

115 年 9-10 月號			〈雙月刊〉
環境工程技師公會會訊			
◎ 發行人：劉敏信 ◎ 發行所：台灣省環境工程技師公會 (https://www.tpeea.org.tw) ◎ 協助策劃：中華民國環境工程技師公會全國聯合會 ◎ 編輯：台灣省環境工程技師公會學術委員會 ◎ 主編：周奮興 ◎ 發行地址：台北市大同區長安西路342號4樓之1 ◎ 電話：02-25550353 ◎ 傳真：02-25591853			
本期要目			
			頁次
■ 主編的話			2
■ 會務報告			5
■ 重要法令			5
■ 行政院公共工程委員會核備 115 年 9 至 10 月訓練積分課程表			8
■ 環保訊息			9
■ 論述園地			11
污染場址調查與整治的人工智慧應用-呂榮俊 博士			11
屏東萬年溪都市河川中塑膠微粒之分佈、粒徑及形狀特徵-林雅婷助理教授			36
■ 徵稿啟事			50
■ 各公會理監事會會議紀錄			51

主編的話

人工智慧(Artificial Intelligence, 簡稱 AI)是指由機器，特別是電腦系統，來模擬人類智慧的過程，包括學習、推理、問題解決、感知與語言理解。是在 1956 年美國舉辦的達特茅斯會議 (Dartmouth Workshop) 上，由科學家約翰·麥卡錫 (John McCarthy)首次正式提出「人工智慧 (Artificial Intelligence)」這個名詞，這一年也被歷史學家定為 AI 的誕生元年。至今，人工智慧正席捲全球，逐漸改變各行各業的運作方式，從生成式 AI 應用爆發，到資料中心大規模擴張，科技巨頭持續加碼投資，也帶動臺灣半導體與電子製造供應鏈躍上國際舞臺。

人工智慧(AI)發展帶來的環境議題具有雙重性，既是優化環境治理的重要工具，但也對地球資源永續造成龐大壓力。從驅動算力的電力巨耗、冷卻散熱的隱形水足跡，到硬體汰換所產生的電子廢棄物，AI 基礎設施正對地球生態造成沉重的負擔。

以最廣泛使用的 AI 助手 ChatGPT 為例：據統計，ChatGPT 每天處理約 10 億次查詢，每次生成內容的耗電約 0.0029 度。換算下來，ChatGPT 每日在全球的耗電量達 290 萬度，相當於 10 萬個美國家庭一天的用電量。相比之下，Google 每次查詢的耗電量約 0.0003 度，幾乎是 ChatGPT 的十分之一。財團法人綠色和平基金會於 2025 年 4 月發布報告《晶片榮景後的暗影》，首次量化 AI 晶片製造所帶來的電力消耗與碳排放。該研究顯示，2023 至 2024 年間，全球 AI 晶片製造用電量從 218 GWh 飆升至 984 GWh，年增幅超過 3.5 倍。若依照市場成長趨勢推估，2030 年全球 AI 晶片製造用電可能達到 37,238 GWh，較 2023 年增加約 170 倍。

AI 不僅是驅動第四次工業革命的核心力量，也逐漸被賦予推動環境與社會永續的期待，「綠色 AI」(Green AI)的概念因運而生，藉由本次會訊，向技師先進們簡介「Green AI」相關內涵。此專有名詞是在 2019 年 7 月由美國華盛頓大學與艾倫人工智慧研究所(Allen Institute for AI)的學者羅伊·施瓦茨 (Roy Schwartz)及其團隊發表了一篇名為《Green AI》的里程碑論文時正式被提出。Green AI 是指在人工智慧的生命週期中，以降低能源消耗、減少碳足跡與提升運算效率為核心的永續技術實踐。並不是要阻止 AI 的發展，而是要讓 AI 從「追求極致，不計代價」轉向「追求高效，低碳永續」。其核心定義涵蓋 AI 系統的整個生命週期，從資料收集、模型設計、硬體製造、模型訓練、部署推論到最終廢棄，都以能源效率與資源節約為首要考量。

Green AI 的發展與應用主要可以分為兩個方向：(1)Green-in AI (AI 的綠化)：關注 AI 模型本身的開發、訓練與運作時，如何更省電、更有效率。相較於追

求極致效能卻不計碳成本的「紅色 AI」，綠色 AI 強調使用較小的模型尺寸、較低的計算複雜度與優化的演算法，來降低耗電量。(2) Green-by AI (用 AI 實現綠化)：利用 AI 技術去解決其他產業的環境與氣候挑戰。例如智慧電網能源管理、精準農業優化、工廠碳盤查與氣候變遷預測。

在風險管理體系中，Green AI 屬於 ESG (環境、社會、治理) 風險與營運風險的一環。雖然目前尚無單一的 Green AI 國際標準，但其評估方法與管理原則與多項現行標準高度相關，例如可採用 ISO 14040/14044 生命週期評估 (LCA) 方法論來量化 AI 專案的環境衝擊；在組織管理層面，則可將其納入 ISO 14001 環境管理系統與即將成為主流的 ISO/IEC 42001 人工智慧管理系統之中。它與「AI for Green」(利用 AI 解決環境問題) 的區別在於，Green AI 專注於讓 AI 技術「本身」變得更環保。

本期會訊論述園地收錄的第一篇大作即邀請科林環境科技股份有限公司呂榮俊博士以人工智慧(AI)應用於土壤地下水污染場址的調查與整治為主題，文中先說明人工智慧(AI)、機器學習(ML)與深度學習(DL)技術的興起與發展，以及整治工程系統中常用的相關演算法。進一步介紹 AI 在土壤地下水污染場址調查的主要應用包括：污染分布預測、污染團模擬與污染物即時分析等；於整治場址則可應用於整治策略篩選、整治系統優化(System Optimization)及代理模型建構；於長期監測之應用，可用於即時識別污染威脅的異常檢測 (Anomaly Detection) 和預先採取調控措施以提升整治效益的污染趨勢預測 (Trend Forecasting)，同時進行監測網路之佈局與採樣頻率最佳化。最後，以位於西班牙中部的硝酸鹽地下水污染場址案例，解說 AI 監督式機器學習分類模型如何應用於實場地下水監測井井網規劃與選址。整治場址方面，則以伊朗東亞塞拜然地區含水層抽水-處理-回注(Pump-Treat-Inject, PTI)整治工法為案例，分三個模組來執行「模擬、代理與最佳化」架構的演算法，介紹人工智慧最佳控制 (Optimal Control by Artificial Intelligence, OCAI) 可成功應用於控制整治過程中的最佳抽水時程與抽水量，使地下水 TDS 污染團濃度與 PTI(Pump-Treat-Inject) 的操作成本等皆有顯著的降低。

第二篇邀請國立屏東科技大學環境工程與科學系林雅婷助理教授主筆撰述「屏東萬年溪都市河川中塑膠微粒之分佈、粒徑及形狀特徵」主題，以流經屏東市中心，長期承受生活污水、道路逕流及都市活動環境壓力下的萬年溪為例，探討萬年溪表面水體塑膠微粒之時空分布、污染來源及潛在生態風險。塑膠微粒(Microplastics)已成為當前全球最嚴峻的環境與健康危機之一，它具不退化性與高吸附毒性，科學界普遍認為它已形成「無孔不入」的污染新常態。本篇研究證實季節降雨、都市逕流及生活污水排放為影響萬年溪塑

膠微粒污染之主要因素，建議未來於豐水期加強都市逕流管理及道路清掃，以降低非點源污染輸入；於枯水期則應強化生活污水及商業廢水管理，並持續維護生態淨化設施，以有效降低塑膠微粒進入河川及下游水域之風險。研究顯示，較大粒徑及纖維型塑膠微粒可能與住宅區生活污水及洗衣活動有關。因此，除提升污水下水道接管率及強化生活污水截流外，亦可推動洗衣設備加裝微纖維過濾裝置，降低合成纖維進入水體之機會；同時建立塑膠微粒排放管理規範，從源頭降低都市河川之塑膠污染負荷。該研究成果可作為臺灣都市河川塑膠微粒污染監測與管理策略制定之重要參考。

面對全球塑膠微粒污染挑戰，生活轉型是塑膠微粒治理重點，環境部自 106 年起即禁止化粧品及個人清潔用品添加塑膠微粒，並同步公告配套的「化粧品及個人清潔用品中含塑膠微粒材質之定性檢測方法（NIEA M907.00B）」進行高規格查驗。目前進一步透過推動循環雙法修正，由過去「禁限用」轉向「從源頭決定產品的循環潛力」，推動重複使用模式，減少一次用產品使用。身為一般大眾，我們可以從「日常減塑」層面來配合，具體作為包括：自備餐具與環保杯、遠離塑膠茶包、改買天然纖維衣物(可多選擇純棉、亞麻、羊毛等天然材質)、少喝瓶裝水、定期更換濾心等。

會務報告

1. 115 年度常年會費繳費通知及記事本已於 114 年 11 月 21 日寄出，敬請尚未繳納 115 年度常年會費（金額 4,000 元）之會員儘速繳納。

公會匯款資訊如下：

- 戶名：台灣省環境工程技師公會
 - 銀行匯款資料：台灣企銀(050)營業部 帳號：01012241581
 - 郵局劃撥帳號：18091292
2. 會員若有更動執業資料、受聘公司、地址、電話、Email…等相關資料，敬請告知公會以便及時修改檔案。
 3. 會員得依下列規定申請婚喪喜慶與健康檢查補助，各項申領敬請自事實發生日起 6 個月內提供相關證明請領，逾期即不受理。
 - (1) 會員結婚致禮金新台幣 3,600 元，只得請領 1 次。
 - (2) 會員死亡致送慰問金新台幣 5,000 元。
 - (3) 會員之父母、配偶、子女死亡時致送慰問金新台幣 2,500 元或等值花籃。
 - (4) 會員繳費年資滿 20 年之會員，每 3 年得申請身體健康檢查補助金新台幣 2,000 元。
 4. 公會網站廣告刊登：
 - (1) 費用：
 - 會員（即會員之執業機構、所營公司或受聘公司）：
5,000 元/年；一次繳交 5 年 20,000 元；一次繳交 10 年 37,500 元。
 - 非會員
6,000 元/年；一次繳交 5 年 24,000 元；一次繳交 10 年 45,000 元。
 - (2) 刊登辦法：
請繳交費用後，將貴公司或事務所之 LOGO（尺寸：288 *93）及網址 MAIL 至公會。
 5. 會訊廣告刊登：
 - (1) 費用：8,000 元/期
 - (2) 刊登辦法：
請繳交費用後，將投放廣告內容 PDF 檔（尺寸：A4 紙）MAIL 至公會。

重要法令

1. 環境部中華民國 115 年 7 月 1 日 環部空字第 1151039624 號函公告，修正「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」第 9 點規定，自即日生效。
2. 環境部化學物質管理署中華民國 115 年 7 月 1 日 環化控字第 1158112683 號函公告，訂定訂定「中區毒化災專業訓練中心場地使用管理要點」，自即日生效。
3. 環境部資源循環署中華民國 115 年 7 月 2 日 環循利字第 1156010879 號函公告，有關營造業屬拆建合併案件是否屬「應檢具事業廢棄物清理計畫書之事業」公告事項一、(二十四)營造業之認定原則說明。
4. 環境部中華民國 115 年 7 月 3 日環部空字第 1151037237 號函公告，修正「違反噪音管制法案件裁罰基準」，自即日生效。
5. 環境部中華民國 115 年 7 月 3 日環部空字第 1151040456 號，訂定「噪音管制法第二十六條第一項情節重大認定要點」，自即日生效
6. 環境部中華民國 115 年 7 月 3 日環部授研字第 1155107453 號函公告，預告訂定「土壤中重金屬檢測方法－微波輔助王水消化法(NIEA S301.62B)」草案。。
7. 環境部中華民國 115 年 7 月 6 日環部授研字第 1155107454 號，預告廢止「土壤中重金屬檢測方法－微波輔助王水消化法 (NIEA S301.61B)」
8. 環境部中華民國 115 年 7 月 6 日環部循字第 1156113067 號函公告，修正「應設置資源回收設施之電子電器販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」，自 116 年 1 月 1 日生效。
9. 環境部中華民國 115 年 7 月 6 日環部授研字第 1155107595 號函，預告廢止「排放管道中重金屬檢測方法 (NIEA A302.73C)」。
10. 環境部中華民國 115 年 7 月 6 日環部授研字第 1155107594 號函公告，預告訂定「排放管道中重金屬檢測方法 (NIEA A302.74C)」草案。
11. 環境部中華民國 115 年 7 月 6 日環部綜字第 1151038795 號函公告，修正「環境部使用財政資料管理要點」，自即日生效。
12. 環境部中華民國 115 年 7 月 7 日環部空字第 1151040668 號函，修正「固定污染源有害空氣污染物健康風險評估作業方式」附錄，自即日生效。
13. 環境部中華民國 115 年 7 月 8 日環部水字第 1151035158 號函公告，預告修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 84 條之 1、第 114 條草案。
14. 環境部中華民國 115 年 7 月 8 日環部空字第 1151041269 號函，修正「行政院環境保護署室內空氣品質自主管理標章推動作業要點」部分規定，名稱並修正為「環境部室內空氣品質自主管理標章推動作業要點」，自即日生效。

15. 環境部中華民國 115 年 7 月 9 日環部水字第 1151040405 號函，預告修正「事業及污水下水道系統水污染防治費收費辦法」第 11 條草案。
16. 環境部中華民國 115 年 7 月 13 日環部循字第 1156114237 號函，修正「應回收廢棄物回收處理業管理辦法」第 23 條、第 26 條、第 27 條條文，自即日起生效。
17. 環境部中華民國 115 年 7 月 14 日環部氣字第 1159108255 號函，訂定「溫室氣體減量技術及氣候變遷調適補助辦法」。
18. 環境部中華民國 115 年 7 月 15 日總統華總一義字第 11500064491 號令，增訂、刪除並修正廢棄物清理法條文。
19. 環境部中華民國 115 年 7 月 16 日環部保字第 1151039583 號，修正「國家環境教育獎獎勵辦法」。
20. 環境部中華民國 115 年 7 月 20 日環部化字第 1158112042B 號公告，預告修正「列管關注化學物質及其運作管理事項」公告事項第一項附表一、附表二、第二項附表四草案。
21. 環境部中華民國 115 年 7 月 21 日環部授研字第 1155108306 號公告，預告訂定「氫氟碳化物檢測方法 (NIEA A766.10C)」草案。
22. 環境部中華民國 115 年 7 月 24 日環部授氣字第 1159107206 號函，訂定環境部推動產品碳足跡管理審議會設置要點。
23. 環境部中華民國 115 年 8 月 3 日環部授化字第 1158115180 號函公告，「毒性及關注化學物質管理法」相關行政函釋計 1 件，自即日起停止適用。
24. 環境部中華民國 115 年 8 月 3 日環部授化字第 1158115180A 號函公告，「新化學物質及既有化學物質資料登錄辦法」相關行政函釋計 1 件，自即日起停止適用。
25. 環境部中華民國 115 年 8 月 5 日環部循字第 1156115425 號函公告，修正「物品回收清除處理費費率」公告事項第 4 項及第 1 項附表，除另定生效日期者外，自即日起生效。
26. 環境部中華民國 115 年 8 月 5 日環部授研字第 1155109175 號公告，預告廢止「排放管道中氣體組成檢測方法—奧賽德方法 (NIEA A003.71C)」。
27. 環境部中華民國 115 年 8 月 5 日環部授氣字第 1159005571 號函公告，應盤查登錄溫室氣體排放量之事業，首次盤查達公告指定應查驗者，且經中央主管機關許可之查驗機構查驗後，其免重複查驗之適用條件。
28. 環境部中華民國 115 年 8 月 11 日環部資字第 1151047815 號函，訂定環境部及所屬機關（構）人工智慧應用內控管理要點。
29. 環境部中華民國 115 年 8 月 25 日環部氣字第 1159110161E 號，訂定「二氧化碳捕捉後封存管理辦法」。

行政院公共工程委員會核備 115 年 9 至 10 月訓練積分課程表

*本項課程表係轉達工程會核備之積分課程資訊，細節請技師先進洽詢主辦單位

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡資訊
1	金質獎(專班)因應 工程施工查核及參 選金質獎整備作業	115/09/11	中華產業發展與品質 管理協會	聯絡人：李專員 電話：07-9763709 轉 100 信箱：service@iqma.org.tw
2	國土資訊系統工程 地質探勘資料庫技 師訓練活動課程	115/09/17	經濟部地質調查及礦 業管理中心	聯絡人：謝小姐 電話：02-23452177 信箱：geotech@ycgis.net
3	115 年 9 月 17 日技師 技術服務專業訓練 講習(視訊課程)「本 課程有採用視訊或 網路教學」	115/09/17	行政院公共工程委員 會	聯絡人：黃心怡 電話：02-87897615 信箱： wert24@mail.pcc.gov.tw
4	GRMC 系列 3-預拌混 凝土廠產製實務課 題與解決方案	115/09/17	財團法人台灣營建研 究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱： cindy.yang@tcri.org.tw
5	115 年臺中市推動山 坡地水土保持管理- 水土保持服務團組 訓	115/09/23	山河工程顧問有限公 司	聯絡人：蕭惠月 電話：04-22210627 信箱：sun.ho@msa.hinet.net
6	環境分析技術(第 80 期)講習會-南部場	115/10/02	社團法人中華民國環 境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：9th.ceas@gmail.com
7	環境分析技術(第 80 期)講習會-臺北場	115/10/05	社團法人中華民國環 境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：9th.ceas@gmail.com
8	海外智慧園區工程 市場趨勢與商機「本 課程有採用視訊或 網路教學」	115/10/14	中華經濟研究院	聯絡人：莊惠蘭 電話：27356006 轉 103 信箱： bigred0115@cier.edu.tw
9	115 年 10 月 29 日技 師技術服務專業訓 練講習(視訊課程) 「本課程有採用視 訊或網路教學」	115/10/29	行政院公共工程委員 會	聯絡人：黃心怡 電話：02-87897615 信箱： wert24@mail.pcc.gov.tw
10	GRMC 系列 4-混凝土 配比設計實務	115/11/02	財團法人台灣營建研 究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱： cindy.yang@tcri.org.tw

環保訊息（資料來源：環境部）

- 115/07/07 【**環境部預告修正「溫室氣體管理基金收支保管及運用辦法」第四條草案，基金用途增列貸款信用保證及利息補貼**】
環境部為有效運用溫室氣體管理基金，協助事業辦理各項溫室氣體減量、氣候變遷調適所需經費之貸款，並有效降低金融機構授信風險，擬於本辦法第四條有關基金用途增訂「辦理事業執行溫室氣體減量、氣候變遷調適貸款信用保證及利息補貼之相關費用」，期能透過公私協力引導民間資金，提供實質之財務支持工具，加速產業界達成淨零轉型之目標。
- 115/07/08 【**兼顧環境保護與動物福祉 環境部預告修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 84-1 條及第 114 條**】
生物急毒性之檢測物種不再使用活體鯉魚及羅漢魚，以斑馬魚胚胎進行生物急毒性檢測，以符合實驗動物 3R(Replacement、Reduction、Refinement) 使用原則及生物倫理。
- 115/07/15 【**全國首案查獲「有毒廢氣甲苯超標 24 倍及技師虛偽簽證」，業者、技師遭起訴**】
114 年 6 月查獲彰化縣濱海產業園區某 PU 合成皮製造業者，涉申報不實逃漏空污費，且排放的甲苯有害空氣污染物超過排放限值，全案經歷時一年釐清犯罪相關證據後，彰化地方檢察署於 115 年 7 月 10 日偵查終結，將涉案業者及簽證技師，依違反空氣污染防制法、刑法詐欺得利及業務上文書登載不實罪提起公訴。
- 115/07/15 【**環境部發布「溫室氣體減量技術及氣候變遷調適補助辦法」善用溫管基金協助事業與學研投入減碳與調適，核心規範如下：**】
 - 一、補助對象：全面納入法定事業（含公司、行號、工廠、民間機構、行政機關（構）等）以及公私立大專校院與學術研究機構。
 - 二、聚焦減量與調適項目：補助範疇包含轉換低碳或無碳燃料與製程、節能措施、二氧化碳捕捉利用與封存（CCUS）、負排放技術、CBAM 因應，以及創新減量與氣候變遷調適技術研發等。
 - 三、明定不予補助事項：為確保資源有效運用，屬事業法定義務（如盤查登錄、已核定碳費徵收對象自主減量計畫範疇、增量抵換、強制性碳足跡）者，不予補助。
 - 四、補助上限與資訊公開：補助金額以全案總經費的 50% 為上限。受補助案需配合成效評估，且資訊將按季公開於環境部網站。

