



# 工程

孫震 敬題



- 陳副總統建仁接見  
「第27屆近代工程技術討論會」  
旅美專家學者
- 中工會主辦紡織工程系列產業參訪  
圓滿完成(台塑文物館、聚紡生活館、  
南僑體驗工廠)
- 專題報導—「環境永續」

WATER PM2.5 SOIL  
LOW CARBON  
環境永續  
GREEN





# 環興科技股份有限公司

SINOTECH ENGINEERING SERVICES, LTD.

中興工程集團



迪化汙水處理廠

- 我們的品質政策 ·
- 滿足顧客的要求 ·
- 落實知識管理 ·
- 追求效益最大化 ·

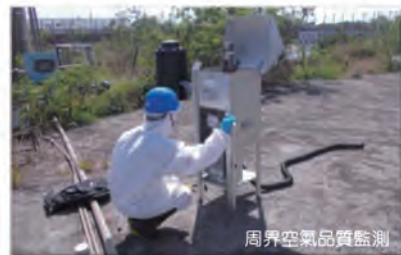
SINOTECH



新北107溫室氣體盤查

**全方位**  
環境永續技術服務

- 優質 ·
- 效率 ·
- 服務 ·
- 創新 ·
- 永續 ·



周界空氣品質監測



彰化縣溪州資源回收廠

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

環興科技股份有限公司

10570 台北市南京東路五段171號

電話：02-2769-1366

傳真：02-2769-1377

[www.sinotech-eng.com](http://www.sinotech-eng.com)



## 封面介紹－ 環境永續

隨著全球工業化程度愈高，地球暖化導致氣候變遷，極端氣候造成的災害日益嚴重，工程師必須思考如何讓地球環境永續發展。

本期專輯主題是「環境永續」，共收錄文章八篇，針對國內環境保護新趨勢，邀請產官學界專業人士，分別就循環經濟、空氣 PM2.5 污染防治、再生水發展、新世代下水道、工程碳足跡、土壤地下水保護及環境影響評估等不同領域，提出精闢見解及相關案例，供工程先進參考。

## 理事長簡介

02 理事長－廖慶榮簡介

## 特別報導

- 03 「第 27 屆近代工程技術討論會」～科技台灣智慧生活～
- 06 「第 27 屆近代工程技術討論會」總結報告
- 08 陳副總統建仁接見「第 27 屆近代工程技術討論會」旅美專家學者

## 活動專區

- 09 中工會主辦紡織工程系列產業參訪圓滿完成(台塑文物館、聚紡生活館、南僑體驗工廠)
- 12 中工會學生分會資源共享營熱烈響應、報告、分享與討論共識結論為擴大聯誼活動

## 環境永續

專題指導及主編：習良孝／環興科技股份有限公司總經理

- 15 循環經濟，台灣邁向永續之路的關鍵／黃育徵
- 19 PM2.5 改善策略及成效／李崇德
- 30 國內再生水推動：挑戰與新技術願景／張廣智、黃欣栩、黃育德、林宜璇、朱敬平
- 37 工程碳管理於西濱快速公路之執行成效及未來發展／江金璋、羅國峯、許珮蓓、王寧沂
- 52 新世代污水下水道建設與管理策略／陳志偉、周世銘、陳立儒、吳忠柱
- 64 臺灣地下水水質保護與管理／陳世偉、倪炳雄、柯顯文、劉志忠、陳熾仔、王聖璋
- 73 運用行政契約提升土壤、地下水污染場址整治效率芻議／陳世偉、柯顯文、陳育廷、康文尚、林慈儀
- 83 環評法規修訂趨勢及成效／習良孝、王志遠、吳文彰

## 會務佈告

90 中國工程師學會第 71 屆理監事簡歷

理事長：邱琳濱

常務理事：李世光 翁朝棟 楊宗興 廖慶榮

理事：王昭烈 朱文成 朱登子 吳玉珍

吳清陽 周永暉 林秋豐 姚立德

胡湘麟 徐善慧 涂元光 高宗正

陳彥伯 陳哲生 陳寶郎 陳耀維

黃一平 楊偉甫 歐來成 歐善惠

薛文珍 薛富盛

常務監事：李建中

監事：谷家恆 陳振川 程慶鐘 楊正宏

秘書長：張武訓

副秘書長：杜俊

發行所：中國工程師學會出版委員會

主任委員：陳國慶

副主任委員：張龍均

委員：李明哲 林根勝 高宗正 習良孝

張武訓 曹樂群 楊文輝 楊智斌

蔡正雄 劉沈榮 冀樹勇 鍾志成

鍾裕仁

總編輯：周頌安

編輯：林秀琴 梁愛倫 陳佳榕 黃志民

劉展宏 蔣雪芬

聯絡地址：10570 台北市南京東路五段 171 號 10 樓

電話：(02)2769-8388 轉 11038

傳真：(02)8761-1591

會址：10055 台北市仁愛路二段 1 號 3 樓

電話：(02)2392-5128

傳真：(02)2397-3003

網址：<http://www.cie.org.tw>

郵政劃撥：00059892

戶名：社團法人中國工程師學會

編印：承亞興圖文印刷有限公司

地址：11494 台北市內湖區瑞湖街 103 號 3 樓之 4

電話：(02)2799-5911

行政院新聞處出版事業登記證局版臺誌 0765 號

中華郵政台北誌字第 721 號執照登記為雜誌交寄

訂閱全年新台幣 800 元

入會申請手續請上本會網站查詢

※ 版權所有，本刊圖文未經同意，不得轉載。

# 理事長 - 廖慶榮簡介



## 學歷：

美國 Pennsylvania State University  
工業與管理系統工程博士  
美國 Illinois Institute of Technology  
管理科學碩士  
明志工專工業管理科

## 現任：

國立臺灣科技大學校長  
工業管理系講座教授  
國立科大校院協會理事長  
國立大學校院協會理事  
中國工程師學會理事長  
臺灣校務研究專業協會理事長  
中華工程教育學會 IEET 常務理事  
工業技術研究院董事  
臺灣營建研究院常務董事  
中國工程學刊 (SCI) 總編輯、  
Applied Soft Computing 等 SCI 期刊編輯委員

## 曾任：

國立臺灣科技大學副校長、研發長、管理學院首任院長、管研所所長  
國科會工業工程與管理學門召集人  
中國工業工程學會理事長  
工業工程學刊總編輯

## 榮譽：

國科會傑出特約研究員、特約研究員、國科會傑出研究獎  
教育部教學績優獎  
Asia Pacific Industrial Engineering and Management Society (APIEMS) Fellow  
中國工業工程學會 Fellow、工業工程師獎章  
台科大及工管系教學優良教師  
紀伊國屋書店暢銷書排行榜



# 「第 27 屆近代工程技術討論會」 ～科技台灣智慧生活～

「第 27 屆近代工程技術討論會」於 2017 年 10 月 22 日至 23 日假張榮發基金會國際會議中心舉行，本次討論會承科技部陳良基部長指導，由國家實驗研究院王永和院長擔任籌備會主任委員，以「科技台灣智慧生活」為大會主題，規劃了包括「技術創新」、「科技交流」、「智慧農業」及「循環經濟」等 4 項議題，邀請我旅美專家及國內產、學、研、政府各界代表進行討論，本次活動計約 600 人出席參與研討。

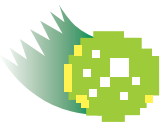
大會於 10 月 22 日上午正式揭幕，國內外產官學研界 300 多位代表出席，貴賓雲集，高朋滿座。開幕典禮由邱琳濱理事長主持，王永和主任委員及美方 METS 總召集人高耀京博士於開幕典禮上代表籌辦方致詞，會中續恭讀總統賀電。籌備會邀請科技部陳良基部長（前瞻及應用科技司楊琇雅司長代表）就「我國科技的發展與挑戰」及聯華神通集團苗豐強董事長就「智識產業新營運模式」為題發表精闢的專題演講，場面盛大隆重。



▲邱琳濱理事長致詞



▲王永和主任委員致詞



▲出席貴賓合影



▲科技部前瞻及應用科技司楊琇雅司長代表陳良基部長演講(中)



▲聯華神通集團苗豐強董事長蒞會演講

邱琳濱理事長開幕致詞時，謹代表中國工程師學會感謝與會貴賓、工程界及產業界的先進，尤其是從美洲遠道而來的專家學者熱忱出席「第27屆近代工程技術討論會」，並特別向各與會貴賓、主講人、各分組籌辦單位、以及贊助單位，表達最誠摯的感謝之意。亦說明本學會自民國55年起舉辦近代工程技術討論會，迄今已52年，每屆會議集結了國內外專家學者、有識之士的無私奉獻、熱心付出，研討成果均受到我政府相關單位的重視和採納，對於推動我國經建發展確實發揮了實質的效益。

邱理事長表示，全球科技產業演變快速，為使台灣產經實力再發光發熱，開創未來經濟成長新引擎，本屆討論會議承科技部陳良基部長指導，籌備委員會王永和主任委員、各籌備委員、籌辦單位國家實驗研究院的精心策劃之下，以「科技台灣智慧生活」為大會主題，規劃了包括「技術創新」、「科技交流」、「智慧農業」及「循環經濟」等4項議題，期望在發展創新經濟的同時也兼顧環境永續的方向，相信這些議題是相當符合我國當前經建發展所需。



▲會場出席情形

邱理事長誠摯表示非常榮幸能邀請到科技部前瞻及應用科技司楊琇雅司長及聯華神通集團苗豐強董事長蒞會，針對全球關切、也攸關台灣未來的各項發展的議題發表專題演講。

一項大型國際討論會能持續舉辦 27 屆且受各界肯定，是十分難得的，這是代表了眾人心血的結晶，是一種成果與使命。邱理事長再次由衷的感謝「國家實驗研究院」負責籌辦本屆的會議，特別是王院長及相關同仁的努力，使討論會各項籌辦工作得以順利進行。相信本屆討論會定可延續過去的優良傳承，將豐碩的討論成果，轉化為執行面的具體建言，作為政府單位決策時的參考。

同時感謝各分組的協辦單位，包括國家實驗研究院的國家高速網路與計算中心、國家地震工程研究中心及儀器科技研究中心，工業技術研究院的資訊與通訊研究所、材料

與化工研究所及中分院，以及中華電信股份有限公司、資訊工業策進會、中興工程顧問股份有限公司、中技社、中興工程顧問社、台灣經濟研究院、台灣金融研訓院、農業科技研究院、經緯航太科技股份有限公司、金屬工業研究發展中心、台灣糖業股份有限公司、中國鋼鐵股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、中鼎工程股份有限公司、台灣肥料股份有限公司的支持和贊助，使得本屆各項籌辦工作得以順利進行。

開幕式在理事長邀請演講貴賓、籌委會主委與幹部、總召集人、各召集人、各發表人與籌委會委員及本學會理監事代表等合影後結束，午餐後即正式開始分組討論會。分組就個別議題，共發表 33 篇專案經驗，場場踴躍討論熱烈。各發表內容可至本學會官網「活動專區」。

# 「第 27 屆近代工程技術討論會」 總結報告

**第**27 屆近代工程技術討論會由本學會主辦，國家實驗研究院承辦，21 個單位協辦，34 個贊助單位。歷時二天的專案經驗發表、討論與整理，討論會順利、成功、豐碩的達成共識與建議，共獲得建議有 14 大項，42 小項與 4 個結論。

討論會的總結報告在 23 日下午假張榮發基金會 801 室舉行，兩天共進行 33 場專案經驗發表與討論，與會代表都為各協辦單位的菁英逾 600 人，幾乎場場滿座且踴躍進行經驗交流，達成中美專家的互動與後續交流契機及本討論會的舉辦宗旨。



▲美方總召高耀京教授致詞





▲行政院公共工程委員會顏久榮副主任委員蒞會指導

總結會議由本學會邱理事長主持，4組召集人報告分組成果，技術創新分組黃岩波博士，科技交流分組吳基銜博士，智慧農業分組張勤博士，循環經濟分組劉安民先生。綜合結論由美方總召集人高耀京博士報告，續由代表行政院賴院長的貴賓公共工程委員會顏久榮副主任委員致詞與指示。

顏副主委除肯定大家的努力、奉獻和成果，並期許這自民國 55 年創辦迄今，歷時半世紀已舉辦 27 屆的「近代工程技術討論會」，其議題規劃上除能符合當前需要、最迫切的工程專業技術和探討新科技與創新，並期許其主軸既要能持續發揮優良傳統更要能走在新科技的趨勢前端，政府會將總結報告分送相關單位參採。最後，在顏副主委與發表人及籌辦幹部合影後圓滿閉幕。



▲中美雙方演講人合影

## 陳副總統建仁接見 「第 27 屆近代工程技術討論會」 旅美專家學者

中國工程師學會主辦「第 27 屆近代工程技術討論會」，107 年 10 月 24 日承蒙陳副總統接見與會之旅美專家學者等 24 位，並期盼共創「科技臺灣 智慧生活」。



▲陳建仁副總統致詞歡迎美方專家學者

晉見由本學會邱琳濱理事長帶隊，副總統首先歡迎致詞與期許，副總統表示感謝遠道而來的美國專家學者，在工作繁忙之際，不畏旅途勞累，為國家的工程技術及產業發展貢獻心力，並無私提供許多寶貴意見。同時表示，世界科技產業競爭愈來愈激烈，我們就必須更加積極推動軟、硬體各項重大建設，加速科技創新與應用，才能在世界舞台上占有一席之地。展望未來，他也期盼在座專家學者，能繼續保持這股熱忱，為建設臺灣而努力，讓我國成為世界上最具競爭力的國家之一。

邱理事長續致感謝詞，美洲中工會總召集人高耀京教授呈送「第 27 屆近代工程技術討論會」總結報告與說明，及第 27 屆近代工程技術委員會王永和主任委員代表接受副總統致贈禮物。



▲陳建仁副總統偕美方專家學者合影

副總統聽取簡要報告後，回應國內政府目前的努力，表示本次討論的議題不但是提升綜合國力的主要動能，且切合目前政府所推動的「5+2 產業創新計畫」，對協助台灣未來經濟、產業發展、提昇國民生活品質及強化國家競爭力都有至關重大的影響。相信本次會議所提的結論，可進一步協助推動各項計畫之發展，因此會將總結報告分送相關部門參採及歡迎國外專家要經常回國提供建言。最後，副總統和每位來賓個別合照與團體合照。



▲陳建仁副總統偕邱琳濱理事長合影

## 中工會主辦紡織工程系列 產業參訪圓滿完成 (台塑文物館、聚紡生活館、南僑體驗工廠)

107年11月16日由中國工程師學會主辦，中工會結盟工程學會之一的中華民國紡織工程學會協辦，舉辦

紡織工程系列產業參訪活動，共參訪了林口台塑企業文物館、觀音聚紡生活館與桃園南僑桃園觀光體驗工廠，中午在永安漁港用餐。參訪團中有10位亞東紡織工程系的同學參加，不只讓活動氣氛活潑清新外，蔡同學於車上侃侃而談介紹紡織科學的新技術，並回答其他工程師的疑問，邱理事長特別致贈16G USB 安全帽隨身碟表示肯定與鼓勵。



▲永安漁港

參訪紡織工程的主場是位於觀音工業區的聚紡生活館，聚紡公司蔡董事長和紡織設備專家高逸企業公司高董事長親自接待，致



▲全體參訪人員於聚紡公司合影



歡迎詞且與團員合影。本學會邱理事長致贈紀念牌和品味茶葉予兩位董事長表示感謝。團員參訪後不只對機能服飾進一步認識，還親自體驗防水透氣雨衣的淋雨試驗，毫無悶氣感覺是共同的口碑。

到聚紡生活館前先參訪台塑企業文物館，對台塑的成長、規模和企業精神再次佩服，導覽過程看到台塑亦投資風力發電技術，邱理事長也是中興工程顧問公司董事長，特於風力發電導覽銀幕前邀中興顧問的團員合影留念。全體團員在鳳梨大廳合影並贈送學會紀念牌，由導覽員代表接受。

下午，參訪南僑桃園觀光體驗工廠，原只想到紡織產品清潔的水晶肥皂，意想不到看見南僑產業更多的食物商品，吸引團員花很長時間參觀。水晶肥皂當然是重點項目，在體驗館裡，團員排隊親自打印一塊給自己留下的紀念肥皂。行程於下午六點回到台北圓滿結束參訪活動。

中國工程師學會目前有 26 個結盟工程學會，性質各有不同，廣泛和結盟工程學會辦理更多聯誼可以促進工程師的團結，我們希望更多工程人員踴躍參加中工會的活動。 ◆



▲南僑觀光工廠體驗打印水晶肥皂



▲體驗風雨走廊



▲全體參訪人員於台塑

## 中工會學生分會資源共享營熱烈響應、報告、分享與討論共識結論為擴大聯誼活動

本學會教育委員會於 107 年 10 月 27 日辦理學生分會資源共享營假國立中興大學電機系所視聽會議廳舉行，由教育委員會副

主任委員蔡清池教授主持，主任委員薛富盛理事（中興大學校長）親臨致詞合影。

出席的包括中興大學學生分會、清華大學學生分會、暨南大學學生分會、中原大學學生分會與彰師大學生分會等 5 所學生分會計 24 位幹部代表參加，各學生分會的會長劉峻佑同學、楊曜駿同學、陳彥嘉同學、梁智安同學與謝宜耿同學分別進行會務報告。

本學會張秘書長聽過報告後即與同學們進行意見交流，得到三點結論：希望學會的實習訊息要能通達學生分會，希望學會能有人到暨南大學和同學交流，希望由學會舉辦全國學生分會聯誼大會。中工會表示將誠摯安排辦理。

接著由三位曾獲中工會年度獎項的優秀青年工程師彭朋畿博士、傑出工程師陳俊宏處長和傑出工程教授蔡清池所長分享成功的經驗。相關資料可參見學會官網。◆



▲優秀青年工程師彭朋畿博士分享經驗



▲傑出工程師陳俊宏處長分享經驗



▲學生分會中興分會會務報告



▲傑出工程教授蔡清池所長分享經驗



▲薛富盛主任委員（前排中）與張武訓秘書長（左 4）偕出席人員合影

# 環境永續—專輯序言

環興科技股份有限公司總經理 / 習良孝

隨著全球工業化程度愈高，地球暖化導致氣候變遷，極端氣候造成的災害日益嚴重，工程師必須思考如何讓地球環境永續發展。國內環境保護工程與社經發展、民眾環保意識提升及環保相關法規立法息息相關，環境工程的多元領域裡，需不斷創新技術與累積經驗，國內環境保護範圍從最早的飲用水管理、河川污染整治、垃圾及事業廢棄物處理，發展到空氣污染及噪音防制、毒性化學物質管理、環境影響評估、土壤及地下水污染防治、室內空氣品質管理等工作，近年來隨著環境保護的多元化及資源循環再利用發展趨勢，進展到廢棄物多元處理、能資源整合再利用、污水資源再生、溫室氣體管理及氣候變遷調適的不同領域。

本期專輯主題是「環境永續」，針對國內環境保護新趨勢，邀請產官學界專業人士，分別就循環經濟、空氣污染防制、水再生、新世代下水道、碳足跡、土壤地下水保護及環境影響評估等不同領域，提出精闢見解及相關案例，供工程先進參考。本專輯共收錄

文章八篇，第一篇資源循環台灣基金會黃育徵董事長談「循環經濟，台灣邁向永續之路的關鍵」，期望藉由創新技術與創新思維的合作，解決產業發展與環境永續「魚與熊掌不可兼得」難題，成為產業發展的轉機；第二篇中央大學環工所李崇德特聘教授「PM<sub>2.5</sub>改善策略及成效」，探討環保署為達成2019年PM<sub>2.5</sub>年平均濃度降至18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的目標，針對固定和移動污染源提出14項管制行動方案之成效；第三篇經濟部水利署張廣智組長等人「國內再生水推動：挑戰與新技術願景」，談政策目標預定於民國120年達成全臺再生水利用量132萬立方公尺/日之策略；第四篇內政部營建署下水道工程處陳志偉處長等人「新世代污水下水道建設與管理策略」，提出「水循環」、「資源循環」、「減碳延壽」、「生態共生」四大願景；第五篇交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處江金璋處長等人「工程碳管理於西濱快速公路之執行成效及未來發展」，以西濱快八棟寮至九塊厝工程於105年取得我國道路公共工程碳足跡查證聲明書首例，並於107年



成為國內首次取得全工程碳足跡查證聲明書之道路新建工程；第六篇行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會陳世偉執行秘書等人「臺灣地下水水質保護與管理」，綜整國內地下水水質監測、整治成效及未來保護與管理策略；第七篇陳世偉執行秘書及康文尚博士等人「運用行政契約提升土壤、地下水污染場址整治效率芻議」，分析借鏡美國與可能責任人簽訂整治協議之立法例，分析我國土污法運用行政契約提升場址整治效率之可行性；第八篇環興科技公司王志遠經理等人「環評法規修訂趨勢及成效」，說明近年來環評相關法規及作業制度修法之成效及未來修法趨勢。

最後，感謝各篇撰稿人的熱心投入，使本專輯得以順利付梓，也期盼藉此為開端，以後還有更多產官學先進提出更佳的理念與創意，為未來環境保護工程的發展與環境永續利用，開拓出更寬廣的領域。 ◆





# 循環經濟，台灣邁向永續之路的關鍵

資源循環台灣基金會董事長 / 黃育徵

「沒有一個國家，比台灣更迫切需要採行循環再生的經濟思維。」

關鍵字：循環經濟、產業共生、循環再生、創新商業模式

在線性經濟裡，經濟成長必須透過大量的資源投入來換取，而產品在製造過程中產生的環境成本往往被忽略計算，廢棄物則被隨意棄置，造成嚴重的環境問題。線性經濟的特色是「浪費資源」，同時忽略「外部成本」的破壞性商業機制，根據麥肯錫顧問公司的研究，每一年，全球開採價值 3.2 兆美元的原料生產消費物品，卻有高達 80% 原物料只使用一次就丟棄或焚毀。如此駭人的數據，不禁引發思考若我們能更善加利用那 80% 的原物料，從源頭做起系統性的規劃管理，增進資源效率和循環利用率，讓原物料發揮其最大價值，全球經濟是否就能在取用更少的環境資源下發展，並達到同等、甚至更好的效益？

循環經濟是兼顧經濟活動、在地就業、環境生態與能源自主的發展模式，這個資源可以不停循環與再生的經濟模式，讓每個人有機會重新想像未來。在循環經濟思維中，沒有所謂的「廢棄物」，只有「錯置的資源」，

只要透過重新配置和設計，廢棄物也能成為黃金。循環經濟同時也重視資源使用效率以及循環利用率，設法發揮資源最大價值，以更少的資源來創造更多的效益，確保地球有限的資源能以循環再生、永續方式被使用。

考量到台灣的經濟結構以及環境生態，台灣更是比任何國家都亟需採行循環經濟。從「避害」的角度分析，由於缺乏天然資源，過去半世紀以來，台灣 90% 以上的能源、肥料、飼料，以及 60% 以上的食物皆是仰賴進口。在全球資源日漸短缺的情況下，可以預見原物料和能源價格將直線上升，這也意味著台灣若不脫離對進口資源的高度依賴，未來經濟發展必定會遭遇艱難的挑戰與瓶頸。透過循環經濟精巧的設計，台灣的產業可以從根本減少對原物料的依賴，提升原物料的經濟效益，讓台灣在經濟發展和資源掌握上，都能更加獨立自主，減低原物料和能源價格上升所帶來的衝擊。



從「趨利」的角度來看，邁向循環經濟更是台灣必須採行的方向。循環經濟可以讓台灣擺脫半世紀以來代工的宿命，代工是線性經濟中，高度仰賴以「降低成本」為競爭力的商業模式，台灣夾在「缺乏低價的在地資源」和「缺乏經濟規模的消費市場」這兩個困境之中，既無法掌控前面的原料端，也缺乏後端消費市場的支撐，因此半世紀以來一直是個「結構性」的弱者。積極把循環經濟的精神帶入企業體，可以讓台灣業者翻身扮演新時代的領導角色，站上推動循環經濟的制高點，參與循環經濟的技術研發，創新商業模式的建構和制定未來的經貿規則。台灣只有擺脫代工的宿命，才有翻身的機會。

總體而言，台灣並不需要縮小工業和經濟活動總體規模，而是需要發展一種能自我再生、自我恢復，並且能回饋到社區、自然環境的工業模式。如此的設計讓台灣發展工業系統時，能滋養外界、更能重建自然資本。對工廠和企業來說，不只要被動減少污染，更要積極創造對社區、環境的效益、更健康的環境、更豐富的生物多樣性、更多的才智投入，來創造除了經濟價值之外更多的富足，讓這塊土地的人民安居樂業。

### 一、當環境工程遇上循環經濟

工業發展創造今日人類社會的經濟面貌，但也破壞了自然生態的平衡。隨著人民健康收到影響、環境意識抬頭，如何因應工業生產過程中產生的各種污染，不僅成了重要議題，也催生了環境工程這項專業學門與產業。

面對這些污染，環境工程發展了各式各樣的技術來加以防治，不論污染物質的捕捉技術、污水處理設施的安裝，或者廢棄物處理的方法。這些技術確實改善了環境污染的問題，但面對線性經濟的資源耗用，我們不只需要工程技術，還需要搭配上全新的思維與方法。以下我們就以創新商業模式與產業共生兩個路徑說明：

#### (一) 創新商業模式：讓產品成為服務

在線性經濟當中，企業的盈利來自於大量產品銷售，這不僅意味著大量產品的生產，也就代表資源的耗用，生產過程產生的污染也會隨著增生。因此，如何透過創新的商業模式改變盈利的來源，成為了循環經濟的重要核心。特別是產品即服務 (Product as a Service) 的商業模式，這指的是公司透過租賃，或是依使用量計價的交易機制，將提供產品的使用作為一種服務商品，而非一次性地賣斷給消費者。這會誘使生產者拉長產品壽命、強化產品功能，並設計與製造不容易故障，易於維修，並便於更新汰換零件再使用的產品。由於所有權保留在生產者身上，產品取回容易，不論是維修、零組件交換、再製造、回收再利用等等，都變得更加容易。這不僅大幅提升了資源使用性效率，也形成了一個供應商與客戶更加緊密的關係，更能夠大幅減少環境負擔。

全球大型客機市佔率第一的勞斯萊斯，就是以創新服務的商業模式：不賣飛機引擎，改賣飛行時數與維修時數，促成了與客戶的雙贏局面。引擎維護並非航空公司的專業，也只佔營運成本的 4%，但整體營運支出中有 65% 都是引擎維護不良所產生的負面連鎖效



應。因此勞斯萊斯改變想法，把產品的擁有權重新拿回到自己手上。也就是將引擎「出租」給航空公司，並由勞斯萊斯提供引擎整個生命週期的管理維護服務；使用壽命結束，勞斯萊斯就將引擎回收，不僅航空公司省下龐大的維修人力與成本，勞斯萊斯也從一個賣產品的公司，變成一個賣服務的公司。

這也誘使勞斯萊斯設計製造出壽命更長、效能更高的引擎，也更願意投資在累積對飛機引擎產品的了解與改進上，透過安裝大量感測器來建立大數據分析，以提升引擎

的燃油使用效率，減少燃油成本。只是一個思維轉換，生產者擁有責任，前所未有的商業模式就能創造雙贏。這樣的思維，可以運用在各個產業上，帶來嶄新的成長機會。

## (二) 從污染防治到產業共生

經過億萬年的演化，大自然形成了一套沒有廢棄物的循環系統。想像一下，如果讓大自然來設計一個工業園區，這個工業園區會長什麼樣子？生物養分能在生態圈循環往復，那麼，「工業養分」也該在這個工業圈內，以仿造大自然新陳代謝方式不斷進行，



本文由天下文化出版的《循環經濟》一書摘錄改寫而成，詳細論述與更多實踐案例，請參見本書



周而復始，沒有廢棄物。讓 A 工廠的副產品，能夠成為 B 工廠的原料，就根本不會有廢棄物產生的問題。

「產業共生」正是遵循這樣的概念而發展起來的工業系統，讓在地與區域性的物質流形成封閉循環。通常，產業共生也意味著不同的產業群聚一起，透過物質，能源，水，或是副產品的交換，共用基礎設施來達成彼此的競爭優勢，降低對生態的衝擊，減少成本。

以日本川崎市為例，這座東京灣旁的城市在 60 年代開始，就飽受將工業污染之苦，直到 1997 年透過循環經濟的理念，劃設為「川崎生態城」，設定作為核心的幾件大型工廠，搭配能夠將其副產品或工業廢棄物轉化為資源的中小企業，以推動能資源的整合與企業間的合作。透過這種方式不僅減少污染，也促進了經濟效益，這就是產業共生能夠帶來的效益。

## 二、結語

這些簡短循環經濟實踐的例子，我們想要說明的是，面對當今永續發展的挑戰，我們需要系統性的變革，這仰賴不同產業與專業的共同協作。環境工程與循環經濟同樣關注工業所產生的環境外部成本，一邊以技術為基底，另一邊則側重整體經濟模式的改變，兩者缺一不可。藉由創新技術與創新思維的合作，能夠解決產業發展與環境永續「魚與熊掌不可兼得」難題的利器，更會是產業發展的轉機。◆



# PM<sub>2.5</sub> 改善策略及成效

中央大學環境工程研究所特聘教授 / 李崇德

關鍵字：PM<sub>2.5</sub>，PM<sub>2.5</sub> 改善行動方案，PM<sub>2.5</sub> 改善成本

## 摘要

近十多年來，PM<sub>2.5</sub> 空氣品質頗受國人關注。環保署為了在 2019 年達成 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度為  $18 \mu\text{g m}^{-3}$  的目標，針對固定和移動污染源提出 14 項管制行動方案，並預計從空污基金和公務預算投注 365 億元，同時盼望吸引民間資金投入 1,684 ~ 2,477 億元，經費投入的龐大可說是史無前例，充分展現出政府和民間改善 PM<sub>2.5</sub> 的決心與毅力，當然，台電公司也投注 101 億元配合改善發電及污染防治技術。然而，管制行動方案的成效有賴事先推演及周延細膩配套措施，否則將陷入民眾陳情抗爭的窘境；同時，陳抗民眾也需要自我省思：為了持續改善空氣品質，自己可退讓接受的方案為何？未來 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質的改善需朝向降低污染源 NO<sub>x</sub> 排放及去除工廠煙道可凝結性 PM<sub>2.5</sub> 方面努力。

## 一、前言

PM<sub>2.5</sub> 是指懸浮在空氣中氣動粒徑小於或等於 2.5 微米的微粒，又稱為細懸浮微粒，這是有別於氣動粒徑小於或等於 10 微米的懸浮微粒 (PM<sub>10</sub>)，所以粒徑介於 2.5 和 10 微米之間的微粒就稱為粗懸浮微粒。如果沒有特別指出，一般人會以為空氣中微粒都是圓球體，但事實上微粒是各種形狀樣貌都有，如何界定出微粒的“直徑”？為了符合一般人認知的直徑，在實務上便以一個和擬探討微粒具有相同動力特性（沉降速度）的單位密度圓球顆粒來模擬，以解決擬探討微粒的非圓球體形貌問題。所以一群長短、寬扁、形狀、密度不相同的微粒，它們的氣動粒徑有可能一樣，這是一個有趣的現象。因此，在實質討論上，還是可以使用圓球體概念來表示懸浮在空氣中微粒直徑。



