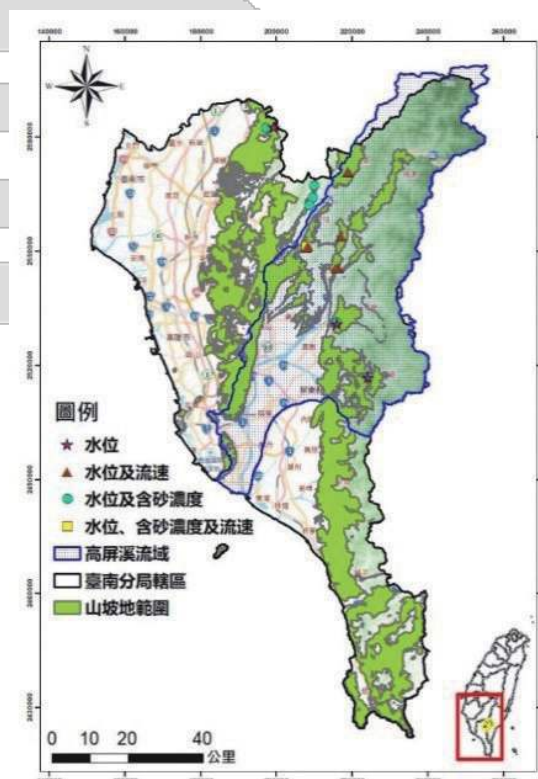


圖 12 高屏溪流域內水砂觀測設備空間分布圖

表 4 高屏溪流域水砂觀測區位及配置觀測項目彙整表

項次	子集水區	設置區位	觀測項目			裝設位置	TWD97 坐標		備註
			水位	含砂濃度	流速		X	Y	
1	隘寮北溪	霧大二號橋	1	1	-	透過式防砂壩	224199	2516848	防砂壩右翼
2			1	-	-	下游護岸	224195	2516883	護岸左側
3	達卡努瓦	月兒溪 (高市 DF068)	1	-	1	月兒橋	219104	2571030	橋下游
4		瑪雅溪 (高市 DF006)	1	-	1	無名橋 #2	218894	2570830	橋上游
5	甲仙	和南巷野溪 (高市 DF071)	1	-	1	右側支流： 梳子壩副壩	208482	2551360	副壩右翼
6			1	-	1	左側支流： 滴水坎橋	208066	2551020	橋上游
7		滴水溪	1	1	1	滴水橋	207979	2551360	橋上游
8	荖濃	頂荖濃野溪 (高市 DF097)	1	-	1	頂濃橋	217136	2553870	橋上游
9	新發	妙崇寺野溪 (高市 DF076)	1	-	1	右岸版橋	216365	2545850	橋下游
10			1	-	1	左岸防砂壩	216258	2545580	防砂壩右翼
11			1	-	1	舊潭二號橋	215730	2545620	橋下游
12	茂林	霧瓦娜溪 匯流口	1	1	-	防砂壩	215844	2531215	防砂壩左翼
13		無名吊橋上游	1	-	-	防砂壩	216101	2530985	防砂壩左翼
總 計			13	3	9	-	-		

四、水砂觀測資料分析

(一) 分析方法

觀測資料使用目的為透過觀測技術提供現地水砂環境即時流況，於整個降雨週期提供不同運用。水位觀測資訊除可觀測生態基流量（如表 5），於規劃設計階段統計觀測資訊，運用實測流量法提供另一水文分析方式，並可由觀測資訊率定水理及土砂分析模式；於颱風時期，即時水位及其上升速率變動可提供防災應變管理值訂定之另一參考資訊；於施工階段，可透過觀測資訊做好施工中防減災措施；於治理設施完成維護管理階段，則可透過觀測資訊評估啟動構造物巡檢需求，因此水砂觀測資訊可加值運用，提高觀測工作治理防災效益（農村水保署，2022）。

觀測資料處理及分析方式，係透過標準化資料處理程序，以及配合鄰近雨量站，觀測重要降雨事件，探討各佈設區觀測值隨降雨分布變化情況，如其水位、流量、濁度等，藉以取得水文事件依時性紀錄，評析集水區受降雨引致土砂供應及運移情形，以利掌握上游集水區土砂環境變異。資料分析流程如圖 13 所示。

1. 堰流斷面流量推估

當設備裝置於防砂構造物溢洪口，因溢洪口跌水產生臨界水流形成控制斷面（如圖 14），故由溢洪口臨界水深，可估算通過防砂壩溢洪口流量。

$$Q = bg^{1/2}y_c^{3/2} \quad (1)$$

惟臨界水深不易量測，故以能量方程式可推得堰上水頭 H 與臨界水深 y_c 的關係式，如此則可藉由量測溢洪口上游水深，即堰上水頭，估算通過防砂壩溢洪口流量。若防砂壩溢洪口為矩形或是梯形斷面時，則流量可用寬頂堰公式估算。

$$\text{矩形：} Q = 1.767bH^{3/2} \quad (2)$$

$$\text{梯形：} Q = \frac{2}{15}(2b_u + 3b_o)CH\sqrt{2gh} \quad (3)$$

其中： Q = 洪峰流量 (cms)； $g=9.8\text{m/s}^2$ ； b = 矩形溢洪口底寬 (m)； H = 堰上水頭 (m)； b_o = 梯形溢洪口底寬 (m)； b_u = 梯形溢洪口水面寬 (m)； C = 流量係數。

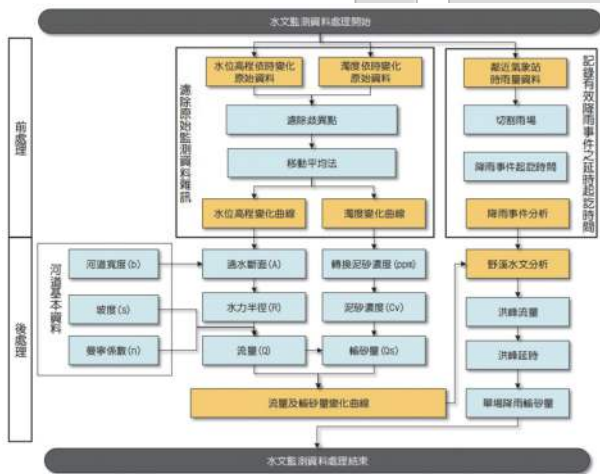


圖 13 水文監測資料處理流程示意圖
(摘自 農村水保署，2022)

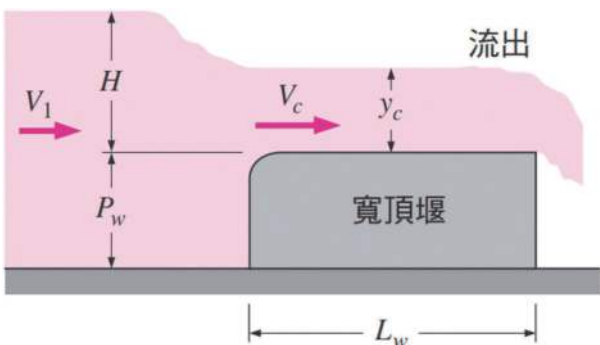


圖 14 堰流斷面流量推估方式

表 5 水位監測資料運用說明表

項目	推估方式	限制條件
洪峰稽延時間	降雨峰值至水位（流量）峰值時間，可推估警戒水位	雨量站代表性
水位上升速率	降雨開始後水位上升至峰值速度，可推估警戒水位	下游無迴水影響
流量	通式：連續方程式	具有流速觀測
	堰流斷面：堰流公式	下游無迴水影響 堰流係數
	一般斷面：曼寧公式	非均勻流場，粗糙係數
含砂濃度	配合泥沙濃度調查，建立濁度與含砂濃度率定曲線，濁度推估含砂濃度	高濁度設備量測上限 (5,000NTU)
懸移質輸砂量	建立含砂濃度與流量率定曲線，流量推估懸移質輸砂量	高流量無實測，需外差推估
推移質輸砂量	推移質輸砂量 / 懸移質輸砂量 = 15% (何智武，1986) 或由河床質調查成果推估	各野溪泥砂組成差異
總輸砂量	懸移質輸砂量 + 推移質輸砂量	推移值比例為假定值

2. 一般斷面流量推估

當設備裝設於橋梁，配合水位流速觀測可建構非接觸式流量量測系統，藉由實測水位深及表面流速等相關資訊，藉轉換或推得平均流速、水深，配合斷面測量所得通水斷面積，推估流量歷線（如圖 15），本文參考水利署水文流量檢測標準作業程序，流速係數採 0.7，再藉由流量及泥砂濃度係數計算輸砂量，如公式 4 至式 7。

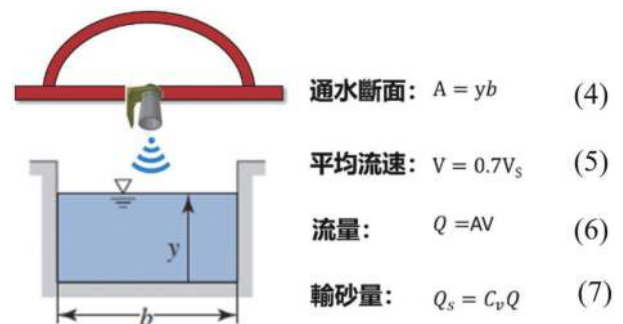


圖 15 堰流速面積法推估方式

$$\text{通水斷面：} A = yb \quad (4)$$

$$\text{平均流速：} V = 0.7V_s \quad (5)$$

$$\text{流量：} Q = AV \quad (6)$$

$$\text{輸砂量：} Q_s = C_v Q \quad (7)$$

其中 Q = 流量 (m^3/sec) ; A = 通水面積 (m^2) ;
 y = 觀測水深 (m) ; b = 斷面寬度 (m) ; V = 平均流速 (m/sec) ; V_s = 表面流速 (m/sec) ; Q_s = 輸砂量 (kg/sec) ; C_v = 泥砂濃度 (kg/m^3) 。

3. 輸砂量計算

含砂濃度可用以瞭解單位體積水體泥砂的體積或重量，與河川輸砂量、水庫淤積量及對水利設施的影響有直接關係。本文採用濃度觀測儀器屬光學式感測元件，其所觀測讀值單位為 NTU。雖然濁度 (NTU) 與河川中懸移含砂濃度 (ppm) 之物理定義不同，但在工程應用實務上及現階段監測設備之成本及普及性，國內外仍有許多案例之泥砂濃度資料乃藉由濁度資料來轉換或替代表示。基此，為將觀測資料 (NTU) 轉換為含砂濃度單位 (ppm)，本文參考許盈松等人 (2007) 針對濁度與含砂濃度率定關係研究結果 (如圖 16 所示)，進行濁度與含砂濃度 (C_v) 轉換計算，並經由式 (8) 計算溪流單位時間內懸移質輸砂量 Q_s ：

$$Q_s = \frac{\text{ppm}}{1000} * Q_{\text{單位}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{sec}} \right) \quad (8)$$

惟河道總輸砂量 (Q_t) 可分懸移質輸砂量 (Q_s) 與推移質輸砂量 (Q_b)，由於推移載因貼近河道底部以滑動滾動或成跳躍狀的方式移動，較難施測，一般多利用河床與水流特性資料，選用適當之公式或利用可視河川特性由可測載的百分比 (賴建信與游繫結，2002)。故實務上為計算便利，相關研究學者亦透過室內試驗或野外河床大量調查，分析推移質與懸浮質之比例關係。林基源等人 (2007) 整理有關推移質與懸浮質之比例關係文獻，如表 6 所示，故總輸砂量係以推移質與懸浮質之比值進行推估，如公式 9 所示。本文視河道為一般河流， α 以 0.25 進行總輸砂量推估。

$$Q_t = Q_s + Q_b = (1 + \alpha) \times Q_s \quad (9)$$

式中 Q_t 為總輸砂量； Q_s 為懸浮質； Q_b 為推移質； α 為推移質與懸浮質之比值，如表 6 所示。

表 6 推移質與懸浮質之比例關係
(摘自林基源等人，2007)

流體行為	固體與半固體	土石流	含砂流	一般河流
體積濃度	0.84 ~ 1.0	0.57 ~ 0.87	0.25 ~ 0.4	0 ~ 0.25
重量濃度	0.78 ~ 1.0	0.78 ~ 0.95	0.47 ~ 0.64	0 ~ 0.47

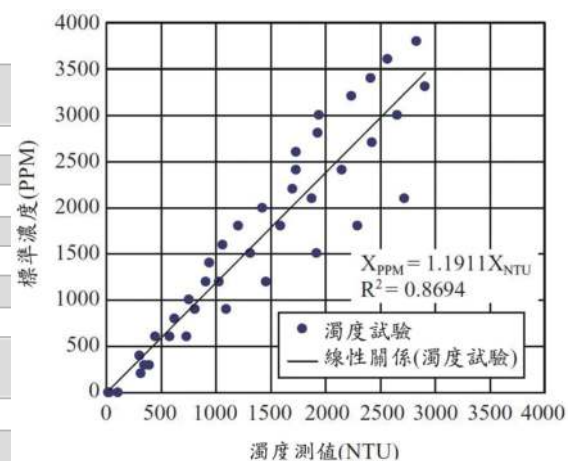


圖 16 濁度與泥砂懸浮質濃度迴歸曲線圖
(摘自 許盈松等人，2007)

五、事件流量與輸砂量案例評析

本文以隘寮北溪上游防砂壩處觀測站為例 (如圖 17)，該處屬具高潛勢致災觀測場域，且因地理位置緊鄰霧台道路 2.6K 霧大二號橋處，為當地主要聯外道路之一；於颱風事件期間該處常有土砂流出致道路阻斷，影響霧台部落居民進出。若能預先評估道路阻斷潛勢、提前規劃布局重型機具待命等相關應變措施，將可有效提升當地防災、預警、應變應用。基此，本文依前述水砂觀測資料分析方式，針對近年 (民國 110 年至 112 年) 觀測到盧碧、小犬等 8 場颱風事件水位及含砂濃度先進行流量與輸砂量分析。另續以降雨量、

輸砂量關係，評估該處土砂流出量與累積雨量災害示警值，提供未來集水區保育治理、防災應變、工程生命週期各階段重要資訊參考、應用。



圖 17 隘寮北溪霧大二號橋野溪透過式防砂壩處觀測設備空間分布及現場情況圖

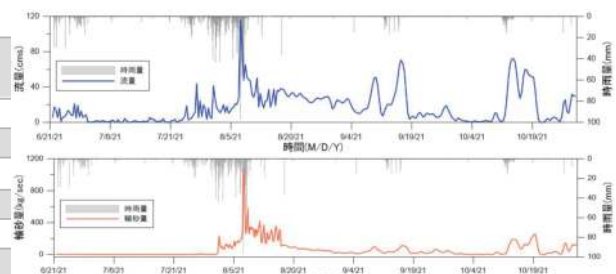
(一) 颱風事件流量與輸砂量分析

透過標準化資料處理程序，完成評估案例區流量、輸砂量變化情況分析，相關成果依年度展繪如圖 18 所示。由圖可見，觀測期間降雨主要集中在 7 到 9 月間，尤以民國 110 年盧碧颱風期間（110/08/03 至 08/08）累計降雨量最高。盧碧颱風行進速度緩慢，其外圍環流及西南氣流帶來充沛水氣影響，較強降雨區域發生於南部山區，為近年來最具規模降雨。民國 110 年 8 月 3 日至 8 月 8 日阿禮雨量站累積降雨量為 1,370mm，最大降雨強度為 97mm/hr，如圖 19 所示。由圖 19 顯示，降雨初期流量緩慢上升，並於 8 月 7 日降雨強度達最高峰時流量變化劇烈，此時產生洪峰流量 137.3cms 與最大輸砂量 1,108kg/sec，後續降雨事件結束後則流量緩慢消退，直至 8 月 8 日雨勢漸緩時流量仍相當大。整體而言，本次降雨事件推估總輸砂量 11.3 萬方。

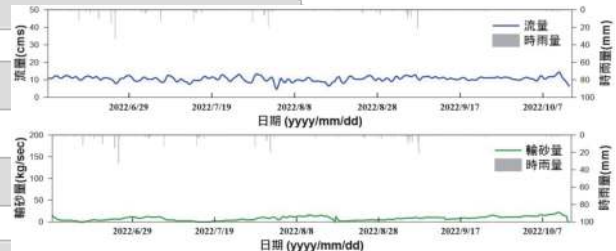
民國 111 年期間，受反聖嬰影響下致未有颱風侵臺，年平均降雨量亦相對較少，加以霧大二號野溪於平常時期多有伏流水情況，故水砂觀測分析成果有其限制。民國 112 年期間，觀測設備完整記錄蘇拉、海葵、小犬等颱風事件全洪程水位及含砂濃度資料（如圖 18b、c）。整體而言，民國 110 至 112 年期間，各事件洪峰流量介於

3.1 至 137.3cms、懸移質洪峰輸砂量介於 8.74 至 1,108.0 kg/sec、事件輸砂量介於 0.1 至 11.3 萬方；期間事件總輸砂量總計 17.65 萬方。

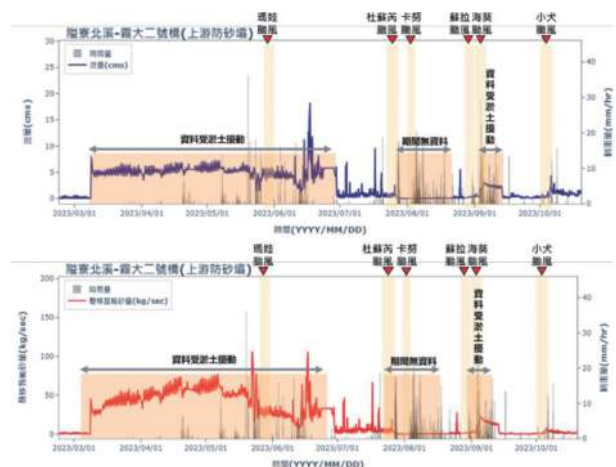
惟因野溪現況環境及流路、流況變動較大，且與當地水文背景、降雨情況相關，進行流量與輸砂量分析時存在一定程度誤差。建議未來可視情況評估增設影像觀測設備，瞭解監測數值變化起伏是否符合現場環境條件趨勢，作為水位與含砂濃度觀測觀測讀值率定方法之一。



(a) 110 年流量及輸砂量



(b) 111 年流量及輸砂量



(c) 112 年流量及輸砂量

圖 18 觀測期間流量、輸砂量與降雨變化歷時圖

(二) 流量與輸砂量關係

由於案例評估區（隘寮北溪霧大二號橋野溪處）屬荒溪型河川，在長時間無降雨事件下其河道無常流水，因此考量在降雨事件下，以日平均流量及輸砂量概念建立率定曲線，如圖 20 所示，可供未來辦理集水區保育治理工程規劃不同頻率年通洪斷面設計，以及道路阻斷防災應變參考。

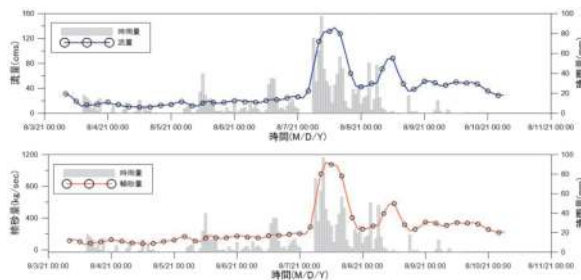
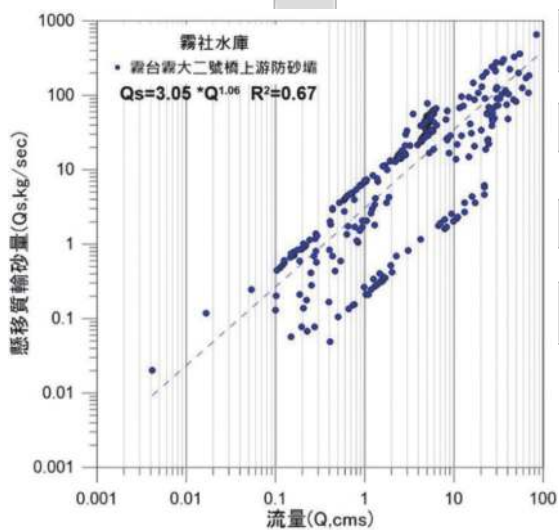


圖 19 盧碧颱風事件流量、輸砂量與降雨變化歷時圖



20 日流量與輸砂量回歸分析圖

(三) 土砂流出量與累積雨量災害示警值

統計民國 110 年至 112 年期間觀測事件，共計 8 場，如表 7 所示。依表中所列觀測資料，建立事件降雨量與土砂流出量關係，如圖 21 所示。若將事件累積降雨量與土砂流出量回歸曲線斜率

反趨點交集處視為土砂災害發生警界示警值，其對應事件累積雨量約為 370mm。對比近年事件總累積雨量鄰近或超過 370mm 之事件有盧碧颱風、0731 降雨、蘇拉及海葵颱風等。對比該處於前述事件後現場照片，發現確實皆有大量土砂流出，致下方霧台道路 2.6K 道路中斷情況。建議初步可以此作為土砂災害發生與否之雨量災害示警參考。若預估降雨事件累積雨量可能超過或接近該值，建議通知相關管理單位加強巡查、提前佈局重型機具待命等，強化防災應變整備措施。惟因現階段有效觀測數據事件偏少，建議仍應持續辦理水砂觀測，瞭解砂源運移及災害發生狀況，滾動式調整災害示警值及防災應變作為擬訂。

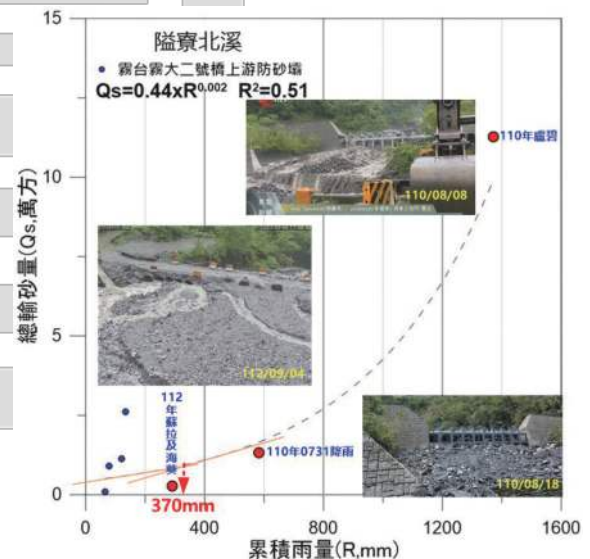


圖 21 事件累積降雨量與土砂流出量關係圖

(四) 水砂觀測資料後續應用及精進

由於野溪河道的水位和土砂觀測可提供坡地保育、水資源涵養評估、治理對策參考、治理成效評估或防災預警之應用，於工程生命週期各階段提供重要資訊，對水資源管理和災害預警亦具有重要的意義。而透過不斷精進觀測技術、提高

表 7 隘寮北溪霧大 2 號野溪處事件型水砂觀測資料分析成果彙整表

項次	年度 (民國年)	颱風事件	分析期間	參考 雨量站	累積雨量 (mm)	最大降雨強度 (mm/hr)	洪峰流量 (cms)	懸移質洪峰 輸砂量 (kg/sec)	事件輸砂量 (萬方)
1	110	0731 降雨	07/31-08/02	阿禮	583.0	44.0	43.4	11.2	1.35
2		盧碧	08/03-08/08		1,370.0	97.0	137.3	1,108.0	11.3
3		燦樹	09/12-09/17		135.0	16.0	70.7	113.3	2.6
4	111	0616 降雨	06/16-07/15		120.5	33.0	12.5	12.1	1.1
5		0828 降雨	08/28-09/13		79.5	21.0	12.8	10.5	0.9
6	112	蘇拉	08/28-08/31		287.0	29.0	3.1	22.8	0.3
7		海葵	09/01~09/05						
8		小天	10/03~10/07		65.0	12.5	4.4	8.7	0.1

資料品質，以及發展更先進的應用模型，可以更好清楚的掌握水文狀態、預測災害，從而更有效地進行水資源管理和災害風險降低。基於，本文透過高屏溪流域水砂觀測物聯網建置及案例評析經驗，針對茲就資料傳輸與品質、後續應用及精進等，說明如下：

1. 資料傳輸

現代水文觀測站通常使用無線通信技術，如 GSM、4G、5G，或者衛星通訊等，目前以可確保觀測站數據能及時、穩定地傳輸到數據中心。於觀測設備架設前僅需確認現場通訊條件即可。

2. 資料品質管控

數據品質控制是確保觀測資料正確、可靠的關鍵。可透過定期儀器校正、檢查觀測資料完整性、數據補遺、檢核、驗證等檢核機制提升資料品質管控。

3. 後續應用

精確完整之水砂資料為保育治理規劃管理之基礎，其應用面向包含水資源管理、災害預警、集水區保育治理及土砂運移探討等。

(1) 水資源管理：透過現場實際觀測水位和土

砂運移資料，可提升水利相關單位對於河道水文狀態掌握程度，可用於優化水庫調度，有效應對旱災和洪災，並確保水源的可持續利用等。

(2) 災害預警：即時的觀測數據能夠接近或超越警示水位事件發生時間點，有助於提升防災韌性，減少災害的損失，並加強保全對象或相關單位防災應變時效性。

(3) 集水區保育治理及土砂運移探討：於土砂入庫控制區位、治理界點或治理工程區位，運用颱風期間含砂觀測及實測推估流量，推估觀測區域土砂運移量，探討土砂入庫量或保育治理工程投入前後土砂運移變化。

4. 精進措施

隨著全球物聯網感測與相關觀測設備技術成熟發展，建議未來可持續改善觀測儀器規格、精度、感測技術等如使用更精確的光學式含砂濃度傳感器等，以提高觀測的準確性和靈敏度。另可利用機器學習和數據模型來優化水文預報模型，更精確地預測水位和土砂的變化，並提高預警的效能，提升水文模型的適用性。

六、結論與建議

本文以新興物聯網科技觀測技術協助建置高屏溪流域內水砂觀測網，有效觀測集水區整體土砂運移情況。另嘗試針對具高潛勢致災區域如隘寮北溪霧大2號橋處，依水砂觀測累積實測數據，以累積雨量作為指標建立土砂災害示警值，以為未來集水區治理規劃及災中緊急搶通、搶修因應策略研擬參考。茲歸納重要結論及建議，如下。

(一) 本文協助建置高屏溪流域水砂觀測網，整體而言大部分觀測區域流量皆受降雨事件影響而上升、降雨事件結束後逐漸下降，設站點位、觀測成果、分析方法與作業程序皆具一定合理性，尚屬可行。

(二) 惟因野溪現況環境及流路、流況變動較大，且與當地水文背景、降雨情況相關，進行流量與輸砂量分析時存在一定程度誤差，加以本文囿於現有資料不足，僅能以水庫資料率定出的公式推估溪流懸移載輸砂。由於野溪溪流與水庫此為兩種不同水流條件，故建議未來除持續觀測，累積更長時期且具代表性觀測資料外，可視情況評估增設影像觀測設備，如 CCTV、CCD 等，透過即時影像瞭解颱風豪雨期間水位、濁度變化情形，瞭解監測數值變化起伏是否符合現場環境條

件趨勢，簡要作為觀測讀值率定方法之一。

(三) 另有關土砂流出量與累積雨量災害示警值分析成果，因現階段有效觀測數據事件偏少，對於中、高風險土砂流出量以外插推估，仍具不確定性，本文僅以該區近年觀測資料，初擬「土砂流出量與累計雨量災害示警分析」概念，建議未來仍應持續辦理水砂觀測，累積更常時期觀測資料庫，瞭解砂源運移及災害發生狀況，據以提高回歸分析成果可信度，滾動調整災害示警值及防災應變作為擬訂參考。

參考文獻

- 農村水保署(2016)「整體性治山防災第二期(中程)計畫」。
- 農村水保署(2018)「高屏溪等流域防砂設施調查建置」。
- 農村水保署(2021)「坡地水砂觀測技術推動評估計畫」。
- 農村水保署(2022)「111年度高屏溪流域水砂觀測維護暨設置與資料加值運用計畫」。
- 許盈松，蔡俊鋒，魏綺瑪，黃宏甫(2007)，「水庫泥沙濁度與濃度率定關係研究—以石門水庫為例」，農業工程學報，第53卷，第1期，第62至71頁。
- 賴建信與游繁結(2002)，「臺灣中部清水溪輸砂量變化與河道沖淤關係初步分析」，水土保持學報，第34卷，第2期，第125至138頁。
- 林基源，陳冠宏，洪政宏(2007)，「土石流濃度及細料對壩體攔阻特性影響之研究」，朝陽學報第十二期。
- 農村水保署土石流防災資訊網 (<http://246.swcb.gov.tw>)

新書推介

(一) 環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發

許國恩、劉婉儀、吳佳娟、
林宜璇、吳紗系、李品蕙、
楊淑娟、林淑滿 編著

2023年2月初版

以衝擊路徑評估法（IPA）分析 新北市 PM_{2.5} 空污管制策略 及其經濟效益

黃書芸** 羅 鈞* 劉哲良***

摘 要

為改善空氣品質，新北市政府自民國 107 年起實施全方位之空氣污染管制措施及減量方案，固定污染源措施主要針對台電林口電廠之新設燃煤電廠採加嚴排放標準、停發小型燃煤鍋爐生煤許可證、推動工廠煤轉氣或油轉氣等清潔燃料措施；在移動污染源則透過高污染車輛汰換、推動電動公車及智慧交通運輸管理等措施；而逸散污染源管制則以加強營建工地管理、禁用高污染施工機具及加強住宅餐飲油煙管制措施等；第一階段實施策略實施至民國 108 年底；而新北市 PM_{2.5} 年平均濃度也從民國 106 年 16.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 逐步改善至民國 109 年 12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，已符合我國空氣品質標準（15.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），空氣污染防治成效卓著。

傳統衡量空氣污染管制執行成效時，大都以管制生效前後之污染物排放削減量或空氣品質濃度變化作為評估依據，若可將減量成效轉換為貨幣化效益（monetary benefits）的方式來呈現，可更容易讓一般民眾理解。因此，本研究採用以衝擊路徑評估法（Impact Path Approach, IPA）為基礎所建立的本土化均化單位效益指標（Benefit per Ton, BPT），以結合量化及貨幣化方式來評析新北市政府所推動之 PM_{2.5} 空氣品質改善策略成效，以統一的貨幣化單位來比較，有助於衡量不同單位的衝擊影響，亦能作為後續空氣污染管制政策成本效益分析（CBA）之必要投入，供決策者擬訂政策參考。

評估結果顯示，新北市政府執行於民國 107 至 108 年間所推動之空氣污染管制措施整體投入經費約 4.9 億元，但經貨幣化效益評估後可帶來之效益高達約 372 億元，產出效益遠高於投入經費。

關鍵字：細懸浮微粒、衝擊路徑評估法、均化單位效益

一、前 言

新北市為北部地區幅員最為廣闊之直轄市，因具備生活及交通之便捷特性，工商業蓬勃發展、

人口聚集，民國 109 年之總設籍人口數約 403 萬人；伴隨工商業活動頻繁，營運中工廠高達 1.8 萬家及機動車輛將近 325 萬輛，均高居全國之冠，其環境負荷之沈重不言可喻。配合政府積極推動

* 環興科技公司環境規劃一部計畫主任

** 環興科技公司環境規劃一部工程師

*** 中華經濟研究院綠色經濟研究中心研究員

空氣污染管制工作，新北市政府亦致力於空氣品質改善及維護工作，持續針對轄區內各類空污排放源進行調查、輔導、稽查及研訂嚴格管制措施等。歸納新北市所推動空氣污染管制策略，第一階段（民國 107 至 108 年）以 3 面向、7 項積極作為；第二階段（民國 109 至 112 年）則為配合環境部之空氣污染防制法修訂（民國 107 年 8 月）實施，因應法令中要求，爰提出「新北市空氣污染防制計畫書（109 至 112 年版）」，除延續推動原政策外，並另訂改善目標及策略，以積極作為達成空氣品質改善之目的。