- 115/07/22 **【守護環工技師金招牌 環境部攜手產官學界凝聚查核共識】**
環境部環境管理署施勝鈞主任秘書致詞時表示，技師簽證是環境保護的第一道專業把關防線，因此，環境管理署每年攜手地方環保機關執行技師簽證查核，從法規符合度、技術合理性及資料完整性等面向檢視技師簽證文件，以督促善盡專業責任。為強化查核的公平性與一致性，本次共創營首度採空污、水污及土污分組討論方式進行，並聚焦 112 年至 114 年間具爭議的查核缺失內容，透過面對面交流研析查核原則，凝聚查核共識，建立公平、透明且具公信力的查核標準。
- 115/07/24 **【打造桃園綠活水環境！東門溪日淨萬噸污水，公私協力復育水資源】**
為打造更純淨、宜居的都會親水環境，環境部次長葉俊宏於今（24）日親臨桃園，與市長張善政及台灣美光公司代表共同見證「東門溪水質淨化設施工程」試運轉通水。這項由中央大額經費補助、地方積極執行、民間企業大力贊助的水域重要建設，主體設施已於 7 月 7 日順利完工，展現中央、地方與民間攜手克服工程挑戰的極佳效率，寫下公私協力的優良示範。
- 115/08/11 **【帶著你的研發去實場！116 年土壤及地下水科研專案啟動，徵求產學神隊友！】**
環境部環境管理署即日起公開徵求「116 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」，總補助金額高達新臺幣 5,000 萬元！為了破解土水整治難題，環管署特別推出 11 項課題，力邀「產學神隊友」組隊上陣！更祭出「模場型計畫可申請兩年期，最高補助 700 萬元」的重磅誘因，揮別過去僅限於實驗室測試的限制，全力支持產學界將研發成果直接帶去實場驗證！

論述園地

污染場址調查與整治的人工智慧應用

呂榮俊 博士

環境工程技師

科林環境科技股份有限公司

摘要

人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 加速並優化土壤及地下水的調查與整治，轉變其作業流程從被動的人工評估為主動及基於數據的精準模式。AI 減少了大規模實地採樣的需求、降低了資源與成本，並提高了污染物追蹤的準確性。AI 常應用於環境場址整治三階段：(1) 調查與特性評估階段污染物的分布預測、即時分析與污染團(Contaminant Plume) 模擬；(2) 整治與操作階段的整治策略篩選、整治系統優化與代理模型 (Surrogate Model) 建構；以及 (3) 長期監測階段的污染物異常檢測與趨勢預測。AI 目前的挑戰包括數據品質與稀缺性、模型可解釋性、過度擬合(Overfitting)風險以及缺乏標準化的環境數據集。因此，AI 未來方向包括發展人工智慧物聯網 (Artificial Intelligence of Things, AIoT) 技術、可解釋人工智慧 (Explainable Artificial Intelligence, XAI) 以及全球環境資料庫

本文的兩個案例展示 AI 在污染場址調查與整治中的應用。場址調查案例使用 AI 識別傳統調查忽略或遺漏的潛在污染區域。透過場址變數與現有監測井數據集，開發並比較了多種 AI 樹狀模型(Tree-based Models)，以選出最佳模型來預測污染物(硝酸鹽)污染機率，並建立硝酸鹽濃度分佈圖，據以規畫監測井的選址。場址整治的案例則採用「模擬-代理-最佳化 (Simulation-Surrogate-Optimization)」模式框架來優化抽出-處理 (Pump and Treat, P&T) 系統，從而降低整治成本並加速場址解除列管。具體而言，模擬模式採用 MODFLOW 和 MT3DMS 模擬地下水流與污染物傳輸；代理模式則使用 AI 模型 Sugeno 模糊邏輯 (Sugeno Fuzzy Logic, SFL) 來代理模擬模式快速預測地下水水位與污染物濃度；而最佳化模式則應用基因演算法 (Genetic Algorithm, GA) 來優化 P&T 系統以確定最佳抽水時程與水量，降低污染物濃度。

關鍵字：人工智慧、機器學習、深度學習、調查、特性評估、整治、長期監測、分類、模擬、代理、最佳化

1. 前言

環境場址整治通過移除、穩定或降解土壤及地下水中污染物，以保護人體健康與環境生態。通常經由各階段包含場址調查與特性評估、風險評估與管理，到最終整治技術的選擇、設計與實施。污染場址整治後，可供未來重新開發或回復其自然狀態。

污染場址調查與整治方法的選擇常需要輸入大量數據資料，這些資料的取得通常透過場址調查，或現有場址資料進行估算。電腦分析技術的精進，簡化並改善場址評估與整治決策。人工智慧(AI)、機器學習(Machine Learning, ML)與深度學習(Deep Learning, DL)等新興技術，極具潛力成為污染場址評估與整治策略發展的強大工具。這些技術能夠提供一個平台，支援資源與整合環境分析，並提升場址整治系統效率。

1.1 人工智慧 (AI), 機器學習 (ML)與深度學習 (DL)

圖 1-1 說明了 人工智慧 (AI)、機器學習 (ML) 與深度學習 (DL) 技術的興起與發展，以及整治工程系統中常用的相關演算法。

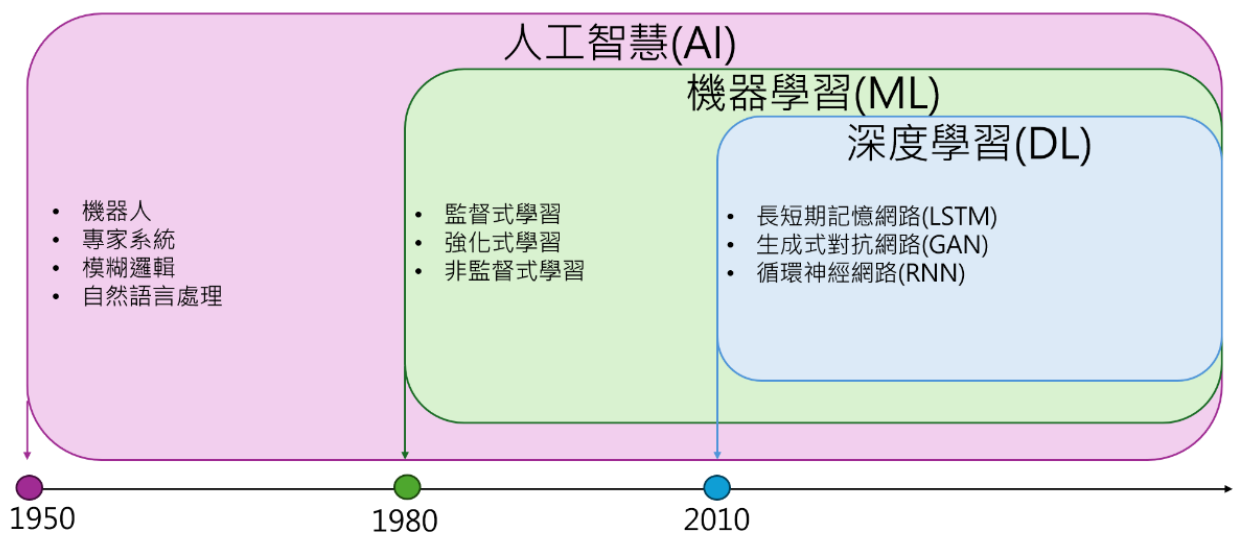


圖 1-1 人工智慧，機器學習與深度學習

人工智慧 (AI) 源自 1950 年代，是指由機器，特別是電腦系統，來模擬人類智慧的過程，包括學習、推理、問題解決、感知與語言理解。AI 的主要目標是建立能夠執行需要人類智慧任務的系統，例如語音識別、自然語言理解和決策。AI 可大致分為兩大類：狹義人工智慧，旨在執行特定任務（如 ChatGPT, 蘋果 Siri, 自動駕駛系統等）；以及廣義人工智慧，旨在跨廣泛活動複製人類的認知能力。場址調查與整治常用的 AI 模

型與演算法包含：模糊邏輯 (Fuzzy Logic)、自然語言處理(Natural Language Processing)、專家系統(Expert Systems)等。

機器學習 (ML) 源自 1980 年代，是人工智慧的一個子領域，專注於開發能讓電腦從大量數據資料中學習，並根據資料進行預測或決策的演算法，並透過明確的程式編寫來執行任務。機器學習演算法是利用統計方法來辨識資料中的模式，並隨著接觸更多資料提升其效能。機器學習可大致分為三大類型：監督式學習 (Supervised Learning)、強化式學習 (Reinforcement Learning) 與非監督式學習 (Unsupervised Learning)，如圖 1-2 所示。

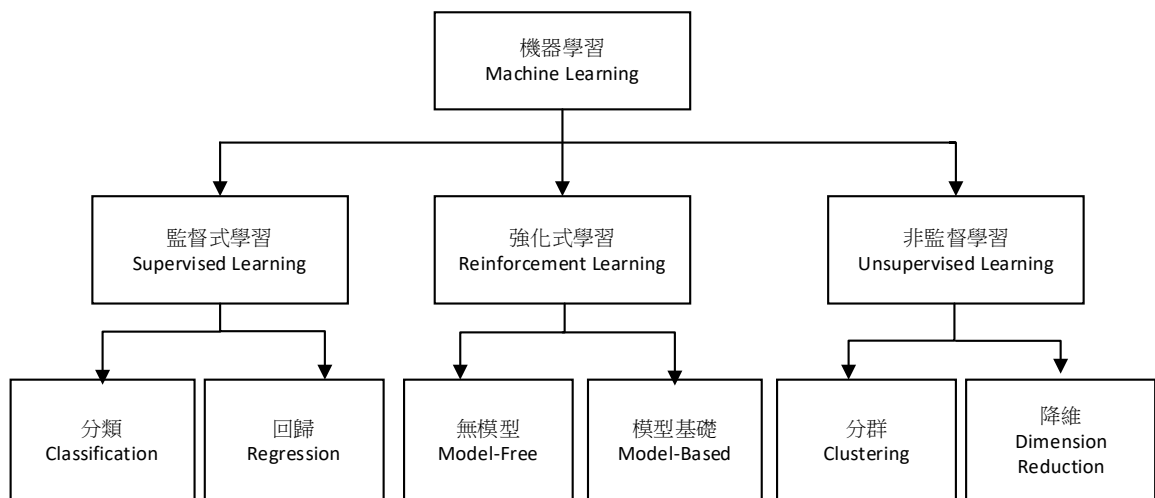


圖 1-2 機器學習種類與演算

監督式學習使用有標籤且有已知答案的資料，輸出可預測的結果，常見模型有分類(Classification)、迴歸(Regression)模型，演算法有線性迴歸(Linear Regression)、隨機森林(Random Forest)、極限梯度提升(XGBoost)等。強化式學習透過環境回饋取得獎勵或懲罰，學習最佳行動策略，常見有無模型(Model-Free)、模型基礎(Model-Based)，演算法有蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation)、策略梯度(Policy Gradient)等。非監督式學習使用未標籤且無標準答案的資料，找出潛在規律，常見模型有分群(Clustering)、降維模型(Dimension Reduction)，演算法有 K-平均法(K-Means)、階層式分群(Hierarchical Clustering)、主成分分析(Primary Component Analysis, PCA)等。

深度學習 (DL) 大約在 2010 年代快速發展並獲得廣泛應用，是機器學習的一個子領域，通常適用於複雜和大規模數據集，以補強傳統機器學習模型評估時可能導致的不準確性。深度學習通常採用具有多個隱

藏層的神經網路(Neural Networks)，以實現更精確的輸出估算。透過模仿人類的神經行為，深度學習模型成為用於預測建模的高度先進工具。深度學習常見的架構類型包括卷積神經網路(Convolutional Neural Networks, CNN) 與循環神經網路 (Recurrent Neural Networks, RNN) 兩類。場址調查與整治常用的深度學習模型包括：長短期記憶網路 (Long Short Term Memory Networks, LSTM)、生成對抗網路 (Generative Adversarial Networks, GAN)、循環神經網路 (RNN) 等。

2. 環境整治的人工智慧應用

人工智慧的完整流程包含資料處理、模型分析、結果預測與決策支援。人工智慧在環境整治的應用範圍從場址調查、整治設計至長期監測，並包含污染物預測、分類、異常偵測以及整治過程的優化。

2.1 人工智慧模型開發

AI 模型開發通常包含資料處理與模型分析兩部分，如圖 2-1 所示。

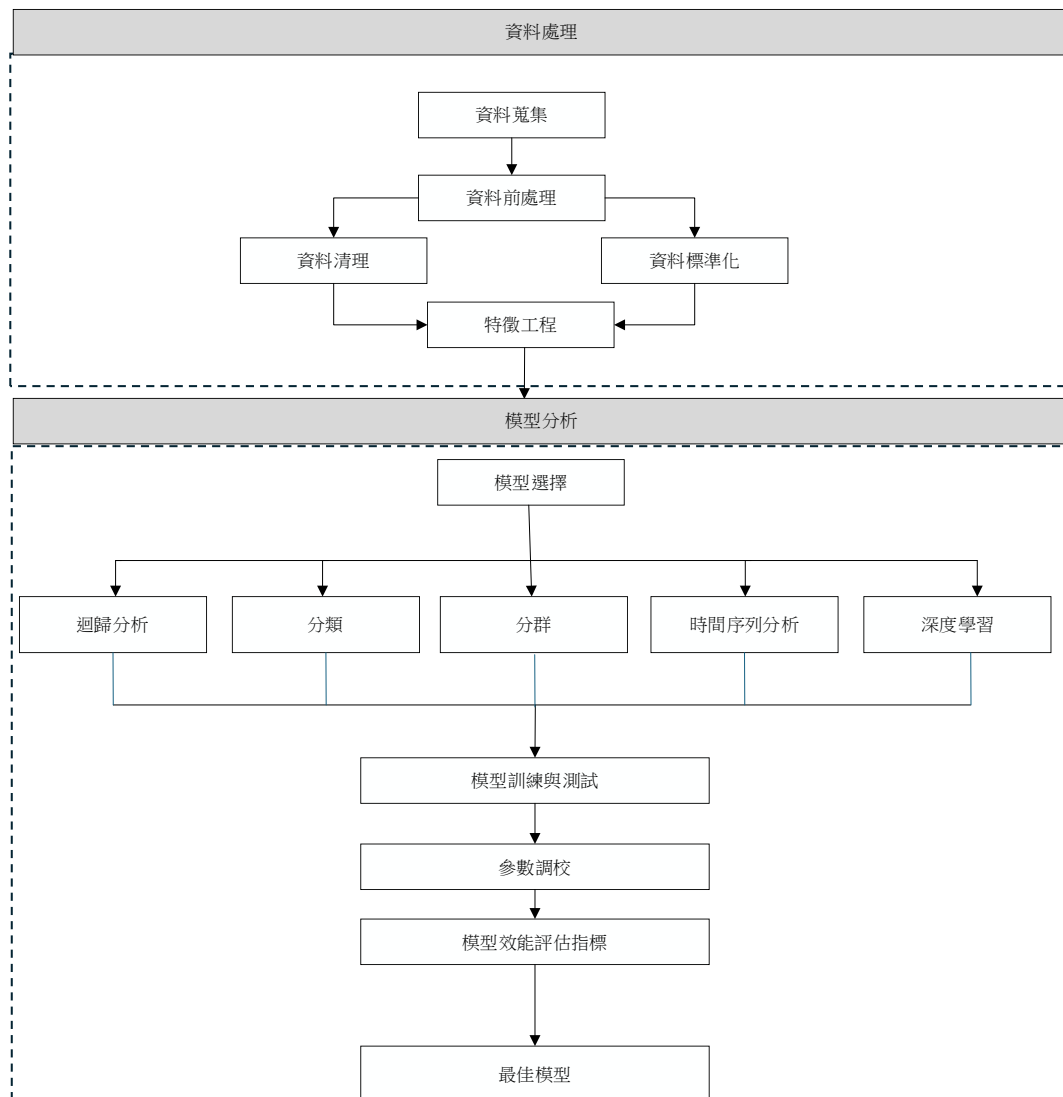


圖 2-1 機器學習模型發展

2.1.1 資料處理

資料處理包含：(1)多來源的資料收集；(2)資料前處理以確保資料的一致性與可靠性；以及(3)特徵工程(Feature Engineering)以識別模型開發的關鍵變數，如圖 2-1 所示。

- (1) 資料收集：場址調查與整治的環境數據集來自多種來源，包含實驗室實驗數據、現場調查資料、工業監測系統以及公開環境資料庫。這些數據集通常涵蓋物理化學參數，例如：pH值、溫度與電導度等、污染物濃度、土壤特性、水文變數以及生物指標。
- (2) 資料前處理：原始環境數據經常存在不一致性、離群值(Outliers)、重複紀錄與測量誤差。資料清洗(Data Cleaning)用以識別並校正這些問題，以確保在模型開發前數據的可靠性與一致性。此外，正規化(Normalization)與尺度化(Scaling)是不可或缺的前處理步驟，如最

- 小-最大值尺度 (Min-Max Scaling) 與標準化等技術，能有效提升模型收斂速率與穩定性。標準化消除尺度差異，讓模型學習更公平穩定。數據缺失與雜訊數據(Noisy Data)是環境數據集中普遍存在的挑戰，主要源自於儀器故障、採樣限制或人為疏失。數據缺失值可用統計填補方法與預測建模技術估算，雜訊數據可用平滑化或過濾等方法提升訊號清晰度。此外，機器學習演算法，如隨機森林等，在處理雜訊數據時特別有效。
- (3) 特徵工程：特徵工程識別影響整治效率的最關鍵變數，將原始環境變數轉換為具備資訊量的輸入數據，以提升模型效能。常用特徵選擇技術，如主成分分析 (PCA)、遞迴特徵消除 (Recursive Feature Elimination)、變數重要性排序等方法，對於降低變數維度與防止過度擬合至關重要。

2.1.2 模型分析

模型分析通常包含四個階段：(1)根據既定的整治問題選擇適當的模型；(2)利用經過前處理與特徵工程的數據來訓練與測試所選模型；(3)調校模型參數；以及(4)使用績效能指標來比較各模型表現，以選出最佳模型，如圖 2-1 所示。

- (1) 模型選擇：每種模型皆具備其獨特的優勢與局限；因此，針對特定的調查與整治需求選擇合適的模型架構至關重要。首先需嚴謹的定義問題，隨後根據特定任務選擇模型，例如迴歸、分類、分群／降維、時間序列分析或深度學習。特定的調查與整治需求通常對應不同的演算法，如表 2-1 所示。