2.5 微米有多大？以人的頭髮直徑約有 50 微米來量度， $PM_{2.5}$  大約是 1/20，這麼小的微粒懸浮在空氣中很有機會隨著人體呼吸氣流進入呼吸系統，經由細支氣管尾端的肺泡進入肺部血管，然後隨著血液循環進入心血管循環系統；理論上，進入體內的微粒會因為滯留效應或因攜帶有毒性化學成分，造成身體的傷害。對於微粒健康風險的研究多以流行病學方式進行，例如：哈佛大學的六個城市研究 [1]，這個研究蒐集 1974 到 1977 年美國六個城市從 25 到 74 歲共計 8,111 人案例，追蹤這些人在後續 14 到 16 年間死亡原因，研究結果發現死亡和抽菸關聯性最大，在調整抽菸和其他風險因子以後，空氣污染和死亡率有顯著的統計關係，且空氣污染和肺癌及心血管疾病有正相關，結論更明確指出：空氣污染物  $PM_{2.5}$  或是和  $PM_{2.5}$  結合的更複雜污染混合物對於六個城市的研究案例造成過多死亡率。Dockery 等人 [1] 的研究發表後，引起人們對  $PM_{2.5}$  健康風險的關注，體認到  $PM_{2.5}$  濃度增加和死亡具有關聯性；但美國空氣中  $PM_{2.5}$  濃度當時是在降低當中，因此， $PM_{2.5}$  濃度降低是否可以減少死亡率？於是 Laden 等人 [2] 延伸追蹤六個城市  $PM_{2.5}$  平均濃度與死亡率關係，比較 1974 到 1989 年和 1990 到 1998 年兩段期間  $PM_{2.5}$  平均濃度改善所減少的死亡率，研究結論除了確認 Dockery 等人 [1] 的成果外，也發現降低  $PM_{2.5}$  濃度可以減少死亡率。臺灣多數城市  $PM_{2.5}$  濃度較美國為高，國內學者對於  $PM_{2.5}$  的動物或人體危害自然也相當重視 [3,4,5]。

近年來大陸工業高度發展，產業動力來源必然需要燃燒大量化石燃料，因而不可避免地產生空氣污染，於是當環境擴散不良時，

霧(灰)霾事件便不斷發生，使遠方建築物或山景無法辨識，嚴重時甚至連太陽都被遮蔽了，有如黃昏或暗夜。大陸中央電視台前記者柴靜的紀錄片「穹頂之下」公開播出後，點醒民眾瞭解這種霧霾天氣是空氣污染，和一般濃霧天氣不同。此後，每當環境中有較高  $PM_{2.5}$  濃度，便引起民眾關切，甚至恐慌。Sun 等人 [6] 歸納大陸冬天霧霾事件的主要原因是停滯氣象狀況、燃燒煤炭、大氣二次反應使氣體轉化成微粒、以及外地的區域傳輸。

除了霧霾外， $PM_{2.5}$  長時間懸浮在空氣中，還會造成其他環境效應，例如：對於太陽光的直接反射及吸收將造成大氣溫度的降低和提升，或是在  $PM_{2.5}$  進入雲層，吸收雲中水蒸氣形成雲滴後對太陽光反射及吸收。這種環境效應一般民眾感覺不出來，但在科學上是存在的。

## 二、 $PM_{2.5}$ 改善策略及成效

如前所定義， $PM_{2.5}$  是泛指氣動粒徑小於或等於 2.5 微米的各類微粒，大氣  $PM_{2.5}$  可能來自自然源和人為源，以來源地方來說，可能有在地污染源排放、污染源排放前驅氣體的二次光化學反應、夜間反應、境外或境內其他區域傳輸，然而，對於  $PM_{2.5}$  空氣品質改善最有效益的方式還是針對在地污染源排放的管制，因為這是最能掌握的改善策略。事實上，經過多年來的努力，北、中、南部空品區  $PM_{2.5}$  年平均濃度幾乎是逐年降低，圖 1 呈現臺灣西部地區  $PM_{2.5}$  年平均濃度逐年變化趨勢 [7]，三個空品區都是在 2011 年以後開始明確呈現下降走勢，南部空品區濃度最高且在 2015 年以後又有上升的趨勢，需要再檢討努力。

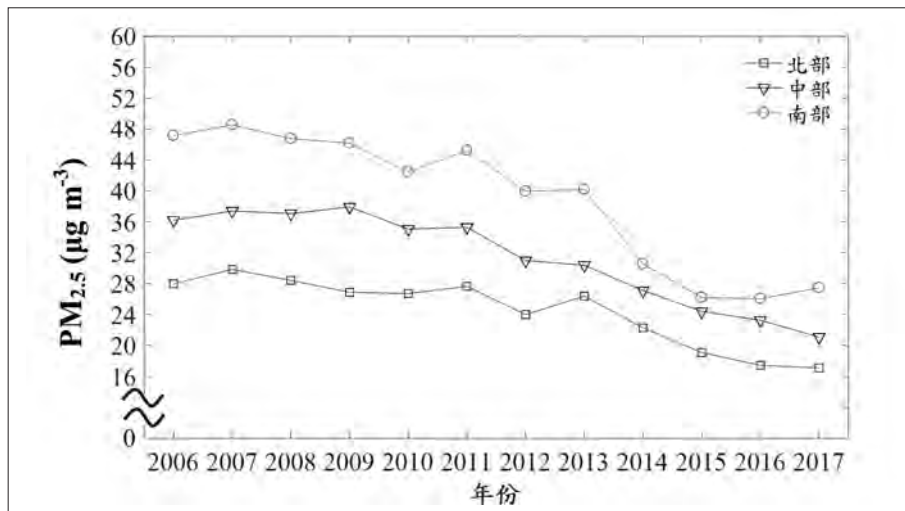


圖 1 臺灣北、中、南部空品區 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度逐年變化趨勢 [7]

環保署為了在 2019 年達成 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度為 18  $\mu\text{g m}^{-3}$  的目標，針對固定和移動污染源總共列出 14 項管制行動方案，如表 1 所示 [8]。表 1 不僅列出 PM<sub>2.5</sub> 預期減量，也列出其他污染物減量，這是因為相同污染源不只排放一種污染物，更何況氣體污染物是 PM<sub>2.5</sub> 前驅污染物，這些氣體污染物在大氣環境的存在將會因為發生光化學或夜間反應，產生 PM<sub>2.5</sub>；當然有些污染活動管制後的減量很難加以量化，例如：固定污染源的農業廢棄物燃燒和餐飲油煙管制排放的氮氧化物及揮發性有機物，移動污染源的提升公共運輸及軌道貨運運能，這些行動方案因難以估算排放係數或活動強度，無法預估減量成效。

表 1 顯示在達成固定污染源各項管制行動方案後，環保署預計 PM<sub>2.5</sub> 可減量 2,339 公噸，移動污染源更可減量 6,107 公噸，移動污染源的減量是固定污染源的 2.6 倍，由於移動污染源排放高度接近戶外活動人群的呼吸高

度，車輛流動分布區域又比固定污染源更廣泛，如果能達成預期減量，對於民眾健康的保護將會有很大的效益。底下針對 PM<sub>2.5</sub> 減量成效較大管制行動方案加以說明：

#### (一) 汰換一、二期柴油大貨車

在各項管制行動方案中，汰換一、二期柴油大貨車對 PM<sub>2.5</sub> 減量可達 5,395 公噸，是最具有成效的管制行動方案，環保署的目標是至 2019 年淘汰 8 萬輛一、二期柴油大貨車，擬訂行動方案有：加強路邊攔檢管制、推廣雇用環保車隊、補助加速汰舊、修法劃定空品淨區限制進出，要有效達成管制需由環保署、交通部、財政部、工程會、地方政府進行跨部會合作。柴油車排放微粒非常細小且多由碳黑微粒 (soot) 和多環芳香烴構成 [10,11,12]，加拿大政府衛生部 [13] 歸納柴油車微粒急性 (短期暴露) 健康效應有氣喘和心血管疾病，慢性 (長期暴露) 健康效應有慢性阻塞性肺病。聯合國世界衛生組織國際癌症



表 1 環保署空氣污染管制行動方案及預期減量成效 ( 累計至 2019 年 ) [8,9]

排放量減量預期成效 ( 公噸 )						
	管制行動方案	懸浮微粒 (PM <sub>10</sub> )	細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> )	硫氧化物 (SO <sub>x</sub> )	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	揮發性有機物 (VOCs)
固定污染源	電力設施管制	205	143	12,092	17,163	—
	鍋爐管制	851	175	4,962	2,936	7
	農業廢棄物燃燒排煙管制	513	466	—	—	—
	營建及堆置場揚塵管制	3,360	672	—	—	—
	餐飲油煙管制	841	788	—	—	—
	改變風俗習慣	135	95	—	30	—
	河川揚塵防制	900	—	—	—	—
移動污染源	汰換一、二期柴油大貨車	6,142	5,395	—	71,149	7,584
	三期柴油車加裝濾煙器	247	243	—	—	—
	汰除二行程機車	563	457	1	260	7,743
	港區運輸管制	6	5	38	110	3
	提升公共運輸使用人次	—	—	—	—	—
	提升軌道貨運運能	—	—	—	—	—
	推動電動蔬果運輸車	7	7	—	34	9
合計	13,770	8,446	17,093	91,682	15,346	

研究機構更在 2012 年 6 月 12 日於法國里昂召開的研討會宣告：柴油引擎廢氣歸類為第一級 ( 對人類有確認的致癌性 ) 肺部致癌物。這個宣告是基於研究證據所做出的結果，主要目的是希望各國訂出管制標準，以標準來驅動新的科技，例如：降低柴油含硫量、改變柴油引擎設計使柴油燃燒更有效率、降低柴油引擎廢氣排放，有了新的科技又可以帶動更嚴謹的管制標準，這樣才能走向正向循環，使環境越來越乾淨 [14]。

## (二) 餐飲油煙管制

餐飲業是民眾日常生活接觸最頻繁的行業，環保署估計如果至少 7,000 家餐廳增設防

制設備，PM<sub>2.5</sub> 油煙排放估計可減量 788 公噸。目前地方政府多訂有「餐飲業空氣污染防制設備管理辦法」，可加強宣導及督促餐飲業者加裝空氣污染防制設備、監督業者做好防制設備操作與維護保養工作、進行稽巡查、蒐集大型餐飲業污染防制設備操作參數等現況資料。內政部及衛福部則可做區位管理，包括：在建築技術規範中要求設置控制設備行動方案、規劃油煙排氣集中處理方案、規劃特定區域 ( 住宅區 ) 禁設油煙大餐飲業、於「公共飲食場所衛生管理辦法」規定餐飲業應裝設污染防制設備始得登記營業等工作。經濟部可訂定油煙收集及處理設備國家標準及研發油煙處理技術及設備。





### (三) 營建及堆置揚塵管制

營建工程造成粉塵逸散雖然主要是粗微粒，但仍然有 PM<sub>2.5</sub>，當空氣污染防治設施查核符合率由 80% 提升至 90% 以上，環保署預計可減量 672 公噸。事實上，環保署已於 2003 年公告 (2007 年修改) 有「營建工程空氣污染防治設施管理辦法」，規範營建業主對於營建工地堆置材料、車行路徑、裸露地表、施工機具等應採行有效抑制粉塵防制設施，並在運送材料車輛出入口設置洗車台。營建工地粉塵逸散容易引起民怨，地方政府都會依照前述管理辦法加強工地稽、巡查，若有污染都會要求營建工地限期改善，嚴重者往往逕行告發處分。除了督導稽查外，過去地方政府常碰到業者以缺乏污染防治經費而敷衍防制設施的設置，因此，環保署希望工程會能修正施工規範及契約範本，促使工程業主編列充足污染防治經費及採行防制設施。

### (四) 農業廢棄物燃燒排煙管制

農業廢棄物或是生質燃燒由於會跨區域傳輸，因此受到舉世矚目，這些燃燒會排放大量 PM<sub>2.5</sub> 以及氣體污染物，對於環境影響很大 [15]。在過去，每當二期稻作收割時，搭乘高鐵或開車經過新竹以南至臺南以北國道 1 號及 3 號高速公路兩旁，常可看到稻草燃燒濃煙四起，甚至遮蔽用路人視線燻嗆居民眼鼻，近年來地方政府強力進行稽查管制，有些縣、市則補助農民將稻稈碾碎掩埋至田地，灑下益菌肥 (腐化菌)，農業廢棄物露天燃燒狀況已有改善，環保署提出持續進行露天燃燒稽巡查作業、掌握農業廢棄物露天燃燒現況、在收割前宣導或示範推廣活動、稻作收割期則做高頻率查核；同時，敦促農委會補助腐化菌，並鼓勵稻田轉作及研發稻草

現地處理技術，希望能將稻草露天燃燒面積減少 90%，估計可以比目前狀況減少 466 公噸 PM<sub>2.5</sub> 的排放。

### (五) 汰除二行程機車

機車具有耐久、機動性高和價錢相對便宜的優點，是我國民眾長期倚賴的交通工具，但老舊的二行程機車，排放污染濃度很高，各地環保局的街道機車攔檢，絕對都是二行程比四行程機車排放污染高出很多。在最新通過的空污法第 36 條授權環保署得視空氣品質需求，加嚴出廠 10 年以上交通工具原適用之排放標準，如果開始執行這個條款，高污染二行程機車的騎乘勢必發生困難，甚至可能在 2020 年被全面禁止上路。為促進民眾儘早報廢老舊二行程機車，各地方政府都訂出獎勵辦法，除報廢外，民眾也可更換電動機車，以大幅度降低污染物排放。環保署希望在 2019 年能淘汰全部二行程機車 (目前估計尚有 100 萬輛)，如果達標，將可減少 457 公噸 PM<sub>2.5</sub> 的排放。

### (六) 三期柴油車加裝濾煙器

柴油車會排放高濃度碳黑微粒和 NO<sub>x</sub>，裝設濾煙器和選擇性觸媒轉化系統是有效的控制設備。濾煙器是美國 2007 年以後出廠大貨運卡車的標準配備，相對於沒有裝設濾煙器的 2004-2006 年柴油車，2007-2009 年柴油車碳黑排放量降低了 65-70%，2010 年以後柴油車更是降低 90% 以上碳黑排放量，美國加州空氣資源局從 2010 年就要求在港口和鐵道載貨老舊柴油卡車必須進行翻新整修或淘汰，2012 年全加州上路的大貨運車隊都已經現代化，這包括裝設濾煙器和觸媒轉化系統 [16]。促使柴油大卡車去污染化是先進國家環保主



流，環保署於是訂定「大型柴油車加裝濾煙器補助辦法」推廣民間車隊使用，補助 15 個縣市辦理垃圾車加裝濾煙器示範運行，預計至 2019 年將推動 3 萬 8,000 輛柴油車加裝濾煙器，雖然這麼大規模行動只降低 243 公噸 PM<sub>2.5</sub> 排放量，但這些車輛都是民眾日常生活會密切接觸的機動車輛，且含有一級致癌物，對於民眾健康保護具有很大效益。

### (七) 鍋爐管制

鍋爐是各事業單位產生動力和蒸氣的設施，環保署預計 2020 年 1 月 1 日起加嚴全臺灣 6,000 座中小型鍋爐排放標準。針對 1,000 座商用鍋爐，臺中市、桃園市、高雄市在 106 年至 107 年已經補助改用天然氣；對於 5,000 座工業鍋爐，經濟部藉由區域能源整合及天然氣管線布設，輔導中小型工廠降載 / 減少排放量。達成加嚴中小型鍋爐排放標準後，將可減少 175 公噸 PM<sub>2.5</sub> 的排放。

### (八) 電力設施管制

電力設施為大型燃燒排放源，近年來台電公司雖然有新廠的設置，但老舊機組依然不少，在採用最佳效率技術使單位發電空氣污染物排放量降到最低的總目標下，進行各項管制策略：(1) 老舊高污染機組除役，將現有燃煤電廠亞臨界機組(台中電廠、興達電廠)儘速汰換為超超臨界機組；(2) 天然氣機組增設去除氮氧化物設備，並逐一檢視各發電機組防制效率提升空間；(3) 在空氣品質不良期間，優先調度燃氣機組，減少燃煤機組排放量；(4) 新設機組發電效率增加，防制設備採用最佳可行控制技術，使單位發電量的空污排放降至最低。台電公司的管制策略達成後，PM<sub>2.5</sub> 排放將減少 143 公噸。

以上介紹了排放減量較大的 8 項管制行動方案，其他方案雖然減量較小，但對於民眾健康的影響或促進國家現代化都有正面的意義，即使 14 項管制方案已經幾乎涵蓋污染管制所有實質面向，但環保署仍然歡迎其他有效而因地制宜策略，因此，曾統稱這些方案為 14+N 方案。

## 三、PM<sub>2.5</sub> 管制效益

推動 14 項管制行動方案需要投入很多人力和經費，表 2 列出表 1 所擬推動各項空氣污染管制行動方案預計投入資金，這些資金分由空污基金、公務預算、民間、台電公司投入。空污基金投入最多的管制行動方案為「汰換一、二期柴油大貨車」，其次為「汰除二行程機車」；公務預算投入最多的管制行動方案為「提升公共運輸使用人次」，其次為「鍋爐管制」；民間資金投入最多的管制行動方案為「汰換一、二期柴油大貨車」，其次為「汰除二行程機車」；台電公司投入資金也不在少數。統合起來，投入資金最多的管制行動方案為「汰換一、二期柴油大貨車」，其次為「汰除二行程機車」，這兩項管制行動方案同時需要空污基金和民間資金的投入，且民間投入將為空污基金投入的 10 倍，如果順利達成將成為政府資金引導民間資金改善國家空氣品質的典範。其他如：公務預算投入的「提升公共運輸使用人次」，以及民間資金投入的「營建及堆置揚塵管制」和「鍋爐管制」都各彰顯政府施政及民間因營利需連帶降低空氣污染的責任。

環保署訂定各項管制行動方案固然都是出於改善空氣品質的需求，但從預計投入資



表 2 各項空氣污染管制行動方案預計投入資金 (累計至 2019 年) [8,9]

	管制行動方案	政府投入 (億)		民間投入 (億)	台電投入 (億)
		基金預算	公務預算		
固定污染源	電力設施管制	—	—	46.2	101.2
	鍋爐管制	4.9	20	90	—
	農業廢棄物燃燒排煙管制	2.3	—	1.1	—
	營建及堆置場揚塵管制	7.1	—	139.3	—
	餐飲油煙管制	2.4	—	7	—
	改變風俗習慣	2.1	—	—	—
	河川揚塵防制	3.1	2.7	—	—
移動污染源	汰換一、二期柴油大貨車	137.5	—	1,078 ~ 1,725	—
	三期柴油車加裝濾煙器	26	—	68.4	—
	汰除二行程機車	11.5	—	244 ~ 390	—
	港區運輸管制	—	1.1	0.8	—
	提升公共運輸使用人次	—	140.9	5.3	—
	提升軌道貨運運能	—	0.1	0.3	—
	推動電動蔬果運輸車	3.5	—	3.6	—
	合計	200.4	164.8	1,684 ~ 2,477	101.2

註：台電公司 2020 年後將再投資 221.6 億元

金和各污染物改善量，可進一步評估各項空氣污染物每單位排放減量預計投入資金，因而得以瞭解各管制行動方案和管制行動方案污染物減量的成本。表 3 列出各項空氣污染管制行動方案每單位排放減量預計投入資金，為了快速估算所需的成本，本文將每項管制行動方案預計由政府 and 民間投入資金加總起來，並假設各污染物的去除所需資金無連帶關係，顯然這並不符合實際狀況；由於各項管制行動方案的總目標是對 PM<sub>2.5</sub> 減量，因此，其他污染物減量成本就只做為參考。明顯地，單純檢視 PM<sub>2.5</sub> 減量以台電公司的「電力設施管制」成本最高，每噸 PM<sub>2.5</sub> 減量需付出 1 億 308 萬元的成本，其次為「推動電動蔬果運輸車」需付出 1 億 143 萬元 / 每噸 PM<sub>2.5</sub> 的成本，

接下來分別是「汰除二行程機車」的 5,591 ~ 8,786 萬元 / 每噸 PM<sub>2.5</sub>，以及「鍋爐管制」的 6,566 萬元 / 每噸 PM<sub>2.5</sub> 的成本。台電公司是寡佔事業，政府又是最大股東，長期受到民間及媒體關注，近年來對於污染排放改善不遺餘力，所投入資金雖是全民買單，但污染改善總是有利於提升環境品質。「推動電動蔬果運輸車」單位成本頗高，但對民眾及商家具有空氣品質和健康維護的利益。除了可估算的污染物減量外，如果「提升公共運輸使用人次」能大量增加，將可大幅度減少民眾單獨使用交通工具，對於空氣品質和民眾健康維護會有重大改善，雖然投入的 146 億元，無法估算其污染物減量，但其效益可能是無窮的。



表 3 各項空氣污染管制行動方案每單位排放減量預計投入資金 ( 累計至 2019 年 ) [8,9]

各分項污染物單位排放減量預計投入金額 ( 萬元 / 公噸 )							
	管制行動方案	懸浮微粒 (PM <sub>10</sub> )	細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> )	硫氧化物 (SO <sub>x</sub> )	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	揮發性有機物 (VOCs)	所有汙染物單位減量金額 ( 萬 / 噸 )
固定污染源	電力設施管制	7,190	10,308	122	86	—	50
	鍋爐管制	1,350	6,566	232	391	164,143	129
	農業廢棄物燃燒排煙管制	66	73	—	—	—	35
	營建及堆置揚塵管制	436	2,179	—	—	—	363
	餐飲油煙管制	112	119	—	—	—	58
	改變風俗習慣	156	221	—	700	—	81
	河川揚塵防制	64	—	—	—	—	64
	合計	1,562 ~ 2,138	2,546 ~ 3,485	1,258 ~ 1,722	235 ~ 321	1,401 ~ 1,918	147 ~ 201
移動污染源	汰換一、二期柴油大貨車	1,979 ~ 3,032	2,253 ~ 3,452	—	171 ~ 262	1,603 ~ 2,456	135 ~ 206
	三期柴油車加裝濾煙器	3,822	3,885	—	—	—	1,927
	汰除二行程機車	4,538 ~ 7,131	5,591 ~ 8,786	#	#	330 ~ 519	283 ~ 445
	港區運輸管制	3,167	3,800	500	173	6,333	117
	提升公共運輸使用人次	—	—	—	—	—	—
	提升軌道貨運運能	—	—	—	—	—	—
	推動電動蔬果運輸車	10,143	10,143	—	2,088	7,889	1,246

\* 各管制行動方案下各污染物單位削減量投入金額 = ( 執行該管制行動方案投入總金額 / 各污染物削減量 )  
 \*\* 所有汙染物單位減量金額 = ( 執行該管制行動方案投入總金額 / 執行該管制行動方案下各污染物削減量和 )  
 # 數值不合理，未列出

#### 四、現階段檢討

改善 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質是民眾所熱切期待的，上述空氣污染管制行動方案幾乎已經遍及各重要污染源，也是環保署管制空氣污染多年來淬鍊出的成果，但管制方向固然正確，管制成效在時間及空間 ( 普遍度 ) 尺度仍然過於樂觀，以空污基金和民間資金共同投入最

多和次多的管制行動方案「汰換一、二期柴油大貨車」和「汰除二行程機車」來說，環保署的目標是至 2019 年要淘汰 8 萬輛一、二期柴油大貨車和 100 萬輛老舊二行程機車，空污基金提供每輛柴油大貨車平均 17 萬元補助，預估民間資金每輛柴油大貨車平均還需投入 135 ~ 216 萬元；汰除二行程機車空污基金提供每輛機車平均 1,150 元補助，若換購



電動機車，各地方政府可增加補助 2 ~ 3 萬元，一般民眾反映還是認為誘因不足。環保單位雖然有新空污法 40 條：劃設空氣品質維護區管制老舊污染車輛不得進入以及新空污法 36 條：加嚴出廠 10 年以上交通工具原適用排放標準等兩項防制措施可使用，但還沒宣告，已經掀起車主一陣陣的陳情和抗爭，主要訴求包括：老舊車輛不一定是污染車輛、政府不應只找弱勢機車族開刀、強迫車主換車，等於斬斷收入來源等。環保署李應元署長於 2018 年 8 月 3 日親自舉例說明換購一台 200 萬元的 11 噸新車，最高可獲得政府各機關合計 24 萬元補助，幾乎等於是無息貸款。此外，環保署承諾，加嚴排氣標準會經公聽會及配套措施完成後才會上路。這些陳抗及政府退讓顯示較激烈管制措施推動前，周延細膩配套方案必須事先經過推演。同時，民眾及媒體也需要自我省思：在改善空氣品質前提下，思考出可退讓接受方案。美國規定新大貨運卡車要裝設濾煙器和選擇性觸媒轉化系統以及加州 2010 年規定在港口和鐵道載貨老舊柴油卡車必須進行翻新整修或淘汰，這些管制措施美國人可以接受，我國地狹人稠為大家健康著想應該也可以接受。

大氣 PM<sub>2.5</sub> 濃度來源眾多，除了人為和自然源外，還有異地傳輸、光化學以及夜間反應，進一步來說，即使前述產生源都一樣，仍然受到風場以及大氣溫、濕度變化影響；所以，即使各人為源刪減排放量，仍然需要以含括污染源排放量、氣象資料、大氣物理化學反應機制的三維空間網格模式進行模擬，以估算大氣 PM<sub>2.5</sub> 濃度，無法直接以人為源排放刪減量來評估大氣 PM<sub>2.5</sub> 濃度。如果使用簡單的法則或是簡化的模式，則只能做一個概估，不應視為可以預測大氣 PM<sub>2.5</sub> 濃度，甚

至使用到三維空間網格模式進行模擬，結果的不準確度仍然需要審慎評估。以筆者大氣 PM<sub>2.5</sub> 量測經驗來說，使用相同檢測方法在同址進行比對，濃度變化能在 1  $\mu\text{g m}^{-3}$  以內都是很不錯的結果，因此，探討濃度變化在 1  $\mu\text{g m}^{-3}$  以內的數值，都屬於不準確度範圍內，其意義並不大。基本上，在合理的不準確度範圍內，模式模擬可做為改變一個特定條件下的前、後數值比較。

## 五、未來挑戰

根據筆者從 2014 年以來對大氣 PM<sub>2.5</sub> 化學分量測 [17,18,19]，發現國內每當 PM<sub>2.5</sub> 日平均發生高濃度 ( $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )，PM<sub>2.5</sub> 化學成分的硝酸根離子濃度及占比都會比低濃度 ( $<35 \mu\text{g m}^{-3}$ ) 高出許多，這顯示硝酸根離子前驅物 NO<sub>x</sub> 排放源需要做較多的減量。在過去，由於排放源 NO<sub>x</sub> 的減量較被忽視，未來這方面的減量在台電各火力發電廠擴增了 NO<sub>x</sub> 處理量，以及新型柴油車和電動車的推動下，應該可降低大氣 NO<sub>x</sub> 濃度。

工廠煙道微粒排放過去都是量測總懸浮微粒，為了檢測 PM<sub>2.5</sub>，環保署公告了可過濾性 PM<sub>2.5</sub>(NIEA A212.10B) 及可凝結性 PM<sub>2.5</sub>(NIEA A214.70) 檢測方法，Yang 等人 [20] 檢測國內鋼鐵廠各項製程，發現可凝結性 PM<sub>2.5</sub> 比可過濾性 PM<sub>2.5</sub> 高出許多，這些可凝結性 PM<sub>2.5</sub> 含有高占比硫酸根離子，與一般文獻認定硫酸根離子都是二次反應物不同，顯示工廠煙道微粒在去除以前，必須考慮先對氣流降溫或使酸性氣體溶入濕式滌除設備，這推展出空氣污染防治技術新的需求，當然對於 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質改善的掌握度又更提升了。



霧霾事件造成大氣能見度降低，大氣能見度主要受到  $PM_{2.5}$  散光係數及氣象因子的影響 [21,22]， $PM_{2.5}$  散光係數則受到  $PM_{2.5}$  硫酸根離子和硝酸根離子濃度的影響 [23]，這兩種化學成分都屬於潮解鹽類，遇到高相對濕度環境會吸濕氣變成水珠 [24,25,26]，使大氣能見度受到更大的衰減，因此，即使相同的  $PM_{2.5}$  濃度，當大氣相對濕度較高時，大氣能見度會比低相對濕度環境變差很多 [27]，所以，即使大氣  $PM_{2.5}$  濃度已有改善，當環境相對濕度高時，大氣能見度仍然不會好，民眾對空氣品質自然不會滿意，這雖然是事實，但環保單位如何宣導和讓民眾瞭解也是一個重要課題。

環保署擬定目標在 2019 年達成  $PM_{2.5}$  年平均濃度為  $18 \mu g m^{-3}$ ，但世界衛生組織已經將  $PM_{2.5}$  年平均濃度指導值訂為  $10 \mu g m^{-3}$ ，24 小時平均濃度指導值訂為  $25 \mu g m^{-3}$  [28]，我國顯然還需要繼續做更大的努力來改善大氣  $PM_{2.5}$  濃度。

## 六、結論

國人對於  $PM_{2.5}$  有甚高的關注，雖然是因為微粒的健康風險，但頻繁發生的霧霾現象才是引起全民重視的催化劑。最近 12 年來， $PM_{2.5}$  空氣品質已持續改善中，環保署為了在 2019 年達成  $PM_{2.5}$  年平均濃度為  $18 \mu g m^{-3}$  的目標，根據過去管制污染源經驗，淬鍊出針對固定和移動污染源的 14 項管制行動方案，並預計從空污基金和公務預算投注 365 億元，同時盼望吸引民間資金投入 1,684 ~ 2,477 億元，經費的龐大可說是史無前例，若可達成目標將展現出政府和民間改善  $PM_{2.5}$  的決心與毅力，當然，台電公司也展現誠意投注 101 億元配合改善發電及污染防制技術。然而，

管制行動方案不是提出就可坐等達成，以投入資金最多、最具指標性的「汰換一、二期柴油大貨車」和「汰除二行程機車」行動方案為例，空污新法一經立法院修訂通過，車主的陳情抗爭已經如影隨形排山倒海而來，環保署只好強調說明政府高額補助款，並承諾開完公聽會及配套措施完成後才會加嚴標準，顯示若無事先推演訂出周延細膩配套方案，將再陷入窘境。當今，環保署雖然暫時退讓，但民眾不能只單方面要求政府給予好的空氣品質，大家也需要自我省思：因為有了先進的法規標準，才可驅動新科技，有了新科技又可帶動更嚴謹的管制標準，這樣才會走向正向循環，我國  $PM_{2.5}$  空氣品質才可持續改善，因此，在改善空氣品質前提下，前述車主當自問可退讓接受的方案為何？未來  $PM_{2.5}$  空氣品質的持續改善需朝向降低污染源  $NO_x$  排放及去除工廠煙道可凝結性  $PM_{2.5}$  方面努力，另一方面，民眾宣導及慎思也需要加把勁。◆

## 參考文獻

1. Dockery, D.W., Pope, C.A. III, Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G. Jr, Speizer, F.E., "An association between air pollution and mortality in six US cities," *The New England Journal of Medicine* 329, 1753-1759, 1993.
2. Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F.E., Dockery, D.W., "Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study," *The American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 173, 667-672, 2006.
3. Lei, Y.-C., Chan, C.-C., Wang, P.-Y., Lee, C.-T., Cheng, T.-J., "Effects of Asian dust event particles on inflammation markers in peripheral blood and bronchoalveolar lavage in pulmonary hypertensive rats," *Environmental Research* 95, 71-76, 2004.
4. Chuang, K.-J., Chan, C.-C., Su, T.-C., Lee, C.-T., Tang, C.-S., "The Effect of urban air pollution on inflammation, oxidative stress, coagulation, and autonomic dysfunction in young adults," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 176, 370-376, 2007.



