

中 | 華 | 技 | 術 | 143

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

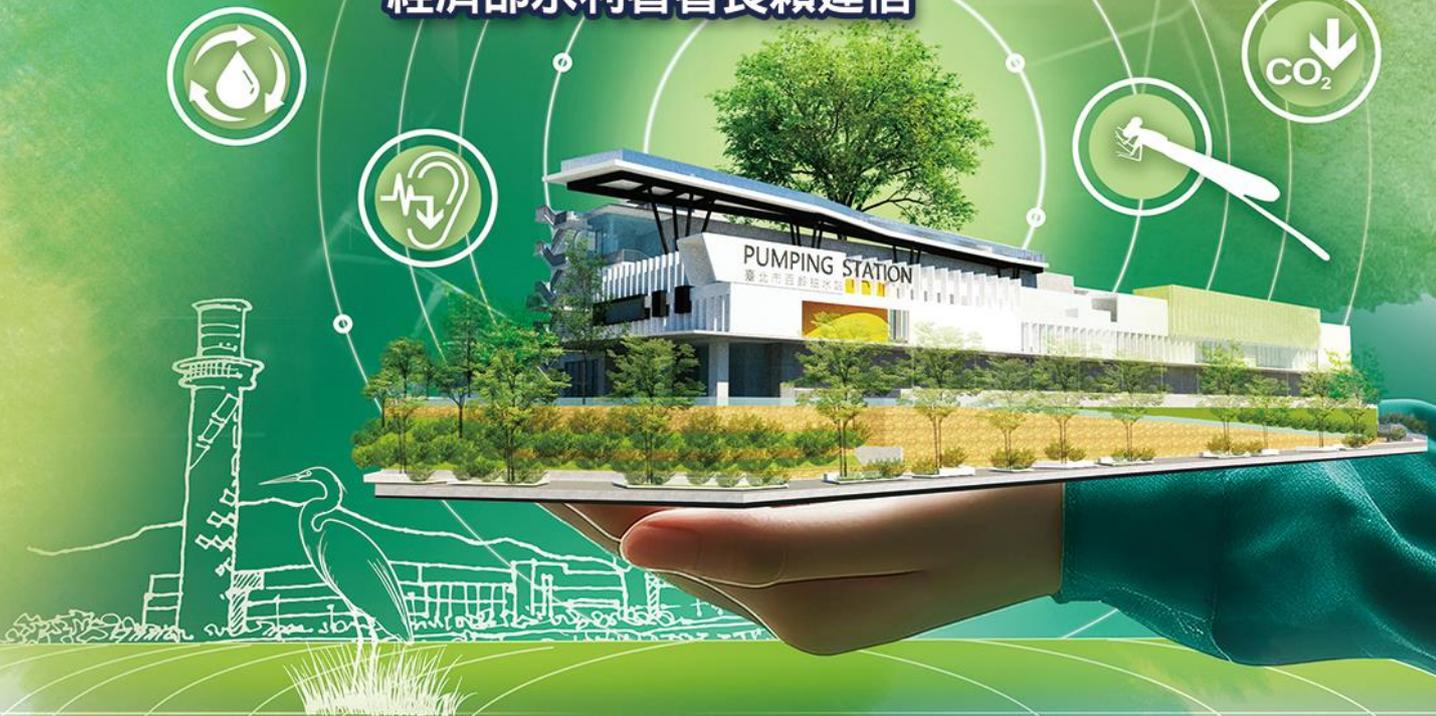
2024. 7. 31 出版

氣候變遷下的 環境議題



台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物 / 環境部政務次長葉俊宏
經濟部水利署署長賴建信



河川與城市的守護者—與生態環境共構的百齡抽水站設計
複合型都市排水系統應用於極端降雨之災害風險評估
新水源技術探討—台南安平與高雄橋頭再生水供應半導體產業用水
以海水淡化為新水源提升供水系統韌性之技術應用
供水系統管理工具創新—全域供水管網水理模型建置及節能成效分析

財團法人中華顧問工程司 發行

CECI 台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製

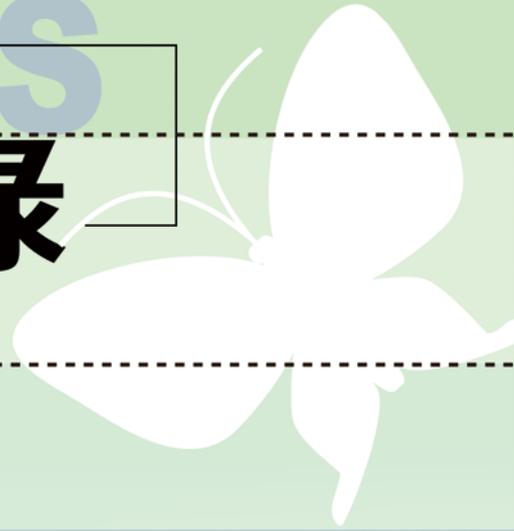
氣候變遷下的 環境議題



CONTENTS

中華技術 143

目錄



發行人 盧維屏
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段185號28樓
電話 (02)8732-5567
網址 <http://www.ceci.org.tw>

編審工作小組
總召集人 施義芳
副總召集人 廖學瑞
143期召集人 蘇玫心
143期審查委員 吳律平
總編輯 張鈺輝
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、吳妍瑱、李綺馨
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司
地址 台北市內湖區陽光街323號
電話 (02)8797-3567
網址 <http://www.ceci.com.tw>

專輯前言

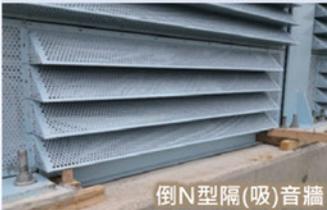
1 | 人物專訪

8. 訪環境部政務次長葉俊宏談「氣候變遷下的環境議題及新思維」.....
..... 整理：董智華·攝影：詹朝陽
18. 訪經濟部水利署署長賴建信談「因應氣候變遷之水資源利用」.....
..... 整理：陳語庭·攝影：詹朝陽

2 | 工程論著

28. 產業園區環境議題—健康風險評估
案例分享 陳秀玲、陳怡如
40. 國內都市型園區實踐淨零建築之趨
勢動向 簡國明

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎



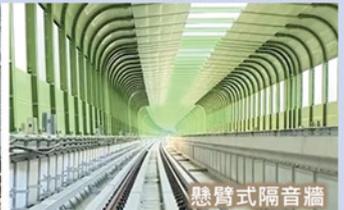
倒N型隔(吸)音牆



一般高架橋倒N型橋下吸音板



中間隔音牆



懸臂式隔音牆

3 | 專題報導

52. 河川與城市的守護者—與生態環境共構的百齡抽水站設計

.....張良瑛、郭遠錦、陳志方、陳暉瀚、莫懿美

64. 複合型都市排水系統應用於極端降雨之災害風險評估

周揚敬、莫懿美、陳語庭

76. 新水源技術探討—台南安平與高雄橋頭再生水供應半導體產業用水

..... 張祉國、雷媛媛、林志墩、劉偉裕

88. 以海水淡化為新水源提升供水系統韌性之技術應用 ... 姚重愷、林志墩、劉偉裕

102. 供水系統管理工具創新—全域供水管網水理模型建置及節能成效分析

... 陳勳融、鍾佳蓁、林志墩、許家成、劉偉裕

124. 園區開發之溫室氣體減量及排放增量抵換策略與經驗分享

..... 張淑貞、薛旭吾、高玟潔、何翊筠、吳寬

136. 精進軌道綠色運輸之噪音振動防制

..... 吳律平、胡秀蘭、顏彬任、王聰貴、胡沛締、陳暉瀚

152. 面對淨零浪潮—下世代園區規劃設計新樣貌

..... 吳律平、黃敦博、陳威志



162. 他山之石—國外永續循環場域參訪實例介紹

..... 林宏宇、翁志偉

編後語



專輯前言

十八世紀的工業革命改變了人類的生活，然而大量使用化石燃料也悄悄的改變了地球環境。隨著工業發展，環境議題由改善居住衛生條件的生活污水處理、垃圾處理等問題，逐步延伸到工業廢水、空氣污染、有害廢棄物、毒性化學物質等議題。二十世紀中葉後科技突飛猛進，帶動能源使用劇增，工程師與科學家才驚覺環境問題並非限縮於城鎮區域污染控制，而是全球氣候與環境正遭受到不可逆的變化。然而各國為了自身經濟利益，從1997年之京都議定書以來，歷經多年聯合國氣候峰會的討論仍無法達成有效共識，直到2015年巴黎協定後，國際間才對氣候變遷造成的顯著影響有具體回應，絕大多數國家同意應更重視相關措施的推動與落實，並建置約束力來減緩全球氣候變遷的不利影響。

我國雖然不是聯合國會員國，但是為了善盡地球公民的責任，於去年公布施行「氣候變遷因應法」，以因應國際淨零排放趨勢及全球環境變遷，完備氣候法制基礎。氣候變遷因應法明訂2050淨零排放目標，並分階段管制，以5年為一期，研訂階段管制目標，目的事業主管機關可據以制定調適策略及行動方案，地方政府則制訂執行方案，透過縱向及橫向整合溝通，跨領域推動溫室氣體減緩與提升氣候變遷調適能力。法令針對於溫室氣體及空氣污染物排放增量均有相關的處理原則，可供開發單位依循，藉此共同保護地球環境，並確保國家永續發展，淨零碳排跟上全球性的趨勢。

本期中華技術以「氣候變遷下的環境議題」為主體，期跳脫傳統污染防治工程規劃設計框架，由專業部門提供因應氣候變遷相關的排水防洪、水資源運用、污水處理、再生水、海水淡化、生態永續智慧化園區開發等各領域的實務經驗，另邀請專家學者撰稿分享健康風險評估與建築規劃趨勢等專業論述，並藉由專訪環境與水資源主管機關首長，得悉政府部門未來政策推動方向。期望各領域工程師能在規劃設計之初就將環境意識融入，並於日後施工、營運、修繕及廢棄階段皆能考量如何達到永續環境的作為。

我國環保主管機關由早期的行政院衛生署環境衛生處、台灣

省建設廳水污染防治所、行政院環境保護署，到113年成立環境部，除了制定相關法規維護區域環境品質，更擴展至全球議題，也肩負維持國家發展利益與環境平衡之重責大任。本期專訪第一篇邀請環境部葉俊宏次長，談「氣候變遷下的環境議題及新思維」，其中關於「淨零排放」議題方面，葉次長提到目前環境部已訂定「審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」及「審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」，就開發行為所產生的排放增量進行一定比例抵換，以達到淨零排放目標；在廢水處理的新挑戰方面，則推動高濃度有機廢水採厭氧處理，產生之沼氣作為能源使用；在畜牧糞尿及廚餘推動資源化利用方面，分享循環經濟等多項政策方案，顯示環境部在多元領域的投入與努力。

水、電的穩定供應與產業發展息息相關，既有水資源的維護和新興水資源之開發與調度是國家經濟維持競爭力的命脈。專訪第二篇邀請經濟部水利署賴建信署長，談「因應氣候變遷之水資源利用」，賴署長以今年石門水庫營運滿一甲子為開端，分享石門水庫對水利界的意義及對臺灣的貢獻。為達成桃園新竹間水源聯合調度運用，水利署推動北部「珍珠串計畫」，以聯通管串連石門水庫與寶山、寶二水庫供水體系，在氣候變遷的環境趨勢下，提升水資源調度及備援能力。

環境的複雜化引發民眾對健康風險的重視，本期邀請成功大學食品安全衛生暨風險管理研究所陳秀玲所長，發表「產業園區環境議題-健康風險評估案例分享」，介紹其執行健康風險評估之案例成果，可以供產業檢視化學品管理與污染管控措施，提高環境議題重視度，並與鄰近民眾進行風險溝通。本期同時邀請國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心研究員簡國明博士發表「國內都市型園區實踐淨零建築之趨勢動向」，探討國內都市型園區推動淨零建築的發展動向，及規劃和營運管理之新趨勢。

中華顧問／台灣世曦長期參與國內重要公共工程建設，累積豐富的實務經驗，本期特別收錄九篇與主題相關的專題供各界參酌，重點摘錄如下：

「河川與城市的守護者-與生態環境共構的百齡抽水站設計」：抽水站為提升城市韌性的一環，百齡抽水站的設計注重環保、生態及景觀、居民休憩及工作人員作業需求，以及生物多樣性等考量，除功能需求外，塑造成一座融合自然與人文的地景式建築，更是工程與自然環境和諧共處的典範。



專輯前言

「复合型都市排水系統應用於極端降雨之災害風險評估」：針對極端氣候所帶來的強降雨，建置包含街道層系統及雨水下水道系統的复合型都市排水系統模式，透過實測事件的驗證，並結合不同土地使用情況評估災害衝擊，繪製風險評估圖，可提升城市地區在極端降雨引發災害時的韌性和應對能力，並可作為改進防災和應急預警的重要參考。

「新水源技術探討-台南安平與高雄橋頭再生水供應半導體產業用水」：因應產業發展用水需求及極端氣候，國內正積極開發新興水資源，預期民國120年時使用132萬CMD再生水，其中77萬CMD將由處理後之民生污水與排水系統截流水回收處理，供應鄰近科學園區及產業園區。本篇彙整國內目前營運、興建及規劃中再生水廠所使用各技術特性與適用情境，並以臺南安平廠與高雄橋頭廠為實例，說明前處理與主要除鹽流程搭配及應用方式的重要性。

「以海水淡化為新水源提升供水系統韌性之技術應用」：海淡水技術為未來的發展趨勢，可確保供水穩定性並提升供水系統韌性，但其建設及營運成本仍相對偏高，同時在能耗上也面臨節能減碳及淨零排放的挑戰。因此，如何在提升供水韌性的同時，可增加附加效益，將是未來海水淡化產業需要面對的主要課題。

「供水系統管理工具創新-全域供水管網水理模型建置及節能成效分析」：供水事業單位除了提供穩定供水外，減少漏水及節能減碳亦為重要的目標。汰換老舊管線、區域管網連通及抽水站操作優化為有效之改善方法，本篇介紹全域供水管網水理模型建置，並以現場實測壓力資料回饋校正後，使模型結果與現場趨勢達成一致，可做為後續各項情境節能成效分析使用。

「園區開發之溫室氣體減量及排放增量抵換策略與經驗分享」：現行的「氣候變遷因應法」及「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」規定了具體的溫室氣體抵換措施。本篇以中埔、水上產業園區及嘉義科學園區為例，說明其溫室氣體減量策略

及作法，及如何達成溫室氣體減排目標。

「精進軌道綠色運輸之噪音振動防制」：軌道運輸系統為最主要的低碳運具，惟軌道系統常靠近居民生活範圍，其衍生之噪音振動影響為重要環境議題。本篇從環境影響評估、規劃設計所須遵循之標準及規範，探討軌道建設噪音振動之調查、評估及防制對策，最後述及多年累積的精進作法及倡議，以期在推動綠色運輸時得以同時提高評估效率及準確性。

「面對淨零浪潮 - 下世代園區規劃設計新樣貌」：產業園區、科學園區等產業發展聚落，為迎向全球淨零排放和淨零供應鏈重組趨勢，下世代園區更肩負淨零轉型之新任務。近年零碳(低碳)智慧園區、永續智慧園區、生態工業園區等，已成為園區關切發展標的。本篇探討淨零浪潮下，國內外園區規劃設計新動向，協助提供推動下世代園區淨零轉型規劃設計之建議參考。

「他山之石 - 國外永續循環場域參訪實例介紹」：荷蘭身為歐盟的成員國，其政府透過政策支持、社會參與及國際合作等手段，持續推動國家的永續發展，在土地利用規劃、水環境管理、氣候變遷、循環經濟等方面皆已獲得豐碩的成果，並且成為其他國家爭相仿效的對象。本篇分享會同政府相關單位參訪荷蘭2處永續循環的模範場域實地所見所聞，期能做為往後國內推動園區開發創新思維及作法的參考。

氣候變遷已經是全球關切的重要議題，其影響層面廣，面向多元，更關乎未來國家競爭力，期藉由本期在氣候變遷下的環境議題相關討論與分享，提供不同公私領域在執行開發計畫之參考。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

A handwritten signature in black ink, appearing to be "蘇承玲" (Su Chengling).

1

人物專訪

| 中 | 華 | 技 | 術 |

INTERVIEW



訪環境部政務次長

葉俊宏

談

氣候變遷下的環境議題
及新思維

整理：董智華 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

葉俊宏政務次長為國立中央大學土木工程學研究所環工組碩士，自民國76年起至行政院環境保護署服務，由基層迄今近四十年，曾任廢棄物管理處副處長、綜合計畫處處長、水質保護處處長、主任秘書等各項職務，並於環保署改制為環境部後出任政務次長，資歷、學經歷俱豐。

本期中華技術很榮幸於113年4月19日專訪葉俊宏政務次長，就如何將「淨零排放」概念，結合環境保護工程、環境影響評估作業等，給予專業見解及經驗分享，專訪內容整理如後。

貳、訪談紀要

問：淨零排放為目前國內外均十分關注之議題，想請教次長目前在執行環境影響評估業務上，有沒有特別結合淨零議題的需求可以提醒顧問公司。

答：目前環境部於環評審查過程中已要求開發單位將氣候變遷極端氣候之災害風險及影響等納入評估，並妥擬因應措施。同時在「淨零排放」議題方面，也已訂定「審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」及「審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」，使開發單位有所依循，就其開發所產生之排放增量進行一定比例之抵換，以達到淨零排放之目的。環評審查階段由氣候變遷署及大氣環境司檢視是否依前述原則辦理，環評委員則視個案特性，就淨零排放相關議題，提出個別審查要求。

問：為落實淨零排放政策，環境部現行訂有「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」、「審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」及「環境部審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」，請問目前是否有遭遇到什麼困難及未來的推動方向。

答：在空氣污染物排放量增量抵換處理方面，「環境部審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」經歷幾次修正，目前遭遇到之困難點主要有：環保團體反對固定污染源以移動污染源或逸散源進行抵換、訴求開發行為空污抵換範圍應再限縮（如：限縮至開發基地10公里範圍內）；開發單位反應，新開發案取得可抵換來源越趨不易。為使空污抵換制度能持續順利推動，本部已參考各界意見滾動修正抵換處理原則，目前的解決對策、未來規劃方向，及思考進一步的提供多元抵換措施、優化抵換制度，包括：



- 抵換係以污染物種為標的，將啟動修法精進抵換處理原則內容，並強化政策溝通。
- 空污抵換僅針對傳統污染物（粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物、揮發性有機物）進行污染抵換，且均以污染物種為標的進行個別抵換，但抵換物種不包含重金屬等其他有害污染物。
- 各污染物種抵換並非皆以1:1進行抵換，主要考量實際空污抵換來源位址與開發區域存在空間區位差異，故於減量效益上採打折方式執行，如：老舊車輛汰舊換新僅能以減量效益的30%進行抵換；針對三級防制區域之抵換，須以1:1.2進行抵換。
- 擴大老舊車輛汰舊換新，如抵換對象之車齡由15年調整為10年。
- 規劃納入施工期間污染增量之抵換，研析導入低污染之施工機具、運輸車輛等抵換來源。
- 為提供開發單位掌握抵換來源，建立車輛汰舊換新媒合平臺及規劃建置逸散污染源抵換媒合項目。



(左1)劉偉裕經理

- 引用實測、模擬結果或相關文獻，建立明確且具一致性的空污減量計算基準。

在溫室氣體排放量增量抵換處理方面，考量大型開發行為常伴隨較大量溫室氣體排放，為降低其對氣候變遷造成之衝擊，本部已訂定「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」，促使開發單位採用減量技術，有效控制溫室氣體排放量，並對增加之排放量要求以開發行為範圍外之減量效益抵換，將大排放源減量力道延伸至小排放源共同減量。目前已規範工廠設立且



(左2)吳律平協理 (中左)蘇玫心副總經理 (中右)葉俊宏政務次長 (右)胡秀蘭經理

其年排放量達2.5萬公噸二氧化碳當量以上；園區興建或擴建；火力發電廠、汽電共生廠興建或添加機組工程（但以天然氣為燃料或新設每部機組2.5萬瓩以下者，不在此限）；高樓建築之開發等，應實施環評且涉及增加溫室氣體排放量之開發行為需進行增量抵換。進行增量抵換時，必須每年抵換10%，連續執行10年，也可以每年抵換超過10%，提早完成抵換。

至於增量抵換來源包括依溫室氣體抵換專

案管理辦法、自願減量專案管理辦法等取得之減量額度，也包括運用大排放源帶動小排放源減量，推動如汰換老舊汽（機）車為電動汽（機）車；汰換空調、照明、漁船集魚燈、老舊農機或增氧設備為高效率設備等減量措施取得之減量效益。

依上述規範規定，目前已有23案通過環評審查案件須進行增量抵換，該等開發案陸續於113年營運後，每年約有幾萬至130萬噸抵換需求。經本部盤點，目前可提供抵換的減量



額度有318萬噸，因此，本部鼓勵開發單位積極執行減量措施取得所需之減量效益。如透過「車輛汰舊換新抵換媒合平臺」，可收購民眾汰換機車為電動機車每輛2.3公噸之減量效益，有效取得所需之抵換量。

未來，本部也會持續宣傳以擴大民眾及開發單位參與，並進一步研議其他可納入媒合機制之減量措施，以推動增量抵換之落實。

問：淨零排放是目前國家重要政策之一，請教次長在水質保護方面，目前的業務跟淨零結合的作法；另實務的工程執行面，在水環境相關的水體水源保護，乃至於自來水、污水、再生水等水循環的工作上，可否提供相關指引或建議。

答：減碳及資源循環是廢水處理的新挑戰，推動高濃度有機廢水採厭氧處理，產生沼氣作為能源使用，是邁向淨零排放目標的新選擇。近期本部著手修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」，規範新設廠或既設廠於汰舊換新時要評估優先採厭氧處理廢水，預估具潛勢事業如採行廢水厭氧處理，每年可節省8,400萬度電，約可減碳4.1萬公噸CO₂e。藉由水措管理辦法規定，將廢水源頭做分流收集處理，才

能做到盡可能回收再利用，分流收集也間接推動如科園內設置的零廢中心，做到各類化學品循環回用。

廢水處理技術上，為了要邁向淨零排放的目標，需要新技術的研發與投入，而法令則會引導、促成後續的新研發、新技術。以106年修訂放流水標準管制氨氮為例，學校、機構及相關產業在法規訂定後，相繼投入研究，將氨氮提濃、蒸發之後結晶，成為氯化銨產品回用，就是法規引領新技術開發，達到資源循環製成產品的例子。



今年環境部辦理首屆的「淨水永續獎」，鼓勵各產業廢水處理採用能資源化、低碳智慧化處理技術，以達到節能減碳、資源循環利用的目標，從污廢水中先做到分流及循環回收經濟，而後則思考從流程中取回能源，例如厭氧的沼氣發電、太陽能板產能；同時藉由對設施、操作方式的監測及數據分析，以達到最佳化操作，減少能源的投入。



1 人物專訪

葉俊宏政務次長於專訪中表示，淨零排放是目前國家重要政策之一，減碳及資源循環是廢水處理的新挑戰，推動高濃度有機廢水採厭氧處理，產生沼氣作為能源使用，是邁向淨零排放目標的新選擇。近期本部著手修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」，規範新設廠或既設廠於汰舊換新時要評估優先採厭氧處理廢水，預估具潛勢事業如採行廢水厭氧處理，每年可節省8,400萬度電，約可減碳4.1萬公噸CO₂e；藉由水措管理辦法規定，將廢水源頭做分流收集處理，才能做到盡可能回收再利用，分流收集也間接推動如科園內設置的零廢中心，做到各類化學品循環回用。



問：環境部近年來持續推動畜牧糞尿以及廚餘資源化利用，是淨零排放具體作為，同時兼顧改善水體水質、廢棄物處理以及循環經濟等多項課題，但實際推動也牽涉到很多層面，請問目前遭遇到的主要困難點以及未來推動方向。

答：對於豬糞尿污廢水處理這部分，首先要說的是觀念上的演進。過去跟畜殖業談的，都是加嚴放流水標準，以減少養殖廢水的污染，或是協助農民做好廢水處理，以達符合放流水標準，實務上高濃度廢水要處理到放流水，需要大量電力及成本，因此農民的意願很低；而投入大量能源去消除飽含肥份的「肥水」，也是資源的錯置，因此105年起將豬糞尿廢水朝資源化處理，目前已經有40%的利用率。

另外豬糞尿處理伴隨的沼氣發電，也是另一種資源，早年因為脫硫技術未成熟，脫硫效果不佳而影響發電機的壽命，目前脫硫設備改良，對沼氣中硫化氫的濃度已能穩定控制，提高沼氣發電的效率；其次再生能源需求日增，躉購費率提高，環境部也補助具規模的豬農設置厭氧消化及沼氣發電系統，收受鄰近豬糞尿，也是誘因。沼氣發電是綠電，配合未來的碳權交易，可以吸引能源業者投資，同時兼有太陽能、沼氣發電以及碳權交易的效益。

台灣現有的豬舍是傳統形式，清掃及降溫所需的用水量高，產生的廢水量也高，目前環境部跟農業部合作，由農業部先行改善豬舍，將傳統豬舍改善為高床式、水濺降溫新式豬舍，減少豬隻養殖的用水量，產生高濃度、低水量的廢水，高濃度適合採厭氧消化產生沼氣，低水量則大幅減少輸送的體積，豬舍上方加蓋太陽能板，各方面都符合環保及永續的議題。

畜牧糞尿資源化再利用目前由環境部與農業部共同推動，包括農業廢棄物個案再利用、沼液沼渣農地肥分使用、符合放流水標準作植物澆灌等三種措施。第一種方式是依據「農業事業廢棄物再利用管理辦法」，以畜牧糞尿水直接進行農作的施灌，這部分沒有強制要經過發酵，只要經過核准即可澆灌，由農委會推動；第二種依照水污法的沼渣沼液規定，作為農地肥分使用，這部分就需要厭氧發酵後才能施灌。前兩種方式因肥份需要依照作物不同需求來進行調配，涉及單位面積氮肥施灌量的控制，因此需要由農業單位審查；第三種就是豬糞尿廢水處理到符合放流水標準後，做為水資源回收利用，是由環保單位核准。推動迄今累計施灌量約1,145萬公噸/年，畜牧糞尿資源利用率39.51%，施灌農地面積達4,718公頃，有機污染物削減量7萬2,958公噸/年。

沼回家園 糞尿變黃金、河川農地好開心

統計年度	已核准資源化	施灌農地面積	沼液沼渣施灌量	節省水污染防治費	節省化肥量	CO ₂ 碳當量	沼氣發電裝置容量
本年度統計	3923 家	5154.67 公頃	1170.91 萬公噸	7718 萬元	545.65 萬包	217151 公噸/年	8585 瓩
去年度統計	3552 家	5045 公頃	1099.42 萬公噸	7670 萬元	512.2 萬包	113690 公噸/年	7190 瓩

305/09/01 - 11/4/20

我要登記 - 沼液沼渣農地肥料使用



媒合資料查詢



效益評估試算

畜牧戶
農戶

飼養種類: 牛 豬

飼養頭數: 頭

每日最大排放量: 公噸

種植作物:

資源化比例: %

試算結果

施灌農地面積: 0 公頃

可節省水污費: 0 元

關於畜牧資源化



沼氣	肥分使用	個案再利用	回收水澆灌
<p>沼氣發電</p> <p>畜牧糞尿經厭氧發酵會產生沼氣，其中60%以上是甲烷，屬溫室氣體之一種。依據IPCC2007年報告，其溫室效應是造成全球暖化之趨勢為二氧化碳的25倍。</p> <p>因此，沼氣的收集利用，不僅可減少溫室氣體的排放，經不同程度的純化、回收後，可用來發電、熱能及車用燃料，是較為穩定之生質能源。</p>	<p>沼液沼渣農地肥分使用</p> <p>畜牧糞尿經厭氧消化後生成之水溶性物質為沼液，固體渣則為沼渣。沼液及沼渣中含有豐富的養分及肥分，有助於作物吸收，產量增加。</p> <p>另外，調查顯示，農豬一年所獲得的氮肥相當於糞肥五倍肥料一包，農民使用沼液沼渣可減少化學肥料的使用，推動有機農業，節省非常可觀的肥料開支。</p>	<p>農業專業廢棄物個案再利用</p> <p>農業部依據農業專業廢棄物再利用辦法，推動畜牧場以桶裝或槽車清除畜牧糞尿到場外做後續處理，廢水還原農地，並於98-99年進行載運豬糞水陸運農作試驗，報告顯示對土壤、地下水及公共衛生均無負面影響，乃開放受理再利用案，達到節省澆灌用水、補充氮肥及磷鉀效益。</p>	<p>放流水回收澆灌</p> <p>全球水資源匱乏，廢污水回收利用已是世界潮流；受限於地理環境與氣候狀況，台灣名列全球第十八缺水國。</p> <p>畜牧場因專業特性，常位處鄉下且與農業、漁業一同發展，由於畜牧糞尿本質為高有機及含氮物質，經處理後達放流水標準，可提供作物所需之水分、肥分，並減少地下水之抽取及農灌排水需求，創造畜牧業、農民與水體環境等多贏效益。</p>



環境部與農業部過去也曾就農業廢棄物共發酵研究，以生廚餘共消化較可行，目前新北市生廚餘有部分送至屏東，藉由生廚餘中較高的含碳量，來調和豬糞尿，藉以達到較適合的碳氮比，增加沼氣產氣量。



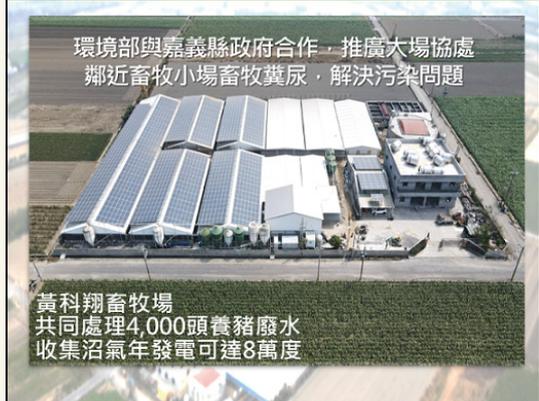
畜牧場尋找欲澆灌農地時，因作物及耕作期不同，或農民對於畜牧糞尿資源化的偏見，農地難尋，各縣市政府刻正推動輔導措施，迄今共辦理685場次說明會，以期透過農牧媒合及法規說明，加速推動資源化政策。



此外，沼渣沼液去化因澆灌土地有限，目前環境部與臺中市政府環保局將推動「外埔綠能生態園區」沼渣沼液飼養黑水蛇試驗計畫，將沼液、沼渣進行現地再利用。

環保部未來將持續於污染熱區，由農業部持續輔導補助畜舍改建以減少廢水產生量，環境部則以全循環資源化角度，來推動畜牧業朝零排邁進，如沼氣發電、沼渣養殖黑水蛇及沼液澆灌。以示範方式推動畜牧糞尿集運處理回歸農田，109-116年間補助總經費約8億元，目前補助畜牧場大場代小場計13場，集中處理場共7場，共處理124處畜牧場，每日處理水量5,198噸，總處理頭數16萬9,360頭，畜牧糞尿經厭氧消化後沼氣發電裝置容量2,311kW，估計每年實質減碳約17萬噸。

嘉義縣畜牧糞尿資源化 首座大代小處理設施啟用



畜牧糞尿還肥於田政策全國成果



參照過去推動案場經驗，未來將持續以畜牧設施功能提升、沼液沼渣資源再利用、沼氣



(左1)劉偉裕經理 (左2)吳律平協理

1

人物專訪

發電等策略為主軸，朝「畜舍再造提升產業形象」、「能源再生淨零排放」、「循環經濟資源再利用」等3大面向持續深化推動，以物質源流向為基礎，源頭端畜牧場進行現代智慧化管理，新型態產業鏈可擴散至發酵後，沼氣回收用於發電及抵換碳權、發酵後料源養殖蚯蚓（蚓糞土）、作為農業有機肥料、黑水虻處理、水蚤（藻）養殖等高價值化應用。

此外，環境部自106年起迄今也已投入約16億元補助地方建置廚餘再利用設施，如全高速醱酵堆肥設施、傳統堆肥設施、生質能源化設施、其他（黑水虻），整體再利用設施量能達1,498公噸/日（如右表）。

廚餘再利用設施量能分析表

再利用方式	再利用設施量能 (公噸/日)	
	堆肥	傳統堆肥廠
高效堆肥設施		699
生質能	生質能源廠 (含共消化)	262
其他	黑水虻	19
總計		1,498

後記

承蒙環境部葉俊宏政務次長撥冗接受本次專訪，讓我們有幸聆聽了一場引人入勝的談話，使我們受益匪淺。從顧問公司的角度，充分感受改制後的環境部，更能發揮良好的橫向溝通，藉由法規、政策的訂定，引領後端的工程設計，循序推動，共同營造更優化的環境。



(左3)蘇玫心副總經理 (中)葉俊宏政務次長 (右3)胡秀蘭經理 (右2)張淑貞副理 (右1)董智華計畫工程師

1

人物專訪

| 中 | 華 | 技 | 術 |

INTERVIEW



訪經濟部水利署署長

賴建信

談

因應氣候變遷之
水資源利用

整理：陳語庭 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

經濟部水利署長賴建信自國立中興大學水土保持研究所碩士、博士畢業後，曾赴美國加州大學柏克萊分校任訪問學者，歷任經濟部水利署工程事務組組長、南區水資源局局長、主任秘書、副署長、署長等重要公職。

賴建信署長務實的態度奠定治水基礎，推動各項前瞻及重大水利工程建設計畫，對水利工程品質、全國供水穩定及防洪減災具有相當貢獻。面對氣候變遷，致力推動重要策略「珍珠串計畫」，利用管線、水道將臺灣西部走廊重要的水庫串連，以利水資源調度，其中施工中「石門水庫至新竹聯通管工程」，完成後能有效提升新竹地區供水穩定，促進經濟民生發展，降低氣候變遷的衝擊，對未來的挑戰做最好的準備。

貳、訪談紀要

問：今年石門水庫剛好營運滿一甲子，石門水庫對臺灣水利與北臺灣發展影響甚鉅，可以說是臺灣水庫的代表作，請署長談談石門水庫對水利界的意義及對臺灣的貢獻。

答：石門水庫位於淡水河最大支流大漢溪上，主要供水範圍遍及新北市、桃園市及新竹縣，由美國、臺灣合作打造，曾經是遠東最大的水庫之一，目前是北臺灣最重要的供水樞紐。本工程自1956年7月開始興建，歷時8年，於1964年6月竣工，參與建設人員達七千餘人，建設經費約新台幣32億元。主要工程內容包

括水庫、大壩、溢洪道、發電廠、後池及後池堰、石門大圳、桃園大圳新進水口、公共給水廠、及移民設施等，水庫蓄水容量約3.09億立方公尺。

1954年在行政院指示下，由經濟部成立石門水庫設計委員會(石設會)，向臺灣省建設廳水利局及台灣電力公司等機構借調工程人員，開始著手水庫建設的規劃，初步規劃之基本壩型包括：(1)混凝土重力壩；(2)混凝土拱壩；及(3)土石壩等三種，並聘請美國墾務局壩工及地質專家來臺實地勘查與審核，最後決議採混凝土拱壩方案。

1955年石門水庫建設委員會(石建會)成立，



推動相關建設事宜，依據美援合約規定，由美國政府協助徵選，於1957年與美國提愛姆斯(Tippetts- Abbett- McCarthy-Stratton) 公司簽約為設計顧問，並於1959年與美國莫克(Morrison- Knudsen)公司簽約為本工程的施工顧問，由於此兩家顧問公司的協助，培養了臺灣建壩人才，對後續臺灣水庫建設發展有重大貢獻與影響；1959年本工程開始進行大壩基礎開挖，惟過程中發現壩址基礎不如預估，為安全起見重新檢討壩型設計，考量左、右壩座安定性，修正改採土石壩方案。

石門水庫的貢獻可從四方面來看：

一、工程技術人力的培養

石門水庫是在美國工程顧問的協助下完成，包括設計及施工。石門水庫主要工程均係由石門水庫建設委員會自營施工，期間職員加技術工總數最高達7千人，在美國顧問協助與指導下，培養了甚多水庫設計與施工技術人員。水庫完工後，這些技術人員回歸社會或其他機關，對提供國家後續建設所需技術人力有很大幫助。

二、機械化施工及施工品質檢驗制度建立

石門水庫興建之初為提高施工技術與效

率，引進大型機械化施工，這批機具後來被榮工處接收並參與國家重大建設，同時也透過技術移轉引進美國施工檢驗與品質管制制度，成為臺灣後來三級施工品質管理制度的濫觴。

三、桃園經濟發展的關鍵

石門水庫營運初期主要供水標的為農業，占95%以上。自民國60年代後期起，隨著桃園經濟發展、產業轉型，公共給水需求激增，雖農業用水降低，但總供水量則仍逐漸增加，年供水量從最初6億噸提高到目前的8億噸，其中



(左1)莫懿美副理 (左2)蘇玫心副總經理

公共給水所占比率自民國90年起已超過農業用水；桃園地區每年超過3兆元的工商產值，在臺灣各縣市名列前茅，石門水庫供水角色功不可沒。

四、水庫更新改造以應環境挑戰之典範

石門水庫最值得國人自豪的是艾利颱風後集水區大量泥砂所帶來的原水高濁度以及水庫淤積問題。經過20年的努力，已完全克服：從針對原水高濁度所作的發電鋼管改建、分層取水工、以及中庄調整池，到協助清淤的阿姆坪

防淤隧道，每一項工作的執行，都必須同時兼顧正常供水營運，能夠順利完成實屬不易，更證明水庫不必然隨時間老化而失能，創新改造是水庫邁向永續的不二法門。

問：艾利颱風造成桃園地區18天大停水，桃園的民眾應該記憶猶新，開啟石門水庫歷經20年整治過程，請分享水庫大改造之路，相關計畫實施重點、範圍及成效如何？



(右2)施義芳董事長 (右1)賴建信署長



答：2004年8月23日，石門水庫遭遇歷史上第二大的艾利颱風重創，颱風雖未造成桃園淹水災情，但其帶來的龐大泥沙使水庫水濁度飆高，導致桃園18天大停水，大量的漂流木與沉木破壞取水口與電廠水輪機，水庫幾乎癱瘓，是石門水庫有史以來最大災情，同時造成社會極大不便，經濟損失更難以估計。



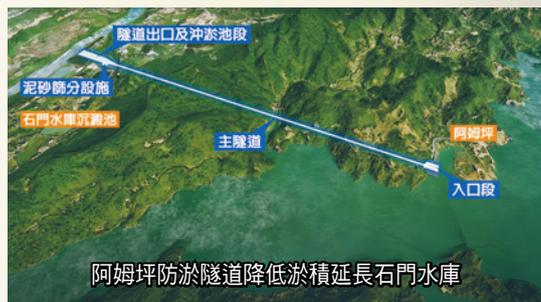
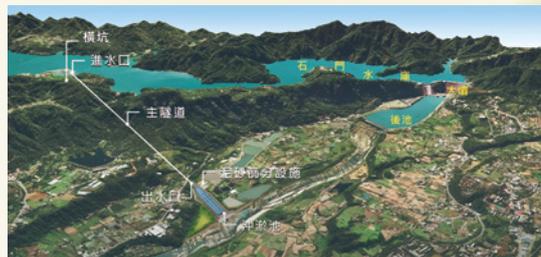
艾利颱風重創石門水庫，高濁度造成18天大停水



艾利颱風帶來大量的漂流木與沉木

水庫上游集水區的地質狀況比較年輕地形陡峭，遇到艾利颱風的帶來強降雨，總累積雨量達973公厘，集水區會有很大的泥沙流入水庫讓水庫濁度升高，同時也為水庫蓄水範圍帶來大量漂流木，經幾天吸水後沉降於庫底，堵住取水口，泥流因無處宣洩而翻騰上揚，導致水庫蓄水成渾水潭，也會造成淤積使得水庫容量減少。這些濁水送到自來水公司淨水廠後，因幾乎就是泥巴水，自來水淨水場無法處理引發供水危機。

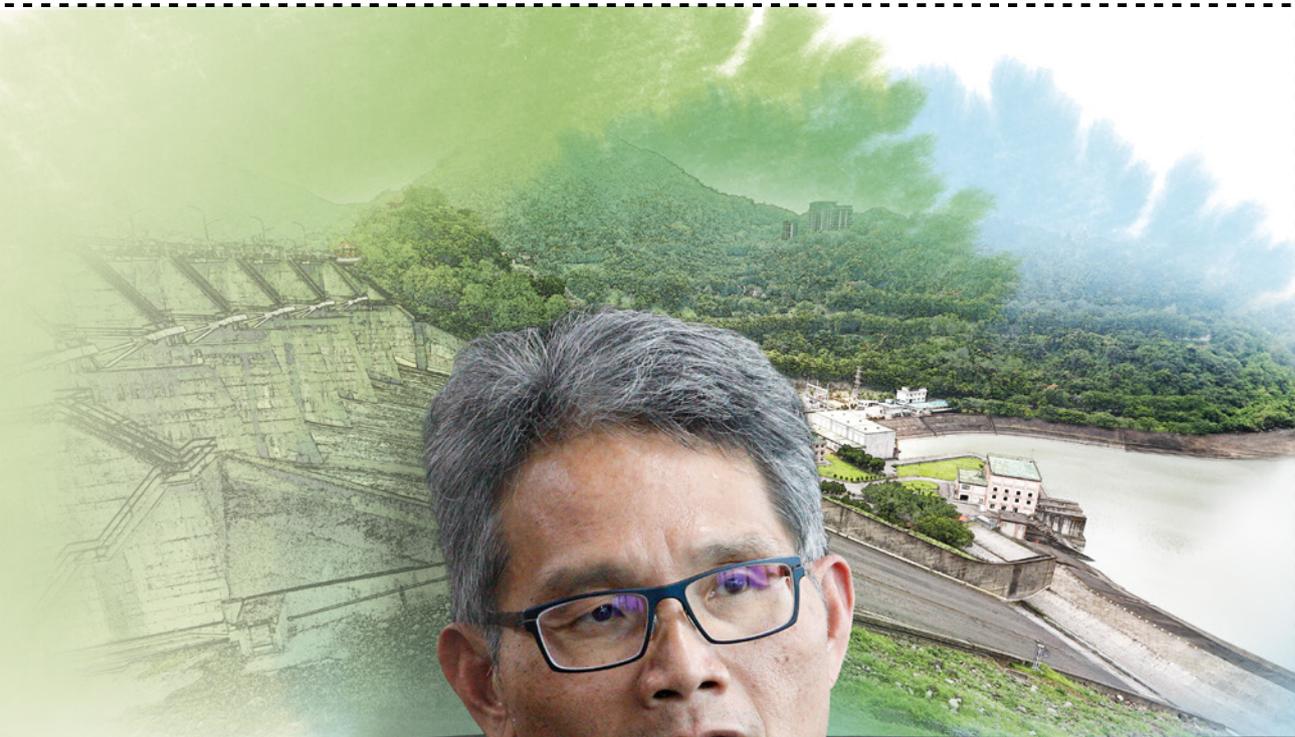
當時水利署、北水局與水利界專家學者共同集思廣義研想辦法來解決，提出在壩頂和後池堰表層取水，架設臨時管線的雙龍會（大、小黑龍）方案：「後池緊急抽水作業一大黑龍」（台水公司執行）、「壩頂緊急抽水作業一小黑龍」（北水局執行），因為表層的水相對濁度比較低，這些抽出來的水，透過鋪設在公路上的大型水管「黑龍」送到淨水場，勉強處理，讓民眾有水用。但這只是暫時的方式，為了從根本解決颱風帶來的泥巴水長期威脅，開啟近20年來石門水庫大改造契機。



阿姆坪防淤隧道降低淤積延長石門水庫

圖／阿姆坪防淤隧道工程介紹12分鐘版

水利署擬定了石門水庫整治計畫提出「石門水庫及其集水區整治計畫」，陸續興建了分層取水工、排砂隧道、及中庄調整池等，於前述整治計畫完成後接續推動「前瞻基礎水環境建設計畫」興建「阿姆坪防淤隧道工程」，以克服高濁度影響供水和克服淤積兩大目標，讓



1 人物專訪

賴建信署長於專訪中表示，2004年遭遇歷史上第二大的艾利颱風重創，石門水庫集水區降下超大豪雨，洪水夾帶大量泥砂及漂流木，導致桃園地區18天大停水，經濟損失難以估計；為拯救石門水庫，水利署擬定了石門水庫整治計畫提出「石門水庫及其集水區整治計畫」，陸續興建了分層取水工、排砂隧道、及中庄調整池等，於前述整治計畫完成後接續推動「前瞻基礎水環境建設計畫」興建「阿姆坪防淤隧道工程」，以克服高濁度影響供水和克服淤積兩大目標，讓石門水庫從取水到防淤都能得到相當改善，進一步延長石門水庫使用年限。



石門水庫從取水到防淤都能得到相當改善，進一步延長石門水庫使用年限。

阿姆坪防淤隧道是讓水庫降低淤積延長壽命的重要工程，目前石門水庫已經淤積了1/3，早期沒有方法處理，現在阿姆坪防淤隧道是其中重要的一環。阿姆坪防淤隧道112年4月完工，第一次操作就是在9月的海葵颱風時，經過驗證效果不錯，這是臺灣首創，也是水利的創新，這工程經費40多億，是石門水庫有史以來單一標案經費最高的工程，對石門水庫壽命延長有重要功能。

問：請署長分享因應氣候變遷挑戰及追求淨零碳排目標，石門水庫未來有何創新及永續作為？

答：面對氣候變遷與全球追求淨零碳排目標，因桃園人口持續成長，加上桃園、新竹等地區科學園區新(擴)建計畫，未來石門水庫的供水需求只會增加，不會減少。為達成桃園新竹間水源聯合調度運用，水利署推動北部「珍珠串計畫」，規劃「石門水庫至新竹聯通管工程」，目前已經發包施工中，預計4年後完工，備援供水量可達每日30萬噸，本聯通管完工後將串連石門水庫與寶山、寶二水庫供水體

系，成為桃園到新竹第二條備援管線，提升水資源調度及備援能力。

「石門水庫至新竹聯通管工程」解決了北北桃竹水源跨區調度運用難題，且有效增加新竹地區供水穩定，強化枯旱供水韌性以降低氣候變遷衝擊，逐步減少對降雨的依賴。



(左)施義芳董事長

能源轉型是全球的趨勢，我國也正積極採用及探索多元的再生能源，水利署與台電公司攜手合作積極投入「石圳聯通管小水力發電廠」及「石門抽蓄水力發電計畫」，為實現國家能源轉型、淨零碳排目標挹注能量，擁抱永續美好的未來。

「石圳聯通管小水力發電廠」是水利署配合政府推動再生能源政策，利用石門水庫分層取水工後段輸水鋼管連接石門大圳之聯通管末標高約191公尺，於水庫高水位期間有40公尺以上的水頭落差。民國107年6月台電公司與北水局合作辦理「石圳聯通管小水力發電計畫」，採豎軸式法蘭西斯水輪發電機1組，裝



(右)賴建信署長

置容量為4,538瓩，年發電量約1600萬度。工程於108年12月由台電公司發包施工、於112年底完工商轉、113年3月取得電業執照正式營運。

問：行政院1979年核定實施大臺北防洪計畫，至1999年完工迄今已逾25年，面

對極端氣候下降雨量豐枯差距加大的嚴峻挑戰，水利署如何兼顧都會區防洪、水資源及水環境等需求，調整及研擬「大臺北防洪計畫2.0」，又該計畫的主要工作重點和目標為何。

答：大臺北地區為臺灣首善之都會區，為臺灣政治、經濟、文化中心，超過五百萬人口集中於中下游平原地區，因環境兼具盆地地勢低窪、颱風頻仍、坡陡流急，臺北橋段及關渡隘口之河槽狹窄，過去曾發生之地層下陷以及人口集中甚至與河爭地等情形，不利於防洪之特性。為保護臺北地區，政府自民國49年起即著手研究規劃，就蓄洪、攔洪、分洪、束洪、導洪、避洪等十數種可能方案進行評估分析，最後由經濟部訂定大臺北地區相關治水計畫據以推動，包括「淡水河防洪治本計畫」、「臺北地區防洪計畫建議方案(草案)」、「臺北地區防洪計畫初期、第二期及第三期實施計畫」及「基隆河整體治理計畫(前期計畫)」等，其相關計畫前後實施期程長達數十年，目前淡水河主流已達200年頻率防洪保護標準(不含五股及社子島地區)，為全國保護標準最高地區，對大臺北地區之防洪治水貢獻至大。

為因應氣候變遷極端降雨威脅，考量傳統防洪工程有其極限，水利署前已研提並報奉行政院核定中長程施政計畫-「中央管流域整體



改善與調適計畫(110~115年)」，將採區域性及系統性之流域整體規劃，以因應氣候及環境變化進行治水策略轉型調整，整合中央管河川、區域排水及海岸防護三大範圍，推動「整體改善及調適規劃」、「基礎設施防護及調適措施」、「土地調適作為」、「建造物更新改善及操作維護」及「營創調和環境」等工作，期能達成「韌性承洪，水漾環境」水岸家園願景目標。

因此，未來針對大臺北地區治水思維將承接前述政策，從以往淡水河防洪安全防護調整為流域整體韌性調適，配合河川環境管理，以「基於自然的解決方案」(Nature-based Solutions, NbS)思維，兼顧水岸縫合、生態、文化、遊憩等多元功能，同時結合國土計畫，土地作妥適利用，提高土地具耐淹及回復力，風險轉移納入科技輔助防災預警避難，達到與水共存目標。

問：最後現在正是水庫的枯水期，是不是請署長分享一下日常生活中如何有效節約用水，呼籲大眾力行節水，一起度過枯水期的挑戰。

答：家戶用水量最大宗就是在浴室跟廚房，換言之，一般民眾日常節約用水的方法要著重在

此處，例如：

- 洗澡前的冷水可以收集利用外，多採用淋浴取代盆浴；家人洗澡時，應連續盡量不要間斷，可節省熱水流出前的水量又可節省能源。
- 另外洗碗、洗菜用適量水在盆槽洗濯，必要的沖洗換水應該收集；至於洗碗、洗菜、洗水果、洗米或甚至洗衣水、洗澡水等用水，均可收集起來作為沖洗馬桶、拖地、澆灌或洗車用。
- 目前市面上洗衣機均具有省水標章，各家廠商洗衣機產品具有各種行程模式，民眾在操作時如果衣物量較少，可選擇

省水認標章 選對才會省

你選對了嗎？
省水標章同樣分為「金級」省水標章及「普通」省水標章，選對才會省

省水馬桶 產品規格

標章	沖水量	省水量
普通	沖水 6公升/次以下	金級再省 20%
金級	沖水 4.8公升/次以下	

一段式省水馬桶

普通	沖水 6公升/次以下
金級	沖水 4.8公升/次以下

兩段式省水馬桶

普通	大號 6公升/次以下
金級	大號 4.8公升/次以下
	小號 3公升/次以下

經濟部水利署 水利資訊網 www.wra.gov.tw
節約用水資訊網 www.wcis.itri.org.tw



(中)賴建信署長 (右3)施義芳董事長 (右2)廖學瑞總經理 (右1)吳律平協理
(左1)莫懿美副理 (左2)劉偉裕經理 (左3)蘇攻心副總經理

洗衣流程較短行程，不必選擇標準行程，均可輕鬆省水。

- 另外馬桶漏水是家戶漏水的隱形殺手，隨時要留意與檢查馬桶是否漏水，如有漏水，應儘速處理。

目前對於公共場所或民眾生活所需的洗衣機、馬桶、沖水小便器、感應式水龍頭及自閉式水龍頭等產品，在法規上均已納入強制使用省水標章產品，即在市面上購買上述產品均已具有省水標章，讓民眾不管在家或在外，在不影響日常用水健康及清潔功能上，即可達到節約用水目的。

後記

承蒙賴署長於百忙之中撥冗接受專訪，讓我們對臺灣的水資源有更多的認識與了解。近年來，水利署除加強集水區治理、水庫清淤及更新改善、降低漏水率、區域彈性調度，期能提升整體用水效率以因應各地區用水需求。另積極開發再生水、海淡水、貯留雨水等，以因應極端氣候下之水資源短缺問題。在這邊也呼籲，水資源的開源與節流同樣重要，珍惜水資源，避免不必要浪費，才能面對氣候變遷的挑戰。

產業園區環境議題—— 健康風險評估案例分享

Case Study on Health Risk Assessment- Industrial Park Environmental Issues

關鍵字(Key Words)：健康風險評估(Health Risk Assessment)、次世代風險評估(Next Generation Risk Assessment, NGRA)、風險管理(Risk Management)、風險溝通(Risk Communication)

成功大學食品安全衛生暨風險管理研究所／所長／教授／陳秀玲 (Chen, Hsiu-Ling) ①
成功大學食品安全衛生暨風險管理研究所／副技術師／陳怡如 (Chen, I-Ju) ②

摘 要

民國99年台灣的環保署(現改制為環境部)首次公告「健康風險評估技術規範」，針對健康風險評估四大步驟包括危害確認(Hazard Identification)、劑量效應評估(Dose Response Assessment)、暴露量評估(Exposure Assessment)與風險特徵化(Risk Characterization)進行說明與資料庫引用說明。截至目前，國內相關環評計畫案多依循此架構進行健康風險評估。

於環境影響評估過程或是評估完成後，皆可採用健康風險之評估結果進行事前預防、事後管控，整體區域發展需求亦可藉由健康風險評估予以輔助、佐證，並強化其風險管理效能。如今隨著科學技術不斷地的推進，從傳統的健康風險評估演變到現在的次世代風險評估，健康風險評估的價值在於它的評估結果可以提供給產業檢視自我的化學品管理與加強污染管控措施，以科學的風險評估結果進行風險管理，最後將可用以與鄰近民眾進行風險溝通。



Abstract

In 2010, Taiwan's Environmental Protection Administration (Ministry of Environment current) announced the "Technical Specifications for Health Risk Assessment". This document explains and provides database references for the four major steps of health risk assessment: hazard identification, dose-response assessment, exposure assessment, and risk characterization. To date, domestic environmental impact assessment projects are largely conducted following this framework.

During the environmental impact assessment process or after its completion, the results of health risk assessments can be used for preemptive prevention, post-event control, or to support and substantiate the overall regional development needs. This enhances the effectiveness of risk management. With continuous advancements in science and technology, traditional health risk assessments have evolved into next-generation risk assessments (NGRA). The value of health risk assessments lies in their ability to provide industries with scientific results to review their chemical management and strengthen pollution control measures. Ultimately, these risk assessments facilitate risk communication with neighboring communities and convince them to achieve the best risk management.