表 2-1 常見機器學習模型、應用與演算法

機器學習模型	土壤及地下水應用	演算法
回歸模型 Regression	預測污染物濃度、 去除率、地下水位	● 簡單線性回歸 ● 多項式回歸 ● 決策樹回歸
分類模型 Classification	預測污染物是否超 標、異常、風險等 級	● K 近鄰法 (KNN) ● 支持向量機 (SVM) ● 決策樹分類
分群與降維 Clustering/Dimension Reduction	探索監測井分群、 變數濃縮	● K-平均法 (K-means) ● 階層式分群 ● 主成分分析 (PCA)
時間序列模型 Time Series	分析污染物趨勢、 地下水位變化	● 極限梯度提升 (XGBoost) ● 長短期記憶模型 (LSTM) ● 卡爾曼濾波 (Kalman Filter)
深度學習 Deep Learning	分析污染物分布、 成分光譜	● 神經網路 (Neural Network) ● 卷積神經網路 (CNN) ● 克里金法 (Kriging)

- (2) 模型訓練與測試：一旦數據經過處理，通常會分為兩個不同的子集：訓練集與測試集。資料切分的慣例是分配 80% 的訓練集數據進行模型訓練，20% 測試集數據用於模型測試。訓練集用以學習識別出潛在的模式，而測試集則用以驗證其訓練後預測的準確度。適當的數據處理確保模型是在高品質的數據上進行訓練，才能帶來更準確且可靠的預測結果。
- (3) 參數調校：調整模型參數數值以達到模型最佳效能。透過精細調校特定參數，模型能有效調整以適應特定的調查與整治任務。因此，透過系統化的參數最佳化，模型的準確度能顯著提升。
- (4) 績效指標：績效指標用於量化評估 AI 模型解決問題的有效性。根據模型的任務類型如迴歸或分類，所採用的指標亦有所不同。在污染場址調查與整治相關研究中，常見的績效指標包含迴歸指標如平均絕對

誤差 (Mean Absolute Error, MAE)、均方誤差 (Mean Square Error, MSE)、均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE) 等，分類指標如準確度 (Accuracy)、精確率 (Precision)、召回率 (Recall) 等，相關性指標如決定係數 (Coefficient of Determination, R^2)、皮爾森相關係數 (Pearson's Correlation Coefficient, r) 等以及排序指標如斯皮爾曼等級相關係數 (Spearman's Rank Correlation Coefficient)。通常，MAE、MSE 與 RMSE 值越小，代表預測值與觀測數據越接近；而 R^2 越接近 1，則代表模型對資料變異的解釋能力越強。

2.2 AI 在場址調查中的應用

污染場址調查的主要目標在於識別污染的性質與範圍。傳統上，此過程依賴嚴謹的土壤及地下水採樣與實驗室分析，並輔以數據密集的統計技術。然而，隨著 AI 技術的出現，這些流程可以大幅簡化，同時亦能保持甚至提高污染物預測的準確度。諸多研究已證實 AI、機器學習 (ML) 與深度學習 (DL) 在估算污染物分布的效用。使用稀疏的監測數據，AI 模型能夠內插預測未採樣區域的污染物濃度。在場址調查中，AI 的應用主要包括污染分布預測、污染團模擬與污染物即時分析(Janga et al. 2023)。

- (1) 污染分布預測：機器學習演算法利用現有的地質、水文與化學數據集，來預測污染物在未採樣區域的擴散情形，進而減少了大量鑽探的需求。AI 工具能建立高解析度的地下污染 3D 模型，如污染團範圍、地質構造，以及透過磁場測量定位地下儲槽或管線等。
- (2) 污染團模擬：先進的機器學習架構（如隨機森林、長短期記憶網路）用於模擬地下水流與污染物傳輸。這些模型透過分析歷史數據來預測污染物在土壤及地下水中的分布、傳輸路徑與宿命 (fate)，有效減少了實體採樣的需求。
- (3) 污染物即時分析：AI 驅動的便攜式工具能進行現場土壤及地下水樣品處理，在數分鐘內提供可信賴的分析結果，無需像傳統實驗室那樣等待數週。人工智慧場址特性技術 (Artificial Intelligence Site Characterization Technology, AISCT[®])，優化了現場儀器，如光離子偵測器 (Photoionization Detector, PID)，能在 20 分鐘內預測 苯、甲苯、乙苯和二甲苯 (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, BTEX) 與含氯揮發性有機物 (Chlorinated Volatile Organic Compounds, CVOCs) 等化合物濃度，如圖 2-2 所示。該技術整合機器學習與神經網路的專

利，並採用多層次光譜分析演算法，將現場儀器數據與不斷擴充的歷史數據驗證及更新數據資料庫進行交叉比對來預測化合物濃度(Min et al. 2024)。



圖 2-2人工智慧場址特性技術(AISCT®) (Min et al. 2024)

AISCT[®] 分析 VOCs 方法包含三個步驟：(1)標準化確保樣品穩定的溫度、濕度及準備；(2)使用專門的萃取試劑分離氣體，以達到最佳的樣品回收率、穩定性及氣體反應；(3)使用標準的 PID 和 火焰離子偵測器 (Flame Ionization Detector, FID) 分析氣體，並以 AI 演算法比較歷史數據與更新現有數據以獲得可靠的 VOCs 分析結果。

2.3 AI 在場址整治中的應用

污染場址整治主要涵蓋整治設計與整治系統。整治設計之主要目標在於提升整治工法之整體效益，並同時最小化操作維修之整體成本。整治系統最佳化係透過動態平衡，在確保工程可行性與成功率的前提下，實現極大化整治效率。近年來大量文獻指出，人工智慧、機器學習及深度學習模型已廣泛應用於整治技術之設計與系統最佳化。整體而言，AI 於場址整治之主要應用範疇可歸納為三大類：整治策略篩選、整治系統優化 (System Optimization) 及代理模型建構 (Raviteja et al. 2023)。

- (1) 整治策略篩選：AI 能深入解析場址特有之水文地球化學特徵與污染濃度梯度，精準推薦具最高效益與永續性之最佳整治策略，例如：專屬化學劑注入、生物整治或抽出處理系統。此外，AI 可透過分析歷史監測數據，模擬並預測污染物於不同環境條件下之動態遷移與衰減行為，進而篩選出最佳工法。針對近來新興污染物全氟/多氟烷基物質 (Per- and Polyfluoroalkyl Substances, PFAS) 等結構複雜且難降解之新興污染物，機器學習模型，如隨機森林、神經網路，已展現最佳

之整治決策。

- (2) 整治系統優化：AI 技術廣泛應用於現地 (In-situ) 與離地 (Ex-situ) 整治系統如抽出處理 (P&T)、土壤氣體抽除 (SVE) 之設計與即時操作控制，能有效降低化學藥劑注入量並大幅削減操作成本。具體應用如下：
1. 抽出處理 (P&T)：優化抽水井位佈局與抽水時程。AI 系統可根據動態監測數據即時調整抽水量，在符合環境水質標準與抽水井位排放容量限制下，精準去除高濃度污染區。
 2. 生物整治 (Bioremediation)：彙整實驗室數據與歷年整治工程案例，利用 AI 評估並找出最適合之生物降解反應條件，如 pH 值、溶氧量、碳源加藥量等。
 3. 監測型自然衰減 (Monitored Natural Attenuation, MNA)：評估場址現地環境是否具備自然衰減之自淨潛能，並精準預測整體整治所需之工期與自然衰減達標時程。
- (3) 代理模型建構：傳統水文地質之物理數值模型運算極為耗時，AI 可作為高精度之「代理 (Surrogate) 模型」，於數秒內高速模擬數千種整治條件，以評估出最迅速且最具經濟效益之達標時程。鑑於系統最佳化設計需要龐大次數之迭代模擬，傳統方法常需負擔極高之計算資源；基於 ML/DL 建立之代理模型已證實能在保持相當準確度之下，大幅減輕計算瓶頸。一般整治最佳化常用的「模擬-代理-最佳化 (Simulation-Surrogate-Optimization)」流程，如圖2-3所示。該流程通常包含兩大核心步驟：(1)建構合適之 AI 代理模型；(2)選擇並執行最符合場址需求之最佳化演算法，如基因演算法 (GA) 或粒子群優化演算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 等來控制參數。

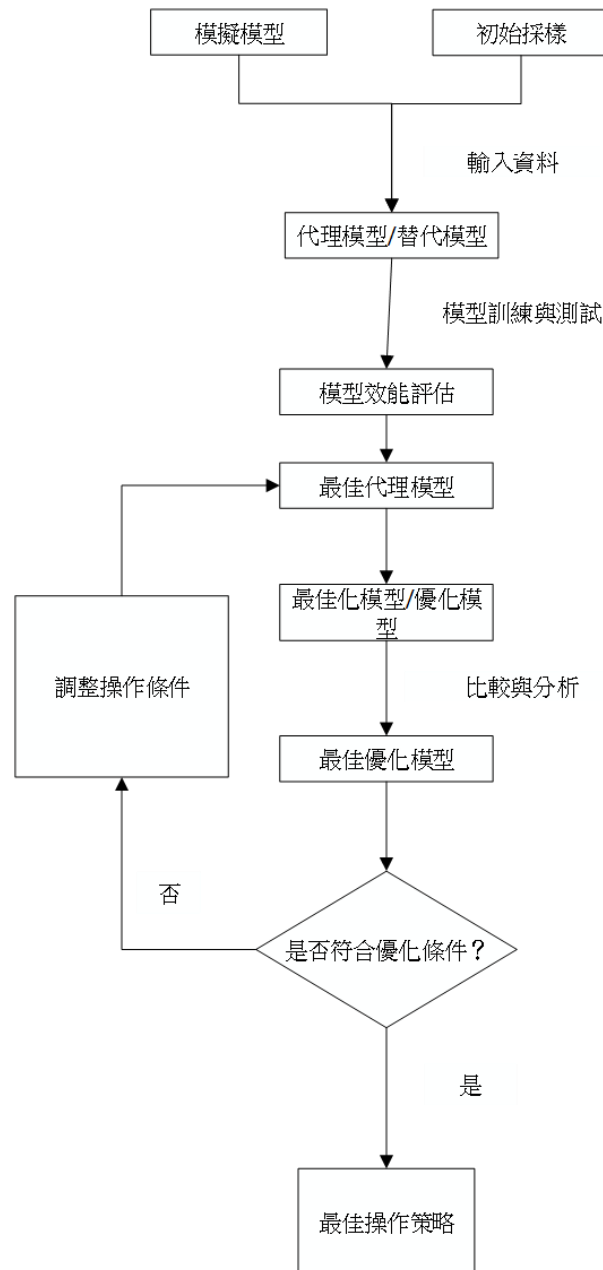


圖 2-3 模擬-代理-最佳化工作框架

2.4 AI 於長期監測之應用

人工智慧 (AI) 於污染場址長期監測之應用，主要用於即時識別污染威脅的異常檢測 (Anomaly Detection) 和預先採取調控措施以提升整治效益的污染趨勢預測 (Trend Forecasting)，同時進行監測網路之佈局與採樣頻率最佳化。

- (1) 異常檢測：結合物聯網 (Internet of Things, IoT) 感測網路與 AI 技術，可持續傳輸關鍵水文地球化學參數，如 pH 值、溶氧量 DO、即時污染物濃度等，進而快速識別污染濃度飆升、污染團遷移路徑以

及潛在的地下水污染風險。

- (2) 污染趨勢預測：高階深度學習架構，尤其是長短期記憶網路(LSTM)，擅長處理複雜的時間序列數據，能精準預測長期地下水位變化以及污染物濃度隨時間演變之動態趨勢。

「先進長期環境監測系統 (Advanced Long-Term Environmental Monitoring Systems, ALTEMIS)」運用 AI/ML 技術布置感測器，在確保監測精準度與合規性前提下，減少監測井數量與採樣頻率。圖 2-4 示美國能源部薩凡納河場址 (Savannah River Site) F 區之污染物濃度預測流程。該流程透過不同時間污染物濃度數據、找出場址主要變數 (Master Variables) 與污染物相關性、利用 AI 模型估算污染物濃度，並在不同環境下定量場址的污染物濃度反應(Eddy-Dilek et al. 2024)。

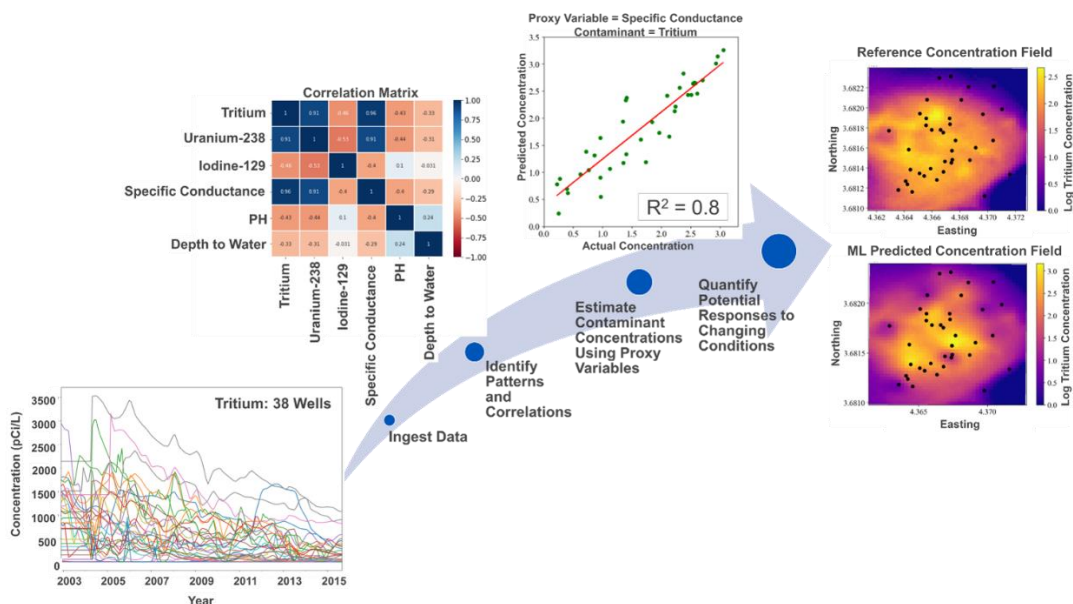


圖 2-4 污染物濃度預測流程(Eddy-Dilek et al. 2024)

圖 2-4 使用 38 口不同時間氚 (Tritium) 濃度監測井數據作為 AI 模型建構之資料集。建立了皮爾森相關係數矩陣 (Pearson's Correlation Matrix)，以釐清三個主要變數：導電度 (Specific Conductance, SC)、pH 值及地下水位深度 (Depth to Water, DTW) 與三種主要污染物：氚、鈾-238 (U-238) 及碘-129 (I-129) 之間的相關性。AI 模型進一步利用導電度作為關鍵變數來估算地下水中之氚濃度，並取得高達 0.8 之決定係數 (R^2)，代表該模型可解釋 80% 的地下水氚濃度變化，展現出優異且可靠的預測能力。此外，機器學習模型所預測出之氚濃度分布，亦與實際觀測之氚濃度分布高度吻合。

圖 2-5 示，使用 ALTEMIS 架構後，場址在監測井數量、採樣頻率及分析檢測項目上均有顯著的精簡。監測井數量由原本的約 100 口大幅縮減至 24 口。使用 ALTEMIS 前，場址得依賴定期人工採樣，如季測、半年測及年測，樣品送往實驗室分析重金屬、氚、總 α 放射性 (Gross Alpha)、非揮發性 β (Nonvolatile Beta) 及放射性核種 (radionuclides) 等。使用 ALTEMIS 後，傳統的人工定期採樣轉變為連續自動化即時監測。場址部署 17 套 Aqua TROLL AT200 與 7 套 Aqua TROLL AT500 多參數水質監測儀組成的感測網絡，持續量測水溫、導電度、pH 值、氧化還原電位 (ORP)、溶氧量 (DO) 及濁度等關鍵水質指標，藉以預測主要污染物濃度。

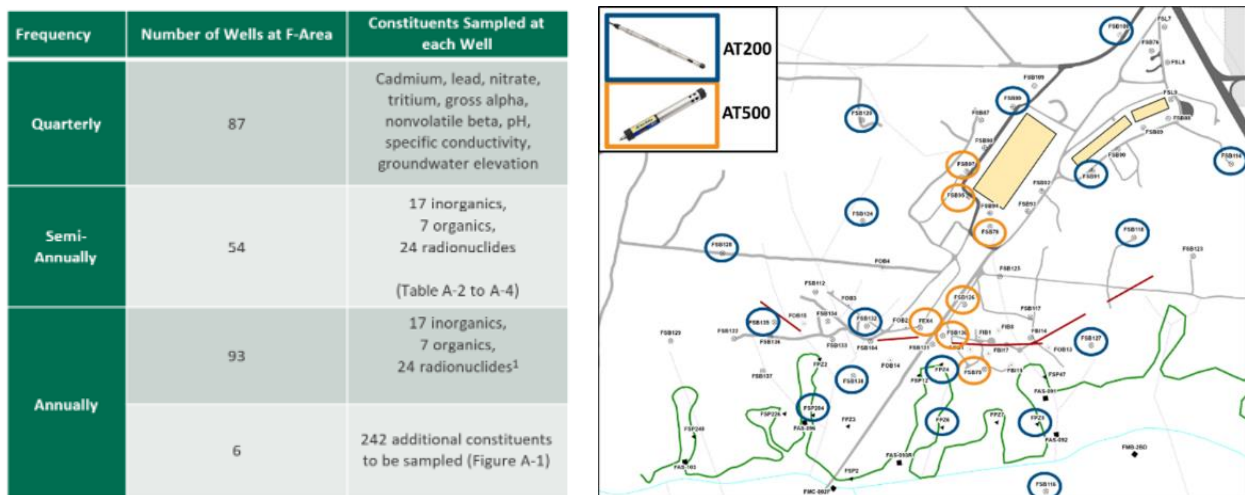


圖 2-5 減少監測井數、採樣頻率、分析項目 (Eddy-Dilek et al. 2024)

ALTEMIS 利用 AI/ML 架構預測未來污染物通量 (Contaminant Flux)，將環境監測從傳統被動反應模式，轉變為主動預防的作業體系。透過對水文地球化學主要變數的動態追蹤，該系統能即時判讀污染物遷移與污染團動態。同時為出現非預期污染團擴散提供了有力的早期預警機制，進而降低風險，加速場址解列。此外，整合物聯網之感測網絡具備高度自適應能力，可針對極端氣候變遷進行靈活調整與動態校正。最重要的是，模組化的 ALTEMIS 架構具有極佳的擴充性，能輕易轉移並應用於不同的污染場址。

2.5 AI 挑戰與未來發展方向

將 AI 應用於污染場址調查與整治領域時，主要面臨的挑戰源於數據稀缺性、AI 模型可解釋性、過度擬合、缺乏標準化的環境數據集，以及龐大的計算資源限制。為了克服這些瓶頸，未來發展方向必須整合 AI

與「即時連續監測系統」的「人工智慧物聯網 (AIoT)」技術，推動「可解釋人工智慧 (XAI)」提升模型的透明度與可信度，並建立全球化、標準化的環境資料庫，提高不同污染場址間之擴充性、可轉移性與通用性 (Latif et al. 2026)。