5. Chen, B.-Y., Chao, H. J., Chan, C.-C., Lee, C.-T., Wu, H.P., Cheng, T.-J., Guo, Y.-L., "Effects of fine particulates and fungal spores on lung function in schoolchildren," *Pediatrics*, 127, e690-698, 2011.
6. Sun, Y., Jiang, Q., Wang, Z., Fu, P., Li, J., Yang, T., Yin, Y., "Investigation of the sources and evolution processes of severe haze pollution in Beijing in January 2013," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119, 4380-4398, 2014.
7. 李崇德、孫紹恩、張育仁、陳思穎，「台灣北、中、南空品區細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 及二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)、二氧化氮 (NO<sub>2</sub>)、非甲烷碳氫化合物 (NMHC) 與臭氧 (O<sub>3</sub>) 觀測數值時間序列分析」，106 年度「科技部/環保署空污防制學術合作計畫」期末報告 (MOST 106-EPA-F-005-005)，2018 年 9 月 6 日。
8. 行政院環保署，「空氣污染防制策略」，行政院環保署，2017 年。
9. 蔡國聖，「固定污染源種類及空污防制相關權責及整合執行」，行政院環保署空氣品質暨噪音管制處，2018 年 3 月 2 日。
10. Gross, D.S., Galli, M.E., Silva, P.J., Wood, S.H., Liu, D.-Y., Prather, K.A., "Single particle characterization of automobile and diesel truck emissions in the Caldecott Tunnel," *Aerosol Science and Technology* 32, 152-163, 2000.
11. Jones, K.H., "Diesel truck emissions, an unrecognized source of PCDD/PCDF exposure in the United States," *Risk Analysis* 13, 245-252, 1993.
12. Miguel, A.H., Kirchstetter, T.W., Harley, R.A., Hering, S.V., "On-road emissions of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon from gasoline and diesel Vehicles," *Environmental Science and Technology* 32, 450-455, 1998.
13. Health Canada, "Human Health Risk Assessment for Diesel Exhaust," Fuels Assessment Section, Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada. Cat: H129-60/2016E-pdf, March 2016.
14. International Agency for Cancer Research, World Health Organization, United Nation, Press Release 2012, Available at: [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf), 2012.
15. Andreae, M.O., Metlet, P., "Emission of trace gases and aerosols from biomass burning," *Global Biogeochemical Cycles*, 15, 955-966, 2001.
16. Preble, C.V., Cados, T.E., Harley, R.A., Kirchstetter, T.W., "In-use performance and durability of particle filters on heavy-duty Diesel trucks," *Environmental Science and Technology* 52, On-line publication, 2018.
17. 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智。"細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分監測計畫"，期末報告 (定稿本)，環保署 EPA-103-FA11-03-A119，台北，2015 年 3 月。
18. 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智。"104-105 年細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分監測計畫"，期末報告 (定稿本)，環保署 EPA-104-L102-02-103，台北，2016 年 5 月。
19. 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智、許文昌。"細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分監測及分析計畫"，期末報告 (定稿本)，環保署 EPA-105-U102-03-A284，台北，2017 年 12 月。
20. Yang, H.-H., Lee, K.-T., Hsieh, Y.-S., Luo, S.-W., Huang, R.-J., "Emission characteristics and chemical composition of both filterable and condensable fine particulate from steel plants," *Aerosol and Air Quality Research* 15, 1672-1680, 2015.
21. Lee, C.-T., Shen, C.-T., "Visibility and its estimating model in Taipei metropolitan area," *Proceedings of the National Science Council*, 19, 506-513, 1995.
22. Lee, C.-T., Hsu, W.-C., "Effects of local pollution and environmental humidity on aerosol size spectra and light-scattering coefficients in southern Taiwan," *Environment International*, 25, 433-441, 1999.
23. Lee, C.-T., Cheng, J.-P., "The effects of aerosol species and meteorological factors on visibility in Taipei metropolitan area," *Journal of Chinese Institute Engineering*, 6, 21-30, 1996.
24. Lee, C.-T., Hsu, W.-C., "The measurement of water mass associated with collected hygroscopic particles," *Journal of Aerosol Science*, 31, 189-197, 2000.
25. Chang, S.-Y., Lee, C.-T., "Applying GC-TCD to investigate the hygroscopic characteristics of mixed aerosols," *Atmospheric Environment*, 36, 1521-1530, 2002.
26. Lee, C.-T., Chang, S.-Y., "A GC-TCD method for measuring the liquid water mass of collected aerosols," *Atmospheric Environment*, 36, 1883-1894, 2002.
27. Zhang, Q., Quan, J., Tie, X., Xia, L., Liu, Q., Gao, Y., Zhao, D., "Effects of meteorology and secondary particle formation on visibility during heavy haze events in Beijing, China," *Science of The Total Environment*, 502, 578-584, 2015.
28. World Health Organization, "Ambient (outdoor) air quality and health" in News/Fact sheets/Detail, 02 May 2018.



# 國內再生水推動：挑戰與新技術願景

經濟部水利署綜合企劃組組長 / 張廣智  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心組長 / 黃欣翔  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究員 / 黃育德  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究員 / 林宜璇  
財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心副主任 / 朱敬平

關鍵字：系統再生水、非系統再生水、環境友善水再生、水利產業

## 摘要

因應行政院設定「民國 120 年再生水每日使用量達 132 萬立方公尺」政策目標，經濟部水利署推動由再生水供應未來工業部門所增加之用水需求，包括持續推廣再生水使用觀念與供需媒合、跨部會合作，並透過節水三法完備相關法制面，增加大用水戶使用再生水之誘因。另再生水之產製在國內發展較晚，水利署自民國 90 年初開始投入，歷經多處模廠測試，累積相關設計、操作、水質之相關經驗，業界對於技術掌握亦漸臻成熟，從業人員數量持續成長，至民國 107 年國內第一座實廠鳳山再生水廠開始營運供水；因為再生水可能「以電換水」之爭議，水利署進一步投入科技專案計畫經費，發展節能水再生設備，期能使再生水產製更加環境友善。

## 一、前言：國內再生水推動背景

廢污水處理廠放流水因具水質穩定、水量較不受天候影響等特性，隨水處理技術日益成熟，已可將待排放的放流水水質提升至符合特定用途需求，產製「再生水」(Reclaimed Water) 並作常態性供應，得以減輕傳統水源開發壓力，提高整體供水穩定度；國外目前已有許多成功案例，如新加坡 NEWater、美國加州橘郡 GWRS 等，廣泛用於各類民生與工業用途，顯示大規模使用再生水以補傳統水資源缺口之可行性。

因應未來產業用水需求，推動再生水資源之利用實刻不容緩，經濟部水利署已將再生水視為水源開發重要一環，爰此設定政策目標，預定於民國 120 年達成全臺再生水利用量 132 萬立方公尺/日，相當於現有公共給水量的 10%。在此基礎之上，行政院在民國 104 年 4 月 10 日節水抗旱國安會議，指示



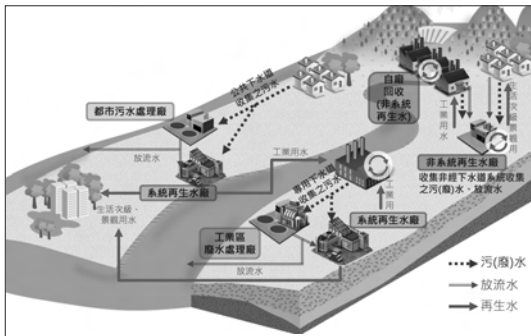


圖 1 系統與非系統再生水示意圖

「工業成長零增自來水」，要求工業用水優先使用再生水，未來增加的 3 億立方公尺（約 82 萬立方公尺 / 日）工業用水需求將以再生水補充，藉此兼顧經濟成長與節約用水。

再生水為「新興水源」的一種；有別於傳統水源（地面水、地下水），新興水源是目前無需辦理水權登記的其他水源，包括生活污水、事業廢水、尚未排入承受水體之放流水、海水、貯留雨水等。依「再生水資源發展條例」（民國 104 年 12 月 30 日公布）第二條，再生水定義為「指廢（污）水或放流水，經處理後可再利用之水」，亦即由前述新興水源經再生處理所產製。依處理水源之不同，再生水可分為「系統再生水」與「非系統再生水」；系統再生水指取自下水道系統之廢（污）水或放流水，經處理後可再利用之水；非系統再生水則指取自未排入下水道系統之廢（污）水或放流水，經處理後可再利用之水。

綜合上述定義，再生水主要有四種來源，如圖 1 所示：

- (一) 都市污水處理廠之污水或放流水，專指取自「公共污水下水道系統」之系統再生水，目標使用量為 77 萬立方公尺 / 日。
- (二) 工業區廢水處理廠之廢水或放流水，專指取自「工業區專用污水下水道系統」之系統再生水，目標使用量 3 萬立方公尺 / 日。
- (三) 工業用水大戶將預定放流或納管之廢水加以回收所產製之水，亦即取自工業部門（工廠、礦場等製造業）的非系統再生水，目標使用量 50 萬立方公尺 / 日。
- (四) 生活污水大戶受環評或其他法規要求所需自行回收使用之水量，亦即取自住商部門（社區、學校、政府單位、博物館等建築物）的非系統再生水，目標使用量 2 萬立方公尺 / 日。

其中來源為都市污水處理廠放流水之再生水，水量穩定性較雨水貯留高，不易受枯旱季節影響；另在產水規模與水質相當時，再生水處理純化成本或認低於海水淡化。以用電為例，當再生水水源取自公共污水處理廠放流水，並處理至符合近自來水水質，耗電量約 1.5-2 kWh / 立方公尺，低於海水淡化廠的 3-5 kWh / 立方公尺，且隨技術進步與再生規模擴大，尚有下降空間，因此在電力供應趨緊的前提下，開發再生水以供給特定用途亦受到各國重視。

經濟部透過「再生水資源發展協調會報」作為系統再生水個案推動時之跨部會協調平台，於民國 104 年 12 月 30 日公告「再生水



資源發展條例」，並於民國 105 年 11 月 4 日陸續完成 9 項授權子法制定發布，賦予權責單位法源，重點立法精神包括：

- (一) 視下水道系統放流水為水資源開發之一環，明定其使用許可申請、管理規範，降低欲開發者面臨水源取得的不確定風險。
- (二) 在「水源供應短缺之虞地區」內，興辦或變更開發案，用水需求達一定規模者，應使用一定比率之系統再生水。如無足夠之下水道系統廢污水、放流水者，得以非系統再生水或其他方式替代之。
- (三) 為降低再生水水源取得成本，以及提升民間投入開發再生水之意願，賦權地方政府於一定期間無償提供所轄公共下水道系統之污水或放流水予再生水經營業及自行取用者。地方政府自行統籌興建及營運再生水開發案，或配合民間開發提供污水或放流水者，得由中央主管機關優先核定辦理該地區之公共下水道系統建設或申請中央補助建設經費。
- (四) 明確事權分工：系統再生水之推動，分別由管理水源之主管機關受理申辦；特定園區使用地方政府所辦之系統再生水者，由該特定園區之目的事業主管機關擔任統一用水窗口。
- (五) 再生水經營業主體可為政府機關或民間公司，政府機關可以成立公司或以基金方式運作，開發案應依條例規定於各階段取得籌設、興建、放流水使用、營運等許可。

- (六) 再生水處理成本包含建設及營運成本，依不同水源水質、供水水質及輸送距離，訂定再生水費計算準則，保障再生水經營業營運合理利潤及用水人權益。

再生水資源發展條例旨在將系統再生水納入大用水戶補充水源選項中。另為鼓勵工業部門與住商部門產製與使用非系統再生水，則有賴自來水法部分條文修正案，以及水利法部分條文案；未來此節水三法互相搭配，將提供水資源管理更有力的法源以及使用多元化水源的誘因。

## 二、再生水技術發展：從模廠試驗到實廠工程

鑑於社會大眾與工業界對於再生水認識不足，缺乏使用信心，經濟部水利署及所屬水利規劃試驗所（水規所）曾針對高雄、金門、新北、桃園、新竹、臺中、雲林、臺南、基隆等區域之公共污水下水道與工業區專用污水下水道之處理廠放流水再生工程進行評估。民國 93 年水利署於新竹工業區設置一座產水量為每日 20 立方公尺之放流水再生模廠，其再生處理程序為砂濾 - 超過濾膜 - 逆滲透膜，藉以評估產水水質、再生成本以及廠商製程試用可行性（圖 2(a)）。同時於八里污水處理廠設置中空絲薄膜生物反應器（Membrane Bioreactor, MBR）模廠，驗證其提升初級污水處理廠處理效能，轉作再生水廠之潛力（圖 2(b)）。

水利署另於民國 96 至 100 年間辦理「廢污水再生利用技術研究臺中市福田水資源回收中心再生水試用計畫」，於臺中市福田水

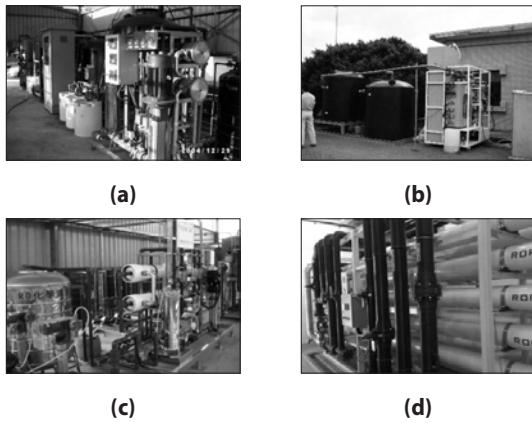


圖 2 水利署投入各再生水試驗模廠

資源回收中心設置放流水再生模廠，設計產水量為 100 立方公尺 / 日，進行超過三年之長期測試，了解產水水質，評估系統效能，以及再生水使用健康風險與生物毒性，並配合模廠參觀向大眾宣傳都市污水處理廠放流水再生可行性 (圖 2(c))。

另一更大規模試驗計畫為民國 99 年在高雄市楠梓加工出口區揚水站設置之工業廢水再生模廠，該廠於民國 100 年期間將工業廢水經纖維快濾、超過濾膜、逆滲透膜處理後，產水量達 1,800 立方公尺 / 日，供區內日月光與楠電等高科技製造廠試用，並導入製程端，廠商反應試用結果良好 (圖 2(d))。

技術進步與關鍵設備之價格降低，雖使再生水單價逐年下降，目前仍高於我國自來水水價，不易循「使用者付費」之一般市場機制覓得再生水使用者。目前內政部營建署規劃針對福田、豐原、安平、永康、鳳山溪與臨海等 6 座具有放流水再生潛勢且鄰近有潛

表 1 鳳山溪案預定供水水質 (節錄)

水質項目	經濟部水利署自來水水質標準	鳳山溪案設計供水水質
溫度 (°C)	-	15 ~ 35
pH	6.0 ~ 8.5	5.5 ~ 8
導電度 (μ S/cm)	-	<100
總有機碳 (mg/L)	-	<5.0
懸浮固體 (mg/L)	-	<3.0
濁度 (NTU)	<4.0	<0.2
總硬度 (mg/L)	<400	<20
氨氮 (mg/L)	<0.5	<0.5

在用水需求之污水處理廠，提出「污水處理廠放流水再生利用示範計畫」，補助縣市政府設置再生程序所需設備之費用，後續再生水廠隨污水處理廠一同轉交縣市政府管理，用水者僅需付予縣市政府污水處理廠二級處理、再生水廠與配送管線之操作維護費；循此模式，預期再生水價可低於 20 元 / 立方公尺，部分個案甚至可能低於 15 元 / 立方公尺。

在經濟部水利署與內政部營建署合作之下，國內第一座再生水實廠高雄市鳳山溪污水處理廠放流水再生，自民國 107 年 8 月起供應臨海工業區使用。第一期供水量 25,000 立方公尺 / 日，全期供水量 45,000 立方公尺 / 日，售水單價為 18.8 元 / 立方公尺，再生水廠連同污水處理廠由高雄市政府採 BTO 促參模式推動 (供水水質節錄如表 1)，由經濟部工業局臨海工業區服務中心與高雄市政府簽約，服務中心調配區內相關用水。希冀透過此一示範計畫，建構我國使用再生水之相關

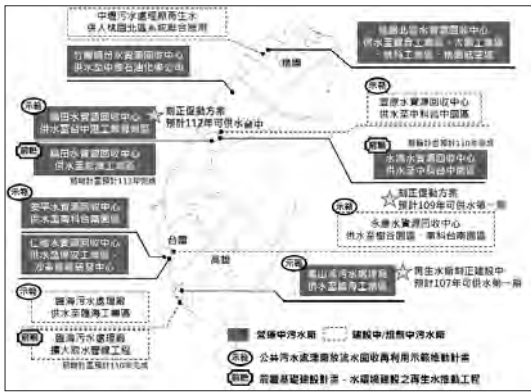


圖 3 近期具系統再生水開發潛勢之公共污水處理廠

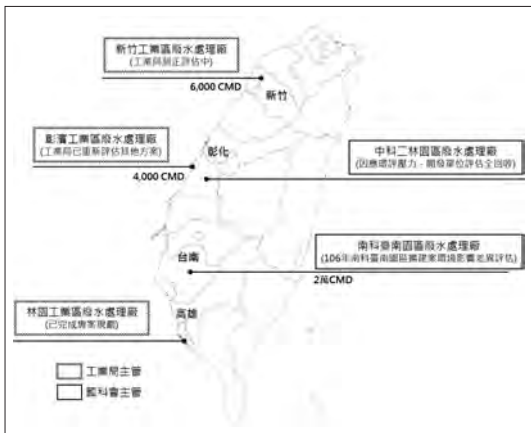


圖 4 近期具系統再生水開發潛勢之工業區廢水處理廠

在工業區廢水處理廠中，除前述楠梓加工出口區之放流水模廠設備由用水者承租，持續產製再生水外，尚有彰濱工業區線西區、新竹工業區、南科臺南園區等因應大用水戶進駐、用水計畫書變更等相關因素，而啟動廢水處理廠放流水再生相關評估，未來如成案，則由工業區主管機關調配供區內事業使用；全臺具優先推動潛勢之工業區廢水處理廠分布如圖 4 所示。

### 三、再生水面臨技術挑戰與突破

水再生在國內屬先進議題，仍需持續投入研究，包括尋求回收率、除鹽率、抗污性、用電等較「雙膜法」更佳之處理技術。經濟部水利署目前持續投入除氮、節能(含再生能源、能源回收等)、零廢棄等技術，以及多種新型水再生設備，輔以技術輔導，協助研析更佳方案以降低再生水成本與單位產水耗電量；以下即分別對目前受到矚目之低耗能水再生利用技術進行介紹與討論。

#### (一) 電透析

電透析 (Electrodialysis) 技術是利用電場驅動的薄膜分離技術，可用在脫鹽、濃縮與純化等用途。電去離子技術 (EDI) 是結合陰陽離子交換膜 (Ion exchange membrane, IEM) 以及離子交換樹脂 (Ion exchange resin, IER) 的複合型分離技術。EDI 利用 IEM 對陰、陽離子的選擇性，以及 IER 的離子交換作用，在直流電場操作下進行離子分離程序。其原理係將 IER 置於陰陽 IEM 中間，通入高離子濃度之進流水，在直流電操作下產生電場作為離子驅動力，將目標離子由以樹脂顆粒構成的離子傳輸通道遷移至 IEM 膜表面 (離子

工程經驗、商業模式與工業界使用經驗，促使相關產業能日趨成熟。

除前述示範案，尚有臺中市水滴水資源回收中心將另循前瞻基礎建設計畫之經費推動，以及桃園市的中壢與桃園北區兩廠或以原污水下水道 BOT 案之附屬事業形式推動；全臺具優先推動潛勢之公共污水處理廠分布與潛在媒合對象分布如圖 3 所示。



遷移)，再透過離子交換進入濃縮室（離子交換），同時，存在於樹脂、膜與水相接觸的擴散層會產生極化作用，使水電解離為  $H^+$  和  $OH^-$  而對 IER 起再生作用（離子交換樹脂的電再生），進而達到去除水中離子之目的。由於上述離子遷移、離子交換以及離子交換樹脂的電再生可同時進行，因此 EDI 可連續產水而不中斷，故 EDI 又稱為連續去離子。

EDI 一般用於進水導電度在  $200 \mu S/cm$  以下的範圍，否則會影響電滲透膜之效果，鈣、鎂與硫酸根離子濃度過高會使濃縮側有嚴重結垢現象，使得除鹽無法進行。倒極電滲透 (Electrodialysis reversal, EDR) 即為因應此問題而開發，為避免離子交換膜片嚴重結垢，可透過自動清洗去除之，不僅能穩定系統操作，同時也增加膜片與設備之壽命。

## (二) 薄膜蒸餾技術

薄膜蒸餾技術 (MD) 的原理係利用熱能增加高鹽度進流水水體溫度，進流水流經多孔且疏水的薄膜一側，而另一側則以低溫水循環，控制薄膜兩側水溫高低差，以薄膜兩側流體接觸面的蒸氣壓差為趨動力，將水蒸氣分子經疏水性薄膜孔洞，由高溫側傳輸到低溫側後凝結成液體，而達到分離水分子之目的。

上述所使用熱能可利用廠內廢熱，且其操作壓力低，因此可在一個較低耗能的情況下進行，是一種創新的水分離技術。其具有下列六大特點：(1) 對於離子、巨分子、膠體、以及非揮發性物質具有 100% 的排除率；(2) 相較於傳統蒸餾技術具有較低的操作溫度與能耗，(3) 且可大幅降低蒸餾過程所需之空

間；(4) 和傳統壓力驅動之薄膜程序相比，有較低的操作壓力；(5) 對薄膜的機械強度要求較低；(6) 疏水性薄膜和待處理溶液間的化學反應作用較不顯著。

## (三) 電容去離子技術

電容去離子技術 (CDI) 是一種新穎的電化學處理程序，以奈米結構碳材 (Nanostructured carbon materials) 為基礎，利用電吸附 (Electrosorption) 原理來移除水體中的帶電荷污染物質或是離子。其原理係在兩側的多孔碳材電極之間施加外部電壓形成一個靜電場，由於必須維持溶液的電中性，帶正電荷的正極會吸引溶液中的陰離子，而負極則會吸引陽離子，所以水體中帶電荷的離子會往相對應的相反電荷電極材料移動，離子並進一步在電極孔洞內的比表面與水溶液的固液界面之間，形成電雙層 (Electrical double layer, EDL)，使得大量的離子能儲存在具奈米孔洞的碳電極材料中，達到移除水中離子與脫鹽之目的。

由於電吸附過程中，離子的儲存並非是依靠化學反應來進行，因此僅需將兩側電極上的電壓移除，原本儲存在碳材孔洞內的離子就會被重新釋放到水溶液中。電容去離子技術有別於一般耗能、高壓的傳統去離子之薄膜分離、電透析等程序，不需使用薄膜裝置，而是在水處理過程中採取通道式 (Flow-through) 結構，且可在低壓力 ( $0.2 \sim 0.3 MPa$ ) 與低電壓 ( $0.8 \sim 1.2 V$ ) 的環境下操作，系統亦具可逆性，無二次污染物的問題，故被視為一個清淨節能的創新技術，被認為最具有取代其他去離子技術之潛力。



#### 四、未來方向

國外水資源回收中心已逐漸朝向能資源整合方向規劃設計及維護管理，推動再生水時亦著重綠能與節能兩大趨勢。水利署自民國 104 年起，啟動「再生能源於再生水廠之應用研究」，首先投入太陽能與 MD 之整合，後續於持續擴大測試規模；106 年再持續投入「水及能資源回收低碳排系統」等研究，擴大 MD 與 CDI 自有技術模組之規模外，亦投入評估從廢污水中濃縮有色金屬之可能性，使造水、節能、資源等三大方向等一次到位，達到環境友善之目標。

經濟部水利署透過科技專案計畫之資源投入，以及水利產業計畫之輔導能力，期於十年內落實上述設備具國內自有技術，而能實廠應用於國內製造業非系統再生水之可行性，長期希望相關設備能與小型污水處理廠之水再生結合。◆

#### 參考文獻

1. 經濟部水利署，水利統計，2012 年。
2. 行政院農業委員會，農政與農情，第 211 期，2010 年。
3. 經濟部水利署，「水再生利用推動盤查與促動服務計畫」，2012 年。
4. 經濟部水利署，「水再生利用促動與技術服務計畫」，2016 年。
5. 經濟部水利署，「建置再生水媒合與稽核系統及產業推動服務」，2017 年。
6. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「新竹工業區廢水回收再利用規劃」，2003 年。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「八里污水處理廠污水再生利用結合桃園人工湖規劃總報告」，2004 年。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「福田水資源回收中心放流水再生模廠效能與水質驗證」，2011 年。
9. 經濟部水利署，「楠梓加工出口區再生水模型廠建置及驗證計畫」，2011 年。
10. 內政部營建署，「公共污水處理廠放流水回收再利用示範計畫」，2013 年。



# 工程碳管理於西濱快速公路之執行成效及未來發展

西部濱海公路南區臨時工程處處長 / 江金璋  
西部濱海公路南區臨時工程處工程科科长 / 羅國峯  
中興工程顧問股份有限公司環境工程部計畫主任 / 許珮蓓  
中興工程顧問股份有限公司環境工程部工程師 / 王寧沂

關鍵字：工程碳管理、碳足跡、碳盤查、工程減碳

## 摘要

西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程(以下簡稱本工程)於2012~2017年間執行WH7-A、WH77-B及WH77-C三標工程碳足跡盤查作業,於2016年初取得我國道路公共工程碳足跡查證聲明書首例,並於2018年完成全工程碳足跡查證作業,亦是國內首次取得全工程碳足跡查證聲明書之道路新建工程。

本工程於盤查過程中,累積及產出可供參考之本土化碳排放資訊。本文即以本工程為例,說明工程碳足跡盤查成果、整體生命週期排放量、工項排碳特性、以及應用於本工程減碳措施之效益。期望藉由本工程產出成果與經驗,建置我國道路工程碳管理之基礎。

## 一、前言

工程碳管理係以生命週期概念進行,英國於2009年發表重大工程碳管理計畫[1],內容考量工程生命週期並以重大交通工程為評估對象,發展一套碳管理架構,作為工程碳排放量推估、調查及減碳之依據準則。而後歐盟及瑞典 International EPD® System 分別於2012及2013年,公告 EN15804[2]、道路及橋梁工程產品類別規則 [3][4],使國際間對於工程生命週期碳足跡量化方式,具有一致性遵循之規則、要求及指引。

近年來,國際工程碳管理已由碳足跡量化逐漸進展至完整供應鏈之碳管理,英國綠色建築委員會(The Green Construction Board)委託英國標準協會(BSI)制定並於2016年發佈 PAS 2080:2016 基礎設施之碳管理(Carbon Management in Infrastructure)[5],期望藉由所



有成員包括資產擁有者/管理者、設計者、建造者及產品/原物料供應商之共同參與，降低基礎設施之碳排放量及成本。同年歐盟公開「公路設計、建造及維護」綠色採購文件 (Procurement Practice Guidance Document) [6]，建議採購當局於招標文件中納入要求，達到有效降低生命週期之成本與環境衝擊之目標。

為落實國家工程排碳評估與減碳政策，公路總局於 2012 年建立工程碳管理循環架構，開始推動道路工程碳管理工作；工程會並於 2013 年洽請各部會提出公共工程試辦案例，辦理道路、防洪、水資源、下水道、建築及水土保持等 6 類工程碳排放估算及盤查作業，期望透過各單位執行成果，可提供各方參考。

除前述工程會推動之試辦案例外，各單位亦著手推動公共工程之碳盤查等作業。西濱南工處即因應公路總局工程碳管理構想，於 2012 年開始展開西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程碳管理計畫 (以下簡稱本計畫)，進行施工建造階段之碳盤查作業。

## 二、西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程特性

本工程包括 WH7-A、WH77-B 及 WH77-C 三標，主要工程內容為高架橋梁，全長約 8.45 公里，工程範圍及型式如圖 1 與表 1。工程項目包括：主線高架橋梁、鹽埕交流道、七股溪橋段、九塊厝交流道及擋土牆等工程。本工程已於 2017 年 9 月竣工，並於同年 11 月全線通車。

工程碳管理應考量包含工程施工建造及營運管理階段完整生命週期之影響，。本計畫除於施工建造階段蒐集盤查資料，另於 2016 年邀集專家學者，討論營運管理階段估算範疇及內容，以作為本工程營運管理階段估算之基準。

隨著各標別工程陸續竣工，本計畫完成所有標別之碳足跡盤查及查證作業，於 2016 年取得國內公共工程之道路工程碳足跡查證聲明書首例 (WH77-A 標)，更進一步於 2018 年取得全工程 (不分標別) 查證聲明書，為國內首次取得全工程碳足跡查證聲明書之道路新建工程。

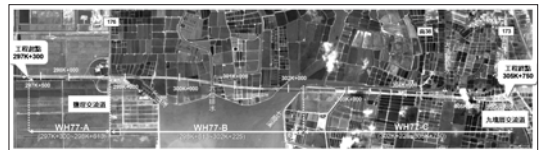


圖 1 西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程範圍

表 1 西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程型式

工程內容	長度 (m)	工程型式	工法
主線高架橋梁	7,397	樁基礎/ 箱型梁	場鑄逐跨/ 場鑄懸臂
七股溪橋段	440	樁基礎/ 拱橋	場鑄懸吊
鹽埕交流道	939	樁基礎/ 箱型梁	場鑄逐跨
九塊厝交流道	258		
擋土牆 (鹽埕交流道)	1,215	加勁式	-
擋土牆 (九塊厝交流道)	217	懸臂式	-
擋土牆	305	重力式	-