壹、前言

民國99年4月9日台灣首次公告「健康風險評估技術規範」，共有11條規範，於民國100年7月20日再度進行修正，至此，建立了台灣環境影響評估作業需視開發需求納入健康風險評估。自技術規範公告後，本團隊於民國99年承接了國光石化公司所委託的國光石化環境影響評估計畫，猶記得這個計畫於小組審查時即陷入膠著，不斷的有各式各樣的審查意見如物質清單代表性、完整性、主要模式、計算式及輸入參數值等，雖然國光石化後來並未通過環評審查，但環評委員於審查過程中的巨細靡遺讓我們團隊也上了一課。直到民國102年中科的臺中園區擴建用地開發計畫又是另外一項嚴峻的挑戰，該案從102年開始直到104年歷經多次的審查，後又被要求必須得完成中科園區的風險以做為該案的背景污染值加成，經過多次的嚴苛檢視，後續我的團隊也到美國取經，如今隨著科學技術不斷地的推進，傳統的健康風險評估演變到現在的次世代風險評估，健康風險評估的價值在於它的評估結果可協助工業檢視自己的化學品管理與加強污染管控措施，以科學的風險評估結果進行風險管理，最後將可用以與民眾做最好的風險溝通。

貳、風險評估技術規範—概念與架構

執行風險評估主要目的是希望開發單位以此為基準，擬訂開發案之健康風險管理策略，以降低開發行為對國民之健康影響程度。另環保署（環境部前身）於民國103年公告「土壤及地下水污染場址健康風險評估方法」，顯見健康風險評估於環境污染控制與管理之重要性，過去10多年以來，彙整經濟部工業局、環境部環評書件等，執行環評案件數超過百件以上。此外，經環境影響評估後被認定須進行健康風

險評估或定期更新健康風險評估者如台塑六輕與中油三輕等大型開發案，或是工業園區或科學園區執行自主管理，藉由定期更新健康風險評估結果，完善與加強工業園區之化學品管理制度或加強風險管控，如新竹、中部與南部科學園區、仁武大社石化工業區等。此外，地方政府（通常是環保局與衛生局）對於有明顯環境疑慮的工業污染場址或大型工業開發案之相關環境影響評估或健康風險評估專案計畫，於環境影響評估過程或是評估完成後皆可以健康風險評估結果進行事前預防、事後管控，抑或是整體區域發展需求亦可以由健康風險評估予以輔助、佐證，並強化其風險管理效能。

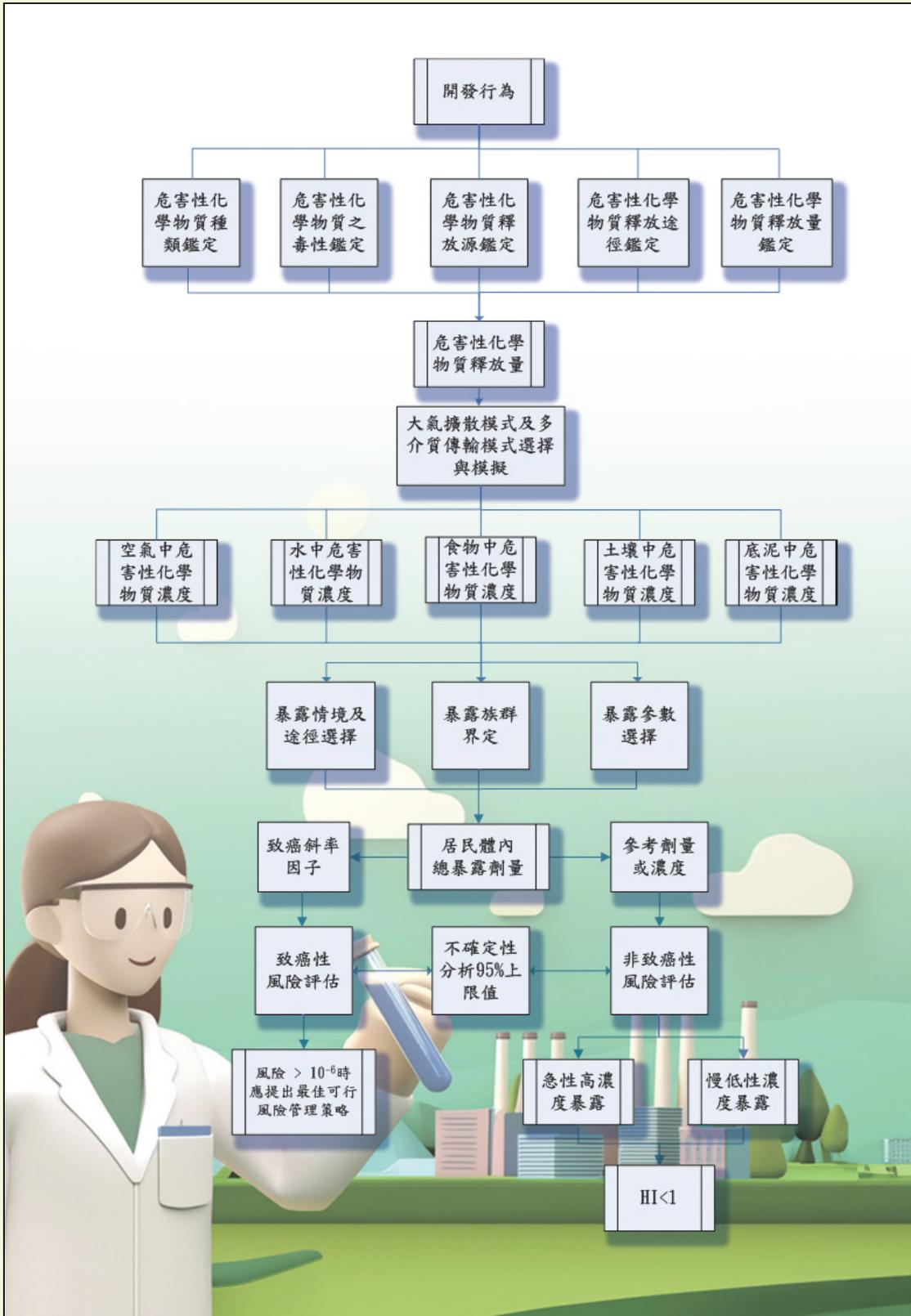
健康風險評估作業之流程如圖1，主要包括危害確認、劑量效應評估、暴露量評估、風險特徵評估等步驟：

一、危害確認（Hazard Identification）

此步驟主要在決定某一特定污染物是否與某種健康影響有因果相關。健康風險評估中最重要的是開發的內容與範疇，包含危害物種是否完全納入？評估物質的代表性？環保團體訴求等，其中取得原物料成分與使用量清單為至關重要，然而並非所有化學物均為純物質而是混合物，依照其成分內容拆解後，可綜整於未來評估物質清單之中。由於工廠危害物質的產生，除了使用原物料的成分內容之外，在製造過程中，因混合、反應、燃燒等，還可能有其他危害物質的產生，因此健康風險評估如果能納入既有類似工廠的原料物質與管道檢測結果，以作為危害確認與評估的範疇，將是最佳的方案。

（一）排放清單建置

如何蒐集與彙整開發計畫進駐產業可能運作與產生之化學物質清單，確認其化學物質之



資料來源：健康風險評估技術規範

圖1 風險評估流程圖

主要成分與使用量是關鍵，最常遇到的有幾種狀況，包含各工廠提供的資料有產品名、有化學名、有混合物或混和物中各別化學物質內容未揭露等。以上可能要花很多時間跟廠方人員說明或是進廠查訪，把所有的安全資料表中內含物質拆解後再重新提出清單，以確保化學物質清單的準確性與完整性。

「健康風險評估技術規範」第三條指出確認運作之化學物質中需納入風險評估者，包括環境保護及安全衛生法規所列之化學物質，如毒管法、固定污染源空氣污染物排放標準、放流水標準等；抑或是國際環境保護公約所規範之化學物質，如斯德哥爾摩公約、蒙特婁議定書等。

如依據以上國內法規或國際公約清單，評估物質種類非常明確，但因為該技術規範第三條亦明列“依本署環境影響評估審查委員會指定之其他有害化學物質”，導致過去環評會議上曾有委員要求針對二氧化硫、氮氧化物、臭氧、PM_{2.5}等進行健康風險評估，亦曾發生有環評委員針對清單的完整性與是否有規避健康風險評估提出質疑。因此，為求風險評估之完整性，須盡可能於環評作業階段提出正確清單，確認個別化學物質之物化特性資料與健康效應。

(二) 彙整毒理資料

此部分可依據「健康風險評估技術規範」建議之國內外毒理資料庫，現有最新之毒理與環境資料，及近期發表之相關文獻，儘可能完整建立主要評估化學物質之毒理資料，並依世界衛生組織之國際癌症研究署（International Agency for Research on Cancer, IARC）之致癌性分類定義，進行可能運作化學物質之致癌與非致癌性分類。

(三) 危害確認涵蓋之項目包括：

- 1、物質辨識
- 2、製造及使用
- 3、物理及化學性質：分子量、沸點、辛醇與水之分配係數、溶解度、蒸氣壓等。
- 4、人體健康危害：毒性摘要、致癌證據。
- 5、動物毒性研究：毒性摘要、致癌證據。
- 6、排放來源及排放量：排放來源確認、可能暴露途徑、排放量確認結果。

蒐集過往之健康風險評估案例，在危害確認階段曾有一些爭議案例。其一為六價化鉻（CAS no. 13007-92-6），在過去環評案例上，對於其是否屬六價鉻有過爭議，根據其化學編碼與結構，研判應不屬於六價鉻，但是否屬於危害確認仍有疑義之處；另一個案例為硫酸，依據危害資料搜尋，IARC未對其做分類，也未有國際資料庫明確將其歸類為致癌物，但根據IARC的綜合評估，含有硫酸等強烈無機酸的霧滴，在職業族群(如含磷肥料、異丙醇、乙醇、硫酸、硝酸及鉛蓄電池之製造業)中，經世代追蹤或病例對照資料中被發現與咽癌、肺癌，或與鼻腔及鼻竇癌有關，因此IARC將相關職業暴露歸類為第1級的致癌物，即確定為人類致癌物，但這部分與健康風險評估所進行的低濃度酸類物質評估有所不同，重要的是缺乏相關酸類的致癌劑量效應資料，因此只能進行非致癌的風險評估。

二、劑量效應評估（Dose-Response Assessment）

此步驟主要決定暴露程度高低與其產生反

應之機會及嚴重程度有無關聯。致癌物質部分經資料庫查詢，得到其斜率因子(Slope Factor)或單位風險(Unit Risk)，以作為致癌風險計算的基礎；其餘非致癌物質則將蒐集參考劑量RfD(Reference Dose)或參考濃度RfC(Reference Concentration)等相關資料。此致癌斜率與參考劑量皆綜合自流行病學研究結果與毒理實驗而得，包括急性與慢性的影響(Acute and Chronic Effects)、局部性與系統性的影響(Local and Systemic Effects)以及可逆與不可逆的影響(Reversible and Irreversible Effects)。

除依據「健康風險評估技術規範」所列相關7個劑量效應因子毒理資料庫依序進行檢索外，並可參考其他國際毒理資料庫，例如美國德州、密西根州政府環保局資料庫，也可以自荷蘭國家公共健康和環境研究所(National Institute for Public Health and the Environment, RIVM)等不同國際毒理資料庫進行劑量效應因子查詢。然於上述各國際資料庫搜尋闕如者，將依序進行：

(一) 搜集人類流行病學數據或動物實驗相關數據，進行基標劑量分析(Benchmark Dose Analysis, BMD Analysis)。

此方法可彌補傳統上使用未觀察到不良反應之劑量(No-Observed-Adverse Effect Level, NOAEL)，或可觀察到不良反應之最低劑量(Lowest-Observed-Adverse Effect Level, LOAEL)除以不確定因子(Uncertainty Factor, UF)之外插推估法誤差。

(二) 依據「健康風險評估技術規範」所列，利用NOAEL/UFs換算得RfD。

(三) 利用相似結構物之毒理資料取代

利用定量構效關係(QSAR)，配對找尋與

該物質具相似結構物之化學物。QSAR基本概念為化學物質之活(毒)性和其結構特徵(如官能基)有關，具有相似結構之物質，同樣具有相似之活(毒)性，且此關連性可利用數學公式來呈現，用以預測無試驗數據之相似化學物質活(毒)性。

1995年美國環保署在非致癌健康風險評估上建議使用BMD進行評估，BMD為動物實驗中會引起實驗對象某個百分比不良效應的劑量(Benchmark Response, BMR)，藉以估計RfD或每日可接受之攝取劑量(Allowable Daily Intakes, ADI) (US EPA <https://www.epa.gov/bmds>)。

以致癌性物質丙烯醛為例，於現行資料庫中未明列完整毒理資料，缺乏致癌風險評估所需之Slope Factor或Unit Risk，因此於下列資料庫搜尋BMD模擬相關之動物實驗數據：

1. National Toxicology Program (NTP)
2. IARC Monographs
3. 毒性物質與疾病登錄署(Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR)
4. 世界衛生組織簡明國際化學評估文件與環境衛生準則 WHO Concise International Chemical Assessment Documents (WHO CICAD) WHO Environmental Health Criteria (WHO EHC)
5. 醫學國際期刊資料庫如Medline、SDOS等國際文獻期刊

以上資料庫中如有蒐集到完整的動物實驗劑量效應實驗資料，確定可進行模擬BMD。以丙烯醛為例(如表1)，將BMR設定為10%，模擬結果說明如下：

表1 丙烯醛進行BMD模擬之實驗數據表

種類	Dose (ppm)	N	鼻腔橫紋肌肉瘤發生率 Female	鼻腔鱗狀細胞癌發生率 Female	鼻腔鱗狀細胞癌或鼻腔橫紋肌肉瘤發生率 Female	腦垂體腺瘤發生率 Female	
rat	0	50	0	0	0	14	
	0.1	50	0	0	0	15	
	0.5	50	0	0	0	20	
	2	50	4	2	6	17	
種類	Dose (ppm)	N	腦垂體腺瘤發生率 Female	腦垂體腺瘤或腦垂體腺癌發生率 Female			
rat	0	50	0	14			
	0.1	50	2	17			
	0.5	50	1	21			
	2	50	0	17			
種類	Dose (ppm)	N	鼻腔腺瘤發生率 Female	惡性淋巴瘤發生率 Female	子宮細胞肉瘤發生率 Female	子宮內膜間質肉瘤發生率 Female	肝細胞肉瘤發生率 Female
mice	0	50	0	12	6	1	0
	0.1	50	0	8	13	1	2
	0.4	50	0	6	14	2	0
	1.6	50	16	17	6	3	3
種類	Dose (mg/L)	N	肝腫瘤發生率 Male				
rat	0	20	2				
	100	20	8				
	250	20	0				
	625	20	3				

資料來源：IARC monographs volume 128.

丙烯醛動物實驗數據來自IARC Monographs Volume 128，每組約50隻之F344/N雌性大鼠，連續給予0.1、0.5及2ppm之吸入暴露，每週5天，每天6小時，為期2年後結束，評估大鼠鼻腔鱗狀細胞癌或橫紋肌瘤(Nasal Cavity Squamous Cell Carcinoma or Rhabdomyoma)、鼻腔橫紋肌瘤(Nasal Cavity: Rhabdomyoma)等癌症之發生率；及每組約20隻F344/N之雄性大鼠，連續給予100、250及625 mg/L口服餵藥食入暴露，為期104-124週後結束，評估肝臟腫瘤(Liver:

Tumours)之發生率。經過不同模式模擬後，最後比較所有結果，選取最低值雌性大鼠垂體腺瘤BMD=3.175ppm，BMDL=0.611ppm為代表，其變化如圖2。BMDL_{adj}經換算後為0.159mg/kg/day，推估得Slope Factor為0.627 (mg/kg/day)⁻¹。

然若均無相關文獻資料時，將依「健康風險評估技術規範」之建議，經說明後排除該化學物質。

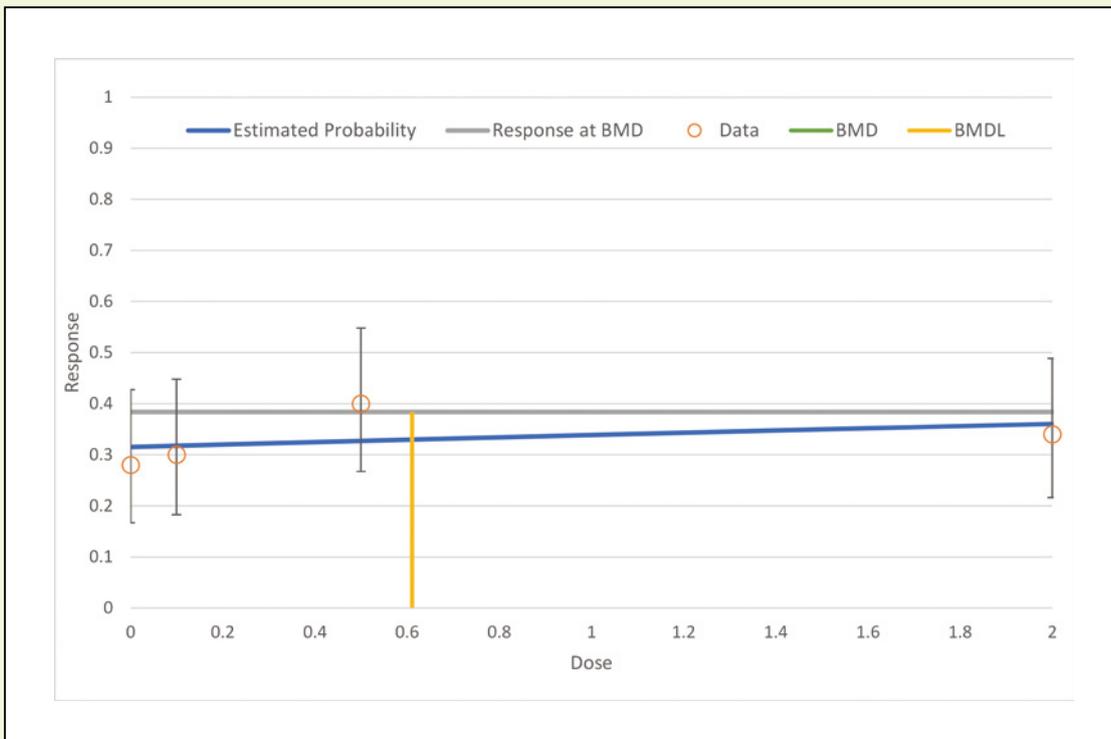


圖2 雌性大鼠吸入丙烯醛後之垂體腺瘤發生率變化圖

此外，對於毒性資料更新部分，近年來國際毒理資料仍然持續更新中，以「鈷」為例，一般所使用之致癌參數為來自技術規範中排序第四之資料庫-Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values (PPRTVs)，Inhalation Unit Risk=9 (mg/m³)⁻¹，然而於技術規範中排序第七之資料庫-美國加州環保局所建立之毒性因子The Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)於2019年9月時已更新鈷之毒理資料，將鈷區分為「水溶性(Inh. UR=8 (mg/m³)⁻¹; Inh. SF=28 (mg/kg/day)⁻¹)」及「非水溶性 (Inh. UR=0.86 (mg/m³)⁻¹; Inh. SF=3 (mg/kg/day)⁻¹)」二種不同狀態之致癌毒理，且明確顯示其致癌標的均為肺癌，因此重新考慮鈷的評估方式，僅評估吸入途徑。由於PPRTVs資料庫自2008年迄今均未進行更新，雖技術規範中寫明毒理資料庫為「依序」進行查詢，但仍可考慮利用美國加州環保局所更新之毒理資料重新進行鈷致癌風險估算。

三、暴露量評估 (Exposure Assessment)

此步驟主要決定民眾是否有暴露機會，經由何種途徑進入而被吸收，此稱為暴露劑量。

(一) 空氣污染擴散評估

「健康風險評估技術規範」與空氣污染擴散模擬相關之規定主要為第四點及第八點，摘錄如下。

第四點：「第二點所稱影響範圍之認定，依據空氣品質模式模擬規範之規定認定之。但不得小於十公里乘十公里之區域面積；經由放流水排放至承受水體者，應以放流口以下之承受水體流域為範圍。」。

第八點：「暴露量評估所需大氣擴散模擬，應依據空氣品質模式模擬規範及空氣品質模式評估技術規範之規定進行，且氣象資料應

選擇距開發區域較近或與開發地點相似之中央氣象局或民航局所屬氣象觀測站提供者，並應以近五年氣象資料進行擴散模擬。」

爰此，須依據環境部「空氣品質模式模擬規範」及「空氣品質模式評估技術規範」之相關規定辦理，並選用環境部認可之高斯類擴散模式進行原生性空氣污染物擴散模擬評估。環境部目前認可之高斯類擴散模式為AERMOD模式(American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model, AMS/EPA Regulatory Model)，自112年1月1日起使用。

AERMOD模式是一種穩態煙流模式(Steady-State Plume Model)(USEPA, 2018)，適用於點(煙囪)、線、面、體等各種形式之污染源。利用AERMOD空氣污染擴散模式，配合模擬區域環境與大氣資料，模擬開發行為所排放之空氣污染物擴散情形，提供後續多介質模式，可評估空氣污染暴露對當地居民之健康風險。

AERMOD模式設定可使用環境部模式支援中心提供之AERMOD地形檔資料，並進行乾濕沉降之模擬：

1. 模擬範圍
依AERMOD使用規範，模擬範圍設定應以新增或變更製程為中心，取一正方形之模擬區域，邊長取主要污染源至其年平均最大著地濃度點之五倍水平距離，但不得小於10公里。另依據「健康風險評估技術規範」規定，模擬範圍至少10公里×10公里。
2. 模擬期程
依「健康風險評估技術規範」規定，模擬期程取過去近5年之氣象資料。

3. 氣象條件
包括混合層高度、風向、溫度、風速及穩定度等資料，其中混合層高度的設定，必須仰賴氣象局探空資料，或國際氣象機構之再分析數據資料。

4. 污染源排放資料
排放量推估優先採直接量測法。直接量測法係以檢測方法在既有類似污染源實地測得危害性化學物質的濃度值及廢氣流量值(單位時間體積值或質量流率值)，以其乘積為危害性化學物質之單位時間排放量計算值。
若管道檢測濃度低於檢量下限，濃度取1/2MDL計算其排放量，若同一物種有多筆檢測數據，取多筆檢測數據排放量之平均值為平均排放量，並作為長期性健康風險評估之依據。

(二) 空氣排放物質之多介質模式評估

暴露量推估很重要的是暴露情境設定，如開發案營運時期設定，如以最保守觀點來進行假設，設定為台灣平均餘命，及所有民眾終其一生皆居住於該地。而所有排放物質對民眾之暴露，均假設由空氣吸入之排放途徑所攝取之吸收率為100%，但經由多介質傳輸評估之物質，其攝取途徑可經由吸入、食入與皮膚接觸。

目前多介質暴露評估可採用美國加州政府環境健康危害評估辦公室(California Office of Environmental Health Hazard Assessment, the U.S. Environmental Protection Agency)所發展之多介質模式The Air Toxic Hot Spots Program Risk Assessment Guideline Manual for Preparation of Health Risk Assessment(2003或是2015版)。

健康風險評估利用機率分布(The Stochastic Treatment of Data Distribution)結果進行。於台

灣，因通常缺乏當地實際參數，環境資料與動物飼養模式與飲食資料，盡可能參考開發當地或全台灣之調查資料，並以蒙地卡羅進行機率分佈分析，取其機率分佈之50%與95%上限分佈值進行多介質分析。最後評估經由吸入、皮膚吸收、土壤、飲水、葉菜類、根莖類、穀類、豬肉、牛肉、家禽類、牛乳、蛋類、魚類等13種不同介質之平均總暴露劑量。多介質之傳輸分布如圖3所示。

寡。最後的風險計算包括致癌風險與非致癌風險評估，估算方法如下：

(一) 空氣排放物質之致癌風險

1. 吸入風險計算公式：

方法一：吸入致癌風險

$$\text{Risk} = \text{LADD} \times \text{Slope Factor}$$

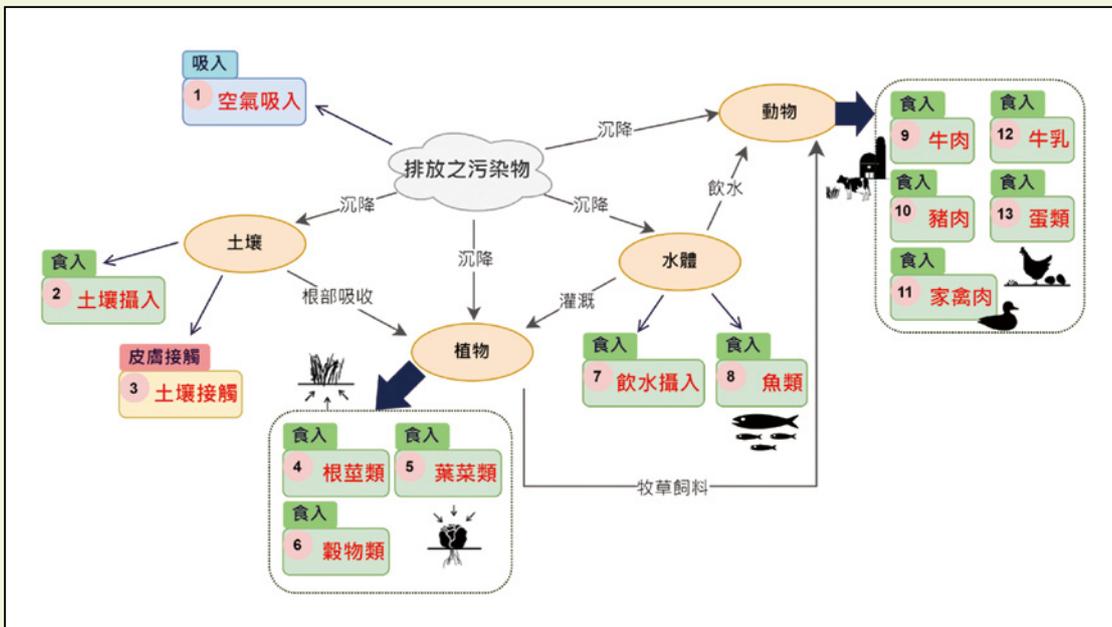


圖3 多介質傳輸分布

另一個較具爭議點在於到底哪些物質需要評估多介質暴露。由空氣排放之物質中，依據美國加州評估指引建議進行多介質者為六價鉻、砷、鎳，其餘物質可排除酸類物質與明確毒理健康效應為呼吸系統外，納入水溶解度高、於環境中較不易降解、具生物體蓄積性且多介質參數齊全之物質，例如錳、銅、鉛、戴奧辛、多環芳香烴等，皆可進行多介質評估。

四、風險特徵評估 (Risk Characterization)

此步驟綜合上述三步驟作一綜合性評估，估計該污染物引起民眾健康影響之風險度多

方法二：Risk = 空氣濃度 × Unit Risk

Slope Factor：致癌斜率(mg/kg/day)⁻¹

Unit Risk：單位風險 (mg/m³)⁻¹

2. 食入風險計算公式：

食入致癌風險Risk=LADD × Slope Factor

3. 總致癌風險=吸入風險+食入風險

(二) 空氣排放物質之非致癌風險估算方法

非致癌之慢性危害風險則是利用危害商數 (Hazard Quotient, HQ)表示，假設所有化學物

質毒性沒有協同效應及拮抗效應時，各化學物質之HQ相加總合結果為危害指標(Hazard Index, HI)，HI值若小於1，代表暴露濃度低於會產生健康危害效應之閾值，反之若相加後HI值大於1，則代表暴露濃度超過閾值，有可能危害人體健康。

非致癌風險計算方式如下：

1. 平均每日暴露劑量(Average Daily Dose)

$$ADD = \frac{C \times IR \times AF}{BW}$$

2. 危害商數 (Hazard Quotient)

$$HQ = \frac{\text{Exposure Conc.}}{RfC} \text{ 或 } \frac{ADD}{RfD}$$

RfD：參考劑量(mg/kg/day)

RfC：參考濃度(mg/m³)

參、產業園區健康風險評估案例

我國環評史上曾出現多起與健康風險評估有關的訴訟案例，其中中科三期環評案自后里農民於民國95年提起行政訴訟，迄今歷經18年仍在爭訟中，不僅是臺灣環評史上第一件環評審查結論遭撤銷確定的案例，也是首件環評訴訟案件達成和解(民國103年)，在臺灣法律史、環境公民訴訟運動史上皆為重要的里程碑；中科三期開發案於民國107年再次通過環評審查，然后里農民認為仍有未釐清的健康風險及農業用水等爭議，再度提起環評撤銷訴訟，並於111年取得台北高等行政法院的勝訴判決（北高行108年訴字1997號）及最高行政法院裁定環評審查結論效力應暫時停止執行。另有關中部科學工業園區臺中園區（以下簡稱為臺中園區）擴建用地開發計畫之訴訟，主張環境影響評估審查結論有關健康風險評估項目內容改變及檢測結果與健康風險評估報告之基礎數值之來源、可信度及學理上

進出用料之平衡及化學反應等問題提出訴訟，本案駁回原告之訴，然此訴訟過程對於未來所有開發案而言，有關執行健康風險評估時應審慎並儘可能完整蒐集從危害確認、毒性效應數據、具代表性之檢測數據，以嚴謹的態度與符合科學的完成健康風險評估。

於已開發案的訴訟案例中，連續於107年與109年皆有原告等人主張因國內某石化公司排放具污染性質之氣體而危害原告等之身體健康，雖然法院於民國109年與民國111年皆判決駁回原告之請求，然此案衍生的後續問題是如何看待解讀健康風險評估之數據。由於過去已經多階段完成該石化產業之健康風險評估報告，經過10幾年後，歷經毒理資料更新、氣候變遷所造成的氣象條件改變，新的製程與新的環境污染控制措施介入，過去所完成的健康風險報告將成為背景資料，可用以比較10年後該地居民的疾病發生狀態變化。爰此，遵循以上所提之健康風險技術規範之評估範疇與採用相同的評估方式將可避免未來產生爭端。

肆、健康風險評估未來的挑戰

目前健康風險評估多仰賴動物試驗及流行病學研究等毒性終點數據來進行致癌性與非致癌性數值推導，然因傳統動物試驗具有高成本及耗時長等特性，使得風險評估實踐的有效性和即時性受到侷限，加上近年日益增溫的國際動物福祉議題，需考量採用不同的方法評估化學物質安全性^[1]。美國環保署於2010年提出次世代風險評估(Next Generation (NexGen) Risk Assessment, NGRA)，目標在於將最新發展的分子生物學、計算生物學及系統生物學方法納入風險評估中^[2;3]。次世代風險評估架構的建立主要基於三個要素，分別為毒性測試技術改革（自哺乳動物體內毒性試驗終點轉向以細胞體外試驗辨識導致不良結果之毒性途徑）、人口健康觀點切入（對於

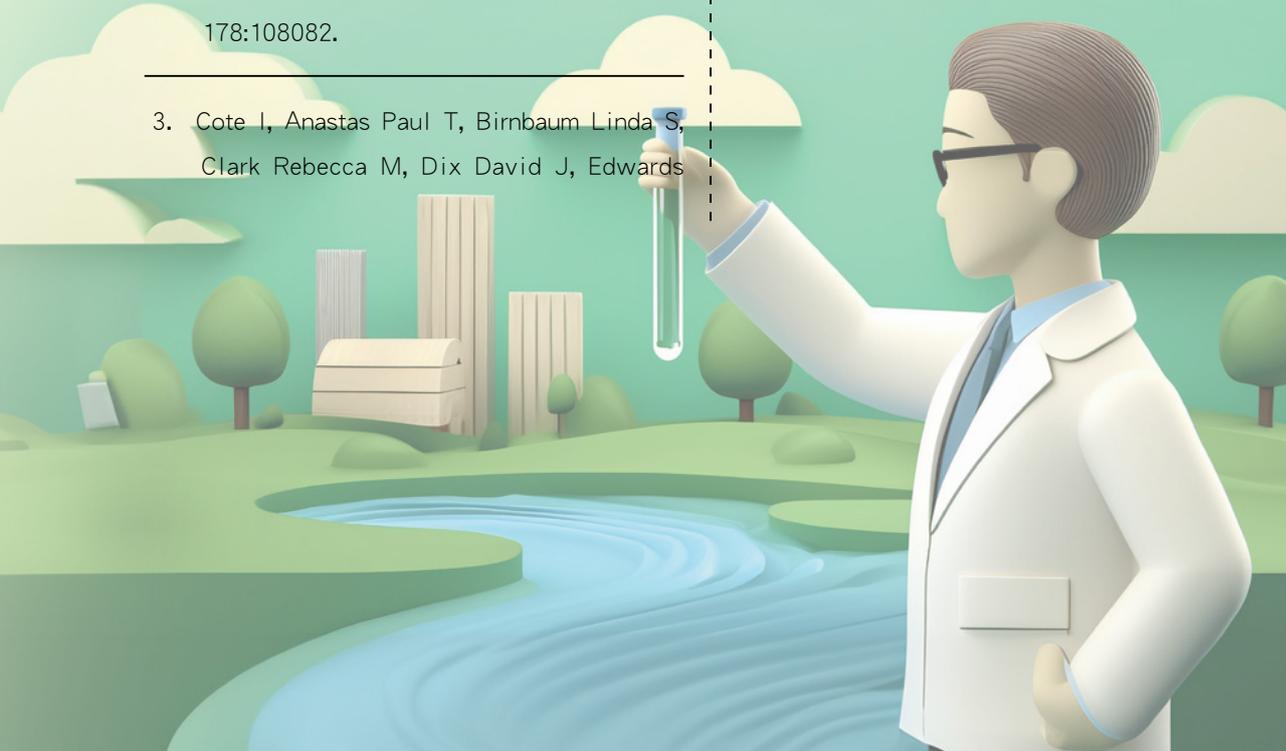
健康賦予較為廣泛的定義，即身體、心理及社會適應性皆可泛屬於健康，非純論疾病或虛弱程度)及新風險評估方法開發與應用(強化及確認風險評估目的，以提高風險評估效能，且多元開發風險評估方法)，未來如何將目前風險評估方法與次世代風險評估方法接軌將會是一項新的改革與挑戰^[4;5]。

參考文獻

1. Dent M, Amaral RT, Da Silva PA, Ansell J, Boisleve F, Hatao M, et al. 2018. Principles underpinning the use of new methodologies in the risk assessment of cosmetic ingredients. *Computational Toxicology* 7:20-26.
2. Schmeisser S, Miccoli A, von Bergen M, Berggren E, Braeuning A, Busch W, et al. 2023. New approach methodologies in human regulatory toxicology - not if, but how and when! *Environment International* 178:108082.
3. Cote I, Anastas Paul T, Birnbaum Linda S, Clark Rebecca M, Dix David J, Edwards

Stephen W, et al. 2012. Advancing the next generation of health risk assessment. *Environmental Health Perspectives* 120:1499-1502.

4. Krewski D, Westphal M, Andersen Melvin E, Paoli Gregory M, Chiu Weihsueh A, Al-Zoughool M, et al. 2014. A framework for the next generation of risk science. *Environmental Health Perspectives* 122:796-805.
5. U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2014. Next generation risk assessment: Incorporation of recent advances in molecular, computational, and systems biology (final report). EPA/600/R-14/004. Washington, DC.



國內都市型園區實踐淨零 建築之趨勢動向

Trends in Implementing Net-Zero Buildings in Domestic Urban Science Parks

關鍵字(Key Words)：都市型園區(Urban Science Parks)、淨零建築(Net-zero Buildings)、營運碳(Operational Carbon)、隱含碳(Embodied Carbon)

國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心／研究員／簡國明 (Chien, Kuo-Ming)

摘要

本文旨在探討國內都市型園區推動淨零建築的發展動向，透過竹科X基地、寶高智慧產業園區、台北遠東通訊園區、中工雲宇宙AI園區的相關案例研析，可以得知國內都市型園區已成為淨零建築的最佳實踐場域，同時也試圖打造新型態園區開發規劃和營運管理之發展模式。



Abstract

The purpose of this study is to explore the development trends of promoting net-zero buildings in domestic urban science parks. Through case analyses of the Hsinchu Science Park X-Base, Baogao Science and Intellectual Park, Taipei Far Eastern Telecom Park, and BES Cloudverse AI Park, it is evident that domestic urban science parks have become optimal arenas for implementing net-zero buildings. Furthermore, they endeavor to establish innovative models for the development planning and operational management of new models for science park development.

壹、前言

由於都市地區具有匯聚資金、人才、學研機構等創新資源，以及交通便利、生活機能等相對優勢，目前都市型園區成為既有園區擴建或新設園區開發之重要趨勢，做為吸引未來創新人才及新興科技企業進駐的新興場域。根據世界科學園區協會(IASP, 2022)調查報告顯示，「地理位置」是園區關鍵成功因素之一，尤其為吸引人才，科學園區位於城市地區(84.1%)為大宗。本文在此所指「都市型園區」為位於都市地區，由大樓所組成的研發導向型園區，甚者因應2050淨零排放趨勢，邁向淨零建築也成為都市型園區開發規劃的核心。因此，本文以下將探討國內外淨零建築推動趨勢，並以國內都市型園區為案例研析，探討其實踐淨零建築規劃設計的新動向，進而提供未來都市型園區規劃之建議。

貳、國際淨零建築及都市型園區趨勢動向

一、全球建築領域碳排放概況

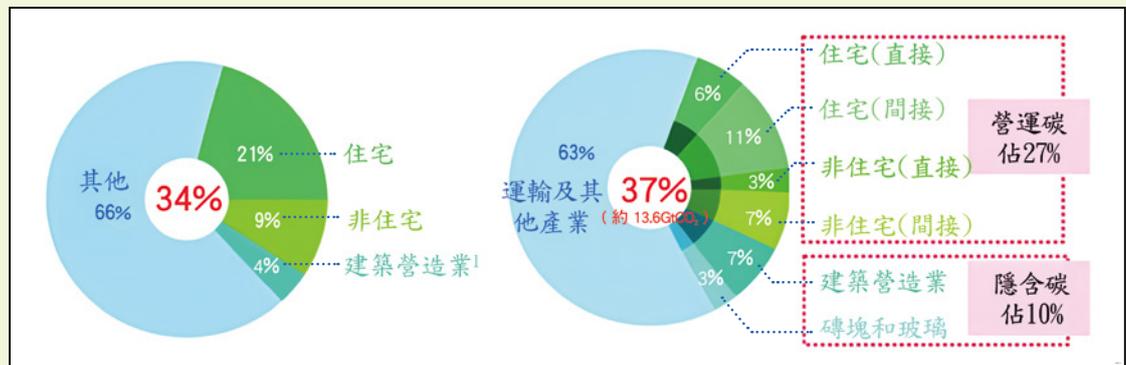
根據聯合國環境規劃署(UNEP)和全球建築業聯盟(Global ABC)於2024年3月發布《全球建築業現況報告》(Global Status Report for

Buildings and Construction)，發現2022年建築領域碳排放量達新的全球高峰。據調查2022年建築領域約佔全球能源需求34%，以及佔全球碳排放量37%(圖1)。建築物全生命週期碳排放主要分為營運碳(OC)、隱含碳(EC)，與2021年相比，2022年建築領域碳排放量成長約1%。另一方面，也發現當前全球脫碳速度與預訂目標存在巨大差距。據全球建築氣候追蹤器(GBCT，由建築業能源相關排放、建築業能源強度、建築累計節能投資等七部分組成的綜合指數)調查，目前離2050淨零目標，有脫碳指數40積分的差距，且再生能源運用等指標皆低於預期。若要達到2030年淨零里程碑，現在需要加重推動力度，每年增加10個脫碳積分，提高原先預期每年新增6個脫碳積分規劃。

二、國際推動淨零建築動向-以COP28為例

由於建築領域占碳排放量極大占比，國際能源總署(IEA)、各國皆陸續發布淨零建築路徑規劃目標。第28屆《聯合國氣候變化綱要公約》締約國大會(COP28)於2023年11月30日至12月12日在阿拉伯聯合大公國杜拜世博城舉辦，建築領域也成為討論焦點之一，對此可歸納三大趨勢：

(一) 加強政策行動



資料說明1：建築營造業(Buildings construction Industry)指建築用材料，包括混凝土、鋼材、鋁材
資料來源：Global ABC and UNEP(2024). Global Status Report for Buildings and Construction

圖1 全球能源需求(左)、全球碳排放占比(右)

因應建築領域脫碳速度的落後，法國和摩洛哥政府與聯合國環境規劃署於COP28共同發起「建築突破性議程」倡議(Buildings Breakthrough)，推動2030年讓「近零排放和氣候韌性建築」成為新常態，如強調國家、區域和國際各個層面加強各國和利害關係人之間的協調，統一近零排放和韌性建築的定義、評估架構和認證。

(二) 深化解決方案

全球建築聯盟於COP28邊會，分享2024年3月發布的《全球建築業現況報告》，先行導讀建築部門最新淨零趨勢，並提出三大淨零建築方案：

1. 重視適應性和韌性施工方法，以預防極端氣候風險，如建築新建和改造要納入未來暖化估算、當地再生能源發電和儲存等建築能源供應彈性。
2. 改造及綠建築產業商業模式創新，如建築流程數位化、標準化(預鑄)，以節省施工運作資源投入。
3. 提高以自然為本解決方案(Nbs)和親自然設計，如綠色屋頂、人工濕地、木構建築、植生牆等。

(三) 擴大淨零範圍

首先對建築減碳重視從營運碳擴增至隱含碳，加拿大和阿拉伯聯合大公國於COP28發起《水泥和混凝土突破》倡議(Cement and Concrete Breakthrough)，推動低碳甚至零碳水泥；另一方面，COP28會議上除持續追求更新建築技術與低碳永續建築材料外，亦開始將建築部門減碳納入其他考量，如加速推動與交通運輸結合的15分鐘城市規劃、提高住宅能源效率、協助能源

貧窮居民之公正轉型等。

三、國際淨零建築及都市型園區之重要案例

在淨零建築方面，以日本為例，綜合建築公司皆積極提出淨零建築創新解決方案，如大成建築於2014年打造「人と空間のラボ (Human Space Lab) ZEB實證棟」，做為其創新技術之示範場域。在該場域2020年推動「太陽能建築一體化」(BIPV)，率先導入大成高效率晶體太陽能光電板(T-Green Multi Solar)：(1) 固體型-與傳統太陽能板不同，外觀不會看到電極或佈線結構；(2) 透光型(玻璃集成太陽能光電板)-兼顧採光和發電，可做為窗玻璃、陽台欄杆等。同時也導入T-Light Cube晝光導光系統、T-Green BEMS能源管理系統、餘熱利用及環境空調系統、都市型小變位隔震系統等創新技術應用。此外，大林組、竹中工務店、鹿島建設等也致力打造以「木構建築」為目標高層大樓，如日本住友林業與日建設計合作，預計2041年住友林業成立350周年完工高度到350公尺、共70層木構高樓。由於混凝土是建築物中隱含碳的第一大來源，竹中工務店、鹿島、Denka(電氣化學公司)合作開發環保混凝土，採行CO₂減量技術、CO₂固定技術、CO₂吸收技術，使混凝土製造過程達80%減碳效果。

在都市型園區方面，位於瑞典哥德堡的約翰內伯格科學園區(Johanneberg Science Park, JSP)致力做為引領正能源建築先驅者。JSP於2010年由哥德堡市政府和查爾姆斯理工大學(CUT)合作成立，結合CUT大學專業項目，園區主要聚焦土木工程、能源和材料領域。其於2019年完工新大樓「A Working Lab」，在營造過程則導入木結構、數位雙生、能源解決方案等16項創新試驗，降低建築對氣候影響約20%，並獲得瑞典Miljöbyggnad綠色建築認證最高級別-金級認證。此外，JSP結合產學研等11位合作夥伴成立HSB生活實驗室(HSB Living



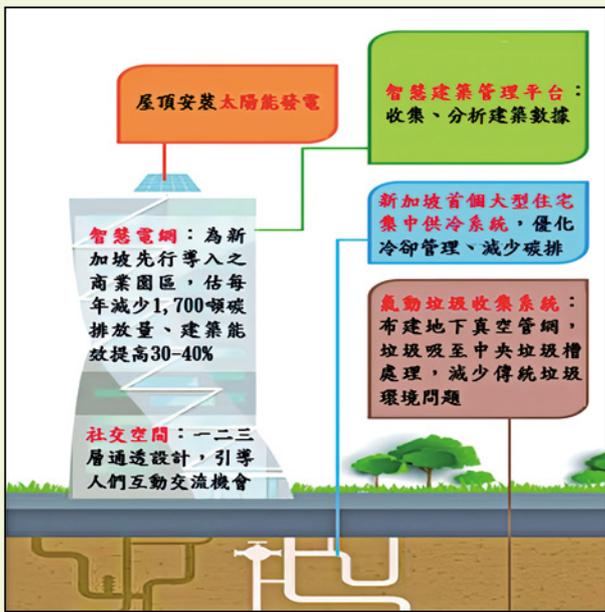
資料來源：Fossil-free Energy Districts.
<https://www.johannebergsciencepark.com/projekt/fed-fossil-free-energy-districts>

圖2 瑞典約翰內伯格科學園區-HSB生活實驗室

Lab)，做為真實家居環境之創新實驗示範場域，整體為可拆卸的四層樓建築，由44個模塊組成，即可配合立面材料、牆體系統、隔熱材料等實驗需求進行更換，並設有2,000個感測器，可進行溫度溼度、空氣品質等數據蒐集(圖2)。JSP同時也鏈結官產學研成立「正碳足跡房屋」(PFH)，為聚焦永續建築和城市發展之跨學科研發平台，透過平台協作將創新成果落地應用於周邊新興住宅社區，如新型環保混凝土建造、回收電動巴士電池為太陽能儲能等。

新加坡榜鵝數位園區(Punggol Digital District, PDD)目標做為低碳創新智慧城市典範。新加坡政府2018年啟動榜鵝數位園區建設(佔地50公頃)，預計2024年完工，為該國首個智慧商業園區，並為新加坡邁向智慧國家之創新

實驗示範區。榜鵝數位園區打造「開放數位平台」作為園區心臟和大腦，由裕廊集團和新加坡政府科技局(GovTech)共同開發，整合PDD感測器集結之公共數據(如建物設施、交通號誌、智慧電網等)，並可透過數位雙生(Digital Twin)進行模擬測試，提高園區營運、能效優化。此外，重視布建集中化智慧管理設施，如區域冷卻系統、中央物流集散中心、智慧氣動垃圾收集系統等。在綠色交通方面，以公共交通為導向，打造Car-lite綠色運輸新城，強調運輸共享、交通行動服務(Mobility as a Service, MaaS)，並結合地鐵榜鵝岸站、無人駕駛公車、自行車專用道路，提供電動滑板車、無人駕駛汽車等在園區內通行(圖3)。



資料來源：Building an operating system for Punggol Digital District. <https://www.tech.gov.sg/media/technews/building-an-operating-system-for-punggol-digital-district>

圖3 新加坡榜鵝數位園區淨零建築規劃設計特點

參、國內推動淨零建築之政策動向

一、中央政府方面

我國於2022年3月公布「台灣2050淨零排放路徑藍圖」，當中提出建築領域淨零階段里程碑設定目標：

- (一) 2030年：公有新建建築物達建築能效1級或近零碳建築
- (二) 2040年：50%既有建築物更新為建築能效1級或近零碳建築
- (三) 2050年：100%新建建築及超過85%建築為近零碳建築

我國推動淨零建築，參考美日、歐盟等國際發展概念，先規劃建築節能50%，其餘用電再以再生能源碳中和至零碳排，以達到

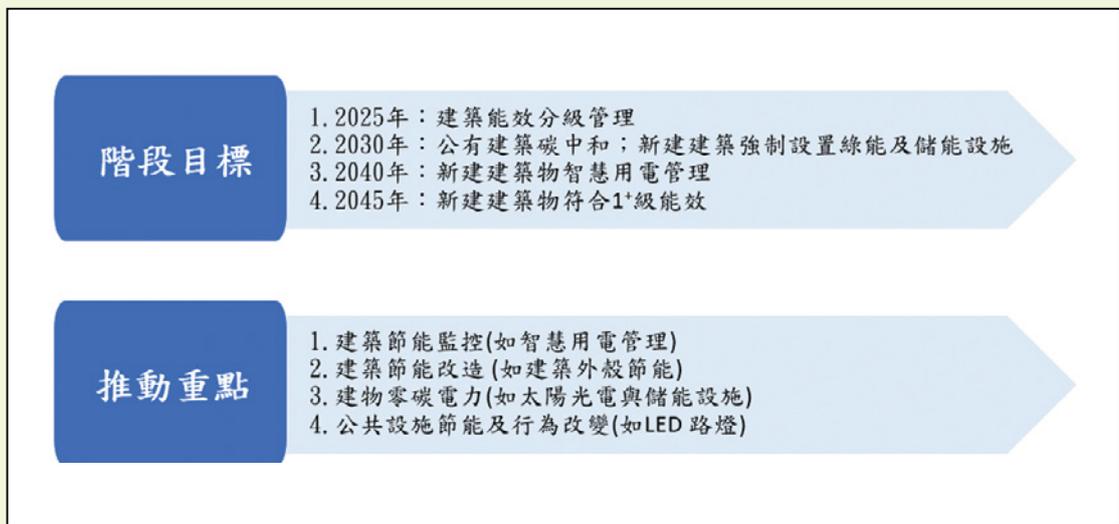
2050年淨零建築的願景。對此提出4大推動主軸：

- (一) 提高新建建築物能源效率(如建立能效評估系統、強化建築節能法規)
- (二) 改善既有建築物能源效率(如提升公有既有建築能效、強化民間既有建築能效)
- (三) 提升家電、設備能源效率(如提升家電產品能效、預留充電設備停車位)
- (四) 減碳技術及減碳工法(如建築物導入節能技術、低碳工法研發)

目前國內已陸續頒布相關淨零建築規範，並與國際同步，對建築減碳的重視從營運碳擴增至隱含碳，如針對營運碳、隱含碳頒布淨零建築標準，於2022年1月，內政部發布「2022年版綠建築評估手冊-建築能效評估系統」；2024年7月起推動「低碳(低蘊含碳)建築評估及標示制度」。2022年8月，行政院公共工程委員會頒布「公共工程節能減碳檢核」；2024年起，公共工程採購須預估工程碳排、揭露主要產品碳排強度，首階段以業者自我宣告為主。2023年5月，立法院三讀修正《再生能源條例》，增訂建築物之新建、增建或改建達一定規模者，起造人應設置一定裝置容量以上的太陽光電發電設備，而公有建築物為領頭示範。

二、地方政府方面

目前國內地方政府也發布地方版淨零路徑藍圖，以新北市政府為例，於2022年8月，提出新北市2050淨零路徑暨氣候行動白皮書，以2030年減碳30%，2050年淨零碳排為目標，積極往永續城市邁進。其針對淨零建築規劃四大階段目標和推動重點如圖4。



資料來源：新北市政府(2022)。新北市2050淨零路徑暨氣候行動白皮書。

圖4 新北市政府淨零建築推動規劃

另一方面，近年為支持業者用地需求，2019年行政院通過擴大「都市型工業區更新立體化發展方案」適用範圍，納入所有都市計畫工業區(包含非政府編定開發的乙種工業區或產業專用區)。新北市工業區立體化方案進一步針對能源管理，提供各該工業區基準容積之百分之五為上限的容積獎勵：

- (一) 承諾取得「ISO 50001能源管理系統」證書者(2%)
- (二) 承諾設置太陽光電發電設備於廠房屋頂者，且水平投影面積佔屋頂可設置區域範圍50%以上(3%)

肆、國內都市型園區實踐淨零建築之案例研析

近年國內無論政府(中央、地方)或民間皆展開都市型園區布局，以因應新興產業發展需求(表1)，以下進一步探討各代表性案例特點：

(一) 新竹科學園區X基地

由於竹科用地飽和，並為達成園區「以軟扶硬」產業發展目標，於原台肥五廠打造竹科X基地，聚焦發展AI(人工智慧)、IoT(物聯網)等軟體產業，其同時也可說是我國首個都市型科學園區，整體園區占地3.74公頃，規劃建置三棟大樓。第一軟體大樓預計2024年底完工，已有美商新思科技等15家廠商申請進駐。整體園區規劃重視以人為本，健康為準則的設計方針，並結合智能綠色生態系統。包括園區大樓設計以「魔法森林」為設計理念，規劃立面的陽台露臺綠化，提供進駐者親近自然交流空間；並以科技大道i-Line串聯西側公園與東側展演中心，結合商店與綠化，使人流可以容易被帶入基地；園區從建材、基地環境皆重視永續循環理念，如導入滯洪池、透水鋪面步道。針對建築智慧應用，透過AI模擬最能適應新竹強勁季風的量體配置、計算出最節能的立面；同時保留室內的視覺通透，達能源節約。尤其重視能源管理，透過資訊統一連結至中央監控室，以可視化數據搭配太陽能板，提高能源使用最高效率(圖5)。

表1 國內都市型園區之基本資料(列舉)

	新竹科學園區X基地	寶高智慧產業園區	台北遠東通訊園區	中工雲宇宙AI園區
所在位置	新竹市	新北市新店	新北市板橋	新北市土城
園區所有者	新竹科學園區	新北市政府	遠東集團	中華工程股份有限公司
成立時間	第一軟體大樓；預計2024年底完工	園區一期於2021年7月完工；二期估2028年完工	2011年正式營運	預計2025年第四季完工
占地面積	占地3.74公頃，規劃建置3棟大樓	一期4.1公頃；二期4.8公頃	占地24公頃，60%為產業用地，40%為公共設施使用	約5.3公頃
研發大樓	1.第一軟體大樓為地上12層、地下2層建築，總樓地板面積達6.96萬平方公尺 2.第2棟大樓規劃地上12層、地下3層建築 3.第3棟大樓規劃地上10層、地下3層建築	1.園區一期：興建地下2層、地上7至9層的三棟式建築，總樓地板面積達8萬多平方公尺 2.園區二期：規劃開發6棟不同樓層高度的建築，總樓地板面積達25.79萬平方公尺	1.TPKA研發辦公大樓為地上11層、地下2層建築 2.TPKC雲端進攻中心為地上16層、地下3層建築 3.TPKD研發辦公大樓為地上16層、地下3層建築 4.TPKE研發辦公大樓為地上13層、地下3層建築	1.A棟為地上16樓、地下5樓建築，單層約6,612平方公尺 2.B棟為地上13樓、地下5樓建築，單層2,645平方公尺
目標產業	聚焦AI、IoT、研發設計、資訊軟體、資訊服務、5G行動通訊、大數據等產業	目標引進資通訊、雲端運算、AI、數位健康產業	匯聚資訊通訊、數位內容、雲端、綠能研發及智慧科技之5大產業	目標吸引企業設置總部，提供研發中心、高科技產業鏈及智慧製造、物流倉儲之創新環境
營運方式	只租不售	只租不售	只租不售	租售併行

資料來源：本研究自行整理



資料來源：九典聯合建築師事務所(2021)。新竹科學園區X基地。
<https://www.youtube.com/watch?v=415XWjjY08s&t=105s>

圖5 新竹科學園區X基地-淨零建築規劃設計

(二) 寶高智慧產業園區

寶高智慧產業園區為新北市政府20年來第一座自建智慧產業園區，依循低碳能源、環保永續、智慧科技興建。寶高一期於2021年7月完工，已有鴻海、特斯拉、台灣國際航電Garmin等19家知名企業進駐；2023年10月，鴻海更於園區成立「離子阱實驗室」，為全台業界首座，將致力發展通用型量子電腦。目前正進行寶高二期開發，預計2028年完工。整體園區在設計及興建階段導入BIM智慧建築管理系統、低衝擊開發設計(LID)，並且規劃機關用地、公園及綠地等公共設施用地，提供里民活動中心與相關體育休閒活

動空間，並建置三處滯洪公園以及綠蔭軸帶步道。在建築智慧應用方面，規劃設置智慧運籌管理中心，統籌三大功能：1.智慧環控-智慧創能/節能/儲能(太陽能光電板等)、智慧共桿、雨量監測；2.智慧安防-防洪監控系統、人形偵測；3.智慧管網-智慧水表、水量及壓力監控、廠商E化服務(自動扣款、繳費調查)。據此，寶高智慧產業園區陸續獲得「第21屆公共工程金質獎」特優工程、中國工程師學會「2022年工程優良獎」及「2022全球智慧城市首獎ICF Top1」、台灣EEWH黃金級綠建築標章、銀級智慧建築標章等獎項肯定(圖6)。



資料來源：陳玫秀(2024)。新店寶高園區簡介。2024智慧園區產業論壇。

圖6 寶高智慧產業園區-淨零建築規劃設計

(三) 台北遠東通訊園區

台北遠東通訊園區為遠東紡織廠板橋廠轉型，目前園區已進駐亞馬遜、愛立信、群暉、Google等全球資通訊技術與服務領域領導廠商。其獲得美國綠建築標章LEED Campus積分，是台灣首件完整開發園區取得認證，整體共有四大推動重點：1.交通：提供替代性交通方案，包含自行車道、自行車之車位&淋浴間、電動汽車充電站；2.基地規劃設計：生態復育並設計多層次植栽，綠地面積達50%；3.暴雨逕流管理：建置暴雨管理系統(綠色屋頂、道路二側雨水滲透帶、生態滯洪池)，有效控制暴雨逕流的量與質；4.節水景觀設計：採用原生耐植與高效率灌溉系統，降低耗水量，並將水回收供植栽澆灌。在建築智慧應用方面，導入「建築碳管理平台」，率先將建物與建材履歷納入碳管理中，再結合建物營運過程產生耗能數據，輸入專屬雙生模擬2050年能源碳排預測；以及運用空調冷凝

水回收沖廁、智能外氣系統、風牆式空調系統、能源管理平臺等；園區TPKP立體停車場為台灣首座以預鑄工法興建完善的圓形停車場建築，2022年獲得TCI混凝土工程優良獎建築類「特優」獎。

(四) 中工雲宇宙AI園區

中工雲宇宙AI園區規劃打造結合AI智能、環境永續、共享循環、健康安全，及符合ESG指標的智慧園區，預計2025年第四季完工，目前鴻海子公司新加坡商鴻運科技已買下園區1.27萬多坪廠房及車位。整體園區規劃設計、建設、營運導入5G+AIoT，將人工智慧與物聯網技術整合於機電弱電系統中，同時針對溫室氣體減碳排情況進行監測、管理；以建築資訊模型(BIM)全生命週期整合於工程建設之建築履歷系統，並透過BIM設施管理；成立3D可視化智能戰情指揮中心；高達80%以上使用在地建材，包括玻璃、鋼板

及其他材料，大量減少碳足跡與碳排放；打造約8,400坪的生態景觀庭園，全區綠覆率高達78%；建置超量的雨水回收及中水回收再利用系統；屋頂面積高達40%建置太陽能發電設備。

伍、綜整發展趨勢和未來展望

經由竹科X基地、寶高智慧產業園區、台北遠東通訊園區、中工雲宇宙AI園區之案例研析，可發現國內都市型園區規劃設計不僅來自2050淨零排放趨勢挑戰，同時也面對土地利用漸趨飽和，園區立體化發展、後疫情時代提高建築環境健康舒適的重視、支援產業創新集合多元複合機能、以及鏈結智慧城市布局等發展需求。

綜整國內都市型園區實踐淨零建築，可歸納四大發展趨勢：

一、重視親自然、循環經濟規劃設計

如導入低衝擊開發、綠色屋頂、暴雨逕流管理、用水回收、滯洪公園、綠色步道、使用在地/循環再生建材等。

二、結合數位雙生、多元智慧化設施

如智慧運籌管理中心、BIM智慧建築管理系統、碳排管理系統、智慧照明、空調整合、智慧電錶、廠商E化服務等。

三、擴大應用再生能源、儲能設備

如太陽光電與儲能設施、風力發電、充電梯等。

四、結合在地打造複合共同生活圈

如綠色交通基礎建設(結合公共交通、自行車道)、新能源汽車基礎設施(充電樁、換電站)。

展望未來國內都市型園區規劃設計，建議應更加積極回應國內外對建築減碳範圍從營運碳擴增至隱含碳趨勢，如採行木構建築、環保混凝土、晝光導光系統等。尤其從國內代表性園區，可以發現取得國內外綠建築標章，已成為國內都市型園區基本標配，對此應關切並結合新興認證趨勢，進而在園區設計階段即可進行布局，並有助於吸引廠商進駐園區，如美國綠建築協會(USGBC)為提升綠建築設計，於2020年9月推出「LEED Zero淨零排放認證」，鼓勵建築物積極朝向零碳排、零能耗、零水耗、零廢棄物的目標邁進；國內新版「智慧建築評估手冊」也將於2024年12月實施，評估指標調整以「效益」為導向，精簡為六項指標(基礎設施、維運管理、安全防災、節能管理、健康舒適、智慧創新)，共19大項評估項目與98小項的評估內容，加重「節能管理」指標，占權比重達22.5%為最高。

當前數位和淨零雙軌轉型不僅是產業競爭力提升，也是都市型園區等各類園區發展重要方向。建議都市型園區擴大運用數位雙生、生成式AI等，提高治理效能，如預防極端氣候風險，考量未來暖化、暴雨等估算、預防及應變措施。另一方面，建議發揮園區創新引領作用，結合新興淨零科技創新應用、驗證、建立園區感測數據/設備規範，及重視資訊安全、科技導入生命週期之配套措施或商業模式，如以購買服務取代傳統購買軟硬體。

針對再生能源方面，由於產業面對綠色供應鏈壓力逐步嚴峻，提供綠電服務，將是都市型園區吸引廠商進駐最大吸引力之一。建議應多元運用「太陽能建築一體化」(BIPV)，擴大再

生能源來源，並且導入分散式能源體系、智慧社區電網、能源管理平台等，強化電網韌性與效能。

從國際都市型園區案例，可發現愈加重視園區與在地城市的結合，整體打造集合研究、生產、居住、求學等複合機能。建議國內都市型園區規劃設計應更加結合以大眾運輸導向發展(TOD)、15分鐘城市生活圈等都市規劃，強化友善行人、自行車通行路線；強化結合智慧交通管理系統、交通行動服務(MaaS)、綠色電樁等基礎設施，紓解城市交通壅塞，以及營造多元複合城市。

結論

隨著淨零排放議題升溫，國內都市型園區成為淨零建築的最佳實踐場域，期許未來更加結合淨零創新科技和環境友好新興設計，開啟新形態園區開發規劃和營運管理之典範。

參考文獻

1. Building an operating system for Punggol Digital District. <https://www.tech.gov.sg/media/technews/building-an-operating-system-for-punggol-digital-district>

2. Fossil-free Energy Districts. <https://www.johannebergsciencepark.com/projekt/fed-fossil-free-energy-districts>

3. Global ABC and UNEP(2024). Global Status Report for Buildings and Construction

4. 九典聯合建築師事務所(2021)。新竹科學園區X基地。 <https://www.youtube.com/watch?v=4I5XWjjY08s&t=105s>

5. 中華工程。 https://www.bes.com.tw/profolio_detail.php?id=3

6. 國發會(2022)。台灣2050淨零排放路徑及策略總說明。

7. 陳玫秀(2024)。新店寶高園區簡介。2024智慧園區產業論壇。

8. 新北市政府(2022)。新北市2050淨零路徑暨氣候行動白皮書。

9. 台北遠東通訊園區。 <https://www.tpark.com.tw/zh-hant/environment/rainstorm>

河川與城市的守護者 ——與生態環境共構的 百齡抽水站設計

關鍵詞(Key Words)：抽水站設計(Pumping Station Design)、建築景觀設計(Architecture and Landscape Design)、抽水站操作(Pumping Station Operation)、生態考量設計(Design with Ecological Considerations)、城市排水系統(Urban Drainage System)

十方聯合建築師事務所／主持建築師／張良瑛 (Chang, Liang-Ying) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／郭遠錦 (Kuo, Yuan-Ching) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／主任工程師／陳志方 (Chen, Zhi-Fang) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／陳暉瀚 (Chen, Wei-Han) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／莫懿美 (Mo, Yi-Mei) ⑤



摘要

臺北市是盆地地形，被淡水河、基隆河及新店溪所環繞。當暴雨來臨時，河川水位上升，這時市區的排水系統就需要依賴周邊的抽水站將雨水排除。過去，抽水站的設計主要著重於功能性，對於外觀和環境美化的考量往往不足。百齡抽水站打破了這種傳統的工程設計思維，全面考慮了環境保護、景觀配置、居民和工作人員的生活和工作環境、生態維護以及生物多樣性等因素。百齡抽水站的設計不僅僅是一個抽水站，它更像是一座融合了自然與人文的地景式建築。本設計案還注重生態環境的保護和生物多樣性的維護。在建築的設計和環境營造中，儘可能地保留了原有的植被和生態系統，使得抽水站成為城市與自然和諧共處的典範。



The guardian of the city and the river. The co-constructive design of the Bailing Pumping Station with the ecological environment.