2.5.1 AI 挑戰

儘管人工智慧在優化場址調查與整治方面展現出革命性的潛力，但多項技術、方法與工程操作層面的瓶頸，仍限制了其廣泛的應用。這些挑戰主要集中於數據品質與可取得性、模型可靠度與可解釋性，以及缺乏標準化的環境基準資料庫。

- (1) 數據品質與稀缺性：AI 模型的預測效能本質上取決於訓練數據的品質與完整度。在場址調查與整治領域，現場數據常因感測器偏差、採樣變異性或檢測誤差，而呈現高度複雜、不完整且多雜訊特徵。此外，實驗室數據所訓練的模型，往往無法精準反映複雜的現場水文地質條件，進而嚴重限制了模型的轉移能力。加上不統一的數據報告格式、缺乏標準化的數據資料以及不同的分析方法，均降低了跨場址的數據共用性，凸顯出建立全球標準化環境資料庫的迫切需求。
- (2) 模型可解釋性與法規信任：高階 AI 模型不透明的「黑盒子(Black Box)」特性，成了審查機關核准與業主信任的主要障礙。為了建立對 AI 驅動型調查與整治的信心，決策者需要明確了解模型預測結果背後的邏輯。導入可解釋人工智慧 (XAI) 架構如評估特徵重要性 (Feature Importance) 與部分相依圖 (Partial Dependence Plots) 等工具可以釐清輸入變數間的相互作用，並確保預測條件符合物理一致性。
- (3) 過度擬合風險與廣泛化限制 (Generalization Constraints)：在場址調查與整治應用中，過度擬合是一項普遍存在的風險，通常源於規模較小、稀疏且具備顯著的場址異質性的環境數據集。在此條件下，模型容易過度記憶區域性的雜訊，而非掌握基礎的污染物傳輸機制。因此，如何確保 AI 模型在不同水文地球化學環境下具備廣泛化能力與可轉移性，仍是目前場址調查與整治中的一大挑戰。

2.5.2 AI 未來發展方向

人工智慧與數據資料科學於污染場址調查與整治領域的未來發展，取決於更深度的數位整合、更卓越的演算法透明度，以及全球性的數據

協同合作。物聯網感測器網絡、高階可解釋人工智慧 (XAI) 及標準化開放式資料庫的新興範式，預計將推動場址管理模式從傳統的被動反應，轉型為主動、智慧化且具備閉環控制 (Closed-loop) 的操作系統。

- (1) AI與IoT融合：部署感測器陣列能持續產生高頻率的即時數據流。將這些數據串流直接與機器學習演算法相結合——即人工智慧物聯網 (AIoT) 架構——可在場址端實現快速的預測性分析與自動化控制反饋 (Akintola, A. A. 2024)。
- (2) 即時自適應與自主化整治系統 (Real-Time Adaptive Remediation Systems)：新一代整治設施將逐步朝向自適應的閉環系統發展。這類動態平台不再依賴靜態的整治設計，而是利用即時感測器數據流持續更新機器學習模型，在環境發生瞬態變化時，實現系統控制參數的自我優化與自動調整。
- (3) 導向可解釋人工智慧 (XAI)：儘管特徵重要性與部分相依圖提供了初步的可解釋性，未來的研究重點必須超越通用的黑盒子診斷工具。針對環境系統開發能明確結合物理定律與水文地球化學機制的領域導向的XAI 架構，對於提升法規監管單位的信任度與科學公信力至關重要。
- (4) 全球環境資料庫建構與開放：建立集中化、標準化且開放存取的全球環境資料庫，是推動AI應用規模化的關鍵步驟。共享的數據庫將能顯著提升研究的重現性 (Reproducibility)、促進跨場址的模型可轉移性，並加速全球場址調查與整治技術的協同創新。

3. 場址調查案例

本案例使用機器學習樹狀分類模型來識別潛在的污染區域並預測污染物濃度分佈，並透過預測地下水污染來改善地下水監測網絡圖，以有效監測地下水污染並保護人類生計和生態系統(Gómez-Escalonilla et al. 2024)。

本案例以硝酸鹽作為地下水污染的代理指標在西班牙中部實際應用。馬德里自治區是一個位於西班牙中部、面積達約 8,000 平方公里。該監測網絡分佈於自治區內的 213 口監測井，其中 119 口監測井 (約 56%) 硝酸鹽濃度低於 37.5 mg/L，而其餘 94 個監測井的硝酸鹽濃度則高於 37.5 mg/L。

3.1 樹狀分類模型演算法

本案例使用機器學習分類模型的樹狀演算法，於場址 24 個變數以及

現有 213 口監測井數據集來預測地下水污染物硝酸鹽濃度分布。使用的分類模型有五種樹狀演算法，分別為決策樹 (Decision Tree Classifier, DTC)、隨機森林 (Random Forest Classifier, RFC)、自適性提升 (AdaBoost, ADA)、梯度提升 (Gradient Boosting Classifier, GBC) 以及極端隨機樹 (Extra Trees Classifier, ETC)。這些樹狀模型經由分類績效指標的比較以選出最佳模型來預測硝酸鹽濃度機率與硝酸鹽濃度分布，如圖 3-1 所示。

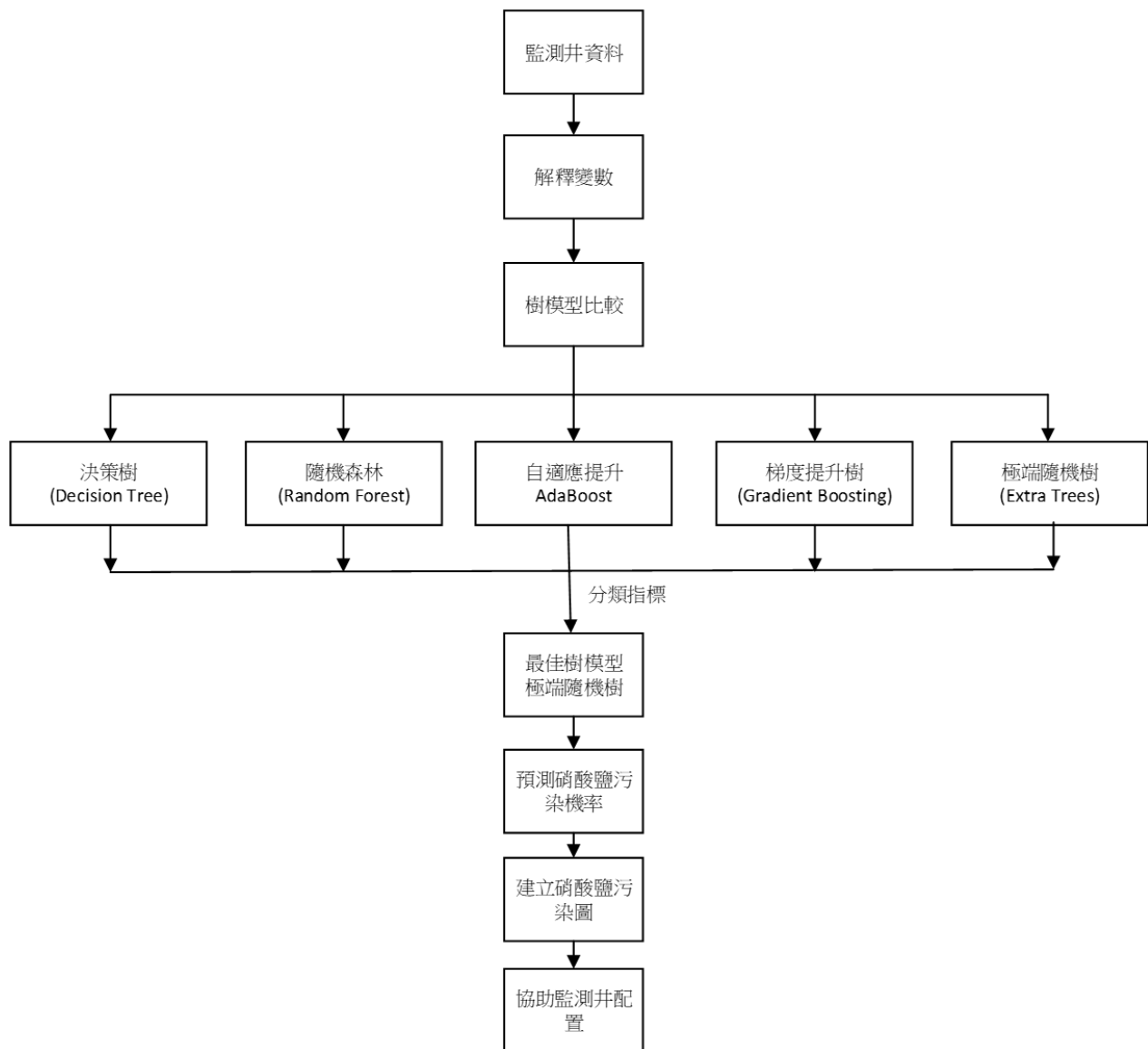


圖 3-1 工作框架流程

3.2 結果

本場址有 24 個變數，相關係數熱圖常用以快速找出高度相關的變數組合，降維減少變數以利模型最佳化。圖 3-2 顯示了 24 個變數的共線性

分析結果。總體而言，所有變數之間的相關性均較低。少數相關性較強的情況僅屬於相對不重要的變數。因此，24 個變數中未移除任何變數。

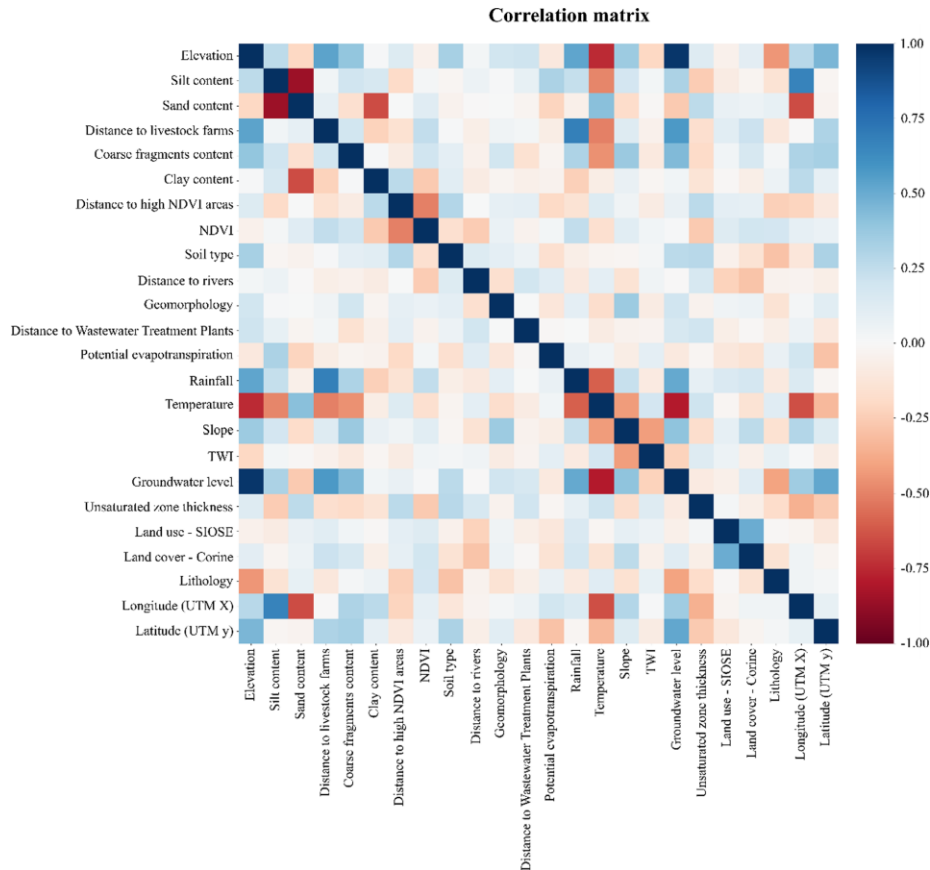


圖 3-2 相關係數熱圖 (Gómez-Escalonilla et al. 2024)

表 3-1 展示了五種樹狀演算法的分類績效指標。透過訓練分數 (Train Score)、測試分數 (Test Score)、精確率、召回率、F1 分數 (F1 Score) 及曲線下面積 (AUC) 等分類指標的比較來選出最佳的樹狀演算法。這些指標越接近 1，代表演算法效能越好。精確率與召回率不平衡時，就看 F1 分數，越接近 1 越好。AUC 越接近 1 表示模型的分類能力越好。表 3-1 顯示所有模型的測試分數均高於 0.73；其中極端隨機樹 (ETC) 以 0.83 的精確率超越了所有其他模型。由於精確率與召回率陰性類 (硝酸鹽濃度低於 37.5 mg/L) 與陽性類 (硝酸鹽濃度高於 37.5 mg/L) 之間存在數據資料的不平衡，因此模型的預測效能是由 F1 分數來評估。ETC 在陰性與陽性類別中 F1 分數的表現均優於其他模型，分別達到 0.86 與 0.78。在 AUC 方面，ETC 取得 0.88 的數值，同樣優於其他模型。因此，後續的特徵重要性分析與硝酸鹽分布預測，均採用 ETC 分類模型。

Algorithm	Train score	Test score	Prec 0	Prec 1	Rec 0	Rec 1	F1 0	F1 1	AUC
DTC	0.82	0.77	0.93	0.65	0.66	0.92	0.77	0.76	0.84
RFC	0.96	0.73	0.77	0.68	0.79	0.65	0.78	0.67	0.83
ADA	1.00	0.73	0.80	0.66	0.74	0.73	0.77	0.69	0.79
GBC	1.00	0.75	0.82	0.67	0.74	0.77	0.78	0.71	0.82
ETC	0.99	0.83	0.85	0.80	0.87	0.77	0.86	0.78	0.88

表 3-1 樹模型分類指標比較 (Gómez-Escalonilla et al. 2024)

圖 3-3 展示了用於模型解釋的特徵重要性，是一種可解釋人工智慧 (XAI) 的方法。地下水污染的主要預測因子為地下水位深度、岩性、距河流距離以及距畜牧場距離等。不同岩性有不同的滲透率。滲透率高，地下水硝酸鹽移動速率快，擴散範圍大。距河流距離近，河水稀釋造成地下水硝酸鹽濃度低。距畜牧場距離近，動物排泄造成地下水硝酸鹽濃度高。

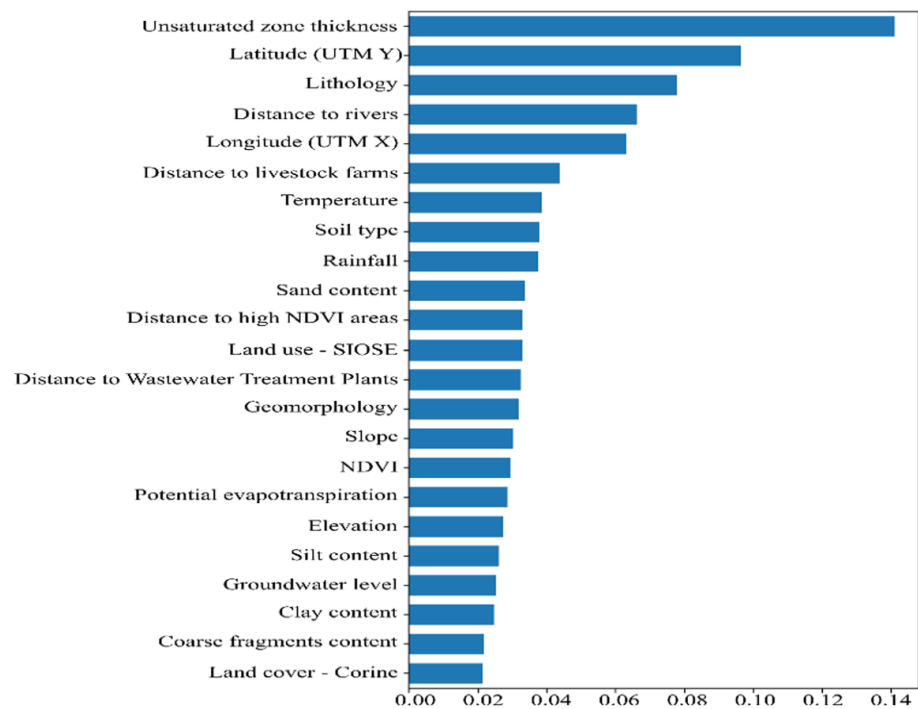


圖 3-3 特徵重要性 (GómezEscalonilla et al. 2024)

透過 ETC 分類模型，可估算出地下水中硝酸鹽濃度大於 37.5 mg/L 的分布機率。機率圖可用克里金法 (Kriging) 預測硝酸鹽濃度分布,如圖 3-4 所示。圖中顯示除了原先預定需監測的脆弱區域外，位於脆弱區域之間的硝酸鹽污染區域，亦需要增設額外的監測井。馬德里都會區東北方與西南方的未監測區域，在未來改善監測網路的計畫中，應優先考慮這些未監測區域。

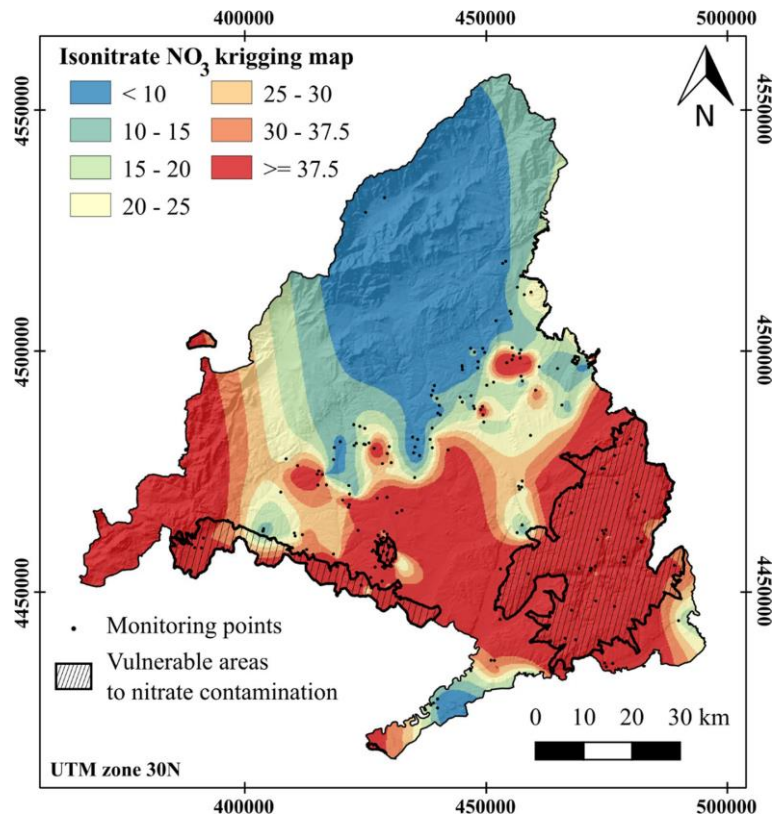


圖 3-4 克里金插值法硝酸鹽濃度圖 (Gómez-Escalonilla et al. 2024)

3.3 結論

本案例的主要結論為監督式機器學習分類模型正逐漸被視為水資源規畫中具有價值的工具，機器學習技術可用於自動化規畫監測井之選址。然而，實際應用仍需由專家進行監督，以確保結果之品質。