本文即以本工程為標的，說明碳足跡範疇及盤查組織架構、施工建造階段盤查成果、生命週期排碳量及節能減碳效益。

### 三、西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程碳足跡範疇與盤查組織架構

#### (一) 八棟寮至九塊厝新建工程碳足跡範疇

本計畫參考國內橋梁及道路碳足跡產品類別規則 CFP-PCR[7][8]，碳足跡範疇包含施工建造及營運管理階段，如圖 2 所示。施工建造階段即本計畫盤查輔導重點，包括工程施工過程之工程材料、機運具燃料與能資源使用等，以及管理單位之活動數據；營運管理階段為本工程橋梁未來 50 年營運操作、維護 / 重置之材料使用、機運具燃料及能資源使用。

#### (二) 工程碳足跡盤查組織架構

本計畫工程碳足跡盤查組織架構如圖 3 所示，包括主管單位（西濱南工處）、輔導單位（中興公司）、查驗機構（英國標準協會）、工區方（監造、承包商及其相關協力廠商與供應商），然本工程契約未包含照明工程，為考量完整的評估邊界，亦將照明設備商納入組織成員。



圖 2 工程生命週期碳足跡範疇

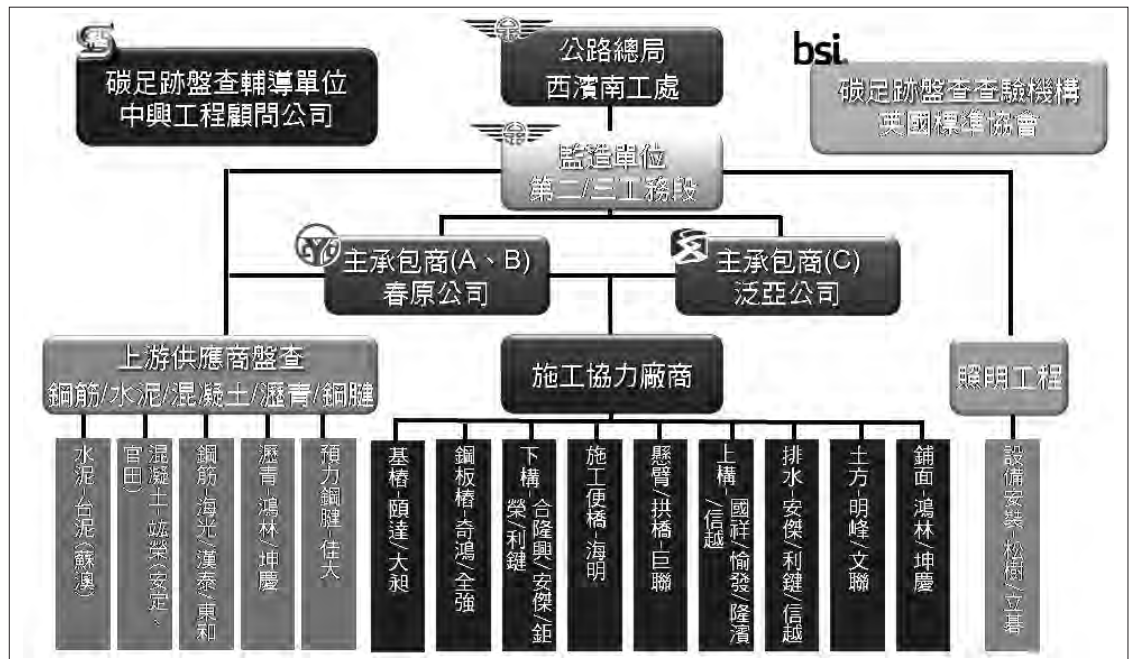


圖 3 工程碳足跡盤查組織架構



盤查組織運作機制由主管方督導整體碳管理工作之執行，輔導單位協助承包商及碳足跡計算，查驗機構負責查核碳足跡之成果，工區執行方則為與工程主體建造具直接關係之承包商，同時工區監造單位協助確認工區現場與盤查資料之一致性。

為提升本工程一級數據比例及建立本土化係數，本計畫於施工期間執行鋼筋、水泥、混凝土、瀝青混凝土及預力鋼腱供應商盤查作業，於盤查邊界內將供應商納入盤查組織架構。

#### 四、工程碳足跡盤查成果

##### (一) 施工建造階段排碳特性分析

###### 1. 整體新建工程排碳量及分析

本工程施工建造階段排碳量係依據 ISO/TS 14067[9] 進行盤查，整體新建工程排碳量為 324,331 tonCO<sub>2</sub>e，排碳源占比如圖 4，施工建造階段以工程材料使用為主要排碳量來源，約占整體工區排碳量 93%，機/運具燃料使用及運輸各為 3%，管理單位 1%，工區人員逸散及廢棄物僅約 0.1%；進一步分析工

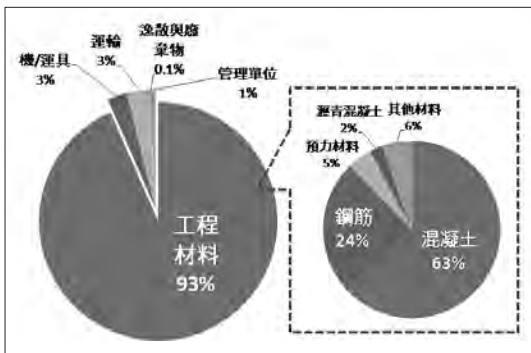


圖 4 施工建造階段整體排碳量占比

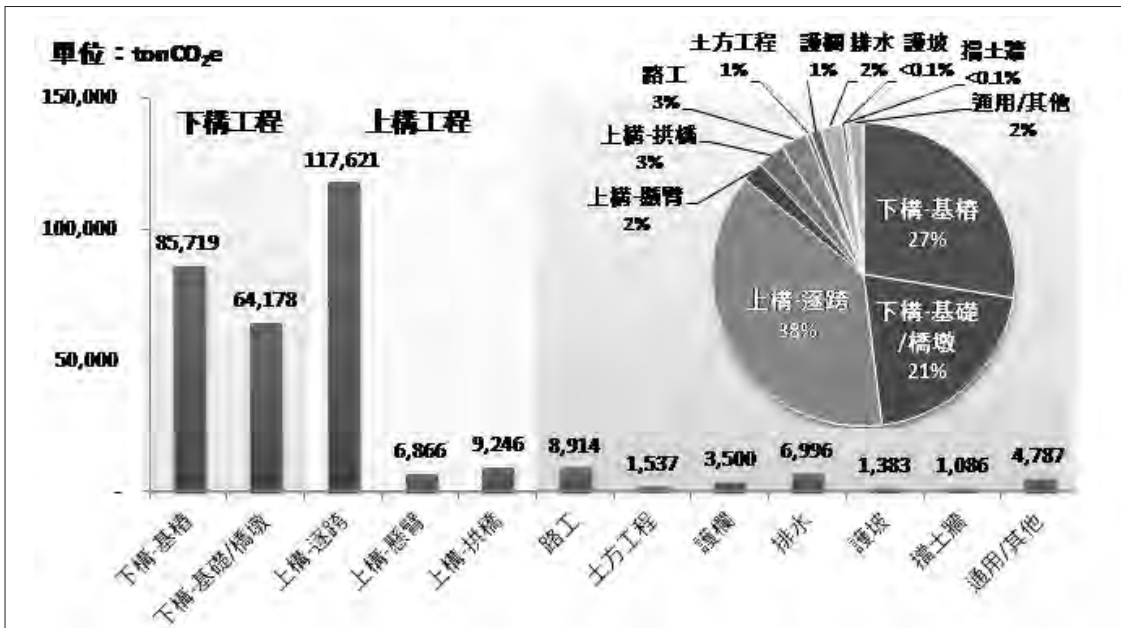


圖 5 施工建造階段工程項目排碳量及占比分析



程材料使用排碳來源，以混凝土及鋼筋排碳占比最高，分別為 63% 及 24%。

## 2. 工程項目排碳量占比分析

彙整本工程機 / 運具及工程材料使用之排碳量，並依據工程項目分類，結果如圖 5 所示。下構工程（基樁、基礎 / 橋墩）及上構工程（逐跨、懸臂及拱橋）為主要排碳來源，分別占整體工程排碳量之 48% 及 43%，路工及排水占 3% 及 2%，其餘工程項目占比較低。

由於工程材料為主要排碳來源，且本工程上構主要採逐跨工法為主，使得上構 - 逐跨使用的工程材料明顯高於其他工項，具有最高的排碳量占比。

### (二) 本工程工項單位排碳量

為了解各工項排碳特性及產出相關工程可參考之數據，本文將施工建造階段盤查結果進行基樁、基礎、橋墩、上構、整體橋梁工程及擋土牆之單位排碳量分析。各工項主要工程材料與機具如表 2。

#### 1. 基樁工程單位排碳量

本工程基樁型式為全套管基樁，樁徑包含 100cm 及 150cm，樁徑 150cm 分佈位置包括主線陸上段與跨河段（七股溪橋），排碳量分析結果如圖 6 及表 3。整體排碳量占比以混凝土最高為 69%，其次為鋼筋 24%，機具、材料運輸及基樁測管則皆小於 5%。

樁徑 150cm 單位長度之基樁排碳量為 0.91 ~ 1.02 tonCO<sub>2</sub>e/m，與陸上段及跨河段單位排碳量差異不大；樁徑 100cm 單位長度之基樁排碳量為 0.51 ~ 0.56 tonCO<sub>2</sub>e/m，明

表 2 工項主要工程材料與機具

工項	主要工程材料	主要機具
基樁	鋼筋、210II 水中混凝土、PVC 管	挖土機、搖管機、吊車
基礎	鋼筋、280II 混凝土	打樁機、挖土機、吊車、泵送車、發電機
橋墩	鋼筋、350II 混凝土、剪力鋼箱、盤式支承	吊車、泵送車、發電機
上構	鋼筋、420II 混凝土、預力鋼腱 / 套管、預力端錨材料、PVC 管	吊車、吊卡車、泵送車、發電機
擋土牆	鋼筋、245II 混凝土、止水帶、PVC 管	吊卡車、發電機、泵送車



圖 6 基樁排碳量占比分析

表 3 基樁排碳量占比及單位排碳量

項目	規格		
	Φ 150cm (陸上段)	Φ 150cm (跨河段)	Φ 100cm
鋼筋	24%	27%	36%
混凝土	69%	67%	58%
基樁測管	1%	1%	2%
機具	4%	4%	3%
材料運輸	2%	2%	2%
單位排碳量 (tonCO <sub>2</sub> e/m)	0.91 ~ 1.02	0.91 ~ 0.98	0.51 ~ 0.56
單位排碳量 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	0.51 ~ 0.58	0.52 ~ 0.55	0.65 ~ 0.71



顯低於樁徑 150cm 基樁，單位長度排碳量隨著樁徑減少而降低。

另再考慮 2 種樁徑之單位面積，比較單位體積之基樁排碳量，以樁徑 100 cm 單位排碳量較高 0.65 ~ 0.71 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，樁徑 150 cm 則為 0.51 ~ 0.58 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，主要差異為樁徑 100 cm 之單位體積鋼筋數量較高，而具有較高的單位體積排碳量。

### 2. 基礎工程單位排碳量

本工程基礎皆屬於樁基礎型式，基礎單位體積排碳量及占比如圖 7。各基礎之混凝土及鋼筋排碳占比合計大於 95%，單位體積排碳量

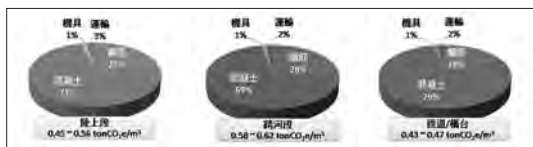


圖 7 基礎單位排碳量及占比分析

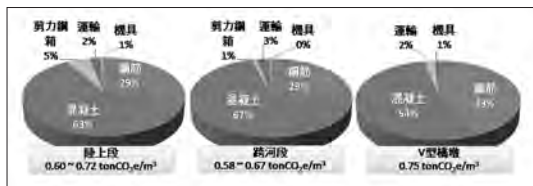


圖 8 橋墩單位排碳量及占比分析

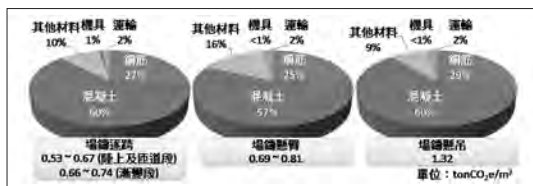


圖 9 上構單位排碳量及占比分析

以跨河段最高介於 0.58 ~ 0.62 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，其次為陸上段 0.45 ~ 0.56 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，匝道 / 橋台為 0.43 ~ 0.47 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。主要係因為鋼筋數量配置量之差異，造成各基礎單位體積排碳量不同。

### 3. 橋墩工程單位排碳量

橋墩工程分析結果如圖 8，分為陸上段、跨河段及 V 型橋墩，主要排碳來自於工程材料使用包含混凝土、鋼筋及剪力鋼箱，運輸及機具排碳量較小。各類型橋墩仍以混凝土為主要排碳來源，占比 54% ~ 67%，鋼筋排碳次之占比 29% ~ 43%；V 型橋墩因鋼筋配置數量較多，致鋼筋排碳占比比較跨河及陸上段高。各類型橋墩單位體積排碳量在 0.60 ~ 0.75 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> 間，其中 V 型橋墩具有最高排碳量 0.75 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，亦是鋼筋數量較多所導致。

### 4. 上構工程單位排碳量

本工程上構工程包括場鑄逐跨、場鑄懸臂及場鑄懸吊工法，其中跨河段（七股溪橋）以場鑄懸吊工法施作。各工法上構排碳分析結果如圖 9。混凝土排碳占比 57% ~ 60%，鋼筋占比 25% ~ 29%，其他材料占比差異略高約 9% ~ 16%，機具與運輸占比則差異不大合計皆為 3%。

單位面積排碳量以場鑄懸吊工法最高 1.32 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，此工法施作之橋單元屬於跨河景觀橋段，其結構所需的混凝土及鋼筋數量明顯高於其他工法；比較場鑄逐跨與場鑄懸臂工法之排碳差異，由於懸臂工法橋單元之箱型梁規格尺寸較大而有較高的單位排碳量 0.69 ~ 0.81 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，場鑄逐跨工法



單位排碳量介於 0.53 ~ 0.74 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，其中部分橋單元因為漸變段而有較高的單位排碳量。

### 5. 整體橋梁工程單位排碳量

彙整本工程各橋梁構件之基樁、基礎、橋墩及上構之排碳量，及分析單位面積橋梁排碳量，結果如圖 10 及圖 11。各類型工法排碳量占比相似，混凝土及鋼筋為主要排碳來源合計約 90% 以上，其他材料占比 5% ~ 7%，機具及運輸占比較低。

分析各工法之單位排碳量，與上構單位排碳量相似，仍以場鑄懸吊（跨河段）最高為 2.95 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，其次場鑄懸臂為 1.63、1.75 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，場鑄逐跨由於不同型式配置造成差異，單位面積排碳介於 1.16 ~ 2.05 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，整體單位排碳量由高至低為：匝道段 > 漸變段 > 陸上段 > 含既有橋墩。

彙整本工程各橋單元之構件排碳量來源占比如圖 12，僅匝道段以基樁為主要排碳來源，排碳占比 42%，其次為上構占比 34%，基礎及橋墩分別為 16% 及 8%；陸上段及跨河段主要排碳量來源為上構占比 45%，其次為基樁占比 27 ~ 32%，基礎占比 16% ~ 20%，橋墩占比最低為 7% ~ 8%。顯示橋梁工程係以上構為排碳熱點，上構之規格及材料配置為影響整體排碳量主因。

### 6. RC 擋土牆單位排碳量

本工程 RC 擋土牆包含重力式及懸臂式，排碳量分析結果如圖 13。重力式擋土牆材料

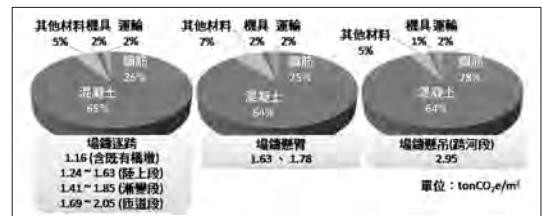


圖 10 整體橋梁工程排碳量及占比分析

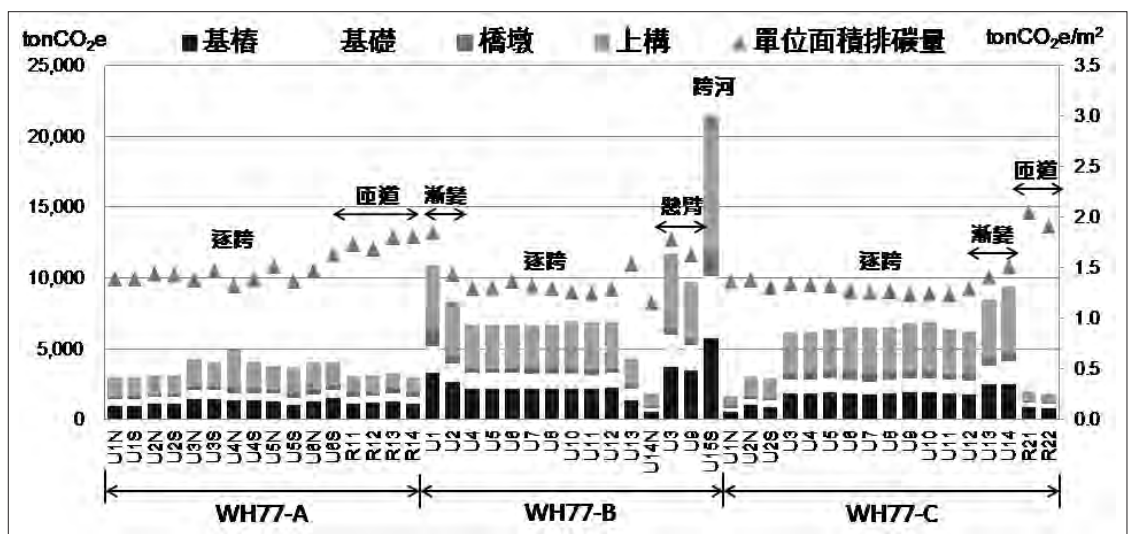


圖 11 整體橋梁工程構件排碳量分析

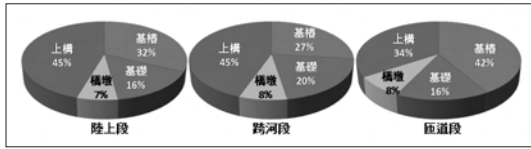


圖 12 整體橋梁工程構件排碳量占比分析

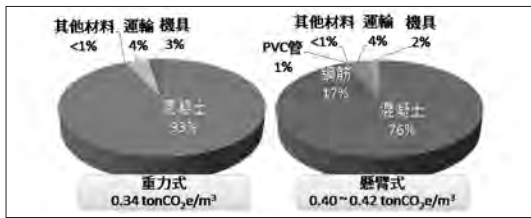


圖 13 擋土牆排碳量占比分析

表 4 營運管理階段假設情境

營運管理階段	項目	假設情境	
操作	照明	依燈具功率及每日操作時間 12 小時估算用電量 [10]	
	照明	參考 CFP-PCR 燈具使用壽命估算更換數量 [11]	
維護 / 重置	材料使用	鋪面 密級配瀝青混凝土重鋪頻率 5 年，厚度 5 公分； 多孔瀝青混凝土重鋪頻率 10 年，厚度 3 公分 [12]	
		標線	與鋪面重鋪頻率相同
		伸縮縫	參考養護單位經驗，更換頻率 20 年
	防眩板	參考養護單位經驗，更換頻率 7 年	
	運輸	-	鋪面材料同施工建造階段之運輸距離，其餘假設材料運輸距離 80 公里
	機具使用	-	依施工建造階段機具燃料用量及材料比例估算

備註：

- (1) 照明操作時間依據中央氣象局 102 ~ 105 年日出日落統計資料設定；
- (2) 燈具更換頻率依據路燈 CFP-PCR 之燈具壽命，LED 燈具設定 30,000 小時，複金屬燈具設定為 20,000 小時；
- (3) 鋪面重置頻率參考養護單位經驗、文獻及國道 6 號多孔瀝青混凝土鋪面實務經驗。

使用以混凝土為主，其排碳占比達 93%，懸臂式擋土牆由於材料包含鋼筋配置，混凝土排碳占比比較低為 76%，鋼筋占比為 17%。

重力式擋土牆單位體積排碳量為 0.34 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，懸臂式擋土牆較高為 0.40 ~ 0.42 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，由於鋼筋配置使得懸臂式擋土牆單位排碳量較高。

## 五、工程生命週期排碳量

依據工程生命週期範疇及施工建造階段排碳量結果，依序說明營運管理階段假設情境及本工程生命週期排碳量。

### (一) 營運管理階段假設情境說明

工程營運管理階段排碳活動包含 50 年之操作及維護 / 重置，本工程操作階段即為燈具照明之用電量，維護 / 重置階段考量照明燈具、鋪面、標線、伸縮縫及防眩板等項目，根據各種項目估算材料使用、運輸及機具使用之排碳量。各項目估算之假設條件如表 4 所示。

### (二) 西濱快八棟寮至九塊厝工程生命週期排碳量

彙整施工建造階段與營運管理階段排碳量如表 5 及圖 14，本工生命週期排碳量為 351,365 tonCO<sub>2</sub>e。主要排碳來自於施工建造階段占 92% (圖 14)，管理階段不及 1%；營運管理階段以鋪面 / 標線為主要排排碳來源約占 5%，其餘項目僅占總排放量不到 3%。

本工程碳匯係依據各種類植栽數量、植栽密度及碳匯係數，並以碳匯計入期 40 年



表 5 本工程生命週期排碳量

階段		排碳量 (tonCO <sub>2</sub> e)	占比
施工建造	土木工程	322,186	92%
	管理階段	2,146	
營運管理	鋪面 / 標線	18,288	8%
	照明	4,677	
	伸縮縫	3,955	
	防眩板	114	
總計		351,365	
碳匯 (tonCO <sub>2</sub> e/ 年)		385	-

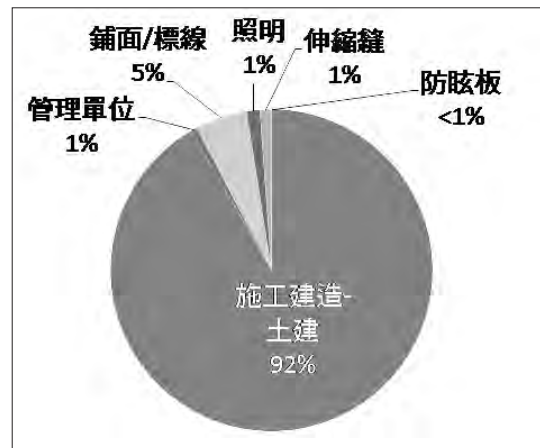


圖 14 生命週期排碳量占比分析

計算碳儲存變化量，總計碳匯量為 15,400 tonCO<sub>2</sub>e，換算每年約 385 tonCO<sub>2</sub>e/ 年之固碳量。

彙整本工程功能單位排碳量如表 6，整體功能單位排碳量介於 15,753 ~ 62,084 tonCO<sub>2</sub>e/km，各標別之排碳量與工程規模有關。跨河段因功能需求，單位排碳量較主線高 62,084 tonCO<sub>2</sub>e/km；匝道因規模較小，單位排碳量較低 15,753 tonCO<sub>2</sub>e/km。

表 6 本工程功能單位排碳量

項目	路寬 (m)	功能單位排碳量 (tonCO <sub>2</sub> e/km)
主線 - 陸上段	11.4 ~ 44.5	49,463
主線 - 跨河段	20	62,084
匝道	7.5	15,753

## 六、工程節能減碳效益分析

依據歐盟綠色採購「公路設計、建造與管理」文件指出 [6]，道路工程節能減碳措施包括：使用再生材料、耐久性鋪面、材料運輸排碳要求及交通壅塞減緩等。

本工程應用之減碳措施即包含水泥替代材料、加勁式擋土牆、多孔滲瀝青混凝土鋪面、場電使用及營運期間交通改善等，各項減碳效益評估分析說明如後。

### (一) 水泥替代材料

根據本工程碳足跡盤查成果，混凝土為最主要的排碳來源，本工程混凝土之原物料包含飛灰及爐石粉，用以替代原物料中的水泥。本計畫於施工建造期間已執行混凝土供應商盤查作業，建立各強度混凝土之本土化碳足跡係數，提升混凝土排碳量之準確性，並確認飛灰及爐石粉替代水泥之減碳效益。

本文為評估飛灰及爐石粉替代材料之減碳效益，比較 2 種情境之混凝土排碳量：採用供應商盤查建立之本土化碳足跡係數，以及依各標混凝土配比資料計算無飛灰及爐石粉之混凝土排碳量，分析結果如表 7。



表 7 水泥替代材料減碳量分析

標別	混凝土強度	飛灰爐石粉替代率	混凝土排碳量 (A)	無飛灰爐石粉之排碳量 (B)	減碳量 (B-A)	減碳比例 (B-A)/A
WH77-A	420 II	20%	14,948	18,175	3,227	22%
	350 II, SCC	20%	2,579	3,140	561	22%
	280 II	20%	6,267	7,597	1,330	21%
	245 II	20%	1,070	1,291	221	21%
	140 II	20%	1,055	1,272	218	21%
	210 II 水中	20%	14,869	18,048	3,178	21%
	210 II	20%	2,130	2,580	450	21%
WH77-B	420 II 無收縮	5%	157	164	7	4%
	420 II 早強	22%	32,742	40,417	7,674	23%
	350 II, SCC	31%	4,216	5,774	1,559	37%
	280 II, SCC	31%	13,782	18,786	5,004	36%
	245 II	31%	1,437	1,940	503	35%
	210 II 水中	31%	25,898	35,105	9,207	36%
	210 II	31%	1,710	2,299	589	34%
	175 輕質	0%	41	41	-	0%
	140 II	31%	1,171	1,562	391	33%
	CLSM	31%	21	36	15	74%
WH77-C	420 無收縮	5%	140	146	6	4%
	420 II 早強	22%	27,645	34,061	6,416	23%
	350 II, SCC	25%	4,406	5,668	1,262	29%

備註：單位 tonCO<sub>2e</sub>

本工程飛灰及爐石粉替代水泥之減碳量總計為 53,359 tonCO<sub>2e</sub>，總減碳比例約 28%，減碳比例隨著飛灰爐石粉替代率增加而提升。各標飛灰爐石粉替代率不同，介於 0% ~ 31% 之間，若可再提升替代率，將可減少水泥使用量，進而增加水泥替代材料之減碳效益。

### (二) 加勁式擋土牆

加勁式擋土牆結構係於土壤中鋪設加勁材料，具有取代傳統 RC 擋土牆、達成工區土方平衡及景觀等優點，屬於綠色永續工法。

本工程鹽埕交流道即設置加勁式擋土

牆，為確認其減碳效益，本文引用其他計畫之評估成果 [13]，該計畫參考本工程加勁式擋土牆設計參數，設計對應之懸臂式擋土牆，比較加勁式及傳統懸臂式之擋土牆排碳量結果如圖 15。本工程加勁式擋土牆排碳量為 827 kgCO<sub>2e</sub>/m，對應之懸臂式擋土牆為 6,935 kgCO<sub>2e</sub>/m，加勁式擋土牆減碳比例約為 88%，具有顯著的減碳效益。

### (三) 多孔隙瀝青混凝土鋪面材料

道路鋪面耐久性為營運期間重鋪頻率之關鍵影響因素，若採用服務年限較長之鋪面



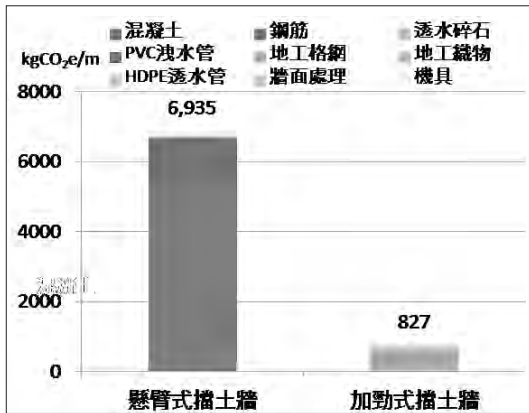


圖 15 加勁式擋土牆與懸臂式擋土牆排碳量分析 [13]

材料，將可降低鋪面重鋪之工程材料與機具施工排碳量。摘述本工程鋪面排碳特性分析結果如後 [14]。

本工程主線橋梁段鋪面結構如圖 16，WH77-A 及 B 標為 8 公分密級配瀝青混凝土 (DGAC)，WH77-C 標則為 5 公分密級配與 3 公分多孔隙瀝青混凝土 (PAC)。

參考國內橋梁及道路 CFP-PCR[7][8]，設定本工程鋪面生命週期系統邊界如圖 17，包含產品、施工建造及 50 年營運管理階段。於產品階段各標瀝青混凝土碳足跡為供應商盤查結果，施工建造階段蒐集本工程使用之材料與機具活動數量，營運管理階段僅考量鋪面重鋪排碳量，各標鋪面重鋪假設條件如表 8。

本工程鋪面生命週期碳足跡結果如圖 18，WH77-A 及 B 標單位面積排碳量相近為 128.66 及 134.60 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，而 WH77-C 標僅有 60.76 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> 最低，各標營運期管理

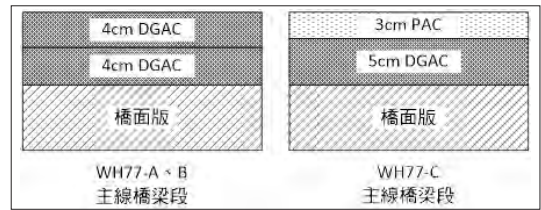


圖 16 本工程主線橋梁段鋪面結構

備註：DGAC 為密級配瀝青混凝土；PAC 為多孔隙瀝青

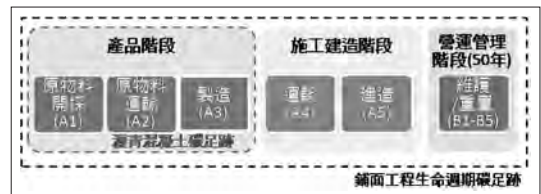


圖 17 鋪面工程生命週期碳足跡系統邊界

備註：A1-A5 及 B1-B5 相對應於 EN15804 之生命週期階段編碼。

表 8 本工程主線橋梁段鋪面之營運管理階段假設條件

標別	WH77-A	WH77-B	WH77-C
重鋪材料	DGAC	DGAC	PAC
重鋪厚度 (cm)	5	5	3
重鋪頻率 (年)	5	5	10
50 年營運期間重鋪次數	9	9	4