Abstract

Taipei City is a basin terrain surrounded by the Tamsui River, Keelung River, and Xindian Creek. When heavy rains come and river water levels rise, the urban drainage system must rely on surrounding pumping stations to drain the rainwater. In the past, the design of water pumping stations focused mainly on functionality, often with insufficient consideration for appearance and the surrounding landscaping. The design of the Bailing Pumping Station breaks this traditional engineering design thinking. It comprehensively considers factors such as environmental protection, landscape configuration, living and working environment of residents and staff, ecological maintenance, and biodiversity. The design of the Bailing Water Pumping Station is not just a water pumping station; it is more like a landscape-style building that integrates nature and humanity. This design also pays attention to the protection of the ecological environment and the maintenance of biodiversity. In the design of the building and the creation of the environment, the original vegetation and ecosystem were retained as much as possible, making the water pumping station a model of harmonious coexistence between the city and nature.

3

專題報導

壹、前言

青山環繞、綠川弛驅的臺北城有著與河川密不可分且變化豐富之地景特色。河川是城市的起源，河川帶來文明也帶來自然災害，近年來氣候變遷所引起地球水文的變化，更是城市防災的重要議題，因此世界各大城市在河川的調控上受到更大的考驗，也開始反思人與都市與自然之關係；抽水站一向是都市防災的前哨站，近年來大自然急遽反撲對城市的衝擊，各國公部門開始意識到韌性城市的必要性，在都市與河川的關係由防治對立面，學習到人與河川生態之關係因關乎彼此生存，更應該積極轉換，透過都市與河川的介面重新定義，來建立永續共生的關係。

貳、計畫內容

一、環境說明

百齡集水區位於臺北市北投區，區內北側為陽明交通大學及軍艦岩周邊山區，西側以基隆河及磺港溪為邊界，東側區界則為捷運淡水線及磺溪，南側臨基隆河及雙溪，整體地勢為北高南低，最高處為軍艦岩周邊，集水分區現況總集水面積為638.28公頃，最低處為五分港溪(雙溪舊河道)，承德路以東市區之排水幹線共有3處穿越承德路，流經此區域後排入五分港溪。

百齡抽水站集水區範圍包含洲美1、洲美2臨時抽水站及洲美3、洲美5及洲美7獨立閘門。考量百齡抽水站集水區範圍雨水幹線系統改建及洲美1、洲美2臨時抽水站汰除期程，本案預定興建一座容量可擴充至100cms抽水站，百齡抽水站基地位於關渡平原洲美農業區的五分港溪流域，擁有豐富的生態資源，目前也維持著臺北市僅存之少數美麗的鄉村水田地景風貌，

五分港溪更扮演了灌溉涵養周邊生態之重要角色。在地民眾對五分港溪長期參與關注，並固定舉辦演講導覽活動，因此本案於規劃起始階段就以跳脫傳統抽水站建築之設計思維，以兼顧生物多樣性樣態及地景意象，將抽水站及其周邊景觀視為環境地景之一部分，融入生態綠建築等概念，藉由展示及導覽，傳遞抽水站調節河川水利之功能性及與生態共生之環境教育理念，連結在地五分港溪河川地景特色，並將抽水站視為當地志工(五分港溪巡守隊等)之網絡培訓基地。整體園區連結基隆河、五分港溪至淡水河域自然空間場域，更能夠進一步扮演周邊社區生活日常及大臺北假日休閒路徑之生態教育節點。目標為打造本市首座結合抽水站功能、與五分港溪周邊生態社區人文、水文環境共構共生的永續建築場域(圖1)。

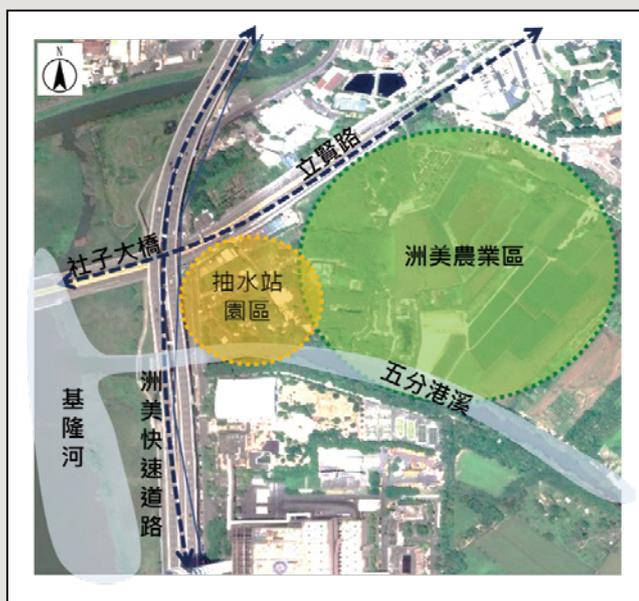


圖1 百齡抽水站位置及周邊環境示意圖

二、建築設計策略

(一) 都市空間與建築計畫

1. 抽水站基地位於北投焚化爐運動園區與社子大橋轉接點，位處都市邊緣，及洲美街都市紋理及鄉村開放空間介面上，

連結運動園區之人行路徑網路，因此規劃在洲美街與立賢路交叉口塑造明顯之都市節點，也是導覽園區之起點；在面向北側洲美快速道路進出臺北市的交通主軸上塑造一座寬宏流動、象徵水利博物館之公共建築意象地標。抽水站空間每年遇防汛期颶洪暴雨便啟動抽水設備運作，以調控五分港溪周邊河川水位，賦予抽水站空間如城市祭典般之莊嚴意涵，概念上脫離工廠類建築意象，成為地景中象徵城市守護者之裝置藝術(圖2-圖3)。

2. 與東側綿延稻田及南側五分港溪部分，希望維持整體水平地景景觀之延續性，因此在前池及撈污機之介面上：

- A. 前池加蓋與抽水站建築物連結，加蓋部分成為薄層綠化屋頂，可連結洲美平原地景。前池加蓋並留設採光通風，成為會呼吸的地景!
- B. 回填覆土之稻禾之丘成為野地自然景觀區，成為民眾生活休閒活動場所。



圖2 百齡抽水站外觀構想全區鳥瞰圖

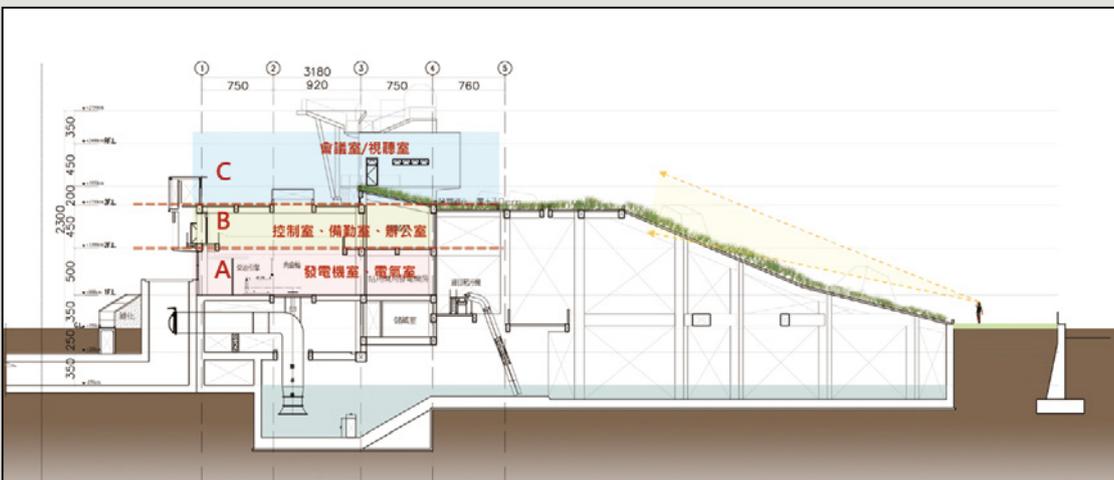


圖3 抽水站剖面及視覺影響示意圖

(二) 量體配置策略

洲美地區為臺北市僅存之農業區，廣大之農業範圍具有遼闊之視野。為避免抽水站體建築影響洲美地區整體視覺景觀，對當地居民造成視覺上的壓力，因此採用融合式設計，弱化巨大建築物量體以降低周邊環境之視覺衝擊(圖4-圖5)。主要之設計考量包含：

1. 前池加蓋後因抽水站體噪音較大，故將所有機電設備空間、檔案空間、儲藏室等配置於抽水站樓層並設置隔音牆。

2. 控制室、備勤室因需隨時監控，配置於抽水站夾層。
3. 其他須考量人性化使用空間包括：簡報室、辦公室、茶水間與公共廁所則配置於抽水站屋頂層，加蓋於主要建築面之上。因地面以上之量體縮減顯得輕巧，與園區開放空間坡地及阡陌地景連結成較和諧之關係。

(三) 前池異味之控制策略



圖4 洲美農業區農耕地景示意圖



圖5 抽水站建築視覺模擬示意圖

臺北市已辦理雨污水分流多年，惟部分污水仍藉由側溝隨雨水排入抽水站，致使前池在晴日時容易發出異味，造成工作人員及鄰近居民不便。本案考量北投地區風向特性，在前池加蓋後，由南北二側開口作為通風及進行日常維護進出口，並留設採光井成為地景裝置，以維持前池工作區的自然採光。主要設計考量包含：

1. 本區之季風主要為冬季東北風、夏季東南風，在季風風道上加設通風井，利用季風及風道引導帶走前池之積水異味，以免成為周邊居住者鄰避設施(圖6~圖7)。
2. 設置之巨大通風井及採光井成為在薄層綠化草坪上之地景公共裝置藝術。

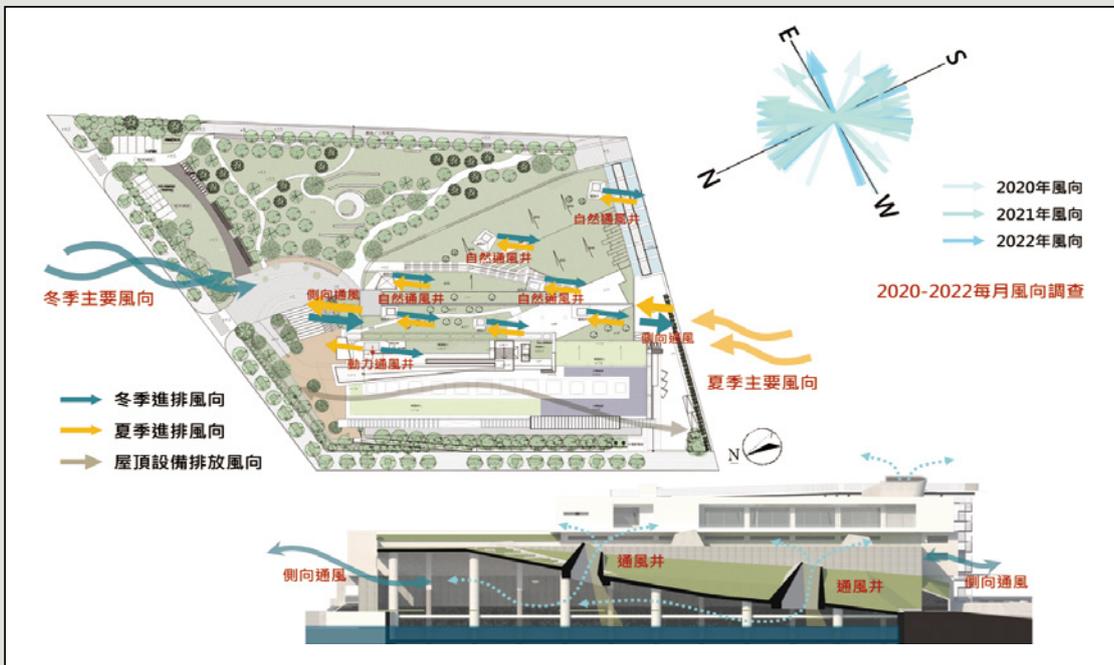


圖6 基地風向調查與建築關係說明示意圖



圖7 通風井及採光井樣式示意圖

(四) 設置屋頂展望台

百齡抽水站位置可遠眺大屯觀音山、關渡平原與社子島、洲美平原，惟以往遭洲美快速道路所阻隔，因此，本案於抽水站頂樓設置屋頂展望臺，導覽路徑之設計(圖8-圖9)：

1. 可經由洲美街沿調壓井斜坡綠廊到達立賢路廣場，經室外樓梯直接到達屋頂展望台。
2. 由立賢路園區入口經稻禾之丘及斜坡綠屋頂轉至樓梯上屋頂層，遠眺大屯觀音山、關渡平原與社子島、洲美平原。

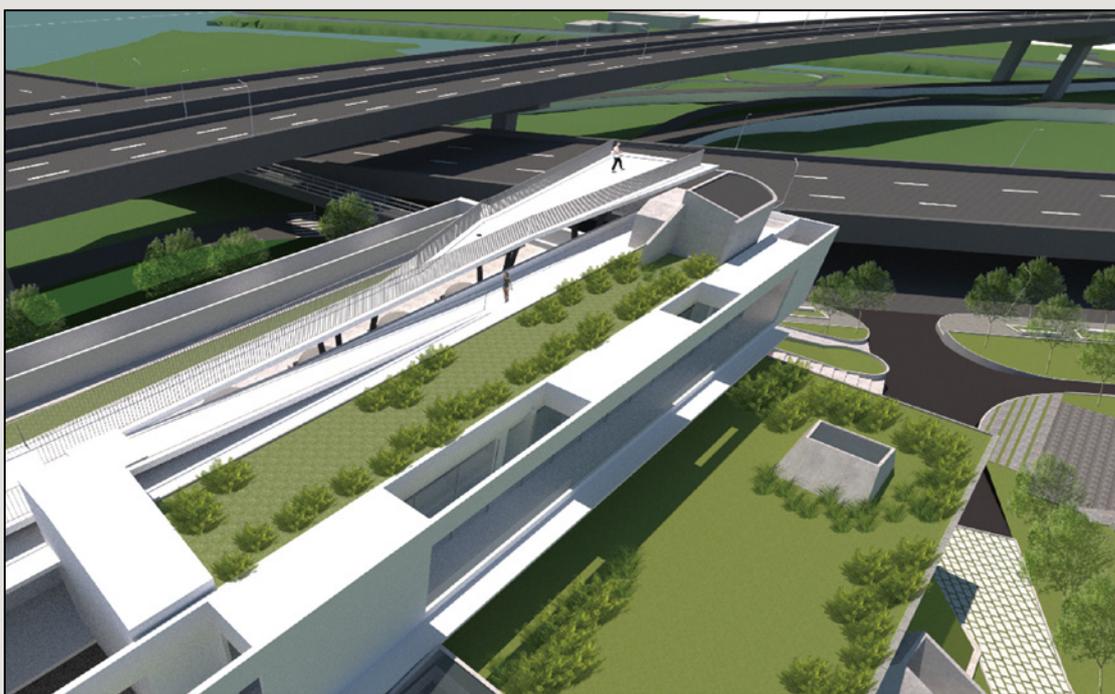


圖8 抽水站頂樓設置展望臺示意圖



圖9 抽水站頂樓展望臺夜間照明構想示意圖

(五) 園區動線計畫

考量百齡抽水站完工後可能有居民利用景觀空地遊憩，抽水站動線設計影響使用者安全及操作人員之工作便利性，整體動線規劃採用人車分離、公私分離之動線設計，整體設計構想如下：

1. 人車分離概念

- 洲美街及立賢路交口轉角設置半戶外廣場作為都市與園區轉接介面，站在有頂蓋之廣場上可直接透過大片玻璃看見抽水站內部抽水機運作情形，作為環境教育參觀路徑節點(圖10)。



圖10 教育景觀窗口及入口廣場階梯示意圖

- 設置戶外大階梯連結園區入口廣場，可配合假日活動及表演做多元使用，開啟都市、人與水環境之連結。
- #### 2. 公私動線分離概念
- 服務車道及抽水站工作人員工作動線：集中於洲美街南側入口，並加強入口管制。前池南北二側預留清理前池撈污機垃圾子母車放置空間，及預留消防車、工程車進入廠站車道，以提升使用性及

安全性。

- 一般民眾及周邊居民動線：透過園區人行步道規劃與外部立賢路做整體連結串聯，並保持原有周邊農路之延續。
- 建築物內部動線：分南北二處各設一樓梯一電梯，中央區設置一串接樓梯及廁浴空間，並集中留設垂直管線，參觀動線與內部動線分離(圖11)。

(六) 造型計畫

考量降低未來整體建築景觀之維護保養成本及所需人力，建築造型以現代簡約語

彙，納入東西向遮陽節能及抽水站體排煙排風管線美化之考量；以地景裝置之概念、白色虛實交錯之量體，呈現草坡上之展覽館意象。材料主要以清水混凝土、室外塗料、金屬擴張網、預鑄混凝土版與鍍鋅鐵欄杆為主。洲美快速道路面設置LED光盒，依豪雨量變幻顏色，平日亦可作為多功能空間使用(圖12-圖13)。



圖11 全區動線配置圖



圖12 建築外觀示意圖



圖13 建築外觀照明示意圖

(七) 景觀計畫

百齡抽水站體外之空地採用荒野式之景觀設計原則，可減少未來維護管理需求，並能融入當地植生視覺景觀。前池及工作區攔污機周邊開口部分強化安全防護，增加休閒使用之公共安全。利用排水箱涵上方覆土，並以透水磚施作以利工程車進出前池南北二側。日常維持休閒園區景觀風貌，所有植栽以本土種、抗風耐旱好維護、不需人力經常性照護之喬木樹種、灌木地被類為主，並設置自動噴灌系統。

三、生態友善工程設計

(一) 排水出口流向調整

依本案之生態調查成果，計畫區周邊並無特有種或保育類生物，惟受矚目之四斑細蟕棲地鄰近於計畫區北側。四斑細蟕 (*Mortonagrion hirosei*) 分類上屬於蜻蛉目細蟕科，分布於日本、韓國、臺灣、中國廣東、香港等地，由於棲息地條件特殊，族群

量少，被世界自然保護聯盟(IUCN)列為近危物種。臺灣於2005年首次記錄，目前有正式紀錄的區域局限於淡水河和基隆河流域內三處：五股溼地、社子島濕地、磺港溪口溼地。四斑細蟕生活在有潮汐影響、鹹淡水交界地帶的高密度蘆葦叢濕地，水體乾涸或是水體過深都不適合其稚蟲生存。繁殖週期約為一年一世代，成蟲發生期主要在5月底到9月底(臺灣地區3月底到11月初都曾經有紀錄)，成蟲飛行範圍小，主食為小型昆蟲。雌蟲偏好於蘆葦枯葉莖產卵，卵期約6到10天；稚蟲期可達10個月，四斑細蟕以稚蟲形態越冬(社團法人中華民國荒野保護協會，民國98年)。

根據「112年度水利處轄管濕地及滯洪池生態監測技術服務總成果報告書」(臺北市工務局水利工程處，民國112年)，磺港溪口濕地樣區在民國108至112年度的3到12月調查期間，單月記錄四斑細蟕成蟲數量在0到16隻次間，稚蟲記錄數量較多，單月份在0到18隻次間。據文獻資料記錄之四斑細蟕分布，磺港溪口濕地為其重要棲息環境，尤其在社子大

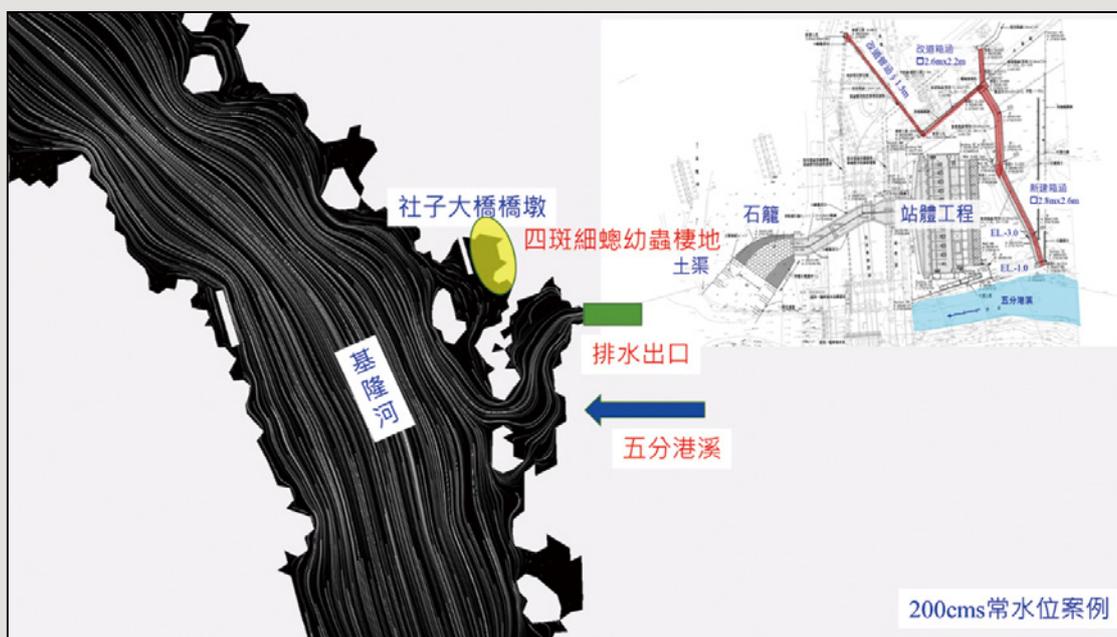


圖14 抽水站出口配置及常水位試俾期間水流影響範圍示意圖

橋(立賢路)以北的草澤內記錄數量較穩定。社子大橋以南的濕地區域記錄數量少，依水理條件、草生環境評估為四斑細蟥潛在棲息環境。

考量抽水站排水配置於抽水站試抽時，可能影響四斑細蟥幼蟲之生活環境，因此本設計案調整抽水站之排水出口配置轉向至五分港溪方向，使得抽水站試抽之排水不至影響四斑細蟥幼蟲之環境，洪水期間亦不至由於基隆河流向阻礙抽水站之操作(圖14)。

(二) 噪音控制

百齡抽水站噪音控制設計目標理念為“保護站內人員安全健康，作業場所符合勞安噪音容許暴露標準”、“維持站內各空間正常運作，達到室內音環境需求”及“對外發出之噪音符合環保法規，降低增量對附近環境影響”共三項，同時設計成果需滿足相關勞安法規及環保法規等標準，冀望能在符合使用需求的同時，達到生態友善之工程設計。

抽水站內主要音源分別為機房內之抽水機組、緊急發電機以及通風系統，而環境音量主要來源為站址西側之洲美快速道路交通噪音。評估情境分為兩種模式，第一種模式係考量站內人員於站內所有抽水機組運轉時，站內各空間噪音是否能符合設計目標，第二種模式係考量每周試車運轉時，站內噪音及傳遞至戶外噪音是否能符合設計目標。經聲學軟體評估後，部分室內及戶外空間超過相關標準，於相對應之建物空間設計配置適當之吸音材(如：天花吸音障板、牆面吸音材)、隔音構建(如：隔音牆、隔音門窗、消音箱)後，可符合相關標準，並達到設計目標，同時繪製及編列相對應之設計圖說和施工規範，確保噪音控制設計能落實於實務施工中(圖15)。

(三) 智慧抽水控制

臺北市地理上屬於盆地地形，被淡水河、基隆河及新店溪環繞。在暴雨期間，河川水位上升，市區排水系統依賴臺北市周遭之抽水站將雨水排除。這些抽水站配備多台抽水機組，以前池水位作為操作依據。傳統做法是當前池水位達到抽水機組操作水位時啟動抽水機組。然而，由於抽水站通常設置多台機組，為確保抽水機組操作間隔，首台機組啟動水位需要降低，以確保最後一台機組啟動時，抽水站前池水位不超過最高允許水位。

近年來，生態保護的考量逐漸受到重視。在暴雨來臨前，提前

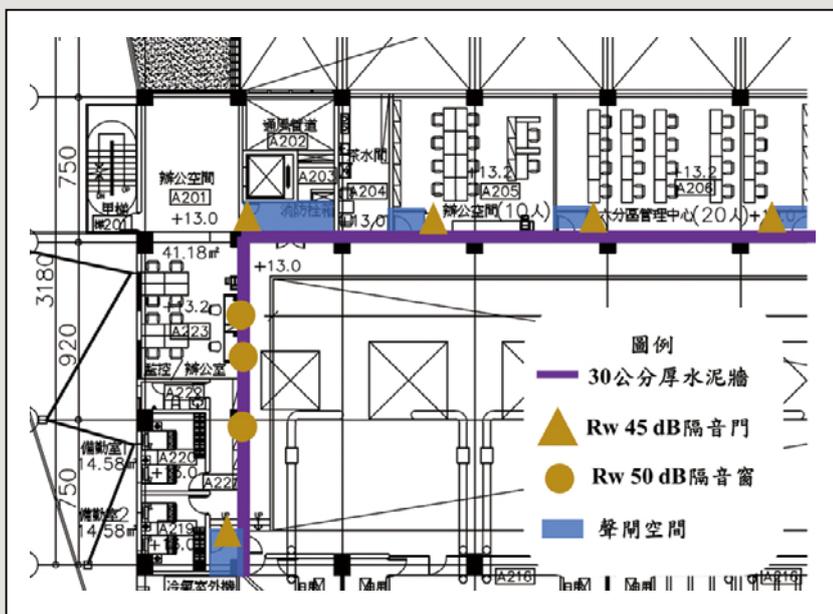


圖15 2F辦公空間降噪措施配置示意圖

抽水或降低啟動水位的做法雖然有助於減輕城市排水壓力，但同時也會導致渠道水位的下降，進而對當地的生態環境造成影響。因此，為了在保護生態環境的同時不影響防洪安全，本研究提出了一種新的抽水機組操作機制，即利用前池水位的變化來取代固定設定的水位。SWMM模式模擬結果顯示，前池水位的變化能夠明確反映出前池的雨水入流量。透過對前池水位變化的監測和分析，抽水站可以及時調整抽水機組的操作，以應對不斷變化的入流量，有效地控制前池水位的變化，而不需要降低抽水機組的操作水位。這樣的操作機制不僅能夠保護生態環境，同時也確保了城市的防洪安全。

(四) 減碳工程設計

工程設計除了考量功能性，亦須考量工程對於環境之影響，因此本案採用減碳設計。減碳策略包含採用1. 高強度鋼筋：本案D10以上之鋼筋均採用 420kgf/cm^2 、D10以下採用 280kgf/cm^2 之鋼筋，依數量差異推算，

約減碳15%(約5520公噸 CO_2)。本案植栽喬木748株、綠鋪面約4500平方公尺，總固碳量約409.5公噸/年。藉由填土作為景觀設置，亦減少土方外運量約25,000立方公尺，約減少42公噸 CO_2 之產生，以實際行動支持環境保護。

結論

百齡抽水站為臺北市近年少有之大型水利工程，考量抽水站所處之位置與周遭環境，工程設計不再僅以功能性做為唯一設計考量，而需全面考量環境保護、景觀配置、居民及工作人員生活動線及工作動線、生態維護及生物和諧等設計因素。本設計案綜合考量都市空間與建築計畫、抽水站量體配置、前池通風之功能性設計、民眾遊憩需求、園區動線、景觀及外觀設計，並兼顧生態、環境及防災功能性，希冀完工後能成為後續工程設計之參考標竿。



複合型都市排水系統應用於極端降雨之災害風險評估

關鍵詞(Key Words)：SWMM(Storm Water Management Model)、氣候變遷(Climate Change)、災害風險評估(Disaster Risk Assessment)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／周揚敬 (Chou, Yang-Ching) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／莫懿美 (Mo, Yi-Mei) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／陳語庭 (Chen, Yu-Ting) ❸



摘要

本研究針對極端氣候所帶來的強降雨對都市防洪帶來的挑戰，建置了一個包含街道層系統和雨水下水道系統的複合型都市排水系統模式，該模式從更全面的角度評估極端降雨對都市排水的影響。通過實測事件的驗證，發現複合型都市排水系統模式模擬的淹水位置與歷史積淹水位置相符，模擬的水位資料與實測水位資料趨勢一致，顯示該模式在評估極端降雨事件方面具有可靠性。進一步利用此模式，本研究評估了不同重現期設計降雨下各點發生淹水災害的機率，並結合不同土地使用情況評估災害衝擊，繪製出研究範圍的風險評估圖，為都市防救災提供了寶貴的參考資料。這些研究結果對於提升城市地區在極端降雨引發的災害中的韌性和應對能力至關重要，可作為改進防災和應急預案的重要參考依據。



Disaster Risk Assessment of Extreme Rainfall Using Composite Urban Drainage Systems

Abstract

This study addresses the challenges posed by extreme weather events, particularly heavy rainfall, to urban flood management. We developed a comprehensive urban drainage system model that includes street-level and stormwater sewer systems to assess the impact of extreme rainfall on urban drainage more comprehensively. Through validation against observed events, it was found that the simulated flooded areas corresponded with historical inundation areas, and the simulated water level data exhibited consistent trends with measured data, indicating the reliability of the model in evaluating extreme rainfall events. Using this model, we further evaluated the probability of flooding at various points under different return periods of design rainfall and assessed the disaster impact considering different land uses, producing a risk assessment map for the study area. These research findings are crucial for enhancing the resilience and response capabilities of urban areas in the face of disasters triggered by extreme rainfall and can serve as important reference points for improving disaster prevention and emergency response plans.

3

專題報導

壹、緣起

近年來，全球氣候變遷使極端氣候事件成為越來越普遍的現象，其中極端降雨對都市區域尤其構成重大挑戰。隨著氣候變遷的進行，氣溫升高導致大氣中水蒸氣含量增加，從而使得降雨模式發生變化，極端降雨事件的頻率和強度均有所增加。這些變化使城市基礎設施面臨了前所未有的考驗，對社會經濟甚至生態環境亦造成嚴重影響。

基於此一背景，對極端降雨引發的災害風險進行評估研究成為迫切需求，通過對不同重現期、不同土地利用情況下極端降雨所造成的災害風險進行評估，可以為災害風險管理和防災工作提供科學依據和有效策略。

本研究基於對氣候變遷下極端降雨災害風險的關注和需求，期望透過複合型都市排水系

統模式之研究，深入分析極端降雨事件與災害風險之間的關係，提供準確的評估方法和可靠的風險評估結果，為應對氣候變遷帶來的挑戰提供支援和指引。

貳、研究方法

本研究以複合型都市排水系統模式推估嘉義市於極端降雨下之災害風險，透過都市計畫土地利用、明溝斷面、側溝尺寸、雨水下水道尺寸等基本資料建置模式，並以歷史淹水紀錄、水位監測計等資料進行模式驗證，最後再以建構完之模式評估嘉義市災害風險。以下說明資料搜集及模式之建置流程。

一、研究區域_嘉義市概述(詳圖1)

本研究區域選擇嘉義市，嘉義市位於台灣

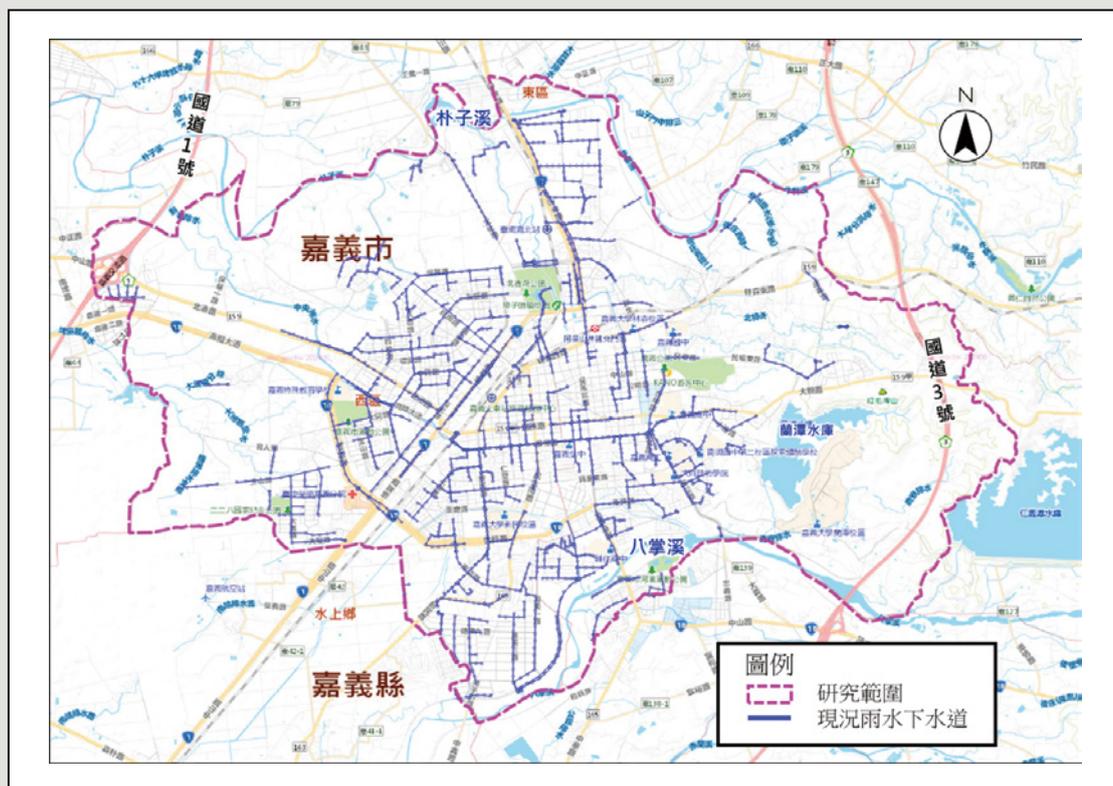


圖1 研究區域圖

中南部嘉南平原中心，北臨朴子溪(牛稠溪)與民雄鄉為界，南有八掌溪貫穿而過，東西兩側分別與國道一號及國道三號為鄰，總面積約6,003公頃。除南北兩側中央管河川，嘉義市內另有13條市管區排及73條雨水下水道幹線。

二、複合型都市排水系統模式

(一) 複合型都市排水系統模式運算核心

複合型都市排水系統模式係以SWMM(Storm Water Management Model)進行模擬，SWMM最初由美國環保署(Environmental Protection Agency, EPA)於1971年開發並持續升級，一直以來被廣泛用於城市排水、洪水控制和資源管理等領域。

SWMM可以模擬各種降雨條件下的下水道和排水系統的水理特性，包括降雨事件期間的逕流量、水位、洪水淹沒範圍以及污水排放量等。該模型利用複雜的水文和水質計算方法，考慮了地形、土壤、地表覆蓋、下水道結構等多個因素，能夠準確的模擬城市水文逕流過程和水質變化，為應對極端降雨事件之洪水風險評估、城市水資源管理等議題提供參考依據。

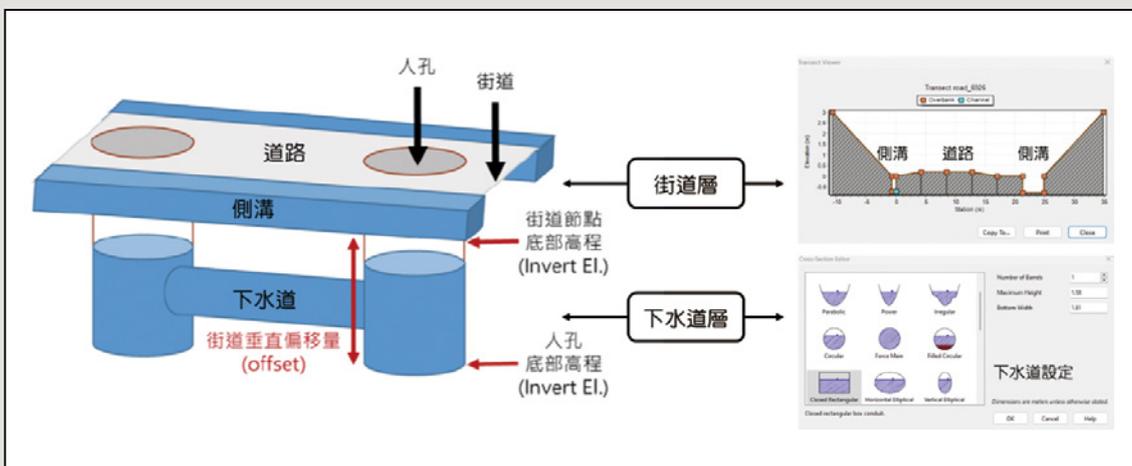
(二) 複合型都市排水系統建立流程

1. 複合型模式說明

在過去的都市排水研究中，主要著重於市管區排和雨水下水道系統。然而，隨著極端氣候事件頻率增加，短期強降雨事件的發生也相應增多。這些短暫但劇烈的降雨通常導致街道排水不及，造成淹水現象，而非單純是雨水下水道通水能力不足所致。

為了更好地反映這種淹水型態，本研究將建立街道層模型，並與雨水下水道排水系統相連接，複合型模式示意如圖2所示。

通過建立街道層並將其與雨水下水道排水系統相連，我們能夠更全面地模擬城市排水系統的運作情況，並了解不同系統之間的水流交換情況。同時，這也使我們能夠評估在面對短期強降雨事件時，城市排水系統中哪些環節需要改善和加強。



資料來源：SWMM 複合型都市排水系統建置步驟及本研究整理

圖2 複合型都市排水系統模式示意圖

2. 模式建立流程

本研究建立複合型模式可分為6個步驟(詳圖3)，說明如下。

(1) 資料蒐集

建立複合型都市排水系統所需之基本資料如下。

- 雨水下水道相關資料：包含人孔頂高、深度，下水道長度、尺寸等。
- 街道層相關資料：包含街道高程、寬度，側溝尺寸、坡度等。
- 地文相關資料：土地使用資料，地形資料等。
- 水文相關資料：雨量資料、河川區排計畫水位、下水道水位監測資料等。

(2) 資料處理

- 將雨水下水道及街道層資料處理為SWMM的輸入格式，包含管渠型式、銜接高程、不規則斷面支距高程等。
- 使用GIS軟體將地形、土地利用資料處理為坡度、坡向、土壤滲透係數等參數。
- 利用雨量資料進行頻率分析並篩選暴雨事件。

(3) 建置複合型都市排水系統模式

複合型都市排水系統模式主要由兩個系統組合而成：降雨逕流系統和都市排水系統，後者包括雨水下水道和街道層排水系統。

- 降雨逕流系統：首先劃設次級水區，並計算坡度、特徵寬度、CN值、不透水百分比等參數，以模擬計畫區內暴雨事件產生的逕流情況。
- 都市排水系統：根據處理後的基本資料，首先建置雨水下水道系統，然後建立街道層系統，並將街道節點與人孔整合，以形成完整的都市排水系統模式。

(4) 設定參數及邊界條件

- 設置模型的參數，包含運算模式、入滲方式、模擬時間、時間步長等。
- 輸入暴雨事件雨量資料及對應之出口水位歷線資料。

(5) 運行模式及驗證

- 運行SWMM模式，模擬不同暴雨場次下的逕流歷程。
- 以實際觀測數據驗證模式，並根據驗證結果對模式進行調整和改進，以提高模式的準確性和可靠性。

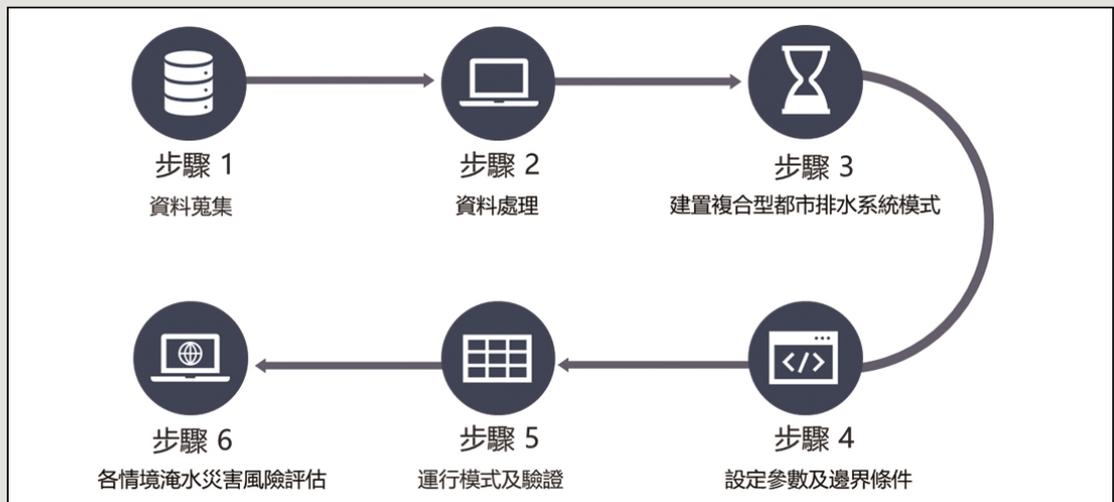


圖3 複合型都市排水系統模式建置流程圖

(6) 各情境淹水災害風險評估

- 利用建置完成之複合型都市排水系統模式演算不同重現期之設計雨型，以了解在各種情境下計畫區域之淹水情形。
- 根據土地利用及淹水模擬結果，製作不同重現期之淹水災害風險地圖。

(三) 模擬成果評估

本研究評估模式的準確性及可靠性，係採平面位置比對及水位比對兩種方式，相關說明如下。

1. 歷史淹水位置

為了評估模擬出的淹水點位與計畫區實際淹水點位是否相符，本研究參照了「嘉義市水災危險潛勢地區保全計畫」，彙整了近五年的歷史積淹水位置。淹水模擬位置的分布如圖4所示。

2. 實測紀錄比對

為了更準確評估模式的準確性，本計畫另外蒐集4處人孔的水位紀錄，並擇定了2021年5月30日及2021年7月31日兩場降雨事件之水位歷線進行比對，此兩場事件之降雨組體圖如圖5及圖6所示。

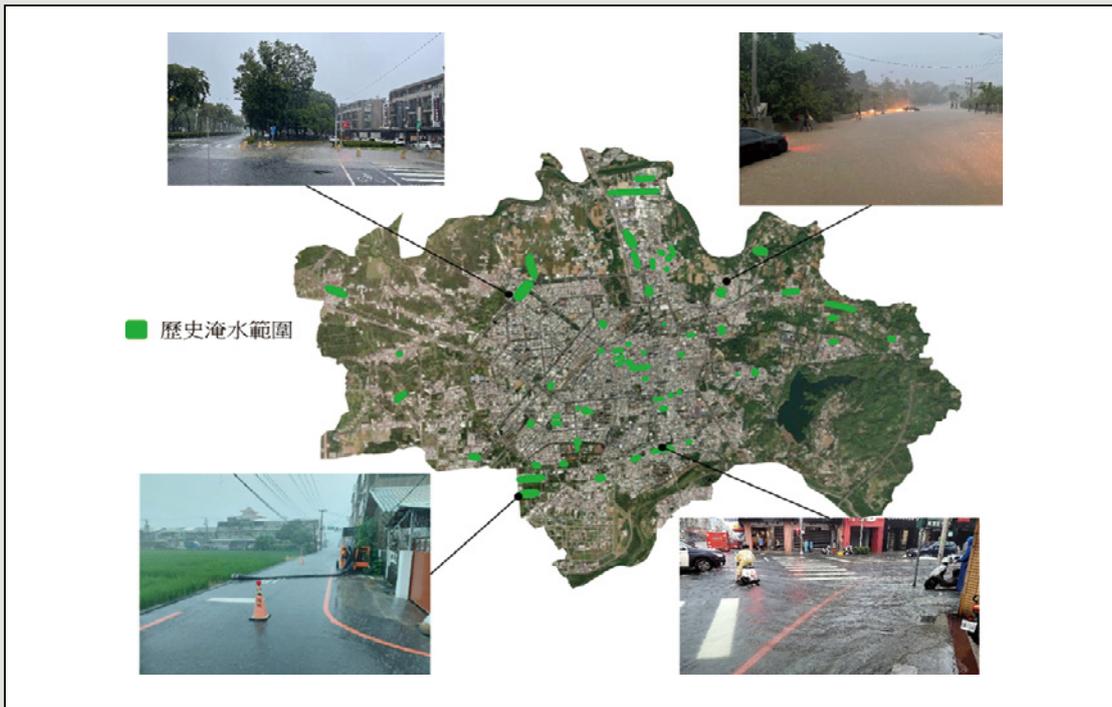


圖4 歷史淹水位置圖

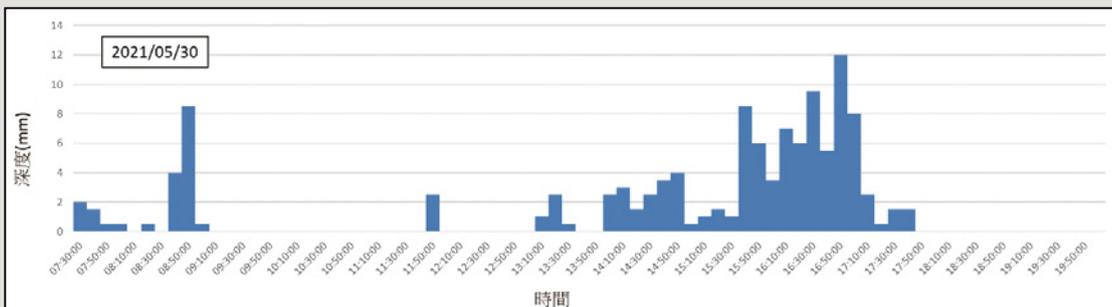


圖5 2021年5月30日降雨事件組體圖

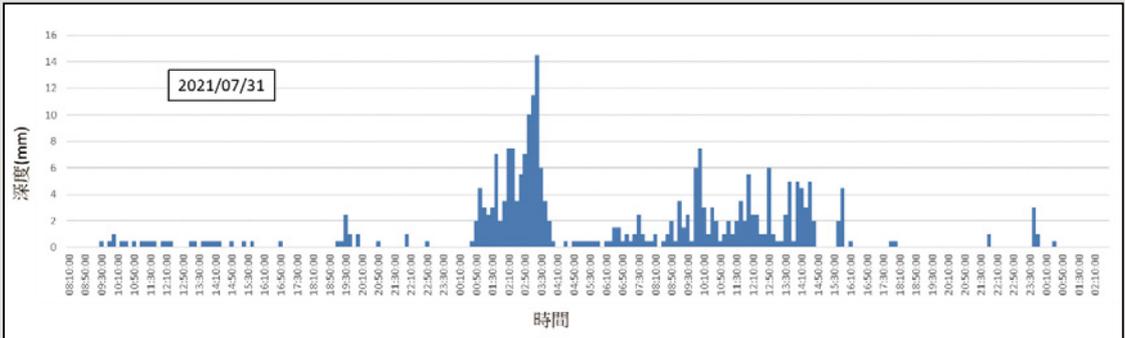


圖6 2021年7月31日降雨事件組體圖

(四) 淹水災害風險評估

本研究旨在評估災害風險，考量了機率等級和衝擊等級兩個重要因素，並據此設定風險等級，如圖7所示。機率等級是根據不同重現期的淹水模擬結果，評估各位置發生淹水危害的機率。而衝擊等級則參考了都市計畫土地利用的分級，將土地分為輕微等級（LEVEL1）的農業及綠地、嚴重等級（LEVEL2）的工業及商業用地、非常嚴重等級（LEVEL3）的住宅區及機關學校用地。評估完成後，將根據風險等級繪製圖面，展示風險分布情況，如圖8所示。

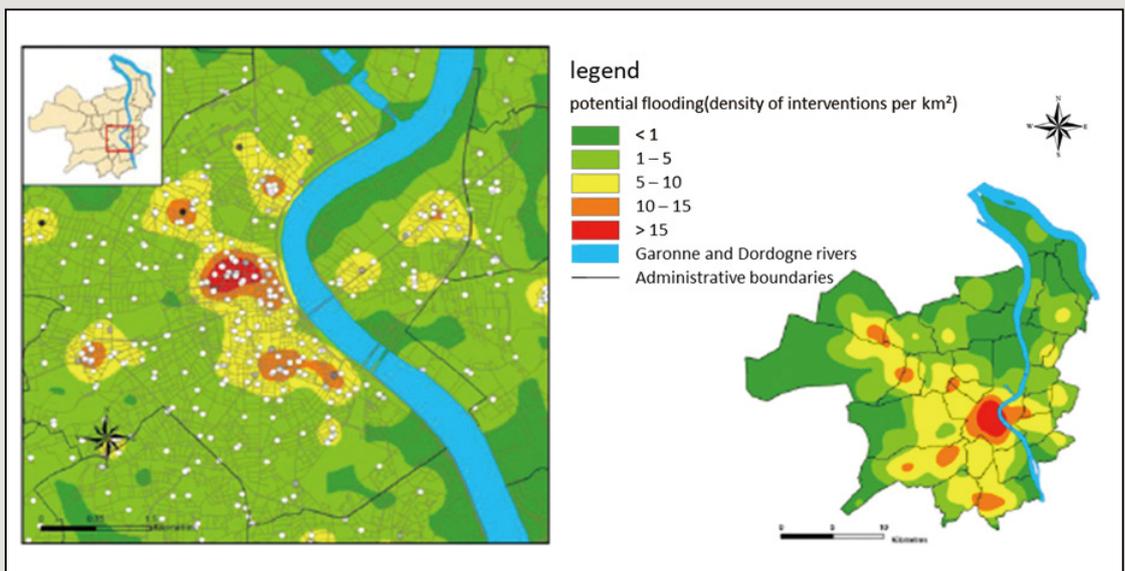
衝擊等級	風險等級		
	3	6	9
3	3 高風險	6 高風險	9 極度高風險
2	2 中風險	4 高風險	6 高風險
1	1 低風險	2 中風險	3 高風險
機率等級	1	2	3

資料來源：國家災害防救科技中心

圖7 風險等級設定圖

參、結果與討論

一、模擬結果展示



資料來源：國家災害防救科技中心

圖8 災害風險評估示意圖

(一) 歷史淹水位置比對

根據SWMM複合型都市排水系統模擬，2021年5月30日及2021年7月31日二場事件之模擬淹水點位大致上與歷史紀錄相符(圖9及圖11)，此結果顯示本計畫建置之SWMM複合型都市排水系統可真實反映計畫區內之淹水情勢。

淹水結果比對的一致性不僅證明了複合型都市排水系統的可靠性，還為未來的水災風險管理提供了重要的參考依據。通過對模擬結果和實際觀測數據的對比分析，能夠更好地理解淹水事件的形成機制，並準確地評估淹水位置及風險，從而採取更有效的防災措施和應對策略。

(二) 實測水位計比對

本研究除了與歷史淹水點位進行比較外，另與4處雨水下水道實測水位紀錄進行比對。通過分析，可發現在兩場降雨事件的模擬結果與實測數據之間的相關係數超過0.8以上(圖10和圖12)，這代表兩者之間存在著高度的一致性和相關性。這樣的結果表明了複合型都市排水系統模式的有效性和準確性，並證明其在不同降雨事件下水位變化的理解和預測能力。

由模擬圖中另外可發現模擬的尖峰水位與實測尖峰水位相近，且尖峰水位到達時間亦差距不大，此結果顯示複合型都市排水系統模式除模擬水位與實測水位趨勢一致，亦可確實反映短期強降雨時的尖峰水位。這種