有關細懸浮微粒（以下簡稱：PM_{2.5}）之管制，環境部於民國 101 年 5 月 14 日公告新增 PM_{2.5} 空氣品質標準（年平均 15 µg/m³），並於民國 105 年 8 月 3 日公告「直轄市、縣（市）各級空氣污

染防制區」新北市因 PM_{2.5} 濃度不符合空氣品質標準，而自民國 106 年判定屬三級防制區，為積極改善轄內 PM_{2.5} 空氣品質濃度，市府積極推動全面性空污改善計畫，在府內各單位積極努力下，依據環境部於民國 109 年 12 月 29 日公告修正 PM_{2.5} 空氣污染防制區劃定結果，新北市之 PM_{2.5} 空氣品質濃度已由三級改善至二級防制區（即符合國家空品標準），成效卓著。

統計民國 106 至 109 年間，新北市各項空氣污染物改善目標及實際達成濃度狀況整理如表 1 所示，從表中數據可以發現，除臭氧（O₃）外，其餘污染物濃度均持續下降改善，而第一階段目標業已達成；因此，本研究將以評估第一階段執行成效及衍生之經濟效益為主。

表 1 新北市第一階段之各項空氣污染物改善目標及實際達到空品濃度彙整表

空氣污染物		濃度單位	民國 106 年		民國 107 年		民國 108 年		民國 109 年	
			實際值	目標值	實際值	目標值	實際值	目標值	實際值	目標值
PM _{2.5}	年平均値	µg/m ³	16.1	17.0	15.4	16.0	13.9	15.0	12.6	13.8
	24 小時平均値	µg/m ³	38.8	45.9	37.9	45.5	32.8	45.2	31.5	32.8
PM ₁₀	年平均値	µg/m ³	35.8	34.7	34.4	32.7	28.5	30.6	24.6	28.6
O ₃	年平均値	ppb	30.9	103.7	30.8	103.2	32.0	102.8	31.1	30.5
	8 小時平均値	ppb	46.0	79.1	44.6	78.5	44.3	78.0	44.6	66.5
SO ₂	年平均値	ppb	2.8	3.1	2.7	3.1	2.2	3.0	2.0	2.2
NO ₂	年平均値	ppb	14.6	15.7	13.7	15.6	12.8	15.5	12.4	12.6
CO	年平均値	ppm	0.39	-	0.38	-	0.37	-	0.36	0.4

傳統上在衡量空氣污染管制措施執行成效時，大都以管制生效前後之污染排放削減量或空氣品質濃度變化，作為評估執行成效良窳之依據。但若能將上述減量成效或空氣品質濃度改善狀況轉換以貨幣方式表達，將成效或影響換算為實質效益，相信更容易讓一般民眾所接受。故本研究首度嘗試採用以「衝擊路徑評估法」（Impact Path Approach，以下簡稱：IPA）為基礎所建立的「單位均化效益」（Benefit per Ton，以下簡

稱：BPT）來評估新北市政府執行空氣污染防制措施之成效，即以貨幣化概念呈現 PM_{2.5} 空氣品質管制策略所帶來的經濟效益，其結果更可作為空氣污染管制政策成本效益分析（Cost-Benefit Analysis, CBA）之基礎，供決策者參考。

在 IPA 評估法下，主要先需先計算各策略實施下各污染源排放減量，再以空氣品質模式模擬污染物排放減量對各項污染物之空氣品質濃度變化影響；依據空氣污染物濃度變化，計算因其變化所

導致對民眾健康事件所造成衝擊；最後則依據健康改善效果，將健康影響變化轉換以貨幣化單位來衡量影響結果，即健康效益（health benefit）。

IPA 雖然能夠清楚地說明由排放直到影響端過程中所有路徑的量化結果，但其主要限制在於操作所須耗費的資源較高（包含需要高效能大型電腦的運算能力、以及大量的模擬時間），並非所有個案都有足夠資源可採用 IPA 來進行分析。為克服此問題，美國環境保護署建立了數種簡化的縮減模式（reduced form），BPT 即是其中之一。BPT 保留了 IPA 的特徵，但在模擬計算上於部分環節採用均化參數來代替實際操作模擬，大大降低了操作所須的資源投入。

在國內本土化的實證研究上，劉哲良（2019）曾結合國際及本土化資料進行臺灣點、線、面源 PM2.5 減量的 BPT 評估。透過該研究結果的適當調整，即可用以量化新北市空氣污染管制策略所帶來的貨幣化效益。

二、貨幣化方法介紹：單位均化效益

將空氣污染物排放所造成的衝擊影響予以貨幣化，國際間已有許多不同的評估方法論被開發應用；而目前國際上以「衝擊路徑評估法」最為大家普遍採用（state-of-the-art）（蕭代基等人，2002；環境部，2012；United States Environmental Protection Agency，2019）。就技術層面角度來看，IPA 是一種結合了環境工程、公共衛生及環境經濟學等三種不同專業面向之評估流程方法，各面向之間存在有順序關係性，需要彼此相互串接方可得到最終的評估結果。

IPA 評估方式之三個順序關係面向依序是：

（1）先計算空氣污染管制策略實施下各污染源排放減量，再以空氣品質模式模擬污染物排放減量對各空氣品質濃度變化影響；（2）依據前述空氣

污染物濃度變化，計算因變化所導致的衝擊事件，本部分主要為估算對民眾健康事件所造成增減影響；（3）最後依據健康改善效應，將健康事件變化轉換為貨幣，以衡量管制策略實施衝擊影響（如圖 1）。

在評估實務應用上，美國環境保護署最早於 2003 年即開發「環境效分析系統」（Environmental Benefit Mapping and Analysis Program, BenMAP）（U.S. EPA，2018a），或後續進一步透過不同模式的改進及整合所開發出的「空氣品質決策支援系統」（The Air Benefit and Cost and Attainment Assessment System, ABaCAS）等，皆為以 IPA 法為基礎之應用。IPA 之特點，在於能夠將污染排放直接到受衝擊影響對象之間的傳遞路徑進行清楚地串接關係說明清楚，並且結合量化及貨幣化方式來呈現最後的衝擊影響結果，有助於原本可能具備不同衡量單位的衝擊影響，能夠以統一的貨幣化單位來進行比較，或更進一步整合入成本效益分析中，導引出有利於決策判斷的參考資訊。

BPT 為由美國環境保護署所開發、基於 IPA 發展而成的簡化效益衡量方法。BPT 為以 IPA 為基礎，使用 Community Multi-scale Air Quality（CMAQ）空氣品質模式等工具，找出污染源排放量對於空氣污染濃度之影響，再以劑量反應函數與醫療成本及死亡風險貨幣化進行評估而得每個污染源每減排一噸所產生之健康效益（即 BPT）。BPT 保留了 IPA 的流程及特徵，透過均化參數的應用，大大降低了實證上應用的可行性。本研究應用劉哲良（2019）所完成的本土化 BPT 研究成果，進行新北市管制措施執行成效之效益評估。

由於該研究涵蓋的評估對象包含點源（18 個產業類別）、線源（柴油車、汽油車、機車）、以及面源（12 種排放類別）等三種排放形態，透過 IPA 流程、估算出點、線、面排放源每減少一單位排放量所可帶來的健康效益一即 BPT（分別

整理如表 2、表 3 及表 4)。後續透過計算出新北市每一個管制措施所帶來的空污減量效果，即可再配合 BPT 指標，快速簡便地計算出該管制措施所帶來的效益。

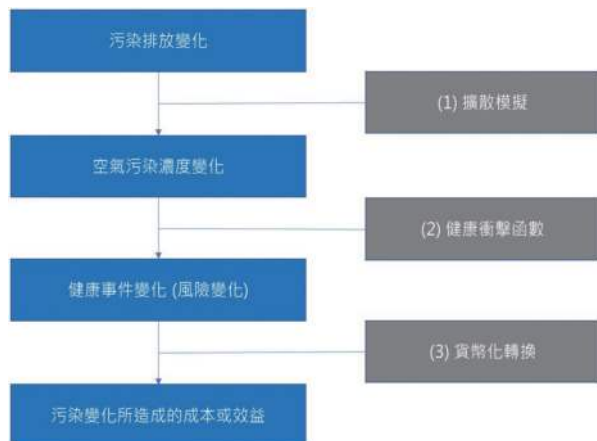


圖 1 衝擊路徑評估法 (IPA)

表 2 固定源各類行業別 BPT 之模擬估算結果

BPT 係數 (百萬元 / 噸)	高值	低值	平均值
1. 鋼鐵基本工業	188	46.9	118
2. 電力業	39.0	9.7	24.4
3. 化學材料製造業	115	28.6	71.6
4. 水泥及預拌混凝土	94.0	23.5	58.7
5. 食品業	131	32.6	81.7
6. 紡織業	132	32.9	82.4
7. 金屬製品製造業	173	43.2	108
8. 礦業及土石採取業	94.0	23.5	58.7
9. 造紙及印刷出版業	106	26.3	65.9
10. 非鐵金屬基本工業	143	35.8	89.5
11. 石油煉製業	147	36.6	91.7
12. 塑膠製品製造業	133	33.2	83.1
13. 電子器材製造業	212	52.9	133
14. 廢棄物焚化爐	131	32.6	81.7
15. 玻璃業	154	38.3	96.0
16. 橡膠製品製造業	101	25.2	63.0
17. 運輸工具製修業	127	31.8	79.5
18. 紡織業	132	32.9	82.4
19. 點源其他	165	41.2	103
點源整體平均	133	33.0	82.7

表 3 線源各類車種 BPT 之模擬估算結果

BPT 係數（百萬元／噸）		高值	低值	平均值
柴油車	大貨車	206	51.5	129
	其他大客車	260	64.9	163
	柴油小貨車	202	50.3	126
	公車／客運車	350	87.2	219
汽車	自用小客車	258	64.4	161
	汽油小貨車	213	53.2	133
	營業小客車	459	114.4	287
機車	二行程機車	257	64.1	160
	四行程機車	257	64.1	160
線源整體平均		274	68.2	171

表 4 各類逸散源 BPT 之模擬估算結果

BPT 係數 (百萬元 / 噸)	高值	低值	平均值
1. 車輛行駛揚塵	219	54.6	137
2. 餐飲業	318	79.2	198
3. 建築 / 施工	172	42.9	107
4. 農業操作	66.5	16.6	41.5
5. 露天燃燒	99.7	24.9	62.3
6. 裸露地表	110	27.5	68.8
7. 礦場	35.5	8.87	22.2
8. 金紙燃燒	235	58.6	147
9. 住宅	343	85.5	214
10. 船舶	220	54.9	138
11. 印刷電路版製造業	157	39.2	98.1
12. 其他面源	237	59.2	148
面源整體平均	184	46.0	115

三、空氣污染管制策略介紹

如前所述，新北市政府所推動之空氣污染管制策略共分為二階段，針對各階段內容，分述如下：

(一) 第一階段 (民國 107 至 108 年)

第一階段管制策略於民國 107 年 1 月頒布，以兩年內可減少一座燃煤電廠之排放空氣污染量

為目標。提出3面向、7作法；在固定污染源主要採「停發生煤許可」、「燃煤鍋爐全數退場」兩作法，對所有小型工廠都不再核發新的生煤使用許可，補助既有燃煤鍋爐全數退場改採污染較低之清潔能源；在移動污染源則透過「高污染車輛汰換」、「推動電動公車」及「電動車停充優惠」三作法，加強推動二行程機車及一、二期老舊柴油車等高污染車輛汰換，在交通稠密區優先推動電動公車，公有停車場提供電動車停車充電優惠措施；逸散污染源管制則採「禁用高污染施工機具」及「住宅餐飲油煙嚴管」兩作法，於環評審查中要求營建工程禁用2003年以前出廠之老舊施工機具或應加裝濾煙器，優先推動住宅區燒烤店裝設油煙防制設備，總計有40項管制策略。

其固定污染源減量策略，要求轄內汽電共生燃煤機組退場，不再核發新生煤使用許可，針對既有小型燃煤鍋爐之生煤使用許可期限統一至民國108年12月31日止；在大型鍋爐的部分，南亞企業燃煤汽電共生機組逐步退場，自民國112年起，新北市境內將不再使用燃煤當燃料，朝向無煤城市最高目標邁進。

由於台電林口電廠所產電力為民生所需，基於穩定供電需求，無法要求停止燃煤發電，所以新北市以高於國家排放標準及其環評承諾排放規定，對其新設燃煤機組進行管制，加嚴粒狀物、 SO_x 及 NO_x 排放濃度分別為年均 8 mg/Nm^3 、 20 ppm 、 20 ppm ，並率先全國要求增設重金屬汞連續自動監測（CEMS），以隨時掌握電廠汞排放狀況。要求瀝青業燃料油改氣，以改善長期異味陳情問題，並提供業者燃料油改天然氣之補助政策，補助其天然氣輸送管線之施工費用，民國109年起新北市10家瀝青廠均已改採用天然氣，另要求也業者於民國109年底前設置煙道排氣記錄自動傳輸系統，降低固定源空污排放；另外也發展綠色能源及節能輔導、推動產業轉型及

城市綠美化等活動。

移動污染源管制部分，推動綠色運輸交通工具，包含：推動電動公車、電動機車，增設電動機車電池交換站，發展捷運等大眾運輸工具；逸散源部分，自民國107年1月22日起，針對轄區內新設環評工程所使用的施工機具加嚴管制，要求禁止使用出廠日期為2003年10月以前之施工機具，且排放標準不透光率需達到 2.8 m^{-1} 以下。

逸散源管制部分，由於新北市餐飲業多設在人口稠密的住宅區和住商混合區之中，故於民國107年6月公告「新北市政府辦理住宅區餐飲業燒烤店空氣污染防制管理作業要點」，並針對4家企業集團進行協談，將油煙防制設備維護納入內部稽核管理，以維護居民健康，同時透過雲端管理機制，搭配其他府內單位，共同進行營建工地管理；相關管制措施也完全搭配環境部所實施之空污管制策略。

（二）第二階段（民國109至112年）

第二階段管制策略部分，配合環境部於民國109年5月所核定公告之「空氣污染防制方案（109年至112年）」內容，新北市也提出「新北市空氣污染防制計畫書（109至112年版）」，管制策略以打造無煤城市、智能管理及守護健康為主軸，20項污染防制措施，全面管制各項污染物排放，除延續既有管制工作外，另重新修訂空氣品質目標及新增管制項目。空氣品質目標部分，環境部管制方案之空氣品質改善目標為於民國109年全國 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度達到 $18\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ，民國112年全國 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度達到 $15\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 之目標。

依據空氣品質監測資料顯示，國內空品濃度較高地區以中部空品區、雲嘉南及高屏空品區，北部空品區品質較佳，新北市 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度於民國108年即已低於 $15\text{ }\mu\text{g/m}^3$ （24小時值也

已相當接近 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$)；為使第二階段有一更明確努力目標，新北市政府爰訂定民國 112 年空氣品質目標值為 $\text{PM}_{2.5}$ 年均濃度 $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，24 小時值為 $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，優於全國平均濃度之空氣品質目標。

四、減量成效與經濟效益評估結果

(一) 空氣污染減量估算

為改善 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度以達到空氣品質目標，民國 107 年初新北市府宣示以兩年內減少一座燃煤電廠為目標，提出 3 面向 7 作法。在固定污染源面向採取「停發生煤許可」、「燃煤鍋爐全數退場」兩作法，針對所有小型工廠都不再核發新設生煤使用許可，補助燃煤鍋爐全數退場改為較低污染的能源型態；在移動污染源面向，則透過「高污染車輛汰換」、「推動電動公車」及「電動車停充優惠」三作法，加強推動二行程機車及一、二期老舊柴油車等高污染車輛汰換，在交通稠密區優先推動電動公車，公有停車場提供電動車停車或充電優惠措施；在逸散污染源面向，則「禁用高污染施工機具」及「住宅餐飲油煙嚴管」兩作法，於環評審查中要求營建工程禁用 2003 年以前出廠之老舊高污染施工機具或加裝濾煙器，優先推動住宅區燒烤店裝設油煙防制設備。

並依據 3 面向 7 作法進而訂定 40 項行動方案，納入 7 作法及延續民國 106 年管制作法，自民國 107 年 1 月開始貫徹執行各項行動方案，兩年總計削減 $\text{PM}_{2.5}$ 共 742 公噸、 SO_x 共 56 公噸、 NO_x 共 452 公噸， SO_x 則是增加 237.6 公噸減量偏少之主要原因是台電林口電廠三部新設燃煤機組加入營運所致，點源、線源及面源各業別減量整理如表 5 至表 7 所示。

表 5 新北市民國 107-108 年點源排放削減量

點源類型	$\text{PM}_{2.5}$ (公噸/年)	SO_x (公噸/年)	NO_x (公噸/年)
1. 電力及燃氣供應業	24.2	-454	229
2. 化學材料製造業	-4.9	48.7	70.2
3. 化學製品製造業	0.2	-12.0	2.2
4. 塑膠製品製造業	0.5	4.6	4.5
5. 橡膠製品製造業	0.1	1.1	0.7
6. 砂、石採取及其他礦業	13.2	0.0	0.0
7. 非金屬礦物製品製造業	300	-17.1	-28.6
8. 金屬製品製造業	-25.7	-13.3	-21.2
9. 電子零組件製造業	5.4	2.7	-4.1
10. 機械設備製造業	1.1	21.2	17.1
11. 運輸工具製造業	-0.5	1.4	16.7
12. 木竹業	1.0	0.0	0.0
13. 紙漿及紙製品製造業	-6.7	10.0	10.1
14. 紡織業	14.7	88.4	74.9
15. 食品業	4.6	37.0	13.6
16. 倉儲業	0.0	0.0	0.0
17. 印刷業	0.6	2.1	-8.8
18. 瀝青業	17.3	56.1	-15.7
19. 其他製造業	0.0	0.0	-0.1
20. 其他工業表面塗裝	0.0	0.0	0.0
21. 其他溶劑使用	0.0	0.0	0.0
22. 一般廢棄物焚化爐	0.9	-14.7	91.5
總計	346	-238	452

表 6 新北市民國 107-108 年線源排放削減量

線源類型		PM _{2.5} (公噸 /年)	SO _x (公噸 /年)	NO _x (公噸 /年)
汽油車	自用小客車	-22.8	-1.3	-1,768
	營業小客車	-0.7	0.0	-63.9
	汽油小貨車	-54.6	-1.0	-561
柴油車	柴油小客車	-1.2	-0.1	-16.0
	柴油小貨車	25.9	-0.1	124
	公車 / 客運車	-30.2	-0.5	-879
	其他大客車	28.9	0.1	366
機車	大貨車	155	-0.5	1,537
	二行程機車	-28.7	-0.1	-21.3
	四行程機車	-2.4	0.3	-451
清潔車輛	油氣雙燃料車	-0.4	0.0	-3.3
非公路 運輸	農業 / 施工機具	-2.9	0.0	-45.5
	火車	12.0	150	107
	船舶—港區內	78.2	147	-1,676
總計		157	294	-3,349

表 7 新北市民國 107-108 年面源排放削減量

面源類型		PM _{2.5} (公噸/年)
(一) 商業	1. 一般消費	--
	2. 汽車保養	--
	3. 加油站	--
	4. 乾洗業	--
	5. 餐飲業	24
	6. 旅館業	-0.7
	7. 建築 / 施工	81.1
	8. 道路瀝青鋪設	--
	9. 建築塗料	--
	10. 車輛行駛揚塵 (鋪)	136
	11. 車輛行駛揚塵 (未鋪)	--
	12. 礦場	0.0
	13. 農業操作	-0.4
	14. 裸露地表	0.0
(二) 住宅		1.4
(三) 廢棄物焚化爐		-0.9
(四) 露天燃燒		-0.2
(五) 垃圾場逸散		--
總計		240

(二) 減量經濟效益評估

依據表 2 至表 4 所估算出之 BPT，配合表 5-表 7 各類型排放源減量結果，估算出新北市第一階段民國 107 至 108 年之推估空氣污染物削減量，估算出減量效益如圖 2 所示。整體而言民國 107 至 108 年因空污管制措施之執行，可帶來共約 372 億元之減量效益。其中點源貢獻 236.6 億、線源 0.72 億、以及面源 135.3 億。由結果觀之，點源及面源的減量成效最為顯著，對應的效益也甚具規模。反之，線源管制上，雖然 PM_{2.5} 存在顯著減量，但同一期間 NO_x 之增排亦相當顯著，反而降低了線源減量效益之整體表現，此亦為後續可加強之管理方向，而新北市政府投入經費為 4.9 億元，其產出效果遠高於投入經費，成效相當良好。



圖 2 新北市空氣品質改善策略潛在減量效益
(第一階段：民國 107 至 108 年)

五、結論、檢討與建議

新北市政府對空氣品質改善維護規劃有系統且完整性策略，執行過程統籌府內各單位共同推動相關減量管制工作，從前述空氣品質分析資料顯示，近年來各項空氣品質均持續改善，而以 PM_{2.5} 改善成效尤為顯著，在完成第一階段目標後（符合環境品質標準 15 μg/m³），接續執行

民國 109 至 112 年第二階段改善計畫，統計民國 111 年 $PM_{2.5}$ 濃度已降低至 $10 \mu g/m^3$ 以下，新北市 $PM_{2.5}$ 空品濃度已可與國際最嚴格標準接軌。

在評估空氣污染改善成效方法上，本研究嘗試結合環境經濟學之概念將空氣品質改善成效予以貨幣化，期以較為民眾所認知方法表達其效益。然 BPT 評估方法仍有許多改進之處及未來應用於其他污染物之擴充必要性，例如：本計畫利用模式模擬所得到 $PM_{2.5}$ 之參數部分，現階段只能估算 SO_x 、 NO_x 此二個前驅物衍生轉化為 $PM_{2.5}$ 所造成的影響結果，尚無法直接衡量 SO_x 、 NO_x 減排所帶來的直接效益。另一方面，對臭氧 (O_3)、揮發性有機物 (VOCs) 或有害重金屬類，尚缺乏本土化數據以計算對應的 BPT，因此後續研究尚有精進空間，但戴奧辛部分目前已有初步本土化係數⁶，詳參考文獻 6。

茲針對本研究，提出如下結論與建議：

(一) 新北市空氣品質持續改善，民國 108 年 $PM_{2.5}$ 濃度已降至 $15 \mu g/m^3$ 之下，達到我國空氣品質標準值；接續第二階段空氣品質改善目標設定將依據空氣污染防制計畫書落實執行，民國 111 年 $PM_{2.5}$ 濃度已降低至 $10 \mu g/m^3$ 以下，已提前達成空氣污染防制計畫書之設定目標，期望未來朝向達成全世界最嚴格空氣品質之改善目標。

(二) 本研究係首次針對新北市所執行空氣污染排放改善策略，從過往僅估算污染源排放減量或空氣品質改善效果，進一步以環境經濟學、貨幣化概念來探討其成效；評估結果顯示，對空氣污染管制策略所獲得之經濟效益遠高於投入經費，顯示實施策略具相當經濟效益。

(三) 繼 $PM_{2.5}$ 改善獲得良好成效後， $O_{3,8hr}$ 是下一階段努力重點，亦是全國空氣品質改善主要目標，由 $O_{3,8hr}$ 模擬結果顯示除減少 NO_x 排放量，更需要持續減少 VOC 的排放， $O_{3,8hr}$ 始能明顯改善，故建議後續以 VOC 及 NO_x 排放量較大

之表面塗裝業、塑膠製品製造業、移動污染源等為管制重點。

(四) IPA 需結合環境工程、公共衛生及經濟等領域共同合作方能精確評估結果，目前許多本土化技術參數仍有所不足（比如空氣污染對人體影響流病研究參數），後續若能配合國內參數之更新，則評估得到的空污管制策略之成本效益 (CBA) 也將更為精確，其結果將可供決策者作為研訂策略參考基礎，伴隨相關資訊經常性變動，建議使用之本土化係數也應隨時調整、更新。

參考文獻

- 新北市政府環境保護局 (2020)，109 新北市空氣品質維護改善規劃整合管制計畫 期末報告 (定稿)，中華民國 109 年 12 月
- 新北市政府環境保護局 (2019)，108 新北市空氣品質維護改善規劃整合管制計畫 期末報告 (定稿)，中華民國 108 年 12 月
- 劉哲良 (2019)，「臺灣 $PM_{2.5}$ 減量的健康效益評估—均化單位效益指標之建構及應用」
- 新北市政府 (2020)，新北市空氣污染防制計畫 (109 至 112 年版)
- 新北市政府 (2021)，新北市政府執行空氣品質維護及改善工作績效展現成果簡報，中華民國 110 年 1 月 5 日
- 劉哲良、吳珮瑛、羅鈞、陳怡伶 (2020)，臺灣戴奧辛減量的健康效益評估：單位均化效益指標之應用，發表於 2020 台灣環境與資源經濟學會年會暨綠色復甦與氣候韌性學術研討會，中華民國 109 年 12 月 12 日

我國海域監測制度之演進 與最新現況

劉書雁* 林宜璇** 朱敬平***

摘要

海域環境為海域生態健全的重要依據，臺灣四面環海，海域棲息地具高度多樣性，洄游性生物眾多，為一良好的海洋生物棲息場所及漁場。隨高度經濟發展，各類人為活動產生之污染物質進入海洋環境中，進而影響海域環境品質。本文研析臺灣二十年海域監測架構及監測技術發展，以及海洋委員會海洋保育署針對監測實務執行所投入之資源與精進方向，持續整合各項海域監測技術及發展檢測方法或技術，期能從大量數據中掌握國內海域環境狀況及變化趨勢，作為海洋污染防治及海洋環境管理策略之重要參考依據。

關鍵字：海域監測、海域監測技術指引、新興污染物

一、海域監測制度之法律依據

我國於2000年頒布「海洋污染防治法」（下稱海污法），目的為防治海洋污染，保護海洋環境生態，確保國民健康及海洋資源永續利用。其中第八、九條規定為海域環境分類、品質標準及監測等事項之立法依據。

海污法第八條第一項規定，中央主管機關應視海域狀況，訂定海域環境分類及海洋環境品質標準（下稱品質標準），第二項則規定中央主管機關得依海域環境分類、海洋環境品質標準及海域環境特質，劃定海洋管制區，訂定海洋環境管

制標準。品質標準之海域環境分類依適用性質將臺灣地區沿海海域分為甲、乙、丙三類，分別訂定甲、乙、丙類海域水質項目及標準值。此外，基於保護人體健康，訂定適用於甲、乙、丙類海域的水質項目及標準值，包括重金屬、揮發性有機物及農藥等項目。

海污法第九條第一項規定，主管機關應依海域環境分類，就其所轄海域設置海域環境監測站或設施，定期公布監測結果，並採取適當防治措施。依此規定，爰訂定「海域環境監測及監測站設置辦法」（下稱監測辦法），其規定監測站應設置於主、次要河川入海口、重要污染流入點、

* 中興工程顧問社環境工程研究中心助理研究員

** 中興工程顧問社環境工程研究中心副研究員

*** 中興工程顧問社環境工程研究中心副主任

港灣、潟湖、海污法第十五條第一項所訂區域、一般海域水質背景點及其他中央主管機關指定位置。海域環境監測項目則依污染源類別或海域特性，監測海域水文（流速、流向、水溫、波高、波向及波浪週期）、海域水質（鹽度、pH、溶氧量、懸浮固體、水中光強度、葉綠素 a、大腸桿菌群、重金屬及營養鹽）以及海域生物（浮游生物和底棲生物）。

二、海域監測制度之發展

隨著保育海洋生態意識提高，各界對於海洋環境品質更加重視。海洋監測有助於評估各區域海洋特性，以此研擬合適之管理手段。行政院環境保護署監測及資訊處依據監測辦法及品質標準之規範，於 2002 年起統籌辦理全國環境水體水質監測業務，在臺灣本島及離島地區進行海域水質例行監測。

依據 2015 年 7 月 1 日公告之海洋委員會組織法規定（2018 年 4 月 28 日施行），行政院為統合海洋相關政策規劃、協調及推動，並辦理海域與海岸巡防及海洋保育、研究業務，特設立「海洋委員會」（下稱海委會），因此有關海洋污染防治之業務移由海委會主政，所屬機關包括海巡署、海洋保育署（下稱海保署）及國家海洋研究院。海域水質監測自 2019 年起改由海保署執行，除辦理全國海域 105 處水質監測外，另定期監測臨海掩埋場、海灘及離岸風場海洋風電區，同時擴大補助地方政府監測海域水質約 200 處測點。

近年海保署持續監測海域水質，以瞭解海域水體物化特性及污染物流布。而國內外研究顯示海域環境中持久性及高生物累積性之污染物對水溶解度低，易吸附於小顆粒，被生物攝入或沉積於底泥，進而造成生物體蓄積風險。惟針對港口底泥部分，臺灣過去僅少數港口（如花蓮和平工

業港等）因應環評要求，曾啟動大型監測計畫調查港區底泥，整體而言底泥監測資訊仍較不足。考量國際上已有美國、紐西蘭、馬爾他等國針對港口底泥進行例行監測，因此海保署依國際管理趨勢，於 2023 年修正海洋污染防治法，新增規範港口底泥納入海域監測標的，並於 2023 年起調查國內港口底泥，以瞭解海域底泥污染狀況。

另彙整美國及日本之海域監測制度架構及行政體系，說明如下：

（一）美國

美國海洋事務由聯邦政府和州政府分權管理，美國國家環境保護署負責制定國家標準，由各州負責海洋環境監測任務，如美國加利福尼亞州洛杉磯郡政府為保護海域生態環境，定期於帕洛斯維德斯半島進行沿岸水質監測，每季於 48 處特定測站執行監測。根據美國「水下土地法（Submerged Land Act）」海岸 3 哩外由聯邦政府制定法規進行管理並由聯邦行政機構執行，3 哩內則由各沿海州政府制定管理規劃。美國另於 1970 年成立美國國家海洋暨大氣總署，其隸屬於商務部，主要關注大氣和海洋變化，並負責執行國家海洋政策，管理對海洋和沿海資源的利用及保護。此外，2018 年美國成立「海洋政策委員會」負責協調聯邦政府的海洋科學、技術和管理政策，並與各涉海管理機構間溝通和協調，以提高聯邦政府在海洋研究投資的有效性。

（二）日本

日本於 2007 年訂定「海洋基本法」等一系列與海洋有關的法規，海洋基本法內容涵蓋綜合性海洋政策之推展、內閣設置綜合海洋政策本部、促進海洋開發、利用與保護等，為海洋環境監測管理工作提供法律依據。海洋基本法規定建立由全體內閣成員組成「綜合海洋政策本部」，負責

制定與海洋相關的整體規劃及各項政策，全面加強海洋綜合管理，其中海洋環境監測管理為海洋綜合管理工作之重要部分，日本海洋環境監測管理部門包括氣象廳、海上保安廳和環境省，各部門職能分工如下。

1. 氣象廳：負責大氣和海洋環境觀測以及海洋環境專題調查。
2. 海上保安廳：負責海洋污染調查。透過海域巡邏，即時掌握油污、廢棄物、有害液體物質及赤潮引起的海洋污染，並採取解決措施，防止海洋污染、保護海洋環境。
3. 環境省：負責公共水域水質和海洋環境監測調查。

綜上所述，美國與日本的海洋環境監測管理推展重點包括健全海洋環境監測管理法規制度、加強海洋環境監測管理協調和合作機制，可作為我國強化海域環境監測制度架構之參考。

三、海域監測作業架構

臺灣海域水質監測架構可分為三層次，依據監測目的分為基礎型、利用型及保護型（圖1）。第一層基礎型是針對全部海域範圍進行廣泛的監測，以瞭解臺灣海域基本水質狀況，如現行105處中央測點海域水質例行監測，相關監測成果均公開展示於海保署官網及海洋保育網（iOcean.oca.gov.tw），並針對pH值、溶氧量、重金屬鎘、鉛、汞、銅、鋅等7項品質標準項目計算海域水質達成率，作為海域水質評估指標。統計2023年例行監測結果，顯示105處中央測點海域水質監測pH、溶氧量、銅、鎘、鉛、鋅、汞等項目達成率為100%。

除了基本水質概況監測，考量人為活動造成之污染可能進入海洋水體，針對個案開發行為、保護區或可能造成海洋污染船隻等標的，評估監測點位及監測項目，進行第二層利用型監測。如