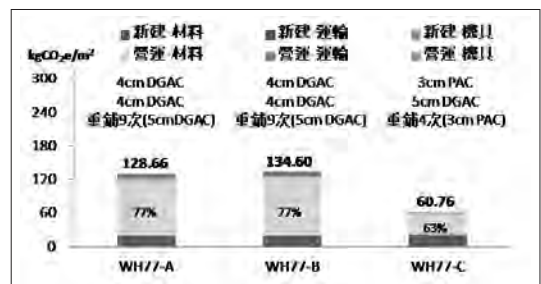


圖 18 鋪面工程生命週期碳足跡

備註：DGAC 為密級配瀝青混凝土；PAC 為多孔隙瀝青混凝土。



表 9 WH77-B 標基樁鋼筋加工排碳量分析

情境	場電	發電機
鋼筋量 (ton)	8,557	584
柴油量 (L)	17,962	3,562
柴油係數 (kgCO <sub>2</sub> e/度)	3.48	
用電量 (度)	33,560	-
電力係數 (kgCO <sub>2</sub> e/度)	0.65	
排碳量 (tonCO <sub>2</sub> e)	84.32	12.40
單位排碳量 (kgCO <sub>2</sub> e/t 鋼筋)	9.85	21.22

備註：柴油量包含鋼筋廠之吊車用油量。



圖 19 本工程營運期間交通量影響路段

階段之材料排碳占比介於 63% ~ 77%。造成排碳量差異之原因為營運管理階段重鋪材料數量之不同，相較於 WH77-A 及 B 標之密級配瀝青混凝土鋪面，WH77-C 標 PAC 鋪面於 50 年營運期間之重鋪次數與厚度明顯低於其他 2 標，因此 PAC 鋪面重鋪之材料用量可大幅減少，其減碳比例約為密級配瀝青混凝土鋪面 53% ~ 55%。

#### (四) 場電使用

工程施工過程使用之機具常以電力作為機具能量來源，然公共工程之施工環境變異性大，有時因工址位處偏遠地區，有時因工區幅員廣大，是否可採用固定式電源（場電）之不確定性高。因此，工程中常見使用可移動之發電機替代固定式電源。然以移動式之發電機需添加燃油以產生電力，考量相同機具使用場電與移動式發電機之排碳量結果應不相同。

本工程各標工區之鋼筋加工場，即有使用場電或移動式發電機為電力來源之情形。其中 WH77-B 標基樁加工作業，初期係使用場電為電力來源，而後為提升施工進度，短期使用燃油發電機產生電力，比較 2 種情境之排碳量如表 9。結果顯示使用發電機之鋼筋加工單位排碳量為 21.22 kgCO<sub>2</sub>e/t，使用場電之單位排碳量則僅約 9.85 kgCO<sub>2</sub>e/t。

根據分析結果，使用場電較燃油發電機產生較少之碳排放量。因此，工期長、用電量大之工程，應可考量工區申請臨時用電，除可有效減少施工機具之碳排放量，亦有節省成本之效益。

#### (五) 營運期間交通量

本工程路段於營運期間將影響鄰近台 17 及台 19 線道路之交通量變化，如圖 19 所示。本文參考可行性報告之通車前後交通量 [15]，評估整體交通量改善之減碳效益。

本文計算通車前後之年度排碳量公式如公式 1 所示。本工程通車前排碳量來自台 17 與台 19 線，假設此 2 條道路與本工程道路相



同為 8.45 km，並根據公路路線設計報告及研究報告資料，分別設定本工程路段、台 17 及台 19 線之最小設計速率與小客車對應油耗值，估算本工程通車前後之年度排碳量如表 10。

公式 1

交通運輸排碳量

= 年度交通量 × 道路長度 × 最小設計速率  
之小型車油耗值 × 燃料排放係數

由於本工程最小設計速率較台 17 與台 19 線高，其相對應之小客車油耗值較低，且通車後台 17 與台 19 線之車流量轉移至本工程，使得整體道路之交通流速明顯提升，進而減少車輛油耗量並降低排碳量，本工程營運階段每年可減少約 1,585 tonCO<sub>2</sub>e。

## 七、結論與未來展望

本工程經由盤查取得施工建造階段之盤查數據，建立我國橋梁工程本土化資料，包含主要工程材料排放係數、機具及工項之單位排碳量；並由營運管理階段之排碳量估算，完成本工程完整生命週期排碳量之成果。

以下說明本工程產出之排碳量成果、工程單位排碳量、減碳效益、建議與未來展望事項。

### (一) 本工程生命週期排碳量成果

本工程生命週期排碳量為 351,365 tonCO<sub>2</sub>e，各類別排碳來源排碳量及一級數據比例如表 11。

表 10 本工程通車前後交通量之排碳量分析

項目	通車前		通車後		
	台 17	台 19	台 17	台 19	本工程
年度交通量 (10 <sup>6</sup> PCU/yr)	12.1288	10.8268	4.6357	5.9669	12.5011
道路長度 (km)	8.45		8.45		
最小設計速率 (km/hr)	50		50		80
小型車油耗值 (L/km)	0.101		0.101		0.093
汽油排碳係數 (kgCO <sub>2</sub> e/L)	2.361		2.361		
年度排放量 (tCO <sub>2</sub> e/yr)	24,442	21,818	9,342	12,024	23,309
	46,260		44,675		
年度減碳量 (tCO <sub>2</sub> e/yr)	1,585				

備註：

- (1) 最小設計速率資料來源：[16]
- (2) 小型車油耗率資料來源：[17]
- (3) 汽油排碳係數資料來源：[18]

表 11 本工程生命週期類別排碳量與一級數據比例

類別	排碳比例	一級數據比例
工程材料	86%	51%
運輸	3%	2%
施工機具	2%	2%
管理單位	1%	1%
廢棄物及人員逸散	<1%	-
營運管理階段	8%	-
總計 (tonCO <sub>2</sub> e)	351,365	56%

其中，工程材料排碳比例高達 86%，主要排碳來源為混凝土及鋼筋，執行大宗材料（鋼筋、水泥、混凝土等）供應商盤查作業大幅提升材料之一級數據比例至約 51%，為本



表 12 本工程生命週期類別排碳量與一級數據比例

工項	規格	單位排碳量	單位
基樁	Φ 150cm- 陸上段	0.91~1.02	tonCO <sub>2</sub> e/m
	Φ 150cm- 跨河段	0.96	tonCO <sub>2</sub> e/m
	Φ 100cm	0.55	tonCO <sub>2</sub> e/m
基礎	陸上段 - 主線	0.45~0.56	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	陸上段 - 匝道 / 橋台	0.43~0.47	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	跨河段	0.58~0.62	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
橋墩	陸上段	0.60~0.72	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	跨河段	0.58~0.67	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	V 型	0.75	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
上構	場鑄逐跨 - 陸上 / 匝道段	0.53~0.67	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄逐跨 - 漸變段	0.66~0.74	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄懸臂 - 陸上段	0.69、0.81	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄懸吊 - 跨河段	1.32	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
整體橋梁工程	場鑄逐跨 - 含既有橋墩	1.16	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄逐跨 - 陸上段	1.24~1.63	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄逐跨 - 漸變段	1.41~1.85	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄逐跨 - 匝道段	1.69~2.05	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄懸臂	1.63、1.78	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
	場鑄懸吊 - 跨河段	2.95	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
擋土牆	重力式	0.34	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	懸臂式	0.40~0.42	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>

工程主要的一級數據來源；運輸排碳占比約為 3%，主要以混凝土運輸占比最高，亦透過混凝土供應商盤查取得運輸油耗資料，提升運輸類別一級數據比例，約為 2%；總計本工程一級數據比例為 56%。

## (二) 本工程單位排碳量

本工程盤查過程中，確認各工項之材料及機具等，完成各工項單位排碳量計算，彙

整如表 12。相關單位排放參數於類似工程規劃設計階段時，具有參考價值。

## (三) 本工程節能減碳措施效益

應用於本工程之減碳措施，包含水泥替代材料、加勁式擋土牆、多孔隙瀝青混凝土鋪面及營運期間交通量等項目。

其中減碳效益以飛灰及爐石粉替代水泥材料最為顯著，主要係因混凝土於本工程排碳量占比高，減碳量總計約總計為 53,359 tonCO<sub>2</sub>e，減碳比例約 28%。

加勁式擋土牆相對傳統 RC 懸臂式擋土牆，具有實質的減碳效果，減碳比例約為 88%；本工程於 WH77-C 標鋪面材料選用多孔隙瀝青混凝土 (PAC)，由於 PAC 服務年限高於一般密級配瀝青混凝土，可減少鋪面營運期間之重鋪排碳量，PAC 減碳比例約為密級配瀝青混凝土鋪面 53% ~ 55%。

本工程通車後將改善鄰近台 17 及台 19 線之交通量，進而影響降低車輛之排碳量。根據評估結果，由於本工程設計車速較高，且台 17 及台 19 線之車流量轉移至本工程路段，使得本工程營運階段每年將可減少 1,585 tonCO<sub>2</sub>e 之車輛排碳量。

## (四) 建議與未來展望

本工程經由多年碳足跡盤查作業，已逐漸累積工程碳盤查執行經驗，碳盤查作業與制度已相當成熟，並有相關成果產出，可提供未來相關工程於碳足跡盤查及規劃設計階段之排放量計算參考，藉由排放量估算結果，進一步擬定合適的工程減碳措施。



碳足跡盤查為工程碳管理之基礎，必須獲取正確的排碳量結果，以進行排碳量控制，進而達到減碳目標。目前國內工程碳盤查執行制度與經驗相當完整，建議後續重大指標工程可持續執行工程碳足跡盤查作業，累積不同工程型式之本土化參數，完備我國工程碳足排放資料庫。

此外，建議參考歐盟綠色採購文件「公路設計、建造及維護」，於工程招標文件內納入工程減碳相關措施，例如契約內明訂優先採用揭露產品碳足跡之供應商，期望藉此拓展供應商供應鏈的共同努力，達到節能減碳實踐。

#### 參考文獻

1. UK Highways Agency, “Carbon Management Framework for Major Infrastructure Projects e21C Project Report”, 2009.
2. BRE Global Ltd, “Product Category Rules for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804 : 2012”, 2013.
3. International EPD® System, “PCR: Highways, streets and roads (except elevated highways)”, 2018. (2.0 版)
4. International EPD® System, “PCR: Bridges, elevated highways and tunnels”, 2018. (2.0 版)
5. The British Standards Institution, “PAS 2080: 2016 - Carbon Management in Infrastructure”, 2016.
6. European Commission JRC, “Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance, Procurement Practice Guidance Document”, 2016.
7. 行政院環保署, 「基礎建設 - 道路 (Infrastructure-Road) 碳足跡產品類別規則」, 2017。
8. 行政院環保署, 「基礎建設 - 橋梁 (Infrastructure-Bridge) 碳足跡產品類別規則」, 2017。
9. ISO, “ISO/TS 14067:2013 specifies principles, requirements and guidelines for the quantification and communication of the carbon footprint of a product (CFP),” 2013. (產品碳足跡量化與溝通標準原則、要求與指引)
10. 交通部中央氣象局, 日出日沒統計資料。
11. 行政院環保署, 「路燈 (Street Luminaire) 碳足跡產品類別規則」, 2016。
12. Carsten B. N., “Durability of porous asphalt - International experience,” 2006.
13. 交通部公路總局西部濱海公路北區臨時工程處, 「碳足跡應用於快速公路地工合成材料之研究委託服務工作期末報告 (定稿本)」, 2018。
14. 陳保展、羅國峯、林彥宇、許珮蒨、王寧沂, 「西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程之鋪面工程生命週期排碳特性分析」, 鋪面工程, 第十六卷第二期, P.55 ~ 64, 2018 年 6 月。
15. 交通部公路總局, 「西濱快速公路曾文溪橋段新建工程計畫委託可行性評估工作報告」, 2009。
16. 交通部, 「交通技術標準規範公路類工程 - 公路路線設計規範」, 2015。
17. 交通部運輸研究所, 「探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響專案研究報告」, 2011。
18. 行政院環保署, 溫室氣體排放係數管理表 6.0.3 版, 2017。



# 新世代污水下水道建設與管理策略

內政部營建署下水道工程處處長 / 陳志偉  
內政部營建署下水道工程處課長 / 周世銘  
環興科技股份有限公司水務部經理 / 陳立儒  
環興科技股份有限公司水務部計畫主任 / 吳忠柱

關鍵字：污水下水道、優化管考、應變體系、教育藍圖、全循環

## 摘要

我國污水下水道建設走過了 30 個年頭，期間面對大大小小的挑戰不計其數，在下水道界前輩筆路藍縷堅持並堅定地走到今日，才能有目前累積的建設成果，面對下一世代自然、社會、經濟及人文環境的種種挑戰，我們要有新世代污水下水道建設管理的思維與策略，將以「水循環」、「資源循環」、「減碳延壽」、「生態共生」為下水道四大新願景，並透過多管齊下優化管考提升污水下水道建設績效、建構天災應變體系並研擬減災策略以減輕災害衝擊、落實執行教育藍圖適才適所展現卓越成效、掌握下水道推動趨勢以厚實技術執行策略、結合接軌國際減碳趨勢打造全循環系統等多面向執行策略，分階段築夢踏實。

## 一、前言

我國在民國 73 年頒布「下水道法」後，於民國 77 年制訂「污水下水道發展方案」並歷經三次修正，內政部依據核定之方案分別

研提六年一期之污水下水道建設計畫，且已奉行政院核定第一期(81至86年度)、第二期(87至92年度)、第三期(92年至97年)、第四期(98年至103年)及第五期(104年至109年)等建設計畫(如圖1所示)，逐年推動污水下水道建設，歷經各界的努力，全民已逐漸感受到下水道建設所帶來之改善都市居住環境衛生、提升生活環境品質、防止水域污染以及確保良好水源水質的好處，因此無論在「八一〇〇-台灣啟動」、「挑戰2008國家重點發展計畫」、「擴大公共建設投資計畫-新十大建設」、「2015年經濟發展願景-第一階段三年衝刺計畫(2007-2009年)」、「愛台12建設」、「黃金十年-國家願景」及「永續發展政策綱領」等多項行政院重大施政計畫中均含括污水下水道建設計畫，並列入重大政策重點執行項目，其重要性可見一般。

目前第一至第四期建設計畫已執行完成，各級政府及民間資金投入建設經費達

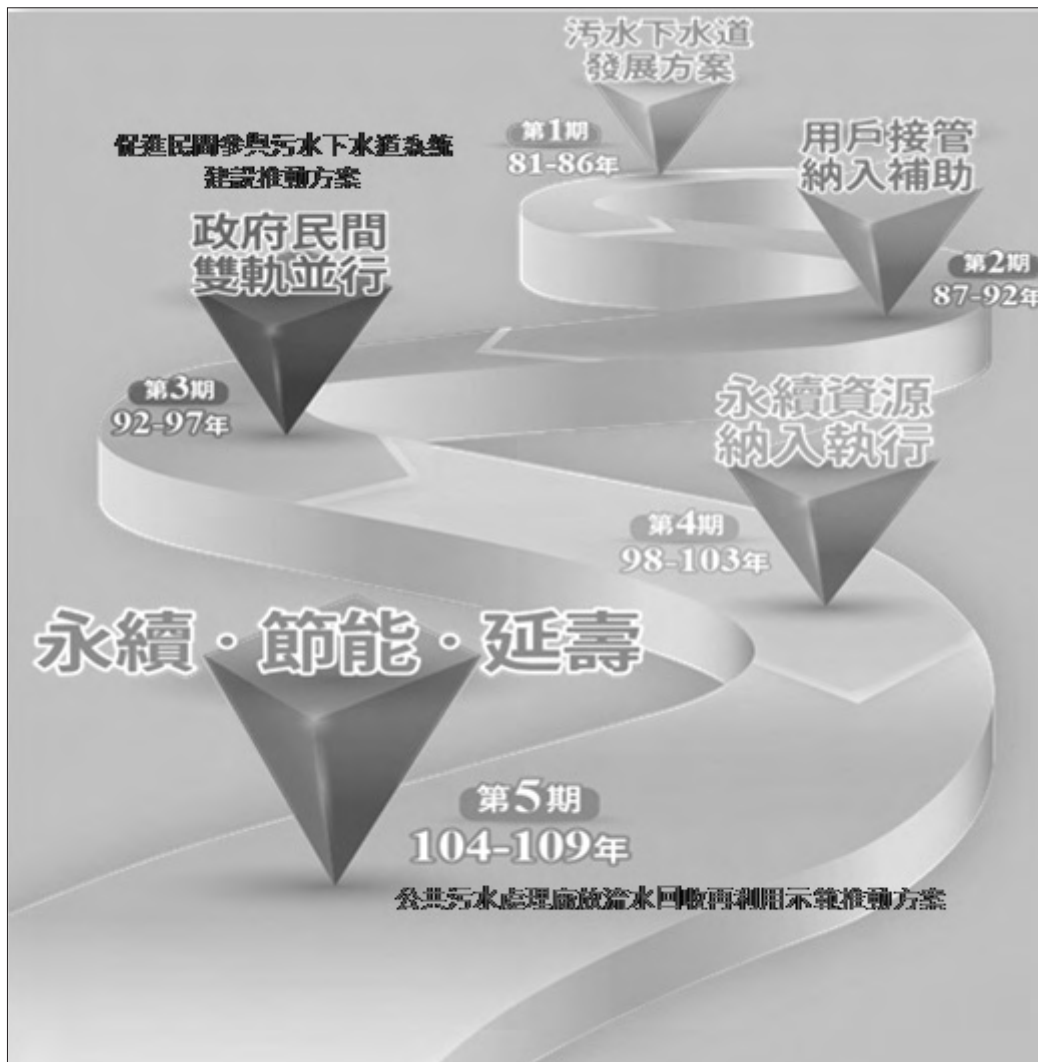


圖 1 我國各期污水下水道建設計畫演進

2,751 億餘元，第五期建設計畫總經費亦高達 1,068 億餘元，污水下水道如何有效利用並發揮相乘的效果，是目前國內污水下水道建設推動最重要之工作。

內政部營建署依據下水道法為下水道之中央主管機關，負責綜理全國下水道發展工作，舉凡下水道發展政策、方案及法規之訂

定、各縣市下水道系統發展計畫之核定及下水道建設、管理與研究發展之監督及輔導、下水道操作、維護人員之技能檢定及訓練與下水道技術之研究發展等皆是營建署的重要業務。

推動污水下水道建設至今已超過 30 個年頭，現階段所面臨之問題及挑戰包括：



- (一) 中央財政日益困難、資源有限，如何提升投資績效？
- (二) 大規模天災不時發生，有無緊急應變及處置標準作業流程 (SOP)?
- (三) 公部門 / 技術顧問 / 工程 / 操作維護如何確保下水道建設營運持續精進到位？
- (四) 產業吸引力不足缺乏長期發展空間，技術如何深耕發展？

面臨現階段的各種挑戰，我們認為應該要有新世代下水道的思維和做法，因此新世代污水下水道的建設與管理策略便顯得舉足輕重，同時也關係著污水下水道建設後續推動之成功與否，本文將針對上述重要課題提出初步策略與構想，作為後續有關污水下水道建設與管理施政參考。

## 二、築夢踏實邁向下水道新願景

污水下水道為都市現代化程度之重要指標，亦為改善都市污染及環境衛生之具體措施，可改善都市污染及環境衛生、減低河川污染、提升國民生活品質並進而提升水資源利用。

目前就政治、經濟、社會、文化、環境五大面向之長期趨勢，因應未來氣候變遷及國內外社會經濟情勢之變化，考量 (1) 地球暖化及氣候異常、(2) 國土規劃及區域均衡發展、(3) 區域聯合治理趨勢、(4) 水及其他資源缺乏、(5) 大規模災害發生風險增加及公共設施老化、(6) 政府財政拮据、(7) 人才及人力短缺、(8) 維護地球環境等，再針對下水道定位、整體管理目標設定、管理制度建立，效率化管理等，研擬出以污水下水道全循環

為目標之「水循環」、「資源循環」、「減碳延壽」、「生態共生」四大願景，作為未來下水道建設、管理、營運、技術及教育之總體方向，再導入「優化環境教育」、「厚實技術」、「全循環系統」、「柔韌防災體系」、「創造新價值」及「地球村貢獻」六大執行策略，來推動新世代污水下水道建設與管理 (詳圖 2 所示)。

為配合階段性循序達成目標，六大執行策略已落實為四項核心工作架構，包括「多管齊下優化管考」、「建構天災應變體系」、「落實執行教育藍圖」及「厚實技術執行架構」，初步說明如下並於後續說明相關工作規劃執行內容。

### (一) 多管齊下優化管考

包括以 PDCA 滾動式檢討考評制度、逐步建立競爭型補助機制、強化促參履約管理機構功能、以大數據分析提出增進績效建議、與地方政府充分溝通並與專家學者諮詢、鼓勵公民參與並跨界對話交流。

### (二) 建構天災應變體系

以系統思維建構柔韌防災系統，並進行天災搶救資源盤點與研擬分工調度方案，同時以全生命週期進行風險評估及研擬對策。

### (三) 落實執行教育藍圖

政府部門教育訓練應強化本質學能以順利推行相關政策，其他從業人員則需適才適所持續精進，亦可透過舉辦國內及國際研討會進行經驗交流分享。此外，目前分散之下水道相關學協會、社團法人、財團法人等民間組織，宜進行資源整合以促進整體下水道





圖 2 我國下水道新願景

教育功能發展。另推行下水道環境教育，扎根養成並深植人心已刻不容緩；至於製作工安及施工工法教育影片，則可教育施工人員學習正確的觀念、態度與行為。

#### (四) 厚實技術執行架構

包括新方向、新觀念、新技術引入，掌握國際發展並接軌國際，定期檢討相關法規、標準之研擬修訂，擬訂規範指引及標準作業程序，掌握產業動態、扶植產業人才，資料公開並予電子化等以厚實下水道技術。

### 三、多管齊下優化管考

由於下水道建設係縣市政府地方自治事項，中央主要為督導之職，因此中央對於縣市政府經費補助相關管考機制是否精確合

宜，即為建設成效顯著與否之關鍵，多管齊下優化管考將是下水道建設績效提升的重要因子，相關策略如圖 3 所示，包括：

#### (一) 滾動式檢討考核評鑑制度

運用 PDCA 持續改善評鑑內容，評鑑係依據當年度評鑑執行計畫 (P) 進行，評鑑執行過程中 (D)，持續收集縣市政府回饋事項，另外也依據現行法規、工程規劃、設計及監造執行經驗修正部分評鑑項目並整理評鑑委員建議事項，納入明年修正參考 (C)。

研擬下年度評鑑執行計畫時，收集關鍵議題各項執行現況作為修訂參考，召開評鑑研商會議，綜合各單位意見進行修正後 (A)，完成下一年度評鑑執行計畫書 (P)。



圖 3 滾動檢討、多元精進管考執行架構

### (二) 逐步推動地方政府競爭型補助機制

依「中央對直轄市及縣(市)政府補助辦法」第十四條第二項「直轄市、縣(市)政府執行補助計畫時，如有未依中央政府各主管機關規定編列或撥付應分擔款，或執行績效不佳等情形者，各該主管機關得縮減或取消補助，並由原未獲補助之計畫項目依序遞補。」

目前正評估將考評結果列為丙等者，除依原「內政部營建署補助直轄市及縣(市)政府污水下水道建設計畫考核評鑑作業要點」(100.10.27 營署水字第 1002916092 號函修訂)第六點(三)主辦人員及機關相關主管視實際辦理情形各申誡 1 次以上外，另研擬下一年度減少補助金額百分比。惟為避免陷入因減少補助發生下一年度評鑑結果持續不佳之惡

性循環，若下一年度評鑑結果為乙等以上，則可恢復原補助金額百分比。

另規劃將頒獎典禮結合評鑑結果績優縣市心得發表，頒獎典禮依往例係配合營建署下水道年度研討會時舉行，各縣市從事下水道業務人員難得齊聚一堂，可藉由此機會邀請評鑑結果為優等縣市進行成果分享，並開放現場提問，進行經驗交流與分享。

### (三) 強化促參查核評鑑

有關污水下水道促參系統執行成效，將再強化履約管理機構的工作，以達到實質監督之功能，研擬就執行重點明訂履約管理機構查核表單，並視需求修訂履約監督作業手冊及定期考核作業要點。



#### (四) 大數據分析

因應大數據時代來臨，下水道建設亦逐步採集巨量數據進行系統性分析，透過數據收集與大數據分析，可剖析污水下水道處理的質與量、污水下水道相關建設之成效、下水道與水媒疾病或房價之影響與關連等加值分析的面向基礎，凸顯建設營運成效，可作為精進下水道建設管考之參考。

#### (五) 彙整全方位意見

多方聽取各界聲音亦是精進下水道管考之一環，透過推動委員會、下水道專家諮詢會議、公民咖啡論壇、全國科長會議及民眾滿意度問卷調查等不同型式，邀集中央、縣市政府、業界、專家學者、利益關係團體、公民團體及民眾等跨界對談交流或回饋，針對下水道建設相關政策、課題及改善重點進行意見討論與蒐集，除透過互相分享學習建立觀念與達成宣導目的，藉以凝聚共識與願景外，並綜合開放性的討論與意見彙整搭配多元問卷設計，以提供我國下水道建設相關後續管考政策發想契機。

### 四、建構天災應變體系

災害防救分為減災、整備、應變及復原四階段（詳圖 4），為防患未然應積極強化對災害的認識，進而預防、降低災害損失。採用災害潛勢分析評估降低災損之對策，並協助決策者規劃應變策略，因此可透過蒐集以往災害之案例、了解災因、識別災況、分析災源，研擬應變對策將災害降至最低。以日本阪神大地震為例，地震造成污水下水道系統災損包括管線及人孔因土壤液化損壞破損，污水處理廠與抽水站進流管、出流管（渠）、

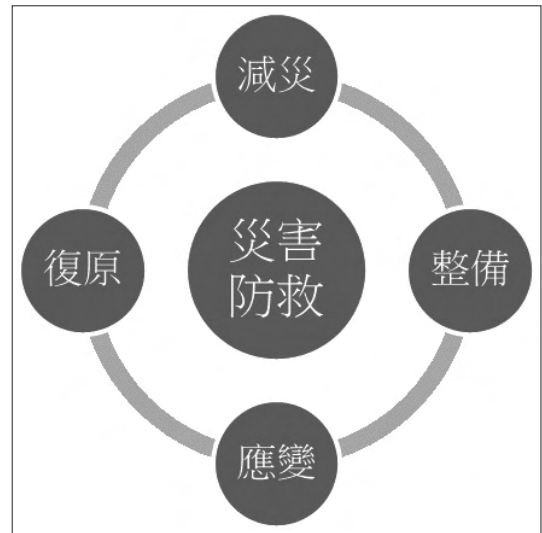


圖 4 災害防救四階段示意圖

輸水管、曝氣槽及沉沙池等結構損壞及龜裂等，造成整個系統喪失處理功能。如何透過災害風險管理降低災害發生風險、減輕災害衝擊及研擬減災策略實為必要且迫切。

污水下水道系統可概分為管線設施及廠站設施，考量自然因素、人為因素及其他狀況，排列出可能發生之各種緊急狀況、各種情境下可能發生之損害情形及應變對策。

我國災害防救體系依災害防救法規定，區分為「中央」、「直轄市、縣(市)」及「鄉鎮(市、區)」三層級，由中央災害防救業務相關機關參照「災害防救基本計畫」相關內容訂定「災害防救業務計畫」，作為各級地方政府災害防救計畫之上位計畫，計畫所列相關機關應辦事項於地方政府擬定「地區災害防救計畫」時應列入由相對應機關（單位）落實執行，以健全整體災害防救機制。



圖 5 下水道體系整體訓練架構思考示意圖

營建署為下水道之中央主管機關，下一層級為縣市政府，其地區災害防救計畫包含災害防救資料庫與資訊通訊系統，有關各縣市災害防救相關資料的即時傳輸及運用，各災害防救業務單位於平時應由專人負責資料庫建置、規劃及管理、更新、維護與測試，以確保災時資料的使用。災害防救資料庫依據功能性可分為環境基本資料庫、防救災資源資料庫、即時資訊資料庫、災害潛勢資料庫與復建資料庫五大類，防救災資源資料庫係作為應變決策系統指揮調度的依據，內容包含災害應變中心人員聯絡名冊，民間救災人力資源資料、專家技術人員資料、醫療資源分布資料、救災機具開口合約廠商分布等。現階段將請各縣市政府提供防救災資源資料庫之資料，再依北、中、南、東之區域與地質特性分項整理相關聯絡名冊、救災機具開口合約廠商等資料，當縣市政府尋求中央協助時，可提供跨縣市調度支援的資訊。

## 五、落實執行教育藍圖

對於整個下水道體系教育訓練，應有完整及全面的系統性思考，我們對整體下水道體系教育藍圖構想，可從政府部門教育訓練、持續精進分級進階的 OJT(On Job Training)、舉辦國內及國際研討會、學協會的整合發展及下水道環境教育五大面向著手(詳圖 5)，除可落實人才的養成發展，持續精進，更能適才適所在下水道體系的各自崗位中充滿自信並展現卓越成效。

### (一) 政府部門教育訓練

下水道政府部門係主導和落實政策的關鍵角色，因此如何具備決策、溝通和執行等多元管理能力，便是政府部門教育訓練考量的重點，除了傳統的設計、監造、施工、營運管理及職業安全衛生等基本技術知識外，近年來由於面對民眾的機會大增，且中央地方有



年來由於面對民眾的機會大增，且中央地方有大量業務須溝通協調，人際溝通、媒體應對與決策管理等都是培訓地圖中的重要拼圖。

## (二) 持續精進分級進階的 OJT

由於下水道從業人員因擔任職務專業本職學能仍有不足無法確實到位，導致執行下水道業務發生錯誤、成效不佳或造成不良影響，且為使不同工作背景人員進行經驗交流，並持續吸收新知成長，同時可進行政策宣導，故架構污水下水道從業人員持續在職訓練，使相關人員能對必要的知識、技能、工作方法等進行教育訓練。下水道各項屬性任務之相關從業人員應有一套完整訓練架構，依專業分工領域分級進階規劃，鼓勵學習搭配進階授證，可有效提升人員素質。

## (三) 舉辦國內及國際研討會

舉辦下水道國內研討會可匯集國內產、官、學等各方專業與專精人士進行經驗分享與交流對談，深化在地經營與發展。另舉辦下水道國際研討會，可與其他國家進行政策分享與技術交流，藉由先進國家下水道建設及環境再生等經驗，可檢討國內下水道建設的思維與技術，對於建設較落後之國家亦可透過國際交流，深耕該區域下水道產業開創先機。故舉辦下水道研討會亦為深耕優化教育重要之一環。

## (四) 學協會的整合發展

目前國內下水道相關學協會、社團法人、財團法人等組織仍屬各自運作發展之狀態，若為下水道整體產業發展，建議可師法日本等先進國家，有效整合管理下水道學協會組織，強化相關組織功能，可做為落實下水道教育之民間重要助手。