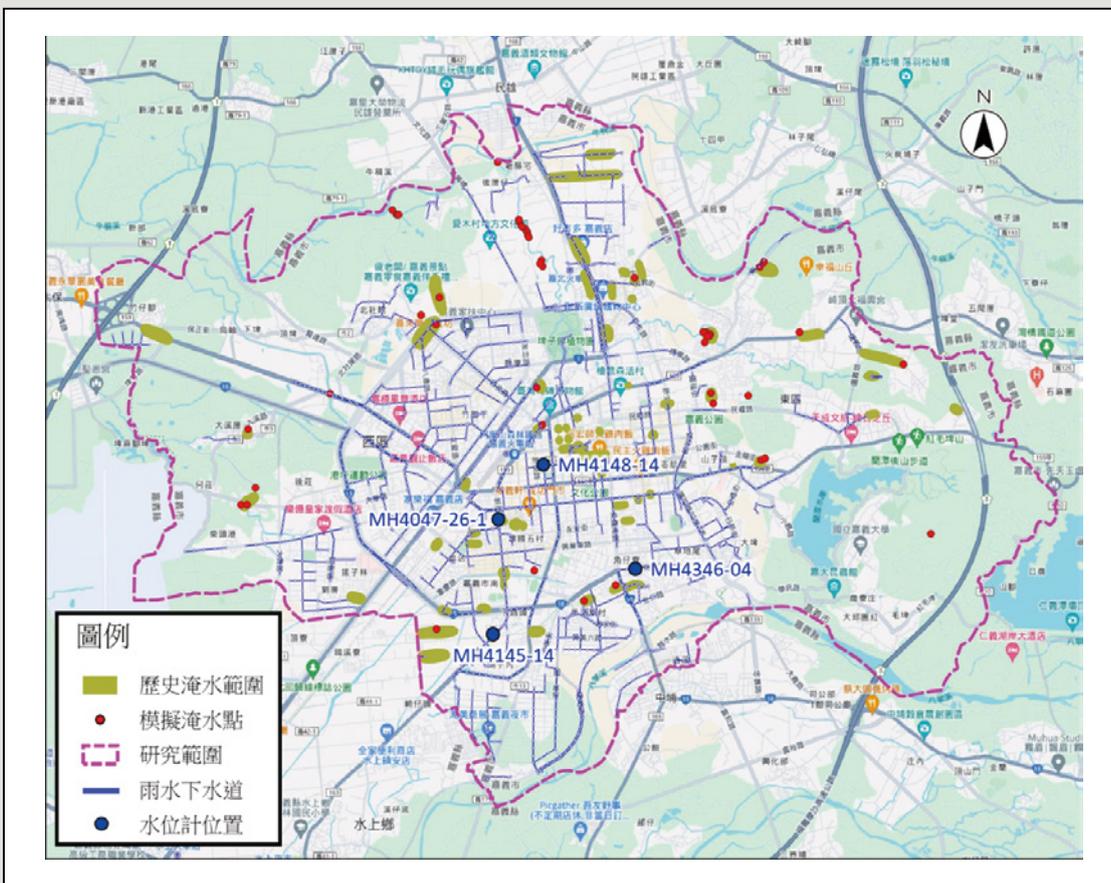


圖9 2021年5月30日模擬成果圖

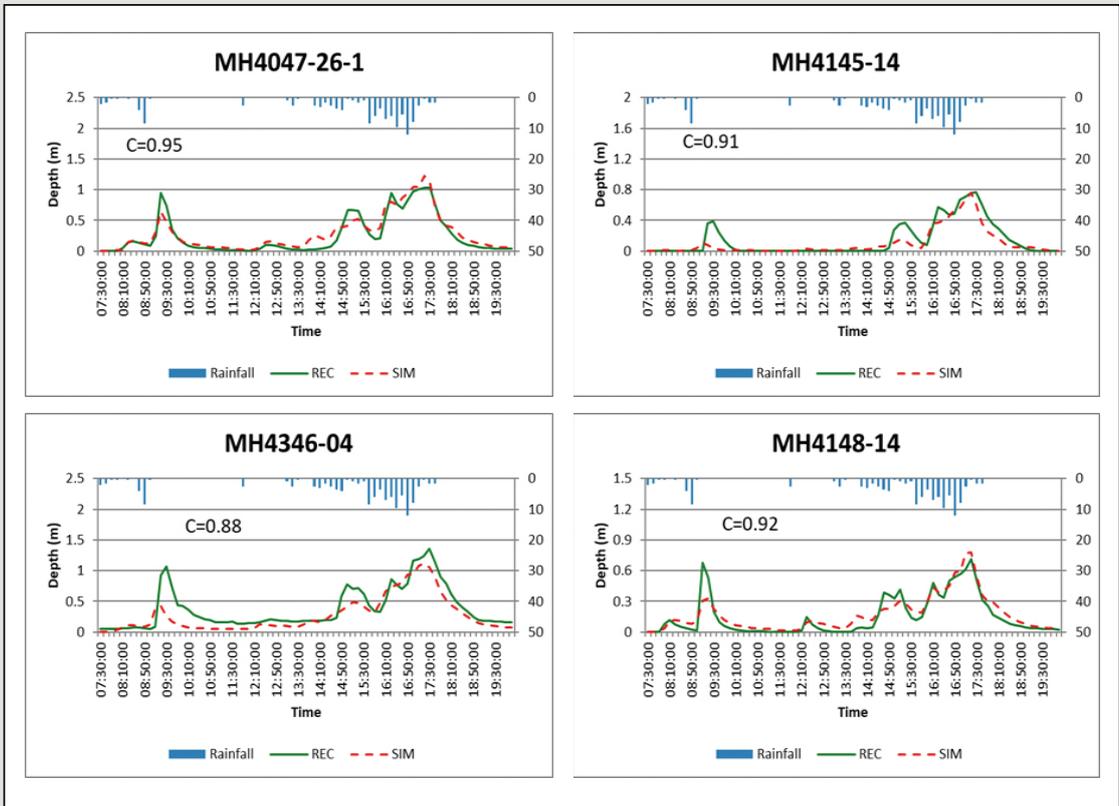


圖10 2021年5月30日模擬水位比較圖



圖11 2021年7月31日模擬成果圖

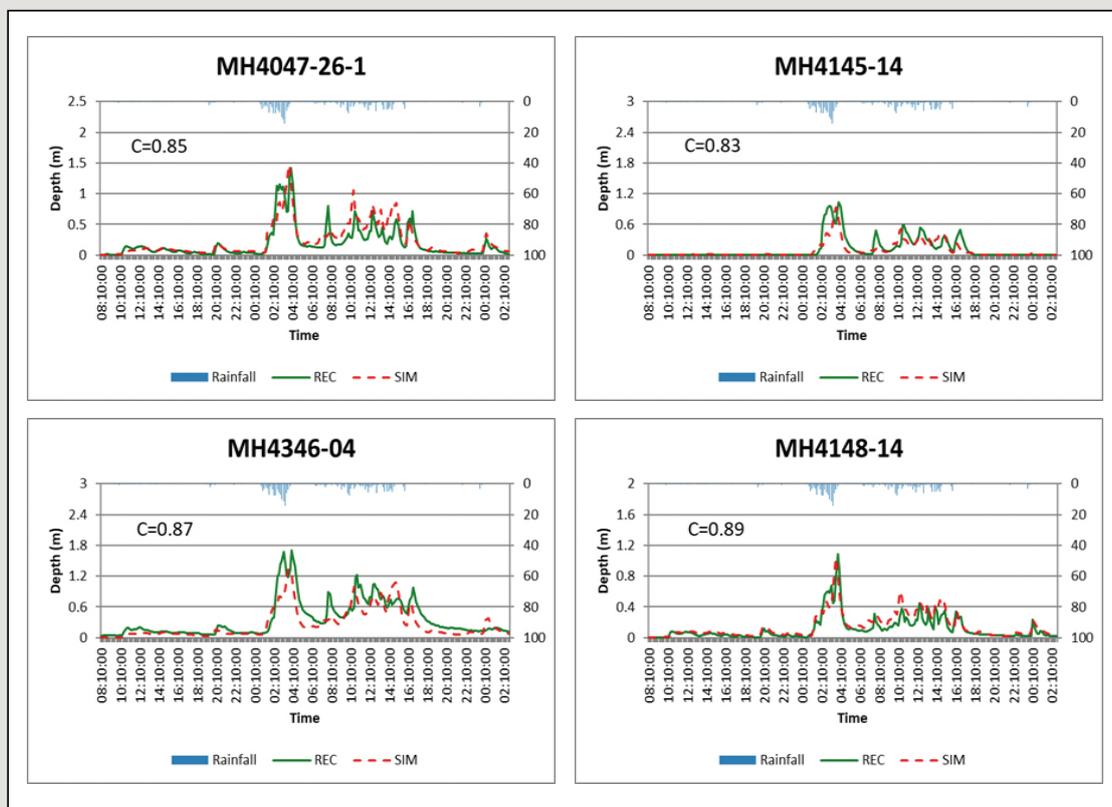


圖12 2021年7月31日模擬水位比較圖

模擬與實測數據的一致性對於各種應用都具有重要的參考價值，包括水利工程設計、自然災害風險評估以及環境保護等領域。

二、極端降雨災害風險評估

這項研究利用建置完成的複合型都市排水

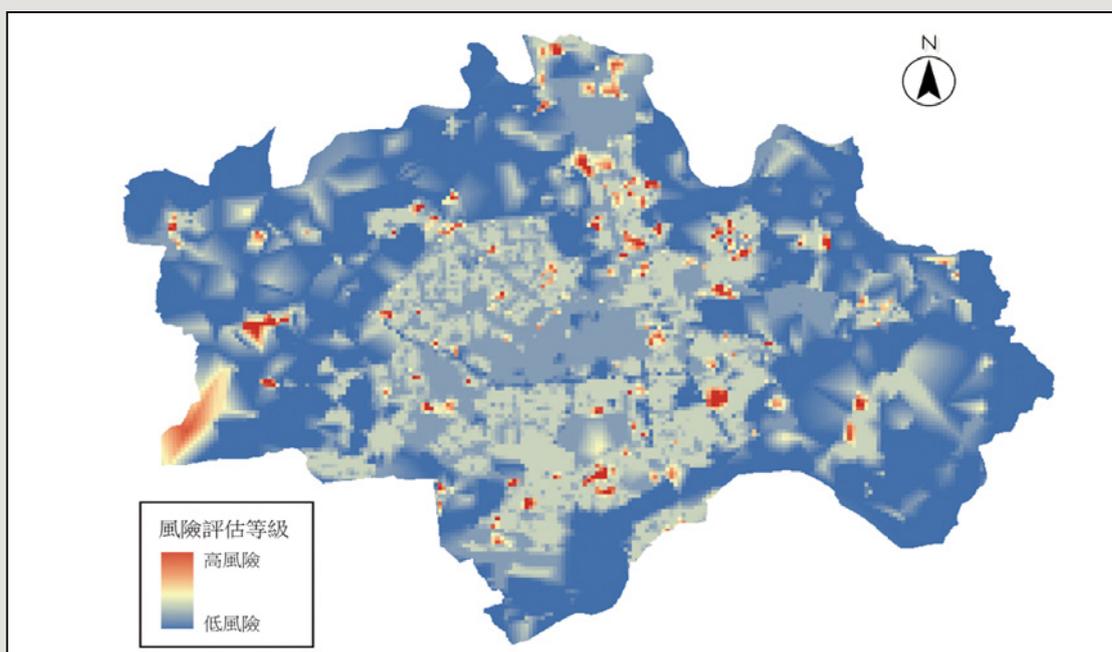


圖13 研究範圍極端降雨災害風險評估圖

系統模式，針對不同重現期的設計雨型進行模擬，以了解區域內各點的機率等級。同時，根據研究範圍都市計畫土地使用情況評估各點的衝擊等級，並繪製出研究範圍內的極端降雨風險地圖（見圖13）。

從圖13可以看出，許多淹水風險較高的區域主要分佈在嘉義市中心。這是因為中心地區主要兼住宅和商業用地，因此如果淹水的機率較高，則導致的災害風險評估也會較高。此外，研究範圍左下角的地區包括嘉義機場，經評估同樣是高風險區域。其他地區，如計畫區域的西側、西北側和東南側，主要是農田或山坡地，因此評估為較低的災害風險區域。

這個分析凸顯了在評估都市環境中的災害風險時，考慮自然和城市因素的重要性。通過了解土地利用和極端降雨事件之間的相互作用，城市規劃者和災害管理部門可以優先考慮在易受影響區域的減災工作，並提高其韌性。

結語

- 一、本研究提出之複合型都市排水系統模式，可準確地評估淹水位置以及下水道水位，此結果顯示模式的評估具有重要的參考價值，可進一步應用於水利工程設計、風險災害評估等領域。
- 二、本研究利用建置完成之複合型都市排水系統模式，以不同重現期之設計雨型評估各區域發生淹水機率，並搭配不同土地使用情形可能造成之災害衝擊，製作極端降雨風險評估圖，此成果可作為都市防洪救災之重要參考資料。
- 三、於本研究中，雖然複合型都市排水系統模式模擬出之淹水範圍與歷史淹水範圍吻合，惟仍有部分實際淹水區域模式並無淹水，造成此情況可能之原因為，複合型都市排水系統模式目前並未將連接管納入建模，因此無法模擬出因連接管堵塞等原因所造成之淹水，未來於建模時可納入考量。
- 四、本研究目前僅根據機率等級及衝擊等級兩項指標評估災害風險，未來可將危害強度、脆弱度等其他因子納入考量，以製作更細緻、更具參考性之災害風險評估地圖。





參考文獻

1. 國立臺灣海洋大學地理資訊系統研究中心，SWMM複合型都市排水系統建置步驟
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2023)，嘉義市雨水下水道系統檢討規劃成果報告
3. 嘉義市政府(2023)，嘉義市水災危險潛勢地區保全計畫
4. 陳志明、賴桂文、鄭文明(2015)，應用SWMM5模式於滯洪池設計及滯洪功能評估之案例介紹
5. Frédéric Cherqui, Ali Belmeziti, Damien Granger, Antoine Sourdril, Pascal Le Gauffre(2015), Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures

新水源技術探討—— 台南安平與高雄橋頭 再生水供應半導體 產業用水

關鍵詞(Key Words)：再生水(Reclaimed Water)、系統再生水(Systemic Reclaimed Water)、前處理(Pretreatment)、除鹽程序(Desalination Process)、高階處理(Advanced Treatment)、硼(Boron)、尿素(Urea)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／張社國 (Chang, Tzu-Kuo) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／工程師／雷媛媛 (Lei, Yuan-Yuan) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／林志墩 (Lin, Chih-Tun) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／技術經理／劉偉裕 (Liu, Wei-Yu) ❹

摘要

因應產業發展用水需求及澇旱分明等極端氣候氣象，國內正積極開發新興水資源，預計民國120年時使用132萬CMD再生水，其中77萬CMD為民生污水之系統再生水廠，以臺南及高雄為主要示範區域，將民生污水與排水系統截流水回收處理，供應鄰近科學園區或產業園區。截至民國112年底，臺南有永康及安平2座營運中再生水廠，供應南科臺南園區半導體及光電產業用水，後續尚有興建中仁德再生水廠，供應鄰近特用化學產業，交換南科臺南園區自來水使用權利；高雄目前有鳳山溪及臨海兩座營運中污水廠處理，供應臨海工業區鋼鐵產業使用，其分別為國內首座及第二座再生水廠，後續尚有興建及規劃中之橋頭及楠梓廠，預計供應南科楠梓園區用水。本文彙整國內目前營運、興建及規劃中再生水廠所使用前處理、除鹽及高階處理技術，分析各技術特性與適用情境，並以臺南安平廠與高雄橋頭廠為例，說明前處理與主要除鹽流程搭配及應用方式。



Study of New Water Source Technologies: Reclaimed Water Supply for the Semiconductor Industry in Anping, Tainan, and Qiaotou, Kaohsiung

Abstract

In response to the industrial development water demand and the extremes of drought and flooding brought by climate change, Taiwan is actively promoting the emerging water resources. By the year 2031, it is expected that 1.32 million CMD of reclaimed water will be utilized, with 770,000 CMD coming from domestic sewage treatment plants. Tainan and Kaohsiung are the primary demonstration areas, where domestic sewage and drainage systems are intercepted and treated to supply nearby science parks or industrial zones. Currently, Tainan has two operational reclaimed water plants in Yongkang and Anping, providing water to the semiconductor and optoelectronics industries in the Tainan Science Park. Additionally, the Rende Reclaimed Water Plant, which is under construction, will supply water to nearby speciality chemicals industries, thereby allowing the Tainan Science Park to secure water rights. In Kaohsiung, the Fengshan and Linhai reclaimed water plants are operational, supplying water to the steel industry in the Linhai Industrial park. These are the first and second reclaimed water plants in Taiwan, respectively. Furthermore, the Qiaotou and Nanzi plants are under construction or in the planning stages and are expected to supply water to the Nanzi Science Park. This article compiles the pre-treatment, desalination, and advanced treatment technologies currently used in Taiwan's operational, under-construction, and planned reclaimed water plants, analyzing the characteristics and applicable scenarios of each technology. Examples from the Anping Plant in Tainan and the Qiaotou Plant in Kaohsiung illustrate the pre-treatment and main desalination processes and their applications.

3

專題報導

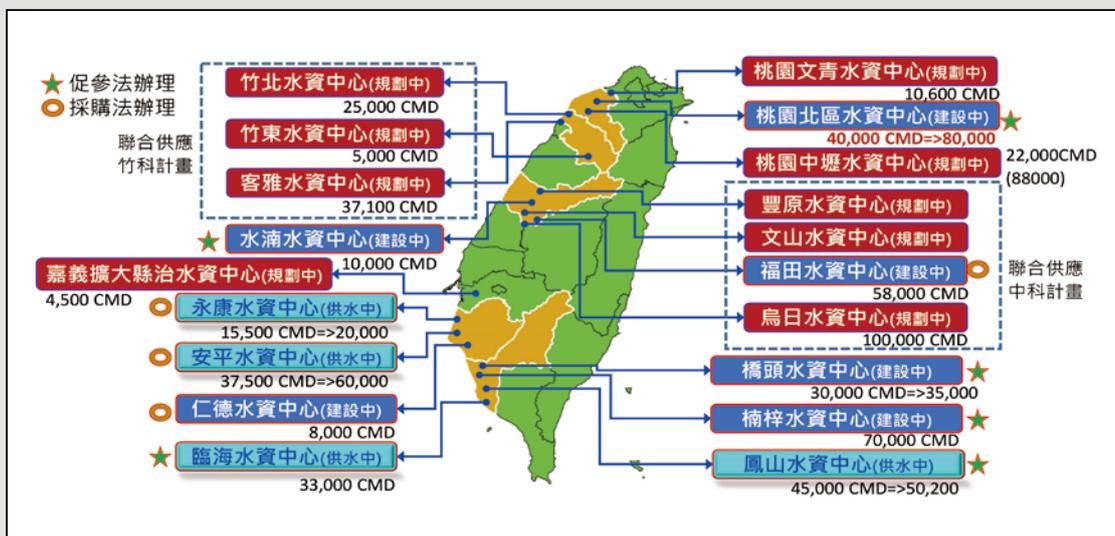
壹、前言

一、國內再生水推動情形

臺灣受限於地形及水文條件水資源蓄存不易，加諸氣候變遷造成極端降雨事件頻傳，使自來水穩定性備受挑戰。另國內半導體產業近年受惠於先進製程與產品需求旺盛，廠商持續於科學園區擴充產能，使自來水供應需求逐年增加。尤其缺水時期科學園區所在區域供水壓力較高，時有自來水減供影響產能，或廠商使用水車載運自來水致生產成本提高情形發生，缺水情形又以臺南及高雄地區最為明顯。再生水較不受天候影響，能源需求低於海水淡化，被視為重要水資源開發項目，新開發科學園區大多受環評規範使用一定比例再生水，因此國內再生水使用量逐漸提昇。依再生水資源發展條例(下稱：再生水條例)，再生水來源分為系統及非系統再生水，系統再生水以下水道系統污水為原水，反之則屬非系統再生水。國內目前公辦再生水案均屬系統再生水，其中民生公共污水處理廠因放流量穩定，與工業廢水相比具低導電度、低TDS等優勢，故產水成本較低，為再生廠主要原水來源。另依再生水條例，再生水不得供直接食用及食品業、藥品業之用

水，故國內公辦再生水案均係以專管輸送至科學園區或產業園區作為工業用水(製程、鍋爐、冷卻等)使用，以提昇再生水使用比例，降低對傳統水源之依賴，並解決未來缺水問題。

行政院訂定民國120年再生水使用目標為132萬CMD，其中屬系統再生水之公共污水廠放流水回收再生水約77萬CMD，佔總目標58%為主要來源。生活污水水質較工業廢水佳，作為再生水廠原水具成本優勢，惟仍須考量鄰近是否具用水需求、專管輸送之興建與操作成本等。國內目前營運中公辦再生水廠共計4座，包含高雄鳳山溪、臨海再生水廠、臺南永康、安平再生水廠，均以專管將再生水輸送至鄰近產業園區或科學園區，減少建置及操作成本，後續新案亦依此架構辦理。目前桃園北區、水湳、福田、橋頭、楠梓及仁德等6廠正興建中，此外另有桃園文青、中壢、竹北、竹東、客雅、豐原、文山、烏日、嘉義等9廠規劃中，而已供水或建設中之鳳山、永康、安平、桃園北區、及橋頭等5廠，因用水需求增加均已啟動辦理擴增工程，如圖1所示。臺南及高雄地區因長期受缺水問題所苦，加諸重工業及半導體產業密集發展，維持供水穩定度需求高，為國內公辦再生水案主要優先示範區，鳳山溪與臨海再



資料來源：本文整理。

圖1 國內公辦系統再生水廠推動情形彙整

生水廠為國內首座及第二座公辦再生水廠，供應對象主要為臨海工業區之中鋼公司；後永康及安平再生水廠陸續完工，供應南科臺南園區半導體及光電產業使用，因應製程用水需求，再生水水質要求較為嚴格，除再生水廠外另設置高階處理設施確保尿素低於5 ppb；仁德再生水廠以換水方式就近供應特用化學產業，使南科臺南園區取得自來水使用額度。福田水資中心增設三級處理設施，供應台中港工業專區使用；水滴再生水廠供應中科臺中園區；桃園北區再生水廠供應觀音工業區及中油使用；橋頭及楠梓水資中心未來將供應南科楠梓園區之半導體產業使用。

二、國內公辦系統再生水處理技術整理

國內營運與規劃中再生水廠所使用處理技術主要分為前處理、除鹽與高階處理，如圖2所示，前處理類似於傳統污水處理程序，惟以往污水處理廠以符合放流標準為目標，再生水前處理則須因應原水水質特性、產水水質標準等彈性調整，主要目標係去除水中懸浮固體與有機物，降低除鹽流程操作成本、確保產水穩定性。除鹽程序為再生水廠關鍵程序，主要目的為去除溶解性物質與其他微量污染物。高階處理用於去除RO不易攔除之溶解性物質。國內公辦再生水案處理流程整理如表1，以下就各處理程序說明。

表1 營運中公辦再生水案主要產水程序摘要

項目	產水程序			用水產業
	前處理	除鹽程序	高階處理	
鳳山	初沉池、MLE、二沉池、消毒池、砂濾、UF	1 pass RO	無	鋼鐵
臨海	初沉池、三段AO+MBR	1 pass RO	無	鋼鐵、化工
永康	初沉池、三段AO+MBR	1 pass RO	尿素處理	半導體及光電
安平	初沉池、曝氣池、二沉池、消毒、砂濾、UF	2 pass RO、WAC	尿素處理	半導體
橋頭	混沉池、三段AO+MBR	1 pass RO、除硼樹脂塔	尿素處理	半導體

資料來源：本文繪製。



資料來源：本文整理。

圖2 國內公辦再生水案產水流程彙整

(一) 前處理

1. 化混程序

於水中添加混凝劑破壞膠體穩定性、膠凝池添加高分子聚合物(Polymer)，使污染物凝聚後於沉澱池沉降去除，對水中SS與硬度具良好去除效果，可減輕後端膜處理單元積垢風險。

2. 生物處理

生物處理主要去除有機物、氮系污染物及SS，國內公辦再生水廠之生物處理大致分為(1)傳統活性污泥法(無除氮功能)+二沉池；(2)MLE/3段AO+二沉池；(3)MLE+MBR等三類工法，如表2所示。

表2 安平及橋頭再生水產水水質標準

項次	水質檢測項目	單位	標準限值
1	溫度	°C	15-35
2	pH	-	6.0-8.5
3	導電度 (EC)	μS/cm	<250.0
4	懸浮性固體 (SS)	mg/L	<1.0
5	濁度 (Turbidity)	NTU	<0.3
6	化學需氧量 (COD)	mg/L	<4.0
7	總有機碳 (TOC)	mg/L	<1.0
8	氨氮 (Ammonia-N)	mg/L	<0.5
9	亞硝酸氮 Nitrite Nitrogen)	mg/L	<0.1
10	硝酸鹽氮 (Nitrate Nitrogen)	mg/L	<10.0
11	硼 (Boron)	mg/L	<0.1
12	正磷酸鹽 (PO4-3)	mg/L	<0.5
13	氯鹽 (Cl-1)	mg/L	<15.0
14	總溶解固體物 (TDS)	mg/L	<150.0
15	硫酸鹽 (SO4-2)	mg/L	<45.0
16	砷 (As)	mg/L	<0.05
17	鎘 (Cd)	mg/L	<0.005
18	鉻 (Cr)	mg/L	<0.05
19	鹼度 (Alkalinity)	mg/L as CaCO3	<30.0
20	硬度 (Total Hardness)	mg/L as CaCO3	<50.0
21	尿素 (Urea)	ppb	<5
22	大腸桿菌群 (Coliform group)	CFU/100mL	-

資料來源：「臺南市安平再生水廠新建工程統包計畫案」基本設計報告。

- 第(1)類生物處理工法不具除氮功能，多應用於早期設置之污水處理廠，二沉池SS去除能力不如MBR，致後續除鹽單元處理負荷較高，須輔以砂濾及UF程序，濃排水亦須謹慎控管。採用此類工法者主要受限於既有廠空間不足、功能提昇困難度高等因素。
- 第(2)類工法普遍應用於國內民生污水處理廠，其出流水氨氮濃度較第(1)類低，可減輕除鹽設施有機負荷，惟受限於二沉池去除效率，仍須輔以過濾或UF單元。

- 第(3)類工法採用較新穎之MBR技術取代傳統二沉池，土建空間可減省約30%且處理效率提高，出流氨氮濃度<2 mg/L、SS<1 mg/L，後端不須設置過濾及UF，為國內新設再生水廠普遍採用程序。

3. 砂濾及UF程序

砂濾程序可去除較小顆粒，令出流水SS濃度降至約10 mg/L以下，通常與前述第(1)、(2)生物處理工法搭配使用，常見快濾程序為重力及壓力式，後者可節省約50%以上土建空間，被普遍應用於

國內污水三級處理。UF超濾膜之孔徑約0.01~0.1 μm ，操作壓力約為3~6 kgf/cm²，主要處理項目為非溶解性顆粒，出流水SS濃度可降至1 mg/L以下，搭配前述第(1)、(2)工法可降低除鹽單元操作成本。

4. 消毒程序

主要用於降低微生物或藻類再滋生風險，以減輕薄膜有機結垢潛勢，主要分為加氯消毒與UV消毒，前者操作維護成本較低，惟須考量氯對薄膜可能造成之破壞，後者消毒持續性較低，不適合前處理與除鹽程序輸送距離較長者。

(二) 除鹽程序

目前國內公辦再生水廠均採RO程序，該工法以高壓泵令水分子克服滲透壓通過0.1~1nm孔徑產製再生水，過程中雖較為耗能，惟隨薄膜性能改善、抽水與能源回收裝置效率提昇，產水成本逐漸下降後成為最廣為使用之除鹽程序。操作關鍵在於如何有效降低積垢頻率，以減少化學清洗並提昇使用壽命。故其進流水水質限制較為嚴格，氨氮應<5 mg/L，SDI<5，上游端通常須搭配生物工法、MF(如：MBR工法)或UF等前處理。此外因應原水特性與產水水質要求，RO通常採用單段(1-Pass)或二段(2-Pass)式系統，各段RO單元又依產水率需求可能再分為2階(2-stage)或增加迴流率，上述程序規劃及設計參數調整，須因應水質及設備需求等進行縝密通盤考量後訂之。另以工業廢水再生水廠為例，其原水因半導體與TFT-LCD廠廢水具較高濃度矽，可能產生不可逆無機結垢使薄膜使用壽命縮短，故必要時須添加氟化氫銨或抗垢劑，故產水成本通常較高。

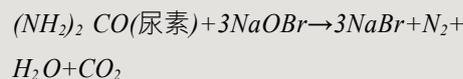
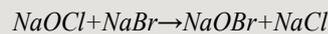
許多公辦再生水案因應半導體廠商用水具除硼需求，硼於pH值接近中性時，主要以硼酸

(B(OH)₃)存於水中，其分子粒徑較小不易以RO去除，將原水pH調整至9.0以上，使其轉換為分子粒徑較大之B(OH)₄⁻可有效提高去除率，惟高pH亦增加RO無機結垢風險，故兼顧高除硼與降低結垢為設計階段應考量課題。

(三) 高階處理

1. 尿素處理設施

因應國內半導體廠商用水水質需求，再生水水質項目之尿素應<5ppb，硼應<0.1 mg/L。尿素主要來自於農業肥料或動物性蛋白，非離子態不易氧化、高度溶於水、低分子量等特性，使其不易經由RO程序去除。殘留水中可能降低光刻相關製程良率，須於RO單元後端設置高階處理加以去除。國內主要採用化學加藥氧化法去除尿素，於原水添加NaBr及NaOCl將尿素降解為氮氣及二氧化碳，其化學反應如下：



2. 離子交換樹脂

離子交換樹脂包含離子性官能基，其具選擇性與導電性，可用於去除水中特定物質，如硼、硬度、重金屬等，依其官能基特性可區分為陽離子及陰離子型。陽離子可去除水中帶正電離子或螯合物，陰離子則可去除帶負電離子。此工法使用一段時間後須以酸、鹼溶液進行再生，如何妥善處理再生廢液為設計重要課題。

國內公辦再生水案具採用離子交換樹脂除硼案例，其利用硼缺電子易形成螯合物特性，將其吸附於陽離子官能基，官

能基飽和後進行再生以恢復其功能。

3. 其他

上述工法主要應用於生活污水再生水廠，然而工業廢水再生水廠須因應製程原物料使用，可能有特定污染物去除需求(如：硼、色度、重金屬、生物不易分解有機物等)，可須採用EDR或活性炭等高階處理。倒極式電透析(EDR, Electrodialysis Reversal)為近年較具發展潛能之新興技術，其利用陽離子、陰離子交換膜(孔徑約0.5~1nm)外加電場，使水中陰陽離子向電極移動達除鹽目的，正負極定時切換自動清洗膜表面離子減少積垢。EDR與RO膜相比具較佳之抗化性、雜質容忍度、回收率，較低操作壓力等特性，較適合應用於RO濃排(TDS約10,000~30,000 mg/L)處理及回收；活性炭以物理吸附作用去除水中有機物、重金屬、色度、臭味或其他毒性物質，其佔地面積較一般生物處理工法低，且可處理污染物質多元，常用於工業廢水再生水程序。

貳、國內再生水廠流程規劃案例介紹

一、安平再生水廠

(一) 計畫背景

本案由臺南市政府於108年以統包工程方式辦理，經3年施工後於民國112年正式營運，為繼永康廠後臺南市第二座再生水廠。第一期供水量為3.75萬CMD，土建空間與輸水管量體為6萬CMD，未來可視廠商用水需求擴充。為確立供水端與用水端間權利義務，臺南市政府、南科管理局與用水廠商依永康再生水辦理方式簽訂三方用水契約，後續公辦再生水案大多依此架構辦理。

再生水廠設置於安平水資源回收中心(下稱：水資中心)西南側擴建用地，詳圖3，以水資中心消毒單元出流水為原水，第一期取水量為70,000 CMD，全期為11,200 CMD，原水處理後經20公里輸水管送至南科臺南園區，園區內另設高階處理設施，確保尿素 < 5ppb



資料來源：本文整理。

圖3 安平水資中心平面配置圖

再供應予區內用水廠商。

(二) 再生水廠原水水質分析

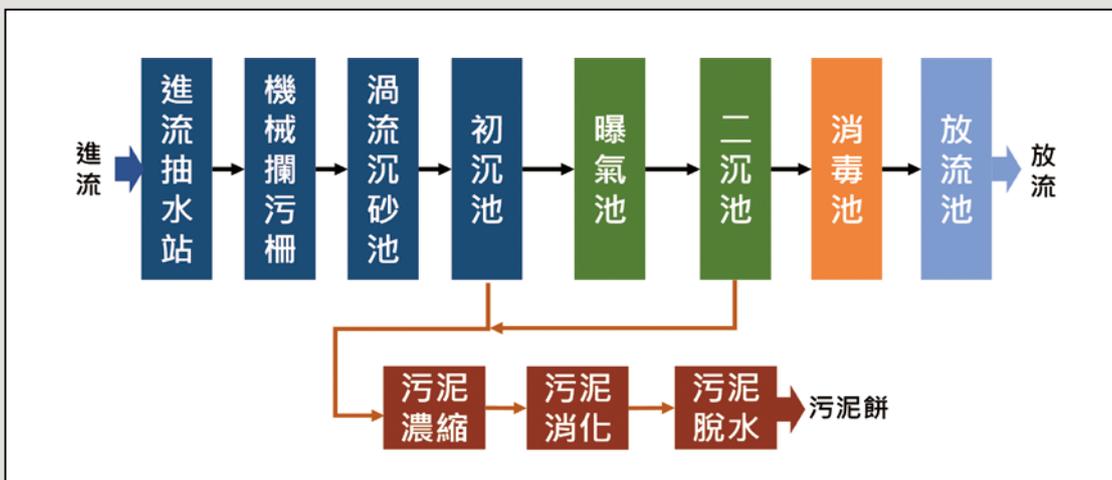
水資中心於民國91年啟用，設計處理量為13.2萬CMD，污水來自用戶接管與運河截流，運河位於感潮河段致原水TDS > 1,500 mg/L，對除鹽程序造成較高負荷。其餘水質項目與一般生活污水則差異有限。主要處理流程為攔污柵→渦流沉砂池→初沉池→曝氣池→二沉池→消毒單元(詳圖4)。初沉池無化混程序，對硬度與重金屬等去除能力有限，加諸臺南地區自來水為硬水，致水質中心出流水硬度達400 mg/L，另一關鍵水質項目硼之濃度約0.6 mg/L。對產水系統而言，除硼須調高進流pH值，惟同時亦增加積垢風險，如何兼顧除硼與降低積垢為本廠流程規劃主要考量重點。

水資中心建置時放流水標準未管制氮系污染物，曝氣池僅具碳化功能，加諸池槽水力停留時間已受限，致後續硝化能力效能提昇有限，目前出流水氨氮、硝酸鹽氮濃度分別約10與19 mg/L，因產水過程之濃縮效應，濃排污染物濃度將達原水2~2.5倍以上，故本廠除考量產水水質與系統產水率等外，尚須

確保濃排水符合放流水標準(再生水經營業)；消毒單元為加氯消毒程序，可維持水中結合有效餘氯，降低微生物或藻類滋生風險，此流程利於再生水廠操作與維護，惟須留意殘留餘氯對RO膜影響，必要時須添加還原劑，或減少消毒單元加氯量。整體而言，水資中心可提供原水量充足，惟出流水TDS、硬度、氮系污染物較高，對再生水廠設計及操作營運具一定影響。

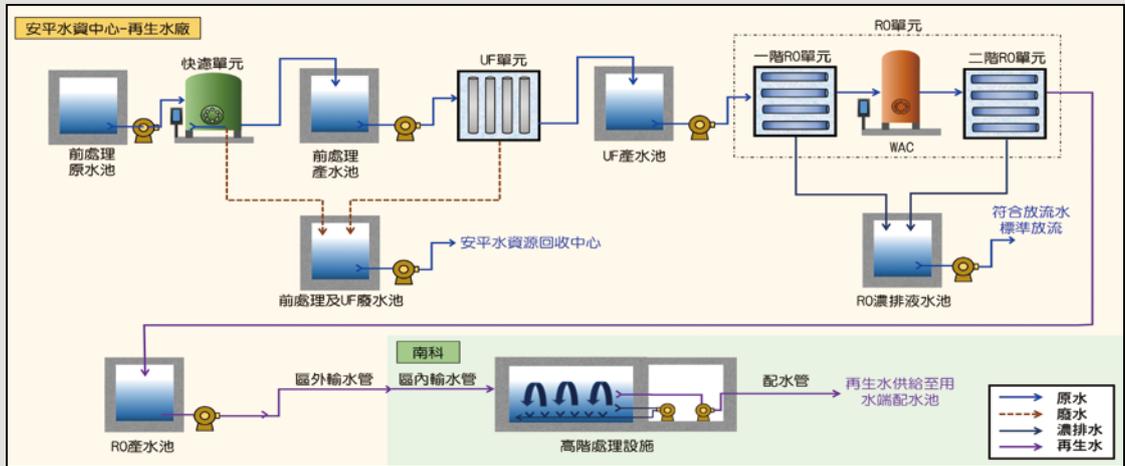
(三) 再生水廠產水程序說明

再生水廠處理流程依序為快濾桶、UF與RO(含WAC)單元，如圖5所示。因水資中心無過濾程序，出流水SS濃度約達20 mg/L，易堵塞薄膜孔隙而頻繁藥洗、薄膜使用壽命減少等情形。再生水廠以快濾桶為首道程序，將出流SS濃度控制於<5 mg/L。其濾速達70~90 m/h，較傳統重力砂濾池節省50%以上土建空間，適用於空間有限者。過濾後設置UF程序攔除水中懸浮固體物、致病菌等，確保出流SS濃度<1 mg/L、SDI<5，回收率達92%以上。UF為外掛式設計搭配自清過濾器，可降低操作維護人力需求。



資料來源：本文整理。

圖4 安平水資中心污水處理流程圖



資料來源：本文整理。

圖5 安平再生水廠處理流程說明

因原水硼與氮系污染物濃度較高，經模廠驗證須採用二段式RO(Two Pass RO)方可滿足用水端水質要求。其流程係將1st RO產水引入2nd RO再處理，強化整體產水水質，硼之去除率達95%、氮達98%。另為提昇系統產水率，1st RO與2nd RO均為2 stage配置，使1st RO產水率達65%、2nd RO達90%。1st RO設置能源回收裝置(ERD, Energy Recovery Devices)，回收約95%濃水餘壓，減低高壓泵動力需求。

為提昇系統除硼率，2nd RO進流水pH值調整至9.0以上，惟調整後部分無機鹽類析出為固態，使RO積垢風險增加。1st RO後端設置陽離子交換樹脂(WAC)，去除水中積垢前驅物，再經2nd RO後產水至產水池，檢驗合格後送至南科臺南園區。快濾桶與UF反洗水送至水資中心再處理，減輕放流水對海域水質影響。經上述程序後，本廠產水水質可符合用水端要求(如表2所示)，濃排水亦符合放流水標準(BOD < 30 mg/L、NO₃--N < 50 mg/L)。未來若針對廠內生物單元進行功能提昇，有望降低產水程序負荷及提昇再生水廠放流水水質。

二、橋頭再生水廠

(一) 計畫背景

本案由高雄市政府以促參BTO方式辦理，自112年起動工，預計114年供應3.0萬CMD再生水(因應產業用水需求增加，機關將另辦契約變更將再生水供應量增至3.5萬CMD)，為繼鳳山、臨海廠後高雄市第三座公辦再生水廠。為確立供水與用水端間權利義務，由高雄市政府經發局、水利局與用水廠商依永康再生水辦理架構，簽訂三方用水契約。再生水廠設置於既設岡山橋頭污水處理廠北側空地(詳圖6)，將以污水廠擴建後MBR系統放流水(約51,000CMD)為原水，處理後經約9公里輸水管線送至南科楠梓園區，園區內另設置高階處理設施，確保尿素 < 5ppb後再供應予區內用水廠商。

(二) 再生水廠原水水質分析

岡橋水資源回收中心(下稱：水資中心)第一期工程於民國107年啟用，處理量為20,000CMD，原規劃全期處理量為50,000CMD，後因應再生水廠原水量及水質需求，全期容量擴充至51,000CMD、調整為MBR程序，並於阿公

店溪與典寶溪沿岸4處截流設施，截流總量約為40,000CMD，初期低接管率時以截流補充水源，確保再生水廠具充足原水。惟初期截流水佔大宗時，除氮所需碳源有不足之虞，須調整外部碳源添加量，或啟動初沉池繞流功能。

調整後主要處理流程為攔污柵→渦流沉砂池→初沉池→微篩機(新增)→3段AO→MBR(新增)→消毒單元(詳圖7)。原二沉池以MBR系統取代，除可確保出流水氨氮濃度 $<6\text{ mg/L}$ 外，亦可減少廢棄污泥量。原二沉池改為緊急儲留池，另增設化混沉池處理異常水，提昇操作彈性及緊急應變能力。

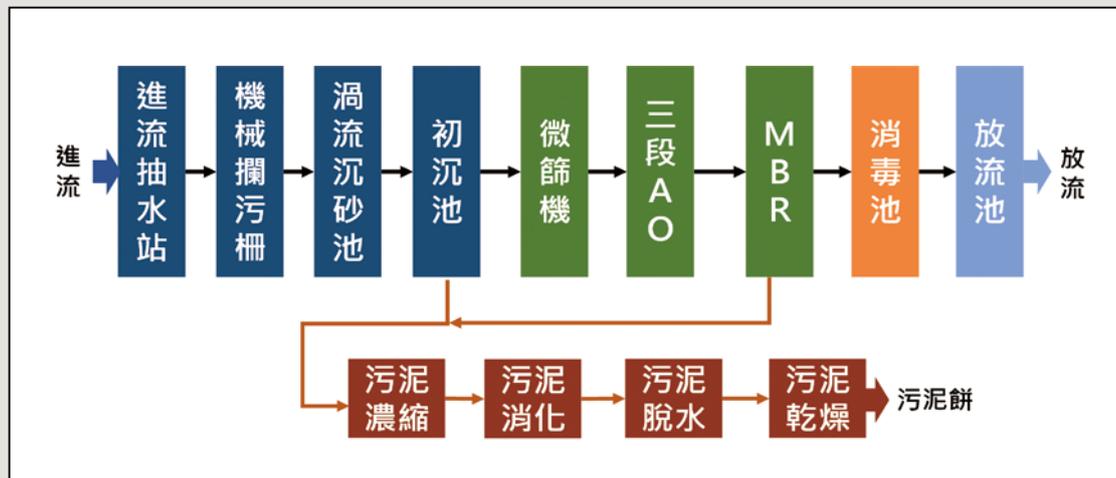


資料來源：「高雄市橋頭再生水廠興建移轉營運案」基本設計報告，2023年。

圖6 橋頭水資中心平面配置

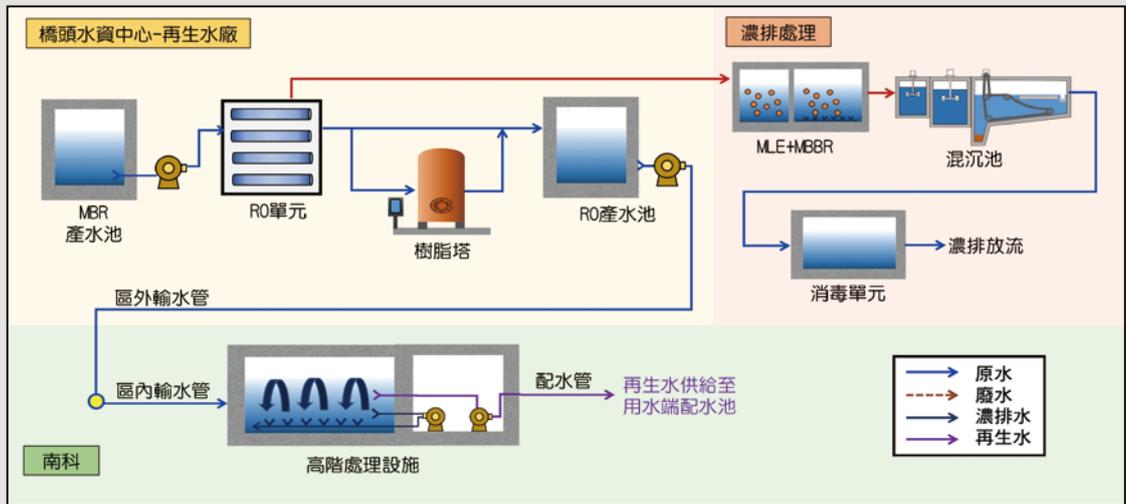
(三) 再生水廠產水程序說明

再生水廠以MBR系統出流為原水，MBR膜孔隙介於 $0.1\text{-}1\ \mu\text{m}$ ，可有效過濾污水中大分子物質，適合作為再生水廠前處理。主要產水流程為RO單元→除硼樹脂塔系統(非常態操作程序)，如圖8所示。為兼顧契約產水水質與產水率規定，RO單元採Two-stage程序，將1st stage濃排引入2nd stage再處理，使RO系統產水率達75%以上，2nd stage濃排亦可符合再生水經營業放流水標準。惟考量用戶接管率增加後總氮濃度可能隨之上升，濃排硝酸鹽氮超標風險增加，故本廠另設置濃排處理設施，其流程為MLE+沉澱池，缺氧



資料來源：本文繪製。

圖7 橋頭水資中心污水處理流程圖



資料來源：本文繪製。

圖8 橋頭再生水廠及濃排處理流程示意圖

池內投入MBBR高效載體強化脫硝效能，好氧池曝氣提昇水中溶氧，沉澱池出流水經消毒單元後再予以排放。

除硼樹脂塔屬於緊急應變設施，當截流水質不佳時啟用，而非常態運轉，由於本案進流水質具導電度不高、硼離子偏高特性，RO採海淡膜設計，具高回收率、用電量少、用藥量少及操作維護便利高等特性，另海淡膜對硼離子去除具有一定效果，本案僅設置8,000CMD容量除硼樹脂塔，部分RO產水經樹脂塔處理後，再與其他RO產水混合，確保產水硼離子濃度符合用水端水質標準(<0.1mg/L)。

結語

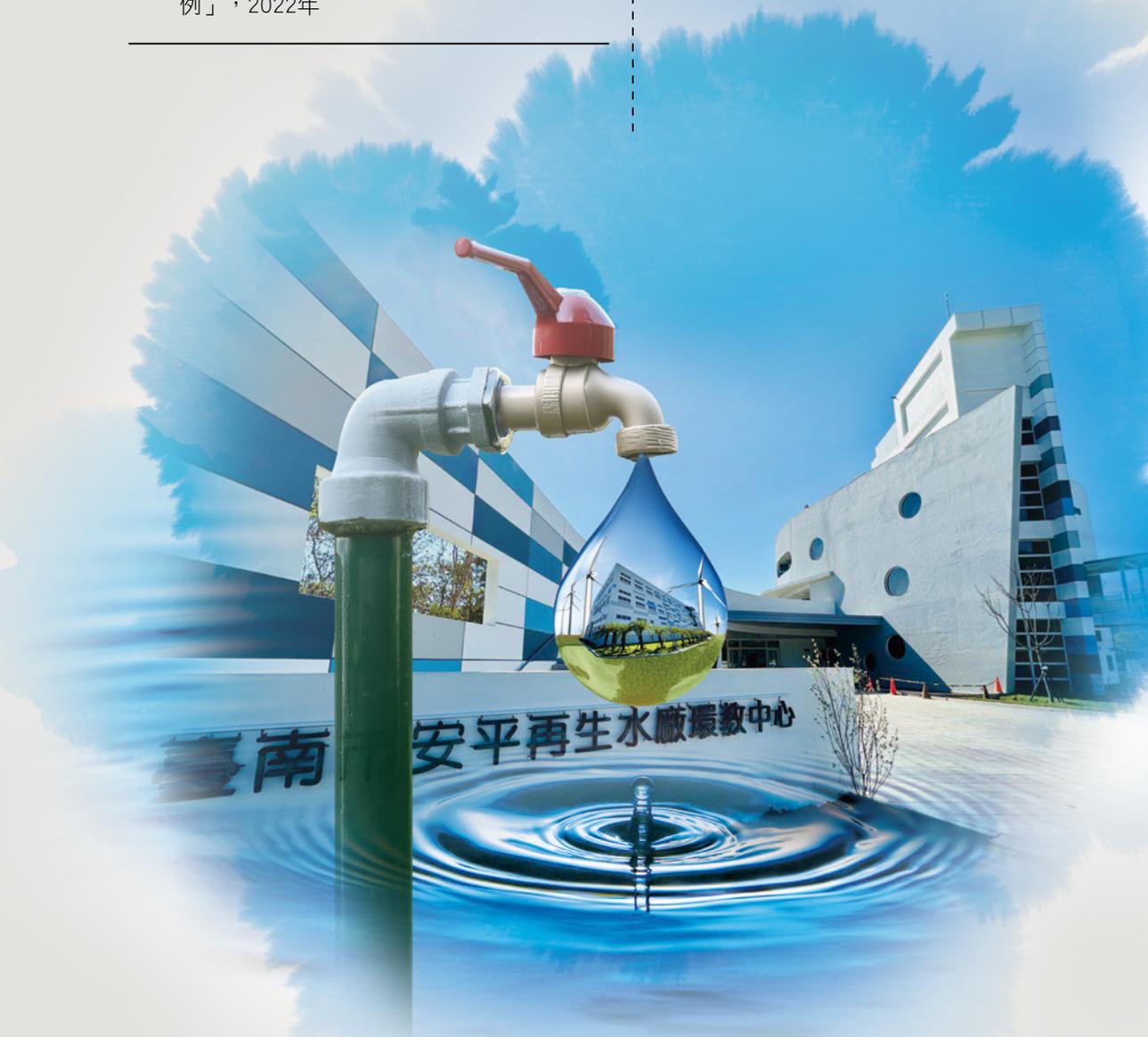
半導體產業蓬勃發展帶動產業用水持續增加，再生水不受天候影響、開發量體較傳統水資源低，為近年積極推動新興水源，行政院訂定目標於民國120年時使用132萬CMD再生水。目前營運中公辦再生水廠共計4座，興建與規劃中尚有14座。其以生活污水或雨水截流為原

水，經前處理、除鹽、高階處理產製再生水，再由管線就近供應科學園區或產業園區使用。良好前處理可有效降低除鹽程序操作成本，常用程序包含初沉、生物單元、二沉池或MBR系統、砂濾、UF，新推公辦案多採用MBR取代砂濾及UF。除鹽程序均採用成熟且效能穩定之RO工法，視需求搭配離子交換樹脂。

本文以安平及橋頭再生水廠為例說明處理流程選用考量。安平再生水廠以既設消毒單元出流水為原水，原水具高導電度、高硬度，且水資中心不具除氮能力、無三級過濾程序。前處理為快濾及UF，除鹽程序為2 Pass RO與離子交換樹脂，流程可兼顧除硼與降低積垢。水資中心若增加除氮功能，可降低RO單元負荷並提昇放流水水質；橋頭再生水廠以三段AO+MBR出流水為原水，因MBR屬MF等級可攔除水中大部分懸浮微粒且可提昇除氮效能，不須另設過濾及UF。整體而言其原水水質優於安平廠，除鹽程序為1 Pass RO，輔以離子交換樹脂為緊急應變程序。此外統包團隊為降低濃排水超標風險，另設濃排水處理設施，該設施缺氧池內投入MBBR擔體提昇硝酸鹽去除效率。

參考文獻

1. 經濟部水利署，「非系統再生水-利用技術參考說明」，2017年
2. 臺南市政府，「臺南市安平再生水廠新建工程統包計畫案」基本設計報告，2021年
3. 經濟部水利署，「臺灣各區水資源經理基本計畫」，2021年
4. 經濟部水利署，「再生水資源發展條例」，2022年
5. 高雄市政府，「高雄市橋頭再生水廠興建移轉營運案」基本設計報告，2023年
6. Hai-Hsuan Cheng，「Reclaimed water in Taiwan: current status and future prospects」，2023年



以海水淡化為新水源提升供水系統韌性之技術應用

關鍵詞(Key Words)：海淡水(Seawater)、海水淡化(Desalination)、逆滲透處理(Reverse Osmosis Treatment)、水資源(Water Resource)、多元水源(Diverse Water Sources)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／姚重愷 (Yao, Chung-Kai) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／林志墩 (Lin, Chih-Tun) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／技術經理／劉偉裕 (Liu, Wei-Yu) ❸

第一階段

新竹海淡(10萬)
台南海淡第一期(10萬)

第二階段

嘉義海淡(10萬)
北高雄海淡(10萬)
台南海淡第二期(10萬)

第三階段

桃園海淡(10萬)
南高雄海淡(15萬)

摘要

隨著人口集中化和產業發展，臺灣各區域的用水需求呈差異擴大的趨勢。由於傳統的水庫開發受到極端氣候及環保觀念影響而面臨困境，為確保供水穩定性和提升供水系統韌性，應以加速推廣科技造水及加強多元化水源開發因應，其中海淡技術已被視為未來的發展趨勢。

海淡技術中以逆滲透法為主流，雖產水能耗已大幅降低，但其建設和運行成本仍相對高，且需要處理鹵水。因此，在技術方面尚有改進空間，包含如結合再生能源、提高薄膜效能等。鹵水資源化亦為另一發展方向，目前朝向於高價值稀有元素的回收，以減少元素開採產生之能耗或環境破壞，並可實現循環經濟。

面臨水資源短缺的挑戰，政府已積極推動海淡廠的建設。然而，海水淡化仍為相對耗能的技術，單位產水成本較自來水高出2.5至4倍，並將面臨淨零排放的挑戰。因此，在提升供水韌性的同時，增加附加效益實現永續發展，將是海淡產業需要應對的主要課題。



Enhancing Water Supply System Resilience through Desalination as a New Water Source

Abstract

With population concentration and industrial development, the water demand across different regions of Taiwan is showing a trend of increasing disparity. Traditional reservoir development faces challenges due to extreme weather and environmental protection concepts. To ensure water supply stability and enhance the resilience of the water supply system, there should be an acceleration in the promotion of water production technologies and the strengthening of diversified water source development. Among these, seawater desalination technology has been regarded as a future development trend.

Reverse osmosis is the mainstream method in desalination technology. Although the energy consumption for water production has been significantly reduced, the construction and operation costs remain relatively high, and brine management is required. Therefore, there is still room for technical improvement, including the integration of renewable energy and the enhancement of membrane performance. The resource utilization of brine is also another development direction, currently focusing on the recovery of high-value rare elements. This aims to reduce the energy consumption or environmental damage caused by element extraction and to achieve a circular economy.

Facing the challenge of water resource scarcity, the government has actively promoted the construction of desalination plants. However, seawater desalination remains a relatively energy-intensive technology, with the unit cost of water production being 2.5 to 4 times higher than that of tap water, and it will face the challenge of achieving net-zero emissions. Therefore, while enhancing water supply resilience, increasing added value to achieve sustainable development will be the primary issue that the desalination industry needs to address.

壹、用水需求及水源開發策略

水資源建設係為提升國民生活品質及促進社會經濟持續發展的重要關鍵基礎之一，如何提供穩定且量足質優的用水，為永續發展重要課題。

一、臺灣地區用水趨勢

綜整水利署資料如圖1，全臺年用水總量為158.74億噸，以農業用水為最大宗，佔總用水量將近70%，生活用水與工業用水則各約為20%及10%。若將近10年平均與10年前統計資料相比(表1)，年總用水量約減少10%，其中農業用水量下降，民生及工業用水量則呈微增趨勢。

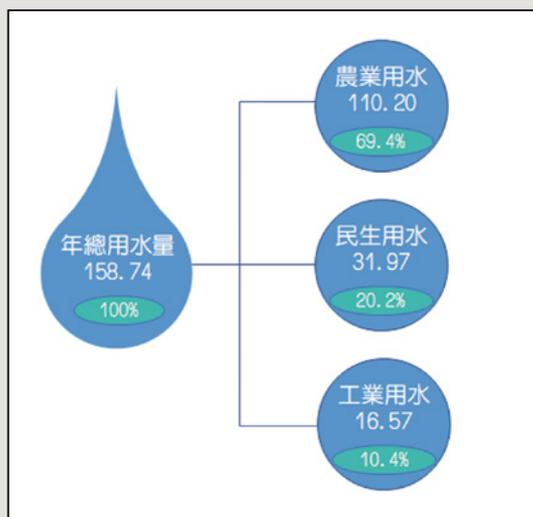


圖1 2022年各標的用水概況(單位:億噸)

依據水利署預估，未來農業用水量將維持現況；民生用水部份雖推估總人口將逐年減少，並呈現高齡化趨勢，惟因應長期照護、基

表1 臺灣地區近10年用水量比較表

用水量(億噸/年)	101年	102-111年	111年
總用水量	173.10	163.72	158.74
農業用水	125.14	115.5	110.2
民生用水	31.86	31.84	31.97
工業用水	16.10	16.38	16.57

資料來源：水利署，本文彙整

礎勞動力短缺等情形，隨近年持續開放外籍移工至臺，民生用水量不會有顯著下降，更因都市磁吸效應，將加重既有供水系統負荷；至於工業用水，隨著全球產業鏈轉型，政府持續推動擴大產業投資臺灣政策，預期產業園區及科學園區用地需求約再增加3,311及1,000公頃，顯見用水量將持續成長。綜上所述，除預期整體用水量將持續成長外，區域間之水資源調度與供水系統穩定性，亦為需關注之議題。

二、水源開發策略分析

近年水資源問題日趨複雜，除全球氣候變遷加劇、枯旱風險漸增及受國土自然地理環境限制影響外，人為影響亦漸增，近年已發生如民國104年蘇迪勒颱風造成高濁度用水情境、民國110年之百年大旱及112年南部區域春雨晚到，再再顯現水資源受極端氣候影響日趨密集。另鑒於聯合國政府間氣候變化專門委員會(IPCC)第六次綜合評估報告(AR6)說明，全球受氣候變遷導致旱澇頻率加劇之影響將無可避免。

台灣因降雨時空分布不均，須透過水庫「蓄豐濟枯」以維持供水穩定，然近年因極端氣候影響，水庫出現淤積過快、庫容迅速減少等問題而影響使用，據統計，全臺計有95座公告水庫，設計總容量約29.3億立方公尺，淤積率已達約29.6%，雖持續辦理清淤，但成效有限。另建置新水庫亦因集水區過度開發及生態保育考量，使得開發面臨阻力與窘境，且開發後仍受自然氣候及前述淤積等影響。

整體而言，面對用水成長議題，除需將氣候變遷衝擊納入水資源規劃策略通盤檢討外，為避免水資源短缺造成重大經濟損失，應結合國土計畫，透過加速推廣科技造水政策，提供多元化水源，確保枯水期間用水之穩定性，並有效提升整體供水韌性。多元化水源除包括伏流水、地下水與雨水等傳統水源外，更有不受降雨量影響之海淡水、再生水及感潮河段半鹹水等新興水源，如圖2所示。考量海淡技術已日趨成熟且為國際發展趨勢，具有不受降雨影響、供水量水質穩定、易於擴充與無水庫大規模開發影響生態環境疑慮，預期至2030年全球海淡廠產水量將達2億噸/日，故應加強推動海淡水布局，與國際接軌，本文即針對海淡水進行研討。

深化，傳統水資源開發及調配日益困難，致海淡相關技術蓬勃發展，全球多國皆投入大量研究；國內亦訂出以海淡水補足淡水資源目標。以下簡要介紹國內、外海淡運用案例。

一、國外海淡廠案例

參考IDRA(國際海水淡化與再利用協會)資料，全球運作中海淡廠計約2.2萬座，總產水量近1.1億噸/日。興辦中萬噸級海淡廠自2020年迄今有55座，商轉中海水淡化廠總產水量由2002年之0.28億噸/日，至2022年已成長達1.07億噸/日，主要因為在中東和北非等缺水地區陸續興建大型海淡廠；另統計興建中之海淡產能尚有0.93



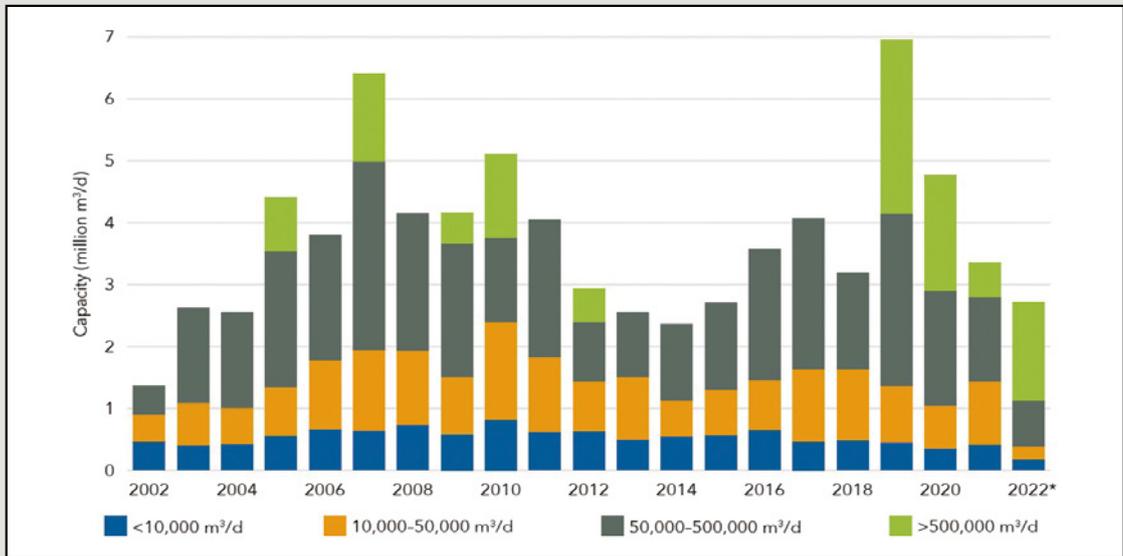
資料來源：本文繪製

圖2 多元化水資源開發類別示意圖

貳、海水淡化廠案例及技術

海淡技術已在全球150多個國家使用，為超過3億人口提供飲用水，惟過去因處理技術門檻及單位產水成本高，故多應用於極度缺乏淡水資源之區域。近年則因氣候變遷及永續理念

億噸/日，顯見全球對於海淡水需求之殷切，更突顯技術發展重要。此外，商轉中的單一海淡廠規模亦有變動，如圖3所示，自2018年後，規模超過50萬噸/日的海淡廠數量顯著成長。



資料來源：IDA DESALINATION REUSE HANDBOOK 2022-2023

圖3 海水淡化廠產能統計 (2002~2022, 以簽約年度計)

(一) 以色列

為達成「靠山吃山，靠海吃海」之多元供水政策目標，故規劃臨海之城市、農業、工業區等用水皆以海淡水提供，自2003年建立第一座海淡廠起，目前已有5座海淡廠運轉中，相關資料如表2所示，此5座海淡廠可提供25%-30%之總用水量。

(二) 新加坡

新加坡為達成2060年海淡水供水比例30%之目標，自第一座SingSpring海淡廠於2005年落成後，迄今已有5座海淡廠提供用水，其相關資料如表3所示，此5座海淡廠可提供約45%之總用水量。

(三) 澳洲

澳洲海淡廠開發始於為礦場及發電廠服務，然於2000年至2010年間，澳洲東南和西南部經歷漫長的大旱，加上海淡技術日趨成熟，政府始於兩區建置海淡廠，迄今有8座廠運轉中，相關資料如表4。

(四) 中東地區

中東地區因環境及氣候因素，海水淡化廠產能約佔全球60%以上，表5為全球產水規模前20名之海淡廠資料，幾乎均位於中東地區，其中位於阿拉伯聯合大公國之Taweelah IWP為目前全球最大海水淡化廠，產水量達909,000CMD。而以工程簽約年份區分，於

表2 以色列海水淡化廠一覽表

廠名	產水量(萬CMD)	完工年份
Ashkelon	28	2005
Palmachim	12	2007
Hadera	35	2010
Soreq	67	2013
Ashdod	38.4	2013