海保署2022年針對具規模排放廢（污）水至海域的排放源，盤點燃煤火力發電廠海水FGD排水、大型海洋放流管、大型海岸放流口及2020年度平均河川污染指數（RPI）5以上之河川入海口等4類大型污染源，增加監測20處陸域大型點污染源之鄰近海域。結果顯示增測20處的海域水體標準達成率為100%，顯示臺灣沿岸海域水質尚屬穩定。

第三層保護型屬於調查監測，針對特定海域生態或遠洋海域測點，研析水質狀態。行政院國家科學委員會在2000年至2017年間推動四期「東海長期觀測與研究」，利用海洋研究船，針對東海水文、化學及生態因子進行觀測，以瞭解人為擾動（長江三峽大壩工程、河川污染）、全球暖化、海洋酸化及極端氣候對海洋系統的影響。國立海洋生物博物館也曾在墾丁國家公園南灣海域進行海域水質因子對珊瑚群聚組成關係之研究，以海域水質連續監測系統量測溫度、鹽度、導電度、溶氧、pH及濁度，研究結果顯示南灣海水溫度及溶氧會隨潮汐週期變化，如大潮期間冷水上湧侵入南灣淺水區，溫度陡降會引起珊瑚魚類大量死亡。



圖1 海域監測架構

四、海域監測相關採樣檢測執行方式

現行例行性海域監測作業多採用環境部國家環境研究院（下稱國環院）公告檢測方法（通稱為 NIEA 方法），然海域水質檢測隨監測目的不同，對檢測方法之精確度與採樣方式之需求亦有所差異。例如在觀測一般事業廢水、生活污水、地表逕流所造成之近海污染時，觀測 pH 至小數點一位，已可滿足。惟若需調查全球氣候變遷在十年以上的時間尺度所產生的海水緩慢酸化，則需以更精密的設備，量測 pH 至小數點以下兩位。有鑒於此，海保署研擬並頒布具行政指導性質之海域監測作業特用技術指引，完備海域檢測制度。2022 年海保署公布「海域環境水質採樣及檢測技術指引」和「港口環境底泥採樣及檢測技術指引」，供各界可依據監測目的，選擇合適的方法，得到精確的監測成果。

（一）海域環境水質採樣及檢測技術指引

海域環境水質採樣及檢測技術指引主要內容涵蓋三部分，海域水質採樣規範、檢測方法選擇評估，及九大類檢測項目之準用分析方法，簡要說明如下：

1. 海域水質採樣相關規範基本參照「行政院環境保護署環境水質監測採樣作業指引」，並參考國內近年作業實務調整之。
2. 檢測方法使用評估原則為使用者可依據監測計畫目的或需求，初步選擇可能的公告檢測方法，並確認選擇的方法是否適用海水基質，以及檢測單位是否具有提供檢測服務。
3. 檢測項目包含物理、一般、營養鹽類項、金屬及其他毒性無機物質、揮發性有機物、農藥及微生物等 9 大項。每個監測項目會提供該項目臺灣海域常見測值範圍及準用分析方法，供使用者比對監測值是否與常態測值有

所差異，以及分析方法使用條件、分析原理、報告位數表示及商業檢業許可。

（二）港口環境底泥採樣及檢測技術指引

港口環境底泥採樣及檢測技術指引主要內容涵蓋二部分，港口監測點選擇、採樣規範及四大類檢測項目之準用分析方法，簡要說明如下：

1. 海域底泥採樣規範參照「環境部國家環境研究院，底泥採樣方法（NIEA S104）」，並參與國內近年作業實務調整之。
2. 監測分析項目及方法則參考「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」概分為重金屬類項、揮發性 / 半揮發性有機化合物類項、其他有機化合物類項（包含塑化劑、多氯聯苯、戴奧辛）和有機氯農藥類等 4 大項。每個檢測項目分析方法內容包含前處理、淨化方法、準用檢測方法及港口常見測值，若國內無監測數據，則以國內外研究調查資料呈現。

（三）海域監測採樣方式

目前海域監測主要採用人工採樣，考慮人工採樣需搭船出海，會受氣候、海象限制，較適用於季節間變化較小，濃度甚低需要精密分析之項目。反之針對部分可能變化頻繁之數據，有必要獲得更為即時且不分日夜之監測資料，以補強特定情境下之海域水質變化，因此許多新興監測技術及設備蓬勃發展，如水質即時連續監測系統、衛星遙測技術等。

承上，針對部分變化較為明顯，或可能存在日夜波動週期之項目，得採連續監測方式，國內海水水質即時連續監測系統多以固定式站體為主，部分則採浮標式，而監測系統基本構件主要包含（1）多功能環境自動連續監測設備、無線網路傳輸發送設備、太陽能電力系統、浮標錨碇系統（浮標式）；（2）監測資料庫系統、軟體、無

線網路接收設備；分析項目主要包含氣溫、水溫、導電度、鹽度、溶氧、pH 值等，而高階規格則可增加濁度、透明度、葉綠素 a 等光學分析測項。現行海水水質即時連續監測系統多用以監測養殖區、漁港水質等，海保署 2022 年補助嘉義縣政府於東石網寮漁港西岸堤防設置首座自動水質監測站，以即時掌握外傘頂洲西側一帶中華白海豚重要棲息環境之海水水質狀況，達保育目的。該水質即時監測系統包含採樣單元、檢測單元、資料處理單元及通訊傳輸控制單元，搭配機電配線及安全防護設備等周邊配備於穩固之基座上建構而成；監測項目則包括溫度、鹽度、pH、溶氧、導電度、化學需氧量、懸浮固體、礦物性油脂、氨氮、銅離子及流量等。若監測結果發現異常，水樣將自動採樣保存，以利後續送樣至實驗室進行深入分析，找出水質異常原因。

五、海域新興污染物調查

近年來環境中新興污染物愈受關注，相關調查顯示防曬成分、環境荷爾蒙、藥物等新興污染物均存在於河川水體。海洋為陸域水體的最終受體，來自河川、沿岸工業生產（發電廠、石化廠等）、海灘休憩活動、船舶塗裝等所排放化學物質，與海水接觸機率高，新興污染物於環境介質中濃度雖然較低（濃度範圍多介於 $\mu\text{g/L} \sim \text{ng/L}$ 數量級），但研究發現部分新興污染物長期累積於環境中可能影響生物生態，因此有必要調查海水新興污染物濃度現況。考量新興污染物種類繁多，檢測方法有待驗證，單價亦較例行監測項目昂貴。為使監測資源妥善利用，海保署已建立關注污染物篩選機制。以下說明物種篩選機制之流程：

（一）建立關注污染物監測項目候選標的

1. 臺灣沿海大型事業（如石化業、發電廠等）

或海洋放流管、海岸放流可能排放之污染物：如多環芳香烴化合物（PAHs）、氯乙烯、甲基汞等。

2. 國際公約管制污染物：如氯化萘、六氯丁二烯、全氟辛酸（PFOA）、全氟辛烷磺酸（PFOS）、全氟己烷磺酸（PFHxS）等持久性有機污染物（POPs），以及船舶塗裝禁用成分如有機錫、環丁烴等。
3. 國際關注污染物：如藥物和個人保健用品（PPCPs），以及嘉磷塞、塑化劑、壬基酚等環境荷爾蒙。

（二）與其他環境介質數據比對：

篩選陸域水體、地下水、底泥檢測濃度較高，或檢出頻率較高的物種，進一步檢討其餘國內使用狀況，再選出標的物種。

（三）以毒性影響及地理因素進行篩選：

針對陸域水體檢出濃度或頻率較高之候選標的，進一步以其人體致癌性、對水生生物之生物急毒性、慢毒性、生殖／發育毒性、基因毒性與生物放大作用等為基準，篩選影響較顯著者，並評估其地理因素，優先列為待監測之關注污染物。

海保署依據上述關注污染物篩選機制，據以選出有機錫、防曬成分、全氟化合物等新興污染物，進行國內海域流布調查。2020 年至 2022 年間，海保署於新竹、彰化與嘉義沿海 7 處海域進行海水有機錫調查，調查項目包含 4 項丁基錫化合物及 4 項苯基錫化合物，丁基錫化合物包含單丁基錫（MBT）、二丁基錫（DBT）、三丁基錫（TBT）及四丁基錫（TeBT），而苯基錫化合物包含單苯基錫（MPhT）、二苯基錫（DPhT）、三苯基錫（TPhT）及四苯基錫（TePhT）。2022 年調查顯示 7 處海域丁基錫化合物檢出濃度範圍

介於 2 ± 1 ng/L ~ 92 ± 23 ng/L；至於苯基錫化合物，7 個點位均未檢出 MPhT、TPhT 及 TePhT，僅檢出 DPhT，最大檢出濃度為 3 ± 1 ng/L；結果與國內先前調查的濃度等級雖相符，惟各物種間

之趨勢或有差異，且鄰近港口處之水質多有檢出丁基錫化合物，顯示相關物質之存在與船舶活動仍可能相關，可能存在於船漆中；因其生物毒性較明顯，有必要持續關注與調查。

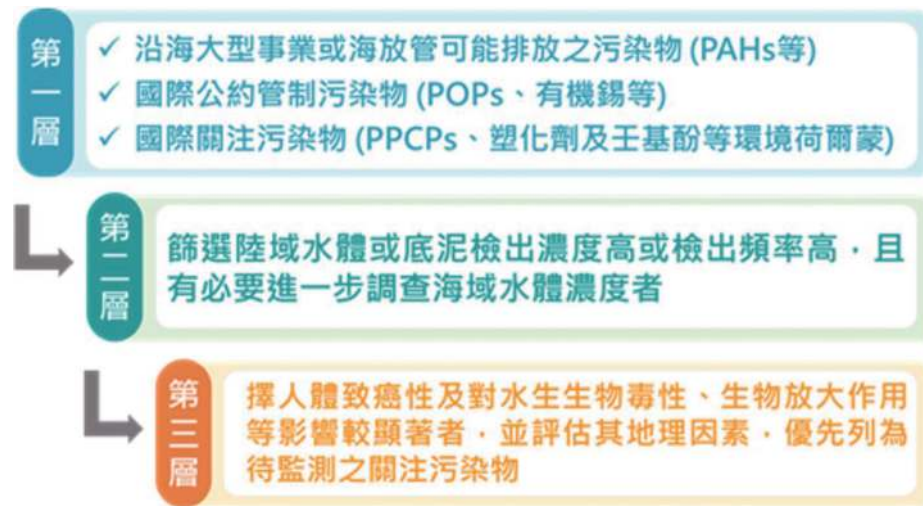


圖 2 關注污染物篩選機制

另海保署 2021 年至 2022 年間，於國內 6 處海灘進行二苯甲酮 (BP)、二苯甲酮 -3 (BP-3) (或稱羥苯甲酮) 及甲氧基肉桂酸辛酯等 3 項化學防曬成分調查。結果顯示 BP 檢出頻率為 33%，檢出濃度為 23.9 ng/L ~ 68.1 ng/L；甲氧基肉桂酸辛酯檢出頻率則為 17%，檢出濃度為 8.45 ng/L、193 ng/L，BP-3 則均未檢出 (表 1)。前述 BP 及甲氧基肉桂酸辛酯檢出濃度均低於目前研究已知對生物具有危害的濃度，研究顯示 BP-3 對 7 種珊瑚的鈣質細胞之 LC 50 為 $8 \mu\text{g/L}$ ~ $340 \mu\text{g/L}$ ；對萼形柱珊瑚幼體之 LC 50 分別為 $139 \mu\text{g/L}$ (模擬正常 24 小時晝夜迴圈) 及 $779 \mu\text{g/L}$ (無光照 24 小時)。初步評估啟動管制需求不高，惟可透過宣導，引導消費者使用海洋友善產品，減少相關物質流入海洋。

此外，海保署針對 12 處陸域大型污染源排放承受水體出海口或鄰近海域進行海水全氟化合

物調查，調查項目包含全氟辛烷磺酸 (PFOS)、全氟辛酸 (PFOA)、全氟己烷磺酸 (PFHxS)、全氟丁烷磺酸 (PFBS)、全氟丁酸 (PFBA)、全氟戊酸 (PFPeA)、全氟己酸 (PFHxA)、全氟庚酸 (PFHpA) 等 8 項全氟化合物。結果顯示以 PFBA 檢出頻率最高 (42%)；檢出頻率次高則為 PFBS (33%)，其餘 6 項全氟化合物檢出頻率均為 17%；而所有水樣以 PFBA 最大檢出濃度 $0.00263 \mu\text{g/L}$ 最高 (表 2)。短鏈全氟化合物如屬碳四 (C4) 之 PFBA 及 PFBS 檢出頻率較其餘全氟化合物高，且檢出濃度與長鏈全氟化合物如屬碳八 (C8) 之 PFOS 及 PFOA 相當，此調查結果與國內相關產業製程逐步以短鏈全氟化合物取代長鏈全氟化合物之趨勢一致；因全氟化合物受到國際間高度重視，未來需持續關注相關物質於國內之管制方向。

綜上所述，海保署除調查海水新興污染物現況，亦同步開發或驗證其檢測方法，待驗證後納入相關檢測技術指引，供國內檢測機構參考使用，以提升海域監測數據品質。

表 1 2022 年六處海域遊憩景點之海水防曬成分調查結果

檢測項目	二苯甲酮		羥苯甲酮		甲氧基肉桂酸辛酯	
檢測月份	9 月	10 月	9 月	10 月	9 月	10 月
方法偵測極限 (MDL) (ng/L)	26.1	9.69	17.4	4.39	29.4	5.97
宜蘭縣外澳海水浴場	ND	23.9	ND	ND	ND	ND
新北市福隆海水浴場	ND	57.1	ND	ND	ND	ND
新北市新金山海水浴場	ND	68.1	ND	ND	ND	ND
高雄市旗津海水浴場	ND	53.5	ND	ND	ND	8.45
屏東縣南灣濱海遊憩區 (墾丁跳石)	ND	ND	ND	ND	193	ND
澎湖縣觀音亭海灘	ND	ND	ND	ND	ND	ND

註：單位為 ng/L。

資料來源：海洋委員會海洋保育署 (2022) 111 年度海域環境監測制度與水質分析方法驗證研究計畫。

表 2 2022 年臺灣周邊海水全氟化合物調查結果

採樣測站	全氟辛烷磺酸 (PFOS)	全氟辛酸 (PFOA)	全氟己烷磺酸 (PFHxS)	全氟丁烷磺酸 (PFBS)	全氟丁酸 (PFBA)	全氟戊酸 (PFPeA)	全氟己酸 (PFHxA)	全氟庚酸 (PFHpA)
方法偵測極限 (MDL) (μg/L)	0.00070	0.00065	0.00066	0.00056	0.00073	0.00055	0.00054	0.00033
後龍溪口	ND	ND	ND	0.00059	0.00089	ND	ND	ND
花蓮溪河口	0.00173	0.00077	0.00149	ND	0.00093	0.00077	0.00083	0.00054
朴子溪口外海 4 哩	0.00096	0.00139	0.00107	0.00170	0.00263	0.00137	0.00132	0.00147
將軍北門外海	ND	ND	ND	0.00065	0.00201	ND	ND	ND
客雅溪河口外 4 哩處	ND	ND	ND	0.00063	0.00130	ND	ND	ND
鹽水溪口	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
二仁溪口	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
卑南溪河口	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
東港溪出海口	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
淡水河口外 4 哩處	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
新南崁溪口	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
大肚溪口	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

註：單位為 μg/L。

資料來源：海洋委員會海洋保育署 (2022) 111 年度海域環境監測制度與水質分析方法驗證研究計畫。

六、結 論

臺灣各類海洋事業發展快速，亟需完善的海域監測，以確保海域環境品質。策略上，本團隊

建議在現行監測架構下，整合不同監測技術應用方向及引進新檢測方法，藉以持續精進海域水質及底泥之監測，惟須考量連續水質監測系統常會因電力通信連接限制，無法滿足自動監測需求。

此外，可以規劃進行海域具水質代表性之浮游生物、底棲生物等生物生態監測作業，了解海域環境品質與海洋生態環境之關聯，以及深入了解調查海水新興污染物現況與流布。在技術面上，建議除了透過相關檢測技術指引，以行政指導方式供各檢測機構參考使用，亦可同步開發或驗證其檢測方法，精進海洋監測數據品質。未來可依據海域監測數據，研議發展本土化之海洋環境品質指標及探討其應用方向，作為公眾溝通之基礎，體現不同層面之海洋環境品質問題，藉以實現全方位海洋環境管理。

參考文獻

- Chung-Ru Ho (2013) . 從太空看海洋。Science Development, 487, 58-62.
- Downs, C. A., E. Kramarsky Winter, R. Segal, J. Fauth, S. Knust on, O. Bronstein, F. R. Cincer, R. Jeger, Y. Lichtenfeld, C. m. Woodley, P. Pennington, K. Cadenas, A. Kushmaro, and Y. Loya. (2016) . Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone 3) , on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 70, 265-288.
- Environment Protection Bureau, Chiayi County. (2022) . 嘉義縣 111 年建置海域水質環境監測站計畫
- Eriko Yamazaki, Sachi Taniyasu, Xinhong Wang, Nobuyoshi Yamashita. (2021) . Per- and polyfluoroalkyl substances in surface water, gas and particle in open ocean and coastal environment, Chemosphere, Volume 272.
- Gong, G.-C., F.-K. Shiah, K.-K. Liu, Y.-H. Wen and M.-H. Liang (2000) Spatial and temporal variation of chlorophyll a, primary productivity and chemical hydrography in the southern East China Sea. Continental Shelf Research, 20, 411-436.
- Gong, G.-C., J. Chang, K.-P. Chiang, T.-M. Hsiung, C.-C. Hung, S.-W. Duang, L. Codispodi (2006) Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam? Geophysical Research Letters, 33, L07610, doi:10.1029/2006GL025800.
- Gong, G.-C., K.-K. Liu, K.-P. Chiang, T.-M. Hsiung, J.-R. Chang, C.-C. Chen, C.-C. Hung, W.-C. Chou, C.-C. Chung, H.-Y. Chen, F.-K. Shiah, A.-Y. Tsai, C.-H. Hsieh, J.-C. Shiao, C.-M. Tseng, S. C. Hsu, H.-J. Lee, M.-A. Lee, I.-I. Lin, and F. Tsai (2011) Yangtze River Floods Enhance Coastal Ocean Phytoplankton Biomass and Potential Fish Production, Geophysical Research Letters, 38, L13603, doi:10.1029/2011GL047519.
- He T, Tsui MMP, Tan CJ, Ng KY, Guo FW, Wang LH, Chen TH, Fan TY, Lam PKS, Murphy MB. (2019) Comparative toxicities of four benzophenone ultraviolet filters to two life stages of two coral species. Science of The Total Environment, 15; 651.
- Kim, N. S., W J Shim, U H Yim, S H Hong, S Y Ha, G M Han, K H Shin. (2014) Assessment of TBT and organic booster biocide contaminant ion in seawater from coastal areas of South Korea, Marine Pollution Bulletin, 78, 201-208.
- Kung TA, Lee SH, Yang TC, Wang WH. (2018) Survey of selected personal care products in surface water of coral reefs in Kenting National Park, Taiwan. Science of The Total Environment. Volume 635:1302-1307.
- Liu, W.-L., Ko, Y.C., Hwang, B.H., Li, Z.G., Yang, T.C.C., Lee, M.R. (2012) . Determination of perfluorocarboxylic acids in water by ion-pair dispersive liquid-liquid microextraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry with injection port derivatization, Analytica Chimica Acta, 726, 28-34.
- Ocean Affairs Council (2023) (<https://www.oac.gov.tw/ch/home.jsp?id=19&parentpath=0,1>)
- Ocean Conservation Administration, Ocean Affairs Council (<https://www.oca.gov.tw/ch/index.jsp>)
- Ocean Conservation Administration, Ocean Affairs Council. (2022) . Evaluation of marine water monitoring system and verification of marine water analytic methods.
- Ocean Policy Committee (2023) (<https://www.noaa.gov/interagency-ocean-policy>)
- Tew, K. S., M. Y. Leu, J. T. Wang, C. M. Chang, C. C. Chen, and P. J. Meng,. (2014) A continuous, real time water quality monitoring system for the coral reef ecosystems of Nanwan Bay, Southern Taiwan, Marine Pollution Bulletin, 85, 641-647.
- The Ocean Conservation Website (iOcean) (https://iocean.oca.gov.tw/OCA_OceanConservation/PUBLIC/Marine_WaterQuality.aspx)
- Basic Act on Ocean Policy (2021) (https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/law/pdf/law_je.pdf)
- 華敏敏、李寶字，美國和日本海洋環境監測管理及其啟示，海洋開發與管理，2018 年第 4 期
- 海洋委員會，國際海洋資訊 - 美國海洋保護區和國家海洋保護區系統，雙月刊，2020 年 4 月

台電公司生態共融規劃與實踐

溫桓正 * 莊家春 ** 鄭亦卉 *** 林益正 *** 蘇美婷 ****

摘要

2019 年台電正式發布《台電環境白皮書》，回應聯合國永續發展目標（SDGs），揭露台電環境保護的六大策略面向，作為後續推動環境永續管理的基礎。2020 年運用 SWOT 分析初步篩選 15 處潛力電力設施場址，經專家學者以 AHP 方法評量轉換場址權重，再從中選出台灣風力、興達、大甲溪、卓蘭及萬大發電廠共 5 處場址，作為短程（2021 年）、中程（2025 年）、長程（2030 年）實踐生態共融的目標電廠。

生態共融執行架構，旨在發掘塑造電力設施場址的生態亮點，包括檢視場址對生態影響程度，透過經營管理生物多樣性，落實生態與設施融合，發展可實質改善或優化的策略方案，同時邀集相關地方社群凝聚共識，建立核心夥伴合作關係，透過影片拍攝紀錄場址的融合歷程，逐步展現潛力電力設施場址生態共融計畫的具體成果。未來，台電將以一廠一特色的展望，持續建構發展永續友善的生態電力場域。

關鍵字：生態共融、台電、環境保護、永續發展目標、電力設施場址

一、前言

1986 年台電創立環境保護處，30 餘年來持續依循國內外環保趨勢及規範，推動環境友善作為，隨著全球環境快速變化與對永續發展的追求，環保議題更複雜多元，2009 年台電成立永續發展委員會，系統性掌握規劃企業永續發展的藍圖，在經歷能源與企業轉型世代，發展全面前瞻的永續環境推動策略，將環境利益與管理納入經營課題中，2016 年，台電正式修訂企業使命，將「友善環境」納入台電最核心的經營使命。

為對接聯合國永續發展目標（UN SDGs）（圖

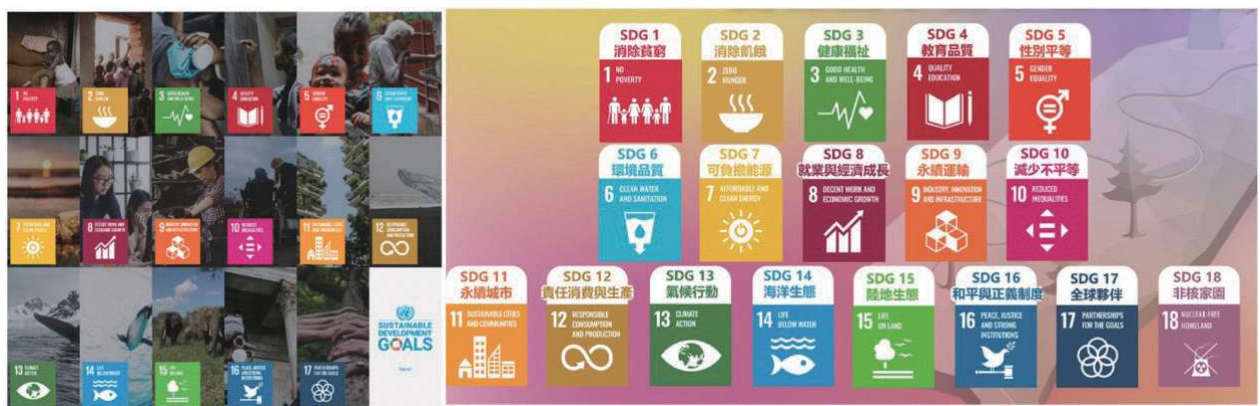
1），2019 年台電正式發布《台電環境白皮書》，以 2021、2025 及 2030 年為時間點，訂出永續策略與短中長期目標，「營造生態共融」為環境白皮書中六大環境策略面向之一（圖 2），藉由電力設施場域生態復育及環境維護策略發展，分期推動電力設施與生態融合計畫，回應 T-SDG15「保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化」目標項目。

台電為達成生態共融願景，以「規劃設施生態融合、管理生物多樣性」作為實踐策略，具體措施包含：評估電力開發對環境影響因子，減少生態衝擊，推動保育計畫及棲地經營管理，打造

* 台灣電力公司環境保護處處長
** 台灣電力公司環境保護處監測組組長
*** 中興工程顧問公司建築工程部工程美學中心規劃師
**** 中興工程顧問公司建築工程部工程美學中心主任

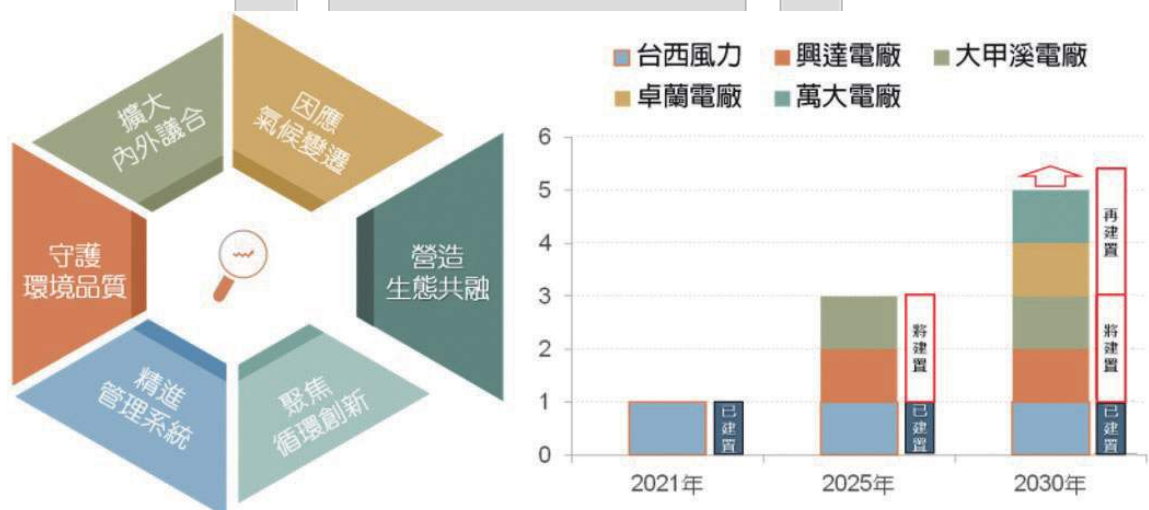
與環境共融的電力設施，使台電營運據點成為臺灣各地各具特色的生態融合場域。為能逐步推動落實，台電已於近年開展一系列短、中、長期計畫及目標，短期已達成的具體成果，包含台西風力蝙蝠保育（2021 年）以及興達電廠永安濕地生態營造（2023 年）；中期目標將再建置大甲溪電

廠等水力電廠生態融合計畫；長期目標再推展至各類型電力設施生態融合計畫（圖 2），任務目標同時透過台電各事業部主動檢視場域對於生態影響程度，發展具體行動方案，促進場域與生態融合，以一廠一特色的未來展望，建構永續生態電力場域。



參考資料：聯合國（2015）（圖左）；行政院國家永續發展委員會（2022）（圖右）

圖 1 聯合國永續發展目標（UN SDGs）及臺灣永續發展目標（T-SDGs）



參考資料：台電環境白皮書（2019）、台電永續報告書（2021）及本計畫整理繪製

圖 2 台電環境白皮書六大環境保護策略與營造生態共融面向之分期推動計畫場域

二、生態共融規劃原則

(一) 建立電力設施場域評選機制

台電以水火力發電、核能發電及輸供電三大核心事業部的發電處、再生能源處、核能發電處及輸配電供電處等 4 個主電力設施部門，遴選出已營造生態共融亮點、或未來將規劃建置生態融合設施具代表性場域，共計 15 處潛力場址。

國際著名生態經濟學家科斯坦薩 (Robert Costanza) 教授發展的真實發展指數 (Genuine Progress Indicator, GPI)，更現實考量易被忽略的自然與社會資本，計算經濟活動消耗的服務與產品價值，力倡主張生態系服務價值納入經濟發展計算，也是目前經濟學者、決策者及傳媒用於

評量國家經濟環境成本、健康福祉量標，故參考 GPI 層面架構，訂定生態共融評選指標層面為自然環境、社會人力與經濟三大項，次層面為三大層面下的細分評量方向，指標則是在符合聯合國永續發展目標 (SDGs) 下，同時依據專家諮詢討論建議與考量現場管理易懂的質化評估項目。

運用 SWOT 初步篩選分析近期可配合推動實踐生態共融之電力設施場址，經由場址現勘讓委員及專家學者瞭解場域具備的發展條件，以 AHP (Analytic Hierarchy Process, AHP) 方法評量 12 項指標項目，轉換權重評分選出 5 處最具潛力場址：台西風力、興達電廠、大甲溪電廠、卓蘭電廠與萬大電廠，作為執行生態共融計畫的目標電廠 (圖 3)。



參考資料：台電永續報告書 (2021) 及本計畫整理繪製

圖 3 最具潛力電力設施場址遴選機制流程圖

(二) 建立場域生態共融執行架構

營造生態共融計畫場域的核心架構：除研提電廠亮點塑造發展策略，發掘並努力營造融合亮點外，同時建立並持續經營夥伴關係，透過捕捉

紀實重要關鍵的生態融合過程，製作行銷台電綠色企業形象的成果影片 (圖 4)。

1. 營造生態共融亮點

進行場域資源盤點，導入「保護管理生物多

樣性」及「設施融合」觀念。以下分述說明：(1) 保護管理生物多樣性：盤點周邊生態資源投入相關保育計畫；(2) 設施融合：以「最小破壞、維持原地貌及原生物種」原則，並透過迴避、縮小、減輕、補償等方法，減小工程對生態的影響，進行電力設施場域棲地營造，強化既有保育功能，維持並提升當地環境的生物多樣性。台西風機運轉階段，將持續執行蝙蝠鳥類生態調查與風機運維工作，倘對蝙蝠產生影響，在不影響發電時間與容量下，進行風力機組系統裝設相關偵測調控設備，以有效減低對蝙蝠族群活動的干擾；興達電廠燃氣機組在土地規劃利用階段，留設，已劃出地方級濕地做保育利用不得開發，又為避免干擾候鳥棲息，再劃出緩衝區保護南側濕地生態，大幅縮減機組開發面積，在兼顧發電、滯洪與提供濕地鳥類及紅樹林等生物生存之生態功能外，工法上也多採取友善措施，以減小對原生物種棲息利用影響，盡力朝向生態與電力設施和諧共處，營造出屬於當地的生態融合電力設施。

2. 夥伴關係經營

邀集台電相關地方社群，凝聚共識，建立齊心一致共融目標。

3. 成果影片宣傳

由專業生態紀錄片導演紀實過程及成果，行銷台電綠色企業形象。



資料來源：本計畫整理繪製

圖 4 生態共融場域執行架構

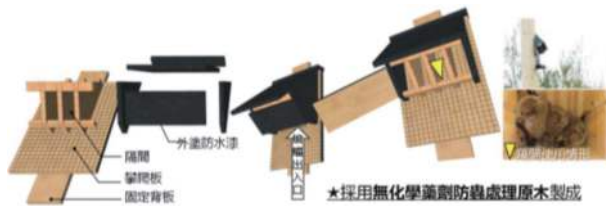
三、各場域生態共融實踐現況與目標

(一) 台西風力蝙蝠保育

配合政府 2025 年再生能源發電占比 20% 目標，確保能夠永續地利用能源並減少碳排放以減緩氣候變遷，台電積極開發臺灣西部沿海豐富之風能資源，規劃於雲林台西設置 4 部陸域風機，2016 年進行場址環境背景調查期間，發現大量蝙蝠種類（累計至少有 5 科 13 屬 17 種，以東亞家蝠為數最多、其次是高頭蝠、鼠耳蝠屬），東亞家蝠喜食昆蟲能降低農業蟲害，替人類除去病媒，對於生物多樣性及人類福祉有一定貢獻程度。2017 年 12 月「台西風力發電計畫」通過環評，台電為履行環評承諾，持續開發綠色能源兼顧生態保育，於風機場址附近防風林規劃設置蝙蝠巢箱，進行蝙蝠生態棲地補償，並在風機運轉前，引誘蝙蝠轉移到遠處棲息，降低對當地蝙蝠族群影響之實質友善環境作為，營運期間承諾將於風機裝設超音波偵測器、熱感應器，監控鳥類與蝙蝠活動，並據以停機降載。