4. 場址整治案例

本案例應用 AI 在整治中常用的「模擬—代理—最佳化 (Simulation-Surrogate-Optimization)」架構來最佳化 P&T 系統。案例中人工智慧最佳控制 (Optimal Control by Artificial Intelligence, OCAI) 建構在「模擬—代理—最佳化」框架上，用以調節抽水時程與抽水量，藉此整治伊朗東亞塞拜然地區的一處關鍵含水層。該含水層是該地區飲用水與農業灌溉的重要水源。在一場重大暴雨事件中，廢水處置池的池堤破裂，導致廢水滲入土壤污染了地下水含水層。29 口監測井的地下水樣顯示總溶解固體 (Total Dissolved Solids, TDS) 濃度極高。因此提出了抽水—處理—回注 (Pump-Treat-Inject, PTI) 技術來整治污染的含水層 (Sadeghfam et al. 2019)。

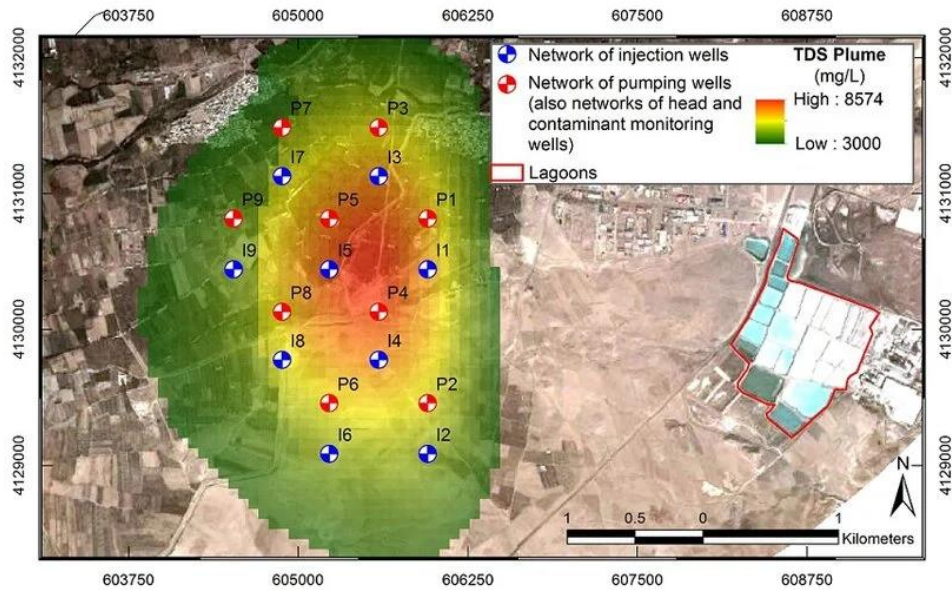


圖 4-1 污染團與抽出-處理-回注系統 (Sadeghfam et al. 2019)

圖 4-1 展示了場址的污染團與抽水—處理—回注 (PTI) 系統。污染團範圍內的總溶解固體 (TDS) 濃度介於 3,000 至 8,574 mg/L 之間。污染團區域內共安裝了 9 口抽水井 (P1–P9) 與 9 口回注井 (I1–I9)。

4.1 人工智慧最佳控制 (OCAI)

人工智慧最佳控制 (OCAI) 用以控制整治過程中的最佳抽水時程與抽水量，分為三個模組來執行 - 「模擬、代理與最佳化」，流程簡化如圖 4-2 所示。模組一「模擬」模型基於物理機制的地下水流模式 MODFLOW 與污染物傳輸模式 MT3DMS，用以預測地下水頭與污染物濃度。模組二「代理」模型作為模組一的「代理」，以兩組 Sugeno 模糊邏輯 (SFL) 模型代理 MODFLOW 和 MT3DMS 模式，快速預測地下水頭與污染物濃度。模組三「最佳化」模型為使用者定義單元，調用模組二結果執行基因演算法 (GA)，以最佳化 PTI 系統的抽水時程與抽水量。

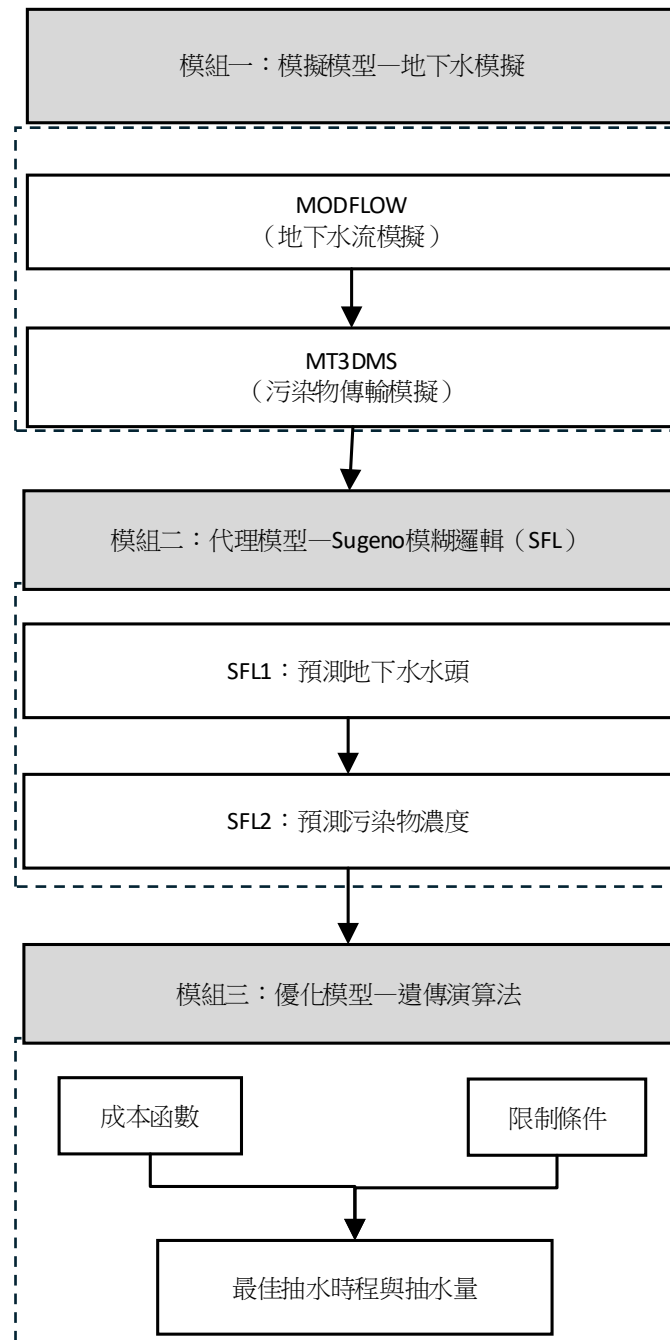


圖 4-2 模組工作流程

4.2 結果

透過 OCAI 最佳抽水時程與抽水量的管理後，污染團 TDS 濃度顯著降低至 3,500mg/L 以下。圖 4-3 展示了在長達 27 年的 PTI 系統最佳化操作期間內 9 口抽水井的監測結果。明顯看出各抽水井的污染物濃度均有所下降，但仍未能完全降至最高污染物濃度標準 (Maximum Contaminant Level, MCL) 1,500 mg/L，因為 PTI 整治常會受到污染物脫附速率影響而限制其最終效益。經過 27 年後，除了 2 號、5 號與 9 號三口抽水井之外，

所有抽水井的總溶解固體（TDS）濃度均已降至 3,000 mg/L 以下。

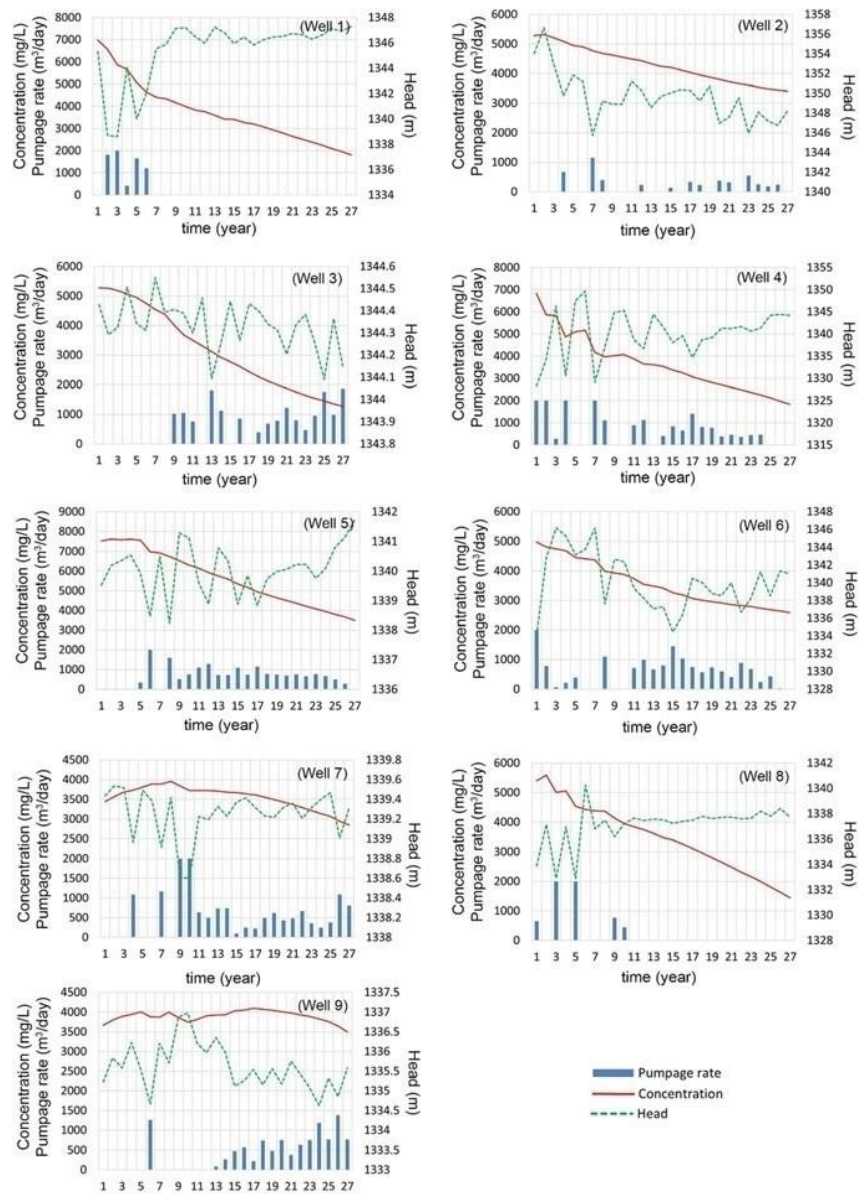


圖 4-3 最佳操作的地下水位與 TDS 濃度 (Sadeghfam et al. 2019)

圖 4-4 展示了最佳抽水時程與抽水量下，27 年間總溶解固體(TDS)濃度水質改善過程。在 27 年的整治過程中，TDS 濃度從原本的 3,500–8,000 mg/L 降低至 1,500–3,500 mg/L。

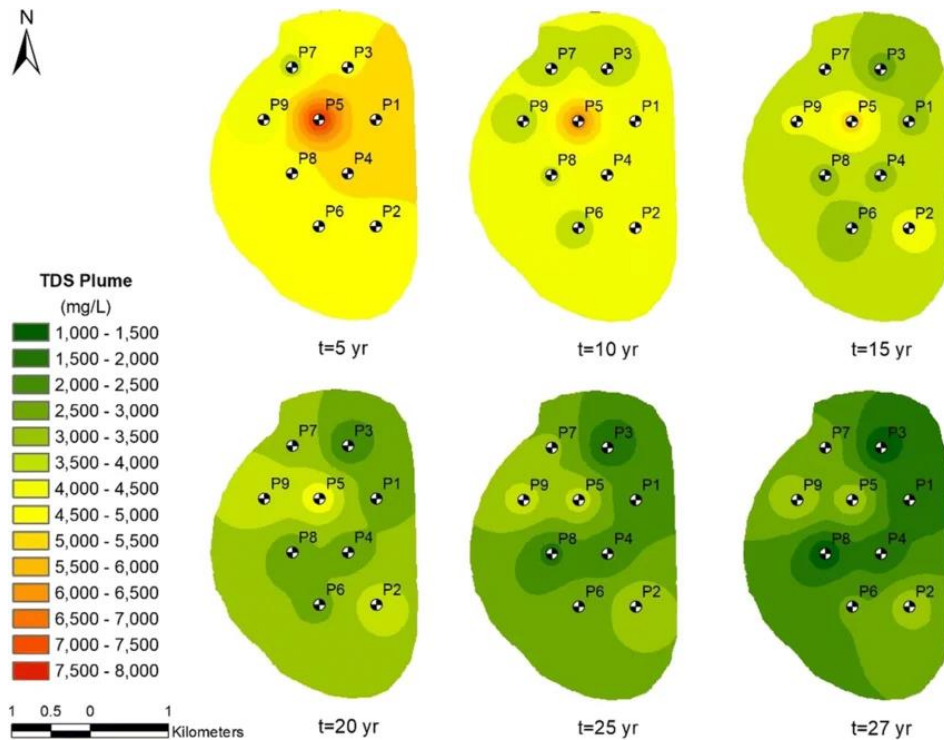


圖 4-4 地下水質改進 (Sadeghfam, et al. 2019)

此外，PTI 的操作成本亦獲得顯著降低。OCAI 確立最佳抽水時程與抽水量，最大程度地降低污染物 TDS 濃度以及減少成本。這些結果再次印證了 AI 在環境整治中的多元應用。

4.3 結論

OCAI 策略突破了兩大障礙：(1)模組間資訊傳遞的效率控制；(2)基因演算法 (GA) 最佳化的大量計算需求，由快速運算的模組二 SFL 代理模型完成，而非耗時的模組一 MODFLOW 與 MT3DMS 數值模擬模型。OCAI 的創新之處在於提出最佳化 PTI 時程，以控制污染物濃度並整治污染團。結果顯示，最高 TDS 濃度範圍已從原本的 3,500–8,000 mg/L 降低至 1,500–3,500 mg/L，這些成果驗證 OCAI 提供了解決方案。

OCAI 演算法透過 PTI 系統監測與網絡管理整治高濃度 TDS。該 AI 系統持續調整抽水時程與速率，主動降低 TDS 濃度，同時符合嚴格的环境品質目標與各井的排放能力限制。AI 技術能夠確定最佳抽水時程、最大程度降低污染物濃度，並降低處理成本。

5. 總結與結論

人工智慧、機器學習與深度學習技術已成功應用於污染場址調查、整治與長期監測。這些技術將整治流程從被動的人工估算，轉變為主動且數據驅動的精準操作，提升了污染物追蹤的精確度、加速了污染物濃度或污染團的預測、減少了採樣與分析需求、降低了資源與成本，並加速場址解列。總結如下：

- (1) 常用於土壤及地下水調查與整治的 AI 模型有迴歸 (Regression)、分類 (Classification)、分群 (Clustering)、時間序列 (Time Series) 及深度學習 (Deep Learning)。
- (2) 人工智慧場址特性技術 AISCT[®] 運用歷史數據與即時更新數據來預測污染化合物濃度，提供快速約 20 分鐘土壤及地下水分析數據，降低對實驗室檢測的依賴、透過即時結果提升決策品質，並確保預測的精準度。
- (3) 先進長期環境監測系統 ALTEMIS 利用即時感測器與機器學習來追蹤物理/化學主要變數 (Master Variables) 並預測主要污染物，而非依賴定期且耗時的人工採樣檢測。結果是大幅降低了長期監測成本、提供異常污染團的早期預警，並有助於加速場址解列。
- (4) 場址調查案例成功應用監督式機器學習樹狀分類模型來識別潛在污染區域。使用 24 個變數與現有 213 口監測井數據開發了 5 種樹狀模型，並透過分類績效指標比較選出最佳樹狀模型- 極端隨機樹 (Extra Trees)。使用極端隨機樹模型預測硝酸鹽污染機率及硝酸鹽濃度分佈圖，據以規畫監測井之選址。
- (5) 場址整治案例成功應用「模擬—代理—最佳化 (Simulation-Surrogate-Optimization)」架構的演算法，以最佳化抽水時程及抽水量的 PTI 系統來整治污染含水層。「模擬模組」使用 MODFLOW 與 MT3DMS 數值模擬，「代理模組」使用 AI 模型 SFLs，「最佳化模組」使用基因演算法 (GA) 的最佳化，以控制污染物、縮短操作時間，並符合水質限制與排放容量。
- (6) AI 面臨的挑戰包括數據品質與稀缺性、模型可解釋性、過度擬合風險以及缺乏標準化的環境數據集。解決這些問題需要整合 AI 與即時監測系統的人工智慧物聯網 (AIoT) 技術、可解釋人工智慧 (XAI) 以及全球環境資料庫。

參考文獻

- [1] Akintola, A. A. (2024). AI-driven monitoring systems for bioremediation: real-time data analysis and predictive modelling. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 24(01), 788–803.
- [2] Eddy-Dilek, C., Gonzalez-Raymat, H., Danielson, T., & Fabricatore, E. (2024). ALTEMIS – Advanced Long-Term Environmental Monitoring Systems. *Battelle Savannah River Alliance*.
- [3] Gómez-Escalonilla, V., Montero-González, E., Díaz-Alcaide, S., Martín-Loeches, M., Rodríguez del Rosario, M., & Martínez-Santos, P. (2024). A Machine Learning Approach to Site Groundwater Contamination Monitoring Wells. *Applied Water Science*, 14:250.
- [4] Janga, J. K., Reddy, K. R., & Raviteja, K. V. N. S. (2023). Integrating artificial intelligence, machine learning, and deep learning approaches into remediation of contaminated sites: A review. *Chemosphere*, 345, 140476.
- [5] Latif, F., Bilal, M., Saeed, M., & Nadeem, R. (2026). Application of Machine Learning and Data Science in Heavy Metal Remediation: Advances, Challenges, and Future Perspectives. Preprints, doi: 10.20944/preprints202602.1893.v1.
- [6] Min, B. J., & Waddell, J. (2024). Navigating New Frontiers: The Role of Artificial Intelligence (AI) in Environmental Innovation. *REMTECH 2024*.
- [7] Raviteja, K. V. N. S., & Reddy, K. R. (2023). Application of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Contaminated Site Remediation. R. Al Khaddar et al. (Eds.), *Recent Developments in Energy and Environmental Engineering*.
- [8] Sadeghfam, S., Hassanzadeh, Y., & Khatibi, R. (2019). Groundwater remediation through pump-treat-inject technology using optimum control by artificial intelligence (OCAI). *Water Resources Management*, 33, 1123–1145. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2171-6>

論述園地

屏東萬年溪都市河川中塑膠微粒之分佈、粒徑及形狀特徵

林雅婷助理教授、沈博雅碩士、謝秉衡助理教授
國立屏東科技大學 環境工程與科學系

摘要 (Abstract)

塑膠微粒(Microplastics, MPs)已成為全球關注的新興環境污染物，其中河川被視為陸源塑膠污染輸送至海洋的重要媒介。然而，臺灣南部都市河川塑膠微粒污染之相關研究仍相對缺乏。為瞭解都市河川中塑膠微粒之季節變化與空間分布特徵，本研究以屏東市萬年溪為研究對象，於豐枯水期進行表面水採樣，分析塑膠微粒之濃度、粒徑分布、形狀特徵及空間分布情形，並探討季節水文條件與人為活動對塑膠微粒污染之影響。

研究結果顯示，萬年溪塑膠微粒之分布受季節水文條件顯著影響。豐水期期間，降雨所造成之地表逕流將都市區累積之塑膠廢棄物大量輸送至河川，使塑膠微粒濃度與污染負荷明顯增加，污染熱點主要集中於下游之建國橋及希望之橋等測站；相對地，枯水期因河川流量降低、水體交換作用減弱，污染熱點則轉移至中游住宅區鄰近測站，顯示生活污水排放對塑膠微粒累積具有重要影響。此外，下游測站於枯水期濃度顯著下降，顯示萬年公園生態淨化設施及相關水工結構對塑膠微粒具有一定攔截與削減效果。