資料來源：本文彙整

表3 新加坡海水淡化廠一覽表

廠名	產水量(萬CMD)	完工年份
SingSpring(新泉)	13.7	2005
Tuaspring(大泉)	31.8	2013
Tuas(大士)	13.7	2018
Keppel Marina East(吉寶濱海東)	13.7	2021
Jurong Island(裕廊島)	13.7	2022

資料來源：本文彙整

表4 澳洲大型海水淡化廠一覽表

廠名	產水量(萬CMD)	完工年份
Perth #1	14	2006
Gold Coast	12.5	2009
Kurnell	25	2010
Sydney	12.5/25	2011
Perth #2	15	2011
Wonthaggi	45	2012
Adelaide	15	2012
Southern	13.5	2013

資料來源：本文彙整

表5 全球產水規模前20大海水淡化廠

所屬國家	廠名	產水量 (萬CMD)	技術	簽約年份
沙烏地阿拉伯	Jubail 2 Replacement SWRO	100	◎	2022
阿拉伯聯合大公國	Taweelah IWP	90.9	◎	2019
沙烏地阿拉伯	Shoiba 3	88	△	2005
	Al Jubail	80	□	2007
	Ras Al-Khair (MSF)	72.8	△	2010
阿拉伯聯合大公國	Umm al Quwain IWP	68.1	◎	2019
以色列	Soreq 2	67	◎	2020
阿拉伯聯合大公國	Jebel Ali M Station	63.6	△	2007
沙烏地阿拉伯	Khobar 2 replacement SWRO	63	◎	2019
以色列	Soreq	62.4	◎	2010
沙烏地阿拉伯	Shoiba 3 Conversion Project	60	◎	2022
	Rabigh 3 IWP	60	◎	2019
	Jubail 3a IWP	60	◎	2020
	Shoiba 5 (SWCC)	60	◎	2020
	Jubail 3b IWP	57	◎	2021
	Yanbu 3	55	△	2012
阿爾及利亞	Magtaa	50	◎	2009
科威特	Az Zour North 1 IWPP	49	□	2014
沙烏地阿拉伯	Al Jubail (Phase 2)	47.2	△	1979
阿拉伯聯合大公國	Shuweihat 2	45.9	△	2009

技術：◎：SWRO；△：MSF；□：MED

資料來源：IDE，本文彙整

2000年前僅佔有1座，但2020至2025年之5年內即佔有8座，顯見海淡水擔負供水角色日益吃重。

二、國內海淡廠案例

國內於民國78年起利用海淡技術提供發電廠用水，並於民國83年起考量離島地區普遍受到蒸發量大於降雨量的水文條件限制，湖庫面積與容量不大，加上地下水鹽化或超抽嚴重，從本島運水的成本高，遂陸續增設海淡廠以供應民生用水，金門、馬祖與澎湖地區之供應量分別約佔總用水量之10%、40%及60%。近年因極端氣候影響供水穩定性，為因應旱情曾於新竹及台中分別設置13,000CMD與15,000CMD之

緊急海淡機組，惟均為臨時性設施，於旱情緩解後便停止運作。

目前國內運轉中之海淡廠合計25座，位於本島者皆為台電公司為穩定供應電廠工業用水所設，其餘22座海淡廠則由台灣自來水公司建置，皆位於離島地區且均採用逆滲透(SWRO)處理，主要供給民生用水。離島區域中又以澎湖地區占比最大，為穩定提供水量滿足民生及觀光發展，已陸續興建不同規模之海淡廠，從百噸規模之虎井廠、桶盤嶼廠及將軍鹽井廠等，千噸規模之七美鹽井廠、白沙鹽井廠，至萬噸級之馬公第一海水淡化廠及第二海水淡化廠等，綜整運轉中之海淡廠資料如表6。

表6 臺灣海水淡化廠一覽表

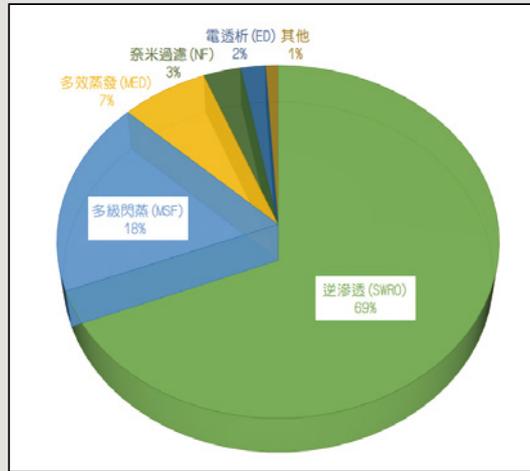
設置位置	廠名	產水量 (CMD)	完工年份
屏東縣	核三發電廠一號機 海水淡化廠	1,130	1989
	核三發電廠二號機 海水淡化廠	1,130	1989
澎湖縣	尖山發電廠海水淡化廠	600	2000
	七美鹽井淡化廠	1,000	2001
連江縣	南竿一期海水淡化廠	500	2001
澎湖縣	西嶼鹽井淡化廠	1,200	2002
金門縣	塔山發電廠 (A、B台機) 海水淡化廠	480	2002
澎湖縣	白沙鹽井淡化廠	1,200	2003
連江縣	東引海水淡化廠	500	2003
	北竿海水淡化廠	500	2003
	南竿二期海水淡化廠	500	2003
澎湖縣	成功鹽井淡化廠	4,000	2004
	將軍鹽井淡化廠	180	2004
	馬公第一海水淡化廠第一期	3,000	2004
連江縣	西莒海水淡化廠	500	2005
	南竿三期海水淡化廠	950	2010
澎湖縣	馬公第一海水淡化廠第二期	10,000	2012
	西嶼海水淡化廠	750	2012
	虎井海水淡化廠	100	2014
	桶盤海水淡化廠	100	2015
金門縣	金門海水淡化廠	4,000	2018
高雄市	大林發電廠海水淡化廠	2,000	2018
澎湖縣	馬公第二海水淡化廠第一期	4,000	2019
	馬公第二海水淡化廠第二期	6,000	2023

資料來源：水利署，本文彙整

至於興建中海淡廠尚有3座，其中1座位於雲林縣，為台塑公司針對麥寮六輕工業區用水所設；另外2座則為台水公司設於澎湖縣，分別為七美廠及吉貝廠。

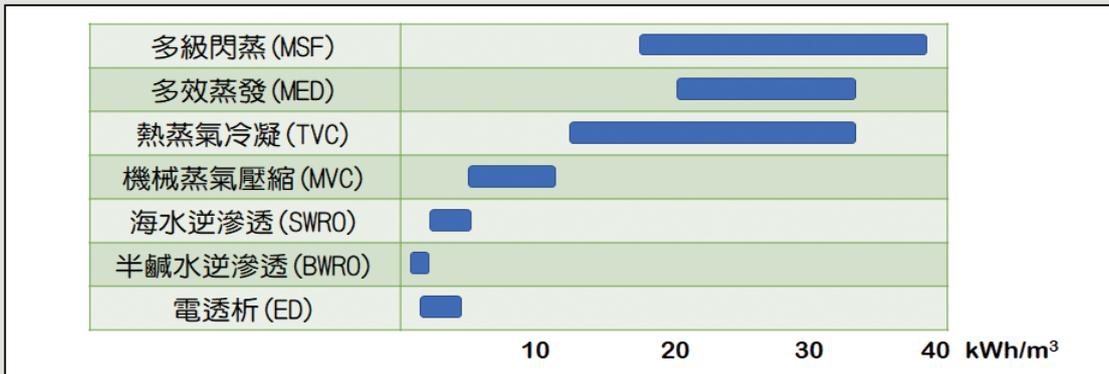
三、海水淡化技術

海淡技術大致可區分由電能或熱能產製，熱能法包括早期主要使用之蒸餾法及後續衍生出之多級閃蒸(MSF)、多效蒸發(MED)等；電能法則主要為海水逆滲透(SWRO)。電能或熱能的使用量取決於所採用之技術、設備效率、原水及產水水質等因素。圖4為統整各類電能及熱能法



資料來源：SWCC，本文彙整

圖5 各種海水淡化技術應用比例



資料來源：本文繪製

圖4 各種海水淡化技術單位產水耗電量

產水之能耗比較，可知各熱能法相較於SWRO技術，單位產水能耗較高，因此逆滲透技術已成為當今的主流技術。此外，受惠於薄膜製作技術與能量回收技術提升，以SWRO技術之產水能耗已可降低至約3kWh/m³，有效減少營運成本。根據Saline Water Conversion Corp (SWCC)調查，全球以SWRO產水之海淡廠占比接近70%，佔比第二高的技術則為多級閃蒸法，如圖5所示。

雖使用SWRO技術之造水成本已較過往下降，然依據SWCC統計資料，SWRO系統與其清洗系統建設成本，佔總支出成本之30%以上，營運時之能耗更佔整體產水程序之70%以上，且二氧化碳排放及清洗薄膜所需之化學藥劑使用，受永續發展觀念及環保法規要求，仍有技

術提升的必要。

SWRO技術另一個關鍵是鹵水(Brine)處理的生態影響，據統計全球每日有超過350萬噸鹵水排放，鹵水為高度濃縮後之海水，恐影響海洋生態系統和生物多樣性。然而高鹽度係因海水中富含大量化學元素及物質，除鈉、鎂、鈣等常見成分外，更有許多高價值稀有元素，如鋰、銩、鉍等，由於濃縮後鹵水中有價離子濃度較高，可降低其回收難度。若可回收鹵水中有價離子，不但能提高海淡技術之經濟性，更具附帶降低鹵水鹽度及另行開採稀有元素對環境影響的效益，因此鹵水資源化亦為當前技術發展方向。

(一) 逆滲透薄膜系統

逆滲透薄膜系統可分成三大組成，分別是高壓泵(HPP)、能源回收裝置(ERD)及逆滲透薄膜(RO)，過往已藉由如於高壓泵搭配變頻器、將ERD驅動由改為旋轉式(Rotary-Driven)或活塞式(Piston-Driven)、將RO膜組分階(Two Pass、Two Stage)或改變膜材質等手法提升效能，惟隨著科技發展及淨零觀念興起，仍有發展潛能，目前主要著重於結合再生能源、系統操作整合、能源回收及薄膜材料研發等，例舉如下：

1. 以發電廠溫排水作為原水，約可節省5%製程耗能；與發電廠共構或就近設置，亦可減少電力輸送損耗，並具有先混合兩者放流水降低鹽度後再排放之優點。
2. 使用再生能源如太陽能、風力或波浪能(WEC)，減少石化能源使用，進而降低溫室氣體排放量。
3. 與新興發展之正滲透(FO)或壓力延遲滲透(PRO)結合。正滲透(FO)係依靠兩種溶液之間的滲透壓梯度產生，而不需藉外加壓力驅動水往反向流動。與RO相比，其可在極低或幾乎沒有外加液壓的情況下運行，因此可降低能耗。而壓力延遲滲透(PRO)，可整合至RO後端，因RO濃縮液含有高滲透能，可利用半透膜將淡水與溶劑分離，再藉ERD收集增加之滲透壓，並將此能量提供高壓泵使用，減少外加能量。
4. 強化薄膜抗污堵能力(AF-RO)，藉由改變薄膜表面特性如利用塗層或嫁接技術，結合防污材料，降低薄膜污堵與減少清洗頻率。

5. 利用Anti-Microbial Peptide (AMP) 控制生物積垢，過往係以抑菌劑及抗垢劑等因應，然化學藥劑的使用成本昂貴且不符環保理念，故始有AMP作為替代方案。由於AMP係於微生物生長過程中從內部免疫系統自然釋放，故可自然滲透細菌並進而破壞，限制積垢產生。
6. 提高薄膜效能如加入氧化石墨烯(GO)或二硫化鉬(MoS₂)，氧化石墨烯具高強度、高穩定性及高滲透性，其獨特結構可強化脫鹽能力。而二硫化鉬膜其官能基具有更好的抗污能力，在節能程度、膜通量與結垢性等表現更優於石墨烯膜。

另針對系統操作的優化，亦為近年探討範圍。舉例在典型RO系統中，每組壓力容器(Vessel)中設有7支膜元件(Element)，在理想的均勻進流下，每支膜元件將產生總產水量的七分之一(14.3%)。然而，在實際運作的系統中，通常第一支膜元件會產生超過總產水量的25%，而最後一支膜元件只能產生總產水量的6-8%。主要係因當RO產水排出時，濃縮液仍存於壓力容器中，導致進流的鹽度和對應的滲透壓隨之增加；此外由於第一支膜元件產生超過25%的產水量，即表示已使用超過25%的能量，因過多的能量過早被消耗，使得剩餘的膜元件無法在最佳條件下運作，不但提高系統能耗，也導致末端的膜元件產水水質較前端差。

為解決上述問題，階段間設計(Inter-Stage Design, ISD)應運而生，藉由將具有不同產水率和脫鹽率的膜元件組合在壓力容器中，取代過往整個壓力容器中使用單一型號的膜元件，從而實現更均勻的通量分佈。如圖6以七支膜元件組成單元所示，第一支膜元件由於其低透水性，僅產生總產水量的14~18%，從而可保留進流壓力；第二支膜元件則產生約14~16%之總產

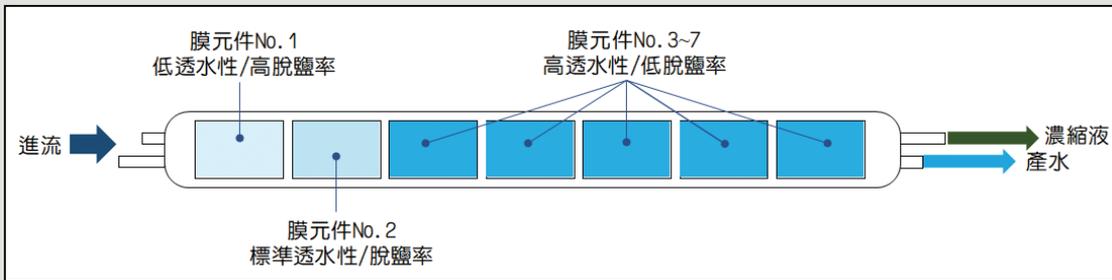


圖6 七支膜元件單元RO系統配置示意圖

水量；剩餘五支膜元件，則採相同的高透水性膜。這種配置在理想情況下，可將膜元件的進水壓力和通量重新分配並均勻化至接近相等的水平，通常可節省5-15%的能量，並降低結垢率。

若針對水質有較高要求，已確認單段式(One Pass)系統無法滿足需求，需採用二段式系統(Two Pass)，反而可利用前述問題來優化。由

轉為著重於如何於鹵水中回收高價值稀有元素，從海水中提取的各種化學物質之相對經濟性，可透過將產品的潛在價格範圍乘以存在的物質總量來粗略估算。以波斯灣之海水為例，經評估每噸海水之有價物質(大於1美元)整理如表7所示，可知鹵水具有潛在經濟價值。

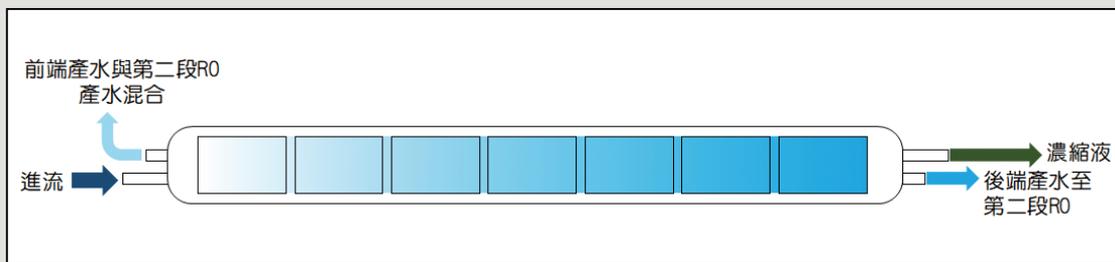


圖7 部份二段式RO系統配置示意圖

於傳統二段式系統係將第一段產水全量引進第二段以提高去除率，勢必增加產水能耗及土建空間需求，故已有業者提出部份二段式系統(Split-Partial-Two-Pass System)，如圖7所示。係將第一段RO後端膜元件之產水(約總產水量之30%)送至進入第二段RO，剩餘70%由第一段RO前端膜元件引出繞流至第二段RO出流端與其產水混合。由於前端進水壓力較高可獲得較佳產水，後端水質稍差產水引入第二段RO再行處理。依實廠經驗，此工法可大幅降低第二段模組數量及能耗，初估可節省約15%能耗及約20%土建空間需求。

(二) 鹵水資源化技術

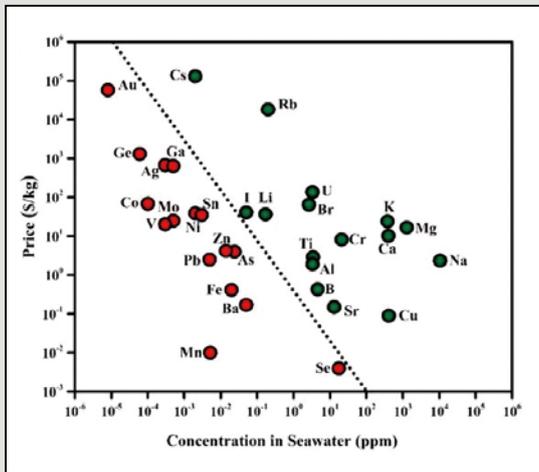
近年隨循環經濟興起，應用範疇逐漸

表7 海水成分之潛在總價值一覽表

終產物	波斯灣海水之估計總價值(美元/千噸)
NaOH、HCl	8,000-12,000
NaCl、MgCl ₂ ·2H ₂ O、Mg、MgSO ₄ ·7H ₂ O	2,000-4,000
K ₂ SO ₄ 、RbCl	500-1,000
Br ₂ 、CaCl ₂	300-500
KCl、CaSO ₄ ·2H ₂ O	200-300
H ₃ BO ₃ 、CaCO ₃	20-40
Li ₂ CO ₃ 、SrSO ₄	10-20
CsCl、I ₂	1-2

資料來源：本文彙整

而圖8則彙整回收鹵水中有價金屬之經濟性，基本上經濟效益隨著元素濃度和市場價值的上升而增加，若能夠找到比從土地開採更具成本效益的技術，則斜線右側之元素皆有發展潛能。其中鋰(Li)、銣(Rb)及銫(Cs)元素，因近年需求量提高，市場價格隨之上揚，增加了從鹵水中藉由濃縮、離子交換、薄膜及溶劑等技術萃取的誘因，惟仍需克服去除地質、天氣和地表水逕流而產生巨大差異。



資料來源：Desalination

圖8 鹵水中回收各類有價金屬元素經濟性示意圖

另近期較著名的技術發展為歐盟於2020~2024年執行的「Sea4Value」專案，係藉由回收鹵水中有價金屬與礦物質，使鹵水成為歐盟內第三大稀缺金屬的來源，除減少歐盟對進口原物料的依賴、幫助工業向循環經濟轉型外，更可有效降低鹵水鹽度。主要透過建立先進之前處理、結晶、濃縮、分離及選擇性回收等技術，以模組化方式從鹵水中萃取Mg、Sc、V、Ga、B、In、Li、Mo、Rb、Ca等10種有價元素，相比傳統一次只能聚焦於單一元素的技术，將具顯著經濟效益。

參、海水淡化水源併入供水系統

海淡水雖較不受水文變異或自然降雨影

響，但碳排放量與鹵水排放問題仍為開發單位必須克服難題，且因取用海水之位置限制，海淡廠目前仍以設置於沿岸地區為主，故如何將海淡水送至主要用水區域，並盡量減少建置及操作成本，為長期探討方向。目前國外海淡水大多採將海淡水併入自來水管網系統進行配送，俾利必要時之水源調度。

水利署綜整考量海淡廠設置需求所在區位、公共給水供水標的、沿海公共給水需求迫切地區及輸水耗能等條件，朝向海淡水併入自來水系統，透過聯通管路輸送至淨水廠、配水池或供水管網，再由台灣自來水公司依據需求統一調度。惟若納入供水管網，因其併入管網點壓力大，將影響聯通之供水管網，故應考量設置專管及配水池，以緩衝供水水質及水量變動。

以近期招標之臺南海水淡化廠為例，由於歷經多年規劃，期間因時空背景轉換，衍生多種供水情境如表8，且於規劃階段即考量到海淡廠預定地位於供水管網系統末端，須以動力輸

表8 供水情境比較表

供水情境	說明
情境一、兩階段分別供應 ● 公共給水(納入管網) ● 南科用水	由於用水端分佈南北不同地點，海淡水納入公共管網系統可統一調度供應；另外南科用水需求量大且集中，可以管線供應為主。
情境二、兩階段皆供應 ● 公共給水(納入管網)	海淡水供應量體大，溪南地區既有管網系統可併入地點有限。
情境三、兩階段皆供應 ● 南科用水	需加強南科對於海淡水接受度，另需再考量枯水期大臺南整體供水及用水調度狀況，避免整體調度仍不足。
情境四、兩階段分別供應 ● 公共給水(專管供工業) ● 南科用水	除南科及周邊用水需求大且集中，其餘工業區用水需求分散，需建立獨立供水管網系統供應至各工業區。

資料來源：臺南海淡廠產水輸配工程調查規劃與管網分析



資料來源：臺南海水淡化廠統包工程(第一期)暨代操作維護機關需求書

圖9 臺南海淡廠輸水管線

送海淡水納入管網系統或專管供應；海淡水納入既有管網系統後，須顧及納入點下游管網系統用水量是否可容納消化供應之水量，及供水壓力與既有管網之平衡，此外，也需同步分析輸水管線於施工時可能遭遇的障礙與對沿線環境的影響等。經綜合評估，規劃將海淡水先行送至台水公司新設之受水池，並保留直供供水管網彈性，以利統一調配，整體設施相對位置如圖9所示。

肆、未來發展展望及挑戰

根據Global Water Intelligence(GWI)研究，全球海淡產能及發展潛力說明如下：

- 中東及北非
為最發達的地區，擁有超過60%的全球海淡產能。係因該地區缺乏自然淡水資源及擁有豐厚之石油收入。
- 亞洲
為產能增長最快的地區。係由於該地區人口增長迅速、經濟持續發展和自然水

資源短缺。

- 歐洲及北美洲
為產能相對較小的地區。這兩個地區仍持續投資於海淡技術，以滿足不斷增長的需水量。
- 南美洲及非洲
為產能最小的地區。惟此兩地區都持續探索海淡水作為解決水資源短缺問題的方案。

考量氣候變遷加劇，科技造水已成趨勢，為降低供水風險，政策規劃上朝向建置分散式供水系統，且隨著產業情勢發展，已可預期新增水源供給量仍落後於需求量，加上傳統水源開發困難，種種因素皆促使政府加速建置海淡廠。依水利署規劃，將於本島分三階段興建，皆為日產水量達萬噸級規模，如圖10所示。其中新竹海淡廠與臺南海淡廠，已於本年度(2024年)以統包方式辦理招標，預計分別於2027年及2028年完工產水；其餘海淡廠則尚處於規劃或環評階段，另於第三階段會於台中地區辦理台中海淡廠之可行性評估。



資料來源：經濟部水利署，本文繪製

圖10 經濟部水利署海水淡化推動規劃進程

為使海淡產業能有效開展，後續於營運面上，規劃將採節能產水操作，配合夏季豐水期地面水量充足，可降載海淡廠產水量，必要時可利用冬季枯水期自然水量不足或夜間餘電滿載產水等操作，降低夏季尖峰時段電力系統負荷，並兼顧供水及供電穩定。於制度面上，基於海淡廠發展佈局，將配合建立典章制度如耗水費徵收、培育相關人才及扶植產業在地化等，促進海淡產業發展。

臺灣四面環海，海淡水為穩定可靠水源，惟由於相對耗能，加諸臺灣自來水水價長期偏低，推估單位產水成本仍約為目前自來水之2.5-4倍，因此開發海淡水之相關策略方案，多限於為特定區域開發需求或屬替代方案規劃，且近年更基於節能減碳及淨零排放需要，如何於達成供水韌性目標下，兼具經濟可行性，將是後續推動海淡產業需面對之挑戰。

參考文獻

1. 經濟部水利署，「以海水淡化供應水資源之環境承載分析與發展研究總報告」，2009年
2. 經濟部水利署，「臺灣各區水資源經理基本計畫」，2021年
3. 經濟部水利署，「水利年報」，2022年
4. 經濟部水利署，「再生水與海淡水的布局」，2022年。
5. Clean water，「Seawater desalination concentrate—a new frontier for sustainable mining of valuable minerals」，2022年。
6. IDA，「DESALINATION & REUSE HANDBOOK」，2023年。
7. SWCC，「The Evolution of WaterReverse Osmosis Technology」，2023年

8. SWCC, 「Capital Cost Elements In the Desalination」, 2023年

9. 台灣循環經濟與創新轉型協會, 「淺談降低逆滲透海淡成本之技術發展趨勢」, 2023年

10. 經濟部水利署, 「臺南海水淡化廠統包工程(第一期)暨代操作維護機關需求書」, 2024年

11. Desalination, 「Integrated seawater hub: A nexus of sustainable water, energy, and resource generation」, 2024年。

12. <https://sea4value.eu/>



供水系統管理工具 創新—全域供水管 網水理模型建置及 節能成效分析

關鍵詞(Key Words)：供水管網(Water Supply Networks)、水理模型(Hydraulic Model)、節能分析(Energy-saving Analysis)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／陳勳融 (Chen, Hsun-Jung) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／工程師／鍾佳蓁 (Chung, Chia-Chen) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／林志墩 (Lin, Chih-Tun) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／空間資訊部／副理／許家成 (Shiu, Chia-Cheng) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／經理／劉偉裕 (Liu, Wei-Yu) ⑤



摘要

自來水供應為已開發國家的指標之一，在極端氣候及淨零碳排的挑戰下，供水事業單位除了提供穩定供水外，減少漏水及節能減碳亦為重要的目標。因自來水供給採壓力管線輸送，除了汰換老舊管線之外，區域管網連通及加壓站操作優化亦為有效之改善方法，但是通常缺乏可重覆測試及驗證之工具。

據上述，本文提供一創新供水系統管理工具，建置全域供水管網水理模型，並以現場實測壓力資料回饋校正後，使得模型結果與現場趨勢達成一致，可做為後續各項情境節能成效分析使用。



Innovative Water Supply System Management Tool - Development of a Hydraulic Model for Global Water Supply Networks and Analysis of Energy-saving Effects

Abstract

Water supply is one of the indicators of development in developed countries. Faced with challenges such as extreme weather and achieving net zero Emissions, water supply utilities not only aim to provide stable water supply but also prioritize reducing water leakage and energy consumption to lower carbon emissions. Since water supply relies on pressure pipeline transportation, besides replacing old pipelines, optimizing regional network connectivity and pump station operations are effective methods for improvement. However, there is a lack of tools for repeatable testing and verification.

Therefore, this article proposes an innovative water supply system management tool. It establishes a comprehensive hydraulic model of the water supply network, which is calibrated with field-measured pressure data to ensure consistency with on-site trends. This calibrated model can then be utilized for subsequent energy-saving effectiveness analyses in various scenarios.

壹、前言

近年來臺灣面臨極端氣候挑戰，在降雨不均情況頻繁發生及全球淨零碳排的浪潮中，供水事業單位除了於使用端宣導節水的重要性外，在不影響供水穩定性的前提下，降低管線漏水率及節能成為首要面對之課題。除了汰換老舊管線之外，區域管網連通及抽水站操作優化亦為有效之改善方法，但是缺乏可重覆測試及驗證之工具。

台灣世曦公司自106年及109年分別承辦臺北自來水事業處「擴大GIS多元運用及支援決策」及「管網水理模型建置應用及工程維運系統擴充」計畫，以內湖供水分區為示範區域，確立全域供水管網水理模型建置流程及方法，並已應用於三重、士林北投及中和永和供水分區，打造完成四組全域水理分析數位孿生模型 (Pesantez J. E. et al., 2022; Bo L. et al., 2020)，用以研析不同情境下節能成效分析。

貳、全域供水管網水理模型建置

一、水理分析軟體及計算公式

本文水理分析軟體採用Bentley WaterGEMS進行模型之開啟、編輯、校正及模擬分析，為一套全面且易於使用之配水壓力管網決策支援工具，已廣泛使用於自來水管網最佳化分析研究 (Switnicka K. et al., 2017; Mehta D. J. et al., 2017)。

管網水理及管線損失以Hazen-Williams方程式計算，如下(式1)所示：

$$h_f = \frac{10.67Q^{1.852}L}{C^{1.852}d^{4.8704}} \dots\dots\dots (式1)$$

式中 h_f 為管線損失，單位為 kgf/cm^2 ； Q 為管線截面流量，單位為 CMS ； C 為管線粗糙係數Hazen-Williams C 值(以下簡稱管線粗糙係數)，為無單位參數； d 為管徑，單位為 m ； L 為管線長度，單位為 m 。

二、水理模型建置

綜整內湖、三重、士林北投及中和永和四處供水分區執行經驗，全域水理分析模型建置流程主要分為四項工作流程(如圖1)，包括供水分區水理模型建立、模型前處理、模型參數檢查及模型設定等，後續小節以中和永和供水分區為範例說明。

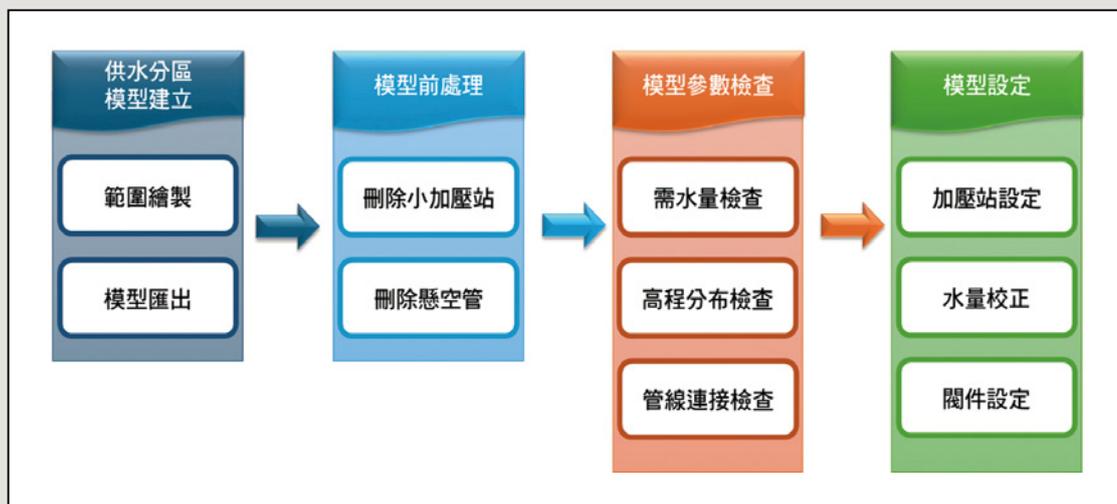


圖1 管網水理模型建立流程

(一) 供水分區水理模型建立

1. 模型範圍繪製及管線拓撲追蹤

於建立特定供水分區水理模型前，應先界定模型模擬範圍，例如是否應包括水源及其輸送管線等，並於此處自行建置之管線圖台上重新繪製範圍後（如圖2），程式將自動追蹤範圍內所有輸、配水管線，並匯出水理模型檔案。

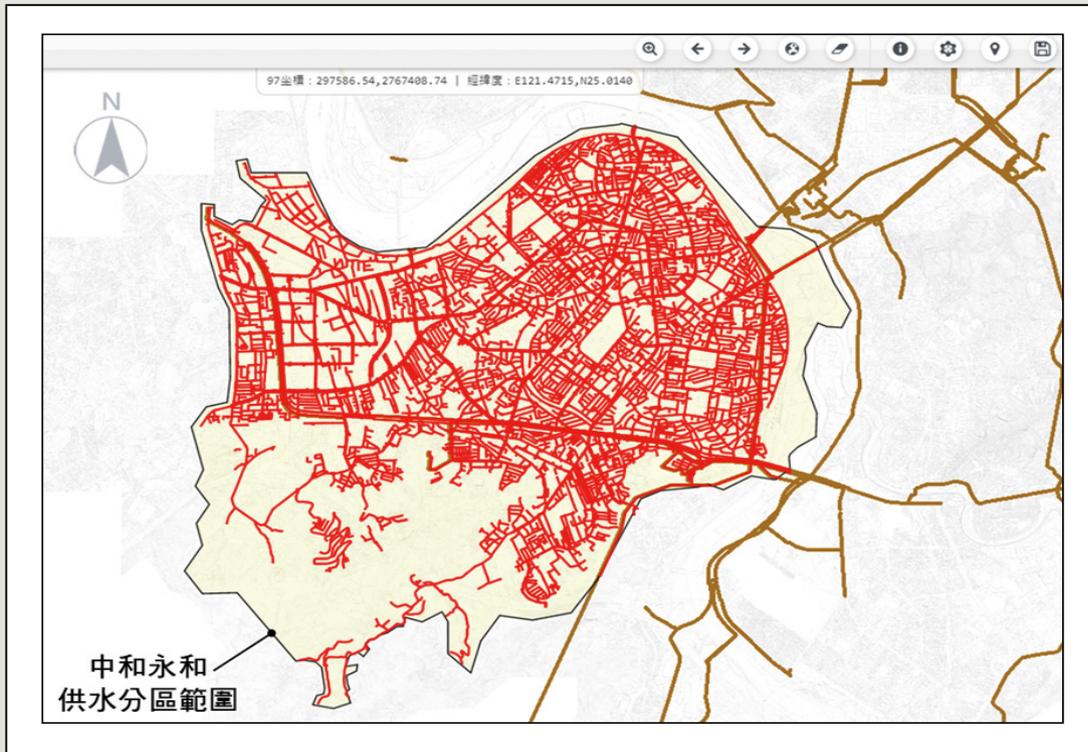


圖2 中和永和供水分區模型範圍繪製及自動追蹤範圍內管線

2. 用戶水量分配

節點之需水量是由程式依照使用者所框選的範圍，自動從水費系統中對應水表號並將其最新一期的抄表資料帶入，分配方法係採用所有水表尋找最鄰近節點方式分配，在找到最鄰近之節點後，水量採平均分配給輸配水管兩側之節點，如圖3所示。

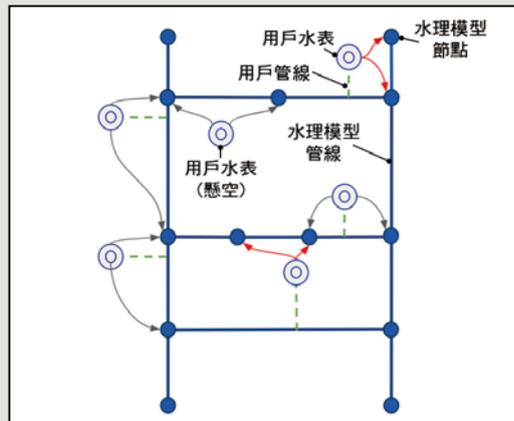


圖3 水量分配示意圖

3. 節點高程計算

水理模型內節點高程為計算管線端點餘壓之重要參數，計算方式是採最新數值地形模型（DTM）高程資料，於臺北市轄內精度為1mx1m；新北市轄內精度為5mx5m，由節點所在座標位置，由程式以內差方式推估後帶入節點中。

4. 管線粗糙係數預設值

管線粗糙係數為計算管線損失之重要參數，依據管材及管齡而有所差異，經文獻結果顯示，於自來水管網中常用之鑄鐵管，其管線粗糙係數全新管為130，趨勢隨管齡而下降，詳表1所示，由程式依管線使用年限內插管線粗糙係數後帶入水理模型中。其他管材如PVC及HDPE等塑膠管，則與管齡無關，全新管粗糙係數Hazen-Williams C值為150。

表1 鑄鐵管管線粗糙係數隨管齡衰減趨勢

使用年限	Hazen-Williams C值
全新管	130
5年	120
10年	110
20年	90-100
30年	82.5-90
30年以上	82.5

(二) 模型前處理

全域水理模型匯出後，採用水理模型分析軟體開啟，並依各供水分區特性，判斷是否需

要刪除小加壓站作為一個單一節點需水量模擬及懸空管之處理方式，分別說明如下：

1. 刪除小加壓站作為單一節點需水量模擬
為降低水理模型複雜度及運算時間，如全域供水分區內包括小型加壓站系統，則將小加壓站供水區域管線移除後，於小加壓站進水管位置簡化為單一節點需水量作為替代，由於中和永和供水分區內無小加壓站，另以圖4示意。
2. 懸空管處理

在水理模型中懸空管線的存在會導致水理分析的失敗，目前自來水管線圖資資料庫中，仍有部分管段未與輸配水管相連接，形成模型中的懸空管線，其來源可能是未從資料庫移除的廢棄管線、小型水池後端的給水管或是一開始繪製圖資時便沒有正確繪製所造成。

以中和永和供水分區為例，主要發生懸空管的態樣及處理方式分為以下三類：

- (1) 管徑 $\geq 75\text{mm}$ 以上管線，以小於 $\geq 75\text{mm}$ 之管線連接（如圖5）

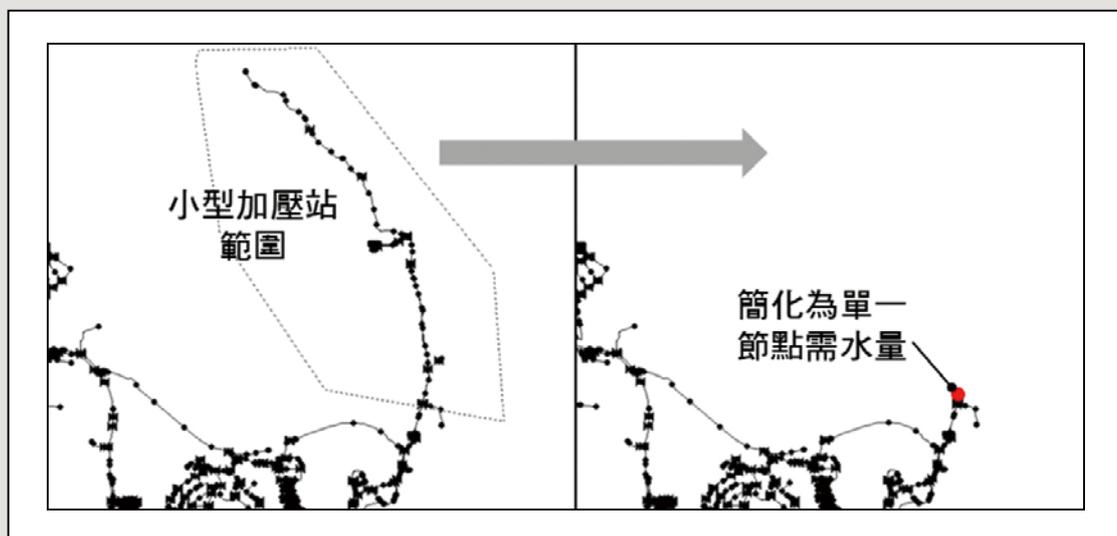


圖4 小加壓站以單一節點需水量模擬示意圖

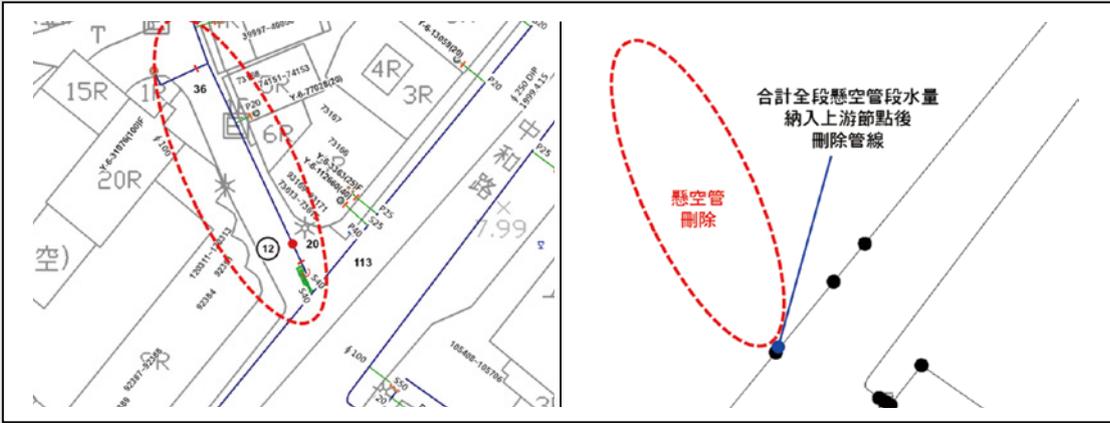


圖5 中和永和供水分區懸空管態樣（一）

處理方式採總計懸空管段節點水量後，依據管網流向，將水量納入上游節點後刪除管線。

(2) WebGIS圖資上之不明管線（如圖6）
處理方式採直接刪除。

(3) 社區內用戶內管（如圖7）
處理方式採直接刪除。

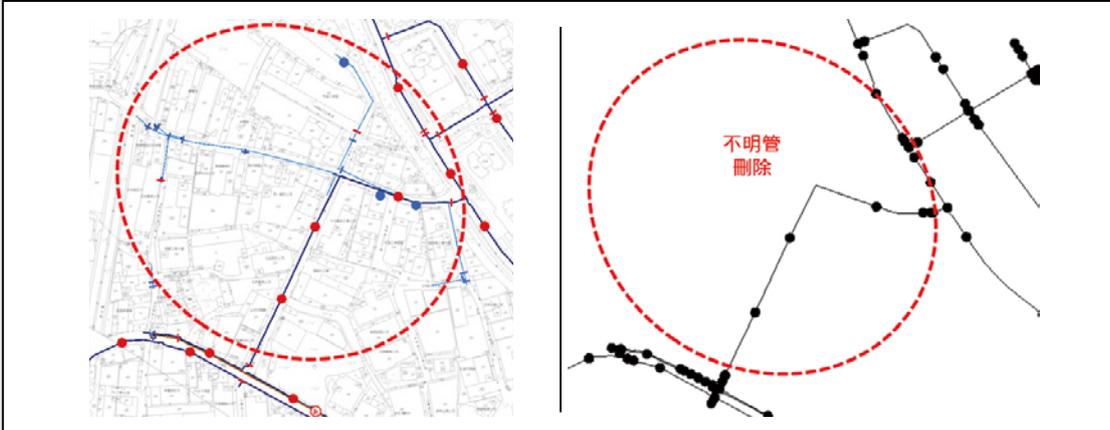


圖6 中和永和供水分區懸空管態樣（二）



圖7 中和永和供水分區懸空管態樣（三）

(三) 模型參數檢查

完成模型前處理後，在執行水源參數設定前，應先進行相關參數及管線連接檢查，包括全區需水量分布情形及節點高程分布之合理性確認，以增進水理模型的可靠度。

1. 需水量分布檢核

經擷取中和永和供水分區水理模型檔案中所有節點座標及需水量資料，繪製供水分區內需水量等值線如圖8所示，並經北水處確認後，研判區內需水量分布尚屬合理，並標記高用水量用戶說明如下：

- (1) 中和永和供水分區區內最大用水戶為地區醫院。
- (2) 其他高用水戶主要為區內之工廠或商辦大樓，包括捷運橋和站及捷運南勢角站週邊之工業區及工廠。
- (3) 亦有部份用水熱點位於學校或是大型社區附近。

2. 高程分布檢核

全區高程檢核方式與節點需水量做法相同，擷取出供水分區水理模型檔案中所有節點座標及高程資料，繪製區內等高線分布，如圖9所示，其中全區高程

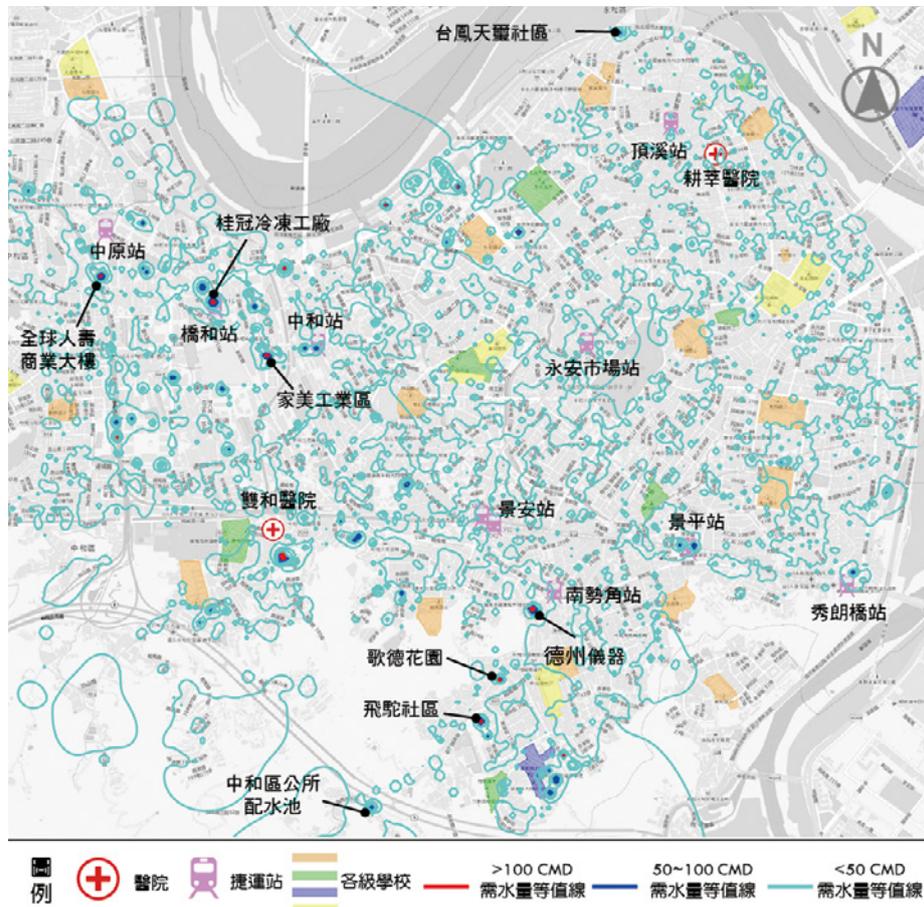


圖8 中和永和供水分區需水量分布圖

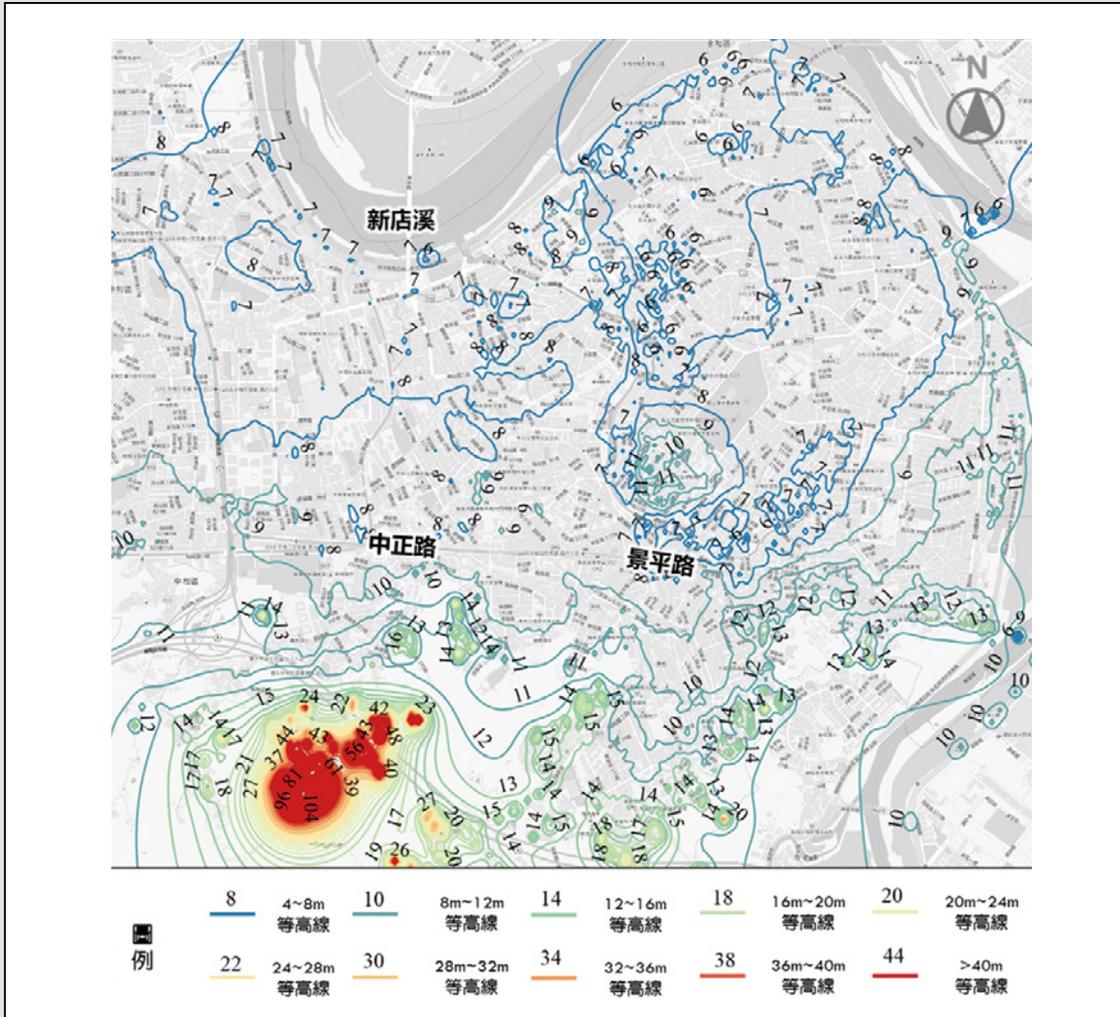


圖9 中和永和供水分區節點匯出等高線分布圖

多低於E.L. 20m，在國道3號南側之區域屬山區，地表高程隨地勢增加，最大高程約E.L. 176m。

經與國土測繪中心公告5m DTM高程資料所建立之中和區3D模型（如圖10所示）比對後，與全區高程趨勢一致，顯



圖10 中和區3D高程分布圖

示水理模型匯出之高程資料應屬合理。

(四) 模型設定

在基本參數檢查無誤後，最後執行模型模擬參數設定，包括加壓站設定、水量校正及供水分區內閘件開度設定作業。

1. 設定水源資訊

水源可採用水庫或配水池兩種型式設置，並依照使用者需求設置加壓泵。在中和永和水理模型中，模型匯出時加壓站是以水庫代表其位置，現況配置5台管中加壓泵，因此可將用來表示加壓站位置的水庫刪除，改設置為泵浦元件，並增繪管線及節點用以銜接配水池、泵及管網，如圖11所示，再輸入水池、泵等實際資料進行分析。

2. 水量修正

由於節點需水量是將從水費系統撈取的用戶水表讀數直接帶入，並未考慮管線漏水、無收益水量等因素。造成整個管網的需水量與實際加壓站所送出的水量差異甚大。因此依據質量平衡守則，在做模擬分析時應先利用加壓站所測得的出水量，來修正管網各節點之需水量，才能取得合理的水壓、流量分析結果。

中和永和供水分區修正水量所採取的方式，是採現場水壓量測期間之最大需水量，以利於後續水理模型校正使用，中和加壓站中和線的實際監測出水量加計中和配水池及各補壓點水量，與管網總需水量之比值做為修正依據，如(式2)所示。

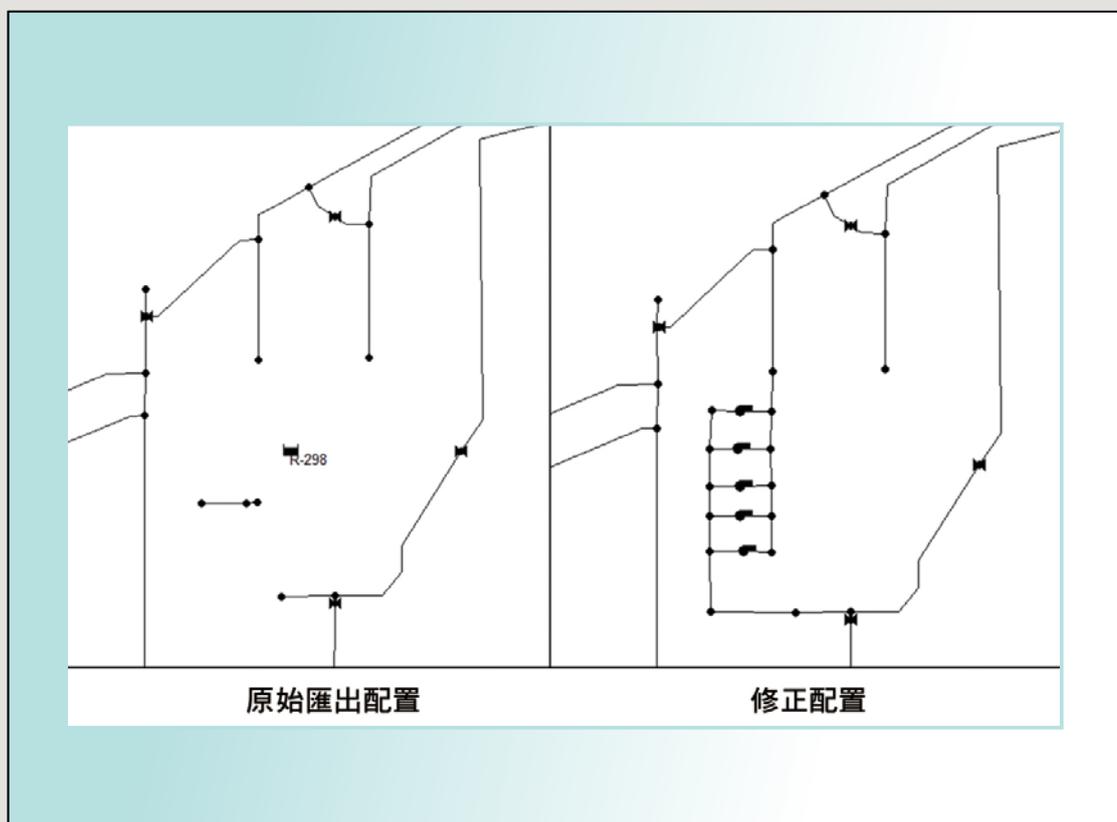


圖11 中和加壓站設置示意圖

水量修正比例=

$$\frac{(\text{中和加壓站中和線出水流量總和} + \text{中和配水池出水流量} + \text{各補壓點水量})}{(\text{中和永和供水分區模型節點水量總和})} \dots\dots\dots (\text{式 2})$$

3. 管網內閥件啟閉設定

供水分區內閥件啟閉將大幅影響水壓分布趨勢，故於執行水理分析前，應先清查全域供水分區內執行常態控制之閥件及控制情況，目標對象為 ϕ 500mm 以上閥徑，採以閥件K值設定進行調校，閥件之K值是由依各別閥徑在不同開度下進行流量試驗所得之損失係數Cv值換算，換算公式如（式3）所示，K值列表如表2。

$$K = 1.6 \times 10^{-3} \times \frac{d^4}{(0.86 C_v)^2} \dots\dots\dots (\text{式 3})$$

4. 執行初步水理模型分析

前述管網處理步驟完成後，便可執行初步模擬分析。並利用水理分析結果，觀察節點壓力、管線流量等數據，判斷管網模型之合理性，中和永和供水分區管網分析結果示意如圖12所示，並繪製等壓線分布與後續校正結果比較，如圖13所示。

表2 不同管徑及開度K值列表

管徑	開度								
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
mm									
500	689,837.861	216.098	48.249	10.272	3.235	1.181	0.472	0.210	0.174
550	684,977.010	212.578	47.475	10.105	3.182	1.162	0.464	0.206	0.171
600	579,272.245	187.752	41.892	8.924	2.810	1.026	0.410	0.182	0.151
650	571,254.732	187.792	41.896	8.925	2.810	1.026	0.451	0.182	0.151
700	577,128.778	187.815	41.873	8.922	3.272	1.294	0.559	0.236	0.151
750	558,768.667	187.237	41.731	10.325	3.957	1.643	0.702	0.303	0.171
800	437,580.541	155.517	38.604	11.611	4.661	2.085	0.899	0.383	0.190
850	434,168.620	155.252	38.527	11.587	4.652	2.081	0.897	0.382	0.190
900	394,267.171	155.522	38.612	11.614	4.662	2.086	0.899	0.383	0.190
1000	306,594.605	123.637	30.696	9.233	3.707	1.654	0.713	0.304	0.151
1050	21,465.657	156.810	32.177	8.984	3.567	1.381	0.529	0.230	0.190
1200	21,668.322	155.851	32.000	8.940	4.791	1.711	0.527	0.229	0.189



圖12 中和永和全域供水管網水理模型初步分析結果示意圖

三、管網水理模型校正

前述初步產製之全域供水管網水理模型，與現場管網中監測結果仍存在差異，主因係因為水理模型中所預設之管線粗糙係數，會受到管線內之生物化學反應或物理沉積作用，隨時間會產生相異的變化，但管線埋設後即無法測量管內粗糙度之變化，所以藉由於供水分區管網內同時多點實際水壓量測值作為目標，執行管線粗糙係數校正作業，使管網的壓力值更加趨近實測水壓值，確保管網用於後續模擬分析時之可靠性，校正流程說明如下：