1. 生態共融亮點

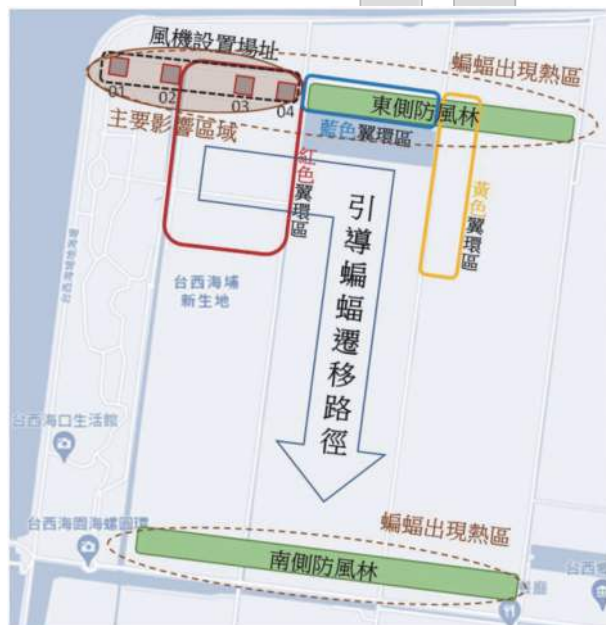
蝙蝠巢箱架設規劃與巢箱設計原則：台電邀請蝙蝠專家、林務局與生態顧問至風機場址會勘，商討巢箱架設地點，2020 年 6 月經林務局同意，於風機場址周邊產業道路沿線電桿及東側防風林區設置 100 個蝙蝠巢箱。考量場址在夏季活動高峰期調查到的種類以東亞家蝠為主，在防風林周邊漁塭飛行覓食，在巢箱選用上，向台灣唯一以蝙蝠為主題的黃金蝙蝠生態館討論請益合適型式，以內部具備較多狹小縫隙、有深溝狀的粗糙表面，讓其容易攀附利用，採無化學藥劑防蟲處理的原木材拼製，最大蝙蝠容納量可達數十隻，可向下掀開的觀察門板，能有效減低於屋內頂端陰暗處棲息蝙蝠的光線干擾的款式進行裝置（圖 5）。



資料來源：張恒嘉設計（2002年完成設計後，隔年提供蝙蝠利用），本計畫協助繪製

圖5 台西蝙蝠巢箱空間利用及功能示意

東亞家蝠族群日飛行最大距離約 600~700 公尺 (Chung et al., 2010 及 2011)，而計畫場址至南側防風林間為產業道路及魚塢，較無其他適合蝙蝠棲息空間，蝙蝠較難一日從計畫場址即風機設置預定地往返南側防風林 (圖 6)，台電參酌國外科學調查成果與蝙蝠專家顧問的評估建議，規劃於鄰近防風林及南北向產業道路沿線電桿區設置巢箱，連結南北防風林蝙蝠生態廊道，於風機運轉前，將棲息計畫場址附近的蝙蝠，引誘轉移至南側防風林，並觀察蝙蝠有無返回計畫場址狀況，確認南遷成效，以將衝擊影響降至最低。



資料來源：台西巡檢維護調查報告 (2022) 及本計畫整理繪製

圖6 巢箱分區分色標記翼環測試棲地忠誠度

2020 年 7 月台電委派專業調查團隊，開始進行每月 1 次的蝙蝠巢箱巡檢維護調查工作，包括檢視蝙蝠利用巢箱狀況（物種、數量及生殖情形）、針對巢箱損壞處做修復並加強穩固等維護工作、同時透過蝙蝠對該巢箱使用率、棲地忠誠度等因子，評估蝙蝠利用巢箱成效。至今，已累計上千隻次蝙蝠利用巢箱，後續透過巢箱蝙蝠分區分色標記翼環 (圖 6) 進一步探討蝙蝠棲地利用忠誠度，即標放蝙蝠皆利用原區域巢箱，表示棲地忠誠度高。經蝙蝠翼環標記初步成果顯示，蝙蝠均在同區域活動，尚未發現有跨區情形，且有重複利用同巢箱行為，未來，台電將持續進行巢箱巡檢維護紀錄，並於風機運轉前將場址附近蝙蝠遷移至遠處，降低蝙蝠受風機影響之風險。

2. 夥伴關係經營

台電自 2020 年陸續與專家及地方合作，締結夥伴關係，為讓民眾看見台電對環境生態保育的用心，選定通過環教設施場所認證的黃金蝙蝠生態館，展示台西風力計畫蝙蝠保育初步成果，後續針對台西蝙蝠巢箱巡檢工作與蝙蝠利用行為，也持續與台灣永續聯盟、台灣蝙蝠學會等地方生態保育學術組織請益交流。2023 年台電再生能源處配合民國 112 年台電環境月「生態。電。共生共好」主題系列講座串連，於 7 月 21 日在黃金蝙蝠生態館舉辦「台西蝙蝠巢箱生態共融計畫交流活動」，邀請雲林縣政府、林務局等政府機關、雲林鳥會、台灣永續聯盟、彰化環境保護聯盟、台灣蝙蝠學會、誠正國小等公益環保團體與學術組織，以及周邊民眾學童等多元參與者，交流分享「陸域風力設置與生態保護兼容策略」、「台西風力蝙蝠保育監測管理作為」、「認識蝙蝠物種與蝙蝠生態重要性」之專題內容，也在場次中安排 DIY 蝙蝠巢箱活動，透過親手釘製蝙蝠居所與有獎徵答加深民眾對蝙蝠保育與再生風電融合的知識與記憶，增加各界對於台西風機規劃設置

階段台電所做的相對應環境保護措施有更深入的理解與認識。

3. 「風的季節」成果影片宣傳：

拍攝台電在雲林台西陸域風機場址旁防風林與電桿上掛置蝙蝠巢箱進行生態棲地補償的實踐過程，展開巡檢維護工作持續觀察蝙蝠利用巢箱情形，同時循序落實將蝙蝠引導南遷的標放翼環計畫，確保風機動工前對蝙蝠族群影響降至最低等生態友善作為。

（二）興達電廠永安濕地生態營造

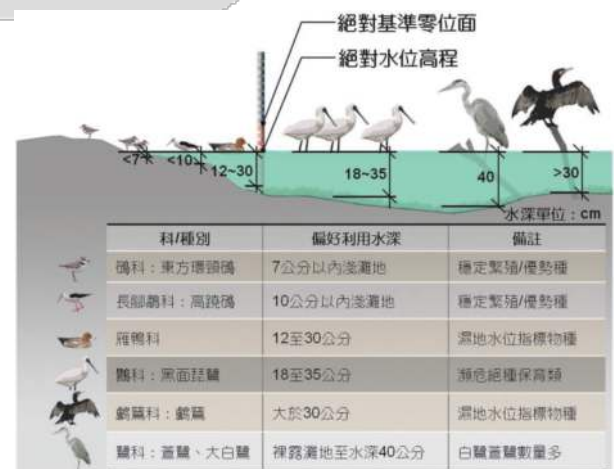
2016年5月宣布新電力政策，核三廠機組屆齡後不再延役，因應南部地區用電成長需求，以及朝「擴大使用天然氣，降低現有火力發電廠之污染與碳排放」等原則方向推動，興達電廠供電角色將擔當重任。台電公司規劃於永安鹽灘地設置燃氣機組，南側鄰接地方級重要濕地。為減輕環境衝擊、維護濕地現況及兼顧能源開發，台電縮減實質開發面積，並提供15公頃土地作為緩衝區，採低強度友善使用，其餘均維持濕地生態現況。

台電公司秉持生態保育信念，自2014年起展開系列自主研究，包括定期上傳濕地水質調查數據與鳥種資訊於濕地環境資料庫網站，提供長期追蹤監測。濕地水鳥提供多元的生態服務價值，對環境變化敏感，底棲生物也為濕地基礎生產力的重要一環，台電同仁除親力調查分析也整合相關數據，更彰顯台電保育生態環境的決心與能力，2019年9月「興達電廠燃氣機組更新改建計畫」通過環評，台電公司承諾將配合高雄市政府濕地保育利用計畫辦理更新改建工程（2020年1月動工）。2020年6月生態保育小組成立，9月永安重要濕地（地方級）保育利用計畫正式公告，台電公司配合實施包括濕地生態及環境資源調查、水質採樣檢測分析、水質改善與棲地維護以及永

安重要濕地環境教育推廣等多項重要計畫，持續友善維護棲地環境，讓電廠與濕地共榮共存。

1. 生態共融亮點

（1）永安濕地水位調控：2017年台電調查研究永安濕地水深與水鳥群集（Waterbirds Assemblage）的棲地經營管理，配合自然水位波動調查水鳥分布，從其棲息點位得到偏好水深，濕地原為瓦盤鹽田，有自然高低起伏地形，因地勢較周邊低且主要水源來自漁塭排水及雨水，形成天然滯洪池及底棲生物豐富之地，慢慢吸引過境候鳥及留鳥棲息覓食，台電持續在濕地生態上調查研究，分析永安濕地常見鳥類科種別，包括鴿科的東方環頸鴿、長腳鴿科的高蹺鴿、雁鴨科的小水鴨、琵嘴鴨、赤頸鴨、鸚鵡科的黑面琵鷺、鸕鷀科及鷺科等，進一步探討常見鳥種適合棲息利用的水深需求（圖7）。為維持整體生物多樣性，考量鳥類水位分析研究成果，並配合濕地原有變化起伏地形，以保育利用計畫中建議永安濕地水位控制以低於海平面約30公分為水位基礎（高雄市政府，2020），再降低5公分（以南側核心保育區2只水尺絕對水位作判別，當濕地水位高於海平面下30公分時，電廠濕地維護人員會



資料來源：永安重要濕地（地方級）保育利用計畫（2020）及洪健恆（2019）及本計畫整理繪製

圖7 水位調控機制與常見鳥種偏好水深利用

開啟環教區（一）的水閘門，讓南側濕地水自然溢流至北側，由北側抽水站控制濕地水位為海平面 -30~35 公分），讓鳥類多樣性與族群量均大幅提升（台電綜合研究所，2021）。

（2）銀合歡外來入侵種防除：永安濕地北側地勢較高處（高潮線以上），已形成銀合歡外來入侵種適合生長的環境，對濕地生態不利。為有效落實保育利用計畫中調節濕地水源維護濕地環境的「外來植物清除維護」經管工作，除定期巡檢維護外，台電公司在民國 111 年 8 月 24 日也舉辦銀合歡外來入侵種防除交流工作坊，工作坊辦理前，利用空拍機拍攝永安重要濕地保育利用計畫範圍，以高解析 GSD 判識銀合歡分布（植被調查可有效判識植物之 GSD 地面解析度需 $<10\text{ cm/pixel}$ ）（圖 8），建立防除示範前背景資料，供未來擴大監測比對之用。經由專家實際防控經驗分享與在地民眾交流，現場進行防除示範，教導地方辨識銀合歡及其他外來入侵種與正確防除方法（圖 9），增進區里民生態維護觀念，建立良性互動與合作，日後將投入防除銀合歡穩定濕地林相，冀以持續防治外來入侵種做好濕地林相監測評估，保全維護濕地棲地環境。

（3）賞鳥牆導覽解說增設：永安濕地賞鳥牆提供民眾賞鳥休憩利用，近期民眾反映可將賞鳥休憩空間往濕地內延伸賞鳥空間並增加遮蔽設施，經民國 111 年 6 月 17 日生態保育諮詢小組會議決議，認為賞鳥牆主要滿足賞鳥需求功能，在迴避濕地核心保育區下，以不過度干擾鳥類棲息環境為原則，針對原空間修繕補強、增加遮蔽擋雨面積等，並整合牆面空間增設常見鳥種（鸛科、鸛科、長腳鸛科、鸛科、鸛科、雁鴨科等）導覽解說內容，提昇濕地環教場域品質（圖 10、11）。

（4）燃氣機組工程施工環境保護作為：燃氣機組更新改建計畫工程為減少對南側濕地直接影

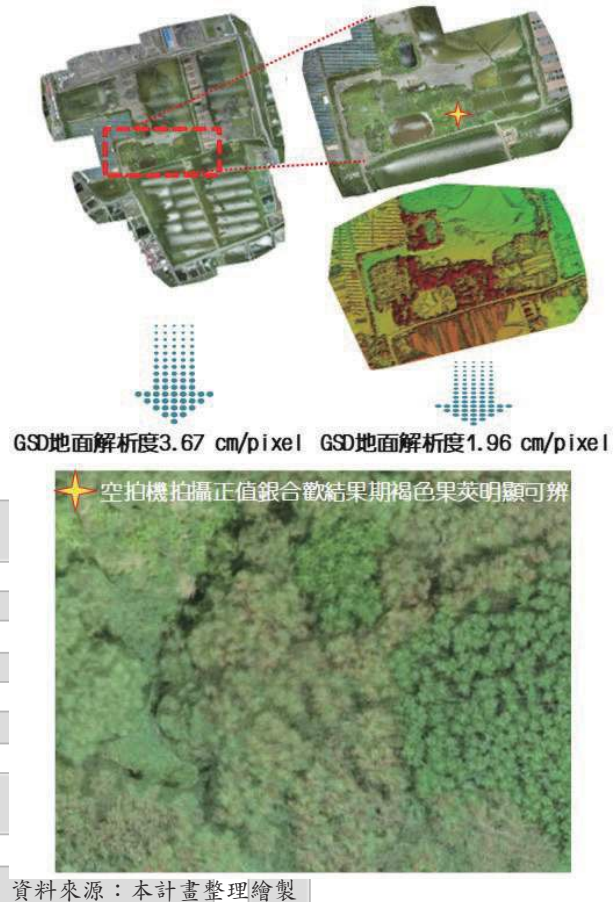


圖 8 高解析正射影像判識銀合歡分布

響，除與永安重要濕地留設相距 500 公尺的緩衝區（15 公頃），也縮減機組開發面積至 35.5 公頃，120 公頃土地保留 2/3 作為鹽田歷史與濕地生態環境保育維護之用，另外，機組工程北側區域因鄰近彩鵲棲地，空間規劃採取迴避手法，維持原有紅樹林樣貌，分區整地避開其繁殖期，與位於機組東側的自然邊坡滯洪池及緩衝區，作為串連濕地水鳥南北飛行路線的生態廊道（圖 12）。

施工期間盡可能減低對濕地生態干擾，除採用減噪標章打設機具，天然氣管線採地下推進取代明挖工法降低振動並循環用水，路側設施工綠圍籬、降低警示燈與光照避免溢散、設置沉砂池截流溝等設施，將排水導入臨時沉砂池後排放禁止施工污水流進濕地等環保落實。



資料來源：本計畫整理繪製

圖 9 銀合歡防除工作坊交流與現場示範



資料來源：本計畫整理繪製

圖 10 賞鳥牆增設解說版面規劃設計過程



資料來源：本計畫整理繪製

圖 11 賞鳥牆解說版面施工前後對照

2. 夥伴關係經營：永安濕地資源豐富，因應環境變動與周邊地方需求，設置永安重要濕地生態保育小組，由台電、在地人士、民間社團、高雄市政府及學術單位共同參與，自 2021 年來持續研議諮詢濕地保育工作，並於鄰近濕地的永達路側設置由高雄市政府改建的濕地解說教育中心，加強宣傳濕地保育與曬鹽文化保存觀念，招募志工整合串連地方資源，提供多元化環教導覽體驗。

截至 2022 年 7 月，永安濕地已累計 8 所學校橫跨小學、高職、科大及樂齡大學參訪；也有 7 次來自社區獅子會、區公所、工務局、永青協會和荒野保護協會高雄分會等導覽紀錄。除學校及地方社區蒞臨，4 場與電力生態關聯行程也舉辦於此。永安濕地不只凝聚在地夥伴與團體，也成環教活動最有潛力及吸引力的環境教育推廣場域。



資料來源：本計畫整理繪製

圖 12 興達電廠燃氣機組與永安濕地區位關係

3. 「飛鳥電廠」成果影片宣傳：透過濕地候鳥季（9 月至翌年 5 月）鳥況與燃氣機組更新改建工程環境保育作為的畫面紀實，記錄相關生態共融亮點，包括邀集專家與在地協作防除銀合歡外來入侵種示範活動、縮時拍攝機組興建與濕地鳥類棲息利用狀態，展現電廠工程興建逐步落實環評承諾與實踐永安濕地保育利用計畫經營管理的決心。

四、結 語

藉由生態共融營造計畫的執行發展，台電公司同仁猶如植入生態融合基因，持續關切場域環境生態，深入瞭解場域生態特色，掌握周邊潛力指標物種及亮點棲地，作為生態保育規劃基礎，同時，以「服務生物」的精神，投入生態保育計畫，在電力設施開發與營運階段，皆能與生態環境緊密融合。

台電對於環境永續的願景，不僅止於把關污染排放、守護環境品質，為維繫台灣這片土地的繁茂，更積極的做法，則是透過具體有效的生態共融計畫，維護與促進生物多樣性，將台電從自然資源的消耗者，轉變為自然資源的保護者與創造者，使電力供應、經濟發展能與環境生態共融。

參考文獻

- 洪健恆（2019）永安濕地水深與水鳥群集之棲地經營管理研究，2019 年 5 月，台電工程月刊，台灣電力公司綜合研究所
- 台灣電力公司綜合研究所（2021）永安濕地經營管理及鳥類多樣性研究完成報告，2021 年 12 月，台灣電力公司
- 台灣電力公司（2021）永續報告書，取自：<https://www.taipower.com.tw/upload/85/2021110216413529201.pdf>
- 高雄市政府（2020）永安重要濕地（地方級）保育利用計畫，2020 年 8 月，內政部營建署城鄉分署
- 台灣電力公司（2019）台電環境白皮書，2019 年 4 月，取自：<https://www.taipower.com.tw/upload/1456/2020072311363049674.pdf>
- 艾奕康工程顧問股份有限公司（2022）台西風力發電計畫環境調查評析蝙蝠箱維護及巡檢成果報告，台灣電力公司
- Chung, C. U., S. H. Han, and C. I. Lee. 2010. Home-range Analysis of Pipistrelle Bat (*Pipistrellus abramus*) in Non-Reproductive Season by Using Radio-tracking. Korean Journal of Environment and Ecology. 24 (4) :487-492.
- Chung, C. U., S. H. Han, S. D. Kim, C. W. Lim, S. C. Kim, C. Y. Kim, H. J. Lee, Y. H. Kwon, Y. C. Kim, and C. I. Lee. 2011. Home-ranges of Female *Pipistrellus abramus* (Chiroptera: Vespertilionidae) in Different Reproductive Stages Revealed by Radio-telemetry. Korean Journal of Environment and Ecology. 25 (1) :1-9.

廣告



防災科技研究中心

重要實績

- ✓ 農村水保署 土砂收支物聯網及大數據分析技術
- ✓ 離岸風電 地震數值模擬及地震危害分析
- ✓ 公路局 山區公路邊坡科技管理技術
- ✓ 新加坡 AI於天災風險之廣域資料分析

專業服務

針對各項天然災害之防災技術，進行研究發展、技術服務、諮詢業務，跨領域整合地質、地工、地震、水保、水利、地球物理、地理資訊、遙測資訊等專業技術，提供全方位具體之國土保育與防災規劃，以確保公共工程之永續經營。



聯絡資訊

114065臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail：dptra-ctr@sinotech.org.tw
<https://dptra.sinotech.org.tw>

誠信 創新 品質 服務
 財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



大型垃圾焚化廠整改經驗分享—— 以樹林廠為例

許忠正* 李崇裕** 詹士儀** 買隆恩**

摘要

國內營運中之大型垃圾焚化廠共計 26 座，民國 84 年樹林垃圾焚化廠即開始服役運轉，至民國 105 年已屆滿 20 年，隨設備老化效能降低、污染排放法規標準加嚴、國際減碳趨勢，新北市政府環保局於民國 102 年起即著手推動焚化廠延役升級整備工作，並於民國 105 年採促參法 ROT（整建、營運、移轉）方式辦理；整建工程採分年逐爐辦理，自民國 107 年 12 月至 111 年 4 月止，歷時 41 個月完工，期間經歷整建施工、單機及系統等升級測試作業，並於民國 110 年疫情嚴峻期間，完成共通系統（含 DCS）整建工作；環興科技為協助業主辦理樹林廠整建工程之履約管理顧問，以下就升級整建工作項目、施工過程遭遇之困難以及整改後各項污染排放及發電效能提升之經驗進行分享。

關鍵字：垃圾焚化廠、升級整備、污染減量

一、前言

樹林垃圾焚化廠（以下簡稱樹林廠）係由環境部依民國 76 年行政院核定「中油超額盈餘專款運用興建垃圾資源回收廠計畫」規劃興建，於民國 84 年 7 月完工並移交新北市政府（原臺北縣政府）營運管理，樹林廠為日商三菱重工公司負責承包興建，全廠設有三座爐組，焚化爐型式為全連續機械式，爐床供應廠商為德商馬丁（Martin）公司。全廠主要流程如圖 1 所示。

新北市政府環境保護局於民國 105 年依據促

進民間參與公共建設法第 3 條第 1 項第 2 款「環境污染防治設施」規定，招商辦理「新北市新店、樹林垃圾焚化廠整建營運轉移案」，並由達和環保服務（股）公司得標，負責營運及整建工作，其整建需求書工程規劃範圍包括以下各項：

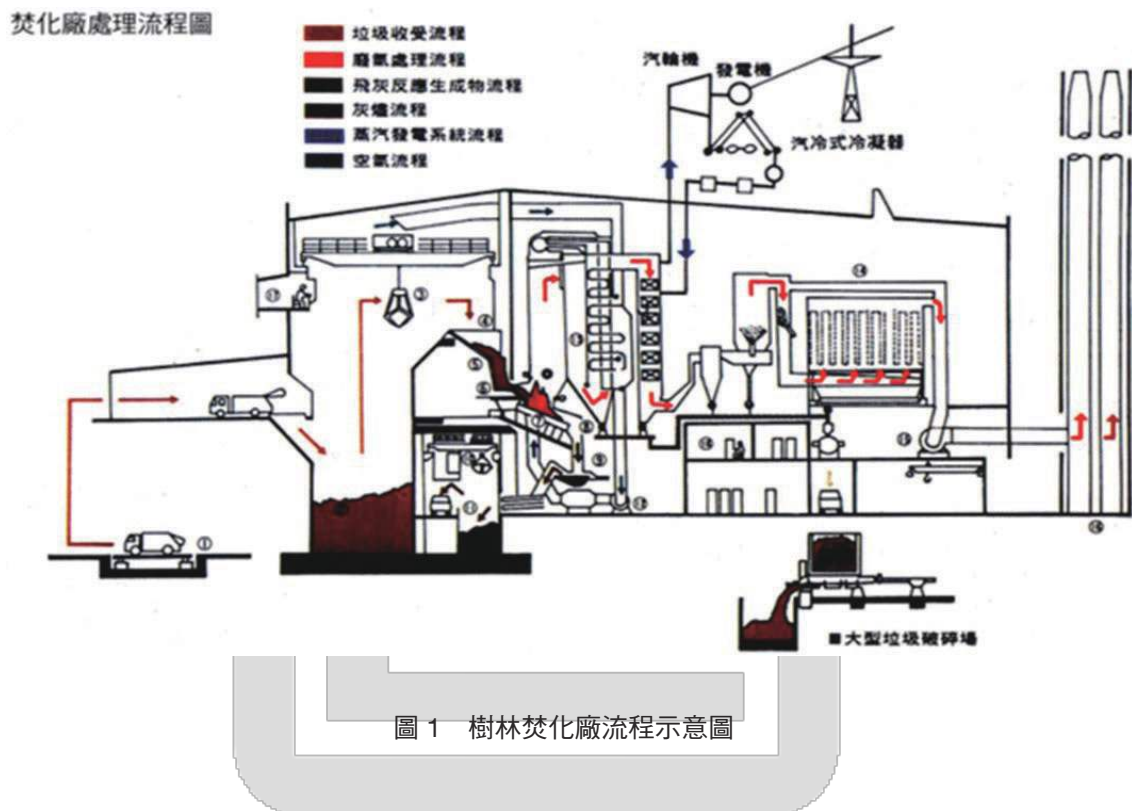
- （一）廢氣處理系統整建，以提升廢氣處理能力，與減低污染物排放效果。
- （二）氣冷式蒸汽冷凝器整建，以提升發電能力。
- （三）分散式控制系統（Distributed Control System）整建，以解決部分設備停產、維修不易及備品取得問題，同時提升操作穩

* 環興科技公司能資源設施部技術經理

** 環興科技公司能資源設施部工程師

定度，其內容包含分散式監視主控制設備（以下簡稱監控設備），以及進階鍋爐及燃料控制系統等所需之電腦工作站、階層硬體、軟體編輯、維護及供應、網路傳輸

設備、控制台、印表機、顯示器及其他所有正式運轉所必需之設備整體測試、施工安裝、試車及訓練等工作。



- (四) 其他附屬工程整建，以提升設備操作效率及節能減碳成效，包含垃圾吊車電控系統、高耗能設備更新、監視系統、參訪設施更新整建等。
- (五) 基於提昇營運效能經民間機構評估待改善之其他項目（含管線及閥件及其他附屬設施）等。

二、升級整建工作規劃

（一）垃圾處理規劃

樹林廠執行升級整備工程期間，考量垃圾處

理壓力，以分年逐爐方式辦理整建，並在全廠共停爐期間，採打包暫置方式暫停收受部分廢棄物，藉以妥善處理新北市垃圾，達成垃圾處理不間斷之要求。

（二）整建項目規劃

樹林廠經評估廠房建築物尚符合使用年限，即以維持既有焚化廠原有基礎設計條件（如處理量、處理熱值等）之基礎下，以設備升級、汰換或增設等措施達成效能及妥善率提昇之目的，並考量部分備品不易取得之狀況下，更換部分必要設備，並加強維護保養方式持續延役運轉。此外，因應環保法令加嚴及提昇能資源效益的考量下，

亦逐步以減低污染排放及增加資 / 能源回收率而作局部修繕或更新，如更換發電機組、改善污染防治設施、或採用更精準之燃燒控制等。

樹林廠整建主要工作項目包括整建設備設計、採購與現場施工，茲就各項工程規劃及實際工作成果說明如下：

1. 非選擇性觸媒（SNCR）- 去除氮氧化物

樹林廠原始設計無去除氮氧化物設備，廠內空間有限，亦無法增設觸媒反應塔（SCR），故以非選擇性觸媒技術（SNCR）作為脫硝之選用技術。目前較新之 SNCR 技術，透過 CFD 流體模擬（Computational Fluid Dynamics），選擇最佳噴灑還原劑溫度區域（850 ~1,100 度，如圖 2 所示）、還原劑流量控制、噴淋層設計與噴嘴選型等，以提升去除效率。

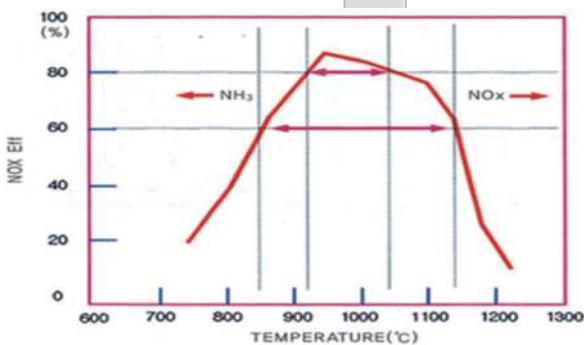


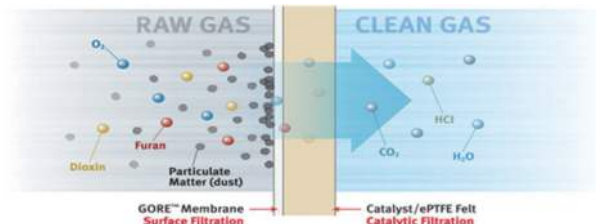
圖 2 SNCR 反應效率溫度

2. 觸媒濾袋—去除戴奧辛（Dioxins）

樹林廠原設計以活性碳噴注方式去除廢氣中 Dioxins 等污染物，然而戴奧辛等污染物並未因此消失，只是因吸附作用由氣相轉移至固相，雖然降低廢氣戴奧辛含量，另一方面卻增加飛灰後續處理困擾。

觸媒濾袋係將 SCR 原理轉移至濾袋上，與活性碳噴注方式相比，約可減少 90% 氣狀戴奧辛排放，此種系統由 ePTFE 薄膜與催化濾布所組成，集合了「催化過濾」與「表面過濾」等兩種技術。

底布是一種針刺結構，纖維是由聚四氟乙稀複合催化劑所組成，覆膜的催化材料能夠把 PCDD/F（戴奧辛 / 呋喃）在低溫下（180°C ~260°C）通過催化反應來摧毀 PCDD/F，同時在催化介質表面將戴奧辛分解成 CO₂、H₂O 及 HCl，如圖 3 所示。



資料來源：Gore 公司

圖 3 觸媒濾袋去除 Dioxins 等污染物機制

3. 氣冷式冷凝器（ACC）

樹林廠 ACC 原設計之大氣交換溫度較低（約 23°C），然目前夏月平均溫度已高於原設計條件；導致實際上散熱容量不足，使 ACC 冷凝能力變差（操作溫度上升），造成系統操作壓力上升（真空度變差），進而使蒸汽渦輪發電機發電量下降，此狀況尤其在夏季天氣熱空氣溫度高時，熱傳餘裕度更顯不足；樹林廠升級整備將大氣交換溫度提升至 30°C 以上（提升設計換熱能力），並選用輕型單排高效扁型鰭管，除具有較佳的熱傳面積、更好的耐腐蝕、較無熱傳死角（Dead Zone）、以及冷凝能力佳、蒸汽側壓降較小、空氣側阻力小、傳熱係數高、且設備較輕；以達到發電量提升，減少夏季垃圾處理降載以及提升發電穩定等效果。

4. 吸收式冰水主機

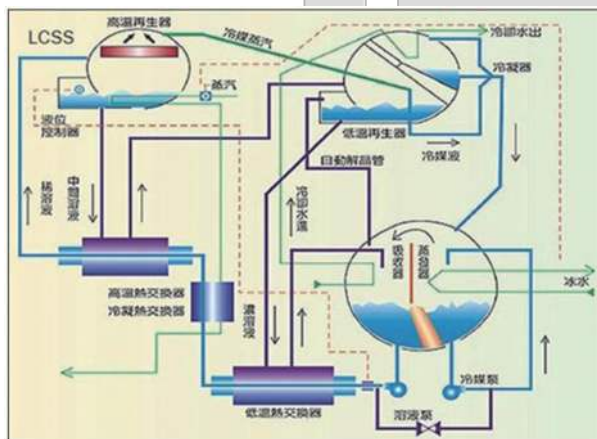
樹林廠原使用離心式冰水主機，不僅耗電且使用年限已久，本次升級整備改採吸收式冰水主機，以水為冷媒，利用其近乎真空之壓力製造低溫冰水，主要以熱能驅動熱泵，可用的熱源不侷限於蒸汽，還包括熱水、天然氣、燃料油、鍋爐

油及廢熱等；樹林廠則以汽輪機做完功的一階蒸汽（310℃，7~9kg/cm²）進行再利用，不僅可以進行廠內節能，提升售電量；並有效將低壓蒸氣廢熱再利用，原理如圖 5 所示。