## (五) 下水道環境教育

十年樹木、百年樹人，下水道環境教育向下紮根刻不容緩，如何讓新世代了解、認同並支持下水道，需要有系統性的規劃和策略，讓大家可以共同參與。

## 六、厚實技術執行架構

我國下水道發展應掌握下水道推動趨勢、厚實技術發展，因此要有接軌國際、符合潮流的技術構想，包括法規標準制定與更新、規範指引檢討與修正、下水道產業扶植、新方向 / 新觀念 / 新技術引進及宏觀國際化視野五大面向著手 (詳圖 6)。

### (一) 法規標準制定與更新

下水道功能在解決都市排水問題、促進都市健全發展、確保居住環境衛生、提升人民生活品質，惟所遵循之下水道法母法自 73 年公布迄今已超過 30 年，期間雖曾針對部分條文修正，但當年之立法背景與現今情勢已有明顯變化，過去偏重污水下水道建設，目前則有因應環境永續、極端氣候氣候變遷之政策作為，故針對當前政策、施政方針、下水道建設之角度及實際執行層面，著手檢討現行下水道法，進行必要之調整與更新，另包括定期檢討法規、標準研擬 / 修訂等都是後續厚實下水道技術之重要工作。

### (二) 規範指引檢討與修正

國內污水下水道建設歷經多期計畫，目前全國各縣市已全面展開建設，並依營建署頒訂之污水下水道專用技術規範執行，以往公共污水管線及用戶接管工程常採用不同施工方式及各式各樣污水管材及設施材料之現象，已逐漸規格化並趨於一致化。



圖 6 下水道接軌國際、符合潮流的厚實技術構想

雖然污水下水道專用技術規範經多年來之努力，在施工及材料已逐漸精進及規格化；惟污水下水道相關施工技術及管材設施材料，在國際上之發展日新月異，為能跟上世界新技術新材料之腳步，適時對所採行之專用技術規範進行修訂，亦是克不容緩之工作。此外，包括手冊研擬/修訂、解說、採購契約範本、標準操作程序、標準維護程序等相關指引亦在發動之列。

### (三) 下水道產業扶植

目前國內下水道產業尚未蓬勃發展，要讓下水道建設推展長長久久，健全整個下水道產業結構鏈為首要之務，除了掌握產業動態並將視狀況扶植相關產業發展本土在地技術，並培養相關人才，才讓下水道政策順利推動落實。

### (四) 新方向、新觀念、新技術引進

我們要有多元的下水道發展，除了要發展本土技術，也要能師法國外的優點與技術，不能閉門造車，擁有建設新觀念並吸收技術新知，同時進行技術研析，才能進一步厚植下水道軟硬體實力，拓展技術能力。

### (五) 宏觀國際化視野

同時要掌握國際發展情勢、接軌國際發展趨勢，將國內相關資料公開增加能見度，並將相關資訊及資料電子化，包括透過物聯網 (IoT)、虛擬實境 (VR)、擴增實境 (AR) 等方式加以應用，同步跟上資訊化發展腳步，敞開我們的心胸昂首闊步，以宏觀的視野放眼國際。



## 七、邁向污水下水道全循環願景

污水下水道工程建設中污水處理廠肩負污水淨化之重責大任，伴隨氣候變遷影響，全球水資源課題備受關注，污水處理廠涉及之資源包含處理後放流水、處理過程衍生之下水污泥等事業廢棄物和設備耗用之能源以及厭氧處理程序產生之甲烷氣等，水再生利用技術應朝低碳、低耗能與能資源整合邁進，污泥處理部分以乾燥減量、多元化再利用及焚化為推動目標，以結合「接軌國際減碳趨勢」之具體使命建構全循環系統。

其中針對水資源回收再利用及下水污泥減量與再利用推動方向如下。

### (一) 水資源回收再利用

為促進我國水資源永續利用，推動再生水之開發、供給、使用及管理事項，營造再生水友善發展環境，促進水資源永續利用及產業發展，「再生水資源發展條例」已於民國 104 年 12 月 30 日由總統公布實施，並於民國 105 年 11 月 4 日陸續完成 9 項授權子法制定發布，制定廢污水及放流水再生利用明確的法律框架，賦予權責單位法源，營造友善環境，規範興辦程序及管理、售水機制，促進再生水資源永續及產業發展。依據「再生水資源發展條例」第四條規定缺水地區開發單位強制使用一定比率再生水；第五條規定缺水地區地方政府應積極興辦、得無償提供公共下水道系統污水及放流水，推展污水回收再利用已是刻不容緩且必行之策略。

民國 102 年已提出「公共污水處理廠放流水回收再利用推動計畫」，針對福田廠、安平廠、鳳山溪廠、豐原廠、永康廠和臨海

廠等 6 座營運中或規劃中都市污水處理廠作為再生水重點推動方案。此外，為擴大再生水使用及推動範疇，行政院於 106 年 4 月 5 日核定通過「前瞻基礎建設計畫」，並於「水環境計畫」項下框列子計畫「再生水工程」，內容包含臺中市水滄水資源回收中心再生水供應中科臺中園區工程、擴大高雄市臨海再生水取水管線工程（凱旋路主幹管）及福田水資源回收中心再生水供應彰濱工業區等 3 案，上述 6 座示範廠及前瞻計畫 3 案之地理分布詳圖 7。行政院亦已宣示民國 120 年達到再生水使用量每日 132 萬噸目標，約可取代公共給水量 10%，我國已正式進入多元化水資源利用新紀元。

此外，水再生利用技術應朝低碳、低耗能與能資源應用整合導向，評估低耗能新穎技術推展可行性，並結合廠內外可利用能源，達水資源與能源永續循環。

### (二) 下水污泥減量與再利用

隨接管率日益提升，下水污泥產量增加，原多採衛生掩埋處置方式，受既有衛生掩埋容積逐年減少，新址開發不易，清除處理成本高漲，既有處理或再利用設施又因高含水率與臭味問題收受意願低，污泥去化問題亟待解決，環保署民國 103 年 1 月 29 日公告修正「指定廢棄物清理法第二條第一項第二款之事業」，新增「公共下水道污水處理廠為廢棄物清理法指定之事業」，並於民國 104 年 7 月 1 日起施行，此後下水污泥屬有機污泥事業廢棄物範疇，需依廢棄物清理法規定清除、處理或再利用。

為解決日益嚴重下水污泥處理問題，營建署於第四期、第五期建設計畫推動污泥減量及污泥再利用示範驗證，期能以「解決廢

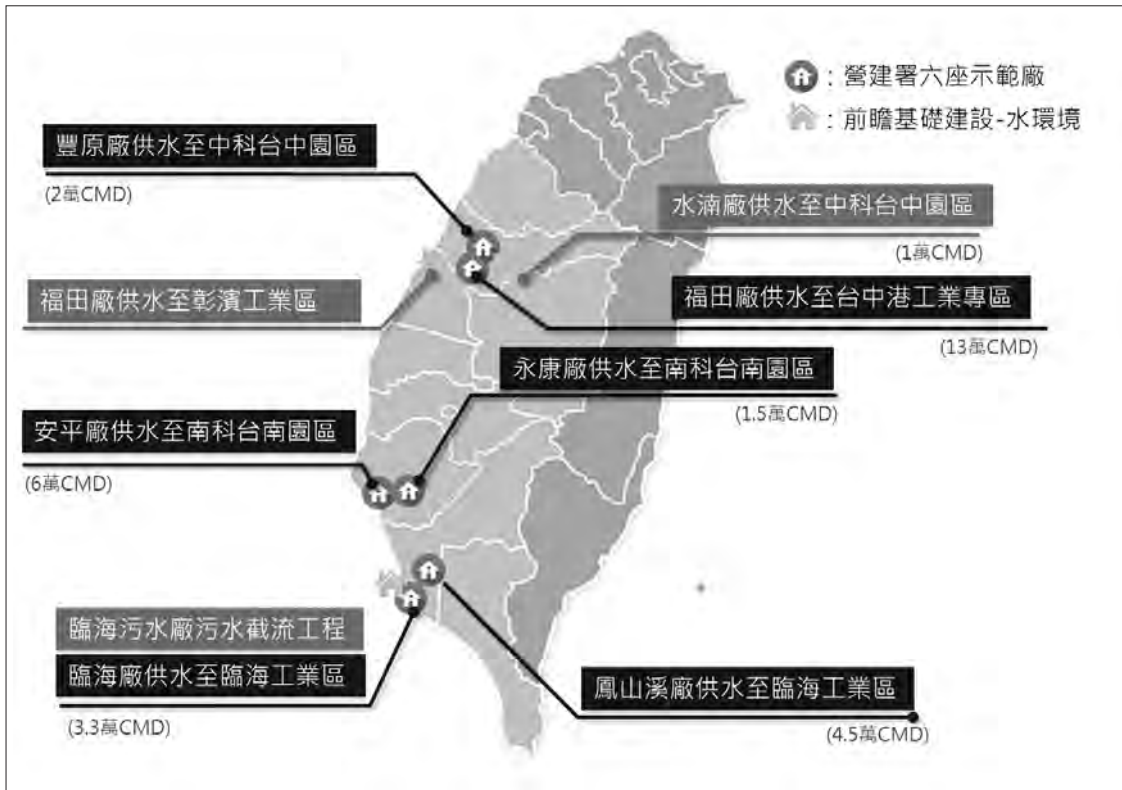


圖 7 我國營建署示範計畫及前瞻計畫再生水工程分布

棄物問題」和「資源有效利用」，建構資源永續。污泥減量優先考量地理位置及污水量、污泥量已穩定污水處理廠，補助縣市政府設置乾燥設備，目標係將污泥含水率 80% 降至 30%，並促成乾燥污泥在合適混燒比例下，送至垃圾焚化爐進行焚化減量與熱值回收計畫；污泥再利用示範驗證部分，宜蘭縣、臺中市及臺南市已完成示範驗證前置規劃，並採兩階段推動方式，第一階段優先推動宜蘭縣乾燥後碳化之燃料化及臺南市乾燥後燒結之材料化，臺中市乾燥後氣化之燃料化納入第二階段辦理範疇，透過 3 處示範驗證計畫，建立國內污泥再利用本土技術，確認產品去

化管道，供未來自行設置再利用設施，擴大下水污泥去化途徑。

國內各污水處理廠主管機關、代操作廠商或 BOT 廠商為減緩污泥去化問題，包含臺北市迪化廠（臺北市自設）、宜蘭縣宜蘭廠（代操廠商設置）宜蘭縣羅東廠（BOT 廠設置）、新北市淡水廠（BOT 廠設置）、高雄市楠梓廠（BOT 廠設置）等 5 座已陸續設置下水污泥乾燥設備，臺南市安平廠、新竹縣竹北廠和高雄市鳳山溪廠亦已著手規劃設置。





為達成「資源循環型社會」願景，污泥處置將朝向兼顧污染減量、節能減碳、再利用程度、市場通路等多元項目，規劃逐步達成。

## 結論

污水下水道系統是國家及城市重要基礎建設之一，也是現代化都市的進步象徵。內政部營建署自 81 年起積極推動污水下水道建設，截至 106 年底止全國公共污水下水道用戶接管已逾 275 萬戶。為增進社會大眾對我國污水下水道建設之瞭解與支持，同時進一步推展新世代污水下水道建設與管理，以政策、理論及實務近 30 年之經驗，提出前瞻發展策略，共同擘劃我國前瞻性污水下水道等水環境建設發展方向，並培植國內下水道相關從業人員之專業能力素質與國際性視野，提升我國國家之競爭力。 ◆

## 參考文獻

1. 污水下水道第五期建設計畫(104至109年度)核定本，內政部營建署，民國 103 年。
2. 下水道業務常用法規探討與研析期中報告，內政部營建署，民國 107 年。
3. 公共污水處理廠放流水回收再利用示範計畫，內政部營建署，民國 102 年。
4. 前瞻基礎建設計畫-水環境建設(水與發展)再生水工程推動計畫核定本，內政部，國 106 年。



# 臺灣地下水水質保護與管理

行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會執行秘書 / 陳世偉  
中原大學環境工程學系兼任教授 / 陳世偉  
行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會副執行秘書 / 倪炳雄  
行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會科長 / 柯顯文  
業興環境科技股份有限公司副總經理 / 劉志忠  
業興環境科技股份有限公司工程師 / 陳熾仔  
業興環境科技股份有限公司經理 / 王聖瑋

關鍵字：地下水、污染、水質保護、資源管理

## 摘要

地下水為臺灣重要之水資源之一，以往經濟蓬勃發展已衍生諸多地下水污染情形，爰此，行政院環境保護署於民國 89 年公布實施「土壤及地下水污染整治法」以來，已逐步推展各項地下水污染防治及整治工作。目前臺灣地下水水質保護已具備完整的監測制度，並完成各類高污染潛勢區域的調查與查證工作，針對已受污染的地下水，亦持續辦理污染整治工作。未來地下水水質保護將面臨環境與氣候變遷的影響而更顯其重要性，因此水質保護需導入資源管理的精神，持續辦理地下水環境監測，導入創新技術以釐清污染途徑及加速整治，並推動政府部門跨單位合作，以落實污染源頭管理，本文研擬地下水水質保護與管理策略，並歸納重點推動工作建議，以做為未來施政參考，並達到地下水資源永續利用之目標。

## 一、前言

臺灣長期以來仰賴地下水做為各標的用水水源，地下水資源品質為國人長期關注的重點，行政院環境保護署（以下簡稱環保署）依據土壤及地下水污染整治法（以下簡稱土污法）辦理地下水污染預防與整治工作，自 84 年起針對全國地下水分區共設置 453 口區域性監測井，並辦理定期採樣檢測工作，以掌握地下水背景水質概況。此外，針對各類型地下水污染場址及高污染潛勢區，截至 107 年 10 月底止共計 1,984 口持續監測之場置性（即污染調查）監測井，以做為地下水污染調查與查證之用。針對地下水水質保護工作亦推動逾十年相關階段工作（圖 1），包含掌握背景水質、調查高污染潛勢區域、建立預警機制、整合跨單位資訊等，此外，環保署為預防及整治地下水污染，確保地下水資源永續利用，改善生活環境並維護國民健康，各

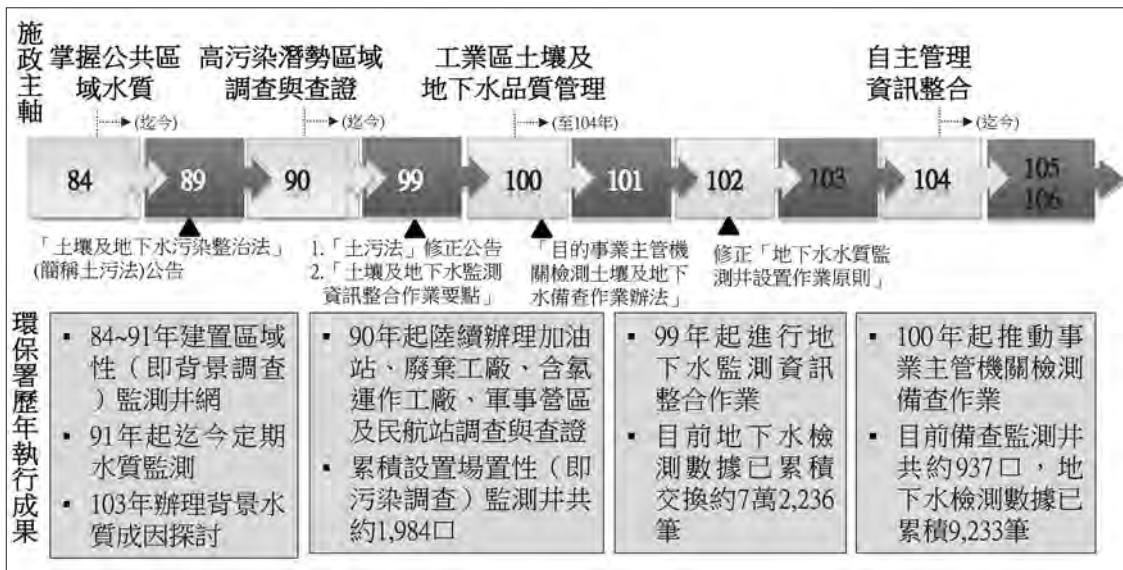


圖 1 環保署地下水水質保護歷年執行成果

級環保主管機關逐年推動辦理各項污染調查查證與改善工作，並加強污染預警與宣導工作，然針對未來環境變化與經濟發展之衝擊挑戰，必將影響水資源需求與分配，再者，民眾關注居家環境土壤及地下水品質的程度日益提升，新世代地下水管理政策亟需盡早規劃因應，以達到地下水資源永續利用與管理目標。環保署基於歷年辦理地下水水質監測與污染預防成果，並依據 106 年 10 月 19 日行政院第 3572 次會議指示，研析地下水水質趨勢並建立潛勢分布，以推動環保、農業、經濟等跨部會地下水污染預防保護措施，因此，本文綜整臺灣地下水監測管理現況，並盤點目前地下水資源面臨問題，研提未來水質保護與管理策略，以作為施政參考及落實資源永續利用。

## 二、臺灣地下水資源管理現況

國內目前依土污法，地下水污染防治屬環保署土壤及地下水污染整治基金管理會(以下稱土污基管會)與各縣市環保局之重點工作，故全國地下水水質監測及管理工作主要亦由上述單位負責辦理，此外，水量管理主要法源依據為水利法，中央主管機關為經濟部水利署(以下稱水利署)，下轄水利規劃試驗所、河川局、水資源局與臺北水源特定區管理局，主要負責水利事業之保育、治理、調查試驗、研究規劃等管理工作。其中地下水部分則主要由水利署水文技術組負責研擬地下水管理計畫、觀測井網之維護及管理、水位情勢分析，另水利署水利行政組則負責水權管理與地下水管制。而地下水水量管理工作之地方主管機關為縣市政府之水利局處等相關單位，主要負責縣市轄內地下水水權

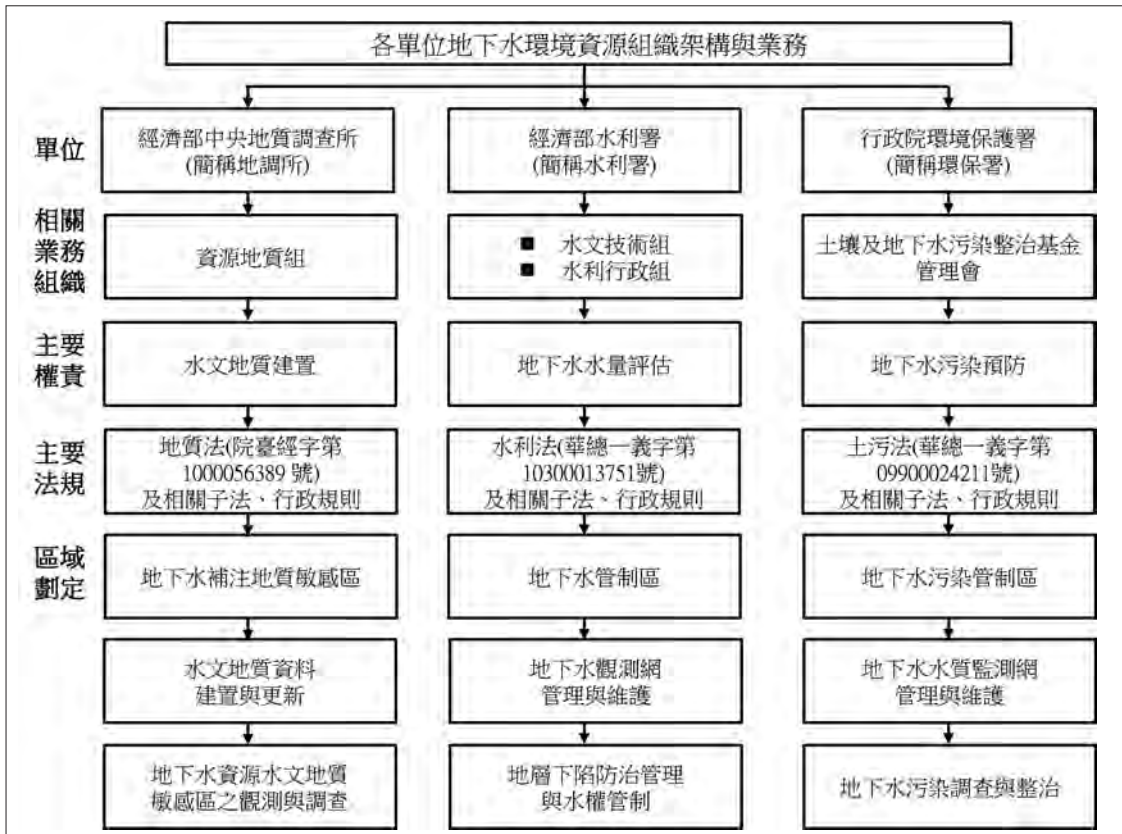


圖 2 臺灣地下水資源管理主要權責組織架構

審查與核發工作(賴伯勳等, 2015)。因此, 臺灣地下水相關業務之中央主管機關主要包括環保署土污基管會、水利署水文技術組及水利行政組、經濟部中央地質調查所(以下稱地調所)資源地質組, 各單位主要權責、依循法令、主要業務如圖 2 所示, 並概述如下(環保署, 2015)。

### (一) 環保署

由土污基管會掌管業務, 地下水相關業務包括污染防治、污染調查、監測井網規劃與建置、監測井維護管理等, 其法源依據為

土污法及其相關子法與行政規則, 並依法劃定地下水污染管制區及地下水受污染使用限制地區, 所在地主管機關得禁止飲用或使用地下水。近年重要工作成果包括(1)區域性/場置性監測井建置及管理、(2)地下水污染預防、調查及查證、(3)工業區燈號建置、(4)高污染潛勢區及場址管理等。

### (二) 水利署

由水文技術組及水利行政組掌管業務, 主要業務包括地下水觀測井網規劃與建置、地下水資源運用之調查評估、地層下陷防治



及水權管理等，其法源依據為水利法及其相關子法與行政規則，並依法劃定地下水管制區，加強管制地下水之利用，以防止地層下陷，並做為地下水抽水井水權核發之參考依據。近年重要工作成果包括 (1) 不同含水層水位觀測、(2) 地下水資源蘊含量評估、(3) 民井調查與水權申報、(4) 用水狀況與開發現況、(5) 用水量管制與補注量評估等。

### (三) 地調所

主要由資源地質組掌管業務，主要業務包括觀測、調查及研究地質及相關試驗分析、建立臺灣地下水分區範圍、評估山區地下水資源蘊藏量等，其法源依據為地質法及其相關子法與行政規則，並依法劃定地下水補注地質敏感區，以保護地下水資源，要求位於地質敏感區範圍內土地開發行為須加強調查評估工作。近年重要工作成果包括 (1) 劃定十大地下水分區與進行地質鑽探、(2) 劃定濁水溪沖積扇、屏東平原、宜蘭平原、臺北盆地、臺中盆地、嘉南平原等區內地下水補注地質敏感區。

## 三、臺灣地下水水質歷年監測概況

### (一) 監測井井網規劃設置

環境監測為環境保護之基本工作，環保署為掌握地下水水質狀況及建立地下水水質基本資料，已於 82 年至 84 年間規劃全國十大地下水分區之地下水質監測井，評估方式係依據水文地質參數 (包括地下水位深度、淨補注量、含水層介質、土壤介質、地形坡度、未飽和層介質、水力傳導係數等 7 項因子) 及人為活動參數 (包括土地利用、人口密度、可疑地下水污染源、地下水抽水量等 4 項因

子) 等影響因子，篩選最易受地表污染物影響之第一含水層為設置點位。84 年至 91 年間已完成 431 口區域性地下水質監測井設置作業，且自 91 年起由環保署環境監測及資訊處統籌辦理「環境水質監測計畫」之地下水質檢測工作。此外，為完整掌握地下水背景水質狀況，環保署另於 102 至 103 年針對監測井密度不足地區進行檢討，並辦理井網密度調整及補充設置等工作，現有區域性地下水質監測井數量共計 453 口，各縣市監測井數量統計如表 1 所示。

### (二) 監測項目與頻率調整

早期針對區域性監測井之地下水質監測頻率為每季採樣檢測 1 次，然為有效運用監測資源，自 99 年起持續辦理監測項目與頻率調整工作。107 年地下水監測頻率調整為 1 年 1 次監測計 301 口、1 年 2 次監測計 101 口、1 年 4 次監測計 45 口及暫停監測共計 6 口。水質監測項目除歷年持續監測之 23 項一般水

表 1 臺灣區域性地下水監測井數量表

縣市別	監測井數	縣市別	監測井數
臺北市	17	彰化縣	22
新北市	31	雲林縣	18
桃園市	26	嘉義市	1
新竹市	15	嘉義縣	20
新竹縣	16	臺南市	40
宜蘭縣	19	高雄市	47
花蓮縣	11	屏東縣	75
苗栗縣	37	臺東縣	8
臺中市	19	澎湖縣	11
南投縣	13	基隆市	7
合計	453		

註：統計至 107 年 10 月底止



質項目、重金屬及其他項目外，自 100 年起增測重金屬汞、鎳及 20 項揮發性有機物。另因地下水污染監測 / 管制標準修正發布，並於 103 年 1 月 1 日施行，故自 103 年第 2 季起增列總酚，第 3 季起增列氟鹽與 3 項揮發性有機物 (1,2- 二氯苯、1,1,1- 三氯乙烷及甲基第三丁基醚)，共計 50 項。此外，考量濁水溪沖積扇頂地區為硝酸鹽氮高潛勢區，故針對扇頂地區額外辦理 13 口亞硝酸鹽氮採樣檢測工作。

### (三) 地下水水質監測成果

環保署自 91 年起辦理區域性監測井之地下水水質檢測工作，至今已累積超過 10 年的檢測數據，並已累積超過 40 萬筆地下水水質檢測數據，相關數據皆已公布於「全國環境水質監測資訊網」，供一般民眾查詢及下載使用。歷年全國地下水符合監測標準比率皆達 90% 以上，以 106 年度監測成果而言，比對第二類地下水 (非屬飲用水水源水質保護區內) 污染監測標準 (以下簡稱監測標準)，低於監測標準之比率平均為 92.8%。就各水質測項而言，總硬度、氯鹽、總溶解固體、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、總酚、氟鹽、砷、鎘、鉻、銅、鉛、鋅、汞及鎳等項目低於監測標準之比率皆大於 90.5%；氨氮、鐵及錳等低於監測標準之比率則較低，氨氮為 59.9%，鐵為 75.4%，錳為 55.9%。

依據環保署 (2017) 探討臺灣地下水背景水質分析成果顯示，背景與指標水質項目監測結果，以臺灣西南地區合格率最低，且以總硬度、總溶解固體、氨氮、氯鹽、硫酸鹽、鐵、錳等項目為主，尤以鐵、錳之不合格比率與分布最高。由於臺灣西南地區屬沖積地

層，沉積物大多為泥質細顆粒，且沿海地區愈趨顯著，因此造成地下水中總硬度、總溶解固體、氨氮偏高，且地下水環境受到長期緩慢流動之影響，常呈現還原之狀態，以及泥質沉積物隨地層環境之還原反應影響，造成鐵、錳等重金屬產生還原反應並存在於地下水中，此外，由於海水影響或古代海水殘留易造成氯鹽、硫酸鹽等項目偏高，造成西南沿海地區、澎湖地區等較易超過地下水污染監測標準。

### 四、臺灣地下水水質管理面臨問題

目前臺灣地下水水質管理工作具備兩大優勢，一、已建構完整的監測網絡與持續創新技術；二、已完備污染預防法令規章與管理制度，面對未來全球環境與社會經濟條件的改變，應儘速規劃未來地下水管理推動方向，以因應各項重要變化因素所致之衝擊，茲歸納未來可能面臨之地下水管理關鍵如下。

#### (一) 氣候變遷影響地下水資源品質

全球氣候變遷造成的溫度與海平面上升問題，對於地下水的主要威脅即為沿海地區之水質鹽化議題，將可能不利於農業用水且更造成水處理負荷，此外，極端氣候導致降雨型態漸呈滂旱不均，各類用水標的需求勢必更趨仰賴地下水，各地區地下水水質與水量能否滿足未來用水需求，為地下水資源管理重要課題之一。

#### (二) 國際持續關注地下水污染議題

全球各國對於地下水水質管理的重視亦日漸提升，以歐盟為例，鑒於地下水為歐洲



各國重要的用水來源，自 70 年代起即規劃預防或限制污染物直接或間接進入地下水的初階指引，以供歐洲各國實施地下水水質保護之參據。此後，於 85 年提出地下水行動計畫，以避免淡水資源的水量與水質長期的惡化，另於 89 年提出水資源管理架構指令 (Water Framework Directive, WFD)，2015 年於該指引下提出地下水管理指令 (Groundwater Directive, GWD)，目的為建立地下水品質指標，並禁止與限制污染物進入地下水，此指令考量區域環境特性，透過大量監測數據和創新方法，以評估地下水化學狀態、濃度變化分布趨勢、污染改善方法等。地下水既屬臺灣重要水源，然目前尚無專屬地下水的管理架構與整合方案，依未來國際發展趨勢，訂定地下水管理架構與實施方案為刻不容緩要務。

### (三) 落實國土分區規劃與資源妥善運用

臺灣產業發展於數十年間自農業、工業至科技產業，帶動經濟發展過程衍生國土與自然資源利用效益不彰與分配不均等問題，內政部於 105 年通過國土計畫法，並將國土區分為國土保育、海洋資源、農業發展、城鄉發展等四大地區，以達到強化國土整合管理機制，並復育環境敏感與國土破壞地區，追求國家永續發展之目標，未來中央與縣市政府公告各類分區，必將仰賴各項環境資源現況予以調整。以地下水而言，區域發展與水質保護兩者相輔相成，因此，強化地下水環境品質趨勢預測、與應用創新技術達到污染預警功能，為未來地下水管理工作之重大挑戰。

### (四) 政府組織再造與跨域合作推廣

臺灣水資源管理面臨權責不一與分工不明問題，因此 政院已於 99 修正公布「內政部組織法」，並於 107 年 5 月通過「環境資源部組織法草案」，將陸續整合環保署、水利署及地調所等單位，有鑑於各政府部門皆已長期辦理各自地下水管理相關業務，並累積龐大資訊及完整法令規章，目前尚須克服的問題包括上位政策與法規制度研修、資源整合策略規劃、地下水環境聯合管理、環境教育推廣與國際合作等，皆須儘速規劃研商以利未來組織再造工作推動。

## 五、地下水水質保護與管理對策

依據前述綜整資料顯示，地下水水質保護與管理需以污染傳輸途徑釐清為論述基礎，方可自源頭管控或阻絕化學物質進入地下水體、有效改善受污染的地下水體、及針對潛勢區域投入適當的監測資源 (圖 3)，此外，考量地下水質量並重、供需平衡等原則，以環境資源管理的角度思考當前地下水面臨問題的因應對策。