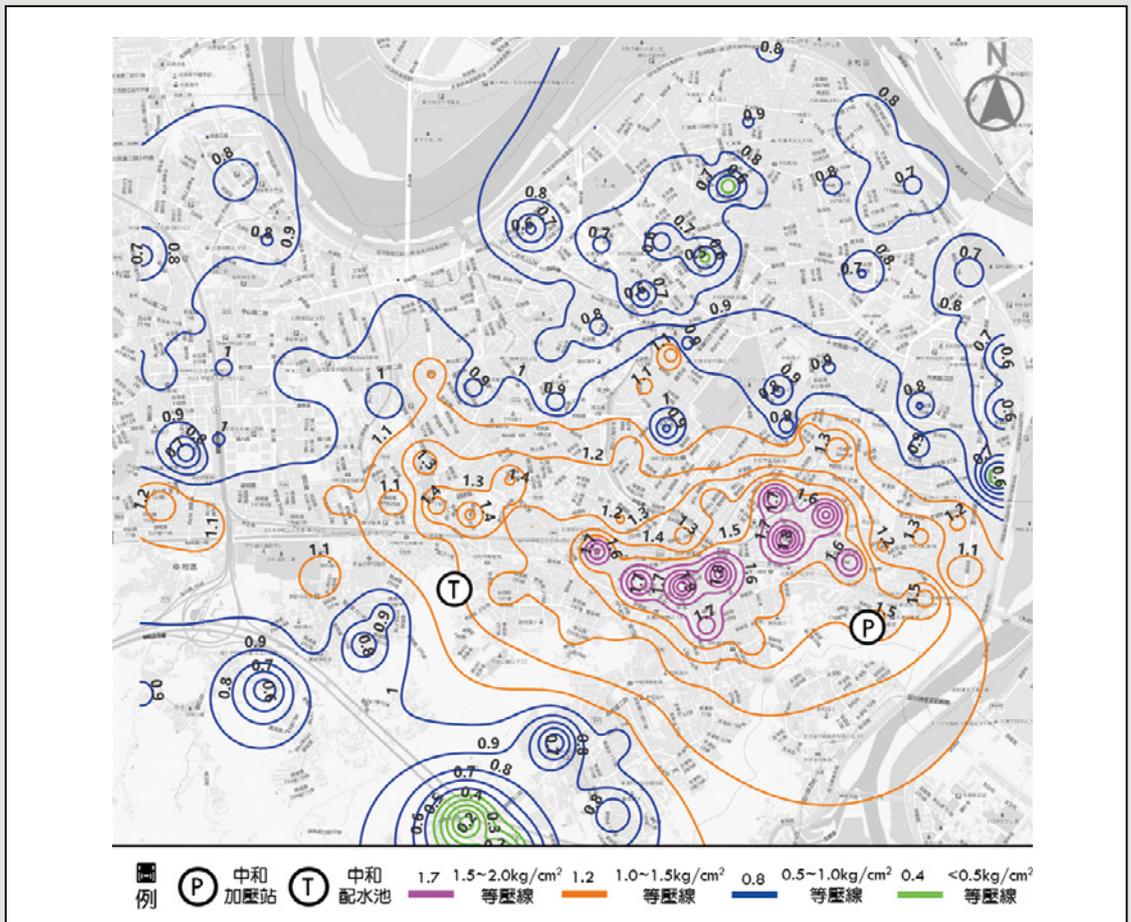


圖13 中和永和全域供水管網水理模型初步分析（校正前）等壓線分布

1. 現場水壓量測作業

水壓量測數量依各供水分區之範圍及特性決定，於中和永和供水分區水壓量測之消防栓數量設定為140點，並平均分配於供水分區內瞭解其供水壓力分布狀況，現場設備安裝照片如圖14所示。而為了能將現場量測與模型校正的效能最大化，依照下述原則進行待量測消防栓之選定，如圖15所示。

2. 現場水壓量測分析

完成現場水壓量測後，應對結果進行量測分析以檢視其合理性，故以140點次量測後之校正目標值，繪製水壓量測等壓線結果，如圖16所示。



圖14 中和永和供水分區水壓量測設備安裝示意圖

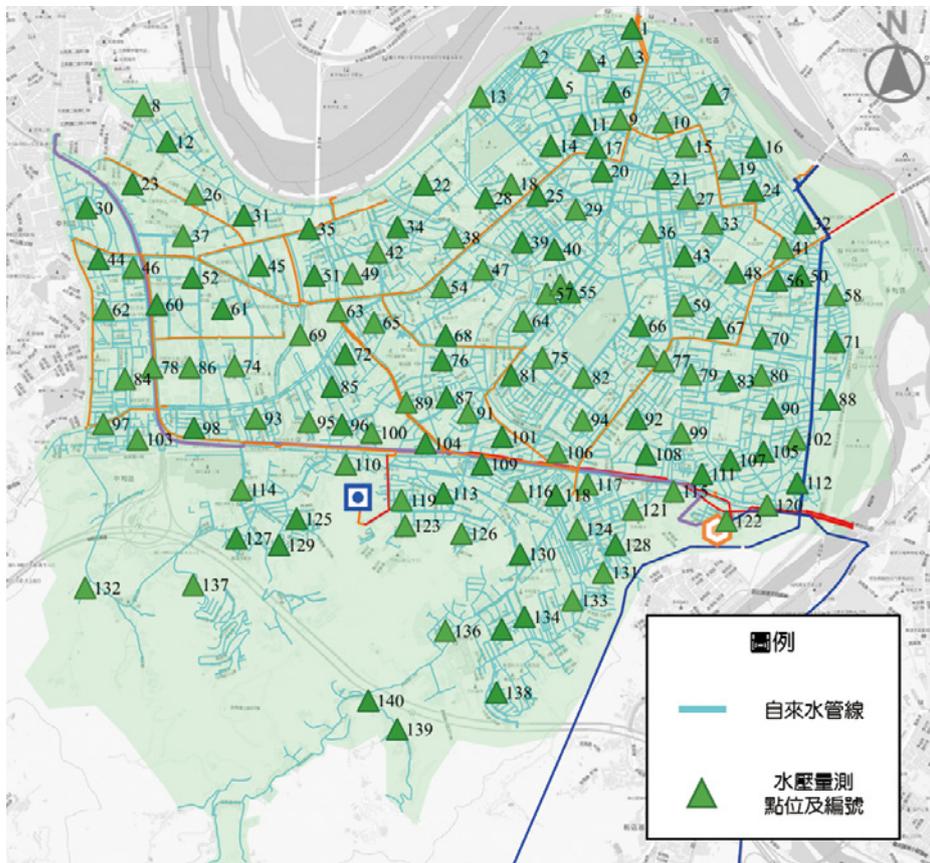


圖15 中和永和供水分區水壓量測點位分布圖

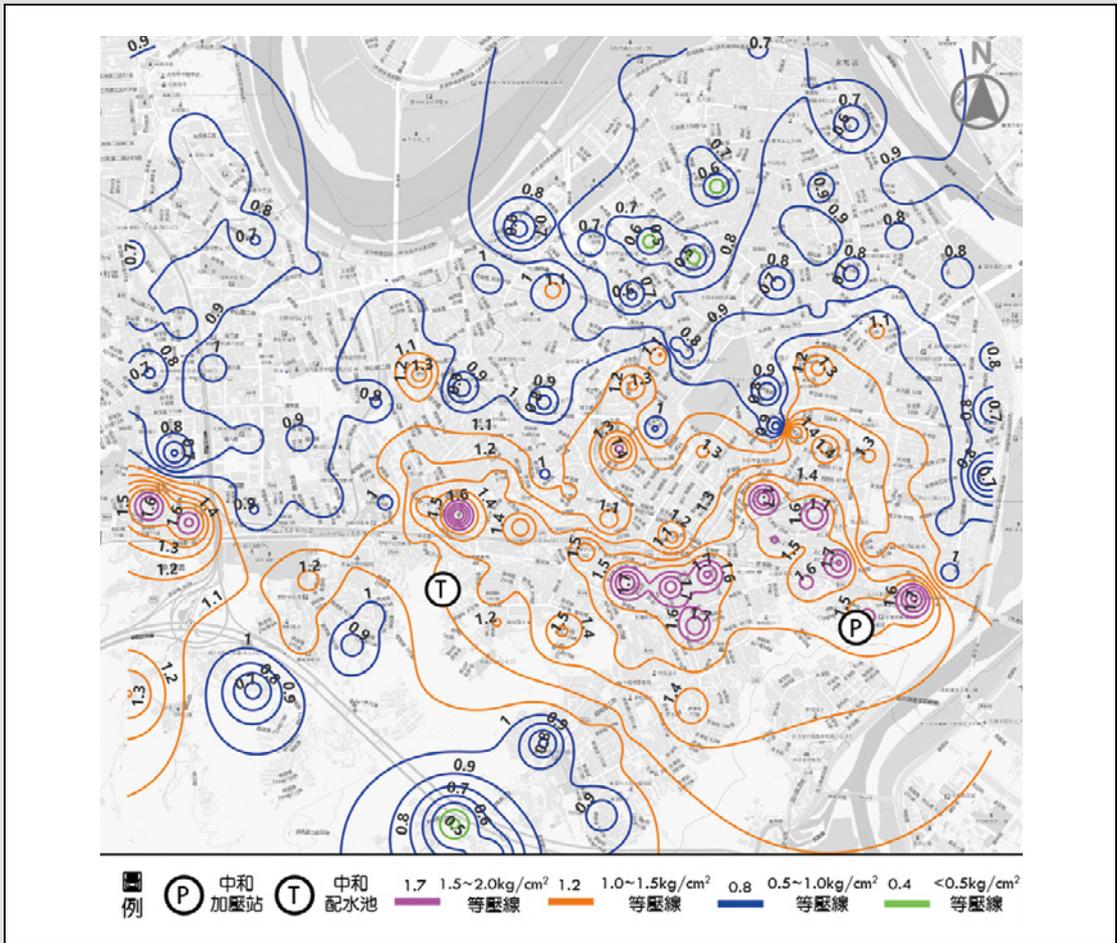


圖16 中和永和供水分區水壓量測校正目標值等壓線分布

結果顯示於國道3號以南、台64高架以西、中山路一段60巷及民樂街等區域，水壓低於 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ ，上述區域主要為供水系統邊界或是地表高程較高之處，其餘水壓分布結果，皆大於 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ ，鄰近中和加壓站之管網水壓量測值最大可達 $1.8\text{kg}/\text{cm}^2$ ，可說明量測結果符合現場供水情況。

3. WaterCali自行開發校正軟體

校正作業採自行開發之WaterCali執行，係基於基因演算法研發建置之單機校正軟體，具免安裝以及操作簡便直觀之優點，操作介面及流程簡要說明如下：

(1) 軟體介面

WaterCali開啟後如圖17所示，功能介面分為六大區，包括資料輸入區、基因演算法參數設定區、管線摩擦係數校正區間設定區、管線分組設定區、校正結果顯示區與功能鍵區。

(2) 校正步驟

■ 準備待校正水理檔案

於校正開始前需要準備資料為待校正目標供水分區水理模型檔案，在輸入校正程式前，應先使用水理軟體調整節點需水量(Base Demand)，並完成水源及出水

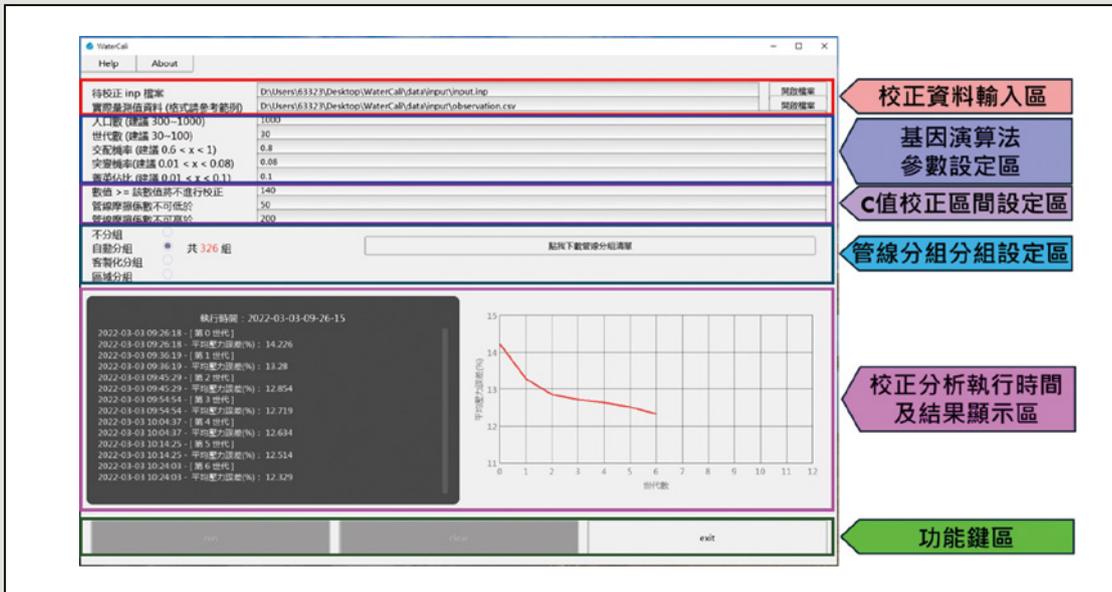


圖17 WaterCali介面示意圖

壓力之設定。

■ 彙整實際壓力量測資料

校正作業第二步驟為將欲校正時間之實際壓力量測資料彙整成.csv檔，包括ID (序號)、Node_ID及現場實測壓力，其中各實際量測點之Node_ID應與水理模型檔案中一致，如圖18所示。

	A	B	C
1	id	node_id	pressure
2	1	431369	0.6395
3	2	368403	0.853167
4	3	360523	0.986833
5	4	408601	0.940017
6	5	355434	0.84925
7	6	357369	1.042667
8	7	353158	0.672817
9	8	364358	0.856517
10	9	351102	0.667167
11	10	349755	0.677333
12	11	349729	1.0835
13	12	349517	0.665
14	13	346612	0.8147
15	14	346551	0.726467
16	15	359355	0.5934
17	16	345429	0.615667

圖18 實際壓力量測資料彙整示意圖

■ 管線摩擦係數校正區間設定

為使校正結果符合管線摩擦係數物理特性，故WaterCali改版後新增管線摩擦係數校正區間設定，可對塑膠材質管線（管線摩擦係數預設值為150）管線摩擦係數較不隨管齡變化之族群排除，另外亦可對管線摩擦係數校正範圍設定最大及最小值，以確保水理模型校正結果落在合理區間。

■ 選擇分組方式

WaterCali校正式提供四種管網分組方式，包括不分組，即一根管線即為一組，分組數量由水理模型中管線數量決定；自動分組為以相同C值及管徑為一組，於中和永和供水分區共分為312組；客製化分組，即使用者可自行定義分組方式；區域分組則配合不同供水分區特性，如區內有眾多小型加壓站供應，可自行定義分區範圍後，匯入程式中執行分區校正。

■ 點選run進行校正

在完成上述輸入檔及參數設定後，即可執行軟體運行校正作業。

(3) 校正結果

中和永和供水分區校正後模擬結果如圖19所示，誤差在20%內的點位共有114點，占總數81.4%，符合校正量測點位80%數量誤差範圍於20%內之需求，且

其中誤差小於10%從57點增加至70點，顯示整體供水分區壓差有明顯改善，各點位壓差絕對值與誤差往較低區間靠攏，惟誤差較大之點位仍多維持在管線末端之區域，如圖20所示。

由校正後等壓線結果如圖21顯示，壓力分布趨勢較初步分析結果（圖13）接近於校正目標值之結果（圖16）。

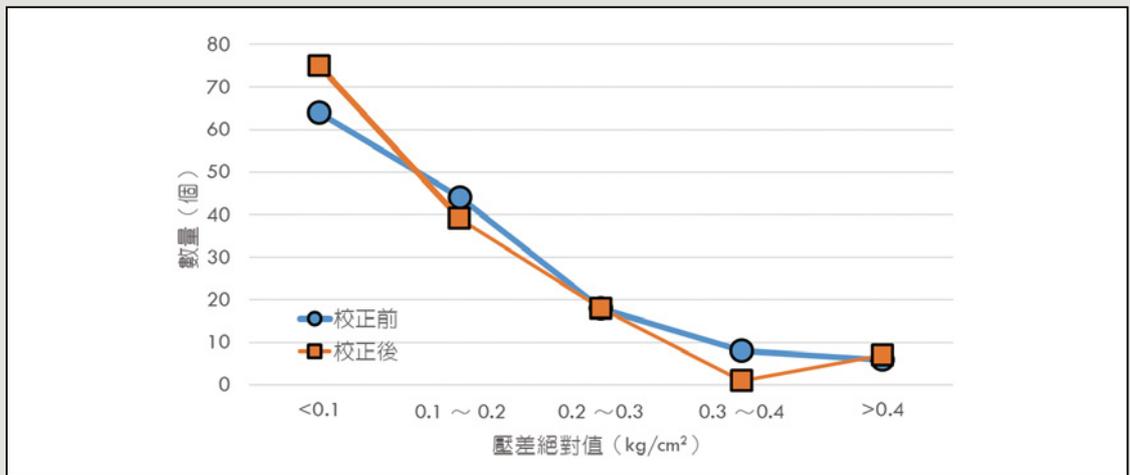


圖19 中和永和供水分區校正前後模擬與實際壓差變化圖

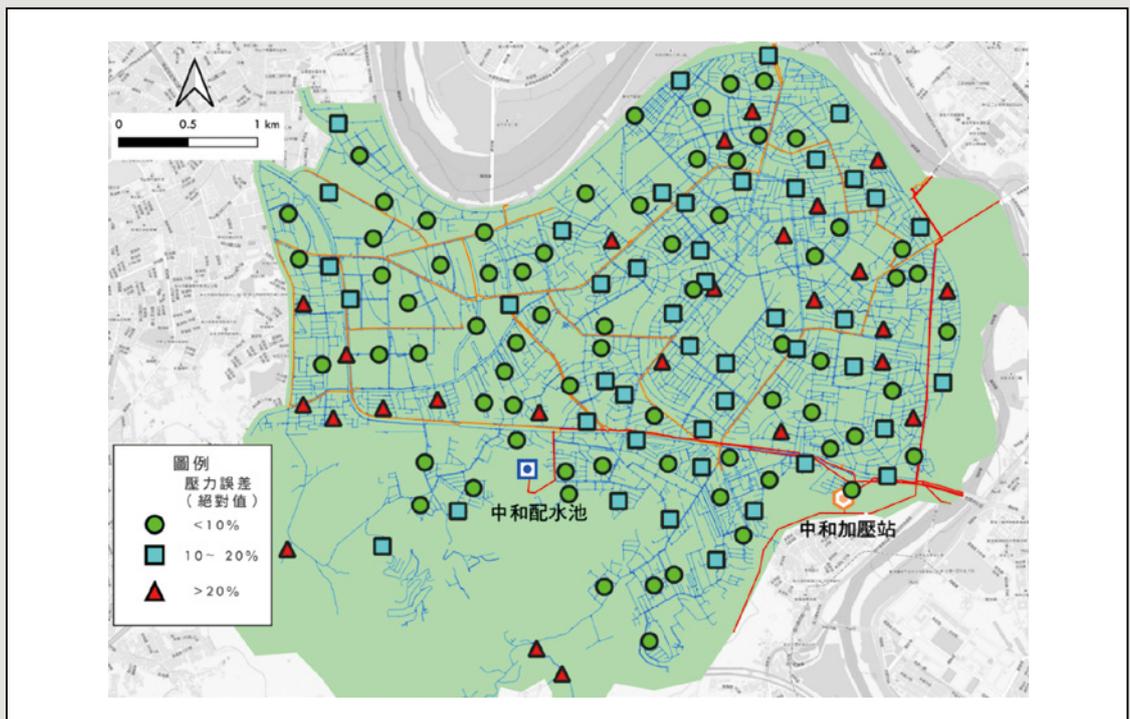


圖20 中和永和供水分區管網校正後壓差分布

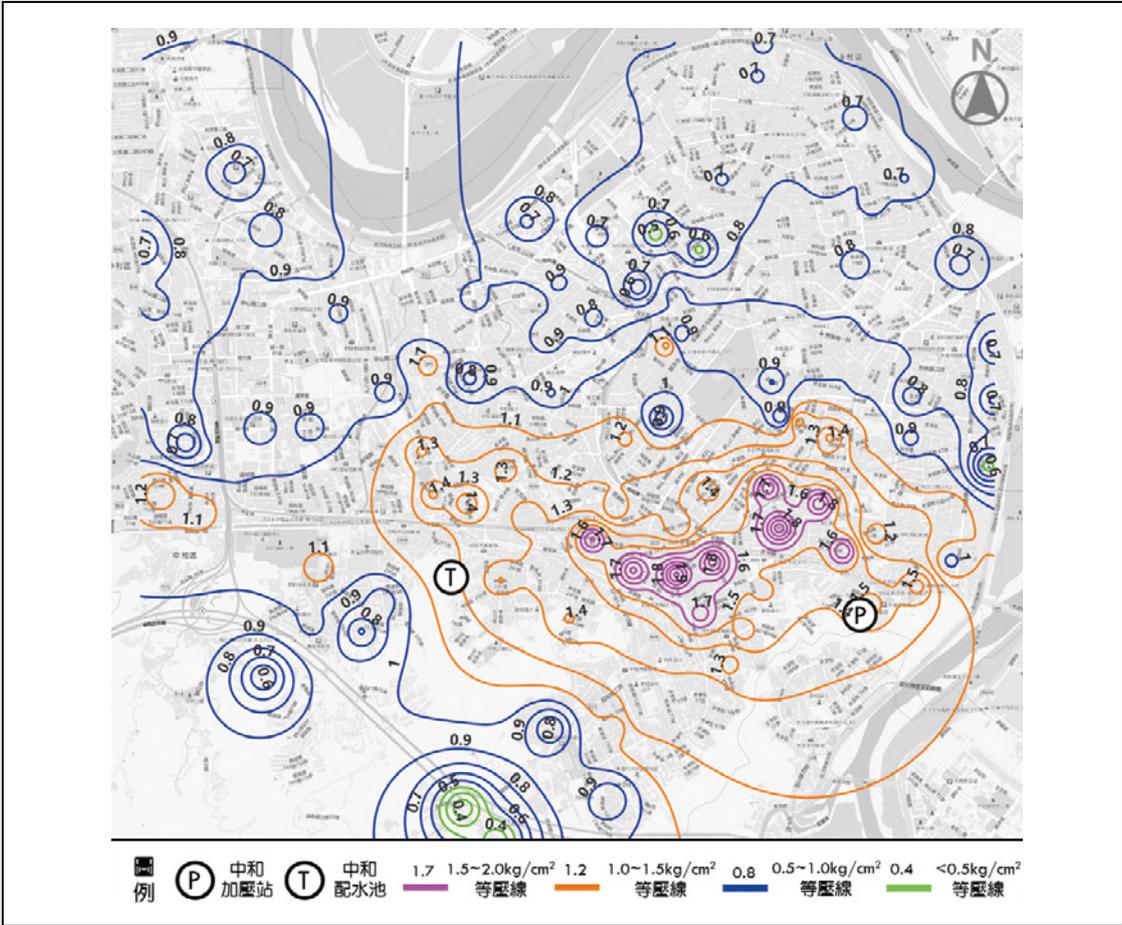


圖21 中和永和全域供水管網水理模型校正後等壓線分布

參、節能成效分析案例

一、三重供水分區

(一) 分區特性

三重供水分區主要由公館加壓站三重支線負責供水，管徑為 $\phi 1650\text{mm}$ ，出水量為18~30萬CMD，夜間尖峰時另由三重加壓站負責配合公館三重支線，加壓供水至三重供水分區全區，區內無其他小加壓站，另於供水邊界與台水管網串接提供支援，詳圖22所示。



圖22 三重供水分區管網特性圖

(二) 節能成效分析案例

1. 模擬情境

以109年做為基準年情境，北水處規劃於20年後（129年）連通忠孝路二段 ϕ 1000mm管段及建置環北幹線（如圖23所示），以期望改善尖峰用水時段北三重用戶壓力略為不足之情形。

2. 模擬結果

推估20年後（129年）最大時需水量條件，整體三重供水分區內流量較基準年（109年）並無明顯下降，然經忠孝路二段 ϕ 1000mm管段及環河北路幹管連通後，三重供水分區全區供水節點壓力有99%以上可達 0.5kgf/cm^2 ，較109年基準年提升23%，如圖24所示。且幹管連通後三重加壓站阻抗曲線較基準年最高出水水頭下降16.4%，顯示三重供水分區管網藉由幹管連通後，可使輸水

阻力降低，減少加壓站能源消耗，如圖25所示。

二、士林北投供水分區

(一) 分區特性

士林北投供水分區主要由位於新生公園的大同加壓站北投線及關渡線供應，並再以北投、大度與天母等管中加壓站中繼加壓，尖峰時段則有大度配水池與天母低地配水池共同供水支應，相關供水設施如圖26所示。

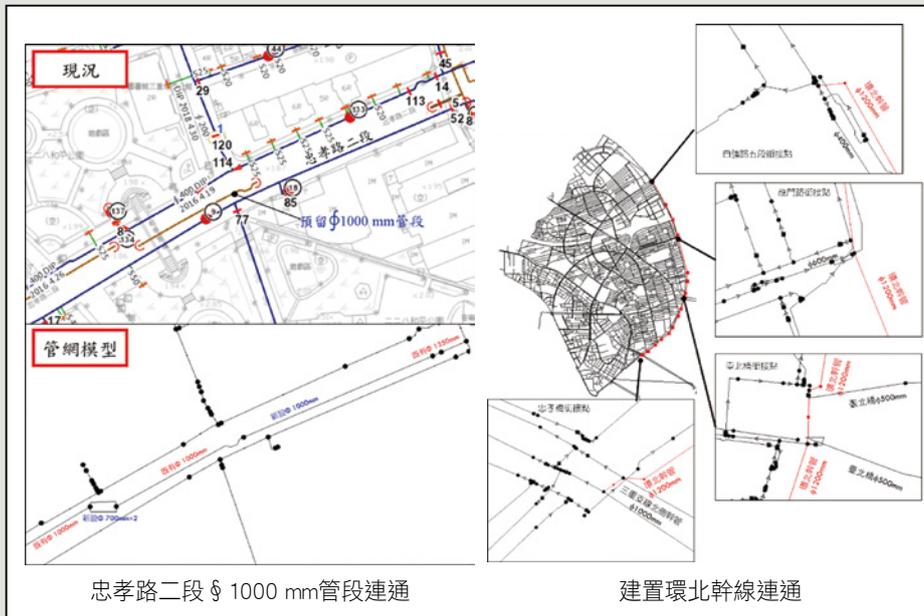


圖23 三重供水分區環北幹線銜接示意圖

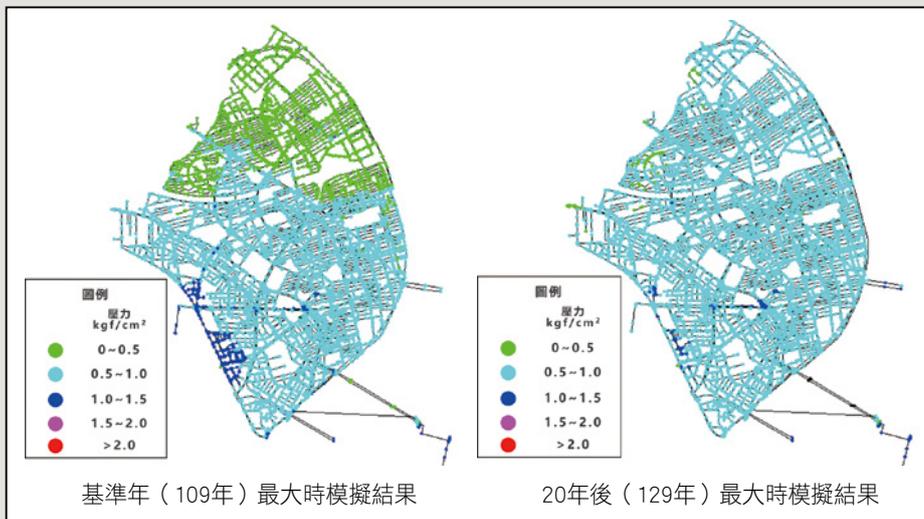


圖24 三重供水分區環北幹線銜接示意圖

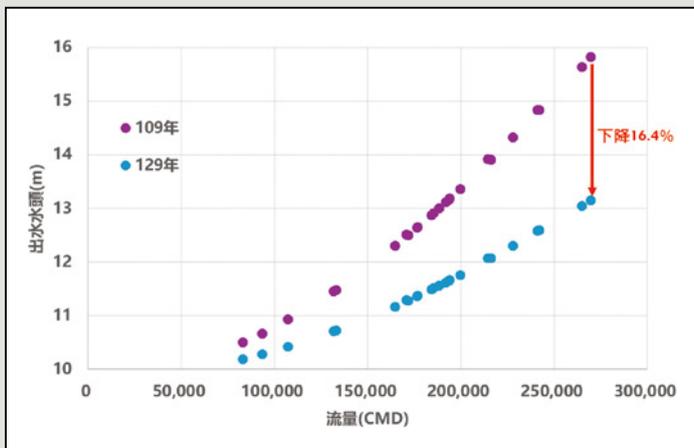


圖25 三重加壓站管網阻抗曲線



圖26 士林北投分區管網特性圖

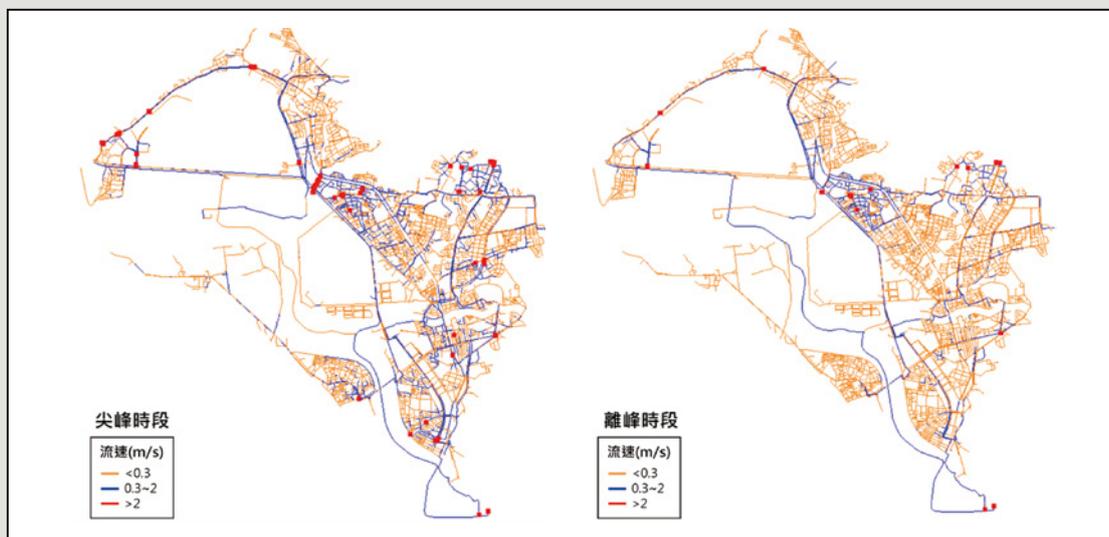


圖27 北投線與關渡線供水系統之管網承載能力分析圖

(二) 節能成效分析案例

由於水體的不可壓縮性，不同管徑的輸配水管所能承載的輸送水量也不同，若管線流速過快，則會增加管段水頭損失，使供水壓力急速下降，造成供水瓶頸，使供水能耗增加。

因此，透過分析水理模型模擬成果中管線之流速與管損，查找士林北投供水分區管網的供水瓶頸，如圖27標示流速>2m/s之瓶頸段，其中以北投加壓站出流管之 ϕ 500mm瓶頸段為例，該管段前後管線皆為 ϕ 1,000mm，如圖28所示，在最大時條件下流量約3.5萬CMD，單位管損雖僅約0.02m/m，然管線長度達250m，水頭損失估計逾5m，故建議可更換為 ϕ 1,000mm管線，或增加其他連接管段分擔管段供水壓力，即於水理模型中置換瓶頸段之管線管徑或新增管線，如圖29為新增其他管段示意。

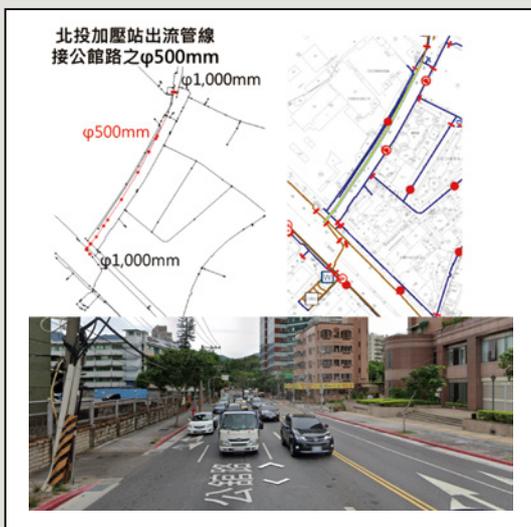


圖28 公館路建議更換管段示意及街景圖



圖29 供水瓶頸段採新增管線方式進行改善模擬

最後，因採取管汰或新增管線之方式改善供水瓶頸段，可降低士林北投供水分區加壓站的供水出壓，進而減少泵浦耗能，達到節能減碳的目標，由圖30管網阻抗曲線可觀察到，改善瓶頸管段前後整體出壓下降，再以簡易耗能計算公式（式4）量化節能效益，如表3為改

善供水瓶頸段後北投與大度加壓站可減少之出壓，預估每年可節省相當可觀的電費，進而與工程費用比較，輔助北水處進行管汰工作決策評估。

$$\Delta E = \rho \times g \times \Delta h \times Q \times t / \eta \dots \dots \dots (式 4)$$

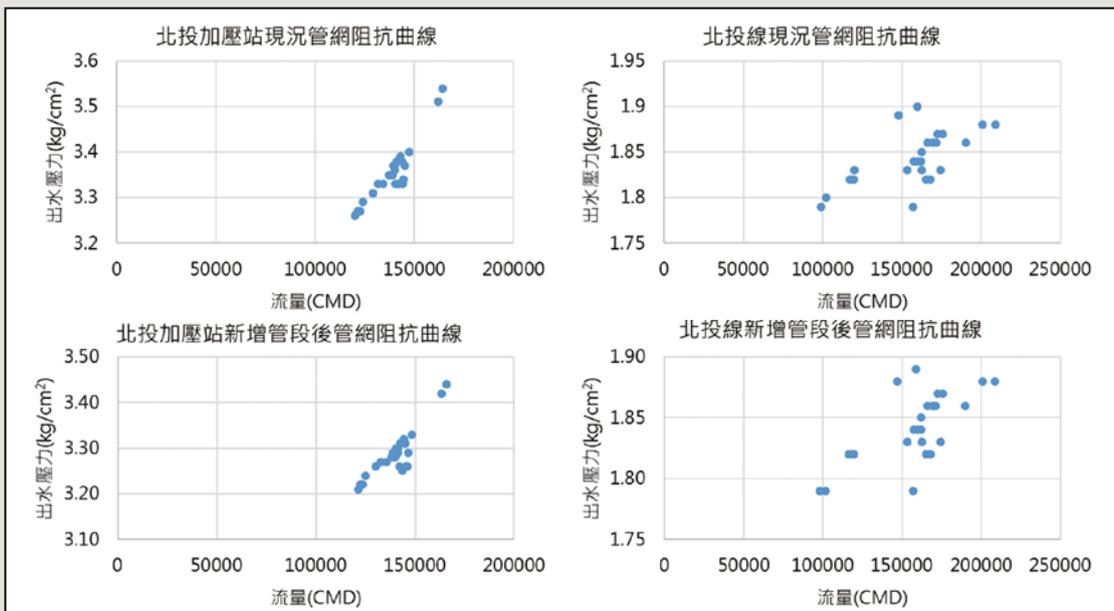


圖30 改善瓶頸段前後之管網阻抗曲線

表3 改善瓶頸段後之節能減碳效益

加壓站	減少出壓(m)	流量(m ³ /d)	減少用電度數(度/月)	換算電費(元/年)
北投加壓站	4.28	166,074	116,216	6,972,960
大度加壓站	0.3	113,096	5,547	332,820

三、中、永和分區

(一) 分區特性

中和永和供水分區供水幹管主要由清一幹

線及清二幹線分支進入中和加壓站，清一幹線於清水第二隧道後往北分支進入中和消壓塔，管徑為 $\phi 2000\text{mm}$ ；清二幹線於秀朗橋東側分支中和支線，過新店溪後沿景平路及秀峰街進入加壓站內，管徑亦為 $\phi 2000\text{mm}$ ，中和永和供水分區內主要供水設施為中和加壓站及中和配水池，另以專管支援台北板橋地區用水，如圖31所示。



圖31 中和永和供水分區管網特性圖

(二) 節能成效分析案例

1. 模擬情境

中和永和供水分區於興南路二段及華新街管線末端地勢較高之區域，在尖峰用水時段容易產生負壓之狀態，地勢分布約從9.14m至35.95m，如圖32所示。

為避免採用二次加壓方式增加能耗，規劃以埋設專管方式進行壓力改

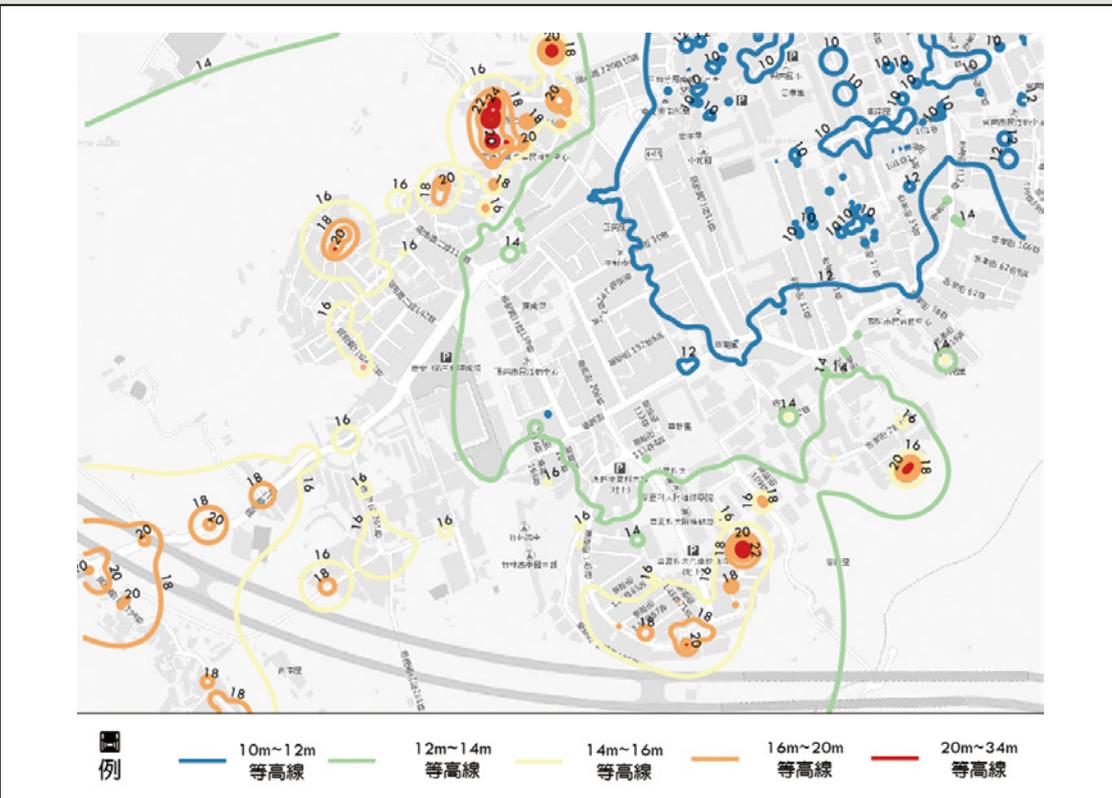


圖32 興南路二段及華新街區域等高線圖

善。興南路二段末端之高程約近20m，而在地勢較低處供水壓力足夠之區域（如景平路及安樂路），高程約8~9m之間，採專管供應之分水點壓力需克服地勢高差及管損，故初估壓力需有2.0kg/cm²以上。經查在最大時模擬條件下，於興南路一段 ϕ 700mm 幹管末端節點壓力尚有2.29kg/cm²，故規劃由此節點銜接至興南路二段74巷口 ϕ 200mm 管段，管線

總長約1,050m，管徑為 ϕ 400mm，如圖33所示。

2. 模擬結果

興南路二段末端管線壓力優化前後節點壓力分布如圖34所示，其中華新街一帶管線壓力可提升至1.0~1.5kg/cm²之間，興南路二段最末端之節點亦由負壓提升至0.0~0.5kg/cm²之間。

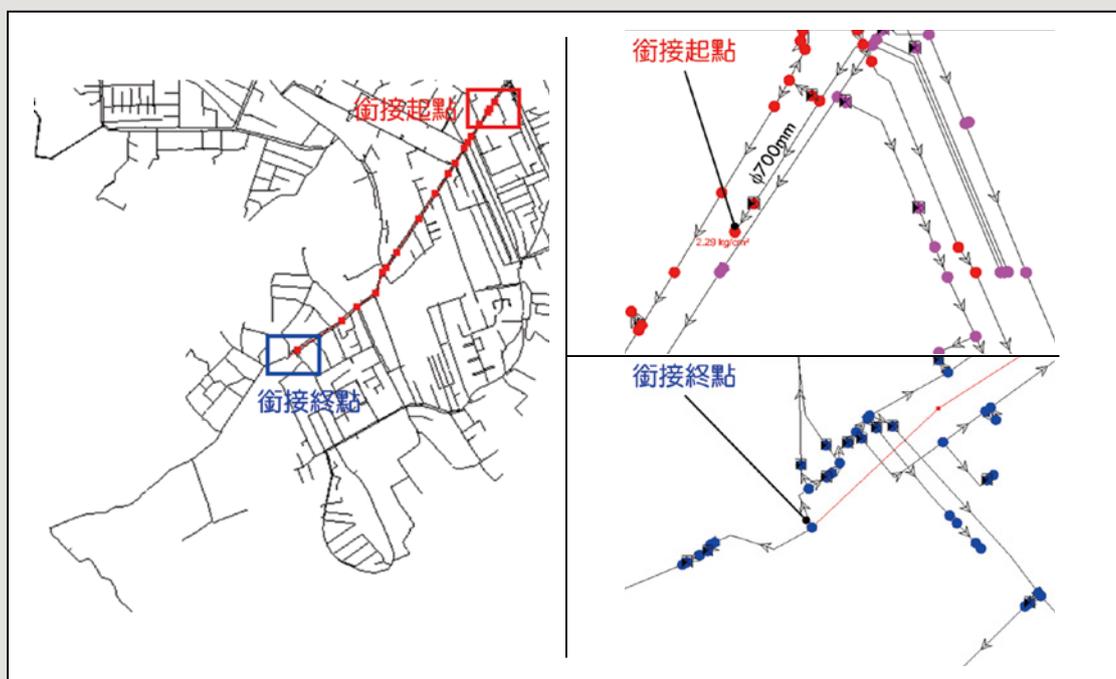


圖33 興南路二段末端管線改善銜接管線圖

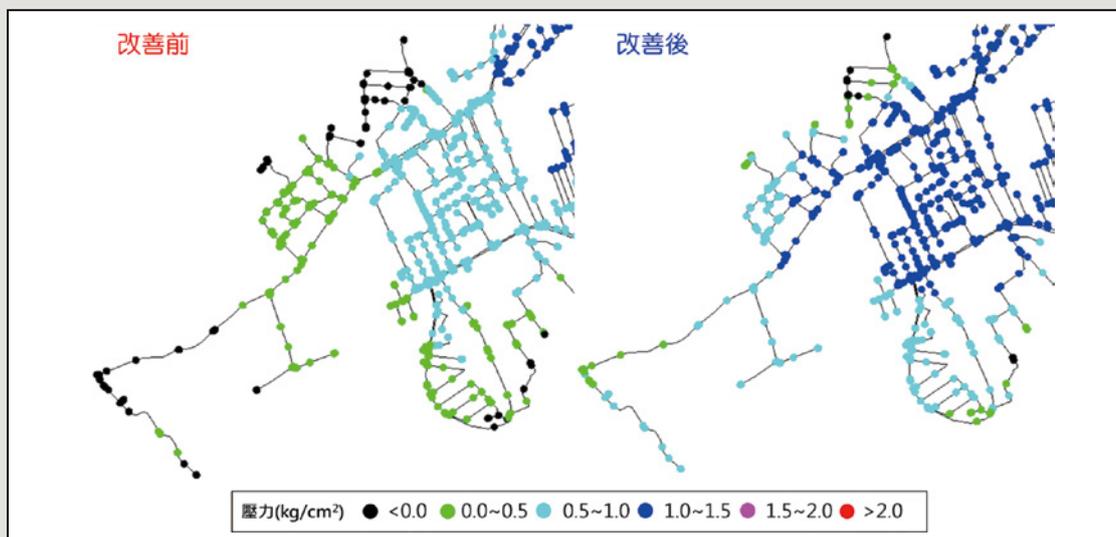


圖34 興南路二段末端管線壓力優化建議改善前後示意圖

結論

本文說明建置全域供水管網水理模型之方法，並藉由現場量測水壓資料校正後，打造數位孿生模型作為可重覆測試及驗證之工具，已協助北水處完成內湖、三重、士林北投及中和永和水水分區水理模型，並依據不同供水分區特性，分別進行節能成效分析，已有初步成果。

於三重供水分區依未來年區內幹管連通及環北幹線銜接，於最大時用水條件下，三重加壓站可降低出水壓力16.4%；於士林北投供水分區改善區內瓶頸管段，亦可減少加壓站出水壓力，簡易推估每月可節能12萬度；中和永和供水分區為改善高地壓力，採管末銜接連通方式，滿足高地供水壓力之需求，可減少中繼加壓站設置。

自來水供應為先進國家重要的基礎設施指標之一，在受到氣候變遷的影響下，面臨水資源短缺頻率逐年增加，供水事業單位仍需達成供水穩定性及節能等目標，除了傳統採用管線汰換方式，本文另提供一套全新供水系統管理工具，可讓供水事業藉由電腦運算模擬供水及壓力調配，以評估管網內漏水率及能源消耗，適時因應，達到節能減碳之目標。

參考文獻

1. Bo L., Jiannan G. and Xiangdong X., (2020). The Digital Twin of Oil and Gas Pipeline System, IFAC PapersOnLine, 53-5, 710 - 714.
2. Mehta D. J., Yadav V., Waikhom S. I. and Prajapati K., (2017). Design of optimal water distribution systems using WaterGEMS: a case

study of Surat city. Paper presented at the 37th IAHR World Congress, Kuala Lumpur, Malaysia.

3. Pesantez J. E., Alghamdi F., Sabu S., Mahinthakumar G. and Berglund E. Z., (2022). Using a digital twin to explore water infrastructure impacts during the COVID-19 pandemic. Sustainable Cities and Society, 77, 103520.
4. Świtnicka K., Suchorab P. and Kowalska B. (2017). The optimisation of a water distribution system using Bentley WaterGEMS software. Paper presented at the ITM Web Conferences.
5. 臺北自來水事業處，「管網水理模型校正、模擬及優化建議成果報告書(示範區)」，2019年6月。
6. 臺北自來水事業處，「三重供水分區水理模型模擬成果及優化建議報告書」，2021年10月。
7. 臺北自來水事業處，「士林北投供水分區水理模型模擬成果及優化建議報告書」，2022年3月。
8. 臺北自來水事業處，「中和永和供水分區水理模型建置及校正報告書」，2022年4月。
9. 臺北自來水事業處，「中和永和供水分區水理模型模擬成果及優化建議報告書」，2022年6月。

園區開發之溫室氣體 減量及排放增量抵換 策略與經驗分享

關鍵詞(Key Words)：溫室氣體(Greenhouse Gas)、排放量(Emissions)、溫室氣體減量(Greenhouse Gas Reduction)、科學園區(Science Park)、產業園區(Industrial Park)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／張淑貞 (Chang, Shu-Chen) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／薛旭吾 (Hsueh, Hsu-Wu) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／工程師／高彥潔 (Kao, Wen-Chieh) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／工程師／何翊筠 (Ho, Yi-Yun) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／工程師／吳寬 (Wu, Kuan) ❺

摘要

為因應氣候變遷之衝擊，我國已宣示2050淨零轉型目標，並陸續推動各項減碳政策及法規。我國科學園區及產業園區做為經濟發展的重要基地，其溫室氣體減量和抵換策略的制定與實施至關重要。現行的《氣候變遷因應法》及《溫室氣體排放量增量抵換管理辦法》規定了具體的溫室氣體抵換措施。以中埔、水上產業園區及嘉義科學園區為例，其溫室氣體減量策略主要包括設置LED節能路燈、太陽能光電發電設備、推動產業節能減碳等措施，以減少溫室氣體排放，達到減排目標。然而以現有實務經驗而言，考慮抵換之經濟效益及執行難易度，目前實際執行之措施主要以補助之形式，透過環境部「車輛汰舊換新抵換媒合平臺」收購各車種之溫室氣體減量效益，進而達到溫室氣體抵換之目標。



Practical Experience in Greenhouse Gas Reduction and Offset Projects in Park Development(Including Explanation of Relevant Regulations)

Abstract

In response to the impact of climate change, Taiwan has announced its net-zero goal by 2050 and has been promoting various carbon reduction policies and regulations. As science parks and industrial parks are important bases for economic development, the formulation and implementation of greenhouse gas reduction and offset strategies are crucial. The current "Climate Change Response Act" and "Measures for Incremental Offset of Greenhouse Gas Emissions" stipulate specific greenhouse gas offset measures. Taking the Zhong-pu and Shui-shang Industrial Parks and the Chia-yi Science Park as examples, their greenhouse gas reduction strategies mainly include measures such as installing LED energy-saving streetlights, photovoltaic system, and promoting industrial energy conservation and carbon reduction to achieve greenhouse gas reduction targets. However, based on current practical experience, considering the economic benefits and difficulty of implementation, the measures currently implemented are mainly in the form of subsidies. Acquire the greenhouse gas reduction benefits of various vehicle types through the matching platform for replacement of old vehicle built by Ministry of Environment, and achieve the goal of greenhouse gas offsets.

3

專題報導

壹、前言

近年來，極端氣候災難如美國颶風、巴基斯坦洪災、長江乾旱及紐西蘭洪災等新聞層出不窮。根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）研究指出，全球氣候危機主要來自工業革命後產生之大量溫室氣體，造成環境暖化升溫。若未立即採取減碳行動，地球很可能在2100年就不宜人類居住。

為免除極端氣候衝擊，勢必減緩全球人為造成的溫室氣體排放量。2021年第26屆聯合國氣候變遷會議（COP26）即首度明確提及逐步減少煤炭的使用，並共識「將全球升溫控制在攝氏1.5度以下」，所以，降溫的一大關鍵，就是在2050年以前，全球碳排放量要降回2005年的水準。為了達成目標，各國必須透過「淨零」（Net Zero）的氣候行動來積極應對。迄今已有超過130個國家響應，宣示將在2050年之前做到「淨零排放」。

臺灣亦不能獨外於全球，也必須致力參與國際氣候行動，與全球共同攜手對抗氣候變遷。前總統蔡英文於2021年宣布臺灣2050淨零轉型目標，行政院陸續提出淨零路徑、擬定12項關鍵戰略、展開社會對話、核定行動計畫，2023年2月《氣候變遷因應法》公布

表1 氣候變遷因應法子法盤點

法規名稱	條文依據	發布/修正日
氣候變遷因應法(本法)	原為溫室氣體減量及管理法	112.02.15
國家因應氣候變遷行動綱領	本法第九條	112.11.16
事業應盤查登錄及查驗溫室氣體排放量之排放源	本法第二十一條第一項	112.05.31
溫室氣體排放量盤查登錄及查驗管理辦法	本法第二十一條第二項	112.09.14
溫室氣體認證機構及查驗機構管理辦法	本法第二十二條第二項及第三項	112.10.05
溫室氣體排放量增量抵換管理辦法	本法第二十四條第二項	112.10.12
溫室氣體自願減量專案管理辦法	本法第二十五條第四項	112.10.12

實施，並正式將「2050淨零排放」目標入法，2023年8月成立環境部，下設氣候變遷署專責機關，邁向實踐「淨零永續、韌性家園」的國家願景。

我國科學園區及產業園區作為重要的經濟發展和工業生產基地，其溫室氣體減量抵換策略的制訂和實施具有重要的意義和影響，積極制訂溫室氣體減量和抵換策略，並與國際標準或規範銜接，以減少對氣候變遷的負面影響，提高競爭力，方可實現永續發展之目標。

本文將從我國法規現況、園區溫室氣體減量抵換具體措施進行說明，並分享園區減碳及抵換之實務做法，期做為後續園區開發溫室氣體減量和抵換策略評估之參考。

貳、我國現行溫室氣體抵換之法規

我國除公布實施《氣候變遷因應法》外，環境部亦陸續頒布相關執行之管理辦法(詳表1)，簡要說明如下。

一、氣候變遷因應法

為我國在應對減碳排放、氣候調節等方面

之總法，訂立了氣候變遷因應的基本原則、政策目標和行動方針，以及相關的規劃和推動工作。條文主要內容為：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，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，跨領域推動溫室氣體減量。

二、國家因應氣候變遷行動綱領

指導我國應對氣候變遷所需採取的行動，政策內涵包括氣候變遷調適、確定溫室氣體減排目標、推動可再生能源發展、提高能源效率、加強自然資源保護等措施，以降低對氣候的影響並促進可持續發展。

三、事業應盤查登錄及查驗溫室氣體排放量之排放源

規範應進行溫室氣體排放量登錄盤查作業之事業包括發電業、鋼鐵業、石油煉製業、水泥業、半導體業、薄膜電晶體液晶顯示器業，另各行業製程排放源之化石燃料燃燒直接排放及使用電力之間接排放產生溫室氣體年排放量達2.5萬公噸CO₂e者，亦須進行盤查登錄及查驗作業。並訂定事業進行盤查登錄及查驗作業之邊界範疇。

四、溫室氣體排放量盤查登錄及查驗管理辦法

旨在要求事業盤查登錄其溫室氣體排放量並接受查驗管理，包括確定盤查登錄程序、確保排放係數數據的準確性、制定減排措施、執行查驗和監督檢查等措施，以確保事業符合溫

室氣體排放量管理的要求，並促進氣候變遷的應對工作。

五、溫室氣體認證機構及查驗機構管理辦法

規範溫室氣體認證機構和查驗機構的設置、運作及管理，確保其執行職責的專業性和公正性，項目包括認證機構及查驗機構資格要求、查驗人員專業能力要求、查驗和認證過程、查驗之品質管控以及罰則等。

六、溫室氣體排放量增量抵換管理辦法

規範溫室氣體排放增量抵換等相關管理措施，事業可以透過實施減量措施來抵減排放量，以達到減排目標。若事業進行增量抵換確有困難，可向主管機關提出申請經核可者，得繳納代金，專作溫室氣體減量工作之用。

(一) 規範對象

開發行為經認定須進行環境影響評估，且涉及增加溫室氣體排放量者，包括工廠設立、園區興建或擴建、火力發電廠及汽電共生廠興建、高樓建築開發。

(二) 抵換方法

事業進行溫室氣體排放量增量抵換作業，其抵換來源包括依據「氣候變遷因應法」溫室氣體自願減量專案取得之減量額度；依據「溫室氣體抵換專案管理辦法」(依據「溫室氣體減量及管理法」所訂定)取得之減量額度；依據中華民國九十九年九月十日以後執行先期專案取得之減量額度。

事業亦可於開發行為範圍以外區域，執行下列減量措施取得之減量效益：

1. 汰換老舊汽(機)車為電動汽(機)車。
2. 汰換空調設備為高效率空調設備。

- 汰換照明設備為高效率照明設備、汰換漁船集魚燈設備為發光二極體(LED)集魚燈設備。
- 汰換老舊農機為電動農機。
- 汰換既有增氧設備為高效率增氧設備。
- 執行「氣候變遷因應法」指定超過目標之減量措施。

七、溫室氣體自願減量專案管理辦法

旨在促進各界自發參與溫室氣體減量專案，透過系統化的管理和審核，確保減量專案的透明度和有效性。企業可以制定自身的減排計畫並實施相應的減排措施，同時享受相應的政府支持和獎勵。主要規範如下。

(一) 申請及核備

須檢具使用中央主管機關審定公開溫室氣體減量方法之專案計畫書及相關文件，向中央主管機關申請註冊，亦明定若事業於此法公布施行前，已依「溫室氣體抵換專案管理辦法」申請抵換專案取得註冊，得於此辦法發布施行後二年內向中央主管機關申請自願減量專案。

(二) 減量專案範疇

減量專案可分為移除型及減少或避免排放類型專案，其計入期可再區分為展延型及固定型。

(三) 計畫書要求

內容應包含溫室氣體減量方法應用說明、基線計算方法、外加性分析、減量計算說明、監測方法、專案活動期程、環境衝擊分析、公眾意見等項目文件。

(四) 審核與驗證

規定審核機構的審核流程，包括文件審查、現場檢查和技術評估。

(五) 額度用途

專案計畫審核通過取得之自願減量額度，用途包括進行開發行為溫室氣體排放增量抵換；可用於扣除各類排放源排放量徵收碳費之額度；事業進口產品應向中央主管機關申報其碳排放量並繳納核定之排碳差額，可使用自願減量額度進行差額之扣除；事業排放量超過其排放額度之超額量，亦可以自願減量額度扣減抵銷。

產業園區之開發屬須進行環境影響評估分析及溫室氣體排放增量抵換之開發行為，須依據上述「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」及「溫室氣體自願減量專案管理辦法」規定進行溫室氣體排放量增量抵換作業。透過實施有效的減排措施，如推動清潔能源使用、提高能源效率，以及鼓勵企業採用低碳技術和生產方式，可以降低溫室氣體排放，同時促進經濟發展。抵換策略可以通過實施碳交易、建立碳市場等方式，激勵企業參與減排行動，推動更環保和可持續的發展。此外，政府還可以通過制定相應政策和法規，鼓勵企業投資於環保技術研發和創新，以促進產業園區的永續發展。

參、園區溫室氣體減量及抵換作為案例說明

一、中埔、水上產業園區

中埔、水上產業園區為經濟部為因應台商回台設廠需求，提供產業發展空間，規劃中南部台糖土地開發為「只租不售」的產業園區，中埔產業園區位於嘉義縣中埔鄉，面積67.55公頃；水上產業園區位於嘉義縣水上鄉，面積79.56公頃，該計畫為園區之興建且依「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」

規定應實施環境影響評估，屬「氣候變遷因應法」第24條第1項所稱「新設污染源達一定規模者」，應依溫室氣體增量之一定比率進行抵換。全案已於111年通過行政院環境保護署(現改制為環境部)環境影響評估審查，其溫室氣體減量及抵換作為說明如下：

(一) 環評階段

中埔及水上產業園區全期營運後溫室氣體之排放大多為外購用電的間接排碳量，化石燃料使用產生的直接排碳量僅約為總排放量之6~7%，以下就環評階段針對溫室氣體排放量之估算及其減量、抵換策略進行說明：

1. 溫室氣體排放量推估

中埔、水上產業園區營運期間之溫室氣體排放推估分為直接排放源(範疇一)及間接排放源(範疇二)，直接排放源主要為化石燃料使用與製程溫室氣體物質的排放，間接排放源則為園區外購電力之間接排碳量。

(1) 直接排放源(範疇一)

依據園區SO_x及NO_x排放量，假設其均為燃燒低硫燃油及液化石油氣產生之排

放，並參考「公私場所固定污染源空氣污染防治費之硫氧化物及氮氧化物排放係數」中各行業鍋爐或燃燒污染源之SO_x及NO_x係數，推估低硫燃油及天然氣使用量後，參考國家溫室氣體登錄平台及溫室氣體排放係數管理表(6.0.4版)之排放係數，可推估得出低硫燃油及天然氣燃燒之溫室氣體排放量。

(2) 間接排放源(範疇二)