資料來源：SPG Dry Cooling A-Frame ACC

圖 4 ACC 系統介紹及升級重點



資料來源：環境部低碳永續家園資訊網

圖 5 吸收式冰水主機流程圖

5. 分散式控制系統 DCS

因樹林廠運轉逾 20 年，DCS 與各系統之訊號轉介通訊模組均有老化情況，且原生產廠商之相關系統已升級或汰換，考量現有系統之零組件多已停產，市場上可供維修替換之備品亦有採購困難，增加維護之困難度，其潛在操作風險性高，已不符營運效益，故需進行有效性更新升級。

樹林廠升級整備後之 DCS 控制系統，架構在 Window OS 作業平台上；於時間解析度在 1ms 以內。鍋爐保護系統達 SIL3 等級、電源分配、控制器及通訊迴路具有 redundant 備援功能、控制器預留 10% 以上擴充功能。

DCS 更新升級後效益包括：備品取得無虞，系統操控威脅減少，操作穩定度增加；資料輸出便捷，歸納整理效率提升，貯存容量增加，操作便利性提升；提高自動化能力，操作數據容易取得且可靈活運用，作為設施智慧管理之基礎。



圖 6 DCS 系統機櫃更新

6. 吊車控制系統

樹林廠垃圾貯坑內設置兩部鋼纜式的吊車抓斗，隨著使用年限增加，吊車桁架縱行軌道變形嚴重，常發生導輪卡點無法運行，由於控制器零件老舊不易取得，更換吊車鋼軌軌道過程需停機七日以上，停機期間又必須維持垃圾正常收運，故吊車整建期程是為整建工程中重要項目；樹林廠在整建期間特別將吊車整建期程與中央控制系統更新全停期間一併施作，不但減省繁瑣的垃圾調度工作，亦節省收運成本。

吊車人機界面更新，可使操作人員更有效的操作稱量；利用吊車新穎的計算功能，有效且精準的記錄貯坑各點位高程，達到貯存量有效的控

制。

7. 變頻控制系統

原有轉動設備如：一次風機、二次風機、誘引式抽風機馬達等系統，僅用擋板控制出風量的大小，均屬高耗能設備，為有效節能減碳，故選擇新增變頻控制，並將擋板作為系統備用控制模式，新增設變頻器線路系統，兼具原製程控制功能，由中央控制單元直接控制變頻器，對風機馬達轉速調整，以達風量需求，有效降低耗電量，風機風量與所需動力關係如表 1 所示。

表 1 風機風量與所需動力關係

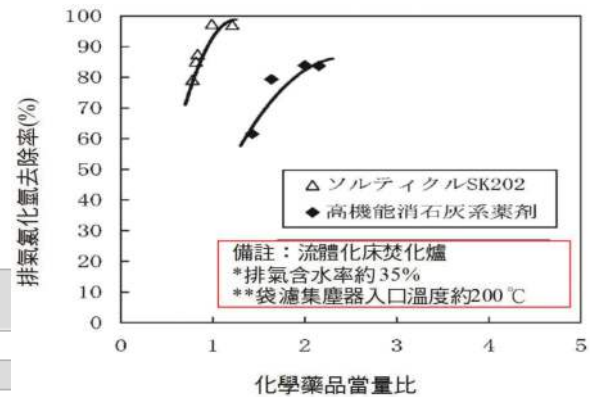
風量	所需動力 *
30%	3.000%
40%	7.111%
50%	13.889%
60%	24.000%
70%	38.111%
80%	56.889%
90%	81.000%

8. 鈉系鹼劑除酸

樹林廠原使用消石灰（鈣系除酸），歷經長期使用，已造成後段管線阻塞及桶槽結塊，反應灰產量增加，造成後續固化 / 穩定化處理不易。整建後改採鈉系鹼劑乾式小蘇打（碳酸氫鈉），因當量比關係除酸效率更佳，並有利搭配觸媒濾袋的使用，不僅減少消石灰所致後續飛灰處理及處置衝擊，更減少飛灰量、降低煙道阻塞、降低設備購置、興建及運轉維護等費用；利用乾式小蘇打其較高工作溫度特性，替後端觸媒濾袋創造更好的條件。

選擇的考量因素包括當量比更高，除酸效率更佳（如圖 7 所示），亦減少飛灰產量。整改採用乾式鈉系鹼劑，以現有設備及管線進行改裝，將除酸藥劑由消石灰改為小蘇打，處理每噸廢棄物約使用 8 公斤至 11 公斤（目前調整至 8 ~ 9 公

斤）。小蘇打可達到 96% 至 97% 之酸氣去除效率，可符合契約規定也貼近歐盟焚化廠之除酸效果，且飛灰整體產出量亦大幅減少 27% 以上，可有效達成廢棄物減量之成效。



資料來源：三井造船技報，No. 185（2005）

備註：ソルティクル SK202 係為碳酸氫鈉藥劑之產品名稱

圖 7 小蘇打與消石灰去除酸藥劑用量比較

9. 汽輪機轉子

樹林廠汽輪機已運轉超過 25 年以上，高轉速轉子有金屬疲勞損壞之風險，且汽輪機之汽封迷宮環也會有沖蝕情形，汽封間隙變大亦減少發電效率。

整改的更新項目包括：汽機轉子、汽封迷宮環更新、轉子動葉片根部設計改善等，外觀如圖 8 所示。

10. 監視系統及參訪設施更新

廠區監視系統自民國 84 年迄今雖已陸續更新，但並未有系統性整合，樹林廠整建後除了廠區各角落新增監視器外，並將監視器新增夜視功能、遠端的智能監控、監視畫質、解晰度更高、記錄時間更長可儲存時間半年以上，更能有效掌握廢棄物進廠態樣及進廠車輛違規事證。

本次整建工程亦重新規劃及設置參訪設施，包括合適之防護設施、多媒體簡報設施、綠美化

設施、設備展示區、資源回收展示區，及其他符合教育說明所需必要之設備、看板、模型，讓參訪群眾、車行動線分離，提供參訪團體更友善之參觀環境。



圖 8 樹林汽機轉子外觀

1. 部分如鋼構預製或觸媒濾袋等物料設備若需從國外進口，需提前準備避免延誤施工進度。
2. 升級整備工程期間可配合年度歲修期間工作一併進行，減少垃圾調度壓力，如 ACC 整建搭配袋式集塵器一併更換，或一爐歲修整建，其他二爐持續維持運轉。
3. 分散式控制系統（DCS）整建因設備老舊，且零件模組已停產無法取得備品，此系統更換需等待其他升級整備項目（如垃圾吊車、SNCR、鈉系鹼劑除酸、轉動設備改變頻系統等）完成後才能施作連接各接點；在此過渡期間控制與訊號之傳輸系統都無法與舊 DCS 系統匹配，先建置完成之整建設備，皆暫以「臨時性替代監控模組」接軌，對於整廠操控穩定運轉與人員安全，潛藏許多風險。如何能有效掌控 DCS 的整改期程，以減少使用「臨時性替代監控模組」運轉時間，將可減少操作風險。

三、升級整備注意事項

本案升級整備依契約規定，辦理基本設計及細部設計工作，先經過第三方技術服務廠商審查簽認用印後，再提送營運監督單位（環興科技）複審，並依投資契約書規定完成「施工計畫書」、「品質計畫書」、「整建前準備工作完成報告」後始得施工，國內各整建案因契約之規定略有不同，需特別留意契約文件送審之規定。

另樹林廠因腹地空間不足並仍需肩負新北市垃圾處理不間斷之壓力，且整建工程面向涵蓋各分項工程、動線、進廠材料堆置、吊裝、施作順序、垃圾處理等規劃，茲就工程面向提出經驗分享與施工應注意事項。

（一）工程施作順序安排

（二）拆卸作業空間準備

整建施工過程中會有大型物件拆卸暫置（如圖 9 所示），樹林廠因腹地狹小、堆置空間有限及廢品管制問題等，都需審慎評估，如廢料物品架高擺放，長時間恐有遇影響廠內交通動線及安全危害等問題；另分爐接續執行整建作業，若報廢作業尚未完成，拆卸下的報廢品則無處堆放，將嚴重影響整建工作進行。

執行上可考量以採開口合約方式應變，作為加速去化廢料縮短暫置時間，以利整建進度。

（三）驗證試運轉操作條件選定時機

焚化廠整建施工完成後，尚須近兩個月之測試調整，始得辦理試運轉測試，並需整理分析資料及等待外部檢測報告，驗證操作條件選定時機經驗分享如下：



圖 9 袋式集塵器拆卸後堆置情形

工作更顯重要，以下列舉須注意事項：

1. 廠區進行吊掛作業與各式垃圾清運車輛進出動線同時運行，車流區隔及優先次序協調，可降低車行風險。
2. 電力系統整建作業上，承攬商間協同作業時，斷電掛牌需要嚴格管控，避免活線作業，減少感電危害。
3. 動火作業及吊掛區域，高程上下與吊掛作業範圍內，安排前、後監視指揮或管制人員，強化安全死角。

1. 垃圾吊車試運轉條件：垃圾貯坑高度需維持在 14 米左右，方可進行自動模試運轉測試。
2. 氣冷式冷凝器（ACC）試運轉條件：初設環境溫度 30℃ 以上之設計條件，試運轉工作應安排於環境溫度超過 30℃ 之夏季期間為宜。
3. CCTV 判讀設備試運轉條件：夜視功能需要夜間且有垃圾進廠時段的情況下驗證，另記憶卡容量存取（6 個月），需要較長時間的記錄供檢證。
4. DCS 試運轉條件：因涉及較多 IO 點查驗無法於短時間內有效達成挑錯與修正，期程上亦需有長時間的安排。
5. 袋式集塵器：整建完成後，需趁各爐於歲修起、停爐之際，測試其熱風循環功能是否正常。
6. SPG（Shock Pulse Generators）爆破清灰：安裝後需等下次歲修期間，實際檢視爐膛積灰情形，始得驗證其效能。
7. SNCR：除 CFD 選擇最適噴注位置，需長時間的觀察與判讀 NO_x 去除效果，並視實際情況調整噴注點或噴嘴選型。

（四）職業安全衛生注意事項

因部分歲修工作與整建工程同時進行，職安

（五）垃圾調度規劃

樹林廠整建期間雖有新店及八里兩廠共同維持新北市垃圾處理壓力，惟 DCS 整改期間約有 30 天以上無法接收垃圾進廠處理，為有效緩解垃圾處理壓力，採打包暫置方式於八里廠進行垃圾打包作業，並載運至八里掩埋暫置，俟樹林廠整建完成後，再進行回運處理。

建議後續欲整建之焚化廠應可採分年逐爐辦理；若為單一焚化爐之縣市因考量區域合作調度垃圾，並視情況盤點轄內可暫置空間，盡早規劃相關配套。

四、升級整備前後效益比較

本案廠商自主承諾更換部分一通煙道水管牆為高周波管材，除原高周波管材區域外，新增一通頂牆及一轉二通隔間牆採用高周波爐管後，破管造成非計畫性停機的次數已大幅下降，由民國 107 年整建前的 4 至 5 次／年，整建後小於 2 次／年，大幅提升鍋爐運轉率，如圖 10 所示。

另本案廢氣處理系統升級除袋式集塵器更新為觸媒濾袋，並於各爐增加 SNCR 脫硝系統，將尿素溶液噴注到爐內高溫區使氮化物進行還原反

應消減排放濃度，因應觸媒濾袋於較高廢氣溫度去除效果較佳，利用小蘇打噴注後於 190℃ 以上為最佳的反應條件，自民國 109 年 10 月開始改用小蘇打除酸系統取代原本消石灰除酸系統，另活性碳依整建完成後改為備用，廢氣處理設施整建前後比較如圖 11 所示。

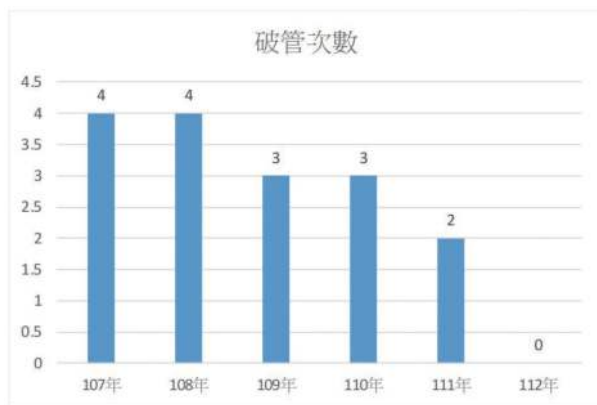


圖 10 破管次數整建前後比較



圖 11 廢氣處理設施整建前後比較

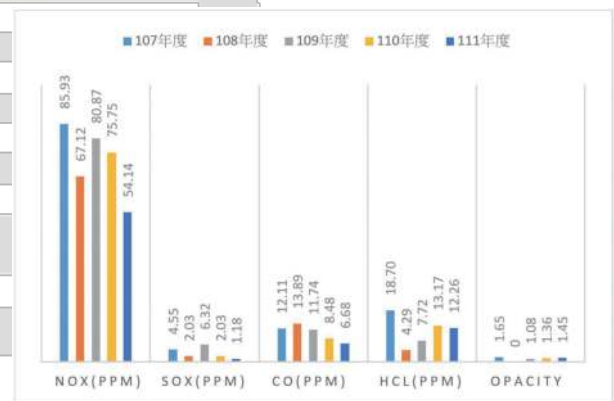
整建後新增 SNCR 脫硝系統使 NO_x（氮氧化物）平均排放值較 107 年度（整建前）平均濃度減少 37%，碳酸氫鈉（小蘇打）除酸使 SO_x（硫氧化物）排放值較 107 年度平均濃度減少 74%、HCl（氯化氫）排放值較 107 年度平均濃度減少 34%，111 年 CO（一氧化碳）排放平均濃度較 107 年減少 45%，不透光率則減少 12%，如表 2 及圖 12 所示。

表 2 歷年各項 CEMS 監測排放濃度彙整

年度 (民國)	NO _x (ppm)	SO _x (ppm)	HCL (ppm)	CO (ppm)	Opacity (%)
107 年度 (前)	85.93	4.55	18.7	12.11	1.65
108 年度	67.12	2.03	4.29	13.89	ND
109 年度	80.87	6.32	7.72	11.74	1.08
110 年度	75.75	2.03	13.17	8.48	1.36
111 年度 (後)	54.14	1.18	12.26	6.68	1.45
111 年度 與 107 年 度相比較	濃度減少 37%	濃度減少 74%	濃度減少 34%	濃度減少 45%	濃度減少 12%

註 1：資料統計期間因各爐建置時序不同，整體排放濃度有下降趨勢。

註 2：民國 108 年檢測時間 CEMS 設備故障故顯示為 ND。



資料來源：環境部 SWIMS 網站

圖 12 近五年廢氣連續自動監測趨勢

各項煙道檢測值如粒狀污物與目標值相比較減少約 77.78%，戴奧辛濃度與目標值相比較降低約 54%，檢測結果如表 3 所示。

飛灰減量上，因為整改採用納系小蘇打，飛灰的產生量已大幅下降，前後差異下降比率約 29%，飛灰穩定化物產生率下降約 33.43%，可有效節省掩埋場使用空間，如表 4 所示。

整改前後水電化藥效能上，發電量提升約 18.4%；新增變頻系統後用電量減少約 11.5%，售電量則大幅提升 27.8%，ACC 整改後製程的用水量降低 34.98%；活性炭全面停用；化學藥品（小蘇打）用量降低 11.6%，如表 5 所示。

表 3 歷年各項煙道檢測

項目	粒狀物	戴奧辛 DXN	鉛	鎘	汞
目標值 (廠商承諾)	≤ 4.05	≤ 0.05	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.05
年/單位	mg/Nm ³	ng-TEQ/ Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³
107 (前)	1.79	0.016	0.0057	0.0021	0.0006
108	3.7	0.015	0.017	0.0021	0.0036
109	3.34	0.005	0.0075	0.0005	0.0034
110	1.75	0.042	0.0045	0.0006	0.013
111 (後)	<0.9	0.023	0.0036	<0.0046	0.0024
與目標值 比較	-77.78%	-54%			

資料來源：環境部 SWIMS 網站

說明：1. 資料統計區間民國 107 年至 111 年。
2. 效益係以民國 111 年和目標值比較。

表 4 飛灰減量

項目	底渣產生率	飛灰 產生率	飛灰穩定化 物產生率
年/單位	%	%	%
107 (前)	12.6	2.43	3.47
108	11.92	2.65	3.92
109	13.33	2.53	3.83
110	12.34	1.93	2.67
111 (後)	12.44	1.71	2.31
效益	-1.27%	-29.63%	33.43%

資料來源：環境部 SWIMS 網站

說明：1. 資料統計區間民國 107 年至 111 年。
2. 效益係以民國 111 和 107 年同期比較。

表 5 歷年用水、電、藥統計

樹林廠	發電量	用電量	售電量	製程 用水量	消石灰 /小蘇 打用量	活性碳 用量
	度/ 公噸	度/ 公噸	度/ 公噸	公噸/ 噸	公斤/ 公噸	公斤/ 公噸
107 年 (前)	468	113	355	446	11.46	0.40
108 年	471	119	352	441	12.35	0.42
109 年	495	122	373	423	11.48	0.42
110 年	528	103	425	344	10.50	0.15
111 年 (後)	554	100	454	290	10.13	0
效益	18.4%	-11.5%	27.9%	-35.0%	-11.6%	-100.00%

資料來源：環保部 SWIMS 網站

說明：1. 資料統計區間民國 107 年至 111 年。
2. 效益係以民國 111 和 107 年同期比較。

五、結論與建議

(一) 結論

- 樹林廠升級整備除了各項污染物排放濃度大幅改善外，飛灰減量成效亦達到 29% 以上。
- 建置觸媒式濾袋，對於戴奧辛削減控制達 50% 以上，可有效減少化藥（活性碳）使用。
- 汽輪機轉子更新及 ACC 散熱鰭管更新，發電量可提升 18% 以上，新增變頻控制可節電約 11% 以上。

(二) 建議

有鑑於國內各焚化廠將陸續辦理整改作業，以下建議將有助工程進展順利：

- 整建期間拆卸報廢品堆置位置應妥善規劃，同時報廢標售程序亦應事先規畫執行方式，以避免影響整建設備進行安裝作業，確保工程進度。
- 許多需配合停爐之工程，可規劃在同一期間辦理（如吊車整建與中央控制系統），部分工項亦可以預先作業縮短工期（如 DCS 線路預置等）。
- 屋頂開孔吊裝作業之風險，應隨時掌握氣象訊息，提早進行颱風侵襲準備，可避免災害造成損失及增加額外工作。

參考文獻

環境部「焚化廠效能診斷作業指引」
環境部「焚化廠升級整備階段技術指引」
新北市環境保護局廢棄物處理廠場營運暨新店、樹林廠整建監督管理計畫，111 年期末報告（2023）。
三井造船は「三井造船技報第 185 号」No. 185 (2005)
Gore 公司網站 <https://www.gore.com.cn/>
SPG 公司網站 <https://spgdrycooling.com/>
低碳永續家園資訊網 <https://lcss.epa.gov.tw/>
環境部 SWIMS 網站 <https://swims.epa.gov.tw/>

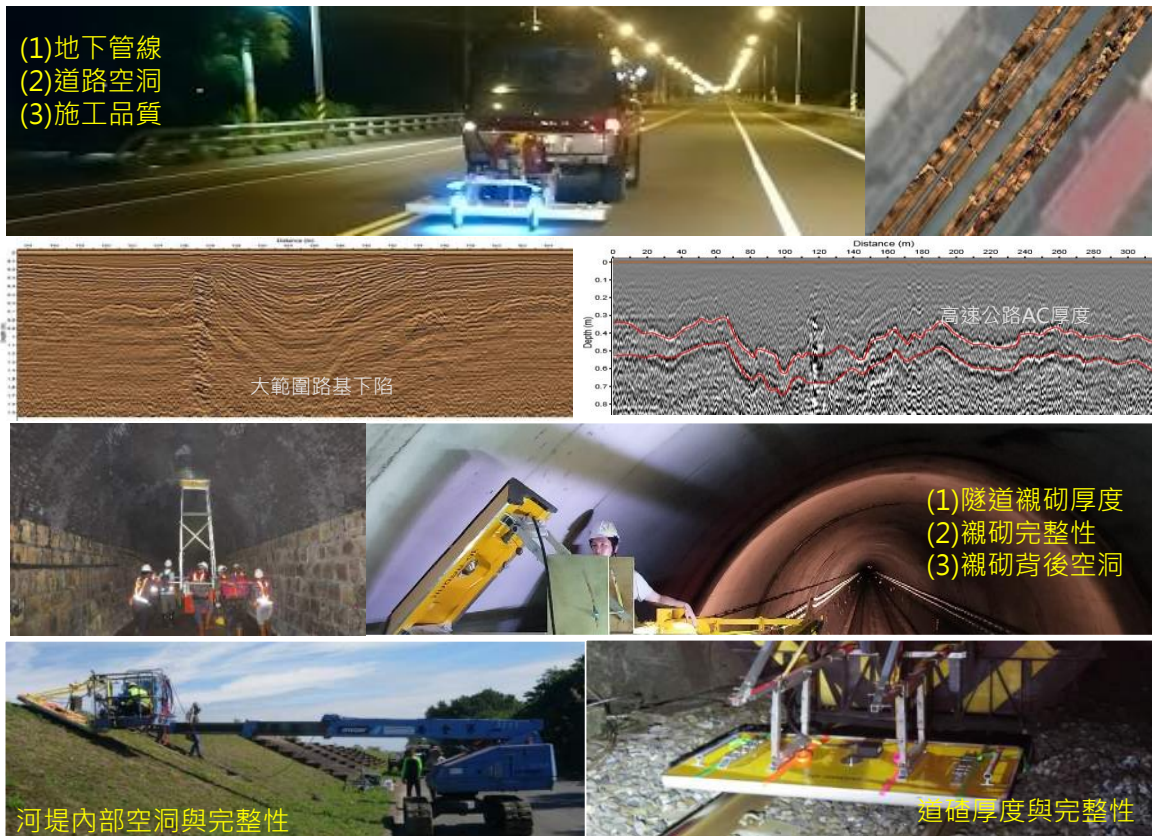
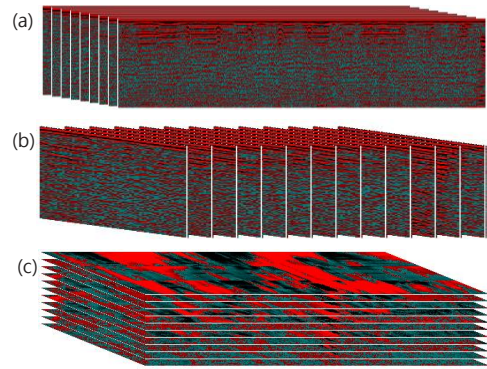
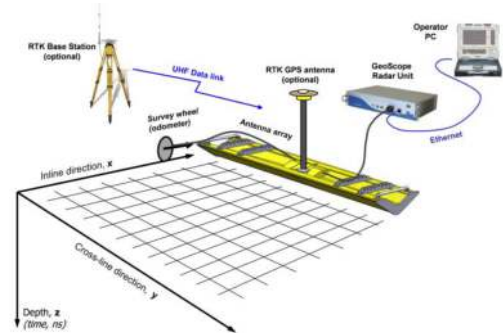
Looking into the earth

-3D GPR

三維透地雷達(3D GPR)特徵如下:

- (1)多組頻道天線(9組/20組)
- (2)空氣耦合(天線不需貼地)
- (3)步頻雷達波(多重頻段)
- (4)全球衛星定位

三維透地雷達設備採車載方式,沿道路方向進行快速探查,車速最高可達30公里/小時,所得探查資料為格點形成的立方體,可獲得三方向剖面,分別為(a)沿測線剖面(b)垂直測線剖面與(c)深度切面,對探查目標物內部構造有更清楚的了解。主要應用在道路/隧道/河堤/道碴等探查工作。定期探查與資料比對,可作為安全監測方式。



如需進一步了解,請洽:財團法人中興工程顧問社 大地工程研究中心
葛文忠研究員 (02)87919198#352 wcko@sinotech.org.tw

毫釐之爭

新北捷運三鶯線施工所面臨的挑戰

李政安 * 李文浩 ** 魏德輝 *** 張文亮 **** 吳維仁 *****

摘要

有俗話說「土水差寸，木匠差分」，意指各項工作施工有其需拿捏的精準度，很難想像在高架橋梁施工，也有需要對空間需求精準到公厘的一天；讓我們來看看，新北市捷運三鶯線位於狹窄路段的預鑄 U 型梁吊裝作業過程，究竟是如何緊緊捱著沿線住家的房屋結構，筆直而上。

關鍵字：三鶯線、預鑄 U 型梁

一、工程概要

三鶯線路線起於捷運土城線頂埔站，採全線高架方式行經土城中央路四段，跨越國道 3 號後進入三峽介壽路三段，其後行經橫溪環河道路，於駕訓班及舊瀝青廠附近向西跨三峽河，再利用新闢之臺北大學特定區聯外道路，經國家教育研究院側，轉至三樹路、國慶路、復興路至臺北大學側，並沿國道 3 號路堤向西跨越高速公路及大漢溪，進入鶯歌三鶯新生地，再沿鶯歌溪側向北，轉中山路北側跨中山高架橋及縱貫鐵路後至鶯桃路，最後於鳳鳴國中轉福德一街（路）設置端點站及尾軌，沿線設置 12 座高架車站（LB01

站~LB12 站）及 1 座維修機廠，後續尚有計畫將延伸銜接桃園捷運綠線，串聯起新北與桃園之共同生活圈。

本工程路線縱坡大致上隨地形由土城往鶯歌方向爬昇，最大縱坡位於 LB08 站~LB09 站間，達 4.535%，路線全長約為 14.29 公里，共計 370 墩墩柱，施工範圍如圖 1 所示。

二、計畫特性

三鶯線沿線除三峽介壽路及鶯歌區大漢溪高灘地周邊之外，均穿越人口密集的舊街廓，私地多、管線多及障礙多成為本計畫施工最大的挑戰。統包廠商針對施作效率及成本考量，橋梁上

* 新北市政府捷運工程局局長
** 新北市政府捷運工程局三鶯線工務所主任
*** 中興工程顧問公司機械工程部資深協理
**** 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處計畫經理
***** 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處土木所主任

部結構共規劃 4 種配置，配置比例如圖 2 所示：

- (一) 預鑄 U 型梁，用於直線無變化區段。
(約占 20%)
- (二) 場鑄 U 型梁，用於尺寸些微變化及小
轉彎曲線區段。(約占 28%)

(三) 場鑄懸臂箱型梁，用於橫跨鐵路、國
道及大跨徑區段。(約占 30%)

(四) 鋼箱型梁，用於大轉彎曲線段及進、
出車站區段。(約占 22%)

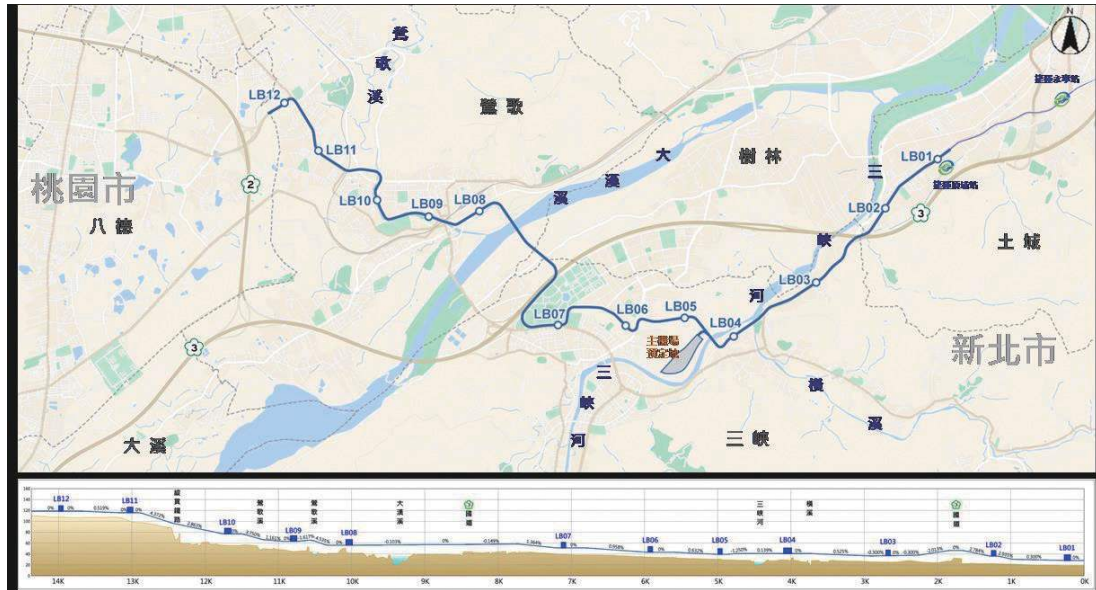


圖 1 三鶯線全線範圍平面及縱斷面圖

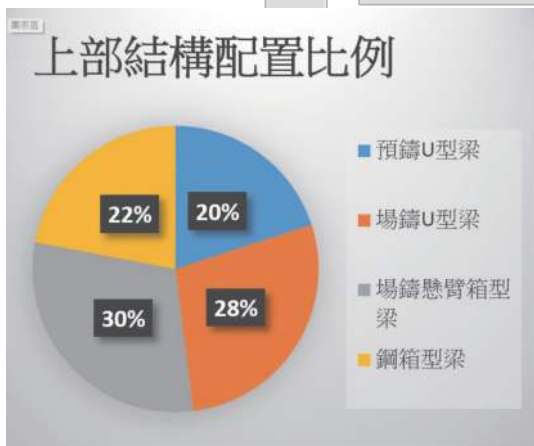


圖 2 上部結構配置比例統計

三、狹窄路段施工挑戰

三鶯線橋梁為配合車輛淨空、機電設施及逃生

步道等需求，設計之單股道之U型梁寬度為4.45M，放置 U 型梁之帽梁寬度為 9M，再因墩柱約設置於道路中央，因此為配合 U 型梁吊裝，帽梁邊緣至道路旁民房結構或設施至少需留有 4.5M，方能滿足吊裝需求；而沿線吊裝面臨最大的挑戰位於鶯歌區鶯桃路（路寬約 20M）及土城區中央路四段（路寬約 18M），本次將和讀者分享土城區中央路四段，在路寬僅有約 18M 情形下，預鑄 U 型梁吊裝施工所面臨的嚴峻挑戰及施工過程。

三鶯線在土城中央路四段 136 巷至 410 巷之間，共配置有 28 墩（P01-04 ~ P01-32），其中 P01-19 ~ P01-21 因位於轉彎段，設計為鋼箱梁型式，其餘皆為預鑄 U 型梁。

另該區段 P01-04 ~ P01-19、P01-21 ~ P01-

22 因緊貼鄰房，為降低列車行駛產生之噪音，其軌道為浮動式道床設計，27M 長預鑄梁重量達 175 噸；預鑄 U 型梁吊裝作業，最重要的就是須評估吊裝起梁寬度及吊車旋轉空間是否足夠。所幸該路段橋梁帽梁與地面高差多數僅約 10M，在相同之吊裝空間下，吊車吊臂較短，可增加所吊掛物之重量，因此已先避開須採用更大型吊車的窘境。

四、施工因應對策檢討

團隊於施作前即針對此狹窄路段之現況及施工作業細節，檢視如何增加施工空間，包括如電力（電信）設備之移設、帽梁寬度是否可縮減、U 型梁重量是否可再輕量化進而使用噸數及操作空間較小之吊車等進行檢討，以下分別說明：

（一）運梁及吊梁空間：

經施工團隊多次會議研議及討論，確認往土城側方向台電高壓架空線無法配合於施作前完成地下化，因此首先排除該側起吊之可行性後，團隊開始著手進行往三峽側方向現地調查，配合測量放樣將自帽梁最外緣線往外推算 4.5M（預鑄梁寬度），將沿線會影響的公有及私有的電纜線、電桿及設備，招牌、雨遮及設備等造冊；該區段因道路狹窄、人口密集且店家林立，調查結果令團隊心驚，台電高壓線、電桿、第四台纜線、招牌、雨遮及設備數量龐大，不少數量結構物經檢討都必須予以敲除。為此，團隊為減少須拆除的數量，從設計端檢討調整結構物，取消帽梁圓弧造型，寬度單側可減少 25 公分（如圖 3），將拆除數量減少近半，控制在可接受範圍，並避開主要結構物。