由塑膠微粒之粒徑分布結果顯示，塑膠微粒粒徑主要由 10-50 μm 所組成，且多呈高圓度顆粒狀，推測為塑膠廢棄物經長期風化、磨耗及破碎後所形成之次級塑膠微粒。其中，亦含有大於 100 μm 之塑膠微粒，其以低圓度纖維狀為主，可能源自合成纖維衣物洗滌廢水等近期排放來源；而 50-100 μm 粒徑範圍則以碎片及薄膜型態居多，可能為大型塑膠廢棄物降解過程中的過渡階段產物。整體而言，塑膠微粒粒徑與形狀特徵呈現明顯關聯性，可作為污染來源判釋及環境降解歷程分析之重要依據。

本研究證實季節降雨、都市逕流及生活污水排放為影響萬年溪塑膠微粒污染之主要因素。建議未來於豐水期加強都市逕流管理及道路清掃，以降低非點源污染輸入；於枯水期則應強化生活污水及商業廢水管理，並持續維護生態淨化設施，以有效降低塑膠微粒進入河川及下游水域之風險。研究成果可作為臺灣都市河川塑膠微粒污染監測與管理策略制定之重要參考。

關鍵字：塑膠微粒、萬年溪、都市河川、豐枯水期、都市逕流

一、前言 (Introduction)

塑膠材料因具有成本低、耐用性高及用途廣泛等特性，已成為現代社會不可或缺的重要材料。然而，大量塑膠製品使用後進入環境，由於其化學性質穩定且自然降解速率緩慢，易長期累積於陸域與水域環境。研究指出，每年約有 40 至 400 萬噸塑膠碎片經由河川輸送至海洋，使河川成為陸源塑膠污染進入海洋生態系的重要傳輸媒介，並對水域生態環境造成潛在威脅(Shao et al., 2024)。此外，COVID-19 疫情期間一次性醫療防護用品及塑膠製品使用量增加，亦進一步提高塑膠廢棄物進入環境之風險(Dey et al., 2023)。

塑膠廢棄物經紫外線照射、機械磨耗、生物作用及化學風化等作用逐漸破碎，可形成粒徑小於 5 mm 之塑膠微粒(Microplastics, MPs)。塑膠微粒具有粒徑小、比表面積大及易於遷移等特性，可廣泛存在於河川、湖泊、海洋及土壤等環境介質。依形成途徑可分為初級與次級塑膠微粒，前者主要源自工業樹脂粒、塑膠微珠及研磨材料等直接製造之微小塑膠顆粒；後者則由大型塑膠製品經長期風化、光氧化及機械磨耗後裂解形成，為環境中重要且廣泛之塑膠微粒來源(Seren, 2024a)。此外，塑膠微粒經風化後表面可能產生含氧官能基，進而增加其吸附重金屬、有機污染物及微生物之能力，可能擴大其環境風險(Li et al., 2025)。

塑膠微粒來源涵蓋工業、民生及農業活動，包括塑膠加工、工業排放、合成纖維衣物洗滌、個人護理產品、輪胎磨耗及居家用品老化等，其中纖維型塑膠微粒常見於都市河川，反映生活污水及洗滌廢水之影響(Zhou et al., 2020)。其進入河川之途徑主要包括污水處理廠放流水等點源污染，以及都市逕流、農業逕流與降雨沖刷等非點源污染。雖然污水處理設施可有效去除部分塑膠微粒，仍可能有微粒隨放流水進入水體(Sol et al., 2023)；尤其於暴雨期間，大量地表逕流可將都市累積之塑膠微粒迅速輸送至河川，使污染負荷短時間內增加(Sandil et al., 2025)。此外，河川之流速、季節降雨及水工結構亦會影響塑膠微粒之遷移與沉積，使其於特定區域形成污染熱點。

萬年溪位於屏東市中心，流域高度都市化，長期承受生活污水、道路逕流及都市活動所造成之環境壓力，具有典型都市溪流特徵。然而，目前臺灣南部都市河川塑膠微粒污染研究仍相對有限，尤其缺乏不同季節條件下之濃度變化及空間分布資料。因此，本研究以萬年溪為研究對象，於豐枯水期進行表面水採樣，分析塑膠微粒之濃度、粒徑及形狀等，並探討季節降雨及都市化活動對其分布之影響。研究成果可補充臺灣都市河川塑膠微粒污染資料，並作為河川污染監測、塑膠廢棄物源頭減量及環境管理策略制定之參考。

二、實驗材料及分析方法

2.1 研究區域與採樣點設置

採樣點沿著萬年溪上游海自市郊的瑞光路、大連路一帶流入，中游則貫穿都市核心區域，流經著名的千禧公園並與自由路、自立路等高密度住宅區相鄰，顯示其與都市生活污染源的緊密連結。下游段最終與殺蛇溪匯合後，共同注入牛稠溪，並匯入高屏溪水系。

本研究選擇萬年溪沿岸 9 個測站依序為：A-海豐濕地、B-廣東橋、C-勝利橋、D-民貴二街橋、E-公園橋、F-民和橋、G-天公廟、H-建國橋及 I-希望之橋（位置及座標如圖 1 所示）。

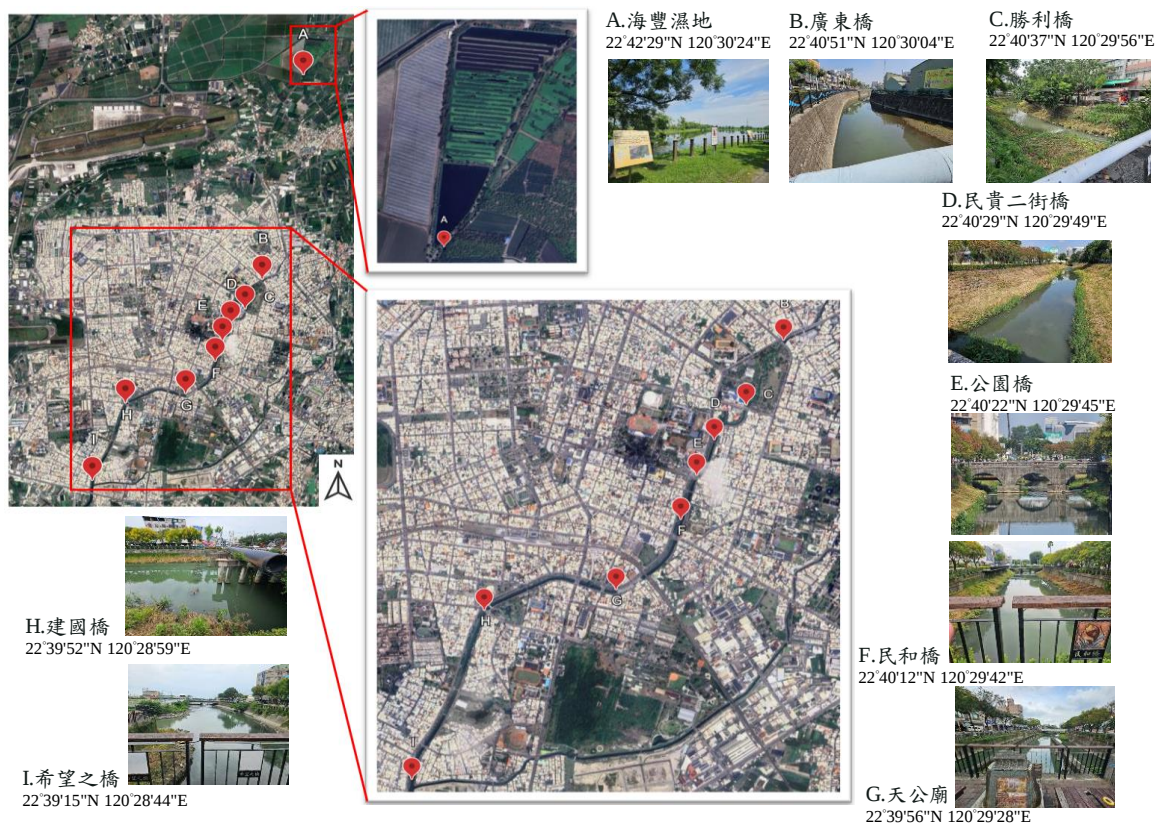


圖 1 萬年溪沿岸 9 個測站地圖。採樣位置以紅色圖例標記

2.2 樣品收集

本研究為探討塑膠微粒在不同季節之時空分布，於 2025 年 10 月(豐水期)及 12 月(枯水期)進行定點採樣。依據環境部公告之河川、湖泊及水庫水質採樣方法(NIEA W104.52C)進行屏東萬年溪之表面水體採樣作

業。

考量萬年溪河道型態之差異，斷面採樣點數量依據河寬進行標準化配置：凡河寬大於 6 公尺之測站，分別於左岸、河中央及右岸各設置一處採樣點，共計三點以涵蓋斷面水質特性；若河寬在 6 公尺(含)以下，則僅於河川斷面中央處設置單一採樣點。此外，若測站鄰近橋樑，採樣作業統一於橋樑上游處進行，以排除橋墩構造對水流與微粒分佈造成之物理擾動。採樣過程中，視現場環境選用不鏽鋼容器進行採集。為避免樣品受到交互污染或背景干擾，所有器材之材質與清洗程序均符合標準規範，並嚴格選用不含塑膠成分之輔助繩索，以防止人為污染。收集樣品後亦於現場進行溫度、pH 值、導電度、水中溶氧量之量測。

2.3 樣品前處理與分析

由於河川中水樣含有藻類、生物膜及天然有機物質等複雜組成，因此採用兩階段化學氧化法搭配尼羅紅螢光染色技術進行樣品前處理。兩階段之氧化步驟為利用雙重氧化劑的特性，在不破壞塑膠聚合物的前提下，最大程度降低有機雜質對後續螢光顯微觀測之背景干擾。第一階段為將採集之水樣加入次氯酸鈉(Sodium hypochlorite, NaOCl)，使其最終濃度為 10 mg/L，並於室溫下靜置反應 24 小時，利用次氯酸鈉之強氧化力降解懸浮有機物及瓦解生物膜結構；第二階段則為每公升樣品添加 10 mL 濃度為 30%之過氧化氫(Hydrogen peroxide, H_2O_2)，隨後於室溫條件下靜置一週，待有機物質氧化完全後，以 1.6 μm 之玻璃纖維濾紙進行真空過濾，以截留水體中之塑膠微粒(蒙莉安, 2023)。

另為防止特定有機溶劑溶解特定塑膠材質(如聚苯乙烯)，選用非極性溶劑正己烷稀釋配製尼羅紅染液(Ho et al., 2024)。以正己烷配製 50 mg/L 之尼羅紅原液，並於實驗前將其稀釋 10 倍至 5 mg/L 作為使用溶液。以浸泡法進行染色程序，將載有塑膠微粒之濾紙轉移至燒杯中，滴入尼羅紅工作染液直至完全覆蓋濾紙表面。為避免正己烷揮發及染劑發生光解，燒杯口立即以鋁箔紙密封，並於暗處反應 30 分鐘。待反應結束後，利用正己烷緩慢淋洗濾紙表面，以降低背景干擾。待溶劑完全揮發乾燥後，進行後續顯微鏡觀察與影像分析。

塑膠微粒之辨識使用正立式螢光顯微鏡(Upright fluorescence microscope, BX53, Olympus Corporation, Tokyo, Japan)進行識別。影像擷取系統由螢光顯微鏡及高解析度數位相機組成。顯微鏡觀察時，首先使

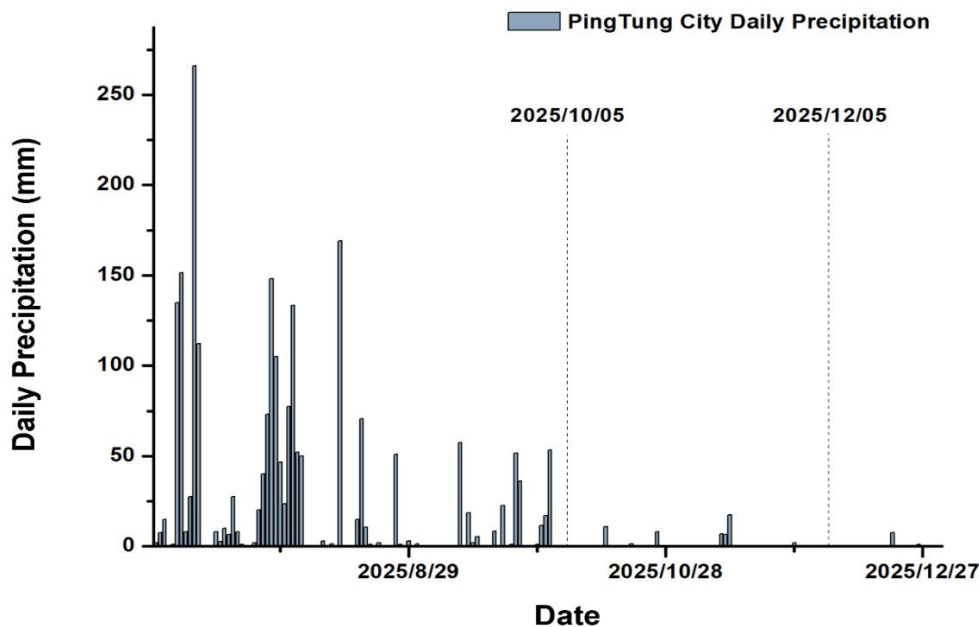
用 4 倍物鏡進行大範圍掃描，以觀察及定位較大尺寸之疑似塑膠微粒；再以 10 倍物鏡進行放大觀察，以確認顆粒之形態及螢光特徵。為降低藻類、天然有機物及其他具螢光特性物質所造成之誤判，本研究進一步採用亮視野與螢光影像交叉比對，確認顆粒之外觀、形態及螢光反應後，再於暗視野條件下進行影像擷取。最終利用 ImageJ 影像分析軟體進行塑膠微粒之計數與形態分析，並依據影像結果量測其粒徑及圓度，以建立水樣中塑膠微粒之數量、尺寸及形態分布。

三、 結果與討論(Results and Discussion)

3.1 豐、枯水期對萬年溪表面水體塑膠微粒濃度分布之影響

Date

本研究解析萬年溪流域表層水中塑膠微粒濃度之時空分布特徵，並參考屏東市 2025 年降雨統計資料(如圖 2)，10 月之日平均降雨量為 9.26 mm，明顯高於 12 月之 1.15 mm，顯示兩月份具有明顯不同之降雨條件，可分別作為豐枯水期之代表月份。



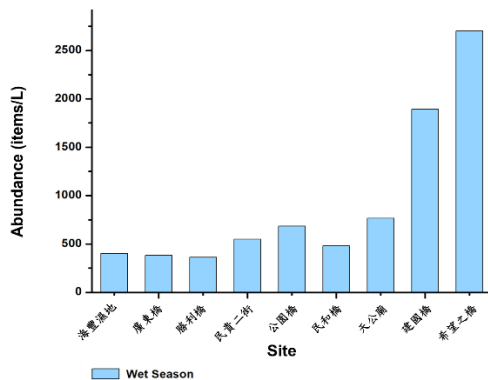
依據各測站之地理位置及周邊土地利用特性，萬年溪自中游民貴二街測站至下游希望之橋測站，河道主要穿越屏東市人口密集之住宅區，周邊人為活動頻繁，土地利用型態以住宅區及都市建成區為主。因此，此區段可能承受較高程度之生活污水排放、都市地表逕流及人為活動所產生之塑膠廢棄物輸入，進而影響河川表層水中塑膠微粒之濃度及空間分布。

由 2025 年 10 月豐水期之採樣結果顯示，全流域表層水中塑膠微粒濃度介於 361-2,702 items/L，不同採樣位置間呈現明顯之空間差異。由圖 3(a)可知，自上游海豐濕地至中游天公廟河段，塑膠微粒濃度整體呈現相對平穩之變化，約介於 361-767 items/L；然而，當河川進入建國橋及希望之橋等下游河段後，塑膠微粒濃度則明顯升高。其中，建國橋測站濃度達 1,892 items/L，而位於流域最下游之希望之橋測站更測得全流域最高濃度 2,702 items/L，約為中上游部分測站之數倍。

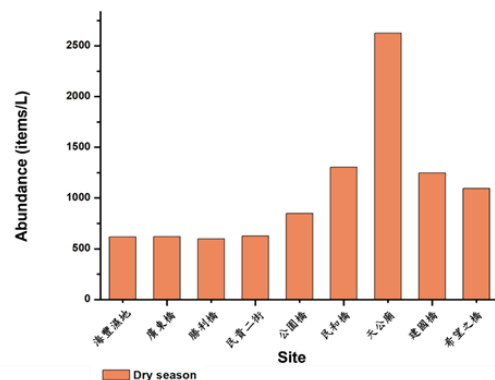
2025 年 10 月 5 日豐水期採樣前，8 月至 9 月期間曾受到颱風楊柳及樺加沙及其外圍環流影響，可能造成流域較為頻繁之降雨事件。強降雨所形成之大量地表逕流，不僅可增加都市區域之逕流量，亦可能提高河川流速及水流動能，使原先累積於道路、住宅區及河岸周邊環境中之塑膠廢棄物及微小塑膠顆粒更容易經由地表逕流輸入河川。同時，較高之水流動能亦可能沖刷河岸及河床中原先滯留之塑膠微粒，促進其再懸浮及向下游輸送。因此，豐水期塑膠微粒濃度於下游河段明顯升高之現象，可能與前期颱風及降雨事件所造成之地表沖刷、污染物輸送及下游匯集作用有關。

此外，雖然中游部分河段設置水岸生態工程，可能具有一定程度之污染物攔截與滯留功能，但於強降雨所造成之高逕流量及高水流動能條件下，其攔截效能可能受到限制，使部分塑膠微粒得以持續向下游遷移。由此可見，豐水期塑膠微粒之空間分布可能不僅受到污染源位置影響，亦與降雨事件所驅動之輸送及再懸浮機制密切相關。

(a) 豐水期



(b) 枯水期



(c) 豐枯水期比較

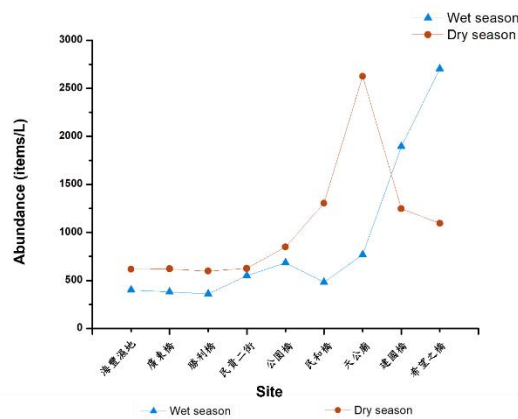


圖 3 萬年溪(a)豐水期、(b)枯水期各測站總濃度分析及
(c)豐枯水期各測站濃度分布比較圖

相較之下，2025 年 12 月 5 日枯水期之採樣結果呈現與豐水期明顯不同之空間分布特徵。中上游河段自海豐濕地至勝利橋測站之塑膠微粒濃度大致維持於 600 items/L 左右；當河川進入人口密集之住宅區後，濃度則逐步升高，並於天公廟測站達到枯水期最高值 2,625 items/L。然而，進入下游河段後，建國橋及希望之橋測站之濃度分別降至 1,247 及 1,095 items/L，呈現由中游高值向下游逐漸降低之趨勢。此一分布型態與豐水期於下游持續升高之現象明顯不同，顯示不同水文條件下，塑膠微粒可能具有不同之輸送與滯留特性。