間接排放量之估算係依園區引進產業特性，假設其全年用電時數，並以園區營運後預估瞬間最大用電量推估其全年用電量及外購電力之間接排碳量。

2. 溫室氣體減排措施

中埔及水上產業園區提出之減碳措施包括(1)園區道路設置LED節能路燈(2)產業節能減碳(3)太陽光電發電設備設置(4)環境綠化，預計可產生的總減碳效益分別約為11,219公噸CO₂/年及14,715公噸CO₂/年，請參見表2。

(1) 園區道路設置LED節能路燈

依交通部運輸研究所105年度LED路燈效

表2 中埔水上產業園區減碳效益評估案例

項目	中埔產業園區	水上產業園區
	預估減碳量 (噸CO ₂ e/年)	預估減碳量 (噸CO ₂ e/年)
園區道路設置LED節能路燈	35	33
生產性產業節能減碳	5,853	6,475
非生產性產業節能減碳	1,973	2,785
太陽光電發電設備設置	3,327	5,385
環境綠化	31	37
合計	11,219	14,715

益分析成果，LED燈相較傳統高壓鈉燈每年約可節電588度/盞，以園區內道路用地路燈數量，推估每年照明用電可節省之電量及其碳排放量。

(2) 產業節能減碳

參考能源局生產性質能源查核年報之照明及空調平均用電比例，及經濟部工業局「製造業節能減碳技術與輔導案例」產業照明及空調節能之節能效率，推估園區內各產業照明、空調用電之溫室氣體減量效益。

(3) 太陽光電發電設備設置

中埔水上園區規範進駐廠商須於屋頂可設置面積之50%設置太陽能光電設施，依廠商及各公設用地預估可設置面積比率估算設置面積，預估設置容量，依據開發行為所在縣市之日平均發電量及經濟部能源局公布之全國電力排放係數，預估園區裝設太陽能板後之減碳效益。

(4) 環境綠化

參考國內植樹減碳量研究數據，一株20年生的喬木，依樹種不同，每年約可吸收11~18公斤CO₂，以園區規劃補植之喬木數量，推估每年的減碳效益。

3. 溫室氣體增量抵換

中埔水上產業園區承諾廠商進駐依「行政院環境保護署審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」規定，溫室氣體增量抵換比率每年至少10%，連續執行10年。以環評階段估算之園區未來溫室氣體排放量扣除園區內未來減碳計畫之減碳量，並依未來園區廠商進駐比例，推算每年所需溫室氣體抵換量，以開發行為範圍以外區域之減量措施作為增量抵換來

源，如執行「燃油、煤設備改用天然氣或沼氣為燃料」、「改造或汰換既有鍋爐」或「執行溫室氣體回收再利用或破壞去除」等措施，或透過環境部《溫室氣體自願減量暨抵換資訊平臺》進行申請、媒合。依據「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」第6條，中埔水上產業園區應於環境影響評估審查通過後營運日前，向主管機關申請溫室氣體增量抵換。

(二) 實務做法

中埔、水上園區目前尚未提送溫室氣體排放量增量抵換計畫予主管機關審查，以現有實務經驗而言，「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」及「行政院環境保護署審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」所列舉之抵換來源中，僅「汰換老舊汽（機）車為電動汽（機）車」之方案效益較高，送審之溫室氣體排放量增量抵換計畫多以補助汽、機車為主，透過環境部「車輛汰舊換新抵換媒合平臺」收購各車種之溫室氣體減量效益，進而達到溫室氣體抵換之目標。

二、嘉義科學園區

「南部科學園區嘉義園區開發計畫環境影響說明書」，面積88公頃；其溫室氣體抵換係依據「審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」規定辦理，其溫室氣體減量及抵換說明如下：

(一) 環說書內容

1. 溫室氣體排放量

園區營運期間溫室氣體排放量分為直接排放源(範疇一)及間接排放源(範疇二)，總排放量約為153,133.8噸CO₂e/年，且絕大比例是外購用電的間接排碳量(97.5%)，而燃料使用產生的直接排碳量

則僅為總排放量的2.5%。

2. 溫室氣體區內減排措施

嘉義科學園區規範用電契約容量達800 kW以上之建廠廠商，其再生能源達成檢核條件如下，以再生能源量較大者核算及檢核：

- (1) 再生能源義務裝置容量，應達該用戶前一年度平均契約電量之20%。
- (2) 屋頂可設置面積50%，應設置太陽光電設施。
- (3) 以廠商量產後，取得前一年度實際用電量20%再生能源為目標，並滾動檢討。

其中半導體廠商於自建廠房量產後，隨量產用電時程，並以2030年起取得前一年度實際用電量25%再生能源，2040年起取得45%再生能源及2050年取得100%再生能源為目標。

再生能源設置量，廠商得依「再生能源發展條例」規定之履行義務方式辦理。推估減碳量約6,051.9公噸CO₂e/年，且園區管理局將每5年滾動檢核廠商再生能源取得量及分階段目標達成情形。

另擬新植共約547株喬木；參考國內植樹減碳量研究數據，一株20年生的喬木，依樹種不同，每年約可吸收11~18公斤CO₂，本計畫以平均每株喬木14.5 kgCO₂e/年之估計，預計約有7.9公噸CO₂e/年之減碳效益。

綜合上述，嘉義科學園區以再生能源設置及環境綠化等方式節能減碳，預計可產生的總減碳效益約為6,059.8公噸CO₂e/

年。

3. 溫室氣體增量抵換

未來嘉義科學園區廠商進駐須依規定採行最佳可行技術(BAT)，嘉義園區溫室氣體總排放量經園區內減碳效益後，園區淨排放量約為14.7萬噸CO₂e/年。開發行為溫室氣體排放量增量計算及抵換方式規劃參照「行政院環境保護署審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」辦理，溫室氣體增量抵換比率每年至少10%，連續執行10年，且以「溫室氣體減量及管理法」取得之溫室氣體減量額度或「非屬送審開發行為之溫室氣體減量措施」作為增量抵換來源，亦可透過行政院環保署《溫室氣體減量抵換資訊平台》進行申請，抵換方式將依實際情形為準，初步規劃可能抵換方案如下：

- (1) 汰換老舊機車為電動機車
透過環保署汰購電動機車獎勵平台「廢車回收一站通」購買減碳效益，預估每部老舊機車汰換為電動車約有2.3公噸CO₂e溫室氣體減量效益。
- (2) 汰換照明設備為高效率照明設備
協助區外事業等單位淘汰老舊照明設備，更換為取得節能標章或能源效率分級標示一級或二級之照明設備。
- (3) 汰換空調設備為高效率空調設備
協助區外事業等單位淘汰老舊空調設備，更換為效率分級標示一級或二級之無風管空氣調節機。
- (4) 改造或汰換既有鍋爐
協助區外事業等單位進行鍋爐改善，將既存之固體或液體燃料鍋爐，變更或汰

換為使用低碳性氣體燃料等。

- (5) 燃油、煤設備改用天然氣或沼氣為燃料，協助區外事業等單位之設備燃料轉換，將所使用之燃煤或燃油改為天然氣或沼氣等。

且依據「行政院環境保護署審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」第6條，於開發行為通過環境影響評估審查後，得開始執行溫室氣體抵換量取得計畫。溫室氣體抵換量取得計畫執行前，應向行政院環境保護署提出取得溫室氣體抵換量執行對象、作法、執行期程及預估溫室氣體減量等，經行政院環境保護署審查通過後執行。查核方式為將審查廠商營運前提送之溫室氣體抵換量取得計畫，內容詳述抵換量執行對象、作法、執行期程；廠商執行完成後並提送執行成果供開發單

位審閱及追蹤查核。嘉義園區依預估廠商進駐率分年預估溫室氣體抵換量詳如表3。

(二) 實務做法

由於依據「行政院環境保護署審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」第6條，開發單位於開發行為通過環境影響評估審查後，得開始執行溫室氣體抵換量取得計畫。溫室氣體抵換量取得計畫執行前，應向環境部提出取得溫室氣體抵換量執行對象、作法、執行期程及預估溫室氣體減量等，經環境部審查通過後執行，相關流程詳圖1。目前已通過之環評案，所執行之溫室氣體抵換措施以「汰換老舊汽（機）車為電動汽（機）車」為主，因其抵換效益較高，且環境部已有統一之媒合平台「車輛汰舊換新抵換媒合平臺」，汰換老舊汽（機）車為電動汽（機）車流程包括：1.提出取得計畫並且確認數量；2.取得計畫簽核；3.提送環境部審查；4.與環境部簽訂契約書；5.收購第

表3 嘉義園區溫室氣體分年預估抵換量

目標年	廠商進駐比例	溫室氣體抵換量預估(公噸CO ₂ e/年)
114年	19%	2,794
115年	26%	3,824
116年	33%	4,853
117年	40%	5,883
118年	47%	6,912
119年	54%	7,942
120年	60%	8,824
121年	66%	9,707
122年	72%	10,589
123年	78%	11,472
124年	84%	12,354
125年	90%	13,237
126年	100%	14,707

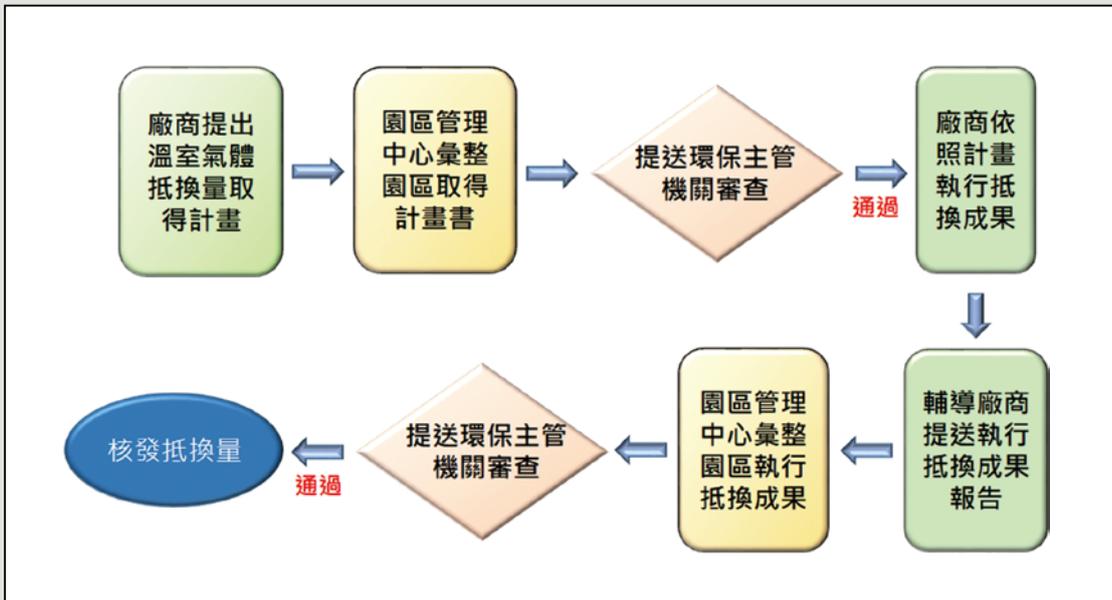


圖1 辦理溫室氣體排放增量抵換流程圖

一期價金及收購費用，匯入環境部指定帳戶；
6.正式上架「車輛汰舊換新抵換媒合平臺」。亦可透過辦理老舊車輛汰舊換購電動車輛補助說明會，推廣補助內容、提升媒體能見度，進而加速溫室氣體抵換進度。然而，由於各環說書內所載之溫室氣體排放量皆為預估值，實際排放量仍須依廠商固定污染源操作許可證記載之原(物)料燃料用量或產品及操作條件、操作期程等內容，檢核其溫室氣體排放量正確性以符實際，且園區尚有未進駐及尚未招商之廠商情況，為避免後續採購量不足導致後續招商困難，或採購過多而使環評書件預估之排放量與實際工廠進駐及其排放量存在落差，所需採購量須隨時與擬進駐廠商及其排放量與抵換量需求進行整合。

結語

增量抵換作為溫室氣體減量的一項重要機制，在促進開發單位推動永續發展方面扮演著舉足輕重的角色。透過政府法規的規範，開發單位可採取如使用低碳燃料、導入溫室氣體

減量技術等措施，減少排放量。這些措施不僅有助於環境保護，也為開發單位提升企業競爭力，落實社會責任，另依據環境部「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」採取溫室氣體抵換措施包括汰換老舊機車為電動機車、汰換照明設備為高效率照明設備、汰換空調設備為高效率空調設備、汰換老舊農機為電動農機、汰換既有增氧設備為高效率增氧設備等措施，透過執行增量抵換措施，開發單位不僅可以減少自身溫室氣體排放量，更名為環境保育做出具體貢獻，有助於減緩氣候變遷的衝擊，為企業建立綠色永續的優良形象。

參考文獻

1. 「南部科學園區嘉義園區開發計畫環境影響說明書(定稿本)」，112年3月。
2. 「水上產業園區設置計畫環境影響說明書(定稿本)」，111年5月。

3. 「中埔產業園區設置計畫環境影響說明書(定稿本)」，111年5月。

4. 環境部，「氣候變遷因應法」，112年2月15日。

5. 環境部，國家因應氣候變遷行動綱領，112年11月。

6. 環境部，「事業應盤查登錄及查驗溫室氣體排放量之排放源」，113年2月22日。

7. 環境部，「溫室氣體排放量盤查登錄及查驗管理辦法」，112年9月14日。

8. 環境部，「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」，112年10月12日。

9. 環境部，「溫室氣體自願減量專案管理辦法」，112年10月12日。

10. 行政院環境保護署(環境部前身)，「公私場所固定污染源申報空氣污染防制費之二氧化硫及氮氧化物排放係數及控制效率規定」，103年12月2日。

11. 經濟部能源局，「生產性質能源查核年報」，110年12月。

12. 經濟部，「再生能源發展條例」，112年6月21日。

13. 行政院環境保護署(環境部前身)，「行政院環境保護署審查開發行為溫室氣體排放量增量抵換處理原則」，112年1月19日。

14. 行政院環境保護署(環境部前身)，「溫室氣體減量及管理法(現為氣候變遷因應法)」，112年2月15日。

3

專題報導



101011010110101101
010110101101011010
010110101101011010
0110001011010

水上產業園區

3

專題報導

精進軌道綠色運輸 之噪音振動防制

關鍵詞(Key Words)：綠色運輸(Green Transport)、噪音振動防制(Vibration and Noise Control)、軌道振動預測應用程式介面(API for Rail Vibration Prediction)

- 台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／協理／吳律平 (Wu, Lu-Ping) ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／技術經理／胡秀蘭 (Hu, Hsiu-Lan) ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／顧問／顏彬任 (Yen, Pin-Jen) ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／主任工程師／王聰貴 (Wang, Tsung-kuei) ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／胡沛締 (Hu, Pei-Di) ❺
台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／陳曄瀚 (Chen, Wei-Han) ❻

摘要

為減緩氣候變遷及環境永續，台灣推行綠色運輸政策，以低碳運具建構綠色運輸網路，軌道系統即為其中關鍵環節。台灣因地狹人稠，軌道系統常靠近居民生活範圍，其衍生之噪音振動影響為重要環境議題。本篇從環境影響評估、規劃設計所須遵循之標準及規範，探討軌道建設之調查、評估及防制對策，最後述及本公司多年累積的精進作法及倡議，如噪音預測方法更新為Schall03 2014版，因應「環境振動管理指引」，調整環評作業及設計階段軌道振動評估指標及方法，以及發展Civil3D軌道振動預測應用程式介面，提高評估效率及準確性。



Enhancing Noise and Vibration Control in Green Rail System

Abstract

To combat climate change and promote sustainability, Taiwan is implementing green transportation policies, and constructing a green transport network with low-carbon vehicles, in which rail systems play a key role. Due to space constraints and proximity to residential areas, noise and vibration become significant environmental challenges. This paper discusses the control of noise and vibration in rail construction, covering aspects from environmental impact assessments to construction and operation phases. It includes the standards and regulations followed, assessment and prevention methods, and CECI's refined practices and initiatives over the years. These include updating the noise prediction method to Schall03 2014, adapting to the 'Environmental Vibration Management Guidelines,' adjusting environmental evaluation operations and design-phase rail vibration assessment indicators and methods, and developing Application Programming Interface for Rail Vibration Prediction in Civil3D to enhance the efficiency and accuracy of vibration assessments.

3

專題報導

壹、前言

為因應氣候變遷所帶來的負面影響，目前「溫室氣體排放減量」已為世界各國必須執行及達成的義務。台灣為與國際接軌，自2017年起積極推動「國家因應氣候變遷行動綱領」，研提溫室氣體減緩及氣候變遷調適方針，其中在運輸部門包含：「發展公共運輸系統，加強運輸需求管理」、「建構綠色運輸網絡，推廣低碳運具使用」、「提升運輸系統及運具能源使用效率」，已涵蓋「前瞻基礎建設計畫」之建構安全便捷軌道建設、提升高鐵運量、捷運運量等作為^[1]。

軌道系統是目前公認二氧化碳密集度最低的運具系統，因此，先進都市在推動大眾運輸工具時，通常優先考慮使用軌道運輸系統^[2]。然而軌道系統運行確實會產生一定的噪音振動影響，成為城市環境中主要影響生理、心理及健康福祉壓力來源之一。依世界衛生組織(簡稱WHO)及歐盟研究顯示，噪音所造成人體傷害如耳鳴、聽力喪失、睡眠干擾，嚴重疾病如高血壓、缺血性心臟病、兒童的認知障礙及成年人的認知衰退，以及心理健康影響等^[3]。目前已被證實長期暴露於道路交通噪音與心血管、腦血管疾病(中風)以及糖尿病存在關聯性^[4]。此

外，行政院環境保護署(簡稱環保署，為環境部前身)於2021年12月20日頒布「環境振動管理指引」^[5]，提出環境振動建議值作為各縣市政府施政參考，以降低營建工程及交通系統振動影響。因此為降低軌道綠色運輸推動時所衍生的噪音振動影響，本篇將從環境影響評估、規劃設計所須遵循之標準及規範、調查、評估及防制對策，探討軌道建設的可能精進作法。

貳、國內外噪音振動評估基準探討建議

一、噪音

(一) 容許暴露量

依國外文獻^[6]指出，噪音對人體健康及社區環境的影響，依暴露的噪音量及日夜音量(L_{dn})可劃分六個風險程度及影響等級(參見表1)。就對社區環境的影響等級而言，日夜音量低於55dB(A)屬於輕微以下影響，61dB(A)即有顯著影響，76dB(A)以上達非常嚴重影響；就對人體健康之風險程度而言，噪音量達76dB(A)以上即有中高程度以上之風險。

表1 都會區交通噪音評級量表

噪音影響等級評定基準			噪音風險程度評定基準	
日夜音量 L_{dn} dB(A)	影響等級	噪音評級	噪音量dB(A)	風險程度
≤55	輕微	1	—	—
56~60	中度	2	—	—
61~65	顯著	3	<66	安全
66~70	嚴重	4	66~71	可忍受
71~76	中度嚴重	5	71~76	低風險
≥76	非常嚴重	6	76~81	中度風險
—	—	—	81~86	高風險
—	—	—	>86	極高風險

在軌道系統噪音量限值方面，本篇經蒐集各國軌道系統噪音量限值^{[7][8]}並換算為日日夜夜音量（ L_{den} ）及日夜音量（ L_{dn} ）進行比較（參見表2），顯示除韓國及我國之日日夜夜音量為71dB(A)

與背景環境音量之差值(即噪音增量)不同而有差異。根據以往經驗，在各時段小時均能音量符合「陸上運輸系統噪音管制標準」情況下，小時平均最大音量超過80dB(A)時，極易引起民眾

表2 國內外軌道系統噪音量限值及適用範圍

國家	日日夜夜音量 L_{den} dB(A)	日夜音量 L_{dn} dB(A)	音量限值(Level Limits) dB(A)	適用範圍
日本	63	63	$L_{day}:60, L_{night}:55, L_{A,s,max}: 70、75$	新列車路線
韓國	71 76	70 75	$L_{day}:70, L_{night}:60$ $L_{day}:75, L_{night}:65$	住宅和綠化帶 商業和工業
丹麥	59 64 69	—	—	住宅 醫院、學校 飯店、辦公室
法國	63 62 68	63 62 68	$L_{day}:60, L_{night}:55$ $L_{day}:57, L_{night}:55$ $L_{day}:65, L_{night}:60$	住宅、學校 醫院 其他領域
德國	58 60 65 70	57 59 64 69	$L_{day}:57, L_{night}:47$ $L_{day}:59, L_{night}:49$ $L_{day}:64, L_{night}:54$ $L_{day}:69, L_{night}:59$	醫院、學校 住宅 住商混合 輕工業
瑞典	61	61	$L_{Aeq,24h}:55, L_{AF,max}:70$	室外
WHO	54 53	—	$L_{night}:44$ $L_{night}:45$	軌道系統 道路交通
台灣 (捷運、高鐵)	71 76	70 75	$L_{day}:65、70, L_{night}:60, L_{max,mean,1h}: 80$ $L_{day}:70、75, L_{night}:65, L_{max,mean,1h}: 85$	住宅 商業與工業
台灣 (一般鐵路)	78 79	77 78	$L_{day}:73, L_{night}:70, L_{max,mean,1h}: 80$ $L_{day}:75, L_{night}:70, L_{max,mean,1h}: 85$	住宅 商業與工業

註：除丹麥 L_{den} 外，其餘國家 L_{den} 及 L_{dn} 均依各時段音量限值計算而得。

以上外，其餘國家多介於53~70dB(A)之間。另外，有最大音量限置之國家中，日本依不同管制區訂為70、75dB(A)，瑞典為70dB(A)，我國現行標準則依不同管制區訂為80、85dB(A)，顯示我國現行軌道系統交通噪音之標準相較歐盟、日本等國寬鬆。

(二) 噪音增量值

一般而言，沿線民眾受軌道噪音影響的程度除與噪音量大小相關外，其感受度亦會因其

陳情；或即使小時均能音量及平均最大音量均符合標準，但當噪音增量達明顯等級，仍有陳情事件發生(參見圖1)。

參考美國交通運輸部聯邦交通運輸局(U.S. Department of Transportation)2018年出版之運輸噪音與振動影響評估手冊(Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual, 簡稱FTA 2018)^[9]，其噪音影響評估係依不同土地使用型態進行分類，第1、2類為需要安靜的環境或主要活動為睡眠的環境如音樂廳、醫院等，第3類

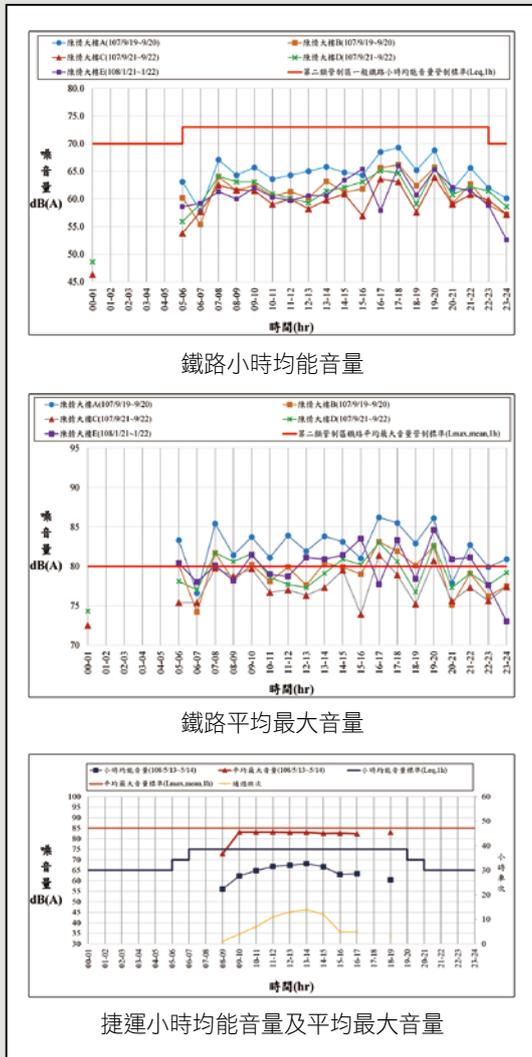
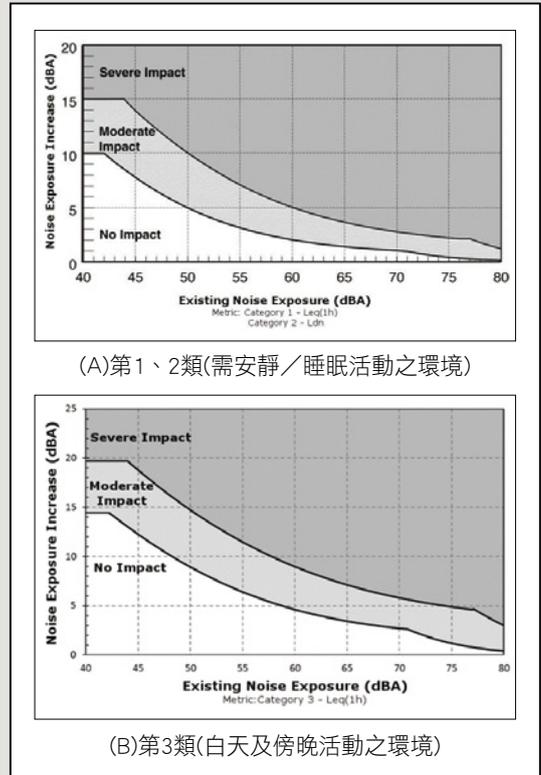


圖1 噪音陳情案量測值

則為白天及傍晚活動使用的環境，並依不同背景音量及噪音增量評定其影響等級；如背景音量60dB(A)時，在第1、2類環境中，新建軌道系統的交通噪音增量<2dB屬於無影響，2~5dB屬於中度影響，>5dB則為嚴重影響(參見圖2)。此增量影響等級評定與人耳對聲音變化之感受有相關性，3dB以上已可分辨且具有感覺程度，5dB則有顯著感受(參見表3)。

國內目前有關軌道建設的噪音增量計算，於環評階段係參照環境部「鐵路交通噪音評估模式技術規範」所列噪音影響等級評估流程(參見圖3)^[10]辦理，據以評定影響等級是否需減輕



(A)第1、2類(需安靜/睡眠活動之環境)

(B)第3類(白天及傍晚活動之環境)

圖2 美國不同土地使用類別對應之噪音增量容許標準

表3 人耳對聲音變化之感受

聲壓值變化	人耳的感覺	感受程度
< 3 dB	無法分辨	無感覺
3 dB	剛好可分辨	有感覺
5 dB	明顯分辨	顯著感覺
10 dB	兩倍響度	強烈感覺

對策，例如背景音量及未來合成音量預測值均符合環境音量標準時，預測值與背景音量相減後之噪音增量>10dB，達中度影響才需研提減輕對策。

考量人耳在不同時段對噪音的感知具差異性，且基於噪音管制法意旨在於維護國民健康及環境安寧，以減少陳情案發生，建議在評估噪音影響時應加入時間因素的考慮；具體而言，建議將日間容許的噪音增量設定為10dB，夜間的容許增量則調整為5dB，以更真實地反映民眾對不同時段噪音的感受性。此外，參考交通部2019年研擬之「軌道系統噪音與振動評估

及防制規範(草案)」^[11]及交通部鐵道局「鐵道工程設計階段噪音振動防制注意事項」^[12]，針對我國軌道系統交通噪音標準及設計值建議之調

整方向，提出未來新建、改建或延伸路線軌道系統靠近住宅區各時段小時均能音量值及平均最大音量之設計值建議，如表4所示。

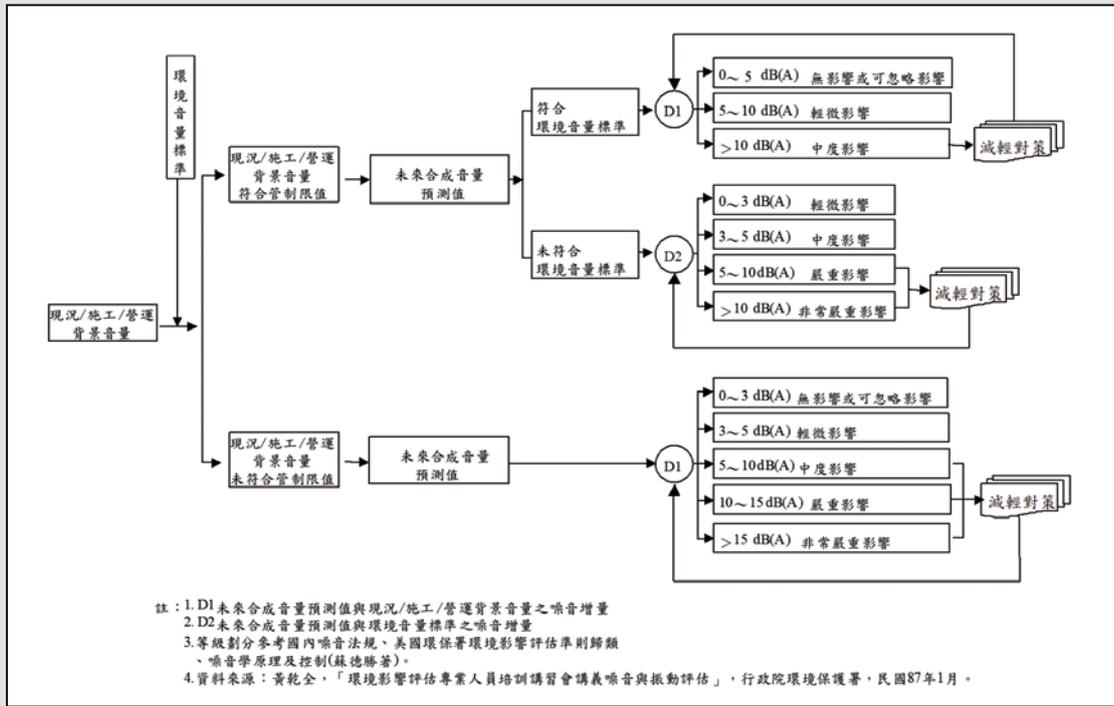


圖3 環評噪音模式技術規範噪音影響等級評估流程

表4 軌道系統交通噪音法規標準及設計值建議

交通系統	管制區分類	「陸上運輸系統噪音管制標準」				設計值建議 (新建、改建或延伸線)				
		小時均能音量			平均最大音量	小時均能音量 ^[1]			平均最大音量	
		早、晚	日間	夜間		早、晚	日間	夜間	路線 ^[2]	道岔段 ^[3]
一般鐵路 交通噪音	第一類 或第二類	73	73	70	80	71	72	68	75	80
	第三類 或第四類	75	75	70	85	72	74	70	80	85
高速鐵路 交通噪音	第一類 或第二類	65	70	60	80	60	65	55	75	80
	第三類 或第四類	70	75	65	85	65	70	60	80	85
大眾捷運 系統交通 噪音	第一類 或第二類	65	70	60	80	60	65	55	70	80
	第三類 或第四類	70	75	65	85	65	70	60	75	85

[1] 一般鐵路及大眾捷運系統交通噪音為擷取自85(1996)年環保署頒「環境音量標準」改善後各時段之小時均能音量；高速鐵路交通噪音則較現行標準再減5dB。

[2] 路線段之第一、二類平均最大音量係參考交通部108(2019)年研擬「軌道系統噪音與振動評估及防制規範(草案)」最大音量設計值，第三、四類相較第一、二類增加5dB寬裕值。

[3] 道岔段之平均最大音量維持與現行「陸上運輸系統噪音管制標準」相同。

二、振動

(一) 環評作業評估基準

目前國內尚無振動防制法規及標準，以往環評階段之振動評估基準多參引「日本振動規制法」之規定，加速度參考值為 10^{-5} m/s^2 ，加權值參採日本相關規範JISC 1510。環境部為防制營建工程及陸上運輸系統營運所引發振動對生活環境造成影響，於2021年12月20日頒發「環境振動管理指引」作為地方政府施政參考，為使管理指引之量測方法與國際標準調和，振動加速度參考值設為 10^{-6} m/s^2 ，加權計算方式為量測之振動量依ISO 2631-2^[13]以1/3倍頻帶中心率1-80Hz三軸向 W_n 加權值合成之總振動量。經換算比對，管理指引之環境振動建議值較「日本振動規制法」規定嚴格約8~10dB(參見表5)，且評估涵蓋三軸向，因此，建議未來環評階段可以此作為評估指標。

(二) 規設作業評估基準

以往雖環評階段之振動評估基準係參引JISC規範，然捷運系統在設計階段引用之振動標準則有ISO 2631-2(1989)標準曲線^[14](簡稱ISO標準曲線)，以及臺北市捷運工程局頒布之「捷運噪音與振動之預測方法與設計準則」(Study

Report No. Fe-31, STUDY REPORT NO. FE-31 TRANSIT NOISE AND VIBRATION - PREDICTION METHODOLOGY AND DESIGN CRITERIA，簡稱FE-31)^[15](參見圖4)，上述標準多採用垂直方向，圖中顯示ISO標準曲線約等於FE-31標準曲線2。

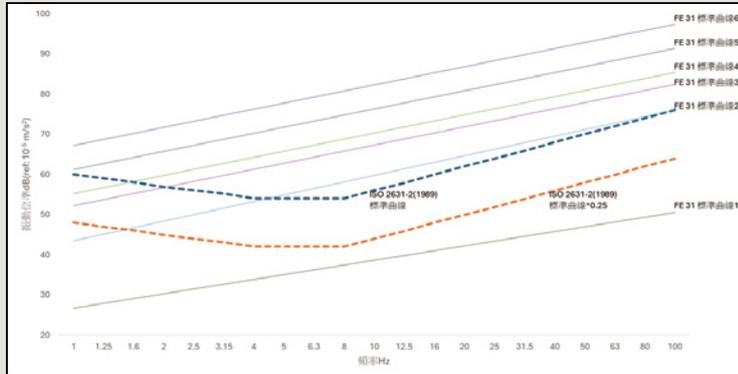
依據本公司研發計畫^[16]於臺中高架段量測自強號10班次振動量數據分析，顯示其中4班次超過管理指引之環境振動建議值(參見圖5)，9班次超過ISO標準曲線(參見圖6)，據此說明ISO標準曲線較管理指引建議值嚴格。另參照交通部訂定之「軌道系統噪音與振動評估及防制規範(草案)」，針對大眾捷運系統、一般鐵路及高速鐵路等軌道之振動設計值，於平面及高架段採ISO標準曲線乘以加權係數(0.5)，於地下隧道段乘以加權係數(0.25)作為設計標準；此設計標準已應用於近年來新建軌道系統中，且經調查顯示營運後並未接獲民眾陳情，顯示已滿足大部分國人的需求。由於設計階段相關土建結構、軌道系統、機電系統等設計成果較為完整，針對軌道系統可能引發之土傳振動影響需要分析其頻譜特性以選用適當之減振措施，因此，建議設計階段宜採用較為嚴格之ISO標準曲線乘上加權係數作為設計基準，同時可參採管理指引建議值輔以評估振動影響，如表6所示。

表5 交通運輸系統振動評估標準比較

單位：dB(Ref: 10^{-5} m/s^2)

標準		日本振動規制法		環境振動管理指引	
時段		日間	夜間	日及晚	早及夜
評估指標		L_{v10}		$L_{vmax,mean}$ 或 L_5	
管制區分類 ^[1]	第一種	65	60	55	52
	第二種	70	65	60	57

^[1] 日本振動規制法將管制區分為第一種及第二種，我國環境振動管理將第一、二類相當於日本之第一，第三、四類相當於日本的第二種。



FE-31標準曲線1適用於精細解像度之光電儀器場所
 FE-31標準曲線2適用於手術室、錄音室
 FE-31標準曲線3適用於住宅、醫院(常用設計標準)
 FE-31標準曲線4-6適用於商用及工業空間

圖4 FE31標準曲線與ISO標準曲線比對

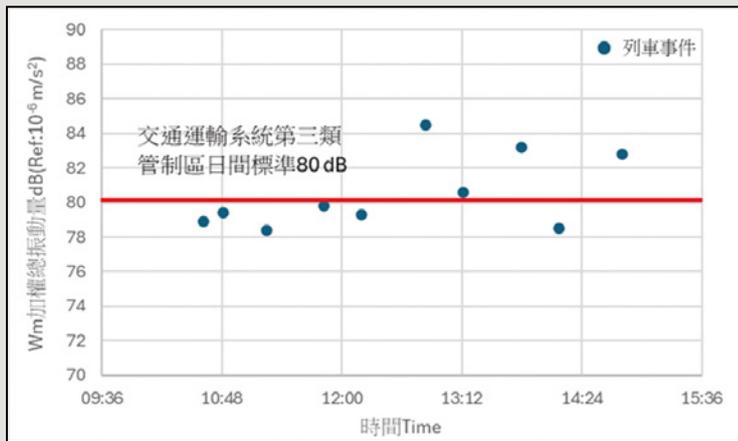


圖5 臺鐵自強號事件最大振動量(L_{vmax})與管理指引環境振動值比較

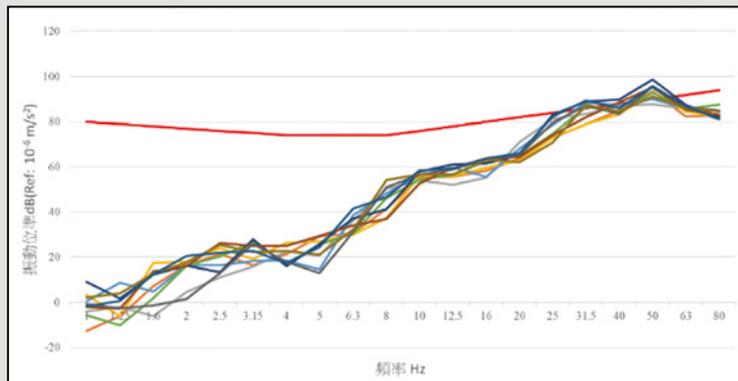


圖6 臺鐵自強號垂直向振動量與ISO標準曲線比對

表6 環評及規設階段振動評估設計值

評估基準	對象	環評階段	設計階段
營運階段	人體	管理指引建議值	管理指引建議值 地下隧道段：ISO 標準曲線*0.25 高架、平面段：ISO 標準曲線*0.5

參、噪音振動評估技術精進作法

一、噪音

目前環評階段、設計階段進行軌道系統噪音評估時，係依環境部「鐵路交通噪音評估模式技術規範」規定辦理，自2003年迄今均採德國鐵路噪音計算規範Schall03 1990版；然而，近來歐盟已漸採用Schall03 2014版，為與國際接軌，本篇將著重在預測方法Schall03 1990版更新2014版，及應用於軌道系統模式預測結果之精進作法說明如下：

(一) 預測方法Schall03 1990版更新為2014版

依據國外文獻^[17]指出，軌道系統噪音來源有空氣動力音、輪軌滾動音及設備運轉音(參見圖7)，此與本公司2014年辦理「臺鐵局臺北工務段轄內整體噪音改善研究計畫委託技術服務」之列車音源鑑別分析結果相符^[18]。然如前述，目前國內所採用的鐵路交通噪音計算規範採Schall03 1990版，此版本的

預測方法將所有鐵路音源假設於軌道踏面上(0公尺)(參見圖8)，而2014版依德國聯邦交通及數位基礎建設部針對計算鐵路軌道的評估級別(噪音03)第1部分說明報告^[19]，其聲音傳播之計算主要遵循ISO 9613-2，考量音源種類設置不同高度音源位置，總音量採1/1分頻聲功率計算，同時可考慮高頻噪音(如集電系統音)、低頻噪音(如貨運列車之輪軌音)等不同音頻傳播及屏蔽效果；此外，新增整合創新的減噪措施(如：低隔音牆、鋼軌減振材等)，並進一步考量軌道旁已發展區域(含面臨第一排建物及指定發展區域內)之聲音遮蔽及反射音估算。相關Schall03 1990版及2014版在音源端、傳遞路徑及受體端之差異說明^{[20][21]}，詳見表7。

(二) Schall03 1990版、2014版預測值與實測值比較

依本公司於高雄輕軌、捷運淡水線、高鐵桃園、台鐵嘉義等地進行軌道交通噪音量測值，分別以Schall03 1990版及2014版建立模式進行預測，結果顯示1990版預測值與實測值相差甚大，且有低估趨勢，2014版預測值則與實測值相差較小，且略高於實測值，請參見表8。經檢視預測模式之垂直等噪音線圖(參見圖9)，2014版很明顯地除軌道踏面處輪軌音源外，軌道踏面上方音源亦被考慮及評估。

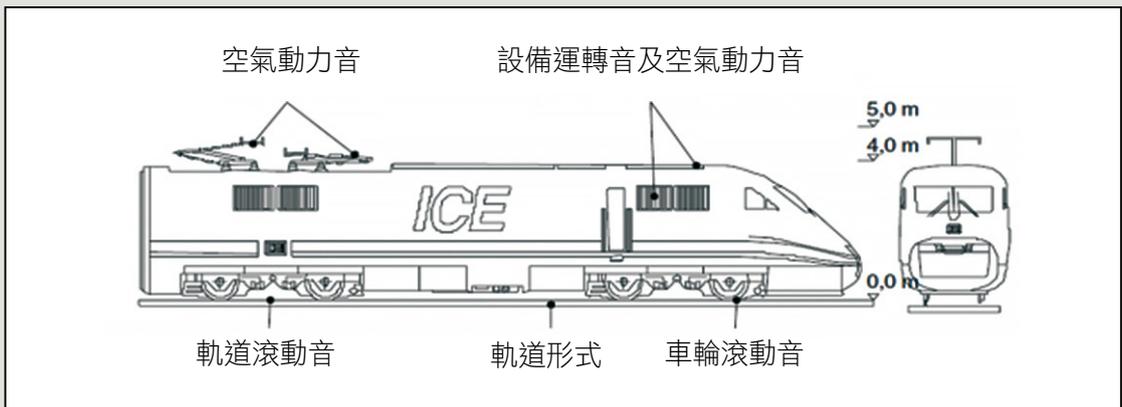


圖7 軌道系統噪音來源

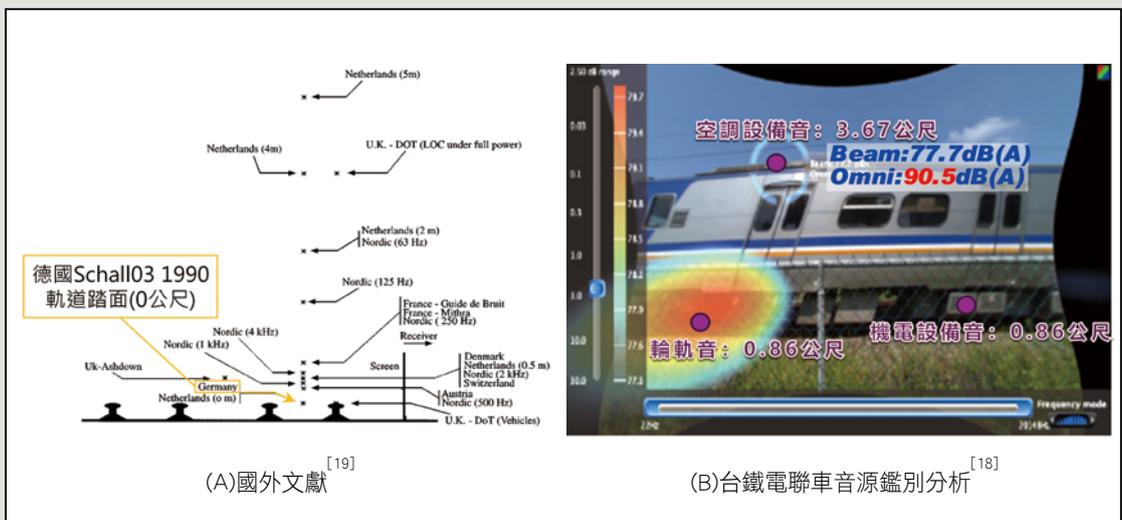


圖8 國內外軌道系統音源發生位置

表7 SchallI03 1990版及2014版在音源端、傳遞路徑及受體端之差異說明

項目	1990版	2014版	差異
 音源端	<ul style="list-style-type: none"> □ 排放量為自由音場距最外軌道中心線25m，軌道路面上方3.5m之音壓位準(Lm,E)。輸入參數如下： <ul style="list-style-type: none"> · 車種(內建16種客貨列車)、碟煞比、車速、車長，以Dfz值修正 · 列車音源以輪軌音為代表 · 列車音源高度為軌道路面上方0m · 軌道4種(有道碴木枕、有道碴混凝土枕、版式軌道、草皮軌道) · 土建型式：非高架、高架 □ 無軌道減噪措施 	<ul style="list-style-type: none"> □ 排放量為A加權1/1八音頻帶單位長度之聲功率(Lw')。輸入參數如下： <ul style="list-style-type: none"> · 車種(分10類、51種客貨列車)、車軸數、車速 · 列車音源含輪軌音、動力音、設備音及牽引動力音 · 列車音源高度分別為距軌道路面上方0m、4m、5m · 軌道4種(有道碴、道床對齊路面水平之版式軌道、道床低/高於路面水平之草皮軌道) · 土建型式：非高架、高架(有無道碴上部結構鋼橋、實心路面板、版式軌道、溝槽軌道及減噪措施) □ 軌道減噪措施：軌道特別監控(簡稱特監)、軌道減振材、軌道接隔音牆、軌道減振材+特監、軌道屏蔽+特監 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 音源排放量計算方式不同 ✓ 2014版更新車種，含電力及柴電機車、有動力及無動力車輛、電聯車、傾斜式、貨車 ✓ 2014版列車考量多重音源垂直貢獻量，接近實際影響情形 ✓ 2014版各音源為63~8000Hz頻率範圍之聲功率 ✓ 2014版軌道以街道與軌道路基(綠化)高度區分 ✓ 1990版僅區分有無高架型式；2014版針對有高架再詳細分類 ✓ 1990版無減噪措施；2014版有減噪措施
 傳遞路徑	<ul style="list-style-type: none"> □ 音源切割為若干小段，每段簡化為點源，計算傳至受音點之音量總合。 □ 考量指向性、距離、大氣吸收、傳遞路徑、障礙物、煩惱度(-5dB) 	<ul style="list-style-type: none"> □ 依ISO9613-2聲音戶外傳播計算方法 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 1990版依德國經驗式計算；2014版依國際通用ISO標準計算
 受體端	<ul style="list-style-type: none"> □ 僅估算軌道旁第一排建物之聲音遮蔽及反射音 	<ul style="list-style-type: none"> □ 可估算範圍較廣且可輸入各分頻計算 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2014版已發展區域內的隔音及反射

表8 軌道交通噪音SchallI03 1990版及2014版預測值與實測值比較

軌道系統	班次	模式預測值dB(A)		實測值dB(A)	差值dB	
		1990版	2014版		1990版-實測值	2014版-實測值
高雄輕軌	8	50.5	55.5	55.0	-4.5	0.5
淡水捷運	9	55.3	64.0	60.5	-5.2	3.5
高鐵桃園路段	8	68.1	62.5	53.2	14.9	9.3
台鐵嘉義路段(普悠瑪)	2	48.0	61.8	59.6	-11.6	2.2

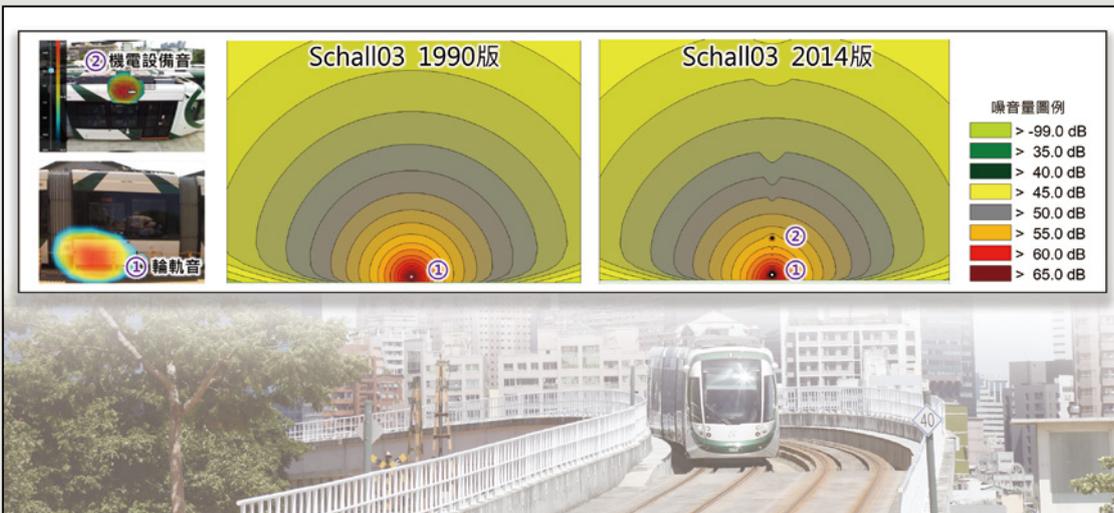


圖9 SchallI03 1990版及2014版垂直等音量分布(以高雄輕軌為例)

二、振動

現行軌道振動影響評估於不同作業階段採不同評估方式，於環評階段主要採環境部「環境振動評估模式技術規範」進行振動量推估；基本設計及細部設計階段則多採用FE-31及FTA 2018進行詳細振動評估。各階段輸入參數請參見表9，針對不同階段之精進作法說明如下：

(一) 環評階段振動評估

現行「環境振動評估模式技術規範」相關軌道系統經驗模式中，振動量係參引「日本振動規制法」相關規定，採振動加速度，評估軸向為垂直向(Z軸)且參考值為 10^{-5} m/s^2 ，與環境部最新頒行之管理指引建議值為三軸向及參考值 10^{-6} m/s^2 不同。於環境部未更新評估技術規範期間，為與管理指引建議值進行比對，需經由能

量合成三軸，並考量參考值20dB之差值，以一般鐵路及大眾捷運系統為例，一般鐵路之振動源從86dB經轉換後為110.8dB，大眾捷運系統之重運量從57dB經轉換後為81.8dB/中運量從40dB經轉換後為64.8dB(參見表10)。

本公司建議另一個精進作法即是前往相似振源之現地，依管理指引要求進行量測取得振源振動量。自管理指引函頒後，本公司已陸續至部分營建工地、臺鐵高鐵高架段及快速道路等現場進行振動量測，目前仍持續蒐集其他振動源量測數據，補充納入本公司之資料庫。

(二) 設計階段評估設計

以往振動設計，一般依據聚落分佈情況，選取鄰近軌道最近之建築物作為敏感受體評估代表點，在軌道系統長度往往超過數公里之線

表9 國內各階段軌道系統振動評估參數

階段	依據	系統	經驗模式/振源參考值	使用限制																															
環評階段	環境振動評估模式技術規範	一般鐵路	$L_{v10}=A-19*\log(r)$ $A=86$ L_{v10} ：振動量	距近端軌道中心線5-40公尺處																															
		大眾捷運系統	$L_{vmax}=A+20*\log(V/40)+5*\log(K/30)-24*\log(W/20)-X_1-X_s$ L_{vmax} ：軌道中心外15公尺處預測值(dB)；參考值 10^{-5} m/s^2 A：模式參數。建議值對重運量為45-57，對中運量為40。																																
設計階段	FE31	捷運系統	以列車行進速度每小時65公里所產生之振動量為標準(速度修正公式如下) $L_v=20*\log(V/65)$	僅限於評估地下段、路工段																															
			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">軌道型式</th> <th colspan="8">八音度頻帶之中心頻率 (Hz)</th> </tr> <tr> <th>4</th> <th>8</th> <th>16</th> <th>31.5</th> <th>63</th> <th>125</th> <th>250</th> <th>500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>標準固定式</td> <td>46</td> <td>48</td> <td>62</td> <td>64</td> <td>63</td> <td>60</td> <td>56</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>雙孔隧道</td> <td>46</td> <td>48</td> <td>62</td> <td>64</td> <td>63</td> <td>60</td> <td>56</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>		軌道型式	八音度頻帶之中心頻率 (Hz)								4	8	16	31.5	63	125	250	500	標準固定式	46	48	62	64	63	60	56	50	雙孔隧道	46	48	62	64
軌道型式	八音度頻帶之中心頻率 (Hz)																																		
	4	8	16	31.5	63	125	250	500																											
標準固定式	46	48	62	64	63	60	56	50																											
雙孔隧道	46	48	62	64	63	60	56	50																											
	FTA 2018	軌道系統	提供參考振動量曲線，國內多會前往相似軌道系統進行現場量測線入力 $L_v=FDL+LSTM+C_{build}$ L_v ：RMS振動速度量 FDL：線入力密度																																

表 10 環境振動評估技術規範修正前計算公式中振源參數換算

振動量	一般鐵路	大眾捷運系統 (重運量/中運量)	評估指標(參考值)
現行技術規範	86	—	L_{v10} (Ref: 10^{-5} m/s^2)
	—	57/40	L_{vmax} (Ref: 10^{-5} m/s^2)
推估管理指引	110.8	81.8/64.8	L_{vmax} (Ref: 10^{-6} m/s^2)

註： $L_{vmax}=A+d+10*\log(M)$ ，A為技術規範一般鐵路及大眾捷運系統之振源振動量，d：dB參考值由 10^{-5} m/s^2 換為 10^{-6} m/s^2 之差值，d=20；M為XYZ三軸，M=3。

型路線上，難以用數個敏感受體代表點做到完整詳細評估，常常於某處代表點超標時，於該聚落整區設計減振措施，造成設計過份保守，以致工程經費增加。

本公司依各階段規設準則，結合聲學、資訊工程專業經驗，開發以CIVIL 3D為操作平台之軌道振動預測輔助評估設計API。此軟體輸入計畫定線後，搭配振動源入力、落錘試驗及建物調查等資料，可做到可能影響區域“逐棟”建築物軌道振動量計算，針對超標路段可進行“減振措施規格和長度”最佳化，降低以往靠

人工重複計算所產生錯誤的風險，大幅提高評估效率及準確性。

以某縣市鐵路高架段振動評估設計為例，計畫路線全長8.9公里，沿線建物超過上千戶，該區段最靠近計畫處線之建物作為評估代表點，評估點數約為10-15點；本公司藉由軌道振動預測輔助評估設計API，可評估2,236處建物，精準掌握振動影響範圍，落實評估成果貼近實際情況，有效控制工程預算成本，模擬成果請參見圖10及圖11。

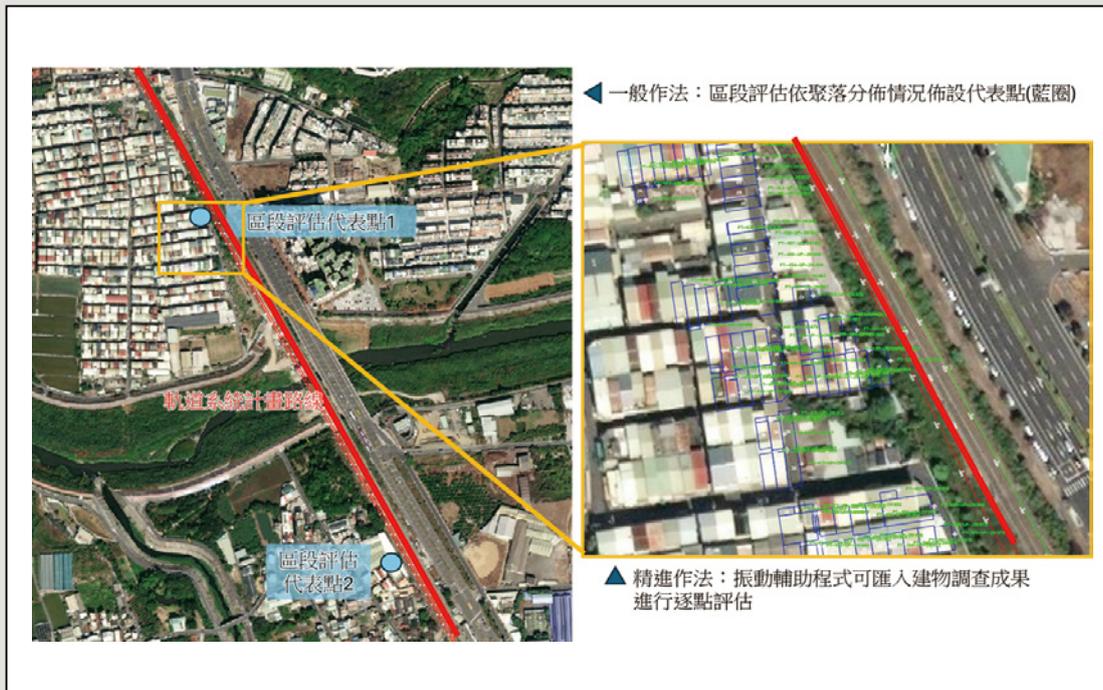


圖 10 振動評估代表點於一般作法與本公司振動輔助評估設計API比較

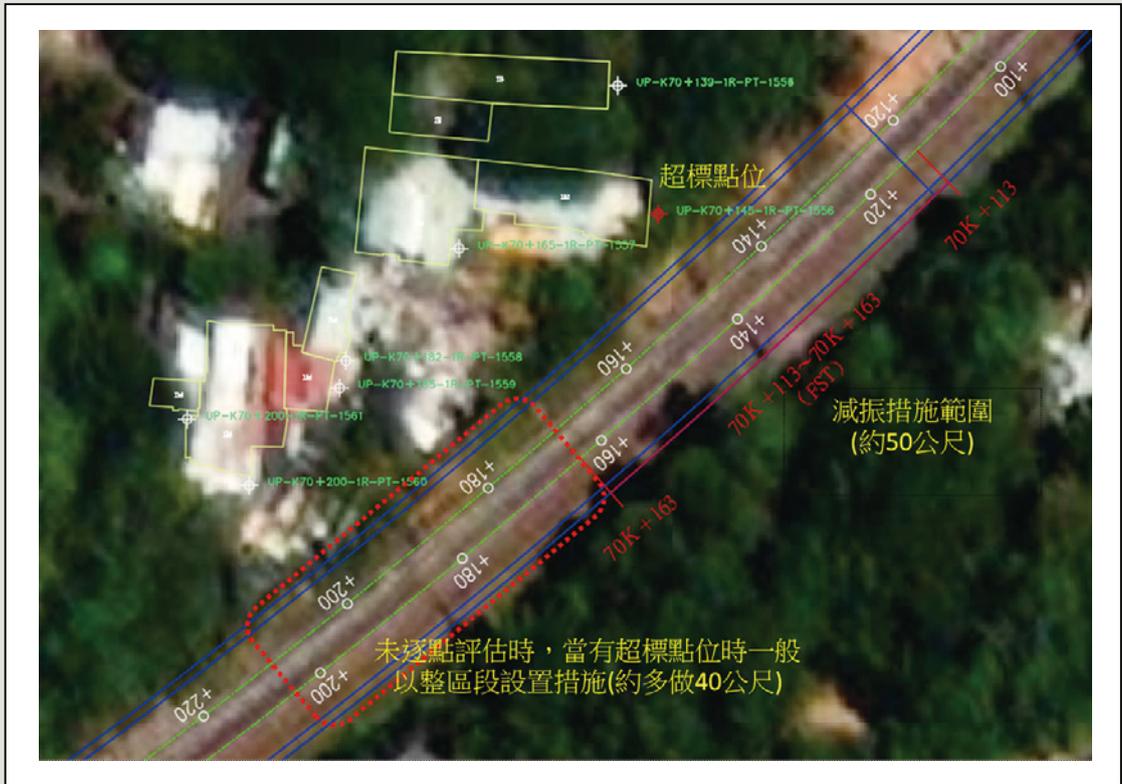


圖 11 減振措施設置長度一般作法與本公司振動輔助評估設計API比較

肆、減振降噪措施

為降低軌道系統交通噪音與振動量對沿線地區之影響，可從音源(振源)、傳遞路徑、受體端著手控制。根據本公司近年軌道建設噪音振動防制之精進作為，包括訂定機關噪音振動防制需求書落實於契約履行，其中涵蓋噪音振動防制工作之設計、審查、驗收流程及兼顧民意與環保需求之設計標準，先於音源端進行減量，次於傳遞路徑進行防制策略，以及參考國外經驗處理高架橋下反射音問題等^[22]，具體作法有機電車輛及軌道減振降噪設計，如訂定車輛行駛時之車外噪音限值(較低音量之車輛)，採用減振降噪鋼輪、可動岔心、長焊鋼軌等設施以降低鋼軌噪音量。此外，國內常見土建減噪措施為軌道與受體之傳遞路徑間設置隔(吸)音牆，利用不同型式及材質之隔音牆降低列車行駛所產生之空傳噪音。