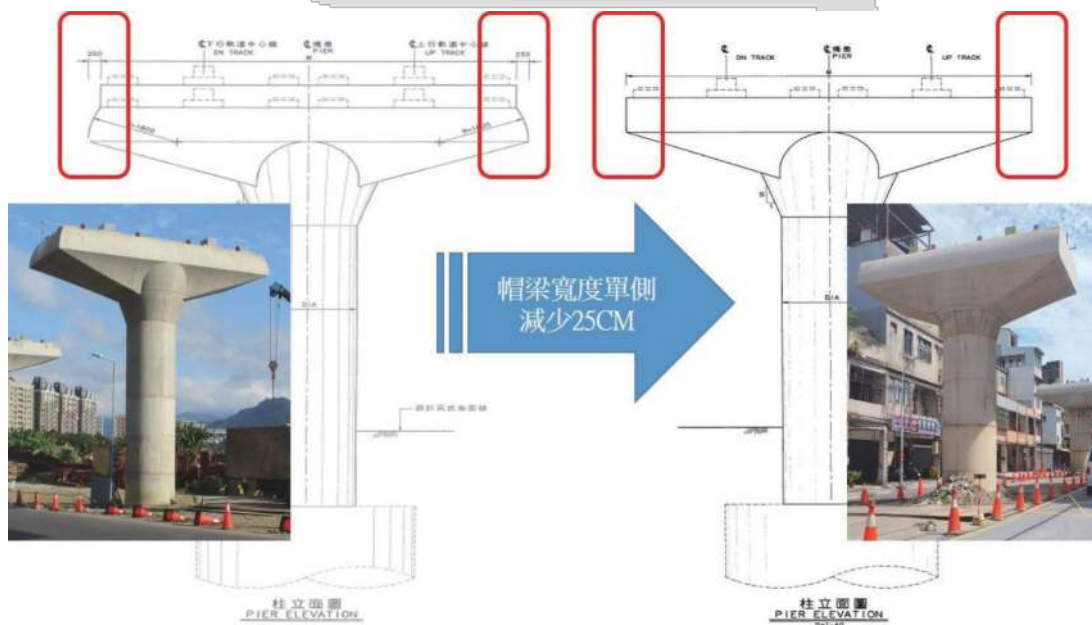


圖 3 帽梁寬度調整對照圖

（二）預鑄梁減重：

經過吊裝空間檢討，該路段路廊比鶯歌區鶯

桃路更狹窄，需求寬度不足致無法採用較大型吊車情形下，團隊評估決定朝減低 FST 預鑄梁重量

方向調整；施工團隊在 2021 年鶯桃路施工時，其路廊寬度尚能滿足吊車量能，在不需要減重的狀況下即可進行吊裝（如圖 4），可見中央路四段施工之難度。



圖 4 鶯桃路 FST 預鑄梁吊裝

減重方式係於預鑄梁產製時，首先於底版中埋入 4 支 175 ϕ 旋撈管，於吊裝完成後，再行灌

注無收縮水泥砂漿；在產製時底板表面 4CM 混凝土，暫不澆置，吊裝完成後，再行配合塗佈介面接著劑及鋪設點鋸鋼線網後進行混凝土澆置，完成後再於表面塗佈防水塗層（如圖 5）。上述 2 項減重方案，25M 長預鑄梁吊裝前重量共可減少約 34 噸；27M 長預鑄梁重量共可吊裝前共可減少約 37 噸。

（三）管線及設備遷移：

調查完成後，確認沿線影響之電桿、第四台纜線及中華電信設備箱等之數量及位置，團隊即數次召集各單位研議分階段配合於施工前或施工中遷移；經研議後第四台業者纜線皆可配合於施工前遷移，台電及中華電信亦立案於施工中當日配合拆除及復原，惟施工日期需提早通知台電以利安排停電事宜。

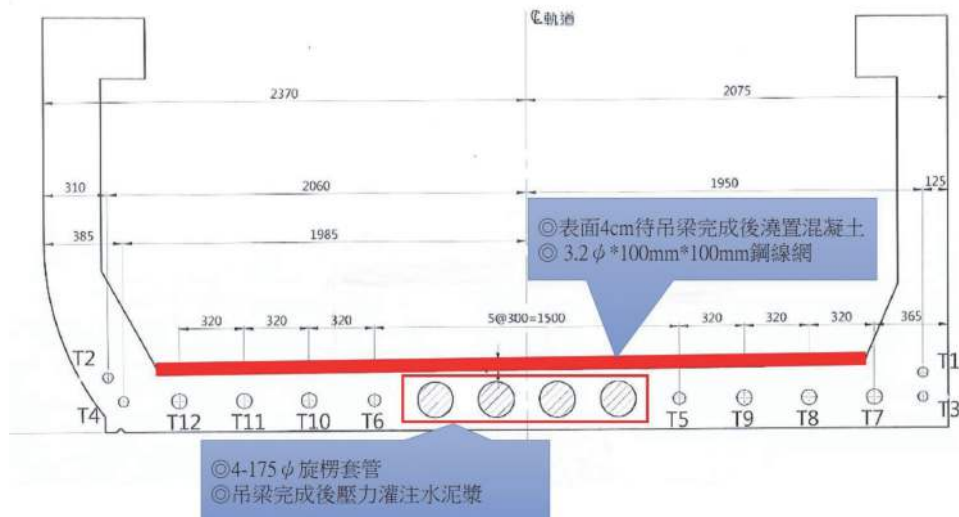


圖 5 FST 預鑄梁減重斷面圖

五、交維管制

運梁及吊裝時交通維持管制也是一項大課題，過往於一般路段進行 U 型梁吊裝時，只需封

閉一向車道，採用單線雙向點放通行管制即可；然本路段道路狹窄，基於考量運梁車輛進出動線及吊車設置所需空間等因素，需採全路段封閉交維管制，方能滿足施工需求。惟道路封閉後除影

響居民進出外，搭乘公車進出的乘客如何引導，都得仔細評估。

吊裝施工時，團隊規劃自中央路四段 136 巷至福田路口間全路段封閉，除該區段住戶外，所有通行車輛皆引導改行福田路（如圖 6）。經查本路段公車最晚經過時間為凌晨 0 點 30 分，為利於交維管制期間民眾利用大眾交通工具進出，並考量無障礙搭乘需求，團隊於封閉期間租賃復康巴士於中央路四段間來回接送進入該區段之乘客，降低對民眾返家或外出之影響（如圖 7）。



六、第一階段預鑄梁吊裝過程

本路段配合台電管線遷移及預鑄 U 型梁生產期程，共計分為四個階段進行吊裝，本文將說明第一階段 P01-23 ~ P01-32 共 9 跨（18 支）預鑄 U 型梁之吊裝過程。

團隊經過縝密的規劃，並完成與各單位的協調，訂於民國 112 年 8 月 21 日夜間進行第一階段的吊裝，共計施工 5 天。統包廠商於 5 月中旬即開始與沿線住戶溝通，說明施工時間、招牌及設備拆復時程等，並自 8 月 18 日開始陸續進行吊裝前預先拆除作業（如圖 8）。



民國 112 年 08 月 21 日運梁車準時於三鶯線預鑄梁暫置場出發，同時間於吊掛現場已開始交維管制、吊車設置已及相關檢查作業；本次吊掛作業係使用 200T 吊車搭配 350T 吊車進行吊裝作業，第一天吊裝位置位於太陽城社區門口，較為寬廣的中央路四段 410 巷路口以及不需要停電的夜晚，P01-30~P01-32 共 2 跨（4 支）順利吊裝完成（如圖 9、圖 10）。





圖 10 P01-30 ~ P01-31 吊裝作業

第二個夜晚才是團隊面臨的真正考驗，台電 23 點準時停電開始拔除電桿，隔日凌晨 6 點前必須完成復電，期間不足 5 小時的施工時間，讓團隊直面大敵，背負不能出現失誤的壓力；運梁車如時抵達現場，準備吊裝時，才發現百密一疏，吊車旋轉半徑內，還是稍微碰觸到了住家的雨遮（如圖 11），所幸，先前與住戶溝通，都有說明保證若有碰損皆會依原樣修復或更新。

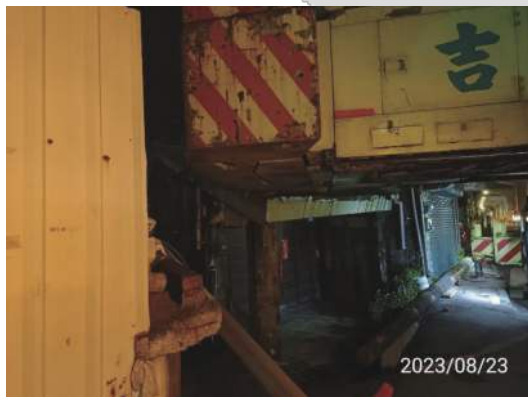


圖 11 吊車碰損民房雨遮

空間與時間的壓力，讓身經百戰的施工團隊不得不如履薄冰，各項作業皆小心謹慎地進行，當晚的 P01-28 ~ P01-30 共 2 跨（4 支）吊裝也順利的在凌晨約 04:45 完成，交給台電恢復電桿並順利於期限前完成復電作業（如圖 12）。

試想，有了前一晚的經驗，第三個晚上應該是遊刃有餘才對，但殊不知更困難的夜晚才要開始；在施工前調查即發現該戶 3 樓陽台突出（如

圖 13），經過施工團隊評估應可調整吊車設置位置克服，但當晚吊車一共移動了 3 次，終於調整到妥適的角度，緊緊貼著民房，吊掛而上，於凌晨約 04:50 完成吊掛作業，交給台電恢復電桿並順利於期限前完成復電作業（如圖 14）。



圖 12 電桿復原作業



圖 13 鄰房陽台突出



圖 14 緊貼鄰房吊掛作業

於是，這一區段最難的關卡都通過了，但團隊同樣秉持戰戰兢兢的心情，第四、第五個晚上，在同樣時刻也不敢稍有放鬆之下，順利將 P01-23~P01-32 共 9 跨（18 支）吊裝完成，達成本次目標（如圖 15、16、17）。



圖 15 緊貼鄰房吊掛作業



圖 16 緊貼鄰房吊掛作業



圖 17 P01-23 ~ P01-32 預鑄梁吊裝完成

七、結 論

預鑄 U 型梁吊裝工法，雖然只占了三鶯線捷運高架橋的 20%，但從其施作前評估調查、規劃到實際執行完成，施工團隊仔細討論及模擬，工作量相當龐大，為的就是盡可能防範問題於未然。團隊將會依這次的經驗，負重前行，相信對於工程人來說，克服萬難，人定勝天的宗旨，將持續推動著我們向前邁進。

參考文獻

- 三鶯線捷運系統計畫統包工程業主需求書
- SYL-TK01-DDD-CVD-1001-0_細部設計工程圖說 CS31 施工標 LB01 站後 -LB02 站前（含尾軌）（期末送審）
- 三鶯線細部設計工程圖說（RFI-CVD-11100057）釋疑單
- 高架橋 LB01~LB02 路線段制式暨非制式（FST）25M、27M 厚度釋疑
- SYL-TK01-CAS-CES-0083-0_25m 及 27m FST 浮動式道床預鑄 U 型梁先拉法變更為後拉法預力設計計算書



環境工程
調和永續與環境共處 健康環境中無慮生活

> 本廠設廠容量為1,800噸/日，計有4爐可處理垃圾及一般事業廢棄物。
另產生的高溫廢氣經過蒸汽鍋爐回收熱能產生過熱蒸汽後，再以半乾式洗煙塔及袋濾式集塵器處理，並以噴入活性碳去除戴奧辛。
廠內設置廢水處理廠，全部廢水均經收集處理後回收再利用，達到廢水零排放。

台北市北投焚化廠工程・基本設計、施工監造

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.



大型垃圾焚化廠整改經驗分享—— 以木柵廠為例

張進平 * 陳清賢 **

摘 要

面對環保法規排放限值日益加嚴，臺灣大多數資源回收（焚化）廠均近屆齡年限，多數機電設備老舊且維修不易，而籌建新廠或汰換焚化爐本體有民眾抗爭或焚化處理空窗期問題，故重要機電設備整修並延役實為短中期必要作為，其中又以焚化爐體之管排及空污防治設備汰換為整修重點。

本文分享木柵焚化廠之靜電集塵器更新為濾袋集塵器，主煙道管路、誘引抽風機與節熱器等設備汰換之整修更新經驗，主要內容包含整修更新之源由及其目標、施作過程之關鍵問題及其解決方案、效益比較。經由上列機電設備整修更新完成，實測數據主要成效包括（1）年售電量增加 600 萬度，（2）低熱值 2400 kcal/kg 情境下，日焚化處理量恢復至 1000 噸，（3）粒狀污染物排放降低 38.72%，戴奧辛排放降低 38.55%。

本案例施作過程，需考量非整修更新焚化爐線之正常運轉，故舉凡施工空間、工安措施、時程安排遭遇的問題遠較新建工程複雜，謹藉本案例之經驗分享希望有助於後續類似工程推動之參考。

關鍵字：濾袋集塵器、誘引抽風機

一、前 言

在高密度開發之都市環境及環保意識下，焚化廠設施用地取得相當不易，目前全臺灣的垃圾焚化爐大約有 25 座焚化爐，從臺灣第一座內湖焚化爐於民國 80 年完工運轉至今，大多焚化爐運轉時間已超過 20 年，由於設備老舊與污染排放法規愈來愈嚴格，加上無法取得設置新廠的土地面積，只能將現有焚化爐設施進行整修更新，讓焚化爐延役，然而焚化爐進行大規模的整修更新工程的

案例不多，藉由本公司參與整修更新工程提出執行經驗，供未來執行類似整修更新工程參考，避免業主訂立需求書思慮不周詳而影響工程進度，並可以達到業主與廠商雙贏的結果。

二、計畫緣起目標

木柵垃圾焚化廠自民國 79 年開始興建，民國 83 年 1 月試運轉，民國 84 年 3 月正式營運，民國 106 年整修更新工程進行時已運轉超過 22 年，

* 中興工程顧問公司北市廢氣處理及設施整修專管監造計畫經理

** 臺北市木柵垃圾焚化廠第一組組長

期間為符合「廢棄物焚化爐戴奧辛管制及排放標準」與「一般廢棄物回收清除處理辦法」之相關規定，即廢棄物戴奧辛排放濃度須低於 0.1ng I-TEQ/Nm^3 及飛灰、底渣須分開貯存，曾於民國89年3月10日進行改善戴奧辛廢棄處理工程，民國91年11月25日驗收合格。工程內容包括增設戴奧辛改善之活性碳噴入系統與觸媒反應塔、選擇性非觸媒還原法（SNCR）脫硝之尿素貯存噴入設備、以及飛灰單獨收集貯存及穩定化設備。

雖於民國91年搭配戴奧辛改善工程完成局部改善升級，惟主要係針對廢氣處理洗煙區設備，且至今亦近15年。由於垃圾焚化廠係以機電設備為主體，長期處於高溫、高磨耗、高腐蝕環境，會隨著營運年數加速老化，運轉效能逐年下降。木柵廠屬第一代興建的焚化廠，設計垃圾熱值 1600kcal/kg ，目前臺北市實施垃圾分類後，實際垃圾熱值上升至 2400kcal/kg ，導致焚化量減

少，且民國102年精進操作技術，減少燃燒風量，減少空氣預熱器及廢氣再加熱器蒸氣，廠內蒸汽使用量下降，可進汽渦輪機發電之蒸汽大於原設計值，由於原汽渦輪發電機容量及氣冷式冷凝器（ACC）散熱能力限制，依目前實際垃圾熱值，3爐運轉所產生蒸汽量已足夠讓汽渦輪發電機滿載，4爐運轉則有過剩蒸汽需旁通散熱排入大氣，焚化產生熱能未能完全回收發電，實為可惜。目前臺北市3座焚化廠尚具餘裕容量下，可規劃整改延役，提升效能，整改前後焚化廠的操作流程圖如圖1及圖2。

本計畫目標如下：

- （一）提升發、售電容量以增加回收蒸汽熱能為電能，使垃圾熱值達 $2,400\text{kcal/kg}$ 時，焚化容量至少恢復至每日1,000噸。
- （二）汰換老舊設備、改善處理流程，以維持妥善運轉15年。

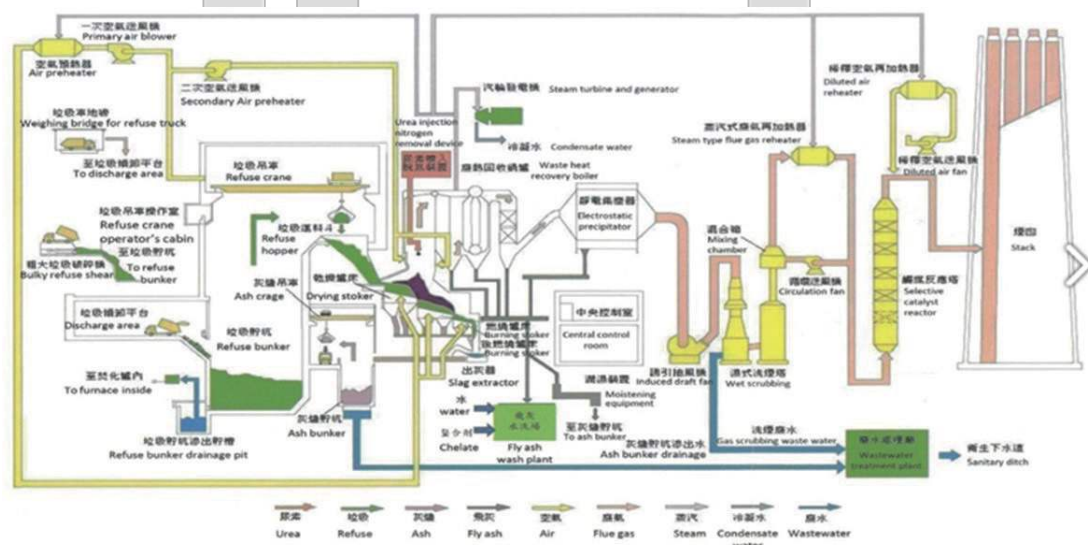


圖1 木柵焚化廠整修更新前之垃圾處理流程圖

（圖片來源：木柵焚化廠網站）

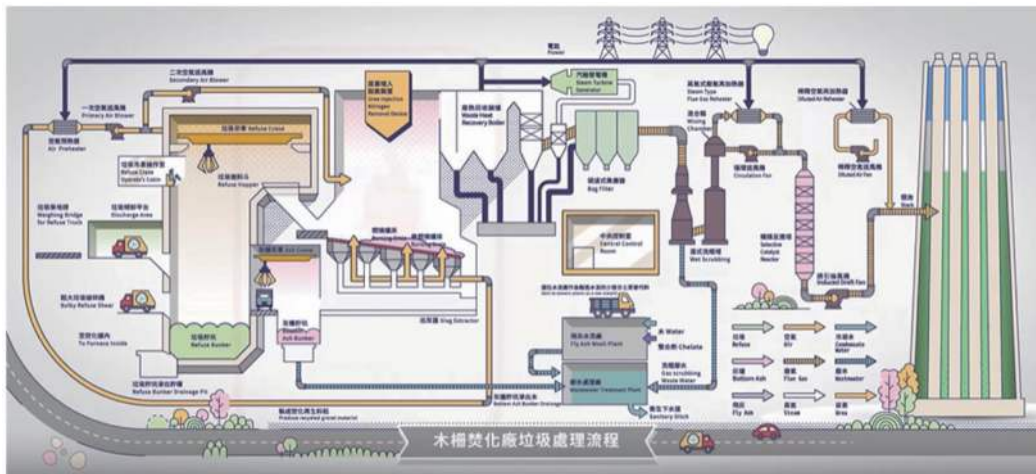


圖 2 木柵焚化廠整修更新後之垃圾處理流程圖

(圖片來源：木柵焚化廠網站)

三、整修更新工程關鍵問題

湖廠 $550 \times 0.75 = 412.5$ + 北投廠 $1,800 \times 0.75 = 1,350$ ，每日尚有 340 公噸 $(2,100 - 1,760)$ 待焚化垃圾須堆置。

執行整修更新工程遷涉領域相關廣泛，包括土木、結構、環工、空調、電氣、監控等工程，其界面繁多，需要考量其他爐線正常運轉條件下，進行拆除與安裝工程，經過機關、施工廠商、專管、監造等單位多方努力後，順利如期如質完工，並且運作狀況符合預期效益，實屬不易，主要關鍵問題說明如下：

目前三座焚化廠貯坑最大堆置量約 42,000 公噸，可供堆置約 123 天（ $42,000 \div 340$ ），相當於 4 個月，即等同木柵廠保守及保證全停爐施工天數。

2. 提高焚化廠可靠運轉。

在木柵廠全停爐施工前，應規劃於民國 107 年 2 月底前先完成北投廠鍋爐換管，確保北投廠可靠運轉焚化能力，保證內湖及北投廠每日可提供約 1,760 公噸焚化能力後，木柵廠再進行全停爐施工，並配合三廠 4 個月貯坑堆置容量，壓縮全停爐施工天數。

原契約採用四爐同時進行整修更新作業，歲修及改善工程全場停爐 6.5 個月，由於垃圾處理問題，無法長達 6.5 個月全廠停爐，另考量整修更新後的爐體處理是否穩定問題，改成先進行二爐的整修更新，隔年再進行另外二爐整修更新作業。

執行方式：與機關充分討論後，研擬調整施工時程變更契約，以合理時程進行整修更新，如表 1 所示

（一）整改工程的施工期程

木柵廠全停爐施工期間，臺北市完全無垃圾處理安全餘裕量，目前全市每日垃圾量約 2,100 公噸÷內湖每日滿載處理量（480 公噸／日）+北投每日滿載處理量（1,600 公噸／日），任何一廠鍋爐破管故障或停爐清爐時，即會加重焚化廠貯坑垃圾堆置壓力。

解決焚化廠貯坑垃圾堆置壓力方法：

1. 縮短木柵廠全停爐施工時間。

以內湖廠及北投廠 75 % 保守及保證焚化能力估算，每日可提供約 1,760 公噸焚化能力（內

表 1 契約變更工程說明

	原契約	契約變更後
工期	民國 106.6.20 ~民國 108.6.19 = 730 天	民國 106.6.20 ~民國 108.12.31 = 925 天 延長 195 天
	分 3 階段完工， 第 1 階段完成至少 2 爐設備及相關公用設備（足供發電機發電及售電）， 第 2 階段完成剩餘二爐設備單體試俾及單爐試俾， 第 3 階段為全案竣工。	分 4 階段完工 第 1 階段完成完成相關公用（足供發電機發電及售電）， 第 2 階段完成二爐設備單體試俾及單爐試俾， 第 3 階段完成剩餘二爐設備單體試俾及單爐試俾， 第 4 階段為全案竣工。
優點	歲修及改善工程全場停廠 6.5 個月	歲修及改善工程同時進行，全廠停爐實際約 2 個月

（二）鋼管施工架之法規

整修更新廠商會歲修期間與歲修廠商同時作業，整修更新工程之拆除工班與安裝工班的施工架均不相同，加上現場可施工空間有限，受限於安全及施工人數。在工程進行中，鋼管施工架應符合國家標準 CNS4750 要求的過渡階段，鋼管施工架符合國家標準之推動期程如下：

1. 第 1 階段：自民國 102 年至 103 年，針對高危險性及預算金額 10 億元以上公共工程逐步推動。
2. 第 2 階段：自民國 104 年至 107 年，增列民間丁類建築工程逐步推動，並逐年擴大公共工程適用範圍。
3. 第 3 階段：民國 108 年起全面實施。

執行方式：本案施工期程自民國 107 年初至 108 年底，依鋼管施工架實施期程需於民國 108 年起全面採用 CNS 4750 施工架。勞檢所檢查時工地作業環境，是不分施工工班，本工程約於民國 107 年 10 月重新拆除並更新。

（三）防護、安全、搬運、測試

整修更新工程主要是將誘引抽風機（IDF）更新，並移至觸媒反應塔後端，將靜電集塵器改為濾袋集塵器，設計階段時，採用 3D 繪製煙道，並進行多次的現場會勘。誘引抽風機移置後端可

將原來的廢氣處理系統由正壓改為負壓系統，避免廢氣外洩的風險。

在拆除煙道時需考慮拆除順序，及拆卸煙道的搬運路線，每個爐線都設有吊點，拆除廢棄煙道會暫時在堆放區，而廢棄煙道為有價廢棄物，機關會上網標售，需與機關配合，以免拆除廢棄煙道無法堆置。

規劃煙道安裝順序，以連接設備的煙道先安裝，考慮支撐與最後連接點，一般安裝時總會有誤差，最後連接處將在現場（廠區）裁切，然後進行風煙安裝。

廢氣處理系統施工程序，由上所述，本工程除了新增節熱器及混合箱外，尚須拆除原本之靜電集塵器改換成袋濾式集塵器、更換誘引式抽風機等之重大工項，並依二階段之施工時程規劃，先施工第 3 與 4 號爐，再施作第 1 與 2 號爐，但期間一些附屬設備及連接管需先拆後裝，所有工項事先進行完善的規劃，每一拆卸步驟及其後復原的工作，皆必須依一定的順序方能順利完成。

以監造的角色及立場必須將各分項施工計畫進行整合，並協調廠商妥善安排適合的工具及有經驗的人力，將第 4 號爐施工過程的問題點及可再優化的步驟，即時反饋在第 3 號爐的施作上，依此類推把工作越作越順，工期掌控也越來越佳。

拆除作業之主要工作程序，廢氣煙道的 3D

立體圖詳圖 3 所示。

1. 稀釋空氣風機馬達拆除、活性碳噴入鼓風機拆除、液位計偵測儀表及手閥拆除、檔板及氣封風機、二次洗煙塔循環泵拆除、尿素供應泵浦拆除。
2. 靜電集塵器拆除。
3. 節熱氣出口煙管拆除。
4. 廢氣煙管及附屬設備拆除。
5. 混合箱出口大小頭及連接管拆除。
6. 誘引式抽風機拆除。
7. 一、二次洗煙塔循環拆除。
8. 一、二次洗煙塔 FRP 聯通管拆除。
9. 稀釋空氣風機拆除。
10. 氣封風機拆除。
11. 再熱循環風機拆除。

(四) 混合箱及節熱器的安裝問題

本整改工程之新增節熱器由於現場焊接空間不足，加上於現場焊接作業耗時久，採用工廠製作完成，於現場採用大型吊車進行吊裝，詳見圖 4 及圖 5 所示，原本廠房屋頂是無吊裝開口。於吊裝前完成屋頂開口及移動式遮雨棚，遮雨棚主要是避免因下雨造成設備損壞，混合箱及節熱器吊裝依據吊裝公司進行詳細計算與規劃下完成。

(五) 煙道保溫

廢氣煙道安裝後，便需進行設備與煙道的保溫，其施工時間久，雖不影響爐線操作，即使單爐及功能測試完成後，仍有部分煙道的保溫作業未安裝完成，因煙道已在營運使用中，溫度至少 80℃ 以上。因此整改工程在啟爐前，需將高溫的煙道與設備需完成保溫作業，以免啟爐後，環境不佳，安裝效率差，也有安全上的疑慮，另外其他剩下為保溫的煙道，需特別注意施工安全以免燙傷。

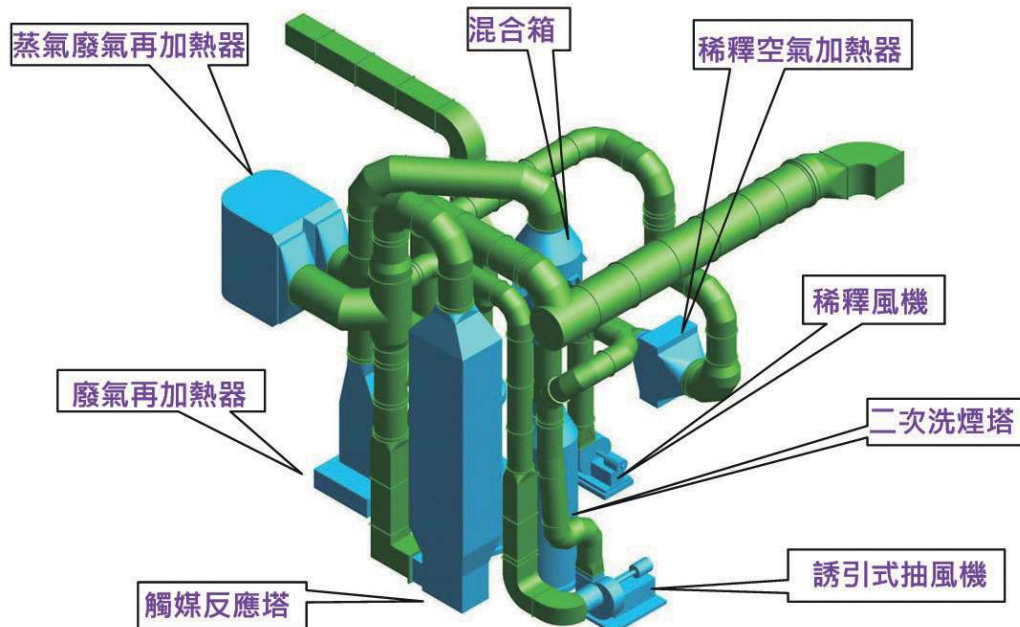


圖 3 廢氣煙道的 3D 立體圖
(圖片來源：木柵焚化廠統包送審文件)



節熱器進場



節熱器吊裝一



節熱器吊裝二

圖 4 新增節熱器吊裝



混合箱進場



混合箱吊裝

圖 5 混合箱吊裝

（六）品管檢驗問題

除了洗煙泵、誘引式抽風機、袋濾式集塵器，契約中有規定袋濾式集塵器的濾材的單位重量 700 g/m^2 ，施工規範的 810 g/m^2 ，由於統包廠商並無提出疑義，最後以大於 810 g/m^2 單位重量為符合品管規定，單位重量與集塵器的效率無法判斷有直接關係，若檢驗時單位重量略小於 810 g/m^2 ，如 805 g/m^2 ，其功能上無法判斷其效率，在品管上僅能採用銷毀或採用減價收受方式處理，雖然本案檢測結果都大於 810 g/m^2 ，建議在相似工程之契約文件與規範中以考慮誤差值規定較為合理，

例如 $810 \pm 40 \text{ g/m}^2$ 。

（七）功能測試的問題

經過單機運轉與系統測試，合格後進行功能測試，此時啟爐運轉，並進行爐體操作的參數修正，待系統穩定後，由環檢單位進行採檢，符合數據後，才能報竣工。本案檢測項目分成測試模式與常態模式兩種模式，測試模式與常態模式差別在有無活性碳粉噴入，當啟爐時若排放污染物超過標準或是檢測結果其中一爐無法符合條件時，改善後重新檢測，正式報告須要時間，容易

造成完工時間前無法正式報告，將造成罰款問題。對於四爐的爐線出現其中一爐檢測問題而造成罰款，不符合比例原則，建議檢測報告之數據初稿符合要求或是罰款加入比例原則以免造成爭議。

（八）缺失改善的問題

啟爐後造成缺失，雖不影響爐線功能運作。但缺失改善，需要待清爐與歲修的時間才能進行改善。

（九）灰斗結塊問題

機關操作時，屢屢發生袋濾式集塵器灰斗結塊問題，承包商採取人工清灰，並探討問題發生原因如下：

1. 疑似廢氣中含水率高。
2. 疑似廢氣中 SO_3 含量高。
3. 輸灰系統阻塞。

承包商主要改善措施為防止積灰，減少溫度變化致飛灰結塊，主要作為如下：

1. 所有銜接口積極查漏，避免冷空氣侵入。

2. 複查保溫功能，減少溫度變化。
3. 增設保溫，減少溫度變化。
4. 增設人孔內側凸緣蓋，防止人孔頸部積灰。
5. 切除內部爬梯，減少積灰。
6. 調整操作參數，減少積灰。
7. 增設螺旋輸灰機破壞棒，減少飛灰沾黏結塊。