綜合豐、枯水期之空間分布結果，萬年溪塑膠微粒之遷移與累積可能受到生活污水輸入、水文條件及水岸生態工程等多重因素之交互作用影響。首先，萬年溪中下游河段主要流經人口密集之住宅區，日常生活活動可能產生含塑膠微粒之污水，例如衣物洗滌所產生之合成纖維，並持續經由生活污水輸入河川，形成相對穩定之塑膠微粒來源。於枯水期

期間，屏東地區降雨量較低且河川流量相對有限，水體之稀釋及輸送能力降低，使生活污水所帶入之塑膠微粒較容易於局部河段累積，而不易快速向下游輸送。此一情況可能是天公廟測站於枯水期出現 2,625 items/L 高濃度之原因之一，反映該區段可能具有較高之塑膠微粒輸入及滯留特性。

枯水期塑膠微粒濃度於下游建國橋及希望之橋測站並未延續天公廟測站之高值，反而分別下降至 1,247 及 1,095 items/L。此現象可能與該區段已完成之「萬年溪水岸空間環境改善工程」有關。依據工程設計，萬年溪水體經由抽水設備引入園區後，依序流經過濾桶、沉砂池、漂浮植物淨化池、疊瀑水道及礫間水道等多重生態處理設施；此外，建國橋與希望之橋之間亦設置橡皮壩，以提高水位，並將部分溪水引流至復興公園水域進行循環淨化(如圖 4)。在枯水期較低流量及流速之條件下，上述設施可能增加水體之水力停留時間，使部分懸浮性塑膠微粒透過沉降、過濾及設施攔截等作用而降低其濃度，進而造成下游測站濃度下降。

然而，應注意的是，本研究目前係依據兩個季節之單次採樣結果進行比較，因此水岸生態工程對塑膠微粒濃度降低之實際貢獻仍需透過更多時序採樣及工程前後之監測資料進一步驗證。換言之，下游濃度下降除可能與生態淨化設施之攔截及沉降作用有關外，亦可能受到當時河川流量、污染物輸入量及水體稀釋程度等因素影響。因此，本研究將其視為可能之影響機制，而非單一決定因素。

整體而言，萬年溪表層水中塑膠微粒呈現明顯之豐、枯水期時空分布差異。枯水期之高濃度主要出現在人口密集之住宅區河段，可能與生活污水持續輸入及低流量條件下之污染物累積有關；而下游濃度下降則可能與水岸生態工程所提供之沉降、過濾及攔截作用有關。相對地，豐水期受到颱風及強降雨事件影響，大量地表逕流及較高水流動能可能促進塑膠微粒之沖刷、再懸浮及下游輸送，使建國橋及希望之橋等下游測站之濃度顯著升高，形成明顯之下游累積現象(如圖 3(c))。因此，萬年溪塑膠微粒之空間分布並非單純由污染源位置所決定，而可能受到污染源輸入、水文條件、河川輸送特性及水岸生態工程等多重因素共同控制。



圖 4 萬年溪改造工程-(a)橡皮壩引溪水及(b)復興公園水域

3.2 塑膠微粒形態特徵之物理分析

3.2.1 尺寸分佈與污染溯源

雖然 10-50 μm 之微小粒徑塑膠微粒占萬年溪總濃度之 85% 以上，然 50-100 μm 及 >100 μm 等較大粒徑塑膠微粒之空間分布仍呈現明顯之環境意涵。公園橋至希望之橋河段流經人口密集住宅區，並鄰近屏東市主要交通幹道與大型道路，頻繁之交通活動及都市生活可能持續提供額外污染來源。交通活動所產生之輪胎磨耗微粒(Tire wear particles, TWPs)及道路粉塵，可經風力或降雨逕流進入水體；生活污水亦可能夾帶較大型塑膠碎片及其風化產物。相關研究指出，交通活動衍生之微粒可透過地表逕流大量輸送至鄰近水域，成為都市河川塑膠微粒的重要來源之一(Shao et al., 2024)。

季節性水文條件及河岸工程亦會影響塑膠微粒之傳輸與累積。枯水期河川基流量及流速降低，使鄰近污染源排放之較大粒徑微粒較易滯留於河道。公園橋至天公廟間之 50-100 μm 及更大粒徑微粒呈現累積現象，其中天公廟測站 50-100 μm 濃度達 195 items/L，為全區最高值，顯示該區段可能具有較明顯之污染輸入與滯留效應。然而，河水流經「萬年溪水岸空間環境改善工程」後，建國橋及希望之橋之 10-50 μm 微粒濃度明顯下降，顯示低流量及較高水力停留時間下，河岸生態工程可能具有一定之截留與過濾作用。

豐水期雖然 10-50 μm 微粒仍占主要比例，但建國橋及希望之橋之 >50 μm 微粒濃度較中、上游增加，可能與颱風及強降雨造成之逕流冲刷有關。

強降雨不僅促進微粒向下游輸送，亦可能將道路周邊累積之交通相關顆粒、塑膠碎片及其他陸源污染物大量沖刷入河；當污染負荷超過生態工程設施之攔截能力時，較大粒徑微粒可能進一步向下游輸送。此結果與 Zhang et al. (2023)指出強降雨可將道路周邊累積之塑膠污染物沖刷進入排水系統及鄰近水體之研究結果一致。

整體而言，萬年溪塑膠微粒之粒徑分布與空間動態受到都市交通活動、住宅區生活排放、季節性水文條件及河岸工程等多重因素共同影響。豐水期強降雨可能強化陸源污染物之沖刷與下游輸送，而枯水期低流量則有利於污染物局部滯留及工程設施截留。因此，粒徑分布特徵可作為解析都市河川塑膠微粒污染來源及傳輸機制之重要環境指標。

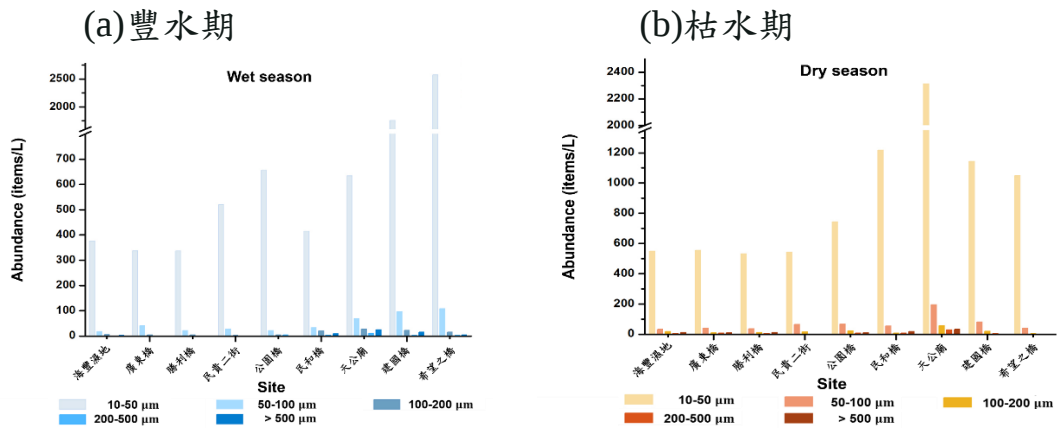


圖 5 (a) 豐及 (b) 枯水期之各測站塑膠微粒粒徑分佈

3.2.2 形狀特徵與來源解析

為進一步解析萬年溪塑膠微粒之潛在污染來源及其環境傳輸特徵，本研究引入量化之幾何形態指標，以提升塑膠微粒形狀分類之客觀性與一致性。本研究採用 Huq et al. (2026)提出之圓度指標(Circularity, C)描述微粒之外觀形態，其計算公式如式(1)所示：

$$C = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (1)$$

其中，A 為塑膠微粒之投影面積，P 為其周長。圓度指標為介於 0 與 1 之間的無因次量，數值越接近 1，表示微粒形狀越接近正圓；反之，數值越接近 0，則代表其形狀越細長、扁平或具有較不規則之邊緣。

依據圓度指標之量化結果，本研究將萬年溪各測站採集之塑膠微粒依圓度分為三種主要形態：纖維(0.0-0.3)、薄膜(0.3-0.6)及顆粒(0.6-1.0) (Ho et al., 2024)。

整體而言，不論季節或測站位置，高圓度顆粒($C > 0.6$)皆為萬年溪最主要之形態，約占總塑膠微粒數量 60-80%以上(如圖 6)，此結果可能反映大型塑膠製品經長期水流沖刷、顆粒碰撞及底質研磨等物理作用後，逐漸破碎並形成較小且相對圓鈍之次級塑膠微粒。

豐水期受降雨及地表逕流沖刷影響，各測站形態分布較為一致，高圓度顆粒占比普遍約 80%；惟位於人口密集住宅區之天公廟測站，纖維占比局部增加至約 12%，可能與生活污水及洗衣活動所產生之合成纖維輸入有關。相較之下，枯水期因基流量較低、水體交換及污染物輸送能力降低，各測站形態差異較為明顯，高圓度顆粒占比略降，而薄膜及纖維比例增加。例如勝利橋纖維比例明顯上升，公園橋薄膜比例接近 30%。此現象可能反映低基流條件下，街道及住宅區來源之污染物較易於排放源附近滯留與累積，顯示季節性水文條件及都市土地利用共同影響萬年溪塑膠微粒之形態分布與潛在污染來源。

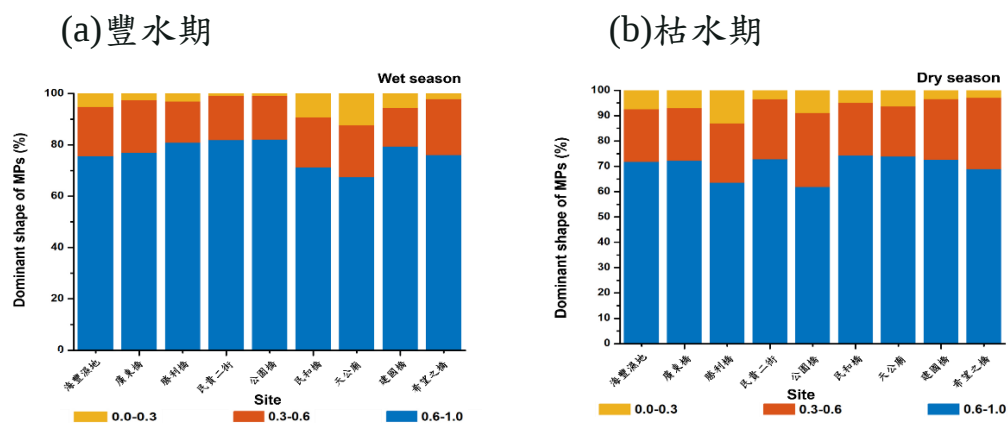


圖 6 (a) 豐及 (b) 枯水期各測站之塑膠微粒圓度(形狀)分佈

3.3 塑膠微粒圓度與尺寸交叉分析

為深入探討萬年溪水體中塑膠微粒之環境行為與物理風化特徵，本研究進一步交叉分析豐、枯水期塑膠微粒之粒徑與圓度分布。結果顯示(圖 7)，兩季皆呈現明顯且一致之「粒徑增加、圓度降低」趨勢。10-50 μm 微小粒徑以高圓度顆粒($C=0.6-1.0$)為主，豐、枯水期分別占 81.3 及 75.9%；當粒徑增加至 50-100 μm 後，中圓度形態($C=0.3-0.6$)成為主要類型，占 44.0 及 42.3%；而於 $>100 \mu\text{m}$ 之較大粒徑中，低圓度纖維($C=0.0-0.3$)比例明顯增加，且 $>500 \mu\text{m}$ 級距於兩季皆僅觀察到纖維型態。此分布特徵，顯示塑膠微粒之粒徑與形態可能主要受到污染來源及長期物理風化作用控制，而非單純受季節水文條件影響。

就 $>100\ \mu\text{m}$ 之大粒徑塑膠微粒而言，其以纖維為主，可能與住宅區生活污水及洗衣活動所排放之合成纖維有關。此類纖維進入水體時間較短，尚未經歷充分之物理破碎與風化，且原始形態細長柔韌，於水流作用下較不易快速磨圓，因此可維持較大粒徑及低圓度特徵。 $50\text{-}100\ \mu\text{m}$ 級距則以薄膜及碎片類型較為突出，可能反映塑膠袋、包裝材料等都市塑膠廢棄物經地表逕流帶入水體後，已經歷初步破碎之過渡階段。

相較之下， $10\text{-}50\ \mu\text{m}$ 級距以高圓度顆粒占絕對優勢，可能代表塑膠碎片經長期水流沖刷、底質摩擦及光降解等作用後，不規則邊緣逐漸磨損並持續破碎，最終形成較小且圓鈍之塑膠微粒。綜合而言，萬年溪塑膠微粒呈現「大粒徑-低圓度纖維、中粒徑-中圓度薄膜、小粒徑-高圓度顆粒」之穩定分布特徵，可能反映由近期生活污水輸入、初步破碎至長期風化形成微小顆粒之連續環境轉變過程。

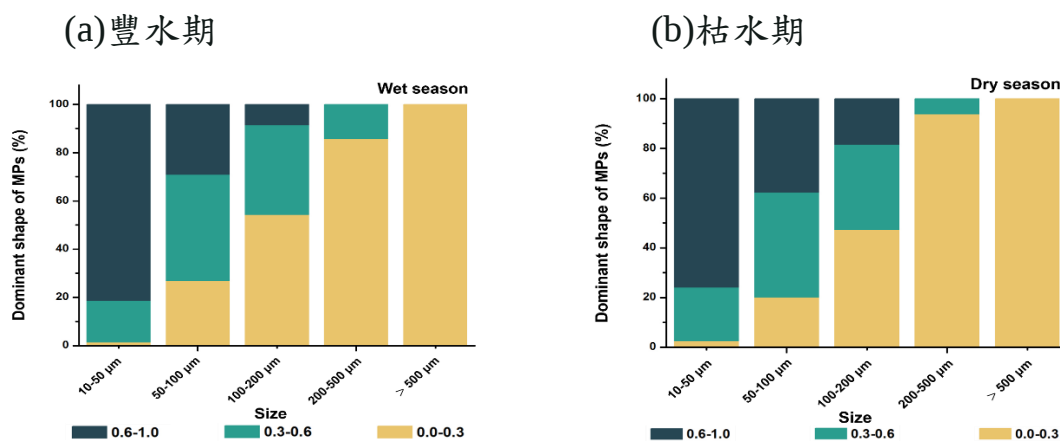


圖 7 (a) 豐及 (b) 枯水期塑膠微粒粒徑及圓度分布比例

四、 結論與未來展望 (Conclusion and Future Perspectives)

4.1 結論

本研究透過系統性採樣與分析，探討萬年溪表面水體塑膠微粒之時空分布、污染來源及潛在生態風險，主要結論如下：

- (1) 萬年溪塑膠微粒之空間分布與污染熱點受季節水文條件顯著影響。豐水期強降雨及地表逕流將都市不透水鋪面累積之非點源污染物大量沖刷入河，使污染熱點集中於下游建國橋及希望之橋；枯水期則因基流量及流速降低，污染物較易於中游住宅區滯留，天公廟成為較明顯之生活污水污染熱點。此外，枯水期下游測站濃度降低，顯示萬年公

園生態淨化設施於低流速條件下具有一定之塑膠微粒攔截與過濾效能。

- (2) 塑膠微粒粒徑與圓度呈明顯反比關係。10-50 μm 微小粒徑占絕大多數，且以高圓度顆粒為主，可能代表長期風化與研磨後之次級塑膠微粒；>100 μm 較大粒徑則以低圓度纖維為主，可能與住宅區洗衣廢水之近期輸入有關；50-100 μm 則以碎片及薄膜為主，可能反映大型塑膠廢棄物經逕流沖刷及初步破碎後之過渡型態。

綜合而言，都市型河川塑膠微粒管理應採季節性策略：豐水期強化都市逕流攔截與街道清掃，降低強降雨造成之污染沖刷；枯水期則加強住宅及商業污水處理，削減微纖維點源輸入；同時持續維護與優化萬年公園及下游生態淨化設施，以降低塑膠微粒進入河川之負荷與潛在生態風險。

4.2 未來展望

本研究了解萬年溪表面水體塑膠微粒之時空分布與潛在傳輸特徵，另為降低塑膠微粒對水域生態系統及藍色經濟之潛在影響，綜合本研究結果與相關文獻，提出以下建議：

(1) 強化污染來源解析

除粒徑與形態分析外，建議利用傅立葉轉換紅外光譜(FTIR)或拉曼光譜分析塑膠微粒之聚合物種類、表面官能基及風化特徵，並結合測站位置、土地利用與水文條件進行來源鑑識，以建立都市河川塑膠微粒之污染來源指紋，作為後續精準管制依據。

(2) 強化源頭管制與生活污水截留

研究顯示，較大粒徑及纖維型塑膠微粒可能與住宅區生活污水及洗衣活動有關。因此，除提升污水下水道接管率及強化生活污水截流外，亦可推動洗衣設備加裝微纖維過濾裝置，降低合成纖維進入水體之機會；同時建立塑膠微粒排放管理規範，從源頭降低都市河川之塑膠污染負荷。

參考文獻

- [1] Dey, U., Raj, D., Mondal, M., Roy, P., Mukherjee, A., Mondal, N. K., & Das, K. (2023). Microplastics in groundwater: An overview of source, distribution, mobility constraints and potential health impacts during the anthropocene. *Groundwater for Sustainable Development*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101036>
- [2] Huq, M. F., Dhaoui, R., Weerakkody, E., Alfuhaid, S., Radousky, H., & Curreli, D. (2026). NanoPSD: A software for automatic detection of Nano-Particle Shape Distribution in electron microscopy images. *Computational Materials Science*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2026.114781>
- [3] Ho, D., Liu, S., Wei, H., & Karthikeyan, K. G. (2024). The glowing potential of Nile red for microplastics Identification: Science and mechanism of fluorescence staining. *Microchemical Journal*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109708>
- [4] Li, Q., Cheng, W., Wang, H., Chen, J., Qin, Y., Sheng, R., Peng, S., Li, Z., Lu, T., & Sun, L. (2025). Developmental toxicity of functionalized polystyrene microplastics and their inhibitory effects on fin regeneration in zebrafish. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 299, 110358. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2025.110358>
- [5] Sandil, S., Tserendorj, D., Karoly, A., Grenni, P., Rolando, L., Dobosy, P., Domolki, B., & Zaray, G. (2025). Microplastic and microfiber contamination in the Tiber River, Italy: Insights into their presence and chemical differentiation. *Mar Pollut Bull*, 212, 117598. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117598>
- [6] Seren, A. A. (2024a). An overview of microplastic in marine waters: Sources, abundance, characteristics and negative effects on various marine organisms. *Desalination and Water Treatment*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100138>
- [7] Shao, H., Wang, Q., Wang, L., Lei, X., Dai, S., Li, T., Zhu, X., & Mao, X. Z. (2024). Source identification of microplastics in highly urbanized river environments and its implications for watershed management. *Sci Total Environ*, 950, 175308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175308>
- [8] Sol, D., Solis-Balbin, C., Laca, A., Laca, A., & Diaz, M. (2023). A standard analytical approach and establishing criteria for microplastic concentrations in wastewater, drinking water and tap water. *Sci Total Environ*, 899, 165356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165356>
- [9] Zhang, J., Ding, W., Zou, G., Wang, X., Zhao, M., Guo, S., & Chen, Y. (2023). Urban pipeline rainwater runoff is an important pathway for land-based microplastics transport to inland surface water: A case study in Beijing. *Sci Total Environ*, 861, 160619. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160619>
- [10] Zhou, G., Wang, Q., Zhang, J., Li, Q., Wang, Y., Wang, M., & Huang, X. (2020). Distribution and characteristics of microplastics in urban waters of seven cities in the Tuojiang River basin, China. *Environ Res*, 189, 109893. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109893>
- [11] 蒙莉安. (2023). 以尼羅紅法分析台灣自來水廠中的塑膠微粒. 國立成功大學. 臺灣博碩士論文知識加值系統. 台南市. <https://hdl.handle.net/11296/5u89f8>