爰此，地下水水質保護與管理之未來重點需依據土污法第一條，以落實地下水水質保護為願景，且以往主要辦理地下水污染之人為與自然成因調查工作，未來應以地下水污染管制工作為基礎，擴展至地下水資源管理之水質保護工作，因此，應針對污染管理與地下水使用現況，以建立地下水水質保護策略為主要目標。茲研擬未來主要任務與重點工作說明如下。

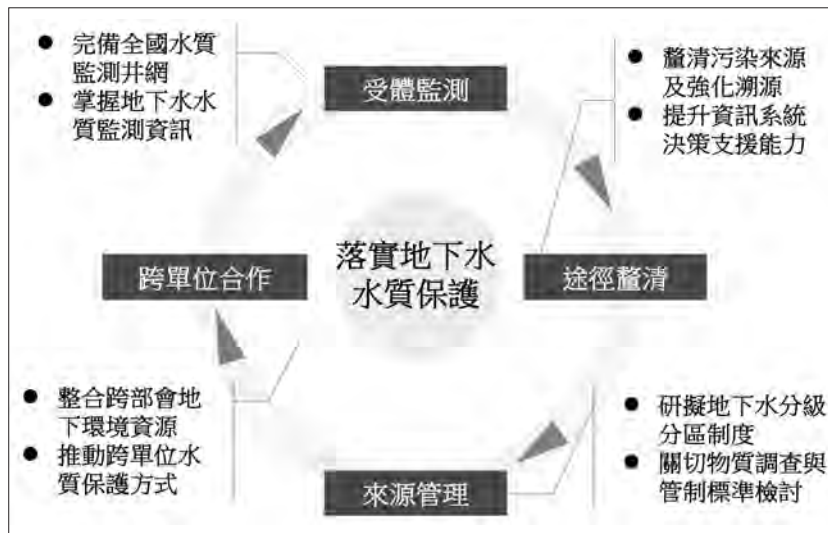


圖 3 臺灣地下水水質保護與管理思維

### (一) 完備水質監測架構 (受體監測)

為完備辦理背景水質及污染調查之地下水水質監測工作，未來將持續補強大尺度監測井，以擴大地下水背景水質調查範圍，包含十大地下水分區、飲用水水源水質保護區、自來水水質水量保護區、地下水補注地質敏感區等；另針對特定地區規劃建置中尺度監測井網，包括農業、養殖業、畜牧業、都市區等，以釐清地下水水質潛在影響範圍。

### (二) 發展調查評估技術 (途徑釐清)

針對既有高污染潛勢調查工作，應妥善規劃調配場置性監測井及水文地質調查工作，研發與引進污染鑑識技術，發布標準化鑑識技術規範與原則，並導入生物整治等創新的整治技術及綠色整治觀念，配合本土化地下環境模式的發展，建立地下環境模式審查制度，以利地下水污染場址改善，並強化溯源能力與污染風險評估成效。

此外，隨著近年巨量資料分析技術的發展，應逐步嘗試應用歷年累積地監測成果，進行污染成因歸納與污染趨勢預測，綜合分析長期水質特性、產業發展、社會型態等，研提造成水質超標或趨勢上升之預防措施，且針對歷年諸多污染場址案例，應綜合分析整治技術、經費、場址特性及其他社會經濟等因素，提供整治方式最佳化建議，進而應用機器學習方法，判斷或預測地下水污染潛勢與變化趨勢，以提供地下水污染預防及整治方式之最佳化建議。

### (三) 強化污染源頭管理 (來源管理)

除持續針對污染潛勢水質建立工業區燈號及分級預警管理制度外，未來亦將針對背景水質建立水質指數及分類方式，以有效掌握地下水水質狀況。此外，為達地下水水質保護之目標，未來將與環保署水質保護處、毒物及化學物質局、行政院農業委員會、水





利署等，共同辦理跨單位水質保護方式，包括污染源頭管制、污染減量措施及地下水用水管理等，此外，隨著運作化學物質日新月異，未來亦需持續辦理新興污染物調查工作，以建立本土化地下水位列管項目之基線資料，並據以滾動式檢討地下水污染管制標準與監測標準。

## 六、落實地下水水質保護與管理之跨單位合作

有鑑於地下水常為污染物傳輸的最終受體，源頭保護需仰賴政府部門跨單位的合作，且污染傳輸行為除需考量化學物質特性外，更應結合水文地質、地下水流場等跨單位建質之基礎資訊，為達水質保護與污染預防之目標，本文針對地下水水質跨單位合作，研提四項可立即推動之合作議題如下。

### (一) 研擬地下水聯合監測方案

依據臺灣現行地下水管理制度，依需求訂定地下水監測單位包含環保署、水利署、農田水利會與自來水公司，其監測井設置深度、監測頻率及項目為依據其單位業務及目標需求制定；其中環保署所設置之監測井深度多為 30 公尺以內，然除淺層地下水，國內部分地區較深層之地下水中亦有檢出污染物情形，環保署如無法掌握較深層地下水水質資訊，可能導致民眾抽水安全受到疑慮。故地下水水質監測工作應朝向深度較深之受壓含水層進行規劃，藉由搭配水利署觀測井或新設置深層監測井，以作為深層地下水污染預防及預警之用，建議應整合現有之監測井與觀測井，依現有原編列年度預算，規劃聯合監測方案並由各單位分工執行，以達到污染預防之效。

跨單位辦理地下水監測工作之關鍵在於資訊最終整合與應用的可及性，因此，配合前述聯合監測方案推動落實，更須盡速建立環境監測資訊標準化格式，包含地下水環境所需水文地質、水位、水質、及觀測井與監測井管理等資訊，唯有自資料產出端強化資料品保保管，方能達到資訊開放與應用目標。

### (二) 規劃背景水質調查重點

目前地調所辦理之水文地質調查重點為山區地下水，包括中部名竹盆地與埔里盆地，可配合辦理背景水質監測工作，此外，依據地質法劃設並公告之濁水溪沖積扇、屏東平原、蘭陽平原地下水補注地質敏感區，其區與內常見發展型態為農業，以濁水溪沖積扇頂而言，歷年皆檢出地下水硝酸鹽氮濃度，雖然地質敏感區劃設時已納入溶氧與硝酸鹽氮水質考量，然劃設之後仍需加強定期水質監測工作，以確保其區位變化、並作為相關開發行為核准之背景參考。

目前環保署區域性監測井已定期辦理水質監測工作，以了解污染物由地表進入地下水潛勢，其關注之含水層深度大約為地表下 30 公尺以內，然受到地下水側向補注與特定污染行為，部分地區已出現較深層污染情形，未來應與水利署研商區域性監測井與觀測站井規劃聯合監測之可行性與具體作法。

### (三) 強化污染潛勢區用水安全管理

依據環保署累積之長期背景水質資料，即透過土壤及地下水監測資訊整合作業要點收錄知各單位檢測數據，應針對不同水質項目、主要抽水含水層、不同水質監測標準等因素，建立各類型地下水品質潛勢分布，並



考量其採公告方式可行性，進而藉由跨單位研商方式建議各用水標的之主管機關，辦理地下水水井抽測或定期監測，以確保各標的的用水安全。然申請地下水使用者大多係因該地區自來水無法到達，若因地下水水質因素而限制其水權使用，則須規劃相關配套措施。

基於使用者付費或污染者付費公平正義原則，環保署已開徵污染整治費與水費，其徵收對象與費率皆經過審慎考量而定，而依據水利法相關規定，未來對於水權管理亦將規劃徵收水權管理費或規費，然除目前廣受各界討論之公平性與合理性外，針對部分事業對象恐出現自抽用地下水、排放廢污水、至污染防治等過程分別由不同單位收取相關費用情形，因此可藉由跨單位研商方式評估費用徵收調整方案。

#### (四) 提升地下水調查工作品質

環保署長期辦理地下水水質調查皆依據公告之標準採樣方法與檢測方法執行，然水利單位辦理之水質檢測則多為參照，除部分方法並無對應標準方法之外，主要仍考量業務權屬問題，反之環保署辦理之水文地質調查與監測井設置工作，未若地調所鑽孔試驗流程，造成跨單位資料整併品質管理問題、及地下水資源評估與管理所需資料各有不足之處，應先行針對地下水水力傳導係數及地下水採樣方法，應用於不同形式觀測井與監測井時可能面臨問題與因應對策進行評析，評估研擬通用性方法原則之必要性與可行性。

於地下水環境監測資料品質一致且格式統一條件下，進而探討資訊整合與應用功能面向，以地下水而言，有鑑於政府推動開放

數據相關政策，其優先且必要工作為資料累積與品質管理，未來應建立地下水環境監測管理系統，藉由發展成熟之統計分析與模擬推估方法，提供地下水管理決策參考。

#### 七、結論

環保署歷年已陸續完成臺灣地下水監測井網建置工作，並持續辦理水質監測與污染成因探討等工作，針對高污染潛勢區域亦逐年完成地下水水質污染調查與查證工作，各縣市環保主管機關除定期監測工作之外，亦逐年完成地下水污染場址整治與解除列管作業，然而面對未來環境與氣候的變遷，及政府組織再造工作的推動，將地下水水質保護問題提升至地下水資源管理的位階，確有其必要性且刻不容緩，本文綜整多項未來地下水水質保護與管理策略，並強調政府部門跨單位合作的重要性，皆有利於地下水資源永續利用及政府資源有效運用，而環保署於近年業已逐步推動諸多跨單位合作，包括地調所水文地質鑽探資料與水利署觀測井資料的交接工作、邀集水利署研商富砷地下水潛勢區域之水權核發的加註方式、邀集農政單位研擬地下水氨氮污染之源頭管理方案等，已逐漸展現施政成果，未來更將導入新穎地分析鑑識、污染整治、巨量資料分析等技術，以創新思維達到地下水水質保護與永續管理之目標。 ◆

#### 參考文獻

1. 行政院環境保護署，2017，全國地下水管理與整合計畫。
2. 行政院環境保護署，2015，全國地下水管理及資源整合計畫。
3. 賴伯勳、江明郎、簡文奎、江崇榮、黃智昭、王聖璋，2015，臺灣地下水環境開發保育現況與未來展望，地工技術第146期。



# 運用行政契約提升土壤、地下水污染場址整治效率芻議

行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會執行秘書 / 陳世偉  
中原大學環境工程學系兼任教授 / 陳世偉  
行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會科長 / 柯顯文  
行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會管理師 / 陳育廷  
國立東華大學自然資源與環境學博士 / 康文尚  
國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系兼任講師 / 康文尚  
環興科技股份有限公司計畫主任 / 林慈儀

關鍵字：土壤及地下水污染整治法、土壤及地下水污染整治基金、污染責任人、求償、代履行、行政契約、行政規則

## 摘要

土壤及地下水污染整治法自八十九年頒布施行，目的為解決國內土壤及地下水污染問題。為提升整治效率，母法中已制訂行政機關先行整治再向污染責任人求償之代履行機制，及向業者課費成立土壤及地下水污染整治基金以便處理責任人不明場址之財務機制。然因行政機關於作成代履行決定前舉證不易，可能責任人故而採取以訟免責策略不主動投入污染整治，在土污基金財務結構可能無法支撐所有代履行機制所需，且污染土地關係人欠缺主動投入污染整治誘因之情況下，皆是影響污染場址整治效率的關鍵因素。我國土污法先代履行再求償之制度設計，係

仿效美國 1980 年 CERCLA 之立法例而來，面對先墊付整治費用再求償所形成基金財務壓力、訴訟曠日廢時且嚴重影響污染場址整治效率等相同問題情況下，可借鏡美國與 PRP 達成整治協議之經驗，運用行政程序法相關規定，與可能責任人及污染土地關係人締結行政契約，達到改善代履行成效不彰、提升整體整治效率及減輕土污基金財務壓力等多重目的。此外為消除地方主管機關對簽訂行政契約之新型態行政作為之疑慮，建議中央主管機關環保署訂定「直轄市、縣(市)主管機關與相對人簽訂行政契約實施要點」行政規則，以指導並協助地方主管機關統一行使此一裁量權。另一方面土污法代履行規定亦應做出回歸行政執行法之修正，亦即地



方主管機關得先估計代履行費用，命污染責任人繳納後再代執行整治，以提升其與地方主管機關締結行政契約之可能性，如此多軌並進，期能有效提升污染場址之整治效率。

## 一、前言

土壤係承受污染物最終受體的大宗，自民國六〇年代，國內已陸續制定水污染防治法、廢棄物清理法、空氣污染防治法等防止污染環境之法律，然而該等法律執行數十年後，仍難以避免土壤承受來自各種途徑的污染物，甚至連地下水質亦因而遭受污染，妨礙其使用價值，影響國人健康。國內係自民國八十九年方正式頒布施行土壤及地下水污染整治法（簡稱土污法），其立法目的便是為了解決土壤與地下水已遭受污染的結果，亦即儘速完成污染場址整治，以避免污染擴大，維護國人健康，使土地回復可再利用狀態，提升社會資源使用效益。

土污法頒布施行至今已 18 年有餘，當初為提升整治效率而仿效美國之代履行機制（由主管機關先行整治再向責任人求償）與財務機制（向業者課費成立基金，以支應代履行機制與責任人不明場址整治所需），已獲得長期實踐經驗。主管機關在面對農地污染，因涉及國人食安問題，且難以認定污染責任人，故直接由土壤及地下水污染整治基金（簡稱土污基金）撥款執行農作物銷毀、污染場址公告、限制耕種、補償、場址整治、解除列管等措施。累計至一〇六年，環保署已公告列管 7,097 筆農地污染，期間雖亦累計完成整治並解除列管 3,643 筆，但一〇六年仍新公告列管 1,108 筆 [1]，顯示土污基金已為不

斷發生之農地污染付出相當代價。再觀農地以外之污染場址，歷來由土污基金支出，地方主管機關執行代履行整治再向責任人求償之案例，或由其介入並完成責任人不明場址整治之案例，卻寥寥可數，顯示不論是污染責任人未遵行土污法規定執行整治之場址，或是責任人不明場址，皆可能存在整治效率有待提升之問題。

有鑑於此，本文擬以提升整治效率為主軸，首先分析影響土污法提升整治效率之因素有哪些，進而借鏡美國與可能責任人簽訂整治協議之立法例，分析我國土污法運用行政契約提升場址整治效率之可行性，期能收拋磚引玉，集思廣益之功。

## 二、影響土污法提升整治效率之因素

### （一）污染場址因爭訟而延宕整治

#### 1. 行政機關舉證污染責任人不易

主管機關依據土污法命污染行為人或潛在污染責任人負擔污染責任之前，必須善盡其嚴格的舉證責任，包括查證土壤、地下水有被污染結果，污染行為人曾有 (1) 洩漏或棄置污染物；(2) 非法排放或灌注污染物；(3) 仲介或容許洩漏、棄置、非法排放或灌注污染物；(4) 未依法令規定清理污染物之行為，潛在污染責任人曾有排放、灌注、滲透污染物之行為，並進一步舉證該等行為與土壤、地下水污染結果之間具有連結性及因果關係。

然而土壤、地下水之污染結果，大多是數年前，甚至是數十年前之污染行為所導致，主管機關欲找出污染源位置，證實確有污染



表 1 以土污法為判決案由之爭訟件數統計

年	台北高等行政法院	台中高等行政法院	高雄高等行政法院	小計	合計
90 年	0	0	1	1	17
91 年	0	0	0	0	
92 年	4	0	0	4	
93 年	1	1	1	3	
94 年	1	0	5	6	
95 年	1	0	2	3	
96 年	3	0	3	6	49
97 年	3	1	5	9	
98 年	3	0	8	11	
99 年	1	3	6	10	
100 年	1	1	11	13	
101 年	6	2	4	12	86
102 年	3	5	4	12	
103 年	6	14	5	25	
104 年	1	1	11	13	
105 年	6	4	14	24	

資料來源：本文統計自司法院裁判書查詢系統，同一案件之更審與再審皆未重複計算。

結果已非易事，欲進一步查證該污染結果是何污染行為所造成，更是難上加難，導致主管機關花費資源證明污染來源明確後，往往僅能公告控制或整治場址成立，尚須確認污染行為人誰屬，方能有主體可負責後續整治工作，惟往往付出相當舉證代價，卻未必能竟其功。

## 2. 因可能責任人以訟免責而延宕

土污法八十九年頒布施行後，依據司法院裁判書查詢系統 [2]，九十年便有第一件以土污法為判決案由之爭訟發生。本文統計歷年台北高等行政法院、台中高等行政法院以及高雄高等行政法院以土污法為判決案由之爭訟件數顯示，九十至九十五年期間，三個

高等行政法院共計有 17 件土污法爭訟案件發生，九十六至一〇〇年期間大幅增加至 49 件，而一〇一至一〇五年更遽增至 86 件（詳如表 1 所示）。

土污法爭訟件數顯著增加之原因，必須進一步研究分析，以設法降低土污法之執行成本。然而如前所述，在主管機關舉證污染責任人不易之現實情況下，其公告污染場址與認定污染責任人之行政處分，本就易遭行政處分相對人以行政爭訟挑戰主管機關之舉證義務，除此之外，動輒數百萬元，甚至數千萬元新臺幣之高額整治支出，亦是行政處分相對人運用爭訟以求免責之誘因。只要能以爭訟成功挑戰主管機關舉證責任，便可省



卻高額整治費用。然而一旦因此而發生爭訟，自訴願起算，歷經訴願被行政處分機關駁回、行政處分相對人提起行政訴訟，甚至當事人再上訴至最高行政法院，勢必導致場址整治工作延宕經年，不僅任令污染範圍擴大，增加未來污染整治支出，更可能不利於國民健康，耗費更多社會成本。

## (二) 主管機關採較保守謹慎態度運用代履行制度

土污法代履行整治是提升整治效率之重要制度設計，當整治場址之污染行為人或潛在污染責任人不明或不遵行整治規定時，地方主管機關必要時得擬訂土壤、地下水整治計畫並據以實施，以避免危害國民健康及生活環境(土污法第 22 條第 2 項)，並由土污基金先行支出整治所需費用(土污法第 28 條第 3 項第 1 款)，待地方主管機關完成整治後，再向污染行為人或潛在污染責任人求償(土污法第 43 條第 1 項)。至於為責任人不明場址所支出之整治費用，按土污法之立法邏輯，則由土污基金終局承擔(土污法第 43 條第 1 項)。

如前所述，自土污法頒布施行以來，農地以外之污染場址，在面對責任人不明或責任人寧願提起爭訟，也不進場執行整治之情況，由主管機關代履行整治再向責任人求償之案例，或由其介入並完成責任人不明場址整治之案例，實屬寥寥可數，也因為歷來實務上未有諸多案例可茲建立明確的代履行機制、程序、證據保全及求償作業程序，主管機關欲啟動此機制通常也採較保守謹慎之態度，導致代履行制度設計在執行農地以外場址之整治成效較為有限。

## (三) 土污基金結餘逐年降低

財務機制是土污法之重要制度設計，亦即先向業者課徵土壤及地下水污染整治費(簡稱整治費)，充作土污基金之主要財務來源，再用以支應土污法第 28 條第 3 項所指定之基金用途，包括行政機關因責任人不明場址整治與責任人不遵行整治之代履行所需。

如眾所周知，農地以外之污染場址整治費用動輒耗資數百萬元，甚至數千萬元新臺幣計，然而土污基金每年收入約 10 億餘元之規模，扣除經常性支出，實無餘力可同時支撐眾多污染場址先代履行整治再求償之作法。換言之，土污法有關由土污基金先行支付整治費用，而後再向污染責任人求償之代履行制度設計，其能有效運作，必須是建立在土污基金經費充沛無虞之前提上，然而土污基金之現實情況顯然並非如此。自九十一年開徵整治費至九十九年，土污基金結餘逐年升高至 41 億元，隨後因應各類污染源專案調查計畫展開，及投入彰化、桃園農地整治等支出，逐年降至一〇七年之 21 億元(詳圖 1 所示)，未來短期內土污基金結餘緊促之事實似不易扭轉，因此，欲單靠土污法代履行制度提升污染場址之整治效率仍有困難，亟需另謀其他可行解套出路。

## (四) 污染土地關係人欠缺主動投入污染整治誘因

依據土污法定義，污染土地關係人是指土地經公告為控制場址或整治場址時，非屬於污染行為人之土地使用人、管理人或所有人(土污法第 2 條第 19 款)。雖然土污法另規定，當污染責任人不明或污染責任人不擔負污染責任時，污染土地關係人得擬訂污

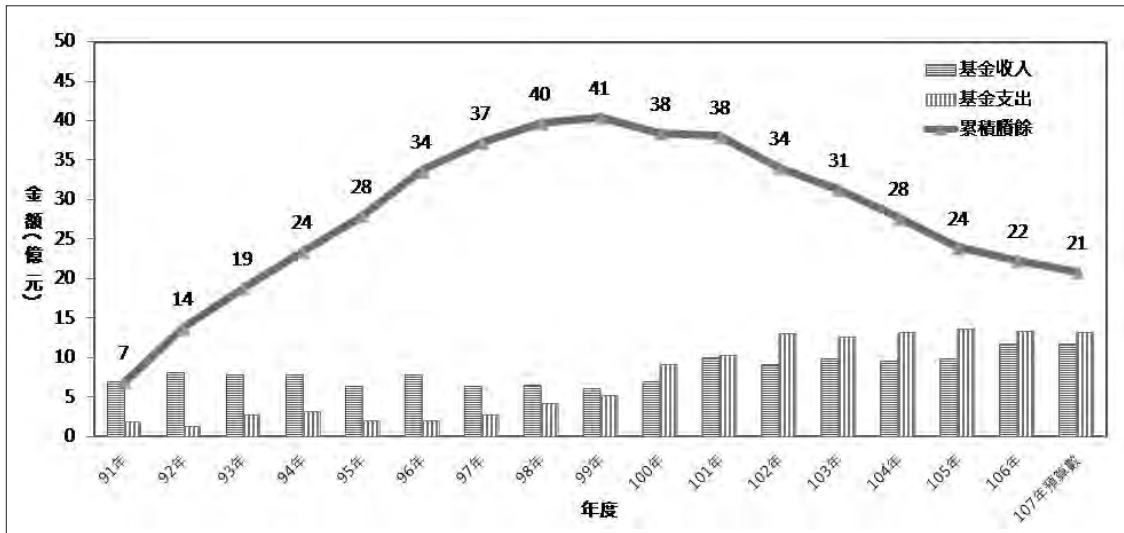


圖 1 歷年土污基金結餘趨勢圖

資料來源：環保署，土壤及地下水污染整治基金運用及規劃先導計畫期末報告，2018。

染控制計畫並據以實施(土污法第 13 條第 2 項)，或在地方主管機關通知下，擬訂污染整治計畫並據以實施(土污法第 14 條第 2 項)，然而在土污法欠缺誘因促使污染土地關係人如此做，再者即使污染土地關係人不如此做，除非有造成污染明顯擴大致危害人體健康或環境之事實，主管機關亦無立足點處罰之實務情況下，污染土地關係人往往會因鉅額整治費用而卻步。雖然土污法規定地方主管機關代履行控制或整治計畫後，亦得向違反善良管理人注意義務之污染土地關係人求償代履行費用(土污法第 31 條第 1 項)，但承前之論述，污染土地關係人被求償之可能性亦甚低。因此，除非污染場址之土地開發利益在相當程度上高於整治費用，否則污染土地關係人不會為了改善環境目的大於土地開發利益而主動解決場址污染問題。

### (五) 小結

綜合上述分析，可能責任人因行政機關舉證不易且整治費用高，故而促使其採取以訟免責策略，不主動投入污染整治；土污法雖有代履行制度設計以應對此一現象，但今時土污基金財務結構卻無法支撐代履行所需；再加上污染土地關係人欠缺主動投入污染整治誘因，皆是影響土污法提升整治效率之因素。

土污基金財務結構充沛與否，是影響土污法整治效率之關鍵因素。因為儘管舉證污染責任人不易且代價大，若土污基金經費充沛無虞，土污基金仍可提供行政機關充沛人力與財力，由其履行舉證義務。再者，儘管責任人以訟免責而延宕整治，污染土地關係人亦不主動投入整治，惟若土污基金經費充沛無虞，土污基金仍可運用代履行制度設計，



迅速解決場址污染，維護國人健康。然而政府資源有限是世界各國均無法迴避的限制條件，依據土污法而成立之土污基金，亦不可能永遠充沛無虞。因此，若有其他可運用較少政府資源便可解決污染場址整治的方法，從資源使用效率觀點而言，亦應嘗試找出此等方法，並探究其可行性，將省下的資源投入可以發揮更大效益之處。

### 三、美國環保署與 PRP 達成整治協議之執行經驗

#### (一) 美國 CERCLA 早期施行亦曾面臨類似問題

我國土污法由行政機關先代履行整治再向責任人求償，以及課徵整治費以支應責任人不明場址整治與代履行所需費用之制度設計，皆是仿效自美國 1980 年 CERCLA(the Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act of 1980) 立法例而來。因此，我國土污法面臨之前述挑戰，美國於 1980 至 1985 年 CERCLA 執行經驗，亦曾面臨類似問題，一方面行政機關先整治再求償之作法，對行政機關人力資源形成龐大負荷，另一方面依據 CERCLA 而成立之超級基金 (Superfund)，必須先墊付眾多場址整治費用再求償之制度設計，不僅對超級基金形成嚴重財務壓力，求償訴訟曠日廢時，更徒增超級基金在訴訟費用上之負擔。而在行政機關尚未代行政治之前，若可能責任人 (Potentially Responsible Parties, PRP) 對行政機關命其負擔整治責任提起爭訟，訴訟曠日廢時更將嚴重影響污染場址整治效率，不利於儘速完成場址整治之行政目的。

#### (二) 修法授權美國環保署與 PRP 達成整治協議

美國國會為解決前述問題，隨即於 1986 年完成 SARA(Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986) 立法，對 CERCLA 做出增修，強調與 PRP 進行協商並達成整治協議，使 PRP 自行出資並執行整治，是降低超級基金財務壓力，減少爭訟，與加速完成整治之重要策略，SARA 不僅將美國環保署與 PRP 達成整治協議之政策列入法律條文中，同時更為了促成雙方能達成協議而建立若干新的授權與程序規定。

#### (三) 美國環保署發布指導以協助下屬機關與 PRP 達成協議

為落實 SARA 前開促使與 PRP 達成協議之政策與相關規定，美國環保署曾數度頒布指導，規定其下屬機關據以與 PRP 達成協議之細部作法，並協助其建立 (1) 對 PRP 發出通知信函 (Notice Letter); (2) 與 PRP 進行協商; (3) 與 PRP 交換資訊等工作之相關程序。

行政機關對 PRP 發出之通知信函包括一般通知信函 (General Notice Letters) 與特別通知信函 (Special Notice Letters) 兩種。一般通知信函是通知收信者：(1) 已被認定為污染場址之 PRP；(2) 有可能須負擔整治支出；(3) 說明與 EPA 進行協商之程序。一般通知信函同時包括場址與超級基金法之相關資訊，亦可能包括要求收信者提供相關資訊之要求。

當 EPA 已準備好與 PRP 進行協商場址整治時，會對該 PRP 寄出特別通知信函：(1) 提供為何 EPA 認為收信者是 PRP 之相關資訊；(2) EPA 進行場址整治之計畫內容；(3) 邀請





收信者與 EPA 進行協商，以執行未來整治工作，並支付 EPA 為該污染場址已支出之任何花費。

EPA 發出特別通知信函後，便開始起算該通知內所載之「協商之暫緩期間」(Negotiation Moratorium)，亦即於此期間內，EPA 同意不單方對 PRP 發出執行整治之命令。規定此一期間之用意，在於鼓勵 PRP 盡速與 EPA 進行協商。一旦協商失敗，EPA 可選擇命令 PRP 執行整治，或 EPA 以超級基金先行進行整治，之後再向 PRP 求償。

#### (四) 執行成效

美國 1980 年 CERCLA 頒布施行初期，美國環保署執行污染場址整治之策略，是由其先完成整治，再設法向污染責任人求償，以填補所支出之費用。然而在 1986 年 SARA 完成立法後，已轉而採取優先找出 PRP，並以提供 PRP 誘因之方式，諸如使其免於負擔其他連帶責任、環保署承諾不另向其求償，以及由環保署提供部分整治費用等 [3]，促使 PRP 與 EPA 達成協議，由其自行出資並執行整治。依據美國環保署統計 CERCLA 自 1980 至 2015 年之 35 年執行成果 [4]，約有 2,551 個污染場址是由 PRP 出資 351 億美元自行完成整治，是由環保署先行完成整治再求償金額 69 億美元的 7 倍，顯示美國環保署依據 SARA 所採取之執行策略，不論是在減少爭訟、提升整治效率，以及減少超級基金財務壓力，使超級基金儘可能用於責任人不明場址整治支出等各方面，確實已獲致一定成效。

## 四、我國土污法與借鏡美國執行經驗之可行性

### (一) 行政程序法已有與可能責任人締結和解行政契約之規定

美國須以 SARA 授權 EPA 與 PRP 達成整治協議，而我國行政程序法第 135 條：「公法上法律關係得以契約設定、變更或消滅之。但依其性質或法規規定不得締約者，不在此限。」以及第 136 條：「行政機關對於行政處分所依據之事實或法律關係，經依職權調查仍不能確定者，為有效達成行政目的，並解決爭執，得與人民和解，締結行政契約，以代替行政處分。」之規定，已可供地方主管機關在面對舉證污染責任人不易且代價大之情形，據以與可能責任人締結行政契約，由該可能責任人自行出資並執行整治。如此一來，一方面可減少因爭訟而延宕整治工作，提升整治效率，另一方面土污基金可因主管機關減輕舉證人力與物力負擔，以及無須先行支出代履行整治費用，而減輕其財務壓力。

### (二) 行政程序法已有與污染土地關係人締結雙務行政契約之規定

面對污染責任人不明，而污染土地關係人又不主動投入污染場址整治之情形，我國行政程序法第 137 條第 1 項：「行政機關與人民締結行政契約，互負給付義務者，應符合下列各款之規定：一、契約中應約定人民給付之特定用途。二、人民之給付有助於行政機關執行其職務。三、人民之給付與行政機關之給付應相當，並具有正當合理之關聯。」可作為地方主管機關與污染土地關係人締結雙務行政契約之依據，雙方約定由土污基金出資介入執行整治，污染土地關係人



則以場址開發再利用之利益，回饋土污基金作為對價，如此一方面可以解決污染土地關係人不主動投入整治之問題，提升整治效率，另一方面亦可為土污基金投入責任人不明場址整治，取回全部或部分支出，減輕其財務壓力。

### (三) 締結行政契約之可能時機

#### 1. 和解行政契約

(1) 主管機關尚未公告污染控制或整治場址，但已掌握該場址之可能責任人，此時地方主管機關受依法（土污法）行政之拘束較小，與相對人協議簽訂和解行政契約過程中，可給予之彈性與誘因較大。

(2) 主管機關已公告污染控制或整治場址，且已掌握可能責任人，此時地方主管機關依據土污法而行政之拘束相對較多，與相對人協議簽訂和解行政契約過程中，可給予之彈性與誘因相對較小。