因應積灰問題，飛灰沾黏包覆輸灰機螺桿導致架橋，規劃壓縮空氣砲，架橋破壞器因應。另外經過長時間運轉參數調整，濾式集塵器集灰斗加熱器之加熱溫度提升操作（到達 150°C ），提升出灰溫度後，積灰問題改善。

（十）濾袋破損問題

濾袋的濾材表面採用 100% PTFE 的薄膜，機關操作時，啟爐時屢屢發生濾袋破洞造成廢氣濃度上升，詳見圖 6，並探討濾袋破損問題發生原因如下：

袋濾式集塵器破袋原因分析與改善報告中主要原因如下：

1. 依濾袋破損位置集中在濾袋底部 1 公尺範圍



圖 6 破損濾袋照片

（資料來源：統包商袋濾式集塵器破袋原因分析與改善報告）

內及濾袋底部，主要原因為濾袋底部 1 公尺範圍內有積灰，而造成磨損、腐蝕後破損，根本改善之道，就是將灰斗積灰迅速排除，避免排灰系統失效或架橋，導致飛灰累積至濾袋底部，造成磨損或腐蝕，建議加大灰系統排灰能量。

2. 花板頂部積灰很厚，疑為長期在線噴吹，細微非灰無法沉降排出，被氣流往上帶累積於壁板或頂部積灰結塊，等到大量累積才因重力作用一次崩落，造成灰斗積灰、累積或架橋，建議調整濾袋清灰方式及增設壁板或頂板積灰破壞設施。

承商因應此濾袋破袋問題，建議執行的方式如下：

1. 濾袋的耐溫為 260℃，集塵器加熱器之加熱溫度提升至 150℃。
2. 濾袋在線清灰改為離線方式噴吹。
3. 最後其他改善方式為
 - (1) 拆除各室旋轉閥改於輸送機出口加裝雙重擋板維持氣密及迅速排灰，避免因旋轉閥量能不足造成回堵及清灰不易。

(2) 延長噴吹後震動時間加速排灰。

(3) 加大灰系統排灰能量。經過長時間操作，架橋及濾袋破損問題發生機率已降低很多。

(十一) 施工之職業安全問題

採用乙炔／氧氣電焊機進行既有煙道切割作業，遵守動火管制，產生之火花四濺，若遇可燃物易發生火災的可能，於施工時下方清除可燃物並且鋪設防火墊（石棉布），減少火災發生。在整個施工期間，除了洗煙塔發生火災外將（洗滌球燒毀，但無造成人員傷亡），無其他火災事故發生，加強施工安全的巡視及職業安全演練。

四、整改前後之效益評估說明

實際使用情形及其效益與原規劃設計目標之比較說明如下：

(一) 每年約可增加售電 600 萬度，民國 109 年售電量較 106 年同期增加 785 萬 6,350 度，詳見圖 7。

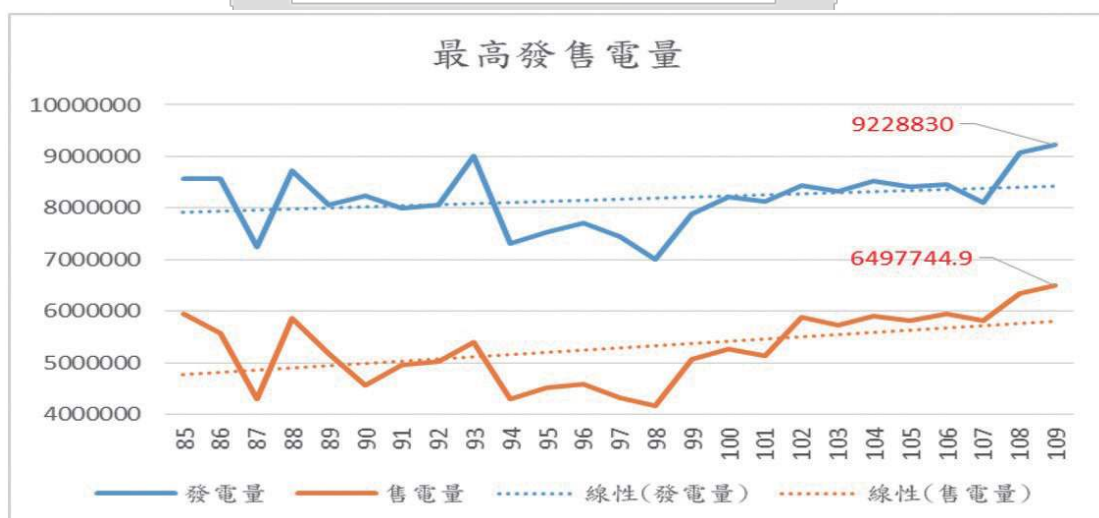


圖 7 焚化廠各年度發售電量比較
(資料來源：木柵垃圾焚化廠)

- (二) 恢復垃圾處理能力達日焚化量 1,000 公噸，民國 109 年 1 月 10~12 日經實測，分別為 1,017 公噸、1,015 公噸及 1,033 公噸。
- (三) 廢氣處理效能提升，減少粒狀物、氮氧化物的排放，減少粒狀物於民國 108 年 12 月檢測平均值為 $6\text{mg}/\text{Nm}^3$ ($< 10\text{mg}/\text{Nm}^3$)，

- 降低廢氣戴奧辛於民國 109 年 9 月 檢測四爐平均值為 $0.0255\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ ，為排放標準值的一半以下 ($< 0.05\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$)
- (四) 監測值差異比較，民國 106 年監（檢）測與 109 年至 9 月監（檢）測如表 2 所示。戴奧辛下降 38.55%。

表 2 民國 106 年監（檢）測與民國 109 年至 9 月監（檢）測

監測項目	法規標準	民國 106 年監（檢）測	民國 109 年至 9 月監（檢）測	差異比較
NO _x	220ppm	73.59ppm	65.25ppm	下降 11.33%
SO _x	150ppm	4.82ppm	4.44ppm	下降 7.82%
OPA	20ppm	2.79ppm	1.71ppm	下降 38.72%
HCL	60ppm	5.03ppm	4.98ppm	下降 1.09%
戴奧辛	$0.15\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$	$0.0415\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$	$0.0255\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$	下降 38.55%

資料來源：木柵垃圾焚化廠

五、結語

本文介紹之案例，整改工程的主要系統為垃圾焚化爐廢氣處理系統，包括將靜電集塵器改成袋濾集塵器，增加節熱器及將誘引抽風機移置後端並更改煙道配置，除了可以提高集塵的效率，同時也增加廢熱利用，增加售電量，並提高垃圾的處理量，並且在不影響垃圾的調度的情況下完成本工程，工程進行中會出現很多無法預料的事情，經過統包、廠商及專管監造廠商通力合作，將整修更新工程完成，整改後之廢氣處理效能提升，減少粒狀物、氮氧化物的排放並且增加售電量，發電量增加，對於電力系統不無小補，如此說明整改工程將設備延役的作法是可行的，也是利多於弊。除此之外藉由本工程經驗，因為整改工程與新建工程屬於不同的施工條件下，特別是設備進出動線及路徑之安排、工期管控、廢氣檢

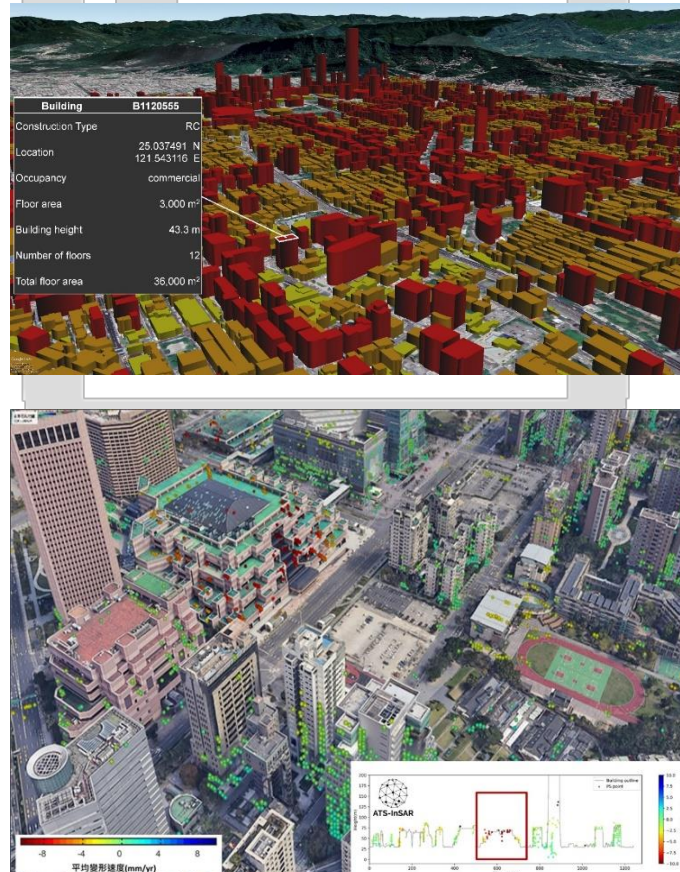
測的問題及職業安全訓練等等，皆為整修更新工程特別注意的事項，才能如期如質完成工程。

參考文獻

- 環境部「一般廢棄物回收清除處理辦法」
環境部「廢棄物焚化爐戴奧辛管制及排放標準」
臺北市政府環境保護局木柵垃圾焚化廠 <https://www.mcrip.gov.taipei/>
環境部「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」
鋼管施工架應符合國家標準 CNS4750 要求，行政院勞工委員會 102 年 3 月 6 日 勞檢 4 字第 1020150260 號函

人工智慧與衛星影像於廣域智慧防災之多 元應用技術

有鑑於政府與民間單位對於導入人工智慧用在廣域智慧防災為未來的需求，中興社以 AI 技術主軸研發了：(1)AI 辨識及萃取都會區建物屬性技術，結合遙測影像與 AI 為都會區建置建物曝險基本資料庫且效率式更新，可用於都市巨災風險評估與防災措施規劃。(2)AI 於合成孔徑雷達影像分析技術與都會區廣域防災應用，結合 SAR 影像與 AI 技術建立都會區房建物安全監測分析方法，可評估工址開挖或地下施工於不同時期之沉陷槽與影響範圍，提供鄰損鑑定之量化數據，亦可結合土壤液化高潛勢圖進行變形區監測分析，評估潛在地層下陷熱區或建物潛在沉陷。(3) AI 機器學習於廣域邊坡安全評估技術，透過 AI 資料庫與使用者介面輸入岩坡基本參數如擾動因子 D 、地質強度指標 GSI 、岩性係數 m_i 、坡度、坡高(m)、地下水位比、岩石單壓強度與單位重等，可初步求得廣域岩坡淺層岩屑滑動之安全係數與機率。



相關資訊請洽 財團法人中興工程顧問社 防災科技研究中心
邵國士博士(02-87919198, 分機 323)、李璟芳博士(分機 344)
臺北市內湖區新潮二路 280 號

環境水體關切藥物及六溴環十二烷 分析方法開發

劉婉儀* 林宜璇** 李品蕙*** 吳紗糸**** 楊淑娟****
林淑滿**** 許國恩*****

一、前言

隨著檢測技術精進與環保意識提升，廢污水及環境水體中之藥物、個人保健用品（Pharmaceuticals and Personal Care Products, PPCPs）與持久性有機污染物（Persistent organic pollutants, POPs）等「新興污染物」議題方興未艾，前述 PPCPs 包含抗生素類及非抗生素類藥物，以及基於提升健康品質、美容、清潔等用途而使用之個人日常生活用品。

綜整國內外研究文獻顯示廢污水及環境水體中 PPCPs 濃度極低，檢測濃度範圍為奈克 / 公升 (ng/L) 至微克 / 公升 (μg/L)。目前雖尚未有確切研究證據顯示環境水體關切藥物流布至環境而直接危害人體健康，但其於環境的傳輸卻可能以干擾內分泌、影響胚胎發育等方式危及非目標生物（如細菌、魚、無脊椎生物等）之存續，甚或成為超級細菌演進的濫觴（Kim et al., 2007; Rubasinghege et al., 2018）。

聯合國環境計畫總署（UNEP）1995 年為防堵 POPs 對環境造成的戕害，提高全球對於 POPs 環境危害風險的警覺性，起草「持久性有機污染

物斯德哥爾摩公約」，並於 2004 年生效，截至 2019 年已限制或禁用 30 項 POPs，其中六溴環十二烷（Hexabromocyclododecane, HBCD）主要作為阻燃劑，具有三個互不為鏡像之立體異構物，分別為 α -HBCD、 β -HBCD 和 γ -HBCD，已被證實可能會影響脊椎生物（人類尚未有充分證據證明）下視丘—腦下垂體—甲狀腺軸功能，進而造成生殖發育毒性。

考量環境關切藥物於環境中流布之危害風險，參考環境部（2020）彙整之國內外水資源管理管制關切 85 項藥物清單，遴選臺灣或美國已有公告檢測方法參考之卡馬西平、三氯沙、去氫馬烯雌酮、烯雌酮、雌三醇、雌素酮、17 α -乙炔基雌二醇、炔雌醇、炔諾酮、阿奇黴素、環丙沙星、17 α -雌二醇、水合氯醛、氟西汀、二甲雙胍、氧氟沙星、盤尼西林、安比西林、頭孢氨苄及諾氟沙星等 20 種藥物作為標的關切藥物；另環境部（2018）調查顯示國內仍有事業運作持久性有機污染物 HBCD，為確保環境水體品質，本研究藉由文獻蒐集與探討，針對關切藥物、六溴環十二烷等放流水標準未管制之新興污染物進行分析方法開發，並透過真實樣品分析掌握關切藥物及六

* 中興工程顧問社環境工程研究中心助理研究員
** 中興工程顧問社環境工程研究中心副研究員
*** 中興工程顧問社環境工程研究中心助理工程師
**** 中興工程顧問社環境工程研究中心副工程師
***** 中興工程顧問社環境工程研究中心環境檢測技術組組長

溴環十二烷於事業廢污水之排放風險及水體水質現況，提供水污染防治管理之參考。

二、實驗方法

本研究擇定之 20 項關切藥物包含鎮痛解熱劑、抗生素、慢性病用藥、荷爾蒙補充療法用藥、消毒產品成分等，所涵蓋藥物化性多元，故將 20 項關切藥物分群，並以國內外公告方法為基礎，個別建立分析方法。另參考國內外相關研究成果，開發廢（污）水中六溴環十二烷之分析方法。

本研究考量試驗過程中樣品保存期限、固相萃取管匣之吸附材質、基質干擾等因子，調整公告方法部分試驗條件及上機分析條件，使適用範圍趨近實際環境管理之需求，方法優化流程如圖 1。分析方法確效執行完畢後，透過分析實際樣品以進行方法驗證，並進一步掌握前述污染物於環境水體之流布。

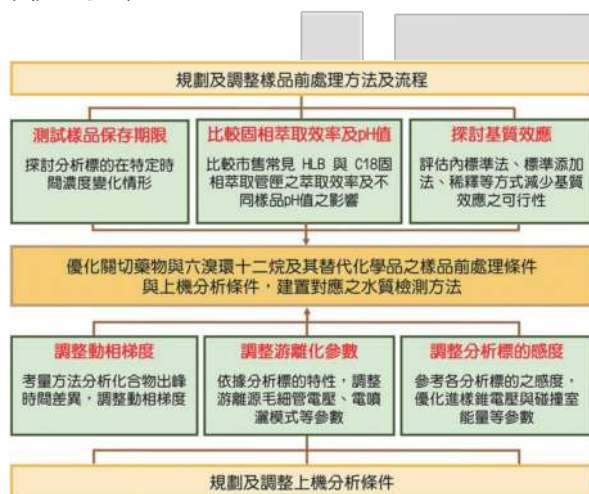


圖 1 檢測方法優化流程

本研究建置共 5 個檢測方法簡述如下：

（一）卡馬西平、安比西林、阿奇黴素、環丙沙星、氟西汀、氧氟沙星、諾氟沙星、盤尼西林、頭孢氨苄等 9 項化合物之檢測方法
參考「水中抗生素及鎮痛解熱劑化合物檢測

方法—固相萃取與高效液相層析／串聯式質譜儀法（NIEA W543.50B）」，建立 9 項藥物化合物之分析方法。先以甲醇、試劑水活化固相萃取管匣（HLB），再取適量體積水樣（水樣之 pH 需先調整至約 4）載入活化後之固相萃取管匣。續以試劑水清洗固相萃取管匣並抽乾，並以 3 mL 甲醇（含 2% 甲酸）、3 mL 氫甲烷沖提固相萃取管匣（各沖提 2 次），收集之沖提液經濃縮過濾後以 LC-MS/MS 上機分析。

（二）二甲雙胍之檢測方法

二甲雙胍檢測方法建置參考公告方法 US EPA Method 1694 及 NIEA W543，先取適量體積水樣（水樣之 pH 需先調整至約 10）載入活化後之固相萃取管匣，續以試劑水清洗固相萃取管匣並抽乾，再以 6 mL 甲醇（1 次）、9 mL 含 2% 甲酸之去離子水（兩次）沖提固相萃取管匣，收集之沖提液經濃縮過濾後以 LC-MS/MS 上機分析。

（三）烯雌酮、雌三醇、雌素酮、17 α -乙炔基雌二醇、去氫馬烯雌酮、炔雌醇、炔諾酮、17 α -雌二醇、三氯沙等 9 項化合物之檢測方法

上述 9 項藥物有 8 項為固醇類激素，1 項為消毒用藥，因此選擇參考「水中新興污染物檢測方法—固相萃取與高效液相層析／串聯式質譜儀法（NIEA W545.50B）」，建立檢測方法。先以甲醇、試劑水活化固相萃取管匣（HLB），再取適量體積水樣載入活化後之固相萃取管匣。續以試劑水清洗固相萃取管匣並抽乾，並以 5 mL 甲醇沖提固相萃取管匣（2 次），收集之沖提液經濃縮過濾後以 LC-MS/MS 上機分析。

（四）水合氯醛之檢測方法

參考「水中加氯消毒副產物、含氯溶劑及含

鹵素農藥檢測方法—液相—液相萃取／氣相層析儀／電子捕捉偵測器法（NIEA W662.50C）」，將水樣 pH 調整至 4.5~5.5，再取適量體積水樣與甲基 - 第三丁基醚（Methyl tert-butyl ether，MTBE）混合震盪反應 4 分鐘，靜置後待分層（約 2 分鐘），取上清液以 GC-ECD 分析水合氯醛。

（五）六溴環十二烷之檢測方法

參考國內外學術研究成果，以溶劑使用量少且吸附劑選擇多元之固相萃取法作為前處理方法。先以氘甲烷、試劑水活化固相萃取管匣（HLB），再取適量體積水樣載入活化後之固相萃取管匣。續以試劑水清洗固相萃取管匣並抽乾，並以氘甲烷沖提固相萃取管匣，收集之沖提液經濃縮過濾後以 LC-MS/MS 上機分析。

三、結果與討論

（一）優化檢測方法分析條件

透過調整部分試驗步驟如調整水樣 pH 值及選擇合適的固相萃取管匣，藉以改善品管樣品回收率表現，確保分析品質。對於水合氯醛檢測方法，為抑制其在鹼性狀態下之分解效應，樣品採樣後添加磷酸鹽緩衝試劑，同時可調整樣品 pH 值至 4.5~5.5，故水合氯醛之前處理條件依照公告方法執行不另作測試。因此，本研究透過比較不同固相萃取管匣與不同 pH 值，比對除水合氯醛外 19 項關切藥物及六溴環十二烷等目標化合物於不同條件下回收率之差異，評估前處理方法之最適化條件。固相萃取管匣以通用型 HLB 和 C18 作為比較，另依標的性質調整樣品前處理之 pH 值。

對於卡馬西平等 9 項藥物化合物，因參考之公告方法 EPA Method 1694 及 NIEA W543 皆顯示萃取前需調整樣品 pH 值至酸性，方能有較佳之回收率，因此本研究探討水樣 pH 值為 2、4、7

下之查核樣品回收率。對於烯雌酮等 9 項藥物化合物、二甲雙胍和六溴環十二烷之 3 個檢測方法，本研究探討其在水樣 pH 值為酸性（2~3）、中性（7~8）及鹼性（9~10）下之查核樣品回收率。

測試結果表明，卡馬西平等 9 項藥物化合物和二甲雙胍檢測方法之靈敏度會因不同的固相萃取管匣及 pH 值影響（圖 2）。採用 HLB 固相萃取管匣及調整 pH 至 4 時，卡馬西平等 9 種藥物之萃取效率最佳，查核樣品回收率（54.1%~127.1%）皆落於品管範圍（NIEA W543 為 40%~150%）。對於二甲雙胍，使用 HLB 固相萃取管匣在酸性條件下萃取效率影響較大，而在中性及鹼性條件下萃取效率較佳（查核樣品回收率分別為 109.3% 和 103.1%），且三重複結果穩定（相對標準偏差皆小於 1%）。另綜合 C18 固相萃取管匣測試結果，使用 C18 固相萃取管匣於不同 pH 值皆具有穩定且較佳的萃取效率，惟採用 C18 固相萃取管匣及調整 pH 至 7 或 10 時三重複分析結果之相對標準偏差（RSD）較大，考量公告方法之建議，本研究維持採用在鹼性條件下以 HLB 固相萃取管匣執行真實樣品分析。

對於烯雌酮等 9 項藥物和六溴環十二烷，無論使用 HLB 或 C18 固相萃取管匣及在不同 pH 值條件下，整體化合物準確度良好，查核樣品回收率皆介於 70%~130% 之間，烯雌酮等 9 項藥物查核樣品回收率介於 79.9%~108.9%，相對標準偏差小於 5.6%。 α 、 β 、 γ -六溴環十二烷查核樣品回收率介於 81.9%~116.3%，相對標準偏差小於 10.0%，皆能符合檢測需求，為降低樣品性質變化，兩檢測方法皆維持採用參考方法建議之條件（HLB 固相萃取管匣及不調整 pH）進行真實樣品分析。

（二）確立分析方法

本研究 20 項關切藥物與六溴環十二烷查核

樣品回收率、添加樣品回收率、重複樣品相對偏差百分比與方法偵測極限彙整如表 1 所示。安比西林、頭孢氨苄及青黴素 G 之查核樣品回收率較差（查核樣品平均回收率分別為 61.4%、56.8% 和 54.1%），與國內環檢所公告方法「水中抗生素類及鎮痛解熱劑類化合物檢測方法（NIEA W543.50B）」之測試結果相似，該方法之安比西林及青黴素 G 查核樣品平均回收率分別為 66.0% 和 42.5%（該方法未囊括頭孢氨苄）。

安比西林、頭孢氨苄及青黴素 G 等三項藥物化合物皆屬於 β -內醯胺類抗生素，依據研究文獻， β -內醯胺類抗生素在酸性條件下較不穩定，

可能導致化合物降解，造成查核樣品或添加樣品回收率不佳。因 pH 值會影響藥物在水中的存在形態、穩定性及與固相萃取管匣填充物之間的相互作用，從而影響萃取效果。雖調整前處理條件可讓不同標的獲得更佳的萃取效率，惟本研究係針對 9 項不同結構之藥物同步進行檢測，須考量經前處理後之 9 項藥物的品管結果均能符合規定，本研究對比不同條件下 HLB 固相萃取管匣對標的之萃取效果，發現大部分藥物在 pH 為 4 條件下之回收率最佳。若未來單獨針對安比西林、頭孢氨苄及青黴素 G 等藥物進行研究，建議可進一步探討其最佳萃取效率之前處理方法。

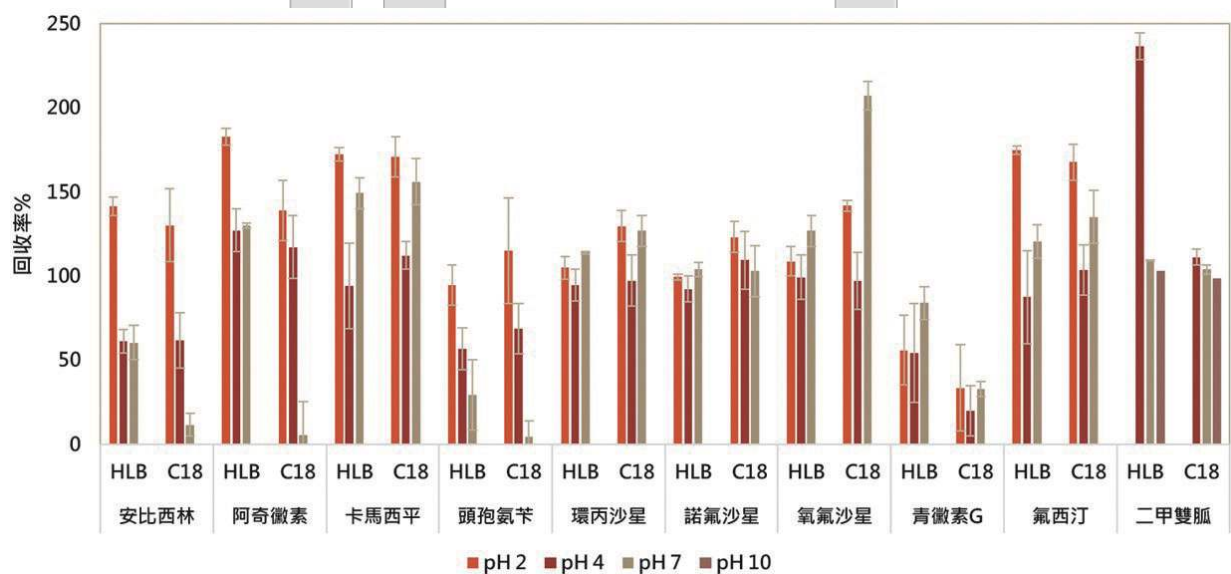


圖 2 比較不同 pH 值與固相萃取管匣之卡馬西平等 9 項藥物化合物和二甲雙胍之查核樣品回收率

（三）真實樣品分析

本研究應用建立之檢測方法，調查醫療院所、公共污水處理廠和環境水體等對象之關切藥物濃度，調查結果分述說明如下。

23 點次廢污水及環境水體（計 20 項關切藥物）分析結果顯示，青黴素 G 及快諾酮 2 項藥物於所有水樣均無檢出。醫院原廢水（n=10）及放

流水（n=8）水樣分別檢出 15 項和 14 項藥物；公共污水處理廠之原污水（n=1）及放流水（n=1）水樣分別檢出 11 項和 9 項藥物；環境水體（n=3）水樣中共檢出 11 項藥物，檢出頻率最高之項目為阿奇黴素、頭孢氨苄、氧氟沙星及二甲雙胍等 4 項藥物，與醫院原廢水檢出藥物項目具高度關聯性。

表 1 本研究目標化合物之相關品管數據

化合物名稱	前處理	水樣 pH 條件	查核樣品回收率 (%)	添加樣品及重複添加樣品回收率 (%)	重複樣品相對偏差百分比 (%)	方法偵測極限 ($\mu\text{g/L}$)
			n=3	n=6	n=3	
安比西林	SPE	4	57 ~ 66	43~70	3~24	0.00324
阿奇黴素			111 ~ 143	115~140	0~17	0.00633
卡馬西平			79 ~ 121	120~150	0~3	0.00366
頭孢氨苄			51 ~ 64	45~64	1~20	0.00349
環丙沙星			88 ~ 105	99~105	0~1	0.00304
諾氟沙星			84 ~ 97	103~113	1~3	0.00404
氧氟沙星			91 ~ 114	48~125	0~4	0.00375
青黴素 G			42 ~ 72	62~109	7~21	0.00325
氟西汀			73 ~ 115	100~133	2~18	0.00639
二甲雙胍	SPE	10	97 ~ 103	76~106	4~26	0.0154
炔雌醇	SPE	-	77 ~ 126	61~68	2~3	0.00820
炔諾酮			88 ~ 115	52~59	1~10	0.00123
17 α -乙炔基雌二醇			87 ~ 128	82~98	2~9	0.00313
17 α -雌二醇			82 ~ 105	86~100	2~4	0.00366
去氫馬烯雌酮			70 ~ 75	55~121	0~3	0.00150
烯雌酮			78 ~ 116	76~84	3~7	0.00163
雌三醇			79 ~ 84	63~98	3~11	0.00232
雌素酮			84 ~ 109	79~91	1~5	0.00223
三氯沙			81 ~ 133	74~100	3~10	0.00969
水合氯醛	LLE	4.5~5.5	86 ~ 104	71~80	0~5	0.0190
α -六溴環十二烷	SPE	-	99 ~ 117	61~70	2~6	0.00162
β -六溴環十二烷			100 ~ 115	60~65	3~5	0.00209
γ -六溴環十二烷			105 ~ 121	61~78	0~4	0.00269

註：本研究使用之 SPE 萃取管匣為 Oasis HLB Cartridges (200 mg, 6 c.c, Waters)。

檢出濃度最高之藥物為二甲雙胍（醫院原廢水及放流水濃度分別為 41.9 ~ 335 $\mu\text{g/L}$ 、4.04 ~ 174 $\mu\text{g/L}$ ，而在公共污水處理廠原污水及放流水濃度分別為 153 $\mu\text{g/L}$ 及 0.462 $\mu\text{g/L}$ ，環境水體之濃度則為 1.29~5.02 $\mu\text{g/L}$ ）。其餘 19 項藥物於醫院原廢水、醫院放流水、污水處理廠原污水、污水處理廠放流水及環境水體水樣之檢出濃度分別

介於 0.0285 ~ 30 $\mu\text{g/L}$ 、0.009 ~ 20.1 $\mu\text{g/L}$ 、0.0261 ~ 9.05 $\mu\text{g/L}$ 、0.00688 ~ 0.191 $\mu\text{g/L}$ 和 0.0047 ~ 0.212 $\mu\text{g/L}$ ，其中污水處理廠放流水及環境水體藥物檢出濃度均低於 1 $\mu\text{g/L}$ 。

另本研究以 10 家特定事業（2 家石油化學業、5 家化工業及 3 家其他工業）廢水為調查對象進行六溴環十二烷分析（包含 α -HBCD、 β -HBCD、

γ -HBCD)，共採取 20 處廢污水（包含原廢水、納管水及放流水）樣品。僅有 2 處事業原廢水檢出 α -HBCD，濃度分別為 0.00168 和 0.00585 $\mu\text{g/L}$ ，餘 18 處水樣檢測結果均低於方法偵測極限（0.00162 $\mu\text{g/L}$ ），20 個水樣之 β -HBCD 和 γ -HBCD 檢測結果均低於方法偵測極限（0.00209 和 0.00269 $\mu\text{g/L}$ ）。依據調查結果及研究文獻，國內潛在運作六溴環十二烷事業多已使用替代化學品（如甲基八溴醚），潛在運作事業廢水含有六溴環十二烷機率已大幅降低。

四、結 論

- （一）本研究已驗證水質 20 項關切藥物及六溴環十二烷之樣品前處理方法與儀器分析條件，並完成檢測方法之建立，查核樣品回收率皆符合品管範圍。
- （二）本研究應用建立之檢測方法，調查實際事業廢（污）水和環境水體等對象之關切藥

物及六溴環十二烷濃度，已掌握關切藥物及六溴環十二烷於廢污水及環境水體背景濃度。

- （三）真實樣品分析結果顯示，大部分藥物於醫院及公共污水處理廠廢（污）水及環境水體均有檢出，其中二甲雙胍於環境水體檢出濃度與醫院放流水檢出濃度相當，建議未來持續關注及監測關切藥物於廢（污）水或環境水體之濃度與其在環境中之流布狀況，並持續評估其對環境的影響性及人體健康風險，同時參酌國際管理管制趨勢，以及時掌握現況。六溴環十二烷部分，廢（污）水檢出濃度已低於國際研究調查結果，惟該類持久性有機污染物具高疏水性（辛醇／水分配係數 Log Kow 為 5.44 ~ 5.59），較容易吸附於顆粒物質，建議未來可優先評估探討土壤及底泥等基質之方法適用性，並進行環境背景資料調查分析，降低該類污染物可能衍生之環境風險。