本公司為國內工程顧問公司噪音振動領域之先驅者，藉由不斷累積設計及陳情改善案之實務經驗，參考國內外相似案例，提出本公司精進應用實務案例之減振降噪措施，包括：倒N型吸音裝置(專利設計)、鋼軌減振材、道床吸音磚、鋼軌潤滑塗佈器等(參見圖12)，有效提升防制效果。根據相關研究^{[22][23][24]}顯示軌道系統減振降噪成效(參見表11)，噪音方面，以音源端改善措施種類最多，減音量介於2~17.9dB之間，其次是傳遞路徑以設置隔(吸)音牆及橋底吸音裝置為主，最大減音量為12dB；振動方面，則以振源端(車輛、軌道)進行減量為主，如採可動式岔心、浮動式道床及鋼輪維持真圓等，均有一定減振成效。

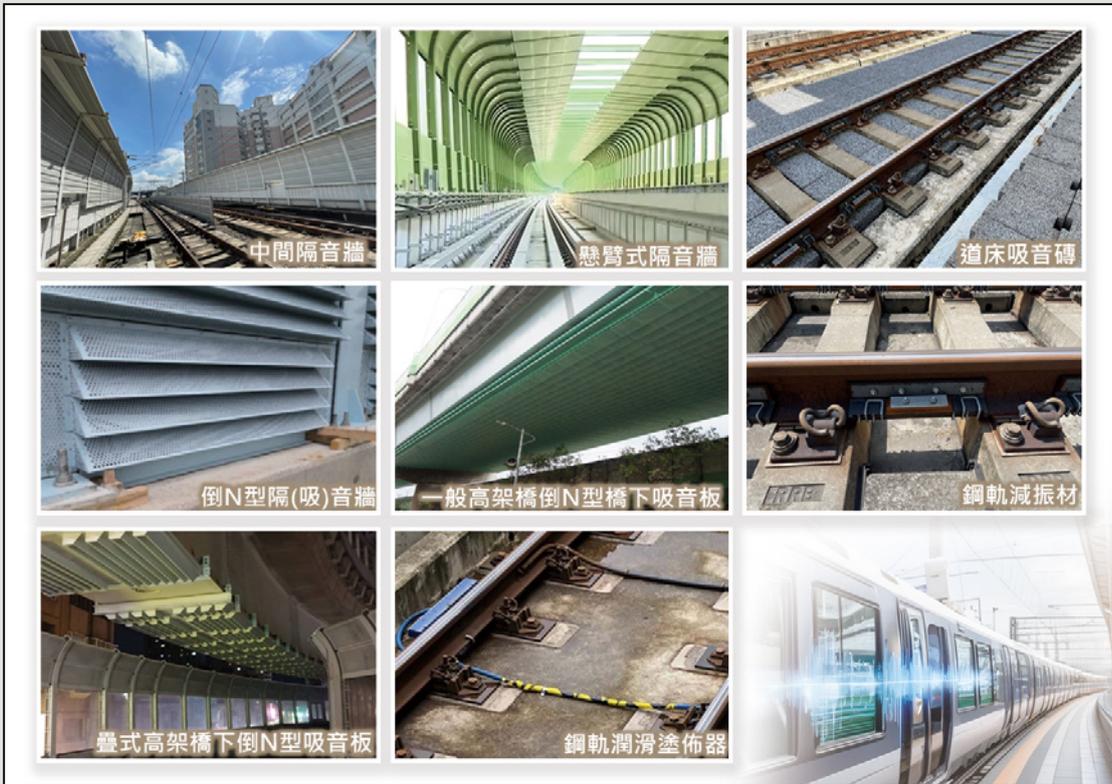


圖12 本公司減振降噪措施精進案例

表11 軌道系統減振降噪成效

控制對象	控制方式	改善目標	改善措施	減噪(振)效果dB
噪音	音源	車體	裝設鋼輪吸音裙	2-3
			牽引電機風扇裝設消聲器	2-3
			剎車材材料更換	6-7
		輪軌音	鋼軌減振材	3
			道床吸音材	3
			彈性鋼輪	2-3
			減振降噪車輪	17.9
			鋼軌噴油	2-5
			長銻鋼軌	3-10
	傳遞路徑	空氣音	隔(吸)音牆	0-12
		橋底反射音	橋底吸音裝置	0-5
	受體	空氣音	隔音門(窗)	10-20
	營運管理	柴油貨車	深夜12時以後禁駛柴電貨車	25
			電力機車取代柴電貨車	3-15
採用低噪音電力機車			8	
振動	振動源	軌道結構振動	定期維護，消除軌面不平整以及維持鋼輪真圓	0-20
			可動式道岔	10-20
			浮動式道床	10-20
			彈性扣件	5-10
			隔振毯/浮動式道版	10-20
			彈性基板	5
			降低營運車速	$20 \cdot \log(V/V_0)$

結論與建議

為減緩氣候變遷及兼顧環境永續發展，推行綠色軌道運輸系統是必然的趨勢，而為降低其營運衍生的噪音振動影響，維護國民健康與環境安寧，建議噪音影響評定及增量容許限值應就不同時段分別考量，日間為10dB、夜間為5dB，並建議就未來新建、改建或延伸路線下修各時段小時均能音量值及平均最大音量，如表4所示。振動方面，建議於環評階段納入「環境振動管理指引」建議值為評估基準，設計階段則依「軌道系統噪音與振動評估及防制規範(草案)」選用不同結構及軌道型式之振動設計值。

在評估技術精進作法，建議軌道交通噪音預測模式更新為Schall03 2014版本，縮小預測值與實測值之差距；環境振動評估技術規範修正前，修正計算公式中振源輸入值；設計階段導入自動化設計，有利於“逐棟”評估，可更精準掌握影響範圍，避免設計成果過份保守進而有效控制工程預算成本。

參考文獻

- 交通部，第二期運輸部門溫室氣體排放管制行動方案（核定本），民國111年9月。
- 經濟部能源局，「綠色為底，永續為要——交通運具的節能減碳」，能源報導，民國99年5月5日。<https://magazine.twenergy.org.tw/Cont.aspx?CatID=&ContID=1653>
- European public health alliance, 2023.Climate Noise : The intersections between climate change and noise pollution.
- Tom Cole-Hunter., et al., 2015.Long-term exposure to road traffic noise and all-cause and cause-specific mortality: a Danish Nurse Cohort study. Science of the Total Environment 820, 153057.
- 行政院環境保護署，「環境振動管理指引」，110年12月20日。
- Diyar Khan., et al., 2023. A review on different regulation for the measurement of transport noise and vibration. Journal of measurements in engineering. June 2023, volume11, issue2.
- 交通部鐵道局，「鐵道局環境教育簡報：軌道系統振動噪音課題- 日本參訪經驗心得分享」，109年9月9日。
- 交通部鐵道局，「軌道系統振動與噪音評估及防制規範報告」，108年12月。
- Federal Transit administration,2018.Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual.
- 環境保護署，「鐵路交通噪音評估模式技術規範」，92年1月9日。
- 交通部，「軌道系統噪音與振動評估及防制規範(草案)」，108年12月。
- 交通部鐵道局，「鐵道工程設計階段噪音振動防制注意事項」，107年7月。
- ISO 2631-2,2003. “Mechanical vibration and shock” —Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part2 : Vibration in building(1Hz to 80 Hz).

14. ISO 2631-2,1989. "Evaluation of human exposure to whole-body vibration" — Part2 : Continuous and shock-induced vibration in building(1Hz to 80 Hz).

15. Department of Rapid Transit Systems Taipei Municipal Government Republic of China, September 1990, STUDY REPORT NO. FE-31 TRANSIT NOISE AND VIBRATION - PREDICTION METHODOLOGY AND DESIGN CRITERIA 。

16. 台灣世曦研發計畫，「因應新訂『環境振動管理指引』精進環境振動調查分析之研究」，112年度。

17. Moehler U, Liepert M, Kurze U J and Onnich H ,2007. The new German prediction model for railway noise "Schall 03 2006" - Potentials of the new calculation method for noise mitigation of planned rail traffic [Online]. Proceedings of the 9th International Workshop on Railway Noise, Munich, Germany.

18. 中華技術期刊，No.109，「臺灣鐵路系統噪音調查、成因分析及沿線超標範圍預估」，111年10月，105年1月。

19. H. J. A. Van Leeuwen,1999.Railway noise prediction models : a comparison. Journal of Sound and Vibration(2000)231(3),975-987.

20. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur,2015. Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes(Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV)Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)Teil 1: Erläuterungsbericht.

21. DataKustik,2019.CadnaA-Reference Manual 。

22. 中華技術期刊，No.136，「三鶯線捷運統包工程噪音防制規設精進作為」，111年10月。

23. 交通部臺灣鐵路管理局，「宜蘭線K8+250-550左側噪音改善計畫」，100年11月。

24. 交通部鐵道局，「軌道系統振動與噪音評估及防制規範報告(定稿本)」，108年12月。

面對淨零浪潮—— 下世代園區規劃 設計新樣貌

關鍵詞(Key Words)：淨零排放(Net Zero Emissions)、下世代園區(Next-Generation Science Park)、科學園區(Science and Technology Park)、產業園區(Industrial Park)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／協理／吳律平 (Wu, Lu-Ping) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／經理／黃敦博 (Huang, Tuan-Po) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／陳威志 (Chen, Wei-Chih) ❸

摘要

2050淨零排放成為疫後全球大挑戰，為迎向全球淨零壓力和淨零供應鏈重組趨勢，下世代園區更肩負淨零轉型之新任務。本研究目的是探討國內外園區規劃設計新動向，協助提供我國推動下世代園區淨零轉型規劃設計之建議參考。



Embracing the Net Zero Wave - Designing the New Landscape of Next-Generation Science Parks

Abstract

By 2050, achieving net zero emissions has become a major global challenge post-pandemic. In response to global pressure for net zero and the trend of restructuring supply chains towards net zero, the next-generation science parks bear a new mission of transitioning to net zero. The purpose of this study is to explore new trends in park planning and design both domestically and internationally, providing recommendations to assist our country in promoting the planning and design for the net zero transition of next-generation science parks.

3

專題報導

壹、前言

產業園區、科學園區、創新區域等產業發展聚落區域，是世界各國推動產業與區域創新發展重點政策工具。¹面對2050淨零排放成為疫後全球大挑戰，各國政府、國際品牌商皆陸續宣示並加速投入淨零行動。據此，為迎向全球淨零壓力和淨零供應鏈重組趨勢，下世代園區更肩負淨零轉型之新任務。近年諸如零碳(低碳)智慧園區、永續智慧園區、生態工業園區等，成為近年園區關切發展標的。從國內外相關文獻探討，可以發現試圖從總體規劃、評價體系、智慧科技應用等各方面探索園區未來發展(Makhdoom et al., 2022；德勤和華為，2022；魏雲魯等，2022)。然對於園區發展定位、開發規劃、營運管理、創新服務，以及相對應的工程規劃設計等，仍待提出具體整體發展圖像。因此，本文目的是探討淨零浪潮下，國內外園區規劃設計新動向，協助提供我國推動下世代園區淨零轉型規劃設計之建議參考。

貳、全球園區發展規劃之總體動向

為帶動全球園區永續發展，全球經濟特區聯盟(GASEZ，2022年由聯合國貿易和發展會議(UNCTAD)、世界科學園區協會(IASP)等8個組織組成)，於2023年首次遴選並發布全球50個「永續發展目標示範區」(SDG Model Zones)，做為全球園區借鏡標竿。其遴選標準主要三項為：1.促進永續發展目標的投資；2.達社會、環境及治理標準；3.透過聯繫和外溢效應促進包容性成長。

針對園區規劃設計動向，以科學園區為例，IASP每3年針對全球會員進行發展動向調查，期能協助科學園區佈局未來發展策略。根

據2022年發布的最新調查報告(IASP,2022)，可歸納5大趨勢要點：

一、園區用地持續擴張

為擴大吸引企業用戶進駐，78%科學園區表示自成立以來已進行用地擴張或重新設計，同時有74%表示近期正規劃擴張園區用地。可知即使近年受到新冠疫情衝擊，科學園區仍呈現韌性成長的發展趨勢。

二、園區地理區位以城市、鄰近大學為主

IASP(2022)表示科學園區地理位置對園區策略發展布局是重要關鍵，尤其為吸引人才。據調查，科學園區位於城市地區(84%)為大宗，並選擇位處或鄰近大學(57%)。此外，可觀察到園區與在地產業發展緊密鏈結，有41%園區廠商屬於在地產業、26%為國內企業。

三、園區機能愈加重視休閒及住宅設施

目前全球科學園區占地規模以中小型為主(43%<20萬平方公尺)，園區基礎建設關切孵化器、加速器等新創支援服務，同時也愈加重視人才生活發展需求，如綠地休閒空間、5G網絡通訊、公共交通和住宅設施等。

四、園區服務為吸引廠商進駐關鍵

科學園區在企業知識性服務主要提供-社群營造(89%)、商業發展與支援(86%)、技術移轉(73%)；針對企業一般性服務，科學園區主要提供-會議室(92%)、禮堂/會議廳(91%)、共享辦公空間(88%)。另一方面，近年面臨新冠疫情衝擊，園區愈加關注混合辦公模式之發展趨勢及其相關服務需求。

¹ 本文探討下世代園區，觀測標的包括產業園區、科學園區、創新區域等相關產業聚落。

五、「品牌形象」為園區發展關鍵首位

科學園區成功關鍵因素，依序為園區品牌形象(67%)、吸引優質人才(65%)、與大學合作鏈結(62%)、擁有持續成長的成熟企業(62%)、新創企業(61%)、擁有定錨企業(52%)、促進共創和開放創新(52%)等。(圖1)

	Not important	Slightly important	Moderately important	Very important
園區的形象與聲望	0.9%	6.2%	24.8%	67.3%
廠商擁有具專業與積極性人才	0.9%	8.8%	25.7%	64.6%
鏈結大學/高教機構	1.8%	8%	28.3%	61.9%
持續成長的成熟企業	0.9%	8.8%	28.3%	61.9%
持續成長的新創企業	0.9%	7.1%	31%	61.1%
擁有定錨企業	0.9%	15.9%	31%	52.2%
促進共創和開放式創新	1.8%	13.3%	32.7%	52.2%
機構支持	1.8%	13.3%	32.2%	47.8%
促進園區企業和在地大學合作	2.7%	5.3%	44.2%	47.8%
成功技術研轉	1.8%	15%	36.3%	46.9%

資料來源：IASP(2022). IASP Global Survey.

圖1 科學園區成功因素

參、國際園區淨零規劃設計新動向

一、成熟園區淨零轉型再造之案例研析

(一) 荷蘭-恩荷芬高科技園區(High Tech Campus Eindhoven, HTCE)

荷蘭恩荷芬高科技園區被譽為歐洲最聰明的地區，於2019年底提出園區未來10年發展願景，規劃2025年將成為歐洲最具永續發展園區，2030年邁向全球領先創新中心。共三大策略支柱-環境友善(Environment Friendly)、舒適辦公(A great place to work)、加速創新(Accelerating

Innovation)。

在環境友善策略下，HTCE導入智慧節能、智慧交通、智慧建築、智慧治理等多元智慧科技，同時重視與各方創新合作。如智慧節能方面，HTCE於園區30個屋頂安裝11,000塊太陽能板、封閉式水管理系統、季節性熱能儲存系統，並為園區購買100%的綠色電力。智慧交通方面，透過城市電動巴士與恩荷芬中央車站往返接駁(約25分鐘)；規劃於園內或附近建置加氫站等；採用園區新創GO Sharing踏板車和電動自行車的智慧共享移動APP。

智慧建築方面，園區80%建築通過歐洲和荷蘭能源等級認證；自2013年以

來，園區新建築不使用燃氣。尤其2021年HTCE落成「永續景觀大樓」(Sustainable Landscape villa)，以國際健康建築標準WELL金級、國際綠建築標準BREEAM卓越級標準打造，並在該大樓成立Workplace Vitality Hub生活實驗室，推動園區及未來社會健康工作場域發展，並於園區進行相關測試，如智慧垃圾回收。園區治理方面，HTCE參與歐盟5G無人機實驗測試，透過無人機監測園區人流量、測量碳足跡、建築物維護等，同時結合數位雙生(Digital Twin)主動管理園區運營、場景規劃和預測性維護。

(二) 南韓 - 新萬金智慧綠色產業園區 (새만금 스마트그린산업단지)

為振興疫情後經濟，南韓政府於2020年發布「南韓新政」，當中「智慧綠色產業園區」為推動措施之一。同年9月，頒布「智慧綠色產業園區推動策略」希冀推動現有產業園區「數位化、綠色化、人性化」轉型，為第四次工業革命發展基地，共有10大推動項目：(1)數位轉型：如共享物流平台、園區大數據中心等；(2)綠色轉型：重視擴大可再生能源、工廠智慧能源管理系統、產業共生資源循環、智慧物流生態體系、綜合安全管控中心等；(3)人性化機能：如實務培訓課程、擴大公共交通路線、生活便利設施。

2022年7月，南韓宣布新萬金國家產業園區（第5區和第6區）為首個智慧綠色產業園區，表示2040年將成為南韓首個實現RE100的產業園區。新萬金國家產業園區成立於2008年，聚焦發展汽車零組件製造業、新材料、製造服務

業領域(圖2)。其轉型為智慧綠色產業園區，共有兩大目標：

1. 構建環保能源自給自足的新再生能源產業園區
 - A. 擴大再生能源
 - (短期)規劃園區內30MW，園區外150MW，共安裝180MW太陽能發電
 - (長期)規劃海上浮動太陽能和燃料電池發電實現RE100
 - B. 構建智慧綠色能源綜合平台
 - 優化能源自給自足的能源管理平台(如數據收集、利用和監控)
 - 構建能源利益最大化的能源交易體系
2. 打造應用智慧綠色技術面向未來的環保產業園區
 - A. 打造以數位雙生為基礎之營運管理



資料來源：本研究整理國土交通部(2022)。新萬金國家工業園區，首次被指定為智慧綠色國家示範工業園區
(새만금 국가산단, 스마트그린 국가시범산단 최초 지정)。

http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dt1.jsp?lcmepage=1&id=95086937

圖2 新萬金智慧綠色產業園區

- 數位災難安全管理系統
- 智慧交通服務

B. 導入強化園區安全和減少碳排之智慧科技

- 複合能源充電站
- 智慧停車場
- 空氣質量信號燈

二、新設園區淨零規劃設計之案例研析

(一) 新加坡-裕廊創新區(Jurong Innovation District)

因應工業4.0浪潮，2016年新加坡政府提出裕廊創新區規劃構想，第一期工程約在2022年完成(規劃20年完成整體建造)，助力新加坡2030年成為先進製造業的全球業務、創新與人才中心之發展願景。裕廊創新區總占地620公頃，由五個區塊組成-南洋理工大學、潔淨科技園、峇哈區(Bahar，支援先進製造R&D、人才培育)、武林區(Bulim，規劃為未來工廠)、登加區(Tengah，規劃為新市鎮)。當中，潔淨科技園提供熱帶城市環境中潔淨新科技之研發和測試機能，如乾/濕實驗室、商業化設施；整體園區重視空間高效運用，包括空中廊道串接園區五大區，友善行人、自行車、自駕車等通行；打造地下中央服務通道和地下物流網，減少園區交通阻塞問題，及釋放更多路面空間，預計2024年分階段完工。

整體園區利用地勢設計暴雨集水系統和公路系統，規劃綠色走廊並設置有蓋走道方便步行，建置建築屋頂太陽能、電動汽車充電站。此外，布建Bulim Park等綠色休閒空間，提供社區休閒池塘，並為集中雨水滯留和淨化池。登加區則規劃4.2萬套新房屋，其中超過70%是公共住宅，並具備學前、中小學等教育機能；營造施工導入「整合數位交付」(IDD)，縮短50%建築週期，減少20%成本，並提高品質和安全性。

(二) 德國-柏林歐瑞府能源科技園區(EUREF-Campus Berlin)

柏林歐瑞府能源科技園區原為舊煤氣廠區，直到2007年德國歐瑞府公司(EUREF AG)從柏林煤氣公司收購該區土地後，開始在儲氣塔原址的周圍區域，結合官產學研共同建造全新的、氣候友好的智慧園區，於2014年園區即達碳中和目標。(圖3)

1. 能源端：園區70%能源來自太陽能和風能發電，如屋頂型太陽能、太陽光電車棚、小型風力發電機；30%能源來自沼氣，由勃蘭登堡州農業垃圾製成，並結合綠電採購。
2. 電網端：採用智慧電網發揮智慧調控功能(如搭載天氣預報模組)，以因應使用風力、太陽光電等再生能源發電容易有間歇性和不穩定的問題。同時採用施耐德電氣EBO大樓運營系統、生產運行能源管理系統(PEM)，提高園區能效運行。
3. 儲能端：回收電動車電池組成固定式電池儲能設備，並採取電轉熱、電轉冷技術(水儲存)，以進行風力、太陽光電發電過剩的能源儲存。
4. 創新減碳措施：新建建築採節能保溫材料等技術，並獲LEED鉑金等級認證。部分建築外牆懸掛藻類生物反應器，每年藻類產量達200公斤，每公斤藻類吸收二氧化碳約2公斤，清除有害二氧化氮等廢氣。



資料來源：本研究整理自城市「碳」索之路：從歐洲首個零碳園區到全球100座零碳城市(2022)。
<https://xueqiu.com/8995599040/226308631>

圖3 柏林歐瑞府能源科技園區

肆、國內園區淨零規劃設計新動向

一、科學園區邁向淨零轉型規劃佈局

我國科學園區在竹科、中科、南科轄下，目前共有13個園區基地，近年因美中貿易戰造成台商回臺或國際大廠轉單效應，提高國內廠商新設或擴廠之用地需求。從2019年至2024年3月底，行政院已核定9處新設及擴建科學園區，如竹科X基地、台中2期、橋科、屏科、嘉科等。根據2023年1月，國科會於行政院會報告「科學園區整體規劃布局」，提出園區未來發展願景三大策略規劃包括：

- (一) 精緻多元：發展高值化、多元、國際化精緻園區，包括面對產業創新轉型需求，儲備產業用地；以半導體產業為優勢，布局新興科技產業。
- (二) 優生活：強化在地鏈結共榮共存，吸引青年人才，包括串聯園區與在地交通，提供永續運輸模式、擴大實驗中學，公共托育能量、打造住商複合，全功能生活服務區。

- (三) 節能永續：跨部會合作、打造園區永續環境，包括輔導廠商節電，推動再生能源及再生水；規劃園區內設置廢棄物處理設施。(圖4)

當中，為打造節能永續園區，針對再生水、再生能源、廢棄物再利用提出具體發展目標。如2023年4月，國科會針對新設園區「用電大戶」，加強廠商設置再生能源設備要求，如半導體業須每年取得實際用電量的20%再生能源，至2050年須取得100%再生能源；非半導體業用電契約逾800kW以上，須設置廠商前一年契約容量之20%再生能源義務裝置容量。

科學園區自2016年起，透過「運用ICT技術發展智慧園區計畫」，以智慧交通、智慧永續、智慧治理為發展主軸，導入6大智慧化服務與設施，提高園區營運效能和環境永續。至今竹、中、南科投入淨零轉型，尤其智慧創新應用各有不同推動重點：

- (一) 竹科：新竹生醫園區研發大樓率先整合節能、創能(太陽光電、小型風力發電機)、儲能、智能(BEMS，能源管理系統)，構建研發大樓智慧電網。鏈結在地

布局智慧交通，與新竹縣市政府合作推動「AI智慧交控試辦計畫」，解決園區與縣市間連絡幹道交通壅塞問題。

- (二) 中科：中科台中園區污水處理廠導入智慧污水排放緊急應變管控、污水下水道系統智慧營運及管理系統，確保污水廠全年放流水質均符合國家放流水標準及環評加嚴標準。中科與台積電合作於台中園區環保設施用地打造零廢中心，每年約可減少14萬噸廢棄物區外處理量，並降低事業廢棄物去化及清理風險。
- (三) 南科：2022年為率先導入再生水的科學園區，並有首座科學園區再生水廠（台積電南科再生水廠，為全臺第一座首創再生水回用半導體製程水源）。勤崑國際於2022年11月通過經濟部「TSMC廠區擴大自駕接駁」無人載具沙盒實驗計畫，在南科F18廠採用自駕接駁服務。

工，共有29家廠商進駐，園區二期預計2024年10月完成開發及廠商進駐投產，目標成為全國首創智慧機械園區及智慧健康照護科技園區。園區淨零規劃設計包括：

- (一) 管理中心智慧整合平台：結合建築碳盤查系統、智慧整合平台、BIM視覺化設施管理系統、AI數位雙生演算服務、智慧微電網(太陽能/儲能)。當中將園區管理中心導入建築碳足跡規範，掌握建築生命週期所產生碳排放量；在設計階段，透過BIM模型進行碳排模擬與低碳設計；在施工階段，透過PMIS模組進行施工日誌紀錄項目的碳排統計；在維運階段，運用建物營運碳管理模式檢視碳排放量，並分析數據統計結果提供改善建議。
- (二) 智慧連動環境監測系統：裝設多功能氣象站、空氣品質檢測儀、淹水偵測器、日照計感測、震動監測儀等設備，透



資料來源：國科會(2023)科學園區整體規劃布局。

圖4 科學園區邁向節能永續之布局

二、產業園區邁向淨零轉型規劃佈局

各地方政府近年也積極開發智慧綠色產業園區，以嘉義縣政府馬稠後產業園區為例。整體園區土地面積約430公頃，目前園區一期已完

過系統平台進行遠端紀錄、分析、監控環境實況。如可遠端操控照明設備，結合主動偵測日落、日出照度自動調整迴路燈光；空氣品質監測則在室內空氣品質降低，抽排風系統會自動加速運轉換

氣，達環境品質與節能的平衡。

- (三) ERP營運管理資訊系統：針對園區進駐廠商，導入企業資源管理規範，建置營運管理資訊系統平台入口網站，提供廠商基本資料維護、場地租借管理、行政文件申辦查詢、線上繳款服務等，推動數位化線上作業方式，減少用紙。

結論與未來展望

歸納全球園區總體發展和國內外案例研析，發現下世代園區總體發展圖像有以下4大特點：

一、發展定位

產業園區、科學園區、創新區域等是國家及區域重要創新樞紐，未來愈加重視扮演社會變革創新加速器(Accelerators of Societal Change)的角色。此外，園區將鏈結國家和在地，打造園區淨零排放路徑策略規劃，為產業數位及淨零轉型之平台。

二、開發規劃

園區在設計規劃階段愈加重視結合數位科技，如建築碳盤查系統、BIM視覺化設施管理系統、AI數位雙生等。整體規劃也更加重視與在地打造複合共同生活圈(如15分鐘城市生活圈)、自然生態共存，並導入永續、智慧化規劃建設(如智慧電網、智慧交通、智慧建築等)。

三、營運管理

園區愈加重視打造智慧管理平台，提高園區營運團隊數位管理和服務能力；尤其園區將愈加重視結合廠商和新創之創新科技應用，成為其淨零創新最佳展示櫥窗。

四、創新服務

支持淨零科技落地發展，成立相關創新實驗示範場域，提供淨零科技實驗、測試、展示及擴散功能，如測試平台、生活實驗室、監理沙盒。

針對園區工程規劃，迎向淨零轉型具有6大重要趨勢：

(一) 高效空間/節能

1. 重視立體化空間規劃，如地下物流網、空中廊道。
2. 考量最適營建規模、資源最佳化/節能規劃(含採光、通風、用水、能源管理)，避免低效土地利用、能資源消耗。

(二) 推展循環經濟

1. 建築領域：如採行木構造、循環再生材料、當地材料、建材可拆解回收再製等，並重視取得綠色建築認證。
2. 重視用水回收、再生水應用、廢棄物再利用等。

(三) 生態友善規劃

1. 公共空間的綠色規劃，如綠色廊道、景觀綠化、植生牆體、垂直綠化設施等。
2. 關切園區生態保育和復育，如設置生態保護區、人工濕地，擴增碳匯。

(四) 智慧科技應用

1. 從園區設計至營運，導入數位雙生，優化園區能資源使用。
2. 重視集中化智慧管理設施，如智慧氣動垃圾收集系統、區域冷卻系統。
3. 搭配布建5G網絡通訊、資安網路基礎建設。

(五) 分散式智慧電網系統

1. 結合多元再生能源，包括太陽能(如浮動太陽能、建築整合太陽能，BIPV)、風能、沼氣(如廢水處理廠汙泥沼氣發電)、地熱。
2. 布建大容量儲能、智慧電網、結合AI預測分析。

(六) 綠色智慧交通

1. 強化以大眾運輸導向型(TOD)發展規劃，以及友善行人、自行車通行路線。
2. 建置智慧月台、智慧電動充電樁、AI號誌管制、自駕車/電動車接駁服務等。

檢視下世代科學園區發展路徑，可發現園區規劃設計愈加重視結合淨零數位雙軌轉型。目前我國科學園區和產業園區皆致力開創新型園區發展模式，借鏡國外園區及前瞻未來發展趨勢，建議園區開發和營運評估導入新世代科學園區總體發展和工程規劃趨勢。此外，園區從開發階段，應可擴大各界創新合作機會，結合導入新興智慧、淨零科技創新應用、驗證，如新創採購，並為吸引廠商進駐、孵化新創誘因；建立跨域或跨園區新型態產業共生模式，

打造綠色科技供應鏈；更可透過打造新世代科學園區工程規劃，建立園區感測系統數據資料規範、設備規格標準等，並且重視相關配套措施，如資訊安全、科技導入生命週期等，鏈結產官學研布建我國智慧永續園區建置標準、展示櫥窗、海外輸出模式。

參考文獻

1. IASP(2022).IASP Global Survey.
2. Makhdoom, I., Lipman, J., Abolhasan, M., & Challen, D. (2022), "Science and Technology Parks: A Futuristic Approach," IEEE Access, 10, 31981-32021.
3. 城市「碳」索之路：從歐洲首個零碳園區到全球100座零碳城市(2022)，<https://xueqiu.com/8995599040/226308631>
4. 國土交通部(2022)。新萬金國家工業園區，首次被指定為智慧綠色國家示範工業園區(새만금 국가산단, 스마트그린 국가시범산단 최초 지정)。 http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtI.jsp?lcmepage=1&id=95086937
5. 國家科學及技術委員會(2023)。科學園區整體規劃布局。
6. 德勤和華為(2022)，2022未來智慧園區白皮書。
7. 魏雲魯等(2022)，低碳智慧新世代園區規劃概念-以嘉義科園為例，工程，第95卷第4期，48-65。

他山之石——國外 永續循環場域參 訪實例介紹

關鍵詞(Key Words)：永續(Sustainable)、循環經濟(Circular Economy)、搖籃到搖籃(Cradle to Cradle)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／林宏宇 (Lin, Hung-Yu) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／翁志偉 (Weng, Chih-Wei) ②

Park²⁰/₂₀

摘要

歐盟於2001年制定了推動經濟、社會和環境的永續發展策略（European Union Sustainable Development Strategy, EU SDS），這是歐盟首次制定關於永續發展的整體策略性文件。該策略設定了一系列具體目標和指標，以指導歐盟成員國在各個政策領域推動永續發展，之後也反映當時的新挑戰和優先事項陸續進行了更新。荷蘭身為歐盟的成員國，其政府透過政策支持、社會參與以及國際合作等手段，持續推動國家的永續發展，而荷蘭在土地利用規劃、水環境管理、氣候變遷、循環經濟等方面皆已獲得豐碩的成果，並且成為其他國家爭相仿效的對象。筆者有幸陪同嘉義縣政府相關單位參訪荷蘭2處永續循環的模範場域，希望透過本文分享實地參訪所見所聞，期能對讀者有所啟發，並於往後國內推動園區開發有創新的思維及作法。



Introduction to Examples of Visits to Foreign Sustainable Circulation Fields

Abstract

The European Union established the European Union Sustainable Development Strategy (EU SDS) in 2001, marking the first comprehensive strategic document on sustainable development within the EU. This strategy sets out a series of specific objectives and indicators to guide EU member states in promoting sustainable development across various policy domains. Subsequent updates have reflected evolving challenges and priorities at the time. As a member state of the EU, the Netherlands government has continuously promoted national sustainable development through policy support, social participation, and international cooperation. The country has achieved significant results in areas such as land use planning, water environment management, climate change, and circular economy, becoming a model for emulation by other nations. The author had the opportunity to accompany relevant units of Chiayi County Government on visits to two exemplary sites of sustainable circular in the Netherlands. Through this article, the author hopes to share insights gained from the field visits, inspiring readers and fostering innovative thinking and practices for future domestic park development initiatives.

3

專題報導

壹、荷蘭永續循環場域介紹

筆者陪同嘉義縣政府相關單位人員參訪荷蘭Park20|20園區及De Ceuvel園區，此2處園區為荷蘭著名的永續循環示範場域，以下為各園區之基本資料及特色介紹：

一、Park20|20園區

(一) 園區地理位置及環境

Park20|20園區位於荷蘭的霍夫多普(Hoofddorp)，阿姆斯特丹史基浦機場(Amsterdam Airport Schiphol)的西南側，鄰近高速公路、火車站以及機場，因交通便利且地理位置優越，目前已吸引了許多世界知名的企業及新創公司進駐。園區融合了住宿、商業、辦公和休閒空間，並持續營造成綠化、人本及永續發展的環境，也因其優質的環境條件，使Park20|20園區成為荷蘭最理想的商業和新創基地之一(圖1)。

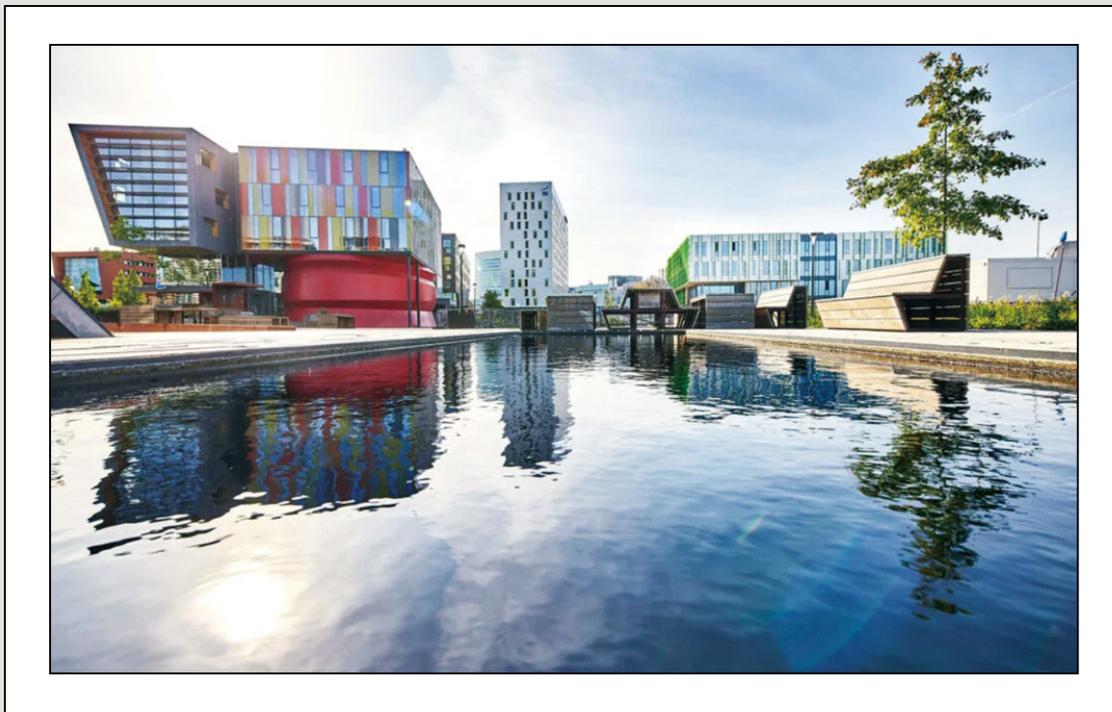
(二) 園區開發沿革

Park20|20園區自2012年開始著手進行開發，是由總部位於荷蘭的三角洲開發公司(Delta Development Group)與美國建築師William McDonough共同攜手打造。三角洲開發公司專注於建設符合可重複利用且具綠色環保的建築或場域，促進人與自然之間的和諧共生，並將環境永續原則融入到每個項目的規劃、設計和建設中。而建築師William McDonough則為搖籃到搖籃(Cradle to Cradle，簡稱C2C)概念創始者之一，強調將產品設計、生產和資源利用視為一個循環，從而實踐對環境的最小影響。此兩方的理念相近，從而積極的進行合作，並將概念轉化為現實，成就了這處永續發展的園區(圖2)。



圖片來源：<https://park2020.com/>

圖1 Park20|20園區廠商進駐示意圖



圖片來源：<https://www.deltadevelopment.eu/en/project/share/>

圖2 Park20|20園區實景照

(三) 園區發展特色

因建築師William McDonough身為C2C的概念的實踐者，故Park20|20園區所有的建設自然以符合C2C概念作為出發點，此概念係通過重新思考產品的設計、生產和使用方式，實現資源的最大化利用以及對環境的最小影響，其主要內涵包括：

1. 循環經濟概念

強調將經濟系統設計成一個週期循環，資源被持續利用而不會消耗殆盡。這包括技術循環（將產品進行回收再利用）和生物循環（將有機物質分解成養分，成為生態系統的一部分）。

2. 選擇健康無毒材料

倡導使用安全、無毒的材料，確保產品在使用後能夠安全地回收或分解，避免對環境和人類健康造成負面影響。

3. 最佳能源效率

鼓勵設計和生產能源效率高的產品，減少對能源的需求和消耗，從源頭降低對自然資源依賴的壓力，並且積極使用再生能源，如太陽能、風力等。

而Park20|20園區即是以C2C概念作為建設核心原則，其主要特色如下：

1. 建築

(1) 設計

園區建築採可拆卸的設計方式，使建築的各個部分可以輕鬆拆卸和分解，進而方便材料的回收和再利用，這有助於減少建築拆除後產生的廢棄物，實現資源永續的循環利用。另外通過可拆卸設計，可以減少在建築改造或拆除過程中產生的浪費，同時降低相關成本。有助於提高建築的經濟效益，並降低整個園

區的營運成本。

(2) 材料

在建築過程中，所有使用過的材料均詳實記錄在材料護照中，這使得材料在建築物生命週期結束時可以清楚的被辨識，並讓拆卸更簡單，重複使用更容易。另外，可生物降解的原料在使用後會回到土壤，再次作為有機養分發揮價值。

(3) 能源

園區建築注重能源效率，採用了各種節能技術和設計，如高效的絕緣材料、太陽能板、通風系統等，以減少能源消耗。

(4) 水

園區建築使用了先進的水循環系統，包括雨水收集系統、中水回收系統等，以實現對水資源的有效再生利用。

2. 共享經濟和合作

園區注重企業間的合作和共享資源的理念，鼓勵企業之間的合作和共享辦公空間、會議設施、餐飲服務等。這種共享經濟的模式有助於提高資源利用效率，降低成本，促進創新和合作，共存共榮發展。

3. 社區參與

園區不僅是一個商業和新創中心，更是一個充滿活力和生機的社區。園區定期舉辦各種社區市集活動和文化藝術展覽等，吸引了許多當地居民和遊客前來參與，強化了社區的凝聚力和交流，並且透過不同的活動，向社區居民傳達C2C理念，提高居民對永續建築的認識和理解。

(四) 園區未來目標

Park20|20園區的未來目標是進一步擴大在永續發展和創新領域的影響力，成為荷蘭甚至歐洲的永續發展典範。園區將持續推動環保工作，繼續改善和擴建生態技術設施，實現資源的最大化利用和循環再生。其次，Park20|20也將進一步開拓創新和科技領域，吸引更多的高科技企業和創業者入駐，推動科技創新和產業升級，實現經濟成長和社會進步的目標。

二、De Ceugel 園區

(一) 園區地理位置及環境

De Ceugel 園區位於荷蘭阿姆斯特丹北部 Buiksloterham 水岸再生區域內，該再生區域曾經是阿姆斯特丹的重要航運和工業中心之一，擁有豐富的水域資源和便捷的交通，目前亦積極進行城市更新計畫，更新計畫包括了建設住宅、商業和公共空間，並將永續發展原則納入到設計和建設過程中，最終目標是將工業區轉變為永續發展的城市。

而De Ceugel 園區於此得天獨厚的地理環境應運而生，園區座落於舊造船船塢範圍，經過改造後，目前已有包含創意辦公室、咖啡館、餐廳、出租空間和飯店等設施。

(二) 園區開發沿革

De Ceugel 園區的開發歷史可以追溯到2012年，當時這片區域仍是一個被遺棄和污染的船塢。長期以來，這裡曾是船舶修理和拆解的場所，大量的工業廢棄物和化學物質對環境造成了嚴重污染。然而，正是在這片荒涼之土地上，一群具有遠見和創新精神的理想主義者們看到了改造的機會，向阿姆斯特丹市政府提送改造方案，獲得許可租用該場地10年，後續因

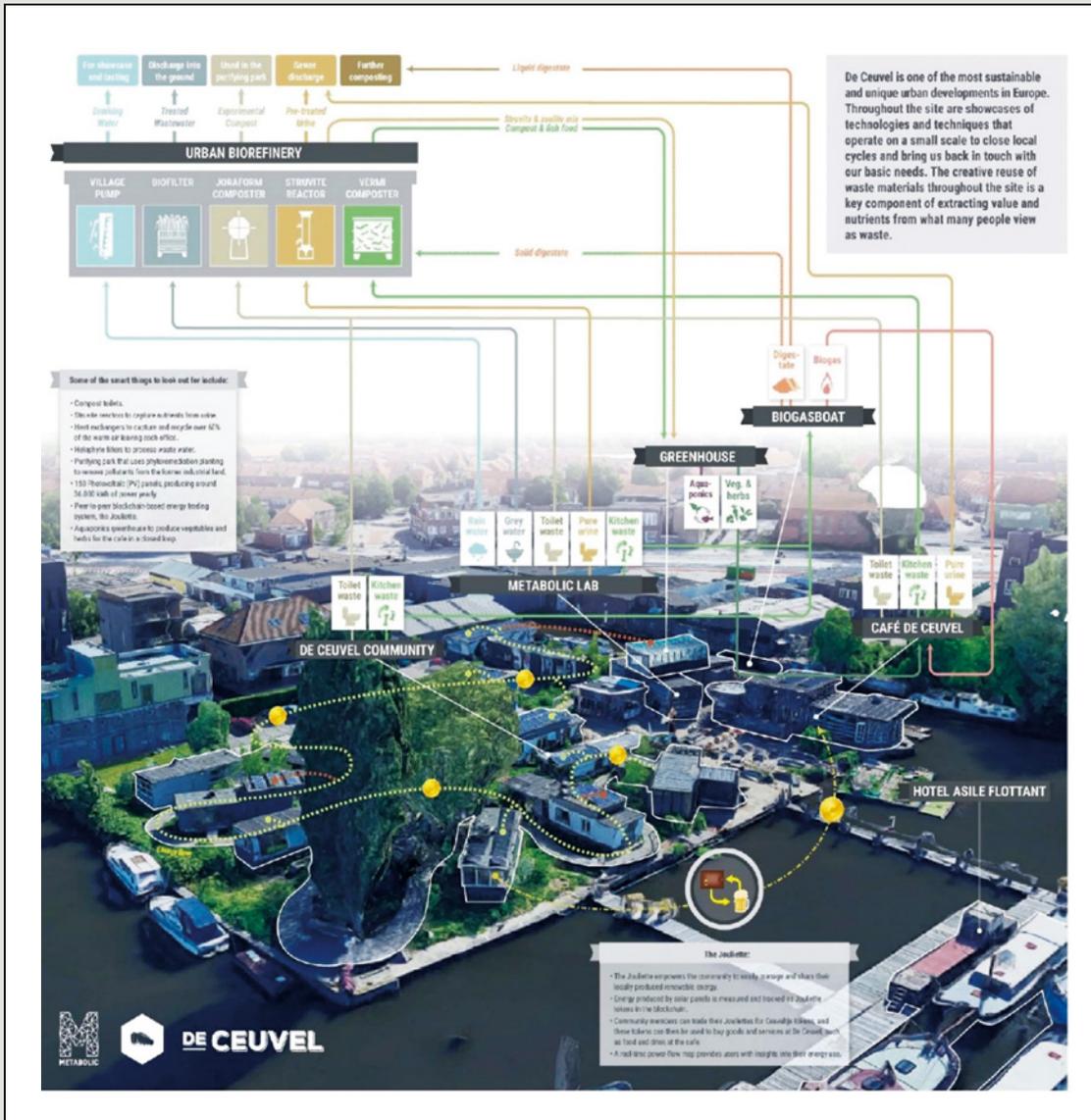
市政府區域整體開發計畫延遲，故De Ceuvel園區使用時間亦獲得展延，目前至少可以使用到2025年1月31日，倘未來市府整體開發計畫再次延遲，園區的使用期限將可再度延後。

改造團隊成立了De Ceuvel基金會，以實踐永續發展和創意再利用的理念對這片荒廢之地進行改造工作。現在已經是一個永續和充滿活力創意的社區，吸引了許多藝術家、創業家和環保主義者進駐，也吸引了許多來自世界各地的人們前來參觀和體驗其獨特的氛圍活力。

(三) 園區發展特色

1. 環境再生與循環利用

園區的首要任務是對廢棄船塢區域進行環境再生，以實現從污染到可再生的轉變，通過運用生物學和化學處理技術，有效去除污染物質，並且利用再生材料建造建築物，實現廢棄資源的再利用，這種環境再生的做法對於改善城市廢棄土地的永續再利用具有重要的參考價值(圖3)。



圖面來源：<https://deceuvel.nl/en/>

圖3 De Ceuvel 園區永續循環利用設施位置圖

2. 生態建築與能源自給自足

園區內的建築設計充分考慮到生態和永續性，並且採用了多種生態技術實現能源自給自足。例如，利用太陽能板和風力發電裝置為園區提供清潔能源，並且設置了雨水收集系統和植物淨化池來處理和循環利用降水。此種生態建築設計和能源利用技術，可提升城市建築的環境友善性，實現對能源的有效管理和利用。

3. 社區參與與共享經濟

園區注重社區參與和共享資源的理念，園區內有各種大小不一的工作室和辦公空間，提供創意企業和藝術家使用，這種共享經濟的模式有助於提高資源利用效率，減少浪費。此外，園區定期舉辦各種社區活動和文化藝術展覽，為居民和遊客提供豐富多彩的文化生活，積極推動社區參與和共享經濟，促進社區發展和文化交流，實現社會共享與共同繁榮。

4. 政府與企業合作的推動

園區的成功來自於政府與企業的積極合作和支持。政府在土地開發和環境修復方面提供了資金和政策支持，企業則提供了技術和資源，共同推動了園區的建設和營運。通過政府與企業的合作模式，促進永續循環發展項目的實施，實現政府、企業和社會的多贏局面。

(四) 園區未來目標

園區的未來目標是進一步擴大其永續發展和創新建設的影響力，首先，園區將持續推動環境保護和生態恢復工作，繼續改善和擴建生態技術設施，提高資源利用效率，降低對環境的影響。其次，也將進一步開拓文化藝術領

域，豐富社區文化生活，促進文化交流和創意產業的發展。另外，園區還將加強與當地政府和企業的合作，推動永續發展理念在更大範圍內的應用，共同打造更美好的未來。

貳、參訪心得感想

荷蘭作為在歐洲一個小而高度發達的國家，跟其他國家同樣面臨著許多環境方面的挑戰，而荷蘭在歐洲的永續環境議題上一直積極參與並發揮領導作用。在氣候變遷和減少碳排放行動上，荷蘭是「巴黎協定」主要支持者之一，於減少溫室氣體排放上採取了一系列措施，包括發展再生能源、提高能源效率、支持電動交通等；在永續城市發展方面，荷蘭的城市規劃和建設格外注重永續性，大量採用了綠色環保材料和環境友善的設計，致力打造成更環保、更宜居的國家。

而筆者所參訪的Park 20120園區和De Ceuveel 園區皆為荷蘭著名的永續循環示範場域，針對2處園區的觀察與感想分述如後：

一、Park20120園區

Park20120園區以其獨特的發展特色，成為了荷蘭第一個以C2C概念開發，並且為兼具商業、創新、生態永續的指標型園區。而實際抵達Park20120園區，映入眼簾的是數棟造型各異的建築物，園區開放空間配合景觀設計手法，漫步其中讓人有舒適、悠閒之感(圖4)，透過園區代表詳盡的解說，可以瞭解到此園區的建設是預先經過相當縝密的規劃、設計以及後續繁複的施工過程，才能有現今的規模，漫長的開發過程皆需遵循永續循環的精神，興建過程中的每一個環節都必須有全生命週期的概念才能確保園區的永續發展。

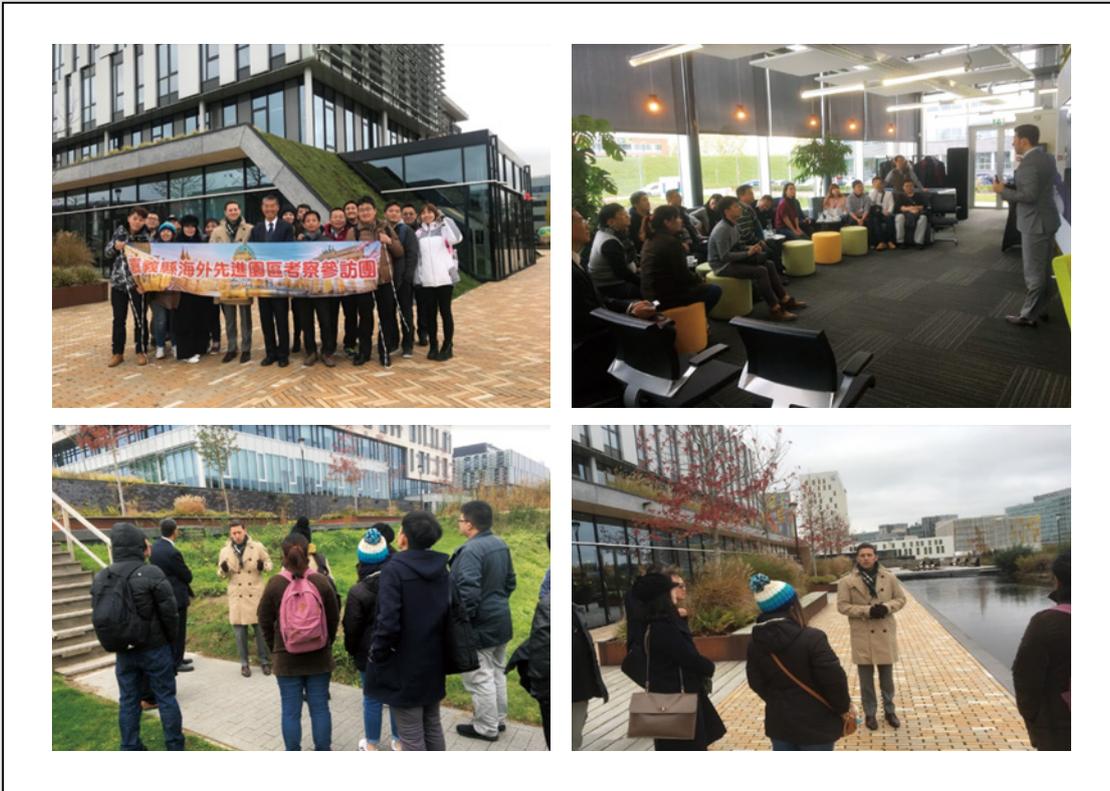


圖4 Park20|20園區參訪照片

參訪過程中對於C2C這個概念特別有印象，傳統商品生產從開採加工使用後，就被視為廢棄物，丟棄成為垃圾，是搖籃到墳墓(Cradle to Grave)的過程，並無循環的概念；而搖籃到搖籃的設計則是將產品材料視為養分，從設計之初就設想如何完全循環回到製造端，也就因此被稱為搖籃到搖籃(Cradle to Cradle)。

目前也有相關機構建立了以C2C為基礎的產品認證制度，它評估產品的整個生命週期，從原料的採集到製造、使用、再利用和最終處置。而荷蘭在這方面一直是屬於先驅者，有非常多的產品獲得了C2C認證。這些產品包括各種建築材料、家居用品、紡織品、化妝品和食品等。通過這項認證表示這些產品被證明在環境、健康和經濟方面都是永續的，符合搖籃到搖籃的原則。

因C2C的認證要求產品在設計、製造和材料

選擇上均需符合嚴格的環境和健康標準，並且通常需要更高成本的材料和生產方法，以確保產品的永續性和環境友好性，所以，經過C2C認證的產品通常會比一般產品昂貴一些。而據園區代表表示，荷蘭民眾對於C2C認證的產品接受度相當高，即便該產品價格較昂貴，但因為近年來環保意識抬頭，對於付出較多金錢換取永續的生活環境，荷蘭民眾已有相當大的共識，多數民眾在購買一般生活必需品時，也會先看產品是否有C2C標章的認證(圖5)，若沒有該認證標章，該產品甚至有滯銷的情況發生。



圖片來源：EPEA公司網站：<https://www.epea.com/en>

圖5 C2C認證標章

二、De CeuveI 園區

De CeuveI 園區的獨特之處在於每一個角落都展現了對廢棄物和自然資源的充分再利用，親身造訪園區會發現園區規模並不大，而園區各區域則是透過許多架設在水面或地面上的高架步道加以串聯，進入園區內首先會被許多特殊造型的建物所吸引，相關設施和空間材料並非使用現代科技或昂貴的建材所打造，整體景

觀意象甚至有些許的斑駁和陳舊感。而透過園區代表的解說，才知道原來這些空間大部分是由舊船舶改造而成，這種創新的再利用方式展現了對資源的節約和再利用的精神。更令人印象深刻的是，這些舊船舶的底部還被用作淨化污染土壤的生物過濾系統，這種獨特的生態工法不僅解決了環境問題，還為當地居民提供了一個舒適的環境，並且創造了一個充滿生機和創意的空間(圖6)。

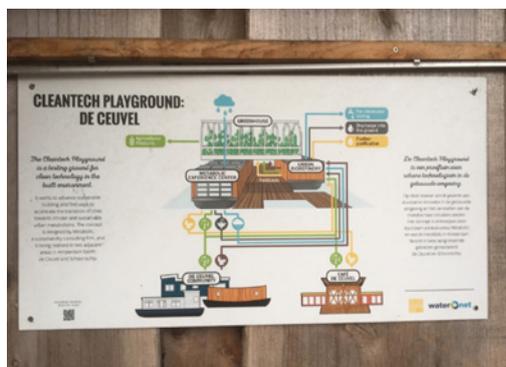


圖6 De CeuveI 園區參訪照片

此外，此園區是由民間團體提出改造計畫向市府申請使用，而其申請使用的目的並不是以營利為首要目標，而是要將被廢棄及污染的地方改造成永續環保且宜居的場域，此理念獲得了市府和社區居民的同意和大力支持，政府和民間對於生活環境的永續循環發展有高度的共識，才能使園區營運至今。

三、結語

綜上，在參訪完2處永續循環場域後，可以深刻體認到，要能達到環境的永續發展，至少需要具備以下要件：

(一) 政策支持

制定支持永續循環發展的政策，包括環保、資源管理、循環經濟和區域發展等方面的政策。

(二) 產業引導

吸引和引導相關產業進入循環經濟領域，推動產業轉型升級，建立循環利用完整的產業鏈。

(三) 教育宣傳

加強對永續循環概念的宣傳和推廣，提高社會大眾和企業對永續發展的認識和參與度。

(四) 資金投入

提供財政和金融支持，吸引投資，鼓勵企業和機構參與永續循環場域建設和營運。

期待未來國內的政府機關和民間企業能透過持續不斷的國際交流，相互的觀摩和學習，引進更多的技術和觀念，一起攜手合作，為下一代打造更美好的生活環境。

參考文獻

1. Park 20|20網站：<https://park2020.com/>
2. 三角洲開發公司網站：<https://www.deltadevelopment.eu/en/project/share/>
3. De Ceutel網站：<https://deceutel.nl/en/>
4. EPEA公司網站：<https://www.epea.com/en>



Park²⁰₂₀

稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目/作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1, 2, 3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977).

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木水利工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973).

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984).

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963).



編後語

本期中華技術以「氣候變遷下的環境議題」為主題，謹此特別感謝環境部葉俊宏次長及經濟部水利署賴建信署長兩位機關首長百忙中撥冗接受專訪，指引氣候變遷下相關環境議題的策略與未來方向，以及撰寫專題報導的諸位作者貢獻心力，提供寶貴資料並分享實務經驗。

藉由專題報導的討論，期許工程師們在執行各類計畫時，不論是交通工程、水利及港灣工程、建築工程、環保工程等，皆能思索如何在氣候變遷議題下，持續朝向永續發展目標努力。

附記：

本刊於每年一、四、七、十月份以季刊方式發行，來稿請備紙本稿件一式乙份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。

 **財團中華顧問工程司**
法人 **CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.**

台北市10637辛亥路二段185號28樓
28F., No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>

夢想和幸福

零距離的接軌

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



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

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