(3) 主管機關已公告污染控制或整治場址，且已作出污染責任人應提出控制或整治計畫之行政處分，然而此時地方主管機關依據土污法而行政之拘束更多，與相對人協議簽訂和解行政契約過程中，可給予相對人之彈性與誘因更小。

#### 2. 雙務行政契約

(1) 主管機關尚未公告污染控制或整治場址，但污染土地所有人因土地開發而願進行污染控制或整治，此時地方主管機關與其協議雙務行政契約過程中，可給予之彈性與誘因較大。

(2) 已公告污染控制或整治場址且責任人不明，但污染土地關係人因土地開發而願進行污染控制或整治，然而此時地方主管機關關於洽商簽訂行政契約過程中可給予之彈性與誘因相對較小。

### (四) 提升締結行政契約可行性之配套措施

#### 1. 訂定指導地方主管機關簽訂行政契約之行政規則

現行土污法無須進行增修，地方主管機關即可推動多種不同態樣之行政契約，由行政契約相對人承諾履行污染場址之控制或整治。然而與行政處分相對人簽訂行政契約，對地方主管機關而言，畢竟是屬於新型態的行政作為，其所持之「契約自由」原則，與地方主管機關所熟悉之「依法行政」原則，二者在本質上存在一定程度衝突。因此，如欲運用行政契約以輔助土污法代履行制度之不足，為免除地方行政機關之疑慮，建議環保署仍有必要訂定「直轄市、縣(市)主管機關與相對人簽訂行政契約實施要點」行政規則，藉以制定地方主管機關執行簽訂行政契約之業務方式，並協助地方主管機關統一行使此一裁量權。在此建議該行政規則主要內容可包含：

- (1) 訂定該行政規則之目的與依據；
- (2) 選擇簽訂行政契約之類型；
- (3) 選擇簽訂行政契約之污染控制或整治場址應考量之因素；
- (4) 地方主管機關通知被列為可能責任人之時機與通知內容；
- (5) 地方主管機關與可能責任人進行協商之時機與方式；
- (6) 地方主管機關與可能責任人分享場址污染資訊應注意事項；



- (7)行政契約參考範例；
- (8)地方主管機關草擬行政契約內容，並報中央主管機關核可之程序；
- (9)雙方協商期間之規定；
- (10)協商不成之後續執行程序等等。

## 2. 修正土污法先代履行再求償之規定

土污法對於污染責任人不履行污染控制或整治義務，地方主管機關得先代履行之制度設計，原屬行政執行法第 28 條所規定之間接強制手段，然而土污法對於地方主管機關先完成代履行方得求償之規定，卻與行政執行法第 29 條第 2 項由執行機關估計代履行費用，先命義務人繳納，而後再執行代履行之規定，並不相同。

土污法先代履行再求償之規定，一方面如前所述，將對土污基金產生相當程度之財務排擠作用，但另一方面對可能責任人而言，卻可使其在無任何財務壓力下，有恃無恐地提起行政爭訟，試圖拖延或求免責，如此一來，勢必也會對地方主管機關推動與可能責任人簽訂和解行政契約產生不利影響。因此，土污法有關先代履行再求償之規定，亦建議修正回歸行政執行法第 29 條第 2 項規定，亦即地方主管機關當遭遇污染責任人不履行污染整治義務時，得先估計代履行費用，命污染責任人繳納後，再代其執行場址整治。唯有如此，可能責任人才會在考量先行繳納代履行費用之財務壓力，自行整治之自主程度較高，以及自行整治較代履行花費較少等因素下，提升與地方主管機關締結行政契約之可能性。

## 五、結論

- (一) 儘速完成污染場址整治，以改善生活環境及維護國民健康是我國土污法立法主要目的，亦是行政機關應戮力達成之行政目的。儘管土污法在提升整治效率上，已仿效美國 CERCLA 而有行政機關先代履行整治再求償，以及課徵整治費成立土污基金，以支應責任人不明場址整治與代履行所需費用之制度設計，然而土污法多年施行經驗，卻已產生可能責任人因行政機關舉證不易且整治費用高，故而運用以訟免責策略，不主動投入污染整治；土污法雖有代履行制度設計以為因應，但土污基金財務結構卻無法支撐代履行所需；以及污染土地關係人欠缺主動投入污染整治誘因等問題，對提升整治效率產生不利影響。而土污基金資源有限，則是貫穿前開現象之關鍵因素。
- (二) 美國早在 1986 年便已發生我國前述相似問題，其修法授權 EPA 與 PRP 達成整治協議之因應方式，現今已成為美國 EPA 處理污染場址整治之主要途徑，不論在減少爭訟、提升整治效率，減少超級基金財務壓力，以及儘可能使超級基金用於責任人不明場址整治支出等方面，已獲致一定成效。
- (三) 我國如欲仿效美國執行經驗，行政程序法已有地方主管機關與可能責任人締結和解行政契約，以及與污染土地關係人締結雙務行政契約之法源依據，前者可促使可能責任人自行出資執行整治，後者可因應污染土地關係人不主動投入污



染整治，對提升污染場址整治效率而言，應有助益。然而地方主管機關對簽訂行政契約之新型態行政作為並不熟悉，為解消其疑慮，環保署仍有必要訂定「直轄市、縣(市)主管機關與相對人簽訂行政契約實施要點」行政規則，以指導並協助地方主管機關統一行使此一裁量權。土污法代履行規定亦應做出回歸行政執行法之修正，亦即地方主管機關得先估計代履行費用，命污染責任人繳納後再代執行整治，以提升其與地方主管機關締結行政契約之可能性。 ◆

#### 參考文獻

1. 環保署土壤及地下水污染整治基金管理會，106年整治年報，2018年。
2. 司法院裁判書查詢系統網址：<http://jirs.judicial.gov.tw/FJUD/>。
3. 美國環保署提供 PRP 與其達成協議之誘因，參見美國 EPA 網頁 <https://www.epa.gov/enforcement/incentives-negotiating-superfund-settlements>。
4. 參見美國 EPA 網頁 <https://www.epa.gov/enforcement/superfund-enforcement-35-years-protecting-communities-and-environment>。



# 環評法規修訂趨勢及成效

環興科技股份有限公司總經理 / 習良孝  
中興工程顧問股份有限公司技術經理 / 王志遠  
環興科技股份有限公司計畫主任 / 吳文彰

關鍵字：環評法修正、環評法施行細則、環評作業準則、應實施環評認定標準、加速環評作業時程

## 摘要

環境影響評估法(以下簡稱環評法)從民國 83 年公布以來,相關法規及作業制度經多次修正,不斷精進貼近社會需求。近年又進行一波精進,主要修正內容包括:1.「環境影響評估法施行細則」明定各級環保主管機關環評審查監督分工權責、加強目的事業主管機關扮演角色及功能、明定應進入二階環評之開發行為、落實民眾參與及資訊公開等四項;2.修正「開發行為環境影響評估作業準則」明定環境敏感地區等級、開發單位可優先引用具代表性之環境現況資料、增列範疇界定之環境項目等三項;3.「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」重新檢視開發行為之環境影響程度,影響程度較大者,落實要求實施環境影響評估,影響程度較小者,放寬實施環境影響評估規定,回歸目的事業主管機關及相關法令管理。

除了上述環評法規的修正之外,環保署也從 105 年 8 月起實施專案小組意見陳述會議及現場勘察試辦計畫,於專案小組初審會議召開前先至開發地點舉辦意見陳述會議及現場勘察程序,蒐集民眾團體意見。同時設定專案小組初審會議以召開三次為原則(必要時得增加次數),使環評審查得以針對關鍵議題更加聚焦。

而自 104 年起修正相關環評法規後,以中部某科學園區二階環評為例,開發單位提出廢水處理後全數再生利用及空污加嚴管控抵減措施等積極作為,於召開兩次專案小組初審會議及一次環評審查委員會即予通過。另某地區鐵路擴建工程及中部某港區擴建工程,皆屬表定應進行二階環評,配合修法後簡化一階環評程序,約在 5~6 個月內即完成程序(過往一階環評辦理時間約需 12~18 個月),快速進入二階環評程序。顯示修法初步均已有效,有助於環評程序的執行。



## 一、前言

長期以來，受到民眾關切的開發案件往往因繁瑣冗長的環評審查程序而爭議不休，環境影響評估也常遭開發單位質疑是阻礙經濟發展的絆腳石。行政院環保署為使環評既能發揮實質篩選開發行為功能，又能達到提升審查效率的目標，減少環評審議紛爭，同時落實環評通過後的追蹤監督功能，自104年起陸續修正公告幾項重大的環境影響評估法令，包括「環境影響評估法施行細則」、「開發行為環境影響評估作業準則」、「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」等，上述修法重點及內容，將逐項分析說明如后。

而自環保署推動修法以來，環評審查機制也確實朝著實質監督及提升效率的正面目標逐步落實，對於第一線的環評工作者而言，明確感受到環保署推動改善環評審查機制的具體成效，本文也將針對修法後實際案例的審查情形提出經驗分享。

## 二、環評法規修正內容綜整分析

上述三項重要環評法規，於近年(104年迄今)分別有一至二次的修正公告，也直接帶動了環評作業及審查機制的改變，整理如表1所示，說明如下。

### (一)「環境影響評估法施行細則」

如表1所列，「環境影響評估法施行細則」(以下簡稱施行細則)分別在104年及107年有兩次較大的條文修正。

表1 環評法規近年修正公告一覽表

環評法規名稱	近年修正公告時間
環境影響評估法施行細則	104年7月3日環署綜字第1040051981號令修正發布 107年4月11日環署綜字第1070026376號令修正發布
開發行為環境影響評估作業準則	104年7月3日環署綜字第1040051962E號令修正發布 106年12月8日環署綜字第1060097427號令修正發布
開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準	107年4月11日環署綜字第1070026361號令修正發布

其中104年7月修正之主要法條，摘要整理如表2所示，主要有四大主軸：

1. 明定各級環保主管機關環評審查監督分工權責：

修法前，開發案件之環評審查監督權責原本視開發單位之目的事業主管機關而定，目的事業主管機關若為中央機關單位，無論該案開發規模大小，其環評均須提送環保署審查；若目的事業主管機關為地方政府機關單位，則該案環評由地方政府環保局審查。惟長此以往，環保署之審查監督責任負荷過重，亦可能有受關注之個案於地方環保局審查而衍生爭議之情形，因此改以開發行為之性質及規模來認定，例如園區開發面積逾三十公頃之環評審查及監督權責屬中央主管機關，而三十公頃以下則由直轄市、縣(市)主管機關負責。

2. 加強目的事業主管機關扮演角色及功能：

以往目的事業主管機關在環評審查過程中，較不具審查功能，通常僅協助開發單



表 2 施行細則 104 年主要修正條文

修正條文	修正重點
修正條文第十二條	主軸一 ◆ 明定中央主管機關及直轄市、縣（市）主管機關環評審查監督分工。
修正條文第十一條之一 修正條文第十二條之一	主軸二 ◆ 強化目的事業主管機關環評審查之角色。 ◆ 明定目的事業主管機關及爭議處理方式。
修正條文第十九條	主軸三 ◆ 列表規定可能對環境有重大影響之開發計畫，須進行二階環評，開發單位亦得自願進行二階環評。
修正條文第十三條 修正條文第二十條 修正條文第二十二條 修正條文第二十二條之一 修正條文第二十六條	主軸四 ◆ 主管機關將環評各項資訊公布於指定網站。 ◆ 開發單位陳列或揭示環境影響說明書時，亦公布於指定網站。 ◆ 開發單位舉辦公開說明會資訊公布於指定網站。 ◆ 主管機關舉辦範疇界定會議資訊公布於指定網站，供民眾、團體及機關表達意見。 ◆ 公聽會資訊及會議紀錄公布於指定網站。

位轉送環評書件，但有時非屬環保法規的爭議問題（例如政策的必要性或用地徵收補償等），亦往往在環評審查會場上爭執不下，造成環評審查程序延宕。為了加強目的事業主管機關在整體環評作業的角色及功能，本次修正條文第十一條之一、第十二條之一，要求目的事業主管機關應先釐清非屬主管機關所主管法規之爭點，並針對開發行為之政策提出說明及建議，俾使環評審查能獲得開發行為更多之相關資訊。

### 3. 明定應進入二階環評之開發行為：

以往開發行為進行環境影響評估，均須依規定完整辦理一階環說書所要求之調查評估事項，若經審查認定有重大影響之虞而須進入更嚴格之二階環評，常造成整體環評作業時程過於冗長。故本次修法增加以表列明定可能有重大影響應進入二階環評之開發行為，例如石化工業區面積達五十公頃以上、

其他園區面積達一百公頃以上者。而表定應辦理二階環評之開發行為，作業準則亦配合修訂允許一階環說書可蒐集既有資料簡化辦理（詳後述），以利加速環評作業時程。

此外，除表定應辦理二階環評之開發行為，修法後也允許開發單位在作成一階環評審查結論前，可自願進行二階環評審查程序。

### 4. 落實民眾參與及資訊公開：

有鑑於公民意識抬頭，民眾對於環保議題日益關切，環保署為落實環評民眾參與及資訊公開，本次修法增列環評資訊、環說書陳列內容、公開說明會資訊、範疇界定會議資訊及會議紀錄等，均須公布於環保主管機關指定之網站，以利民眾參閱。

另施行細則於 107 年 4 月修正之法條內容較少，主要為表 3 所列之二項，考量施



工期間於基地可開發範圍內設置之臨時性施工設施，其變更內容實務上對環境造成之影響程度不一，故回歸個案依其申請變更情形判定對環境所造成之影響，而取消原先可採逕行函請主管機關備查、無需實質審查之變更方式。此外，對於開發行為產能提升之變更，也明定未達百分之十且污染總量未增加者，才適用於提出變更內容對照表辦理環評變更。

### (二)「開發行為環境影響評估作業準則」

配合上述施行細則的修法，「開發行為環境影響評估作業準則」(以下簡稱作業準則)也在 104 年 7 月同步修正，主要修正法條內容，摘要整理如表 4 所示。

本次修正公告之第五條之一及第十條之一，即是配合施行細則之「落實民眾參與及資訊公開」的修法主軸，將環評資訊公開之要求於作業準則中明確規定，提供民眾參與及表達意見訴求之機會，開發單位亦須參酌民眾、團體及機關表達之意見，檢討規劃及評估內容，並記錄檢討內容編製於環評書件。

此外，過去環評書件中所載之環境現況資料，多由開發單位自行進行短期調查。考量環保主管機關長期建立之環境監測數據已日趨完整，為確保環境現況資料的代表性，本次修正公告第六條即要求開發單位應優先引用政府已公布之最新資料，必要時再進行補充調查。

而修正公告之附表六之一，也是配合施行細則「明定應進入二階環評之開發行為」的修法主軸，凡表定或自願進入二階環評之

表 3 施行細則 107 年主要修正條文

修正條文	修正重點
修正條文第三十六條	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 原先可採函請主管機關備查方式之變更事項：「施工期間於基地可開發範圍內設置之臨時性施工設施。」，自條文中刪除。</li> <li>◆ 明定「既有設備改變製程、汰舊換新或更換低能耗、低污染排放量設備，而產能不變或產能提升未達百分之十，且污染總量未增加。」者，得檢附變更內容對照表辦理。</li> </ul>
修正條文第三十七條	

表 4 作業準則 104 年主要修正條文

修正條文	修正重點
修正條文第五條之一及第十條之一	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 開發單位實施第一階段環境影響評估之公眾參與程序予以明確化，使開發單位能有所遵循。主要包括開始進行環評時應先以網路方式徵詢意見、作成說明書前應檢具主要章節內容刊登於指定網站供民眾團體及機關表達意見、作成說明書前應邀請當地居民或有關團體舉行公開會議等。</li> </ul>
修正條文第六條及第六條 修正條文第六條及第六條 附件三附表六之一	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 開發單位進行環境現況調查應優先引用政府已公布之最新資料。</li> <li>◆ 表定或自願進入二階環評之開發行為，於一階環說書提出之環境現況調查資料，可適度簡化，並說明預備在二階環評進行之調查評估內容。</li> </ul>

開發行為，於一階環說書中所載之環境現況調查資料，可予以適度簡化，並以詳列預備在二階環評進行之調查評估內容做為取代，加速整體評作業時程。

作業準則於 104 年修正後，環保署認為對建構環評書件之一致性頗具成效，經整體檢視持續調整修正，並於 106 年 12 月再次發布修





表 5 作業準則 106 年主要修正條文

修正條文	修正重點
修正條文第八條及附件二	◆ 明確訂定開發行為基地位於相關法令所限制開發利用之地區，不得違反該法令限制規定；修正環境敏感地區調查表，分成第一級、第二級及其他經中央主管機關認定有必要調查之環境敏感地區。
修正條文第十條及附件三之附表七及附表九	◆ 環境品質現況調查應落實優先引用政府機關已公布之最新資料，或其他單位長期調查累積之具代表性資料。
修正條文第三十七條	◆ 範疇界定前，應依說明書審查結論篩選環境關鍵項目與因子，並新增危害性化學物質、溫室氣體等環境項目，及底質、生態補償、健康風險評估、生物累積、減緩及調適等環境因子。

正公告，本次修正主要目的是為簡化一階環評作業，提升環評審查公信力及環評書件製作之效率，並落實銜接全國區域計畫及國土計畫法分區管制的概念，修正環境敏感地區調查表，進而引導開發單位於適當地點進行開發行為。主要修正內容摘要整理如表 5 所示。

在 106 年的條文修正內容中，有 3 個重點事項：

1. 明定環境敏感地區等級：

開發行為基地若位於相關法令所限制開發利用之地區，除了環評審查之外，該開發行為也應依各自法令取得相關許可同意文件。此外，將環境敏感地區依重要性等級劃分成第一級、第二級及其他經中央主管機關認定有必要調查之環境敏感地區，據以釐清開發區位之環境適宜性。

2. 優先引用具代表性之環境現況資料：

104 年修正公告內容已要求開發單位優先引用政府已公布之最新環境現況資料，本次修正則更擴大引用範圍，其他單位包括學校、農田水利會、自來水公司、野鳥生態協會等長時間調查累積之具代表性資料，開發

單位亦可納入說明書環境背景調查之資料參考，以提升資料代表性及正確性。如不引用時，尚須敘明理由。

3. 增列範疇界定之環境項目：

應進行二階環評之開發案，其編擬範疇界定指引表時應檢視之環境項目，新增危害性化學物質、溫室氣體、底質、生態補償、健康風險評估、生物累積、減緩及調適等環境因子，以使評估內容更加周延。

(三) 「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」

「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」(以下簡稱認定標準)主要是在 107 年 4 月進行條文修正，其修正之主要法條內容摘要整理如表 6 所示。

本次修正主要是重新檢視開發行為之環境影響程度，影響程度較大者，落實要求實施環境影響評估，影響程度較小者，放寬實施環境影響評估規定，回歸日的事業主管機關及相關法令管理。



表 6 認定標準 107 年主要修正條文

修正條文	修正重點
修正條文第十一條	◆ 考量經濟與環境保護間應取得衡平，強調環境資源永續利用的觀，強化環評預防功能，加嚴探礦、採礦應實施環境影響評估之規模。
修正條文第二十九條	◆ 檢討修正納入水發電廠於山坡地興建或擴建攔水壩(堰)，應實施環評規定；增訂設置地熱發電機組應實施環評之規模；新增海上變電站應實施環評規定。
修正條文第三十六條	◆ 鑑於高雄氣爆之石化管線災害，加嚴天然氣、油品管線及都市土地之石油、石油製品貯存槽應實施環評之規模；新增天然氣貯存槽應實施環評規定。
修正條文第四十二條	◆ 新增位於山坡地之露營區應實施環評規定。

在本次修正公告中，最受到關切的是加嚴探礦、採礦應實施環境影響評估之規模。考量礦權屬國有，且非屬再生性資源，其開發亦會造成地形、地貌、生態等國土資源產生重大變化，且礦業法核准礦業權展限可達二十年之久，二十年期間環境多有變遷，為落實保護環境之立法意旨，明定礦業權申請展限，其範圍內已核定之礦業用地符合各目規定情形者，仍應實施環境影響評估。依環保署統計資料，按此條文，現行礦業用地中有多處必須補做環評。

### 三、環評法規修正之效應觀察與經驗分享

綜整前述整理分析的近年環評法規修正內容，可歸納出環保署的修法目的，主要是在於依開發行為特性及環境影響程度進行環評案件分類、加強落實環評過程中民眾參與及資訊公開，藉由法令規定程序的調整修

正，要求開發單位提供並公開更完整、更正確、更具代表性的分析資料，並且在環評執行過程中可以廣納各方意見，預先完整評估，有利加速後續整體環評審查效率。

而除了環評法規的修正之外，環保署也從 105 年 8 月起實施專案小組意見陳述會議及現場勘察試辦計畫，就該署所受理審查之環評書件，於專案小組初審會議召開前先至開發地點舉辦意見陳述會議及現場勘察程序，進一步蒐集民眾團體意見。同時設定專案小組初審會議以召開三次為原則（必要時得增加次數）。藉由這些多管齊下的環評精進策略與實施作為，使環評審查得以針對關鍵議題更加聚焦，目標是將環評審查時程縮短為 6 個月至 1 年完成，解決過往環評審查程序過於冗長、延宕開發時機之問題。

自 104 年起相關環評法規修正後，雖然推動時程尚短，環保署尚未公布具體執行成效的統計資料，惟就筆者以第一線環評工作者的經驗觀之，修法後開發單位的環評作業目標及效率都更加明確，而整體環評審查效率也確實有明顯提升。以中部某科學園區二階環評為例，經民意調查及多次地方說明會，了解民眾最關切放流水排放及空污排放議題，開發單位提出廢水處理後全數再生利用及空污加嚴管控抵減措施等積極作為，得到環評委員與環保團體的認可，召開兩次專案小組初審會議及一次環評審查委員會即審查通過。

另某地區鐵路擴建工程及中部某港區擴建工程，皆屬表定應進行二階環評之開發行為，配合修法後簡化一階環評程序，約在 5 ~



6個月內即完成環說書編撰、送審、陳列及公開說明會等作業(以往完整的一階環評辦理時間約需12~18個月),快速進入二階環評程序,縮短整體環評作業時程。綜合這些實際案例,環保署推動環評精進策略與實施作為,確實已達到相當程度的成效。

#### 四、總結與未來展望

環評法相關法規自83年公告實施迄今已24年,期間歷經多次修法,多能符合社會需求及期待,使環評制度更加完整。而本次三項法規修訂,初步由幾個案例來看,也達成加強環境保護和加速審查的目標,後續相信可使環評制度運作更順暢,也更能符合社會期待。

後續依環保署長李應元107年11月5日在立法院表示,未來環評母法修法還有三面向,除了前面的提高效率,以及增加民眾參與度外,環評否決權的修訂將是重點。環保署曾開過會議討論,其中環評否決權的爭議比較大,大家對於開發與不開發的環評否決權要到甚麼程度,仍有不同的意見。

此外,環評法母法修正草案預計107年底前出爐,根據環保署規劃,未來開發行為符合「政策環評」的開發區位、面積、環境管理等三面向,環保署得委託中央目的事業主管機關進行「個案環評」審查,且此類個案在特定條件下,能免進第二階段環評。以往二階環評通常審查時間兩年起跳,免二階環評將可加速環評案通過效率,也藉此鼓勵中央目的事業主管機關多做、且仔細做政策環評。現行環評大會若認為開發案對環境有

重大影響,可要求進行二階環評。因此107年底的環評法母法修法,環評否決權及政策環評的修訂內容,將是值得再進一步關注的重點。◆

#### 參考文獻

1. 行政院環境保護署,「環境影響評估精進策略與實施作為」,2017。
2. 行政院環境保護署,環境影響評估法施行細則部分條文修正條文對照表,2015。
3. 行政院環境保護署,環境影響評估法施行細則部分條文修正總說明,2015。
4. 行政院環境保護署,環境影響評估法施行細則,2015。
5. 行政院環境保護署,環境影響評估法施行細則部分條文修正條文對照表,2018。
6. 行政院環境保護署,環境影響評估法施行細則部分條文修正總說明,2018。
7. 行政院環境保護署,環境影響評估法施行細則,2018。
8. 行政院環境保護署,開發行為環境影響評估作業準則部分條文修正條文對照表,2015。
9. 行政院環境保護署,開發行為環境影響評估作業準則部分條文修正總說明,2015。
10. 行政院環境保護署,開發行為環境影響評估作業準則,2015。
11. 行政院環境保護署,開發行為環境影響評估作業準則部分條文修正條文對照表,2017。
12. 行政院環境保護署,開發行為環境影響評估作業準則部分條文修正條文對照表,2017。
13. 行政院環境保護署,開發行為環境影響評估作業準則,2017。
14. 行政院環境保護署,開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準修正條文對照表,2018。
15. 行政院環境保護署,開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準修正總說明,2018。
16. 行政院環境保護署,開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準,2018。



# 中國工程師學會第 71 屆理監事簡歷

中國工程師學會第 71 屆理監事簡歷

職 稱	姓 名	現 職
理事長	廖慶榮	國立台灣科技大學 校長
常務理事	李世光	工業技術研究院 董事長
常務理事	高宗正	財團法人臺灣營建研究院 董事長
常務理事	楊宗興	中鼎工程股份有限公司 總經理
常務理事	楊偉甫	台灣電力公司 董事長
理事	王錫欽	中鋼公司 執行副總經理
理事	呂良正	財團法人臺灣營建研究院 院長
理事	宋裕祺	國立臺北科技大學工程學院 院長
理事	李偉賢	國立成功大學工學院 院長
理事	胡湘麟	交通部鐵道局 局長
理事	孫以濬	鼎漢國際工程顧問公司 總監
理事	徐善慧	國立台灣大學高分子研究所 所長
理事	涂元光	中華電信北區分公司 總經理



職 稱	姓 名	現 職
理事	張武訓	中華顧問工程司 董事
理事	莫仁維	亞新工程顧問股份有限公司 執行副總經理
理事	陳仲賢	財團法人中興工程顧問社 執行長
理事	陳彥伯	交通部公路總局 局長
理事	陳哲生	柏林股份有限公司 總經理
理事	彭振聲	臺北市政府工務局 局長
理事	曾國正	台灣國際造船股份有限公司 總經理
理事	楊慶煜	國立高雄科技大學 校長
理事	廖學瑞	台灣世曦工程顧問有限公司 副總經理
理事	蒲鶴章	桃園大眾捷運股份有限公司 代理總經理
理事	歐善惠	國立成功大學 名譽教授
理事	賴建信	經濟部水利署 署長
理事	薛文珍	國立臺灣藝術大學 副校長
理事	薛富盛	國立中興大學 校長
候補理事	黃金生	水利署第九河川局 課長退休
候補理事	林秋豐	金屬工業研究發展中心 執行長
候補理事	曾顯亮	吉昇企業 負責人
候補理事	李旺龍	國立成功大學 教授



職 稱	姓 名	現 職
候補理事	陳寶郎	台塑石化股份有限公司 董事長
候補理事	周至宏	國立高雄科技大學 講座教授
候補理事	蘇炎坤	崑山科技大學綠能科技研究中心 主任
候補理事	楊正君	交通部鐵道局 副局長
候補理事	朱登子	智凝科技股份有限公司 董事長
常務監事	邱琳濱	中興工程顧問股份有限公司 董事長
監事	王炤烈	台灣世曦工程顧問有限公司 總經理
監事	李建中	國立中央大學 榮譽教授
監事	郭新進	中鋼公司 副總經理
監事	陳振川	國立臺灣大學土木系 特聘教授
候補監事	楊正宏	國立高雄科技大學 講座教授

## 歡迎投稿

- 一、本刊宗旨為配合政府各項國家建設及科技發展政策之推動，報導科技新知，以提昇工程技術及產業競爭力。
- 二、本刊為一綜合性刊物，內容以知識性、報導性及聯誼性為主要取向，包括：電機、通信、土木，機械、化工、材料、運輸、生技、環保及能源等工程領域之新技術、產業資訊、國家建設計畫、工程建設、工程論壇、研討會、工程展覽會、傑出工程人才、本會及各分會會務報導等。
- 三、本刊文體以綜合性、通俗性，且為雅俗共賞、富可讀性為原則，不接受純理論之研究論文。
- 四、本刊文稿以中文為主，撰稿(含圖表)每篇文章請在壹萬字以內。文稿請列「前言」與「結論」，摘要則由作者斟酌，並請提供文稿之「關鍵字」，以利讀者上網搜尋。文章之年代應統一表示，西元年或民國年皆可。圖表請加註說明，並於本文中標示圖號。
- 五、文章如引用參考文獻，應依其出現之次序，排列於文末，並於文內以中括號〔〕附註編號。文獻之書寫方式，依序為作者、期刊或雜誌名稱、期號、卷數、頁數及年份。如屬書本、研討會論文或報告，則應加列出版人及地點，會議名稱及地點，或出版機構名稱及地點。
- 六、來稿請註明作者真實姓名、服務單位、職稱、通訊地址、電子郵件地址、傳真、電話等聯絡方式。
- 七、稿件一律先送專家審閱，通過後依順序發表並薄致稿酬；惟具有時效性之文章及報導，則由總編輯審核後優先刊登，不通過者，恕不退稿。本刊對來稿有修改或刪減權，不願被修改或刪減者請事先聲明。
- 八、來稿應包括原稿一份及 WORD 檔案之光碟片，請寄 105 台北市松山區南京東路五段 171 號 10 樓／研發及資訊部(中國工程師學會出版委員會)收，或 [cmhuang@mail.sinotech.com.tw](mailto:cmhuang@mail.sinotech.com.tw) 註明「工程雙月刊稿」即可(黃志民先生 電話：02-2769-8388 轉 11038)。
- 九、來稿一經刊登，版權將歸本學會所有，文責並由作者自負。

## CTCI 中鼎集團

CTCI 中鼎集團 (TWSE: 9933、TPEX: 5209、TPEX: 6803) 為國際級工程統包公司，承攬多元化重大工程。創立於 1979 年，總部位於台灣台北市，業務範圍包括煉油石化、電力、環境、交通、一般工業等工程領域，致力提供全球最值得信賴的工程設計、採購、製造、建造施工、試車操作及專案管理等服務項目。於全球設立數十家子公司，集團員工總數約 7,400 人，並入選道瓊永續指數 (The Dow Jones Sustainability Indices, DJSI)。



### 業務領域

- 煉油石化
- 電力
- 環境
- 交通
- 一般工業

### 服務內容

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

### 產品項目

- 設備製造
- 化學添加劑
- 智慧化能源管理系統

**CTCI**  
中鼎集團

11155 台北市中山北路六段89號  
Tel: (886)2-2833-9999  
Fax: (886)2-2833-8833

[www.ctci.com](http://www.ctci.com)

**CTCI EF**

財團法人中鼎教育基金會

10571 台北市南京東路五段188號2樓之2  
Tel: (886)2-2769-8599  
Fax: (886)2-2769-9299

[www.ctcief.org](http://www.ctcief.org)