應用程式

公開發售

結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式

售價：新臺幣 9,190 元/套(含報告)

訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐

傳 真：(02)8791-2198

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw

實驗室資訊化管理系統建置

劉婉儀 * 吳紗糸 ** 許國恩 *** 阮春騰 ****

一、前言

中興社環研中心環境實驗室為環境部認可之環境檢測機構（環境部國環檢證字第 021 號），業務執程序必須符合相關環保法規及國際標準，由於出具之成果報告可作為法規裁處之依據，故有效控管實驗室之工作流程及 QA/QC 系統之數據品質，實為執行業務之根本要務；歷來處理各類法規管制檢項之大量委託檢測樣品，皆由具豐富經驗之人員執行，歷年均順利通過主管機關之逐年定期績效評鑑且持續維持認可證照，惟為改造作業環境及提升工作效率，擬導入實驗室資訊化管理系統（Laboratory Information Management System，以下簡稱 LIMS 系統），藉由整合性之數位管理平台，建構一致性之自動化機制以逐步取代人工作業，達到落實法遵接軌國際及提升效率改善品質目的。

二、LIMS 系統簡介

1970 年代後期，實驗室樣品的管理、分析、數據處理及報告出具等過程皆需要人工操作完成，過程耗時且容易出錯，專業人員開始編寫小型軟體程式管理日常實驗室工作。另由於積體電

路的普及應用，使實驗室儀器的自動化程度大幅提高。此外，隨著實驗室規模擴大及分析項目擴增，樣品數據分析處理需求不斷增加，實驗室需導入更有效的管理系統，以提高其運作效率。在市場需求的推動及電腦技術的快速發展，LIMS 系統於 1980 年代正式開發及推出，迄今已有四十餘年歷史。

現階段不同產業對於檢測的要求無論在樣品數量、分析周期、分析項目和數據準確性等方面皆提出更高的標準，LIMS 系統開發廠商也持續根據使用者需求不斷擴充發展，經歷研究和開發階段後，目前已有市場化、商品化及客製化的產品，並已被廣泛應用在不同領域的實驗室管理。現時 LIMS 系統在國內已廣泛應用於製藥、石油、化工、食品和環境檢驗等企業和研究中心的檢驗實驗室，依據環研中心環境實驗室需求，本計畫目標包括（1）落實法遵接軌國際，（2）提升效率改善品質，預期 LIMS 系統之建置能實現實驗室作業流程視覺化、人為疏失最小化、資源應用最大化及數據應用智慧化。

三、LIMS 系統架構

LIMS 系統採用 Web based 及 Client/Server 混

* 中興工程顧問社環境工程研究中心助理研究員
** 中興工程顧問社環境工程研究中心副工程師
*** 中興工程顧問社環境工程研究中心環境檢測技術組組長
**** 中興工程顧問社環境工程研究中心主任

合型架構進行規劃設計（如圖 1 所示），以滿足系統運作之效率性、穩定性、及可靠性。系統採用層式架構設計，區分為「資料庫存取層」、「企業邏輯服務層」、「使用者操作層」等。後端「資料庫存取層」採用 Microsoft SQL Server；中間「企業邏輯服務層」安裝 LIMS 應用程式伺服器，負責執行實驗室操作邏輯，並搭配使用 ASP.NET 撰寫網頁應用程式，架設 IIS 網站；前端「使用者操作層」則是在用戶電腦上建置操作環境，如瀏覽器或前端應用程式（如圖 2 所示）。

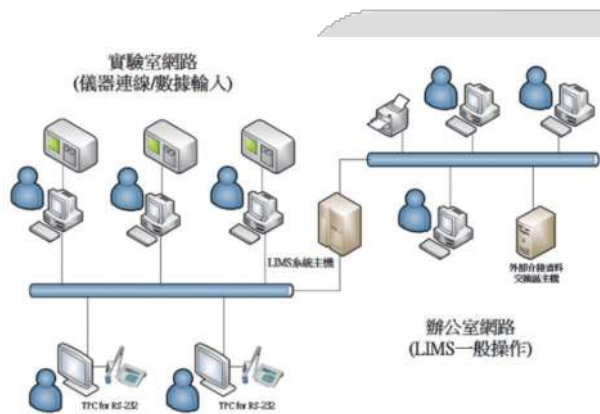


圖 1 LIMS 系統規劃示意圖

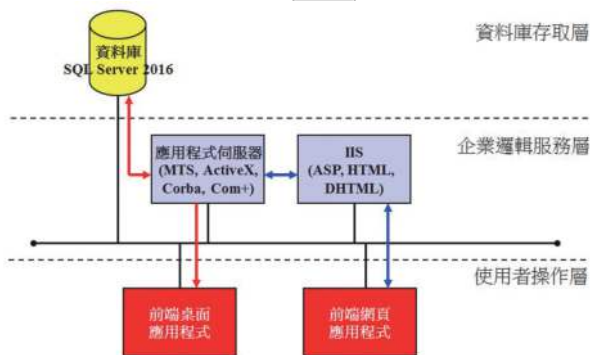


圖 2 LIMS 系統之層式架構示意圖

LIMS 系統涵蓋實驗室檢測分析服務之生命週期，依環境實驗室現行工作邏輯，區分為系統（權限管控）、基本資訊、方法管理、計畫管理、樣品管理、數據管理、查詢與統計、儀器管理、

物料管理與其他管理等十大模組（如圖 3 所示）及 90 餘個功能選單。



圖 3 LIMS 系統功能模組

四、建置畫面展示

「實驗室資訊化管理系統（LIMS 系統）」以網頁為使用者介面，其介面清晰易懂，使用者操作方便。同時，LIMS 系統根據環境實驗室工作邏輯及業務狀況，對各模組進行客製化的開發。惟本節僅展示部分功能，如需詳細資訊，請參閱操作手冊。

（一）系統登入首頁

系統登入首頁可於中興社網域內輸入系統網址進入 LIMS 系統網站畫面，詳圖 4。

（二）系統首頁

LIMS 系統首頁展現十大功能模組及相關提示訊息。提示訊息包含使用者待辦清單、年度工作、即時訊息及計畫進度，詳圖 5。



圖 4 系統登入首頁



圖 5 系統首頁



圖 6 樣品掃描

(三) 基本資料

基本資料包含使用者設定、群組設定、部門設定、供應商及客戶資料等各功能基本資料，提供後續其他模組使用資訊，管理者可自行增減設定。

(四) 方法管理

方法管理模組提供檢測分析方法相關資料設定，例如分析方法、項目、保存方式、方法偵測極限等資料設定，並可上傳標準作業程序書、數據紀錄表單、檢測紀錄表及方法增（廢）修（制）訂版本歷程管理等功能。

(五) 計畫管理

計畫管理模組具有計畫報價、計畫設定、委

(六) 樣品管理

樣品管理模組含有採樣管理、樣品接收管理、留樣管理、樣品委外管理等功能選單。透過樣品管理模組減少採樣作業繁雜的事前準備工作，並於採樣完畢後或於外部送樣進來時，藉由系統已輸入好的資料以條碼機掃描樣品，進行樣品點收的動作，減少人力點收花費的時間，如圖 6 所示。

(七) 數據管理

數據管理模組包含數據輸入及驗算、主管審核、製作報告、簽署報告、品質管制圖作業和委外數據管理等項目進行管理審核，藉以提升數據品質也同時提升數據的精確度及準確度，並保證數據合理性。另透過系統判斷功能，可減少人員判斷錯誤的機率和人員審查的時間。

(八) 查詢與統計

實驗室主管可透過 LIMS 系統查詢與統計模組準確的執行數據統計，以便管理決策及進一步提升數據品質。另外藉由統計檢驗員工作量及檢驗業績，可評估人員工作效率。

（九）儀器管理

儀器管理模組透過管理儀器之基本資料、校正週期、異常狀態，及查詢儀器設備預約情形，讓實驗室檢測人員及管理人員隨時了解儀器狀況，對儀器設備進行妥善管控，確保檢測結果的準確性和有效性。

（十）物料管理

物料管理模組對於藥品管理、耗材管理與請購及週轉金報銷作業等提供完整的歷史紀錄。本模組讓使用者隨時了解實驗室物料使用狀況，進而對物料進行妥善管控，確保物料品質的一致性和適時、適量、適價的管制。

（十一）其他管理

其他管理模組對申報文件、實驗室文件及歷史資料等進行管理，具有特定的權限控制，除保障各類型文件的安全性，另便於實驗室業務負責人員查找相關文件。

的支出及計畫管理的收入，確切了解實驗室的運行成本，減少物料支出。

（四）無紙化資源應最大化：LIMS 系統實現數據電子化（數據紀錄表、檢驗紀錄表及結果報告無紙化），預期可減少大量報告簽字、下載列印及填寫報告數據紙本約 90%，另 10% 為必須手寫記錄的數據及系統異常時的緊急應變措施使用。

（五）節省人力與時間：藉由系統的儀器介接工具使檢測數據自動帶入，同時系統可輔助判斷數據合理性與可信度，可減少 15-20% 的時間與人力。

二、達到人為疏失最小化的目標，藉由系統自動帶入數據減少人為誤植的機率，並同時可備份完整數據資料，提升數據品質。

三、達到作業流程視覺化，所有同仁可即時控管作業進度，並同時自行調配工作量達到工作效率最大化。

四、LIMS 系統記錄檢測樣品的完整流向及執行進度，發現問題時能及時溯源追蹤。

五、結 論

一、實驗室資訊化管理系統（LIMS 系統）提供各種資料儲存、交換、統計及分析的平台，提高實驗的檢測效率及數據準確性。

（一）提高實驗室數據品質管理能力和工作效率：藉由 LIMS 系統的即時數據分析判斷，提升檢測同仁對檢測數據的敏感程度，亦即當數據有問題時可馬上重新檢驗分析。

（二）提高分析數據安全性與可靠性：依據 LIMS 系統數據管理功能模組，藉由線上品質管制圖輔助、驗算員的查核及主管審核，可提升數據判斷的可靠性與安全性，同時降低人為判斷錯誤的發生。

（三）降低實驗室運行成本支出：依據物料管理

財團法人中興工程顧問社經累積多年之研發成果，已出版下列各項工程類別之銷售叢書，其內容精闢專業，深具參考價值。若有需要，歡迎申購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467

E-MAIL：louis@sinotech.org.tw

網址：http://www.sinotech.org.tw

類別	序號	書名	編號
水利工程類	1	台灣南部區域枯旱特性	R-HY-01-01
	2	河川水理輸砂模式 SEC-HY11	R-HY-01-02
	3	台灣地區地面水及地下水調查與運用	R-HY-01-03
	4	混凝土壩非線性分析商業化程式發展(一)	R-HY-01-04
	5	攔河堰二維水理分析軟體 SEC-HY20	R-HY-01-05
	6	敲擊彈性波技術應用在巨積混凝土結構物裂縫之檢測	R-HY-01-06
	7	近岸地形變化之數值模式	R-HY-01-07
	8	敲擊回音儀器改善開發及在混凝土波速與裂縫檢測上之應用	R-HY-02-02
	9	巨積混凝土非破壞品質檢測技術之研發	R-HY-02-03
	10	橋基側向侵蝕防治技術與設計指引(彩色版)	R-HY-02-04
	11	水平二維動床模式之應用	R-HY-02-05
	12	多座水庫系統聯合運轉模式(四)多目標水庫串聯系統與攔河堰聯合運轉	R-HY-02-06
	13	混凝土壩應力分析之工程應用模式建立(一)	R-HY-03-01
	14	即時逕流與河川演算人機介面模式	R-HY-03-02
	15	敲擊回音儀器改善開發及其在巨積混凝土裂縫與隧道襯砌厚度檢測上之應用	R-HY-03-04
	16	區域水資源系統即時操作模式之建立	R-HY-04-02
	17	混凝土壩非線性分析商業化程式發展(二)	R-HY-04-03
	18	混凝土壩非線性分析商業化程式發展(三)	R-HY-04-04
	19	河川水理、輸砂及污染質傳輸模式 SEC-HY11	R-HY-05-01
	20	混凝土非破壞檢測儀(Sino-NDT-IE)之改良	R-HY-05-04
	21	含自由液面之三維不可壓縮黏性流數值模式發展與應用	R-HY-05-05
	22	類神經網路於河川洪水預報系統	R-HY-07-02
	23	蝶閥啟閉過程中閥體受力之數值模擬	R-HY-07-03
	24	橋梁水理資訊系統	R-HY-09-01
	25	蓄水庫風險管理(二)風險辨識與風險控制及壩安全導則研訂	R-HY-09-02
	26	水平二維動床模式之研發及應用(二)岸壁冲刷	R-HY-10-01
	27	都市水岸縫合與環境改善研究——以美崙溪為例	R-HY-13-01
	28	宜蘭東澳地區海洋深層水多目標園區可行性研究	R-HY-14-01
	29	集集南岸三小水力發電計畫可行性研究	R-HY-16-01
大地工程類	1	堆石壩靜態與動態行為研究(二)軟岩材料含量對工程性質之影響	R-GT-01-01
	2	大地工程流形數值分析方法之發展(一)流形方法之引進與大地工程上之應用	R-GT-01-02
	3	隧道設計整合系統之發展(一)隧道支撐設計	R-GT-01-03
	4	隧道水文地質調查準則(含解說)	R-GT-01-04
	5	基樁完整性檢測技術發展與應用	R-GT-02-01
	6	多功能壓密沉陷數值程式之開發、模擬與驗證〔二〕施工模擬與尺寸效應	R-GT-02-02
	7	軟弱土層特性與深開挖行為〔三〕深開挖施工訊息化系統	R-GT-02-03
	8	岩盤隧道施工資料自動化處理系統	R-GT-02-04
	9	鬆軟地盤改良作業之評估、設計與檢驗方法	R-GT-03-01
	10	Seismic Resistance Design of Earth Structures and Deep Foundation-(1) Dynamic Effective	R-GT-03-02
	11	隧道施工專家系統	R-GT-04-01
	12	節理岩體力學特性研究(二)實際工程岩體力學參數之評估與應用	R-GT-04-02
	13	大地工程流形數值分析方法之發展(二)節理岩體斷裂破壞程式發展	R-GT-04-03
	14	地震時潛盾隧道與既有建築物之互制分析	R-GT-04-04
	15	樁基礎分析及設計程式發展	R-GT-05-01
	16	粉土細砂現地觸探結果設計參數之 CPT 標度	R-GT-05-02
	17	隧道交叉段力學行為與支稱對策	R-GT-05-03
	18	地理資訊系統於大地工程之應用(一)地質資料輸入、地質模型建立與地工分析模式發展	R-GT-05-04
	19	新興感測科技於環片計測之應用(一)	R-GT-06-01

大地工程類	20	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發（一）	R-GT-06-02
	21	預力混凝土既有應力非破壞檢測技術開發	R-GT-07-01
	22	柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法	R-GT-07-02
	23	台灣地區地震危害度分析程式發展與強地動衰減模式建立	R-GT-09-01
	24	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發（二）台灣地區隱沒帶強震資料建立	R-GT-09-03
	25	暨有混凝土橋梁內部損傷監測資料無線傳輸技術開發及應用測試（二）無線音射資料感測模組研製	R-GT-10-01
	26	落石問題分析技術	R-GT-10-02
	27	隧道施工專家系統整合應用與改進	R-GT-10-03
	28	集水區土砂災害分析	R-GT-10-05
	29	遙測技術於土木水利工程上之應用（一）——台灣中部地區土石災害潛勢研究	R-GT-10-06
	30	景美礫石層降水工法於大台北都會區深開挖工程之應用	R-GT-10-07
	31	隧道前方地質弱帶探查技術	R-GT-12-01
	32	高岩覆對隧道設計與施工影響研究——完整岩盤隧道影響探討	R-GT-12-02
	33	隧道開炸振動環境影響評估與技術準則之研訂	R-GT-12-06
	34	堆填壩施工手冊（增修版）	E-GT-12-01
	35	台灣山區地下水資源調查與評估技術之建立	R-GT-13-01
	36	隧道施工資料管理系統（二）——應用與改進	R-GT-13-02
	37	地下水補注敏感區判釋與評估技術之建立	R-GT-15-02
	38	流體注儲行為之力學機制研究與工程應用	R-GT-16-01
	39	高岩覆對隧道設計與施工影響研究（二）脆性破壞特性評估與因應對策	R-GT-17-01
環境工程類	1	加速型溶劑萃取法萃取底泥樣品中有機錫	R-EV-01-01
	2	土壤樣品中 Cu、Cd、Hg 和 Pb 的直接分析——利用 USS-ETV-ICP-MS 法	R-EV-01-02
	3	粉狀活性炭在降低消毒副產物生成之應用	R-EV-01-03
	4	界面活性劑液相層析質譜分析方法	R-EV-01-04
	5	自來水水質生物穩定性評估方法	R-EV-01-05
	6	應用固相微萃取法偵測水中微量亞拉生長素	R-EV-01-06
	7	消毒系統在工業區廢水處理之應用	R-EV-01-07
	8	國內污水下水道管材使用現況與發展趨勢	R-EV-02-01
	9	去除染整廢水中色度及殘餘 COD 高級處理技術	R-EV-02-02
	10	石化業製程廢水及污泥處理技術	R-EV-02-03
	11	以 Fenton 法處理柴油污染之土壤	R-EV-02-04
	12	工業區污水處理廠提升生物處理技術	R-EV-02-05
	13	下水道污泥之矽直接分析	R-EV-02-06
	14	粉狀活性炭對自來水中土臭味物質之控制應用	R-EV-03-01
	15	自來水處理之薄膜積垢物去除技術	R-EV-03-02
	16	空氣污染排放總量及背景空氣品質預測	R-EV-03-03
	17	利用陰離子界面活性劑移除土壤中重金屬	R-EV-03-04
	18	利用不要的米（Unwanted Rice）製造活性炭之技術研發	R-EV-03-05
	19	周界空氣中揮發性有機物分析 TO-14A 樣品製備及質譜鑑定分析	R-EV-03-06
	20	水中鹵化乙酸（HAA）之鑑定	R-EV-03-07
	21	幾丁聚醣擔體固定化細胞技術處理水中 VOCs	R-EV-04-01
	22	不明廢棄物棄置（掩埋）調查採樣計畫及污染判定標準程序訂定	R-EV-04-02
	23	以 HPLC/Fluo 分析環境空氣中真菌含量	R-EV-04-03
	24	空氣污染控制策略及成本效益分析	R-EV-04-04
	25	彰濱金屬區電鍍廢水高級處理與資源化技術	R-EV-04-05
	26	地下水 MTBE/BTEX 油品污染之物理處理技術	R-EV-04-06
	27	固定化微生物擔體於反應式阻牆技術之應用	R-EV-04-07
	28	以化學氣法處理受有機物污染之土壤	R-EV-04-08
	29	自來水供水系統微量臭味物質鑑定技術	R-EV-05-01
	30	塑膠管長期管剛性評估機制（一）	R-EV-05-02
	31	污染場址水文地質調查技術之發展	R-EV-05-03
	32	高錳酸鉀氧化技術於地下水污染整治之應用	R-EV-06-01
	33	薄膜海水淡化廠出水水質穩定化控制技術	R-EV-06-02

環境工程類	34	含高濃度 BTEX 尾氣之處理技術評估	E-EV-06-01
	35	生物反應式透水阻牆整治工法應用研究——材質開發與模場驗證	R-EV-06-03
	36	工業區污水處理廠放流水再生利用	R-EV-07-01
	37	三合系統於場址評估之應用與方法建立	R-EV-07-02
	38	塑膠管長期管剛性評估機制（二）	R-EV-07-04
	39	Bio-MF 應用於都市污水處理之探討研究	R-EV-07-05
	40	交通噪音振動改善措施研究	R-EV-08-02
	41	生物性緩釋材之開發與應用	R-EV-08-03
	42	MBR 薄膜系統原型機開發與應用	R-EV-08-04
	43	廢水處理廠生物即時監測系統	R-EV-09-01
	44	現地氧化試劑配方之快速評估程序開發	R-EV-09-03
	45	以截流式微過濾膜回收淨水場快濾池反沖洗水並產生污泥餅之研究	R-EV-10-01
	46	不同化學氧化法搭配生物復育技術降解土壤中 BTEX 污染物	R-EV-10-02
	47	生質物之造粒、裂解與氣化	R-EV-11-01
	48	中空絲超過濾膜膠體性阻塞趨勢與系統效能之評估	R-EV-11-02
	49	以末端過濾操作微過濾薄膜分離富含油脂之藻類	R-EV-12-02
	50	以液相層析串聯質譜儀建立水中全氟化物及抗生素之分析方法	R-EV-12-06
	51	溫室氣體總量管制政策工具應用於能源技術服務之法規機制可行性評估	R-EV-12-08
	52	以雙槽式薄膜反應器（Dual MBR）進行小球藻培養及濃縮之研究	R-EV-13-02
	53	碳抵換合作模式分析研究	R-EV-13-03
	54	人工濕地作為低碳污水處理單元之生命週期研究——以高雄洲仔濕地為個案探討	R-EV-15-01
	55	添加生物炭對土壤污染之影響研究——針對重金屬污染土壤與酸洗後土壤改良之評估	R-EV-16-01
	56	廢污水生物急毒性檢測與應用評析	R-EV-20-01
	57	環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發	R-EV-23-01
結構與耐震工程類	1	高壓阻尼器之研發	R-ST-01-01
	2	封閉式液流阻尼器結構減震之模型試驗	R-ST-01-02
	3	加長型單肋板補強梁柱接頭耐震行為與設計	R-ST-01-03
	4	鋼筋混凝土耐震結構性能設計法（二）直接位移法及其結構實驗	R-ST-01-04
	5	鐵路橋梁耐震設計可靠度分析（三）RC 連續橋梁地震反應分析	R-ST-01-05
	6	雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（一）——軸力與彎矩	R-ST-02-01
	7	斜張橋空氣動力穩定性之風洞實驗與數值分析	R-ST-02-02
	8	遲滯型消能器減震技術改良與應用加勁阻尼系統之結構耐震性能設計方法	R-ST-02-03
	9	預鑄混凝土橋墩之耐震行為（三）綜合應力行為	R-ST-02-04
	10	鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（一）鋼骨箱型柱肋板補強梁柱接頭耐震行為	R-ST-02-05
	11	地震工程性能設計法之應用（一）單自由度橋柱及建築物之耐震性能評析與設計	R-ST-02-06
	12	鋼筋混凝土耐震結構性能設計（三）消能隔減震系統之位移設計法	R-ST-03-01
	13	液流阻尼器全尺寸結構防振功能之振動台測試	R-ST-03-02
	14	雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（三）中空雙鋼管混凝土柱與基礎接合耐震行為	R-ST-03-03
	15	斜張橋空氣動力穩定性之風動實驗與數值分析（二）	R-ST-03-04
	16	高韌性鋼橋柱耐震行為（一）——前期試驗	R-ST-03-06
	17	流場引致結構物振動之分析技術現況評析	R-ST-03-07
	18	垂提式閘門振動分析及評估指南	R-ST-04-03
	19	鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（二）箱型柱與鋼梁偏心接合耐震行為	R-ST-04-04
	20	載荷 100 噸級液流阻尼器特性試驗及技術推廣之預備工作	R-ST-05-03
	21	加消能裝置鋼構架位移設計法之試驗	R-ST-05-04
	22	建築結構之多振態性能評析與設計方法應用（一）考慮多振態之位移導向耐震評估與設計	R-ST-06-01
	23	特殊形狀建築物承受風壓分析——Phoenix 軟體應用手冊	E-ST-10-01
	24	雙間隙液流阻尼器	R-ST-10-01
	25	工程保險巨災風險評估模型開發	R-ST-10-02
	26	不規則建築物耐震性能導向設計與評析	R-ST-12-01
	27	建築物環控分析 Flair 軟體應用指引	E-ST-12-01
	28	橋梁監測及緊急調查回報系統	R-ST-14-02

資訊應用類	1	台灣地區水庫資訊系統（二）	R-CS-01-01
	2	電腦繪圖支援系統（一）——Visual Fortran 繪圖程式庫	R-CS-01-02
	3	地理資訊系統的發展及在營建工程上的應用與研發	R-CS-01-03
	4	向量式地理資料在 Internet-Intranet 之應用	R-CS-01-04
	5	台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統（一）	R-CS-02-01
	6	PDA 圖形編繪核心及無線通訊、GPS 整合	R-CS-03-01
	7	Development of Neural Networks for Seismic Safety Evaluation of Prestressed Concrete Bridges	R-CS-03-02
	8	PDA 與無線通訊、GPS 整合之應用——現場調查	R-CS-04-01
	9	知識管理系統（一）電子圖書館	R-CS-04-02
	10	PDA 圖形編繪核心與 Web GIS 整合	R-CS-06-01
	11	台灣地區大眾捷運安全管理系統（I）：緊急應變及視訊監控子系統	R-CS-08-01
	12	台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統（二）	R-CS-08-02
	13	射頻識別應用在設施與設備安全管理之研究	R-CS-12-01
	14	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立（二）——設施巡檢、監測預警與基於風險之決策支援子系統	R-CS-12-03
工程管理类	1	工程契約模式（一）EPC 統包與簡易型工程契約 EPC 統包與簡易型工程契約中興樣本	R-CM-02-02
	2	公共工程施工管理與作業要點第一篇工務管理與作業標準（全兩冊）	E-CM-03-03
	3	契約管理常見問題及其解決預防之道	E-CM-03-05
	4	契約管理作業概要	E-CM-04-01
	5	公共工程品質管理作業指南	E-CM-05-01
	6	公共工程施工品質查核常見錯誤態樣及改善對策	E-CM-06-01
	7	工程專業管理人員處理及預防工程爭議之研究	R-CM-07-01
	8	工程規劃設計階段之安衛風險管理研究	R-CM-09-01
	9	工程契約管理與爭議處理案例研析	E-CM-10-01
	10	公營事業閒置土地資產活化開發模式研究——以台鐵局及都更再開發案為例	R-CM-14-01
工程材料	1	於地熱環境下澆置的鋼筋混凝土強度與耐久性	R-MT-06-01
	2	自充填混凝土施工監造技術指引	E-MT-06-01
	3	混凝土問題診斷與處理對策	E-MT-07-01
	4	新舊混凝土黏結介面品質之非破壞檢測評估	R-MT-07-02
	5	卜作風混凝土使用手冊	E-MT-07-03
	6	自充填混凝土最佳化配比與水合特性之整合	R-MT-08-01
	7	混凝土結構物修補技術指引	E-MT-09-01
	8	混凝土工程監造技術指引	E-MT-09-02
	9	高流動化混凝土材料配比及施工規範探討	R-MT-10-01
	10	開發應力波檢測技術以推估混凝土之早齡期強度	R-MT-12-01
	11	高飛灰摻量混凝土於中興社研發大樓新建工程之應用	R-MT-13-01
交通運輸	1	台北與東部運輸走廊交通預測模式建立	R-TR-07-01
	2	台灣高鐵管收管理模式研發（一）	R-TR-08-01
	3	鐵路車站轉乘設施設計準則	R-TR-11-03
防災科技	1	遙測技術於土木水利工程上之應用（二）——土砂災害資料倉儲系統建置及莫拉克災區案例分析	R-DP-13-01
	2	坡地災害風險管理及其應用（一）莫拉克颱風災區坡地災害研究	R-DP-13-02
	3	因應地質法與極端氣候研擬坡地防災調適策略——以坡地住宅及土地利用為例	R-DP-14-01
	4	應用雷達影像評估坡地災害	R-DP-16-01
其他	1	軌道運輸系統營運模式現狀評估	R-MS-01-01
	2	半導體廠製程排氣設計方法（二）	R-MS-01-02
	3	捷運地下車站火災時人員安全避難容許時間之探討與分析模式	R-MS-01-03
	4	3C 最佳化風管設計方法	R-MS-02-01
	5	發電系統穩定度	R-MS-02-03
	6	寬頻接取技術現況與趨勢	R-MS-02-04
	7	長隧道通風研究（一）列車隧道空氣動力模擬程式研發	R-MS-08-01
	8	長隧道通風研究（二）隧道空氣動力模擬程式視窗展示前後處理軟體研發	R-MS-09-01
	9	建築節能之被動冷卻系統分析法——FDS5 軟體應用指引	E-MS-12-01
	10	台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究	R-MS-20-01

建築美學 & 工程監造

宏觀的視野觀察及環境特色
創造人與生活的連結

交通部民航局飛航服務總臺規劃興建樓高 65M 之新塔臺園區

以符合為強化機場整體景觀、桃園航空城需求

及符合國際高運量機場水準之園區需求。

園區建築外觀採玻璃帷幕 + 鋁板帷幕及複層節能材料

並取得銀級綠建築及合格級智慧建築

航管塔臺造型意象源於野柳女王頭

外觀流線由裙樓騰昇至天際，猶似女王睥睨著機場

工程已於 2019 年底順利完成新舊塔臺無轉移作業。

臺灣桃園國際機場塔臺暨整體園區新建工程・設計、施工監造

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.



機械工程

動力文明創造樂活世界

> 國家生技研究園區以創新研發為導向，跨部會機構進駐的群聚效應，將加速國內生技產業之發展能量。
國家生技研究園區係以研究及發展為主的新一代國家型研究園區，建築物取得綠建築黃金級標章、智慧建築銀級標章及耐震設計標章。
本案為統包工程，中興公司負責工作包括整地、道路、排水、管溝、結構、地工、水保變更、環境差異分析、水電、消防、電梯、空調、蒸汽、空壓、真空、純水、氣體、P2,P2+,P3 Lab、潔淨室、動物房等之設計（須以 BIM 設計）。

國家生技研究園區·細部設計

SINOTECH





環境工程

調和永續與環境共處 健康環境中無慮生活

> 高雄市岡山橋頭污水處理廠由本公司辦理設計監造
· 全期 50,000 CMD · 第一期興建 20,000 CMD 之污水處理廠
· 以改善北高雄典寶溪及阿公店溪周邊水環境。

本廠曾獲選「高雄市樹立標竿工程計畫」、「2020 年建築園冶獎」
、「2020 年國家卓越建設獎 - 優質獎」、「2020 年高雄厝綠建築大獎」等殊榮。

高雄市岡山橋頭污水處理廠新建工程・工程規劃、設計及監造

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.





環境工程

調和永續與環境共處 健康環境中無慮生活

> 本工程完成後，淨水設備每日可增加 70 萬公噸淨水處理能力

提高淨水備載率，增進供水穩定性

滿足板新二期計畫供水需求，提升北臺灣用水安全與穩定

增加操作彈性，滿足設備歲修及維護管理需求，提升出水品質

* 本工程榮獲 109 年「台北市公共工程卓越獎」肯定

直潭淨水場第六座淨水處理設備工程・專案管理、施工監造

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.



正派經營・品質保證・追求卓越・創新突破
工程不只源於需求，更在於生活價值的實現

中興工程顧問

業務範圍：水利／電力／環境／交通／建築／機電



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

10570 臺北市南京東路五段171號

Tel: 886-2-27698388 / Fax: 886-2-27634555

www.sinotech.com.tw

e-mail: sinotech@sinotech.com.tw

封面(底)照片 | 花蓮縣璞石閣畜牧生質能源中心

業興環境科技公司於花蓮縣玉里鎮興建及營運全國首座集中型畜牧糞尿資源化設施，收集玉里、瑞穗等地豬、牛糞尿廢水，以新型厭氧消化系統處理，產生的沼氣經生物脫硫後，發電躉購於台電，沼液沼渣則澆灌稻田、牧草等地，每年約當提供1萬噸有機肥料及減少約6,000公噸CO₂e 排放。同時以玉里當地的臺灣黑熊、牛與豬等動物風格，彩繪及綠化設施景觀，達到「省水減污、資源循環、綠能減碳及環境教育」多重效益。



中興工程 Vol.163 / APRIL 2024

ISSN 0257-554X



ISSN 0257-554X



9 770257 554007 >

出版者：財團法人中興工程顧問社

社址：114065 臺北市內湖區新湖二路280號

電話：(02) 8791-9198

傳真：(02) 8791-2198

網址：www.sinotech.org.tw

E-mail：adm-dpt@sinotech.org.tw

* 本刊圖文未經同意不得轉載 *

誠信·創新·品質·服務



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