徵稿啟事

- 一、 本會會訊提供會員及專家學者發表環境領域新知、技術與專業經驗等。
- 二、 專題稿件以環境相關理論與實務、環境法規、環境保護理念之論述為原則，採技術報導或論文等撰寫形式皆可，文長以 8000 字以內為原則，所附圖表或照片應清晰，稿件禁止以公司集體智慧，有著作權、業主版權疑問或抄襲複製等情事，以免觸法。
- 三、 會訊以雙月刊週期出版，出版日期為奇數月 10 日，投稿稿件須於出版日之 15 日以前，以電子檔案寄（送）抵公會。
- 四、 專題稿件稿酬之文字單價為每字新台幣 2 元，原創照片與圖表單價為每幀新台幣 500 元，每篇稿酬以新台幣 12,000 元為上限；特殊專文之稿酬另案處理。
- 五、 本會負有以下權利與義務：
 - （一）專題稿件之審閱。
 - （二）提供審閱意見請撰稿者修改或回覆。
 - （三）決定專題稿件刊登與否。專題稿件之審閱及審閱意見之提供，必要時得請相關專長之專家學者擔任。
- 六、 會訊為專業交流之發佈管道。具名撰稿者刊登之稿件內容，不代表本會的意見或立場。具名撰稿者應遵守智慧財產權等相關法令，以及無條件負擔因其稿件內容刊登所衍生之責任。

各公會會員大會、理監事會會議紀錄

中華民國環境工程技師公會全國聯合會

第 12 屆第 1 次會員代表大會會議紀錄

壹、時間：中華民國 115 年 7 月 18 日（星期六）10 時 20 分

貳、地點：臺大醫院國際會議中心 402AB 廳(台北市徐州路 2 號)

參、列席指導：(無)

肆、出席人員：應到 60 人，實到 55 人

(親自出席 43 人，委託出席 12 人)

伍、大會主席：林理事長威安

陸、提案討論：

提案 1· 提案人：理事會

案由：114 年度收支決算表（如附件一），提請審議。

決議：照案通過。

提案 2· 提案人：理事會

案由：114 年度資產負債表（如附件二），提請審議。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事會

案由：114 年度現金出納表（如附件三），提請審議。

決議：照案通過。

提案 4· 提案人：理事會

案由：114 年度基金收支表（如附件四），提請審議。

決議：照案通過。

提案 5· 提案人：理事會

案由：115 年度收支預算表（如附件五），提請審議。

決議：照案通過。

柒、理監事選舉

一、選舉方式：依據人民團體選舉罷免法採無記名連記法投票，理事可圈選至多 15 人，監事可圈選至多 5 人。

二、選舉過程：

理事選舉-監票：林清洲、唱票：姚宗岳、記票：曾寶山。

監事選舉-監票：范綱智、唱票：范振國、記票：陳冠霖。

三、選舉結果：

1. 理事：

選舉人出席 55 位(含委託出席 12 位)，領票數 55 張，投(開)票數 53 張，有效票 53 張，無效票 0 張。

當選理事(依得票數順序)：

蕭友琳 53 票、王朝民 53 票、范振國 53 票、黃智 53 票、黃福全 53 票、楊基振 53 票、劉敏信 52 票、黃義雄 52 票、林威安 52 票、高信福 52 票、陳冠霖 51 票、粘愷峻 51 票、張耿榕 51 票、曾寶山 51 票、林清洲 50 票，共 15 人。

候補理事：張文彥 6 票、黃振倉 3 票。

2. 監事：

選舉人出席 55 位(含委託出席 12 位)，領票數 55 張，投(開)票數 52 張，有效票 52 張，無效票 0 張。

當選監事(依得票數順序)：

周奮興 51 票、林永欽 51 票、黃啓明 51 票、范綱智 51 票、張天益 47 票，共 5 人。

候補監事：許定華 6 票。

捌、臨時動議

提案 1· 提案人：楊基振技師 連署人：高信福技師

案由：修正本會章程第 10 條有關「會員代表選派人數計算方式」，由現行「每滿 10 人選派 1 人」調整為「每滿 20 人選派 1 人」，提請討論。

說明：修正本會章程第 10 條有關「會員代表選派人數計算方式」，由現行「每

滿 10 人選派 1 人」調整為「每滿 20 人選派 1 人」，提請討論。

● 新舊條文對照表：

修正 後條 文	會員代表由每一會員就其所屬會員中選派之，其選派人數之計算：每一會員其所屬會員人數 <u>每滿二十人</u> 可選派代表一人，至少四人，會員人數 <u>達八十人</u> 以上，且 <u>尾數達十人以上</u> ，得增派代表一人。
現行 條文	會員代表由每一會員就其所屬會員中選派之，其選派人數之計算：每一會員其所屬會員人數 <u>每滿十人</u> 可選派代表一人，至少十五人，會員人數 <u>尾數達五人</u> 以上得增派代表一人。

玖、散會

第 12 屆第 1 次理事會會議紀錄

壹、時 間：中華民國 115 年 7 月 25 日上午 11 時 00 分

貳、地 點：本會會議室（台北市長安西路 342 號 4 樓之 1）

參、召 集 人：林理事長威安

肆、出席人員：王朝民、范振國、黃智、黃福全、楊基振、
蕭友琳、林威安、高信福、黃義雄、劉敏信、
粘愷峻、陳冠霖、曾寶山、林清洲

伍、缺席人員：（無）

陸、請假人員：張耿榕

柒、列席人員：（無）

捌、記 錄：陳秋婷

玖、常務理事、理事長選舉

（一）、常務理事選舉：

1.選舉方式：由理事依據人民團體選舉罷免法採無記名連記法投票，
可圈選至多 5 人。

2.選舉過程：由黃啓明唱票、林永欽記票、周奮興監票。
開出 14 張選票，有效票數 14 張。

3.選舉結果：范振國 14 票、黃智 14 票、黃福全 14 票、
陳冠霖 14 票、楊基振 13 票
常務理事當選人為
范振國、黃智、黃福全、陳冠霖、楊基振

（二）、理事長選舉：

1.選舉方式：由理事採無記名投票，可圈選至多 1 人。

2.選舉過程：由林威安唱票、陳冠霖記票、粘愷峻監票。
開出 14 張選票，有效票數 14 張。

3.選舉結果：楊基振 14 票，理事長當選人為楊基振。

壹拾、 理事長交接

壹拾壹、主持人：楊理事長基振

壹拾貳、報告事項：

(一) 第 11 屆第 12 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	115 年 1-3 月收支決算表、資產負債表、現金出納表提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 2	
案由	115 年度會員代表大會名冊提請審議。
決議	照案通過。
內政部備查	修正後通過。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 3	
案由	115 年度會員代表大會相關事項提請審議。
決議	照說明通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 4	
案由	有關本會與環境部環管署合辦講習會課程事宜，提請討論。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 5	
案由	有關編撰技師簽證應注意之書件重點內容彙編，提請討論。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。

壹拾參、討論提案

提案 1· 提案人：理事長

案由：115 年 1-6 月收支決算表（如附件一）提請審議。

決議：照案通過。

提案 2· 提案人：理事長

案由：115 年度資產負債表（如附件二）提請審議。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事長

案由：115 年 1-6 月現金出納表（如附件三）提請審議。

決議：照案通過。

壹拾肆、散會

第 12 屆第 1 次監事會會議紀錄

壹、時 間：中華民國 115 年 7 月 25 日上午 11 時 00 分

貳、地 點：本會會議室（台北市長安西路 342 號 4 樓之 1）

參、召 集 人：楊常務監事基振

肆、出席人員：周奮興、林永欽、范綱智、黃啓明、張天益

伍、缺席人員：（無）

陸、請假人員：（無）

柒、列席人員：（無）

捌、記 錄：陳秋婷

玖、常務監事選舉

一、選舉方式：由監事採無記名投票，可圈選至多 1 人。

二、選舉過程：由黃啓明唱票、林永欽計票、張天益監票。

開出 5 張選票，有效票數 5 張。

三、選舉結果：張天益 5 票。

常務監事當選人為張天益。

壹拾、主持人：張常務監事天益

壹拾壹、討論提案

提案 1· 提案人：理事長

案由：115 年 1-6 月收支決算表（如附件一）理事會已完成審議，提請監察。

決議：照案通過。

提案 2· 提案人：理事長

案由：115 年度資產負債表（如附件二）理事會已完成審議，提請監察。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事長

案由：115 年 1-6 月現金出納表（如附件三）理事會已完成審議，提請監察。

決議：照案通過。

壹拾貳、散會

台灣省環境工程技師公會

第 13 屆第 3 次會員大會會議紀錄

壹、時間：中華民國 115 年 7 月 18 日下午 2 時 30 分

貳、地點：臺大醫院國際會議中心 301 廳(台北市徐州路 2 號)

參、講座：AIOT 在環保領域的應用（前環保署—蔡鴻德署長）

肆、列席指導：(無)

伍、出席人員：應到 603 人，實到 345 人

(親自出席 264 人，委託出席 81 人)

陸、大會主席：劉理事長敏信

柒、提案討論：

提案 1· 提案人：理事會

案由：114 年度收支決算表（如附件一），提請審議。

決議：照案通過。

提案 2· 提案人：理事會

案由：114 年度資產負債表（如附件二），提請審議。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事會

案由：114 年度現金出納表（如附件三），提請審議。

決議：照案通過。

提案 4· 提案人：理事會

案由：114 年度基金收支表（如附件四），提請審議。

決議：照案通過。

提案 5· 提案人：理事會

案由：114 年度財產目錄（如附件五），提請審議。

決議：照案通過。

提案 6· 提案人：理事會

案由：115 年度收支預算表（如附件六），提請審議。

決議：照案通過。

提案 7· 提案人：張新民技師

案由：建議本公會辦理數家保險公司的團體意外險，並由會員自由選擇自費參加，提請審議。

決議：授權理事會依說明內容研議。

提案 8· 提案人：陳伯珍技師連署人：黃俊憲技師

案由：建議公會設置論文編輯委員會，將公會歷年會訊的論文，分類後編輯專書並以 pdf 檔分送各會員，以利會員提升專業能力，提請審議。

決議：授權理事會依說明內容研議。

捌、臨時動議

玖、散會

第 13 屆第 9 次理監事聯席會議紀錄

壹、時間：中華民國 115 年 7 月 25 日上午 10 時

貳、地點：本會會議室（台北市長安西路 342 號 4 樓之 1）

參、出席人員：理事長－劉敏信

理事－張天益、高信福、林清洲、王志遠、黃福全、

林威安、黃啓明、曾寶山、范振國、黃振倉

監事－楊基振、范綱智、王凱中、周奮興

肆、缺席人員：無

伍、請假人員：理事－林玉青、陳俊明、吳慶龍、許定華

監事－彭文良

陸、列席人員：（無）

柒、主 持 人：劉理事長敏信

捌、記 錄：陳秋婷

玖、報告事項

（一） 第 13 屆第 8 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	115 年度 1 月至 3 月經費收支提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 2	
案由	新入會會員名冊提請理事會審核。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查

提案 3	
案由	提報 115 年度會員大會名冊，請審議。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 4	
案由	115 年度會員大會相關籌辦事宜，提請討論。
決議	照說明通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 5	
案由	有關本會 115 年度會員旅遊相關事宜，提請討論。
決議	參考郵輪行程，由福利委員會籌辦後續事宜。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 6	
案由	有關本會與環境部環境管理署合辦技師講習會課程事宜，提請討論。
決議	照案通過，相關辦理細節後續再行討論。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查

(二) 會員繳費紀錄—截至 115 年 6 月 30 日止，繳交 115 年度常年會費者 634 人。

(三) 工作報告：

1.各委員會工作報告

	日期	委託/召開/來函 單位	事由	說明
審 查	4 月 20 日	內政部國家公 園署金門國家 公園管理處	有關李正彬「金門縣金寧鄉古寧頭 測段 986 地號」污水接管竣工案	協審 - 高常 務理事信福
	4 月 27 日	臺中市政府 經濟發展局	「臺中市潭子聚興產業園區」污水 處理廠三年代操作計畫書一案，茲 訂於 115 年 4 月 27 日辦理審查	出席 - 曾理 事實山、周理 事奮興
	4 月 27 日	臺南市政府 水利局	為協助事業用戶排放事業廢污水 水質超標輔導改善事宜	出席 - 黃義 雄技師
	4 月 29 日	內政部國家公 園署金門國家 公園管理處	有關李鳳祥申請「金門縣金城鎮前 水頭測段 0343 地號集合住宅新建 工程」污水接管設計案	協審 - 高常 務理事信福
	5 月 27 日	臺南市政府 水利局	本局辦理「泳鑫建設有限公司一關 廟區松腳段 1226 地號等 1 筆集合 住宅新建工程」專用下水道審查作 業	協審 - 黃義 雄技師
	5 月 27 日	內政部國家公 園署金門國家 公園管理處	有關金寧鄉公所申請「金門縣金寧 鄉古寧頭測段 522-1 地號」污水接 管設計案	協審 - 高常 務理事信福
	6 月 1 日	內政部國家公 園署金門國家 公園管理處	有關熙煌工程有限公司檢送李梓 良「金門縣金寧鄉龍潭段 87 地號 等 1 筆」污水接管竣工申請案	協審 - 高常 務理事信福
審 查	6 月 1 日	內政部國家公 園署金門國家 公園管理處	有關熙煌工程有限公司檢送岳達 建設有限公司「金門縣金湖鎮中四 劃段 175 地號等 1 筆」污水接管竣 工申請案	協審 - 高常 務理事信福
	6 月 8 日	新北市政府 水利局	「115 年度新北市河川水體底泥品 質檢測案」底泥品質定期採樣及檢 測計畫書審查會	出席 - 黃理 事振昌
	6 月 9 日	臺南市政府 水利局	本局辦理「台南萬楓酒店-善化區 善特段 0091 地號等 1 筆旅館新建 工程」專用下水道審查作業	協審 - 黃義 雄技師
	6 月 15 日	臺南市政府 水利局	本局辦理「中國建築經理股份有限 公司-善化區善文段 0330-0001、 0349~0352、0363-001、0769 地號	協審 - 黃義 雄技師

			等 7 比店舖、集合住宅新建工程」 專用下水道變更設計審查作業	
	6 月 17 日	臺南市政府 水利局	本局辦理「麗欣建設股份有限公司 -善化區北子店段一小段 705 地號 等 1 筆集合住宅新建工程」專用下 水道審查作業	協審 - 黃義 雄技師
	6 月 29 日	內政部國家公 園署金門國家 公園管理處	有關金門「縣金寧鄉公所申請金寧 鄉古寧頭測段 522-1 地號」污水接 管案設計 1 案	協審 - 高常 務理事信福
	6 月 29 日	內政部國家公 園署金門國家 公園管理處	有關李鳳祥君申請「金門縣金城鎮 前水頭測段 0343 地號集合住宅新 建工程」污水接管設計 1 案	協審 - 高常 務理事信福

學 術	1150510	11505-06 會訊	GCB 系統搭配 ISCO 整治 TPH 污染工法應用－林 雍承專案工程師、楊世閔專案工程師
			印刷電路板製造業含銅廢水處理技術(一)：法規 趨勢、錯合化學機制與整合重金屬沉澱處理策略 －傅崇德退休副教授、陳家彬處長
	1150710	11507-08 會訊	淨零碳排趨勢下印刷電路板業錯合銅廢水處理技 術發展－傅崇德退休副教授
			燃煤底灰於輕質骨材的創新應用－張名毅技師

2.會務

- (1) 有關本會製作之第二批次安全帽，已於 115 年 4 月 30 日完成分裝寄發。
- (2) 第 13 屆第 3 次會員大會已於 115 年 7 月 18 日假臺大醫院國際會議中心順利舉辦完成，實到 345 人（親自出席 264 人，委託出席 81 人）。本次邀請前環保署蔡鴻德署長擔任講座主講人。
- (3) 第 13 屆第 10 次理監事會時間暫定於 115 年 10 月 17 日（星期六） 召開。

壹拾、提案討論

提案 1·· 提案人：理事長

案由：115 年度 1 月至 6 月經費收支提請理事會審議、監事會監察。

說明：如附件一（1 月至 6 月收支決算表、資產負債表及現金出納表）。

決議：照案通過。

提案 2·· 提案人：審查委員會

案由：新入會會員名冊提請理事會審核。

說明：執業技師 5 名、營造業技師 1 名，共 6 名，名單如下（詳新入會會員名冊卷宗）

類別	技師姓名	會籍編號	執業機構／受聘公司
執業技師	陳庚鴻	1165	流析環境工程技師事務所
	高山鎮	1474	瑞恩環境工程技師事務所
	袁富雄	1475	富安環境工程技師事務所
	何京亞	1476	金石山工程顧問股份有限公司
	李昇憲	1478	傑太環境工程顧問有限公司
營造業技師	蔡榮泰	1477	傳達營造有限公司

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：福利委員會

案由：有關 115 年度會員旅遊相關事宜（如附件二），提請討論。

決議：1. 本活動採分區方式辦理，劃分為北區、中區及南區三個區域，並由各區指定技師負責規劃行程：

北區：張天益技師；中區：范振國技師；南區：林玉青技師。

2. 眷屬補助限定一位。

提案 4· 提案人：理事長

案由：有關行政院公共工程委員會採購委員推薦人選，提請討論。

說明：本次將推薦 2 位技師，名單如下。

序號	技師姓名	會籍編號
1	黃振倉	1100
2	鄭如玲	0618

決議：照說明通過。

提案 5· 提案人：會員大會

案由：第 13 屆第 3 次會員大會原提案人張新民技師，連署人徐孟頻技師附議提案「建議公會辦理團體意外險，並由會員自由選擇自費參加」，提請討論。

決議：請張新民技師就本案進行規劃，研擬計畫書，並建議蒐集至少三家保險公司之方案，以利後續評估與討論。

提案 6· 提案人：會員大會

案由：第 13 屆第 3 次會員大會原提案人陳伯珍技師，連署人黃俊憲技師附議提案「建議公會設置論文編輯委員會，將公會歷年會訊的論文，分類後編輯專書並以 pdf 檔分送各會員，以利會員提升專業能力」，提請討論。

決議：建議陳伯珍技師先行至公會官網下載歷年會訊論文，進行索引分類整理，作為後續評估之參考。

提案 7· 提案人：林理事清洲 連署人：黃理事啟明

案由：依據台灣省環境技師公會章程第 19 條第 2 項，提請討論。

說明：本會因會員人數逐年增加，倘會員代表選舉於會員大會辦理，需佔用 4-5 小時，及大量人力，依本會章程第 19 條第 2 項「會員代表之選舉，得經理事會同意採用通訊選舉。」，爰提請討論。

決議：由法規委員會擬定執行計畫，作為後續評估之參考。

壹拾壹、臨時動議

壹拾貳、散會